

17 年間自然暴露した FRP 緊張材を用いたプレテンションはりの曲げ破壊性状

川田建設 正会員 ○渡部 寛文
 前田工織 正会員 中井 裕司
 ピーエス三菱 正会員 志道 昭郎
 土木研究所 正会員 魚本 健人

1. 目的

アラミド繊維および炭素繊維製 FRP と PC 鋼より線を用いたプレテンションはりを, 海岸の飛沫帯と内陸部に自然暴露した. 材齢 0.2 年, 3.7 年および 17 年で静的な載荷試験を行い曲げ破壊性状の比較を行った. いずれの試験体にも劣化は認められず, 破壊形式, 耐力, 変形量に有意差は認められなかった.

2. 試験方法

自然暴露試験のパラメータを Table1 に示す. 自然暴露サイトは, 塩害環境の厳しい伊豆半島の飛沫帯(Photo1)と千葉県の内陸部である. 材齢 0.2 年で, 曲げ耐力の 65%(14kNm)で全ての試験体に曲げひび割れを導入し, Control 試験体の破壊試験を行った. 3.7 年と 17 年の暴露後, 残る試験体に曲げ耐力の約 80%(18kNm)で載荷しひび割れを再開させ, それぞれ 6 試験体に破壊試験を行った. 残る 6 体を 2030 年までの 32 年間を目標に土木研究所の施設で自然暴露する予定である.

使用した緊張材の材料特性を Table 2 に示す. FRP は, Aramid で Technora®, Carbon で CFCC®である. 導入プレストレスは緊張材の保障耐力の 62%とした. 試験体の断面は, Fig.1 に示す 0.2m×0.15m である. 導入された初期のプレストレスは均等圧縮で 4N/mm²程度である. 破壊試験は, スパンを 1.8m, せん断スパンを 0.8m の 4 点对称載荷とした.

Table 1. Parameter of exposure

Name of specimen	Initial loading	3.7years exposure	17years exposure	Destructive test	DOKEN Re-exposure	Quantity
N[A,C,S]Control	yes			1999		3
N[I,T][A,C,S]1	yes	yes		2002		6
N[I,T][A,C,S]2	yes	yes	yes		yes	6
N[I,T][A,C,S]3	yes	yes	yes	2016		6

Initial letter designates type of exposure: N = Natural.

[I,T] designates exposure site: I = Splash zone on the Izu Peninsula;

T = Inland site at Chiba Prefecture.

[A,C,S] describes the tendon: A = Aramid; C = Carbon; S = Steel.

Table 2. Properties of tendons and reinforcements

Material	Aramid	Carbon	Steel	Rebar
Designation	Technora	CFCC	SWPR-7A	SWM-P
	φ6.0	φ7.5	φ9.3	φ6.0
Nominal cross section area (mm ²)	32.5	45.3	51.6	28.3
Nominal diameter (mm)	6.4	7.6	9.3	6.0
Guaranteed capacity (kN)	56.9	57.0	88.8	15.3
Tensile Capacity (kN)	62.5	60.0	103	18.6
Young's modulus (kN/mm ²)	46	104	197	206
Elongation (%)	3.8	1.2	7.1	-
Thermal expansion coefficient (x10 ⁻⁶ / °C)	-3	0.6	12	12

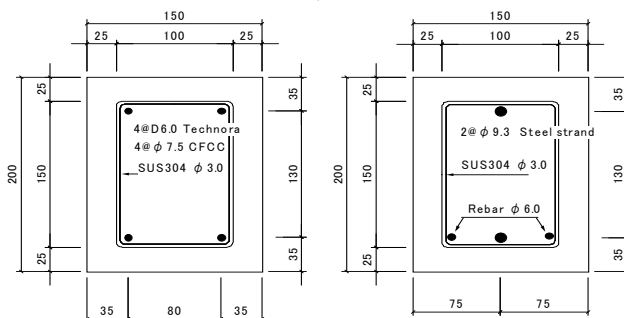


Fig.1 Section of specimens



Photo1 Izu exposure site

キーワード アラミド繊維, 炭素繊維, FRP, 自然暴露, 曲げ耐力, 変形量

連絡先 ACC 建設用先端複合材技術協会 <http://acc-club.jp/>

3. 試験結果

コンクリートはプレテンション工場のもので、圧縮強度の推移を **Fig.2** に示す。蒸気養生後の材齢 1 日における緊張力導入時に 38N/mm^2 、0.2 年で 66N/mm^2 、その後も強度を増しており、極めて緻密といえる。飛沫帯に暴露した試験体における塩化物イオン浸透量は、12 年暴露で緊張材位置(35mm)において $6\sim 8\text{kg/m}^3$ が計測されている。しかし、17 年暴露における破壊後の解体調査で、PC 鋼より線はほとんど錆が認められず健全といえる。

1 種類の緊張材に対して、材齢 0.2 年、2 つのサイトにおける 3.7 年と 17 年の計 5 試験体の曲げ破壊耐力とその変位および統計値を **Table3** に示す。材齢 0.2 年のコンクリート強度と緊張材の引張耐力を用いたファイバーモデルによる計算耐力も併せて示している。破壊形態は FRP 緊張材を用いた試験体は FRP の破断で、PC 鋼より線を用いた試験体はより線の降伏後コンクリートの圧縮破壊で、それぞれ **Fig.3** に示すように終局を迎える。

曲げ耐力は、どの緊張材を用いても変動係数が 2%以下であり、計算耐力に対してほぼ一致している。つまり、海水の飛沫や温度履歴などによる経年劣化は 17 年の範囲内では生じていない。終局時の変形量も安定しているが、変動係数は比較的大きくなっている。Aramid と Steel は、ほぼ同じ変形量で、Aramid FRP の破断とコンクリートの圧縮破壊がほぼ同時に生じることが分かる。Carbon の場合、変形量が小さくなるので、それに伴い変動係数も大きくなる。ともに、試験体の劣化は認められない。

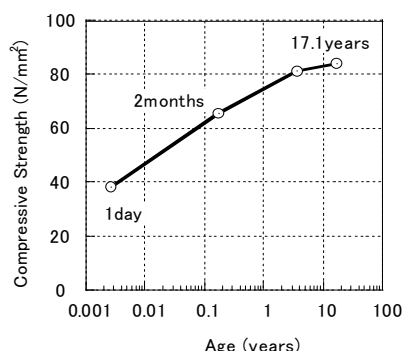
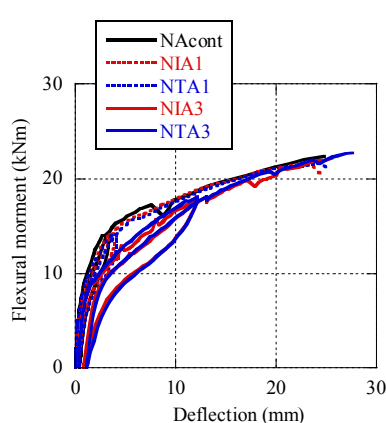
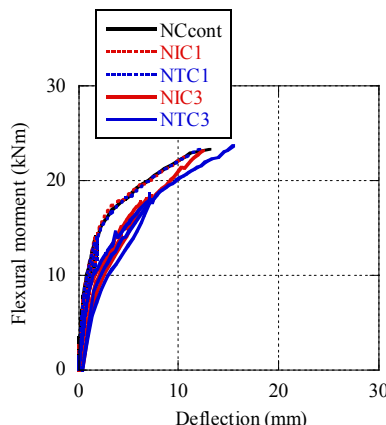


Fig.2 Compressive strength and age

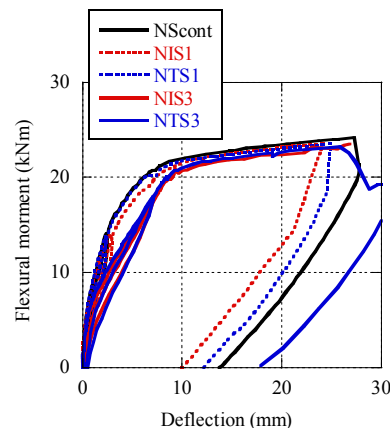
Table3.Flexural Capacity & Deflection of each Specimen							
Tendon		Aramid		Carbon		steel	
Age years	Exposure site	Capacity kNm	Defl. mm	Capacity kNm	Defl. mm	Capacity kNm	Defl. mm
0.2	Calc.	21.5		20.6		23.8	
0.2	Control	22.4	24.9	23.3	13.1	24.2	27.3
3.7	Izu	21.7	23.4	22.5	10.6	23.5	24.2
3.7	Chiba	21.7	24.4	23.4	12.2	23.5	24.9
17	Izu	22.2	25.6	23.2	12.5	23.5	26.9
17	Chiba	22.7	27.6	23.7	15.5	23.2	25.8
Average		22.1	25.2	23.2	12.8	23.6	25.8
Standard deviation		0.44	1.57	0.44	1.78	0.37	1.31
Coefficient of variation		2.0%	6.2%	1.9%	13.9%	1.6%	5.1%



Aramid



Carbon



Steel

Fig.3 Flexural moment & deflection curve of each specimen

4. まとめ

伊豆の飛沫帯に PC 鋼より線を用いたプレテンションはりを暴露すると、15 年程度で劣化が生じると想定していたが、緻密なコンクリートを用いれば FRP 緊張材を用いたはりと同様に劣化しないことが分かった。

参考文献

- ・渡部寛文, 中井裕司, 榎本剛, 魚本健人: FRP 緊張材を用いた PC はりの長期耐久性に関する検証試験; 土木学会, 第 4 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, 2012.11