

塩害環境下におけるRCゲルバー桁橋の余寿命予測手法の検討

福井県小浜土木事務所 島田 泰至、斉藤 重人
(株)建設技術研究所 ○井川 理智、美濃 智広

1. はじめに

近年の社会情勢を反映して公共事業費が縮小傾向にある中で、適切な土木施設の維持管理を実現するために、安全性・耐久性を効率的に把握、確保することが求められている。福井県が管理する橋梁のうち架設後50年を経過した高齢橋は、現在では全体の約3%である。20年後には約50%が高齢橋となることが予測されており、それら高齢化した橋梁について、現時点における安全性および今後の余寿命を把握する手法の構築が急務となっている。本論では、架設後70年を経過する実橋を対象とし、静的載荷試験、応力頻度測定試験を行うことにより、現況耐荷力および余寿命予測手法の評価を試みたものである。

2. 対象橋梁の概要

本論における対象橋梁の諸元を表-1に示すが、竣工後70年経過した高齢橋である。これまでに上部構造主桁・床版下面への鋼板接着補強工事やひびわれ補修工事等が行われてきたが、平成19年に実施した点検では、過年度補修・補強箇所においてひび割れ等の再劣化が進行している状況を確認した。具体的には、上部構造主桁・床版下面に施された補強鋼板に全体的に浮き錆や塗装の剥がれが見られ、主桁ゲルバーヒンジ部付近には新たなひび割れが見られた。

表-1 対象橋梁の諸元

竣工年	昭和14年3月(1939年)
上部工構造形式	RC単純ゲルバーT桁(A1~P4) +単純PCプレテンT桁橋(P4~A2)
橋長	95.50m(5径間)
支間長	RC単純ゲルバーT桁 16.65+21.0m+21.1m+16.6m
幅員	有効幅員 6.0m 全幅員 6.6m
活荷重	当初設計時 TL-6 補強設計時 B活荷重
適用示方書(当初設計)	大正15年内務省道路構造に関する細則2等橋

3. 検討フロー

検討全体フローを図-1に示す。静的載荷試験により得られる①実測ひずみ値、②実測ひずみの断面内分布状況から求められる中立軸位置、③実測の載荷車両軸重による発生断面力から、「見かけの断面二次モーメント」を算定した。そして、対象断面の諸量や境界条件の設定から得られる断面二次モーメントと比較することにより、実構造物が持つ剛性に近い断面条件、境界条件を検討した。

また、別途実施したコンクリートかぶりの一部はつり調査により確認した鉄筋の腐食状況と、コンクリート塩分定量試験を行った結果より、本橋のコンクリート部材は塩害における加速期(前期)¹⁾であると判断されたため、鉄筋の腐食は塩害環境下における一様腐食による腐食速度により進行すると仮定し、今後の鋼材の体積減少量による発生応力の増加や許容応力度の低下を評価した。さらに、応力頻度測定調査結果において得られた実交通荷重による発生応力の大きさ・頻度から平均・標準偏差を算出し、発生荷重のばらつきを考慮した上部構造耐荷性能の安全性評価を行った。

発生断面力や部材品質のばらつき等の不確実性を考慮した部材の安全性評価手法としては、安全性指標 β を用いた信頼性シミュレーション手法がある。この指標 β は破壊確率を示しており、目標レベルにあわせた許容値を設定することとなっている。本検討においては、文献2)に示される $\beta=4.3$ を用いた評価を行った。

4. 現況耐荷力評価

実構造物の断面剛性評価結果を表-2に示す。断面としてRCT桁と桁下面の接着鋼板を考慮した場合(Case1)に対し、さらに既設の地覆・高欄が一体となって抵抗する条件を加味し境界条件は両端支点上を弾性支持とした場合(Case2)において、より実測値に近い条件となった。一方Case3では、Case2で考慮した弾性支持条件が、経年劣化や損傷の進行等

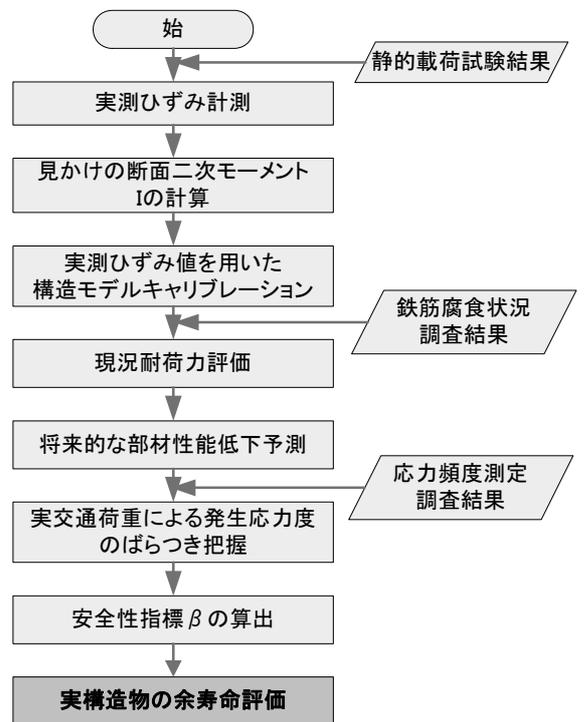


図-1 検討フロー

キーワード 応力頻度測定試験, 静的載荷試験, 安全性指標

連絡先 〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町1-6-7 (株)建設技術研究所 TEL06-6206-5690

表-2 現況耐荷力評価

検討ケース	断面検討条件	主桁断面二次モーメント	支点条件	発生断面力 M(kN・m) (死荷重+T25 荷重)
計測結果	—	0.01810(m ⁴)	ピン	—
Case1	RCT 桁 (有効幅考慮) +鋼板接着	0.00989(m ⁴)	ピン	2028(外桁 G1)
Case2	RCT 桁+既設地覆・高欄+鋼板接着	0.01140(m ⁴)	弾性	1148(外桁 G1)
Case3			ピン	2028(外桁 G1)

により弾性支持ではなくピン支持となる場合も想定したが、その場合には発生断面力が増加することが解った。また、死荷重+T25 荷重作用時発生応力度と許容応力度の関係を図-2 に示す。Case1、Case2、Case3 の何れにおいても許容応力度に対しては十分に余裕があることが解った。

5. 塩害環境下における余寿命への影響

本検討における加速期前期の鋼材腐食速度は、本橋が汀線付近に位置していることから海水中の腐食速度 1.02 (mg/mm²/year) を下側 95%確率と仮定し、文献 3)を参考に平
 均値 1.86(mg/cm²/year)と仮定した。一方、腐食による鉄筋の体積減少率と鉄筋降伏点比の低下の関係は、RC 梁の腐食実験に関する研究成果より次式で評価できる。

$$f'_y = (1 - 1.98(\Delta w / 100)) f_{sy}, \quad \Delta w = \frac{y \pi \phi}{1/4 \pi \phi^2 \gamma} = \frac{4y}{\phi \gamma}$$

ここに、 Δw : 腐食減量率, ϕ : 鋼材の直径, y : 単位面積あたりの腐食量(mg/mm²), γ : 鉄筋の単位体積重量(mg/mm³), f'_y : 腐食鉄筋の降伏点応力度 (N/mm²), f_{sy} : 健全鉄筋の降伏点応力度 (N/mm²)

6. 不確実性を考慮した余寿命の評価

データの変動条件は応力頻度測定調査結果等より表-3 の通りとし、文献 2)に示される次式より算出した安全性指標とその許容値の関係を図-3 に示す。

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{R - S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

ここに、 β : 安全性指標, R : 劣化による性能低下を考慮した曲げ引張許容応力, S : 発生曲げ引張応力, σ_R^2 , σ_S^2 : R,S の標準偏差

評価する部材は、安全性指標の低下が最も早い外桁 G1 に注目した。支点条件に弾性バネを考慮した Case2 よりも、支点条件をピンとした Case3 の方が発生応力は大きくなるため、安全性指標の低下が速いことが解った。また Case2 では今後 17 年間、Case3 では今後 14 年間は、目標信頼性水準 $\beta=4.3$ を保つことが可能であることが把握できた。

7. まとめ

本検討では、静的載荷試験結果に基づく実構造物のモデル化、応力頻度測定調査結果に基づく発生応力の変動を考慮した RC ゲルバー桁橋の劣化予測と安全性評価に関する信頼性シミュレーションを行い、供用下の高齢橋が有する余寿命予測を行った。今後、載荷試験結果を用いた構造モデルのキャリブレーションにおいて、支点条件の経時的な変動についても不確実性を考慮することで、より適切な評価が可能と考えられる。

参考文献

- 1) (社)土木学会 : 2007 年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編], pp.101,土木学会,2007
- 2) 国際規格 ISO13822 構造物の設計の基本.既存構造物の性能評価 pp29
- 3) 美濃智広,小島大祐,森川英典.塩害劣化の PC 橋の劣化予測と安全性評価に関する信頼性シミュレーション, 日本コンクリート工学協会,コンクリート構造物のアセットマネジメントに関するシンポジウム委員会報告・論文報告集,pp.341-pp348

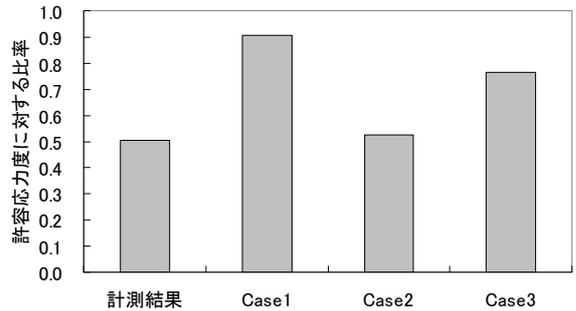


図-2 主桁発生応力度の許容応力度に対する割合

表-3 データの変動条件

検討ケース	変数	値
Case2	作用 S(N/mm ²)	5.84
	標準偏差 σ_s	5.73
	耐力 R(N/mm ²)	140
	標準偏差 σ_R	16.47
Case3	作用 S(N/mm ²)	13.84
	標準偏差 σ_s	13.57
	耐力 R(N/mm ²)	140
	標準偏差 σ_R	16.47

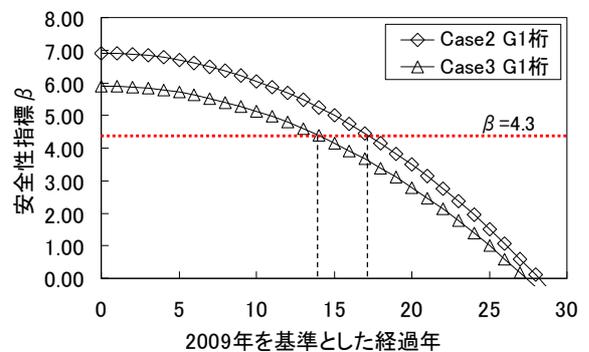


図-3 安全性指標による評価結果