

# 論文 ディスク型アンカーのせん断強度に関する実験的研究

貞末 和史\*1・細川 洋治\*2・岡 功治\*3・南 宏一\*4

**要旨：**既存鉄筋コンクリート建物の耐震補強において、あと施工アンカーが多用されているが、低強度コンクリートに対する適用の妥当性検証が十分でなく、騒音・振動など工事環境の改善も望まれている。本論文は、低強度コンクリート建物に対するあと施工アンカーの代替構法として考案したディスク型アンカーに関して、ディスクの適用方法と効果について検討したものである。ディスク型アンカーの力学特性を調べるための実験を行い、従来型あと施工アンカーと比較して、大きな剛性と強度を得るための方法を明らかにした。

**キーワード：**耐震補強, 低強度コンクリート, 間接接合部, あと施工アンカー

## 1. はじめに

既存鉄筋コンクリート（以下、RC と称す）建物の耐震改修において、既存の RC 躯体に新たに耐震補強要素（枠付き鉄骨ブレースなど）を付加する場合、既存 RC 躯体と耐震補強要素の接合部（以下、間接接合部と称す）には、あと施工アンカーを用いて接合する構法が多用されている。この構法は、これまで多くの施工実績があり、日本建築防災協会の「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>1)</sup>」に設計法が示されている。

しかしながら、上記指針は、コンクリート圧縮強度 $\sigma_B$ が $13.5\text{N/mm}^2$ 以上の建物に対して適用可能であることから、近年、著者らは、 $\sigma_B$ が $13.5\text{N/mm}^2$ を下回る低強度のコンクリートを有する RC 建物を対象として、耐震補強の妥当性を検討するために、低強度コンクリートを有する RC の柱、骨組、間接接合部などの耐力や変形性能に関する実験的研究を行っている<sup>2)</sup>。

一方で、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、施工性に優れた構法が望まれ、既存建物に対して多様な耐震改修の方法が提案されている<sup>3)</sup>。このような状況の中で、著者らの一人は、既存 RC 躯体に外付けの減衰付加架構を付与する構法を提案しているが<sup>3)</sup>、この構法によって優れた耐震補強効果を得るためには、既存 RC 躯体と減衰付加架構の間接接合部に従来の接合構法に優る剛性とせん断強度が必要とされた。

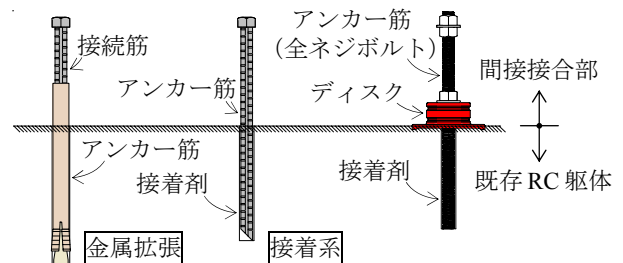
従来型のアと施工アンカーに代わる接合構法としては、エポキシ樹脂を用いる方法<sup>4)</sup>、あと施工アンカーとエポキシ樹脂を併用して用いる方法<sup>5)</sup>、あと施工アンカーの代わりに鋼管をコッターとして用いる方法<sup>6)</sup>等、種々の接合構法が提案されているが、いずれの接合構法においても $\sigma_B$ が $13.5\text{N/mm}^2$ を下回る低強度のコンクリートに対しては、十分に検討がなされていない。

これらの実状を鑑みて、騒音、振動などの工事環境の改善、工期短縮等の要求を満たし、従来型の接合構法に優る剛性とせん断強度を有する間接接合部として、著者らは、「ディスク型アンカー」の開発を進めている<sup>7)</sup>。ディスク型アンカーは、従来型のアと施工アンカーに「ディスク」と称する金属製のシアキーを付加するものであるが、これまでに行った実験によって、大きなせん断剛性とせん断強度を有することが確認された。

本研究では、低強度コンクリート RC 建物の耐震改修に対して、ディスク型アンカーを適用することを想定して、間接接合部の力学特性を調べるための実験を行った。

## 2. ディスク型アンカーの概要

従来型のアと施工アンカーおよび考案したディスク型アンカーを図-1 に示す。従来型あと施工アンカーは金属拡張アンカーと接着系アンカーに大別される。ディスク型アンカーは、全ネジボルトを用いた接着系アンカーに「ディスク」を付加したもので、ディスク下面には接着剤を充填し、さらにナットで締め付け固定度を高めている。ディスク型アンカーは、せん断に対する抵抗性能の向上を図った構法であり、アンカー筋のダボ抵抗に、ディスクによるシアキーとしての効果や摩擦抵抗力が加わり、大きなせん断剛性とせん断強度が見込める。



(a) 従来型あと施工アンカー (b) ディスク型アンカー  
図-1 あと施工アンカー

\*1 広島工業大学 工学部建築工学科講師 博士(工学) (正会員)

\*2 サンコーテクノ(株) カスタマーテクノセンター センター長 工博 (正会員)

\*3 (株) 大本組 建築本部設計部

\*4 福山大学 工学部建築・建設学科教授 工博 (正会員)

### 3. 実験シリーズ I

#### 3.1 試験体

試験体形状を図-2 に示す。ディスクの効果を検証するために、表-1 に示す試験体計画を立てた。実験変数は、既存RC躯体部のコンクリート強度 ( $F_c=6,11,16\text{N/mm}^2$ ) およびディスクの有無とした。

ディスク型アンカー、従来型あと施工アンカー（ディスクなし）共に、試験体は間接接合部、既存RC躯体部およびスタブで構成されており、間接接合部と既存RC躯体部の接合面に直接せん断力を作用させる形状とした。

アンカー筋にはM16の全ネジボルトを用いており、エポキシアクリレート樹脂を用いて既存RC躯体内にアンカーした。また、間接接合部には13φの頭付きスタッドと6φの割裂防止筋を配筋している。

ディスク型アンカーの形状と詳細図を写真-1、写真-2 および図-3 に示す。ディスクは円形に加工した直径100mmの鋼材であり、既存RC躯体部の上端面を目荒らしドリルで2mm掘削し、粉塵を除去した後、アンカー孔にエポキシアクリレート樹脂を注入し、アンカー筋とディスクを設置する。その後、ウレタン樹脂を注入し、エポキシアクリレート樹脂硬化後、ナットを締付ける。なお、シリーズIの試験体では、ディスク設置部分以外

については、既存RC躯体部上端面の目荒らし等の表面処理は行わずに、間接接合部のコンクリートを打設した。

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。

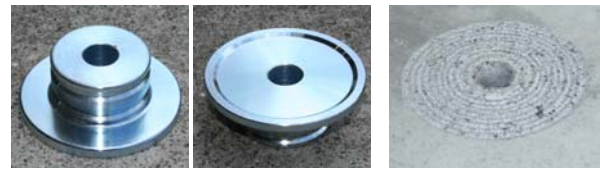


写真-1 ディスク形状および目荒らし (シリーズI)

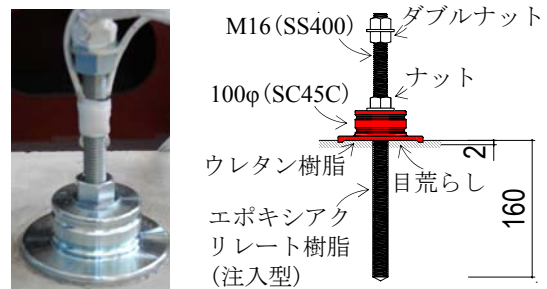


写真-2 ディスク型アンカー 図-3 詳細図 (単位:mm)

表-2 コンクリートの材料強度 (シリーズI)

試験体	既存RC躯体部		間接接合部	
	圧縮 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
1D06 1N06	6.8	0.70	29.4	2.35
1D11 1N11	12.5	1.55	30.5	2.61
1D16 1N16	19.0	2.00	30.5	2.68

表-3 鋼材の材料強度 (シリーズI)

使用箇所	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
M16(SS400) アンカー筋	366	492	14.9
13φ スタッド	323	470	26.0
6φ 割裂防止筋	471	519	9.9
D19(SD345) 既存RC躯体部	411	591	21.6
D13(SD295A) 既存RC躯体部	356	487	21.5

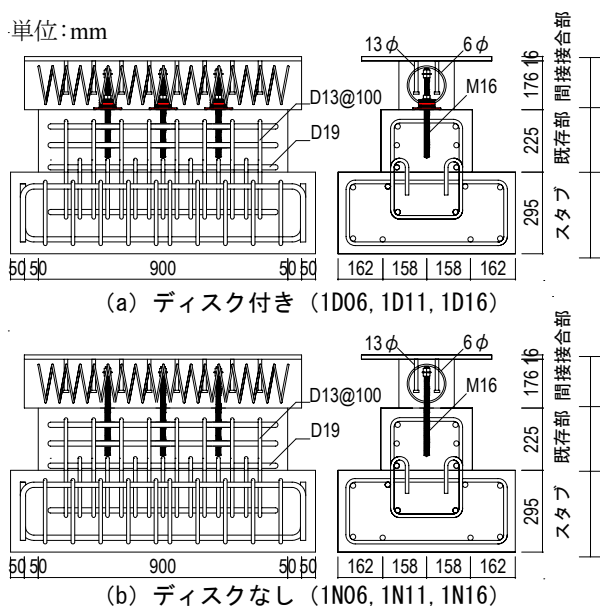


図-2 試験体形状 (シリーズI)

表-1 試験体計画 (シリーズI)

試験体	既存RC躯体部 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	間接接合部 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	アンカー筋	ディスク
1D06 1N06	6	21	3-M16 (SS400)	○
1D11 1N11	11			×
1D16 1N16	16			○
				×
				○
				×

注1)  $F_c$ : コンクリート設計基準強度

注2) ○: ディスク付き, ×: ディスクなし

#### 3.2 荷重装置および変位計測・ひずみ度計測

荷重装置を図-4 に示す。荷重は既存RC躯体部に対する間接接合部の相対水平変位 $\delta_r$ を変位制御し、正負繰り返し漸増荷重を行った。

変位の計測方法を図-5 に示す。変位の計測は、試験体中心に対して左右対称に既存RC躯体部に埋め込んだ変位計測用のボルトと治具を介して取り付けられた変位計の計測値 $\delta_r$ 、 $\delta_l$ および $\delta_c$ の計測値に基づき、既存RC躯体部に対する間接接合部の相対水平変位 $\delta_r$ を算定した。

ひずみゲージを用いて、試験体中央のアンカー筋のひずみ度を計測するために、アンカー筋を写真-3 に示すように切削した。ひずみゲージの位置を図-6 に示す。

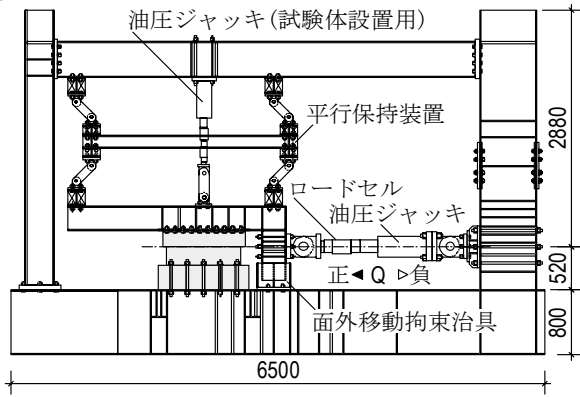


図-4 載荷装置(単位:mm)

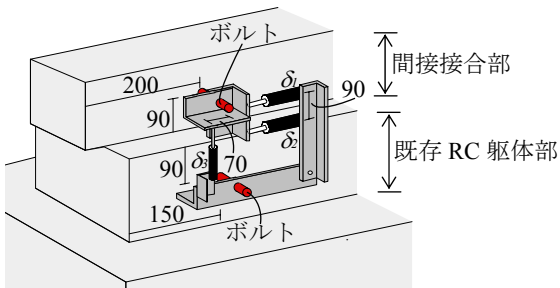


図-5 変位計測 (左半分)



写真-3 切削したアンカー筋

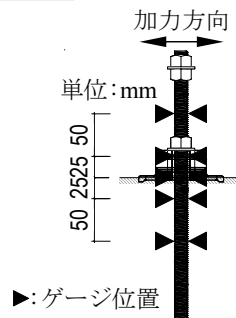


図-6 ゲージ貼付位置

### 3.3 破壊性状

最終破壊状況を写真-4に示す。いずれの試験体とも最終的には全てのアンカー筋が破断を生じた。

ディスクの有無による比較をすると、破壊状況に関して、大きな差異はないことが確認された。

コンクリート強度の違いによる比較をすると、コンクリート強度が小さい試験体に関しては、既存 RC 躯体部に多くのひび割れを生じているが、コンクリート強度が高くなるにつれて、ひび割れの数は少なく、 $F_c=16 \text{ N/mm}^2$  の試験体に関しては、既存 RC 躯体部にほとんどひび割れを生じていないことが確認された。

コンクリート強度の違いによって、ひび割れ発生状況に違いは見られたが、既存 RC 躯体部と間接接合部の相対水平変位 $\delta_h$ の大部分は、既存 RC 躯体部と間接接合部の接合面における水平ずれが卓越していることが目視によって観察された。

既存 RC 躯体部と間接接合部におけるそれぞれの接合面の破壊状況を写真-5に示す。上段は間接接合部側、

下段は既存 RC 躯体部側である。ディスクの有無に関わらず、アンカー筋周辺の破壊が卓越しており、アンカー筋が周辺のコンクリートを支圧することで、コンクリートが支圧破壊していることが確認された。

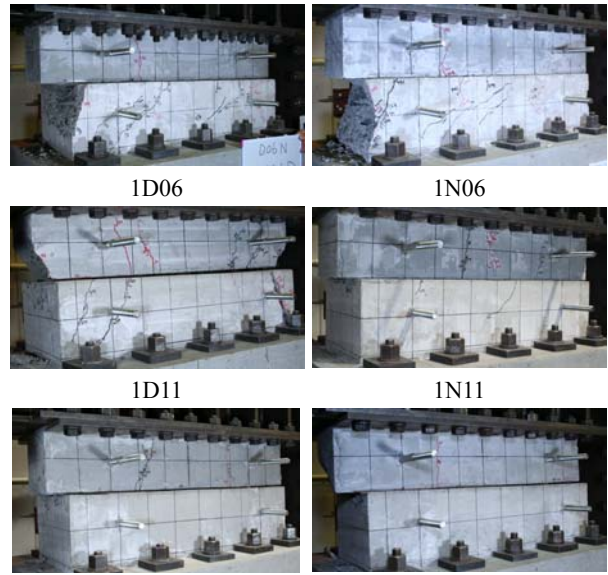


写真-4 最終破壊状況 (シリーズ I)



写真-5 接合面の破壊状況 (シリーズ I)

### 3.4 荷重-変形関係

せん断力 $Q$ -相対水平変位 $\delta_h$ の履歴曲線を図-7に示す。

最大耐力に着目してみると、 $F_c=6 \text{ N/mm}^2$  および  $11 \text{ N/mm}^2$  の試験体に関しては、荷重初期正荷重の微小変位時に最大耐力に達した後、急激な耐力低下を生じており、ディスクの有無によって、最大耐力や履歴特性に明瞭な差異は見られなかった。一方、 $F_c=16 \text{ N/mm}^2$  の試験体に関しては、ディスクの有無によって最大耐力と履歴特性に明瞭な差異があり、ディスクを有する試験体は大きな耐力が得られることが確認された。

剛性に関して、ディスクの有無およびコンクリート強度の影響を確認するために、図-8に剛性の比較を示す。



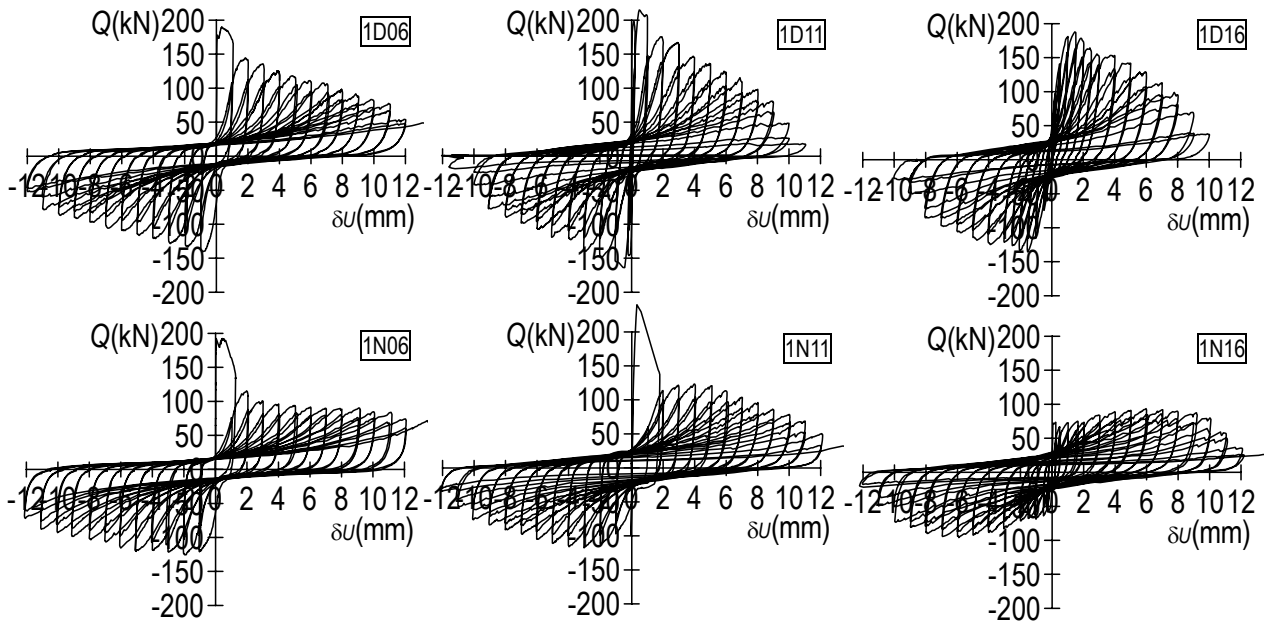


図-7 履歴曲線 (シリーズ I)

ディスクの有無による比較をすると、 $F_c=11\text{N/mm}^2$  の試験体に関しては、ディスクの効果が明瞭に見られるが、その他の試験体に関しては、ディスクの効果が明瞭ではない。また、コンクリート強度の影響に関しても、1D06, 1N06, 1D11 はほぼ同一の剛性を有しているのに対して、1N11 および 1D16, 1N16 は異なる剛性を有しており、実験変数によって、定性的な傾向を述べるのが難しい。また、1D06, 1N06, 1D11 は  $\delta u=0.03\sim 0.05\text{mm}$  程度の非常に微小な相対水平変位で最大耐力に達しているが、これは、既存 RC 躯体部と間接接合部の接合面における固着力の喪失によるものと考えられる。

固着力は試験体製作方法および試験体設置方法によって、強度にバラツキを生じると考えられる。本シリーズの実験では、固着力によるせん断強度のバラツキの影響が顕著に現れることによって、実験変数による定性的な傾向を確認することが困難になったものと思われる。

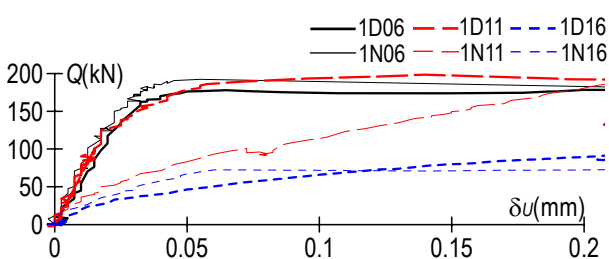


図-8 剛性の比較 (シリーズ I)

### 3.5 アンカー筋のひずみ度推移

既存 RC 躯体部と間接接合部の接合面から 25mm 下部位置におけるアンカー筋のひずみ度  $\epsilon$  (両面平均値) 推移の一例を図-9 に示す。ディスクの有無によって、明確な差異は見られないことが確認された。

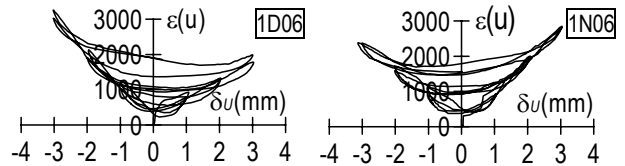
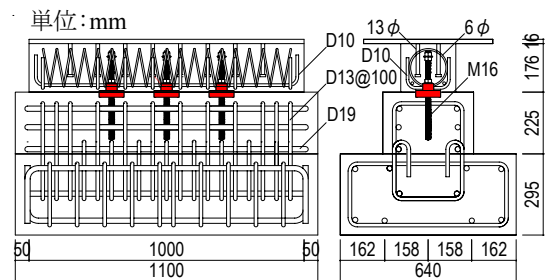


図-9 ひずみ度推移 (シリーズ I)

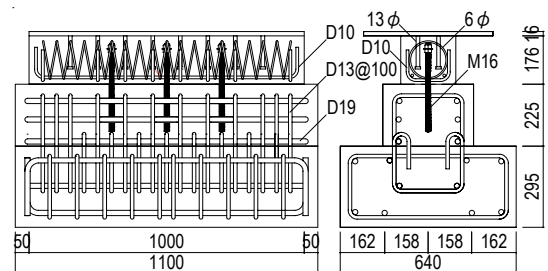
## 4. 実験シリーズ II

### 4.1 試験体

試験体形状を図-10、試験体計画を表-4 に示す。シリーズ I の実験では、せん断剛性と耐力に関して明瞭なディスクの効果を確認することができなかったため、ディスクの形状・設置方法等を変え、シリーズ II の実験を行った。



(a) ディスク付き (2D06, 2D11, 2D16)



(b) ディスクなし (2N06, 2N11, 2N16)

図-10 試験体形状 (シリーズ II)

シリーズ I との変更点は、ディスク形状、ディスク埋め込み深さ、アンカー筋材質、接着剤種類、割裂防止筋、既存 RC 躯体部形状である。ディスク型アンカーの形状と詳細図を写真-6、写真-7 および図-11 に示す。また、シリーズ II の試験体では、既存 RC 躯体部上端面にグリースを塗り、間接接合部との固着力を除去した。ディスクの施工手順に関しては、シリーズ I と同様である。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-5、表-6 にそれぞれ示す。

表-4 試験体計画 (シリーズ II)

試験体	既存RC躯体部	間接接合部	アンカー筋	ディスク
	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	Fc(N/mm <sup>2</sup> )		
2D06 2N06	6	21	3-M16 (SNB7)	○
2D11 2N11	11			○
2D16 2N16	16			○
				×



(a) ディスク形状 (b) 掘削  
写真-6 ディスク形状および掘削(シリーズ II)

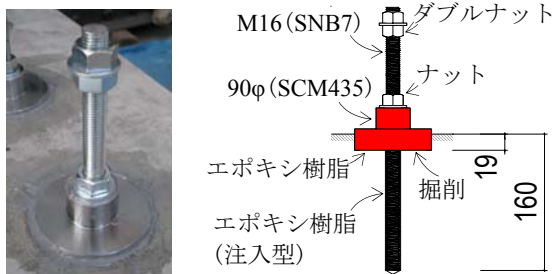


写真-7 ディスク型アンカー 図-11 詳細図(単位:mm)

表-5 コンクリートの材料強度 (シリーズ II)

試験体	既存RC躯体部		間接接合部	
	圧縮 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
2D06 2N06	5.4	0.66	24.0	2.40
2D11 2N11	9.3	0.94	27.7	2.27
2D16 2N16	14.7	1.67	28.7	2.67

表-6 鋼材の材料強度 (シリーズ II)

使用箇所		降伏強度	引張強度	伸び (%)
		(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	
M16(SNB7)	アンカー筋	821	1002	8.5
13φ	スタッド	305	462	22.0
6φ	割裂防止筋	629	647	8.4
D10(SD295A)	割裂防止筋	356	444	15.0
D19(SD345)	既存RC躯体部	408	550	17.9
D13(SD295A)	既存RC躯体部	342	450	18.4

#### 4.2 荷重装置および変位計測・ひずみ度計測

荷重は図-4 に示す荷重装置を用いて、正負繰り返しの漸増荷重を行った。ただし、正負の方向をシリーズ I とは反転させている。変位計測およびひずみ度計測はシリーズ I と同様な方法を用いた。

#### 4.3 破壊性状

最終破壊状況を写真-8、既存 RC 躯体部と間接接合部における接合面の破壊状況を写真-9 に示す。最終的にはディスクを有していない試験体のみアンカー筋が破断を生じていることが確認された。

破壊状況を比較すると、ディスクを有する試験体の損傷が大きいことがわかる。これは、ディスクを既存 RC 躯体部内に深く埋め込むことによってシアキーとしての効果が明瞭に現れて、ディスクが周辺のコンクリートを支圧することで、大きく損傷したものと思われる。

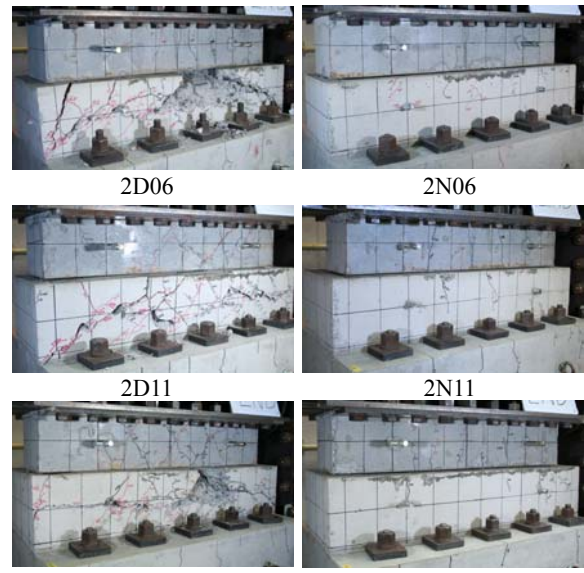


写真-8 最終破壊状況 (シリーズ II)



2D06 2N06 2D16 2N16  
写真-9 接合面の破壊状況 (シリーズ II)

#### 4.4 荷重-変形関係

$Q-\delta_v$  の履歴曲線を図-12 に示す。

ディスクを有する試験体は、最大耐力以降、急激に耐

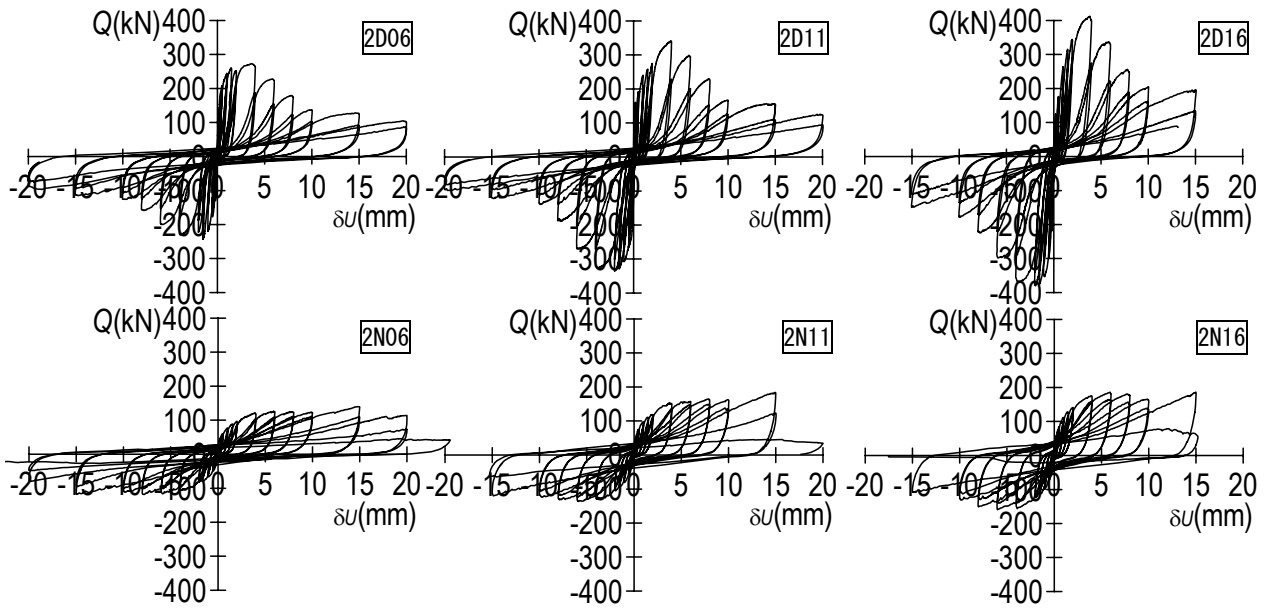


図-12 履歴曲線 (シリーズII)

力低下するものの、ディスクのない場合に比べて、2倍以上の最大耐力を有していることが確認された。また、コンクリート強度が大きくなるほど、大きな耐力を有していることが確認された。一方、ディスクのない試験体に関しては、シリーズIと最大耐力および履歴ループの形状が大きく異なるが、これは、既存RC躯体部と間接接合部の接合面の固着力の有無による影響とアンカー筋の材種が異なることが影響している。

剛性の比較を図-13に示す。ディスクを有する試験体は、ディスクのない場合に比べて、2~3倍程度の剛性を有していることが確認された。

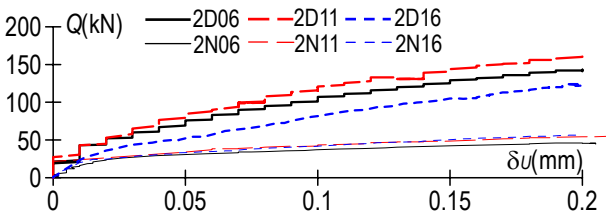


図-13 剛性の比較 (シリーズII)

#### 4.5 アンカー筋のひずみ度推移

既存RC躯体部と間接接合部の接合面から25mm下部位置におけるアンカー筋のひずみ度 $\epsilon$ (両面平均値)推移の一例を図-14に示す。ディスクの付加によって、アンカー筋のひずみ度を小さくできることが確認された。

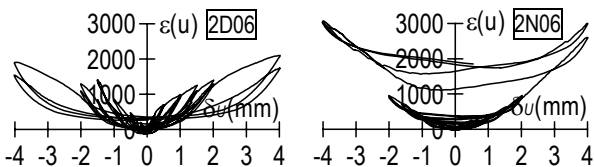


図-14 ひずみ度推移 (シリーズII)

#### 5. まとめ

せん断力を受けるディスク型アンカーの力学特性を調べるために、2シリーズの実験を行い、ディスクを既存RC躯体部内に深く埋め込んだディスク型アンカーは従来型のと施工アンカーと比較して、大きなせん断剛性とせん断強度を有していることを明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 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
- 2) 南宏一，佐藤立美，貞末和史ほか：低強度コンクリート学校校舎の耐震補強に関する実験的研究 その1~その4，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.37-52，2008.9
- 3) 日本建築学会：2007年度日本建築学会技術部門設計協議・既存建築物の耐震改修デザイン，2007年度日本建築学会大会技術部門設計競技資料，2007.8
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 須賀俊順，細川洋治ほか：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~その3，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.293-296，2008.9