

[1159] コンクリート構造物の維持管理における評価判定法の一提案

金子雄一*¹・宮本文穂*²・福手 勤*³・古谷時春*⁴

1. はじめに

コンクリートは、主要な構造材料として多種多様な構造物に用いられており、また、それらの構造物の置かれる環境も多岐にわたっている。コンクリート構造は、耐久性に富む構造であるとされ、従来よりメンテナンスフリーの考え方が支配的であった。しかしながら、コンクリート構造物の劣化損傷の現状を考慮すると、維持管理を必要とするものが多数を占めるようになりつつある。一般に、構造物の維持管理は、点検→評価判定→対策（必要な場合）→記録といったフローによって行われる。また、これらの各項目は互いに複雑に関連しており、維持管理を適切かつ合理的に行うためには、全体のバランスを考慮することが重要である。

本研究は、このような維持管理のフローにおいて、評価判定の立場から維持管理の基本的な考え方について検討するとともに、具体的な一手法を提案するものである。

2. 維持管理の基本的な考え方

構造物の維持管理とは、「定められた供用期間に対して、構造物がその機能を十分に果たすようにする」ことである。構造物は、その供用による作用や環境からの作用等により、時間の経過とともに劣化する。その劣化の度合いを把握し、それが構造物に必要とされている機能に対して許容できる程度であるかどうかを判定することにより、構造物が十分に健全であることを確認するとともに、必要な場合には補修、補強等の対策を行い、その機能を確保することが維持管理である。ここでは、維持管理の基本的な考え方について述べる。

構造物に必要とされる機能としては、次のような例が考えられる。道路橋では、通行する自動車荷重や地震時に作用する荷重等に耐えること、そこを通行する交通量の自動車をスムーズに通過させる幅員を有することおよび自動車が快適かつ安全に通行できるような路面状態や線形を有すること等が挙げられる。また、タンクでは、内容物による圧力に耐えることやそれが漏れないこと等がある。このように、土木構造物では構造物の種類に応じて種々の機能が必要とされているが、ほとんどの構造物において荷重に耐えるという機能は必要とされていると考えられる。すなわち、一般の土木構造物において、荷重に耐えるという機能から、構造物が保たなければならない性能として耐荷性がある。また、構造物に要求される機能に基づく耐荷性以外の必要性能としては、道路橋では、線形、路面の平滑さ、剛性、幅員等があり、タンクにおいては気密性や水密性等がある。また、構造物本来の機能ではないが、一般に土木構造物は大きく、その位置する周辺の地域における特徴的なものであることから、その美観に関する配慮や、コンクリート片等の落下により人や物に障害を及ぼすことに対する配慮も、維持管理においては重要である。さらに、点検の頻度や補修、補強の時期や水準を考慮するためには、その時点での劣化状況を把握す

*1 東電設計(株) 第二土木本部地中線土木部主任、工修（正会員）

*2 神戸大学助教授 工学部建設学科、工博（正会員）

*3 運輸省 港湾技術研究所構造部材料研究室室長、工博（正会員）

*4 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所東京工事区助役、技術士（正会員）

ることの他に、それ以降の劣化の進行を予測することも必要となる。すなわち、劣化の進行が遅いことは、その構造物が長期に亘って健全であり、耐久であることを示しており、劣化の進行が速い場合には耐久でないこととなる。

一般の構造物の点検では、構造物の物理的または化学的な状態を点検することが主であるため、点検結果に基づく構造物の機能の検討は容易ではないが、構造物の性能は物理的または化学的なパラメータで直接表されるため、その検討は比較的容易であると思われる。このような理由から、構造物の維持管理における評価においては、構造物に必要とされる機能の検討からその構造物に必要な性能を求め、その性能に基づいて評価することが考えられる。本文では、土木学会で提案している考え方[1]を参考に、耐荷性、機能性、周辺環境への影響性および耐久性の4つの基本性能を考慮することとし、これらの性能に基づいて維持管理を行う手法を示すこととする。これらの基本性能は次のように考える。

- ・耐荷性：部材、部位の耐荷力に基づいて評価される構造物の性能。点検部位における断面諸元から求めた耐力と作用断面力に基づいて評価する。
- ・機能性：構造物に必要とされる耐荷力以外の機能に関する性能。対象となる機能は構造物によって多様であり、対象構造物に必要とされる耐荷力以外の機能が何であるかを十分に検討することが重要である。
- ・周辺環境への影響性：主として美観およびかぶりコンクリートの落下による第三者障害を対象とした構造物の性能。
- ・耐久性：劣化の進行に関する構造物の性能。種々の劣化機構や、上記の性能毎に考慮すべき要因が異なることが考えられる。

3. 評価判定の考え方

先にも述べたように、維持管理においては点検→評価判定→対策といった流れにおいて、個々の段階における内容が複雑に関連している。特に、点検と評価判定については、非常に密接な関係にあると考えられるので、ここではこの2項目について述べる。

3.1 点検

点検には、その水準として2つの点検が考えられる。一つは、簡略な点検として主として目視による点検であり、もう一つは機器等を使用する詳細な点検である。ここでは前者を目視点検、後者を詳細点検とする。

目視点検は、構造物の表面に発生する劣化の有無を確認するとともに、その構造物の置かれた環境から生じる劣化の種類を推定するなど、点検の最も基本的なものである。また、維持管理に要する費用等の理由から、目視点検で構造物が十分に健全であることが確認できる場合には、詳細点検は行わないのが一般的であると考えられる。

詳細点検は、機器等による計測や、コア等による採取資料の分析等、定量的かつ詳細なデータが得られるが、点検のための資料採取や計測のほかに足場等の作業が必要な場合も多く、目視点検と比較して高価なものとなる。

このような現状から、評価判定は目視点検、詳細点検のどちらの水準においても必要であると考えられる。

次に、一般的な点検項目を考える。文献[1]を参考に、表-1に示す点検項目を考えることと

表-1 点検項目

| 分類 | 点検項目 |
|--------|--|
| 劣化外力 | 荷重強度および荷重繰返し、塩化物供給量、乾湿繰返し（塩害）、温度条件（アル骨、塩害）、凍結融解作用、水分の補給（アル骨）、化学作用 |
| 材料面 | 工事記録などの図書（セメントの種類、骨材産地、比重、コンクリートの配合、鉄筋の種類など）、コンクリートの物性（超音波速度、強度、弾性係数など）、含有塩化物量、鉄筋腐食（欠損率、自然電位、分極抵抗）、中性化深さ、残存膨張量 |
| 施工面 | かぶり、配筋状態、内部欠陥 |
| 構造面 | 設計基準、断面諸元、ひびわれ状況（ひびわれ深さ、ひびわれ幅など）、剛性（変形量など）、振動特性、支持状態、補修・補強履歴、路面の凹凸度 |
| 第三者影響度 | 遊離石灰、漏水、コンクリートの浮き、コンクリート片・タイル等の落下、表面の変色（表面のかび錆汁など） |

する。これらの点検項目では、目視および詳細点検の両方が可能なものと詳細点検のみが行えるものがある。目視点検においては前者の点検項目から必要な項目を選定して点検を行い、詳細点検では全ての項目から必要な項目を選定して点検を行う。

3. 2 評価判定

評価判定は、構造物、部材および部位で生じている劣化現象に対して、その機構に基づく詳細な検討によってなされることが重要である。そのためには、コンクリート構造物に生じる劣化機構が詳細に把握されることが必要となる。

一般に、コンクリート構造物の劣化状況の把握については、その評価の水準において、マイクロレベル、メゾレベルそしてマクロレベルといった区分を設けることができる[2]。ここで、マイクロレベルとは、劣化機構の物理的または化学的な表現に基づく理論的かつ定量的な評価であり、マクロレベルとは、劣化機構を簡略化した近似的なモデルであり、メゾレベルはその中間的なものとして、理論的な考察に基づく近似的モデルである。構造物の劣化状況の把握については、マイクロレベルの手法を適用し、詳細かつ定量的に行うことが望ましいが、コンクリート構造物に生じる種々の劣化に対するその劣化機構の究明は、その全てに対して十分になされているとは言い難く、また、複合した劣化機構や劣化原因が不明確な場合の対応が困難なこと等の理由から、現時点における技術水準で、マイクロレベルの十分な評価を行うことは困難であると考えられる。したがって、ここではマクロレベルまたはメゾレベルに相当する評価モデルを提案するとともに、評価判定の基本的な考え方について検討する。

コンクリート構造物の点検では、各点検項目の点検結果を数段階のグレーディングで表現することができる。特に、目視点検では構造物の状態に応じたグレーディングによって点検がなされる場合が多いと思われる。表-2に、点検結果のグレーディングによる評価の一例として、ひびわれ状況に関するグレーディングの例を示す。

表-2 点検結果のグレーディングによる評価の一例（ひびわれ状況）

| 点 検 結 果 | 評 価 |
|--|-----|
| <p>①一般部表面および継目部でのひびわれはほとんど見られないか、あっても乾燥収縮によるひびわれ幅のかなり小さな目立たないものである。or</p> <p>②曲げ応力の支配的な部位におけるコンクリート表面および継目部での主応力直角方向ひびわれの発生が少し見られるが、ひびわれ幅は0.1mm以下のものがほとんどである、しかも他の部位にはひびわれはほとんど見られない。</p> | A |
| <p>①一般部表面で乾燥収縮以外の目立つひびわれが見られるが余り多くはない、しかもそれぞれのひびわれは不連続になっているものが多く、遊離石灰、錆汁などの発生しているものは多くない。or</p> <p>②施工継目部で目立つひびわれが見られるが余り多くはなく、遊離石灰、錆汁などを伴うものは少ない、しかもそれぞれのひびわれは不連続なものが多い。or</p> <p>③曲げ応力の支配的な部位における曲げひびわれには、遊離石灰、錆汁などを伴うものがみられるが余り多くはなく、しかもひびわれ幅は0.1mm~0.3mmのものがほとんどでひびわれ深さも部材の中立軸付近までにとどまっている。or</p> <p>④せん断応力が支配的な部位における斜めひびわれ（せん断ひびわれ）の発生が少し見られるが、ひびわれ幅は0.1mm以下のものがほとんどである、しかも遊離石灰、錆汁などを伴うものは少ない。or</p> <p>⑤鉄筋軸方向に沿う腐食ひびわれの発生が少し見られるが、ひびわれ幅は0.1mm以下のものがほとんどである、しかもひびわれは不連続になっているものが多く、遊離石灰、錆汁などは著しくはない。or</p> <p>⑥発生しているひびわれの中にそのパターンが、部材に生じる断面力では説明困難なものが多数見られ、その幅が0.3mm程度と少し大きい傾向が見られる、しかもそのひびわれ深さがほとんどの場合コンクリートのかぶり厚さ以内である。</p> | B |
| <p>①一般部表面で乾燥収縮以外のかかなり目立つひびわれが多数見られ、しかもそれぞれのひびわれはほとんどが連続しており、遊離石灰、錆汁などが多い。or</p> <p>②施工継目部でかなり目立つひびわれが多数見られ、遊離石灰、錆汁などを伴うものがほとんどである、しかもひびわれはほとんどが連続している。or</p> <p>③曲げ応力の支配的な部位における曲げひびわれには、遊離石灰、錆汁などを伴うものが多数みられる、しかもそれぞれのひびわれ幅は0.3mm以上のものが多数を占め、ひびわれ深さも部材の中立軸を越えているものがかなり多い。or</p> <p>④せん断応力が支配的な部位における斜めひびわれ（せん断ひびわれ）の発生が多数見られ、遊離石灰、錆汁などを伴うものが多い、しかもひびわれ幅は0.1mm以上のものが多くせん断補強筋の交差本数が少ない。or</p> <p>⑤鉄筋軸方向に沿う腐食ひびわれの発生が多数見られ、そのひびわれ幅は0.1mm以上のものが多い、しかもひびわれは連続したものがほとんどで遊離石灰、錆汁などが著しいものも多く、かぶりコンクリートが剥落したものも見られる。or</p> <p>⑥鉄筋定着端近傍で付着ひびわれの発生がみられ、その付近のひびわれに段差が生じている、しかも特に斜めひびわれ幅が他のひびわれ幅に比べて大きくなっている傾向が認められる。or</p> <p>⑦発生しているひびわれの中にそのパターンが、部材に生じる断面力では説明困難なものが多数見られ、他のひびわれよりその幅が異常に大きいものが見られる、しかもひびわれの各所から遊離石灰、錆汁の他にゲル状のものが滲出しているものがあるが、ひびわれ深さはほとんどの場合コンクリートのかぶり厚さ以内に留まっている。</p> | C |

表-1に示した点検項目の各々に対し、表-2のような評価水準を作成し、それに基づいて評価判定を行うことができる。なお、表-2では、3段階の評価水準の記述において、目視点検レベルのものや詳細点検レベルのものを取り混ぜて記しており、それらをorで結ぶことによって、目視点検でも詳細点検でもこのようなグレーディングを行うことが可能であることを示している。

次に、先に述べた4つの基本性能と各点検項目の関連性について考える。すなわち、点検結果のうちで、各々の基本性能に関連する項目を組み合わせることで、当該性能を評価することが可能であると考ええる。また、その時には性能と点検項目の関連の強さについても考慮することが必要であり、そのためには何らかの重み付けが必要となる。図-1に、耐久性および耐荷性に関連する点検項目を示す。図中に示した点検項目は、該当する性能と関連が強いと考えられる項目であり、網掛けをして示した項目は、関連すると考えられる項目である。したがって、これらの項目については、前者に1.0、後者に0.5といった重みを付けることが考えられる。また、周辺環境への影響性に関連する点検項目としては、表-1に第三者影響度として区分した点検項目が該当すると考えられる。機能性に関しては、当該構造物によって対象となる機能が多様であり、一般的に考慮することは困難である。そこで、機能性は構造物で重要となる耐荷性以外の機能に関連の強い点検項目を選定し、それに基づいて機能性を評価することとする。

関連する点検項目のうちで、点検結果が得られているもののデータに基づいてこれらの基本性能を評価するためには、個々のデータのグレーディングを総合して一つの性能として評価することが必要であり、そのための方法の一例として次のような手法が考えられる。

性能の評価においては、それぞれの点検項目の点検結果に対応する評価が、各性能に及ぼす影響の度合いが異なることを考慮するため、図-2に示すような感度曲線を用意し、それに基づいて性能評価を行う。図-2では、横軸に各点検項目のグレーディングを、縦軸には性能評価のた

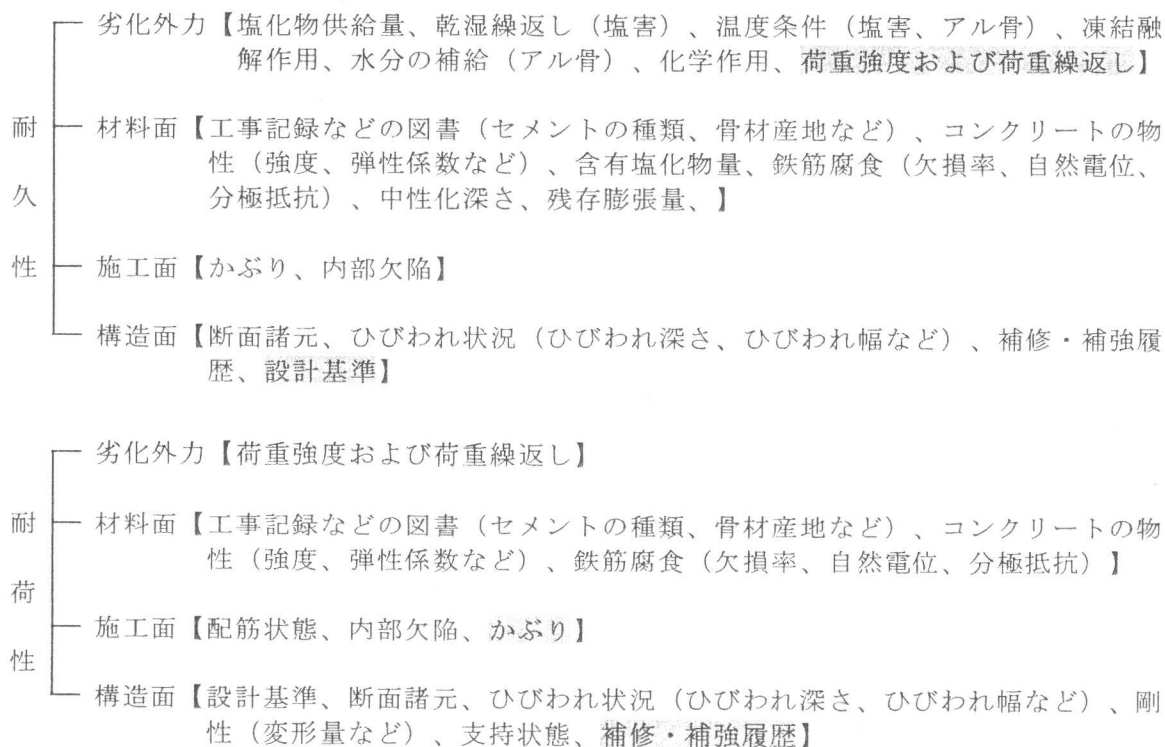


図-1 耐久性、耐荷性に関連する点検項目

めの評価指標が示してある。点検項目と性能の関連において、その影響が図-2に示す①～③のどの曲線に対応するかをあらかじめ検討しておくことにより、スムーズな評価が可能となる。性能評価は、このようにして変換された指標に基づいて実施されるが、当該性能に関連する複数のデータを一つの性能の評価のために結合する手法については、次のような方法が考えられる。図-3に示すように、一つ目の評価結果を1.0から引いた残りに次の評価指標を掛け、それを最初の評価指標に加える。3つめ以降の評価指標についても、同様の手順で加え合わせていく。このようにして最終的に得られる数値は、0～1.0の範囲で、1.0に近いほどその性能が損なわれており、0に近いほどその性能が確保されていることを示す。したがって、適切な限界値を設定することにより、各性能が満たされているか否かを判定することが可能となる。

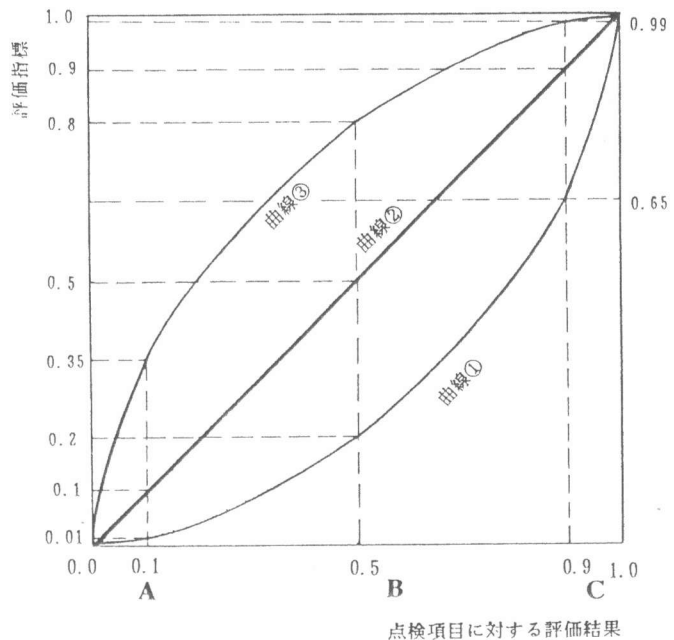


図-2 感度曲線

4. おわりに

近年、その必要性が高まりつつあると思われるコンクリート構造物の維持管理に対する基本的な考え方を示すとともに、マクロレベルまたはメゾレベルに該当する評価判定の一手法について述べた。コンクリート構造物に生じる種々の劣化に関しては、現在鋭意研究がなされており、今後新たな知見が得られるものと期待している。本文で示した手法は、点検結果のグレーディングを考慮する際に、劣化機構の理論的な内容を盛り込むことが可能であり、そのような研究成果を逐次取り入れることが可能なものとなっている。また、そうした場合には、よりメゾレベルに近いものとなると考えられる。

本文は、土木学会コンクリート標準示方書改訂小委員会維持管理部会における評価判定分科会の検討内容をまとめたものであり、関博主査（早稲田大学教授）をはじめ委員各位からは貴重なご意見をいただいた。ここに深く感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書（平成3年版）改訂資料およびコンクリート技術の今後の動向、土木学会（コンクリートライブラリー-70）、pp.277-302、1991.9
- 2) 二羽淳一郎：ヨーロッパ国際コンクリート委員会（CEB）第29回総会報告、コンクリート工学、Vol.31、No.12、pp.76～80、1993.12

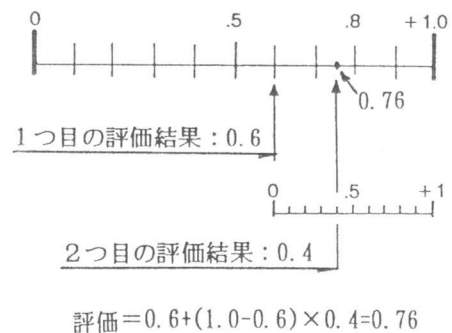


図-3 評価方法