

ISSN 1880-0114
国総研プロジェクト研究報告第11号
平成18年12月

国土技術政策総合研究所 プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 11

December 2006

かしこい建築・住まいの実現のための
建築技術体系に関する研究

Development of Comprehensive Technology for
Advanced Smart Dwelling/Buildings

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

This page is intentionally left blank.

かしこい建築・住まいの実現のための建築技術体系に関する研究

平野 吉信 (2003 年 - 2006 年) *

Development of Comprehensive Technology for
Advanced Smart Dwelling/Buildings

Dr. Yoshinobu Hirano (2003-2006)

概要

情報・通信技術、制御技術・高機能材料等を活用した「かしこい技術」を建築物に組み込むことによって、合理的な経済性の下に、建築物・居住環境に対するニーズ・要求性能の高度化・多様化に対応することができる「かしこい建築・住まい」を実現するための、「設計・建設・維持に関する技術体系、及び組み込んだ「かしこい技術」の有効性・信頼性を社会として評価し受け入れるための建築基準体系に関するプロジェクト研究の報告である。

キーワード : 建築物、かしこい技術、建築基準

Synopsis

The Advanced Smart Dwelling/Building here means comprehensive engineering system which can achieve high-level fitness-to-intended use of dwellings or buildings, by utilizing smart technologies. Two types of technology were developed and reported here; smart technologies which can be used for the design, construction and maintenance of the Smart Dwelling/Building, and building standards framework to evaluate the effectiveness and reliability of the technologies in order to socially accept the Smart Dwelling/Building.

Key Words : Buildings, Smart Technology, Building Standards

* 建築研究部長 Director of Building Department

This page is intentionally left blank.

国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告
かしこい建築・住まいの実現のための建築技術体系に関する研究

目次

第1章 研究開発概要	-----	1
1.1 かしこい技術とかしこい建築・住まい	-----	1
1.2 「かしこい建築・住まい」の設計・建設・維持に関する技術体系の開発	-----	1
1.3 「かしこい建築・住まい」に対応した建築基準体系の開発	-----	3
1.4 研究開発の体制	-----	3
第2章 かしこい技術のニーズ・シーズ及び建築物への適用性	-----	5
2.1 ヒアリング、アンケート調査結果	-----	5
2.1.1 (社)建築業協会へのニーズ調査結果	-----	5
2.2 建築基準法等におけるかしこい関連技術の技術評価事例に関する調査	-----	7
2.2.1 調査の背景および目的	-----	7
2.2.2 調査内容と研究成果	-----	7
2.3 かしこい建築・住まいの実現のための信頼性技術に関する調査	-----	21
2.3.1 建築基準法における防火規定および消防法の規定に見られる安全性・フェイルセーフの考え方	-----	21
2.3.2 建築設備関係の定期検査の内容	-----	32
2.3.3 建築分野に信頼性を取り入れるための考えと手法	-----	34
2.3.4 建築物の品質を確保するための設計・施工監理と維持管理	-----	42
2.4 かしこい技術等の諸外国における取扱いに関する調査	-----	47
2.4.1 調査の背景および目的	-----	47
2.4.2 調査内容と成果	-----	47
第3章 高靱性セメント複合材料の性能評価ガイドライン	-----	49
3.1 高靱性セメント複合材料の概要	-----	52
3.1.1 基本的な特徴	-----	52
3.1.2 材料の分類と用語の定義	-----	53
3.1.3 高靱性セメント複合材料の製造・施工	-----	55
3.1.4 高靱性セメント複合材料の適用	-----	56
3.1.5 高靱性セメント複合材料の特長を活かした部材性能向上の可能性とそのメカニズム	-----	60
3.2 適用範囲	-----	62
3.3 材料特性と品質の確保	-----	63
3.3.1 材料特性	-----	63
3.3.2 品質の確保	-----	83
3.4 構造安全性の確保	-----	94

3.4.1	性能評価	-----	94
3.4.2	目標性能	-----	98
3.4.3	限界値の設定	-----	101
3.4.4	応答値の算定	-----	102
3.4.5	構造細則	-----	108
3.5	環境安全性の確保	-----	109
3.6	品質管理および検査	-----	110
3.6.1	品質管理および検査の方法と体制	-----	110
3.6.2	高靱性セメント複合材料に使用する材料の品質管理および検査	-----	110
3.6.3	高靱性セメント複合材料および部材の品質管理および検査	-----	110
3.6.4	施工管理	-----	111
3.6.5	維持管理	-----	112
3.7	適用例：ECC を並列壁の境界梁へ適用した高層建築物	-----	113
3.7.1	実建物概要と地震応答性状と連結梁への要求性能	-----	113
3.7.2	高靱性セメント複合材料の材料特性と品質の確保	-----	114
3.7.3	高靱性セメント複合材料連結梁の構造安全性の確保	-----	116
3.7.4	環境安全性の確保	-----	116
3.7.5	責任・管理体制（部材の製作方法，管理方法，および施工方法）	-----	117
第4章 防火システムに関する性能評価ガイドライン			----- 119
4.1	水平噴流式煙制御システムのガイドライン	-----	119
4.1.1	対象建築物と技術概要	-----	119
4.1.2	応答制御等の装置およびメカニズムの概要	-----	121
4.1.3	感知・制御機器の稼動信頼性	-----	122
4.1.4	維持・管理、定期的作動確認の方法	-----	122
4.1.5	建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証	-----	123
4.1.6	想定内の作用に対する制御不全に対する対応	-----	125
4.1.7	要求レベルを超えた作用に対する結果	-----	125
4.2	加圧式煙制御システムのガイドライン	-----	126
4.2.1	対象建築物と技術概要	-----	126
4.2.2	応答制御等の装置およびメカニズムの概要	-----	128
4.2.3	感知・制御機器の稼動信頼性	-----	128
4.2.4	維持・管理、定期的作動確認の方法	-----	128
4.2.5	建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証	-----	129
4.2.6	想定内の作用に対する制御不全に対する対応	-----	131
4.2.7	要求レベルを超えた作用に対する結果	-----	131
4.3	空調兼用排煙のガイドライン	-----	132
4.3.1	対象建物と技術概要	-----	132
4.3.2	応答制御等の装置およびメカニズムの概要	-----	134
4.3.3	感知・制御機器の稼動信頼性	-----	136

4.3.4	維持・管理、定期的作動確認の方法	----- 139
4.3.5	建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証	----- 140
4.3.6	想定内の作用に対する制御不全に関する対応	----- 142
4.3.7	要求するレベルを超えた作用に対する結果	----- 142
4.4	火災抑制のためのスプリンクラー設備のガイドライン	----- 143
4.4.1	対象建築と技術概要	----- 143
4.4.2	応答制御の装置およびメカニズムの概要	----- 143
4.4.3	感知・制御機器の稼働信頼性	----- 144
4.4.4	維持・管理、定期的作動確認の方法	----- 145
4.4.5	建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証	----- 145
4.4.6	想定内の作用に対する制御不全に対する対応	----- 147
4.4.7	要求するレベルを超えた作用に対する結果	----- 148
第5章	かしこい建築の性能評価のための建築基準	----- 157
5.1	建築基準における「かしこい建築」の性能評価フレームワーク	----- 157
5.1.1	総則	----- 157
5.1.2	対象建築物およびかしこい技術と建築基準の関係の明確化	----- 157
5.1.3	感知・状態評価・制御の装置およびシステムメカニズムの評価	----- 158
5.1.4	感知・状態評価・制御機器の稼働信頼性の評価	----- 158
5.1.5	維持・管理の方法	----- 158
5.1.6	建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証	----- 158
5.1.7	建築基準法の規定を上回るレベルの作用、または、建築基準法では規定されない状態に対する性能評価	----- 159
5.1.8	想定したレベルを超えた作用に対する結果(Consequence)	----- 160
5.1.9	フレームワークに関連した議論・情報	----- 161
5.2	かしこい建築の建築基準体系に関する制度的観点からの検討	----- 175
5.2.1	建築基準体系における制度の観点でみたかしこい建築	----- 175
5.2.2	各類型に対応した制度に関する検討	----- 175
第6章	総括及び今後の課題	----- 177
付録	成果の公表（論文等リスト）	----- 179

This page is intentionally left blank.

第1章 研究開発概要

1.1 かしこい技術とかしこい建築・住まい

今日の高度化・多様化しつつある建築物に求められる機能や性能を実現しようとした場合、材料・部材自体が具える物性等に依存して諸性能を確保してきた従来の建築技術体系では、全ての要求を満たすためには過度に高度な水準を確保しなければならない等、適切な解を見出すことが非常に困難となっている。これに対して、技術革新や高性能化が飛躍的に進展している高知能・高機能化技術を活用し、様々な外力や負荷・状態の変化や経時的な劣化を感知することにより、構造物の性能特性や空間の状態を自ら制御・修復する技術（本研究では、このような技術を「かしこい技術」と定義する。）を建築物に組み込むことによって、より合理的に必要な機能や性能を実現できるような仕組みが実用化されることが期待される。

図 1.1 は、このような状況を模式的に示したものである。例えば、設計において通常想定する作用レベルを超え、極めて稀に発生する突発的な作用に対して、部材の断面を大きくすることで備えること（図 1.1 Before）よりも、そのような突発的な作用を「かしこい技術」を用いて感知・制御することによって建築物の安全性を確保すること（図 1.1 After）の方に合理性があることは十分あり得る。また、建築物が供用される期間は数十年～百年程度と非常に長いため、その間の不確実な経年劣化を設計時に織り込む（Before）よりも、「かしこい技術」であるセンサー等を組み込んで性能の変化を随時感知し、部材自ら補修すること、又は適切な維持・保全措置を講ずることを可能とする（After）方が高い合理性を持つ場合もある。

本研究では、同図 After のような状況を実現するために、技術革新が進展している情報・通信技術や制御技術・高機能材料等を活用した「かしこい技術」を確立し、これを建築物に組み込むことによって、合理的な経済性の下に、建築物・居住環境に対するニーズ・要求性能の高度化・多様化に対応することができる「かしこい建築・住まい」を実現するための新たな建築技術体系に関する開発・整備を目指したものである。

この「かしこい建築・住まい」を実現するための建築技術体系として位置づけたものは、以下の2つである。

第1は、「かしこい技術」の狙った特性が確実に建築・住まいで実現されるようにするための、耐震、火災安全等の各種の機能・性能項目に対応する個々の技術適用パターンを想定した「かしこい建築・住まい」の設計・建設・維持に関する技術体系である。

第2は、こうした「かしこい建築・住まい」の建設・供給が実現されるための必須条件としての、組み込んだ「かしこい技術」の有効性・信頼性を社会として評価し受け入れるための「かしこい建築・住まい」に対応した建築基準体系である。

1.2 「かしこい建築・住まい」の設計・建設・維持に関する技術体系の開発

前項に述べた建築技術体系の第1の対象とする技術を検討するにあたり、平成15年度に（社）建築業協会を通してニーズ調査を実施した。さらに、建築基準法旧第38条に基づく大臣認定の事前評価（評定）を行っていた（財）日本建築センターの協力を得て、過去の評定案件を整理した結果及びその他の情報を下に、本研究で対象とする要素技術開発項目を以下のa.～d.に絞り込んだ

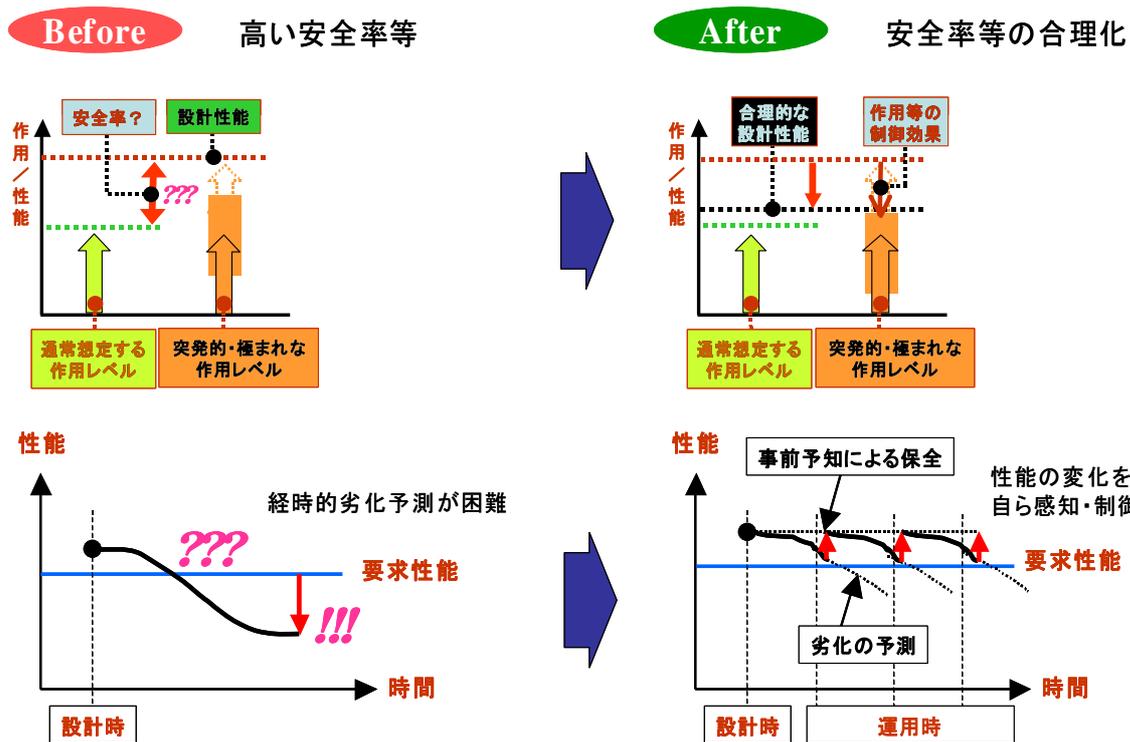


図 1.1 「かしこい技術」の効用

(第 2 章)。

a. 耐震（構造安全）

- ・ 地震動を感知し、その建築物への影響を打ち消す又は軽減する方向に建築物の挙動や挙動特性を制御するもの
- ・ 高機能材料を用い、建築構造物の耐震上の弱点となりうる部位の性能（例：ひび割れを起さず高い強度と変形能を維持することにより地震エネルギーを吸収する等の役割を果たすこと）を必要に応じて作りこむもの

b. 火災安全

- ・ 火熱や煙発生等を感知し、その避難安全等に対する悪影響を抑制するように煙や火熱の生成・拡散・移動等を制御するもの

c. 耐久性

- ・ 外力等の作用履歴やひび割れ・腐食等の発生量を測定・記録し、合理的な維持管理の計画的実施に資するもの

d. 室内空気質

- ・ ホルムアルデヒド等の有害化学物質を感知し、素材自らが吸着して室内の濃度を低下させ、空気質を向上させるもの

より具体的には、以下の適用技術に関して検討した。

- ▷ 地震時挙動のセミアクティブ制御 [a. 耐震（構造安全）]
- ▷ 浮き上がりを活用した地震入力低減 [a. 耐震（構造安全）]
- ▷ 高靱性セメント系複合材料の特性評価 [a. 耐震（構造安全）]
- ▷ 噴流による煙制御技術による避難安全性向上 [b. 火災安全]
- ▷ 電気化学的手法による材料の耐久性評価 [c. 耐久性]

- ▷ RFID タグセンサーを用いた ON-OFF 型構造物損傷検知 [c. 耐久性]
- ▷ 吸着性建材による室内空気質の向上 [d. 室内空気質]

それぞれの適用技術に対して、実験・解析等による基本特性の調査、設計手法、施工方法、維持の手法等に関して検討し、例えば、高靱性セメント系複合材料に関してはその性能評価基準の原案をとりまとめ（第3章）、噴流による煙制御技術に関しては水平噴流式制御システムの適用・性能評価に関するガイドライン案として取りまとめる（第4章）等、設計・建設・維持に関する技術体系としての成果を得た。

1.3 「かしこい建築・住まい」に対応した建築基準体系の開発

前述の通り、組み込んだ「かしこい技術」の有効性・信頼性を社会として評価し受け入れ可能であることは、「かしこい建築・住まい」の建設・供給が実現されるための必須条件である。いくら開発者が良いと信じる技術があっても、その技術を組み込んだ建築物が想定された性能・機能を狙い通り発現することを第三者に対して明示できなければ、社会としては受け入れることができないであろう。

社会的な受け入れの一つの重要な側面である建築基準法において、かしこい建築・住まいはどのように扱われているであろうか。残念ながら、現行の建築基準法ではかしこい建築・住まいはその「かしこさ」を明示的に評価する枠組みが確立できていない。そこで、本研究では建築基準法においても明示的に「かしこさ」を性能評価するための建築基準体系を検討した。その結果、従来型の建築物と異なり、かしこい建築物の場合には組み込むかしこい技術の稼働信頼性が建築物の性能に支配的であり、稼働信頼性はかしこい技術の維持・管理に強く依存すること等を明確にした上で、「かしこい建築・住まい」に対する性能評価のフレームワークとしてとりまとめた（第5章）。

本研究で想定した「かしこい建築・住まい」に関しては、当面の間、建築物として大臣認定の手続きを取る必要がある。その性能評価を実施するために指定（承認）性能評価機関が定める業務方法書においては、上記の性能評価のフレームワークを反映したものとすることが期待される。また、かしこい技術を開発し、それを組み込んだかしこい建築・住まいを計画する場合においては、開発者・設計者等が、当該建築物等の性能を建築主や第三者に開示するためにこの性能評価のフレームワークが活用できる。

1.4 研究開発の体制

本研究は平成15年度～平成17年度の3年にわたり実施したもので、国土技術政策総合研究所においては、建築研究部を主幹とし、住宅研究部、危機管理技術研究センターを中心として、「かしこい建築・住まい」の設計・建設・維持に関する技術体系の研究開発を進めつつ、これと相互にフィードバックを図りながら、「かしこい建築・住まい」を社会として評価するための建築基準体系の研究開発が進められるような研究実施体制をとった。これら両研究テーマに共通する基礎的、基盤的な研究の推進等については大学等とも適切に連携をとることとし、図1.2のような体制とした。とくに独立行政法人建築研究所とは、共同研究を締結し密接な協力の下で研究を推進した。民間等に関しては、(社)建築業協会（BCS）を窓口とした。

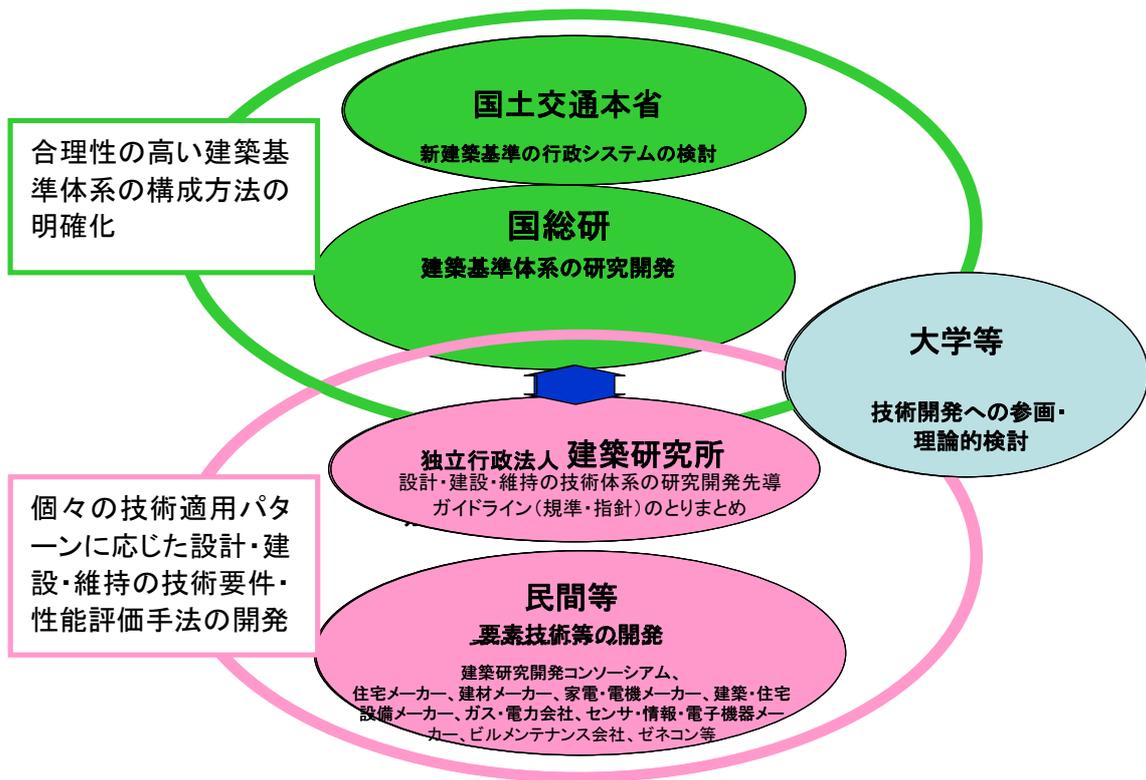


図 1.2 研究開発の体制

第2章 かしこい技術のニーズ・シーズ及び建築物への適用性

2.1 ヒアリング、アンケート調査結果

2.1.1 (社) 建築業協会へのニーズ調査結果

(社) 建築業協会に、かしこい技術に関するニーズ調査を実施した。その結果をまとめると、表 2.1 となる。

表 2.1 かしこい技術に関するアンケート結果(その1)

番号	アイデア名と概要	提案者	関連分野	備考
1	・ <u>セミアクティブ免震構法</u> セミアクティブ制御による免震建築物の地震応答の低減	大本組 小野 嗣修	構造 免震 制御	
2	・ <u>汚染物質等の自動監視・制御システムによる室内環境の向上</u> 湿気、ガスを感知、排出する壁紙 CO などの有毒ガスを検知する塗料が塗布された壁・天井材 避難誘導を指示する音声センサーを組み込んだ壁・天井材	五洋建設 坪崎 裕幸	環境 防火 内装材	
3	・繊維補強セメント系材料の性能評価 同材料の性能評価の方法の明確化と基準法 37 条への対応	東急建設 白都 滋	材料 構造	
4	・可変形状トラス VGT を利用した可動型構造物 複雑な動きを可能にする要素技術の 1 つに「可変形状トラス VGT(Variable Geometry Truss)」がある。宇宙構造物用に開発されたものである。この技術を発展させ、制御等を付加することにより、自在に稼働できる構造体が可能となる。	大林組 井上文宏	構造 制御 可動構造	
5	・電子タグを利用した車椅子自動誘導システム お年寄り等にハートフルな住宅を提供する。タグと ITS 技術の融合による室内空間の創成、電子標識	大林組 浜田耕史	室内環境 弱者対応	
6	・地震モニタリングシステム 地盤の揺れを感知し、建物の制振の起動、警報発令や避難路確保に寄与する。	フジタ 中村 佳也	地震 防災・減災	
7	・部材の健全性モニタリングシステム 部材、空間の状態をモニタリングし、異常の監視を行う。超音波探査等の劣化等の診断を行う。	フジタ 中村 佳也	材料・部材 環境 損傷検知	

表 2.1 かしこい技術に関するアンケート結果(その2)

番号	アイデア名と概要	提案者	関連分野	備考
8	・火災時の避難安全性の確保「火災フェイズ管理型防災システム」 火災進展モニタリングによる対策の総合化 早期避難 最適制御による被害拡大防止	清水建設 掛川	防火 避難 安全	
9	・火災時の延焼拡大防止「ドレンチャー水幕型防火区画システム」 水幕により、炎、煙の遮断、設計の自由度の拡大	清水建設 広田	防火 延焼防止	
10	・無耐火被覆柱 部材個々の耐火性能評価から、架構全体における耐火性能の評価	清水建設 広田	防火 構造	
11	・自動日射遮蔽装置 太陽の動きに合わせた遮蔽装置。	大林組 都市・居住 環境研究室	環境 日射	
12	・自動吹き出し調整口 冷暖房時で、自動的に吹き出し口が変化する。	大林組 都市・居住 環境研究室	室内環境 空調	
13	・行動認識と異常時監視システム 数多くのセンサーにより、居住者の行動パターンを認識したデータベースをもとに、異常時を認識できるシステムを構築する。	大林組 都市・居住 環境研究室	室内環境 防犯 一人住まい対策	
14	・トリプルスケルトン構造システム 剛強な第一スケルトン(コア部分、免震)、主要構造体を構成する第二スケルトン(梁、柱)および軽量鉄骨や木質構造の第三スケルトンで構成される。高耐震性、高耐久性、可変空間、簡易解体等が可能	清水建設 真瀬伸治	構造 長寿命 可変空間	
15	・アクティブ制振 制御アルゴリズムの改良による制御の高精度化	大成建設 欄木龍大	構造 地震 制御	
16	・複合制振ダンパー 弾塑性ダンパーと粘弾性ダンパーの複合による微少振動から大地震まで効率的に応答を低減できる制振ダンパー	大成建設 欄木龍大	構造 地震 制振部材	

2.2 建築基準法等におけるかしこい関連技術の技術評価事例に関する調査

2.2.1 調査の背景および目的

「かしこい」関連技術の性能評価方法の検討及び建築基準体系の検討の参考とするため、過去の建築基準法第38条に基づく認定案件を中心に、「かしこい」関連技術の技術評価事例を収集し、その特徴、信頼性等の評価及びフェールセーフの考え方等を整理・分析する。

2.2.2 調査内容と研究成果

調査は、建築基準法第38条に基づく大臣認定の事前の性能評価（評定）を行っていた（財）日本建築センターの協力を得て、過去の同センターの評定案件、及びインターネット等により入手した情報について整理・分析を行った。以下にその結果の概要を示す。

(1) センサー・制御系技術

1) センサー・制御系技術とは

目的に応じた情報をセンサー等により感知・計測し、その情報をもとにコンピュータ等で計算されたある制御則に応じて、外部エネルギーを与え装置を駆動する技術である。

構造系、防火系、その他に分類して、個々の技術に関する特色について整理した。

○構造系

主な目的は、地震時応答の低減、風応答の低減、荷重制御(融雪等)である。

機構としては下記のもの等が上げられる。

①付加質量機構：構造物に付加した可動質量の振動運動を利用して構造物の振動エネルギーを吸収し振動応答(地震時または風応答時)を低減するもの。

・アクティブマスダンパー：付加質量の振動を、アクチュエーターやサーボモーターで強制的に振動させるもの。

・セミアクティブマスダンパー：付加質量について振動加振，剛性制御，減衰制御等するもの。

②エネルギー吸収機構：エネルギー吸収部材・装置において、建物の振動によるエネルギーを吸収するもの。ダンパー。

・セミアクティブオイルダンパー：減衰調整弁の開閉により、減衰力を制御するもの。

③荷重制御機構：長期荷重に対する構造体の安全性を確保するもの。

・空気膜屋根保持機構：空気膜屋根を、建物室内の加圧により長期的に保持するもの。

・融雪装置：屋根面の積雪を、温度,振動により除去し荷重を低減するもの。

○防災系

主な目的は、火災時の消火、防火区画の形成、早期の避難誘導である。

機構としては下記のもの等が上げられる。

①放水砲による消火システム：自動感知システムにより火災発見後、放水砲によ

り効果的に消火するもの。

②ドレンチャー設備：水幕により炎を遮るもの。

③火災フェイズ管理型防災システム：自動火災報知設備により火災に伴う室内温度上昇をリアルタイムで監視し火災の進展を予測して避難誘導するもの。

○その他

主な目的としては、室内温度の均一化、日照の確保である。

機構としては下記のようなもの等が上げられる。

①冷暖房環境改善型天井ファン：天井ファンにより直線的な風向で室内を均一に動く流れを作り出すもの。

②回転住宅：家屋を平面的に回転させることにより日照等を確保するもの。

2) センサー制御系技術一覧シート

センサー制御系技術を日本建築センターにおいて評価した案件からのリストアップ及びインターネットの検索等から情報収集し、センサー制御系技術を、機構、対象事象、制御概要等によって整理し一覧表を作成した。その一覧表を表 2.2 に示す。

3) センサー制御系技術の事例概要

センサー制御系技術一覧に記載されている事例の中から概要を記した個別シート例を表 2.5 に示す。

4) 評価に際しての信頼性、フェールセーフ等について

○センサー・制御系の信頼性の判断基準に関しては以下の分類となる。

① 装置の信頼性判断基準の主な項目

- ・装置製作時における品質管理，実験による動作確認、出荷時品質管理
- ・施工時における品質管理（精度管理等）
- ・建物設置直後における装置の性能確認
- ・維持管理における品質管理

② 制御システムの信頼性判断基準の主な項目

- ・故障確率等の理論的な確認
- ・製作時、出荷時品質管理
- ・建物設置直後におけるシステムの性能確認
- ・確実な維持管理システム・体制の構築

○また、フェールセーフに関しては、以下の場合分けとなる。

①想定外外力が入力した場合

- ・製品誤差、経年変化等による安全率を考慮した設計（周辺取付部材も含む）
- ・ストッパー設置,非常停止機能付加等の考慮

②システムが誤作動した場合

- ・ストッパー設置,非常停止機能付加等の考慮

③供給がストップした場合

- ・装置のパッシブ性能を確保

○具体的な信頼性の判断基準，フェールセーフの考え方を以下に示す。

<地震・風等のセンサー・制御系技術に於ける信頼性の判断基準>

- ・実験による動作確認。システム確認。管理体制確認。
- ・実大加力実験により減衰特性、剛性を確認。
- ・固定時、可動時における地震応答解析。風洞実験。火災安全、避難安全検討。
可動時の安全確認は目視、電氣的インターロック。

<地震・風等のセンサー・制御系技術に於けるフェールセーフの考え方>

* 想定外外力に対する考え方

- ・非常停止し装置自体の安全性を確保。取付部の強度確保。
- ・製品誤差、経年劣化なども考慮し、適切な安全率を確保。

* 誤作動に対する考え方

- ・加振検知機構を設置し、異常時にはロック。
- ・センサーや CPU に異常が発見された場合、機械的にパッシブダンパに切り替わる油圧回路を内蔵している。

* 断電等（供給ストップ）に対する考え方

- ・コントローラの電源供給が絶たれた場合、機械的にパッシブダンパに切り替わる機能を有している。
- ・パッシブダンパと同等性能確保。

<火災等のセンサー・制御系技術に於ける信頼性の判断基準>

- ・試験により受熱速度の到達率を求め、その数値をもとに遮炎性を検証。
- ・試験により遮煙性能を有していることを確認。
- ・消防法の基準による。

<火災等のセンサー・制御系技術に於けるフェールセーフの考え方>

* 想定外外力に対する考え方

- ・消火に失敗した場合は防火区画により延焼を押さえるよう計画する。
- ・1階以外の全ての階に設置する。

* 誤作動に対する考え方

- ・自火報の火災検知の他に感熱開放継手の火災検知のダブルアクションにより起動として不時放水を防止。
- ・フェイス[®]進展警報の発報、複数個の煙感知器及び熱感知器の作動、発信機の作動のいずれかにより火災を確定している。

* 断電等（供給ストップ）に対する考え方

- ・非常用電源の設置、自家発電設備の自主設置。

(2) パッシブ機構系技術

1) パッシブ機構系技術とは

外部からのエネルギー供給を必要としない制御による技術。外部の状況変化に応じて、事前に設定した物理現象、化学現象を利用して制御する技術である。

構造系、防火系に分類して、個々の技術に関する特色について整理した。

○構造系

主な目的は、地震時応答の低減、風応答の低減である。

機構および主な例としては、下記のようなもの等が上げられる

- ①付加質量機構：構造物に付加した可動質量の振動運動を利用して構造物の振動エネルギーを吸収し振動応答（地震時または風応答時）を低減するもの。
 - ・チューンドマスダンパー：付加質量の振動により建物振動を低減させるもの。
- ②エネルギー吸収機構：エネルギー吸収部材・装置において、建物の振動によるエネルギーを吸収するもの。ダンパー。
 - ・オイルダンパー：粘性体（オイル）の変形により入力した振動エネルギーを熱エネルギーに変換し応答低減を計るもの。
 - ・鋼材ダンパー：金属系材料の塑性変形エネルギー吸収に期待するもの。
- ③免震機構：支承材（鉛直力を保持しながら水平方向に大きく変形できる材料）により、建物を長周期化し地震時応答を低減するもの。

○防災系

主な目的は、耐火被覆、遮炎性能、延焼防止、散水による初期消火非常時の照明である。

機構及び主な例としては、下記のようなもの等が上げられる。

- ① 耐火塗料等：火災の熱により発泡材が発泡して断熱層を形成するもの。
- ② 防火見切縁、防火ダンパー：火災の熱により発泡材、温度ヒューズ等が発泡、溶断してダンパ等が閉鎖して延焼を防止するもの。
- ③ 湿式スプリンクラー：火災の熱により散水弁の係止部が溶断して散水弁を開放するもの。

2) パッシブ機構系技術一覧シート

パッシブ機構系技術を日本建築センターにおいて評価した案件からのリストアップ及びインターネットの検索等から情報収集し、パッシブ機構系技術を、機構、対象事象、技術概要、フェールセーフの考え方等によって整理し一覧表を作成した。その一覧表を表 2.3 に示す。

3) パッシブ機構系技術の事例概要

パッシブ機構系技術一覧に記載されている事例の中から概要を記した個別シート例を表 2.6 に示す。

4) 評価に際しての信頼性、フェールセーフ等について

○パッシブ系の信頼性の判断基準に関しては以下の分類となる。

装置の信頼性判断基準の主な項目

- ・装置製作時における品質管理、実験による性能確認、出荷時品質管理
- ・施工時における品質管理（精度管理等）
- ・建物設置直後における装置の品質管理
- ・維持管理における品質管理

○また、フェールセーフに関しては、以下の場合分けとなる。

想定外外力が入力した場合

- ・製品誤差、経年変化等による安全率を考慮した設計（周辺取付部材も含む）

○具体的な信頼性の判断基準，フェールセーフの考え方を以下に示す。

<地震・風等のパッシブ機構系技術に於けるフェールセーフの考え方>

- ・製品誤差、経年劣化なども考慮し、適切な安全率を確保。

- ・免震層クリアランス及び EXP.J 部設計に関して安全率の確保。
- ・想定外変形を制御するロック機能を有するものもある。
- ・変形能力が大きいので、別の部材の不具合時のバックアップ材として利用できる。

＜火災等のパッシブ機構系技術に於けるフェールセーフの考え方＞

- ・想定した以上の火源が周りにないよう設計する。
- ・他の部分で区画できるように設計する。
- ・経年変化による劣化の確認を指示。
- ・想定する風圧の 2 倍以上の安全率を持った閉鎖力を持っていること。
- ・保護体を取り付けた状態での温度ヒューズの性能を確保していること。

(3) その他新機能系技術

1) その他新機能系技術とは

経年変化や室内環境、火災等に対する新技術を材料系、構造系に分類して、個々の技術に関する特色について整理した。

経年変化に対する新機能系技術としては、以下のものが上げられる。

- ・自動修復金属
- ・光触媒効果を有する多機能タイル（抗菌,防汚,防臭）
- ・高耐久低汚染塗料
- ・防錆（エポキシ）鉄筋
- ・炭素繊維シート

室内環境に対する新機能系技術としては、以下のものが上げられる。

- ・調湿建材
- ・ホルム吸着建材

火災に対する新機能系技術としては、以下のものが上げられる。

- ・耐火鋼等

2) その他新機能系技術一覧シート

その他新機能系技術を日本建築センターにおいて評価した案件からのリストアップ及びインターネットの検索等から情報収集し、新機能系技術を、機構、対象事象、技術概要、フェールセーフの考え方等によって整理し一覧表を作成した。

その一覧表を表 2.4 に示す。

3) その他新機能系技術の事例概要

その他新機能系技術一覧に記載されている事例の中から概要を記した個別シート例を表 2.7 に示す。

4) 評価に際してのフェールセーフ等について

○新機能系技術に於けるフェールセーフの考え方

想定外外力に対する考え方としては、新機能系技術単体ではフェールセーフは行えないため新機能系技術を用いた設計によってフェールセーフを行うこととなる。

表2.2

技術名称	分類	機構	対応事象	目的	構成材料	センサー	感知対象	制御	制御対象	技術の概要・特徴
構造系										
アクティブマスダンパー	構造	付加質量機構	風(地震)	応答低減	付加質量 パネ ダンパー コントローラー	●	建築物の応答速度	●	アクチュエーター(付加質量に取り付いている)	外部からのエネルギー供給により、主に屋上に設置された付加可動質量にとりつくアクチュエータを制御期に基づき駆動させ、構造物に制御力を与える。
セミアクティブマスダンパー(減衰制御型)	構造	付加質量機構	風(地震)	応答低減	付加質量 パネ ダンパー コントローラー	●	建築物の応答	●	減衰装置調整弁	外部からのエネルギー供給がアクティブ装置と比較して極めて少ない。主に装置の減衰力を制御する。
セミアクティブマスダンパー(剛性制御型)	構造	付加質量機構	風(地震)	応答低減	付加質量 パネ ダンパー コントローラー	●	建築物の応答変位	●	可変剛性装置	可変剛性装置を用いて、マスダンパーの周期を制御する
セミアクティブ可変剛性装置	構造	可変剛性機構	地震	応答低減		●	建築物の応答	●	可変剛性装置	可変剛性装置を用いて、構造物の周期を制御する
セミアクティブオイルダンパー(セミアクティブ粘性体ダンパー)	構造	エネルギー吸収機構	地震(風)	応答低減	充填材(オイルまたは粘性体) 金属性パルサー・ピストン	●	建築物の応答加速度	●	減衰装置調整弁	減衰装置の調整弁を閉鎖制御することにより、減衰力を調整する。
MRダンパー	構造	エネルギー吸収機構	地震	応答低減	充填材(磁気粘性流体) 金属性パルサー・ピストン	●	建築物の応答変位	●	印加電流量	ダンパー内の磁気粘性流体に印加電流を与え、磁場の影響によりみかけの粘度を変化させ、減衰力を調整する。
圧電・磁歪素子部材	構造	伸縮機構	地震	応答低減	圧電・磁歪素子	●	建築物の応答速度変位	●	印加電流量	圧電素子に印加電流を与える、または磁歪素子に磁力を与えることで、歪み・応力を生じさせる効果を利用し、体積を変化させて摩擦制御等に利用する。
免震装置(風揺れ防止、ロック)	構造	免震装置ロック機構	地震	応答低減(変形することによる)	ロック機構	●	建築物の応答	●	ロック機能(解除)	風による揺れに対してはロック機能が作用し、地震による震度4以上の揺れ(30~70gal以上)に対してはロック機能が外れる。地震終了後は手動スイッチまたはタイマーによりロック機構が高ひく。
			風	変形抑制	ロック機構	●	風速	●	ロック機能	風速計による情報により、ダンパーのロック機能が働く。
空気膜構造 屋根保持技術	構造	加圧システム機構	常時・風	屋根根の保持		●	誤変位 風向風速	●	加圧システム	強風等の気象条件の変化、内圧の状況に応じ、加圧システムにより室内気圧を高める。
空気膜構造 屋根の融雪技術	構造	温風送風除雪機構	積雪	融雪		●	降雪量 誤変位	●	融雪システム	屋根面の積雪量に応じ、融雪システムにより二十膜内に温風を吹き込み融雪を行う。
開閉式ドームの屋根開閉時の安全性確保	構造	開閉屋根機構	その他(開閉時)	屋根の開閉		●	外部気象 位置認識 走行状況	●	屋根走行システム	監視室内制御装置により、各種条件を確認しながら、自動または手動で屋根走行を制御する。また固定時の屋根はロックピンを挿入し固定する。
ドーム 屋根の融雪技術	構造	屋根融雪機構	積雪	融雪		—	—	●	起振機(屋根裏に設置)	積雪時に起振機により強制的に屋根に振動を与え、屋根上の雪を落とし積雪加重を削減する。
海洋建築物	構造	建築物波動制御機構	常時・風			●	波力			
可動上屋	構造	可動屋根機構	常時・風			●	風速	●	屋根走行システム	車輪付の上屋がレール上を動き、開閉する。雨天時、強風時は閉める。
可動(席)構造	構造	可動席機構	地震							建築物内部の建築ブロックが可動し、空間構成を変化させる。建築ブロックは駆動台車がついており、レール上を動き、ロックピンで固定する。駆動台車に機械用鋼材、大屋根の鉄鋼を溶接、間柱に極低降伏点鋼材、大屋根支脚部に高減衰積層ゴムを用いている。
防災系										
空気膜構造	防災	消火設備	火災	火災時の消火	放水砲、放水砲現地操作盤、電動弁、圧力センサー、赤外線火災検出器、中継器、ITVカメラ、ポンプ、ポンプ起動盤、中央操作器	●	熱	●	放水砲	大空間において、自動感知システムにより火災発見後、放水砲により効果的な消火を行う。
ドレンチャー設備	防災	遮炎機構	火災	防火区画	ドレンチャーヘッド、ドレンチャー制御盤、急熱感知センサー、充水予備式流水検知装置、火災報知装置	●	熱	●	放水設備	水幕により炎を遮る設備。防火区画検証により、2列のドレンチャー設備及びその間の空間(ELVホール)によって遮炎性能を有していることを確認し、特定防火設備とみなしている。
ELV遮煙扉	防災	遮炎・遮煙機	火災	防火区画	防火防煙扉、火災報知設備、EV制御盤	●	煙、熱	●	扉の閉鎖 EV制御	遮炎性能に加えて遮煙性能も有するEV扉
火災フェイズ管理型防災システム	避難	避難誘導システム、防災設備の連動制御	火災	避難誘導の早期化及び防災設備(非常放送、防火戸等)の連動	避難誘導の自動化、自動火災報知設備、火災進展予測装置	●	煙	●	防災設備(非常放送、防火戸等)	感知基や検出機などの自動火災報知設備により、火災に伴う室内温度上昇をリアルタイムで監視し、火災進展装置で火災の拡大状況を推定、予測結果に基づき非常放送設備、防火設備を連動制御する。
その他										
冷暖房環境改善型天井ファン	設備	天井吸排気機構	冷暖房	室内温度の均一化	天井ファン	—	—	●	送風装置	天井ファンにより拡散しない直線的な風向きで「強制対流」を発生させ、室内を均一に動く空気の流れを作りだし、快適な環境とする。
回転住宅	その他(環境)	建物基礎部回転機構	日射、景観	日照の確保		—	—	●	家屋基礎部分回転装置	リモコン装置により家屋を平面的に回転させることにより、日照・景観を得る

表2.2(つづき)

システム概要	適用建築物名称	評定・評価番号	施工条件	維持管理	法的 位置づけ	備考
自動制御	別紙参照			例) 通常点検(1年ごと):外観検査 定期点検(10年ごと):動作確認(機械系,制御系) 臨時点検(震度5以上):動作確認	構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	
自動制御	別紙参照			例) 通常点検(1年ごと):外観検査 定期点検(10年ごと):動作確認(機械系,制御系) 臨時点検(震度5以上):動作確認	構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	
自動制御	鹿島			例) 通常点検(1年ごと):外観検査 定期点検(10年ごと):動作確認(機械系,制御系) 臨時点検(震度5以上):動作確認	構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	
自動制御(建物応答センサの情報を基に可変剛性装置をコンピュータが制御)	別紙参照				構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	鹿島AVS
ダンパ内蔵の圧力センサ、変位センサの情報を基にコントローラ内蔵のCPUが計算を行い減衰力を制御する。	日本テレビ放送網株式会社	HR0005		外観検査,機械系構成部品の異常有無,制御系の動作確認。 通常点検(年1回モニターランプの目視点検) 定期点検(10年毎,ロード部損傷,制御系動作確認,コントローラの電源ユニット交換,センサ電圧確認,リレー動作確認)	構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	鹿島HIDAX(大きな減衰力) 鹿島AVD(最適な減衰力) トキコ免費用
自動制御(建物応答変位センサの情報を基に印加電流量をコンピュータが制御)	都市基盤整備公団元住居宿舎・東棟				構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	日米スマート
自動制御(建物応答変位センサの情報を基に印加電流量をコンピュータが制御)					構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	日米スマート
自動	ダイワハウス免震住宅,セキスイハウス免震住宅				告示の範囲なので,ロック機能に関しては大臣認定を必要としない。	
自動	ダイワハウス免震住宅,セキスイハウス免震住宅				告示の範囲なので,ロック機能に関しては大臣認定を必要としない。	
自動制御	東京ドーム			中央監視室で24時間総合監視	個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
自動制御	東京ドーム			中央監視室で24時間総合監視	個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
自動または手動で屋根走行速度、停止位置、ロックピン操作の制御を行う	福岡ドーム				個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
手動	つがる克雪ドーム					
手動	プール上屋					
手動	埼玉スーパーアリーナ	BCJ-特23-さいたまアリーナ		マニュアルにより行う。		
自動	東京ドーム	-		中央監視室で24時間総合監視	基準法の範囲 消防法	
自動	江東区越中島計画	基評BS0151-12		消防法令のスリッパ-設備に対する点検項目を適用。年1回の総合点検及び半年毎の外観及び機能点検を行う	基準法の範囲 消防法	
自動	-	-		定期検査により0.5~1年毎に外観及び機能等の点検を行う	基準法の範囲	
自動	江東区越中島計画(清水建設技術研究所新館)	BCJ基評BS0151-12		建物管理センターより監視 自動火災報知設備は消防法による	消防法	
自動					基準法の範囲	エコシルフィー
手動	河西建設社長宅				基準法の範囲	

表2.3

技術名称	分類	機構	対応事象	目的	構成材料	技術の概要・特徴
構造系						
低降伏点鋼制振部材	構造	エネルギー吸収機構	地震	応答低減	低降伏点鋼または極低降伏点鋼(LY100,120)	降伏点の低い鋼材を利用した、塑性変形能力に優れた履歴減衰型のエネルギー吸収部材。各種形状(ブレース型、壁型、間柱型等)がある。
オイルダンパー・粘性体ダンパー	構造	エネルギー吸収機構	地震・風	応答低減	充填材(オイルまたは粘性体)金属性シリンダー・ピストン	粘度の高い流体を利用した粘性減衰型のエネルギー吸収機構。各種形状(ブレース、壁、間柱型等)がある。
バッシブ制振装置(マスダンパー)	構造	付加質量機構	風	応答低減	付加質量パネダンパー	主に屋上に設置された付加可動質量の振動を、構造物の振動と共振させ、構造物の振動エネルギーを可動質量の運動エネルギーに変換し、これをダンパーにより吸収する。
免震構造	構造	免震機構	地震	応答低減	支承材(積層ゴム等)復元材(積層ゴム等)減衰材(ダンパー等)	軸力支持しながら水平方向に変形しやすい支承材により建物を長周期化し地震時入力を低減する。また、大きな変形を利用して減衰材により大きな減衰効果を得る。
形状記憶合金部材	構造	部材バックアップ機構	地震長期	建築部材のバックアップ、残留変形の低減	Ti-Ni合金により各種部材の形状	超弾性を利用して建築物のバックアップ部材として活用する、または残留変形の低減に利用する。形状は引張筋か、接合部ボルト、コンクリート系部材の主筋等がある。
防災系						
耐火塗料	防災	耐火被覆	火災	耐火被覆の形成	耐火塗料	火災により発生する熱により塗膜が発泡して断熱層を形成し火災の熱から鉄骨を守る塗料
加熱発泡材	防災	遮炎・遮煙	火災	隙間からの火災、煙を遮る	加熱発泡材	火災により発生する熱により発泡して層を形成し火災の炎等を遮る材料。グラファイト系のものが多く、断熱プラスチックサッシの枠内へ充填する場合や木製防火戸の扉小口部分などへの使用用途がある。
防火見切縁	防災	延焼防止装置	火災	屋裏等への延焼を防止	換気金物発泡材	軒裏へ設ける換気金物で発泡材を組み込んだもの。外部火災による小屋裏等への延焼を防止するための材料
外壁用防火ダンパー	防災	延焼防止装置	火災	外からの火災の延焼を防止	温度ヒューズ、ダンパー、ケーシング、保護体	屋外の火災の熱により温度ヒューズが溶融してダンパーが閉鎖し火災の延焼を防止する装置
湿式タイプスプリンクラー	防災	散水による初期消火	火災	散水による火災の初期消火	スプリンクラーヘッド、配管、警報装置、制御盤、電動弁、加圧送水装置	火災の熱によりスプリンクラーヘッドの栓をしている火溶片係止金具が溶融し散水弁が
非常用照明装置	防災	照明装置	火災	火災による停電時の照明装置	バッテリー電球回路装置金属ケース	停電により通常時の通電が切れると内蔵型蓄電池により点灯する照明設備
免震積層ゴム用耐火被覆システム	防災	耐火被覆	火災	耐火被覆	発泡材(ポリイソブチレンゴム)セラミックファイバーブランケット	火災時に発泡材(ポリイソブチレンゴム)が発泡(膨張)し断熱層を形成することにより免震積層ゴムを火災から守るというもの。発泡材はゴムからできているため弾性を有し、積層ゴムの変形に損傷なく追従することができる。(免震積層ゴムの耐火被覆にはセラミックファイバーブランケットを併用している。)

表2.3(つづき)

適用建築物名称	評定・評価番号	施工条件	維持管理	法的 位置づけ	備考
別紙参照	高層評定(旧法) 大臣認定(超高層)	精度管理は 通常の鉄骨 と同様	外観検査(外部損傷・錆など)、残留変形等。	指定建築材料として認定取得すれば通常の構造材料として使用可能。	
			外観検査(外部損傷・錆など)、残留変形、油漏れ等。	構造要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定が必要。(付加的とする場合は不要)	
別紙参照			例) 通常点検(1年ごと):外観検査 定期点検(10年ごと):動作確認 臨時点検(震度5以上):動作確認	構造要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定が必要。(付加的とする場合は不要)	
別紙参照	免震評定(旧法) 大臣認定、確認 申請	水平精度 1/500	例) 通常点検(半年ごと):外観検査 定期点検(5年,10年以上10年ごと):計測検査 臨時点検(震度5以上):外観検査,計測検査	告示による。計算方法が時刻歴応答解析による場合は大臣認定が必要となる。	・ダイワハウス免震住宅:想定外変形ロック機能(減衰装置および支承材にストッパー取付)
				構造要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定が必要。(付加的とする場合は不要)	日米スマート
東京国際空港 (羽田)東旅客 ターミナルビル	基評BS0061A			大臣認定が必要	
—	基評FS0003			大臣認定が必要	
—	防災772			大臣認定が必要	
—	評定BE0004	上下左右を 間違えない こと	年に1度に定期点検	大臣認定は必要なし。ただし、ダンパー及びケーシングの鋼板厚が1.5mm以上必要	
—	—	消防法施行 規則13条 の2	消防法による	消防法による	
—	基型BE0001	想定した間 隔以内に設 置	JIL規格による	基準法の仕様規定による	
(仮称)西新宿K Sビル	BCJ基評- BS0253-01		通常点検(原則半年毎)及び定期点検(竣工1年後、2年後、5年後、10年後、以降10年毎、60年後以降は5年毎)に加えて災害直後等の臨時点検を行う。	大臣認定必要	

表2.4

技術名称	分類	機構	種別	対応事象	目的	構成材料	技術の概要・特徴
------	----	----	----	------	----	------	----------

材料系

自動修復金属	建築材料	金属防錆機構		屋外露出による経年変化	防錆		
多機能タイル(抗菌、防汚、防臭)	建築材料	壁面抗菌他機構	内外装タイル	屋外露出による経年変化	汚染低減	光触媒機能層(酸化チタン+親水性物質他)	光触媒をコーティングした外壁用タイル。光があたると光触媒作用(分解効果、親水性)を発揮することによる、抗菌、汚れ防止効果を期待する。
高耐久低汚染塗料	建築材料	壁面高耐久性機構	塗装剤	屋外露出による経年変化	汚染低減	シリコン系樹脂塗料、無機系表面改質剤	
調湿建材	建築材料	室内調湿機構	ボード、タイル、塗材	室内の湿気対策	湿度調整		自身が無数の細孔を持ち、この細孔の中と外が同じ状態へ近づこうとする働きにより調湿能力(吸湿、放湿)を発揮する建材。
ホルム吸着建材	建築材料	ホルム吸着機構		ホルムの拡散	ホルムの吸着		

構造系

防錆(エポキシ)鉄筋	構造材料	防錆機構	塗料	鉄筋の錆	防錆	無機系:亜硝酸塩、クロム酸塩、けい酸塩、りん酸塩 有機系:有機りん酸塩、アミン類、アルキルフェノール類、メルカプタン類	鉄筋表面にエポキシ樹脂をコーティングし水と酸素と塩類を遮断した防錆鉄筋。付着強度を低下させない。
耐塩鉄筋	構造材料						
炭素繊維シート	構造材料	補修・補強工法	シート	コンクリートのひび割れ	補修・補強	炭素繊維シート(エポキシ樹脂含浸、硬化)	炭素繊維シート(炭素繊維ストランドを一方に並べてシート状にしたもの)にエポキシ樹脂などを含浸、硬化させて鉄筋コンクリート等の補強に用いる。弾性率は鋼材と同等、引張強度は10倍にも達する。
高靱性セメント系複合材料	構造材料	変形追従、損傷自己修復、エネルギー吸収機構	セメント系材料	長期・地震時変形	高引張靱性、自己損傷低減	セメント、細骨材、水、混和剤、各種補強繊維	セメントに補強用繊維を混入し、高い引張靱性と微小ひびわれの分散による自己損傷低減性をもつセメント複合材料。利用形態として、エネルギー吸収デバイス、鉄骨と組み合わせた柱材等がある。
耐火鋼	構造材料		鋼材	火災	耐火被覆の軽減		常温での性能がJIS規格により保証された鋼材で、かつ、耐火性に優れている(600°Cにおける0.2%耐力が常温規格値の2/3を保証)。

表2.4(つづき)

適用建築物名称	評定・評価番号	施工条件	維持管理	法的 位置づけ	備考
				大臣認定等必要としない。	
	審査証明取得 (TOTO)			大臣認定等必要としない。	ハイドロテクトタイル(TOTO製)
				大臣認定等必要としない。	汚れに強い打放しコンクリート:無機系表面改質剤(リキッドセメント)塗布
				大臣認定等必要としない。	
	JIS G 3112		防錆効果は約3~36ヶ月間(環境,製品による)。他の油や溶剤を混合しないで原液のまま使用する。	指定建築材料とするかは主事判断による。指定建築材料以外の扱いでは個別プロジェクトの大臣認定ルート。	建材試験センター等で付着強度試験 海洋建築物の延命にも使用される
				指定建築材料とするかは主事判断による。指定建築材料以外の扱いでは個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
				現在JISはない。個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
				コンクリートの場合は	日米スマート
(仮称)ダイヤモンドシティ・キリン 広島ショッピングセンター(駐車場部分)	BCJ基評- BS0171-01		仮定した設計条件が保持されるよう、維持管理計画書を作成し、これに基づいて十分な維持管理がなされるように計画する。	個別プロジェクトの大臣認定ルート	

表 2.5 【センサー・制御系 分類：構造 機構：エネルギー吸収機構】

セミアクティブオイルダンパー

【目的】 地震時・強風時の応答低減

【技術概要】

減衰装置の内圧や変位に応じて減衰装置調整弁の開閉を制御することにより、最適な減衰力を与える減衰特性可変型ダンパー。

【システム概要】

減衰装置はシリンダ、ピストン、ロッド、制御弁(電磁切替弁)、リリーフ弁、アキュムレータなどにより構成され、装置ごとに付属したコントローラからの電流供給により、制御弁の状態を全開または全閉の2段階に切り替えることができる。制御弁切替え指令は、ダンパー内蔵の圧力センサー及び変位センサーの情報を基に、コントローラ内蔵のCPUが計算を行う。

【構成材料】

- ・オイルダンパー (エネルギー吸収部材)
 - 1)シリンダー(ダクタイル鋳鉄)
 - 2)ピストン (クロームモリブデン鋼)
 - 3)ロッド (クロームモリブデン鋼)
 - 4)作動油 (ポリアルファオレフィン:合成油)

※原理

オリフィスや調整弁をオイルが通過する際の油圧抵抗を利用したエネルギー吸収部材。

- ・コントローラ
- ・ダンパー内圧力センサー
- ・ダンパー変位センサー

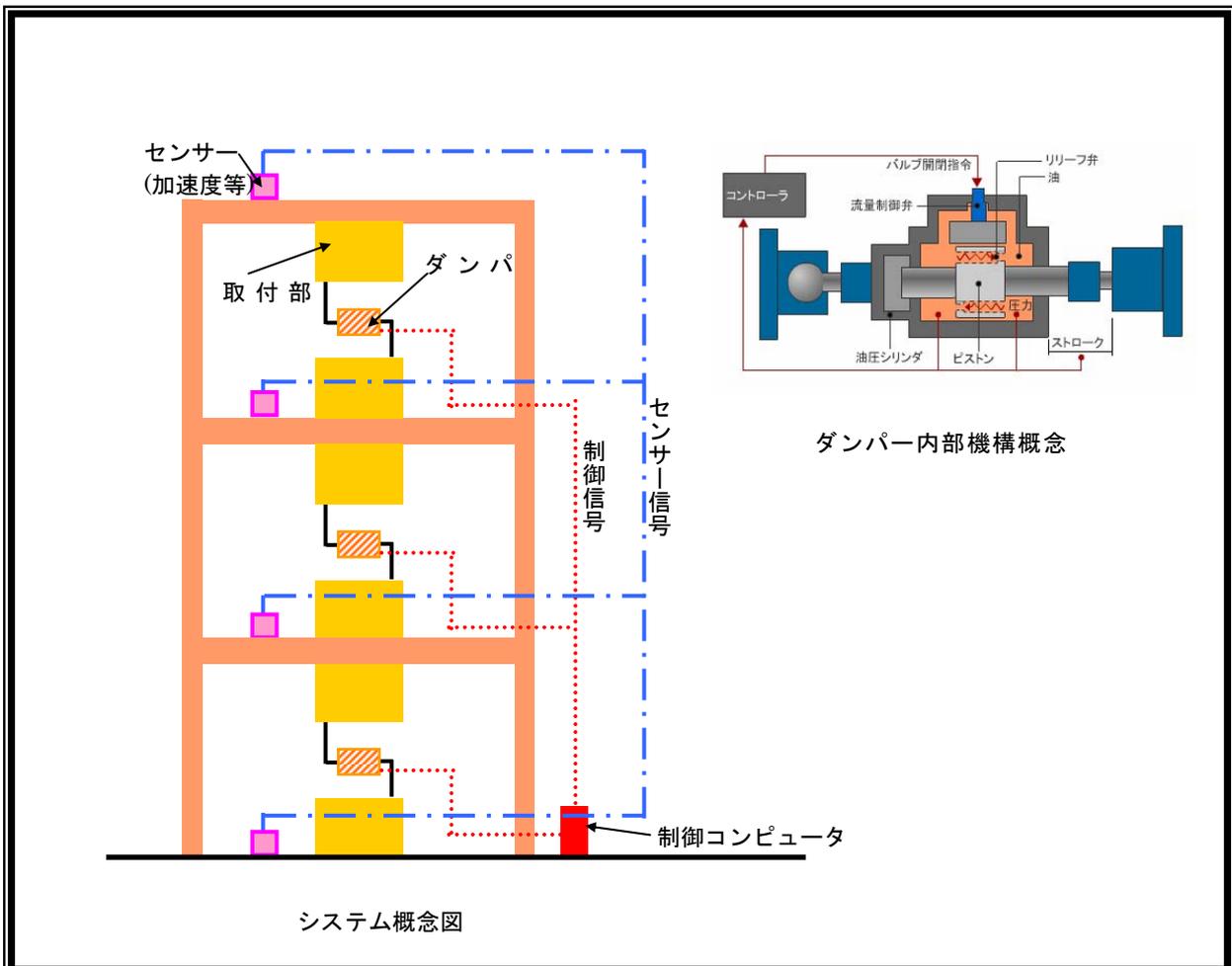
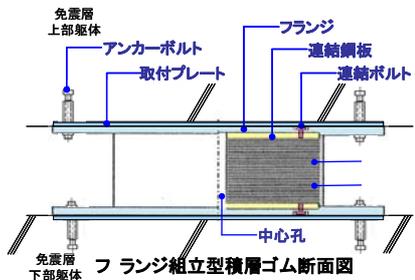


表 2.6 【パッシブ系 分類：構造 機構：免震構造】

免震構造	
<p>【目的】 地震時の応答低減</p> <p>【技術概要】 支承材,減衰材,復元材から構成される免震層を有する建築物。建物周期を長周期化して地震時応答を低減することを目的とする。</p> <p>【機構】 軸力を支持しながら水平方向に変形しやすい支承材により建物を長周期化し地震時入力を低減する。また、大きな変形を利用して減衰材により大きな減衰効果を得る。</p>	<p>【信頼性の判断基準・根拠】 実物大,縮小モデル性能確認試験。各種依存性確認試験等。</p> <p>【フェールセーフ機能の考え方】 (想定外力に対して)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・免震層クリアランス及び EXP.J 部設計に関して安全率の確保。 ・製品誤差,経年劣化なども考慮した設計で適切な安全率を確保。 ・想定外変形を制御するロック機能を有するものもある。 <p>【維持管理】 通常点検(半年ごと)：外観検査 定期点検 (5年,10年以上10年ごと)：計測検査 臨時点検(震度5以上)：外観検査,計測検査</p>
<p>【構成材料】 支承材,復元材：(例)天然ゴム系積層ゴム</p>  <p style="text-align: center;">フランジ組立型積層ゴム断面図</p> <p>減衰材：(例)オイルダンパー</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) シリンダー (ダクタイル鋳鉄等) 2) ピストン (クロームモリブデン鋼等) 3) ロッド (クロームモリブデン鋼等) 4) 作動油 (ポリアルファオレフィン:合成油) 	<p>◆製品名</p> <p>支承材：天然ゴム系積層ゴム,鉛プラグ入積層ゴム,高減衰積層ゴム,弾性滑り支承 等 各社製品</p> <p>減衰材： (鋼材系)鋼棒ダンパー,鉛ダンパー (粘性系)オイルダンパー,粘性体ダンパー 等 各社製品</p> <p>※いずれも指定建築材料認定を必要とする。</p>
<p>◆実績建物名 免震評定(旧法) 800件程度 大臣認定,確認申請</p>	

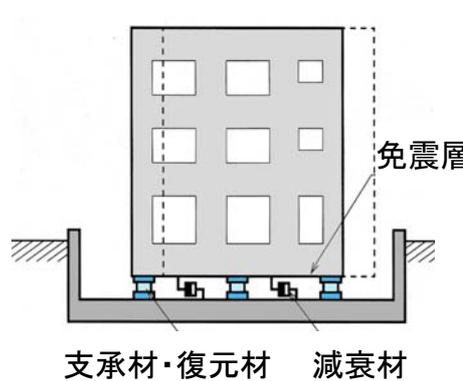
 <p style="text-align: center;">免震構造の概念図</p>	 <p style="text-align: center;">天然ゴム系積層ゴム 鉛プラグ入積層ゴム 支承材・復元材の例</p> <p style="text-align: center;">オイルダンパー 鋼棒ダンパー</p>
	 <p style="text-align: center;">減衰材の例</p> <p style="text-align: right;">風揺れ固定装置</p>

表 2.7 【素材系 分類：建築材料 機構：壁面抗菌・防汚・防臭機構】

光触媒効果を有する多機能タイル(抗菌・防汚・防臭)	
<p>【目的】 壁の抗菌,防汚,防臭</p> <p>【技術概要】 光触媒をコーティングした内壁用・外壁用タイル。光があたると光触媒作用(分解効果,親水性)を発揮することによる、抗菌、防汚,防臭効果を期待する。</p> <p>【機構】 壁タイル材の表面に光触媒機能層(酸化チタン+親水性物質他)を設ける。光触媒である酸化チタンに光が当たると同時に生じる以下の2つの反応を活用する。</p> <p>①分解力をもつ活性酸素を発生 →抗菌効果：細菌・雑菌をなくす。 防汚効果：汚れの付着力を弱める。 防臭効果：臭いを減らす。</p> <p>②親水性のよい親水基を生じる →防汚効果：汚れが流水で落とせる。 タイル面に付いた水分が速く乾く また、外壁タイルにおいては、活性酸素の働きにより、大気中の有害汚染物質(NO_x, SO_x)を分解する働きもある。</p>	<p>【維持管理】 (耐久性について) タイル(内装用・外装用)の耐久性は、通常タイルと同じ。JISの測定規格に基づく耐薬品性・耐候性・耐摩耗性の試験においても「変化なし」の結果が得られている。また光触媒効機能層は消費せず効果は半永久的である。</p> <p>【構成材料】 通常タイル(素地, 釉薬)に光触媒機能層(酸化チタン+蓄水基)を焼き付ける。内装タイルには光触媒機能層に含まれた銅のサポートにより、少ない光量でも十分な分解力を発揮することができる。</p> <p>【用途】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内壁用タイル ・外壁用タイル <p>【参考：その他の光触媒効果を利用した技術】 光触媒効果：利用技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防曇機能：防曇内視鏡, ドアミラー ・抗菌機能：浮遊菌除去装置 ・空気浄化機能：フィルター、道路舗装材、農産物鮮度保持装置 ・水質・土壌浄化機能：排水処理への利用、土壌地下水浄化システム、残留農薬軽減化

2.3 かしこい建築・住まいの実現のための信頼性技術に関する調査

2.3.1 建築基準法における防火規定および消防法の規定に見られる安全性・フェールセーフの考え方

建築基準法における防火規定および関連する消防法の規定に見られる安全性・フェールセーフの考え方について、表 2.8 にまとめた。整理した内容・項目は以下のようなものである。条文の番号で示されている規定は建築基準法の内容、「令」で示されている規定は建築基準法施行令、消防法関連の規定については、「消防令」として示した。

- 1)出火防止に関する内容
 - a)内装材の不燃
- 2)初期拡大防止
 - a)消火設備
- 3)延焼防止
 - a)防火壁
 - b)防火区画
 - c)界壁
- 4)避難安全
 - a) 消火設備等
 - b)避難施設
 - c)排煙設備
 - d)照明装置
 - e)通路確保
 - f)火災感知警報設備
 - g)避難器具
- 5)消防活動支援
- 6)倒壊防止
 - a)耐火建築物
 - b)準耐火建築物
- 7)都市火災防止
 - a)屋根不燃
 - b) 木造建築物の外壁の防火性能
 - c)防火地域
 - d)準防火地域

表 2.8 建築基準法における防火規定および関連する消防法の規定と内容

火災フェーズ	項目	防火規定
出火防止	内装不燃	<p><u>第 35 条の 2</u> 特殊建築物、階数が 3 以上である建築物、政令①で定める窓その他の開口部を有しない居室を有する建築物、延べ面積が 1,000 m²をこえる建築物又は建築物の調理室、浴室その他の室でかまど、こんろその他火を使用する設備若しくは器具を設けたものは、政令②で定めるものを除き、政令③で定める技術的基準に従って、その壁及び天井（天井のない場合においては、屋根）の室内に面する部分の仕上げを防火上支障がないようにしなければならない。</p> <p><u>令第 128 条の 4</u></p> <p>第 1 項 一定規模以上の特殊建築物</p> <p>第 2 項 階数が 3 以上で、延べ面積が 500 m²を超えるもの。</p> <p>第 3 項 階数が 2 で延べ面積が 1,000 m²を超えるもの又は階数が 1 で延べ面積が 3,000 m²を超えるもの。</p> <p>第 4 項 階数が 2 以上の住宅の用途に供する建築物の最上階以外の階</p> <p>住宅の用途に供する建築物以外の建築物に存する調理室、浴室、乾燥室、ボイラー室、作業室その他の室でかまど、こんろ、ストーブ、炉、ボイラー、内燃機関その他火を使用する設備又は器具を設けたもの</p> <p><u>令第 129 条</u></p> <p>第 1 項 居室の壁及び天井の室内に面する部分の仕上げを第一号に掲げる仕上げ（難燃材料）</p> <p>当該各用途に供する居室から地上に通ずる主たる廊下、階段その他の通路の壁及び天井の室内に面する部分の仕上げを第二号に掲げる仕上げ（準不燃材料）</p> <p>○階避難安全性能、全館避難安全性能を有するものであることが確かめられたものは適用除外。</p>
初期拡大防止	消火設備	<p><u>消防令第 7 条</u> 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防の用に供する設備は、消火設備、警報設備及び避難設備とする。</p> <p>2 前項の消火設備は、水その他消火剤を使用して消火を行う機械器具又は設備であって、次に掲げるものとする。</p> <p>一 消火器及び次に掲げる簡易消火用具</p> <p>二 屋内消火栓設備</p> <p>三 スプリンクラー設備</p> <p>四 水噴霧消火設備</p> <p>五 泡消火設備</p>

		<p>六 不活性ガス消火設備</p> <p>七 ハロゲン化物消火設備</p> <p>八 粉末消火設備</p> <p>九 屋外消火栓設備</p> <p>十 動力消防ポンプ設備</p>
延焼防止	防火壁	<p><u>第 26 条</u> 延べ面積が 1,000 m²を超える建築物は、防火上有効な構造の防火壁によって有効に区画し、かつ、各区画の床面積の合計をそれぞれ 1,000 m²以内としなければならない。</p>
	防火区画	<p><u>令第 112 条</u> 主要構造部を耐火構造とした建築物又は法第 2 条第九号の三イ若しくはロのいずれかに該当する建築物で、延べ面積が 1,500 m²を超えるものは、床面積の合計 1,500 m²以内ごとに第 115 条の 2 の 2 第 1 項第一号に掲げる基準に適合する準耐火構造の床若しくは壁又は特定防火設備で区画しなければならない。</p>
	界壁	<p><u>令 114 条</u> 長屋又は共同住宅の各戸の界壁は、準耐火構造とし、小屋裏又は天井裏に達せしめなければならない。</p> <p>2 学校、病院、診療所、児童福祉施設等、ホテル、旅館、下宿、寄宿舎又はマーケットの用途に供する建築物の当該用途に供する部分については、その防火上主要な間仕切壁を準耐火構造とし、小屋裏又は天井裏に達せしめなければならない。</p> <p>3 建築面積が 300 m²を超える建築物の小屋組が木造である場合においては、けた行間隔 12m 以内ごとに小屋裏に準耐火構造の隔壁を設けなければならない。</p>
避難安全	消火設備等	<p><u>第 35 条</u> 特殊建築物、階数が 3 以上である建築物、政令で定める窓その他の開口部を有しない居室を有する建築物又は延べ面積が 1,000 m²をこえる建築物については、廊下、階段、出入口その他の避難施設、消火栓、スプリンクラー、貯水槽その他の消火設備、排煙設備、非常用の照明装置及び進入口並びに敷地内の避難上及び消火上必要な通路は、政令で定める技術的基準に従って、避難上及び消火上支障がないようにしなければならない。</p>
	避難施設	<p><u>令第 117 条～第 126 条</u> 「5 章、2 節 廊下、避難階段及び出入口」</p> <p><u>令第 118 条</u> 劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂又は集会場における客席からの出口の戸は、内開きとしてはならない。</p> <p><u>令第 119 条</u> 廊下の幅は、それぞれ次の表に掲げる数値以上としなければならない。</p> <p><u>令第 120 条</u> 建築物の避難階以外の階（地下街におけるもの</p>

を除く。次条第 1 項において同じ。) においては、避難階又は地上に通ずる直通階段(傾斜路を含む。以下同じ。)を居室の各部分からその 1 に至る歩行距離が次の表の数値以下となるように設けなければならない。

令第 121 条 建築物の避難階以外の階が次の各号のいずれかに該当する場合においては、その階から避難階又は地上に通ずる 2 以上の直通階段を設けなければならない。

令第 121 条の 2 前 2 条の規定による直通階段で屋外に設けるものは、木造(準耐火構造のうち有効な防腐措置を講じたものを除く。)としてはならない。

令第 122 条 建築物の 5 階以上の階又は地下 2 階以下の階に通ずる直通階段は次条の規定による避難階段又は特別避難階段とし、建築物の 15 階以上の階又は地下 3 階以下の階に通ずる直通階段は同条第 3 項の規定による特別避難階段としなければならない。

2 3 階以上の階を物品販売業を営む店舗の用途に供する建築物にあつては、各階の売場及び屋上広場に通ずる 2 以上の直通階段を設け、これを次条の規定による避難階段又は特別避難階段としなければならない。

3 前項の直通階段で、5 階以上の売場に通ずるものはその一以上を、15 階以上の売場に通ずるものはそのすべてを次条第 3 項の規定による特別避難階段としなければならない。

令第 123 条 (避難階段及び特別避難階段の構造)

令第 124 条 物品販売業を営む店舗の用途に供する建築物における避難階段、特別避難階段及びこれらに通ずる出入口の幅は、次の各号に定めるところによらなければならない。

一 各階における避難階段及び特別避難階段の幅の合計は、その直上階以上の階(地階にあつては、当該階以下の階)のうち床面積が最大の階における床面積 100 m²につき 60 cm の割合で計算した数値以上とすること。

二 各階における避難階段及び特別避難階段に通ずる出入口の幅の合計は、各階ごとにその階の床面積 100 m²につき、地上階にあつては 27 cm、地階にあつては 36 cm の割合で計算した数値以上とすること。

令第 125 条 避難階においては、階段から屋外への出口の一に至る歩行距離は第 120 条に規定する数値以下と、居室(避難上有効な開口部を有するものを除く。)の各部分から屋外への出口の一に至る歩行距離は同条に規定する数値の 2 倍以下としなければならない。

	<p>2 劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂又は集会場の客用に供する屋外への出口の戸は、内開きとしてはならない。</p> <p>3 物品販売業を営む店舗の避難階に設ける屋外への出口の幅の合計は、床面積が最大の階における床面積 100 m²につき 60 cmの割合で計算した数値以上としなければならない。</p> <p>令第 125 条の 2 次の各号に掲げる出口に設ける戸の施錠装置は、当該建築物が法令の規定により人を拘禁する目的に供せられるものである場合を除き、屋内からかぎを用いることなく解錠できるものとし、かつ、当該戸の近くの見やすい場所にその解錠方法を表示しなければならない。</p>
排煙設備	<p>令第 126 条の 2、第 126 条の 3 「5 章、3 節 排煙設備」</p> <p>令第 126 条の 2 特殊建築物で延べ面積が 500 m²を超えるもの、階数が 3 以上で延べ面積が 500 m²を超える建築物、第 116 条の 2 第 1 項第二号に該当する窓その他の開口部を有しない居室又は延べ面積が 1,000 m²を超える建築物の居室で、その床面積が 200 m²を超えるものには、排煙設備を設けなければならない。</p> <p>令第 126 条の 3 (排煙設備の構造)</p>
照明装置	<p>令第 126 条の 4、第 126 条の 5 「5 章、4 節 非常用の照明装置」</p> <p>令第 126 条の 4 特殊建築物の居室、階数が 3 以上で延べ面積が 500 m²を超える建築物の居室、第 116 条の 2 第 1 項第一号に該当する窓その他の開口部を有しない居室又は延べ面積が 1,000 m²を超える建築物の居室及びこれらの居室から地上に通ずる廊下、階段その他の通路並びにこれらに類する建築物の部分で照明装置の設置を通常要する部分には、非常用の照明装置を設けなければならない。</p> <p>令第 126 条の 5 (非常用の照明装置の構造)</p>
通路確保	<p>令第 127 条～第 128 条の 3 「5 章、6 節 敷地内の避難上及び消化上必要な通路等」</p>
火災感知警報設備	<p>消防令第 7 条 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防の用に供する設備は、消火設備、警報設備及び避難設備とする。</p> <p>3 第 1 項の警報設備は、火災の発生を報知する機械器具又は設備であって、次に掲げるものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 自動火災報知設備 一の二 ガス漏れ火災警報設備 二 漏電火災警報器 三 消防機関へ通報する火災報知設備 四 警鐘、携帯用拡声器、手動式サイレンその他の非常警報器具及び次に掲げる非常警報設備
避難器具	<p>消防令第 7 条 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防の用に供</p>

	<p>する設備は、消火設備、警報設備及び避難設備とする。</p> <p>4 第1項の避難設備は、火災が発生した場合において避難するために用いる機械器具又は設備であつて、次に掲げるものとする。</p> <p>一 すべり台、避難はしご、救助袋、緩降機、避難橋その他の避難器具</p> <p>二 誘導灯及び誘導標識</p>
--	--

<p>消防活動支援</p>		<p><u>法第 35 条</u> 特殊建築物、階数が 3 以上である建築物、政令で定める窓その他の開口部を有しない居室を有する建築物又は延べ面積が 1,000 m²をこえる建築物については、廊下、階段、出入口その他の避難施設、消火栓、スプリンクラー、貯水槽その他の消火設備、排煙設備、非常用の照明装置及び進入口並びに敷地内の避難上及び消火上必要な通路は、政令で定める技術的基準に従って、避難上及び消火上支障がないようにしなければならない。</p>
		<p>消火設備 ⇒ <u>消防法施行令 第 7 条</u> 「消防用設備等の種類」 <u>消防法第 17 条</u> 学校、病院、工場、事業場、興行場、百貨店、旅館、飲食店、地下街、複合用途防火対象物その他の防火対象物で政令で定めるものの関係者は、政令で定める技術上の基準に従って、政令で定める消防の用に供する設備、消防用水及び消火活動上必要な施設（以下「消防用設備等」という。）を設置し、及び維持しなければならない。</p> <p><u>消防令第 7 条</u> 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防の用に供する設備は、消火設備、警報設備及び避難設備とする。</p> <p>6 前項の消火設備は、水その他消火剤を使用して消火を行う機械器具又は設備であって、次に掲げるものとする。</p> <ol style="list-style-type: none"> 一 消火器及び次に掲げる簡易消火用具 二 屋内消火栓設備 三 スプリンクラー設備 四 水噴霧消火設備 五 泡消火設備 六 不活性ガス消火設備 七 ハロゲン化物消火設備 八 粉末消火設備 九 屋外消火栓設備 十 動力消防ポンプ設備 <p>6 第 1 項の警報設備は、火災の発生を報知する機械器具又は設備であって、次に掲げるものとする。</p> <ol style="list-style-type: none"> 一 自動火災報知設備 一之二 ガス漏れ火災警報設備 二 漏電火災警報器 三 消防機関へ通報する火災報知設備 四 警鐘、携帯用拡声器、手動式サイレンその他の非常警報

	<p>器具及び次に掲げる非常警報設備</p> <p>6 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防用水は、防火水槽又はこれに代わる貯水池その他の用水とする。</p> <p>6 法第 17 条第 1 項の政令で定める消火活動上必要な施設は、排煙設備、連結散水設備、連結送水管、非常コンセント設備及び無線通信補助設備とする。</p>
	<p>排煙設備 ⇒ <u>令第 126 条の 2、第 126 条の 3</u> 「5 章、3 節 排煙設備」</p>
	<p>進入口 ⇒ <u>令第 126 条の 6、第 126 条の 7</u> 「5 章、5 節 非常用の進入口」</p> <p><u>令第 126 条の 6</u> 建築物の高さ 31m 以下の部分にある 3 階以上の階には、非常用の進入口を設けなければならない。ただし、次の各号のいずれかに該当する場合には、この限りでない。</p> <p><u>令第 126 条の 7</u> (非常用の進入口の構造)</p>
	<p>必要な通路 ⇒ <u>令第 127 条～第 128 条の 3</u> 「5 章、6 節 敷地内の避難上及び消化上必要な通路等」</p> <p><u>令第 128 条</u> 敷地内には、第 123 条第 2 項の屋外に設ける避難階段及び第 125 条第 1 項の出口から道又は公園、広場その他の空地に通ずる幅員が 1.5m 以上の通路を設けなければならない。</p> <p><u>令第 128 条の 2</u> 主要構造部の全部が木造の建築物でその延べ面積が 1,000 m²を超える場合又は主要構造部の一部が木造の建築物でその延べ面積が 1,000 m²を超える場合においては、その周囲(道に接する部分を除く。)に幅員が 3m 以上の通路を設けなければならない。ただし、延べ面積が 3,000 m²以下の場合における隣地境界線に接する部分の通路は、その幅員を 1.5m 以上とすることができる。</p>

倒壊防止	耐火建築物	<p><u>第 27 条</u> 次の各号の一に該当する特殊建築物は、耐火建築物としなければならない。</p> <p>2 次の各号の一に該当する特殊建築物は、耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない。</p> <p><u>令第 107 条</u>（耐火性能に関する技術的基準）</p> <p>一 次の表に掲げる建築物の部分にあつては、当該部分に通常の火災による火熱がそれぞれ次の表に掲げる時間加えられた場合に、構造耐力上支障のある変形、溶融、破壊その他の損傷を生じないものであること。</p> <p>二 壁及び床にあつては、これらに通常の火災による火熱が 1 時間（非耐力壁である外壁の延焼のおそれのある部分以外の部分にあつては、30 分間）加えられた場合に、当該加熱面以外の面（屋内に面するものに限る。）温度が当該面に接する可燃物が燃焼するおそれのある温度として国土交通大臣が定める温度（以下「可燃物燃焼温度」という。）以上に上昇しないものであること。</p> <p>三 外壁及び屋根にあつては、これらに屋内において発生する通常の火災による火熱が 1 時間（非耐力壁である外壁の延焼のおそれのある部分以外の部分及び屋根にあつては、30 分間）加えられた場合に、屋外に火災を出す原因となるき裂その他の損傷を生じないものであること。</p> <p><u>令第 108 条の 3</u>（耐火建築物の主要構造部に関する技術的基準）</p> <p>一 主要構造部が、次のイ及びロ（外壁以外の主要構造部にあつては、イ）に掲げる基準に適合するものであることについて耐火性能検証法により確かめられたものであること。</p> <p>イ 主要構造部ごとに当該建築物の屋内において発生が予測される火災による火熱が加えられた場合に、当該主要構造部が次に掲げる要件を満たしていること。</p> <p>ロ 外壁が、当該建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が 1 時間（延焼のおそれのある部分以外の部分にあつては、30 分間）加えられた場合に、次に掲げる要件を満たしていること。</p>
	準耐火建築物	<p><u>第 27 条</u></p> <p>2 次の各号の一に該当する特殊建築物は、耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない。</p>

		<p><u>令第 107 条の 2</u> (準耐火性能に関する技術的基準)</p> <p>一 次の表に掲げる建築物の部分にあっては、当該部分に通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後それぞれ次の表に掲げる時間構造耐力上支障のある変形、溶融、破壊その他の損傷を生じないものであること。</p> <p>二 壁、床及び軒裏にあっては、これらに通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 45 分間当該加熱面以外の面（屋内に面するものに限る。）の温度が可燃物燃焼温度以上に上昇しないものであること。</p> <p>三 外壁及び屋根にあっては、これらに屋内において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 45 分間屋外に火災を出す原因となるき裂その他の損傷を生じないものであること。</p>
--	--	--

都市火災防止	屋根不燃	<p><u>法 22 条</u></p> <p>防火地域及び準防火地域以外の市街地について指定する区域内にある建築物の屋根の構造は、通常の火災を想定した火の粉による建築物の火災の発生を防止するために屋根に必要とされる性能に関して建築物の構造及び用途の区分に応じて政令で定める技術的基準に適合するもの</p> <p><u>令 109 条の 5</u> (技術的基準)</p> <p>一 屋根が、通常の火災による火の粉により、防火上有害な発炎をしないものであること。</p> <p>二 屋根が、通常の火災による火の粉により、屋内に達する防火有害な溶融、き裂その他の損傷を生じないものであること。</p> <p><u>法 63 条</u></p> <p>防火地域又は準防火地域内の建築物の屋根の構造は、市街地における火災を想定した火の粉による建築物の火災の発生を防止するために屋根に必要とされる性能に関して建築物の構造及び用途の区分に応じて政令で定める技術的基準に適合するもの</p> <p><u>令 136 条の 2 の 2</u> (技術的基準)</p> <p>一 屋根が、市街地における通常の火災による火の粉により、防火上有害な発炎をしないものであること。</p> <p>二 屋根が、市街地における通常の火災による火の粉により、屋内に達する防火上有害な溶融、き裂その他の損傷を生じないものであること。</p>
--------	------	--

<p>木造建築物の外壁の防火性能</p>	<p><u>法 23 条</u> 「木造建築物等」は、その外壁で延焼のおそれのある部分の構造を、準防火性能（建築物の周囲において発生する通常の火災による延焼の抑制に一定の効果を発揮するために外壁に必要とされる性能をいう。）に関して政令で定める技術的基準に適合する土塗壁その他の構造</p> <p><u>令 109 条の 6</u>（技術的基準）</p> <p>一 耐力壁である外壁にあつては、これに建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 20 分間構造耐力上支障のある変形、熔融、破壊その他の損傷を生じないものであること。</p> <p>二 外壁にあつては、これに建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 20 分間当該加熱面以外の面（屋内に面するものに限る。）の温度が可燃物燃焼温度以上に上昇しないものであること。</p> <p><u>法第 24 条</u> 第 22 条第 1 項の市街地の区域内にある木造建築物等である特殊建築物で、次の各号の一に該当するものは、その外壁及び軒裏で延焼のおそれのある部分を防火構造としなければならない。</p> <p><u>法第 25 条</u> 延べ面積（同一敷地内に 2 以上の木造建築物等がある場合においては、その延べ面積の合計）が 1,000 m² を超える木造建築物等は、その外壁及び軒裏で延焼のおそれのある部分を防火構造とし、その屋根の構造を第 22 条第 1 項に規定する構造としなければならない。</p> <p><u>法 62 条第 2 項</u> 準防火地域内にある木造建築物等は、その外壁及び軒裏で延焼のおそれのある部分を防火構造とし、これに附属する高さ 2m を超える門又は塀で当該門又は塀が建築物の 1 階であるとした場合に延焼のおそれのある部分に該当する部分を不燃材料で造り、又はおおわなければならない。</p> <p><u>令第 108 条</u>（防火性能に関する技術的基準）</p> <p>一 耐力壁である外壁にあつては、これに建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 30 分間構造耐力上支障のある変形、熔融、破壊その他の損傷を生じないものであること。</p> <p>二 外壁及び軒裏にあつては、これらに建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開</p>
----------------------	---

	始後 30 分間当該加熱面以外の面（屋内に面するものに限る。）の温度が可燃物燃焼温度以上に上昇しないものであること。
防火地域	法第 61 条 防火地域内においては、階数が 3 以上であり、又は延べ面積が 100 m ² を超える建築物は耐火建築物とし、その他の建築物は耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない。ただし、次の各号の一に該当するものは、この限りでない。
準防火地域	法第 62 条 準防火地域内においては、地階を除く階数が 4 以上である建築物 又は延べ面積が 1,500 m ² を超える建築物は耐火建築物とし、延べ面積が 500 m ² を超え 1,500 m ² 以下の建築物は耐火建築物又は準耐火建築物とし、地階を除く階数が 3 である建築物は耐火建築物、準耐火建築物又は外壁の開口部の構造及び面積、主要構造部の防火の措置その他の事項について防火上必要な政令で定める技術的基準に適合する建築物としなければならない。

2.3.2 建築設備関係の定期検査の内容

1) はじめに

建築設備に関連する法定の定期検査は、建築基準法、消防法、建築物における衛生的環境の確保に関する法律（通称ビル管法）、電気事業法、浄化槽法等に基づくものがあり、その内容・水準も千差万別であるが、ここでは、建築基準法令における建築設備に関する定期検査報告制度について述べる。

2) 建築基準法令における建築設備の定期検査報告

a) 建築基準法における建築設備

建築基準法（以下「基法」という。）とは、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定め、国民の生命、財産及び健康の保護を図ることを目的とした法律であり、昭和 25 年より施行されているが、同法第 2 条第 1 号においては、建築物を定義しており、建築物とは、「土地に定着する工作物のうち、屋根及び柱若しくは壁を有するもの、これに付属する門若しくはへい、観覧のための工作物又は地下若しくは高架の工作物内に設ける事務所、店舗、興行場、倉庫その他これらに類する施設（鉄道及び軌道の線路敷地内の運転保安に関する施設並びに跨線橋、プラットホームの上屋、貯水槽その他これらに類する施設を除く。）をいい建築設備を含むものとする。」とされている。

ここでは建築物は建築設備を包含するものとされており、建築物を構成する諸々の部分の一つとして建築設備を位置付けている。

また、基法第 2 条第 3 号において、建築基準法でいう建築設備について定義されており、「建築物に設ける電気、ガス、給水、排水、換気、暖房、冷房、消火、排煙若しくは汚物処理の設備又は煙突、昇降機若しくは避雷針をいう。」としている。

なお、基法における最低基準は、「かく造らなければならない」ことを規定しているのではなく、「かくあらねばならない」ことを規定した状態規定である、とされており、適切に造られた建築物であっても、この基準に適合しているよう適切に維持保全することを要求しており、基法第8条においては、次のとおり規定している。

(建築基準法第8条：維持保全)

第8条 建築物の所有者、管理者又は占有者は、その建築物の敷地、構造及び建築設備を常時適法な状態に維持するよう努めなくてはならない。

2 第12条第1項に規定する建築物の所有者又は管理者は、その建築物の敷地、構造、建築設備を常時適法な状態に維持するため、必要に応じ、その建築物の維持保全に関する準則又は計画を作成し、その他適切な措置を講じなくてはならない。この場合において、国土交通大臣は、当該準則又は計画の作成に関し必要な指針を定めることができる。

b) 定期検査報告制度と建築設備

維持保全を適切に実施すべき者は、建築物の所有者又は管理者であるが、一般に建築物の所有者又は管理者が維持保全の専門家ではないことが多く、専門技術者の助力が必要となり、また、公共性の高い建築物及び第三者に危害を及ぼす可能性の高い建築物の安全確保については、行政が関与せざるを得なくなるため、維持保全が適切に行われていることを社会的にチェックすることができるよう、基法第12条においては、定期検査制度について規定している。

この定期検査制度においては、建築物の所有者又は管理者は、次のとおり、建築物及び建築設備について、定期にその状況等について、一定資格を有する技術者（特殊建築物等調査資格者、昇降機検査資格者、建築設備検査資格者、1級及び2級建築士）に調査あるいは検査させ、特定行政庁あて報告することを義務付けている。

(対象となる建築物及び建築設備)

- ① 基法別表第1 (い) 欄に掲げる用途に供する特殊建築物でその用途に供する面積が100㎡を超えるもの及び事務所等の建築物で階数が5以上、延べ面積が1000㎡を超える建築物で特定行政庁が指定するもの（基法第12条第1項）
- ② 昇降機（エレベーター、エスカレーター、電動ダムウェーター）で特定行政庁の指定するもの（基法第12条第2項）
- ③ a)により指定される特殊建築物に設けられる建築設備で特定行政庁の指定するもの（基法第12条第2項）

c) 建築設備に関する定期検査の内容

建築基準法においては、建築物の敷地、構造、設備について最低の基準を定めており、防災設備、給排水衛生設備、換気設備、空気調和設備等の設置及び構造についても具体的に規定している。

具体的には、尿尿浄化槽については、その設置の義務付けを行うとともに、詳細な構造規定が建設省告示により定めており、給水設備及び排水設備については、維持管理に必要な要件を踏まえて、詳細な構造規定がおかれ、換気設備についても、その設置の義務付けを行うとともに、必

要換気量及び構造について政令及び告示によって定めている。

2.3.3 建築分野に信頼性を取り入れるための考えと手法

1) 不確定性の考え方¹⁾

建築物の性能には様々な不確定性が存在し、定量化することは決して容易ではない。不確定性といってもいろいろな種類が存在するが、それらの分類として、以下が一般的である^{2) 3) 4)}。

- a. 物理的不確定性
- b. 統計的不確定性
- c. モデル化誤差

物理的不確定性では、構造物あるいは構造部材が荷重を受けて破損するかどうかは、荷重の大きさと材料強度の特性に依存しており、荷重・材料強度・寸法等の物理量の実際の変動性に注意を払わなければならない。しかし、物理量の変動性は、多数のデータを測定・試験して始めて定量化できるものであるにも係わらず、データ数には現実的にも経済的にも制限があるため、データ数に伴う不確定性は残る。この現実的な制限が次の統計的不確定性の原因となる。

統計的不確定性では、ある物質の変動を表すような確率モデルを作るためにデータを集め、適切な確率分布を選び、次にそのパラメータ（平均値や分散等）を推定する。これらのパラメータを推定するためには、標本数がある程度必要になる。従って、収集したデータに対して、パラメータ自身も確率変数と考えられ、その不確定性は一般に標本数とそれまでの情報によって決まる。この不確定性を統計的不確定性と呼ぶが、これは物理量の変動制とは違って情報量の不足に起因する不確定性である。

c)のモデル化誤差については、一般に構造・材料力学において、力学モデルあるいはモデルの前提条件を仮定する。対象としている問題が力学的に解明された上でモデル化がおこなわれることもあり、経験的な場合も少なくない。また、構造物の挙動が高精度で予測できるモデルであっても、工学の分野では簡略化を行って比較的取り扱いやすいモデルを用いる場合も多い。こうしたモデルに係わる不確定性をモデル化誤差と呼んでいる。

これらの不確定性を工学に直接的に取り込むには、その道具としての「確率論」が必要である。

2) 信頼性指標

2-1) 限界状態関数

建築物の性能（安全性、使用性、等々）を表すのに、二つの相反する状態（例えば、安全と非安全（破壊）状態とか、機能している状態とそうでない状態）を考える。ここで、性能の良し悪しを判断するために、性能を複数の物理量を含む数式で表すと都合が良く、限界状態関数（あるいは性能関数）と呼ばれる。一例として、部材強度 R をもつ構造部材に荷重 S が作用する場合の限界状態関数を下式で示される⁴⁾。

$$G = R - S \quad (2.1)$$

ここに、 $G > 0$:安全状態、 $G = 0$:限界状態、 $G < 0$:破壊状態とする。

式(2.1)で表された限界状態関数 G を用いて、部材の安全性を判定するのであるが、部材強度も荷重も不確定であるから共にばらつき、確率変数とすると、 G も確率変数となり、 $G < 0$ となる確率を定義することができる。この確率のことを破壊確率と呼ぶ。当然ながら、破壊確率が小さければ破壊に至るまでの余裕が大きいことを意味する。破壊確率 p_f は R および S の確率密度関数

が既知であれば、次式により定義される。

$$p_f \equiv \iint_{R-S < 0} f_R(r)f_S(s)drds \quad (2.2)$$

ここに、 R と S は相関性が無いものと仮定しており、 $f_R(r)$ 、 $f_S(s)$ は各々 R と S の確率密度関数である。また G の確率密度関数 $f_G(g)$ が求められれば、破壊確率 p_f は次式で表される。

$$p_f = \int_{-\infty}^0 f_G(g)dg = F_G(0) \quad (2.3)$$

ここに、 $F_G(g)$ は G の累積分布関数である。

2-2) 信頼性指標の定義

破壊確率の代わりに限界状態関数の平均値 μ_G と標準偏差 σ_G により定義される指標で余裕を定義することもできる。この余裕を信頼性指標と呼び、 β_{FO} あるいは単に β で表す。

$$\beta_{FO} \equiv \frac{\mu_G}{\sigma_G} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (2.4)$$

上式で定義された余裕 β_{FO} を確率変数 R と S の平均値と標準偏差のみを用いていることから、二次モーメント信頼性指標と呼ぶ。

ここで、破壊確率と二次モーメント信頼性指標との関係を考えてみよう。もし、式(3.1)で R も S も互いに独立な正規確率変数とすると、 G も正規確率変数となることから、 β_{FO} と p_f が次式のように対応付けられる。

$$p_f = \Phi(-\beta_{FO}), \quad \beta_{FO} = -\Phi^{-1}(p_f) \quad (2.5)$$

ここに、 $\Phi^{-1}()$ は標準累積分布関数の逆関数である。

2-3) 信頼性指標の算定方法

限界状態関数 G の平均値と標準偏差が求められれば、これらより二次モーメント信頼性指標 β_{FO} を評価することができる。もし、限界状態関数の確率分布形に関する情報が得られる場合には、次式を利用して破壊確率を信頼性指標に変換することができる。

$$\beta_{III} \equiv -\Phi^{-1}(p_f) \quad (2.6)$$

この信頼性指標を、 β_{FO} と区別するためにレベル III 信頼性指標 β_{III} と呼び、確率分布形の情報を含んでいるため、 β_{FO} とは必ずしも等しくはならないが、大抵の場合、 β_{FO} で十分である。

3) 構造設計法

3-1) 許容応力度設計⁵⁾⁶⁾

建築・土木構造物や機械部品、設備など構造システムの設計には昔から許容応力度設計 (Allowable Stress Design) がよく用いられてきた。これは、定められた荷重 (あるいは負荷) 条件の下で、対象とするシステムが線形弾性的に挙動する前提で求められたシステムの部位の応力度 (正確には、最大主応力度) が当該部位の別途定められる材料の許容応力度を超えないように部位の断面性能を調整して最終的にシステム全体の設計を行う方法である。外荷重と対象部位の発生応力度は線形関係が仮定されていることから極めて実用的な設計方法である。

複数の異なる種類の荷重が作用した場合には、それぞれの個々の荷重から生じる応力どの線形重ね合わせが成立し、容易に応力度の組合せが可能である。これも許容応力度設計の利点の一つ

である。許容応力度設計を用いて、部位の設計式は一般に以下の形式となる。

$$f \geq \sum_i S_i \quad (2.7)$$

ここに、対象材料の許容応力度を f 、ある荷重 i から生じる発生応力度を S_i としている。

建築・土木構造物では、発生応力度が許容応力度を超えてもただちに部位の破壊が生じることはない。これは主に以下の二つの理由による。

- a) 構造システム全体のうち、ある部位が許容応力度を超えても、他の部位が健全であればシステム全体の性能低下につながらないこと、
- b) 許容応力度の設定に余裕を見込んでいること。

これらについて以下に許容応力度設計の特徴と、その限界および課題について整理する。

まず、はじめに上記 a) の点に関して課題を示す。許容応力度設計においては、個々の部位が許容応力度以内であることが確認できたとしても、システム全体の挙動については十分検討したことになっていない。個々の部位の性能が他の部位との相互関連性を考慮せずに独立にチェックされることから、全体システムの性能を把握することは困難である。ガラスのような脆性的な材料で構成されたシステムであれば、どこかの箇所の応力度が所定の応力度を超えれば、全体破壊に達するものもあるが、一般には、ある一点の応力度が大きくなっても、この部分にのみ塑性化が集中し、周辺の部位に応力が再伝達される、いわゆる、塑性化による応力の再配分が生じ、システム全体としては破壊することは少ない。これが線形弾性解析から得られる部位の応力度の確認に基づく許容応力度設計の適用限界である。

次に、対象とする材料ごとに、一定の余裕を見込んで許容応力度が設定されていることである。具体的には、同じ材料であっても、許容応力度は異なる。すなわち、許容応力度は、材料の引張強さ（あるいは圧縮強さ）あるいは、降伏点を基準強度 R_n と考え、それらを安全率 (Safety factor) ν で除したものを許容応力度 f としていることが一般的である。式で記述すると、

$$f = \frac{R_n}{\nu} \quad (2.8)$$

である。

基準強度は、鉄鋼系材料であれば引張力に対するものを、コンクリートなどの場合には圧縮力について、材料ごとに定められている。また、安全率 ν は一般に 1 以上であり、対象とする応力度の種類（引張応力、圧縮応力、せん断応力）によって、経験的に定められている。建築構造物の許容応力度設計においては、さらに、対象とする荷重が長期間作用する場合（長期荷重）と、地震や強風のように極めて短時間しか作用しない場合（短期荷重）に分けて、材料毎に、長期材料安全率、短期材料安全率が設定されていることもある。もちろん、長期安全率の方が短期安全率よりも大きくすることが一般的である。

安全率をどのような考え方や根拠を用いて定めるかは極めて難しい問題である。なぜなら、余裕を与える役割を果たす安全率の大きさの設定は、結局のところ、対象としているシステムにどの程度の余裕を付与すべきかという問題に等価であるからに他ならない。当然、システムの余裕は十分あるに越したことはないが、システムの経済性を無視はできない。すなわち、余裕の設定はシステムの性能の程度と経済性の適切なバランスに基づくことになる。システムの性能と経済性を定量化することは容易でなく、今日までの過去の経験、失敗・成功事例、コスト評価などの積み重ねによって、現在使用されている安全率になったのである。言い換えれば、経験の産物と

しての安全率ということになる。

最後に、許容応力度設計の根幹をなす安全率に関する問題点を指摘する。この問題点の克服を試みたものが、次節で紹介する限界状態設計である。

安全率の一番の問題点は、その本質的にある。そもそも、「安全率の導入はなぜ必要なのか？」という根本的な問いに端を発する。なぜ、このような余裕を設計で見込む必要があるかということである。これには、設計時点で予想しない荷重が生じる可能性があるからとか、部材制作上の誤差、使用環境の変化など、不確定な要因が必ず存在するからであり、設計では適度な余裕を意図的に与える必要があるという、いろいろな理由が挙げられるであろう。「安全率」の導入は、設計で対象とする環境やシステムの挙動が不確定であるからであるが、これらの不確定さが本当のところはどれくらいなのかを、ある程度定量化できるのであれば、安全率設定の根拠付けも明快になる。勿論、過去より長年使用してきた安全率の重みは大きく、容易に合理化できるとは考えてはいないが、どのような不確定要因に対して、どの程度、余裕を付与しなければならないか、分析する必要がある。こうすることにより、安全率の合理化にもつながるものと期待できる。

3-2) 限界状態設計法⁵⁾⁶⁾⁷⁾

構造システムに付与する構造性能は多様であり、例えば、構造安全性や機能性などが挙げられ、これらを性能という言葉でなく「限界状態(limit state)」と呼ぶ。限界状態は、ISO2394⁸⁾によると、限界状態を超えると構造システムに対して設計で意図しない状態になったものと定義される。例えば、システムが崩壊しないことを考えた場合には、崩壊に関わる限界状態が定義できる。システムの機能性が満たされていない限界状態も定義できる。このように、限界状態とは必ずしもシステムあるいは部位が破壊する状態ばかりを扱うのではなく、設計で対象とする如何なる状態も限界状態と呼ぶことが出来る。設計でどのような限界状態を想定するかは、設計者や使用者などと協議の上決める必要があるが、建築構造物については、標準的な限界状態は表 2.9 のように分類されている。安全性に関するもの、使用性に関するものがあり、それぞれ、終局限界状態、使用限界状態と呼ぶ。前者の例として、地震時の建物層崩壊、耐震部材の破壊、積雪による屋根の崩壊、等が挙げられ、後者の例として、建物使用中の梁、床板の有害なたわみ、建物の不同沈下、人間の快適性、等々が挙げられる。

表 2.9 建築構造物の限界状態の分類⁸⁾

限界状態		物理状態	具体例
終局 (安全性)		構造物あるいは部分の崩壊	傾斜、滑り、破壊、進行性破壊、限界変形を越えた状態、安定性の欠如、腐食、疲労、劣化など
使用性	損傷		過度な亀裂や変形、永久塑性変形
	機能維持	通常時の使用性の喪失	過度な変形や振動、局所損傷など

限界状態設計法では、性能の程度は「限界状態を超える確率」で表すことが基本である。確率で表すことにはある程度の慣れが必要であるが、建物に作用する荷重の最大値も、使用する材料強さもばらつくことから、確率量で性能の水準を表現することが国際的な趨勢となっている。「限界状態を超える状態」とは、例えば、構造システムが崩壊するという限界状態を考えた場合に、崩壊する状態になる確率、崩壊確率あるいは破壊確率をもって、システムの崩壊に関する性能の

良し悪しを判断しようとするものである。すなわち、この確率は性能の水準を表す定量的な指標となり、崩壊確率が小さいものほど、崩壊に対する性能水準が高いということになる。

このように、限界状態設計法では、性能の種類を限界状態で、性能水準を確率量で表した極めて実用的で国際的に最も利用されている設計法である。別の言葉で言うなら、限界状態設計法の特徴は確率論に基づき性能の明確化と定量化を実現させたものである。

実設計で、確率の計算を行うのは煩雑である。従って、設計法の実用性を考えるにはできるだけ簡単な設計式が望ましい。そこで1980年代に確率の考え方に基づいているが実用的な設計法として「荷重・耐力係数設計法(LRFD: Load and Resistance Factor Design)^{9) 10)}」が開発された。荷重・耐力係数設計法は、米国では一般的な名称であり、欧州では部分安全係数法(Partial Safety Factor Design)とも呼ばれている。

部材の破壊あるいは不具合状態を表現するための最も単純化した荷重・耐力モデルは、荷重側を S 、部材耐力側を R として記述することができる¹¹⁾。

$$G = R - \sum_{i=1}^n S_i \quad (2.9)$$

ここに、 R は設計しようとする部材耐力を S_i は部材に作用する複数の異なる荷重より生じる発生応力を表している。

いま、信頼性指標を用いて部材設計する場合に、以下の設計式を用いる。

$$\beta \geq \beta_T, \quad \beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G} \quad (2.10)$$

ここに、 β_T は部材の破壊状態に至らない余裕を表すために導入した目標信頼性指標である。 μ_G と

σ_G は式(2.9)の G の平均値および標準偏差であり、部材耐力、各荷重から生じる発生応力の平均

値 μ_R 、 μ_{S_i} と標準偏差 σ_R 、 σ_{S_i} を用いて以下のように評価できる。

$$\mu_G = \mu_R - \sum \mu_{S_i}, \quad \sigma_G = \sqrt{\sigma_R^2 + \sum \sigma_{S_i}^2} \quad (2.11)$$

上式を部材設計式に代入して式の変形を行なうと、部材耐力関連の項と発生応力に関する項に分離し整理することができる。

$$\mu_R - \sum \mu_{S_i} \geq \beta_T \sqrt{\sigma_R^2 + \sum \sigma_{S_i}^2} \quad (2.12)$$

$$\mu_R - \alpha_R \beta_T \sigma_R \geq \sum (\mu_{S_i} + \alpha_{S_i} \beta_T \sigma_{S_i}) \quad (2.13)$$

式中の α_R や α_{S_i} は平方根を開く時に用いる分離係数であり、次式に示すように、標準偏差の関数

となっている。

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sum \sigma_{S_i}^2}}, \quad \alpha_{S_i} = \frac{\sigma_{S_i}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sum \sigma_{S_i}^2}} \quad (2.14)$$

上式より、式(2.10)の信頼性指標に関する設計式を容易に部材耐力と発生応力の統計特性を用いて書き換えることができ、式(2.13)を設計に用いることができる。

4) リスク評価

4-1) リスク評価の考え方¹²⁾

自然災害を扱う防災分野のみならず工学全般に渡って、また、医療分野や金融業界においても、将来の十分な確度で予測できない事象から被る被害や損害などの可能性を総称して「リスク」と言い、最近良く使われるようになって来た。「リスク」とは、日本語では「危険度」と訳すことが多い。

リスクの定義は、文献¹³⁾によると、

- a) 利得・損失を生じる確率〔損失に限られる場合もある〕
- b) 事故・災害(Hazard)・危難(Peril)といった個人の生命や健康に対して危害を生じる発生源の事象
- c) 損失の大きさとそれが生じる確率との積

の定義がある。工学の分野では、リスクは、c)の定義で用いられることが多く、下式で表される。

$$R = P \times C \quad (2.15)$$

ここに、 R ：リスク、 P ：想定する事象の発生確率、 C ：想定する事象が発生したことによる影響である。

上式より、リスクとは事象の発生確率と事象の発生により生じる損害や被害の積として定義され、リスクの単位は C の単位と同じものである。 C としては、被害費用や死者総数などが考えられる。例えば、建物が供用期間中に地震によって倒壊する確率と倒壊したことによる被害費用より、供用期間中の建物の地震による倒壊リスクが計算される。また、旅客機の1フライト当たりの墜落確率と墜落による死者数より、1フライト当たりの墜落による死亡リスクが評価できる。

従って、 P が極小で C が小さい事象はリスクの大きさから見て社会的関心事とはならない。しかし、大地震による被害を考えてみると、大地震の発生確率は極めて小さいものの、一度起きれば大規模な被害を招くことから、低頻度巨大災害の典型例として、何らかの社会的な方策を講じなくてはならないものもあることに注意すべきである。また反対に、交通事故のように、 P が大きくても（日常多発している事象）、社会的関心事とならないものも少なくない。最近の新聞紙上をにぎわしている犯罪記事のように、 P が小さいながらも社会全体に与えるインパクト C が大きいものほど大きな記事となり得る。

リスクの定義式を見れば明らかなように、リスクを軽減する方法はふたつしかない。ひとつは事象の発生確率 P をできるだけ小さくすることであり、もうひとつは事象が生じた後の被害 C を小さくすることである。一般建物を例にとってみれば、前者はより安全な建物を設計・建設することにつながり、後者は建物が倒壊しても死者・負傷者数を低減できるような緊急救援対策の充実、危険な所には人を住まわせないといった規制を講じること、万が一、建物被害が発生しても被害を軽減するために損害保険に加入することなどにつながる。従って、リスクを軽減するには、「事前の予防」と「事後の対応」の両方が必須である。

4-2) システムのリスク原因の例¹⁴⁾

ここでは、複数の部材からなる構造体を「系（システム）」と呼び、特定のシステムのリスク原因を挙げる。ここでは、構造物と航空機について例を示す。

a) 構造物

ビル、橋梁などの構造物は、梁、柱、結合部、床、壁などは接合されて構造システムを形成している。これらの構造システム事故は、以下のいずれかと定義される。

- 1) 構造的崩壊（孤立した構造部材、又は構造システムのすべてか一部に対する）
- 2) 機能喪失または使用不能（たとえば、構造物が設計された機能に対して使用できないような、過度の動きやたわみ、または振動）

負荷が構造要素またはシステムの構造抵抗（または容量）を越えたときに、構造崩壊が起こると考えられる。したがって、高負荷または低抵抗の場合に構造崩壊の発生する。一般に荷重は、死荷重、活荷重、雪、風および地震の成分のいくつかを含んでいる。高い死荷重と活荷重は、一般にユーザーに影響されるものである。たとえば、過負荷、または重い車両、列車または船と橋梁構造との衝突などが該当する。一方、強風、洪水、雪および地震荷重は自然現象として生じ、ユーザーの管理外である。システムのリスクは構造抵抗の低いことによっても上昇する。

表 2.10 構造事故の主要原因¹⁴⁾

主要原因	頻度[%]
不適切な荷重挙動	45.2
不適切な結合要素	47.0
建設精度の信頼性	1.8
設計計算のエラー	2.5
不明瞭な契約情報	23.5
使用説明書に従わない違反	21.8
計画システムの複雑さ	1.2
粗悪な建設行程	54.3
予測できないイベント	7.1

低い構造抵抗または高荷重（あるいは両者の組合せ）の原因は、(1) 自然と (2) 人的すなわちヒューマンエラーに分類される。入手可能な統計データによると、ヒューマンエラーは構造事故の75%にも上る原因である。しかし、地震や嵐などの極端な自然現象に曝される地域では、事故の25%よりもかなり多くが過負荷に起因している。

表 2.10 は、1975～86年の期間における合衆国の604事例の研究から得られた構造事故の主要原因（10件）を示す。質の低いな施工方法が構造事故の主要原因であることを示している。約7%の構造事故は「予見不可能な事例」であるに注意が必要である。

b) 航空機

航空機事故は、以下に示す航空機システムの危険行為(複数)の結果として発生すると考えられている。

- i) 地面、水、建築物または他の航空機との衝突
- ii) 火災（または煙）
- iii) 構造健全性の喪失（たとえば、荷物室ドアの喪失、エンジン落下）

1969～76年の間のジェット旅客機に対して、航空機事故の発生に含まれるであろう原因は、大雑把に次のように分類される。

- i) 単一または複数の材料／装置の故障
- ii) ヒューマンエラー

iii) 天候または環境条件（たとえば、氷、雪、エンジンに鳥を吸い込むこと）
 多くの研究は、ほとんどすべての航空機事故がヒューマンエラーを原因となっている。

- i) 設計および製造スタッフ
- ii) 維持管理スタッフ
- iii) パイロットや他のフライト乗務員
- iv) 客室乗務員、地上職員および乗客
- v) 航空交通管制官

表 2.11 に、ジェット旅客機事故を導くイベント原因をまとめた。ほとんどの事故が操作イベント、すなわち、離陸と着陸のときに発生していることを示しており、航空機がフライト乗務員に掌握されていると考えられる。

表 2.11 ジェット旅客機事故を導くイベント¹⁴⁾

イベント	頻度[%]	
	致命的な事故	すべての事故
主として耐空性		
骨組み構造の破損	1.6	7.1
火災（客室、トイレなど）	3.2	2.4
火災（着陸装置の故障）	1.6	6.8
火災（エンジン故障）	7.9	19.6
着陸装置の故障	0.0	4.4
飛行制御システムの故障	11.1	4.7
主として操作		
高地との衝突	22.2	4.7
滑走留の手前に着陸	36.6	15.1
滑走路を越えて着陸	6.3	9.5
滑走路をそれる	0.0	7.8
激しい着陸	0.0	5.4
天候	9.5	6.1
鳥の衝突	0.0	6.4

本節の参考文献

- 1) 高田毅士：信頼性工学、建築と工学、ヴィジュアル版建築入門 9、彰国社、2003
- 2) Ang and Tang、土木・建築のための確率・統計の基礎、伊藤学他訳、丸善、1977
- 3) 星谷勝、石井清、構造物の信頼性設計法、鹿島出版会、1986
- 4) クリステンセン、ベイカー、構造信頼性-理論と応用、室津監訳、シュプリンガー・フェアラーク東京、1986
- 5) 高田毅士：不確定性と設計技術、
- 6) 構造工学ハンドブック、構造設計の基本、丸善
- 7) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説、1993

- 8) ISO : ISO2394 – General Principle on Reliability for Structures, 1996
- 9) B. Ellingwood, J. G. MacGregor, T. V. Galambos and C.A. Cornell, Probability Based Load Criteria: Load Factors and Load Combinations, J. of ST, ASCE, Vol. 108, No. ST5, 1982, pp. 978 – 997
- 10) 日本建築学会、建築物の限界状態設計指針、2002
- 11) 高田毅士、高橋徹、技術ノート・確率信頼性の基礎と信頼性指標を用いた設計/4 荷重・耐力係数設計法、建築雑誌, Vol. 114, No.1442, 1999.8, pp. 100-10311)
- 12) 高田毅士：建築・土木におけるリスク評価の現状とねらい、日本建築学会
- 13) 建設省建築研究所、「新建築構造体系の開発」、建設省総合技術開発プロジェクト、1998
- 14) 酒井信介監訳：技術分野におけるリスクアセスメント、森北出版、2003

2.3.4 建築物の品質を確保するための設計・施工監理と維持管理

1) はじめに

「かしこい技術」を建築に適用し、建築物の安全等の確保に必要な状態あるいは作用への抵抗性を各種デバイスのはたらきによって確保するという方法が、建築基準法令の目的・要求に適合したものと位置づけるためには、こうした「はたらき」が建築物の供用期間全般にわたり確実に稼動することを信頼できるようにするための仕組み・根拠が不可欠である。

本検討は、上記のような技術・仕組みの確立のための開発研究の一環として、『かしこい建築・住まいの実現のための信頼性技術に関する調査業務』のうち『長期間での建築物の安全性・耐久性確保のための手法の調査』の一部をなすものとして実施した。ここでは以下の観点を中心として検討を行った。

- ① 「かしこい技術」の適用により建築物の所要性能を確保する、という企画・設計上の「意図」及びその課題の「解決策 Solutions」が妥当なものだとして、工事結果がそれらに適合したものであると信頼しうるための条件はなにか？
- ② 工事結果が、「かしこい技術」に関する企画・設計上の「意図」及び「解決策 Solutions」に適合しているといえる（保証しうる）ものだとして、使用段階でかしこい技術のはたらきが確実に（必要なときに）稼動すると信頼するための条件は何か？

なお、今回の検討は、上記の条件を明確化するための第一段階のものであり、いろいろな考え方・方法論の収集と、それぞれについて“必要な信頼性を確保しうるもの”となりうるフィージビリティ及び実現のための論点整理に重点を置いたものである。

2) 検討課題の明確化

本検討の対象となる課題は、端的に言えば『システムが期待通りに稼動するものとするための、システムの製造・運転/維持管理 (O&M) の方法』を明確化することである。これはいわゆる「信頼性工学」あるいは「品質保証」の問題に他ならない。

信頼性とは、システム等が、規定される期間中、所要の機能を「故障」なく遂行できる確立である。従って信頼性工学は、「故障理論」にそのベースをおいているといってもよいだろう。また広い意味での信頼性とは、「故障の起きにくさ」と「故障の修復しやすさ」の両側面を含んでいる。経済上の理由を中心としてシステムの信頼性を捉える場合は、こうした二面性を捉えることが重要であるが、今回の検討のように人命への危害を含む安全性を対象とするシステムの場合には、

「故障が起きても（損害が最小限となるよう）回復できればよい」という立場はとりにくい。となれば、ここで検討すべき内容は、建築基準・規制という社会システムとして、「かしこい」システムの故障による影響の程度、すなわち故障によって人命への危害等が生じる「リスク」が許容範囲に納まるような「故障の起きにくさ」を実現するための条件の明確化ということになる。

建築基準・規制システムが許容しうる「リスク」のレベルとは、どのようなものであるかについては、社会の期待と経済的負担の限界性その他の多重的な検討が必要であり、それ自体は他の機会に譲るものとする。

とすれば、ここでの検討の中心となるべきことは、「かしこい」システムにおけるありうる「故障」の特性を把握し、その故障を未然に防ぐための対策、およびその信頼性を社会に向けてアピールすることすなわち信頼性の保証（確からしくすること＝Assurance）のための手段として、何がなされるべきかを明確にすることにあると考える。

3) 「かしこい」システムにおける故障モードとその要因

「かしこい」システムの故障モードとは、システムがどのように建築物の性能確保に関係しているかの観点に立ち、どのような不具合が発生した場合に、建築物の安全等の性能確保に直接影響が及ぶか？を把握することである。

3-1) 故障モードの観点からの「かしこい」システムの類型

この場合、想定するシステムに関して、以下のような類型分類を想定することが有効である。

I. センサ系

I-1 地震動、強風等、建築物に外部から作用する要素の感知（と他のシステムへの情報等の発信）

I-2 温度等、建築物内外の空間や構成要素近傍で生じている状態急変の感知（同上）

II. モニタ系

II-1 作用に対応した空間・構成要素の「状態」（温度、荷重状態、変形、振動、物質濃度等）の継続的監視

II-2 構成要素の物的特性に生ずる経時的な状態・特性変化（ひび割れ、クリープ、腐朽、強度の低下、等々）の監視

II-3 継続または断続的に運転される機器類の「稼動状態」の継続的監視

III. 制御系

III-1 有事に、作用を打ち消す／軽減するようにはたらくもの（アクチュエータ？スプリングシステムも一種？）

III-2 有事に、作用に対する抵抗力を増強させるようにはたらくもの（可変ダンパー類？防火シャッターも一種？）

III-3 空間や構成要素に生じた状態・特性変化を正常な状態・特性に復旧・修復させるようにはたらくもの（緊急冷却装置の類？排煙設備システムも一種？）

実際の「かしこい」システムは、上記のいろいろなシステム要素が組み合わせられて出来上がっているものが多いと考えられる。

3-2) 不具合のパターン

かしこいシステムに生ずる不具合とは、システムが想定・期待通りはたらきをしないことによって、建築物の所要の性能（安全等に関係する状態の確保能力）が得られなくなることである。この不具合のパターンは、システムの特성에対応して、次のようなものがありうる；

- (1) 作用、状態の変化等を感知または監視できない（センサ・モニタ系）
- (2) 作用、状態の変化等の感知または監視が、正確に行われない（センサ・モニタ系）
- (3) 必要なときに制御装置等が稼動しない（制御系）
- (4) 制御装置のはたらきが不十分で、所要の性能・状態が確保できない（制御系）
- (5) 制御装置等の誤作動（各系）

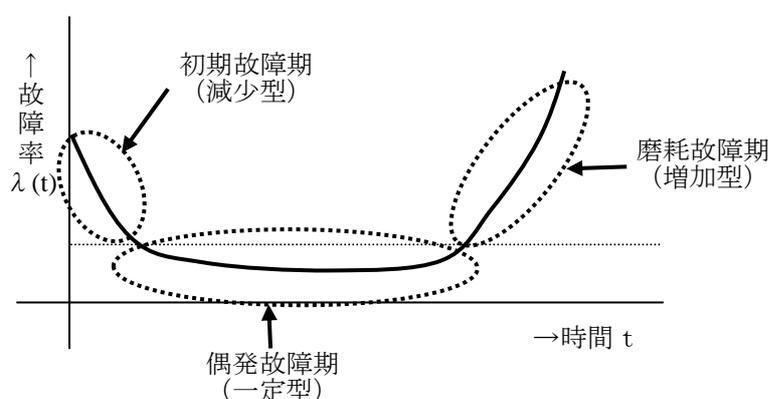
3-3) 不具合の要因

システムの不具合の要因として考慮すべき必要がある要素には次のようなものがあると考えられる。

- (a) 各システム要素（センサ、制御装置等）が期待通り稼動するためのロジスティックスの不具合（電源、水圧、等）
- (b) 各システム要素自体の故障（不作動、機能不全）
- (c) 各システム要素の設定機能レベルの不足（過大な外部作用、設計のミス？）
- (d) 各システム要素の作動に対する障害（センサの隠蔽、可動部分への障害物の放置等）

4) 「かしこい」システムの信頼性に関する必要条件

一方、一般論としていえば、システムの故障の発生傾向を時系列的に見ると、次のような曲線（故障曲線）で説明できるといわれている。



「初期故障期」は、システムの中に潜在している設計ミス、製造過程での欠陥等いろいろな弱点が使用の初期段階で出てくるもの。対策としては、使用に先立った試運転その他のスクリーニングで欠陥を見出し、その欠陥を追い出すデバギングにより安定化を図る。

「偶発故障期」は、デバギングにより取り除けなかった故障要因が重なり合い、ほぼ一定の故障率を示す時期。規定の故障率より低い時期の長さが「耐用寿命」である。

「磨耗故障期」は、システム要素の耐久性の問題その他で、時間とともに故障率が增大する。通常は、予防保全や事後保全によって上昇する故障率を切り下げる必要がある。

このようなモデルに照らしてみた場合、「かしこい」システムに求められる信頼性のレベルは、

次のような形で理解することが出来る。

- ① 偶発故障期の故障率自体を、その故障によって影響される安全リスクのレベルが社会的許容範囲以下となるように低減する必要がある。
- ② さらにこの故障が無いとみなされる時期の長さすなわち耐用寿命を、少なくとも建築物本体の耐用寿命に見合うほどに確保する必要がある。

上記のうち①は完璧に「無故障」のシステムとすることは現実には不可能であり、前述したように、システムの故障が、実質的に建築物の安全性が確保されずにユーザー等に課されることになる「リスク」が許容水準以下になるように制御されるようにすることで、信頼に足ると“みなす”…という判断の仕組みを導入せざるを得ない。そのため、例えば；

- ・ 引渡し段階、試用の初期段階での初期故障の発生予防又はスクリーニング・デバギングの実行（狭義の“コミッショニング”）
- ・ それぞれのシステム要素（例えばセンサ）について、故障率が許容確率以下の期間を予測し、それより短い間隔で点検・交換等を行う（予防保全）
- ・ システムが制御しようとしている作業や状態の変化などの頻度、速度等に応じて、一定の故障期間が許容されている場合には、故障の発見と故障の修理に要する期間がそれ以下となるような故障の早期発見と迅速修理の仕組みを適用する（事後保全と故障発見システム）
- ・ システムの稼動に必要な情報ルートを二重以上にし、一ルートに故障が起きた場合でも他のルートが稼動することで必要な信頼性を確保できるように設定（フェイルセーフ）

等の方策または方策の組み合わせを適用することが必要である。

これらを「システム設計の課題」と位置づけることとする。その課題は、ここの具体的システムとそれによって制御される建築物の安全性その他の要求性能の重篤さに応じて、必要な信頼性の「システム設計」がなされる必要があるが、その方法は、個々の技術開発ないし研究の実証などが必要であろう。この課題の解決の機会を、個々の研究開発に譲ることとする。ごく一般的に“故障フリー”のシステムとするための設計において考慮すべき要素の例としては、次のようなものがある；

- ・ システム要素（センサ等のデバイス）各々の稼動性能、耐久性能についての信用しうるレベル（設計値；供給側の品質管理等に影響を受ける）
- ・ 各要素の推定故障確率等も考慮に入れた、システム全体の確率論的信頼性評価（FTA 等の適用？）
- ・ システムに組み込んだフェイルセーフや、故障発生予測・覚知のためのモニタリングシステム等
- ・ 設計、工事、維持管理の各段階に組み込んだ「プロセス管理」の信頼性

一方、そうして開発・確立された「システム設計」が間違いなく行われるようにするために設計プロセスが必要な信頼性を持って遂行され、さらに設計されたシステム・システム要素の計画された耐用期間の確保（耐久性の作りこみ）、初期故障のスクリーニング・デバギング、点検・交換・修理の仕組み等が確実に行われるよう、設計プロセス、施工・工事監理プロセス、使用・維持管理プロセス等のプロジェクトの各段階において、所要の信頼性を作りこむための「プロセス設計」が確実になされ、それに基づいて信頼あるプロセス遂行・管理が行われなければならない。

5) 各段階における信頼性の作り込み

5-1) わが国の建築生産システム上の課題・問題点

「かしこい」システムの信頼性の確保方策は、企画・設計から、工事・工事の監理、引渡し、使用段階の運転・維持管理の建築プロセスの全体にわたって整合したものでなければならない。

しかしながら、わが国の建築生産、建築プロジェクトの慣行的なシステムでは、先行するプロジェクトの段階（例えば企画・設計段階）において、後続プロセス（例えば工事プロセス）の「プロセス計画」を詳細に策定し、後続プロセスに伝達する…というやり方はあまり一般的ではない。例えば、後続プロセスを受け持つことになった業務主体（ゼネコン、FM 等）において、先行プロセスのアウトプット（設計図書）に込められたいろいろな意図や仮定などを“推定”し、それとの整合性を意識しながら、独立した当該プロセス（工事・工事管理）のプロセス計画を行う場合が多い。同時期に並行して行われる工事監理プロセスのプロセス計画も独自に作られ、両者間の整合性が計られるような確立した仕組みはまだ無い。

近年、ISO9000 系に基づく品質マネジメントシステムを建築系企業が導入するようになり、例えばゼネコン（工事請負を担当）が、「顧客の意図の確認」という規格要件に対して、設計図書の内容、意図等を業務着手前に情報入手するようになってきているが、プロジェクト全体の情報の流れ、整合性を責任を持ってみている者を配置しているケースはそれほど多くはない。

システム設計の個別性が極めて高いことが予想される「かしこい」システムの設計と作りこみにおいて、この各段階毎のプロセス管理の、プロジェクト全体にわたる整合性についての信頼性が確かでないということは、致命的な問題になりかねない。

5-2) 建築プロセス全体にわたった整合性の確保

上述の問題点に対する基本的な考え方としては；

- ① 企画・設計段階では、「システム設計」ならびに設計プロセス自体を含む「プロセス設計」が行われ、その妥当性を確認された後、設計プロセスならびに工事その他の後続プロセスに伝達・インプットされる。
- ② 各プロセスに伝達された「プロセス設計」の内容に基づき、より具体的なプロセス計画が立てられ遂行される。プロセス計画に含まれる、プロセス設計に従ったプロセス運営を確実にする管理手段（たとえば中間段階でのレビューの実施）も、このプロセス計画に含まれる。
- ③ 各プロセスの完了段階では、当該プロセス計画に反映されたプロセス要件（管理手段等）が満足され、アウトプットが全体プロセスの流れの中で整合する妥当なものとなっていることの評価・確認（妥当性の確認 Validations）がなされ、次のプロセスに伝達される
- ④ 各プロセスの遂行過程においては、先行するプロセスで決められたシステム内容、プロセス内容に影響の及ぶ設計の具体化又は前提の見直し・変更が行われる場合がある。こうした場合「変更管理」の原則に基づき、必要な前プロセス段階までさかのぼって、全体の整合性が崩れていないことの評価・確認が必要
- ⑤ 設計段階で作られた後プロセスの「プロセス設計」は、例えば工事段階で生じた部分的変更などにより、維持管理段階のプロセス設計内容にも、変更が加えられるようなこともある。この場合も上記に準じた整合性の評価・確認が必要

というプロセス管理を計画し適用することが必要となるであろう。

このような過程は、たとえば企画から製造、出荷、アフターメンテ等を一貫して担う製造企業

における『品質マネジメントシステム』では、むしろ一般的なものである。しかし、設計と工事との間で、入札・施工業者選定が行われたり、建築主に工事成果物が引き渡された後は、設計や工事プロセスを担当した者が継続したかかわりを持つことが一般的には少ない、建築物のライフサイクル過程においては、特別のマネジメント上の配慮や仕組みの投入が必要である。

こうした観点から先行して技術・手法の開発、検討等が進んでいる分野の情報を収集した。

空調システム（HVAC）は、その機能の高度化の速度も大きく、ここで検討対象としている「かしこい」システムとある程度類似した特性を有している。

この HVAC の分野では、“Commissioning” という手法概念が従前から導入され、その仕組み開発のための取り組みが続けられてきている。

これに関して、これまで収集してきた資料の主要部分を、付録資料 B に示す。

更なる情報の入手可能先は、国際エネルギー機構（IEA：International Energy Agency）の建築及びコミュニティにおけるエネルギー保全システムプログラム（ECBCS）の中に設けられている Annex 40：Commissioning of Building HVAC Systems for Improving Energy Performance (<http://www.commissioning-hvac.org>) 参照

さらにこの Commissioning の考え方は、HVAC のみならず、すべての建築要素を対象として、類似の稼動信頼性のためのプロセス管理を行う仕組みに発展されようとしている。

現在先駆的な活動を行っている組織は、米国連邦政府の後援で活動している全国建築科学機構（NIBS：National Institute of Building Sciences）の TOTAL BUILDING COMMISSIONING プログラム (<http://sustainable.state.fl.us/>) と、米建築コミッショニング協会（BCA：Building Commissioning Association。URL：<http://www.bcx.org/>）であり、ぜひ参照されたい。

2.4 かしこい技術等の諸外国における取扱いに関する調査

2.4.1 調査の背景および目的

「かしこい」関連技術の性能評価方法の検討及び建築基準体系の検討の参考とするため、海外（主要国）での建築法令に関連する新技術・新材料の認証制度について、関係情報を収集・整理し、国内制度との比較分析を行うとともに、具体的な認証事例の情報も収集し、その評価における考え方等を整理・分析する。

2.4.2 調査内容と成果

各国の主要関連制度の基本的情報の把握や一部制度についての詳細調査、実際に認証（個別物件の評価、許可等）の経験を有する機関を把握するための調査を行った。

調査は、建築技術に関する技術評価を行っている機関を会員とする WFTAO（World Federation of Technical Assessment Organisations）のメンバーである（財）日本建築センターの協力を得て、以下のとおり行った。

（1）調査対象

① 認証制度の基本的情報について：

アメリカ、フランス、イギリス、オーストラリア等

② 制度の詳細と事例について：

フランス (CSTB)、イギリス (BBA) 及びアメリカ (ICCES) の認証制度

③個別建築物の評価・許可事例について：

イギリス、オーストラリア、アメリカ、カナダ、NZ、ノルウェーの建築基準当局又は民間主事、評価機関等の関係者

(2) 調査項目と方法

①認証制度の基本的情報

アメリカ、フランス、イギリス、オーストラリア等について既往調査・文献を整理する。

②制度の詳細と事例

既往の調査、文献情報の他、各国の関連評価機関等のウェブサイトから該当部分を抽出・整理する

③個別建築物の評価・認証・許可事例

各国の関係者に、電子メールにより、「かしこい」技術に関する評価・認証・許可事例の有無、評価・認証・許可等の方法(手続き、プロセス等)、または、それらに関するコンタクトポイント等の情報提供を要請する内容の調査票を送り、具体的事例に関する基礎的な情報収集を行う。

(3) 調査結果

①アメリカの認証制度について

建築コードへの適合性の判断をサポートするものとして、規格や代替材料等に関する評価業務、建築製品の製造者等からの申請に基づく評価レポートの発行、建築主事からの依頼に基づく技術評価相談サービス業務を実施している ICC-ES(International Code Council Evaluation Service)について、その業務内容等の調査を行った。

②フランスの認証制度について

CSTB (フランス建築科学技術センター) が規格の存在しない新製品・新技術を対象として行う技術評価制度であるアビテクニク、製品等がそれに適合していることを証明する制度である CSTBat 認証、及び個別の建築計画に利用される新技術の技術評価を行う制度である ATEx という3つの評価制度について、その業務内容等の調査を行った。

③イギリスの認証制度について

BBA(British Board of Agreement)が実施する、新技術・新材料についての建築法令への適合性の立証手段の一つであるアグレマン認証について、その業務内容等の調査を行った。

④オーストラリアの認証制度について

BCA(Building Code of Australia)において適合性の証明方法の一つとして認められている試験機関及び製品認証機関の証明の事例について、その業務内容等の調査を行った。

⑤個別建築物の評価・認証・許可事例について

8カ国20機関の22名に対し、かしこい建築技術の信頼性の評価方法等、及びその事例に関する情報の提供を求めるアンケート調査を行った。その結果、7名から回答があり、いくつかの評価実施機関等とそのコンタクトポイントに関する情報が得られた。

第3章 高靱性セメント複合材料の性能評価ガイドライン

社会・経済の発展に伴う建築物への要求性能の多様化および高度化に対応して、新技術や新材料を利用するという動きは必然である。業界からは、このような新技術や新材料に対して、自由度の高い設計評価システムの確立とそのための判断の項目と基準を共通に示すことが求められている。

国土技術政策総合研究所（国総研）では、独立行政法人建築研究所（建研）との連携の下、平成15年度から17年度まで、「かしこい建築・住まいの実現のための建築技術体系に関する研究」と題して、下記の3項目についての研究を行った。

- ① かしこい技術の現状および建築への適用ニーズに関する調査
 - 1-1) かしこい技術の調査，建築におけるかしこい技術導入の課題（建築基準法，品確法）
 - 1-2) 建築関係におけるかしこい技術の性能・信頼性に関する考え方の整理
- ② 設計・工事・維持管理のための実用技術体系
 - 2-1) かしこい技術・システムの提案
 - 2-2) かしこい技術・システムの効果・評価手法の検討
 - 2-3) かしこい技術・システムにおける実用技術体系の提案
- ③ 技術を社会的に受け入れ可能とするための建築基準体系
 - 3-1) かしこい技術・システムによる性能の社会的要求の把握
 - 3-2) 社会的要求を満足するための評価・検証技術
 - 3-3) 建築基準体系の提案（建築基準法体系や性能表示基準体系への組み込み）

平成15年度に、①の1-1)に関連して（社）建築業協会などへアンケートによるシーズ調査を実施したところ、そのような新材料の例として「高靱性セメント複合材料（HPFRCC）」があげられ、国総研・建研からも同技術が②の2-1)に関連して提案された。

このため、「高靱性セメント複合材料（HPFRCC）」を「かしこい技術」に該当する新材料の一つの例としてとりあげ、主として③の3-2)に関連して、この材料を用いた建築構造物について安全性などを評価するために必要な検証項目や方法および評価基準などを策定することとした。

具体的には、材料特性と品質の確保、構造安全性の確保、環境安全性の確保、品質管理および検査について、評価の原則を基準としてまとめるとともに、解説において現時点で利用できる評価方法の例を取りまとめることとした。

この成果は、かしこい技術を受入れ可能とするための建築基準体系の検討の際に、具体的事例として活用されるほか、当面の対応として現行の建築基準法に基づく大臣認定の事前性能評価などにおいても利用されることが想定される。このような場面を通して、本基準が、同材料の適切な利用促進につながることを大いに期待したい。また、これをモデルケースとして応用することにより今後の各種のかしこい技術の適用や発展にも資することが望まれる。

最後に、2年間にわたり、本評価基準の作成に関わってこられた委員各位に厚くお礼申し上げます。

高靱性セメント複合材料評価基準作成委員会委員長 三橋博三

「高靱性セメント複合材料評価基準作成委員会」

[委員長]

三橋 博三 東北大学大学院 工学研究科 教授

[委員]

勅使川原 正臣 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 教授

金久保 利之 筑波大学機能工学系 助教授

長谷川 拓哉 北海道大学大学院 工学研究科 助教授

五條 渉 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室長

向井 昭義 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部 構造基準研究室長

鹿毛 忠継 独立行政法人建築研究所 建築生産研究グループ 上席研究員

向井 智久 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 研究員

中澤 春生 清水建設(株) 技術研究所 生産技術開発センター 主任研究員

木村 秀樹 (株)竹中工務店 技術研究所 建設技術開発部 構造部門 主任研究員

一瀬 賢一 (株)大林組 技術研究所 建築材料研究室 構造材料グループ長

(2005年3月まで)

神代 泰道 (株)大林組 技術研究所 建築材料研究室 構造材料グループ 副主査

(2005年4月から)

川又 篤 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 技術センター 材料・構造グループ

菊田 繁美 戸田建設(株) 技術研究所 構造グループ サブマネージャー

是永 健好 大成建設(株) 建築技術研究所 建築構工法研究室 構造チーム

閑田 徹志 鹿島建設(株) 技術研究所 建築生産グループ 上席研究員

白都 滋 東急建設(株) 技術本部技術研究所建築研究部 主任研究員

石原 誠一郎 (株)浅沼組 技術研究所 建築研究グループ 課長

保城 秀樹 (株)クラレ 繊維資材カンパニー 東京繊維資材部 営業主幹

前田 徳一 東洋紡績(株) ダイニーマ事業部

田中 徹 東京製綱(株) 鋼索鋼線事業部 鋼索鋼線統括部 技術グループ マネージャー

片桐 誠 太平洋セメント(株) 研究開発部 RPC設計技術チームリーダー

林田 則光 (株)富士ピーエス 事業開発室 課長

[幹事]

飯場 正紀 国土交通省国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官

福山 洋 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 上席研究員

諏訪田 晴彦 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 研究員

[評価機関]

犬飼 達雄 (財) ベターリビング 筑波建築試験センター 企画管理課長

村上 利憲 (財) 日本建築総合試験所 建築確認評定センター 性能評定課 課長代理

大塚 紀明 (財) 日本建築センター 評定部 構造課 課長

[事務局]

山本 勝 (財) 日本建築センター 建築技術研究所 開発部 開発課 課長

高井 茂光 (財) 日本建築センター 建築技術研究所 研究員

萩尾 浩也 (財) 日本建築センター 建築技術研究所 研究員

(2006年1月31現在)

「評価法検討 WG」

〔主査〕

勅使川原 正臣 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 教授

〔副主査〕

金久保 利之 筑波大学機能工学系 助教授

長谷川 拓哉 北海道大学大学院 工学研究科 助教授

〔委員〕

石原 誠一郎 (株)浅沼組 技術研究所 建築研究グループ 課長

閑田 徹志 鹿島建設(株) 技術研究所 建築生産グループ 上席研究員

川又 篤 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 技術センター 材料・構造グループ

菊田 繁美 戸田建設(株) 技術研究所 構造グループ サブマネージャー

白都 滋 東急建設(株) 技術本部技術研究所建築研究部 主任研究員

林田 則光 (株)富士ピーエス 事業開発室 課長

保城 秀樹 (株)クラレ 繊維資材カンパニー 東京繊維資材部 営業主幹

前田 徳一 東洋紡績(株) ダイニーマ事業部

田中 徹 東京製綱(株) 鋼索鋼線事業部 鋼索鋼線統括部 技術グループ マネージャー

片桐 誠 太平洋セメント(株) 研究開発部 RPC 設計技術チームリーダー

〔幹事〕

飯場 正紀 国土交通省国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官

福山 洋 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 上席研究員

鹿毛 忠継 独立行政法人建築研究所 建築生産研究グループ 上席研究員

諏訪田 晴彦 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 研究員

向井 智久 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 研究員

〔事務局〕

山本 勝 (財)日本建築センター 建築技術研究所 開発部 開発課 課長

高井 茂光 (財)日本建築センター 建築技術研究所 研究員

萩尾 浩也 (財)日本建築センター 建築技術研究所 研究員

(2006年1月31日現在)

3.1 高靱性セメント複合材料の概要

3.1.1 基本的な特徴

曲げモーメント作用下あるいは引張力作用下において、ひび割れ発生後も応力の低下が無く、みかけのひずみの増加に伴って応力が増加する「ひずみ硬化特性」と、多数の微細ひび割れが分散する「マルチプルクラック特性」を示す「ひずみ硬化型高靱性セメント複合材料」が国内外の多くの機関で研究・開発されてきている。例えば、この種の複合材料の中で代表的な ECC (Engineered Cementitious Composites) と呼ばれる材料は、直径が十～数十ミクロンのポリエチレン繊維やビロン繊維などの有機繊維や鋼繊維を体積で 1～2% 程度含有しており、数% のひずみ能力を有するひずみ硬化特性とマルチプルクラッキング特性を示す。さらに、圧縮靱性を改善した材料も実現されている。一例として、鉄筋を ECC の中に埋め込んだ両引き試験供試体のひび割れの様子を写真 3.1 に示す。

この材料は、写真 3.2 に示すように一般的なコンクリートの脆性的な性質を克服していることから、コンクリート系構造要素の構造性能や耐久性の大幅な向上が期待できる。さらに、この材料は、従来のセメント系材料に代わる高性能な補修用材料、衝撃緩衝材料、鋼材の被覆材など、新しい各種の用途が期待でき、土木建築のコンクリート工学分野に技術革新をもたらす可能性を有している。



写真 3.1 「ひずみ硬化型高靱性セメント複合材料」の両引き試験供試体の例

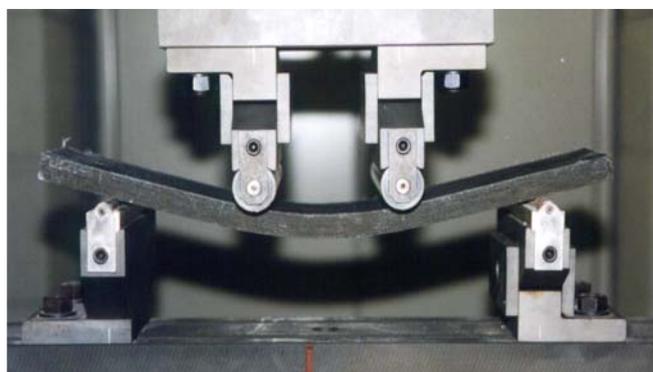


写真 3.2 DFRCC 薄板の曲げ試験の例

3.1.2 材料の分類と用語の定義

ここでは、高靱性セメント複合材料に関する用語の定義と各種高靱性セメント複合材料について紹介する。

(1) 高靱性セメント複合材料 (DFRCC) ^{1), 2)}

セメント系材料を繊維で補強した複合材料であり、曲げ応力下において複数ひび割れ特性を示し、曲げ、引張、圧縮破壊時の靱性が大幅に向上した材料。DFRCC (Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites) のなかには、一軸引張応力下においてさえ複数ひび割れ特性とひずみ硬化特性を示す材料 (HPFRCC) があり、金属並の延性と破壊エネルギーが記録されている (図 3.1, 図 3.2 および表 3.1 を参照)。

(2) 高性能セメント複合材料 (HPFRCC) ³⁾

A. E. Naaman と H. W. Reinhardt により定義された HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cement Composites) は一軸引張応力下において複数ひび割れ特性とひずみ硬化特性を示すような繊維補強セメント系材料であるとしている。一方、文献 1) および 2) で定義された DFRCC は HPFRCC を包含し、より広範囲の材料を対象としている (図 3.1 参照)。これは DFRCC の各種応力条件下における高靱性の適用可能性を構造利用において探る視点による。DFRCC の Ductile は材料の破壊靱性のみならず構造物に適用された際の靱性・延性向上をも含めた意味をもつものである。

(3) 繊維補強セメント系材料 (FRCC)

セメント系材料を繊維で補強した複合材料全体を指す。DFRCC に加えて、上記の DFRCC に該当しない材料、例えば、繊維補強コンクリート (Fiber Reinforced Concrete, FRC) や繊維補強モルタルなども含まれる。

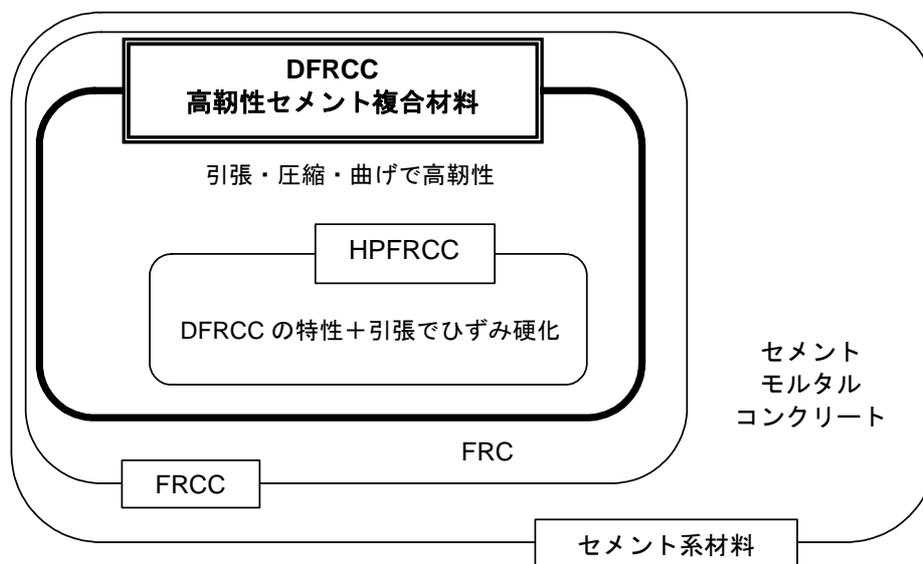


図 3.1 各種材料の分類

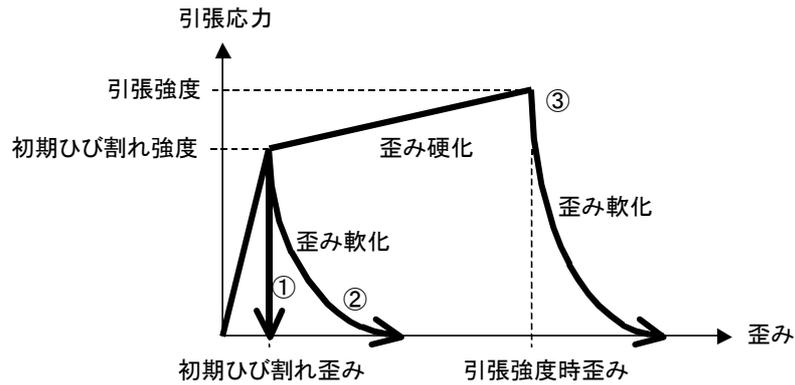


図 3.2 引張応力下の①脆性，②準脆性，③延性，ひずみ軟化，ひずみ硬化の違い

表 3.1 各種材料の特徴

	セメント モルタル	コンクリート FRC	高靱性セメント複合材料 (DFRCC)	
			右記以外	
材料挙動	脆性	準脆性	準脆性	延性
ひずみ硬化／軟化	—	ひずみ軟化	ひずみ軟化／硬化	ひずみ硬化
ひび割れ性状 (曲げ) *	局所化	局所化	複数	複数
ひび割れ性状 (引張)	局所化	局所化	局所化	複数

*: 曲げのひび割れ性状は供試体寸法に影響を受ける。ここでは 10×10×40cm の供試体を対象としている。

(4) 各種の高靱性セメント複合材料

高靱性セメント複合材料 (DFRCC) は、引張応力条件下における靱性向上にその特徴があり、曲げ引張において靱性を発揮する材料から、一軸引張においてさえ金属並みの靱性と延性を示す材料まで多様である。以下に代表的な各種 DFRCC について説明する。

1) ECC (Engineered Cementitious Composite)

ミシガン大学の Victor C. Li により開発された材料。その最大の特徴は、一軸引張応力下においてひずみ硬化を示し、微細で高密度の複数ひび割れを形成することにより最大引張ひずみが 8% にも達するという、極めて高靱性で延性な材料挙動である。ECC はマイクロメカニクスと破壊力学を設計原理としており、材料挙動の予測と設計の双方向が可能である。その特性を活かした適用例としては、耐震エネルギー吸収デバイス、補修・補強用材料 (断面修復もしくは増厚)、鋼材被覆材料、などがある⁴⁾。

2) SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete), SIMCON (Slurry Infiltrated Mat Concrete)

SIFCON は D. R. Lankard により 1984 年に提案された材料で、鋼繊維を予め型枠内に配置したところへセメントスラリーを浸透させることにより製造されるため、繊維体積混入量は最大で 20% を達成することも可能である。多量の繊維による拘束効果から圧縮強度は 210MPa に達し、またその架橋効果により引張ではひずみ硬化挙動を示すものもある。適用例としては、耐震・耐爆構造物、補修・補強用材料、プレキャスト構造物、などがあげられる。SIMCON は、鋼繊維の代わりに繊維マットを用いる⁵⁾。

3) 繊維補強 RPC (Reactive Powder Concrete)

繊維補強 RPC は反応性粉体コンクリートの概念から生まれた無機系複合材料である。RPC は反応性粉体を利用した材料であり、最密充填理論に基づいて開発されたセメント系マトリックスに金属繊維を混入した超高強度+高靱性という新しい概念の下に 1994 年に P. Richard により開発された。その特性は、超高強度 (圧縮 240 MPa, 曲げ 45 MPa), 高耐久性 (凍結融解抵抗性指数 100), 流動性 (フロー値 250 mm) であり、適用例としては、歩道橋, 薄肉軽量防音パネル, 護岸壁用アンカープレートなどがある⁶⁾。

3.1.3 高靱性セメント複合材料の製造・施工

「DFRCC は製造・施工の難易度が高い」、すなわち特殊な技術・設備などを必要とする材料であるという見方がまだ一般には強くあるが、DFRCC はコンクリート材料の技術者であれば「誰でも製造でき使える」材料であるといえる。最近では、プレキャスト工場などのプラントにおける実機での製造が可能となってきている。

製造・施工方法については、流し込み (打ち込み), 吹き付け, 押出成形, およびペースト充填の 4 種類に大別され, さらに要求性能を満足させるために, オートクレーブ養生や蒸気養生を必要とする材料もある。なお, 使用される繊維としては, PVA (ポリビニルアルコール) 繊維, PE (ポリエチレン) 繊維, PP (ポリプロピレン) 繊維, および鋼繊維の 4 種類が代表的である。また, 品質管理, 施工の合理化のためにマトリックス材料 (粉体) をプレミックス化されたものも実用に供されている。

これまでに国内で開発された材料としては, 流し込みタイプでは, PVA 繊維を用いるもの PE 繊維を用いるもの, および PE と鋼繊維を混合して用いるもの, 繊維補強 RPC で流し込みの後に蒸気養生を行うものでは, 鋼繊維または PVA 繊維を用いるもの, 吹き付けでは, PVA 繊維を用いるものと, PVA 繊維と PE 繊維を混合して用いるもの, 押出成形では, PVA 繊維を用いるものと, PP 繊維を用いてオートクレーブ養生をするものと, PVA 繊維マットにモルタルを充填するものなどがある。一例として, 写真 3.3 および図 3.3 に, PVA 繊維を用いた場合の吹き付け施工の様子とその材料の引張特性を示す。

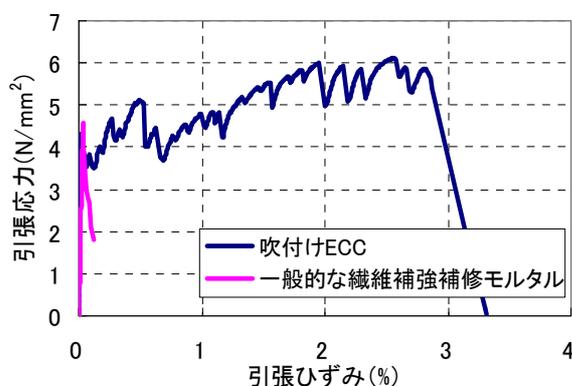


図 3.3 PVA 繊維を用いた吹き付けの引張特性



写真 3.3 吹き付け施工の様子

3.1.4 高靱性セメント複合材料の適用

DFRCC は、一般的なセメント系材料の脆性的な性質を克服していることから、その利用は従来の RC 造構造物に対してより高い性能や新たな種類の価値を付与できる可能性を有しており、これが社会の要求と合致すれば性能設計における有用な一つの技術となる。このことは、DFRCC には新しい各種の用途が期待できることを示しており、土木・建築のコンクリート工学分野に技術革新をもたらす可能性をも有しているといえる。

DFRCC の適用のためには、まず、その特徴ある材料特性を如何に構造物の特性向上に関連づけるかを明確にする必要がある。また、構成材料の特性からどのようにして構造要素や構造システムの性能を評価するかという設計の考え方も重要である。さらには、どのようにして材料を製造するか、また、どのように施工するかという情報も、欠かせないものである。

ここでは、現時点において材料の特徴を活かす DFRCC の有効な適用の例を土木の事例も含めて示す。今後、さらにさまざまな適用のアイデアが創出され、実際に適用され、実績を積むことにより、本技術が熟成しそれによってより豊かな社会の実現に寄与することを期待したい。

(1) PVA-吹付け-ECC の下面増厚工法への適用

DFRCC の引張靱性を直接利用する適用方法として、PVA-ECC 吹付けモルタルを道路橋床版下面に適用し、曲げ耐力を向上させる下面増厚補強への適用が提案されている（図 3.4）。この工法は、既設の RC 床版の下面に鉄筋などを配置し、コンクリートとの接着性に優れた吹付け ECC で増厚することにより、床版などの曲げ耐力や曲げ剛性の向上を図るものであり、設計においては ECC の引張強度を鉄筋に累加して曲げ耐力を算定することができる。また、床版下面への吹付け施工により流し込みに対しての施工上のメリットも得られる。

この工法では ECC の引張性能を設計に見込むことができるため、増厚厚さをより薄くし、鉄筋などの補強材料の量を少なくすることが可能である。これまで一般的なセメント系補修材料で増厚する場合には、増厚による自重増加の影響が無視できず補強効果があまり期待できないことがあったが、それに対して適用範囲の拡大が期待されている。

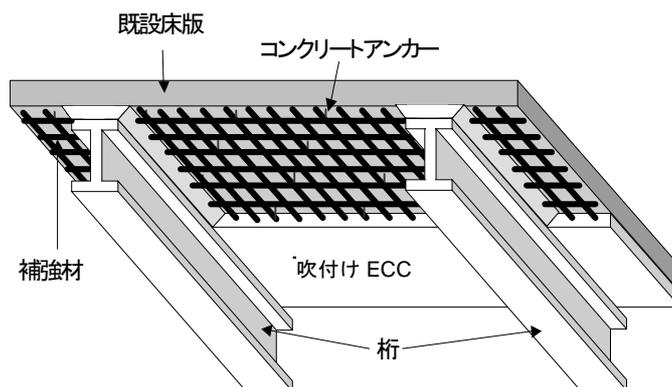


図 3.4 下面増厚工法への適用

(2) PVA-ECC の表面保護工への適用

RC 構造物の表面に HPRCC などを施工し、中性化、凍結融解、アルカリ骨材反応など構造物を劣化させる現象を防止して、構造物の耐久性を向上させることを目的とした利用が考えられている。このような適用を表面保護工という。これは、HPRCC のマルチプルクラック特性を利用

してひび割れ幅が広がることを抑制するもので、有害物質、水分、二酸化炭素のひび割れからの浸入を抑制し鉄筋腐食を遅延する効果などに期待している。

表面保護工の適用部位としては、曲げ疲労によるひび割れ進展が生じる鉄道橋の RC 梁や、アルカリ骨材反応によるひび割れ幅の拡大が懸念される部材などへの適用が提案され、一部で実現している。図 3.5 は、アルカリ骨材反応によって顕著なひび割れが生じた重力式コンクリート擁壁を対象に、主として修景の目的で HPFRCC を吹き付け表面を補修した例である。



図 3.5 表面保護工として ECC を吹き付けた重力式コンクリート擁壁

(3) PP-DFRCC パネル（押出成形+オートクレーブ養生）のコンクリート床版の下面底版への適用

DFRCC に用いられる繊維の量が多く、打込成形では製造できない場合、押出成形によってパネルを製造することが考えられる。しかも押出成形法では、複雑な薄肉断面形状の製品部材を大量に生産できる特徴がある。また、部材長手方向にジベル状の突起を設けることができ、コンクリートとの一体化を図る上で都合がよい。その最も代表的な適用法は、打込型枠として使用する方法である。特に、PP-DFRCC パネルは薄肉で比較的軽量なため、重機を用いない施工が可能となる場合が多い。

例えば、PP-DFRCC パネルを橋梁のコンクリート床版の下面底版に適用する床版構築方法として使用することが考えられる（図 3.6）。

PP-DFRCC パネルを橋梁の桁間の下面底版に設置し、コンクリート打設後そのまま存置する。このとき PP-DFRCC パネルは、現場における配筋の作業足場ならびにコンクリート型枠部材として機能する。このとき、PP-DFRCC パネルの有する優れた靱性により、作業足場ならびにコンクリート型枠部材としての強度と安全性を確保出来る。



図 3.6 橋梁のコンクリート床版の下面底版に適用される PP-DFRCC パネル

(4) HPFRCC や DFRCC の柱・梁・壁・制振部材などの高応力が働く建築部材への適用

建築物において比較的高い応力が作用する短スパン梁や下層階の柱など、せん断力や軸力負担の厳しい部材のコンクリートの代わりに HPFRCC や DFRCC を使用することにより、部材の脆性的な破壊を防止する方法が提案されている。また、曲げ強度、せん断強度、および変形能の推定方法が提案されている。

また、建築物の長寿命化の観点や兵庫県南部地震の経験から、建築物が耐用年限中に遭遇する大地震などに対しても損傷・劣化を適切に抑制・防止し、地震後も容易な修復により（出来れば修復無しで）建築物の長年にわたる継続使用を保証する技術の開発が求められている。

このような要求に対して、構造物全体の応答変位を低減させ各建物構成部材の損傷を低減させる応答制御要素として、図 3.7 および図 3.8 に示すような HPFRCC を用いた短スパンの柱部材が提案されている。これは、高い剛性と強度および靱性能を兼ね備えた構造要素であり、小さな変形より高い応力を負担し効率的に応答制御を行うことができるため、鋼構造のほか鋼構造に比べて比較的剛性の大きな RC 構造物の応答制御に適したものである。しかも、要素の剛性や耐力は、その形状や配筋および HPFRCC の種類により容易に変えられることと、自由な成形性を有するセメント材料であることから、特性や形状が個々の構造物に最適化された応答制御要素を得ることができる。

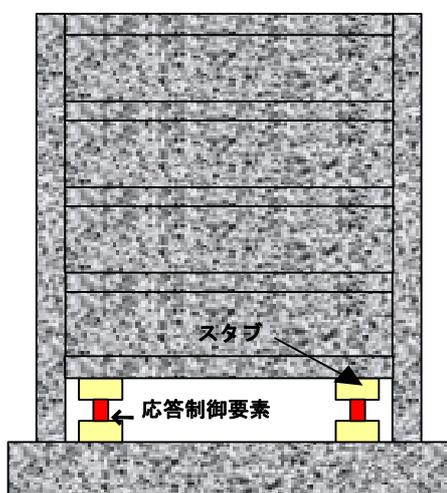


図 3.7 応答制御要素

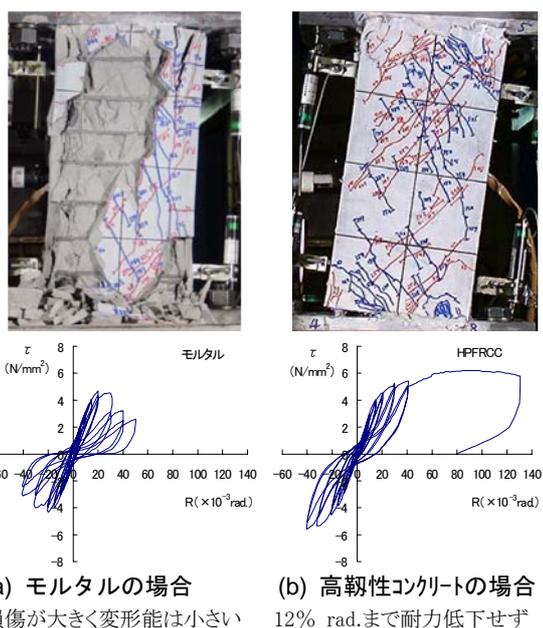


図 3.8 HPFRCC 応答制御要素の
水平加力実験結果

(5) PVA 繊維マットのトンネル覆工コンクリートの補修・補強やスラブの断面修復工への適用

本工法は、既設のコンクリート面に PVA 繊維マットを取り付け、その表面に埋め込み型枠として PVA 繊維補強板を固定し、この状態で繊維マット部にモルタルあるいはセメントペーストを充填し固化させることにより、均一で密実な DFRCC を形成し補強材とする方法である。この補強

材は、引張力が作用し、ひび割れが発生した後も PVA 繊維マットにより引張応力が伝達されるため、ひび割れ発生後も急激な引張応力の低下が見られない。また、圧縮強度も普通コンクリートよりも高く、非常に大きな曲げ耐力を示す。さらに、DFRCC 部のみならず埋め込み型枠についても複数ひび割れが発生するため、個々のひび割れ幅を小さく抑えることが可能である。これらの特徴を利用して、トンネル覆工コンクリートの補修・補強やスラブなどの断面修復工へ適用する方法が提案されている（図 3.9）。



図 3.9 トンネル覆工コンクリートの補修・補強に用いる PVA 繊維マット

(6) 繊維補強 RPC の PC 橋梁への適用

本材料は、 $200\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の超高強度を有する上に高張力鋼繊維が配合されているため、鉄筋の配置が不要であり、従来の RC 構造物では実現し得ない非常に薄い部材厚が可能である。また、高い耐久性をも併せ持っている。この材料を用いて、スパン 50m の歩道橋「酒田みらい橋」が、山形県酒田市の市街地に建設されている（図 3.10）。そのメリットは、薄い部材厚が実現可能、大幅な軽量化が可能（従来のコンクリート橋重量の 1/5 程度）、低桁高で長スパンが実現可能、PC 定着部を含み鉄筋は一切使用しないことが可能、ブロックの大型化により製造・架設の効率化が可能などである。



図 3.10 繊維補強 RPC を用いた PC 橋梁（酒田みらい橋）

3.1.5 高靱性セメント複合材料の特長を活かした部材性能向上の可能性とそのメカニズム

DFRCC や HPCRCC の利用による構造性能の向上は、基本的にひび割れ間で力が伝達されることによる次の効果により得られる。

- a) 曲げ・せん断・付着ひび割れや圧縮に起因する内部の微細ひび割れにおける、ひび割れ発生 の遅延（強度の向上）やひび割れ開口変位の低減

さらにこの効果は、下記のようなメカニズムにより構造部材の性能の向上につながると考えられる。

- b) ひび割れ間での力の伝達による、ひび割れたコンクリート片の剥落の防止
- c) 曲げやせん断ひび割れの開口変位の低減による鉄筋腐食の抑制
- d) 曲げやせん断ひび割れの開口変位の低減による骨材のかみ合い機構の向上（ひび割れ幅の拡大に伴うせん断剛性低下の抑制）と、それによる部材せん断強度の向上
- e) 付着ひび割れの開口変位の低減による鉄筋とコンクリート間の応力伝達性能の劣化（付着劣化）の抑制と、それによる定着強度や部材の付着割裂耐力の向上、ならびに部材変形能の向上
- f) 圧縮時にコンクリート内部に発生する微細ひび割れに起因する脆性分離破壊の抑制による圧縮靱性の向上（横補強筋によるコンクリートの横拘束効果と同様な現象）や、ひび割れコンクリートの圧縮強度劣化特性の改善

すなわち、a) に起因する b) ～f) の特性により、部材の脆性的な破壊性状の緩和や、破壊耐力の向上、ひび割れ幅の減少による耐久性の向上などが期待できる。

また、繊維を用いることの効果は、横補強筋の働きを助けることにより得られることも考えられる。RC 部材では、横補強筋の降伏がいろいろなタイプの破壊（せん断破壊、付着割裂破壊、圧縮破壊）を引き起こす原因となる場合が多いが、繊維が引張力を負担することにより横補強筋のひずみは繊維のない場合よりも小さくなるためその降伏も遅れ、結果として部材の脆性破壊の発生を遅らせることが期待できる。例えば、曲げ降伏する RC 柱部材では、主筋降伏後も部材の斜め圧縮力によりコンクリートの横方向への膨張が生じるため、部材降伏以降はせん断力が増えな

いにも関わらず、横補強筋のひずみが増える。このような横補強筋によるコンクリートの拘束効果は横補強筋が弾性範囲であれば大きいですが、降伏すると横方向への膨張を押さえる補強筋の剛性が小さくなるためほとんど期待できない。そのため、部材が降伏するときの横補強筋のひずみを小さくできれば、その後のコンクリートの拘束に対する余裕ができ、結果として部材の靱性能が向上する。

性能設計においては安全性、修復性、使用性、耐久性といった基本的な各要求性能ごとに、高靱性セメント複合材料を適用する目的と利点を明確にする必要がある。例えば以下のようなことが考えられる。

- i) 安全性の評価では、人命に直接危険を及ぼすような破壊を適切に防止することが求められるため、安全性能の向上にはDFRCCの利用による前述のような部材耐力や変形能の向上が有効である。
- ii) 修復性評価では、修復コストの低減のために部材の損傷を許容範囲内に抑制することが求められる。修復は部材が当初保有していた安全性、使用性、耐久性などが低下した場合に必要となるものであるため、どれくらいの損傷でどの性能がどのくらい低下するのかを把握する必要がある。さらにその上で、修復の容易性を勘案して許容される損傷の程度を設定する必要がある。一般に、安全性の低下は、構造物や部材の耐力や変形能、あるいはエネルギー吸収能の低下に起因するため、DFRCCの利用により横補強筋の降伏を遅らせるといった損傷の低減効果が期待できる。また、使用性や耐久性の低下は、ある外乱が作用した後の残留変形や残留ひび割れの増大に起因するため、DFRCCの利用によるひび割れ幅の抑制やそれに伴う変形の抑制が有効である。
- iii) 使用性や耐久性の評価では、構造物に起因する機能障害や感覚障害の排除が求められるため、DFRCCの利用による乾燥収縮ひび割れや曲げひび割れなどの幅の抑制が有効である。

【参考文献】

- 1) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会：高靱性セメント複合材料を知る・作る・使う，日本コンクリート工学協会，2002.1
- 2) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書（Ⅱ），日本コンクリート工学協会，2004.5
- 3) Naaman, A. E. and Reinhardt, H. W. : Characterization of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites – HPFRCC, High Performance Fiber Reinforced Cement Composites 2 (HPFRCC2), pp. 1-23, 1996
- 4) Li, V. C.: From Micromechanics to Structural Engineering, The Design of Cementitious Composites for Civil Engineering Applications, J. Struct. Mech. Earthquake Eng., Japan Society of Civil Engineers, Vol.10, No.2, pp. 37-48, 1993. 7
- 5) Reinhardt, H. W. and Fritz, C. : Optimization of SIFCON Mix, Fibre Reinforced Cements and Concretes: Recent Developments, pp. 11-20, 1989
- 6) 鵜澤正美・山田一夫：RPCを用いた超高強度・高じん性コンクリートの開発動向，コンクリート工学，Vol. 39, No. 2, pp. 53-56, 2001

3.2 適用範囲

本評価基準は、高靱性セメント複合材料を建築物に使用する際に、要求される性能を担保するための評価にあたって、留意すべき事項の骨子をまとめたものである。

【解説】

本評価基準は、材料特性と品質の確保、構造安全性の確保、環境安全性の確保、品質管理および検査について、評価の原則を基準としてまとめるとともに、解説において現時点で利用できる評価方法の例を取りまとめたものである。ただし、高靱性セメント複合材料の今後の発展性を考慮し、特定の使用条件に限定せず、極力、適用範囲の広いものとなるよう意図している。従って、実際に建築物に高靱性セメント複合材料を使用する場合、使用条件に応じて、要求される性能とこれを担保するために必要な評価項目を本評価基準に照らして適切に設定する必要がある。

本評価基準は、高靱性セメント複合材料を受入れ可能とするための建築基準体系の検討の際に、具体的事例として活用されるほか、当面の対応として現行の建築基準法に基づく大臣認定の事前性能評価などにおいて利用されることを想定したものである。

3.3 材料特性と品質の確保

3.3.1 材料特性

高靱性セメント複合材料の特性は、その使用目的に応じて必要な特性が適切に定められ、それらが適切な試験もしくは仕様により確認されなければならない。

【解説】

高靱性セメント複合材料の特性（力学特性、ひび割れ特性、耐久性など）を適切に利用した適用方法を見だし、それを実構造物として供するためには、材料としての高靱性セメント複合材料の特性を適切に評価する必要がある。高靱性セメント複合材料では圧縮性状、引張性状、変形能力、ひび割れ特性など、多様な性能が期待されるはずである。また、これらの性能は互いに強い関連を持ちながらも必ずしも同時に要求されるわけではなく、その適用方法によって変化するものであると考えられる。現在、高靱性セメント複合材料に関する種々の適用のアイデアが考えられており、必要とされる材料特性別に見た場合の代表的な適用方法を、表 3.2 に示す。

高靱性セメント複合材料に要求される材料特性が変化すれば、評価すべき項目も変わる。また、特性の評価方法も適用方法に見合った方法とすべきである。さらにこれらの材料特性は、適用方法に見合った適切な試験や、もしくは使用材料、調合、製造・施工などの仕様により確認される必要がある。

表 3.2 高靱性セメント複合材料の適用方法と必要な材料特性の例

適用方法	利用方法	必要な材料特性
表面保護	外壁，床，屋根など	ひび割れ幅，耐久性など
高応力部材 (強度期待)	境界梁，耐力壁，降伏柱など	圧縮強度，せん断強度，引張強度，耐火性能など
高応力部材 (損傷制御)	境界梁，耐力壁，降伏柱など	引張強度，変形能，ひび割れ幅，耐火性能など
制振部材	制振ブレース，ピロティ柱など	引張強度，変形能など

(1) 力学特性

高靱性セメント複合材料の力学特性は、その使用目的に応じて必要な項目が適切に定められ、適切な試験もしくは仕様により確認されなければならない。高靱性セメント複合材料の力学特性としては、以下の項目があげられる。

- (1) 圧縮強度
- (2) 引張強度
- (3) ヤング係数
- (4) ポアソン比
- (5) 応力-ひずみ曲線
- (6) 終局ひずみ

- | | |
|------|------------|
| (7) | 二軸応力下の強度 |
| (8) | クリープ |
| (9) | 疲労強度 |
| (10) | 補強筋との付着・定着 |
| (11) | その他 |

【解説】

高靱性セメント複合材料の力学特性の評価に関しても、その適用方法によって必要な材料特性が変化すれば、特性の評価方法も変わるべきであり、また、試験方法自体も特性評価方法に見合った試験法であるべきである。適用方法に必要とされる力学特性は、適切な試験もしくは使用材料、調合、製造・施工などの仕様により確認される必要がある。

以下に、高靱性セメント複合材料の力学特性の評価において、必要項目として考えられる事項を列記し、解説する。具体的には、これらの項目から適用方法に必要とされる幾つかの項目が選択され、その特性について適切な方法で評価される必要がある。

1) 圧縮強度

【定義】

一軸圧縮力を受けたときに耐え得る最大圧縮応力度。設計基準強度（圧縮）の考え方は、コンクリートの場合に準ずる。

【解説】

高靱性セメント複合材料の圧縮強度を試験により確認する場合、圧縮試験はプレーンコンクリートの試験方法を準用して JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って試験を行うことが望ましい。この試験は、直径 100 mm、高さ 200 mm の円柱供試体により行うことを標準とする。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」
- 2) 繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準 JCI-SF5, 繊維補強コンクリートの圧縮強度及び圧縮タフネス試験方法, 日本コンクリート工学協会, pp.19-23, 1984.2

2) 引張強度

【定義】

一軸引張力を受けたときに耐え得る最大引張応力度。解説に記する曲げ試験の方法により換算される値もある。また、初期ひび割れ強度（引張ひずみ軟化型の高靱性セメント複合材料の場合は、最大引張応力度と同値）を設計用の引張強度とする場合もある。

【解説】

高靱性セメント複合材料が一軸引張力を受ける場合、初期の挙動は線形弾性の仮定が成り立つが、荷重が大きくなると初期ひび割れが発生して、線形弾性の仮定が成り立たなくなる。そのため、引張応力-ひずみ関係において、線形弾性の仮定が成り立たなくなる際の応力を初期ひび割

れ強度，最大引張応力を引張強度と定める。

コンクリートに関してもっとも一般的に行われる割裂引張強度試験は，円柱供試体を横にして上下方向から圧縮力を作用させ，供試体を割裂破壊させて弾性理論による引張応力の分布をもとに引張強度を算出する試験方法である。実際には引張応力の3倍の圧縮応力が作用する二軸応力下の試験ではあるが，コンクリートの場合では割裂試験により求めた引張強度は直接引張試験により得られた引張強度とほぼ一致するとされている。

しかし，高靱性セメント複合材料を対象とした場合，コンクリートと異なり初期ひび割れ発生以降も供試体が分断されないため，明確な荷重低下を伴わず圧縮場が卓越した状態となり，供試体は最終的に載荷端面で圧縮破壊する。そのため，供試体端面に変位計を設置して変形を計測し，荷重－変形関係から引張強度点を特定するなどの工夫もされている¹⁾が，この方法では初期ひび割れ強度のみしか求まらず，それ以降の性状を得ることはできない。

高靱性セメント複合材料の引張強度は，本来直接引張試験により求められることが望ましい。直接引張試験を行う場合には，供試体への加力方法に工夫を要する。直接引張試験用供試体の端部の形状と加力方法の例を図3.11に示す²⁾。着目要因は，主として力の伝達機構（応力集中）と境界条件（モーメントの伝達）である。

供試体を一様な断面の形状にすると端部もしくは掴み部で破壊が生じやすく，また，破壊部位が特定されないため，変形（ひび割れ幅）を得るための測定箇所の設定が難しい。供試体端部に拡大部を設ける場合には，変断面位置で応力集中が生じ，その箇所に破壊が集中する。供試体端部に定着材を埋め込む場合も同様で，剛性が急変する箇所で破壊しやすく，定着材の先端を鋭角に加工するなどの工夫がなされる。

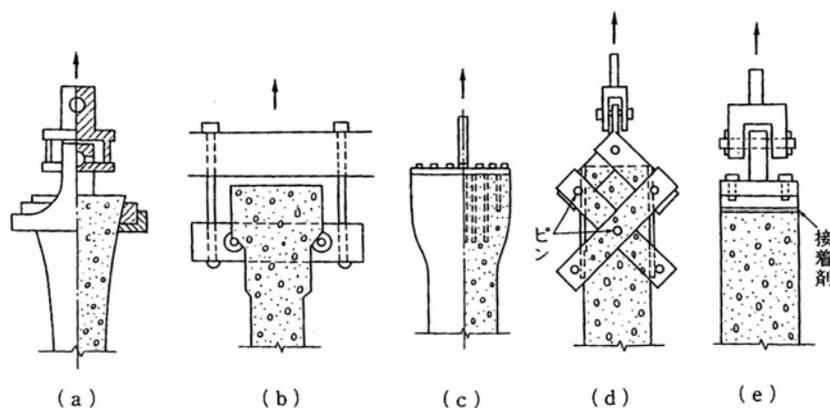


図 3.11 直接引張試験用供試体の端部形状の例

境界条件に関しては，両端ピン，両端固定およびピン－固定の支持方法が考えられる。理想的には境界条件に関係なく純引張状態が考えられるが，実際には供試体の精度，材料の不均一性，加力装置の剛性，加力装置への設置状況などによって，多少なりとも供試体には曲げモーメントが作用する。端部支持条件を両端ピンとすることで初期不整を少なくできるが，通常ひび割れ発生は供試体の一側面から起こり，断面内の剛性の不均一性から2次的な曲げモーメントが作用することになる。曲げモーメントが作用すると供試体の断面内に一様な引張応力は生じず，大きな試験誤差の原因となるため，曲げモーメントが作用しないよう試験を行う必要がある。

高靱性セメント複合材料における直接引張試験方法として，平板状のダンベル型供試体を使用

する方法³⁾，矩形のくびれ型供試体を使用する方法⁴⁾，円形のくびれ型供試体を使用する方法⁵⁾，シリンダー供試体を使用する方法⁶⁾などが行われている（図 3.12）。前三者の支持方法はピン固定であり，後一者は両端固定である。ダンベル型平板を使用した引張試験は，供試体端部を直接掴む方法であるため載荷準備が容易であるが，薄肉であるため繊維の配向の影響を考慮して試験方法を採択する必要がある。矩形くびれ型，円形くびれ型，シリンダー型では供試体断面がダンベル型平板に比べて大きいいため，比較的長い繊維を使用した場合でも採択することができる。シリンダー型の引張試験では，円柱供試体を使用しており境界条件が両端固定であるため圧縮－引張繰り返し試験も行える試験方法だが，載荷盤の遊びによる回転に注意する必要がある。いずれの試験方法においても，供試体の精度，材料の不均一性，加力装置の剛性，加力装置への設置状況などを考慮して，適切な方法にて行う必要がある。また，繊維長と供試体断面寸法の比率が引張性状に与える影響が大きいことが指摘されているため，適切な供試体寸法にて実験を行う必要がある。

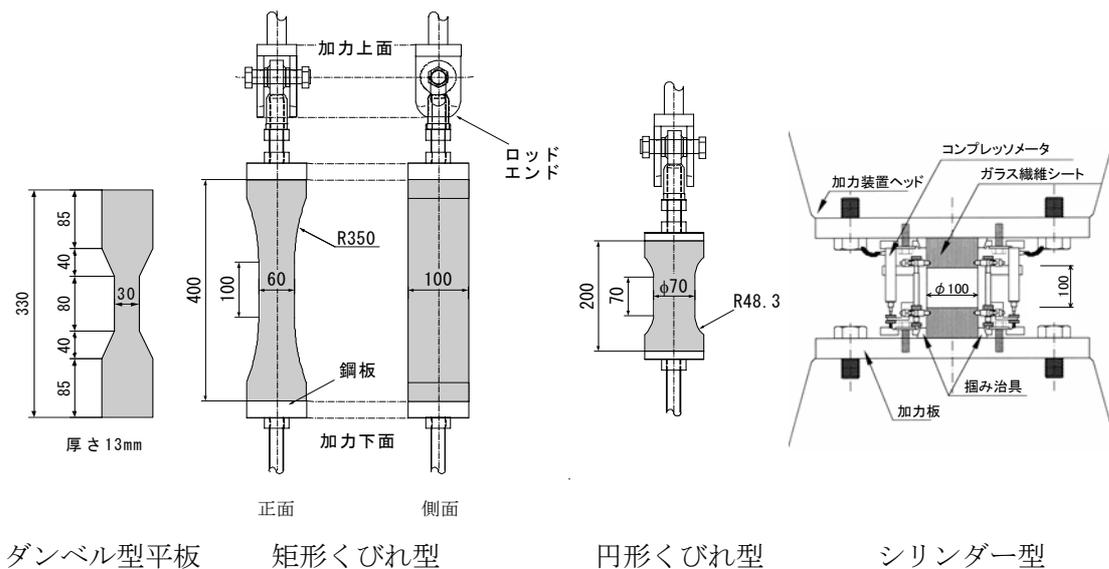


図 3.12 引張試験方法の例

また、JCI-S-003-2005「繊維補強セメント複合材料の曲げモーメントー曲率曲線試験方法」⁷⁾に従って得られる最大荷重時の曲げモーメントおよび曲率を用いて、引張強度および引張終局ひずみ（引張終局ひずみについては 6) に記載する）を算定することができる。この試験方法は、図 3.13 に示すように、高さおよび幅が 100 mm の正方形断面の角柱体を使用した 3 等分点載荷であり、曲率を計測するために変位計の回転を拘束しないように曲率計測機器を取り付けなければならない。

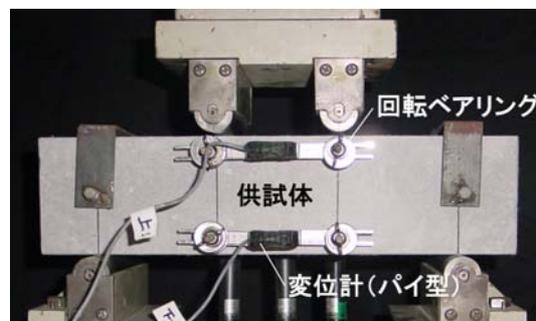


図 3.13 曲げモーメントー曲率曲線試験方法

引張ひずみ硬化型（初期ひび割れ以降，引張応力が増大）の材料では，この試験方法により引張強度および引張終局ひずみは一軸引張における最大点での引張応力および引張ひずみに概ね対応する。しかしながら，引張ひずみ軟化型（初期ひび割れ以降，引張応力が減少）の材料では，引張軟化の程度（負勾配の大きさ）によって引張強度と引張終局ひずみが変わり，この方法で仮定している曲げモーメント下での応力分布と実際の応力分布は大きく異なる点に注意が必要がある（図 3.14）。

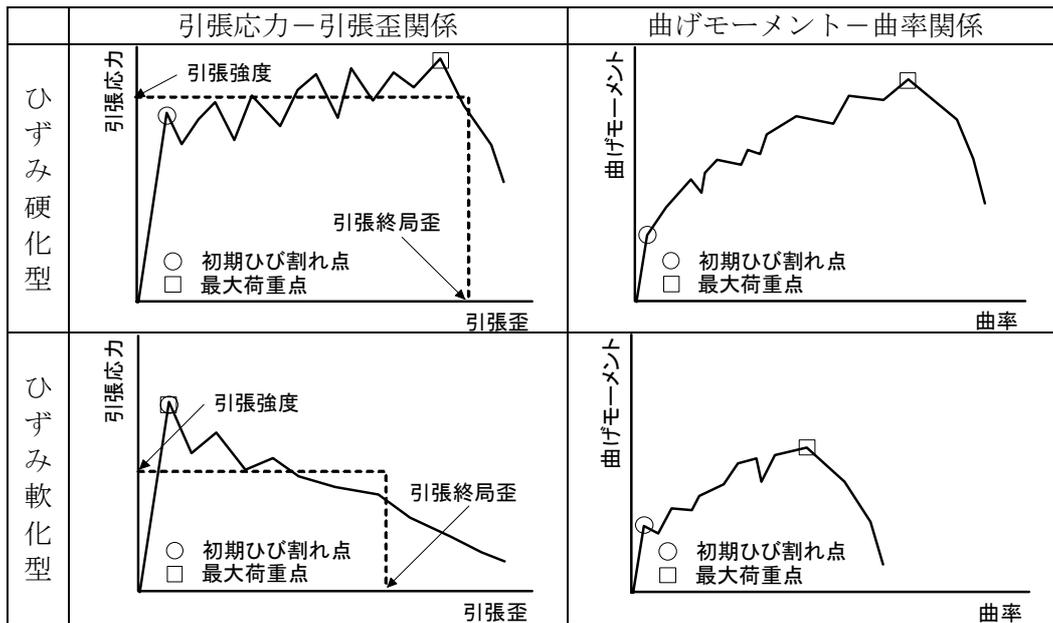


図 3.14 引張強度と引張終局ひずみのイメージ

直接引張試験で得られた引張強度（試験体は図 3.12 の矩形くびれ型を使用）と、曲げ試験により得られた最大曲げモーメントを用いて算出した引張強度を比較した例⁸⁾を、図 3.15 に示す。比較値は材料により異なるものと考えられるが、この例では、曲げ試験により得られた引張強度の 0.7 倍が直接引張試験による引張強度の下限値を与えるものとしている。

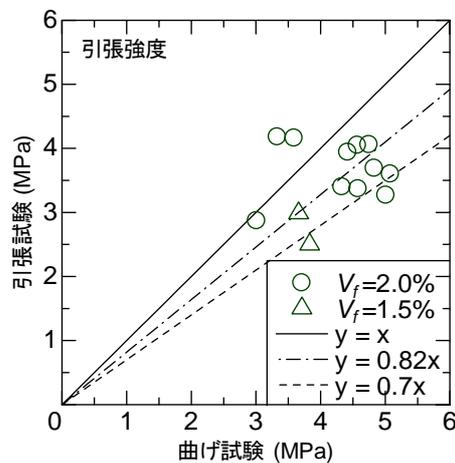


図 3.15 引張試験と曲げ試験による引張強度の比較例（PVA-ECC）

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 古田昌弘, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: 高靱性セメント系複合材料の一軸引張モデル評価法 (その 1: 初期ひび割れ点の簡易実験評価法), 日本建築学会構造系論文集, 第 568 号, pp. 115-121, 2003.6
- 2) 笠井芳夫, 池田尚治編著: コンクリートの試験方法, 下巻, 技術書院, 1993.6
- 3) 閑田徹志, Li, V.C.: 疑似ひずみ硬化性引張挙動を有する短繊維補強セメント複合材料の設

- 計ガイドライン—その1 マイクロメカニクス理論に基づく初期ひび割れ強度の推定法, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.13-21, 2001.1
- 4) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: HPFRCC の一軸引張および曲げ性状に及ぼす打設方向の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.281-286, 2003.7
 - 5) 古田昌弘, 金久保利之: セメント系材料の材料試験に用いるくびれ型供試体の提案, 日本建築学会大会学術梗概集, A 材料施工, pp.101-102, 2001.9
 - 6) 佐藤幸博, 福山 洋, 諏訪田晴彦: 高靱性セメント系複合材料の一軸引張—圧縮繰り返し試験法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.7-12, 2001.1
 - 7) JCI-S-003-2005 「繊維補強セメント複合材料の曲げモーメント—曲率曲線試験方法」, http://www.jci-web.jp/jci_standard/img/JCI-S-003-2005.pdf
 - 8) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: 曲げ試験による PVA-ECC の引張性能評価, 日本建築学会構造系論文集, 2006.6
 - 9) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書 (II), 日本コンクリート工学協会, pp.59-85, 2004.5
 - 10) コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, pp.29-38, 2001.5
 - 11) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
 - 12) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

3) ヤング係数

【定義】

弾性範囲における応力度とひずみ度の関係を表す係数。

【解説】

高靱性セメント複合材料のヤング係数は, JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」によって求めてよい。また, 弾性範囲では圧縮と引張のヤング係数は同等と考えてよい。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」
- 2) 古田昌弘, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: 高靱性セメント系複合材料の一軸引張モデル評価法 (その 1: 初期ひび割れ点の簡易実験評価法), 日本建築学会構造系論文集, 第 568 号, pp.115-121, 2003.6

4) ポアソン比

【定義】

縦ひずみ度と横ひずみ度との比。

【試験方法】

JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」など。

【解説】

高靱性セメント複合材料のポアソン比は、実験あるいは既往のデータに基づいて定めるものとする。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」
- 2) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，土木学会，コンクリート技術シリーズ No.64，2005.7
- 3) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），土木学会，コンクリートライブラリー113，2004.9

5) 応力-ひずみ曲線

【定義】

圧縮または引張力作用下における応力度を縦軸に，ひずみ度を横軸にとって描いた曲線。

【解説】

高靱性セメント複合材料の場合，補強用繊維の混入により圧縮および引張における初期ひび割れ以降の変形性能が改善されることが報告されている。変形性能は，補強用繊維の種類・形状・混入率などの影響を受けることから，応力-ひずみ曲線を実際の挙動に基づいて適切に定める必要がある。

高靱性セメント複合材料の圧縮応力-ひずみ曲線を試験により求める場合は，ひずみゲージやコンプレッソメータなどの変形測定装置を使用して，一軸圧縮応力に伴う一軸圧縮ひずみを測定する必要がある。確立された試験方法としては，JCI-SF「繊維補強コンクリートの試験方法に関する基準」における「繊維補強コンクリートの圧縮強度および圧縮タフネス試験方法」¹⁾がある。載荷制御に関しては，供試体に衝撃を与えないように，一様な速度で荷重を加えるものとする。圧縮強度以前は圧縮応力の増加速度が一定となるように荷重制御にて載荷を行うことが望ましい。圧縮強度以降の軟化特性を実験により測定する場合には，荷重を加える速度の調節を中止して荷重を加え続けるか，変位制御の可能な試験機を用いて，常に一定の変形速度となるように載荷することが望ましい。

高靱性セメント複合材料の引張応力-ひずみ曲線を確認する直接引張試験方法としては，2)で述べた直接引張試験方法において変形測定装置を使用して，引張ひずみを測定する必要がある^{2),3),4)}。直接引張試験では，供試体にできる限り曲げモーメントが作用しないように，供試体の精度，材料の不均一性，加力装置の剛性，加力装置への設置状況などを考慮して，適切な方法にて行う必要がある。載荷制御に関しては，供試体に衝撃を与えないように，一様な速度で載荷を行うものとする。直接引張試験では初期ひび割れ以降の変形性能を精度良く測定するために，変位制御の可能な試験機を用いて，常に一定の変形速度となるように載荷することが望ましい。

また，繰返し応力下の構成則を評価する手段として，円柱供試体やドッグボーン型供試体による引張-圧縮繰返し試験が行われている³⁾。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準 JCI-SF5，繊維補強コンクリートの圧縮強度及び圧縮タフネス試験方法，日本コンクリート工学協会，pp.19-23，1984.2
- 2) 閑田徹志，Li, V. C.：疑似ひずみ硬化性引張挙動を有する短繊維補強セメント複合材料の設

- 計ガイドライン—その1 マイクロメカニクス理論に基づく初期ひび割れ強度の推定法, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.13-21, 2001.1
- 3) 佐藤幸博, 福山 洋, 諏訪田晴彦: 高靱性セメント系複合材料の一軸引張—圧縮繰り返し試験法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.7-12, 2001.1
 - 4) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: HPRFRC の一軸引張および曲げ性状に及ぼす打設方向の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.281-286, 2003.7
 - 5) 古田昌弘, 金久保利之: セメント系材料の材料試験に用いるくびれ型供試体の提案, 日本建築学会大会学術梗概集, A 材料施工, pp.101-102, 2001.9
 - 6) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書 (II), 日本コンクリート工学協会, pp.59-85, 2004.5
 - 7) コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, pp.29-38, 2001.5
 - 8) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
 - 9) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

6) 終局ひずみ

【定義】

圧縮終局ひずみに関しては, コンクリートの場合に準ずる。引張終局ひずみに関しては, 次のような値が用いられている。また, 解説に記する曲げ試験の方法により換算される値もある。

- ・引張強度時の引張ひずみ
- ・引張応力が連続的に減少するようになる時点の引張ひずみ¹⁾
- ・引張応力—ひずみ曲線において, 引張強度時以降, 初期ひび割れ強度まで引張応力が低下した時点のひずみ²⁾
- ・引張応力—ひずみ曲線において, 引張強度時以降, 引張強度の 80%まで引張応力が低下した時点のひずみ
- ・引張応力—ひずみ曲線において, 引張強度時以降, 引張強度の 50%まで引張応力が低下した時点のひずみ³⁾

【解説】

高靱性セメント複合材料の場合, 補強用繊維の混入により, 圧縮および引張における初期ひび割れ以降の変形性能が改善されることが報告されている。変形性能は, 補強用繊維の種類・形状・混入率などの影響を受けることから, 高靱性セメント複合材料の終局ひずみは 5)で得られた応力—ひずみ曲線の試験結果に基づいて, 設計に応じて適切に定める必要がある。

引張終局ひずみに関しては, JCI-S-003-2005「繊維補強セメント複合材料の曲げモーメント—曲率曲線試験方法」⁴⁾に従って得られる最大荷重時の曲げモーメントおよび曲率を用いて, 引張強度および引張終局ひずみを算定することができる。直接引張試験で得られた引張終局ひずみ(試験体は図 3.12 の矩形くびれ型を使用)と, 曲げ試験により得られた最大曲げモーメントを用いて算出した引張終局ひずみを比較した例⁵⁾を, 図 3.16 に示す。比較値は材料により異なるものと考

えられるが、この例では、曲げ試験により得られた引張終局ひずみの 0.7 倍が直接引張試験による引張終局ひずみの下限値を与えるものとしている。なお、この場合の直接引張試験による引張終局ひずみは、「引張応力が連続的に減少するようになる時点の引張ひずみ」と定義している。

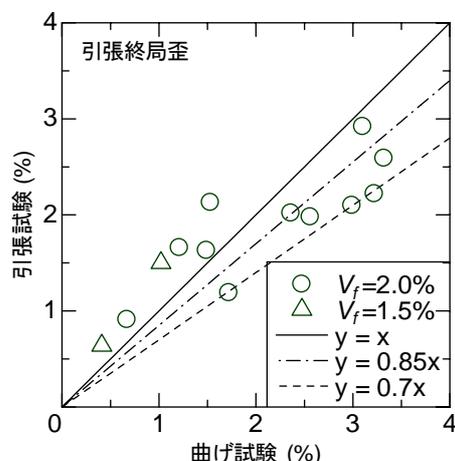


図 3.16 引張試験と曲げ試験による引張終局ひずみの比較例 (PVA-ECC)

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 閑田徹志, Li, V.C.: 疑似ひずみ硬化性引張挙動を有する短繊維補強セメント複合材料の設計ガイドライン—その1—マイクロメカニクス理論に基づく初期ひび割れ強度の推定法, 日本建築学会構造系論文集, No.539, pp.13-21, 2001.1
- 2) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
- 3) 古田昌弘, 金久保利之, 松崎育弘, 閑田徹志: HPRCC の動的引張特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.225-230, 2002.6
- 4) JCI-S-003-2005 「繊維補強セメント複合材料の曲げモーメントー曲率曲線試験方法」, http://www.jci-web.jp/jci_standard/img/JCI-S-003-2005.pdf
- 5) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: 曲げ試験による PVA-ECC の引張性能評価, 日本建築学会構造系論文集, 2006.6
- 6) 繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準 JCI-SF5, 繊維補強コンクリートの圧縮強度及び圧縮タフネス試験方法, 日本コンクリート工学協会, pp.19-23, 1984.2
- 7) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井 覚: HPRCC の一軸引張および曲げ性状に及ぼす打設方向の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.281-286, 2003.7
- 8) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書 (II), 日本コンクリート工学協会, pp.59-85, 2004.5
- 9) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

7) 二軸応力下の強度

【定義】

二軸組合せ応力下における引張, 圧縮, またはせん断強度。

【解説】

主応力の角度が途中変化しない場合、引張応力によって生じるひび割れの存在により、コンクリートの場合、圧縮強度は一般的に低下するものとされている。高靱性セメント複合材料の場合の実験結果によれば、その低下の程度はコンクリートの場合と同程度であるとの報告がある¹⁾。

主応力の角度が途中変化する場合、高靱性セメント複合材料のひび割れ面でのせん断応力伝達性能は、その材料の引張強度と同等であるとの報告がある^{2),3),4)}。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 諏訪田晴彦, 福山 洋: 高靱性セメント複合材料の圧縮特性に関する基礎実験 (その 2) 平板の二軸載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造IV, pp. 421-422, 2003.9
- 2) Kabele, P., "New Developments in Analytical Modeling of Mechanical Behavior of ECC", Journal of Advanced Concrete Technology, Japan Concrete Institute, Vol. 1, No. 3, pp. 253-264, 2003.11
- 3) Kabele, P., "Fracture Behavior of Shear-Critical Reinforced HPRCC Members", International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites in Structural Applications, Preliminary Workshop Proceedings CD-ROM, 2005.5
- 4) 清水克将, 金久保利之: PVA-ECC の一軸引張挙動とひび割れ面におけるせん断挙動の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1 材料施工, pp. 65-66, 2005.9
- 5) 金久保利之, 諏訪田晴彦, 福山 洋: 高靱性セメント複合材料を用いたパネルの純せん断性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造IV, pp. 425-426, 2003.9

8) クリープ

【定義】

持続荷重の作用下でひずみが荷重時間とともに増加する現象。

【解説】

高靱性セメント複合材料のクリープひずみは、作用する応力に比例するとして一般に式(3.1)により求めてよいものとする。

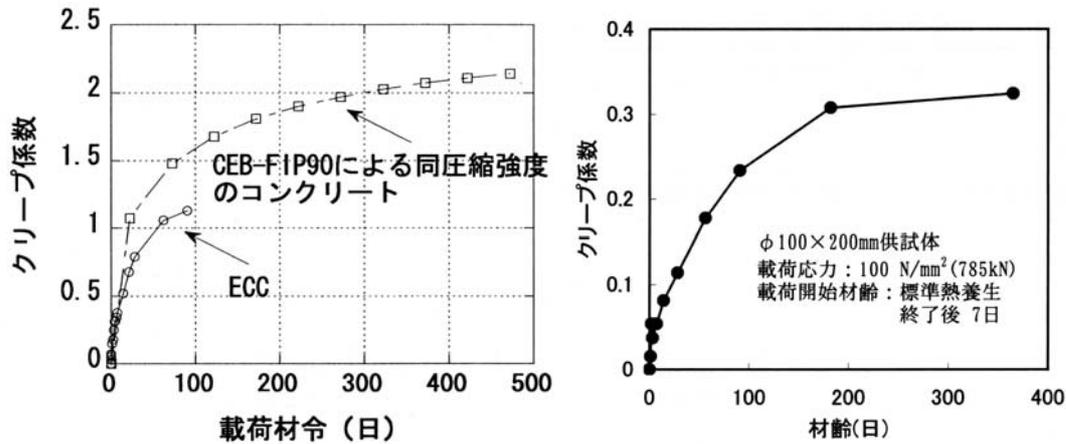
$$\varepsilon'_{cc} = \varphi \sigma'_{cp} / E_{ct} \quad (3.1)$$

ここに、 ε'_{cc} : 高靱性セメント複合材料のクリープひずみ
 φ : クリープ係数
 σ'_{cp} : 作用する応力
 E_{ct} : 荷重材齢時のヤング係数

高靱性セメント複合材料のクリープ係数は、マトリックスの配合、材料の性質、断面の形状寸法、養生条件、周囲の温度および湿度、応力作用時の材齢などの影響を受ける。従って、クリープ係数の値は、試験結果、既往の実験あるいは実際の構造物についての測定結果などを参考に定める必要がある。コンクリートにおけるクリープ試験としては、建材試験センターにより提案されている方法¹⁾がある。

図 3.17 に高靱性セメント複合材料の一種である複数微細ひび割れ型繊維補強モルタル²⁾と超高強度繊維補強コンクリート³⁾のクリープ性状を例示する。複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルのクリープ性状は、直径 100×高さ 200 mm の円柱供試体について、材齢 28 日で圧縮強度の 1/4

に相当する荷重を載荷した場合のもので、環境条件は 20℃、60%RH である。また、超高強度繊維補強コンクリートのクリープ性状は、直径 100×高さ 200 mm の円柱供試体について、標準熱養生終了後において載荷応力 100 N/mm² を作用した場合のものである。



微細ひび割れ型繊維補強モルタル²⁾

超高強度繊維補強コンクリート³⁾

図 3.17 高靱性セメント複合材料のクリープ性状の一例

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JSTM C 7102-1999 「コンクリートの圧縮クリープ試験方法」
- 2) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
- 3) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

9) 疲労強度

【定義】

ある繰返し回数において破壊したときの応力度。

【解説】

高靱性セメント複合材料の疲労強度は、構造物の露出条件などを考慮して行った試験に基づいて求めるものとする。コンクリートでは繰返し回数が 1000 万回の範囲内では明確な疲労限が確認されていない。従って、通常のコンクリートの疲労強度は、予め定めた繰返し回数（一般的には 200 万回）における強度で表される。コンクリートの疲労試験としては、建材試験センターにより提案されている方法¹⁾がある。

複数微細ひび割れ型繊維補強モルタル²⁾ および超高強度繊維補強コンクリート³⁾ では、圧縮および曲げ圧縮の疲労強度 f_{rd} は、一般に、疲労寿命 N と永久荷重による応力 σ_p の関数として、式(3.2)により求めてよいとしている。

$$f_{rd} = 0.85 f_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right) \cdot \left(1 - \frac{\log N}{17}\right) \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3.2)$$

ただし、 $N \leq 2 \times 106$
ここに、 f_d : 圧縮強度

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JSTM C 7104-1999 「繰返し圧縮応力によるコンクリートの疲労試験方法」
- 2) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用, 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.64, 2005.7
- 3) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 土木学会, コンクリートライブラリー113, 2004.9

10) 補強筋との付着・定着

【定義】

補強筋と高靱性セメント複合材料の表面間で伝達されるせん断応力, もしくは支圧版や補強筋曲げ加工部で伝達される支圧応力。

【解説】

高靱性セメント複合材料と鉄筋の付着は, 繊維の混入による補強効果により割裂ひび割れの拡大が抑制されるため, コンクリートと同程度以上の性能を有するとの報告がある^{1),2)}。その場合の付着の破壊形態は, 鉄筋の抜け出しによる。高靱性セメント複合材料の付着試験としては, 古田らによる方法³⁾がある。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) Kim, V.A., 勝亦一成, 前田匡樹, 永井 覚, 閑田徹志: 高靱性セメント系複合材料を用いた梁部材の主筋の付着割裂性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造IV, pp.47-50, 2002.8
- 2) 笠原美幸, 松崎育弘, 中野克彦: 高靱性セメント系複合材料を用いた梁, 柱部材の構造性能に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 553 号, pp. 89-95, 2002.3
- 3) 古田昌弘, 金久保利之: 高靱性セメント系複合材料の局所付着割裂性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造IV, pp. 43-44, 2002.8

11) その他

【解説】

その他の力学特性値としてタフネス, 破壊エネルギー, 支圧強度などがあげられる。タフネス, 破壊エネルギーは 1 つの破壊面に基づく評価指標であり, 複数ひび割れが発生する材料および使用法においては, 一般的には適用できない。

破壊エネルギーとは, 1 つのひび割れにおける開口幅の拡大に伴う引張応力の変化を表した引張軟化曲線の, 曲線下の面積で評価される。試験により引張軟化曲線を直接求めるには, 2)に示すような直接引張供試体に特定のひび割れを発生させるために切り欠きを設ける方法が採用されるのが一般的である。この場合も供試体にできる限り曲げモーメントが作用しないように, 供試体の精度, 材料の不均一性, 加力装置の剛性, 加力装置への設置状況などを考慮して試験を行う必要がある。日本コンクリート工学協会では, 直接引張試験を標準試験法として採用するには難

があり、それぞれ専用の載荷治具や供試体作製のための型枠が必要となることから、既存の試験機や載荷治具でも工夫することによって試験が可能な曲げ試験による評価法¹⁾を提案している。この試験法では、図 3.18 に示すような切欠きを設けた供試体を使用して、図 3.19 に示すような 3 点曲げ試験を行い、荷重-ひび割れ肩口開口変位 **CMOD** (あるいは荷重点変位) 曲線を測定する。**CMOD** によりタフネスおよび破壊エネルギーを評価する場合は、式 (3.3) ~ 式 (3.5) により算出する。算出方法は図 3.20 の通りである。

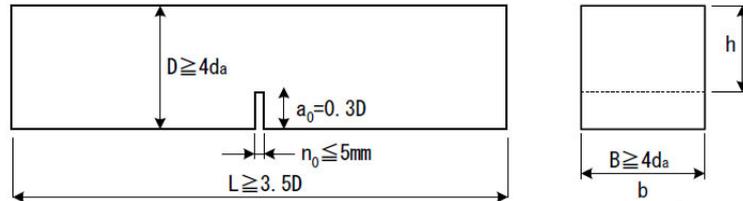


図 3.18 切欠きはり寸法

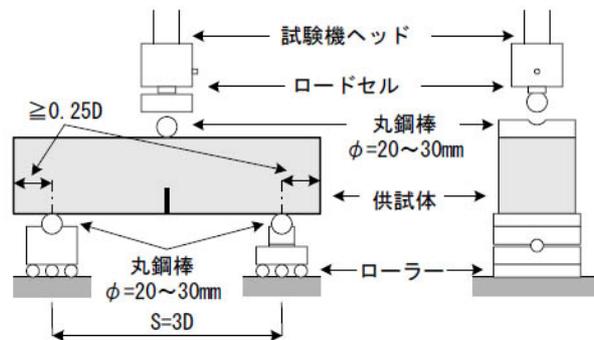


図 3.19 3点曲げ試験装置

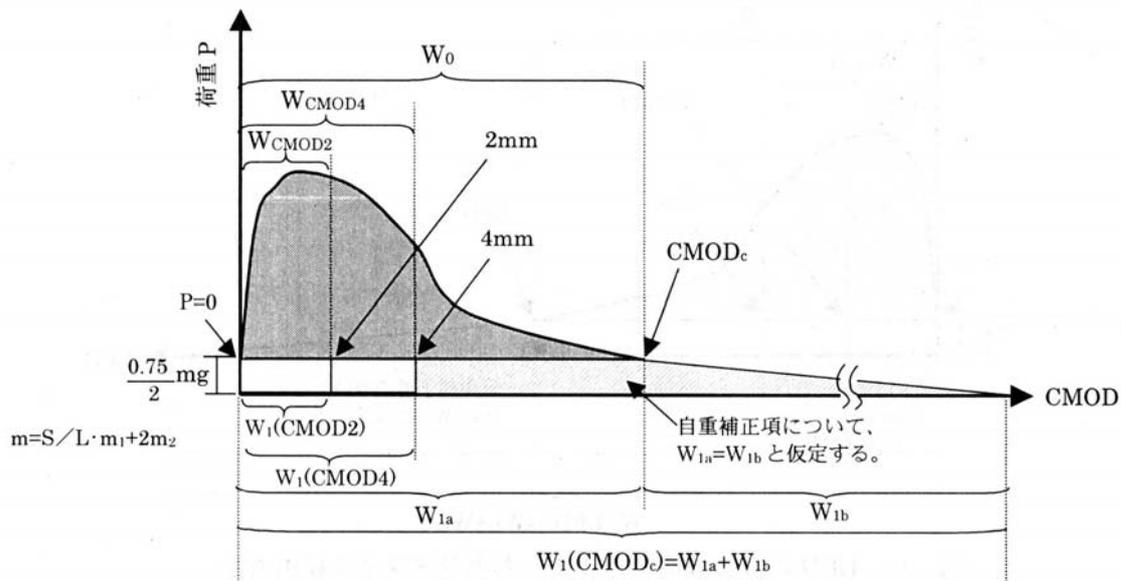


図 3.20 CMOD による破壊エネルギーおよびタフネス算出方法

$$G_F^{CMOD} = \frac{0.75W_0 + W_1}{A_{lig}}, \quad W_1 = 0.75 \left(\frac{S}{L} m_1 + 2m_2 \right) g \cdot CMOD_c \quad (3.3)$$

$$T^{CMOD2} = \frac{0.75W_{CMOD2} + W_1}{A_{lig}}, \quad W_1 = \frac{0.75}{2} \left(\frac{S}{L} m_1 + 2m_2 \right) g \cdot CMOD2 \quad (3.4)$$

$$T^{CMOD4} = \frac{0.75W_{CMOD4} + W_1}{A_{lig}}, \quad W_1 = \frac{0.75}{2} \left(\frac{S}{L} m_1 + 2m_2 \right) g \cdot CMOD4 \quad (3.5)$$

ここに、

- G_F^{CMOD} : 破壊エネルギー (N/mm)
- T^{CMOD2} : CMOD2 までのタフネス (N/mm)
- T^{CMOD4} : CMOD4 までのタフネス(N/mm)
- W_0 : 供試体が破断するまでの荷重-CMOD 曲線下の面積 (N・mm)
- W_{CMOD2} : CMOD2 までの荷重-CMOD 曲線下の面積 (N・mm)
- W_{CMOD4} : CMOD4 までの荷重-CMOD 曲線下の面積 (N・mm)
- W_1 : 供試体の自重および載荷治具がなす仕事 (N・mm)
- A_{lig} : リガメント面積 ($b \times h$) (mm^2)
- m_1 : 供試体の質量 (kg)
- S : 載荷スパン (mm)
- L : 供試体の全長 (mm)
- m_2 : 試験機に取り付けられておらず、供試体に載っている治具の質量 (kg)
- g : 重力加速度 9.807 (m/s^2)
- $CMOD_c$: 破断時のひび割れ開口変位 (mm)
- $CMOD2$: 2 mm
- $CMOD4$: 4 mm

また、荷重-ひび割れ開口変位 CMOD (あるいは荷重点変位) 曲線を使用して逆解析により引張軟化曲線も推定できるとしている。ただし、上記したように切欠きを設けた供試体による試験法は一つの破壊面に基づく破壊エネルギーおよびタフネスの評価であり、最大荷重に達する以前に複数ひび割れが発生する硬化型の材料においては適用できない。

また、日本コンクリート工学協会では、繊維補強コンクリートのエネルギー吸収能を評価する指標として、図 3.21 に示すような 3 等分点荷重による曲げタフネスの試験方法²⁾ を提案している。載荷点または中央変位点たわみを図 3.22 に示す方法で測定し、図 3.23 のようにスパンの 1/150 となるまでの荷重-たわみ曲線下の面積を曲げタフネスとして定義している。

支圧強度に関しては資料が少なく、不明である。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) JCI-S-002-2003 「切欠きはりをを用いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験方法」
- 2) 繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準 JCI-SF4, 繊維補強コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法, 日本コンクリート工学協会, pp.11-17, 1984.2
- 3) コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, 2001.5

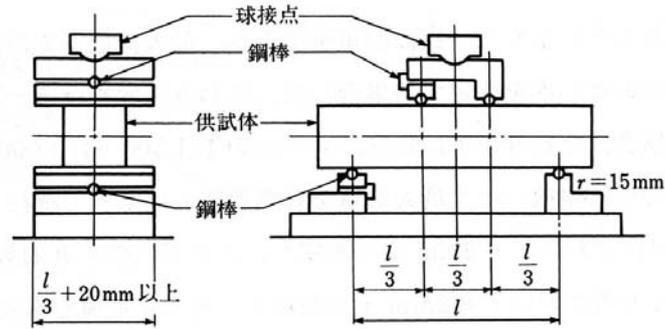


図 3.21 3等分点曲げ試験装置

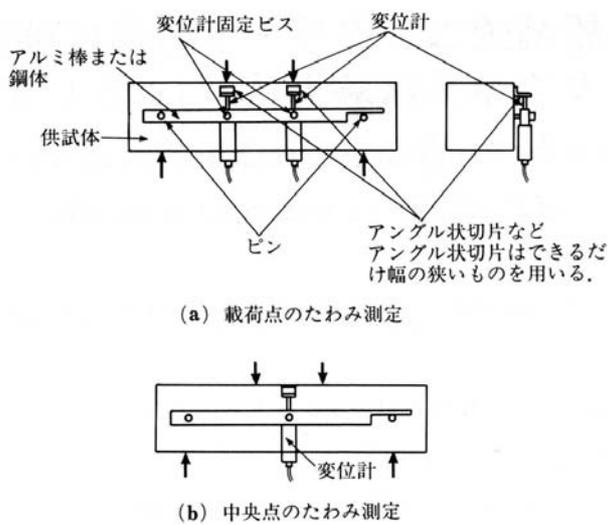


図 3.22 たわみ測定装置

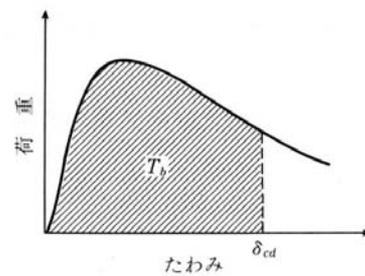


図 3.23 曲げタフネス算出方法

(2) ひび割れ特性

高靱性セメント複合材料のひび割れ幅は、適切な試験あるいは既往のデータにより確認されなければならない。

【定義】

- ・初期ひび割れ (first crack) : 弾性変形後、最初に発生したひび割れ。
- ・複数ひび割れ/マルチプルクラック (multiple crack) / プルーラルクラック (plural crack) : 一軸引張応力下において、初期ひび割れ発生後も複数のひび割れが継続的に形成され、最終的にはほぼ平行なひび割れが間隔を置いて形成されること。複数ひび割れが高密度・微細に形成されると、変形は擬似的に均一な変形場へと近づき、変形はひび割れ開口変位ではなく、ひずみで表現されるようになる。
- ・局所化ひび割れ/ローカライズドクラック (localized crack) : 一軸引張応力下において、変形が均一な変形場 (弾性挙動もしくは複数ひび割れ挙動) から単一のひび割れによる開

口変位へと局所化すること。

【解説】

高靱性セメント複合材料の中には複数ひび割れ型繊維補強モルタル¹⁾のように、引張伸びが生じた場合に複数の微細ひび割れは生じるが、個々のひび割れが機能性を保持する上で有害なレベルまで幅を拡大させないことが特徴となっている材料もある。一方で、局所化ひび割れが早い段階から発生する高靱性セメント複合材料も存在するため、発生するひび割れが、構造物の機能、耐久性および美観など、その使用目的を損なわないように、ひび割れ幅を制限する必要がある。

日本コンクリート工学協会では、補修の要否を判定するためのひび割れ幅の限度を表 3.3 のように示している²⁾。

日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説」³⁾の中では、一般環境下において劣化抵抗性を確保するために、ひび割れ幅の設計値を屋内では 0.2 mm、屋外では 0.3 mm 以下としている。ここで、ひび割れ幅の設計値は、設計上その値以下に制御することを目標とする各ひび割れの最大幅の平均値を指しており、性能を確保する上でのひび割れ幅の許容値を安全係数で除した値を意味する。

表 3.3 補修の要否に関するひび割れ幅の限度

環境 ²⁾ その他の要因 ¹⁾		耐久性からみた場合			防水性からみた場合	
		きびしい	中間	ゆるやか		
区分	(A) 補修を必要とするひび割れ幅 (mm)	大	0.4 以上	0.4 以上	0.6 以上	0.2 以上
		中	0.4 以上	0.6 以上	0.8 以上	0.2 以上
		小	0.6 以上	0.8 以上	1.0 以上	0.2 以上
(B) 補修を必要としないひび割れ幅 (mm)	大	0.1 以下	0.2 以下	0.2 以下	0.05 以下	
	中	0.1 以下	0.2 以下	0.3 以下	0.05 以下	
	小	0.2 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.05 以下	

注：1) その他の要因(大, 中, 小)とは、コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害性の程度を示し、下記の要因の影響を総合して定める。

ひび割れの深さ・パターン、かぶり(厚さ)、コンクリート表面の塗膜の有無、材料・配(調)合、打継ぎなど。

2) 主として鋼材のさびの発生条件からみた環境条件。

また、鉄筋を使用するか否かによってひび割れ幅の設計値の考え方は大きく変化する。鉄筋が存在しなければ、ひび割れから侵入する空気や水分といった劣化因子による耐久性への影響は大幅に軽減されるため、ひび割れ幅の設計値が 0.3 mm 以上に定めることが可能となる。ただし、漏水などを考慮する必要のある場合のひび割れ幅の設計値は、信頼のおける資料に基づいて定めることとする。日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説」³⁾の中では、漏水抵抗性を確保するために、ひび割れ幅の設計値を 0.1 mm 以下としている。

高靱性セメント複合材料のひび割れ幅は、鉄筋応力、かぶり厚さ、鉄筋とコンクリートの付着などの要因のほか、クリープ・乾燥収縮、載荷荷重や温度の変動、振動荷重の作用、さらには周辺構造体による拘束条件すなわち架構の中でのその部位の位置など数多くの要因の影響を受けて

いる。しなしながら、これら全ての影響量を的確にひび割れ幅算定に算入できるとは限らず、また、ひび割れ幅の算定値と実際のひび割れ幅との関係も満足のゆく対応を示さない場合も起こりうる。そのため、何らかの形でひび割れを制御する設計が行われる場合には、適切な実験あるいは既往のデータに基づいてひび割れ幅が確認されることが望ましい。

例えば、複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルでは、一軸直接引張試験において2%程度の引張ひずみを生じた後に、供試体表面で残留ひび割れ幅を計測している。ひび割れ幅は0.01～0.08 mmの範囲に分布しており、0.02 mm以下の微細ひび割れが多数分散するという結果が得られている⁴⁾。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，土木学会，コンクリート技術シリーズ No.64，2005.7
- 2) コンクリートのひび割れ調査，補修，補強指針-2003-，日本コンクリート工学協会，2003.6
- 3) 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説，日本建築学会，2006.2
- 4) 複数ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，土木学会，コンクリート技術シリーズ No. 64，付属資料 2，pp. 7-10，2005.7

（3） 収縮性状

自己収縮および乾燥収縮による収縮ひずみの性状が確認されなければならない。

【定義】

自己収縮および乾燥収縮の定義は，コンクリートに準ずる。

【試験方法】

乾燥収縮・自己収縮の試験方法は，JIS A 1129（モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法）-2001，JIS A 1151（拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法）-2002 など規格化されている方法とともに，既往の研究により提案されている方法もある^{例えば¹⁾}。使用目的，使用部位，使用環境に応じた試験方法によることが必要と考えられる。

【解説】

自己収縮・乾燥収縮は，収縮ひび割れの原因となり，構造物の機能，耐久性，美観上の支障となるおそれがあるため，使用目的，使用部位，使用環境によっては，高靱性セメント複合材料の収縮ひずみの性状が明らかとされていることが必要となる。一般に，防水性，耐久性，美装性が要求されるような条件で使用する場合，必要となると考えられる。

ひずみ硬化型高靱性セメント複合材料（ECC）の例では，モルタルベースであるため，単位水量を大きくする必要があり，乾燥収縮が懸念されることが閑田らによって指摘されている²⁾。高靱性セメント複合材料の種類によって，それぞれ性状が異なることが想定されることから，評価される高靱性セメント複合材料がどのような収縮ひずみの性状をもっているかを明らかとし，それに応じた設計を行うことが必要である。

前述の閑田らの研究²⁾によれば，ECCについて，膨張剤と収縮低減剤を組み合わせることで，

通常のコンクリートと同等以上に収縮ひび割れ抵抗性を高めることが可能であることを示しており、このような対策を講じることより、対応できると考えられる。

【試験方法・参考となる情報】

- 1) 自己収縮研究委員会報告書，コンクリート工学協会，1996.11
- 2) 閑田徹志，永井覚，丸田誠：高靱性繊維補強セメント複合材料の施工性および耐久性に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 25，No. 1，2003.7

(4) 耐久性

高靱性セメント複合材料は，その使用目的に応じた経年変化を想定し，それらに対し，適切な試験による確認もしくは仕様により，性能の著しい変化が生じないものとしなければならない。耐久性に関する評価項目として以下があげられる。

- (1) 中性化
- (2) 塩害
- (3) 凍害
- (4) アルカリ骨材反応
- (5) 耐薬品性
- (6) その他

【定義】

ここにいう「耐久性」とは，材料レベルでは材料の変化（劣化）に対する抵抗性を指しており，部材以上のレベルでは所定の性能・機能を持続させる性能を指している。

耐久性の評価項目としてあげられる（1）～（6）の定義については基本的にコンクリートに準じるが，特に用語として以下の現象を想定している。

- (1) 中性化：大気中の二酸化炭素により高靱性セメント複合材料のアルカリ性が失われる現象。炭酸化とは区別している。
- (2) 塩害：海砂などによる内在塩分または海洋環境などにおける飛来塩分によってセメント系材料中に塩化物イオンが存在することにより，鉄筋腐食が発生する現象
- (3) 凍害：セメント系材料中の水分が凍結膨張し，その膨張圧による組織中の未凍結水の移動が元で，組織が破壊に至る現象

【解説】

高靱性セメント複合材料は，様々な用途，部位，環境条件で用いられることが想定される。その条件に基づいて，目的とする性能・機能を有するか否かだけでなく，その性能・機能が著しい低下のない状態で，どの位の期間持続させるのかを検討し，それらを満たすような材料とする必要がある。評価にあたっては，使用される用途，部位，環境条件に応じて，どのような経年変化が生じるのかを想定し，それに対して，それらの経年変化を適切に評価できる試験で所定の性能を有することを確認するか，その変化への有効な対策となる仕様を採用することにより所定の性能が確保できることを確認する。

以下，代表的な劣化ごとに解説する。

- (1) 中性化：中性化が生じることにより、鉄筋腐食の要因となるおそれがあり、使用用途、使用環境、使用部位などによっては、その性状が明らかにされる必要がある。中性化は、一般に耐久性が要求されるような条件で、鉄筋を使用する場合に評価が必要となると考えられる。
- (2) 塩害：使用用途、使用環境、使用部位などによっては——特に海洋地域に建設する場合などでは、高靱性セメント複合材料中の内在塩分とともに外部からの塩分の浸透に関する性状が明らかにされる必要がある。主として耐久性が要求されるような条件で、鉄筋を使用する場合、鋼繊維を使用する場合などに評価が必要となると考えられる。ひび割れを生じた場合塩分の浸透が早くなることや塩化物イオンは凍害を促進させる作用があることなど、複合劣化に配慮する場合も評価が必要と考えられる。
- (3) 凍害：使用用途、使用環境、使用部位などによっては——特に寒冷地に建設する場合などでは、高靱性セメント複合材料の凍結融解作用に対する性状が明らかにされる必要がある。
 巴らによる PVA 繊維を使用した高靱性セメント複合材料の実験結果²⁾によれば、空気量が 7%以上であれば良好な耐凍結融解抵抗性を有していることが示されており、通常のコンクリートと同様、空気量の確保が耐凍結融解抵抗性の向上に有効であると考えられる。
- (4) アルカリ骨材反応：アルカリ骨材反応を生じるおそれがある骨材を使用する場合——とりわけセメント量が多い場合などは、対策を講ずる必要がある。
- (5) 耐薬品性：温泉地、工業地域への建設、地下構造物、酸性雨に曝されるおそれのある場合など、薬品による劣化が想定される場合については、想定される薬品に対する性状を明らかにする必要がある。繊維によっては、酸に弱いものがあるので、その点に留意が必要である。
- (6) その他：使用用途、使用環境、使用部位などによって想定されるその他の経年変化がある場合、これに対する性状を明らかとする必要がある。

【試験方法その他参考となる情報】

試験方法は各項目ごとに以下が考えられる。

- (1) 中性化：試験方法は、JIS A 1153（コンクリートの促進中性化試験方法）-2003 が一般的であるが、養生条件などにより進行が異なる場合もあるので、実際の施工条件に準じて試験が行われることが望ましい。また、表面被覆などに用いる場合での評価では、下地部材と複合させた状態で試験を行うことが必要である。
- (2) 塩害：試験方法は、塩分量の測定については、JIS A 1144（フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法）-2001、JIS A 1154（硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法-2003 など、塩分の浸透については既往の研究¹⁾を参考に適切な方法を採用する。
- (3) 凍害：試験方法は、JIS A 1148（コンクリートの凍結融解試験方法）-2001 の A 法、B 法が代表的な方法としてあげられるが、評価の際には必要に応じて複合劣化（乾燥の影響、塩化物イオンの影響など）の影響も考慮に入れ、適切な試験方法を選択する必要がある。
- (4) アルカリ骨材反応：試験方法は、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）-2003 附属書 1 があげられる。対策としては、通常のコンクリートと同様に、危険性のある骨材を使用しない、アルカリ量を低くするなど有効であると考えられる。
- (5) 耐薬品性・(6) その他：試験方法については、既往の研究などを参考とし、適切にその性状を評価できる方法による。

【参考文献】

- 1) B. Mobasher, T. M. Mitchell : "Laboratory Experience with the Rapid Chloride Permeability Test", ACI SP-108, Permeability of Concrete
- 2) 巴史郎, 閑田徹志, 平石剛紀, 坂田昇 : 高靱性セメント複合材料 (PVA-ECC) の基礎的耐久性実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004.7

(5) 耐熱性・耐火性

高靱性セメント複合材料は、その使用目的に応じ、想定した火災に対し、適切な試験による確認もしくは仕様により、要求される性能を保持するものとしなければならない。

【定義】

耐熱性・耐火性の定義は、コンクリートに準ずる。

【試験方法】

試験方法については、法令に基づく場合は、それぞれ規定された方法による。火災により懸念される有毒ガスなどについては、既往の研究を参考に適切な方法による。

【解説】

建築物に使用される場合、その建築物の建設地域、用途、高靱性セメント複合材料の使用用途、使用部位に応じて、火災に対する性能が必要な場合がある。

例えば、建築基準法（以下「法」）第2条第七号に規定された耐火構造の一部として使用する場合、同法施行令（以下「令」）第107条に規定された技術的基準に適合する必要がある。また、法第2条第九号に規定された不燃材料とする場合、令第108条の2に規定された技術的基準に適合する必要がある。法第22条に規定される特定行政庁が指定する区域における屋根に使用する場合、令第109条の5に規定された技術的基準に適合する必要があるなどが代表例としてあげられる。

また、火災時において、高靱性セメント複合材料が緻密な組織を有する場合などは、爆裂のおそれがあるとともに、使用する繊維によっては有毒ガスの発生なども懸念される。法令に適合するとともに、これらに対して安全上支障がないか必要に応じて試験を行うことが必要である。

評価の例として、巴らにより、PVA 繊維を使用した高靱性セメント複合材料の耐火性能試験、不燃材料の性能試験が報告されている¹⁾。これによれば、非耐力壁の1時間耐火構造について、令第107条および平成12年建設省告示第1432号の規定に適合するものであること、不燃材料の性能について令第108条の2の規定に適合するものであることが示されている。

【参考文献】

- 1) 巴史郎, 閑田徹志, 平石剛紀, 坂田昇, 「高靱性セメント複合材料 (PVA-ECC) の基礎的耐久性実験」, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004.7

3.3.2 品質の確保

高靱性セメント複合材料の使用材料の選定、調合、製造、施工は、本材料の使用目的に応じて適切に定められ、品質を確保しなければならない。

【解説】

高靱性セメント複合材料の基本的な構成材料は、補強用繊維、セメント、骨材、水、混和材料である。これらの材料は、高靱性セメント複合材料に要求された引張性能などの品質を確保することができる材料構成にする必要がある。従って、これらの材料の適切な選定および構成比は非常に重要であるため、材料選定は試験により判断することを原則とする。

混合する材料が多種であるため、主に実績により判断する場合でも実際に試し練りを行い、最終的に判断することが重要である。また、新材料や JIS などに規格がない材料については、高靱性セメント複合材料として有効な実績があるものであっても、思わぬ有害な影響を与える場合も在るので事前に確認しておく必要がある。

製造する上では、施工条件により、プレミックス材料を使用することも可能だが、製造量、粉体の品質、施工条件などを考慮し、予め性能や製造の確認をしておく。施工については、施工計画に基づき、適切に行わなければならない。

(1) 使用材料

高靱性セメント複合材料に使用する材料は、高靱性セメント複合材料に要求される性能を満足するものを選定しなければならない。使用される材料としては以下のものがある。

- (1) 補強用繊維
- (2) セメント
- (3) 骨材
- (4) 練混ぜ水
- (5) 混和材料

【解説】

1) 補強用繊維

高靱性セメント複合材料に用いる補強繊維の選定は高靱性セメント複合材料の性能に大きな影響を与えるために非常に重要である。補強用繊維には高強力鋼繊維、高強力ポリエチレン繊維、ポリビニルアルコール繊維などを使用することが一般的であるが、構造物の耐用期間において十分に安定的で耐久性に優れたものを使用する。

素材の性状や品質については、補強用繊維の製造会社が作成する試験成績表などにより確認しなければならない。検査項目および検査方法については以下の規格を参考にする。

- ・コンクリート用鋼繊維品質規格 (JSCE-E 101)
- ・金属材料引張試験方法(JIS Z 2241)
- ・スチールタイヤコード試験方法 (JIS G 3510)
- ・化学繊維フィラメント糸試験方法 (JIS L 1013)
- ・化学繊維ステーブル試験方法 (JIS L 1015)

その他の補強用繊維を使用する場合には、その品質を確認し、高靱性セメント複合材料に要求される性能を満足することを確認しなければならない。

2) セメント

セメントは、一般には普通ポルトランドセメントを用いる。流動性、発熱などの観点からは中庸熱ポルトランドセメントや低熱ポルトランドセメントなどの使用が好ましい。プレキャストコンクリート製品として製造するには早強ポルトランドセメントが適している。

使用するポルトランドセメントの種類によって高靱性セメント複合材料の性質が異なるので、製造・施工前に予め確認しておく。

3) 骨材

使用する骨材の種類、品質によって強度や引張性能などの品質に大きく影響を与える場合があるため、骨材の選定は極めて重要である。補強用繊維の径、長さ、アスペクト比などに対し、適度な粒径を持った骨材を使用しないと、高靱性セメント複合材料に要求される引張性能を得られない。

骨材粒子の強度が小さいと所定の強度が得られないばかりでなく、耐久性を損なう原因となるおそれもある。また、単位セメント量の多い富調合となるので、使用する骨材のアルカリ反応性の評価は的確に行わなければならない。

4) 練り混ぜ水

練り混ぜ水は、不純物が含まれていると、高靱性セメント複合材料のワーカビリティ、凝結硬化、強度の発現、収縮膨張などの体積変化などに悪影響を及ぼすことがある。このため、練り混ぜ水は、JSCE-B 101-1999「コンクリート用練り混ぜ水の品質規格」の規定に適合する回収水以外の水を用いることを標準とし、有害な影響を与えないことを確認の上使用する。

5) 混和材料

混和材料は、有害な影響を及ぼさないように、試験によって所要の性能が得られることを確認したものを使用する。高靱性セメント複合材料は粉体材料を多く含み、また水粉体比も低く設定されるため、所要の流動性能が得られるように高性能 AE 減水剤を使用することを標準とする。

また、強度に悪影響を与えない範囲であれば、適度な連行空気量は存在した方が、凍結融解抵抗性に有利であるので、要求される性能、品質に応じて適切な混和剤を選択する。

(2) 調合

高靱性セメント複合材料の調合は、要求される材料の力学性能、耐久性、およびワーカビリティを満足するよう定められなければならない。

【解説】

高靱性セメント複合材料の調合は、対象とする構造物の製造、施工条件、および環境条件などの諸条件を検討し、要求される材料の力学性能、耐久性、およびワーカビリティを把握した上で、これを満足するよう試練りを実施して決定する。

1) ワーカビリティ

高靱性セメント複合材料のワーカビリティは、部材の形状、寸法、成形方法、表面美観性などを考慮して定める。高靱性セメント複合材料は、高流動コンクリートや高強度コンクリートに近いフレッシュ特性を有することから、そのワーカビリティの評価をスランプフロー試験（JIS A 1150）により行うことが通常である。設計指標値は、製造する部材の形状、寸法、製造条件などを考慮して行うが、スランプフロー値を過度に大きくすると、材料分離や凝結硬化を生じるなど、成形した部材に所要の品質が得られない場合がある。部材を成形する場合には、スランプフロー45～65 cm 程度が適当であり、材料分離を生じていないことをスランプフロー試験から判断するものとした。

2) 空気量

空気量は、力学性能、耐久性、およびワーカビリティに影響を与えることから、これらの所要性能を確保できる範囲にて適切な値を定め、混和剤量により調整するものとする。高靱性セメント複合材料の空気量は、繊維を混入したことにより一般のコンクリートよりも大きくなる傾向が見られる。空気量が多くなり過ぎると圧縮強度の低下を引き起こし、反対に少ない場合には、凍結融解抵抗性の低下などの懸念がある。従って、空気量は使用する構造物や施工の条件によって適切に定め、実際の製造においては空気量調整剤などの混和材料を使用して、安定した空気量を連行するように留意することが必要である。

3) 繊維混入率

繊維混入率は、力学性能、耐久性、およびワーカビリティに影響を与えることから、これらの所要性能を確保できる範囲にて適切な値を定めるものとする。高靱性セメント複合材料の繊維混入率は、材料性能を支配する重要な要因のひとつである。繊維混入率が多いほど、ワーカビリティが低下するが、一方で引張強度や引張ひずみ能力などの力学性能は向上する。さらに、繊維混入率により、ひび割れが生じた場合の幅が異なるため、耐久性にも影響を与える。従って、繊維混入率は、使用する構造物や施工の条件によって、ワーカビリティ、力学性能、および耐久性に関する所要の性能を満足するように適切に定めることを原則とする。

4) 計画調合

計画調合は、表 3.4 によって表し、補強用繊維の種類、仕様、および使用する全材料の単位量を明記する。

表 3.4 計画調合の表し方

スランプロー (mm)	空気量	補強用繊維				単位量 (kg/m ³)											
		繊維の種類	繊維径 (mm)	繊維長 (mm)	繊維混入率 (Vol%)	セメント	水	骨材	混和材 (1)	混和材 (2)	混和材 (3)	繊維	混和剤 (1)	混和剤 (2)	混和剤 (3)		

(3) 製造・施工

高靱性セメント複合材料の製造・施工は、要求性能が満足されるような適切な製造・施工方法によらなければならない。製造・施工に関する評価項目として以下があげられる。

- (1) 貯蔵
- (2) 練混ぜ
- (3) 受入れ
- (4) 運搬
- (5) 打込みおよび締固め
- (6) 吹付け
- (7) 表面仕上げ
- (8) 養生
- (9) かぶり厚さ
- (10) 補強筋の加工および組立て
- (11) 型枠

【解説】

1) 貯蔵

高靱性セメント複合材料に使用する補強用繊維は、雨水などに曝されないように注意する。直射日光や雨水を避けて、湿気の少ない場所を選び、折れ曲がりなどが生じないように保管しなければならない。

その他の事項に関しては、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の8.1.1材料貯蔵設備によるものとする。

2) 練混ぜ

ミキサは、原則として過去の実績あるいは試し練りによって、高靱性セメント複合材料の製造に関する要求性能を満たしていることが確認されているミキサを用いる。

高靱性セメント複合材料は通常のコンクリートに比べ粘性が高い傾向にあるため、製造に使用

するミキサは、原則として過去の実績あるいは試し練りによって、高靱性セメント複合材料の製造に関する要求性能を満たしていることが確認されたミキサを選定する必要がある。例えば、練混ぜ性能の高いバッチ式の強制ミキサ、あるいはオムニミキサなどを用いる。なお、高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書（Ⅱ）¹⁾に、各種の高靱性セメント複合材料の練混ぜについて報告が記載されているので参照されたい。

高靱性セメント複合材料の練混ぜは、材料が均等質になるまで十分に行い、特に補強用繊維が均一に分散するように行う。練混ぜ方法および練混ぜ時間は、過去の実績あるいは試し練りにより適切に定める。

高靱性セメント複合材料の1バッチあたりの最大練混ぜ量は、ミキサの種類、容量、練混ぜ効率などを考慮し、過去の実績あるいは試し練りによって確認し、適切に定めるものとする。

高靱性セメント複合材料は、通常コンクリートに比較して、練混ぜ時のミキサの負荷が大きくなる可能性があるため、1バッチあたりの最大練混ぜ量は、ミキサの種類、容量、練混ぜ効率などを考慮し、過去の実績あるいは試し練りによって確認し、決定することが望ましい。事例によれば、ミキサの負荷を低減させるために練混ぜ量をミキサの公称容量に対して50～75%程度としている場合が多い。

他のコンクリートやセメント系材料を練り混ぜた後に、高靱性セメント複合材料を練り混ぜる場合にはミキサを洗浄しなければならない。

通常のコンクリートを練り混ぜた後に高靱性セメント複合材料を練り混ぜた場合、通常のコンクリートに使用している混和剤と高靱性セメント複合材料に使用している混和剤との相性が悪いために所定の品質が得られない場合がある。さらに、通常のコンクリートが高靱性セメント複合材料に混入した場合、その部分の引張性能が弱点となるおそれもある。そのため、通常のコンクリートに引き続いて高靱性セメント複合材料を練り混ぜる時には、ミキサを水洗いする必要がある。なお、水洗いに際しては、ミキサ内の残留水が高靱性セメント複合材料の性能に影響を与えるおそれがあるため、ミキサ内に洗浄水が残留しないように注意する必要がある。

製造された高靱性セメント複合材料が、設定したフレッシュ時の要求性能を満足していることを確認しなければならない。

製造された高靱性セメント複合材料については、目視および触診により補強用繊維の分散状態や、材料の分離がないかなどを確認するとともに、フロー、空気量、温度などのフレッシュ時の所定の性能（本文3.3.2（2）1）および2）を参照）を満足していることを確認する必要がある。

3) 受入れ

高靱性セメント複合材料の打込みを円滑に行うため、打込み前に納入日時、高靱性セメント複合材料の種類、1日の納入量、荷卸し場所、時間あたりの納入量などの必要事項を生産者と十分に打合せる必要がある。

荷卸し場所は、運搬車が安全かつ円滑に出入りできて、荷卸し作業が容易に行える場所でなければならない。

4) 運搬

高靱性セメント複合材料の運搬は、フレッシュ性状、部材の種類と形状、打込み場所の条件、

打込み時の気候、打込み量、打込み速度、作業の安全性などを考慮して、適切な方法によらなければならない。

高靱性セメント複合材料は、練混ぜ後の所定のフレッシュ性状を保持した状態を出来るだけ変化させないで施工することが重要である。このため、運搬には、運搬の施工条件、気候条件などを考慮して、運搬による材料の分離やフレッシュ性状などの品質変化が少ない機器および方法を適切に選定しなければならない。なお、高靱性セメント複合材料の種類によっては、運搬中に高靱性セメント複合材料の表面が乾燥する可能性があるため、乾燥を防ぐように適切な処置をして運搬を行う必要がある。

5) 打込みおよび締固め

高靱性セメント複合材料では、補強用繊維の分散と配向に打込み方法が影響することを考慮して打込み計画を立てなければならない。

高靱性セメント複合材料の打込みは、補強用繊維が均一に分散し、できるだけランダムな配向が得られるように、適切な方法を用い、施工にあたっては事前に十分な検討と準備を行うことが必要である。

高靱性セメント複合材料の打込みは、トレミー管やバケットなどによる流込みを基本とし、予め計画した区画内の打込みを完了するまで連続して打込む。

高靱性セメント複合材料の施工過程で長時間の中断が生じた場合には、表面が乾燥して皮膜が形成された界面となり、この部分で補強用繊維が架橋せず、構造上の弱点となるおそれがある。そのため、一区画内の施工が完了するまでに、連続して施工が行えるように施工位置や方法などについて事前に綿密な計画を立てる必要がある。

打込み速度は、部材形状、鋼材の配置状況などに応じて、試験結果や実績に基づいて適切に定めなければならない。

打込みに際しては、構造条件、施工条件を考慮して、予め許容できる落下高さや流動距離を設定しておかななければならない。

高靱性セメント複合材料の打重ね部や合流部は、補強用繊維が架橋せず弱点となる可能性があるため、極力これを避けるのが原則である。やむを得ずこれを設ける場合には、突き棒などによりかき乱して、補強用繊維の配向を分散させなければならない。

高靱性セメント複合材料の打込みおよび締固めは、高靱性セメント複合材料が均一にかつ密実に充填され、補強用繊維の分散、配向に支障のないよう十分に配慮して行う。

高靱性セメント複合材料の締固めは、型枠振動機・木づちなどを用いる。締固めにコンクリート棒形振動機を使用する場合、補強用繊維の分散が不均一にならないように、使用する内部振動機の形状や振動時間などを試験や実績などに基づき適切に設定する必要がある。

高靱性セメント複合材料の種類によっては、フレッシュ時の粘性が高いために、打込みにともないエントラップな空気を巻き込みやすい場合がある。振動機・木づちなどを用いて締固めても所定の空気量にならない時には、消泡剤などの空気量調整剤を用いて所定の空気量に調整する。

工場製品の製造においては、製品の寸法・形状、その用途に応じて品質の良い製品を効率よく製造するために、遠心力成形、押出し成形、振動加圧成形、その他特殊な成形方法によって製造を行う場合がある。その場合、要求される性能も流込み成形と大きく異なるので、要求される性

能に応じた適切な打込みおよび締固め方法を用いる必要がある。なお、押出し成形の製造方法については、高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書（Ⅱ）¹⁾ に、詳細な報告が記載されているので参照されたい。

高靱性セメント複合材料を用いる場合には、出来るだけ打継ぎは設けない事が好ましい。打継ぎ部は、完全に一体化することは難しく、打継ぎが不適切な場合にはひび割れが発生し、構造耐力の低下だけでなく、鉄筋の腐食など耐久性の低下を生じるおそれがある。やむを得ず設ける場合には、打継ぎ部はせん断応力の小さいところで、高靱性セメント複合材料が受ける圧縮力と直角に設ける事が好ましい。打継ぎ部の位置、構造については特記あるいは設計図書に明記することを原則とする。

高靱性セメント複合材料の打継ぎ処理方法については、まだ施工例も少なく標準化された方法がないため、予め試験などによって確認することが好ましい。文献 2) には、打継ぎ面の角度を 30 度以下とし、打継ぎ面に微細な凹凸処理をして湿潤状態に保った打継ぎ部のある試験体と打継ぎのない試験体の曲げ試験の比較を行い、新旧マトリックスおよび繊維とマトリックスの付着力により高靱性セメント複合材料の一体打ちに近い曲げ特性を概ね確保できたことが報告されている。

6) 吹付け

高靱性セメント複合材料の吹付けは、高靱性セメント複合材料をポンプ圧送し、吹付けノズル先端より圧搾空気により高靱性セメント複合材料を吹付ける。吹付け作業の開始に先立ち、吹付ける高靱性セメント複合材料に要求されるフレッシュ性状、硬化後の強度、耐久性および施工などを考慮し、具体的な吹付け作業の方法に関する十分な施工計画を策定する必要がある。

高靱性セメント複合材料の吹付けは、適切な施工システムで施工されないと、要求された性能を確保することが出来ない。そのため、過去に実績のある施工システムを採用するか、あるいは吹付け作業を行う前に採用しようとする施工システムが、高靱性セメント複合材料の吹付け施工に適していることを確認してから施工する必要がある。

高靱性セメント複合材料の吹付けは、1 回の吹付け層の厚さが厚い場合、たれ下がりを生じるため、1 回の吹付け層の厚さはたれ下がらない厚さを限度とする。先に吹き付けた高靱性セメント複合材料の層が、次の層を保持できる程度に凝結するまで施工間隔をとって、次層を吹き付けることが望ましい。

高靱性セメント複合材料の吹付けは、夏期においては、高靱性セメント複合材料の凝結時間が短くなるため、吹付け可能な時間が短くなる。一方、冬期においては、凝結時間が長くなるため、凝結するまで施工間隔が長くなり施工効率が低下する。そのため夏期および冬期における吹付け施工では、温度による吹付け材料の性能低下がないように適切に処置する必要がある。

7) 表面仕上げ

高靱性セメント複合材料の種類によっては、粘性が高く、ブリーディングをほとんど生じないため表面仕上げが難しい場合があるため注意が必要である。

表面仕上げを行う時間まで、表面乾燥を防止ししたり、表面仕上げに適切な時間を逸さないように注意することが重要である。また、後工程などを考慮して、仕上げの精度を定めそれに合っ

た適切な方法によって表面仕上げを行う必要がある。

8) 養生

高韌性セメント複合材料は、打込み後に過度の高温または低温の影響、急激な温度変化、急激な乾燥、振動および外力の悪影響を受けないように配慮し、要求された性能を得られるように必要な初期養生を行う。

高韌性セメント複合材料は、養生期間中の温度が過度に低いと強度発現が著しく遅延し、過度に高いと長期材齢における強度増進が小さくなる。まだ固まらない状態で日光の直射や急激な乾燥を受けると表面の正常な凝結を妨げるおそれがある。また、硬化の進んでいない高韌性セメント複合材料に振動や外力が作用すると、高韌性セメント複合材料にひび割れが発生するおそれがある。高韌性セメント複合材料が硬化後に本来の性能を発揮するためには、硬化初期において十分な養生を行い、このような悪影響を受けないように施工しなければならない。

高韌性セメント複合材料を大断面部材に使用する場合には、セメントの水和熱により部材内部で急激な温度上昇を生じるおそれがあるため、内部温度が上昇している期間は表面部の温度が急激に低下することのないように養生を行う。

高韌性セメント複合材料は一般に通常のコンクリートに比べ、単位セメント量が多いため、特に高韌性セメント複合材料を大断面部材に使用する場合、セメントの水和熱により部材内部の急激な温度上昇が生じ、温度ひび割れの発生、長期材齢における強度増進低下などが生じる可能性がある。高韌性セメント複合材料の打設後の内部温度の上昇低減対策としては、打込み時の高韌性セメント複合材料の温度を出来るだけ低く抑えることが必要である。セメントの水和反応開始後、内部温度が上昇している期間は、部材の熱の発散が容易になる対策を講じたり、外気温などによる急激な温度変化により部材の内部と表面の温度差が大きくなるないように、例えばシート、断熱材などにより養生する。なお、このような対策で部材内部の急激な温度上昇や温度ひび割れの発生が抑えられない場合には、使用するセメントを水和熱の発生の少ないタイプに変更するなど、調合上の対策を検討する。

熱養生を行う場合には、熱養生の温度、時間は、高韌性セメント複合材料の使用部位、使用目的に応じて設計上必要とされる材料特性を考慮して決定するものとする。

高韌性セメント複合材料のうち超高強度繊維補強コンクリート³⁾は、要求されている材料特性を確保するために熱養生を必要とするため、材料に適合した適切な養生を行う。

9) かぶり厚さ

本節におけるかぶり厚さは、部材の最も外側に位置する鉄筋と高韌性セメント複合材料の表面までの最短距離をさす。

かぶり厚さは、高韌性セメント複合材料の所要の耐久性、耐火性、構造耐力が得られるように、部材の種類と位置ごとに、計画供用期間、高韌性セメント複合材料の種類と品質、部材の受ける環境作用の種類と強さなどの暴露条件、特殊な劣化作用、要求耐火性能、構造耐力上の要求および施工誤差を考慮して定める。

かぶり厚さは、高韌性セメント複合材料を用いた部材の耐久性・耐火性および構造耐力に大きく影響するため、設計かぶり厚さの適切な設定と施工におけるかぶり厚さの精度の確保が重要で

ある。かぶり厚さは、部材の種類と位置ごとに、高靱性セメント複合材料の種類と品質、部材の受ける環境作用の種類と強さなどの暴露条件および特殊な劣化作用などを考慮して計画供用期間に中性化が鉄筋位置までに達しないように定める。

高靱性セメント複合材料が火災を受けると、表面の高靱性セメント複合材料が劣化するだけでなく、内部の鉄筋および高靱性セメント複合材料の温度上昇によって鉄筋および高靱性セメント複合材料の強度が低下する。このため、火災を受けても鉄筋および内部の高靱性セメント複合材料の劣化を生じないように、かぶり厚さを定める。高靱性セメント複合材料の耐火性については、本文 3.3.1 (5) を参照。

鉄筋のかぶり厚さが鉄筋径に対して不釣り合いに小さいと、鉄筋に大きな応力が加わると鉄筋に沿って付着破壊ひび割れが生じて付着強度の急激な低下を起こすおそれがある。複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用⁴⁾では、高靱性セメント複合材料の一つである複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料は、ひび割れ発生後も補強用繊維の架橋効果によって引張力を負担できるため、普通コンクリートで規定されたかぶり厚さよりも小さいかぶりでも鉄筋の付着強度を確保できることが報告されている。

高靱性セメント複合材料の最小のかぶりは、打込み時の良好な充てん性および構造物としての耐久性および安全性などを考慮して定める。

例えば、超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)³⁾では、かぶりの最小値を原則 20 mm 以上かつ補強鋼材の直径以上としている。複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用⁴⁾では、付着強度を確保するための補強鋼材のかぶりの最小値を原則 10 mm 以上としている。

10) 補強筋の加工および組立て

補強筋の加工および組立ては、設計図の特記がなされていない場合、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修「建築工事共通仕様書」あるいは日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」に準拠する。

補強筋のあきは、高靱性セメント複合材料の打込みおよび締固めを適切に行うことができるように、適切な間隔を確保しなければならない。

補強筋の間隔が小さすぎると、打込み時に高靱性セメント複合材料の補強用繊維が滞留したり、補強用繊維の配向状態を偏らせるおそれがあるため、補強筋のあきを適切に確保する必要がある。例えば、超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)³⁾では、補強鋼材のあきの最小値を 20mm 以上かつ補強鋼材の直径以上とすることを原則としている。複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用⁴⁾では、付着強度を確保するための軸方向鉄筋の必要あきを原則 20mm 以上かつ繊維長以上の水平および鉛直のあきを確保するように規定している。

11) 型枠

型枠は、高靱性セメント複合材料の施工時の荷重、側圧、打込み時の振動・衝撃に耐えるように設計しなければならない。

高靱性セメント複合材料の種類によっては、通常のコンクリートに比較して凝結時間が長く、打込み後も長時間にわたって側圧が減少しにくい場合がある。さらに自己充填性を有するタイプ

の高靱性セメント複合材料では、打設時に型枠に作用する側圧は液圧が作用するものとして算定する必要がある。

高靱性セメント複合材料の初期硬化時の収縮特性に応じて、型枠の材質や構造などを決定しなければならない。

高靱性セメント複合材料の初期硬化時の収縮特性は、使用材料および調合により大きな相違がある。高靱性セメント複合材料の種類によっては、初期硬化時の収縮が通常のコンクリートに比べ大きい場合、型枠の材質や構造が適切でない場合には、収縮によるひび割れを生じる可能性があるため、例えば型枠面に緩衝材を貼り付けるなどの対策を講じる。

型枠は、セメントペーストまたモルタルを継目などから漏出させないように緊密に組み立てなければならない。

高靱性セメント複合材料では粒径の小さい骨材を使用する機会が多いため、せき板に隙間があると、ペーストまたはモルタルが流出しやすい場合、型枠の組立ては隙間の生じぬように通常のコンクリート用の型枠以上に注意深く行なわねばならない。

型枠は、設計で要求された表面仕上りの性能を満たすように、型枠の材質やはく離剤の種類を適切に選定しなければならない。

高靱性セメント複合材料の種類によっては、粘性が高く、型枠に接するコンクリート表面に気泡が多く残存する場合がある。コンクリート表面の気泡の残留に悪影響を及ぼす可能性がある種類の型枠やはく離剤を使用しないよう注意する必要がある。

【参考文献】

- 1) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書（Ⅱ），日本コンクリート工学協会，2004.5
- 2) 坂田 昇，須田久美子，閑田徹志，福田一郎，平石剛紀，巴 史郎：高靱性繊維補強セメント複合材料の利用拡大，鹿島技術研究所年報，pp.233-238，2004
- 3) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），土木学会，2004.9
- 4) 複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，土木学会，2005.7
- 5) 鋼材倶楽部：鋼繊維補強コンクリート設計・施工指針案，1990.7

3.4 構造安全性の確保

3.4.1 性能評価

構造性能評価においては、建築物の構造安全性が確保されていることが、適切な性能評価方法により確認されなければならない。

【解説】

(1) 高性能材料の利用と性能評価体系

高靱性繊維補強セメント複合材料のような高性能材料は、従来一般的に建築構造物へ要求されていた性能よりも高い性能を実現するための手段として有効である。このような場合には、性能レベルに基づいた設計を行うことが必要である。そこでここでは、要求性能を明確化しその性能を満たすことを基本にして、要求性能を達成するための設計の手法や材料などの仕様の詳細は構造設計者の判断に委ねるといふ、自由度と信頼性の高い構造設計が可能となる次のような構造設計体系を想定する。

- a) 建築主と構造設計者の合意の基に当該建築物が保有すべき構造性能を設定し、
- b) 構造設計者はその構造の特性などに応じて適切な設計・計算法を選択して架構、部材を仮定し、
- c) これが設定した構造性能を保有していることを確かめる。

(2) 構造性能評価体系の一例

建設省総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発」において開発された「構造性能評価指針案」^{1), 2)}で提案された性能評価体系の概要を図 3.24 に示す。この体系は、「目標構造性能の設定」、「性能の検証」、および「性能の表示」より構成されている。

目標構造性能の設定では、まず建築物に要求する独立した基本性能（基本構造性能）として、「安全性」、「修復性」、「使用性」の3つを設定し、評価する対象を、「構造骨組」、「建築部材」、「設備機器」、「什器」、「地盤」の5つに大別している。「安全性」、「修復性」、「使用性」は、それぞれ、「人命の保護」、「財産の保全」、「機能および居住性の確保」に対応するものである。なお、耐久性はこれらそれぞれの基本構造性能の検証の中で、耐久劣化による性能の低下として考慮される。これら3つの基本構造性能と5つの評価対象の組み合わせ（性能評価項目）ごとの要求に対応したあるべき状態（限界状態）は表 3.5 のように設定されている。これらの項目は、全てについての評価が必要なのではなく、適宜選択されるべきものである。限界状態は、安全性、修復性、使用性の基本構造性能に対し、それぞれ安全限界、修復限界、使用限界と総称され、構造性能を規定する建築物の状態と定義されている。安全限界状態は建物内外の人命に直接危害を及ぼす可能性に基づいて、使用限界状態は機能性、居住性に基づいて判断される。一方、修復限界状態は、構造体としての劣化や損傷度だけでなく、低下した安全性や使用性などを要求水準にまで回復させるための補修・復旧の容易さなどに基づいて判断され、それぞれの評価対象について許容状態を設定することになる。なお本体系では、「性能の水準」は、この「限界状態」と「荷重または外力の大きさ」の組み合わせによって表示されることとしている。ここまでの、「目標構造性

能の設定」である。

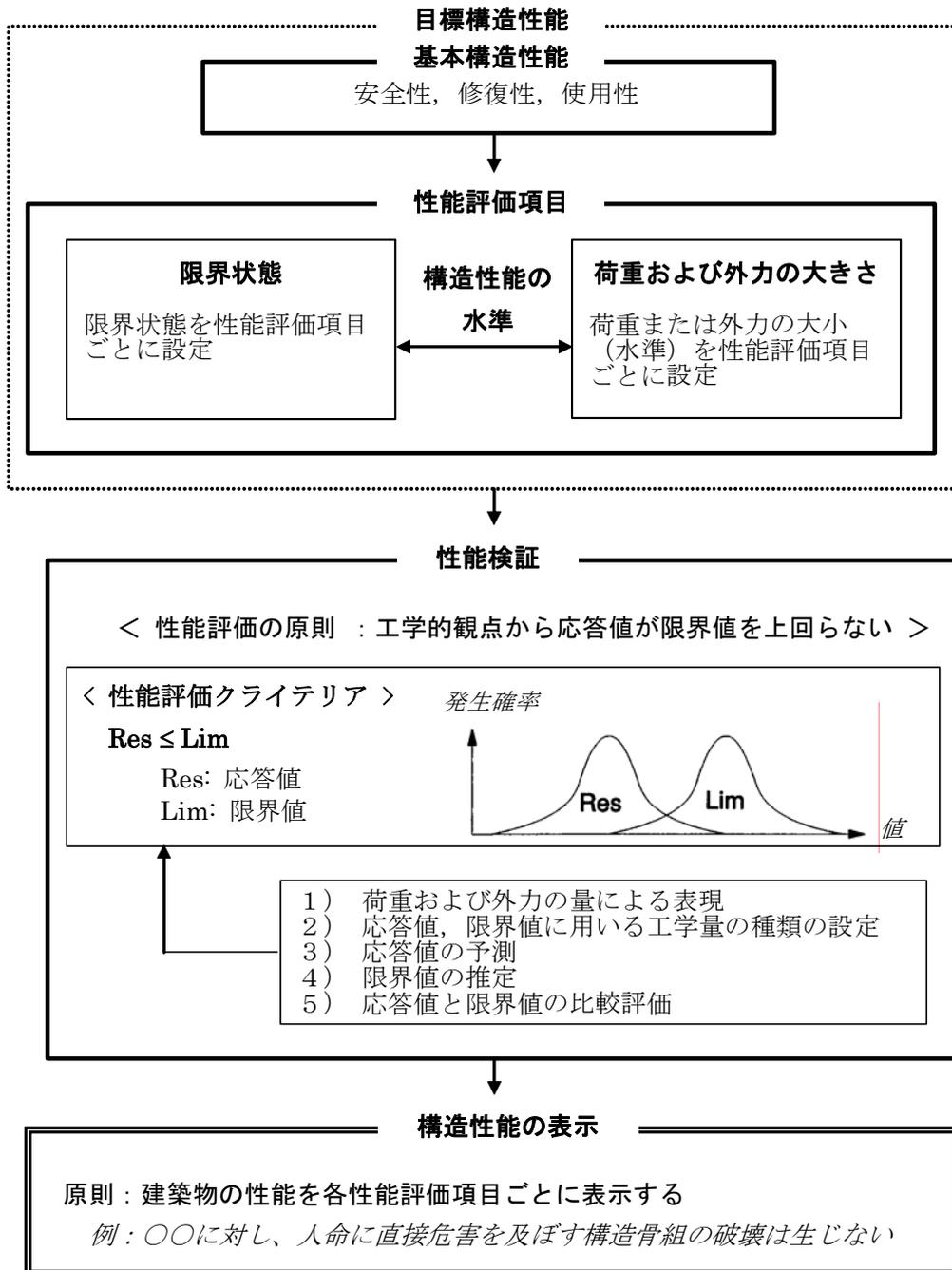


図 3.24 構造性能評価体系

表 3.5 性能評価項目と限界状態

	安全性 (人命の保護) (建築物の内外の人の生命に直接及ぼす危険の回避)	修復性 (財産の保全) (外部からの刺激によ建築物の損傷の制御)	使用性 (機能性、居住性の確保) (建築物の使い易さや住み良さの確保)
基本構造性能			
限界状態の種類	安全限界 (Safety Limit)	修復限界 (Reparability Limit)	使用限界 (Serviceability Limit)
評価対象			
構造骨組	鉛直支持能力を喪失しない ○人命に直接危害を及ぼすような、構造骨組の鉛直支持能力を喪失しない。	損傷が設定範囲に収まる*1 ○構造骨組の損傷が修復のしやすさの観点から設定した範囲内にある。	機能障害や感覚障害を生じない ○構造骨組の変形・振動が日常の使用に支障をきたさない。
建築部材 (構造部材) (内・外装材)	脱落・飛散しない ○人命に直接危害を及ぼすような、建築部材の脱落・飛散を生じない。	損傷が設定範囲に収まる*1 ○建築部材の損傷が修復のしやすさの観点から設定し範囲内にある。	機能障害や感覚障害を生じない ○建築部材の変形・振動が日常の使用に支障をきたさない。
設備機器	転倒・脱落・移動しない ○構造骨組及び部材の変形・振動により、人命に直接危害を及ぼすような、設備機器の転倒・脱落・移動を生じない。	損傷が設定範囲に収まる*1 ○構造骨組及び部材の変形・振動による設備機器の損傷が修復のしやすさの観点から設定した範囲内にある。	機能障害や感覚障害を生じない ○構造骨組及び部材の変形・振動が設備機器の日常の使用に支障をきたさない。
什器	転倒・脱落・移動しない ○構造骨組及び部材の変形・振動により、人命に直接危害を及ぼすような、什器の転倒・脱落・移動を生じない。	損傷が設定範囲に収まる*1 ○構造骨組及び部材の変形・振動による什器の損傷が修復のしやすさの観点から設定した範囲内にある。	機能障害や感覚障害を生じない ○構造骨組及び部材の変形・振動が什器の日常の使用に支障をきたさない。
地盤*2	崩壊*3や大規模な変状*4が生じない ○人命に直接危害を及ぼすような地盤の崩壊*3や、構造骨組の鉛直支持能力を喪失の誘因となるような変状*4を生じない。	損傷が設定範囲に収まる*1 ○地盤の支持能力の低下や変状*4が建物の修復のしやすさの観点から設定した範囲内にある。	機能障害や感覚障害を生じない ○地盤の支持能力の低下や変状*4が日常の建物の使用や通行などに支障をきたさない。

<用語の定義>

- (*1) 損傷や支持能力の低下および変状が、修復のしやすさの観点（経済性、技術的観点）より定めた設定範囲内である状態をいう。
- (*2) 地盤そのものではなく、地盤変状に起因する建築物の状態を評価する。
- (*3) 地滑りや盛土法面の崩壊、側方流動などをいう。
- (*4) 地盤沈下、（液状化等による）剛性低下に伴う地盤の変形、亀裂や段差の発生などをいう。

次の「性能の検証」とは、建築物の応答値および限界値を具体的に推定および設定し、限界状態が確保されているか否かを工学的観点から応答値が限界値を上回らないという性能検証の原則に照らして判断することである。ここで、応答値とは荷重または外力による建築物またはその一部に生ずる応答を工学量で表したものを、限界値とは限界状態を同じく工学量で表したものをいう。

最後に、建築物の保有する性能が性能評価項目ごとに表示される、というのが本体系の概要である。

このように、性能評価は原則として、目標構造性能の設定、性能の検証、性能の表示、の流れで行うことを推奨する。

(3) 目標性能に対する安全率

性能評価においては、目標性能に対する安全率が適切に設定されなければならない。

建築構造においては、材料特性、施工精度および耐力・変形の評価にはそれぞれバラツキがあり、その積分値として算出・設定される限界値、ならびに荷重・外力および構造・応答解析の精度にバラツキがあり、その結果として求まる応答値、それぞれは確率量である。目標とする性能をどれくらいの確度を持って実現するかが、応答値、限界値の設定の目安となる。さらに、冗長性も安全性に関わる応答値、限界値を設定する際の重要な要因となる。しかし、冗長性を工学量として評価するのは現時点では難しい。冗長性は、定性的には、応力の伝達経路が複数あればあるほど高くなる（良くなる）。言い換えれば良い無駄が多いほど冗長性があるとも言える。鉛直荷重の支持に関しては、壁がある架構は冗長性が高いし、スパンが短く柱が多い架構も冗長性が高い。耐震診断でいう第2種構造要素が少ないものが冗長性は高くなるといえる。

安全性の水準は、長期荷重に関しては、ほとんどが変形制限で規定されるため、信頼性指標 β で4~5程度、地震、風および積雪に関する安全限界に対しては、 $\beta=2\sim3$ （基準期間50年）が妥当かつ、これまでの設計で確保されてきた値と考えられている。

設定した荷重に対して安全限界を超える確率、例えば上記の信頼性指標を直接求める設計を行えばよいが、応答値および限界値を確定量として評価するほうが設計としては便利のため、設定する応答値の割増し、限界値の割引係数の比を安全率として設定するのが通常である。

建築物全体の安全性を評価することは現時点では上述の冗長性の評価の困難さもあり難しい。そこで、建築物全体の崩壊に結びつく、あるひとつの、特に鉛直部材の鉛直支持能力の喪失を持って建築物全体の安全限界とすることが一般的である。

以下は、部材の限界に対する破壊形式と耐力低減係数の考え方である。

・脆性破壊に対する耐力・変形の低減

コンクリート系構造物の脆性破壊の代表例はせん断破壊である。コンクリートの引張破壊に支配されるせん断強度に対する耐力低減係数は小さく取るべきであるし、曲げ強度がある程度確保され、軸方向力もある程度維持できる付着割裂破壊などに対する係数は若干大きく出来るものと考えられる。

脆性破壊を防止する観点から、せん断強度の評価はせん断破壊強度に対して95%以上の信頼性が得られるような評価法または耐力低減係数を用いることが一般的である。

・靱性破壊に対する耐力・変形の低減

曲げ破壊など鉄筋などの靱性がある材料の特性により規定される強度に対しては、平均的に強度を評価できる評価式を用いることが適当である。曲げ強度を高く評価すると、一般に建築物の保有強度を高く評価し危険側になる。一方、それを低く評価することは、せん断破壊を防止するせん断設計の観点からは危険側になる。幸い、曲げ強度は、比較的精度良く評価が可能である。

応答値に関しては、荷重・外力、モデル化を含む解析精度に対する配慮が必要である。

・荷重・外力の割り増し

基準法で設定している荷重・外力は、地震力以外では、起こりうる99%（超過確率1%）程度となっており、特別な係数を考える必要はないとされている。地震力については、限界に達する地震の大きさの設定した地震の大きさに対する余裕率をもって総合的に判断することが通常行われている。

・モデル化を含む解析精度に対する割り増し

想定した抵抗機構を保証するために、せん断破壊などの脆性破壊の想定外の破壊を防止する必要がある。そのための設計用せん断力は、モデル化、解析上考慮できていない項目、例えば動的増幅、曲げ強度の上昇（材料強度、直交部材効果）、2方向入力の効果、を考慮して割り増し係数を設定する必要がある。

使用性、修復性に関しても安全性に対する安全率と同様の配慮を行えばよい。ただし、これら人命に直接影響を与えるものではないので、費用の観点も含めて十分協議の上設定されるものである。

【参考文献】

- 1) 建築研究所，（財）日本建築センター，（財）国土開発技術研究センター：建設省総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発」総合報告書，1998.3
- 2) 建設省大臣官房技術調査室監修，（社）建築研究振興協会編：建築構造における性能指向型設計法のコンセプト，技報堂出版，2000.8

3.4.2 目標性能

建築構造物の目標性能の項目および水準は適切に設定されなければならない。なお、目標性能は、法律で定める水準がある場合にはそれを下回らないものでなければならない。

【解説】

(1) 目標性能の設定

建築物への様々な作用に対し、人命の保護および機能・居住性の確保とそれらの維持（財産の保全）を図るために、建築構造に「安全性」、「修復性」、「使用性」の3つの性能を設定する考え方が採用されるようになってきた。これらは、それぞれ「人命の保護」、「財産の保全」、「機能および居住性の確保」に対応するものである。

a) 使用性

「使用性」を要求する目的は、建築物の使いやすさ、住みやすさを確保すること（機能および居住性の確保）であり、構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤について、機能および居住性の確保が損なわれないように、機能障害や感覚障害を適切に排除できているかどうかを評価することが「使用性」評価の内容となる。

b) 修復性

「修復性」を要求する目的は、建築物が外部からの刺激によって受ける損傷に対する修復のし

やすさを確保すること（財産の保全）であり、構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤について、財産の保全が損なわれないように劣化や損傷などを修復のしやすさ（構造性能の回復性、修復工事の難易度、修復に関する経済的損失など）の観点から設定した範囲内に適切に制御できているかどうかを評価することが、「修復性」評価の内容となる。

c) 安全性

「安全性」を要求する目的は、建築物内外の人命に直接及ぼす危険を回避すること（人命の保護）であり、構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤について、人命の保護が損なわれないように破壊などを適切に防止できているかどうかを評価することが、「安全性」評価の内容となる。

d) 耐久性（経年劣化時の構造安全性、修復性、使用性）

構造性能において「耐久性」を要求する目的は、当初設定した「安全性」、「修復性」、「使用性」を維持することである。ここで耐久性とは、これらの性能の時間に対する推移曲線の傾きを表すものである。耐久性評価の内容は、「安全性」、「修復性」、「使用性」がその目的に照らし合わせて適切に維持できているかどうかであるが、劣化を始めた構造性能を正しく特定することは一般には難しいため、劣化が始まる以前の点や要求性能を下回らない点を耐久性の限界点と判断とすることが多い。なお、実際の状態を把握するためにモニタリング技術を用いることも考えられる。

e) 耐火性・耐熱性（高温時の構造安全性、修復性、使用性）

構造性能の観点から「耐火性」、「耐熱性」を要求する目的は、火災時や高温時における構造「安全性」の確保、および、その後の「使用性」、「修復性」の確保である。すなわち「安全性」では、火災時・高温時における鉛直支持能力の喪失を防止し、適切な避難のための時間を確保することであり、「使用性」、「修復性」は、火災時・高温時の架構などの変形や損傷を制御し、その後の財産の保全や機能および居住性の確保を図ることである。耐火性・耐熱性評価の内容は、これらの「安全性」、「修復性」、「使用性」がその目的に照らし合わせて適切に確保できているかどうかである。

これらの性能は相互に関連が深い。例えば、地震時の構造骨組の安全性を高めるには、保有耐力を上げることや変形能を増すことが有効であるが、耐力をあげる方法では過大な加速度応答などにより設備機器の安全性や地震動による使用性などは低下することもある。また、変形能に依存する耐震安全性の向上では修復性を低くすることもある。そのため、これらの性能の水準を適切に調整し、要求される性能が総合的に充足されるように設定する必要がある。

なお、構造性能の水準は適切な方法で表示されなければならない。

(2) 建築基準法の目標性能

建築基準法は、憲法第 29 条で定められた私有財産権に対し、同 29 条の第 2 項で認められている「公共の福祉」のための法による制限であるため、社会的観点から必要である最低限の基準を定めたものである。その目的は、第 1 条に書かれているとおり、「国民の生命、健康および財産の保護を図り、もって公共の福祉の増進に資すること」である。この方針は踏襲されており、平成 12 年の性能規定化などを目的とした大幅改正においても目標とする耐震性能の水準は従来から変わっていない。その最大の理由は、平成 7 年 1 月の阪神淡路大震災において、昭和 56 年に改正されたいわゆる新耐震基準に基づき設計された建築物の被害状況は、ほぼ基準法の目的を満たすも

のであったことによる。

よって、建築基準法の精神は、最低限必要な要求性能の項目とその水準を定め、これより高い性能水準や他の性能項目を設定することは任意であるということである。

(3) 性能の水準

構造性能の水準は、安全性、修復性、使用性などに関する尺度を示すものである。これは建築主の要求を満足する一方で社会的な制約も考慮し、文化的および経済的な状況をもふまえて、建築主と設計者の合意の下に設定されることが望ましい。建築基準法は、技術水準に応じて社会的な制約を反映し、必要に応じて構造性能の評価項目に対して最低水準を規定しているため、建築物の構造性能の水準はそれを下回らないものとする必要がある。

性能の水準を設定する際には、建物の用途、重要度、耐用年数、耐用年数に伴う荷重条件の変化などを踏まえた上で、水準を向上させるための技術的・経済的容易さと、所定の状態が満足されなくなったときに生ずる人命に対する危険性、経済的、社会的および環境に対する影響の程度などが、総合的に考慮されることが望ましい。

性能の水準は、経験的には過去の設計経験、被害経験、現在の技術水準を踏まえて設定される水準、建築基準法による最低水準など、からの相対的な隔たりで与えることができる。また、確率論的には、性能評価項目の所定の状態が満足されなくなる度合いを信頼性指標や破壊確率で直接表現することができる。

性能の水準は、これらの評価要因や評価尺度を総合して、設計者が建築主との合意の基に設定するのが一般的であろう。本来、構造性能の水準設定は建築主が行うことが原則であるが、設計者は建築主より通常ははるかに多くの建築構造技術（性能）に関する情報を有しており、構造性能の水準の設定にあたっては主体的な役目を果たすべきである。さらに、建築主が水準の設定にあたり判断できるだけの十分な情報を開示すべきである。

構造性能の水準は、荷重・外力の大きさと対応する構造物の状態（限界状態）を組合せることによって表示されることが多い。一般に、状態を固定して荷重・外力を大きくすると性能の水準は高くなり、また、荷重・外力を固定して例えば限界状態の変形を小さく設定すると、やはり性能の水準は高くなる。このように、荷重・外力と変えることと、限界状態を変えることの両方の方法によって目標性能の水準を変化させることができる。なお、性能の水準は、建築主や使用者に容易に理解できる表現を用いることが望ましい。

(4) 構造物の状態

構造物の限界状態は、「使用性」、「修復性」、「安全性」に対し、それぞれ「使用限界」、「修復限界」、「安全限界」と総称する。

構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤といった評価対象ごとの各限界状態は、表 3.5 のように表すことができる。

(5) 荷重および外力の大きさ

想定すべき荷重および外力として、固定荷重、積載荷重、積雪荷重、風圧力、地震動（地震荷重）、地盤に起因する荷重・外力（外乱）、温度などその他の荷重を考える。

荷重・外力の大きさは性能の水準に見合ったものとし、構造物の使用期間と想定する荷重・外力の発生頻度を考慮して法令で要求される大きさ以上とする。

荷重の組合せは、原則として主となる荷重が最大値（非日常的な極大値）をとる場合、他の荷重は平均値（日常的な値）をとることとする。

3.4.3 限界値の設定

性能評価においては、設定された性能評価項目ごとに限界値を適切に設定されなければならない。

【解説】

限界値（限界状態）は、性能評価項目ごとの要求の内容、すなわちあるべき状態を総称したものであり、構造性能を表現する建築物の状態と定義される。

限界値は、表 3.5 に示すように設定された基本構造性能と評価対象の組み合わせ（性能評価項目）ごとに設定し、以下に示す 3 つの基本構造性能に対応する限界値を設定してもよい。

- a) 使用性－使用限界
- b) 修復性－修復限界
- c) 安全性－安全限界

目標性能の設定では、「使用性」、「修復性」、「安全性」の 3 つの基本構造性能を採用する考え方が普及しており、高靱性セメント複合材料のような高性能材料を用いた建築物の性能評価においてもこの考え方を踏襲しても良いとした。

各限界値は、構造物全体の水平変形（角）、建物のある階の層間変形（角）、構造部材の変形（角）や破壊モード、基礎の沈下、浮き上がり、傾斜角、および構造部材や非構造部材の損傷の状態（鉄筋の降伏、コンクリートの圧壊や残留ひび割れ幅）などを用いて設定する。また、什器や設備機器の転倒が構造物の各目標性能に影響を及ぼす場合は、これを考慮して限界値を設定する。

使用限界は、構造物の継続使用に支障を来さない使用性を確保するための限界値である。一般の構造では、応答を弾性限度内にすることが考えられるが、ひび割れ幅（曲げ、せん断）に対する検討も不可欠となる。

修復限界は、損傷レベルを制御することにより修復性を確保するための限界値である。理想的には、地震後に必要となる補修費用を考慮して、すなわち経済的に許容しうる修復が可能となるように構造部材および非構造部材の損傷レベル、例えば、ひび割れ幅（曲げ、せん断）、かぶりコンクリートの圧壊、剥落を定量化して設定する。

安全限界は、人命保護のための限界値であり、構造物が倒壊しないこと、鉛直荷重が支持されることが限界値となる。

なお、各目標性能に対応する限界値は、靱性保証型設計指針¹⁾、耐震性能評価指針（案）²⁾を参考にして設定してもよい。

高靱性セメント複合材料を使用した部材実験によると、従来のコンクリートを用いた場合より残留ひび割れ幅が小さくなるなどのコンクリートの損傷を低減できることが知られている。従って、高靱性セメント複合材料のような高性能材料を用いることは、目標性能の水準を高めた限界

値の設定が可能であり、結果として一般の建物に要求されていた性能より高い水準の建物の実現に有効である。なお、各限界状態における部材や架構の性能は、使用する材料特性に基づき境界条件などを考慮したうえで確認されなければならない。

【参考文献】

- 1) 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，日本建築学会，1999
- 2) 鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説，日本建築学会，2004

3.4.4 応答値の算定

建築物に作用する荷重および外力に対して、限界値との比較に用いられる建築物またはその構成要素の応答が適切に評価できる方法を用いなければならない。

【解説】

荷重および外力としては、固定荷重、積載荷重、積雪荷重、風圧力、地震力、火災荷重を対象とする。これらのほか、建築物の状況に応じて、土圧、水圧、震動および衝撃による外力を採用しなければならない。

使用限界状態がひび割れ発生を許容しない場合については、クリープ・収縮などの影響を考慮して弾性剛性を用いた線形解析により応答値を算定してもよいが、修復限界状態および安全限界状態については弾塑性解析により応答値を算定することが望ましい。

建築物の解析モデルを構築するには、構成する部材の強度・変形（剛性）を適切に評価し、復元力特性を設定する必要がある。現状では、復元力特性の設定に対して実験研究の段階で特に確立した方法が無い場合、既往の研究成果を参考に設定することになるが、それでもデータが不足する場合は実験を行って設定することが望ましい。

梁および柱部材の曲げ耐力の評価方法として、図 3.25 に示すような材料の引張特性を考慮した等価ストレスブロックモデル^{6), 12), 36)}を用いる方法および圧縮応力-ひずみ関係および引張応力-ひずみ関係を提示し、これを基に断面解析を行い求める方法^{1), 24)}が提案されている。しかし、梁および柱部材の材端部でコンクリートを打ち継ぐ場合は、混入した短繊維が打ち継ぎ面で乖離するため、鉄筋コンクリート部材と同様の曲げ性状を示すこと^{8), 15)}が報告されており、設計・施工において注意を要する。

梁、柱部材および耐震壁のせん断耐力の評価方法として、日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説」の評価式に材料の引張特性を考慮して修正した式(3.6)^{5), 12), 19)}および式(3.7)¹³⁾が提案されている。土木学会においても「コンクリート標準示方書」の評価式に材料の引張特性の項を付加した式^{1), 24)}が提案されている。

地震力を含む荷重の組み合わせに対しては、動的応答解析により応答値を算定することを原則とする。動的応答解析に用いる建築物の粘性減衰定数については、超高層鉄筋コンクリート造でよく使われている3%の瞬間剛性比例型、超高層CFT造や超高層鉄骨造でよく使われている2%の初期剛性比例型などを参考に適切に設定する。

火災荷重を含む荷重の組み合わせに対しては、現状では高靱性セメント系複合材料を用いた建築物の高温状態解析モデルを構築する十分なデータが無く信頼できる解析が困難であるため、必

要に応じて加熱実験や載荷加熱実験を行い部材の耐火性能の法的基準を満たすことを確認することで応答値の算定を省略できるものとする。可能であれば、熱伝導解析および熱応力変形解析を用いて応答値を算定することが望ましい。解析モデルを構築するには、素材の熱伝導率や比熱などの熱的特性および熱膨張、高温時の応力-ひずみ関係、高温クリープなどの力学的特性を把握する必要がある。また、コンクリートに見られる爆裂現象や過渡ひずみについても考慮する必要がある。PVA-ECC に関しては、壁の耐火試験、不燃材料試験、ガス有害性試験を行った結果、鉄筋コンクリートと同等の防耐火性能を有しているとの報告が文献 39)に示されている。UFC については PVA 短繊維を混入することにより爆裂を抑制できるとの報告が文献 40), 41)に示されている。

既往の研究として、PVA 繊維を混入した高靱性セメント系複合材料 (HPFRCC および PVA-ECC) については文献 1)~23) , 超高強度繊維補強コンクリート (UFC) については文献 24)~38)などが参考になるであろう。

実験による復元力特性の評価例としては、文献 30)~35)に報告されている UFC を用いた架構に関する一連の実験研究がある。まず、図 3.26 に示すような部材の単体実験を行い、各部材レベルについて解析モデルを設定している。これらの設定モデルを用いて図 3.27 に示す単位骨組の荷重-変形関係について実験結果と解析結果の比較を行っている。また、図 3.28 に示す制振デバイス付き 3 層骨組実験の結果と解析結果の適合性についても検討している。

$$V_u = b \cdot j_t \left(p_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \cot \phi + \sigma_{\max}^{ECC} \right) + \frac{\tan \theta (1 - \beta) b \cdot D \cdot \nu \cdot \sigma_B}{2} \quad (3.6)$$

$$\tan \theta = \sqrt{(L/D)^2 + 1} - L/D$$

$$\beta = \frac{(1 + \cot^2 \phi) (p_w \cdot \sigma_{wy} + \sigma_{\max}^{ECC} / \cot \phi)}{\nu \cdot \sigma_B} \leq 1$$

$$\cot \phi = \min \left\{ 2, \frac{j_t}{D \cdot \tan \theta} \right\}$$

ただし、

- b : 部材幅
- j_t : 主筋中心間距離
- p_w : 筋筋比
- σ_{wy} : 筋筋降伏強度
- σ_{\max}^{ECC} : PVA-ECC の引張強度
- D : 部材せい
- ν : PVA-ECC の圧縮強度の有効係数
- σ_B : PVA-ECC の圧縮強度
- L : 内法長さ

$$V_{su} = t_w \cdot l_{wb} (p_s \cdot \sigma_{sy} + \sigma_t) \cot \phi + \frac{\tan \theta (1 - \beta) t_w \cdot l_{wa} \cdot v \cdot \sigma_B}{2} \quad (3.7)$$

$$\tan \theta = \sqrt{\left(\frac{h_w}{l_{wa}}\right)^2 + 1} - \frac{h_w}{l_{wa}}$$

$$\beta = \frac{(1 + \cot^2 \phi) (p_s \cdot \sigma_{sy} + \cot^2 \phi \cdot \sigma_t)}{v \cdot \sigma_B}$$

$$p_s \cdot \sigma_{sy} + \sigma_t \leq v \sigma_B / 2$$

ただし、 l_{wa}, l_{wb} : アーチ及びトラス機構の等価壁長さ
 σ_t : PVA-ECCの引張強度
 t_w : 壁厚
 p_s : 壁筋比
 σ_{sy} : 壁筋降伏強度
 v : HPRCの有効圧縮強度
 (=1.7 σ_B)
 σ_B : HPRCの圧縮強度

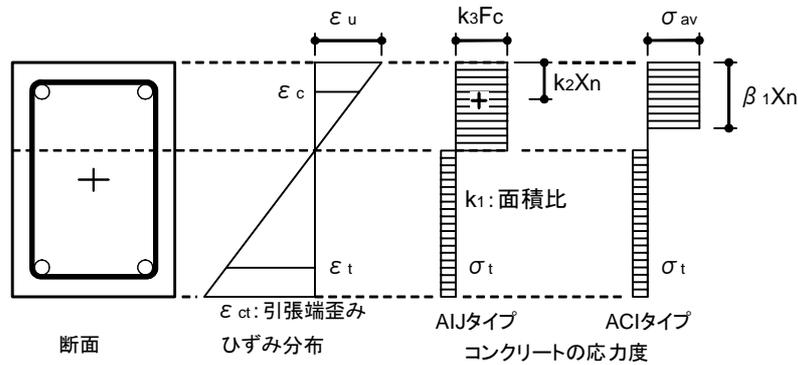


図 3.25 等価ストレスブロックモデル

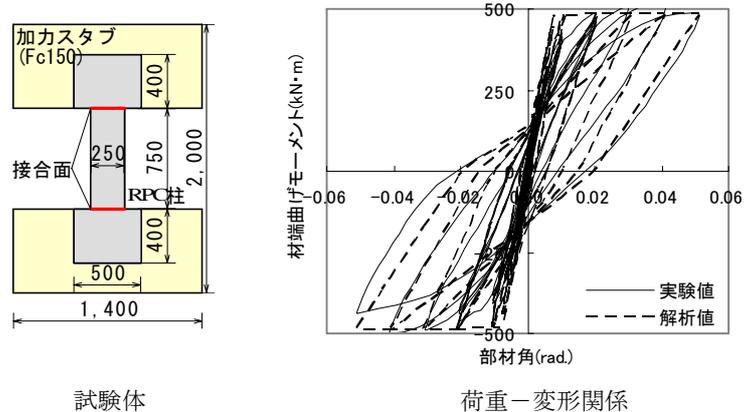
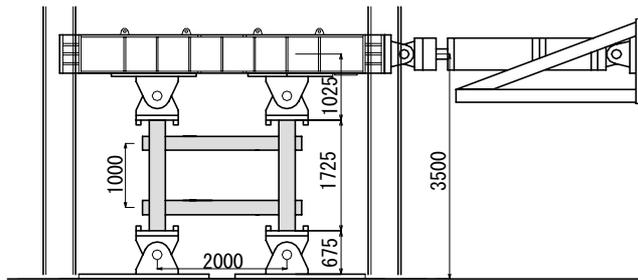
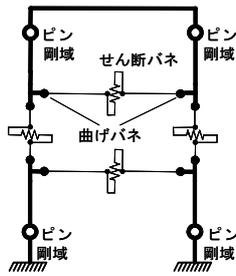


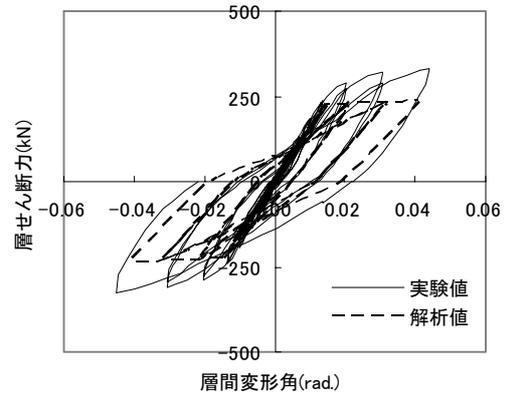
図 3.26 部材実験



加力装置

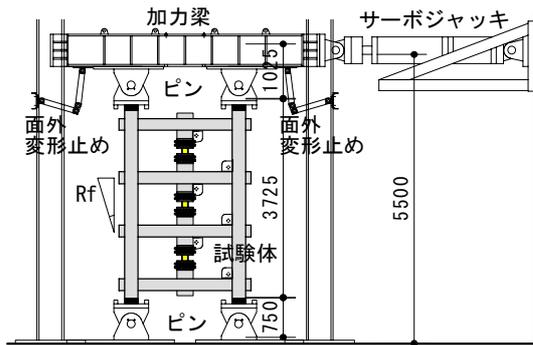


解析モデル

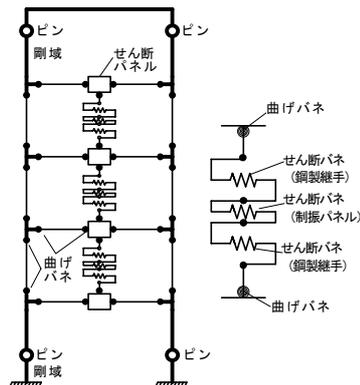


荷重-変形関係

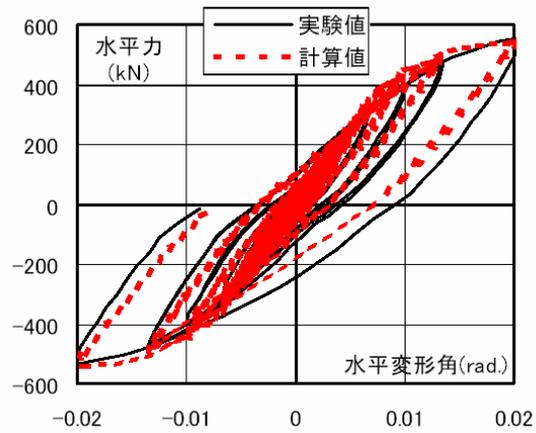
図 3.27 単位骨組実験



加力装置



解析モデル



荷重-変形関係

図 3.28 制振デバイス付き 3層 UFC 骨組実験

【参考文献】

- 1) 土木学会：複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，コンクリート技術シリーズ

- 2) 蔵谷幸憲, 福山洋, 中野克彦, 松崎育弘: 高靱性セメント系複合材料を用いた梁部材の構造性能, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.511-516, 1999.7
- 3) 高橋宏行, 前田匡樹, 倉本洋: 高靱性型セメント系材料を用いた鉄骨コンクリート構造柱の復元力特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.1075-1080, 2000.7
- 4) 藤原徳郎, 松崎育弘, 磯雅人, 福山洋: 高靱性型セメント系複合材料を用いたデバイスの構造性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, pp.145-150, 2001.7
- 5) 高稲宜和, 閑田徹志, 永井覚, 丸田誠: 高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた梁部材の曲げせん断性状 (その 1 実験計画および結果概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.311-312, 2001.9
- 6) 永井覚, 高稲宜和, 閑田徹志, 丸田誠: 高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた梁部材の曲げせん断性状 (その 2 実験結果の考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.313-314, 2001.9
- 7) 宮下丘, 閑田徹志, 永井覚, 丸田誠: 高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた梁部材の曲げせん断性状 (その 3 FEM によるシミュレーション解析), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.315-316, 2001.9
- 8) 八太伸幸, 松崎育弘, 中野克彦, 藤原徳郎, 磯雅人, 福山洋: 高靱性型セメント系複合材料を用いたデバイスの構造性能に関する実験的研究 (その 1 実験計画及び実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.515-516, 2001.9
- 9) 藤原徳郎, 松崎育弘, 中野克彦, 八太伸幸, 磯雅人, 福山洋: 高靱性型セメント系複合材料を用いたデバイスの構造性能に関する実験的研究 (その 2 実験結果の検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.517-518, 2001.9
- 10) 北爪秀和, 松崎育弘, 中野克彦, 八太伸幸, 福山洋, 濱田真: 高靱性型セメント系複合材料を用いたデバイスの構造性能に関する実験的研究 (その 3 部材実験及び制振効果の検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.313-314, 2002.8
- 11) 八太伸幸, 松崎育弘, 中野克彦, 藤原徳郎, 北爪秀和, 福山洋: 高靱性型セメント系複合材料を用いたデバイスの構造性能に関する実験的研究 (その 4 スケルトンカーブの検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.315-316, 2002.8
- 12) 笠原美幸, 松崎育弘, 中野克彦: 高靱性型セメント系複合材料を用いた梁, 柱部材の構造性能に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.553, pp.89-95, 2002.3
- 13) 永井覚, 閑田徹志, 丸田誠: 高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた耐震壁のせん断性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24, No.2, pp.523-528, 2002.7
- 14) 北爪秀和, 松崎育弘, 中野克彦, 八太伸幸: 高靱性セメント系複合材料を用いた制震デバイスの構造性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.2, pp.331-336, 2003.7
- 15) 諏訪田晴彦, 福山洋: 高靱性セメント系複合材料を用いた応答制御要素の復元力特性に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.2, pp.1375-1380, 2003.7
- 16) 梁一承, 西山功, 白井一義, 上田宣人: 高靱性セメント複合材料を用いた鉄骨間柱の中央部接合に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp.1261-1266, 2004.7

- 17) 西山功, 梁一承, 福山洋, 諏訪田晴彦: 高靱性セメント複合材料を用いた鉄骨ブレースの中央部接合に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp.1267-1272, 2004.7
- 18) 永井覚, 金子貴司, 閑田徹志, 丸田誠: 高靱性繊維補強セメント複合材料を用いたダンパ部材の構造性能, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp.1513-1518, 2004.7
- 19) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井覚: PVA-ECC 梁部材のせん断終局耐力評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp.1537-1582, 2004.7
- 20) 諏訪田晴彦, 福山洋, 向井智久, 野村設郎: 強度・剛性・靱性を兼ね備えた高性能耐震要素の構造実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.1087-1092, 2005.7
- 21) 清水克将, 氏家隆博, 金久保利之, 閑田徹志: PVA-ECC 梁部材のせん断性状評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.1333-1338, 2005.7
- 22) 松尾庄二, 閑田徹志, 福山洋, 六郷恵哲: 「高靱性型セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会の活動と性能比較試験結果」, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24, No.1, pp.43-50, 2002.7
- 23) 六郷恵哲, 福山洋, 松尾庄二, 金久保利之, 鎌田敏郎, 松本高志, 閑田徹志, 国枝稔: 高靱性型セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会の活動と成果の概要, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.1, pp.1-10, 2004.7
- 24) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), コンクリートライブラリー, 第 113 号
- 25) 白井一義, 棚野博之, 福山洋, 鹿毛忠継: RPC を用いたはり部材の曲げせん断性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.2, pp.841-846, 2003.7
- 26) 北風野歩, 菅野俊介, 木村秀樹, 片桐誠: 超々高強度コンクリートを用いた柱の圧縮特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.2, pp.847-852, 2003.7
- 27) 上甲尚典, 菅野俊介, 木村秀樹, 下山善秀: RPC を用いた柱の復元力特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp.799-804, 2004.7
- 28) 須間里美, 菅野俊介, 和泉信之, 下山善秀: RPC を用いた外殻プレキャスト合成柱の復元力特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp.805-810, 2004.7
- 29) 上甲尚典, 菅野俊介, 木村秀樹, 片桐誠, 前堀伸平: 200N/mm^2 級超高強度繊維補強コンクリートを用いた柱の復元力特性に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.463-465, 2004.8
- 30) 竹中啓之, 和泉信之, 高橋孝二, 飯塚信一: 制振デバイス付き超高強度 RC 造骨組の耐震性能に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp.1111-1116, 2004.7
- 31) 和泉信之, 千葉脩, 竹中啓之, 鹿籠泰幸, 飯塚信一, 高橋孝二, 白井一義: 制振デバイス付き超高強度 RC 造骨組の耐震性能に関する実験的研究 (その 1 実験概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.877-878, 2004.8
- 32) 高橋孝二, 和泉信之, 竹中啓之, 菊田繁美, 飯塚信一, 白井一義, 上田宣人: 制振デバイス付き超高強度 RC 造骨組の耐震性能に関する実験的研究 (その 2 RPC 実験シリーズ), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.879-880, 2004.8

- 33) 竹中啓之, 和泉信之, 石岡拓, 千葉脩, 鹿籠泰幸, 飯塚信一, 高橋孝二: 制振デバイス付き超高強度 RC 造骨組の耐震性能に関する実験的研究(その3 制振デバイス付き骨組実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.881-882, 2004.8
- 34) 石岡拓, 竹中啓之, 和泉信之, 千葉脩: 超高強度 RPC 部材の復元力特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.673-678, 2005.7
- 35) 稲永英治, 和泉信之, 濱田聡, 菊田繁美, 石岡拓, 高橋孝二, 上田宣人: 超高強度繊維補強コンクリート(UFC)を用いた骨組みに関する研究(その1 柱部材に関する実験的研究), 日本建築学会大会学術講演梗概集構造IV, C-2, pp.183-184, 2005.9
- 36) 氏家隆博, 清水克将, 金久保利之, 片桐誠: 超高強度繊維補強コンクリートを用いた梁部材の曲げせん断性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.1339-1344, 2005.7
- 37) 上甲尚典, 菅野俊介, 木村秀樹, 白井一義: 200N/mm²級超高強度繊維補強コンクリートを用いた柱梁接合部の復元力特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.691-696, 2005.7
- 38) 川口哲生, 片桐誠, 前堀伸平, 兵藤彦次: 超高強度繊維補強コンクリート部材のひび割れ分散性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.709-804, 2005.7
- 39) 巴史郎, 閑田徹志, 平石剛紀, 坂田昇: 高靱性セメント複合材料(PVA-ECC)の基礎的耐久性実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.1, pp.291-296, 2004.7
- 40) 森大介, 上田宣人, 下山善秀, 小林裕, 片桐誠, 水野敬三, 白井一義, 道越真太郎: RPCの耐火性能 その1 有機繊維による爆裂抑制方法の実験的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集防火, A-2, pp.17-18, 2002.8
- 41) 水野敬三, 森大介, 上田宣人, 下山善秀, 小林裕, 片桐誠, 白井一義, 道越真太郎: RPCの耐火性能 その2 加熱実験結果に基づく熱拡散率算定, 日本建築学会大会学術講演梗概集防火, A-2, pp.19-20, 2002.8

3.4.5 構造細則

構造計算の仮定を満たすために、もしくは、所定の品質を確保するために、必要に応じて適切な構造細則を設定しなければならない。

【解説】

構造細則は、使用目的に応じて、高靱性セメント複合材料の施工性および力学特性を考慮した上で、適切に設定する必要がある。一般には、かぶり(本文3.3.2(3)9)参照)、鉄筋間隔(本文3.3.2(3)10)参照)などの項目について、構造細則が設定されるが、これ以外にも例えば、土木学会の「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」¹⁾では、構造部材のかどにおいて補強用鋼繊維が突出する可能性などを考慮して構造部材のかどの面取りを規定している

【参考文献】

- 1) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 土木学会, 2004.9

3.5 環境安全性の確保

- (1) 施工時、使用時および地震、火災その他羅災時において、人体に悪影響を及ぼすおそれのないよう最大限の措置を講じなければならない。
- (2) 廃棄時において、人体の健康および周辺環境に影響を及ぼすおそれのないよう処理できるものとしなければならない。
- (3) 材料のライフサイクルを通して、環境負荷低減に関する配慮しなければならない。

【解説】

(1) 特定化学物質や重金属など、建築材料に人体に悪影響を及ぼすおそれのある物質が含まれる場合がある。高靱性セメント複合材料において、これらの物質は全く含まないことが原則となる。どうしても製造上やむを得ない場合は、竣工後の使用者、施工時の作業者に対して、影響がでないよう適切な措置を講じることが必要である。また、地震や火災などの羅災時においても、人体への悪影響や周辺環境に悪影響がない配慮が必要である。高靱性セメント複合材料では、混入する繊維の種類によっては、火災時に有毒ガスが生じる場合があり、これについての配慮が必要と考えられる。

(2) 廃棄時において、特に最終処分場において処理される場合、同様に人体への悪影響を及ぼす物質に影響がある量を出さないと同時に、周辺環境へ悪影響を及ぼさないよう処理できるものとする必要がある。

(3) 地球環境問題を背景とし、新材料を使用する上で、建設廃棄物への配慮は必要不可欠な視点と考えられる。そのためには、設計時から、長期耐用とする、解体、廃棄のことまで配慮する、などが必要である。設計時において、解体が容易で、廃棄物の分別が容易とする工夫があるなどの配慮があることがのぞましい。

また、製造から使用、廃棄時までのトータルでの環境負荷低減を考えることが重要である。必要に応じて、製造時に環境負荷低減型の材料（リサイクル材料）などを用いるとともに、短期間で交換するような部材に使用する場合などについては、再利用や再資源化が容易なものであることがのぞましい。しかし、一部でみると環境負荷低減となるが、全体でみると逆に環境負荷が増加してしまう場合もあり、トータルで考えることが必要と考えられる。

3.6 品質管理および検査

3.6.1 品質管理および検査の方法と体制

高靱性セメント複合材料の品質管理および検査は、実施する方法と体制が適切に定められなければならない。

【解説】

品質管理および検査の体制は、JASS 5 の 13 節、および JASS 10 の 14 節に準拠して定める。

3.6.2 高靱性セメント複合材料に使用する材料の品質管理および検査

高靱性セメント複合材料を構成する各材料の品質管理および検査は、方法と頻度などが適切に定められ、実施されなければならない。

【解説】

高靱性セメント複合材料を構成する各材料の品質管理は、JASS 10 の 14 節に準拠して行ってよい。必要に応じ、工事監理者は、各材料に関連する JIS などに準拠して試験して検査を行うものとする。高靱性セメント複合材料を構成する各材料については、製造者から提出される試験成績書などにより、使用する材料の品質が所要の性能を満たしていることを確認することで施工者が品質管理を行うこととした。ただし、工事監理者は、これらの構成材料について、自ら定める試験方法により必要に応じて検査を実施し、その品質の確認を行う。

3.6.3 高靱性セメント複合材料および部材の品質管理および検査

高靱性セメント複合材料の品質管理および検査は、要求性能、構造物の規模などに応じて、項目、試験方法、時期、頻度、判定基準が適切に定められ、実施されなければならない。

【解説】

高靱性セメント複合材料の品質管理および検査の一例を表 3.6 に示す。また、高靱性セメント複合材料を用いた部材は、必要な養生を行い、部材性能が適切に保持されなければならない。また、部材の出荷は、所用の性能を満足していることを確認した後、予め定められた出荷計画に基づき実施されなければならない。なお、高靱性セメント複合材料を用いた部材の貯蔵・出荷の方法については、JASS 10 に規定される 8 節に準拠して行ってよい。

表 3.6 HPFRCC の品質管理および検査の例

項目	品質管理および検査の方法	時期・回数	判定基準
配合	各材料の計量値	全バッチ	許容範囲内にあること
フレッシュ状態	品質管理責任者またはそれと同等の技術を有する技術者による目視・触診	施工時随時	ワーカビリティが良好で品質が均質で安定していること
ワーカビリティ	スランプフロー JIS A 1150	施工開始時 供試体採取時 品質に変化が認められた時	要求される条件に適合すること
単位容積質量	JIS A 1116		
空気量	JIS A 1116 JIS A 1118 JIS A 1128		
	練上り温度		
圧縮強度	JIS A 1108	供試体の採取は、1回/1日または構造物の重要度と工事の規模に応じて 20～150m ³ に1回	脱型時および出荷時に試験を実施し、それぞれについて定められた所要の値を試験の平均値が上回ること
引張強度	曲げ試験		
引張終局ひずみ			

3.6.4 施工管理

施工管理は、高靱性セメント複合材料に要求される性能を満足するように適切に計画された施工計画書に基づいて実施されなければならない。

【解説】

施工計画書は、工期や使用材料、具体的方法などを図面や文書にしたものであり、具体的には次のような項目を含む。すなわち、工程表、品質管理計画書、施工要領書、その他の必要事項である。また、品質管理計画書は、品質管理組織、管理項目および管理値、品質管理実施方法、品質評価方法、管理値を外れた場合の措置などについて計画されるものである。

(6) 施工管理体制

高靱性セメント複合材料に要求される性能を確実に満足させるためには、設計者、工事監理者を含めた工事に携わる技術者、作業員、関連業者全員がそれぞれの業務の分担、責任、および権限を明確にした施工管理体制を構築する必要がある。品質管理体制についても、施工時の目標品質の設定、目標品質を実現するための品質管理計画の作成・実施、および施工品質の確認・評価

を実行するために適切に構築する必要がある。

品質管理計画をたてるにあたり、まず管理項目を抽出することが必要となる。JASS 5 (2003)の13節「品質管理・検査」にも管理項目例が示されているが、該当する構造物ごとに必要な管理項目を整理する。重要な項目については施工管理表（QC 工程表）を作成するとよい。

(7) 施工時の検査・確認

高靱性セメント複合材料を用いた部材の受入れにあたっては、適切に定められた検査方法に従って検査を行い、予め定められた判定基準に適合していることが確認されなければならない。なお、高靱性セメント複合材料を用いた部材の受入れは、JASS 10 に規定される 9 節に準拠して行ってよい。高靱性セメント複合材料の施工における検査・確認事項については、品質管理計画書に基づいて実施することが基本となる。

3.6.5 維持管理

高靱性セメント複合材料を使用した構造物は構造条件、施工条件、設置環境などを考慮した上で、計画的に維持管理されなければならない。

【解説】

高靱性セメント複合材料を使用した構造物の維持管理にあたっては、予め適切に維持管理計画を作成し、高靱性セメント複合材料を使用した構造物に要求される性能の確認が可能となる点検項目、点検方法、検査基準および維持管理体制を検討する必要がある。

一般的には構造物の点検は目視などを主体とした点検を定期的に行い、供用上問題となる変状が発見された場合に補修・補強などの対策が施される。高靱性セメント複合材料を使用した構造物においては、予め想定される損傷などに対し適切な補修・補強方法について検討しておくことが望ましい。また、維持管理において必要となる設備や機器は設計において予め考慮しておくことが望ましい。

3.7 適用例：ECC を並列壁の境界梁へ適用した高層建築物

3.7.1 実建物概要と地震応答性状と連結梁への要求性能

地震力をコア壁に集中させ、頂部につけた大梁（スーパービーム）とオイルダンパでエネルギーを吸収させる新たな構造が実用化されている（図 3.29 参照）^{1), 2)}。図 3.29 の建物の頂部スーパービームとオイルダンパに替わり、図 3.30 に表すように、高靱性セメント複合材料の一種である ECC を用いた連結梁を設置する構造について検討した。この適用により、以下のメリットが見込まれる。

- ・オイルダンパを支持するサポート柱が不要となり、建築設計上の自由度が増大すること。
- ・オイルダンパに代わり RC 境界梁を採用した場合に問題となる地震時大変形の繰り返し载荷による部材性能劣化が ECC 連結梁では大幅に緩和されること。
- ・同じく RC 境界梁を採用した場合に問題となる地震時大変形を受けた後の再使用性に関し、ECC 連結梁ではひび割れ幅が微細なレベルに抑制されるため補修の必要性がほとんどなくなること。

この構造の具体例として、図 3.31 に表す「グローリオタワー六本木」（港区六本木 7 丁目、高さ 93m、地上 27 階建がある。この建物は、コ形のコア壁が向き合って配置されており、このコア壁に地震力が集中する。このコア壁間に ECC 連結梁を設置し、地震時にはこの ECC 連結梁に大きな変形を作用させるよう意図したものである。

建築基準法施行令第 81 条の 2 に基づき実施した、レベル 1（25 kine 相当）とレベル 2（50 kine 相当）の各 6 地震波による地震応答解析の結果、ECC 連結梁の応答最大変形角はレベル 1 時で約 0.01 rad.、レベル 2 で 0.025~0.035 rad.であった。図 3.32 にグローリオタワー六本木における連結梁のレベル 2 時応答最大部材回転角分布を示す。なお、この際の応答解析用の連結梁モデルは従来の RC 梁と同様な履歴特性とした。以上の結果から、ECC 連結梁の要求性能は①曲げ強度到達

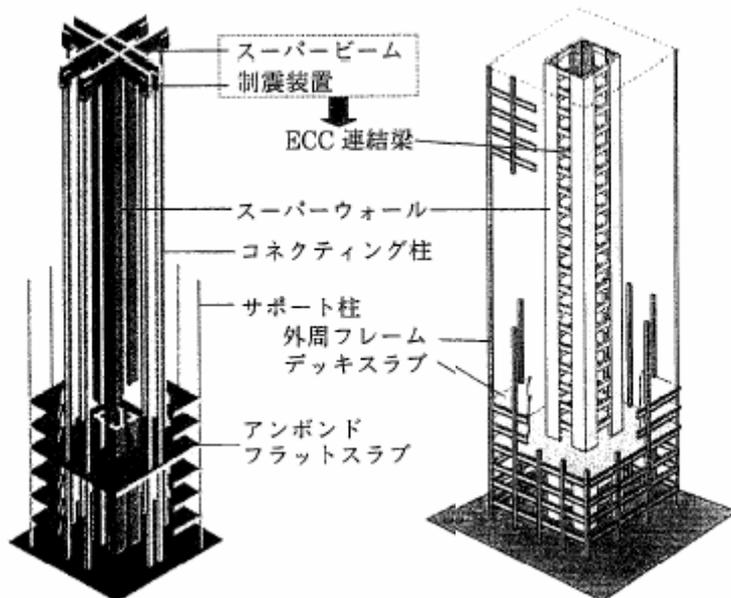


図 3.29 スーパーRC フレーム

図 3.30 新架構概念図

後部材角 4% (0.04 rad.) 程度までは著しい強度低下を生じさせないこと、②地震後に幅が 0.3 mm を超えるような耐久性に影響のある、ひび割れを生じさせないこととした (本文 3.4.1 節における目標性能の設定)。これらの連結梁に要求される性能を満足することにより、構造物における所要性能として、本文 3.4 節に定める(1)使用性、(2)修復性、(3)安全性、(4)耐久性が満足されると判断した。すなわち、前記①により、レベル 2 の大地震を経験した場合でも、構造物の安全性が確保され、さらに②により使用性と耐久性が確保されることになり、再使用に際しての補修が不要になると想定される。



図 3.31 グリーリオタワー六本木

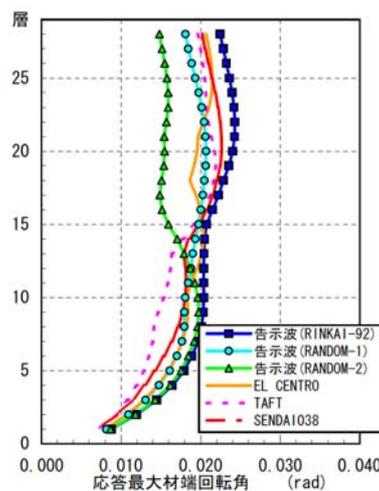


図 3.32 地震応答解析結果 (レベル 2)

3.7.2 高靱性セメント複合材料の材料特性と品質の確保

ECC 連結梁に関して所要の構造性能を実現するため、ECC の材料性能の設計値を表 3.7 のように定めた。この設計値を実現するための調査を実験に基づき表 3.8 に表すように決定した。採用した PVA 繊維の物性もあわせて表 3.8 に示す。

この調査の決定のため、実機プラントでの試練りを複数回実施し、表 3.8 の調査により表 3.7 の設計値を満足することが可能であることを検証した。引張性能については、図 3.33 に表す引張試験方法を用いて、引張強度および引張終局ひずみの平均値と変動係数のデータを採取し³⁾、不良率 4% を許容した場合の信頼区間下限値が設計値を上回っていることを確認した。

表 3.7 に表した項目のほか、ECC の耐久性について確認した。確認した耐久性項目は、物性長期安定性、中性化抵抗性、凍結融解抵抗性、耐火性などである。物性長期安定性については、有

機材料である PVA 繊維の長期的な力学性能およびセメント硬化物との長期的な付着性能について促進試験を実施して実験的検討を行い、問題がないことを確認した⁴⁾。

中性化抵抗性については、JIS A 1153 に基づき促進中性化試験を実施し、図 3.34 にあるように、通常のコンクリートと比較して評価を行った。文献 5)によれば、高耐久性 RC 造とするためにはこの試験において 26 週の促進期間で中性化深さが 25 mm 以内であることが求められており、図 3.34 の結果はこの許容値を大きく下回り、ECC を用いた場合には中性化抵抗性が非常に大きいことがわかる。

また、図 3.35 は JIS A 1148 に定められる方法により実施した凍結融解試験の結果である。高耐久性 RC 造とするためには、この試験により規定される耐久性指数が 85%以上必要であると定められているが⁵⁾、図 3.35 の結果は、このレベルを大きな余裕度をもって満足しており、ECC は優れた凍結融解特性を有していることがわかる。

耐火性については、建築基準法 68 条の 26 第 1 項の規定に基づく不燃材料としての大臣認定、および 1 時間耐火の大臣認定を取得することで確認した。ECC は、PVA 繊維を混入しているがモルタル主体の材料であり、その耐火性状は通常のもルタルもしくはコンクリートに類似と推察される。建設省告示第 1399 号（平成 12 年 5 月 30 日）によりコンクリート系構造物の耐火構造の構造方法が定められており、床にあつては RC の場合 10cm 以上の厚さを有する構造、はりにおいては RC 構造であれば耐火構造と認められるとされている。上記の大臣認定および告示の内容を勘案し、ECC 連結梁は必要とされる耐火性を有していると判断された。

3.7 ECC の材料性能の設計値と検査基準

	項目	設計値	試験方法	検査頻度
フレッシュ	スランプフロー	53cm	JIS A 1150	(1)力学性能試験用の供試体採取時 (2)打ち込み中に品質変化が認められたとき (3)1日の練り混ぜの最初の1バッチ及び最大混練量バッチの最終バッチにて実施 (4)1日の混練が 10m^3 以上の時
	単位容積重量	1.88	JIS A 1116	
	空気量	10%	JIS A 1128	
	練上がり温度	-	温度計による測定	
力学性能	脱型時圧縮強度	10N/mm ²	JIS A 1108	打設 10m^3 毎に1バッチから3本ずつ供試体を採取
	出荷時圧縮強度	36N/mm ²	JIS A 1108	
	出荷時引張強度	2N/mm ²	曲げ試験	
	出荷時引張終局ひずみ	0.50%	JCI-S-003-2005	

表 3.8 調合と PVA 繊維の物性

材料種別	水結合材比 W/B	砂結合材比 S/B	単位水量 W (kg/m ³)	繊維体積率 Vf (%)	空気量 (%)
ECC	0.43	0.76	357	2.0	10
繊維種類	繊維直径 df (mm)	繊維長 Lf (mm)	弾性係数 Ef (N/mm ²)	引張破断強度 (N/mm ²)	備考
PVA	0.040	12	40600	1690	-

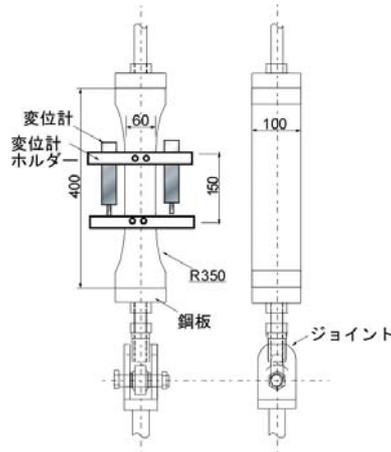


図 3.33 材料性能の検証に用いた引張試験法

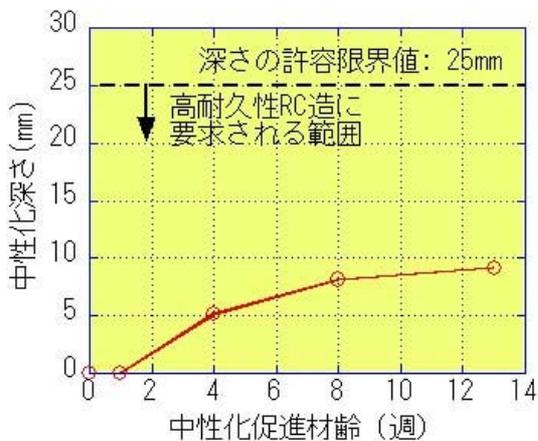


図 3.34 中性化促進試験の結果

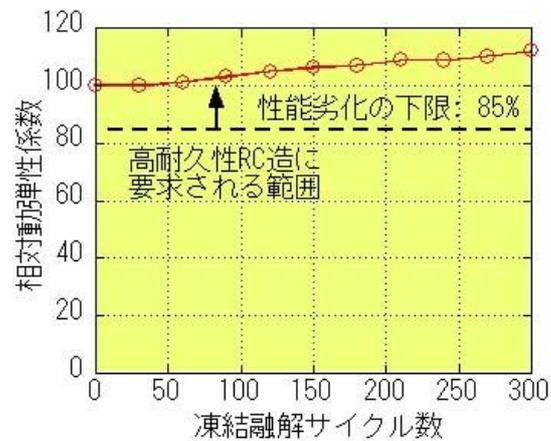


図 3.35 凍結融解試験の結果

3.7.3 高靱性セメント複合材料連結梁の構造安全性の確保

3.7.1 節に示した要求性能を満足できることを検証するため、ECC 連結梁の構造実験を実施した。これらの実験において、ECC 連結梁には、①せん断や付着割裂破壊をさせない、②曲げ降伏後部材角 4%程度までは荷重低下が生じない、③除荷した後の残留ひび割れ幅が 0.3 mm を超えないことが求められる。また、履歴特性についても、実験結果からモデル化を実施した。

構造実験は次の 2 種類実施した。第一は、曲げおよびせん断性状を把握するための曲げせん断実験、第二は付着割裂強度を確認する付着実験である。これらの構造実験から ECC 梁部材の各種強度（曲げ強度、せん断強度、付着強度）、変形性能、履歴性能、損傷程度（各種破壊性状、ひび割れ性状、ひび割れ幅など）を確認し、性能検証に供した。これらの概要については、文献 6) を参照されたい。

3.7.4 環境安全性の確保

ここで用いた ECC 連結梁は、施工時および使用時、さらには地震時、火災時などの罹災時に人体の健康に影響を及ぼすおそれのある物質が、影響がある量を超えて放出されることがないように配慮されている。ECC に使用される PVA 繊維は、石綿代替材料として、欧州を中心として広く普

及しており、人体への悪影響がないことが広範な実験などにより明らかとなっている。また、火災時に高温になった場合、ECC から放出される物質が生体に深刻な影響を与えるものでないことは、建築基準法 68 条の 26 第 1 項の規定に基づく不燃材料としての大臣認定により確認されている。

3.7.5 責任・管理体制（部材の製作方法、管理方法、および施工方法）

プレキャスト（以下 PCa）工場で ECC の部材を製作するに先立ち実施した実機による製造実験の結果から、PCa 工場においても、試験室と同等の性能を有する ECC が製造可能であること、および表 3.7 に表す検査と判定基準によって、ECC に要求される材料品質の確保が可能であることが分った³⁾。

表 3.7 にあるように、品質管理および検査の方法と頻度を定め、所要の品質が確保されていることを確認した。特に、出荷時の引張強度および引張終局ひずみを検査することを定めた。通常のコンクリート部材と異なり、この引張性能の検査は ECC 部材の製造上重要な項目である。ECC の引張性能の検査は、例えば図 3.33 に示す引張試験を用いて行うことができる。この引張試験は、引張供試体の断面が 60×100 mm と比較的大きく、部材中の ECC の挙動を把握する上で適した方法といえる⁷⁾。しかしながら、このような引張試験は、実施に多大な労力を要すること、および供試体のセットや載荷に熟練を要することなどから、日常的に実施する検査用試験として採用することは現実的でない。

これらのことから、引張性能の検査用試験として、より実施が容易な曲げ試験を採用することとした（本文 3.3.1 (1) 2)参照）。採用する試験法は、JCI-S-003-2005 として標準化された 100×100×400 mm の供試体を用いた 3 等分点載荷による方法である（図 3.36）。この試験法では、曲げ荷重に加え、中央 100 mm 幅の曲げ区間について、上下 2 箇所にて載荷直交方向のひずみを計測する。さらに、計測された荷重とひずみから、モーメントー曲率関係に変換し、これをもとに引張強度と引張終局ひずみの推定値を簡単な関係式を介して算出するものである。

この曲げ試験方法を用いるにあたり、材料特性である引張性能を構造性能である曲げ性能から推定することによって生じる誤差の取扱いが問題となる。ここでは、事前の実験により修正係数を算出し、これを曲げ試験による推定値に乗じることで対処した。この修正係数算出のため、実機試験における製造試験を実施した³⁾。その結果、図 3.37 にあるように、引張強度および引張終局ひずみとも曲げ試験による推定値に 0.7 の修正係数を乗じることで安全側に評価が可能であることが分った。

ECC の PCa 部材は、図 3.38 に示すように連結梁部分に周辺スラブ部分に取り付いた形で製作した。これは連結梁が大変形した場合に、周辺スラブが変形に追従して大きな損傷を受けることが考えられ、境界ばり周辺の床スラブにも ECC を用いることでこの損傷の低減を意図した。

ECC の PCa 部材による現場組立ては、図 3.39 に示すように実施した。その手順は、(1) RC コア壁の端部を PCa 化し現場にて設置、(2) そのコア壁端部 PCa をガイドとしてコア壁の残り部分の配筋を実施、さらに(3) コア壁端部 PCa 部材のかぶりコンクリート部分に ECC 部材を位置決めする方法で行った。図 3.39 は ECC 部材の設置後の状況である。この設置工程の後、床スラブ配筋およびコア壁の型枠建込みを経て、コア壁および床スラブのコンクリートを現場打設し完成させる。ECC 部材のコア壁および床スラブへの定着は、ECC 部材から突出した接合筋を介して行われ

ることとなる。

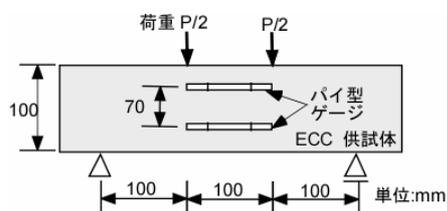


図 3.36 曲げ試験方法

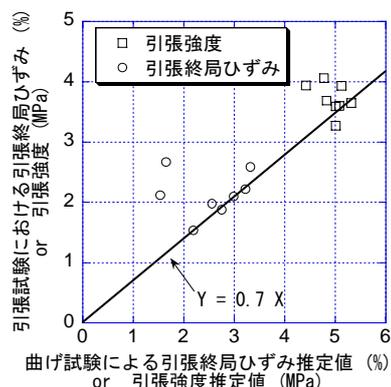


図 3.37 曲げ試験を用いた場合の修正係数の算出



図 3.38 ECC 連結梁の施工状況



図 3.39 ECC 連結梁の設置状況

【参考文献】

- 1) 小堀鐸二, 五十殿侑弘, 大川潤他: 制震装置を用いた新しい RC 架構の開発, 日本建築学会 学術講演梗概集 (北海道) 構造IV, pp. 803-806, 1995.8
- 2) 丸田誠, 鈴木紀雄, 別所佐登志: 鉄筋コンクリート造立体耐震壁の構造性能に関する研究: 日本建築学会構造系論文集, 第 520 号, pp. 109-116, 1999.6
- 3) 閑田徹志, 金久保利之, 永井覚, 丸田誠: 曲げ試験を用いた高靱性複合材料 ECC の引張力学性能管理に関する実験的検討, 鹿島技術研究所年報, 第 52 号, pp. 131-138, 2004
- 4) 閑田徹志, 小川敦久, 浜田敏裕: PVA 繊維を用いたひずみ硬化型高靱性セメント複合材料の耐久性に関する基礎的実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 24, No. 1, pp. 219-224, 2002
- 5) 日本建築学会: 高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針 (案)・同解説, 日本建築学会, 1991
- 6) 丸田誠, 閑田徹志, 永井覚, 山本幸正: プレキャスト ECC 連結梁を用いた高層 RC 新架構, コンクリート工学, Vol. 43, No. 11, pp. 18-26, 2005
- 7) 清水克将, 金久保利之, 閑田徹志, 永井覚: HPFRCC の一軸引張および曲げ性状に及ぼす打設方向の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, pp. 281-286, 2003

第4章 防火システムに関する性能評価ガイドライン

4.1 水平噴流式煙制御システムのガイドライン

4.1.1 対象建築物と技術概要

(1) 対象建築物

- ・用途：災害弱者への配慮が必要な建物（病院、高層集合住宅等）
大量の避難人員が通過する通路の区画（店舗通路等）
- ・設置場所1：付室または非常用 ELV 乗降ロビー（兼用付室）に設置。ただし、安全区画としての廊下を介在。

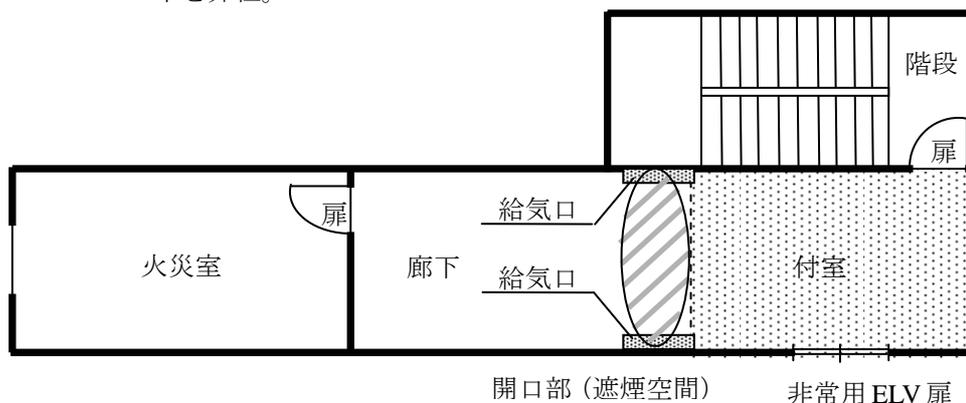


図 4.1 水平噴流式煙制御システムの設置案(1)

- ・設置場所2：エレベータホールに設置

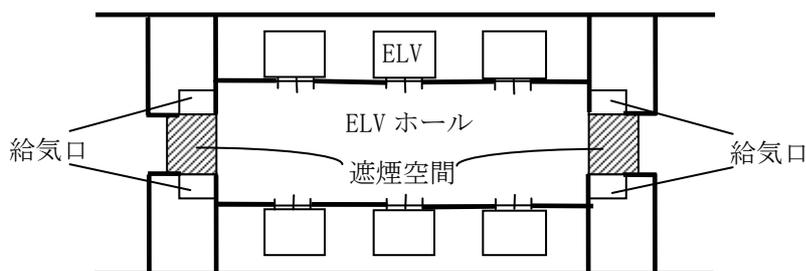


図 4.2 水平噴流式煙制御システムの設置案(2)

- ・水平噴流式煙制御システムをエレベータホールの防煙扉に代替して用いることによりエレベータホールおよびエレベータシャフトへの煙の侵入を防止する。
全館避難時間が長時間となる場合はこの方式の採用により建築物の避難安全性が向上する。
- ・エレベータホールを開放状態とし避難通路として使用することが可能である。エレベーターホールに滞留する避難者は、乗用エレベータにより避難を行うことができる。
- ・非常用エレベータは消防隊専用であることから、高層建築物、深層地下建築物において災害弱者

のためのバリアフリー避難施設としてこの方式による乗用エレベータの避難使用は有効と考えられる。

設置場所3：大量人数の通過する通路において防火・防煙シャッターを不要として避難障害のおそれをなくす。

災害弱者およびバリアフリー対応として病院における水平避難や地下通路での適用が考えられる。

参考資料：建築雑誌 vol.120 No.1537 2005年9月号 「エレベータ利用避難に関する計画手法・技術指針特別研究委員会」

8階建の病院の避難ならびにエレベータ運行のシミュレーションを行った検討結果では、全館の避難終了時間は45分程度となり、エレベータ待機時間は30分を超える。出火階でも10分程度の待機を要している。混乱を防ぐためにも、煙制御と避難時間を短くするエレベータの運行方法が必須と考えられる。

(2) 技術の概要

1) システムの特長

噴流式煙制御システムの採用の目的は以下に示す特長による建築物の安全性および機能性の向上への寄与と考えられる。

1-1) 付室一廊下間の防火戸代替

(付室は密閉された空間ではなく、避難通路末端の安全区画として位置付け)

- a. 災害弱者、車椅子の使用が容易 (指針の開放力 90Nは無理、ドアチェッカーの 50Nでも無理)
- b. 共同住宅等での防犯効果 (密閉性の解消)

1-2) 加圧防煙システムのデメリット解消

- a. 給気口からの吹出気流により開口部の遮煙性能が確実に確保され、付室内の安全性が向上 (従来の加圧防煙は場合によっては逆流で煙侵入)
- b. 従来の加圧防煙では扉閉鎖時

{	①瞬時の過昇圧が避けられない
	②付室内一定圧の制御が必要
- c. 階段扉および非常用 ELV 扉の開放時、各扉からの加圧給気の流出が抑制され、安全性を高めることができる。
- d. 避難者は遮煙空間を通過すれば、気流の影響の小さい空間で滞留して救助を待つことが可能。

1-3) 検討事項

- a. 給気に対する廊下の排気バランス
- b. 階段扉、ELV 扉開放時における付室側への誘引風量の変動

2) 遮煙空間の性能

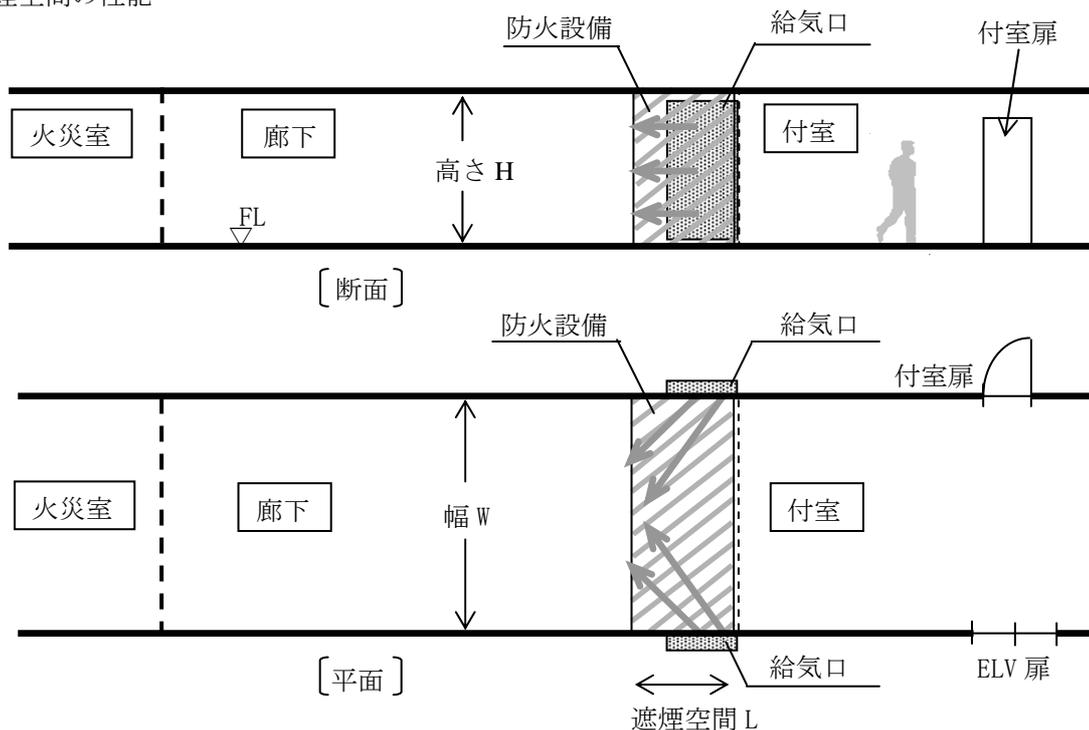


図 4.3 水平噴流式煙制御システムの遮煙空間

- a. $L \times H \times W$ の空間を遮煙性能および防火設備性能を有する遮煙空間と定義する。
- b. 付室内の給気口から遮煙空間に向けて空気を吹出す。
- c. 遮煙空間内の有効風速分布を定める。
 - ・直面する空間（廊下）の温度設定（ 200°C 位の間温度）
 - ・遮煙、遮熱に有効な風速分布を判定
- d. 実験データに基づき CFD シミュレーションにより性能を検証

4.1.2 応答制御等の装置およびメカニズムの概要

(1) 機器、装置

水平噴流式煙制御は、給気ファン、給気ダクト、給気ダンパー（SMD）、吹出口および火災信号、作動信号等の制御装置から構成される。

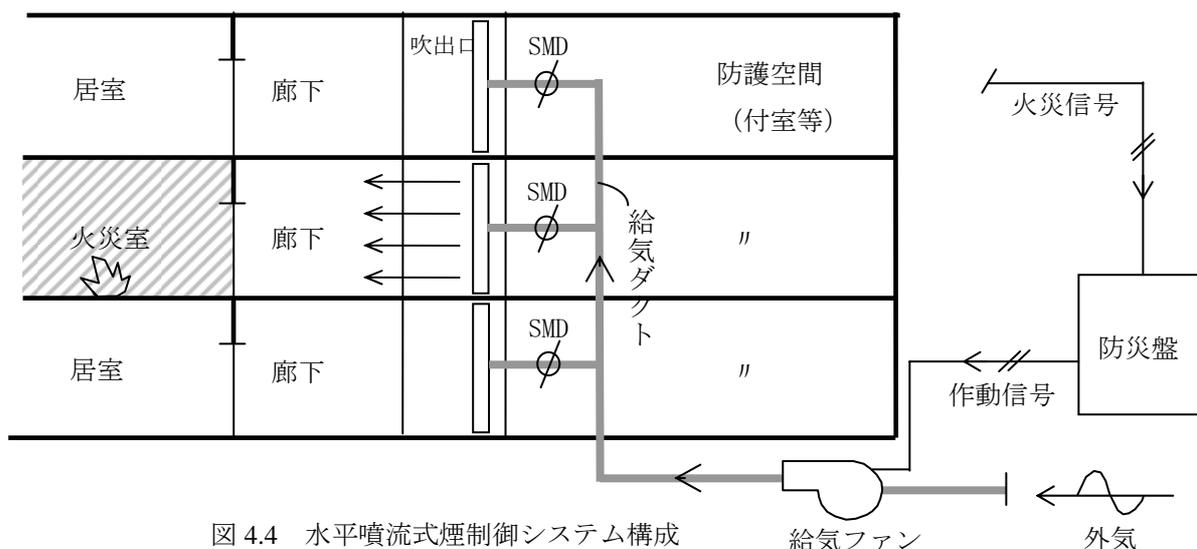


図 4.4 水平噴流式煙制御システム構成

(2) システムメカニズム

水平噴流式煙制御システムは、吹出口からの給気を合成して遮煙性能および防火性能を確保する。吹出口は床面から天井面に通路の両壁面に設置される。

給気量によって給気速度および合成される動圧は変化し遮煙性能および防火性能も変化するので想定火源に対する適正風量を検討する必要がある。

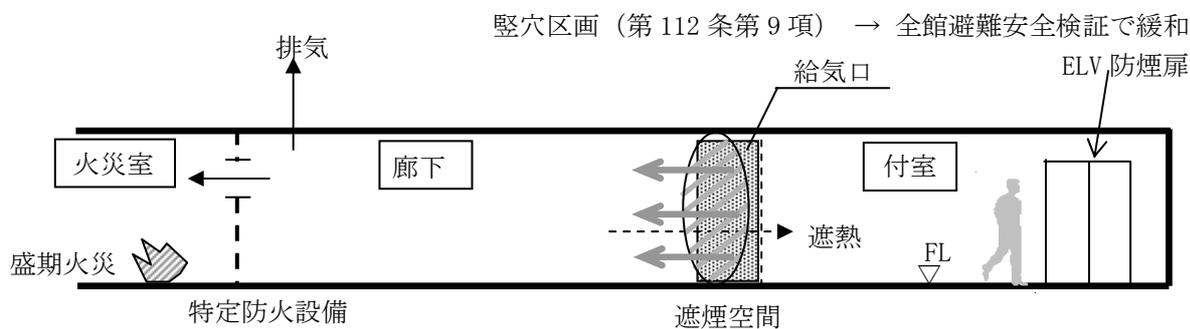


図 5 水平噴流式煙制御システムの遮煙と防火

4.1.3 感知・制御機器の稼動信頼性

(1) 各パーツの信頼性

煙感知器または熱感知器の作動に連動して給気ファン、給気ダンパーを作動させ水平噴流式煙制御システムを作動させる。システムの作動は防災センターの信号確認で行い信頼性を確保する。

(2) システムの信頼性

システムの定期点検により保守管理を行い作動の信頼性を確保する。

4.1.4 維持・管理、定期的作動確認の方法

(1) 煙制御装置の運転計画

煙制御装置の運転は、煙制御装置の制御設計に準じて立案された運転計画に基づいて、建築物の安

全性を保証する範囲で適切に行われるものとする。

(2) 性能確認試験

煙制御装置は、以下の項目により制御に関わる健全な性能が確認されているものとする。

- 1) 製作要領、製品検査要領
- 2) 装置の作動や性能を判断するための試験計画とこれに準じた煙制御装置の性能試験および評価を行う。(作動確認試験と性能確認試験)

(3) 耐久性の検討

煙制御装置を構成する各材料の耐用年数や耐久性を検討し、これによって保守点検の内容や時期が決定されているものとする。

(4) 点検の種類

煙制御装置およびその周辺部の維持管理計画が適切に立案されているものとする。このための点検は、原則として、通常点検、定期点検、臨時点検の3種類によって構成される。

(5) 点検内容

通常点検、定期点検、臨時点検のそれぞれに対して、点検箇所、点検項目、検査方法、判定基準および判定基準を満足しない場合の対処方法などが明確にされているものとする。

(6) 煙制御装置の動作監視（モニタリング）

煙制御装置の動作の健全性を常に監視するための動作監視機構を整備しておくものとする。

(7) 故障対策

煙制御装置の故障に対しては、その診断方法、故障の判定基準、対処方法を事前に定めておき、故障と判断された場合に速やかに対処されるものとする。

(8) 管理体制

建築物所有者、建築物管理者、設計者、施工者または維持管理者などによる煙制御装置の管理体制が明確になっているものとする。

(9) 能動的要因

煙制御装置の存在やその運転が、装置周辺に存在する人や物などに与える影響について、考慮すべき要因と影響の程度を把握し、影響を軽減するための対策が適切に講じられているものとする。

4.1.5 建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証

(1) 基準で要求される火災外力

1) 想定火源

火災荷重は、避難安全検証法に基づき火災室および発熱量を想定し、防護空間に至る煙流動の経路、扉の仕様および開閉条件を定めること。

- (例) 事務室その他これに類するもの : 560MJ/m²
 会議室その他これに類するもの : 160MJ/m²
 廊下、階段その他の通路 : 32MJ/m²

2) 実況に応じた設計火源

想定火源は実況に応じることが可能とし、廊下、階段その他の通路において発熱量を設定するには250～600 kW程度を上限とすることもできる。

(2) 性能検証

1) 対象空間

火災室からの煙流動が作用する直面空間の空間温度、空間圧力に対して、遮煙空間に噴流により給気を行い、防護空間の遮煙性能および防火性能を確保する。

- ・付室等の防護対象の空間を防護空間とする。
- ・火災室と防護空間の間を直面空間とする。直面空間と防護空間の間は遮煙空間とする。
- ・火災室と直面空間は防火区画を行う。
- ・遮煙空間に空気を噴流して遮煙および防火（防災）を行う。

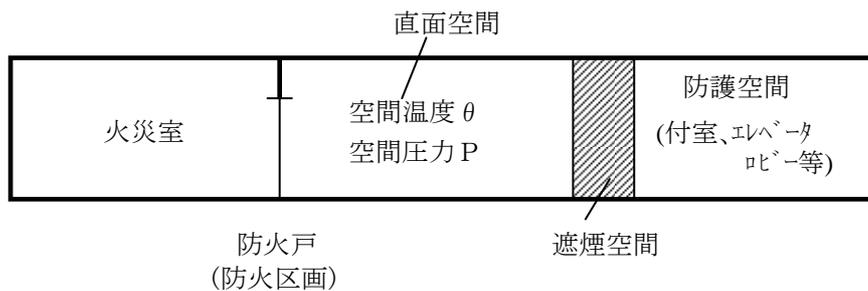


図6 対象空間

2) 噴流式煙制御の性能

2-1) 初期火災時（避難時）の検討

避難安全検証法に基づく火災室の想定および積載可燃物の発熱量により煙流動を解析し、直面空間の空間温度、空間圧力に対して防護空間の遮煙性能および防火性能が避難時間内において確保されていることを確認する。

2-2) 盛期火災時の検討

盛期火災時には火災室は密閉とするが、防火区画を漏洩する熱量、煙濃度を設定し、防護空間における噴流式煙制御システムの遮煙性能、防火性能を確保する。

(盛期火災時にはスプリンクラー設備の作動による煙温度の降下を考慮する。)

3) 許容安全基準

噴流式煙制御システムの採用建築物は以下に示す遮煙性能および防火性能を有すること。

- 3-1) 防護空間内において、温度上昇が許容範囲内であること。
- 3-2) 防護空間内において、煙濃度上昇が許容範囲内であること。

4) 検証方法

防護空間、遮煙空間、直面空間における煙流動を3次元数値流体解析（CFD解析）により解析する。ただし、火災室においては、二層ゾーンモデルにより煙層温度を解析し、直面空間への流入熱量、煙濃度を求めて煙層を設定し、CFD解析の初期値とすることができる。

4-1) 火災室から直面空間に至る煙流動は、その間の煙が伝播する空間をモデル化して、多室の二層ゾーンモデルを用いて解析する。

4-2) CFD解析においては、遮煙する煙の温度が中温（200℃程度）であることから密度変化に関して圧縮性を考慮して精度を確保した解析を行う。

5) 外気圧に対する応答

5-1) 耐外気圧性能判定基準

噴流式煙制御システムの採用建築物は風外乱および外気に対して以下に示す耐外気圧性能を有すること。

- ・建築物の火災室開口部に外気風が作用した場合にも安全性能が確保されること。
- ・防護空間に連結する階段、エレベータシャフトの縦穴区画に建築物内外の温度差によるドラフトが作用した場合にも安全性能が確保されること。

5-2) 解析方法と解析用モデル

CFD解析および二層ゾーンモデル解析を用いて噴流式煙制御システムの安全性能を判定する。

ただし、外気風圧力および内外気温度差によるドラフト力については建築物の個別条件を配慮した値を使用する。

建築物の個別条件とは、方位、外壁、建築物内の間仕切り、外部出入口扉と使用状況を配慮することにより定める。

4.1.6 想定内の作用に対する制御不全に対する対応

[設備停止時の措置]

(1) 停電時

常用電源が停電した場合は予備電源による作動とするが避難時間をカバーできる使用時間を考慮して運転を行えるようにする必要がある。

(2) 煙制御性能限界

直面空間の空間温度、空間圧力が遮煙性能を超えて、防護空間に煙が侵入した段階では直面空間、遮煙空間でのスプリンクラー作動による機能確保を考慮する。

(消火ではなく遮熱性能の観点からスプリンクラー機能を考慮する。)

4.1.7 要求レベルを超えた作用に対する結果

[震災による機能停止対策]

噴流式煙制御システムは、特に重要な用途として特定されるときは、耐震クラス S により機能確保を考慮する。

4.2 加圧式煙制御システムのガイドライン

4.2.1 対象建築物と技術概要

(1) 対象建築物

- ・用途：一般事務所
災害弱者への配慮が必要な建物（病院、高層集合住宅等）
大量の避難人員が通過する通路の区画（店舗通路等）
- ・設置場所1：付室または非常用 ELV 乗降ロビー（兼用付室）に設置。原則、安全区画としての廊下を介在。

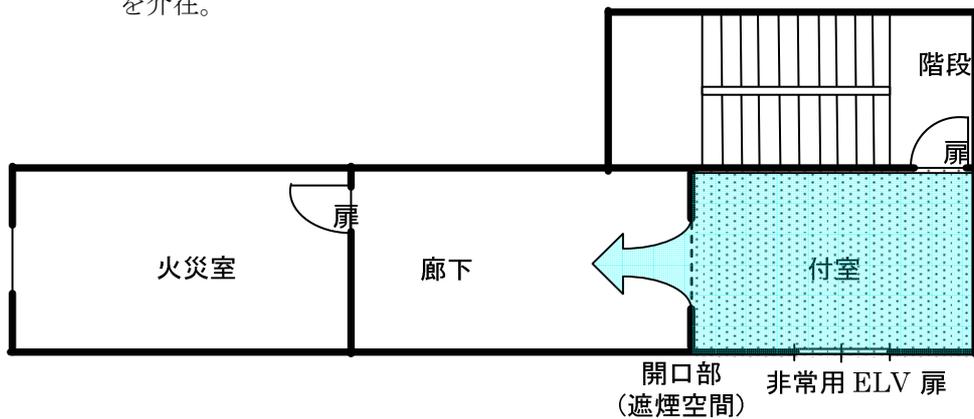


図 4.7 加圧式煙制御システムの設置案(1)

- ・設置場所2：エレベータホールに設置

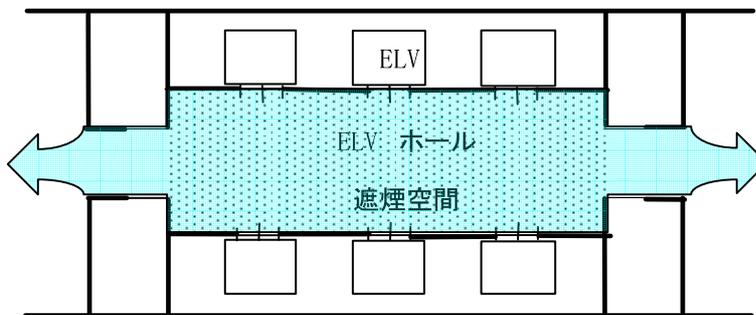


図 4.8 加圧式煙制御システムの設置案(2)

- ・加圧式煙制御システムをエレベータホールの防煙扉に代替して用いることによりエレベータホールおよびエレベータシャフトへの煙の侵入を防止する。
全館避難時間が長時間となる場合はこの方式の採用により建築物の避難安全性が向上する。

- ・非常用エレベータは消防隊専用であることから、高層建築物、深層地下建築物において災害弱者のためのバリアフリー避難施設としてこの方式による乗用エレベータの避難使用は有効と考えられる。

設置場所3：災害弱者およびバリアフリー対応として病院における水平避難や地下通路での適用が

考えられる。

参考資料：建築雑誌 vol.120 No.1537 2005年9月号 「エレベータ利用避難に関する計画手法・技術指針特別研究委員会」

8階建の病院の避難ならびにエレベータ運行のシミュレーションを行った検討結果では、全館の避難終了時間は45分程度となり、エレベータ待機時間は30分を超える。出火階でも10分程度の待機を要している。混乱を防ぐためにも、煙制御と避難時間を短くするエレベータの運行方法が必須と考えられる。

(2) 技術の概要

1) システムの特長

加圧式煙制御システムの採用の目的は以下に示す特長による建築物の安全性および機能性の向上への寄与と考えられる。

1-1) 加圧防煙システムのメリット

室間静圧差により開口部の遮煙性能が確保され、付室内の安全性が向上

1-2) 検討事項

- a. 扉閉鎖時の瞬時に過昇圧がある
- b. 付室内を一定圧に保つファン制御が必要
- c. 給気に対する廊下の排気バランス
- b. 階段扉、ELV扉開放時における差圧変動

2) 遮煙空間の性能

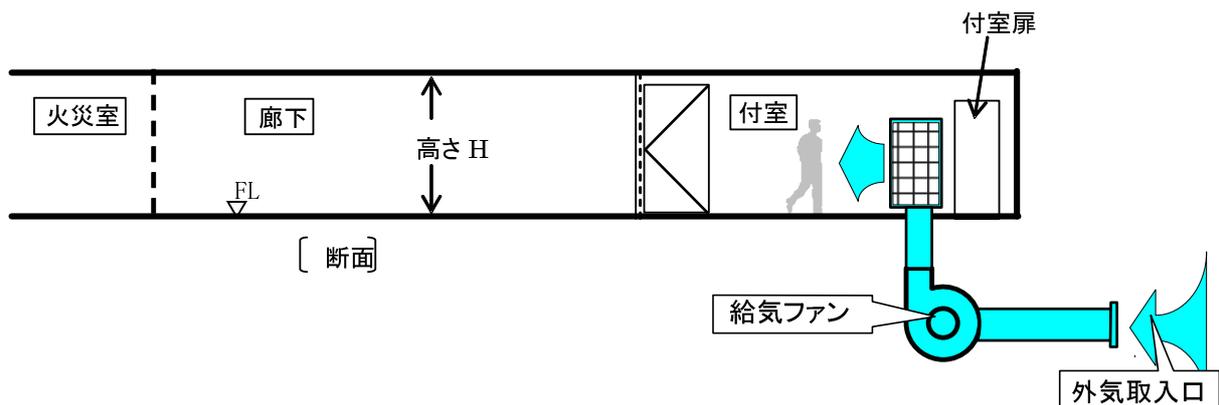


図 4.9 加圧式煙制御システムの遮煙空間

- a. 2層ゾーンモデル、1層ゾーンモデル、CFDシミュレーション等により性能を検証
- b. 付室内の給気口から空気を吹出し、室間に静圧差を設ける。

4.2.2 応答制御等の装置およびメカニズムの概要

(1) 機器、装置

加圧式煙制御は、給気ファン、給気ダクト、給気ダンパー（SMD）、吹出口および火災信号、作動信号等の制御装置から構成される。

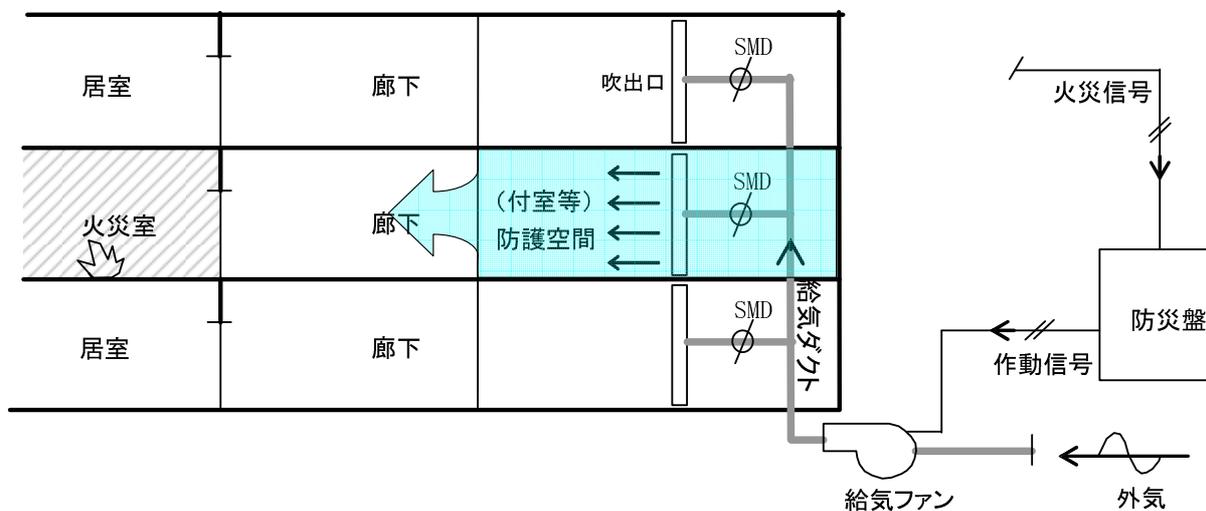


図4 加圧式煙制御システム構成

(2) システムメカニズム

加圧式煙制御システムは、防護空間に給気し防護空間の静圧を高めることで遮煙性能を確保する。

4.2.3 感知・制御機器の稼働信頼性

(1) 各パーツの信頼性

煙感知器または熱感知器の作動に連動して給気ファン、給気ダンパーを作動させ水平噴流式煙制御システムを作動させる。システムの作動は防災センターで信号確認を行い信頼性を確保する。

(2) システムの信頼性

システムの定期点検により保守管理を行い作動の信頼性を確保する。

4.2.4 維持・管理、定期的作動確認の方法

(1) 煙制御装置の運転計画

煙制御装置の運転は、煙制御装置の制御設計に準じて立案された運転計画に基づいて、建築物の安全性を保証する範囲で適切に行われるものとする。

(2) 性能確認試験

煙制御装置は、以下の項目により制御に関わる健全な性能が確認されているものとする。

- 1) 製作要領、製品検査要領
- 2) 装置の作動や性能を判断するための試験計画とこれに準じた煙制御装置の性能試験および評価

を行う。(作動確認試験と性能確認試験)

(3) 耐久性の検討

煙制御装置を構成する各材料の耐用年数や耐久性を検討し、これによって保守点検の内容や時期が決定されているものとする。

(4) 点検の種類

煙制御装置およびその周辺部の維持管理計画が適切に立案されているものとする。このための点検は、原則として、通常点検、定期点検、臨時点検の3種類によって構成される。

(5) 点検内容

通常点検、定期点検、臨時点検のそれぞれに対して、点検箇所、点検項目、検査方法、判定基準および判定基準を満足しない場合の対処方法などが明確にされているものとする。

(6) 煙制御装置の動作監視 (モニタリング)

煙制御装置の動作の健全性を常に監視するための動作監視機構を整備しておくものとする。

(7) 故障対策

煙制御装置の故障に対しては、その診断方法、故障の判定基準、対処方法を事前に定めておき、故障と判断された場合に速やかに対処されるものとする。

(8) 管理体制

建築物所有者、建築物管理者、設計者、施工者または維持管理者などによる煙制御装置の管理体制が明確になっているものとする。

(9) 能動的要因

煙制御装置の存在やその運転が、装置周辺に存在する人や物などに与える影響について、考慮すべき要因と影響の程度を把握し、影響を軽減するための対策が適切に講じられているものとする。

4.2.5 建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証

(1) 基準で要求される火災外力

1) 想定火源

火災荷重は、避難安全検証法に基づき火災室および発熱量を想定し、防護空間に至る煙流動の経路、扉の仕様および開閉条件を定めること。

(例) 事務室その他これに類するもの : 560 MJ/m²
会議室その他これに類するもの : 160 MJ/m²
廊下、階段その他の通路 : 32 MJ/m²

2) 実況に応じた設計火源

想定火源は実況に応じることとも可能とし、廊下、階段その他の通路において発熱量を設定するには250～600kW程度を上限とすることもできる。

(2) 性能検証

1) 対象空間

火災室からの煙流動が作用する直面前空間の空間温度、空間圧力に対して、付室等に給気を行い、防護空間の遮煙性能および防火性能を確保する。

- ・付室等の防護対象の空間を防護空間とする。
- ・防護空間に給気して遮煙を行う。

2) 加圧式煙制御の性能

2-1) 初期火災時（避難時）の検討

避難安全検証法に基づく火災室の想定および積載可燃物の発熱量により煙流動を解析し、直面前空間の空間温度、空間圧力に対して防護空間の遮煙性能が避難時間内において確保されていることを確認する。

2-2) 盛期火災時の検討

盛期火災時において火災室は密閉とするが、防火区画を漏洩する熱量、煙濃度を設定し、防護空間における加圧式煙制御システムの遮煙性能を確保する。

（盛期火災時においてはスプリンクラー設備の作動による煙温度の降下を考慮する。）

3) 許容安全基準

加圧式煙制御システムの採用建築物は以下に示す遮煙性能を有すること。

- 3-1) 防護空間内において、温度上昇が許容範囲内であること。
- 3-2) 防護空間内において、煙濃度上昇が許容範囲内であること。

4) 検証方法

防護空間、直面前空間における煙流動を2層ゾーンモデル、1層ゾーンモデル、3次元数値流体解析（CFD解析）により解析する。

5) 外気圧に対する応答

5-1) 耐外気圧性能判定基準

加圧式煙制御システムの採用建築物は風外乱および外気に対して以下に示す耐外気圧性能を有すること。

- ・建築物の火災室開口部に外気風が作用した場合にも安全性能が確保されること。
- ・防護空間に連結する階段、エレベータシャフトの縦穴区画に建築物内外の温度差によるドラフトが作用した場合にも安全性能が確保されること。

5-2) 解析方法と解析用モデル

2層ゾーンモデル，1層ゾーンモデル，CFD解析を用いて噴流式煙制御システムの安全性能を判定する。

ただし、外気風圧力および内外気温度差によるドラフト力については建築物の個別条件を配慮した値を使用する。

建築物の個別条件とは、方位、外壁、建築物内の間仕切り、外部出入口扉と使用状況を配慮することにより定める。

4.2.6 想定内の作用に対する制御不全に対する対応

[設備停止時の措置]

(1) 停電時

常用電源が停電した場合は予備電源による作動とするが避難時間をカバーできる使用時間を考慮して運転を行えるようにする必要がある。

(2) 煙制御性能限界

直面前部の空間温度、空間圧力が遮煙性能を超えて、防護空間に煙が侵入した段階では直面前部空間、遮煙空間でのスプリンクラー作動による機能確保を考慮する。

(消火ではなく遮熱性能の観点からスプリンクラー機能を考慮する。)

4.2.7 要求レベルを超えた作用に対する結果

[震災による機能停止対策]

加圧式煙制御システムは、特に重要な用途として特定されるときは、耐震クラス S により機能確保を考慮する。

4.3 空調兼用排煙のガイドライン

4.3.1 対象建物と技術概要

(1) 対象建物

本ガイドラインは、空調換気設備と排煙設備を兼用する建物に適用する。
ただし、本ガイドラインに示されない事項は、建築基準法および関連基準・指針による。

空調兼用排煙システムとは、日常の空調・換気設備に用いるダクトやファンを火災時の排煙設備として使用するシステムの総称である。本来、非常時にしか使用しない設備を常時使用することで、スペースの縮小、システムの信頼性の向上などが図られるが、その反面、システム構成が複雑になり、ダンパの切替え動作による耐久性の問題など、設計上留意しなければならない課題も多いと考えられる。また、作動シーケンスと合わせて、ダンパ故障時にも大事に至らないシステムとすべきである。

(2) 技術概要

本ガイドラインは、空調換気設備と排煙設備を兼用するシステムに適用する。

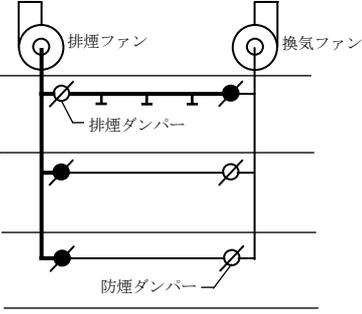
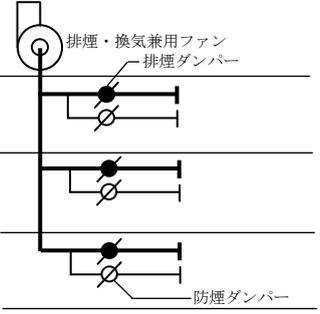
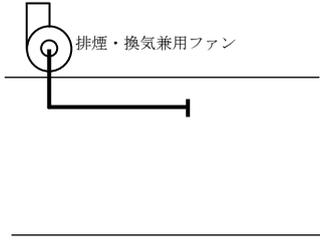
空調兼用排煙システムを分類すると、表 1.2.1 に示すように概略三つのシステムに分けられる。

A方式は、横引きの枝ダクトのみ兼用するもので、事務所ビルの基準階に多いパターンである。排煙風量が法定風量の半分程度になることが前提の兼用システム。

B方式は、セントラルの換気システム、特に外気処理調和器の排気側やトイレ排気の縦ダクトが排煙縦ダクトに利用される場合が多い。

C方式は、風量がもともと多く要求される、映画館・劇場などの興行場や駐車場の換気・空調システムを排煙に用いられる場合が多い。

表 4.1 空調兼用排煙システムの分類と特徴

方式	概念図	特徴
<p>A. 枝ダクトのみ兼用</p>		<ul style="list-style-type: none"> ● 事務所ビルの基準階に多い。 ● 排煙風量が基準法で要求される風量の半分程度になることが前提である。 ● 制御は火災階のダンパーの開閉のみであり、比較的単純である。 ● ファンが単独であるため、排煙ファンの信頼性という点では単独システムと同じである。
<p>B. ファンと主ダクトを兼用</p>		<ul style="list-style-type: none"> ● 事務所ビルの基準階に多い。 ● 排煙ファンはトイレの換気ファン等と兼用される場合が多い。 ● 全ての階の防煙ダンパーの閉鎖が必要であり、複雑なシステムになりやすい。 ● 排煙ファンを常時使用しているため、作動の信頼性向上が見込める。
<p>C. ファンとダクト全てを兼用</p>		<ul style="list-style-type: none"> ● 興行場や小規模の駐車場など、1つの防煙区画のみの用途に多い。 ● 排煙ファンはその室の換気ファン等と兼用される場合が多い。 ● ダンパー切り替え等がないため、シンプルなシステムである。 ● 排煙ファンを常時使用しているため、作動の信頼性向上が見込める。

4.3.2 応答制御等の装置およびメカニズムの概要

(1) 機器・装置

本システムは、排煙ファン、ダクト、切替えダンパ（SFD、排煙ダンパ）、排煙口、換気ファンまたは空調機等で構成される。

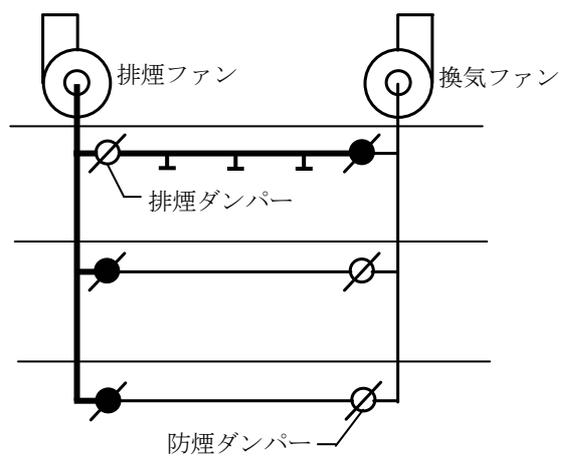


図 4.11 空調兼用排煙システムの機器構成

(2) システムメカニズム

空調換気設備兼用排煙システムは、常時は空調換気設備として機能しているが、火災時には排煙設備として機能するシステムである。

図 4.12 に常時は外気取り入れダクトとして機能している空調ダクトを、火災時にはダンパを切り替え、排煙縦ダクトに接続し、排煙横引きダクトとして使用している例を示す。

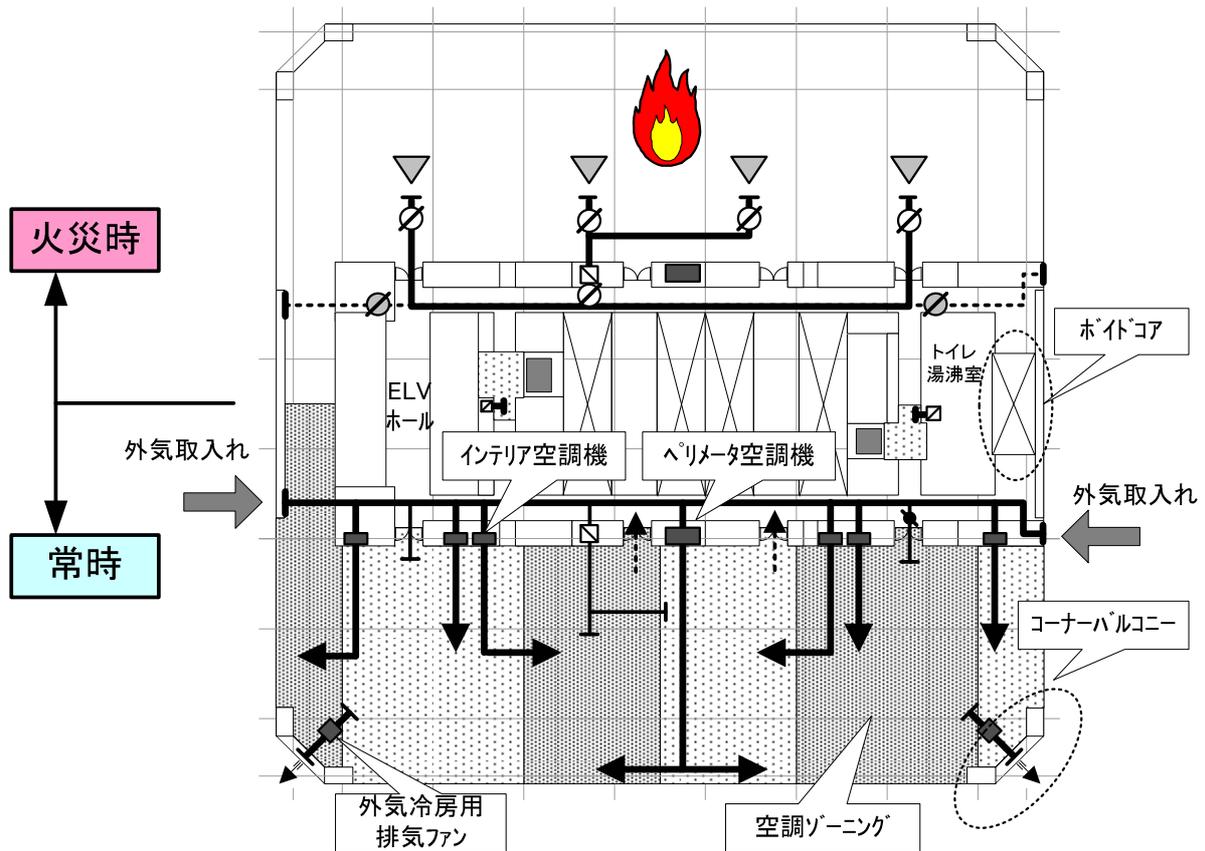


図 4.12 空調兼用排煙システムの機器構成

4.3.3 感知・制御機器の稼動信頼性

(1) 各パーツの信頼性

空調換気設備兼用排煙システムは、排煙ファン、ダクト、切替えダンパ（SFD、排煙ダンパ）、排煙口、換気ファンまたは空調機等で構成される。換気ファンと排煙ファンを兼用する場合は、兼用するファンの耐久性の担保が重要である。また、空調モードと排煙モードを切り替えるための切替えダンパの耐久性・作動信頼性と作動速度の向上が重要である。

1) 空調換気設備兼用排煙ファンの耐熱性

排煙機の構造は JIS B 8331（多翼送風機）または JIS M 7612（軸流型電動機内装局部扇機）に適合するものとし、排風機本体の主要部材であるケーシングおよび羽根車の材料は JIS G 3141（冷間圧延鋼板及び鋼帯）の SPCC, SPCD 等、主軸は JIS G 4151 の S30 以上とする。耐熱性能は次の条件を満たす必要がある。

- ① 吸込温度が 280℃に達する間に運転に異常がなく、かつ、吸込温度 280℃の状態において 30 分以上異常なく運転することができること。
- ② 吸込温度が 280℃から 560℃に達する間に運転に異常がなく、かつ、吸込温度 560℃の状態において 30 分以上著しい損傷なく運転することができること。
- ③ 耐熱試験に用いる温度曲線は JIS A 1304（建築構造部分の耐火試験方法）に規定する耐火温度曲線とする。

排煙ファンを常時換気送風機としても使用する場合、排煙機としての性能を満たす必要があることは当然であるが、常時使用時の耐久性についてもチェックの必要がある。下表に排煙機と換気送風機の耐久性の差異についてのメーカー・ヒアリング結果を示す。

表 4.2 排煙機と一般換気送風機の仕様の差異

	A社	B社	C社
モーター			モーターに冷却装置設置(軸)
ベアリング	—	排煙用(280℃30分間,560℃30分間) 一般用(常温使用で20,000時間以上) 都営地下鉄用(常温で20,000時間, 排煙時125℃60分間)	—
プーリ側軸受	軸受メーカー標準の耐熱仕様(隙間, グリースが異なる)	—	—
反プーリ側軸受	テラル専用の耐熱仕様(隙間, グリース, 材質処理が異なる) 片側軸端鑄鉄製カバー付	—	吸込側に冷却装置設置
主軸	熱膨張に対応するため、反プーリ側 軸受止め部がスライド可能な構造に	—	主軸ケーシング貫通部にケーシング カバー設置
羽根車		—	アルミ鑄物(一般用)を鋼鉄製に変更
吸込口	熱膨張に対応するため、羽根車側板 と吸込口のクリアランスを大きめに している(シロッコ型のみ)	—	—

3社共通のコメント: 部品の共有化を図るために、耐熱性能に関わる部品以外は、排煙ファンと一般空調用ファンとで仕様は変えていない。(つまり耐久性に関しても相違はない)

2) 切替えダンパの性能

・ダンパの開閉時間

地下鉄などにおいて、切替又は SFD 用途として使用されるダンパで、外部からの信号により 開⇒閉、閉⇒開を 7 秒程度（電気モーター利用）で行うダンパがある。（このようなダンパを業界ではモータ式ダンパという）また、SFD 用途として開⇒閉は瞬時（バネ利用）、閉⇒開は 7 秒程度（電気モータ利用）で行うダンパもある。（このようなダンパを業界ではソレノイド式ダンパという）このような仕様のダンパはここ 10 年で製品化されてきた。なお、地下鉄では換気設備と排煙設備を兼用するためこれらのダンパの電源は DC 電源となっている。また、SFD の性能認定においては、7～9 秒以内に動作が完了すれば一般的には認定が得られる。

参考までに空調設備用ダンパを生産している自動制御メーカーの F 社にもヒアリングをしたところ以下の回答があった。

「ダンパ操作器に加わる力（トルク）によって多少の増減はあるが、通常は全開⇄全閉を 90 秒～150 秒程度で完了。なお、標準タイプのダンパ操作器にはスプリングリターンタイプがあり全開⇒全閉を 16 秒で行う。但し、全閉⇒全開は 90 秒～150 秒程度となる」

・開閉動作時のダクト内圧力

一般的に、排煙ダクトの内圧が 500Pa を超えることは通常考えられないが、前述したダンパは、標準の仕様で 1000Pa 程度までは、問題なく開閉動作を行える。なお、D 社は、両方式のダンパ共に 4000Pa 程度まで対応できるとのこと。なお、E 社は、ソレノイド式ダンパの方は 1000Pa 程度まで対応でき、モーターモーター式ダンパは 4000Pa 程度まで対応できる。

・ダンパの耐久性について

モータの耐久試験回数については、E 社は、モータ式ダンパは 10 万回程度（1 日 2 回の作動を想定すると約 13.7 年分）。ソレノイド式ダンパは 1 万回程度（1 日 2 回の作動を想定すると約 13.7 年分）となっている（D 社には未確認）。一般的に設備機器や制御システムの寿命は 13～15 年と言われているため、ダンパの耐久性にも 1 万回以上の作動信頼性が必要と思われる。

(2) システムの信頼性

空調換気兼用排煙システムの信頼性は、切替えダンパの作動個数との関連が高いと考えられる。切替えダンパの作動個数が多ければ多いほど、不作動の可能性が高まると考えられる。システム構築時に、切替えダンパの作動個数を極力少なくするとともに、排煙ファン等に余力を持つことで、不作動時の性能低下を防止する必要がある。

図 4.13 に切替えダンパの作動個数が多い例を示す。この例では、すべての SFD が正常に作動しないと、排煙風量の減少が生じてしまう。排煙機の風量は SFD の不作動率に見合った余裕率を見込むことが望ましい。

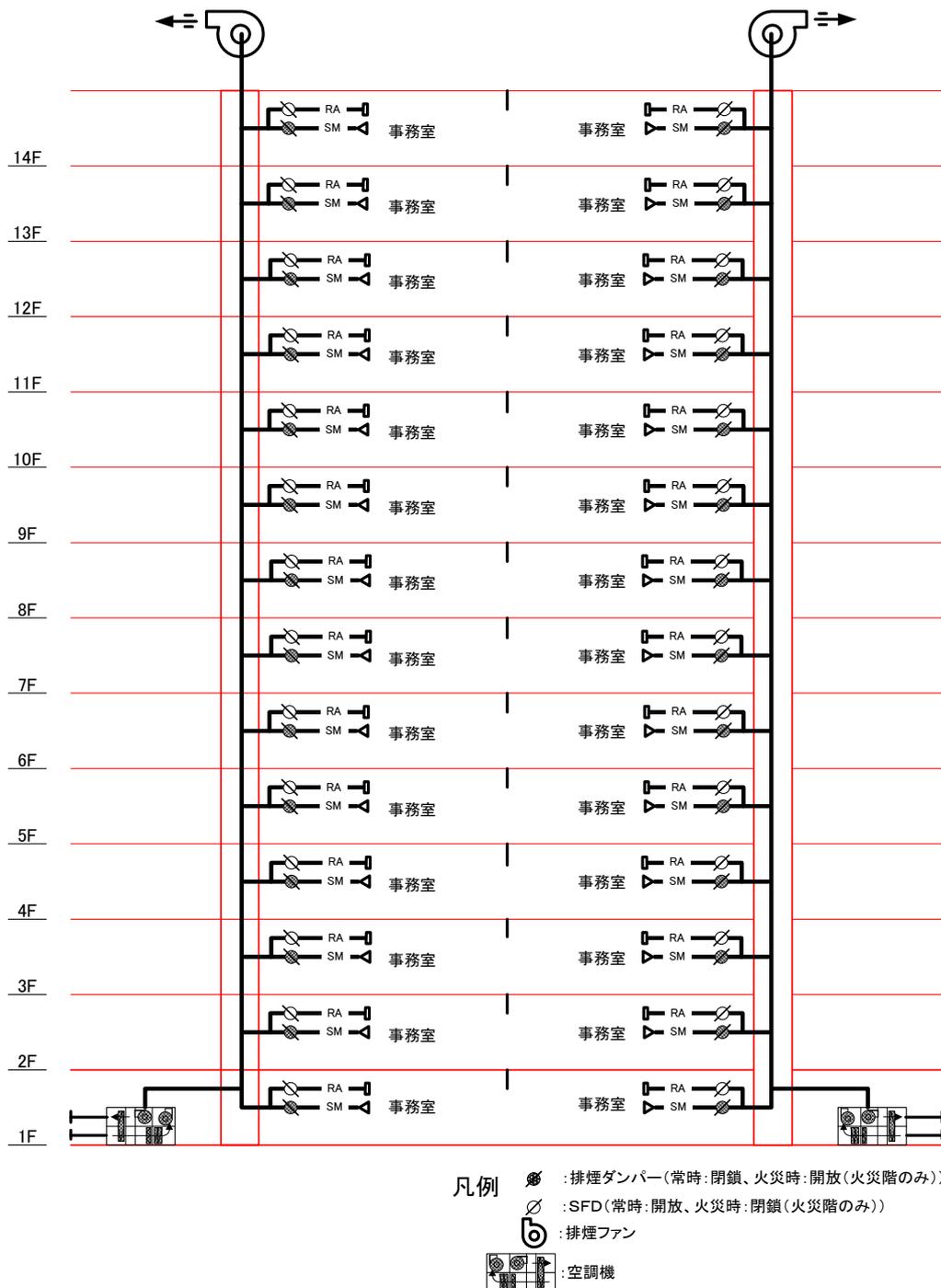


図 4.13 空調兼用排煙システムの機器構成例

4.3.4 維持・管理、定期的作動確認の方法

本システムの信頼性を確保するために、パーツである切替えダンパや排煙ファンの単体の作動確認ばかりでなく、システム全体としての作動確認も重要となる。

防火ダンパの保守点検の要領を日本防排煙工業会では以下のように推奨しているが、空調兼用排煙システムでは、排煙モード切替え時におけるダンパ動作の信頼性の向上を図るため、以下の項目の中で、＜機能点検＞ 2)、3)、4) については、1日に1回程度の点検を行うことが望ましい。また、兼用排煙システム全体の作動についても、火災シナリオを想定し、年2回程度行うことが望ましい。

<一般事項>

点検および保守は、その項目に対応する点検を行い必要に応じて保守その他の措置を適切に講じるものとし、その点検周期は6ヵ月毎に1回とする。

<外観点検>

- 1) ダンパの周囲に閉鎖上障害となるものの有無を点検する。
- 2) ダンパが規定の装置により正常な状態でセットされている事を確認する。
- 3) ダンパ及び自動閉鎖装置に著しい変形、損傷などの有無を点検する。
- 4) 温度ヒューズ装置付自動閉鎖装置の場合は規定の温度ヒューズであるかまた、ヒューズ本体及び取付け部の状態が正常であるか確認する。

<機能点検>

- 1) ダンパの手動による閉鎖が正常に作動することを確認する。
- 2) 連動制御盤の作動指令によりダンパが正常に作動することを確認する。なお、順送り方式のものは順送り作動が正常であることを確認する。
- 3) 作動確認用スイッチの作動が確実であることを確認する。
- 4) ダンパを閉鎖作動させた後、復帰させた場合の異常の有無を点検し関係部位が元の状態に戻ることを確認する。

4.3.5 建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証

(1) 基準で要求される性能

排煙専用設備に対して、信頼性・作動時間・排煙風量ともに大きく損なうことのないシステムであること。

空調兼用排煙システムの作動時間・信頼性は主に、切替ダンパの作動速度と信頼性に依存している。特に空調兼用排煙システムの信頼性を確保し、作動時間を短縮するためには、切替ダンパ制御用電流容量を十分確保する必要がある。

1) ダンパ制御用電流容量の算定

防災メーカーのG社へのヒアリングによると、電源の仕様について特に指示がない場合には、標準的には2 Aの出力で30分間の電源供給ができるバッテリーを選定すること。但し、2 Aの出力で、扉・シャッターの作動、ダンパの作動などの全てを賄うことになるため、建物規模が大きい場合には扉やシャッター、ダンパの状況から、適宜判断して電流容量を大きくする必要はある。

※ダンパ1個の動作に必要な電源は、0.3A～0.5A程度のため、2 Aの出力では、ダンパ4ヶ程度を同時に作動させるだけで他の電源供給ができなくなる。

電流容量があまりに過大になる場合には、信号を段階的に出すことにより、ダンパ制御用電流容量を削減することも可能であるが、その場合、モード切替に要する時間の確認が必要である。

2) モード切替えの所要時間と切り替えダンパ個数の関係

兼用排煙のモード切替（空調モード⇒排煙モード）には、迅速性が要求される。よってダンパの切替え時間は設計時点で最速の仕様を選択することが望ましい。

兼用排煙のモード切替所要時間は、ダンパ単体の所要時間のみで決まるものではない。そのほかに防災システムの演算や通信に要する時間が必要である。また、モード切替ダンパが複数存在するシステムの場合、ダンパ制御用電流容量が十分である場合には、切替えダンパをすべて同時に作動させることが可能であるが、電流容量に制限がある場合には、ダンパを分割して作動させる必要が出てくる。排煙システムの機能を短時間で発揮させるためには、モード切替と排煙機の起動を平行して行うことが望ましい。その場合、モード切替え所要時間は、排煙機起動時間と同等以内であることが望ましい。モード切替え所要時間が排煙機起動時間以上の場合には、切替えダンパは排煙機の静圧（あるいは閉切り時の差圧）が掛かっても正常に作動するトルク力が必要となる。

(2) 性能検証

本システムの性能は、信頼性・作動時間・排煙風量ともに想定範囲内であることを、設計時には簡易な計算で、竣工時にはシナリオを想定したシステム全体の検査にて確認する必要がある。

作動時間とダンパ制御用電流容量の算定例を以下に示す。例題としては図 3.2.1 のシステムの試算を行う。

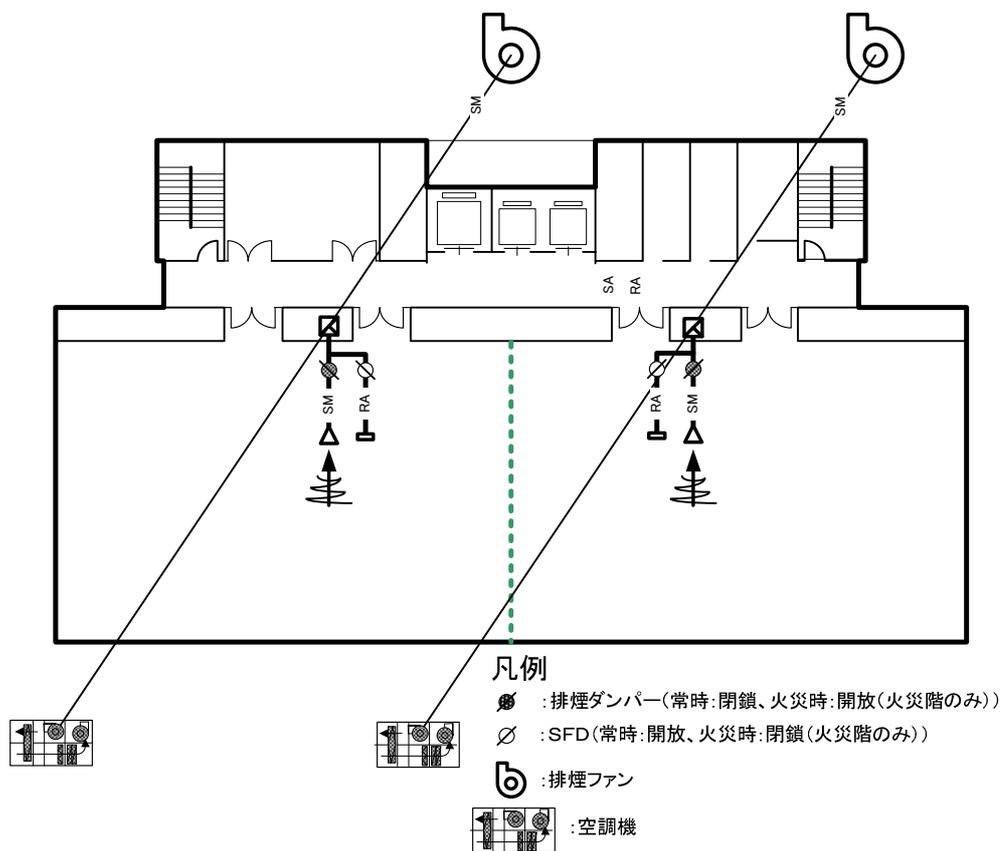


図 4.14 空調兼用排煙システムの平面図（図 4.13 の例に対応）

1) 排煙モード切替えの所要時間と切り替えダンパ个数

このシステムの場合、火災階の排煙を起動させるのに必要な切替えダンパの数は、火災階の 4 個（開放→閉鎖 2 個，閉鎖→開放 2 個）と非火災階の 26 個（開放→閉鎖 2 個×13 フロア）である。

建物を 1～7 階と 8～14 階に 2 つのゾーンに分割し、2 回に分けて切り替えるとするれば、一度に作動させる切替えダンパ数は最大 16 個（火災階 4 個＋非火災階 12 個）となる。その場合の切り替え時間は、

$$\begin{aligned}
 T_m &= (T_s + T_d) \times \text{Roundup}(N_d / N_{cd}) \\
 &= (10 + 10) \times \text{Roundup}(30 / 16) \\
 &= 40 \text{ 秒}
 \end{aligned}$$

となる。

ここで、

Tm	: モード切替所要時間 (秒)
Ts	: 通信時間 (秒) (ソフトの処理時間も含み暫定的に 10 秒とする)
Td	: ダンパ単体切替時間 (暫定的に 10 秒とする)
Roundup()	: 整数への切り上げ
Nd	: 切替えダンパ個数
Ncd	: 一度に切替可能なダンパ数

2) 切替えダンパ制御用電流容量の算定

上記 (1) より、一度に切替可能なダンパ数 $N_{cd}=16$ である。

よって、

$$\begin{aligned} A_d &= 0.5 \times N_{cd} \\ &= 0.5 \times 16 \\ &= 8 \text{ (A)} \end{aligned}$$

となる。

ここで、

A_d : ダンパ制御用電流容量 (A)
 N_{cd} : 一度に切替可能なダンパ数

4.3.6 想定内の作用に対する制御不全に関する対応

本システムは、想定内の個数の切替えダンパの不作動があっても、必要排煙風量を確保することが重要である。排煙機等の能力に余力を持たせる必要がある。

切替えダンパの作動個数が多い場合、すべての SFD が正常に作動しないと、排煙風量の減少が生じる可能性がある。排煙機の風量は SFD の不作動率に見合った余裕率を見込むことが望ましい。

4.3.7 要求するレベルを超えた作用に対する結果

排煙ファン不作動あるいは切替えダンパの不作動個数が想定を超えた場合、本システムは機能しない。兼用排煙の方式によっては、火災階より上階の切替ダンパが不作動時には、火災上階に煙を呼び込む可能性がある。ダンパには作動が確認できるように対策を講じるとともに、不作動ダンパの特定と手動での閉鎖を可能とする。

表 4.1 に示す B 方式の場合、切替ダンパの不作動個数が想定を超えた場合、排煙風量の低下が生じる。また、火災階より上階の切替ダンパが不作動時には、火災上階に煙を呼び込む可能性がある。B 方式の場合には、不作動ダンパの位置や個数を防災センター等に正確に表示するとともに、現地での手動閉鎖を可能とする必要がある。

4.4 火災抑制のためのスプリンクラー設備のガイドライン

4.4.1 対象建築と技術概要

能動的制御により建築物の火災安全性能を向上させる設備として、自動的に初期火災を感知し散水を行うことで火災を消火・抑制するスプリンクラー設備に関する指針を提示する。

(1) 対象建築物

火災が発生しうる全ての建築物を対象とする。但し、危険物設備等火災危険性の非常に高い建築物については、さらに検討を要する。

(2) 技術の概要

このスプリンクラー設備は、建築物で想定される初期火災を有効に感知し自動的に火災に対して散水することで火災を消火または抑制し、在館者の火災安全性を高め、建築構造体への火災外力を低減させる設備である。

建築物で想定される初期火災とは、建築物で想定される収納可燃物、火災荷重による火災の初期段階をさす。

基本的な技術要件は次のとおりとする。

- ①建築物で想定される初期火災を自動的に有効に感知する。
- ②火災を感知した場合、自動的に初期火災に対して散水を開始する。
- ③散水によって、想定される初期火災を有効に消火または抑制し、在館者の安全または、避難安全性を確保する。
- ④散水によって火災区画内の最高温度、持続時間を低減し、建築構造体への火災外力を低減する。
- ⑤散水によって延焼を防止する。
- ⑥火災安全上必要な時間、火災抑制を継続する。
- ⑦常用電源停電時でも必要な動作をし、機能を果たすよう非常用の電源、動力源等が確保されている。
- ⑧設備の維持管理が恒常的に適切にされる。

4.4.2 応答制御の装置およびメカニズムの概要

(1) 機器、装置

スプリンクラー設備は、次のような機器・装置によりシステムが構成される。

構成機器	機能・性能
火災感知部	想定される初期火災を有効にかつ自動的に感知する。火災を検知する方法としては、火災による熱、煙、燃焼生成ガス、赤外線、紫外線、画像、音響・振動等がある。
散水部	火災感知により自動的に、想定される初期火災に対して有効

	に散水する。
制御・警報部	火災の発生または機器の作動により自動的に、在館者へ警報または他設備へ信号を出力する。
加圧送水部	散水部に対して必要な圧力、水量を供給する。
水源	火災安全上必要な時間、初期火災抑制のための散水を継続させる水量を確保する。
配管、配線等	各機器に加圧水、電力、信号等を供給する。
非常電源等	常用電源停電時でも必要な動作をし、機能を果たすよう非常用の電源、動力源等が確保されている。
維持管理用機器	設備の維持管理のために用いられる。
その他必要な機器	

上記各構成機器は、便宜上機能面で切り分けて示したが、一つの機器で二つ以上の機能を果たすこと（例えば、閉鎖型スプリンクラーのスプリンクラーヘッドは、火災感知部と散水部が一体である）もあり得る。

(2) システムメカニズム

建築物で想定される初期火災を有効に感知し、自動的に初期火災に対して有効に散水し、火災の発熱速度、火災による熱等を抑制する。また、この散水状態を、火災安全上有効な時間継続する。また、スプリンクラー設備には、必要な機能・性能を維持、管理するために点検用の機器が付属する。

4.4.3 感知・制御機器の稼働信頼性

(1) 各パーツの信頼性

スプリンクラー設備を構成する機器の中で、主要機能に関わる機器については、第三者機関による機能・性能を認証する制度を設け、必要な信頼性を確保することが必要である。この認証にあつては、次の内容を含むことが必要である。

- ①各主要構成機器が必要とされる性能、機能（例えば有効に初期火災を感知すること、有効に初期火災を抑制すること等）を有していることを確認・認証すること。
- ②出荷される各製品機器が、①で認証された機器と同一であることを認証すること。
- ③各機器を製造する会社にあつては、製造品質を確保するために有効な手段を確立していることを客観的に説明しうること。

(2) システムの信頼性

システムの信頼性を確保するためには、スプリンクラー設備を構成する機器を適切に配置し、設置・工事する事が必要である。このためには、以下の内容を含むことが必要である。

- ①常用電源停電時でも必要な動作をし、機能を果たすよう非常用の電源、動力源等が確保されていること。

- ②建築物への各設備機器の配置計画、設計は、必要とされる知識、技能を有すると客観的に認められる者（有資格者）が行うこと。
- ③建築物への各設備機器の配置計画、設計が適切であることを、公的機関が認証すること。
- ④設置工事は、必要とされる知識、技能を有すると客観的に認められる者（有資格者）が行うこと。
- ⑤設置工事後、機器の設置状況が適切であることを、公的機関が実地検査し認証すること。
- ⑥定期的かつ適切な点検、維持、管理がなされ、公的機関に対して、定期的な点検結果の報告がされること。

4.4.4 維持・管理、定期的作動確認の方法

上記にも示したとおり、スプリンクラー設備システムの恒常的な信頼性を確保するためには、設備の維持管理が不可欠である。以下に必要な点検、維持、管理を示す。

- ①建築物の管理者等関係者は、スプリンクラー設備の維持管理に関する法的責任を負うこと。
- ②少なくとも6ヶ月に1回以上、設備の設置状態、損傷、機能、動作について、外観検査、作動検査により確認する。非常用電源等の動作、機能を確認する。
- ③少なくとも1年に1回以上、総合的な動作により、機能・性能を確認すること。
- ④上記①、②の点検、確認にあつては、必要とされる知識、技能を有すると客観的に認められる者（有資格者）が行うこと。
- ⑤上記①、②の点検結果に基づき、建築物の管理者等関係者は、損傷した機器の修理等必要な対処を講ずること。
- ⑥上記①、②、④について、建築物の管理者等関係者は、公的機関に定期的に報告すること。

4.4.5 建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証

(1) 基準で要求される火災外力

火災外力として、性能規定化の避難安全検証法のための火災モデルを用いる。

火災モデルは、火災成長率を単位床面積当たりの積載可燃物の発熱量で分けし、かつ居室の壁や天井の材料により火災成長率の割り増しを行っている。(表1参照)

スプリンクラー設備は、天井面に設置された散水ヘッドから水が散水され、床面や壁面の燃焼を抑制・消火する。このため、散水量、散水パターン、火災の発熱速度と設置天井高さを規定して初めて、自動散水の開始時間、抑制された発熱速度・持続時間などが明示される。

ちなみに、消防用のSPヘッドの要求されるクリブ燃焼の火災モデルを表2に示す。

火災成長率は、避難安全検証法での $(\alpha f + \alpha m) t_2$ 、すなわち $(\alpha f + \alpha m)$ 値を耐火構造の事務所とした場合、代表的な例として $0.0125 + 0.0035 = 0.0160$ となる。この値は、スプリンクラーヘッドのA-6段、A-12段火災モデルの中間に位置し、大幅にずれてはいない。

避難安全検証法で要求される代表的な火災成長率では、スプリンクラー設備は消火できる。水系防火設備を考えたときは、火災の消火まで行う散水密度にするか、それとも火災の燃焼

を抑制するシステムにするかを選択し、散水ヘッドからの散水密度を選択すればよい。火源モデルと散水量を決めて、実験により最大発熱速度、抑制された発熱速度・継続時間、最高温度、抑制された温度・継続時間、総煙量などのデータを収集し、避難安全検証法への反映を検討することが必要である。

表 4.4 避難検証法での火災成長率： $(\alpha f + \alpha m)t^2$

		火災成長率	
αf 積載可燃物		0.0125	$q_i \leq 170$
		$2.6 \times 10^{-6} q_i^{5/3}$	$q_i > 170$
αm 内装		0.0035	不燃材
		0.014	令 129 条第 1 項第 2 号の仕上げ
		0.056	令 129 条第 1 項第 1 号の仕上げ
		0.35	木材その他類する材料で仕上げ

表 4.5 スプリンクラーヘッドの火災モデルの発熱速度（クリブ燃焼）

（消防庁「自動消火装置あり方検討委員会」報告の数値により作成）

	各モデルでの実験値				α 値
	時間 (s)		発熱速度 (kW)		
	t_1	t_2	Q_1	Q_2	
A-6 段モデル	300	500	800	2000	0.0096
A-12 段モデル	120	240	300	3000	0.0364

t_1, t_2 の数値には、火災の成長を見る目安に実験データより
筆者が任意に選択した数値

(2) 性能検証

1) 許容安全基準

1-1) 防火区画性能

①水系防火設備による効果

防火区画性能に及ぼすスプリンクラー設備の効果は下記の通りである。

- ・ 最大発熱速度の抑制による火災規模の拡大制限及び延焼防止。
- ・ 区画最高温度及び持続時間の大幅な低減。

②防火規制の緩和

スプリンクラー設備により空間内の火災拡大を抑制できるため、火災規模が制限される。現実には、スプリンクラー設備の設置により、防火区画面積の倍読み（施行令 112 条）、内装制限の適用除外（施行令 129 条）により、規制が緩和されている。

そこで、スプリンクラー設備を能動的な火災抑制の位置付けとして考えるときに、これらの規制緩和に対し、避難安全の火災モデルで実験を行い、定量的な検証が必要である。

2-2) 避難安全

①スプリンクラー設備による効果

避難安全に関連するスプリンクラー設備が与える効果は下記の通りである。

- ・発熱量低減による輻射熱量の低減
- ・火災規模抑制による煙量の低減
- ・散水による煙量低減、遮熱効果

②避難時間の緩和

スプリンクラー設備は火災消火・抑制により①に示すような効果がある。この効果が避難に与える余裕時間を考慮し、効果が大きな場合は正当に評価し、避難計算へ反映することも検討する必要がある。

2) 検証方法

水系防火設備の果たす発熱速度の大幅な抑制や煙量の低減などの効果を実験で評価し、効果のあることに対し、許容安全基準の内容へ反映することを検討する必要がある。

①避難安全検証法の火災モデルでスプリンクラー設備の消火抑制効果等の確認

たとえば、クリブ火災モデルで水系防火設備ヘッド⁶の消火・抑制性能を実験で確認すると共に、発熱速度、室内温度、発生煙量、輻射熱量の低減効果を測定する。

但し、ヘッドは天井取付高さにより効果が大きく違ってくるため、天井高さをパラメータとして測定する必要がある。

②基準への反映

抑制・低減効果を評価し、効果の大きな項目について、基準への反映を検討する。

4.4.6 想定内の作用に対する制御不全に対する対応

スプリンクラー設備の火災時の作動統計では、火災時に作動した割合は、97.9%^{*1}である。不作動の内容は、点検時にバルブの閉止忘れ、スプリンクラーヘッド⁶が散水できない⁶が火災などである。このように、スプリンクラー設備では、定期点検を実施していれば高い信頼性があり、火災時に作動する割合は非常に高い。

作動しないで火災が発展し、燃焼拡大になった場合、対策的には特に手段が存在しない。

下記のように、火災発生前の事前対策を重点的に考えておく必要がある。

①設計面での冗長性

- ・ 主要機器の二重化
- ・ 配管のループ化

②維持管理の徹底

- ・ 常時監視機能の付加
- ・ 定期点検の実施

* 1 : 山下、塩谷 : 我が国のスプリンクラーの消火効果について、火災 (212 号) , vol44,no.5、p35-41 (1994)

4.4.7 要求するレベルを超えた作用に対する結果

火災規模が大き過ぎスプリンクラー設備で対応できない場合を考える。ヘッドから散水しているため、散水なしに比べ火災の発熱速度を抑制、室内温度を低減でき、火災の拡大を抑制できる。ただ、スプリンクラー設備は、避難するまでの散水を満たす貯水容量にするか、耐火も考慮した容量にするかで、散水時間も異なり、火災の持続時間がこの散水時間を超えてしまう場合は、拡大の抑制が不可能となる。

【参考】

消防法に規定されているスプリンクラー設備

現在、消防法には、消火設備として『スプリンクラー設備』が規定されている。このスプリンクラー設備を、建築の火災安全・防火設備として用いることは十分可能である。

対象建築物

現在、建築基準法第35条には、ある要件にあてはまる建築物には、スプリンクラー等の消火設備を技術基準に従って設備維持することが定められている。また、消防法第17条には、建築物(消防法でいう防火対象物)に消防の用に供する設備を設置維持することが定められており、さらに、消防法施行令、施行規則には、スプリンクラー設備等の設置、維持管理に関わる技術基準が定められている。

現行の消防法上、スプリンクラーが設備される建築物(防火対象物)は次の通りである。

- ・物販用途：延床面積 3,000 m²以上の建物
- ・その他特定防火対象物：6,000 m²以上の建物
- ・特定防火対象物で11階以上ある建物全館
- ・その他の建物の11階以上のフロア

＊特定防火対象物：劇場、集会場、遊技場、飲食店、百貨店、旅館、病院、福祉施設、サウナ、地下街、等

建築物の火災安全性能を向上させる火災安全設備としてスプリンクラーを用いる場合の対象建築物は、上記消防法の規定にとどまらず、火災が発生する可能性がある建築物全てを対象とできる。

技術の概要

スプリンクラー設備は、建築物内に発生した火災の熱により、スプリンクラーヘッドの感熱開放部が自動的に開放することで、水源・ポンプから加圧送水される水を放水するものが代表的であり、次のような機能を持つ。

- ・ヘッドが火災の初期状態を検知し自動的に放水することで、

①火災の発熱速度を大幅に抑制し、鎮火に至らしめる。

②延焼を防止する。

③火災区画内最高温度、持続時間の大幅に低減させる。

スプリンクラー設備の技術基準、設置基準、維持管理基準等は、法令に定められており、火災防護に関して長い年月の実績を積み重ねてきたものであり、建築物並びに在館者の安全確保に大きく寄与してきた。

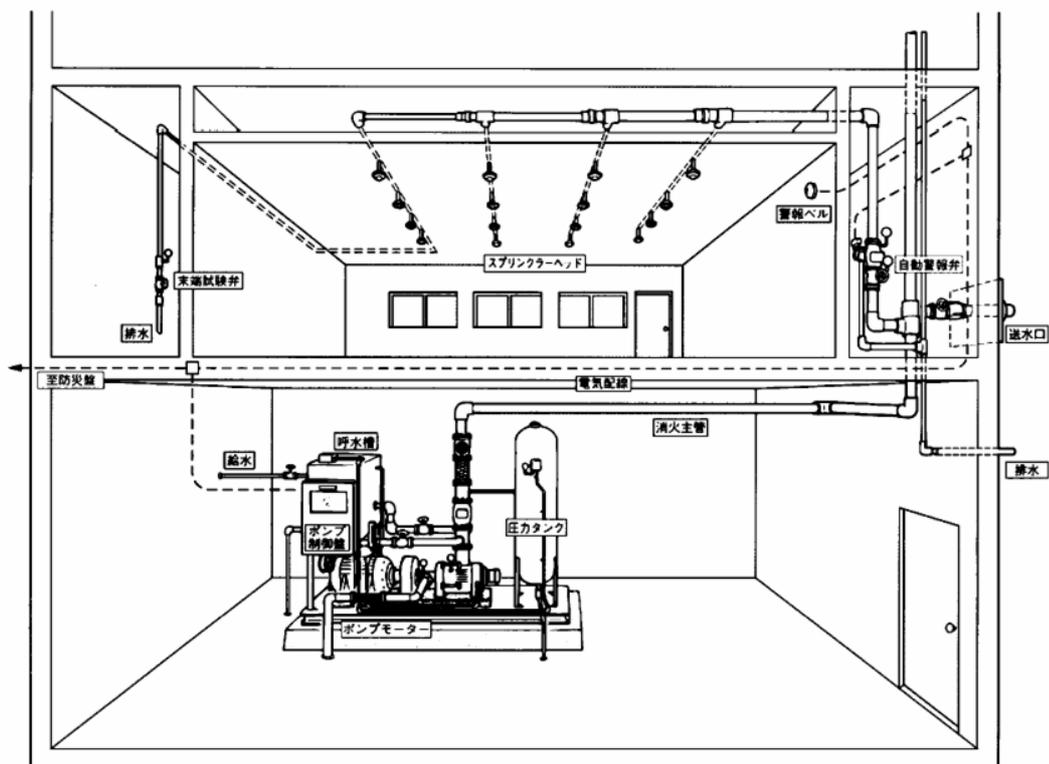
火災抑制による建築物の安全性能向上という観点から、スプリンクラー設備の技術基準を考えるのにあたり、このような実績に鑑み現行法令に基づく技術基準を基本的にはまず踏襲すべきである。

以下に、現行法令基準に基づく各種スプリンクラー設備の技術概要を示す。

①閉鎖型スプリンクラー設備

湿式：最も一般的なスプリンクラー設備であり、常時スプリンクラーヘッドまで

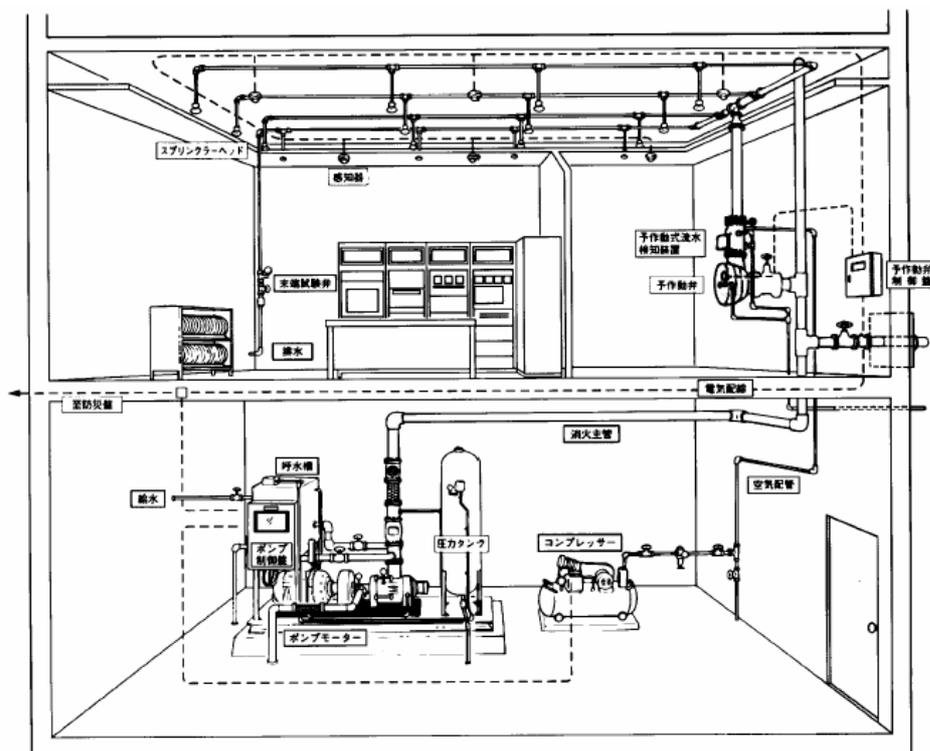
充水・加圧されている。



乾式：スプリンクラーヘッド枝配管に窒素ガスを封入し凍結を防止する。

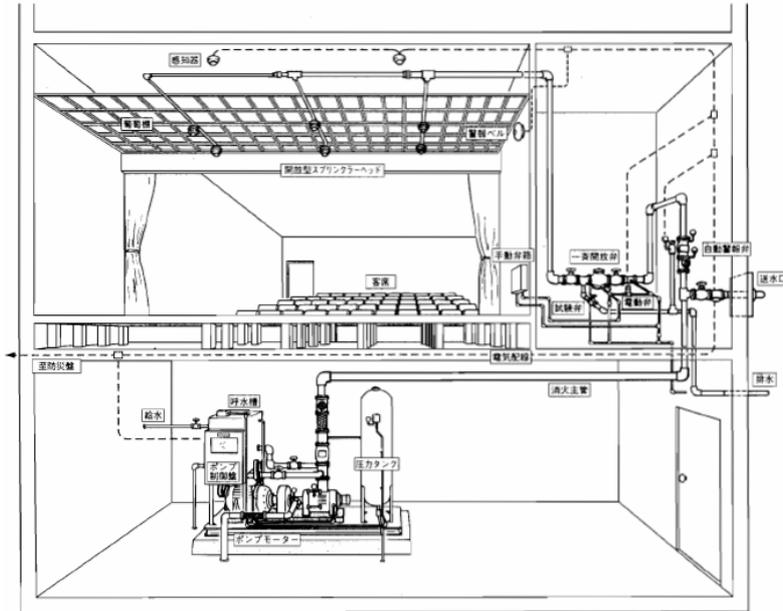
寒冷地向けである。

予作動式：火災感知器の火災信号とスプリンクラー作動のANDで放水する。



②開放型スプリンクラー設備

火災感知器の火災信号や手動操作によって放水する。劇場の舞台部などで用いられる。

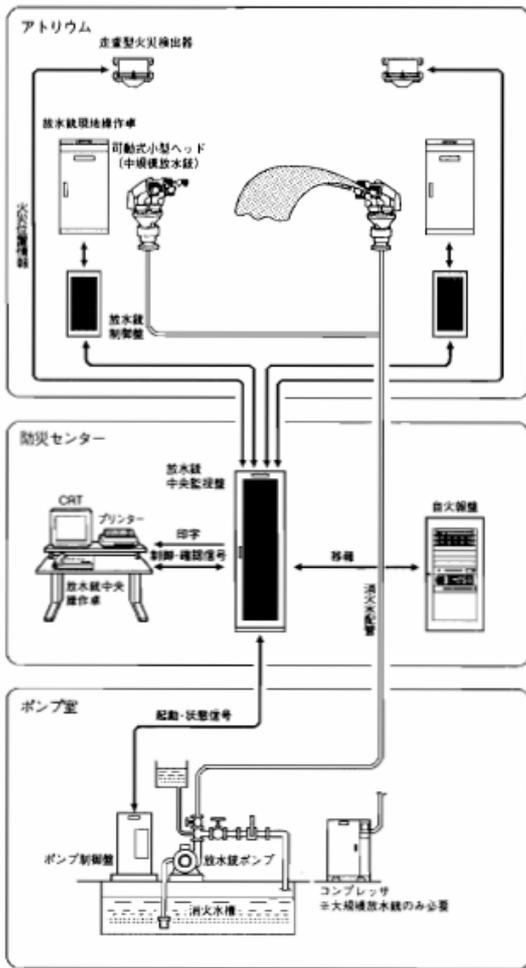


③放水型スプリンクラー設備

一般スプリンクラーヘッドの設置限界高さ（6～10m）以上の天井の場合に設置する。

固定式：火災感知器（炎感知器、煙感知器）の火災信号により、開放型のヘッドから放水する。

可動式：大きな空間（展示場、スタジアム等）に設置される放水銃システム。特殊な炎感知器により火災位置を検出し火災に対して放水ノズルを自動制御・放水する。（左図参照）

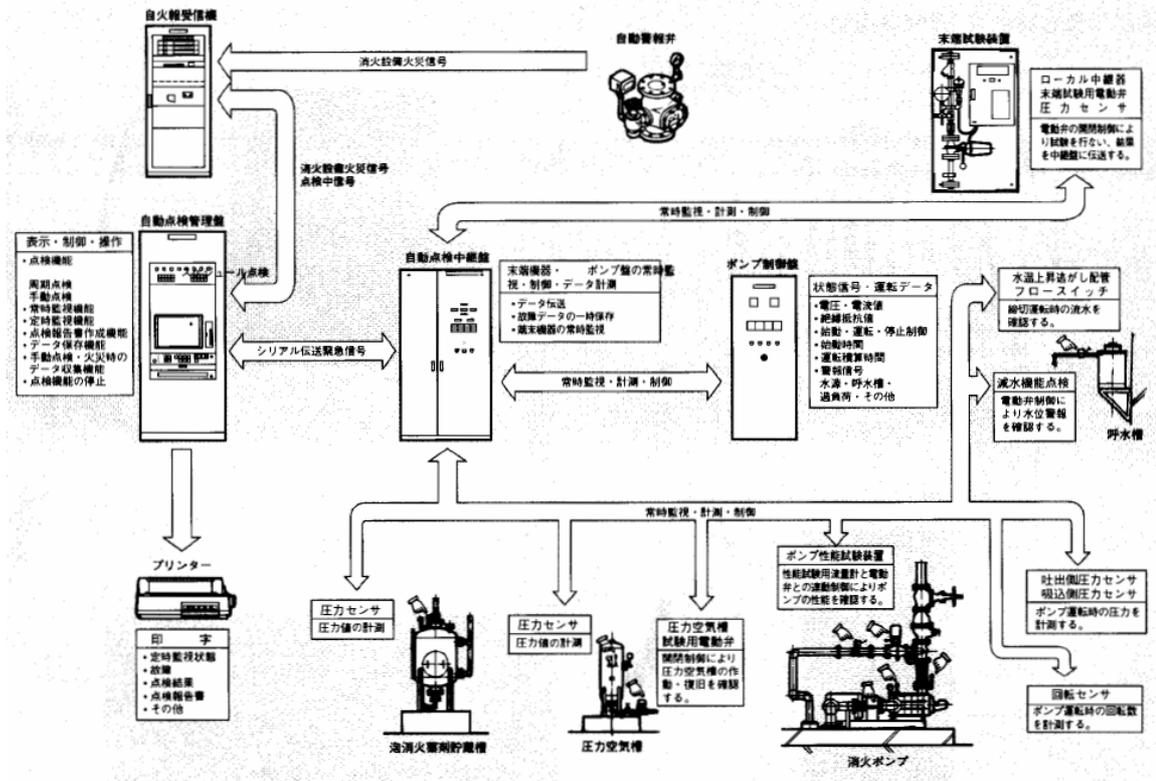


また、近年、次のような高性能スプリンクラーが技術開発されている。

- ・ 開栓ヘッド数量が変わっても放水圧力を一定に保つシステム
- ・ 通常より高感度なヘッドにより早期に放水を開始するシステム
- ・ 天井付近温度が約30℃以下に下がると放水を待機状態にして過放水による水の損害を低減するヘッド



- ・ スプリンクラー設備の機能を常時監視点検するシステム



これらの新技術については、建築物の火災安全性能向上に大きく寄与できるものであり、また今後技術開発される高性能スプリンクラーシステムについても、建築物の火災安全性能向上という観点から性能評価し、建築物全体の火災安全性能基準に組み入れるべきである。

機器、装置の概要

スプリンクラー設備の中で、一般的に最も（圧倒的に）多く用いられる閉鎖型スプリンクラー設備の構成機器は、現行の基準によると次の通りである。

No	機器名称	内 容
1	スプリンクラーヘッド	放水量は標準型ヘッドで 80 リットル/分（圧力 0.1MPa）。散水半径は高感度型（1 種）は R=2.6m。ヘッドを矩形配置した場合 3.68m ピッチ。設置される場所の周囲温度に応じた表示温度のものが用いられる。
2	流水検知装置	ヘッドからの放水による流水を検知し、警報信号を出力する。各フロア毎または放水区域毎に設ける。
3	配管	防蝕対策を施した堅固な配管とする。
4	圧力タンク（圧力空気槽）	配管を通じて常時ヘッドに加圧する。
5	加圧送水装置（消火ポンプ）	火災を感知し放水を開始したヘッドに連続して加圧水を送水する。建物の用途毎に定められたヘッドの最大同時開放個数の基準に応じて送水圧力、送水量等のポンプの性能が決められる。
6	水源水槽、水源	水源水量は、ヘッドの最大同時開放個数×1.6 立米（20 分以上放水可能）。
7	末端試験装置	流水検知装置、システムの作動を試験するため、各フロアまたは放水区域の配管の遠端に設置する。
8	非常電源装置	加圧送水装置の動力源となっている商用電源が停電した場合に備えて、非常電源装置を設備している。

建築物の火災安全性能向上という建築防火の観点から見た場合、基本的にはこれらの仕様基準を踏襲すべきではあるが、一部の数値について（例えば、水源水量等）は不足ないか、検討議論すべきと考える。

システムメカニズム

火災発生から、スプリンクラーによる感知・放水開始、加圧送水装置の起動、等のシステム動作のメカニズムは次の通りである。

No	構成機器	作動メカニズム
1	スプリンクラーヘッド	ヘッドの放水口はシール部材等で封止されており、感熱部材（半田等）が火災の熱で溶解し感熱開放部の構

		造がばらけて、先のシール部が開放される。それによって、放水口から放水が開始する。
2	流水検知装置	スプリンクラーヘッドの感熱開放による放水に伴う配管内の流水を検知し、警報信号を自動火災報知設備等へ出力する。自動火災報知設備では、この信号により、音響警報装置を鳴動させる。
3	圧力タンク（圧力空気槽）	スプリンクラーヘッドの感熱開放による放水に伴う配管内の圧力低下を検知して、加圧送水装置（消火ポンプ）を起動させる。
4	加圧送水装置（消火ポンプ）	圧力タンクからの起動信号を受けて、運転を開始し、放水を開始したヘッドに連続して加圧水を送水する。

感知・制御機器の稼働信頼性

各パーツの信頼性

システムを構成する各機器は、消防法に定められた技術基準に適合していることの検定、認定等が、公的第三者機関によって行われている。このことが各機器、パーツの信頼性向上を支えており、建築物の火災安全性能向上のためのスプリンクラー設備についても、同等な認証体制が必要である。

- ①スプリンクラーヘッド：国家検定対象機器として、総務大臣の型式承認並びに出荷される製品の全数に対して個別検定が実施されている。
- ②流水検知装置：国家検定対象機器として、総務大臣の型式承認並びに出荷される製品の全数に対して個別検定が実施されている。
- ③加圧送水装置：加圧送水装置の基準に従った型式認定並びに出荷される製品の全数に対して個別認定が実施されている。

この他のシステムの構成機器にあっても、公的第三者機関による検定、認定、性能評価、確認試験等が、全数について実施されている。

このように、スプリンクラー設備を構成する各機器、パーツにあっては、公的第三者機関による検定、認定等が、出荷される製品の全数に対して義務づけられていることから、①各機器の設計、性能が消防用機器として適切であること、②出荷される全製品が当初の設計、性能通りのものであること、が確認されていることから、その稼働信頼性は高く保たれているといえる。

システムの信頼性

実際の建物に各機器が設備されるのにあたって、間違いなく設備設計され施工されることが、システムの信頼性を高く保つために不可欠である。

スプリンクラー設備を始めとする消防設備の設備設計、施工にあたって、消防法令等の規定によって、次のことが定められている。建築物の火災安全性能向上のためのスプリンクラー設備についても、消防機関等による同等な実地確認等が必要である。

- ①設備設計図書を、消防設備工事前に、着工届けとして消防機関に提出する。

- ②消防設備の施工は、法令に定められた知識、技能を有する消防設備士が行う。
- ③消防設備の施工終了時に、最終施工設備図面を、設置届けとして消防機関に提出する。
- ④消防機関は、消防設備の施工状態、機能を、消防法令・条例等に照らして消防検査として実施する。この消防検査が完了し、検査済み証が下りない限りは、建築物を使用開始できない。

このように、スプリンクラー設備の設備設計、施工に際して、消防機関による確認、検査が必ず実施されることから、システムの信頼性は高く保たれているといえる。

維持・管理、定期的作動確認の方法

建物（防火対象物）の関係者が、スプリンクラー設備を始めとする消防設備の維持管理、定期的作動確認のために、定期的に点検しその結果を消防機関に報告することが、消防法令上義務づけられている。

併せて、その点検は必要な知識、技能を有する資格者（消防設備士、消防設備点検資格者）が行うこととされている。

建築物の火災安全性能向上のためのスプリンクラー設備についても、同等な維持管理、定期的作動確認の義務づけ、定期的報告の義務づけが必要である。

現行の消防法令に定められている定期点検は次の通りである。

点検の名称	点検の周期	点検の内容
機器点検	6ヶ月に1回以上	①消防設備用の非常電源の動作、機能を確認する。 ②消防設備の設置状態、損傷、機能、動作について、外観検査、簡単な操作により確認する。
総合点検	1年に1回以上	消防設備の全部または一部を作動させ、総合的な機能を確認する。

また、点検結果の報告の消防機関への周期は、建物の用途毎に1年または3年に1回と定められている。（劇場、遊技場、飲食店、物販店舗、宿泊所、病院、福祉施設、サウナ、地下街、等の『特定防火対象物』が1年に1回の報告義務がある。）

スプリンクラー設備の場合、具体的には次のような法定の点検基準に基づき実施されている。

点検の名称	点検の内容
機器点検	①非常電源装置の動作、機能を確認する。 ②水源の水量、状態が適正であるか、確認する。 ③消火ポンプ周りの状況、配線状態、絶縁抵抗、接地、配管状態、呼水槽等を確認する。 ④消火ポンプの起動、運転を確認する。 ⑤水源、呼水槽等消火ポンプ周りの自動給水機能、各種警報機能等が正常

	<p>に作動するか確認する。</p> <p>⑥消火ポンプが所定の性能（回転数、吐出圧力、吐出水量等）を有しているか、測定確認する。</p> <p>⑦スプリンクラーヘッド他機器の設置状態、損傷を外観検査する。</p> <p>⑧間仕切り変更、設置物等により、ヘッド防護範囲に問題ないか、散水障害が生じないか、確認する。</p> <p>⑨配管の状態を確認する。</p> <p>⑩配管上の弁類の開閉状態が適正であるか、確認する。</p> <p>⑪各系統の水圧が所定以上かかっているか、確認する。</p> <p>等。</p>
総合点検	<p>①非常電源装置による稼働状態にして、各系統の末端試験装置を作動させ、流水検知装置の作動、警報出力、ポンプ起動・運転状態を確認する。</p> <p>②末端試験装置にて、所定の放水圧、放水量が確保されていることを確認する。</p>

このように、スプリンクラー設備にあつては、法令で定められた内容、基準に従った維持管理・作動確認が、有資格者によって定期的を実施され、さらにその結果を定期的に消防機関に報告することが定められており、システムの信頼性を高く保つために大きく寄与している。

第5章 かしこい建築の性能評価のための建築基準

5.1 建築基準における「かしこい建築」の性能評価フレームワーク

5.1.1 総則

建築基準における「かしこい建築」の性能評価フレームワーク（以下、フレームワークと略記）は、「かしこい建築」を建築基準体系の中で性能評価する上で必要となる項目、およびそれら相互の関係を定めたものである。ここでいう性能評価は、規制基準（例えば、建築基準法令）への適合を検証する場合を含むが、必ずしもそれに限定されるわけではない。

本フレームワークは、主として2つの活用のされ方を意図して作成している。第一には、設計者が建築主や第三者に対して「かしこい建築」の性能評価においてどのような評価項目に対して評価した結果を示すことが必要であるのかを検討する際に活用されることである。第二には、中立的な性能評価機関等が性能評価の手順・クライテリア等を業務方法書等により定めるために適切な項目および内容に関する参考標準として活用されることを想定している。

(1-1) 「かしこい建築」の定義

「かしこい建築」とは、情報・通信技術や制御技術・高機能材料等を活用して、構造体・空間に作用する外力・負荷やそれに伴う状態の変化、経時的な劣化等を自ら感知するとともに、安全の確保等のために必要な制御を行う技術（以下、この技術を「かしこい技術」と称す。）を組み込んだ建築物をいう。

5.1.2 対象建築物およびかしこい技術と建築基準の関係の明確化

(2-1) 対象となる建築物の定義

建築物の規模、用途、建設地等の一般的な情報について確認する。

(2-2) 導入するかしこい技術の概要

導入するかしこい技術の従来技術にはない特徴、効果、設置目的等の概要を確認する。

(2-3) かしこい技術が使用可能な条件

導入するかしこい技術を使用が可能となる環境条件等について確認する。

(2-4) 対象とする荷重・作用、制御する応答

地震、強風、多雪、火災等の作用に対して、建築物の応答・状態の何をどのように制御するのかを確認する。

(2-5) 性能評価に関係する法令

性能評価において関連する建築基準法、消防法、ビル管理法、ハートビル法、品確法等の関連

条項について確認する。

5.1.3 感知・状態評価・制御の装置およびシステムメカニズムの評価

(3-1) 機器・装置の確認

かしこい技術において感知・状態評価・制御に使用する個々の機器・装置の仕様を確認する。

とくに、環境条件等の使用条件について確認する。

(3-2) システムメカニズムの評価

かしこい技術の作動メカニズム、制御アルゴリズム等が正しくかつ適切であることを評価する。

5.1.4 感知・状態評価・制御機器の稼働信頼性の評価

(4-1) 感知、状態評価、応答制御の各パーツの信頼性

個々の機器・装置の作動信頼性を、実験・統計調査・解析データ等を参考にして評価する。

(4-2) システム信頼性

前項のパーツ個々の信頼性および 3.2 のシステムメカニズムを元に、システムとしての稼働信頼性を評価する。その際、次項に述べる機器・装置またはシステムの維持・管理がシステム信頼性に大きく影響する場合は、これらに関して慎重に検討する。

5.1.5 維持・管理の方法

(5-1) 維持・管理等の要否

機器・装置、システムとして必要な維持・管理を確認する。これには、コミッショニング、定期的作動確認も含まれる。とくに、必要なシステム信頼性の確保が機器・装置またはシステムの維持・管理に強く依存している場合は、その部分が明確になっている必要がある。

(5-2) 維持・管理（マネジメント）戦略

かしこい技術によるシステムが意図どおり作動するための、維持・管理戦略（方法、時期、回数など）が適切であることを評価する。

5.1.6 建築基準法で要求するレベルの作用に対する性能検証

(6-1) 建築基準法で要求されたレベルの作用

荷重・作用または荷重組み合わせ効果に関して、建築物を性能検証するための入力設定の妥当性を評価する。

(6-2) 性能検証

前項の入力に対して、4.2 項のシステム信頼性評価、5.2 項の維持・管理戦略評価を考慮した上で、かしこい技術によるシステムが意図どおり作動することを評価し、その場合の建築物の状態等が建築基準法の意図しているクライテリアを満たすことを検証する。

(6-3) 想定内の作用に対する制御不全に対する対応

想定される制御不全とその発生の確からしさを検討し、発生の可能性が高いもの、または、制御不能となった場合の悪影響が大きいものに対してフェールセーフなメカニズムが用意されているか等について確認する。

なお、建築基準法の規定を上回るレベルの作用に対する建築物の状態が建築基準法の意図しているクライテリア等を満たすことを確認する場合には、6.1～6.3 を検討したことと同等であるので、これらを省略することができる。

5.1.7 建築基準法の規定を上回るレベルの作用、または、建築基準法では規定されない状態に対する性能評価

(7-1) 作用のレベルと目標とする状態

想定する作用のレベルとそれに対して設計で想定している建築物の状態を確認する。

(7-2) 性能評価

前項の作用に対して、4.2 項のシステム信頼性評価、5.2 項の維持・管理戦略評価を考慮した上で、かしこい技術によるシステムが意図どおり作動することを評価し、その場合の建築物の状態等が設定された目標状態に対して適切であることを評価する。

(7-3) 想定内の作用に対する制御不全に対する対応

想定される制御不全とその発生の確からしさを検討し、発生の可能性が高いもの、または、制御不能となった場合の悪影響が大きいものに対してフェールセーフなメカニズムが用意されているか等について確認する。

5.1.8 想定したレベルを超えた作用に対する結果(Consequence)

(8-1) 予想される事象と結果

設計において検討したレベルを超えた作用が建築物に働く可能性について検討し、そのような事象が起こったときに生じる不都合・被害等に関して検討されていることを確認する。一般には、作用のレベルが高い程それが建築物に働く確率は小さくなると考えられるため、無視できるほど可能性が低い事象は検討の対象としなくても良い。

(8-2) 結果の受け入れを判断する材料

結果の受け入れを判断する材料が提示されていることを確認する。判断する者は、施主や居住者を含めた広範な利害関係者(Stakeholders)となることに留意して、図表を活用する等して分かりやすく表現した判断材料とする必要がある。このとき、6 項および 7 項において想定したレベルに対する結果とも対比して提示することが適切となろう。

(8-3) 外部への影響等の検討

かしこい技術がでることによる外部への影響等に関して検討する。とくに、かしこい技術の設置意図とは異なる影響・効果、従来型の技術とは異なる影響の仕方等に関して、できるだけ幅広く検討する。

5.1.9 フレームワークに関連した議論・情報

フレームワークを構成するにあたっては、関連する様々な考え方、情報を背景とした。これらに関して、建築の専門家等から収集した主要な議論・情報を、以下の着目点に分けて記述する。

- (1) 旧来の技術と規制水準を機械的に同一することの弊害
【関連するフレームワーク項目：6, 7, 8】
- (2) 水準について
【関連するフレームワーク項目：6, 7, 8】
- (3) 想定外への対応について
【関連するフレームワーク項目：8】
- (4) 信頼性について
【関連するフレームワーク項目：4, 5, 8】
- (5) メンテナンス（維持管理）について
【関連するフレームワーク項目：4, 5, 8】
- (6) 責任の所在について
【関連するフレームワーク項目：全般】
- (7) かしこい建築基準体系における制度について
【関連するフレームワーク項目：全般】

(1) 旧来の技術と規制水準を機械的に同一することの弊害

【関連するフレームワーク項目：6, 7, 8】

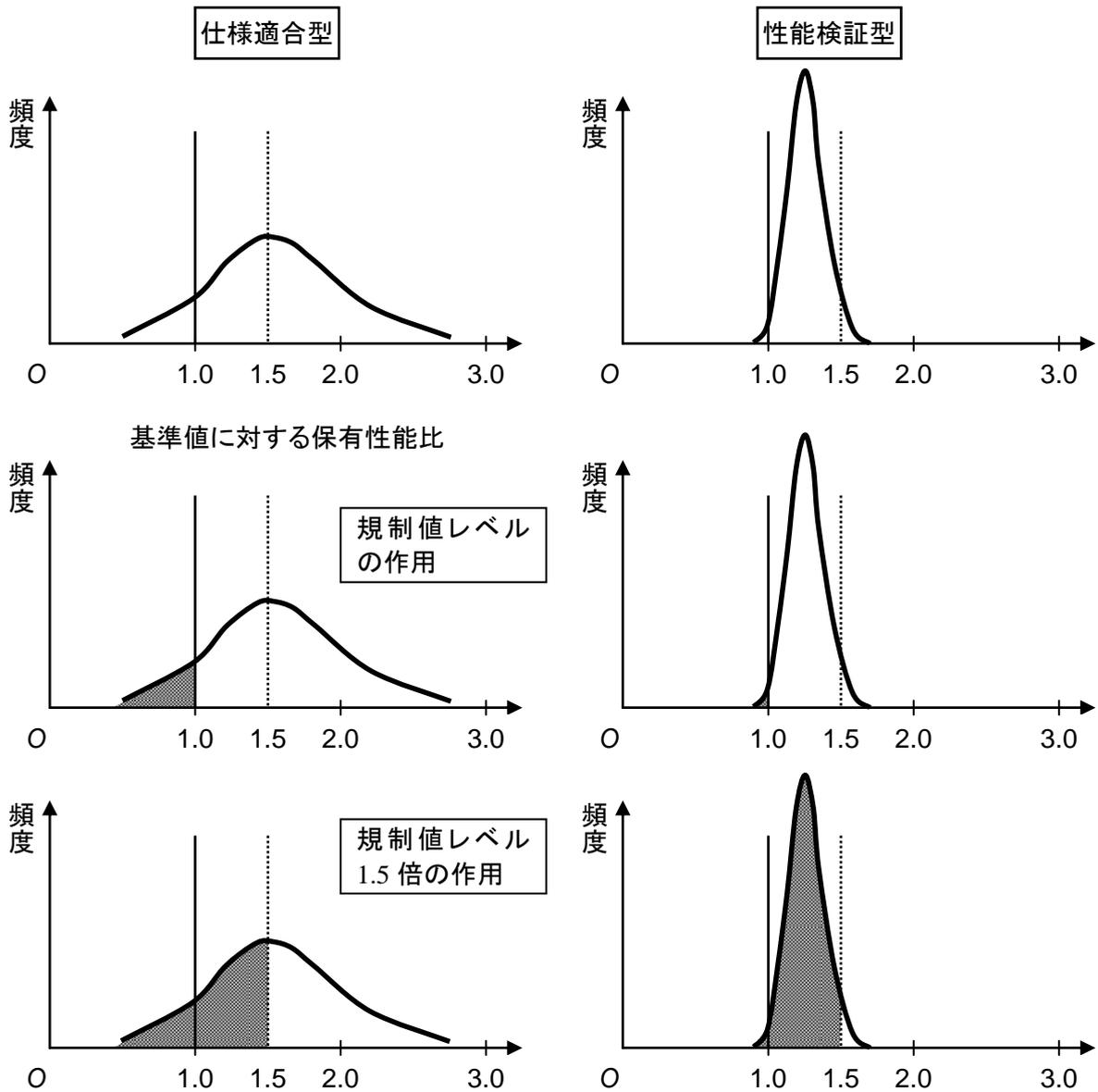


図1 規制水準を機械的に同一にすることの弊害

図1は耐震性能を念頭において模式的に描いたものである。地震作用は、確率は高いとはいえず、規制値レベルを上回る作用が建築物に働くことがある。このとき、従来型の仕様適合型では、図の左列のように、

- (a) 規制値レベルの作用で、非安全な状態（図中の斜線部）になる割合は、例えば 10%
- (b) 規制値 1.5 倍のレベルの作用では、これが 50%

というような状況（注：数値に厳密性はない）であろう。これに対して、より性能を詳細に検証できる手法（例えば、新耐震設計法、限界耐力計算法）が使える状況では、仮に規制水準を機械

的に従前と同一とした場合には、図の右列のようになる。すなわち、

- (a) 規制値レベルの作用で、非安全な状態になる割合は、例えば 1%
- (b) 規制値 1.5 倍のレベルの作用では、これが 90%

つまり、規制値レベルの作用に対しては、右列の性能型のほうが地震時に安全という結果になるものの、規制値を超えた地震が万一作用した場合には、性能型の方が圧倒的に生き残れる建築物が少なくなる可能性があるのである。

最低の基準である規制値近傍に張り付かせることが技術的に可能となることで、ある意味で(後述のごとく 1.5 倍レベルの生起確率を明確にする必要はある)全体として性能の低い建築物の割合が高まるという皮肉な結果が生まれる可能性がある(現に生まれている?)。

- ・ 過去に、コンクリートと鉄筋の材料試験結果をまとめた結果を見ると、コンクリートは図 1 の仕様適合型で、鉄材は性能規定型に相当すると考えられる。図の仕様適応型のコンクリートは要求性能より遙かに安全側に分布し、ほとんど不良はない。一方、鉄筋は製造過程で性能をかなりコントロールできるらしくて、要求性能のぎりぎりにピークがあり、下限限界を割っているものもあった。鉄筋に関しては、検査方法についても疑問の余地がある。応力で評価するため断面積の評価方法の違いによって結果が異なる。今回のかしこい建築は、その鉄筋の材料試験結果に対応する可能性がある。
- ・ 先端の技術では、逆算してぎりぎりの点に着地することが可能である。しかし建築の場合、要求項目が多いので、単一要求性能の場合と異なると考えられる。例えば、耐火設計で部材をぎりぎりまで細くしても、耐震設計がその細さを許容できない場合もある。その結果できた建物は、要求される耐火性能に対して余裕が多くなり、一方構造性能はぎりぎりとなることが想定される。つまり、すべてがすべて要求性能に対して、ぎりぎりの性能になっているとは限らない。現状では、1.0 ぎりぎりではなく、ちょっと上廻る程度の性能と考えられる。
- ・ 防火シャッターは、一枚でその基準に対して適合判断がなされる。しかし、実際は並べて使用するので、仮に一枚が 0.1%の保証確率(ここでは、機能不良の確率)であると、10 枚では 1%となっているのに、合格品だから安全という判断がなされている。つまり、部分的な判断だけでなく、トータルで判断する仕組みが必要である。
- ・ 基準でこうであれば良いというのが示されているので、それに向かってどういう設計をするかという方法に陥ってしまう。狙った性能を狙ったとおりに出せるのが、まさに設計技術であるが。
- ・ 性能基準が 10 cm だとすると、10 cm にするであろう。しかし、実は 8 cm で性能を発揮する事実があるのに、危ないのが出てくるのが困るから少し安全側に設定した結果が 10 cm になっている場合もあるであろう。

- ・ 結果的に最低基準をどう考えるのかによって解釈はいろいろあると考えられる。例えば免震建物もそうでない建物も同じ体系基準になると良いと言うことになる、新しい技術を作ってしまうくいていないと解釈する人もいるであろう。免震はこんな良い技術であるイメージができて、信頼性を得ているのに、規制を利用してコストダウンを過剰に行うと、かえってまずいという事態になりかねない。性能が下方にシフトしていくことが、みんなが望む世界になっているのかは疑問である。
- ・ 良いものをつくろうよという姿勢が助長されるような法体系が望ましい。良いものを作った技術者も世の中から賞賛されるべきである。
- ・ 図1でいう1.5倍の外力が起きる確率が問題である。1.0を決めるときに厳しさの問題であって、もし十分に1.0が大きい場合は、それを越える可能性が非常に少ないとすると、1.5倍の外力の発生確率は非常に少ないことになる。自然現象が対象なので、どんな場合でも大丈夫な建築物を造る訳にはいかないから、数年に一度は壊れるということを認めるのは、ある意味健全な姿勢ではないか？絶対倒れないということはないことを明言すべき方法もあっても良い。
- ・ 地震動の場合も、過去の地震データより発生確率を想定した上で決められている。例えばシナリオ型地震が近々発生すると予想されているが、それが発生すると地震動が基準法よりも大きくなる可能性がある。いつ発生するかが分からないと言う問題はあるものの、そういうことを予測して、設計者がかしこい技術を使って性能をアップさせて、その事態をカバーできるようにするという方法も考えられる。
- ・ かしこい技術を使った建物の性能を一般レベルまで落としてしまっていて良いかという懸念もあるので、図1のピークが上の方にずれていた方が良いとも考えられる。
- ・ かしこい技術を使ったら、今まで曖昧だったものがクリアになったというべきではないか？
- ・ 免震建築物だけは住宅性能表示を行っていない。理由は、元来安全基準が違うのに、1.5倍になったら免震が危ないということになってしまうためである。現状は、例えば計算では1.0の時には免震層の限界変位は30cmで良いとなる場合でもプラス20cmにするように推奨しており、1.0の時に下回らないようにするためのマージンがある。現状の住宅性能表示制度では、1.0の時のマージンを1.5倍の時も保有しなくてはいけないことになっている。仮に、そのマージンを1.5倍の時には使い切って良いということになればだいぶ楽になる。1000年に一度来る地震が発生したら危険であるといわれるが、平均的には1000年に一度しか来ないはずである。地震力のレベルに応じた発生確率に対して構造物が破壊する外力との積で評価する方法も考えられる。1000年に一度の地震力レベルは発生確率がほとんど無いとんでもなく大きな地震であり、掛け算すると被害がほとんど起きない（期待値的にはほぼゼロ）。品確法の住宅性能表示制度で問題があると思うのは、外力だけ割りまして使うスペックを従来どおり基準法でやっ

ているから、ほとんどあり得ないところに外力を持ってきている。外力は変えずに、パフォーマンスのレベルを変えるという手法の方が適切な場合もある。

- ・ 確率の考え方を導入する場合、ここ何百年の中で死ぬ人はどれくらいですよということが言い切れるのかどうか、および、その確率を計測する手段を我々は持っているのかどうかの問題である。
- ・ 憲法で安全な生活をしなければならないこと、および個人の財産権は絶対とされている。東京都の場合、建物によっては地震力の割り増し（1.25倍）が指導されているが、無理矢理丈夫なものを作れということが、憲法から言えないのか？
- ・ 1.25倍の指導を守らなければ建てられないことはないであろう。実際、設計者が裁判を起せばその指導を守らなくても建てられると予想される。
- ・ 更に東京都の場合 30m を越える場合、超高層と同じように応答解析を行う指導が行われる場合もあるようである。その建物はとても丈夫なものになるかもしれない。

（2）水準について

【関連するフレームワーク項目：6, 7, 8】

- ・ かしこい技術の多くは、付加価値としての高性能を実現するために開発されてきた経緯があり、一般の建築物より高い性能を保有させる建築物にこれまでは採用されてきた。この結果、一般市民にはかしこい技術を使った建築物は、高い性能を有しているに違いないとの思い込み（現状では高いものが多数派なので、間違いではないが）がある。例としては、免震建築物。
- ・ 建築基準法令のような規制基準は、社会的に合意された「最低の基準」でなければならない。最低基準を上回る要求は、過剰規制とみなされる。ただし規制基準だけでは「あるべき姿」が実現されにくいいため、誘導基準で最低基準を上回る部分があるべき姿に誘導することになる。住宅の品確法がその典型である。
- ・ かしこい技術を用いて、より合理的（建設コスト、環境への影響等の意味で）に最低基準をクリアすることができるのであれば、それは推奨されるべきである。最低限の基準は「かしこくない技術」でクリアして、かしこい技術は最低の基準を超える部分をカバーするというのは、選択肢の一つではあるが、かしこい建築の必須要件とはしたくない。
- ・ 免震や制振を採用すると安全性が増すという技術体系ができると技術開発としては良いが、過度になって、ほんとに大丈夫かというケースもでて来ている。免震を行うと外力低減ができるので、どんどん削り出すようになっている例もある。しかし一般の人は、免震は安全なものと思っている。
- ・ 昔は建築センターで怪しいものは選別できていたが、告示になって自由度が高まれば高まるほど、どこかで経済設計を行おうとするケースが出てくる。
- ・ 最低基準を満足すればよいという世界から、もう少し良いものを作ればこういういいことがある世界にしてほしいという要望がある。
- ・ 基準法は最低の基準となっているが、世の中では最高の基準として取り扱われるケースもある。
- ・ 最低基準を確保しようとする、平均を高くする必要がある。精度が高いものになると底にへ

- ばりついた性能になり、個々の建物が最低基準をクリアするという点では問題はないが、社会全体としての平均値は下がってしまう。かしこい建築も同じようなことになる可能性がある。
- ・ グレードに対して設計を行うようになってきているが、このような制振装置が搭載される建物は、どのくらいのレベルになるであろうか？ 開発段階ではコストがかかるので、高級なものしか適用できないが、だんだん普及していったらそっちを使った方が安くなる。
 - ・ 法的な倍読みのお陰で日本のスプリンクラーの普及率は高い。このようなメリットがでるようなこともやるべきではないか？
 - ・ 未来に向かって考えると、今厳しい基準に従ってものを作っていた方が良いという考え方もあるのではないか？
 - ・ 火災の時に、地震が起きたためにアクティブが作動しないというのは、確率的にはどうなのか？ 構造では大雪時に地震が来るという計算はしなくても良い。台風の場合も同様。そういう意味では最低基準である。しかし最低の基準とは人それぞれに取られるから難しい。
 - ・ 対外的にはバランスで成り立っているところがあります。経済レベルがこのくらいだから、安全性のレベルもこのくらいというようなバランスを考える必要がある。
 - ・ 技術の世界というのは、実は確率的に低いから無視できる場合もあるが、高いか低いかよく分からないけれども、どうしようもないんだからという場合もある。自然災害の定義は、あるコミュニティが対応できない状況を災害としている。対応できないのだったらどうしようもないという感じがするが、このかしこい技術で考えてみると、今まではできなかったので諦めていたが、ある技術が開発されて、それを使えばコントロールの範囲内になることが出現した。その技術が普及して誰でもそれを使ってできるということになれば、基準のレベルをそれだけ上げれば良いのではないか。
 - ・ こういう議論も対象技術によって違ってくる。技術の「熟度」みたいなもので、まだ変化に対応した実績がないとか。その要因をどのくらい考慮して評価するかというような話になる。かしこい技術に関しても、「一回大地震を経験しました、確かに大丈夫でした」となったら、もうちょっと性能を上げるとかを考える。このような技術の熟度が上がってきて初めて、社会的水準を満たすための一つの手段として位置づけることができるようになる。
 - ・ 「耐火性能1時間」というと、61分耐火でも119分耐火でも両方とも耐火性能は1時間と評価される。つまり最低基準としてそれを満たすか満たさないかというところを評価している。ずっと加熱していて壊れた時点（例えば78分）で、その土台は「78分耐火」という評価をもらえるようなことをしないと、60分を上回るかというところを狙ってくるわけです。つまり最低基準を守るといってぎりぎり勝負を続ける。例えばこれだけ余裕度があるという評価が行われれば、最低基準競争から逃れられないのでないか。
 - ・ 結局、不確定要素をこの技術はどのくらい持っているのか。その不確定要素を含めてかなりの部分でやっているのだから、それをぎりぎりでもやったとしても、ある程度安全が保証されている。だから、情報がない世界の何をどう評価するのかということが係わってくる。この辺が全部クリアになっていけば、ぎりぎりを狙っても問題はないであろう。
 - ・ ぎりぎりであれば、ぎりぎりになるということ **Stakeholders** にきちんと伝えれば良いのではないか。ただし、使う材料にも性能等に振れ幅があるので、その振れ幅を全部考慮した上で「ぎりぎりです」と言えば良い。往々にしてあるのは、そっちのほうは目をつぶっておいて、法規に書かれているところだけをぎりぎり狙うという設計で、それでいろいろ問題が出てくる。
 - ・ 全ては確率事象であろう。要求レベルに合っているかどうかを評価する、というふうには書けば、

その書き方を満たしているということがどのくらいの確率であって信頼性がどのくらいあるかということも評価していくことにならざるを得ない。

- 持っているマージンが意味あるマージンのときと、大して意味がないときがあるというのが問題である。耐火時間が（認定時間の1時間より長い）78分あるという性能は、火災時の消火活動に効いてくる価値あるマージンであろう。大して意味のないマージンとして、例えば防水性能で、壁厚なんて、一回漏れたらどこからもスッと入ってくるから、いくら厚くてもほとんど意味がない。ところが、防音性能で評価したら、壁厚は非常に価値がある。そういったことは現在の評価システムではほとんど評価されていないから問題である。そういうマージンの有用性を適切に評価する仕掛けが必要である。
- 現状の性能評価では、その他の性能に対して知らん顔しているところがある。例えば免震装置の耐火被覆で、耐火性能の評価を受けるのに板を免震ゴムの周囲に置くだけで性能評価が取れてしまう。しかし、地震時に動いたときのことまで性能評価機関は担保しない。そこでは耐火性能があると評価しただけで、地震時に動いて壊れることは知らない、という話にどうしてもなってしまう。
- 規制規準は「社会的に合意された最低の基準でなければならない」とされている点については、兵庫県南部地震後の建築学会の提言にもそのように書かれている。しかし、この社会的に合意の取れた云々は言うのはやさしいが、実際は上からの押し付けになってしまう傾向にある。日本女子大の平田京子氏のアンケート調査にもとづいた研究によると、消費者（建物のユーザー）は意外と安全に重点を置いているように見える。しかも安全に対する期待値は、阪神の地震の例に対照させることから生まれているようである。すなわち阪神淡路程度の地震で建物が大被害を受けない、または人命を損なわないとの期待値すなわち合意であろう。一昔前には関東地震クラスの地震で人命が損なわれないというのが社会的合意でかつ基準法もそのレベルにあるものと信じられていたが、それが卑近な阪神・淡路に変わったのであろう。その意味で新耐震はほぼその役目を果たしたといえる。しかし、2000年の基準法改正でとり入れられた新しい計算法は以前の計算法（新耐震の計算法）によるものより設計が楽になった（強度が小さくて済む。特に中層ではその傾向が強い）といわれている。これは事実上の最低基準の引き下げに他ならない。性能規定化が設計者に逆利用されたために、いつのまにか社会的合意がないまま最低基準が引き下げられている。
- 現時点では社会的合意は阪神・淡路大震災の被害例から生まれたものしか無いのではないか。その上で、基準のフレームワークを作るべきであろう。日本で最低基準と性能規定化のセットが根付くためには、社会の仕組み（倫理、資格など）などもっと大きな取組みが済んでからではないだろうか。その意味でかしこい建築基準体系のフレームワーク作成にあたって、最低基準レベルが運用にあたって設計者などに意識的に引き下げられないような方策が見える形で示す必要がある。
- 何でもいから性能規定といふようになってしまうと、時代の流れとしてはそうであろうが、それだけのレベルに適用しないのではないか。余り自由度を与えてしまうと、かしこいということがかえってとんでもないのができないかなというのが気になる。かしこい建築の基準体系で従来の性能規定化の流れに乗っていつてしまうと、ちょっと抜けることがないかというのが一番気になる場所である。
- かしこいのに挑もうというような人は、そんなにひどいレベルではない可能性が高いのではないかという期待はある。ただし、能力の無い人がやろうと思うことだっけないわけではない。

現在でも、とんでもない人が超高層や免震構造の設計をやっていると言われることも多々あるわけで、それを阻止することはなかなかできない。何か起こった後でやはりそうだったではないかとなるのは寂し過ぎるので、何かうまいやり方を考えておく必要がある。

- 自虐的に言うと、世の中からいろんなニーズが出てきて、それをとても使いやすくしてほしいという需要があるから、こういう研究をやらなければいけないとって始める。研究成果によりそのような技術を受け入れた瞬間に、本当はまじめに考えていない者までどんどん入ってくるということになってしまう。ハードルは高いままのほうが世の中にとっては良いのではないかとわかる。
- すごく能力もあって、しっかり考えていて、チャレンジしたいと思っている設計者が、人のために何かやろうとするときに、何も考えていない者の参入が障害になってしまうというのは問題である。その辺のバランスの取り方というのは非常にむずかしい。会社組織の中でも若い人が構造設計を担当して、上司は忙しいものだから、若い人のチェックを十分に行わないで、ほとんど若い人がやったままの状態ですら資料が出てきて、何も考えられていないケースが結構あったりする。その仕分けというか、バランスの取り方というのは、一つ大きな問題である。
- 技術の熟度との関係があって、霞ヶ関ビルをつくった時は、構造、防火、避難等について、日本中の英知を集めて作ったわけで、設計グループが「かしこい」だった。その後、超高層設計がどんどん普及して、だれでもが超高層をつくるようになってきている。現在のところ全く予想していない、ここでいうかしこい建築が普及していくと、やはりかしこくない設計者が使うことを考慮しなければいけないと思う。
- 性能検証に関して「建築基準法で規定されているクライテリアを満たす」というのはやや不十分である。というのは、今の建築基準法で規定されていることは、性能は余り書かかれていないからである。それが本当の性能というのを書いていないので、それを基準法に規定されるクライテリアと書くと、形式的には基準を満たしているけれども、本来の性能としては全然だめだということも、「適」としてしまう恐れがある。
- 行政改革会議最終報告書（参考資料として添付）の「はじめに」になぜ行革をやらなければいけないかが書いてあるが、下から三つ目のパラグラフに「われわれの取り組むべき行政改革は、もはや局部的改革にとどまり得ず、日本の国民になお色濃く残る統治客体意識に伴う行政への過度の依存体質に訣別し、自律的個人を基礎とし、国民が統治の主体として自ら責任を負う国柄へと転換することに結び付く」であろうと。これは平成9年に出されているので、基準法の改正も、少なくともこの文脈の中で動いている。耐震強度偽装事件が起こって、それがさらにゆすられているわけで、我々はこの文脈を信じてやっていっていいのだろうかと思悩んでいる。
- 国民が自ら責任を負うために自律的に判断できるのであれば、建築基準法令にあそこまで書かなくてもできるのではないか。
- 作ったものによって、ほとんど電卓でパパパッとできるものと、限界耐力計算の限界値を決めるのに何も書いていない、そういう曖昧な部分もあって、書き過ぎているものもあるし、結構いいかげんで、設計者判断と解釈できるようなものもある。
- すべての人が自立できていれば、基準法すらも要らないかもしれない。
- 施主と設計士で向き合っているときに、何ラジアン変形とするかを相談して決めるべしというものが入っているべきではないか。まずそれが最初になければいけない。いきなり G_s のカーブ、どこまで変形できるか、塑性域、減衰などのメソッドしか書いていないことが問題である。

(3) 想定外への対応について

【関連するフレームワーク項目：8】

- 全く予測できないことが発生した時に、どこでとどめるのかの規定が必要である。
- かしこい技術の中身ではなくて、そのかしこい技術が出た結果による外の世界への影響の度合いみたいなものを見落としてはいけないか。例えば防火でよく使われていたフロンガスは地球環境に悪いとして一般的な使用は禁止された。よく考えればちゃんと先が読めて、対応ができたかもしれない。「かしこい技術」を使った建物を耐用年数がついて廃棄するときに、放射能みたいに捨てるのがないということが起こるかもしれない。また、発色の非常にいい仕上げ材の一部が火災にあったときにシアンガスを発生する可能性があるものがあるとか。そういう意味で言うと、かしこいには余り出てこないかもしれないけれども、かしこ過ぎて、あたりまえなものでご迷惑をかけてしまう可能性があることも含めて評価において考慮しておくべきであろう。
- 仮に要求すべき点をアセスメント的に性能が全部羅列されていたら、必ずどこかに抵触するはずなので、何も起こらないはずである。しかしながら、書いていないことを守れるかという話と、延々と哲学的には解けない問題になる。過失の条件であるところの予測が可能か不可能という点においてである。
- 例えば防火シャッターの事故で、いまではセンサーがついて止まるものが開発されている。少し考えればできるはずであったが、防火安全上、そういうことまで考えなくていいとみんな思い込んでいた。より想像力を豊かにしてかつ慎重に考えればできることもある。
- 実際には事故があつてからの対応が多い。逆に言うと、そういう事故があつたときの対応システムみたいなものができるような仕掛けというのにも必要である。コミッティみたいなものが常時監視していて、最近これは危ないのではないのと、見回って行ってチェックするような仕組みがうまく機能すると良い。
- かしこい技術を開発するために、この技術はいいものであるかどうかという評価には、予期しないようなことまで含めて幅広く考えなければいけないし、想像がつくだけ考えるであろう。しかし、建築物の性能評価となったときには、それを全部やらされると、性能評価はお手上げになってしまうということもある。もちろん注意事項としてあるべきだと思うが、それを具体的に評価するということころまでは厳しいであろう。
- 性能というのは目的があつて、目的を達成するためのパフォーマンスということで評価する。そうすると、それはその技術だけじゃなく、その技術が使われる目的を考えなければいけないから、それをどこまで考えるかという問題である。

(4) 信頼性について

【関連するフレームワーク項目：4, 5, 8】

- かしこい技術は機械的動作を伴うものが多く、作動しない場合を考慮したフェールセーフ機構が必要という考え方もあるが、かしこい技術の採用がいわゆる「贅肉」になる可能性もある。かしこくない技術でも、設計どおりの性能を発揮しない可能性はあるので、総合的に作動信頼性に対処する体系を持つ必要がある。

- ・ かしこいものは脆弱である。建物に対して寿命が短い。
- ・ 付加的に居住性を良くするものならば、そのときだけ我慢すればよい。安全性に支障がでてくるようなものであれば、脆弱性で支障が出たときに、住んでいる人を直ちに退去できるのか？ 第三者機関が入っていてすぐに修復できるようなことが担保されないと、かしこいが機能しなくなる。法制的に対処するようにしておく必要があるではないか？ 保険的な仕組みが必要ではないか？
- ・ かしこい要件が出たときに使用者に説明を義務づけるという視点があっても良い。新しい技術が出たときに、使用条件が検討されるべきである。
- ・ 安全性をいったときには確率的な背景があるはずだが、隅々まで知ってもらう法としては分かり易さに重点がある。技術的には違うわけで、それらのギャップを埋める知恵が必要である。
- ・ スプリンクラーを避難安全に反映できるような提案が出てきているが、もしだめだったらどうなるかという議論になる。だめだった時を（旧来のもので）担保することになれば、何のために採用するのかメリットがでない。冗長性の取り方をこのくらいの程度あったら良いとかの目安が欲しい。確率的な考え方に入ってしまう。ほんとにだめだったら人が死ぬことになる。それを社会が認めるか？ 誰が責任を取るのかあいまいな所がある。
- ・ 稼働することを条件に認める方向とすれば、ある意味その部分が進む場合もある。例えばメーカー責任とすれば、自助努力によって技術が進歩する可能性もある。
- ・ 何人くらいは死んでも良いという覚悟ができないと、難しい。
- ・ 自動車事故で人が死んでいるが、建築物とは若干性質は違うが、似たようなことと思われる。交通事故は社会が許容している。そういう視点も心の中では必要である。
- ・ 未来に向かっては、リスクレベルは下がるはず。歩行者の交通事故リスクは未来はどんどん下がっている。
- ・ 制振装置は無停電装置が積載されるようになってきて、最初の何分かは電源供給という観点では安全になってきている。最近のセミアクティブは家庭の電球レベルの容量で動作する。
- ・ 構造設備の定期点検は 10 年毎になっているが、建築設備では考えられない。建築設備は 2 年に 1 回は点検する。なぜならば、建築設備は長くても 2 年に放置しておくとう動作しなくなるためである。建築設備も構造設備も同じように考えるべきではないかと思う。
- ・ 死亡リスクまで踏み込まないと、信頼性の検討はできないと考える。
- ・ つまり、動作することによって性能を発揮するものは保証すべき信頼性を定めて、その値を保持するように維持管理すること、何が悪かったのかの原因を事後に確認できるシステムにすることである。防火扉が閉じたという結果をもらっていないという問題提起に、できるという回答があった。ちなみに NTT は実行している。
- ・ かしこいから色々な情報を得やすいはずである。
- ・ 記録が残っても何も活かされなかったら、無用のコストと見なされる。
- ・ 分野が違ふと考え方が異なるので、良い面は取り入れるべきである。かしこいは外部の（建築分野以外の）方の協力が増えてくるはずなので、建築の許容オーダーの違いに当惑する場合も考えられる。配慮が必要であろう。

- ・ 防火の面では色々な信号が入ってきてデータが取れる仕組みなっているが、消防法で系統の独立が求められたりして、それが活かされていない現状がある。基準法と消防法との連携ができていないので、それが一緒にできると有り難い。
- ・ 火災時に上階から避難階段を下りてくる時に、間違えて地下階まで降りないようにするためのバーを設置している建築物がある。このように、コンピューターが制御しなくても有効な方法は色々ある。
- ・ 故障率をどう考えるかが重要である。もし故障したら大変なことになる。
- ・ 第一号のアクティブ制振のオーナーがビルを売り払った。その後、購入者があの機械を動かしたくない場合、建物の安全性が失われることはないのか？ あの装置で安全性を担保していないので、一応は大丈夫である。六本木ヒルズの電源は10年毎に交換するようになっている。
- ・ 第二、第三号のアクティブ制振採用建物も、付加価値として取り付けてあるため、安全性の担保は従来のシステムに依っている。
- ・ もともとアクティブ制振は耐震としては使われていない。小堀先生は地震に有効であることを論文で主張している。
- ・ 本議論を踏まえて、安全性も寄与するということを挙げたい。
- ・ 現状アクティブにはフルアクティブとセミアクティブがあり、フルアクティブ単独では地震時の安全性を担保するには出力的に難しいという認識は定着している。仮に動いたとしても、地震に抵抗するパワーがない。セミアクティブは制御装置の性格を変えることである。例えば減衰定数を変える仕組みが挙げられる。大地震であろうと小地震であろうと、性格を変える程度の電源は電球一個の電力で可能である。よって、停電が起こっても、無停電装置があれば、電源供給は可能であろう。点検という意味では10年に一度ではなく、もっと頻繁に行っている。
- ・ 保証する信頼性を定めてという議論があったが、正確には点検する人の主観で信頼性を定めて点検しているのが現状である。
- ・ セミアクティブを採用している例では、パソコンを用いて制御しているが、数年に一度点検交換が必要である。セミアクティブを採用する会社は、潰れないので大丈夫と言っているが、今の世の中では分からない。メンテができなくて制御できなくなると応答がおかしくなる。点検をするということを前提として評価しているので、その時はそうかもしれないが、今後先も保証できると限らない。担当者が変わることによって点検がおろそかになる可能性もある。
- ・ 今のセミアクティブはダンパーが中心である。ダンパーの制御というのは、自動車のサスペ

ンション等でかなり実績があって、それなりに機能している。また制御しなくてもパッシブダンパーとしては、本体の点検をしている限り、機能する。

- ・ アクティブマスダンパーを作動させるよりも、セミアクティブはかなり信頼性がある。

(5) メンテナンス（維持管理）について

【関連するフレームワーク項目：4, 5, 8】

- ・ 免震ゴムは維持管理をしているが、罰則規定がない。
- ・ メンテナンスをやらなければならない条件は課すべきである。罰則も必要である。阪神大震災のしるあり被害を受けた木造を考慮すると、すべての建物はメンテナンスが必要と感じる。
- ・ メンテナンスに対する依存度は、木造の場合とかしこい場合とでは、大きな差がある。
- ・ （かしこくない）普通のものなら老朽化程度の問題だが、かしこいものはメンテナンスが性能に不可欠である。
- ・ 新技術は、装置を設計している時には予想できないリスクがある。（開発段階では想定していなかった）風力発電の風車の回転部に利用するようにしたために、繰り返し回数が桁違いに増えてゴムが摩耗したという事例もある。
- ・ 起こってみないと分からないことは多々ある。メンテナンスも個々に行っているけど、全体のシステムが動かないということも考えられる。
- ・ 航空機のメンテナンスに比較すると、建築は何もやっていないのに等しい。
- ・ 都条例では、ある一定の講習を受けて技術を取得したものが点検士で、名前入りで点検表にサインする。ただ、どこまで責任を持つかと言うことは曖昧のようだ。

(6) 責任の所在について

【関連するフレームワーク項目：全般】

- ・ かしこくない建築においても、責任の所在の議論はあるが、かしこい建築では能動的な装置等が主要な役割を果たすため、より責任の所在を明確にした体系が必要である。
- ・ 責任所在は例えばメーカーだとか、設計者だとか、はっきりする必要がある。しかし何らかのチェック機構があった方がよい。その機構がうまくいっているときはその責任者はたたえられる。建築確認という行為は中途半端な制度である。国民は建築を審査していると思っている。
- ・ 飛行機事故は飛行機会社が保証している。事故調査委員会が判断するという仕組みになっていて、ボイスレコーダ等で事故後の調査が原因を解明し、責任の線引きをしている。建築物の場合にも、事故原因が分かるようなシステムにしておかないといけない。
- ・ 結局事故時には、命の補償はお金でということになるが、実際に設計・工事に携わっている者は非常に poor である。そうになると保険という方法になるのだが、保険会社も必ずしも受けるとは限らない。そのような場合は建築できなくなるので、フランスの如く大きな建設会社しかな

くなる。

- ・ 国が最後には責任を取るといわざるを得ないではないか？
- ・ アメリカでは確認申請は簡単で、設計者が責任を負うので保険に入る。
- ・ 現行の基準法も責任の所在が、どこが明確になっていて、どこが明確になっていないかがはっきりしない。一方で今後責任の所在を明確にしていくためには、航空機事故や鉄道事故のような強制力を持つ事故調査委員会が必要である。現状でも大きな事故の場合は調査委員会が設置されるが、火災の時に消防が持っている調査権に比較しても、建築側は強制的な調査権という意味では何もない。かしこい建築なのだから、ボイスレコーダのような記録装置が必要であろう。事故があった時に対応できるようにする。それを条件に認める仕組みが考えられる。
- ・ 航空機事故や鉄道事故の場合のように、強制力を持つ事故調査組織が必要である。現在のようによく大きく社会問題となった案件にのみ対応する組織ではなく、少なくとも多数の死者・重傷者を伴う建築災害には事故調査組織が必要である。
- ・ かしこい技術に関しては、ボイスレコーダやドライブレコーダに相当する記録を保存し、事故調査に供するシステムを必須とすることを条件にすることもできる。
- ・ 保険の活用に関しても責任の所在の明確化の中で議論する必要がある。
- ・ より責任の所在を明確にしてということは、設計者とかその装置に関与した広い意味での作り手側に当然にあるという意味か？ 建築確認も含むのか？ 今は明確な定義がない。
- ・ 免震ゴムの場合、設計者がもっと面圧を上げれば効果が高くなるので、メーカーにそのような要求をする。しかし、たかが数百万円のゴムで何十億円の建築物の責任を取るのはいやなので、メーカー側は抵抗している。保証できる範囲を明示して、それを超える適用に関しては責任を持たないと言う文書を交わす方法もある。審査機関があったからそこが全部の責任ではない。

(7) かしこい建築基準体系における制度について

【関連するフレームワーク項目：全般】

- ・ 性能や機能の発揮のメカニズムの信頼性が、既往の法令の技術基準等では評価できないものの技術、法令の規定以外の特殊な維持管理が必要な技術、およびその両方の場合に関する制度上の観点から整理したものが別紙（かしこい建築基準体系の制度的観点からの検討）である。
- ・ フレームができればある程度旧 38 条的にやるというのもあって良いと考えられる。
- ・ 地方の建築技術審議会のようなところでやっているような方策で、新技術についてモニタリングする仕組みもあってよいのではないか。
- ・ 新しいものはいくらでもあるけれど、ダメな人が使うことを前提としたルールになっているので使えないということもある。法令を公布する前のパブリックコメントのような、ネットで情報を集めて開示する仕組みをフレキシブルに使って、新しいものが使い易いルールを作るなども考えられる。
- ・ 特殊技術を認定するのだけではなく、人を認定するという方法もあって良い。カナダの基準ではこのようなものがあつた。
- ・ 技術開発のメリットがあつて、使ったお金を回収できるというメリットを基準法の中に見える仕掛けが必要である。ルート B はアルバイトでもできるようになってしまい、良い制度を作りすぎて防火技術者の首を絞めるような例もあり、具合が悪い。専門技術を持った人が優遇されるような仕掛けが欲しい。

- ・ 一元的な評価は明確であるが、それでよいのか？ 意匠・設備・構造とあるが、これは土農工商でいえば、構造は農民で大切だけど、最低限さえ守っておけばよいのだという認識である。基準が一つだから良くない。今後のハザードを考えて永続的に決めるべきというのは良い方法である。基準は社会の変遷として変わってゆく。最終的には国民が決めてゆく。最低基準は何か脱却すべきである。例えば耐火被覆を薄くするのが良い設計者でなく、バランスのとれた全部のシナリオを連続的な評価をして、「なるほどな」という設計者が良い設計者であるべきである。
- ・ 制度とマニュアルでしぼる方法だけではなく、良い技術者がでてくる方法もある。
- ・ フレームワークの中に入るかどうかは別として、そういう技術者の水準を維持すること、こういうことに当たっては特に水準を維持するための努力というか、仕掛けとか、そういうものを模索することが絶対必要である。たとえば、韓国の防火の分野でワンランク上の設備士の資格ができた。消防のほうでも、去年の4月からそれをまねして、特級設備士という項目をつくるようになってきた。日本はまだそんなに実用的なところまでできていないが、韓国ではできる範囲を特定化して、ワンランク上の技術者という感じできている。今回のこういうことをきっかけに、かしこい技術を扱えるレベルの特級建築士とか、そういう仕掛けというのを今後検討する必要がある。
- ・ 複数の性能検証方法はダブルスタンダードではないかということでは批判的な論調が有るが、最終的に実現される性能が不確定な場合は安全側の基準に従うという原理を示すことで理解が得られる。したがって、危険側の基準で性能検証をする場合は、部分的構成要素となる材料や技術の不確定要素を設計プロセスで解決しておくことが要求される。
- ・ 法 38 条が廃止され、防火設計については、いわゆるルート A による仕様設計、告示で定められた性能検証法によるルート B 性能設計、大臣認定によるルート C の性能設計が行われており、法規が想定していない新技術の性能検証はルート C の設計で対応できるように思われるが、実際には、ルート C はルート B+というべきものであって、検証プロセスの一部に告示内容以外の検証を行っているが原則はルート B によるものが大部分である。ルート B+に止まっている原因は、告示の方法と同等の性能と位置づけられているためであるが、何らかの方法で告示の方法の性能水準が明確になれば、本来のルート C が可能になって、かしこい技術に路を拓く可能性がある。現行のルート C は、施行令に定められた不適用条項の枠を超えることができないが、性能水準を明確に計測する方法が開発されれば、施行令の任意の条項を不適用とする設計（ルート C+）、あるいは、法の制限規定そのものを不適用とする設計（ルート C++）が可能になり、かしこい技術の開発を大幅に促進できるかもしれない。

5.2 かしこい建築の建築基準体系に関する制度的観点からの検討

5.2.1 建築基準体系における制度の観点でみたかしこい建築

建築基準体系の制度上からみると、かしこい建築は大きく2つに分類される。ひとつは、性能や機能の発揮メカニズムの信頼性が既往の法令の技術基準等では評価できない「かしこい技術」を含む建築物である。他の一つは、性能や機能の発揮・維持のために既往の法令の規定外の特殊な維持管理が必要な「かしこい技術」を含む建築物である。もちろん、両者は排他的では無いため、いずれか一方にのみ該当するかしこい建築物もあれば、両者に該当する場合もありえる。

5.2.2 各類型に対応した制度に関する検討

前項の2つの観点それぞれに対して、制度的には以下に述べる対応が必要となる。

第二の類型である性能や機能の発揮メカニズムの信頼性が既往の法令の技術基準等では評価できない「かしこい技術」を含む建築物に関しては、前提として信頼性の評価のための基本原則の確立が必要である。すなわち、種々の危険要因（ハザード）に対するリスクに関して、要求性能を記述し、それを評価する手法を確立する必要がある。その上で、性能の発揮について十分な信頼性を有することの評価について「個別かつ高度な」判断が必要な場合には、現行制度における構造方法等の認定等のように、個別的信頼性評価を行うための関連規定を制定する必要がある。一方、これらに関して「一般的検証方法」により判断可能な場合は、それを行うための検証方法基準を新たに制定する必要があるため、政令改正又は告示制定等が必要となる。

なお、個別かつ高度な判断、一般的検証方法による判断のいずれの場合にも、当該技術の性能発揮メカニズム自体では十分な信頼性が証明できないものに対してはフェールセーフ対策を考慮する必要があるし、製造・施工に当たって特殊な技術等を要する材料・部材・装置等を用いる場合には、それらの品質管理に関する評価も併せて考慮する必要がある。

第二の類型である性能や機能の発揮・維持のために既往の法令の規定外の特殊な維持管理が必要な「かしこい技術」を含む建築物に関して、個別に評価する場合には、個別的信頼性評価に基づく認定等を行う際に、所要の維持管理を行うことを付帯条件とする認定の制度化等が必要である。一般的検証法により評価する場合には、所要の維持管理の実施義務について新たな規定を設ける必要がある。

現行制度においては、認定の際に維持管理等の付帯条件を付すことが想定されておらず、特別な維持管理なしで性能・機能が発揮できることが認定の前提となっていると考えられる。旧法第38条に基づく大臣認定においては、付帯条件を付した認定が行われたものもあるが、これらを制度として明確に規定する必要がある。また、一般的な基準においては、基準法第12条第2項に基づく建築設備の定期点検・報告が義務付けられている場合があるが、その対象は昇降機や防火設備の一部に限定されており、かしこい技術全般を対象とした規定を新たに設ける必要がある。維持管理の内容としては、使用にあたっての管理条件、定期的な点検や維持管理（部材・装置の交換を含む）、制御対象としている危険要因（例えば地震）等が生起した後の、事後点検や維持・管理等について含んでいなければならない。個別の認定による場合については、維持管理義務の対象者を特定するとともに、建築物の所有権が譲渡されるような場合を含めて、その義務を的確に継承するルールを確立しておく必要がある。

This page is intentionally left blank.

第6章 総括及び今後の課題

前章までに詳述したものと及び付録に示した多数の学術論文として公表したものに示されるように、平成15年度から17年度にわたる3年間、「かしこい技術」及びその建築物への適用に関して多くの知見を蓄積し、かしこい建築の設計・建設・維持のための技術体系（ガイドライン）としてとりまとめた。さらに、組み込んだ「かしこい技術」の有効性・信頼性を社会として評価し受け入れるための「かしこい建築・住まい」に対応した建築基準体系についても検討を進めた。今後、本研究で得られた成果がさらに深められ、建築・住宅市場においてこれまでにない先進的な技術を活用する「かしこい建築・住まい」づくりが促進され、高度化・多様化しつつある建築物に求められる機能や性能を合理的に実現されることが期待される。

一方で、現時点では「かしこい建築・住まい」を実現するためにいくつかの障害が残っていることも明らかになった。

その第一は、かしこい技術を含めて、建築物に組み入れられる多くの技術に関する信頼性に関する基礎的なデータが必ずしも十分には蓄積されていないことである。第二には、従前の仕様型規定に基づく建築規制から性能規定された建築規制への転換を図った現時点においても、建築物の安全性や機能性として何を指し、何を測度としてそれを計測するべきかに関する議論が未成熟であることである。後者は、性能に基づく建築規制（Performance-based Building Regulation）を導入した各国において、次世代の建築規制もしくは建築設計・生産のあり方として、リスクベース（Risk-based）の概念展開が図られようとしているものである。かしこい技術は、従来型の技術を代替するものとして、ある単一の規定への適合というような局所的な同等性（Equivalency）を問うのではなく、建築物に関するより総合的、全体的な性能の視点から、従来型技術の組み合わせによる解法との同等性を検証することで、そのメリットを最大限に発揮できるものが多い。

それゆえ、今後の研究においては、建築物が実現する性能に関してリスクベースの検討を進める必要がある。とくに、目標とする性能とその実現度を物理的に計測可能な測度で検証できる建築基準体系の実現が不可欠である。しかも、この体系においては、体系全体を総合的に定式化する信頼性理論とともに、構成する各部分・要素の信頼性に関するデータが不可欠である。両者は車の両輪とも言うべきもので、体系が確立しなければ有効な信頼性データを収集する機運は生まれず、逆に有効な信頼性データが使えなければ、適切なリスクベースの体系を確実に構築することができないといえよう。本研究開発では第5章においてかしこい建築に関する性能評価のフレームワークを提示している。このフレームワークの各要素をリスクベースの概念で具体化することが、一つの進むべき方向性を示していると考えられる。

最後に、平成17年度秋に発覚した耐震強度偽装事件に関連する大きな動きの中で、本研究が当所目指した目標には必ずしも至っていないことをお詫びするとともに、そのような物理的な制約の中においても貴重な貢献をしていただいた多数の産官学関係各位に深く御礼申し上げたい。

This page is intentionally left blank.

付録 成果の公表（論文等リスト）

- 諏訪田晴彦、福山洋：高靱性セメント系複合材料を用いた応答制御要素の復元力特性に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 25、No. 2、pp. 1375-1380、2003.7.
- 西山功、梁一承、福山洋、諏訪田晴彦：高靱性セメント複合材料を用いた鉄骨ブレースの中央部接合に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 26、No. 2、pp. 1267-1272、2004.7.
- 諏訪田晴彦、福山洋、向井智久、野村設郎：強度・剛性・靱性を兼ね備えた高性能耐震要素の構造実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 27、No. 2、pp. 1087-1092、2005.7.
- 松尾庄二、閑田徹志、福山洋、六郷恵哲：高靱性型セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会の活動と性能比較試験結果、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 24、No. 1、pp. 43-50、2002.7.
- 六郷恵哲、福山洋、松尾庄二、金久保利之、鎌田敏郎、松本高志、閑田徹志、国枝稔：高靱性型セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会の活動と成果の概要、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 26、No. 1、pp. 1-10、2004.7.
- 白井一義、棚野博之、福山洋、鹿毛忠継：RPC を用いたはり部材の曲げせん断性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 25、No. 2、pp. 841-846、2003.7.
- 梁一承、西山功、福山洋、諏訪田晴彦、白井一義：高靱性セメント複合材料と鋼棒による鉄骨部材接合部の強度と靱性、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp. 1073-1074、2003.9.
- 福山洋、諏訪田晴彦：高靱性型セメント系複合材料の圧縮特性に関する基礎実験その1 中心圧縮実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 419-420、2003.9.
- 諏訪田晴彦、福山洋：高靱性型セメント系複合材料の圧縮特性に関する基礎実験その2 平板の二軸載荷実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 421-422、2003.9.
- 金久保利之、諏訪田晴彦、福山洋：高靱性セメント系複合材料を用いたパネルの純せん断性状、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 425-426、2003.9.
- 境有紀、徳井紀子、山内成人、真田靖士、中埜良昭、諏訪田晴彦、福山洋：高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた超小型模型試験体による簡易震動実験手法の開発その1 研究のコンセプトと試験体概要、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 857-858、2003.9.
- 真田靖士、徳井紀子、山内成人、境有紀、中埜良昭、諏訪田晴彦、福山洋：高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた超小型模型試験体による簡易震動実験手法の開発その2 試験装置および入力計画、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 859-860、2003.9.
- 徳井紀子、山内成人、真田靖士、境有紀、中埜良昭、諏訪田晴彦、福山洋：高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた超小型模型試験体による簡易震動実験手法の開発その3 実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 861-862、2003.9.
- 諏訪田晴彦、福田顕議、福山洋、勅使川原正臣：HPFRCC 応答制御要素による RC 造建物の地震応答低減 その1 パラメトリック解析概要、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 689-690、2004.9.
- 福田顕議、諏訪田晴彦、福山洋、勅使川原正臣：HPFRCC 応答制御要素による RC 造建物の地震応答低減 その2 応答低減効果の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 691-692、2004.8.
- 境有紀、徳井紀子、山内成人、真田靖士、中埜良昭、諏訪田晴彦、福山洋：高靱性繊維補強セ

- メント複合材料を用いた超小型模型試験体による簡易震動実験手法の開発 その 4 振動実験概要および静的加力実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 873-874、2004.8.
- 徳井紀子、境有紀、山内成人、真田靖士、中埜良昭、諏訪田晴彦、福山洋：高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた超小型模型試験体による簡易震動実験手法の開発 その 5 ファイバーモデルによる断面解析、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 875-876、2004.8.
 - 境有紀、諏訪田晴彦、福山洋、向井智久：高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた超小型模型試験体による簡易震動実験手法の開発 その 6 曲げ降伏後にせん断破壊する超小型模型の復元力特性と歪速度、スケール効果の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 439-440、2005.9.
 - 福山洋、諏訪田晴彦、向井智久、渡辺烈、野村設郎：強度、剛性、靱性を兼ね備えた高性能耐震要素の構造実験 その 1 研究背景および実験概要、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 487-488、2005.9.
 - 諏訪田晴彦、福山洋、向井智久、渡辺烈、野村設郎：強度、剛性、靱性を兼ね備えた高性能耐震要素の構造実験 その 2 実験結果および考察、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 489-490、2005.9.
 - 黄光律、野口貴文、鹿毛忠継、曹健：電気的性質を用いたコンクリート中の鉄筋の腐食診断方法の検討、コンクリート工学年次論文集、第 25 巻 (第 1 号)、(社)日本コンクリート工学協会、pp. 1649-1654、2003.7.
 - 黄光律、鹿毛忠継、曹建：交流インピーダンス測定による鉄筋の腐食診断方法の検討、シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」論文集、(社)日本非破壊検査協会、Vol. 1、pp. 279-286、2003.7.
 - 黄光律、林永哲、鹿毛忠継、曹建、野口貴文：表面電極型交流インピーダンス法を用いた劣化鉄筋コンクリートの探査、日本建築学会学術講演梗概集、A-1、pp. 549-550、2003.7.
 - 野口和也、上之菌隆志:高知能建築構造システムの開発に関する日米共同構造実験研究その 84 大型振動実験による 2 線式測定・処理システムの検討、日本建築学会大会梗概集 B-2、pp. 915-916、2003.9.
 - 柳瀬高仁、池ヶ谷靖、林静雄、半田士昌、犬飼瑞郎、野口和也:スマート AE センサを用いた損傷検出システムの開発、日本建築学会大会梗概集 A-1、pp. 195-196、2004.9.
 - Morita, K. and Noguchi, K.: "Crack Detection Sensor Using RFID-Tag and Electrically Conductive Paint," Proc. of the 3rd International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology, May 29-30, 2006.
 - 森田 高市、野口 和也：RFID タグ及び導電性塗膜を用いたひび割れ検知センサーの研究、日本建築学会技術報告集第 24 号、2006.12. (掲載予定)
 - 五十嵐真理子、石原直、緑川光正、小豆畑達哉：ベースプレート降伏型ロッキングシステムに用いる柱脚部の静的弾塑性解析、日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2、pp. 157-158、2004.8.
 - 石原直、緑川光正、小豆畑達哉：均一せん断棒による多層建築物の浮き上がり自由振動解析、日本建築学会大会梗概集 B-2、pp. 1017-1018、2005.9.
 - 石原直、緑川光正、小豆畑達哉、和田章：ロッキングシステムに用いる実大柱脚部の復元力特性、鋼構造年次論文報告集、第 13 巻、pp. 381-384、2005.11.
 - Ishihara, T., Midorikawa, M. and Azuhata, T.: "Vibration characteristics and dynamic behavior of

- multiple story buildings allowed to uplift," Smart structures and materials 2006, Proc. of SPIE, Vol. 6169, pp. 61691A-1-8, 2006.2.
- Ishihara, T., Midorikawa, M. and Azuhata, T.: "Effect of dampers on dynamic behavior of structures allowed to uplift," Proc. of STESSA2006, 2006.8.
 - 小豆畑達哉、野口和也、石原直、森田高市、井上波彦：浮き上がりを生じる多層建築物の地震応答に関する模型実験（その1 試験体及び自由振動）（その2 振動台実験結果）」、日本建築学会大会梗概集 B-2、2006.9。（掲載予定）
 - 石原直、小豆畑達哉、野口和也、森田高市、緑川光正：層剛性分布を考慮した多層建築物の浮き上がり地震応答模型実験、鋼構造年次論文報告集、第14巻、2006.11。（投稿中）
 - 山名俊男、中野美奈、油野健志、林吉彦、永野紳一郎、若松孝旺：給気位置が遮煙開口部の流量分布形成に与える影響に関する実験的考察（その1 実験概要）、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2、pp. 35-36、2003.9.
 - 中野美奈、油野健志、林吉彦、永野紳一郎、山名俊男、若松孝旺：給気位置が遮煙開口部の流量分布形成に与える影響に関する実験的考察（その2 実験結果とCFD解析概要）、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2、pp. 37-38、2003.9.
 - 永野紳一郎、中野美奈、油野健志、林吉彦、山名俊男、若松孝旺：給気位置が遮煙開口部の流量分布形成に与える影響に関する実験的考察（その3 CFD解析の活用）、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2、pp. 67-68、2003.9.
 - 広田正之、山名俊男：強制空気幕の遮煙性に関する予備的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2、pp. 199-200、2004.8.
 - 油野健志、中野美奈、林吉彦、永野紳一郎、山名俊男、若松孝旺：給気位置が遮煙開口部の流量分布形成に与える影響に関する実験的考察 その4 追加実験概要、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2、pp. 201-202、2004.8.
 - 中野美奈、油野健志、林吉彦、永野紳一郎、山名俊男、若松孝旺：給気位置が遮煙開口部の流量分布形成に与える影響に関する実験的考察 その5 追加実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2、pp. 203-204、2004.8.
 - 永野紳一郎、中野美奈、油野健志、林吉彦、山名俊男：給気方法が遮煙開口部の流量分布形成に与える影響 その1 実験とシミュレーションの比較、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2、pp. 309-310、2005.9.
 - 中野美奈、山名俊男：噴流による遮煙効果に関する実験的研究 給気方向の違いによる遮煙効果に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2、pp. 311-312、2005.9.
 - 鍵屋浩司 他：クリブの複数火源の火炎合流性状と発熱速度との相関関係に関する研究 その1、日本建築学会関東支部研究報告集 I , pp. 389-392, 2004.3.
 - 鍵屋浩司 他：クリブの複数火源の火炎合流性状と発熱速度との相関関係に関する研究 その2、日本建築学会関東支部研究報告集 I , pp. 393-396, 2004.3.
 - 桑沢保夫ほか：吸着性建材の性能測定法に関するチャンバ実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp. 1021-1024、2004.8.
 - 桑沢保夫ほか：Q/S および汚染物質供給濃度が吸脱着係数に与える影響に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp. 855-856、2005.9.

This page is intentionally left blank.

This page is intentionally left blank.

国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of N I L I M

№. 11

December 2006

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675