

鋼製橋脚疲労亀裂対策の隅角部補強工事

～管内橋梁補修工事（千住大橋・四つ木陸橋）～

Reinforcement Works at the Corner Portion of Steel Pier to Prevent Fatigue Cracking

前島 真二
Shinji MAEJIMA

川田建設(株)東日本統括支店
事業推進部

安部 数人
Kazuto ABE

川田建設(株)東日本統括支店
事業推進部

小林 泰一郎
Yasuichiro KOBAYASHI

川田建設(株)保全技術部

千住大橋（新橋）の橋脚は、鋼製T型柱であり、支柱部分が円柱である。橋梁点検を行った結果、橋脚の隅角部に疲労損傷による亀裂が確認された。亀裂の詳細調査を行い、補強検討を行った結果、ブックエンドタイプの補強部材による隅角部補強を実施することとなった。千住大橋（新橋）は竣工後約40年経過しており、竣工図書が把握できない部分があるため、現地調査を行い橋脚構造を確認した。また、既に耐震補強が実施されており、本工事にて設置する補強部材と干渉する箇所があり、施工を行うにあたっての検討を行った。本報告では、施工の際に行った調査、検討、工夫について述べる。

キーワード：隅角部補強、ブックエンドタイプ、打込式高力ボルト、試験施工

1. はじめに

本工事は、隅田川を横断する一般国道4号線千住大橋（新橋）東京側取付部の鋼製橋脚10基、埼玉側取付部の鋼製橋脚2基の隅角部補強を行うものであり、平成18年度に国土交通省東京国道事務所より管内橋梁補修工事が発注となり、当社が施工を実施した。

工事はあらかじめ実施された「平成15年度鋼製橋脚隅角部疲労損傷点検結果検討委員会ワーキング」（以後、隅角WGと称す）より、鋼製橋脚隅角部疲労損傷の調査およびFEM解析を実施し、補強部材の詳細設計から、ブックエンドタイプの補強部材による補強を行った。

2. 工事概要

工事名：管内橋梁補修工事

工事場所：一般国道4号線・6号線

東京都荒川区南千住5丁目
～東京都足立区千住橋戸町（千住大橋）
東京都葛飾区四つ木2丁目
～東京都葛飾区四つ木4丁目（四つ木陸橋）

施工箇所：P1～P8橋脚 P9L・R橋脚 P12L・R橋脚
の12橋脚（千住大橋）

P2・P3・P6・P7橋脚（四つ木陸橋）

施工内容：鋼製橋脚隅角部補強（千住大橋）

既設縁端拡幅装置の撤去（四つ木陸橋）

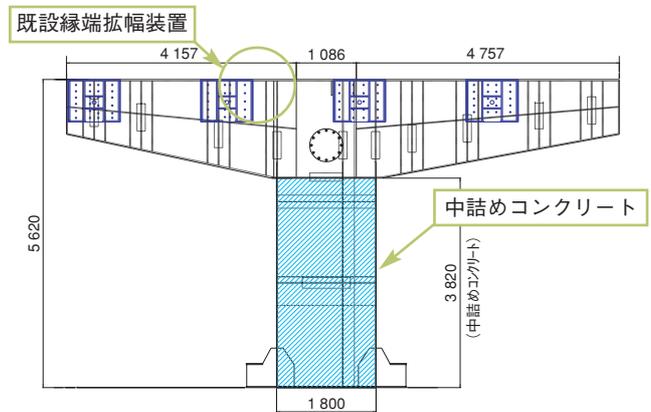


図1 P9R橋脚 施工前

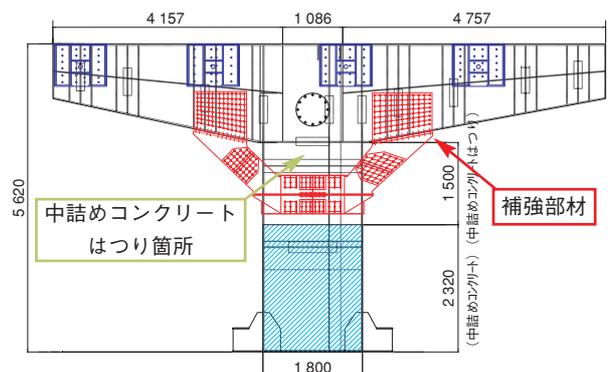


図2 P9R橋脚 施工後



写真1 東京側全景

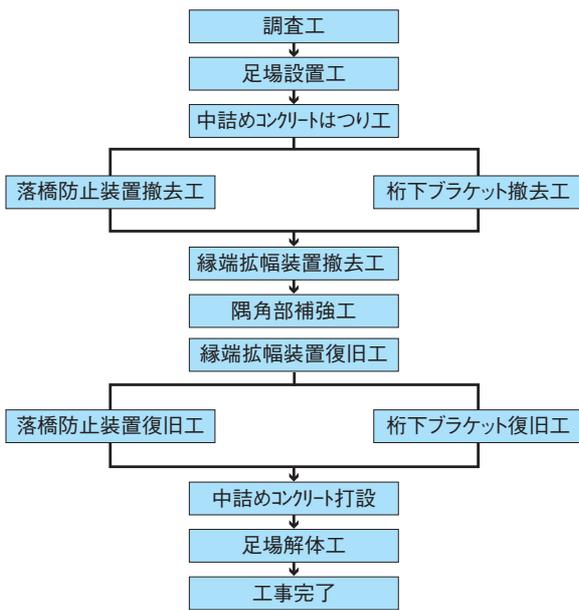


図3 施工フローチャート

3. 調査工

本橋梁は、竣工後約40年経過しており、竣工図書では把握できないものがあつた。隅角部補強では、補強部材を打込式高力ボルトにて接合する方法を採用することから、既設橋脚の板厚を正確に把握する必要があつた。

板厚の測定は、板厚測定器を用い、既設橋脚の各部位ごとに行つた(写真2, 3)。測定結果と完成図との比較結果は表1に示すとおりである。完成図にて確認できる板厚と測定結果とはほぼ一致したが、完成図にて把握できない箇所については、板厚測定結果を採用した。



写真2 ウェブ面計測状



写真3 柱面計測状況

表1 板厚測定結果(抜粋)

図面箇所	単位	P1橋脚	P2橋脚	P3橋脚	P4橋脚
下フランジ					
当初完成図からの板厚	mm	14?	16?	16?	?
板厚測定結果	mm	14.2	16.4	15.9	16.0
ウェブ					
当初完成図からの板厚	mm	14?	19?	19	?
板厚測定結果	mm	14.1	19.2	19.2	19.1
上フランジ					
当初完成図からの板厚	mm	?	19	19	?
板厚測定結果	mm	16.6	18.6	19.3	19.5

※「?」印は完成図にて把握できない箇所を示す。

4. 中詰めコンクリートはつり工

本橋梁は、すでに耐震補強が実施され、橋脚の支柱部分には、中詰めコンクリートが充填されており、本工事にて設置する補強部材と干渉する橋脚があつた。そこで、干渉する中詰めコンクリートを撤去した場合の耐震構造の検討を行い、耐力が不足する橋脚については、補強部材設置後に再度中詰めコンクリートの充填を行うこととした。

既設橋脚の円形支柱のサイズはφ1 800、支柱内での高さが0~550 mmであり、狭隘部で中詰めコンクリートをはつる作業となる。このようなことから、この中詰めコンクリートを撤去する際に、橋脚本体に悪影響をおよぼさず、安全に施工する方法を検討する必要があつた(写真4, 5)。



写真4 橋脚点検孔通過状況

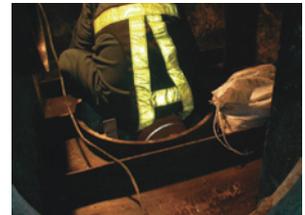


写真5 橋脚内部状況

中詰めコンクリートの充填状況については、各橋脚ごとに異なることから、コンクリートの破碎方法を検討することとした。充填状況別の検討結果を以下に示す。

①円形支柱天端までコンクリートが充填されていない場合(写真6)

→最低限度の作業空間があり、鋼板とコンクリートの付着が弱いことから、人力によりはつり作業を行うこととした(写真7, 8, 図4)。

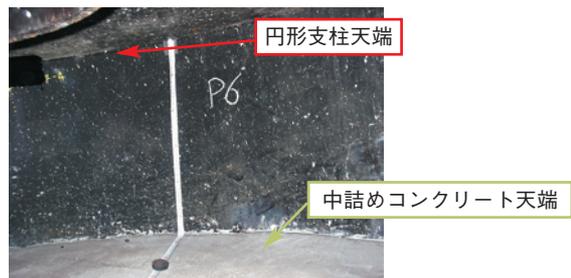


写真6 中詰めコンクリート充填状況

① 円形支柱天端までコンクリートが充填されていない場合

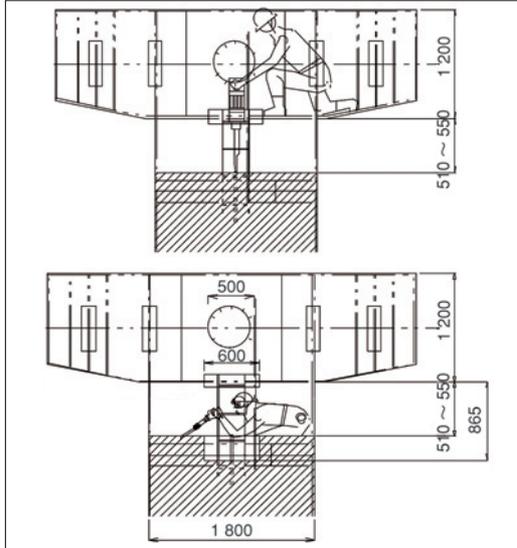


図4 人力によるはつり作業方法

② 円形支柱天端までコンクリートが充填されている場合

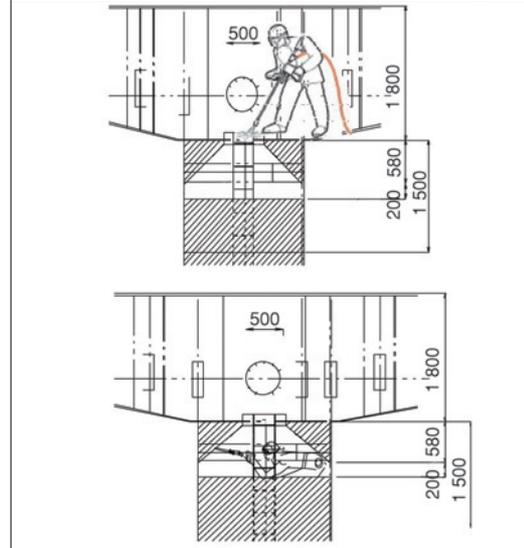


図5 ウォータージェット工法によるはつり作業方法



写真7 はつり状況



写真8 はつり状況



写真10 ウォータージェット はつり状況



写真11 ウォータージェット はつり完了状況

②円形支柱天端までコンクリートが充填されている場合 (写真9)

→表2に示す特殊工法についての比較検討を行い、ウォータージェット工法を用いることにより作業スペースを確保し、人力により作業を行うこととした。(写真10, 11)



写真9 中詰めコンクリート充填状況

5. 隅角部補強工

5.1 供試体による試験施工

本工事は、円柱タイプの鋼製T型橋脚の隅角部補強であり、図6, 7に示すとおり円柱と梁部材を一体化させるブックエンドタイプの補強部材を設置することで、既設橋脚の隅角部に発生する応力を低減することを目的としている。

接合方法は応力伝達時に「せん断遅れ現象」による応力集中を低減させるために支圧接合を採用し、打込式高力ボルトを用いた。しかし、既設橋脚の製作精度や、補強部材の製作精度によっては部材同士にずれが発生する恐れがあることから、十分な補強効果を期待できない可能性があった。

本工事は、前例の少ない工事であり、より施工精度を高める必要があるため、試験施工を実施した。

表2 特殊工法比較表

	静的破碎工法	放電破碎工法(プラズマ)	放電衝撃破碎工法	ウォータージェット工法
作業方法	孔明けした穴に材料と水を練り混ぜ流し込み膨張圧力により亀裂を発生させる方法	孔明けした穴に水を充填し電極棒を挿入する。この電極から高出力放電を行い、この時に生じたプラズマが急激に膨張することによる衝撃波を利用し、周辺の破碎対象物に衝撃波を伝えて破碎する方法	孔明けした穴に放電カトリッジを設置し、放電ケーブルを結線する。発電機により放電衝撃発生装置を充電し、充電された電気エネルギーを電子スイッチにより放電カトリッジに供給し、供給された電気エネルギーにより放電カトリッジ内の金属細線が溶液・気化し、衝撃エネルギーを発生させ破碎する方法	100 MPa以上のジェット水により、その圧力と水量の積で表現される衝撃力及び水クサビ現象で破碎する方法
長所	・低振動、低騒音 (衝撃力の強弱や方向性の制御が可能となる) ・全方向での破碎が可能となる ・コンクリート破碎を行う際、1次破碎(大割り)を静的破碎剤にて行うことから、人力による斫り作業が減り、作業効率が良くなり作業拘束時間が少なくなる	・低振動、低騒音 (衝撃力の強弱や方向性の制御が可能となる) ・全方向での破碎が可能となる ・コンクリート破碎を行う際、1次破碎(大割り)を放電衝撃にて行うことから、人力による斫り作業が減り、作業効率が良くなり、作業拘束時間が少なくなる	・低振動、低騒音 (衝撃力の強弱や方向性の制御が可能となる) ・全方向での破碎が可能となる ・コンクリート破碎を行う際、1次破碎(大割り)を放電衝撃にて行うことから、人力による斫り作業が減り、作業効率が良くなり、作業拘束時間が少なくなる	・水圧によってコンクリートを破碎することから、支柱の鋼板、ダイヤフラム・梯子等の既設橋脚を損傷せずにはつり作業を行うことができる ・狭い場所にて、斫り作業を行うことが可能となる ・部材設置部分の表面処理を容易に行うことができる
短所	・狭隙部であり閉塞部の為、静的破碎剤を設置する準備工にて削孔を行うスペースを確保するのが難しい ・閉塞部の為、衝撃を解放する空間を確保することが難しい ・膨張時の圧力が本体に影響を及ぼす可能性がある	・狭隙部であり閉塞部の為、放電破碎の準備工での削孔を行うスペースを確保するのが難しい ・閉塞部の為、衝撃を解放する空間を確保することが難しい ・車線規制を必要とする(機材搬出入・移動時) ・衝撃波が本体に影響を及ぼす可能性がある	・狭隙部であり閉塞部の為、放電衝撃破碎の準備工での削孔を行うスペースを確保するのが難しい ・閉塞部の為、衝撃を解放する空間を確保することが難しい ・車線規制を必要とする(機材搬出入・移動時) ・衝撃エネルギーが本体に影響を及ぼす可能性がある	・高圧水噴射装置が必要となり、装置が大きくなる。(設置場所が大きく必要となる) ・騒音が大きい ・大量の水が必要となる ・使用水、斫り粉の処理が必要となる(大型設備が必要となる) ・車線規制を必要とする(機材車配置のため)
判定	—	—	—	採用

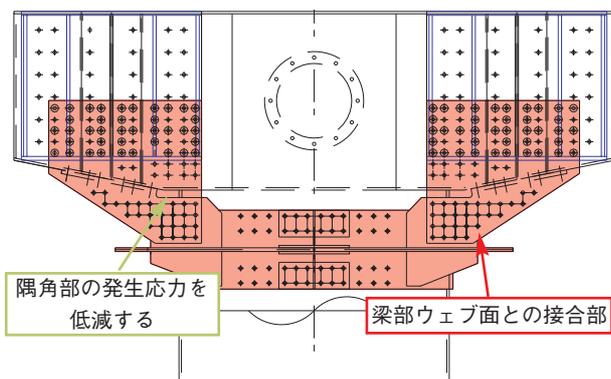


図6 補強部材断面図

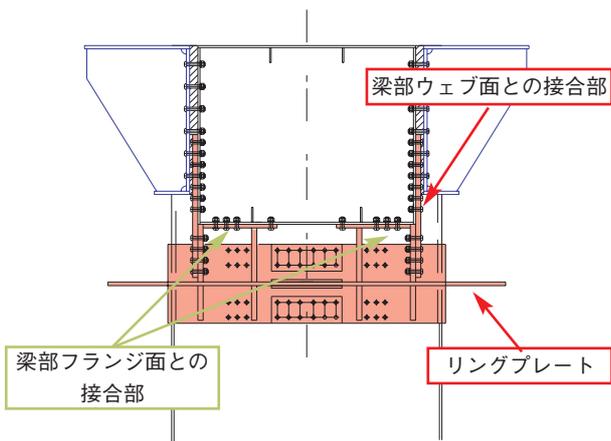


図7 補強部材側面図

(1) 供試体の製作

本工事にて設置する補強部材は、既設支柱の円柱部分を、全周に渡ってリングプレートを設置する構造である。既設橋脚の曲率と補強部材の曲率を合わせることが非常に難しいことから、既設橋脚と補強部材との一体化が問題点であった。そこで、補強部材の製作精度や、施工上での問題点を確認することを目的とし、実施工にて設置する補強部材と同じ仕様で供試体を製作した(写真12)。

供試体は、製作前に既設支柱の形状調査を行い、調査結果を反映して行った。また、補強部材の製作にあたっては、溶接による変形が発生することから、溶接変形の性状についても事前に把握し、変形を抑える製作方法を確認した。

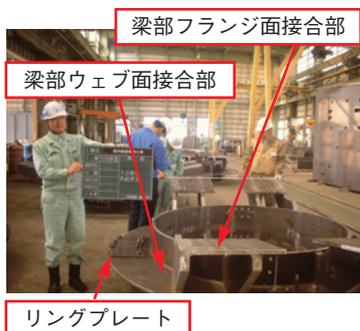


写真12 供試体全景

(2) 供試体の試験設置

工場にて製作した供試体を現場に持ち込み、供試体は既設橋脚とのボルト接合は行わずにチェーンブロックにより固定した。

補強部材の設置時において以下の問題点を確認した。

①部材の分割方法

補強部材は、既設柱に全周に渡って設置することから、部材を分割する必要がある(当初設計では4分割)。

部材運搬については、現地での組立の可否を確認した結果、問題はなかった(写真13、14)。

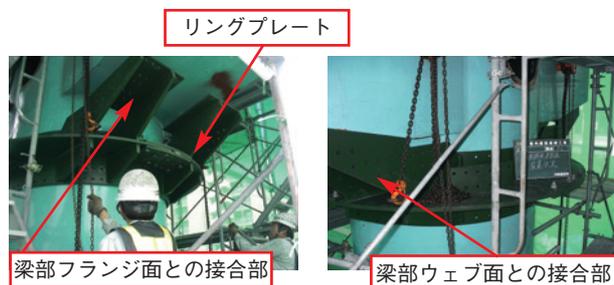


写真13 供試体設置状況

写真14 供試体設置完了

②既設橋脚と補強部材の肌すき

既設橋脚と補強部材は、円形部の曲率やハンチ角度を合わせることは困難なため、試験施工にて肌すきの確認を行った。

本試験施工では、ボルト接合を行っていないことから、既設橋脚と補強部材を完全に固定することができないが、円柱部では5 mm程度、梁下面では2 mm程度の肌すきを確認することができた(写真15、16)。実施工時では、ボルト接合を行うことから、試験施工よりもより部材を密着することができると推察される。しかしながら、試験施工において肌すきが発生したことから、実施工時においても同様な事が起きると考えられる。そこで、部材接合面への漏水を防ぐ目的として、補強部材端にシーリング材を塗布することとした。

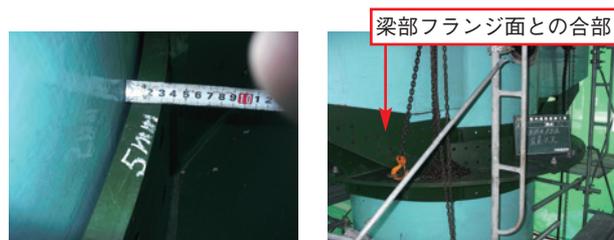


写真15 円柱部肌すき確認

写真16 梁下面肌すき確認

③既設橋脚の現場孔明位置の確認

補強部材の接合は、打込式高力ボルトによる支圧接合で行う(写真17)。打込式高力ボルトは通常の摩擦接合用高力ボルトより孔明径が小さく、ボルト位置の隙間が少ない。したがって、既設橋脚への孔明は外側より補強部材を基準にして現場で行った。

しかし、孔明位置によっては、孔明機械を外側に設置することができない箇所があることから(写真18)、そのような箇所については、橋脚内部より孔明を行うこととした。



写真17 打込式高力ボルト



写真18 現場孔明確認

5. 2 補強部材設置工

(1) 円柱部分の現場孔明機械の検討

通常の孔明機械は、水平面に磁石で固定して使用する。しかし、本工事では円柱部の曲面に孔明を行うことから、通常の機械を用いることができない。

そこで、孔明機械のアタッチメントを改良し、曲面への固定を可能にした(写真19, 20, 21)。



写真19 特殊孔明機械

橋脚の径(R-1 800)に加工



写真20 円柱部外側孔明状況



写真21 円柱部内側孔明状況

(2) 打込式高力ボルトの施工

本工事は、供用下での施工となるため、打込式高力ボルトの取付は、ボルト1本ごとに、孔明→ボルトの打込→1次締付(60%軸力)までを連続的に行うこととした。

ボルトの打込方向は、景観を考慮した場合、通常外側より行うのが望ましい。しかしながら、橋脚内部が狭隘部であり、内側での締付作業が困難であることから、本工事では橋脚内部より打込を行った(写真22, 23)。ただし、既設落橋防止装置と干渉する箇所については、補強部材設置の外側に設置することになるため、フィラープレートを用いて取付を行う。このとき、フィラープレートの板厚を小さくするために、外側より打込を行った。



写真22 橋脚内からの打込高力ボルトの打込状況



写真23 落橋防止装置部分の打込式高力ボルトの打込状況

5. 3 まとめ(隅角部補強工)

供試体の製作を行い、試験施工を行ったことにより、補強部材の製作では、製作誤差を少なくすることができ、部材の設置についても、肌すきを少なく設置することができた。



写真24 施工完了

6. 既設縁端拡幅装置の撤去

本工事では、千住大橋(新橋)とは別に、四つ木陸橋の縁端拡幅装置撤去工事が追加された。四つ木陸橋も千住大橋(新橋)と同様の鋼製橋脚隅角部に疲労損傷による疲労亀裂が確認されたことから、隅角WGにて詳細な調査を実施するために、縁端拡幅装置の撤去が必要となった。

四つ木陸橋の縁端拡幅装置は高力ボルトと溶接との併用による接合構造であった(写真25, 26)。

部材の撤去後、橋脚の詳細調査を実施するため、既設橋脚への影響が少ない撤去方法の採用が必要であった。撤去の際、高力ボルトの撤去は可能であるが、溶接部の撤去は、一般的にガウジングにてビードを除去することから、ビードに熱を与え、母材にも熱が伝導され、既設橋脚への熱影響が心配された。そこで、熱影響を与えない撤去方法を検討し、以下の手順にて施工を行うこととした。

今回採用した撤去方法では、既設縁端拡幅装置を部分撤去するため、調査終了後に再設置することができない。



写真25 縁端拡幅設置状況

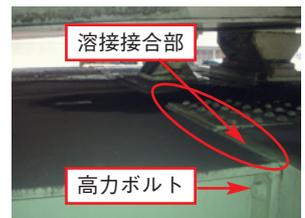


写真26 落橋防止接合状況

① ガス切断による部分撤去

既設部材への熱影響を与えないように、部材接合部よ

り100 mm離れた箇所ではガス切断を行った(図8, 写真27, 29)。

切断作業時には、既設橋脚の温度を計測(写真28)し、鋼材に熱影響をおよぼさない温度(300℃以下)であることを確認した。

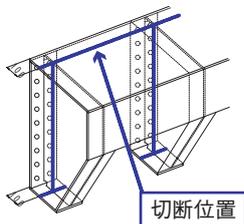


図8 切断位置



写真27 ガス切断状況

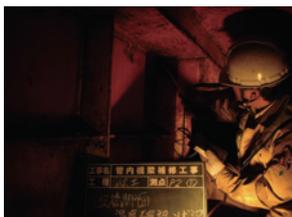


写真28 既設橋脚温度確認状況



写真29 ガス切断完了

②孔明機械による部分撤去

ガス切断による部分撤去を行った後、溶接部の部分撤去を行うこととした。

フランジのみ溶接している箇所(図9の赤線部)については、溶接部分に熱影響が生じないように、孔明機械を用いて、連続的に孔明を行うことにより溶接部を部分的に撤去した。(写真30, 31)

孔明機械を用いた切断は、円が連続した切断面となることから、グラインダーによりビードを完全に除去した。



写真30 孔明機械による切断状況



写真31 孔明機械による切断完了

③グラインダーによる部分撤去

最後に、ボルト接合面(図9の緑線部)の溶接部を撤去した。ボルト接合面は、フランジのみの箇所と比べ、部材が複数接合しているため、孔明機械による部分撤去が不可能なことから、グラインダーを用いてビードを除去することとした。グラインダーのみで行った場合、既設橋脚を損傷することも予想されたため部分的にくさびにてビードを除去した(写真32, 33)。

くさびによる除去完了後、再びグラインダーによりビード面を完全に除去した。(写真34)

孔明機械による撤去

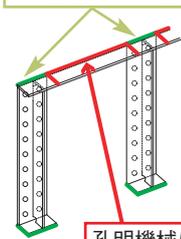


図9 切断位置



写真32 グラインダーによる除去状況



写真33 くさびによる除去状況



写真34 縁端拡幅装置撤去完了

④縁端拡幅装置撤去後の既設ボルト孔の処理

詳細調査終了後には、縁端拡幅装置を再設置することから、縁端拡幅装置を撤去した橋脚のボルト孔にはボルトの締付を行った(写真35)。



写真35 撤去完了(全景)

7. おわりに

本工事のように円柱の鋼製橋脚を隅角部補強する場合、既設橋梁との形状誤差の少ない補強部材を製作することが重要である。

また、多くの橋梁には落橋防止装置等の耐震補強が実施されているため、隅角部補強を行う場合、補強部材と干渉することが想定される。今後、同様な隅角部補強工事において本報告が一助となれば幸いです。

最後に本工事を無事完了するために適切なお指導を頂いた国土交通省東京国道事務所、並びに亀有出張所、またこの施工に参加・指導して頂いた皆様に感謝し、本報告の終わりとさせていただきます。