

橋梁の安全と快適のために
A Suggestion for Safety and Refreshment of Bridges

吉川 紀*, 細井義弘**
Osamu YOSHIKAWA and Yoshihiro HOSOI

* 工博 (財) 阪神高速道路管理技術センター (〒541 大阪府大阪市中央区南本町4-5-7)

** (株) 横河メンテック 技術管理室 (〒273 千葉県船橋市山野町27)

It will be difficult to keep enough number of workmen for the inspection and maintenance of bridges in the future aging society. And, as the number of bridges increases, keeping them in public use for long term becomes more and more important, and also have need of a large amount of cost for their maintenance. Therefore, the cost of structures must be estimated in terms of total expense in their service life. The following are discussed in this paper; the service life of structures, significance of maintenance, inspection methods and thier problems, measures of repair and rehabilitation, concept of maintenance for structures to be taken into account at the beginning of their construction, and newly developed maintenance methods.

Key Words: Maintenance, Safety, Refreshment, Maintenance method

1. はじめに

社会資本の蓄積に伴い、今後、その機能を常に十分発揮させていくため、適切な維持・管理の必要性が増大している。そこで既設構造物の維持・管理を効率よく円滑に実行することはもとより、建設当初から維持・管理や更新も含めた経済性を考慮に入れ構造物を建造していくことが重要である。

このためには建設コストだけではなく、維持・管理をも含めたすべてのコストで構造物の評価を行う必要がある。すなわち耐用年数を延伸したり、修繕や改修を容易にできるようにすることによって、全体コストが下がることがある。場合によっては、これまでにまましてメンテナンスフリー化や構造物の耐用年数の延伸化のための技術開発、既存施設のメンテナンス手法の開発などの着目点を見いだしていくことも重要となってくる¹⁾。

文献2)でも構造物の寿命と維持管理に関して問題提起が行われている。今後十分に議論し早急に国民のコンセンサスを得る必要があると考えられる。

本論文では、土木構造物に対しても建築物と同様、日頃から補修を行う必要があると考えている。

鋼構造物の寿命に係わるものの一つに、避けられないものとして鋼材の腐食がある。腐食の進行の程度は、構造物の使用環境、構造部材の種類と形状、そして部位などに大きく左右される。新設桁と塗替え桁の比較では、明らかに新設桁の塗装の方が良好な耐久性を示している³⁾。現場塗装は工場塗装に比較して作業環境等において

条件が悪いので、最終塗装まで可能な限り工場で塗装すべきであろう。また塗料も重防食塗料が開発されてきているので塗り替え周期を延ばす塗装系の採用も考えていく必要があると考えられる。

コンクリート構造物においては、コンクリートのひび割れや中性化による鉄筋の腐食が問題となっている。最近ではコンクリートに塗装を施し劣化防止ならびに美観対策に努めるようになっている。

快適性のためには舗装の管理が重要となっている。アスファルト舗装は施工されたその日から品質低下が始まり、舗装の寿命についてハッキリした定義はないが、新設された舗装の供用開始からオーバーレイや打ち替えなど比較的大がかりな補修をするまでの期間を設計の耐用年数とし、これが寿命であるといわれている³⁾。

舗装の損傷の主なものは、わだち掘れとひび割れである。舗装も修繕することに耐用年数が急激に短くなっていく³⁾。そこで新しい材料開発が行われ、長寿命舗装が使用され始めている。

沿道環境のための舗装の具備すべき条件として、路面の高い平坦性がある。これは振動低減をもたらす沿道への優しさを与えている。一方、開粒アスファルト舗装による低騒音も研究され、ある程度の目途がついてきている。

平成7年1月17日の兵庫県南部地震のような直下型地震は、数百年または千年以上に1回程度しか起こらないかも知れない。しかし、今回の地震によって、これか

ら建設される構造物は、今まで以上に耐震性を考慮した設計がなされ、施工されて行く必要があろう。

既存の構造物には計画的なメンテナンスを行うことにより、日常的に起こる事故を防ぎ、構造物の安全性を確保することが大切である。適切なメンテナンス投資を怠ったために、構造物の劣化が進み、気がついた時にはすでに莫大な費用を要する事態あるいは深刻な事態になっていたというような事にならないようにすべきである。

このように、構造物に計画的で適切なメンテナンスを行うことにより、通常の安全と快適、および地震時の安全も約束されることになると考えられる。

そこで本文では、利用者の安全と快適なドライブを確保するため、構造物の保全のあり方について述べることにする。

2. 構造物の寿命

構造物の保全を考えると、まず対象とするものの寿命がいくらかを考慮することが大切である。しかし、わが国の道路橋における設計耐用年数（供用年数）（以下「寿命」という）に関する明確な規定はない。文献3）に示されているように、寿命については「構造物として使用されてから何らかの理由により使用が停止されるまでの期間」の意味に、耐用年数は「構造物が使用されてから要求性能を満足しつつ、物理的な耐荷力、使用性を保持することを期待する期間」の意味に用いられていることが多いと思われる。

構造物は製作、架設後、なんらかの理由により使用が停止される。その理由には、腐食、亀裂など構造物自身に起因するものから、荷重の増大、河川改修など構造物に要求される機能や環境の変化に起因するものなど種々のものがある。そこで使用停止の理由に応じて「物理的寿命」、「機能的寿命」、および「経済的寿命」に分類できる。これら寿命と各要因との関係についてまとめると表-1に示すとおりとなる。

土木構造物である橋梁の寿命は、路線線形改良、河川改修、幅員狭小の3大機能的寿命を除けば、物理的寿命で判断されることが多いと考えられる。しかし、建築構造物の寿命は、主として減価償却資産としての法定寿命から算出される年数すなわち償還年数で議論され、経済的寿命に係わるものが物理的寿命よりも主体となっているようである。

寿命に関しては、今回の論文を踏まえて更なる議論が深まることを望むものである。

3. 構造物保全の意義と目的^{5), 6), 7)}

構造物の寿命は、その持つ性能がある水準より低下するまでの期間と考えられ、設計施工の良否はもとより、補修・補強を含めた維持管理によっても大きく左右されるものである。

しかし、維持管理の占める時間はきわめて長いため、

表-1 要因の分析⁴⁾

寿命	項目	要因	道路橋	鉄道橋
物理的寿命	設計	設計耐用年数 荷重と許容値の設定 使用材料 構造設計 耐震設計 耐腐蝕設計 止水施設 床版厚	△ △ △ △ △ △ △	○ △ △ △ △ △ △
	施工	製作精度 材料品質 施工品質 止水部の施工	△ △ △ △	△ △ △ △
	維持管理	点検方法 劣化診断 補修・補強 塗装の塗り替え 排水設備の管理 付属設備の補修・交換	○ ○ ○ ○ ○ △	○ ○ ○ ○ ○ △
	災害	地震 洪水 高潮・津波 風害 火災 衝突 ガス爆発	○ △ △ △ △ △ △	○ △ △ △ △ △ △
	外的要因	地盤・基礎の移動 河床の上昇・下降 近接工事の影響	○ △ △	○ △ △
機能的寿命	社会的変化	法規制の変化 都市計画・再開発計画 河川改修計画 交通条件の変化 立地条件 (居住環境の変化を含む)	△ △ △ △ △ △	△ △ △ △ △ △
	要求機能の変化	線形の改良 付属施設の陳腐化 (部品の調達困難) 設備の老朽化 形状・形態の変化 景観(意匠)の旧式化	○ △ △ △ △ △	○ △ △ △ △ △
経済的寿命	営業的要素の変化	地価高騰による敷地有効利用 周辺地域の営業政策	△ △	△ △
	維持修繕費の増大		○ ○	○ ○

○ 寿命に係わりが深い要因
△ 寿命に影響を及ぼすと考えられる要因
— 寿命に係わりが薄い、あるいは無い要因

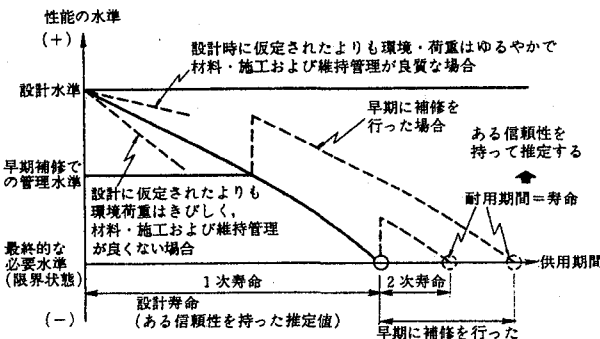


図-1 性能水準と寿命³⁾

メンテナンスフリーであることが理想ではあるが、現実にはそのような構造物は存在しない。図-1に示すように、構造物の健全度は経年により低下するが、維持補修により耐用年数が延びる。このように維持管理はその性能の経時的な変化、すなわち寿命に大きな影響を与えている。

- 文献7)では 維持管理の区分として、
- A：予防維持管理（予防保全を基にした維持管理）
 - B：事後維持管理（事後保全を基にした維持管理）
 - C：観察維持管理（目視観察を主とした維持管理）
 - D：無点検維持管理（直接点検を行えないもの）

を提案している。

構造物の寿命を大きく延ばすには、構造物の種類、使用目的、および要求性能レベルに応じて、維持管理の各区分（上記のA、B、C、Dの区分）で系統的な点検を行い、損傷の早期発見、原因の追究、損傷程度の評価判定とそれに基づく適切な補修・補強を行うことが重要である。

そこで維持管理では、構造物の実態を把握するための点検、その点検結果に基づく変状原因の把握、供用の可否、補修あるいは補強の要否の判断、および補修あるいは補強作業などが含まれる。

この維持管理の実施の難易により構造物の寿命に差が生じるので、設計、および施工に当たっては、点検結果に基づき適切な補修工事が可能なようにしておくことはもちろんのこと、日常における良好な維持管理も非常に重要なものとなってくる。図-2に構造物の維持管理のフローチャートを示す。

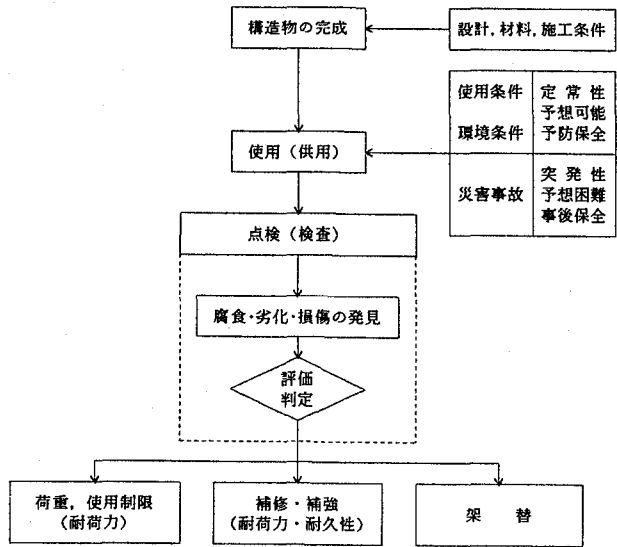


図-2 構造物維持管理フローチャート⁵⁾

4. 点検の種類と方法^{5), 8), 9)}

点検は、前述したように維持管理上の基本的情報となるものであり、その目的を具体的に示すと、

- ①構造物の状態、経年変化の体系的な情報の記録
- ②腐食、劣化、および損傷の早期発見とその原因の把握
- ③構造物の健全度評価と、腐食、劣化、および損傷部に対する補修あるいは補強の要否の判断
- ④補修あるいは補強を適切かつ効率的に施工するための必要情報の収集
- ⑤建設時の設計・施工、材料の適否判断と今後の建設へのフィードバック

などが考えられる。

点検は、対象構造物の重要度、構造形式、損傷規模、

供用年数などにより異なり、その内容を一概に決めることはできないが、基本的には図-3に示すように分類することができる。

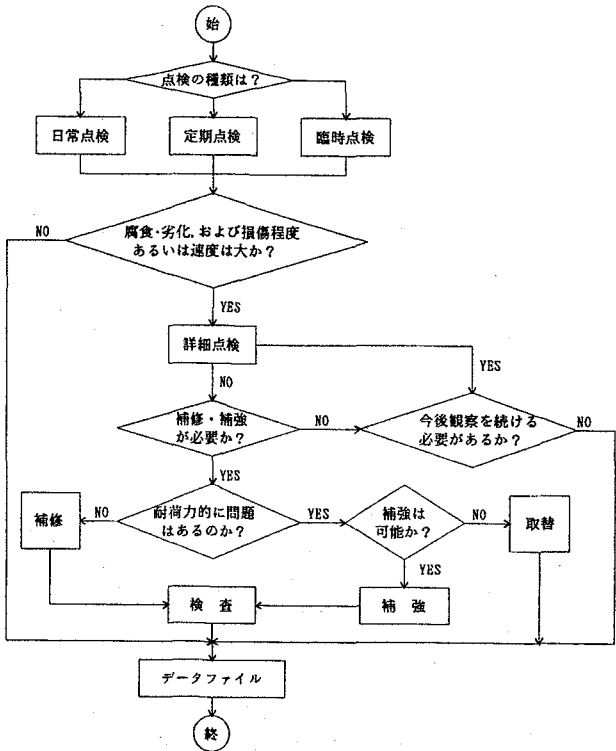


図-3 維持管理における点検⁵⁾

1) 日常点検

腐食、劣化、損傷を早期に発見し、必要な対策を講ずることによって、交通の円滑な確保、および第三者に対する障害の除去を図ることを主体とし、加えて道路構造物の良好な保全のために日常的に行うのが日常点検である。主として目視ならびに車上感覚により行われるのが一般的である。

2) 定期点検

構造物の健全度を把握し、機能低下の原因となる腐食、劣化、損傷の早期発見と評価のために、構造物に近接して定期的に行うものが定期点検である。一般的に鋼橋では塗装塗り替え時の足場を利用して行うか、橋梁点検車を用いて行われる。

3) 詳細点検

日常点検あるいは定期点検の結果から、構造物の腐食、劣化、損傷が進行し重大であると判断されたとき、これらに対して高度な専門的知識を有する技術者が近接目視あるいは非破壊試験を行う。構造物の健全度の詳細な資料を得るために行われる。

4) 臨時点検

地震、台風、火災、豪雨、車両、あるいは船舶の衝突などの緊急事態が発生したとき、構造物の異常に関する情報を速やかに得るため行われる。

5. 維持管理の問題点¹⁾

阪神高速道路公団の例でみると、供用が開始された約10年後から、建設費に比べ維持修繕費が急激に伸びている。一方、維持管理費は建設費の約1/10となっている。図-4より分かるように供用開始後の経過年数が長くなるにつれて維持管理費も増大してくるので、維持管理を合理的に実施する必要性が増々重要となってくる。

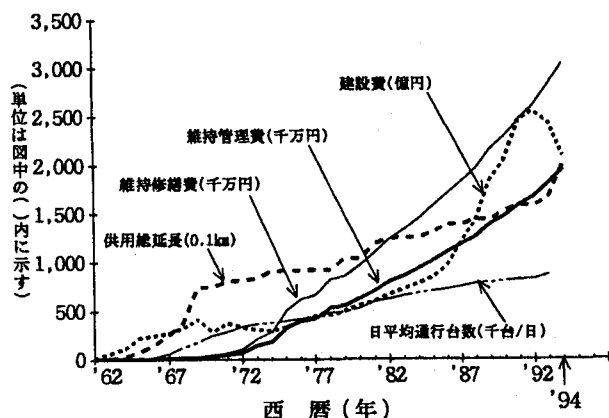


図-4 供用延長、日交通量、建設費および維持管理費の推移¹⁾

維持管理費は建設直後から一定量だけ要する電気料、清掃費などである。維持修繕費は約10年後から要する点検、補修・補強、塗装塗替などで、改築費は環境対策、防災、交通安全施設などである。

維持管理における問題点を整理すると次のようである。

1) 全般の問題点

①近年、構造物の景観が重要視される傾向にあり、維持管理のための必要な作業空間が犠牲にされることがある。

②構造物が、立地条件の制約から、複雑な構造となった場合、計画・設計時には予想できなかった腐食・劣化・損傷の発生につながる可能性がある。

③点検、および補修・補強を行うための基礎資料となる建設時のデータ(設計図書、材料強度、施工管理結果など)、既往の点検結果、および補修・補強履歴に関するデータが保管されていない場合や整理されていないことがある。

④構造物の耐用年数を明確にし、初期経費(計画・設計・施工に関する費用)と維持管理費との和である総経費を最小にする設計・施工・維持管理方法を確立する必要がある。

2) 点検の問題点

①構造物全般にわたって精通する点検専門技術者の数が不足している。損傷や劣化の程度を認識でき、点検のポイントを確実に押さえることのできる技術者の育成は大切なことである。最近、点検技術者を育成する講習会が行われているが、全国的には不足している状況である。

②頻度の多い日常点検では、重大な損傷が早期に発見できるが、反対に広範囲を短時間で点検するため路下あるいは路上から目視するのみなので、損傷などを見逃す可能性がある。また対象構造物の専門技術者が行うとは限らないので、損傷を見逃す可能性がある。

③定期点検は、専門技術者により行われる。したがって、ほとんどの損傷・腐食・劣化は検出できる。しかし目視が主であるので、ゆとりを持った点検計画の立案、実施が必要である。また点検標準に記載のない損傷や類似事例のない損傷は見逃されやすい。

④さらに、点検項目など点検標準にマニュアル化されていたとしても、使用限界状態に係わる損傷・腐食・劣化と終局限界状態に係わるものとの区別、補修・補強の優先順位についても、明確にしておく必要がある。

3) 補修・補強に関する問題点

①点検の結果に対して、従来から個々に経済的、および技術的判断を加えて、補修・補強の優先順位が決定されてきた。損傷などを有する構造物あるいは構造部材がどの程度の安全性と耐久性を有するのか、どのような補修・補強を行えばどのように改善されるかなどに関する定量的な判定基準が明確にされていない場合が多い。

②工事に伴う交通止めは、一時的にしる社会機能に与える影響が大きいので、その実施には制約を受けることが多いが、その社会的、および経済的な影響が定量化されていない。

③補修・補強に係わる技術者は、厳しい環境下での作業を強いられるほか、広範な知識と経験が求められることが多い。

6. 構造物の耐久性向上への注意点^{12), 13)}

以上で述べたように、橋梁は重要な社会的資産であり、その耐用年限中にその機能を一時停止しなくてはならないほどの補修あるいは補強を行うことなく、常に所定の安全率が確保された状態で、公共の便に供されるためには、例えばジャッキアップのためのスペースの確保や補強を行っておくなど、維持管理が十分行えるよう建設当時から配慮することが必要である。

まず、維持管理用作業空間の確保(特に鉄道、重要な道路、および航路の上など)、耐久性に優れた構造の採用(箱桁形式、連続構造など)、維持管理の容易な構造の採用(構造物へ接近しやすいこと、箱断面では内部に電気設備、空気の流通の良いことなど)、維持管理に必要なデータの整理、および保管(建設へのフィードバックが容易になるように)などに注意する。また、過去に損傷事例が発見されたような箇所の施工は慎重に行い、施工不良や施工誤差を低減するために、チェックシートを用いて検査を慎重に行うなどして、施工の完全を確認することが必要であろう。

やむ得なかった場合には、その旨を記録すると共に、点検の重要箇所として維持管理担当者に報告するような体制づくりも必要である。

7. 構造物の健全度評価法⁸⁾

構造物の健全度は、図-5に示すように、破壊に係わる耐荷力の保持面からだけでなく、耐久性や機能性さらに美観上の問題も含めて総合的に評価する必要があり、高度の技術的判断を要する。

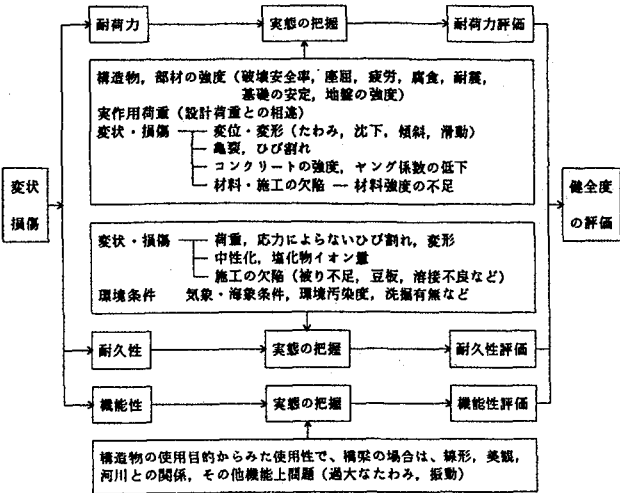


図-5 構造物の健全度評価⁸⁾

構造物の機能性から健全度が問題とされる事例としては、たとえば活荷重による橋梁の衝撃、振動とこれに伴う騒音、地盤振動あるいは有ヒンジPC桁橋でのコンクリートのクリープ現象による張出し部の沈下に伴う車走性低下などがあげられる。

また、構造物本体の破壊に対する安全性の保持ばかりでなく、構造物の設置されている立地条件から要求される安全性の確保も重要である。たとえば都市高速道路では、路下が街路や公園などの他の都市施設と共存することが多く、RC床板や高欄などの劣化、損傷によるかぶり部のコンクリートの落下、高力ボルトの破断による落下は、路下における2次災害に直結する恐れが多い。このような条件下では、構造物はより高い健全性の水準が必要である。

腐食・劣化、損傷した構造物の健全度を耐荷力の面から評価することが多い。耐荷力の評価法として確立されたものはないが、前述の基本的調査とともに、載荷試験による応力、たわみ、固有振動数などの測定結果から求める部材の剛性、荷重分担、ヤング係数などが健全度評価の基本資料となる。

不確かさは残るが、豊富な工学的経験に基づいておれば十分有効であると考え、以下に示すような既往の代表的な耐荷力の評価方法があげられる。

①構造物の調査結果から経験的に耐荷力の有無を判断する評価法

②損傷を考慮に入れて応力度を計算し、これが許容値内にあれば耐荷力ありと評価する方法

③荷重を載荷してたわみや応力度を測定し、これらと全断面有効とした計算方法と比較して評価する方法

④載荷試験により床板中央点のたわみを測定し、これと等方性板、および直交異方性板のたわみ計算値から劣化を算出して評価する方法（RC床版の場合）

⑤目視により観察できるひび割れ分布図から求められたひび割れ密度と、使用限界状態でのひび割れ密度から、劣化度を算出して評価する方法（RC床版の場合）

⑥構造物が強度的に限界となったとき破壊しないように、鋼橋では許容応力度法で、コンクリート橋では荷重係数法を用いて、破壊に対する安全率を算出し評価する方法

⑦ひび割れ、腐食、品質の劣化、施工上の欠陥などの状況を環境条件を考慮して評価する方法

⑧橋梁は必ずその固有の振動数と減衰係数を有しており、これらの振動特性の経年変化を知り、逆算して剛度などの変化を求め、橋梁の健全性を評価する方法がある。

この場合、同じ損傷であっても耐荷力と耐久性の両方に関係するものと、いずれか一方のみに関与するものがあるので注意が必要である。応力によるひび割れ、強度低下を伴うコンクリートの損傷、施工不良による強度不足などは耐荷力、荷重や応力が原因でないひび割れ、中性化、鋼材腐食、かぶり不足、豆板などの施工上の損

表-2 維持管理技術の現状と今後必要な研究開発⁶⁾

		現 状		今後の研究開発	
		対応	コ メ ン ト	要否	可能性
劣 化 予 測	目視点検	△	振動数の変化や鉄筋腐食による劣化の予測が可能となりつつあるが、全般的には難しい。	要	有
	モニタリグ	△	全般的には遅れている。	要	有
	非破壊診断技術	△	目視に代わり得る非破壊診断技術は不十分。機器の開発に依存する。	要	有
	部分破壊診断技術	○	テストピース採取によるが、材料強度のみの評価である。		
	載荷試験	○	載荷試験結果に対するモード解析等是不十分	要	有
評 価	内部欠陥	△	ある程度の大きさの欠陥でないとは発見困難で小さな欠陥に対する検出と評価確立が必要。	要	有
	材料評価	○	テストピース採取による		
	第三者に対する危険度の評価	△	高力ボルトの遅れ破壊によるボルトの突然の落下や局所的なコンクリート剥離による落下を未然に検知することは相当困難。	要	有
	総合判定	△	劣化因子と劣化度の関係、判定基準、構造物の寿命など、不確定なところが多い。	要	有
対 策	選 定	△	客観的な選択基準は不明確。	要	有
	補 修	△	寿命不明確	要	有
	補 強	○	寿命不明確	要	有
	解 体	○	公害の問題有り	要	有

(注) ○：現状に技術で、一応対応できる。
△：現状の技術を、今後、検討・改善が望まれる。

傷は耐久性に影響するものと考えられる。

機能性の評価は、構造物の使用目的に対応した使用性から総合的に評価される。たとえば、平面、および縦横断線形の適否、交通量の適否、有害なたわみ、美観阻害の有無などの当初の設計目的を満足しているかどうかの判断とともに、構造物の重要性、予想される将来の使用条件、環境条件の変化などの判断も必要である。

そのためには、各自治体で実施されている維持管理の現状分析と維持管理の本来あるべき姿に関して検討を進めるとともに、各方面で表-2に示すような研究開発が必要であると考えられる。

8. 補修・補強の適否判定と工法⁵⁾

近年、耐久性診断や劣化診断などの名称で、構造物の維持管理に有用な研究が活発に行われるようになってきている。これらの研究を維持管理に活かしていくとすればどのようにすればよいかについて以下に述べる。

点検の結果、構造物の劣化、損傷があれば、前述のような調査を行ってその原因を明らかにし、耐荷力、耐久性、および機能性を総合的に検討して健全度を評価し、補修・補強の要否や、場合によっては供用の可否を判定する。

補修・補強の要否の判定区分は、構造物への影響度、構造物の重要度、使用環境条件、経済性などで変化する。そこで一般的には、経験を踏まえた総合的診断に基づいて、構造物の種別ごとに判定区分が設けられている。

しかし、補修を要するような劣化あるいは損傷に関しては、経験を積み目視の結果でもある程度判定はできる。しかしながら、現状のままおけばどのくらいの余寿命があるのか、どのような補修を行えばどのくらいの寿命が延びるのかが解明されていない。また、補修中は交通を一時止めたい場合でも、それが不可能な場合がある。さらに、取替えをする場合には、より一層長時間にわたって構造物の機能を完全に停止しなければならないが、代替の道路、流路などの確保が困難な場合が多い。

このような状況下においても、補修・補強を行わなければならないが、望ましい今後の方向としては次のようなものが考えられる。

- ①劣化原因や程度に応じて標準化された補修方法に従って補修を行う。
- ②耐荷力の減じたものは補強を兼ねた補修を行う。
- ③劣化原因や補修方法に応じた最適な補修材料を選択して使用する。
- ④補修効果やその持続状況を定期的に観察する。
- ⑤各種工法の効果とその耐久性の推定方法の研究を行う。
- ⑥構造物の機能を停止させない取替手法の開発、もしくは短時間で完成する補修技術の開発を行う。
- ⑦安全面からできるだけ昼間に施工できる状況とする。

補修・補強の目的は、対象構造物の重要度や損傷度により異なるが、1)腐食・劣化・損傷の進行の制御、2)供用上支障のない機能までへの回復、および3)性能の初期水準まで改善である。

この目的に沿って補修・補強を合理的に行うためには、腐食・劣化・損傷の原因と機能障害の程度に基づき、補修・補強の範囲と規模を想定し、工法、材料、必要機材、工期などを考慮して設計を行うことが重要である。基本的には、耐久性のみに影響する腐食・劣化・損傷には補修工法を、耐荷力に影響するそれらには補強工法を選定することになる。

補修・補強に対する全体フローチャートを図-6に示す。

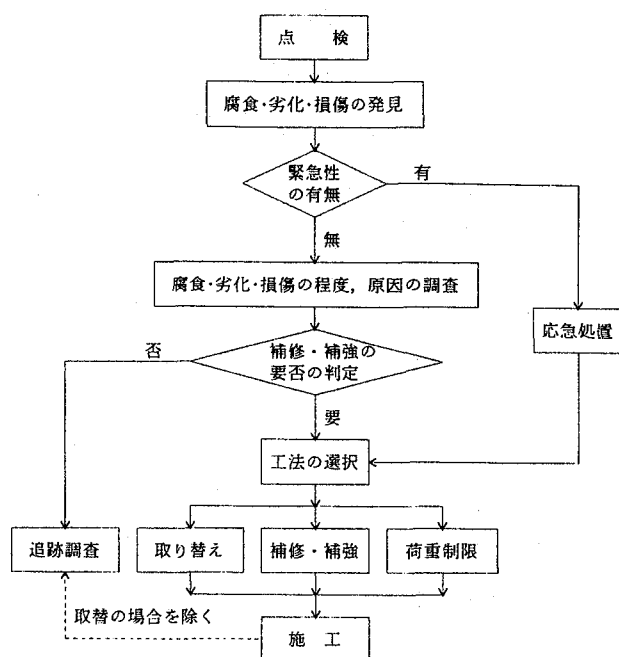


図-6 点検から補修・補強までのフローチャート⁵⁾

(1) 工法の選定

採用すべき工法は、腐食・劣化・損傷の原因と程度により大きく異なるので、それらを正確に調査しておくことが不可欠であり、今後の進行速度や形態の性格によっても異なるものとなる。

補修・補強の観点から、腐食・劣化・損傷の特性を分類すると次のようになる。

- ①比較的軽い安定したもの
- ②現状では軽いが進展性のあるもの
- ③顕著ではあるが、耐荷力には問題がないもの
- ④耐荷力に疑問がある、あるいは構造物の使用に支障が生ずるようなもの
- ⑤設計上あるいは施工上のミスで補修・補強を要するもの、および使用条件が変わり補強を要するもの
- ⑥短期的な災害によるもの

工法の選択は、現状では特に定説となった理論はなく、

担当技術者による試行的な要素が多分に含まれるが、一般的な原則論から望ましい工法をあげると、1)経済的である、2)材料の品質が明解である、3)設計理論の明解なもの、4)施工が速い、5)安全性に問題がない、6)美観上問題がない、7)環境問題が少ない、などである。

工法はできるだけ単純なものが望ましく、予防措置も含めて長期的観点から選定するとともに、その後の点検体制を確立しておくことが必要である。さらに新しい材料に関する知識も高めておくことが是非とも必要である。

(2) 補修工事

補修工事は、その性能が施工の良否に左右されるところが大きいため、事前にその仕様、施工要領、および施工管理について十分な検討が必要である。

(3) 補強工事

補強工事では、旧設計法、損傷の原因と程度および工法を考慮した設計計算を行う必要があり、補強後の新構造での力のつり合い、変形の適合性、合成断面内における力の分担を明確にし、新旧部材の接合部や新部材定着部の施工性の検討も重要である。

9. 構造物保全のための構造の改善や技術開発

日夜多くの車が利用している幹線道路は、舗装のひび割れ、わだち掘れ、および伸縮装置の損傷が著しく、かつ床版や桁などの本体にも損傷が生じている。

そこで安全性、および快適性を確保するためには、これからの損傷を早期にかつ的確に発見し、大規模な補修を行わないで済むように、速やかに補修を行わねばならない。

道路上ならびに路面裏側の補修工事は、車線規制による交通渋滞や工事騒音により利用者や沿線住民に迷惑をかけることになる。工事による交通渋滞や騒音の緩和は維持補修工事を実施する上で解消しなければならない課題であり、社会的要請になってきている。

阪神高速道路公団では、前者に対しては立体道路式路面補修装置（ミニウェイ）の開発³⁾やバイパス工法³⁾、そして後者に対してはノージョイント化³⁾や低騒音はつり工法³⁾が開発され使用されている。

また、伸縮装置位置での騒音や振動の発生を低減させるため、端横桁をコンクリートで巻き立てる方法も実施されている。B活荷重対応のため、ケーブルによる補強工法や斜材添加による上路式ランガー桁の補強工法¹⁴⁾は実際に行われている。

このほかでは、夜間施工し昼間には交通開放可能な取替式床版、交通規制なしの床版裏面補強工法や新荷重対応の鋼桁へのケーブル添加工法などが開発され、また作業空間の狭い箇所でも使用可能な背の低い油圧ジャッキなど機材の開発も行われている。

補修材料では、コンクリート構造物の断面修復材としてポリマーセメントモルタル系のものとエポキシ樹脂モルタル系ものが種々開発され、用途に応じて使い分け

され実績も多い¹⁵⁾。またエポキシ樹脂系は主としてひび割れ注入材として用いられており¹⁶⁾、鋼板を用いて補強する場合には接着剤としても多用されている。また炭素繊維を初めとする化学繊維をシート¹⁶⁾あるいはケーブル状にし補強材として利用され始めている。

鋼構造では、内部に人間の入れない閉断面部材の補強に用いるため、片側から全作業が可能なファスナーとして、片面施工用高力ボルトが開発され使用され始めている¹⁴⁾。

補修材料は今後ますます開発され使用されて行くであろうが、その開発ポイントは、1)補修目的と要求性能の明確化、2)適切な使用範囲の明確化、3)異種または同種材料との拒否反応がなく一体化が可能なもの、4)再劣化防止に有効な機能を有すること、および5)現場での作業性が良く早期にその目的を達成できるもの、等であろう。

点検方法では、近接せずに赤外線センサーやテレビカメラを用いる方法あるいは写真による画像処理により床版裏面の損傷状況を判定する方法、高力ボルトゆるみ検知器の開発¹⁷⁾、洗掘の程度を確認するための水中テレビカメラの開発などが行われ、実際に使用されてきている。

このように、今後維持管理のための技術開発や新材料の研究はますます盛んになるであろう。

10. 補修・補強工事の品質管理の現状と課題³⁾

兵庫県南部地震は未曾有の都市直下型大地震で大きな被害を土木構造物に与えた。復興にあたり種々の検討がなされ、既設のコンクリート橋脚には鋼板を巻き立てる工法が、既設の鋼製橋脚にはコンクリートを充填する工法などが採用されることになり、莫大な数の構造物の補強を3年間で実施することになっている。これら補強された構造物をこれから寿命まで維持管理をしていかなければならない。

今回の補強工法では、供用後に複合構造物を造ったことになり、いろいろ新たな問題を含んでいると考えられる。そこでどのような方法で維持管理を行い、その結果はどうであったかについて明確にできるように、施工時の品質管理記録をしっかりと残しておくことが必要であると考えられている。

新設構造物に比べて、既設構造物の補修・補強における施工後の検査項目や方法は、その損傷状態によって対応が異なるので統一されていないのが現状である。一般的には、材料検査、品質検査、出来形検査ならびに補修・補強部材の品質、性能が経年変化に対して所定の効果を発揮しているか否かを確認する追跡点検などがあげられる。

将来の補修・補強工事の増加、多様化を考えた場合、補修・補強独自のこれらの検査要領の作成が必要となる。その内容としては次のことがあげられる。

①各施工段階における検査項目の設定

- ②検査内容と方法の設定
- ③検査数量の設定
- ④健全度（または損傷度）判定の規格値の設定
- ⑤補修・補強の優先順位決定の方法

一方、補修・補強の施工法、施工資機材も新たに改善されつつある。このため長期的な補修・補強は見極めにくい。したがって、工法あるいは材料の評価が定着していないものに対しては、品質の安全性を確認するための追跡点検が必要である。

さらには完成構造物の品質安定を検査するための非破壊試験法の導入など、効果の確認のための確実かつ迅速な検査方法の確立が望まれる。

耐久性向上のためには補修・補強で得られた成果の具体的なフィードバック手法とともに、構造物管理（たとえば Bridge Management System⁸⁾）に関する業務全体の情報を系統的に管理することも重要である。

11. まとめ^{18)~23)}

土木施設は言うまでもなく、公共投資に基づく社会資本形成が主である。公共性、使用性、寿命などの点で他市場製品にない固有の性質を有し、社会経済活動、市民生活、および国土保全に不可欠の役割を果たしている。それだけに現在ではむしろのこと、将来にわたり所与の機能が発揮できるよう常に維持管理することが重要であり、その課題的取組みは社会的要請である。しかし、土木施設を個々に見た場合はともかく、全体的にみて維持管理が学問的に十分体系化されているとはいえない。維持管理体制、および技術、ならびに計画、設計、および施工へのフィードバックなどの諸点で今後に残された課題は多い。土木施設を取り巻く自然、および社会現象が変化したことから、すでに活用されている維持管理技術や実務に関しても、必ずしもそのままでよいとはいえない。新たな発想や視点で維持管理の諸内容を検討し見直すことが迫られている。

ある意味では、構造物の保全はきわめて地味なものが多いため、現在まで研究の蓄積も少ない状態にある。しかし、構造物保全の不備によって利用者や第三者に何らかの障害となった場合には、今日の社会情勢から道路管理者は極めて厳しい責任を問われることになる。

構造物の保全はとかく受け身になりがちである。良好な維持管理がなされなければ構造物は十分その機能を発揮することはできない。貴重な社会資産である道路の機能を十分に長持ちさせるには、受け身ではなく積極的に構造物保全を目指すことが必要である。このためにも、損傷が発生してから対策を講ずるばかりでなく、損傷の発生をあらかじめ予測して、構造物自身がある程度の健全度を有しているうちに補修などの対策を講ずるなどの積極的な姿勢も必要である。このためには耐用期間を定め、設計・施工・維持管理を総合的に取り扱う設計の導入をはかる必要がある。また維持管理工学として体系化

が急がれる。

今後の社会資本の伸びが実質3%を維持することは容易でなく、むしろ不可能かも知れない。また現存する構造物、および新たに建設される構造物を円滑に維持管理するためには巨額な費用が必要となる。それにもかかわらず、2000年を目前に、高度成長期に建設された多くの構造物の大幅な更新期を迎えようとしている。

したがって、今後の社会資本投資にあたっては、こうした費用の増加に配慮していただくとともに、費用節減の観点から、①既設構造物を維持管理しやすいような構造に工夫する、②予想される供用年数間に要する総費用、すなわち建設費、維持管理費、維持補修費などについて集計評価し、その構造物の優劣を決定する手法を開発する、③そのために必要となる維持管理に関する詳細なデータの蓄積に努める、などの検討が必要である。

最後に、土木工学の中で維持管理問題を重要な柱として確立し、自由な発想による研究を積み重ね、維持管理に関する技術者、および研究者を育成し、実務者相互間での交流を良くし、管理技術を向上させることが渴望される。

参考文献

- 1) 吉川 紀：道路橋，コンクリート工学，Vol. 33，No. 1，pp. 55～60，1995年1月
- 2) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理，土木学会論文集，No. 501/I-29，pp. 1～10，1994年10月
- 3) 岡田 清，今井宏典監修：道路橋のメンテナンス—損傷と補修事例にみる—，pp. 1～54，（財）阪神高速道路管理技術センター，平成5年3月
- 4) 日本鋼構造協会：鋼構造物の寿命に関する調査，JSSCレポート No. 19，平成3年8月
- 5) 土木学会：コンクリート構造物の設計・施工の基本，施工編，昭和62年10月
- 6) 藤井 学：コンクリート構造物の維持・管理の現状と展望—土木構造物—，コンクリート工学，Vol. 28，No. 5，pp. 12～21，1990年5月
- 7) 溝口 忠：土木構造物のリハビリテーション，土木技術，第44巻，pp. 28～29，1990年
- 8) 土木学会：コンクリートライブラリー81，コンクリート構造物の維持管理指針（案），平成7年10月
- 9) 阪神高速道路公団：道路構造物の点検標準（土木構造物編），平成4年4月
- 10) 福本湧士，北田俊行，吉川 紀，長沼敏彦，溝淵修治，岩崎雅紀：阪神高速道路における鋼構造物の維持管理の現状と展望，橋梁と基礎，Vol. 27，No. 3，pp. 27～33，1993年3月
- 11) 北田俊行，岡 惟忠，松倉孝夫，西岡敬治，岩崎一好，矢野幸子：都市高速道路網における鋼橋の耐用年数とトータルコストに関する一試案，構造工学論文集，Vol. 41A，pp. 897～906，1995年3月

- 12) 阪神高速道路公団, (財) 阪神高速道路管理技術センター: 維持管理と耐久性を考慮した鋼構造物の計画・設計・施工上の留意点, 平成4年9月
- 13) 阪神高速道路公団, (財) 阪神高速道路管理技術センター, プレストレスコンクリート建設業協会: 維持管理と耐久性を考慮したコンクリート構造物の計画・設計・施工上の留意点(案) -PC構造物-, 平成5年9月
- 14) 小林一雄, 額原謙三, 友廣元寿: 上路式ランガー桁拡張補強工事報告, 横河ブリッジ技報, No. 24, pp. 156~166, 1995年
- 15) 松里宏昭, 岡本享久, 窪川豊之: 最近の補修・補強材料について, コンクリート工学, Vol. 33, No. 12 pp. 33~42, 1995年12月
- 16) 斉藤弘志, 江口和雄: 最近の樹脂系材料による補修・補強工法の現状, コンクリート工学, Vol. 33, No. 12 pp. 25~32, 1995年12月
- 17) (社) 日本橋梁建設協会: 鋼橋の点検・補修・補強に関する新技術・新工法, 平成7年7月
- 18) 和田憲昌: 社会資本のメンテナンスフリーの必要性, 月刊建設, pp. 8~12, 1992年2月
- 19) 佐藤修治: 高速道路における効率的な維持をめざして, 月刊建設, pp. 33~37, 1992年2月
- 20) 加藤正晴: メンテナンスにおける今日的課題, 土木学会誌, Vol. 68, pp. 2~5, 1983年10月
- 21) 春名 攻: 土木構造物の陳腐化と構造物の機能的耐用年数, 土木学会誌, Vol. 68, pp. 23~26, 1983年10月
- 22) 坂井順行: 国富、および社会資本ストックの推移と維持管理問題, 土木学会誌, Vol. 68, pp. 33~37, 1983年10月
- 23) 樗木 武: 土木計画と維持管理-今後の課題-, 土木学会誌, Vol. 68, pp. 67~71, 1983年10月

(1996. 1. 23受付)