

FRP接着工法の暴露追跡調査

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 ○野島 昭二
オリエンタル白石(株) 正会員 工修 高橋 謙一

Abstract : NEXCO has applied to FRP bonding method to prevention for falling concrete peaces at near the PC anchorage. FRP is made aramid and nylon composit fiber sheet, and that has high strength and high elongation performance. This paper evaluates durability of FRP by exposure test. Exposure test location, was selected the characteristic environmental conditions in Japan, Tokyo, Niigata, and Okinawa ie. Result of investigation years after 12, FRP have maintained good performances, that is bond strength between FRP and concrete, FRP strength, and elongation.

Key words : FRP Bonding method , Aramid and Nylon Composit Fiber Sheet , Grout for PC tendon

1. はじめに

NEXCOで管理するPC橋では、横締めPC鋼棒の定着具付近で発生するかぶりコンクリート片の落下対策として、連続繊維シート（FRP）接着工法を実施している。FRPには、高い強度と、優れた変形性能を有するアラミド・ナイロン複合繊維シートを採用しており、樹脂接着剤を用いてコンクリート表面にFRPを施工している。本研究は、FRP接着工法の耐久性を確認するため、暴露試験を実施し、追跡調査を実施したものである。暴露場所は、国内の代表的な劣化外力（環境条件）を再現できるよう、東京、新潟、沖縄とした。12年目の調査結果より、若干の性能の低下は見られるものの、コンクリートとの付着力、FRPの引張強度、終局ひずみなどに問題は見られず、良好な性能を維持していることが判明した。

2. 暴露試験概要

屋外暴露地点は国内の環境条件を代表して表-1に示す3地点とした。設置状況の例を写真-1に示す。東京、沖縄については、日照を妨げるものはないが、新潟は写真-2に示すように高架橋下の設置であるため、日照の影響は受けにくくなっている。図-1に示すように、付着強度試験の供試体は、圧縮強度が50N/mm²のコンクリート板にアラミド・ナイロン複合繊維シートを2層配置したFRP構造とした。2層のシートは25mmずらして接着している部分を設け、シートとコンクリート板の段差を端部シール材

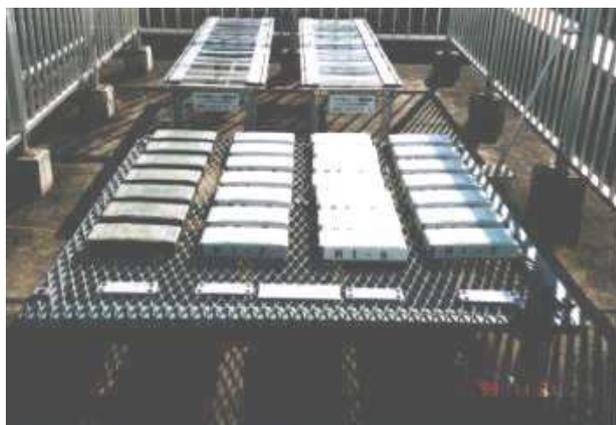


写真-1 屋外暴露場の例（東京）



写真-2 新潟の供試体の設置状況

表-1 屋外暴露場

地点名	場所	環境状態	年間降水量	年平均気温	月別平均気温の最大値/最小値	年間日照時間
東京	東京都町田市忠生 NEXCO 総研屋上ヤード	内陸・ 温暖地域	1730mm	15.3℃	31.2℃/-0.7℃	1849時間
新潟	新潟県糸魚川市外波 北陸道親不知 IC 高架橋下	海岸・ 積雪寒冷地	2835mm	14.3℃	30.3℃/0.6℃	1590時間
沖縄	沖縄県名護市幸喜 沖縄道許田 IC 内ヤード	海塩粒子飛来・ 亜熱帯地域	2819mm	22.6℃	31.8℃/13.5℃	1764時間

※降水量, 気温, 日照時間は暴露場付近の気象庁の気象データである

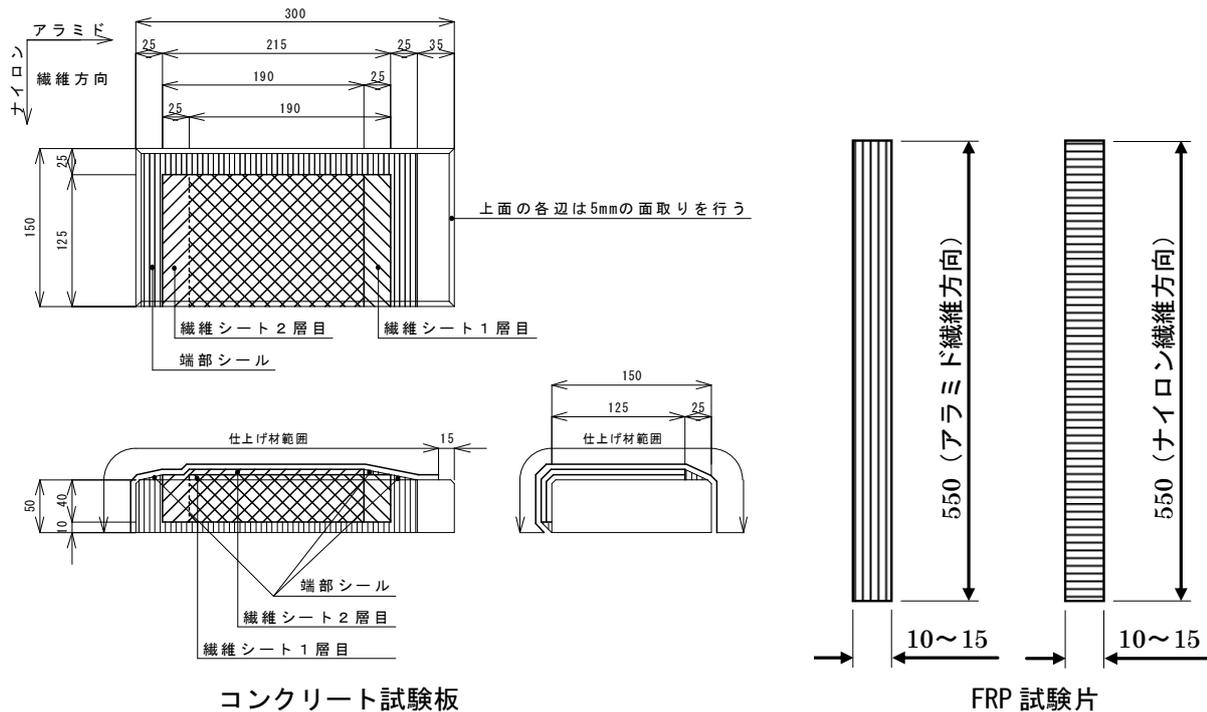


図-1 供試体の仕様

表-2 繊維シートの仕様, 基準値

項目	単位等	基準値等
補強繊維配列		2方向
繊維の種類	経/緯	アラミド/ナイロン
繊維質量	g/m ²	240/380以上
引張強度	N/mm	350/160
終局ひずみ	%	2.2/27
接着強度(FRP)	N/mm ²	1.5
接着強度(仕上げ材)	N/mm ²	1.0

表-3 供試体の種類

記号	S	P	F	無
仕上げ材の種類	シリコン系	ポリウレタン系	フッ素系	無塗装
コンクリート試験板	8期分×3地点×4仕上げ材 ×1体/試験=96体			
FRP試験片	7期分×3地点×4仕上げ材 ×2方向×4本/試験=672本			

表-4 試験項目

試験項目	試験方法	供試体
付着強度	建研式付着試験	コンクリート試験板
引張強度, ひずみ	JIS A 1191 準拠	FRP試験片

にてすりつけたのちに, 仕上げ材を塗布している。引張強度, および終局ひずみ試験の供試体は, 10~15mm幅, 550mm長さで, 長さ方向にアラミド繊維, およびナイロン繊維が配置するようにして, 両面から含浸樹脂接着剤を塗布し, 仕上げ塗材を塗布したものを試験片とした。

繊維シートの仕様と試験の基準値を表-2に示す。仕上げ材の種類と供試体の作製数量は表-3に示すとおりである。耐久性の追跡調査のため、表-4に示す試験項目を暴露開始時（1999年11月）、1、2、3、5、8、および12年時点で実施した。

3. 試験結果

3.1 付着強度

付着強度試験の結果を表-5、6に示す。試験は、仕上げ材上、および仕上げ材を除去した状態の2とおりで実施した。破壊モードは、破壊した界面の母材、または仕上げ材部分とその他の部分の範囲の比率を示すものである。仕上げ材上の付着強度は、東京の一部の試験値で基準を満たさないが、これは母材破壊したものであり、3試料の平均値も基準値を満足している。また、仕上げ材を除去して試験した試料の付着強度も、すべての試験値で基準を満足しており、付着強度上は総じて健全であるといえる。次に付着強度の経年変化のグラフを図-3～4に示す。仕上げ材を除去して試験した結果で3年目に基準値を満足しないものもあったが、その後の試験結果はすべて基準値を満足するものであり問題

表-5 付着強度（仕上げ材除去）

試験板		新潟			沖縄			東京		
仕上げ材	No	最大荷重 kN	付着強度 N/mm ²	破壊モード 母/他	最大荷重 kN	付着強度 N/mm ²	破壊モード 母/他	最大荷重 kN	付着強度 N/mm ²	破壊モード 母/他
フッ素系	1	3.75	2.34	80/20	4.07	2.54	60/40	3.39	2.12	97/3
	2	3.58	2.24	98/2	4.43	2.77	97/3	3.54	2.21	98/2
	3	2.60	1.63	97/2	2.43	1.52	97/3	3.95	2.47	98/2
	ave.	3.31	2.07		3.64	2.28		3.63	2.27	
ポリ ウレタン系	1	2.64	1.65	95/5	4.07	2.54	85/15	2.93	1.83	95/5
	2	3.68	2.30	100/0	4.52	2.83	90/10	3.56	2.23	100/0
	3	3.68	2.30	70/30	4.04	2.53	97/3	4.21	2.63	98/2
	ave.	3.33	2.08		4.21	2.63		3.57	2.23	
シリコン系	1	3.83	2.39	80/20	3.68	2.30	100/0	3.80	2.38	75/25
	2	5.08	3.18	70/30	5.32	3.33	97/3	4.07	2.54	95/5
	3	5.54	3.46	5/95	5.08	3.18	100/0	3.54	2.21	100/0
	ave.	4.82	3.01		4.69	2.93		3.80	2.38	
無塗装	1	3.90	2.44	85/15	4.07	2.54	95/5	2.57	1.61	95/5
	2	3.15	1.97	70/30	4.43	2.77	100/0	3.49	2.18	90/10
	3	3.90	2.44	60/40	2.43	1.52	70/30	3.71	2.32	0/100
	ave.	3.65	2.28		3.64	2.28		3.26	2.04	

※破壊モード：母/他は母材破壊とプライマー界面などその他の破壊モードの比を示す

表-6 付着強度（仕上げ材上）

試験板		新潟			沖縄			東京		
仕上げ材	No	最大荷重 kN	付着強度 N/mm ²	破壊モード 母/他	最大荷重 kN	付着強度 N/mm ²	破壊モード 母/他	最大荷重 kN	付着強度 N/mm ²	破壊モード 母/他
フッ素系	1	4.21	2.63	0/100	5.87	3.67	0/100	3.73	2.33	0/100
	2	4.12	2.58	0/100	5.63	3.52	0/100	1.85	1.16	0/100
	3	5.13	3.21	0/100	3.18	1.99	0/100	3.87	2.42	0/100
	ave.	4.49	2.80		4.89	3.06		3.15	1.97	
ポリ ウレタン系	1	5.18	3.24	0/100	4.77	2.98	0/100	2.98	1.86	0/100
	2	6.02	3.76	0/100	3.80	2.38	0/100	2.93	1.83	0/100
	3	3.68	2.30	0/100	3.78	2.36	0/100	2.62	1.64	0/100
	ave.	4.96	3.10		4.12	2.57		2.84	1.78	
シリコン系	1	4.16	2.60	0/100	2.48	1.55	0/100	2.62	1.64	0/100
	2	3.27	2.04	0/100	5.01	3.13	0/100	4.14	2.59	0/100
	3	4.54	2.84	0/100	4.91	3.07	0/100	4.89	3.06	0/100
	ave.	3.99	2.49		4.13	2.58		3.88	2.43	

※破壊モード：仕/他は仕上げ材とプライマー界面などその他の破壊モードの比を示す

はない。母材破壊ではコンクリートの強度に依存するため、ばらつきがでたものと推察される。また、仕上げ材上で試験した結果は初期において基準値を満足しないものがあるが、これは中塗り材のポリマーセメント系材料の強度発現に伴い、その後は基準値を満足する結果となっているので、問題ない。一方、破壊モードは12年目の結果も母材破壊が支配的であるといえるが、初期にはほとんどが母材破壊であったことからすると、暴露年数の経過に伴い破壊モードが母材破壊から母材とプライマーの界面やプライマーと接着樹脂の界面の破壊に移行する傾向にあるといえる。破壊モード移行の例として、沖縄のフッ素の例を図-5に示す。この傾向は、程度には差があるが暴露試験場や仕上げ材の種類に関係なく見られ、日射時間が最も少なくなる高架下に暴露した新潟で最も強くなっている。そのことより、この破壊モードの移行は紫外線の影響とは考えがたく、水分の浸透や温冷繰り返しの影響がでたものと考えられ、劣化が進行していると推察される。しかしながら、8年目から12年目については大きくは変化していないことから、劣化進行の速度が今後急速に速まることはないと推測されるうえに、12年目においても付着強度が基準値を十分に満足していることより、初期のFRPの性能を維持しているといえる。

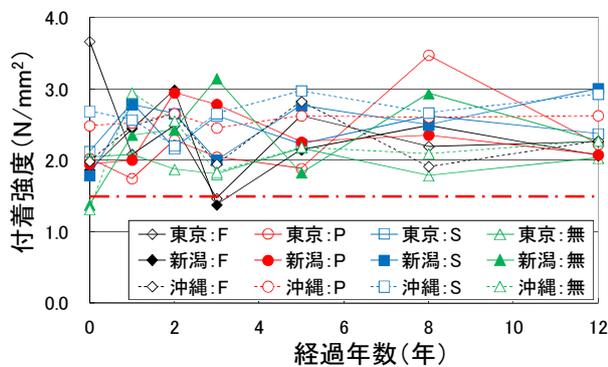


図-3 付着強度の経年変化 (仕上げ材除去)

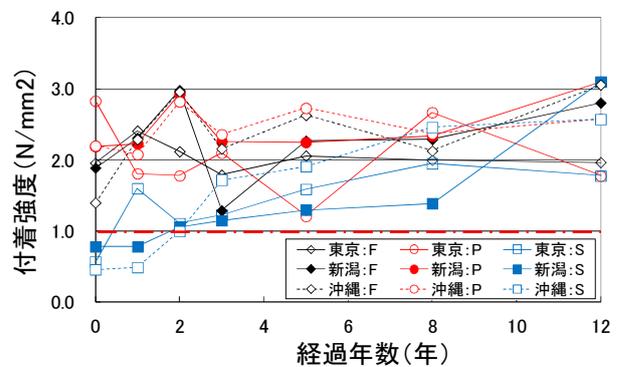


図-4 付着強度の経年変化 (仕上げ材上)

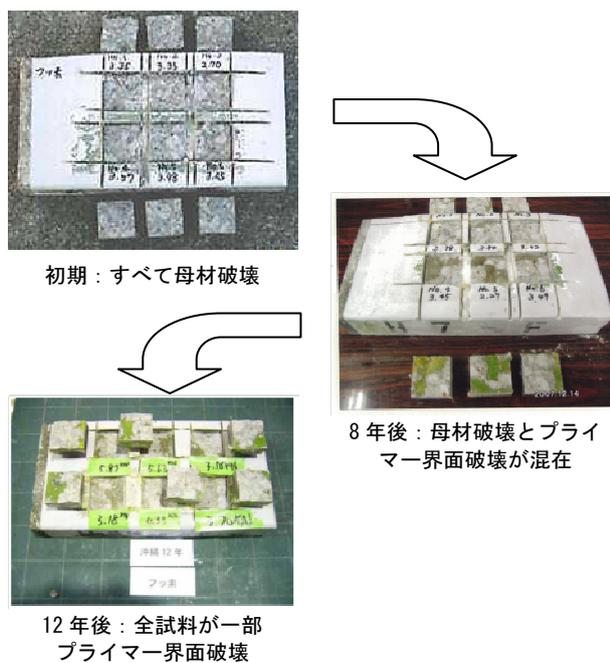


図-5 破壊モードの変化の例

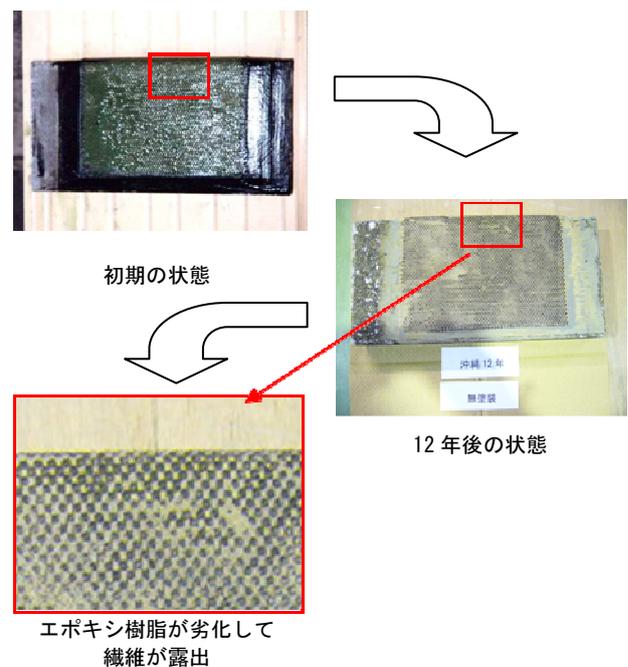


図-6 無塗装供試体の外観変化の例 (沖縄)

3.2 引張強度, 伸度

仕上げ材を有する供試体の外観は, 暴露地点にかかわらず, 汚れ等を除いて設置当初より変化は少ない。一方, 無塗装の供試体は, すべての供試体で変色が見られるほか, 東京, 沖縄では, 供試体の一部で繊維の露出が見られ, 含浸樹脂接着剤が劣化と風雨により減耗している状況であった。また新潟では含浸樹脂接着剤の表面に白い粉状のものが付着していた。沖縄で12年暴露した供試体の外観変化の状況を供試体製作時と対比して, 図-6に示す。

引張強度, および終局ひずみの試験結果を図-7~10に示す。アラミド繊維については, 仕上げ材を有する供試体は, 引張強度, 終局ひずみとも基準値を満足しているのに対し, 仕上げ材のない供試体は引張強度, 終局ひずみとも基準値を満足しないものが多くなっている。一方, ナイロン繊維については, 仕上げ材を有する供試体でも引張強度においてほとんどのものが基準値を下回る結果となっている。しかしながら, 仕上げ材を有する供試体の終局ひずみは基準値を十分に満足していることと複合繊維シートにおいて強度性能はアラミド繊維に期待していることより, FRPの性能上は大きな問題ではない。

無塗装の供試体については, アラミド繊維とナイロン繊維の引張強度, 終局ひずみともに顕著な低下傾向が見られ, その度合いは (沖縄≒東京>新潟) となっている。新潟は高架下で設置しているため直射日光を受ける時間が少なくなっていることによるものと考えられ, 各繊維の劣化の進行には紫外線が大きく寄与しているものと推察される。

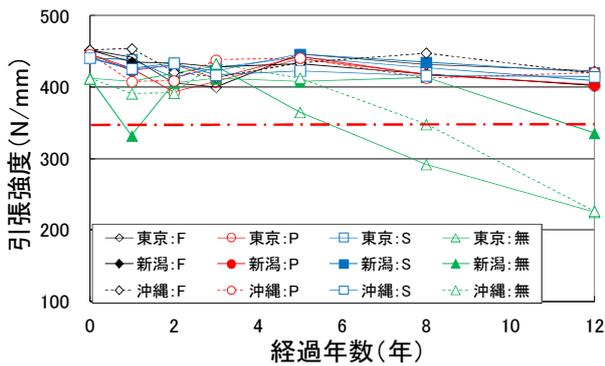


図-7 アラミド繊維の引張強度の経年変化

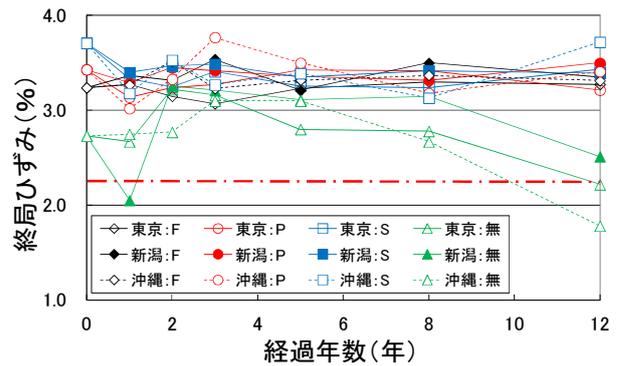


図-8 アラミド繊維の終局ひずみの経年変化

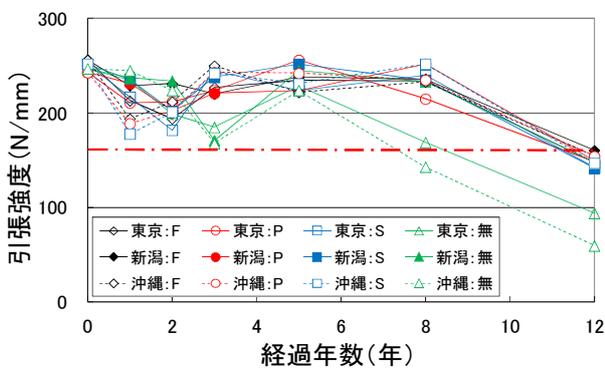


図-9 ナイロン繊維の引張強度の経年変化

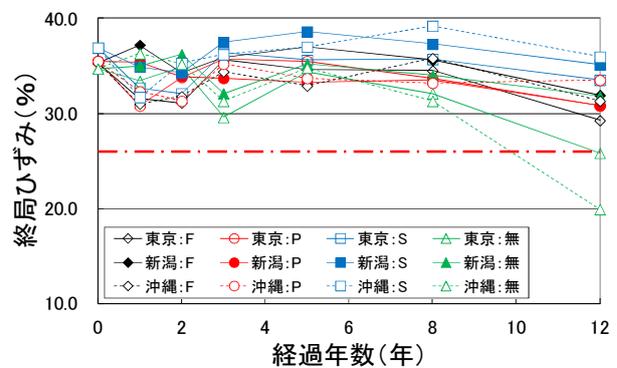


図-10 ナイロン繊維の終局ひずみの経年変化

4. 結論

アラミド・ナイロン複合繊維シートから成るFRPの供試体を暴露し、12年間の追跡調査の範囲で、次のことが明らかになった。

- (1)FRPに仕上げ材を施すことで、コンクリート母材とFRPの付着強度、FRPの引張強度、および終局ひずみは良好に維持することが可能であり、性能の低下はほとんどない。
- (2)仕上げ材のないFRPは紫外線劣化の影響を受けて性能が低下し、FRPの引張強度、終局ひずみに影響を生じる。

現時点でのFRP接着工法の健全性が確認できたことから、今後も、FRP接着工法を適切に管理するために、外観上の異常がないか点検で確認し、耐久性以外の写真-2に示すような変状を発見した場合には、その都度、適切に対策を実施する必要がある。さらには、PCグラウトの充填度の検査技術を確立するとともに、PCグラウトの充填が不足する場合には、再グラウトを実施して耐久性能を確保するなど、PC橋の維持管理技術のさらなる高度化を検討しなければならない。



写真-2 横桁横締め定着部のFRP接着工法の変状