

# 論文 コンクリート系非構造壁の上面と主体架構との摩擦接合部に関する水平載荷実験

山口 謙太郎\*1・吉岡 智和\*2・奥村 卓也\*3・尾崎 景\*3

**要旨:** 本研究は、コンクリート系非構造壁と主体構造の接合に、解体と材料のリユース（再利用）を可能にする摩擦接合を適用したものについて、接合部の構造性能の把握と、制振要素としての実用可能性の検討を目的として行ったものである。数種類のコンクリート製非構造壁の上面を主体構造に摩擦接合した場合を想定し、同接合部の摩擦ダンパーとしての構造性能を実験的に調べた結果、プレキャストコンクリートパネルは壁版自体の強度や耐摩耗性が高く、接合部に与えたボルト張力の緩和も小さい為、良好な復元力特性が得られ、本研究で提案する摩擦ダンパーに適した材料であることが分かった。

**キーワード:** 非構造壁, コンクリート, 乾式工法, 摩擦接合, 制振効果, 載荷実験

## 1. はじめに

摩擦接合は、構成要素を取り外せる状態に保つことができる接合法<sup>1)</sup>であることから、解体を考慮した接合法の一つとして注目されており、解体と材料のリユース（再利用）を可能にする地球環境負荷低減に有効な建築構造分野の技術といえる。本研究は、コンクリート系非構造壁と主体構造の接合に、この摩擦接合を適用したものについて、接合部の構造性能の把握と、制振要素としての実用可能性の検討を目的として行ったものである。

コンクリート系の非構造壁は建物の外壁や内部の間仕切り壁によく用いられているが、比較的高い耐力を有していると思われるものでも、構造計算への算入の難しさなどから、通常その耐力は計算上無視するものとして取り扱われている。しかし、2005年3月に発生した福岡県西方沖地震で壊れたマンションの玄関ドア周りの壁<sup>2)</sup>のように、主要構造部分との縁の切り方が不適切であると大きな力がかかり破壊が生じる。一方で、想定外の巨大地震への備えという観点から全く縁を切ってしまうのはもったいないという考え方もあり<sup>2)</sup>、接合法を工夫するとともに、その構造性能を明らかにできれば、それらを構造設計に活かすことも可能になる。

また、近年では建物の構成要素が耐用年数に達していても、建物が社会的な要因で解体されることも少なくない。それらの建物の構成要素は取り外し可能な接合が行われていれば、十分リユースすることが可能である。

コンクリート版の非構造壁の取り付け部に摩擦ダンパー機構をもたせる研究はこれまでも行われているが<sup>3)</sup>、本研究では非構造壁の端面を利用し、できるだけ広い面積を摩擦面として機能させるとともに、接合部のボルト張力も比較的小さな値で数多くの接合位置を設け、摩擦

ダンパーとしての挙動がより安定するよう配慮している。

本論文では、数種類のコンクリート製非構造壁の上面を主体構造に摩擦接合した場合を想定し、同接合部の摩擦ダンパーとしての構造性能を実験的に調べ、実用可能性の検討を行った。

## 2. 接合部のダンパーとしての挙動

### 2.1 接合部の概要

本研究で提案するコンクリート系非構造壁と主体構造の摩擦接合による制振システムを図-1に示す。例えば、建物の主体構造が比較的剛性の低い鉄骨ラーメン構造などの場合、その梁位置でコンクリート系非構造壁を接合する。接合には鋼材を用い、ボルト接合とするが、コンクリート系非構造壁を接合するボルト穴は構面内方向に長穴としておく。水平荷重が接合用鋼材とコンクリート系非構造壁のボルト接合による摩擦抵抗力に達したとき滑りが発生し、以降、長穴の範囲で動摩擦抵抗を保持したまま滑ることによって、外力のエネルギーを

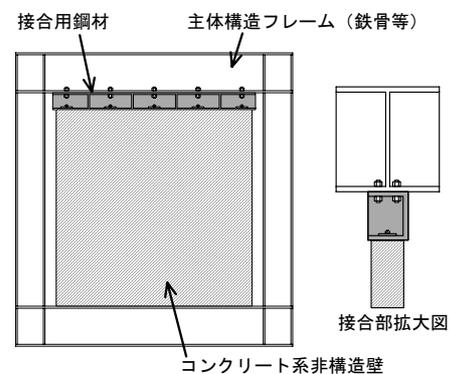


図-1 摩擦接合による制振システムの概念図

\*1 九州大学 大学院人間環境学研究院 都市・建築学部 准教授 工博 (正会員)

\*2 九州大学 大学院芸術工学研究院 環境計画部門 准教授 工博 (正会員)

\*3 九州大学 大学院人間環境学府 空間システム専攻 修士課程

吸収する。また、コンクリート系非構造壁には滑り発生時の水平力を超える水平力は入力されない為、接合部に与えるボルト張力を調整することによって非構造壁に損傷が生じないように制御することができる。

### 2.2 接合部の摩擦係数

コンクリート系壁版に入力される水平力は、摩擦係数と接合部に与えるボルト張力で決定される。接合部の摩擦係数は以下の式(1)で表される。

$$\mu = \frac{Q}{n \cdot N_p} \quad (1)$$

- 但し  $\mu$  壁版—接合用鋼材間の摩擦係数  
 $Q$  水平力 (kN)  
 $n$  接合に用いるボルトの本数  
 $N_p$  ボルト1本に与えた張力 (kN)

## 3. 実験概要

### 3.1 実験の目的

本研究ではコンクリート系壁版にプレキャストコンクリートパネル（以下、PC板と記す）、ALCパネル（以下、ALC板と記す）、補強コンクリートブロック（以下、RCBと記す）造壁体を用い、接合用鋼材には溶融亜鉛メッキ処理と電気亜鉛メッキ処理のいずれかを施したものをを用いて、ベースとする25mm厚の鋼板と接合用鋼材の間にコンクリート系壁版を挟み込み、ボルトで締め付けて固定したものを試験体とした。これに比較的高速な繰り返し水平力を接合用鋼材の位置から載荷し、壁版の種類と鋼材の表面処理の種類の組み合わせが摩擦係数を始めとする種々の構造性能に及ぼす影響について考察した。

### 3.2 試験体概要

#### (1) PC板試験体

PC板試験体は大きさが1,000mm×1,000mm×150mmの既製のコンクリートパネルから、高さ、長さ、配筋が図-2のようになるように3面(試験体の底面と小口面になる面)をコンクリートカッターで切断し、直径18mmの円形貫通孔を4箇所ずつ開けたものを用いた。コンクリートの設計基準強度は50N/mm<sup>2</sup>、鉄筋は、SD295Aの異形鉄筋D10とPC鋼より線(7本より12mm)が用いられている。PC板試験体と接合用鋼材の接触面はコンクリートパネルの型枠面となるようにした。

#### (2) ALC板試験体

厚さ100mmのALC板試験体は大きさが900mm×600mm×100mmの既製のALCパネルから、高さが210mmになるように試験体の底面となる面をコンクリートカッターで切断し、直径18mmの円形貫通孔を4箇所開けたものを用いた。その形状を図-3に示す。厚さ50mmのALC板試験体は、鉄筋の代わりにラス金網が厚さ方向の中央に配置された、大きさが900mm×600mm×50mmの既製のALCパネルから、高さが210mmになるように試験体の底面となる面をコンクリートカッターで切断し、直径18mmの円形貫通孔を図-3と同様の位置に4箇所開けたものを用いた。ALC板試験体と接合用鋼材の接触面はALCパネルの工場出荷状態の端面となるようにした。

#### (3) RCB造壁試験体

RCB造壁試験体の詳細を図-4に示す。コンクリート

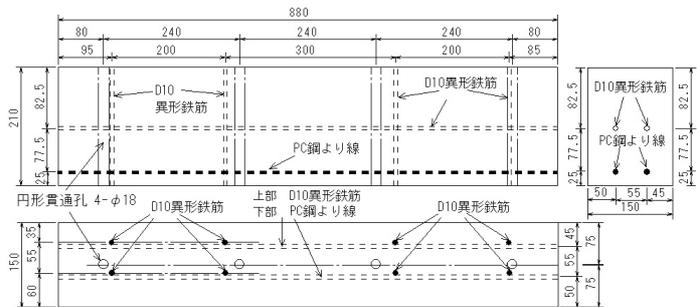


図-2 PC板試験体の形状 (単位: mm)

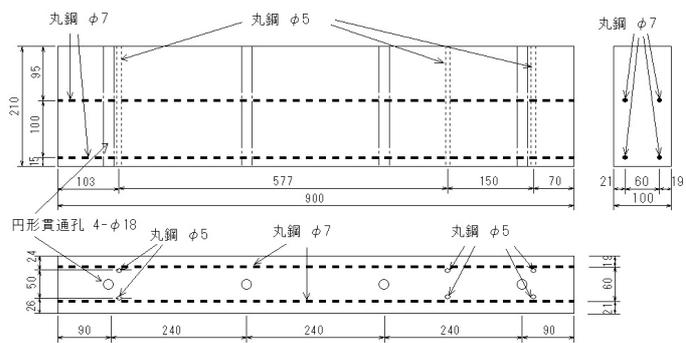


図-3 ALC板試験体 (ALCe10) の形状 (単位: mm)

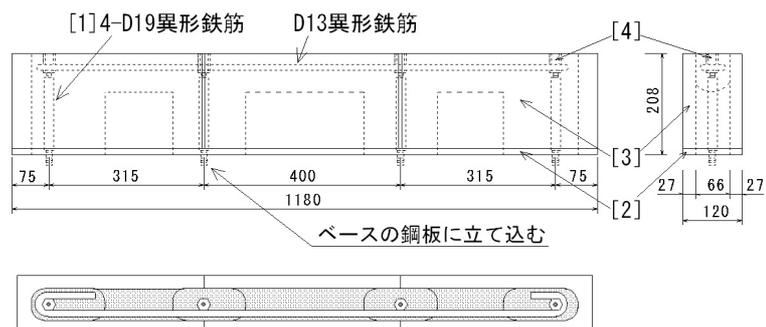


図-4 RCB造壁試験体の形状 (単位: mm)

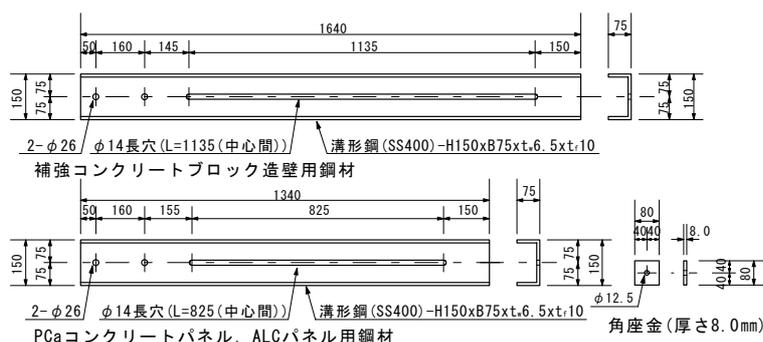


図-5 接合用鋼材の形状 (単位: mm)



写真-1 実験状況 (PCe 試験体)

ブロックは JIS A5406 で規定されている建築用コンクリートブロックのうち、異形ブロック C 種を使用した。D19 の異形鉄筋の一端に M12、他端に M16 のねじを切削加工したもの (図-4[1]) の M16 の側を厚さ 25mm の鋼製ベースプレートに立て込み、モルタルを 20mm 敷いて (図-4[2])、その上にブロック (図-4[3]) を配置し、[1] の上側のねじには M12 で高さ 40mm の高ナット (図-4[4]) を立てた。更に、D13 の横筋を配筋し、目地モルタルを充填した。目地モルタルの圧縮強度は  $40.5\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は  $2.42 \times 10^4\text{N/mm}^2$  である。接合用鋼材との接触面となる上面に  $\pm 1\text{mm}$  程度の不陸が見られたため、圧縮強度  $29\text{N/mm}^2$  (カタログ値) 程度のポリマーセメントモルタルで平滑に仕上げた。

#### (4) 接合部

想定する主体構造とコンクリート系壁版を接合する鋼材には、図-5 に示すような各試験体の長さに合わせた SS400 の溝形鋼 (H150×B75×tw6.5×tf10) を用いた。接合用鋼材と壁版の接合には、M12 の鋼製全ねじ寸切りボルト、80mm×80mm×8.0mm の溶融亜鉛メッキを施した鋼製角座金、同じく鋼製のナット、丸座金及びばね座金を用いた。PC 板試験体と ALC 板試験体は、各試験体に 4 箇所ずつ開けた直径 18mm の円形貫通孔を通して、厚さ 25mm の鋼製ベースプレートに全ねじの寸切りボルトを立て、試験体の上に接合用鋼材、角座金、丸座金、ロードセル、丸座金、ばね座金、ナットの順で配置して締め付け、試験体 (壁版) と寸切りボルトはアンボンドの状態に固定した。RCB 造壁試験体は、壁体に埋め込んだ高ナットに全ねじの寸切りボルトを立て、同様に試験体の上に接合用鋼材、角座金、丸座金、ロードセル、丸座金、ばね座金、ナットの順で配置して締め付け、固定した。ボルトの導入張力はロードセルで測定し、制御した。本実験では、接合用鋼材と壁版との摩擦によるエネルギー吸収を目的としている為、接合用鋼材と角座金に

表-1 試験体の種類

| 試験体名   | 壁版の材質          | 接合用鋼材のメッキ | 導入ボルト張力(kN/本)        |
|--------|----------------|-----------|----------------------|
| PCe    | PC板            | 電気亜鉛      | 4.0, 8.0, 12         |
| PCd    | PC板            | 溶融亜鉛      | 4.0, 8.0, 12, 16, 20 |
| ALCe10 | ALC板 (厚さ100mm) | 電気亜鉛      | 4.0, 6.0, 8.0        |
| ALCe05 | ALC板 (厚さ50mm)  | 電気亜鉛      | 2.0, 3.0, 4.0        |
| RCBe   | RCB造壁          | 電気亜鉛      | 4.0, 8.0, 12, 16, 20 |

は互いの接触面にテフロンシートを貼り付け、アセトンで拭き、グリースを塗布してボルト張力を与え、接合用鋼材と壁版以外の接合による摩擦抵抗を小さくした。また、ベースプレートと試験体の間に生じる滑りを抑制する為に、試験体の小口面両端に山形鋼をボルトで固定してストッパーとした。

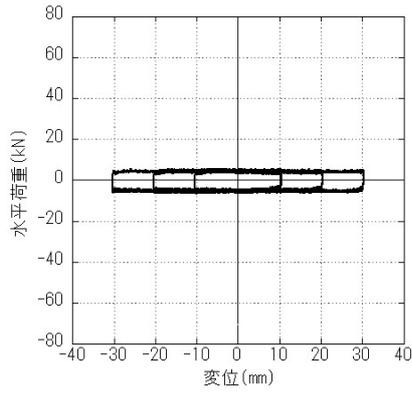
#### 3.3 導入ボルト張力

試験体の種類を表-1 に示す。本実験では、各試験体のボルト一本に与える張力を数段階に設定した。小さなボルト張力を与え、載荷を行い、載荷終了後、次の設定値まで増し締めを行うという手順で実験を行った。また、PC 板試験体については接合用鋼材を電気亜鉛メッキとするか溶融亜鉛メッキとするかで実験結果に大きな影響が及ぶかどうか、傾向を確認するために PCe 試験体と PCd 試験体を設定したので、PC 板は同一のものを使用し、PCe 試験体の実験を行った後に接合用鋼材、ボルト、ナット、丸座金、ばね座金を取り替えて PCd 試験体の実験を行った。

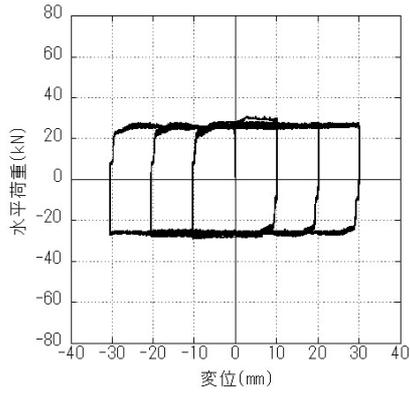
#### 3.4 加力方法及び計測方法

加力は、接合用鋼材に取り付けた動的サーボアクチュエータにより、試験体に強制変位を与えることで地震時の接合部の挙動を模擬した。強制変位は片振幅 10mm, 20mm, 30mm, 20mm, 10mm の正弦波 (振動数が 1.0Hz, 0.5Hz, 0.33Hz, 0.5Hz, 1.0Hz) を順に 5 サイクルずつ与え、一回の加力での総摺動距離は 1800mm とした。

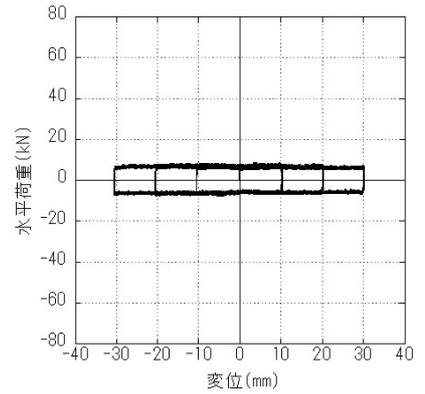
加力中に、水平力、ボルトの張力、接合用鋼材の水平変位、試験体の水平変位、ベースプレートの水平変位を 2msec 間隔で測定した。写真-1 に実験の状況を示す。



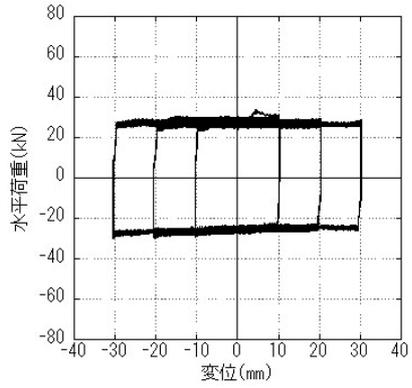
PCe 試験体(ボルト張力 4.0kN/本)



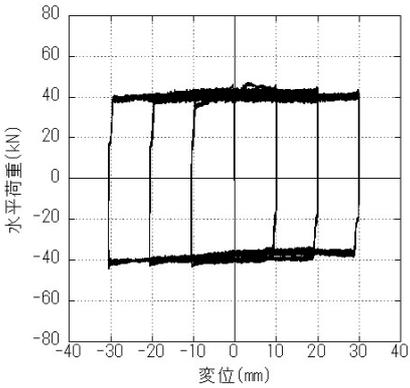
PCe 試験体(ボルト張力 12kN/本)



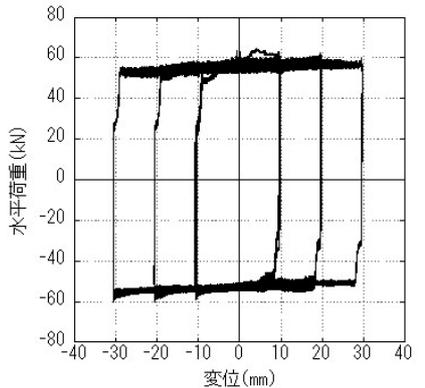
PCd 試験体(ボルト張力 4.0kN/本)



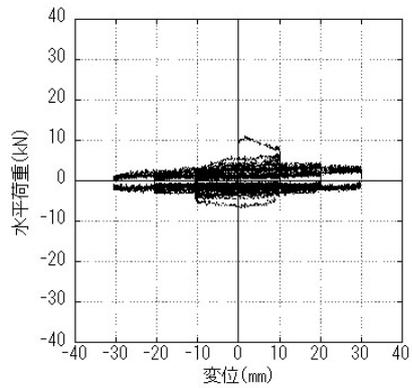
PCd 試験体(ボルト張力 12kN/本)



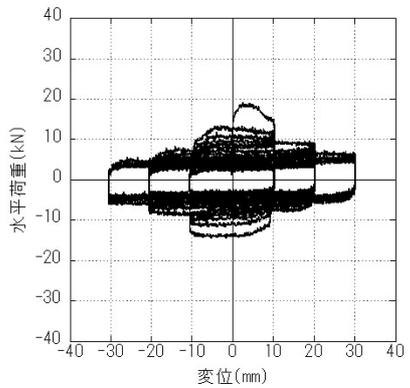
PCd 試験体(ボルト張力 16kN/本)



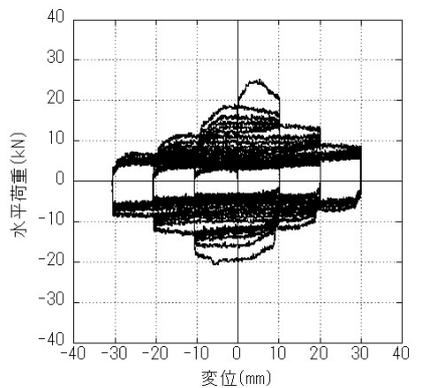
PCd 試験体(ボルト張力 20kN/本)



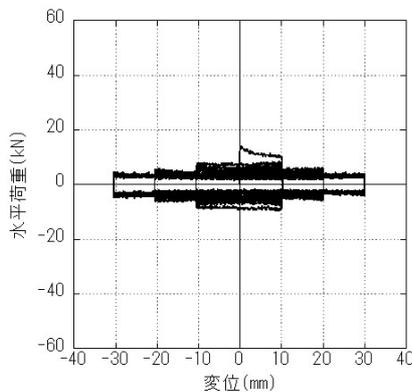
ALCe05 試験体(ボルト張力 4.0kN/本)



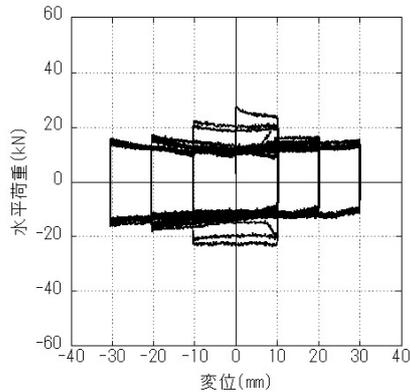
ALCe10 試験体(ボルト張力 6.0kN/本)



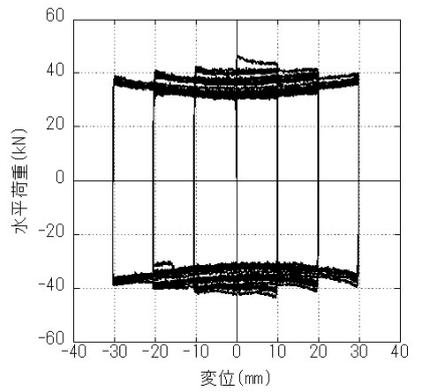
ALCe10 試験体(ボルト張力 8.0kN/本)



RCBe 試験体(ボルト張力 4.0kN/本)



RCBe 試験体(ボルト張力 12kN/本)



RCBe 試験体(ボルト張力 20kN/本)

図-6 水平荷重-水平変位関係

#### 4. 実験結果及び考察

##### 4.1 水平荷重－水平変位関係

本実験で試験体に与えた水平変位とそのときかかった水平荷重の関係を図-6に示す。図-6には、ボルト張力を数段階に変えながら行った各試験体の水平載荷実験結果のうち、代表的なもののみを示している。

##### (1) PC 板試験体

PCe 試験体及び PCd 試験体については、矩形に近い安定した復元力特性が得られた。壁版と接合用鋼材の間に滑りが発生しているときの水平抵抗力は、大まかには図-6の各載荷履歴曲線が横向きの線として描かれるときの縦軸の値として捉えることができるが、これは他の試験体より大きな値となった。これは、PCe、PCd 両試験体が他の壁版よりも接合用鋼材と壁版の間に与えたボルト張力の緩和が小さかったと考察される。PCe 試験体と PCd 試験体を比較すると、滑りが発生しているときの水平抵抗力は大差なく、垂鉛メッキを施す方法が実験結果に及ぼす影響はあまり見られなかった。

##### (2) ALC 板試験体

ALCe10 試験体及び ALCe05 試験体はどちらも、いずれのボルト張力の場合も、壁版と接合用鋼材の間に滑りが発生した後、水平抵抗力が一時的に増加し、その後減少していった。サイクルを追う毎に復元力特性のループは小さくなり、安定していったが、これは載荷の進行に伴い ALC パネルの摩擦面が削られていき、ボルト張力が減少したと考察される。

##### (3) RCB 造壁試験体

RCBe 試験体は、導入ボルト張力が低いときには壁版と接合用鋼材の間に滑りが発生しているときの水平抵抗力の減少が大きかったが、16kN/本や20kN/本のボルト張力を与えた場合には、滑りが発生しているときに水平抵抗力が減少していく割合が小さくなった。これは、載荷によって接合用鋼材との接触面を平滑に仕上げたポリマーセメントモルタル部分が擦り減り、水平抵抗力が減少していくが、載荷の繰り返しで擦り減りの影響が小さくなってきたものと考察される。

##### 4.2 ボルト張力の緩和

図-7は全試験体について、載荷前のボルト張力に対する載荷後のボルト張力を割合で示したものである。緩和量に差はあるものの、ボルトに与えた張力は、ほぼ全ての試験体において緩和した。ただし、PCd 試験体は、導入ボルト張力が12kN/本から20kN/本の範囲では、緩和量が非常に小さくなっている。PCd 試験体は PCe 試験体の実験後に同じ PC 板を用いて実験している為、PCd 試験体が PCe 試験体に比べて優位であるとは一概には言えない。他の試験体、特に ALCe10 試験体と ALCe05 試験体に関しては、ボルト張力の緩和が著しい。ALC 板は耐

表-2 各試験体の動摩擦係数

| 試験体名   | 導入ボルト張力(kN/本) |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | 2.0           | 3.0  | 4.0  | 6.0  | 8.0  | 12   | 16   | 20   |
| PCe    | —             | —    | 0.26 | —    | 0.41 | 0.52 | —    | —    |
| PCd    | —             | —    | 0.37 | —    | 0.47 | 0.49 | 0.54 | 0.61 |
| ALCe10 | —             | —    | 0.40 | 0.39 | 0.42 | —    | —    | —    |
| ALCe05 | 0.34          | 0.42 | 0.30 | —    | —    | —    | —    | —    |
| RCBe   | —             | —    | 0.33 | —    | 0.42 | 0.45 | 0.51 | 0.52 |

摩耗性が低く、本研究で提案する形式の摩擦ダンパーへの使用は難しいといえる。RCBe 試験体は導入ボルト張力が4.0kN/本から12kN/本の範囲では、ボルト張力が

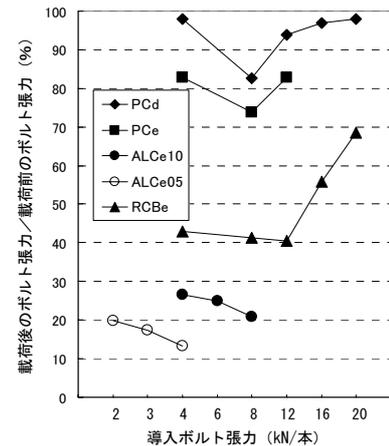


図-7 各試験体のボルト張力緩和

大きくなるにつれて緩和がわずかに大きくなっているが、導入ボルト張力が12kN/本から20kN/本の範囲では、ボルト張力が大きくなるにつれて緩和が徐々に小さくなっている。このことは4.1節の(3)で行った考察と整合する。

なお、各試験体のボルトの位置による張力緩和の傾向については、RCBe 試験体へ4.0kN/本のボルト張力を与えた場合に中央2本のボルトより外側2本のボルトの張力緩和が大きくなる傾向が見られたが、その他のボルト張力や試験体の場合には、試験体に破損が生じた部分に近いボルトの張力緩和が大きくなる傾向が見られた。

##### 4.3 接合部の摩擦係数

接合部の動摩擦係数を表-2に示す。動摩擦係数は、2.2節に示した式(1)を準用して、壁版と接合用鋼材の間に滑りが生じているときの各瞬間の水平荷重を、その時のボルト張力の総和で除した値の下限値として求めた。

PCd 試験体、PCe 試験体、RCBe 試験体はボルト張力を大きくすると動摩擦係数が増加する傾向を示した。これは締め付け力を大きくすることで、テフロンシートなどが変形して滑りにくくなったことが要因として考えられる。PCd 試験体は、16kN/本のボルト張力を与えたときの載荷で、接合用鋼材に接着したテフロンシートが剥がれた。ALC 板は動摩擦係数の変化が比較的小さいが、これは与えたボルト張力が小さいと考察される。

##### 4.4 試験体の損傷

PCd 試験体は8.0kN/本のボルト張力を与えた時の載荷

により変位計側の  
 上端部表面が薄く剥が  
 れ(写真-3), 同試  
 験体に 12kN/本のボ  
 ルト張力を与えた時  
 の載荷でアクチュエ  
 ータ側の上端部が薄  
 く剥がれて, 下端部  
 にも若干のひび割れ  
 が見られたが(写真



写真-2 PCd 試験体(1) 写真-3 PCd 試験体(2) 写真-4 PCe 試験体 (→ 破損部分)

-2), 他の試験体に  
 比べて破損は小さかった。  
 PCe 試験体は, 12kN/本のボ  
 ルト張力を与えた場合の載荷で,  
 アクチュエータ側の上端部が  
 小さく剥落したが(写真-4),  
 同じボルト張力を与えた  
 RCBe 試験体と比較すると破  
 損は小さいといえる。

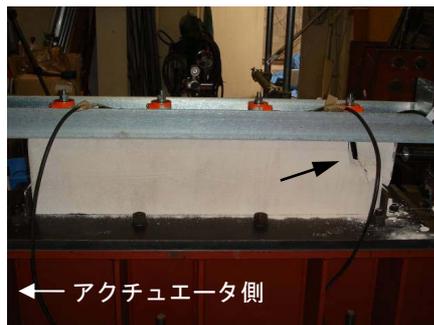


写真-5 ALCe10 試験体



写真-6 RCBe 試験体

ALCe05 試験体は 2.0kN/本

のボルト張力を与えたときの載荷で試験体の変位計側が  
 破損した。4.0kN/本のボルト張力を与えたときの載荷で  
 は破壊が進行し, ボルトが剥き出しになった。ALCe10  
 試験体は 8.0kN/本のボルト張力を与えたときの載荷の開  
 始直後に変位計側の上部が破損した(写真-5)。また鋼  
 材との摩擦面では壁版が擦り減り, ALC 板は耐摩耗性が  
 低いことが確認された。

RCBe 試験体は 12kN/本のボルト張力を与えた時の載  
 荷で, アクチュエータと反対側のブロック(小口面部分)  
 にひび割れが生じ, 16kN/本のボルト張力を与えた時の載  
 荷で同部分が剥落した(写真-6)。

なお, 各試験体が載荷で擦り減ることによって接合用  
 鋼材の長穴位置に生じた粉体は ALC 板試験体の場合が  
 最も多く, 次に RCB 造壁試験体で多く観察された。PC  
 板試験体で発生した粉体は少なかった。

## 5. まとめ

本研究は数種類のコンクリート製非構造壁の上面を主  
 体構造に摩擦接合した場合を想定し, 同接合部の摩擦ダン  
 パーとしての構造性能を実験的に調べ, 実用可能性の  
 検討を行った。得られた知見は以下の通りである。

- (1) プレキャストコンクリートパネルの試験体は, 壁版  
 自体の強度や耐摩耗性が高く, 接合部に与えたボ  
 ルト張力の緩和も小さい為, 今回実験を行ったコンク  
 リート系非構造壁の中では, 本研究で提案する摩擦  
 ダンパーに最も適する材料といえる。
- (2) 補強コンクリートブロック造の試験体は上面の仕上

げに用いたグラウト材の耐摩耗性が低かった為, 良  
 好な性能が得られなかったが, 仕上げ方法を改良す  
 ることにより, 制振効果が向上すると考えられる。

- (3) ALC パネルの試験体は, 壁版自体の強度や耐摩耗性  
 が低く, 接合部に与えたボルト張力の緩和も大きい  
 為, 今回行った工法でダンパーとして利用すること  
 は困難である。パネルの組織が壊れることを前提と  
 した緩衝材的な利用方法については今後新たに検討  
 する余地がある。

今後は良好な性能が得られた壁版について, 主体構造  
 への組み込み方などを中心に検討する。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり, 九州大学大学院人間環境学研  
 究院 平成 18 年度「萌芽的学際研究に対する研究助成」  
 (研究代表者: 山口謙太郎) を受けた。末尾ながら記し  
 て謝意を示す。

## 参考文献

- 1) The Hamer Center for Community Design: Design for  
 Disassembly in the built environment: a guide to  
 closed-loop design and building, pp.20-22, 2006
- 2) 日本建築学会: 2005 年福岡県西方沖地震災害調査報  
 告, pp.94-95, p.264, 2005.9
- 3) 例えば, 山下裕介, 中城卓也, 吉岡智和: ボルトで圧  
 着した鋼-コンクリート摩擦ダンパーの加力実験, 日  
 本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.69-70, 2007.8