

CFRPの付着特性に関する一実験

法政大学大学院 学生員 井上 泰之
 法政大学工学部 正会員 満木 泰郎
 首都高速道路公団 金子 昌生
 (株)日本鋼管工事 石山 茂

1. まえがき：本研究は、高強度・軽量・高耐食性・非帯磁性などの長所を持つCFRP製補強材（以下FRPと呼ぶ）を、コンクリート構造物に用いる際の設計上重要となる、FRPとコンクリートとの付着特性の把握を目的としている。本研究では、付着強度試験方法として、RILEMの暫定試験方法（以下RILEM法と呼ぶ）に加え、単純引抜き試験法を用い、データの蓄積と、試験方法の違いによる付着性状の差異の把握をはかった。

2. 実験概要：RILEM法の試験体は、図-1のようにはり模擬したもので、1対のコンクリートブロックを、鋼製のヒンジと試験する補強材で相互に連結したものである。なお、コンクリートブロックは割裂防止のため、外径8cmのらせん鉄筋で補強した。単純引抜き法の試験体は、図-2のようにコンクリートブロックの中心軸に付着特性を試験する補強材を埋め込んだものである。FRPの試験の際には、FRPがグリップ部に破断しないように、JIS G 3452 呼び径20の鋼管にFRPを差し込み静的破砕剤により鋼管中に固定して、鋼管をチャックでつかんでFRPに引張荷重を与えるという方法を採用した。なお、コンクリートブロックは割裂防止のため、外径12cmのらせん鉄筋で補強した。試験した補強材とその付着長、試験に使用したコンクリートは両試験方法同一とした。試験した補強材は、ストランド状FRP、ロッド状FRPおよび比較のための異形鉄筋とし、試験した付着長は、 ϕ を補強材の直径として、ストランド状FRPでは20 ϕ と30 ϕ 、ロッド状FRPでは40 ϕ と50 ϕ 、異形鉄筋では4 ϕ と6 ϕ とした。また試験に使用したコンクリートは、ストランド状FRPでは圧縮強度200kgf/cm²、300kgf/cm²および400kgf/cm²の3種類、ロッド状FRPでは圧縮強度300kgf/cm²および400kgf/cm²の2種類、異形鉄筋では圧縮強度300kgf/cm²の1種類とした。測定は、荷重、補強材自由端の変位量、載荷端の変位量（単純引抜き法のみ）について行った。

3. 実験結果と考察：試験体についてを表-1に、実験結果の一例を表-2、図-3および図-4に示す。

（1）両試験で、ストランド状FRPは付着応力度が

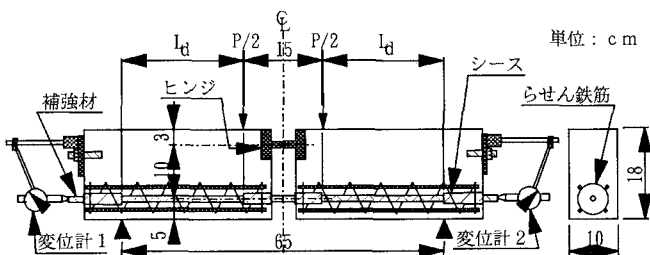


図-1 RILEM法試験体

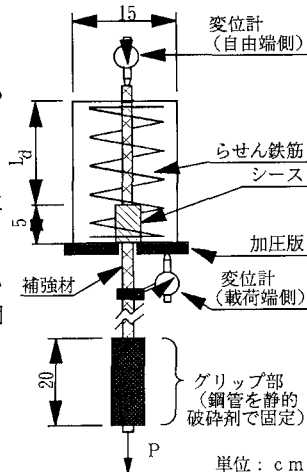


図-2 単純引抜き法試験体

表-1 試験体の記号

試験法	補強材	付着長（補強材直径に対する倍率:倍）	圧縮強度（kgf/cm ² ）		
			200	300	400
RILEM法	ストランド状FRP	20	2RC20	3RC20	4RC20
		30	2RC30	3RC30	4RC30
	ロッド状FRP	40		3RL40	4RL40
		50		3RL50	4RL50
	横筋異形鉄筋	4		3RD04	
		6		3RD06	
単純引抜き法	ストランド状FRP	20	2PC20	3PC20	4PC20
		30	2PC30	3PC30	4PC30
	ロッド状FRP	40		3PL40	4PL40
		50		3PL50	4PL50
	横筋異形鉄筋	4		3PD04	
		6		3PD06	

最大付着応力度にかなり近ずいてから自由端が変位し始め、自由端の変位が小さい段階で最大付着応力度に達した後、付着応力度はあまり低下せず自由端の変位のみが増大する。ロッド状FRPは試験した3種類の補強材の中では最も低い付着応力度から自由端の変位が生じ始め、その後自由端の変位の増加と共に付着応力度が緩やかに増加する。異形鉄筋はストランド状FRPに比べ低い付着応力度から自由端の変位が生じ始めるが、その後付着応力度は急激に増大し自由端の変位があまり大きくない段階で最大付着応力度に達する。なお、自由端の変位が0.05mm, 0.10mm, 0.25mmの時の付着応力度の平均値（以下付着強度と呼ぶ）は、異形鉄筋、ストランド状FRP、ロッド状FRPの順で大きな値を示した。

（2）コンクリートの圧縮強度の付着強度に対する影響は、RILEM法では、試験した3種類の補強材とも付着強度は圧縮強度に比例的に増加した。しかし単純引抜き法では、ストランド状FRPと異形鉄筋の付着強度は圧縮強度に比例的に増加したが、ロッド状FRPの付着強度は圧縮強度に依存しなかった。

（3）試験した付着長は、両試験で補強材の付着特性が十分に反映されるよう、予備実験より決定するのが適当と考え、まず予備実験よりストランド状FRPが破断せずに付着強度試験を行える付着長を決定し、ロッド状FRPについては、ストランド状FRPの付着面積とほぼ同じになるように付着長を決定した。両FRPとも、試験したもう1種類の付着長については、それぞれ初めに決定した付着長から補強材の直径の10倍を引いた付着長とした。その結果、両試験方法とも付着強度は付着長に依存しなかった。

（4）試験方法の違いによる3種類の補強材の付着強度の差を見ると、異形鉄筋では両試験共にほぼ同じ値を示したが、ストランド状FRPはRILEM法の方が10～49%大きな値を示し、ロッド状FRPではRILEM法の方が65～309%大きな値を示した。この差は、補強材周囲のコンクリートに作用する力が、単純引抜き法では圧縮力のみであるのに対し、RILEM法では引張力と曲げであることと、補強材のポアソン効果の影響が複合原因となって表れたものと考えられる。

（5）FRPに鋼管を通して引張力を与えるというグリップ方法では、鋼管からFRPが抜けることも、鋼管付近でFRPが破断することもなく、よって本試験で用いたFRPのグリップ方法は、FRPの付着強度試験を単純引抜き法で行う際のグリップ方法として有用であると言える。

4. まとめ：以上より、FRPの付着特性は表面形状に依存しており、また表面形状によっては試験方法の違いにより、付着強度に大きな差が表れることが判明した。また、FRPの付着試験方法としては、予備実験により付着長を決定し行うのが適切であると考えられる。最後に、本研究に用いた試料を提供して下さった各社に感謝致します。

表-2 試験結果（単位：kgf/cm²）

試験体	滑り始め付着応力度	付着強度	最大付着応力度
2RC20	41.5	76.0	81.9
2RC30	36.2	65.3	66.9
3RC20	43.3	70.2	72.2
3RC30	58.9	67.8	69.5
4RC20	49.4	81.8	84.7
4RC30	31.1	76.2	77.4
3RL40	24.9	32.5	93.3
3RL50	28.8	33.1	84.5
4RL40	35.8	40.8	108.7
4RL50	43.2	47.9	105.5
3RD04	52.7	108.1	177.6
3RD06	57.1	94.8	146.2
2PC20	41.8	51.0	54.9
2PC30	37.1	44.4	48.0
3PC20	38.6	52.6	59.7
3PC30	53.4	57.9	59.7
4PC20	44.1	61.3	73.4
4PC30	51.9	59.3	66.3
3PL40	19.2	19.7	49.9
3PL50	12.8	14.9	44.5
4PL40	12.7	13.4	71.9
4PL50	11.5	11.7	65.9
3PD04	54.1	107.2	181.6
3PD06	54.3	95.7	159.0

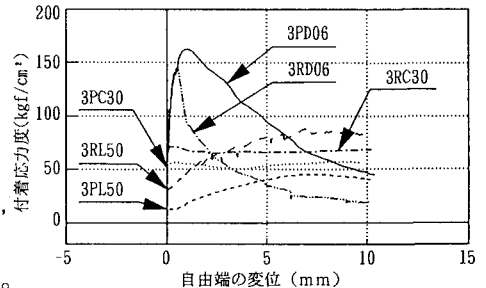


図-3 付着応力度-自由端の変位

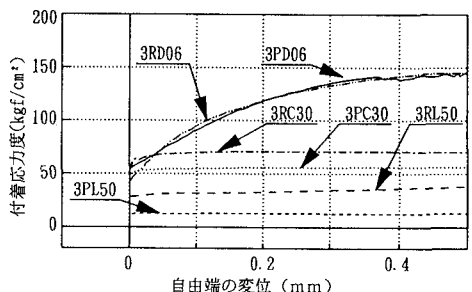


図-4 付着応力度-自由端の変位 拡大