

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of National Institute for Land and Infrastructure Management, No. 1181

## 技術基準の性能規定化の動向を踏まえた 道路構造物分野の新技术導入に関する政策研究

福田 敬大, 牧野 浩志, 星隈 順一, 片岡 正次郎

Policy research on introducing new technology for road infrastructure  
based on the trends of performance-based standards

FUKUDA Yukihiro, MAKINO Hiroshi, HOSHIKUMA Jun-ichi, KATAOKA Shojiro

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, Transport and Tourism, Japan

技術基準の性能規定化の動向を踏まえた  
道路構造物分野の新技术導入に関する政策研究

福田 敬大<sup>1</sup>, 牧野 浩志<sup>2</sup>, 星隈 順一<sup>3</sup>, 片岡 正次郎<sup>4</sup>

Policy research on introducing new technology for road infrastructure  
based on the trends of performance-based standards

FUKUDA Yukihiro<sup>1</sup>, MAKINO Hiroshi<sup>2</sup>, HOSHIKUMA Jun-ichi<sup>3</sup>, KATAOKA Shojiro<sup>4</sup>

概要

この資料は、道路構造物に関する技術基準類の性能規定化の経緯を振り返り、欧州や米国の取り組みをレビューするとともに、我が国の道路構造物分野の新技术導入促進にあたって必要となる道路政策の展開について方向性を取りまとめたものである。

キーワード : 道路構造物, 性能規定, 新技术, 道路政策

Synopsis

This report reviews the history of performance-based standards for road structures including the efforts of Europe and the U. S., and then summarizes the direction of road policy required for promoting introduction of new technologies into the field of road structures in Japan.

Key Words : road structures, performance-based design,  
new technology, road policy

<sup>1</sup> 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部長  
Director, Road Structures Department, NILIM, MLIT

<sup>2</sup> 前 国土交通省道路局国道・技術課 道路技術分析官  
Formerly, Director for Road Engineering Analysis, National Road and Engineering Division,  
Road Bureau, MLIT

<sup>3</sup> 前 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物管理システム研究官  
Formerly, Research Coordinator for Road Structures, NILIM, MLIT

<sup>4</sup> 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物管理システム研究官  
Research Coordinator for Road Structures, NILIM, MLIT

# 目次

はじめに	1
1. 道路構造物に関する性能規定化の経緯	2
1. 1 道路分野の性能規定化の経緯	2
(1) 阪神・淡路大震災への対応として性能規定化	2
(2) 防護柵に関する技術基準	2
(3) 舗装に関する技術基準	2
(4) 道路橋に関する技術基準	3
(5) 道路土工構造物に関する技術基準	3
(6) 本格的な性能規定化	3
1. 2 国際標準化としての性能規定化	5
(1) TBT 協定と日米包括経済協議	5
(2) 国際標準化への土木・建築分野の対応	6
(3) 土木学会の包括設計コード	6
2. 技術基準の性能規定化の意義と記述方法	7
2. 1 性能規定化の意義	7
(1) Standard の定義	7
(2) 仕様規定と性能規定の違い	7
(3) 性能規定の利点と課題	8
2. 2 道路構造物における性能規定の記述方法	9
(1) 道路構造物の規格に関する各国の組織	9
(2) 理念階層モデル NKB Level System	9
(3) ISO2394	10
(4) ユーロコードの事例	11
(5) 土木学会包括設計コード	13
3. 日米欧の道路構造物関係の技術基準と技術評価制度の比較	16
3. 1 欧州の技術基準と技術評価制度	16
(1) 欧州公共調達指令（1971年）	16
(2) 技術調和のためのニューアプローチ（1985年）	16
(3) 1989年の建設製品指令（CPD, 89/106/EEC）	17
(4) 2011年の建設製品規則（CPR, 305/2011/EU）	19
3. 2 米国の道路分野の技術基準と技術評価制度	21
(1) 道路構造物に関する規格	21
(2) 技術評価の仕組み	21
3. 3 日本の道路分野の技術基準と技術評価制度	23

(1) 日本の道路構造物の規格.....	23
(2) 日本における技術評価制度.....	23
3. 4 各国の比較.....	25
4. 道路構造物の性能規定化の現状と課題.....	27
4. 1 道路構造物の技術基準類の現状.....	27
(1) 技術基準類の階層構造.....	27
(2) 道路橋の性能と照査.....	28
(3) 道路土工構造物の性能と照査.....	30
(4) 道路トンネルの性能と照査.....	32
4. 2 性能規定化の課題.....	34
(1) 道路構造物の性能規定の調和.....	34
(2) 異常時の性能の明確化.....	36
(3) 地質・地盤の不確実性の影響評価.....	36
(4) 沿道リスクへの対応.....	36
(5) 検証方法の確立.....	36
5. 道路構造物の性能規定化に向けた技術政策の方向性.....	38
5. 1 道路構造物の性能規定化の利点と課題.....	38
(1) 道路構造物の性能規定化の利点.....	38
(2) 性能規定化の課題.....	38
5. 2 新技術導入促進の施策.....	39
(1) 新技術導入促進方針の策定.....	39
(2) 新技術の活用を促進する体制づくり.....	40
(3) 点検・診断に係る新技術の導入促進.....	42
5. 3 性能規定化とその活用に向けた課題と展望.....	43
(1) 分かりやすい規格体系づくり.....	43
(2) 修繕に係る技術基準類の性能規定化.....	43
(3) リスク評価・環境影響評価.....	44
(4) 技術基準への適合性確認制度.....	45
(5) 新技術に対応した照査方法の規格化.....	45
(6) 調達制度と技術基準類との調和.....	46
(7) 研究開発への支援.....	46
おわりに.....	48
謝辞.....	49
参考文献.....	50

付属資料1 国土交通省『土木・建築にかかる設計の基本』（2002年3月）

付属資料2 国土交通省道路局『道路分野における新技術導入促進方針』（2020年4月）

## はじめに

建設分野における近年の技術的な課題として、生産性の向上、働き方改革、インフラの老朽化等が挙げられる。i-Construction に関する施策の推進により建設産業の生産性の向上が図られてきている中、道路構造物の分野においても品質や安全性の水準を確保した上で、コストの縮減や生産性の向上につながる新しい技術の活用に向けて取り組んでいくことが重要である。また、このような新技術の導入は、道路管理者や発注者の業務の改善につながるだけでなく、産学における研究開発や設備投資への意欲を増進させ、関係する産業の活性化にも寄与することも期待されている。

一方で、道路構造物の分野において新技術を活用しようとした場合、技術基準が新技術の活用に対応できておらず、そのことが新技術の活用促進の障壁になっていることが指摘されている。道路構造物の技術基準に関しては、これまでの構造材料の種類や寸法、解析手法等が指定された「仕様規定」から、構造物の目的とそれに適合する機能を明示し、機能を備えるために必要とされる性能を規定する「性能規定」に移行する取り組みが続けられてきた。2001年の『車道及び側帯の舗装の構造の基準に関する省令』から対応が始まり、2017年の『橋、高架の道路等の技術基準（道路橋示方書）』では性能規定型の基準体系への抜本的な改定が行われたところである。

性能規定化により、これまでの仕様規定に適合しないために利用が困難であった新材料、新しい構造形式・施工法の導入が可能となり、設計の自由度が増すことによって品質向上やコスト縮減の可能性が高まることが期待できるようになった。しかしながら、性能を満足しているか否かを、新材料・新工法ごとに個別に性能を確認するための照査や検証が必要で、そのことが現場への実装のハードルとなっており、新技術を速やかに現場に導入していくための仕組みづくりが課題となっている。

このように技術基準が性能規定化されていく趨勢にある中、その政策効果を現場で展開していくためには、適切な評価のもとで検証された新技術が適材適所に活用されていくようにしていく必要がある。そのためには、新技術の開発、評価、活用のそれぞれを担う者が性能規定化された技術基準の体系に対して共通の理解を深めることが重要である。また、新技術の活用を担う者は、現場のニーズを明確化した上で、創意工夫を生み出すための適切な入り口を作り、開発する者との議論を重ねることでニーズにマッチした新技術の開発を誘導していくことも重要な役割である。

本資料は、主に令和2年度から令和3年度にかけて、道路構造物に関する技術基準の性能規定化の経緯を振り返り、欧州や米国の取り組みをレビューするとともに、我が国の道路構造物分野の新技術導入促進にあたって必要となる政策展開の方向性を考察した結果を取りまとめたものである。道路構造物に関する新技術導入にあたっては、規格類の性能規定化の意義を関係者で共有し、道路構造物の技術基準の現状の理解、今後の方向性について共通の課題認識を持つことが大切である。道路構造物の技術基準に従事する行政機関の担当官、新技術の評価・活用に取り組む現場のインハウスエンジニア、新技術の開発に取り組む産学のそれぞれの関係者の理解の一助となれば幸いである。

## 1. 道路構造物に関する性能規定化の経緯

### 1. 1 道路分野の性能規定化の経緯

#### (1) 阪神・淡路大震災への対応としての性能規定化

道路分野での性能規定化の議論の始まりは、1995年1月に発生した阪神・淡路大震災が大きな契機となった。特に橋梁の耐震性能評価の必要性が強く認識され、早急な検討が行われた。その結果、1996年12月に改定された『道路橋示方書・V 耐震設計編』では、橋の耐震性能が、例えば「特に重要度の高い橋（B種の橋）は、橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動に対して、限定された損傷にとどめる」というように記載され<sup>1)</sup>、性能規定化を部分的に取り込んだものとなった。

#### (2) 防護柵に関する技術基準

本格的な性能規定化は、1998年の防護柵の設置基準改定からである。背景には、1993年の車両制限令の改正により車両が大型化してきたこと、地域特性や道路景観へ配慮した多様な防護柵の利用に対するニーズの増大があった。

1998年11月に『防護柵の設置基準の改定について（平成10年11月5日付建設省道路局長通達）』が各道路管理者あてに通知され、同時に『車両用防護柵性能確認試験方法について』が道路局道路環境課長から通知された<sup>2)</sup>。この改定で、多様な防護柵構造、材料などの選択が可能となるように、従前の仕様規定から性能規定に変更され、所定の性能を満足することが実車衝突試験によって検証されれば、原則としてどのような仕様のもので利用できることとなった。

具体的な防護柵の性能として、「車両の逸脱防止性能（強度性能、変形性能）」「乗員の安全性能」「車両の誘導性能」「構成部材の離散防止性能」が規定された。

#### (3) 舗装に関する技術基準

2001年6月には、舗装に関する技術基準が性能規定化された。背景には、コスト削減や、新技術の導入を積極的に進めるため、『規制改革推進3か年計画（平成13年3月30日閣議決定）』によって技術規格の性能規定化が政府の方針として打ち出されたことにある。

道路に関しては、舗装技術の進展を踏まえ、舗装材の種類による仕様規定を改め、材質を問わず所要の性能を満たせばよいこととする性能規定化が決まった。道路構造令の第23条が改定され、第2項に「自動車の安全かつ円滑な交通を確保することができるものとして国土交通省令で定める基準に適合する構造」が追加され、『車道及び側帯の舗装の構造の基準に関する省令（平成13年6月26日付国土交通省令）』が定められた<sup>3)</sup>。

省令では、舗装構造が有すべき性能として、「疲労破壊に対する耐久力」「わだち掘れに対する抵抗力」「路面の平坦性」「雨水等の透水能力（必要に応じ）」が規定され、満たすべき基準値と基準値の測定方法が定められた。これらの性能を満足すれば、舗装の材料、施工方法は自由であるため、アスファルト・コンクリート舗装やセメント・コンクリート舗装以外の材料や工法が活用できるようになった。

#### (4) 道路橋に関する技術基準

2001年12月には、道路橋の技術基準も性能規定に移行した。『橋、高架の道路等の技術基準の改訂について（平成13年12月27日付都市・地域整備局長、道路局長通達）』が通知され<sup>4)</sup>、具体的な要求性能として、「使用目的との適合性」「構造物の安全性」「耐久性」「施工品質の確保」「維持管理の容易さ」「環境との調和」「経済性」が規定された。特に耐久性については、「供用期間100年」を設計の目安とし、経済性にはライフサイクルコストを含むものと解説に記述された。

その上で、各条文についても、要求性能と、要求を満足できる解（適合みなし解：要求に適合するとみなせる解法、仕様等）としての照査式や構造細目が一連で規定された。これには2つの意味がある。1つは、要求性能を満足すれば、適合みなし解以外の方法も採用できることを明確にしているという意味がある。もう1つは、要求性能が定性的な表現に留まるものが多いので、適合みなし解も提示することで、信頼性・再現性も含めて、要求性能を満足することを検証するときの具体的な比較対象を示しているという意味がある。

#### (5) 道路土工構造物に関する技術基準

2009年3月には、道路土工構造物に関する設計指針類の性能規定化が行われた。改定では、分冊化した指針の再体系化を図るため、これまでの『道路土工要綱』と8つの指針から、『道路土工要綱』を最上位として『基本編』と『共通編』に大別し、その下に『盛土工指針』と『切土工・斜面安定工指針』を、更にその下に『軟弱地盤対策工指針』と『カルバート工指針』、『擁壁工指針』という6つの指針に再編し、体系化がなされた<sup>5)</sup>。

性能規定に関する項目は、基本編に追加されている。具体的には、道路土工構造物の目的の明示、常時の作用（死荷重、活荷重等）、降雨の作用、地震動の作用などの作用の定義、ならびに要求性能が規定された。要求性能は、安全性、供用性及び修復性の観点から道路土工構造物が設置された道路の機能への支障度合いにより「性能1（支障なし）」「性能2（速やかな回復）」「性能3（致命的とならない）」が定められた。

2015年3月には道路土工構造物の新築又は改築に関する一般的技術基準である『道路土工構造物技術基準』が道路法に基づき制定、通知された（平成27年3月31日付都市局長、道路局長通達）。道路土工構造物の重要度の区分に応じ、かつ、連続又は隣接する構造物等の要求性能・影響を考慮して性能1～3から要求性能を設定することとされた<sup>6)</sup>。

#### (6) 本格的な性能規定化

2017年、国土交通省『橋、高架の道路等の技術基準の改定について（平成29年7月21日付都市局長、道路局長通達）』が通知された<sup>7)</sup>。条文単位で、要求事項と適合みなし解の一連で規定する体系は継続しつつ、多様な構造や新材料への対応をさらに高めるため、「橋の耐荷性能」「橋の耐久性能」「橋の使用目的との整合性を満足するために必要なその他の性能」が規定され、性能を検証する手法として「部分係数法」と「限界状態設計法」が導入された。橋やその構成部材の挙動、その再現に求める信頼性をできるだけ定量的に示せるように意図されたものである。

また、長寿命化を合理的に実現するため、設計供用期間として「100年を標準」とすることと

し，その間適切な維持管理を行うことを規定した。昭和 47 年の制定以来の大幅な改定となり，ようやく ISO2394 やユーロコード等の世界の規格に追いつくものとなった。

## 1. 2 国際標準化としての性能規定化

### (1) TBT 協定と日米包括経済協議

国際標準化の始まりは、1995年に発効した世界貿易機関（WTO）の『貿易の技術的障害に関する協定（TBT 協定）』からであった。この TBT 協定には、工業製品等の各国の規格及び規格への適合性評価手続き（規格認証制度）が不必要な貿易障害とならないよう、国際規格を基礎とした国内規格策定の原則、規格作成の透明性の確保が規定されていた。TBT 協定を締結した日本に対して、土木・建築分野の規格に対しても、国際規格である『ISO2394』（図 1）の採用が求められることとなった。

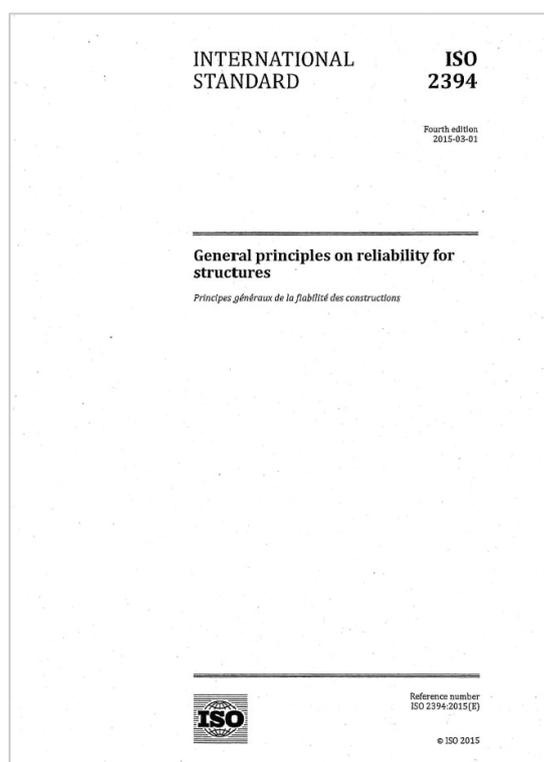


図 1 ISO2394 の表紙

もう 1 つは、ブッシュ（シニア）大統領時代の日米構造協議（1989-1990）から引き継がれ、クリントン大統領時代に始まった日米包括経済協議（1993-2001）である。市場開放に関する分野別の協議が行われ、土木・建築分野でも規制緩和が強く要求された。協議の結果、1998年の『規制緩和推進 3 か年計画（平成 10 年 3 月 30 日閣議決定）』、2001年には、『規制改革推進 3 か年計画（平成 13 年 3 月 30 日閣議決定）』が策定され、基準認証分野の基本方針として「個々の基準認証等について真に国が関与した仕組みとして維持する必要があるかについて抜本的な見直しを行い、国が関与した制度を維持する必要がある場合においても、行政の関与を最小限とする方向で、事業者の自己確認・自己保全を基本とした制度に移行、基準の国際整合化、性能規定化、重複検査の排除等を推進する」こととなった。

## (2) 国際標準化への土木・建築分野の対応

これらの国際化の流れを受けて、1998年2月、旧建設省は、『公共工事の品質確保等のための行動指針<sup>8)</sup>』を策定した。この指針では、国際化や競争性の確保は、品質の確保が大前提であるということが明示された。その上で、技術規格について性能を定めた規定（性能規定）に移行するという目標が示された。同年5月には、建築基準法が性能規定化を意図した設計基準に改正された。性能表示制度、瑕疵保証制度、紛争処理体制を3本柱とした住宅の品質確保の促進等に関する法律が2000年6月より施行された。このように1998年の行動指針を踏まえて、旧建設省所管の土木・建築分野の規格に関する性能規定化への移行の議論がスタートした。

2002年3月、国土交通省は、『土木・建築にかかる設計の基本<sup>9)</sup>』を策定した。この基本は、国内規格間及び国際規格との整合性の確保といった面も含めて、分野・構造種別を超えた「日本の考え」を示すことを目的としている。特徴としては、ISO規格やユーロコードも含めた設計規格と基本的に整合がとれていること、地震国であるわが国の特性を反映させていること、「A Code for Code Writers」として土木・建築分野の考え方を包括していることなどがある。具体的には、構造物の基本的要求性能として、安全性、使用性及び修復性の確保を規定したこと、構造物の設計供用期間を定めること、要求性能を満たすことの検証方法として信頼性設計の考え方を基礎として限界状態設計を取り入れたこと、耐震設計では耐震性能を明示し、それに対する地震動レベルを設定したことなどがある。

しかし、この『土木・建築にかかる設計の基本』は、委員会で議論されて公表されたものであるが、法的な位置づけが与えられていないため、基準としては取り扱われていない。

## (3) 土木学会の包括設計コード

関連した動きとして、2003年の土木学会による『性能設計概念に基づいた構造物設計コード作成のための原則・指針と用語（code PLATFORM Ver.1, 2003.3）<sup>10)</sup>』（包括設計コード）が策定された。策定の背景にあるISO2394やユーロコードなど体系的な規格への改定や策定といった国際動向も意識されていた。

この包括設計コードは、対象はすべての構造物の設計としており、性能設計の基本的な概念に基づくものであり、わが国の構造物の性能設計コード体型の最上位に位置づけられるとしている。具体的には、構造物の目的・要求性能・性能規定の各層における性能の規定方法、許容される照査の方法や照査に関する制度、円滑な情報交換や正確な理解のための基本的な用語の定義、技術的な情報に関する取り扱い、技術者の資格や説明責任について記述されている。

この包括設計コードも、性能設計の概念を広く社会に広めるために、学会活動の一環として策定されたものであり、法的な位置づけがないため参考資料としての位置づけである。

## 2. 技術基準の性能規定化の意義と記述方法

### 2. 1 性能規定化の意義

#### (1) Standard の定義

まず、「Standard」の日本語訳について混乱があるので、定義をしておきたい。「Standard」は日本では、2つの言葉として法令で使われている。一つは、「基準」であり、「物事を判断するための尺度で、行政機関の行う許可等の行政処分における要件として定められたもの」である。もう一つは、「規格」であり、「物の形状、品質、等級、成分等について設けられる基準で、工業標準化法に基づく日本工業規格などがある」とされる。広義には標準と同義で使われている。

また、『ISO/IEC Guide2<sup>11)</sup>』では、「基準」を意味するものは、「規格 (Standard) や技術仕様書 (Technical Specification) の内容を引用または再録して行政機関で採用されたもので、拘束力がある法律上の規制」として技術法規 (Technical Regulation) と定義している。「規格」については、「与えられた状況において最適な程度の秩序を達成することを目的に、諸活動又はその結果に関する規則、指針又は特性を、共通的に、かつ、繰り返し使用するために定める文書であって、合意によって確立され、かつ、公認機関によって承認されたもの」と定義されている。ちなみに、標準化 (Standardization) は、「実在又は潜在の問題に関し、与えられた状況の下で最大限の秩序を実現するため、共通かつ繰り返し使用するための取決めを確立する活動」である。

一方、米国では、「仕様 (Specification)」が規格を表す言葉としてよく使われており、米国試験材料協会 (ASTM) の定義<sup>12)</sup>では、仕様とは、「材料・製品・サービスなどが明確に満たさなければならない要求事項の集まり」となっている。また、ISO では、技術仕様書 (TS: Technical Specification) は、「将来的に ISO 規格として採用される可能性があるが、標準化の対象が開発途上であるなど、ISO 規格として直ちに発行できない場合に発行される文書」を意味する。

本資料では、Standard に対して、基本的には「規格」を用い、特に法令に位置付けられている意味で使う場合は「基準」を用いる。また、Standardization には、慣用的に使われている「標準化」を用いる。ちなみに、ISO では、イギリス英語の Standardisation が使われている。もともと標準化は、1841年に英国土木学会 (Institution of Civil Engineers, 1771年設立) で、ネジの標準化が提案されたことからスタートしており、興味深い。

#### (2) 仕様規定と性能規定の違い

道路構造物に関する性能規定化の意義について理解するためには、これまでの「仕様規定」と「性能規定」について理解する必要がある。

まず、これまで慣れ親しんでいた「仕様規定」は、「構造材料の種類や寸法、解析手法等を規定する方法」である。この仕様規定による記述方法は、規定を満足しているかどうかを比較的容易に判断できるため、これまでの構造物の設計に広く用いられてきた。同一規格の構造物を大量に生産する方法として有効である。

一方の「性能規定」とは、「構造物の目的とそれに適合する機能を明示し、機能を備えるために必要とされる要求性能を規定する方法」のことをいう。つまり、要求性能を満足していれば、ど

のような構造形式，材料，設計手法，工法などを用いても良いことから，設計・施工の自由度が増え，事業者の創意工夫が可能となる規定であるといわれている。

### (3) 性能規定の利点と課題

性能規定化は，道路構造物を設置するための目的から始まり，構造物に求められる要求性能（逆に言うと，構造物が発揮する機能）が体系的に記述されることから生まれる利点と課題がある。性能規定化の利点と課題を整理すると表 1 となる。

表 1 性能規定化の利点と課題

利点	<ul style="list-style-type: none"><li>● 材料の選定，設計・施工方法が自由であることから，技術の進歩への迅速かつ柔軟な対応が可能であり，事業者の創意工夫が増大し，技術競争力の向上による品質の向上とコスト削減が可能となる。</li><li>● 情報通信技術など，新しい分野の技術を導入する際にも，設計コードの調和がとりやすい。</li><li>● 構造物の目的や求めている性能が明示されるため，一般の人にもわかりやすく，道路の整備・管理に対する説明性が高くなる。</li><li>● 体系的なコード体系になることから，全体の理解がしやすく，技術者の育成や海外への展開に有利となる。</li></ul>
課題	<ul style="list-style-type: none"><li>● 構造物の信頼性の評価原則を提示することや，新しい素材・工法が，性能規定を満足しているかどうかの照査方法が必要となり，それらを迅速に議論する仕組みが不可欠である。</li></ul>

## 2. 2 道路構造物における性能規定の記述方法

### (1) 道路構造物の規格に関する各国の組織

道路分野の規格に関しては、国際規格、国家規格、団体規格という階層に分かれる（表 2）。欧州連合（EU）に関しては地域規格と分類される場合もあるが、1つの市場形成を目指しているという点では、国家規格と同じと考え、国家規格として整理している。

また、近年フォーラム規格も注目されている。技術開発の進歩が速い IT 関連は、関心のある会員による提案と投票という形で、スピードを重視した規格づくりも始まっている。これは ISO が国の代表に投票権が付与され、国家間の対立の影響を受けることも意識されたものでもある。

表 2 道路分野の規格に関する各国の組織

国際規格		国際標準化機構（ISO）
国家規格	EU	欧州標準化委員会（CEN）
	米国	米国規格協会（ANSI）
	日本	日本産業標準調査会（JISC）
団体規格	EU	欧州技術評価機構（EOTA）
	米国	米国全州道路・交通行政官協会（AASHTO） 米国土木学会（ASCE） 米国コンクリート工学協会（ACI） 米国鋼構造協会（AISC） 米国溶接協会（AWS） 米国試験材料協会（ASTM） など
	日本	日本道路協会（JARA） 土木学会（JSCE） など
参考） フォーラム規格		米国電気電子技術者協会（IEEE） インターネット技術特別委員会（IETF）

### (2) 理念階層モデル NKB Level System

構造物の設計規格において性能規定の記述方法の原型となっているのは、1976年にノルディック建築基準委員会（NKB）が作成した性能照査型設計の理念階層モデル NKB Level System（図 2）である。NKB は、自国の規格を改定するための準備として、各国の既存の法律に含まれる建築規制上の規格を比較した。その成果を「規制要求規格の内容を理解するための共通の枠組み」として NKB Level System としてとりまとめたものである。

この基準体系では、5つのレベルが設定されており、内容は以下のとおりである。

- レベル1の目的（Goal）とは、構造物を使用する目的である。
- レベル2の機能的要件（Functional Requirements）とは、構造物が使用目的を達成するために不可欠な構造物の機能の要件であり、構造物の安全性、使用性、環境性、施工性、経済性などがある。
- レベル3の性能要件（Operative Requirements）とは、構造物が達成すべき機能ごとの水準に関する規定で、適切な手法で照査可能なように具体的に記述されるものである。
- レベル4の性能照査（Verification）とは、構造物が性能要件を満足しているかを確かめる照査方法に関する規定である。
- レベル5の適合みなし解（Examples of Acceptable Solutions）とは、構造物が性能要件を満足しているとみなされる「解」を例示したもので、性能照査方法を明確に表示できない場合に規定される構造材料や寸法、及び従来の実績から妥当と見なされる現行基準類に指定された解析法、強度予測式等を用いた許容解のことである。

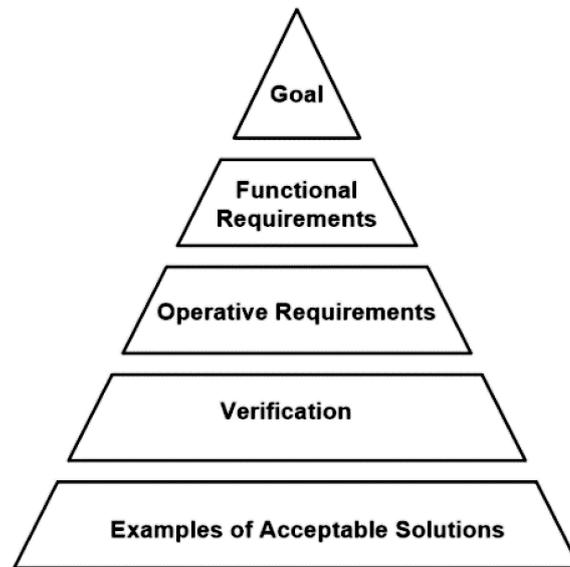


図 2 NKB Level System

### (3) ISO2394

1971年の欧州公共調達指令によって客観的規格の策定が求められ、欧州の構造工学に関する6つの国際団体である国際構造工学会（IABSE）、建築研究国際協議会（CIB）、国際材料構造試験研究機関連合（RILEM）、ヨーロッパ国際コンクリート委員会（CEB）、国際プレストレストコンクリート連盟（FIP）と国際標準化機構（ISO）による欧州における構造安全に関する合同委員会（JCSS: Joint Committee on Structural Safety）が組織され、1986年に『ISO2394：構造物の信頼性に関する一般原則（General Principles on Reliability for Structures）』として発行された。

ISO2394の目的は、「あらゆる種類の材料及びその組合せによるすべての建築物と土木構造物の使用と建設に関する設計のルールを明らかにするための共通の基礎を定める」ことである。そのため、適用範囲、用語の定義などが明確にされており、関係者が共通の認識を持てるように配慮されている。またその特徴は、構造物に要求される基本事項の明確化、限界状態設計の導入、構造信頼性理論の採用である。特に、信頼性の概念、限界状態の概念、設計法としての確率的方法の提案は、当時としては画期的なものであった。

1998年に第2版、2015年に第3版への改定が行われた。特に第3版は、1997年の京都議定書の締結による地球環境を意識した持続性への配慮、2001年の米国テロによるビルの破壊、自然災害の多発などを受けて、人為的事故や自然災害へ対応するためのリスク概念やロバスト性の導入の必要性、構造設計を広く性能確保のための行為と捉えた設計、建設、維持管理、運用等の方法に関する共通の考え方の必要性を背景とした大規模な改定であった。

要求性能に関しては、「構造物は、その供用期間内に社会的機能を支え、持続可能な社会的発展（安全性、信頼性、環境の質、費用効率、二酸化炭素排出量の最少化、自然資源の消費の最少化、エネルギーの使用の最少化）を促進させるように、計画、設計、施工、運用、維持管理及び撤去されなければならない」と記述されている。特に、構造物は適切な水準のリスクと信頼性をもちながら、①供用期間を通して、考えられる全ての作用下において適切に機能する、②建設中、想定される使用期間中及び撤去中において発生する作用（極大作用、繰返し作用、永続作用）及び

環境暴露に耐える、③ 自然ハザード、事故、人的過誤のような異常で予期できない出来事によって深刻な損傷又は連鎖的破壊を被ることがないようにロバスト性があることが要求されている。

また、目標とされる性能水準の判断には、「リスクに基づく意思決定」が構造物の受容可能なリスク、安全性や信頼性の判断に関する標準として位置づけられ、性能の妥当性の検証として、リスクに基づく方法、信頼性に基づく方法、正確率的方法が位置づけられた。その上で、構造物自体、環境（地盤、水及び空気）、力学的、物理的、化学的、生物的又は人為的な特性間の相互作用を表現する性能モデルを構築し、限界状態（終局、使用、形式的）について検証を行うこととなっている。ISO2394（2015）の構成について表 3 に示す。

表 3 ISO2394（2015）の構成

第 1 章 適用範囲
第 2 章 用語及び定義
第 3 章 記号
第 4 章 基本事項
第 5 章 性能のモデル化
第 6 章 不確定性の表現及びモデル化
第 7 章 リスク情報を活用した意思決定
第 8 章 信頼性に基づく意思決定
第 9 章 正確率的手法
附属書 A 品質マネジメント
附属書 B 構造健全性のライフタイムマネジメント
附属書 C 観測及び実験モデルに基づく設計
附属書 D 地盤構造物の信頼性
附属書 E コードキャリブレーション
附属書 F 構造のロバスト性
附属書 G 人命に対する安全に関する最適化及び規範

#### （4）ユーロコードの事例

1975 年、欧州委員会は、ローマ条約の第 95 条に基づいて、建設分野における行動計画（Action Plan）を決定した。計画の目的は、貿易に対する技術的な障害を取り除くことであり、建設工事の設計のための一連の調和した規格の開発を行い、初期には加盟国の国内規定の代替として機能し、最終的にはそれらを置き換えることを目指した。メンバー国の代表者からなる建設部門常置委員会の支援のもと、ユーロコード（Eurocode）の開発が進められ、1984 年に最初のユーロコードとなる『共通統一規則（Common Unified Rules）』というタイトルで、共通の安全要件と共通の原則及び規則（現在の EN 1990 と EN1991）が定められた。その後、鉄筋コンクリート、鉄鋼、木材などの特定の材料（現在の EN1992, EN 1993, EN 1995 など）に関する規格が検討され、1980 年代に最初のユーロコードが作成された。

1989 年、EU の法律である建設製品指令（CPD）<sup>13)</sup>が制定され、建設製品が満たさなければならない基本的要求事項（ER）が附属書として定義された。また指令では、欧州規格（EN）のステータスを持つため、欧州委員会から CEN に検討の場を移管することとされた。その後、CEN では TC250 を立上げ、開発が続けられた。

1998 年、CPD の規定に基づき、欧州暫定規格（ENV: European Pre-Standards）から欧州規格（EN）への規格の格上げ行われた。その際、ENV Eurocode 1 の構造の設計と作用の基礎を 2

つのドキュメントとして分け、さらにすべての材料に依存しない条項も EN1990 に集約された(図 3)。

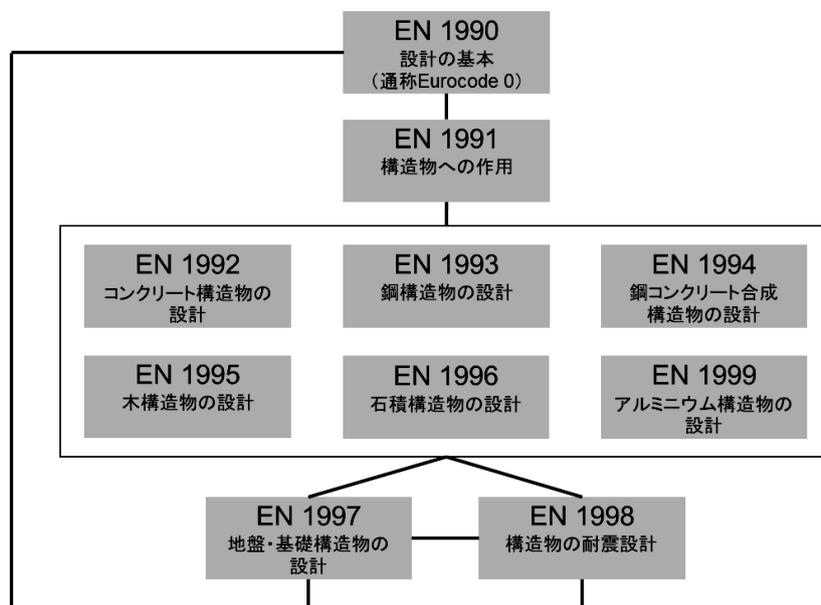


図 3 ユーロコードの構成図

2007年、CEN から 10 編 58 パーツの約 5,000 頁からなるユーロコード全編の発行が終了し、それまでの EU 各国の規格との併存期間がスタートした。ユーロコードと矛盾する各国規格が廃止されて本格的な適用が始まったのは、2010年3月末である。

ユーロコードの役割は、一つは、2011年に制定された EU の法律である建設製品規則 (CPR)<sup>14)</sup>の基本的要求事項 (BRCW) に適合していることを証明する手段としての役割がある。もう一つは、1971年の公共調達指令<sup>15)</sup>に基づく公共調達での技術仕様を決定する手段としての役割である。

特徴としてあげられるのは、最新の研究や経験を取り込んだ新しい規格としての一貫性を持っていることである。複数の規格を関連付けて体系化しているため、原則が明確で技術者の理解が得やすく、EU 域外への普及も容易であるとされている。もう一つの特徴は、基本的考え方を示したユーロコード 0 (表 4) の存在である。

要求性能に関しては、「構造物は、施工・設計耐用期間中に生じると考えられる全ての作用や影響に耐え、使用目的と整合し、十分な信頼性と経済性を有するように、設計・施工される」と記述されている。設計寿命に関しても、交換構造の場合は 25 年、建築他一般構造の場合は 50 年、記念建築・橋等の土木構造物の場合は 100 年が定められている。また、部分係数法による限界状態設計法が採用されており、終局限界状態、使用限界状態が定められている。

表 4 ユーロコード 0 の構成

第 1 章	一般
第 2 章	要求条件
第 3 章	限界状態設計の原則
第 4 章	基礎変数
第 5 章	構造解析と試験を援用した設計
第 6 章	部分係数法による検証
附属書 A1	建築物への適用
附属書 A2	橋梁への適用
附属書 B	建設工事のための構造的信頼性の管理
附属書 C	部分係数法と信頼性分析の基礎
附属書 D	試験を援用した設計

ユーロコードに関しては、EU 各国の設計規格からユーロコードへの移行が行われる中、2012 年に新たな規格化計画を作成することを求める欧州委員会の標準化要求 (M/515) <sup>16)</sup> が CEN に対して出され、次世代のユーロコードに関する以下のような議論が行われている。

- 日常の計算方法のためのユーロコードの実用性向上
- 各国決定パラメータ削減による調和性の向上
- 既存の構造物の評価、再利用及び修復
- 強靱性（ロバストネス）に関する現行ルール of 拡張
- 構造用ガラスの設計法
- 構造物の着氷や波の作用などの規格への取り込み
- FRP の膜構造や構造物に関するユーロコード開発

#### (5) 土木学会包括設計コード

土木学会の包括設計コードにも、性能記述の階層が定められている。図 4 に示すように、階層は、構造物の目的、要求性能、性能規定の 3 段階である。

- 目的 (objective) とは、構造物を建設する理由を一般的な言葉で表現したものであり、事業者または利用者 (供用者) が主語として記述されることが望ましいとされている。
- 要求性能 (performance requirement) とは、構造物がその目的を達成するために保有する必要がある性能を一般的な言葉で表現したものである。
- 性能規定 (performance criterion) とは、性能照査を具体的に行えるように、要求性能を具体的に記述したものであり、構造物の限界状態、作用・環境的影響および時間の組み合わせによって定義されるとしている。

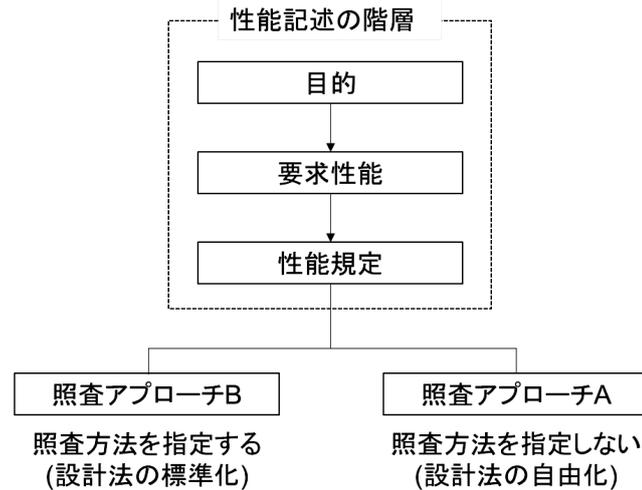


図 4 土木学会包括設計コードのフォーマット概念<sup>10)</sup>

各項目の解説と具体的事例のポイントを以下に示す。

目的の例として道路橋の場合が示されており、道路橋の目的は、「道路ネットワークの一部を構成することにより、地域経済を発展させる。また、災害時に緊急救命活動を支援することによって公共の福祉を向上させる」などがあるとしている。

要求性能の例として、道路橋の場合は、「所与の交通量を通過させること」となるとしている。これに加えて、「利用者が不快と感じるほどの変形を生じさせないこと(使用性)」「所与の供用期間中に、その期間に通常考えられる災害時も含めて、基本性能を経済的に維持できること(使用性)」「大変まれな災害時においても人的被害を生じさせないこと(安全性)」「大変まれな災害時においても、緊急救命活動に支障をきたさないように、最低限の交通の通過させること(安全性)」などが付加されるとしている。また、要求性能は、構造物の必要最低限な性能を挙げるだけでなく、付加的な性能も挙げることでとしている。構造物の要求性能を高めたり増やしたりすれば、当然建設コストも増加するが、構造物の付加価値も増加する。したがって要求性能の設定にあたっては、費用便益分析等が必要となることもあるとしている。

性能規定に関しては、「性能規定は構造物の計画と、実際の構造物設計の接点を規定するものであり、目的、要求性能、性能規定の階層構造の中から導き出されるものであり、照査法につながる規定でなければならない」としている。すなわち性能規定は適切な方法によって性能規定を満足することが証明(照査)できる内容でなければならない、したがって、「構造物に期待される性能であっても、照査できない性能は性能規定に含めることはできない」としている。また、性能規定は「構造物の限界状態」「作用・環境的影響の程度と組み合わせ」「時間」の3つの要素の組み合わせで規定することを提案している点が本コードの特徴であるとされている。

そのうえで照査とは、「目的・要求性能から導出された性能規定が守られていることを証明する行為であるとして、照査アプローチAとして照査方法を指定しないアプローチ、照査アプローチBとして照査方法を指定するアプローチがある」としている。

照査アプローチAの場合は、設計者は性能規定が満足されることを適切な方法で証明することが求められる。推奨事項として、設計者は、構造物設計報告書を作成し、適切な審査機関に提出

して審査を受けることが望ましいとされている。これについては未知の部分が多いとし、「照査アプローチAが許可される機関を認定し、その機関による照査アプローチAの設計は無審査にする」といった手順についても提案がなされている。

照査アプローチBの場合は、設計者は事業者が指定した下位の設計コード（固有基本設計コードあるいは固有設計コード）に従って性能の照査を行うことになる。この場合、固有基本設計コードでは、構造物あるいは部位・部材の照査を直ちに実施できるよう具体的かつ定量的な規定を定めることが望ましいとされている。また、部分係数による場合は、ISO2394の規定に従わなければならないとされている。

### 3. 日米欧の道路構造物関係の技術基準と技術評価制度の比較

#### 3. 1 欧州の技術基準と技術評価制度

##### (1) 欧州公共調達指令 (1971 年)

1993年に発足した欧州連合(EU)は、1951年に経済と軍事における重要資源の共同管理を目的とした欧州石炭鉄鋼共同体(ECSC)から始まり、1957年のローマ条約による欧州経済共同体(EEC)と欧州原子力共同体(Euratom)、1967年のブリュッセル条約によって同一の運営組織への欧州統一を目指した欧州共同体(EC)を経て、1989年のベルリンの壁崩壊後の1992年のマーストリヒト条約の調印により発足した国家間連合体である。

EUの基本理念は、共通の単一市場を構築することであり、「もの・サービスの域内自由移動」を実現する手段の1つとして取り込まれたのが、「技術的障壁の除去」である。この技術的障壁として実際に共同体施策の対象となったのが、各国において製品やサービスの特性等に関する技術的要求を規定している技術法規や国内規格等である。

ECC時代の1971年に発行された『公共事業契約の授与手続きの調整に関する理事会指令(71/305/ECC)<sup>15)</sup>』(欧州公共調達指令)は、加盟国間の公共事業の契約に関わる手続きを調整する最初の指令である。その内容は、各加盟国事業者に対し公共調達が平等な取扱いの下で開かれたものにするため、共同体レベルでの契約公告の実施、他の加盟国の入札参加者に対し差別的となるような技術使用の禁止、契約締結のための客観的規格の適用であった。

初期の方策は「共同体として共通の技術規格を策定し、これらによって各国の技術法規や国内規格を置き換えて統一を図る」というもので、これらの活動は、ISO2394やユーロコードとして実現されることになるが、一方で、この規格の統一を目指す方向性は、後に「オールドアプローチ」と呼ばれて、方針転換が図られることになる。

##### (2) 技術調和のためのニューアプローチ (1985 年)

「オールドアプローチ」による技術規格の域内統一は、EC発足時から18年間も努力が続けられてきたが、各国の主権や気候・風土の差異、保護水準の違い等によって、きわめて実現困難な枠組みであることが認識されてきた。そこで、1985年、欧州委員会は『技術調和と規格のためのニューアプローチ(85/C 136/01)<sup>17)</sup>』というEUの技術政策の方針を理事会決議した。この「ニューアプローチ」は以下の4つの原則からなる。

- 技術的調和に関して、市場に投入される製品は、EEC条約第100条に基づく指令によって、ユーザの安全・健康等の観点から最低限保有すべきと考えられる特性として基本的要求事項(ER: Essential Requirements)を策定したものに限定して、共同体全体で自由な流通を確保する。
- 基本的要求事項に適合する製品生産と市場流通に必要な技術仕様書を作成する作業は、技術の現状を考慮しつつ、標準化組織に委託する。
- これらの技術仕様書は義務ではなく、自主的な規格による規制は維持できる。
- 同時に、調和規格に準拠して製造された製品は、指令によって定められた基本的要求事項に準拠していることを認定する義務を負う(後の「CEマーキング」)。

以上の施策により、技術規格に関する各国の固有の権限が確保されるとともに、調和規格の策定によって製品の域内流通の自由化が図られるという現実的な施策目的が設定された。

### (3) 1989年の建設製品指令 (CPD, 89/106/EEC)

#### 1) 概要

1985年の欧州委員会の政策方針を受けて、1989年に『建設製品指令 (CPD: Construction Products Directive, 89/106/EEC) 18)』がEU議会の同意を得て発行した。

法の目的は、「健康と安全の観点からこれらの製品に適用される必須要件に関して国内法を調和させることにより、欧州連合内のすべての建設製品の自由な移動を確保すること」と「建設製品の製造を標準化し、EU内でのこれらの製品の無制限の使用を保証すること」である。そのため、欧州調和規定の、欧州技術認証制度、技術認証機関の枠組み、製品認証のCEマーキング、附属書としてERが定められた。

このCPDは、欧州における唯一の建設関連の法規として、建設分野の技術規格・認証の根幹をなすもので、建設分野に関するEU加盟各国の法律や規定等を融和させるために主要な役割を果たし、CEマーキングを通して建設製品のEU域内での自由な流通に多大な貢献をしてきた。

具体的には、表5に示すように10章24条とI~IVの附属書から構成されている。その附属書Iに規定された基本的要求事項はすべてのEU加盟各国の土木・建築法規を反映したものであり、域内すべての建設事業 (Works) に適用されるものである。また、附属書Iとして基本的要求事項が法律事項として定められており、ER1: 耐力及び安定性、ER2: 火災時の安全性、ER3: 衛生、健康及び環境、ER4: 使用時の安全性、ER5: 騒音に対する防護、ER6: エネルギーの節約及び熱の保持が定められた。

表5 CPDの目次構成

第1章 適用分野・定義・要求・技術仕様及び製品の自由な移動
第2章 欧州調和規格 (hEN)
第3章 欧州技術認証 (ETA)
第4章 解釈文書
第5章 適合証明
第6章 特別な手順
第7章 通知機関 (製品認証機関)
第8章 建設常置委員会
第9章 セーフガード条項
第10章 最終条項
附属書I: 基本的要求事項 (ER)
附属書II: 欧州技術認証 (ETA)
附属書III: 技術仕様への適合証明
附属書IV: 試験所、検査機関及び製品認証機関の承認

#### 2) CEマーキング

EUが域内市場統合を実現するための重要なツールとして導入したCEマーキング (European Community marking) 制度は、EU市場に供給される製品が基本的要求事項に適合していると認められれば、製造者にCEマーキング (図5) を貼付する権利が与えられるものである。

CEマーキングを貼り付けた製品は域内を自由に流通することが可能となることから、CEマー

キングは域内でのパスポートの役割を果たすものであり、加盟各国固有の例えば英国規格協会 (BSI) のカイトマーク (Kitemark) やドイツ規格協会 (DIN) の DIN マークといった品質マークとは異なるものである。

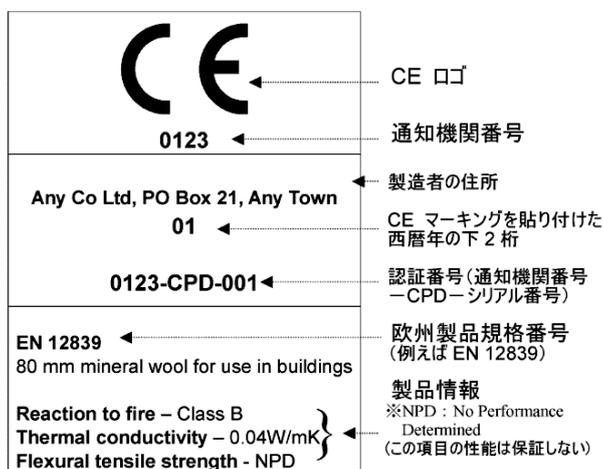


図 5 CE マーキングラベルの例

### 3) 技術仕様 (Technical specifications)

CE マーキングを貼付できる製品の性能特性を規定した技術仕様には、欧州標準化委員会 (CEN: Comité Européen de Normalisation) が担当する『欧州調和規格 (hEN: harmonized European Standards)』と、欧州技術認証機構 (EOTA: European Organization for Technical Approvals) が担当する『欧州技術認証 (ETA: European Technical Approvals)』の 2 つがある。これらは、欧州委員会からの命令を受け CEN や EOTA が策定するものである。新製品や新工法関連は EOTA に持ち込まれ ETA が作成されることになるが、その技術が十分に成熟した段階で、ETA は hEN に転換されることになっている。EOTA の要件は CPD の第 10 条で以下のように規定されている。

- 科学的、実用的な知識をもとに、新しい製品の使用上の適合性を評価すること
- 関連製造者、及びその代理人の利益に関し公平な決定をすること
- すべての利害関係者の貢献をバランスの取れた評価で比較すること

### 4) 通知機関

CE マーキングの適合性評価を行う第三者機関は、特別に通知機関 (Notified body) と呼ばれ、カイトマークや DIN マークなどを取り扱う製品認証機関 (Certification body) と名前が区別される。通知機関が具備すべき要件は、CPD 附属書 IV (試験所、検査機関及び製品認証機関の承認) で規定されている。

- 要員、手段及び設備が調達できること
- 要員の技術的能力及び専門家としての誠実さがあること
- 試験の実施、報告書の作成、証明書の発行及び指令に定める監視の実施における公平さがあること

- 要員による専門的な機密が保持されること
- 国家の法律で責任が担保されていない場合は、民間責任保険に加入していること

#### (4) 2011年の建設製品規則 (CPR, 305/2011/EU)

##### 1) 概要

2011年、CPDが20年近く運用され、さらなる建設製品のマーケティングのための調和した条件づくりを目指した『建設製品規則 (CPR: Construction Products Regulation, 305/2011/EU) 14)』が発行された。EUにおける規則 (Regulation) は、指令 (Directive) より法的強制力が強く、加盟国の国内立法措置を必要とせず、加盟国の政府や企業、個人に直接的に適用される法律である。新たな CPR では、以下のような点が CPD から変更となった。

- EU 域内での製品等の流通には CE マークを付すことが明確に強制化された。
- これまでの欧州技術認証 (ETA) から欧州技術評価 (ETAs : European Technical Assessments) と称される手続きとなり、あわせて手続きが簡素化された。
- 適合性の評価を行う通知機関 (Notified body) の具備すべき要件が詳細に定められた。
- 建設製品等の輸入業者、販売業者に対する義務事項が規定された。
- 基本的要求事項に不適合な製品等に対して市場からの撤去等の措置を求めることができることとなった。

##### 2) 基本的要求事項

今回の改定で基本的要求事項の英文名が、CPD の Essential Requirements から Basic Requirements for Construction Works (BRCW) に変更されるとともに、新たに「自然資源の持続可能な使用」が追加され、表 6 に示す内容が定められた。

表 6 建設製品への基本的要求事項

BRCW1 耐力及び安定性	建設物の設計及び建設は、建設中及び使用中に作用する荷重に対して、①建設物の全体または一部の崩壊、②許容できないほどの大きな変形、③建設物の他の部分、付属物、据付け機器などの損傷が、負荷のかかる建設物の大きな変形の結果として起きること、④元の原因と不釣合いに大きい損傷のそれぞれの事態を起こさないように行わなければならない。
BRCW2 火災時の安全性	建設物の設計及び建設は、火災の発生の際、①建設物の耐荷力が所定の時間保たれること、②建設物内の火及び煙の発生及び広がりが限定されること、③隣接の建設物に対する火の広がりが限定されること、④建設物内の人が避難できまたは他の手段で救助できること、及び⑤救助隊の安全性を考慮することのそれぞれの事項を確保するように行わなければならない。
BRCW3 衛生、健康及び環境	建設物の設計及び建設は、建設物内の人及び付近の人の衛生及び健康を脅かさないように、特に①有毒ガスの発生、②空中の危険な粒子またはガスの存在、③危険な放射線の放射、④水または土壌を汚染または有毒化、⑤排水、煙、固形廃棄物、液体廃棄物の不正排出、⑥建設物の一部または建設物内の表面の廃棄物、⑦湿気、それぞれが生じないように、行わなければならない。
BRCW4 使用時の安全性	建設物の設計及び建設は、許容できない事故が使用時に起きないように行わなければならない (例えば、滑り、転倒、衝突、火傷、感電や爆発による負傷)。
BRCW5 騒音に対する防護	建設物の設計及び建設は、騒音の発生を抑え、建設物内の人または付近の人の健康を害さず、満足に睡眠、休息、労働ができるレベルにするように行わなければならない。

BRCW6 エネルギーの節約及び熱の保持	建設物及び暖房、冷房、照明、換気設備は、その使用に必要なエネルギーが低くなるように設計及び建設しなければならない。また、建設時及び解体時にもエネルギー効率が高いこと。
BRCW7 自然資源の持続可能な使用	構造物は、自然資源の使用が持続可能で、リサイクル性、耐久性、環境との互換性を確保できる方法により、設計され、施工され、そして解体されなければならない。

### 3) CE マーキングの手続きの改正

CE マーキングの手続きに関しては、内容が刷新され、手続きが簡素化された（図 6）。大きな変更は、hEN あるいは欧州技術評価文書（EAD : European Assessment Document）という整合仕様書（Harmonized Specification）がある場合には、製造者は製品の性能を宣言する性能宣言書（DoP: Declaration of Performance）を作成し、製品に CE マークを貼り付けなければならないことになった。

具体的な手続として最初に、製造者は EOTA にある技術評価機関（TAB: Technical Assessment Bodies）へ CE マーキングを要求する。依頼を受けた TAB は当該製品が整合仕様書に該当するかどうかを確認する。hEN に該当する場合には、製造者は DoP を作成し、CE マーキングを貼付する。また、EAD に該当する場合については、TAB は該当する EAD と製造者の技術ファイルより欧州技術評価（ETAs : European Technical Assessments）を発行する。その評価を踏まえて、製造者は DoP を作成し、CE マーキングを貼付することになる。整合仕様書に該当しない場合で、製造者が CE マーキングを要求する場合には、TAB は EAD を開発することになる。

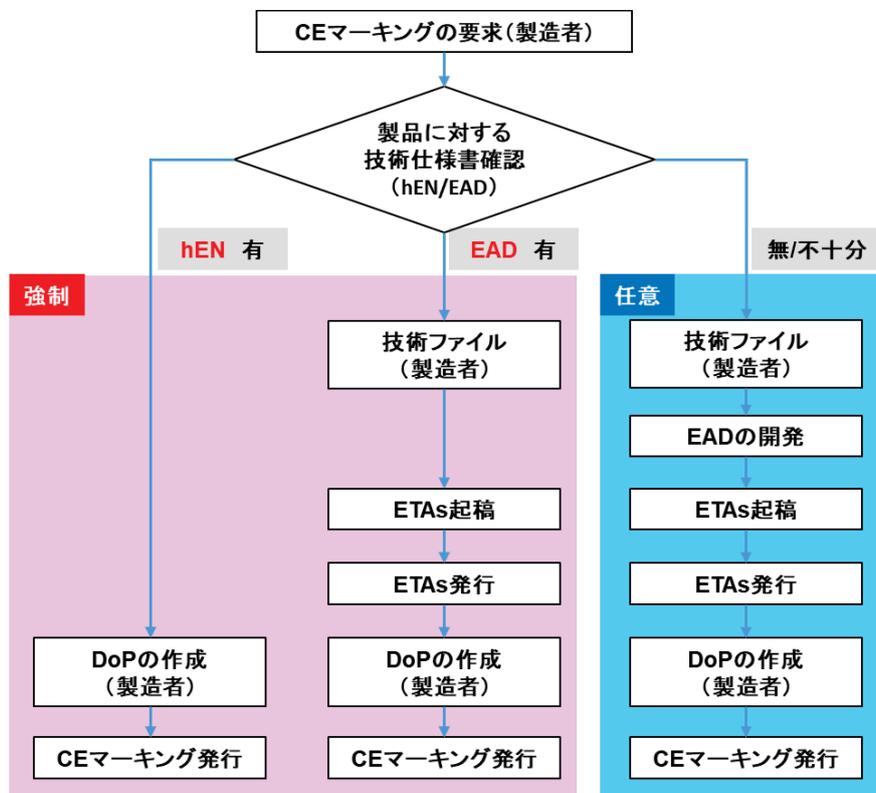


図 6 CE マーキングの手続き

### 3. 2 米国の道路分野の技術基準と技術評価制度

#### (1) 道路構造物に関する規格

米国のインターステートハイウェイ（州間道路）の道路構造物規格に関して、1956年、アイゼンハワー大統領時代に成立した連邦補助道路法（Federal-Aid Highway Act）により、「設計規格は、米国全州道路交通運輸行政官協会（AASHTO）が作ること（合衆国法典第23条）」と定められている。AASHTOは全米50州及びワシントン特別区、プエルトリコの交通部の代表からなるNPOで、規格の策定に関しては50の代表者の3分の2によって投票され、規格として承認される。この規格を米国連邦道路庁が承認し、連邦官報（連邦規則集23CFR 625）に公示している。

米国では、地形的に大きな道路構造物は橋梁であり、橋梁に関する規格が大きな位置を占めてきた。ロナルド・レーガン大統領時代、1987年に道路予算法（STURAA: The Surface Transportation and Uniform Relocation Assistance Act）で、全米共同道路研究プログラム（NCHRP: National Cooperative Highway Research Program）が認められた（現在も継続し、年間約40億円を研究費に投入）。この研究予算を活用して、橋梁に関する米国の規格と世界の規格の比較が行われ、体系だった整備をしてないこと、世界の潮流である限界状態設計への取り組みが遅れていることが指摘され、橋梁規格の見直しが始まった。1994年に現行の限界状態設計法に基づくAASHTO-LRFD（Load and Resistance Factor Design）の第1版が発刊された。NCHRP予算を活用して3年ごとに改定され、最新版は2020年の第9版である（表7）。

要求性能に関しては、「橋梁は、規定した限界状態に対して、検査性、経済性、美観を十分に考慮し、施工性、安全性（耐久性、検査性、維持管理性、走行性、公共性、変形）、使用性の目的を達成するように設計される」と記述されている。限界状態として、使用限界状態、疲労・損傷限界状態、強度限界状態、非常時限界状態が定められている。

表7 AASHTO-LRFDの構成

第1章	序論
第2章	設計及び建設地
第3章	荷重及び荷重係数
第4章	構造解析及び性能評価
第5章	コンクリート構造物
第6章	鋼構造物
第7章	アルミニウム構造物
第8章	木構造物
第9章	床版及び床構造システム
第10章	基礎
第11章	橋台、橋脚及び擁壁
第12章	埋設構造物とトンネル覆工
第13章	高欄
第14章	接合及び支承
第15章	防音壁の設計

#### (2) 技術評価の仕組み

米国では、道路構造物に関する新技術、製品、材料等の技術評価は、各州の交通部が行っている。各州の標準仕様書では、施工者は州が評価した製品を使わなければならないと規定されてお

り、そのための仕組みとして、評価製品リスト（QPL：Qualified Products List）が作成されている。元々は連邦規則 23 CFR 635.411『材料または製品の選択』条項により、「州の交通部は、特許品や独占的製品が、既存の道路施設に合致し、代替品がないことを証明しなければならない」とされ、これに基づいて行われていた評価である。しかし、自動運転時代の新しい技術導入の妨げになるとして、2019年に条項が廃止されている。

各州の QPL 作成の支援として、AASHTO が提供する、米国交通製品評価プログラム（NTPEP: National Transportation Product Evaluation Program）と新技術評価実績リスト（APEL: AASHTO Product Evaluation List）がある。NTPEP は、全州の交通局にとって関心のある製品で、規格が整備されている技術評価を対象とし、APEL は新技術を対象としている。

### 3. 3 日本の道路分野の技術基準と技術評価制度

#### (1) 日本の道路構造物の規格

日本では、道路構造物に関する規格は、国土交通省の社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会で審議され、国土交通省道路局、都市局より通達されている。それらの解説や指針・便覧が、(公社)日本道路協会から発行されている。

道路構造物の規格の調査研究の母体となっているのが、日本道路協会である。日本道路協会の前身は、1919年(大正8年)の(旧)道路法の公布を踏まえ、道路計画推進のために同年に設置された社団法人道路改良会と、道路技術の普及のために1938年(昭和13年)に設置された日本道路技術協会である。戦後の荒廃した祖国の復興のため、総力を集結して道路の整備と道路交通の発展を図るために、2団体を発展的に統合し、1947年(昭和22年)に発足したのが現在の日本道路協会である。

戦後の規格としては、最初に舗装の規格作りが急務であった。日本の道路の状況はひどく、占領政策の遂行の問題とされ、1948年(昭和23年)11月に連合国軍最高司令官総司令部(GHQ)から『道路維持修繕5か年計画に関する覚書』が発出され、同年12月に『道路の修繕に関する法律』が施行された。これにより道路の修繕に対する地方公共団体への補助、直轄施工が可能となり、道路舗装技術の普及が喫緊の解決すべき課題となった。協会は、ニーズに応えるために、1948年(昭和23年)6月に『道路工法新書第1輯 MC工法』という舗装に関する解説書を発刊した。その後、急ピッチで規格の検討を行い、1950年(昭和25年)3月には『道路工法叢書第7集道路補修の指針』、同年5月には『道路工法叢書第6集アスファルト舗装要綱』が刊行された。

本格的な道路整備に向けて、1952年(昭和27年)6月に新道路法が施行された。これにともない、同年10月には『道路法逐条解説』、1956年(昭和31年)5月には、『鋼道路橋設計示方書・鋼道路橋製作示方書解説』、11月には『道路工法叢書第10集土工指針』が発刊され、現在の体系が形作られた。その後、1995年の阪神・淡路大震災以降、性能規定化への努力が行われてきたのは、第1章で記述した。規格の変遷については、『道路技術基準温故知新<sup>19)</sup>』(日本道路協会、平成27年12月)が詳しく解説している。

もう一つの規格が、日本工業規格(JIS)である。こちらも、戦後復興、生産力・技術力の増強を目指して、1949年(昭和24年)に工業標準化法が制定された。この法律に基づいて策定される国家規格がJISであり、JISの規格の適合性評価の仕組みがJISマーク制度である。復興に必要とされたものが土木・建築構造物のための鉄とコンクリートであった。そのため、土木・建築はJISの規格のAシリーズに位置付けられ、コンクリート関連の規格が数多く作成された。

#### (2) 日本における技術評価制度

日本における鋳工業製品の技術評価制度は、JISマーク制度があり、製品を生産する工場の規格の適合性評価を行ってきた。2005年の改正では、WTO/TBT協定への対応として、主務大臣が登録した「登録認証機関」が製造業者等の審査をして認証を行うISO/IECガイド65に合致した仕組みに変更された。また、2018年の改正では、法律名を『産業標準化法』に変え、「日本工業規格」が「日本産業規格」と変更されている。そして、民間標準化団体のうち一定の要件を満た

すものを「認定産業標準作成機関」とし、当機関により作成・申出された JIS 案は、日本産業標準調査会（JISC）による調査審議・決議が不要となり、迅速な規格制定・改定ができるようになった。

建設分野に特化した技術評価制度としては、民間の技術開発の促進、建設事業への導入・活用のために、1978年に『建設技術評価規定（昭和53年建設省告示第976号）』が創設された。評価された技術は「新技術情報提供システム（NETIS）」に掲載される。2006年度からは「公共工事等における新技術活用システム」として、事後評価の実施及び活用の徹底を図るため、NETISが再構築されている。2014年度からは、テーマ設定型（技術公募）の導入、外部評価機関の活用の拡大が行われている。NETISのメリットとしては、国や地方自治体が発注元となる公共工事に際し、登録技術の活用を提案すると、総合評価方式の入札段階や工事成績評定での加点の対象となることである。

もう1つは、1987年に創設された『民間開発建設技術の技術審査・証明事業（昭和62年建設省告示第1451号）』である。建設大臣が認定した14の認定法人が実施する民間が開発した建設技術の内容を専門的見地から証明する制度である。2001年には、第三者機能の拡充のため建設技術審査証明協議会による「建設技術審査証明事業」に移行し、現在に至っている。

### 3. 4 各国の比較

日米欧の道路構造物に係る規格と技術評価について比較したのが表 8 である。ここではコンクリート橋の場合を例として比較している。

規格としての先進性を持っているのが、新しい統一市場を作るために工夫してきた EU の規格体系である。EU の理念に基づき、1 つの市場を形成するための手段としての理想形の規格体系から議論して構築してきたところが特徴である。民間の創意工夫を生かすため、法的拘束力を持つ政府の規則は、要求性能までとし、設計に関する規格については、CEN の団体規格として機動性を持たせている。また、多くの新技術を取り込めるよう、設計の基本と作用は独立させ、設計・施工を性能規定化することで、規格が作りやすくなっている。

また、新技術・新製品の流通に関しては、CE マーキング制度が機能しており、規格がない場合の規格作成も含めた評価体制が構築されている。また、ISO と CEN は協定を結び、効率的に規格づくりの役割分担がとられており、国際標準との整合も意識されている。そのため、規格の海外展開も早いという利点も持っている。

米国の規格は、道路整備にいち早く着手し、規格の整備も早かったこともあり、世界的に活用されてきた。法体系としても連邦が各州に補助する際の道路構造の規格を定めたものという位置付けで、各州の道路管理者が加盟した NPO である AASHTO が団体規格として仕様を定める役割を担っている。

技術評価に関しては、実際に発注を行う各州が評価を行い、QPL を作成し、公共調達の際の技術仕様との整合をとる方式である。この方式は、特許や独占的製品など新技術の導入が遅れる原因と指摘されていたが、2019 年に関連の法令が廃止され、新技術導入の新しい仕組み作りが検討されているところである。

日本の道路構造物に関連する規格体系は、戦後米国の規格体系を学んで構築したことから、米国に近い体系である。そして、設計の基本、作用、性能規定までを基準として通達する点で、米国同様に政府の関与が強い体系となっている。法令としての拘束力をもつ要件となることから、性能規定の照査についても、行政が強く関与しなければならない仕組みとなっている。性能規定化のメリットを活かすための規格や評価手法の設定の迅速化が課題である。また、構造物毎の基準類の体系化が図られており、コード全体としての調和がとられていないことから、新しく設計等を学ぶ技術者にとっては大きなハードルとなっている点も指摘されている。一方、地震への対応もあり、早くから限界状態設計法の導入が試みられ、性能規定化も舗装や橋梁で積極的に取り組まれてきた点は評価できる点であり、地震への対応が必要な国々からは関心を強く持たれている分野でもある。

技術評価に関しては、JIS マーク制度や建設技術審査証明事業は、EU の ETA と同じく第三者機関による評価方式に変更され、公平性・客観性・迅速性が確保された仕組みとなっているが、製品や資材・試験方法が中心となっており、それと比べると設計施工の規格に関連する新工法や新材料の評価制度は遅れている。

表 8 日米欧の道路構造物関連の規格と技術評価制度の比較（コンクリート橋の場合）

		欧州	
		規格類	技術評価
目的 ・ 要求性能		建設製品規則（CPR）の BRCW1～7 (1) 耐力及び安定性, (2) 火災時の安全性, (3) 衛生, 健康及び環境, (4) 使用時の安全性, (5) 騒音に対する防護, (6) エネルギーの節約及び熱の保持, (7) 自然資源の持続可能な使用	
設計の基本		EN1990 (ISO2394) 「設計の基本」 ・ 構造物は, 施工・設計耐用期間中に生じると考えられる全ての作用や影響に耐え, 使用目的と整合し, 十分な信頼性と経済性を有するように, 設計・施工される。	
性能 規定	作用	EN1991 (ISO2394) 「構造物への作用」	
	設計	EN1992 (ISO19338) 「コンクリート構造物の設計」	
	施工	EN13670 (ISO22966) 「コンクリート構造物の施工」	
製品	コンクリート【EN206-1 (ISO22965)】 鉄筋【EN10080 (ISO6935)】 PC 鋼材【EN10138 (ISO6934)】 定着具等【EOTA013 (ISO6934)】 プレキャストコンクリート製品【EN13369 等】 など		・ ETA 制度 (CE マーク)

		米国	
		規格類	技術評価
目的 ・ 要求性能		合衆国法典【第 23 条 § 109 規格】 ・ 安全性, 耐久性, 及び保守の経済性に資する方法で, 現在と将来の交通に適切にサービスを提供する。 連邦規則集【第 23 章第 625 条 道路の設計規格】 ・ AASHTO 規格を参照することを明記。	
設計の基本		AASHTO 「橋梁設計仕様書」 I 序章 ・ 検査性, 経済性, 美観等を考慮し, 施工性, 安全性, 保守性等の目的が達成されるように規定された限界状態で設計されなければならない。	
性能 規定	作用	II 設計及び建設地 III 荷重及び荷重係数 V コンクリート構造物 IX 床板 X 基礎 XI 橋台	
	設計		
	施工		
製品	コンクリート【ACI 規格】 材料【ASTM 規格】 溶接【AWS 規格】 など		・ 各州が評価し, QPL に掲載 ・ 各州支援として AASHTO の NTPEP, ATEL がある

		日本	
		規格類	技術評価
目的 ・ 要求性能		道路法【第 29 条道路の構造の原則】 ・ 道路の構造は, (略) 通常の衝撃に対して安全なものであるとともに, 安全かつ円滑な交通を確保することができるものでなければならない。 道路構造令【第 35 条橋高架の道路等】 ・ 鋼構造, コンクリート構造, これに準じる構造 ・ 常に端にあるとする自動車の重量 245kN 道路構造令施行規則【第 5 条】 ・ 荷重と荷重組合せに対して十分安全	
設計の基本		国土交通省通達「橋, 高架の道路等の技術基準 (道路橋示方書)」 I 共通編 ・ 橋の設計にあたっては, 使用目的との整合性, 構造物の安全性, 耐久性, 維持管理の確実性及び容易さ, 施工品質の確保, 環境との調和, 経済性を考慮しなければならない。 III コンクリート橋・コンクリート部材編 IV 下部構造編 V 耐震設計編	
性能 規定	作用	日本道路協会「道路橋示方書・同解説」 設計要領, 施工便覧 など	
	設計		
	施工		
解説等			
製品	コンクリート【JIS A シリーズ】 鉄筋【JIS G シリーズ】 溶接【JIS Z シリーズ】 PC 鋼材【JIS G シリーズ】 プレキャストコンクリート製品【JIS A シリーズ】 ゴム関係【JIS K シリーズ】 など		・ JIS 製品認証 ・ NETIS 登録制度 ・ 建設技術審査証明事業

## 4. 道路構造物の性能規定化の現状と課題

### 4. 1 道路構造物の技術基準類の現状

#### (1) 技術基準類の階層構造

我が国の道路構造物の基準体系は、『道路法(昭和 27 年法律第 180 号)』を頂点とした基準体系となっている。道路構造物の性能に関して、基本法である『道路法』の第 29 条(道路の構造の原則)で、「道路の構造は、(略) 通常の衝撃に対して安全なものであるとともに、安全かつ円滑な交通を確保することができるものでなければならない。」と定められている。それを受けて、道路構造令の第 23 条(舗装)、第 26 条(排水施設)、第 31 条(交通安全施設)、第 33 条(防雪施設その他の防護施設)、第 34 条(トンネル)、第 35 条(橋、高架の道路等)でそれぞれ設計の基準を示し、国土交通省令で定める基準に適合する構造とすることが求められている。『道路構造令施行規則』では、第 3 条(交通安全施設)、第 4 条(防雪施設)、第 5 条(橋、高架の道路等)について、施設の定義と構造として勘案すべき条件と耐荷性能として満たすべき条件が示され、舗装に関しては、『車道及び側帯の舗装の構造の基準に関する省令』により舗装の構造の基準が定められている。これらの解釈基準として、構造物に関する詳細が定められて道路管理者に局長通知として通達されている。

この道路に関する技術基準類の階層構造のイメージを示したものが図 7 である。道路構造物は法令(道路法・道路構造令・道路構造令施行規則等)で示された性能(図 7①)を満たすように設計されなければならないが、法令の記述のみで構造物を設計することはできないし、できたとしてもそれが規定の性能を満たすことの検証がきわめて困難である。

そのため、法令の規定が道路構造物に要求している性能を解釈し、より具体化した性能水準(図 7②)として規定し直すことになる。その性能水準を達成するために構造物や部材が満たすべき条件(適合条件)を明確にした上で、さらに構造物や部材が適合条件を満たすことを検証・照査するための方法が必要になる(図 7③)。

なお、図 7 に示すとおり、構造物の性能と性能水準を規定したものを技術基準、技術基準に性能の達成方法と標準・マニュアル等の規格を加えたものを技術基準類と呼ぶことにする。

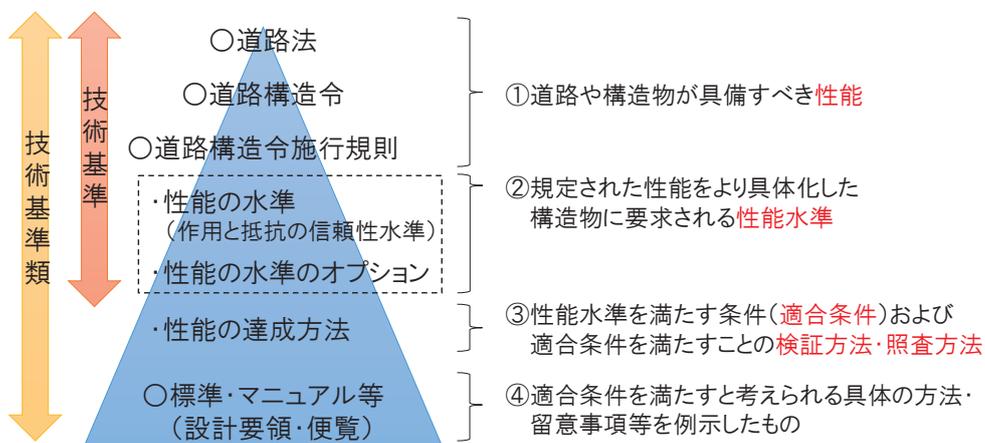


図 7 性能規定化された技術基準類の階層構造

## (2) 道路橋の性能と照査

道路橋の技術基準類の体系を図 8 に示す。道路法では、道路の構造の技術的基準は政令（都道府県道及び市町村道は条例）で定めるとしている。その政令にあたる道路構造令では、橋、高架の道路等は鋼構造・コンクリート構造またはこれらに準ずる構造とすること等を定め、その他必要な事項は国土交通省令で定めるとしている。さらにその省令にあたる道路構造令施行規則の条文も受けた解釈基準として位置付けられる都市局長、道路局長通達『橋、高架の道路等の技術基準（道路橋示方書）』という階層構造になっている。

道路橋が具備すべき性能は、現行の道路橋示方書 I 共通編<sup>7)</sup>（2017 年）（以下、道示 I）では、これを図 9 のような性能水準と解釈している。すなわち、永続作用や変動作用が支配的な状況と偶発作用が支配的な状況のそれぞれに対し、橋としての荷重を支持する能力が損なわれていない等の状態をそれぞれ所要の信頼性で実現することを求めている。

「橋としての荷重を支持する能力が損なわれていない状態」にあることを照査するためには、荷重を支持する能力が損なわれないう限界ぎりぎりの状態とは何かを明確に示す必要がある。これを限界状態と呼び、荷重（の組み合わせ）に対して橋及びその部材が限界状態を超えないことを照査することになる。道路橋示方書ではこのような限界状態設計法を導入し、また限界状態を超えないことの信頼性を、各照査式に部分係数と呼ぶ安全率を割り振ることで確保する部分係数設計法を導入している。これは ISO2394、ユーロコード、AASHTO-LRFD といった国際・海外規格の動向と同じ方向にある。

図 7 に性能の水準のオプションと記載したように、全ての橋に同じ性能水準を求めるわけではない。道示 I では、物流等の社会・経済活動上、また防災計画上の位置付けなど、道路ネットワークにおける路線の位置付けや代替性を考慮して、性能水準を決定するものとしている。

橋の耐荷性能の選択にあたっては、耐震設計上の橋の重要度を考慮することが規定されており、重要度が標準的な A 種の橋は耐荷性能 1、特に重要度が高い B 種の橋は耐荷性能 2 とすることが標準とされている。耐荷性能 1 は、図 9 に示した耐荷性能 2 から点線囲み部を除外したものであるから、重要度が標準的な橋には、偶発的な事象に対する機能面での荷重支持能力は要求されていない。一方、特に重要度が高い橋には、大規模な地震など偶発的な事象に対しても、直後に橋に求められる荷重を支持する能力を速やかに確保できる状態を実現することが要求されている。

上記のように、どのような荷重に対してどの限界状態に留めるのかという、性能水準を満たすための条件を、ここでは適合条件（図 7③）と呼んでいる。これは構造物に求める性能を満たすために、設計で考慮する状況（荷重条件）に対して、構造物やその部材がどのような状態になるまでは許容するのかを表す条件であり、図 2 の NKB Level System における Operative Requirements と類似する概念である。

道路橋示方書では適合条件とともに、それを満たすとみなせる照査方法を具体的かつ定量的に照査式等として規定している。これは、土木学会包括設計コード<sup>10)</sup>の「照査アプローチ B」にあたる（2.2(5)参照）。一方、「照査アプローチ A」にあたる検証方法、すなわち設計者による設計案が、確かに適合条件を満たすことを証明するための手順や審査方法が提示されるには至っていない。

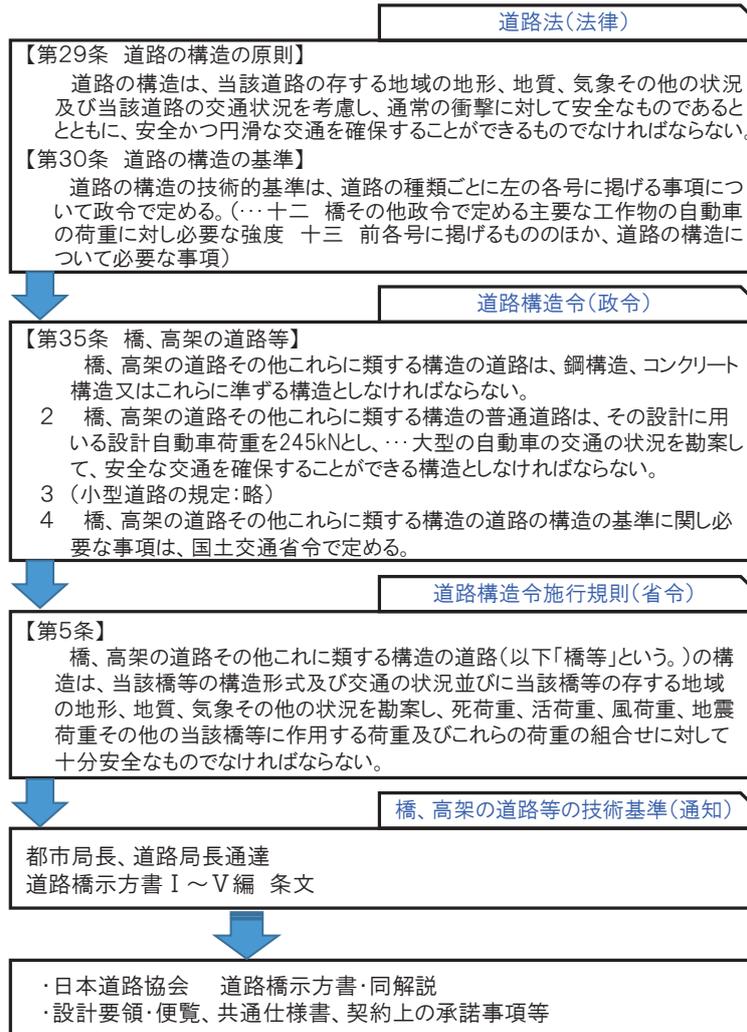


図 8 道路橋の技術基準類の体系 (条文は簡略化)

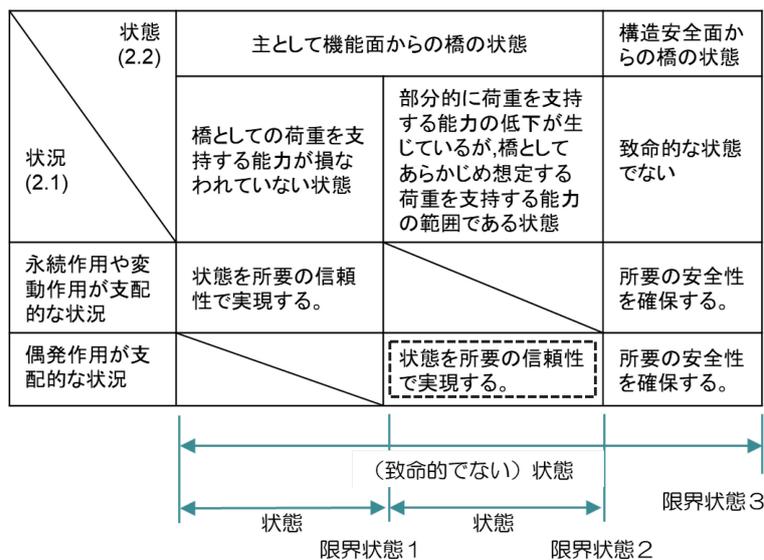


図 9 道路橋に要求される性能水準の例 (耐荷性能 2)

### (3) 道路土工構造物の性能と照査

国土交通省の道路統計年報 2020<sup>20)</sup>によれば、道路延長の合計 120 万 km に対し、橋は 1.4 万 km、トンネルは 0.5 万 km と計 2 万 km に満たない延長であり、土工区間が道路延長の大きな部分を占めている。道路土工構造物は、切土・斜面安定施設、盛土、カルバート及びこれらに類するものとされており、橋と同じく道路法第 29 条に規定される性能を満たす必要がある。道路土工構造物の技術基準類の体系を図 10 に示す。

同法第 30 条では、排水施設ほか道路の構造について必要な事項の技術的基準を政令で定めると規定されている。同条をもとに道路構造令では、必要に応じて適当な排水施設を設けるものとされ（第 26 条）、また、落石、崩壊、波浪等により交通に支障を及ぼし、または道路の構造に損傷を与えるおそれがある箇所には、さく、擁壁その他の適当な防護施設を設けるものとされている（第 33 条）。

2015 年に新たに制定された道路土工構造物技術基準は、これらの法令に基づき、道路土工構造物を新設し、または改築する場合における一般的技術基準を定めたものである。この基準では道路土工構造物の重要度の区分に応じ、かつ、連続または隣接する構造物等の要求性能・影響を考慮して性能 1～3 から要求性能を設定することとされた。

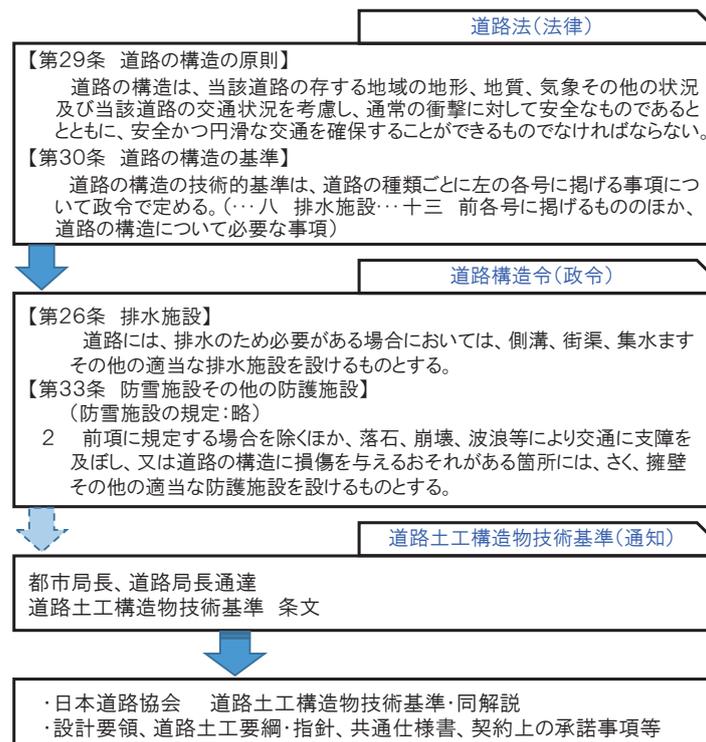


図 10 道路土工構造物の技術基準類の体系（条文は簡略化）

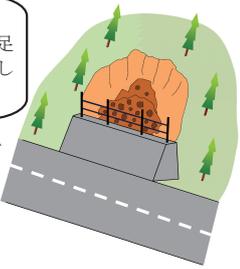
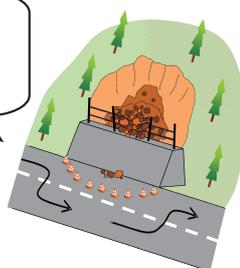
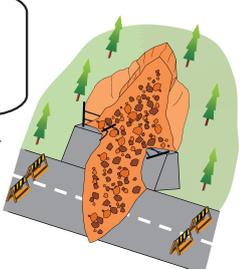
性能	損傷イメージ
<p>性能1</p> <p><u>道路土工構造物は健全である、又は、道路土工構造物は損傷するが、当該道路土工構造物の存する区間の道路としての機能に支障を及ぼさない性能</u></p>	<p>防護施設が崩落土砂を補足 道路の通行機能に支障なし</p> 
<p>性能2</p> <p><u>道路土工構造物の損傷が限定的なものにとどまり、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる性能</u></p>	<p>一時通行規制を行うが、 簡易な復旧により 通行機能を回復</p> 
<p>性能3</p> <p><u>道路土工構造物の損傷が、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能に支障を及ぼすが、当該支障が致命的なものとならない性能</u></p>	<p>全面通行止めは行うが、 復旧工事により 通行機能を回復</p> 

図 11 道路土工構造物の要求性能設定（斜面安定施設）<sup>21)</sup>

道路土工構造物技術基準・同解説<sup>21)</sup>では、性能1～3に対応する要求性能設定のイメージが図11のように例示されている。個々の道路土工構造物について、想定する作用に対する損傷と道路の機能への支障の程度、修復のしやすさ等を考慮して要求性能を設定する必要があるとしており、道路橋のように状況（作用）と状態が対になる形での性能水準は提示されていない。

道路土工構造物の設計は現在でも過去の経験の蓄積によるところが大きく、使用する材料等にも大きな不確実性があるため、定量的な適合条件や照査方法の構築は容易ではないが、技術の進展を適切に取り入れることで検討が進められている。

#### (4) 道路トンネルの性能と照査

道路トンネルも橋や土工構造物と同じく、道路法第 29 条に規定される性能を満たす必要がある。一方、道路構造令にはトンネル付属施設（換気施設、照明施設、非常用施設）の規定はあるものの、トンネル構造に関する規定はない。1989 年に改正された道路トンネル技術基準<sup>22)</sup>は、道路トンネルの整備に関する一般的技術的基準を定めたものであるが、トンネル構造への要求性能に関する規定がないまま現在に至っている。道路トンネル構造の技術基準類の体系を図 12 に示す。

トンネルの設計には地形・地質等の系統的な調査が必要であるが、設計を確定できるほどの地形・地質調査をトンネルの全延長にわたって実施することは困難とされ<sup>23)</sup>、他の構造物とは異なり、施工前に設計を確定することができないという特徴がある。また、施工に伴いトンネル構造に作用する荷重など、複雑で十分に解明されていない事項もあり、一般には経験と実績に基づく設計が行われている<sup>23)</sup>。

道路トンネル技術基準（構造編）・同解説<sup>24)</sup>では、地山の工学的諸性質を類型化して地山等級を判別し、それに応じた標準的な支保構造の組み合わせを示している。表 9 は通常断面トンネルの場合の組み合わせであり、このうち支保パターン DI-a の支保構造の例は図 13 のように示されている。支保構造の組み合わせは、通常断面に大断面トンネル、小断面トンネルを加えた 3 種類の断面毎に示されている。

このような状況を踏まえ、トンネルに関しても路線としての性能の調和等を目的として、技術基準類の性能規定化に向けた検討が進められている。具体的には、橋・土工と調和する要求性能等の規定体系に関する検討とともに、前述の支保構造など従来行われてきた標準的な設計法と、要求性能や性能水準との関係についての整理等が進められている。

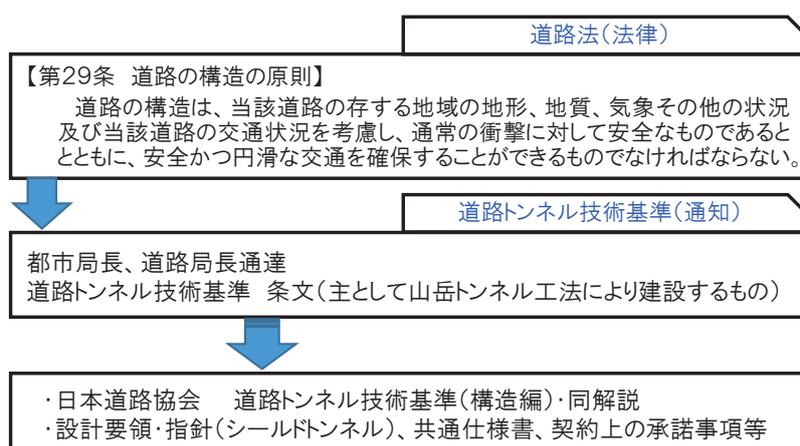


図 12 道路トンネル構造の技術基準類の体系（条文は簡略化）

表 9 標準的な支保構造の組み合わせの目安<sup>24)</sup>

(通常断面トンネル 内空幅 8.5~12.5m 程度)

地山等級	支保パターン	標準掘進長 (m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚		変形余裕量 (cm)
			長さ (m)	施工間隔		施工範囲	上半部種類	下半部種類	建込間隔 (m)		アーチ・側壁 (cm)	インバート (cm)	
				周方向 (m)	延長方向 (m)								
B	B	2.0	3.0	1.5	2.0	上半120°	-	-	-	5	30	0	0
C I	C I	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	-	-	-	10	30	(40)	0
C II	C II-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上・下半	-	-	-	10	30	(40)	0
	C II-b						H125	-	1.2				
D I	D I-a	1.0	3.0	1.2	1.0	上・下半	H125	H125	1.0	15	30	45	0
	D I-b		4.0						1.0				
D II	D II	1.0以下	4.0	1.2	1.0以下	上・下半	H150	H150	1.0以下	20	30	50	10

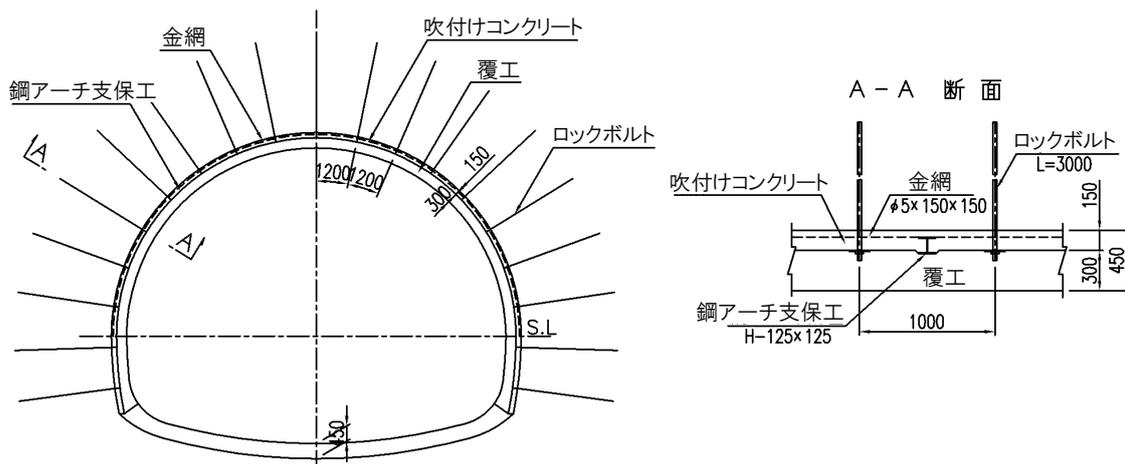


図 13 支保パターン DI-a の支保構造例 (通常断面トンネル)<sup>24)</sup>

## 4. 2 性能規定化の課題

### (1) 道路構造物の性能規定の調和

道路は一部の構造物の機能停止によって輸送機能が損なわれるため、路線を構成する各構造物の性能が調和している必要がある。その観点から道路土工構造物技術基準では、連続または隣接する構造物等の要求性能・影響を考慮した要求性能の設定を求めており、そのイメージを図 14 に示す。このように多種多様な道路構造物の性能を調和させることは容易ではないが、どのように取り組んでいくべきか、社会が求める道路の役割に立ち戻って考えてみる。図 15 は、道路の役割、道路そして構造物に求められる性能と、前章で述べた技術基準類との関係及び性能規定化の状況を図化したものである。

道路の役割は大きく交通機能と空間機能の 2 つとされている。後者には市街地形成機能や防災・環境・収容空間としての機能が含まれ、それぞれ道路構造物と無縁ではないものの、ここでは関係の強い交通機能に絞って整理する。まず、道路法第 29 条では道路の構造が通常の影響に対して安全で、安全かつ円滑な交通を確保することができることを求めている。言い換えれば、「通常の影響」を超える影響に対して道路の構造に何を求めるかは明示されていない。一方で、災害等により安全・円滑な交通が確保できない状態になったとしても、規制しながら緊急車両を通行させ、迅速な災害対応等を支える役割を期待されていることは間違いない。防災基本計画にも「国（国土交通省）及び道路管理者は、迅速かつ的確な障害物の除去による道路啓開、仮設等の応急復旧を行い、早期の道路交通の確保に努めるものとする」ことなどが定められている。

したがって、ここでは道路の役割として、安全・円滑な交通と緊急対応の支援の 2 つを挙げた。対応して道路の性能にも平常時と異常時の性能があり、それら 2 つの性能から道路構造物に求められる性能が、さらには各道路構造物への要求性能が定まる構図である。ただし必ずしも一方通行ではなく逆向きの流れもあるため、双方向の矢印で関係を示した。また機能面で求められる性能に加え、平常時だけでなく異常時にも道路利用者や第三者の安全を確保すること、経済的で環境への負荷も少なく持続可能であること、といった社会的要求も図示している。

道路橋示方書<sup>7)</sup>では図 8 のとおり、「永続作用や変動作用が支配的な状況」、「偶発作用が支配的な状況」として、平常時・異常時に相当する条件下での性能水準を規定している。また、性能水準を満たす適合条件、適合条件を満たすとみなしてよい解（仕様や照査式等）を提示しており、道路土工構造物や道路トンネルの技術基準類も同様の構成となるよう、性能のみならず、適合条件とその照査方法を整備していく必要がある。

道路構造物の性能規定の調和に関しては、表 8 に整理した欧米の性能規定の体系化に多くのヒントがあるので、継続的な調査・分析が必要である。

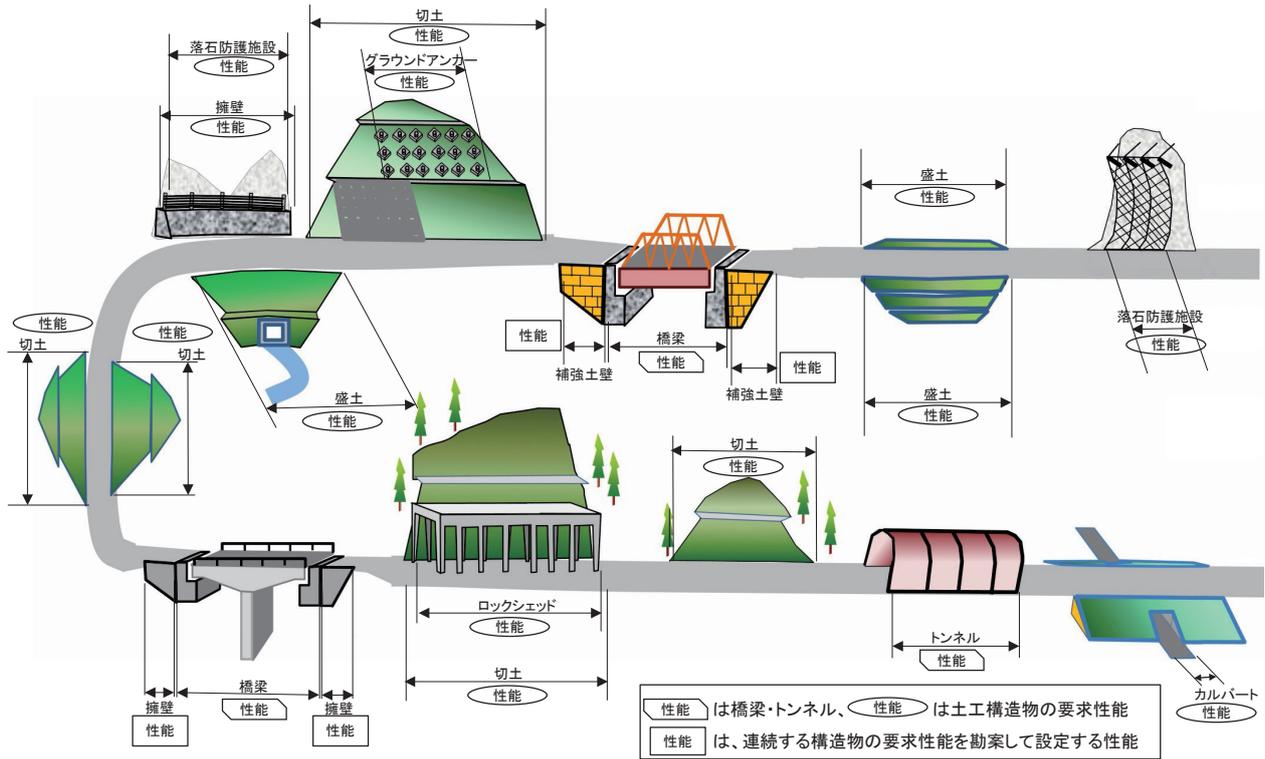


図 14 路線内における道路構造物の要求性能の調和

(文献<sup>21)</sup>の図を改変)

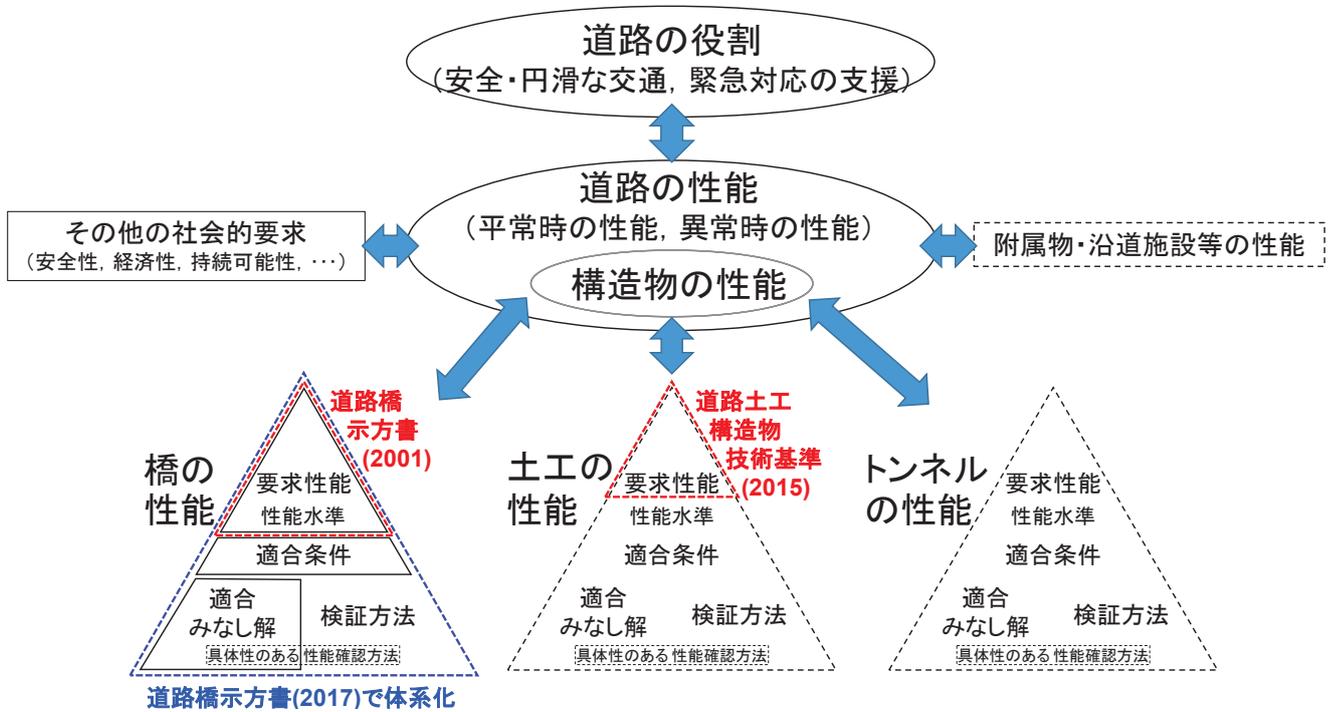


図 15 道路構造物の技術基準類に関する性能規定化の状況

## （２）異常時の性能の明確化

平常時の性能として安全・円滑な交通の確保を求めている一方で、異常時については何をもちいて異常時（通常の衝撃にあてはまらない）とするのか、また、この道路はどの程度の災害まで通行可能なのか、という単純な問いにも答えられないのが現状である。道路沿線に発生しうる降雨や地震の揺れの予測に大きな不確実性が伴うことも考慮した上で、災害時等に道路の路線、また道路ネットワークに求める性能に関する共通の解釈が求められる。

社会資本整備審議会道路分科会第74回基本政策部会では、「発災後概ね1日以内に緊急車両の通行を確保し、概ね1週間以内に一般車両の通行を確保することを目標として、災害に強い国土幹線道路ネットワークの機能を確保するため、高規格道路のミッシングリンクの解消及び暫定2車線区間の4車線化、代替機能を発揮する直轄国道の防災課題箇所を推進。」という方向性が提示された<sup>25)</sup>。ここで示された1日以内・1週間以内という目標なども参考として、異常時の性能を明確化していく必要がある。

## （３）地質・地盤の不確実性の影響評価

道路土工構造物・道路トンネルの性能水準、適合条件と照査方法を体系的に技術基準類に取り入れていくにあたり、地質・地盤の不確実性の影響をどのように考慮するのかが鍵となる。トンネルや切土のような線状構造物における地中部の地層構成や、地質の特性等を事前の調査により精度よく把握することは困難であり、大きな不確実性を有している。施工時に地質の状況等を確認する行為が行われているものの、一部の条件では十分な対応ができず、施工時や供用後に著しい不具合に至る場合もある。

そのため、既往の不具合事例の分析を行った上で、新技術の適用も含めた事前の地盤調査や施工時の対処について充実を図るとともに、それらを前提とした上での信頼性を考慮した設計法のあり方について検討を進める必要がある。

なお、地質・地盤の不確実性の影響は地質・地盤リスクとも呼ばれている。上記のような不具合を回避するため、設計にとどまらず、施工や管理の各段階で不確実性を見える化し最適な段階でリスク対応を図る、あるいは段階的に低減させるといったマネジメント（地質・地盤リスクマネジメント）の必要性が指摘されている<sup>26)</sup>。

## （４）沿道リスクへの対応

道路の途絶要因は様々である。道路構造物の性能を調和させ、道路構造物自体の損傷による機能低下を防いだとしても、道路附属物・沿道施設の倒壊や道路区域外からの土砂崩落による道路の途絶は起こりうる。道路の路線・ネットワークとしての性能を向上させるためには、これら道路構造物以外の要因による機能低下リスクの評価や対応も必要になる。

## （５）検証方法の確立

性能規定化によって特定の仕様に従う必要がなくなることから、これまで利用が困難であった新技術の導入が可能となり、設計の自由度が増すことによる品質向上やコスト縮減が期待される。一方で、設計者は新しい提案が性能（適合条件）を満足していることを適切な方法で証明しなけ

ればならないため、その検証方法（図 15）が必要である。

検証方法には新技術の評価基準や提案者向けの提案方法も含まれる。評価基準は審査・認証機関が新技術を審査する際の基準となるものである。また提案方法は、新技術自体に加え、その性能を立証する試験法等も合わせて提案することを求めるものになると考えられる。

## 5. 道路構造物の性能規定化に向けた技術政策の方向性

### 5. 1 道路構造物の性能規定化の利点と課題

#### (1) 道路構造物の性能規定化の利点

道路構造物の性能規定化は、求めるべき共通の要件（＝性能）を明確にしてその達成手段と切り分けることにより、達成手段に自由度を与える。これにはいくつかの大きな利点がある。

まず、道路構造物全体の規格体系が分かりやすくなることが挙げられる。遵守すべき事項と選択肢のある事項が区別されていることは、設計者にとって重要である。持続可能性や騒音低減など環境への配慮も、性能として明記されれば照査が求められる。

また、道路構造物が有する性能が明確になることにより、道路構造物間の横並びの比較や調和をとることが可能になる。性能規定化の考え方が、地理的に隣接国の規格を意識せざるを得ない欧州から発展してきたことは必然であろう。ISO の規格のように、性能を明確にした分かりやすい規格体系づくりが世界の流れである。

さらに、達成手段として新技術の採用が容易になる。建設業の担い手確保が課題となる中、生産性向上のみならず建設産業の魅力向上、また国際競争力確保の観点からも、新技術への期待はきわめて高い。企業や大学では、鋼やコンクリート以外の新材料や新工法、IoT デバイス、AI を活用したさまざまな技術開発が進んでいる。これらの技術を組み合わせたり、従来よりも幅広く活用したりすることで、道路の調査・計画・設計・施工・管理・運用の個別工程の最適化のみならず、道路行政の全工程の改善、ライフサイクルを通じ低コストで安全かつ高品質なサービスへの革新が期待できる。

#### (2) 性能規定化の課題

規格を性能規定化したとしても、言うまでもなく、道路構造物の設計に新技術が無制限に採用してよいとはならない。新技術を採用した設計案が性能を満足することの検証が必要であるが、道路構造物分野では、そのための手順や審査方法が提示されていない。

その他にも第 4 章で道路の役割から整理したとおり、①異常時に確保すべき道路の性能を示し整備水準を明確にすること、②「道路の性能」の達成に向け路線を構成する各構造物の性能の調和を図ること、③土工構造物・トンネル構造の技術基準類の性能規定化とそのため地質・地盤の不確定性の影響評価、④沿道リスクへの対応といった課題がある。

さらに後述のように、新設時の各構造物の横断的な性能の調和だけでなく、新設、点検・診断、修繕、撤去・更新のライフサイクルに沿った性能を調和させていくことも、今後の大きな課題といえる。

## 5. 2 新技術導入促進の施策

前述の課題に取り組み、規格を性能規定化し検証方法を提示したとしても、それだけで新技術の社会実装が順調に進むとは限らない。これに対応した米国の施策を参考に見てみる。

米国連邦道路庁（FHWA）では、革新的な技術・手法の迅速な全国展開・普及を促進するプログラム Every Day Counts（EDC）が 2011 年度から実施され、現在 6 期目に入っている<sup>27)</sup>。EDC の目的には事業期間の短縮、安全性向上、渋滞緩和、自動化の統合が挙げられ、生産性向上や老朽化対策といった日本と共通する課題の解決策として期待されている。

FHWA では EDC を州・その他の道路管理者と協力して進めるとともに、社会実装のための財政支援プログラムも同時に実施している。これは革新的な技術といえども、ニーズとシーズのマッチングや財政面など、社会実装にはさまざまな問題があることを示している。日本でも同様の問題に対応するため、様々な施策を進めているところである。

### （1）新技術導入促進方針の策定

道路局では、2020 年 4 月に国道・技術課に技術企画室を設置し、『道路分野における新技術導入促進方針（2020 年 4 月）』（以下、促進方針）をとりまとめ<sup>28)</sup>、新技術の積極的な活用・導入促進に向けた取り組みを強化した（図 16）。

促進方針では、①安全・高品質・低コストな道路サービスの提供、②道路事業者のプロセス改善、③産業の活性化を目的として、「良い技術は積極的に活用する」ことを前提に、これまで活用が十分でなかった異業種や他分野の新技術、新材料等も含め、新技術開発・導入を促進していくこととしている。

具体的な方策として、毎年度の取り組みを「新技術導入促進計画」という形で見える化し、道路管理者側のニーズと技術開発のシーズとのマッチングを促進しつつ、技術公募や意見交換を通じて新技術の導入に向けた検討を加速していくこととしている。

<基本方針>

- 安全、高品質、低コストな道路サービスの提供、道路事業関係者のプロセス改善、産業の活性化を目的に、良い技術は活用するという方針の下、これまで新技術の活用が十分でなかった異業種、他分野、新材料等も含め、新技術開発・導入を促進。
- このため、道路技術懇談会を設置し、毎年度の取組(新技術導入促進計画)を見える化。その際、技術公募や意見交換により検討を加速化するとともに、現場の課題解決や導入方法(基準類への反映)検討のための体制も強化。
- これらの取組により、新技術導入の隘路となっている公共調達や現場に内在されているニーズの抽出等の課題を克服。

<重点分野>

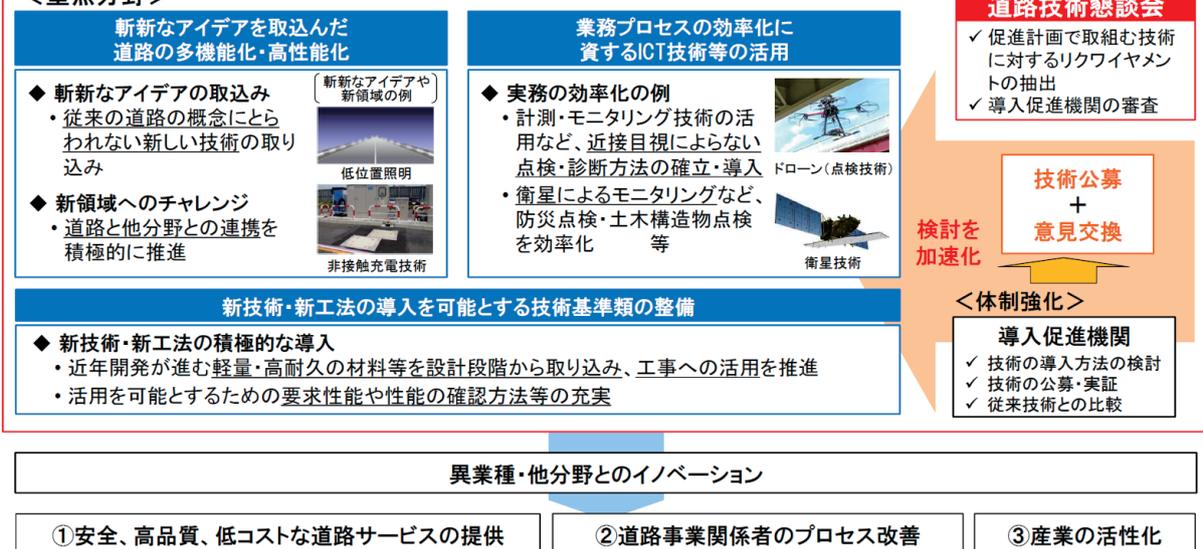


図 16 道路分野における新技術導入促進方針の概要<sup>28)</sup>

(2) 新技術の活用を促進する体制づくり

新技術の導入促進を施策として進めていくためには、技術基準の体系を性能規定化するだけではなく、開発された新技術の評価、認証、基準化のプロセスを動かす体制を構築していくことも併せて必要である。

図 17 は、道路技術小委員会、道路技術懇談会を通じて有識者の意見を聴取しつつ、令和元年度に検討した新技術の活用促進のための体制づくりの構想を示したものである。導入促進を担う第三者機関を技術分野ごとに設置し、その機関が道路局の指定する分野の技術公募を行う。さらに、当該機関は技術検討委員会を設置して性能の検証方法や検証結果の評価を行うとともに、道路構造物への適用のしかたとその適用条件等を明確にし、その成果を設計マニュアル(案)や設計要領(案)等の形で道路局に提示する役割を担う。この成果を踏まえ、道路局では技術基準への反映又は NETIS 登録への反映等により現場への実装を図る体制としている。

なお、図 18 は道路橋を事例として、新技術の活用にあたって整備が必要な事項とその後の普及促進の方法についてフローとして例示したものである。

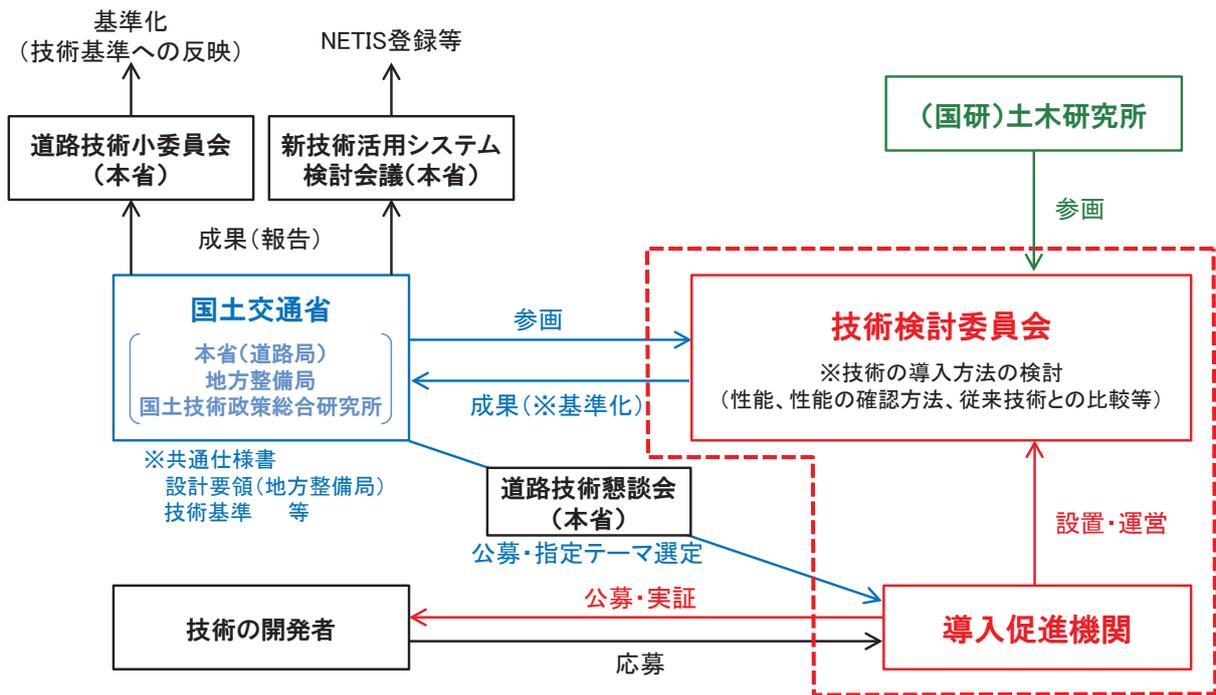


図 17 新技術導入を促進するための体制づくり

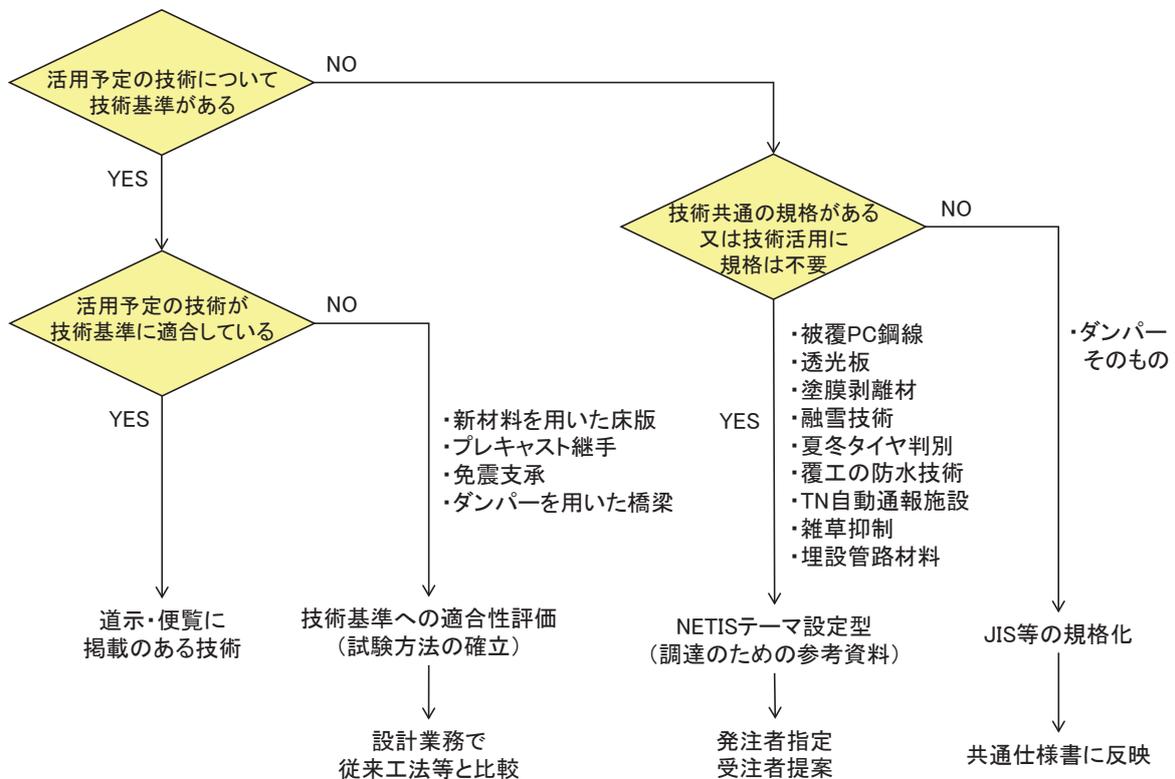


図 18 新技術の活用にあたって整備が必要な事項と普及促進の方法 (道路橋の例)

### (3) 点検・診断に係る新技術の導入促進

新設時の規格からは離れるが、道路構造物の点検・診断技術の動向についても参考に述べる。

2014年度から始まった道路構造物の定期点検が2018年度で一巡し、2019年度からは2巡目の点検が始まっている。2019年2月には、1巡目点検の結果を踏まえた定期点検要領の改定が行われ、定期点検の品質の確保・向上を図りつつ、構造物の状態把握のための作業を省力化できるように、技術的助言が充実されている<sup>29)</sup>。

例えば道路橋点検要領<sup>29)</sup>では、定期点検の一連を行う知識と技能を有するものが診断を行うにあたっての状態把握の方法は、近接目視や必要に応じた非破壊検査によることを標準としつつ、「健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を、近接目視により把握するか、または、自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができる情報が得られると判断した方法により把握しなければならない」と改定された。すなわち、診断結果が適正なものとなるならば、必ずしも全ての部材に近接しない方法で状態の把握を行うことができるよう「性能規定化」が行われ、新技術の活用も可能となった。

実際の運用では、近接目視と同等の性能である、という点検技術者の判断が必要であることから、『点検に関する新技術活用のガイドライン(案)』<sup>29)</sup>(2019年2月)を作成して、道路管理者および点検技術者双方が使用する技術の性能を確認するプロセスや留意事項を示している。また、新技術についての情報提供を進めるため、新技術の性能値を標準項目として示した『点検支援技術性能カタログ』<sup>30)</sup>を作成・公表している。この性能カタログは当初2019年2月に掲載されていた16技術から2020年6月には80技術に、2021年10月には131技術に拡充され、現在も拡充に取り組んでいる。この性能カタログは、現在は道路局が公募と性能確認を行う体制であるが、将来的には第三者機関で継続的に実施していくことにより迅速化につながる可能性もある。

また、定期点検における新技術の活用のためには、様々な技術を組み合わせて構造物の信頼性を技術基準と同じ尺度で定量化できる点検計画の作成要領や、それを第三者が評価するための評価要領が必要であろう。このように定期点検を合理化していくためにも、設計基準類の性能規定化がその技術的論拠となる。

定期点検における新技術活用は待ったなしの状況であり、技術開発や導入促進が急ピッチで進められている。道路構造物の技術基準類の性能規定化と歩調を合わせ、新技術の導入を多様な手段で促進する必要がある。

### 5. 3 性能規定化とその活用に向けた課題と展望

共通する「道路の性能」を効率的に確保し維持していくためには、新設時の各構造物の横断的な性能だけでなく、新設、点検・診断、修繕、撤去・更新のライフサイクルに沿った性能を調和させていく必要がある。このような視点から、性能規定化とその活用に向けた今後の課題と展望を整理するとともに、関連する道路局と国土技術政策総合研究所（以下、国総研）の取り組みを整理する。

#### （1）分かりやすい規格体系づくり

第4章で整理したとおり、現在の道路橋・道路土工構造物・道路トンネル構造の技術基準類の体系は統一されていない。道路橋の技術基準類は（検証方法が確立していないことを除き）図7のような階層構造であるが、防護施設・排水施設以外の道路土工構造物（盛土やカルバート）および道路トンネルの構造は明確に法令には規定されておらず、適合条件や照査方法も整備されていない。

共通する「道路の性能」の達成に向けて、道路土工構造物や道路トンネルの技術基準類も性能規定化を進める必要がある。ただし道路土工構造物・道路トンネルの設計は地質・地盤の不確実性の影響が大きく、事前および施工時の調査で把握しようとしても十分な対応ができない条件がある。既往の不具合事例からこうした条件を抽出し、地盤調査手法や施工管理手法の見直しによりどの程度改善されるかを把握する必要がある。国総研では、地質・地盤の不確実性を前提とした上で、橋・土工・トンネルの性能が調和した性能規定のあり方等の検討を国立研究開発法人土木研究所（以下、土研）とも連携して進めている。

将来的には構造物ごとではなく、「道路構造物の技術基準類」に統一していくのがよいだろう。性能・性能水準・適合条件・検証方法・照査方法および適合する設計事例や留意事項を上位から下位の規定まで図7のように階層的に整理し、全ての道路構造物を対象とする技術基準類を分かりやすい体系として構築することが望まれる。その上で、技術開発のスピードに迅速に追随するために、法令で定める基準は道路の性能を明示することに特化し、性能の適合性確認方法や照査方法は、団体規格として迅速な策定や改定ができることが世界的な潮流である。

#### （2）修繕に係る技術基準類の性能規定化

一連の道路構造物が共通する「道路の性能」を確保するには、新規路線の新設構造物だけでなく、既存路線の構造物とも性能の調和を図らなければならない。道路ネットワークとしての機能を考えれば、既存構造物の性能向上が事業の主役になることも多いと思われる。

したがって、新設時の各構造物の横断的な性能の調和だけでなく、新設、点検・診断、修繕、撤去・更新という道路構造物のライフサイクルの視点に立ち、時間軸上での性能を調和させるための技術基準が必要である。

なかでも早急な対応が求められるのは、修繕のための技術基準類の性能規定化である。2020年12月に閣議決定された『防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策』<sup>31)</sup>（2021～2025年度、以下、5か年加速化対策）では、重点的に取り組むべき対策として「激甚化する風水害や切迫

する大規模地震等への対策」に加え、「予防保全型インフラメンテナンスへの転換に向けた老朽化対策」が掲げられた。

この老朽化対策として、定期点検等により確認された修繕措置が必要な橋梁・トンネル・道路附属物・舗装等の対策を集中的に実施することとしている。具体の数値目標の一つとして、前述した地方公共団体が管理する道路における緊急または早期に対策を講ずべき(判定区分Ⅲ・Ⅳ)橋梁の修繕措置着手率を2019年度の34%から5年後には73%に引き上げることを掲げ、対策期間内に集中的に措置を行い、事後保全から予防保全への転換を目指している。

我が国の道路構造物を効率的に修繕し予防保全していくためのみならず、これから多くの国が維持管理時代に突入するため、点検・修繕・予防保全の技術開発は世界的なニーズの増大が見込まれる。

現状では、例えば既設橋梁の修繕においても道路橋示方書が準用されることが多い。しかし、腐食などの影響により新設橋梁設計時とは異なる不確実性が存在し、変状の種類・程度に応じた材料・工法が求められる。その設計施工の際、信頼性のばらつきを小さくすることが、質の確保とライフサイクルコストの改善、新技術の評価のために必要である。

国総研では性能規定化が進んでいる橋を対象として、道路橋示方書と双対となる修繕のための技術基準類の検討を進めている。道路橋示方書で規定される基本的な考え方は踏襲しつつも、既設橋梁に特有の状況や不確実性を考慮できるものとしていくことが大切である。

### (3) リスク評価・環境影響評価

道路構造物のライフサイクルを考えると、百年あるいはそれ以上の長い供用期間中に道路構造物が被る災害等のリスク、あるいは道路構造物が与える環境影響も評価しておかなければならない。

性能規定化された技術基準類では、経験や実績に基づいて設計が成り立つか否かを判断するのではなく、適合条件とその照査方法が整備され、数式等で照査することになる。これは各構造物の性能の定量化につながる。照査方法を既設構造物に適用することで、その構造物が適合条件を満たす度合い(性能)あるいは満たさない度合い(リスク)の評価も可能になると考えられる。

現在の道路土工構造物等の防災点検<sup>32)</sup>では、安定度調査表に基づく評点づけと総合評価(要対策/カルテ対応/対応不要)が行われているが、照査方法とは直接関連しておらず、対策も経験に基づいて立案されている。技術基準類の性能規定化により適合条件とその照査方法が整備されれば、道路構造物の定量的なリスクアセスメントにつながり、さらに方法を発展させることで効率的な要対策箇所を選定や対策規模の検討も可能になることが期待される。

道路局と国総研では、施設毎の管理方針のみならず、区間・路線間でリスクを比較しネットワークの効果的な改善方針を策定する際の参考となるよう、照査方法と一体となった道路のリスクアセスメント手法の検討を進めている。

一方、環境影響の軽減に関する規格については、第2章で整理したとおり、欧州で先駆的に取り組まれており、1989年に発行された『建設製品指令(CPD: Construction Products Directive)』の基本的要求事項から2011年『建設製品規則(CPR: Construction Products Regulation)』の基本的要求事項(BRCW: Basic Requirements for Construction Works)への流れがある。BRCW

では人の衛生および健康を脅かさないこと、省エネルギー、自然資源の持続可能な使用等の要求事項が示されている。

日本では舗装分野で環境への取り組みが進んでいる。舗装構造は更新周期が短いため多量の既設材処分を要し、処分地の不足もあって従前から舗装発生材の再生に関する技術開発が活発に行われてきた。1984年の『舗装廃材再生利用技術指針(案)』<sup>33)</sup>の策定をはじめ、舗装材料のリサイクルにいち早く取り組んできている。

2001年には『舗装の構造に関する技術基準』<sup>34)</sup>として技術基準が仕様規定から性能規定に移行し、1-2 舗装の構造の原則において、「舗装の構造の決定に当たっては、(中略)当該舗装の構造に起因する環境への負荷を軽減するよう努めるものとする。また、舗装発生及び他産業再生資材の使用等リサイクルの推進に努めるものとする」とされた。舗装発生材も多種多様であり、技術基準では再生利用性の具体の指標や照査方法は規定されていないが、構造の原則として示されたことの意義は大きい。技術基準を踏まえた舗装再生便覧<sup>35)</sup>の刊行(2004年)とあわせ、舗装材料の高いリサイクル性の維持や他産業からの再生資材への対応により循環型社会の形成に貢献している。

2018年、欧州委員会は2050年までに温室効果ガス排出ゼロの目標を含む長期戦略ビジョン”A Clean Planet for All”<sup>36)</sup>を発表し、各種対策に取り組んでいる。日本でも2020年10月の内閣総理大臣所信表明演説において2050年カーボンニュートラルの実現を目指すことが宣言されており、環境負荷の少ない道路整備のための新技術も、これからの国際的な競争領域といえるだろう。舗装構造に続き道路構造物全般の性能として環境影響の軽減を規定することにより、新技術の開発・導入にもつながるものと考えられる。環境に関する性能をどのように定義するかは、今後の大きな課題である。

#### (4) 技術基準への適合性確認制度

性能規定化により設計の自由度が増す一方で、設計者は規定された性能を満足していることを適切な方法で検証しなければならない(図7の③検証方法)。

港湾の施設の技術基準である『港湾の施設の技術上の基準』は2007年の改定で性能規定化されており、同解説<sup>37)</sup>第1編1.2[基準適合性の確認体制の整備]に適合性確認の対象施設や登録確認機関による適合性確認業務の記載がある。適合性確認業務を行う登録確認機関の一つ(一財)沿岸技術研究センターでは2017年度15件、2018年度13件の確認審査申請を受け付けている。

類似の取り組みとして、建設技術審査証明協議会では申請に基づき新技術の技術内容を学識経験者等が技術審査し、その内容を客観的に証明する建設技術審査証明事業を進めている<sup>38)</sup>。また第2章で述べたとおり、欧州ではユーロコードと技術認証制度に基づいたCEマーク制度が建設製品や技術の流通を促進している。

道路構造物の分野でも技術基準への適合性確認の仕組みを構築・制度化し、新技術が提案しやすい環境を整備することが求められる。

#### (5) 新技術に対応した照査方法の規格化

適合性が確認された新技術のうち、幅広い現場条件に適用可能なものは、照査方法と適用条件

を迅速に策定し規格化することが技術の普及促進に効果的である。そのためには、技術基準類の次期改定を待たずに当該部分を増補する等、柔軟な対応を考えなければならない。技術基準類の構成にも増補しやすい工夫が求められる。

さらにこの流れを加速するためには、照査方法等を事業・設計・施工・管理に係る技術者が議論しながら迅速に策定していくプロセスを組み立てる必要がある。5.2(1)で述べたとおり、促進方針では技術テーマごとに導入促進機関を選定し、必要な技術基準類、特に照査方法を速やかに策定していくこととしており、ここで策定された照査方法等を技術基準類の増補に充てることが技術の迅速な普及に効果的だろう。

また、適用可能な現場条件が限定的でも高い生産性向上が見込める技術等は、適合条件を満たす具体的方法として便覧・マニュアルの形で提示することを遅滞なく検討すべきと考えられる。

#### (6) 調達制度と技術基準類との調和

国土交通省の直轄工事では2005年施行の『公共工事の品質確保の促進に関する法律』を受け、総合評価落札方式を適用することにより公共工事の品質確保を図っている。総合評価落札方式では、国土交通省が運営するNETIS（新技術情報提供システム）<sup>39)</sup>に登録された新技術等の活用実績を評価項目として適宜考慮する等、新技術の普及促進が図られている。

2017年度には、建設現場におけるイノベーションの推進、生産性の向上及び若手技術者等の確保のため、新技術等の活用実績の評価に加え、『新技術導入促進型総合評価方式』が導入された。実用段階と研究開発段階の新技術をそれぞれ対象とする新技術導入促進(I)型、(II)型が実施されている。(I)型では技術活用の提案の妥当性等が、(II)型では提案技術の有効性、具体性等が総合評価において評価されることになる。ここで、施工効率化技術等ではなく、構造部材に用いる新材料など道路構造物の性能に直結する場合は特に、技術基準への適合性が確認されなければならない。こうした新技術の導入を促進するためには、(4)で述べた技術基準への適合性確認制度とも調和した調達制度を構築する必要がある。

#### (7) 研究開発への支援

新技術を活用するための規格や制度を述べてきたが、そもそも活用すべき新技術がなければ意味がない。新技術を創造する研究開発を効果的に支援していくことにも取り組む必要がある。企業や大学が有する研究開発力を支援するため、道路局と国総研が連携して、産の技術や学の知恵を道路行政に幅広く取り込むための産学官連携による技術研究開発を進めている<sup>40)</sup>。学識経験者から構成される「新道路技術会議」（委員長：朝倉康夫東京工業大学教授）を開催し、研究成果の評価、次年度の政策領域毎の基本方向及び研究テーマ、公募案件等の審議を実施している。実施課題の特性に応じ、道路局のバックアップのもと、地方整備局およびその管理下の現場並びに土研との連携も可能であり、道路政策の質の向上に資する技術研究開発を支援している。

また、国土交通省ではNETISテーマ設定型の技術公募を2013年度から進めている。これは、調査・点検や維持管理など現場ニーズに基づき技術テーマを設定し、実用段階にある新技術を公募して現場実証を行い、各技術の特徴を明確にしてNETIS特設サイトに掲載することにより活用を促進する取り組みである。

このような主に実用化研究を支援する制度は他にもあり、その重要性から近年拡大傾向にある一方で、新技術の種を生む基礎研究への支援が不足しているといわれる。基礎研究には発展に長い時間を要するものも多く、すべてが実を結ぶわけではないため、支援が困難であることは否めない。国総研道路構造物研究部では7件（2021年度）の共同研究を実施し、道路管理者のニーズや関連する施策を踏まえた技術開発を産学官共同で進めている。こうした取り組みを通じて産学の新技術の種を見出し、芽吹かせるための支援につなげていくことも重要と考えている。これらの取り組みは次世代の人材育成にも不可欠であり、継続的な支援を行っていく必要がある。

## おわりに

本資料では、道路構造物の規格の性能規定化とその活用を進めることの重要性について、社会的、技術的背景を紐解き整理を行った。本文中で引用したもの以外にも、規格の背景等の理解に役立った文献・資料<sup>41)-58)</sup>があるため適宜参照されたい。性能規定化は新技術導入による生産性向上に不可欠である一方で、そのメリットを十分に享受するには技術的検討のみならず適合性確認や調達制度づくり等、多岐にわたる取り組みが必要である。

政府は2017年7月、政府全体として証拠に基づく政策立案（EBPM: Evidence-based Policy Making）を推進する体制としてEBPM推進委員会を設置した。これは統計等データを用いた事実・課題の把握、政策効果の予測・測定・評価による政策の改善、その基盤である統計等データの整備・改善を進めることを目的としたものである。道路構造物の分野でも定期点検や災害時調査、実験、現場計測によるデータが蓄積されてきており、性能、性能水準や照査方法等の根拠データとして活用することで、性能規定化をEBPMの一環として推進することができると考える。

また、その際、膨大なデータの効率的な処理が求められることから、現在国土交通省が進めるインフラ分野のデジタル・トランスフォーメーション（DX）施策にも取り組む必要がある。

本資料で整理したとおり課題は数多いが、政府および国土交通省の施策と歩調を合わせ、関係機関や技術者・研究者とも連携しながら、道路構造物の性能規定化とその活用に取り組んでいきたい。

## 謝辞

本研究に際し、道路局国道・技術課技術企画室ならびに国総研道路構造物研究部の職員には、技術基準の性能規定化や道路構造物分野での新技術の導入に関して、有益な示唆をいただいた。この場を借りて謝意を示したい。

## 参考文献

- 1) ぎょうせい：〔第6次改訂〕道路技術基準通達集－基準の変遷と通達－，pp. 497-498, 1997.
- 2) ぎょうせい：〔第7次改訂〕道路技術基準通達集－基準の変遷と通達－，pp. 907-937, 2002.
- 3) 国土交通省道路局：車道及び側帯の舗装の構造の基準に関する省令について，2001.6.29.  
<https://www.mlit.go.jp/road/sign/pavement.html>（2021.11.1 閲覧）
- 4) 国土交通省道路局：橋、高架等の道路等の技術基準の改訂について，2001.12.27.  
<https://www.mlit.go.jp/road/sign/doujikaitei.html>（2021.11.1 閲覧）
- 5) （社）日本道路協会：道路土工要綱（平成21年度版），2009.
- 6) 国土交通省都市局長・道路局長通知：道路土工構造物技術基準について，2015.3.31.  
<https://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/dokou/kijyun.pdf>（2021.11.1 閲覧）
- 7) 国土交通省都市局・道路局：「橋、高架の道路等の技術基準」（道路橋示方書）の改定について，2017.7.21. [https://www.mlit.go.jp/report/press/road01\\_hh\\_000862.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000862.html)（2021.11.1 閲覧）
- 8) 建設大臣官房技術調査課監修：公共工事の品質確保等のための行動指針，全国建設技術協会，1998.
- 9) 国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本について，2002.10.21.  
[https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/13/131021\\_.html](https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/13/131021_.html)（2021.11.1 閲覧）
- 10) 土木学会包括設計コード策定基礎調査委員会：包括設計コード（案）Ver1.0, 2003.3.  
[https://www.jsce.or.jp/committee/acecc/code/CODE\\_PLATFORM\\_ver.1\\_j.pdf](https://www.jsce.or.jp/committee/acecc/code/CODE_PLATFORM_ver.1_j.pdf)（2021.11.1 閲覧）
- 11) IOS, “ISO/IEC Guide2 Standardization and related activities - General vocabulary”, 2004.
- 12) ASTM Committee on Terminology, “ASTM Dictionary of Engineering, Science, & Technology”, ASTM, 2000.
- 13) EU, Council Directive 89\_665\_EEC of 21 December 1989, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31989L0665>,（2021.11.1 閲覧）
- 14) EU, Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32011R0305>,（2021.11.1 閲覧）
- 15) EU, Council Directive 71\_305\_EEC of 26 July 1971, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31971L0305>,（2021.11.1 閲覧）
- 16) EU. Mandate (M515), [https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/mandate/m515\\_EN\\_Eurocodes.pdf](https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/mandate/m515_EN_Eurocodes.pdf)  
（2021.11.1 閲覧）
- 17) EU, Council Resolution of 7 May 1985 on a new approach to technical harmonization and standards (85/C 136/01), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31985Y0604%2801%29>,  
（2021.11.1 閲覧）
- 18) EU, Council Directive 89\_106\_EEC of 21 December 1988, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A31989L0106>,（2021.11.1 閲覧）
- 19) （公社）日本道路協会：道路技術基準 温故知新～道路関係技術基準の誕生から現在までの記録～，2015.12.

- 20) 国土交通省：道路統計年報 2020,  
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/index.html> (2021.11.1閲覧)
- 21) (公社) 日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説, 2017.
- 22) 建設省都市局長・道路局長通知：道路トンネル技術基準（一部改正）について, 1989.5.19,  
<https://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/pdf/19890519tonnnerugijutsu.pdf> (2021.11.1閲覧)
- 23) 真下英人, 石村利明, 砂金伸治：道路トンネルの技術基準の現状と今後の取り組み, 土木技術資料, Vol. 47, No. 7, pp. 38-41, 2005.
- 24) (社) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, 2003.
- 25) 国土交通省：第 74 回基本政策部会配付資料 1, 2020.12.3.  
[https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01\\_sg\\_000537.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000537.html) (2021.11.1閲覧)
- 26) 国土交通省大臣官房技術調査課, (国研) 土木研究所, 土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン, 2020.3.  
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001337772.pdf> (2021.11.1閲覧)
- 27) Center for Accelerating Innovation, Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation: Every Day Counts, <https://www.fhwa.dot.gov/innovation/everydaycounts/> (2021.11.1閲覧)
- 28) 国土交通省：道路分野における新技術導入促進方針, 道路に関する新技術の活用,  
<https://www.mlit.go.jp/road/tech/index.html> (2021.11.1閲覧)
- 29) 国土交通省：点検要領等, 道路の老朽化対策,  
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html> (2021.11.1閲覧)
- 30) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ, <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/>  
(2021.11.1閲覧)
- 31) 内閣官房：防災・減災、国土強靱化のための 5 か年加速化対策,  
[https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo\\_kyoujinka/5kanenkasokuka/index.html](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/5kanenkasokuka/index.html) (2021.11.1閲覧)
- 32) (一社) 全国地質調査業協会連合会：道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等）, 増補第2版, 2018.9.
- 33) (社) 日本道路協会：舗装廃材再生利用技術指針（案）, 1984.
- 34) 国土交通省都市・地域整備局長・道路局長通知：舗装の構造に関する技術基準について, 2001.6.29. <https://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/pdf/20010629hosou.pdf> (2021.11.1閲覧)
- 35) (社) 日本道路協会：舗装再生便覧, 2004.
- 36) European Commission: A Clean Planet for all, Communication from the Commission,  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773> (2021.11.1閲覧)
- 37) (社) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007.7.
- 38) 建設技術審査証明協議会：建設技術審査証明事業, <https://www.jacic.or.jp/sinsa/index.html>  
(2021.11.1 閲覧)
- 39) 国土交通省：新技術情報提供システム, <https://www.netis.mlit.go.jp/NETIS> (2021.11.1閲覧)
- 40) 国土交通省：技術研究開発の概要, <https://www.mlit.go.jp/road/tech/gijutu/outline.html>  
(2021.11.1閲覧)

- 41) 辻幸和：ISO規格に対応する「設計の基本」のJIS規格化，土木ISOジャーナル，Vol.27  
2016年3月号，公益社団法人土木学会，2016.03.
- 42) 山田武正：建設分野における新技術の評価，JICE REPORT 2015，第27号，pp. 38-45，2015.
- 43) 辻幸和，松井謙二：欧州における建設製品指令 CPD から建設製品規則 CPR の制定，コンクリート工学 52 卷（2014）10 号，pp. 876-883，2014.
- 44) 長井正嗣：鋼橋の設計法の変遷（歴史）と未来への展望について，第25回鋼構造基礎講座 鋼橋の設計法，平成25年12月，土木学会 鋼構造委員会，鋼構造継続教育推進小委員会，2013.
- 45) 佐溝圭太郎：今後急速に老朽化が進むインフラの長寿命化への取り組み，国土交通 No122，pp. 4-5，2013.
- 46) 国立研究開発法人土木研究所技術推進本部：国際標準・規格等に関する過年度の調査成果の概要，国立研究開発法人土木研究所，<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/pdf/torimatome.pdf>，2012.2.  
(2021.11.1 閲覧)
- 47) 辻幸和：欧州構造基準（ユーロコード）の制定—その体系と内容が及ぼす影響，コンクリート工学，48 卷（2010）10 号，pp. 10-17，2010.
- 48) 松井謙二・菊地稔：ユーロコードの完全実施と我が国への影響，土木技術資料，平成22年9月号，pp. 22-25，2010.
- 49) 建築法制委員会：建築基準法の性能規定化のあり方に関する提言，一般社団法人日本建築学会，2007.03
- 50) 杉山俊幸：性能照査型設計法に基づく橋梁設計の基礎知識と応用，[https://www.engineering-eye.com/rpt/w006\\_sugiyama/index.html](https://www.engineering-eye.com/rpt/w006_sugiyama/index.html)，2004. (2021.11.1 閲覧)
- 51) 辻幸和：性能規定化，適合性評価と JIS マーク表示制度，コンクリート工学，43 卷（2005）9 号，pp. 65-69，2005.
- 52) 玉越隆史，村越潤，渡辺博志，中谷昌一，運上茂樹：道路橋技術基準の現状と今後の改定への取り組み，土木技術資料，平成17年7月号，pp. 28-33，2005.
- 53) 吉田武：性能規定化された技術基準の下での舗装の性能評価法の枠組み，土木学会論文集，2004 卷 767 号，pp. 279-284，2004.
- 54) 本城勇介：土木分野における性能設計の取り組み，日本風工学会年次研究発表会・梗概集，平成16年度日本風工学会年次研究発表会，2004.
- 55) 古田均，佐藤尚次：構造設計基準の合理化とその国際標準化，土木学会論文集，2002 卷 710 号，pp. 1-7，2002.7.21.
- 56) 吉田正，江本平，村松敏光，持丸修一，田中和嗣：土木工事発注・施工への性能規定概念導入方法，土木研究所資料第3834号，2001.
- 57) 二羽淳一郎：構造性能—土木構造物—，コンクリート工学，39 卷（2001）1 号，pp. 35-42，2001.
- 58) 須藤敦史：これからの構造設計における信頼性設計の役割について，土木学会北海道支部平成12年度論文報告集，Vol.57，pp. 64-67，2001.

## 付属資料 1

# 「土木・建築にかかる設計の基本」

国土交通省

はじめに

我が国においては、種々の構造物の設計に係わる技術標準を、土木構造物・建築構造物あるいは鋼構造物・コンクリート構造物・基礎構造物といった、各構造物の特性に特化させて発達させてきた。

このことは、各構造物の構造設計における最適設計を行うという面からは効果的なものであったが、構造物の特性別の技術標準の存在は、近年において指摘されることが多くなっている説明性の向上といった面からは、阻害要因となることもある点は否めない。

さらに、ISO（国際標準化機構）において策定される国際規格については、WTO（世界貿易機関）の政府調達協定により政府機関においてはその遵守が求められており、ISO規格においては、設計・施工に係わる規格策定も進められている。

また、欧州においては、EU統合後を見据えて、EU域内の統一規格としての設計・施工に係わる規格がCEN（欧州標準化委員会）で策定されてきており、その欧州規格がISO規格案として提案される可能性が高い状況にあるといえる。

国際的に策定が進められているこれらの規格においては、土木・建築といった分野の違い、鋼・コンクリートといった構造種別の違いに関係なく、共通する事項は共通的に扱い、分野および構造種別に依存する部分はそれぞれの中で規定していくといった基本的方向性が見られる。

こうした背景にあって、分野・構造種別を超えた「設計にかかる基本」をとりまとめるために、土木・建築の各分野の学識者等から成る委員会および幹事会を平成10年12月に設立し、以降3年間にわたる議論を進めてきたものである。

ここでとりまとめられる内容は、技術の国際的な標準化への対応も意識したものであることは上述の通りであるが、さらに、我が国の設計にかかわる技術標準の将来的な改訂に際して、様々な分野の枠組みを超えた議論が今後も継続的になされ、国際性を有した技術標準を策定する一助となれば幸いである。

共同委員長　：長瀧　重義  
岡田　恒男

土木・建築にかかる設計の基本検討委員会

委員会

	氏名	所属
共同委員長	長瀧 重義	新潟大学工学部建設学科教授
共同委員長	岡田 恒男	芝浦工業大学工学部建築工学科教授
鋼構造	藤野 陽三	東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻教授
	高梨 晃一	千葉大学工学部デザイン工学科建築系教授
コンクリート構造	田邊 忠顯	名古屋大学大学院工学系研究科土木工学専攻教授
	上田 茂	鳥取大学工学部土木工学科教授
	小谷 俊介	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻教授
地盤	日下部 治	東京工業大学工学部土木工学科教授
	杉村 義広	東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻教授
地震	大町 達夫	東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻教授
	前任者 濱田 政則	早稲田大学理工学部土木工学科教授
	前任者 西川 孝夫	東京都立大学工学研究科建築学専攻教授
前任者	松島 豊	筑波大学機能工学系教授

幹事会

	氏名	所属
鋼構造	佐藤 尚次	中央大学理工学部土木工学科教授
	平原 伸幸	独立行政法人土木研究所構造物研究グループ橋梁構造上席研究員
前任者	西川 和廣	建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室長
	小野 徹郎	名古屋工業大学社会開発工学科建築系教授
前任者	井上 一朗	京都大学大学院工学研究科生活空間学専攻教授
	岡田 恒	独立行政法人建築研究所構造研究グループ長
前任者	山内 泰之	建設省建築研究所基準認証研究センター長
コンクリート構造	上田 多門	北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻助教授
	前任者 六郷 恵哲	岐阜大学工学部土木工学科教授
	河野 広隆	独立行政法人土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術主席研究員
	横田 弘	独立行政法人港湾空港技術研究所地盤・構造部構造強度研究室長
	三橋 博三	東北大学工学研究科都市・建築学専攻教授
	犬飼 瑞郎	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部主任研究官
前任者	倉本 洋	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
前任者	平石 久廣	建設省建築研究所基準認証研究センター長
地盤	鈴木 誠	清水建設(株)技術研究所構造研究開発部応用解析グループ主任研究員
	前任者 松井 謙二	株建設技術研究所技術本部技師長
	恒岡 伸幸	独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ土質上席研究員
	前任者 三木 博史	建設省土木研究所材料施工部土質研究室長
	菊池 喜昭	独立行政法人港湾空港技術研究所地盤・構造部基礎工研究室長
	桑原 文夫	日本工業大学工学部建築学科教授
	二木 幹夫	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部長
	前任者 田村 昌仁	建設省建築研究所第三研究部基礎研究室長
地震	森 伸一郎	愛媛大学工学部環境建設工学科助教授
	前任者 磯山 龍二	日本技術開発(株)環境防災事業部副事業部長
	運上 茂樹	独立行政法人土木研究所耐震研究グループ耐震上席研究員
	井合 進	独立行政法人港湾空港技術研究所特別研究官
	石山 祐二	北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授
	大川 出	独立行政法人建築研究所構造研究グループ上席研究員
前任者	飯場 正紀	建設省建築研究所基準認証研究センター認証システム研究室長

※所属・役職は在任期間の最終時点のもの。

## 目 次

1.総則 .....	1
1.1 適用 .....	1
1.2 設計の基本 .....	2
2.限界状態 .....	3
2.1 一般 .....	3
2.2 終局限界状態 .....	7
2.3 使用限界状態 .....	8
2.4 修復限界状態 .....	8
3.作用 .....	11
3.1 定義 .....	11
3.2 作用の分類 .....	13
3.3 各作用の扱い .....	14
3.4 荷重の組合せ .....	15
4.耐震設計 .....	18
4.1 耐震性能 .....	18
4.2 地震動レベルの明示方法 .....	26
5.性能の検証法 .....	27
—附属資料 1 用語集— .....	28
—附属資料 2 委員会における議論の経緯等— .....	30

## 1.総則

### 1.1 適用

本「土木・建築にかかる設計の基本」は、構造物全般を対象として、構造設計に係わる技術標準の策定・改訂の基本的方向を示すものである。また、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、構造物の安全性等の基本的要求性能と構造物の性能に影響を及ぼす要因を明示的に扱うことを基本とし、要求性能を満たすことの検証方法として信頼性設計の考え方を基礎とする。

- ①本「土木・建築にかかる設計の基本」は、分野として、土木分野および建築分野の両分野において設計される構造物全般を対象としている。ここでいう構造物とは、「目的とする機能を持ち、作用に対して抵抗することを意図として人為的に構築されるもの」としている。
- ②本「土木・建築にかかる設計の基本」は、土木・建築の両分野を通じた包括的なフレームであり、各構造物に対応する設計技術標準を策定あるいは改訂するにあたって基本となる事項を示している。言い換えれば、いわゆる「Code for Code Writers」に相当するものであり、個別の構造物の設計技術標準の策定あるいは改訂に際しては、取捨選択される事項を含むものである。個別の構造物に係わる設計技術標準において取捨選択される事項に関して、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、選択に係わる方針は個別の構造物の設計技術標準の策定・改訂における議論に任せ、考慮する事項を包括的に示すこととしている。
- ③構造物の設計は、安全性、使用性、修復性といった事項以外に、景観、自然環境に与える影響、経済性等にも配慮した総合的なものであるが、ここでは、以下の設計の基本で規定した安全性、使用性、修復性等を考慮した「構造設計」に限定している。
- ④構造物の基本的要求性能および性能に影響を及ぼす要因を明示的に扱うことを基本としたのは、公共構造物については、意志決定等に関して透明性、説明性が求められようになっており、構造設計における透明性、説明性の確保といった点を考慮したことによるものである。
- ⑤「信頼性設計の考え方を基礎とする」とは、「限界状態を設定して作用および構造物の耐力が有する不確定性を考慮し、設計供用期間内に限界状態を超える状態の発生を許容目標範囲内に収める」ことを意図している。また、本「土木・建築にかかる設計の基本」の考え方の基礎を、信頼性設計に置くことは、我が国の設計標準の国際性を確保することとなる。さらに、各国で実施されている研究成果を我が国の設計標準に反映させることも可能となるといえる。なお、信頼性設計の考え方に基礎を置く過程において、信頼できる基礎データが参照されることが重要である。また、このための基礎データの蓄積とその公開が重要である。

## 1.2 設計の基本

設計においては、設計対象とする構造物の設計供用期間を定め、設定した期間において以下の(1)～(3)の基本的要求性能を確保することを基本とする。

- (1)想定した作用に対して構造物内外の人命の安全性等を確保する（安全性）。
- (2)想定した作用に対して構造物の機能を適切に確保する（使用性）。
- (3)必要な場合には、想定した作用に対して適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行うことで継続的な使用を可能とする（修復性）。

①設計においては、設計供用期間を設定することを規定した。

②(1),(2)は、それぞれ、安全性および使用性に対する基本的要求性能を示している。

③安全性の概念は「人の安全」を基本とし、ここでは、人為的に建設され、通常は無人の構造物の崩壊を防止することも安全性の概念に含め、「構造物内外の人命の安全性等」としている。

④(3)は、「安全性」、「使用性」という構造物の基本的要求性能と並列して、「修復性」という基本的要求性能を示したものである。

「修復性」は、想定した作用による構造物の損傷に対して、妥当な手法、経費、期間で修復することにより継続使用を可能とすることができるようにする損傷レベルのコントロールを意図している。

地震国である我が国において、地震後に公共施設が早期に機能を回復し、継続的な使用が可能とすることを想定した設計を行うことなどは、ここでいう修復性を考えた設計に相当することとなる。また、地震後に、倒壊は免れたが取り壊して新たに建て替えなければならない建築物が非常に多く発生する状況を回避するといった視点からも、修復性という基本的要求性能をとらえることもできる。

⑤なお、規定としては示していないが、構造物の設計に際して、局所的な破壊が構造システム全体に対して致命的な影響を及ぼすことなど、原因に対して不釣り合いに大きな被害を招くことないようにする（構造ロバスト性の確保：structural integrity requirement）といった概念がある。この概念は、ISO2394においても基本的要求事項(fundamental requirement)で示されているものである。こうした概念も基本的要求性能である安全性および修復性に含めて考慮すべき事項である。

## 2.限界状態

### 2.1 一般

検証の対象とする限界状態としては、終局限界状態、使用限界状態、および修復限界状態とする。ただし、設計対象としている構造物の目的等に応じて限界状態を選択するものとする。

- ①土木の技術標準では、疲労限界状態を終局限界状態、使用限界状態と並列的に扱っているものもあるが、ここでは、「限界状態が発生する作用の違い」として、疲労については終局限界状態および使用限界状態の中で扱うこととした。(表 2-1 参照)
- ②設計に際して、ここに示した全ての限界状態を考慮する必要はなく、各構造物の特性に応じて、限界状態を選択するものとしている。

表 2-1 限界状態

①終局限界状態 (安全性)	想定される作用により生ずることが予測される破壊や大変形等に対して、構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等を確保しうる限界の状態	
	状態 特定 作用 限界	疲労限界状態 (変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷で発生)
		耐久限界状態 (環境作用の影響に伴う損傷で発生)
		耐火限界状態 (火災に伴う損傷で発生)
②使用限界状態 (使用性)	想定される作用により生ずることが予測される応答に対して、構造物の設置目的を達成するための機能が確保される限界の状態	
	状態 特定 作用 限界	疲労限界状態 (変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷で発生)
		耐久限界状態 (環境作用の影響に伴う損傷で発生)
		耐火限界状態 (火災に伴う損傷で発生)
③修復限界状態 (修復性)	想定される作用により生ずることが予測される損傷に対して、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用を可能とすることができる限界の状態	

- ③構造物の目的等に応じて検証する限界状態を選択するとしたのは、表 2-2 のように構造物によって検証する限界状態を変えることができるようにするためである。例えば、一般建築物では制振部材を除き、一般に「疲労限界」は問題とならない場合が多いのに対して、橋梁では支配的条件となる場合がある。

表 2-2 構造物による限界状態の選択イメージ

			一般建築物	橋梁	砂防ダム	盛土	…
終局限界状態	特定作用限界状態	疲労限界状態	○	○	○	○	
		耐久限界状態	△	△	△		
		耐火限界状態	○				
使用限界状態	特定作用限界状態	疲労限界状態	○	○		○	
		耐久限界状態		△			
		耐火限界状態		○			
修復限界状態			○	○	△	○	

注 1) ○：対象となると考えられるもの

△：選択的に対象となると考えられるもの

注 2) 砂防ダムにおいては、ダムの転倒・崩壊といったことが無い限りは、その設置目的である砂防機能を喪失することは無いので、終局限界状態だけを対象とした例示を示している。ただし、スリットダム等で「摩耗」を考慮しなければならぬ場合もある。

注 3) 上記の砂防ダムの例のように、構造物特性に応じて、ここで挙げている限界状態を選択する。

—参考—

(1) ISO 規格案における限界状態の例

ISO の TC71/SC4 で提案された ISO /DIS19338 Performance and Assessment Requirements for Acceptance of National Standards on Structural Concrete の Draft (2001.10~2002.03 の投票用版)では、終局限界状態 (Structural Safety)、使用限界状態 (Serviceability Limit State)、修復性(Restorability Limit State)、耐久限界状態 (Durability Limit State)、耐火限界状態(Fire Resistance Limit State)、疲労 (Fatigue) が設定されている。

(2) 国内の技術標準等における限界状態の例

次頁以降に、国内の技術標準等における限界状態の設定およびその内容の例を示す。

参考資料：国内の技術標準等における限界状態の設定例（その1）

	土木学会		地盤工学会	日本建築学会	
	コンクリート標準示方書(2002)	鋼構造物設計指針(1997)	基礎構造物の限界状態設計に関する研究委員会資料集(1996)	鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説(1999)	鋼構造物限界状態設計指針・同解説(1998)
① 終局限界状態	構造物または部材が破壊したり、転倒、座屈、大変形等を起こし、安定や機能を失う状態	構造物または部材が破壊したり、大変形、大変位等を起こし、機能や安定を失う状態	例：杭体の断面破壊を生じる状態	極大の地震動やその他の不確定要因を考慮して人命に対する安全性を確保しうる限界状態  安全性—終局限界状態	建築物の構造安全性に関連する限界状態であり、鋼構造物の終局耐力限界状態を考える
①' 地震時終局限界状態			構造物の耐用期間中に一回程度発生する規模の地震に対して、上部構造および基礎の部材が断面破壊・安定の喪失・メカニズムなどに至る状態	安全性(safety)は人命保護のための性能評価項目で終局限界状態に対応する。従って、倒壊しないこと、鉛直荷重が保持されることが設計目標となる。構造物の被災度でいえば、大破、P-δ変形限界による倒壊寸前であり、部材ではヒンジ部材の変形限界、柱の脆性破壊等が生じる限界状態である。	
② 設計限界状態				大地震に対して、損傷を制御するために設定する応答の限界状態  復旧(修復,補修)可能性—設計限界状態 復旧(修復,補修)可能性(restorability, reparability)は、損傷レベルを制御するための性能評価項目であり、これに対応する限界状態を設計限界状態または損傷制御限界状態あるいは修復限界状態と呼ぶ。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、構造材、および非構造材の損傷レベルを定量化して設定する。	
③ 使用限界状態	構造物または部材が過度のひび割れ、変位、変形、振動等を起こし、正常な使用ができなくなったり、耐久性を損なったりする状態	構造物または部材が過度の変形、変位、振動等を起こし、正常な使用ができなくなる状態	例：杭体のひびわれが許容値を越えない状態 上部構造物に有害な変形を生じる状態	中小地震に対して、ほぼ無条件に継続使用可能とするために設定する応答の限界状態  使用性—使用限界状態	建築物の使用性・居住性に関連する限界状態であり、鋼構造物の使用限界耐力、使用限界変形および建物の床の振動、横揺れなどについての限界状態（許容限界）を考える
③' 地震時使用限界状態			構造物の耐用期間中に数回程度発生する規模の地震に対して、上部構造物および基礎の部材の損傷・変位が著しく、地震時における車両の走行安全性を確保できない状態	使用性(serviceability)は継続使用に支障を来さないための性能評価項目であり、これを確保するために構造物に設定される設計クライテリアが使用限界状態である。地震後にほぼ無条件に継続使用可能な程度の被災度、すなわち、無被害、あるいは軽微といわれる損傷の程度の限界である。一般の構造では応答をおおむね弾性限界内にすることが考えられるが、鉄筋コンクリート構造ではひび割れに関する検討も不可欠になる	
④ 疲労限界状態	構造物または部材が変動荷重の繰返し作用により疲労破壊する状態	構造物または部材が荷重の繰返し作用により疲労損傷し、機能を失う状態			
備考			限界状態を地震時とそれ以外に分けて考えることとしているが、各定義は明確に示されていない		

参考資料：国内の技術標準等における限界状態の設定例（その2）

	建設省建築研究所	運輸省鉄道局 (鉄道総合技術研究所編)		運輸省港湾局 (（社）日本港湾協会刊行)
	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)	鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物(1999)	鉄道構造物等設計標準・同解説基礎構 造物・抗土圧構造物(2000)	「港湾の施設の技術上の基準・同解説」 (1999)
① 終局限界状態	(1) 安全性 ・性能要求の目的：建築物の内・外の人生命に直接及ぼす危険を回避する。(人命の保護) ・性能評価の内容：構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤について、破壊を安全性に照らして適切に防止する。	構造物または部材が破壊したり、転倒、座屈、大変形等を起こし、機能や安定を失う状態	設計耐用期間中に地震を除くごくまれに作用する荷重に対して、基礎が安定や機能を失うか、あるいは基礎の変位が降伏点を超える状態	最大荷重により破壊が生ずる状態
①' 地震時終局限界状態			設計耐用期間中に作用する大地震の影響により、基礎が壊滅的な損傷を生じ、安定や機能を失う状態	
② 修復限界状態	(2) 修復性 ・性能要求の目的：建築物が外部からの刺激に対して受ける損傷に対する修復のしやすさを確保する。(財産の保全) ・性能評価の内容：構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤について、劣化、損傷等を建築物の修復性に照らして適切に(設定範囲に)制御する。			
③ 使用限界状態	(3) 使用性 ・性能要求の目的：建築物の機能、居住性を確保する。(機能および居住性の確保) ・性能評価の内容：構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤について、機能障害、感覚障害を使用性に照らして適切に排除する。	構造物または部材が過度のひび割れ、変位、変形、振動等を起こし、正常な使用ができなくなったり、耐久性を損なったりする状態	設計耐用期間中にしばしば作用する荷重に対して、基礎が所要の使用性や耐久性を失うか、あるいは基礎の変位が弾性とみなされる限界を超える状態	耐用期間中にしばしば作用する規模の荷重の作用によって過度のひび割れ等の比較的軽微な不都合が生ずる状態
③' 地震時使用限界状態			設計耐用期間中に作用する中地震の影響により、基礎が使用性や耐久性を失うか、あるいは基礎の変位が降伏点を超える状態	
③" 長期使用限界状態			設計耐用期間中に常にまたは長期にわたって作用する荷重に対して、基礎が所要の使用性を失うか、あるいは耐久性を失う状態	
④ 疲労限界状態		構造物または部材が変動荷重の繰返し作用により疲労破壊する状態		耐用期間中に作用する繰返し荷重により終局限界状態と同様な破壊が生ずる状態
備考				

## 2.2 終局限界状態

終局限界状態とは、想定される作用により生ずることが予測される破壊や大変形等に対して、構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等を確保しうる限界の状態をいう。

なお、以下の損傷により構造物の安定性が損なわれず、構造物の内外の人命に対する安全性を確保しうる限界の状態（特定作用限界状態）を含むものとする。

- ・変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷（疲労限界状態）
- ・環境作用の影響に伴う損傷（耐久限界状態）
- ・火災に伴う損傷（耐火限界状態）

- ①特定作用限界状態（疲労限界状態、耐久限界状態、耐火限界状態）として、終局限界状態となる原因別に独立した限界状態として設定することも考えられるが、疲労限界状態等は限界状態が発生する作用の違いであることから、ここでは終局限界状態を構成するものとして扱うこととした。
- ②ただし、特定作用限界状態として疲労限界状態等を明示的に扱うこととしたのは、構造物によっては「疲労破壊」が支配的な条件となるものもあるためである。また、我が国においては、構造物種別によっては特定作用限界状態を独立させて扱っている技術標準もあり、それらの既存の技術標準への整合性といった面も考慮している。
- ③1.2 設計の基本でも述べたように、安全性の概念は「人の安全」を基本とし、ここでは、人為的に建設され、通常は無人の構造物の崩壊を防止することも安全性の概念に含め、終局限界状態として「構造物内外の人命の安全性等を確保しうる限界の状態」としている。

## 2.3 使用限界状態

使用限界状態とは、想定される作用により生ずることが予測される応答に対して、構造物の設置目的を達成するための機能が確保される限界の状態をいう。なお、以下の損傷により構造物の使用性が損なわれない限界の状態（特定作用限界状態）を含むものとする。

- ・変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷（疲労限界状態）
- ・環境作用の影響に伴う損傷（耐久限界状態）
- ・火災に伴う損傷（耐火限界状態）

特定作用限界状態（疲労限界状態、耐久限界状態、耐火限界状態）として、使用限界状態となる原因別に独立した限界状態として設定することも考えられるが、疲労限界状態等は限界状態が発生する作用の違いであることから、ここでは使用限界状態を構成するものとして扱うこととした。

## 2.4 修復限界状態

修復限界状態とは、想定される作用により生ずることが予測される損傷に対して、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用を可能とすることができる限界の状態をいう。

- ①修復限界状態は、使用限界状態と終局限界状態の間に位置づけられる限界状態である（図 2-1 参照）。
- ②修復限界状態は、土木構造物において着目している機能回復に対応する状態と、建築物において着目している財産性の保全という状態を規定するものとする。なお、「短時間の間に機能を仮回復（応急復旧）し、一時的な施設利用を行うものの、最終的には建設し直す状態」については、構造物の一時的な状態であることから、ここでの修復限界状態には含めないものとする。これは、終局限界状態あるいはそれに近い状態の施設を一時的に活用している状態といえる。

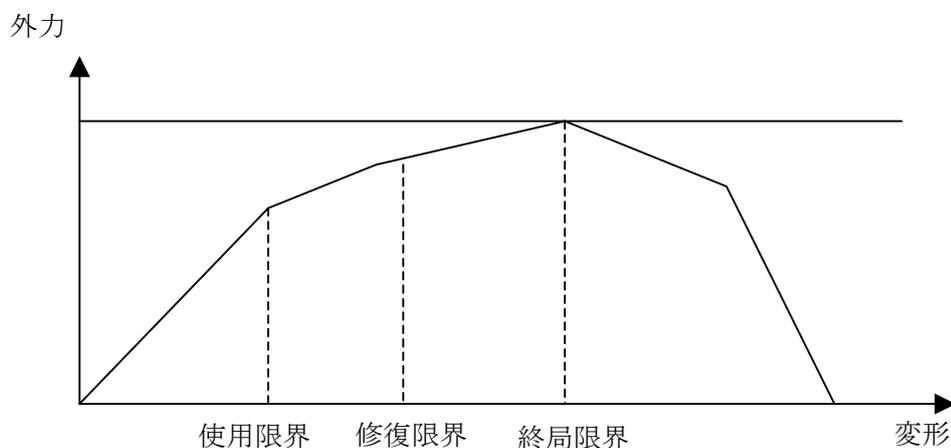


図 2-1 各限界状態のイメージ

- ③「適用可能な技術でかつ妥当な経費」としたのは、新たな技術の開発と無制限の費用・期間とすると、修復できない構造物は無いこととなるため、一定範囲の費用といった点を考慮に入れたものである。
- ④表 2-2 の構造物による限界状態の選択イメージに示したように、各限界状態は構造物特性に応じて取捨選択して設計の対象とすれば良いもので、修復性に関しては、当面は、地震後の構造物の復旧あるいは修復を考える必要のある構造物の設計における検証が中心となると考えられる。
- ⑤現在のところ、土木・建築両分野にわたって、修復限界状態として明示的な扱いの必要性が認められているのは、地震作用に対するものに限定されている。例えば、環境作用に伴う損傷（耐久性）に関して、現在は、構造細目により仕様規定として扱われており、明示的な扱いとはなっていないため、ここでは、修復限界状態の特定限界状態として耐久限界状態を規定しなかった。しかし、今後、分野によっては、現行の細目規定の目的として疲労、耐久性、耐火性に係わる修復限界状態が明示される方向に進む可能性もある。そうした場合には、「特定作用限界状態」の枠組みを修復限界状態に含めて考えることが妥当である。

—参考—

地震作用に対する修復限界状態に関する議論において、土木および建築のそれぞれの分野において以下のようなとらえ方が示された。

土木分野のとらえ方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土木分野においては、地震発生後に、土木構造物（社会基盤）の持つ機能を短期間に回復でき、継続的な使用ができる状態に着目する。</li> <li>・例えばコンクリート標準示方書では「地震後に機能が短時間で回復でき、補強を必要としない」と規定されている。</li> </ul>
建築分野のとらえ方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建築分野においては、地震後に補修した場合に、財産としての価値を失わない経費内で補修ができる状態に着目する。</li> <li>・地震後に、「崩壊は免れたが取り壊して新たに建て替えなければならない建築物」が、非常に多く発生する状況を回避する意味がある。</li> <li>・機能損傷の修復という点では、非構造部材および仕上げ材を考える必要がある。</li> </ul>

ISO2394 における限界状態の定義

限界状態	ISO2394
全般	<p>構造物全体またはその部分の構造性能は、構造物に望まれた状態と望まれない状態とを区別する一連の定められた限界状態に関して記述されなければならない。</p> <p>限界状態は次の2つのカテゴリーに分けられる</p> <p>a)終局限界状態：最大耐荷能力又は最大ひずみや変形に相当する限界状態</p> <p>b)使用限界状態：通常使用に関する限界状態</p> <p>限界状態の超過は、非可逆的な場合と可逆な場合がある。非可逆な場合、超過した限界状態に関連した損傷や機能喪失は構造物が修復されるまで残る。可逆な場合、損傷や機能喪失は超過した限界状態の原因が存在する間は残る。この原因が取り除かれれば、ただちに望まれない状態から望まれた状態へと戻る。</p>
終局限界状態	<p>終局限界状態は次のものを含んでいる</p> <p>a)剛体と考えたときの構造物又は構造部分の釣り合いの喪失</p> <p>b)破壊（ある場合には、疲労や腐食に影響を受けた）による断面や部材、接合部の最大強度への到達や過度の変形。</p> <p>c)構造物またはその部分のメカニズム状態への移行</p> <p>d)構造物またはその部分の安定性の喪失</p> <p>e)仮定した構造システムから新しいシステムへの急激な移行</p> <p>限界状態を超えることは、ほとんどの場合いつも非可逆な状態であり、その状態を最初に超えた場合に破壊が起こる。</p>
使用限界状態	<p>使用限界状態は次のものを含んでいる</p> <p>a)構造物の供用期間を低減させる、もしくは構造又は非構造要素の有効性や外観に影響を与えるかもしれない部分的損傷（クラックを含む）。例えば、疲労による繰り返し荷重は部分的な損傷に影響を与えるかもしれない。</p> <p>b)構造又は、非構造要素の、有効な使用あるいは外観又は設備の機能性に影響を与える許容されない変形</p> <p>c)不快感を生じさせる、もしくは非構造要素又は設備の機能性に影響を与える過度の振動部分的な残留損傷あるいは許容できない残留変形の場合、使用限界状態を超過することは非可逆な状態であり、初めてこの状態に陥った場合に破壊に至る。</p> <p>その他の場合、使用限界の超過は可逆であり、その後、以下の場合に機能喪失が起こる。それは、</p> <p>a)いかなる超過も許容されなかった場合で、使用限界状態を超える最初の時</p> <p>b)超過は許容されたとした場合でも、構造物が望まれない状態となっている時間が規定された条件より長い場合</p> <p>c)超過は許容されるが、使用限界状態を超える回数が規定された条件より多い場合</p> <p>d)上記の規範の組み合わせ、あるいは他の関連した規範の組み合わせが発生した場合</p> <p>これらの場合は一時的で部分的な損傷（例えば、一時的な大きなひび割れ）、一時的でおおきな変形や振動を含んでいる。</p> <p>使用限界状態に対する設計の規範は、一般的に許容される変形や加速度、ひび割れ等で表現される。</p>

### 3.作用

#### 3.1 定義

作用とは以下のものをいう。

- ・ 構造物に集中あるいは分布して作用する力学的な力の総称（直接作用）
- ・ 構造物に課せられる変形や構造物内の拘束の原因となるもの（間接作用）
- ・ 構造物の材料を劣化させる原因となるもの（環境作用）

また、荷重とは、構造物に働く作用を必要に応じて、構造物の応答特性を評価するモデルを介して、断面力や応力や変位等の算定という設計を意図した静的計算の入力に用いられるために構造物に直接載荷される力学的力の集合体に変換したものをいう。

- ①本「土木・建築にかかる設計の基本」では、分野を通じた共通的な議論を形成するために、「作用」と「荷重」を上記の定義で明確化した。上記で定義した通り、荷重には、作用を変換する際に対象となる構造物の特性に依存する部分があるため、共通的な議論には作用という概念を基盤とすることとしたものである。
- ②荷重の概念についてその歴史的な変遷を見ると、「重さ（荷重）」をどのように支えるかを検討することとして設計の始まりがあり、その後の技術の進歩の過程において、いわゆる重さという概念では収まらないものを扱うこととなったと考えられる。そうした中で、国際標準においては「作用」という用語（概念）が導入され、一方において我が国の多くの設計技術標準では、拡大している概念を含むものとして「荷重」という用語が用いられているのが現状であり、現状において、「作用」と「荷重」の間を区別する一線を、どの分野にも共通するものとして引くことは難しい。反力や反作用などの位置付けも見方の分かれるところである。この3.1 定義では、その線引きについて統一的な指針を与えることは目的とせず、作用として定義する範囲をごく狭いものに留めると共に、3.2 作用の分類では、信頼性設計の考え方を導入する際の基本として、変動性の分類等を提示している。
- ③この定義では、作用は、荷重に変換してから構造物の応答特性を評価するモデルへ入力するものもあれば、直接入力するものもあることとなる。例えば、地震動や風や波の作用を受ける構造物に対して、動的解析においてそれらの作用を直接考慮する場合や、地盤沈下の影響を受ける構造物に対して、変位を作用として直接考慮する場合には、「荷重」の設定は行わないこととなる。

表 3-1 作用と荷重の差違

作用	荷重
・ 構造物の特性とは無関係なもので、土木と建築の差異は無い。（ただし、支配的となる作用は構造物ごとに変わる。）	・ 構造物設計の基となるもので、構造物の特性により異なる ・ モデル化により、また設計計算上の理由から簡便化することがある。等

- ④間接作用としては、温度変化に伴う膨張・収縮、プレストレス、沈下等が挙げられる。
- ⑤環境作用については、ISO2394 では作用 (Action) ではなく環境の影響 (Environmental influences)として扱われているが、ここでは使用性、安全性を検証する上で考慮するものとして作用の中を含めることとした。

—参考—

ここでの「作用」の定義は、ISO2394 の「作用」の定義と異なる。ISO2394 における定義は次の通りとなっているのに対して、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、上述の④でも示した環境の影響(Environmental influences)を作用の1つとしている。

作用とは以下のものを言う。

- ・ 構造物に作用する集中あるいは分布した力学的力の集合体 (直接作用)
- ・ 構造物への強制、または内部の拘束による変形の原因となるもの (間接作用)

また、ISO2394 では「作用モデル」として、以下のように、「 $F_0$ 基本作用変数 (Basic action variable) が構造物に依存する変換に必要な変数と関数を介して作用に変換される」という扱いが定義されている。しかし、基本作用変数 (例えば風速) と変換に必要な変数 (例えば風速風圧関係式の変数) から作用 (例えば風圧) が導かれるという解説があるが、「荷重 (例えば風荷重)」と「作用 (例えば風圧)」の関係が不明確であり、定義と使用に混乱が見られる。「作用」の定義に関して ISO2394 の定義よりここでの定義の方が関係が明確になる。ISO2394 の作用と概念が異なるにもかかわらず用語を同じくしたのは、将来の改訂で我が国の意見醸成に役立つようにとの配慮による。

$$F = \phi (F_0, \omega)$$

F : 作用

$F_0$  : 基本作用変数 (Basic action variable)

$\omega$  : 基本作用変数を作用に変換する変数 (風速から圧力への換算のための変数)

### 3.2 作用の分類

作用は、永続作用、変動作用、偶発作用に区分する。

#### (1)永続作用

構造物の設計供用期間を通して絶えず作用するであろう作用でその時間的変動が平均値に比較して小さいもの。または、その大きさの変動が、一定の限界値に達するまでは、設計供用期間中に一定傾向で単調に増加もしくは減少する傾向にある作用。

#### (2)変動作用

その大きさの設計供用期間内の変動が平均値に比べて無視できず、かつ一方向的な変化をしない作用

#### (3)偶発作用

確率統計的手法による予測は困難であるが、社会的に無視できない作用。

①永続作用と変動作用の違いは設計供用期間内における作用の大きさの変動の度合いであり、偶発作用はその発生について頻度分布の把握が困難であるか、頻度分布としての把握・分析に意味を持たないものであり、代表的事例は以下のようなものが挙げられる。

永続作用：構造物の自重、プレストレス等

変動作用：風、雪、地震動等

偶発作用：落石、衝突、最大級地震動、断層変位等

なお、環境作用については、永続作用に分類されるものが一般的であるが、変動作用として捉えて扱うものもあると考えられる。

②多くの構造物は、時間的変動における発生頻度に着目して作用の規模を設定するが、土石流対応施設、避難所施設等は、「発生頻度が小さな作用に対して安全であるかを検証する」という設計ではなく、「社会的に備えなければならないと考えられている例外的な作用（偶発作用）に対して機能する」設計がなされる。即ち、偶発作用は、社会的に対応するリスクといった概念で考える。

③地震動を変動作用として扱うか、偶発作用として扱うかについては、様々な議論があるが、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、信頼性設計の考え方を基礎とすることから、地震動の扱いを作用の分類上の変動作用として位置づけることを基本と考える。

④ただし、我が国や米国などの地震国で地震工学や耐震設計技術が発展している国での設計用地震動の考え方に取り入れられている、最大級の地震動のように、確率論的な扱いが困難な場合には、偶発作用として扱う場合もある。ISO3010（構造物への地震作用）においても地震作用は変動作用または偶発作用として取り扱われることが明記されている。

### 3.3 各作用の扱い

社会的に対応の必要があると判断される作用および構造物の所有者が必要と判断した作用を対象に設計を行う。

変動作用について、統計的な評価が可能なものは、基準期間を定め再現期間で表す再現期待値として示すか、あるいは非超過確率を明示するよう努めるものとする。

偶発作用については統計的な評価が行えないが、作用として理解が容易な方法で明示するよう努めるものとする。

①各作用は、社会的な対応の必要性と構造物の所有者の判断に基づいて設計の対象とすることを規定した。社会的な必要性および構造物の所有者の判断に基づくこととしたのは、一般住宅等の私的な財産である構造物においても、その安全性には社会的責任を伴うことによる。

②変動作用の特性値についてはいくつかの示し方がある中で、基準期間を定め再現期間で表す期待値として示すか、あるいは非超過確率を示すように努めることとしたものである。

③作用に対する基準期間という概念は、データから得られる確率モデルを利用するための一つの便法であるといえる。終局限界状態に対しては、設計供用期間との対比において、比較的まれに発生する大きな作用を推定するために、長めの基準期間がとられ、使用限界状態に対しては比較的しばしば発生する作用に対応した基準期間がとられることがある。例えば、実績データの蓄積が40年程度しか無い場合に、基準期間50年間に対する非超過確率で作用の大きさを評価し、代表値を設定するといったことが行われる場合がある。また、使用限界状態に対する作用では、基準期間を1年として、非超過確率95%の変動作用を代表値として、採用する場合がある。設計供用期間と関連概念であるが、合理的な設計を行うためには、適切な関連づけが必要である。

後出の「5.性能の検証法」においては、一定の信頼度の確保を目的として、部分係数法を導入することを推奨しているが、この方法による場合には、ある基準期間に対応する値として定義され、代表値あるいは特性値に、さらに荷重係数(1.0の場合もある)を乗じたものが設計に用いられることとなる。従って、部分係数法を採用するか否かによって、この基準期間や代表値の持つ意味が異なる可能性がある。

ISO3010 構造物への地震作用では、付属書 A (参考) の中で、地震時の終局限界状態と使用限界状態に対して、それぞれ異なる基準期間を用いて、荷重係数を統一して与える例と、基準期間を統一して荷重係数を分けて与える例とが並列して示されている(表 3-2、表 3-3 参照)。しかしながら、日本や米国の耐震規定には終局限界状態の検証に対応する地震動レベルの設定を、再現期間という表現の可能な変動作用ではなく、最大級の地震動という概念によるものも多いことに注意が必要である。

表 3-2 荷重係数と地震動強度の代表値の例 1

限界状態	重要度	荷重係数	代表値	再現期間
終局限界状態	高	1.5~2.0	0.4	500 年
	中	1.0		
	低	0.4~0.8		
使用限界状態	高	1.5~3.0	0.08	20 年
	中	1.0		
	低	0.4~0.8		

表 3-3 荷重係数と地震動強度の代表値の例 2

限界状態	重要度	荷重係数	代表値	再現期間
終局限界状態	高	3.0~4.0	0.2	100 年
	中	2.0		
	低	0.8~1.6		
使用限界状態	高	0.6~1.2	0.4	0.16~0.32
	中	0.4		
	低	0.16~0.32		

- ④また、後出の「4.耐震設計」においては、耐震性能マトリクスを示し、設定地震動レベルについては確率統計的手法に基づく再現期間の明示を基本としている。ここで、個々の地震動レベルを直接設定する（特性値のみ与える）方法を採用する場合でも、あるいは、共通の基準期間から得られる特性値に対して、レベルに応じて異なった荷重係数を乗じて設定する方法を採用する場合でも、結果的に与えられたレベルに対して、その信頼性水準に関して明示するよう努めることとしている。

### 3.4 荷重の組合せ

荷重の組合せの基本的原則は以下の通りとする。

永続荷重に加えて、支配的な荷重（変動荷重あるいは偶発荷重）が、極大設計値（フラクタイル値,社会的目標値等）をとるものとして設定し、その他の荷重（変動荷重あるいは偶発荷重）は、支配的な荷重に組み合わせるのに適正なより発生しそうな値とする。

なお、ある荷重が作用することにより別の荷重の影響が喪失するような場合には、荷重の組合せを考えなくて良い。

- ①本章の位置付けから、本節は「作用の組合せ」であるべきであるが、設計の実務上では作用からの変換を経て得られる荷重あるいは荷重効果のレベルにおいて組み合わせが考慮されることが多いので、ここでは「荷重の組合せ」とした。多くの国際標準においても、作用に対する荷重の定義が明確に示されないまま、「荷重の組合せ」について述べられている。

一方、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、環境作用を直接・間接作用と並列なものとして位置付けている。劣化環境下での直接・間接作用の影響等、「作用の

組合せ」として捉えることが、構造物の目的、特性、重要度などに応じて必要となる場合もあり、それぞれ適切な方法で検証を実施すべきである。

- ②ここに規定した荷重の組合せは、基本原則であり、全ての構造物に適用する必要はない。土木および建築において設計対象となる構造物は非常に広範なものであり、例えば以下のような設計状態においては必ずしもこの規定に従う必要はない。

表 3-4 荷重の組合せに関して例外的な扱いとなる事例

超過確率が小さな荷重に対して使用 限界状態を考える構造物	・ダム（洪水調節） ・高潮堤防
極めてまれな偶発事象に対して使用 限界状態を考える構造物	・ロックシェッド ・土石流対応施設

- ③「ある荷重が作用することにより別の荷重の影響が喪失するような場合には、荷重の組合せを考えなくて良い。」という規定は、例えば、温度荷重によりコンクリート構造物に生じた応力は地震時に生ずるひび割れや降伏により解放されるような場合、両者を組合せなくて良いことを示したものである。

ISO2394 における作用（荷重）に関連した用語の定義

イ 代表値の構成

作用の代表値(representative value of an action)	作用の特性値(characteristic value of an action)
	組合せ値(combination value)
	頻度値(frequent value)
	準永続値(quasi-permanent value)

ロ 各用語の定義

用語	定義
作用(action)	作用とは以下のものをいう。 1) 構造物に集中あるいは分布して作用する力学的な力の総称（直接的作用） 2) 構造物に課せられる変形や構造物内の拘束の原因（間接的作用）
永続作用(permanent action)	1) 与えられた基準期間を通して絶えず作用するであろう作用でその時間的変動が平均値に比較して小さいもの 2) その変動がわずかであり、かつ限界値をもつ作用
変動作用(variable action)	その大きさの時間的変動が平均値に比べて無視できず、かつ単調変化をしない作用
偶発作用(accidental action)	当該構造物が、その基準期間中に、大きな値はおそらく経験しないであろうと思われる作用
作用の代表値(representative value of an action)	限界状態の照査に用いられる数値 注：代表値とは、特性値、組合せ値、頻度値、準永続値などをいうが、他の値を入れても良い。
作用の特性値(characteristic value of an action)	主要な代表値 注：基準期間中に望ましくない方向への所定の非超過確率をもつように統計的に定められるか、過去の経験、あるいは物理的制限によって選ばれる値
組合せ値(combination value)	統計的に定められる場合には、組合せ荷重(combination)により生じる荷重効果(action effect)の値の超過確率が単一の作用のみとほぼ同程度であるように選ばれる値
頻度値(frequent value)	統計的に定められる場合には、次のようにきめられる： ・ある選ばれた期間内にそれを超過する期間の合計が、全体の極く一部であるもの。 ・その超過頻度が、ある与えられた値を超えない
準永続値(quasi-permanent value)	統計的に定められる場合には、それを超過する期間の合計が全体の半分程度となるように決められた値
基準期間(reference period)	変動作用や時間依存性を持つ材料特性等の値を評価するための基準となるある選ばれた期間
設計供用期間(design working life)	大きな補修を必要としないでも、当初の目的のために構造物や構造要素を使用できると仮定した期間
荷重組合せ(load combination)	異なる作用(action)を同時に考慮するときの限界状態に対する構造信頼性の照査に用いる設計値の組

\*：上記の日本語は、全て（財）日本規格協会が発行している英和対訳版に合わせている。

## 4.耐震設計

### 4.1 耐震性能

耐震設計では、設定した耐震性能を明示し、それに対する地震動レベルを設定する。

設定する耐震性能は、設計対象とする構造物の目的等に応じて、2章に示す限界状態の内から、適切なものを一つあるいは複数選択するものとする。これに対応させる地震動レベルは、重要度を含む構造物特性を考慮して決定するものとし、表1の標準的な耐震性能マトリクスの何れかに該当するものであることを基本とする。

地震動のレベルは、対象構造物が設計供用期間中に経験する目安の頻度として評価した結果で示すことを基本とする（変動作用としての扱い）が、対象構造物が設計供用期間中に経験する目安の頻度として示すことが不適切な場合はこの限りではない（偶発作用としての扱い）。

表1 標準的な耐震性能マトリクス

耐震性能 地震動レベル		構造物の設置目的を達成するための機能が確保されている (使用限界状態)	適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用が可能となる (修復限界状態)	構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等が確保されている (終局限界状態)
変動作用としての扱い	対象構造物とその設計供用期間中に数度は経験すると評価される地震動			
	対象構造物とその設計供用期間中に経験するのはまれであると評価される地震動			
	対象構造物とその設計供用期間中に経験するのはごくまれであると評価される地震動			
偶発作用としての扱い	対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動			

①耐震設計については、我が国の構造物設計では重要な事項であることと、我が国で蓄積された技術を国際的に普及するという視点から、ここでは、耐震設計を独立した章として扱うこととした。

②表1は、地震動レベルと耐震性能の基本的な枠組みを与えるものであり、設計対象とする構造物の特性に応じて耐震性能マトリクスを選択することを意図している。

(P20,21の参考1参照)

③表1の地震動レベルについては、変動作用として設計対象構造物が供用期間中に経験する頻度により表示することを基本としている。ただ、地震調査研究推進本部による報告「南海トラフの地震の長期評価について」では、当該地域における最大級の地震の発生周期を100年程度と評価しており、この例では、対象構造物が設計供用期間中に経験する頻度としてその地震動レベルを示すことは適当ではないといえる。また、近年、震源の破壊過程を反映した理論地震動と、様々な観測結果を組み合わせて、特に重要構造物に対して、設計上考慮すべき地震動レベルを直接的に評価する試みも行われており、地震動レベルの明示を頻度という概念(変動作用としての扱い)ではなく、最大級の地震動という概念(偶発作用としての扱い)によって明示することが適切である場合においては、表1において「対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動」の欄を選択すれば良い。

④上述のように、地震動を偶発作用として扱う場合は、構造物の使用目的、設計供用期間および他の作用等の設計条件も含めて、その信頼性水準に関して説明性を有するものとするのが望ましい。

⑤表1に示した「対象構造物がその設計供用期間中に経験するのはごくまれであると評価される地震動」と「対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動」は、何れも極大地震動レベルとしての意味合いを与えており、混同しやすい概念である。多くの場合、これら二つを同時に考慮する必要はなく、構造物の目的、重要度、設置場所等に応じて択一的に選択してよい。変動作用としての扱いとして3段階挙げた地震動は、下のもの程大きくなる意味を含んでいるが、偶発作用として想定する「最大級地震動」は、確率統計的扱いが困難であるというだけでなく、必ずしも「まれ」とは断定しきれない側面もあり、生起頻度の面で変動作用のいずれかのレベルと対応付けるのは困難である。

ただし、これら二つの概念は異なった算定過程を経るものである。極めて長期の設計供用期間を想定する場合や、慎重を期する必要性が特に認められる場合、P23に示した参考の構造物Bの場合のように、両レベルに対する検証を行うことも考えられる。ただし、一般的にこれを要求するものではない。

⑥表1における地震動レベルの表し方として、「対象構造物がその設計供用期間中に経験する頻度」としていることは、設計対象とする地震動レベルを設定した上で、その地震動の再現期間を推定し、設計供用期間と比較した場合に、「設計供用期間での経験がごくまれ」と評価できることも含めている。言い換えれば、必ずしも、設計供用期間中に経験する頻度により、設計対象とする地震動レベルを設定する必要はない。

(4.2地震動レベルの明示方法参照)

⑦「対象構造物がその設計供用期間中に経験するのはまれ(ごくまれ)であると評価される地震動」として設定する地震動の具体的な規模は、設計対象構造物の設計供用期間や重要度等により変化させることが可能である。言い換えれば、「まれ(ごくまれ)

の定義」は一定ではなく、設定した「まれ（ごくまれ）」の考え方は個別の構造物で説明する必要があると言える。

- ⑧「対象構造物とその設計供用期間中に数度は経験すると評価される地震動」に対して、「構造物の設置目的を達成するための機能が確保されている」とすることが標準的であると考えられるが、対象構造物の経験頻度として評価したこの地震動に対して、地域によっては「予め設定された損傷に留める（修復限界）」または「崩壊を防止する（終局限界）」、「構造物の損傷による人命損失を防止する（終局限界）」とする場合もあり得る。このような場合でも、基本となるマトリクスで該当する地震動レベルと耐震性能を表示することが有用である。
- ⑨地震時の耐震性能については、使用限界、修復限界、終局限界の対応を考え3分類しているが、対象とする構造物により、それぞれの中をさらに細分化した耐震性能を規定しても良い。

参考 1 用途の異なる構造物間での地震に対する設計検証対象の差異のイメージ

構造物 A の場合

耐震性能 地震動レベル		構造物の設置目的を達成するための機能が確保されている (使用限界状態)	適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用が可能となる (修復限界状態)	構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等が確保されている (終局限界状態)
		変動作用としての扱い	対象構造物とその設計供用期間中に数度は経験すると評価される地震動	
	対象構造物とその設計供用期間中に経験するのはまれであると評価される地震動	○		
	対象構造物とその設計供用期間中に経験するのはごくまれであると評価される地震動			
し偶発作用と扱い	対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動			○

構造物Bの場合

耐震性能 地震動レベル		構造物の設置目的を達成するための機能が確保されている (使用限界状態)	適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用が可能となる (修復限界状態)	構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等が確保されている (終局限界状態)
		変動作用としての扱い	対象構造物がその設計供用期間中に数度は経験すると評価される地震動	
偶発作用として扱い	対象構造物がその設計供用期間中に経験するのはまれであると評価される地震動		○	
	対象構造物がその設計供用期間中に経験するのはごくまれであると評価される地震動			○
	対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動			○

参考2 現行の種々の技術標準における地震動レベルと耐震性能の扱い

(1)地震動レベル

①土木学会 コンクリート標準示方書（耐震設計編）（平成8年制定）

レベル	内容
レベル1 地震動	構造物の耐用期間内に数回発生する大きさの地震動
レベル2 地震動	構造物の耐用期間内に発生する確率の極めて小さい強い地震動

②日本道路協会 道路橋示方書（耐震設計編）（平成14年3月）

レベル	内容
レベル1 地震動	橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動
レベル2 地震動	橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動。
	タイプⅠ：プレート境界型の大規模な地震 タイプⅡ：内陸直下型地震

③建築基準法施行令（平成12年4月）

（許容応力度等計算）

レベル	内容
1次設計レベル	原則、標準せん断力係数 0.2（地域係数 0.7～1.0）
2次設計レベル	原則、標準せん断力係数 1.0（地域係数 0.7～1.0）

(限界耐力計算)

レベル	内容
1次設計レベル	建築物の存在期間中に1回以上遭遇する可能性の高い地震
2次設計レベル	極めてまれに発生する地震

④日本建築学会 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針 (平成11年8月)

レベル	内容
レベル1	供用期間において数回程度起こるような中小地震
レベル2	供用期間に一度遭遇する可能性がある大地震
レベル3	起こりうる極大の地震動(兵庫県南部地震や濃尾地震等の内陸活断層によって生ずる地震動レベル)

⑤日本建築学会 建築および都市の防災性向上に関する提言(第三次提言)(平成10年1月)

レベル	内容
D	建物の供用期間中に遭遇する可能性が数回である地震動
C	BとDの間に遭遇する地震動
B	建物の供用期間中に遭遇する可能性が1回程度である地震動
A	建物の供用期間中に遭遇する可能性がまれである地震動
S	建物の供用期間中に遭遇する可能性がきわめてまれである地震動

⑥土木学会 土木構造物の耐震基準等に関する提言「第三次提言」(平成12年6月)

レベル	内容
レベル1 地震動	原則として、それが作用しても構造物が損傷しないことを要求する水準(第二次提言)
レベル2 地震動	現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動(第三次提言)

⑦中央防災会議 防災基本計画「第2編 震災対策編」(平成7年7月)

レベル	内容
一般的な地震動	供用期間中に1~2度発生する確率を持つ一般的な地震動
更に高いレベルの地震動	発生確率は低いですが直下型地震または海洋型巨大地震に起因する更に高いレベルの地震動

⑧港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示（平成 11 年 4 月）

レベル	内容
レベル 1 地震動	施設の供用期間中に発生する確率が高い地震動
レベル 2 地震動	供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動

(2)耐震性能

①土木学会 コンクリート標準示方書（耐震設計編）（平成 8 年制定）

耐震性能	内容
耐震性能 1	地震後にも機能は健全で、補修をしないで使用可能
耐震性能 2	地震後に機能が短時間で回復でき、補強を必要としない。
耐震性能 3	地震によって構造物全体系が崩壊しない

②日本道路協会 道路橋示方書（耐震設計編）（平成 14 年 3 月）

耐震性能	内容
耐震性能 1	地震によって橋としての健全性を損なわない性能
耐震性能 2	地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能
耐震性能 3	地震による損傷が橋として致命的とならない性能

③建築基準法施行令（平成 12 年 4 月）

（許容応力度等計算）

耐震性能	内容
1 次設計レベル	構造体を損傷させない（許容応力度以内）
2 次設計レベル	建物の崩壊を防ぎ人命を守る

（限界耐力計算）

耐震性能	内容
1 次設計レベル	建物の地上部を損傷させない（損傷限界変位）
2 次設計レベル	建物の地上部の崩壊を防ぎ人命を守る（安全限界変位）

④日本建築学会 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針（平成 11 年 8 月）

耐震性能	内容
レベル 1	ほぼ無条件に継続使用を可能とする
レベル 2	ある程度の損傷は受けるが、計画した損傷限界に達しないよう制御する
レベル 3	人命に対する安全性を確保する

⑤日本建築学会 建築および都市の防災性向上に関する提言（第三次提言）（平成10年1月）

耐震性能	内容
1	無被害
2	軽損
3	中損
4	大破・崩壊

軽 損：軽い被害が出るが、人身被害と建物の機能障害はない

中 損：建物にかなりの損傷が出るが、人命損傷はほとんどない。建物の機能は停止することがある。

大破・倒壊：復旧不可能なほど大きな被害がでることがある。人身被害が出ることもある。

⑥土木学会 土木構造物の耐震基準等に関する提言「第三次提言」（平成12年6月）

耐震性能	内容
レベル1 地震動	全ての構造物を対象とし、損傷を発生させないことを原則とする（第二次提言）
レベル2 地震動	重要な構造物および早期復旧が必要な構造物は、損傷が発生したり、塑性変形が残留しても、地震後比較的早期に修復可能であることを原則とする。上記以外の構造物は損傷して修復不可能となっても、構造物全体系が崩壊しないことを原則とする。

⑦中央防災会議 防災基本計画「第2編 震災対策編」（平成7年7月）

耐震性能	内容
一般的な地震動	機能に重大な支障が生じないことを基本的な目標とする
更に高いレベルの地震動	人命に重大な影響を与えないことを基本的な目標とする

⑧港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示（平成11年4月）

耐震性能	内容
レベル1	所用の構造の安定を確保し、かつ、施設の健全な機能を損なわない。
レベル2	生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やかな機能の回復が可能なものとし、当該施設の所期の機能を保持するもの。

### 参考3 中央防災会議防災基本計画

国家の地震防災の基本方針と計画を決めた中央防災会議防災基本計画（平成7年7月）「第2編 震災対策編」では、「第1章1節 地震に強い国づくり、まちづくり」の第1項「構造物・施設等の耐震性の確保についての基本的な考え方」が示されており、以下にこの全文を示す。

「構造物・施設等の耐震性の確保についての基本的な考え方」	
地震に強い国づくり、まちづくりを行うに当たっては、建築物、土木構造物、通信施設、ライフライン施設、防災関連施設など構造物、施設等の耐震性を確保する必要がある。その場合の耐震設計の方法は、それらの種類、目的等により異なるが、基本的な考え方は以下によるものとする。	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造物・施設等の耐震設計に当たっては、供用期間中に1～2度程度発生する確率を持つ一般的な地震動、および発生確率は低い直下型地震又は海溝型巨大地震に起因する更に高レベルの地震動をともに考慮の対象とするものとする。</li> <li>・ この場合、構造物・施設等は、一般的な地震動に際しては機能に重大な支障が生じず、かつ高レベルの地震動に際しても人命に重大な影響を与えないことを基本的な目標として設計するものとする。</li> <li>・ さらに、構造物・施設等のうち、一旦被災した場合に生じる機能支障が、災害応急対策活動等にとって著しい妨げとなるおそれがあるものや、地方あるいは国といった広域における経済活動等に対し著しい影響を及ぼすおそれがあるもの、また多数の人々を収容する建築物等については、重要度を考慮し、高レベルの地震動に際しても他の構造物・施設等に比べ耐震性能に余裕を持たせることを目標とするものとする。</li> </ul>	
なお、耐震性の確保には、上述の個々の構造物・施設等の耐震設計のほか、代替性の確保、多重化等により総合的にシステムの機能を確保することによる方策も含まれるものとする。	

### 参考4 耐震性能マトリクスの例

#### (1)米国の Vision2000 の例

Earthquake Design Level	Earthquake Performance Level			
	Fully Operational	Operational	Life Safe	Near Collapse
Frequent(43year)	●	○	○	○
Occasional(72y)	■	●	○	○
Rare(475y)	★	■	●	○
Very rare(970y)		★	■	●

○ : Unacceptable Performance      ● : Basic Objective  
 ■ : Essential/Hazardous Objective      ★ : Safety Critical Objective  
 \* Structural Engineers Association of California が策定したガイドライン

#### (2)Seismic Design Guidelines for Port Structures の例

Performance Grade	Design earthquake	
	Level 1	Level 2
Grade S	Degree I: Serviceable	Degree I: Serviceable
Grade A	Degree I: Serviceable	Degree II: Repairable
Grade B	Degree I: Serviceable	Degree III: Near collapse
Grade C	Degree II: Repairable	Degree IV: Collapse

\* Grade S が最も高く、Grade C が最も低い重要度を示す。  
 \* International Navigation Association が策定したガイドライン

## 4.2 地震動レベルの明示方法

設定した地震動レベルについては、設計上想定する再現期間あるいは非超過確率により明示することを基本とする。(変動作用としての扱い)

なお、地震動を偶発作用として扱う場合には、最終的に設計で採用した地震動の特性値について、その信頼性水準に関して説明性を有するものとする。

- ① 3章でも述べているように、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、信頼性設計の考え方を基礎とすることから、地震動の扱いを作用の分類としては変動作用として位置づけることを基本としており、その明示方法としては、再現期間等を用いた確率的な表現方法を用いることを原則とした。これは、地震以外の作用が、再現期間等を用いた確率的な表現方法を主に用いていることとも整合するものである。
- ② なお、ここで規定しているのは設定した地震動の明示方法であり、地震動の設定方法としては必ずしも確率に基づく必要はない。先にも述べたように、震源の破壊過程を反映した理論地震動と、様々な観測結果を組み合わせて、設計上考慮すべき地震動レベルを直接的に設定する方法もある。
- ③ 地震作用を偶発作用と扱う場合には再現期間あるいは非超過確率として評価することは不可能である。それらのときでも、最終的に設計で採用した地震動の特性値について、その信頼性水準に関して説明性を有するものとするのが望ましい。

## 5.性能の検証法

性能の検証の手法については様々な手法が提案されており、現段階においては特定の手法を定めるものではない。ただ、将来的に各種の不確定要因に係わるデータの蓄積が進むことを考慮し、設計に係わる技術標準に部分係数法のような信頼性を考慮した検証法を適切な形で取り入れることを推奨する。

- ①ISO2394 をはじめとして、国際的には信頼性設計に基づく方向に向かっており、さらに、公共構造物については、意志決定等に関して透明性、説明性が求められようになっており、構造設計における透明性、説明性の確保といった点を考慮し、ここでは、部分係数法を有力な手法の一つとして推奨することとした。なお、ここでいう部分係数法は、目標とする基本的要求性能を一定の信頼度を保って確保するために、作用の応答値及び耐力・使用性等の限界値の基本要素が持つばらつき（分布）を、各設計変数の部分係数として設定するものであり、信頼性設計法においていわゆるレベルⅠに相当するものであるが、レベルⅡ、Ⅲによることを制限するものではない。
- ②また、変動作用と永続作用のいずれも一律の安全係数を考えるということは、変動作用が大きな影響を持つ構造物と、永続作用が大きな影響を持つ構造物で、必ずしも要求性能水準が同一とならないこととなる。部分係数法の導入はこうした点を明示的に扱えるようになる。
- ③部分係数の扱いについては対象とする構造物の特性により種々の扱いが考えられる。ISO2394 では基本的な部分係数として以下のような設定例が考えられている。

### ISO2394

荷重側	耐力側
$S_d = S(F_d, a_d, \theta_{sd})$ $F_d = \gamma_f \cdot F_r$ $a_d = a_{norm} \pm \Delta a$ $\theta_{sd} = \gamma_{sd}$	$R_d = R(f_d, a_d, \theta_{rd})$ $f_d = f_k / \gamma_m$ $a_d = a_{norm} \pm \Delta a$ $\theta_{rd} = 1 / \gamma_{rd}$
$\gamma_f$ : 荷重係数 $\pm \Delta a$ : 幾何学的バラツキ $\gamma_{sd}$ : 荷重効果のモデル係数 ( $\gamma_n$ : 構造物重要度係数 )	$\gamma_m$ : 材料係数 $\pm \Delta a$ : 幾何学的バラツキ $1 / \gamma_{sd}$ : 耐力のモデル係数

## －附属資料 1 用語集－

本「土木・建築にかかる設計の基本」で用いている各用語の定義は以下の通りである。

用語	定義
基本的要求性能 (fundamental performance requirement)	広義には、構造物の使用上不都合を生じないための、構造物上・機能上の要求能力等で、景観・環境等の条件を含む概念であるが、この「土木・建築にかかる設計の基本」においては、構造設計において、対象構造物が具備すべきものとして検証を実施する基本的な能力をいう。
設計供用期間 (design working life)	設計の前提として、構造物が所定の機能を維持することを期待する期間。この点に合わせて、通常の維持補修だけで、大きな修繕を実施しなくても、当初の目的のために構造物を使用できることが要求される。
安全性 (safety)	想定した作用に対して構造物内外の人命の安全等を確保できる能力であり、終局限界状態と関連付けて定義される。
使用性 (serviceability)	想定した作用に対して構造物が使用上の不都合を生ぜず、適切に機能できる能力であり、使用限界状態と関連付けて定義される。
修復性 (restorability)	想定した作用に対して技術的に可能でかつ経済的に妥当な範囲の修繕で継続的な使用を可能とすることができる能力であり、修復限界状態と関連付けて定義される。
限界状態 (limit state)	構造物にとってその状態を超えると性能の要求を満足しない状態となる境界の状態。
終局限界状態 (ultimate limit state)	部材の破壊、大変形や力の釣合いの喪失等により、その安定性が損なわれず構造物内外の人命に対する安全等を確保する限界の状態。
使用限界状態 (serviceability limit state)	構造物に要求される使用性を損なわず、目的とする機能が確保される限界の状態。
修復限界状態 (restorability limit state)	損傷後、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、継続使用を可能とすることが出来る限界の状態。
特定作用限界状態 (limit state under specific design situation)	使用限界状態、終局限界状態の内、特に、限界状態が生起するプロセスあるいは生起させる作用に着目した限界状態。
疲労限界状態 (fatigue limit state)	変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷で発生する限界状態。
耐久限界状態 (durability limit state)	環境作用の影響に伴う損傷で発生する限界状態。
耐火限界状態 (fire resistance limit state)	火災に伴う損傷で発生する限界状態。
作用 (action)	作用とは、「構造物に働く力学的な力の原因となるもの」、「構造物の変形の原因となるもの」および「構造物の材料を劣化させる原因となるもの（環境作用）」の総称。
荷重 (load)	荷重とは、構造物に働く作用を、荷重モデルを介して、断面力や応力や変位等の算定という設計を意図した静的計算の入力に用いるために、直接構造物に載荷される力学的力の集合体に変換したものの。

用語	定義
永続作用(permanent action)	構造物の設計供用期間を通して絶えず作用するであろう作用でその時間的変動が平均値に比較して小さいもの。または、その変動が僅かであり、かつ限界値を持つ作用。あるいは、設計供用期間中に一定傾向で単調に増加もしくは減少する傾向にある作用。
変動作用 (variable action)	その大きさの時間的変動が平均値に比べて無視できず、かつ一方向的な変化をしない作用。
偶発作用 (accidental action)	当該構造物の設計供用期間中には、大きな値ではごくまれにしか発生しないと考えられる作用。または、確率統計的手法による予測は困難であるが、社会的に無視できない作用。
基準期間 (reference period)	変動作用や時間依存性を持つ材料特性等の値を確率的に評価し、代表値を設定するための参照期間。
作用の代表値 (representative values of an action)	限界状態の検証等の特定の目的に使用するために設定した作用値。 注：性能の検証において採用される手法により、このまま検証に用いる場合もあり、さらに荷重係数などを乗じて用いる場合がある。 注：代表値とは、特性値、組合せ値、頻度値、準永続値などを言うが、他の値を入れてもよい。
作用の特性値 (characteristic value of an action)	主要な代表値。 注：基準期間中に望ましくない方向への所定の非超過確率をもつように統計的に定められるか、過去の経験、あるいは物理的制限によって選ばれる値。
荷重組合せ (load combination)	異なる作用を同時に考慮するときの限界状態に対する設計値の組合せ。
フラクタイル値 (fractile value)	累加確率が設定した確率以下となる確率変数の値。 注：「○%フラクタイルは△」といった使い方をする。
耐震性能 (seismic performance)	地震作用に対する変形・損傷等に関する性能。
検証 (verification)	構造物が、基本的容共性能を満たしているか否かを確認する行為。作用に対する応答値と耐力・使用性等の限界値を比較して確認するのが一般的であるが、既往の実績・実験結果等から設計者の判断に基づいて確認する場合もある。 注：土木分野では照査と呼ばれることが多い。
部分係数法 (method of partial factors)	代表値、部分係数、および必要な他の付加的な量によって基本変数の有する不確定性と変動性を考慮し、設計結果が所定の信頼性を確保できるようにする手法。

## －附属資料2 委員会における議論の経緯等－

委員会および幹事会における議論は、以下の事項を「根幹的事項」として定め、土木・建築といった分野の違い、鋼・コンクリートといった構造種別の違いに関係なく共通する事項を扱うこととした。

根幹的事項	概要
基本的要求性能	設計に際しての基本的な要求性能をどのように設定するか。
限界状態	どのような限界状態を設定するか。
作用（荷重）	基本的な作用（荷重）の取り扱いをどのように規定するか
部分係数法等の検証法	部分係数法等の検証方法に関する基本的な考え方をどのように設定するか
耐震設計	国際的なレベルでの耐震設計に関する基本的な考え方をどのように設定するか。

一方、先にも述べたように、国際的な設計に係わる技術標準の制定動向として、構造物全般に係わる共通事項は、共通的な技術標準を定め、構造物の特性等に依存するものについては構造種別ごとに技術標準を定めるといったことがみられる。

その典型的な例が、CEN（欧州標準化委員会）で策定が進められているユーロ・コードであり、同コードでは共通的なものをコード0,1,8で定めている。

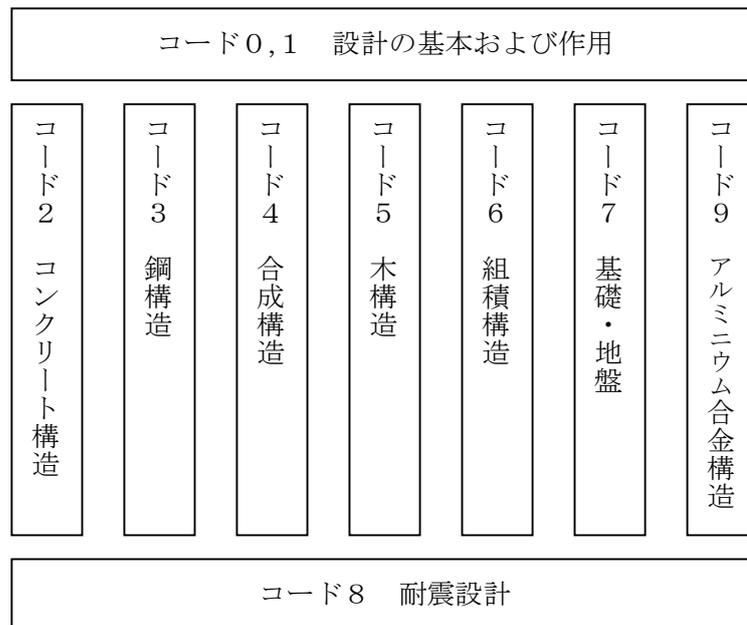


図 ユーロコードの全体体系

このユーロ・コード0に相当するものとして、ISOでは、ISO2394 構造物の信頼性に関する一般原則が策定されている。

そして、ここでの「設計にかかる基本」に関する議論は、現行の我が国の技術標準の体系と上述の設計に関する国際的な技術標準の体系を結ぶものとしても位置付けできるよう配慮したものとなっている。

## 付属資料 2

# 道路分野における新技術導入促進方針

令和2年4月

国土交通省 道路局

# 目 次

1. はじめに
2. 新技術導入促進の目的
3. 新技術の導入促進に向けた課題
4. 新技術の導入促進に向けた方策
5. 方策の実現性を高める取り組み
6. 重点的に取り組む分野
7. おわりに

## 1. はじめに

これまで、道路分野では、国民や社会の多様なニーズに応える形で、排水性や保水性等を有する舗装技術、明石海峡大橋の建設に代表される長大橋建設技術、東京湾アクアラインの建設に代表される大断面シールドのトンネル技術等を開発し、世界をリードしてきた。また、近年では、生産性の向上、働き方改革、インフラの老朽化といった課題に対して、i-Constructionで建設産業の情報化施工の促進を図るとともに、道路メンテナンス時代の対応として、定期点検における近接目視を補完・代替・充実する画像計測技術の活用や計測・モニタリング技術による点検・診断の合理化、そしてそれらの支援技術を円滑に現場に実装するため、受発注者双方間での協議や承諾における確認プロセス等を示した「新技術利用のガイドライン（案）」や国管理施設等の定期点検業務で仕様を確認した技術を掲載した「点検支援技術 性能カタログ（案）」をとりまとめている。

しかしながら、道路施設そのものの新技術については、コスト縮減、品質や安全の確保、環境の保全などの観点からの潜在的なニーズはあるものの、活用が進んでいないのが現実である。一方で、民間や大学を中心に開発が進んでいる鋼やコンクリート以外の新材料や新工法、IoT（モノのインターネット）デバイスの進化、AI（人工知能）、ドローン（無人航空機）、ロボット、ビッグデータといった様々な技術が登場してきており、これらの技術を組み合わせたり、横断的に活用したりすることで、道路の調査・計画・設計・施工・管理・運用の個別工程の最適化だけでなく、道路行政の全工程を改善し、ライフサイクルを通じて、低コストで安全かつ高品質なサービスを革新的に向上させる可能性がある。また、体系だった新技術の導入は、道路管理者や発注者の業務の改善にもつながり、民間や大学等における研究開発や設備投資への意欲を増進させ、関係する産業の活性化にも寄与することとなる。

さらに、道路を含む土木分野は、昨今、熟練技術者、労働者の不足が

深刻化しており、今後も必要となる道路整備や道路のメンテナンスの本格実施に対応するためには、従来のやり方にとらわれず様々な新技術を取り入れながら働き方改革を促進し、現場の生産性や安全性の向上を図ることで土木分野の魅力を再認識してもらい、土木を志す未来の技術者の確保につなげていくことも重要である。

こういった道路に関する最先端の技術を効果的に導入するには、技術のシーズと道路の調査・計画・設計・施工・管理・運用の工程全体を通じた最適化による現場実務の効率化という現場ニーズのマッチングの仕組みづくり、最先端技術の導入に必要な技術基準類の性能規定化や迅速な性能の確認手法の確立、透明性・公平性を踏まえた公共調達時の工夫などが不可欠である。

この「道路分野における新技術導入促進方針」は、道路のマネジメントシステム全体の仕組みづくりを相互に連携させながら、道路分野における新技術導入に向けた体制の強化を図るとともに、最先端の技術の導入による国民サービスの向上、現場で活躍する技術者や関係者の業務プロセスの改善及び道路技術産業の活性化を目指すための方針をとりまとめたものである。

## 2. 新技術導入促進の目的

道路分野において、新技術の導入を促進する目的として、以下の3つを掲げる。

### (1) 質の向上

道路の調査・計画・設計・施工・管理・運用の各段階において、新技術を導入することで、道路のライフサイクル（全工程）を通して、高品質でより安全な道路サービスを低コストで国民に提供する。

### (2) プロセスの効率化

新技術の導入により業務プロセスを改善し、現場で活躍する技術者及び道路事業関係者の実務の効率を高める。

### (3) 産業の活性化

現場ニーズにマッチングした民間の様々な最先端技術やアイデアを活用した構造、材料、工法等、道路の整備や維持管理に関する新技術を迅速に導入することで、民間のより優れた新しい技術開発の活性化を図る。

## 3. 新技術の導入促進に向けた課題

### (1) 民間開発者のシーズと現場ニーズのミスマッチ

工事や業務の履行にあたっては、法令や共通仕様書等の範囲の中で受注者がその責任において施工されるものが多数あり、履行上の課題を道路管理者や発注者が把握・抽出しにくい面もある。このため、現場のニーズ及びニーズに対応した技術に求めるリクエストを道路管理者や発注者が技術の開発者側に正しく伝えることができず、結果として、開発された技術と質の向上やプロセスの効率化といった現場ニーズにミスマッチが生じている場合もある。また、従来のやり方に新たなニーズへの対応を追加するだけでは、結果として大幅なコストアップとなり、導入が進まないケースも多い。

### (2) 新技術導入のための技術基準整備の遅れ

道路に係る技術基準については、「車道及び側帯の舗装の構造の基準に関する省令（平成13年6月国土交通省令）」以降、順次性能規定化への対応が図られ、技術基準に明示のない材料・工法であっても導入できる体系となっている。一方、開発が進む様々な材料・工法に対し、性能を確認する方法が明示されるにはいまだ至っておらず、新技術を導入する場合、性能を満足するか否か、新材料・新工法ごと個別に検討する必要があり、現場への実装が促進されない要因の一つともなっている。

### (3) 公共調達上の壁

建設工事や業務委託においては、予め発注者の定めた仕様に基づき受注者が材料・工法等を調達している。道路管理者が実施するこれらの発注において、自らが指定した新技術を導入する場合には従来技術との比較検討による新技術の優位性をその都度説明する必要があること、会計検査の対応のため評価項目の一つではない経済性（初期コスト）への過度な偏重もある。結果、新技術の導入には、多大な作業と責任が発生し、優良な技術であったと判断しても、発注者としては一社固有の技術のみを指定して調達することをさける傾向にあるなど公共調達上の壁も存在する。

## 4. 新技術の導入促進に向けた方策

これらの課題を踏まえ、新技術の導入促進のための方策を以下に示す。

### (1) 現場ニーズや技術リクワイヤメントの見える化

現場に内在する工事や業務履行上の課題を適切に抽出するため、「道路技術懇談会」の助言の下、関係業界団体等とも連携を図り、新技術のシーズを踏まえ、現場のニーズや技術に対するリクワイヤメントを適切に抽出した、「新技術導入促進計画」を毎年度取りまとめ、道路管理者や受発注者のみならず、技術の開発者にも見える化する。

### (2) 性能規定化の促進

道路管理者や発注者が気づかないような広い範囲の技術開発を促進し、異分野も含め優良な技術を道路分野に積極的に導入していくことを可能とするため、道路施設に係る技術基準の性能規定化や性能を確認する方法の明示などを促進するとともに、調達時においても、性能に応じた新技術の導入を可能とすることに必要なプロセス（一般化・標準化）を技術基準類（各種技術基準、共

通仕様書、設計要領等)に明確に位置づける。

### (3) 新技術導入に必要なプロセス検討のための体制強化

性能規定化及び性能を確認する方法の開発、それらに基づく技術の実証や性能カタログの明示、働き方改革や人手不足に対応した現場の安全性や生産性の重視、プレキャスト構造物の採用による品質の向上、ライフサイクルでのコスト評価など、導入に必要なプロセスの検討を支援する第三者機関を公募・認定し、新技術導入に向けた体制強化を図る。

## 5. 方策の実現性を高める取り組み

新技術の導入促進に向けた方策の実現性を高めるため、以下の取り組みを進める。

- ① 現場のニーズの把握や技術に対するリクワイヤメントの抽出、新技術のシーズの把握、従来技術との優位性の比較等を推進するため、技術の公募や現場の関係者・業界団体・技術の開発者との意見交換を行い、方策実現に向けた検討を加速する。その際、コストの制約の中で新たなニーズに対応するために、トレードオフとなる部分（例えば装置等の寿命や精度、外観、使用性等）についての提案も積極的に取り入れて検討を進める。
- ② 異分野・他業種との連携によるイノベーション、現場のニーズとの調和、現場での試行・導入・実装など、各段階において開発者の立場に立った相談窓口機能を強化する。
- ③ 多大なコストを要する新技術開発を支援するため、新道路技術会議における研究開発の促進、NETIS（テーマ設定型）による技術公募、試行工事などの実証フィールドや実測データの提供など、既存の制度も積極的に活用し、基礎から応用、実用化に至る研究開発に産学官連携で取り組む。

- ④ 技術基準類の検討・策定・改訂等の議論に道路管理者や発注者が積極的に参画して、知見の蓄積や技術力の向上を図り、新技術の採用や検証を判断できるインハウスエンジニアを育成する。
- ⑤ 「道路技術懇談会」を通じて、予算、体制、技術等の面から「道路分野における新技術導入促進方針」および「新技術導入促進計画」のフォローアップを行い、必要な改善を適宜実施する。

## 6. 重点的に取り組む分野

新技術の導入にあたって、特に重点的に取り組む分野は、以下の通りとする。

- ①従来の道路の概念にとらわれない斬新なアイデアの取り込み、これまで活用が十分でなかった道路の周辺に存在する様々な技術分野との連携などにより、道路の多機能化・高性能化を図る。

例) 電気自動車時代の非接触給電システム  
LED 技術を駆使した道路照明技術 等

- ②最先端のセンシング技術等を活用した道路施設の点検・診断方法の確立や措置・記録への活用、ビッグデータ技術を活用したデータ蓄積、データに基づいたアセットマネジメントの高度化など、ICT 技術を積極的に活用した業務プロセスの改善を行う。取り組みにあたっては、オープンデータ化、セキュリティ確保、データ所有権の明確化、官民連携によるデータ管理の確立に留意する。

例) 計測・モニタリング技術による点検・診断の合理化

- ③道路がネットワークとしての機能を発揮し、近年開発が進む軽量で高耐久性を有する材料等が道路の整備や維持管理に適切に活用されるよう、道路施設の技術基準類において、施設間で調和した性能規定化（耐荷性能、耐久性能等）を進めるとともに、性能を確認する

手法を明示して、新材料・新工法の実証を可能とする。

例) トンネルや土工構造物の技術基準の性能規定化等  
新材料・新工法に対応した試験法の開発

## 7. おわりに

本方針においては、これまで必ずしも新技術の導入・活用が十分でなかったとの基本認識に立ち、新技術の導入を促進するための取組みを提示しており、現場で活躍する道路関係の技術者が「良い技術は活用する」との方針を共有し、実行していくことが必要である。

国土交通省としては、全国の建設工場の現場で示される無数のアイデアを取り込み、失敗を恐れず新技術の導入が促進されるよう、必要な対応を行っていく。

-----  
国土技術政策総合研究所資料  
TECHNICAL NOTE of NILIM, No. 1181

December 2021

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  
国土技術政策総合研究所 企画部 研究評価・推進課  
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-2675