

# せん断力を受けるあと施工アンカーの コンクリートに与える影響

## Compressive Fracture Zone of Concrete Caused by Adhesive Post-Installed Anchor Subjected to Shear Force

### 短期・長期荷重における複数のあと施工アンカーのせん断性状 Shear Strength of Adhesive Post-Installed Anchors Subjected to Temporary and Sustained Load

田島 祐之  
Yuji TAJIMA

キーワード：あと施工アンカー、せん断性状、コンクリート圧壊、アンカーピッチ

#### 1. はじめに

近年既存の鉄筋コンクリート構造物に耐震補強をするために多く用いられるあと施工アンカーは、既存構造物と新設補強部材（鉄骨ブレース等）をつなぐキーデバイスとして建築や土木の現場工法として浸透してきた。耐震補強工法の一部として重要であるにも関わらず、建築構造分野としては主役ではなく脇役に位置しているため、建築構造の関係者でもアンカー工法は材料をはじめ種類が多く、認知されていない部分が多いと感じる。そこでアンカー工法についての概要を簡易に説明する。アンカーは先付けアンカーとあと施工アンカーに分類でき、さらにあと施工アンカーは金属系アンカーと接着系アンカーに分けられる。接着系アンカーにおいても、カプセル方式と注入方式に分けられる。カプセル方式は、孔内に装填後アンカーボルトを回転または回転打撃し、主剤と硬化剤を混合する。注入方式は、主剤・硬化剤のカートリッジを孔内に所定量装填し、アンカーボルトを静かに回しながら所定の長さまで挿入する。このようにアンカー工法についての概略を示したが、本論文では接着系あと施工アンカーについて着目した。接着系あと施工アンカーは、カプセル型・カートリッジ型の両方式においても歴史は比較的浅いが、昭和50年代に入って、高い引抜き力・取り扱いやすさや管理のしやすさなどにより、徐々に注目されその製造量も飛躍的に増加するようになった。一方で、建築物の施工に用いる場合のあと施工アンカーは、建築基準法の指定建築材料には含まれていないことから、現行建築物の主要構造部材（建築物の躯体の主要な部分）に用いることはできない。ただし、旧耐震建築物の耐震性を向上させるための耐震補強で必要不可欠なことから、「建築物の耐震改修の促進に関する法律」（耐震改修促進法）<sup>1)</sup>の中で、既存不適格建築物（現在の建築基準法に準拠されていない建築物）に対して、あと施工アンカーが使用できることになっている。さらに建築学会の動きとして、新築建物にお

いても、あと施工アンカーの使用許可が告示される予定であり、現在も検討が行われている。しかしながら、コンクリート自体の設計性能と実建物精度（強度面）との間に不安定な部分が多く、加えてあと施工アンカーの施工精度にも不安定な部分が潜在していることに対し、あと施工アンカーの取り扱いについては、厳格であり現在ではさらに厳格化される動向を示している。筆者は、あと施工アンカーの優位点が失われるようなこの動向を懸念しており、本調査・研究に至った。

既往の研究では、主な固着抵抗機構がコンクリートと接着樹脂の付着力となるため、コーン状破壊の際には、接着樹脂からのアンカー筋の引抜きを伴うことが多い。そのため引張性能に対する実験・解析が主流であり、膨大なデータが蓄積されている。そしてあと施工アンカーの設計は、引張性能に基づいて決められている。しかし、あと施工アンカーを用いて耐震補強された建物に水平力（地震力）が加わった場合、あと施工アンカーには引張力に加えせん断力も受けることになる。現状の構造設計においてせん断破壊は、一般には非常に脆性的な破壊であり危険なため「悪い壊れ方」とされている。そこで筆者は、せん断破壊を防ぐためにはあと施工アンカーの設計において、厳格ではなく緩和（せん断余裕度を上げるための）をする必要があると考える。

既往の研究を詳細に見ると、アンカー筋単体（1本）に対しての引張実験が多く、せん断実験は少ない。また実現場においては、あと施工アンカーは多数で使用されることが多い。そこで本研究では、複数本を対象としたあと施工アンカーのせん断性状を調べることにした。

なお本研究の一部は、愛知淑徳大学研究助成の特定課題研究の2年継続を受託して行った。初年度は短期性能（2・3章）について、次年度は長期性能（4・5章）についての複数のあと施工アンカーにおけるせん断性能について実験研究を行った。

## 2. 短期性能実験の概要

1章にて概略を示したが、あと施工アンカーは引張性能に基づいて設計が決められているため、特にアンカー筋ピッチについて厳しい規定が設けられている。しかしこのアンカー筋ピッチを緩和し、アンカー筋打設位置の自由度を増すことにより、様々な既存建物躯体に対しての適応範囲に広がりを持たせることができると考えた。従ってこれまでは、コンクリート側の接合、特に密に配置したあと施工アンカーのせん断耐力評価について検討してきた<sup>2)</sup>。

ここでは、主として、密に配置したあと施工アンカー群としての最大せん断耐力評価について検討している。他方、あと施工アンカー1本当たりの最大せん断耐力やアンカー群効率については検討していなかった。そこで、本論文では、密に配置したあと施工アンカー1本当たりの最大せん断耐力評価などについて検討する。さらに、これまでの検討では、単調荷重であったことから、地震力を想定した基礎となる正側繰返し荷重の影響についても検討する。

### 2-1. 試験体概要

本実験における実験パラメータは、アンカー筋のピッチ ( $D_p$ ) および荷重履歴とした。試験体の概要を図1に、試験体に使用した材料の試験結果を表1に、試験体諸元を表2に示す。試験体は、 $1200 \times 1200 \times 300$  mmのコンクリート盤（鉄筋は配していない）にあと施工アンカーを1本

のみ配置、 $D_p=100\text{mm}$  ( $10 d_a$ ) の 2 本配置、 $D_p=50\text{mm}$  ( $5 d_a$ ) の 3 本配置、 $D_p=30\text{mm}$  ( $3 d_a$ ) の 4 本配置として、それぞれ 3 か所に打設した。なお  $d_a$  は、アンカー筋の公称径であり、以下も同様に用いる。埋め込み深さは、 $70\text{mm}$  とした。これらは、文献<sup>3)</sup>に示されている  $D_p$  の最小値  $7.5d_a$  より小さい範囲が含まれており、かつ、有効埋め込み深さの最小値  $7d_a$  である。

コンクリートの圧縮強度は  $29.3\text{N/mm}^2$ 、アンカー筋は D10 (SD295A) を使用し、降伏強度が  $345\text{N/mm}^2$ 、引張強度が  $479\text{N/mm}^2$  であった。アンカー筋の埋め込み部分の先端は寸切りとし、露出部分は後述する載荷治具の浮き防止のため、ネジ加工を施した。アンカー筋の施工手順は、主として、1) コンクリート盤をハンマードリルで穿孔、2) 孔内をブラシ清掃、3) エポキシ樹脂を注入、4) アンカー筋を挿入、とした。

## 2-2. 実験方法

あと施工アンカーせん断実験の様子を図 2 に示す。載荷は、水平ジャッキにより、アンカー筋載荷治具を介してあと施工アンカーにせん断力を作用させた。アンカー筋載荷治具には、アンカー筋を設置するための孔 (アンカー筋設置孔) があり、その孔にあと施工アンカーを通した。その後、座金とナットを用いてアンカー筋に張力 (引張力) が入らないように固定して、載荷治具の浮きを防止した。なお、アンカー筋と孔の隙間はグラウトを注入した。アンカー筋載荷治具とコンクリート盤の間にはテフロンシート (厚さ  $1\text{mm}$ ) を挟んだ。

## 2-3. 載荷・計測方法

載荷方法は、「単調載荷」と「繰返し載荷」である。繰返し載荷は、各アンカー筋ピッチにおける単調載荷 (以下、「単調」と呼ぶ) の最大せん断耐力の  $1/3$ 、または、 $2/3$  となる荷重まで載荷し、その後除荷して荷重がゼロとなるまでを 1 回として、これを 100 回繰り返した (以下、前者が「 $1/3$  繰返し」、後者が「 $2/3$  繰返し」と呼ぶ)。なお 100 回繰返し後に後述の実験終了条件になるまで単調載荷した。

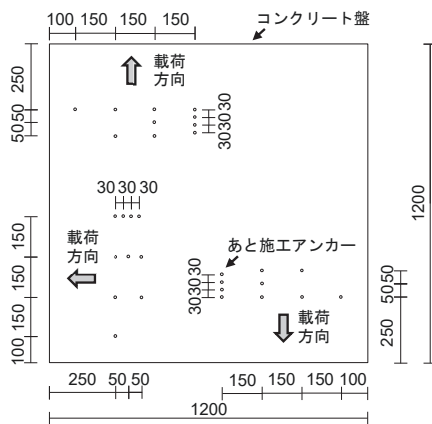
水平ジャッキに取り付けたロードセルの値をアンカー筋が負担するせん断力として計測した。載荷治具のずれを 2 本の変位計で計測し、その平均値をあと施工アンカーのずれ変位 (せん断変位) とした。実験は、あと施工アンカーが破断もしくはコンクリート盤が大きく損傷したら実験を終了することとした。

## 2-4. あと施工アンカー 1 本あたりのせん断力設計値

あと施工アンカー 1 本あたりのせん断耐力設計値 3) を表 2 に併せて示す。式 (1) はアンカー筋の耐力で決まる場合、式 (2) はコンクリートの支圧強度で決まる場合のあと施工アンカー 1 本あたりのせん断耐力設計値である。

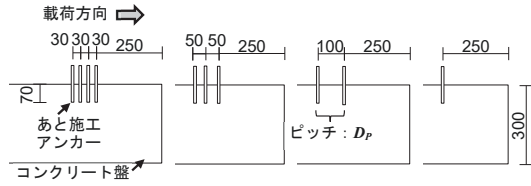
$$Q_{a1} = 0.7\sigma_y \cdot s a_e \quad \text{式 (1)}$$

$$Q_{a2} = 0.4\sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \cdot s a_e \quad \text{式 (2)}$$



(a) あと施工アンカー位置 (略見下げ図)

図 1(a) 試験体概要



(b) あと施工アンカーの埋め込み深さ (略断面図)

図 1(b) 試験体概要

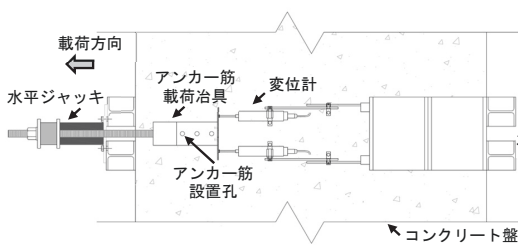
表 1 材料特性

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	
コンクリート	29.3	2.69×10 <sup>4</sup>	
	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
アンカー筋	345	479	1.83×10 <sup>5</sup>

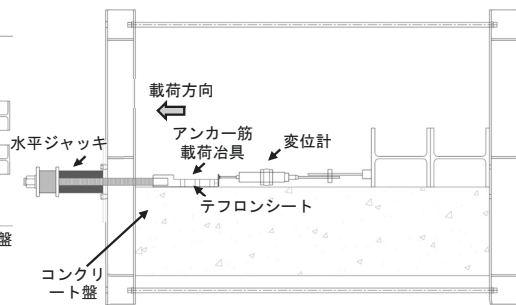
表 2 試験体諸元および実験結果

通し 番号	試験体諸元				予測値		実験結果		
	アンカー筋 本数(本)	アンカー筋 ピッチD <sub>p</sub> (mm)	D <sub>p</sub> /d <sub>a</sub>	載荷方法	Q <sub>a1</sub> (kN)	Q <sub>a2</sub> (kN)	最大せん断 耐力(kN)	破壊モード	P <sub>anchor</sub> (kN)
1	1	—	—	「単調」	23.9 【17.2, 14.7】	25.3	32.5	アンカーせん断	32.5
2	2	100	10				64.0		32.0
3	3	50	5				89.8		29.9
4	4	30	3				114.8		28.7
5	1	—	—	「1/3繰返し」	23.9 【17.2, 14.7】	25.3	31.6	アンカーせん断	31.6
6	2	100	10				60.6		30.3
7*	3	50	5				—		—
8	4	30	3	「2/3繰返し」	23.9 【17.2, 14.7】	25.3	113.6	アンカーせん断	28.4
9	1	—	—				26.2		26.2
10	2	100	10				54.1		27.1
11	3	50	5				85.3		28.4
12	4	30	3				101.9		25.5

d<sub>a</sub>: アンカー筋の公称径、載荷方法: 2.3節参照、Q<sub>a1</sub>: 材料試験による引張強度を用いた2.4節の式(1)の値(【】の値は左がアンカー筋の材料試験による降伏強度、右が規格降伏点強度で計算した値)、Q<sub>a2</sub>: 2.4節の式(2)の値、P<sub>anchor</sub>: あと施工アンカー1本当たりの最大せん断耐力(最大せん断耐力をアンカー筋本数で除した値)、\*: 計測不具合



(a) 略見下げ図



(b) 略立面図

図 2 実験概要

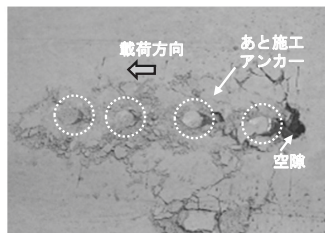


写真 1 D<sub>p</sub>/d<sub>a</sub>=3 の「2/3 繰返し」の破壊状況

ここで、 $\sigma_y$ ：アンカー筋の規格降伏点強度、 $s_{ae}$ ：アンカー筋の断面積、 $E_c$ ：コンクリートのヤング係数、 $\sigma_B$ ：コンクリートの圧縮強度である。本研究では、 $\sigma_B$ 、 $E_c$ および $\sigma_y$ は材料の試験結果（ $\sigma_y$ ：引張強度、表1参照）を用いた。本実験での破壊モードは、式(1)の $Q_{a1}$ で決まる「アンカーせん断」と予想される。

### 3. 短期性能の実験結果およびアンカー筋ピッチ( $D_p$ )・繰返し载荷の影響

#### 3-1. 実験結果の概要

実験結果の概要を表2に併せて示す。最大せん断耐力は、水平ジャッキに取り付けたロードセルから得られた最大値である。あと施工アンカー1本当たりの最大せん断耐力( $P_{anchor}$ )は、最大せん断耐力をアンカー筋本数(ピッチ方向に配置された本数)で除した値である。なお、「通し番号7」においては、計測不具合のため、結果を省略した(これ以降、同様)。以下、破壊モードおよび荷重変形関係について概要を示す。

#### 3-2. 最終破壊性状

本実験の最終破壊性状は、すべてのアンカー筋において、「アンカー筋せん断破断」となった。一例として、 $D_p/d_a=3$ の「2/3繰返し」の破壊状況を写真1に示す。コンクリート盤において、アンカー筋周辺にひび割れや、アンカー筋が変形することによるアンカー筋とコンクリート盤の間に空隙がみられるものの、アンカー筋が破断している。

#### 3-3. 荷重変形関係

各アンカー筋の荷重変形関係を $D_p/d_a$ ごとに図3に示す。縦軸のあと施工アンカー1本当たりのせん断力は、水平ジャッキに取り付けたロードセルから得られた値をアンカー筋本数で除した値である。すべてのアンカー筋において、最大耐力点以降、急激にせん断力が低下した。密に配

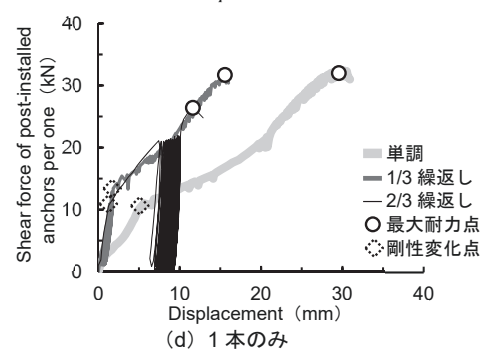
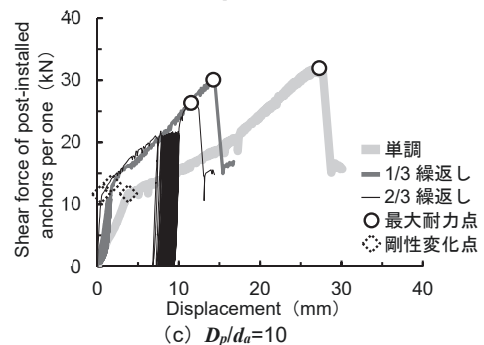
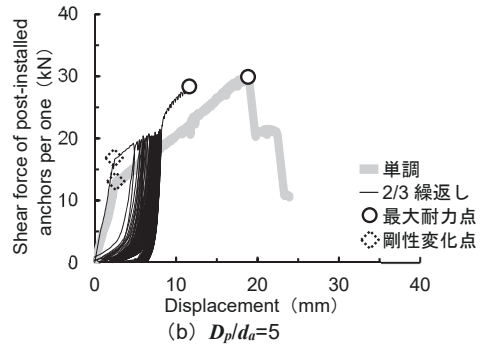
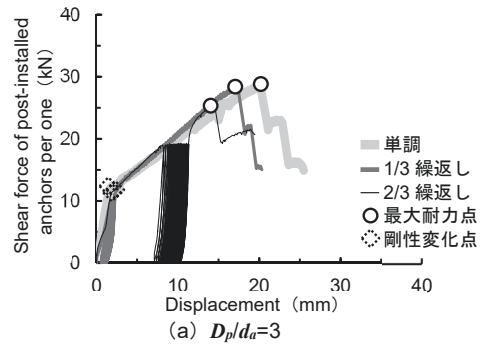


図3 荷重変形関係

置したアンカー筋では、すべてのアンカー筋が同時に破断するのではなく、複数回にわかれて破断する場合もみられた（たとえば、 $D_p/d_a=3$ の「単調」）。ここで、荷重変形関係において、初期剛性から大きく剛性が低下する点を剛性変化点として定義する。

### 3-4. あと施工アンカー 1 本あたりの耐力評価

#### (1) 最大せん断耐力 ( $P_{anchor}$ )

$P_{anchor} - D_p/d_a$  関係を図4に示す。アンカー筋を1本のみ配置した実験結果も参考として示している。 $P_{anchor}$ は、 $D_p/d_a=5$ の「2/3 繰返し」以外、 $D_p/d_a$ が小さくなると、小さくなる傾向にある。これは、密に配置した頭付きスタッドと同様の傾向である。

式(1)にアンカー筋の引張強度を用いたあと施工アンカー1本当たりのせん断耐力設計値を図中に示す。すべてのアンカー筋において、設計値は、実験値に比べて、小さい。すなわち、設計値は、密に配置したあと施工アンカーにおいても安全側の評価となる。

#### (2) 剛性変化点におけるせん断力

剛性変化点におけるせん断力- $D_p/d_a$ 関係を図5に示す。アンカー筋を1本のみ配置した実験結果も参考として示している。剛性変化点におけるせん断力は、 $D_p/d_a=5$ の「2/3 繰返し」がやや大きいものの、その他の場合ではほぼ同じ値である。アンカー筋を密に配置することによる剛性変化点におけるせん断力の低下はみられない。

### 3-5. アンカー群効率

アンカー群効率- $D_p/d_a$ 関係を図6に示す。ここで、アンカー群効率は、あと施工アンカーを1本のみ配置した $P_{anchor}$ に対するあと施工アンカーを複数配置した $P_{anchor}$ の比と定義している(スタッドに着目した「スタッド群効率」と同じ定義、本論ではあと施工アンカーに着目)。

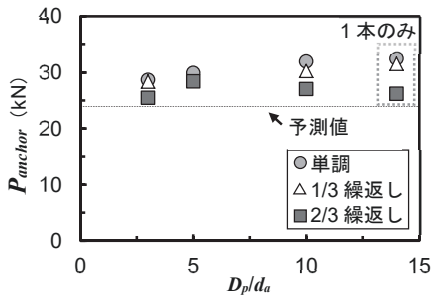
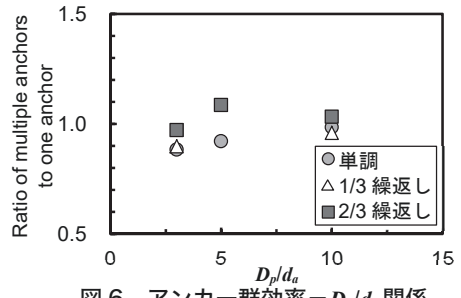
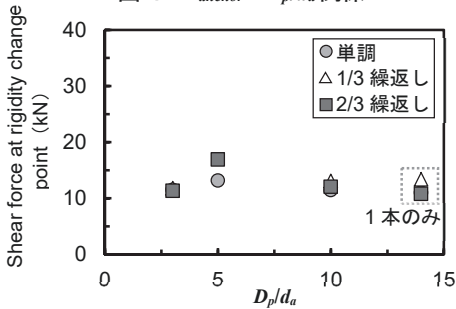
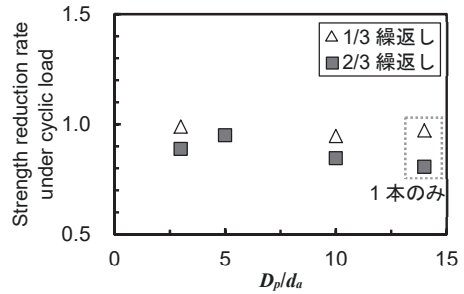
「単調」の場合、あと施工アンカー群効率は、 $D_p/d_a=10$ が0.98、同=5が0.92、同=3が0.88である。 $D_p/d_a=3$ までは、あと施工アンカーを密に配置した $P_{anchor}$ は、1本のみ配置したあと施工アンカーに対して、約88%のせん断耐力を有している。「1/3 繰返し」および「2/3 繰返し」もほぼ同様な傾向である。

### 3-5. 繰返し耐力低下率

繰返し耐力低下率- $D_p/d_a$ 関係を図7に示す。ここで、繰返し耐力低下率は、「単調」の $P_{anchor}$ に対する「1/3 繰返し」、または、「2/3 繰返し」の $P_{anchor}$ の比と定義している。なお、アンカー筋を1本のみ配置した実験結果も参考として示している。

繰返し耐力低下率は、「1/3 繰返し」の場合、 $D_p/d_a=10$ が0.95、同=3が0.99である。繰返し耐力低下率は、アンカー筋のピッチによる影響がみられない。「2/3 繰返し」もほぼ同様な傾向である。ここで、ピッチごとではなく、載荷方法ごとに着目すると、繰返し載荷による $P_{anchor}$ は、「単調」の $P_{anchor}$ に比べて、「1/3 繰返し」が約97% (平均値)、「2/3 繰返し」が約87% (平均値)のせん断耐力を有している。



図4  $P_{anchor}$ — $D_p/d_a$  関係図6 アンカー群効率— $D_p/d_a$  関係図5 剛性変化点におけるせん断力— $D_p/d_a$  関係図7 繰返し耐力低下率— $D_p/d_a$  関係

#### 4. 長期性能実験の概要

これまで、1～4本の接着系あと施工アンカーに1方向の短期せん断力を与えた実験を行ってきた。しかし、同様の試験において、長期性能に関する知見は不足している。そこで一連の本研究において、複数本(3・4本)の長期せん断荷重を与える実験を行った。4章では、長期せん断実験の前に同様の試験体で確認実験を短期荷重で行った結果を示す。アンカー列としては4本のアンカー筋の試験体である。また、5章では、アンカー列として3本と4本の長期せん断力による実験結果を示す。

##### 4-1. 試験体概要

文献<sup>4)</sup>を参考に1970年代の鉄筋コンクリート梁の一部を模擬した既存構造躯体を想定し、配筋およびコンクリートを打設した(図8)。試験体の鉄筋コンクリート断面は $400 \times 300\text{mm}$ だが、参考とした既存梁幅の $400\text{mm}$ にあと施工アンカー筋を2列打設した。アンカー列は、へりあき $125\text{mm}$ で列の離れは $150\text{mm}$ とした。梁主筋は上(下)端の2-D22(SD345)で、せん断補強筋はD10(SD295A)@150とした。つまり、既存躯体中央梁の上側若しくは下側のみを想定し試験体を作製した。コンクリート圧縮強度(以下 $\sigma_B$ )は $11.66(\text{N}/\text{mm}^2)$ であった。あと施工アンカーの固着剤には、エポキシ系樹脂を使用した。アンカー筋は、異形鉄筋のD10(SD295A)を使用し、材料試験の降伏応力度は $345(\text{N}/\text{mm}^2)$ であった。埋め込み深さ( $l_e$ )は、文献<sup>3)</sup>に示される最小値 $7d_a$ とした。アンカー筋の端部(露出部分)は、ネジ加工を施した。なお、アンカー筋の打設は、ハンマードリルでコンクリートを穿孔し、孔内をブラシ清掃した後に行った。アンカー筋は、図

8に示すように70と100(mm)ピッチの組・30と50(mm)ピッチの組で治具とPC鋼棒およびカプラーを用いて繋いでいる。図の背面も同様のセットでアンカー筋と治具を配置したので、4種のピッチで各々2セットの試験体があることになる。

#### 4-2. 実験方法

加力は、図8に示した試験体中央のキリンジャッキを伸ばすことにより、アンカー群にせん断力を与える仕組みになっている。4組のPC鋼棒各々に貼付したひずみゲージの出力から1組の荷重負担割合を算出した。試験体中央に設置したロードセルの出力に負担割合を乗じ、その1/2が1つのアンカー群に与えられたせん断力とした。コンクリート部に埋設したインサートに変位計を設置(写真2参照)し、治具の端に取り付けた的との離れをせん断(滑り)変位とした。初期段階では、長期試験を確認するためキリンジャッキにて手動で40(kN)まで載荷した。手動では載荷荷重の限界があるので、確認後除荷し、次段階では、オイルジャッキに入れ替えて破壊まで載荷した。

#### 4-3. 破壊性状

写真2に試験体の破壊した状況を示す。図8におけるb面のアンカー群のコンクリートが破壊され実験は終了した。アンカー筋は破断していなかった。加力方向側(PC鋼棒側)のコンクリートの損傷度合は少なかったが、へりあき破壊・プライアウト破壊およびアンカー群の抜け出し破壊の確定はできなかった。いずれにしても、これまでの実験のコンクリート強度より1/2以下の圧縮強度で試験体をさくせいしたことにより、コンクリート側の破壊となった。これは、耐震補強する既存建物に近い強度であることより、非常に参考となるデータが獲得できたと言える。

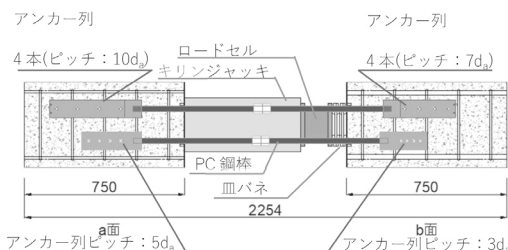


図8 試験体加力図

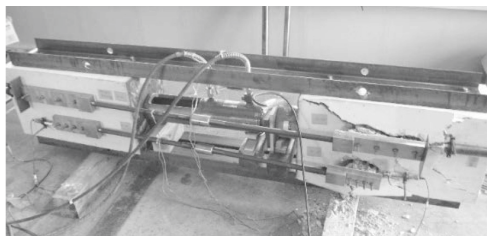


写真2 試験体破壊状況

#### 4-4. 履歴性状

せん断力とせん断変位の関係をアンカー筋ピッチ毎に、図9～12に示す。図9では、既往実験での $\sigma_B$ が $22.46(\text{N}/\text{mm}^2)$ で他の条件は同じである単調引切実験の結果を合わせてプロットした(図中の一点鎖線)。

コンクリート強度が異なるので、単純に比較はできないが、せん断力で6.5(kN)、せん断変位で0.05(mm)までは、同様な初期剛性の履歴を示した。このことより、既往の片引きせん断実験



と同様の加力と測定ができていることが確認できた。その後においてコンクリート強度の違いにより、履歴は乖離した。せん断変位が1(mm)時(図中の赤点線)での平均せん断力を比較すると、ピッチが3d<sub>a</sub>では20.42(kN)、5d<sub>a</sub>では21.86(kN)、7d<sub>a</sub>では22.96(kN)、10d<sub>a</sub>では22.87(kN)と僅かではあるが、3d<sub>a</sub>～7d<sub>a</sub>で徐々にせん断力は大きくなる傾向があった。図13にコンクリート破壊したアンカー列のせん断力とせん断変位の関係を示す。図中の実線が7d<sub>a</sub>・一点鎖線が3d<sub>a</sub>のアンカー列である。7d<sub>a</sub>の試験体では、最大せん断力が23.97(kN)を示し、せん断変位が3.26(mm)からせん断力は低下し始めた。3d<sub>a</sub>の試験体では、最大せん断力が22.31(kN)を示し、せん断変位が3.31(mm)からせん断力は低下し始めた。

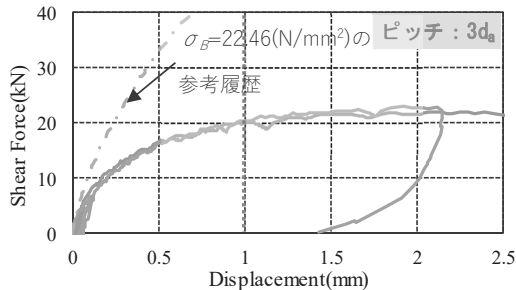


図9 せん断力-せん断変位関係(ピッチ 3d<sub>a</sub>)

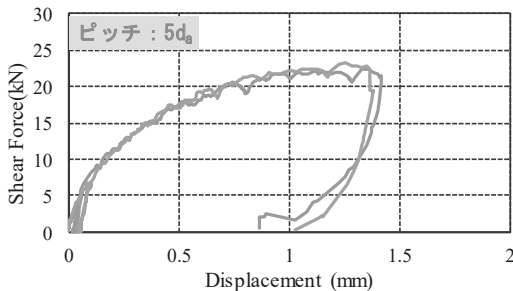


図10 せん断力-せん断変位関係(ピッチ 5d<sub>a</sub>)

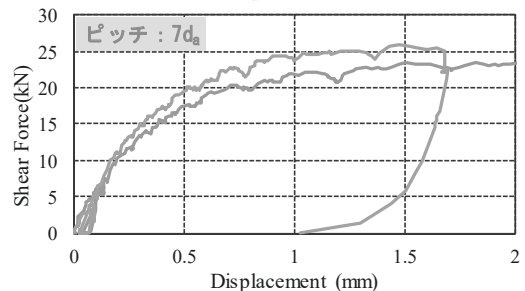


図11 せん断力-せん断変位関係(ピッチ 7d<sub>a</sub>)

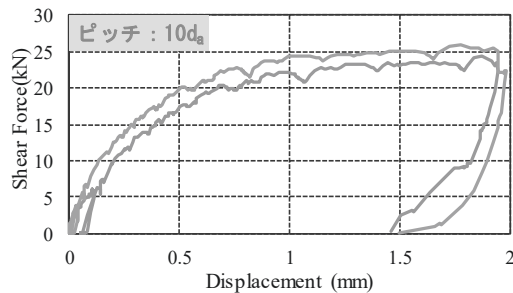


図12 せん断力-せん断変位関係(ピッチ 10d<sub>a</sub>)

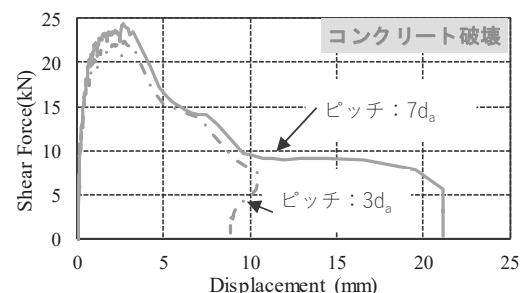


図13 せん断力-せん断変位関係(Con 破壊)

## 5. 長期性能実験

4章では、長期性能実験のための事前短期試験を行い、加力および測定が可能であることを確認した。この章では、アンカー列として3本と4本の長期せん断力による実験結果を示す。

### 5-1. 試験体

コンクリート強度およびアンカー筋強度については4章を参照されたい。4章の図8に示した加力方法にて、実験を行っている。4種のアンカーピッチ ( $3d_a$ ・ $5d_a$ ・ $7d_a$  および  $10d_a$ ) でアンカー群としては、3本と4本の2体の試験体を同日に載荷した。長期試験の加力・測定状況を写真3に示す。写真内の手前が3本のアンカー列で奥が4本のアンカー群列の試験体である。写真4に加力部分の拡大状況を示す。左からキリンジャッキ・ロードセルおよび皿バネの順(写真3とは逆)に設置している。なお試験体上下に設置しているアングル材は、試験体が直線的に伸縮するためのガイドであり、荷重-変形関係には影響しないように設置した。

### 5-2. 荷重設定および測定期間

短期実験である4章のせん断力とせん断変形関係の履歴を見るとコンクリートの特性を表した履歴性状であり、初期荷重から直線ではなく曲線を描いた。コンクリート破壊したアンカー列は、4本で  $3d_a$  と  $7d_a$  を設置した面であった。さらに他の履歴を見ると、せん断変位が約1(mm)以降のせん断力は横ばいの性状を示した。このことから、得られた全試験体のせん断力における最大値を最大耐力と考え、各々の値から平均値を求めた。その平均最大せん断力は、23.91(kN)であった。弾性域としてはその1/3荷重とみなし、1つのアンカー列に対して、7.97(kN)のせん断力を超えないように長期荷重を設定した。短期実験は4本のアンカー列のみであったが、3本のアンカー列においても同様にコンクリートで破壊すると考え、3本のアンカー列試験体の長期荷重も4本と同様の荷重で加力した。

試験体は常温気中の室内に設置した。現在も加力中であるが、抜き取った結果の測定期間は、2019年11月5日～2020年1月30日までの86日(約3ヶ月)である。

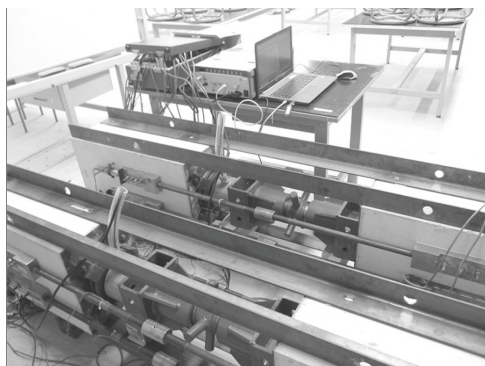


写真3 加力・測定状況

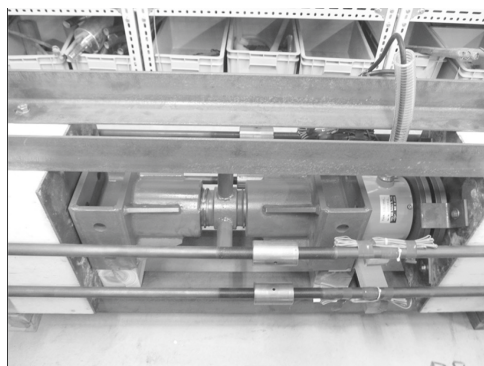


写真4 加力部拡大状況

### 5-3. 荷重履歴

図14に載荷開始から86日間のせん断力とせん断変位の関係を、図15に長期測定開始から86日間のせん断力と経過日数の関係についてピッチ  $7d_a$  における試験体を履歴の例として示す。図中の実線が3本で点線が4本のアンカー列である。図14における3本はせん断力5.69(kN)で

せん断変位 0.10(mm) の時点を長期試験開始時とし、4 本はせん断力 5.34(kN) でせん断変位 0.07(mm) の時点を長期試験開始時とした。図 15 において、3 本のせん断力は 86 日後に 92.3% 持続している。4 本のせん断力は 86 日後に 90.0% (せん断力の減少はほぼ初日に発生) 持続している。今後追加荷重を行うかは現在検討中である。

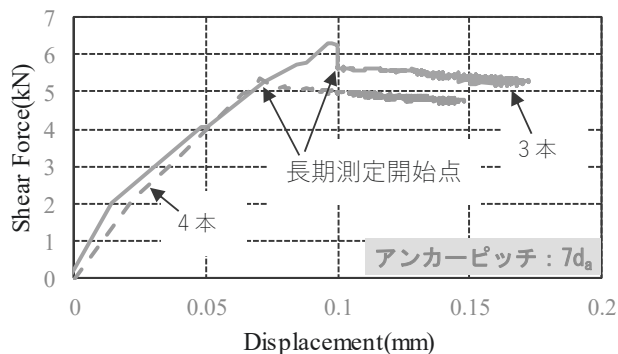


図 14 せん断力-せん断変位関係

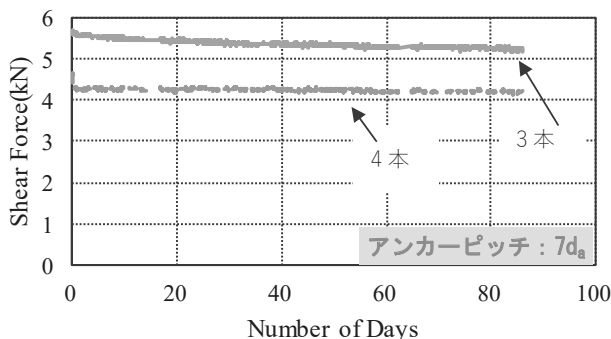


図 15 せん断力-経過日数関係

#### 5-4. 変位履歴

図 16 および 17 において、左側縦軸にせん断変位と横軸に日数を実線で示し、右側縦軸に気温と横軸に日数を同図に点線で示した。図 16 は、アンカー列 3 本でアンカーピッチ  $7d_a$  の結果の履歴の例として示す。図 17 は、アンカー列 4 本でアンカーピッチ  $7d_a$  の結果の履歴の例として示す。なお、86 日間の平均気温は  $16.11(^{\circ}\text{C})$  であった。11 月から 1 月にかけて段々と気温が低くなる時期の測定期間であったことが関係したと考えられるが、クリープ変形は徐々に伸展していることが分かる。図 16 より測定開始時では  $0.100(\text{mm})$  を示し、86 日後では  $0.162(\text{mm})$  を示したことよりクリープ変形は  $0.062(\text{mm})$  であった。図 17 より測定開始時では  $0.070(\text{mm})$  を示し、86 日後では  $0.140(\text{mm})$  を示したことよりクリープ変形は  $0.070(\text{mm})$  であった。日中の気温上昇に伴い一時的に変形は小さくなる性状を示した。しかし、その時のロードセルおよび PC 鋼棒

に貼付したひずみゲージの出力が低くなっていることと変形は元の履歴に戻っていることより、PC 鋼棒や加力治具等の温度変化による加力側の影響と考えられる。

今後気温が上昇する時期になるが、クリープ変形量が一定と確認できる時期まで計測を続ける予定である。

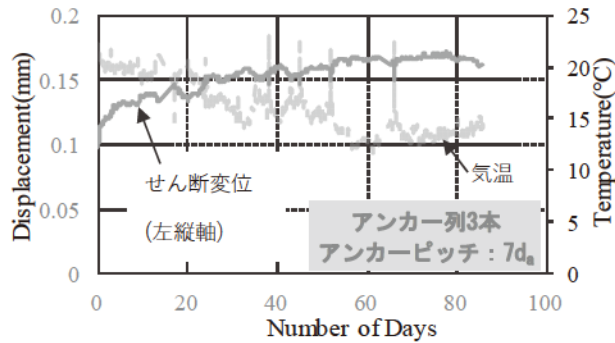


図 16 経過日数とせん断変位および気温の関係

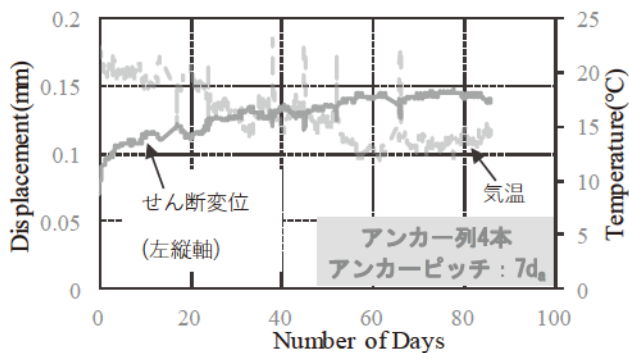


図 17 経過日数とせん断変位および気温の関係

### 5-5. クリープ変形

前項では、 $7d_a$  のピッチで 3 本と 4 本のアンカー列の、変位履歴の例を示したが、表 3 に全てのアンカー列のクリープ変形をアンカーピッチ毎に示した。なおそれぞれのアンカーピッチの試験体は 2 体ずつあるが、表中の値は平均した変形量である。3 本のアンカー列で  $3d_a \sim 10d_a$  の 86 日間の平均クリープ変形は  $0.078(\text{mm})$  であり、4 本のアンカー列で  $3d_a \sim 10d_a$  の 86 日間の平均クリープ変形は  $0.056(\text{mm})$  であった。さらに全ての平均クリープ変形は  $0.067(\text{mm})$  であった。図 18 に 3 本と 4 本のクリープ変形とアンカーピッチ毎の関係を示す。図中の●は 3 本のアンカー列で、◆は 4 本のアンカー列である。また全平均クリープ量を点線で示した。3 本の  $5 d_a$  ピッチと 4 本の  $3 d_a$  ピッチが平均より大きいクリープ変形を示した。しかしながら、アンカー列の本数およびアンカーピッチの違いによる特性について言及するには至らなかった。

表 3 86日クリープ変形量一覧

アンカー列	アンカーピッチ				平均クリープ 86日間
	3d <sub>a</sub>	5d <sub>a</sub>	7d <sub>a</sub>	10d <sub>a</sub>	
本	(mm)				
3	0.060	0.118	0.067	0.069	0.078
4	0.103	0.043	0.046	0.031	0.056
平均	0.081	0.080	0.057	0.050	0.067

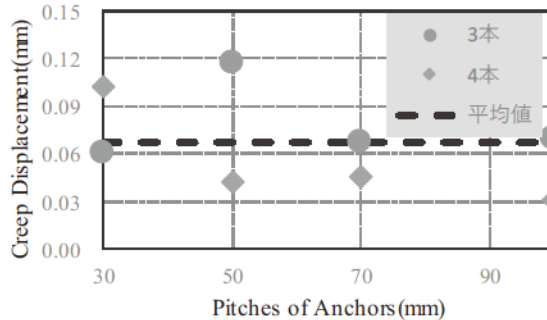


図 18 86日クリープ変形-アンカーピッチ関係

## 6. まとめ

本研究では、複数本を対象としたあと施工アンカーのせん断性状を調べるため、短期性能および長期性能について実験を行った。その結果より得られた知見を以下に示す。

### 1) 短期性能実験について

①  $D_p/d_a=3$  までは、あと施工アンカーを密に配置した  $P_{anchor}$  は、1本配置したあと施工アンカーに対して、約 88% のせん断耐力を有していた。

② 繰返し载荷による  $P_{anchor}$  は、「単調」の  $P_{anchor}$  に比べて、「1/3 繰返し」が約 97%、「2/3 繰返し」が約 87% のせん断耐力を有していた。

### 2) 長期性能実験について

① 長期性能を調べるための確認実験において、コンクリート強度は  $11.66(\text{N}/\text{mm}^2)$  と低い強度であったため、最終破壊状況はコンクリート破壊をした。また、アンカー筋ピッチを 4 種類設定し、1(mm)でのせん断変位でせん断力を比較すると、 $3d_a \sim 7d_a$  で徐々に大きくなる傾向を示したが、履歴はどのピッチにおいても同様の形状を示した。よってこの加力方式にて、長期性能を調べることにした。

② 3本および4本のアンカー列における常温気中(平均気温は  $16.11(^{\circ}\text{C})$ )の室内に設置した86日間の長期せん断力実験の結果において、試験体(PC鋼棒の組)により、長期荷重が多少異なるが、平均せん断変位で  $0.10(\text{mm})$  時点からのクリープ計測を行った。その結果アンカー列の本数およびアンカーピッチの違いによる特徴は見受けられなかったが、86日後の全体のクリープ変形は  $0.067(\text{mm})$  を示し、67%のせん断変位量の伸展となった。

今後について、長期せん断力としての荷重が全体で初期荷重の7%減少しているのので、追加荷重を行うかは検討中ではあるが、一年を通した経過観察を行う予定である。また、確認試験におけるせん断力とせん断変位の関係より、せん断変位が0.5(mm)以降より剛性が大きく低下し、1(mm)以降からせん断力は横ばいになることを鑑みると、長期せん断力を追加し、せん断変位における0.5(mm)付近および1(mm)付近のクリープ変形を観察する必要があると考える。

#### 参考文献

1. 国土交通省：建築設備の構造耐力上安全を定める件（平成12年建設省告示第1388号）、2013.3
2. 田島祐之、保木和明：繰返しせん断力を受ける接着系あと施工アンカーのコンクリートへ与える影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、pp.375-375、2017.8
3. 日本建築防災協会：2001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
4. 日本建築学会：鉄筋コンクリート造校舎の耐震診断方法および補強方法、1975