

(59) FRPステークケーブルの開発と
小名路橋における適用例

(株)熊谷組技術開発本部 正会員 本田 勉
 (株)熊谷組技術開発本部 正会員 橋田敏之
 (株)熊谷組技術研究所 正会員 加藤武彦
 (株)熊谷組関越支店 協嶋秀行

1. まえがき

斜張橋はステー、タワー、主桁が構成する造形が美しく、とくに地形が平坦な海岸部で採用される機会が増えている。FRPステークケーブルは錆びないことから、このような海岸部の塩害環境においては有利と考えられる。また軽量なため施工性に優れ、防錆グラウトが不要なことで交換が容易となりメンテナンス性も向上する。

そこで、炭素繊維およびガラス繊維強化FRPのマルチケーブル用定着具を開発し、静的・動的な疲労試験を行って、ステークケーブルとしての基本的な性能を確認した。さらに、実証橋としてゴルフ場内の歩車道兼用橋(小名路橋)に適用することとした。

本報告はFRPステークケーブルの開発、および小名路橋における適用の概要を述べるものである。

2. FRPステークケーブルと定着具

ステークケーブル用のFRPロッドはコンクリートとの付着を確保する必要がないので、本体部では耐疲労性を高めるため直線形状とし、定着スリーブ内では付着性を高めるため異形形状とした(写真-1)。

ステークケーブルはφ8mmのFRPロッド7本でマルチケーブルを構成した。

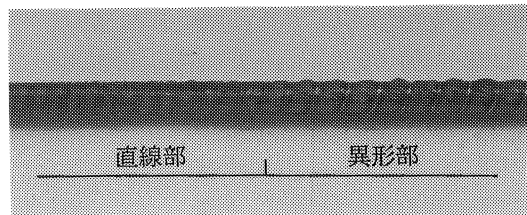


写真-1 ステークケーブル用FRPロッド

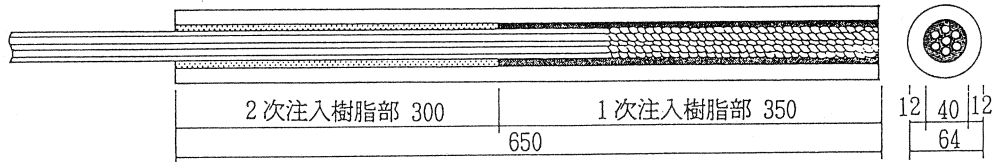


図-1 ステークケーブル用定着具の構成

定着具は樹脂充填スリーブ方式によるもので、とくに耐疲労性改善のため2重定着方式としている点に特徴がある。これは樹脂注入を2度に分けて行うもので、工場製作時の1次注入樹脂により、架設時のステークケーブル緊張力を定着する。したがってケーブルに加わる死荷重はこの1次定着によって分担される。さらに構造系が完成後、スリーブ内に2次樹脂を現場注入し、この2次定着によって活荷重、風荷重等の疲労荷重を分担しようとするものである。疲労荷重による定着スリーブ内の応力分散を図るため、2次注入には軟質の樹脂を用いている。

3. FRPステークケーブルの特性

表-1 FRPロッドの機械的性質

3. 1. 引張強度特性

FRPシングルロッドの機械的性質の試験結果を表-1に示す。ガラス繊維はEガラス、炭素繊維はPAN系、また両者ともマトリ

種類/公称径 (mm)	破断荷重 (tf)	引張強度 (kgf/mm ²)	弾性係数 (kgf/mm ²)	伸び (%)	保証荷重 (tf)
GFRP φ8	8.3~9.7	165~192	5,950	3.1	7.5
CFRP φ8	12.6~13.3	232~246	13,900	1.5	11.4

クス樹脂はエポキシを用いている。

表-2 FRP 7φ8 マルチケーブルの引張試験結果

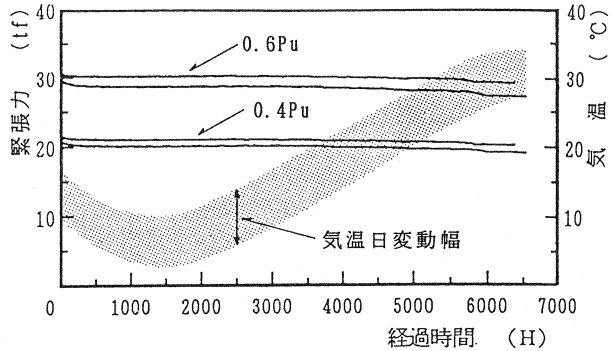
マルチケーブル用定着具の定着効率を確認するため実施した引張試験結果を表-2に示す。緊張時の定着効率確認のため、定着は1次注入樹脂のみを基本としたが、

種類	樹脂注入	破断荷重 (tf)	保証値 (tf)	破断モード	試験数	定着効率 (%)
GFRP	1次のみ	52.9~57.7	52.5	母材破断	7	106
CFRP	1次のみ	72.0~77.6	79.8	ロッド抜け	2	94
	1+2次	72.5~83.0		母材破断	3	98

破断荷重の大きいCFRPの場合には、1次定着だけではケーブルの抜出しが見られた。そこでCFRPでは2次定着を行った結果、2次注入樹脂による定着効率の改善が確認された。

3. 2. 静的疲労特性

GFRP 7φ8の長期の定着効率を確認するため、静的疲労試験を実施した。試験はH鋼で反力枠を製作し、ケーブルを0.4Pu, 0.6Puの2水準の緊張力で定着して、緊張力の経時変化を測定するものである。ケーブル長は1630mm、試験数は各2である。



緊張力はGFRPのリラクゼーション、定着樹脂のクリープ、および温度の影響を受け、長期的には減少してゆくものと推察される。図-2は6500時間(9ヶ月)経過時までの試験結果

図-2 緊張力の経時変化

である。緊張力は室内温度とほぼ対応した動きを示しているが、定着荷重の減少はいずれも約9%である。

3. 3. 動的疲労特性

表-3 FRP シングルロッドの疲労試験結果

FRP シングルロッドの動的疲労試験結果を表-3に示す。荷重強度はGFの0.3~0.4Puの範囲とし、2.26~3.02tfに設定した。

種類/公称径 (mm)	樹脂注入	上限荷重 (tf)	下限荷重 (tf)	繰返回数 (回)	破断箇所
GFRP φ8	1次のみ	3.02	2.26	166, 210	スリーブ口元
		2.89	2.39	161, 380	スリーブ口元
CFRP φ8	1次のみ	3.02	2.26	> 10 ⁶	—
		3.65	1.63	> 10 ⁶	—

CFでは100万回の繰返し回数をクリアしたが、GFは16万回でスリーブ口元で破断する結果となった。

表-4 GFRP 7φ8 マルチケーブルの疲労試験結果

そこでGFについて7φ8のマルチケーブルの動的疲労試験を実施し、2次注入樹脂による耐疲労性改善効果を把握することとした。

種類/公称径 (mm)	樹脂注入	上限荷重 (tf)	下限荷重 (tf)	繰返回数 (回)	破断箇所
GFRP φ8	1次のみ	21.0	15.8	163, 800	スリーブ口元
	1+2次	21.0	15.8	402, 100	スリーブ口元
	1次のみ	15.1	14.9	> 10 ⁶	—

表-4に示すように、1次樹脂

だけでは、16万回でロッド1本が破断しており、概ねシングルロッドの試験結果と対応している。これに対して2次注入した場合には40万回と明らかに耐疲労性の改善が見られている。しかし目標値の100万回には達していないことから、さらに荷重振幅を下げた試験を行った。荷重振幅の設定にあたっては、小名路橋を対象として管理用車両およびゴルフカートによる疲労荷重を考慮し、±0.1tfを設定した。この結果GFRPケーブルでも目標値の100万回をクリアできた。

今回の試験では試験数が少なく、SN曲線による疲労限界を求めるには到っていないが、GFRPは疲労荷重の小さい歩道橋クラスの斜張橋ステーケーブルとしてなら適用が可能と考えられる。また、CFRPの場合には、車道橋にも適用可能と考えてよからう。

4. 小名路橋における適用

4. 1. 小名路橋の概要

小名路橋は、栃木県に建設中の岩舟ゴルフ倶楽部内のオーバークリッジである。エントランスに位置するため、モニュメント性を考慮して斜張橋が計画されたので、FRPステーケーブルを適用し、その実証橋とすることとなった。

管理用車両および4人乗りゴルフカートが通過するので、設計荷重としては自動車荷重T14(1台のみ)、群集荷重 350kgf/m^2 のうち厳しい方を採用し、2等橋に準じた橋梁とした。橋梁諸元を表-5に、また一般図を図-3に示す。

表-5 小名路橋の諸元

工事場所	栃木県岩舟町
構造形式	FRP ステー 斜張橋
橋長	28.2 m
支間	25.7 m
有効幅員	3.0 m
工期	1992.6~10.

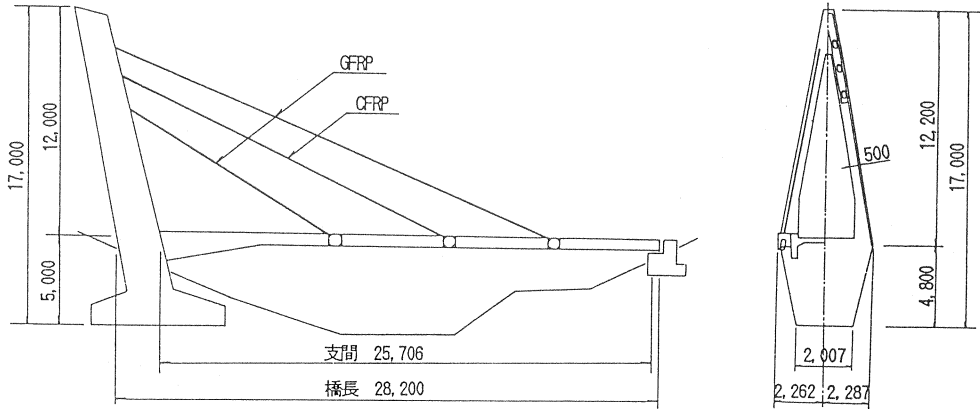


図-3 小名路橋一般図

FRPステーケーブルの種類の選定については、既に3. で見たように、動的疲労特性においては明らかにCFRPの方が優れている。しかし、(1)価格面ではGFRPの方が有利であること、(2)小名路橋における疲労荷重に対してはGFRPでも安全と考えられることから、GFRPも実証の対象に含めることとし、スパン中央のステーについてはCFRPを、その他の2ステーにはGFRPを適用することとした。

4. 2. 設計の基本

FRPステーケーブルの初適用であり、安全性を十分に考慮し、万が一FRPケーブルが破断した場合でも落橋の心配がないことを設計の基本とした。このために次の3条件を設定している。

- ①FRPステーがすべて破断しても、死荷重に対しては、引張応力度の発生を許容値内におさめること。
- ②FRPステーの張力が加わった時、死荷重に対しては、引張応力度が発生しないこと。
- ③FRPステーの張力が加わった時、活荷重に対しては、引張応力度の発生を許容値内におさめること。

4. 3. 設計の概要

設計の基本の条件①を満足するため、タワーと主桁は剛結してラーメン構造とし、主桁内にはPC鋼材を配置して、プレストレストコンクリート構造とした。PC鋼材の緊張力および配置は、この条件①からはほぼ決定される。

次にFRPステーの緊張力は、静的疲労に対する安全性を考慮して、 $0.3P_u$ を基本とし、さらに②、③の条件を満足するように、ステーの張力およびPC鋼材の

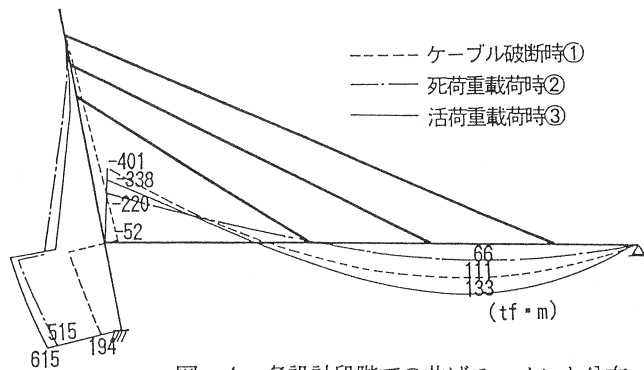


図-4 各設計段階での曲げモーメント分布

配置をトライアルで修正した。

各設計段階での曲げモーメントの解析結果を図-4に示す。これらの検討の結果、PC鋼材は12×φ12.4mm(初期緊張力150tf)を4 tendon用い、またFRPステーケーブルの緊張力はいずれも15tf/ケーブルとした。

主桁に生ずる引張応力度に対しては、すべて鉄筋が負担できるよう配筋量を決定した。主桁断面の配筋例を図-5に示す。

4. 4. 施工の概要

小名路橋は桁下が支保工空間として利用できることから、主桁、タワー、ステーケーブルともにオールステージングで施工した。

ステーケーブルの構成を図-6に示す。ステーケーブルには、FRPロッドの保護および紫外線劣化対策として外套管を配置している。この外套管にはフッ素樹脂塗装したGFRP管を用いており、管内のGFRPスペーサーと併せて、すべてFRP化したステーケーブルである。

定着具内の2次注入樹脂の施工のため、外套管には注入スペースとして2重管部を設けた。

また、FRPは錆びないので、PC鋼材の場合と異なり、防錆グラウトを注入する必要がない。したがってFRPステーケーブルは万が一の場合でも、外套管を残したまま交換が可能である点に特徴がある。

なお、FRPステーケーブルには疲労特性の確認、あるいは夏期の高温時における定着性能の確認といった課題も残されているため、荷重計を取り付け、ステー張力の長期の経時変化を計測する予定である。

5. あとがき

本報告では、GFRPおよびCFRPを用いた斜張橋ステーケーブルを開発目標とし、ロッド形状、2重方式定着具等の開発を行った。いずれも静的な試験結果においては満足できる成果が得られたものの、とくにGFRPの動的疲労試験においてはまだ十分な結果とは言いがたい。しかしロッドの破壊モードが層間剥離であることから、マトリクス樹脂の改善により、さらに疲労特性を改善することは可能と考えられる。小名路橋は現在タワーの架設中であり、ステーケーブルの施工の詳細については、長期の計測結果と併せて別の機会に報告したいと考えている。

FRPステーケーブルは、疲労特性の改善、温度荷重に対する安全性、耐衝撃性の確認、さらにより大規模な斜張橋への適用性等、今後に残された課題も多いが、本報告が今後のFRPの発展を図る上で、何らかのご参考となれば幸いです。なお本FRPステーケーブルの開発にあたり、FRP緊張材研究会の各社にご協力頂いたことを付記し、感謝の意を表する次第である。

〔参考文献〕

- 1) 本田、橘田、加藤、林田：斜張橋GFRPステーケーブルの開発、連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用に関するシンポジウム講演論文報告集、土木学会、1992. 4.

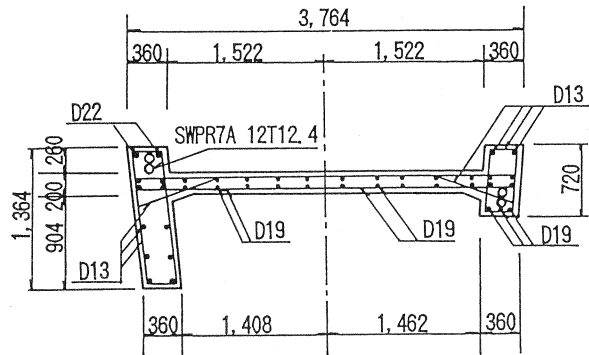


図-5 主桁の配筋図

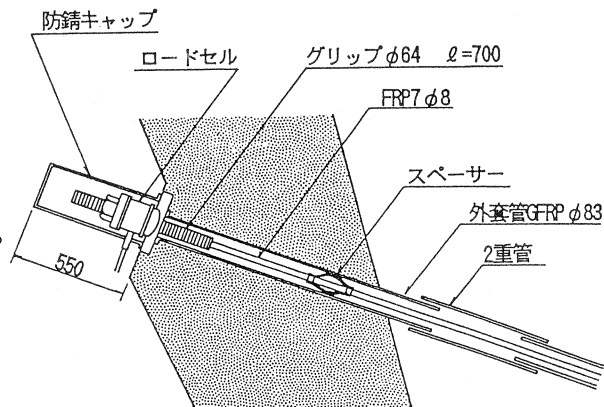


図-6 FRPステーケーブルの構成