

インフラとしての土木構造物の維持管理と今後の方向性

五味信治¹・多田幸司²

¹正会員 日産建設株式会社 技術研究所(〒353-1205 埼玉県日高市原宿746; 維持管理研究小委員会委員長)

²正会員 工博 戸田建設株式会社 土木工事技術部(〒104-8388 東京都中央区京橋1-7-1; 同副委員長)

アメリカ合衆国の社会資本は荒廃し社会問題になっている。わが国では土木構造物の診断調査結果を見る限り、一般的に健全度は良いレベルに保たれていると判断される。しかし、今後維持管理に相当な重点施策を施さないとアメリカと同様な状況に陥る恐れがある。本稿は、維持管理について、アメリカの現状とその取り組み状況、わが国の土木構造物の劣化・損傷の現状、維持管理技術の開発動向、維持管理技術の適用事例、維持管理の今後の方向性について公開されている文献、特許情報および土木学会土木施工研究委員会メンバー会社へのアンケート結果等を検討し、その研究成果を中間段階でまとめたものである。

キーワード：維持管理，土木構造物，技術開発

1. はじめに

縦横に延びるハイウェイと天を衝く摩天楼に象徴されたアメリカの近代都市が、公共投資の漸減により足元から崩れつつある。1930年代から営々と築き上げられた道路を始めとする社会資本ストックが、国家財政の逼迫から維持・管理費用もままならないため徐々にではあるが確実に蝕まれている。わが国の実情に目を移せば、いずれの社会資本をとってみてもアメリカの水準に遠く及ばず、まだ建設途上の感がある。コンクリート片の剥落事故など土木構造物の維持管理が社会問題となった例もあるが、土木構造物の診断調査の結果は後述するように、概略として健全度はよいレベルに保たれていると判断できる。これは、維持管理に注意しなくてよいということではなく、社会資本先進国アメリカ合衆国の社会資本ストックの荒廃振りを見れば分かるように、今後維持管理に相当な重点施策を施さないと同じ道を歩むことになる旨の警鐘を鳴らしていると理解すべきである。我々は「荒廃するアメリカ」の現実を見つめ来べき未来に備えなければならない。こうした観点から、以下の項目を本稿のねらいとした。

- ・社会資本先進国アメリカの現状から日本の将来における維持管理技術の必要性を探る。
- ・わが国の維持管理技術の現状を資料提供する。
- ・わが国の維持管理技術の開発動向を資料提供する。
- ・わが国の維持管理技術の適用事例を資料提供する。
- ・維持管理技術の今後の方向性等の資料を提供する。

調査方法としては公的に出されている文献と特許情報を調査し、研究委員会メンバー会社にアンケートを取りその結果を検討する方法で行った。

本稿は、土木学会土木施工研究委員会維持管理研究小委員会での研究成果を中間段階でまとめたものである。

2. インフラ施設の維持管理に関するアメリカ合衆国の取り組み

アメリカの現状を調査する動機付けは、社会資本の維持管理の面でもアメリカが世界をリードしているからである。ここでは社会資本ストックの荒廃原因と現状で行われている対処法について紹介する。

(1) アメリカ合衆国 NSF (National Science Foundation) の考え方

アメリカ合衆国土木学会(ASCE)では、1995年に“Journal of Infrastructure Systems”が創刊され、NSFが土木インフラ・システムの将来像や研究・開発のあり方について巻頭言¹⁾を寄せている。この資料の要点を以下に紹介する。「現在あるインフラの全面的な建替や劣化した建物等の部分的な修繕・建替も無駄が多い。将来、地球環境や健康および生態系への配慮を考えるのであれば、新しいアプローチがなければならない。技術の方向性としては、環境、人々のニーズと希望、経済、美感などへの配慮がキーワードである。維持管理システムは複雑になるが、

表-1 「沈黙の春」と「荒廃するアメリカ」における影響度比較

項目	「沈黙の春」	「荒廃するアメリカ」
社会的な評価	高：社会の目覚めを引き起こした。	低：専門家以外は無視。
社会的に与えた衝撃	大：マスコミや社会は動いた。	小：関係者も大半が無視。
類似点1：対象	自然環境に対する危機警告書。	人為的な環境に対する危機警告書。
類似点2：市民への影響	人々の健康や安全に影響する。	同左
類似点3：経済への影響	経済発展や商品コストに関係している。	同左
相違点1：出版時期	1962年：経済の成長期。	1981年：経済の停滞期。
相違点2：結果の観測性	大規模で目に見えず結果だけがわかる。	観測可能。使用者によって避けうる。
相違点3：責任者の明確化	明確に特定できる。	特定できない。
相違点4：結果の不可逆性	環境危機の脅威は取り返し不可能。	社会資本の退化は取り返し可能。
相違点5：規模の広がり	地球レベルの問題。	一地方といったローカルな問題。
相違点6：コスト負担	産業界の負担（実際は消費者負担）	納税者の負担（実際は商品価格に転嫁）

インフラのリニューアル問題をより挑戦しがいのあるものとしている。技術者や経営者は、そこに、大きなビジネスチャンスがあると考えべきである。」

そして、4つの研究分野に対して、戦略的に取り組むことを提案している。具体的には

- 1)劣化のメカニズムを明らかにすること。
 - 2)構造物の耐久性、安全性、環境への適合度の評価。
 - 3)インフラの長寿命化や高機能化を図ること。
 - 4)インフラの経済や社会に対する有効性の評価。
- 等である。

(2) インフラ施設の改善に対する教育・宣伝活動

a) 自然環境と社会資本に関する2つの危機警告書

1962年に出版された「沈黙の春」(Silent Spring)は、環境問題への関心を高めた最初の出版物である。この本は、科学的な調査研究をもとにDDTやBHCをはじめとする有機塩素系殺虫剤や農薬などの化学物質による環境汚染を始めて本格的に告発した環境書籍の原点的な存在である。一方、1981年に「荒廃するアメリカ」²⁾が社会資本の危機を警鐘するために出版されたが、一般の理解や支援を取り付けるには至らなかった。この本は、1970年代の道路を中心とする社会資本の老朽化に悩まされるアメリカの実状と対策を訴えた警告書である。文献3)では、二つの著作について比較すると同時に、類似性・相違点・教訓を抽出している。これらの本の比較から導き出される教訓は、社会資本危機に対する国民の理解や支援といったものの重要性を説くと同時に、不用意な広告・宣伝活動が、国民的な反発や社会不安を増長させることを示唆している。当委員会でもまとめた影響度比較を表-1に示す。

これらの比較の結果から得られる教訓として次のことが述べられている。

- 1)「社会資本」という用語は、予算増額を要求する道具としては既に死語となっている。
- 2)社会資本危機についての議論は、社会資本による効果と財政の問題や民間活力の導入に特に焦点をあてて今後も続ける必要がある。
- 3)計画立案者側は、社会資本の財政に係わる政策

の変更、経済効果、などに関心が強い。一方、技術者側は、資源の有効利用や予算を得ることに関心をもっている。双方で合意し、国民の安全や生活の向上、経済の発展に寄与すべきである。

4)社会資本と環境危機は別なものではないということ認識する必要がある。

5)わずかでも持続していくことが未来につながる。

b) 公共施設改善令

1983年、アメリカのコネティカット州でMianus River Bridgeが崩壊した。こうした事故は他にも起こるようになり、当時の停滞した経済状況とあわせてインフラ荒廃の危機を予感させるものであった。

1984年、連邦議会において、公共事業改善令が可決成立し、公共事業改善委員会が創設され、社会基盤施設の現況調査、建設・維持管理への投融資策など、公共資本全般に関する調査・研究が行われた。その後、1988年にインフラ整備のための国家的施策を勧告する報告がなされた。この報告では、レポートカードという形で社会資本の現況を評価した上で、アメリカ経済の低落を抑制するためにはインフラへの公共投資の増加が必要と結論づけ、社会基盤施設の維持管理の重要性を強調した。レポートカード1988では、当時のアメリカのインフラ全般に厳しい評価が下されており、これに対応してインフラ改善のために多くの法案が提出されるなど大きな反響があった。しかし、結局政治的、経済的あるいは法律的など様々な要因が複雑に絡み合った結果、顕著な効果的対策が講じられることにはつながらなかった。

c) ASCEの教育活動

公共事業改善委員会においてレポートカードの作成に中心的役割を果たしたのがASCEである。レポートカード刊行後10年を経てもインフラ設備の更新や新たな開発は進展しなかった。ASCEでは国家的に問題提起するため、土木分野の専門家からなる委員会を設置してインフラの現状を再度評価・認識し公表したのがレポートカード1998である。ここでの総合評価は、10年前のC評価からD評価へと低下しており、この期間における社会資本状況の悪化が明らかになった。この結果はレポートカードによる評価を待つまでもなく、道路交通や教育施設における

表-2 レポートカード2001の例

評価項目	評価	インフラの現状分析
道路	D+	主要道の1/3は修繕を必要とする状態。
橋梁	C	橋梁の3割は、構造的あるいは機能的な欠陥あり。
大量輸送機関	C-	公共交通の乗客数は、6年で15%増加している。
航空	D	空港の混雑により、月間5万件の飛行に遅れが生じた。
学校	D-	75%の校舎は、教育環境に不適格。
上水設備	D	5万4千の上水施設に対して、年間110億ドルの資金不足。
下水設備	D	100年以上経過した下水施設も存在する。
ダム	D	重大な被害をもたらす危険性のあるダムが2100箇所以上ある。
一般廃棄物	C+	ごみの17%が発電施設で再利用されている。
有害廃棄物	D+	新たな処分場の数は十分ではないが、処理の予算は急増した。
水運	D+	陸軍工兵隊は、380億ドルの遂行すべき事業を抱えている。
電力	D+	電力容量は10年間で7000MWの増加にとどまり、年間30%不足している。
総合評価	D+	今後5年間で1兆3千億ドルが必要。

評価の区分； A：新設あるいは補修直後の非常に良好な状態。
 B：かなり良い状態で、近い将来の補修を必要としない。
 C：ほとんど補修の必要がない状態。
 D：ただちに補修を必要とする状態。
 F：供用に耐えない状態。

表-3 劣化度判定基準の例

劣化度	トンネル以外の構造物	トンネル
V	劣化が著しく、補修・補強を行う必要がある。劣化のため構造物の体力や使用性が低下している事が明白なもの。	はく離・剥落の危険性が明白な部分があり、ただちに補修を行う必要がある。
IV	劣化が著しく詳細調査を行い、補修するかどうか検討する必要がある。劣化のため構造物の使用性に悪影響が出ているおそれがあるもの。あるいは、放置するとさらに劣化が進行する事が十分に予想されるもの。	はく離・剥落のおそれがある部分が複数あり、補修するかどうか検討する必要がある。例えば、打音検査で以上音が認められた箇所が多数存在するもの。
III	劣化が認められ、追跡調査を行う必要がある。現時点では即座に構造物の使用性に影響を与えないが、将来的には劣化が進行することも予想されるもの。	はく離・剥落のおそれがある部分がある。例えば、打音検査で異常音が認められた箇所が存在するもの。
II	劣化の兆候が認められる。軽微なひび割れや錆汁等が認められ、条件によっては劣化が進行することも予想されるもの。	はく離・剥落につながる可能性のある部分がある。例えば、ひび割れやコールドジョイントの存在が目立つもの。
I	劣化の兆候が認められず、健全な構造物	はく離や剥落の兆候が認められず、健全な構造物

混雑状況などから既に周知の事実であった。レポートカード1998が以前より大きな反響を呼び、連邦議会では直ちに道路、橋梁等のあらゆる運輸・交通関連への公共投資や教育施設の整備を推進する法令が成立した。ところが、一方ではインフラ整備による重税感に対する反発も大きく、新たな開発を制限する状況も発生した。結局、社会基盤施設の整備は進捗せず、カリフォルニアの電力危機に代表されるように、深刻さがより強くなった。その結果、インフラ問題は単なる利便性の問題ではなく、社会の健康や安全、経済への脅威となった。ASCEでは、この現況に警鐘を鳴らすため、前回からわずか3年の後、2001年3月にレポートカード2001を発表した。このレポートカードは、社会基盤施設の現況を把握・評価し、インフラの整備・再構築のための提言を行うものであり、どの程度の財源を必要とするかについても検討を加えている。表-2にレポートカード2001の例を示す。

3. 土木構造物の劣化・損傷の現状

旧建設、運輸、農林水産各省が平成11年に設置し

た「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」で既存コンクリート構造物の劣化・損傷状況について調査した結果⁴⁾を紹介する。対象とする構造物は、橋梁上部工(371例)、橋梁下部工(390例)、擁壁(348例)、カルバート(道路用、370例)、河川構造物(水門、河川用カルバート、364例)、トンネル(256例)の6種類である。竣工年代を、1965年以前、1965～1974年、1975～1984年、1985年以降の4つに分け、都道府県ごとに竣工年代に該当する構造物を2件ずつランダムに選定した。各構造物の劣化度の判定は表-3に示す劣化度判定基準の例を用いている。トンネルについては、構造物としての判定は困難であるので、コンクリートのはく離、剥落の可能性に限定して判定している。

劣化度判定結果の内橋梁下部工とトンネルの例を図-1に示す。構造物の竣工年代と劣化した構造物の割合の間には明確な関係が認められ、古い構造物ほど劣化が進んでいることが確認でき、特定の年代の構造物で劣化が著しいといった傾向はみられない。一方、時間の経過とともに全ての構造物が劣化するわけではなく、竣工後35年以上経過した構造物でも54.8%は、劣化の兆候が認められなかった。補修等を視野に入れて点検や監視を必要とする劣化度Ⅲ以

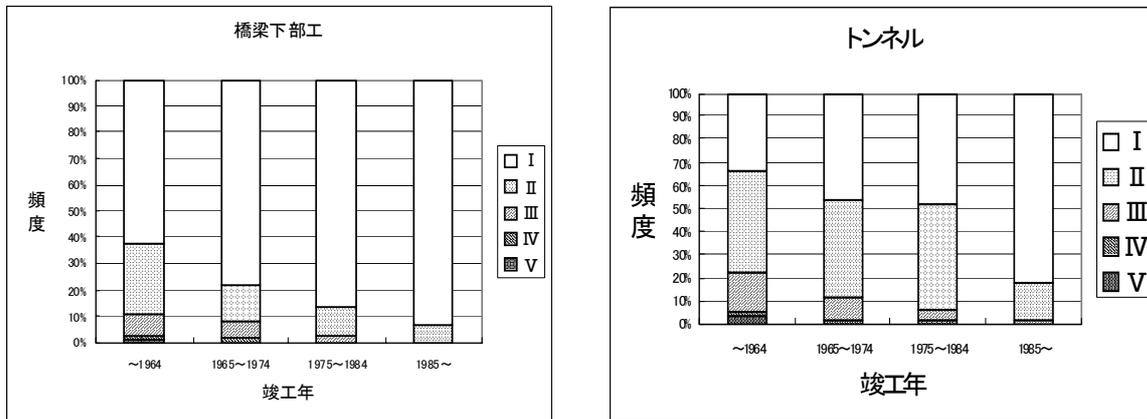


図-1 内橋梁下部工とトンネルの例

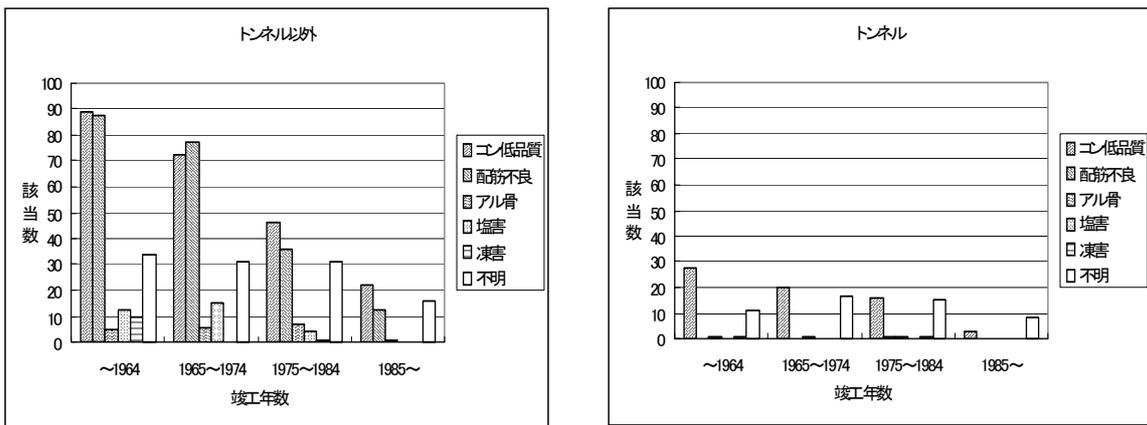


図-2 劣化要因推定結果

上の構造物は、全体の5.9%あった。トンネルは、判定基準が異なっているため、他の構造物と比較すると、劣化度が高めである。トンネル以外の構造物では、比較的かぶり小さい橋梁上部工で劣化度が大きいものが目立ち、無筋の事例も多く含まれる擁壁では、ほとんどのものが劣化度Ⅱまでにとどまった。

劣化要因を推定した結果を図-2に示す。劣化要因として挙げられたものは、年代に関わらずコンクリートの低品質が多く、それに配筋不良が続いている。すなわち劣化要因としては、施工に起因するものが大部分を占めている。一方、アルカリ骨材反応、塩害および凍害などコンクリート材料そのものや周辺環境に起因する劣化事例は、全国的なコンクリート構造物の数量からすると少ない。しかし劣化度が高い事例ではこれらが劣化要因に挙げられる割合が高い。なお、1986年のアルカリ骨材反応対策実施以降の構造物で、アルカリ骨材反応による劣化が疑われる構造物は、今回の調査では認められなかった。

4. 維持管理技術の開発動向

(1) 研究開発の現状

各社の平成13年度有価証券報告書に述べられている研究開発事業の中から、維持管理分野への取り組

み状況を建設会社24社について調査した。

研究開発事業の総括の中で、明白に維持管理分野の技術開発を柱の一つとしている企業は24社中5社で意外と少ない。ただし、各社が取り組んでいるテーマの中に維持管理関係のテーマを取り上げている企業は23社に及び、何らかの形で維持管理に関連した技術開発に取り組んでいることが伺われる。

各社の技術開発テーマ合計に対する維持管理関連テーマ数は14%である。図-3は各社毎の研究開発テーマ数に占める維持管理関連テーマ数の占有率を示したものであるが、ほぼ半数の11社が10~15%に集中している。また、最大値は33%であり、特別に維持管理技術に大きな比重を置いている会社はない。これらのデータから推定すると、現状では一般の新規建設技術が中心で、維持管理に対する技術開発に特別に傾注している状況ではないものと考えられる。

各社の維持管理技術の内容を見てみると、耐震・免震関連の補強技術が圧倒的に多く、23社中17社がこのテーマを取り上げている。しかもそのほとんどが実構造物への適用実績であり、ほとんどの企業がこの分野の技術を保有していると考えられる。しかし、このテーマを別とすれば、図-4のように、各社が取り組んでいるテーマのジャンルは多様である。

それでも維持管理技術の種類ではやはり本業の施工技術が多く、報告書の記述からその技術の完成度

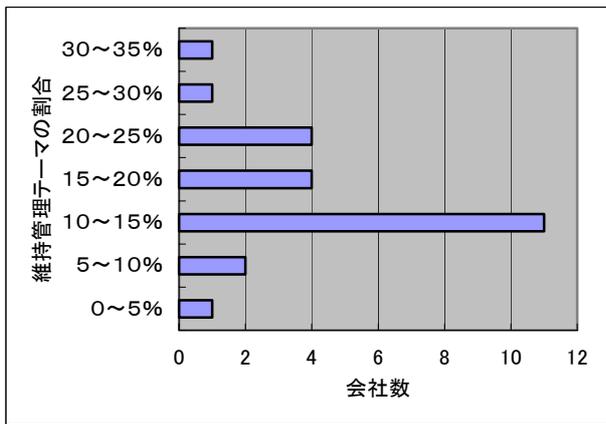


図-3 研究開発における維持管理テーマの占有率

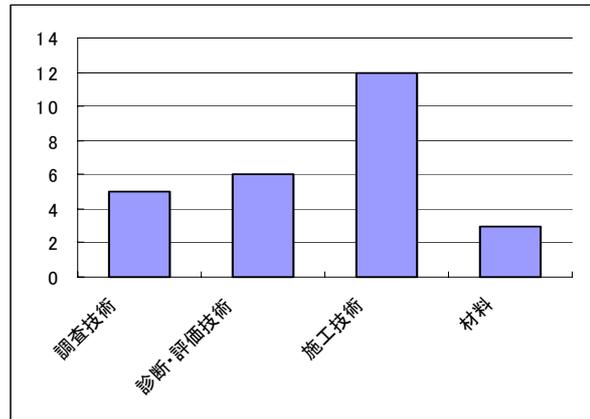


図-4 維持管理テーマのジャンル

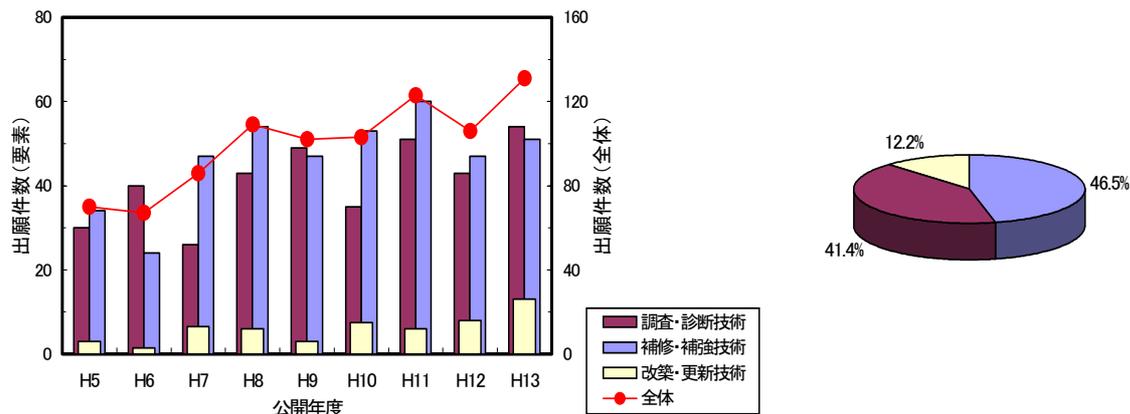


図-5 維持管理の各技術分野における特許公開時期と件数の状況

も高い印象を受ける。これは調査技術や材料といった他の技術が異業種の協力を要することに比較し、従来培ってきた自社のみのノウハウで開発が進められるといったことも影響しているのではないかと推定される。

(2) 新技術開発の動向とライフサイクルコスト

維持管理技術の研究開発動向について、公開特許公報より特許の出願状況を調査した。調査の対象期間は、平成5年以降の9年間とし、維持管理の技術分野は調査・診断技術、防食および新素材、補修・補強技術および更新・改築技術とした。図-5にそれぞれの技術分野における特許公開時期と件数の状況を示す。維持管理に関する特許出願は、平成6年あたりから漸増してきており、今後さらに増加するものと思われる。この間の出願総数は約900件にのぼり、補修・補強技術および調査・診断技術がそれぞれ4割強を占めている。

調査・診断技術では、自動打音検査方法など劣化・損傷・空洞等の検知や測定を含む各種非破壊検査を主とした調査技術が半数以上を占めている。デジタル化技術の応用などによる計測の自動化、高速化、調査結果の視覚化や高精度化が開発の主体となっている。次に、地中コンクリート構造物の健全性評価方法など、構造物の現時点における腐食度診断

や健全度評価と将来の劣化予測などを中心とした評価・診断技術が1/3を占め、残りがひび割れ対策支援システムや性能劣化監視システム、構造物の維持管理計画支援などの維持管理ツールとなっている。

また、トンネルや橋梁などの構造物の管理者と維持管理技術提供企業とをインターネットなどの通信手段を介して接続し、構造物の維持管理を適切な時間と費用でタイミングよく行える技術情報ネットワークシステムといったビジネス方法に関するアイデアも提案されている。

補修・補強技術では、表面被覆や注入などひび割れ修復を中心とした補修方法が4割、コンクリート構造物の増厚補強構造などの補強方法が2割と施工技術が6割を占める。次いで、炭素繊維シートなどの補修・補強用材料、土中埋設式防食用電極システムなど防食関連技術と続く。このうち、防食関連技術は増加の傾向にある。

改築・更新技術では、下水道管路等の更新技術が6割強を占めており、対象が膨大なことからインフラ整備の中心として認識されているのがわかる。特に供用下での施工をベースとした提案が多く見られ、トンネルや道路、橋梁においては拡幅等の機能性向上に向けた技術への取り組みも見られる。

また、高耐久性、耐候性を狙った長寿命化技術が増加している。これらの研究分野のねらいはLCC

(ライフサイクルコスト)を視野に入れた将来性にある。今後は、計画・技術・制度等の面から維持管理を劣化評価・補修計画設定など一連のトータルで考えるLCC評価システムの構築と維持管理分野の新たな積算システムを提案する必要がある。

5. 維持管理技術の適用事例

維持管理技術の適用事例の調査では、アンケート調査結果29編、文献資料101編、計130編の事例を収集した。経時的な傾向として、1964年から1980年代半ばまでの比較的古い事例と1990年頃から現在に至るまでの二つに大別できる。施工事例の全体的な傾向を捉えるために、老朽化の原因・補修の目的、補修補強技術の分類の2点で整理した。結果を図-6に示す。

老朽化の原因・補修の目的については、総件数130件の内、兵庫県南部地震以後の耐震補強工事が25%を占め、次に経年劣化によるものが22%、塩害によるものが16%を占める。他は硫化水素による鉄筋腐食やトンネルにおける背面空洞、地圧の増大、漏水などである。

補修補強技術では、耐震補強を含め、劣化対策として鋼板、PCL版、PC、PIC版などを使用した補強が全体の約40%を占める。断面修復と表面保護は劣化部分の除去・はつりなどを含むものを断面修復とし、表面の補修に限定されているものを表面保護としたが、各々28%、8%である。他は電気化学的工法や裏込注入、止水注入などが続いている。

これらの結果から、維持管理事例はまだ応急処置的な補修・補強が多く、LCC等を考えた本格的な維持管理事例は一般に普及していない。

6. 今後の方向性

本稿では維持管理技術の今後の方向性を探るため、社会資本先進国アメリカの社会資本の荒廃とその事態に対する基本的な考え方と諸政策を紹介し、わが国におけるインフラとしての土木構造物の現状・維持管理技術の技術開発の現状・維持管理の事例などを調査した。これらの調査結果より得られた知見を要約して以下に示す。

- 1) わが国が未来の社会資本荒廃を防ぐためには、維持管理に対する教育・宣伝活動が必要であり、土木学会等の組織が広く社会に対しPRを行う必要がある。
- 2) わが国の土木構造物の診断調査結果は、概略として健全度はよいレベルに保たれていると判断できるが維持管理に対する認識と準備が必要である。
- 3) 企業にとって維持管理分野への技術開発にどの程度力を向けるべきかが共通の課題になっている。
- 4) 最近の技術開発の方向は、コンピュータ技術を利用した計測の高精度化・自動化・高速化、高度情

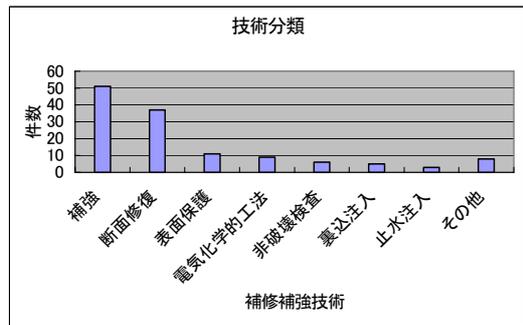
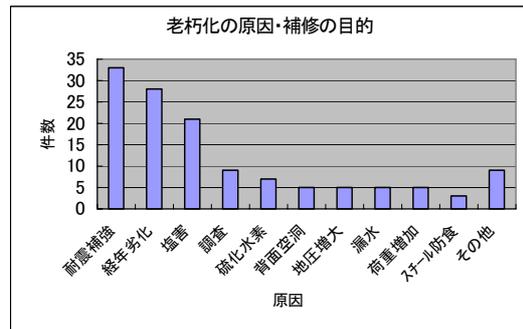


図-6 老朽化の原因と補修補強技術の分類

報処理技術の活用による診断手法、維持管理手法、LCC評価、LCCを考慮した高耐久性材料、構法などがあげられる。

5) 各構造物ごとの各種点検結果、補修・補強履歴などのデータを時系列的に整備し、検索可能なデータベースシステムを構築する必要がある。

謝辞: 本稿の調査・研究に関しては土木学会土木施工研究委員会維持管理研究小委員会メンバーの協力を得た。記して謝意を表す。メンバー：荒木進(ライト工業)、石井清(清水建設)、木本隆(日本国土開発)、神山英雄(熊谷組)、後藤秀夫(五洋建設)、高橋浩(佐藤工業)、谷野洋一(銭高組)、中嶋滋(清水建設)、植享(大日本土木)、野村和弘(間組)、美斉津宏史(大成建設)、松尾庄二(鉄建建設)、森田英仁(竹中土木)。

参考文献

- 1) Bordgna, J : Viewpoint, Civil Infrastructure System: Ensuring Their Civility, Journal of Infrastructure Systems, Vol.1, No.1, pp.3-5, ASCE, March, 1995.
- 2) Pat Choate, Susan Walter: America in Ruins(荒廃するアメリカ)、開発問題研究所社会資本研究会、1983
- 3) Stanford, K. L., Tarr, J. A. and McNeil S. : Crisis Perception and Policy Outcomes: Comparison between Environmental and Infrastructure Crisis, Journal of Infrastructure Systems, Vol.1, No.4, ASCE, Dec. 1995.
- 4) 古賀裕久, 河野広隆, 渡辺博志 : コンクリート構造物の健全度に関する実態調査結果, 土木技術資料 pp.42-12, 2000.