

報告

[2129] 帯板状AFRPテンダンの吊床版橋への適用にあたっての諸試験

正会員 村山八洲雄 (鹿島建設技術研究所)

正会員 天野玲子 (鹿島建設技術研究所)

正会員○奥村一正 (鹿島建設技術研究所)

1. はじめに

吊床版橋は、谷の兩岸にケーブルを渡して固定し、ケーブルの防食と橋面の剛性確保の目的でこれにコンクリートを打設して一体化した特殊な形式の吊橋である。従って、自重や上載荷重に対しては、ケーブルを主構造材とする橋体の引張り力で抵抗することになる。この形式の橋梁では、さらなる防食のため橋体コンクリートにプレストレスを導入してひびわれを制御する方法が多くとられているが、桁橋等に比べるとプレストレスのロスは大くなるにつれて著しくなる。また、プレストレスの方法など別途施工上の制約も増大する。

そのため、著者らが関係し最近完成した橋長54mの歩道橋の吊床版橋(写真-1)では、将来の長大化を勘案して床版ケーブルに腐食の心配のないAFRP(アラミド繊維強化プラスチック)線材を用い、これによって本体コンクリートにひびわれを許す設計法が採用された。

しかし、AFRP線材をテンドンとして使用するにあたり基準類がなかったため、種々の基礎試験を行い、その結果をもとに設計と施工が行われた。本報告では、代表的な試験の結果と施工の概要について述べる。



写真-1 吊床版橋

表-1 AFRP線材の仕様

	A	B	C
繊維数(本)	100,000	200,000	400,000
断面形状(mm)	1.50×20.0	2.73×19.2	4.86×19.5
断面積(mm ²)	22.8	45.5	88.0
引張り強さ(kgf/cm ²)	13600		
ヤング係数(kgf/cm ²)	0.51×10 ⁶		
比重	1.25		

2. AFRPテンダンに関する諸試験

2.1 試験の概要

現在、表-1に示す3種類の帯板状線材が開発されている。全てのタイプは、断面形状が扁平のため表面積が大きく、かつ表面に凹凸加工が施してある。本橋では、そのうち、Cタイプの線材を用い、線材8本からなるケーブルをシースに入れてポストテンションタイプとして用いるものと、直接コンクリート中に埋め込むものの2種類を使用した(図-1)。諸試験では試験目的に応じて、試験結果から他が類推可能な

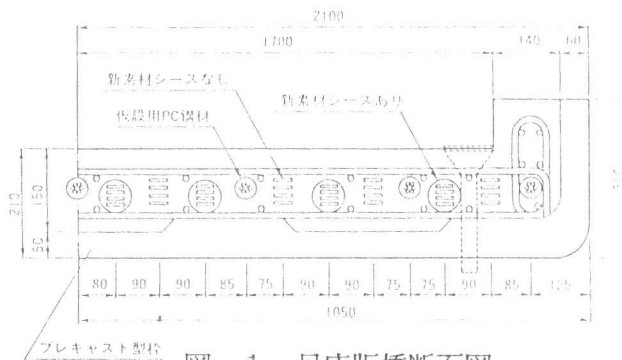


図-1 吊床版橋断面図

ものには、引張り力の小さいAタイプを使用し、そうでないものには実橋と同じCタイプを用いた。

新しい吊床版橋を開発するにあたって明らかにしておかなければならない事項として、材料面では、AFRP線材の紫外線やアルカリに対する耐久性とリラクゼーション特性、テンドンとしてはその定着性能、また構造面では、コンクリートとの付着特性、部材耐力のほか、部材ひびわれ後のテンドンの疲労強度、床版のサグ（垂れ下がり）量に影響する部材ひびわれ後の軸剛性等が挙げられる。このうち、AFRP線材の材料特性については、対候性、耐久性ともに問題が無く、リラクゼーション率は16%程度であることがわかっている。[1]。また、付着強度は異径鉄筋と同等であり、部材の曲げ耐力については、既存のRCあるいはPCの理論で算定可能であることを示した[2]。そのため、本報告では、特に吊床版橋の構造安全性に大きな影響を及ぼすポストテンション定着部、疲労、および部材軸剛性に絞って述べるものとする。

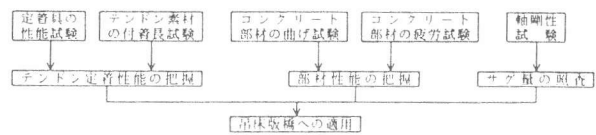


図-2 諸試験のフロー

2.2 ポストテンション定着具の性能試験

(1) 試験体および試験方法

スリーブの形状寸法を図-3に示す。試験体は、Cタイプのテンドン素材を等間隔に配置し、その両端に膨脹系のモルタルで一体化させた鋼製のスリーブとこれに挟まれる90cmのテンドン素材部からなる。載荷は、2本のジャッキとフレームを用いて両引き試験を行った（写真-2）。No.1試験体では、20, 40, 60tonのそれぞれにおいて1度除荷し、その後破断まで載荷した。No.2試験体では、荷重24tonおよび32tonでそれぞれ20回の繰り返し載荷を行い、その後、破断まで載荷した。試験時のモルタルの強度は480～520kgf/cm²であった。

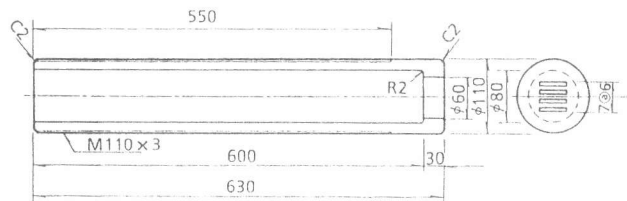


図-3 スリーブの形状寸法

測定は、2本のジャッキにそれぞれ取り付けたロードセルの値の和としての荷重、スリーブ間の相対変位量およびワイヤーストレインゲージによるスリーブに発生するひずみ量について行った。

(2) 試験結果および検討

試験体はいずれも、テンドン素材の破断により破壊した。No.1試験体の破断時の荷重は95.9tonであり、自由端の引き込まれやスリーブに損傷は見られなかった。20, 40, 60tonにおける除荷によりそれぞれ1対のスリーブで0.2, 1.3, 2.3mmの残留変位が認められた（図-4）。No.2試

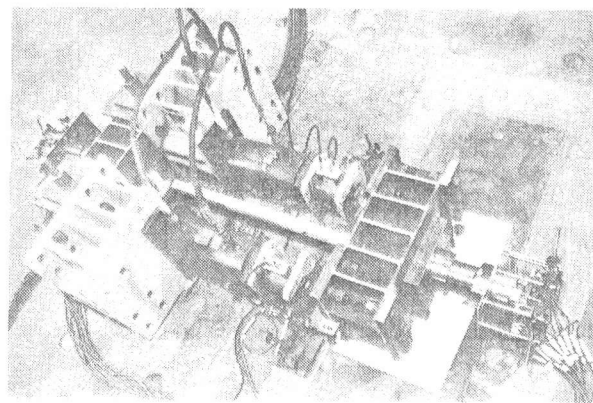


写真-2 実験状況

験体の破断時の荷重は、95.5tonであり、繰返しによる耐力の減少は認められなかった。また、残留変位は20tonでは1回目が0.63mm、20回目で0.91mmと20回の繰返しで50%程度の増加となった。32tonでの増加はこれより小さかった。

スリーブの軸方向の応力は定着用ナットの近傍で最大となり、ケーブル側に向い減少した。最大応力値は3300kgf/cm²であり、固定端付近では2200kgf/cm²であった。これはモルタル

の膨脹圧によりスリーブとの摩擦が大きくなりモルタルに応力が伝達されるためと考えられる。そのため、全強に対して設計したスリーブ内支圧版にはその分耐力の余裕がある。なお、材料の規格降伏値は3500kgf/cm²であり、ポストテンション用のスリーブとして安全性が確保されている。

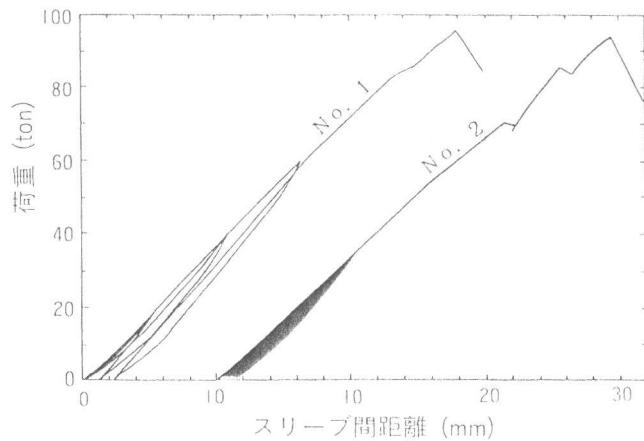


図-4 荷重と伸び量の関係

2.3 コンクリート中のAFRP線材の疲労試験

(1) 試験体および試験方法

試験体の形状寸法を図-5に示す。緊張材には、Aタイプの tendon 素材を用い、コンクリートは W/C=34.5%、スランプ18cm、実験時の圧縮強度は449~470kgf/cm²のものを用いた。Tendonの初期緊張力は0.4Pu (Pu: 引張強度13,600kgf/cm²) と0.5Puの2種類とした。

荷重は10tonのアクチュエータを用い、荷重制御により4.0Hzで400万回の繰返し荷重を行った。上限荷重は、初期緊張力に応じて計算による緊張材の引張応力が引張強度の0.5~0.7倍となる荷重とした。なお、下限荷重は全ての試験体においてひびわれ発生荷重のおよそ1/2である1.3tonとした。所定の回数で静的荷重を行い、400万回終了後に残存耐力を調べた。

(2) 試験結果と検討

繰返し試験の応力振幅と繰返し回数の関係を図-6に示す。試験体は1体を除いて全て400万回の繰返し荷重に耐え、残存耐力試験では試験体は緊張材の破断で破壊した。400万回に至らなかった1体(No.3)は、およそ40万回でコンクリートのせん断破壊により部材が破壊したものであった。各試験体の残存耐力は、繰返しを行わない試験体の耐力とほぼ同等であり、繰返しにより

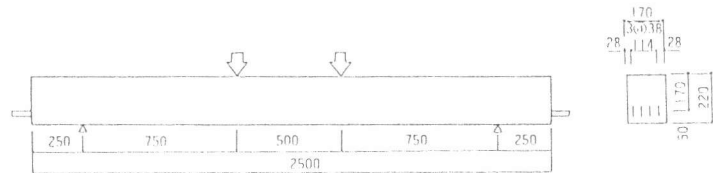


図-5 試験体寸法

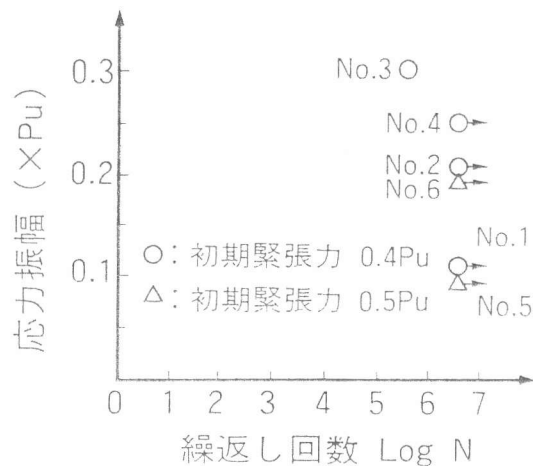


図-6 応力振幅と繰返し回数の関係

緊張材の引張強度に変化がなかったと考えられる。

PC鋼材の200万回の疲労強度は3000kgf/cm²程度であるのに対し、AFRP線材はPC鋼材に比べて遜色の無い疲労強度を有していることが確認された。

1例としてNo. 5と同一条件の試験体を静的に載荷したもののNo. 5-Sの荷重とたわみの関係を図-7に示す。なお、荷重からは載荷治具重量の0.3tonを、また、たわみからは残留たわみを除いた。既存のPCの耐力算定法による計算値は5.2ton (図では4.9ton) であり、実験結果と良く一致した。これより、繰返し載荷後の耐力は繰返しを与えないものと比べ遜色の無いことがわかる。

なお、使用状態を考慮してひびわれと変形(曲率)についても調べた。

破壊時のひびわれ性状を図-8に示す。全ての試験体の傾向として、回数1~100回程程度までは、等曲げ区間に曲げひびわれが発生し、その後ひびわれが進展するとともに、せん断による斜めひびわれが発生した。10,000~100,000回にかけて緊張材に沿った付着ひびわれが等曲げ区間に発生した。100,000回を過ぎると大きなひびわれの進展は認められず、ひびわれ幅も収束する傾向が得られた。

図-9に3.3ton時の曲率を示す。これより繰返しの荷重振幅が大きいほど、また、導入プレストレス量が大きいほど曲率の増加が大きいものの、繰返し回数の増加にともない収束に向かう傾向のあることが分かる。

2. 4 ひびわれ部材の剛性試験

(1) 試験体および試験方法

Cタイプの tendon 素材を用い、長さが100cmで1辺が5.0, 7.5, 10.0cmの普通コンクリート製直方体の両引き試験を実施した。また、実構造物を考慮してCタイプの tendon 素材を6本用いた軽量コンクリート製の試験体(図-10)の両引き試験も実施した。普通コンクリートはW/C=34.5%、スランプ18cm、実験時の圧縮強度は450kgf/cm²であった。なお、軽量コンクリートの実験時

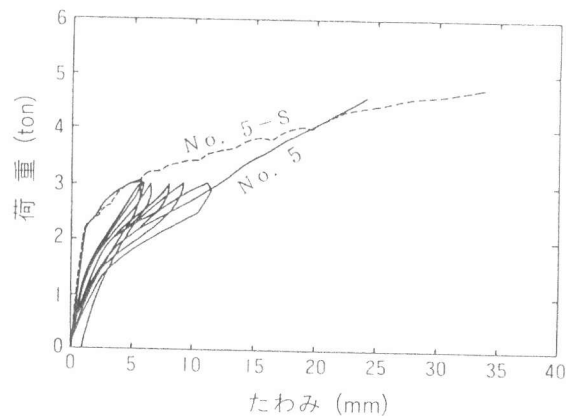


図-7 荷重とたわみの関係

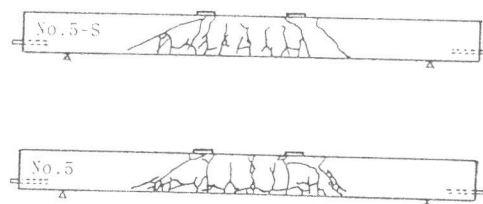


図-8 ひびわれ性状図

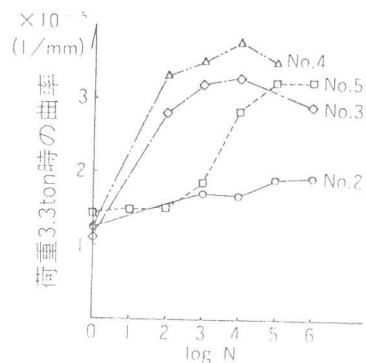


図-9 曲率と繰返し回数の関係

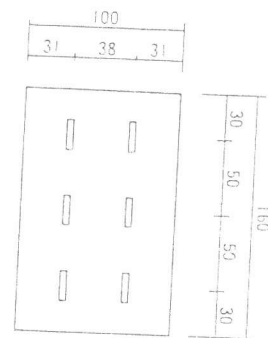


図-10 断面図

の圧縮強度は 410kgf/cm^2 であった。

載荷は、端部の tendon 素材を引っ張ることにより、部材に引張力を与えた。部材の剛性はゲージ長 800mm の試験区間両端に取り付けた変位計の相対変位より求めた。

(2) 実験結果および検討

平均ひずみと tendon 1 本当たりの引張り力の関係を図-11 に、ひびわれ性状を図-12 に示す。また、CEB-FIP1978 年モデルコードの剛性評価式による計算値を図中に曲線で示す。補強材比 (A_s/bd) が 3.0% 以上では、ひびわれ分散性は良好であり、平均ひずみ量は荷重の増加にしたがいなめらかな変化を示している。鉄筋比の減少に伴いひびわれ発生による剛性低下が計算値より大きい傾向にある。

本吊床版橋では、補強材比 3.30% 、作用荷重は tendon 素材 1 本当たり 0.7ton 程度であるのでコンクリートによる剛性が期待でき、既存の RC の理論による剛性評価が可能と考えられる。

なお、ひびわれ幅およびひびわれ間隔もほぼ既存の RC の考え方で算定できることが分かった。

2.5 実験結果と設計値との比較

以上の結果を踏まえて、tendon システムの耐力保証値を 85ton とした。定着部の耐力はその後の幾つかの試験結果からも 85ton を十分に確保できることが確認されている。緊張時の安全率は 3.5 を確保することとし、緊張時の引張り力は 24ton におさえることとした。この時、スリーブからの tendon の抜け出し量は緊張時の tendon の伸び量に比べると無視できるほど小さい。また、緊張時に引き直しが行われても定着部はその繰返しに十分耐えるものとなっている。橋梁の完成後はシーブにグラウトが施されるため、tendon は定着部のみならずマッシュパッドコンクリート中にも定着されることになる。そのため、完成後の変動荷重が定着部に伝達されることはない。

自重と静荷重による tendon の引張り力に対しては、安全率 3 を確保し、 28ton に押さえることとした。これに加え、群衆荷重 350kgf/m^2 が作用する最も厳しい場合でも安全率 2.5 を確保し、 34ton に押さえた。ただし、その場合、作用力の計算としては安全側の結果になるように全断面有効の部材剛性を用いることとした。tendon は下限応力 40ton に対して 16ton の応力振幅を与えても 400 万回の繰返し試験に耐えるものであり、繰返し荷重に対しても十分安全と考えられる。ひびわれの発生はサグ量に影響するので、ひびわれ後の部材剛性を用いて、サグ量の照査を行った。その結果、サグ量は全断面有効の場合より 10cm 程度増加することが分かった。

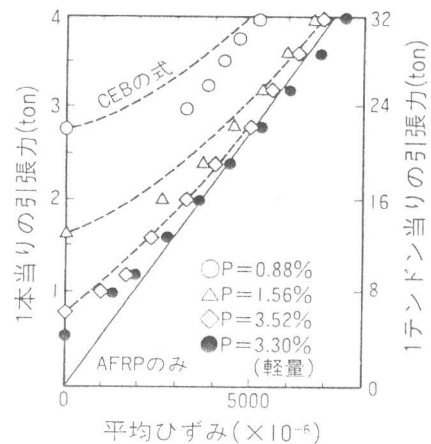


図-11 引張り力と平均ひずみの関係

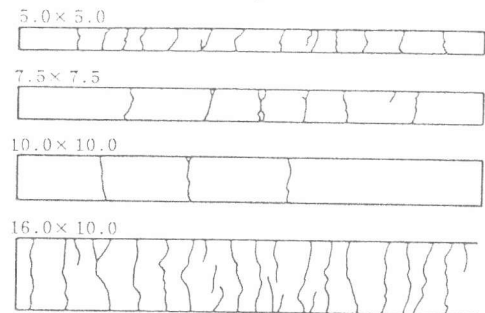


図-12 ひびわれ性状 (4.0 ton 時)

3 AFRPテンダンの施工

帯板状のAFRP素材を巻いた状態で現場に搬入し、検尺の後設計の長さに切断した(写真-3)。次に、スペーサと頭部キャップを取り付けながら、 tendon素材を8本束ね(写真-4)、同時に円形断面のスパイラルシースを継ぎ足しながら片側から組み立てた。スペーサのピッチは、 tendon素材がシースに接しないように、また、 tendon素材自体の屈曲および頭部キャップ位置のコンクリートの支圧応力度を所定の値以下になるように、曲げ半径に応じて0.3~4.0mとした。最後に両端にスリーブを取り付け、モルタルを充填した。

緊張に際しては、摩擦係数の確認を行う目的で、本緊張に先立ち試験緊張を行った。ジャッキの圧力の伸びの関係は tendon素材の弾性係数を用いたものとほぼ対応していた。本緊張は摩擦係数による緊張方法により従来のPC工法の場合と同様に行った。

4. まとめ

以上の諸検討の結果、AFRP tendonをひびわれを許す構造物に有効に利用することができた。AFRP tendonは、材料が鋼材に比べて極めて軽量であるので構造物を軽くすることができ、また、緊張材の配置、挿入等の作業性を向上させることができる。材料コストは鋼材に比べて高いがライフタイムの保守を考慮するとかなり相殺される。また、製造量の増大にともないコスト面も改善されるものと考えられる。なお、この開発研究は日本アラミド(有)との共同研究で実施したものである。

参考文献

- 1) Werner:ARAPREE, The prestressing element composed of resin bonded Twaron fibers, June, 1988
- 2) 秋山暉他: 板状のFRP線材を用いたコンクリートはりのまげ性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 12, No. 1, pp. 1099-1104

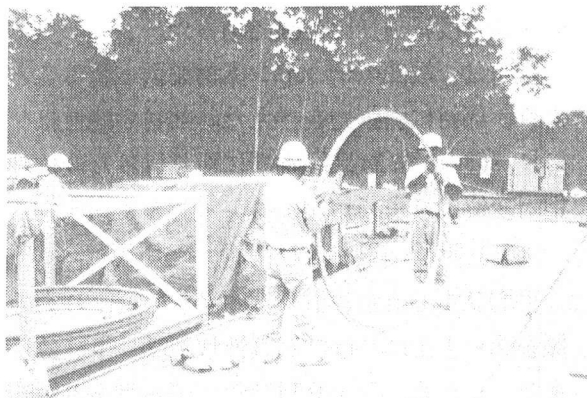


写真-3 搬入後のAFRP線材

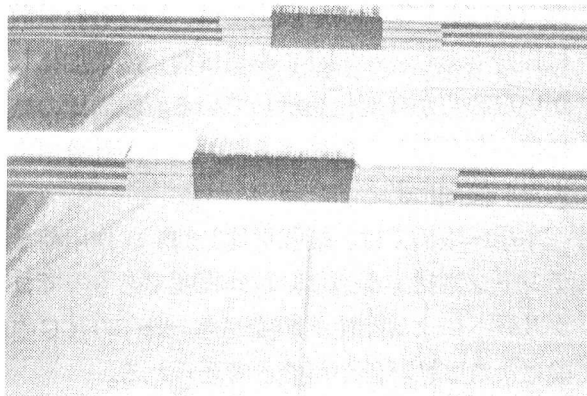


写真-4 スペーサ

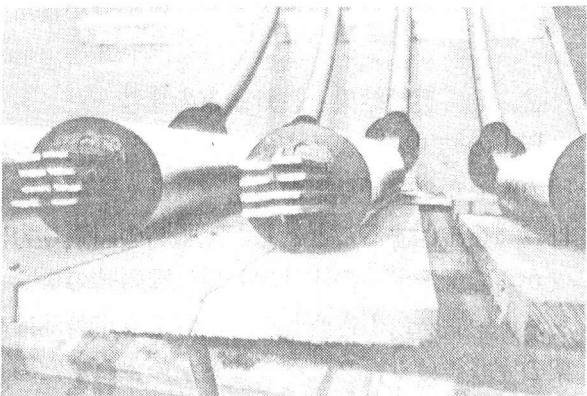


写真-5 スリーブへのモルタル充填

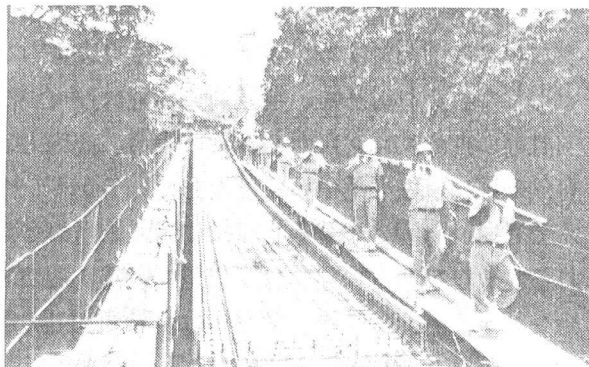


写真-6 テンダンの設置