

(116) PC斜張橋のCFRPロッド斜材に適用する斜材用定着具の開発

(株)ヒールズ 九州支店 土木部 正会員 ○中瀬 敏明
 三菱化学(株) 黒崎事業所 生産技術センター 久部 修弘
 (株)大林組 東京本社 土木技術本部 古賀 政二郎
 (株)ヒールズ 開発技術部 正会員 赤嶺 文繁

1. はじめに

従来、PC斜張橋斜材としてPC鋼材が使用されてきたが、これに代わる材料として高強度で弾性率がPC鋼材に近くかつ耐食性に優れているCFRP(炭素繊維系緊張材)が注目されてきている。一般に斜張橋斜材は数十tf~数百tfもの高い緊張力を必要とするため、大容量の緊張力を保持できるCFRP斜材用定着具の開発が求められている。また、斜張橋斜材はその供用時において活荷重及び風荷重等による引張力の応力変動を受けるので、その疲労耐力特性に優れている定着具をでなければならない。そこで、PC斜張橋斜材の定着具を表-1の様に考え、くさびと充填材を組み合わせた定着具を提案した。以下に、その実証試験結果を報告する。

2. くさび式定着具の開発

(1) くさび式定着具

緊張材として、炭素繊維系緊張材CFRPロッドを使用した。定着具は、シングルタイプ1-φ10、マルチタイプ9-φ10を使用した(図-1)。くさび式定着具の形式図を図-2に示す。また、本定着具は、以下の特徴を有している。

- CFRPは、せん断抵抗力が低いので、鋼製ウェッジのみでは局部的な応力集中が生じ十分な引張力を確保することが出来なかった。よって、ウェッジ内の応力を均等に分散させるため材質の軟らかいアルミニウム管をウェッジ内面とCFRPの間に取り付けた。
- 肉厚1mmの薄いアルミニウム管を使用したため、定着装置の寸法はほとんど変わらない。
- テフロンシートを取り付けたことにより、ウェッジ外面とスリーブ内面のすべりとなじみを向上させ、ウェッジ内部に発生する圧縮力を均一化した。

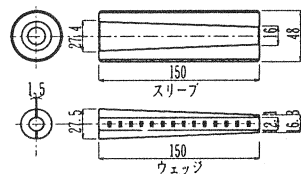
(2) シングル定着具引張試験

シングル定着具引張試験では、シングルタイプが破断に至るまで緊張した。その間、定着具の変形を測定した。

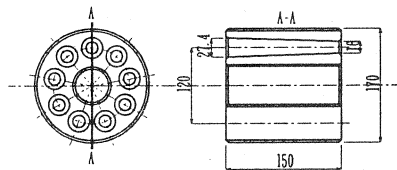
試験結果を、表-1に示す。本試験では10本の試験体について実施したが、緊張材の破断箇所を観察すると緊張材はすべて定着具外で破断しており、定着具内での破断は認められなかった。よって、今回使用した定着具は、CFRPの持つ引張力を十分に引き出すことができたと推察する。

表-1定着具の考案

耐力特性	使用目的	定着具形式
静的耐力	張力導入	くさび式定着具
疲労耐力	応力変動	充填材による定着具



(a) シングル定着具(1-φ10)



(b) マルチ定着具(9-φ10)

図-1 定着具寸法図

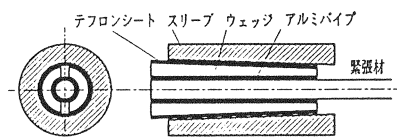


図-2 定着方法説明図

(3) マルチ定着具引張試験

マルチ定着具引張試験では、それぞれのマルチケーブルを破断に至るまで緊張した。その間、緊張材の緊張力及びひずみ、定着具の変形を測定及び観察した。

試験結果とその時の代表的な荷重-ひずみ図を表-2及び図-3に示す。CFRPは弾性材料であるので、マルチケーブルで使用すると各素線の引張力のばらつきが破断時まで影響を及ぼし、一般に、素線1本当たりの引張力はシングルでの引張力よりも低下する。本試験はそれぞれ3体の試験体について実施したが、定着具の低下率(引張力比)は表-2に示すように0.85であった。また、本試験において定着具の著しい変形や、緊張材のすべりは認められなかった。

表-2 シングル定着具引張試験結果

定着具	10回の平均 M_s (tf)	標準偏差 σ (tf)	保証引張力 $M_s - 3\sigma$ (tf)
1- $\phi 10$	21.7	0.628	19.9

表-3 マルチ定着具引張試験結果

定着具	3回の平均 M_m' (tf)	素線1本当たりの引張力 M_m (tf)	引張力比 M_m/M_s
9- $\phi 10$	166.3	18.5	0.85

(4) マルチ定着具長期定着試験

長期定着試験では、マルチシステムとしての保証引張荷重の80%の荷重で緊張し、14日間にわたって緊張材の緊張力及びひずみ、定着具の変形を測定した。

測定結果を表-3に、また、代表的な緊張材荷重及び緊張材ひずみの経時変化を図-4に示す。14日後の緊張力の減少率はそれぞれ3.11%であったが、この減少率の中にCFRPのリラクション率も含まれているので、定着具の原因による緊張力の減少率はほとんど無いと推測する。また、定着具の異常な変形やウェッジの急激なめり込みも測定されなかった。

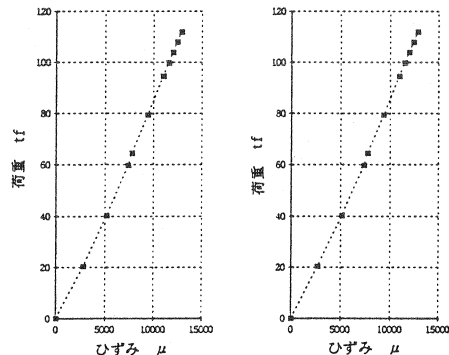


図-3 荷重-ひずみ図 (マルチ定着具引張試験)

(5) まとめ

以上より、次の結果が得られた。

- 本試験において開発したシングル定着具は、定着具が原因と考えられる緊張材破断は認められず、緊張材の保有する引張力を十分に引き出すことができた。
- 本試験において開発したマルチ定着具は、シングル定着具との引張力比は0.85程度であった。また、14日間の緊張力保持においても何ら問題は発生しなかった。

表-4 マルチ定着具長期定着試験結果

	ロードセル示度 L_d [tf]			L_d の減少量 [%]
	0.8Pu定着後	14日後	変化量	
9- $\phi 10$	120.27	116.53	-3.74	-3.11

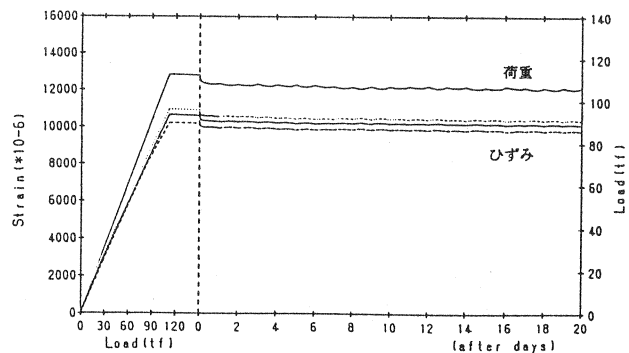


図-4 荷重-ひずみ図 (マルチ定着具長期定着試験)

3. 充填材選定試験

ここで言う充填材による定着具とは、充填材とCFRPとの付着力及び充填材の膨張圧によるCFRPとの摩擦力をにより定着しようとするものである。概略を図-5に示す。

本試験では無収縮系充填材A, B及び高膨張圧系充填材Cの3種類の充填材と付着長さをパラメータとして引張試験を行い、充填材を選定することとした。試験結果を図-6に示す。

図-6より、充填材Aは、付着長さL=600mmにおいてもCFRPφ10の引張強さに達することは出来なかった。充填材Bは、付着長さL=500mmでCFRPφ10引張強さに達することが分かった。充填材C(膨張圧500kgf/cm²)は、付着長さL=300mmでもCFRPφ10の引張強さまで確保出来ることが分かった。定着具は、施工上及び美観上出来るだけ小さい方が好ましい。よって、これ以降の試験においては充填材Cを採用することにした。

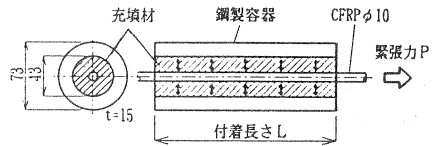


図-5 充填材による定着具

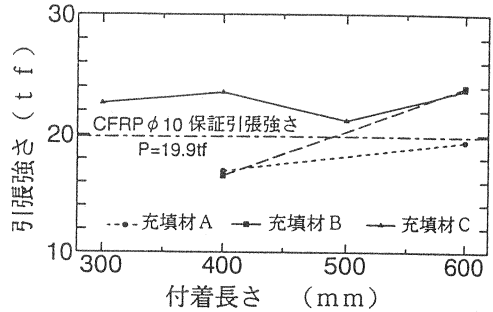


図-6 膨張剤選定試験

4. くさびと充填材を組み合わせた定着具の開発

(1) シックル定着具試験

a. 付着長さ選定試験

図-7は、くさびと充填材を組み合わせたシックルタイプ[®]の定着具である。充填材Cを用い、付着長さ(L=300mm, 400mm, 500mm)をパラメータとして、CFRPφ10の引張強さの約半分の荷重で10回緊張・解放を繰り返し、その時の充填材後方のひずみ変化を観察した。その結果を図-8に示す。付着長さL=300mmでは、繰り返し荷重に対し充填材後方に残留ひずみが増加していくことが分かった。付着長さL=400mm, 500mmでは、繰り返し荷重による影響はなく、定着具鋼管容器の伸び縮みのひずみだけが観測された。よって、付着長さL=400mm以上の定着具は、十分使用できると判明した。

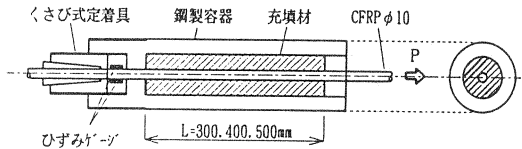


図-7 シックルタイプ[®]定着具

b. 疲労耐力確認試験

充填材Cを使用した定着具で、付着長さ(L=300mm, 400mm, 500mm)をパラメータとし、荷重P=2±1tfを載荷サイクル2Hzで正弦波とし200万回載荷した。その時の定着具後方の緊張材のめり込み量を測定した。測定結果を図-9に示す。

付着長さL=300mmでは、10万回目当たりで0.03mm程度のすべりが見受けられたものの、その後は200万回まで安定した挙動を示した。付着長さL=400mmでは、50万回程度より0.04mmのすべりが観測されたものの、200万回目で破壊に至ることはなかった。付着長さL=500mmで

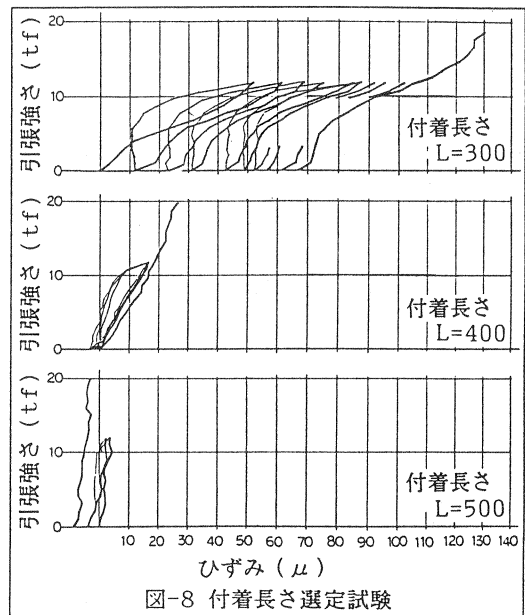


図-8 付着長さ選定試験

は、載荷回数40万回当たりで若干のめり込みが観測されたものの200万回まで十分使用可能であることが分かった。よって、すべての定着具で200万回繰り返し載荷に対して、十分使用可能であることが判明した。

(2) マルチ定着具試験

図-10は、くさびと充填材Cを組み合わせたマルチタイプ9-φ10の定着具である。素線1本当たり約10tfの荷重を10回繰り返し、その後破断に至るまで載荷した。図-11の左図は、充填材前方、右図は充填材後方の応力-ひずみ図である。

本試験において、素線1本当たりの最大引張強さ20.7tf(288kgf/cm²)の耐力を得た。前述したシングルタイプくさび式定着具との比は0.95であり、マルチタイプくさび式定着具の値を上回った。また、図-11の右図の充填材後方の測定ひずみは、鋼管の伸び縮みのひずみのみ観測され、荷重の影響がないことが分かった。

(4) まとめ

- a. 充填材Cは、L=300mm以上で緊張材の引張強さまで引き出せ、他の材料と比較して定着具寸法を最も小さくすることが出来る。
- b. 充填材Cで付着長さL=400mm以上あれば、充填材後方の緊張材に荷重が伝達しないことが分かった。
- c. 充填材Cで付着長さL=300mm以上あれば、荷重P=2±1tの200万回疲労試験で、十分使用可能であった。
- d. 充填材Cを使用した定着具(付着長さL=500mm)で、9本マルチタイプ9-φ10の引張試験で最大応力288kgf/cm²まで耐力があることが分かった。

5. おわりに

本試験において開発した定着具は、緊張力をくさび式、変動応力を充填材に負担させることとした。将来的には、その両者の特性と負担割合を詳細に考慮することにより、本試験において開発した定着具よりコナハ外で荷重分担性能の良い定着具を開発することが出来ると考える。

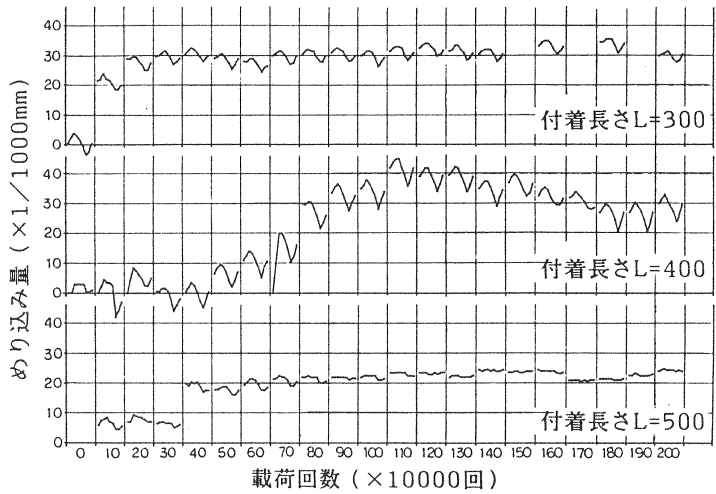


図-9 疲労耐力確認試験

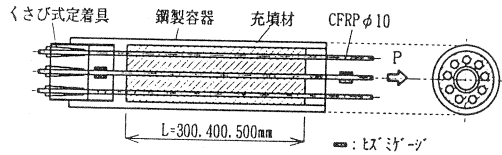
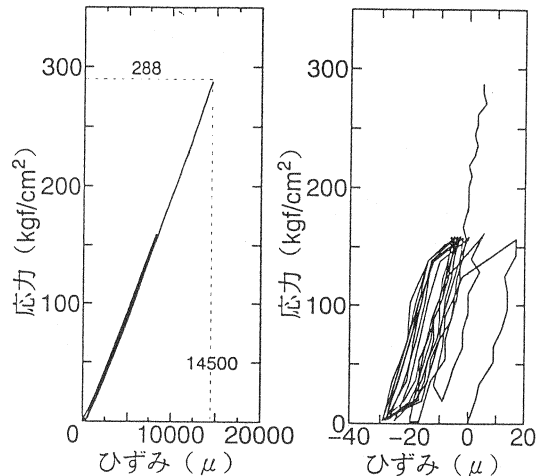


図-10 マルチタイプ定着具

表-5 マルチ定着具引張試験結果

タイプ	素線1本当たりの引張強さ (tf)	シングル定着具との比
9-φ10	20.7	0.95



(a) 充填材前方 (b) 充填材後方

図-11 マルチシステム引張試験