

## 海外の維持管理に関する技術基準類の現状

## TECHNICAL STANDARDS ON MAINTENANCE IN FOREIGN COUNTRIES

谷倉 泉\*、森 猛\*\*、貝戸 清之\*\*\*

Izumi TANIKURA、Takeshi MORI、Kiyoyuki KAITO

ABSTRACT: This paper aims at introducing current status of technical standards of maintenance on steel bridges in foreign countries. For this purpose, some information have been gathered from inspection/evaluation manuals and hearings for bridge administrators in major countries, and their inspection methods, qualification of inspectors, configuration of database and BMS have been examined minutely and compared. Furthermore, based upon these results, future direction of bridge maintenance in Japan is also mentioned.

KEYWORDS: 維持管理、点検、評価、点検員、評価、BMS

Maintenance, Inspection, Evaluation, Inspector, BMS, Foreign standard

## 1. はじめに

土木構造物の中で、橋は古くから、水道、人々の交流、物流、交通の要として利用され、発展してきた。最近では 2000m級の橋も出現し、人々の活動範囲や経済活動に多大な恩恵をもたらしている。さらに、橋にはランドマーク的な要素や芸術的な意味合いが求められるケースも増加してきている。すなわち、橋は多くの土木構造物の中でも、求められる機能、景観の面からも市民的、文化的、経済的な色合いが強く、我々にとって無くてはならない存在となっている。

しかしながら計画から設計・施工を経て竣工までに至ると、その後の維持管理にはあまり光が当たっているように思われない。これは多くの国において、ひとつには完成したものにはあまり費用をかけられない財政的な事情、あるいは一般に補修・補強工事は目立たないように行われることが望ましいというような政治的な一面も影響していると思われる。10年前に韓国ソウルで起きた聖水大橋の落橋事故は衝撃的であったが、わが国においても鋼構造物の疲労損傷や橋梁付属物の落下事故が多発しており、橋の本来の目的である安全で快適な交通の供与を確保するためにも、官民が協力して体系的に維持管理技術の発展に取り組むことが重要であると考えられる。

一方、アメリカ合衆国では1967年のオハイオ州 silver 橋の落橋事故を契機に橋梁の点検・検査制度が制度化され、1971年に全国橋梁点検基準が(NBIS)が制定された。これにより、橋梁の点検は各州の交通局が行い、連邦政府運輸局(FHWA)が総括管理する体制が整えられた。欧州においても、ドイツ、スイス、フランスでは州あるいは県単位で橋梁点検の実務を行い、国の管理機関が統括管理することを基本とした体制をとっている<sup>1), 2)</sup>。ただし、このような欧州諸国とアメリカ、日本を比較してみると、共通した管理手法も多く見られるものの、細かな実施体制は若干異なっている。また、ドイツ、イギリス等では鋼橋の架設数量が比較的多いものの、フランスでは鋼橋の全体に占める面積費は1割に満たないというようなお国事情もうかがえる<sup>3)</sup>。

このような中、最近筆者らはアメリカ<sup>4)</sup>および欧州各国に赴き、橋梁管理機関の担当者らと意見交換する機会を得た。その中で特に維持管理の手法として興味があった点検員の資格と育成、点検結果の判定、BMS(Bridge Management System)について整理することができたのでここに報告したい。

\* (社)日本建設機械化協会 建設機械化研究所 研究第二部(〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154)

\*\* 法政大学 工学部 土木工学科 (〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2)

\*\*\* (株)BMC (〒261-7125 千葉県美浜区中瀬二丁目 6)

## 2. 調査内容

調査を行った国は、アメリカ合衆国、ドイツ、スイス、フランス、日本の5ヶ国である。この内、ドイツ、フランスについては、国として統括的な立場にある管理機関を調査対象としたが、その他の国については、多くの管理機関の中から代表的な機関を選んで調査対象とした。アメリカ合衆国についてはニューヨーク市（NYC）を対象に、スイスはチューリッヒ州を、日本は東名高速道路を管理する日本道路公団東京管理局（JH）を対象として調査を行った。

各国の調査対象機関と、それぞれの機関が現在維持管理業務に適用している点検マニュアルを表1に示す<sup>5),6),7)</sup>。表中には主な応対者も合わせて記す。

調査は主として訪問先でのヒアリング等によるものであり、本文でまとめた内容は以下のとおりである。

- (1) 点検の種別と点検頻度
- (2) 点検員に求められる資格と点検員の教育
- (3) 点検結果の判定ランクと判定責任者
- (4) データベース化の現状と BMS 開発の現状

表1 各国における点検マニュアルと調査機関

	点検マニュアル名称	調査対象機関	応対者
アメリカ (NYC)	Bridge Inspection Manual-82', 1982	New York City, Department of Transportation (ニューヨーク市交通局)	Dr. Bojidar Yanev
ドイツ	DIN 1076, 1983/1999	bast(ドイツ連邦高速道路研究所) BAM(ドイツ連邦材料試験所)	Dr.-Ing. Juergen Krieger Dipl.-Ing. Christine Kellermann Prof. Dr.-Ing. Maultzsch Prof. Dr.-Ing. Juergen Herter
スイス	SIA469 (Maintenance of Standard 16/25)	Baudirektion Kanton Zuerich (チューリッヒ州道路局) EPFL(ローザンヌ工科大学)	Mr. Erich Suter Prof. Dr.-Ing. Eugen. Bruehwiler
フランス	Instruction Technique, 79/95	SETRA(フランス道路技術研究所)	Mr. Daniel Poineau, Mr. Bouchon
日本 (JH)	道路構造物点検要領(案), 2001.4	日本道路公団 東京管理局	

## 3. 点検の種別と点検頻度

各国における点検の種別と点検頻度を表2に示し、以下に説明する。なお、各国においては路線に落下した危険物の除去や、異常の有無を巡回にて確認するような日常的な点検については討議していないため、本文では日常点検に関する記述は省略する。

### (1) アメリカ (NYC)

NY市が実施する橋梁全764橋の点検は、目視が主体となっている。点検の対象は、上部構造25部材および下部構造22部材である。点検頻度は、全橋梁に対して少なくとも2年に一度となっている。ただし、ブルックリン橋をはじめとするイーストリバー架橋群に対しては、毎年点検を行うこととしている。

### (2) ドイツ

DIN1076(道路に関する構造物：点検と調査)に従って道路構造物(高速道路の橋梁：35,000橋)の点検・調査を実施している。道路構造物の点検・調査は次のように分類される。

構造物の技術的観察は、明らかな欠陥を発見することを目的とした年4回の観察と、年1回の年度観察とがある。

基本点検は3年に1回実施される目視点検である。目視点検は近接点検を行うことを前提としてい

るので、すべての橋梁に近接点検のための諸設備が整えられている。また橋梁は点検しやすい構造にしておかなくてはならないことが DIN1076 に規定されている。

詳細調査は 6 年毎に 1 回実施される。詳細調査では非破壊検査が用いられ、構造安定性、交通安全性、耐久性について健全度評価がなされる。非破壊検査の標準を連邦政府が作成中である。

特別調査は構造安定性に影響を及ぼす事態が発生した時に実施される。

### (3) スイス

チューリッヒ州は全ての橋梁をスケジュールに従って管理している。年次点検は 1 年に一度、州の職員が全ての橋梁 (1,400 橋) の外観目視点検 (損傷の有無の確認) を行う。定期点検は 5 年に 1 回、全橋についての非破壊検査と外観調査ならびに評価を行っている。

各橋梁では十分な目視点検を実施可能とするため、橋梁内部に閉塞した空間が無くなるよう配慮している。点検不可能な場所がある場合は、開孔部 (箱桁では最小で φ60cm) を設けている。現在の点検システムは 6 年前からスタートさせたものであり、様々なコンサルタントに相談しながら、調査結果や対策が偏らないように維持管理手法を工夫している。

なお、ローザンヌ近郊で高速道路が開通する際、多くの橋梁 (約 300 橋) で載荷試験を行ってデータをとっていたが、10 年ほど前からこのような載荷試験は行っていない。

### (4) フランス

SETRA は、フランス政府管轄である国道・高速自動車道路に架設されている橋梁を対象とした維持管理業務を実施している。対象とする橋梁は約 22,200 橋であり、この全ての橋梁に対して定期的な点検を基本とした維持管理を実施している。この点検・維持業務の指針としては、「I.T.79/95」(「Instruction Technique : 技術通達」95 年改訂版)が制定されている。

「I.T.79/95」の構成を大別すると、維持管理業務の実施における組織・計画に関する「実施要領」と、維持管理作業の技術的規定を提示する「技術基準」の 2 つ要素から構成されている。「I.T.79/95」における点検レベルは、年次点検・定期点検・詳細点検・臨時点検・初期点検の 5 段階に設定されている。

年次点検は、全ての対象橋梁に対し、著しい変状を抽出する目的で毎年実施される比較的軽微な点検であり、SETRA の予算として、2001 年には 400,000,000FF (約 80 億円) 程度が計上されている。

定期点検 (Evaluation IQOA : 外観評価点検) は、全ての橋梁に対して 3 年毎に実施され、橋梁の構造・性能・供用・安全の各々に関する評価を実施する点検である。

詳細点検 (I.D.P.) は、上記の点検において抽出された橋梁に対して、6 年に 1 回、4~5 人の点検員で行う近接調査である。点検範囲は大型点検車等を用いて橋梁構造部位の全てに及び、調査期間も長く設定される。

臨時点検 (Visits/Inspections : 巡回点検) は、災害・事故などの有事発生後の安全確認を目的とした不定期の点検である。場合によって計測器等の設置も行う。

初期点検 (I.D.I.) は、新設橋梁の竣工後に初めて実施する点検として位置付けられている。

### (5) 日本 (JH)

定期点検は、担当する管理区間全体の状況を全般的に把握し今後の点検計画立案のための資料を得ることを目的に行うものであり、管理事務所に所属する全職員 (事務職を含む) によって様々な観点から行われている。

詳細点検は、構造物の損傷状況を細部にわたって把握・評価し、その結果をもとに点検計画、補修計画などを立案することを目的として行う点検と位置付けられている。すなわち構造物の特定の問題について、点検だけでは十分な評価ができない場合に実施する調査や解析業務は対象としていない。

表2 点検の種別と点検頻度

	点検種別	点検頻度
アメリカ (NY)	定期点検	2年に1回
ドイツ	構造物監察	3ヶ月に1回、1年に1回
	基本点検	3年に1回
	詳細調査	6年に1回
	特別調査	随時
スイス	年次点検	1年に1回
	定期点検	5年に1回
	詳細調査	随時
	臨時点検	//
フランス	年次点検	1年に1回
	定期点検	3年に1回
	詳細点検	6年に1回
	臨時点検	随時
日本 (JH)	定期点検	1年に1回(原則)
	詳細点検	5年、10年に1回
	臨時点検	随時

詳細点検は JH の管理員有資格者（技師 B、技師 C、技術員：各講習会の受講、経験年数）で行い、実施頻度は交通および第三者に対して支障となる恐れのある箇所は最大 5 年間隔、それ以外の箇所は最大 10 年間隔としている<sup>8)</sup>。

以上より、点検の種別と頻度についてまとめると、次のような傾向が見られる。

- ①アメリカ（NYC）の点検は、2 年に 1 回の定期点検を基本としている。
- ②欧州と日本で行われている点検の種別は、表現の違いが多少見られるが、基本的には年に 1～3 回の年次点検、3～5 年に 1 回の定期点検、必要に応じて適宜実施する詳細調査および臨時点検に分類される。

### 3. 点検員

安全確保のための交通規制や補修・補強等の対策は、異常が発見された点検結果に応じて実施されるものであり、その意味で点検員の果たす役割は非常に重要な意味を持つ。しかしながら、橋梁の変状や構造物に対する理解は、点検員の知識、経験、意欲などによって異なり、自ずと点検結果には個人差が生じやすくなる。このため橋梁の管理機関は、より精度の高い点検を行い、効率的な管理を行うために、マニュアルの整備を進めるとともに点検員の育成にも努めている<sup>9)</sup>。

このような点検員に求められる資格、およびその教育制度について調査した結果を以下に説明し、表 3 に要約する。

#### （1）アメリカ（NYC）

点検は班単位で実施される。班は P.E.（技術士）有資格者、もしくは連邦道路局（以下、FHWA）のトレーニング講習修了者を班長とし、1、2 名の点検員とその他のスタッフで構成される。点検員には土木工学を修了し、実務経験が 5 年以上の者が選ばれる。FHWA のトレーニング講習は全米各地で頻繁に開催されており、講習期間は約 2 週間である。

#### （2）ドイツ

点検は DIN1076 に従って行われる。点検員は構造物の力学的状態や変状に対して理解のある専門分野の技術者として位置付けられている。一般に実務経験 2～4 年で点検班長となるが、班長には技術士資格が求められる。各点検は数名の民間の専門技術者および州の技術職員で行われるが、詳細調査では、コンサルタント等の特別技術者に公団や州の職員が同行する。

点検員の育成に関しては、公団や各州で地域ごとに研修セミナーや特別講演会等が年に何回か開催されており、国や州が点検員育成のリーダーシップをとっている。

#### （3）スイス

スイスでは州が橋梁のオーナーとして管理全般を行っており、橋梁エンジニアで構成される管理局の橋梁構造部が点検から補修対策までの責任を負う。

年次点検では、州の技術職員が点検員となり、3 人 1 組で全橋の外観目視点検を行う。定期点検は、民間コンサルタントの専門技術者が行う。詳細調査は民間コンサルタントのベテラン専門技術者と州の技術職員が行うが、橋梁構造部は点検の手法から点検結果の判定までコンサルタントと詳細に打合せを行い、具体的な内容を決定している。

点検員の育成に関しては、州管理局職員による教育（講習）や、州の職員とコンサル等の専門家が集まって行う協議の場および現場調査等を経て互いに経験を積んでいくケースなどがある。

#### （4）フランス

点検は、県の技術職員および研修を受講した民間の専門技術者が行うこととなっている。詳細点検は特別技術者（コンサルの専門技術者や大学教授）が中心となっていく。

点検を行う点検員育成のための講習は、SETRA やコンサルタントの専門家が一緒になって講習会を開催している。日数は 2～3 日で、費用は 10,000～15,000FF（2～3 万円）ほどである。この他、講習会は県単位で行われたり、コンサルタントが自主的に実施して点検員の育成を図っているケース

もある。また、橋梁を維持管理する国や県の管理技術者や現場監督員についても研修が行われている。スイスでは、ドイツと同様に国や県が点検員育成のリーダーシップをとっている。

(5) 日本 (JH)

定期点検については、日本 (JH) では担当する管理区間全体の状況を全般的に把握し、今後の点検計画立案のための資料を得ることを目的として、管理事務所に所属する全職員(技術職、事務職を含む)で行っている。また、重大な損傷が発見されたような場合には、専門の技術者や大学等の学識経験者に相談したりすることもある。

研修会は受講の対象を民間技術者サイドと道路管理者サイドに分けて年に何回か実施しており、それぞれ1回あたり3～4日間行っている。JH 全体で積極的に取り組んでいるこの研修では、点検および専門に関する基本的事項、損傷事例およびその対策方法の紹介等を JH の専門職員および外部講師が行っている。場合によっては現場見学会も開催されている。

以上の調査結果より、点検員の資格と育成に関して次のような特徴が見られた。

1) 点検員資格

- ①各国とも点検員資格を定めている。ただし、欧州における資格はアメリカ (NYC) ほど厳密なものではない。
- ②一般に、点検員は土木工学分野の技術職あるいは講習セミナー受講者としており、点検班長にはさらに技術士資格が求められている
- ③点検員の育成については、各国とも積極的に取り組んでおり、年に複数回の講習会を各地で開催している。

2) 点検員の育成

- ①アメリカでは、FHWA のトレーニング講習会が全米で頻繁に行われており、その期間は2週間である。
- ②欧州および日本では、橋梁管理者サイドが中心になって、年に複数回の研修セミナーや講演会を開催し、点検員の教育、育成を図っている。

表3 点検員の資格と育成

	資格	育成, 教育	備考
アメリカ (NYC)	○点検は班単位で実施されるが、班長は P. E. 有資格者、もしくは連邦道路局 (FHWA) のトレーニング講習修了者 ○班員は土木工学を修了した者、5年以上の経験が必要	○FHWA の講習会 (2週間)	○FHWA がシステム化
ドイツ	○班員は土木工学を修了した技術者、班長は技術士資格を有する者 ○基本的には研修を受講した専門技術者 ○実務2～4年で点検班長となる ○詳細調査は州の技術職員とベテラン専門技術者が実施	○国や州主催の研修、特別講演会等の実施 ○産・学・管の共同研究等を通しての取り組み	○国費投入により、国の研究機関や州がリーダーシップをとっている
スイス	○班員は土木工学を修了した技術者 ○年次点検は州の技術職員が実施 ○定期点検は橋梁コンサルの専門技術者が行う ○詳細調査は州とコンサルのベテラン技術者が行う	○州技術職員による講習 ○州職員と点検・補修コンサルとの討議	○州の構造橋梁部が主導的立場 ○州管理局には照査技師も在席
フランス	○班員は土木工学を修了した技術者、班長は技術士資格を有する者 ○基本的には研修を受講した専門技術者	○点検員の育成システムとして、SETRA が毎年2～3日の研修を実施 ○県やコンサル企画の研修もあり ○道路維持管理技術者や現場監督員に対する研修あり	○SETRA や県が主導的立場
日本 (JH)	○定期点検は管理事務所の全職員が行う ○詳細調査は管理員資格を有す専門技術者が行う	○民間技術者と道路管理者で研修対象を区分し、3～4日間の研修を年に何回か実施、講師は内外の専門家 ○現場見学会が開催されることもある	○JH 全体で取り組み

#### 4. 点検結果の判定

点検結果の判定如何によってその後に行われる交通規制、詳細調査、補修・補強等の対策が異なってくることから明らかなように、点検結果の判定は非常に重要である。各国それぞれの点検は、ある程度の経験やノウハウを持つリーダーが中心となって行われるため、マニュアルに従って点検結果から健全度を判定することはさほど困難ではないと考えられる。しかし、構造部材の耐荷力や耐久性、あるいは交通などに影響を及ぼすような特別な損傷が発見された場合には、さらに高い専門的能力を有す技術者の判断が必要になってくることもある。

ここでは、そのような損傷に対する判定ランク、および判定を行う責任者について調査した結果を表4にとりまとめ、以下に説明する。

表4 点検結果の判定

	点検結果 判定ランク	判定責任者		備考
		定期点検	詳細調査(重大な損傷)	
アメリカ (NYC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○上下部構造47部材を7段階評価</li> <li>○健全度の最低値をそのスパンの代表値とする</li> <li>○橋梁全体の健全度は、13部材について重みつき平均で算出</li> <li>○フラッグエンジニアリングの採用(3色)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○点検班長 (PE有資格者、FHWAのトレーニング講習修了者)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○特別技術者 (橋梁部門の代表者)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○FHWAでは10段階評価</li> </ul>
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> <li>○5段階評価</li> <li>○構造部材毎の評価と橋梁全体についての健全度等級が計算される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○点検班長 (州技術職員) (コンサル専門技術者)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○特別技術者(コンサルの専門技術者や大学教授)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ドイツ全体で統一</li> <li>○健全度判定事例集(500例)あり</li> </ul>
スイス	<ul style="list-style-type: none"> <li>○5段階評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○点検班長 (州技術職員) (点検コンサル技術者)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○橋の管理責任者(州管理局橋梁構造部長)が対策を判断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○州職員の関与大</li> </ul>
フランス	<ul style="list-style-type: none"> <li>○5(7)段階評価</li> <li>○橋梁全体の評価は部材最低の評価を適用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○点検班長 (県技術職員) (コンサル専門技術者)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○特別技術者(コンサルの専門技術者や大学教授)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○フランス全体で統一</li> <li>○特別技術者は約250名</li> <li>○健全度判定事例集あり</li> </ul>
日本 (JH)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○5段階評価</li> <li>○第三者被害に対する判定を設けている</li> <li>○部材単位の評価が中心</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○管理事務所の所長、副所長、助役、担当者で構成される判定会議による</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○特別な損傷に対しては、専門技術者や大学教授、委員会に諮問</li> </ul>	

##### (1) アメリカ (NYC)

FHWAは、目視検査によって橋梁の健全度を10段階で評価することを定めている。多くの州がこの評価基準を採用する中で、NY市は1982年から同年にNY州が独自に定めた7段階評価<sup>1)</sup>を採用し続けている。これには、10段階では評価が細かくなり、判断が難しくなる等の見解があったとのことである。判定の詳細は次のとおりである。

はじめに、上述した上下部構造47部材に対して、健全度を1～7の整数値で与える。詳細は表5に示すが、7が新設、1が崩壊を意味する。ほとんどの部材では1が使用限界となっているが、重要な部材では2が使用限界となっている。目視点検はスパン毎に実施され、1スパンに同一部材が複数存在する場合には、健全度の最低値をそのスパンにおける代表値として検査シートに記録する。

次に、総合評価である橋梁全体の健全度  $R$  は、点検対象となる部材の中から特に表6に示す13部材に着目し、これらの重み付き平均によって算出している。各部材の重み係数  $w_i$  は同表中にある通りで、これより橋梁全体の健全度は次式で与えられる。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{13} w_i r_i}{\sum_{i=1}^{13} w_i} \quad (1)$$

式中、 $r_i$  は表6中の  $i$  番目の部材の健全度である。なお、13部材の選定や重み係数は、NY市とNY州が過去の経験を基に定めたものである。

以上より、部材、スパン毎の健全度を判定し、さらに橋梁全体の健全度は、代表的な13部材の健全度の重みつき平均値で自動的に評価されるシステムとなっている。

実際の点検において班長が同行しない場合は、点検員が代行で評価を行う。ただし、市へ収める報

告書には班長の承認が必要で、点検員が評価に変更があると判断した際にはその都度部材の写真を撮り、班長に説明し合意を得なければならないようになっている。

また、NY市の目視検査の特色の一つにフラッグエンジニアリングと呼ばれるものがある。これは目視検査時に発見された損傷のうち、深刻なものに対して部材の重要度や損傷の危険度に応じて別途報告することを義務付けるというものである。フラッグにはレッド、イエロー、セーフティーの3つがあり、簡単に説明するとレッドは緊急対応が必要な状況、イエローは潜在的に危険な状況、セーフティーは通行車両や歩行者に対する注意が必要な状況を示すものである。

表5 NY市の目視検査による健全度の7段階評価基準<sup>7)</sup>

健全度	橋梁の状態
1	崩壊、または潜在的な危険
2	1と3の間
3	深刻な劣化、または要求性能を満みたしていない
4	3と5の間
5	軽微な劣化ではあるが、要求性能は満たす
6	5と7の間
7	新設状態

表6 橋梁全体の健全度評価に用いる13部材とその重み<sup>7)</sup>

番号 $i$	部材名	重み $w_i$	使用限界
1	支承	6	1
2	背面壁	5	1
3	橋台	8	2
4	擁壁	5	1
5	橋梁台座	6	1
6	主部材	10	2
7	2次部材	5	1
8	高欄	1	1
9	歩道	2	1
10	床版	8	2
11	舗装	4	1
12	橋脚	8	2
13	添接	4	1
		72	

## (2) ドイツ

1996年から実施されるようになった3年毎の基本点検においては、構造物の健全度を表7に示す0（健全）～4（危険）までの5段階の指標で評価することになっており、その判定は専門技術者である点検班長が行うこととなっている。この際、橋梁の健全度判断のサポートとして、500例の判定事例集が整備されている。また、6年毎に1回実施される詳細調査では非破壊検査が用いられ、部材ごとの構造安定性（S）、交通安全性（V）、耐久性（D）についての評価結果の入力により、橋梁全体としての健全度が重み（Sが最大）を考慮して自動的に計算、評価されるシステムとなっている。0を健全とすると、3.5～4.0は非常に危険な状態として評価される。

詳細調査を行う場合や特別な問題が起こった場合（重大な損傷が発見された場合など）には、専門技術者によって対策手法まで示された調査報告書が必要となるため、点検、調査結果は各州から委託された特別技術者（コンサルタントの専門技術者や大学教授）などによって判定されている。これらの特別技術者は、過去の実績等によって選ばれるものである。

表7 ドイツの評価基準

評価基準	橋梁の状態
0	損傷が構造部材および構造物の安定性に影響しない。
1	損傷が構造部材の安定性を妨げているが、構造物の安定性には影響しない。 構造物の維持管理の範囲内において損傷を除去する。
2	損傷が構造部材の安定性を妨げており、構造物の安定性にも十分影響している。 中期間で損傷を除去する。
3	損傷が構造部材および構造物の安定性を妨げている。 必要であれば短期間で損傷を除去する。必要であれば直ちに利用を制限する。
4	構造部材および構造物にはもはや安定性がない。必要であれば構造物検査中に即座に対策を実施する。直ちに利用制限を行わなければならない。補修または修復を開始しなければならない。

(3) スイス

年次点検は州の職員が行い、判定は点検班長が行う。定期点検はコンサルタントの専門技術者が行き、判定は表8の5段階の評価基準に従って班長が行う。詳細調査および特別な損傷が発見されたような場合には、コンサルタントのベテラン専門技術者と州技術職員による調査、討議を経て、橋梁構造部の責任者（照査技師）が最終決定を下す仕組みをとっている。調査結果は、その部材、部位の損傷のランクに応じて補修対策等を検討するようになっている。

表8 スイスの評価基準

評価基準	橋梁の状態
1	優れている。
2	普通
3	少々損傷している。追跡調査の継続。
4	損傷している。8年以内に補修工事を行う。
5	悪い。4年以内に補修工事を行う。

(4) フランス

定期点検は全ての橋梁に対して3年毎に実施され、橋梁の構造・性能・供用・安全の各々に関する評価を点検班長である専門技術者が行っている。健全度の判定は、表9に示す基準に従って1～3、3U、Sの5段階で行われており、そのサポートのために判定事例集が整備されている。その橋梁全体にとっての健全度は、点検結果における最低の評価ランクが適用されることになっている。

表9 フランスの評価基準

評価基準	橋梁の状態
1	問題なし
2	メンテナンス・軽微な補修が必要
3	補修が必要
3U	構造的に危険である
S	安全性・供用上の問題に対する処置が必要

詳細点検は、6年に1回、4～5人の点検員で行われる近接調査であり、これらの詳細調査結果の判定は、登録されている250名程度の特別技術者、すなわちその専門的技術レベルの高さが認知されているエンジニアや大学教授らによって行われており、将来的には資格化も検討されている。

(5) 日本 (JH)

定期点検は公団職員全員で行われており、その結果は表10に示す5段階の基準に従い、管理事務所の所長、副所長、助役、担当者で構成する会議で判定される。特に最近では橋梁付属物やコンクリート片のはく落による被害が生じているため、第三者被害に対する判定を盛り込んでいる（平成13年4月）のが特徴である。

調査結果は部材単位の評価が主であり、まだ橋梁全体としての評価ができる状態とはなっていない。疲労きれつやボルトの破損、局所的な変形等は部材単位の評価であり、RC床版についてもパネルやスパン単位の評価が行われている。しかし、腐食については観測点をいくつか固定し、画像処理によって橋梁全体の腐食状況を判定するシステムができています。

また、特に重大な損傷が発見されたような場合には、専門の技術者や大学等の学識経験者に諮問するケースもある。

表10 日本 (JH) の評価基準

区分		橋梁の状態
機能面に対する判定	AA	損傷・変状が著しく、機能面からみて緊急補修が必要である場合
	A	損傷・変状があり、機能低下が見られ補修が必要であるが、緊急補修を要しない場合。または、調査が必要な場合
	B	損傷・変状はあるが機能低下が見られず、損傷の進行状態を継続的に観察する必要がある場合
	OK	損傷・変状がないか、もしくは軽微な場合
第三者等被害に対する判定	E	安全な交通または第三者に対し支障となる恐れがあり、緊急補修の必要のある場合



以上より、各国の点検結果の判定に関して次のことがわかった。

- ①アメリカ、ドイツ、フランスは、部材単位の評価と橋梁全体の評価を行って対策を検討している。これに対し、スイス、日本は部材単位での評価にとどまっているが、全体評価への試みも行われている。
- ②定期点検結果は、概ね5～7段階で健全度が評価されている。
- ③定期点検結果の判定は、点検班の班長が行っている。
- ④欧州における詳細調査では、技術レベルの高い特別技術者(ベテランの専門技術者や大学の教授クラス)が判定を行い、報告書を提出するようなシステムがとられている。

## 5. BMS (Bridge Management System)

欧米の道路網には橋梁を始めとする数多くの道路構造物が建造されている。特に橋梁は増大する交通荷重の影響や過酷な環境条件によって劣化が進行し、道路管理者にとってはそのメンテナンスが重要な課題となってきた<sup>10)</sup>。道路管理者の重要な責務である橋梁を安全に供用するためには、適切な維持管理が重要であり、そのためには常時橋梁の現況データを補充しながら充実させておくことが必要である。その意味で、データ処理電子装置を利用し、構造データや点検結果を大量かつ迅速に処理できるデータベース化は非常に有用と考えられる<sup>11)</sup>。

しかし一方で、社会資本ストックの維持管理は財政的にも人材確保の観点からも世界的に厳しい状況に置かれている。したがって今後は、適正な予算配分のもとに効率的な社会資本の維持管理を行っていくことが望ましいと言えよう。すなわち、橋梁を合理的に維持管理していくためには、出来る限り科学的な方法を用いて体系的に管理する橋梁マネジメントシステム(BMS: Bridge Management System)が必要である。

我が国でもBMSに関する研究、ならびに開発に関する試みがなされつつあるが、まだ確立されているとは言い難いのが現状である。建設のおよそ90%を終え、社会資本の維持管理に関する先進国である欧州では、既存データの収集作業を終え、蓄積された橋梁データを取り入れたBMSが運用段階にある。また、アメリカにおいてもデータベースの運用とLCC試算への利用も図られている。

ここでは、このようなデータベースの現状とBMS開発の現状について調査した結果を表11にとりまとめ、以下に説明する。

表 11 BMS 開発の現状

	データベース化の現状	BMS開発の現状
アメリカ (NY)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○点検結果はすべて橋梁毎にデータベース化</li> <li>○各担当者のパソコンからアクセス可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○データベース化とその活用</li> <li>○健全度評価を利用した将来予測</li> <li>○ライフサイクルコストの試算</li> </ul>
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> <li>○州レベルでは構造物データ(SIB)、点検結果記録簿(RI-EBW-PRVEF)が整備されている</li> <li>○連邦レベルでは改良中(BISStra)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○2005年までに連邦・州レベルでの実用化を予定</li> <li>○BMSは7つのサブモジュールで構成され、いくつかは運用中で、他は試験運用中あるいは開発中</li> </ul>
スイス	<ul style="list-style-type: none"> <li>○橋梁構造や点検調査結果についてのデータベース化がほぼ整ってきた状態にある</li> <li>○今後は環境評価、将来計画を踏まえてデータを修正、解析を行っていく予定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○鉄道に関しては20年前から、高速道路に関しては最近開発に着手(KUBA-MS)</li> <li>○10年ほど前に政府主導でLCC評価プログラムがスタートしているが、データが不十分な状態</li> </ul>
フランス	<ul style="list-style-type: none"> <li>○SETRAにおいて維持管理データベースの構築、整備を行っている(EDOUART)</li> <li>○現場で入出力可能なデータベースを開発中(LAGORAの改良版)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○現在開発中で一部実用化</li> <li>○橋梁全体の健全性を評価指標(IQOA)を開発、そのための点検報告書作成ガイド、損傷カタログが整っている</li> <li>○健全度評価後の補修コスト評価システム開発中</li> <li>○民間でモニタリングソフトやデータベース化ソフトが開発されている</li> </ul>
日本 (JH)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○点検データは、管理員が点検データ管理システムを利用して支社、管理局ごとに入力</li> <li>○S62にデータ管理システム導入、H6、H12に改訂</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○近い将来点検データと構造物データをリンクさせた新管理システムを運用する予定</li> </ul>

(1) アメリカ (NYC)

目視点検結果は、橋梁番号 (Bridge Identification Number) ごとにデータベースに保存され、デジタル化される。出力の一例を図 1 に示す。データベースには、この他にも橋梁形式、構造諸元、所在地、スパン数、平均交通量等が記録されている。これらのデータへは、NY 市の担当者それぞれのパーソナルコンピュータ上からアクセスすることが可能で、橋梁の現状および過去の健全度の履歴や補修・補強の実績と費用等を知ることができる。その反面、部材毎の健全度は最新のものに更新されるために過去の経緯を容易に見ることができないことや、損傷箇所の写真がデジタル化されていないといった欠点もある。

NY 市ではこのようなデータベースを利用し、部材あるいは橋梁全体での劣化速度を計算して将来の健全度予測を行ったり、維持管理作業の実施度に応じた LCC (life Cycle Cost) 評価に役立てたりしている。

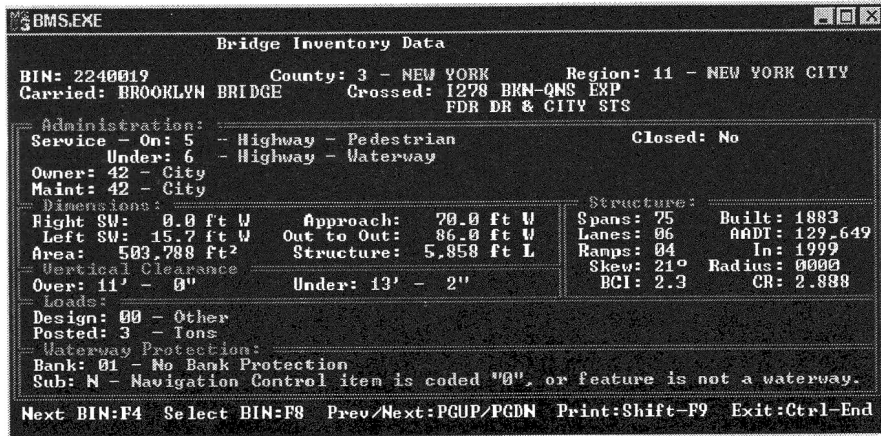


図 1 データベース出力の一例 (構造緒元検査結果)

(2) ドイツ

ドイツでは現在、全 16 州で高速道路の橋梁 35,000 橋 (スパン 2 m 以上の全て) の構造データおよび記録簿がデータベース化されて利用されている。橋梁の構造データについては、1998 年に更新された通達 ASB' 1998 (道路データベース通達) に従って、新しい SIB-構造プログラム (Road Information Database-Structure ; 道路情報データベース-構造編) が実用化され、このプログラムによって構造データ記録簿が自動的に作成され、関連情報とともにスケッチ、図表、写真などが収められるようになっていた。また、点検結果の記録簿に関しては、これまで個々の州における登録と評価方法に違いがあったことから、RI-EBW-PRUEF' 1998 (DIN1076 に準拠した点検結果の標準的な登録、処理および分析のためのガイドライン) が作られ、簡易で標準化された登録のルールが示された。手続きが標準化されたおかげで、構造物の現況を各種基準に則って採点することが可能となった。

点検員は損傷の一つ一つを、「構造安定性 (S)」、「交通安全性 (V)」及び「構造耐久性 (D)」のそれぞれにどのような影響を与えるかについて個別に評価し、この損傷評価結果の入力に基づいて、構造物全体の健全度等級が自動的に計算される仕組みになっている。その数値が 3.5~4 の範囲 (0 : 健全) であれば、その橋は不健全と判断される。この計算過程では、損傷の拡がりとその損傷の発生数も考慮される。RI-EBW-PRUEF には、評価基準の詳細な定義と標準的な損傷評価に向けての判定事例集も示されている。なお、1999 年以降は RI-EBW-PRUEF が SIB-構造プログラムシステムの一部となったため、点検報告書に記述された点検記録簿は構造データ登録の一部を形成することとなった。現在、連邦レベルでの記録簿ネットワークとして、BISStra を改良中である。図 2 に損傷評価のメニューと損傷評価の事例を示す。

ドイツでは、連邦政府が連邦道路ネットワークの所有者であり、州政府は連邦政府から委任された権限に基づいてこれらの道路を管理している。したがって、連邦政府は道路ネットワーク全体の維持管理計画と財政的責任を負っており、道路構造物の点検・調査や補修工事はすべて州政府が担当して

いる。ドイツでは BMS の基本構成が出来上がり (図 3)、各モジュールの仕様が決まり、維持管理計画の手順が定義されている。そこでは境界条件や目標設定についても考慮されており、マネジメントシステム開発の段階的計画も出来上がっている。

ドイツにおける BMS は、図 4 に示すように次の 7 つのサブモジュールから構成されている。

- モジュール 1 : ネットワーク関連データベース
- モジュール 2 : ネットワーク全体の現況データおよび評価

- モジュール 3 : 対象構造物別の損傷分析
- モジュール 4 : 補修対策
- モジュール 5 : 費用/便益に関する研究
- モジュール 6 : 計画と実行
- モジュール 7 : 管理・調整

上記のモジュールのうちいくつかはすでに実用化されており、その他のモジュールは現在開発中である。さらに今後の BMS 開発の段階計画は以下のとおりとなっている。

Phase 1 : 州ならびに連邦レベルにおけるネットワーク全体の評価・分析 (2000 年以降)

Phase 2 : 代替対策案の優先順位付けと評価 (2001 年以降)

Phase 3 : 必要財源と資金計画の決定 (2003 年以降)

Phase 4 : 制約条件下のプログラム計画、マネジメントシステム相互の連結 (2005 年以降)

この計画に基づいて、連邦ならびに州レベルでの完全な BMS の実用化が 2005 年までに可能になる予定となっている。

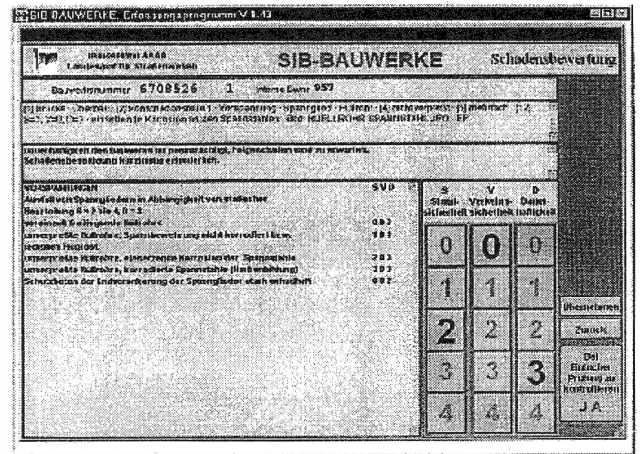


図 2 橋梁点検における損傷評価

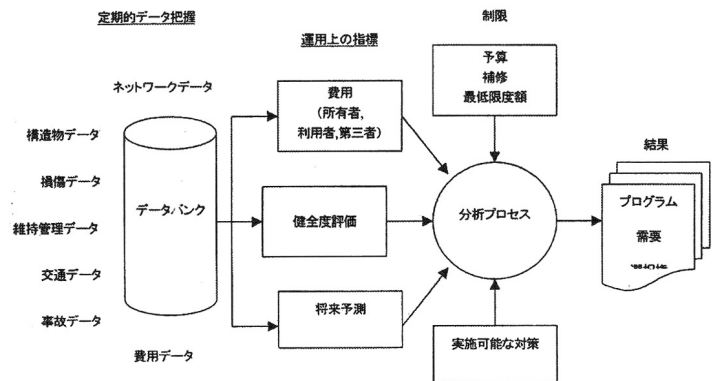


図 3 BMS の構成

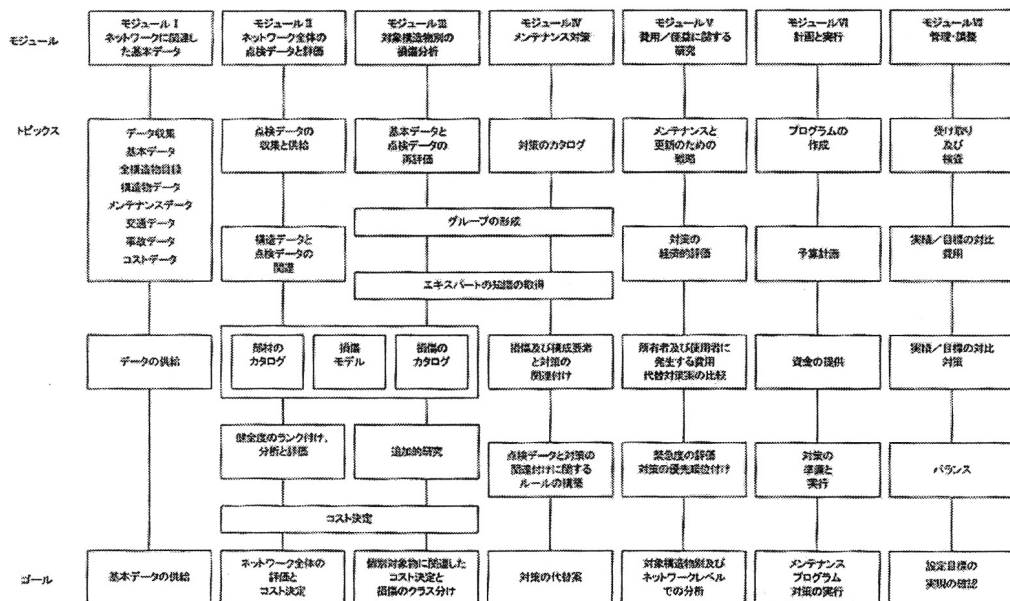


図 4 構造物のメンテナンスのためのマネジメントシステムのコンセプト (Haardt,1998)

### (3) スイス

スイスでは、鉄道・道路についてBMSの開発を行ってきており、鉄道に関しては20年前から、高速道路に関しては最近着手したばかりである。高速道路に関しては、BMSのプロトタイプとしてKUBA-MSを開発中であり、以下の機能を目指としている。

- ①財政的な制約の有無に関わらない経済的に理想的なメンテナンス戦略の決定
- ②この戦略を外れた時に生じる影響の決定、維持管理会社および利用者が発生する費用の算定
- ③維持管理計画のレベルに応じた最適な対策の選定
- ④短期・中期における維持管理費用の決定
- ⑤様々な予算制限が構造物の健全度に及ぼす影響の評価

現在は、第一段階のデータ収集をほぼ終了したところであり、今後は天候条件、プランニングなどの条件に応じてデータを修正して解析を進める第二段階にある。

また、LCC (Life Cycle Cost) については、スイスでは約20年前からその手法が提起され、10年前にスイス政府指導でプログラム化が開始されたところである。様々な検討がなされ、現在では良いモデルも提案されているが、個人的な計算のみ実施されている段階に留まっている。すなわち、モデルは出来ていてもデータが不足しているのが現状である。

### (4) フランス

BMSは現在開発中で一部実用化している。フランスが開発中のBMSの概要は以下のとおりである。

第一段階の目標は、一つの橋梁を全体として捉えて健全性を評価する指標：IQOA (Image Qualite Ouvrage d'art) 設定のための開発である。IQOAに関連して、橋梁の健全性は以下のように評価されている。

- 1：明らかに健全な橋梁
- 2：設備もしくは保護部材に損傷が見られるか、もしくは補修の必要性がない軽微な構造物の損傷が見られる橋梁  
(2E：上記2と同じだが、構造物の損傷が進行するのを阻止するために至急補修が必要)  
(2S：上記2と同じだが、道路利用者の安全を保障するために至急補修が必要)

#### 3：構造的な損傷がある橋梁

3U：上記3と同じだが、至急補修が必要な橋梁

S：安全性、供用上の問題に対する処置が必要な橋梁

すべての部材が上記の基準に基づいて評価され、橋梁全体の評価値である“IQOA”が算出されることとなる。その橋梁部材の一つでも3Uの評価があれば、その橋梁全体の評価は3Uとして記録される。これらの評価は誰が行っても同じ結果が得られるように、以下の二つの資料が整備されている。

- 1)点検報告書作成ガイド:橋梁に関して専門的な知識を持たなくても観察された損傷を記録することができるように多くの図解が描かれており、橋梁の種類ごとに発見できる損傷がすべてリストアップされている。
- 2)損傷カタログ:主要な損傷事例とその推定原因の説明がカタログとして準備されている。

また、橋梁の構造データベースとしてLAGORAがあるが、現在バージョンを変更中である。点検による評価判定結果を入力するソフトとしてはEDOUARTがある。

この第一段階の評価のあと、現在橋梁の補修コスト評価システムの開発を進めている。

### (5) 日本 (JH)

橋梁の維持管理計画に活用する目的で、橋梁諸元 (橋梁台帳) など点検に必要なデータ、および日常点検、定期全体点検、定期詳細点検、臨時点検における各橋梁の点検結果 (損傷部材、部位、損傷種類、状況、損傷図、損傷写真、ランク、判定結果、処置方法等) が、支社・局ごとに点検データ管理システムに入力され、利用されている。

点検データ管理システム (ハイパー点検システム) は昭和62年に導入されたが、最近新しいバージョンに変更され、近い将来、構造諸元など構造物データを含めたローカルデータベースとリンクさせた新しいシステムとして運用される予定となっている。

## 6. まとめ・考察

本文では、海外における維持管理の現状と動向を知ることによってわが国の実態を客観的に捉えるため、アメリカ（NYC）、ドイツ、スイス、フランス、日本（JH）を対象とした調査を行った。その結果、各国ともメンテナンスに対してそれぞれ独自の取組みをしているものの共通した内容も多く、また、維持管理に対する姿勢などはかなり似通ったものであることがうかがえた。

主な調査結果と考察を以下に述べる。

- (1) 点検の種別や頻度については、アメリカ（NYC）で行われる主な点検は2年に一度の定期点検のみと言うようにかなり独創的な体系であるのに対し、日本（JH）や欧州は年次点検および3～6年に1回の定期点検、詳細点検を実施している。
- (2) 点検員の資格と育成に関しても上記（1）と同様な傾向が見られる。アメリカ（NYC）ではかなり明確な資格を点検員および点検班長に求めているのに対し、欧州や日本（JH）では、基本的に土木関係の技術者であることと講習会受講者であることを点検員の資格と見なしている。この内、班長については、欧州ではある程度の経験および技術士資格を有す専門技術者を班長資格として慣例化している。

また、点検員の育成に関しては、アメリカ（NYC）の2週間の講習会に対して、欧州や日本（JH）は数日間と短くなっている。しかし、講習会の頻度は両者ともかなり頻繁に行われており、点検員の重要性を認識した教育体制がとられていると思われる。

わが国の各機関における講習会の開催については、受講対象者の経験や技術レベル、専門性に配慮した開催、現地実習を伴う開催および地方での開催を望む声が多く聞かれる。実務上は、試験資格を伴う認定制度の採用を含め、これらの講習会等を通じて技術力を培った点検員の育成・確保に努めることが重要と考える。

- (3) 定期点検結果の判定を行う者は、アメリカ（NYC）では有資格者であることを明記しているのに対し、日本（JH）や欧州では点検班長となっている。しかし、欧州では一般に技術士資格を有す技術者が行うことを基本としている。

また、詳細調査あるいは重大な損傷が発見されたような場合に実施される調査に対しては、欧州では社会的にその専門的な実績や技術レベルが認められている専門技術者や大学教授等の特別技術者が責任を持って判定・対策報告書を提出する仕組みがとられている。これらの特別技術者は国によって登録されており、役所の職員と現地調査を実施してレポートを書くのが一般的である。日本（JH）では、管理員資格を有す専門技術者が調査判定を行っているが、ケースに応じては欧米と同様に特別技術者的なレベルの専門家に諮問することもある。

点検結果から損傷の重要性や危険性を認識し、原因を推定するには幅広い知識や経験を有す。管理上恐いのは、損傷の見逃しや判定ミスが損傷を拡大させることである。大学教授クラスの技術者に何度も足を運んでいただくのも難しいかと思われるが、何らかの不慮の事態に備えておく意味でも、欧州のようなバックアップ体制づくりが必要かと思われる。

- (4) 点検結果の判定ランクは、部材ごとに5～7段階で行われている。その結果を利用し、アメリカ（NYC）とドイツでは部材や損傷の重要性を重みに換算して橋梁全体の健全度を算定するシステムを採用している。フランスも方法は異なるが、全体としての健全度を把握するための評価手法を採用している。日本（JH）も腐食に対しては橋梁全体の損傷レベルを判定できるシステムを開発し、利用している。

今後は各国において、部材ごとの損傷レベルから全体構造の健全度をより適切に評価する手法が開発されていくものと推測される。

- (5) 今回調査した各国においては、基本的な構造データや点検記録簿としてのソフトやデータベースはほぼ整えられている。現在はさらなるデータの蓄積、国全体としてのネットワーク作り、個々

の点検結果から効率的で経済的な管理手法を見出すための意思決定ツールなどの開発に目が向けられている。さらに最適解を選択するまでのケーススタディー、様々な対策を講じた場合の影響評価、非破壊試験データやモニタリングデータの活用、LCC評価など、多様かつ多次元的な方面からの検討も進められている。

これは最近のわが国と同様に、国の研究機関がリーダーシップをとり、民間との共同研究によるプロジェクトとして取組んでいる理想的な例ではなかろうか。今後の合理的な橋梁の維持管理手法の実現に向けては、多くの難しい課題を包含しているが、様々な分野の技術、情報を取り込んで長期的、戦略的、効率的なマネジメントを可能にするBMSの活用が必要不可欠と思われる。

## 7. あとがき

我が国では、西暦2030年には橋齢50年以上の橋が全体の50%を占めるに至ることが予測されている。さらに昨今の公共投資に対する厳しい社会情勢、これに反して増加しつつある構造物の変状などを鑑みると、将来は必ずしも楽観視できる状況には無いように思われる。フランスのポンデュガールのように20世紀以上も勇姿を残している橋があるように、耐久性のある橋造り、理想とする維持管理の手法が存在するはずであり、我々はそれを追い求めていく時代にあると思う。

健康を維持するために行う医学的な問診、検査、手術、リハビリは、橋にとっては点検、詳細調査、補修・補強、維持管理（モニタリング）に相当すると思われる。誰しも腕の良い医者を望むように、橋にとっても腕の良い技術者による質の高い維持管理手法の適用が望まれるところである。

なお、本報告は各国の調査対象機関における維持管理の現況をまとめたものであるが、国によっては橋が置かれている自然環境の影響もあり、地域的な管理手法の違いも見られるようである。さらに海外訪問時の討議では時間的な制約もあった。その意味で、ここに紹介した国や内容の説明が幾分偏ったのではないかと反省し、お詫び申し上げる次第である。

**謝辞** 本報告は、JSSC；既設鋼橋部材の耐力・耐久性診断と補修・補強に関する資料集、ならびに建設機械化研究所；2000、2001欧州土木構造物補修・補強調査報告書等を中心にしてとりまとめている。レポートのとりまとめに当たってご協力、ご助言をいただいた関係各位に厚く御礼申し上げたい。

## 参考文献

- 1) 建設機械化研究所：2000欧州土木構造物補修・補強調査報告書，2001.3.
- 2) 建設機械化研究所：2001欧州土木構造物補修・補強調査報告書，2002.3.
- 3) 日本構造物診断協会：橋の診断と補修，2002.6.
- 4) 貝戸清之：NY市における橋梁の維持管理マネジメントの現状，橋梁と基礎（掲載予定）
- 5) 日本鋼構造協会・既設鋼構造物の耐久性評価方法と補修・補強工法に関する調査研究小委員会：既設鋼橋部材の耐力・耐久性診断と補修・補強に関する資料集（鋼橋の維持管理とそれを支える要素技術），JSSCテクニカルレポートNO.51，2002.1.
- 6) New York State, Department of Transportation: Bridge Inspection Manual-82', 1982
- 7) New York City: 1999 New York City Bridges and Tunnels Annual Condition Report, 2000
- 8) 日本道路公団、道路構造物点検要領（案），2001.4.
- 9) 阿部：橋梁検査技師の資格の確立に向けて，橋梁と基礎，2001,8.
- 10) 山崎、成井、上坂、松田：ドイツ連邦交通省道路建設局，道路橋の補修・補強事例集，1995.4.
- 11) 土木学会鋼構造委員会：第1回鋼構造物の維持管理に関するシンポジウム資料集，1999.7.