

# 丸柱立体ラーメン隅角部の疲労対策（飯田橋）

## Fatigue Countermeasure for Space Frame Corner of Round Columns (Iidabashi)

佐藤昌義\*<sup>1</sup> 花岡幸治\*<sup>2</sup> 泉文也\*<sup>3</sup> 化鍾福\*<sup>4</sup>  
 Msayoshi SATO Koji HANAOKA Fumiya IZUMI FA Chongpog

### Summary

Fatigue cracks and weld defects were detected in steel-made pier corners on the metropolitan expressway. We conducted detailed surveys to investigate the causes of crack damage. Studies were also conducted on repair and reinforcement based on the results of detailed crack surveys. In this article, we introduce crack damage conditions generated from steel-made pier round-column corners (beam web penetration-type) and report on reinforcement design and the results of crack repairs.

キーワード：鋼製橋脚（丸柱）隅角部、溶接欠陥、疲労損傷、丸柱リング補強、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、順次補修補強対策を実施している。

池108橋脚は、高速5号線飯田橋付近に位置する鋼製橋脚であり、隅角2において30mm以上のき裂損傷が発見された（写真-1）。供用開始から30年以上経過しており、設計当時に比べ、交通量の増加及び大型車輛の通過も多いことから、過酷な使用状態となっていることが予想される。臨時点検で発見されたき裂損傷に対して、き裂の原因究明のために、必要に応じてFEM解析、応力頻度計測、切削調査、観察孔施工及び既設橋脚の密閉部開口などを行った。

本稿では、主桁が横梁に接合された立体ラーメン橋脚の構造、詳細調査結果及び補強構造を紹介し、そのき裂補修について述べる。

### 2. 橋脚の構造

本橋脚は、図-1、2に示すような主桁が横梁に接合された立体ラーメン橋脚であり、その橋脚諸元（表-1）及び特徴を以下に示す。

1) 横梁近傍には主桁控えダイヤフラムが設置されており、また主桁の隅角近傍には形状保持ダイヤが設置さ



写真-1 隅角部のき裂損傷

表-1 池108橋脚諸元

板厚 (mm)	梁Web	28	SM58Q
	梁Flg	40	SM58Q
	円柱	42	SM58Q
	ダイヤフラム	48	SM58Q
供用年度	昭和44年		
板組み	梁ウェブ貫通F		

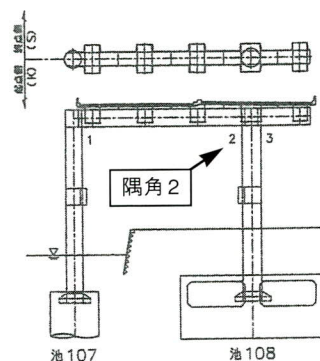


図-1 既設橋脚断面置図

\*<sup>1</sup>技術本部保全部保全技術グループ課長

\*<sup>2</sup>生産本部工場管理部外注管理グループ課長代理

\*<sup>3</sup>エムケイ・エンジ(株)

\*<sup>4</sup>技術本部保全部保全技術グループ

れている。これらが、丸円柱を囲むように配置されているため、隅角近傍には密閉部が存在する（図-3）。密閉部溶接線のき裂損傷有無を確認するため、マンホール設置（主桁側）及び密閉部撤去（横梁側）の工事を行った。

2) 隅角部の板組みは、横梁のWebが円柱に設けられたスリットを貫通した構造となっている。また、主桁のフランジ・Webは各々円柱や横梁に直接溶接された構造となっている。（図-2）

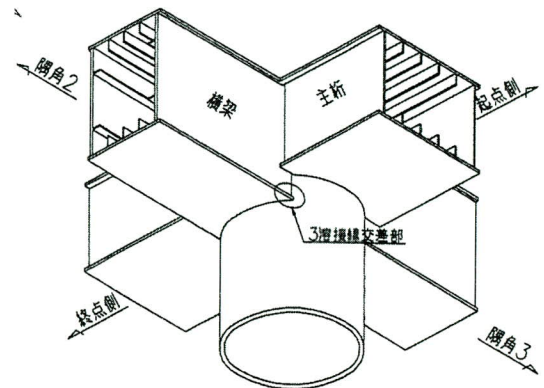


図-2 立体耐ラーメン橋脚隅角部の概要図

### 3. 詳細調査結果

#### (1) き裂調査結果

点検工事などで発見された損傷部の隅角まわりに対して、マクロ試験及び磁粉探傷試験（以下、MT）による調査及び切削を行った。隅角2起点側（以下、起点：K、終点：S）に100mmを超えるき裂損傷が確認された。このき裂は貫通Web板組みの隅角部によく現れる典型的疲労き裂である。また、スリットを有した隅角においては、ウェブのコバ面と円柱に空隙が発生し、未溶着部（以下、菱形ゾーン）が存在すると予想される。

今回検出されたき裂も菱形ゾーンを起点として表面まで延びていたことが分った。切削後のK-2に残存しているき裂の調査結果は写真-2に示す。

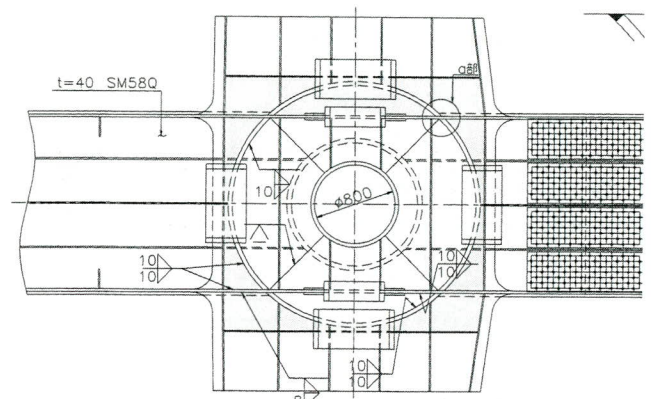


図-3 密閉部

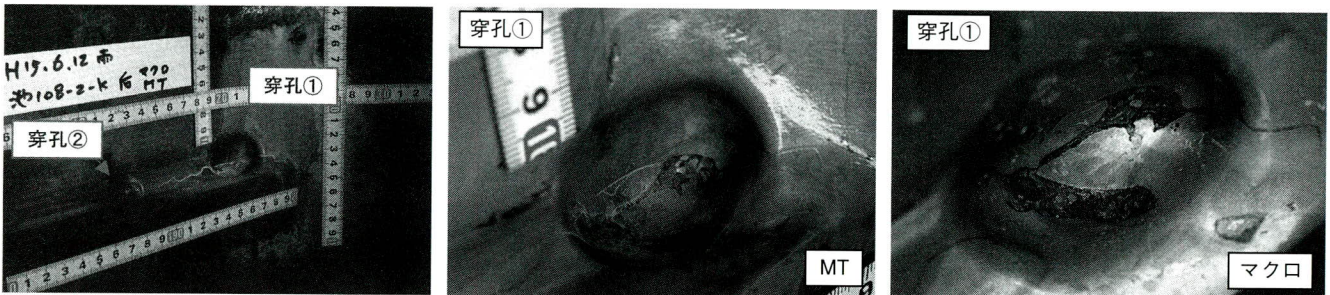


写真-2 き裂調査結果

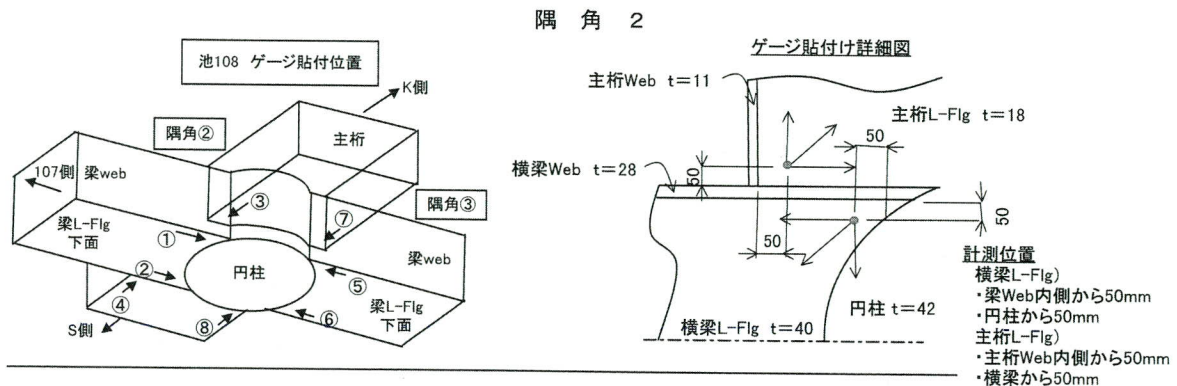
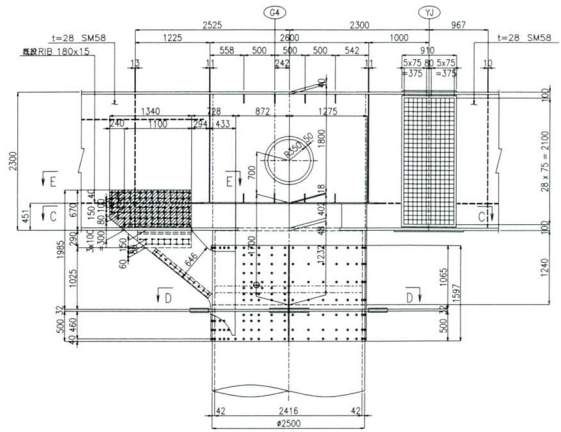


図-4 応力頻度計測位置

## (2) 応力頻度計測結果

隅角部に作用する実働応力状態を調査するため、梁下フランジコーナー部外面及び主桁下フランジコーナー部外面に単軸ゲージを72時間の応力頻度計測を行った。計測位置は図-4に示す。横梁の応力変動幅は18Mpa、主桁の応力変動幅は24Mpaとなった。



## 4. 補強構造

本橋脚の隅角2側に補強部材を設置することにより、菱形ゾーンから延びているき裂の進展を抑えることが期待できる。また、隅角部においてシアラグによる応力集中を緩和させる<sup>2)</sup>(活荷重応力を50%程度低減させる)ことも考えられる。補強部材の形状は図-5に示すような胴巻きに当て板(リング補強)+ブックエンドを併用した構造である。地震時に既設の横梁Flgが破断されても十分保持できるように終局時の安全性を考慮した構造に決定した。

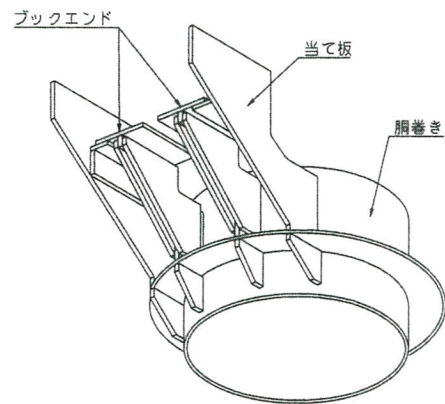


図-5 当て板+ブックエンド補強図

## 5. き裂補修及び補修結果

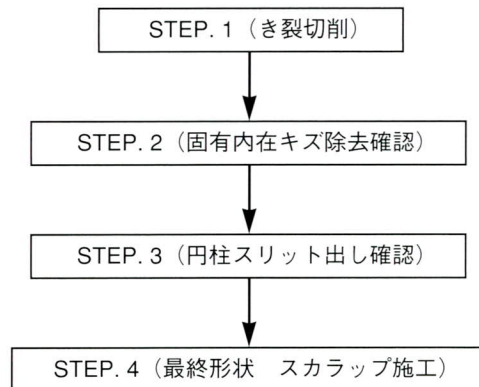
### (1) き裂切削調査

池108のき裂補修においてはき裂損傷の原因究明のため、き裂詳細調査結果に基づき、残存き裂及び溶接欠陥について、さらなるき裂切削調査を行った。キズの補修に当たっては、詳細な調査結果から得た隅角部の板組み及び超音波探傷試験(UT)結果を用いながら、慎重に深さ2~3mmピッチで切削を行った。

また、丸柱のき裂切削では角柱の大コアのように機械を用いたき裂切削が困難であるため、手彫りで行った。従って、切削手順としては表-2に示すように、各STEP毎で溶接欠陥の残存有無及び補修形状を確認しながら、次のSTEPに移ることにした。キズ確認にはマクロ試験・MTを使用した。

しかしながら、貫通Webを有する隅角部の3線ビードが交差する所では、円柱スリット及び菱形ゾーンによるルートギャップ、溶け込み不良、スラグ巻き込みなどの溶接欠陥が残存していることが確認されている。また、円柱のスリットのコバ面を出すだけでは、菱形ゾーンによる溶接欠陥を取除くのが非常に困難な作業であり、隅角部の溶接線の3線分離ができないことによって補修の最終形状には至っていない。

表-2 き裂切削手順

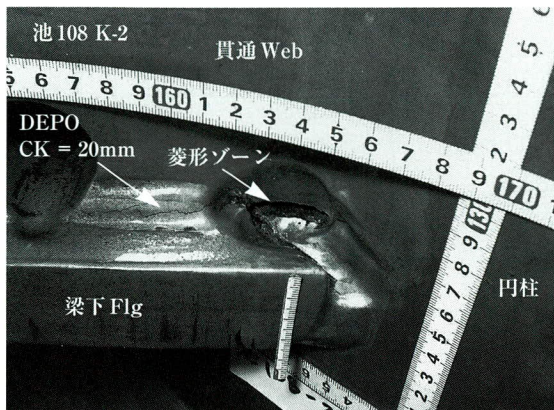


### (2) き裂切削調査結果

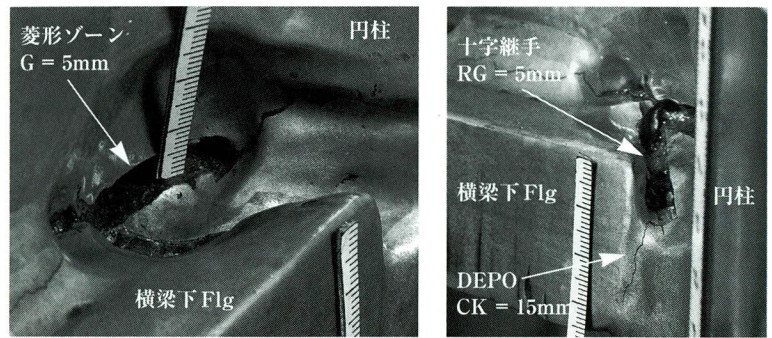
き裂切削調査結果はSTEP 1~4までのき裂切削状況に対して述べる。

#### ① STEP 1 き裂切削(開先について)

梁下Flg+円柱の十字継手にはK形開先が取られているものの、ルートギャップ(以下、RG)と溶け込み不良が確認される。また、開先面に沿ったキズDEPOCK=15mmが残存している。



写真一三 き裂切削状況 (STEP 1)



写真一四 き裂切削状況 (STEP 2)

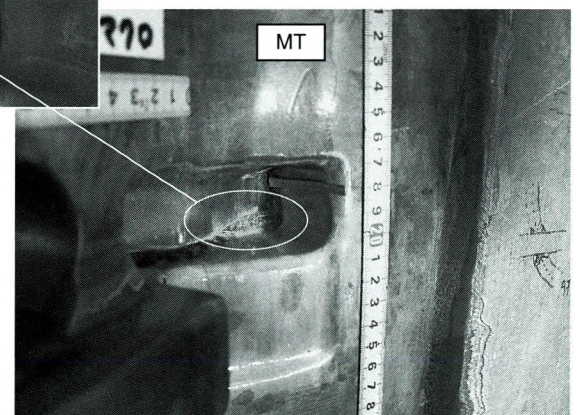
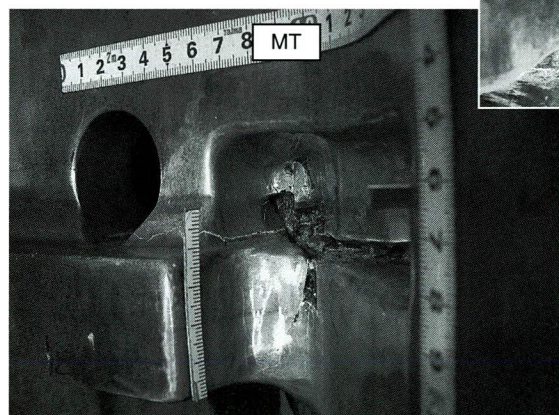
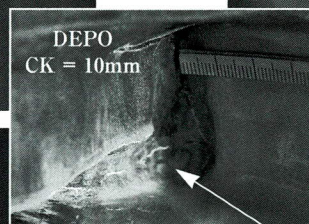
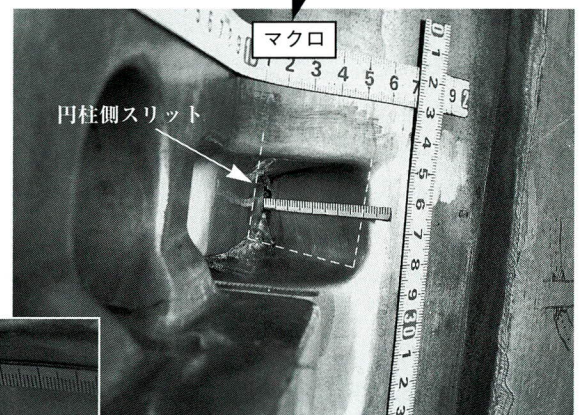
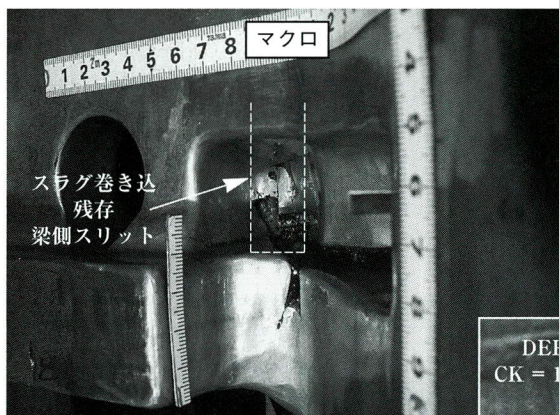
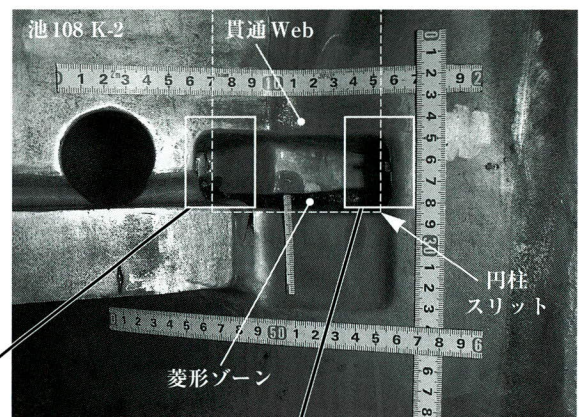
柱スリット及び菱形ゾーンに残存している溶接欠陥を中心にてキズ除去を試みた。しかし、表一に示すように

② STEP 2 固有内在キズ確認 (菱形ゾーンについて)

本来、円柱スリットと貫通Webのコバ面においては隙間なしで製作しなければならない。しかし、板組みの精度上の問題と溶接施工空間を確保に関わる問題によって、固有内在キズで残留している。そこを起点としたキズ DEPO CK = 20mm が横梁角継手に残存している。

③ STEP 3 円柱のスリット出しについて

き裂切削結果を踏まえて、隅角部においてき裂補修を進めていた。なるべく貫通Webを切削しないように、円



写真一五 き裂切削状況 (STEP 3)

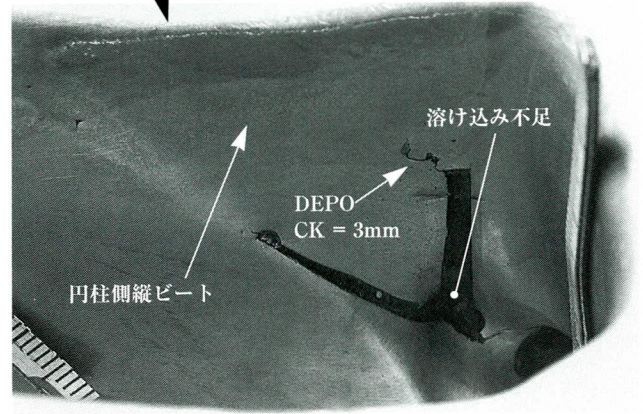
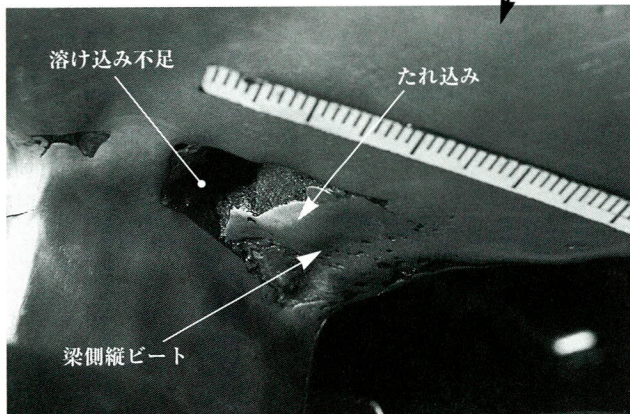
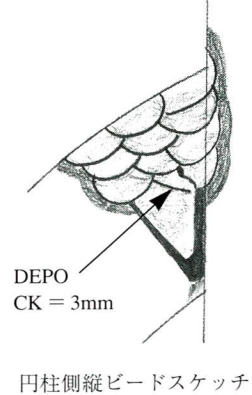
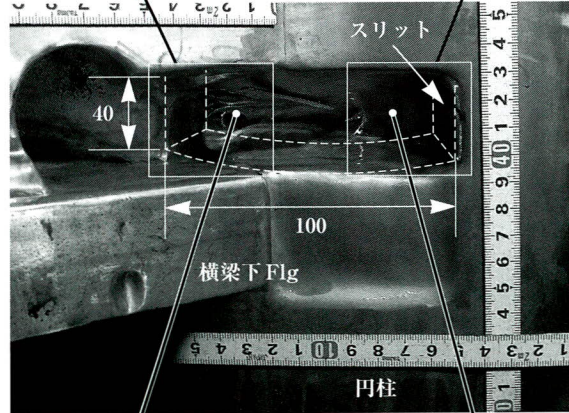
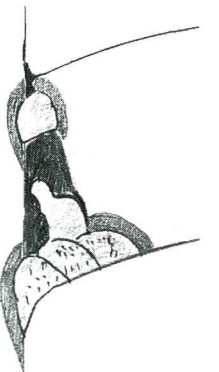
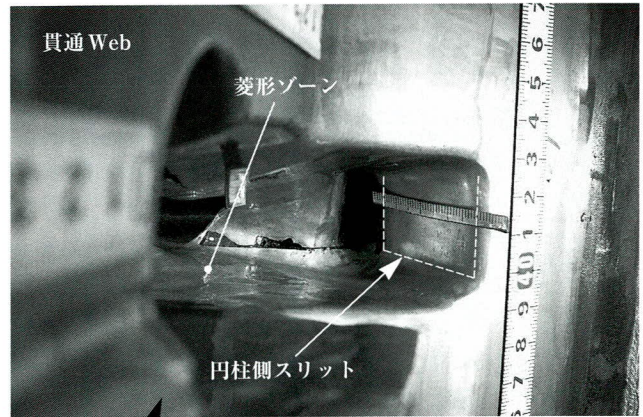
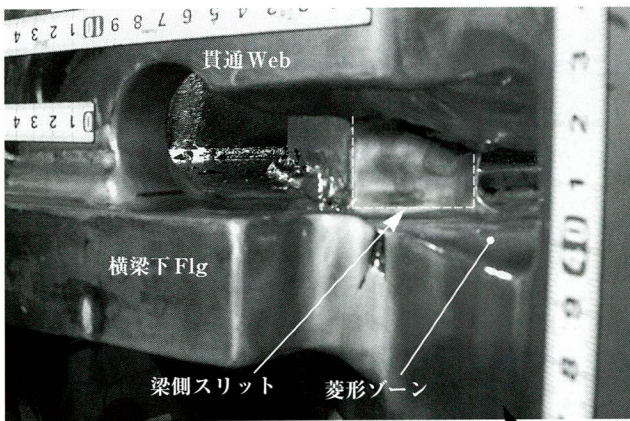


写真-6 き裂切削状況 (STEP 4)

隅角部の板が非常に厚いため、円柱の隅角部に残存する固有内在キズを円柱スリット出しによる方法で行うのは限界があった。なぜなら、片面（外面）からのスリット出しは内面にある溶接欠陥が除去できないからである。また、隅角部のビード3線分離ができていないため、補修の最終形状とは言えない。

梁側スリットには溶接欠陥であるスラグ巻き込み、円柱側の菱形ゾーンとスリットの交わる所にはキズ (DEPO CK = 10mm) が残存していることが確認できる。

#### ④STEP 4 スカラップ施工について

スカラップ施工において、片面（外面）だけの作業では限界があるため、外・内面両方にて切削を行った。

円柱スリットを出すためには、まず菱形ゾーンにある貫通Web (STEP 3を参照) を取除しなければならぬ。その後、スリットに残存している溶接欠陥を除去すると共に3線交差しているビードを分離する作業を行った。

ここで、スカラップの形状が (40<sup>高</sup>×100<sup>長</sup>) になったのは、施工当時のスリットが貫通Web (t=28mm) に対して大きめに設けられているからである。それは、多数の板が交わる隅各部を組立てる際、容易に製作を行

うために、大きめのスリットが開かれていると考えられる。それによって、スリットと貫通Webの間に大きな隙間が生じ、開先の奥まで溶接溶け込ませるのが困難な作業であると推測される。STEP 4に示すような、円柱と貫通Webのルートギャップが大きいことによって、梁側・円柱側縦ビードに大きな溶け込み不足が残存していることが確認できる。この溶け込み不足による溶接欠陥が縦ビード全線において残留していると思われる。また、円柱側縦ビードの断面にキズ（DEPO CK = 3mm）が残存している。

## 6. まとめ

本稿では、梁Web貫通Flg板組みを有する隅角部に発生したき裂損傷に対して、き裂調査、補強及び補修を行った。その結果を以下に示す。

- ① 隅角部のシアラグ（せん断遅れ）による応力集中部に固有内在キズである菱形ゾーンが残存していることが確認できた。また、き裂はそこを起点として延びていたと考えられる。

- ② 隅角部の応力を低減させるため、胴巻きに当て板（リング補強）+ブックエンドを併用した。
- ③ 円柱のき裂補修では角柱の補修と異なり、棒グラインダーによる補修施工となる。また、梁Web貫通Flg板組みのき裂補修形状において、片面（外面）スリット出しでは、固有内在キズの完全除去ができないことが理解できた。菱形ゾーンの貫通Webを取除くことによって、固有内在キズである溶接欠陥が除去できるようになり、隅角部の3三線ビードの分離も可能となった。

## <参考文献>

- 1) 三木千寿, 平林泰明, 時田英明, 小西拓洋, 柳沼安俊: 鋼製橋脚隅角部の板組み構成と疲労き裂モード, 土木学会論文集, No745, 2003. 10
- 2) 三木千寿, 市川篤司, 坂本拓也, 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, No710, 2002. 7

2006.11.30 受付

## グラビア写真説明

### 十三曲橋

本橋の架橋位置は、市原市を流れる養老川の源流部における房総随一の紅葉の名所、養老溪谷に位置しており、少し上流には名瀑粟又（あわまた）の滝や温泉郷がある風光明媚な所であります。

現道は、急な斜面にへばりつくように設けられ、幅員狭小で観光シーズンに大型の観光バス等が入ってこようものなら離合もままならなくなり、交通渋滞を引きこすという状況でしたが、本橋は現道をショートカットするように深い谷間を跨ぐように計画がなされました。架設は、谷間にベントを設置し地組されたブロックをクレーン架設にて実施致しました。縦断勾配が8%と急であった為、架設はもちろん床版コンクリート打設時にも細心の注意を払って施工が行われました。

耐候性鋼材使用による周囲の自然との調和も良くとれ、養老溪谷における名所が又ひとつ増えました。一度は訪れて、橋上からのすばらしい溪谷美を楽しんで頂ければと思います。  
(渡部 陽一)