

# 論文 傾斜あと施工アンカーのせん断強度に関する基礎的研究

津吉 真人<sup>\*1</sup>・貞末 和史<sup>\*2</sup>・石村 光由<sup>\*3</sup>・南 宏一<sup>\*4</sup>

**要旨：**既存鉄筋コンクリート建物の耐震補強において多用されている従来型のあと施工アンカーに対して、あと施工アンカー1本当たりのせん断剛性とせん断強度を上昇させる工法として、傾斜あと施工アンカーを考案した。傾斜あと施工アンカーは、アンカー筋を施工面への垂線に対して傾斜させ、交差させて配置する工法であり、傾斜あと施工アンカーの力学特性を調べるための実験を行った。従来型あと施工アンカーと比較して、傾斜あと施工アンカーは、大きなせん断剛性とせん断強度が得られることを明らかにした。

**キーワード：**耐震補強, 間接接合部, あと施工アンカー, 直接せん断

## 1. はじめに

既存不適格の鉄筋コンクリート建物を枠組付き鉄骨ブレース（あるいは耐震壁）を用いて耐震補強する際、既存の鉄筋コンクリート躯体と鉄骨枠組（あるいは耐震壁）を接合する一般的な工法として、図-1に示すようにあと施工アンカーを用いる工法がある。あと施工アンカーは、図-2に示すような金属系アンカーと接着系アンカーが普及しているが、あと施工アンカー工事に伴う騒音・振動などの改善を目的として、その他いくつかの代替工法<sup>1)~4)</sup>なども開発されている。本研究では、あと施工アンカー1本当たりのせん断剛性とせん断強度の上昇を図る新工法として考案した「傾斜あと施工アンカー」の力学特性について検討する。

あと施工アンカーは、引張力に対する抵抗を期待する場合には、穿孔は施工面に対して直角とし、アンカー筋の固着は、金属系アンカーの場合、施工面への垂線に対して5°以内、接着系アンカーの場合、施工面への垂線に対して30°以内とすることが、(財)日本建築防災協会

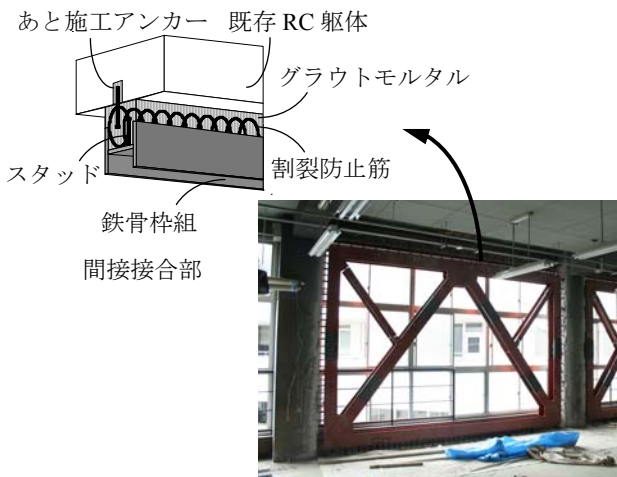


図-1 枠組付き鉄骨ブレースを用いた耐震補強

「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説<sup>5)</sup>」(以下、耐震改修設計指針と称す)において定められている。しかしながら、せん断力に対する抵抗に関しては、アンカー筋を施工面への垂線に対して傾斜させて固着させた方が大きな抵抗力が得られると予測される。せん断面に対して接合筋を傾斜させて用いることの有効性は、鉄骨とコンクリートの接合における傾斜スタッドの実験的・理論的研究によって検証されている<sup>6)</sup>。

本研究では、既存鉄筋コンクリート躯体と鉄骨枠組（あるいは耐震壁）を接合する新たな工法として考案した、傾斜したあと施工アンカーを交差させて配置し、繰返しせん断力に対して大きなせん断抵抗力を期待できる「傾斜あと施工アンカー」を用いた間接接合部のせん断強度を調べるための実験を行い、本工法の有効性について検証する。

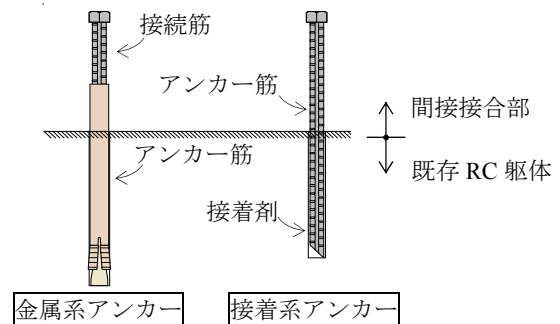


図-2 従来型あと施工アンカー

## 2. 傾斜あと施工アンカーの概要

考案した傾斜あと施工アンカーを図-3に示す。傾斜あと施工アンカーは、従来型あと施工アンカーのアンカー筋を既存鉄筋コンクリート躯体表面の垂線に対して傾斜させて固着させるものである。従来型のあと施工アンカーは、地震時に間接接合部に作用するせん断力によ

\*1 広島工業大学大学院 工学系研究科建設工学専攻博士前期課程 (正会員)

\*2 広島工業大学 工学部建築工学科准教授 博士(工学) (正会員)

\*3 福山大学大学院 工学研究科地域空間工学専攻博士課程 (正会員)

\*4 福山大学 工学部建築・建設学科教授 工博 (正会員)

って、アンカー筋はせん断を受ける。一方、傾斜型のあと施工アンカーは、アンカー筋を傾斜させて固着させることで、角度の増大と共にアンカー筋は材軸方向の力（引張力あるいは圧縮力）を受けるように抵抗機構が変化すると考えられ、大きなせん断剛性とせん断強度が期待できる。また、地震時に繰り返される正負のせん断力に対して同等な抵抗力を持たせるために、図-4 に示すように交差させて配置させる。

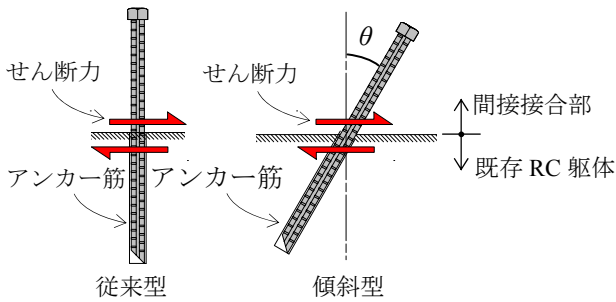


図-3 傾斜あと施工アンカー

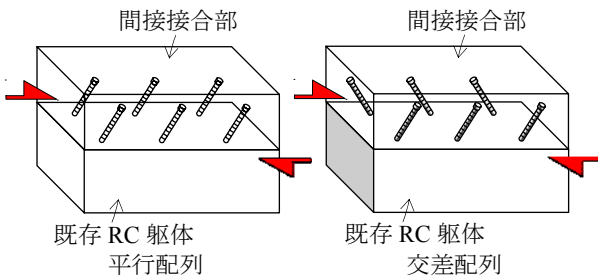


図-4 アンカー筋の配列

### 3. 実験概要

#### 3.1 試験体

試験体計画を表-1 に示す。試験体は、アンカー筋の傾斜角度を3種類(0°、30°、45°)、アンカー筋の配列を2種類(平行、交差)、既存躯体へのアンカー筋の有効埋め込み深さを2種類(10d、14d、ここで、dはアンカー筋の呼び径)の計6体とした。なお、アンカー筋の有効埋め込み深さは、図-5 に示す定義に従い、 $l_e=10d$ の場合と $l_v=10d$ ( $l_e=14d$ )の場合を計画した。

試験体形状を図-6 に示す。既存躯体部のコンクリート設計基準強度  $F_c$  は  $21\text{N/mm}^2$ 、アンカー筋は D13 の異形鉄筋を用いて頭付きナットを取り付け、注入型の接着

表-1 試験体計画

試験体	傾斜角度 $\theta$ (°)	配列	アンカー筋定着長さ	
			$l_e$	$l_v$
00P10	0	平行	10d (130mm)	10d (130mm)
30P10	30	平行	10d (130mm)	8.7d (113mm)
30C10		交差	10d (130mm)	8.7d (113mm)
45P10	45	平行	10d (130mm)	7.1d (92mm)
45C10		交差	10d (130mm)	7.1d (92mm)
45C14		交差	14d (185mm)	10d (130mm)

系アンカーを千鳥状配置 (F: 前列, B: 後列) させた。

耐震改修設計指針では、接着系アンカーのせん断強度を決定づける破壊モードとして、アンカー筋の破壊とアンカー筋がコンクリートを支圧する破壊が想定されている。アンカー筋を傾斜させることの効果を得るためには、アンカー筋の材料強度を十分に生かす必要があると考え、本実験ではアンカー筋の破壊が先行するように、コンクリート強度とアンカー筋の種類を決めた。

なお、既存躯体部上面と間接接合部下面の接合面には固着力があり、固着力はせん断強度に影響を与えるが、固着力は施工の方法によってバラツキを生じることがある<sup>4)</sup>。そこで、本実験で用いた試験体では、アンカー筋を傾斜させることの効果の有無を明瞭にするために、既存躯体と間接接合部の接合面にグリースを塗って固着力を除去した。

試験体に使用した鋼材およびコンクリートの材料試験結果を表-2、表-3 にそれぞれ示す。

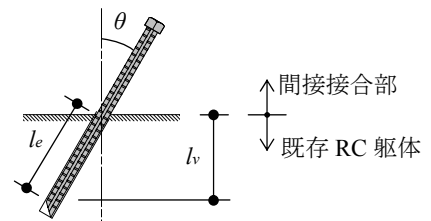


図-5 アンカー筋の埋め込み長さの定義

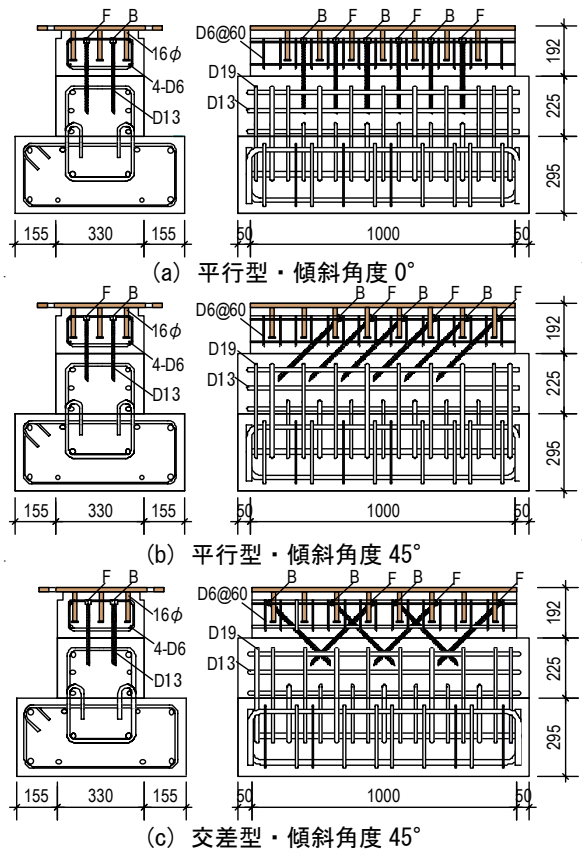


図-6 試験体形状 (単位:mm)

表-2 コンクリートの材料強度

既存RC躯体部		間接接合部	
圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
31.3	2.74	55.4	4.58

表-3 鋼材の材料強度

使用箇所	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
D13(SD295A) アンカー筋	328	464	19.5
16φ スタッド	305	462	22.0
D6(SD295A) 割裂防止筋	294	454	20.7
D13(SD295A) 既存RC躯体部	353	491	18.2
D19(SD345) 既存RC躯体部	395	562	18.6

### 3.2 載荷装置および変位計測

載荷装置を図-7に示す。載荷は既存鉄筋コンクリート躯体部に対する間接接合部の相対水平変位 $\delta$ を変位制御し、正負繰り返しの漸増載荷を行った。枠組み付き鉄骨ブレースの間接接合部では、鉛直方向の変形が拘束されることも考えられるが、通常、枠組みの鉄骨は弱軸方向となり拘束力は小さいため、本実験では鉛直方向の変形を拘束していない。また、平行保持装置と面外移動拘束治具によって、ねじれ変形を生じないように拘束している。

変位の計測方法を図-8に示す。変位の計測は、既存鉄筋コンクリート躯体部と間接接合部の中心に変位計測用のボルトを埋め込み、治具を介して取り付けられた変位計の計測値 $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ ,  $\delta_4$ の計測値に基づき、既存鉄筋コンクリート躯体部に対する間接接合部の相対水平変位 $\delta$ と目開き幅 $\delta$ を算定した。

アンカー筋に貼り付けたひずみゲージの位置を図-9に示す。試験体中央に配置された2本のアンカー筋を図-10に示すように切削加工しひずみゲージを貼り付け、アンカー筋の軸方向のひずみ度 $\varepsilon$ と曲率 $\phi$ を計測した。

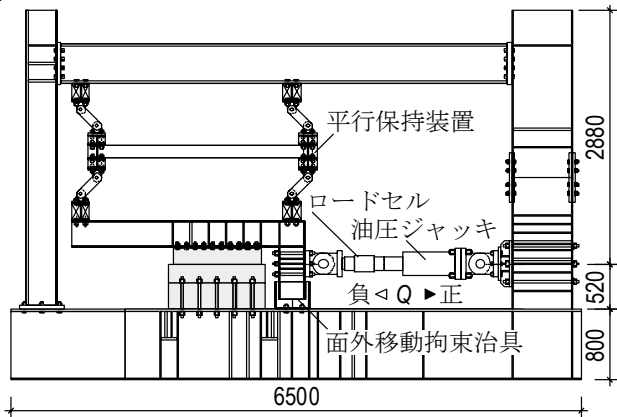


図-7 載荷装置 (単位:mm)

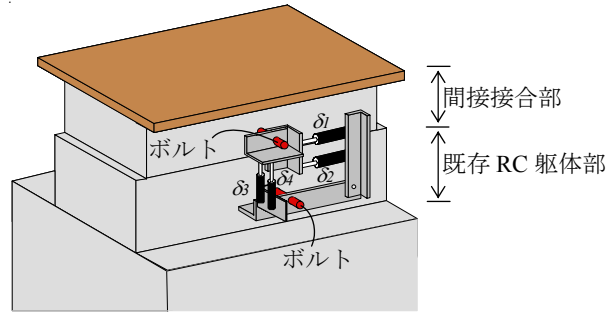


図-8 変位計測

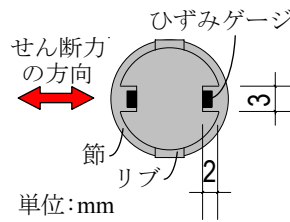


図-10 切削断面

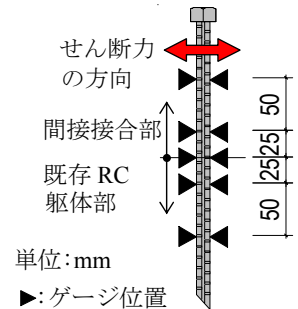


図-9 ひずみゲージ位置

### 3.3 破壊状況

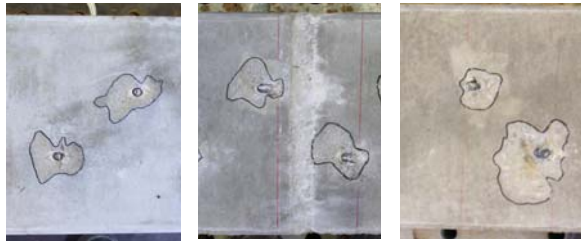
最終破壊状況の一例を写真-1に示す。実験開始前に間接接合部に発生していた収縮ひび割れを除き、いずれの試験体とも、既存鉄筋コンクリート躯体部、間接接合部ともに大きなひび割れや損傷はなく、実験変数に関わらず、外観上の破壊状況に違いは見られなかった。

既存鉄筋コンクリート躯体上面において、アンカー筋がコンクリートを支圧することで生じた破壊の様相を写真-2に示す。アンカー筋を傾斜させていない00P10は、コンクリートの破壊領域が左右対称に広がっているのに対して、アンカー筋を傾斜させた45P10, 45C10は、アンカー筋を傾斜させた方向に応じて、片側方向に破壊領域が広がる傾向が見られた。

最終的には全ての試験体において、アンカー筋が破断を生じていることが確認された。



写真-1 最終破壊状況 (45C10)



00P10 45P10 45C10

写真-2 接合面の破壊状況

### 3.4 荷重-変形関係

$Q-\delta_u$  関係を図-11 に示す。また、 $\delta_u=0.2\text{mm}$  時における正負のせん断剛性  $K(=Q/\delta_u)$  および骨格曲線の比較を表-4、図-13 および図-14 に示す。

アンカー筋を平行配列した 30P10、45P10 を 00P10 と比較すると、正方向載荷時には、アンカー筋の傾斜角度を大きくするに伴い、せん断剛性とせん断強度が極めて大きくなっているが、負方向載荷時には、逆に小さくなることが確認された。

一方、アンカー筋を交差配列した 30C10、45C10 を 00P10 と比較すると、正負の両方向においてせん断剛性とせん断強度が大きくなり、さらに、履歴ループの形も 00P10 のようにスリップ性状を示さず、傾斜あと施工アンカーの有効性が確認された。ただし、傾斜あと施工アンカーは、従来型あと施工アンカーと比較して、小さな  $\delta_u$  でアンカー筋が破断を生じることが確認された。

なお、45C10 と 45C14 を比較すると、両者に明瞭な違

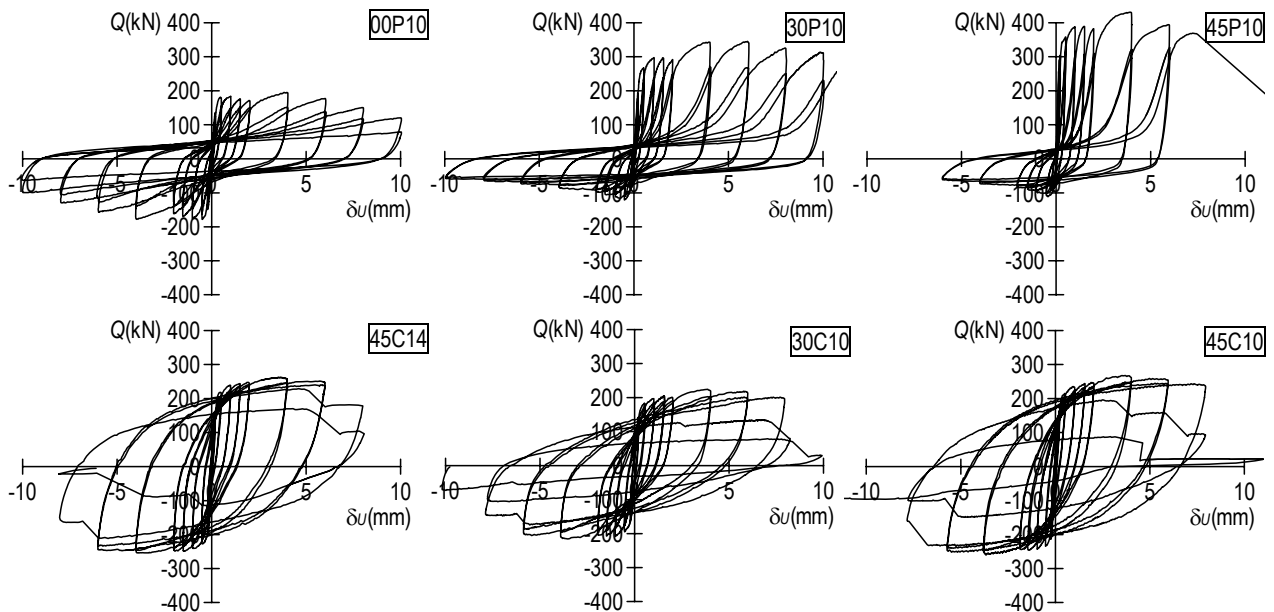


図-11 荷重-変形関係

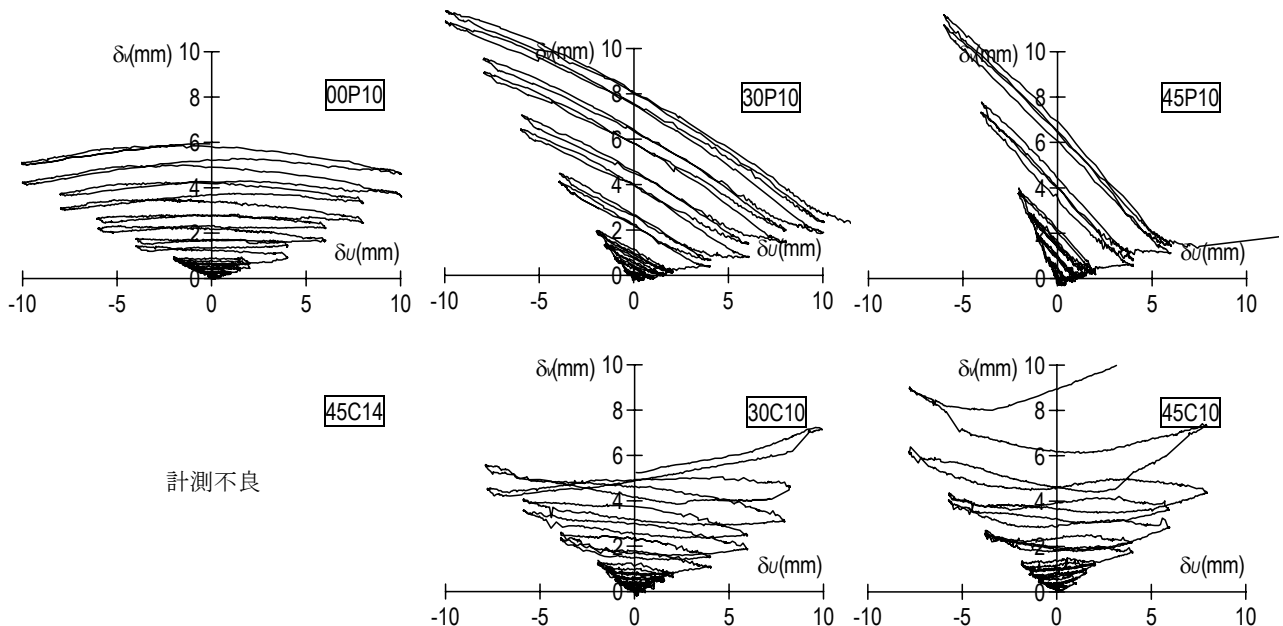


図-12 既存 RC 躯体部分と間接接合部の間の境界面の目開き幅の履歴



いは見られず、アンカー筋の定着長さは、 $l=10d$ としなくとも、 $l=10d$ とすることで十分であると思われる。

既存躯体部分と間接接合部の間の境界面の目開き幅 $\delta$ に関する履歴を図-12に示す。従来型あと施工アンカー(00P10)および傾斜あと施工アンカーの交差配列(30C10、45C10)に関しては、正負対称的な履歴形状を示しているが、傾斜あと施工アンカーの平行配列(30P10、45P10)に

表-4 セン断剛性一覧表

K (kN/mm)	00P10	30P10	30C10	45P10	45C10	45C14
	正	697	949	682	1433	761
負	501	327	480	308	680	792

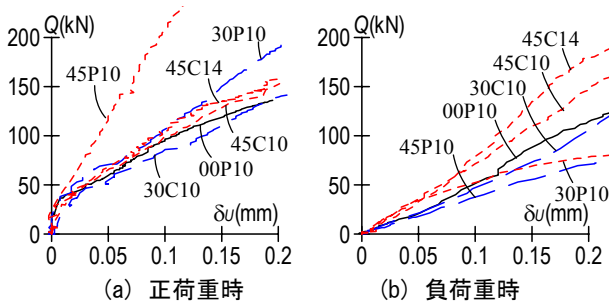


図-13 セン断剛性

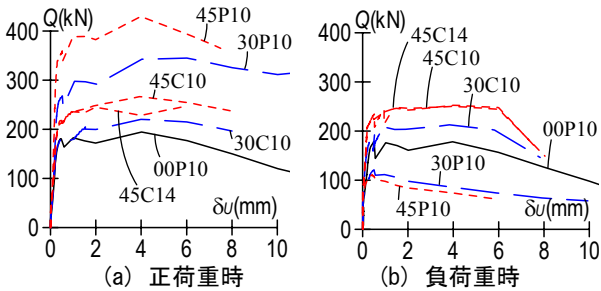


図-14 骨格曲線

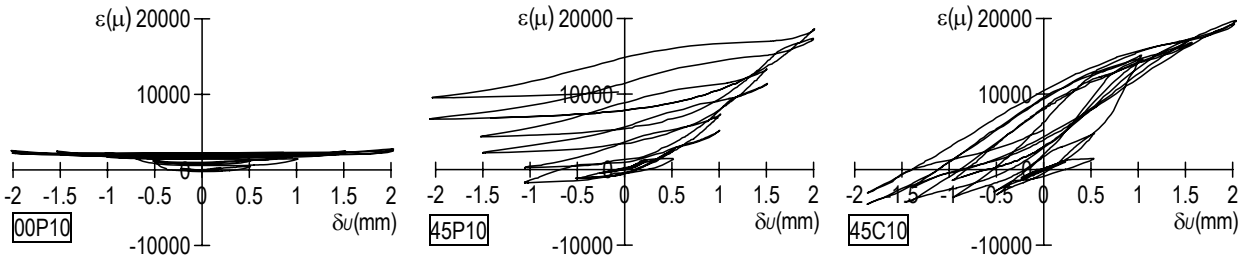


図-15 アンカー筋の軸方向ひずみ度の推移

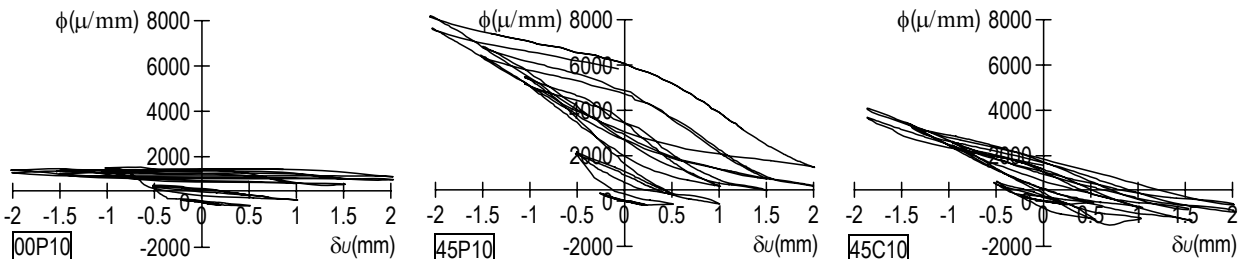


図-16 アンカー筋の曲率の推移

関しては、正負非対称な履歴形状を示しており、正方向載荷時に $\delta$ が閉じ、負方向載荷時には $\delta$ が開いていることが確認できる。 $\delta$ が開きアンカー筋が圧縮を受ける載荷方向(負方向)では、アンカー筋が接合面で曲げられ、せん断剛性と強度が低下したものと推測される。

### 3.5 アンカー筋のひずみ度および曲率の推移

既存鉄筋コンクリート躯体部と間接接合部の境界面におけるアンカー筋のひずみ度 $\epsilon$ の推移の一例を図-15、曲率 $\phi$ の推移の一例を図-16に示す。

従来型あと施工アンカー(00P10)に対して傾斜あと施工アンカー(45P10)の $\epsilon$ は大きくなっていることから、アンカー筋の抵抗機構がせん断型から軸方向型へと変化しているように思えるが、傾斜あと施工アンカー(45P10)が圧縮を受ける載荷方向(負方向)では従来型あと施工アンカー(00P10)より $\phi$ が大きくなっており、アンカー筋が大きく曲げられていることがわかる。

### 4. セン断強度

在来型の接着系あと施工アンカーのせん断強度 $Q_a$ は、耐震改修設計指針に式(1)が示されている。式(1)では、アンカー筋の耐力で決まる $Q_{a1}$ とコンクリートの支圧で決まる $Q_{a2}$ のうち、いずれか小さい方の値をせん断強度として評価している。

$$Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}) \quad (1)$$

$$Q_{a1} = 0.7\sigma_y \times s_{ae} \times a_n \quad (2)$$

$$Q_{a2} = 0.4\sqrt{E_c \cdot \sigma_b} \times s_{ae} \times a_n \quad (3)$$

ここに、 $\sigma_y$ はアンカー筋の降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $E_c$ はコンクリートのヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)、 $\sigma_b$ はコンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $s_{ae}$ は接合面におけるアンカー筋軸

部の断面積 (mm<sup>2</sup>),  $a_n$  はアンカー筋の本数である。

本実験で得られた正負のせん断強度の最大値  $Q_{exp}$  および式(1)による計算値  $Q_a$  を表-5 に示す。従来型のあと施工アンカーに相当するアンカー筋を傾斜させていない試験体 00P10 について、式(1)を用いてせん断強度を算定した場合、 $Q_{a1} < Q_{a2}$  となり、せん断強度はアンカー筋の耐力によって決まり、実験の破壊モードと一致し、実験値と計算値の対応は良好である。

一方で、傾斜あと施工アンカーに関しては、30P10 および 45P10 の負方向を除く試験体の  $Q_{exp}$  は  $Q_a$  を大きく上回っている。これは、アンカー筋の抵抗機構がせん断型から軸方向型へと変化していることが顕著に現れているものと思われる。そこで、アンカー筋の軸方向強度に対して、どのくらいの抵抗力を発現しているか確認するために、式(4)、(5)による計算値を表-5 に示す。

$$Q_y = \sigma_y \times sae \times a_n \quad (4)$$

$$Q_u = \sigma_u \times saeo \times a_n \quad (5)$$

ここに、 $\sigma_u$  はアンカー筋の引張強度、 $saeo$  は接合面におけるアンカー筋ねじ部の断面積 (mm<sup>2</sup>) である。

30P10, 45P10 の正荷重時に関しては、 $Q_u$  を大きく上回っていることが分かる。本実験では、既存躯体と間接接合部の接合面にグリースを塗って固着力を除去しているものの、接合面の凹凸によって摩擦力が生じているものと思われる。実験値と計算値の比較を図-17 に示す。

表-5 実験値と計算値の比較

		00P10	30P10	30C10	45P10	45C10	45C14
$Q_{exp}$ (kN)	正	195	345	225	431	268	262
	負	178	121	216	112	260	254
$Q_a$ (kN)		175					
$Q_y$ (kN)		250					
$Q_u$ (kN)		265					
$Q_{exp}/Q_a$	正	1.11	1.97	1.28	2.46	1.53	1.50
	負	1.02	0.69	1.23	0.64	1.48	1.45
$Q_{exp}/Q_y$	正	0.78	1.38	0.90	1.72	1.07	1.05
	負	0.71	0.48	0.86	0.45	1.04	1.02
$Q_{exp}/Q_u$	正	0.74	1.30	0.85	1.63	1.01	0.99
	負	0.67	0.46	0.82	0.42	0.98	0.96

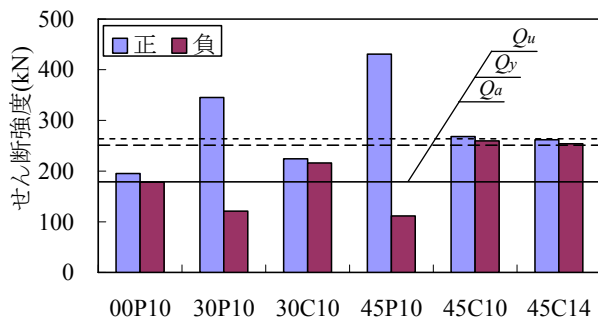


図-17 実験値と計算値の比較

## 5. まとめ

既存鉄筋コンクリート建物の耐震補強における間接

接合部の新工法として考案した傾斜あと施工アンカーの有効性を調べるための実験を行い、以下の結論を得た。

- 1) 平行配列した傾斜あと施工アンカーは、載荷方向によってせん断剛性と強度が異なるが、アンカー筋が引張を受ける方向では、従来型あと施工アンカーと比較して、せん断剛性と強度が極めて大きくなる。
- 2) 交差配列した傾斜あと施工アンカーは、従来型あと施工アンカーと比較して、正負両載荷方向において、せん断剛性と強度が大きくなる。
- 3) 傾斜あと施工アンカーは、アンカー筋の傾斜角度を大きくするほど、せん断剛性と強度は大きくなる。
- 4) 傾斜あと施工アンカーは、従来型あと施工アンカーと比較して、小さな相対水平変位でアンカー筋が破断する。

本実験で用いた傾斜あと施工アンカーは、アンカー筋を傾斜させることによる効果を確認するために、最も有効性が期待できると想定された、アンカー筋の降伏および破断が先行する破壊モードに対する検証を行なった。コンクリートの支圧破壊やアンカー筋の付着破壊が先行する場合においても有効であるのか、あるいは有効性を発現できるための適用範囲も含めて、今後さらなる検討を必要とする。

## 謝辞

本実験を行うにあたり、細川洋治氏をはじめサンコーテクノ(株)の方々より貴重な助言とご協力を得ました。ここに記し、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 益尾潔, 小宮敏明: 接着接合と間接接合併用工法による鉄骨増設ブレースの補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp1651-1656, 2000.6
- 2) 毛井崇博, 宮内靖昌: 接着接合された鉄骨ブレース補強骨組の力学特性, 日本建築学会構造系論文集, 第539号, pp103-109, 2001.1
- 3) 菊田繁美, 三輪明広, 中原理輝, 向井幸一: 鋼管をコッターとして用いた耐震補強工法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp1183-1188, 2008.6
- 4) 貞末和史, 細川洋治, 岡功治, 南宏一: ディスク型アンカーのせん断強度に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.1009-1014, 2009.7
- 5) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説, 2001.1
- 6) 松岡義典, 南宏一: 傾斜したスタッドコネクタのせん断耐力に関する一実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1627-1628, 1993.9