

外ケーブル工法による塩害劣化 RC 橋の補強効果の検討

神戸大学大学院 学生員 ○池本 佳代

神戸大学大学院 正会員 森川 英典

1.はじめに：近年，塩害劣化した RC 橋の劣化が深刻な問題となり，早期対策が求められている．そこで，本研究では，塩害劣化した RC 橋の安全性を向上させる目的で外ケーブル補強を考慮し，多属性効用理論を用いて属性と補強の組合せの違いによる補強効果についての検討を行った．

2.外ケーブルによる補強効果を考慮した安全性評価：

対象とする橋梁は兵庫県内にある 3 主桁 RC 単純 T 桁橋で，海岸線に平行に架設された塩害劣化環境にある橋梁である．各桁の諸元を表-1 に，対象橋梁の断面を図-1 に示す．安全性指標については既往の研究¹⁾を参考に結果を図-2 に示す．図中に示す $\beta = 2.08$ は補修，補強を施すべき限界値として提案されている値である．この図から，海側に面して劣化が進行している A 桁と中桁の B 桁の β が 50 年後半で限界値に達することから，本研究では橋齢 40 年，46 年，50 年における補強に対する検討を行った．

断面力解析は，はり格子モデル（図-3）を用い，モンテカルロシミュレーション（試行回数 1000 回）により，不確定性を考慮した断面力解析を行った．補強効果による断面剛性の回復は，死荷重を載荷しても桁の下縁に引張りを生じない補強量 P を導入したとき全断面有効まで回復するものとし，図-4 に示す断面 2 次モーメントが線形変化するものと仮定した．補強組合せを表-2 に示す．補強桁にプレストレスを導入すると横桁や床版を介してプレストレスが分配され，実際の補強量 P を確保できない．そこで，これらのプレストレスの分配を考慮した上で，補強桁が補強量 P を確保するプレストレス量を算定し，その値を用いて断面力解析を行った．

また，耐荷力解析は，睦好ら²⁾によって提案された PC 曲げ耐力算定式を用いて耐荷力解析を行った．

以上の方法で求めた断面力と耐荷力を用いて求めた補強後の安全性指標 β を表-3 に示す．

3.多属性効用理論にもとづく補強効果の評価法：

ある物事を決定する場合，様々な属性の特性を総合的に評価した上で決定がなされる．この時，これらの属性の価値判断を数量的に表現する手法として用いられるのが多属性効用理論である．こ

の時，以下のような 3 点を補強の最適化の考え方と定義し，これらを満足する各属性を考慮した効用値を多属性効用理論により求めた．

- ・ 目標とする安全性を最低限確保する．
- ・ 各桁間の安全性指標 β と剛性バランスの改善．
- ・ 補強桁数を最小にする．

ここで示す安全性の目標値とは，ISO13822 で規定された目標信頼性

表-1 主桁の諸元

構造形式	鉄筋コンクリート T 桁橋
架設年次	昭和34年
スパン長 (m)	11.1
海岸からの距離 (m)	50
表面塩化物イオン (kg/m ²)	8.7 (A桁) 12.4 (B桁) 10.5 (C桁)
コンクリート強度 (N/mm ²)	51.5
主鉄筋	10φ28
平均かぶり (mm)	48.9

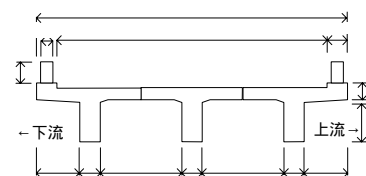


図-1 橋梁断面図 単位: mm

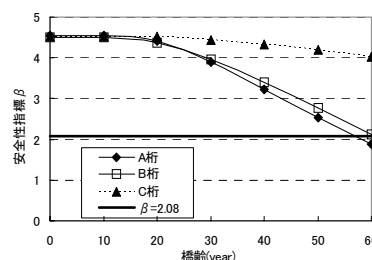
図-2 安全性指標 β

表-2 補強組合せ

A桁, B桁, C桁
0, 0, 0 (無補強)
0, P, 0
0, P, P
P, 0, P
P, P, 0
P, P, P

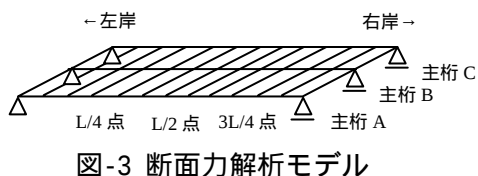


図-3 断面力解析モデル

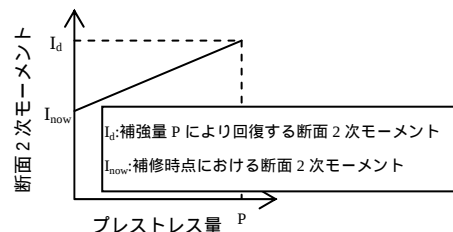


図-4 断面 2 次モーメントの回復

キーワード RC 橋，外ケーブル，塩害劣化，多属性効用理論

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学部 TEL 078-881-1212 (代表)

基準値である $\beta = 2.3 \sim 4.3$ を参考に、安全性指標の目標値を $\beta^* = 4.3$ 以上、下限値を $\beta_{\min} = 2.3$ としたものであり、また、補強後の安全性指標を β' とし、これらは属性における条件となる。

表-4 に属性を示し、以下のようにして定式化した。

安全性指標

$$X_i = \frac{(\beta' - \beta^*)^2}{(\beta_{\min} - \beta^*)^2} \quad \begin{matrix} X_i = 1.0 & (\beta' < \beta_{\min}) \\ X_i = X_i & (\beta_{\min} < \beta' < \beta^*) \\ X_i = 0 & (\beta^* < \beta') \end{matrix} \quad (1)$$

β バランス

断面力バランス

$$X_i = \left| 1 - \frac{\beta_m}{\beta_n} \right| \quad (2) \quad X_i = \left| 1 - \frac{S_m}{S_n} \right| \quad (3) \quad \begin{matrix} \beta_m, \beta_n : m, n \text{ の } \beta \\ S_m, S_n : m, n \text{ 桁の断面力} \end{matrix}$$

補強桁制約 (補強桁数)

補強桁数 3 本を最悪値 $X = 1.0$ 、2 本を $X = 0.5$ 、1 本と 0 本を最良値 $X = 0.0$ とする。

～ の方法で求めた属性の効用値を以下の単属性効用関数(4)に代入し、次に多属性効用関数(5)により総効用値を求めた。

$$u_i(X_i) = 1 - 1.0 X_i \quad (4)$$

$$u(x_1 \cdots x_{10}) = \frac{1}{-2.914 \times 10^{-7}} \left(\prod_{i=1}^{10} [1 - 2.914 \times 10^{-7} \times 0.10 \times u(x_i)] - 1 \right) \quad (5)$$

属性 ～ を考慮した場合の式

4. 総効用値の検討：図-5 に属性の違いと補強組合せの違いによる総効用値を示す。属性の断面力のバランス (剛性バランス) を考慮しない場合 (図-5(a) と図-5(b) の比較)、断面力バランスがとれている無補強「0.0.0」と全桁補強の「P.P.P」の値が大きく低下し、無補強においては何らかの補強が必要であることがわかる。次に、属性と属性のみを考慮した図-5(c)において、補強桁数を出来るだけ少なくし経済性を重視すると、補強桁数の少ない「0.P.0」が最も大きい値を示し、補強桁数の多い「P.P.P」が最も低い値を示しているなど、属性の特徴がはっきりと表れた。しかしこの時、補強桁数が最良値である「0.0.0」の値が経年変化により急激に低下し、補強数 2 本の組合せに比べても低い値を示すことから、無補強では補強桁数の制約よりも β の経年低下の影響のほうが大きいことがわかる。また、属性を減らすことにより経年変化が生じている補強組合せ「0.0.0」「0.P.0」「0.P.P」「P.0.P」の傾向として、劣化の進行している A 桁、B 桁どちらかを補強しない場合に経年変化が生じている。つまり、劣化が進行している桁を補強しない場合、同じ補強を数年後行っても過去に得られた総効用値ほどの値は期待出来ないことがわかる。

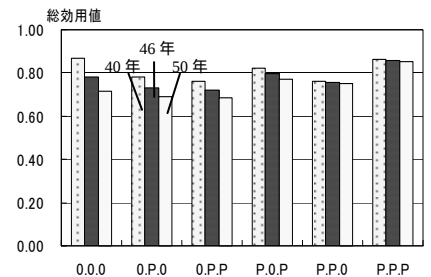
5. まとめ：塩害劣化した RC 橋に対し外ケーブル工法を施した場合の補強効果の検討を多属性効用理論を用いて行った。その結果、同じ補強組合せにおいても、考慮する属性や補強時期の違いによって補強効果に大きな差異がみられた。

表-3 安全性指標 β

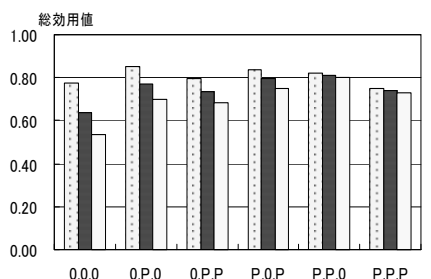
組合せ	年	A桁	B桁	C桁
無補強 0.0.0	40	3.09	3.47	4.26
	46	2.67	3.06	4.18
	50	2.41	2.79	4.12
0.P.0	40	3.83	4.33	5.40
	46	3.37	4.19	5.39
	50	3.07	4.08	5.40
0.P.P	40	4.19	4.62	5.55
	46	3.71	4.47	5.54
	50	3.42	4.35	5.56
P.0.P	40	4.58	4.47	5.39
	46	4.42	3.99	5.38
	50	4.30	3.66	5.41
P.P.0	40	4.73	4.63	5.76
	46	4.57	4.49	5.76
	50	4.45	4.38	5.76
P.P.P	40	4.80	5.06	5.63
	46	4.64	4.92	5.63
	50	4.52	4.81	5.65

表-4 属性値

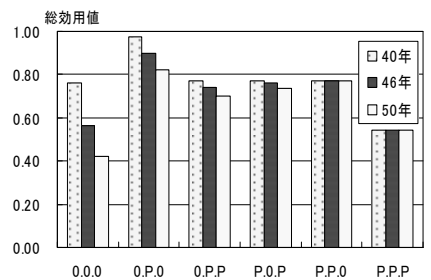
	属性
①	X ₁ 安全性指標 (A桁)
	X ₂ 安全性指標 (B桁)
	X ₃ 安全性指標 (C桁)
②	X ₄ A桁に対するB桁の β バランス
	X ₅ B桁に対するC桁の β バランス
	X ₆ C桁に対するA桁の β バランス
③	X ₇ A桁に対するB桁の断面力バランス
	X ₈ B桁に対するC桁の断面力バランス
	X ₉ C桁に対するA桁の断面力バランス
④	X ₁₀ 補強桁制約 (補強桁数)



(a) 属性 ～ を考慮した場合



(b) 属性 を考慮した場合



(c) 属性 を考慮した場合

図-5 総効用値

【参考文献】1) 小島大祐, 森川英典, 森田祐介: 関西支部年次学術講演会概要 V-24, 2004.5

2) 陸好ら: 外ケーブル PC 部材曲げ耐力算定法に関する研究: 土木学会論文集 No.508/V-26, 1995