

腐食鋼板の圧縮試験および数値解析による残存強度評価手法の提案

愛媛大学大学院 学生会員 ○真鍋 佑輔 愛媛大学大学院 学生会員 横川達哉
愛媛大学 正会員 大賀 水田生 愛媛大学 正会員 全 邦釘

1. 序論

近年，既設鋼構造物の劣化による損傷事例が増加している．特に腐食は，鋼部材の保有性能を低下させる主要な要因であり，表面欠損，剛性低下および強度低下などを引き起こす．しかし，腐食による表面欠損が力学特性に与える影響について現状では十分把握できていないため，現場では経験的な定性的評価に基づいた維持管理に頼らざるを得ず，適切かつ効率的な維持管理が困難となっている．そこで本研究では，特に圧縮部材を対象とし，3つの橋梁(餘部鉄橋，穴内川橋およびフェリー渡橋のフランジ)から切り出した腐食鋼板供試体を用いた圧縮試験と FEM 解析によるパラメトリックスタディを行い，腐食鋼板の残存圧縮耐力評価手法を提案した．

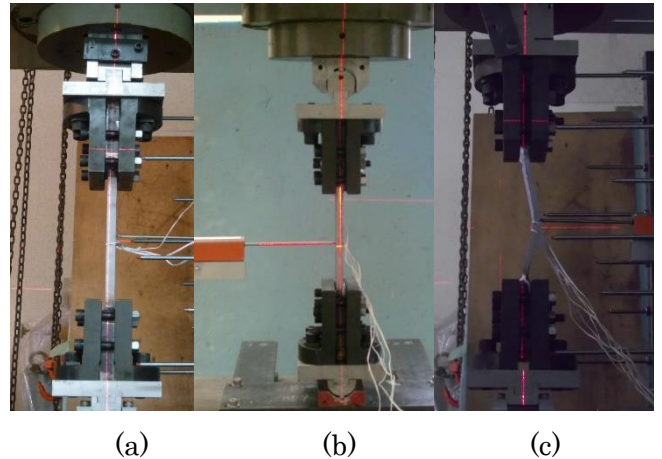


図-1 圧縮試験外観

2. 腐食鋼板の圧縮強度試験

圧縮強度試験に際して，餘部鉄橋および穴内川橋のフランジから切り出した供試体の両端部には SM490A 新規鋼材を溶接してある．治具は図-1(a)(b)のように両端ピン支持および両端固定支持の 2 種の境界条件を有する．また，腐食鋼板は 1 次の sin カーブを描く全体座屈，あるいは最小板厚部に局所的な変形を及ぼす局部座屈を生じると考えられたため，腐食の激しい面の中央部に 3 点，最小板厚部に 1 点のひずみゲージを貼り付けた．なお，本実験ではレーザー水準器を用いて荷重軸位置を可視化し，供試体が荷重軸に対して平行になるよう設置した．座屈時の様子を図-1(c)に示す．荷重-圧縮ひずみの関係から，最大荷重に至るまで腐食鋼板供試体の表裏一様に圧縮応力が分布し，降伏後最小平均板厚に応力が集中して局部座屈したことが観察された．

3. 数値解析手法

精度よく腐食鋼板の残存圧縮強度解析を行うには，腐食表面形状を正確に再現する必要があるが，鋼構造物に対して広範囲・高密度に測定データを収集することは困難である．よって，腐食を受けるいかなる環境にも対応でき，かつ少ない測定点で再現したモデルの解析結果が，詳細なデータから再現した解析モデルの解析結果と同程度の精度を有するような解析モデルの構築方法の提案を行った．本研究の FEM 解析には，商用 FEM パッケージ Abaqus/Standard を用いた．FEM モデル中での腐食鋼板の凹凸を表現するために，事前に供試体の表面形状を，2 次元レーザー変位計を用いて 2mm 間隔で計測しており，その表面を解析モデルにおいても再現した．同時に，空間的自己相関を用いて解析モデルを作成し，2 辺固定支持 2 辺自由の境界条件の下，両者の解析結果から妥当性の検証を行った．材料特性は，橋梁から切り出した JIS5 号試験片に対して材料特性試験を行い，その結果を用いた．その結果，最小板厚を含む 50 点の計測データと空間的自己相関を用いることで，図-2 の挙動比較，図-3 の最大荷重の比較および図-4 の応力分布図に示すように精度良く残存圧縮強度を評価できることを示した．

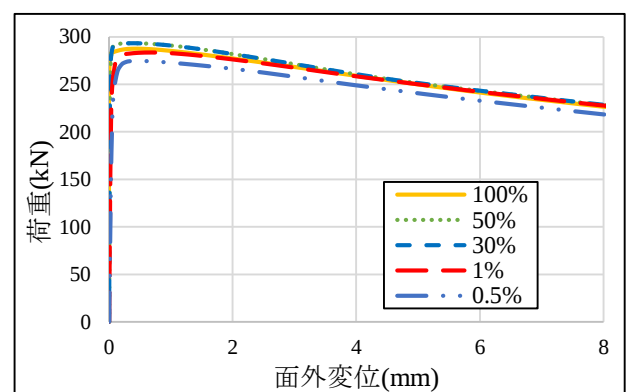


図-2 挙動の比較(AF-1)

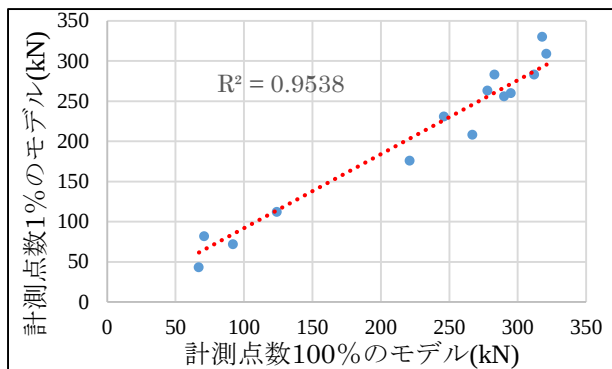


図-3 少ない測定点による最大荷重の妥当性検証

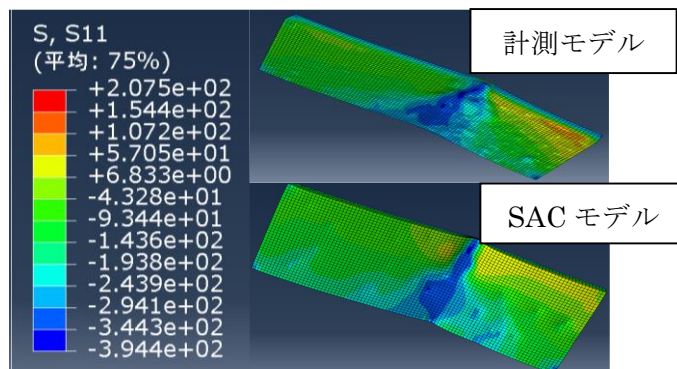


図-4 応力分布(Unit[N/mm²])

4. 現場適用可能な腐食鋼板の残存圧縮耐荷力評価手法の提案

腐食鋼板の残存圧縮強度に影響を及ぼす因子を特定し、現場適用可能な腐食鋼板の残存圧縮強度評価式の提案を行うため、パラメトリックスタディを行った。本研究では、腐食劣化環境、腐食鋼板の長さ、板幅、平均腐食量、最大腐食量、孔食位置、境界条件の7つのパラメータについて、腐食劣化を受ける環境の異なる実橋梁から切り出して作成した腐食鋼板で、2mm 間隔で計測した表面形状を用いて再現した解析モデルと、ポアソン乱数と空間的自己相関を用いて表面形状を作成したポアソンモデルを用いた。ここで、平均板厚を有効板厚として採用し、細長比と圧縮強度の関係を示したものが図-5 である。この結果、細長比が130を境に、式-(1)のジョンソン式および式-(2)のオイラー式で作成した圧縮強度曲線で解析結果を捉えていることを示した。

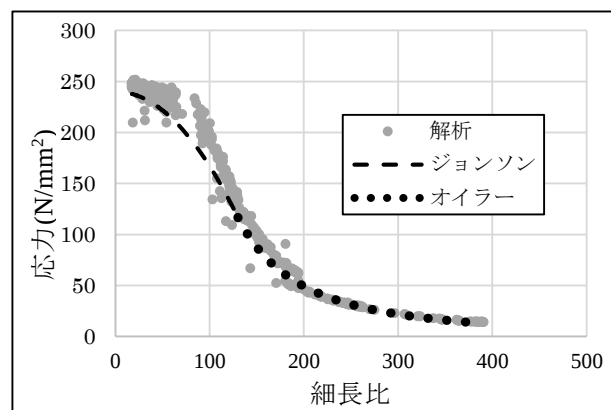


図-5 圧縮強度と細長比

以上の結果から現場適用可能な腐食鋼板の残存圧縮強度評価式を式-(1)～式-(3)に示す。図-6 よりその精度は良好だと言える。

$$t_e = t_{ave} + 0.85\sigma_t \quad (1)$$

$$P_{cr} = A\sigma_y \left(1 - \frac{\sigma_y \lambda^2}{4\pi^2 E}\right) \quad \lambda < 130 \quad (2)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} \quad \lambda > 130 \quad (3)$$

5. 結論

以下に本研究の主な結論を示す。

- ① 腐食鋼板の圧縮強度実験から最小平均板厚に応力が集中し降伏することが観察された。
- ② 数値解析手法の妥当性を示し、少ない測定点で再現した解析モデルは詳細な計測結果から再現した解析結果と同程度の結果を得ることができた。
- ③ パラメトリックスタディの結果から現場適用可能な腐食鋼板の残存圧縮強度評価式の提案を行い、その精度は良好であった。

参考文献

- (1) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室：既設橋の架替実態に関する調査，土木技術資料，No.40-4，pp.38-43，1998。
- (2) 藤井堅，海田辰将，平井勝志，奥村誠：腐食鋼板表面形状モデル作成における空間的自己相関モデルの適用性，構造工学論文集，Vol48A，pp.1031-1038，2002。

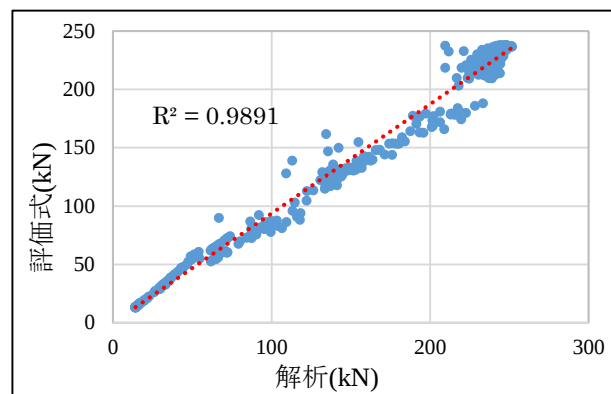


図-6 評価式の精度