

アラミド繊維を用いた耐震補強工法の開発と適用

藤原 保久¹

¹ 三井住友建設株式会社 土木本部 土木リニューアル推進室

アラミド繊維は引張強度の高いハイテク繊維で、製品としては繊維をシート状に加工したものと、繊維を樹脂で棒状（アラミド FRP ロッド）に束ねたものがある。アラミド繊維は、高強度、軽量、柔軟性、高耐久性、非磁性・非電導などの特性を有しているため、近年コンクリート構造物の補強に適用され様々な補強工法が開発・実用化されている。

本稿では、アラミド繊維シートを用いた橋脚・柱の耐震補強工法とアラミド FRP ロッドを用いた壁式橋脚や低配筋橋脚の耐震補強工法の概要、特徴と適用事例について報告する。

キーワード：アラミド繊維シート、アラミド FRP ロッド、耐震補強、橋脚、柱

1. はじめに

わが国は世界でも有数の地震国であり、これまで幾多の地震被害を経験してきた。特に道路橋や鉄道橋は、避難路や緊急物資の輸送路などのライフラインとして非常に重要な役割を担うとともに、一旦被災してその機能を喪失した場合には、復旧に多くの期間を要し、社会に与える影響は非常に大きい。

このため、既設橋梁については、耐震性を判定して必要な場合は耐震補強が行われている。一般的に既設 RC 橋脚の耐震補強工法としては、RC 巻立て工法や鋼板巻立て工法が多く適用されてきた。

近年一般的な工法では施工が困難な条件下では、軽量、高強度、高耐久性を有する連続繊維を用いた耐震補強工法も開発され適用されている。

本稿では柔軟性、高耐久性、非磁性・非電導などの特性を有するアラミド繊維に着目し、アラミド繊維シートを用いた橋脚・柱の耐震補強工法とアラミド FRP ロッドを用いた壁式橋脚や低配筋橋脚の耐震補強工法の概要と適用事例について報告する。

2. アラミド繊維とは

アラミド繊維は工業用高機能素材として開発された全芳香族ポリアミド繊維で、高強度、耐蝕性に優れ、軽量かつ柔軟な非導電性有機繊維である。

アラミド繊維シートは写真-1に示すようにアラミド繊維を一方向あるいは二方向に配列してシート状にした材料である。耐震補強工法として用いる場合は、アラミド繊維シートをエポキシ樹脂で含浸させながらコンクリート構造物表面に貼付けて、繊維強化プラスチック（FRP）として使用する。アラミド繊維には、高弾性タイプと高強度タイプあり、それぞれの特性を表-1に示す。

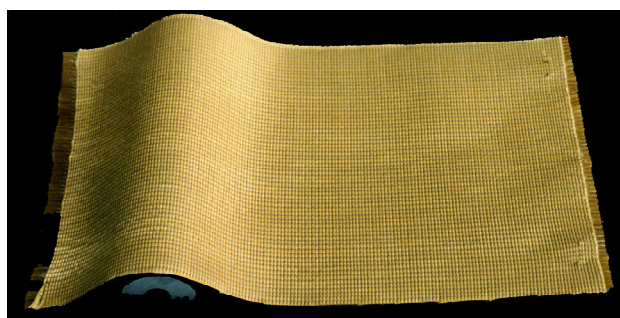


写真-1 アラミド繊維シート

表-1 アラミド繊維シートの特性

繊維のタイプ	品番	目付	保証耐力	設計厚	引張強度	ヤング係数
		g/m ²	kN/m	mm	N/mm ²	kN/mm ²
高弾性タイプ	AK-40	280	392	0.193	2,060	118
	AK-60	415	588	0.286		
	AK-90	623	882	0.430		
	AK-120	830	1176	0.572		
高強度タイプ	AT-40	235	392	0.169	2,350	79
	AT-60	350	588	0.252		
	AT-90	525	882	0.378		
	AT-120	700	1176	0.504		

アラミド繊維を補強材として使用するもう一つの方法は、写真-2, 3に示すようにアラミド繊維を樹脂で固め棒状に加工したアラミドFRPロッドを補強筋あるいは緊張材として用いる工法である。アラミドFRPロッドには繊維を直線状に配置した周囲に繊維を巻き付け樹脂で固めた異径ロッドタイプと繊維を組紐状に加工したタイプがあり、それぞれの特性を表-2に示す。



写真-2 アラミド FRP ロッド (異径ロッドタイプ)

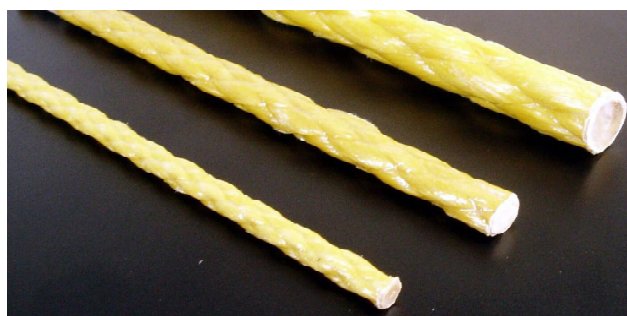


写真-3 アラミド FRP ロッド (組紐タイプ)

表-2 アラミド FRP ロッドの特性

ロッドタイプ	品番	公称直径	公称断面積	単位重量	保証耐力	ヤング係数
		mm	mm ²	g/m	kN	kN/mm ²
異径ロッドタイプ	Φ7.4mm	7.88	48.8	64	81.4	53.0
組紐タイプ	RA3 / FA3	2.7	5.7	6.4	7.8	68.6
	RA5 / FA5	5.7	25.5	32	32	
	RA7 / FA7	7.8	47.8	58	60	
	RA9 / FA9	9.3	67.9	84	85	
	RA11 / FA11	11	95	115	112	
	RA13 / FA13	13.7	147	173	172	
	RA15 / FA15	15.7	193	226	225	

3. アラミド繊維シートを用いた耐震補強工法

(1) アラミド繊維シート巻立て工法¹⁾

a) アラミド繊維シート巻立て工法の概要

アラミド繊維シート巻立て工法とは、アラミド繊維シートを、既設RC橋脚の表面に含浸接着樹脂を用いて貼り付けることにより、橋脚の曲げ耐力、せん断耐力、じん性の向上を図る耐震補強工法である。特に橋脚基部の補強に関しては、フーチングに定着したアンカー筋とアラミド繊維シートを特殊な方法で接続することにより橋脚基部の曲げ耐力を向上させる工法が開発され実用化された。工法の概要を図-1に示す。

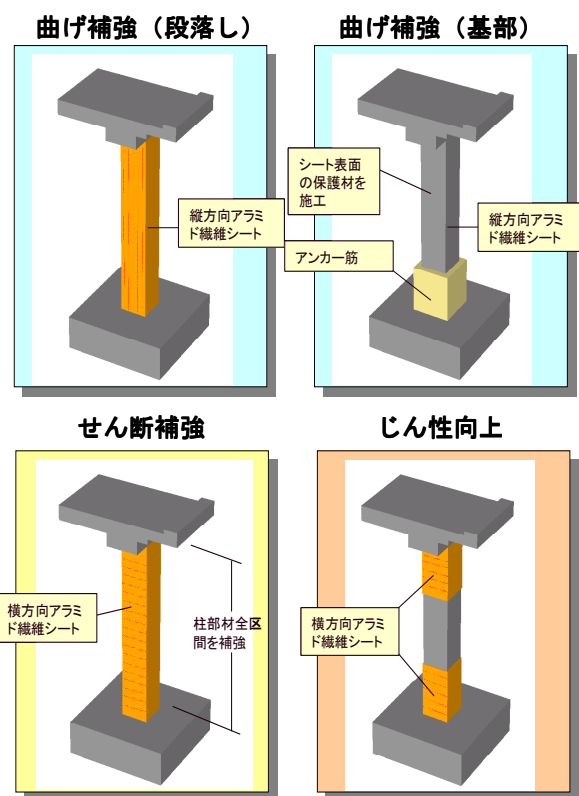


図-1 アラミド繊維シート巻立て工法概要

b) アラミド繊維シート巻立て工法の特徴

- ① 材料が軽量で現地への搬入や加工が容易なため、特殊足場や大型重機が不要で仮設備が縮小できるとともに、狭隘な場所でも確実な施工できる。また、柔軟で変形性に富むため、既設橋脚の出来形のばらつきに施工が左右されず、短時間で施工できる。
- ② 補強による部材寸法の増加がなく、RC巻立て工法のように建築限界や河積阻害率を侵さない。
- ③ アラミド繊維シートは、耐久性に優れ、非磁性、非電導体であるため、施工環境を選ばない。

c) アラミド繊維シート巻立て工法の適用

補強対象橋梁は東海道線本線および貨物線を跨ぐ跨線橋で、橋脚は線路間の狭隘箇所に位置する鉄筋コンクリート製門型柱である。既設橋脚の耐震性照査の結果、基部の曲げ耐力が不足しており、耐震性がないと判断された。

耐震補強検討の結果、曲げ補強用縦方向シートは90tfシート2層、40tfシート1層、横方向は40tfシート1層となった。また、橋脚基部の曲げ耐力を向上させるため、フーチングへのアンカー筋は、D29を16本配置し、ジベル筋付きの鋼板を介してアラミド繊維シートと接続する方法を採用した。補強概要図を図-2に示す。

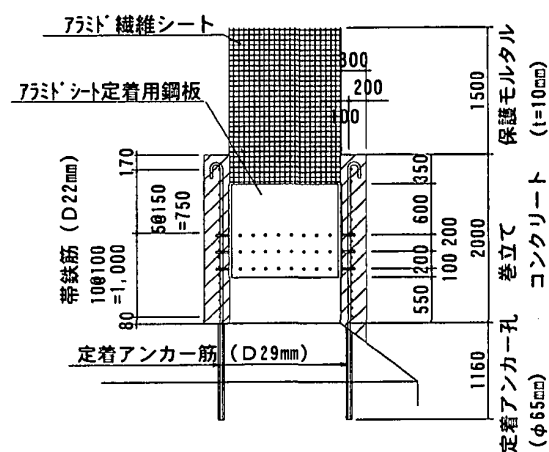
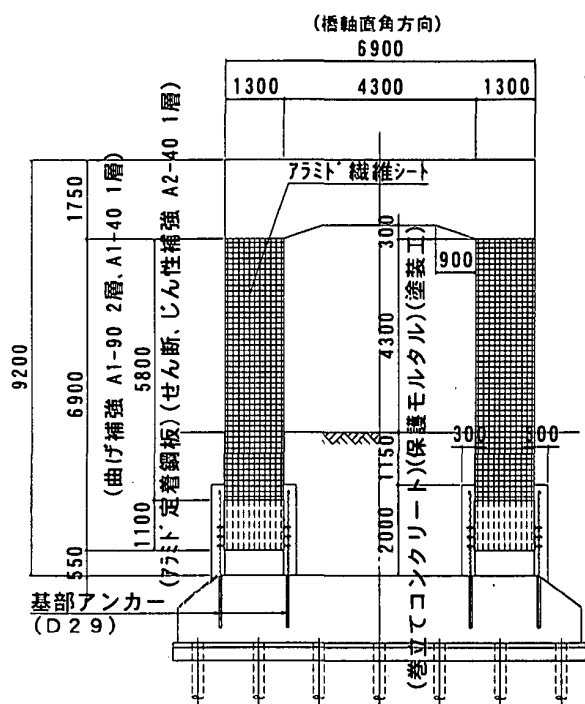


図-2 橋脚補強概要図

(2) A&P工法

a) A&P工法の概要

A&P 工法は、アラミド繊維シートと高伸度繊維シートを併用した高架橋柱の耐震補強工法である。柱のせん断補強区間には高強度アラミド繊維シートを、じん性補強が必要な区間にはポリエチレンテレフタレート繊維 (PET) やポリエチレンナフタレート繊維 (PEN) などの伸び性能の高い高伸度繊維シートを用いる。このため、コンクリートの強度や変形性能を十分に発揮することができ、耐震性能上高い変形性能が要求される鉄道高架橋柱の耐震補強に適した工法である。A&P 工法の概要を図-3に示す。

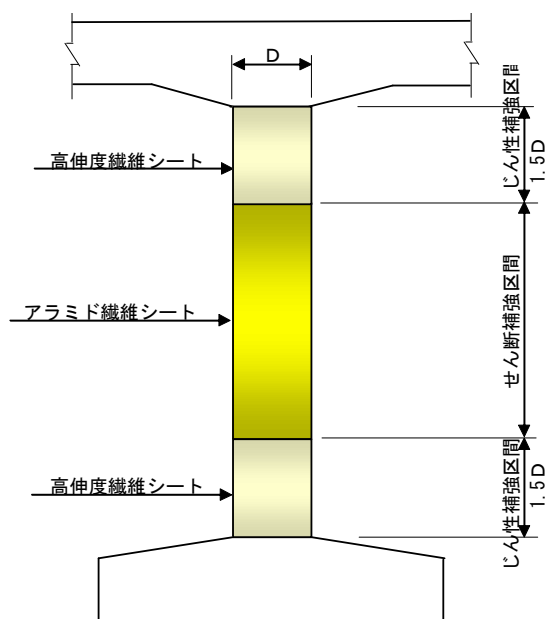


図-3 A&P 工法補強概要図

b) A&P工法の特徴

A&P工法はアラミド繊維シート巻立て工法と同様に優れた施工性、耐久性を有する工法であるが、これに加えて以下の特徴がある。

- ① じん性補強区間に高伸度の繊維を用いることにより、終局変形が繊維の破断では決定されず、脆性的な挙動を避け柱の変形性能を十分に発揮することができる。
- ② 高伸度繊維シートは汎用繊維シートで安価なため、経済性に優れている。図-4 に A&P 工法と鋼板接着工法の工費の比較を示す。せん断スパン比が大きくなるほど経済性が向上する。

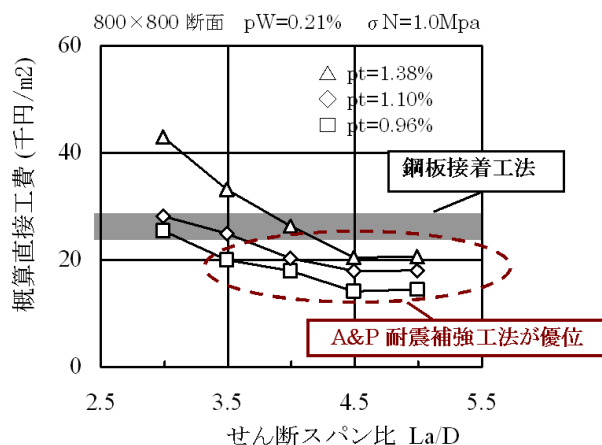


図-4 A&P 工法の概算工費比較

c) A&P 工法の適用

A&P 工法の適用事例は写真-4 に示すように、鉄道駅舎部の高架橋柱で通常は店舗として使用されている箇所である。橋脚基部のじん性補強区間には高伸度シート（PET）、上部のせん断補強区間にはアラミド繊維シートが使用されている。

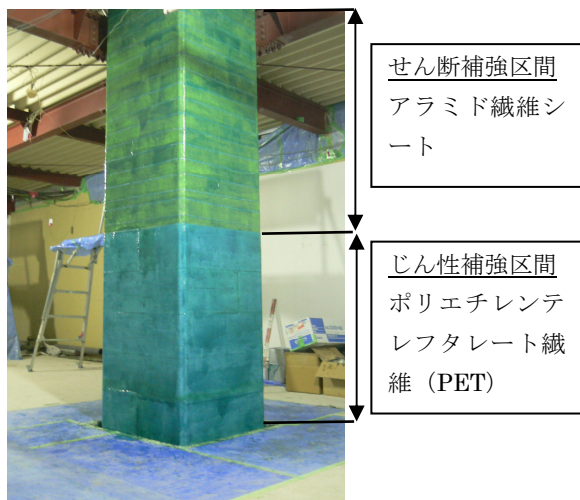


写真-4 A&P 工法適用事例

(2) ハイゼラス工法

a) ハイゼラス工法の概要

ハイゼラス工法とは、壁付き柱や床版付き梁を補強する工法である。アラミド繊維の「カバーシート」を柱・梁の表面に貼付けた上に、壁やスラブに一定の間隔で設けた小径の貫通孔にアラミド繊維の「帯シート」を通して巻付ける補強工法ある。

「帯シート」には従来のものに比べて繊維量の多いシートを用いて補強効果を高めている。ハイゼラス工法の概要を図-5 に示す。

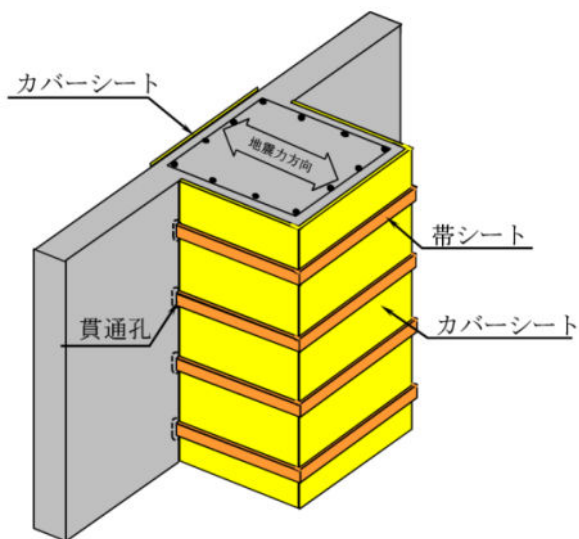


図-5 ハイゼラス工法概要図

b) ハイゼラス工法の特徴

本工法は、アラミド繊維シーと巻立て工法の特徴に加えて以下の特徴を有している。

- ① 帯シートを間隔を開けて巻き付けることによって、全面巻き付けと同等の性能を発揮する。さらに、カバーシートを併用することで補強性能をより高めることができる。
- ② 壁付き柱でもシート端部の定着金物や柱際全高のスリットが不要で、補強前後の構造物形状の変化がない。

c) ハイゼラス工法の適用

ハゼラス工法の施工手順を図-6 に示す。また、壁に貫通孔を施工した後、カバーシートを貼り付けている状況を写真-5 に、貫通孔を通して帯シートを巻き付けている状況を写真-6 に示す。

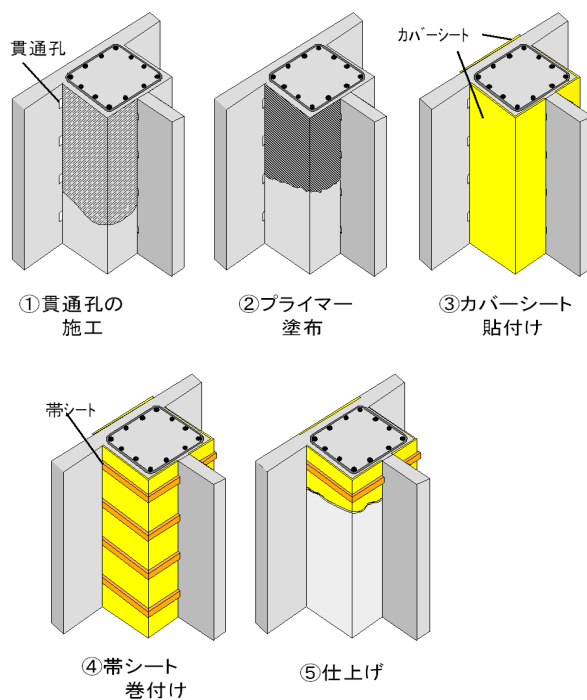


図-6 ハイゼラス工法施工手順



写真-5 カバーシート貼付け状況



写真-6 帯シート貼付け状況

3. アラミドFRPロッドを用いた耐震補強工法

(1) AWS工法（壁式RC橋脚補強工法）²⁾

a) AWS工法の概要

AWS工法とは、壁式橋脚の中間拘束材としてアラミドFRPロッドを用い、壁厚方向にプレストレスを与えることにより軸方向鉄筋のはらみ出しを防止し、内部コンクリートの拘束効果を高めて、じん性の改善およびせん断耐力の向上を図る、耐震補強工法である。工法の概要を図-7に示す。

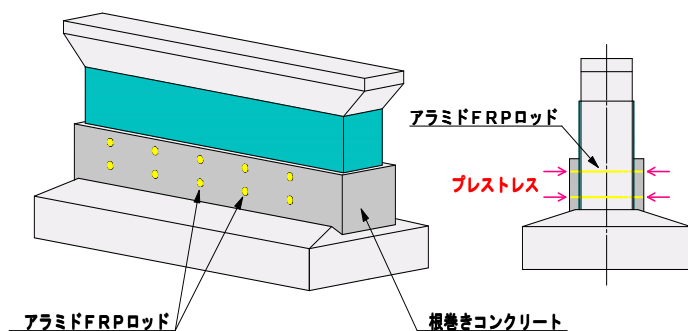


図-7 AWS工法概要図

b) AWS工法の特徴

AWS工法の特徴を以下に示す。

- ① 中間拘束工は、PC鋼棒などを使用する従来工法に比べて本数が半減するため経済性に優れる。（中間拘束工費が10～30%程度縮減可能）
- ② アラミドFRPロッドは劣化腐食しないため、高い耐久性を有する。
- ③ プレストレスを導入し積極的に主鉄筋のはらみ出しを抑制することにより効果的なじん性、せん断補強が可能となる。
- ④ アラミドFRPロッドは軽量で柔軟性があるため、施工性が良く、締切りや掘削などの仮設材の規模が縮小できる。施工イメージを図-8に示す。

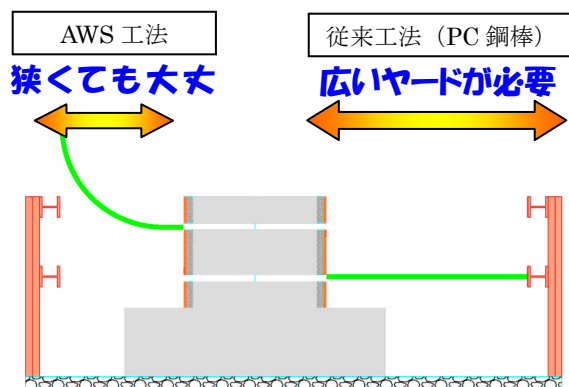


図-8 AWS工法の施工イメージ

c) AWS工法の適用

AWS工法の施工手順を図-9、施工状況を写真-7に示す。

橋脚の鉄筋位置を探索し、中間拘束材用の削孔をした後、巻立てコンクリートを施工し、アラミドFRPロッドを挿入、緊張、仮定着し、隙間にモルタルグラウトを注入する。モルタル強度が所定の値に達した後、巻立てコンクリート壁面でアラミドFRPロッドを切断することによりプレテン方式で橋脚躯体にプレストレスが導入される。

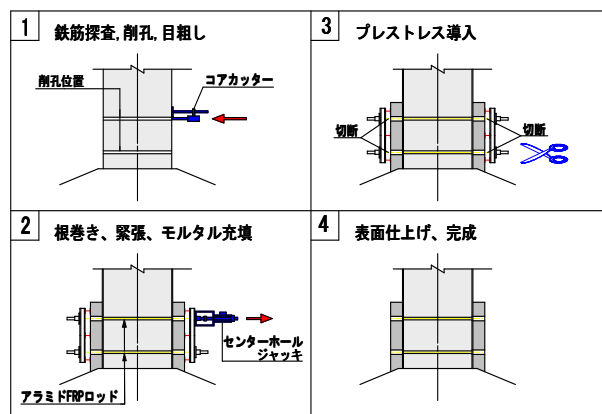


図-9 AWS工法の施工手順

WJによる橋脚鉄筋探索状況



アラミドFRPロッド配置位置の削孔状況



アラミドFRPロッドの緊張状況



AWS工法による補強工事完了



写真-7 AWS工法施工状況

(2) 低配筋橋脚鉛直締め補強工法

a) 低配筋橋脚鉛直締め補強工法の概要

本工法は、既設橋脚の上端より削孔し、アラミドFRPロッドを鉛直方向に挿入し、プレストレスを与えることにより、橋脚の曲げ耐力、せん断耐力を向上させる耐震補強工法である。作業は橋の上部工に干渉することなく橋脚上面から行えるため、仮栈橋や河川締切などの大規模な仮設備や水中作業が不要である。工法概要を図-10に示す。

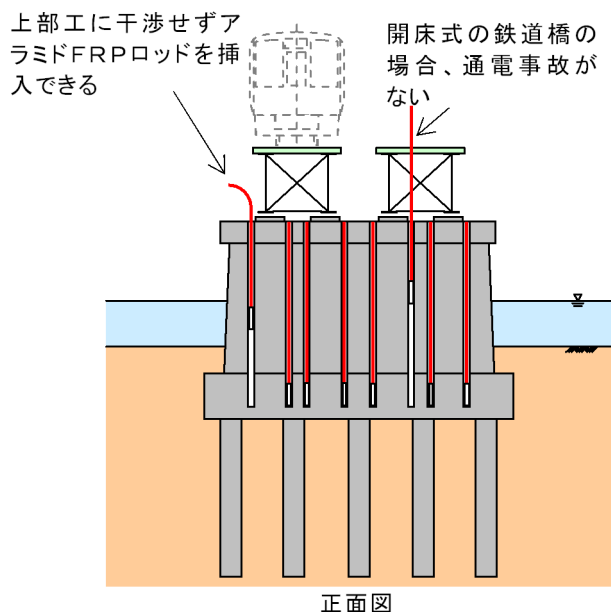


図-10 低配筋橋脚鉛直締め補強工法概要図

b) 低配筋橋脚鉛直締め補強工法の特徴

本工法には以下の特徴がある。

- ① 橋脚軸方向にプレストレスを与えることにより、効果的に曲げ耐力、せん断耐力を向上させることができる。
- ② 作業は橋の上部工に干渉することなく橋脚上面から行えるため、仮栈橋や河川締切などの大規模な仮設備や水中作業が不要である。
- ③ 仮設備の縮小により従来の工法に比べて工費、工期ともに大幅に削減できる。
- ④ アラミドFRPロッドは高強度で耐食性があり、非電導なので特に鉄道橋では安全性が向上する。

c) 低配筋橋脚鉛直締め補強工法の性能確認実験

本工法の補強効果を確認するために、古い橋梁に見られる鉄筋量が少ない鉄筋コンクリート橋脚を1/3程度にスケールダウンした試験体を製作し、無補強に比べて最大荷重が2倍程度に向上するように補強し、正負水平交番載荷試験によって耐震性能を確認した。

載荷試験の結果、補強後の耐力は、無補強時の計算値と比較して曲げひび割れ耐力は1.8倍、曲げ降伏耐力は3.4倍、曲げ耐力は4.3倍となり、計算通りの補強効果を確認した。試験供試体の概要を図-11、補強手順を図-12に示す。

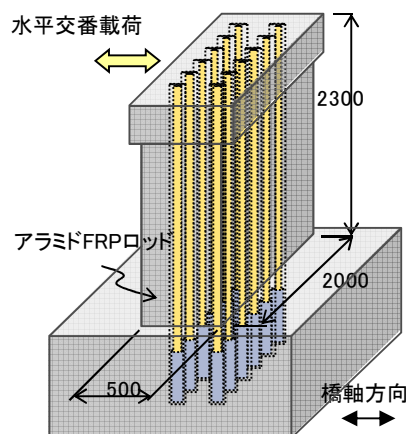


図-11 試験供試体の概要

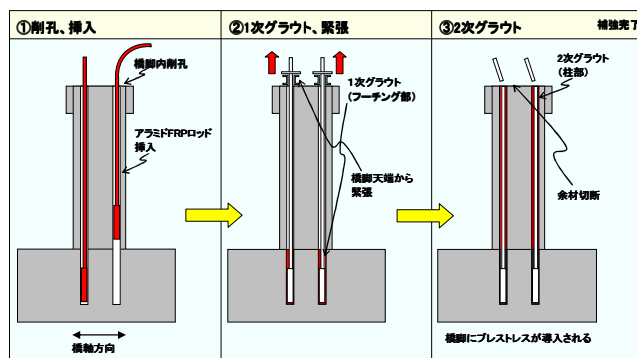


図-12 供試体補強手順

5. おわりに

世界有数の地震国である我が国において、安全・安心な社会資本を構築するために、施工性や耐久性に優れたアラミド繊維を用いた耐震補強工法を開発し実用化した。本稿が今後の道路橋や鉄道橋の耐震補強工事の参考になれば幸甚である。

参考文献

- 1) 藤原泰久, 志村高見, 近藤克己, 小田切隆幸: アラミド繊維シートによる曲げ耐力向上方式耐震補強工法の開発と実用化, 土木学会 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, 1999. 10.
- 2) 藤原泰久, 和田宣史, 後藤貴四男, 佐竹亨: 東名高速相模川橋耐震補強工事の設計と施工, プレストレストコンクリート技術協会 第9回シンポジウム論文集, 1999. 10.