

## 生存時間解析に基づくコンクリート橋の竣工年代別の塩害耐久性能評価

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○小林 巧  
 一般社団法人橋梁調査会 非会員 山本 和利  
 国立研究開発法人土木研究所 正会員 佐藤 純弥  
 国立研究開発法人土木研究所 正会員 石田 雅博

## 1. はじめに

1970年代に塩害が顕在化し、1980年前後にかけての技術指針発行等(表-1)、先人たちの不断の努力によりコンクリート橋の塩害耐久性能向上が図られてきた。その一連の対策が、実際にはいつから、どの程度の性能向上に繋がっていたかを知ることは、維持管理上非常に重要である。そこで、2019年度までに直轄コンクリート橋で定期点検が行われたデータ(計18,300橋)に対し生存時間解析を行い、年代別の耐久性能を検証した。

## 2. 分析に用いた定期点検データと塩害耐久性に係る技術基準の変遷

定期点検対象は橋長2m以上の橋梁であり、道路橋が多いが既設道路橋を拡幅するために新設された隣接の歩道橋のデータも含まれる。その内、塩害が原因で判定区分C1、C2と判定されたものを分析対象とした。

表-1 コンクリート橋の塩害耐久性に係る主な技術指針

指針	技術基準名, 指針名等	概要	発行年
(1)	昭和53年道路橋示方書	かぶり35mm以上を確保	1978
(2)	塩害対策指針(案)	エポキシ樹脂塗装の適用推進	1984
(3)	コンクリート中の塩化物総量規制	骨材, 混和剤などの内在塩分量を規制	1986
(4)	コンクリートライブラリー133号	塗装PC鋼材, PEシースを標準化	2002

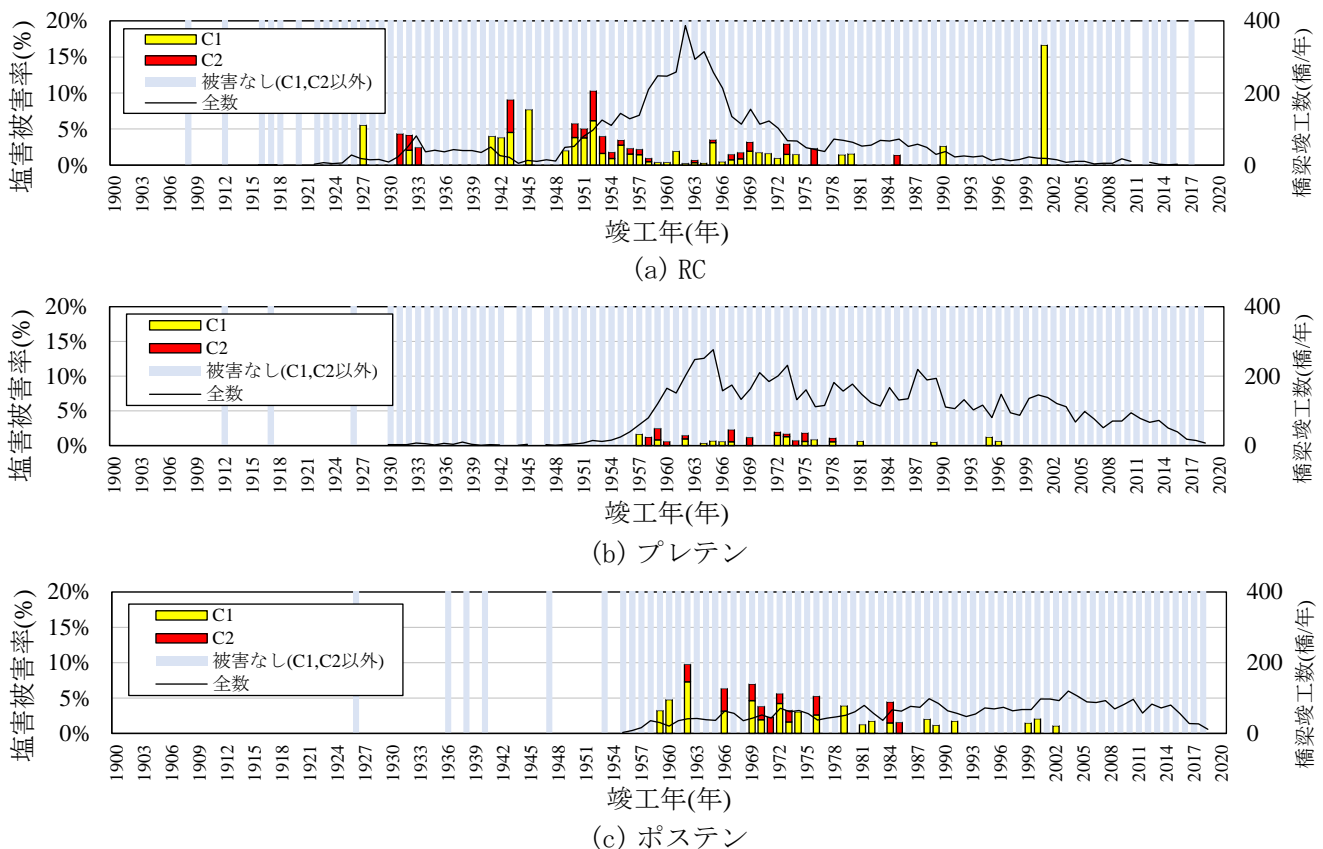


図-1 年代別の橋梁竣工数と塩害被害率

キーワード コンクリート橋, 塩害, 生存曲線, カプラン・マイヤー法

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (国研) 土木研究所 TEL 029-879-6773

図-1 に年代別の橋梁竣工数と塩害被害率を示す。耐久性が異なる RC、プレテン、ポステン进行分类した。表-1 と図-1 によると、RC は耐久性上の配慮が為されていない 1970 年以前に建設が多い。PC 橋は 1960～2020 年に建設が多く、耐久性能向上が配慮された橋と、そうでない橋が混在している。1986 年以降の C1 判定損傷の調書を確認したところ、塩害対策不足による損傷ではなく、施工的な要因（かぶりや締め固め不足）が塩害を促進させていた。図-1(a)RC の 2002 年の被害率の卓越は、母数が非常に少ないことが原因である。

### 3. カプラン・マイヤー法を用いた生存曲線推定

カプラン・マイヤー法<sup>1)</sup>による解析は、医学分野で医薬品等の効果を検証する目的でよく利用される。土木分野では山崎・石田<sup>2)</sup>などの適用事例があるが、ある時点までに観測された対象の状態変化を、観測を打ち切った（状態変化が起きていない）影響も含めて評価できる特徴を有し、点検データと親和性が高い。生存率の推定値 $\hat{S}(t)$ を以下式で求めた。

$$\hat{S}(t) = \prod_{t(i) \leq t} \left( \frac{n-i}{n-i+1} \right)^{\delta_{(i)}} \quad (1)$$

ここで、 $n$ を標本数、 $t_{(i)}$ を昇順の $i$ 番目の生存時間の観測値、 $\delta_{(i)}$ を昇順の第 $i$ 番目の観測値が途中打ち切りのときにゼロ、打ち切りでなく状態変化が生じた場合に 1 をとる指標関数である。

一般に図-2 のように、式 (1) で求められた生存曲線はその形状によって、晩期劣化・一定に劣化・早期劣化の 3 項目に分類される。図-3 に生存曲線推定結果を示す。生存時間は竣工後経過年から点検年を引いて求め、5 年の 1 回の定期点検なので、破線後 5 年以内に指針発行が行われている（図-3 指針切り替わり区間）。

図-3 の約 60 年経年後のほぼ横ばいの挙動（点線箇所）は、多くの状態変化や打ち切りが生じた後のデータであり信頼性が無い。生存曲線の傾きは劣化進行速度と同義なので、適用指針の年代別の傾きに注目すると、1978～1986 年の指針(1)～(3)の発行前後で、その傾きが大きく異なる。指針前後で傾きが小さくなることは、耐久性が向上し劣化進行速度が低下したことを意味する。RC が特に顕著に、指針前後で傾きが小さくなっている。また、プレテンは指針発行の効果もあるが、発行前から傾きが比較的小さい。生存時間を竣工年に再変換（生存時間 = 点検実施年 - 竣工年）すると、耐久性能の変曲点が 1971～1977 年頃にあることが分かった。

一方、ポステンは 1978～1986 年の指針前後で傾きが僅かに小さくなる傾向を示すが、その後の傾きは比較的大きい。上縁定着とグラウト充填不良による塩害が発生していると推測され、2002 年の指針(4)の効果も期待されるが、2002 年以降塩害被害が少なく、現時点のデータでは指針(4)の効果は検証できない。

### 4. 結論

コンクリート橋の塩害耐久性は、1980 年前後の指針発行により、RC とプレテンの性能が向上していた。耐久性能の変曲点はおおよそ 1977 年頃であった。それらと比べポステンは耐久性能の向上程度が小さかった。

**謝辞** 本研究は AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究の一環で行われたものです。記して謝意を示します。

### 参考文献

- 1) Kaplan, E. L., Meier, P. (1958). Nonparametric estimation from incomplete observations. Journal of the American Statistical Association 53, 457-481.
- 2) 山崎崇央, 石田哲也: 生存時間解析を用いた東北地方における橋梁コンクリート部材の劣化定量分析, 土木学会論文集 F4, 建設マネジメント, Vol. 71, No. 4, pp. I\_11-I\_22, 2015.

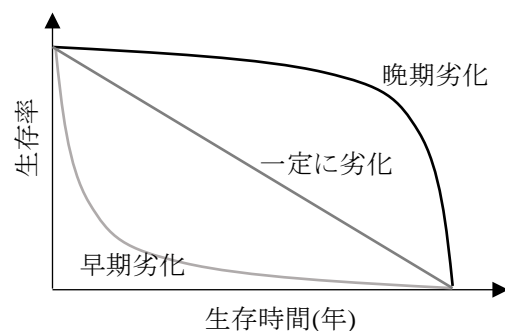


図-2 典型的な生存曲線の例

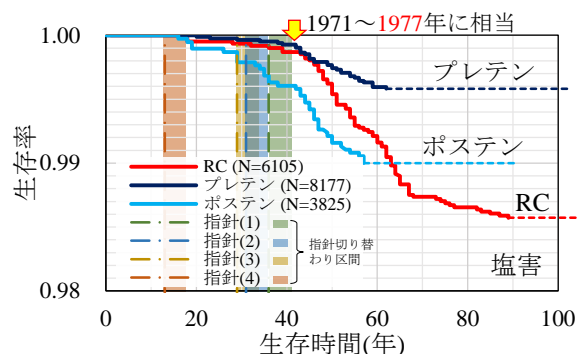


図-3 生存曲線推定結果