

連続繊維シートにより補強した塩害劣化 RC 橋の安全性評価

神戸大学大学院 学生員 ○吉田 隆浩
神戸大学工学部 正会員 森川 英典

1. はじめに

本研究では、塩害により劣化した RC 橋に対して、連続繊維シートの補強効果を考慮した断面力評価および耐荷力評価を行い、信頼性を考慮した安全性指標によって補強前後の性能を定量的に評価し、橋梁全体系の安全性にとって、より望ましい対策を評価した。

2. RC 橋の概要

本研究では、塩害劣化により性能が低下する RC 橋（鉄筋コンクリート橋）を対象として評価を行った。RC 橋の断面図を図-1 に、諸元を表-1 に示す。RC 橋は、3 主桁が横桁により連結されたスパン長 13.1m の RC 橋である。架橋位置については、海岸にほぼ平行に架設され、汀線から約 250m に位置し、海側に近い桁から、A 桁、B 桁、C 桁とした。

川本ら¹⁾は、このような環境条件、材料特性、構造諸元を有する橋梁に対して、塩害の劣化予測を行い、経年における主鉄筋の腐食減量率や断面剛性の低下を評価した。ここで、経年劣化は主鉄筋の腐食のみ考慮し、橋梁上部工の曲げ破壊安全性について、構造物自身の不確定性を考慮した断面力評価および耐荷力評価から安全性指標 β の経年変化を求めた。

結果を図-2 に示す。図に示す $\beta=2.3\sim 4.3$ は、ISO に示される終局限界状態の目標信頼性水準²⁾の範囲である。図より、 $\beta=2.3$ を、補強を施すべき限界値とすると、対象橋梁は橋齢 17 年までに補強が必要と考えられる。ここでは、腐食性環境において耐荷力向上だけでなく、劣化抑制についても期待できる連続繊維シート曲げ補強を、橋齢 10 年 (case1)、あるいは、15 年 (case2, case3) に行うこととした。また、曲げ補強のみ考慮するため、各桁において、せん断破壊モードとならないように補強量に限界量が設定されることとなる。そこで、腐食が発生していない、あるいは、腐食がほぼ進行しておらず、補強するとせん断破壊モードに移行する桁については、断面修復を行うものとし、本研究では、鉄筋とコンクリートの付着改善に起因した耐荷力向上を評価した。

3. 補強効果を考慮した安全性評価

耐荷力評価: 連続繊維シート補強および断面修復による付着改善を考慮した耐荷力評価には、FEM 解析を用いた。解析モデルを図-3 に、連続繊維シートの付着特性モデルを図-4 に示す。ここで、耐荷力評価に関わる不確定量として、曲げ耐荷力に与える影響が大きいと考えられる主鉄筋の降伏強度を、また、連続繊維シート補強を行う桁については、連続繊維シートの弾性係数のばらつきについても考慮した。各ケースの曲げ耐荷力評価を表-2 に示す。なお、表には、補強時における各桁の腐食減量率および後述する断面剛性補強効果についても示している。

断面力評価: 実構造物は、使用材料のばらつきなどの不確定性を有することから、本研究では、対象橋梁を図-5 に示すような格子状にモデル化し、

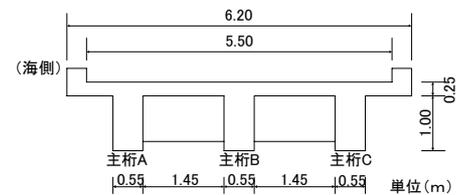


図-1 対象橋梁の断面図

表-1 各桁の諸元および初期条件

	A桁	B桁	C桁
かぶり(mm)	50	50	50
表面塩化物量(kg/m ³)	3.0	2.0	1.5
コンクリート強度(N/mm ²)	20	30	30
コンクリート弾性係数(kN/mm ²)	15.5	21.3	21.3
W/C(%)	74	57	57
鉄筋降伏強度(N/mm ²)	294		
鉄筋断面積(主鉄筋/スターラップ)(mm ²)	8620/127.2		
スターラップ間隔(mm)	300		

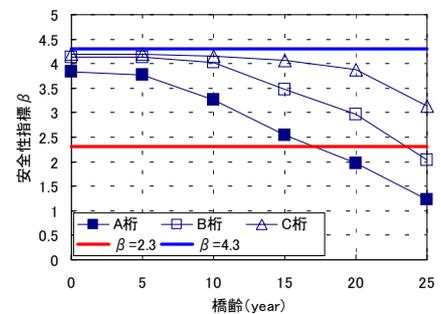


図-2 安全性指標の経年変化

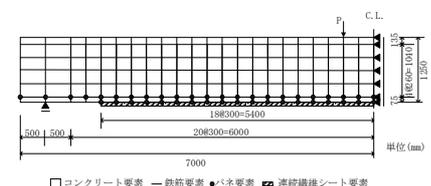


図-3 解析モデル

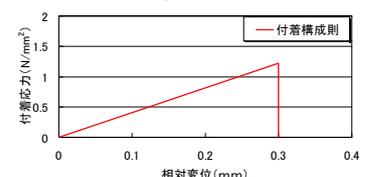


図-4 付着特性モデル

キーワード：RC 橋、塩害、連続繊維シート補強、安全性指標

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL：078-803-6027

モンテカルロシミュレーションによって不確定性を考慮した断面力解析を行った。外力は、死荷重と活荷重を考慮し、死荷重については、鉄筋コンクリートの単位体積重量を 24.5kN/m^3 として算定し、活荷重については、総重量 245kN のトラック荷重を着目する主桁に載荷させている。載荷位置については、トラックの後輪がスパン中央部に位置するように載荷した。ここで、ばらつきを考慮する要因として、換算断面2次モーメント、換算軸方向剛性、コンクリート弾性係数、支点における回転拘束バネを考慮し、変動係数20%を与えて、互いに独立として対数正規分布に従うとした。ここで、補強による断面剛性の変化は断面力の分配性状に影響を及ぼすことから、連続繊維シート補強による断面剛性補強効果を評価する必要がある。本研究では、耐荷力評価で用いたFEM解析から、作用する荷重に対する引張側主鉄筋および圧縮側主鉄筋のひずみを算出し、平面保持の仮定が成立するとして $M-\phi$ 関係を求め、主鉄筋が降伏するまでの勾配を断面剛性として算出した。そして、補強前と補強後に対して解析を行い、補強後の断面剛性を補強前の断面剛性で除した値を断面剛性補強効果 α ($\alpha > 1.0$) とした(表-2)。C桁に対するA桁の剛性比の補強前後の変化を図-6に、補強後の各桁の発生断面力を図-7に示す。図-6より、case1と比較してcase2, case3は、剛性比が低下していることがわかる。その結果、図-7に示すように、case1と比較してcase2, case3は、C桁に発生する断面力が大きくなり、case1において、各桁に配分される断面力の差が最も小さくなっていることがわかる。これより、各桁の劣化の程度に差が生じていない、できる限り早期に対策を行うことで剛性のバランスが改善され、断面力が集中する剛性の大きい桁の劣化を抑制することができるものと推察される。

安全性評価：各桁の補強前後の安全性指標およびその変化量を表-4に示す。ここで、対象橋梁の安全性について評価する場合、塩害による劣化が最も進行しているA桁と塩害による劣化進行が遅く、発生断面力が最も大きくなると考えられるC桁の安全性が確保されていることが重要である。つまり、外桁の安全性指標を評価することで橋梁全体系の安全性を評価することが可能といえる。表より、case1において、補強後の安全性指標が大きく、また、外桁の安全性向上量が大きいことがわかる。これより、劣化が顕著な桁に、早い時期に対策を行った方が、構造物の安全性を確保する上で、より望ましい対策となるものと考えられる。

4. まとめ

塩害により劣化したRC橋に対して、連続繊維シートによる補強効果を考慮した安全性評価を行った。その結果、同じ補強量(case1とcase2)であっても、早期に補強を行うと、主桁間の剛性バランスが改善され、橋梁の安全性を確保する上で、早期の対策が望ましい対策となることが示された。これは、対象橋梁のように劣化の進行が顕著であると判定できる構造物に対して、早期の対策が有効であることを示しているものと考えられる。また、今後、効率的な維持管理を行って行く上で、時間軸に沿った構造物の性能を評価することは必要となるものと考えられるが、そのためにも、劣化予測の精度向上は、重要な課題であるといえる。

【参考文献】 1) 川本祐子, 森川英典: 塩害による鉄筋腐食を考慮したコンクリート橋の劣化進行予測と安全性評価, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2003.5. 2) ISO: INTERNATIONAL STANDARD Bases for design of structures – Assessment of existing structures, ISO 13822, First edition, 2001.12.

表-2 曲げ耐荷力評価

解析ケース	対策時期	各桁に対する対策工		断面剛性補強効果 α	耐荷力 (kN m) ^{※1}		
		桁	$\Delta I/W$ (%)		補強前	補強後	
case1	10	A桁	8.2	1層補強	1.13	2437(498)	2965(325)
		B桁	0.4	補修	-	2815(463)	2822(430)
		C桁	17.8	1層補強	1.17	2260(596)	2770(352)
case2	15	A桁	8.0	補修	-	2670(499)	2704(444)
		B桁	0.0	補修	-	2829(458)	2829(458)
		C桁	17.6	1層補強	1.17	2260(596)	2770(352)
case3	15	A桁	6.0	1層補強	1.06	2670(499)	3347(441)
		B桁	0.0	補修	-	2829(458)	2829(458)
		C桁	0.0	補修	-	2829(458)	2829(458)

※1 () の値は、標準偏差

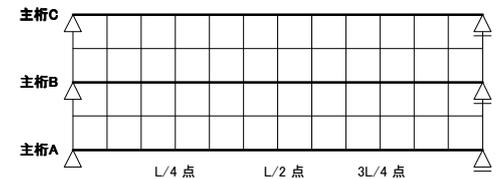


図-5 解析モデル

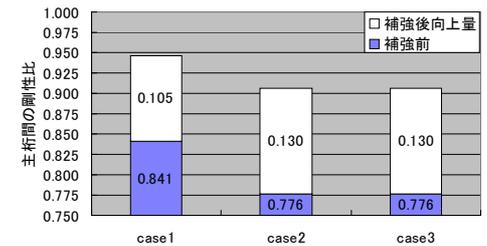


図-6 主桁間の剛性比 (A桁/C桁)

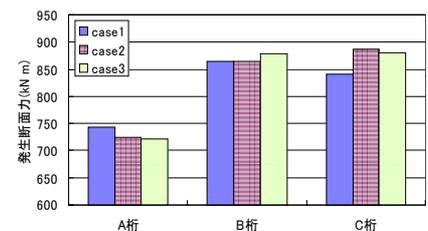


図-7 発生断面力の相違

表-4 補強による安全性指標の変化

解析ケース	A桁	B桁	C桁
case1	3.27→6.11(+2.84)	4.03→4.34(+0.32)	4.00→4.17(+0.17)
case2	2.54→5.28(+2.74)	3.48→3.97(+0.48)	3.92→4.07(+0.14)
case3	2.54→5.29(+2.76)	3.48→5.35(+1.87)	3.92→4.08(+0.16)

※ 数値は、補強前の β →補強後の β 。()の値は、 β の変化量を示す