

鉄道 RC 構造物を対象とした戦略的維持管理に関する検討

東急建設 正会員 ○鈴木将充, 非会員 須永善夫, 正会員 三輪昌義, 正会員 伊藤正憲
東京急行電鉄 正会員 山田久美, 非会員 山本浩也, 非会員 柳沢幸一郎

1. はじめに

1980 年頃までコンクリート構造物の寿命は半永久的であると考えられていたが、近年、老朽化したコンクリートの剥落事故等が発生している。また、高度経済成長期の建設ラッシュにより、今後、老朽化構造物が増加していく一方で、経年劣化等の損傷は進行速度が遅く、問題が顕在化するまでに長期間を要するため、必要な措置が講じられてこなかった一面もある。

このような背景の中、適切に社会資本の維持管理・更新を行うためには、早期に損傷を発見し事故や大規模な修繕に至る前に対策を行う「予防保全」を推進する「戦略的維持管理」が重要となってきた¹⁾。

本報は、昭和初期から平成以降に建設された供用中の鉄道 RC 高架橋を対象として、予防保全を前提とした各種条件を設定し、日常点検費、補修費を含めた維持管理に関わる 200 年間の総費用（ライフサイクルコスト（以下、LCC））を試算した結果について報告するものである。図-1 に LCC の算出の概要を示す。なお、この LCC は、鉄道 RC 高架橋の機能保持を目的としたため、機能向上させるような耐震補強の費用は含まない条件で試算した。

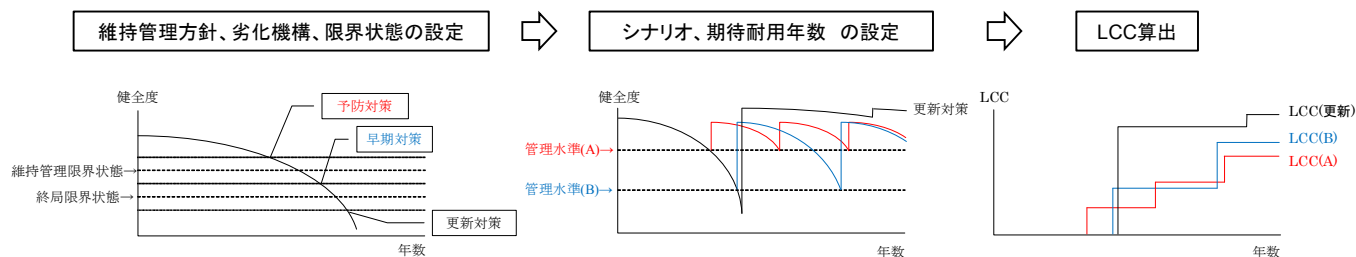


図-1 LCC の算出の概要

2. LCC 算定条件の設定

鉄道 RC 高架橋を対象とした LCC を算定するため、必要な情報の整理、設定を行った。基本情報としては、一元管理している全構造物の各種調査結果データを活用し、予防保全型のシナリオと劣化を放置してある時期に大規模な改修工事を行う更新型のシナリオに分けて検討した。

以下に LCC 算定に際して設定した条件などを示す。

(1) 対象構造物

対象とした構造物は、延長約 100km の 6 路線内にある 65 の RC 高架橋とした。

(2) 劣化機構

RC 構造物が劣化する要因は各種あるが、対象構造物の実環境を考慮して塩害、凍害などは除外し、中性化に絞って LCC を算定した。また、中性化による劣化の進展では「解体・撤去」は想定しないことを原則とした。

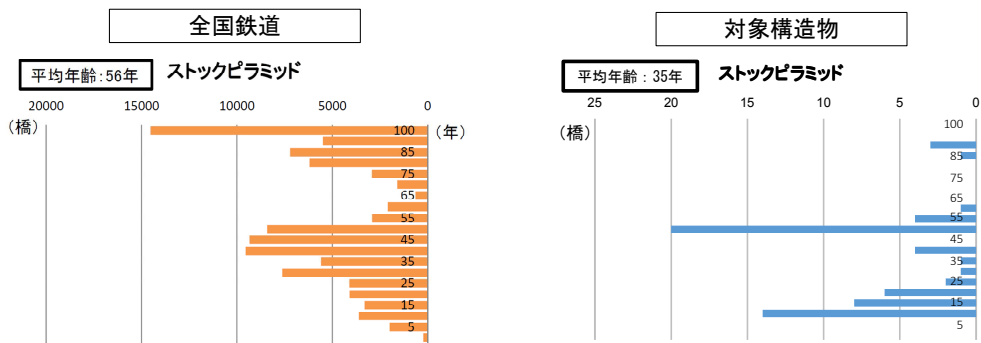
(3) LCC 算定期間

RC 構造物の維持管理の基本は、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】²⁾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いるが、最近の構造物の設計では 100 年としている場合が多く、実際に 100 年供用されている構造物も多数存在する（図-2 左³⁾）。対

キーワード：鉄道 RC 高架橋，ライフサイクルコスト（LCC），中性化

連絡先 〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名 3062-1 東急建設株式会社 技術研究所 土木研究グループ Tel:042-763-9507

象とする構造物は、既に供用後 80 年以上経過したものや、数年のものもあり、また、既に多額の費用を掛けて大規模な改修工事が行われた実績がある。そのため、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が想定できる今後 200 年間の LCC を算定することとした。



図－2 鉄道構造物数と供用年数の関係（左：全国（高架橋・橋梁）³⁾，右：対象構造物（高架橋））

(4) LCC 算定のシナリオ

RC 構造物において中性化が進行した場合、水分の供給により内部の鉄筋が腐食膨張し、ひび割れが発生、その後、剥離剥落し、終局的には耐力が低下し構造性能が低下することになる（終局限界状態）。そこで、表－1 で示されている内部の鉄筋が発錆しない「潜伏期」で留まるように管理する必要があると考えられる。コンクリート標準示方書²⁾や鉄道構造物維持管理標準⁴⁾などを参考に鋼材が腐食し始める中性化残り 10mm を維持管理限界状態とし、これに至る前に維持管理する場合を予防保全型のシナリオとして設定した。一方、中性化抑制対策を施さず放置し、RC 構造物中の鉄筋の質量減少率が 10%に達した時点を設計通りの構造性能が満足できなくなり、大規模な改修が必要になる場合を更新型のシナリオとして設定した。

表－1 各劣化過程の定義⁴⁾

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	

(5) 対策の優先順位

対象とした構造物は、延長約 100km 内にある RC 高架橋であるが、どの高架橋から対策するのか優先順位付けが必要である。優先順位は、以下の 2 つのステップによって整理したが、基本的には中性化が進行し、変状が多く確認されている高架橋から対策するという基本方針により設定したものである。

＜ステップ 1＞

実測データから中性化残り 10mm に達する期間を算出、順位付け（重み 1.0）

＜ステップ 2＞

定期検査⁴⁾の判定結果の標準値から順位付け（重み 0.5）

ここで標準値とは、表－2 に示す A2：10 点，B：5 点，C：1 点として加算，高架橋毎に対策の対象面積が異なるため対象面積で除して算出した。

最終的な対策の優先順位は、（ステップ 1 の順位×1.0）＋（ステップ 2 の順位×0.5）の値の高い順により決定した。

表一2 構造物の状態と標準的な健全度の判定区分⁴⁾

健全度		構造物の状態
A		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脅かす、またはそのおそれのある変状等があるもの
	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脅かす変状等があり、緊急に措置を必要とするもの
	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	変状等があり、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 になるおそ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

(6) 対策工

前述の通りここで対象とした劣化機構は中性化であり、その対策は表面被覆工法とした。表面被覆工法は、RC 構造物の表面に保護層を形成し、劣化因子の侵入遮断、剥離剥落対策などを期待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・中塗り層が主な性能を発揮している。しかし、これら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耐候性の高い材料による上塗りが必要となる。そこで、予防保全型のシナリオにおいては表面被覆材の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点をもって寿命として再塗装し、これを繰返していく費用を計上した。

一方、更新型のシナリオにおいては、基礎などの地中構造物は対象外とし、柱や梁、床版などを対象とし、更新時期（鉄筋質量減少率 10%）に RC 補強する費用を過去の工事実績から高架橋毎の対象面積に対して計上した。

(7) その他の条件

対象とした鉄道 RC 高架橋はこれまで供用されてきたもので、既に劣化している部分がある。そこで、鉄道維持管理標準⁴⁾の健全度の判定区分 A2 の変状は 10 年以内に補修対策を施すとして費用を計上した。また、通常全般検査を 1 年毎に実施することとして費用を計上したが、10 年以内に A2 対策を完了するとして、10 年以降は除々に減額して 20 年以降は初期点検費用の 2/3 を計上した。

3. LCC 算定結果

3. 1 H 高架橋を対象とした LCC 算定結果

(1) 算定ケース

Case①：【予防保全型】中性化残り 10mm 時点で対策

Case②：【早期対策型】中性化残り 0mm 時点で対策

Case③：【更新型】対策を施さず放置し、大規模改修

(2) 劣化の進行予測

中性化による変状予測条件を表一3に示す。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、最外縁鉄筋は D16 とし鉄道維持管理標準⁴⁾より中性化残り 10mm, 0mm に達するまでの年数および鉄筋の質量減少率 10%に達する時期を算出した。予測結果を表一4に示す。また、各ケースの対策条件を表一5に示す。

表一3 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

表一4 中性化による変状予測結果

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-5 対策条件

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		

(3) 算定結果

LCC 算定結果を図-3 に示す。中性化抑制対策および耐剥離剥落対策を施さず放置し、大規模改修した場合 (Case③)、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 0mm 時点で延命化対策を施した場合 (Case②) に比べて、中性化残り 10mm 時点で延命化対策を施した方 (Case①) が LCC の総額は低くなり、経済的であることが確認できた。

3. 2 全 65 の高架橋を対象とした LCC 算定結果

予防保全型シナリオ、更新型シナリオの LCC の算定結果を図-4 に示す。高架橋を予防保全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。

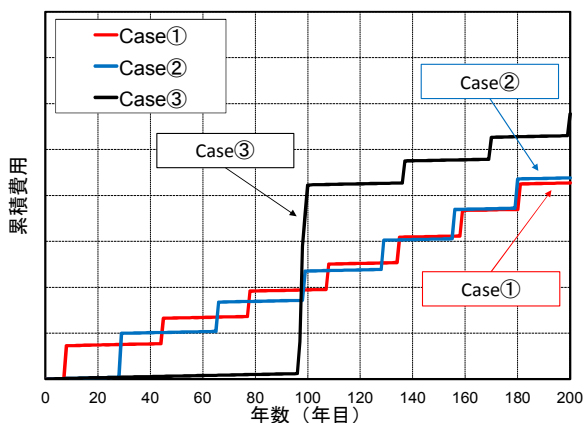


図-3 H 高架橋を対象とした LCC 算定結果

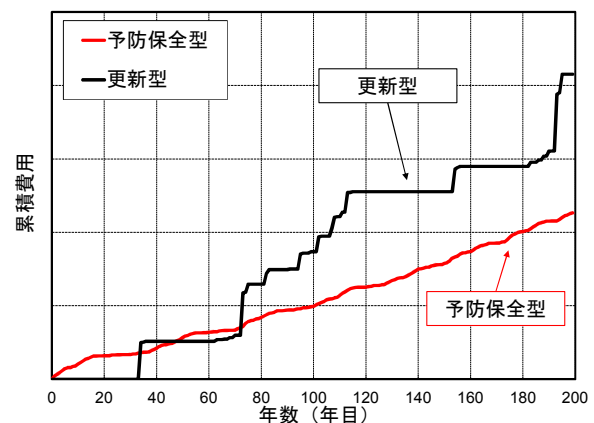


図-4 全 65 高架橋を対象とした LCC 算定結果

4. おわりに

鉄道 RC 高架橋を対象として 200 年の期間にわたる維持管理に係わる LCC を精度よく算定するため、一元管理している調査結果を使用し、幅広い年代の構造物に対して劣化の進行を予測して優先順位を決定し、さらに対策費用については、個々の構造物の周辺環境条件などを考慮した。その結果、より実効性の高い維持管理業務に関わる計画が戦略的に描けたものと考えている。

なお、本稿で報告した成果は、鉄道構造物に限らず、様々な構造物に対しても適用でき、地方公共団体等が所有する膨大なストックの戦略的な維持管理にも展開できるものと考えられる。

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：2012 年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】，2013.10
- 3) 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
- 4) 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