

腐食鋼部材の腐食形状計測と曲げ耐荷力実験

Measurements of corrosion shape and bending experiments of steel corroded members

山沢 哲也*・野上 邦栄**・森 猛***・塚田 祥久****

Tetsuya YAMASAWA, Kuniei NOGAMI, Takeshi MORI and Yoshihisa TSUKADA

* 工修 首都大学東京 助手 都市環境学部都市基盤環境コース (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

** 工博 首都大学東京 准教授 都市環境学部都市基盤環境コース (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

*** 工博 法政大学 教授 工学部都市環境デザイン学科 (〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2)

**** 工修 (株)建設技術研究所 大阪本社 道路・交通部 (〒540-0008 大阪市中央区大手前 1-2-15)

It is very important to evaluate the remaining strength of corroded steel member for adequate bridge management. Although many studies have been made on the strength of steel bending members, there are several numerical studies and little is known about the strength of corroded members. The purpose of this study is to grasp the corrosion shapes of steel corroded members and to make it clear what kind of corrosion shape reduces to the remaining strength.

We measured the corrosion shape and the amount of corroded volume by the laser displacement instrument. We measured 5 corroded steel members and the both side of flanges or web. These specimens have been used as a member of trussbridge which located at estuary for over 40 years. A saw-shaped corrosion in the flange and defect over the half of the thickness were observed.

The result of the experiments indicated a decrease in the remaining strength with the degree of the corrosion. The corrosion shapes govern a collapse mode but the ultimate remaining strength is almost proportional to the average corroded ratio.

Key Words : corrosion, bending member, strength, remaining capacity, bending experiment

1. はじめに

近年、社会資本のひとつである土木構造物の蓄積は膨大になり、また戦後の高度成長期に建設された構造物の多くが、まさに建設後40年を経過しようとしており、その経年劣化が進行している¹⁾。鋼構造物の二大劣化要因である腐食と疲労現象は、併せて自動車交通量の増大や大型化などの構造物をとりまく社会環境の変化とともに、問題が顕著化し²⁾、このような土木構造物の維持管理手法・補修技術方法の研究³⁾がすすめられている。

土木構造物の効率よい維持管理のためには、精度のよい劣化予測・適切な事後評価が重要である。鋼橋においては、一般的に塗装の塗り替えに際して定期的な大規模な点検調査が実施されていることもあり、これまでに腐食場所、腐食の進行程度など基礎的な資料は、精力的な永年の調査^{4),5)}によって蓄積されている。あるいは暴露試験体によって腐食性状を把握しようとする試み^{6),7)}も行なわれてきた。

一方で、数値解析分野では、板材^{8),9),10),11)}・柱部材あるいは梁部材^{12),13)}にさまざまな形態の腐食が生じた場合について、残存耐荷力の検討が行われており、いくつかの残

存耐荷力評価式が提案されている。また、近年は模擬腐食を生じさせた鋼桁や腐食した実橋^{14),15),16)}、あるいは腐食した鋼管¹⁷⁾を用いた、実験的・解析的に検討も行なわれはじめている。

このように、部材レベルでの腐食による残存耐荷力の把握・資料の蓄積もすすめられているが、まだ十分な量であるとは言えない状況である。さまざまな腐食環境下におかれた鋼部材について、綿密に腐食形状の計測し、腐食鋼部材の耐荷挙動特性を把握することは、将来の鋼構造物の余耐力予測・余寿命予測に結びつく基礎資料を与えるものとして重要である。

そこで本論文では、特に鋼曲げ部材に着目し、まず実際に腐食環境下にあった鋼部材の腐食形状を、新たに開発した表面粗さ計測装置を用いて、詳細に計測することとした。レーザ式変位計を用いた表面粗さ計測装置は、小型のものでは一般的であるが、実部材レベルの断面を計測するためには、広範囲の腐食表面を効率的かつ精度よく計測する必要がある。従来、腐食表面の計測にはポイントマイクロメータが用いられてきたが、この方法は計測点数に応じて多くの労力を要する。近年では、写真測量技術を応用した簡易な測定方法^{18),19)}が提供されているが、この表面粗

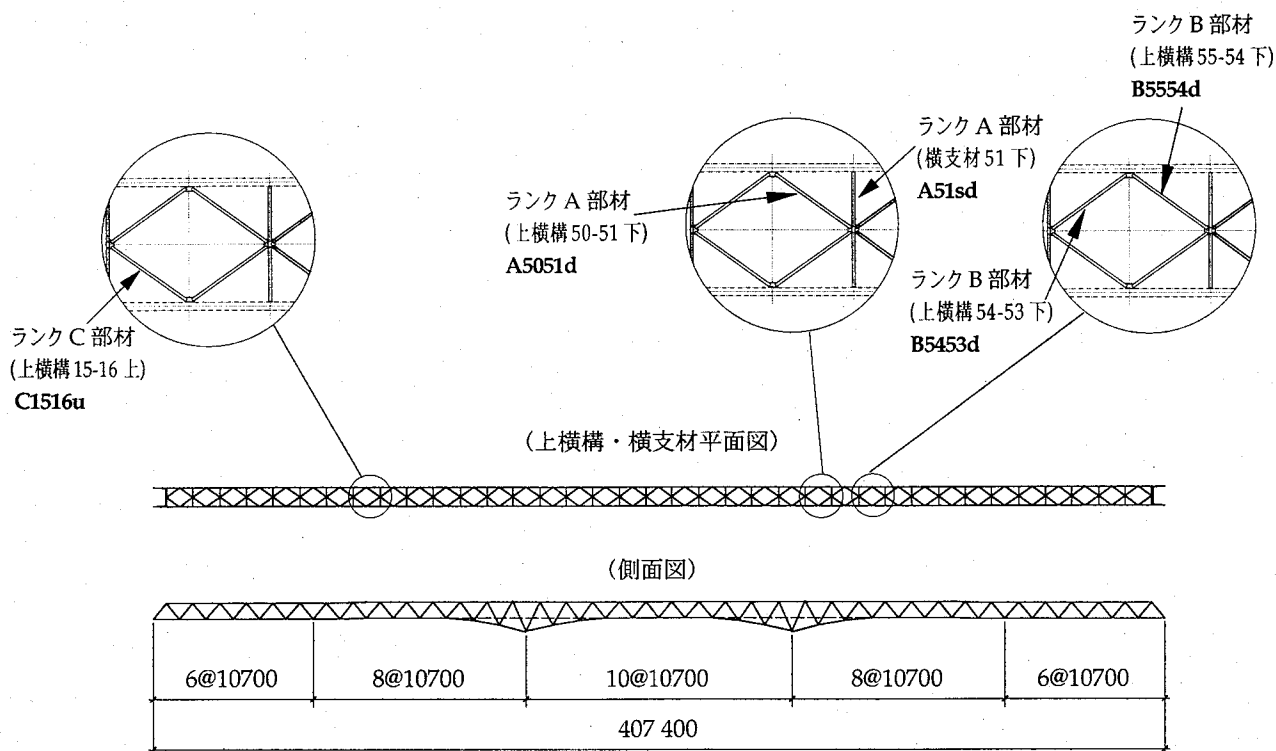


図-1 供試体位置図

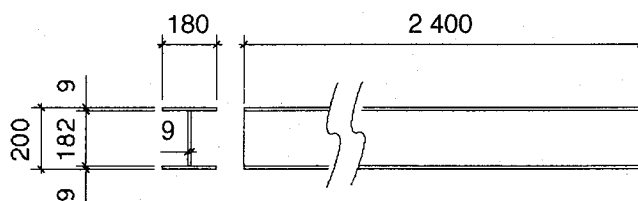


図-2 供試体一般寸法図

さ計測装置は、リニアスケールとレーザ式変位計とを組み合わせ、実験室レベルで立体空間内にある物体表面を精緻に計測できる装置として位置付けられるものである。

さらに腐食レベルの異なる5体の供試体について、腐食性状と残存耐力力との関係を把握するために、曲げ耐力力実験を実施した。このように、実橋の腐食部材を用いて、腐食形状を精緻に計測し、その性状を把握した上で、曲げ耐力力実験を行なった例は数少ない。これらの結果から、鋼腐食部材の腐食量・腐食形態と曲げ耐力力との関係について明らかにする。

2. 対象部材

本研究で対象とする腐食鋼部材は、千葉県銚子市と茨城県波崎町とを結ぶ銚子大橋（1962年、橋長1203m）から採取した。銚子大橋は5径間の連続トラス橋部（407.4m）と両取り付け部の鈹桁部（波崎側14.1m+92.6m+3@138.6m・銚子側138.6m+134.7m）とから構成されており、利根川の最下流に位置している。幅員は7mで歩道を有しないにもかかわらず自転車交通量400台/日、自動車12時間交通量

は2万1千台を超え、慢性的な渋滞とレベル2地震動に未対応のため、すでに斜張形式橋梁への架け替えが決定している。

銚子大橋では、その過酷な腐食環境と近年の交通量増加のため、これまでも精力的で大規模な補修・補強工事が行われている²⁰⁾。2000年からの3年間では、タッチアップ塗装、トラス斜材の補強、格点部の補強工事および横構・横支材の取替え工事が行われた。本研究では、この取り替えられた上横構・横支材を対象として、腐食形状の計測及び曲げ部材としての耐力力実験を行い、腐食鋼曲げ部材の腐食量と残存耐力力との関係について把握する。

今回対象とした部材の位置は図-1に示す通りである。いずれも断面形状は図-2に示す通り、設計図面上の板厚はフランジ・腹板とも9mm、フランジ幅180mm、外法高さ200mmのH状溶接部材である。5体の供試体はそれぞれ2400mmの長さで切断の上、実験室に搬入した。

塗装上から目視で腐食の程度によって、塗装上からでもフランジに波状の著しい腐食がみられる「ランクA」から、中庸の腐食が認められる「ランクB」、ほとんど腐食が見られない「ランクC」の3段階の供試体に分類した。今回は

腐食ランクAから2体(A5051d, A51sd), Bから2体(B5453d, B5554d), Cから1体(C1516u)の5体の供試体について、腐食形状計測および曲げ耐力実験を実施した。ここで腐食ランクのアルファベットに続く数字は、上横構の場合は2桁ごとに格点番号を、横支材の場合は格点番号のあとに“s”を付している。末尾に付したアルファベットは「u: 上流」または「d: 下流」側を示す。

腐食形状計測および曲げ耐力実験にあたって、まず最初に、腐食形状が損なわれないように注意を払いながら、ケレンおよびブラスト処理によって塗膜を除去した。塗膜除去前後の供試体写真の一例を写真-1に示す。塗膜を観察すると、塗り替え時に下地処理を十分行わず、前回塗膜上に塗り重ねられている部分も見られた。塗膜上からでは認識することができない孔状の腐食や、フランジの鋭い波状の腐食が観察され、塗膜内部に残留している塩分によって腐食が進行している様子が確認できた。

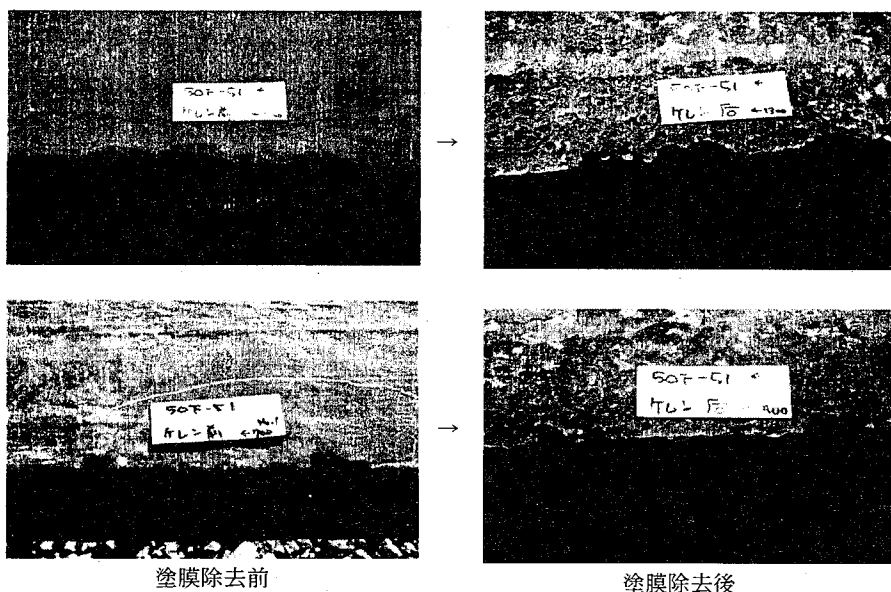


写真-1 塗膜除去前後の供試体

3. 腐食形状計測

3.1 表面粗さ計測装置

腐食形状計測には、写真-2に示すレーザ式変位計による表面粗さ計測装置を用いた。この表面粗さ計測装置は、表-1のような諸元で、1000mm(X)×1000mm(Y)×30mm(Z)の立体空間の表面形状を計測可能である。

X及びY方向の位置特定には10 μ m読みのリニアスケールを用い、計測範囲および移動間隔を指定することで、レーザ変位計ヘッドを自動的に移動し、その計測値を記録する。レーザ変位計ヘッドは、Z方向（奥行き）だけでなくアタッチメントを取り替えることで、鉛直上向き・鉛直下向き方向の距離を計測することもできるようになっている。計測の制御・データの収録には市販のパーソナルコンピュータを用いた。

表-1 表面粗さ計測装置の諸元

計測範囲(X)	1000mm
計測範囲(Y)	1000mm
奥行方向ストローク	100mm
リニアスケール読み	10 μ m
レーザ変位計	LK-080
基準距離	80mm
測定範囲	± 15 mm
分解能	3 μ m
計測速度(1mm 間隔)	200data/min
台枠	鋼製
動作電源	AC100V
移動装置および固定装置付き	

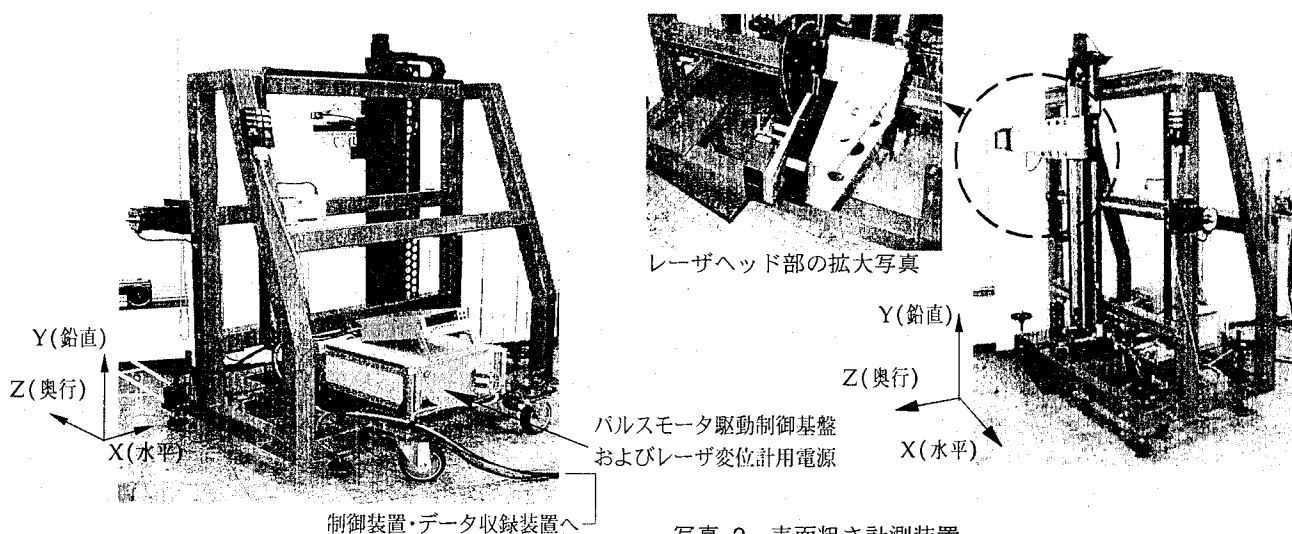


写真-2 表面粗さ計測装置

計測に先立って、供試体に取り付けた4箇所の厚さが既知である標点を視準し、この4箇所の標点によって定まる最尤平面を基準面として表面形状を算出する²⁾。この図-3に示すように、この標点を対象物の両面から視準することで、供試体の腹板の残存厚さ t_R は、両面からの計測値(t_{b1} , t_{b2})および標点板厚(t_l)の和として算出することができる。尚、計測装置のレーザヘッドの大きさの都合により、今回フランジ内面の計測を行うことができないため、フランジの残存板厚の算出にはポイントマイクロメータを併用した。

3.2 腐食形状

今回の5体の腐食形状計測にあたっては、長さ2400mmの供試体を3領域に分割し計測を行った。計測間隔はX・Y方向ともに1mmとした。計測速度は、この計測間隔の場合、約毎分200点であり、1分割長800mmの範囲のフランジ片面(800mm×180mm)の計測にはおおよそ12時間を要した。

写真-3および図-4は、代表的な腐食表面計測結果としてA51sdおよびC1516uの2体の供試体の計測範囲(800mm×180mm)と腐食量を示したものである。図-4に示した腐食量とは、健全部表面を基準とした表面深さを示している。

まずはじめに上フランジの計測結果を見ると、腐食の激しいA51sd供試体の波状の腐食形状や、表面の皿状にすくいとられたような腐食形状を、表面粗さ計測装置によってよく形状を捉えられ、図化できていることがわかる。

レーザ変位計は、所要の計測範囲外となると、測定範囲外の旨の電流値をとるため、図化にあたってはこの異常値部分を断面欠損部分とみなしている。表面粗さ計測装置による計測の他、フランジの波状腐食については別途トレーシングペーパーによるトレースを行い、このトレース結果と図化の結果がよく一致していることを確認した。また、別途腐食試験体を用意し、ポイントマイクロメータによる板厚の直接計測値と、表面粗さ計測装置による板厚算出値とがよく一致することを確認し、装置の妥当性を検証している²⁾。

その他のAランク部材についても同様に、上下フランジともに、表面は皿状にすくいとられたような激しい腐食が観察され、ウェブとの溶接接合部からフランジ端面向かって刃物のように鋭く尖った腐食形態となっている。Aランク部材は、腹板面についても広い範囲に腐食が生じており、A51sd供試体では銼子側の面に、いずれも直径が3

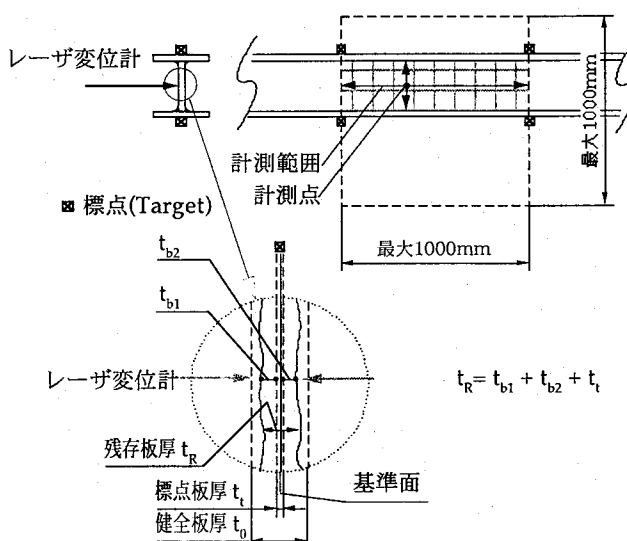


図-3 板厚の算出方法

～8cm程度の皿状の腐食形状が観察された。この面は下フランジにみられた波状の腐食とは異なった面である。

C1516u供試体についてみると、下フランジにややまとまった腐食領域があるものの、全体的に腐食の程度は軽いことが分かる。図に示した以外のBランク部材は、AおよびCの中間的な腐食の程度となっていた。

計測された腐食量について、上下流・銼子・波崎側などとの方向あるいは部材面との相関については、あまり見受けられず、より局地的風向・塗装処理等の要因によって腐食の度合いが異なっているものと推察される。

3.3 板厚の算出

図-5に腹板の残存板厚の算出結果について示す。元の板厚は図面上9mmであるが、事前にマイクロメータによって腐食のない部分の板厚を計測したところ、9.3mmを超える箇所が広がっていた。これは当時の鋼板製造の精度を考えれば、妥当な板厚計測値である。本研究では、算出された最大残存板厚は、健全部の板厚 t_0 と同等であるとみなすこととした。

図-5の算出結果は、図-4のA51sd供試体の腹板腐食が波崎側の片側に顕著であったことを考えると、板厚分布を精度よく表している。表-2には、フランジの板厚計測結果も併せ、今回計測した腐食部材について、平均残存板厚 t_a 、標準偏差、平均腐食速度 v_a 、平均腐食率 R_t 等の指標について示した。

表-2 供試体の残存板厚算出結果と平均腐食速度

供試体名	最大残存板厚 t_0 (mm)	最小残存板厚 t_{min} (mm)	平均残存板厚 t_a (mm)	標準偏差 s (mm)	平均腐食量 $t_0 - t_a$ (mm)	平均腐食速度 v_a ($t_0 - t_a$)/year	平均腐食率 R_t ($t_0 - t_a$)/ t_0
A5051d	9.299	(欠損)	6.216	1.431	3.193	0.074	0.339
A51sd	9.399	(欠損)	6.806	1.677	2.603	0.061	0.277
B5453d	9.334	(欠損)	8.225	1.208	1.184	0.028	0.126
B5554d	9.409	3.106	8.165	1.032	1.244	0.029	0.132
C1516u	9.373	1.229	8.886	0.546	0.523	0.012	0.056

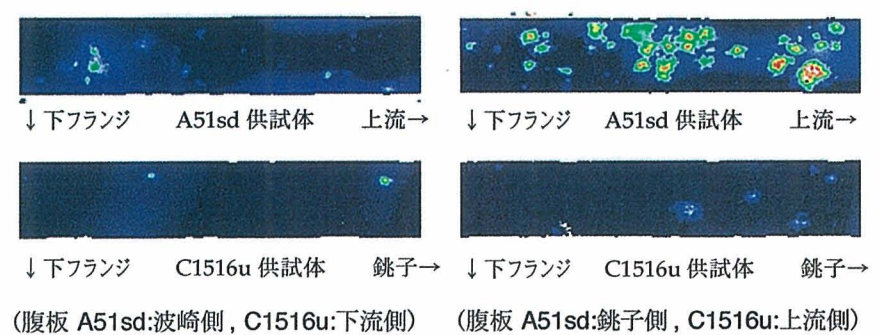
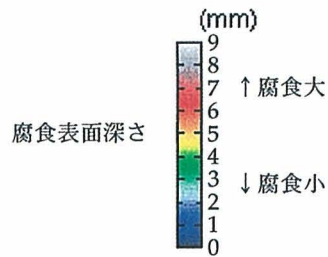
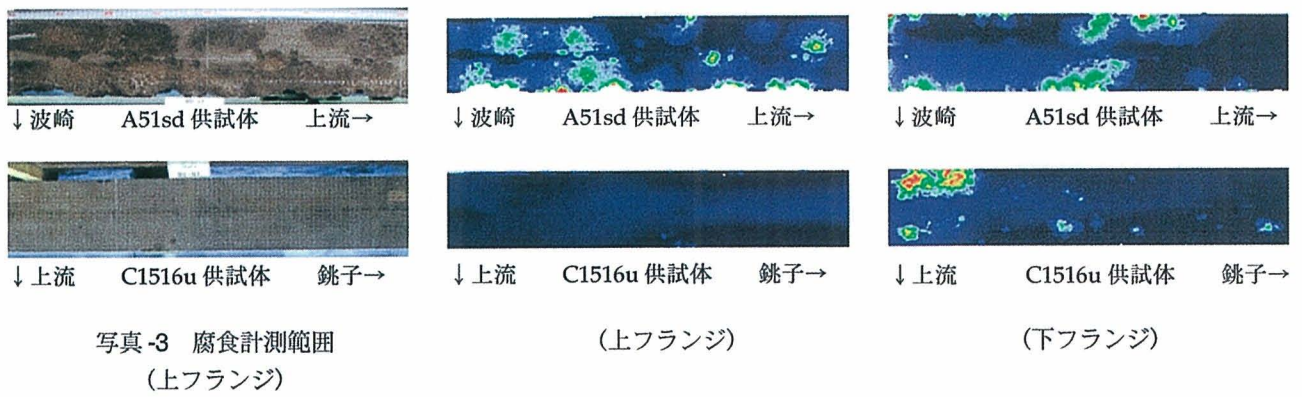


図-4 腐食表面形状計測結果

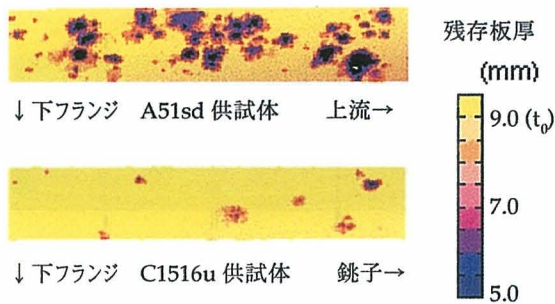


図-5 腹板の残存板厚

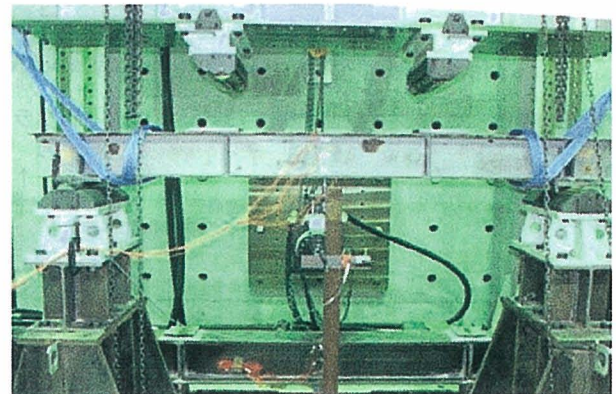


写真-4 供試体の設置状況

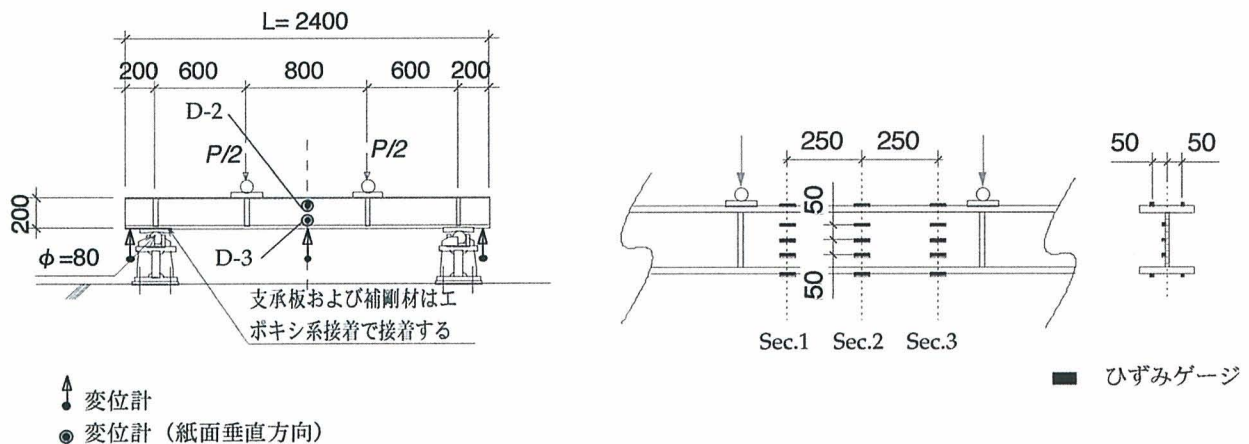


図-6 耐荷力実験における供試体設置図および計測点図

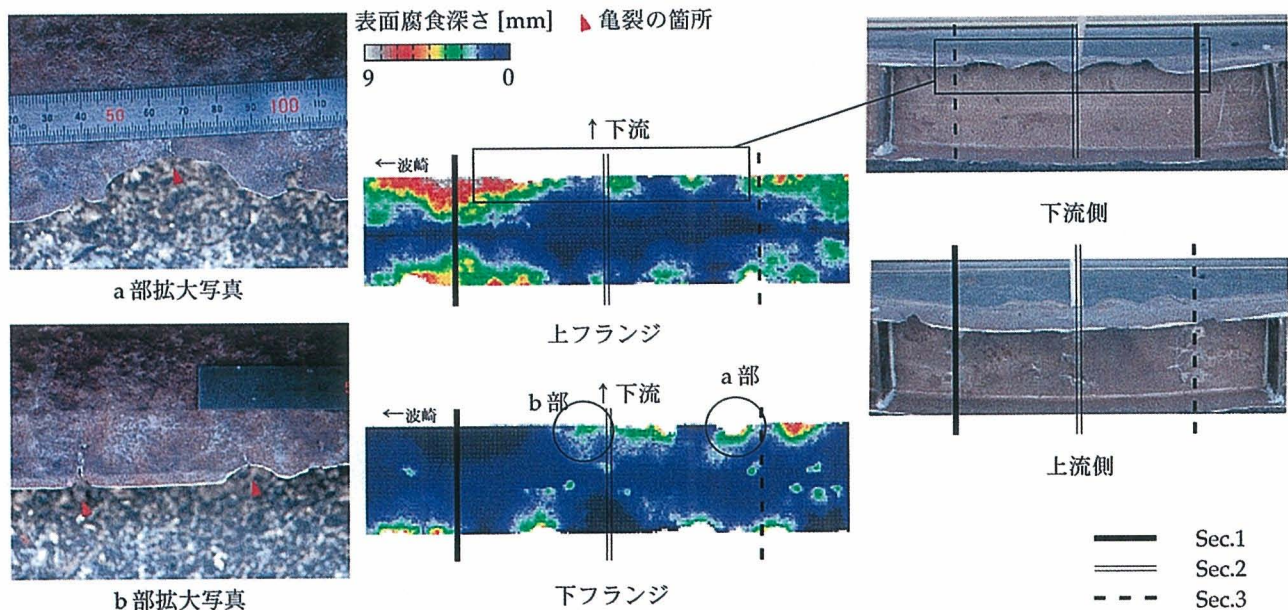


図-7 A5051d 供試体の腐食表面形状と載荷後の状況

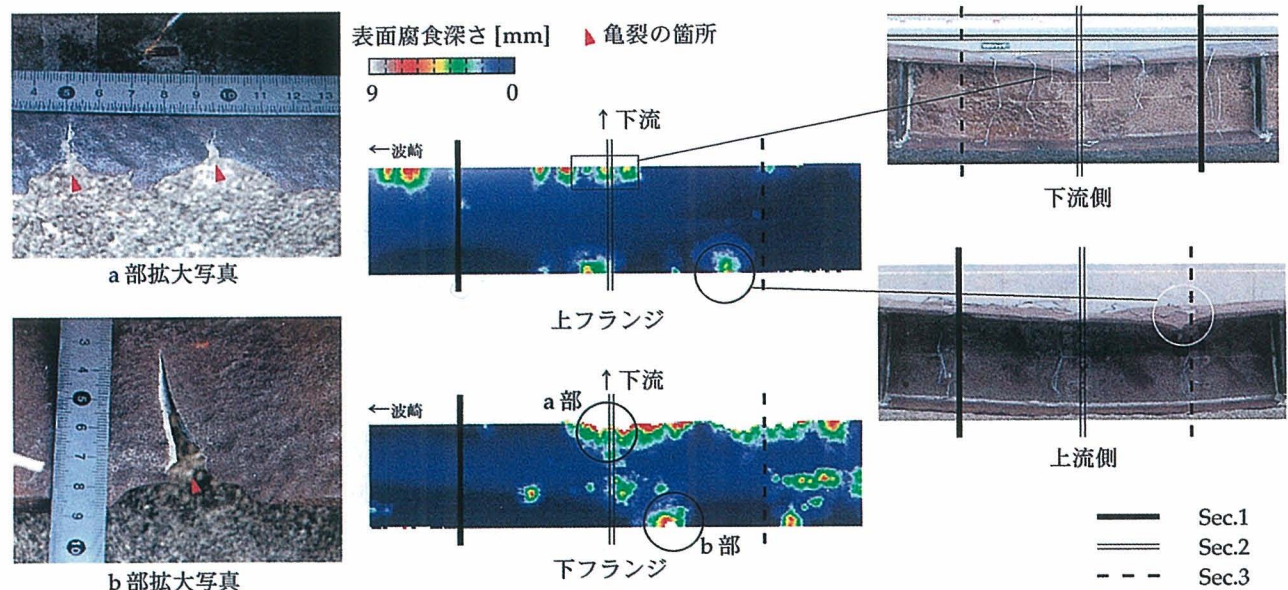


図-8 B5453d 供試体の腐食表面形状と載荷後の状況

ここで、平均残存板厚 t_a の算出にあたっては、上下フランジ、ウェブの3領域についてそれぞれ平均腐食量 $t_{a(i)}$ を算出し、各領域の健全部材断面積 $A_{(i)}$ で式(1)のように重み付けをしたものである。

$$t_a = \frac{\sum A_{(i)} \cdot t_{a(i)}}{\sum A_{(i)}} \quad (1)$$

ただし i ：上フランジ・ウェブ・下フランジについて

平均腐食量は、この t_a を計測によって得られた健全部の板厚 t_0 から差し引いた量、 $(t_0 - t_a)$ である。平均腐食速度 v_a は、これを供試体採取年(2004)－架橋年(1961)＝43年で除した値となる。平均腐食率 R_f は、 $(t_0 - t_a)$ を t_0 で除して無次元化したものである。

この結果をみると、概ねランクA部材の平均腐食率は、0.3前後、B部材は約0.13、C部材は0.05となり、表-3のように分類することができた。

4. 曲げ耐力実験

4.1 供試体の設置および載荷方法

図-6に供試体および測定装置類の設置図を、写真-4に設置状況を示す。載荷中の塑性進展の確認・断面内応力分布の変化を捉えるために、供試体にひずみゲージを貼付した。一部のひずみゲージは、腐食による凹凸のため貼付が困難であるため、裏面あるいは位置を多少移動して貼付・計測を行った。

図-6に示すように、800mmの等曲げ区間を有する四点曲げ実験を行った。皿状の腐食モードやフランジ縁端の波状の腐食モードに対して、十分な長さとなるように等曲げ区間長を800mmと選定している。載荷点および支承部に

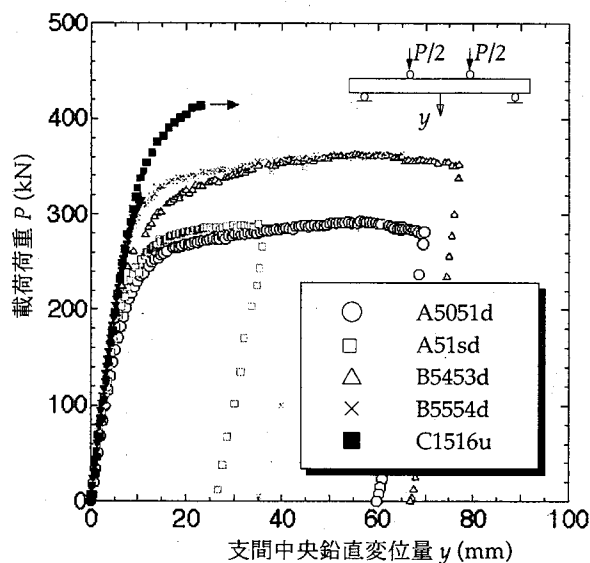


図-9 載荷荷重 - 支間中央鉛直変位関係

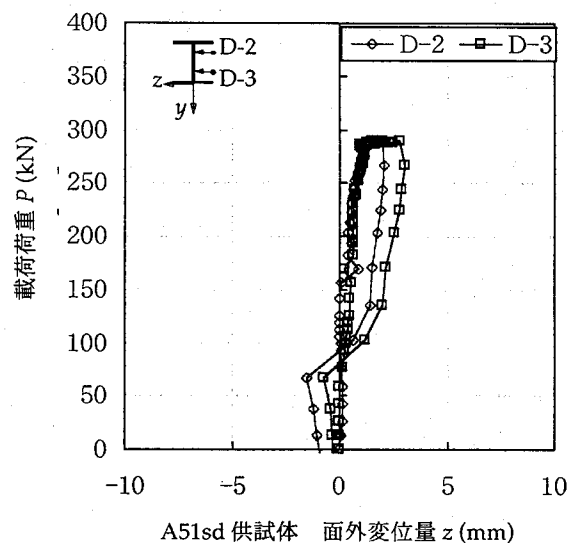


図-10 載荷荷重 - 面外変位関係

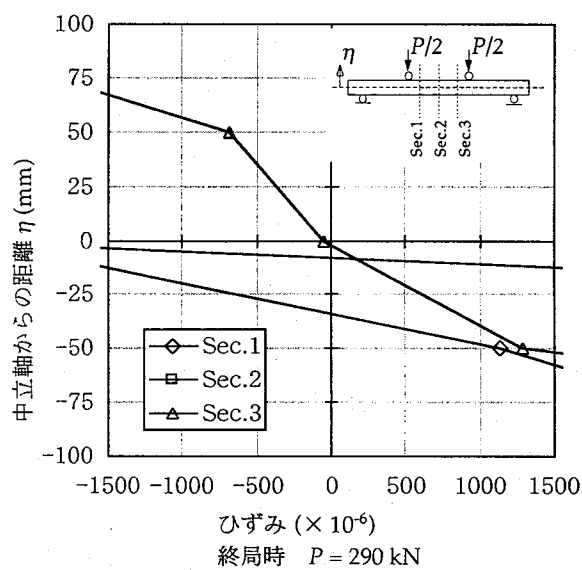
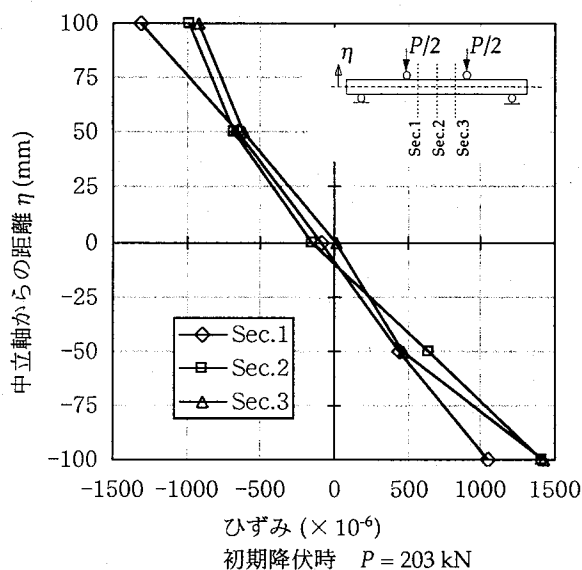


図-11 断面内ひずみ分布 (A51sd 供試体)

は、それぞれ載荷板・支承板および補剛材を設け、支承板・補剛材についてはエポキシ系接着剤にて固定した。

支間中央断面には、鉛直方向変位計（容量100mm）のほか、面外変位を計測するために先端ボール付き変位計（容量25mm）を設置した。

載荷装置には、載荷容量1000kN、ストローク400mmの油圧サーボ式ジャッキを用い、変位制御にて漸増載荷を行った。

4.2 各供試体の曲げ挙動

図-9に5体の供試体の載荷荷重と支間中央部の鉛直変位関係について示す。はじめに5体の弾性範囲挙動について着目すると、比較的腐食の程度の軽いランクB部材およびほとんど腐食のないC部材は、200kN付近まで線形関係

を保っている。一方腐食の激しいランクA部材は、他のランクの部材と比較して若干傾きが緩く、180kN付近から非線形性が見られた。

次に非弾性領域及び終局挙動について、各供試体ごとに示す。

(1) C1516u 供試体は、載荷荷重 $P=300\text{kN}$ を越えたあたりから、徐々に支間中央部変位量が大きくなった。面外方向変位はほとんど観察されず、明確な載荷荷重ピークは現れなかったが、 $P=431\text{kN}$ 時に各断面ひずみ分布がほぼ全断面塑性であることを確認して除荷した。別途実施された材料実験²²⁾によれば、平均的に降伏強度は約 274N/mm^2 、降伏ひずみはおおよそ 1585×10^{-6} という結果を得ており、降伏の判断に用いた。

(2) A51sd 供試体は、図-4で既に示したように上フラン

表-3 腐食ランクと平均腐食率 R_t

腐食ランク	腐食の程度	平均腐食率 R_t
ランク A	著しい腐食	0.25 以上
ランク B	中庸な腐食	0.10 超 0.25 未満
ランク C	ほとんど腐食がない	0.10 以下

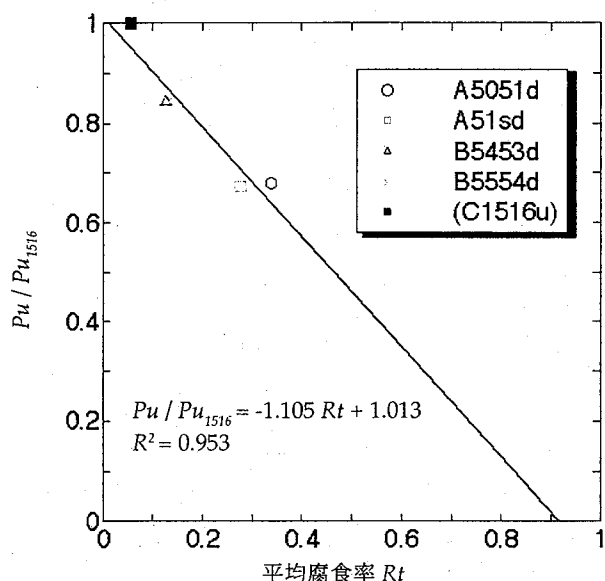


図-12 平均腐食率-耐力関係

ジの一方(波崎側)に鋭い波状の腐食を有する部材である。図-10に示すように、終局時に急激に面外方向変位が増大して最大荷重に達した。面外変位の増大時には、同時に上フランジの波崎側($z < 0$)の腐食モードに対応した局部座屈が現れており、これが反対側($z > 0$)の面外方向変位の増大を誘発したものと考えられる。また図-11に示すように、終局時($P=290\text{kN}$)のひずみ分布は腐食量の大きいSec.1および2ではほとんど全塑性状態であるが、Sec.3では一部弾性域が残っていた。また、ひずみ分布図の中立軸は、初期降伏時までと異なり下側に移動していることがわかる。これは、A51sd供試体の上フランジ腐食量が支配的であったためである。

(3) もうひとつのランクA部材であるA5051d供試体は、最大荷重こそA51sd供試体とほぼ同等の値を示したが、それにいたるまでの曲げ挙動は異なっている。図-7のフランジの腐食表面図にあるように、A5051d供試体は上下フランジともに激しい腐食の様を呈している。载荷荷重

$P=182\text{kN}$ 時には、上フランジにおいて降伏ひずみに相当するひずみ量が観察され、以降塑性断面領域が拡大するとともに、上フランジは腐食形状に対応した局部圧縮座屈が生じた。同時に下フランジ側でも、図-7-aおよびbのように波状の腐食の縁端部で、長さ約2~7mmの亀裂が生じた。この亀裂は下流側断面で確認されており、結果として初期降伏以降、下流側面外方向変位が徐々に大きくなった。終局時には面外方向変位は50mm近くに達した。

(4) 図-8には、B5453d供試体の上下フランジ腐食表面および载荷後の状況を示した。このB5453d供試体は、腐食量はランクA部材に及ばないが、下フランジの腐食量が上フランジの腐食量と比較して大きく、また下流側に偏っている。このため腐食量が小さくとも、偏心量が大きいために、载荷直後から徐々に面外方向変位が増加した。荷重が増大するとともに、下フランジには上下流側ともに亀裂が発生し、徐々に進展した。なかでも上流側の亀裂(図-8-b)は、最終的に50mmに達した。これらの亀裂は、いずれもフランジ縁端の波状の腐食の最凹部付近のうち、減厚が著しい部分を起点としていた。上フランジ側は、腐食箇所が集中していたため、その腐食箇所が大きく座屈波形を生じる結果となった。終局時には面外変形が急進し、また断面内のひずみ分布計測によれば、中立軸は図心軸よりも大きく上側に移動していた。

(5) B5554d供試体も、B5453d供試体と同じく腐食量は小さいものの、その腐食分布が偏っているために、载荷荷重が小さい範囲から著しい偏心载荷状態となった。下フランジにはほとんど局部腐食は観察されていない。上フランジには断面中央部に集中して腐食が分布していたため、ここに圧縮フランジ局部座屈が現れた。最大荷重364kN後、ジャッキが面外方向に大きく滑り急速除荷に至ったため、図-9のような除荷挙動となった。

5. 腐食形状特性と部材の残存耐力との関係

表-4に今回対象とした部材の腐食の程度と、耐力力実験結果をまとめた。終局モードは各供試体の腐食量・腐食形状および初期不整によって大きく支配される。ほとんど腐食のないようなC1516u供試体は、全断面塑性で終局を迎えるが、腐食の程度が大きくなると、その腐食形状によって局部座屈が誘発されたり、亀裂が生じることもある。非対称腐食によって偏心载荷状態であるところに、さらに局部座屈や亀裂の進展によって偏心が加わり、終局時には横座屈モードが連成する。

表-4 各供試体の腐食計測・曲げ耐力試験の結果

供試体名	平均残存板厚		平均腐食率 R_t	最大耐力 P_u [kN]	20mm変位時荷重 P_{20} [kN]	基準化耐力 P_u / P_{u1516}		終局モード
	t_a [mm]	$t_0 - t_a$ [mm]				P_u / P_{u1516}	$(P_{20})_{1516}$	
A5051d	6.216	3.193	0.339	293	270	0.680	0.691	上フランジ下流に局部座屈及亀裂、終局時横座屈
A51sd	6.806	2.603	0.277	290	282	0.673	0.721	上フランジ局部座屈、終局時横座屈急進
B5453d	8.225	1.184	0.126	363	330	0.842	0.844	下フランジ上下流に亀裂発生、終局時局部座屈
B5554d	8.165	1.244	0.132	364	340	0.845	0.869	上フランジ下流に凹状、上流に凸状の局部座屈
C1516u	8.886	0.523	0.056	431	391	1.000	1.000	全断面塑性

$$t_a = \sum t / n, t_0 = 9.409 [\text{mm}], R_t = (t_0 - t_a) / t_0$$

n: 各供試体の腐食表面計測点数 t: 腐食計測値

C1516u 供試体が、全く腐食のない健全時板厚 t_0 であるとき、理論上 311 kN で初期降伏を迎え、 $P_u = 351 \text{ kN}$ で全塑性状態となる。実験値(391kN)がこの P_u を約11%上回ったのは、材料試験時も顕著であったひずみ硬化の影響であると推察される。

いまC1516u 供試体の最大載荷荷重 P_{u1516} を基準とし、腐食計測によって得られた平均腐食率 R_t と、各供試体の最大載荷荷重との関係を調べてみると、結果として図-12に示すような線形近似関係を得ることができた。これを式で表すと、

$$P_u / P_{u1516} = -1.105 R_t + 1.013 \quad (2)$$

のようになる。個々の供試体の曲げに対する終局挙動は、腐食形状に依存した局部座屈・横座屈・亀裂の発生等によって支配されるが、その座屈進展・亀裂進展が急激に進行しなければ、中途の応力分配によって全断面塑性に近い状態で終局状態を迎えるため、平均腐食率 R_t で十分に終局耐力を表現できるものと考ええる。これは、終局時に面外方向変位が急激に進行し断面内に弾性域が確認されたA51sd 供試体の曲げ耐力が、線形近似線よりも下側にあることから推察できる。以上により、曲げ部材については、部材の平均腐食量が判る程度の計測を行えば、部材の曲げ残存耐力を簡易に評価することが可能であると考ええる。

6. まとめ

腐食劣化に伴い撤去された鋼部材の腐食形状計測および、曲げ耐力実験を行なった。得られた結果をまとめる以下のようなになる。

- (1) 実際に腐食環境下にあった腐食程度の異なる5体の鋼部材について腐食形状を、レーザ変位計を用いた表面粗さ計測装置で緻密に計測した。フランジ縁端部に観察された波状の腐食や、皿状の腐食を図化し、精度よく捉えることができた。
- (2) 腐食量と部材の方向あるいは腐食面との関係は、明確な傾向は見られず、より局所的な風向やその他の要因によって腐食が進行するものと考ええる。
- (3) 腐食した鋼部材を曲げ部材として耐力実験を行い、腐食形態と残存耐力および終局モードについて考察を行った。フランジ縁端部に波状の腐食を有する部材では、腐食形状によって圧縮側では座屈モードを支配し、引張側では亀裂が発生することで、終局モードに大きな影響を与えた。
- (4) 腐食した鋼部材の曲げ残存耐力は、今回の実験の範囲では、供試体の平均腐食率(R_t)と線形関係にあった。すなわち、部材の平均腐食量が判る程度の計測を行えば、部材の曲げ残存耐力を簡易に評価することが可能である。

謝辞

本研究の遂行にあたっては、補修・補強工事に伴い撤去された部材を、千葉県銚子土木事務所の雄川所長、加瀬

氏、入枝氏、水野氏にご提供戴いた。また、宮地鐵工(株)の能登宥恩氏および村上貴紀氏に多大な協力・助言を賜った。さらに日本橋梁建設協会ならびに日本鉄鋼連盟より、寄附金を頂戴した。ここに記して感謝の意を表します。

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) 名取暢：鋼橋の腐食事例とその対策，第1回鋼構造の維持管理に関するシンポジウム資料集，1997.
- 3) 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，No.51，2002.
- 4) 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/I-54，99.299-311，2001.1.
- 5) 松本勝，白石成人，三宅広昭：鋼橋の腐食劣化の評価に関する研究，構造工学論文集，Vol.38A，pp.1097-1102，1992.
- 6) 中村秀治，藤井堅，石川智巳，海田辰将：経年水力鋼構造物の腐食面形状の統計的性質について，構造工学論文集，Vol.49A，pp.687-696，2003.3.
- 7) 山本正弘，広沢規行，吉田耕太郎，加藤忠一，羽田隆司：海洋で暴露した鋼材の腐食形態の解析，材料と環境，No.41，pp.803-808，1992
- 8) 村中昭典，皆田理，藤井堅：腐食鋼板の表面形状と残存耐力，構造工学論文集，Vol.44A，pp.1063-1071，1998.
- 9) 中沢正利：腐食鋼板の圧縮耐力特性，土木学会年次学術講演会講演概要集，第55回，CS-86，2000.
- 10) 竹内正一，西村佳大，西村宣男：腐食損傷を有する鋼板の極限強度特性に関する研究，鋼構造シンポジウム，2005.
- 11) 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.
- 12) 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断面柱の残存耐力に関する一考察，構造工学論文集，Vol.47A，pp.93-102，2001.
- 13) 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.
- 14) Vo Thanh Hung，佐々木栄一，市川篤司，三木千壽：腐食を模擬した模型桁のせん断耐力に関する実験および解析，構造工学論文集，Vol.48A，pp.1099-1105，2002.3
- 15) Vo Thanh Hung，永澤洋，佐々木栄一，市川篤司，名取暢：腐食が原因で取り替えられた実鋼橋支点部の載荷実験および解析，土木学会論文集，No.710/I-60，pp.141-151，2002.7

- 16) 海田辰将, 藤井堅, 宮下雅史, 上野谷実, 中村秀治: 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, 構造工学論文集 Vol.51A, pp.139-148, 2005.3
- 17) 田村功, 藤井堅, 渡邊英一, 伊藤義人: 腐食円形鋼管の残存圧縮耐力実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第60回, 2005.9
- 18) 館石和雄, 柴田憲吾, 判治剛: デジタルステレオグラフィによる腐食鋼材表面形状の簡易計測手法, 鋼構造論文集, Vol.12 No.46, pp.27-34, 2005.6
- 19) 浅海敬次, 松下陽三, 中村秀治, 藤井堅: 標点投影による画像計測法とその維持管理への適用性検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第60回, 2005.9
- 20) 加瀬清, 水野久一, 入枝秀樹, 木内廣志, 柿沼幸夫: 銚子大橋のリフレッシュ工事の経緯, JSSC, No.52, 2004.4
- 21) 山沢哲也, 渡邊英一, 野上邦栄, 杉浦邦征, 伊藤義人, 藤井堅: 19.5年間海洋曝露した鋼材の腐食計測, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第60回, 2005.9
- 22) 橘敦志, 森猛, 野上邦栄, 山沢哲也: 腐食鋼板の降伏耐力評価法の検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第59回, I-110, 2004.9.
- 23) 塚田祥久, 佐々木信智, 山沢哲也, 野上邦栄: 表面粗さ計測機による腐食形状の計測に関する一考察, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第59回, I-126, 2004.9.
- 24) 塚田祥久, 山沢哲也, 野上邦栄, 森猛: 腐食損傷部材の腐食形状と残存板厚の計測, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第60回, 2005.9
- 25) 野上邦栄, 塚田祥久, 山沢哲也, 森猛: 腐食した鋼曲げ部材の耐力実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第60回, 2005.9

(2005年9月10日 受付)