

6. 端部パネルの局部腐食をもつ I 形断面桁のせん断耐力に関する考察

Analytical Study on Shear Capacity of Steel I-girders with Local Corrosion nearby Girder Ends

劉 翠平* 宮下 剛** 長井正嗣**

—概要—

高度経済成長期に建設された橋梁の供用年数が約 40 年以上を経過しており、鋼構造の耐久性向上に対する要求が高まる中、残存耐力の適切な評価が重要になっている。本研究では、様々な局部腐食形状を有する主桁端部パネルのせん断耐力を把握し、さらなる将来の劣化予想に関する有益な研究情報を提示した。

—局部腐食の特徴—

既往の調査研究および定期点検データの分析から抽出した端部パネルにおける代表的な局部腐食状態を図 1 に示す。いずれの形状においても腐食減厚による局部領域での均一な断面欠損となり、主桁の耐荷力低下が懸念される。

—残存せん断耐力—

そこで、本研究では各腐食形状に対して 3 つの腐食進行パターンを仮定し、初期不整および残留応力を考慮した複合非線形有限要素解析を行った。そして、数値解析により得られたせん断座屈耐力を分析し、腐食形状および腐食進行程度とせん断座屈耐力の低下量の関係（図 2）を検討した。さらに、せん断座屈時の変形コンター図から、局部腐食がパネルのせん断耐力に与える影響を考察した。最後に、端部パネルにおいて局部腐食がクリティカルに影響を与える部分を提示し、鋼桁橋の定期点検、補強・補修設計に関する有益な情報を蓄積した。

本研究で用いた残存せん断耐力の予想方法によって、迅速で精度よく耐力変化を推定できるため、維持点検などの場面へ適用範囲が拡大できる。



図 1 既設鋼橋の端部パネルにおける腐食事例

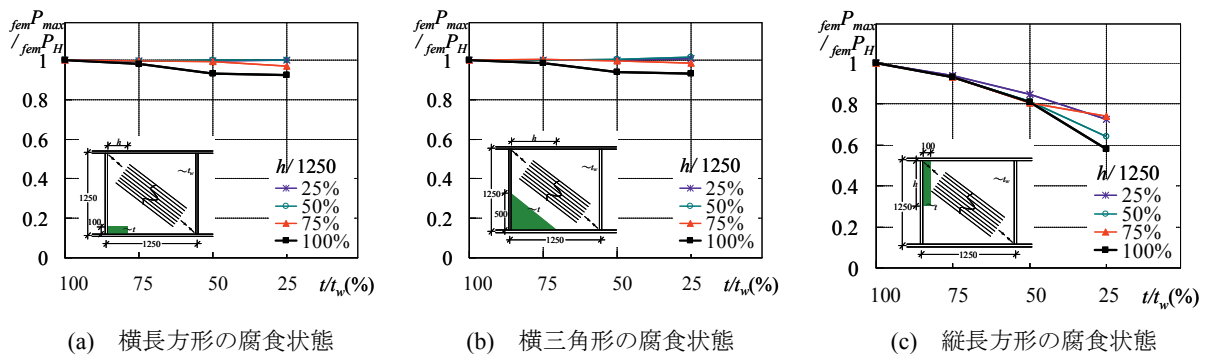


図 2 残存耐力と残存板厚の関係

端部パネルの局部腐食をもつ I 形断面桁のせん断耐力に関する考察 Analytical Study on Shear Capacity of Steel I-girders with Local Corrosion nearby Girder Ends

○劉 翠平* 宮下 剛** 長井 正嗣***

Cuiping LIU Takeshi MIYASHITA Masatugu NAGAI

ABSTRACT Corrosion damage has been developed in web plates of main I-girder ends at the supports in aging steel bridges. When the end of main girder is corroded, shear capacity might deteriorate. In this paper, remaining shear capacity of I-girders with different corrosion shapes nearby supports was analyzed by elasto-plastic finite analyses, where four kinds of corrosion shapes and three rates of thickness reduction were considered. The results demonstrated the decrease of shear capacity depends on corrosion shapes and rates of thickness reduction. The most critical part of web plates of I-girder ends was discussed, along with the effects of local corrosion on shear capacity.

Keywords : 鋼橋, プレートガーダー, せん断耐力, 均一腐食, 有限要素解析

Steel bridges, Plate girder, Shear capacity, Uniform attack, Finite element analyses

1. 序文

我が国では、戦後の高度経済成長期に建設された橋梁の供用年数が約 40 年以上を経過しており、鋼構造の耐久性向上に対する要求が高まる中、残存耐力の適切な評価が重要になっている。しかし、これまでに、鋼橋の腐食事例は多く報告されているものの¹⁻⁶⁾、腐食による残存耐荷性能に関する研究は比較的少ない⁷⁻¹¹⁾。道路橋示方書¹²⁾においても耐久性に関する規定は導入されているが、腐食の程度と耐荷力の関係は言及されていない。また、鋼構造物の残存耐力および性能回復に関するマニュアル⁶⁾、点検・診断・対策⁴⁾に関する書籍が出版されているものの、現状ではさらなる将来の劣化予想に関する研究が不十分であると考えられる。

鋼橋の周辺環境に基づく経年劣化により、断面欠損に至ったケースも少なくない。特に、支承部や排水口の周辺などでは、適度な乾湿の繰り返し環境となっており、比較的早い速度で局部領域での均一腐食が促進される。具体例として、飛来塩分などが付着し、港湾鋼構造物において著しい局部腐食が発生した事例を写真 1 に示す⁵⁾。桁端部付近が腐食されると、端部パネルのせん断耐力および支承部の局部耐力に影響を及ぼすことが明らかにされているが^{7, 8, 11, 13)}、実際の腐食状態を反映し、様々な腐食形状を考慮した終局耐力に関する研究は少ないと言える。

本研究では、様々な局部腐食形状を有する主桁端部パネルのせん断耐力の把握を目的とする。まず、既往の調査研究および定期点検データに基づいて代表的な



写真 1 港湾鋼構造物の端部局部腐食の事例⁵⁾

腐食形状を決定する。各腐食形状に対して 3 つの腐食進行パターンを仮定し、複合非線形有限要素解析を行う。そして、数値解析により得られたせん断座屈耐力を分析し、腐食形状および腐食進行程度とせん断座屈耐力の低下量の関係を検討する。さらに、せん断座屈時の変形コンター図から、局部腐食がパネルのせん断耐力に与える影響を考察する。最後に、端部パネルにおいて局部腐食がクリティカルに影響を与える部分を提示する。

2. 端部パネルにおける腐食の特徴

既往の調査研究^{2-4, 6)}と橋梁の定期点検データ^{1, 3, 5)}の分析から抽出した端部パネルにおける代表的な局部腐食状態を写真 2 に示す。文献 3) では、支点から支間中央側にある 27 の腐食事例は、横長方形の腐食事例が 17 ケース、横三角形の腐食事例が 10 ケースとなっている。縦長方形の腐食事例が少ないものの、写真 2(c)

*技術研究所 建築研究室

**長岡技術科学大学 准教授

***長岡技術科学大学 名誉教授

に示す腐食事例が挙げられている。また、写真1に示すような支点から橋台側の腹板、桁端縦補剛材及び下フランジでの腐食も見られるが、今回は端部パネルの局部腐食を研究ターゲットとしているため、支点部の局部耐力については考慮しない。そのため、写真2に示す3つの腐食形状を取り扱うこととした。

支承部において排水機能が不十分であると、長期間湿潤状態になり、汚泥などが蓄積され、写真2(a-b)に示す横長方形と横三角形の腐食状態に至る¹⁴⁾。この2種類の局部腐食では、腐食範囲はウェブ高方向には進行せず、パネルの幅方向へ進行する。

伸縮装置から漏水し、排水機能が不十分であるとき、写真2(c)に示すような縦方向に細長い腐食形状が形成される。この腐食形状は床板からの漏水により生じ、支承部から上フランジへあるいは上フランジから支承部へ進むと考えられる。

いずれの腐食形状においても腐食減厚による局部領域での均一な断面欠損となり、主桁の耐荷力の低下が懸念される。

3. 有限要素解析

3.1 基本モデル

(1) 基本モデルの寸法

図1に示す健全モデルHを基本モデルとし、桁中央に荷重Pを作用させる。上、下フランジならびにウェブの寸法は、それぞれ、200mm×12(28)mm、1250(1234)mm×6(12)mmである。ここでは、局部座屈を防ぐため、載荷点補剛材、支持点および中間補剛

材を板厚32mmの鋼板とし、ウェブからフランジ外縁まで取り付けることとした。フランジ、ウェブおよび補剛材の材質はSM490Yである。

また、端部パネルのせん断座屈を卓越させるため、基本モデルでは、中央パネルのフランジとウェブの板厚を厚くしている。既存の鋼橋では、パネルのアスペクト比が1.0に近い桁が多く見られるため、ここでは各パネルのアスペクト比を1.0とした。

(2) モデルの耐力評価値

基本モデルHでは桁端部パネルのせん断座屈が支配的となっている。図2に示す端部パネルにせん断座屈が生じるとき、桁中央の荷重 P_{SB} は次のように得られる¹⁵⁻¹⁶⁾。

$$A_f / A_w \geq 0.8 :$$

$$P_{SB} = 2t_w h_w \tau_{wy} \left(\tau_{cr} / \tau_{wy} + \frac{\sqrt{3} (1 - \tau_{cr} / \tau_{wy})}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \right) \quad (1a)$$

$$A_f / A_w < 0.8 :$$

$$P_{SB} = 2t_w h_w \tau_{wy} \left(\tau_{cr} / \tau_{wy} + \frac{\sqrt{3} (1 - \tau_{cr} / \tau_{wy})}{\alpha + \sqrt{1 + \alpha^2}} \right) \quad (1b)$$

腹板のせん断座屈応力 τ_{cr} は次のように求める。

$$\tau_{cr} = \tau_{cr}^e \quad (\tau_{cr}^e \leq 0.8\tau_{wy}) \quad (2)$$

$$\tau_{cr} = \sqrt{0.8\tau_{wy}\tau_{cr}^e} \quad (\tau_{cr}^e > 0.8\tau_{wy}) \quad (3)$$

ただし、 $\tau_{cr} \leq \tau_{wy}$ であり、 k_s は次式より求める。



(a) 横長方形の腐食状態³⁾



(b) 横三角形の腐食状態¹⁾



(c) 縦長方形の腐食状態⁵⁾

写真2 既設鋼橋の端部パネルにおける腐食事例

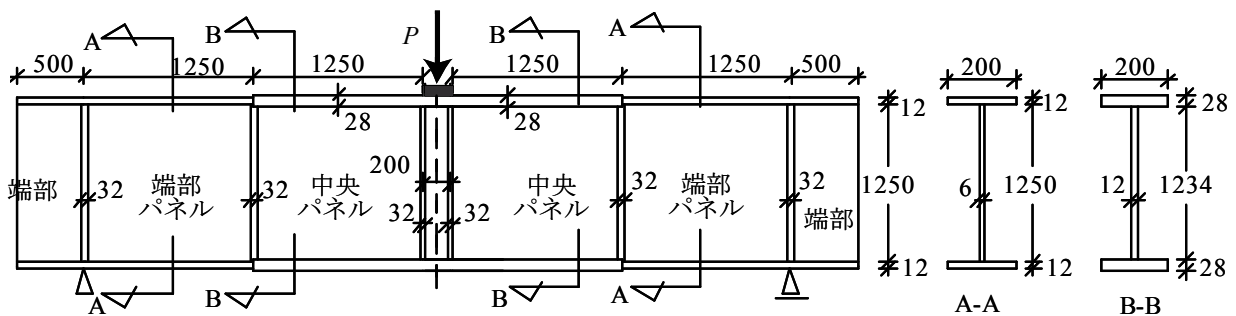


図1 基本モデル (健全モデル)

$$\tau_{cr}^e = k_s \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2 \quad (4)$$

$$k_s = 5.34 + 4.00 \frac{1}{\alpha^2} \quad (\alpha \geq 1) \quad (5)$$

$$k_s = 4.00 + 5.34 \frac{1}{\alpha^2} \quad (\alpha < 1) \quad (6)$$

ここに、 A_f : 上下フランジ断面積の合計; A_w : ウェブの断面積; t_w : 腹板厚; h_w : 腹板高; τ_{wy} : 腹板の降伏せん断応力度; τ_{cr} : 腹板のせん断座屈応力度; α : アスペクト比; E : ヤング係数; ν : ポアソン比をそれぞれ表す。

図1に示す基本モデルの端部パネルでは、 $A_f/A_w < 0.8$ であり、式(1b)によりせん断座屈が生じるときの桁中央部の荷重 P_{sB} は1477kNとなる。なお、鋼材の降伏応力度を 355N/mm^2 とした。

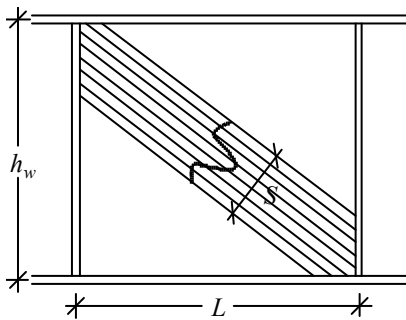


図2 斜張力場

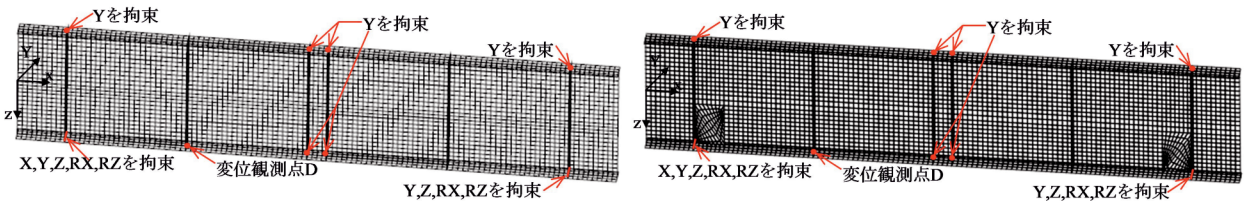
3.2 解析概要

解析では汎用有限要素解析ソフト Diana 9.3¹⁷⁾を用

いる。文献7-8, 11, 18)を参考し、要素は8節点シェル要素(CQ40S)を用いる。部材の要素分割は上下フランジ幅方向に4分割、ウェブ高方向に25分割、部材軸方向に120分割とする。このとき、健全モデルの節点数は13939、要素数は4560となる。メッシュ分割を図3(a)に示す。桁および補剛材の降伏応力度は 355N/mm^2 を想定しており、図4に示すように応力-ひずみ関係曲線はバイリニアとし、Von Misesの降伏条件を用いる。ヤング係数は $2.00 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比は0.3とする。解析では、応力-ひずみ曲線を応力-塑性ひずみ曲線に変換して与える。

通常、溶接による残留応力では、最大引張残留応力を σ_y と仮定する。本研究では鋼材の応力-ひずみ関係曲線を図4に示すバイリニア形としているため、溶接による残留応力の分布¹⁹⁾を用いると、最大引張残留応力と仮定する領域のみで塑性変形が進展し、パネルの耐力を正確に評価することができない。そのため、文献19-21)を参考にし、図5に示す最大引張残留応力を $0.3\sigma_y$ とする残留応力分布を仮定した。解析では、まず各節点に図5に示す応力分布を初期応力として与えて、自己釣り合いを考慮する。次に、図1に示す荷重を変位制御で与えて解析する。

初期たわみの最大値は道路橋示方書で規定されている部材精度の制限値(腹板: $\delta_{y\max} = h_w/250$ 、フランジ: $\delta_{f\max} = b/100$)とし、ウェブおよびフランジへ次の初期不整を導入する²²⁾。ここに、 b は自由突出板の幅である。なお、初期たわみを図1に示す中央パネル、端部パネルおよび桁端部に導入し、載荷点付近の



(a) 健全桁 (腐食形状 C, U, V)

(b) 腐食形状 T

図3 メッシュ分割の例

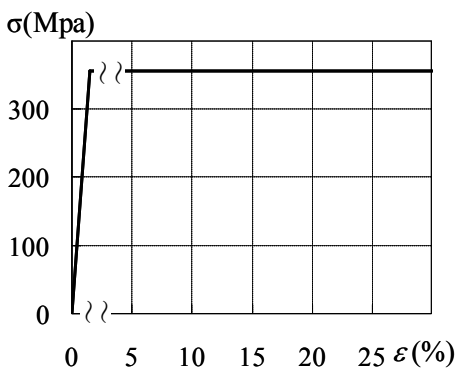


図4 鋼材の応力-ひずみ関係曲線

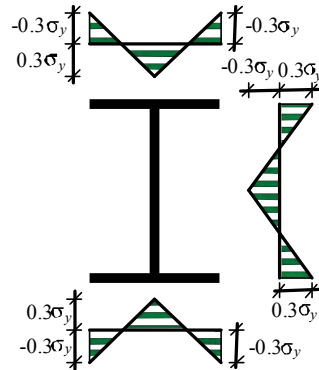


図5 残留応力分布

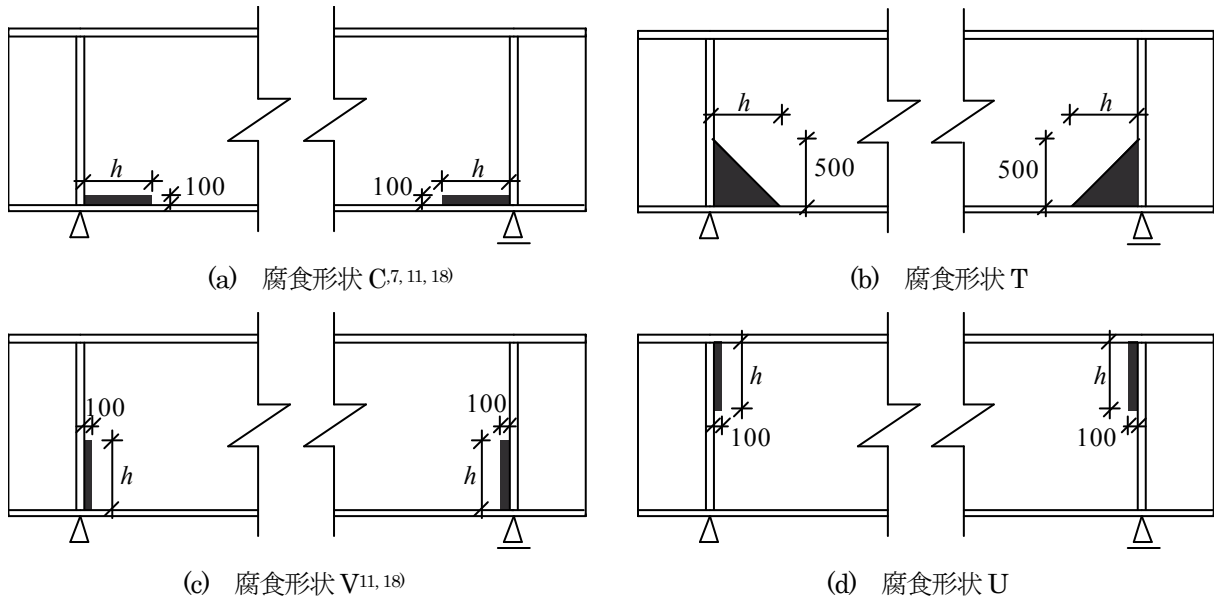


図6 腐食形状

フランジとウェブについては初期たわみを導入していない。

$$\text{ウェブ: } \delta_y = \frac{h_w}{250} \sin\left(\frac{\pi}{h_w} z\right) \cos\left(\frac{\pi}{L} x\right) \quad (7)$$

$$\text{フランジ: } \delta_f = \frac{y}{100} \cos\left(\frac{\pi}{L} x\right) \quad (8)$$

ここに、 L はパネルの幅である。

拘束条件を図3に示す。桁両端をライン上で単純支持条件とし、支持点の上フランジならびに載荷点の上下フランジの横方向変位を拘束する。漸増荷重 P (変位制御) を桁中央に鉛直方向に与え、せん断耐力が低下後も計算を行う。

3.3 解析ケース

腐食モデルとして、写真2に示すような端部パネルにおける腐食形状を想定する。ここでは、図6に示す腐食形状および腐食領域のウェブ厚をパラメータとし、腐食範囲 h を 25%、50%、75%、100% $L(h_w)$ 、腐食領域での残存ウェブ厚 t を 25%、50%、75% t_w とする。図6に示す4種類の腐食形状と表1に示すパラメータの組み合わせにより、合計45ケースに対して解析を行う。

写真2に示すように腐食形状Cの高さ、腐食形状VとUの幅はさほど進展するものではないことから、100mmとする。また、腐食形状Tの高さは進展する可能性があるため、500mmとする。

腐食形状Tを有する桁のメッシュ分割の例を図3(b)に示す。他の腐食形状を有するモデルのメッシュ分割は健全桁と同じである。

4. 解析結果

4.1 荷重—変位関係曲線

(1) 健全桁

図7に健全桁の荷重 P —端部パネルの変位 δ 関係曲線を示す。 δ は図3に示すD点の荷重方向の変位である。最大荷重を $f_{em}P_H$ で表し、以下、健全耐力と呼ぶ。せん断耐力評価値 P_{sB} ($=1477\text{kN}$) も同図に示す。解析値 $f_{em}P_H$ ($=1621\text{kN}$) は評価値 P_{sB} より 9.7% 高くなる結果が得られた。参考文献16)では、Basler式とFEAの予測値に10%程度のばらつきが生じることが示されている。そのため、本研究では、FEAの評価値がBasler式に対して、9.7%と高くなっているものの、腐食減厚による最大荷重の低下を評価することは可能であると判断した。

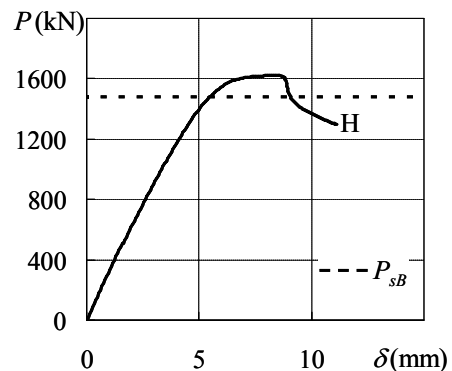


図7 荷重—端部パネル変位の関係曲線

表1 各解析モデルおよび耐力

モデル	腐食形状	h (%)	t (%)	$femP_{max}$ (kN)	$femP_{max} / P_{sB}$	$femP_{max} / femPH$	モデル	腐食形状	h (%)	t (%)	$femP_{max}$ (kN)	$femP_{max} / P_{sB}$	$femP_{max} / femPH$	
Ch25t75	C	25	75	1624	1.099	1.002	Vh25t75	V	25	75	1626	1.101	1.003	
Ch25t50			50	1618	1.095	0.998	Vh25t50			50	1622	1.098	1.001	
Ch25t25			25	1617	1.095	0.998	Vh25t25			25	1621	1.098	1.000	
Ch50t75		50	75	1624	1.099	1.002	Vh50t75		50	75	1639	1.110	1.011	
Ch50t50			50	1620	1.096	0.999	Vh50t50			50	1628	1.102	1.005	
Ch50t25			25	1618	1.095	0.998	Vh50t25			25	1622	1.098	1.000	
Ch75t75		75	75	1617	1.095	0.998	Vh75t75		75	75	1614	1.093	0.996	
Ch75t50			50	1607	1.088	0.992	Vh75t50			50	1596	1.080	0.984	
Ch75t25			25	1572	1.064	0.970	Vh75t25			25	1501	1.016	0.926	
Ch100t75		100	75	1593	1.079	0.983	Uh25t75		25	75	1521	1.030	0.939	
Ch100t50			50	1509	1.021	0.931	Uh25t50			50	1375	0.931	0.849	
Ch100t25			25	1497	1.013	0.923	Uh25t25			25	1173	0.794	0.723	
Th25t75	T	25	75	1631	1.104	1.006	Uh50t75	U	50	75	1511	1.023	0.932	
Th25t50			50	1624	1.100	1.002	Uh50t50			50	1315	0.890	0.811	
Th25t25			25	1622	1.098	1.001	Uh50t25			25	1037	0.702	0.640	
Th50t75		50	75	1646	1.114	1.015	Uh75t75		75	75	1510	1.022	0.932	
Th50t50			50	1630	1.103	1.005	Uh75t50			50	1307	0.885	0.806	
Th50t25			25	1623	1.099	1.001	Uh75t25			25	1197	0.811	0.739	
Th75t75		75	75	1625	1.100	1.003	Uh100t75 (Vh100t75)		U (V)	100	75	1511	1.023	0.932
Th75t50			50	1617	1.095	0.998	Uh100t50 (Vh100t50)				50	1313	0.889	0.810
Th75t25			25	1600	1.083	0.987	Uh100t25 (Vh100t25)				25	940	0.636	0.580
Th100t75		100	75	1600	1.083	0.987								
Th100t50			50	1521	1.030	0.938								
Th100t25			25	1509	1.022	0.931								
H	健全			1621	1.097									

解析モデル符号の例：

解析モデル Uh50t50 : U : 腐食形状, h50 : h = 50%h_w, t50 : t = 50%t_w のモデル。

解析モデルグループ Uh50 : U : 腐食形状, h50 : h = 50%h_w, t = 25%, 50%, 75% t_w の3モデル。

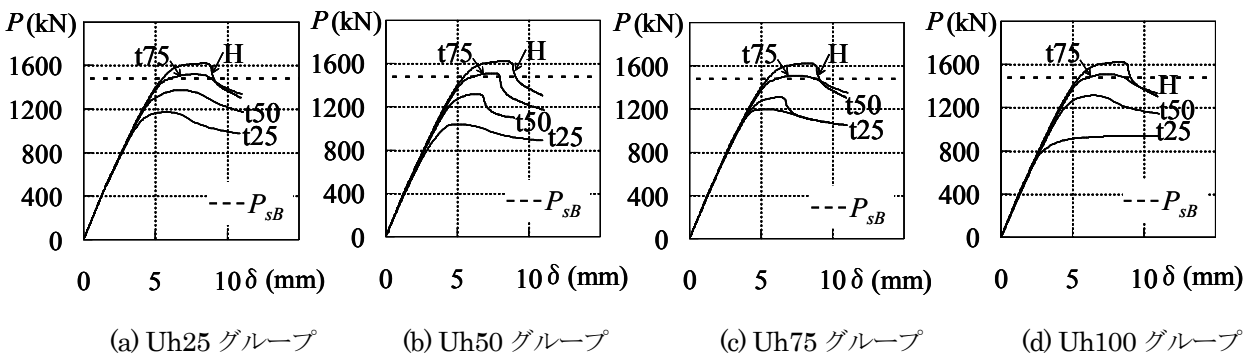


図8 荷重-端部パネル変位の関係曲線

(2) 腐食モデル

腐食桁の荷重 P -端部パネルの変位 δ 関係曲線において最大荷重を腐食桁の残存耐力 $femP_{max}$ として定義する。表1に各モデルについて解析値 $femP_{max}$ 、解析値

$femP_{max}$ と評価値 P_{sB} の比および腐食桁の残存耐力 $femP_{max}$ と健全耐力 $femPH$ の比をまとめる。健全耐力より3%以上の耐力が低下したケースについて、太字で表に示す。

モデル Vh75t25、Ch100t25、Ch100t50(Th100t25)、Th100t50 と Ch75t25 は、健全耐力よりそれぞれ 7.4%、7.7%、6.9%、6.2% および 3.0% の低下を示した。モデル Vh75t25 ではウェブがせん断降伏したものの、解析値が腐食後ウェブのせん断降伏評価値（残存断面積×せん断降伏応力度）より高くなった。これらのモデルについては残存耐力 $femP_{max}$ が健全耐力より低く、評価値 P_{SB} より高くなっている。腐食範囲が広く減厚が激しい場合、せん断降伏耐力が小さくなり、せん断座屈からせん断降伏へ終局モードが移行する可能性がある。これに関しては次節で説明する。

Ch75~Ch100、Th75~Th100 と Vh75 グループでは耐力の低下が見られたものの、 P_{SB} レベル以下までに低下したケースはなかった。これより、これらの腐食

タイプでは、断面欠損が生じてもただちに耐力の低下とならない。

図 8 に $P-\delta$ 関係曲線をモデル Uh25~Uh100 グループについて示す。いずれのモデルにおいても、耐力の低下が見られた。腐食領域での残存ウェブ厚が 75% t_w となった場合でも健全耐力 $femPH$ より 7% 程度低下した。さらに腐食が進行し、残存ウェブ厚が 50% t_w および 25% t_w になると、解析値が P_{SB} レベル以下まで低下した。モデル Uh100t25 が局部断面欠損によりウェブのせん断降伏となり、耐力低下量が最も大きく 42% となった。そのため、形状 U に似た局部腐食を受けた場合、耐力が著しく低下し、有効な対策をとる必要があると考える。

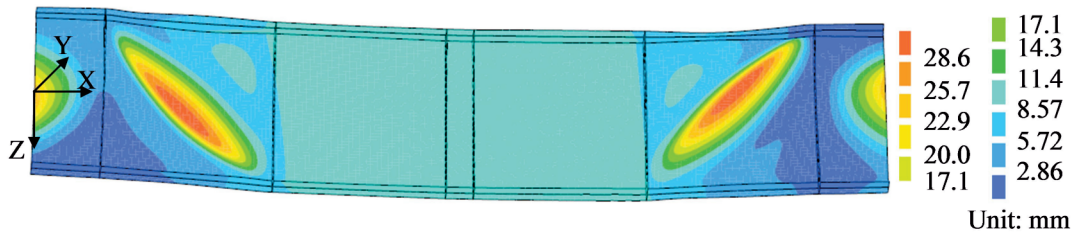


図 9 モデル H の面外変形コンター図 ($P = femPH$)

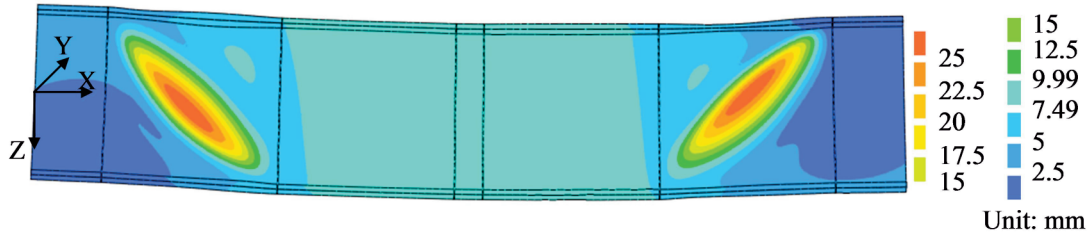


図 10 モデル H' の面外変形コンター図 ($P = femPH$)

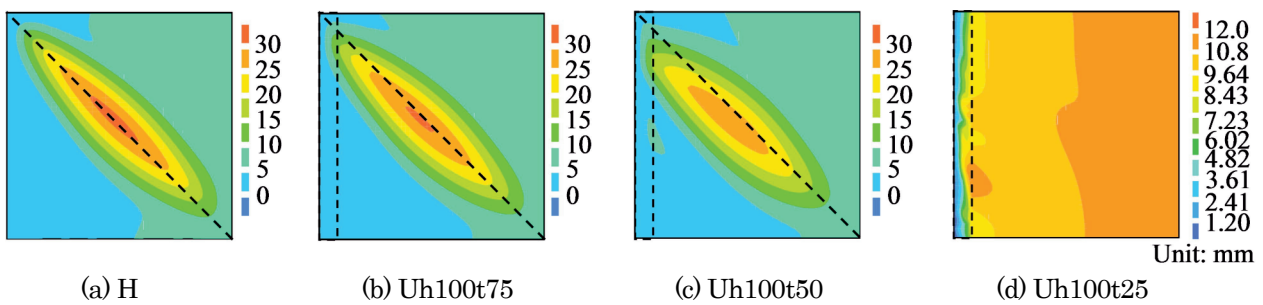


図 11 端部パネルの面外変形コンター図 ($P = femP_{max}$; [] : 腐食領域; - - - : 対角線)

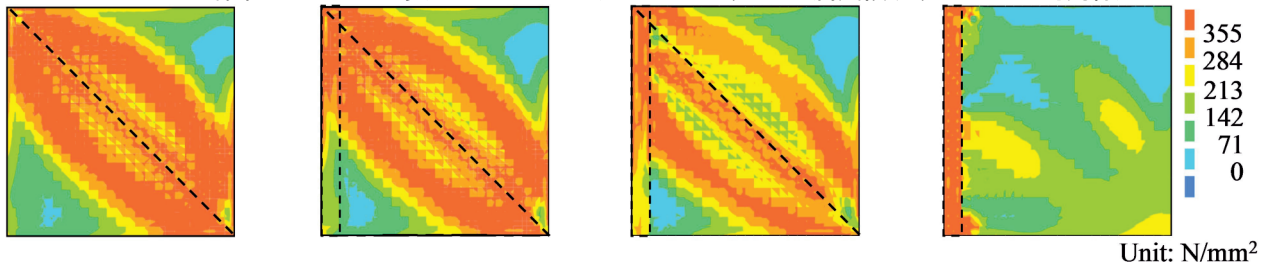


図 12 端部パネルの Von Mises 応力分布図 ($P = femP_{max}$; [] : 腐食領域; - - - : 対角線)

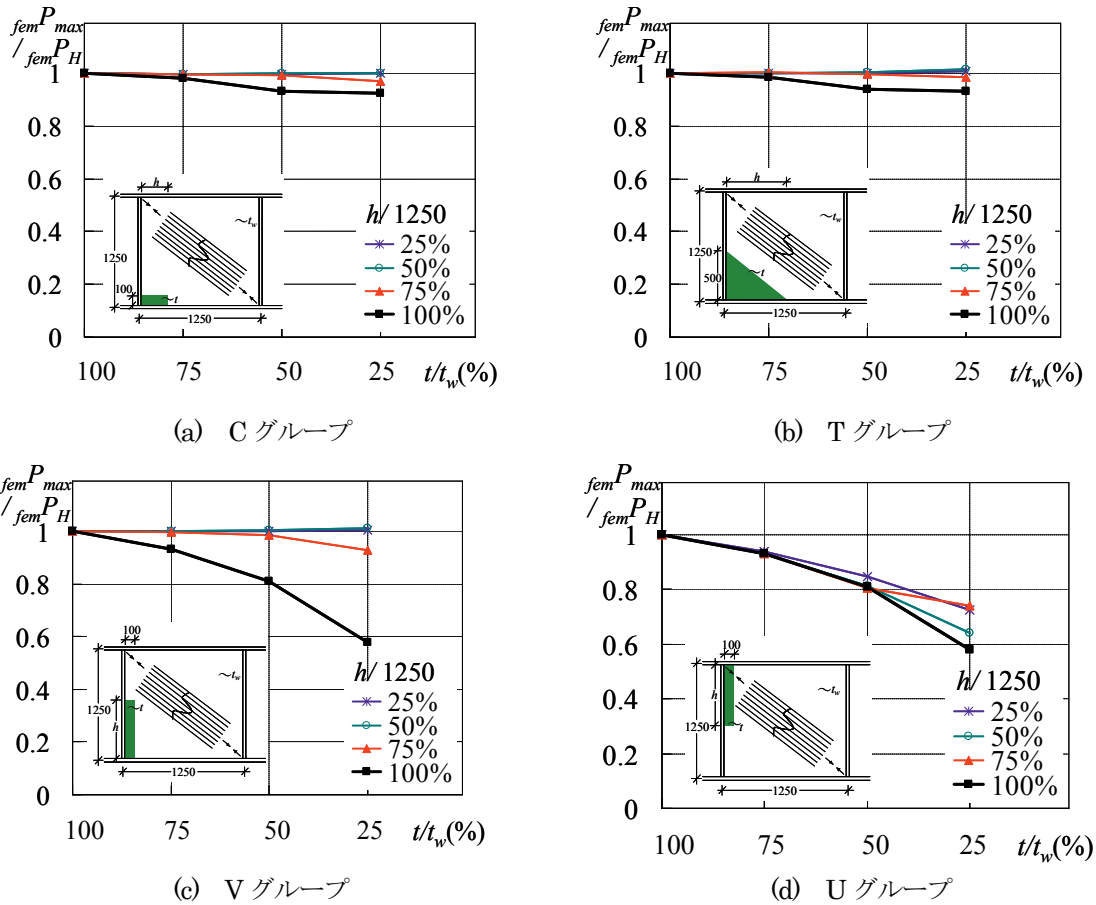


図13 残存耐力と残存板厚の関係

他のモデルについては耐力の変動が非常に小さく、腐食による断面欠損を受けてもせん断座屈耐力の低下が見られなかった。

4.2 変形コンター図および応力分布

図9に解析値 $fem P_H$ に達するときの面外変形コンター図を健全桁について示す。端部の両パネルに斜張力場が形成されていることが分かる。ここで、初期たわみを与えていない場合のモデル H'について、解析値 $fem P_H$ に達するときの面外変形コンター図を図10に示す。図9と図10を比べると、図9の端部の変形は導入した初期たわみによるものであることが分かる。

解析値 $fem P_{max}$ に達するときの端部パネル面外変形コンター図を図11に、Von Mises 応力分布図を図12に健全桁 H および腐食モデル Uh100 グループについて示す。モデル Uh100t25 では、減厚の進行とともに、面外変形が小さくなり、図12(d)に示すように、局部腐食領域での塑性化が卓越するため、斜張力場が形成されていないことが分かる。そのため、終局モードはせん断降伏となった。このように、図6(d)に示す腐食形状 U を有する鋼桁では斜張力場が発達せず、終局モードがせん断降伏へと移行する可能性が高い。

4.3 せん断耐力および減厚の関係

図13に各腐食形状について、残存耐力 $fem P_{max}$ と健全耐力 $fem P_H$ の比、腐食領域での残存板厚 t と腹板厚 t_w の関係を示す。局部領域での断面欠損が必ずしもせん断耐力を低下させるのではなく、腐食形状に依存することが分かる。腐食が進行すると、腐食形状 U をもつ鋼桁の端部パネルの残存耐力の低下量が大きくなる傾向がある。これは、斜張力場のアンカー部分が損傷を受けるためである。

今回の解析結果から、端部パネルにおいて腐食の影響をクリティカルに受ける部分を図14に模式的に示す。

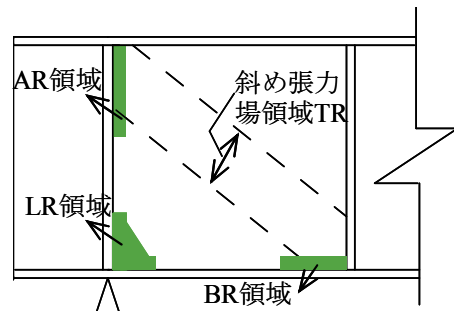


図14 端部パネルにおけるクリティカルな部分

AR領域:最もクリティカルな部分である。断面欠損が生じる場合、耐力は必ず低下し、腐食の進行と共に耐力の低下量が大きくなる。終局モードがせん断座屈からせん断降伏へ移行する場合もある。ただし、2節に述べたようにこの腐食損傷パターンの実例は少ない。

BR領域:クリティカルな部分である。図6に示す腐食形状CおよびTが進行し、BR領域での断面欠損に至る。対象とした解析ケースでは、耐力の低下量が8%程度だった。

LR領域:クリティカルな部分である。BR領域およびAR領域が損傷しない場合、せん断座屈耐力の変動は小さいものの、支点の局部降伏耐力に影響を及ぼすことが懸念される^{2,13)}。

5. まとめ

本研究では、端部パネルにおいて局部腐食を有する鋼桁を対象に、腐食形状および進行程度をパラメータとし、弾塑性有限要素解析を行い、残存せん断耐力の変化について検討した。検討した項目および得られた知見は次のようになる。

- (1) 既往の調査研究および橋梁の定期点検データを分析し、代表的な端部局部腐食形状を抽出した。支承部および伸縮装置において排水機能が不十分であるとき、パネル幅方向へ進行する横長方形と横三角形の2種類と、支承部から上フランジへあるいは上フランジから支承部へ進む縦長方形の腐食形状が形成される。
- (2) 残留応力および初期たわみを考慮し、4種類の腐食形状と3つの腐食進行パターンを仮定し、合計45ケースに対して複合非線形有限要素解析を行い、弾塑性挙動を分析した。
- (3) 腐食モデルと健全モデルの比較を通じて、各腐食形状が残存せん断耐力に与える影響について考察した。上フランジから支承部に向けて縦長方形の局部腐食が発生した場合、せん断耐力が必ず低下すること、他の腐食タイプでは断面欠損が生じてもただちに耐力の低下とならないことが分かった。
- (4) 最大荷重時の変形コンター図および応力分布図を分析し、上フランジから支承部に向けて縦長方形の局部腐食が発生した場合、局部腐食により斜張力場が形成されず、端部パネルの終局モードがせん断降伏へ移ることを確認した。
- (5) 今回の解析結果から、局部腐食が端部パネルにクリティカルな影響を与える部分を模式的に提示した。その結果、上フランジから支承部に向けた縦長方形の腐食形状が最もクリティカルな部分であり、他の腐食状態についてはせん断耐力の変動は小さいものとなった。

今後の課題として、耐力の減少を斜張力場領域と腐食範囲との関連で示すことが挙げられる。また、本研究では端部パネルの均一腐食による断面欠損のみを考慮しているため、疲労き裂、変位・変形による損傷などの検討も必要であると考えられる。

参考文献

- 1) (独) 国土技術政策総合研究所：道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—, ISSN 1346-7328, 国総研資料第196号, 2004.12
- 2) John W. van de Lindt & Theresa M. Ahlborn: Development of Steel Beam End Deterioration Guidelines, Michigan Tech Transportation Institute Center for Structural Durability, MDOT Research Report RC-1454, CSD-2004-06, 2005.1
- 3) (独) 国土技術政策総合研究所：鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究, ISSN 1346-7328, 国総研資料第294号, 2006.1
- 4) (社) 日本鋼構造診断士専門委員会：土木鋼構造物の点検・診断・対策技術—2007年度改訂版, 2007.8
- 5) (財) 海洋架橋・橋梁調査会：道路橋の重大損傷—最近事例—, 2009.3
- 6) (社) 土木学会：腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル, 丸善, 2009.6
- 7) 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, pp1099-1105, 2002.3
- 8) Vo Thanh Hung, 長澤 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
- 9) 海田辰将, 藤井 堅, 原 孝志, 中村秀治, 上野谷実：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.121-129, Vol.50A, 2004.3
- 10) 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
- 11) 中山太士, 木村元哉, 石川敏之, 松井繁之：ウェブ孔食をもつ鋼桁のせん断耐荷力, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.49-56, 2006.3
- 12) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, I 共通編, II 鋼橋編, 丸善, 2003
- 13) Kayser, Jr. and A.s. Nowak：capacity loss Due to Corrosion in steel-Girder Bridges, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.115, No.6, pp.1525-1537, 1989.6
- 14) 松本 勝, 白石成人, Rungthongbaisuree Somkiat, 岡村敬：鋼橋の腐食に関する研究, 構造工学論文集, Vol.36A, pp.1015-1020, 1990.3

- 15) AASHTO : LRFD Bridge Design Specifications, 3rd. Edition, Washington, D.C., 2004
- 16) (社) 土木学会鋼構造委員会 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会 : 鋼・合成構造標準示方書に基づく新たな設計—鋼構造委員会 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会報告書—, 2009.9
- 17) de Witte, F.C. and Kikstra, W.P. : DIANA Finite Element User's Manual: Analysis Procedures (release 9.3), TNO DIANA b.v., 2008
- 18) 武田八郎, 皆谷裕介, 吉川昌典 : ウェブに腐食を受けた鋼桁のせん断強度について, 舞鶴工業高等専門学校紀要, No.41, pp.42-48, 2006.3
- 19) (社) 土木学会鋼構造委員会 : 座屈設計ガイドラン (2005年改訂版) , 2005.10
- 20) 金 仁浩, 山口隆司, 北田俊行, 中村智昭 : ソールプレート周辺にき裂を有する鋼橋 I 桁端部のせん断耐荷力特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.841-856, 2008.11
- 21) 劉 翠平, 宮下 剛, 長井正嗣 : せん断を受けるハイブリッド桁に関する研究, 第 27 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, pp.16-19, 2009.11.10
- 22) (社) 日本鋼構造協会 鋼橋性能向上研究委員会・合理化設計法部会 : 合成桁の限界状態設計法試案, pp.2-31, 2006.10