

# 鋼製橋脚隅角部（角柱）の疲労損傷調査と対策

## Survey and Damage Countermeasures for Steel Pier Corners (Square column)

辻 幸 佐\*<sup>1</sup> 化 鍾 福\*<sup>2</sup> 引 間 隆\*<sup>3</sup>  
 Kousuke TSUJI FA Chongpog Takashi HIKIMA

### Summary

On the metropolitan expressway, we conducted detailed surveys into fatigue cracks produced in steel-made pier corners and surveyed the causes of these cracks in order to carry out reinforcement and repair. This article reports the damage conditions generated from steel-made square-column corners of plate-assembled WW column type, along with reinforcement design and the results of crack repair.

キーワード：板組み柱 WW、疲労き裂、き裂発生原因、切削調査、大コア補修

### 1. はじめに

近年、首都高速道路の鋼製橋脚隅角部の一部において疲労損傷が発見され、全隅角について臨時点検調査を実施した結果、数多くのき裂が発見された。そこで、き裂が確認されている隅角について詳細調査を行い、続いて補強が必要と判断した隅角については順次補強を行い、その後き裂補修が実施されてきた。首都高速4号新宿線においては28脚（角柱：9脚、丸柱：19脚）、5号池袋線においては29脚（角柱：13脚、丸柱：16脚）が詳細調査の対象となったが、そのほとんどの隅角においてき裂が確認されている。

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当て板補強、疲労損傷部に対するき裂補修（角柱）について、首都高速5号池袋線郊外にある本線料金所に位置する角柱橋脚について報告するものである。

### 2. 橋脚構造

報告の対象橋脚は、首都高速5号池袋線の郊外にあり本線料金所の下に位置し、昭和52年に製作された角柱の鋼製橋脚である。上り線の料金所により幅員が本線から拡幅されており、主桁は6箱桁で構成されている。橋脚一般図（図-1）からも分かるように、本橋脚は3本の柱によって構成されたラーメン橋脚で、下り本線と上

り本線料金所を支える構造となっている。橋脚諸元を表-1に示す。

臨時点検において隅角1、3の起点、終点側（以下、起点：K、終点：S）においてき裂の損傷が発見された。

板組みは、柱・横梁ともにウェブが優先している柱 WW タイプであり、このような板組を溶接する場合3線

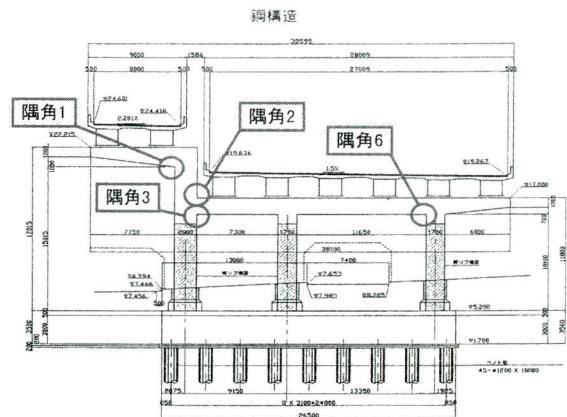


図-1 対象橋脚一般図（起点側より）

表-1 対象橋脚諸元

	隅角No.	①	②	③	⑥	
板厚 (mm)	柱Flg	42	32	32	19	材質 SM58
	梁Flg	42	28	28	28	
	Dia	42	28	28	28	
	Web	42	28	28	19	
ΦZ (%)	SM58	—	41	41	—	—
供用年度		昭和52年				

\*1 技術本部保全部保全技術グループサブリーダー

\*2 技術本部保全部保全技術グループ

\*3 営業本部営業企画部次長

交差部の内部に未溶着部（デルタゾーン）が残存しやすい。

### 3. 詳細調査

#### (1) マクロ試験と磁粉探傷試験

マクロ試験は、隅角部の板組みや溶接順序等、製作当時の状況を推測するのに必要な情報を得ることを目的に実施した。また、磁粉探傷試験（以下、MT）は、き裂の位置と大きさを特定することを目的に実施した。なお、現場で行うMTはスプレー式の蛍光磁粉を使用し、き裂の検出はブラックライトを照射して確認する。これは、電源設備があれば携帯して試験が行える等の長所を利用したものである。

隅角1、3のKS側下フランジコーナー部内外面においてき裂が発見されたことから、十字溶接および柱・梁角溶接のコーナー部について、マクロ試験とMTによる詳細調査を実施した。同時に、き裂が確認されている隅角2、6のKS側についても同様の調査を実施した。

その結果、各隅角部の3線交差部にあるき裂は、溶接金属内のき裂であることが確認できた（写真-1）。

#### (2) き裂切削調査

き裂切削調査は、隅角部のき裂深さと発生位置を特定することを目的に実施した。その結果、き裂を彫り進むと未溶着部に到達したことから、き裂は3線交差部内部の未溶着部から表面に現れたものであることが分かった。き裂位置は、写真-2からも分かるように未溶着部から発生し溶接金属内を貫通し、表面に到達している。

き裂の切削方法は、棒グラインダの先端に超硬バーをセットし、溶接金属を少しずつ慎重に手作業にて切削する。き裂が最終パスだけにある場合は、最終パスの除去と同時にき裂の除去も可能となることから、切削とMTを何度も繰り返し、き裂の有無を確認しながらの作業となる。

#### (3) 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（72時間）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、隅角3においては、梁下フランジ外面50mm×50mmの位置で最大応力範囲

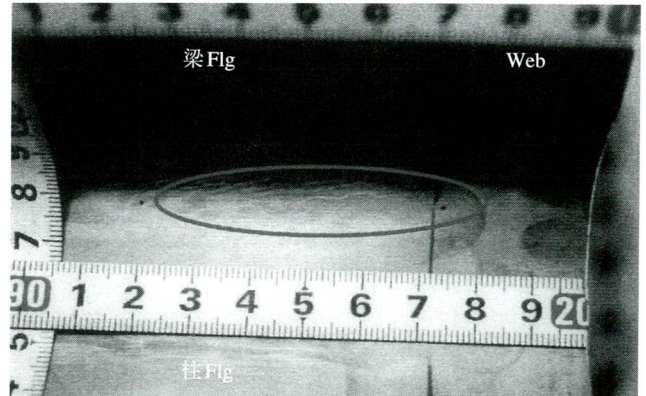


写真-1 き裂写真（隅角S-3）

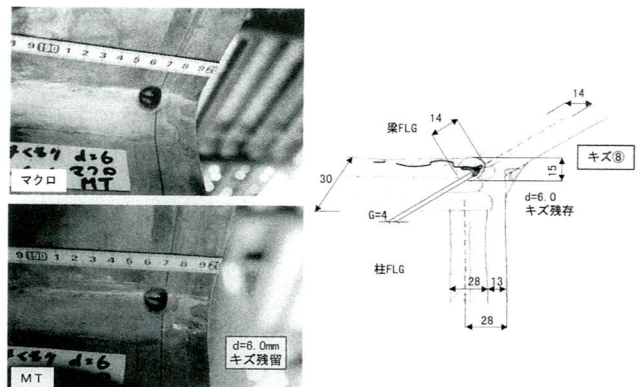


写真-2 き裂拡大写真（隅角S-3）

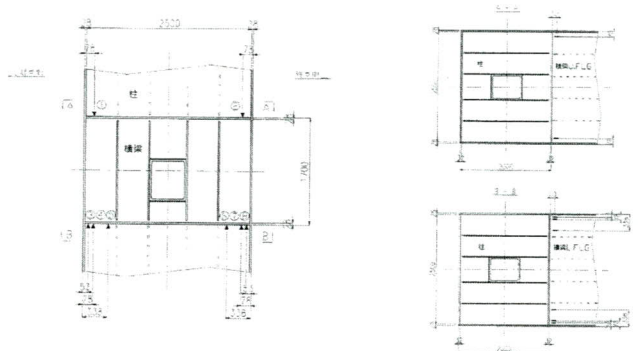


図-2 応力頻度計測位置図

表-2 応力頻度計測結果

計測結果		計測ポイント								単位: Mpa
橋脚番号		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
隅角番号	3	外面	外面	外面	外面	外面	外面	外面	外面	
P.V	MAX	20.6	15.4	10.3	15.4	5以下	5以下	15.4	15.4	
	MIN	-5.1	-5.1	-15.4	-10.3	5以下	5以下	-10.3	-15.4	
RF	MAX	20.6	20.6	25.5	20.6	5以下	5以下	20.6	30.4	



20Mpa程度の応力が作用していることが確認できた。計測位置図を図-2に、計測結果を表-2に示す。

#### (4) 超音波探傷試験

超音波探傷試験（以下、UT）は、隅角部の溶接状態、特に開先形状や溶け込み状態を把握することを目的に、実施した。隅角K-3の結果を以下に示す（図-3）。

- ① 梁Flg角継手：K開先で上側3mm、下側5mm程度の開先深さと推定する。
- ② 柱FlgT継手：K開先で梁側10mm、Dia側17mm程度の開先深さと推定する。
- ③ 梁DiaT継手：探傷未領域。
- ④ 柱Flg角継手：K開先、梁側5mm、Dia側7mm程度の開先深さと推定する。

この結果から、以下のことが明らかとなった。

- ・柱Flg角継手の溶け込み量が、60%程度（板厚28mm、未溶着量16mm）であること。
- ・梁Flg角継手の溶け込み量が、30%程度（板厚28mm、未溶着量20mm）であること。
- ・柱Flgの角継手とT継手で開先の切り返しがあること。

### 4. 補強構造

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が20Mpa程度であること、UT結果から梁Flg角継手の溶け込み量が30%（板厚28mm、未溶着量20mm）であることや、厚板を使用しているにもかかわらず、全体的に開先が小さいことから、隅角部に発生するシアラグによる応力を低減することを目的とし、ウェブ面に当て板補強を実施した（図-4）。隅角3の当て板補強は、隅角近傍に柱の現場継手があることから、添接板に被せるように当て板を設置した。

### 5. き裂補修

#### (1) ストップホール

ストップホールは、隅角部のき裂補修（スカラップや大コア等）を行っても、き裂が除去できず残存する場合や内在キズがあるときに、今後そのキズが進展する可能性があることから、以下のような目的で施工を行う。

- ・き裂の進展を一時的に遅らせること。
- ・き裂が母材方向に進まないように誘導すること。
- ・溶接線を分離すること。

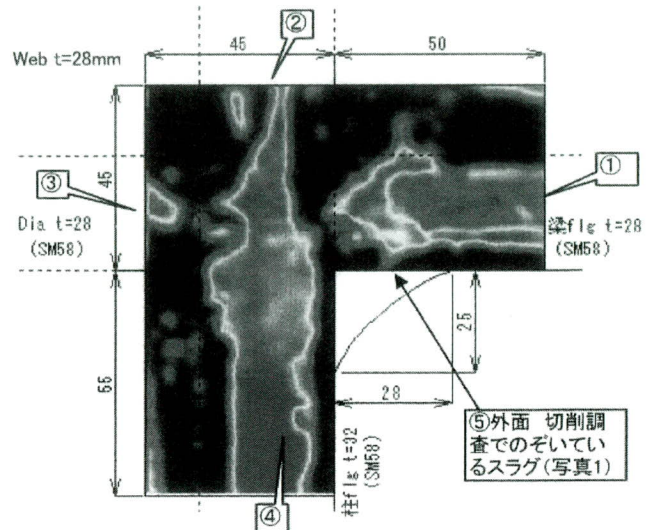


図-3 UT調査結果（隅角K-3）

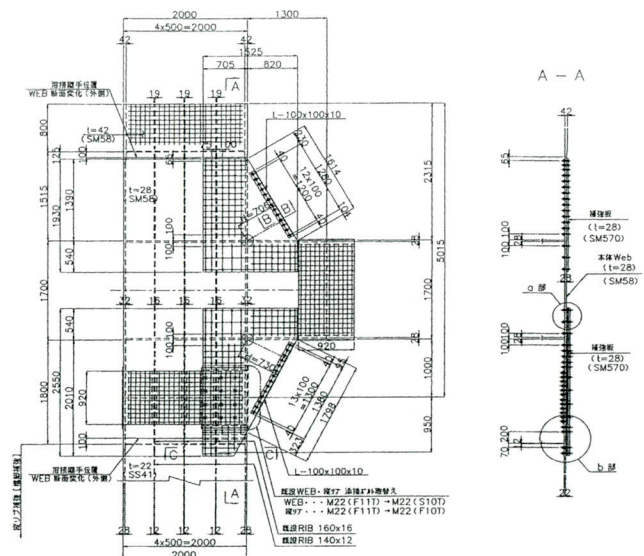


図-4 当て板補強図

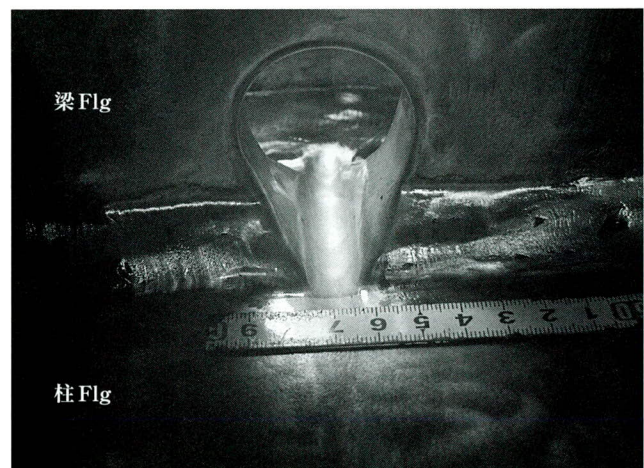


写真-3 ストップホール



ストップホールの形状は、溶接線を分離しかつ溶接断面の観察が行いやすいような「しずく形状」となっている（写真-3）。施工位置は、き裂の先端から150mm程度離れた位置、または溶接ビードの棒継ぎ付近で、梁フランジやダイヤフラムに施工する。施工位置をき裂先端から離す理由は、これまでの調査の結果から内在キズが続いていることが多いことや、溶接ビードの棒継ぎがあればその位置で溶接状態が変化することによって、内在キズがない可能性が高いことによるものである。

ストップホール施工手順は、ケガキ→孔あけ（機械）→切削→面取り→仕上げの順番で行う。

### (2) スカラップ

スカラップは、板組みが柱WWタイプの隅角部に適用し、3線交差部の未溶着部（デルタゾーン）を除去する目的で施工を行う。スカラップ内にき裂が入っている場合や内面にき裂がない場合などに用いられ、本橋脚においては、隅角S-3でスカラップ施工を行った。

スカラップの形状は、未溶着部（デルタゾーン）を除去するために、柱フランジと柱ウェブの角継手部を彫り込み、ルート線がはっきりと分かる深さまで切削する。き裂が続く場合は、き裂が除去できる位置まで切削する。ルート線から続くき裂がないことをMTで確認したのち、角継手になめらかに擦り付け「船底」を形成する。施工位置は、梁フランジの3線交差部である。

スカラップの施工手順は、ケガキ→孔あけ→切削→船底整形→面取り→仕上げの順番で行う。

### (3) 大コア

大コアは、全ての板組みに適用可能で3線交差部の内部の未溶着部（デルタゾーン）を外側ウェブ面から $\phi 100$ の孔あけ機械（コアカッター）によって、3線交差部を一度に全て取除くことを目的に行う。機械を用いた施工方法により形状に差がなく統一されていて、本橋脚においては、隅角KS-1、K-2、K-3、KS-6の合計6箇所で大コア施工を行った。

大コアの形状は、 $\phi 100$ のコアが取除きやすいように、あらかじめ内面側の柱フランジ、梁フランジ、ダイヤフラムに $\phi 50$ の孔をあけ、その後 $\phi 100$ の孔あけを施工し、最後に内面側の十字溶接部を切り離す。

また、き裂長さが長く $\phi 100$ に入らない場合は、 $\phi 100$ を2箇所ずらして施工する「タンデム大コア」を行う。

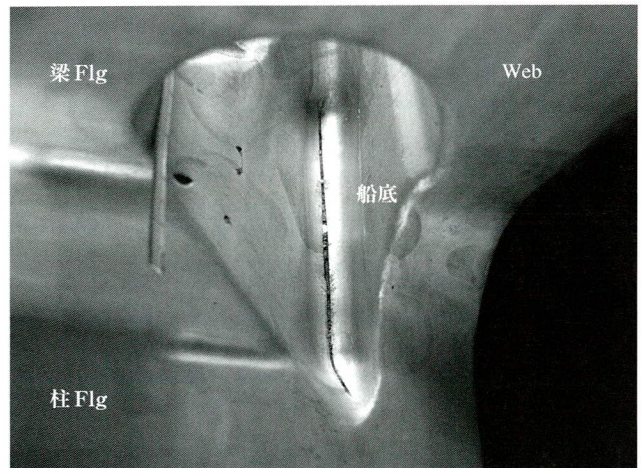


写真-4 き裂補修（スカラップ）

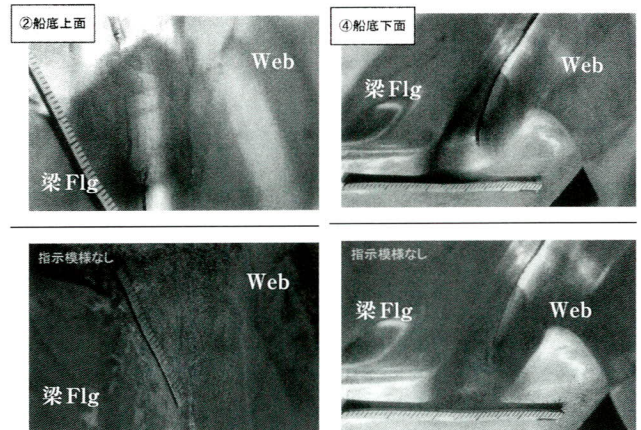


写真-5 スカラップ（船底）

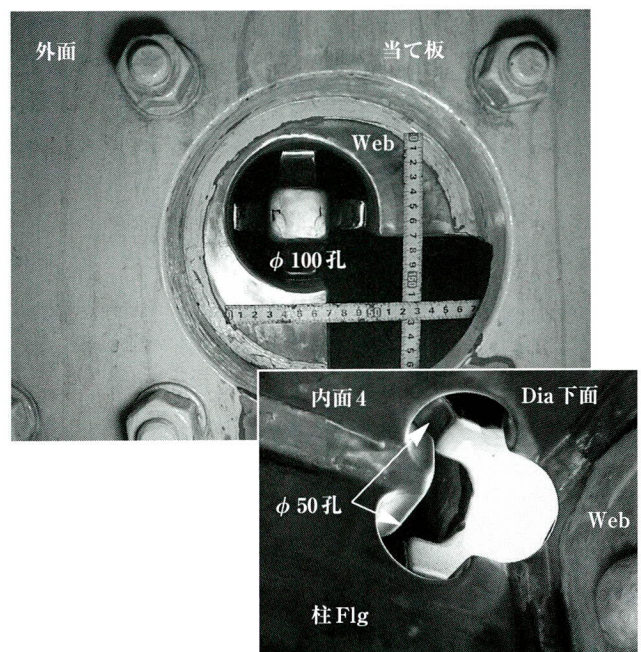


写真-6 大コア



大コアの施工手順は、ケガキ→内面のφ50孔あけ（機械）→外面からφ100孔あけ（機械）→縁切り→面取り→仕上げの順番で行う。

#### (4) 記録

前述したき裂補修は、いずれも溶接線を分離することから、き裂補修後は各溶接断面が露出することになる。現段階が、次回点検時の初期値となることから、溶接断面をよく観察し詳細な記録を残す必要がある。したがって、記録にはMT・マクロ写真にき裂の状態や寸法を記入しなければならない。

### 6. 考察とまとめ

角柱の隅角部き裂は、製作時の溶接未溶着部と板組みに起因していると考えられる。今回、首都高速4号新宿線と5号池袋線の角柱について補強・補修を実施した結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 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。
- ② 3線交差部の未溶着部は、隅角部のほとんど全てに存在すると考えられる。
- ③ スクラップや大コアは、疲労き裂の一因とされる未溶着部を取除くことが可能である。

き裂補修後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団法人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。

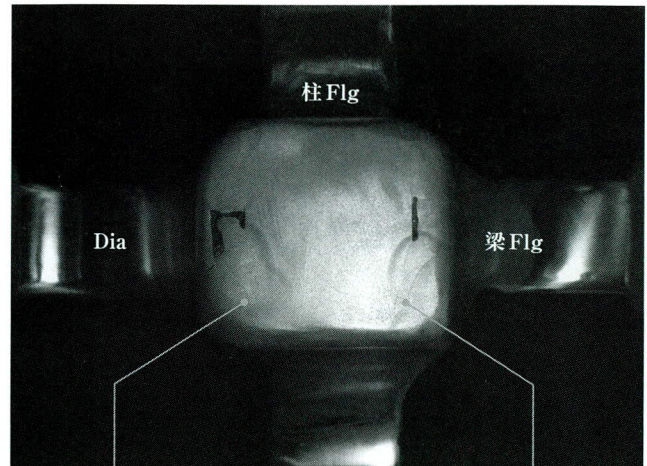


写真-7 大コア十字継手部（マクロ）

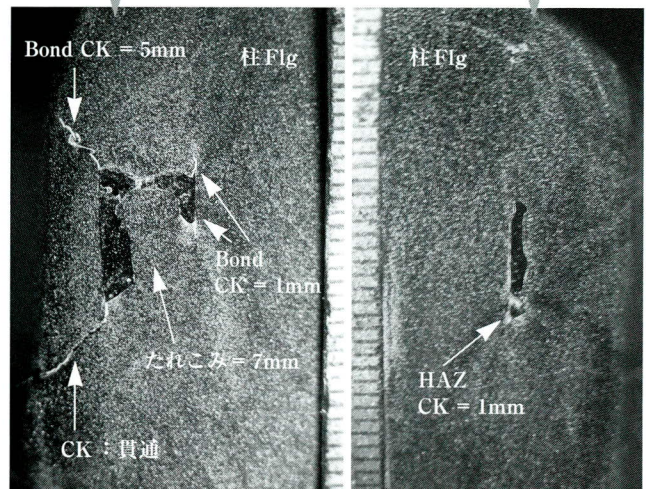


写真-8 大コア十字継手部（MT）

#### <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
- 3) 首都高速道路技術センター: 鋼道路橋と疲労損傷, 平成16年2月

2006.11.30 受付