論文 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に関する 実験的研究

永井 大介*1・津吉 真人*1・貞末 和史*2・南 宏一*3

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在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考案した傾斜あと施工アン カーのせん断強度を確かめるための実験を行い,アンカー筋の傾斜角度,コンクリート強度,アンカー筋の 径が傾斜あと施工アンカーを用いた間接接合部の力学挙動に与える影響について検討した。さらに,傾斜あ と施工アンカーのせん断強度評価式を提案し,提案式は実験結果を妥当に評価していることを示した。 キーワード:耐震補強,あと施工アンカー,支圧破壊,せん断強度

1. はじめに

既存不適格の鉄筋コンクリート構造や鉄骨鉄筋コン クリート構造などのコンクリート系構造建物の耐震補強 として,既存躯体の内側に鉄骨ブレースや耐震壁を設置 したり、既存躯体の外側に鉄骨ブレースを取り付けて建 物の耐震化を図る設計法が確立されている^{1),2)}。また, 近年は鉄骨ブレースや耐震壁の代わりに鋼材ダンパー等 の制振装置を用いて制振化を図る設計法も提案され、実 用・普及も進んでいる。これらの補強要素を既存建物に 付加する際,補強の効果を最大限に得るためには,既存 躯体と補強要素との接合部が剛強であることが要求され る。例えば、コンクリート系構造建物を枠付き鉄骨ブレ ースを用いて補強する場合には、剛強な接合部の工法と して、図-1に示されるようなあと施工アンカーを用い た間接接合部が多用されており、接合部に十分なせん断 剛性とせん断強度を付与するには、既存躯体に数多くの あと施工アンカーを設置することが必要となる。

しかしながら、昨今の耐震改修には、構造安全性だけ でなく、美観や環境への配慮、省エネルギー等も含めた 機能性、経済性、施工性に優れた工法が望まれており、 あと施工アンカーの固着工事は、騒音・振動など工事環 境に大きな影響を与えるため、在来型のあと施工アンカ ーの代替工法が必要となることもある。そのような状況 の中で、既存建物に対する多様な耐震改修の方法が提案 されてきており、既存躯体と補強要素との接合工法に着 目してみても、エポキシ樹脂を用いた接合部³⁾、エポキ シ樹脂とあと施工アンカーを併用した接合部⁴⁾、鋼管を シアコッターとして用いた接合部⁵⁾、ディスクと称する シアコッターとあと施工アンカーを併用した接合部⁶⁾な ど、工事環境の改善、工期短縮等の要求を満たすための 工法開発が進められている。 ここで、実用実績の多い在来型のあと施工アンカーに 着目してみると、(財)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¹⁾(以下, 改修設計指針と称す)」では、あと施工アンカーに引張抵 抗を期待する場合のアンカー筋の傾斜角度に関して、接 着系アンカーの場合は施工面への垂線に対して 30°以内, 金属系アンカーの場合は施工面への垂線に対して 5°以 内とすることが定められている。一方、せん断抵抗を期 待する場合に対するアンカー筋の傾斜角度に規定はない が、通常、可能な限り傾斜させないように施工されてい る。しかしながら、せん断力に対しては、図-2 に示す ようにアンカー筋を傾斜させた方が傾斜角度の増大と 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ため、大きな抵抗力 が得られる可能性がある。



*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 名誉教授 工博 (名誉会員)

そこで、著者らはアンカー筋を傾斜させて用いた既存 コンクリート躯体と耐震補強要素の接合部を模擬した試 験体を製作し、正負繰り返しせん断力を載荷する実験を 行い、アンカー筋の降伏が先行する条件下では、在来型 のあと施工アンカーと比較して、アンカー筋を並列して 並べ傾斜角度が交差するように配列した傾斜型のあと施 エアンカーはせん断剛性とせん断強度が大きく上昇する ことを明らかにし⁷⁾、実際の耐震改修にも用いることが 出来ると考えた。本論文では、既報に引き続き、間接接 合部を想定した試験体を用いた載荷実験を計画し、アン カー筋の降伏に対してコンクリートの破壊が先行しやす い条件下での傾斜型あと施工アンカーの力学挙動につい て検討する。さらに、実験結果に基づき、傾斜型あと施 エアンカーのせん断強度の評価式を提案する。

2. 実験概要

2.1 試験体

既存コンクリート躯体の施工面への垂線に対してア ンカー筋を傾斜させた接着系あと施工アンカーがせん断 力を受けて,コンクリートが支圧破壊を生じる場合の強 度を調べるための実験を計画した。

試験体形状を図-3に示す。試験体はD13とD10の鉄



筋が配された既存コンクリート躯体部分と枠付き鉄骨ブ レース等による耐震補強要素をあと施工アンカーを用い た間接接合部によって接合する部分を想定した形状とし た。間接接合部には60の割劣防止筋を配した無収縮モル タルがグラウトされている。ただし、本研究はあと施工 アンカーがせん断力を受けてコンクリートが支圧破壊を 生じる場合の強度について検討することを目的としてい るため,試験体製作の簡便さとアンカー筋の付着破壊を 除くために、アンカー筋は先付けアンカーとした。また、 既存コンクリート躯体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。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、試験 体製作時に既存コンクリート躯体と間接接合部の間に 0.5mmのテフロンシートを2枚重ねて敷くことにより固 着力を除去した。

試験体計画を表-1 に示す。実験変数はコンクリート 設計基準強度 $F_c & c \\ 2$ 種類, アンカー筋の種類を2 種類, アンカー筋の傾斜角度 $\theta \\ c \\ s \\ 3$ 種類とし,埋め込み深さは すべて $15d_a$ (d_a はアンカー筋の径)とした。

試験体に用いた材料強度を表-2,表-3に示す。

表-1 試験体計画

試験体	コンクリート 設計基準強度 <i>F c</i> (N/mm ²)	アンカー筋の 種類	傾斜角度 θ (°)	
00F09D25			0	
30F09D25	0	D25(SD345)	30	
45F09D25	9			
45F09D19		D10(SD245)	45	
45F18D19	10	D19(SD343)	43	
45F18D25	18	D25(SD345)		

表-2 コンクリートと無収縮モルタルの材料強度

使用箇所	圧縮 σ ^B (N/mm ²)	引張 σt (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
既存部コンクリート (Fc=9N/mm ²)	13.83	1.47	22956
既存部コンクリート (Fc=18N/mm ²)	24.53	2.58	27261
間接接合部 無収縮モルタル	63.6	3.07	25046

表-3 鋼材の材料強度

は田竺正		降伏強度	引張強度	伸び
使用固所		$\sigma_y (N/mm^2)$	$\sigma_u (N/mm^2)$	(%)
アンカー筋	D25(SD345)	373	550	16.4
アンカー筋	D19(SD345)	375	563	16.3
スタッド	16¢(NOCH16AM)	383	492	27.3
鉄筋	D6(SD295A)	322	515	32.0
鉄筋	D13(SD345)	408	636	12.6
鉄筋	D10(SD295A)	364	518	15.1

2.2 載荷装置および変位計測

載荷装置を図-4 に示す。載荷は既存コンクリート躯体に対する間接接合部の相対水平変位&を変位制御し, 正負繰り返しの漸増載荷を行った。載荷プログラムを図 -5 に示す。なお,正載荷をアンカー筋が引張,負載荷 をアンカー筋が圧縮を受ける方向とする。

変位の計測方法を図-6に示す。変位の計測は、既存











図-6 変位計側(単位:mm)



図-7 ひずみゲージ位置(単位:mm)

コンクリート躯体と間接接合部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た変位計の計測値 δ , δ , δ の計測値に基づき,既存コンクリート躯体に対す る間接接合部の相対水平変位 δ_{ι} と目開き幅 δ を算定した。

試験体中央に配置されたアンカー筋に対して,図-7 に示すように表裏両面にひずみゲージを貼り付け,ひず み度を計測した。

2.3 破壊状況

最終破壊状況の一例を**写真-1**に示す。

コンクリート強度が大きくアンカー筋の径が小さく なると表面に見られるひび割れが少なくなり、負方向載 荷時には既存コンクリート躯体と間接接合部の目開き幅 が大きくなった。コンクリート強度の違いやアンカー筋 のサイズの違いによってひび割れ発生の増減があるもの の、ひび割れ発生の多くは正方向載荷時に発生した。本 実験ではアンカー筋の破断が生じないようにアンカー筋 の径と材質を選定しており、全ての試験体において、ア ンカー筋の破断は生じていないことが確認されたが,最 大強度はアンカー筋の降伏によって決まったか、コンク リートの破壊によって決まったかは同定することは難し いものであった。そこで、実験終了後、間接接合部をは つり破壊状況を確かめた(写真-2参照)。いずれの試験 体とも支圧破壊を生じていることが確認され、在来型で は左右に同様な破壊領域になるが、傾斜型ではアンカー 筋が圧縮を受ける載荷方向側に破壊領域が広がっており, 30°と45°では45°のほうが破壊領域がやや大きくな っていることが確認された。



(a) 在来型(00F09D25)



(b) 傾斜型(45F18D19) 写真-1 最終破壊状況



(a) 在来型(00F09D25)





(c) 傾斜型(45F09D25)

2.4 荷重-変形関係

 $Q-\delta_{\mu}$ 関係を図-8に示す。また、 $\delta_{\mu}=\pm 0.2$ mm時にお ける正負のせん断剛性 $K(=Q/\delta_u)$ を表-4, 図-9 に, 各 振幅の変位ピーク点を結んだ骨格曲線を図-10に示す。

Q-δ_u 関係から正方向載荷時には、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。また、コンクリート強度を高くするとアン カー筋のサイズと傾斜角度が同じでも,正方向載荷時の 最大せん断強度が大きくなったが、負方向載荷時の最大 せん断強度は大きく変化しなかった。

δ-δ 関係を図-11 に示す。在来型は正負両載荷方向 において対称的な履歴形状を示しているが、傾斜型では 非対称な履歴形状を示しており、正方向載荷時にδ,が閉 じ,負方向載荷時には&が開いていることが確認できる。 δ,が開くアンカー筋が圧縮を受ける載荷方向では、アン カー筋が接合面で曲げられ、せん断剛性とせん断強度が 低下したものと推測される。アンカー筋の傾斜角度*θ*の 違いによる比較すると、*δ*-*δ*₄関係にあまり大きな差は見 られなかったが、コンクリート強度が高い試験体のほう がんの値が大きくなっていることが確認された。これは 高強度コンクリートの場合の方がアンカー筋周辺の支圧 破壊が小さな領域に限定されることが影響しているので はないかと思われる。

表-4 せん断剛性一覧表

試験体		00F09D25	30F09D25	45F09D25	
K IE		926 843		1313	
(kN/mm) 負		398 195		283	
試験体		45F09D19	45F18D19	45F18D25	
K	Æ	608	656	953	
(kN/mm) 負		210	計測不良	248	









図-11 既存コンクリート躯体部分と間接接合部の間の境界面の目開き幅の履歴

2.5 アンカー筋のひずみ度推移

既存コンクリート躯体と間接接合部の境界面からアン カー筋の材軸方向に 50mm 上部位置のアンカー筋のひず み度 cの推移を引張ひずみ度を正として図-12 に示す。 なお,図に示す c,はアンカー筋の降伏ひずみ度である。

在来型では正負両載荷方向において引張ひずみ度を 生じているが、傾斜型では、正方向載荷では引張ひずみ 度を生じ、負方向載荷では圧縮ひずみ度を生じており、 在来型とはアンカー筋の抵抗機構が変化していることが わかる。また、傾斜角度の大きくした場合ほど正側載荷 では、ひずみ度は大きくなっており、アンカー筋の材軸 方向への抵抗力が大きくなっていることが確認できる。

3. せん断強度

改修設計指針ではせん断力を受ける在来型の接着系 あと施工アンカーの強度 Q_a は、アンカー筋のせん断降伏 で決まる強度 Q_{a1} とコンクリートの支圧で決まる強度 Q_{a2} の最小値として式(1)で評価している。

1	.,	
	1	1)

$$Q_{a1}=0.7\sigma_y \times_{aa}$$

$$Q_{a2} = 0.4 \sqrt{E_c} \cdot \sigma_B \cdot aa \qquad \text{fefe} \cup, \ le \ge 7da \qquad (3)$$

ここに、 σ_{y} , *aa*, *le*および *da*はアンカー筋の降伏強度, 軸部断面積,有効埋込み深さおよび呼び径, *Ee*と σ_B はコ ンクリートのヤング係数と圧縮強度である。 一方,アンカー筋を傾斜させて用いた場合,図-13に 示されるような力の分解によってアンカー筋に材軸方向 の力 Qiあるいは Qcが生じるため,アンカー筋が引張力 Qiを受ける載荷方向では,アンカー筋のせん断降伏,コ ンクリートの支圧破壊に加えて,コンクリートのコーン 状破壊と付着破壊が考えられる。そこで,傾斜型接着系 あと施工アンカーのせん断強度を式(4)で評価する。

 Qa=min (Qa1, Qa2, Qa3, Qa4)
 (4)

 ここに、Qa3 はアンカー筋が引張力を受けコーン状破壊

 を生じることによって決まる強度、Qa4 はアンカー筋が

 引張力を受け付着破壊を生じることによって決まる強度

 である。

本実験では Qa3, Qa4 に相当する破壊モードは生じてい ないため、本論では Qa1, Qa2 の評価について検討する。 2章の実験結果より明らかなように、アンカー筋が引張



(a) アンカー筋が引張(b) アンカー筋が圧縮図-13 カの分解



(2)

図-12 アンカー筋の軸方向ひずみ度の推移

力を受ける載荷方向(正荷重時)と逆方向(負荷重時) では,最大耐力が大きく異なる。そこで,Qalの評価に 関しては,アンカー筋が引張となる載荷方向のせん断 強度をQalt,アンカー筋が圧縮となる載荷方向のせん断 強度をQalcとして,以下の式を用いて評価する。

*Qalt*はアンカー筋が傾斜してアンカー筋のせん断面が 楕円となることを考慮して式(5)を用いて評価する。

$$Q_{a1t} = 0.7\sigma_{y} \cdot aa \cdot 1/\cos\theta \tag{5}$$

Qalc はアンカー筋が曲げ降伏した時のせん断力として 式(6)を用いて評価する。

$$Q_{a1c} = \sigma_y \cdot z_p / l_f \tag{6}$$

$$l_f = d_a$$
 (7)

ここに, *w* はアンカー筋の塑性断面係数, *b* は既存躯体 部と間接接合部の接合面近傍でアンカー筋が曲げモーメ ントを受けている区間のせん断スパンである。

既存躯体部と間接接合部の接合面に&の間隙を生じ, アンカー筋の曲げ降伏によって最大せん断強度に達する 場合でも接合面近傍では少なからずコンクリートが支圧 破壊を生じることは免れ得ないと思われる。アンカー筋 が接合面の上下端で正負逆対象モーメントを受けると仮 定し,実験値との対応状況を考慮して, lfは(7)式を用い て評価するものとした。

*Qa2*の評価に関して、アンカー筋が圧縮となる載荷方 向ではアンカー筋の傾斜角度の増大と共にコンクリート は容易に支圧破壊を生じやすくなるものと推察されるが、 支圧破壊を生じた後もアンカー筋の定着力が喪失してい ない場合は耐力上昇すると思われるため、この方向での 最大耐力は式(6)を用いた*Qale*によって評価する。

Qa2 の評価に関して、アンカー筋が引張となる載荷方 向ではアンカー筋の傾斜角度の増大と共に支圧強度は上 昇すると予測されるが、安全側の評価として、在来型で 用いられている式(3)によって評価する。

本実験で得られた正負のせん断強度の最大値 Qmax お よび上述した方法によるそれぞれの計算値を表-5 に示 す。傾斜型に関しては、実験値と計算値の対応はおおむ ね良好であり、安全側に評価されていることがわかる。 D25 のアンカー筋は改修設計指針の適用範囲外となって いるが在来型の実験値が計算値を下回っているため、本 設計式の適用範囲については、今後更なる検討を要する。

表-5 実験値と計算値の比較

封殿休	Q_{max} (kN)		$Q_{a 1t}$	$Q_{a1c} = Q_{a2}$		実験値/計算値	
武硬件	正	負	(kN)	(kN)	(kN)	正	負
00F09D25	254	-252	397	-397	343	0.74	0.63
30F09D25	409	-128	459	-117	343	1.19	1.10
45F09D25	517	-119	562	-117	343	1.51	1.02
45F09D19	217	-87	317	-68	193	1.13	1.28
45F18D19	344	-76	317	-68	280	1.23	1.12
45F18D25	666	-141	562	-117	497	1.34	1.21

4. まとめ

傾斜あと施工アンカーがせん断力を受けて支圧破壊を 生じる場合の強度を明らかにするために、アンカー筋の 傾斜角度、コンクリート強度およびアンカー筋の径を変 数とした載荷実験を行い、以下に示す結論を得た。

- アンカー筋が引張力を受ける載荷方向では、アンカー 筋の傾斜角度、コンクリート強度およびアンカー筋 の径を大きくするとせん断強度は大きくなる。
- 2) アンカー筋が圧縮力を受ける載荷方向では、アンカー 筋を傾斜させた場合、せん断強度が小さくなる。また、傾斜角度とコンクリート強度の違いによる差は 小さいが、アンカー筋の径を大きくするとせん断強 度は大きくなる。
- 3)提案したせん断強度の評価式を用いて、せん断強度を 妥当に評価できる。

謝辞

本研究は平成 23 年度科学研究費補助金(若手研究(B) 課題番号:237603 代表研究者:広島工業大学准教授貞末 和史)および平成 23 年度竹中育英会建築研究助成(代表 研究者:広島工業大学大学院生津吉真人)による助成を 受けて実施されました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 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
- 日本建築防災協会:既存鉄筋コンクリート造建築物の外側耐震改修マニュアル,2003.2
- 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 津吉真人,貞末和史,石村光由,南宏一: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,コ ンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, No.2, pp.985-990, 2010.7