

# 報告 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

塚越英夫\*<sup>1</sup>・神野靖夫\*<sup>2</sup>・池谷純一\*<sup>3</sup>・矢部喜堂\*<sup>4</sup>

要旨：炭素繊維シートによる補強は閉鎖型に巻き付けることによって、その効果が十分に発揮される。建築物の梁の多くはスラブが付いているために炭素繊維シートを閉鎖型に巻き付けることが困難である。そこで筆者らはスラブに小さな孔を開けて炭素繊維ストランドを通して疑似閉鎖型の補強を行うことを考えた。本稿は C F アンカーの定着方法や補強量を変えた場合の補強効果を実験によって検討した結果を記した。その結果、疑似閉鎖型の補強は閉鎖型とほぼ同等の評価をすることができた。

キーワード：せん断補強、炭素繊維シート、C F アンカー、T 形梁、模型実験

## 1. はじめに

一般的に、梁はせん断破壊する場合でも、軸力がないために柱に比べてその進展が激しくない。このため既存建築物の保有性能を評価する簡便な方法として、設計者は梁を無視した『耐震診断の第 2 次診断』を行うことも多い。しかし、建築物の正確な保有性能を評価するには主要な構造要素である梁も考慮する必要がある、特に補強設計を行う場合は梁や連層耐震壁も評価する第 3 次診断による必要がある。また、耐震診断基準<sup>1)</sup>によると、梁のせん断補強を行い破壊モードを変えると補強効果は単純な評価として 2 倍の値が得られる。従って、梁のせん断補強は重要であり、スラブの崩落や天井の破壊防止にもなる。

一方、炭素繊維シートで梁のせん断補強を計画した場合、一般的な梁にはスラブが付いており、シートを閉鎖型に巻き付けることは困難である。このためいかに変形性能の改善を行うかが重要なポイントである。そこで筆者らは、これまでに壁付き柱に対して、炭素繊維ストランドによる C F アンカーを用いて疑似閉鎖型の補

強を行うことを提案した<sup>2), 3)</sup>。本稿では、T 形梁に対して C F アンカーを用いた場合の構造性能の確認を行ったので、その結果について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 C F アンカー

C F アンカーとは必要量の炭素繊維ストランドを束ねて、閉鎖型を形成することを阻害しているスラブや壁に小さな孔を開けて貫通させ、炭素繊維シートに重ね貼りをして疑似閉鎖型を形成するパッチ的な材料である。

施工方法は炭素繊維ストランドの束をエポキシ樹脂に浸せきさせた後に孔に通し、端部を扇状に広げて炭素繊維シートに接着させる。

C F アンカーの基本性状を確認するために、T 形梁に使用した炭素繊維ストランドと含浸接着樹脂からなる C F R P ロッドを製作して、その引張試験を実施した。炭素繊維ストランドは炭素繊維シートと同一のひも状の製品 (T700、12K) であり、これを 38 本束ねて C F R P ロッドの試験片とした。

\* 1 清水建設 (株) 技術研究所構造技術開発部主任研究員 工博 (正会員)

\* 2 清水建設 (株) 技術研究所構造技術開発部研究員 工修

\* 3 清水建設 (株) 技術研究所先端技術開発部研究員

\* 4 清水建設 (株) 技術研究所構造技術開発部部長 工博 (正会員)

5 供試体の試験結果による平均値の58.5kNはカタログ値から得られる57.3kNを僅かに上回っていた。

## 2.2 T形梁試験体

試験体の一覧を表1に示し、配筋状況、試験体形状およびCFアンカーの定着タイプを図1

に示す。標準的な試験体の断面寸法は、幅30cm、せい50cmであり、実大の2/3スケールモデルを想定した。また、全ての試験体形状は厚さ10cmのスラブを20cmづつ両側に付けたT形梁とした。実験のパラメータは、

①CFアンカーの定着方法

表1 試験体一覧

試験体名	略名称	M/QD	b×D×Lo	層数	pg*	備考
G0-S0-N	N	1.00	30×50×100	0	2.30%	無補強試験体
G1-S1-A	A	1.00	30×50×100	1	2.30%	付着試験体、アンカーA
G1-S1-B	B	1.00	30×50×100	1	2.30%	付着試験体、アンカーB
G1-S1-C	C	1.00	30×50×100	1	2.30%	付着試験体、アンカーC
G1-S1-D	D	1.00	30×50×100	1	2.30%	付着試験体、アンカーD
G1-S1-40B	40B	1.25	30×40×100	1	2.87%	M/QD=1.25
G1-S1-60B	60B	0.83	30×60×100	1	1.91%	M/QD=0.83
G1-S1-80B	80B	0.80	30×50×80	1	2.30%	Lo=80、M/QD=0.8
G1-S2-B	S2B	1.00	30×50×100	2	2.30%	曲げ付着試験体
G1-F2-B	F2B	1.00	30×50×100	2	1.53%	曲げ試験体

\* ; Pgは矩形断面に対しての主筋比

注 ; 特記なき場合は付着試験体、アンカーはBタイプ

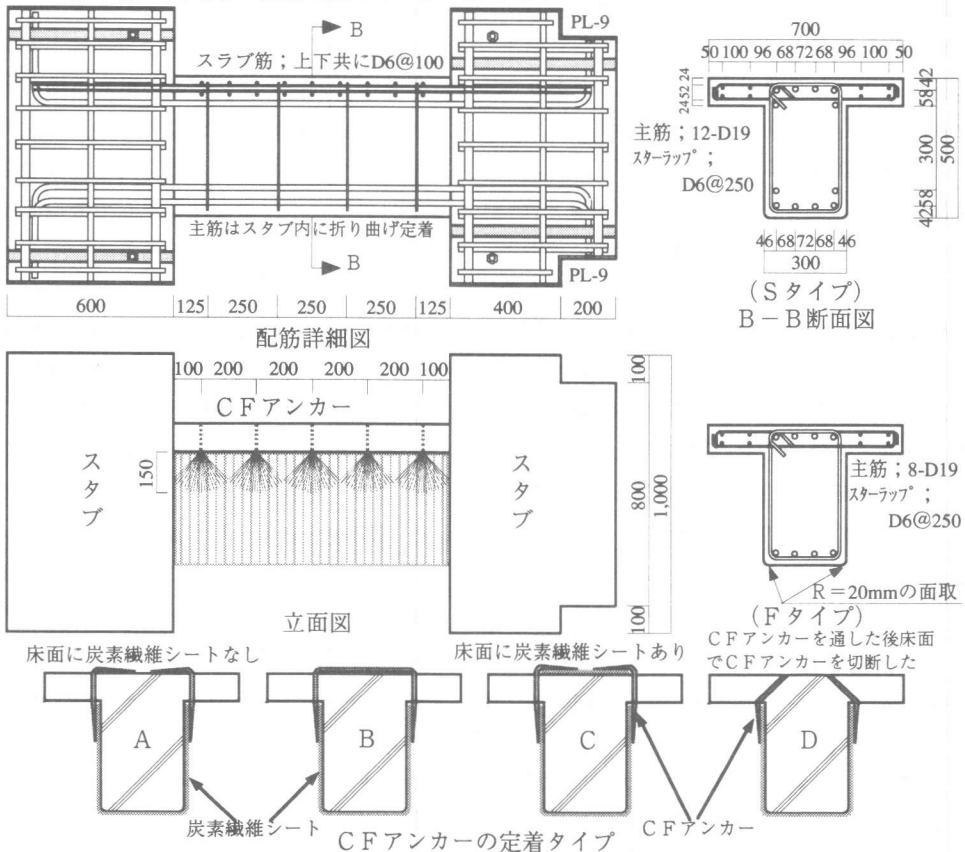


図1 試験体概要

表2 材料の機械的性質

炭素繊維シート、引張強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	鋼材呼び名	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	伸び (%)
FTS-C1-30	3,400	230	D 6	345	529	183	19.1
メーカーのカタログ値による			D 19	375	572	185	17.1
注；*は60B、80B試験体			コンクリート	圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	ポアソン比
			一般	28.0	2.45	29.1	0.240
			一部*	25.1	2.40	30.2	0.233

②先行破壊モード  
 ③せん断スパン比  
 として。梁側面におけるCFアンカーの定着方法は全試験体ともに共通で、炭素繊維シートに15cm定着させ、20cmピッチで扇状に広げて隣同士を僅かに重ねた。本実験ではCFアンカーを用いた場合の基本的な構造性状を確認することを目的としたため、定着部分では本来実施すべき炭素繊維シートの直交貼りを行わなかった。また、炭素繊維シートやストランドが折れ曲がる部分では面取り半径を2cmとした。  
 CFアンカーのストランドは素線が24000本(24K)集まったものを使い、孔あけ間隔から求まるストランドの炭素繊維量は同じ間隔に貼った炭素繊維シートの量と等しくした。本試験体では300g目付けのシートを用い、この時にコンクリートに

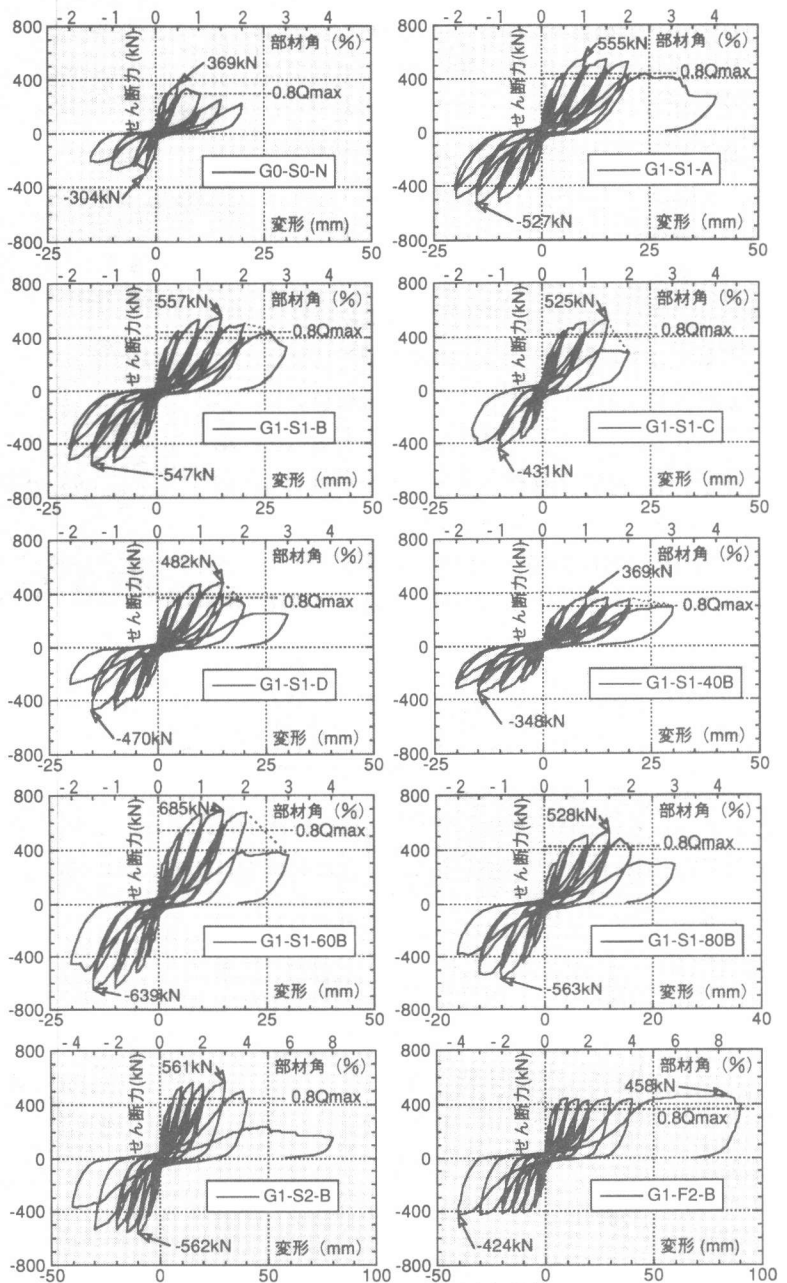


図2 せん断力一部材角関係

開けた孔の直径は1層の20cm幅分で13mm、2層では19mmである。

使用した材料の機械的性質を表2に示す。載荷方法は逆対象の正負交番漸増載荷とした。

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊性状

実験から得られたせん断力-部材角関係を図2に示す。無補強のN試験体は部材角0.5%でせん断ひびわれが生じ、その後の変形の進展に伴ってひびわれ幅が大きくなり、せん断破壊した。

炭素繊維シート1層補強した試験体の破壊性状はほぼ同一で部材角1%で主筋やスターラップ筋が降伏し、CFアンカーどうしの重なり部分の炭素繊維シートが繊維に添った方向に割れ始めた。その後の変形の進展で、炭素繊維シートに皺がより、繊維に添った割れが顕著になり、CFアンカーの中心部を残す形で炭素繊維シートがコンクリートから剥がれた(写真1参照)。その後、残った炭素繊維シートが破断した。

炭素繊維シート2層補強したS2B試験体とF2B試験体は部材角1.5~2%で炭素繊維シートの繊維に添った割れが生じたが、1層試験体程

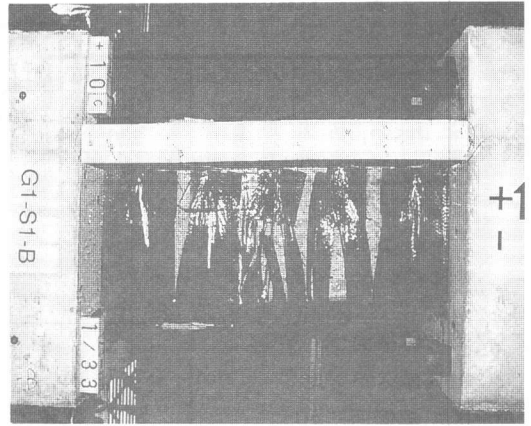


写真1 B試験体の最終破壊状況

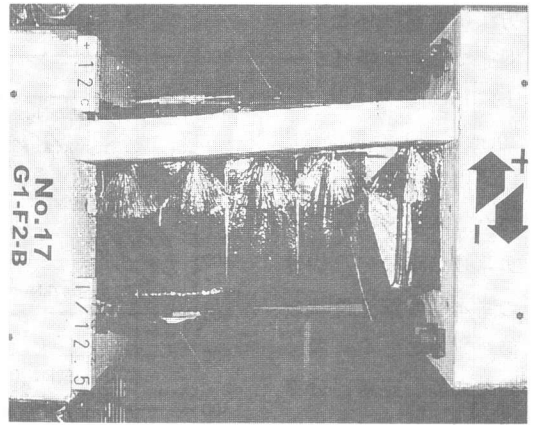
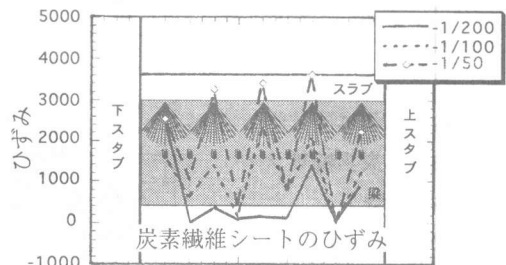
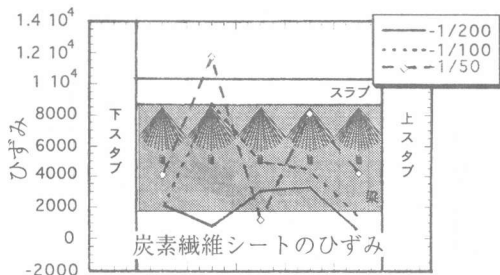
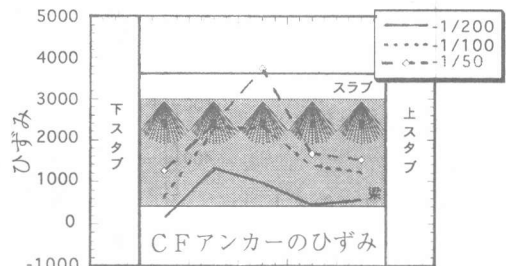
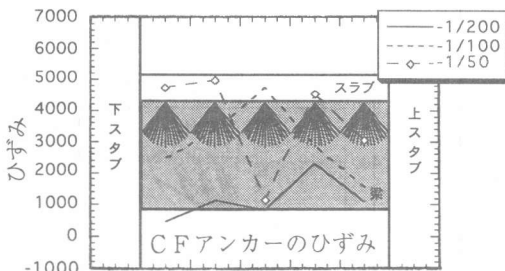


写真2 F2B試験体の最終破壊状況



(a) G1-S1-B 試験体

(b) G1-F2-B 試験体

図3 CFアンカーと炭素繊維シートのひずみ分布

表3 終局耐力の実験値と計算値一覧

試験体名	略名称	Qexp	Qmu	Qsu	Qsub	Qexp/cal	Qexp/mu	Qsu/mu	Qsub/mu
G0-S0-N	N	369kN	546kN	324kN	487kN	1.14	0.658	0.593	0.892
G1-S1-A	A	541kN*	546kN	738kN	503kN	1.08	0.991	1.352	0.921
G1-S1-B	B	552kN*	546kN	738kN	503kN	1.10	1.011	1.352	0.921
G1-S1-C	C	525kN	546kN	738kN	503kN	1.04	0.962	1.352	0.921
G1-S1-D	D	482kN	546kN	738kN <td 503kN	0.96	0.883	1.352	0.921	
G1-S1-40B	40B	359kN*	422kN	557kN	362kN	0.99	0.851	1.320	0.858
G1-S1-60B	60B	662kN*	670kN	887kN	610kN	1.09	0.988	1.324	0.910
G1-S1-80B	80B	546kN*	683kN	715kN	505kN	1.08	0.799	1.047	0.739
G1-S2-B	S2B	562kN*	546kN	899kN	519kN	1.08	1.029	1.647	0.951
G1-F2-B	F2B	441kN*	376kN	899kN	519kN	1.17	1.173	2.391	1.380

注；\*は正負の平均値、Qcal=min(Qmu,Qsu,Qsub)

破壊モード；N-せん断破壊、D-曲げ降伏とシートの剥離に伴う付着破壊がほぼ同時、

A,B,C,40B,60B,80B,S2B-曲げ降伏後のシートの剥離に伴う付着破壊、F2B-曲げ降伏

には炭素繊維シートがコンクリートから剥離せず、最終破壊はCFアンカーがシートから剥離した(写真2参照)。

### 3.2 ひずみ分布

CFアンカーの定着に対して応力の大きい方向にある梁側面でのひずみ分布を図3に示す。B試験体は炭素繊維シートが1層のため、部材角2%時には部分的にシートがコンクリートから剥がれ、その近傍のひずみ値が1%を超える程大きくなっている。これに対し、F2B試験体はシートが2層のため、繊維に添った割れが顕著ではなく、比較的均一なひずみ分布となっている。また、炭素繊維シートのひずみ分布はCFアンカーの扇の端部で小さく、中央で大きくなっている。

### 3.3 終局耐力の評価

計算耐力(Qcal)と実験から得られた最大耐力(Qexp)の一覧を表3に示す。計算耐力はSR-CF工法<sup>4)</sup>に示された設計式によって炭素繊維シートを評価した。具体的には計算耐力は曲げ耐力(Qmu)、せん断耐力(Qsu)、付着耐力(Qsub)の最小値で決まる。この時に、曲げ耐力は炭素繊維シートを無視して中段筋やスラブ筋を考慮した式を用い、せん断耐力と付着耐力は終局強度型指針の式<sup>5)</sup>のせん断補強筋の項に炭素繊維シートの寄与分を累加した。

計算値と実験値の対応を図4に示すが、せん

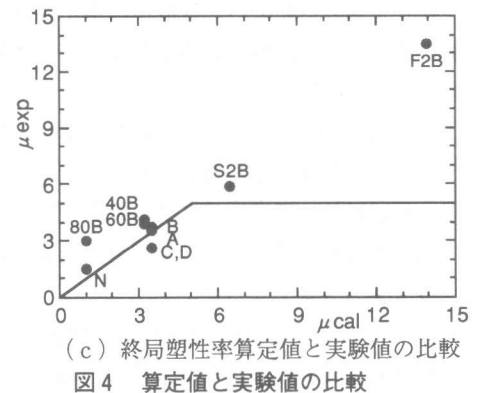
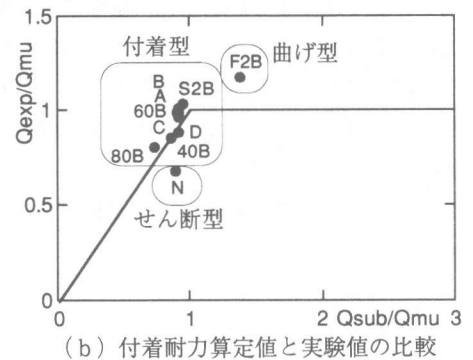
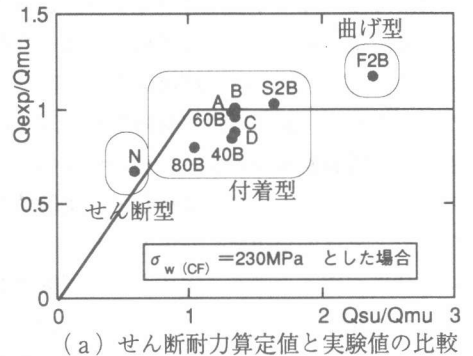


図4 算定値と実験値の比較

断破壊で耐力が決まるのはN試験体のみであり、曲げ破壊で耐力が決まるのはF2B試験体のみである。これ以外の8体は付着破壊で耐力が決まり、40B試験体とD試験体の実験値が僅かに計算値を下回った。D試験体では擬似閉鎖型になっていないことおよびスラブ面で切断したCFアンカーが一部抜け出したため、補強効果が充分ではなかったことが挙げられる。しかし、これ以外の試験体の最大耐力はSR-CF工法の設計式で評価できることが判った。

### 3.4 終局塑性率の評価

最大耐力の80%時の部材角を限界部材角として、終局塑性率についても実験から得られた結果とSR-CF工法から得られる計算値を比較した。この時に、曲げ降伏部材角を1/150とした。また、耐震診断基準による終局塑性率の適用範囲は5以下であることを考慮して、実験値が5以上のときは安全領域にあるとみなした。これらの結果を表4と図4に示すが、C試験体とD試験体を除く8体についてSR-CF工法の設計式で評価できることが判った。実験値が計算値よりも小さかった試験体のうち、C試験体はスラブ部分での定着性能に問題があった。これは、扇状に広げてCFアンカーを定着する場合には広げた方向に引張力が生じ、この力によってスラブ面に貼った炭素繊維シートが剥がされたためである。

### 4. まとめ

CFアンカーによって擬似閉鎖型としたT形梁の構造性能を実験的に検証した。この結果、以下の知見を得た。

- ①炭素繊維シートでT形梁を補強すると、最大耐力は計算値と良好な対応を示した。
- ②1層試験体の実験結果による終局塑性率は定着方法のB、Cタイプを除き計算値を上回り安全側の評価となった。
- ③CFアンカーによる擬似閉鎖型の補強効果は独立柱の補強設計法のSR-CF工法を用いて

表4 終局塑性率の実験値と計算値一覧

試験体名	限界部材角	$\mu_{exp}$	$\mu_{cal}$	$\mu_{exp/cal}$
G0-S0-N	1.01%	1.52	1.00	1.52
G1-S1-A	2.37%	3.56	3.52	1.01
G1-S1-B	2.51%	3.77	3.52	1.07
G1-S1-C	1.74%	2.61	3.52	0.74
G1-S1-D	1.74%	2.61	3.52	0.74
G1-S1-40B	2.73%	4.10	3.20	1.28
G1-S1-60B	2.59%	3.89	3.24	1.20
G1-S1-80B	2.00%	3.00	1.00	3.00
G1-S2-B	3.93%	5.90	6.47	0.91
G1-F2-B	9.01%*	13.52	13.91	0.97

\*；限界部材角を捉えていないので最大部材角とした

評価できた。ただし、定着方法のC、Dタイプは更なる工夫が必要であり、今後の課題としたい。

本研究は(財)石油産業活性化センター(PEC)の研究開発事業の一環として実施した。

### 参考文献

- 1) 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、1990.12
- 2) 塚越英夫、神野靖夫：炭素繊維シートによりせん断補強されたRC柱および袖壁付き柱の構造性能、日本建築学会、学術講演梗概集構造IV、pp.217-218、1998.9
- 3) 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、学術講演梗概集構造IV、pp.209-210、1998.9
- 4) 塚越英夫、矢部喜堂、小林淳、毛井崇博、渡辺茂雄、山田寛次：炭素繊維シートによる鉄筋コンクリート柱の耐震補強工法、コンクリート工学、連続繊維補強コンクリートに関するシンポジウム論文集、pp.187-192、1998.5
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990.11