

(57) 東名高速道路相模川橋耐震補強工事の設計と施工

住友建設(株) 正会員 ○ 藤原 保久
 日本道路公団 和田 宣史
 日本道路公団 後藤貴四男
 井出・芦澤・西尾経常JV 佐竹 亨

1. はじめに

相模川橋は、東名高速道路厚木インター東側に位置し、高速道路が相模川を横過する箇所に架設された橋長480mの橋梁である。上部構造は、2径間連続PC箱桁、および3径間連続鋼桁3連より構成されており、下部構造はRC壁式橋脚、基礎構造は杭基礎である。本工事は、耐震安全性の向上を目的としたRC橋脚の耐震補強工事で、基本的な耐震補強工法としてはRC巻立て工法が採用されている。本橋のように橋脚断面の辺長比が3を超える壁式橋脚の耐震補強では、主鉄筋のはらみ出しを防止して、じん性を改善するため通常、中間貫通鋼材が配置される。ここでは中間貫通鋼材としてアラミドFRPロッドを用いて壁厚方向にプレストレスを導入することにより、じん性の改善とともにせん断耐力の向上を図るAWS工法を採用した。本工法は従来工法に比べ既設橋脚の削孔箇所を減らす事が可能で、既設橋脚に与えるダメージを軽減するとともに、経済的にも優位となる。

本稿では、AWS工法を用いた場合の設計方法と現場での施工状況について報告する。

2. 工事概要

- ・工事名：東名高速道路 相模川橋(右岸)耐震補強工事
- ・工事場所：神奈川県厚木市岡田
- ・工期：平成10年10月16日～平成11年5月31日
- ・工事対象：6橋脚(P2, P3, P4, P5, P6, P7)

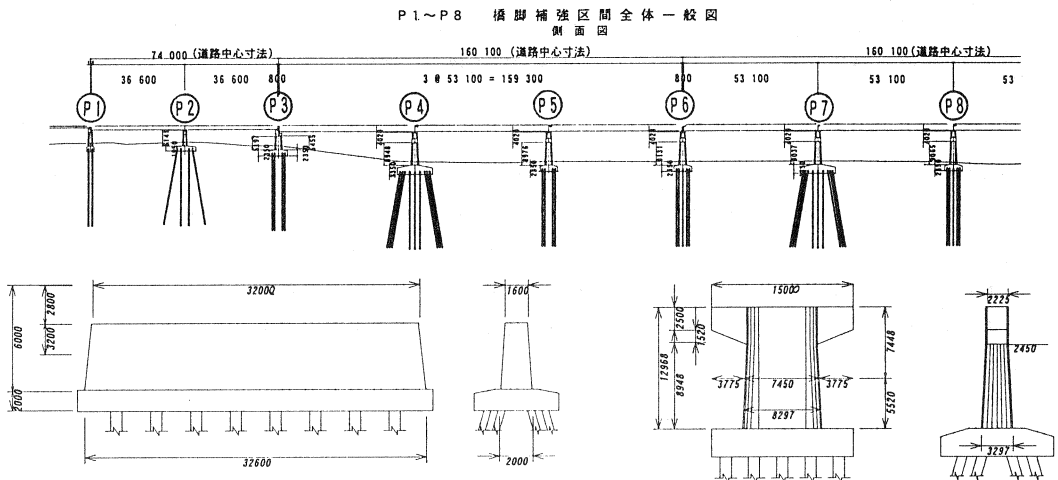


図-1 全体一般図

3. 壁式橋脚の耐震補強設計

3.1 壁式橋脚の耐震補強設計の基本

断面の辺長比が3を超えるような壁式橋脚の耐震補強において、RC巻立て工法や鋼板巻立て工法を適用した場合、軸方向主鉄筋のはらみ出しを防止することができず、十分なじん性改善効果が期

待できない。このため、壁式橋脚の耐震補強については、原則として中間貫通鋼材を配置することとなっている。中間貫通鋼材としては、一般に緊張しないPC鋼棒が使用され、コンクリートの応力度～ひずみ曲線には考慮するものの、せん断耐力の計算では考慮されない場合もある²⁾。これに対して、AWS工法では、異形のアラミドFRPロッドを用いて、壁厚方向にプレストレスを導入することにより、じん性の改善およびせん断耐力の向上を図る工法である。本工法を用いて橋脚の耐震設計を行う場合の特徴的な事項について以下に記す。

3.2 コンクリート応力度-ひずみ曲線におけるプレストレスの評価

一般に中間拘束筋に高強度鋼材を用いた場合、体積比 ρ の算出には、その降伏強度を用いて鉄筋換算した断面積を用いている。これはアラミドFRPロッドを用いた場合にも同様の換算方法で評価できる事が実験により確認されている¹⁾。

これに加えて中間拘束筋にプレストレスを導入した場合、橋脚の終局状態においても主鉄筋のはらみ出しは全く生じず、そのじん性が大幅に改善される事が壁式橋脚の模型実験により確認されている¹⁾。これは、中間拘束筋にプレストレスを導入しない場合には、主鉄筋のはらみ出しが生じ出してから、中間拘束筋に応力度が発生するのに対して、プレストレスを導入した場合には、これによって初期段階から主鉄筋のはらみ出しが効果的に抑制されるためと考えられる。したがって、プレストレス導入によるはらみ出し抑制効果は見かけ上、中間拘束筋断面積の増加と見なすことができ、体積比 ρ の算定式に有効プレストレス量を加味することとした。式(1)に換算式を示す。

$$\rho = \frac{4 \cdot A_h \cdot \frac{f_{pu} + f_{pc}}{f_{sy}}}{s \cdot d} \quad (1)$$

ここで、 ρ ：中間拘束筋体積比

A_h ：中間拘束筋断面積

f_{pc} ：中間拘束筋の有効緊張応力

f_{pu} ：中間拘束筋の保証強度 s ：中間拘束筋の縦方向間隔

f_{sy} ：鉄筋の降伏強度 d ：中間拘束筋の横方向間隔

3.3 せん断耐力の算定

中間拘束筋としてアラミドFRPロッドを用いた場合、せん断補強筋と見なすことができ、その設計せん断耐力は「連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」(土木学会)に従ってトラス理論に基づいて算出することとした。式(2)に中間拘束筋のせん断耐力算定式を示す。

中間拘束筋として後施工されたアラミドFRPロッドのせん断耐荷力機構は必ずしも明確ではないが、壁式橋脚のせん断補強実験では、式(2)により算定されるせん断耐力は安全側の値を示すことが確認されている¹⁾。

$$S_p = \frac{A_w \cdot \sigma_{pw} \cdot d}{1.15 \cdot a} \quad (2)$$

ここで S_p ：せん断補強筋の受け持つせん断耐力 d ：有効高

A_w ：せん断補強筋の断面積 a ：中間拘束筋の配置間隔

σ_{pw} ：せん断破壊時における中間拘束筋の引張応力度 ($= f_{pc} + E_{pw} \cdot \epsilon_{rw} \leq f_{pu}$)

E_{pw} ：中間拘束筋のヤング係数 ϵ_{rw} ：せん断破壊時の中間貫通鋼材のひずみ設計用値

3.4 AWS工法とPC鋼棒工法の比較

AWS工法の設計上の特徴や構造細目等を一般的なPC鋼棒工法と比較したものを表-1に示す。

表-1 壁式RC橋脚の耐震補強工法の比較

		A W S 工 法	P C 鋼 棒 工 法
		「プレストレスを導入した壁式橋脚耐震補強工法の設計・施工要領（案）」	「設計要領第二集 橋梁保全編 5章耐震補強」
工法の適用および概要		・既設の壁式橋脚において、壁厚方向にプレストレスを導入することにより、じん性の改善およびせん断耐力の向上を行う耐震補強工法	・躯体の断面寸法の辺長比が1:3を超える橋脚の補強に対して中間貫通鋼材（PC鋼棒）を配置し、じん性の改善を図る工法。（ただし、せん断耐力の計算では考慮しない。）
中間貫通材の種類		・異形アラミドロッド φ7.4mm、φ6mm ・ヤング係数 $E_A = 0.54 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ ・保証強度 $\sigma_{AV} = 18,000 \text{ kgf/cm}^2$	・PC鋼棒 φ32mm、φ26mm ・ヤング係数 $E_P = 2.0 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ ・降伏点強度 $\sigma_{PV} = 9,500 \text{ kgf/cm}^2$
中間貫通材の定着		・付着定着（プレテンション方式）	・定着用型钢を使用してネジ定着
中間貫通材の配置		・鉛直方向配置間隔 0.5D（D：壁厚） ・水平方向配置間隔 1.5D（最大）	・鉛直方向配置間隔 30cm程度 ・水平方向配置間隔 1.0D程度
補 強 効 果	じん性補強	・中間拘束筋量として、ロッドの保証強度+有効プレストレス量を考慮 $\rho = \frac{4A_n \cdot \frac{f_{pu} + f_{pr}}{f_{sy}}}{S \cdot d}$	・中間拘束筋量として、PC鋼棒の降伏点強度を考慮 $\rho = \frac{4A_n \cdot \frac{f_{py}}{f_{sv}}}{S \cdot d}$
	せん断補強	・アラミドロッドをせん断補強筋としてトラス理論によりせん断耐力を算定 $S_p = \frac{A_w \cdot \sigma_{pw} \cdot d}{1.15 \cdot a}$	・せん断補強筋として考慮しない。

3.5 相模川橋の耐震補強設計

相模川橋橋脚耐震補強工事では、P2橋脚～P7橋脚全てにAWS工法が採用されたが、ここではP4橋脚（固定側）の設計例を紹介する。

P4橋脚は固定脚であるため、上部工反力に比べて地震時水平力の分担分が大きく、既設橋脚の耐震性の照査では、せん断破壊先行型の破壊形態で保有水平耐力が不足すると判断された。耐震補強工法としては、RC巻立て工法を採用し、橋脚基部にはアンカー鉄筋 D38 を定着し曲げ耐力を増加させた。さらに、橋脚のせん断耐力を向上させて、曲げ破壊先行型にするとともに、基部のじん性改善を図るために中間拘束筋を配置した。中間拘束筋として、PC鋼棒を用いた場合と、アラミドFRPロッド（AWS工法）を用いた場合の比較を表-2に示す。表より明らかなようにAWS工法を用いた場合、削孔箇所が半減し既設橋脚に与えるダメージが少なくなるとともに経済的にも優位となった。P4橋脚の耐震補強検討条件、検討結果を表-3、表-4に示す。

表-2 AWS工法とPC鋼棒工法の比較

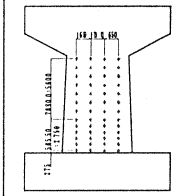
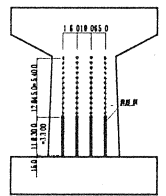
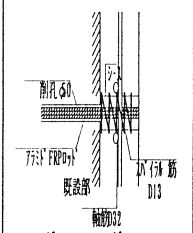
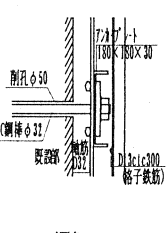
	AWS工法	PC鋼棒工法
中間貫通材の配置	 アラミドFRPロッド 9φ7.4mm N=60本	 PC鋼棒 φ32mm N=104本
中間拘束材の定着部	 アラミドFRPロッド 9φ7.4mm N=60本	 PC鋼棒 φ32mm N=104本
経済性	1.0	1.1

表-3 P4橋脚脚条件

ケース	補強前		補強後	
項目			①C巻立て t=350、D38 Fカ-etc200 ワッドワド 9φ7.4	
上部工反力	上部工死荷重反力 上部工分担重量		Rd= 9671f W=26501f	
橋脚形状	高さ 幅	H=12.968m B=8.297m (橋脚)	7.450 (天端)	
	厚さ	D=3.297m (橋脚)	2.450 (天端)	
主鉄筋配置	基部	段差し部	基部	段差し部
	D38 @150-2段	D38 @150-1.5段	D38 @200-1段	D38 @200-1段
横方向鉄筋配置	D19-4本 Ah=11.46cm ² S=25cm	D19-2本 Ah=5.73cm ² S=25cm	D25-2本 ワッド 9φ7.4-4本	S=10cm S=45cm-80cm
横方向拘束筋	D19 Ah=2.865cm ²	S=25cm d=800cm ρ=0.00573	ワッド9 φ7.4 Ah=31.4cm ²	S=45cm d=170cm ρ=0.0164

表-4 P4橋脚耐震性検討結果

項目		補強前		補強後	
		タイプI	タイプII	タイプI	タイプII
水平耐力 (f)	降伏 (Py)	998.2	998.5	1779.3	1784.7
	終局 (Pu)	998.2	998.5	1779.3	1784.7
水平変位 (cm)	降伏 (δy)	5.23	5.23	5.42	5.44
	終局	16.73	17.88	22.52	41.32
せん断耐力	コンクリート分 (Sc)	331.4	441.9	383.8	511.7
	鉄筋分 (Ss)	134.5	134.5	1013.0	1013.0
	ワッド分 (Sa)	—	—	572.0	572.0
	合計	465.9	576.33	1968.8	2096.7
破壊形態	せん断破壊	せん断破壊	曲げ破壊	曲げ破壊	
保有水平耐力 (Pa)	686.8	686.8	1779.3	1784.7	
許容塑性率 (μa)	1.00	1.00	2.05	5.40	
等価水平震度 (Khe)	0.85	1.75	0.48	0.56	
等価重量 (w)	2913.4 > Pa	5998.1 > Pa	1508.8 < Pa	1760.2 < Pa	
判定	OUT	OUT	OK	OK	

4. 施工

4.1 施工手順

耐震補強工の施工手順を図-2に示す。

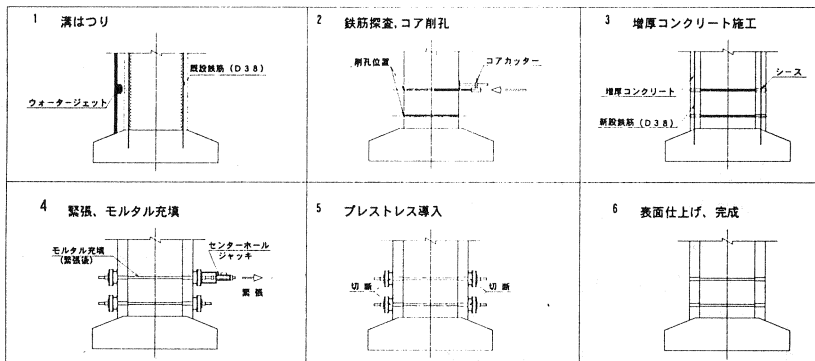


図-2 施工手順

4.2 鉄筋探査、削孔

中間拘束筋を配置するために削孔する必要があるが、この時、既設橋脚の鉄筋を損傷させないよう予め鉄筋位置を確認した。今回工事対象となった既設橋脚は太径鉄筋 (D38) が密に配置されていることから、鉄筋探査を確実にを行うため、ウォータージェットによって、削孔位置付近のかぶりコンクリートをはつき取り鉄筋位置を確認した。(写真-1) その後、所定の位置にコア削孔した。

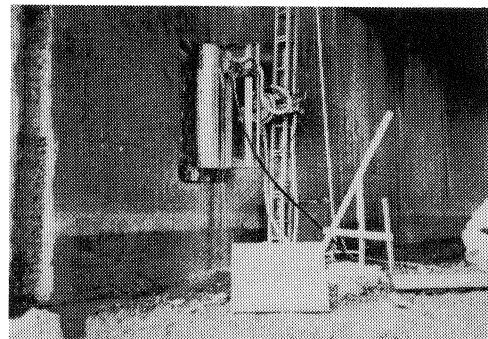


写真-1 ウォータージェットによる鉄筋探査

4.3 鉄筋工

橋脚基部の曲げ耐力を向上させるため、フーチングにジャックハンマーにより穿孔し、アンカー筋をエポキシ樹脂により定着した。アンカー筋の引抜き耐力を確認した後に、主筋を組立たが継手は全てガス圧接により行った。また、帯鉄筋の継手は全てフレア溶接とした。

さらに、アラミドFRPロッドの定着部分には、地震時に巻立てコンクリート部にひび割れが生じロッドの付着が劣化することのないように、柱状の補強筋を配置した。

(写真-2)

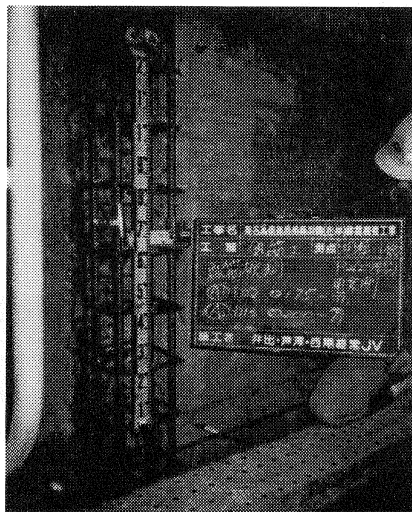


写真-2 アラミドロッド定着部補強部

4.4 型枠工・コンクリート工

鉄筋の組立て完了後、全体を2ロットに分割して巻立てコンクリート部を施工した。コンクリート巻立て厚が250~350mmと薄いため流動化コンクリートを使用し、ポンプ車によってコンクリート打設を行った。また、アラミドロッド配置位置は予めシースにより箱抜きし、周囲には割裂防止のスパイラル筋を配置した。

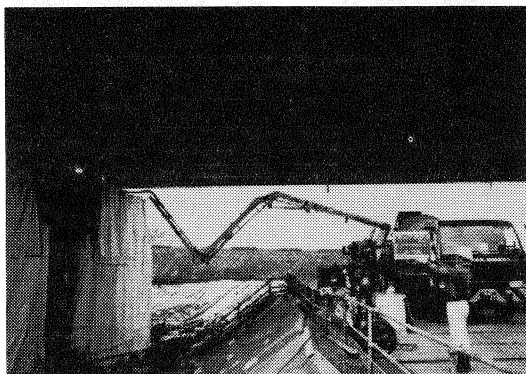


写真-3 コンクリート打設状況

4.5 中間拘束工

巻立てコンクリート硬化後、緊張架台を組立て両端に仮設定着体を取り付けたアラミドFRPロッドを配置位置に挿入した。その後にセンターホールジャッキにより所定の緊張力を導入し、固定ナットによって仮定着を行った。この状態でアラミドロッドを配置した削孔部に高強度モルタルを充填した。モルタルの強度が所定の強度に達したのを確認した後に、アラミドロッドをディスクサンダーによって切断しプレストレスを導入した。最後に表面仕上げを行い完成した。

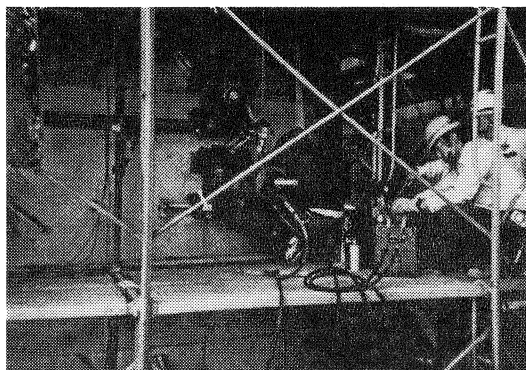


写真-4 アラミドFRPロッド緊張状況

5. おわりに

壁式橋脚の耐震補強では主鉄筋のはらみ出しを防止し、じん性を改善するために原則として中間貫通鋼材が配置される。しかし、そのためには既設橋脚に削孔する必要があり、中間貫通鋼材の本数を減らすことは既設橋脚に与えるダメージを軽減する上で、また、経済性の面からも重要なことである。その点でAWS工法は中間貫通材にプレストレスを与えることによってその補強効果を高め、配置本数を減らす事を可能にした工法である。本工事は「プレストレスを導入した壁式橋脚耐震補強工法の設計・施工要領(案)」に従って実施された最初の工事であったが、関係各位の努力により平成11年5月無事完了した。

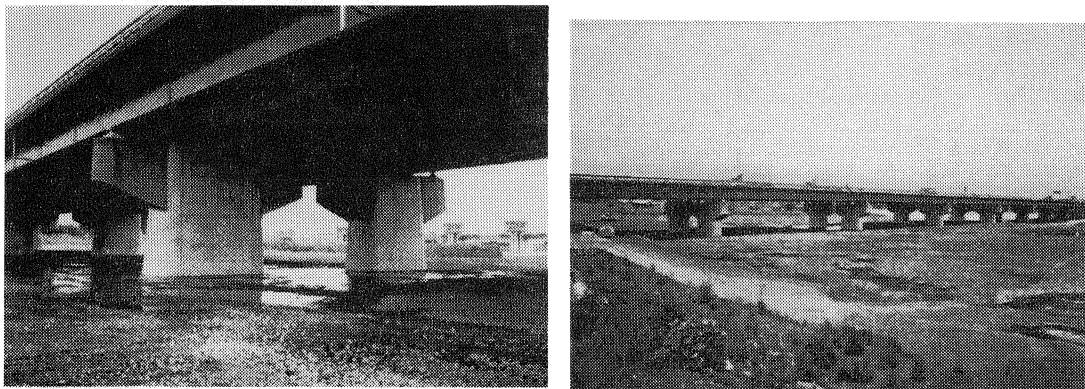


写真-5 完成状況

参考文献

- 1) 日本道路公団：プレストレスを導入した壁式橋脚耐震補強工法の設計・施工要領(案) 平成10年3月
- 2) 日本道路公団：設計要領第2集橋梁保全編 平成9年11月
- 3) (社)日本道路協会：既設道路橋の耐震補強に関する参考資料 平成9年8月
- 4) 藤原、和田、田村、北川：壁式RC橋脚耐震補強工法(AWS工法)の開発と実用化 土木学会耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム 平成9年7月