既設箱形断面鋼製ラーメン橋脚隅角部の リブ取付による疲労強度向上

田辺篤史¹・三木千壽²・市川篤司³・佐々木栄一⁴・下里哲弘⁵

¹学生員 工修 東京工業大学大学院博士課程 土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

²フェロー 工博 東京工業大学教授 大学院理工学研究科 土木工学専攻 (同上)

³フェロー 工博 東京工業大学教授 大学院理工学研究科 土木工学専攻 (同上)

⁴正会員 工博 東京工業大学助手 大学院理工学研究科 土木工学専攻 (同上)

⁵正会員 工修 首都高速道路公団 保全施設部 保全技術課 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関 1-4-1 日土地ビル)

都市内高速道路の鋼製ラーメン橋脚隅角部に疲労き裂が発見され、その早急な補修補強が必要とされている。発生した疲労き裂の主要因の1つは、ラーメン橋脚隅角部の柱・梁フランジ交差部端部近傍に発生する高い応力集中であることが指摘されている。本研究では、鋼製ラーメン橋脚隅角部の疲労強度向上法として、応力集中軽減を目的とした三角リブの隅角部への溶接による取付を考え、解析および大型試験体を用いた疲労試験により検討を行った。その結果、三角リブ取付により隅角部の疲労強度は大幅に向上することが確認され、その有効性が示された。

Key Words : rib-installation, fatigue, stress concentration, beam-to-column connections

1. はじめに

近年、都市内高速道路の鋼製ラーメン橋脚の隅角部に疲労き裂が多数発見され¹⁾、早急な補修補強対策が火急の課題とされている。このような疲労き裂が生じた原因として、(1) 交通荷重の増大、(2) 設計計算により算出される応力^{2),3)}を大きく越える局部応力の発生、(3) 溶接継手部の溶接不良が挙げられている⁴⁾。また、実寸大モデルの疲労試験より、鋼製箱形ラーメン橋脚隅角部の疲労強度は著しく低く、疲労強度の改善が必要であることが示されている。これらのうち、上記(2)の応力は、ラーメン橋脚の隅角部の柱・梁両フランジ交差部の端部(以下コーナー部と称す)に生じ、疲労き裂の発生に支配的な影響を与えている。ただし、その応力集中部は隅角部コーナー部に限られているため、疲労損傷の防止に、隅角部のコーナー部を対象とした応力集中の低減が、有効かつ効率的と考えられる。

既設ラーメン橋脚の隅角部のコーナー部に対する具体的な応力低減手法として、これまでも補強板の設置やフランジ増厚等の方法が考えられている^{5),6)}。また、疲労き裂が発見された鋼製ラーメン橋脚隅角部の応急対策として補強板を取付けることにより、隅角部コーナー部の応力を低減できることが示されている。しかしながら、兵庫県南部地震以降、鋼製橋脚の耐震補強としてコンクリートの充填が行われており^{7),8),9)}、ボルト接合による施工が不可能もしくは多大なコストを必要とするケースもある。既設鋼製ラーメン橋脚の隅角

部を構成する鋼材の品質が悪く、溶接時に配慮が必要であることが報告されているが¹⁰⁾、鋼材の溶接性が保証される場合には、補強板を溶接接合とすることにより、局部的な応力集中を低減することが可能である。

本研究では、鋼製箱形断面ラーメン橋脚隅角部を対象に、隅角部コーナー部に発生する局所的な応力集中を低減させることによる疲労強度の向上を目的とし、まず、溶接による隅角部コーナー部へのリブ取付手法の応力集中低減効果とその適用性について、FEM解析により検討した。その上で、リブを取付けた大型疲労試験体の疲労試験を実施し、隅角部の疲労強度向上効果の検証を行った。

2. FEMを用いたリブ取付による応力低減効果の検討

本研究では、溶接により隅角部コーナー部へリブを取付けることによる応力集中低減効果をFEM解析により検証し、その寸法による影響を明らかにした上で、応力集中低減に適したリブ寸法を提案する。ここでは、実際の橋脚への適用性を重視し、実橋サイズをベースとして検討を進める。

(1) リブ設計の考え方

応力集中低減に適したリブの形状としては、三角リブを用いることとした。取付部分に二次応力の発生が懸念されるため、このような二次応力の発生を抑止す

表-1 リブ取付効果検証用 FEM モデルの諸元

橋脚	形式	モデル	寸法 (mm)								取付けたリブの サイズ (mm)				最小 要素 サイズ (mm)	要素数 (リブ なし)	節点数 (リブ なし)
			フランジ				ウェブ										
			幅		板厚		高さ		板厚		梁高さに対する割合						
				柱	梁	柱	梁	柱	梁	柱	梁	4%	5%	10%			
A	2層	A1	2500	23	23	2500	2500	23	23	100	125	250	500	11.5	90,200	91,278	
		A2	3250	23	23	2500	2500	23	23	100	125	250	500	11.5	90,200	91,278	
B	門型	B1	1600	16	16	1400	1400	12	12	-	70	140	280	11.0	57,928	58,380	
		B2	2400	16	16	1400	1400	12	12	-	70	140	280	11.0	57,928	58,380

図-1 対象橋脚および対象隅角

図-2 解析パラメータ

(2) リブサイズの検討方法およびモデル化

図-1に対象ラーメン橋脚と、着目した隅角部を示す。FEMモデルの作成にあたって、一般的な形状および寸法を有する実在の鋼製ラーメン橋脚¹¹⁾を参考に、形状・寸法および荷重条件を想定してFEMモデルを作成した。このとき、柱の軸力による影響を考慮して、トの字形式の隅角部(モデルA)と、シンプルな逆L形式の隅角部(モデルB)の2つを解析対象とした。これ以外の隅角部形式として十字やT字があるが、それぞれ、トの字、逆Lを組み合わせて考慮が可能である³⁾。また、これら以外の特殊なラーメンの隅角部については個々の隅角部ごとに考慮する必要があると考えられるため、対象外とした。

リブ取付による応力低減効果については、図-2に示すリブサイズ、隅角部の形式(トの字・逆L)、隅角部のフランジ幅の3つをパラメータとして変化させて検討を行った。表-1にFEMモデルの諸元を、図-3および図-4にFEMモデルを示す。FEM解析コードにはABAQUS¹²⁾を使用した。着目する隅角部近傍をシェル要素で、それ以外の部分を梁要素によりモデル化し、梁要素とシェル要素は、ビームタイプのMPC(多点拘束)により結合し、変位と回転を伝達できるようにした。最小メッシュサイズは板厚の約半分とし、要素数および節点数はリブ取付前の段階で、表-1に示す通りである。モデルの作成にあたって、縦リブ間隔、溶接ビード等による影響に配慮し、実橋と同じサイズで、縦リブ、ダイアフラム、溶接部を考慮した。隅角部の溶接ビード部は、IIWのRecommendation¹³⁾に従い、図-5に示すように、シェル

るため、リブの板厚はウェブと同厚とした。リブの寸法は、十分な応力低減効果を発揮できる範囲内で小型化できる可能性がある。リブの小型化により、施工性が向上し、地震時においてリブが座屈する危険性の軽減が可能である。そこで、応力集中の低減に対して効率のよいリブのサイズを決定するために、FEM解析を用いた検討を行った。

(a) 全体図

(b) シェルモデル

(c) 角部拡大図

図-3 FEM モデル (A1)

要素の板厚を変化させてモデル化を行った。境界条件としては、柱の地面側の端部は完全固定とし、図中に示す位置に集中荷重を載荷して弾性解析を行った。この解析の目的上、応力の値よりも形式による応力の差異が重要となるため、解析精度の点から 100,000kN とした。

(3) リブ取付前後の応力性状の比較

ここでは、リブ取付による応力集中低減の特性について確認するため、リブなしの場合と 250mm サイズのリブを取付けた場合との比較を行った。図-6 にリブ取付前後の着目隅角部の最大主応力のコンター図を示す。図-7 に柱フランジ表面から 50mm 離れた位置における

(a) 全体図

(b) 隅角部詳細図

図-4 FEM モデル (B1)

図-5 シェル交差部のモデル化

梁フランジ表面の梁軸応力分布を、モデル A1 およびモデル B2 それぞれについて示す。図-7 には、式 (1) により算出した設計応力をあわせて示す。

$$\sigma_d = \sigma_n + \sigma_s \quad (1)$$

ここで、 σ_d は設計応力、 σ_n はフレーム計算による公称応力、 σ_s は設計に用いられている簡便式²⁾を用いて計算したせん断遅れによる応力である。図-6 からわかるようにリブなしモデルでは、隅角部コーナー部 (図-6 中の A) 付近において、シアラグによる高い応力集中 (一般部の 3 倍以上) が発生している。そして、この高い応力集中は隅角部コーナー部から 50mm 程度の範囲内に限られている。一方、リブありモデルでは、応力集中部が、隅角部コーナー部の溶接部からリブの内部 (図-6 中の B) に移動している。そのため、リブありモデルでは、図-7 に示すように、梁フランジに発生するピーク応力がリブなしモデルの 70% 程度に抑えられている。以上の検討により、リブ取付が隅角部コーナー部の応力集中低減に有効であることを確認できた。

(a) リブなし

(b) リブあり (リブサイズ 250mm)
図-6 最大主応力分布 (A1 モデル)

(4) リブのサイズと応力集中低減効果の関係

次に、効率的なリブのサイズに関して検討を行なった。リブサイズ S を横軸に、式 (2) に示す低減率を縦軸に取った関係を図-8(a) に示す。また、面内ガセットのフィレット半径に関する規定¹⁴⁾を参考に、横軸を梁深さ (梁のフランジ間距離) に対するリブサイズの割合に変更したときの関係を図-8(b) に、同じく横軸を梁幅に対するリブサイズの割合とした場合を図-8(c) に示す。

$$\text{応力低減率} = \frac{\sigma_{rib}}{\sigma_{ori}} \quad (2)$$

ここで、 σ_{rib} はリブ取付後の梁フランジのリブ先端部近傍 (図-6 中の C 点) で生じる最大応力 (最大主応力成分)、 σ_{ori} は、リブ取付前の梁フランジにおいて図-6 中の A 点に生じる最大発生応力 (最大主応力成分) である。この時、溶接ビード部は板厚を変化させているため、最大応力の算定には使用していない。

(a) モデル A1

(b) モデル B2

図-7 リブ取付による梁フランジ表面の応力分布の変化 (柱フランジから 50mm 位置)

図-8 より、リブのサイズが大きくなるにつれて、応力集中低減効果が大きくなること、また、リブが一定のサイズを超えると、応力集中低減効果に対するサイズの影響が小さくなり、一定値に収束する傾向があることが分かる。図-8 のグラフを比較すると、応力集中低減効果は、梁深さに対するリブサイズの割合で整理したもの (図-8(b)) が、リブのサイズに対する低減率のばらつきが最も小さく、リブサイズに対する低減率を最も精度よく推定が可能といえる。図-8(b) から、リブ取付による応力の低減効果は、リブの寸法が梁高さの 10% 程で収束値に近い値になっていること、また、そのとき、リブ取付前の半分程度まで応力集中を低減する効果があることがわかる。

そこで、本研究では、以上の結果に基づき、梁深さの 10% のサイズを有するリブを基本的な寸法として用

(a) 絶対値

(b) 梁高さで無次元化

(c) 梁幅で無次元化

図-8 リブ取付による梁フランジ応力の変化

いることとした。

3. 疲労試験概要

前章で提案したリブを対象として、リブ取付による疲労強度向上効果の検証を、リブありとなしの2体の疲労試験体の疲労試験により行った。

(a) リブなし試験体

(b) リブあり試験体
図-9 試験体詳細

(a) リブなし試験体 (梁フランジ外当て形式)

(b) リブあり試験体 (ウェブ外当て形式)

図-10 試験体板組詳細

(1) 試験体および試験条件

疲労試験を行うにあたって、実際の溶接形状、溶接精度、溶接残留応力などを可能なかぎり再現できるように、実験可能なサイズとして、実橋脚の約 1/3 サイズの試験体を作成した。試験体の寸法を図-9 に、板組の詳細を図-10 に示す。疲労試験のセットアップ状況を写真

写真-1 疲労試験体セットアップ

(a) 取付前のリブ

(b) 取付後
図-11 リブ詳細

-1に示す。試験体はL形とし、柱の基部を治具により固定し、梁の柱中心から1600mm離れた位置に1000kNジャッキを用いて载荷を行った。試験体は完全溶け込み溶接により製作し、隅角部の柱・梁フランジ交差部の溶接ビードはグラインダによりR仕上げを行った。試験体は、リブありとリブなしの試験体をそれぞれ1体

写真-2 リブ取付状況

図-12 荷重決定用応力の参照位置 (リブなし試験体)

ずつ計2体製作し、リブ取付による効果について比較検討した。

リブのサイズは、2.での検討結果から、梁深さの10%程度の70mm($\geq 680\text{mm} \times 10\% = 68\text{mm}$)とした。三角リブの先端部に応力集中が生じるため、リブ先端部はR仕上げを行った。設計したリブを図-11に、リブの取付状況を写真-2に示す。リブの取付は、既設橋脚の隅角部に対する補修を想定し、試験体制作後、完全溶け込み溶接により取付けた。このとき、リブ先端部の回し溶接が疲労上の弱点となることが懸念されたため、図-11に示す様に、取付前のリブはその先端部を長くのばして回し溶接にならないように配慮して溶接を行い、グラインダにより成形した¹⁵⁾。リブの溶接ビードはすべてグラインダ仕上げを施した。この取付手法は、鉄道橋のガセットの取付において採用されているものである。

载荷荷重の決定には、実橋梁で行った応力頻度測定で得られた応力範囲⁴⁾を参考とし、この応力頻度測定で最大の応力変動が得られた位置のゲージ(図-12中に

表-2 載荷条件

試験体	最大荷重 (kN)	荷重範囲 (kN)
リブなし	790	354
リブあり	790	354

図-13 試験体 FEM モデル

図-14 梁フランジの応力 (柱フランジ表面から 20mm)

示すゲージ。以下ターゲットゲージと称す) から算出される応力を基準として、載荷荷重をコントロールした。表-2に疲労試験における載荷条件を示す。疲労試験における最大荷重は790kNとした。この最大荷重は、試験体製作に使用した鋼材 JIS-SM490 材の許容応力度がターゲットゲージに生じる荷重である。この荷重は設計における死荷重に相当しており、フレーム解析により算出した、疲労試験の荷重範囲は、実橋梁の応力頻度測定で1日1回程度生じた応力変動である70MPaを選択した。また、リブ取付の前後で、ターゲットゲージに生じる応力値は変化するため、リブなし試験体でターゲットゲージに70MPaが作用する時の荷重として354kNと決定した。なお、リブ取付による応力集中低減の影響を見るため、荷重範囲は同じ値を用いた。

図-15 リブコバ面の応力分布

(2) 静的載荷試験

疲労試験に先立って、試験体の応力性状を確認するために静的載荷試験を行った。また、詳細な応力分布を見るために、FEM解析を行った。FEM解析においては、試験体と同等の境界条件とした。FEM解析モデルを図-13に示す。梁フランジの柱フランジ表面から20mm位置における応力分布を図-14に示す。図-14にはFEM解析により算出した結果および、フレーム解析による設計応力²⁾をあわせて示す。図-15にはリブのコバ面に添付したひずみゲージにより求めた応力分布を示す。図-14から、リブ取付により隅角部の柱・梁フランジ交差部端部近傍に生じていた応力集中を、設計応力付近まで軽減できている事がわかる。図-15より、リブを取付けた場合、最大応力がリブ先端部ではなく、リブの先端から50mm程度内部に入った位置にある、リブの直線部分からすりつけ部分へ移行する位置付近(図-15中のA点)で生じることがわかる。

(3) 疲労試験

a) き裂発生・進展状況

リブなし試験体の、き裂発見時・き裂50mm時および試験終了時のき裂状況を写真-3に示す。リブなし試験体では、1.7万回載荷時に隅角Aにおいて、柱・梁フランジ間の溶接ビード表面で疲労き裂が発見された(写真-3(a))。この位置は実橋梁において発見されているき裂¹⁾と同様の位置で、そのときの表面き裂長は約6mmであった。その後、疲労き裂は、フランジ側には柱・梁フランジ間の溶接ビードに沿って進展し、ウェブ側には次第に柱側にカーブしながら進展し(写真-3(c)参照)、12

写真-3 リブなし試験体疲労き裂

万回でき裂長 50mm を越え、44 万回で試験機のリミッターにより試験を終了した。

リブ付き試験体の初期き裂発見時、100 万回時および 110 万回時の疲労き裂を写真-4 に示す。リブ付き試験体では、疲労き裂は 47.5 万回時に隅角 B の 3 本の溶接ビードが交差する部分 (写真-4(a) 右側) において、表面き裂長約 3mm で発見された。90 万回時には、隅角 A 側リブの柱フランジ・リブ間溶接ビードの先端部付近のリブ側止端において、新たな疲労き裂が表面き裂長 5mm で発見された (写真-4(a) 左側)。

载荷回数と表面き裂長の関係を図-16 に示す。このき

裂は急速に進展し (図-16 参照)、110 万回時にはリブを貫通した (写真-4(c))。そして、140 万回で試験機のリミッターにより試験を終了した。隅角 A においてき裂が発生した位置は、リブの先端ではなく先端から少し内部に入った位置であり、この位置は FEM 解析によって求めた柱フランジにおける応力のピークと一致した (図-15 中の A)。

それぞれの疲労き裂の起点付近の疲労破面を写真-5 に示す。両試験体の疲労破面の写真からリブなし試験体では、完全溶け込み溶接で製作したにも関わらず、隅角部コーナー部 (写真-5(a) 中の A) にブローホールらしき

写真-4 リブあり試験体疲労き裂

図-16 き裂進展状況

微細な溶接欠陥¹⁶⁾が存在しており、また、この溶接欠陥近傍の表面(写真-5(a)中のB)にはシーリップがあることから、疲労き裂はこの溶接欠陥を起点として発生したことがわかる。この溶接欠陥はかなり微細なものであり、かつ表面に近い位置にあるため、超音波探傷等による検出は困難である。したがって、鋼製ラーメン橋脚隅角部の疲労強度向上には、隅角部の応力集中低減が不可欠であるといえる。一方、リブ付き試験体の疲労破面をみると特に大きな欠陥等はなく、疲労き裂はリブ・フランジ間の溶接ビード止端(写真-5(b)中のC)から発生・進展していた。

(a) リブなし試験体

(b) リブあり試験体

写真-5 疲労破面

(a) 設計応力で整理

(b) ホットスポット応力で整理

図-17 疲労試験結果 (表面き裂長 50mm 時)

b) 疲労試験結果

以上の疲労試験結果を、設計計算に用いられているフレーム解析による応力²⁾および、ホットスポット応力¹⁷⁾

を用いて整理を行った。表面き裂長 50mm 到達時における疲労試験結果を図-17 に示す。図-17 中の直線は鋼道路橋の疲労設計指針¹⁸⁾における疲労強度等級である。

図-18 ホットスポット応力の算出位置

図-17(a)中の直線のうち太線で示すE等級は、箱断面が直交する隅角部を切り抜きガセットのフィレット部 ($\frac{1}{10} \leq \frac{r}{t} < \frac{1}{5}$: E等級), 荷重伝達型十字継手(止端仕上げ: D等級), 縦方向溶接継手(部分溶け込み: D等級)の組み合わせと考えた時のもっとも低い疲労強度等級である。図-17に示すように、リブなし試験体の疲労強度はH等級程度であるのに対し、リブあり試験体はE等級と3等級ほど疲労強度が向上できている。すなわち、設計計算による応力で評価すると、リブ取付により隅角部の疲労強度等級をE等級まで改善することが可能である。

ホットスポット応力は、局所的な応力集中を除いた構造的な応力をあらわすものであり、所定の位置の応力から外挿により算出される。複雑な構造ディテールでは、ホットスポット応力を用いることにより、形状に左右されずに疲労照査が可能となる。ホットスポット応力の算出には種々の手法があるが¹⁷⁾、ゲージ位置の関係から、溶接ビード止端から板厚 t と $\frac{1}{2}t$ 離れた点から外挿するA法を用いて算出を行った。ホットスポットを算出した位置を図-18に示す。両試験体ともに梁フランジ端部から7mm内側に入った線で、リブなし試験体は溶接ビード止端、リブあり試験体はリブの先端部でホットスポット応力を算出した。なお、図-18中で、三角形で表してあるゲージは、対応する位置にゲージがないため、近傍のゲージから内挿した値を用いた。図-17(b)中の太線で示すD等級は、ホットスポット応力を用いた照査において、完全溶け込み溶接で溶接し、溶接ビードに表面仕上げを施した場合の疲労強度等級である。図-17(b)より、ホットスポット応力により整理を行うと、両者ともD等級を少し上回る値となっており、ホットスポット応力を用いることで、隅角部の疲労強度を適切に評価することが可能と考えられる。

4. 結論

本研究では、鋼製箱形ラーメン橋脚隅角部の疲労強度向上を目的として、隅角部の柱・梁フランジ交差部の端部に生じる応力集中の軽減について検討を行った。応力集中軽減のための手法として、隅角部の柱・梁フランジ交差部の端部への三角リブの溶接による取付を提案し、FEM解析と実験によりその効果について検討を行った。本研究で得られた結論を以下に示す。

1. 三角リブの取付により、隅角部の柱・梁フランジ交差部の端部に生じる応力集中を軽減できる。
2. 三角リブ取付による応力の低減効果は、FEM解析からリブのサイズと梁深さの比によりおおそ推定でき、梁深さの10%サイズの三角リブで応力をリブ取付前の半分程度まで低減が可能である。
3. 三角リブによる応力集中の低減には限界があり、梁深さの10%程度でほぼ限界に達する。
4. 隅角部の疲労強度向上に隅角部柱・梁フランジ交差部の端部への三角リブ取付が有効である。梁深さの10%サイズのリブ取付により、疲労強度をE等級にまで改善出来ることが疲労試験により確認出来た。

謝辞： 本研究は東京工業大学創造プロジェクト研究体 SIG8(鋼構造物のレトロフィッティング研究会)の一環として行われました。各委員のみなさまには様々な助言を多くいただきました。また本実験を行うにあたって横河ブリッジ株式会社の一宮充氏には、試験体の設計、製作時に多くの指導をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森河久, 下里哲弘, 三木千壽, 市川篤司: 箱断面柱を有する鋼製橋脚に発生した疲労損傷の調査と応急対策, 土木学会論文集, No.703, pp.117-183, 2002.4
- 2) 奥村敏恵, 石沢成夫: 薄板構造ラーメン橋脚隅角部の応力計算について, 土木学会論文集, 1968.5
- 3) 中井博, 酒造敏廣, 橋本良之: せん断遅れ現象を考慮した鋼製ラーメン隅角部の限界状態設計法について, 土木学会論文集, No.455, pp.95-104, 1992.10
- 4) 三木千壽, 市川篤司, 坂本拓也, 田辺篤史, 時田英夫, 下里哲弘: 鋼製箱形断面ラーメン橋脚隅角部の疲労特性, 土木学会論文集, No.710, pp.361-371, 2002.7
- 5) 山田健太郎, 近藤明雅: 鋼部材の亀裂補修・補強後の疲れ挙動, 土木学会論文集(報告), No.368, pp.411-415, 1986.4
- 6) 阿保進: 鋼道路橋における補修例, 土木施工, 20巻, 12号, 1979.11
- 7) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 丸善, 2002.3
- 8) 葛漢彬, 宇佐美勉: コンクリートを部分的に充填した鋼箱断面柱の終局強度と変形能に関する解析的研究, 土木学会論文集, No.513, pp.77-88, 1995.4

- 9) 北田俊行, 中井博, 中西克佳: 鋼製箱形断面を有する橋脚柱の耐震性能向上法に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.591, pp.219-232, 1998.4
- 10) 柳沼安俊, 平林泰明, 澁谷敦, 三木千壽: 既設構造物の鋼材の年代的な特徴とその溶接性について, 土木学会第 57 回年次学術講演会概要集, I-291, pp.581-582, 2002.9
- 11) 中井博, 北田俊行, 河井章好, 酒造敏廣, 吉川紀: 鋼製ラーメン橋脚の実績調査 (上)(下), 橋梁と基礎, Vol. 16, 1982.6-7
- 12) Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc.: *ABAQUS/Standard User's Manual*, 1999
- 13) Matoba, M., Machida, S., Yoshinari, H. and Nishimura, R.: *Definition of Hot Spot Stress in Welded Plate Type Structure for Fatigue Assessment Part2 3rd Report-Derivation of Hot Spot Stress by Finite Element Analysis*, International Institute of Welding, 13-1448, 1992.
- 14) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編・鋼橋編, 丸善, 2002.3
- 15) 大江慎一, 三木千壽, 奥川淳志, 安井成豊: 800MPa 級鋼材を用いた実大トラス弦材各種構造の疲労強度, 構造工学論文集, Vol. 38A, pp.1031-1044, 1992.3
- 16) Miki, C., Fahimuddin, F. and Anami, K.: Fatigue Performance of Butt-Welded Joints Containing Various Embedded Defects, *Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering*, JSCE, No. 668, pp.29-41, 2001.1
- 17) 三木千壽, 館石和雄, 山本美博, 宮内政信: 局部応力を基準とした疲労評価手法に関する一考察, 構造工学論文集, Vol. 38A, pp.1055-1062, 1992.3
- 18) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 丸善

(2004. 1. 29 受付)

FATIGUE STRENGTH IMPROVEMENT OF BEAM-TO-COLUMN CONNECTIONS WITH BOX SECTION IN STEEL BRIDGE FRAME PIERS

Atsushi TANABE, Chitoshi MIKI, Atsushi ICHIKAWA, Eiichi SASAKI
and Tetsuhiro SHIMOZATO

Recently, many fatigue cracks were found in the beam-to-column connections of steel bridge frame piers in metropolitan expressway bridges. It was pointed that high stress concentrations occurred at the corner of beam-to-column connections, and caused fatigue cracks. In order to improve the fatigue performance of the beam-to-column connections, we proposed rib-installation. Effects of rib-installation were evaluated by the Finite Element Analyses and fatigue tests. As a results, it was found that the rib-installation was effective to reduce stress concentration at the corner of the beam-to-column connection, and rib-installation could improve fatigue performance of beam-to-column connections.