

現場試験に基づく塩害劣化 RC 橋の構造パラメータ同定と安全性評価

神戸大学大学院 学生員 ○権 明直
 神戸大学大学院 学生員 岸 紗百合

神戸大学工学部 正会員 森川 英典
 (株) 建設技術研究所 正会員 小島 大祐

1. はじめに：塩害劣化RC橋の早期劣化が社会問題化している中、適切かつ合理的な維持管理を行うには、点検データに基づいた実状に即した評価が必要である。本研究では点検の難度によって表-1のように3段階に分け、点検レベルによって安全性評価を更新し、評価を行っている。既往の研究¹⁾より点検レベルⅠおよびⅡでの評価は行ってきたので、今回は点検レベルⅢとして、載荷試験を行い、構造パラメータを同定した上で安全性評価の更新を行った。またその結果と点検レベルⅠ、Ⅱとの比較・検討も行った。

2. 対象橋梁および現場実験の概要：現場試験を行った橋梁は兵庫県内に供用中のRC単純T桁橋であり、評価する劣化機構は塩害のみとした。図-1に橋梁断面図を、表-2に構造諸言をそれぞれ示す。本橋梁は海岸線からの距離が約50mと非常に厳しい塩害環境下にある。主桁を下流側から順にA桁、B桁、C桁とし、A桁、B桁ではかぶりのはく落による鉄筋が露出しており目視でも確認できるほどの変状が目立つ。C桁では鉄筋腐食によるひび割れは生じているが、はく離・はく落はない。

現場試験では20tfトラックによる静的載荷試験を実施した。各桁6回ずつの載荷を行い、前輪荷重による影響も考慮して前輪位置を前後変化させての載荷も行った。

3. 載荷試験結果：たわみの実験結果を図-2に示す。図はA桁・C桁載荷時のみの結果である。目視で確認できるほどの変状があるA桁と、比較的健全なC桁とでは、A桁の方が塩害による腐食が進行していると予測できるが、たわみの結果ではその傾向が現れることを確認することができた。また図-3ではトラック載荷による曲げひび割れ幅の開口量を示すが、結果曲げひび割れ幅はほとんど開口していない。よって主桁断面でほぼ全断面有効であることが予想できる。また図-4では鉄筋およびコンクリートひずみの結果より推定した中立軸位置を示すが、全断面有効時の中立軸位置の理論値と比較しても実験値は概ね一致していると言える。よって主桁断面でほぼ全断面有効であるとして構造パラメータの同定を行った。

表-1 点検レベル

点検レベル	必要データ	点検項目	対応する点検項目
Ⅰ	構造緒元、かぶり鉄筋径、鉄筋本数、設置環境、水セメント比、圧縮強度、超音波速度、中性化深さ	橋梁台帳、コア圧縮強度試験、超音波試験、コア配合試験、中性化深さ試験	初期点検、定期点検、詳細点検、簡易照査
Ⅱ	レベルⅠデータ、ひび割れ密度、分極抵抗、表面塩化物量、塩分拡散係数	ひび割れ調査、腐食モニタリング、コア塩分分析	詳細点検、詳細照査
Ⅲ	レベルⅡデータ、構造パラメータ	静的載荷試験	詳細点検、詳細照査

表-2 構造諸言

橋主および形式	RC単純T桁橋
支間長(m)	11.1
架設年度	1959年
コンクリート強度(N/mm ²)	51.5
海岸線からの距離(m)	50
構造概要	主桁 本数-3、間隔-2.00m
	横桁 本数-1
	舗装 コンクリート
	高欄 コンクリート高欄

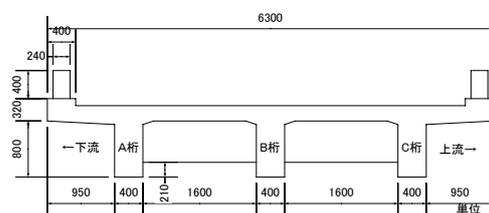


図-1 橋梁断面図

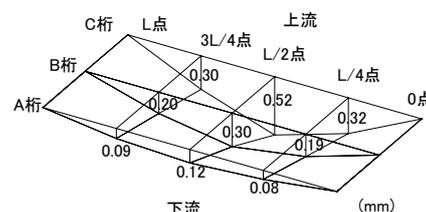
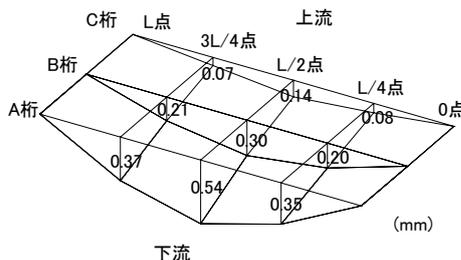


図-2(a) たわみ実験値 (A桁載荷時) 図-2(b) たわみ実験値 (C桁載荷時)

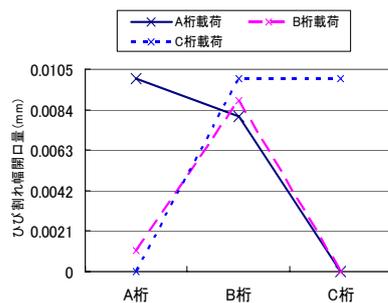


図-3 曲げひび割れ幅開口量

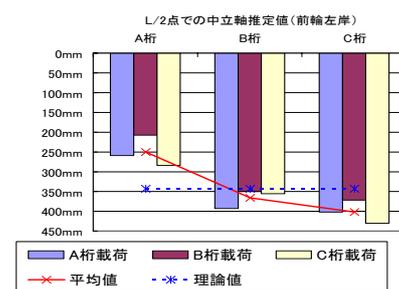


図-4 中立軸推定値

4. **構造パラメータ同定**： 載荷試験により詳細な点検データを得ることができたので、実験時の橋齢 46 年時における構造パラメータの同定を行うこととした。構造パラメータとして様々なパラメータが想定されるが、本研究では主桁が全断面で有効であるとし、安全性評価において非常に重要なパラメータとなる端部支承の回転拘束ばね定数の同定を行った。同定方法として、対象橋梁をモデル化した断面力解析より得られたたわみの解析値と、載荷試験によって得られたたわみの実験値との誤差が最小になるように同定を行った。図-5 にその解析モデルを示す。

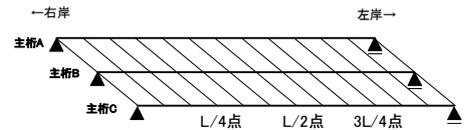


図-5 解析モデル

解析モデルは格子モデル、載荷荷重はトラック荷重と設定して行った。図-6、図-7 および表-3 にその同定結果を示す。結果、たわみは実験値と解析値をかなり高い精度で近づけることができ、曲げモーメントについてもB桁でほぼ一致させることができた。よって今回の同定値は妥当なものであると判断し、同定結果を以上のようにした。

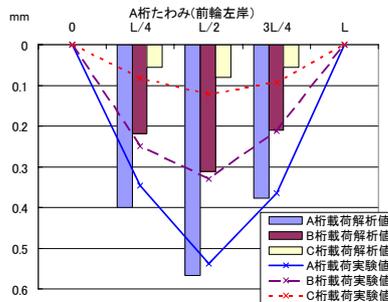


図-6 解析結果(たわみ)

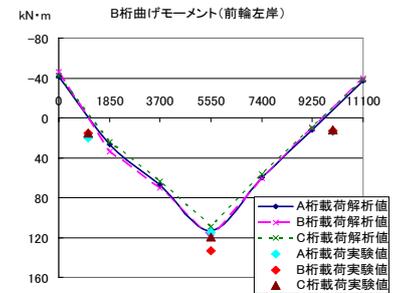


図-7 解析結果(曲げモーメント)

5. **安全性評価**

(1) 解析概要：現場試験時に別途行われたひび割れ調査より推定された腐食減量率を現時点での腐食量とし、それをモンテカルロシミュレーションで劣化予測を行い、腐食減量率の経年変化を算出し、それに基づいて FEM 解析により耐荷力、断面力解析を行った。載荷荷重は道路橋示方書に示される B 活荷重 L 載荷に基づいた等分布荷重とした。耐荷力解析における腐食後の鉄筋の力学的特性は式(1)で示され、断面力解析における鉄筋腐食による断面剛性の低下式は式(2)で示される。

$$E' = (1 - 1.13 \cdot \Delta w) \cdot E, \quad f' = (1 - 1.98 \cdot \Delta w) \cdot f \quad (1)$$

ここで、 E' ：腐食後の鉄筋弾性係数、 f' ：腐食後の鉄筋降伏強度

$$K' = K(0.474 + 0.526 \cdot n), \quad n = 1 - 1.13 \cdot \Delta w \quad (2)$$

ここで、 K' ：腐食後の断面剛性、 K ：健全時の断面剛性、

n ：弾性係数比

表-3 ばね定数同定結果

同定ばね定数(kN・m/rad)			
	A桁	B桁	C桁
右岸	1.37×10^5	5.00×10^5	2.84×10^5
左岸	1.37×10^5	5.00×10^5	2.84×10^5

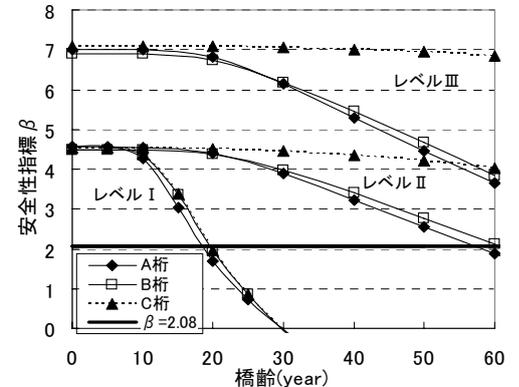


図-8 安全性評価結果

(2) 安全性評価結果：FEM解析によって得られた耐荷力、断面力の評価から安全性指標 β を算出し、安全性評価を行った。既往の研究¹⁾では β の限界値が 2.08 と提案されている。図-8 にその点検レベルに応じた結果を示す。結果、詳細な点検を行うことにより、 β を向上させることができた。特に現場試験を行った橋齢 46 年時での β に着目してみると、少なくとも現時点での安全は確保できていると評価することができる。

6. **まとめ**：塩害劣化が進行している実構造物に対し、詳細な点検を行いその結果を劣化予測にフィードバックすることによって β を飛躍的に向上させることができ、適切な評価ができることがわかった。しかし本橋梁では目視から判断できる変状が目立ち様々な不確定要素が考えられるため、継続的にモニタリングおよび各種点検を行い、将来予測に関してはこういった要素を考慮した上で妥当な余寿命評価および維持管理対策を立てるべきである。

参考文献：1) 森川英典, 森田祐介, 小島大祐：土木学会論文集 E, Vol. 62, No. 1, pp. 145-158, 2006