

# SR-CF工法による鉄筋コンクリート壁の耐震補強

— 炭素繊維シートとCFアンカーを用いたせん断補強の方法と効果 —

神野 靖夫 塚越 英夫

(技術研究所)

(技術研究所)

## Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Walls by SR-CF System

— Methods and Effects of Shear Strengthening by Carbon Fiber Sheets and CF Anchors —

by Yasuo Jinno and Hideo Tsukagoshi

### Abstract

SR-CF system is one of the strengthening techniques for existing reinforced concrete buildings by carbon fiber sheets. This technique can be applied to the shear strengthening for columns with side walls, for beams, and for walls. This paper focuses on the shear strengthening methods of walls and the results of experiments. Twelve specimens were tested to investigate the effects of the strengthening and the calculation method of the strengthened wall was suggested. For the strengthening of walls, carbon fiber sheets are pasted diagonally on the surfaces of walls, and the ends of carbon fiber sheets are anchored to the surrounding columns and beams by CF anchors. Carbon fiber sheets act as tension brace, and consequently the shear strength of walls increases.

### 概 要

SR-CF工法は炭素繊維シートを用いた既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震補強工法である。この工法では、独立柱や壁付き柱のせん断補強、梁のせん断補強、壁のせん断補強を行うことができ、いずれの補強に関しても(財)日本建築防災協会の技術評価を取得している。本報はこのうち壁のせん断補強について、補強方法およびその効果を検証した実験の結果についてまとめたものである。壁の補強では、炭素繊維シートを壁面に斜め方向に貼り付け、その端部を外周の柱、梁にCFアンカーで定着する。こうすることで炭素繊維シートが引張ブレースと同様の機能を持ち、壁のせん断耐力を増加させることができる。補強された壁のせん断実験を行い、この補強が有効であることを確認すると共に、補強された壁の耐力の算定方法を提案した。

### § 1. はじめに

SR-CF工法<sup>1)</sup>は炭素繊維シートを用いた既存鉄筋コンクリート(以下、RCと略す)造建築物の耐震補強工法である。この工法では独立柱や袖壁付き柱のせん断補強<sup>2), 3)</sup>、梁のせん断補強<sup>4), 5)</sup>、壁のせん断補強<sup>6), 7), 8)</sup>を行うことができ、いずれの補強に関しても(財)日本建築防災協会の技術評価を取得している。

炭素繊維シートによるRC構造物の補強工法は、資機材が軽微である、騒音や振動が少ない、工期が短い、施工に火や溶接を必要としない、といった多くの長所を持っており、既存建築物の耐震補強には最適である。しかし炭素繊維シートは引張強度は大きいがコンクリートとの付着強度が小さく、力が作用するとコンクリートから容易に剥離してしまう弱点がある。そのため、これまで補強によって大きな効果を得られるのは、

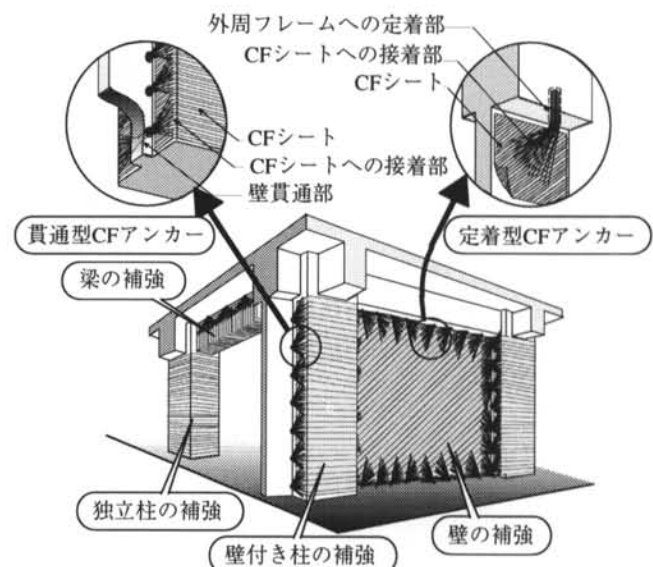


図-1 SR-CF工法の概要

剥離によって補強効果が失われない場合に限定されていた。具体的には、独立柱の周囲に炭素繊維シートを巻き付けて、閉鎖型のフープを形成させるようなケースである。

これに対して、SR-CF工法では炭素繊維シートを巻き付けられない袖壁付き柱や梁や壁の補強も可能である。これはCFアンカーという特殊な技術を用いることで、袖壁によって分断された炭素繊維シートを繋いだり、炭素繊維シートをRC躯体に定着したりすることが可能となったため、CFアンカーを用いることはこの工法の最大の特徴である。

本報ではSR-CF工法による補強のうちで特に壁のせん断補強についてとりあげ、補強した壁のせん断実験の結果より、せん断耐力の評価方法について提案した。

## § 2. 壁の補強方法

### 2.1 CFアンカーの概要

SR-CF工法に用いられる炭素繊維ストランドは、太さ数ミクロンの炭素繊維の素線を24,000本(24Kと呼ばれる)あるいは12,000本(12Kと呼ばれる)束ねて太さ2~3mmの紐状にしたものである。炭素繊維シートはこの炭素繊維ストランドを一方向に敷き並べてシート状にしたもので、通常はロール状に巻かれている。これにエポキシ樹脂を含浸、硬化させると補強材として大きな効果を発揮する。

一方CFアンカーは炭素繊維ストランドを束ねたもので、炭素繊維シートと同様にエポキシ樹脂を含浸、硬化させて用いる。CFアンカーはその使い方から、貫通型と定着型の2タイプに分けられる。貫通型は袖壁付き柱のせん断補強などに用いられるものである。袖壁に貫通孔をあけ、束ねた炭素繊維ストランドを通し、両端を扇状に広げて柱に貼った炭素繊維シートに接着する。これにより袖壁によって分断された炭素繊維シートを繋いで、柱を炭素繊維で閉鎖型に巻くことが可能になる。定着型は壁のせん断補強などに用いられる。炭素繊維ストランド束の一端は扇状に開いて炭素繊維シートに接着するが、もう一端はコンクリートにあけた孔に挿入し、エポキシ樹脂を充填して定着する。これにより、炭素繊維シートの端部をコンクリートに定着することができる。

### 2.2 壁の補強方法

SR-CF工法による壁の補強では、炭素繊維シートを壁面に斜め方向に貼り付け、その端部を外周の柱、

梁、床にCFアンカーで定着する。こうすることで炭素繊維シートが引張ブレースと同様の機能を持ち、壁のせん断耐力を増加させることができる。

CFアンカーを用いた壁の補強は以下の手順で行う。図-2に手順の概要図を示した。

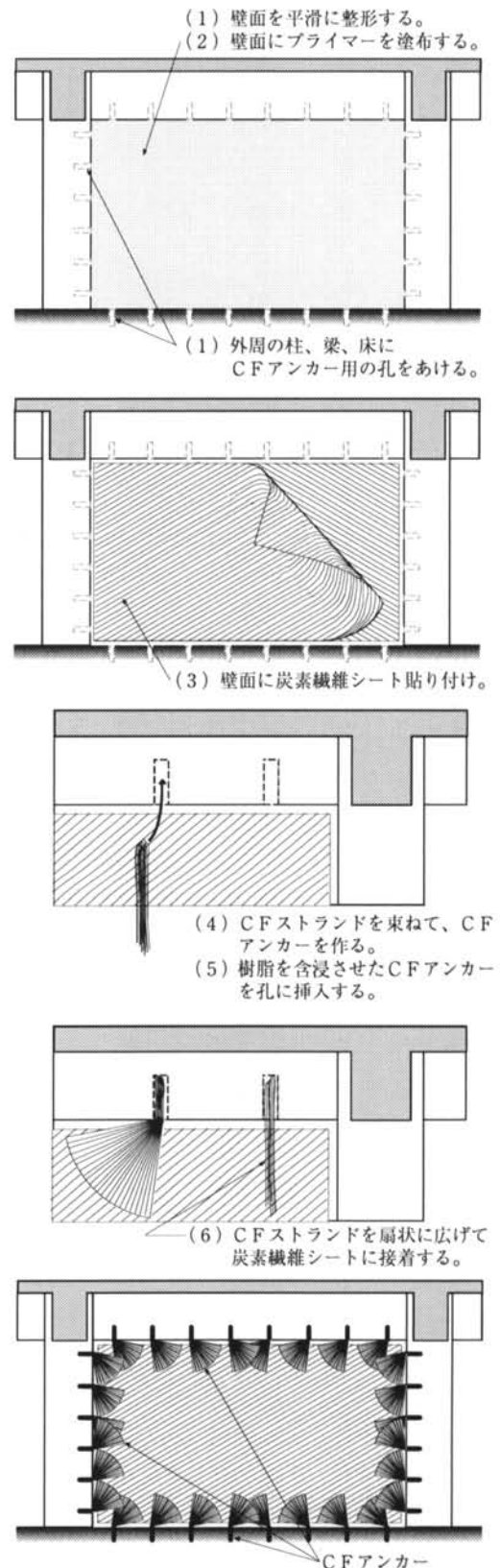


図-2 壁の補強手順

(1) 壁のコンクリート表面の脆弱部を落とし表面を平滑にする。壁の外周フレーム（側柱、梁、床）にCFアンカー用の孔をあける。

(2) コンクリート表面にプライマーを塗布する。エポキシパテ等で再度凹凸を平滑にする。

(3) 壁面に炭素繊維シートを貼り付ける。炭素繊維シートの繊維方向は壁の対角方向を原則とする。壁の両対角方向に各1層貼り付けて、それを設計上の1層と考える（施工上は2層になる）。必要層数を繰り返し重ねて貼り付ける。

(4) CFアンカーを製作する。CFアンカーは炭素繊維シートに含まれる炭素繊維ストランドと等量の炭素繊維ストランドを束ねる（例えば繊維目付け300g/m<sup>2</sup>の炭素繊維シートには、幅100mm当たり炭素繊維ストランド(24K)約19本に相当する炭素繊維が含まれる。炭素繊維シート2層でCFアンカーを200mm幅に広げる場合、炭素繊維ストランドは19×(200/100)×2=76本束ねることになる）。

(5) 束ねた炭素繊維ストランド（CFアンカー）の半分にCFアンカー用のエポキシ樹脂を含浸させ、柱や梁にあけた孔に挿入する。

(6) 炭素繊維シート表面にCFアンカー用のエポキシ樹脂を塗り、炭素繊維ストランド束の残り半分を扇状に広げ、樹脂を含浸させながら炭素繊維シートに貼付ける。その際、扇の中心線が炭素繊維シートの繊維方向と一致するように広げて接着する。炭素繊維シートは両対角方向に貼られていることから、CFアンカーは梁の中央を境に2グループに分け、それぞれの対角方向に向かって広げて接着する。柱に定着するCFアンカーも同様に柱の中央を境に向きを変えて接着する。

### § 3. 実験計画

#### 3.1 試験体

SR-CF工法による既存RC壁のせん断補強効果を調べるために、SR-CF工法で補強された壁試験体の曲げせん断実験を行った。

表-1に試験体の一覧を、表-2に使用材料の特性を示す。実験パラメータは壁の補強形式で、シリーズ2では炭素繊維シートの貼り付け層数、炭素繊維シートの貼り付け角度、炭素繊維シートの種類を変えて実験している。また、シリーズ1では炭素繊維シートを縦横に貼った試験体も実験している。実験に用いた炭素繊維シートは主としてPAN系の炭素繊維シートであるが、一部ヤング係数の大きいピッチ系の炭素繊維シートも用いて補強効果を調べた。

シリーズ	試験体	壁の補強	側柱の補強	特記事項
1	W-N	なし	なし	
	W-B-C1	縦横方向 表1層+裏1層	2層	
	WM-N	なし	なし	仕上げモルタルあり
	WM-D-C1	対角方向 表1層+裏1層	2層	仕上げモルタルあり
2	No.1	なし	なし	
	No.2	対角方向 表2層	2層	
	No.3	対角方向 表4層	2層	
	No.4	対角方向 表3層+裏3層	2層	
	No.5	対角方向 表4層 (PAN系2層 +ピッチ系2層)	2層	
	No.6	±45°方向 表4層 (PAN系2層 +ピッチ系2層)	2層	
	No.7	対角方向 表4層	2層	CFアンカーなし
	No.8	対角方向 表2層+裏2層	2層	

表-1 試験体一覧

#### コンクリート

使用箇所	圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	ポアソン比	
シリーズ1 (4体)	27.9	2.38	28.4	0.214	
シリーズ2	No.1	25.6	2.49	26.2	0.221
	No.2	26.3	2.52	26.6	0.194
	No.3	24.7	2.19	26.6	0.228
	No.4	28.6	2.65	28.5	0.215
	No.5	30.5	2.30	27.4	0.210
	No.6	26.0	2.43	26.9	0.204
	No.7	29.5	2.85	27.8	0.215
	No.8	30.5	2.86	27.8	0.243

#### 鉄筋

種類	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	伸び (%)
シリーズ1 φ4	474	519	192	15.4
	330	450	204	40.2
シリーズ2 φ4	438	498	198	16.9
	344	539	209	25.4

#### 炭素繊維シート

繊維の種類	繊維目付量 (g/m <sup>2</sup> )	設計厚さ (mm)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
PAN系	300	0.167	3480	230
ピッチ系	300	0.142	2640	633

#### 炭素繊維ストランド

繊維	繊維度 (g/1000m)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
PAN系 24K	776~824	1760~1840	4500	220~240

表-2 使用材料

図-3に試験体の配筋、補強方法、加力方法を示す。試験体は両端に側柱を持つ壁である。シリーズ1では試験部分の壁は厚さ100mm、内法高さ1,200mm、長さ1,800mm、側柱の寸法は幅300mm、せい300mmである。シリーズ2では試験部分の壁は厚さ100mm、内法高さ900mm、長さ2,700mm、側柱の寸法は幅300mm、せい300mmである。試験体は基本的には1971年以前の規準に従って設計された建物の壁を模擬しており、壁筋、柱筋ともすべて丸鋼を用いている。柱のせん断補強筋比は0.084%、壁筋比は1.26%である。壁をせん断破壊させるために、柱の主筋量を多くして曲げ耐力を大きくしている。

補強は壁および柱に行った。壁面に炭素繊維シートを貼り付け、その端部を外周フレーム（ここでは側柱と上下スタブ）に定着型CFアンカーで定着した。柱の補強はNo.2～No.8で共通で、炭素繊維シートを2層貼り付け、CFアンカー（貫通型）で壁を貫通して炭素繊維シート端部を繋いで閉鎖型とした。CFアンカーの繊維量は定着する炭素繊維シートの繊維量と同じとした。

加力は片持ち梁形式で行い一定軸力下での正負交番繰り返し荷重を行った。軸力は柱断面に対して軸力比0.2とした。せん断加力は、変形角1/1200、1/800、で正負に各1回、1/400、1/200で正負に各2回繰り返した。

#### § 4. 実験結果

表-3に実験結果の一覧を、図-4に補強していない試験体No.1と補強した試験体No.2の最終破壊状況を示す。図-5に荷重-変形関係の例を示す。シリーズ2の試験体は全て層間変形角1/200付近で壁がせん断破壊

試験体	各変形角でのせん断力 (kN)			Qmax (kN)	Qcf * (kN)
	1/800	1/400	1/200		
W-N	910	1255	1584	1584	—
W-B-C1	998	1321	1577	1577	66
WM-N	908	1247	1511	1511	—
WM-D-C1	1363	1733	1851	1851	485
No.1	1108	1551	2091	2175	—
No.2	1363	1903	2439	2439	352
No.3	1407	1938	2488	2488	386
No.4	1586	2152	2798	2798	600
No.5	1606	2096	2623	2623	544
No.6	1419	2074	2421	2421	523
No.7	1464	1920	2419	2419	369
No.8	1465	1942	2602	2602	390

\*: Qcfは変形角1/400(rad)の時のせん断力と、無補強の試験体の1/400(rad)の時のせん断力との差

表-3 実験結果一覧

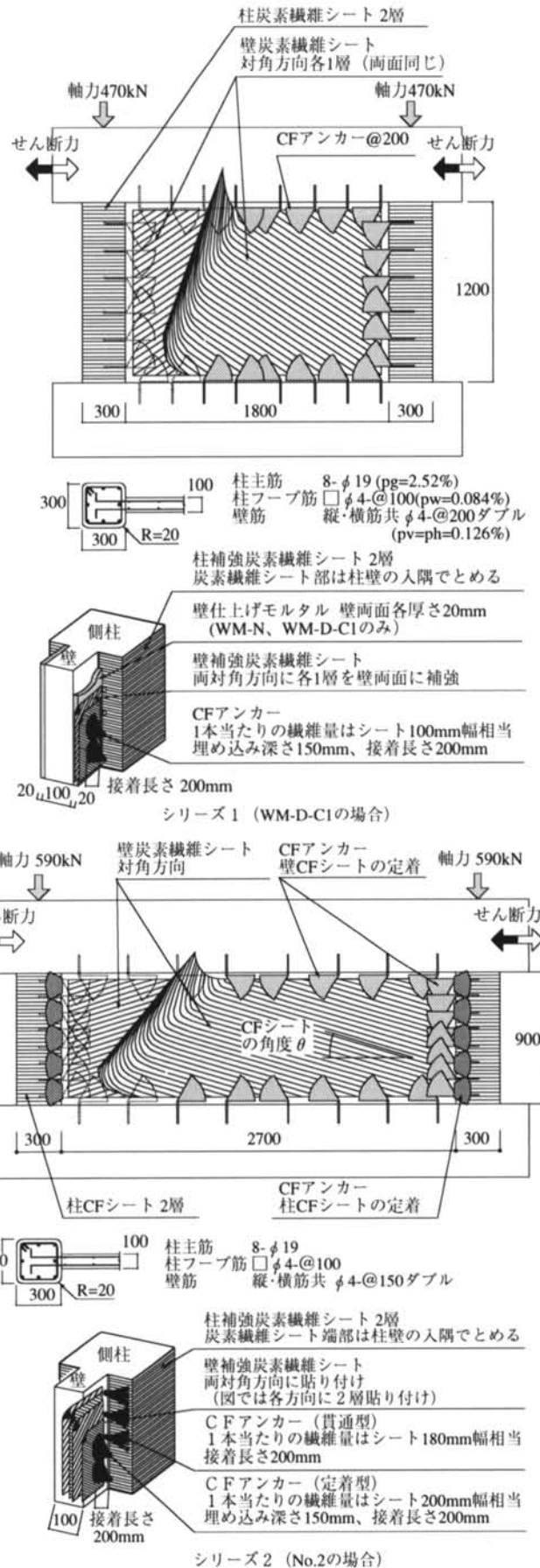


図-3 試験体形状および補強方法

して最大耐力となった。いずれの試験体も破壊後の荷重低下は急激である。ただし、無補強のNo.1では壁と側柱が一体となってせん断破壊したのに対して、補強した試験体では壁のせん断破壊時には柱は外見上大きな損傷がなく、変形角  $1/25(\text{rad})$  まで柱の耐力に相当するせん断力が維持された。

斜め方向に炭素繊維シートを貼付けた試験体はすべ

て、無補強の試験体に較べて最大耐力が増加し、増加量は補強量の多いものほど大きかった。

一方、シリーズ1で炭素繊維シートを縦横方向に貼った試験体 W-C1-B は、無補強の試験体 W-N と比べて耐力の増加はみられなかった。

図-6 に No.2 試験体の壁面に貼った炭素繊維シートのひずみ分布を示す。CF アンカーは梁および柱の中央

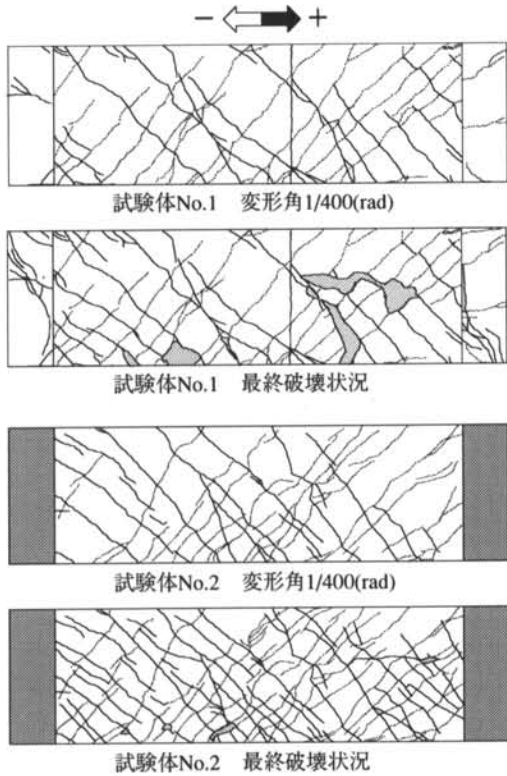


図-4 破壊状況 (No.2は補強のない裏面で観察)

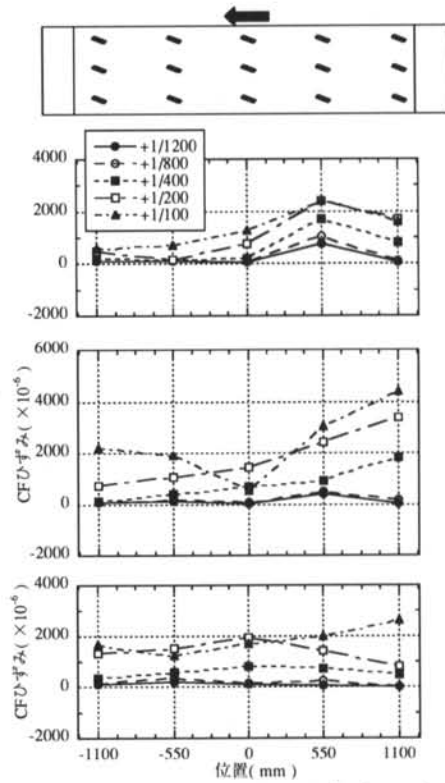


図-6 炭素繊維シートのひずみ分布 (No.2)

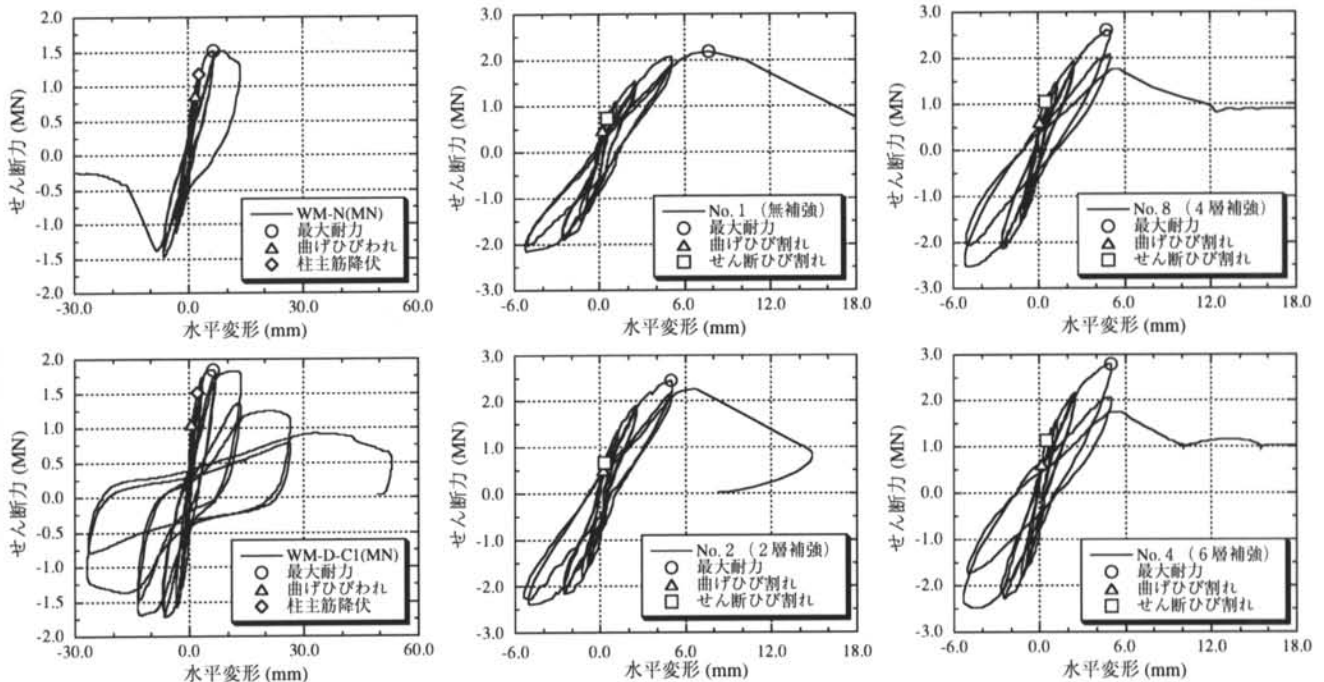


図-5 荷重-変形関係

を境に方向を変えて炭素繊維シートに接着されている。したがって炭素繊維シートの繊維方向とCFアンカーの方向が一致しているのは壁面の炭素繊維シートの半分である。しかし、炭素繊維シートのひずみはCFアンカーの方向と関係無くほぼ均一に分布している。

また、柱の炭素繊維シートのひずみはNo.2～No.8の全試験体で、破壊まで200 $\mu$ に達しなかった。したがって、柱の補強は壁のせん断耐力の上昇にはほとんど関与していないと思われる。

## § 5. 結果の検討

### 5.1 最大耐力の算定

炭素繊維シート補強が負担するせん断力を算定する上で、壁の変形を図-7のように仮定する。ここではせん断変形が卓越する壁について扱うこととし、曲げ変形を無視して壁板が平行四辺形に変形すると仮定する。壁面に斜めに貼り付けられた炭素繊維シートを、既存の壁に並列して設置された引張ブレースと考える。炭素繊維シートのひずみが壁全面で均一であると仮定すると、その負担せん断力は次式で表される。炭素繊維シートの引張力は上下の梁と左右の柱に伝達され、上梁に伝達される力の水平成分が負担せん断力となる。ここで $\sigma_{cf}$ および $E_{cf}$ は補強効果を算定する上で用いる炭素繊維シートの見掛け上の引張強度およびヤング係数で、材料試験の値とは異なる。これらは実験結果より決定される。

$$Q_{cf} = L \cdot t_{cf} \cdot \sigma_{cf} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (1)$$

$$\sigma_{cf} = E_{cf} \cdot (\delta / h) \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (2)$$

ただし、

$Q_{cf}$  : 炭素繊維シートが負担するせん断力

$L$  : 壁内法長さ

(シリーズ1では1800mm、  
シリーズ2では2700mm)

$h$  : 壁高さ

(シリーズ1では1200mm、  
シリーズ2では900mm)

$t_{cf}$  : 炭素繊維シートの厚さ

$\sigma_{cf}$  : 炭素繊維シートの見掛け上の強度

$E_{cf}$  : 炭素繊維シートの見掛け上のヤング係数

$\delta$  : 壁頂部の水平変形

$\theta$  : 炭素繊維シートが水平となす角度

(シリーズ1では $\sin \theta = 0.555$ 、 $\cos \theta = 0.832$ 、  
シリーズ2では $\sin \theta = 0.316$ 、 $\cos \theta = 0.949$ )

図-8に炭素繊維シートの見掛け上の応力度の推移を示す。各変形時における補強した試験体 (No.2、8、4) の荷重と無補強の試験体 (No.1) の荷重の差を炭素繊維シートが負担する水平せん断力 $Q_{cf}$ と考え、(1)式、(2)式より逆算して $\sigma_{cf}$ を求め縦軸にとった。図中、(2)式において $E_{cf}=230(\text{GPa})$ とおいた計算値を合わせて示した。これは、炭素繊維シートとコンクリートとの付着が全くない状態を示している。変形が小さい時には、炭素繊維シートは見掛け上剛性が高くなり、 $E_{cf}=230(\text{GPa})$ の計算値よりも見掛け上の応力度が大きくなっている。これは炭素繊維シートがコンクリートに付着している影響と考えられる。変形が進むとコンクリートが損傷し炭素繊維シートとコンクリートとの剥離が進行するた

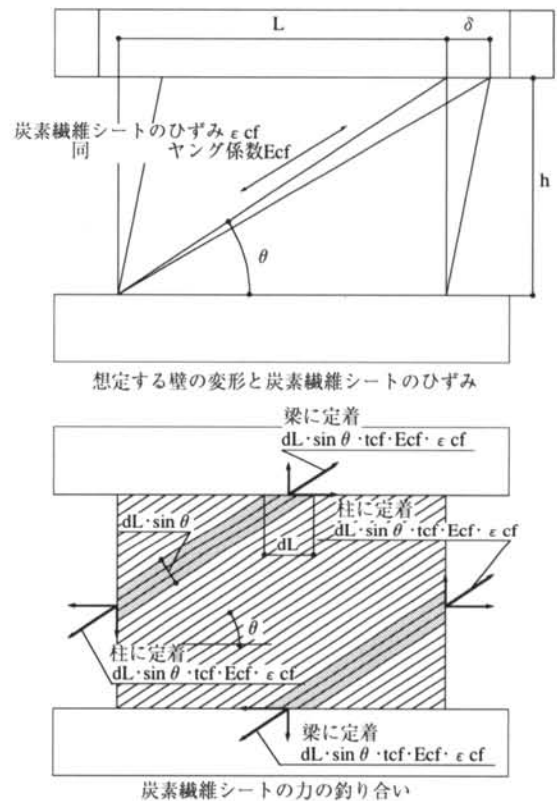


図-7 炭素繊維シートの負担せん断力算定モデル

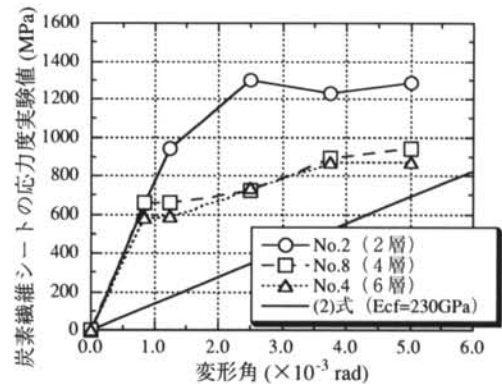


図-8 炭素繊維シートの見掛け上の応力度の推移

めに、炭素繊維シートの見掛けの応力度は計算値に近付いていく。

図-9に炭素繊維シート補強量とせん断力の関係を示す。図中にはNo.1, 2, 8, 4の実験結果を○印でプロットし、変形角1/400(rad)と1/200(rad)の時のについて線形回帰式を示した。回帰式の第2項の係数が、(1)式における炭素繊維シートの見掛け上の強度 $\sigma_{cf}$ に相当する。変形角1/400(rad)の時および最大耐力時(変形角1/200rad)での $\sigma_{cf}$ はそれぞれ680(MPa)、842(MPa)である。

通常せん断破壊型の壁の最大耐力時変形は1/250(rad)程度であると言われている<sup>10)</sup>。しかし図-8から解るように、変形角1/400(rad)から $\sigma_{cf}$ がほとんど増加しなくなる場合があること(No.2)、本提案式では曲げ変形を無視していることなどを考慮し、1/400(rad)の時の強度を用いて壁の最大耐力を算定するものとする。すなわち、(1)式において

$$\sigma_{cf} = 680 \text{ (MPa)} \quad (3)$$

とする。

補強された壁の最大耐力は、補強前の壁の耐力に(1)式で計算した炭素繊維シートにより負担されるせん断力 $Q_{cf}$ を足し合わせることで求まる。壁の耐力は曲げ耐力およびせん断耐力のうちの小さい値をとる(計算式は耐力を適切に算定できるものであれば何でも良い。例えば、「改定版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準 同解説」などによる)。本工法は壁自体の構造特性を改良するものではなく、既存の壁に並列して炭素繊維シートのプレースを形成するものであることから、 $Q_{cf}$ は壁の破壊形式に関係無く(1)式により計算することができる。

ここで注意を要するのは、本工法によりせん断破壊型の壁を補強した場合、補強された壁のせん断耐力が補強前の壁の曲げ耐力を上回っても、壁の破壊モードが曲げ破壊型になるわけではないという点である。むしろ、炭素繊維シートやCFアンカーの破壊は脆性的であることから、もともと曲げ破壊型の壁に用いた場合には炭素繊維シートの破壊時に $Q_{cf}$ 分の急激な耐力低下を生じる恐れがある。したがって、本工法はせん断破壊型の壁の補強に用い、強度抵抗型の補強設計を行うのが望ましい。

図-10(a),(b)に(1)式による $Q_{cf}$ の計算値と実験値との比較を示す。 $Q_{cf}$ の実験値として、補強した試験体と補強していない試験体のせん断力の差をとった。(a)は変形角1/400(rad)の時のせん断力から $Q_{cf}$ 実験値を求めた場合、(b)は最大耐力時である変形角1/200(rad)の時のせん断力から $Q_{cf}$ 実験値を求めた図である。ピッチ系の炭素繊維シートを用いたもの、片面に4層の補強を行ったもの、CFアンカーを用いなかったものを除くと、実

験値と計算値はよい対応をしている。

## 5.2 補強の上限

本補強方法では炭素繊維シートとコンクリートとが付着していることにより、見掛け上炭素繊維シートの剛性が大きくなり大きな補強効果が得られている。したがって、ある程度以上炭素繊維シートの重ね枚数を増やしても、炭素繊維シートとコンクリートの剥離が進行するために補強効果は頭打ちとなる。

図-9に片面に4層貼った試験体No.3の実験結果を▲印でプロットした。片面当たり3層、両面で合計6層

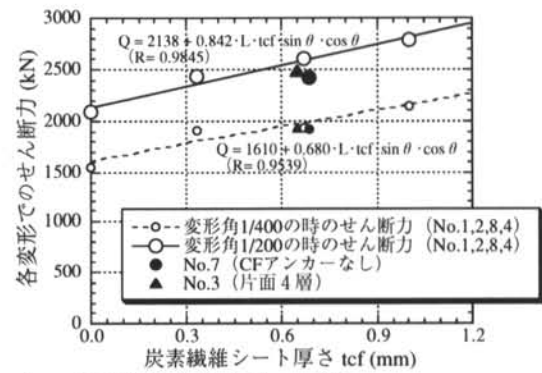
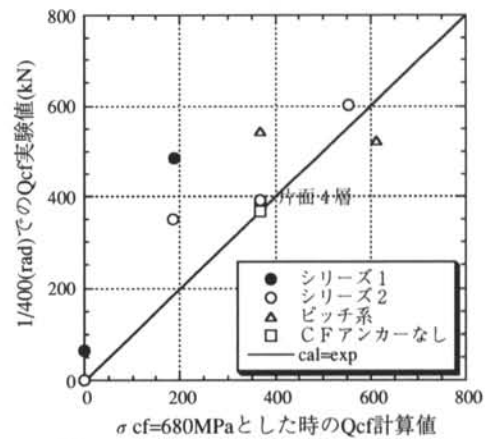
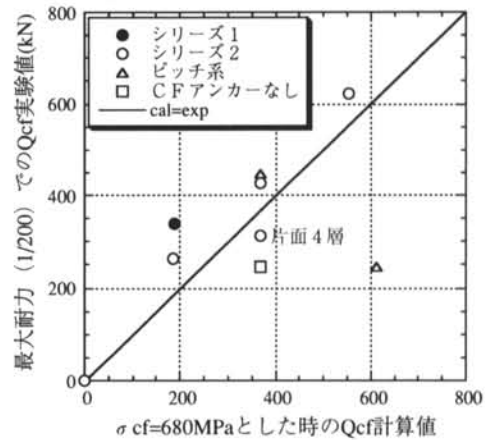


図-9 せん断力と補強量の関係



(a)  $Q_{cf}$ を1/400(rad)の時点で評価した場合



(b)  $Q_{cf}$ を最大耐力の時点で評価した場合

図-10  $Q_{cf}$ の計算値と実験値の比較

貼ったNo.4は回帰線上にあり、片面当たり3層はまだ補強の上限に達していないことがわかる。また、両面で6層という補強量も上限とはなっていない。これに対して、片面のみに4層貼ったNo.3の最大耐力は2.49(MN)で、炭素繊維シートの総枚数は4層でNo.4の6層よりも小さいにもかかわらず回帰式をかなり下回っている。このことから、片面当たりの貼り付け層数3層と4層の間に補強量の上限があると考えられる。

補強の上限には炭素繊維シートとコンクリートとの剥離の影響があることから、上限値は壁筋比換算された数値としてではなく、炭素繊維シートの厚さとして与えられる。本実験の結果では(1)式による補強効果算定の上限は以下の通りである。

- ・片面当たり  
300g/m<sup>2</sup>のシートを3層(設計厚さ0.501mm)
- ・両面に補強した場合は表裏合計で  
300g/m<sup>2</sup>のシートを6層(設計厚さ1.00mm)

### 5.3 CFアンカーの効果

図-9にCFアンカーを用いずに炭素繊維シートのみを貼り付けたNo.7の実験結果を●印でプロットした。変形角1/400(rad)ではCFアンカーの有無でせん断力にほとんど差はない。炭素繊維シートは補強材として有効に機能しているが、CFアンカーは設計上の最大耐力と想定する変形角1/400(rad)以下ではその効果は顕著ではないことがわかる。しかし変形角1/200(rad)ではNo.7のせん断力はNo.4を下回っており、1/400(rad)以降の領域ではCFアンカーに耐力を上昇させる効果が見られる。また、壁の破壊が外周フレーム付近で顕著にな

るような場合もあることを考えると、CFアンカーは必要であると考えられる。

### §6. まとめ

炭素繊維シートとCFアンカーを用いたRC壁のせん断補強工法を提案し、実験によりその効果を調べた。その結果以下の知見を得た。

(1) 壁面に対角線方向に炭素繊維シートを貼り付け、その端部を外周フレームにCFアンカーで定着することにより、炭素繊維シートを引張ブレースとして働かせて壁のせん断耐力を上昇させることができる。炭素繊維シートが負担するせん断力は次式により算定することができる。

$$Q_{cf} = L \cdot t_{cf} \cdot \sigma_{cf} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (1)$$

ただし、 $\sigma_{cf}=680$ (MPa)

$$t_{cf} \leq \text{片面当たり } 0.5\text{mm、両面で } 1.0\text{mm}$$

(2) CFアンカーは、炭素繊維シートとコンクリートとの剥離が顕著になる変形角1/400(rad)以降における補強効果を維持させるため、および外周フレーム付近での破壊が生じた場合にも補強効果を発揮させるために必要なものである。

### 謝辞

本報告の一部は、(財)石油産業活性化センターの研究開発事業「ピッチ系炭素繊維を用いたコンクリート構造物補強材料の開発」の研究成果の一部である。

### <参考文献>

- 1) SR-CF工法研究会：“SR-CF工法 既存建築物の耐震改修設計施工指針”，平成13年2月
- 2) 矢部喜堂，藤井栄，田才見，永井仁，宇野功一，小林正浩，益尾潔，井上寿也，ほか24名：“壁付きRC柱の新しい耐震補強工法(CFアンカー)の開発(その1～その8)”，日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)，構造IV，1999年9月，pp.21～36
- 3) 益尾潔，神野靖夫：“袖壁貫通型アンカーを用いた柱のみのCFRPシート巻き付け工法による袖壁付きRC柱の補強効果”，日本建築学会構造系論文集，第536号，2000年10月，pp.121～128
- 4) 塚越英夫，神野靖夫：“炭素繊維シートとストランドによるT形梁のせん断補強に関する実験的研究”，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21, No.3，1999年，pp.1531～1536
- 5) Y.Jinno, H.Tsukagoshi, Y.Yabe：“RC Beams with Slabs Strengthened by CF Sheets and Bundles of CF Strands”，(出版予定FRPRCS-5)，2001年
- 6) 神野靖夫，塚越英夫：“炭素繊維シートとCFアンカーにより補強された鉄筋コンクリート壁の構造性能”，日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)，構造IV，1998年9月，pp.209～210
- 7) 神野靖夫，塚越英夫：“炭素繊維シートとCFアンカーにより補強された鉄筋コンクリート壁の構造性能評価”，日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)，構造IV，1999年9月，pp.67～68
- 8) 塚越英夫，神野靖夫，池谷純一：“炭素繊維ストランドアンカー(CFアンカー)の引き抜き性状”，日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)，構造IV，2000年9月，pp.421～422
- 9) 齋藤秀人，池谷純一：“炭素繊維補強の防火性能について”，コンクリート工学論文集，第11巻第3号，2000年9月，pp.63～70
- 10) (財)日本建築防災協会：“改定版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準 同解説”，1990年