腐食鋼板の座屈挙動に関する実験的および数値的研究

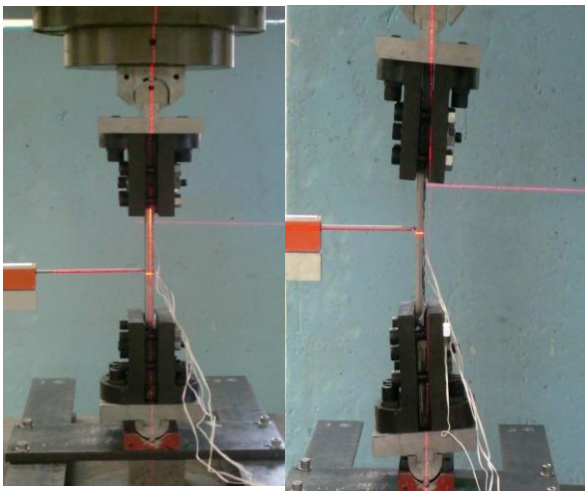
愛媛大学環境建設工学科　学生会員　○横川　達哉
愛媛大学大学院　正会員　大賀　水田生
愛媛大学大学院　正会員　全　邦釘
愛媛大学環境建設工学科　正会員　川口　隆

1. はじめに

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，適切かつ効率の良い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，2 つの橋梁(餘部鉄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て座屈試験と 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荷力評価式を提案した．

2. 腐食鋼板供試体の座屈試験

座屈試験に際して，餘部鉄橋のフランジから板幅 B が 75mm～88mm となるように供試体を 9 本(AF-1～AF-9)切り出した．有効座屈長 L は 638mm～702mm である．なお，供試体の両端部には SM490A 新規鋼材を溶接してある．治具については，図 1(a)のように両端ピン支持になるように作成した．また，腐食鋼板の座屈として，柱部材全体が座屈する全体座屈，および最小板厚部に局所的な変形を及ぼす局部座屈が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(b)に示す．実験の結果，荷重と圧縮ひずみの関係から，最大荷重時に全体座屈を起こし，後座屈挙動で最小板厚部からの局所的な変形に移行したことが観察された．



(a)　(b)

図 1(a), (b) 実験装置外観および座屈の様子

3. FEM 解析

3.1 解析手法の妥当性

本研究の FEM 解析においては，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．要素数は例えば AF-1 の場合，29760，節点数 34686 である．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．実験においても観察されたことであるが，図 2(左),(右)に示すように最大点で圧縮応力が供試体全体に一様に分布し，全体座屈を起こし，後座屈挙動で最小板厚部に応力が集中し，局所的な変形を起こす様子が FEM 解析においても観察された．図 3 は実験と解析の非線形挙動の比較であり，本研究で構築した FEM モデルは実験を非常に精度よく再現できていると考える．他の供試体についても同様の結果が得られ，その相関を図 4 に示す．以下ではこの FEM モデルを用いてパラメトリックスタディを行う．

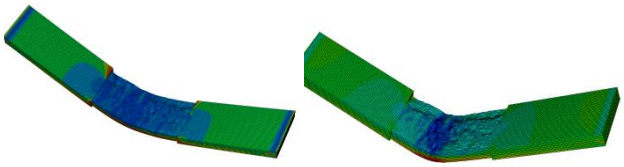


図 2 全体座屈(左)および局所変形(右)

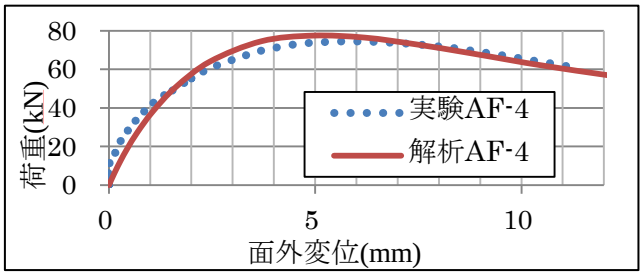


図 3 荷重－面外変位の関係

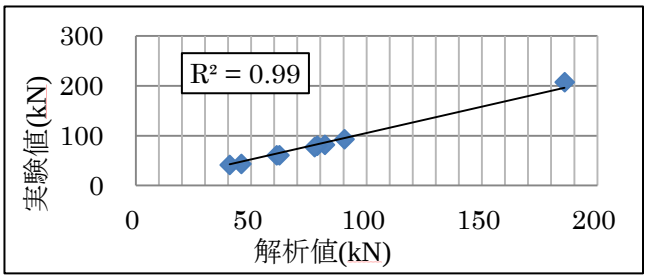


図 4 実験値および解析値の相関

3.2 偏心量に対するパラメトリックスタディ

本節では，偏心量変化に対するパラメトリックスタディを行う．まず，腐食鋼板供試体の中立軸を供試体中央部の板厚を 2 等分した位置として定義する．全ての供試体で，このように仮定した中立軸と荷重軸を合わせた結果，最大荷重を示したことから，この定義は妥当といえる．

次に，定義した中立軸から各供試体モデルに偏心を与えた．図 5 は縦軸には荷重減少度，横軸に偏心比をとった相関図である．この図から偏心比が増加すると荷重減少度は線形的に減少していることが分かる．

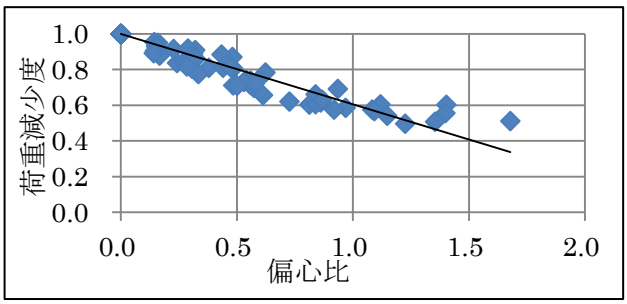


図 5 荷重減少度と偏心比の相関

4. 腐食鋼板の残存圧縮強度評価式の提案

4.1 腐食鋼板の残存圧縮強度評価式の提案

実験結果および解析結果から，式(1)に示すように，オイラーの座屈荷重式を用いた偏心のない腐食鋼板の残存圧縮耐荷力評価式を提案する．E はヤング係数，B は板幅，L は有効座屈長，t_{eff} は現存板厚を示す t_{avg} を用いた．次に，図 5 の結果から偏心量 e を考慮するための残存圧縮耐荷力補正係数 β を式(2)に導出した．以上の結果から偏心および腐食度を考慮した腐食鋼板の残存圧縮耐荷力評価式を式(3)のように導出した．

$$P_{cr}=0.12\frac{\pi^2 EBt_{eff}^3}{L^2} \tag{1}$$

$$\beta=-0.39\frac{eBt_{avg}}{t_0^3}+1 \tag{2}$$

$$P_{cr}=0.12\beta\frac{\pi^2 EBt_{eff}^3}{L^2} \tag{3}$$

4.2 適用結果

図 6 に提案した評価式の精度を示す．決定係数が 0.98 と非常に高いことから，本研究で提案した評価式は十分な精度を有していると考える．

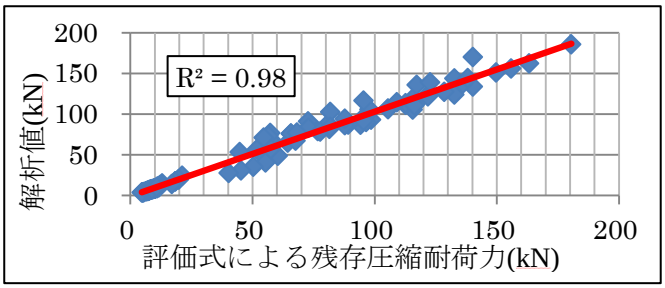


図 6 適用結果

5. 結論

実験および FEM 解析より，最大荷重点で全体座屈，後座屈挙動で局所的変形を観察した．また，座屈試験を FEM 解析で十分な精度で再現できた．そして，偏心量についてパラメトリックスタディを行い，偏心量が耐荷力にどの程度の影響を及ぼすか観察した．最後に，腐食鋼板の残存圧縮耐荷力評価式を提案し，その精度は非常に良好であることを確認した．

参考文献

1. 海田辰将，藤井堅，中村秀治：腐食したフランジの簡易な圧縮強度評価法，土木学会論文集，No.766/I-68，pp.59-71，2004.