

R C 構造物の嵌合継手式鋼板巻立て工法 (NSJ 工法)

山 九(株) 正会員 三木 甫
NSエンジニアリング(株) 成井 信

1. はじめに

阪神・淡路大震災を契機として、旧示方書で設計され、かつ強度不足の既存道路橋脚は平成 8 年 12 月に改定された道路橋示方書に準じて耐震補強が実施されている。現在、大都市圏橋脚は耐震補強を概成したものの、施工が容易でない河川内、山間部および特殊部等の橋脚は依然として施工中である。

壁式 R C 橋脚（橋脚の長辺が短辺の長さの 3 倍以上を壁、それ以下を柱という）、とくに河川内小判型壁式 R C 橋脚等は河川法の改正とも関連して河積阻害率の小さい工法が望まれている。その中で、R C 巻立て工法は巻立厚さが大きく、炭素繊維巻立て工法では洪水時の漂流物の衝突による損傷等の問題がある。一方、鋼板巻立て工法は巻立厚さが小さく、在来工法として信頼性があるものの現場溶接の品質や熟練工不足等の問題があり、そのうえ阪神大震災の時に壁式 R C 橋脚がせん断破壊を起こしたことから中間貫通 P C 鋼棒等を入れることが必要である。かかる状況において、NSJ (Non-welding Structural Joint : 溶接レス構造継手) 工法は現場溶接(縦、横) 不要の嵌合継手式鋼板巻立て技術と鉄筋を損傷させないで中間貫通 P C 鋼棒を設置するウォータージェット削孔技術 (HYDRODEMOLITION) を併用することにより合理的な河川内壁式 R C 橋脚の耐震補強が可能である。

本稿は、現場溶接レスで省力化、急速施工を可能にする NSJ 工法の開発と実用化等について報告する。

2 開発概要

2.1 NSJ 工法の概要

NSJ 工法は、あらかじめ工場で異形平鋼である圧延継手を補強鋼板の四方に取付け、NSJ パネルの継手を縦・横に重ね合わせ、ボルトで固定する嵌合継手式鋼板巻立て工法である。本継手は、現場溶接継手に代わるせん断キー式ボルト継手であり、従来の摩擦接合の高力ボルトとせん断ボルト等の構造を併用したせん断キーを有する圧延継手と締結ボルトを使用した新しいボルト式継手構造である。

NSJ の継手メカニズムは、引張嵌合のときにせん断キーで引張力を負担させるとともに、その勾配で発生する分力を締結ボルトで持たすボルト構造である。

NSJ は中立嵌合のときに組立用の嵌合空間を有しているために縦・横の 2 方向継手の巻立てが可能であり、矩形柱の組立試験で実証した状況を写真-1 に示す。締結ボルトは嵌合した NSJ を所定のトルクで締結するだけなので作業も簡単である。

NSJ は耐震補強鋼板の継手だけでなく鋼構造物の柱、梁の現場溶接レス構造継手としても適用できる。

NSJ は鋼板 9mm 用 NSJ9、鋼板 12mm 用 NSJ12 を完備しており、さらに鋼板 6mm 用 NSJ6 も準備中である。

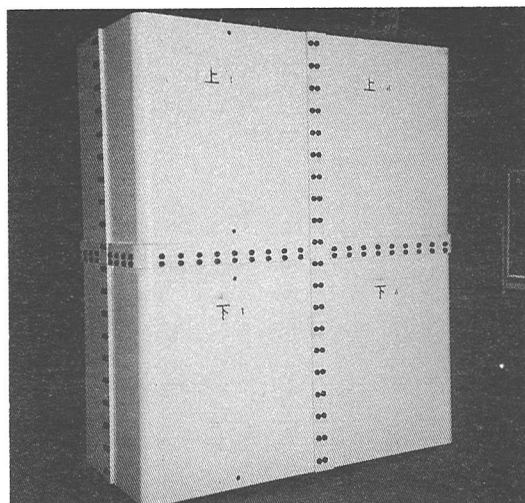


写真-1 矩形柱の NSJ 巻立て試験

キーワード:耐震補強、壁式 R C 橋脚、せん断キー式ボルト接合、ウォータージェット削孔技術

連絡先: 〒104-0054 東京都中央区勝どき 6-5-23 TEL. 03-3536-3946, FAX. 03-3536-3873, hmiki@sankyu.co.jp

2.2 NSJ の性能確認試験

NSJ12 の試験体は鋼板に溶接した NSJ の甲乙を嵌合させて甲側でボルト締結、乙側を定着した構造であり、試験体の標準断面図を図-1 に示す。乙側の定着方法はタップと裏ナットの 2 方式を比較する。ボルトはトルク 196.1N・m(2000kgf・cm) で締結し、ボルト芯に軸力測定用のひずみゲージを埋め込んだ。試験は引張試験により荷重、伸び、ボルト軸力等を測定した。NSJ の性能確認は、①NSJ12 と継手無し鋼板との比較、②ボルト軸力測定、③ボルト定着状況等の結果から総合的に継手構造の評価を行った。

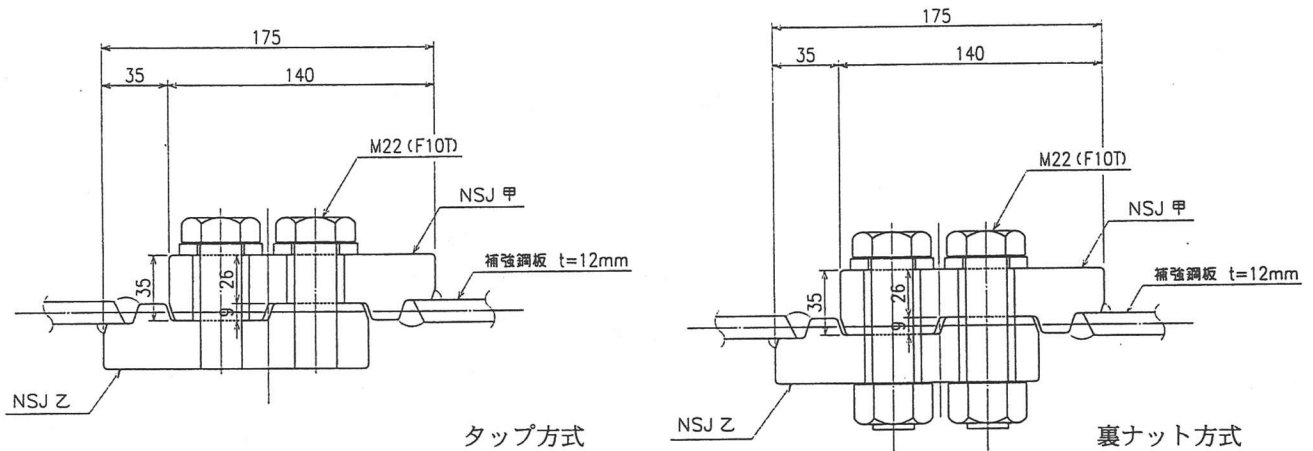


図-1 NSJ12 の標準試験体図

2.3 試験状況

試験体の仕様は、継手部の有無、鋼板材質の相違 (SM400、SM490)、ボルト定着方法 (裏ナット、タップ) の組み合わせであり、各種試験体を写真-2 に示す。引張試験は 2000KN 引張試験機で試験体が破断するまで載荷し、写真-3 は鋼板が破断した状況である。試験体仕様および試験結果を表-1 に示す。

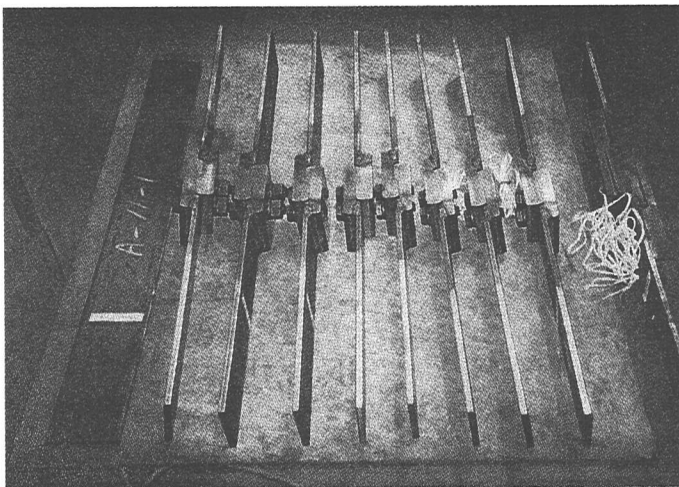


写真-2 各種試験体の状況

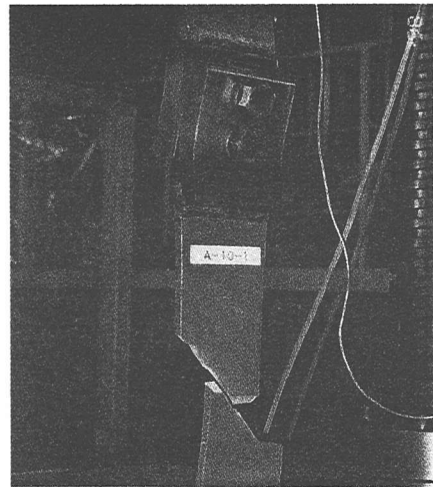


写真-3 鋼板の破断状況

表-1 NSJ12 の試験体仕様と試験結果

試験体 記号	鋼板仕様		NSJ 仕様		締結ボルト 定着方法 M22 (FT10)	試験結果		
	幅×厚 mm	規格	幅×厚 mm	規格		設計荷重 KN	破断荷重 KN	破断部位
A-9-1	120×12	SM400	140×35	SM490	タップ	576.0	612.5	鋼板
A-10-3	120×12	SM400	140×35	SM490	裏ナット	576.0	612.5	鋼板
A-10-4	120×12	SM490	140×35	SM490	裏ナット	705.6	722.3	鋼板
A-11-1	120×12	SM400	—	—	—	576.0	612.1	鋼板
A-11-2	120×12	SM490	—	—	—	705.6	734.8	鋼板

2.4 試験結果

(1) 荷重－伸び曲線

NSJ12の荷重－伸び曲線は鋼板規格の異なる図-2、図-3とも全体の伸び量でやや少ないものの継手なし鋼板と類似した曲線形状であり、最大荷重もほぼ同じである。すなわち、NSJ12曲線は継手部剛性の影響により全体の伸び量が鋼板より20mm程度少ないが、曲線形状および最大荷重からみて鋼板自体の伸び曲線である。したがって、NSJ12は現場溶接と同等の性能とみなすことができるから耐震補強鋼板の継手として使用可能である。また、全体伸び量の差異はRC橋脚の辺長の大きさを考慮すればとくに問題とならない。

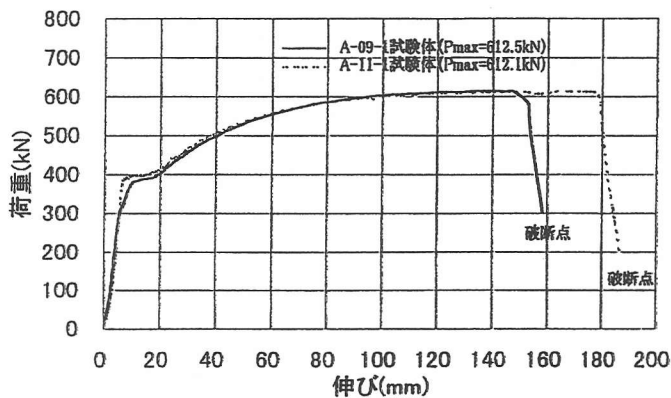


図-2 A-9-1、A-11-1 試験体の荷重－伸び曲線

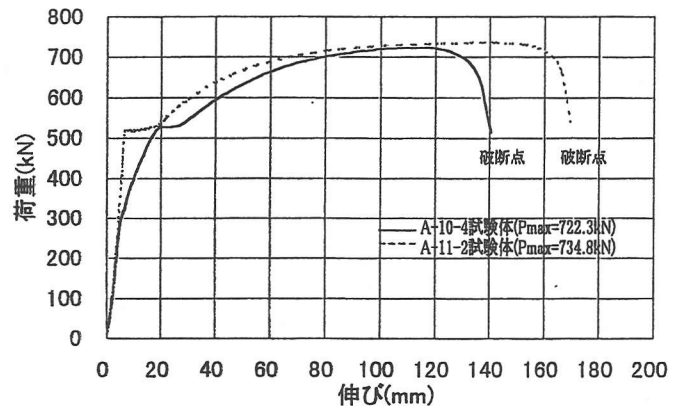


図-3 A-10-4、A-11-2 試験体の荷重－伸び曲線

(2) 荷重－ボルト軸力曲線

軸力はタップ定着のボルト芯にひずみゲージを装着して測定したものであり、A-9-1試験体の荷重－ボルト軸力曲線を図-4に示す。ボルトはトルク196.1N・m(2000kgf・cm)で締結したとき、プレテンションとして軸力約52kNが作用している。ボルト軸力は初期荷重で試験体軸線の偏心修正により若干の軸力が減少するが、荷重の増大に伴い鋼板の降伏点で約65kN、最大荷重(615.5kN)で最大軸力約200kNを実現している。M22(FT10)ボルトの破壊強度は372.4kN(38.0tf)であり、ボルト軸力の余裕は十分である。

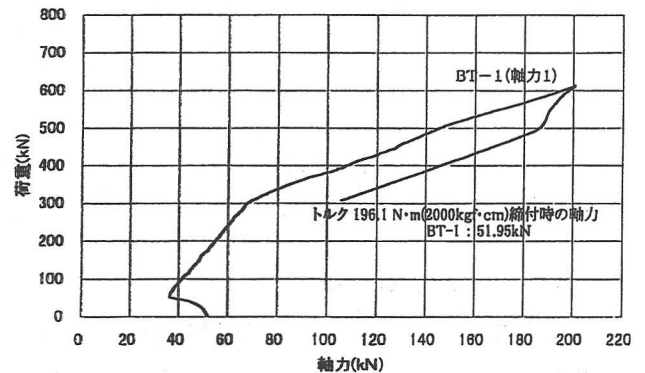


図-4 A-9-1 試験体の荷重－ボルト軸力曲線

(3) ボルトの定着方法

タップ方式A-9-1と裏ナット方式A-10-3の各試験体は、鋼板規格SM400であるが、いずれも鋼板部で破断し、NSJ12および定着部に変形を生じたものの構造上の問題はなかった。一方、A-10-4試験体は裏ナットと高強度の鋼板規格SM490との組み合わせであるが、鋼板部で破断した。このとき、写真-4に示すNSJ12はかなり変形しているが異常はみられなかった。

裏ナット方式はナットの引き抜き抵抗力が大きく、高強度継手として適用できる。この結果から、NSJはボルトに依存する継手構造であることは明白である。

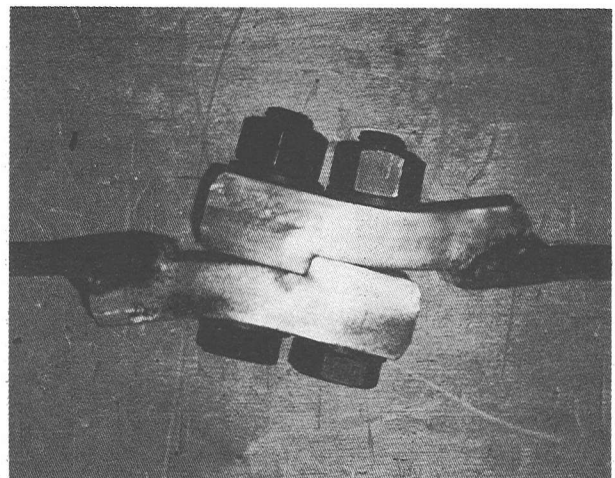


写真-4 鋼板が破断したときのNSJ12

3 NSJ パネルの組立試験

3.1 溶接検査

NSJ と鋼板とのグループ溶接は、レ型開先の重ね部に溶け込み不良が生じる可能性があるためV型開先とした。溶接検査方法は一般的にX線検査および超音波探査で実施されている。工場製作におけるNSJパネルの自主検査方法は表-2の検討結果から検査記録が残るデジタル式システムUTを採用し、検査状況を写真-5に示す。検査結果は全数104個のうち、1類が96個、2類および3類が各4個であった。鋼板巻立ての溶接基準はJIS Z 3104-1995に規定される3類「疲れ強さを考慮しなくてもよいもの」を適用している。

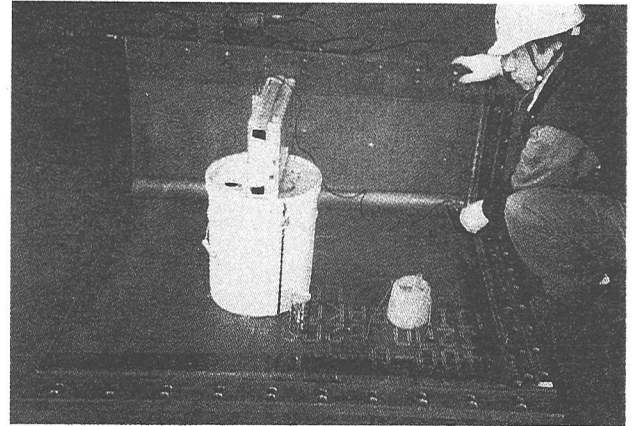


写真-5 溶接部の超音波検査

表-2 デジタル式UT検査とX線検査

項目	超音波検査		X線検査
	デジタル式システムUT	アナログ式UT	
1. 検査特性	体積検査		体積検査
2. 検出しやすい傷	溶け込み不良、融合不良		ブローホール、スラグ巻き込み
3. 検出しにくい傷	小さいブローホール		融合不良、板厚方向に幅のない溶け込み不良
4. 傷の大きさ測定	溶接方向の長さの測定		フィルム上にて測定
5. 記録性・再現性	①探傷画面の保存が可能 ②傷断面図の保存が可能	不可 不可	フィルムの保存
6. 一日の検査長さ	溶接延長 20m/day		
7. 評価	検査記録が残る、手直し記録を再現できる。工場の自主検査に最適であり、検査報告書にも使用できる。	検査記録と再現性がないが、検査そのものは同左と同様である。	補償マスクが必要であり、工場の自主検査の即応性、利便性に欠ける。

3.2 NSJ パネルの組立試験

NSJ パネルは日本道路公団「鋼構造物工」の製作基準に準拠して製作した。組立試験は8パネルから構成される高2.4m×幅2.0m×厚1.0m(全重量1150kgf)の矩形柱を建家内の天井クレーンを使用して、短時間(約1時間)に一連の仮組みからボルト締結までを行った。パネルの組立状況を写真-6、写真-7に示す。

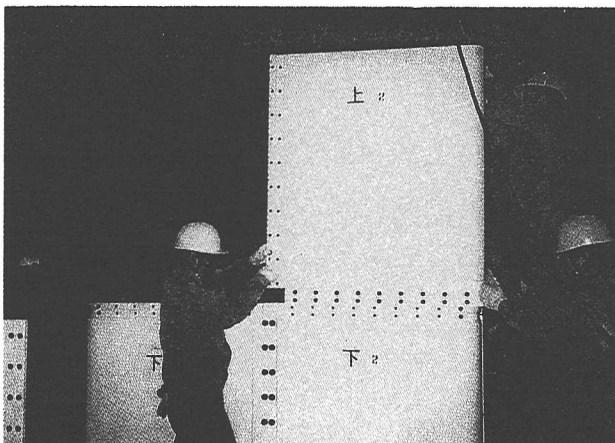


写真-6 NSJ パネルの組立状況(1)

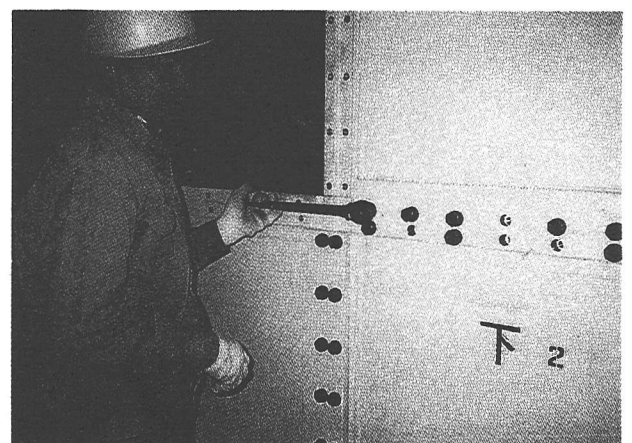


写真-7 NSJ パネルの組立状況(2)

4 河川部の壁式RC橋脚の耐震補強

4.1 NSJ 工法の適用

河川内の壁式RC橋脚の耐震補強工法は、洪水時の漂流物の衝突による損傷がないこと、河積阻害率の小さいこと、渇水期に急速施工ができること等が必要である。鋼板巻立て工法はこの条件に適合しており、在来工法の現場溶接工法とNSJ工法の特徴を比較した結果を表-3に示す。

表-3 現場溶接工法とNSJ工法の比較

項目	鋼板溶接工法	NSJ工法
工事概要	工場加工の鋼板を現場で仮組みして、縦横を溶接する。現場の制約上、搬入が容易な小パネル施工に適している。	工場製作のNSJパネルを現場で継手を縦横に嵌合させ、ボルトで固定する。現場制約がない場合、効率的な機械化施工ができる。
施工性	仮組みに時間がかかり、有資格者が必要な労働集約型作業なので効率化が難しい。溶接品質の管理項目が多い。	NSJは嵌合継手方式なので組立てが容易で、有資格者でなくても施工ができる。システム化・機械化ができる。
工期	溶接作業は温度等の気象条件に左右され、架設、溶接、検査等に作業時間がかかる。	気象条件の影響や仮組がなく、直接組立ができるので作業時間の短縮が可能であり、渇水期の急速施工に適している。
品質	有資格者の溶接管理が必要であり、気象条件の影響を受け易く溶接の品質管理に注意を要する。	工場製作プレファブ製品なので形状寸法の信頼性が高く、簡単に組立てができるためボルトのトルク管理が容易である。
経済性	現場での鋼板架設、溶接コストがかかり、割高である。溶接量の少ない薄い鋼板の場合に経済的である。	大パネル化によりパネル数の減少によりコスト削減が可能である。溶接量の多くなる厚い鋼板の場合に経済的である。
総合評価	工事实績は多いが、溶接工不足や溶接の作業管理が大変であり、品質確保が難しい。鋼板パネルの架設、溶接費が高くトータル的に割高である。	工事实績は少ないが、小判型橋脚の縦横継手や渇水期の急速施工も可能である。工期短縮や現場の品質管理が容易であり、総合経済性に優れている。

NSJ工法による河川内壁式RC橋脚の耐震補強の参考図を図-5に示す。中間貫通PC鋼棒は防食等を考慮して鋼板の内側に設置した。鉄筋はウォータージェット削孔技術により研り出して穿孔するので損傷しない。

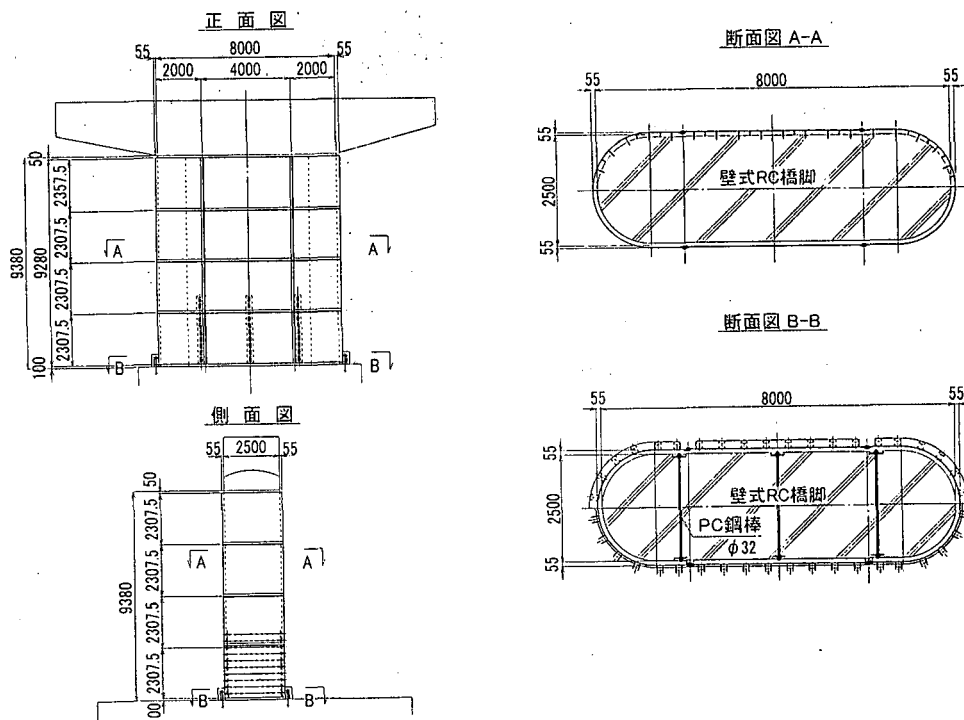


図-5 NSJ工法による壁式RC橋脚の耐震補強参考図

4.2 ウォータージェット削孔技術 (HYDRODEMOLITION 工法)

壁式RC橋脚の耐震補強は橋軸方向に対して中間貫通PC鋼棒や中間貫通帯鉄筋を使用した鋼板およびRC巻立て工法で設計、施工されている。壁式RC橋脚の削孔技術は、一般にコアドリルが用いられているが、既設鉄筋を切断する危険性があるために非破壊検査法（鉄筋探査、X線透過法等）により、鉄筋等の位置を確認して削孔が行われている。しかし、鉄筋のかぶりが厚く、また複鉄筋であると、探査精度が低下し、鉄筋切断の恐れが生じる。そのため、既設鉄筋を避けて、孔を貫通させる新技術の開発が急務となっている。

コンクリートは粗骨材、細骨材、セメントペーストからなる複合材料であり、また脆性、浸透性材料であるため、組織の中には必ず空隙と小さなひび割れが内在する。このコンクリートに高圧水を噴射すると、渦を巻いた水が空隙に入り込み膨張し、水のくさび作用と合わせて、コンクリートのマトリックスをばらばらにする。このような破壊機構をうまく利用できる特殊なノズルと削孔機を開発するとともに、さらにウォータージェットの一種であるHYDRODEMOLITION技術（高圧、大水量）と併用することにより、効率のよいNS削孔工法を確立した。HYDRODEMOLITIONの削孔は図-6の斜線範囲（実機仕様：Max 100MPa、100 l/min程度）で使用される。主な機器は図-7に示すような高圧水発生装置（プランジャーポンプ）、削孔装置、高圧ホース、給水車、排水処理装置、ノズル等からなっている。NS削孔工法による削孔状況ならびに貫通PC鋼棒の設置状況を写真-8、写真-9に示す。

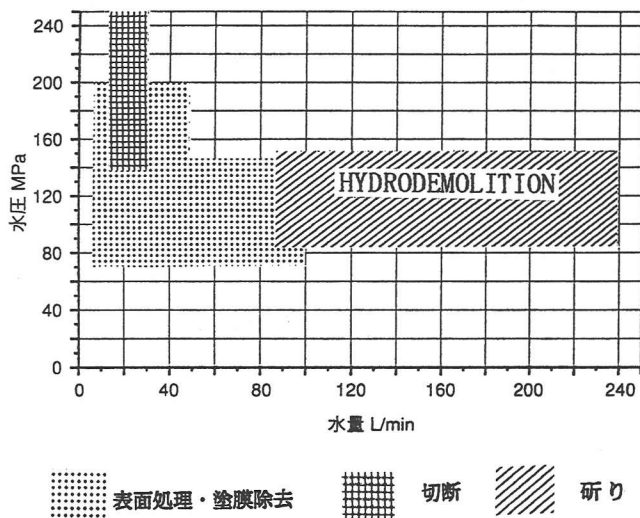


図-6 HYDRODEMOLITIONの適用範囲

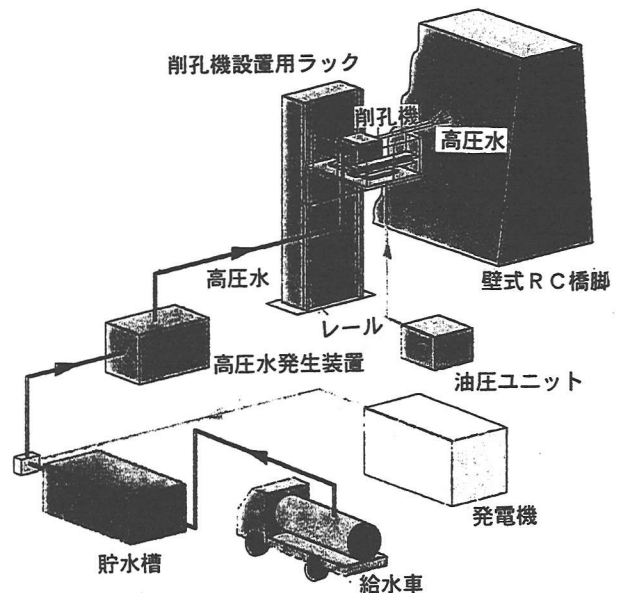


図-7 削孔機の主要機器配置

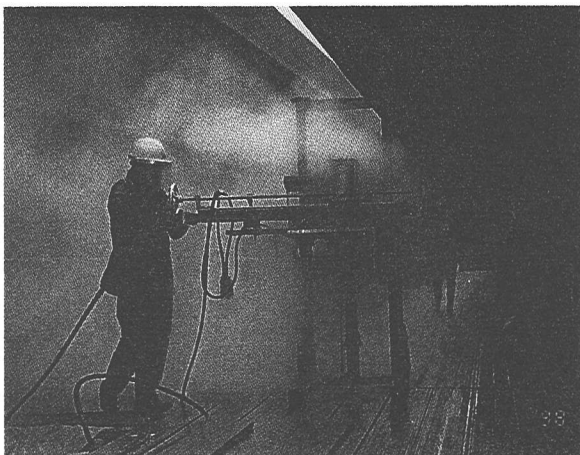


写真-8 HYDRODEMOLITIONの削孔状況

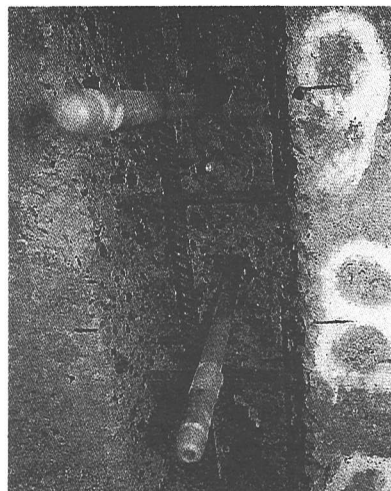


写真-9 中間貫通PC鋼棒の設置状況

NS削孔工法は水による削孔技術であることから下記に示す種々の特長がある。

- ①非破壊検査を必要としないこと
- ②鉄筋を損傷しないこと
- ③水平の長尺削孔ができること (Φ80mm、4m 程度)
- ④削孔径を調節できること (Φ20-Φ100)
- ⑤削孔時間が短時間であること (1m/10 分程度)
- ⑥使用排水、研ガラの処理が容易であること

4.3 仮締切工不要の鋼板巻立て工法

河川内橋脚の耐震補強は鋼管矢板や鋼矢板等による仮締切工により橋脚周辺をドライにした状態で陸上部と同様の作業を行っている。このため河川内の耐震補強は工事費用の大部分を仮締切工等の仮設費用が占めている。ケーソン上に直立した小判型橋脚等は直線鋼矢板を用いたH形鋼矢板 NS-BOX (BH) 片爪タイプを橋脚まわりの水中部に建て込み、躯体との空間に水中コンクリートを打設する仮締切工不要の鋼矢板セル式巻立て工法である。また、水面上の橋脚はNSJ工法で巻立てする鋼板巻立て工法であり、図-8に概略計画図を示す。一般に、鋼矢板の建て込みは橋桁下等の空間制限のある路下施工では短尺鋼矢板の爪を縦方向に嵌合させ、現場溶接、ボルト接合等による縦継ぎの施工である。しかし、NSJは構造継手として適用できるので縦継ぎが容易であり、急速施工が可能である。NSJ工法は水面上でNSJパネルを組み立てたのち、これを水中に降下させることや、ボルト締結であるため水中組立も可能である。

施工場所が河川流速や波浪の影響を無視できないとき、壁式RC橋脚に中間貫通PC鋼棒を設置するときなどには、もちろん仮締切工の計画が必要である。NS-BOX (BH) 両爪タイプ [幅 500mm×部材高さ 400mm] はフランジ厚 (19.5、112.7) に対応して鋼管矢板Φ700-Φ1000サイズと同等の剛性が期待できること、機械台数の多い汎用圧入機の複数機械による急速施工も可能である。NS-BOX (BH) 両爪タイプは図-9に示すようにNSJ9をフランジおよびウェブに取り付けることにより簡単にボルト接合ができる。

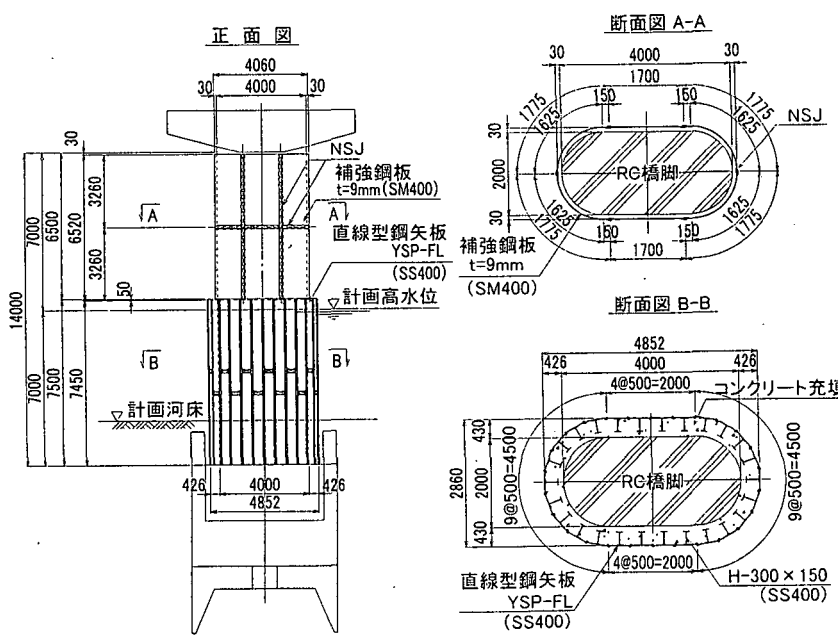


図-8 ケーソン橋脚の耐震補強工法

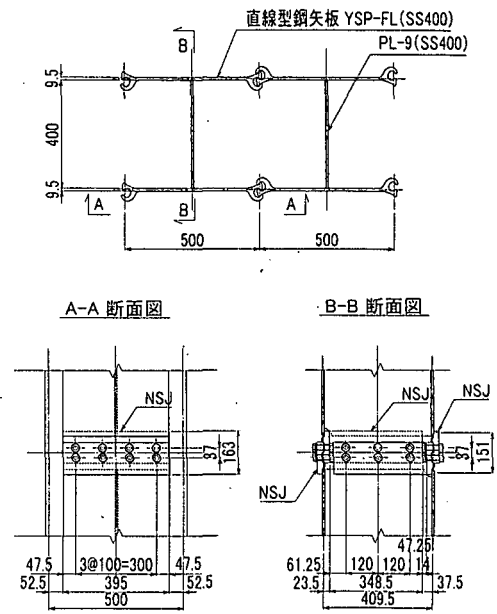


図-9 NS-BOX (WL) の NSJ 接合

4.4 RCラーメン橋脚梁部の鋼板巻立て工法

橋脚梁部を柱脚と同様に耐震補強を施工する必要がある場合について、図-10に示すようなNSJによる鋼板巻立て工法を検討した。梁中央部はコンクリートのかぶりが脱落していたことから脊座を除いた全表面を鋼板で巻立て、空間をモルタルで充填する。コンクリート表面が健全な場合はNSJ付きの帯状鋼板を帯鉄筋の代わりに梁部の周囲に巻立て、隙間にモルタルを充填することも可能である。

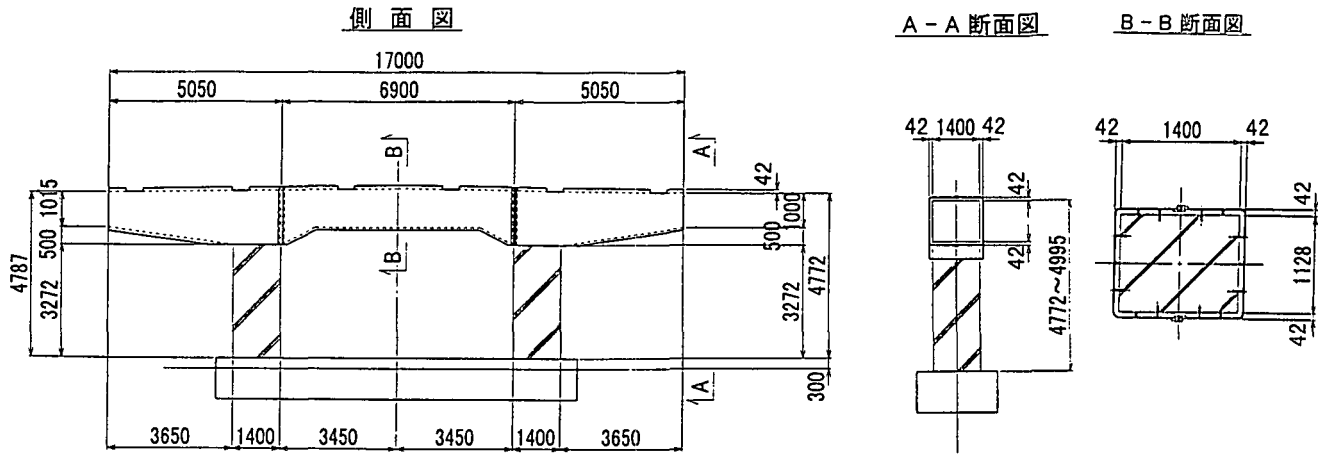


図-10 橋脚梁部の鋼板巻立て

5 おわりに

NSJ工法は性能確認試験によりせん断キー式ボルト接合であることが明らかになった。鋼板が引張試験で破断したとき、NSJは変形しているもののボルトに作用する軸力は十分に余裕があり構造的に安全である。本工法は在来工法と比較して特に下記の特長がある。

①縦・横の2方向継手ができることから継手面が円形、円錐などの曲面でも可能であり、トンネル等の曲面構造物の補強にも使用できる。

②構造継手として使用できること。

NSJは荷重伸び-曲線の降伏点以下の荷重で継手を設計すれば変形も少ないために構造継手として使用できる見通しである。今後の部材試験で構造詳細を確認していきたい。

③NSJは圧延継手であり、NSJパネル等の加工製品は品質も良く、入手が容易である。

本工法の施工実績は現状では少ないものの特殊工事における急速施工や人力による運搬・組立等で早期に実績を積み、本工法が一般化され、普及することを期待している。

本工法の開発にあたり関係各位にご支援、ご指導をいただきここに謝意を表します。

<参考文献>

- (1) NSJ工法:建設省関東地方建設局、新技術活用システム(NETIS)登録番号KT-990333、平成11年10月
- (2) NS-BOX(BH):土留めにおける先端技術の応用とその動向、基礎工、1992.1、pp.56-59
- (3) ウォータージェット削孔技術:Shin NARUI, Oct.1999, Proceeding of International Symposium on New Applications of Water Jet Technology, pp.367-371, THE WATER JET TECHNOLOGY OF JAPAN
- (4) 既設道路橋の耐震補強に関する参考資料:日本道路協会、平成9年8月
- (5) RCラーメン橋脚梁部の鋼板巻立て補強法における鋼板接着面数のせん断補強効果への影響に関する実験的研究、第3回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム:土木学会、平成11年7月