展望

21世紀はメンテナンスの時代

沢出　稔　清水建設（株）技術開発センター
主査　所長スタッフ
Minoru Sawaide

Coming 21C Become the Age of Maintenance

1 はじめに

今日、我々の生活はコンクリート構造物の上に成り立っていると言っても過言ではない。これらコンクリート構造物は、かっては「永久構造物」と称され、特別な手当をしなくても100年位の耐用年数が十分にあると考えられていた。そのためにコンクリート構造物のメンテナンスについては軽視される傾向にあった。また、供用中のコンクリート構造物の補修を取り沙汰することは、利用者の無用な不安感を増長するという理由から出来るだけ避けるようにしてきた。

昨今、恒常的なメンテナンスが必要である例として、1930年代に整備された米国の社会資本（道路、橋、高層ビル等）が、必要なメンテナンスを怠ったために60年を経過した現在急速に劣化が進行し、一部のものは補修も不可能な状況に追い込まれていることが挙げられている。

日本に於いても1980年代にTVを賑わせた「コンクリートクライシス」騒動により、コンクリート神話は崩壊し、コンクリート構造物が永久に保つものでないことが一般の人々に認識された。1995年のあの阪神大震災では、強くて丈夫なコンクリート構造物も簡単？に壊れることがTV等で克明に映し出された。さらには1960年代に高度成長と共に、一気に充実された日本の社会資本も30年が経過し、劣化が取り沙汰されており、有効な補修工法が模索されている。

以上を鑑みると、インフラの整備のみに心を奪われるのではなく、それらの維持管理の需要性に目を向け、また、その方法についても真剣に考えなければならない時期に来ていると言えよう。

2 補修・補強工事の増加は時代の要請

近年、構造物の維持管理が注目され始めた背景には、コンクリート構造物の寿命を縮める要因が過去の事故例から明確になってきたことも理由の一端として挙げられる。以下にその物理的事由を列記する。

2.1 高度成長期に整備された社会資本の劣化

道路トンネルを例にとると、現在供用中の道路トンネルの総延長は約1600kmあり、その平均経年は20年であり、築後30年以上経っているものは全体の21%、350kmに達しようとしている。図1に経年別の道路トンネル延長距離を示す。その他、首都高速道路では供用されている220kmのうち60%が、阪神高速道路では160kmのうちの60%が築後20年以上経過している。図2に首都高速道路の供用延長距離と維持修繕費の関係をまとめたものの一例を示す[1]。これらの道路トンネルや高速道路は今後時間の経過と共にますます補修・補強が必要となってくる。

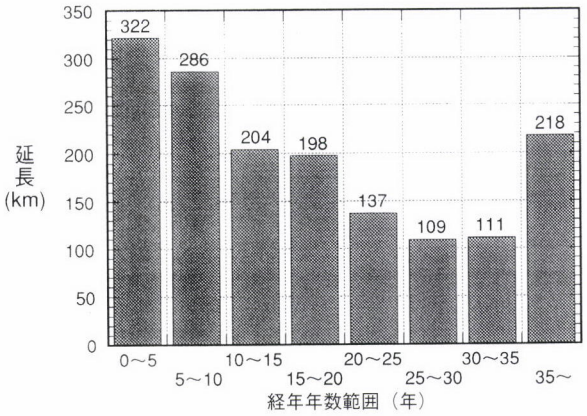

図1　経年別道路トンネル延長距離

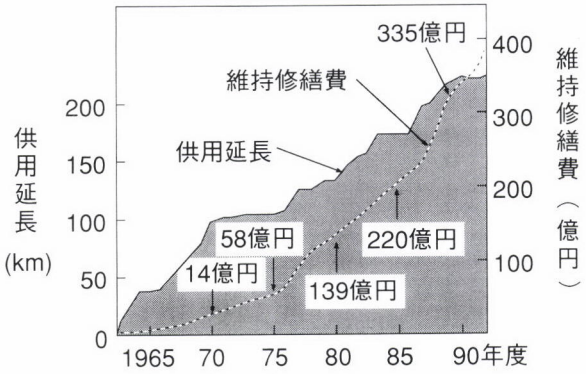

図2　首都高速の供用延長に伴う維持修繕費の増加

2.2　トラックの総重量規制の緩和（TL-25対応）[2)]

国民生活と経済活動の基盤として重要な役割を担っているトラック業界も慢性的な人手不足と高齢化に頭を痛めている。2000年には業界全体で40万人もの人手不足が生じると運輸省は予測している。

この問題を緩和するために、1回あたりの輸送量を増やし輸送の効率化を図る事を目的として、道路を走れるトラックの総重量を20tonから25tonに規制緩和する事を決めた（平成5年11月）。これにより、道路、道路橋等の土木構造物をはじめとして、既存の建築構造物にも設計時に想定した以上の荷重が負荷されることになり、これらの構造物に対する補修・補強が緊急課題となっている。

この規制緩和に呼応して、全国で橋や道路の総点検が行われている。例えば、20ton荷重で設計されている所が多い首都高速道路や阪神高速道路では、25ton車の走行に対応するため、これまで以上により精密な点検と補強工事が求められている。また、日本の橋の大部分が20ton車が走行することを前提に設計されているので、安全性のチェックが必要となった橋の数は全国で5万を越えている。既存の流通センター（倉庫ビル）の大部分のものも、最大20ton車が出入りするとして設計されているので全面的な補強が必要となっている。

2.3　当初から問題を抱えていた構造物の劣化進行[3),4)]

1964年の東京オリンピック開催に合わせて関連の建設工事が急増した。そのために建設に従事する労働者が不足し、粗製濫造と言われても仕方がない構造物が乱立した。それらの大部分はバブルの最盛期までに建て替えられたが、残されたものは築後30年経過し、劣化の進行が深刻な問題となっている。

また、1973年の第一次オイルショック時には、建設資材が不足した。特にセメントが入手困難となり、輸入セメントを含め低品質のものをやむなく使用して構造物が作られた。その時期に作られた構造物は通常の品質のセメントで作られた構造物と比較して劣化の進行が早く、それら構造物の補修・補強が急務となっている。

また、1970年代以降は川砂利、川砂の枯渇及び河川保護の法的規制によって、骨材として最適な河川産のものの入手が困難となり、砕石が全面的に用いられることとなった。一部の地域では海砂も用いられた。これにより、化学的に不安定な成分を含んだ砕石によるアルカリ骨材反応の発生、塩分除去処理が不十分な海砂による塩害の発生により、コンクリート構造物の劣化促進が加速された。

これらの要因に関連する構造物は、正常に作られたものと比較して寿命が短いと考えられることに加えて、既に築後20～30年経過しており、抜本的な補修・補強が必要となっている。

2.4　自然環境の悪化

コンクリートの中性化の進行速度は10年間で約1cmといわれている。近年大きな社会問題となっている地球環境の悪化がコンクリートの中性化を促進し、構造物の耐久性に影響を与えている。例えば、オゾン層の破壊の進行により高エネルギーの紫外線の量が増え、ビル等に用いられている仕上げ材の寿命が着実に短くなってきている事が指摘されている。

地球温暖化の直接の原因と言われている炭酸ガス濃度の増加は、コンクリートの中性化の促進に直接作用している。炭酸ガスや自動車の排気ガス等が絡み合って発生すると言われている酸性雨は、森林体系は勿論のことコンクリート中のアルカリ分の溶出という形で直接コンクリート構造物を攻撃している。コンクリート中のアルカリ分が失われ、中性化が鉄筋の位置まで進むと、コンクリート（中のアルカリ分）による腐食抑制作用が失われ、コンクリート中の鉄筋に錆が発生し、構造物としての機能に重大な支障が生じる事となる。

2.5　環境問題にかかわる意識の変化

環境問題がエネルギーの問題であると捉える考え方がある。エネルギー消費を出来るだけ抑える意味からも、ビルの建て替えは避けようという意見である。高度経済成長期及びバブル経済最中のように、古くなったら、用途が変わったら、直ぐに取り壊して新しく作り替えるという、いわゆる「スクラップ＆ビルト」的な発想から、メンテナンスを重視してきめ細かく手を加えることにより、構造物を出来る限り長持ちさせようという「ストック＆リニューアル」的な考え方が強くなってきている。

2.6　経済成長鈍化に伴う投資余力の減少

わが国に於いては、今後人口の高齢化が急速に進み（図3）、生産年齢人口比率が低下していき、2011年にはそのピークを迎え、「労働人口減少社会」が到来することが予想されている[5)]（厚生省人口問題研究所 1992.9発表）。

また、現在14～15%程度の水準にある家計貯蓄率も、今後次第に低下して2010年には9%程度になるという試算がなされている[5)]。このため、将来は投資余力が減少すると考えられるため、既存設備の有効利用、即ち、メンテナンスがますます重要となってくる。

2.7　公共投資への期待

わが国は、急激な経済成長により、消費や投資等のフロー面では世界のトップクラスにランクされるに至っている

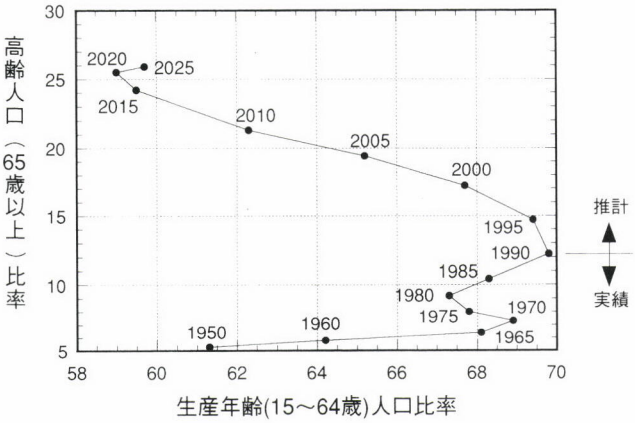

図3　高齢人口比率と生産年齢人口比率の推移
（図中の数字は西暦）

表1　公共投資基本計画の概要

○対象期間
1991～2000年度

○投資総額
430兆円（用地費、補償費を含む）
（1981～1990年度の実績見込額約　263兆円）

○公共投資の機能別分類

	1981～1990年度	1991～2000年度
生活環境・文化機能	50%前半	60%程度
その他	40%後半	40%程度

○主要部門の整備目標
下水道　……総人口普及率70%程度（1988年度末40%）
都市公園　……住民1人当り面積10m²程度（〃5.4m²）
廃棄物処理施設　…市町村が処理すべき廃棄物のほとんど全てを減量処理（1988年度末の減量処理率78%）
住宅　……1戸当り平均床面積100m²程度（1988年度末89.3m²）
（他部門の整備目標は各種公共事業関係長期計画において示される）

（参考）（「建設白書」より）
道路……高速道路（高規格幹線道路）供用延長9,000km程度（1990年度末5,064km）
治水……大河川整備率（30～40年に1回の降雨量に対応）80%程度（1989年　60%）

が、ゆとりや豊かさが十分に実感されているとは言いがたい。そこで、政府は一般公共事業費とは別に、1990年6月に21世紀に向けて社会資本の整備・充実を図っていく上での指針として、公共投資基本計画を策定した。表1にその概要を示す[6]。これより、2000年までの向こう10年間の公共投資額を430兆円とし、「生活大国の実現」、「住宅・社会資本の整備」等の遅れているインフラ分野に重点投資をしていこうという政府の強い姿勢が読みとれる。

構造物に対する維持管理の必要性が認識され始めた現在、構造物に不具合が生じたから直すというだけでなく、近年ますますその現実性が話題となっている東海沖地震等の対策として、予防的な補修・補強工事費の全投資額中に占める割合の増加について、期待を込めて取り沙汰されている。いずれにせよ、コンクリート構造物のストックの増加に伴い、これらの補修・補強工事がますます増加する事は間違いのない事実である。

表2　既存建物の耐震改修促進法にいう特定建物の例

【特定建築物】

用　途	規模
学校、体育館、病院、劇場、観覧場、集会場、展示場、百貨店、事務所、ボーリング場他運動施設、診療所、映画館、公会堂、卸売市場・物販店舗、ホテル・旅館、共同賃貸住宅、福祉センター、博物館・図書館、遊技場、公衆浴場、飲食店・キャバレー、銀行等サービス店舗、工場、駅舎等、車庫、郵便局・税務署等公益施設など	階数3以上かつ延1,000m²以上

【不特定多数が利用する特定建築物】…所管行政庁が指示し報告を求め、検査することができる建物

用　途	規模
病院、診療所、劇場、観覧場、映画館、集会場、展示場、百貨店、一般公共用体育館、ボーリング場他運動施設、診療所、映画館、公会堂、物販店舗、ホテル・旅館、福祉センター、博物館・図書館、遊技場、公衆浴場、飲食店・キャバレー、銀行等サービス店舗、駅舎等、車庫、郵便局・税務署等公益施設など	階数3以上かつ延2,000m²以上

2.8　既存建物の耐震改修促進法の施行

平成7年1月17日の阪神大震災では、コンクリート構造物の地震に対する安全性が根底から覆された。事態を重く捉えた政府は、耐震基準に適合しない建築物の安全性の向上を図るために、建築物の所有者への指導・誘導等の総合的措置を講じ、建築物の耐震改修の促進を図る事を目的として、「既存建物の耐震改修促進法」なるものを平成7年12月25日から施行した。

この法令では現行の耐震基準に適合しない建築物（昭和58年以前に建てられた建築物が対象となる）で人的被害を最小限に抑える事を最優先として、＜特定建築物＞の所有者の努力義務（罰則規定はない）が定められており、特にいつまでといった期日指定もないが、表2に示した様な＜特定建築物及び、不特定多数が利用する特定建築物＞は、現行の耐震基準に適合するように速やかに補強工事を行わなくてはならなくなっている[7]。

2.9　レトロフィット（機能価値向上）

レトロフィットとは建築物の用途変更や増築・改築、大規模な模様替えを伴う価値向上のための建築工事をいう[8]。一般に、建築物の価値は経済的耐用性（経済的価値）、物理的耐用性（物理的価値）及び社会的耐用性（社会的価値）の3つより構成されていると考えられている。日本の場合、物理的価値が残されているにも係わらず経済的価値の低下により、やむなく建て替えをする建築物が大半であるという。

この様な価値の低下した建物に対して、現在の建物を壊さずに、現在と未来まで供用に耐えられる構造物に変身させるというコストパーフォーマンスの高い投資を実現する知恵が求められる時代になりつつある。

今、リフォーム、リニューアルの世界に機能のバージョンアップと付加価値の向上を意味する言葉として新たに「レトロフィット」が話題を呼んでいる。今後、膨大な建設投資による住宅及び社会資本の整備が進み、単なる構造物の維持・補修から機能価値向上を目指したレトロフィットへと向かうであろう。

3 補修マーケットの規模

経済企画庁は平成5年度の経済白書の中で、公共投資に占める「維持更新費」の割合が、2000年で27.5%、2010年には約40%に達すると試算している。平成5年度版の建設白書[9]によれば、社会資本のストックの増加により、「維持更新費」が増大することに加えて、これまでに建設されてきた施設が耐用年数を迎え、21世紀初頭には老朽化施設の更新需要に対する更新費も急激に増加するものと予測している。

また、経済審議会の報告によれば、わが国の公的社会資本のストック額は、1990年度末で約460兆円、2000年度には700兆円半ばとなり、2010年度には1100兆円にも達すると見込まれている。この様に構造的に増加する社会資本ストックの維持管理・更新への対応が重要な課題となっている。

図2は首都高速道路の供用延長と維持修繕費の推移を示したものであるが、維持修繕費は供用延長の増加率と比較して、より大きな増加を示していることが分かる。阪神高速道路の1992年度の維持修繕費は260億円であるが、1975年度からの伸びは、供用延長が1.5倍、交通量が1.6倍であるのに対して、維持修繕費の伸びは2.5倍にもなっている。

トンネルの場合、その維持管理の目的はトンネルの耐用年数を延ばすことにある。道路トンネルでは、補修を必要とするトンネルの総延長距離は約330kmあると言われているので、平均的な補修工事費を 3億円／km とすると、これだけで1000億円の市場規模となる。道路トンネルの総延長距離は1600kmあり、経年30年以上のトンネルの総延長は330kmであるが、10年後には580km、20年後には980kmとなり、トンネルの維持管理のための補修費が増加の一途をたどることは目に見えている。

また、民間のシンクタンクである野村総合研究所の試算でも、2000年には公共投資の31.6%にあたる約18兆円が「維持更新費」になるとしている[8]。同じく、同研究所ではレトロフィットの市場規模推計を行っている。これによると1991～1995年の累計で約18兆円（年平均で3兆7000億円）の市場規模のものが2001～2005年には約40兆円（年平均で7兆9000億円）の市場規模に達する。累計市場規模の金額は、2001～2005年の2倍以上となり、今後極めて高い成長力を有する市場として注目している。

4 維持管理手法と補修・補強技術

4.1 維持管理手法

話は少々古くなるが、1990年2月に千葉県にある国道127号線の小山野トンネルで規模は小さいが、落盤事故が発生した。このトンネルは建設省の分類では高いランクの要注意トンネルで、1日に2回パトロールが行われていたが、事故直前のパトロールでも事故の兆候を捉える事が出来なかった。

現在のトンネルの維持管理は状態監視保全（Condition Monitoring Maintenance）であり、監視、即ちパトロールの際の目視が主要な手段となっている。小山野トンネルでは、パトロールで安全が保障出来なかったことから、現行のトンネルの維持管理手法を根底から検討する必要に迫られている。

この例に見られるように、トンネルの管理は目視観察のみでは不十分であり、他の方法との組み合わせ、あるいは新たな手法の開発が求められている。維持管理体制も「対処療法」主体のものよりも「予防医学」的なものが相応しいといえよう。

トンネルに限らずあらゆる構造物に対する維持管理について言えることであるが、要は「検査は合理的にかつ迅速に、診断は（時間をかけても）慎重に」ということである。今後、ますます激烈な競争が予想されるリフォーム・レトロフィット市場では、技術、経験に裏付けされた検査・診断技術が必要不可欠なものとなろう。

4.2 補修・補強技術

補修・補強技術は構造物のメンテナンスの需要に対応していくためのキーテクノロジーである。今までと同等、またはそれ以上の品質を確保しながら、直接工事費の低減を計ると共に、しかも、必要な利益をあげる補修・補強技術でなければならない。いくら信頼性が高い補修・補強技術でも、コストがかかるようでは、これからは採用されにくくなるであろう。

阪神大震災の復旧工事で、高強度かつ耐久性に優れた炭素繊維を一方向に引き揃えた「炭素繊維強化シート」をエポキシ樹脂等の接着剤で接着固定する工法が注目された。現在、建設省、運輸省、大学、各種公的機関、ゼネコン等が精力的に確認実験を行っているので、ごく近い将来に老朽化した構造物や一般の構造物の耐久性の向上や耐震性の向上を確保する手段として、炭素繊維強化シートの張り付けによる補修・補強工法は、鋼板張り付け工法と並んでなくてはならない工法となろう。

建築分野で新しい材料を使う場合、建築基準法第38条第2項の特認条項に触れ、事実上使用できないことがある。新しい材料、新しい用途になればなるほど評価が難しくなる傾向にあった建築基準法を現行の材料評価（使用規定）から、出来上がったものの性能を規制する性能評価に改訂する方向で検討を進めている。性能評価になれば今まで使われなかった材料（例えば高分子材料等）が使われる機会も増えるので、新しい補修・補強工法が開発されるであろう。

5 おわりに

政府刊行物等に見られるように、行政は今後の補修案件の増加とそれに伴う維持修繕費の増大に関して、それが構造的なものであるが故に、かなりの危機感を持って対応しようとしているようである。今後は社会資本の維持更新・機能価値向上への対応が以前にも増して重要な課題となり、かつ緊急性も高い。

この様な状況の下に社会貢献的要素を合わせ持つ＜補修産業＞は、建設分野に於いても優良な市場との評価を受けている。その市場の大きさから、以前は補修に積極的でなかった大手ゼネコンも「この分野」に参加する価値は十分にあると判断を下し、補修・補強を専門に行う組織を社内に作ったり、関連会社や子会社を作るという動きを見せている。

平成8年1月1日から、WTO（世界貿易機構）の新たな政府調達協定が発効し、わが国の建設市場は本格的な国際化の時代を迎えている。補修産業も例外ではあり得ない。従来にも増して「トータルで良いものを安く」提供する努力が各企業に求められている。

参考資料

1) 日経コンストラクション, 12-11 (1992) , pp.14～25
2) 平成5年度版 運輸白書, p.195
3) 宮川豊章：安全工学,「土木コンクリート構造物の寿命予測」, Vol.30, No.6, (1991) , pp.415～420
4) 柿崎正義：安全工学,「鉄筋コンクリート造建物の寿命予測」, Vol.30, No.6, (1991) , pp.421～431
5) 平成5年度版 建設白書, p.4
6) 平成5年度版 経済白書, pp.379～380
7) 清水建設（株）社内資料（耐震診断技術室）,既存建物の耐震改修促進法の概要
8) 日刊建設産業新聞, 1994.5.30, 朝刊記事（7面）
9) 平成5年度版 建設白書, pp.481～482

用語解説

(1) 建設、建築、土木

欧米諸国と異なり、日本では建築と土木を厳密に区別する傾向にある。建設と言った場合には建築と土木を含んでいるのが普通である。建築と土木の区別は間違えないようであるが、建設と建築は混同している場合が多い。

(2) 補修、補強

補修と補強も厳密に区別されるべきものである。なんらかの原因で損傷を受けた構造物を直す場合、設計図書に記載されている通りの状態に「原状復帰」させるのが補修であり、もとあった状態より強くするのが補強と言われている。建物が強くなるということは、その建物の財産価値が向上する事であるから、税法上からは課税対象となることがある。このような事から、実際は補強であるのに補修と言っていることもあるようである。

(1996年6月27日受付)