

上面を摩擦接合したコンクリート系非構造壁の制振効果：壁版と主体架構の接合部に関する水平載荷実験

奥村, 卓也
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

山口, 謙太郎
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

本村, 直知
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

尾崎, 景
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

<https://doi.org/10.15017/19112>

出版情報：都市・建築学研究. 13, pp.115-122, 2008-01-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

上面を摩擦接合したコンクリート系非構造壁の制振効果 —壁版と主体架構の接合部に関する水平載荷実験—

Damping Effect of Nonstructural Concrete Wall Connected Frictionally on its Top Face

—Horizontal Loading Test on the Connection between Wall and Main Frame—

奥村卓也*, 山口謙太郎**, 本村直知*, 尾崎 景*

Takuya OKUMURA, Kentaro YAMAGUCHI, Naoharu MOTOMURA and Kei OSAKI

The objectives of this study are to propose a sustainable connecting method between wall and frame of structure, and to clarify the frictional damping effect of the connection. The proposed connection absorbs the energy of external force, such as seismic force, by slip with friction between wall and frame. Additionally, walls and frames are not bonded to each other at the proposed connections, making it possible to disassemble members once assembled, so that they can be easily reused or recycled.

High-speed horizontal loading tests were performed on the proposed connections between walls and steel frames. Types of walls are precast concrete panel, ALC (Autoclaved Lightweight Concrete) panel and reinforced concrete block wall. As a result of the experiments, it was found that precast concrete panel is the most suitable for the proposed connecting system, and that reinforced concrete block wall has potential to improve the damping performance by finishing its top face appropriately.

Keywords : Nonstructural wall, Concrete, Dry construction method,
Frictional connection, Damping effect, Loading test

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. 序

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¹⁾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, 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¹⁾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²⁾, 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

* 空間システム専攻修士課程

** 都市・建築学部門

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。

このような状況を受け、近年ではコンクリート版を摩擦ダンパーとして利用するための研究が徐々に進められている³⁾。

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接合部を図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で表される。

$$\mu = Q / (n \times N_p)$$

μ : 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 (PC板)、ALCパネル (ALC板)、補強コンクリートブロック (RCB) 造壁を用い、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

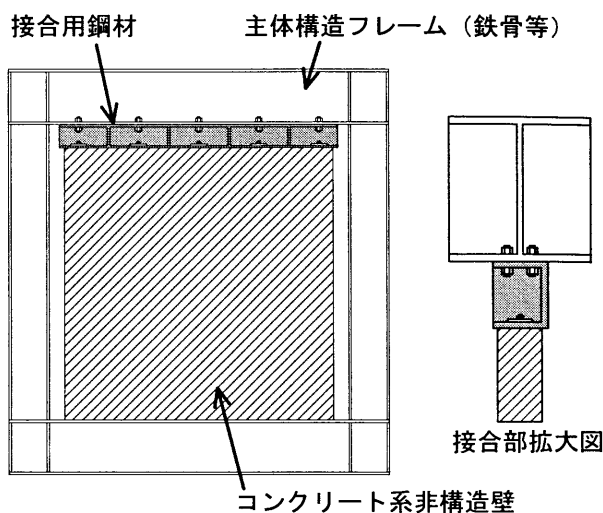


図1 接合部概念図

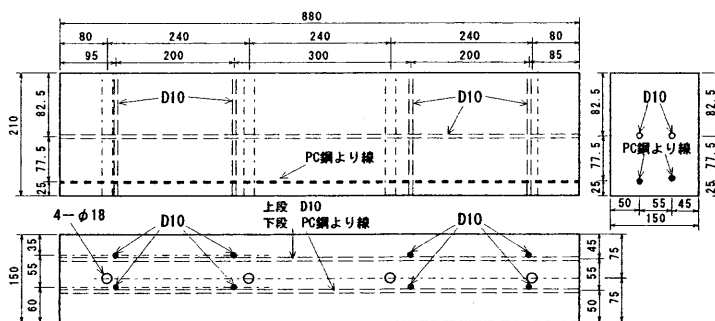


図2 PC板試験体の形状 (単位: mm)

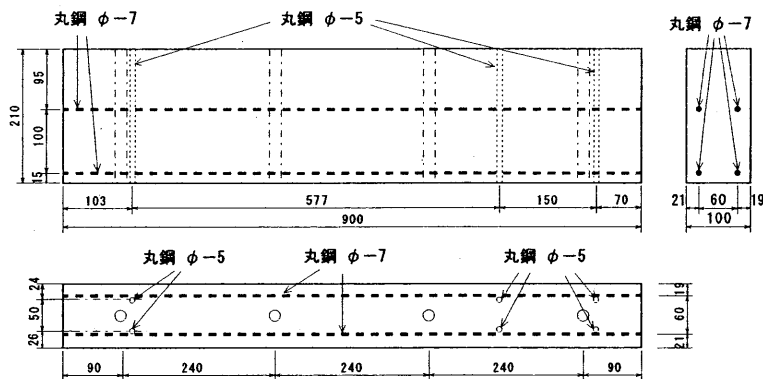


図3 ALGe10試験体の形状 (単位: mm)

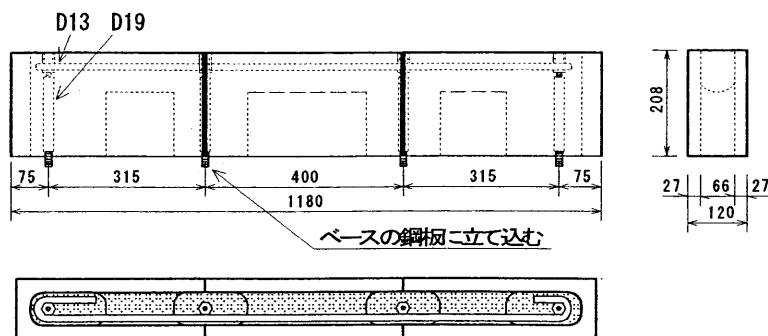


図4 RCB造壁試験体の形状 (単位: mm)

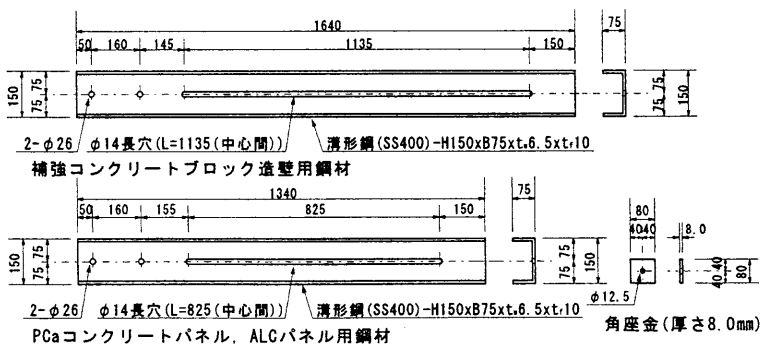


図5 接合用鋼材の形状 (単位: mm)

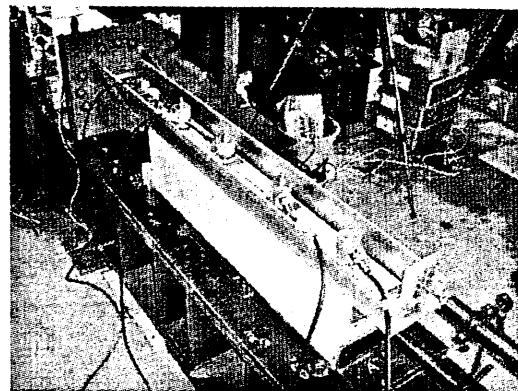


写真1 実験状況 (PCe 試験体)

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

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载荷し、壁版の種類と鋼材の表面処理の種類を組み合わせて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

3.2.1 プレキャストコンクリートパネル

PC板は、既製のコンクリートパネルを切断したものをを用いた。コンクリートの設計基準強度は 50N/mm^2 、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。図2にPC板試験体の形状を示す。

3.2.2 ALCパネル

ALC板試験体は、既製のALCパネルを切断したものをを用いた。図3に示す寸法のもと、ラスが中央に配置された厚さ50mmのものをを用いた。

3.2.3 補強コンクリートブロック造壁

RCB造壁の試験体の詳細を図4に示す。コンクリートブロックは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。ボルトは、D19の異形鉄筋の一端にM12のねじを25mm、他端にM16のねじを25mm切削加工したものをを用いた。このボルトのM16の側を厚さ25mmの鋼製ベースプレートに16mm立て込み、モルタルを厚さ20mmに敷き詰めた上にブロックを配置し、ねじの上端にはM12で高さ40mmの高ナットを16mm立て込んだ。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 40.5N/mm^2 、ヤング係数は $2.42 \times 10^4\text{N/mm}^2$

である。接合面の仕上げにはグラウト材を用いた。

3.2.4 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× t_w 6.5× t_f 10)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。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

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、载荷を行い、载荷終了後、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。試験体の種類を表1に示す。

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、一回の加力での総滑動距離は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。

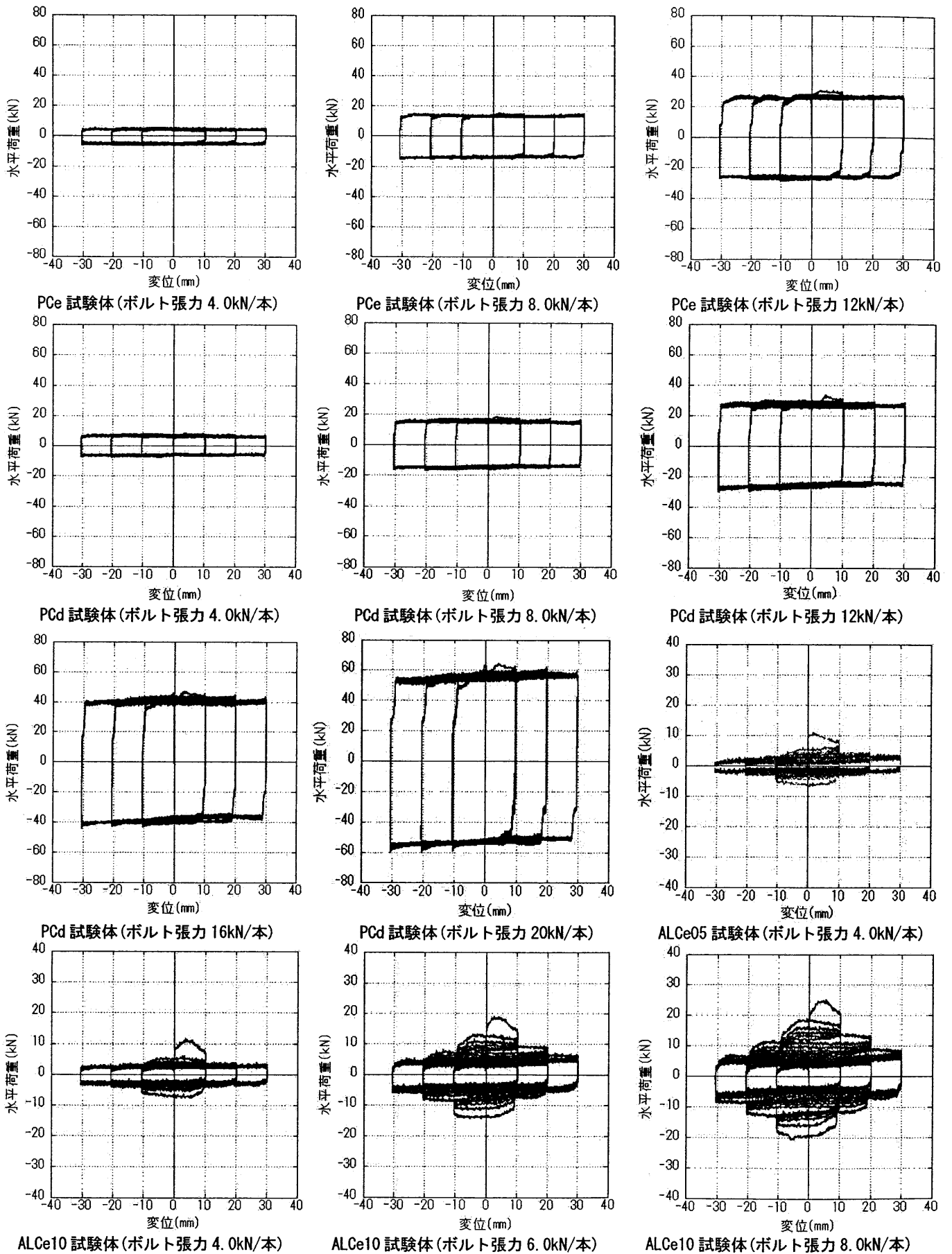


図6 荷重—変位関係 (PCe 試験体, PCd 試験体, ALCe05 試験体 ALCe10 試験体)

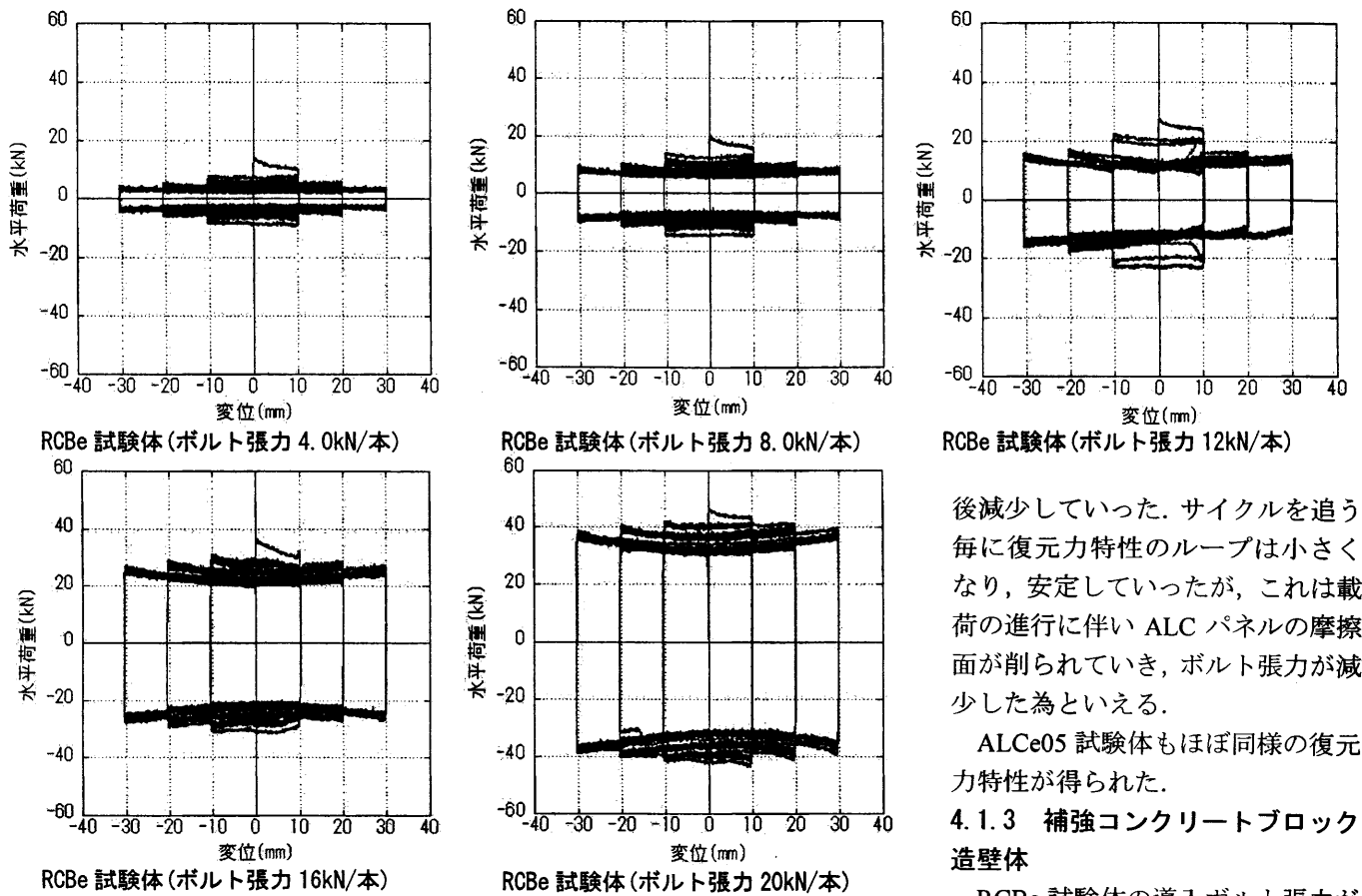


図7 荷重-変位関係 (RCBe 試験体)

4. 実験結果及び考察

4.1 荷重-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, 図7に示す. 図6は, PCe 試験体, PCd 試験体, ALCe05 試験体, ALCe10 試験体の復元力特性であり, 図7は RCBe 試験体の復元力特性である.

4.1.1 プレキャストコンクリートパネル

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. 水平抵抗力は, 導入ボルト張力が 4.0kN/本の場合, PCd 試験体で約 6.4kN, PCe 試験体で約 4.7kN, 導入ボルト張力が 12kN/本の場合は, 水平抵抗力が PCd 試験体で 26.3kN, PCe 試験体で 25.1kN と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との間に与えたボルト張力の緩和が小さい為である. PCd 試験体と PCe 試験体と比較すると, PCd 試験体の方が水平抵抗力は大きな値を示している. 導入ボルト張力が 20kN/本の PCd 試験体の場合, 水平抵抗力は約 53.5kN と大きな値を示した.

4.1.2 ALCパネル

ALCe10 試験体の滑り発生時の水平抵抗力は導入ボルト張力が 4.0kN/本の場合で 5.3kN, 6.0kN/本の場合で約 14kN, 8.0kN/本の場合で約 17kN であった. いずれの場合も, 滑り発生後, 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為といえる.

ALCe05 試験体もほぼ同様の復元力特性が得られた.

4.1.3 補強コンクリートブロック造壁体

RCBe 試験体の導入ボルト張力が 4.0kN/本の場合は, 片振幅 10mm の 1 サイクル目の滑り発生時点で約 13kN の水平抵抗力が生じ, その後はサイクルを重ねる毎に水平抵抗力は減少していった. 片振幅が 30mm のサイクルになると水平抵抗力は安定し, 約 2.8kN となった. この値は初期の水平抵抗力の 22% である. 同じボルト張力を与えた PCe 試験体と比較すると, PCe 試験体は滑り発生時点での水平抵抗力が約 4.8kN であり, 片振幅が 30mm のサイクルでの水平抵抗力は約 4.7kN であった. この値は初期の水平抵抗力の 98% である. 導入ボルト張力が 12kN/本の載荷では, 滑り発生時点での水平抵抗力は約 27kN で, 片振幅が 30mm のサイクルの水平抵抗力は 11kN (初期の水平抵抗力の 41%), 導入ボルト張力が 20kN/本の載荷では滑り発生時点の水平抵抗力が約 45kN で, 片振幅が 30mm のサイクルの水平抵抗力は約 32kN (初期の水平抵抗力の 71%) となった. 4.0kN のボルト張力を与えた場合に比べて水平抵抗力の低下する割合が小さくなっている. これは, 表面のグラウト材の擦り減りによって水平抵抗力が低下していくが, 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8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, ボルトに与えたボルト張力は, ほぼ全ての試験体において緩和した. ただし, PCd 試験体

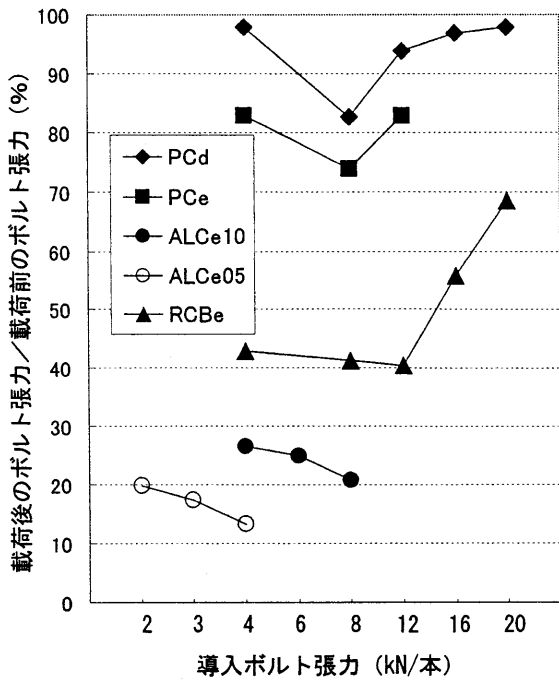


図8 各試験体のボルト張力緩和

は、与えるボルト張力を大きくするにつれて、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大きくなるにつれて、ボルト張力の緩和が徐々に小さくなっており、壁版上面を仕上げたグラウト材の擦り減りが、次第に少なくなっているものと考察される。

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、壁版と接合用鋼材の間に滑りが生じている時の水平荷重を、

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

その時のボルト張力の総和で除した値の下限值として求めた。

動摩擦係数が最も大きかったのは PCd 試験体で、以下 PCe 試験体、RCBe 試験体、ALCe10 試験体、ALCe05 試験体の順となった。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為と考えられる。

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, 4)、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2, 3)、他の試験体に比べて破損は小さかった(写真3)。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5, 6)、同じボルト張力を与えた RCBe 試験体と比較しても、破損は小さ

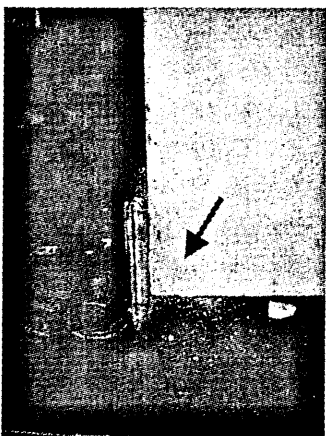


写真2 PCd 試験体
(下端破損部分)

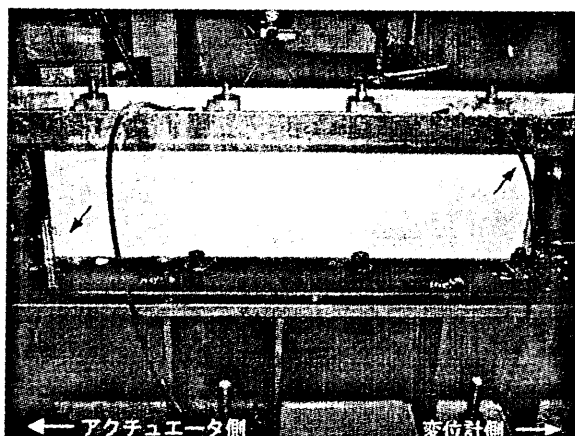


写真3 PCd 試験体 (全体)
…破損部分



写真4 PCd 試験体
(上端破損部分)

かった。

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 7, 8）。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、変位計側のブロック（フェイスシェル部分）にひ

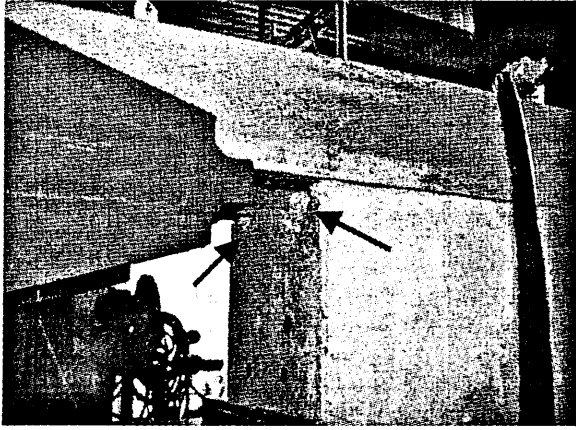
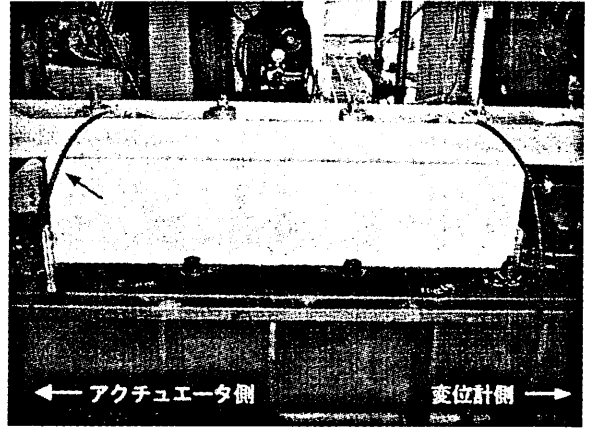
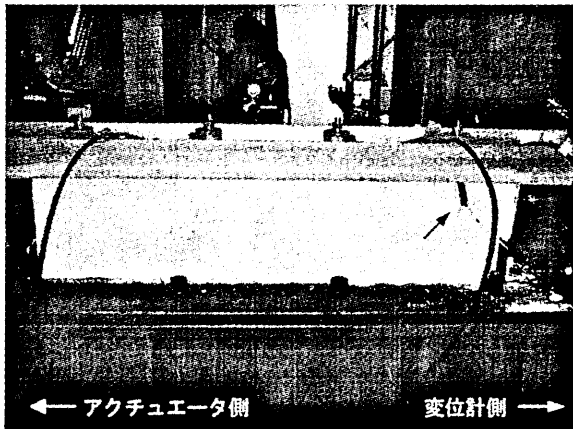


写真5 PCe 試験体（破損部分）



…破損部分
写真6 PCe 試験体（全体）



…破損部分
写真9 RCBe 試験体（全体）

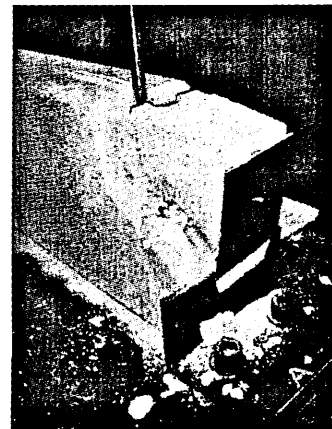
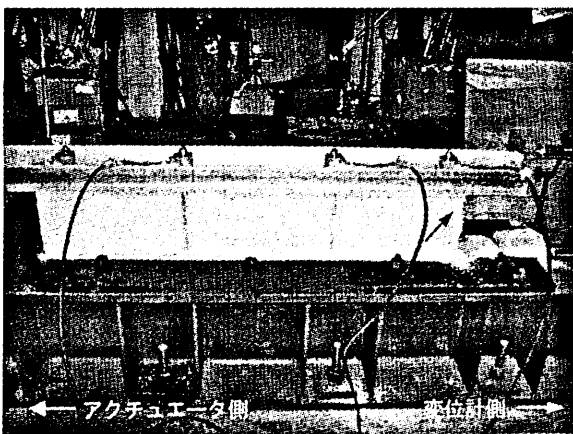


写真8 ALCe10 試験体
（破損部分）



…破損部分
写真9 RCBe 試験体（全体）



写真10 RCBe 試験体
（破損部分）

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9, 10）。

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。また、本研究の水平載荷実験は、九州大学大学院芸術工学研究院 吉岡智和准教授の協力を得て、同研究院環境実験棟の載荷試験装置を利用して行った。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年.
- 3) 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年.

（受理：平成19年12月6日）