

第V部門

腐食鉄筋の付着すべり判定を考慮した塩害劣化RC橋のせん断安全性評価

神戸大学大学院 学生員 ○瀬戸 亮太

神戸大学大学院 正会員 森川 英典

1. はじめに：現在劣化が顕在化している橋梁の多くには付着力に乏しい丸鋼が用いられており、鉄筋の腐食に伴い鉄筋とコンクリートの付着力が低下することも踏まえると、せん断引張破壊の可能性を考慮に入れた安全性評価が行われることが望ましい。本研究では、既報の鉄筋の付着すべりに起因するせん断引張破壊を判定基準として考慮したFEM解析手法¹⁾を塩害劣化RC橋の耐荷力解析に導入し、劣化予測のモンテカルロシミュレーションの結果を用いて解析を行うことでせん断破壊に対する安全性評価を行った。また、その結果を既報の曲げ安全性指標と比較し総合的な安全性評価を行うことでせん断安全性評価の有効性について考察した。

2. 対象橋梁概要：表-1に対象橋梁であるM橋の諸元を、図-1にM橋の断面図を示す。現場試験結果より最も海岸に近い桁1では鉄筋腐食に伴うひび割れやかぶりのはく落が見られ主鉄筋およびスターラップが著しく腐食している。しかし、その他の桁においては腐食ひび割れが若干確認できるもの、比較的軽微な劣化段階であることが確認された。

3. せん断破壊形式を考慮した耐荷力解析：解析モデル²⁾および解析諸元を図-2、表-2に示す。本研究における付着バネ要素の材料構成則には、図-3に示す著者らが提案した既報¹⁾の4直線近似モデルを用いた。なお、本モデルでは付着バネの軟化は考慮していない。そこで、直線近似した軟化の勾配より軟化が終了する際のすべり S' を算出し、バネが軟化により解放するエネルギーの計算を行った。すべりが最大付着応力 τ_{max} 到達時のすべり S_{max} を超えた後、軟化により解放されるのと等価なエネルギーが作用するすべり S'' が生じた場合を付着バネ要素の付着限界とした。また、鉄筋腐食による性能低下は劣化予測により算出された腐食減量率で表現している。しかし、鉄筋腐食による性能低下を表す式は腐食減量率が35%までしか精度は保証されないため、本研究では主鉄筋およびスターラップ劣化予測結果の腐食減量率の存在確率より対象橋梁M橋の評価対象期間を橋齢50年までと設定した。また、著者らは既往研究¹⁾でせん断引張破壊は主鉄筋の付着低下の影響によるものとスターラップの付着低下の影響によるものとでメカニズムが異なることを示した。さらに、それらのメカニズムに基づきFEM解析上で脆性的な破壊であるせん断引張破壊の兆候を捉えるための破壊判定の基準を図-4のように設定した。

図-5にM橋の耐荷力解析のモンテカルロシミュレーション結果の平均値を示す。比較検討のために、せん断引張破壊の判定を導入していない場合の結果も同図に示す。なお以下では、せん断引張破壊の判定を導入した場合の解析を

表-1 対象橋梁諸元

対象橋梁略称	M橋	
架設年度	1962年	
調査時の橋齢	44年	
橋種・上部構造形式	RC単純T桁橋	
径間割	1径間	
橋長さ(支間長)	10.6m (-)	
設計荷重	T-20	
補強年(増桁)	-	
構造概要	主桁	本数:4, 間隔:2.00m
	横桁	本数:3
	舗装	コンクリート
高欄	コンクリート	
海岸からの距離	約15m	

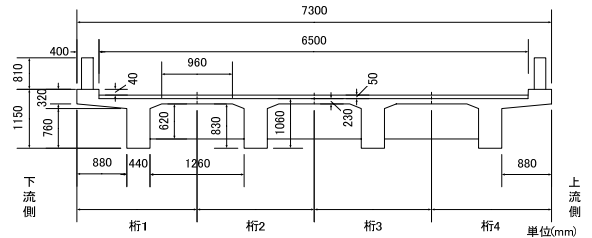


図-1 対象橋梁断面図

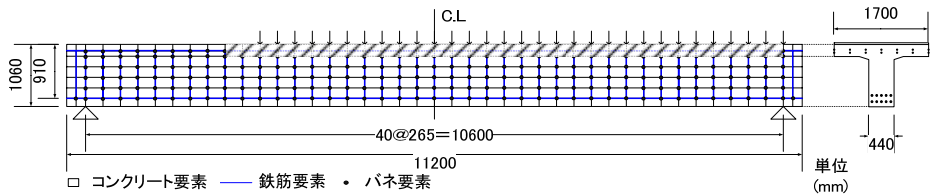


図-2 FEM解析モデル

表-2 M橋耐荷力解析諸元

対象橋梁		M橋
コンクリート要素	圧縮強度 [N/mm ²]	28.2
	標準偏差	5.1
	引張強度 [N/mm ²]	2.1
	標準偏差	圧縮強度の標準偏差に準じる
鉄筋要素	静弾性係数 [kN/mm ²]	27
	標準偏差	圧縮強度の標準偏差に準じる
	引張限界ひずみ [μ]	79
	標準偏差	圧縮強度の標準偏差に準じる
降伏強度 [N/mm ²]		295
弾性係数 [kN/mm ²]		200.0
降伏ひずみ [μ]		1475
主鉄筋		10-φ28
スターラップ		4-φ9
圧縮鉄筋		16-φ13

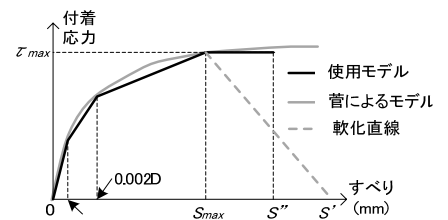


図-3 付着バネ構成則

Ryota SETO, Hidenori MORIKAWA

092t122t@stu.kobe-u.ac.jp

新解析, 未導入の場合を旧解析と称す. 新解析における桁 1 では 40 年あたりで大きく耐荷力が低下しており, 実際にここ数年で桁 1 端部の腐食が著しく進行しており, 概ね実状を捉えられているものと考えられる.

4. せん断安全性評価: 図-6 に示すように, 劣化予測結果に基づきせん断耐荷力, 断面力を算出し, 安全性指標 β の経年変化による安全性評価を行った. 既往の研究³⁾では, 安全性に対する限界値を $\beta=2.08$ と提案している. 本研究ではこの値を目安として安全性評価を行った. さらに, 上述の安全性限界値に加え, ISO13822 で設けられている終局限界状態における「破壊の影響が極めて小さい場合」, 「破壊の影響が大きな場合」の目標信頼性指標 β として $\beta=2.3, 4.3$ の基準値も目安に加え考察する.

M 橋のせん断安全性評価結果を, せん断引張破壊判定未導入の場合の結果と併せて図-7 に示す. 供用開始時において新解析と旧解析とで β 値の違いはみられない. その後, 新解析では 40 年から桁 1 の β 値が急激に下落し, 45 年過ぎに ISO13822 で設けられている終局限界状態における「破壊の影響が大きな場合」の $\beta=4.3$ を下回っている. 脆性的なせん断引張破壊の影響が大きいものと捉えると, 新解析はせん断引張破壊に対して安全側に評価できていると考えられる.

5. 曲げとせん断安全性評価に基づく総合安全性評価: 図-8 に示すように, 曲げ安全性評価と比較することで, 総合的な安全性評価を行った. 供用開始時においては曲げよりもせん断の β 値が上回っている. その後, 曲げに対しては橋齢 50 年時においても β 値の低下はほとんど起こっていない. これに比べてせん断に対する β 値の低下率は大きく, 橋齢 40 年を過ぎたあたりからせん断破壊に対する安全性がかなり小さくなっていることから, 対象橋梁は将来的に曲げよりもせん断破壊が先行する可能性がある.

6. おわりに: 脆性的な破壊形式であるせん断引張破壊を考慮して安全性評価を行うことで, 妥当性を持って安全側にせん断安全性評価を行えることがわかった. また本研究における判定基準を導入することで, 標準的なコンクリート圧縮強度を有する場合でも, せん断安全性が曲げ安全性を下回る可能性があることを示した.

参考文献: 1) 森川英典, 瀬戸亮太, 友村圭祐, 笠松大輔: 腐食鉄筋の付着すべり判定を導入した FEM による塩害劣化 RC 部材のせん断破壊解析, 建設工学研究所論文報告集第 51 号, pp.1-13, 2009.11.
2) 狩野裕之, 森川英典, 湯浅康史: 現場試験に基づいた塩害劣化 RC 橋のせん断安全性評価と特性分析, アップグレードシポジウム論文報告集, 第 8 巻, pp.145-152, 2008.10.
3) 森川英典, 宮本文穂, 竹内和美: 統計解析に基づく既存コンクリート橋の安全性および寿命評価, 土木学会論文集, No.502/V-25, pp.53-62, 1994.11.

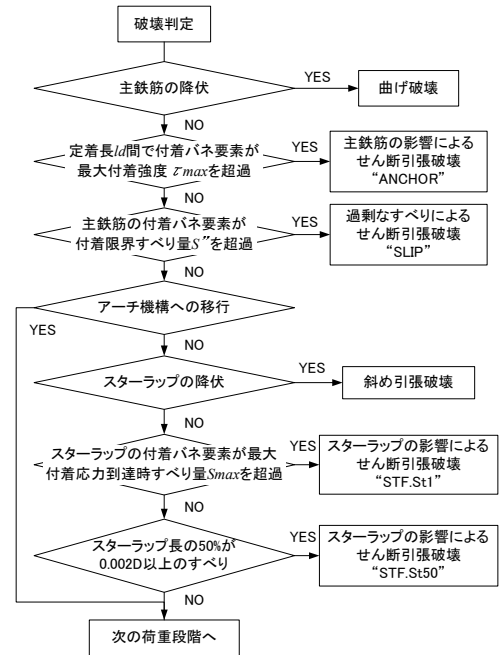


図-4 破壊判定フロー

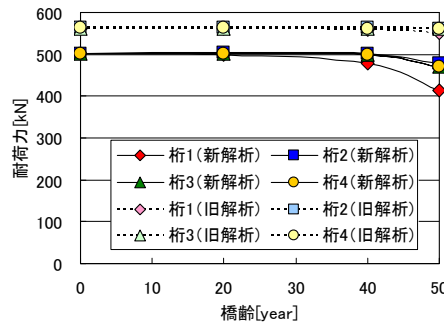


図-5 耐力力解析結果

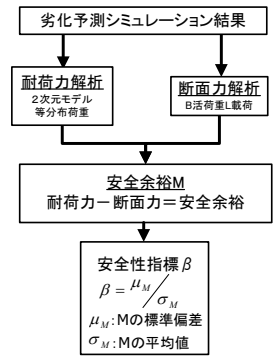


図-6 安全性評価の流れ

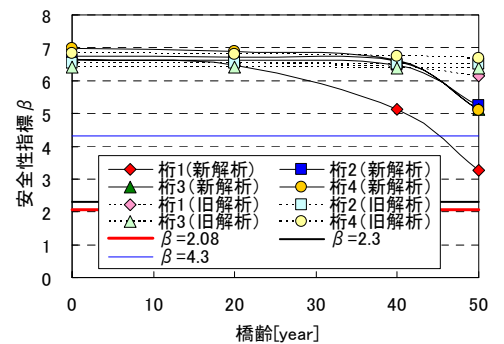


図-7 せん断安全性指標 β の経年変化

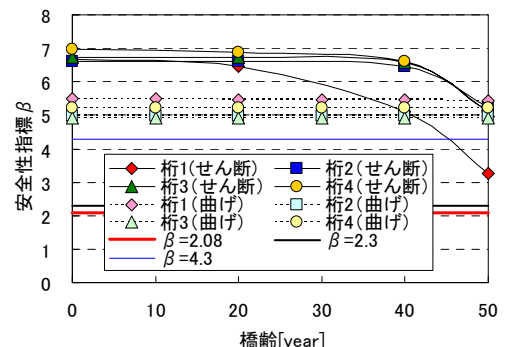


図-8 せん断と曲げ安全性評価の比較