

## 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。

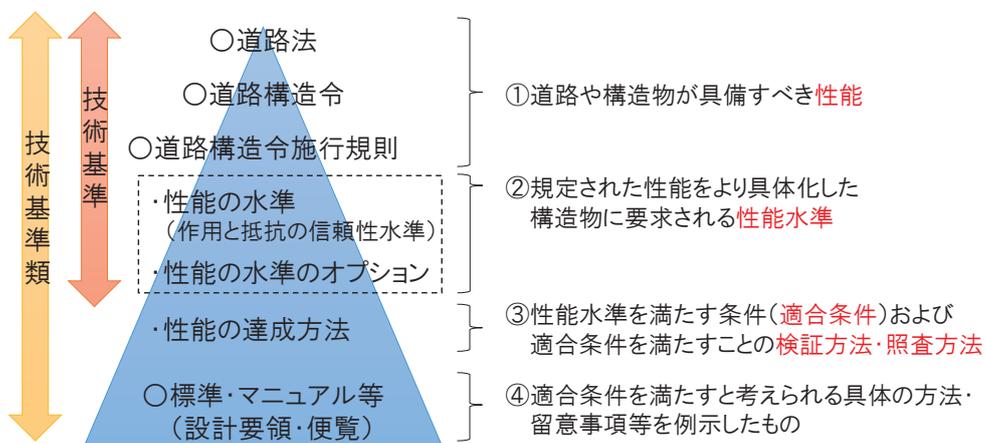


図 7 性能規定化された技術基準類の階層構造

## (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。



### (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。

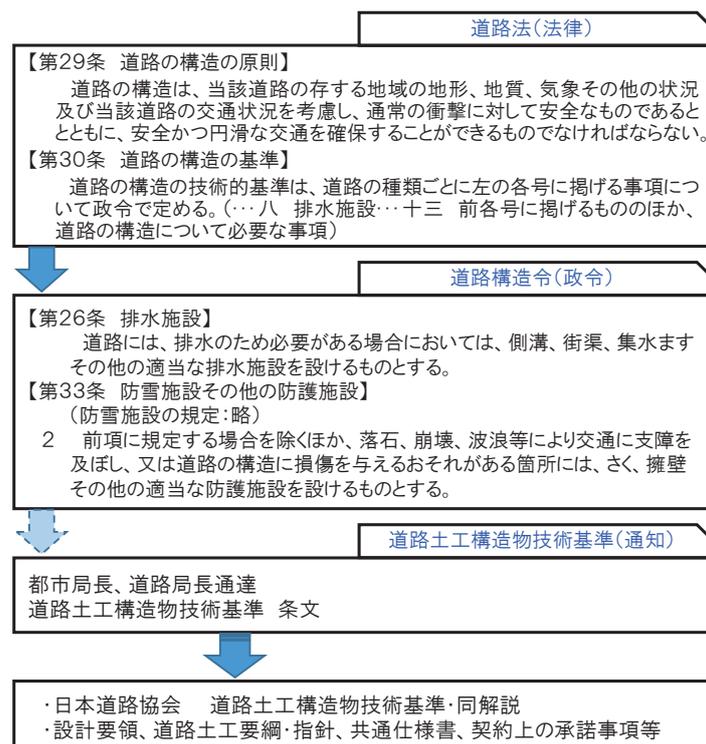


図 10 道路土工構造物の技術基準類の体系 (条文は簡略化)

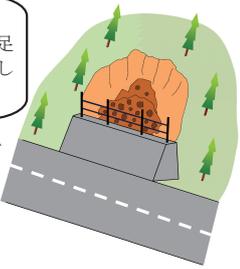
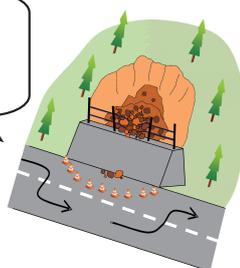
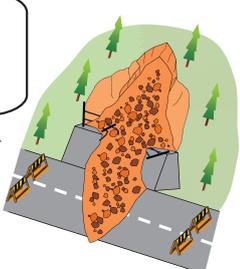
性能	損傷イメージ
<p>性能1</p> <p><u>道路土工構造物は健全である、又は、道路土工構造物は損傷するが、当該道路土工構造物の存する区間の道路としての機能に支障を及ぼさない性能</u></p>	<p>防護施設が崩落土砂を補足 道路の通行機能に支障なし</p> 
<p>性能2</p> <p><u>道路土工構造物の損傷が限定的なものにとどまり、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる性能</u></p>	<p>一時通行規制を行うが、 簡易な復旧により 通行機能を回復</p> 
<p>性能3</p> <p><u>道路土工構造物の損傷が、当該道路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

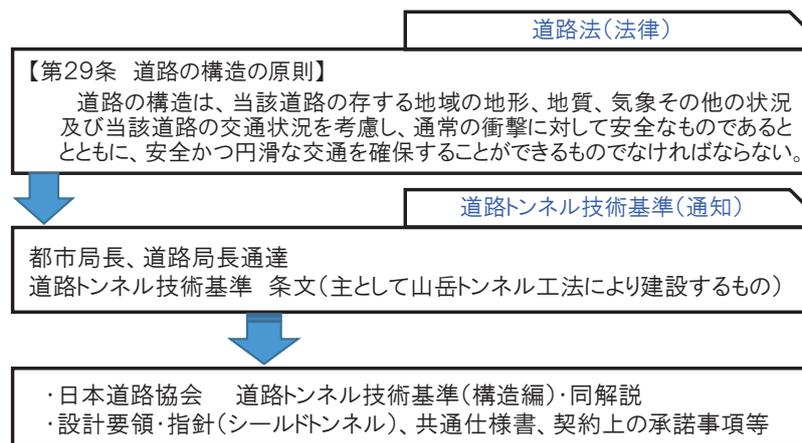


図 12 道路トンネル構造の技術基準類の体系（条文は簡略化）

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

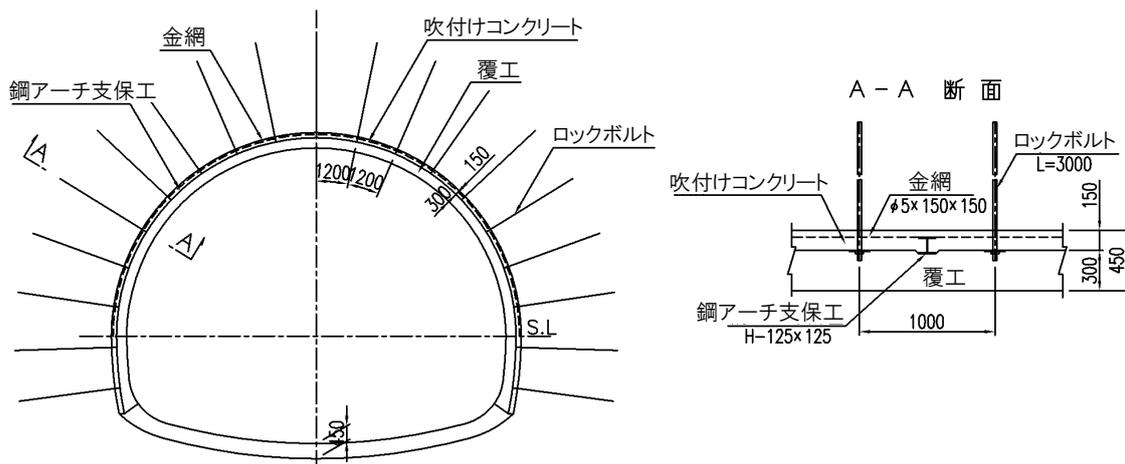


図 13 支保パターン DI-a の支保構造例 (通常断面トンネル)<sup>24)</sup>

## 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。

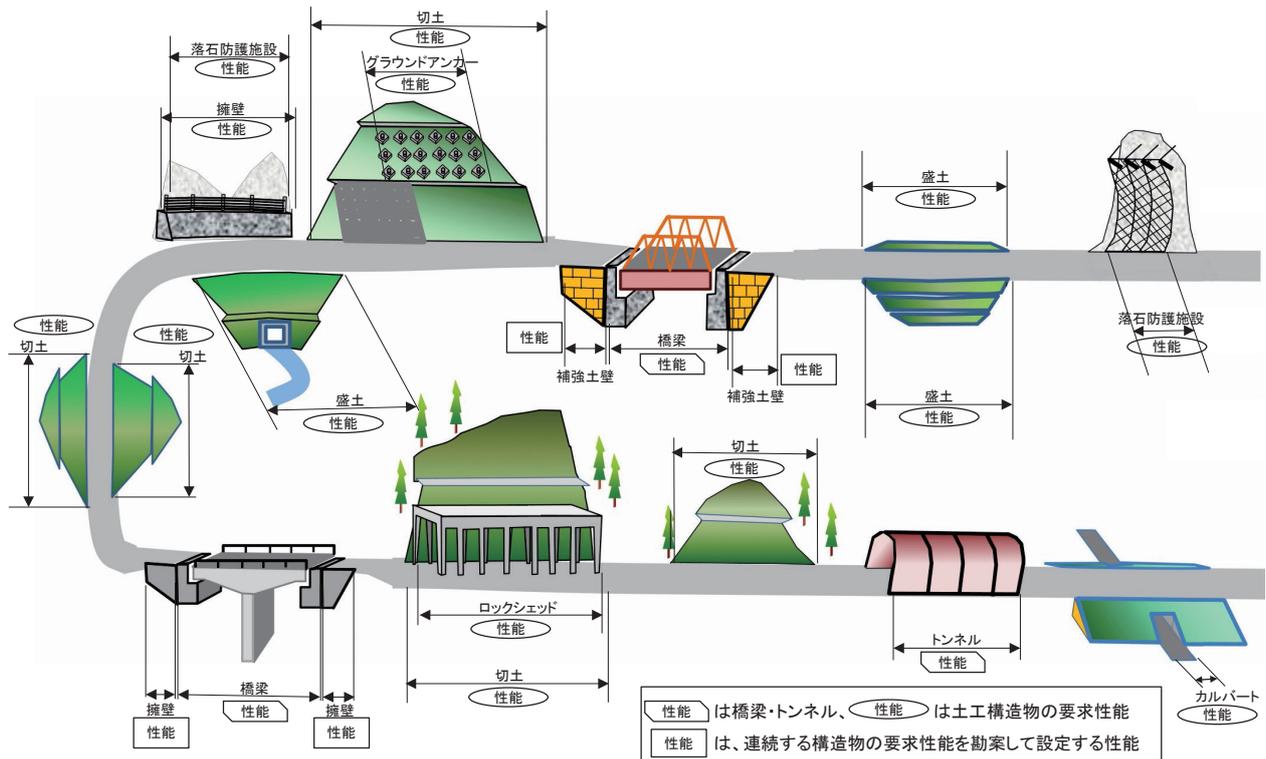


図 14 路線内における道路構造物の要求性能の調和  
(文献<sup>21)</sup>の図を改変)

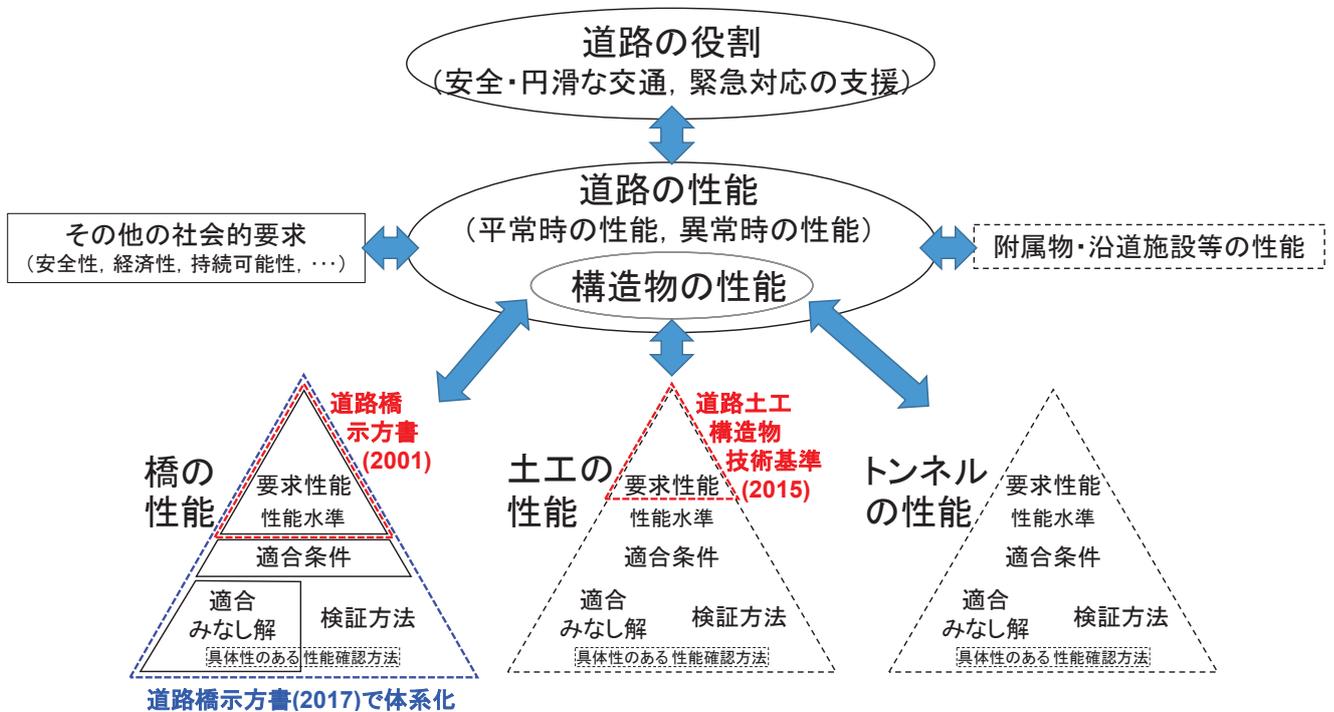


図 15 道路構造物の技術基準類に関する性能規定化の状況

## （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。