

丸柱—横梁を突合せ溶接により製作された 鋼製橋脚隅角部の疲労損傷と対策

Fatigue Damage to Steel Pier Corners (Fabricated by butt welding of round column and cross beam) and Damage Countermeasures

辻 幸 佐*¹ 乙 森 幸之助*² 小 林 智 則*³ 井 上 雄 城*⁴
Kousuke TSUJI Kounosuke OTOMORI Tomonori KOBAYASHI Yuhki INOUE

Summary

On the metropolitan expressway, we conducted detailed surveys into fatigue cracks produced in steel-made pier corners, and examined the causes of these cracks in order to carry out reinforcement and repair. This article reports the damage conditions generated from F-type steel-made, T-type square corners (fabricated by beam welding), along with reinforcement design and crack repair results.

キーワード：丸柱突合せ溶接、疲労き裂、き裂発生原因、切削調査、スカラップ補修

1. はじめに

近年、首都高速道路の鋼製橋脚隅角部において数多くの疲労損傷が発見され、点検調査の結果き裂長さが30mm以上の隅角について順次補強を行い、そして補修を実施している。高速5号池袋線の江戸川橋付近に位置する丸柱においては、点検時に同様のき裂が発見されている。

本稿では、疲労損傷に対する詳細調査結果と、調査結果をもとに施工したリング補強および疲労損傷部に対するき裂補修について、おもに補強・補修効果確認のため応力計測を実施した池169橋脚について報告する。

2. 橋脚構造

池169橋脚は、昭和44年に製作され神田川と都道（目白通り）の間の歩道に設置された鋼製丸柱T型橋脚である。橋脚外観（写真-1）からも分かるように、本橋脚は張出しが左右非対称の構造となっている。上部工は起点側が三径間連続鋼箱桁、終点側が単純鋼鈹桁の端支点となっている。橋脚諸元を表-1に示す。

臨時点検において隅角1、2の起点、終点側（以下、起点：K、終点：S）においてき裂長さ30mm以上の損傷が発見された。

板組構造は、丸柱に梁ウェブと梁フランジが突合せ溶

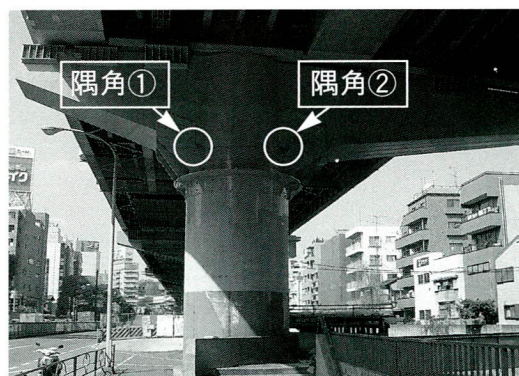


写真-1 池169橋脚外観（補強後起点側より）

表-1 池169橋脚諸元

板厚 (mm)	丸柱	44	SM50B
	梁ウェブ	32	
	梁フランジ	40	
ϕz	SM50B	41%	—
供用年度	昭和44年		

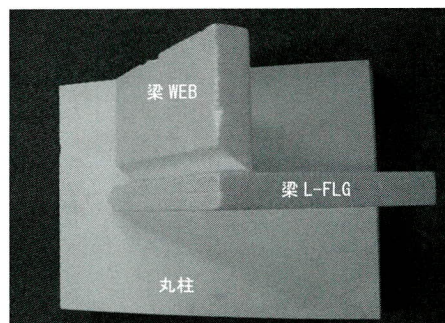


写真-2 板組構造（梁突合せFタイプ）

*¹技術本部保全部保全技術グループサブリーダー

*²技術本部技術研究所生産技術グループ

*³工事本部工事部東京工事グループ

*⁴日本構造技術(株)技術部

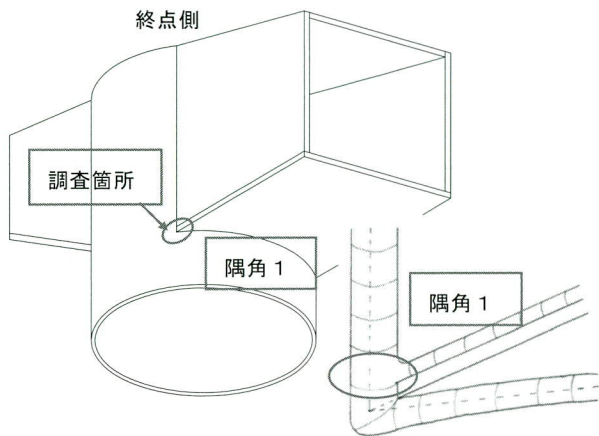


図-1 調査箇所

接しており、梁フランジコバ面が見える角継手（梁突合せFタイプ）となっている（写真-2）。このような板組を溶接する場合、丸柱と梁フランジのコバ面（コーナー部）に未溶着部が残存しやすい。

丸柱の直径は $\phi 3000\text{mm}$ 、梁フランジ幅は梁取り付け部で 2200mm あり梁先端方向へ進むにしたいが小さくしぼられていて、先端で 1500mm となっている。

3. 詳細調査

(1) き裂調査結果

隅角1のKS側、隅角2のS側下フランジコーナー部においてき裂が発見されたことから、十字溶接及びウェブ-柱溶接のコーナー部について、マクロ試験と磁粉探傷試験（以下、MT）による詳細調査を実施した。その結果、き裂は丸柱と梁の突合せ溶接の溶接金属内にあることが分かった（写真-3、4）。

き裂の位置は、写真-4マクロ・MT写真から分かるように、梁ウェブと下フランジ角継手の溶接金属の上に丸柱と梁の突合せ溶接が重なっており、その交点上に長さ 30mm のき裂が検出された。き裂は、縦ビードの中に入り梁角継手の横ビードとの境界付近で止まっている。

(2) 応力頻度計測結果

隅角部の疲労損傷の原因として、上部工を走行する活荷重載荷による応力振幅と、その繰り返し回数が挙げられる。そこで、隅角部に作用する実応力状態を調査するために3日間の応力頻度計測を実施した。測定位置を図-2に示す。その結果、当該隅角においては、梁下フランジ内面 50×50 位置で最大応力範囲 10Mpa 程度の応力が作用していることが確認できた。

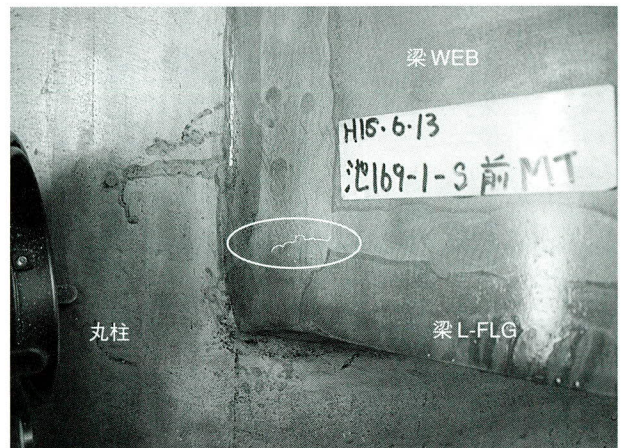


写真-3 き裂写真（隅角S-1）

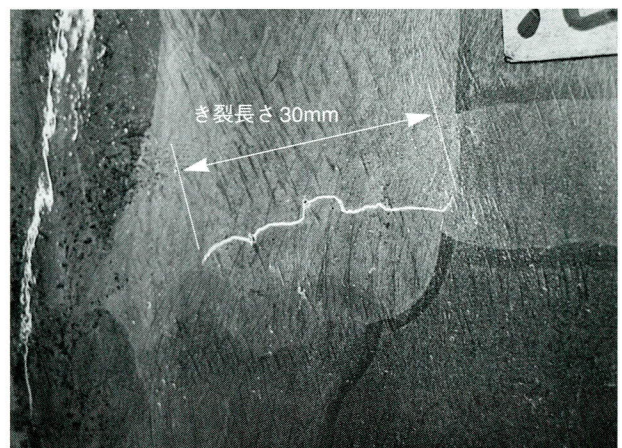


写真-4 き裂拡大写真（隅角S-1）

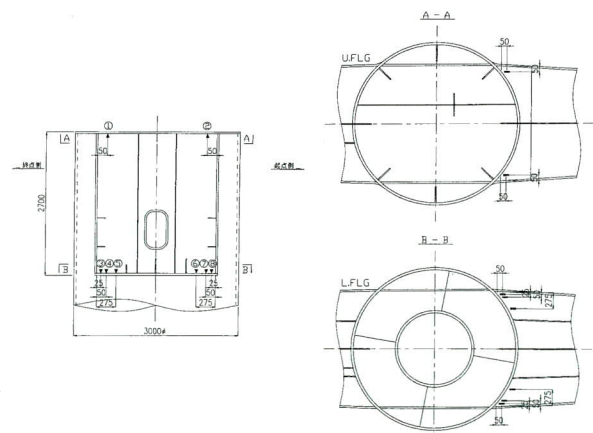


図-2 応力頻度計測位置

4. 補強構造

(1) 基本方針

詳細調査の結果から横梁下フランジのコーナー部に作用する実応力は比較的小さいが、超音波探傷試験（以下、UT）の結果、梁下フランジ十字継手の溶け込み量が

60% (板厚40mm、未溶着量16mm)であることや、コーナー部のまわし溶接ののど厚が小さいことから、隅角部に発生する応力を低減することを目的とし、丸柱にリング状の補強材、横梁ウェブ面に当て板補強を実施した。また、横梁下フランジにブックエンド形状の補強も実施した (写真-1)。

(2) 補強構造検討

丸柱補強は、角柱のように当て板により梁ウェブと柱ウェブを打込み式ボルトで直接連結することが出来ないことから、横梁ウェブの当て板と丸柱のリング部材を工場溶接で接合した部材を現場に取付ける構造を採用した。各構造寸法決定に際し角柱の当て板補強を参考とした。そして、FEM解析を用いて次に示す項目について検証した。

- ① 終局時の安全性
- ② 活荷重応力 50% 低減
- ③ 角継手への作用力
- ④ 地震時の安全性

以上の条件を満たす補強部材を設置した (図-3)。

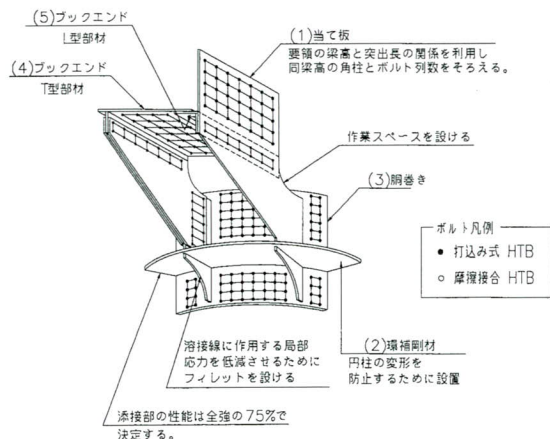


図-3 リング補強構造

5. き裂補修

(1) き裂切削調査

隅角1のK側S側ともに、梁下フランジの角継手と円柱と梁ウェブのコーナー部突合せ溶接のまわし溶接部にMTによる指示模様が発見された。詳細点検において、棒グラインダを使用し深さ $d = 2\text{mm}$ 程度の切削を行ったが、指示模様の長さに変化が見られなかったことからさらに穿孔を行った。その結果、切削深さ $d = 12\text{mm}$ で梁

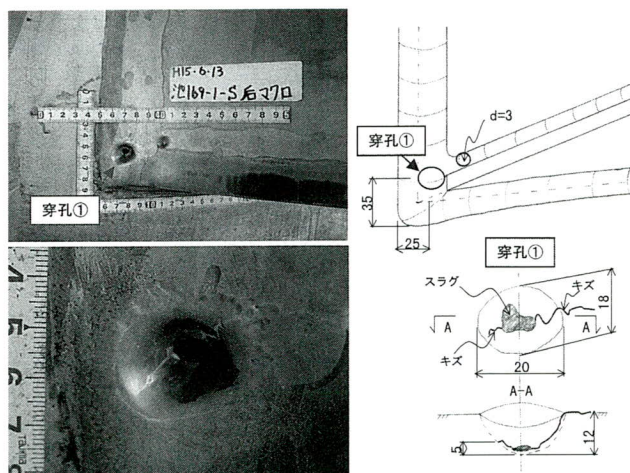


写真-5 切削調査

下フランジ開先面に製作当時の溶け込み不足が現れた (写真-5)。深さ $d = 11\text{mm}$ まで溶け込んでおり、梁ウェブの板厚が 32mm であることから、梁ウェブの溶け込み量としては34%であることが確認できた。

(2) 丸柱スカラップ

丸柱隅角部には、板組固有の未溶着部が存在することから、この未溶着部分を除去する目的で切削を実施した。丸柱は、角柱と異なり機械を用いたき裂補修が困難であることから、棒グラインダによる手彫り作業を行った (写真-6)。切削手順は、

- ① 最終的なき裂除去形状の設計 (板組模型、FEM 検討)
- ② き裂範囲の除去
- ③ 未溶着部までの確認
- ④ 開先形状の確認
- ⑤ き裂除去形状までの仕上げ

とし、最終形状は梁内面の3つの溶接ビードを分離することとした。

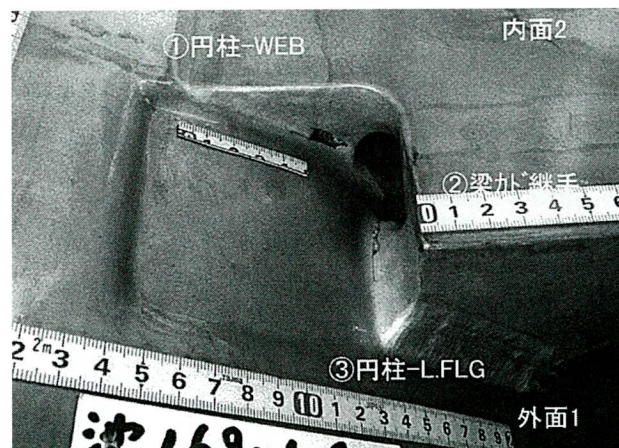
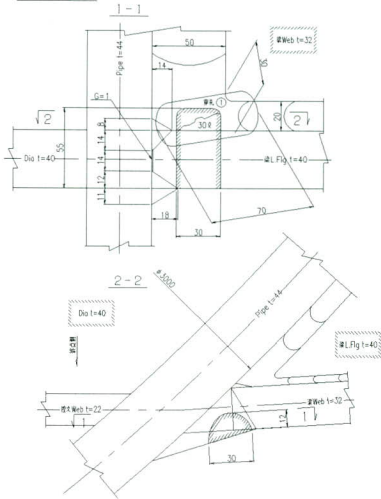
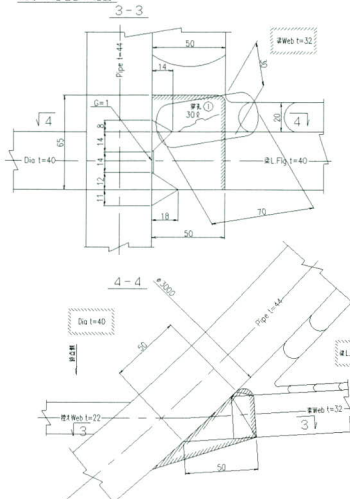


写真-6 丸柱スカラップ

2. キズの除去



3. 未溶着部の確認



4. 開先確認

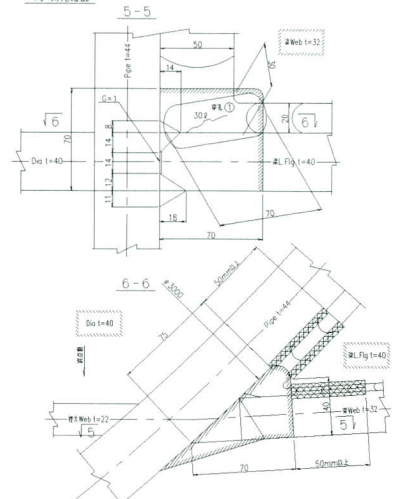


図-4 き裂補習ステップ図



写真-7 step1 き裂範囲の除去



写真-9 step2 MT

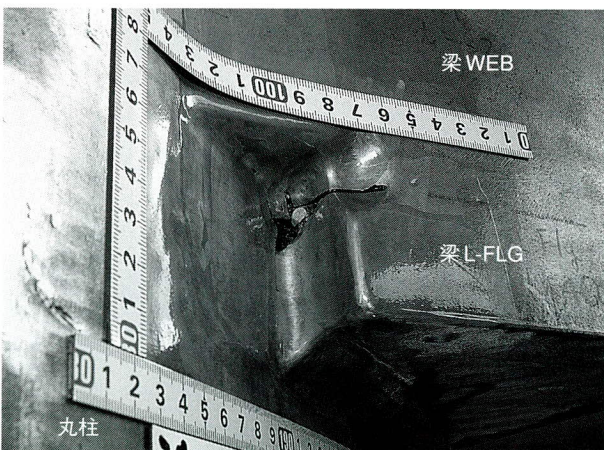


写真-8 step2 未溶着部の確認

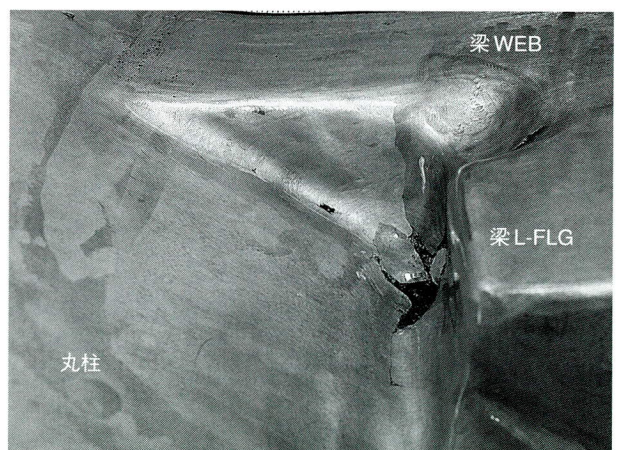


写真-10 step2 丸柱 + 梁 WEB

② き裂範囲の除去

ステップ1としてき裂の長さに合わせて棒グラインダにて穿孔を広げ、き裂の発生源となる未溶着部を露出させることを目的とし、切削を実施した。切削寸法が30×70、深さd=12mm程度において梁下フランジの未

溶着部（開先面）が現れた。観察の結果、梁下フランジの開先はK開先であること、内在キズがあることを確認した（写真-7）。

③ 未溶着部までの確認

ステップ2として未溶着部を確実に露出することを目的にさらに切削を行い、梁下フランジ十字継手の溶接ビード断面が観察できる深さまで切削を実施した。UTによる調査において、丸柱と梁下フランジ十字継手の溶け込み量が38%（板厚32mm、未溶着部20mm）で6mm～8mmの開先深さがあると考えられていた。しかし切削の結果、開先深さはUT調査に比べると深く十字継手下側の溶接ビードは、溶け込み深さ $d = 15\text{mm}$ 程度でしっかりと溶接されていることが明らかとなった（写真-8、9、10、11）。

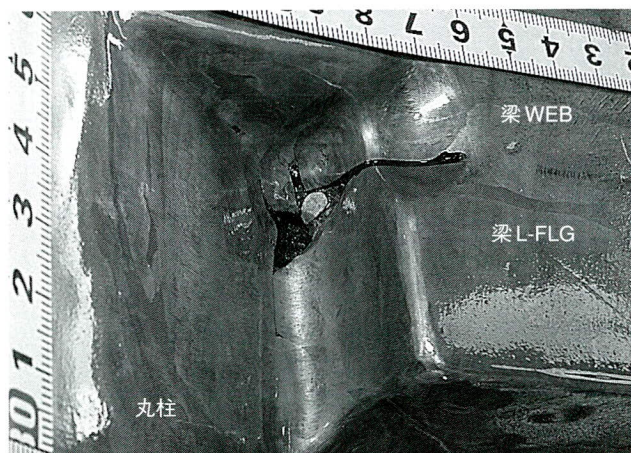


写真-11 step2 十字継手

④ 開先形状の確認

ステップ3として丸柱と梁WEB（写真-12、13）、梁下フランジ角継手（写真-14、15）、十字継手の突合せ溶接（写真-16）の各々の溶接ビードを分離することを目的に、各断面を観察出来る位置までコーナー部を切削した。これは、溶接状態が複雑な3溶接交差状態から疲労性状がわかりやすい十字溶接継手、T字溶接継手へ改善するためである。さらに、スカラップ周辺に応力集中が生じないようにR仕上げと溶接ビードの止端仕上げを実施し、最終的な丸柱スカラップ寸法は70mm×70mmで深さ70mmとなった。なお、施工方法については、機械の据付が困難なことから全て棒グラインダによる手作業にて行った。各スカラップの形状は、脚ごと隅角ごとにコーナー部の溶接状態や板厚、き裂の状態がさまざまであることから、全て異なるものとなった。

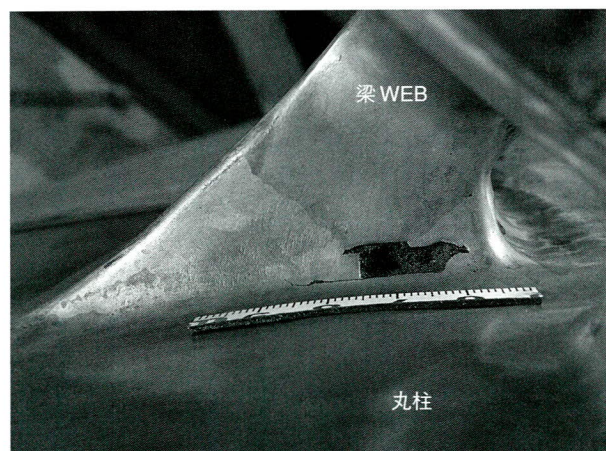


写真-12 step3 ①丸柱 + 梁WEB

(3) き裂補修結果

丸柱と梁WEBはのど厚が20mmあり、溶け込み量は66%である。未溶着部から溶け込み不良があり、その先端にき裂（DEPOCK = 2mm）が確認できる。

梁下フランジとウェブとの角継手はのど厚が2mmと非常に小さく、溶け込み量は6%である。先端にき裂（DEPOCK = 1mm）が確認できる。

十字継手はのど厚が20mmあり、溶け込み量は38%となっている。内面ビードには、20mmの溶け込み不良があるが、外面ビードはルートフェイスまでしっかりと溶け込んでいて指示模様はない。

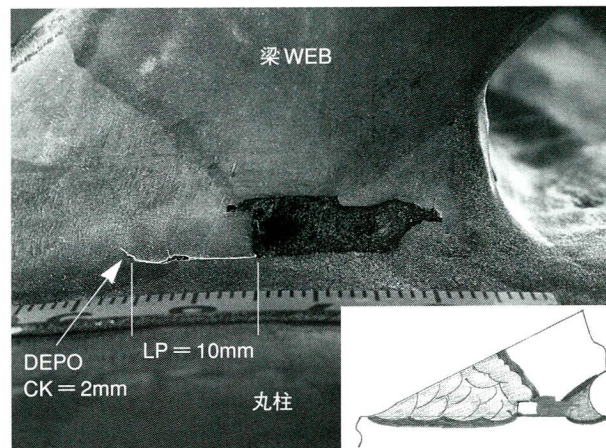


写真-13 step3 MT

(4) 丸柱スカラップ形状の応力性状の確認

リング補強の設置により、シアラグによる隅角部の応力低減を行ってはいないものの、丸柱スカラップ形状によ

る応力性状の把握を目的とし、FEM解析を実施した。その結果、丸柱と梁下フランジ十字継手の溶接ビード止端部に応力集中が起こることが分かった。したがって、ビード止端部はグラインダにて滑らかに仕上げることにした。

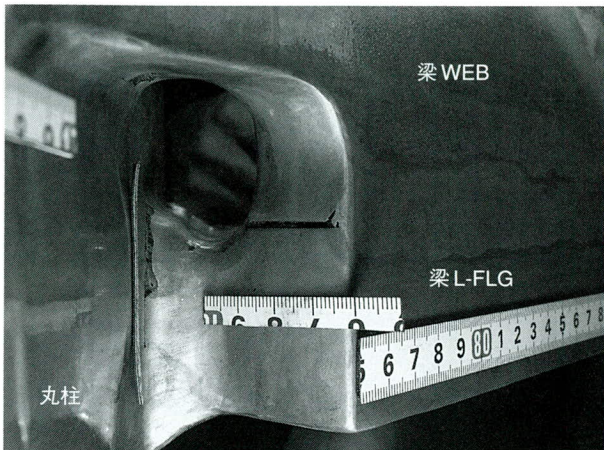


写真-14 step3 ②③

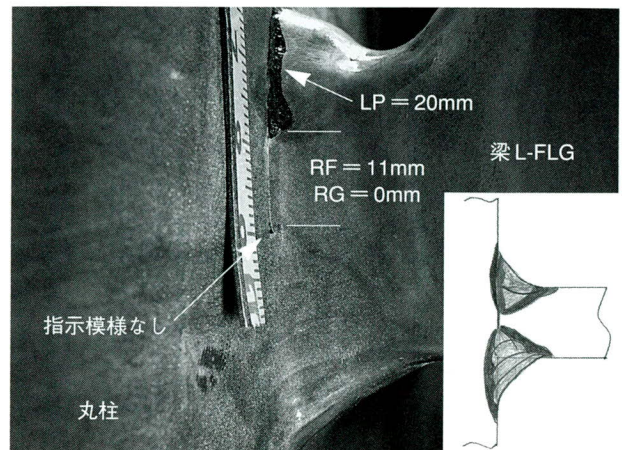


写真-16 step3 ③十字継手

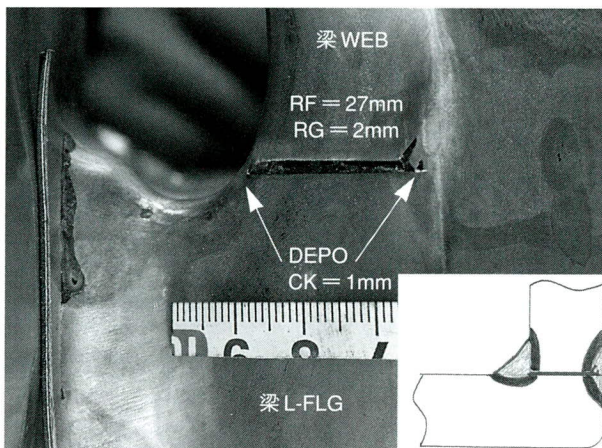


写真-15 step3 ②梁角継手

6. 応力頻度計測結果（補修後）

補強・補修後の実橋における発生応力の低減と、補修後の応力性状を把握することを目的に、丸柱スカラップ部周辺の応力計測を実施した。

24時間の計測を行ったが、発生応力は小さく5Mpa程度であった。

7. 考察とまとめ

丸柱（梁突合せFタイプ）の隅角部き裂は、製作時の溶接未溶着部と丸柱特有の板組みに起因していると考えられる。今回、神田川沿いの丸柱について補強・補修を

実施した結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 補強部材の設置により、実橋における隅角部の応力低減が確認できた。
- ② 隅角部のき裂は、内部の未溶着部から表面に現れていることが分かった。

丸柱スカラップ施工にて、疲労き裂の一因とされる未溶着部は取除くことが出来た。しかし、その断面には内在キズが存在し、今後進展する可能性も秘めている。したがって、これらの内在キズは、定期的な点検によって常に監視しなければならない。また、今後このような板組み構造を新たに製作する場合には、完全溶け込み溶接を基本とし未溶着部を作らない配慮が必要と考える。

最後に本工事の実施にあたり多大な御指導を頂きました。首都高速道路株式会社疲労対策グループおよび（財）首都高速道路技術センターの皆様には、紙面を借りまして深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 三木, 平林, 時田, 小西, 柳沼: 鋼製橋脚隅角部の板組構成と疲労き裂モード, 土木学会論文集, 2003, 10.
- 2) 首都高速道路公団 保全施設部保全技術課: 鋼製橋脚隅角部の補強設計施工要領 (案), 平成15年7月.

2007.2.12 受付