

第 I 編 共通編

1 新技術評価の基本

- (1) 道路橋の設計や施工にあたって用いる様々な技術の採否の検討にあたっては、当該技術が道路橋示方書などの当該事業に適用される技術基準の定めにも照らして所要の性能があることが確認できるかどうか確かめなければならない。
- (2) 採用しようとする技術の適用可能性の評価にあたっては、道路橋示方書などの適用基準による要求性能との関係を明確にしたうえで、それらを満足することを検証しなければならない。
- (3) 適用基準において、評価すべき性能について具体的・定量的な要求が明確化されていない場合には、適用基準の解釈として当該技術で達成しようとする目標性能をできるだけ明確に設定した上でそれが満足されることを確認しなければならない。

- (1) 社会資本である道路橋の設計にあたっては、満たされるべき要求性能が適用基準によって規定されることになる。したがって、技術の評価では、適用基準の求める要求性能が満足されることを確認することとなる。

このとき、道路橋示方書等の適用基準の求める性能を満足する状態が、当該技術や構造におけるどのような状態であるのかについては一概ではなく、性能照査に先立ってそれぞれの技術や構造の特性に応じて個別に性能照査における評価の対象となる状態を予め設定する必要がある。

- (2) 現行の道路橋示方書には、I 共通編 1.5 で、設計にあたって常に念頭に置く必要がある事項が規定されている。

これらは、定量的に基準との適合性を証明することが困難なものも含めて、設計基準としての道路橋示方書の最も上位の要求性能を条文として規定するために設けられたものである。

したがって、新しい技術の性能評価にあたっては、必ずこれらを念頭に置いて道路橋示方書などの適用基準の要求する性能との整合が図られるようにする必要がある。逆に外力に対する応答や断面設定など様々な設計項目についてそれぞれが適切に構築されたものであっても、その設計・施工の結果得られる道路橋についてこれらの事項について常に念頭において十分な配慮がなされたとは認められない場合には、適用基準に適合したものとは言えない。

このように、達成すべき要求性能を規定する技術基準では、様々な異なるレベルや性質の性能が重層的に規定されているのが一般である。そのため新しい技術の性能評価にあたっては、それによって達成されると考えられる性能と、関連する技術基準の様々な規定内容およびそれが意図する達成すべき要求性能との相互の関係についてももれなく確認することが重要である。

道路橋示方書において「設計の基本理念」として規定された7つの基本的事項は次の通りである。

■使用目的との適合性

橋が計画どおりに交通に利用できる機能のことであり、通行者が安全かつ快適に使用できる供用性などを含む。

■構造物の安定性

死荷重、活荷重、地震の影響などの荷重に対し、橋が適切な安全性を有していること。

■耐久性

橋に経年的な劣化が生じたとしても使用目的との適合性や構造物の安全性が大きく低下することなく、所要の性能が確保できること。

■施工品質の確保

使用目的との適合性や構造物の安全性を確保するために確実な施工が行える性能を有すること。

これには、施工中の安全性も有していなければならない、またこれが確保されやすいように必要な構造細目への配慮を設計時に行うことも求められる。構造細目の配慮などの相違によって左右される施工の良し悪しは耐久性に及ぼす影響が大きいことを常に認識し、品質の確保に努めなければならない。

■維持管理の容易さ

供用中の日常点検、材料の状態の調査、補修作業等が容易に行えることであり、これは耐久性や経済性にも関連する。また被災時や不測の変状に対しても橋の状態を速やかかつ容易に判断できるようにすることも適切な維持管理には重要であるため配慮することが求められる。

■環境との調和

橋が建設地点周辺の社会環境や自然環境に及ぼす影響を軽減あるいは調和させること、及び周辺環境にふさわしい景観性を有すること等である。

■経済性

経済性に関しては、単に建設費を最小にするのではなく、点検管理や補修等の維持管理費を含めたライフサイクルコストがより小さくなるようすることも重要であり、当該橋の事業に対する要求に応じて適切な考慮が求められる。

- (3) 道路橋示方書など一般に適用される技術基準では、具体的な部材や構造の設計に必要となる要求性能が全ては直接的・定量的に示されていない場合も多いが、その場合にも適用されるべき規定に対する関係者間の合意としての解釈として、対象技術や要求性能の特性に応じて求められる性能をできるだけ具体的に設定した上で、所要の性能があることを検証する必要がある。

このとき、設定する目標性能は必ずしも絶対的かつ定量的なものだけではないが、従来より適用基準の要求を満足するものとして一般的に認められてきた技術との相対比較によって少なくとも相対的に同程度以上の性能が得られることを照査することも可能である。

2 評価の手法の選択

性能の評価にあたっては、一般に以下の方法により所要の性能が満足されることを検証することができる。

- 1) 直接的な方法：実物大供試体によるなど実橋における条件と同等とみなせる実験的方法等により性能を確認する方法。
- 2) 間接的な方法：・実橋における条件を模擬した実験や解析により実橋における性能を推定する方法。
・工学的知見に基づいておりかつ理論的妥当性を有する手法により検証を行う方法。
- 3) 経験的な方法：適用基準に示されるみなし適合仕様との合致を確認するなど、経験的に性能を満足するとみなせる構造などとの比較により性能を推定する方法。

図-2.1 に一般的な評価の方法を示す。これらは必ずしも並列する概念ではなく、様々なレベルで組み合わせられて用いられる。着目する規定や性能の観点に応じて実橋の条件に対する検証としての適切な手法を用いるとともに、そのアプローチが妥当な手段であることもあわせて説明されなければならない。

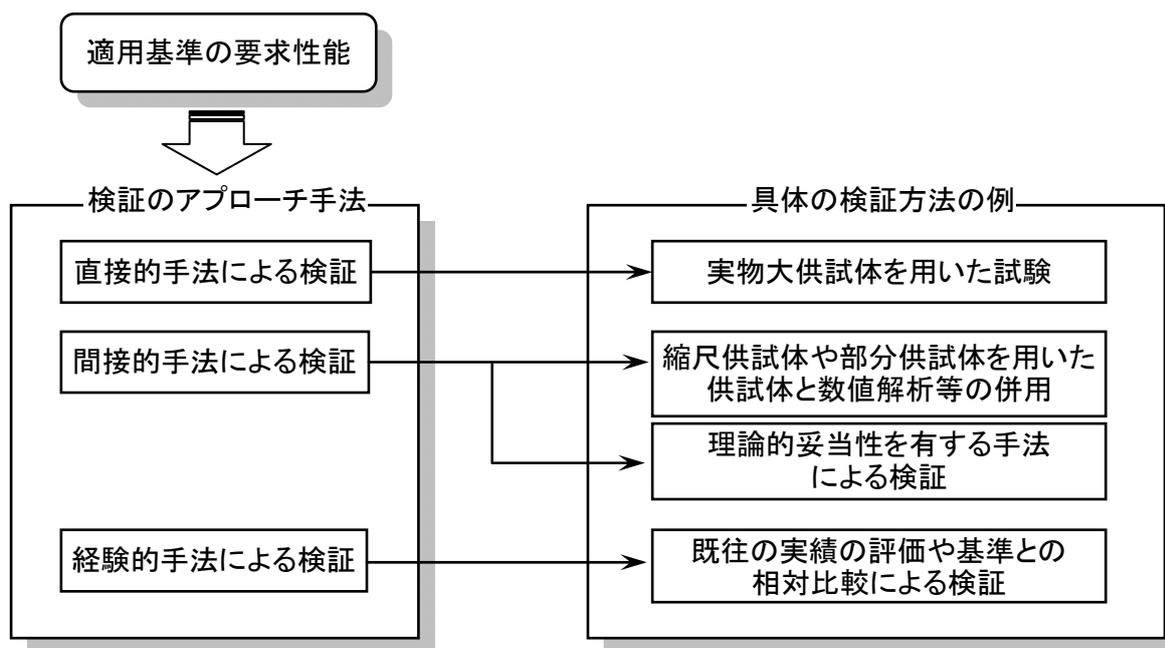


図-2.1 検証手法と具体的方法の一般的な関係

1) 新しい技術の多くは実現しようとする実橋スケールでの実績がないことがほとんどであり、仮に実橋への適用実績があったとしても、構造の条件や相似則、外力の条件などが厳密には同じでなくそれらの実績によっては採用しようとする条件において性能が満足されることを十分には証明できないことが多い。

実物大スケールによる実験では、縮小模型実験に比べて相似則などを実橋の条件に一致させることが容易で信頼性の高い結果が得られやすい。しかしコストが嵩むことや実験装置の制約などから実施困難な場合が多く、ある程度縮小した模型や部分模型によらざるを得ないことが一般的である。一方実物大に近い大型の模型実験を行う場合でも実験装置や設備の制約から外力の条件や支持条件まで実橋の条件や基準の前提となっている条件と完全に一致させることは困難な場合

も多い。そのため実験や過去の採用実績の知見を用いて性能の評価を行う場合にも、採用しようとする実験等の条件と実橋の関係について様々な観点から詳細に比較を行い、結果に及ぼす影響を考慮したうえで合理的な方法による必要がある。

2) 道路橋示方書 I 共通編 1.5 で規定されるように、設計にあたっては理論的な妥当性を有する手法、実験等によって検証された手法等による必要がある。

実橋による多数の実績や実橋と同等とみなせる実物大の実験による検証などである程度その性能が明らかな場合はそれらの知見に基づいて容易に性能の検証が行える場合が多いが、新技術の多くは実績が少なく、また実橋の様々な条件を忠実に再現できる実物大などの大規模な実験等は困難な場合が多い。このような場合には評価しようとする性能のみに着目した要素実験や解析的手法などによって性能の評価を行うことも可能である。

このとき着目した性能に対しては安全側の評価となるようなモデル化や実験条件としても、着目しない他の条件に対しては危険側の評価となることもあるため、当該技術全体の性能評価計画の全体を事前に確認し、適切な評価ができるものとなるように計画する必要がある。

また、縮尺モデルによる実験では、それらの物性や応答などの全てのパラメータの相似則を等しく満足することは困難であることが多い。そのため評価しようとする挙動や着目している応答などに対して少なくとも安全側の評価ができるように相似関係を満足することが重要である。

さらに実際の構造の一部を取り出すことになる場合には、縮尺モデル供試体の支持条件や境界条件を、全体系の中にあつて実橋では生じることになる挙動を適切に再現できるようにする必要がある。

道路橋示方書などの技術基準では、要求性能を規定するための手段の一つとして、応答値の算出手法そのものを規定している場合も多い。これは道路橋のような複雑な構造物では所要の性能を直接的に定量化することが困難な場合が多く、その場合には定式とともに許容値などの安全余裕を規定しなければ、基準の求める満足されるべき要求性能の最低水準が達成されない恐れもあるからである。一方、技術基準の性格から要求性能を規定するために不可欠でない限り、様々な設計技術に関する定式や設計要領などについては触れられていない。

このような事情から、新しい技術や材料、工法による場合については技術基準に規定されている応答値の算出式や許容値などの安全余裕の確保策がそのまま適用できないか、準用できる類似のものが基準にはない場合も多い。そのような場合には、学協会のとめた技術資料や当該技術の研究・開発段階で見出された工学的知見に基づいて導かれた応答の算出手法などを用いて設計（性能照査）を行うことが検討されることも多い。そのような場合には、予め適用しようとする手法の理論的妥当性を検証することで、基準に求める要求性能が得られることの確認を行う必要がある。技術資料や学術論文などに示される手法や定式については、その性格から技術基準のように外力に対する応答が得られることの確からしさなどの確実性、信頼性についてまで明確にはされていないか、その水準は技術基準とは一致しないことがほとんどである。そのため実設計に用いる場合には、単純にそれを用いるのではなく技術基準が求める要求性能を得られるような方法（例えば、理論的妥当性を有する手法で適当な修正を行うなど）でこれを用いなければならない。

3) 適用基準によっては、要求性能が満足されるものとして具体的な仕様が規定されている場合がある。これらの中には都度の検証を省略できるようにすることで実務の便に配慮したものだけでなく、定量的に具体の要求性能を示すことが困難な規定項目や検証手法が確立していない事項

に関して経験的に性能が確かめられているものを標準解として示すことで基準の適用性を確保したものも多い。

経験的に確立された構造細目などの規定との関係を定量的に示すことは一般に困難であるが、一方でそれらの規定の根拠となった実験や構造細目と規定の要求性能の内容や水準とのかかわりに着目することで、規定の内容と完全に形式等が一致しない技術であっても明らかに要求性能を満足するか、着目する性能について規定の方法より少なくとも同等以上の性能が得られる可能性が高いと判断できるものもある。

なお、既存の技術基準等に示されている以外の解析手法により要求性能を満足するかどうか確認する際には、これらが実橋の条件、実橋との違い、耐荷機構等確認するポイント、検証内容を踏まえた上で適切に照査を行えるモデル化であることを検証しなければならない。

解析手法により照査を行う際には、用いようとする新しい技術の耐荷機構、照査項目である力学的挙動や物理現象（疲労、ひび割れ、座屈等）を踏まえて適切な条件で実施しなければならない。解析結果は、実橋の有する性能の照査との関係において、定量的に評価できるものでなければならない。なお、モデル化の検証方法として実験との整合を図ることも手法のひとつである。

例えば、解析時に使用するモデルは、着目する部位の応答（応力、変位等）が適切に得られるような要素設定（ソリッド・梁・シェル等の要素特性、要素分割方法、モデル化範囲、境界条件など）を適切に行うとともに、床版と鋼桁とを接続するずれ止め等の荷重伝達機能を境界条件として適切に設定することが必要である。また、採用した解析手法により算定された応力度や変形等の値と、実橋レベルの試験結果との整合性を確認しておく必要がある。

3 技術評価の観点

- (1) 新技術の性能評価にあたっては、道路橋示方書などの適用基準の規定によることで達成すると考えられる要求性能とそのため規定内容のうち、その技術の採用によって影響をうけると考えられる規定や性能について予め特定し、考えられる影響を特定する必要がある。
- (2) 適用基準への適合性について個別に評価が必要となる場合の代表的なものには以下の観点がある。
 - 1) 基準の規定に対する範囲の逸脱（物理特性や荷重条件など）
 - 2) 基準の規定と異なる（あるいは規定に定めのない）特性の材料や構造の採用
 - 3) 基準の規定と異なる（あるいは規定に定めのない）設計原理や力学的機構などの採用
 - 4) 基準の規定と異なる（あるいは規定に定めのない）施工条件の設定
 - 5) 基準の規定と異なる（あるいは規定に定めのない）維持管理条件の設定

(1) 道路橋示方書を適用することで実現される様々な橋の性能については、耐震性能や耐久設計上の目標など定性的ながらも記述があるものはあるものの、多くの場合部材や構造単位毎の規程は応力度の制限（許容応力度）などの工学的な指標で明示されているものの、それらが組み合わされた結果とした橋全体や構造全体として達成されるべき性能については普遍的あるいは定量的には示されていない。

また、各条文の多くは「要求性能」と「それを満足するとみなせる標準解（いわゆる「みなし仕様規定」）」の対で規定されており、条文毎に標準解によらず要求性能を満足させる代替解を用いることが可能な基準構造となっている。このときある条項について標準解によらない場合に、当該条項での要求性能を満足しても、当該条項以外の条項で規定される要求性能や橋全体の性能が必ずしも満足されない可能性もある。そのため、直接的に適用基準の要求性能への合致が証明できない場合や、標準解との関係が明確でない技術の採用にあたっては、適用基準全体を通じて当該技術の採用によって個別に検証が必要となる要求性能項目を予め抽出して、橋全体として所要の性能がもれなく達成されるように検証計画を立てる必要がある。

(2) 条文に示した 1)から 5)は、基準との逸脱の有無を判断するための一般的な観点について挙げたものである。多くの技術的事項や基準の規定は複合的な内容を含んでおり、かつ要求性能と規定内容の対応関係も単純ではない。一方、基準からの（大小にかかわらず）逸脱の程度や内容も多岐にわたるためそれらを過不足なく系統立てて整理することは困難であるものの、ここでは過去に国土技術政策総合研究所で関わった道路橋の主として設計・施工に関する技術提案とそれに対する基準との適合性の評価事例や設計施工にあたって道路橋示方書の基準上の解釈に関する技術相談実績について再評価を行う中で抽出された、技術基準の規定からの逸脱に関する判断上の観点となった事項を普遍的な表現でまとめたものである。

適用基準の内容との整合性が容易に判断できない場合について、これらの項目に照らして技術の内容について詳細を確認することで、当該技術が基準による以外の個別の検証が必要か否かの判断が行える場合が多い。

4 基準の規定に対する範囲の逸脱

4.1 一般

- (1) 基準の規定の前提となっている適用条件・範囲に対して逸脱がある場合には、その程度によらず、規定の適用可否について評価する必要がある。また規定の適用にあたっては所定の性能が得られるような方法によらなければならない。
- (2) 規定の前提となっている適用条件・範囲に対して逸脱が生じる場合の代表的なものには以下のものがある。
 - 1) 規定の設定時の根拠となっているデータ等の範囲や前提とした構造細目などと当該条件に乖離や不整合がある場合
 - 2) 規定の設定時に用いられた手法や規定が設計で用いられることを想定している手法（実験・解析）と異なる方法で得られた数値等の採用を行う場合

- (1) 道路橋示方書など技術基準類の規定の多くは、規定化にあたって、そのもととなった実験結果等のデータや解析等手法の特徴なども考慮して、所要の安全率等の性能が確保されるように規定が適用可能である条件が設けられている。このため例えば当該基準に同じまたは類似の規定がある技術を用いる場合であっても、その適用条件が基準の前提と乖離している場合には、新しい技術としてその規定の適用可否や適用するにあたっての前提条件が満足されるかどうかなどを個々に検証する必要がある。

なお、基準類には適用範囲等の適用条件は示されていても、それらの根拠や設定の経緯については規定そのものを構成するものではないため条文のみならず解説等の補足説明にも明らかにされていない場合が多い。そのような場合には当該基準類の設定に関連のある研究成果や同じ基準類の旧版などに参考となる情報が記されている場合もあるので参照するのがよい。一方、規定設定の明確な根拠など参考となる情報が十分に得られない場合には、それを復元することは一般に困難である。

なお、このような場合でも、基準等に要求性能に対する具体的な標準解が示されている場合には標準解との相対比較による方法などで性能評価が可能である場合もある。

新技術の多くは、従来からある材料や構造を組合せたものも多く、現行道路橋示方書など既存の基準に規定化されている個々の要素技術の考え方を利用することは有効である。一方で、現行の規定を準用する際には、個々の適用範囲が限られているので、適用には注意が必要である。そこで、新技術評価を行う際には、第一に適用の範囲を逸脱していないかどうか、逸脱した場合には、何が適用範囲を逸脱しているのかを明確にすることが必要である。

- (2) 規定の前提となっている適用条件・範囲に対して逸脱が生じる場合は多岐にわたるケースが想定できるが、代表的には条文に示す2ケースに分類できる。

「1) 規定の設定時の根拠となっているデータ等の範囲や前提とした構造細目などと当該条件に乖離や不整合がある場合」のデータ等には、単純に実験装置や計測条件などの相違以外にも、規定の前提となった実験の（供試体等の）規模の相違についても相似則の成立性や供試体の製作誤差・初期不整の程度、残留応力の条件など様々な範囲の逸脱が生じうることに注意が必要である。

基準には要求性能を満足できるとみなせる標準解として構造細目等が規定されている場合があるが、その場合も部材寸法や応力状態、拘束条件、施工方法などについて規定が適用できる前提

として特定の条件範囲が存在する場合はほとんどであるため、単純に同種・類似の構造や形状に
 だけでは基準から逸脱し、所要の性能が保証されない場合があるので注意が必要である。

「2) 規定の設定時に用いられた手法や規定が設計で用いられることを想定している手法（実
 験・解析）と異なる方法で得られた数値等の採用を行う場合」については、1) と重複する場合も
 あるが、解析モデルの条件や解析理論、実験原理などが異なる場合には、規定の許容値や制限値
 などがそのまま適用できない場合があるなど範囲の逸脱となる場合がある。図-4. 1 に性能評価
 手法の設定の流れのイメージを示す。なおこのようなフローで性能評価方針を決定していく過程
 の各段階で適切な判断を行うためには、段階毎および評価しようとする技術の内容に応じて、適
 当な当該技術に関連した工学的知見や技術基準の内容に関する専門的な知識を有していることも
 重要となる。そのため必要に応じて専門家の見解を参考にするなど各段階の適切な判断が行える
 ための条件を整えること、あるいはそのような条件整備が必要かどうかについて適切な判断がで
 きる技術評価に関わる適切な意志決定体制を用意しておくこともまた重要である。

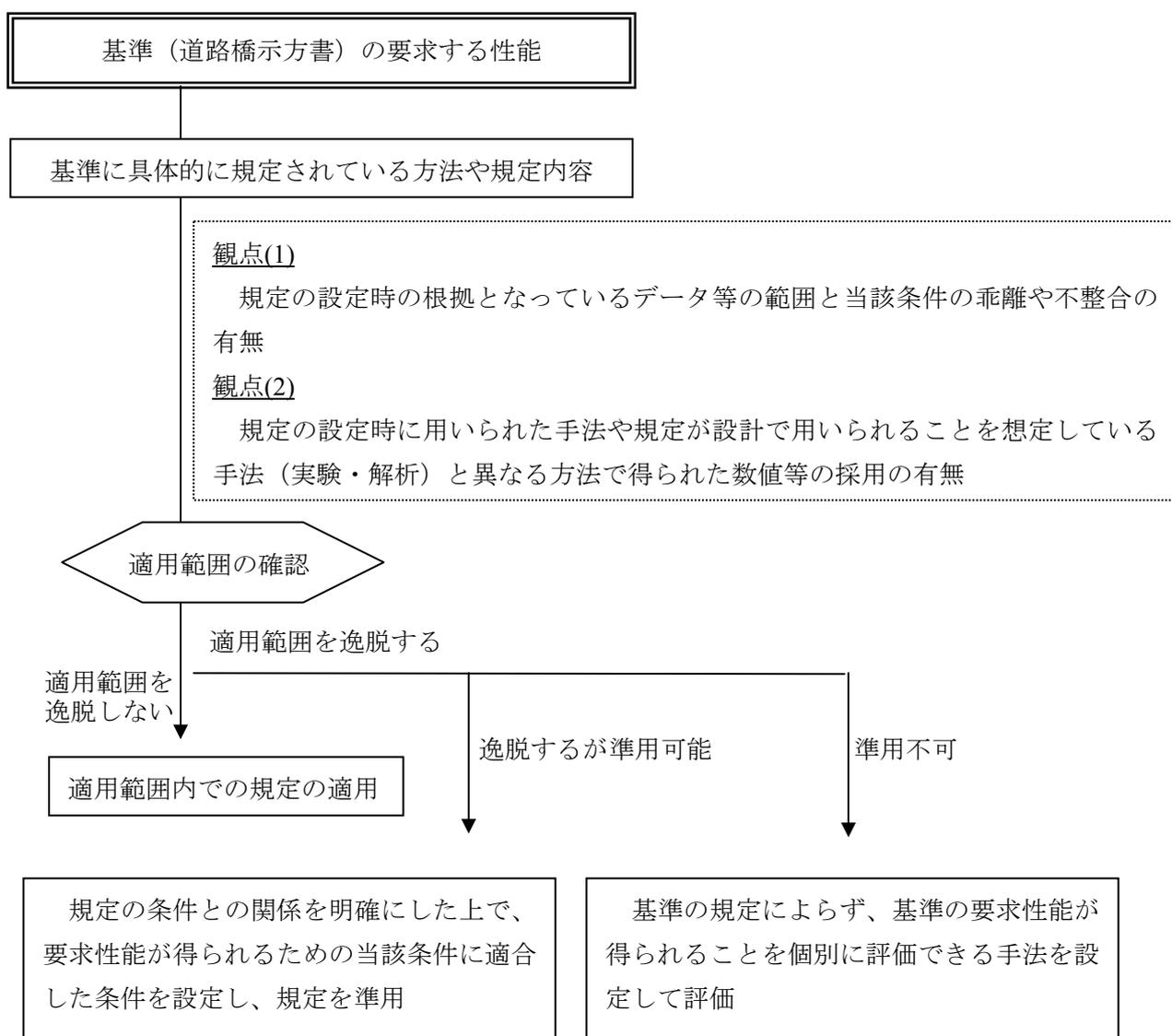


図-4. 1 適用範囲の逸脱と性能評価手法設定の流れの関係

4. 2 規定の前提、根拠となったデータ範囲等との乖離または不整合

4. 2. 1 細部構造が適用基準と異なる場合

採用しようとする細部構造が適用基準に示されるものと一致しない場合には、関連する適用基準や類似の細部構造との関係について、それらの前提となった種々の条件なども含めて比較検討を行うなどにより、それらの構造の採用の妥当性について検討を行い、所要の性能が満足されることを検証しなければならない。

技術基準における細部構造（あるいは構造細目）の規定については、一般に、例えば局所的な応力状態や施工性など定量的な評価が困難なものであっても経験的に性能が満足されるとみなすことができる構造等をそれらの前提となった種々の条件が満足される前提で規定している。

したがって、採用しようとする細部構造が適用基準に示されるものと一致しない場合には、関連する適用基準や類似の細部構造との関係について、それらの前提となった種々の条件なども含めて詳細な検討を行って適用の是非について検証することが必要である。また所要の性能が満足されるとして採用する場合にも、前提となる諸条件について性能との関係を明確にしてそれらを考慮する必要がある。

これは、ある構造部位に技術基準で前提としている細部構造と異なる構造（技術）を適用しようとする場合のほか、ある構造部位に対する規定を異なる構造部位に用いようとする場合にも当てはまる。技術基準に示される細部構造の規定は、ある特定の条件に対してのみ有効なものが多く、僅かでも条件が異なる場合には意図した性能が得られない可能性もある。そのため準用にあたっては細目構造の条件に照らして適切な根拠や手法によりその効果について検証することが必要である。

4. 2. 2 基準に規定のある細部構造を適用の前提条件と異なる条件で採用する場合

採用しようとする細部構造が適用基準に示されるものと一致する場合でも、適用条件が当該基準での前提と一致しない場合には、前提条件の相違がその細部構造の性能に及ぼす影響について明らかにするなど、それらの構造の採用の妥当性について検討を行い、所要の性能が満足されることを検証しなければならない。

技術基準における細部構造の規定については、一般に、例えば局所的な応力状態や施工性など定量的な評価が困難なものであっても経験的に性能が満足されるとみなすことができる構造等をそれらの前提となった種々の条件が満足される前提で規定している。

したがって、採用しようとする細部構造が適用基準に示されるものと一致する場合でも、採用しようとする条件が、その細部構造が規定されている当該基準の前提条件（材種、寸法、応力の大きさや合成応力の条件など）とは一致しない場合がある。その場合、構造は同じであっても発揮される性能に相違が生じる場合があるため、適用条件の不一致がその細部構造の性能に及ぼす影響について明確にするとともに、当該条件における構造の適用の是非や適用条件の適切性について検証することが必要である。

4. 3 規定の前提、根拠となった手法（実験・解析）との乖離または不整合

設計で採用しようとする部材等の応答値が、適用基準の許容値等の設定に用いられた手法（実験・解析）と異なる手法で得られている場合や、規模等の条件が基準の根拠となった手法の前提と一致しない場合には、それらの相違が許容値等との比較による安全率の確保等の性能に及ぼす影響について明らかにするなど、それらの採用の妥当性について検討を行い、所要の性能が満足されることを検証しなければならない。

技術基準に規定される許容値や制限値には、一般化にあたって、ある限られた条件で行われた実験や解析あるいは計測等の結果を用いたデータを根拠として設定されたものも多い。そのため、それらとの比較に用いる設計計算から得られる応答値は、基準の規定と比較可能な条件を満足している必要がある。

実験方法や数値解析の条件（モデル化手法や解析理論、境界条件など）が規定の前提と異なる場合には、その影響を考慮し、例えば許容値を適切に低減して比較するなど所要の性能が確保されるようにする必要がある。

なお、実験や解析の手法の同等性を厳密に評価することは困難な場合が多い。このような場合でも同じ条件での応答をそれぞれの手法によって求め、それらを比較することで両者の相違や同等性について間接的に評価することができる場合もある。

4. 4 具体の事例

事例（高力ボルトの使用本数が規定の範囲を超えている場合）

■新しい技術要素

高力ボルト摩擦接合継手の採用にあたって、1 ボルト線上の本数を 8 本を越えて配置した。

■関連する道路橋示方書の規定

〔Ⅱ 鋼橋編 6. 1. 1〕 高力ボルト摩擦接合では、1 ボルト線上に配置するボルト本数を 8 本程度以下にすることが望ましいとされている。

■技術評価において留意すべき点の例

道路橋示方書のボルト本数の制限は、既往の実験から多列化によるボルトの応力分担の不均一性による効率低下を考慮したものとなっている。

■技術評価の着目点の設定例

例えば、所要の継手性能が発揮されることを、以下の観点で評価する。

- ① 想定されるボルト軸力の不均一性の程度とその影響が実物大実験や解析等により明らかにされ、かつそれらを考慮して所要の継手の耐荷力特性が得られるようボルトの許容値、摩擦係数、締め付け管理の方法などが設定されていることを確認する。
- ② ボルト軸力の不均一性の程度とその影響が実際に適用しようとする条件と同程度となるような実大の実験を、基準を満足する継手条件のものとあわせて行い、結果のばらつきなど信頼性を適切に考慮して許容値等を設定する。このとき同じ条件で行った基準を満足する継手との結果の相対比較を行って妥当性を検証する。

連結長やボルト本数は継手のボルトそれぞれに作用する力の配分に大きく影響する。道路橋示方書に規定のある設計法は、各ボルト線を一つのボルト継手と捉えてそれぞれが分担する応力に対してボルト線毎にボルトが協働して抵抗するものと仮定している。

一方、1 ボルト線上あたりのボルト本数が増えすぎるとボルト位置毎の応力分担は著しく不均等になることが実験で確認されていることから、高力ボルト摩擦接合では、8 本程度以下で用いられることを前提に規定化されている。また 8 本を越える場合について高力ボルト摩擦接合において継手効率、継手性能とそれらに関わる様々な要因（素地性状、ボルト間隔、肌隙、締め付け順序と締め付け力など）との関係については実大実験の実績も少なくほとんど知見は乏しい。

そのような中で、道路橋示方書では使用ボルトの条件とともに 8 本までを念頭に、ボルトの締め付け効率、摩擦係数などに配慮して所定のボルト継手の性能が得られるためのボルトの締め付け施工方法、継手部の処理について規定されている。

したがって、8 本を越えるボルトの協働を用いる場合には、ボルトの応力分担の不均一の程度をそれらと密接に関連している種々の項目（ボルト間隔、締め付け方法（順序、導入軸力）、摩擦係数、縁端距離など）との関係において検証し、所要の継手性能が得られるようにする必要がある。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 日本鋼構造協会：合理化桁に関するデザインマニュアル、H12.3
- 2) 高速道路調査会：鋼橋の併用継手・厚板現場溶接の設計と施工、H14.3

事例（床版支間長の制限など道路橋示方書の適用範囲を逸脱する場合）

■新しい技術要素

床版支間が道路橋示方書に設計曲げモーメント式などの断面力が示されている範囲を越える長支間構造。

■関連する道路橋示方書の規定

〔Ⅱ鋼橋編 8. 2. 4〕〔Ⅲコンクリート橋編 7. 4. 2〕 道路橋示方書に規定される設計用断面力（設計曲げモーメント式など）は、RC床版の床版支間長は4m以下、PC床版の床版支間長は6m以下に適用範囲が制限されている。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、道路橋示方書の設計用断面力（設計曲げモーメント式など）は、適用範囲に対する理論式に対して経験等を勘案した安全率を付与し単純化された定式化がなされている。

■技術評価の着目点の設定例

例えば、道路橋示方書の規定による場合と同程度の安全余裕が確保されることを、以下のような観点で評価する。

- ① 道路橋示方書の根拠と同様の考え方（荷重載荷の方法、モデル化の条件など）に対して得られる理論的断面力に対して、道路橋示方書による場合と同程度の安全余裕（設計値と理論値との差）が付与されることを確認する。
- ② 上記による場合と同程度の安全性が確保される耐荷力・疲労耐久性を有していることを大型供試体による実験・実測などにより確認する。

道路橋示方書では、コンクリート系の床版に対する規定には、床版設計に用いることのできる断面力が示されている。これらの規定は、表-4. 1に示すように、様々の構造系や解析モデルの条件を前提として解析的に得られる断面力に対して、経験的にある程度の余裕量を見込んで設定されている。

したがって、規定の設計手法を準用するにあたっては、表-4. 1に示すように多岐にわたる項目について基準の前提との関係を明確にしたうえで、その影響を適切に考慮した設計が行われる必要がある。技術提案に対する評価においてはこれらの項目に対して具体的に確認することで基準の準用の可否、あるいは代替設計法による場合にはその妥当性についてある程度、検証することが可能である。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

表-4. 1 道路橋示方書曲げモーメント式を準拠する場合の確認項目の例

道路橋示方書用の前提事項	確認事項
2 辺単純支持版または 1 辺固定支持・他辺自由無限版とみなせること	辺長比が 1 : 2 以上の版であること
等方性版とみなせること	RC 床版と同程度の I_x / I_y 比を有していること
最も不利な状態となるよう活荷重の影響を考慮すること	道路橋示方書に規定する活荷重を幅員方向に台数に制限なく載荷することなど。
道路橋示方書で想定する衝撃の影響を考慮すること	RC 床版と同程度の平坦度を有していること
輪荷重の分布は、アスファルト舗装を通して、床版全厚の 1/2 面まで 45° の角度で分布すること	50mm 以上の舗装厚を確保していること
理論式または解析の仮定と実際の構造との違いや、床版を施工するときに生じる床版厚や配筋の誤差に対する余裕量が 10~20% であること	解析精度や施工誤差が RC 床版での余裕量と同等以上を確保していること
支持げたの本数、間隔、剛性等に起因する不等沈下の影響がないこと	道路橋示方書で想定する RC 床版を有する多主げた型式の場合と安全余裕が同程度以上確保されると認められること

なお、現行道路橋示方書の設計断面力の規定の考え方の根拠などについては、「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編 昭和 48 年 日本道路協会」に詳述されており参考にできる。

【参考文献】

- 1) 高尾孝二：鋼道路橋鉄筋コンクリート床版の曲げモーメント計算法、橋梁と基礎、1985.3
- 2) 土木研究所：コンテナ積載トレーラー荷重の検討資料、土木研究所資料 420 号
- 3) 富澤雅幸・山本晃久・八部順一・江頭慶三：床版支間部設計曲げモーメントの試算について、土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集、CS8-028、pp261-262、H19.9

事例（床版の曲げモーメント式的前提条件との整合性が不明な場合）

■新しい技術要素

鋼コンクリート合成床版など、鉄筋以外の補剛材などの鋼部材が床版内部に配置されたコンクリート系の床版構造

■関連する道路橋示方書の規定

道路橋示方書では、コンクリート系床版として床版コンクリート内部には鉄筋とPC鋼材のみが配置された構造についてのみ構造細目や具体の許容値、設計断面力の算出方法などが規定されている。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、道路橋示方書の設計用断面力（設計曲げモーメント式など）は、等方版に対する活荷重の載荷に対応する解析値に対してある程度の安全余裕を考慮したものとして与えられている。

■技術評価の着目点の設定例

例えば、上記に対しては床版内部の鋼部材やそれらと床版コンクリートの合成の程度などを詳細に考慮した解析や大型供試体に対する載荷試験により、設計で考慮する荷重状態に対して、道路橋示方書に規定のあるRC床版と同程度の等方性（ I_x/I_y 比）を有していることを確認する。

道路橋示方書では、コンクリート系の床版に対する規定には、床版設計に用いることのできる断面力が示されているものの、これらの規定は、種々の構造系や解析モデルの条件を前提として解析的に得られる断面力に対して、経験的にある程度の余裕量を見込んで設定されている。（S48 道路橋示方書）

しかし、鋼コンクリート合成床版などの新しい床版構造には剛性の高い鋼材が一方向に卓越して配置される場合などのように、道路橋示方書の断面力式の算出根拠となった等方版に比べて橋軸方向と橋軸直角方向で剛性が異なるなどの異方性をもつものもある。

この場合、同じ載荷条件に対して等方性版とは2方向の応力分担率が異なり等方版モデルで算出された断面力式をそのまま準用した場合、確保される安全余裕の程度が異なってくる可能性がある。このような場合に基準の規定を用いるには、その根拠や考え方との整合性についても確認する必要がある。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 高尾孝二：鋼道路橋鉄筋コンクリート床版の曲げモーメント計算法、橋梁と基礎、1985.3

※ 相対する2辺が単純支持された長方形版（直交異方性または等方性）を格子状の主桁に弾性支持したモデルにより断面力を算定。RC床版の橋軸方向及び橋軸直角方向のたわみ性状が実験値とともに算定されている。

- 2) 土木研究所：コンテナ積載トレーラー荷重の検討資料、土木研究所資料420号

※ 25ton照査に用いたT荷重の根拠となる車両形式毎の車軸重量が示されている。

- 3) 土木研究所他：道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性得評価手法の開発に関する共同研究報告書（その5）、pp207-221、2001.3

事例（基準の元となった実験供試体のスケールが実橋と異なる場合）

■新しい技術要素

鋼とコンクリートの複合構造において、道路橋示方書に規定のないずれ止めによる接合部が用いられている場合。

■関連する道路橋示方書の規定

道路橋示方書には、スタッドによる場合についてのみ構造細目や具体の許容値、計算値の算出方法などが規定されている。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、ずれ止めによる鋼とコンクリートの接合部では応力伝達機構や鋼とコンクリートの相互作用などを解析的に求めることが困難な場合が多く、実験的にその性能を検証することとなる場合がある。また、採用しようとする構造に対して縮小供試体による実験で検証を行う場合に、ずれ止め効果に関連する鋼とコンクリートの相互作用の力学的機構にかかわる縮尺の関係（相似則）が適切に換算されないと適切に実橋の挙動を推定することはできない。

■技術評価の着目点の設定例

例えば上記のような観点に対して

- ① 検証する項目毎に、性能評価で用いる工学的指標の相似則を明確にし、すべての相似則を同時に満足させることが困難な場合には、クリティカルとなる要因の相似則を優先し、それ以外の項目については安全側となるように設定する。
- ② 実橋で用いようとする条件を再現した実大規模の実験を行い、適用しようとする条件の範囲内では所要の性能が得られることを結果のばらつきも含めて評価する。

例えば、ずれ止めなどの継手構造では、作用力の向きや複合の条件、コンクリートによるずれ止めの拘束条件などがその性能に大きく影響する。そのためこれらを可能な限り実際の構造にあわせた実験となるよう注意する。

例えば、近年採用が検討されることの多い穴あき鋼板ジベルでは、穴あき鋼板が合成されるコンクリートとの一体が損なわれない条件において初めて適切に機能が発揮される。そのため内外の技術規準類に定められている本接合の規定はずれ止め鋼板にコンクリートが押しつけられた状態が維持されたままジベル方向に作用力が働く方法の実験が元となっている。したがって鋼板とコンクリートの拘束が保証されない条件の部材や作用力がジベル配置方向と異なるような条件に対してはこれらの規定はそのまま用いることができない場合がある。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 鉄道技術総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼とコンクリートの複合構造物）、2002.12
- 2) 高嶋豊・増子康之・春日井俊博・佐々木保隆・鹿浦純一：急速施工への適用を目指した鋼製橋脚と杭基礎との接合部に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.51A、2005.3

事例（基準の規定を異なる構造部位に用いようとする場合）

■新しい技術要素

橋脚のはりやパラペットなど厚い版構造に対して、せん断耐力におけるディープビーム効果を見込もうとする場合。

■関連する道路橋示方書の規定

Ⅲコンクリート橋編では、ディープビーム効果を考慮した許容値の算出方法が示されていない。Ⅳ下部構造編では、フーチング及びケーソン頂版を対象とした許容値の算出方法が規定されている。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、橋脚のはりやパラペットとフーチングや頂版では構造、支持条件、配筋等の細目構造が異なる。Ⅳ下部構造編に示された許容値の算出方法に関する規定は、フーチング等の構造を模した供試体の実験及び解析に基づき設定されており、異なる細目構造を有する部位にそのまま適用はできない。

■技術評価の着目点の設定例

例えば、上記のような観点に対して、

- ① 対象となる構造部位の細目構造と同じ条件を有する知見や実験などの検証に基づき、ディープビーム効果を見込む。
- ② 様々な剛性と形状寸法の構造に対して詳細な解析を行って耐荷力機構や破壊に至るまでの各部の応答の傾向を把握し、既存の照査式や許容値の適用限界との関係を推定するとともにその結果を構造細目や設計モデルに反映して安全側の結果が得られるように配慮する。

技術基準の中では、許容値の設定や基本とする応答値算出方法として規定されている設計法の設定にあたって、その理論的背景や根拠に応じて適用可能な範囲が限定されるものがほとんどである。

例えば、コンクリート部材では断面の形状寸法や配筋構造、荷重載荷位置などによっても部材としての耐荷力機構が異なってくるため、剛域の範囲やハンチ構造によっても応力状態が異なってくるラーメン構造の接点部、梁高が支間に比して大きくせん断変形の影響が梁の応力分布に大きく影響するディープビームやコーベルといった構造区別を設けてそれぞれ性能照査に用いる応答値の算出方法や前提として満足すべき構造細目等が一体となって規定されている。類似の構造型式を用いる場合でいずれの構造に該当するか不明な場合や構造細目の条件が一致しない場合には、荷重に対する部材内部の鉄筋の応力分担状況や破壊に至るまでの挙動などに様々な相違が生じる可能性もあるため、規定にある方法で確実に安全側に設計できると考えられるものによるか、基準の方法によらず実験や詳細な解析に検討を行って構造の特性を把握した上で個別に鉄筋配置や部材断面の設計を行うことが必要となる。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 土木研究所：橋梁基礎のフーチングおよび頂版の耐力に関する実験的研究、土木研究所資料、第 3483 号、1997.3
- 2) 土木研究所：フーチングの設計および補強方法に関する実験的研究、土木研究所資料、第 3550

号、1998.3

- 3) 独立行政法人土木研究所：ディープビームやフーチングのせん断耐力に関する研究、土木研究所資料、第 3841 号、2001.11
- 4) 白戸真大・川本篤志・福井次郎・幸左賢二：上面側が引張りになる場合のフーチングのせん断耐力算定式、構造工学論文集、Vol.48A、 2002.3

5 基準の規定と異なる特性の材料や構造の採用

5.1 一般

- (1) 基準の規定と異なる特性の材料や構造を用いることによる逸脱がある場合には、その程度によらず、規定の適用可否について評価する必要がある。また規定の適用にあたっては所定の性能が得られるような方法によらなければならない。
- (2) 基準の規定と異なる特性の材料や構造であるために基準からの逸脱が生じる場合の代表的なものには以下のものがある。
 - 1) 基準に規定のある種類の材料や構造であるが、規定されている以外の特性を用いる場合や、規定されている範囲を越えてその特性を用いる場合
 - 2) 基準に規定のない材料を用いる場合

(1) 道路橋示方書などの技術基準では、許容値や安全率にかかわるさまざまな規定について、特定の材料や構造の特性に対して得られた知見から設定されている場合がほとんどである。そのため設計値の算出や許容値との対比などの設計にあたって規定の前提となった材料と異なる材種や同じ材種であっても品質レベルやその信頼性が異なる場合には規定をそのまま適用することが適切でない場合がある。

そのため規定の前提と異なる種類の材料を用いる場合には、基準の適用に当たってその可否を判断しなければならない。

5.2 基準で規定する範囲外の材料等の特性を用いる場合

基準に規定のある種類の材料や構造の特性を用いるものの、その適用条件が規定の適用範囲やその前提となった条件の範囲を越えるなど規定の範囲外となる可能性がある場合には、採用しようとする範囲において所要の安全率等の性能が得られることを、その材料や構造の条件に対応して検証しなければならない。

道路橋示方書などの技術基準では、許容応力度などの安全率に関する事項や許容値と比較される応答値の算出手法、あるいはそれらの前提となる施工の条件などの規定に関して、材料や構造の特性についてある範囲を前提として定められているのが一般的である。

このため、基準に規定のある材料や構造を用いる場合でも、採用しようとする使用条件、設計で考慮される力学的挙動などが規定の想定範囲と異なる場合には、当該条件において基準による場合と同様の確実性で所要の安全率が確保されることなど、所定の性能が得られることを検証する必要がある。

なお、従来規定化の元となった材料や構造では、JIS等の規格によるなどによって、機械的性質などの特性の「ばらつき」の程度や傾向などを考慮して所要の特性が得られる確実性（＝信頼性の程度）を見込んで許容値や寸法などの適用範囲の上限や下限を設定している。したがって、基準に示す許容値や特性値を安易に外挿したり補完して準用しても忠実に基準による場合とは異なり意図した性能が確実に得られない可能性がある。

JIS等の規格そのものも品質データの蓄積や、多数の実験結果に対する統計的な理解に基づいて規定化の検討が行われていることが一般である。このような場合には、規定内容の信頼性が保証される条件として、力学的特性などに一定の適用範囲等の条件が存在する。逆に異なる材料であってもそれらが満足している公的規格がある場合には双方の内容を比較することでも品質水準などの評

価は可能である場合がある。道路橋示方書のように要求性能を満足する材料とみなせる具体の材料そのものが規定されている場合にも、それとの相対比較によっても検証が可能である。

なお、JIS などの公的な材料規格では品質のばらつきがある一定の水準に保証されるが、許容応力度などそれぞれの構造物等の技術基準の安全率の元となる機械的性質や特性の閾値については規定されていない場合がある。この場合規格にない特性については品質が直接的には保証されていないことになる。

5. 3 基準に規定のない材料を用いる場合

基準に規定のない材料を用いる場合には、基準の材料に関する規定との関係を明らかにするとともに、材料の機械的性質や強度などの材料特性のみならず、設計で用いようとする設計手法、施工方法など関連する事項について基準の要求性能が満足される条件を明確にし、所要の性能が得られることを検証しなければならない。

道路橋に使用する材料は、主に鋼材やコンクリートなどである。橋の設計は、使用材料の特性や品質をあらかじめ想定した上で行われるため、使用材料は、所要の特性を有するとともに安定した品質が確保されていることが使用上の前提条件となる。

近年では、製作、施工の合理化や経済性、あるいは耐久性等の性能向上を目的に、新しい材料の使用が提案されている。このような材料を橋に適用するにあたっては、それらの特性が構造物の性能に及ぼす影響を試験等によって確認するとともに、品質についても JIS 等の規格と同等であることを証明したり、その信頼性の程度を考慮して適切な許容値を設定するなど基準の要求性能が得られることを確認しなければならない。

例えば、JIS 等の公的規格にない材料を使用するような場合には、鋼材の場合を例とすると、降伏点または引張強さ等の機械的性質や、形状や寸法などの幾何学的条件などの変動に関する情報などをもとに JIS 等の規格による場合と同程度の信頼性で所定の性能が得られるように許容値や品質、施工等の条件を設定するなどが必要となる。

鋼やコンクリートのような一般的な材料でも、機械的性質等の性能は、必ずしも公的規格等だけでは保証されない、各種の添加材や合金成分、熱処理などの材料製造プロセスなどが複雑に関係して実現している。したがって、同種の材料であっても、強度特性（高強度、高じん性、加工性）などが基準にない範囲のものの採用にあたっては、異種の材料の場合と同様に基準による場合との関係について慎重に評価する必要がある。

5. 4 具体の事例

事例（道路橋示方書に規定のない材料の特性値の設定及び品質確認を行う場合）

■新しい技術要素

鋼材として、道路橋示方書に示される規格より高性能（例：高強度）の種類のもが用いられている場合。

■関連する道路橋示方書の規定

〔I 共通編 3. 1〕 鋼材は、強度、伸び、じん性等の機械的性質、化学組成、有害成分の制限、厚さやそり等の形状寸法等の特性や品質が確かなものであることが求められており、JIS 規格にある材料を中心に、要求事項を満足するとみなせる材料の種類とそれらに対する許容値等が定められている。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、JIS 等の規格では、材料規格についてはそれを満足することで機械的性質、化学組成や成分、形状寸法等の特性や品質についてばらつきの程度も含めてある水準が確保されることが保証されるように定められている。またそのために必要に応じて検査方法や合否判定基準が規格の一部を構成している。

道路橋示方書に規定する以外の材料を道路橋に適用するにあたっては、単に機械的特性が満足する場合があるということではなく、その確実性など品質のばらつきの程度も含めて道路橋示方書に定める材料による場合と同程度の信頼性で所要の性能が得られることが求められるため、これらを確認する必要がある。

■技術評価の着目点の設定例

例えば、鋼材について降伏点または引張強さ等の機械的性質や、板厚寸法や形状等の許容差等について品質のばらつきの程度を根拠となるデータとともに評価し、類似の材料で JIS 等の規格に従うものとの相対比較を行って設計で用いる特性値や許容値を定める。

品質のばらつきの程度が大きい材料や、供給実績が少なく信頼性のある根拠データが十分に確保できない場合には、JIS 等の道路橋示方書に定めのある規格品によるよりも安全率を大きくとったり、製作・施工段階における品質確認の頻度や数量を増やしたりすることで所要の特性をが得られるよう信頼性を向上させることも有効である。

鋼材は、強度、伸び、じん性等の機械的性質、化学組成、有害成分の制限、厚さやそり等の形状寸法等の特性や品質が確かなものであることが求められており、現行の道路橋示方書においては、JIS 規格に準じた材料特性を基に、これらの要求事項を満足するような個々の特性値が定められている。

コンクリートは、強度、変形性能、耐久性や施工に適するワーカビリティ等の特性や品質が確かなものであることが求められており、そのためには材料の選定、配合及び施工の各段階において適切な配慮をすることを前提に、特性値を定めている。

近年では、製作、施工の合理化や経済性、あるいは耐久性等の性能向上を目的に、新しい材料の使用が提案されている。このような材料を橋に適用するにあたっては、それらの特性が構造物の性能に及ぼす影響を試験等によって確認するとともに、品質についても JIS 等の規格と同等であることを確認しなければならない。

道路橋示方書においては、橋の構成部材あるいは橋梁全体の耐荷力等の前提として、初期不整量や部材の製作精度等が定められているため、単に JIS 等の規格と同等であることを確認するのみで

なく、道路橋示方書の施工に定める諸規定との整合性を確認する必要がある。

一方で、国外規格に基づく材料のように、JIS によらない材料を使用するような場合には、降伏点または引張強さ等の機械的性質や、板厚寸法や形状等の許容差等のばらつきに関する相当量のデータを基に、信頼性における特性値を設定する必要がある。

また、設計計算に用いる物理定数は、使用する材料の特性や品質を考慮した上で、適切に設定する必要があるが、実物大試験等により確認される実応力状態と設計で仮定する物理定数から導出される応力との整合性を確認する必要がある。物理定数の設定にあたっては、供用中に想定されるクリープやひび割れ発生等の経年変化や劣化等の状況を考慮し、適切な値を設定する必要がある。

これら材料の特性が基準に示されるものと異なる場合には、設計に用いる許容値などの設定に際し、この違いを考慮して同等の性能を確保する必要がある。例えば、高強度鉄筋は従来の鉄筋に比べて降伏や破断までの伸び性能が異なるため、耐震設計における許容塑性率の設定などにあたってはこれを考慮して、通常の鉄筋と同等の安全余裕が確保されるようにしなければならない。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋施工便覧、S 60.2
- 2) 土木研究所：高強度材料を用いた鉄筋コンクリート橋脚の耐力・変形性能の評価に関する研究（その 1：正方形断面を有する橋脚）、土木研究所資料、2006.2
- 3) 仲谷邦博・木村祐司・上田善史・山脇正史：高強度鉄筋 SD490 を使用した七色高架橋の計画と設計（上）、橋梁と基礎、1999.11
- 4) 仲谷邦博・木村祐司・上田善史・山脇正史：高強度鉄筋 SD490 を使用した七色高架橋の計画と設計（下）、橋梁と基礎、1999.12

事例（基準の規定の範囲外の特性を用いる場合）

■新しい技術要素

一般構造用圧延鋼材（SS 材）などの溶接構造用として規格されていない鋼材を溶接して用いる場合。

■関連する道路橋示方書の規定

〔I 共通編 3. 1〕 使用鋼材について、強度、伸び、じん性等の機械的性質、化学組成、有害成分の制限、厚さやそり等の形状寸法等の特性や品質が確かな材料を使用することが基本的に規定されている。一般構造用圧延鋼材（SS400）を溶接部材に用いることは規格上は材料の溶接性が保証されないことから道路橋示方書では認めておらず、溶接性を個別に確認した上で溶接構造への適用を検討する場合についての確認方法は示されていない。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、SS400 材の化学成分から、溶接性の保証されている材料との比較を行うことで溶接施工性についてはある程度推定できる。しかし溶接施工性については様々な成分組成が影響することから既存の溶接に対する割れ感受性評価手法なども参考にして使用条件との対比を行う。

■技術評価の着目点の設定例

例えば、SS400 材のミルシートに記載がある C、Mn、Si などの化学成分に着目して P_{CM} 値、 C_{eq} 値などの溶接われ感受性の観点から SM400 材との比較を行うとともに、実際の溶接条件に近似した条件での溶接施工性試験を行い、健全な溶接が行える条件を設定するで溶接性を評価することも可能である。

国内で一般に供給される SS400 材の多くの化学成分は SM400 材の規格を満足している。また SS400 材のミルシートに記載のある C、Mn、Si の 3 元素成分のみから近似的に算出される P_{CM} 値、 C_{eq} 値によってある程度の精度で溶接感受性が評価できるとの研究報告もある。このような既存の技術的な知見を参考に評価を行うとともに、条件によっては同じ材料と溶接条件によって事前に施工性試験を行って所要の品質が得られる施工条件を見出すことで適切に施工できる場合もある。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋施工便覧、S60.2

6 基準の規定と異なる設計原理や力学的機構などの採用

6.1 一般

- (1) 基準の規定の前提となっている設計計算の手法や解析理論などの設計原理と異なる手法で設計計算が行われる場合、および部材や構造等の応答の力学的機構（メカニズム）や物理現象などが規定の前提と異なることによる逸脱が生じる場合には、その程度によらず、規定の適用可否について評価する必要がある。また規定の適用にあたっては所定の性能が得られるような方法によらなければならない。
- (2) 基準の規定と異なる設計原理や力学的機構などを用いることによる逸脱が生じる場合の代表的なものには以下のものがある。
 - 1) 基準の規定と異なる許容値や制限値を設定する場合
 - 2) 基準の規定と異なる部材や構造の力学的特性による場合
 - 3) 基準の規定と異なる設計法による場合

- (1) 道路橋示方書などの技術基準に定められている許容値や安全率に関する事項などでは、それを定めるにあたって用いられた構造解析手法やモデル化手法、解析理論などと異なる方法で算出された応答値に規定を当てはめることで所要の安全率が確保されないなどの適正な評価が行えない場合がある。このような場合には、規定を適用しようとする部材や構造等の応答の算出に当たって、規定の前提となっている手法と同じ手法によるか、手法の違いが結果に及ぼす影響について適正に評価して性能の検証を行わなければならない。

また構造モデルが同じであっても例えば方向の異なる応力の発生状態となるなど構造の抵抗機構や物理現象が規定の前提と異なる場合には、許容値などがそのまま用いることができない。このような場合には、実際に想定される応力状態や力学的機構・物理現象に対応して適切な安全率等の性能が得られることを評価しなければならない。

6.2 基準の規定と異なる許容値や制限値

- (1) 基準の規定と異なる許容値や制限値を設定することによる逸脱がある場合には、その程度によらず、規定の適用可否について評価する必要がある。また規定の適用にあたっては所定の性能が得られるような方法によらなければならない。
- (2) 基準の規定と異なる許容値や制限値などを用いることによる逸脱が生じる場合の代表的なものには以下のものがある。
 - 1) 基準に規定されていないか、規定の前提となっていない照査手法を用いた場合の許容値や制限値
 - 2) 基準に規定のない構造による場合、あるいは規定と異なる方法で構造細目を用いる場合の許容値や制限値

技術基準に示されている許容値は、その根拠となったデータの前提条件として構造形式、部材の形状や寸法、材料の種類や特性、外力の頻度、応答の算出や計測の方法、環境作用の条件など様々な要因との関連を考慮して規定されている場合が多い。

このため既存の基準等に定めのない新しい材料を用いる場合や、規定のない応力状態などの条件下に対して用いる場合などで新たに許容値や制限値を設定する必要がある場合には、基準に適合した場合考慮されることとなる様々な要因に対する安全余裕が同じように得られるように許容値や制

限値を適切に設定した上で用いなければならない。

また、実験等の計測値に対して、数値解析で得られた応答などを当てはめる場合には、再現性の限界の問題から単純に比較することができない場合がほとんどである。そのような場合には着目する性能の観点に応じて安全側の評価となるような比較方法としなければならない。

例えば、鋼部材の溶接継手の疲労耐久性については、継手形式毎にパターン化された小型供試体による多数の疲労試験結果を根拠に公称応力との関係で整理された疲労強度によって評価することが行われる。しかし実構造の中で用いられる溶接継手では、必ずしも公称応力のような平均的な応力状態とはならない場合も多い。また通常の棒要素による骨組み解析からは溶接継手に作用する変動応力の状態が疲労耐久性評価の観点からは十分な精度で導きだせないことも多い。このような場合には有限要素解析など、より詳細に応力状態が把握できる解析手法を用いることもできるものの、解析結果からは継手強度の規定の前提となった継手近傍位置での平均的な応力にはなっていないため、あらためてそれらの結果から継手強度との対比に用いることのできる平均的な応力への換算を行うか、その応答値から所要の疲労耐久性が満足されうるかどうかを継手強度との対比以外の方法によって判断する必要がある。

6. 2. 1 基準に示されていない照査手法に対する許容値

基準に規定されていないか、規定の前提となっていない照査手法を用いて設計を行う場合には、それらに対する許容値や制限値を当該照査手法に応じて適切に設定する必要がある。

このとき基準に示される前提の異なる照査手法による許容値や制限値を準用する場合には、照査手法の相違が算出される設計値の相違として影響する程度を把握して必要な安全余裕等が確保されるようにしなければならない。

技術基準に示されている許容値は、その根拠となったデータの前提条件として「構造形式、部材寸法、材種、材料強度、外力の頻度、耐久性」との関連などの要因を考慮し、規定されている場合が多い。このため、道路橋示方書に示される同様の構造や材料が採用されていても、その前提条件を満たさない部材を照査する場合には、基準に見込まれているものと少なくとも同等の安全側の結果になることが保証できるような許容値としなくてはならない。

また、部材の要求品質の程度に応じた安全余裕を見込み、基準と同等の品質レベルが達成されるような許容値を採用しなくてはならない。

6. 2. 2 規定にない細部構造の用途や材料に対する許容値

基準の規定にない構造による場合、あるいは規定と異なる方法で構造細目を用いる場合には、それらに対する許容値や制限値を当該構造細目に応じて適切に設定する必要がある。

このとき基準に示される構造細目に対する許容値や制限値を準用する場合には、構造や応力状態などそれらの適用条件の相違を把握した上で許容値や制限値が当該構造細目に対して適切なものであることを確認する必要がある。

部材や構造の性能によっては、設計計算による応力や変形などの工学的な指標のみによってそれを実現することが保証できない場合や、合理的な工学的指標による評価手法が確立していない場合などがあり、基準にある部材の形状や構造細目であることが性能の前提とされているものがある。

このような構造細目の実現によって性能が保証されている場合、これと同等の性能を確保できることを定量的に照査する手法が確立していないことが多く、基準にない構造細目を用いた場合や、基準の想定と異なる応力状態や外力に対するなどの用途に基準の構造細目を適用する場合には、その構造によって所要の性能が得られることを検証する必要がある。

構造細目による規定化が行われているものの多くは、設計計算などで工学的指標による合理的な性能評価が困難であるため、性能照査にあたっては採用しようとする構造細目と規定の構造細目の相違に着目して規定との関係を明確にすることで相対的に所要の性能が得られることを検証せざるを得ない場合も多いと考えられる。このとき着目している構造細目が他の部材や構造部位の応力状態などと関係がある場合には、着目していない他の部材部位に想定しない応力集中が発生するなどの悪影響が現れる可能性があるため、その影響範囲を見極める必要がある。

また、わずかな構造や寸法の相違によって、施工品質に関わる事項について影響が生じることもあるので注意が必要である。

例えば、鋼部材の溶接では、板厚や溶接施工姿勢、溶接施工時の部材拘束の程度などの条件が疲労耐久性を大きく左右する溶接品質に影響する可能性がある。またコンクリート部材においても応力集中箇所の補強鉄筋や用心鉄筋の配置など部材形状や寸法の相違によっては制約を生じるなどの影響も考えられる。

6. 3 基準の規定と異なる部材や構造の力学的特性（耐荷力機構など）を用いる場合

- (1) 基準の規定と異なる部材や構造の力学的特性を用いることによる逸脱がある場合には、規定の適用可否について評価する必要がある。また規定の適用にあたっては所定の性能が得られるような方法によらなければならない。
- (2) 基準の規定と異なる部材や構造の力学的特性を用いることによる逸脱が生じる場合の代表的なものには以下のものがある。
 - 1) 性能の照査で対象となる部材や構造の力学的特性が規定の前提と異なる場合
 - 2) 性能の照査で対象となる部材や構造の状態が基準の規定と異なる場合や、規定の根拠となった範囲を越える領域である場合
 - 3) 性能を確保のための抵抗機構に規定の方法とは異なる機構や物理特性などを用いる場合

技術基準の規定では、応力や変形等の応答算出の手法や様々な許容値や制限値が、照査対象となる部材や構造の特定の力学的特性に基づいて定められているものがほとんどである。さらにそれらの力学的特性を前提として所要の性能が満たされるか否かの評価基準である種々の許容値や制限値が定められている。

そのため、基準に定めのある許容値や制限値を適用することとしても、評価に際して基準の想定と異なる力学的特性による応答であったり、弾性挙動の限界であるなどの力学的特性の観点からみて当該部材や構造の状態が基準の想定と異なる場合には、基準をそのまま準用することで適当な安全余裕が確保されないおそれがあるため注意が必要である。

6. 3. 1 性能照査の対象の部材や構造の状態が基準の定めと異なる場合

性能の照査で対象となる部材や構造の状態（荷重や支持条件など）が基準の規定と異なる場合や、部材等の設計応答の算出に基準に示された計算手法を用いる場合において、計算手法の前提となる条件が基準と一致しない場合には、基準に示された許容値や安全率などの適用にあたって、それらの前提となっている部材や材料の抵抗機構や応答特性などについて基準の前提との関係性を評価して、これを適切に考慮しなければならない。

技術基準が求める性能の水準としての許容応力度や安全率の設定においては、部材等が荷重等に対してどのような耐荷力機構で抵抗し、最終的にどのような破壊形態をとるのか、およびそのような現象が再現される信頼性などが考慮されている。そして弾性挙動しうる限界の状態や変形が大きくなり安定を喪失する限界の状態などの想定する状態に達するまでの安全余裕を確保する観点から許容値や安全率が設定されている。

そのため、基準に示された許容値や安全率などを適用するにあたっては、基準化の前提となった部材や材料の抵抗機構や応答特性などが適用しようとする部材や構造のそれらとどのような関係にあるのかを確かめなければならない。

また、技術基準に規定される慣用的な解析手法や照査方法の前提となるモデル化については、その他の関連項目における安全率の設定や、構造物や部材の線形性などの状態、施工の条件（施工方法、品質要求、検査基準など）や構造細目と相互に関係している場合が多い。したがって、適用基準と同様の慣用法による設計を行う場合においても、その手法の前提となる条件を基準におけるものと整合しているかどうか確認しなければならない。

6. 3. 2 性能照査の対象とする部材や構造の力学的特性が異なる場合

性能の照査で対象となる部材や構造の力学的特性が規定の前提と異なる場合には、基準に示された許容値や安全率などの適用にあたって、力学的特性の相違がそれらに及ぼす影響について評価し、適切に考慮しなければならない。

技術基準が求める性能の水準としての許容応力度や安全率の設定においては、部材や構造それぞれが想定する外力にどのような力学的特性にもとづいて抵抗するのか、およびそれらの特性とその挙動の信頼性が考慮されているのが一般である。

そのため、想定する破壊の形態や支配的な応力の方向や組み合わせ、主たる部材の抵抗機構などが適用しようとする基準の許容値等の前提と異なると所要の安全率が得られないだけでなく実際には想定と異なる破壊等の挙動を生じる危険性がある。

したがって、このような場合には、力学的特性の相違がそれらに及ぼす影響について評価したうえで、荷重条件、許容値、安全率等を適切に設定しなければならない。

6. 3. 3 性能確保のための抵抗機構に規定の方法とは異なる機構や物理特性などを用いる場合

性能を確保するための様々な抵抗機構に規定の前提として用いられている方法とは異なる機構や物理特性などを用いる場合には、基準に定められる照査式や許容値を遵守しても所要の性能が得られない場合がある。そのため用いようとする方法の特性に応じて基準による場合との関係を明らかにして所要の性能が満足されるよう適切な許容値を設定するなど、基準の方法との相違を適切に考慮しなければならない。

例えば、耐候性鋼材の裸使用やコンクリート部材の塩害に対するかぶり厚の確保などの耐久性能確保に関する技術基準の規定では、求める耐久性能の水準については、外力等の作用に対して部材や材料がどのような劣化メカニズムで変化を生じて耐荷力等の性能を喪失する現象なのか、あるいはそれに対してどのような材料特性などの抵抗機構で耐久性能を確保するとみなしているのか、といった現象の理解とそれらの想定する事象が生じることの信頼性を考慮して規定化がなされている。

したがって、例えば使用材料が基準の前提となったものと異なったり、環境遮断の方法や腐食抵抗のメカニズムが異なる防食方法を用いる場合には、必要かぶり厚さや適用環境の制限など様々な条件が基準のものとは異なってくる。

このように基準の前提となっている物理現象や劣化メカニズム、それらの過程が再現される確からしさなどについて基準の前提との関係を明らかにした上で所要の性能が得られることを確認する必要がある。特に限られた実験データや特定の作用にのみ着目した性能評価しか行われていない材料や工法の採用を検討する場合には、実橋の条件との関係を慎重に検討する必要がある。

このような観点は耐久性能に限らず、耐荷力に関しても同様であり力学的挙動、安定条件など様々な現象や抵抗機構が基準化のために用いられており、新技術、新工法の採用にあたっては前提条件の相違に注意が必要である。

6. 4 具体の事例

事例（継手強度等級が明確な溶接継手形状と異なる場合）

■新しい技術要素

「鋼道路橋の疲労設計指針」にない形式の溶接継手を用いる場合。

■関連する道路橋示方書の規定

道路橋示方書には疲労耐久性の照査に関する定量的で直接的な規定はないものの、「鋼道路橋の疲労設計指針」では各種の継手形式に対して疲労強度等級[3. 2]がそれらの前提となるアンダーカット量など施工品質・溶接品質等の条件とともに示されている。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、継手形式毎の強度等級についてはその適用範囲（板厚範囲、応力の方向、仕上げの有無・程度、きずや欠陥の寸法などの溶接品質など）が密接に関連するため、それら条件が既往の技術基準等に示す条件と完全に適合するかどうかを確認する必要がある。

■技術評価の着目点の設定例

例えば、応力条件や形式、板厚等の条件ができるだけ近似している継手形式のものに対する継手強度等級に対して、条件の相違を考慮して十分な余裕を確保するとともに疲労耐久性の向上に有効と考えられる良好な溶接品質が得られるよう配慮する。

このとき、できるだけ同じ条件で両者ともに疲労試験や詳細な数値解析を行って、疲労耐久性や発生応力の両者の相違に関するデータを把握することも参考になる。

鋼道路橋の疲労耐久性を照査する場合、「鋼道路橋の疲労設計指針 平成 14 年日本道路協会」が一般に用いられる。そこでは既往の実験等で得られた知見を元に溶接継手の形式毎に変動応力振幅と許容される変動回数との関係（継手強度等級）が示されており、疲労耐久性の照査では設計供用期間に想定される各継手に対する変動応力振幅の大きさと頻度に対してそれらを適用することとなる。このとき継手形式毎の強度等級についてはその適用範囲（板厚範囲、板厚差、応力方向、仕上げの有無・程度、きずや欠陥の寸法などの溶接品質など）が詳細に定められており、それら条件に完全には適合しない継手については形状等が近似していても継手強度等級が同じであるとは限らない。

このように一見わずかな相違であっても内容によっては性能に大きな影響があらわれることも多く、規定との合致性については慎重に判断する必要がある。

例えば以下に示す継ぎ手の例では、部材軸が直交する右の形式については実験データも豊富にあり、疲労設計指針にも強度等級が示されている。一方部材軸が斜角をもって交わる形式については交差角やルートフェース部の角度や隙間の大きさなど疲労耐久性にかかわる条件も多岐にわたり継手強度等級は疲労設計指針にも示されていない。



写真-1-1 マクロ試験結果（直ウェブ）



写真-1-2 マクロ試験結果（斜めウェブ）

図-6. 1 疲労設計指針に疲労強度等級の設定がない溶接継手の例（斜めウェブ）

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針、H14.3

事例（基準に規定のない力学的機構の協働を用いる場合）

■新しい技術要素

一つの作用力に対してメカニズムの異なる複数の抵抗機構による抵抗を期待する場合。

■関連する道路橋示方書の規定

道路橋示方書では、ほとんどの規定において、メカニズムの異なる複数の抵抗機構を併用してもちいる設計手法やそのような条件下での許容値は定められていない。抵抗機構が異なる場合にはそれぞれの分担や弾性挙動の限界、あるいは破壊に至るまでの挙動などについて明確でない場合がほとんどであり、データもほとんど得られていないことから確実性の観点からも規定化が困難な状況にある。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、複数の抵抗機構が近接して用いられている場合、作用力や計算応力の設計モデル上の仮定と想定される実構造物での抵抗挙動の相違について検討し、一つの作用力に対して複数の異なる力学的抵抗機構が協働することにならないかどうかを確認する。設計上の前提として機能を分離していても実際には協働してしまう場合がある。

■技術評価の着目点の設定例

例えば、上記のような観点に対して、

- ① 完全に一方の機構しか機能しない場合と、最も不利な条件で協働してしまう場合の両方について設計を行いつづれであっても性能が満足されるかどうかを確認する。
- ② 物理的に協働し得ない構造に変更するか、着目する作用に対しては一方の抵抗への寄与が極めて小さくなるような構造とした上でこれを無視する。

抵抗機構が異なる場合にはそれぞれの分担や弾性挙動の限界、あるいは破壊に至るまでの挙動などについて明確でない場合がほとんどであり、データもほとんど得られていないことから確実性の観点からも規定化が困難な状況にある。

そのため、信頼性の水準も含むところの要求性能を規定している技術基準では、(1)同時に働く複数の作用力に対して一つの抵抗機構による抵抗を期待する場合、(2)一つの部材の中の主たる抵抗方向や抵抗させる機能を分離した上で異なる抵抗機構を併用する場合については規定されている場合もあるものの、(3)複数の抵抗機構を同じ作用に対して協働させることについては一般に想定していない。

道路橋示方書の場合にも、(1)については例えばⅡ鋼橋編 4.3、(2)については例えばⅡ鋼橋編 17.6 など一部規定があるものの、(3)については例えばⅡ鋼橋編 6.1.2にあるように、極めて例外的な条件以外ではそのような抵抗機構を想定した規定化は行われていない。

特に設計上の前提として機能を分離していても実際には協働してしまう場合があるので、自ら設定する設計上の仮定にかかわらず、各作用力に対して全ての部材のそれぞれが実際にはどのように抵抗することになるのかを推定した上で、構造的に協働する可能性がある場合には問題がないことを検証しなければならない。

事例（基準にない高強度材料採用の場合）

■新しい技術要素

基準に許容値などが定められていない高強度鉄筋をコンクリート部材に用いる場合。

■関連する道路橋示方書の規定

道路橋示方書の材料の基本的な特性に関連する規定の多くは、実績や実験の結果を重要な根拠として定められている。そして例えばⅢコンクリート橋編においては、鉄筋コンクリート構造に対して設計基準強度 30N/mm^2 までのコンクリートに対してしか許容応力度は示されておらず、各編の部材設計に関する規定に対しても基本的にこの範囲までを前提とした規定がなされている。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、高強度の鉄筋を用いる場合、鋼材としての弾性係数は強度に依存せずほぼ同じであるため、鉄筋の塑性化までに生じる伸び量は低強度の場合に比べて大きくなる。鉄筋コンクリート部材の場合、鉄筋の伸びはコンクリートと鉄筋の付着力やコンクリートのひび割れに関係してくることから鉄筋の応力に対する安全余裕だけでなく、鉄筋コンクリート部材の設計に用いられる各種の定式などで前提としている鉄筋とコンクリートの一体的挙動の限界や確実性に対する影響についても考慮する必要がある。

■技術評価の着目点の設定例

例えば、上記のような観点に対して、基準の根拠となった実験と同様の手法による実験を行うことで基準による場合との関係づけを着目すべき挙動や現象毎に把握する。

V 耐震設計編 10.3 において、鉄筋コンクリート橋脚の水平耐力および水平変位の算出に関する規定がなされている。それらの規定は、V 耐震設計編 参考資料 8.3 に示されるような縮尺模型による交番載荷実験と解析的検討の結果を踏まえてなされたものであり、載荷履歴と破壊性状、許容される水平変位などには、繰り返し載荷の中で生じる主鉄筋の塑性化領域までの伸びや座屈などの挙動、かぶりコンクリートを含む躯体コンクリートのひび割れの発生状況が大きく関わっていることが確認されている。ここで例えば、主鉄筋のみを高強度化すると鉄筋が塑性化するまでの伸び量が異なるためコンクリートのひび割れ進展状況、かぶりコンクリートの剥離時期や範囲などにも実験結果とは同じにならない可能性がある。このように基準にない材料を用いる場合には着目している特性以外の材料特性の影響により関連する様々な知見がそのままでは用いることができないなどの影響が生じることもあるため、着目している特性以外の特性についても検討を行い適切な手法で採用できるための条件と性能評価の方法については慎重に検討する必要がある。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

事例（従来の多主桁形式で必要な対傾構、横構が省略されている場合）

■概要

少数主げたの鋼橋において合理化の観点から対傾構や横構の省略が検討される場合がある。

■関連する道路橋示方書の規定

〔Ⅱ鋼橋編 7. 1〕 橋を主桁または主構面に着目した平面構造物として解析する場合は、主げたまたは主構間に対傾構、横構を設けるのが原則である。横構を省略した場合には構造によっては、全体横倒れ座屈に対する安全性の確認が必要である。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、次のような観点がある。

- ① 横桁や横構を全て省略した 2 主桁橋を採用した事例では、全体横倒れ座屈に対する安全性の他、橋の立体的機能として、橋の断面形の保持、橋の剛性の確保、横荷重の支承への円滑な伝達等の機能を有していることを、床版との結合条件（剛結、ジベル結合）の違いに配慮して検証する。
- ② 架設時には、床版剛性を考慮しない状態で、鋼桁の座屈安定性を確認する。
- ③ 耐震性評価では、床版との結合条件により、動的応答特性に変化がないことを確認する。

■性能評価の着目点の設定例

例えば、上記のような観点に対して、

- ① 床版と主桁とで形成される断面で橋全体の变形性能や断面保持、横荷重に対する荷重伝達機構等を評価して水平作用に対する抵抗機構を検証。
- ② 架設時の座屈安全性について系毎に、十分確保されていることを検証。
- ③ 横桁の有無による振動特性を把握してその影響を評価。

構造の簡素化を目的として横桁及び対傾構・横構の一部あるいは全部を省略し、床版に主桁間の荷重分配作用を考慮した設計を行う場合があるが、このような構造では横荷重に対して床版が抵抗することになるため、橋の断面形の保持、剛性の確保、支承への荷重伝達機能等に着目し、特に床版の安全性や耐久性に問題がないこと及び橋が立体的に機能できることについて十分な検討が必要である。また、架設時には、床版の機能を期待できないため、鋼桁の全体座屈に対する安全性照査が必要である。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 Ⅱ鋼橋編 12.7 ポニートラス、H14.3
- 2) 高橋昭一・橋吉宏・志村勉・伊藤博章：水平荷重に対する 2 主桁橋ホロナイ川橋の構造検討、土木学会第 3 回合成構造の活用に関するシンポジウム講義論文集 1995.11

7 基準の規定と異なる施工条件の設定

7.1 一般

- (1) 基準に規定された施工時の安全性に関する照査式や許容値等の適用にあたっては、適用する架設条件について規定の前提との関係性を評価し、所定の性能が得られるように、これを適切に考慮しなければならない。
- (2) 適用する施工条件が基準の規定と異なることによる基準からの逸脱の例には、以下の場合などがある。
 - 1) 完成系と架設系で構造特性が異なる場合
 - 2) 完成系と架設系で要求品質が異なる場合
 - 3) 施工段階に対する要求水準（性能）が異なる場合

(1) 基準における施工時の安全性に関する規定は、一般には、施工時における外力等の作用、完成時と異なる架設時の構造系において部材や材料がどのようなメカニズムで耐荷力等の性能を喪失し、その過程が再現される信頼性などを考慮したうえで、種々の品質管理の要求水準などが前提となって定められている。例えば、道路橋示方書においても、橋の施工時の安全性を確保するために、施工方法や施工中の構造を適切に考慮して必要な検討を行うことを規定している。

したがって、新技術を適用するにあたり、施工中の想定される結合条件の変化に対し、断面力の変動が架設系の構造に影響の無いことを確認する等、それらの前提条件が満たされているかを明確にし、基準から逸脱する場合には、所要の性能が得られるように、施工条件を適切に反映させなければならない。

(2) 適用する施工条件が基準における規定の前提条件と異なる場合について、代表的な例を示した。

道路橋示方書のような技術基準には、完成系における性能要求とそれを達成するために必要な設計上の安全率の確保策などの規定、それらの設計の前提となる施工の条件が示されている。

一方、架設工法や手順、使用機材などの架設手段は、道路橋の建設工事にかかる契約において完成目的物を得るための手段に過ぎないことから過度に制約を設けることの不合理性を排除するために請負契約者の任意によれることとすることが一般である。そのため架設の各段階において確保されるべき安全余裕の程度などの架設系の性能については技術基準によるだけでは必ずしも一定水準が確保され得ない。

しかし架設工法によっては、架設時応力の完成系での残留、一時的な応力によるコンクリートのひび割れの発生、仮設材の鋼部材への溶接による疲労耐久性への悪影響など基準と異なる条件や基準では想定していない条件となることから、意図せず完成時点で潜在的に基準の要求を満足しないものとなる危険性がある。そのためここに例示したように、基準と異なるかあるいは基準では想定しない条件が架設段階で生じる場合には、それらを設計で適切に考慮して橋梁完成までの全過程を通じて実際に生じる条件を前提に最終的に必要な性能を満足する橋が実現するとみなせるかどうかという観点で施工の条件等を評価する必要がある。

7. 2 完成系と架設系で構造特性が異なる場合

完成系と架設系で構造特性が異なる場合、架設時の構造特性が基準における規定の前提と異なる点を明確にし、それらの相違点を考慮した安全性、耐久性、品質等の照査を行う等により、適用する架設条件の採用の妥当性について検討を行い、所要の性能が満足されることを保証しなければならない。

既に実績のある構造形式の場合でも、新しい施工条件を適用する場合には、その施工方法や施工段階で部材等に生じる応力状態などが基準における規定の前提と異なる点を明確にし、それらの相違点を考慮した設計手法や許容値等の安全率等の妥当性について評価しなければならない。また、それらの施工条件の違いが完成形に及ぼす影響として、従来の構造形式や架設方法と同等の安全余裕と品質が確保されることも評価しなければならない。

例えば、道路橋示方書では、設計時に考慮した施工法又は施工順序と異なる方法を用いる場合について、橋の施工時の安全性を確保するために、施工方法や施工中の構造を適切に考慮して必要な検討を行うことを規定している（Ⅱ鋼橋編 17. 7. 1）。そのためには、施工中に想定される部材の結合条件の変化に対し、断面力の変動が架設系や完成系の構造に影響のないことを確認する必要がある。具体的には、次のような項目に着目して適用の妥当性など当該技術の性能の検証を行うことが必要となる。

- ・設計の前提条件（施工段階毎の構造系、荷重条件）との整合
- ・架設時の安定性

7. 3 完成系と架設系で要求品質が異なる場合

完成系と架設系で要求品質が異なる場合、架設時の要求品質が基準における規定の前提と異なる点を明確にし、それらの相違点を考慮した安全性、耐久性、品質等の照査を行う等により、適用する架設条件の採用の妥当性について検討を行い、所要の性能が満足されることを保証しなければならない。

架設系は、部材が不安定な状態である場合が多く、発生する断面力が部分的に完成系よりも大きくなる場合がある。基準における規定と異なる施工方法を採用する場合、完成系と架設系それぞれにおいて要求される品質を照査し、架設系における一時的な応力や残留応力により悪影響を及ぼさないよう、適用する架設条件の採用の妥当性について検討を行い、所要の性能が満足されることを保証しなければならない。

7. 4 施工段階に対する要求水準(性能)が異なる場合

基準における規定で前提とされていない構造や材料を採用する場合、完成後に要求される性能を確保するために、構造や材料の特性を考慮して、施工時における要求水準（品質確保基準）を個別に検討し、設計に反映すると共に、施工段階において遵守する必要がある。

基準における規定で前提としている構造や材料と異なるものを用いる施工方法を採用する場合、標準的な構造や材料に対しての適用を前提とした施工品質の管理水準をそのまま当てはめるのではなく、その構造や材料の特性に照らして、施工時における要求水準（品質確保基準）を設計の段階で個別に検討し、その要求水準を満足するための設計や品質管理手法を明らかにした上で、それを設計に反映するとともに、施工段階において遵守する必要がある。

7. 5 具体の事例

事例（完成系と架設系で構造特性（構造系）が異なる場合）

■概要

鋼製ラーメン橋の架設において、中間橋脚上の暫定支承を用いた主桁の仮置き状態から完成系の剛結状態に移行する際、構造系の変化に伴う不静定力によって床版コンクリートが影響を受けることが懸念されたため、施工順序の検討を行った。

■関連する道路橋示方書の規定

〔Ⅱ鋼橋編 17. 7. 1〕 鋼橋の架設は、設計の前提とした架設工法及び架設順序によって施工することを基本としている。設計時に考慮した架設工法又は施工順序と異なる方法を用いる場合には、改めて架設時の応力及び変形について検討し、安全を確かめなければならないことを規定している。

■技術評価にあたって留意すべき点の例

例えば、ラーメン橋の中間橋脚上における上部構造の支持条件が、架設中の暫定支承を用いたピン結合から完成系のラーメン構造へと変化する場合、断面力の変化によって構造が影響を受けないための対策を講じる必要がある。

■性能評価の着目項目の設定例

例えば、中間橋脚を剛結とした連続構造の場合には、先行して打設した床版コンクリートに、施工途中で剛結とした不静定力による応力が導入されるため、打設順序を変えた試算を行って影響が回避できる方法であることを確認する。

【解説】

橋脚と上部工の支持条件の違いにより、発生断面力及びたわみ角は異なる。このような構造特性変化の時期を施工段階をも適切に考慮した試算により、影響の検証を行う必要がある。

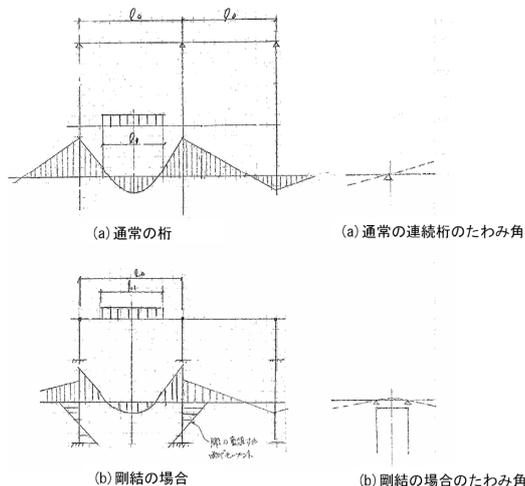


図-7. 1 ラーメン橋の結合条件の変化に伴う曲げモーメントと主桁のたわみ角

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 高尾孝二：鋼道路橋鉄筋コンクリート床版の曲げモーメント計算法，橋梁と基礎，1985.3

事例（完成系と架設系で構造特性（材料特性）が異なる場合）

■概要

鋼コンクリート合成床版では、構造部材である下鋼板を型枠として兼用するが、打設コンクリートの材料特性が打設時から完成系にかけて変化するために、打設時に下鋼板が負担した死荷重による残留応力が床版の性能に及ぼす影響が懸念される。

■関連する道路橋示方書の規定

[Ⅱ鋼橋編 8. 1. 2][Ⅲコンクリート橋編 7. 2] 従来の規定にしたがって設計・施工されてきた RC 床版、鋼床版、PC 床版に対しては、その実績に裏付けられたみなし仕様が規定されている。しかし、鋼コンクリート合成床版については、近年施工実績のある代表的な床版形式として、設計にあたっての主な注意事項の列挙にとどめられている。

■技術評価において留意すべき点の例

種々の型式のある鋼コンクリート合成床版については、耐荷性や劣化のメカニズムに不明な部分も残されており、長期の耐久性に関する実績も乏しい。例えば、鋼コンクリート合成床版の下鋼板は、施工の合理化の一環として床版コンクリート打設時の型枠として用いられることが多いが、打設時のコンクリートの流動体としての荷重作用に対して、下鋼板やそれが接続する部材に応力が発生する。これらの応力はコンクリート硬化後も下鋼板や連結された部材に残留すると考えられるため、完成系の性能を照査する際、その影響を考慮しなければならない。

■性能評価の着目項目の設定例

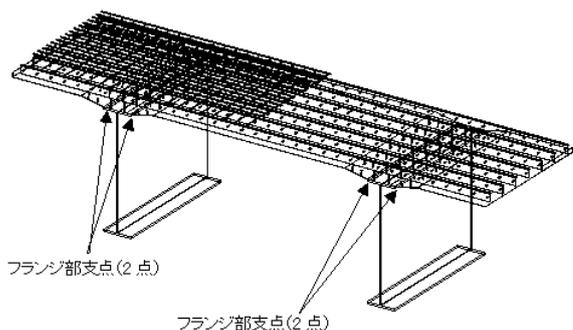
例えば、上記のような観点に対して完成系の部材の照査にあたって、架設段階毎の応力変化の状態とその影響を考慮した詳細な解析的検討をもとにその影響を評価する。

【解説】

鋼コンクリート合成床版の架設後にコンクリートを打ち込むことによって様々な種類の応力及びたわみが発生する。設計にあたっては必要な精度でその影響が考慮できる解析手法によって施工の各段階における構造系の変化や応力状態を考慮して完成時点までおよび完成状態での床版の応力を正確に把握して性能照査に反映することも可能である。

設計条件

設計条件	2主桁
主桁間隔	6.0 m
鋼板パネル幅	2.5 m
鋼板パネル全長	10.8 m
断面積	26510 mm ²
断面2次モーメント	1.28×10 ⁸ mm ⁴
ヤング係数	2.0×10 ⁵ N/mm ²
単位体積重量	77kN/m ³
底鋼板厚	6.0 mm
リルプレートサイズ	180×9.5×23 mm
載荷荷重	コンクリート重量: 24.5kN/m ³ + 施工時荷重 1.50kN/m ²



項目	着目位置	最大または最小値	備考
たわみ	底鋼板	2.59 (mm)	パネル中央
応力度	トリブ上縁	-19.5 (N/mm ²)	パネル中央
	底鋼板下縁	-19.7 (N/mm ²)	ハンチ部(支点近傍)

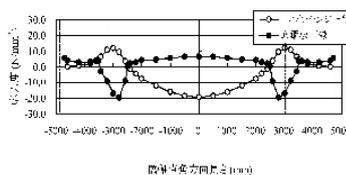
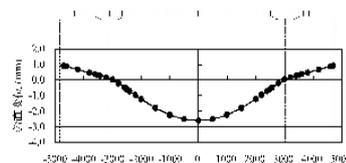


図-7. 2 コンクリート打設時の鋼部材のたわみ及び応力照査

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。

【参考資料】

- 1) 鋼コンクリート合成床版の評価マニュアル、本稿 p.228～

8 基準の規定と異なる維持管理条件の設定

8.1 一般

- (1) 基準に規定された耐荷性や耐久性に関する照査式や許容値などの適用にあたっては、適用する維持管理条件に関する規定の前提条件との関係を整理し、所要の性能が得られるように、これを適切に評価しなければならない。
- (2) 維持管理条件が規定の前提条件と異なることによって基準から逸脱する場合としては、以下が考えられる。
 - 1) 維持管理手法が一般的な手法と異なる場合
 - 2) 維持管理において想定すべき損傷や劣化のメカニズムが基準と異なる場合
 - 3) 維持管理段階に対する要求水準（性能）が基準と異なる場合

- (1) 基準における耐荷性や耐久性に関する規定は、一般には、当該構造物に適用する維持管理手法、性能に影響を及ぼすとして想定される損傷や劣化のメカニズム、使用性を確保するとともに点検や補修・補強が容易であるための要求水準等が前提となつて定められている。I 共通編 1.5 には維持管理条件として、供用中の日常点検、材料の状態の調査、補修作業等が容易に行えることとして規定されている。したがって、新技術を評価するにあたり、適用する維持管理条件がこれらの前提条件を満足している範囲を明確にし、満足していない部分に対しては、規定と同等の性能を有することを検証することにより、新技術が所要の性能を満足するように、維持管理条件を適切に評価しなければならない。
- (2) 適用する維持管理条件が規定の前提条件と異なることによって基準から逸脱する場合について、具体例を示した。

8.2 維持管理手法が一般的な手法と異なる場合

適用する維持管理手法が基準における規定の前提と異なる場合、いずれの手法によっても同等の耐荷性や耐久性を確保できることを実証する等して、その維持管理手法の採用の妥当性について検討を行い、新技術が所要の性能を満足することを保証しなければならない。

8.1(2)で示した基準から逸脱する場合のうち、維持管理手法が一般的な手法と異なる場合について規定したものである。

維持管理手法としては点検方法、点検頻度、損傷度の判定方法、対策区分の判定方法、補修及び補強工法などが含まれるが、これらのいずれかが基準における規定の前提と異なる場合、当該構造物が所要の性能を満足できない状態に陥ることが懸念される。そのため、適用する維持管理手法によつた場合について、当該構造物に要求される耐荷性や耐久性を検証することにより、一般的な手法によつた場合と同等の性能を確保できることを保証する必要がある。

8. 3 維持管理において想定すべき損傷や劣化のメカニズムが基準と異なる場合

想定される損傷や劣化のメカニズムが基準における規定の前提と異なる場合、いずれのメカニズムによっても損傷や劣化の進行が同様となることを実証する等して、その損傷および劣化のメカニズムの採用の妥当性について検討を行い、新技術が所要の性能を満足することを保証しなければならない。

8.1(2)で示した基準から逸脱する場合のうち、維持管理において想定すべき損傷や劣化のメカニズムが基準と異なる場合について規定したものである。

損傷や劣化のメカニズムは、使用材料、使用条件、周辺環境などによって支配されるが、これらのいずれかが基準における規定の前提と異なる場合、当該構造物が所要の性能を満足できない状態に陥ることが懸念される。そのため、想定される損傷や劣化のメカニズムに基づいて、損傷や劣化の進行を検証することにより、基準における規定の前提とされるメカニズムによった場合と同等の性能を確保できることを保証する必要がある。

8. 4 維持管理段階に対する要求水準（性能）が基準と異なる場合

維持管理段階に対して設定する要求水準（性能）が基準における規定の前提と異なる場合、いずれの維持管理段階においても要求される耐荷性や使用性を確保できることを実証する等して、その要求水準（性能）の採用の妥当性について検討を行い、新技術が所要の性能を満足することを保証しなければならない。

8.1(2)で示した基準から逸脱する場合のうち、維持管理段階に対する要求水準（性能）が基準と異なる場合について規定したものである。

維持管理段階に対する要求水準（性能）は、各段階における使用条件や維持管理計画等を総合的に考慮して設定されるが、各段階に対する要求水準（性能）が基準における規定の前提と異なる場合、当該構造物が所要の性能を満足できない状態に陥ることが懸念される。そのため、各段階において所要の耐荷性や使用性を確保できることを検証することにより、基準と同等の性能を確保できることを保証する必要がある。

8. 5 具体の事例

事例（維持管理手法が一般的な手法と異なる場合）

■概要

鋼コンクリート合成床版の採用にあたり、損傷特性が不明であるとともに維持管理手法が確立されていないことに対し、載荷試験等により損傷特性を把握するとともに、その特性を考慮した補修対策を提示した。

■関連する道路橋示方書の規定

〔I 共通編 1. 5〕 橋の設計にあたって考慮すべき事項のうち、維持管理条件に関するものとして、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、維持管理の容易さ、経済性が挙げられる。しかし、鋼コンクリート合成床版の場合、自動車荷重下での経年的な損傷・劣化機構が不明な上に、床版下面が鋼板で覆われているため、床版内部のコンクリートの状態を直接確認することが困難である。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、鋼コンクリート合成床版の損傷特性を明らかにした上で、内部コンクリートの各種性能も保証できる適切な維持管理手法を提示する。

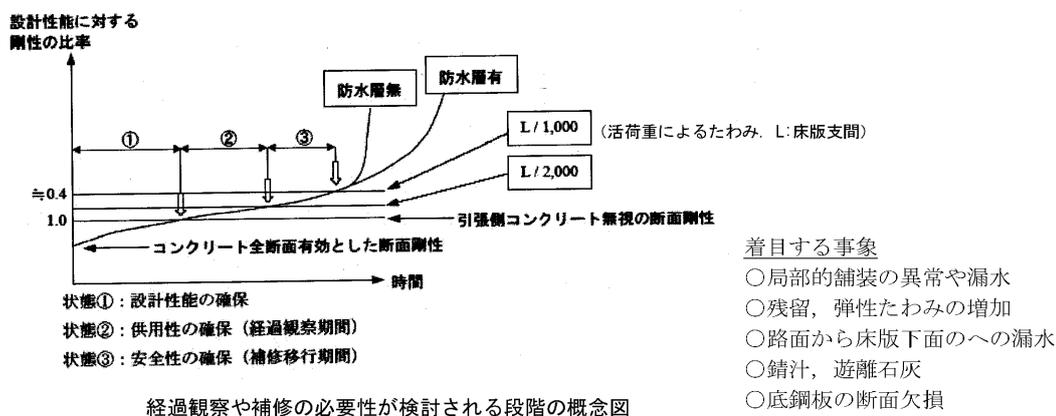
■性能評価の着目項目の設定例

例えば、上記のような観点に対して、

- ① 輪荷重移動載荷試験等により経年的な機能劣化に伴って生じる変状を推定。
- ② 生じる各劣化段階毎に変状検知と補修が行いうることを検証。
- ③ 想定される変状が現れた場合の耐荷力性能を推定するとともに復旧方法とその間の供用可能条件を試算。

【解説】

輪荷重移動載荷試験結果より当該床版構造の損傷特性を推定し、得られた載荷回数－たわみ量関係から設計段階に劣化段階を照査する指標を決定し、それらを実橋の条件に対して換算した経年的な推定シナリオに基づいて変状の発見や補修補強の必要性の判断など具体的な維持管理段階の行為に対する判定基準や調査要領などの維持管理計画を作成する。



図－8. 1 輪荷重移動載荷試験に基づく照査指標の設定

事例（維持管理において想定すべき損傷や劣化のメカニズムが基準と異なる場合）

■概要

耐候性鋼材を無塗装で使用する際は、耐候性鋼材の発錆特性が飛来塩分量のみならず、地形や凍結防止剤の影響も受けることに対し、それらの腐食要因も考慮して適用可能性を評価する。

■関連する道路橋示方書の規定

〔Ⅱ 鋼橋編 5.2〕 鋼橋の部材の防錆防食の一手法として耐候性鋼材を挙げ、例えば JIS-G-3114 に規定する溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材については、原則として所定の方法で計測した飛来塩分量が 0.05mdd (NaCl : mg/100cm²/day) を超えない地域では一般に無塗装で用いることができるとしている。

■技術評価において留意すべき点の例

例えば、耐候性鋼材の保護性さびの形成は飛来塩分量のみならず、付着塩分量、乾湿、構造形式、凍結防止剤などの影響を受けるので、これらの条件の組合せによっては異常さびが発生することが懸念される。そのため、設計時点で構造、地形条件などを考慮し、必要な対策を検討するとともに、点検方法や不具合が生じた場合の対応方法等について明らかにする必要がある。

■性能評価の着目項目の設定例

例えば、上記のような観点に対して、

- ① 飛来塩分量や海岸線からの離隔のみならず、構造形式や架橋位置における地形等を考慮し、その適用性について総合的に評価する。
- ② 供用中の異常さびの発生に備え、塗装への変更等の対策方法を検討する。
- ③ 定期点検やさび厚測定等の具体の当該橋用の維持管理計画を策定する。

【解説】

耐候性鋼材の無塗装での使用は、鋼材表面に発生する腐食進行速度が比較的小さい保護性さびによって腐食減肉が抑制されることにより、供用期間中の性能を確保する方法である。そのため、同方法の採用にあたっては、鋼材の使用環境において想定される全ての腐食原因を考慮して、期待する保護性さびが発生することを確認するとともに、その状況を把握するための点検計画の整備と、予期せぬ異常さびの発生に対する対応策を検討しておくことにより、基準における規定の前提とされるメカニズムによった場合と同等の性能を確保できることを保証する必要がある。

なお、ここに示す事例の内容は、検証方針の立案から検証実施までの流れなど検証計画の構築の参考となるべく断片的な例示を示したものに過ぎないので、事例の記述をそのまま準用すれば同種の事象の検証ができるという訳ではないことに注意が必要である。