

立命館大学大学院理工学研究科 ○池端隼人 立命館大学COE推進機構 井上真澄

立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1 研究の目的

連続繊維補強材プレート（以下、プレート）を用いた補強工法には、接着工法と緊張接着工法がある。両工法とも、補強された部材の終局耐力は、プレートとコンクリート間の付着強度に依存すると考えられている。本研究では、炭素繊維プレートで補強した供試体の引張および曲げ付着試験を実施し、破壊状況の確認および付着剥離機構の解明を目的に実験・検討を行った。

2 実験概要

表1に引張付着試験および曲げ付着試験における供試体名および実験要因を示す。**図1**および**図2**に両付着試験用供試体の概要図を示す。引張付着試験用供試体は、断面100mm×100mm、長さ400mmの部材を2つ突き合わせて製作したプレート補強コンクリート棒部材である。つかみ部として、全長ねじ切りをしたφ17mmのPC鋼棒を埋め込んだ。プレートは供試体の相対する2側面にエポキシ樹脂系接着剤を用いて接着した。また、プレートの剥離する側を確定するために、突き合わせた2部材の1つのプレート端部をシートにより巻き付け補強した。曲げ付着試験用供試体は、断面100mm×100mm、長さ400mmの部材を2つ突き合わせて製作し、供試体下面にプレートをエポキシ樹脂系接着剤により接着した。

各要因につき供試体を3体製作した. 本実験で使用するプレートの力学的特性を表2に示す.

引張付着試験は片側固定の両引き試験とし、曲げ付着試験はスパン長700mmの1点集中曲げ載荷とした。両付着試験とも、測定項目はプレート表面ひずみのみとした。

3 実験結果および考察

表3および表4に両付着試験結果を示す。両付着試験とも高強度型プレートを使用した供試体以外は、最大荷重と剥離荷重が同値となった。

破壊状況 引張付着試験のM-UC-ME-200①供試体のみ、コンクリートの割烈ひび割れにより終局に至った。これ以外の供試体は、付着ひび割れを伴う剥離によって終局に至った。曲げ付着試験では、片側接着長の長い供試体は、コンクリートの斜めせん断ひび割れに伴うピーリング現象の破壊形式を示した。片側接着長の短いB-UC-ME-100およびB-UC-ME-200は、コンクリートに曲げせん断ひび割れが生じ、その後曲げ破壊した。

片側接着長の影響 図3に引張荷重と片側接着長の関係を示す。引張付着試験における引張荷重は各供試体の最大荷重の1/2をプレート1枚あたりに換算した F_0 であり、曲げ付着試験における引張荷重は各供試体の最

表1 供試体名および実験要因

供試体名*	コンクリート 強度	炭素繊維プレート		接着 樹脂
		種類	片側接着長(mm)	
UC-ME-100A	普通強度	中弾性	100	A
UC-ME-200A			200	
UC-ME-300A			300	
HC-ME-300A	高強度		300	
UC-HS-300A	普通強度	高強度	300	B
UC-ME-300B	普通強度	中弾性	300	

注) * UC: 普通強度コンクリート
HC: 高強度コンクリート,
ME: 中弾性CFRP, HS: 高強度CFRP
A: 粘性の高い樹脂, B: 粘性の低い樹脂

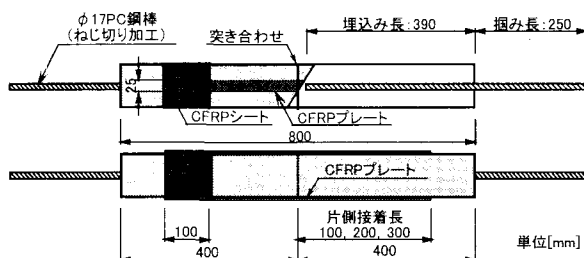


図1 引張付着試験用供試体概要図

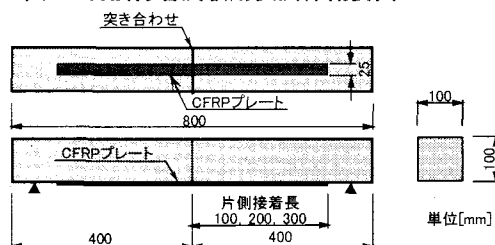


図2 曲げ付着試験用供試体概要図

表2 プレートの力学的特性

プレートの種類	中強度	高強度
設計幅 (mm)	25	25
設計厚さ (mm)	2	2
繊維密度 (g/cm ³)	1.80	1.80
繊維度 (g/m)	1.65	1.65
保証耐力 (kN)	1.5	2.4
引張強度係数 (kN/mm ²)	273	273
引張強度 (kN/mm ²)	1.5	2.4
破断ひずみ ¹⁾ (μ)	5495	15385

*1 引張強度/弾性係数より計算

大荷重から求めた曲げ引張荷重 F_b である。片側接着長を長くすると引張荷重が増加した。既往の研究^[1]では、片側接着長が100mm以上の場合、接着長を長くしても剥離発生荷重は増大しないと報告されているが、本研究の範囲ではそのような傾向は観察されなかった。しかし、片側接着長をある程度確保すれば引張荷重は頭打ちの傾向にあった。

プレートの種類の影響 図4に平均付着応力とプレート引張剛性の関係を示す。比較的引張剛性の大きい中弾性型プレートを使用したUC-ME-300供試体の方が、高強度型プレートを使用したUC-HS-300供試体より、平均剥離荷重および平均付着応力ともに大きい値を示した。つまり、プレートの弾性係数は剥離荷重を向上させるパラメータであり、プレートの弾性係数と剥離荷重の間には相関関係が成り立つと考えられる。

コンクリート強度の影響 図5に平均付着応力とコンクリート圧縮強度の関係を示す。引張付着試験では、コンクリートの圧縮強度が付着特性に及ぼす影響は小さかった。しかし、曲げ付着試験では、コンクリートの圧縮強度が付着応力に影響し、引張付着試験とは異なる傾向を示した。これは、曲げ変形に伴ってプレートに働く引張力の鉛直成分（支圧力）と、これによる摩擦が影響すると考えられ、支圧力による摩擦がプレートの引張荷重を負担するためと考えられる。

接着樹脂の種類の影響 樹脂Aを用いた供試体はコンクリート凝集破壊であったのに対し、樹脂Bを用いた供試体はプレート層間剥離の破壊形式を示した。樹脂Bは粘性が低く不純物を含まず、不陸処理能力が高いため、接着力が向上したものと考えられる。

両付着試験結果の比較 表4に引張付着試験と曲げ付着試験で得られた引張荷重の比率を示す。UC-ME-100供試体は、2つの付着試験での引張荷重比は0.87であった。曲げ付着試験におけるUC-ME-100供試体は、プレート片側接着長に比較して曲げせん断スパンが非常に長い為、プレート端部でせん断応力が集中し、プレートが補強効果を発揮する前に破壊に至ったものと考えられる。その他の供試体では、曲げ付着試験と引張付着試験での引張荷重の比は1.09～1.72倍（平均1.27倍）となった。これは、曲げ付着試験時のプレートの面圧力と摩擦の影響であると考えられる。

6 結論

- 1) 片側接着長を長くすると終局荷重（剥離荷重）が増大する傾向にあった。
- 2) プレートの弾性係数と剥離荷重との間には相関関係が成り立つと考えられる。
- 3) 引張付着試験では、コンクリートの圧縮強度が増加しても終局荷重は向上しなかった。しかし、曲げ付着試験では、コンクリートの圧縮強度が大きいほど、終局荷重が増加する傾向にあった。

【参考文献】

- [1] 岳尾弘洋, 松下博通, 牧角龍憲, 長島玄太郎: CFRP接着工法における炭素繊維シートの付着特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No. 2, pp. 1599-1604, 1997

表3 引張付着試験結果

供試体名	最大荷重 (kN)	剥離荷重 (kN)	F_m^{*1} (kN)	剥離ひずみ *2 (μ)	付着応力 *3 (MPa)
M-UC-ME-100A	26.4	26.4	13.2	875	5.29
M-UC-ME-200A	36.4	36.4	18.2	1278	3.64
M-UC-ME-300A	41.9	41.9	21.0	1530	2.80
M-HC-ME-300A	38.2	38.2	19.1	1533	2.55
M-UC-HS-300A	27.0	22.8	13.5	1682	1.80
M-UC-ME-300B	61.8	61.8	30.9	2320	4.12

注) *1 最大荷重/2

*2 プレート剥離直前のひずみ

*3 $F_m / (\text{プレート幅} \times \text{片側接着長})$

表4 曲げ付着試験結果

供試体名	最大荷重 (kN)	剥離荷重 (kN)	F_b^{*1} (kN)	剥離ひずみ *2 (μ)	付着応力 *3 (MPa)	F_b / F_m
B-UC-ME-100	5.93	5.93	11.6	553	4.62	0.87
B-UC-ME-200	10.5	10.5	20.3	1105	4.05	1.11
B-UC-ME-300	12.4	12.4	24.3	1527	3.24	1.16
B-HC-ME-300	17.5	17.5	32.8	1887	4.38	1.72
B-UC-HS-300	8.84	7.62	14.7	1989	1.96	1.09

注) *1 曲げ引張荷重 $F_b = M/z$ ($z = d - X_n/3$)

*2 プレート剥離直前のひずみ

*3 $F_b / (\text{プレート幅} \times \text{片側接着長})$

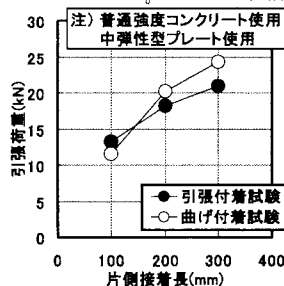


図3 引張荷重と片側接着長の関係

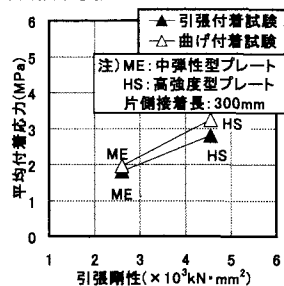


図4 付着応力とプレート引張剛性の関係

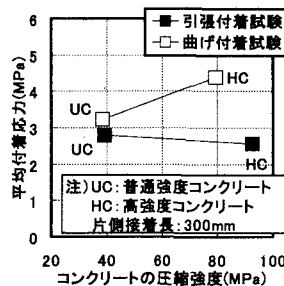


図5 付着応力と f_c の関係