

共通編

北海道におけるコンクリート構造物の性能保全技術指針

[共通編：目次]

1 章 総 則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 維持管理の原則	3
1.3 用語の定義	4
1.4 要求性能	6
1.4.1 一 般	6
2 章 維持管理計画	9
2.1 一 般	9
2.2 維持管理区分	11
3 章 点 検	13
3.1 一 般	13
3.2 点検の区分と目的	14
3.3 点検における調査	15
3.3.1 一 般	15
3.3.2 定期点検における調査	18
4 章 変状原因の推定および変状の予測	20
4.1 一 般	20
4.2 変状原因の推定	21
4.3 変状の予測	25
5 章 評価および判定	28
5.1 一 般	28
5.2 性能評価の方法	29
6 章 対 策	33
6.1 一 般	33
6.2 対策の選定	34
6.3 補修・補強の性能照査	35
6.4 補修・補強の施工	36
6.5 対策後の維持管理	37
7 章 記 録	38

1章 総 則

1.1 適用の範囲

- (1) 本指針は、北海道における道路コンクリート構造物の維持管理に適用するものとする。
- (2) 共通編は、北海道における道路コンクリート構造物の維持管理の原則を示す。
- (3) 構造物編は、道路橋を構成するコンクリート構造物の維持管理の標準的な方法を示す。
- (4) 劣化機構編は、劣化機構ごとにコンクリート構造物の維持管理の標準的な方法を示す。
- (5) 材料・施工編は、北海道における補修・補強に用いる材料に対する要求事項および施工における留意事項を示す。
- (6) 耐震補強編は、道路橋を構成するコンクリート構造物等の耐震診断および耐震補強の留意事項を示す。

【解 説】

(1) について

本指針は、北海道における道路コンクリート構造物の維持管理に適用するものである。

北海道のコンクリート構造物は、積雪寒冷地という我が国でも特有の厳しい環境下に置かれており、凍結融解作用による凍害や塩害などの影響を大きく受けるため、それらの環境作用を考慮した維持管理を行う必要がある。本指針では、積雪寒冷地に特有の環境作用による変状を考慮して、コンクリート構造物の合理的な維持管理を実施することを目的として作成したものである。なお、積雪寒冷地に特有の環境作用、すなわち凍結融解作用が関与する劣化機構や診断技術は必ずしも明確に解明されていないのが現状であるが、本指針では現時点での調査結果や最新の研究成果等を取り入れて作成したものであり、不十分な点多々ある。したがって、本指針の適用にあたっては、指針の主旨を十分に理解して適用する必要がある。

道路コンクリート構造物の維持管理については、事業体毎に維持管理のための技術規定があるが、本指針は、それらに基づいて維持管理を行う場合の参考資料とすることを想定している。

具体的には、構造物編は、事業体の技術規定による定期点検後の診断や詳細調査、補修・補強などの対策工の設計に適用するのがよい。劣化機構編は、劣化予測を劣化機構に基づいて行う場合に適用するのがよい。材料・施工編は、補修・補強などの対策工の設計・施工に適用するのがよい。

なお、道路コンクリート構造物の維持管理については、事業体毎に維持管理のための技術資料が規定されており、本指針が各道路管理者の維持管理に係る判断等を拘束するものではないことに留意されたい。

(2)～(6) について

本指針は、共通編、構造物編、劣化機構編、材料・施工編、耐震補強編の5編で構成されている。

共通編は、北海道における道路コンクリート構造物の維持管理の原則を示したものであり、構造物の形式によらないコンクリート構造物の共通の原則を記載した。

構造物編は、実務的に構造物に対して維持管理が実施されるため、道路コンクリート橋梁に特化して、構造形式毎に、重点点検箇所、詳細調査の方法、構造性能の評価方法と対策工の選定方法について記載した。

劣化機構編は、劣化機構ごとに道路コンクリート構造物の劣化状態の推定や劣化予測方法の標準的な方法を示したものである。劣化機構編では、積雪寒冷地特有のコンクリート構造物の劣化は、凍結融解作用が他の環境因子と複合して生じるため、凍結融解作用を中心とした複合劣化に着目した維持管理方法について記載した。なお、本指針に記載されていない事項は、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾などによるのがよい。

材料・施工編は、積雪寒冷地における対策工法の耐用期間や品質確保を確かなものとするために、対策工法に用いる材料等に対する要求事項を示し、施工方法の留意点を記載した。

耐震補強編は、コンクリート構造の橋梁を対象として、耐震診断と耐震補強の留意点を記載した。なお、平成 24 年道路橋示方書などの最新の規定や知見に配慮した。

1.2 維持管理の原則

- (1) 維持管理者は、構造物の予定供用期間において、構造物の性能を要求された水準以上に保持しなければならない。
- (2) 施設管理者は、維持管理計画を策定し、適切な維持管理体制を構築し、構造物の維持管理を行わなければならない。
- (3) 施設管理者は、策定した維持管理計画と維持管理体制に基づき、各作業に必要な土木技術者を、責任と権限を明確にして配置しなければならない。

【解 説】

(1), (2)について

維持管理は、構造物の供用期間において、構造物の性能を要求された水準以上に保持するための全ての技術行為と定義される。維持管理をするためには、構造物の維持管理者は、あらかじめ維持管理計画を策定したうえで、点検、劣化予測、評価および判定などからなる診断、対策、記録に至る一連の維持管理行為を適切に遂行するための体制を整えて、構造物の維持管理を実施しなければならない。

構造物の維持管理は、長期にわたって継続的に実施しなければならないものであるため、その過程で、社会情勢や環境が、想定した状況と大きく変化することもある。その場合には、当初の維持管理計画などの見直しなどが必要となるため、維持管理者は、適切かつ柔軟に対応できる維持管理体制の構築が重要である。

(3) について

構造物の維持管理には、実施体制および責任体制を整えた上で、責任と権限が明確にされた所要の能力を有する技術者が従事することが基本となる。

維持管理体制の構築・維持管理計画の策定、および点検結果の判定・措置の決定などは、高度な技術力を有する技術者が行う必要がある。一方、点検、調査、および記録等は、責任技術者のもとで、点検担当者や専門技術者が行ってよく、個々の役割を果たしていくことが重要である。

なお、新設構造物の設計に対する技術は、定められた技術基準の安全率などの余裕を含んでおり、仮想的な構造物の挙動に対する知識や技術で対応することが可能である。それに対して、維持管理に対する専門技術は、新設構造物の設計に対する技術の他に、構造物の実際の振る舞いを詳細に認識し、その後の挙動を実態に即して予測できる技術が必要であり、新設構造物の設計に対する技術よりも、高度な知識が必要とされることを認識しておく必要がある。

1.3 用語の定義

本指針では、次のように用語を定義する。

維持管理：構造物の供用期間において、構造物の性能を要求された水準以上に保持するための全ての技術行為。

要求性能：目的および機能に応じて構造物に求められる性能。

予防維持管理：構造物の性能低下を引き起こさせないために、変状を顕在化させないことなどを目的として実施する維持管理。

事後維持管理：構造物の性能低下の程度に対応して実施する維持管理。

観察維持管理：目視観察による点検を主体とし、構造物に対して補修・補強といった直接的な対策を実施しない維持管理。基礎の地中部材等、直接的な点検を実施することが容易でない場合に、地盤や周辺の構造物の変状などに基づく間接的な観察による維持管理も含む。

予定供用期間：構造物を供用する予定の期間。維持管理計画の見直しにともない変更される場合もある。

設計耐用期間：設計時において、構造物または部材が、その目的とする機能を十分果たさなければならぬと規定した期間。

残存予定供用期間：点検時や検討時等から予定供用期間終了時までの期間。

残存設計耐用期間：点検時や検討時等から設計耐用期間終了時までの期間。

構造物(部材)の機能：目的または要求に応じて構造物(部材)が果たす役割。

構造物(部材)の性能：目的または要求に応じて構造物(部材)が発揮する能力。

耐久性：想定される作用のもとで、構造物中の材料の劣化により生じる性能の経時的な低下に対して構造物が有する抵抗性。

安全性：構造物が使用者や周辺の人々の生命や財産を脅かさないための性能。

使用性：構造物の使用者が快適に構造物を使用する、もしくは周辺の人々が構造物によって不快となることのないようにするための性能、および構造物に要求されるそれ以外の諸機能を適切に確保するための性能。

復旧性：構造物の機能を、予め想定した期間の範囲で修復等によって回復することを可能とする性能。構造物の損傷に対する修復の難易度（修復性）と、被災時の点検のしやすさ、復旧資材の確保、復旧体制の有無などがある。

第三者影響度：機能上の安全性のひとつで、構造物から剥落したコンクリート片などが器物および人に与える傷害などへの影響度合い。

点検：診断において構造物や部材に異常がないか調べる行為の総称。

初期点検：維持管理の開始にあたって最初に行われ、維持管理行為における構造物の初期状態の把握を主な目的とする点検。

日常点検：1回/数日～1回/週程度の頻度で実施する定期的な点検で、目視観察などの簡易な調査を主体としたもの。

定期点検：1回/数年程度の頻度で実施する定期的な点検で、日常点検では確認できない構造物や部材の状態を把握することを目的としたもの。

臨時点検：大規模な地震や台風などによる偶発荷重や、車両や船舶の衝突や火災等の人為的な偶発荷重が作用した後に、その偶発荷重が構造物に与えた損傷の状態を把握するた

めに行う臨時の点検.

緊急点検：構造物で影響の大きい事故や損傷が生じた場合に，同種の構造物や同様の条件下の構造物において，同様のことが起こっていないかを確認するために緊急に実施する臨時の点検.

詳細調査：より詳細な情報を得るために実施する調査の総称.

モニタリング：構造物や部材にセンサなどを設置し，構造物や部材の状態を把握すること.

補修：第三者への影響の除去あるいは，美観・景観や耐久性の回復もしくは向上を目的とした対策. ただし，建設時に構造物が保有していた程度まで，安全性あるいは，使用性のうちの力学的な性能を回復させるための対策も含む.

補強：建設時に構造物が保有していたよりも高い性能まで，安全性あるいは，使用性のうちの力学的な性能を向上させるための対策.

耐震補強：補強の一つで，設計基準等の改訂により構造物が保有する耐震性能が既存不適格となった場合に，最新の基準における耐震性能を満足させるために実施する補強.

変状：何らかの原因で，コンクリートやコンクリート構造物に発生している，本来あるべき姿でない状態. 初期欠陥，損傷，劣化等の総称.

初期欠陥：施工時に発生するひび割れや豆板，コールドジョイント，砂すじなどの変状.

損傷：地震や衝突等によるひび割れや剥離のように，短時間のうちに発生し，その後は時間の経過によっても進行しない変状.

劣化：時間の経過に伴って進行する変状.

【解説】

詳細は，土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾を参照のこと.

1.4 要求性能

1.4.1 一般

- (1) 構造物の維持管理は、予定供用期間において対象構造物の要求性能を明確にして実施しなければならない。
- (2) 維持管理の対象となる要求性能は、安全性、使用性、復旧性、耐久性および環境性などとする。
- (3) 安全性として、断面破壊に関する安全性、疲労破壊に関する安全性、構造物の安定に関する安全性、および第三者影響度などを対象とする。なお、第三者影響度として、かぶりコンクリートの剥落、供用に伴う騒音等の構造物に起因した構造物の利用者の被害や第三者への公衆災害等に対する抵抗性を対象とする。
- (4) 使用性として、有害なひび割れなどの外観や、変位変形を対象とする。
- (5) 復旧性として、地震の影響等の偶発作用によって低下した構造物の性能を回復させ、継続的な使用を可能とする性能を対象とする。
- (6) 耐久性として、安全性、使用性、復旧性、第三者影響度の経時的な変化に対する抵抗性を対象とする。
- (7) 環境性として、自然環境に対する適合性、作業環境、景観等の社会環境に対する適合性を対象とする。

【解 説】

土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾では、要求性能について以下のように記載されている。

「構造物の予定供用期間を通じて、設計段階で設定した構造物の要求性能が許容される水準以上に保持されていることを確認するとともに、保持されていないと評価された場合には、必要に応じて対策を講じることとなる。したがって、構造物の要求性能を明確にする必要がある。

なお、構造物の要求性能を不明確にすると、対策の目的も不明確になり、本来の期待される対策の効果が発揮されないばかりか、対策が対症療法的なものとなり合理的な維持管理の実施は困難となる。

既設構造物の中には、設計図書等の記録が利用できず、要求性能が明確でないものも多いが、これらの構造物の維持管理に際しては、現在の考え方に準拠して要求性能を改めて確認し、明確にしておくことが必要である。」

本指針では、この考え方に従い、道路橋示方書²⁾の設計段階で要求されている性能を維持管理時において設定することとした。

道路橋示方書²⁾では、性能の照査の方法について、以下のように記載されている。

2.1 設計一般

- (1) 使用目的との適合性及び構造物の安全性の照査は、2.2に規定する荷重の組合せを用いて、2.3の規定により行わなければならない。地震の影響の照査は、本編及び耐震設計編により行わなければならない。
- (2) 耐久性の検討は、5章の規定により行わなければならない。

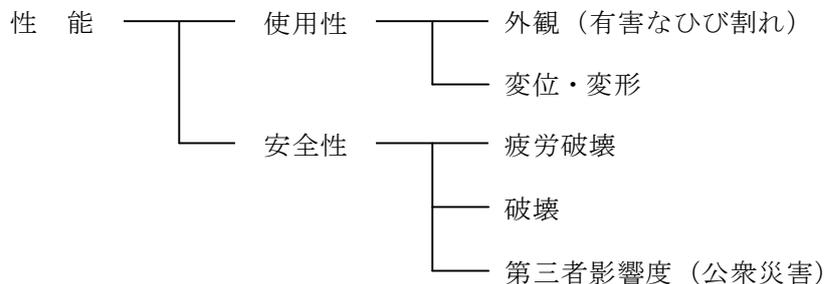
(1)は構造設計による要求性能の確保について規定したものであり、(2)は耐久性を確保するために規定したものである。共通編1.3に規定する基本理念のうち施工の確実性、安全性、維持管理の確実性及び容易さ、環境との調和及び経済性については、構造設計、耐久性の検討を行う際に常に念頭におき、いくつかの構造設計を行って比較する等により最適なものとなるよう検討する必要がある。

- (1) 通行者が安全かつ快適に使用できる供用性を確保するためには、供用性を害するような過大な変形を生じないこと及び通行者に不快感を与えるような振動を生じないことが要求される。また構造物の安全性を確保するためには、断面の破壊によって耐荷能力が失われることを避ける必要がある。

構造設計とはこうした要求を満足するために、設計計算を行うことにより最適な構造諸元を決定する作業であり、コンクリート橋の構造設計においては、次のような2種類の照査を行うこととしている。

- 1) 供用性を低下させないこと及びこのための構造物の安全性を確保することに関しては、設計で想定する期間に車両や群集等による最も不利な荷重によって橋の各部材に生じる応力が部材の安全を確保できるレベルに留まること、ひび割れが有害なものとならないことを照査する。
 - 2) 破壊に対する構造物の安全性を確保するために、設計荷重よりも大きな終局荷重によって橋の各部材に生じる断面力よりも、部材の破壊に対する耐力の方が大きいことを照査する。
 - 3) 地震の影響の検討、すなわち、地震の影響に対する応答値の算出や部材の照査は、耐震設計編の規定による。ただし、レベル1地震動に対する耐震性能1の照査は、本編の規定による。
- (2) コンクリート橋における耐久性確保について記述したものであり、5章に基づき検討を行う必要がある。

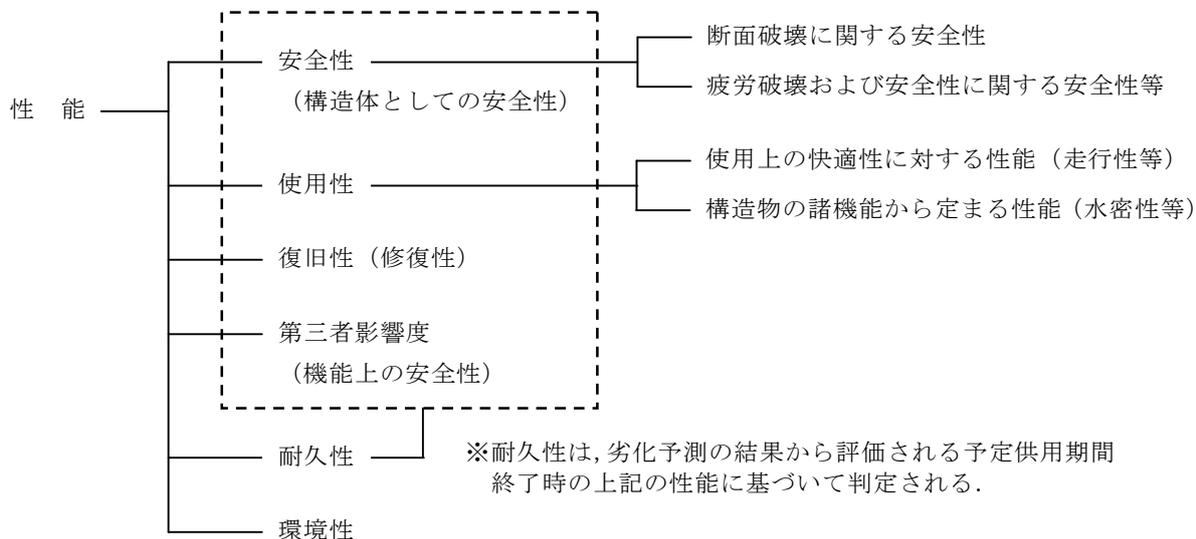
以上のことから、本指針では、道路橋示方書で記載されている性能に基づいて、維持管理時の構造性能の性能項目として取り扱うこととした（図一解 1.4.1 参照）。



図一解 1.4.1 本指針における維持管理の対象とする構造性能

なお、道路橋示方書では、耐久性の検討が規定されているが、本指針では、耐久性は環境作用に対するコンクリートや鋼材の材料劣化の抵抗性と考え、構造性能の性能項目としては規定せず、材料劣化の影響を考慮して構造性能を検討することで考慮することとした。ただし、材料劣化を許容した場合、コンクリートの剥落などが生じる可能性があり、これにより第三者に影響を及ぼすことが考えられるため第三者影響度（公衆災害）も構造性能に含めて定義することとした。

参考として土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾で扱っている要求性能を図一解 1.4.2 に示す。これによると、近年の環境性に対する配慮から、要求性能として環境性が規定されていることから、本指針でも環境性も要求性能として記載した。維持管理時の環境性に対しては、対策工の施工方法などで配慮することなどが考えられる。



図一解 1.4.2 維持管理の対象となる性能の分類

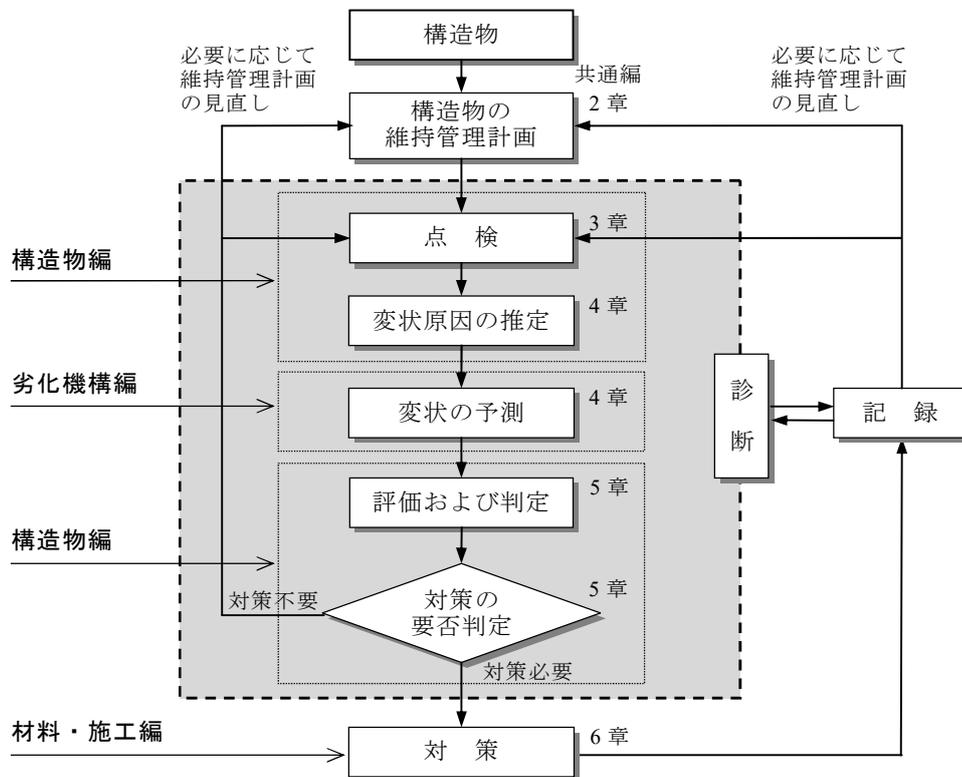
【参考文献】

- 1) 土木学会：2013 年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】，2013.10.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲ コンクリート橋編，2012.3.

2章 維持管理計画

2.1 一般

- (1) 維持管理計画では、維持管理の区分や診断（点検，劣化予測，構造物の性能評価，ならびに対策要否の判定など）方法を設定し，予想される劣化状況に見合った対策やその選定方法などを示すことを基本とする。
- (2) 維持管理計画では，構造物群の維持管理計画を策定し，それに基づいて個々の構造物の維持管理計画を策定することを原則とする。
- (3) 個々の構造物の維持管理に用いる診断方法および対策や選定方法は，本指針 [共通編]，[構造物編]，[劣化機構編] および [材料・施工編] を用いてよい。個々の構造物の維持管理は，図－2.1.1 の手順で行うことを原則とする。



図－2.1.1 構造物の維持管理の手順

- (4) 維持管理計画では，維持管理区分に応じて，対策の要否判定のための基準となる維持管理限界を定めるのがよい。

【解説】

(1) について

構造物の維持管理は，予定供用期間中における構造物の性能を許容範囲内に保持するための行為の総称であり，図－2.1.1 に示すように，点検，劣化機構の推定，劣化予測，構造物の性能評価およ

び対策の要否判定からなる診断，診断結果に基づき必要に応じて実施される対策ならびにそれらの記録からなる．構造物の維持管理者は，これらの行為を適切に実行するために維持管理計画を策定し，「1.2 維持管理の原則」に従って構造物の維持管理を行わなければならない．

(2) について

構造物の維持管理においては，その構造物を含む複数の社会基盤施設（構造物群）の全体を資産として捉え，これら構造物群の資産管理システムを構築することにより，予算を最適化させてより効率よく構造物の維持管理計画を立てる方法も検討¹⁾され，実施されている．この場合には，構造物群としての維持管理計画がまず策定された後に，個々の構造物の維持管理計画が設定され，実行に移されることになる．したがって，構造物群の維持管理計画の策定にあたっては，既往の成果などを参考に策定するのがよい．

(3) について

構造物の維持管理計画には，維持管理区分，診断方法および対策やその選定方法を示すことを基本としている．本指針では，そのうち，診断方法および対策方法の具体的手法を記載しているので，維持管理計画に本指針の各編の規定を適用することを推奨した．

(4) について

構造物の維持管理計画は，管理する限界のレベルに大きく左右される．具体的には，維持管理の限界値を性能の限界値に対する余裕度によって，点検などのサイクルが左右され，維持管理に対する費用も大きく左右されることになる．そこで，予定供用期間中に構造物が有する性能を，要求性能の水準以上に保持するために設定される維持管理実務上の管理目標として，維持管理限界を設定することとした．維持管理限界は，構造物の要求性能の限界値以上の性能レベルに設定することとする．

2.2 維持管理区分

- (1) 維持管理区分は、構造物または部材の重要度，要求性能，予定供用期間，環境条件などを考慮して，構造物の管理者が明確に設定しなければならない。
- (2) 構造物の重要度には，以下の事項などを考慮するのがよい。
 - ・路線重要度
 - ・ユーザーコスト
 - ・第三者影響度
- (3) 維持管理区分は，以下の区分とするのがよい。
 - ・予防維持管理
 - ・事後維持管理
 - ・観察維持管理

【解 説】

(1) について

橋梁などの構造物は，路線の特徴によって機能保持に対する性能のレベルは異なるのが一般であり，性能のレベルが異なる構造物の維持管理を画一的に実施することは必ずしも合理的ではない。したがって，構造物の維持管理を合理的に行うために，構造物または部材の重要度，要求性能，予定供用期間，環境条件などを考慮して維持管理区分を設定することとした。

(2) について

構造物の維持管理区分には，構造物の重要度を考慮することとした。構造物の重要度には，種々の判断指標があるが，そのうち主要な判断指標を規定した。

路線重要度とは，架橋位置における道路規格，緊急輸送路指定，交通量などを指標としたものである。ユーザーコストとは，橋梁が損傷を受けた場合の利用者の損失の影響を指標としたものであり，交通ネットワークの影響を考慮するものである¹⁾。

第三者影響度は，河川，道路，鉄道，住民などの交差物に対する落下物，落橋などの影響を指標としたものである。

(3) について

維持管理区分は，予防維持管理，事後維持管理，観察維持管理の3つに区分することとした。各維持管理の特徴を表一解 2.2.1 に示す。なお，観察維持管理は，仮設構造物のように設計耐用期間が短い構造物や基礎構造などに起因した変状など，直接点検を行うことが困難な場合の維持管理区分であるため，一般には，予防維持管理および事後維持管理とするのがよい。

表－解 2.2.1 維持管理区分の特徴

維持管理区分	予防維持管理	事後維持管理	観察維持管理	
方針概要	構造物の性能低下を許容せず、劣化や変状が生じていない状態維持を基本とし、劣化や変状が軽度な段階あるいは将来予測に基づいて対策を実施する維持管理	構造物の性能低下の程度に対応して実施する維持管理対象構造物の重要度や第三者影響度、構造的な性能等を考慮し、対策実施の可否を判断	補修・補強などの直接的な対策を実施しない維持管理主に、外観で確認できる変状(性能低下)に対して対策を講じる維持管理	
要求性能	建設時と同等の性能を維持(美観等にも配慮)	建設時と現況の中間の性能を維持(設計上必要な耐荷力は維持)	現況の性能を維持(安全性に配慮、美観は重要視しない)	
適用事例等	残存供用期間	・今後の使用期間は長期	・今後の使用期間は中期	
	第三者影響度	・影響度が高い	・影響度が中位	
	構造物重要度	・重要度が高い (長大橋, 特殊形式等) ・大規模な改修は容易でない (施工条件)	・重要度が中位 (一般的な形式) ・大規模な改修は可能 (施工条件)	・重要度が中位以下 (一般的な形式) ・大規模な改修は可能 (施工条件)
	架橋環境等	・路線重要度が高い ・交通量が多い ・緊急時の迂回路なし	・路線重要度が中位 ・交通量は中位 ・緊急時の迂回路あり	・路線重要度が中位以下 ・交通量は少ない ・緊急時の迂回路あり
	経済性	・経済性に配慮するが、性能維持を優先	・経済性(費用対効果)に配慮	・経済性に特に配慮

【参考文献】

- 1) 杉本博之, 阿部淳一, 赤泊和幸, 渡邊忠朋: 公共投資の経年的シナリオに対する橋梁の健全度推移に関する研究, 土木学会論文集, No.780/I-70, 2005.

3章 点検

3.1 一般

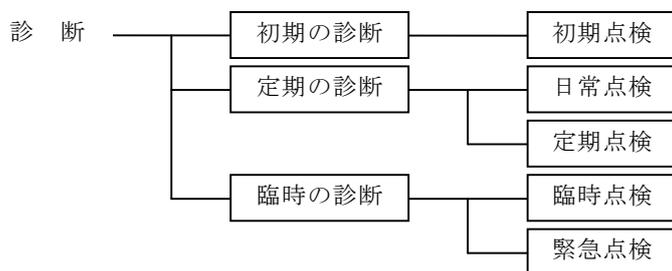
構造物の点検は、構造物の変状やその可能性を早期に発見し、構造物の性能を的確に把握するために行うものとし、診断の目的に応じた調査や方法で実施しなければならない。

【解説】

点検は、構造物の変状やその可能性を早期に発見し、構造物の性能を的確に把握するために実施する行為であり、維持管理においては、極めて重要な行為である。

本指針では、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾に準拠して、診断は、点検、劣化予測、構造物の性能評価、ならびに対策要否の判定などを含めた行為としている。本指針では、図一解 3.1.1 に示すように、診断の種類を区分しているため、それぞれの診断の目的を達成できるように実施する必要がある。

なお、本指針では、主として構造物本体の診断を目的としているため、構造物の付帯設備などの変状に対する点検は、取り扱っていない。したがって、必要により構造物のみならず、付帯設備についても適切な点検を実施する必要があることに留意しなければならない。



図一解 3.1.1 診断と点検の関係

3.2 点検の区分と目的

- (1) 点検は、初期点検、日常点検、定期点検、臨時点検、緊急点検とする。
- (2) 点検は、維持管理計画に定められた頻度、項目および方法等に準拠した標準調査を行うものとする。ただし、診断のために、より詳細な情報が必要と判断された場合には、詳細調査を行うものとする。

【解 説】

診断の目的に応じた点検がなされるように、点検を、初期点検、日常点検、定期点検、臨時点検、緊急点検に区分することとした。

点検は、維持管理計画に定められていることを実行することが基本である。本指針で想定している点検の目的と点検の対象領域や標準調査の内容を表一解 3.2.1 に示す。

表一解 3.2.1 点検区分、目的と標準調査の例

点検区分	目 的	対象領域	標準調査
初期点検	維持管理開始時点での構造物の諸性能に関する初期状態を把握	構造物全体	目視やたたき、簡易な計測等の調査と、設計、施工に関する書類調査
日常点検	劣化、損傷の有無や程度の把握	巡回で点検が可能な範囲	遠望目視、および構造物の種類によっては車上感覚による調査を主体とし、状況に応じてたたき等による調査
定期点検	日常点検では把握できないような構造物全体の劣化、損傷の有無や程度のより詳細な把握	構造物全体	遠望目視やたたき等による調査を基本とし、必要に応じて近接目視、非破壊試験機器を用いる方法や採取したコアによる試験等を組み合わせる
臨時点検	災害などによる構造物の状況把握	災害や事故により損傷を受けた、あるいはその可能性のある構造物や部位・部材等	目的に応じて調査内容を設定 一般には、日常点検と同様の調査
緊急点検	構造物の変状による事故が生じた場合、あるいは事故には至らないまでも構造物に著しい変状が確認された場合に、類似の構造物を対象	同種の変状が生じる可能性を有する部位・部材等を対象	目的に応じて調査内容を設定 一般には、日常点検と同様の調査

3.3 点検における調査

3.3.1 一般

- (1) 点検では、構造物や部位・部材の状態に対する具体的な情報を得るために、適切な調査項目や方法を選定して行わなければならない。
- (2) 調査項目は、点検の種類および目的、対象とする構造物の状況、必要とされる情報、構造物の劣化の原因等を考慮し、選定しなければならない。
- (3) 調査方法は、選定した調査項目に関する情報が得られるように選定しなければならない。一般に、調査は、診断の目的に応じて以下の方法から選定してよい。
 - 1) 書類調査
 - 2) 目視による方法およびたたき調査
 - 3) 非破壊試験機器を用いる調査
 - 4) 局所的な破壊を伴う調査
 - 5) 実構造物の載荷試験および振動試験による調査
 - 6) 荷重および環境作用を評価するための調査
 - 7) 補修材料および補強材料に関する試験
 - 8) モニタリングによる調査

【解 説】

(2) について

一般的な調査項目としては、構造物の概要、構造物の供用状態、外観の変状・変形、コンクリートや鋼材の状態、構造細目、付帯設備等の状態、環境作用および既往の対策の状態等の項目が挙げられる。また、これらの項目に関して得られる情報および主な調査の方法の関係の例を、表一解 3.3.1 に示す。調査項目は、診断の目的を達成するために、必要な情報が入手できるように選定することが原則である。

(3) について

表一解 3.3.2 に調査方法と得られる情報の例を示す。

各点検において実施する調査は、これらの表および、本指針 [劣化機構編] および土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編：劣化現象・機構別】¹⁾を参考にして、適切な方法を選択することが重要である。

表一解 3.3.1 調査項目と得られる情報、および主な調査方法の例¹⁾

一般的な調査の項目	得られる情報の例	主な調査の方法の例
構造物の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・適用した示方書，設計基準 ・設計図書 ・施工記録 ・検査記録 ・維持管理記録 	<ul style="list-style-type: none"> ・書類に基づく方法 ・ヒアリング（聞き取り調査）に基づく方法
構造物の供用状態	<ul style="list-style-type: none"> ・供用の状態（荷重，外力等） ・周辺環境の概要 ・支持の状態 ・異常音，異常な振動 ・使用性（乗り心地等） ・活荷重によるたわみ 	<ul style="list-style-type: none"> ・目視等による方法（近接，遠隔） ・車上感覚試験による方法 ・載荷試験，振動試験による方法 ・モニタリングによる方法
外観の変状・変形	<ul style="list-style-type: none"> ・初期欠陥の有無（ひび割れ，豆板，コールドジョイント，砂すじ，表面気泡等） ・コンクリートの変色，汚れの有無 ・ひび割れの有無，ひび割れの状態 ・スケーリングの有無 ・ポップアウトの有無 ・浮き，剥離，剥落の有無 ・鋼材の露出，腐食，破断の有無 ・変形の有無 ・さび汁の有無 ・漏水の有無 ・エフロレッセンス，白華の有無 ・ゲルの有無 ・すり減りの有無 	<ul style="list-style-type: none"> ・目視等による方法（近接，遠隔） ・たたきによる方法 ・モニタリングを利用する方法 ・電磁波を利用する方法（赤外線法）
コンクリートの状態	<ul style="list-style-type: none"> ・使用材料，配合に関する情報 ・浮き，内部欠陥の有無 ・コンクリートの含水状態 ・物理的特性（強度，空隙構造等） ・化学的特性（水和物，反応生成物等） ・劣化因子の侵入程度（中性化深さ，塩化物イオン浸透深さ等） 	<ul style="list-style-type: none"> ・反発度に基づく方法 ・弾性波を利用する方法 ・電磁波を利用する方法 ・局所的な破壊による方法（コア採取，はつり，ドリル削孔粉の採取等）
鋼材の状態	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋量 ・鉄筋の位置，径，かぶり ・配筋の状態 ・鋼材腐食の状態 ・断面欠損の有無 ・PC グラウト充填状況 	<ul style="list-style-type: none"> ・はつりによる方法 ・電磁誘導を利用する方法 ・電磁波を利用する方法 ・直接測定する方法 ・設計図書による方法 ・弾性波を利用する方法
構造細目，付帯設備等の状態	<ul style="list-style-type: none"> ・部材の断面寸法 ・かぶり ・定着，継手の状態 ・柱はり接合部の状態 ・付帯設備の状態 	<ul style="list-style-type: none"> ・電磁波を利用する方法 ・直接測定する方法
環境作用および荷重	<ul style="list-style-type: none"> ・気象条件（気温，最低気温，湿度，降水量，日射量等） ・水分の供給（雨掛りの状況，地盤からの水の供給条件，防水層や排水設備の状況） ・塩分の供給（飛来塩分量，海水の影響，凍結防止剤の散布量等） ・風（向き，速さ） ・二酸化炭素濃度 ・酸性度の高い河川水等の pH ・下水道関連施設における水質 ・酸性雨，酸性霧の発生状況 ・アルカリの供給状況 ・荷重条件（車両等の状況，振動，水圧等） ・災害に関する外力（地震，火災等） 	<ul style="list-style-type: none"> ・既往の記録に基づく方法 ・気象情報（AMeDAS 等）に基づく方法 ・直接測定する方法（センサの利用等） ・モニタリングによる方法
既往の対策の状態	<ul style="list-style-type: none"> ・補修・補強の状態 ・機能性向上の状態 ・供用制限の状態 	<ul style="list-style-type: none"> ・目視による方法（近接，遠隔） ・補修・補強材料に関する試験による方法 ・モニタリングによる方法

表一解 3.3.2 調査方法と得られる情報の例¹⁾

調査の方法		得られる情報の例	
書類等による方法 (書類調査)	図書収集 ヒアリング(聞き取り調査)	① 使用した示方書, 設計基準 ② 設計図書 ③ 施工記録 ④ 検査記録 ⑤ 維持管理記録(点検記録, 補修・補強履歴等)	
目視およびたたき等による方法	肉眼による方法 双眼鏡による方法 カメラによる方法 たたきによる方法	① 初期欠陥(ひび割れ, 豆板, コールドジョイント, 砂すじ, 表面気泡等) ② コンクリートの変色・汚れ(さび汁の溶出, カビの発生, ゲルの析出, エフロレッセンス, 白華, コンクリート自身の変色, 漏水等) ③ ひび割れ(発生方向, パターン, 本数, 幅, 長さ, さび汁の溶出等) ④ スケーリング, ポップアウト ⑤ コンクリートの浮き(有無, 箇所数, 面積等) ⑥ コンクリートの剥離・剥落の有無 ⑦ 鋼材の露出・腐食・破断の有無 ⑧ 変形の有無 ⑨ 水まわり	
非破壊試験 機器を用いる方法	反発度に基づく方法	反発度法	① コンクリートの強度
	電磁誘導を利用する方法	鋼材の導電性および磁性を利用する方法 コンクリートの誘電性を利用する方法	① コンクリート中の鋼材の位置, 径, かぶり ② コンクリートの含水状態
	弾性波を利用する方法	打音法 超音波法 衝撃弾性波法 アコースティック・エミッション(AE)法	① コンクリートの圧縮強度, 弾性係数等の品質 ② コンクリートのひび割れ深さ ③ コンクリート中の浮き, 剥離, 内部欠陥 ④ コンクリート厚さ等の部材寸法 ⑤ PCグラウトの充填状況
	電磁波を利用する方法	X線法 赤外線法(サーモグラフィ法) 電磁波レーダ法	① コンクリート中の鋼材の位置, 径, かぶり ② コンクリート中の浮き, 剥離, 空隙 ③ コンクリートのひび割れの分布状況 ④ PCグラウトの充填状況
	電気化学的方法	自然電位法 分極抵抗法 四電極法	① コンクリート中の鉄筋の腐食傾向 ② コンクリート中の鉄筋の腐食速度 ③ コンクリートの電気抵抗
	ファイバースコープを用いる方法		① コンクリート内部の状況 ② PCグラウトの充填状況
局所的な破壊を伴う方法	コア採取による方法 はつりによる方法 ドリル削孔による方法 鋼材を採取する方法	① ひび割れ深さ ② コンクリートの圧縮強度, 引張強度, 弾性係数(載荷試験) ③ コンクリートの中性化深さ ④ コンクリートの分析(化学分析, 蛍光X線分析, X線回折, 熱分析, 光学顕微鏡, 偏光顕微鏡, 走査電子顕微鏡, EPMA) ⑤ 塩化物イオンの状況(塩化物イオン量および分布) ⑥ 配合分析 ⑦ コンクリートの解放膨張量および残存膨張量 ⑧ コンクリートの透気性, 透水性 ⑨ 細孔径分布 ⑩ コンクリートの気泡分布 ⑪ 鉄筋の腐食状況(はつりによる方法) ⑫ 鉄筋の引張強度(鉄筋の採取による方法) ⑬ PCグラウト充填状況(CCDカメラ)	
車両の走行による方法	線形, 車上感覚試験 載荷試験および振動試験	① 部材の断面剛性(静的, 動的) ② 振動特性	
環境作用, 荷重等を評価するための調査方法	既往の記録に基づく方法 気象情報(AMeDAS等)に基づく方法 直接測定する方法(センサの利用等) モニタリングによる方法	① 気象条件(気温, 最低気温, 湿度, 降水量, 日射量) ② 水分の供給(雨掛りの状況, 地盤からの水の供給条件, 防水層や排水設備の状況) ③ 塩分の供給(飛来塩分量, 海水の影響, 凍結防止剤の散布量) ④ 風(向き, 速さ, 頻度) ⑤ 二酸化炭素濃度 ⑥ 酸性度の高い河川水等のpH ⑦ 下水道関連施設における水質 ⑧ 酸性雨, 酸性霧の発生状況 ⑨ アルカリの供給状況 ⑩ 荷重条件(車両等の状況, 振動, 水圧等) ⑪ 災害に関する外力(地震, 火災等)	

3.3.2 定期点検における調査

- (1) 定期点検で実施する調査は、一般に遠望目視による調査としてよい。ただし、必要により近接目視およびたたきによる調査を行うのがよい。
- (2) 診断の結果、詳細な情報が必要と判断された場合には、詳細調査を行うものとする。詳細調査は、変状原因の推定や、劣化予測の精度の確保を目的として、調査項目や方法を選定するものとする。

【解説】

(1) について

定期点検では遠望目視による調査を原則とした。ただし、遠方からの目視のみではコンクリートのひび割れ、剥離を検出することは困難な場合がある。そのため、必要に応じて構造物に近接するか、もしくは近接するのが困難な場合には双眼鏡を利用するなどの入念な目視や打音法による調査等を実施するのがよい。

各種の構造物において、重点的に調査する項目の例を示す。

- 1) 鉄筋コンクリート (RC) 桁, プレストレストコンクリート (PC) 桁
 - a) ひび割れの状態
 - b) コンクリートの剥離, 剥落, 空洞, 豆板の状態
 - c) 鉄筋の露出状態
 - d) 変色, エフロレッセンスの有無
 - e) コンクリートの劣化
 - f) 排水および漏水の状態
 - g) 支承部の状態
 - h) PC グラウトの充填不良に起因する主ケーブルに沿った変状, 横締め PC 鋼棒の突出
 - i) PC 桁の反り上がりの異常
- 2) 橋台, 橋脚
 - a) 桁座の状態
 - b) 洗掘の状態
 - c) 沈下, 移動, 傾斜の状態
 - d) 張出し部付根のひび割れの状態
 - e) その他, RC 桁に準じた項目

(2) について

詳細調査で行われる調査は、目視および詳細な調査である。

1) 目視

詳細調査における目視は、変状等を直接目で見て行うことを基本とし、必要に応じてハンマーによる打音法を併用し、変状原因の推定、変状の予測、評価・判定に資することを目的として実施する調査である。ここでいう目視とは、経験を積んだ検査員が行うものである。コンクリート構造物では、過去の経験や変状事例に基づき目視のみで原因の推定ならびに健全度の判定が可能な場合も多い。必要に応じて、できるだけ構造物に近接して行う入念な目視も実施するとよい。

目視は、詳細な調査に比べ精度が限定的であることから、供用中に変状の予測結果や評価・結果を修正する必要が生じることも想定しておく必要がある。

ひび割れについては、ひび割れの分布、長さ、幅、進展状況等を調査する場合があるが、適用可能な方法として、以下の方法が挙げられる。

a) クラックスケール、メジャーによる測定

簡易な方法として、クラックスケールによるひび割れ幅の測定、メジャーによるひび割れ長さの測定が挙げられる。また、ひび割れの進展が懸念される場合には、ひび割れ両端部のコンクリート表面に印、調査日等を直接記入する等の方法がある。

b) デジタルカメラによる測定

デジタルカメラで撮影した画像をひび割れ解析ソフトを用いて処理することにより、比較的容易にひび割れ分布図を作成することが可能である。測定可能なひび割れ幅は、撮影画角（対象コンクリート表面の大きさ）、画素数、照度等にもよるが、測定条件によっては0.3mm程度の幅を有するひび割れも測定できる。やや煩雑な作業を伴うが、記録をデジタルデータとして保存できるため、変状の経時変化などを追跡する場合などには有利である。

2) 詳細な調査

目視により変状原因の推定、評価・判定を行うのが困難な場合には、必要に応じて機器を用いた詳細な調査を行うのがよい。詳細な調査の項目および方法は、目視や「4.2 変状原因の推定」の結果、および各種検査資料等に基づき、調査目的に合致するものを適切に選択しなければならない。

一般には、変状部位および近傍におけるコンクリートコアの採取、電磁誘導法等の非破壊検査やはつり法による配筋状態（かぶりや鋼材間隔）の把握、また鋼材の腐食が生じている可能性がある場合には自然電位法などの非破壊検査や、はつり法による鋼材の腐食状況の把握が必要である。採取したコア等の試料は、観察や分析などを行い、中性化深さ、塩化物イオン含有量、化学的侵食因子の浸透深さ、凍害深さ、アルカリシリカ反応の生成物の有無などを確認する。これらにより対応する変状の原因が明確となる。また、鋼材が腐食している場合には、その周囲のコンクリートの中性化、塩化物イオンや化学的侵食因子の量、凍害の状況から腐食発生の原因が明確となる。

これらのいずれにも該当しない変状は、外力や構造条件の変化、あるいは初期欠陥が原因で生じていると推定される。外力や構造条件の変化等による変状は、作用の増大、異常時作用、不同沈下等支持条件の変化によって生じるため、これらの影響を把握し原因を推定するのがよい。初期欠陥による変状は、材料の品質不良、かぶり不足や、コールドジョイント、養生不足等の施工不良等によって生じるため、これらの影響を把握し原因を推定するのがよい。

3) 変状原因の推定および変状の予測に必要な調査方法

変状原因の推定を可能とし、変状の予測における変状原因ごとの予測モデルに必要なデータを詳細に得るための調査方法を選定する。一般にはコンクリートの物性の把握が重要となるので、試料を採取し、必要な項目について分析するとよい。

【参考文献】

- 1) 土木学会：2013年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】，2013.10.

4章 変状原因の推定および変状の予測

4.1 一般

点検において部材あるいは構造物に変状が認められた場合，変状原因を推定し，変状の予測を行うものとする。

【解説】

点検において部材あるいは構造物に変状が認められた場合，変状原因を推定し，変状の予測を行う必要がある。

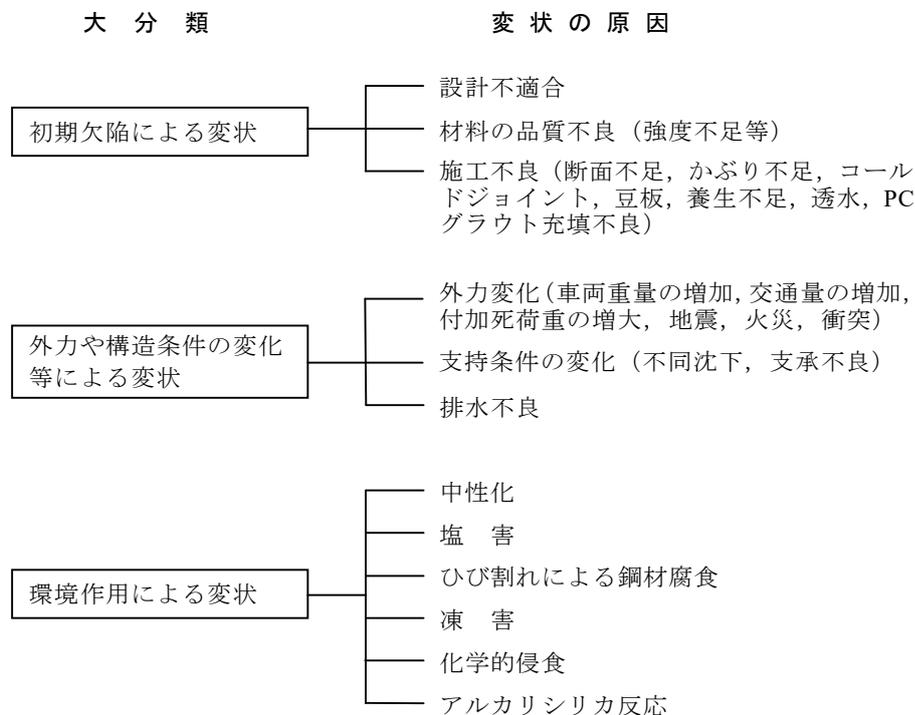
変状原因の推定にあたっては，点検結果を客観的に分析し，周辺の構造物の変状状況や，過去の類似の変状の推定結果などを参考にすることが重要である。また，変状の予測においても，同様に，周辺の構造物の変状状況や，過去の類似の変状の予測結果などを参考にすることが重要である。

4.2 変状原因の推定

変状原因は、点検結果をもとに変状ごとに、変状の特徴と部位・部材に作用する外的要因から推定するものとする。変状原因は、一般に初期欠陥、外力・構造条件の変化、劣化機構に着目するのがよい。

【解 説】

構造物に種々の変状が生じた場合、変状ごとにその原因が異なるのが一般である。そこで、変状原因は、個々の変状ごとに変状領域に作用する外的要因をもとに推定することとした。一般に、変状原因は、初期欠陥、外力・構造条件の変化、材料劣化等の劣化機構に着目してよいこととした。変状原因の分類を図一解 4.2.1 に示す。



図一解 4.2.1 変状原因の分類

コンクリート構造物の変状は、劣化要因に関わらず、まず、コンクリートの損傷として現れるのが一般的である。したがって、コンクリートの損傷状態と変状原因の関係を把握できれば、構造物の使用条件や環境条件の影響と組み合わせることにより、概ね変状原因を推定することが可能となる。

1) 初期欠陥による変状

a) 設計不適合

設計不適合には、構造解析の不適合や計算の誤りなどが考えられる。また、配力鉄筋や用心鉄筋などの不足によって変状が生じる場合もある。

b) 材料の品質不良

コンクリートでは、セメント、骨材または水の品質不良あるいはそれらの配合不良によって生

じる、強度、耐久性、水密性等の不足が考えられる。また、鋼材では品質が粗悪で強度不足となる場合などが考えられる。構造物の耐久性が現在のように広く認識されていない時期においては、例えば海砂に対する除塩が不十分であったり、反応性骨材が使用されていたりするなど、現在の基準では不適格となるような材料が使用されていた例も見られる。よって、材料の品質不良は、直ちに顕著な変状を生じさせるわけではないが、後述する材料劣化による変状を生む大きな要因となっている。

c) 施工不良

施工不良には、鉄筋や型枠の組立不良、コンクリートの打込み不良、養生不足などが考えられる。鉄筋や型枠の組立不良によるものとしては、部材断面寸法が設計図よりも小さい断面不足、鉄筋や PC 鋼材の配置不良による有効高さ不足、かぶり不足、鉄筋の数量不足や鉄筋の誤加工などが挙げられる。

コンクリートの打込み不良は、鉄筋や PC 鋼材の配置が密な場合や、コンクリートの充填が十分でない場合、締め固めが不良の場合などに生じる。具体的には、コンクリート表面の豆板、水量の多い軟らかなコンクリートを施工した場合に生じる砂すじ、型枠からのモルタル流出による骨材露出等が挙げられる。

また、コンクリートの打継目のレイタンス除去不良、コンクリートの打込み高さが高すぎたために生じる材料分離、PC 鋼材のグラウト不良なども施工不良として挙げられる。コンクリート打込み後あるいは脱型後の養生が不十分であると乾燥収縮によるひび割れが発生しやすい。これは施工直後に発生する場合もあれば、数日経過してから発生する場合もある。

施工不良には、外観から識別できないものもあり、材料劣化などと組み合わせられて初めて顕在化する場合がある。これらの詳細は、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾を参照するのがよい。

2) 外力や構造条件の変化等による変状

a) 外力変化

車両重量や交通量の増加、死荷重の増減など、当初設計と異なる作用が生じる場合が挙げられる。また、近接構造物の影響など当初設計に考慮されていない作用、地震の影響、異常時の作用なども原因として挙げられる。

また、火害を受けコンクリートが高熱にさらされると、コンクリートを構成する材料の膨張係数の差や部材の表面と内部の温度差により、内部応力が生じてひび割れが発生しコンクリートが損傷する。また、コンクリートが強い流水や波浪などを受けるとすり減りが生じ断面が減少することとなる。

b) 支持条件の変化

軟弱地盤上の構造物や、地盤沈下のおそれのある箇所（箇所）の構造物は、その支持条件の影響を受けて変状が生じやすい。連続桁等の不静定構造物は、とくに地盤沈下による影響を受けて変状が発生しやすい。河川の洗掘などによる支持条件の変化も同様の現象といえる。なお、地盤沈下、偏圧、河川の洗掘については、これまでの点検時の結果などを基に検討するのがよい。

支承部やその周辺も比較的変状の多い部位である。桁の支持やばたつきなどにより、支承部周辺の桁端や杓座に変状が発生する場合がある。

この他の部位に変状が発生している場合は、詳細調査において対象構造物周辺で同形式の構造物を調査し、変状の発生状況の差異を比較し、基礎構造や地盤の影響、支承の可動性など設計計算上の前提条件の確認をするなどして変状原因を検討する必要がある。

c) 排水不良

排水不良は、ジョイントの機能不全、排水計画の不備、排水勾配の不足、目地の施工不良や経年劣化、排水樋の詰まり、地下水位や水みちの変化などにより生じる。材料劣化と水分の供給は密接な関係にあり、排水不良は、凍害、鋼材の腐食、アルカリシリカ反応、透水によるコンクリートの劣化に影響を及ぼす。

3) 環境作用による変状

構造物の劣化は、一般に、構造物の地域特性や使用条件の影響によって、主たる劣化機構が特定される。一般に、北海道における地域特性と劣化機構の関係や使用環境と劣化機構の関係は、表一解 4.2.1 に示すとおりであるので、参考にするのがよい。

表一解 4.2.1 地域特性、使用環境と劣化機構の関係

		凍 害	中性化	塩 害	アルカリシリカ 反応	化学的 侵食
地域区分	海岸地域	○		○		
	内陸地域	○	○			
	温泉地域	○				○
使用環境	乾湿繰り返し	○		○	○	
	凍結防止剤	○		○		
	二酸化炭素	○	○			
	酸性水	○				○

また、構造物の変状は、先ずコンクリートの損傷として現れる。そのため、劣化機構ごとにコンクリートの損傷状態の特徴を把握しておけば、その損傷状態から変状原因となる劣化機構を推定することが可能となる。表一解 4.2.2 に環境作用に関する劣化機構と外観上の変状過程の特徴の関係を示す。変状原因の推定には、これらを参考とするのがよい。

表一解 4.2.2 劣化機構と外観上の変状過程の特徴の関係

	時間経過 →			
	凍 害	変状なし	(微細ひび割れ)	スケーリング等
中性化	変状なし	(鋼材腐食)	ひび割れ	かぶりの剥離・剥落
塩 害	変状なし	(鋼材腐食)	ひび割れ・錆汁	かぶりの剥離・剥落
アルカリシリカ反応	変状なし	(微細ひび割れ)	ひび割れ、変色	段差・ズレ・剥離・剥落

ここで言うひび割れは、鋼材腐食に起因したひび割れであり、一般に、鉄筋の腐食による体積変化（膨張）によって生じる鉄筋軸方向に発生するひび割れである（図一解 4.2.2 参照）。



図一解 4.2.2 腐食ひび割れ

したがって、外力作用等により生じる鉄筋軸直角方向に生じるひび割れとは異なることに留意する必要がある。なお、参考として材料劣化に関する変状の特徴を以下に示す。

a) 凍害

凍害とは、コンクリート中の水分の凍結膨張によって発生するものであり、長年にわたる凍結と融解の繰返しによって、コンクリート表面にスケーリング、ひび割れ、ポップアウトなどの変状が生じる現象である。

b) 中性化

硬化したコンクリートは、内部に含まれる水酸化カルシウムなどにより強いアルカリ性を呈するので、コンクリート中の鋼材には腐食が発生しない。しかし、コンクリート中の水酸化カルシウムは、その表面から空気中の二酸化炭素の影響を受けて徐々に炭酸カルシウムに変化してアルカリ性を失っていく。これをコンクリートの中性化という。コンクリートが中性化すると、コンクリート中の水分と酸素により不動態被膜が損傷し、鋼材が腐食する。腐食の程度が進むと腐食生成物の体積膨張によりコンクリートにひび割れが生じて、そこから水や酸素などが侵入して鋼材の腐食がさらに早まる。

c) 塩害

塩害とは、塩化物イオンによってコンクリート中の鋼材の腐食が促進され、鋼材の断面減少や、腐食生成物の体積膨張によりコンクリートのひび割れ、剥離、剥落が生じる現象である。

内的塩害は、塩化物イオンがコンクリート製造時に材料から供給される場合で、海砂の除塩が不十分であった場合などにみられる。中性化と内的塩害はしばしば複合して構造物に影響を及ぼす。この場合、中性化の影響により内部に塩化物イオンの濃縮が見られる場合もある。

外的塩害は、塩化物イオンがコンクリートの表面から浸透して供給される場合で、海岸近くにおいて海水から供給される場合や凍結防止剤の散布により供給される場合などにみられる。

d) アルカリシリカ反応

アルカリシリカ反応とは、水の供給を受けてセメント中のアルカリが骨材中に含まれる反応性物質と化学反応を起こし、コンクリートに異常膨張とそれに伴うひび割れを引き起こす現象である。無筋コンクリートでは亀甲状のひび割れ、RC、PC 構造物では軸方向鋼材やPC 鋼材に沿った方向性のあるひび割れが亀甲状のひび割れとともに発生することが多い。

e) 化学的侵食

化学的侵食とは、コンクリートが外部から化学的作用を受け、セメント硬化体を構成する水和生成物に変質もしくは分解されたり膨張性物質を生成したりすることにより、コンクリートが侵食されていく現象である。化学的な影響の種類としては、各種の酸（塩酸や硫酸などの無機酸、酢酸や乳酸などの有機酸、動植物性油などに含まれる脂肪酸など）、土壌や工場廃水などに含まれる硫酸塩、塩化水素や硫化水素などの腐食性ガスなどが挙げられる。

f) ひび割れによる鋼材腐食

ひび割れによる鋼材腐食とは、ひび割れの発生を前提として設計されている RC 構造物において、過大なひび割れが発生し、ひび割れから水や酸素が供給されて鋼材が腐食する現象である。

4.3 変状の予測

- (1) 変状の進行予測は、点検で把握した変状の程度、推定された変状原因に対応する劣化機構等に基づき、過去の点検結果からの進行度によって予測するのがよい。なお、過去の点検結果がない場合には、周辺や類似構造物の状況等を考慮し、適切な方法を選定して行うものとする。
- (2) 劣化機構に基づく変状の予測は、本指針 [劣化機構編] および土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾によってよい。

【解説】

(1) について

1) 変状予測の基本的な考え方

変状の進行予測は、推定された変状原因に対応する劣化機構等に基づき、過去の点検結果からの進行度によって予測することとした。これは、近年、定期点検結果が蓄積され、対象構造物の環境条件や使用条件の影響を把握することが可能となりつつあるため、これらのデータを積極的に利用することを推奨することとしたためである。過去の点検データの蓄積がない場合は、周辺や類似構造物の状況を利用することも合わせて推奨した。

なお、変状の予測は、定量的に行うことが望ましいが、予測モデルの信頼性が十分でない場合や、調査において十分な測定データが得られない場合も多い。そのため、過去の経験や知識に基づき、外観によるグレーディングなどによって半定量的に行ってもよい。

ただし、点検データの信頼性が低いと考えられる場合は、(2)に従って、環境条件や使用条件をモデル化して、数値解析等によって劣化の進行度も検討し、それらも合わせて変状の予測を行うのがよい。

2) 初期欠陥

設計不適合・施工不良による変状の予測は、設計不適合、材料の品質不良、施工の不良等により発生した変状の状態を的確に把握し、構造物の性能項目の照査および健全度の判定に及ぼす影響を評価することにより行う。

設計不適合・施工不良による変状の原因としては、材料の品質不良（強度不足、伸び能力不足、水セメント比不良、塩化物イオンの混入、反応性骨材の混入）、施工不良（断面不足、かぶり不足、コールドジョイント、豆板、養生不足）、設計不適合等が挙げられる。材料品質を調査するほか、鋼材の実配置本数ならびに実応力、コンクリートのひび割れならびに欠損状況、材料特性およびたわみ量などを調査し、その影響を評価する必要がある。

設計不適合・施工不良による変状の予測は、他の変状の原因と複合して生じる傾向にあるため、それらの影響を適切に考慮しなければならない。コンクリート構造物では、施工時の品質不良、施工不良が、しばしば他の変状を誘発するきっかけとなっており、品質を十分に把握しその複合の影響を適切に考慮することが重要である。

3) 外力・構造条件の変化

外力や構造条件の変化等による変状の予測は、外力の増大、支持条件の変化などを的確に把握し、構造物の性能、健全度に及ぼす影響を評価することにより行う。外力や構造条件の変化等による変状は、車両重量や交通量の増加、死荷重の増減、支持条件の変化に伴うものである。したがって、変状の状態とそれが構造物の性能項目の照査および健全度の判定に及ぼす影響を評価す

るためには、これらの変化の度合いを定量的に把握する必要がある。

4) 環境作用による変状過程

材料劣化による時間の経過に伴う変状の過程は、表一解 4.3.1 に示すように一般には潜伏期、進展期、加速期、劣化期に区分して評価されている。

表一解 4.3.1 変状過程の定義

変状過程	定義	凍害	中性化	塩害	アルカリシリカ反応
潜伏期	変状が生じていない時期	外観変状無し	外観変状無し	外観変状無し	外観変状無し
		微細ひび割れの発生 (外観からこの時期を判断出来ない)	鋼材腐食の発生 (外観からこの時期を判断出来ない)	鋼材腐食の発生 (外観からこの時期を判断出来ない)	微細ひび割れの発生 (外観からこの時期を判断出来ない)
進展期	軽微な変状が生じている時期	外観変状無し	外観変状無し	外観変状無し	外観変状無し
		スケーリングの発生 ポップアウトの発生 ひび割れの発生 砂利化の発生	腐食ひび割れの発生	腐食ひび割れの発生	ひび割れ 変色の発生
加速期	顕著な変状が生じている時期	↓	↓	↓	↓
劣化期	耐力等の顕著な低下等が生じる時期	骨材の露出 骨材の剥離	かぶりの剥離・剥落の発生	かぶりの剥離・剥落の発生	過大なひび割れの発生 段差・ズレの発生
		---	鋼材腐食量の増加	鋼材腐食量の増加	---

潜伏期とは、変状の原因となる劣化因子が侵入しつつあるが、変状は生じていない状態を指す。

進展期とは、コンクリートの表面や内部、鋼材に軽微な変状は生じているが、変状が顕在化しておらず、外観上の変化がほとんど見られない状態を指す。

加速期とは、コンクリートの表面にひび割れが発生し、剥離、剥落が生じるなど変状が顕在化している状態を指す。

劣化期とは、コンクリートの剥離、剥落による断面の減少や鋼材の腐食等により耐力の顕著な低下等が生じる状態を指す。

なお、ここでいう変状過程の定義は、劣化機構に応じて鉄筋の腐食やコンクリートの劣化のメカニズムに基づくグレードである。一方、一般の調査では目視やたたきにより外観の調査を実施しており、目視で明確に判定できる程度の変状過程と整合していることが望ましい。

外観によるグレーディングを用いて性能を評価する場合は、以下の事項などに留意する必要がある。

- ・評価の精度を安全側に設定すること
- ・細かなグレードは点検者の能力や経験に依存し点検結果に点検者によるばらつきを招くこと
- ・評価判定の目的は構造性能の満足度であること
- ・材料劣化の初期段階での劣化状況は、耐荷力などの構造性能に与える影響が無視できるほど小さいこと

(2) について

劣化機構が特定されれば、周辺の構造物の同種の劣化機構の変状の進行度や、過去の類似の変状の予測結果などによって変状の予測を行うことが可能となる。また、変状の過程によって劣化速度を決定する要因を用いて、変状の予測を行うこともできる。劣化機構に基づく変状の予測を行う場合には、本指針 [劣化機構編] および土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾によることとした。劣化機構が特定されれば、変状の過程によって劣化速度を決定する要因を用いて、変状の予測を行うことができる。

なお、環境作用に対する各劣化機構の変状過程に影響を及ぼす因子を表一解 4.3.2 に示す。各因子を調査結果に基づき設定し、変状を予測するのがよい。

表一解 4.3.2 劣化機構の変状過程に影響を及ぼす因子

外観上のグレード	中性化	塩害	凍害	アルカリシリカ反応
潜伏期	・中性化進行速度	・塩化物イオンの拡散 ・初期含有塩化物イオン濃度	・最低温度 ・凍結水量 ・凍結融解回数	・アルカリシリカゲルの生成速度 (反応性鉱物の種類とその量, アルカリ量)
進展期	・鋼材の腐食速度	・鋼材の腐食速度	・凍害の進行速度	・アルカリシリカゲルの吸水膨張速度 (水分とアルカリの供給) ・アルカリシリカゲルの吸水膨張速度 ・鋼材の引張応力度増加率
加速期	・ひび割れを有する鋼材の腐食速度	・ひび割れを有する鋼材の腐食速度		
劣化期				

【参考文献】

- 1) 土木学会：2013年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】，2013.10.

5章 評価および判定

5.1 一般

- (1) 構造物の性能の評価は、点検によって得られた情報に基づき、点検時点および残存予定供用期間に対して行わなければならない。
- (2) 対策の要否判定は、性能の評価結果と維持管理限界に基づき、構造物の残存予定供用期間、重要度、維持管理区分、構造物群としての維持管理計画などを考慮して行わなければならない。なお、第三者影響や、ただちに構造性能が問題となる可能性が高い変状が認められた場合は、出来るだけ速やかに、応急対策などの対策を実施することを原則とする。

【解説】

(1) について

構造物の性能評価は、点検によって得られた情報に基づき、点検時点および残存予定供用期間の両者に対して行うこととした。

点検時点の評価のうち、使用性に関する評価は、供用状況によって評価することが可能である。ただし、力学性能に影響を及ぼすと考えられる変状が発見された場合には、緊急性を優先し、その変状の影響を考慮して破壊に対する評価および判定を行い、現時点における性能評価を実施し対策の要否を判定した上で、残存供用期間の診断を行うのがよい。

残存供用期間の診断では、「4章 変状原因の推定および変状の予測」によって、過去の点検結果と比較し、変状の経時変化を考慮して劣化機構の推定と劣化予測を行った上で、評価および判定を行うことになる。

(2) について

対策の要否判定は、性能の評価結果と維持管理限界に基づき、構造物の残存予定供用期間、重要度、維持管理区分などを考慮して行うが、個々の構造物の対策の要否判定のみならず、対象とする構造物群として維持管理計画における当該構造物の重要度などを考慮して判定する必要がある。

ただし、第三者影響やただちに構造性能が問題となる変状の場合は、維持管理区分に関わらず出来るだけ速やかに応急対策などの対策を実施することを原則とした。

5.2 性能評価の方法

- (1) 構造物の性能評価は、劣化・損傷領域の状態が構造性能に及ぼす影響を考慮して行わなければならない。
- (2) 構造物の性能評価は、構造物の劣化・損傷領域の状態が構造性能に及ぼす影響を考慮して設定した場合は、外観上の損傷に基づいた構造性能のグレーディングに基づいて行ってよい。なお、外観上の損傷に基づいた構造性能のグレーディングは、本指針 [構造物編] によってよい。
- (3) 構造物の性能を定量的に評価する必要がある場合には、構造物の劣化・損傷領域の状態が構造性能に及ぼす影響を考慮できる数値解析モデルを用いて、材料特性の経時変化や作用の履歴などを考慮して、点検時点、予定供用期間終了時点、任意の時点における性能を予測して行ってよい。なお、定量的な評価方法は、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾によってよい。

【解説】

構造物の維持管理における評価および判定は、構造物が予定供用期間にわたり要求性能を満足させるために行うものである。

一方、構造物の変状は、種々の部位に生じるものである。変状の程度が同程度であっても変状が構造性能に与える影響は、変状が生じている部位によって異なることは自明である。言い換えれば、たとえ小さな変状であっても、その変状が生じている部位によっては、構造性能に与える影響を無視できないこともある。

構造性能を判定するには、以下の2つの考えがある。

- 1) いかなる部位の変状も構造性能に影響を与えるとして安全側に維持管理限界値を設定して評価する。
- 2) 変状状況と変状領域が構造性能に影響を与える影響を考慮して評価する。

前者の考えを用いれば、安全側に構造性能を評価することが可能である。しかし、評価判定が構造性能に与える影響を直接評価するわけではないため、過度な対策が選定される可能性があること、また、構造性能に対する認識が低くなるため、対策の目的が構造性能に対して不明確になり非効率な対策が採用されるなどの問題がある。

そこで、このような問題を解消するために、本指針では維持管理の原則を遵守することを目的として、変状状態と変状領域が構造性能に与える影響を考慮して評価および判定を行うこととした。

したがって、本指針における評価および判定を用いれば、当該構造物の安全性、使用性のいずれが懸念されるのかの情報を得ることができる。また、その結果によって、講じるべき対策の目的が耐久性に対する対策か、耐荷力・疲労など力学性能に対する対策か、などが明確になる。なお、現状では、事業体ごとに維持管理の評価判定指標を設定して対策の有無の判断が行われているが、本指針で記載した構造性能の評価結果も合わせて利用することによって、構造物の対策の優先度や合理的な対策の選定の判断材料とすることができる。

(1) について

一般に、設計段階で検討されている構造性能の評価は、劣化・損傷などが生じていない状況を前提とした照査技術に基づいて実施されている。そのため、実際に劣化・損傷が生じている状態の構造物に、設計段階での照査技術を用いるには、構造物の劣化・損傷が設計段階の照査技術の前提条件を満足している必要がある。そのため、構造物の性能評価は、劣化・損傷領域の状態が構造性能に及ぼす影響を考慮して行うことを規定した。

(2) について

変状が発生している構造物の構造性能，特に耐荷性は，損傷をモデル化した非線形有限要素解析等を用いて耐力や剛性などの性能を評価する必要がある。しかし，全ての構造物の性能を評価するために数値解析的に検討を行うのは困難である。そのため，本指針では，構造種別や部位毎に損傷を区分して，これまでの実験的研究成果や技術者の経験などに基づき，構造物の維持管理限界として工学的に安全側の判断になるように構造性能のレベル（健全性）を設定した。したがって，本指針に示された構造性能のレベル（健全性）が不合理と考えられる場合は，別途，実験的検討や数値解析的検討に基づいて構造性能のレベル（健全性）を見直すのがよい。

本指針では，構造物の劣化・損傷領域の状態を考慮した構造性能を，外観上の損傷に基づいたグレーディングによって評価することとした。

外観上のグレーディングを用いて構造性能を評価する場合は，その評価の精度を安全側に設定することが重要であること，細かなグレーディングは点検者の能力や経験に依存し点検結果に点検者によるばらつきを招くこと，評価判定の目的は構造性能の満足度であり，材料劣化の初期段階での劣化状況は構造性能に与える影響が無視できるほど小さいこと，などを考慮する必要がある。

そこで，本指針では，構造物毎に，変状領域と変状の程度が構造物の各構造性能に及ぼす影響を考慮した構造性能のグレーディングによって評価することとした。なお，構造性能のグレーディングは，以下の4つのレベルとした。詳細については，本指針 [構造物編] に示す。

レベル1：性能に影響はないが，外観変状が認められるレベル

レベル2：性能は低下しているが，補修で性能回復が可能なレベル

レベル3：性能は低下しているが，大規模補修や補強で性能回復が可能なレベル

レベル4：性能が低下し，性能不足となっているレベル

なお，本指針では，道路橋示方書²⁾で要求されている性能に基づき，構造物の変状と維持管理時の構造性能を評価するための関係を，以下のように定めた。

1) 構造の健全性

鉄筋コンクリート構造の健全性は，所定の断面力（曲げモーメント，せん断力およびねじりモーメント）が作用した場合，設計計算上，ひび割れが発生し得る部位のみにひび割れが発生し，そのひび割れが有害なひび割れでない状態を健全な状態と定義した。

プレストレストコンクリート構造の健全性は，所定の断面力（曲げモーメント，せん断力，ねじりモーメント）が作用した場合，設計計算上，応力が大きくなる部位においてひび割れが発生していない状態で，かつその他の部位にひび割れなどが発生していない状態を健全な状態と定義した。

これにより，設計上，ひび割れなどが想定されていない部位でひび割れが発生している場合や変状が認められる場合には，それらが構造性能に及ぼす影響を考慮して構造や構造物の健全性を評価することになる。

2) 損傷状態と健全性

設計計算上，許容されるひび割れで，発生部位は断面力分布上，妥当な部位に発生し，かつ鋼材腐食に対する耐久性に対して十分な抵抗性を有している場合は，健全な状態と定義した。

また、施工に伴って発生する温度ひび割れやコンクリートの収縮に伴うひび割れについては、鋼材腐食に対する耐久性に対して十分な抵抗性を有している場合は、健全な状態と定義した。

ただし、温度ひび割れやコンクリートの収縮に伴うひび割れにおいても、構造性能に与える影響が懸念される場合にはこの限りではない。これは、地覆などの非構造部材のひび割れは、橋梁の車両走行に対しては構造性能に影響を与えないが、高欄や防護柵の耐荷性には影響を及ぼす場合があること、また、剥離・剥落により第三者に影響（公衆災害）を与える可能性がある場合には有害なひび割れと判定することが考えられるためである。

なお、損傷が許容されていない部位に変状が認められる場合には、その変状が構造性能に及ぼす影響を考慮して健全性を定義することとした。その場合、かぶりの剥落など変状の進行による第三者に与える影響（公衆衛生）に対する抵抗性も構造性能として扱い、健全性を評価することとした。

3) 耐久性と健全性

本指針では、耐久性は材料の劣化により生じる性能の低下に対する抵抗性と定義している。道路橋示方書でも耐久性は、鋼材やコンクリートの材料の抵抗性によって環境作用に対して鋼材の腐食等を発生させないように規定していることと同じ考えである。

ただし、維持管理においては、既に鋼材腐食などが発生している場合もあり、構造性能を満足する前提で、鋼材腐食など材料劣化を許容するのが一般的である。この場合、耐久性は構造性能が低下する時間を左右する因子となる。

したがって、本指針では、耐久性は構造性能の低下に対する抵抗性として扱うこととし、将来の構造性能の予測を検討する上での最も重要な検討条件と位置付けた。具体的には、同様のひび割れ状態でも、中性化環境下よりも塩害環境下の方が、構造性能が低下する時間が早まることなどであり、供用期間中の構造性能の経時変化の検討を行う場合には重要な因子となる。また、対策工の検討においても、重要な因子となる。

(3) について

本指針で推奨した外観上の損傷に基づくグレーディングは、これまでの損傷状態が構造性能に及ぼす影響に関する実験的研究や数値解析的研究成果および技術者の経験などを基に、構造物の維持管理限界として、工学的に安全側の判断になるように構造性能の性能レベルを設定したものである。

したがって、本指針に示された構造性能のレベルが不合理と考えられる場合には、別途、実験（試験）的検討や数値解析的検討に基づいて性能評価を見直すのがよい。その場合には、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾には、定量的評価手法の留意点が規定されているので、それに従うこととした。なお、既設構造物の性能評価では、新設構造物の設計段階と異なり、材料や施工誤差に対する安全率などは調査を実施することにより緩和することが可能である。これらの緩和の考え方は、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】¹⁾に記載されているので、それらを参考にするのがよい。

1) 数値解析による評価方法

実構造物の構造性能を数値解析によって評価する場合には、評価の対象となる要求性能を明確にした上で解析手法や解析モデルを選定しなければならない。ここで、構造物のモデル化の手法は、構造物を一次元の線材の組み合わせによって表現する「線材モデル」と、構造物を二次元あるいは三次元の有限要素の集合体として表現する「有限要素モデル」に分類されるが、ここでは

後者の「有限要素モデル」による構造性能評価を対象としている。なお、有限要素解析は、材料の非線形性を考慮しない「線形解析法」と、材料の非線形性を考慮した「非線形解析法」に分類されるが、これらは各要求性能の限界状態や応答に応じて使い分けるのがよい。

また、線形解析法・非線形解析法等の解析理論の違いに関わらず、解析手法および解析モデルは信頼性や精度が予め検証されたものでなければならない。特に、モデル化に関しては解析範囲、解析次元、材料構成則、境界条件、荷重条件、応答解析手法等について十分に検討する必要がある。詳細については、土木学会コンクリート標準示方書【設計編】³⁾の標準_第9編（非線形有限要素解析による照査）および付属資料_2編（構造解析事例）等^{5),6)}を参考にするとよい。

材料劣化が生じた構造物の構造性能評価を数値解析によって定量的に行う場合には、非線形解析法を適用することを原則とする。これは、材料劣化が生じている場合には、鉄筋の腐食やコンクリートの劣化による各材料の力学的特性が変化するだけでなく、それに起因する付着劣化等も想定されるためである。なお、例えば凍害劣化によってコンクリートにスケーリングが生じている場合には、それを安全側に評価する1つの手法として、スケーリング領域（かぶり部分等）を無視するという方法も考えられる。

2) 実験（試験）による評価方法

実構造物の性能を定量的に評価する方法には、「載荷試験」および「振動試験」がある⁴⁾。載荷試験は、車両あるいは列車を上載荷重として用いる方法であり、荷重を静止させた状態で載荷する静的載荷試験と、荷重を変動させながら載荷する動的載荷試験がある。載荷試験によって、構造物のたわみや剛性、部材のひずみ量等を評価することができる。

振動試験は、構造物に衝撃あるいは起振機により強制振動を与える方法や常時微動測定等の方法があり、計測された応答加速度波形等を解析することで固有振動数、固有振動モード、減衰定数を定め、構造物全体の振動特性を評価することができ、基礎構造の健全性やPCケーブルの張力変化の評価等に用いられている。また、設計上の計算値や供用開始前の健全な状態で振動試験を実施して初期値が得られている場合には、それらと比較することによって構造物全体の剛性変化を把握することができるので、初期状態の結果があることが重要である。ただし、材料劣化による変状によって固有振動数に有意な差が現れるのは、変状がかなり進行した状態であることに留意しなければならない。

なお、実構造物に対する各種試験では当然のことながら破壊に至るまでの載荷は不可能であることから、載荷試験および振動試験によって直接評価できる性能はたわみや振動等に関連する使用性のみであり、安全性（耐荷力）に対する評価はできないことに留意する必要がある。

【参考文献】

- 1) 土木学会：2013年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】，2013.10.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲ コンクリート橋編，2012.3.
- 3) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2013.3.
- 4) 土木学会：モニタリングによる橋梁の性能評価指針(案)，構造工学シリーズ16，2006.3.
- 5) 土木学会：材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能，コンクリート技術シリーズ71，2006.9
- 6) 土木学会：続・材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能，コンクリート技術シリーズ85，2009.5

6章 対 策

6.1 一 般

診断において、対策が必要と判定された場合には、構造物の重要度，維持管理区分，残存予定供用期間，維持管理のしやすさ，経済性を考慮して，対策後の構造物の性能を所要の期間保持できるように対策を行わなければならない。

【解 説】

診断において対策が必要と判断される場合は，一般に以下のように区分される。

- (1) 現状において構造物が保有する性能が低下しており，維持管理限界を下回っていると評価された場合
- (2) 現状では問題なくとも，劣化予測の結果，残存予定供用期間中に構造物の性能が低下するため，予防としての対策が必要と判定された場合
- (3) 作用荷重や耐震性に対する設計基準等が見直され，基準に適合するよう対策が必要と判定された場合

それぞれの場合に，目標とする性能を定めて，適切な種類の対策を選定し，実施することになる。対策の種類には，「6.2 対策の選定」で示す，点検強化，補修・補強，供用制限，解体・撤去が挙げられ，構造物の重要度，維持管理区分，残存予定供用期間，劣化や構造物の性能低下の状態等を総合的に考慮して，目標とする性能を定め，対策後の維持管理のしやすさやライフサイクルコスト(LCC)等も検討した上で，いずれかの対策が選択されることになる。

なお，目標とする性能のレベルには，建設時と現状の中間の性能への回復もしくは現状の性能の維持，建設時の性能への回復，建設時よりも高い性能への向上，の3つが考えられるため，適切な性能のレベルを設定して対策工を検討することとなる。

6.2 対策の選定

- (1) 対策は、点検強化、補修・補強、供用制限、解体・撤去とし、構造物の重要度、維持管理区分、残存予定供用期間、維持管理のしやすさ、第三者影響度、経済性を考慮して選定しなければならない。
- (2) 対策工は、目的とする性能が改善され、劣化因子に対して有効となるように選定しなければならない。また、仮設設備の設置、劣化部の除去、交通安全対策、周辺への環境対策、対策工の施工などの施工性や施工時期を考慮しなければならない。

【解説】

(1) について

対策工には、点検強化、補修・補強、解体・撤去などがある。対策工の選定にあたっては、構造物の重要度、維持管理区分、残存予定供用期間、維持管理のしやすさ、第三者影響度、経済性を考慮して総合的に判断して選定する必要がある。対策工の選定に用いる経済性の指標としては、最初に複数の対策工を選定して、各対策工の設計耐用期間を考慮したライフサイクルコスト(LCC)を算定し、それが最小となる対策工を選定するのがよい。ここで、LCCは構造物の企画・設計から建設、施工、維持管理、解体・撤去されるまでのそれぞれの費用の総額とし、一般に、式(解 6.2.1)で算定してよい。

なお、LCCには、初期建設費、維持管理費および取壊し等の更新費の直接費用のほか、補償費、機能支障に伴う損害費等の間接費用を考慮するのがよい。

$$LCC = C_I + C_M + C_R + C_F \quad (\text{解 6.2.1})$$

ここに、 C_I : 初期建設費
 C_M : 維持管理費
 C_R : 更新費
 C_F : 間接費

(2) について

対策工の設計では、まず対策工の設計耐用期間を設定し、設計耐用期間において要求性能を満足することを確認する必要がある。また、対策工は、評価・判定結果に基づき劣化因子に応じた工法を選定することが重要である。なお、劣化因子が複合する場合は、劣化因子の複合の程度に応じて、主要な劣化因子に対する対策を優先した対策工とする必要がある。たとえば、床版の場合は、疲労による劣化は主たる劣化因子であるため、疲労による劣化に優位な対策工を選定しなければならないが、床版上面部は、凍結融解作用や塩害などの影響を受けやすいため対策工の選定にあたっては、その影響も考慮しなければならない。

なお、維持管理の対策工は、既設構造物を供用しながら実施されるのが一般である。そのため、新設構造物と異なり施工者の作業環境や安全性などの施工に対する配慮を十分に検討しておく必要がある。とくに、足場など仮設設備の設置、劣化部の除去数量、交通安全対策、周辺への環境対策などを、現地の状況に応じて設計することが重要である。これらは、施工費用や施工者の安全性など施工性に大きく影響するからである。また、対策工に用いる補修・補強材料は、その品質確保の観点から施工時の温度などの影響を考慮しておく必要がある。特に、冬期においては補修材料の品質確保の観点から養生などが必要となり、施工性や施工費用に大きな影響を与える。したがって、施工時期を想定して対策工を選定することも重要である。

6.3 補修・補強の性能照査

- (1) 補修・補強の設計では、構造物の荷重履歴、損傷履歴の影響、対策部位の挙動、対策工が構造物に与える影響等を考慮して、目標とした期間にわたり要求性能を満足することを信頼性のある手法で照査しなければならない。
- (2) 補修・補強の設計では、施工時の安全性等について照査しなければならない。
- (3) 照査は、要求性能に応じた限界状態を設定し、選定した対策工の実績、信頼性のある数値解析、または実物を模擬した実験などの照査方法を用いて行うこととする。

【解説】

(1) について

補修・補強の設計では、構造物は、長年にわたり荷重履歴や損傷履歴を受けていることを考慮する必要がある。また、構造物の一部に、対策工を施すと、対策工により剛性などが変化し、その他の部位へ影響を及ぼすことがある。そのため、対策工が構造物に与える影響も考慮する必要がある。

補修・補強工法については、耐久性の確保も目的となる。補修・補強工法の性能は、材料としての耐久性と、コンクリートとの一体性としての耐久性の両者が必要となる。この場合、補修する部位の力学挙動の影響によって補修工法と既設コンクリートの一体性などが失われないことが性能評価の前提となる。適用する部位によって応力や変位振幅の影響によって一体性が損なわれることがあるので、実績などを参考にして適用部位に応じた補修工法を選定するのがよい。材料としての耐久性に対する照査は、本指針 [材料・施工編] によるものとする。

(2) について

補修・補強の対策工を施工する場合、断面修復工法や、床版の部分的なコンクリートの打換工法などで、一時的に、断面が欠損する状態となり、抵抗断面が減少する状態となる。この場合は、抵抗断面積などが減少した状態で、安全性等を確認しておく必要がある。

合成桁のコンクリート床版などの対策工においては、コンクリート床版部は、圧縮力を負担する部位であるため、施工時の安全性に関して留意が必要である。

また、プレストレストコンクリート桁においても、断面修復工法などを用いる場合には、施工時の断面が欠損する状態では、抵抗断面が減少することになる。そのため、断面が欠損した状態での構造性能について検討しておく必要がある。なお、この場合、断面修復部は、修復後は、初期応力に対しては、力学的に抵抗しないと考えるのがよい。

このように、補修・補強設計にあたっては、断面欠損などによって構造物の応力状態が変化することにより、初期応力状態が変化することなどを考慮して、性能照査を行うことが重要である。

(3) について

照査は、実績と信頼性ある数値解析手法、または実物を模擬した実験などによって行うこととした。とくに、補強工法の力学的性能の照査は、信頼性のある数値解析や、実験的検討に基づいた評価手法などによって行わなければならない。

なお、補修・補強工法の耐久性に関しては、現時点では明確に設定することが困難である。そのため、実構造物への適用事例の調査結果に基づく実績などを踏まえて設計耐用期間を設定するのがよい。

6.4 補修・補強の施工

- (1) 補修・補強の施工は、施工上の制約条件、交通に対する安全性、施工時期を考慮して、設計で想定した対策工の品質を確保できるように実施しなければならない。なお、施工にあたっては、劣化部を確実に除去しなければならない。
- (2) 補修・補強の施工は、本節によるほか、本指針 [材料・施工編] によるものとする。

【解 説】

(1) について

対策工の施工は、設計で想定した対策工の品質を確保できるように行う必要がある。対策工は、種々の材料を用いて行うため、施工にあたっては、使用材料の特性に応じた施工管理および品質管理を行わなければならない。そのため、使用材料の特性に応じた施工基準などを参考に、施工計画を策定して実施するのがよい。なお、期待した対策効果が得られるように、構造物の劣化状態を詳細に把握し、劣化部の除去を確実に実施する必要があることを規定した。劣化部の除去が不十分であると、補修材料の一体性が損なわれたり、劣化部に劣化因子が侵入し、再劣化を招くことがあるため、劣化部の除去を入念に実施することは対策工の有効性の観点から重要である。また、補修・補強の設計段階でも、劣化部の除去領域などを出来るだけ正確に把握しておく必要がある。

(2) について

補修・補強の効果が確実に発揮されるためには、十分な施工が実施される必要がある。とくに、積雪寒冷地である北海道では、低温下において施工を実施する必要があるため、使用する材料の品質を確保するために施工環境に十分に配慮する必要がある。また、使用する材料は、雪寒地域において、材料の特性を発揮できるものを用いることが必要である。

そのため、本指針では、積雪寒冷地に使用する材料としての要求性能や、施工上の留意点を [材料・施工編] にとりまとめたので、補修・補強の施工にあたっては、本指針 [材料・施工編] によることを規定した。

6.5 対策後の維持管理

対策を施した構造物は、残存予定供用期間を通じて構造物に要求される性能が許容範囲内にあるように維持管理しなければならない。

【解説】

対策を施した構造物は、構造物の目標とする性能が残存予定供用期間あるいは設計で定めた所定の耐用期間を通じて許容範囲内にあるように維持管理しなければならない。特に、対策として補修あるいは補強を選定した場合には、再変状を生じる可能性もあることから、補修・補強の効果の継続性を確認する必要がある。このため、補修・補強後の構造物の維持管理は重要であり、対策を施す前の維持管理計画を見直し、適用した補修・補強の状況も考慮した新たな計画を策定するとともに、その計画に基づいて適切な方法で構造物の診断およびその結果の記録、ならびに必要な応じて再補修等の新たな対策の実施等を計画的に行わなければならない。

補修・補強後の点検では、例えば表面処理工法や巻立て工法等を適用した場合には、既設構造物の母材を目視で確認することが困難となる場合もあるため、母材に対しても間接的あるいは直接的に点検が行えるような方法を検討しなければならない。場合によってはモニタリングによる調査を行うのがよい。また、補修・補強後の変状予測を行う場合には、点検結果に基づいて既設構造物自体の材料劣化、補修・補強に適用した材料と既設構造物の一体性の劣化を含めて、補修・補強後の特有の劣化過程を考慮した上で総合的に実施しなければならない。なお、構造物に再変状が生じて目標とする性能が維持されないと判断された場合には、既設の補修・補強範囲、工法、材料、仕様等の設計内容や施工方法等の再検討を行った上で、適切な対策を再度講じる必要がある。

なお、構造物の部材あるいは部位に部分的に補修・補強を行った場合には、それによって構造物や部材・部位への環境作用や荷重作用の度合いが変化する可能性がある。この場合には、補修・補強を適用しない場合とは異なる変状や、補修・補強を適用しない部材・部位に新たな変状が生じる恐れがあり、それらが構造物全体としての性能低下の主要因となる場合も想定される。したがって、構造物の部材・部位に部分的に補修・補強を施した場合においても、単に補修・補強を適用した部材・部位のみに着目するのではなく、構造物全体を対象とした維持管理を行うことに留意すべきである。

7章 記 録

維持管理においては、点検、劣化予測、性能の評価、対策の要否判定、対策などの結果を、適切な方法で記録、保管しなければならない。

【解 説】

構造物を効率的かつ合理的に維持管理するためには、構造物の諸元、設計・施工に際して適用した基準や工事記録の他に、診断（点検、評価）および対策の結果を記録して保管することが重要である。特に、日常点検や定期点検の結果は、過去の点検記録との比較により劣化の進行度などを推定するために極めて重要な情報となることを十分に認識しておく必要がある。診断および対策に係る標準的な記録の項目の一例を表一解 7.1 に示す。

表一解 7.1 診断および対策に関わる標準的な記録の項目の一例¹⁾

		記 録 の 項 目	
診 断	一 般	担当者等氏名	維持管理者（管理責任者，責任技術者，専門技術者，点検担当者等） 診断業務委託者（責任技術者，専門技術者等） 診断業務受託者（責任技術者，専門技術者等）
		構造物の諸元等	構造物の名称，荷重，周辺環境条件，予定供用期間，維持管理区分，管理限界 維持管理実績
	点 検	点検の種類 時 期 位 置 項 目 方 法 結 果	初期点検，日常点検，定期点検，臨時点検，緊急点検 実施日時 調査対象構造物，調査部材，調査の詳細な位置 調査項目 項目ごとの方法（規格外の方法は詳細に記述） 調査項目ごとの結果，各種試験結果および判定結果
		劣化予測	予測の方法 結 果
	性能の評価および判定	性能の評価および判定の方法 劣化のグレーディング 結 果	構造物の性能算定方法，評価に用いた基準 構造物の外観上のグレード 部位・部材あるいは構造物ごとの評価および判定結果
対 策		担当者等氏名	維持管理者（管理責任者，責任技術者，専門技術者，点検担当者等） 対策業務委託者（責任技術者，専門技術者等） 対策業務受託者（責任技術者，専門技術者等）
	対策の種類 対策前の状況 対策の方法 施工記録	点検強化，補修・補強，供用制限，解体・撤去 対策前の構造物の劣化状況 対策の施工計画書（材料の種類，仕様，養生方法，施工図面等），対策の実施時期（天候，気温等），対策の竣工図面，実施報告書（品質管理方法，検査方法，検査結果等），対策の履歴	

【参考文献】

1) 土木学会：2013年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】，2013.10.