

腐食を模擬した模型桁のせん断座屈実験

東京工業大学 学生会員 ポータンフン 東京工業大学 正会員 市川 篤司
 東京工業大学 正会員 佐々木 栄一 東京工業大学 フェロー 三木 千壽

1. はじめに：鋼橋が腐食すると、断面積減少や表面不整による応力集中などが原因となって橋の耐荷力が減少する。しかし、現在までのところ、その健全度を評価する手法は十分に確立されていない。そのため、腐食が比較的軽微でも架け替えと判定されてしまう場合がある。適切な維持管理を行うためには、その腐食に対する精度の高い評価と正しい対処法を確立することが重要である。そこで本研究では、実橋において比較的腐食し易い支点部近傍の腹板に着目し、そのせん断耐力について、腐食を模擬した模型桁のせん断座屈実験を行うとともに、FEM解析による検討を行った。

2. 腹板のせん断耐力の実験及び結果：

供試体の設計：本研究では、プレートガーダの支点部近傍の腹板のせん断耐力を把握することを目的に、文献 1) を参考にせん断座屈が発生するプロポーションになるように、供試体の設計を行った。腐食に関しては、腐食を模擬した供試体を用いた。すなわち、実橋における腹板の下フランジ付近の激しい腐食状態を再現するために、腹板の凸部側を凹部側より更に削って偏心が大きくなるように腹板下面から3分の1の範囲を、下フランジ上面で半分の板厚になるように切削した (No.2

(図-2))。また、製作したままの供試体 No.1 についても実験を行った。表-1 に使用した鋼材の材料特性を示す。

実験概要：载荷に先立ち、供試体の試験パネルウェブの初期不整、中心軸及び板厚データを測定した。測定は、超音波式板厚測定器を利用した。

せん断座屈実験は、図-1 に示すように供試体両端の2点を単純支持(ローラー支承)し、中央部の1点で载荷する形式で行った。実験には、600tf 試験機の油圧ジャッキを使用し、破壊に至るまで荷重を2.5tf ずつ漸増させて载荷した。なお、桁が横倒れ変形するのを防止するために、载荷ばりに座屈防止用治具を取り付けた。各荷重段階で、変位計と三軸ひずみゲージにより、変位とひずみを計測した。特に変位は、上フランジから下フランジまでの面外変位とウェブの横変形を、両側の試験パネルウェブの中央において7箇所計測した。

実験結果及び考察：図-3 は座屈後の状態を示す。両供試体ともせん断座屈形状は初期不整(図-4 および図-5 の0tf)に大きく依存しており、波形が徐々に進行していった(図

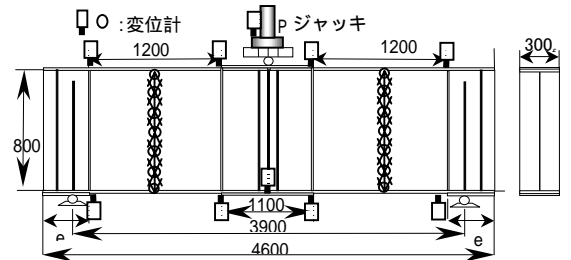


図-1 供試体及び実験概要

表-1 使用鋼材の材料特性(引張試験結果)

各部材	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)
フランジ	293	445
ウェブ・スティフナ	411	534

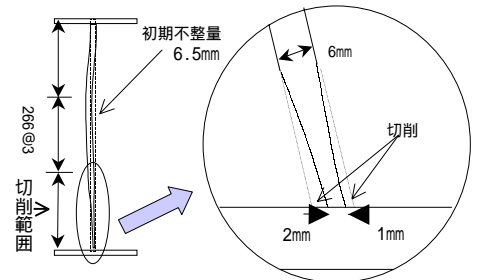


図-2 供試体の作製

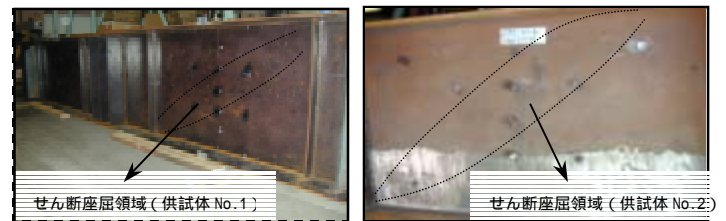


図-3 供試体のせん断座屈

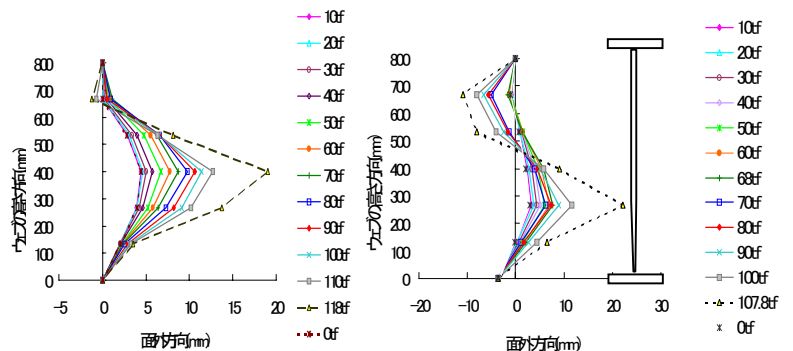


図-4 ウェブの面外変形 (桁 No.1)

図-5 ウェブの面外変形 (桁 No.2)

キーワード：鋼橋、腐食、表面不整、せん断耐力

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑ヶ丘 5 号館 3F TEL:03-5734-2596 FAX: 03-5734-3578

-5) 供試体 No.2 については座屈が急激に進行した。

図-6 に、荷重-載荷点変位の関係を示す。腐食を模擬した供試体 No.2 の最大荷重(107.8tf)は、供試体桁 No.1 の最大荷重(118tf)に比べ、10tf 程度低下している。パネルウェブ中央部の面外変位が急変する点から求めた腹板のせん断座屈荷重²⁾は、供試体 No.1 が 78.2tf、供試体 No.2 が 63.8tf であった。また、腹板の平均板厚を用いて腹板のせん断座屈応力度³⁾からせん断座屈荷重を $P_{cr} = 2V_{cr} = 2 \sigma_{cr} A_w$ およびせん断耐力 $P_u = 2V_u = 2 \sigma_u A_w$ (ここに A_w は腹板の平均断面積) から算出した計算値も示すが、実験結果に近い値となった(図-6)。

3. 腹板のせん断耐力の FEM 解析及び実験との比較：ここでは、FEM 解析の適用性について上記実験結果を検証し、それをもとに腐食の進行がせん断座屈耐力に及ぼす影響について検討した。

解析概要：本解析は、汎用プログラム ABAQUS を使用して FEM 解析を行った。メッシュは shell 要素で、主に正方形としている。試験パネルウェブではメッシュを 2cm x 2cm の正方形とした。また材料特性は、引張試験の結果から得られた応力-ひずみ曲線を多曲線近似したものをを用いた。解析は、以下に示す 4 つのケースを対象に行った。

- ケース 1：腐食していない桁 No.1 の解析
- ケース 2：腐食模擬して切削した桁 No.2 の解析
- ケース 3：桁 No.2 の板厚減少率を 1.2 倍したときの解析
- ケース 4：桁 No.2 の板厚減少率を 1.5 倍したときの解析

実験との比較及び及び考察：図-7 に供試体 No.1 及び供試体 No.2 の解析と実験の荷重-載荷点変位の関係を示す。この図からわかるように、解析のほうが実験に比べて最大荷重に達するまでの変位量が小さく、一方最大荷重は 10% 程度大きくなった。これは、解析において残留応力などを考慮していないことも原因の一つと考えられるが、残留応力はせん断耐力にほとんど影響を与えないという報告もあり¹⁾、今後の検討が必要である。

図-8 は、ケース 1~ケース 4 の最大荷重および座屈荷重について、解析結果、前述した平均板厚を用いた計算値および該当する実験値を比較したものである。この結果から、板厚減少により最大荷重および座屈荷重は低下すること、比較的座屈荷重の低下が大きいことがわかる。また、平均板厚を用いた計算値は解析結果とも比較的よく一致した。

4. 結論：本研究では、腐食を模擬した供試体を用いて実験及び FEM 解析により、腹板のせん断耐力を検討した。その結果、以下の点が明らかになった。

- 腐食による板厚減少が進行するにつれて、腹板のせん断座屈荷重及び最大荷重は低下する。
- 腹板の平均板厚を用いて算出した残存耐力は実験値と比較的よく一致した。ただし、その理由については明確ではなく、今後更に検討が必要である。

参考文献：

- 1)長谷川彰夫, 西野文雄, 奥村敏恵：水平補剛材を有するプレート・ガーダーのせん断耐力, 土木学会論文報告集第 235 号, 1975.3.
- 2)中井博, 総田完治, 阪野雅則：プレート・ガーダー端支点上補剛材の耐力の実験と解析, 構造工学論文集 Vol.1.33A, 1986.3.
- 3)Galambos, T.V.: Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, Wiley Interscience, 1988.

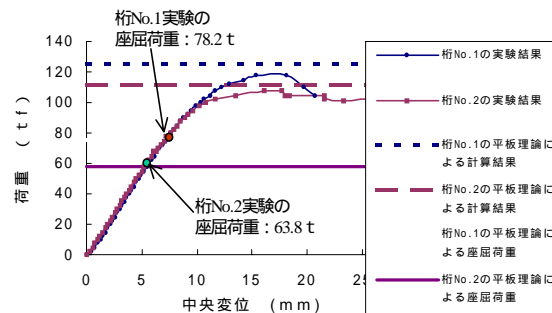


図-6 荷重 - 変位の関係

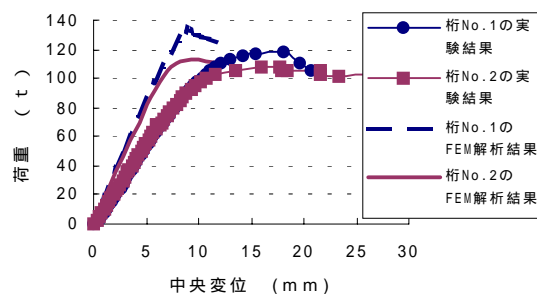


図-7 FEM 解析及び実験の P-δ 曲線

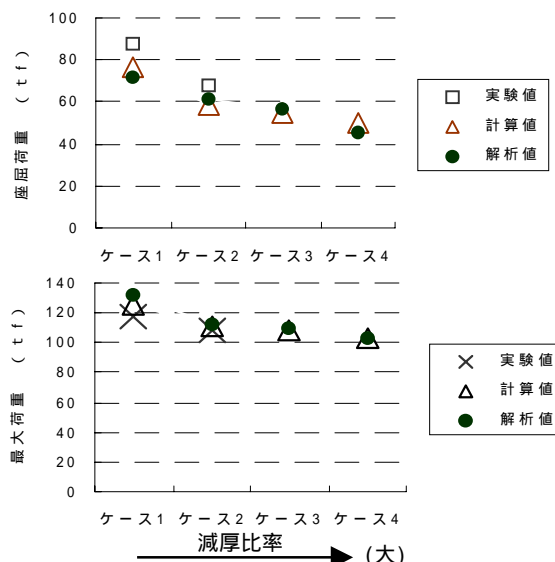


図-8 板厚減少比率 - 最大荷重・座屈荷重の関係