

## 腐食した既設鋼 I 桁橋桁端部の性能評価と

### それに基づく合理的な補修法に関する解析的研究

#### ANALYTICAL STUDY ON PERFORMANCE EVALUATION AND RATIONAL REPAIR METHOD FOR EXISTING STEEL I-GIRDER END WITH CORROSION

橋梁工学分野 有山 大地

Bridge engineering Daichi ARIYAMA

本研究では、桁端部の腐食を想定した鋼 I 桁橋の全橋 FEM 解析を実施し、耐荷性能および桁端部の補修法を検討した。その結果、複数ある桁端部のうち一部の桁端部が腐食していても、橋梁システムとしては設計荷重に対して安全であることを明らかにした。また、従来の補修法は過補強であること、補修部材の重量を約半分に低減した簡便な補修法で十分な補修効果と安全性を確保できることを示した。

In this study, load carrying capacity and repair method for corroded girder ends are examined by full scale FEM analysis of steel I-girder bridge with corrosion at girder ends. The results indicate that in the case with corrosion at partial girder end, to be safety as bridge system against design load is clarified. Furthermore, that conventional repair method is overstrengthening and that enough repair effect and safety is secured by simple repair method which can reduce weight of repair members by half is shown.

#### 1. はじめに

高度経済成長期に建設された膨大な道路橋ストックの高齢化が急速に進む中で、これらの構造物の老朽化が大きな社会問題となっており、近年では、重大事故に繋がりがねない損傷事故が発生している。老朽化した鋼橋における劣化の要因は主に腐食と疲労であり、上部構造の損傷で架け替えられた鋼橋のうち架け替え理由の約半数を腐食が占めることが報告されている<sup>1)</sup>。

鋼 I 桁橋の腐食は、主桁の桁端部で多く発生しており、腐食した桁端部の残存耐荷力を実験的、解析的に検討した研究がこれまでも数多く行われている<sup>例えば 2), 3)</sup>。これらの研究は主桁一本の桁端部に着目しているが、鋼 I 桁橋は複数の主桁が床版や対傾構、横構を介して連結され、システムとして挙動することから、複数ある主桁のうち一部の主桁の桁端部に腐食が生じて、他の健全な主桁の桁端部が腐食した桁端部を補うように挙動することも考えられる。すなわち、一部の桁端部が終局状態に至ったとしても必ずしも橋梁システムとしての終局状態に至らない可能性があるが、このようなシステムとしての挙動や耐荷性能を検討した研究は数少ない。

ところで、腐食損傷が発見された場合、腐食により減厚した鋼部材に高力ボルトを用いた鋼板当て板補修

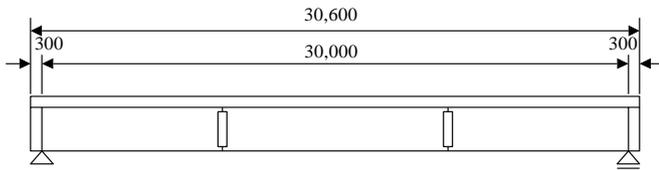
を行うのが一般的である。現状では、腐食部全てで当て板補修を行うが、当て板が煩雑となるとともにジャッキアップを伴う大がかりで手間のかかる施工となることもある。また、損傷した橋梁を全て補修や架け替えることは財政上難しく、より合理的な安全性評価手法および簡便な補修法の構築が急務である。

本研究では、最も標準的な橋梁形式である鋼 I 桁橋を対象に全橋 FEM 解析により、橋梁システムとしての耐荷性能を調査する。また、AASHTO<sup>4)</sup>で実用化されている既設橋梁の安全性評価手法 (Load Rating) を用いて安全性評価を試み、その結果を踏まえて、腐食した桁端部の補修法を検討する。

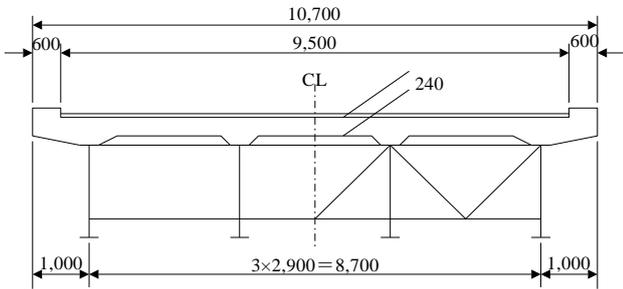
#### 2. 対象橋梁および解析モデル

図-1 に対象橋梁の一般図を示す。対象橋梁は平成 6 年版の土木構造物標準設計<sup>5)</sup>に記載されている支間長 30m、幅員 9.5m の単純非合成 4 主 I 桁橋であり、B 活荷重により設計されている。

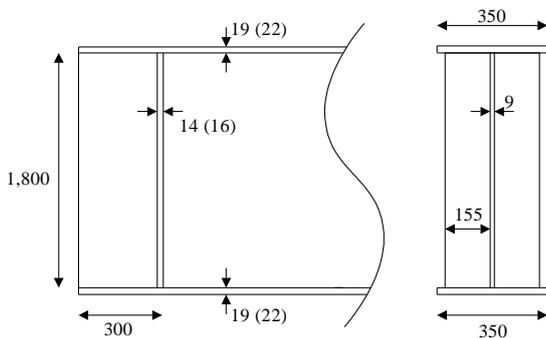
解析モデルを図-2 に示す。床版および主桁、横桁、補剛材、端対傾構上弦材は 4 節点シェル要素で、対傾構 (端対傾構上弦材は除く) および横構は梁要素で、ソールプレートは 8 節点ソリッド要素でそれぞれモデル化している。床版は床版断面の図心位置にシェル要



(a) 側面図

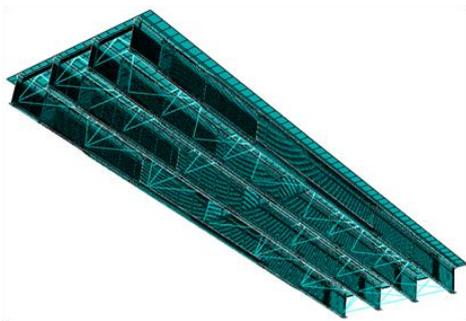


(b) 断面図

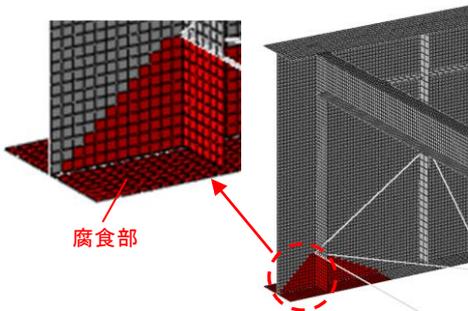


(c) 外桁端部 (カッコ内の数字は中桁の寸法)

図-1 対象橋梁の一般図 (単位: mm)



(a) 全体 (下面から)



(b) 腐食部

図-2 解析モデル

素でモデル化している。主桁は上フランジおよび端対傾構上弦材と完全結合している。対象橋梁は非合成桁橋として設計されているが、過去の研究<sup>9)</sup>から、長期供用期間を経た RC 床版を有する非合成桁橋では、上

表-1 材料特性

部材名	材質	ヤング係数 $E$ (GPa)	降伏点 $\sigma_v$ (MPa)	ひずみ硬化係数 $E'$ (MPa)
主桁ウェブ, 上下フランジ	SM490Y	200	355	$E/100$
ソールプレート	SS400	200		弾性体
その他の鋼部材	SS400	200	235	$E/100$
RC床版	コンクリート	25		弾性体

表-2 解析ケース

ケース名	腐食状況	腐食位置	支承条件	载荷方法
I_L-G2	腐食なし	-	可動・固定	$\alpha(D+L)$
D-G1_L-G2	50%減厚	G1桁端	両端拘束	
D-G2_L-G2		G2桁端		
D-G1G2_L-G2		G1G2桁端		
D-All_L-G2		全桁端		

フランジと床版コンクリートとの付着等により合成挙動を示すことが知られており、これらの結果を参考に本解析モデルでも合成桁橋としてモデル化している。腐食の形状は、実橋梁の腐食状況を調査した文献<sup>2)</sup>を参考に、図-2(b)に示すような腐食パターンを対象とした。

表-1に解析に用いた材料特性を示す。床版が損傷した場合、橋梁システムとしての耐力以前に車両が通行できず供用不可となることから、本解析では床版は損傷しないものと仮定し弾性体としてモデル化した。

### 3. 鉛直荷重を受ける鋼 I 桁橋の全橋 FEM 解析

#### 3.1. 解析ケースおよび解析条件

表-2に解析ケースを示す。着目したパラメータは腐食を有する桁端の位置である。腐食を有する桁端の位置のパターンは G1 桁端, G2 桁端, G1 および G2 桁端, 全桁端の 4 パターンを設定し、腐食部では板厚を 50% 減少させている。

想定する荷重は死荷重および B 活荷重 (L 荷重) であり、死荷重は上部構造の全重量を床版全面に等分荷重で、活荷重は G2 桁端に対して最も厳しくなるよう载荷した。なお、本研究では固定側の桁端部に着目する。解析では、死荷重および活荷重を弧長法で漸増させた。

支承条件は、健全状態では可動および固定とするが、腐食を有するケースでは、全ての支点で拘束とした。

#### 3.2. 荷重倍率と鉛直変位の関係

図-3に荷重倍率  $\alpha$  と桁端の鉛直変位の関係を示す。また、図-4には代表として I\_L-G2, D-G1\_L の最大荷重倍率 (橋梁システムとしての最大耐力) 時の各桁端部の変形図およびミーゼス応力コンターを示している。

図-3(a)の I\_L-G2 の場合、 $\alpha=2$  程度まで荷重が増加するにつれて線形的に変位も増加し、その後、G1 桁端, G2 桁端, G3 桁端は徐々に剛性が低下し、 $\alpha=3.26$  で最大荷重倍率に至った。このとき、G1, G2 桁端では図-4(a)に示すようにウェブパネルでせん断座屈が生じていた。

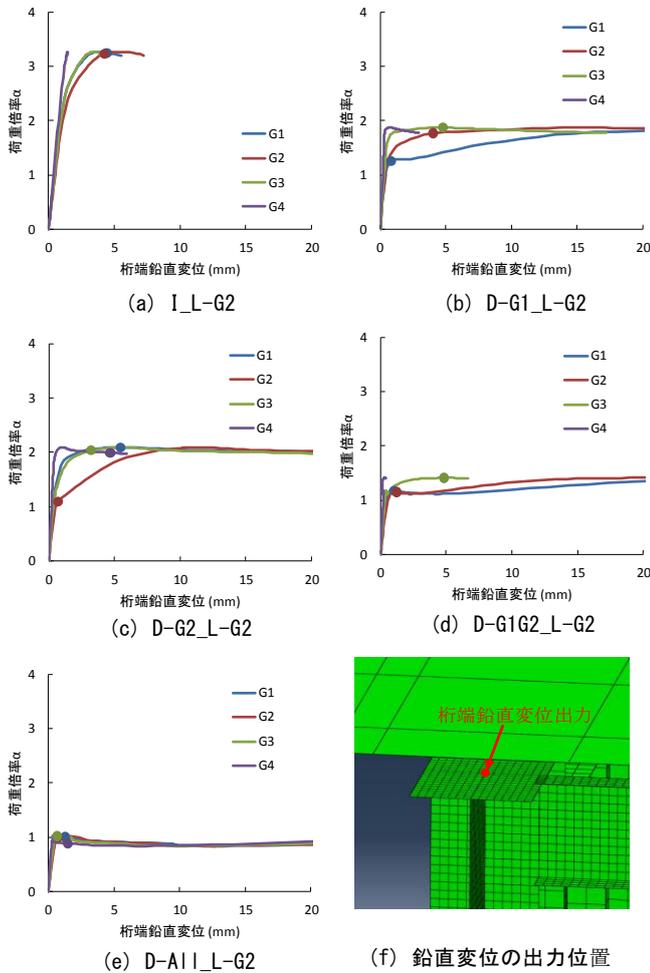


図-3 荷重倍率と桁端鉛直変位の関係

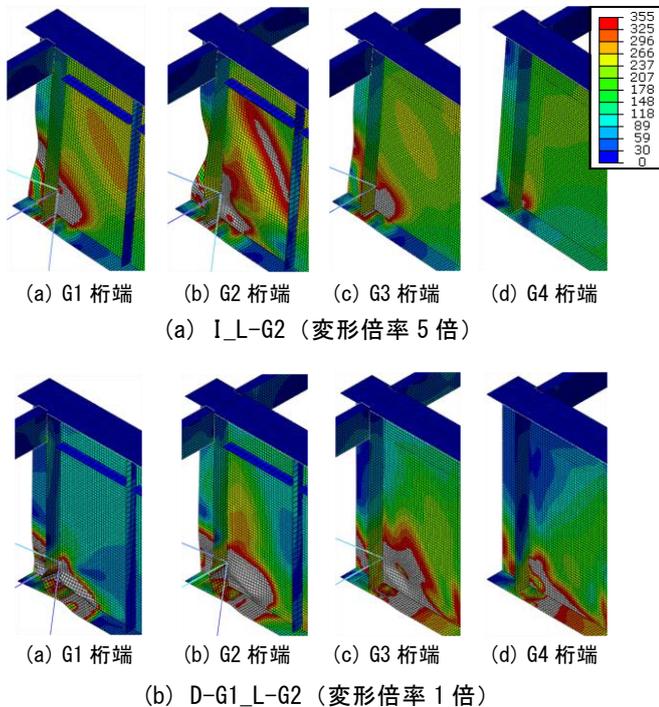


図-4 最大荷重倍率時の変形図と応力コンター

図-3(b)の D-G1\_L-G2 の場合、腐食を有する G1 桁端では腐食部で局部座屈が発生し、 $\alpha=1.26$  と他の健全な桁端に比べて早期に最大耐力に至るが、その後も荷重倍率  $\alpha$  は増加し、 $\alpha=1.87$  で最大荷重倍率に至った。

このとき、健全な G2, G3 桁端部では図-4(b)に示すようにウェブ下端部で局部座屈が発生していた。

図-3(c)の D-G2\_L-G2 の場合、腐食を有する G2 桁端では腐食部で局部座屈が発生し、 $\alpha=1.09$  で早期に桁端としての最大耐力に至るが D-G1\_L-G2 と同様にその後も荷重倍率  $\alpha$  は増加し、 $\alpha=2.09$  で最大荷重場率に至った。

図-3(d)の D-G1G2\_L-G2 の場合、腐食を有する G1, G2 桁端ではそれぞれ  $\alpha=1.18$ ,  $\alpha=1.15$  で桁端としての最大耐力に至るが、その後も G3 桁端で荷重に抵抗するため、荷重倍率  $\alpha$  は増加し、 $\alpha=1.41$  で最大荷重場率に至った。

図-3(e)の D-All\_L-G2 の場合、全ての桁端において比較的低荷重 ( $\alpha=1$  程度) で桁端としての最大耐力に至った。最大荷重倍率は  $\alpha=1.02$  であり、橋梁システムとしての最大耐力は設計荷重と同程度であった。

### 3.3. 各桁端の支点反力と荷重分担率

図-5 に各桁端の設計耐力  $P_d$  に対する支点反力  $R$  の比率 ( $P_d/R$ ) と桁端の鉛直変位の関係を、図-6 に各桁端の荷重分担率を示す。なお、設計耐力  $P_d$  は式(1)で算出した。

$$P_d = \sigma_{ys} (A_{es} + A_{ew}) \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_{ys}$ : 支点上補剛材の降伏応力 (235MPa),  $A_{es}$ : 支点上補剛材の有効断面積,  $A_{ew}$ : ウェブの有効断面積である。

図-5(a)の I\_L-G2 の場合、G1, G2, G3 桁端では支点反力が設計耐力  $P_d$  の 1.2 倍程度で挙動が非線形性を示しはじめる。その後、徐々に剛性が低下し、設計耐力  $P_d$  の約 1.6 倍でウェブパネルのせん断座屈により桁端としての最大耐力に至った。このとき、各桁端の荷重分担率は図-6(a)に示すように概ね 0.2~0.3 の間で推移しており、比較の変動は小さかった。

図-5(b)の D-G1\_L-G2 の場合、腐食を有する G1 桁端では設計耐力  $P_d$  の約 50% で最大耐力に至り、腐食を有する桁端の最大耐力が大きく低下することが確認された。また、健全な G2, G3 桁端では、I\_L-G2 と異なり設計耐力  $P_d$  の 1.3 倍程度で桁端のウェブ下端部の局部座屈により最大耐力に至っており、最大耐力の低下が見られた。G2 桁端の橋軸方向の支点反力を確認すると、最大で 3,000kN を超える大きな支点反力が作用していた。このことから、両端の支承拘束により支点部に橋軸方向の大きな支点反力が作用し、この作用によって桁端のウェブ下端部に塑性化や座屈が生じるため、健全な桁端でも鉛直方向の耐力が低下したと考えられる。図-6(b)に示す荷重分担率に着目すると、G1 桁端が最大耐力に至り、荷重分担率が低下しはじめるのと

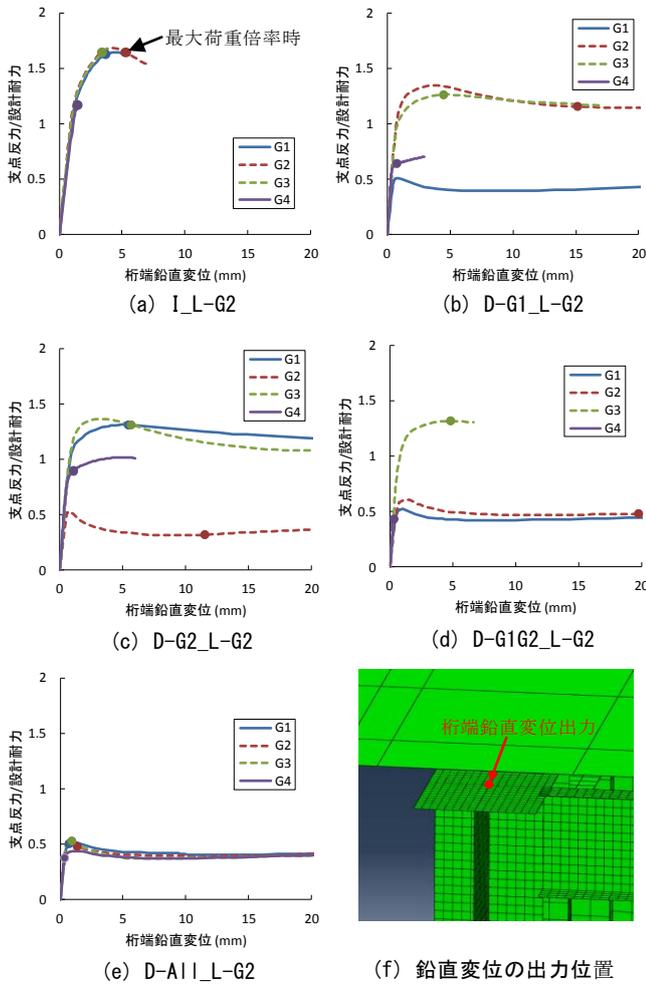


図-5 支点反力と桁端鉛直変位の関係

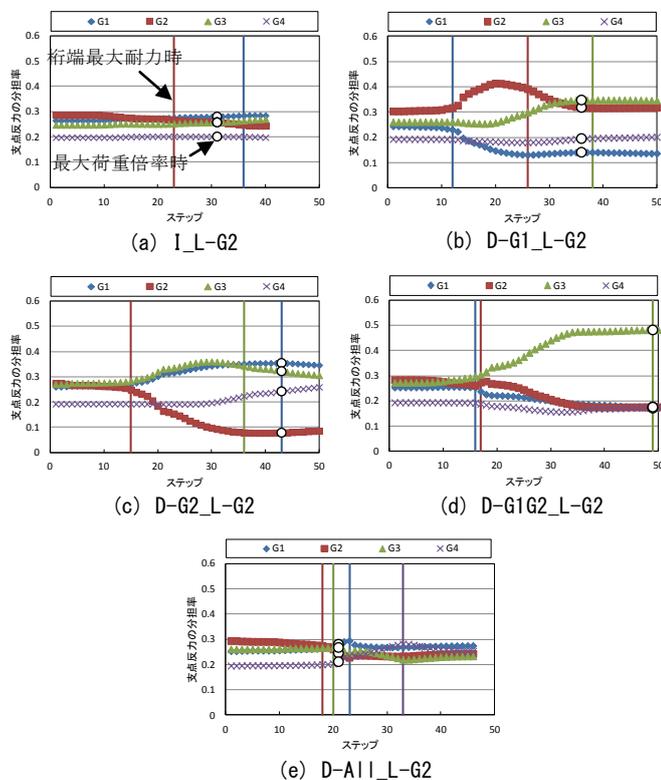


図-6 各桁端の荷重分担率

ほぼ同時に G2 桁端の分担率が増加し、遅れて G3 桁端の分担率も増加した。

図-5(c)の D-G2\_L-G2 の場合、各桁端の挙動は D-G1\_L-G2 と同様の傾向を示したが、荷重分担率は図-6(c)に示すように G2 桁端の分担率低下後、G1, G3 桁端の二つの桁端で分担率が増加し、遅れて G4 桁端の分担率も増加した。

図-5(d)の D-G1G2\_L-G2 の場合、腐食を有する G1, G2 桁端は設計耐力  $P_d$  の約 50% で、健全な G3 桁端では設計耐力  $P_d$  の 1.32 倍で桁端としての最大耐力に至った。各桁端の荷重分担率は図-6(d)に示すように G1, G2 桁端が順次最大耐力を迎え、分担率が低下した。一方で、G3 桁端は分担率が大きく増加した。

図-5(e)の D-All\_L-G2 の場合、全ての桁端で腐食部の局部座屈により設計耐力  $P_d$  の 50% 程度の荷重で桁端としての最大耐力に至る。また、各桁端の荷重分担率は I\_L-G2 と同様に概ね 0.2~0.3 の間で推移しており、荷重分担率の変動は比較的小さかった。

## 4. Load Rating による安全性評価

### 4.1. 評価方法

Load Rating では、設計活荷重に対して何倍の耐力を有しているかを表す  $RF$  で安全性を評価する。AASHTO において、 $RF$  は式(2)により算出されるが、本検討では、舗装や付属物等による死荷重および衝撃荷重の影響を考慮していないため、式(2)を簡略化した式(3)を用いて  $RF$  を算出する。

$$RF = \frac{C - \gamma_{DC}DC - \gamma_{DW}DW}{\gamma_L(LL + IM)} \quad (2)$$

$$RF = \frac{C - \gamma_D D}{\gamma_L L} \quad (3)$$

ここで、 $RF$ : Rating Factor,  $C$ : 耐力,  $DC$ : 構造部材および付属物による死荷重効果,  $DW$ : 舗装等による死荷重効果,  $LL$ : 活荷重効果,  $IM$ : 衝撃荷重,  $\gamma_{DC}$ : 構造部材および付属物の死荷重係数,  $\gamma_{DW}$ : 舗装等の死荷重係数,  $\gamma_L$ : 活荷重係数,  $D$ : 死荷重,  $L$ : 活荷重,  $\gamma_D$ : 死荷重係数である。

本検討では、使用限界状態と終局限界状態の二つの限界状態を考える。使用限界状態では、一般的に着目部材の応力度が許容応力度に達するときを限界状態とするが、ここでは複数ある主桁の桁端部のうち支点反力が最初に設計耐力  $P_d$  となるときのときとした。終局限界状態では、複数ある主桁の桁端部のうち最初に桁端の最大耐力に至るとき（桁端耐力）と橋梁システムとしての最大耐力に至るとき（全橋耐力）、さらに、橋梁システムとしての最大耐力を迎える前に桁端の鉛直変位が 20mm を超えるケースでは、桁端の鉛直変位が 20mm となるときの（変形性能）の 3 つのレベルの限界状態を設定した。

AASHTOでは新設時(設計時)と供用時とで異なる目標信頼性指標 $\beta$ を設定し、供用時では $\gamma_L$ を低減する仕組みを導入している。すなわち、供用時では新設時と比べて活荷重の影響を小さく見積もることができる。AASHTOを参考に使用限界状態では $\gamma_D=1.00$ ,  $\gamma_L=1.00$ を、終局限界状態では $\gamma_D=1.25$ ,  $\gamma_L=1.35$ を用いると $RF$ はそれぞれ式(4)、式(5)のようになる。

$$RF = \frac{C - D}{L} \quad (\text{使用限界}) \quad (4)$$

$$RF = \frac{C - 1.25D}{1.35L} \quad (\text{終局限界}) \quad (5)$$

ここで、耐力 $C$ はFEM解析により決定する。解析では、使用限界状態の場合、死荷重 $D$ を床版全面に等分布荷重で載荷した後、活荷重 $L$ を弧長法で漸増させた。終局限界状態の場合、死荷重 $D$ の1.25倍を床版全面に等分布荷重で載荷した後、活荷重 $L$ を弧長法で漸増させた。活荷重倍率を $\alpha$ とすると、各限界状態に至るときの $C$ は式(6)、式(7)のように書けることから、 $RF$ は式(8)、式(9)により算出できる。

$$C = D + \alpha L \quad (\text{使用限界}) \quad (6)$$

$$C = 1.25D + \alpha L \quad (\text{終局限界}) \quad (7)$$

$$RF = \alpha \quad (\text{使用限界}) \quad (8)$$

$$RF = \frac{\alpha}{1.35} \quad (\text{終局限界}) \quad (9)$$

#### 4.2. 評価結果

図-7に $RF$ の算出結果を示す。使用限界状態に着目すると、G1桁端が腐食しているD-G1\_L-G2以外のケ

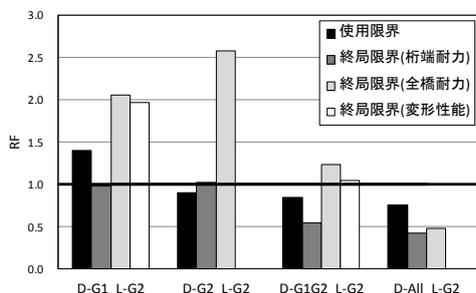


図-7 Rating Factor

ースでは $RF$ が1を下回っており、使用限界状態に対して安全性が不足するという結果であった。終局限界状態に着目すると、全ての桁端が腐食しているD-All\_L-G2では、桁端耐力の $RF$ と全橋耐力の $RF$ の差は小さく、どちらも1を下回っていた。一方、複数ある主桁のうち一部の主桁の桁端部に腐食を有するD-G1\_L-G2, D-G2\_L-G2, D-G1G2\_L-G2では、全橋耐力の $RF$ は桁端耐力の $RF$ と比較して非常に大きく、特に、D-G1\_L-G2, D-G1G2\_L-G2では、桁端耐力の $RF$ は1を下回っていたが、全橋耐力の $RF$ は1を上回っていた。すなわち、腐食した桁端の耐荷性能は不十分でも橋梁システムとしての耐荷性能は安全性を満足しているということになる。また、D-G1\_L-G2, D-G1G2\_L-G2では、変形性能の $RF$ が全橋耐力の $RF$ よりも小さくなるが、いずれも1を上回る結果となった。しかしながら、腐食の程度によっては、橋梁システムとしての耐荷性能が安全性を満足していても、変形性能が不十分となる可能性も考えられる。

#### 5. 腐食した桁端部の補修法の検討

ここでは、FEM解析により桁端部の補修法を検討するが、全橋モデルでは多大な計算労力が必要となるため、主桁一本のみを対象とした部分モデルで桁端部の補修法を検討する。その後、部分モデルでの検討結果を踏まえて、全橋モデルのLoad Ratingによりその補修効果を検証する。

##### 5.1. 解析ケース

解析ケースを表-3に示す。補修方法は従来の腐食部全てを当て板補修する方法の他に、ウェブを山形鋼で、下フランジを当て板で部分的に補修する方法について検討する。当て板の板厚はすべて9mmとし、山形鋼の断面は支点上補剛材の腐食減厚分を補えるよう130×130×12mm、山形鋼の長さ、すなわち補修高さは横構のガセットプレートとの干渉を避けるため200mmとした。山形鋼の設置位置はウェブと接合していない突出部が支点上補剛材とソールプレート縁端との中央を基本とし、設置位置の影響を調べるため突出部がソールプレート縁端に位置するケース(ケース名の末尾にeを付与)も検討する。また、山形鋼と下フランジとの支圧力の伝達の有無(支圧ありはケース名の末尾にbを付与)についても調べた。

表-3 解析ケース

解析ケース	腐食状況	支承条件	補修部材	補修位置	下フランジ-山形鋼の支圧力伝達
I-MF	腐食なし	可動・固定	-	-	-
D-RR-NO	50%減厚	両端拘束	-	-	-
D-RR-CON			当て板	腐食部全て	-
D-RR-A200			山形鋼	支間側ウェブ	なし
D-RR-A200b					あり
D-RR-A200e					なし
D-RR-A200bp			山形鋼, 当て板	支間側ウェブ, 下フランジ	あり
D-RR-A200A200b			山形鋼	支間側ウェブ, 桁端側ウェブ	
D-RR-A200A200bp			山形鋼, 当て板	支間側ウェブ, 桁端側ウェブ, 下フランジ	

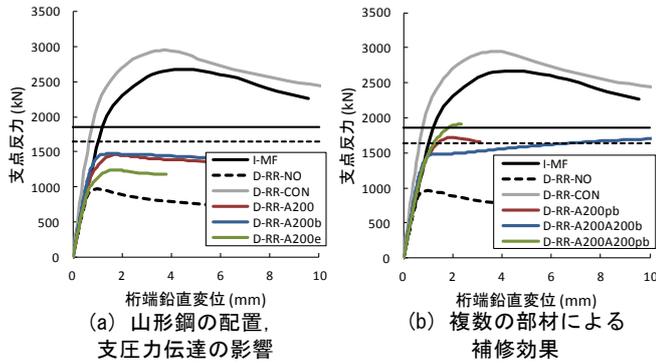


図-8 支点反力と桁端鉛直変位の関係

表-4 主な解析結果

解析ケース	最大耐力 (kN)	$P_d$ との比率	$P_u$ との比率	補修部材の重量 (kg)
I-MF	2,673	1.63	1.44	-
D-RR-NO	967	0.59	0.52	-
D-RR-CON	2,948	1.79	1.59	75.2
D-RR-A200	1,458	0.89	0.79	9.36
D-RR-A200b	1,470	0.89	0.79	9.36
D-RR-A200e	1,243	0.76	0.67	9.36
D-RR-A200bp	1,718	1.05	0.93	27.2
D-RR-A200A200b	1,703	1.04	0.92	18.7
D-RR-A200A200bp	1,907	1.16	1.03	36.6

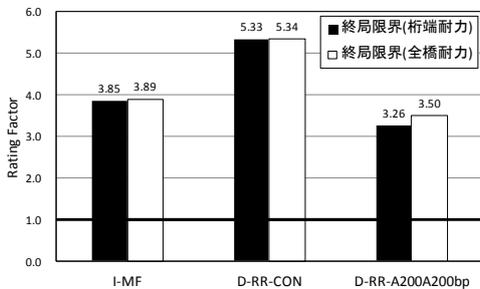


図-9 Rating Factor (補修効果の検証)

## 5.2. 部分モデルによる補修法の検討

図-8 に支点反力と桁端の鉛直変位の関係を、表-4 に主な結果をそれぞれ示す。図-8 には設計耐力  $P_d$ 、累加強度の耐力  $P_u$  も併記している。

図-8 より、D-RR-CON では、初期剛性、最大耐力ともに I-MF を上回っており、これまでの検討結果も踏まえると、従来の当て板補修は過補強であるといえる。図-8 (a) より、支圧力の伝達に着目すると、D-RR-A200 では、D-RR-A200b に比べて早期に非線形挙動を示すことが確認できるが、最大耐力については両者で大きな差異は見られない。また、山形鋼の配置に着目すると、D-RR-A200 の方が、D-RR-A200e より高い補修効果が得られている。図-8 (b) より、D-RR-A200bp、D-RR-A200A200b の最大耐力は  $P_d$  を上回るものの、 $P_u$  は下回っている。D-RR-A200A200b では D-RR-A200bp よりも低い荷重で非線形挙動を示し、最大耐力に至るときの変位も大きかった。一方、D-RR-A200A200bp の最大耐力は  $P_u$  を 3% 程度上回る結果となり、最も補強効果が高く、補修部材の重量は従来の当て板補修の約半分であった。

## 5.3. 全橋モデルによる補修効果の検証

全ての桁端部が腐食した鋼 I 桁橋 (D-All\_L-G2) を対象に、従来の当て板補修法 D-RR-CON と最も補修効

果が高かった D-RR-A200A200bp の補修法とでそれぞれすべての桁端部を補修した場合を想定し、Load Rating により補修効果を検証する。

図-9 に RF の算出結果を示す。D-RR-A200A200bp の桁端耐力の RF は 3.26、全橋耐力の RF は 3.50 といずれも 1 を大きく上回っており、設計荷重に対して十分安全であることが確認できた。

## 6. まとめ

本研究では、桁端部の腐食を想定した鋼 I 桁橋の全橋 FEM 解析を実施し、耐荷性能および桁端部の補修法を検討した。得られた結論を以下に示す。

- 健全な鋼 I 桁橋の橋梁システムとしての耐力は設計荷重の 3 倍以上ある。
- 桁端部が健全でも、腐食により両端の支承が固定化している場合、支承が主桁の水平移動を拘束することによって橋軸方向の支点反力が作用し、桁端部の鉛直方向の耐力が低下する。
- 複数ある主桁のうち一部の主桁の桁端部に腐食を有する場合、腐食した桁端部が最大耐力に至った後、健全な桁端部が鉛直荷重を分担し、橋梁システムとしての最大耐力が腐食した主桁の桁端部の最大耐力を大きく上回る。
- Load Rating により、桁端部が腐食した鋼 I 桁橋の安全性を評価した結果、終局限界状態では、複数ある主桁のうち一部の主桁の桁端に腐食を有するケースで、腐食した桁端の耐荷性能が不十分でも、橋梁システムとしての耐荷性能は安全性を満足することが示された。しかし、使用限界状態で安全性を満足しないものが見られた。
- 腐食部全てを当て板補修する従来の補修法は過補強であり、山形鋼と当て板を併用し、補修部材の重量を約半分に低減した簡便な補修法で、十分な補修効果と安全性を確保できることを示した。

〈参考文献〉

- 国土交通省国土技術政策総合研究所：橋梁の架替に関する調査結果 (IV)、国土技術政策総合研究所資料、第 444 号、2008.4
- 国土交通省国土技術政策総合研究所：道路橋の局部腐食に関する調査研究、国土技術政策総合研究所資料、第 294 号、2006.1
- 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座位の載荷実験および解析, 土木学会論文集, No.710/I-60, pp.141-151, 2002.3
- AASHTO : Manual for Bridge Evaluation, Second Edition, American Association of State Highway and Transportation officials, 2011
- 建設省制定, 土木構造物標準設計, 全日本建設技術協会, 1994
- 三木千尋, 山田真幸, 長江進, 西浩嗣：既設非合成連続桁橋の活荷重応答の実態とその評価, 土木学会論文集, No.647/I-51, pp.281-294, 2000.4

## 討議

### 討議 [ 角掛 久雄 准教授 ]

対象橋梁は非合成桁であるが、合成桁としてモデル化して検討を行ってもよいのか？

#### 回答

実橋計測を行った過去の研究<sup>1), 2)</sup>において、長期供用期間を経た RC 床版を有する非合成桁橋では、上フランジと床版コンクリートとの付着等により合成挙動を示すことが報告されており、本解析でもこれらの結果を参考に合成桁橋としてモデル化している。また、本検討では、桁端部の腐食を想定しており、終局耐力も桁端部の柱としての圧縮耐力またはウェブパネルのせん断耐力で決定されるため、合成作用の影響は小さいと考えられる。

### 討議 [ 鬼頭 宏明 教授 ]

対象としている腐食パターンは実績と比較して厳しめのものを採用しているのか？、それともモデル化の容易さ等を考慮して採用しているのか？

#### 回答

国土技術政策総合研究所が行った腐食の調査研究<sup>3)</sup>を参考に、比較的腐食の程度が激しく耐力低下が顕著であった腐食パターンを採用した。腐食の程度としては実績と比較して大きく、安全側の評価となると考えている。

### 討議 [ 谷口 徹郎 准教授 ]

健全時で設計荷重の3倍以上の耐力があると言っているが、設計荷重とはどんなものなのか？、要求される性能によって変わってこないのか？

#### 回答

設計荷重は道路橋示方書で規定されている死荷重および B 活荷重 (L 荷重) を採用している。鋼道路橋の場合、弾性限界を超えないように設計されており、設計で想定する荷重レベルは基本一つである。

### 討議 [ 山口 隆司 教授 ]

桁端部の要求性能は何なのか？

#### 回答

設計では、

- ① 支点上補剛材とウェブの有効断面 (支点上補剛材取り付け部から両側にそれぞれウェブ板厚の 12 倍まで) からなる十字断面の柱としての圧縮耐力
- ② 桁端部近傍のウェブのせん断耐力

によって規定されている。

### 討議 [ 山口 隆司 教授 ]

(上記の回答に対して) 検討したケースではどちらに区分されるのか？

#### 回答

腐食のない健全な桁端部の場合は②、桁端部には腐食が無いが、支承が両端拘束となっている場合は①と②の複合、腐食を有する桁端部の場合は①に区分される。

### 討議 [ 藤本 益美 准教授 ]

腐食部のサイズどのようにして決まっているのか？、また、現状ではどのように補修しているのか？

#### 回答

腐食部のサイズは国土技術政策総合研究所が行った腐食の調査研究<sup>3)</sup>と同様のサイズを採用しているが、腐食部のサイズとしては実績と比較して大きめである。また、現状では腐食の程度が小さい場合、腐食部のケレンおよび防食処理をした上で当て板補修を、腐食の程度が大きい場合、腐食部を切除し、新規部材と取り替える補修法が採用されている。

### 討議 [ 角掛 久雄 准教授 ]

桁端の鉛直変位の限界状態を 20mm としているが、その根拠は何か？

#### 回答

国土交通省が発行している橋梁定期点検要領<sup>4)</sup>の路面の凹凸 (伸縮継手部等の段差も含む) の損傷評価基準において、凹凸が 20mm 以上では 5 段階 (a~e) の中で最も悪い e に区分されており、これを参考に桁端の鉛直変位の限界状態を 20mm と設定している。

## 参考文献

- 1) 三木千尋, 山田真幸, 長江進, 西浩嗣: 既設非合成連続桁橋の活荷重応答の実態とその評価, 土木学会論文集, No.647/I-51, pp.281-294, 2000.4.
- 2) 村越潤, 澤田守, 吉岡勉, 野中哲也, 加藤修: FEM 解析を用いた鋼多主桁橋の設計合理化の検討, 鋼構造論文集, Vol.11, No.43, pp131-145, 2004.9.
- 3) 玉越隆史, 中洲啓太, 石尾真理, 武田達也, 水津紀陽: 道路橋の局部腐食に関する調査研究, 国土技術政策総合研究所資料, 第 294 号, 2006.1.
- 4) 国土交通省道路局: 橋梁定期点検要領, 2014.6.