

腐食したプレートガーダーの残存曲げ強度に関する実験的研究

An experimental study on remaining bending strength of corroded plate girder

海田 辰将*, 藤井 堅**, 宮下 雅史***, 上野谷 実****, 中村 秀治*****

Tatsumasa Kaita, Katashi Fujii, Masashi Miyashita, Minoru Uenoya, Hideharu Nakamura

*工博, 高知工業高等専門学校助手, 建設システム工学科 (〒783-8508 高知県南国市物部 200 番 1)

** 工博 広島大学大学院助教授, 工学研究科 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1 丁目 4 番 1 号)

*** (株) 浅沼組, 土木部工事課 (〒543-8688 大阪市天王寺区高津町 12-6)

**** 工博 福山大学工学部教授, 建設環境工学科 (〒729-0292 広島県福山市学園町 1 番地三蔵)

***** 工博 広島大学大学院教授, 工学研究科 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1 丁目 4 番 1 号)

This paper presents the remaining bending strength and ultimate behavior of corroded plate girder, whose collapse is due to the torsional buckling of compressive flange. Bending tests were conducted for two plate-girder specimens made of scrapped plate girders, which was constructed about 100 years ago. Before bending tests, roughness of corroded surface was measured by 3-D portable measurement system, which can measure the coordinate value of the surface directly. Experimental results showed that the remaining bending strength was determined by the collapse of flange torsional buckling triggered due to severe corrosion. And the bending strength decreased about 20-24% than that of the corrosion-free girder. Moreover, applicability of the estimation method of remaining strength already proposed was also investigated, and it is concluded that the method can be applicable to corroded plate girder.

Key Words: corrosion, plate girder, torsional buckling, bending strength, maintenance

キーワード: 腐食, プレートガーダー, ねじれ座屈, 曲げ強度, 維持管理

1. はじめに

近年, 鋼構造物の腐食損傷事例が多数報告されるようになった^{1), 2)}. しかし, 発見された腐食損傷に対する評価あるいはその後の対処に関する判断基準などは十分に確立されていないのが現状である.

腐食は構造物の周辺環境や構造形式, 部位等によって程度や形態は異なるが, 適切な維持管理を行わなければ, いずれは耐力不足や剛性不足など構造物にとって危険な状態を引き起こすことになる. 他方では, 昨今の社会経済情勢を反映して構造物の長寿命化や延命化, ライフサイクルコストミニマムなどが強く要求されるようになりつつあり, 腐食に対する既設鋼構造物の維持管理の重要性は, 今後さらに高まることが予想される.

腐食した鋼構造物の維持管理では, 腐食した構造物あるいは部材の現時点における残存強度を正確に評価することが不可欠であることはいままでもない. 著者らはこれまでに, 正確な強度評価のためには腐食表面の凹凸状態と部材が受ける応力状態が重要であるとの観点から, 引張り(繰返し), 圧縮, せん断などの種々の応力状態における腐食鋼板あるいは桁の残存強度の解明を試みてきた³⁾⁻⁷⁾. しかし, 腐食鋼材の残存強度については, 載荷実験のみならず腐食した鋼表面の凹凸状況の測定に大変な労力を要

するために, 実験データを得るのは容易ではなく, 今後より多くの実験, 測定あるいは解析資料の蓄積が期待される場所である⁸⁾⁻¹⁰⁾.

ところで, 腐食したプレートガーダーの残存曲げ強度については, 人工的に作成した腐食表面をフランジなどに考慮し, 立体要素を用いた桁全体の強度解析による研究が野上¹¹⁾や森ら¹²⁾によって行われているが, 実際に腐食したプレートガーダーの曲げ実験を行った研究例は少なく, これまでのところ, 建設省土木研究所で行われた腐食した梁部材の曲げ強度実験¹³⁾だけである. 文献 13) では, 実験結果に基づき, 梁が水平座屈(横倒れ)を起こすときの曲げ強度について, 腐食箇所の平均板厚を用いた評価法が提案されているものの, 十分な精度で残存強度を推定する手法はまだ確立されていない. また, 実際のプレートガーダーでは, 支承部周辺の下フランジなど, 通気性の悪い局所的なパネルにおいて腐食が進行するケースが多いことから, これに対応して腐食損傷を受けた局所的なフランジのねじれ座屈に起因した桁の崩壊が懸念される.

そこで本研究では, 約 100 年供用後, 著しい腐食による耐力低下が懸念されたために撤去された鋼プレートガーダーから 2 体の供試体を作成して曲げ実験を行い, とくに圧縮フランジに顕著な腐食損傷が認められる場合の, 終局曲げ挙動と保有曲げ強度について調査する. さらに, すで

り出したままの状態でご試体として使用すると、圧縮フランジの座屈に起因する崩壊とは別の崩壊形式（例えば引張フランジの降伏）となることも懸念されたため、供試体 A,B ともに上フランジを新しい鋼板に交換することとした。このとき、腐食したプレートガーダーのウェブとフランジは L 型鋼を介したリベット接合により組立られていたので、フランジ側のリベットをドリルにて削孔、除去してフランジを取り外した後、新規フランジと元の L 型鋼を高力ボルトにて再度接合した。新規に交換したフランジの材料特性を表-1 に示す。上フランジに用いた新規鋼板の板厚は 19mm（供試体 A）および 12mm（供試体 B）である。載荷は、上フランジ（新規鋼板）が引張側、腐食をそのまま残した下フランジが圧縮側となるよう曲げモーメントを作用させた。

図-1 に示すように、本供試体の着目パネルは、鉛直補剛材で挟まれた供試体中央 700mm の区間とした。この着目区間にある圧縮フランジを、ウェブを境として 2 つの側に分けて区別し、図-1 に示すようにそれぞれ A1,A2 および B1,B2 と呼ぶことにする。

供試体 A では、既存の鉛直補剛材（L 型鋼）に板厚 19mm の鋼板（SS400）を高力ボルトで添接して補強するとともに、もう一方の鉛直補剛材は L 型鋼と鋼板を用いて新規に高力ボルトで取り付けた。一方、供試体 B の鉛直補剛材は、いずれも L 型鋼と鋼板を用いて新規に取り付けている。

また、供試体を切り出す前のプレートガーダーの支間中央では、断面積を増して曲げモーメントに抵抗するために、フランジにカバープレートが取り付けられていたが、ここから切り出した供試体 B のフランジは、リベットを削孔して除去してカバープレートを取り外し、既存のリベット孔を利用して再び高力ボルトで L 型鋼とフランジを接合した。

プレートガーダーの材料特性を明らかにするために、フランジとウェブのから切り出して作成した試験片（両面平滑仕上げ）の引張試験を行った。表-2 に引張試験から得た材料特性を示す。表から、鋼材の材料特性としてはほぼ SS400 と同等であることがわかる（鋼種はベッセマー鋼¹⁶⁾と考えられる）。

2.2 腐食表面形状の測定

(1) 測定方法

供試体を加工後、錆を除去し、下フランジおよびウェブの腐食表面形状を測定した。測定範囲は図-1 に影付きの領域で示している着目区間である。表面の錆や塗装は、腐食表面の凹凸状況を変化させないように配慮し、細砂を含む高圧水を噴射する方法によって除去した。測定には、ポータブル 3 次元計測システムを採用した。本測定器は、6 つの関節を有する 3 本のアーム先端に取り付けたプローブを手動で鋼表面に沿わせ、表面の 3 次元座標を取得するものであるが、今回の測定では、これまでに著者らが用いてきた接触式のプローブ⁹⁾ではなく、非接触式のレーザーラ



写真-2 レーザーラインプローブ（非接触式）による腐食表面形状の測定

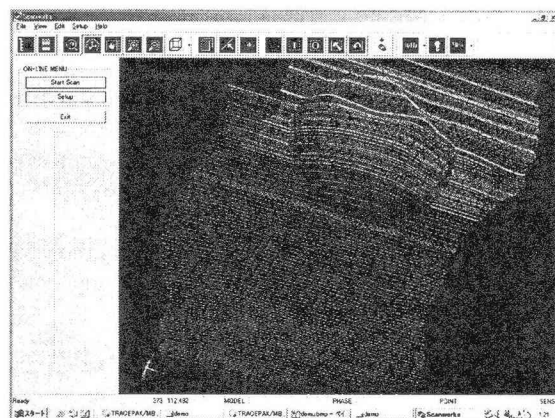


図-2 腐食表面の測定データ

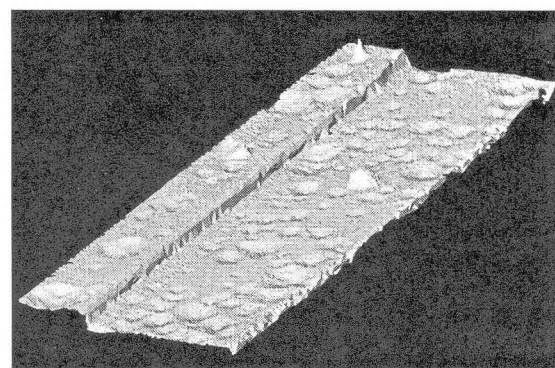


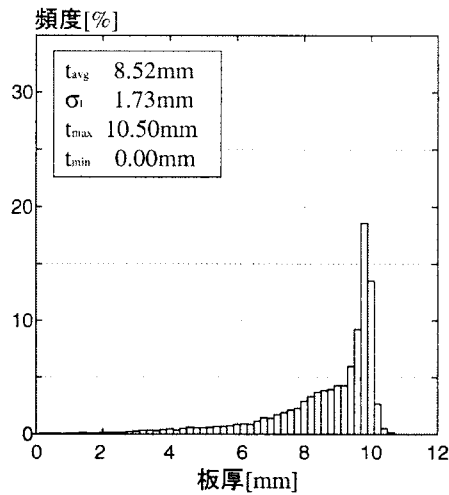
図-3 測定データによるフランジ A1 の 3D 表示

インプローブを新たな試みとして採用した。このプローブは、レーザー変位計と同じ原理で鋼表面の座標を取得するが、レーザー光が約 100mm の幅を持っていることが最大の特徴であり、広範囲の座標値を細かい間隔で測定できるため、詳細な測定が可能であるとともに、測定の労力を大幅に軽減できる。測定は、下フランジに原点を設け図-1 に示すような座標系を用いて行った。

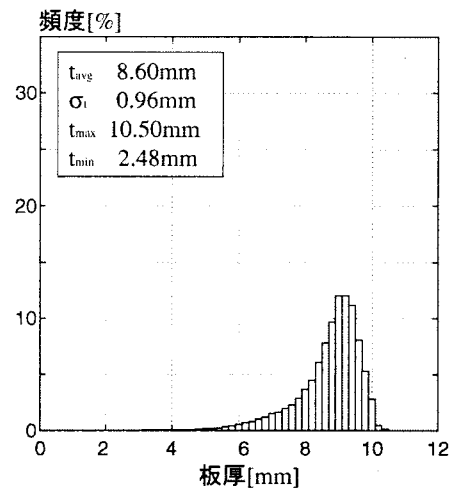
写真-2 にレーザーラインプローブによる測定の状況を示す。本プローブによって測定される座標値データは、図-2 に示すように細かいピッチで線状に並んだ点データとして取得される。1 本の測定線（レーザーライン）上にお

表-3 板厚測定結果

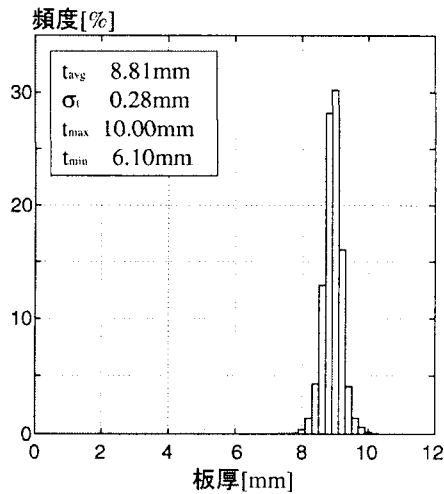
		健全時板厚 t_{max} [mm]	平均板厚 t_{avg} [mm]	平均腐食量 Z_{avg} [mm]	最小板厚 t_{min} [mm]	標準偏差 σ_t [mm]
供試体 A	ウェブ	10.50	9.89	0.61	8.47	0.16
	フランジ A1	10.50	8.52	1.98	0.00	1.73
	フランジ A2	10.50	8.60	1.90	2.48	0.96
供試体 B	ウェブ	10.50	9.75	0.76	8.39	0.16
	フランジ B1	10.00	8.81	1.19	6.10	0.28
	フランジ B2	10.00	8.12	1.88	3.43	0.68



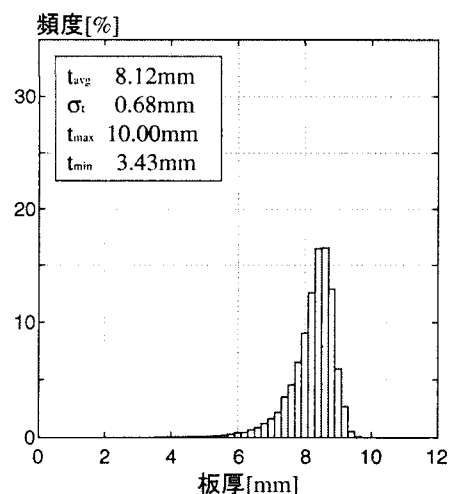
(a) A1



(b) A2



(c) B1



(d) B2

図-4 フランジの板厚ヒストグラム

ける点データの取得間隔は約 0.1mm、レーザーラインの間隔は約 0.5～1mm である。このプローブを測定領域内で複数回往復させることでデータの取得密度がより向上する。今回の測定データ数は、フランジ 1 パネルの片面で約 500 万点である。なお、取得された座標値の測定誤差は最大で $\pm 0.1\text{mm}$ であった。

図-3 に全測定データを用いて腐食表面形状を数値的に再現した一例を示す。図から、フランジ表面の孔食やリベット頭部の腐食の様子が詳しく測定できていることがわ

かる。

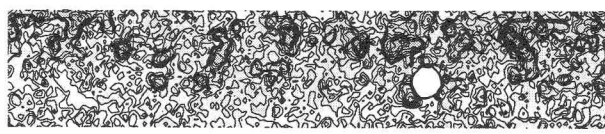
腐食表面の座標データは、文献 6)と同様の方法で、データの場所的な偏りを無くし、2mm メッシュの等間隔データに修正した。その後、鋼板両面の板厚方向における座標値の差から 2mm メッシュ点での板厚を求め、偏心量は板厚中央の座標値を用いて算出した⁶⁾。なお、算出された板厚は、 $\pm 0.3\text{mm}$ 程度の誤差を有している。

(2) 腐食表面測定結果とその特徴

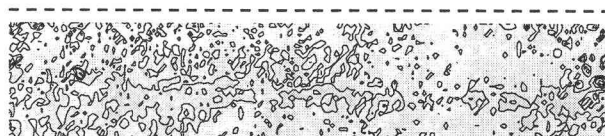
表-3 に板厚測定結果を示す。表中、供試体 A,B とともに



(a) A1



(b) A2



(c) B1



(d) B2

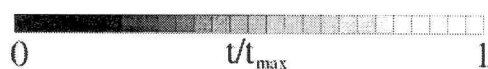


図-5 フランジの板厚等高線図



写真-3 載荷装置

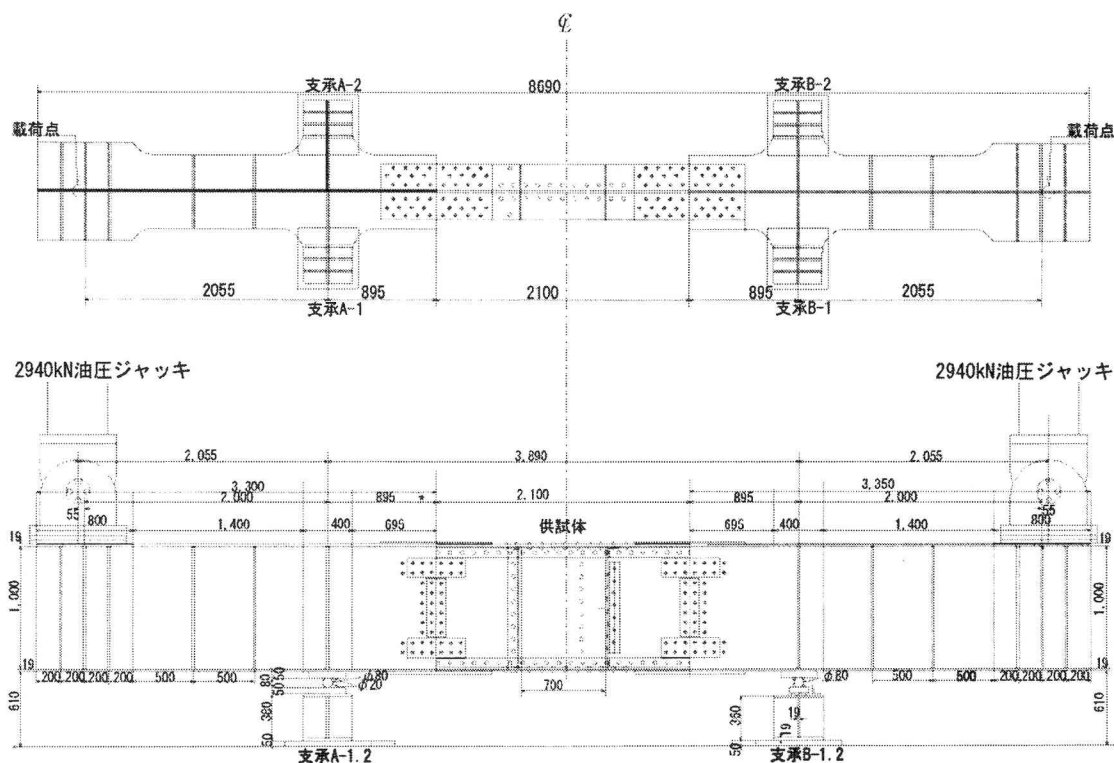


図-6 セットアップした供試体および載荷装置の概略図

フランジの方がウェブよりも平均腐食量、標準偏差の値ともに大きいことがわかる。また、供試体 A と B のフランジを比較すると、供試体 A の方が B よりも腐食が進んでおり、標準偏差が大きい。これは、供試体 A が桁端に近い場所にあり、支間中央部よりも腐食が進行しやすい環境にあったためと考えられる。

図-4 に供試体フランジの板厚ヒストグラムを、図-5 に板厚等高線図をそれぞれ示す。図-5 で、フランジ A1 および A2 における図中の丸い空白は、リベット頭部を示しており、この部分の板厚データは、図-4 あるいは平均板厚などの統計量の算定には用いていない。また、図-5 中の破線は、ウェブの接合辺との位置関係を示している。これらの図が

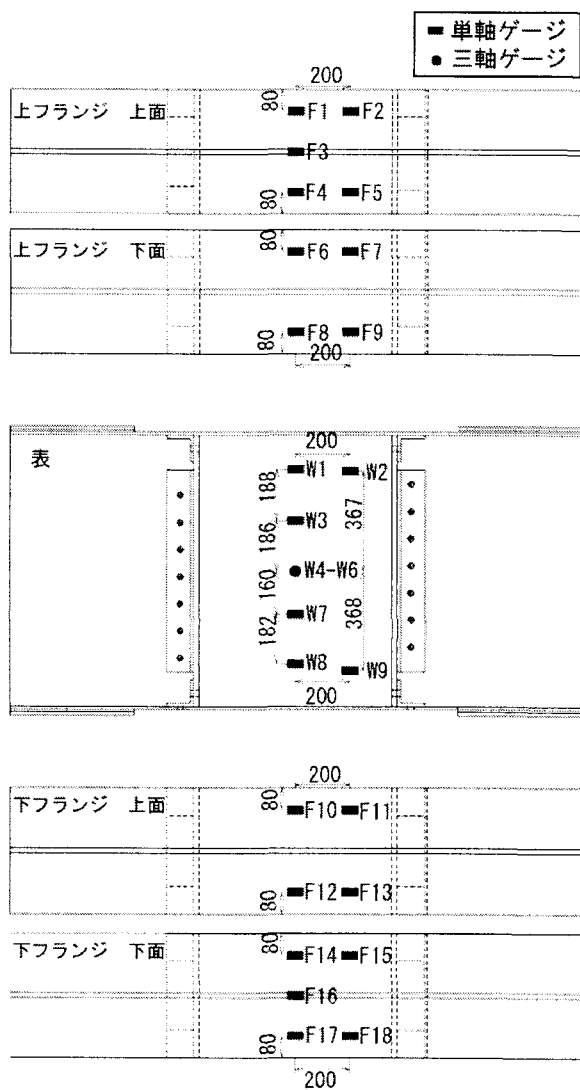


図-7 ひずみゲージの配置

ら、供試体 B のフランジでは B2 において若干孔食の影響がみられるものの、B1, B2 ともにほぼ同程度の腐食が表面全体に分布しているのが確認できる。さらに、図-4 と対応させると、標準偏差が小さく、腐食の進んでいない鋼板ほど、ヒストグラムの形状は最大頻度が大きく、板厚の分布幅も狭くなっていることがわかる。

供試体 A については、供試体 B よりもかなり腐食が進んでおり、フランジ A1 と A2 では腐食形態が大きく異なっている。すなわち、フランジ A1 では孔食によって孔が開くほど腐食の進んでいるが、同時にほとんど腐食していない箇所も多く残されている。

以上の結果から、ほぼ同程度の腐食がフランジの全面に分布しているような腐食形態 (A2, B1, B2) では板厚ヒストグラムにおいて、平均板厚付近に最大頻度が現れるが、多数の孔食がを有する腐食形態 (A1) のような場合には、最大頻度が最大板厚付近に偏るという統計的特徴がみられる。

2.3 荷重方法および測定装置

写真-3 および図-6 にセットアップした供試体および荷重装置を示す。荷重は、供試体と供試体両端に配置した曲げ荷重桁をフィラープレート (供試体と荷重桁の板厚差を

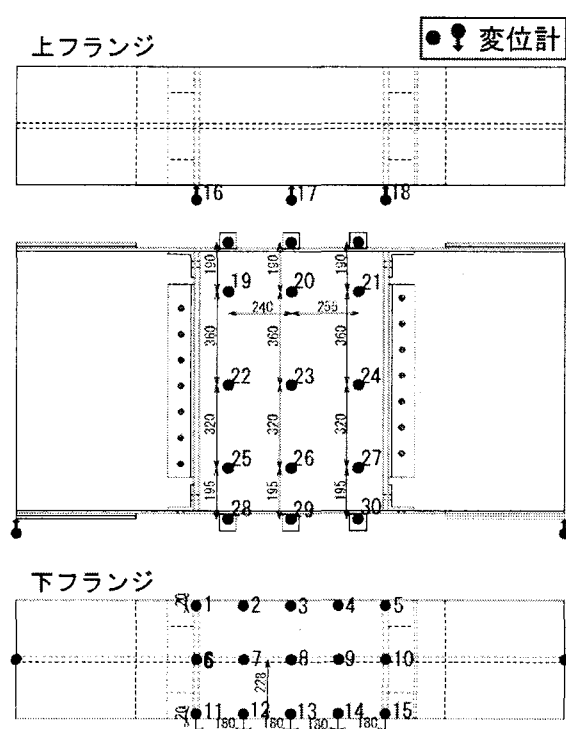


図-8 変位計の配置

無くすために配置した) を介して高力ボルト接合¹⁷⁾ し、2940kN の荷重能力を有する油圧ジャッキ 2 基により、図-6 に示すように荷重桁の両端に荷重した。荷重点と支承 A, B までの距離は 2.055m に設定し、支承間で等曲げモーメント (=荷重×2.055m) を発生させた。荷重は、ジャッキに取り付けたロードセルによって測定し、両ジャッキの荷重値が等しくなるように制御しながら徐々に増加させた。荷重は、供試体が降伏するまでは、5~20kN 程度の荷重増分制御、降伏後は荷重点鉛直変位を 0.5mm とする変位制御により荷重し、荷重が落ち着くのを待って変位、ひずみを測定した。

図-7 にひずみゲージの貼り付け位置を示す。ひずみは図に示す位置でウェブおよびフランジそれぞれの両表面に単軸ゲージを貼り付け、その平均値をもって軸ひずみとした。また、ウェブには 3 軸ロゼットゲージを貼り、ウェブ中央のせん断ひずみも応力状態の検証のために求めた。

図-8 に変位計の設置位置を示す。圧縮フランジには、試験パネル区間内の橋軸方向に 5 列、橋軸直角方向に 3 列の配置し、圧縮フランジの座屈にともなう面外たわみを測定した。また、ウェブの面外たわみのほかに上下フランジの自由辺に 6 つの変位計 (図-8 で No.16~18, No.28~30) を取り付けて供試体のねじれ角を測定した。また、支承部にも変位計を設置して支点沈下量を測定し、供試体のたわみを補正した。なお、以下では、図-7 および図-8 に示す番号を用いて、ひずみや変位の測定位置を示す。

3. 実験結果と考察

3.1 終局曲げ挙動

図-9 に荷重-桁たわみ関係を示す。図-9 中、縦軸はジャッキ 2 基の荷重値の平均、横軸は桁の鉛直たわみ (変位計 No.8) を示す。図-9 には、作成された供試体のフランジ降

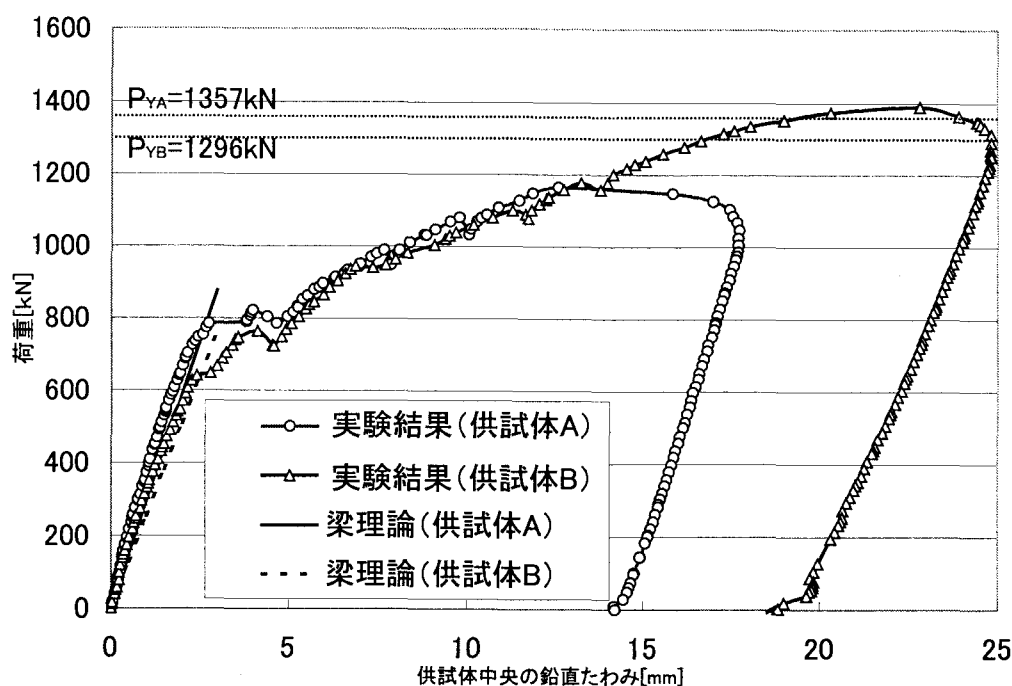
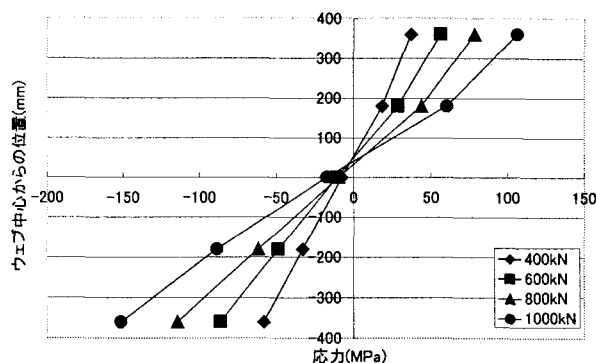
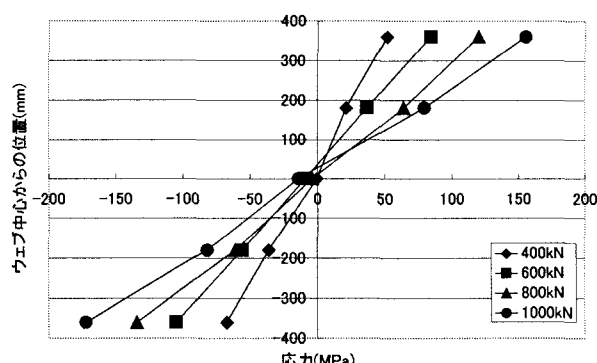


図-9 荷重-たわみ関係



(a) 供試体 A



(b) 供試体 B

図-10 供試体の曲げ応力分布

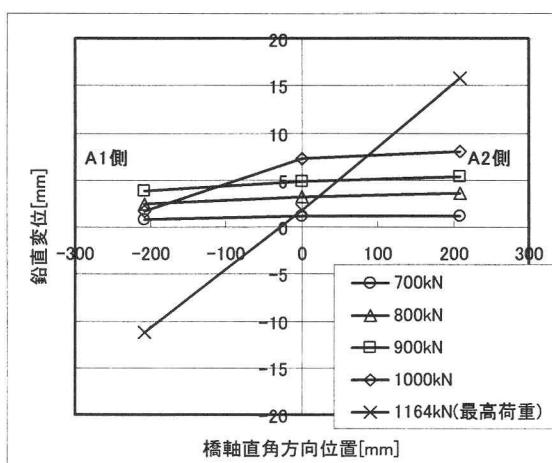
伏モーメントに対応する荷重 (P_{YA} , P_{YB} はそれぞれ供試体 A および供試体 B に対応する) と、腐食減肉を考慮して梁理論から算出した供試体の荷重-たわみ関係も併せて示す。なお、本供試体は上下非対称断面であり、圧縮フランジも腐食減肉しているため、図-10 に示すように中立軸は若干引張側に移動している。図-9 から、供試体 A, B ともに荷重 800kN 付近でたわみが急増し、桁の剛性が低下しているのがわかる。これは、いずれの供試体も荷重 800kN ではウェブの縁応力は降伏に達していないこと (図-10 参照) から、圧縮フランジの座屈が生じたためと考えられる。その後、最高荷重まで、両供試体ともにほぼ同じ傾きで荷重は増加し、終局状態では圧縮フランジのねじれ座屈が目視で観察できた。なお、供試体 A の最高荷重は $P_u=1164\text{kN}$ (終局曲げモーメント $M_u=2393\text{kN}\cdot\text{m}$)、供試体 B の最高荷重は $P_u=1389\text{kN}$ ($M_u=2854\text{kN}\cdot\text{m}$) であった。

ところで、腐食前の板厚 (測定された板厚の最大値であり、表-3 に示す) を用いて梁理論から健全時の桁の初期降伏モーメントを算定すると、それぞれ供試体 A :

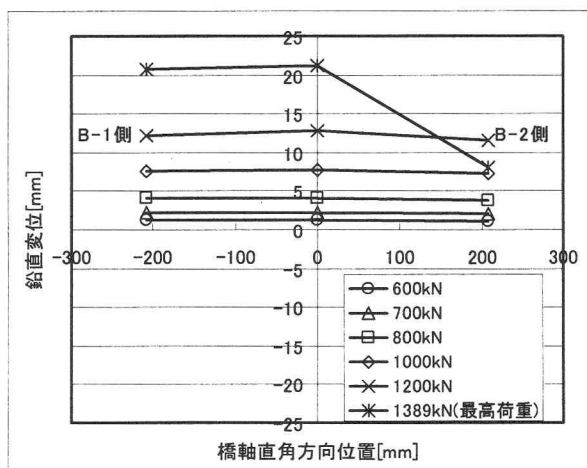
$M_Y=2821\text{kN}\cdot\text{m}$ 、供試体 B : $M_Y=2771\text{kN}\cdot\text{m}$ となる。これと実験から得られた桁の初期降伏モーメント (供試体 A : $2148\text{kN}\cdot\text{m}$ 、供試体 B : $2235\text{kN}\cdot\text{m}$) を比較すると、フランジの座屈による本プレートガーダーの曲げ強度は、約 100 年間で 20~24% 程度低下したと推察される。ここで、実験結果における初期降伏モーメントは、供試体フランジ表面に貼り付けたひずみゲージの値から求めている。

3.2 フランジのねじれ座屈

図-11 に各荷重段階におけるフランジの面外たわみ (鉛直変位) を示す。供試体 A では、図-5(a) に示すように、フランジ A1 の鉛直補剛材付近に大きな局部腐食があり、この位置の面外たわみが急増して、写真-4(a) に示すような局部的な座屈が生じた。一方、フランジ A2 の面外たわみは、荷重が 1000kN 付近では、まだフランジ A1 ほど大きな面外たわみは現れなかった。最高荷重付近になると A1 だけでなく A2 の面外たわみも増加し、図-11(a) に示すように、フランジ全体が直線的に大きくねじれて崩壊した。

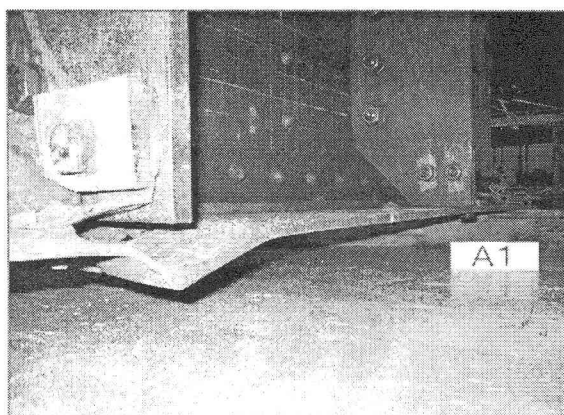


(a) 供試体 A (変位計 No.5,10,15)

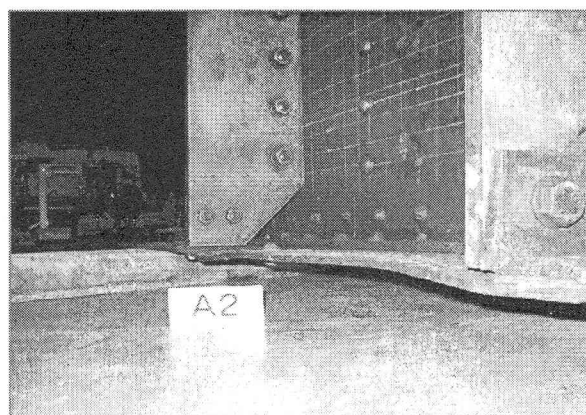


(b) 供試体 B (変位計 No.3,8,13)

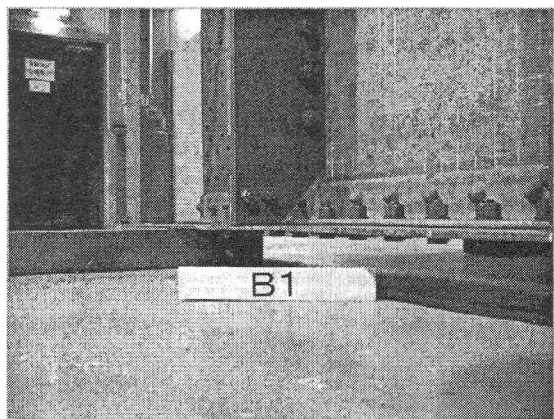
図-11 フランジのねじれ挙動



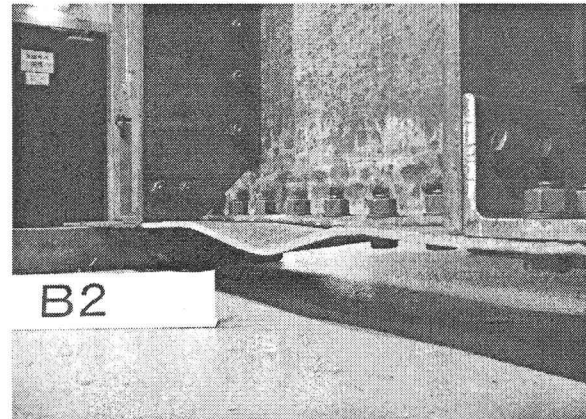
(a) A1



(b) A2



(c) B1



(d) B2

写真-4 フランジの座屈崩壊性状

供試体 B では、図-11(b)に示すように、フランジ B1 よりも B2 の面外たわみが卓越する形で崩壊した。このとき、フランジ B2 は写真-4(d)に示すように、自由端中央部と鉛直補剛材付近でそれぞれ異なる方向に面外たわみが発生している。

溶接によって製作されたプレートガーダーでは、フランジとウェブの接合辺が単純支持に近いので、ねじれ座屈が発生すると、この接合辺を支点として、フランジ

全体が直線的に傾く（ねじれる）形で崩壊することが知られている^{14),15)}が、今回の供試体では必ずしもこのような崩壊形式ではなく、どちらか片側のフランジが大きくねじれて崩壊している。これは、本供試体が L 型鋼を用いてリベットあるいは高力ボルト接合によって組立られているために、ウェブとの接合辺における L 型鋼によってフランジのねじれが拘束されたことによる。また、どちらか片方の突出フランジが先行して座屈した後は、ウェブとの接合辺

表-4 強度推定結果（ウェブ接合辺：単純支持）

フランジ	代表板厚 t_R [mm]	e_{avg}/t_{avg}	幅厚比パラメータ R	σ_u/σ_y	M_u (推定値) [kN・m]	M_u (実験値) [kN・m]
A1	11.98	2.08	1.19	0.80	2157	2392
A2	10.52	1.17	1.36	0.70	1887	
B1	9.37	0.06	1.53	0.67	1948	2855
B2	9.46	0.40	1.52	0.67	1948	

にある L 型鋼がかなりの応力を負担していることも推察される。

4. 腐食したプレートガーダーの曲げ強度評価

ここでは、まず圧縮フランジのねじれ座屈強度を推定し、その結果を用いて梁理論より腐食したプレートガーダーの終局曲げモーメントを評価する。ここで、圧縮フランジのねじれ座屈強度に関しては文献 5) にて著者らが提案した方法を適用する。本研究で提案する腐食したプレートガーダーの曲げ強度評価法の概要を以下に示す。

- ① 供試体の圧縮フランジ A1,A2,B1,B2 における平均板厚 t_{avg} 、標準偏差 σ_t および平均偏心量 e_{avg} を求める。
- ② 文献 5) で示した座屈強度評価法に従い、代表板厚 $t_R = t_{avg} + 2\sigma_t$ を用いて幅厚比パラメータ R を計算し、腐食の無い鋼板の座屈強度曲線からそれぞれの圧縮強度 σ_u/σ_y を求める。ここで用いた座屈曲線は、残留応力を考慮しないで（溶接橋に比べてリベット橋では残留応力の影響が極めて小さいと考えられるため）腐食の無いフランジの圧縮強度を有限要素解析から求めたものである。
- ③ 各供試体フランジの圧縮強度 σ_u/σ_y を用いて梁理論から終局曲げモーメント M_u を、次式で算定する。

$$\sigma_u = \frac{M_u}{I} y \quad (1)$$

ここで、 y : 中立軸からフランジまでの距離、 I : 断面 2 次モーメントであり、断面諸量や中立軸の位置の計算にはフランジおよびウェブの平均板厚を用いる。

上記の手順により各供試体の終局曲げモーメントを推定した結果を表-4 にまとめて示す。なお、表中の平均偏心量 e_{avg} は、腐食表面形状の測定より得られた板厚中央面から推定した。その概念を示せば、図-12 のようになる。図は、橋軸方向(X 方向)の各断面における板厚中央値の変動を示したものである。図に示すように、平均偏心量はフランジ両端の板厚中央面を荷重作用面として、板厚中央の平均値との差から算出した。したがって、この平均偏心量は腐食による板厚中央面の凹凸のみならず初期たわみまでも含んだ初期不整量である。表から、本評価法による終局曲げモーメントの推定結果は、実験結果より低い結果となった。このことから、本強度評価法を、リベット接合されたプレートガーダーに適用した場合、安全側の評価が可能といえる。

板厚中央のZ座標平均値[mm]

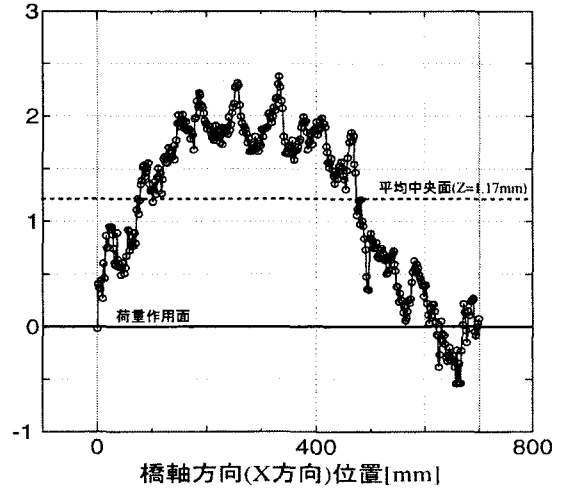


図-12 フランジ A2 の平均偏心量

すでに 3.2 で述べたように、本供試体のようなリベット橋ではウェブとフランジの接合辺では L 型鋼がフランジの回転を拘束していると考えられる。したがって、本供試体のような場合には、フランジの境界条件を 3 辺単純支持 1 辺自由とすると、終局モーメントを低く評価することになる。そこで、ウェブとフランジの接合辺を固定端と見なして（2 辺単純支持 1 辺固定 1 辺自由）強度推定を行った結果を表-5 に示す。表では、幅厚比パラメータは全て $R < 1$ となるためにその圧縮強度は $\sigma_u/\sigma_y = 1$ となり、終局曲げモーメントも実験結果より高い値となった。このことから、リベット接合されたプレートガーダーの曲げ強度は、ウェブとフランジの接合辺において、単純支持と固定支持の中間的な値となっているのがわかる。

これらの結果からだけでは必ずしも十分な検討はできなかったものの、溶接橋の場合にはフランジとウェブの接合辺が単純支持に近いので、本強度評価法は今回のようなリベット橋よりも近い推定値を与えるものと推察される。今後、腐食した溶接橋を用いた曲げ強度実験を行い、本強度評価法の適用性について検討を行う必要がある。

5. 結論

本研究では、実際に供用後撤去されたプレートガーダーの曲げ強度実験を行い、腐食したプレートガーダーの終局曲げ挙動を調べたとともに、すでに提案している腐食したフランジの圧縮強度評価法を用いて、腐食したプレートガーダーの曲げ強度評価法の適用性について検討した。本研究によって得られた知見をまとめると以下ようになる。

表-5 強度推定結果（ウェブ接合辺：固定支持）

フランジ	代表板厚 t_R [mm]	幅厚比/パラメータ R	σ_u/σ_y	M_u (推定値) [kN・m]	M_u (実験値) [kN・m]
A1	11.98	0.69	1.0	2698	2392
A2	10.52	0.79	1.0	2687	
B1	9.37	0.88	1.0	2908	2855
B2	9.46	0.87	1.0	2908	

- (1) 今回行った腐食プレートガーダーの曲げ実験では、フランジの腐食部でフランジのねじれ座屈が発生して崩壊した。この意味で、圧縮フランジの腐食は桁の残存曲げ強度に大きく影響すると考えられる。
- (2) 今回実験を行ったプレートガーダーは、フランジの初期降伏モーメントで比較すると、約 100 年間の供用期間中に 20～24%程度曲げ強度が低下したと推察される。
- (3) 腐食表面形状の測定に、非接触式のレーザーラインによる方法を採用した。これによって、短時間で詳細な測定が可能となり、作業効率を大幅に改善できた。
- (4) 腐食したフランジの圧縮強度評価法を用いて、ねじれ座屈に起因する腐食プレートガーダーの曲げ強度を推定した結果、L型鋼を用いてリベット組立された腐食プレートガーダーの曲げ強度は、推定結果よりも大きくなった。それは、L型鋼がフランジの回転（ねじれ角）をかなり拘束することに起因すると考えられる。
- (5) 本強度評価結果は、本供試体のようなリベット橋の終局曲げ強度と比較すると、低い値となった。

謝辞

本研究は中国電力技術研究財団の試験研究助成を受けて行った。また、腐食表面の測定では技術的な助言など、ミットヨ（株）および豊穰技研（株）の多大な御協力を賜った。さらに、載荷に際し福山大学ハイテク・リサーチセンターの協力を頂いた。ここに記して心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 名取暢：鋼橋の腐食事例とその対策，第1回鋼構造物の維持管理に関するシンポジウム資料集，pp.63-70,1999.
- 2) 名取暢，西川和廣，村越潤，大野崇：鋼橋の腐食事例調査とその分析，土木学会論文集，No.668，pp.299-311,2001.1.
- 3) 村中昭典，皆田理，藤井堅：腐食鋼板の表面形状と残留耐力，構造工学論文集，Vol.44A，pp.1063 -1071，1998.
- 4) Fujii, K., Satoh, M., Minata, O., Ohmura, H. and Muranaka, A., :A Proposal on Effective Thickness for Evaluation of Buckling Strength of Corroded Steel Plate, *Proc. of the 5th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, pp.2105-2110, 1995.
- 5) 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.59-71，2004.7.
- 6) 海田辰将，藤井堅，原考志，中村秀治：腐食鋼板のせん断耐力とその評価法，構造工学論文集，Vol.50A，pp.121-130，2004.3.
- 7) Kaita, T. & Fujii, K.: Buckling Strength Evaluation of Corroded Flange of Plate Girder, *System-based Vision for Strategic and Creative Design*, pp.885-891.2003.9.
- 8) 松本勝，白井義朗，中村幾雄，白石成人：腐食鋼板の有効板厚評価法の一提案，橋梁と基礎，Vol.23，No.12，pp.19-25，1989.
- 9) Z. Sadovsky and M. Drdacky :Buckling of plate strip subjected to localised corrosion - a stochastic model, *Thin-Walled Structures*, Vol.39, pp.247-259, 2000.
- 10) A.F.Mateus and J.A.Wits :Post-buckling of corroded steel plates, An assessment of the design codes, *Proc. of BOSS'97*, Vol.3,pp.3-17,1997.
- 11) 野上邦栄，山沢哲也，小栗友紀，加藤美幸：腐食減厚に伴う合成I桁及びI断面柱の残存耐力評価に関する一考察，構造工学論文集，Vol.47A，pp.93-102，2001.
- 12) 森猛，渡辺一，正井資之：腐食した鋼板の表面形状シミュレーションと腐食鋼桁の曲げ耐力，構造工学論文集，Vol.49A，pp.675-686，2003.
- 13) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室，（社）日本橋梁建設協会：橋梁部材の腐食に対する健全度評価手法に関する共同研究報告書－腐食橋梁部材の耐力実験一，第149号，1996.
- 14) Basler, K. and Yen, B.T. :WEB BUCKLING TESTS ON WELDED PLATE GIRDERS, *Welding Research Council Bulletin*, No.64, Sept., 1960.
- 15) Basler, K. and Thurlimann, B. :STRENGTH OF PLATE GIRDERS IN BENDING, *Proc. of ASCE*, Vol.87, No.ST6, pp.153-181, Aug., 1961.
- 16) 社団法人 日本鋼構造協会：既設鋼橋部材の耐力・耐久性診断と補修・補強に関する資料集（鋼橋の維持管理とそれを支える要素技術），JSSC テクニカルレポート，No.51，2002.
- 17) 名取暢，西川和廣，村越潤，大野崇：腐食部材の添接板補強に関する研究，土木学会論文集，No.682/I-56，pp.207-224，2001.7.

(2004 年 9 月 17 日受付)