

鋼製ディスクとアンカーボルトを併用するシヤキーを用いた 接合工法の開発と実案件への適用

Development of Joint Technique Using Shear-key Consisted Steel Disk and Anchor Bolt for Seismic Retrofitting and Applying to Works

高瀬 裕也^{※1} 阿部 隆英^{※2}
Yuya Takase Takahide Abe

【要旨】

本研究では、ディスクとアンカーボルトを併用した耐震補強用の接合要素（本論文ではディスクシアキーと呼ぶ）を開発し、主に内付け鉄骨枠付き補強架構を用いた耐震補強に適用できるよう、種々の検証を行ってきた。本論文では、さらに外付け補強や、増設耐震壁に適用できるか検証するため実験を行い、その結果、これらの補強工法に適用しても高い接合性能を発揮することが明らかとなった。

またディスクシアキーは、これまでに、学校、庁舎、共同住宅、および事務所など様々な用途の既存建築物の耐震補強に適用されており、今後も耐震補強の促進に大いに寄与することが期待される。

【キーワード】 耐震補強 補強接合部 シヤキー 外付け補強 増設耐震壁

1. はじめに

周知のように、耐震性能の低い既存建築物の耐震補強が、重要な課題の一つとされている。一般的な耐震補強では、既存躯体に耐震要素（以下、補強部材と記す）が付加され、これにより地震力に抵抗する。補強部材が適切に地震力を負担するには、補強部材と既存架構が一体化されている必要がある。そのため、両者を接続する接合部の性能が極めて重要となる。しかし、一般に使用されるあと施工アンカーでは、埋め込み深さや適用可能なコンクリート強度の問題から、採用が困難な場合がある。

そこで著者らは耐震補強に寄与すべく、耐震補強用のシヤキー（以下、ディスクシアキーと呼ぶ）を開発し、これまでに報告^{1)~5)}してきた。既報の報告^{1)~5)}で対象とした補強工法は、①内付け鉄骨枠付き補強架構、②増設耐震壁補強（ただし、無開口の新設壁に限る）である。本論文では、さらに③外付け補強、および④様々な増設耐震壁（即ち、有開口耐震壁や増し打ち耐震壁等）への適用性について検証した結果を報告する。また、現況における本工法の実案件への適用事例について報告する。

2. ディスクシアキーの概要

2.1 ディスクシアキーの特徴

ディスクシアキーは、ディスクとアンカーボルトを併用した接合要素であり、一般的な接合部に用いられるあ

と施工アンカーに比べると、短い埋め込み深さで高いせん断耐力を発揮し、剛性も高く、また施工時に発生する振動騒音も少ないため、耐震補強の接合に非常に優れている。また、数多くの検証の結果、低強度コンクリートにも適用することができる。

2.2 ディスクシアキーの形状と種類

図-1に、2タイプのディスクシアキーの構成を示す。

ディスクシアキーは大きく、拡張タイプとボルトタイプに分けられ、両者とも、ディスク、アンカーボルト、高ナット、接続ボルト、および接着剤により構成される。拡張タイプは、内付け補強に、ボルトタイプは主に外付け補強に使用される。

さらにディスクのサイズは、直径90mmと60mmの2種類があり、適用する建物の条件に応じ使い分けられる。

2.3 ディスクシアキーのせん断耐力

式(1)から(8)に、既往の文献^{1)~5)}で提案したディスクシアキーのせん断耐力式を示す。ディスクシアキーのせん断耐力 q_{disk} は、下式による。

$$q_{disk} = 0.24 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot A_B \cdot \sqrt{E_C \cdot \sigma_B} \quad (1)$$

ここに、 E_C 、 σ_B はそれぞれコンクリートのヤング係数(N/mm²)と圧縮強度(N/mm²)、 A_B は受圧面積(mm²)を表す。 A_B は次式で表される。

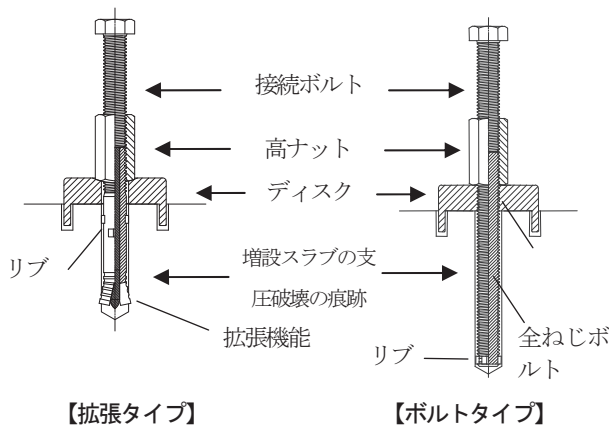


図-1 ディスクシアキーの種類

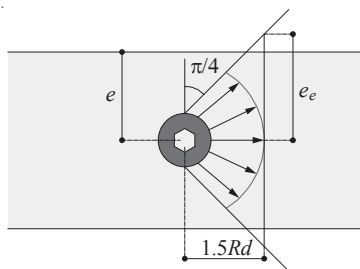


図-2 へりあき長さとお効へりあき長さ

$$A_B = \frac{1}{4} \pi \cdot R_d \cdot h_d \quad (2)$$

K_1 はへりあき長さ e による補正係数である。

$$K_1 = \begin{cases} e/e_e & (e \leq e_e) \\ 1.0 & (e_e < e) \end{cases} \quad (3)$$

$$e_e = 2R_d \quad (4)$$

ここに、 R_d と h_d はそれぞれディスクの外径(mm)と既存躯体側への埋め込み深さ(mm)である。また e および e_e は、それぞれへりあき長さ(mm)、および有効へりあき長さ(mm)であり、その位置を図-2に示している。

アンカーボルトの埋め込み深さによる補正係数 K_2 は、内付け補強と外付け補強に適用する場合で異なり、それぞれ式(5a)および(5b)を用いて算出する。

$$K_2 = \begin{cases} L_e/90 & (60 \leq L_e < 4.5D_a) \\ 1.0 & (4.5D_a \leq L_e) \end{cases} \quad (5a)$$

$$K_2 = \begin{cases} L_e/140 & (4.5D_a \leq L_e < 7D_a) \\ 1.0 & (7D_a \leq L_e) \end{cases} \quad (5b)$$

ここに L_e (mm)と D_a (mm)は、それぞれアンカーボルトの有効埋め込み深さと径である。また、コンクリート種別による補正係数 K_3 は、以下の式で表わされる。

$$K_3 = \begin{cases} 1.0 & (\text{普通コンクリート}) \\ 0.9 & (\text{軽量コンクリート}) \end{cases} \quad (6)$$

設計では、実験結果のバラツキを考慮し、ディスクシアキー1個当たりの下限耐力 q_{jd} を用いる。

$$q_{jd} = 0.8 \cdot q_{disk} \quad (7)$$

また、ディスクシアキーを複数個(N_{jd} 個)配置する場合のせん断耐力 Q_{jd} は、その個数の分だけ累加する。

$$Q_{jd} = N_{jd} \times q_{jd} \quad (8)$$

3. 外付け補強への適用

3.1 外付け補強にディスクシアキーを適用する際の設計概念

図-3にディスクシアキーを外付け補強に適用する場合の設計概念を示す。外付け補強では、既存架構と補強部材の偏心が大きいため、外付け補強構造物の接合部には、せん断力と同時に偏心モーメントによって大きな引張力が作用する。そこで、ディスクシアキーを外付け補強に適用する場合には、原則として、せん断力にはディスクシアキーで、引張力にはあと施工アンカーでそれぞれ抵抗する。

3.2 実験概要

(1) 実験パラメータ

外付け補強は、直付け工法と架構増設工法に大別されるため、本開発では、両方の接合部を模擬した実験を行う。表-1および表-2に直付け接合部実験および増設スラブ実験のパラメータをそれぞれ示す。直付け接合部実験では、計5体の試験体を制作した。試験体名は「DJ」記号の後ろに通し番号を付した構成とする。コンクリートの実圧縮強度は、14.2~25.2N/mm²であった。

その他の主な実験パラメータは、引張抵抗機構の仕様である。引張力を負担する接合要素として、DJ-1、DJ-2およびDJ-5試験体では接着系アンカーを用いた。また直付け工法は、偏心モーメントが小さいことから、DJ-3およびDJ-4試験体では、引張力を負担する接合要素としてディスクシアキーを用い、ディスクシアキーの引張抵抗性能について検証することとした。さらに埋め込み深さ aL_e も、接着系アンカーでは、 $12d_a$ (d_a はアンカー筋の径)と $15d_a$ 、ディスクシアキーでは $7D_d$ (D_d は本接合要素のアンカーボルトの径)と $12D_d$ のそれぞれ2種類とした。

続いて、表-2の増設スラブ実験の実験パラメータについて説明する。試験体名は「S」記号の後ろに通し番号を付して構成される。S-1からS-6試験体には普通コンクリートを、S-7およびS-8試験体には軽量コンクリートを用いた。コンクリートの実圧縮強度は、12.4~20.7N/mm²の範囲であった。接着系アンカーの埋め込み深さ aL_e は、S-4およびS-8試験体で $12d_a$ とし、その他の試験体においては $15d_a$ とした。

表一 直付け接合部実験のパラメータ

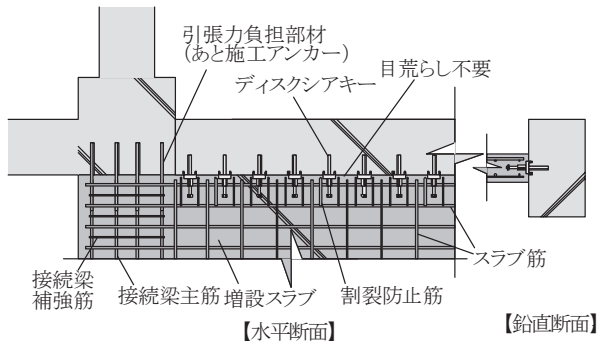
番号	コンクリート種別	σ_B (N/mm ²)	E_C (kN/mm ²)	N_{jd} (個)	W_j (mm)	配列	使用する接合要素	aL_e (mm)	N_a (個)
DJ-1	普通コンクリート	25.2	25.8	15	150	シングル	接着系アンカー	12 d_a	4
DJ-2		24.5	24.6	18	300	ダブル	接着系アンカー	15 d_a	6
DJ-3		22.8	24.2	15	150	シングル	ディスク型シャキー	12 d_a	3
DJ-4		22.8	24.2	13	150	シングル	ディスク型シャキー	7 d_a	4
DJ-5		14.2	20.1	15	150	シングル	接着系アンカー	15 d_a	3

σ_B : コンクリート圧縮強度, E_C : コンクリートヤング係数, N_{jd} : せん断力を負担するディスク型シャキーの数, W_j : 接合部幅, L_e : アンカーボルトの埋め込み深さ, N_a : 引張力を負担する接合要素の数(片側)

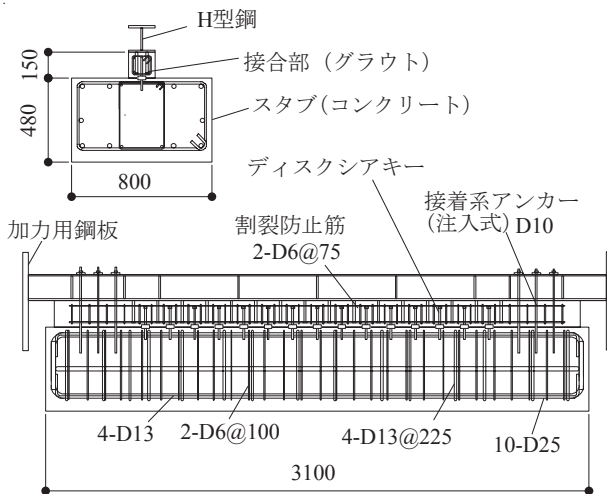
表二 増設スラブ実験のパラメータ

番号	コンクリート種別	σ_B^f (N/mm ²)	E_C^f (kN/mm ²)	σ_B^s (N/mm ²)	E_C^s (kN/mm ²)	N_{jd}	aL_e	N_a	接続梁形状
S-1	普通コンクリート	19.1	25.8	42.1	30.8	12	15 d_a	14	柱型
S-2		20.1	25.7	42.5	30.9	15	15 d_a	14	柱型
S-3		19.3	25.5	43.4	31.8	20	15 d_a	14	柱型
S-4		19.3	25.1	45.0	31.9	15	12 d_a	20	T字型
S-5		18.1	24.5	43.3	33.1	15	15 d_a	14	扁平型
S-6		13.9	22.1	29.2	28.2	14	15 d_a	16	扁平型
S-7	軽量コンクリート	12.4	13.2	29.7	28.7	15	15 d_a	14	柱型
S-8		20.7	18.1	40.2	31.8	14	12 d_a	20	T字型

σ_B^f : 既存躯体のコンクリート圧縮強度 (N/mm²), E_C^f : 既存躯体のコンクリートヤング係数 (kN/mm²), σ_B^s : 増設スラブのコンクリート圧縮強度 (N/mm²), E_C^s : 増設スラブのコンクリートヤング係数 (kN/mm²), N_{jd} : ディスク型シャキーの数, aL_e : 接着系アンカーの埋め込み深さ, N_a : 接着系アンカーの本数(片側)



図三 ディスクシアキーを外付け補強へ適用する場合の設計概念



図四 代表的な直付け接合部試験体の諸元寸法

$aL_e=12d_a$ の試験体では、当然ながら $aL_e=15d_a$ の試験体に比べ、コーン破壊面積が小さく、これに伴い引張耐力も小さくなる。従って接続梁に同じだけの引張耐力を保持させるためには、必然的にアンカー筋の数量が多くなる。そこで、これらの2つの試験体の接続梁の断面形状をT型とした。また、S-5およびS-6試験体では、接続梁せいがスラブ厚さと同じとなる扁平型とした。

(2) 試験体の諸元

図四に直付け接合部実験で用いる代表的な試験体(以下、直付け接合部試験体と呼ぶ)の諸元寸法を示す。試験体寸法は実大の1/2スケールである。

直付け接合部試験体では、3100×800×480mmのスタブの上面に、ディスクシアキーおよび接着系アンカーを施工し、その上に、H型钢、グラウト、割裂防止筋、スタッドボルトによる、接合部を設けた。接合部のせいは150mmである。接合面にはグリスを塗布し、極力、グラウトの固着が影響しないように配慮した。H型钢の両端に、加力ジャッキを固定するための加力用鋼板(厚さ32mm)を溶接した。続いて図五に増設スラブ実験で用いる代表的な試験体(以下、増設スラブ試験体と呼ぶ)の諸元寸法を示す。試験体寸法は実大の1/2スケールである。増設スラブ試験体では、3900×800×420mmのスタブの上面に、ディスクシアキーおよび接着系アンカーを施工し、その上に接続梁と増設スラブを、これらの上部に新設梁を設置した。新設梁の両側に加力用鋼板(厚さ32mm)を溶接した。

なお本試験体は、上記の通り全て1/2スケールであるが、過去に行った、縮小タイプのディスクシアキーの要素実

験や、既往の接着系あと施工アンカーのせん断実験⁶⁾において、試験体サイズによって、最大せん断荷重時のずれ変形に大きな差異は見られなかった。このことから、本論文においては、ずれ変形について述べる場合は、特段、試験体サイズの影響を考慮せずに実験結果を観察する。

(3) 加力方法

図-6および図-7に、それぞれ直付け接合部実験と増設スラブ実験の加力装置図を示す。両実験ともに、試験体の加力用鋼板に、1500kN油圧ジャッキを取り付け、荷重時には試験体に軸力が作用しないよう、押し側と引き側のそれぞれのジャッキの荷重が、出来る限り同じになるように制御しつつ、強制せん断変位を与えた。荷重履歴は、正負交番繰り返した。

3.3 実験結果

(1) 破壊状況

写真-1に直付け接合部実験の破壊状況の一例を示す。写真-1より、荷重後のディスクシアキーの周辺で、コンクリートが圧壊した形跡が見られる。その他の試験体についても同様であった。したがって、本実験の破壊形式は、内付け補強に用いた時と同様に、ディスクによるコンクリートの支圧破壊であると判断される。

写真-2にS-1試験体の最終破壊時の状況を示す。S-1、S-2、およびS-5試験体では接続梁の接着系あと施工アンカーが降伏した後に、写真-2に示すような増設スラブの接合面付近で、コンクリートが支圧破壊する様子が観察された。その他の試験体においては、スタブの接続梁周辺でコーン状ひび割れが生じ、最大耐力に至った。

(2) せん断荷重-水平変位曲線

図-8(a)-(e)に、それぞれDJ-1~DJ-5 試験体のせん断荷重-せん断変位曲線を示す。

図-8より、いずれの試験体もせん断変位1.2mm近傍で最大耐力に達し、最大耐力後、徐々に耐力が低下して

行く様子が観察される。一般的なあと施工アンカーを外付け補強に用いる場合には、ずれ変形量(本論文ではせん断変位と呼んでいる)を2mm以内に抑えるため、耐力を低減して使用する⁷⁾こととされている。しかし、ディスクシアキーは、外付け補強に用いる場合でも、ずれ変形量が2mm以内で、最大耐力を発揮する性能を有しており、内付け補強に用いた場合と同様に、高いせん断剛性を持つことが確認された。

また、引張力の負担要素としてディスクシアキーを用

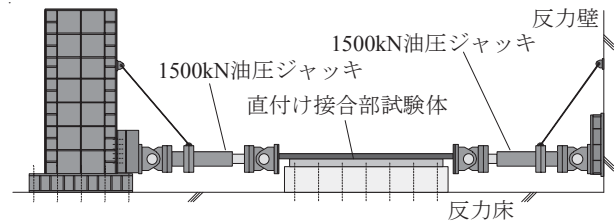


図-6 直付け接合部実験の加力方法

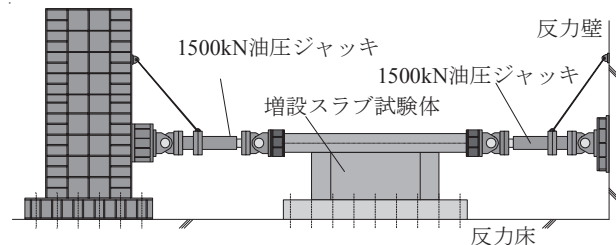


図-7 増設スラブ実験の加力方法



写真-1 直付け接合部実験の破壊状況の一例

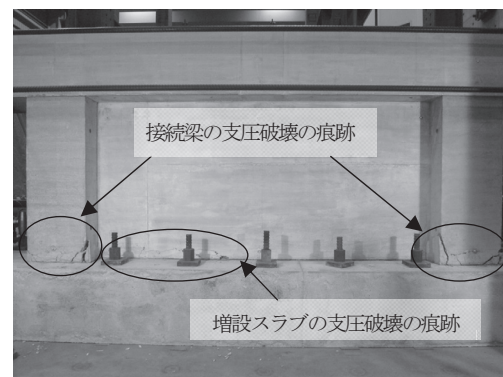


写真-2 増設スラブ実験の破壊状況の一例

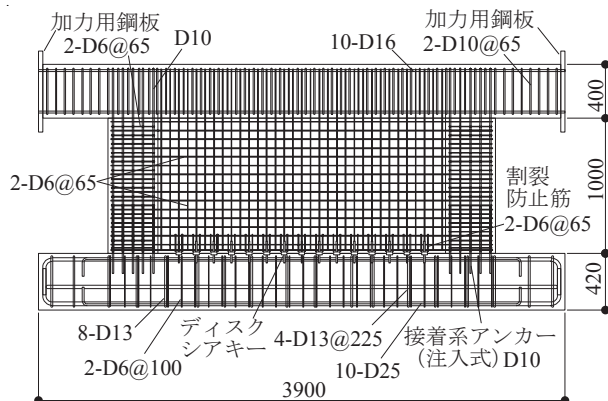
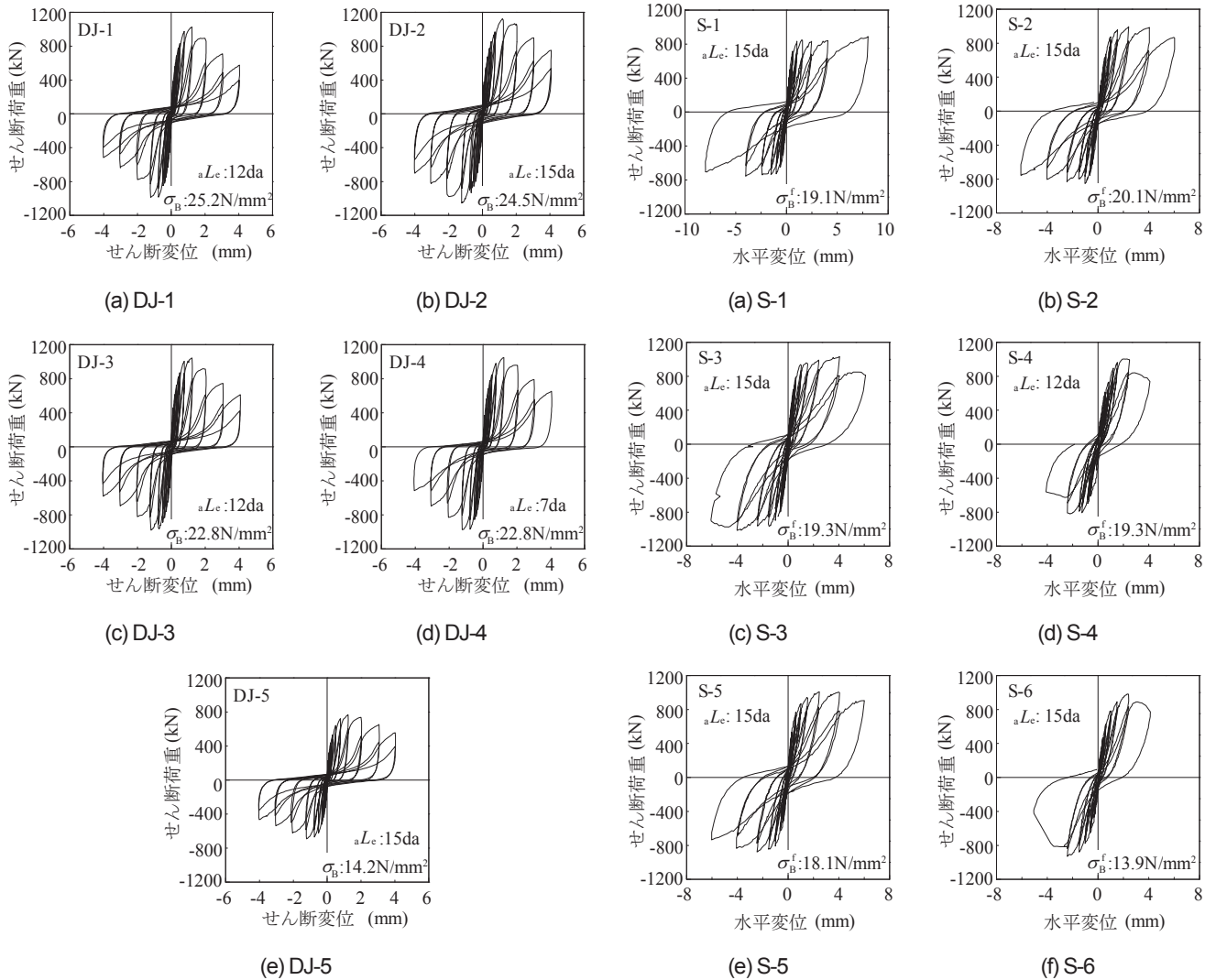


図-5 代表的な増設スラブ試験体の諸元寸法

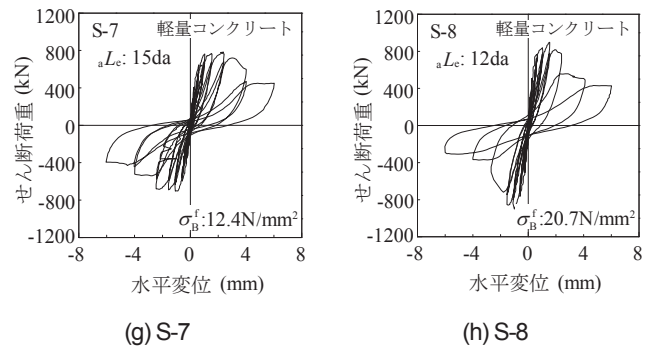


図一八 直付け接合部実験のせん断荷重-せん断変位曲線

いたDJ-3, DJ-4 試験体と、接着系アンカーを使用したDJ-1, DJ-2 試験体(σ_B が小さいDJ-5 試験体を除く)の結果を比べると、最大耐力や履歴特性に大きな違いは見られない。したがって、ディスクシアキーのアンカーボルトに引張耐力を期待することは十分可能性である。コンクリート圧縮強度が低いDJ-5試験体では、その最大耐力も他の試験体に比べて小さく、コンクリート強度とせん断耐力には相間がありそうである。

続いて増設スラブ実験の結果を観察する。図一九(a)~(h)に、それぞれS-1~S-8試験体のせん断荷重-水平変位($Q-\delta$)曲線を示す。まず、S-1, S-2, およびS-5 試験体の $Q-\delta$ 曲線を観察すると、最大耐力後、緩やかに荷重低下する挙動を見せる。これに対し引張破壊の様相が見られた他の試験体の $Q-\delta$ 曲線では、最大耐力後の荷重低下の勾配が上記の3体の試験体より大きく、特に軽量コンクリートを用いたS-7, S-8 試験体でその傾向が著しい。

最大耐力時(正側)のせん断変位 δ_{max} に着目すると、S-1 およびS-3 試験体を除く6体の試験体では、2mm前後の



図一九 増設スラブ実験のせん断荷重-水平変位曲線

値となっている。また、 δ_{max} が大きいS-1, S-3 試験体においても、変位が2mm程度の小さい領域で、最大耐力に近い荷重を發揮しており、コンクリートの種類や強度、接続梁の形状、さらには接合部の破壊形式に関わらず、本接合要素を用いた接合部の剛性は高いと言える。

(3) 耐力評価

図一〇に、実験値(最大せん断力)と計算耐力の比較結果を示す。

前記の通り、外付けマニュアル²⁾によれば、外付け補強に用いられるあと施工アンカーのせん断耐力は、ずれ変

形を抑制するよう、耐力を低減する必要がある。しかし、本実験の結果は、いずれも小さい変形領域で、最大耐力を発揮したことから、内付け補強用に提案したせん断耐力式によって、本実験結果を安全側に評価できる可能性が高いため、同じ式を用いて比較する。

ただし、増設スラブ実験において引張破壊の様相を呈した試験体については、耐震改修設計指針^{7,8)}による、あと施工アンカーの引張耐力を計算耐力とした。

図-10より、直付け接合部実験および増設スラブ実験の実験値は計算値に対し、それぞれ1.25~1.69および1.54~2.22の範囲にあり、十分高い値を示した。また、増設スラブ実験における、設計耐力発揮時の水平変位も、正側で0.25~0.63mm、負側で-0.28~-0.71mmであったことから、非常に小さい変形領域で設計耐力を発揮することが明らかとなった。

4. 様々な増設耐震壁補強への適用

4.1 増設耐震壁にディスクシアキーを用いる際の設計概念

本報告では、有開口耐震壁や増し打ち耐震壁、および連層耐震壁など、様々な増設壁を対象に検証を行う。この中で、開口部の近傍、および連層壁の下層の接合部には、外付け補強と同様にせん断力と引張力が作用する。

そこで、ここでは引張力が作用する接合部には、ボルトタイプのディスクシアキーを用いることで、引張力を負担する。なお、引張力を負担する場合は、アンカーボルトの有効埋め込み深さは $12D_a$ と長く設定した。

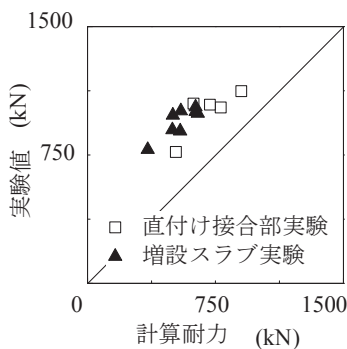


図-10 増設スラブ実験の荷重変形曲線

4.2 実験概要

(1) 実験パラメータ

表-3に増設耐震壁実験の実験パラメータを示す。増設耐震壁の種類は、柱・梁による既存架構の構面内に耐震壁を増設する新設壁と、既存壁に耐震壁を増設する増し打ち壁に大別される。以下、本報告では新設壁と増し打ち壁の総称を、増設壁と呼称する。本論文で実施する試験体は、W-2~W-7試験体の全6体である。ここで、W-1試験体は、既報の論文²⁾で実施済みの増設壁試験体である。

W-2試験体は水平方向の接合部のみにディスクシアキーを設置した無開口新設壁試験体である。W-3試験体は無開口既存壁を、W-4試験体は無開口増し打ち壁を模擬した試験体である。W-5試験体は等価開口周比がおおよそ0.4となる有開口新設壁の試験体で、W-6試験体は有開口既存壁に、有開口増し打ち壁を増設した試験体である。W-7試験体は無開口連層新設壁試験体である。

(2) 試験体の諸元

図-11に、増設耐震壁試験体の諸元を示す。本試験体は実大の2分の1スケールを模擬したものであり、柱・梁の断面、柱間隔、階高は、W-7試験体を除き過去に実施した架構実験⁴⁾と同一である。連層壁となるW-7試験体は、曲げ耐力を高めるため、柱主筋を他よりも多く配筋した。既存壁、増設壁は全ての試験体で、それぞれ同じ諸元である。既存壁は旧耐震建築物を想定し、壁筋のせん断補強筋比を0.31%、壁厚を60mm(実大で120mm)とした。これに対し、増設壁のせん断補強筋比は0.70%、壁厚は75mm(実大で150mm)である。本試験体に使用するディスクシアキーは、基本的には $\phi 60$ mm(試験体寸法が1/2であることから30mmを使用)のディスクを用いるが、引張力を負担するものは $\phi 90$ mm(同様に45mm)を用いた。

(3) 加力方法

図-12に加力装置図を示す。試験体を反力床に固定し、梁の両端に、油圧ジャッキを取り付け、梁に軸力を作用させないため、極力、同程度の荷重となるように、2本のジャッキを制御しなら強制変位を与えた。図-12は1層試験体の加力装置図であるが、2層試験体の加力方法も、油圧ジャッキの設置高さが異なるだけで、基本的

表-3 増設耐震壁実験のパラメータ

番号	既存架構						増設耐震壁					グラウト
	σ_B (N/mm ²)	E_c (kN/mm ²)	σ_T (kN/mm ²)	P_g (%)	t_w (mm)	P_s (%)	σ_B (N/mm ²)	E_c (kN/mm ²)	σ_T (kN/mm ²)	t_w (mm)	P_s (%)	
W-2	17.4	22.0	1.8	1.35	-	-	18.7	22.6	1.6	75	0.70	55.2
W-3	16.1	23.4	1.9	1.35	60	0.31	-	-	-	-	-	-
W-4	17.0	23.5	1.9	1.35	60	0.31	18.2	22.7	1.9	75	0.70	50.5
W-5	17.0	23.3	1.9	1.35	-	-	19.9	21.9	2.1	75	0.70	36.6
W-6	18.3	23.7	1.9	1.35	60	0.31	20.2	21.8	2.0	75	0.70	47.1
W-7	17.3	22.6	1.9	2.03	-	-	22.6	24.2	2.3	75	0.70	56.2

σ_T : コンクリート割裂強度, P_g : 柱引張鉄筋比, t_w : 壁厚, P_s : 壁筋比, σ_G : グラウト圧縮強度

には同じ加力方式である。

4.3 実験結果

(1) 破壊状況

無開口耐震壁試験体である、W-2、W-3およびW-4試験体では、層間変形角 $R=1/1200$ で、壁板にせん断ひび割れの発生が確認されたあと、変形の進展とともに増えていくが、 $R=1/250$ 以降は目立つせん断ひび割れの発生は確認されなかった。梁下の接合部には、微細なひび割れは発生したが、コンクリートが剥落するような大きな損傷に

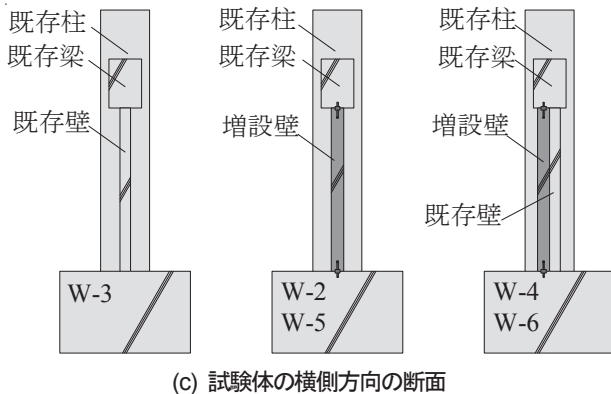
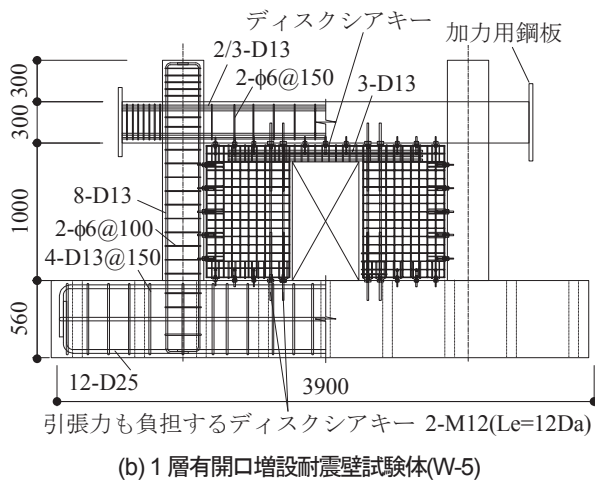
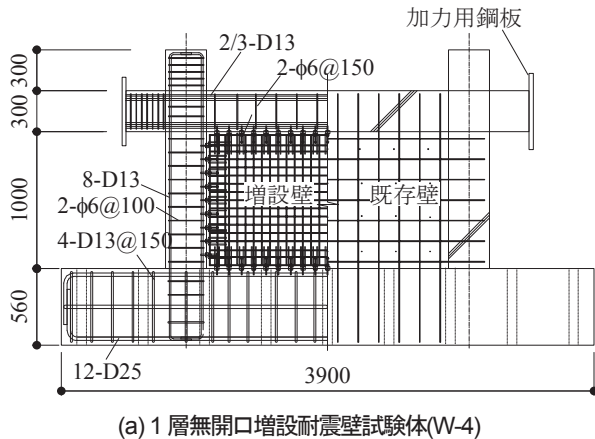


図-1.1 増設耐震壁試験体の諸元寸法

は至らなかった。

有開口増設耐震壁試験体であるW-5、W-6試験体では、 $R=1/400$ で開口上部の既存梁にせん断ひび割れが生じ、その後、変形の進展とともに開口上部の接合部の損傷も拡大した。また、 $R=1/100$ で開口部際の下部の接合部でコーン状のひび割れが生じた。壁板のせん断ひび割れは、 $R=1/400$ から発生が確認され、 $R=1/150$ で大きく拡幅した。梁下の接合部では、開口上部で既存梁のせん断ひび割れに起因する接合部の損傷が確認されたが、これ以外はほとんど損傷は生じなかった。

連層耐震壁試験体であるW-7試験体では、1層部分の既存柱に、W-2-4試験体の1層試験体に比べ、多くの曲げひび割れが生じつつ、壁板にせん断ひび割れが発生した。

ほとんどのせん断ひび割れが、 $R=1/250$ までに生じた。 $R=1/100$ を超える頃から、1層梁下接合部の損傷が目立ち、 $R=1/75$ では接合部のグラウトの剥落が確認された。

(2) せん断荷重—層間変形角曲線

図-1.3(a)から(f)に、それぞれW-2試験体からW-7試験体のせん断荷重—層間変形角(Q-R)曲線を示す。

図-1.3(a)~(c)の無開口試験体のQ-R曲線を観察すると、層間変形角 $R=1/800$ で剛性低下し、 $R=1/250$ で最大耐力に達した後、荷重が低下した。最大耐力後の荷重低下の割合は、既存壁を模擬し、壁筋のせん断補強筋比が小さいW-3試験体が最も大きかった。

ひび割れ発生状況においても、 $R=1/250$ 以降は顕著なせん断ひび割れが発生しなかったことから、これらの試験体はせん断破壊で最大耐力が決まったと推察される。最大荷重を比べると、厚さ60mmの既存壁を持つW-3試験体が663kNであるのに対し、これに75mmの増設壁を設けたW-4試験体では、2倍近い1256kNの最大荷重を発揮しており、増し打ち壁の効果が確認される。

図-1.3(d)と(f)に示す有開口増設耐震壁試験体のQ-R曲線に着目すると、無開口試験体と同様に、 $R=1/800$ で剛性低下するが、最大耐力を発揮するのは、W-5試験体で $R=1/100$ 、W-6試験体で $R=1/150$ と、無開口耐震壁試験体と比べ両者とも大きな変形となった。

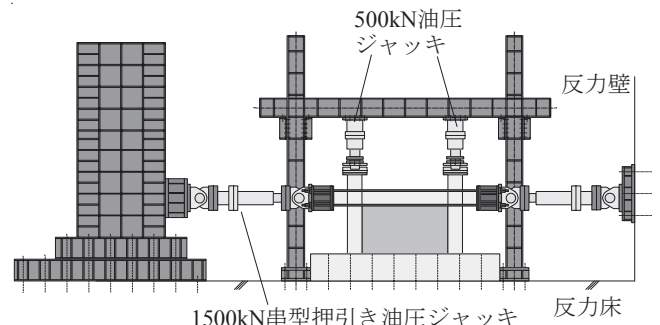
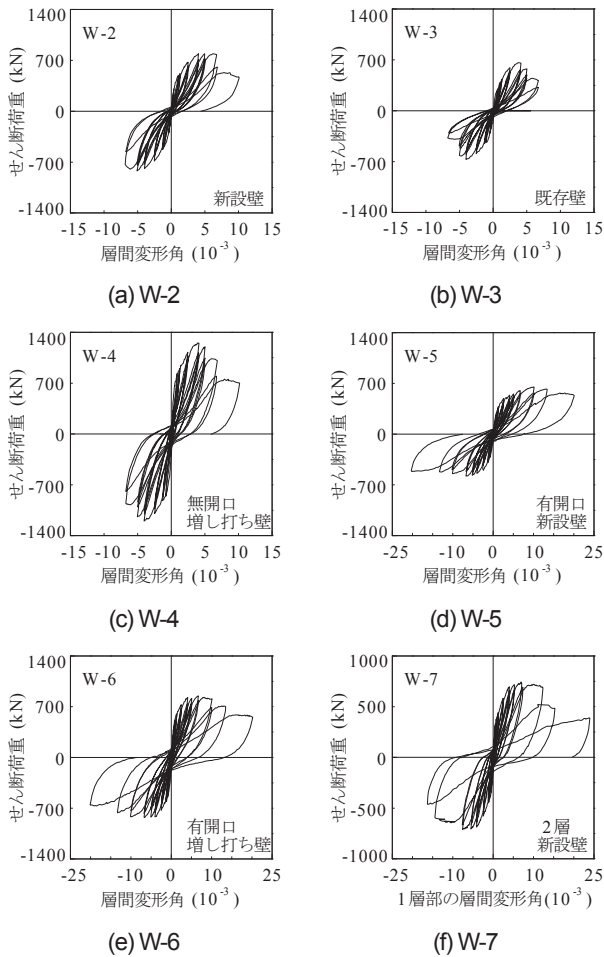


図-1.2 増設耐震壁実験の加力装置



図一 13 増設耐震壁実験の荷重変形曲線

また最大耐力後も、W-5試験体ではほとんど荷重低下が見られず、W-6試験体でも $R=1/100$ まではほぼ荷重を維持し、その後も、緩やかに荷重低下する挙動を見せており、せん断破壊した無開口試験体とは、大きく異なる荷重変形挙動を示した。前項で触れた通り、 $R=1/100$ で開口周囲の接合部でコーン状のひび割れが確認されたことと合わせて考えると、これらの試験体は開口周囲の接合部引張破壊により最大耐力が決まったと推察される。

W-7試験体では、 $R=1/200$ で最大荷重に達したあと、荷重を維持しながら変形が進んだ。図一 13(f)は、変形が集中した1層目の荷重変形を示したものであるが、同図を見ると、およそ $R=1/80$ まで荷重を維持するが、同変位2回目のサイクルで大きく荷重低下した。前述した破壊状況と併せて考える、W-7試験体の破壊形式は、曲げ破壊後の接合部破壊と推察される。

(3) 耐力評価

増設耐震壁実験の耐力評価は、耐震改修設計指針⁸⁾に準じる。同指針によれば、増設耐震壁のせん断耐力は下記の2つのメカニズムのうち小さい方を用いる。

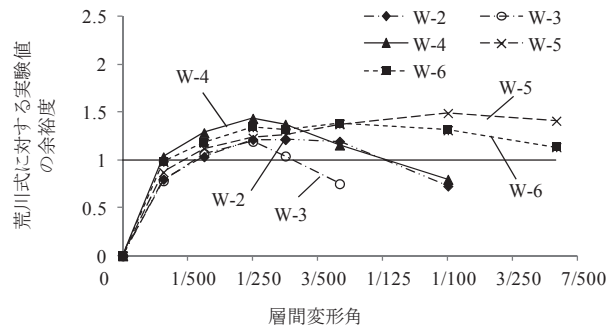
a) 壁板と周辺の柱・梁とが一体であるとみなして計算

されたせん断耐力

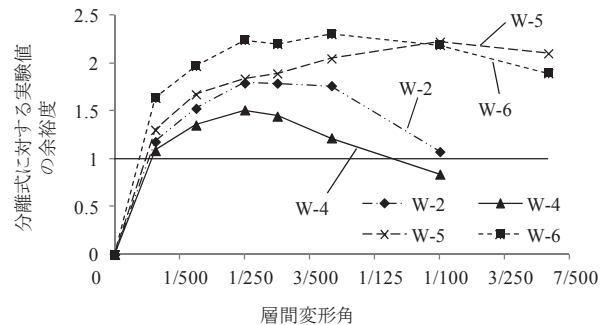
b) 増設壁板の内のり部分のせん断耐力と柱の耐力を変形の状態を考慮して合算した耐力

a)のメカニズムのせん断耐力の算定には、荒川min式⁸⁾が用いられる。またb)のメカニズムのせん断耐力の算定方法は、前記の指針に記載されており、ここでは便宜的に分離式と呼ぶ。曲げ耐力の評価については、耐震診断基準⁹⁾の耐力式を引用する。紙幅の制約から、ここでは各耐力式の詳細を割愛するため、これらの詳細については、既往の文献⁸⁾⁹⁾を参照されたい。

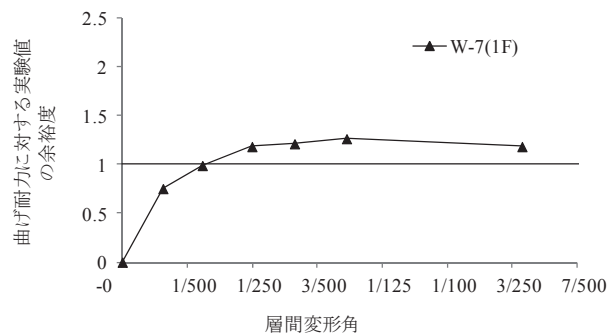
図一 14に、実験値を設計耐力で除した値の推移を示す。同図(a)より荒川min式によるせん断耐力は、層間変形角 $R=1/400$ で設計耐力を超えた。 $R=1/250$ では、余裕度はおよそ1.2~1.5となる。また同図(b)より、分離式に対する余裕度は、およそ1.5~2.3と大きな値を示す。以上より、せん断耐力の評価は、どちらの耐力式を用いても安全側に実験値を評価できることが明らかとなった。



(a) 荒川 min 式に対する余裕度



(b) 分離式に対する余裕度



(c) 曲げ耐力に対する余裕度

図一 14 各試験体の耐力式包絡曲線

表-4 ディスクシアキーの採用実績

建物の用途	所在地	施工時期	数量(本)
学校	福島	H24.6~H24.12	1,740
事務所	福島	H24.8~H25.3	870
庁舎	新潟	H24.6~H26.6	2,842
共同住宅	北海道	H24.10~H26.3	1,245
事務所	東京	H24.12~H25.7	560
事務所	東京	H24.10~H25.3	1,016
事務所	長野	H25.3~H25.9	390
学校	長崎	H25.7~H25.10	576
庁舎	岩手	H25.9~H25.11	368
学校	宮城	H25.6~H27.2	516
事務所	大阪	H25.9~H26.2	454
共同住宅	東京	H25.10~H25.12	804
学校	宮城	H25.3~H26.12	1,690
庁舎	石川	H25.11~H26.5	3,900
裁判所	香川	H25.10~H26.8	3,261
病院	埼玉	H25.6~H27.2	296
研究棟	茨城	H25.12~H27.3	2,274
共同住宅	群馬	H25.9~H26.3	450
病院	奈良	H25.9~H26.3	358
共同住宅	京都	H25.10~H26.2	36
学校	大阪	H25.6~H26.2	440
その他			3,808
			27,894

(平成26年8月31日現在)

続いて、図-14(c)にW-7試験体の実験値を曲げ耐力で除した値の推移を観察すると、 $R=1/250$ のサイクルで設計耐力を超え、その後およそ $3/250(=1/80)$ まで荷重を維持しながら変形が進展した。

なお本試験体では、引張力が作用する接合部に、アンカーボルトの埋め込み深さを長くした、ボルトタイプのディスクシアキーを用いたが、各試験体の最大荷重値が設計耐力を超えていたことから、ディスクシアキーに引張力を負担させても適切に耐力評価できる。

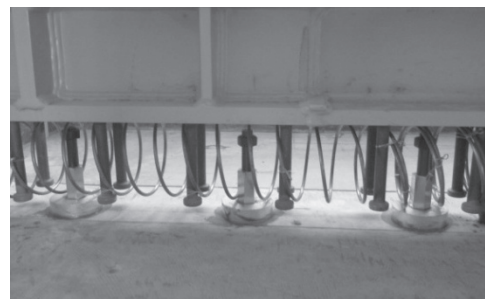
5. 実案件への適用状況

表-4に採用実績を、写真-3に施工例を示す。本工法が実施工に適用されたのは、平成24年からであるが、表-4に示すように、学校、共同住宅、庁舎、および事務所のような様々な用途や種類の建築物に対し適用され、その数は20件以上に及ぶ。これらの建築物は、ほとんどが通常のあと施工アンカーでは補強設計が非常に難しかったが、本工法を用いることで耐震補強を効率的に実施することができた。

これらの実施工案件の中には、補強工事中も建築物内部で通常業務が行われることから、もし通常のあと施工アンカーを使用していた場合、平日の施工は認められなかったが、ディスクシアキーを用いることで平日の施工が許可され、工期短縮につながった事例もある。



(a) フレーム全体



(b) 接合部の状況

写真-3 ディスクシアキーの施工例

また、本接合要素はせん断耐力が高く設置個数が少なくなることから、写真-3に示すように効率的な施工を実現できる。さらに、取り付け工事も低騒音・低振動に配慮し、目荒らしも不要であることから、本工法は耐震補強工事、特に構造物を使用しながらの補強工事にとって極めて有用な接合工法である。

6. おわりに

本研究では、あらゆる耐震補強工法の接合部に適用でき、さらに一般的に用いられるあと施工アンカーよりも優れた性能を持つ接合要素を開発し、現在、多くの実用案件で使用されている。以下に、本論文で報告した内容を、整理して記述する。

(1) 外付け補強への適用性に関する知見

- 1) ディスクシアキーを外付け補強に適用しても、高い接合性能を示した。
- 2) 偏心モーメントによる引張力に対しては、あと施工アンカーを用いることで抵抗できた。
- 3) 直付け補強の接合部に対しては、ディスクシアキーのアンカーボルトに、引張力を負担させることが可能であった。

(2) 様々な増設耐震壁への適用性に関する知見

- 1) 荒川 min 式に対する安全率は、およそ 1.2~1.5 の値を、分離式に対する安全率は、およそ 1.5~2.3 の値を示した。

- 2) 曲げ破壊した試験体については、変形角 1/250 で設計耐力を超え、およそ 1/80 まで荷重を維持した。
- 3) 引張力が作用する接合部に、ボルトタイプのディスクシアキーを適用したが、これにより適切に応力を伝達することができた。

(3) 実案件への適用状況

- 1) ディスクシアキーは、通常のあと施工アンカーでは、設計や施工が困難な耐震補強にも適用することができるため、多くの建築物の耐震補強に活用されている。
- 2) 現状(平成 26 年 6 月現在)において、20 件以上の既存建築物の耐震補強に適用されており今後も益々増えることが期待される。

今後、著者らは、ディスクシアキーをより多くの実案件に適用することで、耐震補強の推進を図るとともに、ディスクシアキーが、より柔軟に設計や施工に対応できるよう、改良改善に努めていく。

謝辞：ディスクシアキーの開発において、工学院大学名誉教授・廣澤雅也博士、東京理科大学名誉教授・松崎育弘博士、東京ソイルリサーチ代表取締役社長・秋山友昭氏に、多大なるご助言を賜りました。また、ディスクシアキーの実案件への適用に際し、株式会社 E&CS(社長：沼口栄助氏)を始め、多くの設計事務所、施工会社、および施主の皆様にご協力を頂きました。ここに深い謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 高瀬裕也, 阿部隆英, 池田隆明, 久保田雅春, 八木沢康衛, 佐藤貴志, 今井清史, 尾中敦義: 鋼製ディスクとアンカーボルトを併用するシヤキーを用いた間接接合法の開発, とびしま技法, No.60, pp. 91-100, 2011.
- 2) 高瀬裕也, 阿部隆英, 池田隆明, 久保田雅春, 八木沢

- 康衛, 佐藤貴志, 今井清史, 尾中敦義: 鋼製ディスクとアンカーボルトを併用するシヤキーを用いた間接接合法の開発 その 2 軽量コンクリート, 低強度コンクリートおよび増設耐震壁への適用, とびしま技法, No.61, pp.97-105, 2012.
- 3) 高瀬裕也, 佐藤貴志, 今井清史, 尾中敦義, 阿部隆英, 池田隆明, 久保田雅春: コンクリート系構造物の耐震補強に用いる高いせん断耐力と剛性を持つ新たな接合要素のせん断抵抗性能の基礎的検証 - 鋼製ディスクとアンカーボルトを併用した耐震補強用シヤキーに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.77, Vol.681, pp.1727-1736, 2012.11.
- 4) 高瀬裕也, 阿部隆英, 板谷秀彦, 佐藤貴志, 尾中敦義, 久保田雅春, 池田隆明: ディスク型シヤキーを用いた内付け補強架構の接合部破壊時の保有水平耐力の評価手法 - 鋼製ディスクとアンカーボルトを併用した耐震補強用シヤキーに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.79, Vol.698, pp.507-515, 2014.4.
- 5) 高瀬裕也, 池田隆明, 八木沢康衛, 尾中敦義: 高いせん断耐力と剛性を持つ接合要素を用いた耐震補強用接合法, コンクリート工学, Vol.51, No.11, pp.898-904, 2013.11.
- 6) 片桐太一, 山本泰稔, 市橋重勝, 藤山知繁: 軽量コンクリートに対する接着系あと施工アンカーの実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, 2000 年.
- 7) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート構造物の外側耐震改修マニュアル- 枠付き鉄骨ブレースによる補強, 2001 年 10 月(改訂版発行).
- 8) 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, 2001 年 10 月(改訂版発行).
- 9) 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診断基準・同解説, 2001 年 10 月(改訂版発行).

Summary The authors had developed a new connecting member to use in a joint of seismic retrofitted structures. This member is called “Disk shear-key” and consisted of steel disk and post installed anchor. In previous paper, structural performance using brace with inside steel frame was investigated. This study aims to investigate the adoptability to more various seismic retrofitting technique. Tests of outside retrofitting technique and shear wall were conducted. Finally, it was concluded that disk shear-key had high shear strength and shear stiffness, if these were used in the joint of such retrofitting techniques. Also, Disk shear-key have been used on many seismic retrofitting practical works because it is very usefull for seismic retrofitting of exisiting RC structures. Thus, it is expected that Disk shear-key is applied to more works.

Key Words : Seismic Retrofitting, Joint for Seismic Retrofitting, Shear-key, External Retrofitting Method, Expanded Shear wall