

壁式RC橋脚耐震補強工法（AWS工法）の開発と実用化

住友建設（株）東京支店	正会員 藤原 保久
日本道路公団 東京第一建設局	和田 宣史
日本道路公団 千葉工事事務所	田村 均
住友建設（株）東京支店	北川 毅彦

1. はじめに

既設RC橋脚の耐震補強工法としては、鋼板巻立て工法およびRC巻立て工法が一般的であり、その有効性は円形断面や矩形断面に対しては実験等で確認されている。しかし壁式橋脚のような断面の縦横比が大きな橋脚に対する有効性は確認されておらず、この場合巻き立て部材のハラミ出しによる拘束効果の低下が懸念された。

京葉道路の高架橋ではこのような壁式橋脚が多いことから、施工に先立って1/3縮尺模型による載荷実験を実施し、壁式橋脚に対する鋼板巻き立て工法の有効性を検証するとともに種々の拘束方法について検討した。検討の結果、高強度のアラミドFRPロッドを中間横拘束筋として用い、プレストレスを導入することによって内部コンクリートの拘束効果を高め、じん性の改善を図るAWS工法を開発、実用化した。

本工法の特徴は、弾性率が低く付着特性に優れたアラミドFRPロッドを用いて、プレテンション方式でプレストレスを導入する事である。したがって、プレストレスロスが少なく、定着具が不要となるとともに防錆の心配もない。また、アラミドFRPロッドは軽量であるため大型の架設機材も不要である等の利点を有しており、壁式橋脚の耐震補強工法として有効である。

本稿では、この新しい耐震補強工法を開発、実用化するに当たって実施した実証実験および現場での施工について報告するものである。

2. 工法の概要

2-1 工法の概要

AWS工法は、既設のRC橋脚に削孔を施して弾性率が低く付着強度の高いアラミドFRPロッドを配置して、プレテンション方式でプレストレスを導入することにより、じん性を大幅に改善する工法である。本工法の概要図を図-1に示す。

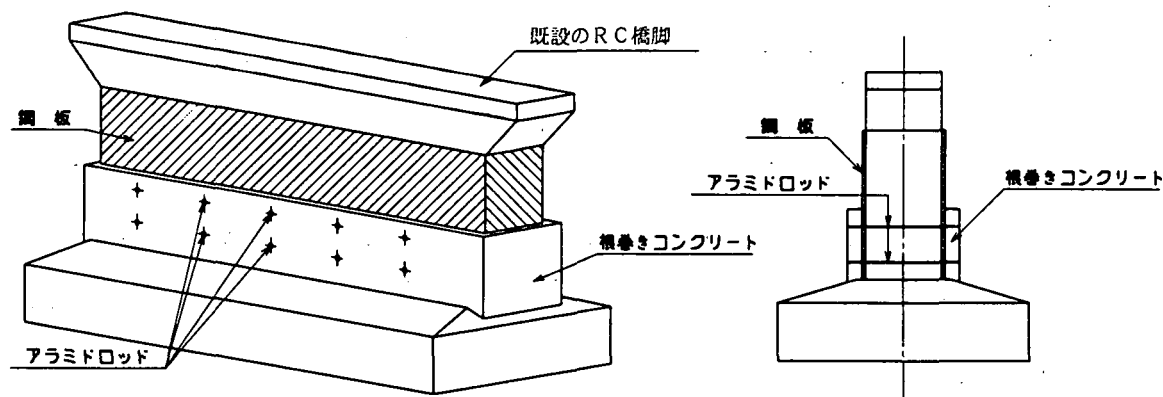


図-1 AWS工法の概要図

キーワード：壁式橋脚 アラミドFRPロッド プレストレス

連絡先：〒160 東京都新宿区荒木町14番地 住友建設（株）東京支店土木部 藤原 保久

TEL 03-3225-5210 FAX 03-3225-5242

2-2 施工要領

図-2に本工法の施工要領を示す。

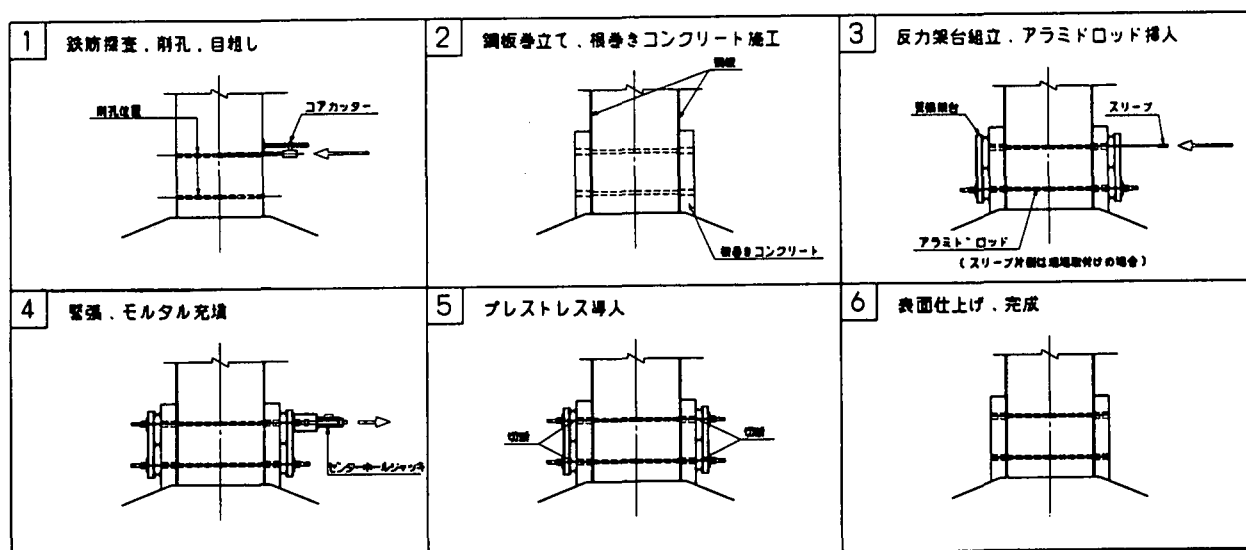


図-2 施工要領図

2-3 工法の特徴

本工法は以下のような特徴を有している。

- 1) 壁式橋脚のような部材厚が薄い場合でも、弾性率の低いアラミドロッドを使用してプレストレスを導入するため、コンクリートの収縮や変形などによるロスが小さく、プレストレスが有効に作用する。
- 2) 付着強度の高い異形アラミドロッドを使用する事によって、根巻きコンクリート部での付着定着が可能となり、橋脚表面に定着具が不要で補強後の橋脚形状変化がほとんどない。
- 3) 耐久性の高いアラミドロッドを使用するため防錆処理は不要である。
- 4) アラミドロッドは軽量であり、使用する資機材も小型であるため大型の架設機材は不要である。

3. 実証実験

3-1 実験概要

実証実験は平成7年度および平成8年度の2ヶ年にわたって行った。平成7年度の実験では、壁式橋脚に対する鋼板巻立て工法の有効性の検証とその改善方法の検討を目的として、3体 (No. 1, 2, 3) の載荷試験を行った。平成8年度の実験では、経済性の向上とプレストレスの効果の検証を目的として、4体 (No. 4, 5, 6, 7) の載荷試験を行った。

試験体は京葉道路の壁式橋脚の約1/3縮尺とし、主鉄筋比は実橋脚と同等の0.85%とし、段落としは設けていない。主な試験体の諸元および概要をを表-1、図-3に示す。

表-1 試験体の諸元

試験体	補強方法	中間横拘束筋					プレストレス
		種類	配置間隔 (mm)	断面積 (cm ²)	降伏荷重 (tf)	体積比 ρ	
No. 1	無補強	—	—	—	—	(0.042)	無し
No. 2	鋼板巻立て (t=2.3mm)	—	—	—	—	(0.093)	無し
No. 3	鋼板巻立て (t=2.3mm)	アラミドロッド (φ6mm)	250×500	0.283	5.09	0.543	有り
No. 4	鋼板巻立て (t=2.3mm)	鉄筋 (D16)	250×500	1.986	5.96	0.636	無し
No. 5	鋼板巻立て (t=2.3mm)	PC鋼棒 (φ7.1mm)	250×500	0.400	5.20	0.555	無し
No. 6	鋼板巻立て (t=2.3mm)	アラミドロッド (φ6mm)	250×500	0.283	5.09	0.543	無し
No. 7	鋼板巻立て (t=2.3mm)	アラミドロッド (φ6mm)	250×750	0.283	5.09	0.363	有り

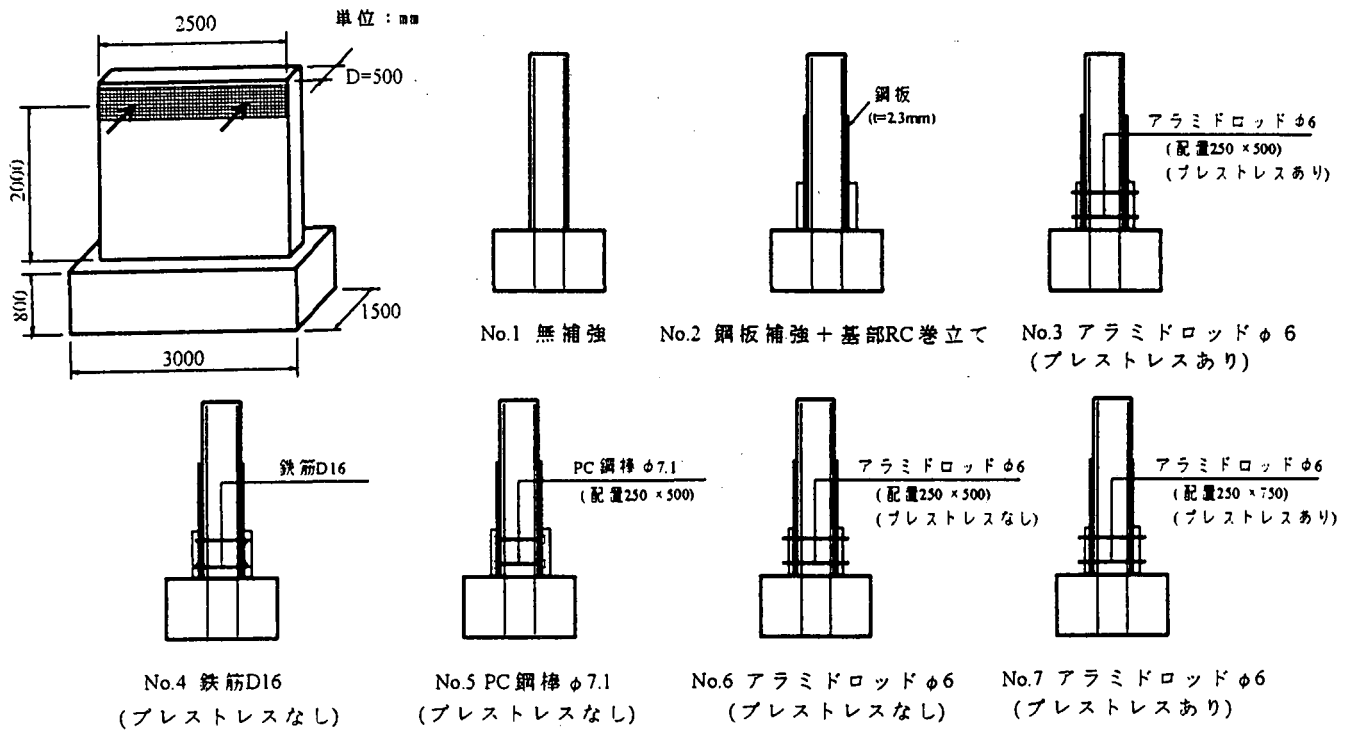


図-3 試験体の概要

試験体は、No. 1が基準となる無補強試験体であり、No. 2はそれに鋼板巻立て補強を行い、実施工同様に鋼板の腐食防止対策のRC根巻きコンクリートを併用したものである。No. 3は基部に削孔を行い、中間横拘束筋としてアラミドロッド（Φ6mm）を配置しプレストレスを導入したものである。No. 4は中間横拘束筋として鉄筋（D16）を配置したもの、No. 5はPC鋼棒（Φ7.1mm）を配置したもので、中間横拘束筋量はNo. 3のアラミドロッドと降伏荷重が等しくなるよう設定し、プレストレスは導入していない。No. 6, 7は横拘束としてプレストレス導入の効果を検証する目的で、No. 3のプレストレスを無くしたもの（No. 6）、およびアラミドロッドの配置間隔を1.5倍に拡大し、プレストレスを導入したもの（No. 7）である。中間横拘束筋の定着方法は各材料によって異なり、鉄筋は根巻きコンクリート内にフック定着、PC鋼棒は鋼板位置でナット定着、付着特性に優れるアラミドロッドは根巻きコンクリート内で付着定着とした。

載荷方法は載荷変位漸増方式正負交番繰返し載荷とし、各変位振幅毎に3回の正負交番載荷を行った。

3-2 実験結果

実験結果の一覧を表-2に、実験終了後の試験体の損傷状況を写真-1~4に示す。また、荷重-変位の履歴曲線の包絡線を図-4に、各試験体の履歴曲線を図-5~11に、各試験体の履歴吸収エネルギーを図-12に示す。

表-2 実験結果一覧表

試験体	実験値							
	補強方法		荷重(tf)			変位(mm)		塑性率
	横拘束筋	プレストレス	降伏荷重	最大荷重	終局荷重	降伏変位	終局変位	
No.1	—	—	56.5	62.2	55.7	9.8	58.6	5
No.2	—	—	58.7	62.9	58.4	5.8	47.0	8
No.3	アラミドロッド φ6	あり	55.6	71.6	58.8	6.0	77.6	13
No.4	鉄筋D16	なし	54.7	63.9	57.6	6.6	78.4	12
No.5	PC鋼棒 φ7.1	なし	51.8	61.5	54.6	6.0	72.2	12
No.6	アラミドロッド φ6	なし	51.8	61.8	54.6	5.5	77.2	14
No.7	アラミドロッド φ6	あり	60.6	66.0	62.5	6.9	75.6	11

No. 1試験体は、6 δ_y載荷時に基部から1.0d（50cm）の範囲に渡ってかぶりコンクリートの剥離および主鉄筋の座屈が生じ、耐力が急激に低下した（写真-1）。

No. 2試験体は、8 δy 載荷時に基部近傍の鋼板および根巻きコンクリートが壁の長手方向中心部ではらみ出し始め、その後耐力は緩やかに低下した。はらみ出し量は最大30mm程度であったが、主鉄筋の座屈が生じており、これにより耐力が低下したものと考えられる（写真-2）。No. 2はNo. 1に比べ塑性率 μ は向上しているものの脚頂部の絶対変位量はあまり変わらず、エネルギー吸収性能の観点からは補強効果が小さいと判断される。

これらに対し中間横拘束筋を配置したNo. 3, 4, 5, 6, 7試験体は終局変位が大幅に増加しており、じん性が改善されている。この中、中間拘束筋にプレストレスを導入していないNo. 5, 6試験体については終局時近傍で主鉄筋のはらみ出しが生じ始め、その後耐力は緩やかに低下し主鉄筋の破断により破壊した（写真-3）。中間拘束筋に伸び剛性が最も大きい鉄筋を用いたNo. 4試験体およびプレストレスを導入したNo. 3, 7試験体は、主鉄筋破断により耐力を失うまで主鉄筋のはらみ出しは生じなかった（写真-4）。また、プレストレスを導入したNo. 3, 7試験体の根巻きコンクリート部には軽微な損傷しか生じておらず、この部分が拘束部材として有効に作用しているものと考えられる。

以上の結果より壁式橋脚のじん性改善を行い、耐震性を向上させるには、中間横拘束筋として伸び剛性の大きいものを用いるかあるいはプレストレスを導入する方法が最も有効であると判断された。

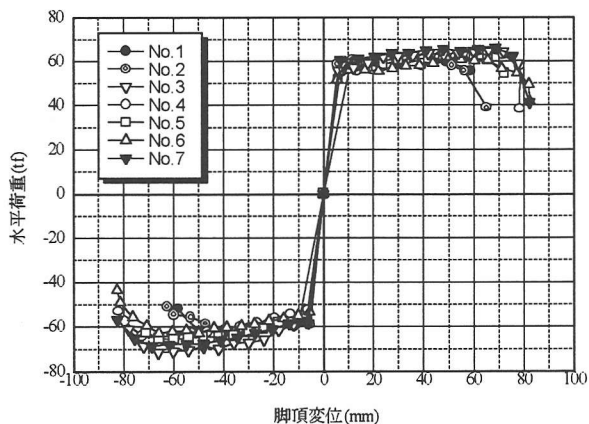


図-4 荷重と変位関係の包絡線

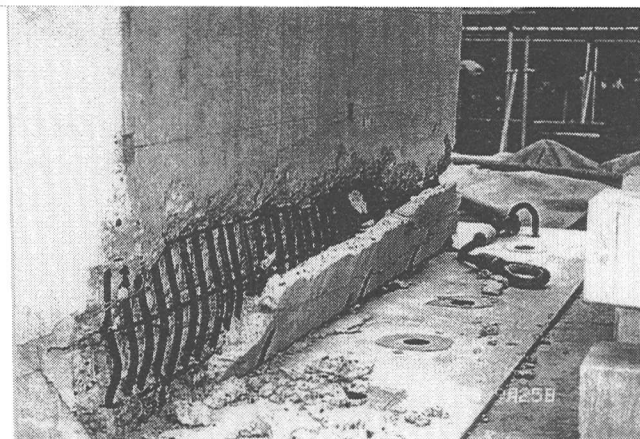


写真-1 No. 1試験体の損傷状況



写真-3 No. 5試験体の損傷状況

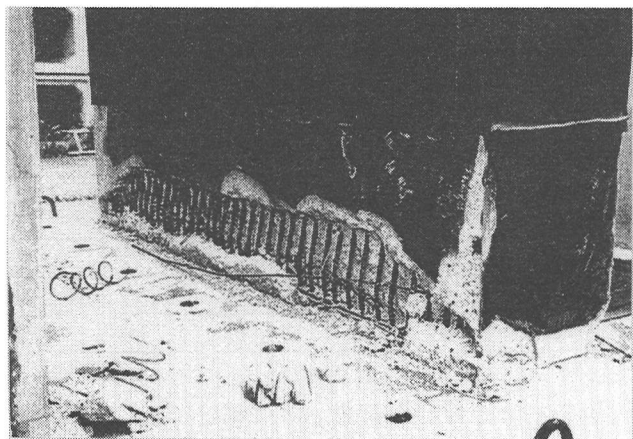


写真-2 No. 2試験体の損傷状況

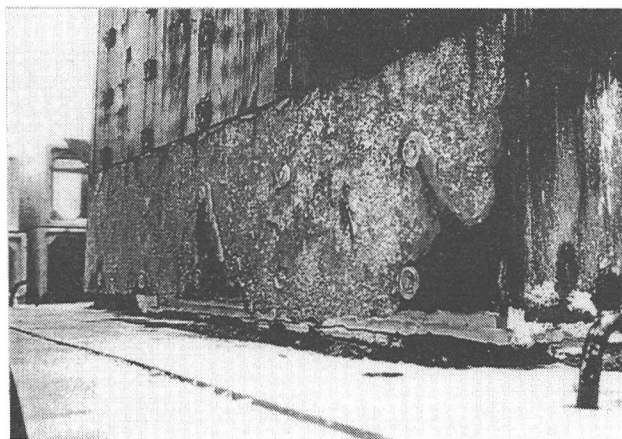


写真-4 No. 3試験体の損傷状況

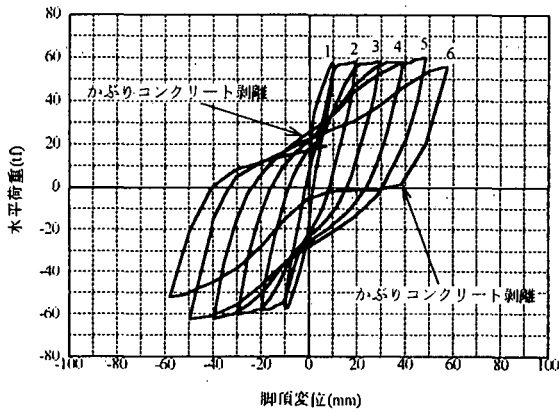


図-5 No. 1 試験体の荷重-変位履歴曲線

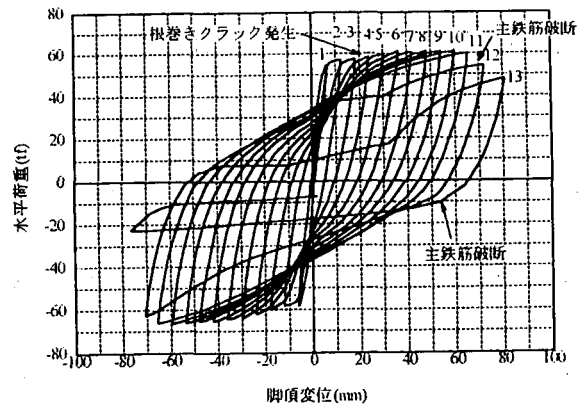


図-9 No. 5 試験体の荷重-変位履歴曲線

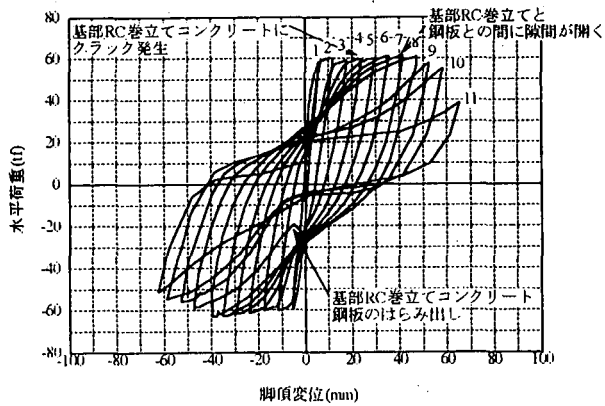


図-6 No. 2 試験体の荷重-変位履歴曲線

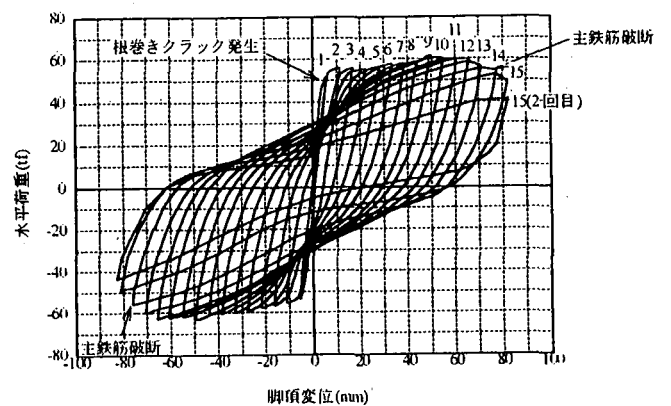


図-10 No. 6 試験体の荷重-変位履歴曲線

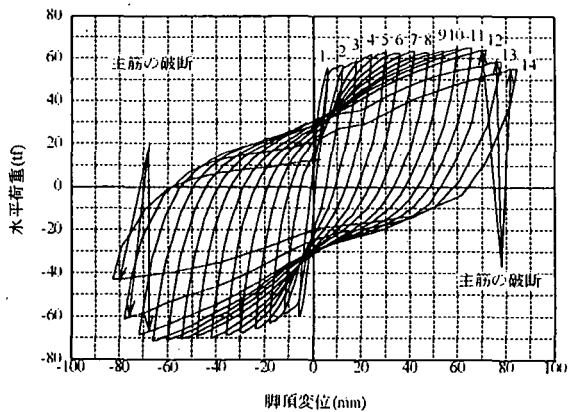


図-7 No. 3 試験体の荷重-変位履歴曲線

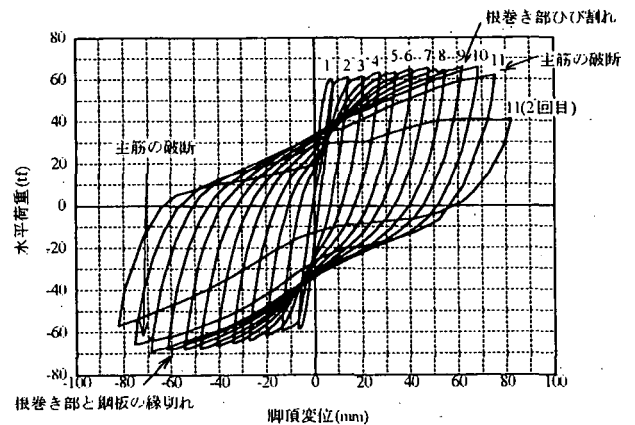


図-11 No. 7 試験体の荷重-変位履歴曲線

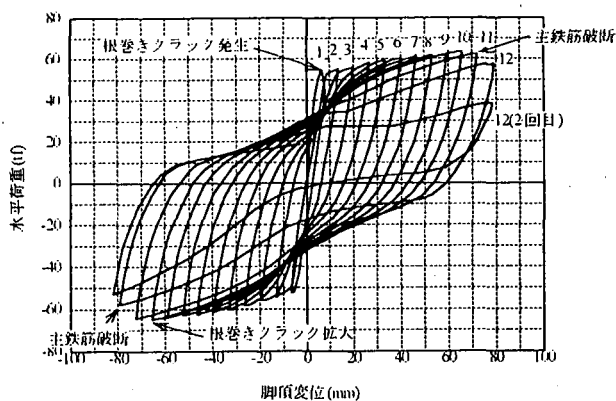


図-8 No. 4 試験体の荷重-変位履歴曲線

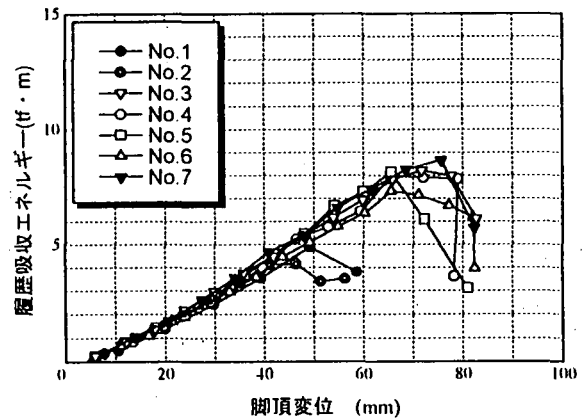


図-12 各試験体の履歴吸収エネルギー

4. AWS工法の施工

4-1 施工概要

京葉道路の船橋IC～花輪IC間に位置する本町高架橋、湊町高架橋では壁式橋脚が多く、橋脚断面の縦横比は1:5から1:9程度である。当初、これら既設橋脚の耐震補強工法としては、今後、中間横拘束筋を配置することを前提として鋼板巻立て工法を採用した。その後実施した実証実験の結果、壁式橋脚に対する鋼板巻立て工法の補強効果は小さく、これを改善するためには中間横拘束筋を配置し拘束効果を高めることが有効であると確認された。

そこで平成8年度に実施した耐震補強工事では、平成7年度実証実験結果をもとに、アラミドロッドを用いてプレストレスを導入するAWS工法（No. 3試験体）を採用することとした。さらに平成8年度の実証実験では、中間横拘束筋として鉄筋を使用した試験体（No. 4）、プレストレスの効果を評価してアラミドロッドの配置間隔を拡大した試験体（No. 7）についても、No. 3試験体と同等の補強効果が確認されたことから、これらの採用についても検討した。実験結果をもとに実橋脚の補強仕様を決定し、両者を比較したものを表-3に示す。鉄筋を中間横拘束筋として使用した場合には、施工性より最大鉄筋径はD22となり削孔箇所はアラミドの場合と比べ約5倍に増加し、施工時に既設橋脚に与える損傷度合いがかなり大きくなる。さらに、経済性でもアラミドロッドを使用した場合の方が優れているため、平成9年度の耐震補強工事でもAWS工法を採用することとし、アラミドロッドの配置間隔を変更した。

表-3 鉄筋を使用した場合とAWS工法の比較

補強方法	橋脚形状 (mm)	中間横拘束筋 の配置 (mm)	プレストレス	削孔箇所	工費	判定
鉄筋	1200× 10000	D22 200×1200	—	48	1.3	△
AWS工法	1200× 10000	4-φ7.4mm 600×1800	Pt=18.3 tf σp=1.7kgf/cm ²	10	1.0	○ (採用)

4-2 橋脚の補強設計

AWS工法による耐震補強は、本町高架橋、湊町高架橋の29橋脚を対象に実施した。平成8年度に施工した23橋脚のアラミド補強量は、No. 3試験体と同等とした。アラミドロッドの配置間隔は、鉛直方向には有効高dの1/2以下、水平方向には1m以下を基本とした。平成9年度に施工した6橋脚のアラミド補強量は、No. 7試験体と同等とした。アラミドロッドの配置間隔は、鉛直方向には有効高dの1/2以下、水平方向には1.5d（1.8m）以下を基本とした。表-4にアラミド補強の仕様、図-13に補強図を示す。

表-4 アラミド補強の仕様

	橋脚断面形状 (d×b) (mm)	アラミドの配置間隔 (d×s) (mm)	導入プレストレス Pt (tf) σp (kgf/cm ²)	横拘束筋の体積比 ρ	軸方向引張鉄筋比 PI (%)	中間帯鉄筋比 Pw (%)		
						鋼板	アラミド	合計
平成8年	試験体 No. 3 2500	1-φ6.0mm 250×500	Pt=3.1 tf σp=2.5 kgf/cm ²	0.00465	0.45	0.130	0.120	0.250
	湊町高架橋 P27橋脚 10164	3-φ7.4mm 600×1000	Pt=13.7 tf σp=2.3 kgf/cm ²	0.00436	0.21	0.083	0.110	0.195
平成9年	試験体 No. 7 2500	1-φ6.0mm 250×750	Pt=3.1 tf σp=1.7 kgf/cm ²	0.00310	0.45	0.130	0.080	0.210
	湊町高架橋 P17橋脚 10213	4-φ7.4mm 600×1800	Pt=18.3 tf σp=1.7 kgf/cm ²	0.00323	0.21	0.083	0.081	0.164

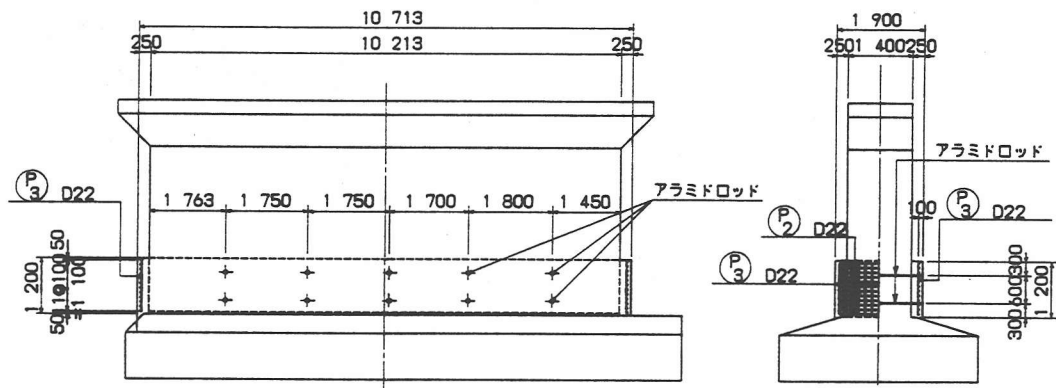


図-13 P17橋脚補強図

4-3 AWS工法の施工

AWS工法の施工は図-2に示す施工順序に従って以下の要領で行った。また橋脚1基当たりの工程表を表-5に示す。

1) 削孔・目粗し

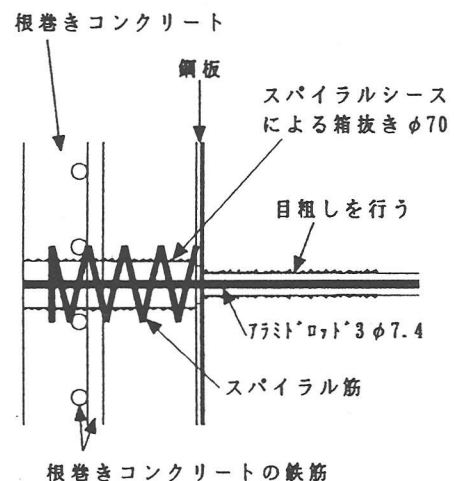
削孔に際しては、既設橋脚の主鉄筋を損傷することがないようにレーダー探査器や電動ドリルによる試掘によって鉄筋探査を行い、慎重に削孔位置を決定した。削孔は、経済性を考慮してコアボーリングによって行い、削孔径は $\phi 38$ mmとした。しかし、この場合削孔面が平滑になり付着性が劣ることが懸念された。アラミドロッドの定着は基本的には根巻きコンクリート部で行うが、この部分に損傷が生じた場合、アラミドロッドの付着が期待できなくなるため、安全を見て既設橋脚削孔部に目粗しを行い付着効果を高めることとした。目粗しの範囲については、アラミドロッドの付着特性確認試験を行い、表面より25 cmとした。

2) 鋼板巻立て・根巻きコンクリート施工

削孔終了後、孔位置を計測し鋼板の孔あけ加工を行った。鋼板は周囲方向に8~10分割、鉛直方向に2分割して現地に搬入し組み立て、コンクリートとの隙間にはエポキシ樹脂を注入した。その後、根巻きコンクリートを施工したが、アラミドロッドの配置位置はあらかじめスパイラルシースで箱抜きし、その周囲には割裂防止のためスパイラル筋を配置した。アラミドロッドの定着部詳細を図-14に示す。

3) 緊張・モルタル充填

片側に工場製作の定着具を取り付けたアラミドロッドを孔位置に挿入した後、もう一方の側の定着具は現場製作にて取り付けた。これによって削孔径を小さくし、削孔工費、モルタル施工費の削減を図った。アラミドロッドの緊張はセンターホールジャッキにより行い、ロードセルによって直接緊張力を管理した。ロッドの伸び量は補助的な管理項目として、緊張時の異常の有無を確認した。また、本工法はプレテンション方式でプレストレスを導入するため、充填モルタルが所定の強度に達するまでアラミドロッドの緊張力が一定に保持できるよう反力架台に仮定着した。写真-5に張張作業の様子を示す。



根巻きコンクリートの鉄筋
図-14 定着部詳細図

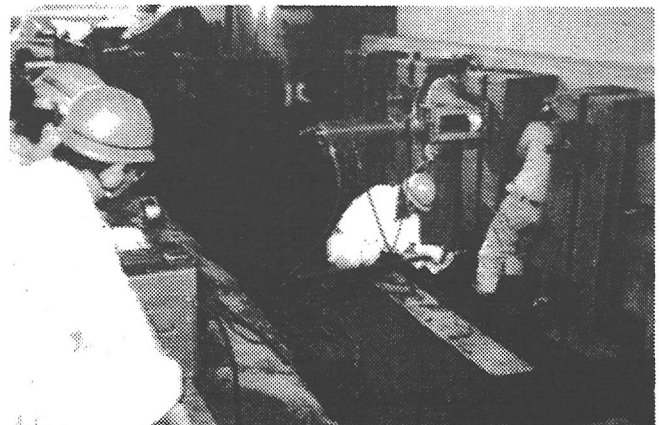


写真-5 緊張作業状況

充填材はアラミドロッドのプレストレスを躯体に十分伝達するため高強度の無収縮モルタルを使用し、注入は手動ポンプにより行った。

4) プレストレス導入・仕上げ

充填材の圧縮強度が $\sigma = 35 \text{ N/mm}^2$ 以上であることを確認した後、アラミドロッドを切断することによってプレストレスの導入を行った。アラミドロッドの定着部はグラインダー等によって突出物を削り取り、モルタルにて表面仕上げを行った。完成状況を写真-6に示す。

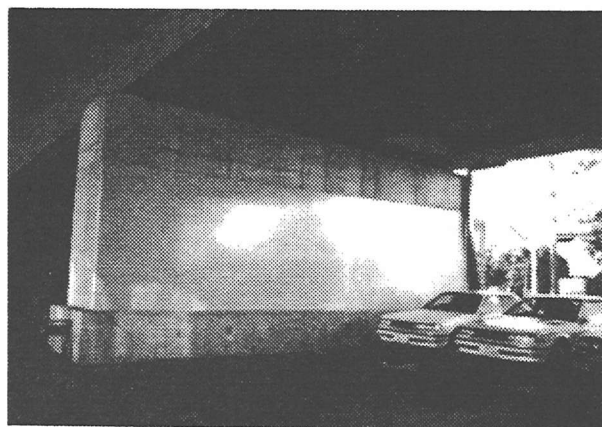


写真-6 施工完了

表-5 1橋脚当たりのサイクル工程(鋼板巻立て・根巻きコンクリート工を除く)

工種	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	備考
鉄筋探査		■																
削孔・目粗し (鋼板巻立て)			■	■	■													
ソース・スパイラル筋組立 (根巻きコンクリート施工)					■													
反力架台組立						■												
アラミドロッド組立							■											
養生								■	■	■	■							
緊張・モルタル充填										■	■	■						
養生												■	■	■	■			
プレストレス導入・仕上げ																■	■	

5. おわりに

従来の耐震補強工法では補強が難しい壁式橋脚に対して、壁厚方向にプレストレスを導入することによって大幅なじん性改善を行う新しい耐震補強工法を開発、実用化した。本工法はプレストレスの効果によって中間拘束筋の配置間隔を拡大する事が可能であり、既設橋脚に与える損傷度合いを軽減でき、経済的にも優れた工法である。今後、同様な壁式橋脚の耐震補強工法の一つとして普及すべく、現在、設計・施工マニュアルを作成中である。本稿が今後の耐震補強工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 玉置、和田、川上、藤原：壁式RC橋脚の耐震補強法に関する実験的研究、土木学会第51回年次学術講演会、1996
- 2) 和田、川上、藤原、瀬間：壁式RC橋脚の耐震補強法に関する実験的研究、プレレストレストコンクリート技術協会第6回シンポジウム、1996