

報告 鉄道 RC 高架橋の戦略的維持管理計画の策定

鈴木 将充*1・伊藤 正憲*2

要旨：本報は、長期供用されている鉄道 RC 高架橋を対象として、維持管理限界状態等の各種の条件を設定し通常全般検査費、補修費を含めた維持管理に関わる 200 年間の総費用（ここでは、初期建設費を含まない費用をライフサイクルコスト（LCC）とした）を試算したものである。検討の結果、中性化調査結果および各通常全般検査の結果から優先順位を決定することで各高架橋の対策時期が整理され、また、予防保全型の維持管理シナリオの適用により各年に必要な費用の平準化および LCC の縮減が可能であり、戦略的な維持管理計画を策定できることが確認された。

キーワード：戦略的維持管理、長寿命化、維持管理限界状態、ライフサイクルコスト、維持管理シナリオ

1. はじめに

平成 24 年 12 月に発生した中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故により、インフラの老朽化が深刻な問題であることが再認識された。また、国土交通省では、平成 25 年 11 月に国民生活やあらゆる社会経済活動を支える各種施設をインフラとして幅広く対象とした戦略的な維持管理・更新等の方向性を示す基本的な計画として、「インフラ長寿命化基本計画(以下「基本計画」という。))」をとりまとめた。国土交通省は、この基本計画に基づき平成 26 年 5 月、あらゆるインフラの維持管理・更新等を着実に推進するための中長期的な取組の方向性を明らかにした「国土交通省インフラ長寿命化計画（以下「行動計画」という。))」を策定した。今後は、この行動計画に基づき、新設から撤去までの、いわゆるライフサイクルの延長のための対策という狭義の長寿命化の取り組みに留まらず、更新を含め、将来にわたって必要なインフラの機能を発揮し続けるための取り組みを実行することで、これまで進めてきたメンテナンスサイクルの構築と継続的な発展につなげるとしている¹⁾。なお、行動計画に示されている計画期間は、平成 26 年度から平成 32 年度までとなっている。

このような社会情勢の中、筆者らは、国土交通省の行動計画に先立ち、首都圏内の鉄道会社と連携し、管理、所管する高架橋などのインフラの長寿命化計画の作成業務に取り組んでいる。本報は、その中で長期供用されている鉄道 RC 高架橋を対象とし、各種の条件を設定し通常全般検査費、補修費を含めた維持管理に関わる 200 年間の総費用（LCC）を試算して策定した戦略的な維持管理計画について報告するものである。

2. 検討概要

図-1 に LCC の算定の概要を示す。なお、ここでの

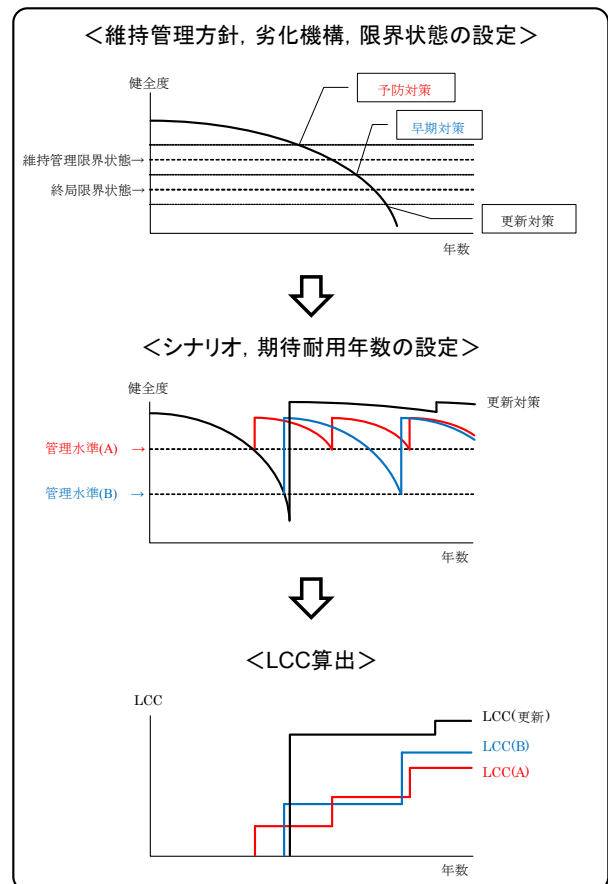


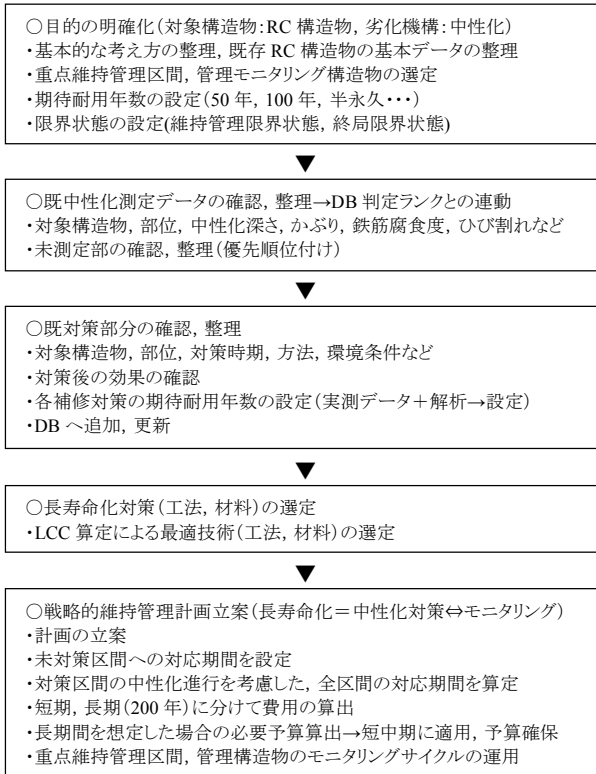
図-1 LCC の概要

LCC は、耐震補強費用は含まない条件で算定した。

図-2 に示す維持管理計画の策定は、(1) 延命化の目的の明確化、(2) 過去の中性化測定データの確認・整理、(3) 既対策部分の確認・整理、(4) 延命化対策の選定、(5) 維持管理計画立案という流れで行った。なお、LCC を算定する基本情報として、これまで採取した構造物の調査データ、および変状などの状態を写真などとして蓄積したデータベース（以下、DB）から、高架橋に関する

*1 東急建設(株) 技術研究所 土木研究 G 工修 (正会員)

*2 東急建設(株) 技術研究所 土木研究 G 室長 博士(工学) (正会員)



図－2 戦略的維持管理計画の策定フロー

5800 点を超えるデータを活用することを条件とし、期待耐用年数の設定、対象とする劣化機構の検討、限界状態の設定、建設年代の分類、維持管理シナリオの設定などを行ったうえで LCC を算定した。

3. LCC 算定条件の設定

3.1 期待耐用年数の設定

RC 構造物の維持管理の方法は、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】（以下、RC 示方書と略記）^{2), 3)}が基本となる。これによると構造物の期待耐用年数は、構造物の維持管理者（所有者）が設定することになっており、最近の構造物の設計では 100 年としている場合が多いが、実際には 100 年以上供用されている構造物も多数存在する。一方、対象とした RC 構造物にも数年前に竣工した構造物から既に 80 年以上供用されているものまであり、中には一般的な期待耐用年数である 100 年に近いものもある。例えば、80 年以上供用されている高架橋などは、補修をせずに放置した場合に構造性能の低下が予測されたため、数十年前から計画し、近年、大掛かりな工事により改修されているものもあり、また、比較的広範囲に補修された RC 高架橋もある。そこで、これら全てを対象とした場合には、劣化程度の違いだけでなく、技術の変遷を考慮して竣工時期を分けて LCC を算定する必要があると考え、実績的に改修に至った期間である 80 年を内包し、かつ数回の対策の繰り返しを想定できる 200 年を期待耐用年数とした。

表－1 各劣化過程の定義^{2), 3)}

劣化過程	定義	期間を決定する要因
潜伏期	中性化によって鋼材に腐食が発生するまでの期間	中性化進行速度
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食速度
加速期	腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度が増大する期間	ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度
劣化期	鋼材の腐食量の増加による耐力の低下が顕著な期間	

3.2 劣化機構の設定

対象とした構造物は、鉄道 RC 高架橋であり、維持管理方法や対策が異なる山岳トンネル、シールドトンネルは対象外とした。維持管理方針は、構造物の環境条件より、RC 構造物の長寿命化＝中性化対策を基本とし、構造物の部位毎の要求性能に応じて中性化抑制対策、もしくは、耐剥離剥落対策を施すこととした。旧 RC 示方書²⁾では、RC 構造物において中性化による劣化の進展のみでは構造物撤去、再構築に至ることは想定していなかった。しかし、2013 年に改訂された RC 示方書³⁾では、「解体・撤去」の考え方が場合によっては考えられる対策として導入された。しかし、具体的な対策としては耐力の回復を目的として巻立てや増厚工法が記載されているが、塩化物イオン濃度が高いとの条件が付記されている。そこで、ここで対象とした高架橋では塩害の影響がないため、中性化劣化の進展のみとし「解体・撤去」は想定しないことを原則とした。

以上、RC 構造物に最も影響を及ぼす劣化機構は中性化であるとし、これを LCC 算定の劣化機構と設定した。

3.3 維持管理限界状態の設定

RC 構造物において中性化が進展した場合、水分の供給により内部の鉄筋が腐食膨張することで、ひび割れが発生し、終局的にはかぶりコンクリートが剥離剥落して耐力が低下し構造性能が損なわれることになる。そのため、本計画では中性化を受ける RC 構造物において、内部の鉄筋が発錆しないこと、すなわち「潜伏期」までにとどまるように維持管理することとした（表－1）。RC 示方書や鉄道構造物維持管理標準（以下、維持管理標準と略記）^{5), 6)}などによると RC 構造物の内部の鋼材が腐食し始める状態は中性化残り 10mm とされている。これは、かぶり厚さの計測誤差⁷⁾や、中性化深さの計測誤差⁸⁾も考慮した値であり、RC 構造物を安全側に維持管理する指標となっている。一方、既往の論文によると、日本建築学会の RC 構造物の維持管理においては、要求性能に対して終局限界状態とならないようにするため維持管理限界状態で管理する考え方が示されている⁸⁾。ここで、維持管理限界状態とは、終局限界状態に至らないように予防保全的に維持管理を容易に行うことができる限界の許容状態とされている。

表－2 各年代の特徴および主な対象構造物

竣工時期	年代	内容
第一期	～1944 年	昭和初期～戦前 人力施工，現場練り，物資不足
第二期	1945 年 ～1959 年	戦後～高度経済成長期前 機械化導入
第三期	1960 年 ～1979 年	高度経済成長期 機械化導入，生コン，大量打設・急速施工
第四期	1980 年 ～2000 年	バブル期 大型開発の推進，施工の合理化，
第五期	2000 年～	維持管理の時代 寿命予測，品質重視

表－3 維持管理シナリオの概要

予防対策型 シナリオ	・維持管理レベルを高く設定 ・予防的な対策により大規模な補修・改修工事をしない
早期対策型 シナリオ	・劣化，損傷が発見されたら早期に補修・改修工 を行う
事後対策型 シナリオ	・ある程度の劣化は許容する ・所定の劣化段階に至った後に補修・改修工事を 行う
更新型 シナリオ	・所定の時期に更新することを前提

ここでは，前述の終局状態に至らないようにするため中性化残り 10mm を維持管理限界状態と定義し，これに
至らないように対策を施すことを LCC 算定の基本とした。
なお，中性化残り 0mm での LCC も算定して比較検討を行
った。

3.4 対策のシナリオ設定

ここで対象とした延長 100km（6 路線）内にある 65 の
高架橋の中には，供用後 80 年以上のものから，数年前に
竣工したものなど，幅広く存在している。一方，時代と
ともにコンクリートを打設する技術や施工機械が進歩し，
示方書の改定，設計法，維持管理の考え方なども変化し
てきた。そこで，対象とする高架橋は竣工時期（表－2）
に分けて，中性化深さの測定結果から維持管理限界状態
に至る期間を算定し，各維持管理シナリオ（表－3）を
設定した。

3.5 対策の優先順位の設定

延長 100km に及ぶ地域で供用されている高架橋のう
ち，どの構造物から対策するのか，この優先順位付けは，
以下の 2 つのステップによって整理した。基本的には中
性化が進行し，剥離剥落などの変状が多く確認されてい
る構造物から対処するという方針により設定した。

＜Step1＞ 実測データから中性化残り 10mm に至る期
間を算定，順位付け（重み 1.0）

＜Step2＞ 通常全般検査⁵⁾の結果（以下，DB 判定ラン
ク）の標準値から順位付け（重み 0.5）

標準値とは，DB より現状「AA」，「A1」がないため判
定ランク「A2：10 点」，「B：5 点」，「C：1 点」として加
算，構造物毎に対象面積が異なるため概算の対象面積で
除して算定した数値のことである。

最終的な対策の優先順位は，式（1）により決定した。

$$(\text{Step1 順位} \times 1.0) + (\text{Step2 順位} \times 0.5) \quad (1)$$

表－4 構造物の状態と標準的な健全度の判定区分⁵⁾

判定区分	構造物の状態
A	AA 運転保安，旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運 行の確保を要する，またはそのおそれのある変状等があるもの
	A1 進行している変状等があり，構造物の性能が低下しつつあるも の，または大雨，出水，地震等により，構造物の性能を失うおそれ のあるもの
	A2 変状などがあり，将来それが構造物の性能を低下させるおそれ のあるもの
B	将来，健全度 A になる恐れのある変状等があるもの
C	軽微な変状等があるもの
S	健全なもの

3.6 A2 対策費の設定

表－4 に健全度の判定区分を示す⁵⁾。DB 判定ランク
A2 の部分は，優先して対策が必要なものである。そこで，
A2 は 10 年以内に対策を完了させることとし，実績を考
慮して対象面積当たりの費用として算定した。

3.7 通常全般検査費の設定

通常全般検査の費用は，これまでの実績により設定し
た。ただし，A2 対策が 10 年で完了し，点検しなければ
ならない部分も年々少なくなることを想定し，この費用
は，10 年以降，徐々に減少し，20 年以降は現状の 2/3 の
費用になるとした。なお，この費用には 10 年毎に実施す
る特別全般検査⁵⁾の費用も含めた。

3.8 対策工の寿命設定

(1) 多層構造である表面被覆材の性能

前述したとおりここで検討している高架橋の LCC 算
定においては，終局状態に至らないようにするため維持
管理状態（中性化残り 10mm）に達する時期よりも前に
中性化抑制対策，または耐剥離剥落対策として表面被覆
材を施すこととした。しかし，表面被覆材は，その工法，
材料により中性化を抑制できる期間が異なると考えられ，
材質による寿命の違いについて検討する必要がある。

表面被覆材は，RC 構造物の表面に保護層を形成し，
美観を改善するとともに，劣化因子をコンクリート内部
に浸透（侵入）させないこと，また，かぶりコンクリー
トの落下を防ぐことを目的として適用されている。一般
的には，多層構造となる材料で下塗り層が躯体との接着
力を発揮し，主要要求性能である劣化因子の遮断，耐剥
離耐剥落性などには中塗り層がその性能を発揮している。
しかし，この下塗り層，中塗り層は紫外線により劣化し
やすいものが多く，これを保護するために上塗り層が必
要で，耐候性の高い材料が適用されている。そこで，表
面被覆材の寿命としては上塗り層が紫外線により劣化し，
機能を発揮しなくなった時期と設定し，この時点で上塗
り層の塗替えが必要な時期になると設定した。なお，実
環境において受ける紫外線量は部材により異なるが，本
計画では全部材が一様に紫外線を受けることと設定した。

(2) 表面被覆材の塗替え時期

近年，RC 構造物を含めたインフラの長寿命化が注目

表－5 表面被覆材の種類と各種算定条件

工法名	a	b	c
主成分	アクリルシリコン系	ウレタン系	ウレタン系
膜厚量(μm)	70	24	90
上塗り材耐用年数(年)	37	14	47
消耗量(μm/年)	2	2	2
消耗開始年数(年)	2	2	2
2回目までの期間(-10%)	33年	13年	42年
塗替可能回数(10年まで)	13回	4回	15回

され、各材料メーカーでも新しい材料や工法が開発されてきており、紫外線劣化等の耐久性に関する資料も公開されている。

表－5 に当該営業区間内での適用実績のある表面被覆材の上塗り材に関する寿命データを示す。一般的にこれらの有機系の上塗り材は1年で2μm程度消耗していくと言われている⁹⁾。そこで、各材料の上塗り層の設計膜厚量などから寿命＝塗替え時期を算定した。その結果、寿命は短いもので14年、長いもので47年となり、材料によって塗替えまでの期間が異なることが確認できた。さらに、2回目以降は、再塗装時の施工による誤差を考慮して寿命が10%短くなると設定し、10年間の寿命が確保できなくなった時点で全ての表面被覆材を撤去して再施工すると設定した。従って、それぞれの工法の材料費と施工費を合わせた初期コスト、塗替えコスト、再施工コストに加え、塗替えまでの期間の差、すべての材料を撤去して再施工するまでの期間の差が200年間のLCCの差として表現されることになる。

4. LCCの算定

4.1 LCC算定結果による工法・材料の選定例

LCCを考慮した工法・材料を選定するため、表面被覆工法3種類を対象として、ここでは耐用年数の違いが200年のLCCに及ぼす影響を検討した。

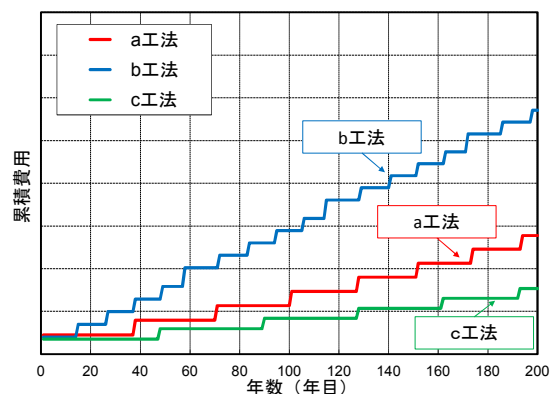
(1) LCC算定条件

表－5 に表面被覆材の種類と各種算定条件を示す。期待耐用年数は、有効膜厚量と消耗量から算出した年数に消耗開始年数を加えたものである⁹⁾。その後、トップコート塗替え後に期待耐用年数が10%の期間が短くなると設定した¹⁰⁾。

最終的に期待耐用年数が10年以下になった時点で表面被覆材の撤去、再施工を想定した。なお、各種費用は実績を基に設定した。

(2) LCC算定結果

図－3 にLCC算定結果を示す。算定の結果、最も費用が高かったb工法を100%とすると、a工法が48%、c工法が27%の費用で対策が可能であり、c工法が最も経済的な工法・材料であることが確認できた。これは、各工法の材料費と施工費を合わせた初期コスト、塗替え・再施工コストだけでなく、塗替えまでの期間、全ての材料



図－3 表面被覆工法のLCC算定結果

を撤去して再施工するまでの期間が長く、算定期間内のイベントが発生せずLCCを抑えることができる工法ということである。

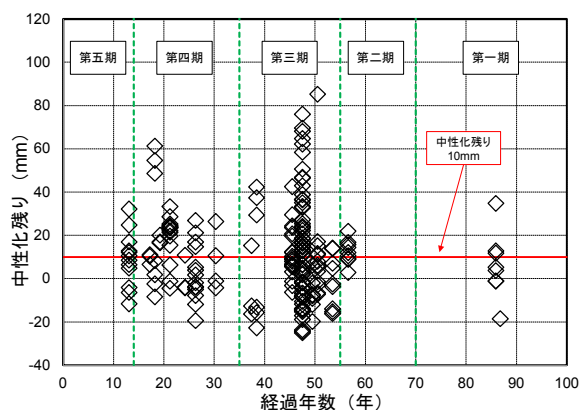
今後の耐剥離剥落対策工法、中性化抑制工法を選定する場合、初期コストも当然であるが、長期のLCCを考慮した選定が必要であることが確認できた。

4.2 維持管理シナリオ別のLCC算定例

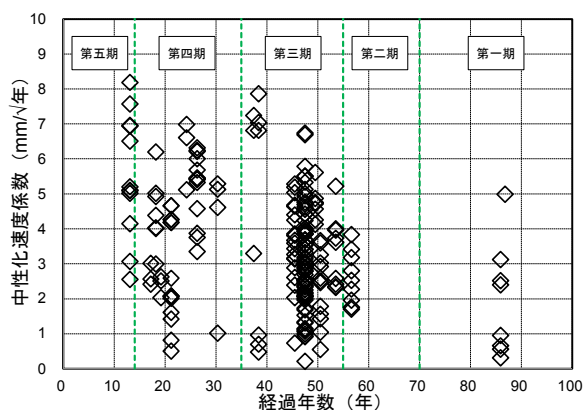
図－4 に竣工時期と中性化残りの関係を示す。中性化残りは、各部材（柱、梁、床版、高欄）から調査した結果を示している。調査結果より、経過年数が長くとも維持管理限界状態に達していない部材もあれば、早期に維持管理限界状態に達している部材も確認された。

この理由の一つとして、表－6、図－5 に示すように竣工時期によりコンクリートの物性が異なっていることが挙げられる。例えば、第一期は現場練り、人力運搬、棒突きによる人力施工であったと推測されるが、平均中性化速度係数は最も低い、変動係数が最も高い。第五期は、生コンプラントでの製造、アジテーター車による運搬、内部振動機による機械化施工であるが、平均中性化速度係数は最も高い、変動係数が最も低い傾向が確認された。各年代で区切りを設け平均化した傾向ではあるが、コンクリート技術の変遷により耐久性に関する特性が変化した可能性があることを示唆している。また、別の理由として、中性化残り＝かぶり厚さ－中性化深さであることから、各年代のかぶり厚さの相違が大きく影響しているものと考えられる。これらの結果より、改めて古い構造物から順番に対策を施すのは適切でないと考えられ、各高架橋の現状の劣化程度や耐久性を考慮したシナリオの設定がLCCの算定では有効であることが確認された。

そこで、予防保全、早期対策、更新型の維持管理のシナリオに従ったLCCは、中性化残りを用いてシナリオを設定し、地覆高欄には耐剥離剥落対策工法、梁・床版・柱には中性化抑制対策で対応するとして算定した。ここでは、例として第五期の高架橋を対象とし予防保全型、



図－４ 竣工時期と中性化残りの関係



図－５ 竣工時期と中性化速度係数の関係

表－６ 竣工時期と中性化速度係数

竣工時期	年代	平均 中性化速度係数 (mm/年)	標準偏差	変動係数 (%)
第一期	～1944 年	1.94	1.52	78.4
第二期	1945 年 ～1959 年	2.60	0.71	27.4
第三期	1960 年 ～1979 年	3.33	1.57	47.2
第四期	1980 年 ～2000 年	4.00	1.67	41.8
第五期	2000 年～	5.53	1.68	30.4

早期対策型, 更新型の各シナリオに応じた LCC を算定し, 効果的かつ経済的なシナリオがどれであるか検討した結果を示す。

(1) 第五期を対象とした LCC の算定

算定条件は以下の 3 ケースとした。

Case①：【予防保全型シナリオ】

中性化残り 10mm 時点で対策を施す。

Case②：【早期対策型シナリオ】

中性化残り 0mm 時点で対策を施す。

Case③：【更新型シナリオ】

対策を施さず放置し, 大規模改修する。

表－７ 中性化による変状予測条件

竣工年	平均かぶり	平均 中性化深さ	中性化 速度係数	最外縁 鉄筋径
H.14 (2002 年)	32.4mm	17.7mm	5.1mm/年	D16

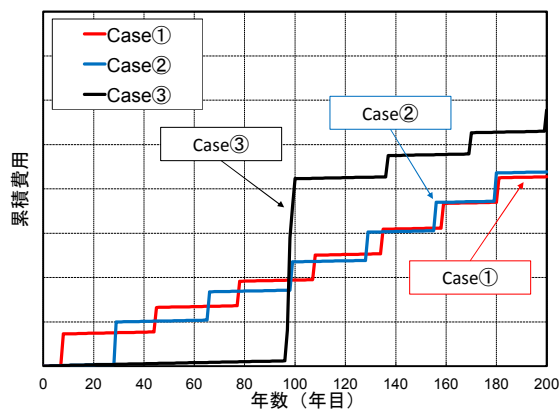
表－８ 中性化による各変状に至る期間の算出結果

竣工年	Case① 中性化残り 10mm に達するまでの年数	Case② 中性化残り 0mm に達するまでの年数	Case③ 鉄筋の質量減少率が 10%に達する年数
H.14 (2002 年)	19 年 (2021 年) (7 年後)	40 年 (2042 年) (28 年後)	108 年 (2110 年) (96 年後)

上段：竣工年からの経過年数
下段：2014 年を基準とした場合の必要年数

表－９ 対策工の条件

No.	部位	対象数量(m ²)	対策
Case①	地覆・高欄	1882.4	耐剥離剥落
	床版	2099.7	中性化抑制
Case②	地覆・高欄	1882.4	耐剥離剥落
	床版	2099.7	中性化抑制
Case③	地覆・高欄	3982.1	RC 再構築 +中性化抑制
	床版		



図－６ 第五期の高架橋を対象とした LCC 算定結果

(2) 中性化による変状予測

表－７ に中性化による変状予測条件を示す。表中のかぶりと中性化深さは, 各部材の中性化調査結果を平均化した数値である。中性化速度係数は, 竣工年と中性化深さから算出し, 注目したのは最外縁鉄筋径 D16 で, Case ①の大規模改修時期は, 鉄筋の質量減少率 10%に達する時期と設定した。そこで, 参考文献 5)に従い中性化残り 10mm, 0mm に達するまでの年数および鉄筋の質量減少率 10%に達する年数を計算した。結果を表－８ にまとめて示す。

(3) LCC 算定条件

表－９ に対策工の条件を示す。改修工事は, 基礎杭・フーチング: 対象外, 柱: RC 補強, 梁・床版: RC 補強を想定した。各種費用(労務, 資機材, 安全費)は, これまでの実績を基に設定した。

(4) LCC 算定結果

LCC 算定結果を図－６ に示す。中性化抑制対策を施さず放置し, 大規模改修した場合, LCC の総額は最も大きくなることが確認できた。中性化残り 10mm 時点および

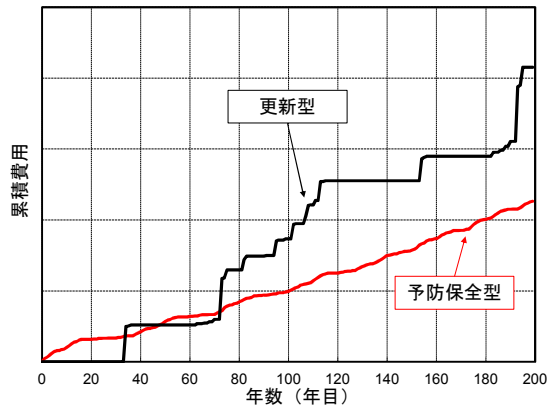


図-7 シナリオ別のLCC算定結果

0mm 時点で延命化対策を施した場合、中性化残り 10mm 時点で延命化対策を施した方が LCC の総額は抑制され、経済的であることが確認できた。なお、ここでの LCC の費用の差は、一つの高架橋を対象とした場合であり、全 65 の高架橋を同じ条件で LCC を算定した場合には、必要な費用の差（準備しなければならない事業費の差）がより大きくことになる。

(5) 維持管理シナリオ検討のまとめ

第五期の高架橋を対象として維持管理シナリオ別に LCC の算定を行った。その結果を以下に記す。

- ・更新型（Case③）の場合、短い期間で多額の費用が必要となり、総額も最も大きくなった。
- ・予防対策型（Case①）の方が、早期対策型（Case②）よりも経済的であった。
- ・予防対策型は更新型の 74% の費用で対策が可能であり、長期の費用は経済的であることが確認できた。

5. 戦略的維持管理計画の策定

これまでの検討を基に全 65 の高架橋を対象として LCC をシナリオ別に算定した。図-7 に予防対策型シナリオと更新型シナリオの LCC 算定結果を示す。RC 高架橋を予防対策型シナリオで維持管理した場合、更新型シナリオの 55.7% の費用で対策が可能であり経済的であることが確認できた。また、ここでは紙面の都合で全ての算定結果を具体的に示していないが、この結果の詳細（算定データ）は、これまで劣化が顕在化して対策を検討、実施していたものと比較して各高架橋の現状の劣化程度が反映され、その上で各部材に必要な対策を、いつ施工すべきなのか、それに必要な費用がどの程度であるかを確認することができ、これにより戦略的維持管理計画が策定できることが確認されている。

6. おわりに

本報は、鉄道 RC 高架橋を対象として維持管理に関わ

る 200 年間の総費用（LCC）を試算して策定した戦略的な維持管理計画について報告したものである。成果の概要を以下に示す。

- (1) 工法・材料の選定には、施工費用だけでなく塗替までの期間など、長期の LCC を考慮した選定が必要であることが確認された。
- (2) 中性化調査結果より、改めて古い構造物から順番に対策を施すのは適切でないと考えられ、各高架橋の現状の劣化程度や耐久性を考慮した維持管理シナリオの設定が必要であることが確認された。
- (3) 維持管理シナリオは、長期の LCC を考慮した場合、予防保全型が最も経済的であることが確認された。
- (4) 検討の結果、各高架橋の対策時期が整理され、各年に必要な費用の平準化および LCC の縮減が可能であり、戦略的な維持管理計画が策定できることが確認された。

最後に、ここで報告した条件設定や成果は、鉄道構造物に限らず、様々な構造物に対しても活用でき、今後、地方公共団体なども含めた維持管理に関わる技術者にとっても有用な情報になれば幸いである。

謝辞：本報は、東京急行電鉄（株）鉄道事業部 工務部 土木課からの受託業務として実施した鉄道構造物の長寿命化検討業務の内容を取りまとめたものであり、関係各位のご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）平成 26 年度～平成 32 年度、2014.5
- 2) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】、2008.3
- 3) 土木学会：2013 年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】、2013.10
- 4) 社会資本整備審議会・交通政策審議会：今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について 答申、2013.12
- 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物、2007.1
- 6) 廣田良輔ほか：鉄道土木構造物の耐久性、山海堂、2002.8
- 7) (独)土木研究所維持管理本部構造物マネジメント技術チーム、日本構造物診断協会：コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書—電磁誘導法・電磁波反射法による鉄筋位置による鉄筋位置およびかぶりの測定—、2003.3
- 8) 野口貴文：鉄筋コンクリート造建築物の性能検証型耐久設計、日本コンクリート工学協会、コンクリート工学、Vol.40, No.5, 2002.5
- 9) 東京大学生産技術研究所：劣化したコンクリート構造物の補修工法に関する共同研究、2007.3
- 10) 日本道路公団試験研究所：鋼橋の塗替塗装マニュアル（維持管理修繕要領(改定)等の解説）、1994.4