

健全度評価の役割と参考事例

鋼構造物の維持管理研究小委員会WG3

竹之内博行（主査）、小野秀一、春日昭、北原道弘
公門和樹、藤井堅、横山功一、山口栄輝、山本広祐

1. はじめに

実際の業務として維持管理を行う際、いろいろと構造物を調査した結果について、最終的に「あと何年大丈夫」、「あと何トン大丈夫」など、構造物の寿命や耐荷力を定量的に評価することが要求される。また、構造物の性能に関する要求事項を評価する手法の一つとして健全度評価がある。しかしながら、腐食等の損傷劣化を受けた部材の耐荷力が今もなお解明されていないだけでなく、部材としての損傷が構造物全体のダメージに及ぼす影響についても十分な整理が行われていないのが現状であると考えられる。

このようなことから、本ワーキンググループでは、「健全度とは何を意味するのか」、「何に使うのか」などの健全度評価の定義と目的を再検討し、BMSの中で具体的なアクションに結びつけて維持管理業務に活用することができる健全度評価のあり方を提案することとした。

本稿では、これまでに検討した健全度評価の役割と位置づけについて述べ、国内外の代表的健全度評価手法の例として、水力発電所（国内）、鋼鉄道橋（国内）、PONTIS（AASHTO；米国）の3例を紹介する。

2. 健全度評価の役割と位置づけ

「健全度評価」と言う言葉が、あまり整理されないで使われている。

土木構造物に対する要求性能として、現在検討が進められているコンクリート標準示方書〔維持管理編（案）〕では(a)安全性能、(b)使用性能、(c)周辺環境への影響性、(d)耐久性能が挙げられているが、維持管理ではそれらの性能が満足されるように、点検、修繕、補修、補強、更新が行われる。維持管理の最初のステップとして、構造物の状況を把握するために点検やモニタリングが行われるが、その目的は、(1)構造物の損傷を早期に検知し構造物の所要性能と安全を確保すること、すなわち危険に対する管理、さらに、(2)適切な時期に適切な処置を施し効率的な財産保全を図ること、すなわち財産の管理をあげることができるであろう。そのためには、点検やモニタリングの結果は“構造物マネジメント”の中で、次に続く具体的なアクションに結びつけて維持管理業務に活用されるようにとりまとめられなければならない。

ここで、二つの管理について簡単な例を示せば、ボルトがゆるみなどにより脱落し第三者へ損害を与える危険性があるような場合は(1)危険管理に結びつくであろうし、錆のように初期の段階では安全性、機能性を損なうことにはつながらないが最終的に構造物の寿命を損ねる恐れがあり、かつ景観上も望ましくないためにとられる防錆対応が(2)財産管理として必要である。危険管理については、どんな危険性があるかを想定するシナリオが必要であり、それに基づいた点検・対応が求められる。もしも危険性を想定していないのであれば、点検事項に取り上げられることもないであろうから、このような場合には防御に対して完璧を期すことは困難であり、トラブルが起こってしまった後の的確な対応が重要になる。一方、劣化や疲労のように時間変化が予測できるものに対しては予防的保全が可能であり、適切な保全対策が最適な時期に行われる。従って、構造物の健全度を調べて次の効率的な維持管理に結びつけようとするのは、健全度の変化が予測できる対象に限られ、財産管理の意味合いが強い。

しかしながら、現在国内にある点検マニュアルや健全度評価法は、それ自身が単独でとりまとめられていて、危険管理と財産管理を区別せずに取り扱っているように見受けられるものが多い。図-2.1は建設省における道路橋の維持管理の流れを示したものであるが、道路橋点検要領（案）¹⁾では、点検方法とその結果による部材別損傷度の求め方を規定しているものの、次にくる維持管理業務に対しては何も規定がない。特に、健全度評価

が、鋼橋の余寿命評価小委員会報告²⁾にあるような部材の損傷を構造全体として総合化して「構造物全体の健全度評価」としてとりまとめたならば、「健全度とは何を意味するのか」「何に使うのか」がはっきりしないという2つの問題点が浮かび上がり、使い勝手の悪いものになるであろう。

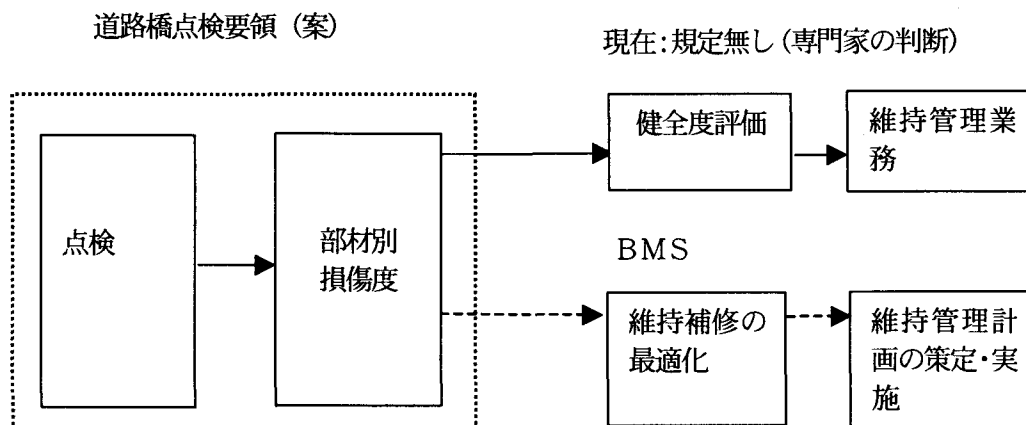


図-2.1 道路橋に見る維持管理の流れ

ここで、構造物の健全度評価の意味について改めて考えてみよう。

[I]評価単位

健全度評価の単位としては、部材と全体構造が考えられる。大半の具体的な補修作業は部材単位で行うのが基本であり、この場合には全体としての評価は不必要である。

これに対して、全体構造として取り扱う必要があるのは、破壊、架替え（更新）あるいは大幅な構造変更が必要か否かを判定するような場合に限られ、このようなケースでは全体構造としての健全度評価が必要となる。（このようなことから、建設省土木研究所構造研究室の開発した橋梁マネジメントシステムでは、健全度評価を床版、上部工、橋全体の更新に限っている³⁾。）

構造物全体の健全度を評価したものの事例として、米国のNB I sufficiency ratingがある。これは、全米58万橋を対象として、点検データをもとにその健全度を0から100までのレベルに区分し、この数字によって橋梁の補修・更新の必要性を判断するものである。すなわち、80-50点では補修費を、50点以下では架替え費を、連邦政府から州政府等へ拠出する。この評価はそれほど精緻なものではないが、補修・更新の必要性の判断に使われるという意義がある。すなわち、評価の目的がはっきりしており、次のアクションに結びつけられている。これは今後発展して橋梁マネジメントシステムに移行すると考えられる。

また、構造物全体が係わる構造物としての機能をみると、耐荷力評価は構造全体の健全度評価と関係がありそうである。鋼橋を例にとると、次のような場合に耐荷力照査が必要になると言われている。

- 1) 橋の劣化、構造異常や損傷が見つかった場合
- 2) 設計基準や道路等級あるいは荷重制限が変更された場合
- 3) 橋の最大強度に影響を及ぼすような補修を行った場合
- 4) 規制車両の許可申請がなされた場合

これらの場合、2) から4) は耐荷力判定をしなければならない原因や時期が明確であり、常時問題になる事象ではない。また1) は、その程度が著しい場合には耐荷力判定が必要になるかもしれないが、そのためには部材ごとの劣化や損傷を詳しく見る必要がある。何れにしても構造物全体としての健全度評価というのは限定的なものと言ってよいであろう。

[II]活用の方法

土木構造物の重要性を考えると、定期的な点検やモニタリングが適切に行われることを前提にしてよいであろう。

点検により検知された構造物の損傷が、(a)安全性能、(b)使用性能、(c)周辺環境への影響性などに直接結びつくような場合には、緊急の対応が必要になる。その場合には当該損傷が構造全体への様に影響し危険管理に係わるかが重要である。従って、この場合は各部位の損傷を統合化した構造全体としての健全度評価は必要がない。

構造物の劣化損傷が、(a)安全性能、(b)使用性能、(c)周辺環境への影響性などには直ちに結びつかないような場合には、次に行われる点検までに期待される危険性、長期的な劣化損傷の進展の予測から保全戦略が検討される。すなわち、補修時期や補修工法の選定あるいは、損傷個所をまとめて補修工事を行うか否かを判断することが必要になり、いろいろな補修シナリオのライフサイクルコスト（LCC）による評価で最適案が決められる。

以上の議論を整理すると、

- ・点検から保全まで、一貫したものとしてとらえ、健全度評価の観点をはっきりさせる。
- ・観点に応じた判定基準が必要となる。すなわち、ライフサイクルコスト分析（LCCA）は劣化予測ができる財産管理に適用できる。危険管理は財産管理とは別もの。

使用性は鉄道と道路で異なる。

全体をサポートするのが橋梁マネジメントシステム。

これらを取りまとめて整理したのが図-2.2である。

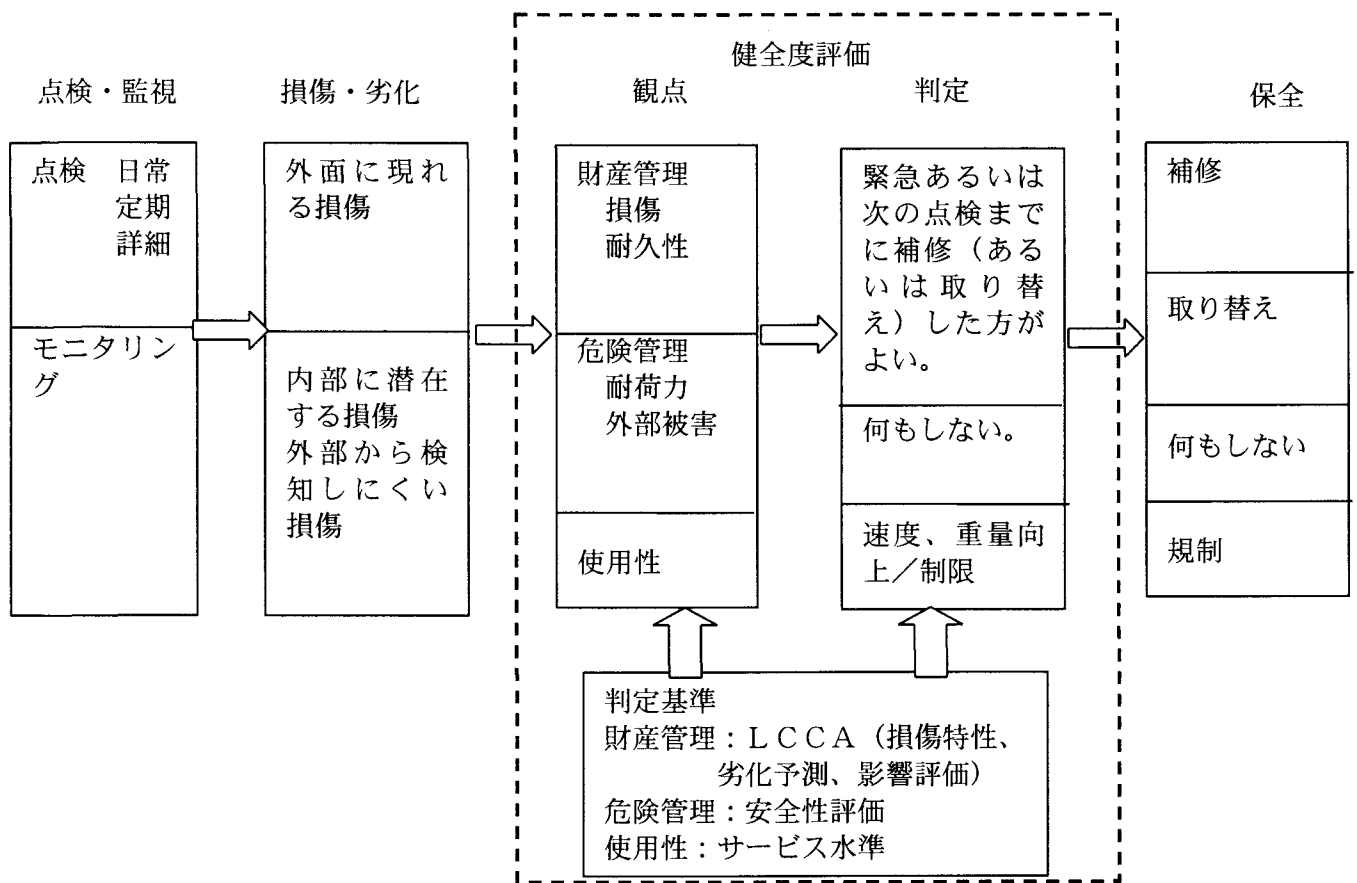


図-2.2 健全度評価の関連図

とりまとめると、

構造物の管理としては、構造物の機能性（主に耐荷力）と耐久性の両者を考える。

機能性に係わる損傷に対しては、考えられる事象とそれによる影響度を想定し、点検&維持補修を行うとともに、万が一が起こった場合には緊急対応で影響を最小限に食い止める。この場合は、部材単位の取り扱いになるが、影響度を検討する際には構造物全体に波及する度合い(redundancy)を考えなければならない。

一方、耐久性に関係する損傷に対しては、時間的劣化を予測しLCCを最少にするような合理的な維持管理を進める必要がある。このときには、構造全体としての健全度は不必要であり、部材の集合としての損傷度（健全度）でよい。

何れにしても、構造物全体としての健全度評価は必要なく、目的に応じて部材を基本として健全度を評価すればよい。

そこで、鋼構造物の維持管理研究小委員会WG3では、マネジメントシステムの一環として、「点検・モニタリング」、「損傷（劣化）度判定」、「維持管理業務」の関係を結びつけて考えて、その中で健全度評価を再整理する。具体的には、部位（部材）ごとに、次に来ると考えられる維持管理業務を想定してLCCに換算して評価するための健全度の表現方法を提案したい。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：橋梁点検要領（案）、土木研究所資料第2651号、昭和63年7月
- 2) 鋼橋における劣化現象と損傷の評価、土木学会鋼構造シリーズ⑦、土木学会、1996
- 3) 建設省総合技術開発プロジェクト「社会資本の維持更新・機能向上技術の開発報告書」、ppⅢ-49～63、平成8年10月、建設省

3. 健全度評価手法の紹介

3. 1 水力発電所の事例（国内）

電力関係の鋼構造物としては、水力発電所のダムゲートや水圧鉄管、火力発電所の鋼管杭棧橋や鋼矢板護岸などが上げられる。水力発電所の鋼構造物は、比較的穏やかな腐食環境に置かれるが、発電や機器操作に直接かわる構造物として重視され、予防保全の色彩が強い。一方、火力発電所の鋼構造物は、臨海施設として厳しい腐食環境に曝されるが、常時の荷重条件がそれほど厳しくないため、全般に電気防食に重点を置いた管理がなされている。ここでは、水力発電所の鋼構造物を中心に最近の事例を紹介する。

（1）電力業界全体の動き

設備診断マニュアル、各種データベース、健全性診断システムについては、昭和 60 年代前半から電力各社で積極的に整備が進められ、今日実用化に至っている。電力業界共通の保安規定は存在するが、必要最小限のものであるため、より詳細な評価診断には各社固有の技術・管理思想が存在する。特にここ数年は、規制緩和の流れの中、電力各社は自己責任のもとで保安確保の取り組みをより一層進めることが求められている¹⁾。新規建設地点が少なくなった背景もあって、既設構造物の適切な劣化度把握とそれを踏まえた長期利用が益々重要になってくるものと思われる。また、塗装・補修インターバルの決定には、ライフサイクルコスト（LCC）の評価が試験的に活用され始めている^{2) 3)}。

（2）電力中央研究所の取り組み

電力中央研究所においては、長年に及ぶ調査実績を背景に、各種の設備診断マニュアルを整備するとともに（例えば、参考文献 4））、健全性診断システムを開発して、その運用を進めてきた^{5) 6)}。この健全性診断システムは、ダムゲート（ラジアルゲートおよびローラーゲート）、水圧鉄管を対象として、データベース、3次元構造解析プログラム（有限要素解析）、設備診断エキスパートシステムを備えている。

データベースには、ダムゲート 340 地点、水圧鉄管 1140 地点のデータが格納されており、設備概要、構造形態、外観状態（腐食・変形等）、使用状態（操作性・過去のトラブル等）、構造解析モデル（代表的な構造寸法）、実測値（変位・応力・腐食等）、設計時の初期断面を用いた構造解析値、および調査時の腐食断面を用いた構造解析値のデータ項目が準備されている。

3次元構造解析プログラムは、データベースに入力された代表的な構造寸法から自動メッシュ分割で解析モデルを作り、発生応力等を求めるものである。主要部材の応力や変位の解析値は、実測値との比較や実測ができない箇所の推定に利用される。

エキスパートシステムによる構造力学的診断では、現行の設計基準・調査要領に基づく照査が行われるが、簡易な設計計算式ではなく実測値または有限要素解析値に基づく実態ベースの評価を重視しているのが特徴である。また、経験的診断は、維持管理に伴う定性的要因を評価するためのもので、外観・使用状態の各項目の評価点と重要度をもとに点数評価から結果を導出している。評価結果は「現状のまま使用可」、「板厚調査を計画」、「応力等の詳細調査を計画」、「補修・取り替えを検討」といった形で提示される。

現状の健全性診断システムは、構造物の補修・補強・取り替えを検討する前段階に位置付けられており、構造物の現状評価と異常の検知が主な役割となっている。何らかの問題が確認された後の検討は、個々の特殊事例に基づく再調査や重点監視が必要となるため、汎用的な解析ソフトウェアでは処理しづらい要因を含んでいる。そのため、インターネット環境下で利用可能な遠隔観測システムを開発⁷⁾し、健全性診断システムの後段階に位置付け、現地適用を進めている。また、構造物の長期利用と状態変化の関連付けが今後不可欠と思われることから、通常の点検・調査・設備診断項目から状態監視に必須と思われるものを抽出して新たなデータベースを構築し、ライフタイムデータベースと称して健全性診断システムと遠隔観測システムの連携に用いる予定である（図-3.1）。

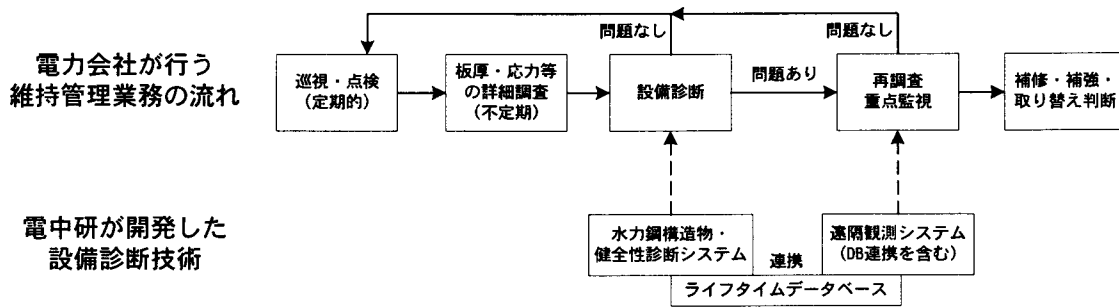


図-3. 1 健全性診断システムと遠隔観測システムの連携による維持管理業務支援

(3) 国内電力会社の取り組み

電力各社において、設備診断マニュアル、各種データベース、健全性診断システムが整備されていることは既に述べた通りであるが、これらは汎用大型計算機またはスタンドアロンのワークステーションやパソコン（PC）上で動作するものが大半であった。しかしながら、近年急速に社内ネットワーク（イントラネット）が整備され、協力会社との間でネットワーク連携が進んだことから、多くの解析ソフトウェア・データベースがネットワーク上で使えるようになってきている（例えば参考文献8）。また、点検項目の表示・入力、デジタルカメラの制御、PCへのデータ転送機能を有する携帯端末⁹⁾も一部に普及し始め、システムの利用環境は大幅に向上してきている。

一方、健全度評価手法そのものに大きな変化は見られないが、経験に基づく設備診断からより実態に近い構造力学ベースの評価に移行していること、構造物の長期利用に伴い機能性評価の重要性が増していることは言うまでもない。場合によっては、現象把握のための現地詳細調査や3次元有限要素解析が実施されることも珍しくなくなっている。

LCC評価は端緒についたばかりであり、試験的利用の域を出ないが、経費節減の指標を示す方法として有益である。LCCによる経済性評価と同様、ライフサイクルに伴う環境保全要因としてCO₂排出量を算出し、評価に加える事例¹⁰⁾も見られる。

(4) 諸外国での取り組み

ここでは諸外国での取り組みについて簡単に紹介する。

新しい動きとしては、BC Hydro社（カナダ）やVattenfall社（スウェーデン）などで信頼性重視保全（RCM；Reliability Centered Maintenance）¹¹⁾への取り組みを始めている。RCMとは、時間計画・状態監視・被害発見・事後保全を合理的に選別する方法論の総称で、被害モードの認識や優先順位の決定、各被害モードに対する効果的な予防保全対策の選別等に優れているが、保全周期の決定には活用できない。RCMは、故障の木解析（FTA：Fault Tree Analysis）と故障モード影響解析（FMEA：Failure Mode and Effects Analysis）の長所を組み合わせたような解析法である。

参考文献

- 1) 川原修司ほか：通商産業省電力技術課長補佐を囲む平成12年度技術座談会、水門鉄管、No.204、pp.25-48、2000.9.
- 2) 安田 登：電力土木構造物へのライフサイクルコストに関する検討の現状、土木学会、第1回「ライフサイクルコスト」に関するワークショップ資料、pp.6-10、1999.12.
- 3) 赤石沢総光・吉田郁政：LCCを考慮した既設構造物の保守戦略手法に関する研究、土木学会、第55回年次学術講演会概要集、I-A30、2000.9.

- 4) 通商産業省資源エネルギー庁：鋼構造物の診断マニュアル（案）、1993.4.
- 5) 山本広祐・中村秀治・松井正一：水力鋼構造物・健全性診断システムの高度化－電中研テクノウェーブシステムへの移行と機能拡充－、電中研研究報告 U99072、2000.6.
- 6) 水鳥雅文・山本広祐・松山昌史：電中研テクノウェーブシステムによる土木技術情報の共有化、電力土木、No.288、pp.94-98、2000.7.
- 7) 塩竈裕三：ウェブ環境下における電力土木施設の遠隔モニタリング、平成 12 年度電力中央研究所研究発表会、土木部門予稿集、2000.11.
- 8) 井上直洋・八幡泰史・宮田 卓：東京電力における建設 C A L S / E C 対応システムの開発、電力土木、No.288、pp.69-73、2000.7.
- 9) 開発計算センター：ダム巡視・点検システム Version 1.0、1999.
- 10) 東京電力（株）技術研究所 建築 G：電力建物の合理的保全方法に関する研究、東京電力（株）平成 12 年度技術開発報告会資料、土木・建築部門、pp.1-8、2000.6.
- 11) Smith, A.M. : Reliability-Centered Maintenance, McGraw Hill, 1993.

3. 2 鋼鉄道橋の事例（国内）

鋼鉄道橋の検査は法令により義務付けられている。検査要領や体制は鉄道事業者が定めた基準により行われているが、内容は JR 各社、私鉄ともほぼ同じようである。

鋼鉄道橋の検査は、「損傷、劣化度（損傷度）の診断」と「健全性、使用性（健全度）診断」を目的としている。

（1）損傷度診断

損傷度診断は、当初確保されていた性能や機能が損なわれた状態について診断するものである。損傷度は①進行性、②冗長性、③損傷の影響、の要素について診断し、その結果を組み合わせる評価する。損傷度に対する判定区分は下表に示すとおりである。

| 判定区分 | 運転保安等に対する影響 | 変状の程度 | 措置 |
|------|-----------------------|--------------------|------------------|
| AA | ・安全を脅かす | 重大 | 直ちに措置 |
| A | ・早晚脅かす ・異常外力の作用時危険 | 変状が進行し、 機能低下も進行 | 早急の措置 |
| | 将来脅かす | 変状が進行し、 機能低下の恐れ | 必要な時期に 措置 |
| B | 進行すれば Aランクになる | 進行すれば Aランクになる | 監視（必要に 応じて措置） |
| C | 現状では影響なし | 軽微 | 重点的に検査 |
| S | 影響なし | 健全 | |

（2）健全度診断

構造物は損傷があったとしても、要求される性能や機能を十分満足していれば供用できる。つまり構造物は本来、損傷の程度からのみ診断されるべきものではなく、要求される性能や機能に対する適用性も考慮に入れるべきものである。そしてその程度を示す指標として健全度評価がある。

健全度診断では、①損傷度のほかに、②耐力・耐久性（どれだけの荷重に耐えられるか、どれだけ耐久性を有しているか等）、③使用性（使用上の利便性や合理性、利用者の要求性能に対する適用性）の要素について判定さ

れる。

鋼鉄道橋では、現有耐力評価や耐久性（余寿命）評価等については定量的な診断手法が国鉄時代から用いられ、健全度診断が行われている。

○耐力評価

鋼鉄道橋の場合、既存の構造物の耐力は「現有応力比率」あるいは「現有耐力」として評価されている。

$$\text{現有応力比率 (SR)} = \sigma_m / \sigma \times 100\%$$

σ_m : 保守限応力度

σ : 最大応力度 ($\sigma_d + \sigma_l + \sigma_i + \sigma_c$)

最大応力度は、当該先駆の許容最高速度で車両が入線した際に部材に生じる最大応力である。最大応力は、既設桁では実働応力を基本とする。

耐力の健全度判定区分の目安は下表に示すとおりである。

| 健全度判定区分 | 現有応力比率 (SR %) | 旧実耐率の参考値 |
|-----------------|---------------------|----------------|
| AA | $SR \leq 100$ | おおよそ80%以下 |
| A1 または A2 | $100 < SR \leq 120$ | おおよそ80~100% |
| B | $120 < SR \leq 150$ | おおよそ100~120% |
| C または S | $SR > 150$ | おおよそ120%をこえるもの |

○耐久性（余寿命）評価

供用中の鋼橋において、耐久性としての物理的寿命を決定付けるものは、主に腐食と疲労と考えることができる。腐食については、耐力評価によってその時点ごとに評価することができる。しかし疲労については発見しにくいことや、一旦発生すると急進性を伴うため、通常の見視検査だけでは十分な対応ができない場合がある。したがって累積疲労の度合いを「疲労損傷度」として定め、定量的に診断することで耐久性（余寿命）評価を行っている。累積疲労損傷度に対する健全度判定区分の目安は下表に示すとおりである。

| 累積疲労損傷度 (D) | 判定区分 | 検査への反映 |
|--------------------|---------------------------------------|---------|
| $D \geq 1.0$ | A1 | 個別検査の実施 |
| $1.0 > D \geq 0.8$ | A2 | |
| $0.8 > D \geq 0.5$ | B | 重点検査項目へ |
| $0.5 > D \geq 0.2$ | | |
| | $D < \frac{\text{経年}}{\text{設計想定寿命}}$ | C |
| $D < 0.2$ | S | 通常通りの検査 |

(3) まとめ

鋼鉄道橋では、損傷度診断や上記のような健全度診断が行われ、これらの結果に基づき維持管理や取替えが行われている。しかしながらユーザーコストが支配的な鉄道では、健全度評価結果に基づいたライフサイクルコスト評価による積極的な投資計画まではされていないようである。また維持管理に対する経費を「保守費」として呼んでいるように、機能アップや延命化といった性能向上には投資されない傾向にあると思われる。これについては、これまで投資に対する見返りを定量的、客観的に評価できなかったことも考えられる。ライフサイクルコスト評価等を用いた投資計画手法が確立されれば、特に財源の制約のある中小の私鉄や地方線区では取り入れら

れていくものと思われる。

ライフサイクルコスト評価を行うに当たっては、鋼鉄道橋で行われているこのような健全度評価手法は有効な判断材料になるものと思われる。しかしLCC評価では劣化予測が決め手になるものと思われるが、そのためには検査結果の履歴である台帳の管理（データベース化）や、検査のばらつきをなくす検査資格制度の整備が必要であるものと思われる。

3. 3 PONTISの事例（AASHTO；米国）

（1）まえがき

米国の道路は約600万kmにおよび、建設された橋梁も約56万橋になる。米国では社会基盤整備が早くから進められており、これら橋梁の約70%に相当する40万橋が1935年以前に建設されたものである。そのため、何らかの損傷を有し、補修等の対策を必要とする橋梁も多く、その数は全橋梁数の40%にも上ると言われている。補修等に必要経費も巨額であり、500～1000億ドルと見積もられている。しかしながら、維持管理関係の年間予算は30～50億ドルに過ぎず、予算をいかに配分するかが極めて重要な問題となっている。

このような背景のもと、開発されたプログラムがPontisであり、その目的は、限られた予算という制約条件下で、損傷を有する多数の橋梁の維持管理工事に優先順位をつけることである。それには合理性が要求され、費用対効果（benefit/cost比）の考えに基づいて最適化をはかることで順位付けを行うようになっている。なお、Pontisのように橋梁の維持管理を支援するシステムは、一般にBMS（Bridge Management System）と呼ばれる。

Pontisは1989年頃から開発が始められ、1991年にVer.1.0、1993年にVer.2.0、1995年にVer.3.0がリリースされている。現在では、米国の40州以上の交通局（DOT）のみならず、他の国でもPontisを使用しているところがある。

開発当初は、FHWA（Federal Highway Administration）が中心的な役割を果たしていたが、現在ではAASHTO（American Association of State Highway and Transportation Officials）が開発の中心となっている。橋梁と構造物に関するAASHTO道路小委員会（AASHTO Highway Subcommittee on Bridges and Structures）の1999年年次会議議事録には、Pontis 2000の開発状況に関する報告が記載されている。

以下では、Pontisの全体構成ならびにその骨格をなす事項について簡単に説明する。

（2）全体構成

Pontisは橋梁諸元、橋梁損傷状況、環境、維持（maintenance）・補修（repair）・修繕（rehabilitation）（この3つをまとめてMR&Rと呼ばれる）工事費等をもとに、維持・補修・修繕工事の必要性を検討し、かつ長期にわたっての費用対効果を求めて最適維持管理対策工事の計画を作成する。また、改良工事（improvement）に関する評価も行い、最終的にこれらの結果を統合して維持管理の予算支出計画を出力する。なお、維持・補修・修繕工事は本来の道路機能を維持するのに必要な工事、改良工事は道路機能を改善するための工事（例えば拡幅工事等）と定義し、Pontisではこの2種類の工事を明確に区別している。

（3）入力データ

1）橋梁諸元データ

基本的な橋梁諸元のデータに関して、米国各州では従来からNBI（National Bridge Inventory）と呼ばれるデータベースが構築されてきた。PontisはNBIのデータをほぼそのまま使用している。そのため、米国各州は比較的容易にPontisを導入できる。

2）橋梁損傷状況データ

橋梁は要素（橋梁要素（bridge element））に分割される。この橋梁要素は、一般に部材タイプ（箱桁、壁式橋脚等）と材種（耐候性鋼材、プレストレストコンクリート等）の組合せで定義され、各橋脚要素には固有の

識別番号が割り当てられている。

損傷状況は橋梁要素ごとに評価される。損傷は連続的に変化していくものであるが、Pontis では各橋脚要素の損傷状況を3～5段階に分類しており、橋梁要素の何%がどの段階に達しているかを調査し、入力するようになっている。損傷状況の調査は2年ごとに行われ、データが更新される。

3) 環境データ

Pontis では、各橋梁要素が置かれている環境の評価も必要とする。ここで言う環境とは、橋梁要素の損傷進展速度に関するもので、4段階で評価し、入力する。

4) 維持・補修・修繕工事費データ

各橋梁要素の損傷に対して適用し得る維持・補修・修繕工事は、あらかじめ示されている。その工事費はデータとして入力する。

5) 改良工事費データ

あるべき道路機能、設計基準、改良に必要な工事費をデータとして入力する。

(4) 機能

1) 損傷進展予測モデル

あらかじめ損傷進展予測モデルが準備されているが、調査が2回以上行われ、橋梁損傷状況データが入力されると、自動的に回帰分析を行い、損傷進展予測モデルを修正する。上記の環境データは、損傷進展予測モデルで活用される。

2) 保全モデル (Preservation Model)

各橋梁要素の損傷状況に応じて、最大3つの対策が提示されている。各橋梁要素の将来の損傷状況は損傷進展予測モデルにより得られるが、採用する対策により、その結果は異なる。各対策に要する工事費も当然異なっている。Pontis では、長期の維持・補修・修繕工事費が最小になるよう最適化を図る。

3) 機能改良モデル (Functional Improvement Model)

改良による便益と改良工事費を算出する。便益はユーザコストの節約という観点から評価される。例えば、幅員が不十分な橋梁では、通常の場合よりも事故の起きる確率が高い。Pontis では、改良により事故発生確率が減り、事故に関わるコストが減るのを便益として見積もる。

4) 維持管理計画最適化モデル (Program Optimization Program)

維持・補修・修繕工事と改良工事に対し、予算を振り分ける。具体的には、限られた予算内で便益が最大になるよう工事の優先順位を決定する。なお、維持管理計画では橋梁の架け替えも選択肢のひとつであり、その費用対効果が大きい場合には、架け替えが選択される。

(5) あとがき

代表的な橋梁維持管理支援システムである Pontis を概観した。Pontis は優れたプログラムであり、実際の維持管理計画との比較においても概ね良好な結果が得られている。しかしながら、Pontis の出力結果をそのまま維持管理計画として採用する段階には至っていない。当面は、Pontis の出力結果を維持管理計画の素案とし、工学的な判断、橋梁レベルでの作業項目や費用等を考慮に入れ、最終的な維持管理計画を作成する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 河村圭：Bridge Management System (BMS) の開発および実用化に関する研究，山口大学博士論文，2000年。
- 2) 藤井学，前川義雄，PONTIS会：米国における橋梁の維持管理システム，橋梁と基礎，95-6，pp.33-37，1995年。
- 3) AASHTO: Minutes of the 1999 Annual Meeting of the AASHTO Highway Subcommittee on Bridges and Structures, 1999.
- 4) A. Marshall, W. Robert, K.G. Anderson, R.L. Floyd and F. Corso, Jr.: Comparison of Pontis Bridge Project Recommendations to Programmed Work for Three U.S. Transportation Agencies, International Bridge Management Conference, 1999.
- 5) U.S. Department of Transportation, FHWA: Pontis User's Manual, Ver.2.0, 1993.