塩害劣化 RC 橋のせん断耐荷性能および安全性の評価

神戸大学大学院 学生員 〇湯浅 康史 神戸大学工学部 正会員 森川 英典

1.はじめに: RC 橋の維持管理においては、一般に曲げ破壊に対する安全性評価が主として行われているのが現状 である¹⁾.しかし様々な初期条件、劣化の状態を考慮すると、せん断破壊が支配的になる可能性も危惧されるため、 曲げ破壊に対する安全性評価のみならず、せん断破壊に対する安全性の評価も同時に行う必要があると考えられる. 本研究では現場試験に基づいて塩害劣化 RC 橋のせん断破壊に対する安全性の評価を行った.また本論文ではせん 断耐荷性能に影響度の高いスターラップの腐食量に着目して記述をする.

2.現場実橋試験:対象橋梁2橋の構造諸元を表-1に示す.B橋の最 も下流側に位置する桁は増設された比較的新しい桁であるので、評 価対象外とした. B 橋は海水が逆流している河川からの塩分供給に より塩害が進行しており、A橋は海岸からの距離が 50m に位置して おり塩害劣化が著しい橋梁である.

(1) 外観調査: スターラップの腐食量と外観の変状に相関があると いう仮定に基づき、すべてのスターラップを図-1に示すように5つのタイプ に分類した.

(2) 腐食モニタリング:スターラップの鉄筋腐食モニタリングを行い、自然 電位と分極抵抗値を主桁下端からの距離が約 500mm, 200mm の 2 点を測定し た. 但し, Type E は剥離・浮きが生じており計測器の測定範囲外であるため 計測していない. 分極測定値の結果を図-2 に示す.

(3) 超音波速度法: 主桁の橋軸直角方向に超音波速度を計測した. 既往の研究で用いられている超音波速度と圧縮強度の関係 1)を用 い, 主桁橋軸方向の圧縮強度の分布を求めた結果, A 橋と B 橋の 圧縮強度の平均値はそれぞれ 35.7, 14.7 (N/mm²) となった.

3. 劣化予測手法: (1) 劣化予測:本研究では平均値を用いて劣化 予測を行う. 潜伏期は Fick の拡散方程式を用いてコンクリート中

の塩分量が鋼材位置における塩化物イオンの鉄筋腐食発生限界濃度 C_{im} =1.2(kg/m³)に至る時点と設定した.進展期は進展期速度を加速期の初速 度とし限界腐食量に達するまでの期間と設定した. 庶食量 加速期および劣化期の腐食量は図-3に示す関係と $dv/dt = \sigma$ v = ax

次式¹⁾を用いた.

$$y = a \cdot C \cdot \exp\left(\frac{\alpha}{a} \cdot t\right) \tag{1}$$

C: 初期腐食ひび割れ幅(mm), $a = 0.141 \cdot \exp(1.078 \cdot d/\phi)$ $\alpha = 54.82 \cdot d^{-1.17} d$: かぶり(mm), *ϕ* : 鉄筋径(mm)

鉄筋腐食モニタリングにより現場試験の橋齢での腐食速度が既知となるの で,式(1)のパラメータである α/a に補正係数 η を乗じて最終的に得られ た劣化曲線を幾何的に補正することとした.

キーワード 現場試験,塩害,外観調査,劣化予測,RC橋梁,せん断耐荷性能 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学工学部 TEL078-803-6027 連絡先

| 表─1 構造諸元 | | | | | | | |
|----------|------------------|----------------|--|--|--|--|--|
| | A橋 | B橋 | | | | | |
| 橋種および形 | 式 RC単純T桁橋 | RC単純T桁橋 | | | | | |
| 橋長(支間割 |) 11.10m | 11.10m | | | | | |
| 径間割 | 1径間 | 3径間 | | | | | |
| 架設年度 | 1959年 | 1954年 | | | | | |
| 設計荷重 | TL-14 | TL-14 | | | | | |
| 海岸からの距 | 離 50m | 700m | | | | | |
| 構主権 | 行 本数:3, 間隔:2.00m | 本数:4, 間隔:2.02m | | | | | |
| 造横 | 行 本数:3 | 本数:3 | | | | | |
| 概舗装 | 麦 コンクリート | コンクリート | | | | | |
| 要高橋 | 闌 コンクリート高欄 | コンクリート高欄 | | | | | |



劣化予測設定値 表-2

| | | A橋 | | | B橋 | | | |
|--------------------------------|--------|---|-----|-------------------------|------|-----|-----|--|
| | | A桁 | B桁 | C桁 | A桁 | B桁 | C桁 | |
| 圧縮強度(N/mm ²) | | 35.7 | | | 14.7 | | | |
| かぶり(mm) | 主鉄筋 | 63 | | | 41.7 | | | |
| | スターラップ | 30 | | | 20 | | | |
| 鉄筋径 | 主鉄筋 | φ28 | | | φ28 | | | |
| | スターラップ | φ12 | | | φ8 | | | |
| 表面塩化物イオン濃度(kg/m ³) | | 6.5 | 5.5 | 4.5 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | |
| 設計拡散係数(cm ² /s) | | 2.23 × 10 ⁻⁸ | | 2.21 × 10 ⁻⁷ | | | | |
| 限界腐食量(mg/mm ²) | | y ₁ =2.5×10 ⁻⁵ d ² (d:かぶり) | | | | | | |



(腐食速度 σ

図-3

 $\sigma = \alpha x$

(2) 鉄筋腐食量の推定:スターラ ップの腐食量の推定はタイプごと に平均した分極抵抗を用いて腐食 量を推定し、同タイプの腐食量は同 じと仮定することとした. 主鉄筋の 腐食量の推定は,分極抵抗を測定し た桁の腐食量とひび割れ密度の関





← A桁(A橋) ■ B桁(A橋)

- C桁(A橋)

·◆·· A桁(B橋)

·□··B橋(B橋)

△ C桁(B橋)

8 8

Type E Type D

🔲 Type C

Type B

□ Type A

80

٠ ک

100

係を調べ、その関係式をもとにすべての主鉄筋の腐食量を推定した¹⁾. 推定されたスターラップおよび主鉄筋の点 検時の腐食減量率を図−4,図−5に示す.A橋では主鉄筋の腐食がスターラップより進行しており,対してB橋はス ターラップの腐食が進行していることがわかる.

4. せん断耐荷性能および安全性の評価:

(1) 耐荷力解析: FEM 解析を用いてせん 断耐荷力を算出した. 図-6 に解析モデル を示す.載荷荷重はB活荷重L載荷とし, 主桁に最も不利な応力が生じるよう支間



600

500

400

100

0

100%

80%

60%

40%

20%

0%

図-8

A桁

20

図-7

40 60 橋齡(年)

B桁

評価部位のタイプ(B橋)

C桁

安全余裕

ŝ

余裕度(300

安全 200

長の 3/4 の区間に等分布荷重を載荷した.この載荷方法では右岸側の部位と左岸側の部位の耐荷力が算出可能であ るが,スターラップの腐食が著しい方を評価対象部位とした.腐食後の鉄筋の力学的性質は次式の関係式を用いた.

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

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 (2) 断面力解析: 格子分割モデルを用いて発生せん断力を算出した. 主鉄筋の腐食による断面剛性の低下式はFEM 解析をもとに算出され以 下の式で示される.

 $K' = K(0.474 + 0.526 \cdot n)$ (A 橋), $K' = K(0.528 + 0.472 \cdot n)$ (B 橋) ここで*n*=1-1.13∆w, K': 腐食後の断面剛性, K: 健全時の断面剛性, n:弹性係数比

(3) 安全性の評価:耐荷力を R,断面力を S としたとき安全余裕は M=R-Sと定義される.本研究ではばらつきを考慮していないため、安全余 裕を指標としてせん断破壊に対する安全性の評価を行うこととする.2 橋 の安全余裕を図-6に、B橋の評価部位のスターラップのタイプを図-7に示 す. A 橋の安全余裕はコンクリートの圧縮強度が高いため供用開始時から 高い値を示しており、評価期間内においても高い値を維持していることが わかる.一方,B 橋は圧縮強度が低いため供用開始時より安全余裕度が低 く、さらにスターラップの腐食の進行が主鉄筋に比べ早いため、橋齢80年

以降,安全余裕が急激に低下しており、せん断破壊に対する安全性が著しく低下する結果となった.また C 桁の安 全余裕が著しく低下している原因は図-8より他の桁より腐食の進行の早い Type D, Type E の割合が高いためであ る. B橋はせん断破壊が支配的になる可能性が危惧される.

5. まとめ: 塩害劣化した RC 橋に対し現場試験を行い, その結果を用いてせん断破壊に対する安全性の評価を行った. 対象とした2橋では異なる特徴を有しており、A橋では高い安全余裕を保持していたが、B橋では橋年齢80年以降 に安全余裕が急激に低下しており、せん断破壊が支配的になる可能性が危惧されることがわかった。今後はばらつ きを考慮した上で,安全性指標を算出し,せん断破壊に対する安全性評価を行っていきたい.

【参考文献】1) 森川英典,森田祐介,小島大祐:不確定性を考慮した塩害劣化 RC 橋における劣化および安全性の評 価, 土木学会論文集 E, Vol. 62, No1, pp. 145-158, 2006.