

## 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」<sup>1), 2)</sup>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。

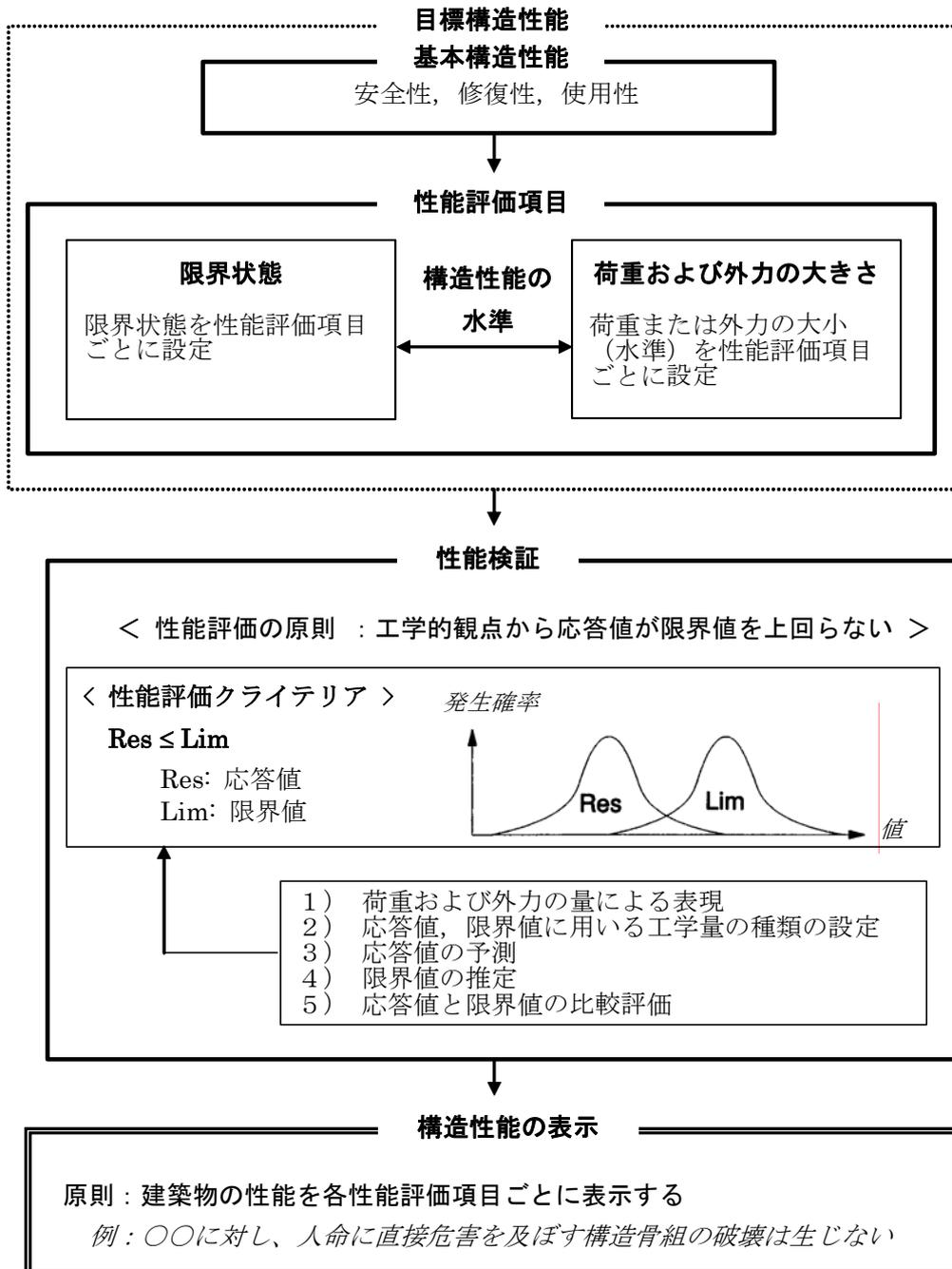


図 3.24 構造性能評価体系

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 $\beta$ 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<sup>1)</sup>、耐震性能評価指針（案）<sup>2)</sup>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<sup>6), 12), 36)</sup>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<sup>1), 24)</sup>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<sup>8), 15)</sup>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)<sup>5), 12), 19)</sup>および式(3.7)<sup>13)</sup>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<sup>1), 24)</sup>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
- $\sigma_{wy}$  : 筋筋降伏強度
- $\sigma_{\max}^{ECC}$  : PVA-ECC の引張強度
- $D$  : 部材せい
- $\nu$  : PVA-ECC の圧縮強度の有効係数
- $\sigma_B$  : 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  
 $\sigma_t$  : PVA-ECCの引張強度  
 $t_w$  : 壁厚  
 $p_s$  : 壁筋比  
 $\sigma_{sy}$  : 壁筋降伏強度  
 $v$  : HPRCの有効圧縮強度  
 (=1.7  $\sigma_B$ )  
 $\sigma_B$  : HPRCの圧縮強度

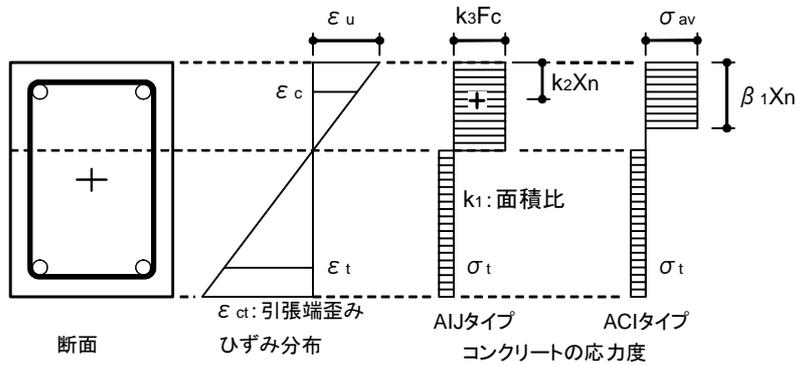


図 3.25 等価ストレスブロックモデル

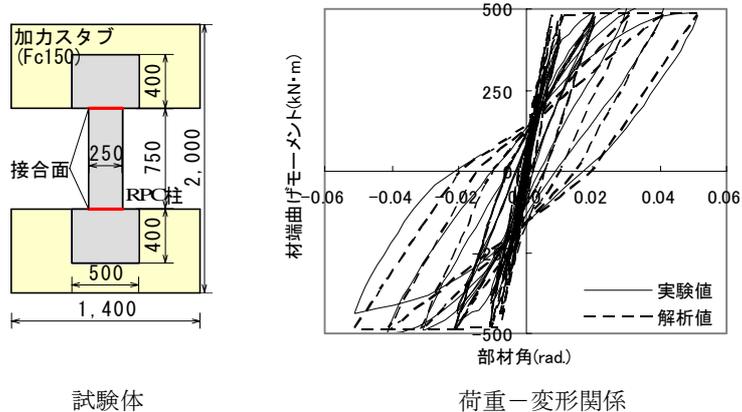
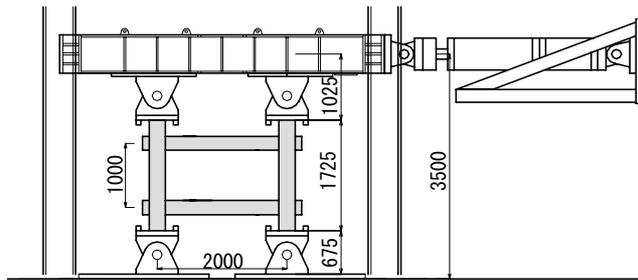
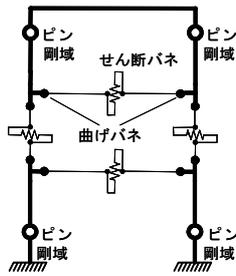


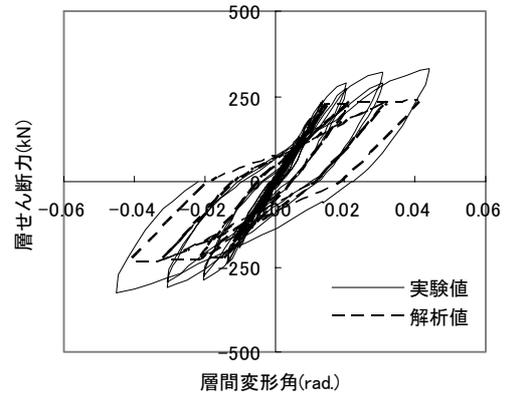
図 3.26 部材実験



加力装置

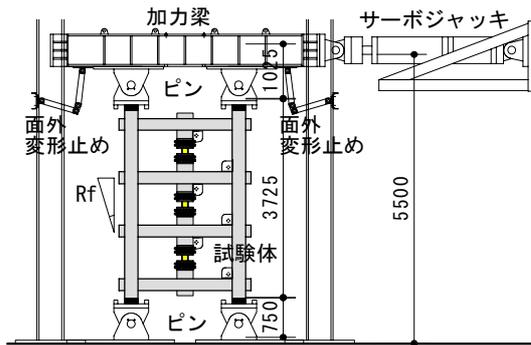


解析モデル

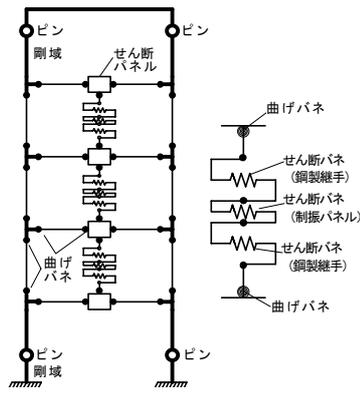


荷重-変形関係

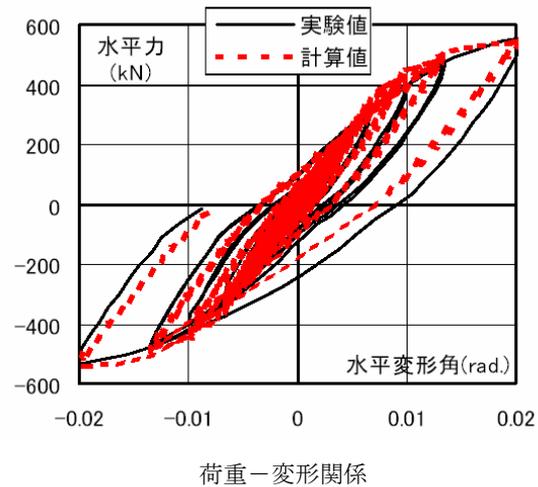
図 3.27 単位骨組実験



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:  $200\text{N}/\text{mm}^2$  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/mm<sup>2</sup>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)」<sup>1)</sup>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