

# 繊維シートによる RC 部材の補強における 定着方法に関する研究

指導教員 皆川 勝

学生氏名 古谷 嘉康

鉄筋コンクリート構造物の巻き立て補強工法のうち、炭素繊維シート、アラミド繊維シートを主鉄筋方向へ巻き付け補強をする際の定着方法を考案し、その有効性を実験及び数値計算により検証した。橋脚モデルでの一定軸力下での準静的変位制御両振り載荷試験、定着部モデルの静的載荷試験、弾塑性有限要素解析の結果から以下の結論を得た。(1)考案した定着方法を用いることにより、繊維シートを有効な曲げ補強材として用いることができる。(2)定着用治具の形状は山形鋼を利用することが望ましい。(3)本研究で提案した定着方法を採用することにより、繊維シートの破断を防ぎ、その構造物のじん性を向上させることができる。

**[keyword]** Carbon Fiber Sheet, Alamid Fiber Sheet, Earthquake resistance, Statically repeated load, Nonlinear Dynamic Analysis.

## 1. はじめに

本研究は炭素繊維シート(Carbon Fiber Sheet 以後 CFS)、アラミド繊維シート(Alamid Fiber Sheet 以後 AFS)を用いた鉄筋コンクリート(Reinforced Concrete 以後 RC)構造物の角部への定着方法を考案し、その有効性を実験的、解析的に検討するものである。

この種の耐震補強を目的とした研究は、RC 構造物に著しい被害を生じさせた十勝沖地震や宮城県沖地震を契機に始められ、その後の示方書の改定に伴い、活発に行われてきた。このような背景にあって、兵庫県南部地震で生じた今までの常識を覆す被害は、それまで危惧されていた主鉄筋段落し部の曲げ耐力不足、せん断耐力の不足などの RC 構造物のもつ問題点を露呈するばかりか従来の設計の根本を覆すものとなり、緊急な現実問題として耐震補強・補修がなされた。また震害を受けていない既存構造物に対しても十分な補強の必要性が一層明確なものとなり、耐震補強対策がとられている。

既存の RC 構造物、特に橋脚への補強では、耐力の増加だけでなく、じん性を向上させねばり強く

することが重要である。単に耐力を向上させた構造物は大規模な地震時に橋脚から構造物全体に伝達される部材力が大きくなり、そのために大規模な補強が必要となってくる。また、曲げ耐力を上げる事により作用せん断力が増加してせん断破壊に至ることもある。従って、曲げ耐力を過度に上げることなく、じん性を向上させることが重要である。もちろん、じん性のみを十分に向上させたとしても兵庫県南部地震クラスの地震には耐えられない場合が想定されるため、所要の耐力とじん性の向上を図ったバランスの良い補強工法が望ましい。そのような条件を満たす工法として、RC 巻き立て工法<sup>1),2)</sup>、鋼板巻き立て工法<sup>3),4)</sup>及び炭素繊維巻付け工法<sup>5)~8)</sup>等が提案または、実施工されている。このうち、RC 巻き立て工法や鋼板巻き立て工法は断面積、自重の増加が懸念されている<sup>7),8)</sup>。また、今後様々な条件での耐震補強施工が予想され、新しい補強工法の提案が待たれている<sup>7)</sup>。

一方、橋脚への繊維シート(Fiber Sheet 以後 FS)を用いた補強の多くはせん断耐力の向上、じん性の向上を目的とし、それらの研究<sup>4),5),9),10)</sup>は多く、実施例も少なくない。また、曲げ耐力の向上を目的と

した研究<sup>7)</sup>、実施例もある。繊維シートによる補強は軽量で施工性が良いことから利用される機会は増えると思われる。しかし、実際にはせん断補強または、鉄筋段落し部の曲げ補強への利用に限定されており、橋脚基部の補強に利用した例は少ない。これは、繊維シートを角部に定着する適当な方法が開発されていないことによるところが大きい。

そこで本研究では、繊維シートを補強材として用いる場合の角部への定着方法を新たに考案すると共に、その応用例として、RC 橋脚の曲げ補強におけるフーチング部への定着において、この工法が有効であることを実験と数値解析により検証した。

## 2. 考案した定着工法

本研究では、繊維シートを鉄筋コンクリート表面に定着する新たな方法を考案した。

シート状の材料を隅角部へ張り付けて定着をする場合、図-1 に示すように、シートを直接定着部分に接着することが最も容易な定着方法である。シート状の曲げ耐力を有しない材料を固体に接着した状態から鉛直に均一に引き剥がす場合、シートと固体間の鉛直方向の接着強度に依存した定着強度が得られる。しかし、これは、接着面全体を均一に引き剥がす場合のことであって、シートの端部から順次鉛直に引き剥がした場合には、その接着強度はきわめて低くなる。その原因は、端部から順に引き剥がされる場合には、それに抵抗できる有効な接着面積がき

わめて狭い領域に限られることにある。

そこで、本研究では、接着されたシートの引き剥がしにきわめて弱い性質を改善して定着効果を上げるために、図-2 に示すような定着方法を考案した。この方法では、シートを定着部にまで延長して接着した後、その上から定着用治具を接着し、その治具を片持ちはり状態で支えるようにアンカーボルトを定着部に打ち込む。前述のように、シートに引張力が作用した場合、比較的初期にシートは接着面から引き剥がされるが、それと同時に、定着用治具の曲げ剛性によりシートに作用する引張力はアンカーボルトへ伝達される。

図-2 に示したように、定着用治具は L 字型とする。これはシートから定着用治具への応力伝達をスムーズにするため、ならびに、治具先端部でのシートの破断を避けるための処置である。また、隅角部のシートが直角に折れ曲がる部分については、図-6 に示すように適度の曲率を確保するように配慮する。

図-3 に、鉄筋コンクリート橋脚の曲げ補強材としてシートを用いた場合に、本定着方法を応用した場合の概念図を示す。鉄筋コンクリート橋脚の場合には前述のように、曲げ耐力を単純に上げることは必ずしも好ましくない場合がある。しかし、本方法で定着を行う場合、曲げ耐力を上げることはもちろん、定着用治具の材料特性、寸法を変えることによって、定着部に变形能を持たせることができる。したがって、耐力と变形能のバランスに配慮した定着工法として用いることができる。

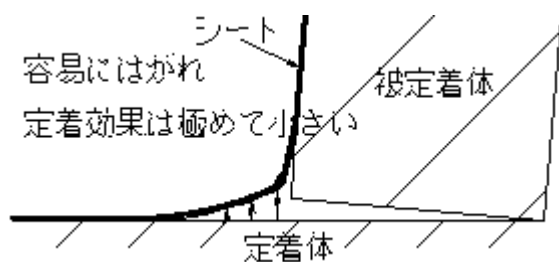


図-1 FSのみによる定着方法

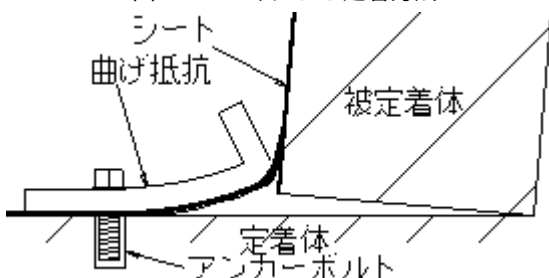


図-2 提案する定着方法

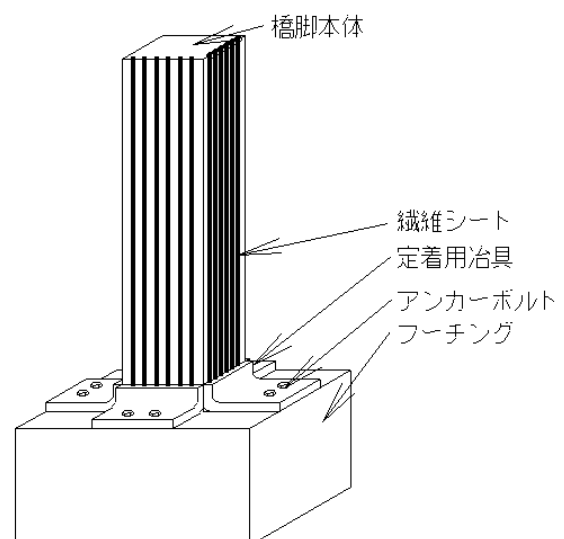


図-3 橋脚への施工例

### 3. 橋脚モデルの載荷実験

RC 橋脚モデル試験体を CFS 又は AFS で曲げ補強する場合について、本研究で考案した定着工法の有効性を実験により検証した。

#### 3.1 材料の力学特性

用いた AFS 及び CFS の材料特性を表-1 に示した。また、補強前供試体に用いた D10 主鉄筋、D6 帯鉄筋、及び定着用治具に用いた鋼材の力学特性を表-2 に示す。

#### 3.2 定着用治具

定着用治具は、山形鋼を加工した治具(L-Type)と平板を加工した治具(P-Type)の 2 タイプを用意した。その形状を図-4 に示す。また、ボルト用孔の直径は 20mm とした。アンカーボルトとして、M16 全ネジ

表-1 FS の材料特性

	CFS	AFS
引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	4810	2710
弾性率(N/mm <sup>2</sup> )	2.45 × 10 <sup>5</sup>	7.85 × 10 <sup>4</sup>
破断ひずみ	0.0111	0.0328
厚さ(mm)	0.167	0.169

表-2 鉄筋と鋼材の力学特性

	弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	断面積(cm <sup>2</sup> )	降伏荷重(N/本)	降伏応力(N/mm <sup>2</sup> )	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )
主鉄筋D10	190 × 10 <sup>3</sup>	0.713	2.52 × 10 <sup>4</sup>	353	526
帯鉄筋D6	173 × 10 <sup>3</sup>	0.317	1.18 × 10 <sup>4</sup>	371	541
定着用治具	206 × 10 <sup>3</sup>	4500		314	450

表-3 供試体一覧

供試体名	FS種類	補強枚数	治具形状	鉄筋比	
				補強前	補強後
N-Type				0.95	
CP-type	CFS	1枚	P-Type	0.95	1.97
CL-type	CFS	1枚	L-Type	0.95	1.97
AP-type	AFS	1枚	P-Type	0.95	1.53
AL-type	AFS	1枚	L-Type	0.95	1.53

ボルトを用いた。

#### 3.3 供試体への巻き立て補強

補強する供試体は、一般的な曲げ破壊先行型の既存 RC 橋脚の 1/6~1/8 程度とした。図-5 に補強前供試体の形状寸法を示す。断面は 300mm × 300mm、スパンは 1000mm、鉄筋比は 0.95 である。無補強のものを含め表-3 に示す 5 タイプの供試体を用意した。供試体タイプ名の 1 文字目は FS の種類を 2 文字目は治具の形状を示す。また、補強後の鉄筋比を算出する際には FS の引張強度から鉄筋量に換算した。

補強にあたっては、まずコンクリートの劣化層をディスクサンダー等により除去、研磨(以降 下地処理)した後にエポキシ系樹脂であるプライマーを塗布し、乾燥後不陸修正を行う。また、下地処理を行う際に 1mm 以上の段差を除去し、図-6 に示す

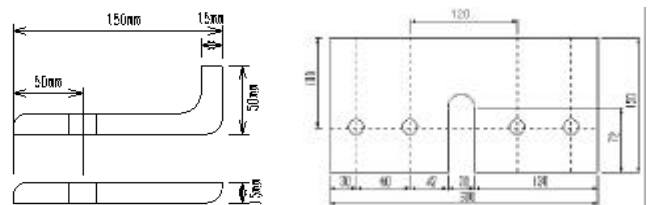


図-4 定着用治具の形状

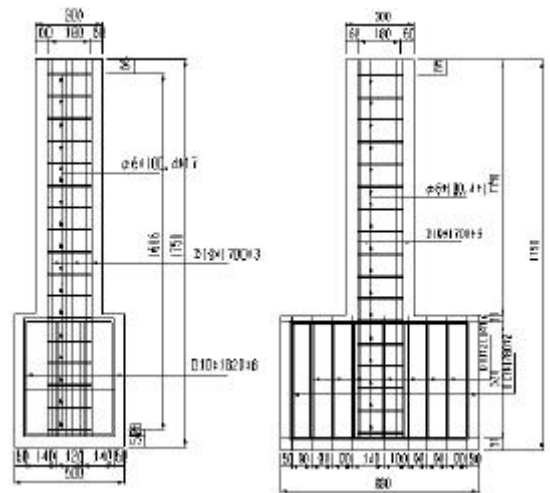


図-5 供試体配筋図

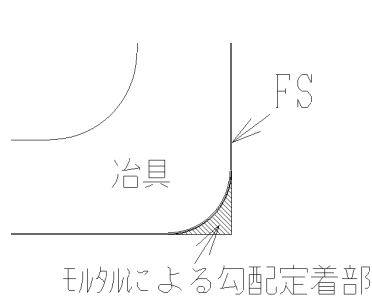


図-6 隅角部の拡大図

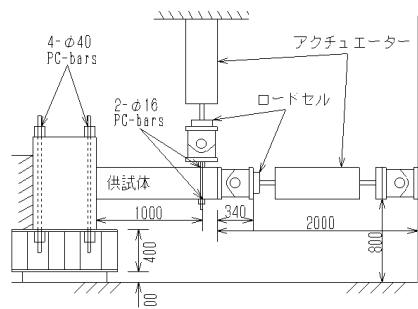


図-7 載荷方法

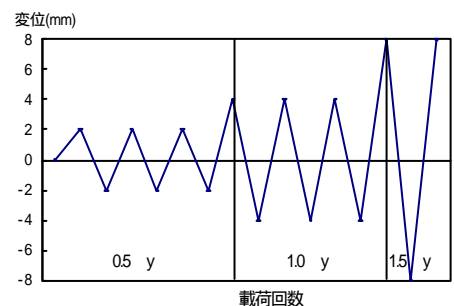


図-8 載荷パターン

ようにモルタルを用いて隅角部に R=10 の勾配を設けた。これは FS の強度低下を緩和させ、作用応力がスムーズに伝達するための処理である。プライマーの指触乾燥後、常温効果エポキシ樹脂(以降 樹脂)を塗り FS を柱軸方向に貼り付け、ゴムベラ等を用いて樹脂を含浸させる。その後、定着用具により FS を圧着し、更に、アンカーボルトによりフーチング基部と固定する。その状況を写真-1 に示す。

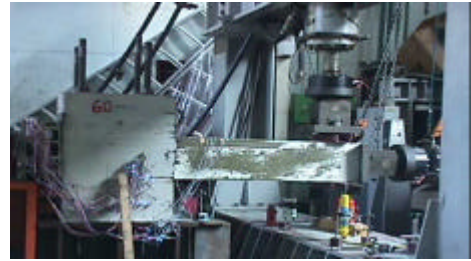


写真-2 橋脚モデル実験載荷状況

### 3.4 載荷方法

載荷方法は、図-7 に示すように片持ち梁の先端に死荷重を想定した 91kN の一定軸方向力を載荷した状態で、柱先端での変位を両振りで静的に制御する方法である。試験機は容量 440kN の電気油圧式サーボパルサー型アクチュエーターである。変位振幅は図-8 に示すように 降伏変位  $y_y$  を基準とし 0.5  $y_y$  , 1.0  $y_y$  , (以降 0.5  $y_y$  刻み) , と変化させた。なおここでいう降伏変位とは、無補強供試体の主鉄筋が降伏を開始する時の供試体先端での変位である。なお、この時の横方向荷重を降伏荷重と呼ぶ。載荷状況を写真-2 に示す。

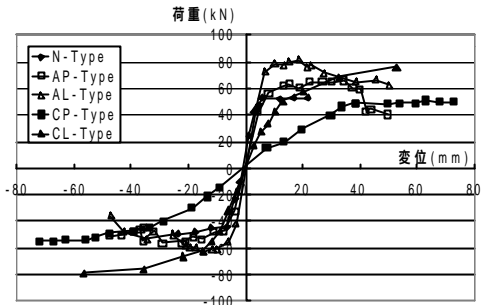


図-9 載荷荷重-変位関係

### 3.5 実験結果及び考察

荷重-変位関係のスケルトンカーブを図-9に示す。また、CFS または AFS により補強された供試体の無次元化荷重振幅と載荷回数の関係をそれぞれ図-10 及び図-11 に示す。ここで荷重振幅は、荷重-変位関係の上下最大変位時の荷重の絶対値を平均したものである。また、無次元化荷重振幅は荷重振幅を更に無補強供試体の降伏荷重で除した値である。なお変位値は柱先端部での値を用いた。

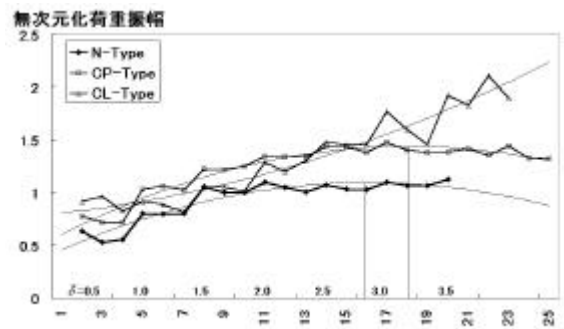


図-10 CFSにより補強された橋脚モデルの無次元化荷重振幅-載荷回数

#### (1) CFS により補強された供試体

CP-Type と CL-Type の無次元化荷重振幅を比べると  $\bar{d}$  ( $= \text{無次元化荷重振幅} / \text{降伏荷重}$ ) = 2.0 までには有意な差はないが、 $\bar{d} = 3.0$  以上になると徐々に差が生じ CL-Type のほうが大きな値となった。また、CP-Type では  $\bar{d} = 2.5$  まで緩やかな上



写真-1 提案した定着工法

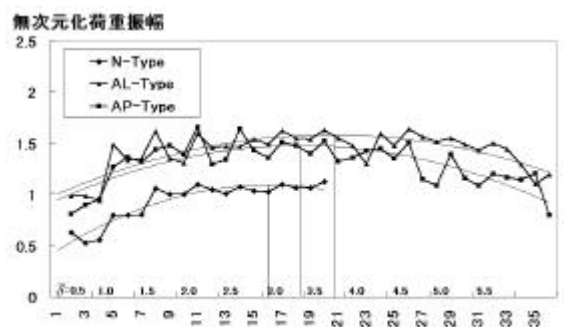


図-11 AFSにより補強された橋脚モデルの無次元化荷重振幅-載荷回数

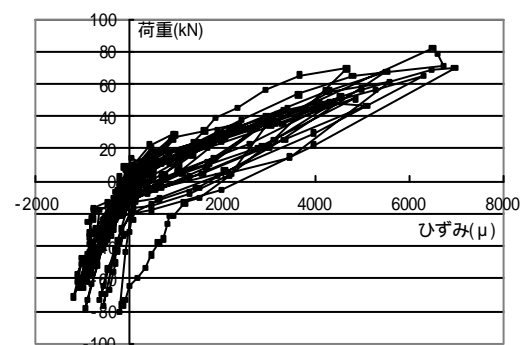


図-12 載荷荷重とCFSのひずみ関係(CL-Type)

昇となり、 $\bar{d}=3.0$  を過ぎると変化がなくなり、CFS が破断するのに対し、CL-Type では $\bar{d}=3.0$  以降顕著に上昇して CFS が破断を起こし、荷重は終了した。最大荷重は、CP-type が約 56kN、CL-type が約 81kN、N-type が約 43kN となっており、CL-type の最大荷重は CP-type 及び N-type の約 1.5 倍となった。

次に、CL-Type の荷重荷重と CFS のひずみの関係を図-12 に示す。荷重荷重が 33kN を超えたところでひずみが増加し始めた。また、測定されたひずみは最大で破断ひずみの 60%をわずかに超えた値となり、CFS が塑性変形を繰り返し受けていることがわかる。

これらの結果より、L 字形治具を用いて CFS を定着することにより曲げ耐力が確実に上昇すること、治具の塑性変形により定着部でエネルギー吸収がなされていることがわかる。

## (2) AFS により補強された供試体

AP-Type と AL-Type について無次元化荷重振幅を比較すると $\bar{d}=2.5$  までは大きな差がなく $\bar{d}=2.5$  を超えたところから徐々に AL-Type のほうは上昇し $\bar{d}=2.5$  をピークとして弧を描くように下降した。また、AP-Type も弧を描くような形になったがそのピークは、 $\bar{d}=3$  となった。最終的には無次元化荷重振幅の差は約 1.2 倍となった。

最大荷重は AL-Type では 79kN、AP-Type は 66kN となり、N-Type の場合の 1.5 倍、1.2 倍の強度であった。また、図には示していないが治具のひずみは最大でも 150 $\mu$  とごく微小なことから治具が変形することなく柱の崩壊を迎えたことが分かる。

## 4. 橋脚モデル解析

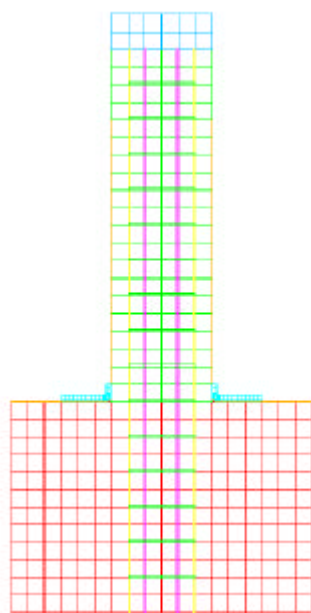


図-13 解析モデル

前節の実験結果により示された補強効果を数値解析により検証するために、2次元有限要素解析を実施した。補強効果の影響を見るため、無補強(N-Type)、CFS のみによる補強(CFS-Type)、治具により CFS を定着した補強(CL-Type)の 3 種類の供試体について解析を行う。

### 4.1 解析方法

CFS の材料特性、治具の材料特性は表-1 及び表-2 に示したものと同様である。解析モデルを図-13 に示す。各要素はすべてシェル要素とした。無補強の場合、要素数は 360、節点数は 595 である。鉄筋コンクリート部分の材料は平均応力による降伏応力の減少を考慮した弾塑性材料とし、鋼板は移動硬化を考慮した等方弾塑性体、シートは等方弾塑性破壊モデルとしており、シートが破断した場合には要素が消去される。また、シートと鋼板、シートと RC 試験体の間には接触面への法線方向とせん断方向について破壊応力を設定する接触要素を挿入している。これによりシートの剥離が考慮できる。剥離は次式により判定される。

$$\left(\frac{s_n}{s_{nf}}\right)^2 + \left(\frac{s_s}{s_{sf}}\right)^2 \geq 1$$

$s_{nf}$  : 垂直破壊応力

$s_{sf}$  : せん断破壊応力

$s_n$  : 結合部に実際に作用している垂直応力

$s_s$  : 結合部に実際に作用しているせん断応力

定着体、被定着体と FS との間には垂直破壊応力 3.43N/mm<sup>2</sup>、せん断破壊応力 102.5N/mm<sup>2</sup> とする接触要素を挿入し、定着用治具と FS との間には垂直破壊応力 2 N/mm<sup>2</sup>、せん断破壊応力 60 N/mm<sup>2</sup> とする接触要素を挿入した。コンクリートと FS との間の垂直破壊応力は参考資料<sup>11)</sup>の値を用いた。なお、FS の補強枚数を 2 枚にしたものはその FS 間に接触要素を挿入せず、剛結とした。

拘束条件は、フーチング基部を完全固定とした。荷重条件については、先端に 91kN の一定軸力を載荷した状態で 400mm/sec での動的単調荷重とした。

#### 4.2 解析結果と考察

各供試体について相当応力分布図，相当塑性ひずみ分布図をそれぞれ図-14 及び図-15 に示す．定量的な結果を得るには至らなかったが，各分布図より FS のみによる補強では，その効果はほとんど見られないのに対して，本稿で提案した定着工法を用いることで補強効果が顕著に向上することが明らかとなった．

### 5. 隅角部モデルの荷重実験

次に，RC 構造物の隅角部に FS を定着する際の有効性について検討するために，隅角部をモデル化した小型供試体を作成し，その荷重実験を実施した．

#### 5.1 材料の力学特性

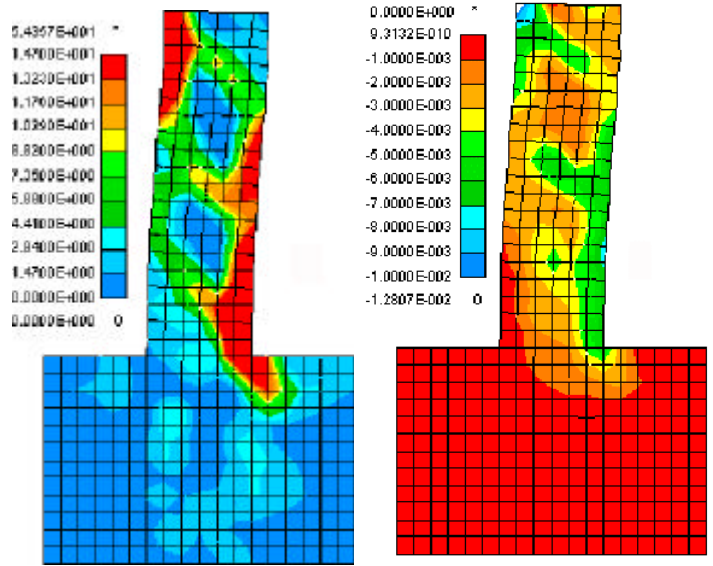
鉄筋の力学特性，補強材として用いた FS の力学特性，定着用器具の力学特性は表-1，表-2 に示したものと同様である．また，器具は，山形鋼を加工したものを使用した．その形状を図-16 に示す．

#### 5.2 供試体の概要

供試体は図-17 に示すように鉄筋コンクリート製定着体，無筋コンクリート製被定着体，及びそれらを定着するための繊維シート，定着用器具，及びアンカー用高力ボルトからなる．定着体には図-18 に示すよう配筋し，更に，アンカーボルトの代用に全ネジの M16 高力ボルトを埋め込んでいる．ここで高力ボルトを用いているのは，アンカーボルトの引き抜けが実験結果に影響を及ぼさないようにするためである．

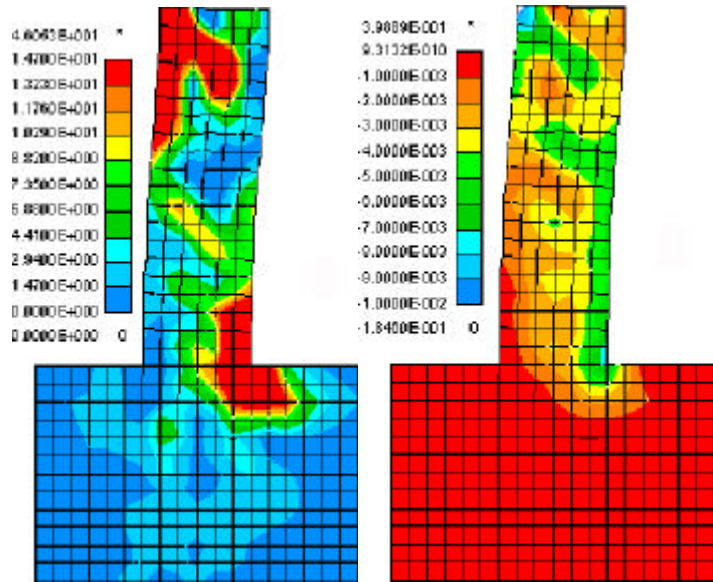
定着体の中央部には，110mm × 110mm の孔が開けてあり，その中に被定着体を差し込む．その状態で定着体及び被定着体に FS を接着し，その上から定着用器具として L 字鋼を接着して，これをアンカー用高力ボルトで締め付けた．

実験では表-4 に示す 4 タイプの供試体を用意した．供試体タイプ名の 1 文字目は FS の種類を示し，2 文字目は補強枚数，最後の数字は器具の厚み(mm)を示す．なお，隅角部へ R=10 の



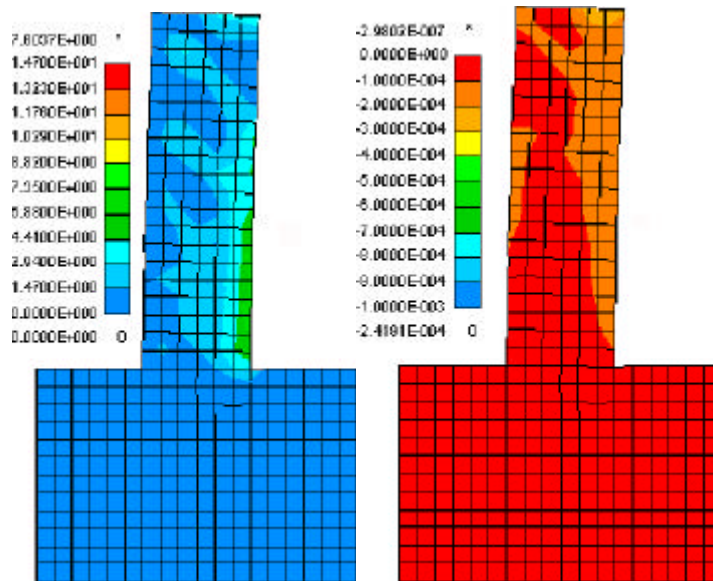
(a) 無補強

(a) 無補強



(b) CFS のみによる補強

(b) CFS のみによる補強



(c) 提案した定着工法による補強

(c) 提案した定着工法による補強

図-14 相当応力分布図

図-15 相当塑性ひずみ分布図

勾配を設ける際にモルタルを使用せずアルミ板を用いた。これは、固定部と移動部の摩擦を軽減するためである。

$$\bar{d} = \frac{d}{d_y}$$

但し

$d_y$ : 治具の降伏応力

w: 治具の断面係数

L: 治具のスパン

$d_y$ : 治具の降伏ひずみ

$d_y$ : 治具の降伏変位

### 5.3 載荷及び測定

図-19 に示すように図-16 の供試体全体を逆さにして台座に載せ、定着体底部をアクチュエーターで押すことで載荷を行った。また、治具のひずみ及び変位の測定箇所を図-20 に示す。用いた試験機は荷重容量 98kN、最大変位±100mm の電気油圧式サーボパルサー型アクチュエーターである。載荷は変位制御で静的な載荷を行った。測定は荷重、定着用治具の曲げ変位、図-20 に示す各部のひずみ、及び FS の繊維方向のひずみについて行った。

被定着体の無次元化荷重-変位関係を図-21 に、治具の無次元化荷重-変位関係を図-22 に示す。

被定着体の最大無次元化変位と治具の最大無次元化変位の差は C1-12 では約 0.8、C2-15 では約 0.6、A1-12 では約 1.4、A2-15 では約 1.5 となった。このことより CFS により補強された供試体に比べ AFS により補強された供試体の方が最大無次元化変位の差が開くことがわかる。これは、AFS の特徴である変形能の高さが現れたためである。アンカーボルト付近のひずみと荷重の関係を各供試体毎に図-23 に示す。ボルトにより治具を定着する際に用いるワッシャー付近で無次元化ひずみが大きくなり、それから離れる程無次元化ひずみは減少している。また、図からはわかりにくい剥離を生じ始めた時にはワ

### 5.4 実験結果及び考察

実験結果を次式により無次元化した。

無次元化荷重

$$\bar{P} = \frac{P}{P_y} = \frac{PL}{wS_y}$$

無次元化ひずみ

$$\bar{e} = \frac{e}{e_y}$$

無次元化変位

表-4 供試体一覧

供試体名	FS種類	補強枚数	治具の厚さ
C1-12	CFS	1枚	12mm
C2-15	CFS	2枚	15mm
A1-12	AFS	1枚	12mm
A2-15	AFS	2枚	15mm

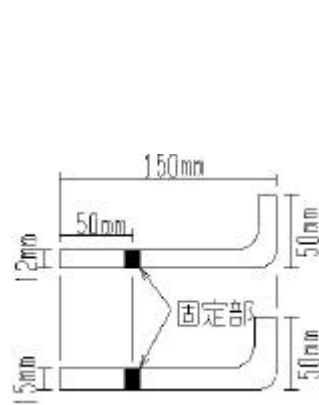


図-16 定着用治具の形状

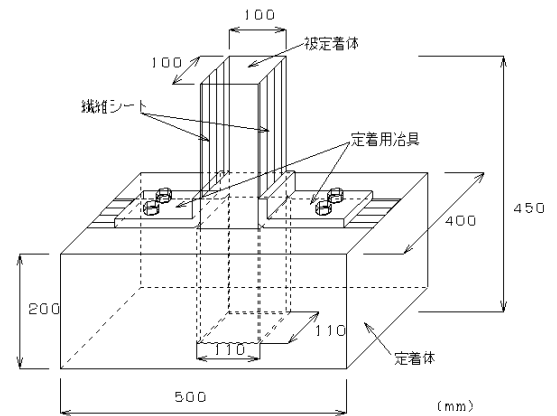


図-17 隅角部モデル概要

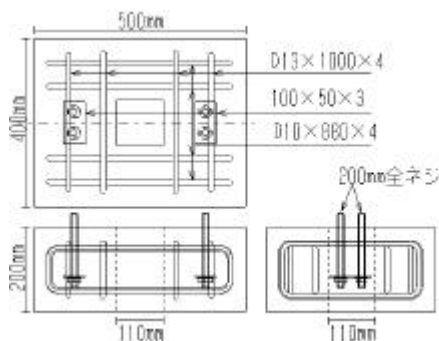


図-18 定着体配筋図

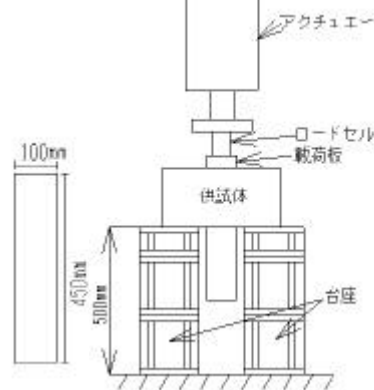


図-19 供試体設置

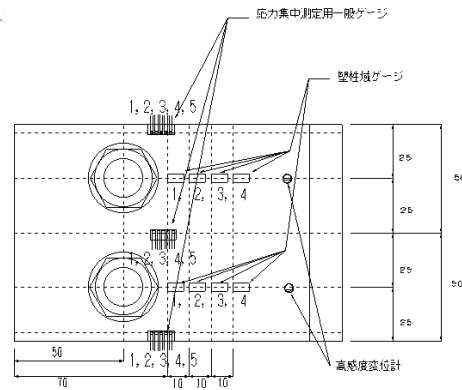


図-20 ひずみ測定箇所

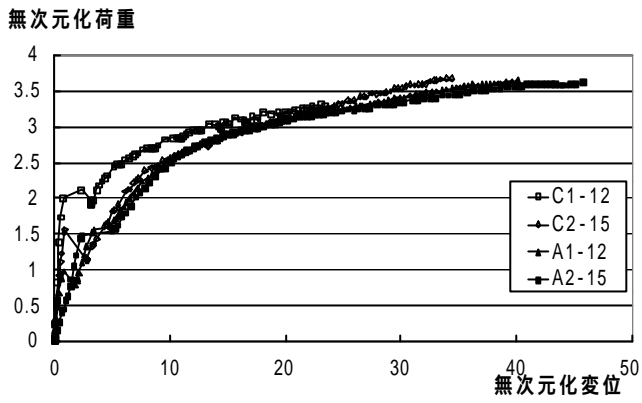


図-21 被定着体の荷重-変位

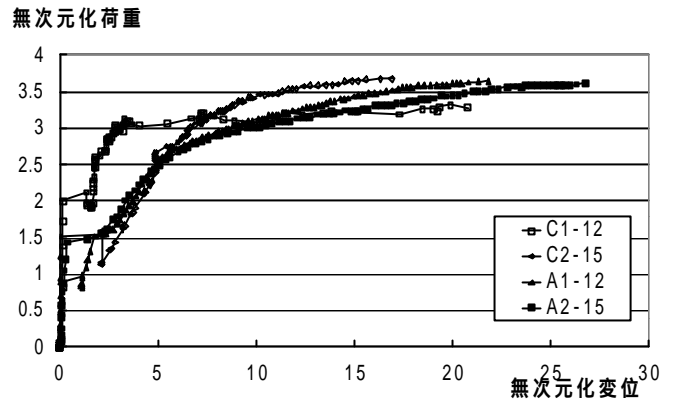
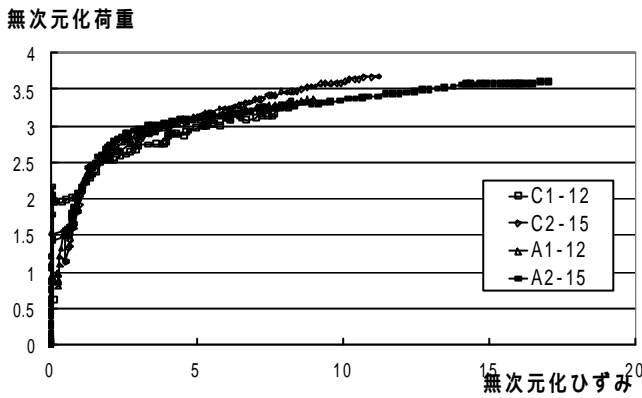
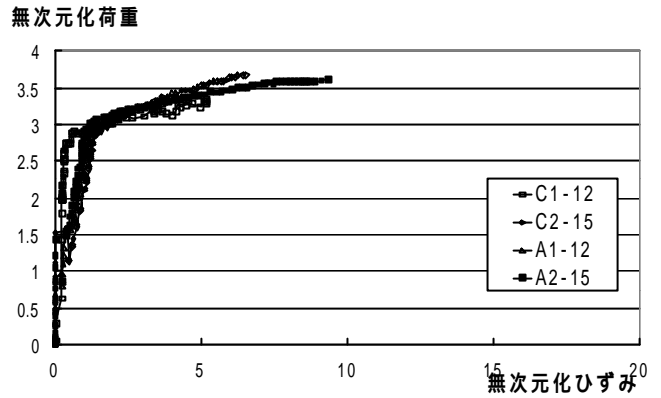


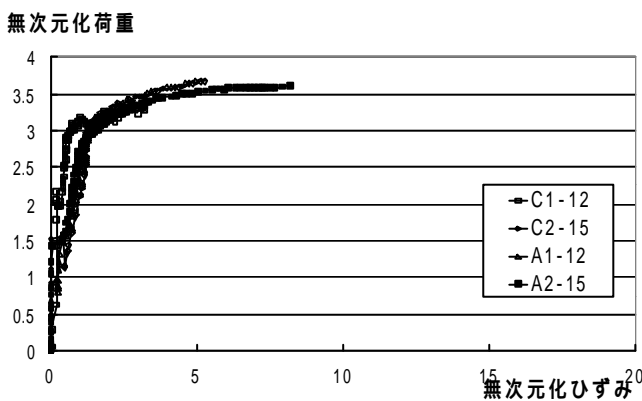
図-22 治具の荷重-変位



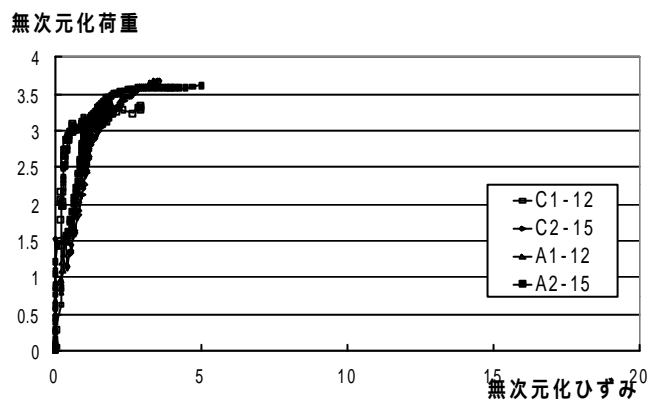
(a) 応力集中ゲージ 1



(b) 応力集中ゲージ 2



(c) 応力集中ゲージ 3



(d) 応力集中ゲージ 4

図-23 治具の荷重-ひずみ関係

ツシャー付近より被供試体に近いほうが無次元化ひずみが大きい場合がある。これは FS が徐々に剥離をしていくためである。

## 6. 隅角部モデル解析

### 6.1 解析方法

前述の隅角部モデル実験の結果を参

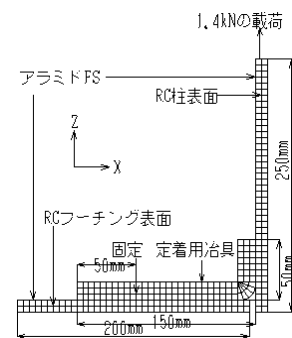


図-24 隅角部モデル図

表-5 供試体名一覧

供試体名	FS種類	補強枚数	治具の厚さ
C1-12	CFS	1枚	12mm
C1-15	CFS	1枚	15mm
C2-12	CFS	2枚	12mm
C2-15	CFS	2枚	15mm
A1-12	AFS	1枚	12mm
A1-15	AFS	1枚	15mm
A2-12	AFS	2枚	12mm
A2-15	AFS	2枚	15mm



考に表-5に示す8タイプのモデルを用いて解析を行った。解析モデルを図-24に示す。要素数266、節点数958である。

要素はすべてソリッド要素とした。コンクリート部は剛体とし、FSと定着用治具は、ひずみによる破壊と応力による破壊をそれぞれ判断できるパイリニア形弾塑性材料とした。また、それらの間には4.1に示したものと同一接触要素を挿入した。FSの材料特性及び治具の材料特性は表-1及び表-2に示したものと同様である。

拘束条件は、定着用治具のボルトによる固定部分を完全固定とし、移動部をZ軸方向以外の変位を拘束した。また全節点はY軸方向への移動を拘束することでX-Z平面に対して対象要素とした。載荷方法については、被定着体の正方向に荷重を載荷した。

## 6.2 解析結果及び考察

### (1) CFSにより補強された供試体

被定着体の無次元化荷重-無次元化変位関係を図-25-(a)に、治具の荷重-変位関係を図-26-(a)に示す。C1-15は治具を固定するボルト付近でCFSが破断したため十分な変位が生じる前に解析を終了した。また、C2-12は変位は生じるものの無次元化変位が約20の時にボルト付近から治具が破壊をしたため解析を終了した。C1-12及びC2-15は被定着体の変形後、被定着体とCFSが剥離し解析を終了した。

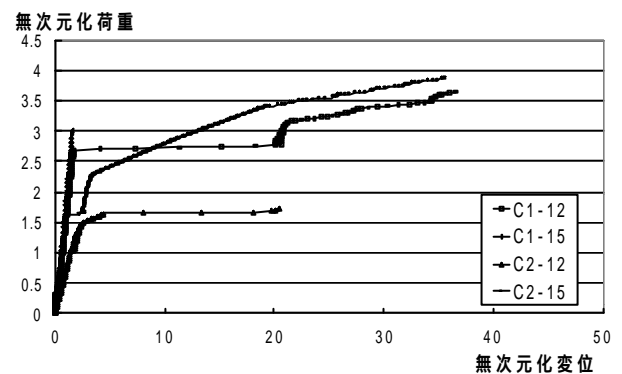
CFSにおいて隅角部での応力の伝達をスムーズにするためにR=10となるように面取りを施した。被定着体と定着用治具に挟まれている要素(以後R部)の無次元化荷重に対する無次元化応力を図-27に示す。図からCFSが供試体や治具と剥離を起こし、応力が伝達される様子が見られる。C1-15やC2-12に比べC1-12やC2-15が無次元化ひずみが減少している。C1-15は、治具の強度が高く、治具により定着したCFSがすり抜けたためである。また、C2-12は、C1-15とは逆に治具の強度が低く、CFSから伝わる引張力により治具の変形が大きくなるためである。これは、治具の無次元化荷重-無次元化変位からもわかる。

定着用治具についてはその主応力が一番大きく出た点での無次元化荷重に対する無次元化応力と無次元化塑性ひずみをそれぞれ図-28、図-29に示す。無

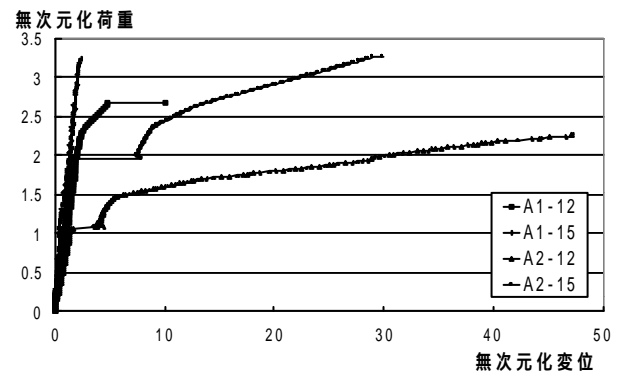
次元化応力については、急激にぶれるところがある。これはCFSの剥離と対応している。次に治具の無次元化塑性ひずみでは、先ほど述べた応力がぶれる時と無次元化塑性ひずみが対応しているのがわかる。C1-12、C1-15、C2-12、C2-15のそれぞれCFSの破断、剥離または治具の破壊する直前の応力分布図(応力がもっとも大きい時)を図-33に示した。これより、C2-15で応力が広く分布しつついてC1-12、C1-15、C2-12、C1-15の順となる。

### (2) AFSにより補強された供試体

被定着体の荷重-変位関係を図-25-(b)に、治具の荷重-変位関係を図-26-(b)に示す。A1-15は治具を固定するボルト付近でAFSが破断したため十分な変位が生じる前に解析を終了した。また、A2-12は変位は生じたものの変位が約5の時にボルト付近でAFSが破断したため解析を終了した。A1-12は十分な変形後、被定着体とCFSが剥離し解析を終了した。また、A2-12は十分な変位を生じるがAFSの強度に対して治具の強度が低いため無次元化荷重

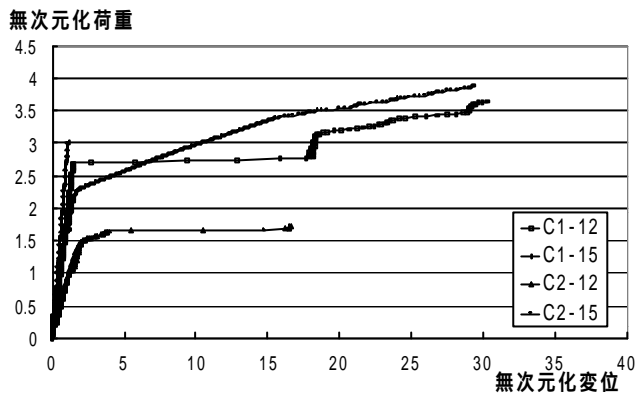


(a) CFS

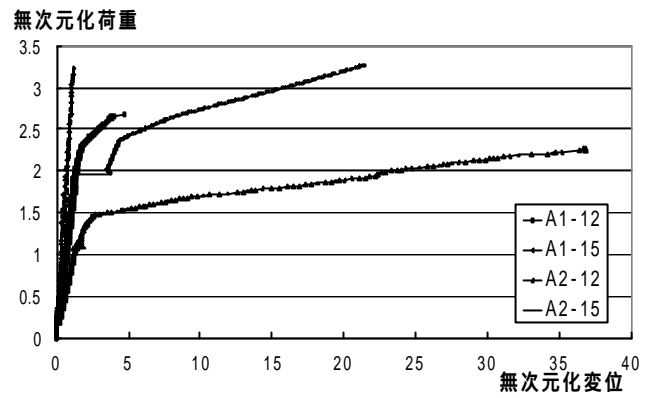


(b) AFS

図-25 被定着体の無次元化変位



(a) CFS



(b) AFS

図-26 治具の無次元化変位

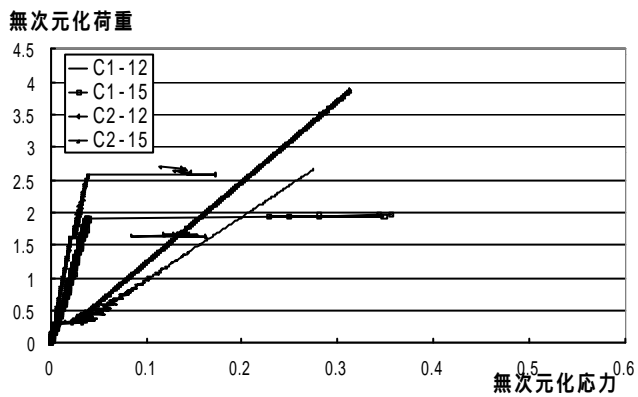


図-27 R部の無次元化応力(CFS)

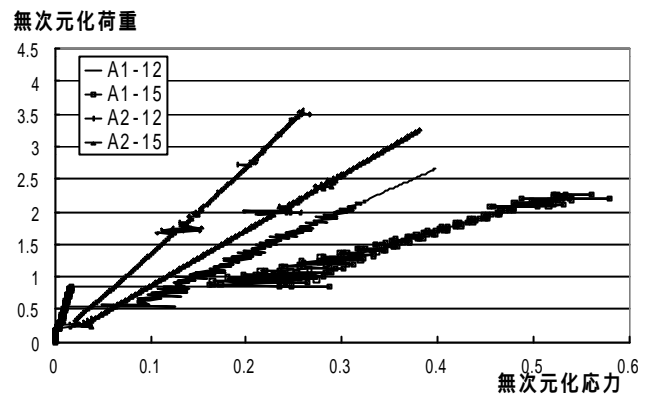


図-30 R部の無次元化応力(AFS)

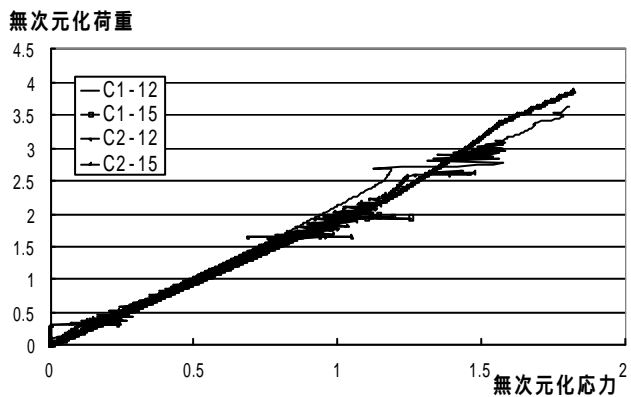


図-28 治具の無次元化応力(CFS)

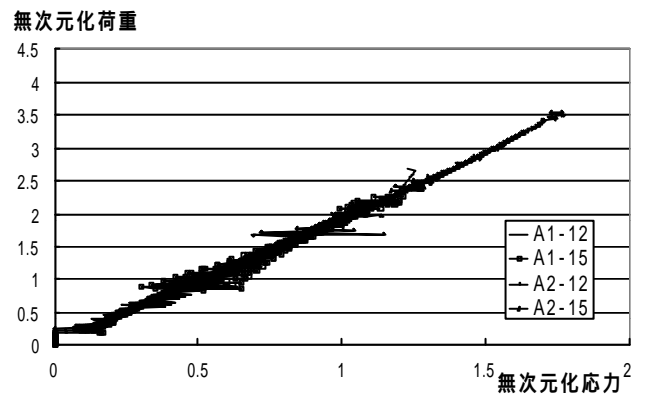


図-31 治具の無次元化応力(AFS)

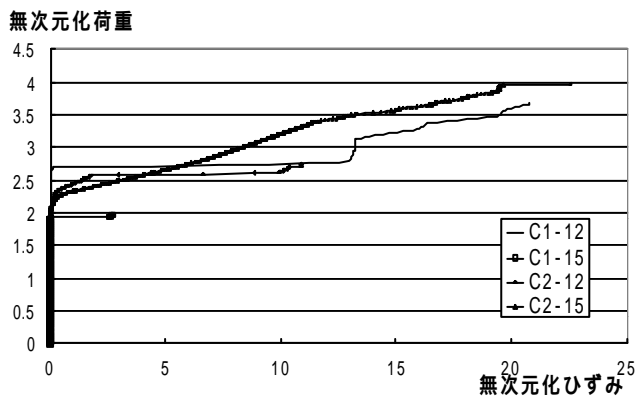


図-29 治具の無次元化塑性ひずみ(CFS)

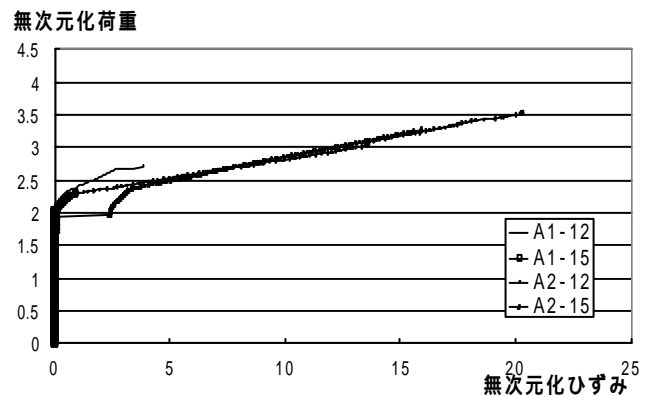


図-32 治具の無次元化塑性ひずみ(AFS)

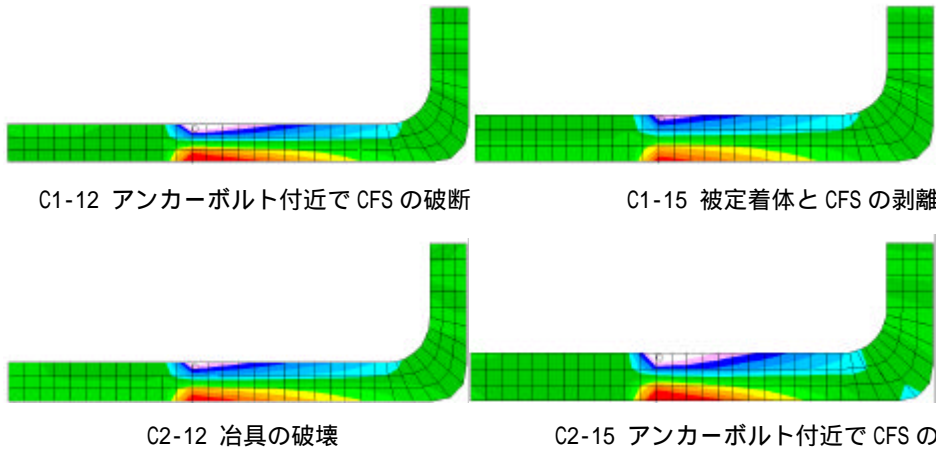


図-33 CFSを用いた定着用治具の応力分布

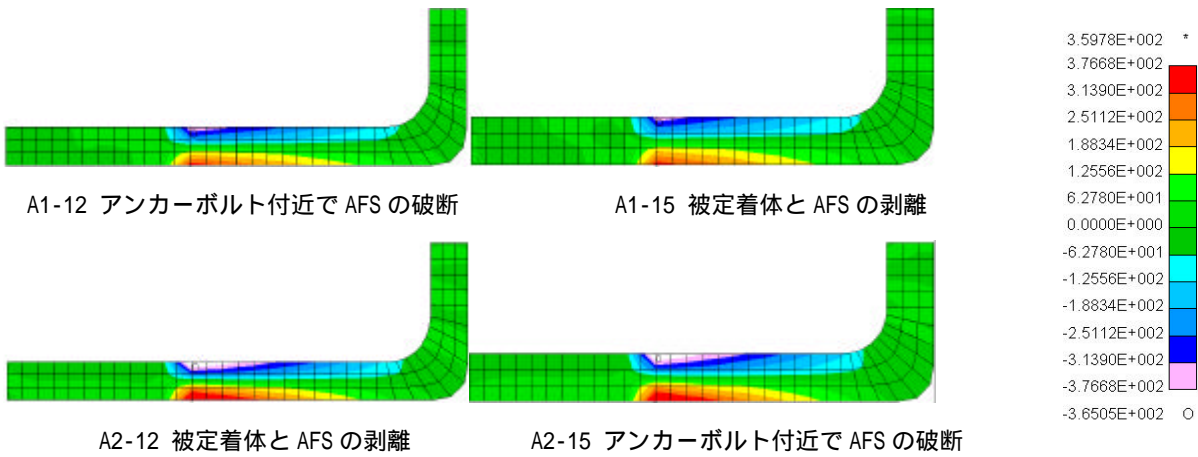


図-34 AFSを用いた定着用治具の応力分布

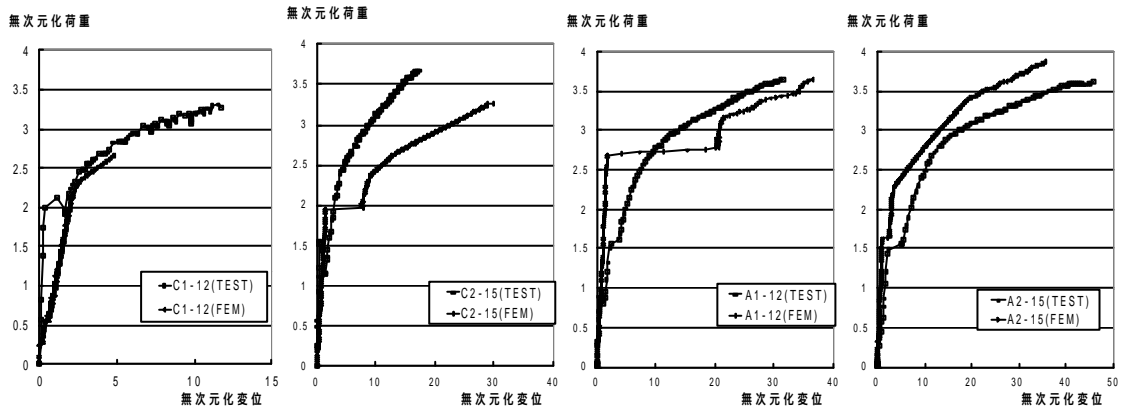


図-35 被定着体の無次元化荷重-無次元化変位比較関係

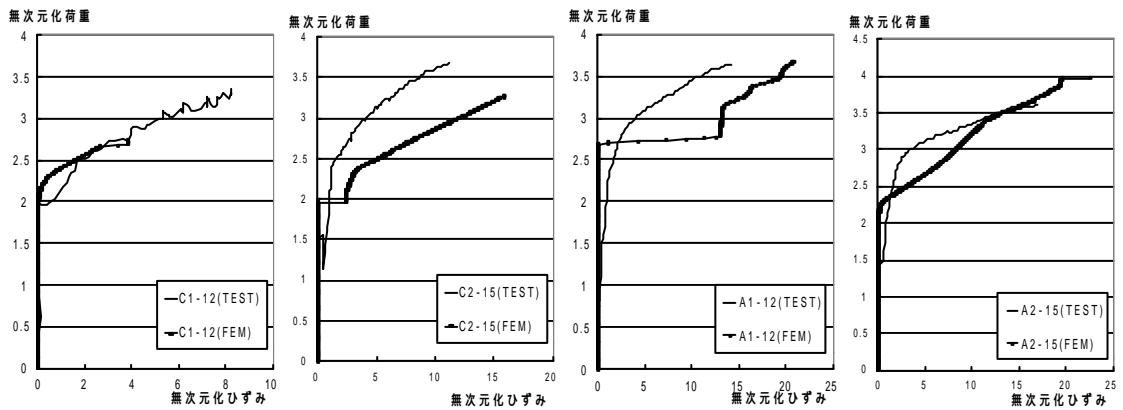


図-36 治具の無次元化荷重-無次元化ひずみ比較関係

は A2-15 の約半分となった。

R 部の荷重-ひずみ関係を図-30 に示す。A2-12 や A2-15 では荷重が約 0.2 で A1-12 では約 0.5 A1-15 では約 0.8 で AFS に引張力が伝わる。しかし A1-12 や A1-15 では急激に引張力が伝わるため無次元化ひずみでは A1-12 や A1-15 のほうが大きな値を示す。定着用治具の無次元化荷重に対する無次元化応力を図-31 に、塑性ひずみを図-32 に示す。まず、無次元化応力を見ると急激にぶれるところがある。AFS が 1 枚のタイプと 2 枚のタイプは無次元化応力が全体的に 1.2 倍近く大きくなった。このことから治具の無次元化応力が同値ならば補強枚数に比例して耐荷力も増加することが解る。

A1-12, A1-15, A2-12, A2-15 のそれぞれの AFS の破断または剥離, 治具の破壊する直前の応力分布図を図-34 に示した。図より, C2-15 と A2-15 が似た分布を示し, その分布も広範囲になった。

### 6.3 隅角部モデル実験と解析との比較

隅角部モデル載荷実験で得られた結果と隅角部モデル解析の結果を比較する。被定着体の無次元化荷重-無次元化変位関係を図-35 に示す。C1-12 は無次元化変位が 4.5 までは有意な差が認められないが解析で得られた結果は変位が 4.5 の時に CFS が被定着体と剥離を起こした。C2-15 は無次元化荷重が約 2 で定着体と CFS との間で剥離を起こし被定着体の無次元化変位が急激に増加したため実験結果と

の差も増加した。A1-12 も同様に無次元化荷重が約 2.7 で定着体と AFS との間で剥離を起こしたため変位が急激に増加し, 実験結果との間に差が生じた。しかし, 無次元化変位が 20 を超えたところから実験結果に沿うようになった。A2-15 は実験結果と解析結果に有意な差が見られなかった。また, ボルト付近の無次元化荷重と無次元化ひずみ関係を図-36 に示す。C1-12 は解析では約 2.5 で CFS が被定着体から剥離したため解析不能となった。しかし, 2.5 までの荷重-ひずみ関係は類似している。C2-15 は荷重-変位関係と同様に実験結果と解析結果に差が生じた。同様のことが A1-12 でも言える。A2-15 は無次元化ひずみが 10 以前は実験結果と解析結果に差が生じているがひずみが約 10 以降は類似した軌跡を描いた。

## 7. 結論

繊維シートを補強材として用いる場合の角部への定着方法を新たに考案すると共に, その応用例として, RC 橋脚の曲げ補強におけるフーチング部への定着において, この工法が有効であることを実験と数値解析により検証した。本研究で得られた結果を以下に列挙する。

- (1) 橋脚モデルの実験と解析により, 考案した定着工法は, 耐力及びじん性の確保に有効であることが分かった。また, その際に用いる定着用治具の形状は L-Type とすることで定着長を確保し, FS の破損を防ぐことができる。
- (2) 隅角部モデル実験より考案した定着工法の有効性を示した。破壊形態は CFS では破断する供試体が多いのに対し, AFS では剥離を生じるという特徴がでた。
- (3) 本研究で提案した定着方法を採用することにより, CFS, AFS を有効な曲げ補強材として用いることが可能である。また, FS の枚数, 治具の寸法によりその補強目的に合わせた利用方法を選択することが可能である。
- (4) 実験で得た結果と解析で得た結果との比較から本稿で用いたモデル及び力学特性は, 隅角部定着工法の解析に有効であることを示した。

## 謝辞

本研究を行うにあたって, 武蔵工業大学の小玉克巳教授, 吉川弘道教授には研究に対して貴重なご意見をいただきました。また, 同大学の佐藤安雄技士, 仲宗根茂技士には実験の実施についてご協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 半野・大塚・藤本: 既存 RC 橋脚の主基部の耐震補強に関する実験, 土木学会第 48 回年次学術講演会, -97, pp.342-343, 1993.10.
- 2) 中野・佐々木・堤: 鋼板補強した RC 橋脚の基部に着目した交番載荷試験, 土木学会第 52 回年次学術講演会, -323, pp.646-647, 1997.9.
- 3) 在田・鎌田・海原: 鋼板巻き補強を行った既存 RC 柱の鋼板の

- 役割, 土木学会第 52 回年次学術講演会, -325, pp.650-651, 1997.9.
- 4) 佐野・小保・三浦: 鋼板接着により補強された鉄筋コンクリート梁の曲げ性状, 構造工学論文集, Vol139A, pp.1361-1368, 1993.3.
- 5) 岡野・森山・松本・大内・涌井: 炭素繊維シートによるせん断補強効果に関する解析, 土木学会第 52 回年次学術講演会, -156, pp.312-313, 1997.9.
- 6) 前川・裾田: 炭素繊維シートを用いた RC 補強橋脚実験結果の設計的考察, 土木学会第 52 回年次学術講演会, -313, pp.626-627, 1997.9.
- 7) 篠原: 新素材により巻き立て補強された RC 柱の耐震補強効果に関する研究, 武蔵工業大学修士論文, 1996.3.
- 8) 呉・田名部・松崎・神田・横山: FRP シート緊張接着によるコンクリート構造部材の補強法の提案, 構造工学論文集, Vol144A, pp.1299-1308, 1998.3.
- 9) 岡野・渡辺・渡邊・瀧口: RC 補強柱の変形性能に関する一考察, 土木学会第 52 回年次学術講演会, -315, pp.630-631, 1997.9.
- 10) 西野・河津・松木・森・満木: アラミド繊維シートによる補強に関する一実験, 土木学会第 52 回年次学術講演会, -158, pp.316-317, 1997.9.
- 11) 鉄道総合技術研究所: 炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針, 1996.

## A New Method to Longitudinally Support Fiber Sheet Fabric Covering Reinforced Concrete Members

Yoshiyasu FURUYA supervised by Masaru MINAGAWA

In this paper, the author proposes a new method to longitudinally support fiber sheet fabric covering reinforced concrete members, and it is experimentally confirmed that the proposed method is effective to anchor fiber sheet fabric to footing of column members as well as to longitudinally support fiber sheet fabric through quasi-static cyclic loading tests of column members and monotonous loading tests of small specimens. Nonlinear dynamic fracture analyses show that the mechanical properties of the proposed supporting system can be predicted accurately.