

炭素繊維強化プラスチック成型板による曲げ補強工法の開発

木村 耕三

Development of Flexural Strengthening Method using CFRP Laminate

Kohzo Kimura

Abstract

Carbon Fiber (CF) is lightweight and has high strength and high durability. As a result of its excellent properties, it has been used for the retrofitting material of a number of existing reinforced concrete buildings and structures. The retrofitting method using CF is now used widely since the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake. Recent changes in Japan's economic and social conditions have prompted repair work on existing buildings. The demand for carbon fiber is increasing for use in the repair and reinforcement of slabs and beams when facilities are replaced or improved. In response to this demand, we have developed a practical retrofitting method, which applies CF reinforced plastic (CFRP) laminates to the exterior surface of structures using high-viscosity resin adhesives. This paper outlines this retrofitting method and discusses the flexural performance of the members reinforced with CFRP laminate including the adhesion and bonding properties as well as the long-term behavior. And basic approaches in flexural design based on the test results are described.

概 要

高強度・高弾性で耐久性に優れた炭素繊維による既存鉄筋コンクリート(RC)柱の耐震補強は、阪神・淡路大震災の復興工事を契機に急速に普及してきた。最近では、社会、経済情勢の変化に伴い建築物のリニューアルが積極的に行われている。リニューアル工事では、設備の更新等に伴う、梁およびスラブの補修・補強の需要が増えてきている。このようなニーズに対応できる補強技術として、炭素繊維強化プラスチック成型板を粘性の高いエポキシ樹脂で構造物のコンクリート表面に貼り付けて補強する工法を開発・実用化した。本論文では、補強工法の概要、CFRP成型板と既存コンクリートとの接着・定着性状、長期性状を含めたCFRP成型板による補強部材の曲げ構造性能と、これらの実験結果に基づくCFRP成型板による曲げ補強設計の考え方、施工実績について述べている。

1. はじめに

近年の社会、経済情勢の変化に伴い建物や道路等の社会資本の整備方針は「スクラップ・アンド・ビルド」から、リニューアルによる長寿命化へと変わりつつある。リニューアル工事での設備の更新や供用荷重の増加等に伴う梁およびスラブの補修・補強材料として軽量で優れた力学的特性を有する炭素繊維の需要が増えてきている。このようなニーズに対応出来る補強技術として、炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastic)成型板(以下、CFRP成型板と記す)を用いた鉄筋コンクリート構造物の補修・補強工法を開発・実用化した。炭素繊維補強材の貼り付けによる既存構造部材の曲げ補強では、炭素繊維補強材とコンクリートとの付着・定着性状、補強部材の長期性状の把握が重要である。

2. CFRP成型板による曲げ補強工法の概要

2.1 工法の特長

本工法は、Photo 1, Photo 2およびTable 1に示すようにプルルージョン法によって炭素繊維を一方向に配し、エポキシ樹脂を含浸・硬化させた幅50mm,厚さ1~2mmのCFRP成型板を粘性の高いエポキシ樹脂で既存コンクリート構造物の表面に貼り付けて補修・補強するものである。

本工法には、従来の鋼板補強工法あるいは炭素繊維(以下、CFと記す)シート工法に比べて以下の特長がある。

1) CFシート工法と同様、補強による部材断面の形状変化(使用空間への影響)や補強による構造物の重量の増加がほとんどない。また、従来工法と異なり、施工後には光沢のある平滑な仕上がり面が得られるため、意匠性に優れている。



Photo 1 CFRP成型板の外観
Appearance of CFRP laminate

Photo 2 施工状況
State of the execution

Table 1 CFRP成型板の力学的特性

Properties of CFRP laminate			
引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (N/mm ²)	破断伸度 (%)	比重 (g/cm ³)
2,600	1.56×10 ⁵	1.5	1.50

2) 軽量のCFRP成型板を粘性の高いモルタルベースのエポキシ樹脂で貼り付けるため、スラブあるいは梁の下端などの上向き作業では、樹脂の液垂れが少ないため、液垂れに対する周辺の養生作業が少なくなる。また、鋼板貼り付け補強に必要な補強材(鋼板)を支持するためのアンカーや支保工等を特に必要としない(Photo 2)。

3) 厚さ1mmのCFRP成型板での単位幅当たりの引張強度は、CFシート5~6層分に相当するため、CFシート工法における積層作業の省力化が図られるほか、CFRP成型板では、単位幅当たりの補強効果が大きいためスラブなどの全面に貼り付ける必要がなく、下地処理面積の低減(工期短縮)と、これに伴う粉塵、廃棄物等の発生量も少なくなる(作業環境の改善、廃棄物の削減)。

4) CFRP成型板は、CFシートに比べ、曲げ剛性を有しているため、設備配管等が錯綜するスラブ下など狭い場所での施工性に優れているほか、施工時に補強材が風にあおられるなどの施工環境の影響をあまり受けない。

2.2 施工方法

施工方法は、既存コンクリートの劣化状況等によって異なるが、一般には以下の施工手順による。

- ① 下地処理(既存コンクリート面の不陸調整など)
- ② CFRP成型板の切断と接着面の清掃(油分等の除去)
- ③ 接着剤の混合
- ④ 接着剤の塗布
- ⑤ CFRP成型板の貼り付け
- ⑥ 養生
- ⑦ 仕上げ

3. CFRP成型板とコンクリートとの接着特性

3.1 接着強度

CFRP成型板とコンクリートとの接着強度をCFシートで行われている接着強度試験方法¹⁾を用いて把握した。

3.1.1 試験体 試験体はコンクリートのひび割れ位置を特定し、接着長さの評価を明確にするため、Fig. 1に示すように軸方向中央にノッチ(幅15mm、深さ7.5mm、長さ100mm)を有し、断面の中心に引張用全ネジボルト(M24)を挿入した断面10cm角、長さ60cmのコンクリートブロックの材軸方向(ノッチのない面)両面にCFRP成型板(幅48mm、厚さ0.96mm)を貼り付けたものである。全ネジボルトは引張力を負担しないように中央部(ノッチ位置)で切断(不連続)し、引張力は両側2枚のCFRP成型板とコンクリートとの接着力で負担するようにしている。コンクリートとCFRP成型板との接着はモルタルベースのエポキシ樹脂を用いて行った。

3.1.2 試験方法 試験は、試験体に埋め込んだボルトを両側に引っ張ることによりCFRP成型板とコンクリートの界面(接着面)に引張せん断力を作用させる方法で行った。加力は、一方向単調載荷で行った。

試験のパラメータは、Table 2に示すようにCFRP成型板の接着(貼り付け)長さ、CFRP成型板と直交方向に貼り付けた定着用CFシート(炭素繊維の目付量 200g/m²)の幅(定着幅)とCFシートの積層数である。

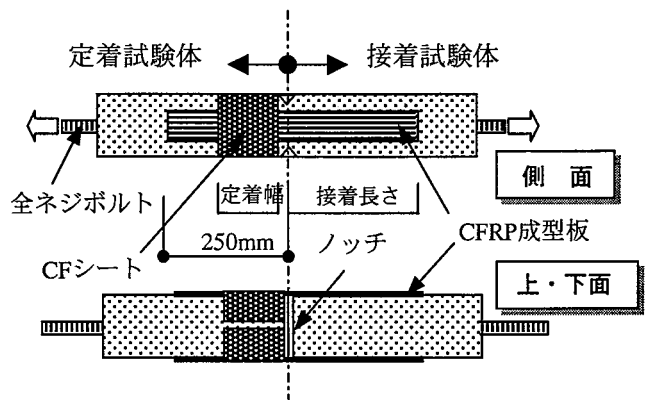


Fig. 1 接着・定着試験体の概要
Outline of Specimen

Table 2 接着・定着試験体一覧

List of Specimens			
試験体名	接着長さ(cm)	定着幅×積層数	
接着試験	CFP-15	15	定着なし
	CFP-20	20	
	CFP-25	25	
	CFP-45	45	
定着試験	CFPL-051	25	5cm×1層
	CFPL-101		10cm×1層
	CFPL-102		10cm×2層
	CFPL-103		10cm×3層
	CFPL-151		15cm×1層
	CFPL-251		25cm×1層

3.1.3 試験結果 接着試験体では、接着長さにかかわらずすべての試験体で CFRP成型板にコンクリートの破片が付着した状態で剥離した。また、CFRP成型板の上に直交方向に定着用CFシートを貼り付けた定着試験体では、CFシートを引き裂くようにしてCFRP板が剥離したが、CFシートの両端（上・下面）では、CFシートとコンクリートとの剥離は見られず、両者は十分に接着していた。

Fig. 2に最大引張荷重（剥離荷重）とCFRP成型板の接着長さの関係を、Fig. 3にCFシートによる定着幅と定着効果の関係を示す。なお、定着効果は、CFP-25試験体（無定着）の剥離荷重に対する各試験体の剥離荷重の比で示している。この結果から、① CFRP成型板の接着長さとして25cm以上必要である、② CFRP成型板と直交方向に幅15cm以上のCFシートを貼り付けることによって剥離荷重を2倍程度まで高めることができることがわかる。

3.2 接着耐久性（耐候性）

CFRP成型板とコンクリートとの接着耐久性は、CFシートと同様にJIS A 1415（プラスチック建築材料の促進暴露試験方法）に準拠してサンシャインカーボンタイプのウエザロメータを用い、ブラックパネル温度63℃±3℃、スプレーサイクル18分/120分で所定時間暴露した後、引張せん断試験によって評価した。耐久性試験の結果、Fig. 4に示すように、JIS A 1415での3,000時間の促進暴露および1年間の屋外暴露では接着強度の低下は生じていない。

3.3 接着耐熱性

Fig. 5は環境温度（室温、60℃、70℃、80℃、100℃）におけるCFRP成型板とコンクリートの接着強度の関係である。接着耐熱性試験は、CFRP成型板を貼り付けた30cm×30cm×6cmのコンクリート平板試験体を各試験温度で3時間保持した後、直ちに建研式接着試験機を用いて面外方向に引張力を加える方法（試験数は各試験温度について1枚の平板から3箇所）で行った。試験の結果、常温から80℃まではいずれもコンクリートが引張破壊し、接着強度の低下はみられなかった。しかし、100℃ではコンクリートと接着剤との界面で破壊（剥離）が生じ、接着強度も大きく低下している。

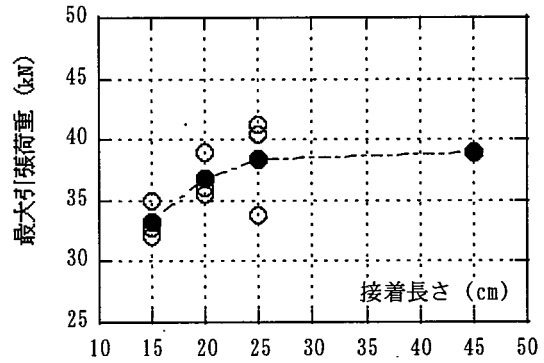


Fig. 2 接着長さ（cm）と引張荷重の関係
Relation between Bond-length and Tensile-load

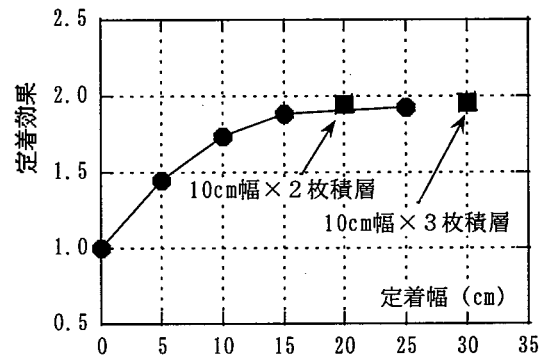


Fig. 3 定着幅と定着効果の関係
Relation between Anchorage-width and Anchorage-effect

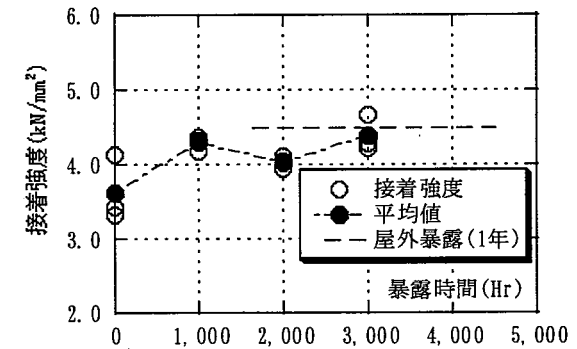


Fig. 4 暴露時間と接着強度の関係
Relation between Bond-strength and Exposure time

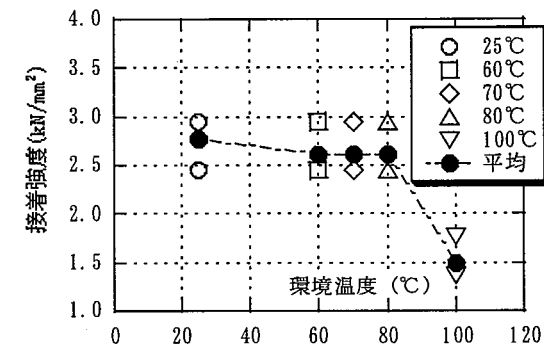


Fig. 5 環境温度と接着強度の関係
Relation between Bond-strength and Exposure temperature

4. CFRP成型板による曲げ補強

4.1 曲げ破壊性状

4.1.1 曲げ破壊実験の概要

(1) 試験体 試験体は、Fig. 6に示すように幅20cm×高さ28cm×長さ220cmの鉄筋コンクリート部材の下端表面（引張側）にCFRP成型板（幅48mm×厚さ0.96mm）を貼り付けたもので、試験体の詳細をTable 3に示す。

試験体のパラメータは、① CFRP成型板の貼り付け量、②引張鉄筋量（主筋量）、③ CFRP成型板の定着方法〔CFシート（炭素繊維の目付量200g/m²）による定着、アンカーボルト（埋め込みボルト）による定着、鋼板締め付けによる定着〕、④ CFRP成型板の締め付け力（面圧力）の大きさである。

使用材料の力学的特性をTable 4に示す。なお、使用したコンクリートは、圧縮強度 39MPa、弾性係数 27.4GPa、割裂強度 2.9MPa の普通コンクリートである。

(2) 試験方法 試験（載荷）は、単純支持形式で、Fig. 6に示す中央一点集中荷重（スパン1,800mm）で行い、載荷は、曲げひび割れ発生時、鉄筋降伏時で一旦除荷した後、終局状態に至るまで一方向載荷とした。

4.1.2 曲げ破壊実験結果と考察

(1) 破壊状況および変位性状 CFRP成型板の補強量と定着の有無による荷重～変位関係をFig. 7, Fig. 8に示す。また、Fig. 9は定着方法（無定着、CFシートによる定着、アンカーボルトによる定着）、Fig. 10は締め付け力（面圧）の大きさによる荷重～変位関係の比較である。

CFRP成型板を貼り付けた試験体では、いずれも鉄筋の降伏後、中央の曲げひび割れ位置から両端部にかけて徐々にCFRP成型板の剥離が進行した。CFRP成型板の両端を拘束（定着）していない試験体（D13-1N, D19-1N）では、CFRP成型板の剥離とともに荷重が急激に低下し、剥離後は無補強試験体（D13-0, D19-0）と同様の挙動を示した。

一方、両端を定着した試験体では、CFRP成型板の剥離後も荷重が増大し、定着部での滑り（抜け出し）、あるいはCFRP成型板の局部破断（層間剥離）によって最大荷重に至った。定着部で滑り（抜け出し）を生じた試験体では、CFRP成型板の抜け出しによって変形のみが増大し、コンクリートの圧壊によって終局状態に至った。なお、CFシートでCFRP成型板を定着した試験体（BCF-CO, BCF-DC）では、定着用のCFシートを面内方向に引き裂きながらCFRP成型板の剥離が進行した。

これらの結果、① CFRP成型板の貼り付け量が多くなるほど最大耐力が増大する、② CFRP成型板の端部定着は重要で、端部での締め付け力（面圧力）によって曲げ補強効果が大きく異なることがわかる。

(2) ひずみ性状 Fig. 11, Fig. 12は、鉄筋とCFRP成型板の荷重～ひずみ関係および、CFRP成型板のひずみ分布の一例である。鉄筋の降伏まで、鉄筋とCFRP成型板は同様のひずみ挙動をするが、鉄筋の降伏後、鉄筋のひず

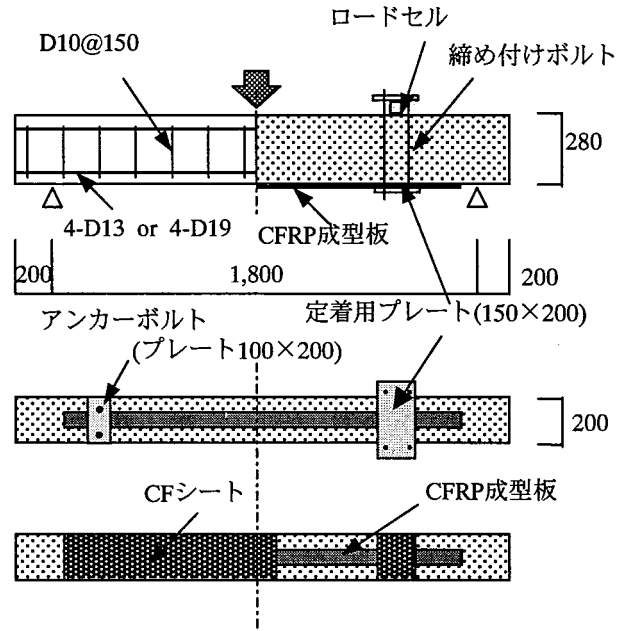


Fig. 6 試験体の概要
Outline of Specimens

Table 3 試験体の一覧
Summary of Specimens

試験体	CFRP量	主筋	定着方法	面圧力 (MPa)
D13-0	なし	4-D13	—	—
D13-1N	48×0.96 ×1枚		定着なし	0.00
D13-1			鋼板 + ボルト	9.24
D13-2	同 2枚			2.87
BS-P2	48mm× 0.96mm ×1枚			4.67
BS-P3				5.60
BS-P4			CFシート全面巻き付け	
BCF-CO	なし		CFシート部分巻き付け *1	
BCF-DC			アンカーボルト 2本締め *2	
BP-BO2			アンカーボルト 4本締め *2	
BP-BO4		—		
D19-0	なし	4-D19	—	—
D19-1N	48×0.96 ×1枚		定着なし	0.00
D19-1			鋼板 +ボルト	9.24
D19-2				—

*1 幅33cmのCFシートを中央、両端の3箇所巻き付け
*2 アンカーボルトはスパナで手締め

Table 4 使用材料の力学的特性
Properties of Materials

材料	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (GPa)
CFRP成型板	—	2,659	156
CFシート	—	3,616	374
鉄筋	D13	346	195
	D19	364	194

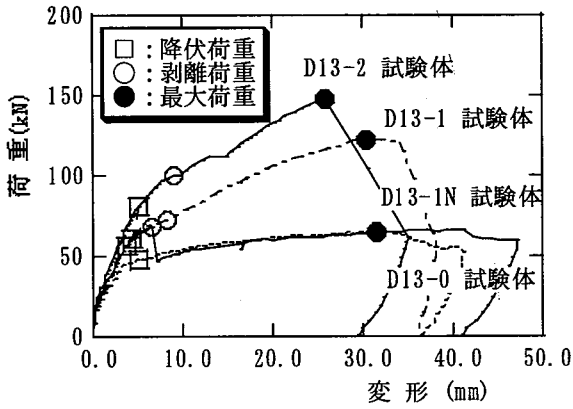


Fig. 7 荷重～変位関係
Load-Deflection Relation

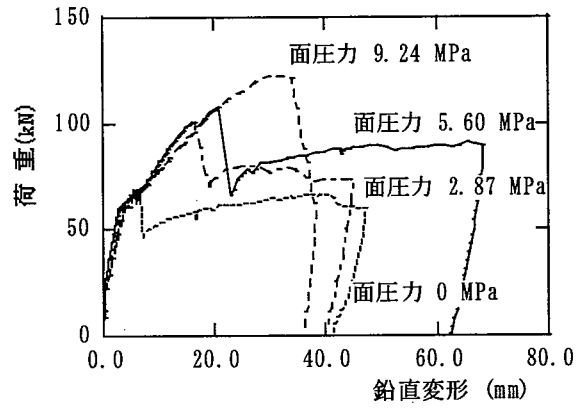


Fig. 10 荷重～変位関係 (面圧力による比較)
Load-Deflection Relation (Effect of Surface-pressure)

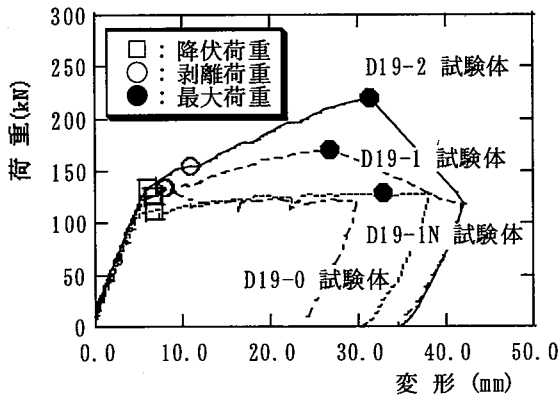


Fig. 8 荷重～変位関係
Load-Deflection Relation

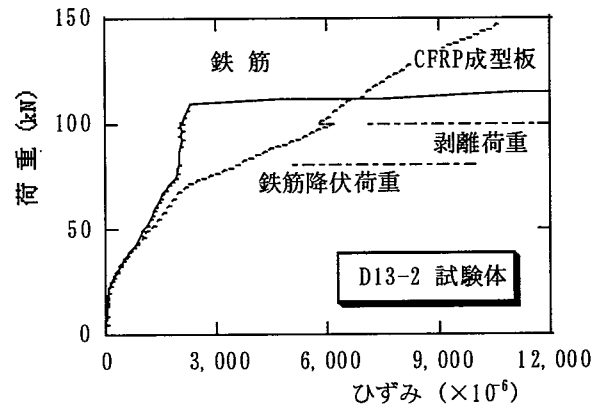


Fig. 11 荷重～ひずみ関係
Load-Strain Relation

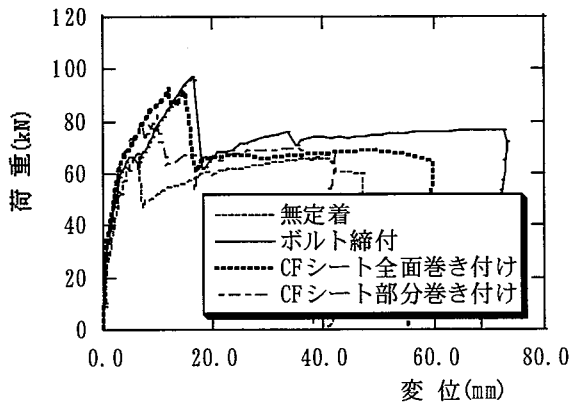


Fig. 9 荷重～変位関係 (定着方法による比較)
Load-Deflection Relation (Effect of Anchorage methods)

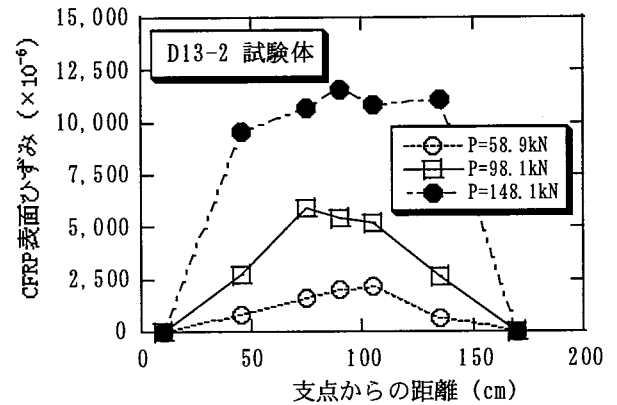


Fig. 12 CFRP成型板のひずみ分布
Strain-distribution of CFRP laminate

みはほとんど増大せず、CFRP成型板のひずみのみが増大する。その後、CFRP成型板の剥離によって鉄筋のひずみが急増する (Fig. 11)。CFRP成型板の破断ひずみおよび、CFRP成型板とコンクリートとの剥離時のひずみはいずれも鉄筋の降伏ひずみ (約 $2,000 \times 10^6$) よりも大きいことから、CFRP成型板の剥離耐力は既存鉄筋の降伏耐力より常に大きくなると考えられる。以上の結果から、① CFRP成型板の貼り付けによって鉄筋降伏後の部材の塑性変形

(たわみ) を抑制することができる、② CFRP成型板の剥離耐力および最大耐力は、CFRP成型板の負担力と鉄筋の降伏耐力の累加によって評価することが出来る。

Fig. 13は、締め付け力 (面圧力) とCFRP成型板表面の最大ひずみ比 (CFRP成型板の引張破断ひずみに対する最大測定ひずみの比) の関係である。この結果、面圧力に比例してCFRP成型板の最大ひずみ比も大きくなっており、両者の関係はおおむね (1) 式で近似できる。

Table 5 諸荷重一覧
Summary of Experimental Results

試験体	曲げひび割れ荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	剥離荷重 (kN)	最大荷重 (kN)			
				実験値	計算値 1 *	計算値 2 *	計算値 3 *
D13-0	17.7	48.1	—	65.0	61.4 (1.06)	40.4 (1.61)	—
D13-1N	22.7	56.7	67.7	67.7	117.2 (0.58)	51.8 (1.31)	72.8 (1.08)
D13-1	21.4	60.7	72.3	122.7	117.2 (1.05)	100.3 (1.22)	121.3 (0.99)
D13-2	25.6	80.6	100.1	147.6	182.5 (0.81)	160.2 (0.91)	181.2 (1.23)
BS-P2	25.3	60.6	66.4	95.9	116.9 (0.82)	66.9 (1.43)	87.9 (0.92)
BS-P3	25.5	62.6	72.3	103.3	116.9 (0.88)	76.3 (1.35)	97.3 (0.94)
BS-P4	23.5	61.4	68.4	108.0	116.9 (0.92)	81.2 (1.33)	102.2 (0.95)
BCF-CO	31.4	64.7	68.7	92.2	116.9 (0.79)	63.2 (1.46)	84.2 (0.91)
BCF-DC	31.5	64.7	75.4	82.2	116.9 (0.70)	63.2 (1.30)	84.2 (1.02)
BP-BO2	25.6	58.7	64.5	97.2	116.9 (0.83)	78.4 (1.24)	99.4 (1.02)
BP-BO4	29.9	61.8	67.2	101.4	116.9 (0.87)	78.4 (1.29)	99.4 (0.98)
D19-0	17.7	112.0	—	129.0	128.3 (1.01)	96.0 (1.34)	—
D19-1N	26.5	126.9	133.4	133.4	170.7 (0.78)	107.4 (1.24)	139.7 (1.05)
D19-1	23.5	125.7	133.7	170.9	170.7 (1.00)	155.9 (1.10)	188.2 (1.10)
D19-2	31.4	134.3	154.8	220.3	234.1 (0.94)	215.7 (1.02)	248.0 (1.13)

* 計算値1はe関数法による値を、計算値2は(3)式による値を、計算値3は(3)式でのMsとしてe関数法による値を用いた場合の計算値を示す。また、括弧の値は各計算値に対する実験値の比を示す。

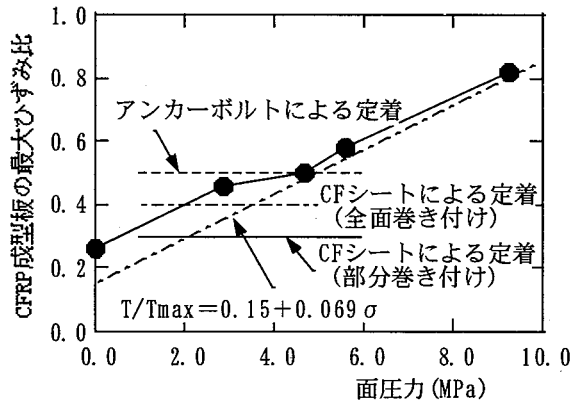


Fig. 13 面圧力と最大ひずみ比の関係

Relation between Surface-pressure and Strain ratio

$$\varepsilon = 0.15 + 0.069 \times \sigma \leq 1.0 \quad \dots (1)$$

$$T_e = \alpha \times T_{max} \quad \dots (2)$$

ここで、 ε : CFRP成型板の最大ひずみ比

σ : 面圧力 (MPa)

T_e : CFRP成型板の有効引張強さ

T_{max} : CFRP板の引張強さ (破断荷重)

α : 有効係数 (=0.15+0.069× σ)

(3) 諸荷重 各試験体の曲げひび割れ荷重, 降伏荷重, 剥離荷重および最大荷重の一覧をTable 5に示す。

補強試験体の降伏耐力は, CFRP成型板と鉄筋コンクリートが一体と考え, 平面保持を仮定した通常の曲げ耐力

の算定方法によって求めることができる。また, 最大耐力時には, コンクリートとCFRP成型板との一体性が損なわれている (剥離している) ことから, 補強部材の最大耐力 (M_{max}) は, 鉄筋による曲げ降伏耐力 (M_s) とCFRP成型板による曲げ耐力 (M_{cf}) の累加から, (3)式で求めることができる。CFRP成型板の有効引張強さ (T_e) は, 前述した(2)式の値を用いる。なお, CFシートによる定着, アンカーボルトによる定着の場合の有効係数 (α) は, Fig. 13よりそれぞれ 0.3~0.4, 0.5となっている。

$$M_{max} = M_s + M_{cf} = 0.9 \times A_s \times f_t \times d + T_e \times D \quad \dots (3)$$

ここで、 A_s : 引張鉄筋の断面積

f_t : 鉄筋の引張降伏強度

d : 有効せい

D : 部材のせい (高さ)

4.2 長期たわみ性状

4.2.1 実験概要 試験体は, 曲げ実験におけるD13-1試験体と同じ幅20cm×高さ28cm×長さ220cmの鉄筋コンクリートの下面にCFRP成型板を貼り付けた梁部材2体である。試験のパラメータは, 積載荷重レベルで, その大きさは無補強部材 (Table 3に示すD13-0試験体) の曲げ降伏荷重相当 (49kN) と, 補強部材 (同, D13-1試験体) の曲げ降伏荷重相当 (63kN) で, 試験体名はそれぞれ, B L-50試験体, BL-65試験体である。載荷は, 曲げ実験と同様, Fig. 6に示す中央一点集中載荷で行った (Photo 3)。

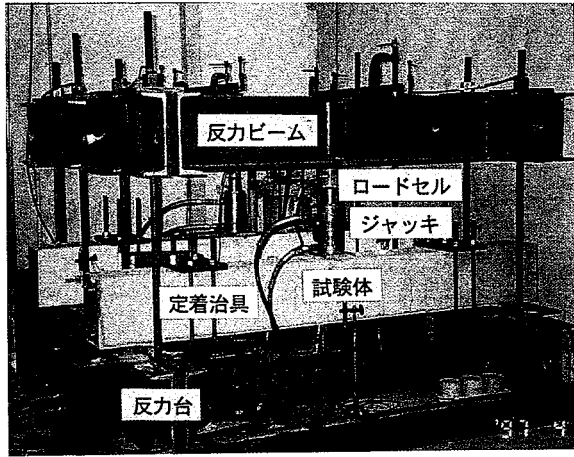


Photo 3 長期たわみ試験状況
Appearance of Long-term deflection test

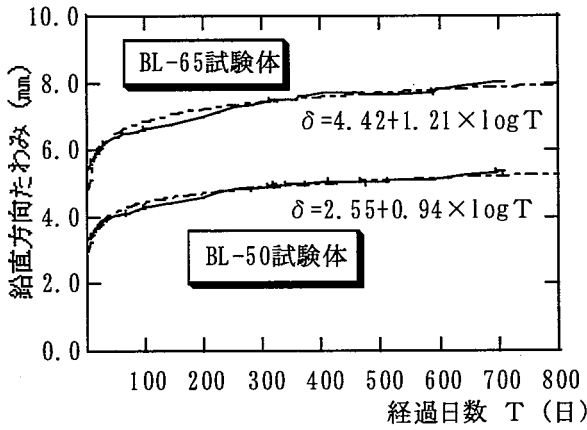


Fig. 14 経過時間とたわみの関係
Relation between Deflection and Loading-term

4.2.2 試験結果 Fig. 14は、部材中央の鉛直方向変位(たわみ)と経過日数の関係である。

BL-50試験体(無補強部材の曲げ降伏荷重相当)では、荷重1年後以降、変位の増大が少なくなっているのに対して、BL-65試験体では、荷重1年後も変位が若干増大する傾向が見られる。

両試験体の長期たわみは図中に示した回帰曲線と近似している。図中に示した回帰曲線(対数関数)から求めた10年後の予測たわみは、それぞれ、5.89mm(初期たわみ:2.58mm)、8.72mm(同、4.22mm)となる。10年後の予測たわみをたわみ倍率(初期たわみに対する経過時間後のたわみの比)でみると約2.2となり、通常の鉄筋コンクリート梁におけるたわみ倍率に近い値となっている。

Fig. 15およびFig. 16は、両試験体の鉄筋、CFRP成型板のひずみ分布と経時変化の関係である。鉄筋のひずみは荷重直後から数ヶ月間、たわみの増加にともなって増大するものの、6ヶ月以降はほとんど増加していない。一方、CFRP成型板のひずみは6ヶ月後も若干増加している。長期たわみと同様に求めた10年後のCFRP成型板の最大の推定ひずみは、BL-50試験体で $3,000 \times 10^{-6}$ 、BL-65試験体で $5,300 \times 10^{-6}$ 程度となっている。

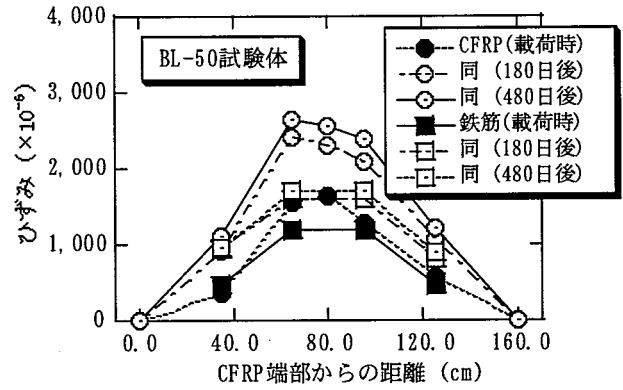


Fig. 15 経過時間とひずみ分布の関係
Relation between Strain-distribution and Loading-term

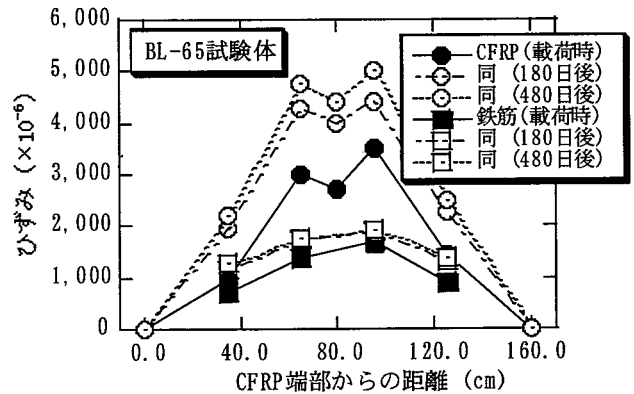


Fig. 16 経過時間とひずみ分布の関係
Relation between Strain-distribution and Loading-term

5. CFRP成型板による曲げ補強設計の考え方

CFRP成型板による補修・補強工法では、CFRP成型板の定着方法を確保することによって既存RC構造物に対する曲げ補強効果が期待できる。

補強部材の曲げ降伏耐力は、CFRP成型板を鉄筋と同様に考え、平面保持を仮定した通常の曲げ耐力算定方法によって求めることができる。また、最大耐力は、鉄筋による曲げ降伏耐力とCFRP成型板の有効引張強度を用いた曲げ耐力の累加によって求めることができる。しかし、梁あるいはスラブなど、長期荷重を受ける部材の曲げ補強では、火災時にも積載荷重を保持する必要がある。そのため、耐火性能に劣るCFRPを補強材とする本工法では、万一、火災によってCFRP成型板が焼失しても構造物を崩壊させないという前提にたつて、Fig.17に示すように、補強後の長期許容曲げ耐力は、無補強構造物の長期許容曲げ耐力の1.5倍以下、すなわち補強前の短期許容曲げ耐力(鉄筋の降伏曲げ耐力)以下に設定することが望ましい。なお、十分な耐火被覆を施した場合や火災を考慮しない短期荷重に対しては、補強後の最大曲げ耐力に安全率(β)を考慮して決定することが出来る。

Table 6 施工事例
List of Retrofit works

NO.	施工物件 (所在地)	用途	目的・内容	施工年
1	ゴルフ場 (滋賀県)	橋 梁	積載重量の増加に伴う橋梁床版補強	1996
2	大阪城 (大阪府)	歴史的建造物	スラブの開口補強	1996
3	木造建築 (奈良県)	歴史的建造物	木造梁の補強	1996
4	某ビル (大阪府)	事務所	スラブの補強	1997
5	木造建築 (兵庫県)	仏教寺院	木造梁の補強	1997
6	某ビル (神奈川県)	商業ビル	小梁およびスラブ補強	1998
7	研究施設 (神奈川県)	研究所建屋	梁補強	1998
8	某倉庫 (長崎県)	食糧倉庫	梁補強	1998
9	某ビル (神奈川県)	事務所ビル	梁およびスラブ補強	1999
10	橋梁 (岐阜県)	橋 梁	桁補強	1999

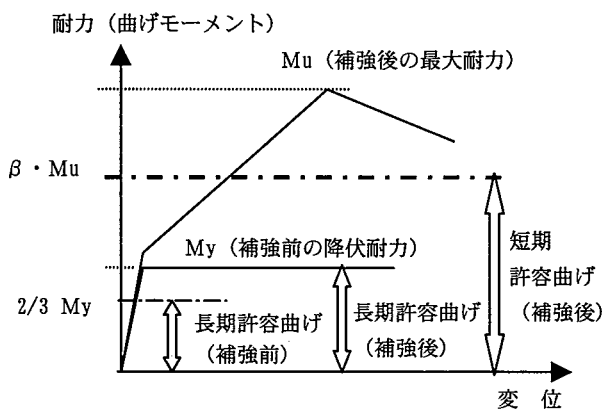


Fig.17 曲げ補強設計の考え方
Concept for Flexural design

6. 施工事例

1996年にゴルフ場の橋梁床版補強 (滋賀県) で試験施工を行って以来, Table 6に示すように既存RC構造物をはじめ, 歴史的建造物, 木造構造物の補強など幅広い構造物の補強工法として普及しつつある。また, 最近では, 厳しい環境下にあるRC造, 石造などの灯台や, 歴史的価値を有する古建築 (木造建築) の保存技術としての利用も検討されている。

7. まとめ

CFRP成型板を用いた曲げ補強工法の実用化と, 曲げ補強で最も重要な定着を考慮した設計法を提案した。

本工法は, 施工方法や補強の基本的な考え方などにおいて炭素繊維シートによる耐震補強工法と共通するところがある。しかし, 本工法は, 梁あるいはスラブ下端での施工や配管等が交錯する狭い場所での施工が, CFシート工法よりも容易であるほか, 補強工事に伴う廃棄物の削減など地球環境にも配慮した新しい工法である。しかし, 本工法は, 柱のせん断補強など急激な形状 (小さな曲率を有する) 変化を伴う部位への適応には問題がある。

そのため, 施工時にしなやかさを有するCFシート工法と両者のメリットをうまく活用することによって既存構造物の補修・補強を効率よく行うことが出来るものと期待できる。と同時に, CFシート工法を含め, CFによる補強工法は実用化されて歴史も浅く, 耐久性等の長期性状に関するデータの蓄積とこれに基づく評価が必要である。

謝 辞

本開発は, 東レ(株), 日本シーカ(株)と共同で実施したものであり, 関係各位に対し深謝いたします。

参考文献

- 1) 木村, 服部, 土屋: 炭素繊維補強材とコンクリートとの付着特性, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.957~958, (1998)
- 2) 木村, 小島, 大野: 炭素繊維シートとコンクリートとの付着・定着性状に関する研究, 構造工学論文集, Vol.41B, pp.527~536, (1995)
- 3) 佐藤, 木村, 小島: CFRPシートとコンクリートの付着挙動 (その1), 日本建築学会構造系論文集, 第500号, pp.45~82, (1997.10)
- 4) 佐藤, 木村, 小島: CFRPシートとコンクリートの付着挙動 (その2), 日本建築学会構造系論文集, 第509号, pp.127~134, (1998.7)
- 5) 木村, 小島: 炭素繊維による補強部材の長期性状, 第9回日本地震工学シンポジウム論文集, Vol.2, pp.2161~2166, (1994)
- 6) 木村, 小島, 平田, 土屋: CFRP板によるRC補強部材の曲げ挙動, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, pp.267~272, (1997.6)
- 7) 木村, 小島, 平田, 土屋: CFRP板の定着方法による補強部材の曲げ性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20-1, pp.527~532, (1998.7)
- 8) 木村, 服部, 土屋: CFRP成型板によるRC補強部材の長期たわみ性状, 日本建築学会学術講演梗概集 (1999), (投稿中)
- 9) 「トレカラミネート工法」設計・施工マニュアル(1998)