

論文 ディスク型あと施工アンカーをコンクリート造建築物の耐震補強に適用する際に期待できる最大耐力の検証

高瀬 裕也*1

要旨: コンクリート造建築物を躯体の内側に鉄骨フレームを取り付けて耐震補強する場合, その間接接合部は, せん断面垂直方向に鉄骨フレームから大きな拘束力を受けると考えられる。また鉄骨鉄筋コンクリート造を対象とする際には, 間接接合部に用いるあと施工アンカーの定着を十分に確保できない可能性が高い。そこで本研究では, ディスク型のアート施工アンカーをこのような耐震補強に用いることを想定して, 埋め込み深さを短くし, かつ, 垂直方向の変位を拘束した条件でアンカーのせん断実験を実施した。その結果, 埋め込み深さが短くても高いせん断耐力を発揮すること, さらに垂直荷重値を考慮することでせん断耐力の推定精度が大きく向上することが明らかとなった。

キーワード: あと施工アンカー, 耐震補強, 接着系アンカー, 支圧強度, せん断強度

1. はじめに

コンクリート造建築物を, 鉄骨フレームを用いて耐震補強する際に, 既存躯体と耐震補強部材を構造的に連結させる間接接合部にあと施工アンカーを用いることが多い。最近では, 耐震補強部材の性能が増しつつあることから, あと施工アンカーに高いせん断耐力が求められている。さらに, 建物によっては耐震改修工事中もその内部機能を維持したまま施工することが望まれる事例も少なくはなく, 振動や騒音の少ない作業が求められている。

これらの課題を解決する新たなあと施工アンカーのひとつに, ディスク型のアート施工アンカーがある。これは接着系アンカーを, ディスク型の鋼製部材によって界面近傍(既存躯体と間接接合部の界面のこと)を補強することにより, コンクリートの支圧強度の増大を意図したものであり, 未だ開発の途上にあるようである。

また, あと施工アンカーを鉄骨鉄筋コンクリート(以下, SRC と略記する)造の建築物の耐震補強に使用する場合には, 鉄骨かぶり厚さの制約から, 通常の D16 や D19 のアンカー筋では設計指針¹⁾で規定されている $7d_a$ (d_a はアンカー筋径を意味する)の埋め込み深さを確保できないと言う, 上記とは別の問題がある。埋め込み深さを短くする場合(現行の基準では $4.5d_a$ が限度)には, コンクリートの支圧耐力を 25% 低減して設計しなければならない²⁾。

この問題に対しても高い支圧強度を有するディスク型あと施工アンカーが有用であると考えられる。

鉄骨フレームを用いた耐震補強の中でも, これを既存躯体の内側に取り付ける工法の間接接合部では, あと施工アンカーのせん断面垂直方向に大きな拘束力が生じ

ていると考えられ, 支圧強度の高いディスク型あと施工アンカーであれば, たとえ短い埋め込み深さであっても, 大きなせん断強度を期待できると思われる。

しかしながら既往の研究では³⁾⁻⁷⁾, 安全側にせん断強度を評価するため, 拘束力の無い条件下で実験が行われている。そこで本研究では, ディスク型のアート施工アンカーを対象として, その埋め込み深さを短くし, かつ, せん断面垂直方向の変位を拘束して実験を行い, この条件下におけるディスク型あと施工アンカーのせん断強度を検証する。本論文では, この実験結果について報告し, 若干の考察を加える。

2. ディスクアンカーの概要

せん断力を受けるあと施工アンカーの破壊形式は, アンカー筋の降伏, コンクリートの支圧破壊, さらに場合によっては既存躯体のせん断破壊等に分類される。既に触れているように, ディスク型のアート施工アンカーは支圧強度を増すことを意図して開発されたものである。本節では, このディスク型あと施工アンカーの概要につい

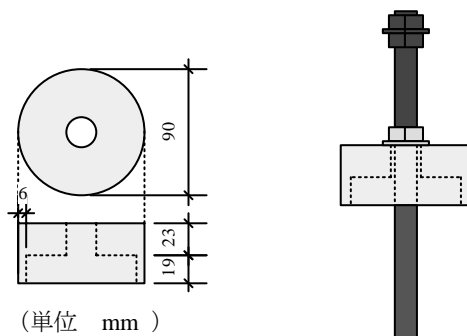


図-1 ディスクの緒元寸法とディスク型あと施工アンカーの概念

*1 飛鳥建設 技術研究所 研究員 博士(工学) (正会員)

て解説する。

2.1 ディスクの諸元寸法とディスク型あと施工アンカーの概念

図-1 に、ディスクの諸元寸法とディスク型アンカーの概念を示す。ディスク型アンカーは、専用の鋼製ディスクと接着系アンカーの二つの部材が組み合わさったものである。

ディスクの形状は、開発の過程において幾つかのタイプがある⁷⁾が、本実験では、直径 90mm、高さ 42mm の円柱形状のものを使用する。ディスク中央にアンカー筋が通るための孔があり、この直径はアンカー筋の呼び径より 5mm 程度大きい。ディスクの底面から高さ 19mm までは、直径 78mm の円で繰り抜かれており、この部分は既存躯体に埋め込まれる。

2.2 ディスク型アンカーの施工方法

図-2 に、ディスク型アンカーの施工方法を示す。ディスク型アンカーを既存躯体に固着させるには、主に3つの施工ステップを踏まえる必要がある。

はじめに、既存躯体にアンカー筋を埋め込むための孔と、ディスクを設置するための円形の溝を設ける。まず、アンカー筋用の穿孔を行い、次いでこの孔を軸としてディスク用の溝を設ける。なお、耐震改修工事の際に建物を使用しつつ工事することを考え、この穿孔作業は振動騒音の少ない湿式コアドリルを使用して実施する。

穿孔作業に続いて、アンカー筋を施工する。あと施工アンカーの種類は様々なものがあるが、前述の耐震改修工事時の課題から、騒音のない注入式の接着系アンカーを採用する。アンカー筋は全ネジボルトとし、接着剤はエポキシ系樹脂を用いる。

そして最後に、ディスクを設置する。エポキシ系樹脂を、最初の施工ステップで設けた既存躯体の溝に注入し、さらに躯体とディスクの境界面にも適量を塗布する。樹脂が硬化する間、ディスクを固定するために、アンカー

筋のネジを利用してナット締めする。この固定方法は、ディスク型あと施工アンカーを梁の下端に施工する際の、ディスクの落下防止にも寄与する。

3. ディスク型あと施工アンカーのせん断加力実験

本研究では、鉄骨フレームを躯体内側に取り付ける耐震補強にディスク型あと施工アンカーを用いる場合に期待できるせん断耐力を検証することが目的である。以下に、本実験の詳細について記述する。

3.1 試験体形状とその諸元

図-3 に試験体の諸元を示す。

本実験では、既設側部分と間接接合部を想定した（以下、増設側と呼ぶ）部分の、2つのコンクリート部材で構成される。これらはL字型の同一形状である。一般的なRC造建物の梁幅を想定して、試験体の幅を 300mm とする。

最初に既設側のコンクリートを打設する。コンクリート強度が十分に発現された後、前節の施工手順にしたがって、ディスク型あと施工アンカーを設置する。この際、全ての作業が下向きとなるようにして行った。その後増設側部分の型枠を組んで、増設部側のコンクリートを打設する。なお、本実験では、ディスク型あと施工アンカーを間接接合部に用いる場合に期待できる最大せん断耐力を知ることを目的としているため、既設側と増設側の界面の付着は残したままにする。

なお試験体には、せん断面の垂直変位を鋼製棒材を用いて拘束できるよう、塩化ビニル管が埋設されている。

3.2 試験体の使用材料

表-1 に本試験体に用いたコンクリートの調合を記す。また、表-2 の(a)と(b)にコンクリートとアンカー筋のそれぞれの材料特性を記す。

既設側部分に普通強度コンクリートを打設する。また、本実験は既設側コンクリートの破壊を評価することを

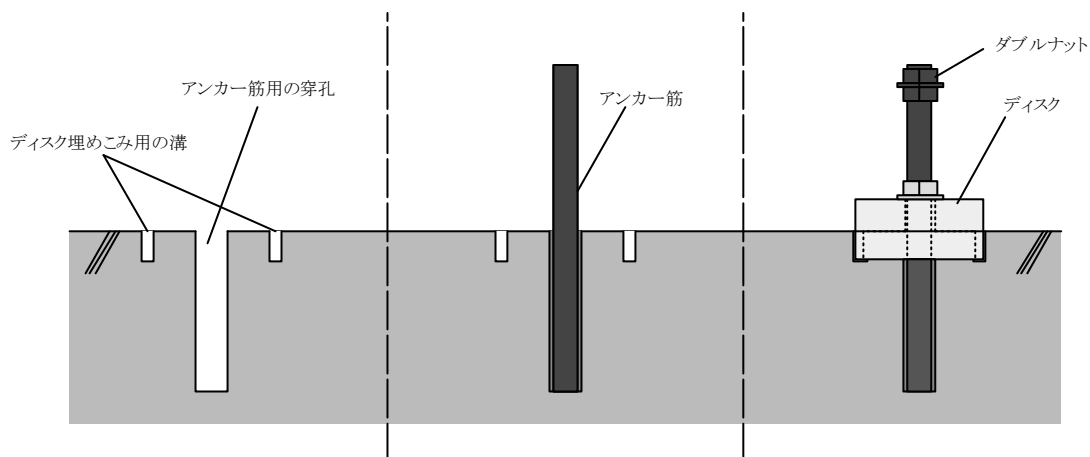


図-2 ディスク型アンカーの施工方法

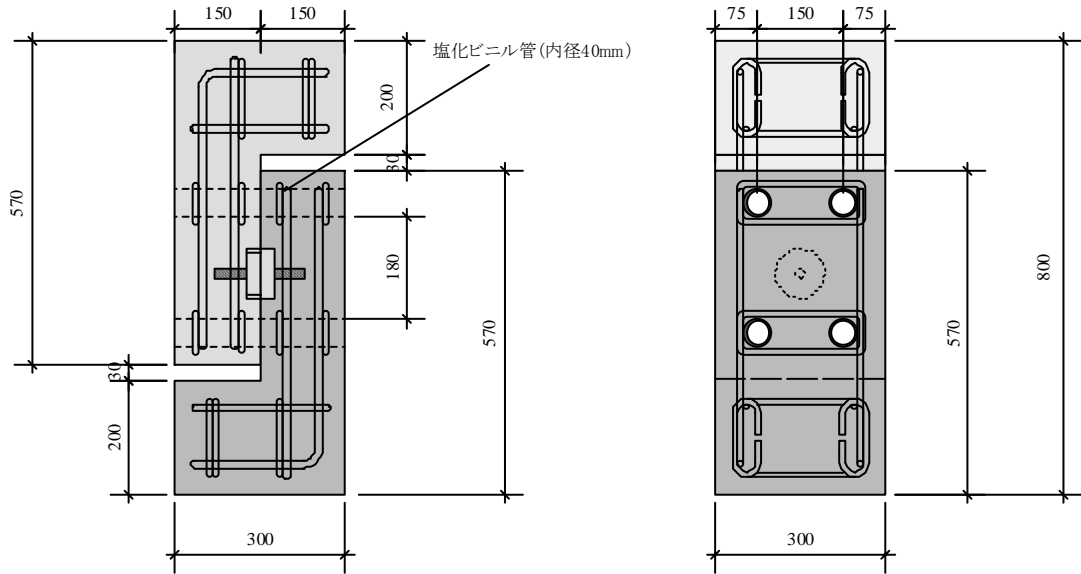


図-3 ディスク型あと施工アンカーのせん断試験体図 (単位 : mm)

表-1 コンクリートの調合表

打設箇所	組骨材法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単用量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
既設側	20	18	63.5	4.5	49.1	181	285	352	940	2.85
増設側	20	23	37.2	4.5	46.1	170	457	193	932	5.71

表-2 材料特性

(a) コンクリート

打設箇所	強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
既設側	27.7	25.6
新設側	45.1	29.4

(b) アンカー筋

材質	降伏強度 (N/mm ²)	最大強度 (kN/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
SNB7	896	931	177

表-3 試験パラメータの一覧

試験体名	アンカー筋	埋め込み深さ (mm)
NO 試験体	—	—
M16 試験体	M16	80
M20 試験体	M20	80

目的としているため、増設部側には呼び強度 49N/mm² の高強度コンクリートを用いる。

アンカー筋は SNB7 の高強度鋼材のものを使用し、デ

ィスクは材質 S45C の鋼材を用いる。

3.3 せん断加力と計測点

図-4 に本実験の加力方法と変位の計測点を示す。

加力は、2000kN 耐圧試験機を用いて行う。せん断加力は静的単調載荷とし、せん断すべり変位 (以下、せん断変位) が 5mm になるまで載荷する。また、加力時の垂直方向の変位を拘束するため、試験体に埋設してある塩化ビニル管内に、材質 SNB7 の M20 全ネジボルト計 4 本を通して軽くナット締めする。この 4 本の全ネジボルトの上下中央に 2 枚のひずみゲージをそれぞれ貼り、ひずみ量の測定を行う。なお、この全ネジボルトの材質は、表-2(b)と同じである。

せん断変位と界面の目開き量を、高感度変位計 (変位容量 25mm, 計測感度 1/500mm) によって計測する。

3.4 試験パラメータ

表-3 に試験パラメータの一覧を掲げる。

本論文では、3 体の実験を実施する。1 体目は、アンカー筋の無いものであり、純粋なディスクのせん断抵抗性能を把握するためのものである。これを NO 試験体と呼ぶ。

2 体目と 3 体目は、それぞれ M16 と M20 のアンカー筋を用い、その埋め込み深さを 80mm としたものである。

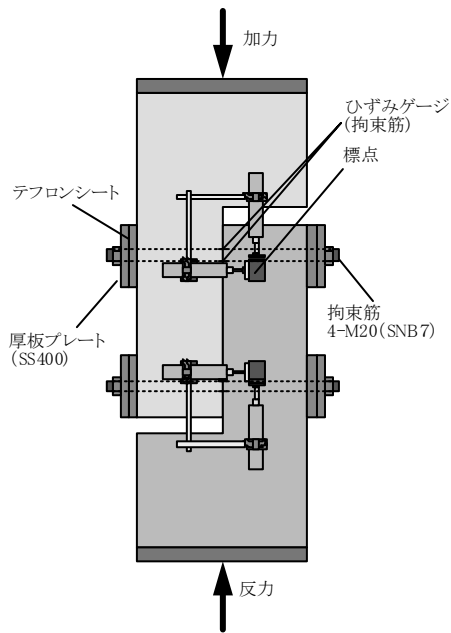


図-4 加力方法と変位計測

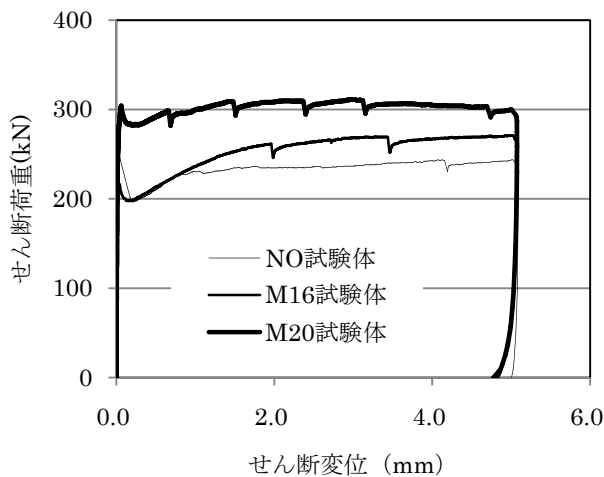


図-5 各試験体の荷重変位曲線

表-4 各試験体のせん断荷重値

試験体名	最初のピーク (kN)	$\delta=2\text{mm}$ (kN)	最大 (kN)
NO 試験体	248	235	249
M16 試験体	216	250	271
M20 試験体	304	308	311

これらを、M16 試験体、M20 試験体とそれぞれ呼称する。

埋め込み深さを、通常のアンカー筋(例えば D16 で 7da の定着を確保すると 112mm となる)を用いた場合よりも短い 80mm とした理由は、次の通りである。本実験では、SRC 造建築物のように埋め込み深さを十分に確保できない状況下で、あと施工アンカーを使用した場合の力学的性能を確認することが目的のひとつにある。そこで、

通常の SRC 造建築物の柱・梁部材では、鉄骨フランジから躯体表面までのかぶり厚さが 100mm 程度であると考え、これに幾分の余裕をみて埋め込み深さを 80mm と設定した。

4.実験結果とその考察

せん断力を受けるディスク型のあと施工アンカーの力学性質の解明を試みる研究が始まったのは、ごく最近のことであり、せん断面垂直方向が拘束された条件下でのせん断耐力については、未だ検証されていないようである。以下では、本実験結果を観察し、若干の考察を加えることとする。

4.1 荷重-変形曲線

図-5 に、NO 試験体、M16 試験体、そして M20 試験体の荷重変形曲線を示す。また表-4 には、最初のピーク値、せん断変位 2mm、そして最大のせん断荷重の値を示す。ここでせん断変位 2mm におけるせん断荷重値を掲げたのは、文献 1)や文献 10)における、通常のあと施工アンカーの耐力評価方法に準拠したからである。

図-5 の実験曲線を見てみると、3 体のいずれの試験体においても、载荷直後の実験曲線はほぼ垂直に荷重が増加し、最初のピーク荷重を迎え、その後荷重が下がりながら変位が進行するが、再び変位の進展とともに緩やかに荷重が増加し、ほぼ一定荷重を辿る傾向が観察される。このように、一度ピーク荷重値が現れる現象は、このピーク荷重値が、M16 試験体よりも NO 試験体よりも大きく、この荷重値の大きさがアンカー筋の有無に左右されていないこと、さらに、ピーク後の荷重変位履歴の挙動から推察すると、界面の付着が切れることによって生じたものと考えられる。

また注目すべき現象として、せん断変位 1mm 程度までは、NO 試験体と M16 試験体が、ほぼ同じ軌跡を辿っていることが挙げられる。つまり、拘束力のある条件下では、アンカー筋が存在しなくても、ある程度高い耐力が期待できると言えそうである。

除荷時の挙動について同図を見ると、いずれの試験体も変位が殆ど残留することを読み取ることができる。

4.2 拘束筋のひずみ推移と垂直変位の拘束効果

図-6 に、各試験体の実験時に垂直変位を拘束するために用いた高強度棒材 4 本のひずみ量の平均値の推移を描く。

同図を見てみると、各試験体の拘束筋のひずみ量の大きさはせん断荷重値と相関しており、もっともせん断荷重が大きくなった M20 試験体のひずみ量が載荷時全般にわたって大きな値を見せている。

いずれの試験体も、せん断変位が 2mm の際のひずみ量は、凡そ 550 μ であり、試験体の拘束幅が 300mm であ

ることから鉄筋の伸び量を推定すると、それぞれ0.165mmとなる。このことから、せん断加力時は、ほぼ垂直変位が拘束されていたと判断できる。また拘束筋の材料のヤング係数177kNmm²からこれが負担している引張力を算定すると表-5のように90kNから100kNとなり、この荷重が拘束力として試験体に作用していたものと考えられる。なお、4本の拘束筋の上下に張り付けたひずみゲージはほぼ同じ推移をしていることから、拘束筋は概ね引張力のみを負担していたものと考えられる。

4.3 せん断耐力評価

(1) せん断耐力の評価式

ディスク型あと施工アンカーのせん断強度を精度良く推定可能な耐力式は、未だ確立されていない。

せん断力を担う一般的なあと施工アンカーの設計耐力は、アンカー筋の降伏強度とコンクリートの支圧強度の弱い方で決定される¹⁾。ディスク型のあと施工アンカーは支圧強度の増大を狙ったものであり、また実験終了後のアンカー筋に目立つ変形が見られなかったことから、最大耐力は支圧強度に大きく支配されているものと判断できる。そこで、ここでは支圧強度の耐力式のみを対象とする。通常のあと施工アンカーの支圧強度式は、次の(1)式で表される。

$$Q_1 = 0.4 \cdot \sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \cdot s_a e \quad (1)$$

ここに、 E_c と σ_B はコンクリートのヤング係数と圧縮強度を、 $s_a e$ はアンカー筋の有効断面積をそれぞれ示している。

また文献8)によれば、円形断面の鋼材によって作用される荷重に対する、コンクリート支圧耐力評価式として、以下の式が提案されている。

$$Q_2 = B \cdot Le \cdot 1.66 \cdot \left(\frac{T}{B}\right)^{0.63} \cdot F_c \quad (2)$$

ここに、 B は有効支圧幅（円形断面の中心からせん断方向に向かって $\pm\pi/2$ にある領域の弦の長さ）を、 Le はディスクの有効埋め込み深さを、 T は梁幅を、そして F_c はコンクリートの呼び強度をそれぞれ示している。

佐藤らはこの(2)式を、影響係数 β を用いてディスク型あと施工アンカーの支圧強度を評価できるように修正している⁹⁾。この修正式は(3)式で表され、コンクリートに打設されたディスク型あと施工アンカーの直接せん断実験の結果と、高い適合性があることが報告されている⁹⁾。

$$Q_3 = 1.46 \cdot D \cdot Le \cdot \left(\frac{T}{B}\right)^{0.63} \cdot \beta \cdot \sigma_B^{0.25} \quad (3)$$

ここに、 D はディスクの直径を、 σ_B はコンクリートの

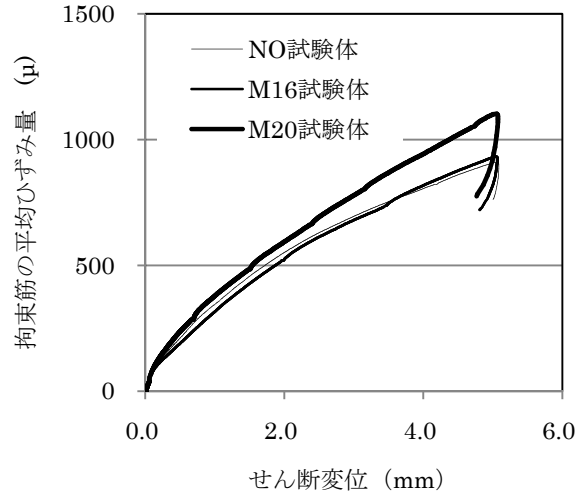


図-6 拘束筋の平均ひずみ量の推移

表-5 拘束筋のひずみ量から算定した垂直荷重

試験体名	$\delta=2\text{mm}$ の平均ひずみ量 (μ)	垂直荷重 (kN)
NO 試験体	551	96.2
M16 試験体	522	90.5
M20 試験体	595	103.1

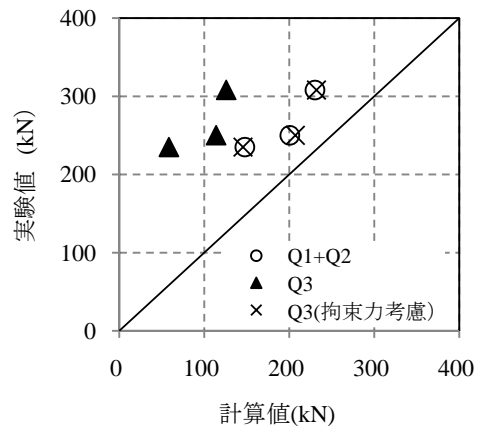


図-7 実験値と計算値の比較

圧縮強度をそれぞれ示している。また影響係数 β は以下の式で表される。

$$\beta = 0.074 \cdot t_f + 4.78 \quad (4)$$

さらに(4)式中の t_f は定着強度で下式で記述される。

$$t_f = \tau_a \cdot \pi \cdot da \cdot le \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

ここに、 τ_a は付着応力を、 da はアンカー筋の径を、 le はアンカー筋の埋め込み深さをそれぞれ示している。

(2) せん断耐力の評価

図-7に、せん断変位 2mm の際のせん断荷重値と耐力式による計算値をプロットする。耐力式は前項で取り上げた式で、(1)と(2)の和を取ったものと、佐藤らが提案した(3)式、そしてこの(3)式の定着強度に前掲の表-5に示される垂直荷重値を考慮して評価したものの3種類を用いる。また、垂直荷重を考慮する方法として、(5)式を次のように修整し、これを(3)式に代入する。

$$t_f = \tau_a \cdot \pi \cdot da \cdot le \cdot 10^{-3} + N \quad (6)$$

上式の N は、表-5の垂直荷重を意味している。

図-7より算定結果と実験値を比較してみると、いずれの評価方法においても、実験値を過小評価していることが明らかである。佐藤らが提案している(3)式が最も算定値と実験値の差が大きく、M16試験体とM20試験体では2倍から2.5倍程度、NO試験体に至っては4倍近く、実験値の方が大きな値を示している。当然、この耐力式は垂直方向の拘束条件が無い実験の結果に基づいて導き出されたものであり、本実験結果を過小評価することは当然の結果と言える。しかし、この評価式における定着強度 t_f に垂直荷重を考慮することで、耐力の推定精度が高くなり、実験値と算定値の比が1.5倍前後まで改善する。

5. まとめ

本論文では、埋め込み深さが短く、せん断面の垂直方向に拘束力を受けるディスク型あと施工アンカーのせん断実験を実施し、このアンカーに期待できる最大せん断耐力の可能性について検証を行った。本研究によって得られた知見を列記すると以下のようである。

- 1) ディスク型のあと施工アンカーが、垂直方向の拘束力を受けることで、高いせん断耐力が期待できる。
- 2) アンカー筋が無い場合においても、拘束力が負荷されることにより、M16のアンカー筋を80mm埋め込んだものに近いせん断耐力を発揮し、せん断変位1mm程度までは、ほぼ同じ荷重変形履歴を辿る。
- 3) 本論文で取り上げた数例の耐力評価方法は、いずれも実験値を過小評価するが、垂直荷重値を考慮することで、より精度良く耐力算定が可能となる。

今後、本研究では、ディスク型のあと施工アンカーの力学性状の解明を試みることに加え、間接接合部に作用する拘束効果の評価方法についても検証を行いたいと考えている。

謝辞

本論文で行った実験に際して、大本組・岡氏、板谷氏、サンコーテクノ、山本氏、今井氏、佐藤氏、須賀氏より多大なるご協力を頂きました。特に山本氏には、本論文

の執筆に際し貴重なご意見を賜りました。ここに深い感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会：2001年改訂版 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、日本建築防災協会、pp.87-95、2001.5
- 2) 日本建築防災協会：2009年改訂版 既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・耐震改修設計指針・同解説、日本建築防災協会、2009.12
- 3) 半田清和、山本憲一郎、八木澤康衛、細川洋治、須賀俊順、佐藤貴志、今井清史、岡功治、飯沼雅光：既存建物の耐震補強に関するディスク型高性能せん断接合方法の実験的研究（その1基礎的研究）、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、pp.127-128、2007
- 4) 須賀俊順、山本憲一郎、酒井悟、細川洋治、佐藤貴志、飯沼雅光：既存建物の耐震補強に関するディスク型高性能せん断接合方法の実験的研究—その2低強度コンクリートに対する基礎的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、pp.293-294、2008
- 5) 佐藤貴志、酒井悟、細川洋治、飯沼雅光、山本憲一郎、半田清和、須賀俊順：既存建物の耐震補強に関するディスク型高性能せん断接合方法の実験的研究—その3実験結果の考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、pp.295-296、2008
- 6) 須賀俊順、貞末和史、宮口克一、高橋宗臣、水上剛、細川洋治、藤井稔己、南宏一：あと施工アンカーの低強度コンクリートへの適用に関する実験的研究—その4間接接合部要素実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、pp.159-160、2009
- 7) 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報告集、Vol.31、No.2、pp.1009-1014、2009.7
- 8) 旧建設省土木研究所編：プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリート道路橋設計・施工指針（案）、旧建設省土木研究所、1995年
- 9) 佐藤貴志、須賀俊順、細川洋治、酒井悟、山本憲一郎、岡功治、今井清史、飯沼雅光：既存建物の耐震補強に関するディスク型高性能せん断接合方法の実験的研究—その7コッター型タイプの単体せん断試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、pp.143-144、2009
- 10) 日本建築防災協会：外側耐震改修マニュアル—枠付鉄骨ブレースによる補強—、日本建築防災協会、2003