

(101) CFRPシート造外套管付き充填付着式定着具の開発研究

(株)大林組 土木技術本部 正会員○古賀 政二郎
 (株)三菱化学 複合材事業部 黒山 薫
 同 上 高橋 啓介
 熊本大学 環境システム工学科 重石 光弘

1. 開発研究の目的

炭素繊維補強プラスチック(CFRP)が鉄筋コンクリート部材またはプレストレストコンクリート部材の引張補強材や緊張材として従来の鋼材に代り使用されて来ている。CFRPを緊張材として適用する場合、その定着具は、静的・動的な定着能力の信頼性等の点から金属製定着具が多用されている。

しかし、CFRPの最大の特徴である非発錆等の高耐久性を生かすためには、CFRP製緊張材の定着具も非発錆材製とすることが望ましい。特に、最近適用が増えているアウトケーブルに使用する非発錆材製定着具は必須である。ここでは、上記の必要性を持つ非発錆型定着具開発を目的として実施した、諸試験によるCFRPシート造外套管付き充填付着式定着具に関する基礎データおよびその適用例を示した。

2. CFRPシート造非発錆型定着具の計画

2.1 定着体の概要

緊張材の定着方法は、楔式定着方法が現場使用性の点から望ましいと言われるが、一般に、外套管内へ充填した充填材の付着・摩擦力を利用する付着式定着方法が静的・動的な定着能力を良く発揮するとされている。この外套管は、寸法融通性、加工性、等方性等の理由から一般的に用いられて来た鋼製外套管が、重量、発錆、腐食等の諸難点を抱えていることから、近来、この材質を非発錆材へ転換することが試みられている。

本開発研究では、研究の端緒として、この外套管をCFRPシート製とすることとした。

2.2 付着式定着具用充填材の選定

充填材は、一般に、エポキシ樹脂系、セメント系などが用いられているが、材料の長期耐久性や載荷時耐塑性変形性等の点から、セメント系充填材が好ましいと考えられる。従って、ここでは、一般用充填材・タスコン+CSA、緊張材用高付着型グラウト材・MPG-3、緊張材定着用高膨張圧型充填材・エクスグリッパーの3種類を対象とする、付着定着能力による材料選定試験を実施した。

充填材料選定用試験体を図-1に示す。

外套管は作業性から鋼製とし、緊張材は高引張耐力の割には表面積の小さいリードラインD10mmを使用した。

各充填材による試験体の試験時材令を表-1に、静的耐力試験結果を表-2に示す。

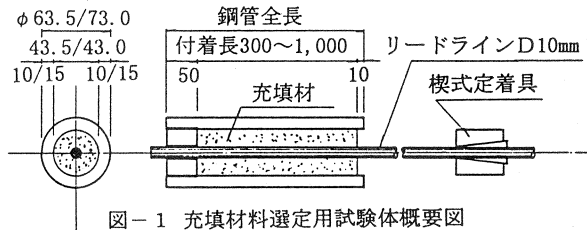


図-1 充填材料選定用試験体概要図

表-1 充填材比較種別と試験材令

充填材別	水結合材比 (%)	練り温度 (°C)	製作日 (平成7年)	試験日 (材令・日)		
				①	②	③
タスコン+CSA	36.3	27	9月19日		② 9月29日(10)	
MPG-3	32.9	27	9月19日		② 9月29日(10)	
エクスグリッパー	27.0	27	9月19日	① 9月23日(4)	② 9月29日(10)	③ 10月7日(18)
			11月17日			④ 12月2日(15)

注1. タスコン+CSAにおいて、
 水/結合材 = (水4.9kg) / (タスコン12.5kg + CSA1.0kg)
 2. 製作時室内温度および養生温度は、共に20°C

表-2 鋼製外套管内充填材によるリードラインD10mmの静的定着耐力試験結果
(上段：定着耐力tf/本、下段：平均付着応力度kgf/cm²)

外套管 径・肉厚	充填材 種類	付着長 (mm)					
		300	400	500	600	800	1,000
外径63.5mm 内径43.5mm 肉厚10.0mm	タスコ +CSA ②		16.60 134.79		19.10 103.40	21.30 86.48	22.60 73.41
	MPG-3 ②		16.20 131.55		21.40 115.85	23.10 93.79	21.50 70.48
外径73.0mm 内径43.0mm 肉厚15.0mm	エクス グリッパー ①	22.5 243.60	23.10 187.58	23.00 149.41	22.70 122.88		
	エクス グリッパー ②	20.60 223.03	21.90 177.83	20.80 135.12	23.40 126.67		
	エクス グリッパー ③	20.90 226.28	22.00 178.64	21.50 139.67	22.30 120.72		
	エクス グリッパー ④	18.80 205.44	19.78 160.62	19.95 129.57			

注1. 平均付着応力度 (kgf/cm²) = 静的定着耐力 / (πD×付着長)
において、公称径D10mmの実質径を9.8mmとした。

定着具開発研究に用いる充填材は、試験結果のうち、最短の付着長で緊張材の保証耐力20tfを保持する定着能力を発揮することが出来た、セメント系高膨張圧型充填材を選定することとした。

2.3 CFRPシート造外套管の計画

非発錆型の充填付着式定着体外套管は、充填材として選定したセメント系高膨張圧型充填材の膨張圧が1,000kgf/cm²に達するので、この高膨張圧に対して弾性変形内で十分な耐荷能力を有するものとする必要がある。従って、鋼製外套管は、一般に円筒形であり、充填材膨張圧による円周方向引張力に対して許容引張応力度を約2,000kgf/cm²程度に抑える必要があり、非常に厚肉とならざるを得ない。

一方、CFRPシート造外套管は、CFRPシートが保証引張応力35,000kgf/cm²、引張ヤング係数2.35×10⁶kgf/cm²の機械的性質を有していることから、鋼製外套管肉厚の約1/10~1/15とすることが可能である。

CFRPシート造外套管の計画は、CFRPシートが炭素繊維を一方方向に並べたものであり、これを円周方向に用いれば、充填材膨張圧に対する効果的な耐荷能力と変形状の推定を容易に行い得る特徴も有していることから、以下の通りとなる。

管半径をr=25mm、膨張圧をp=1,000kgf/cm²とすると、管の円周方向引張力はT=pr=2,500kgf/cm、CFRPシートの許容引張応力度をσ_{cf}=25,000kgf/cm²とすると、必要断面積はt_{cfn}=T/σ_{cf}=0.100cm²。従って、CFRPシート300g/m²の断面積がt=0.0167cm²であるから、必要枚数はn=t_{cfn}/t=6枚となる。

これより、CFRPシート造外套管の構成を図-2に示す通りとした。

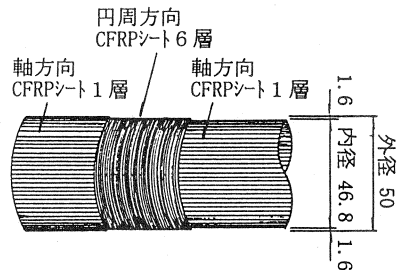


図-2 CFRPシート造外套管構成図

2.4 セメント系高膨張圧型充填材使用定着体の製造

CFRPシート造外套管へセメント系高膨張圧型充填材を充填するために、図-3に示す充填治具を製作・使用した。充填は、注入用エルボ入口よりセメントミルクを流し込み、他端エルボ出口よりの流出を認めたらちに、エルボ入口へφ9mm×200mmの塩ビパイプを建て込み、パイプ天端口よりセメントミルクを流し込み、確実な充填を行った。

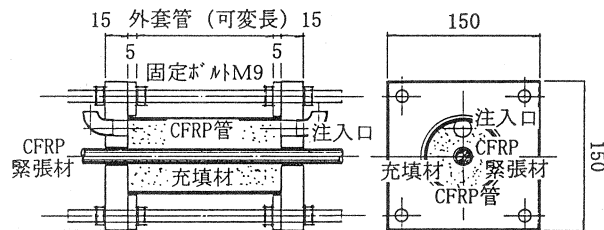


図-3 セメント系高膨張圧型充填材の充填治具

3. CFRPシート造外套管付き充填付着式定着具の静的定着耐力試験

3.1 試験体概要

CFRPシート造外套管付き定着具の付着長は、充填材比較試験時に、高膨張圧型充填材の付着長300mmでT>20tfを確保し緊張材の破断が発生したことから、定着具の小型軽量化のための設計データを得ることを目的として、200、150、100mmの3種類とした。

また、緊張材は、高い引張耐力を発揮している炭素繊維系FRP製とし、リードラインD8mmとD10mm、NACCφ12.5mm、CFCCφ12.5mmの4種類を用いた。静的定着耐力試験用試験体概要を図-4に示す。

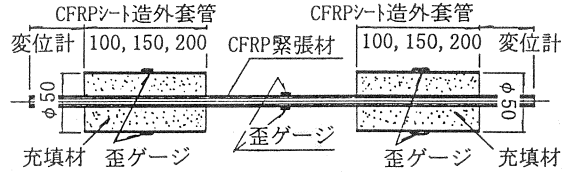


図-4 静的定着耐力試験用試験体概要図

3.2 試験体に発生した膨張圧の推定

CFRPシート造外套管の円周方向に歪ゲージを貼付して充填材注入後の時間経過に伴って発生する膨張圧による外套管歪の経時変化を調査し、この歪データより発生膨張圧を推定した。

膨張圧の推定は、当該外套管の円周方向応力が、その構造的特徴から、薄肉円環の膜応力に近似できると考え、管厚 $t=0.1002\text{cm}$ 、管平均半径 $r=2.420\text{cm}$ 、 $E_{cf}=2.35 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ であるから、円周方向歪 ϵ_r を用いて、膨張圧 $P=(t/r) \times E_{cf} \times \epsilon_r$

$=0.09730 \times 10^4 \times \epsilon_r$ で行うこととした。円周方向歪および推定膨張圧の経時変化例を図-5に示す。

なお、この推定方法による発生膨張圧は、表-3に示す静的定着耐力試験体各材令において、大略、

- ① : 425kgf/cm²、② : 525kgf/cm²、
 - ③ : 555kgf/cm²、④ : 570kgf/cm²
- であった。

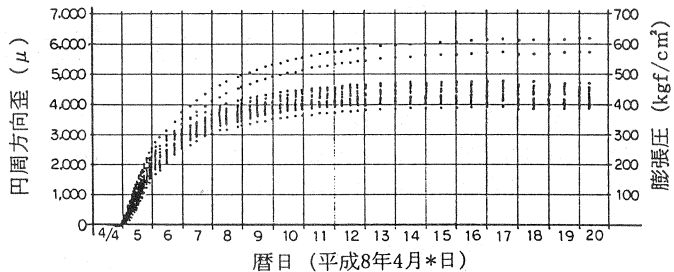


図-5 CFRPシート造外套管の円周方向歪と膨張圧の経時変化

3.3 静的定着耐力と平均付着応力度

CFRPシート造外套管付き高膨張圧型充填材使用の充填付着式定着具の静的定着耐力試験結果は、表-4に示す通りである。また、リードラインD10mmについて、表-2、表-4の試験結果を図-6に纏めた。

静的定着耐力は、図-6(a)から、付着長300mmを境として、付着長が長くなると緊張材の破断により、付着長が短くなると緊張材の抜け出しにより決定され、その最大値が付着長400mm時に23.1tfである。

また、平均付着応力度の終局値は、図-6(b)から、緊張材破断時に240kgf/cm²、緊張材抜け出し破壊時に付着長100mmで250kgf/cm²に達していることがわかる。

表-3 CFRP製外套管内充填材エクスグリッパーによる緊張材静的定着耐力試験材令水結合材比(%) 製作日(平成) 試験日(材令・日)

水結合材比(%)	製作日(平成)	試験日(材令・日)			
30.0	8年4月4日	① 4月20日(16)			
30.0	9年2月1日	② 3月18日(15)	③ 4月14日(72)	④ 5月31日(119)	

表-4 CFRP製外套管内充填材エクスグリッパーによる緊張材の静的定着耐力試験結果(上段:定着耐力tf/本、下段:平均付着応力度kgf/cm²)

緊張材種別	リードライン	リードライン				NACCφ12.5mm	CFCCφ12.5mm
	D8mm	D10mm					
計算外径	7.9mm	9.8mm				12.5mm	
材令	①	①	②	③	④	①	①
付着長200mm	8.49	14.04				10.07	15.28
	171.04	228.01				128.22	194.55
付着長150mm	8.84	14.11				10.00	15.41
	178.09	229.15				127.32	196.21
付着長100mm	6.00	8.42				8.08	12.52
	161.17	182.32				135.98	212.55
付着長50mm	5.93	8.49				8.01	12.59
	159.29	183.84				137.17	213.73
付着長25mm	3.70	5.34	7.64	8.26	7.56	5.21	9.59
	149.08	173.45	248.15	268.29	245.55	132.67	244.21
付着長10mm	3.56	5.34	7.68	8.32	7.52	5.21	9.66
	143.44	173.45	249.45	270.24	244.25	132.67	245.99
					7.65		
					248.48		

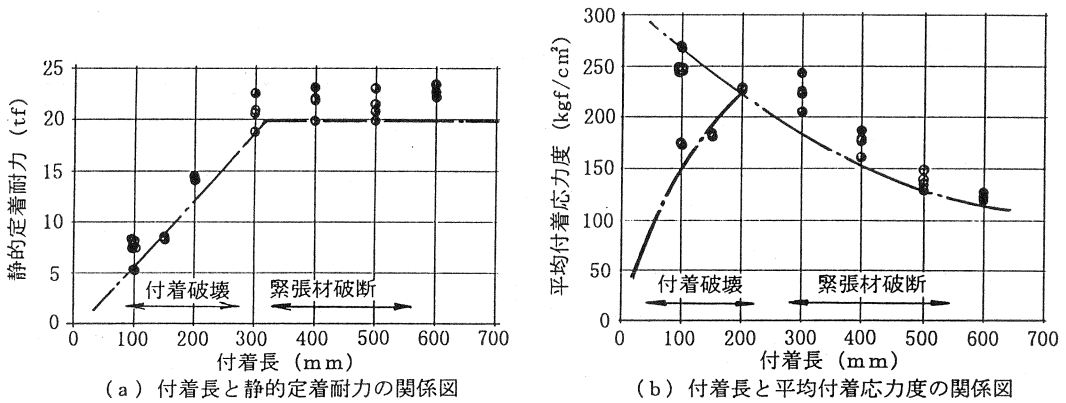


図-6 CFRPシート造外套管付き高膨張圧型充填材使用充填付着式定着具のリードラインD10mm静的定着耐力試験結果

3. 4 緊張材歪と定着端の抜け出し量

静的定着耐力試験で得られた緊張材定着端の抜け出し量を 図-7 に示す。抜け出し量の測定結果は、抜け出し量が引張荷重の増大と共に直線的に増大し、脆性的な付着破壊に至ることを示している。

4. CFRPシート造外套管付き 充填付着式定着具の全FRP 橋用斜材定着具への適用

平成9年5月、建設省土木研究所曝露試験場内に建設された全FRP橋は、橋長20m、中央支間長11.0m、有効幅員2.0mの3経間連続斜張橋形式の歩道橋である。

本橋の斜材は、表-4 に示した4種のCFRP製緊張材を使用し、最大設計張力が1tf以下であることから、その定着具としてCFRPシート造外套管付き充填付着式定着具φ50mm×全長100mmを適用し、張力調整をシムにより行った。

現在、自然曝露1年以上を経過したが、特に異常は認められていない。

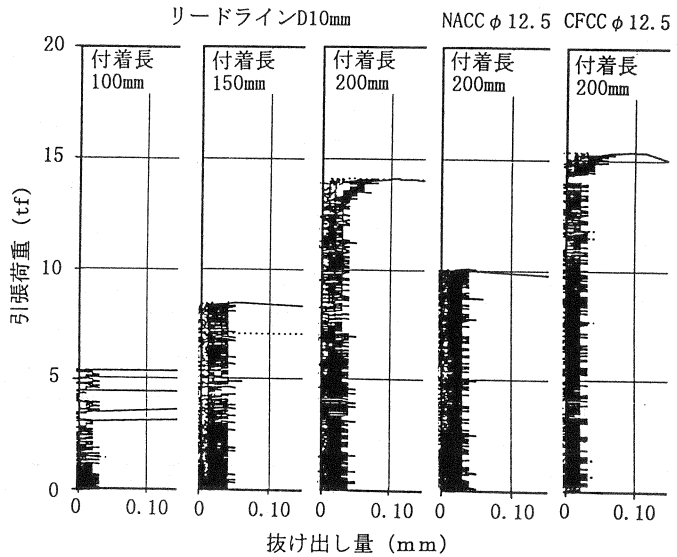


図-7 静的定着耐力試験時の緊張材定着端抜け出し量

5. まとめ

FRP製緊張材用定着具開発研究の端緒として実施した、外径50mmのCFRPシート造外套管付きセメント系高膨張圧型充填材による充填付着式定着具に関する諸試験結果は以下の通りである。

- (1) CFRPシート造外套管は、高膨張圧充填材の膨張圧に耐え得る設計が可能である。
- (2) CFRP製20t級緊張材の定着には付着長300mm程度が必要であり、この時の最大付着応力度は250 kgf/cm²に達している。
- (3) 付着破壊は脆性的に発生するので、本定着方式の安全性確保については、更なる検討が必要である。
- (4) 全FRP橋用斜材定着具として試験適用したφ50mm×全長100mmの定着具は、自然曝露1年以上経過後でも異常は認められず、軽量、小型、高耐久性の定着具開発が可能であることを示している。