

報告 付着特性の違いと多数回繰り返しせん断荷重がアンカー筋の力学挙動に及ぼす影響

菊地 成美*1・松永 健也*2・窪田 凌平*3・高瀬 裕也*4

要旨：一般的な耐震補強の接合部では接着系あと施工アンカーが使用されている。現行の外付け耐震補強の設計においては、コンクリートとアンカー筋の特性についてのみ検討を行っており、付着特性については考慮されていない。しかし、付着特性の低下に伴いせん断抵抗性能の低下が考えられる。また、東北地方太平洋沖地震では地震の継続時間が長く、建物は多数回の揺れを経験した。そこで本報告では付着特性および荷重サイクルが異なるせん断荷重実験を行った。その結果、付着特性がアンカー筋の力学挙動に影響を与えるが、小さい変位時に多数回繰り返し荷重を受けても終局強度に与える影響が小さい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、組み合わせ応力、多数回繰り返し荷重、付着特性

1. はじめに

既存建築物の耐震補強工法は、付加する耐震要素を既存架構の構面内に取りつける内付け補強と、構面外に取りつける外付け補強の2種類に大きく分けられる。外付け耐震補強は、建物の現状の機能を維持しながら施工が可能であり、内部環境に与える影響が少ないことから採用事例が増えている。耐震補強構造物において、補強部材と既存躯体の接合が重要な要素の一つとなる。図-1に増設スラブの概念図を示す。補強部材を既存フレームの外側に配置すると、偏心距離が大きくなることから地震によるせん断力に付随して大きな曲げモーメントが作用し、軸応力を受けながら繰り返しせん断力を受ける。図-2に接合部の物理量の関係を示す。一般的な接合部では、接着系あと施工アンカーが使用されているが、引張力を受けた場合にはアンカー筋の見かけ上の降伏強度が低下するため、せん断抵抗性能が低下すると考えられる¹⁾。

あと施工アンカーを施工する場合、一般的にエポキシ系接着剤が用いられるが、現行の耐震補強設計指針におけるせん断力に対する設計では接着剤の付着特性は考慮されていない。既往の研究²⁾より、ディスク型シヤキーにおいて付着特性の低下に伴い、せん断抵抗性能が低下することが報告されている。接着系あと施工アンカーにおいても同様の現象が起こる可能性があり、とくに引張力が作用する場合にはその傾向が顕著に現われる可能性が高いと考えられる。

一方、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、地震の継続時間が数分間と長く、建物は多数回繰り返しの揺れを経験した。現状の耐震補強の設計では、このような多数回の繰り返し荷重に関しても明確には言及され

ておらず、著者らもこれまで実施した実験においては、標準的な荷重サイクルを採用してきた。耐震補強の接合部が多数回繰り返しのせん断荷重を受けると、アンカー筋の塑性化や支圧領域のコンクリートの損傷などにより負担できるせん断力の低下が懸念される。

そこで本報告では、付着特性の違いと多数回繰り返しせん断荷重がアンカー筋の力学挙動に与える影響を把握することを目的に、荷重実験を行った。なお本研究の目的としては、種々の接着剤の付着特性の違いが、あと施工アンカーのダウエル効果に与える影響を把握することであるが、まずは明瞭に付着特性の差異が生じるよう、(a) 異形筋後付け、(b) 異形筋先付け、(c) 丸鋼先付けの3種を対象として実験を行った。

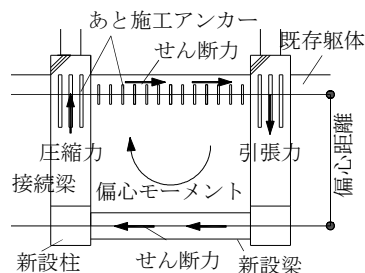


図-1 増設スラブの概念図

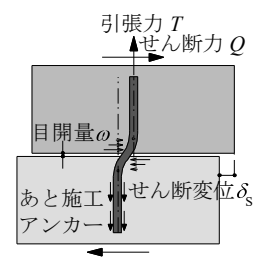


図-2 物理量の関係

2. 付着性能を把握するための付着実験

本論文において、各パラメータの付着性能を把握することは非常に重要であることから、アンカー筋の施工法を違えた3種のアンカー筋を対象に付着実験を行う。

2.1 試験体の諸元と実験パラメータ

表-1に試験体パラメータ、表-2にアンカー筋の機械

*1 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 大学院生 (学生会員)

*2 室蘭工業大学 建築社会基盤系学科 建築学コース 大学生 (学生会員)

*3 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 大学院生 (非会員)

*4 室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域 准教授 博士 (工学) (正会員)

的性質、表-3 に接着剤の機械的性質を示す。なお、コンクリートの材料特性は、次章の表-5 と同じである。各パラメータにおいて試験本数 n は 3 本または 5 本である。試験体は 1200mm×600mm×300mm の直方体で、150～200mm ピッチでアンカー筋を定着する。アンカー筋径は実際の耐震補強でよく使用される $\phi=16$ mm とする。アンカー筋の埋め込み深さは 4.5ϕ とし、さらに反力板を用いてコーン状破壊を防止しつつ、アンカー筋が降伏する前に、付着破壊によって最大強度が決まるようにする。

異形筋後付けについては、既存側コンクリートに湿式コアドリルを用いて穿孔し、その孔に有機系接着剤を健全に充填し、アンカー筋を定着させる。先付けの場合は、型枠にアンカー筋を固定して、コンクリートを打設する。

2.2 載荷方法および計測方法

図-3 に載荷装置および計測方法を示す。反力板（厚さ $t=20$ mm, 孔径：24mm）の上に溝形鋼を組み合わせて加力フレームを構成し、アンカー筋の頂部にセンターホールジャッキを設置し、このジャッキにより引張荷重 T を加える。計測方法は治具に変位計 2 個の先端を接地させ、これでアンカー筋の浮き上がりを計測し、これらの平均値を引き抜き変位とする。

2.3 付着実験結果

図-4 に付着実験結果を示す。各種合成構造設計指針⁴⁾において、注入式の有機系接着剤を用いた場合の接着系アンカーの基準付着強度は以下の式(1)で定められている。

$$\tau_{bavg} = 7\sqrt{\sigma_B/21} \quad (1)$$

ここに、 σ_B はコンクリート強度である。式(1)より基準付着強度は $F_C=27$ と $F_C=21$ でそれぞれ $\tau_{bavg}=7.9$ N/mm², 7.4N/mm² である。まず(a)異形筋後付けの試験体に着目すると、基準付着強度を大きく上回り、引き抜き変位が大きくなって付着力が大きく低下する傾向は見られず、十分な付着力を有する結果となった。次に(b)異形筋先付けの試験体に着目すると、 $F_C=27$ の試験体では最大荷重が基準付着強度を上回る結果となったが、 $F_C=21$ の試験体では基準付着強度に届かなかった。(c)丸鋼先付けの試験体に着目すると、最大荷重もその際の引抜き変位も非常に小さく、ほとんど付着性能を期待できない。

以上より、著者らが意図した通り、これら 3 種のアンカー筋により、付着特性を明瞭に区別することができた。

3. せん断載荷実験

3.1 試験体の諸元と実験パラメータ

一般的な耐震補強では、既存躯体と鉄骨ブレースなどの新設側の補強部材は間接接合部を介して接合され、この接合部にはグラウト等が圧入される。図-5 に試験体諸元寸法を示す。本試験体は、実際の接合部のサイズを参

表-1 付着実験における試験体パラメータ

試験体名	接着剤	アンカー筋種	F_C (N/mm ²)	l_c (mm)	n (本)
E-D16-27	有機系	異形	27	72.2	5
N-D16-27				74.0	5
N- ϕ 16-27		丸鋼		74.3	5
N-D16-21	—	異形	21	72.1	3
N- ϕ 16-21		丸鋼		72.9	3

F_C :コンクリート目標圧縮強度 l_c :平均埋め込み深さ

表-2 付着実験におけるアンカー筋の機械的性質

規格	降伏強度 σ_s (N/mm ²)	最大強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	伸び (%)
D16	561	718	219	8.18
ϕ 16	344	564	211	12.6

表-3 接着剤の機械的性質

接着剤	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
有機系	228	3670	50.8

※接着剤の機械的性質はメーカーより引用³⁾

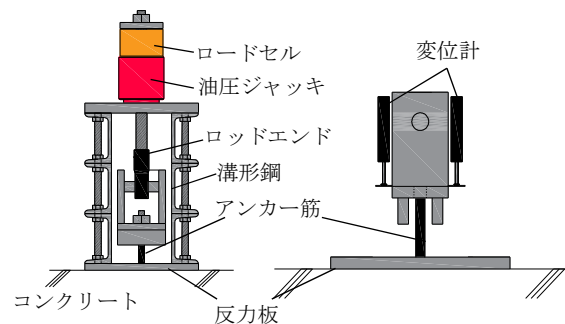
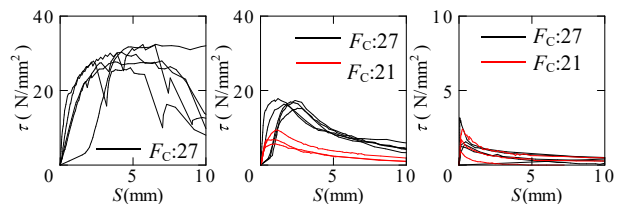


図-3 付着実験における載荷装置および計測方法



(a) 異形筋後付け (b) 異形筋先付け (c) 丸鋼先付け

図-4 付着応力度 τ —引き抜き変位 S 関係

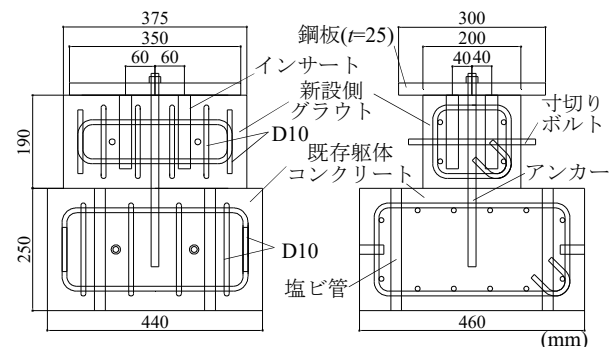


図-5 せん断載荷実験における試験体諸元寸法

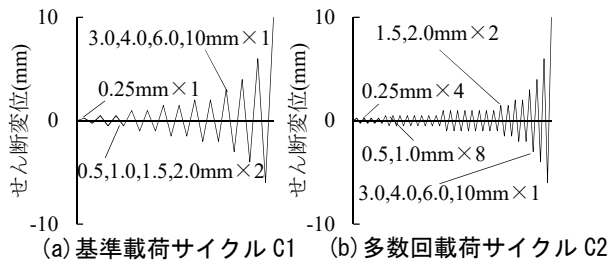


図-6 荷重サイクル

考に、既存躯体から新設側までを模擬したものである。アンカー筋の定着方法は、付着実験と同じであり、アンカー筋の定着後グラウトで新設側を作成した。表-4に実験パラメータ、表-5にコンクリートおよびグラウトの材料特性、表-6にアンカー筋の機械的性質を示す。実験パラメータは 1)アンカー筋種、2)施工方法、3)コンクリート強度、4)荷重サイクル、5)アンカー筋に導入する一定引張応力比 r_N (異形鉄筋の場合は鉄筋の降伏強度に対する比、丸鋼の場合は降伏強度に比べて付着強度のほうが小さいため、付着強度に対する比とする) である。試験体名はアンカー筋種、施工法、荷重サイクル (C1: 基準サイクル、C2: 多数回サイクル)、一定引張力の比 r_N の順に示す。既存側へのアンカー筋の埋め込み深さは 10ϕ (ϕ はアンカー筋径である) とする。アンカー筋径は一般的にあと施工アンカーとして多用される D16 とし、穿孔径は 22mm としている。また、接合面にはグリスを塗布し摩擦抵抗の影響を小さくした。

3.2 荷重サイクル

東北地方太平洋沖地震では揺れが数分間にわたるほど長時間であり、建物は多数回繰り返しのせん断荷重を受けた。本実験では、この地震による揺れの回数を考慮して荷重サイクルを決定する。まず、強震観測網 (K-net.KiK-net) より最大加速度が大きかった都市のうち、仙台 (MYG013, 宮城県)、北上 (IWT012, 岩手県)、那珂湊 (IBR007, 茨城県)、福島 (FKSH16, 福島県) の4つの都市における加速度波形から、1.0Hz 以上の高周波成分をカットして変位波形を求める。外側耐震改修マニュアル⁵⁾においてせん断変形 δ を 2.0mm 以下に制限するように定められている。そこで、各計測データの実変位の最大値を 2.0mm で基準化し、基準化した変位に対し半波形 (1/2 波長分) ごとの最大値の回数を求める。表-7 に基準化した変位の頻度を示す。既往の実験⁶⁾を観察すると、 $\delta=1.0\text{mm}$ で剛性低下する傾向がある。そこで、 $\delta=1.0\text{mm}$ の荷重回数は、表-7 の値を参考 (同表の半分がサイクル数で 4~10 サイクル相当) に 8 サイクルとした。 $\delta<1.0\text{mm}$ で、ほぼ弾性となる範囲では、既往のサイクル数の 2 回より多くなるように、また δ が 1.0~2.0mm の範囲では、表-7 より 1~3 サイクル程度である

表-4 せん断荷重実験における実験パラメータ

試験体名	アンカー筋種	施工法	F_C	荷重サイクル	r_N
D16-E-C1-0.00	異形	あと施工	F_{C1}	C1	0.00
D16-E-C1-0.33					0.33
D16-E-C1-0.66					0.66
D16-E-C2-0.00				C2	0.00
D16-E-C2-0.33					0.33
D16-E-C2-0.66					0.66
D16-N-C1-0.00		先付け	F_{C2}	C1	0.00
D16-N-C1-0.33					0.33
D16-N-C1-0.66					0.66
D16-N-C2-0.00			F_{C1}	C2	0.00
D16-N-C2-0.33					0.33
D16-N-C2-0.66					0.66
$\phi 16$ -N-C1-0.00	丸鋼	F_{C2}	C1	0.00	
$\phi 16$ -N-C1-0.33				0.33	
$\phi 16$ -N-C2-0.00				F_{C1}	C2

D:異形棒鋼, ϕ 丸鋼, E:あと施工, N:先付け
 F_C :コンクリート強度, r_N :引張応力比

表-5 コンクリートおよびグラウトの材料特性

材料	タイプ	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
コンクリート	F_{C1}	26.9	18.4	1.9
	F_{C2}	23.4	18.1	1.6
グラウト	F_{G1}	67.8	25.2	3.3
	F_{G2}	66.7	26.5	3.2

表-6 せん断荷重実験のアンカー筋の機械的性質

アンカー筋種	降伏強度 (N/mm ²)	最大強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	伸び (%)
異形筋	375.8	570.2	1.74×10^5	19.2
丸鋼	426.9	666.9	2.13×10^5	20.0

表-7 2.0mm で基準化した変位の頻度

観測地	基準化変位(mm)					
	~0.25	~0.5	~0.75	~1.0	~1.5	~2.0
仙台(MYG013)	59	11	12	11	1	1
北上(IWT012)	71	76	30	7	2	1
那珂湊(IBR007)	58	31	15	11	6	1
福島(FKSH16)	88	106	42	21	6	2

ため2サイクルとし、これ以降も1サイクルずつ荷重する。本実験の荷重サイクルを図-6に示す。これにより、各アンカー筋の性能をおおよそ安全側に評価できると考えられる。

3.3 荷重方法

図-7に加力装置図を示す。加力装置は、軸方向は最大荷重 150kN のスクリージャッキを2本、せん断方向に

最大荷重 500kN の油圧アクチュエータをそれぞれ使用する。試験体上部に加力梁を配置し、この加力梁に 3 つのジャッキを接続し、一定引張力を与えながらせん断載荷する。また、試験体の新設部側に埋め込んだインサートを介し、試験体上部にセットした鋼板を引っ張ることで新設部側のグラウトとアンカー筋に引張力を与える。軸力は自動制御し、アクチュエータで正負交番繰り返しせん断載荷する。引張反力として、既存側の塩ビ管を通して台座に試験体をボルト締めする。またせん断方向は、試験体を直接反力治具で挟むことで反力を取る。

4. せん断載荷実験結果

4.1 せん断力—せん断変位関係

せん断載荷実験より、図-8 に付着特性を除くパラメータが同じである試験体ごとのせん断力 Q —せん断変位 δ_s 関係の包絡曲線を示す。図-8 (a), (c), (e) の黒線に着目すると、既往の実験をもとに設定した基準載荷サイクル C1 の試験体において、既往の実験⁹⁾と同様に一定引張力が大きくなるにつれ、せん断力も低下する傾向が見られた。また、既往の実験と同様に $\delta_s=1.0\text{mm}$ 付近での剛性の低下も確認された。

図-8 中の計算耐力 Q_a は、外付け耐震補強で用いられる以下の式(2)~(4)より算出した⁹⁾。

$$Q_a = 0.7 \cdot \min(Q_{a1}, Q_{a2}) \quad (2)$$

$$Q_{a1} = 0.7 \cdot s_{ae} \cdot \sigma_y \quad (3)$$

$$Q_{a2} = 0.4 \sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \cdot s_{ae} \quad (4)$$

ここに Q_{a1} はアンカー筋の降伏で決まる耐力、 Q_{a2} はコンクリートの支圧破壊で決まる耐力、 σ_y はアンカー筋の降伏強度、 s_{ae} はアンカー筋の断面積、 σ_B はコンクリートの圧縮強度、 E_c はコンクリートのヤング係数である。図-8 (a), (b)における異形鉄筋の $\delta_s=2.0\text{mm}$ までにおける最大せん断力は C1 では 2 割程度、C2 では 1 割程度設計荷重を上回る結果となった。

図-8 の各図より付着特性の違いについて観察すると、すべての条件において異形筋後付けの試験体に比べて異形筋先付けは約 6~7 割程度、丸鋼先付けは約 5~6

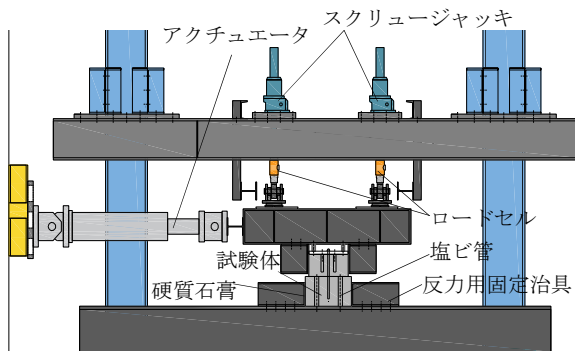
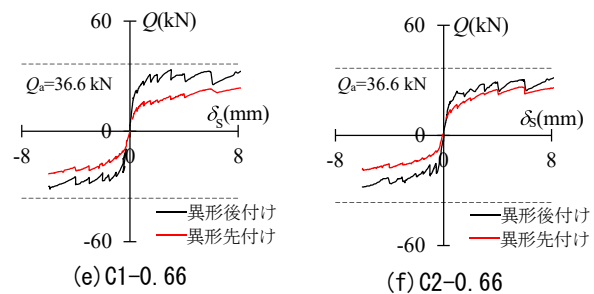
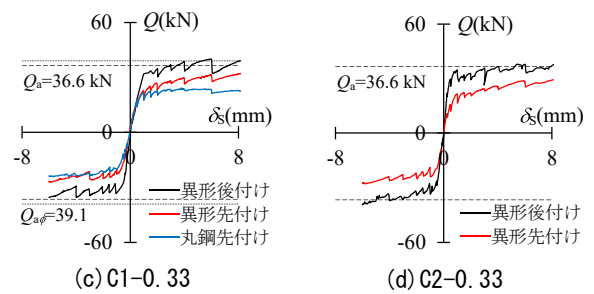
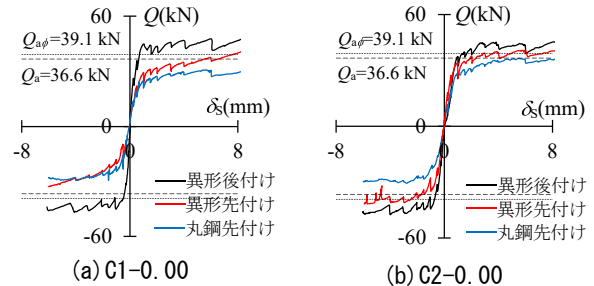


図-7 せん断載荷実験における加力装置

割程度に、各変位のせん断力が小さくなる傾向が見られた。このことから、既往の研究²⁾と同様に、あと施工アンカーにおいても付着性能の低下に伴い、せん断抵抗性能も低下するということが明らかになった。



Q_a : 異形筋における計算耐力 $Q_{a\phi}$: 丸鋼における計算耐力

図-8 せん断力 Q —せん断変位 δ_s 関係の包絡曲線

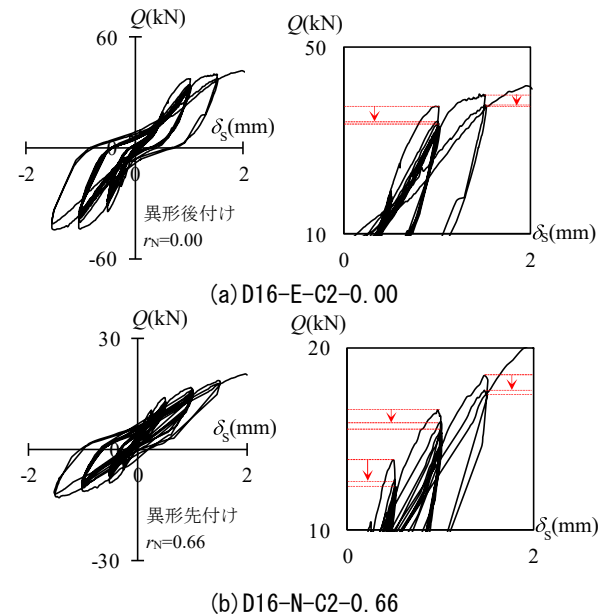


図-9 せん断力 Q —せん断変位 δ_s 関係

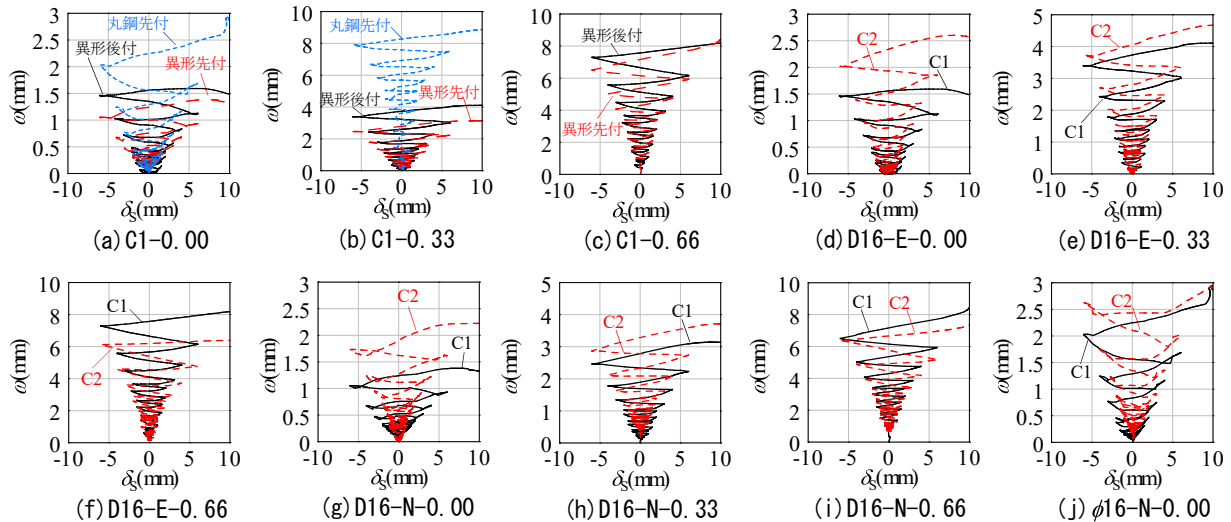


図-10 目開き量 ω —せん断変位 δ_s 関係

次に、荷重回数の違いによる影響について着目する。全試験体のコンクリート強度が同じである異形筋後付けの試験体で、それぞれ図-8(a)と(b)、(c)と(d)、(e)と(f)を比較してみると、初期荷重時の各変位におけるせん断力の大きな低下は見られない。また、図-9の左図に $\delta_s=2.0\text{mm}$ までの多数回荷重サイクルの試験体のせん断力 Q —せん断変位 δ_s 関係の一例を、右図にその一部を拡大したものを示す。初期荷重時と比較して再荷重時のせん断力は約8割程度になる傾向が見られ、これは荷重回数が同変位において最大で8回の場合にも同様の傾向が見られた。つまり、小さい変位時に同変位において多数回繰り返し荷重を行った場合にも、アンカー筋の塑性化や支圧破壊領域のコンクリートの損傷などが荷重回数に伴って大きく進むというようなことは、本実験では起こらなかった。

4.2 目開き量—せん断変位関係

せん断荷重実験より、図-10に付着特性または荷重サイクルの違いを比較した目開き量 ω —せん断変位 δ_s 関係を示す。

(1) 付着特性の違いによる目開き量への影響の検討

まず、付着特性の影響について着目する。図-10(a)～(c)に基準荷重サイクルC1における付着特性の異なる試験体ごとの目開き量の比較を示す。

まず図-10(a)、(b)を観察すると、付着実験の結果より、最も付着強度が小さい丸鋼先付けの試験体が、当然ではあるかもしれないが、異形筋先付けと異形筋後付けの試験体より、目開き量 ω がかなり大きくなった。

次に、同じく図-10(a)、(b)より、 $r_N=0.00, 0.33$ の場合の、異形筋先付けと異形筋後付けの目開きに着目すると、異形筋先付の方が後付けよりも ω が小さくなった。これは多数回荷重サイクルC2においても同様の傾向が見られた。また図-10(c)の $r_N=0.66$ の試験体では、せん断変

位 10mm において、異形筋後付けも異形筋先付けも $\omega=8\text{mm}$ で、大きな違いはないが、その他のせん断変位においては、やはり異形筋先付けの試験体の方が、全体的に ω が小さい。付着強度の観点からは、後付けの方が強度が高く、予測としては目開きが抑えられそうであったが、実験結果はこれとは反対であった。したがって、接着剤の剛性の低さなどが影響し、後付けの方が大きく目開いた可能性が考えられる。

(2) 荷重回数の違いによる目開き量への影響の検討

続いて、荷重回数の影響について着目する。図-10(d)～(j)にアンカー筋が同一タイプの試験体で、荷重サイクルの違いから目開き量の推移を比較した結果を示す。

耐震補強で適用される異形筋後付けの試験体について、図-10(d)、(e)に注目すると $r_N=0.00, 0.33$ の試験体では多数回荷重サイクルC2のほうが ω が大きくなったが、図-10(f)の $r_N=0.66$ の試験体では基準荷重サイクルC1のほうが ω が大きくなった。これは、図-10(g)～(i)に示す、異形筋先付けの場合でも同様の傾向であった。

この理由として、 r_N が小さい場合には、残留ひずみの増加や、アンカー筋の抜け出しにより、繰り返しせん断荷重数が増えるとともに、目開きも増大していくと考えられる。しかしながら、大きな引張力を受け、いったん大きく目開くことによって、この荷重サイクル数による影響が小さくなったのではないかと推量される。この詳細なメカニズムについては、今後、検討していきたい。

図-10(j)より、丸鋼先付けの試験体でも $r_N=0.00$ の試験体においては他の付着特性のものと同様に荷重回数が多いほうが目開き量も大きくなる結果となった。

4.3 引張応力比—せん断応力比関係

一般に、組み合わせ応力を受けるあと施工アンカーのせん断力と引張力の関係は、式(5)で表される⁴⁾。

$$\left(\frac{Q}{Q_0}\right)^\alpha + \left(\frac{T}{T_0}\right)^\alpha = 1 \quad (5)$$

ここに α は係数であり、1.0～2.0の間に設定されることが多く、 T と Q はそれぞれ組み合わせ応力下において負担可能な引張荷重とせん断荷重である。また、 T_0 は $Q=0\text{kN}$ における許容引張応力、 Q_0 は $T=0\text{kN}$ における許容せん断応力である。ここでは各変位に応じた負担せん断力を比較するため、 $r_N=0.00$ の試験体の Q を用いる。

図-11 にせん断変位 $\delta_s=1.0\sim 3.0\text{mm}$ の正側初期荷重時の引張応力比—せん断応力比関係を示す。異形筋後付けにおいては $r_N=0.33$ の試験体では $\alpha=1.0\sim 1.4$ 、 $r_N=0.66$ の試験体では $\alpha=1.4\sim 2.0$ 、異形先付けにおいては $r_N=0.33, 0.66$ ともに $\alpha=1.2\sim 1.4$ 、丸鋼先付けにおいては $r_N=0.33$ の試験体では $\alpha=1.4\sim 1.6$ の範囲に収まる結果となった。

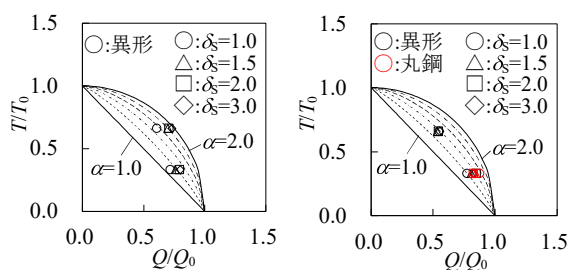


図-11 引張応力比—せん断応力比関係

5. まとめ

筆者らは、RC 耐震補強構造物における補強部材と既存躯体の接合部の設計において、付着特性および多数回繰り返し荷重が及ぼす影響を明らかにするために付着特性を違えた付着実験、および付着特性と荷重サイクルを違えたせん断荷重実験を行った。また、これらの実験結果に対して付着特性や多数回繰り返し荷重が力学挙動に及ぼす影響について考察した。以下に、本報告で得られた知見を列記する。

- (1) 付着実験より、本論文で対象とした3種のアンカー筋により、想定通りに付着特性の違いを生じさせることができた。
- (2) 付着性能の低下により、異形筋後付けと異形筋先付けを比べると6～7割程度、異形筋後付けと丸鋼先付けを比べると5～6割程度にせん断力が小さくなった。
- (3) 同変位において多数回繰り返し荷重を受けた場合にも再荷重時のせん断力の大きさは初期荷重時の約8割となり、荷重回数に伴うせん断力の大きな低下は見られなかった。
- (4) 付着特性の違いによって目開き量にも違いは生じるが、本実験の範囲では、せん断力のように付着特性と

の相関性は見られず、接着剤の有無やその剛性が影響しているように推察される。

- (5) 多数回繰り返し荷重を受けた場合には引張応力比 $r_N=0.00, 0.33$ の試験体においては、基準荷重サイクルの試験体に比べて目開き量が増加する傾向が見られたが、引張応力比 $r_N=0.66$ の試験体においては目開き量が減少する結果となった。

本実験により付着特性の違いがせん断力、目開き量に影響を与えることが明らかとなった。また、多数回繰り返し荷重を受ける場合にもせん断力への影響はほとんどなく、目開き量は引張応力比によって異なる傾向になることが明らかとなった。今後はこれらのメカニズムを詳細に明らかにする予定である。

謝辞

本報告では、防災科学技術研究所強震観測網(K-net, KiK-net)のデータの一部を使用させていただきました。また本研究の一部は、科学研究費(19K04684)および東京工業大学科学技術創生研究院フロンティア材料研究所・共同利用研究の補助を受け実施しました。ここに深い謝意を表します。

参考文献

- 1) 高瀬裕也, 和田俊良ほか: 一定引張力を受けながら繰り返しせん断力を受ける接着系あと施工アンカーの力学挙動に関する考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.1105-1110, 2016年
- 2) 阿部隆英, 高瀬裕也ほか: 無機系接着剤のディスク型シヤキーへの適用性, 日本建築学会構造系論文集, 第83巻, 第748号, pp.869-878, 2018年6月
- 3) 日本ヒルティ株式会社: 材料規格書参照: https://www.hilti.co.jp/medias/sys_master/documents/he9/hbe/9485957496862/Specification-Text-ASSET-DOC-LOC-7248537.pdf, (閲覧日:2020年3月30日)
- 4) 社団法人日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 社団法人日本建築学会, p.234, pp.253-254, 2010年
- 5) 財団法人日本建築棒材協会: 既存鉄筋コンクリート造構造物の「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—, 財団法人日本建築棒材協会, pp.71-74, 2003年
- 6) 高瀬裕也, 和田俊良ほか: 一定引張力を受けながら繰り返しせん断力を受けるあと施工アンカーの力学挙動と仕事量, 日本建築学会構造系論文集, 82巻, 738号, pp.1255-1263, 2017年8月