

論文 コンクリート系非構造壁の取り付け部に介在させる摩擦接合ブロックの制振効果

山口 謙太郎^{*1}・牧野 起八^{*2}・二宮 佑輝^{*2}・大場 文絵^{*2}

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部に、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モルタルブロックを介在させ摺動材とすることによって、制振効果を持たせることを目的として行っている。本研究では、モルタル製の摺動材を試作した試験体を用いて動的な水平載荷実験を行い、その制振要素としての性能を調べた。その結果、実験を行ったどの試験体もほぼ完全剛塑性型の履歴特性が得られ、制振要素としての利用可能性が確認された。また、ボルト孔のクリアランスは PC 版の面外モーメントに対する回転を拘束しない範囲で、可能な限り小さくする必要が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, モルタルブロック

1. はじめに

本研究は、コンクリート系非構造壁と主体構造の接合に、部材の着脱・交換や材料の再利用が行いやすい点から地球環境負荷低減に有効な技術である摩擦接合を適用した工法について、その制振効果の把握と、実用可能性の検討を目的として行っている。

本研究で当初より提案してい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の概念図を図-1に示す。著者らは文献1)において、数種類のコンクリート系非構造壁と躯体との接合に長穴を有する鋼材（以下、接合用鋼材と記す）を用いる接合部を想定した試験体の水平載荷実験（写真-1）を行うと共に、文献2)において3層の建物モデルに関する解析を行い、従来非構造要素であったプレキャストコンクリートパネル（以下、PC版と記す）を制振要素として利用できる可能性を確認した。また文献3)において、1000mm×1000mm×^t150mmのPC版と接合用鋼材を用いた水平載荷実験（写真-2）を行った。この実験では文献1)の実験で得られたものに概ね近い載荷履歴特性が得られたが、PC版が面

外曲げを受けることで版の脚部に写真-3のような破損



写真-1 接合部を想定した実験の状況

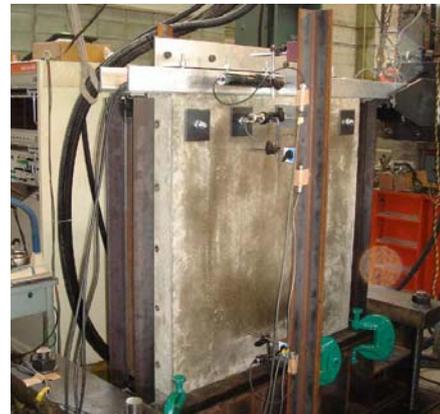


写真-2 1m角 (^t150mm) のPC版を用いた実験

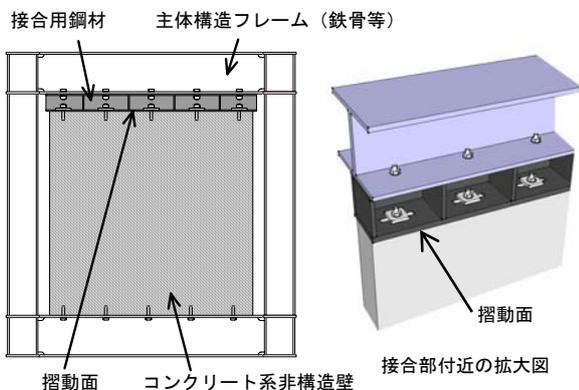


図-1 摩擦接合による制振システムの概念図



写真-3 試験体の破損状況

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

*2 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

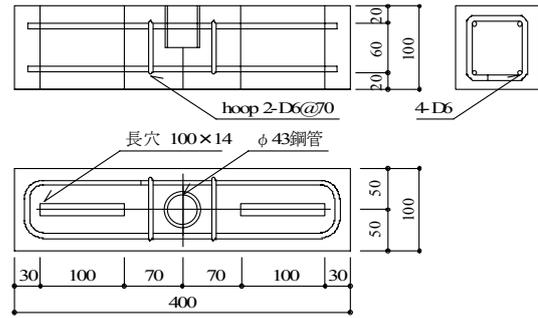
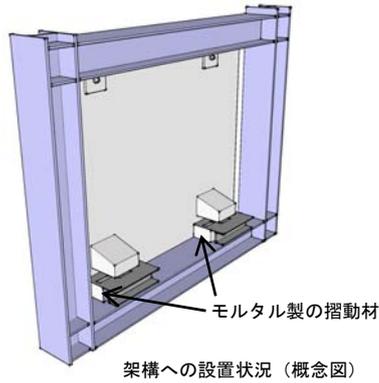


図-3 試験体の形状及び配筋 (単位: mm)

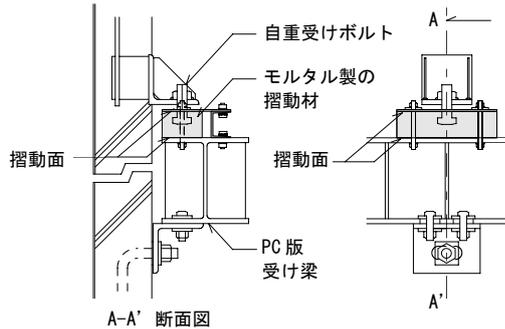


図-2 提案するモルタル製の摺動材を用いた工法

が生じることが確認され、非構造壁と主体構造フレームの接合方法を更に工夫すべきであることが分かった。また、一方でPC版の自重を本工法に利用できる可能性が確認された。

本研究では、既往の研究で得られた要改善点を踏まえ、モルタル製の摺動材を用いた工法を提案すると共に、実験によりその実用可能性を検討した。

2. 提案するモルタル製の摺動材

提案する工法の概要を図-2に示す。本工法は、PC版

の支持部分にモルタル製の摺動材を設置し、その摺動材に2面摩擦接合を適用して、PC版が損傷しない範囲で摺動材に滑りを生じさせるというものである。本工法の利点として、梁上に摺動材を設置することから、施工性やボルト張力の管理・点検等を行い易いことが挙げられる。また、版の自重を安定的に摺動面に伝える施工方法が考案できれば、ボルト張力のみに依存しない垂直抗力として利用できる可能性がある。本研究では、モルタル製の摺動材を試作した試験体を用いて動的な水平載荷実験を行い、その制振要素としての性能を調べた。

3. 実験概要

3.1 試験体概要

図-3に試験体の形状及び配筋を示す。モルタルは圧縮強度 68.9N/mm^2 、ヤング係数は $3.69 \times 10^4\text{N/mm}^2$ であり、高温蒸気養生により強度を確保した。摩擦面は鋼製型枠の脱型面を使用した。図-3に示す試験体に空けた直径43mmの円孔内に外径43mmの鋼管(内径36mm)を嵌め込んでボルト孔とし、壁版の自重受けボルトを収める。試験体の43mmの円孔は後に嵌め込む鋼管と同種のもの

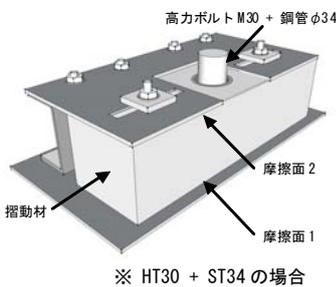


図-4 2面摩擦の概要

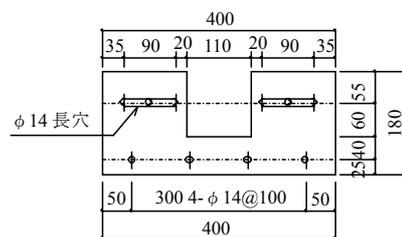
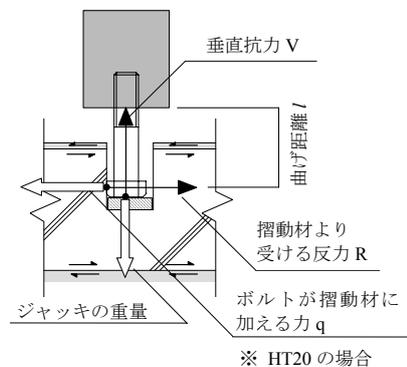


図-5 摩擦面 2 に利用した鋼板 (単位: mm)

表-1 試験体の種類

シリーズ	試験体名	導入張力 (kN/本)	加振片振幅 (mm)	受けボルト	ボルト孔のクリアランス (mm)
L	L1	5.0	12, 24, 12	HT20	4.6
	L2	10.0	12, 24, 12	HT20	4.6
T	T1	5.0	13, 26, 13	HT30 + ST34	2.0
	T2	10.0	13, 26, 13	HT30 + ST34	2.0
	T3	15.0	13	HT30 + ST34	2.0



受けボルトが受ける曲げモーメント $(R \times l)$ によりボルトが降伏しない範囲で滑り荷重 $Q (=R)$ を設定

図-6 摺動材の力の伝達

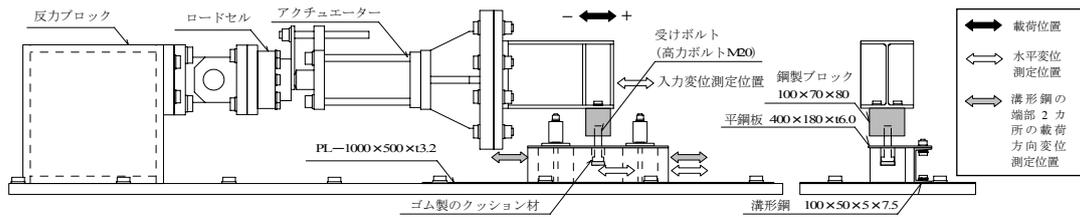


図-7 試験体の載荷装置(単位 : mm)

を打設時に型枠に取り付けているため、鋼管と円孔のクリアランスは脱型のためのラップフィルムとグリースの厚さのみ (0.1~0.2mm 程度) である。受けボルトには、M20 の高力ボルト(HT20)と、M30 の高力ボルトの頭部を切り落とし、ボルト孔と同じ高さで外径が 34mm の鋼管を被せたもの(HT30 + ST34)を使用した。ボルト孔の底にはクッション材として厚さ 10mm のゴムを敷いた。摺動材の 2 面摩擦接合の概要を図-4 に示す。摺動材の横に溝形鋼を設置して溝形鋼と鋼板をボルト接合し、摺動材を挟み、ボルトで締め付けることで 2 面摩擦となるようにする。鋼板の摩擦面は黒皮面を未処理のまま使用した。使用した鋼板を図-5 に示す。2 面摩擦とするための垂直抗力付与は、M12 の普通鋼製全ねじ寸切りボルト、80mm × 80mm × 8.0mm の鋼製角座金、普通鋼製のナット、丸座金及びバネ座金を用いて行った。ここで図-6 に本実験における力の伝達のメカニズムを示す。受けボルトが変位を受けて円孔内の鋼管に接触し、摺動材に加える力 q が発生する。 q が滑り荷重 Q に達すると摺動材は滑り始めるが、受けボルトは摺動材より受ける反力 R により曲げを受けるため、滑り荷重 Q は受けボルトが反力 R による曲げ降伏を生じない範囲で設定しなければならない。

3.2 載荷方法及び測定方法

表-1 に試験体の種類を、図-7 に載荷装置を示す。載荷は受けボルトのねじ部分を鋼製のブロックにねじ込み、そのブロックを動的アクチュエーターに接合して、変位制御により加振波形を与えた。加振波形は試験機の性能に応じ、振動数が 0.2Hz で、表-1 に示す加振片振幅の正弦波を 10 サイクルずつ与えた。なお、表-1 の加振片

振幅は図-7 中の入力変位測定位置で測定した値である。また、2 面摩擦のための垂直抗力の付与に用いたボルト張力はロードセルで付与値を制御し、載荷中の値の変化も測定した。ここで各シリーズの試験体に与えた張力は、小さな設定値を与えて載荷を行い、載荷終了後に次の設定値まで増し締めを行うという手順で付与した。

加力中に、水平力、ボルトの張力、アクチュエーターの水平変位、試験体の水平変位、溝形鋼の水平変位を 10msec 間隔で測定した。実験の状況を写真-4 に示す。

4. 実験結果及び考察

図-8 に各試験体の滑り荷重 Q —滑り変位 δ 関係を、図-9 に滑り係数の絶対値と累積滑り変位 $\Sigma \delta$ の関係を、図-10 にボルト張力保持率と累積滑り変位 $\Sigma \delta$ の関係を示す。なお、滑り荷重 Q はアクチュエーターに接合したロードセルで測定した値、滑り変位 δ は試験体側面と端面で測定された値の平均値、滑り係数はボルト張力 (2 本の合計値) に試験体が受けるジャッキの重量を加えた値で滑り荷重 Q を除した値、ボルト張力保持率は初期導入張力に対する載荷時に計測したボルト張力の比とする。

全試験体とも、ほぼ剛塑性型の履歴曲線となったが、最大振幅付近で滑り荷重が若干増加した。なお L1 試験体は、受けボルトが摺動材のボルト孔の中心から負側に寄った状態から載荷を開始したため、履歴ループがやや負側に寄っている。L2 試験体で載荷方向による滑り係数の差が若干大きい、その他の試験体では載荷方向による滑り係数の差は比較的小さいといえる。また、どの試験体も載荷終了まで比較的高い滑り係数が維持できている。図-10 のボルト張力保持率—累積滑り変位 $\Sigma \delta$ 関係からは、ボルト張力は全試験体とも最大振幅付近で増大していることが分かる。載荷終了時のボルト張力保持率は L1 試験体で約 0.6、L2 試験体で約 0.7 となり 30~40% のボルト張力の緩和が確認された。

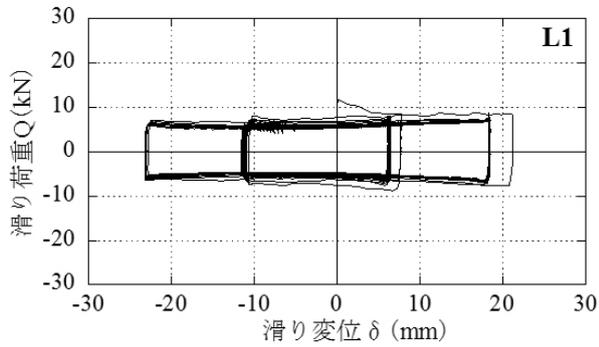
本工法は、PC 版が大きな面外モーメントを受けた際、下端部が破損しないように版の底面を剛に固定せずに回転、浮き上がりを自由に行っている。本実験において、ボルト孔には最大で L シリーズでは 4.6mm、T シリーズでは 2.0mm のクリアランスが存在した。加振片振幅に対して、滑り変位の片振幅に、L1 試験体で約 4.4mm、L2 試



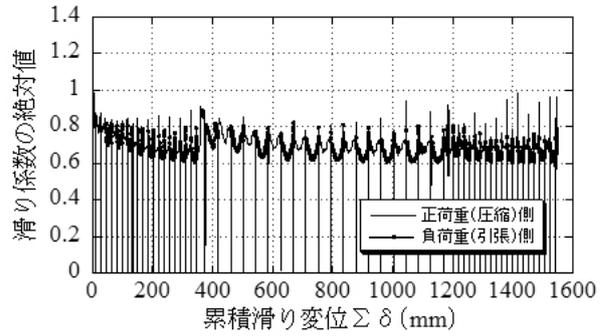
写真-4 実験の状況

験体で約 5.9mm, T1 試験体で約 2.7mm, T2 試験体で約 3.6mm のロスが生じた。これはクリアランスと受けボルト

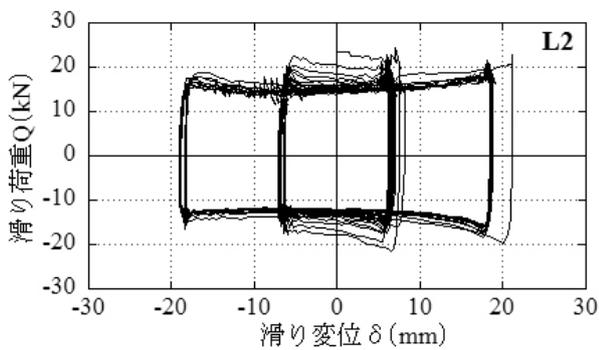
トの回転や降伏により、摺動材の滑り変位にロスが生じたためと考えられる。従って、摺動材の振幅を確保する



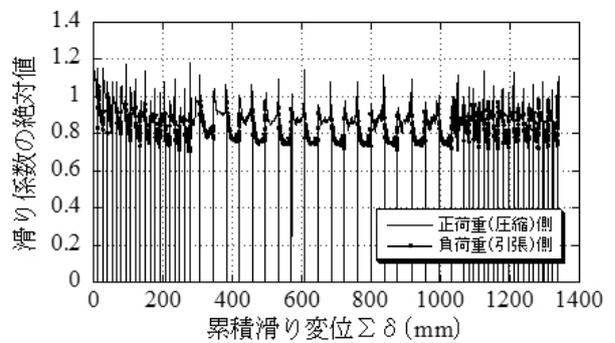
(a) L1 試験体



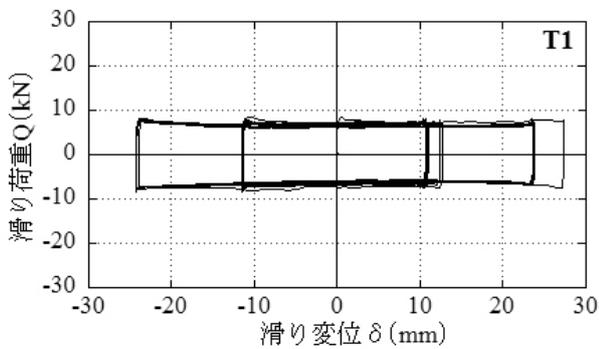
(a) L1 試験体



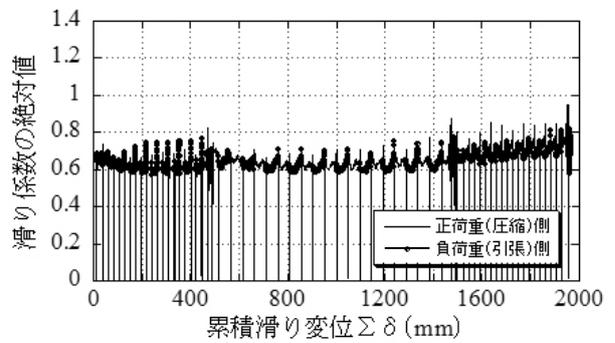
(b) L2 試験体



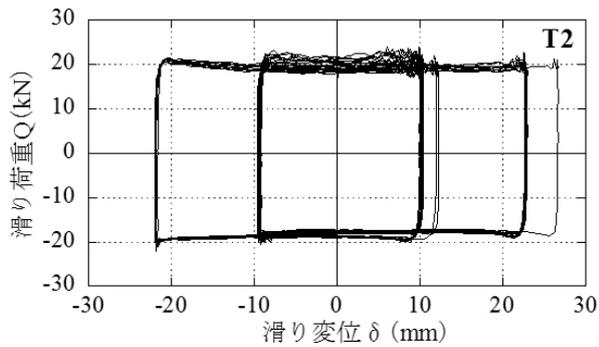
(b) L2 試験体



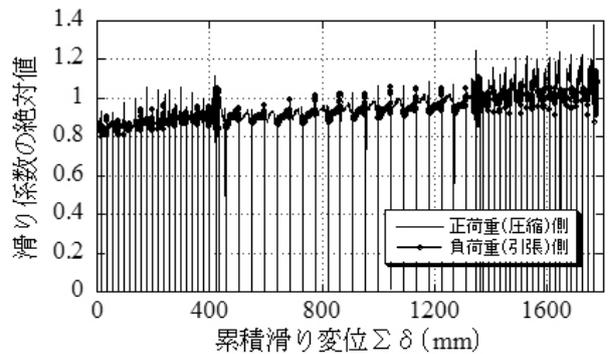
(c) T1 試験体



(c) T1 試験体



(d) T2 試験体



(d) T2 試験体

図-8 滑り荷重-滑り変位関係

図-9 滑り係数(絶対値)-累積滑り変位関係

ためには、ボルト孔のクリアランスは PC 版の面外モーメントに対する回転を拘束しない範囲で、可能な限り小さく

くする必要があるといえる。この定量的な評価については今後 PC 版を用いた実験等を行いながら検討を進める。

各サイクルにおける平均滑り荷重、摩擦係数、ボルト張力を算出する為に、対象としている履歴曲線の対応する変位振幅で除す方法を用いる⁴⁾。図-11に各サイクルにおける平均摩擦係数の変動を、表-2に各試験体のボルト張力、摩擦係数、滑り荷重の全サイクルの平均値を示す。ここで摩擦係数はボルト張力(2本の合計値)の2倍に試験体が受けるジャッキの重量を加えた値で滑り荷重を除した値とする。図-11及び表-2より、(1)摩擦係数の変動は全試験体において、正側・負側でほぼ同様の傾向を示すこと、(2)摩擦係数、滑り荷重とも平均値及び変動係数に荷重方向による影響がみられること、(3)クリアランスがより小さく、受けボルトと摺動材の接触面積が大きい T シリーズの方が、L シリーズよりも滑り荷重の変動係数が小さいことが分かる。

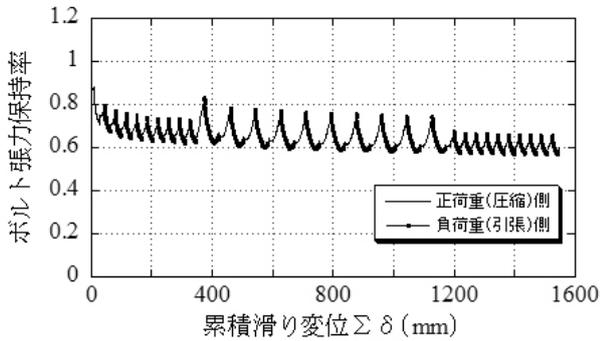
摩擦係数は、L シリーズが荷重の繰り返しに伴って漸減しているのに対し、T シリーズでは逆に漸増していく傾向が見られた。また、各試験体で摺動時にスティックスリップ現象と思われる音鳴りが生じた。この音鳴りの大きさは荷重方向により異なる場合や、またボルトの導入張力が大きいものほど大きな音が発生する傾向があった。これに関しては鋼材の表面処理法の考慮など、改善の余地がある。

T3 試験体は T2 試験体より更に滑り荷重が増大したため、負側のサイクルにおいて受けボルトがボルト孔から引き抜け、正側のサイクルになると再びボルト孔に落ち込む、という過程を繰り返し、想定した摺動材としては機能しなかった。実大の PC 版では回転により受けボルトに抜けが生じることも考えられるので、PC 版への過大な荷重が生じない範囲で受けボルトの抜け対策を行う必要がある。今回提案した材料・工法の組み合わせでは、一つの摺動材あたり最大約 20kN の水平力を負担できることが分かった。

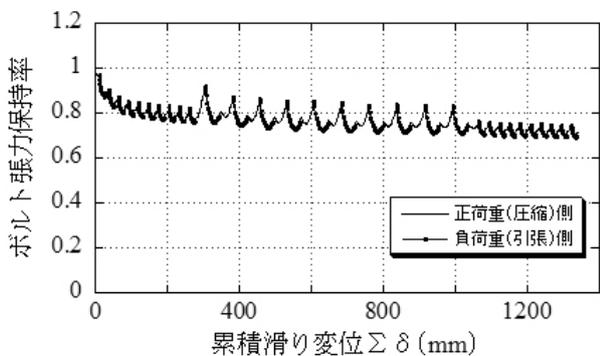
5. まとめ

本研究ではモルタル製の摺動材を用いて動的水平載荷実験を行い、その制振要素としての性能を調べた。得られた知見を以下に示す。

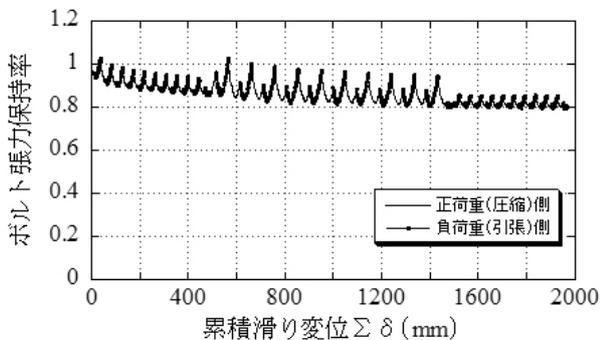
- (1) 全試験体とも、ほぼ完全剛塑性型の履歴特性が得られ、制振要素としての利用可能性が確認された。しかし、摩擦係数の平均値や変動は荷重方向による影響が見られた。
- (2) 受けボルトは、ボルト孔のクリアランスが小さく、摺動材との接触面積が大きい HT30 + ST34 の方が摺動材の滑り変位のロスが小さく、また安定した滑り荷重が得られた。よってボルト孔のクリアランスは PC



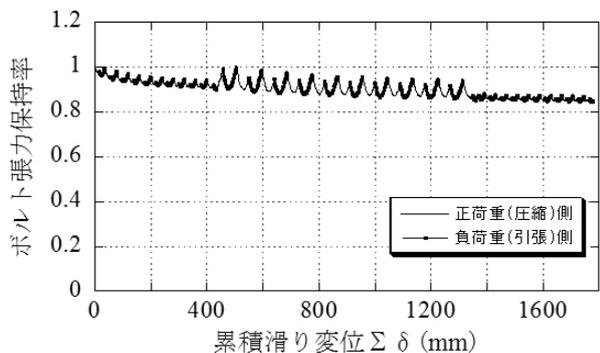
(a) L1 試験体



(b) L2 試験体



(c) T1 試験体



(d) T2 試験体

図-10 ボルト張力保持率-累積滑り変位関係

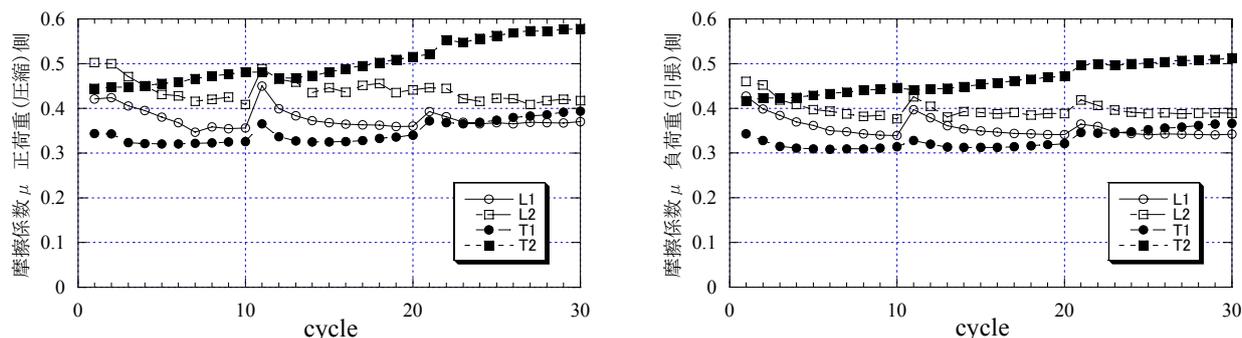


図-11 各サイクルにおける平均摩擦係数の変動

表-2 平均ボルト張力, 摩擦係数, 滑り荷重 (全サイクル)

試験体名	ボルト張力(合計)				摩擦係数				滑り荷重				比率 (正/ 負)
	正荷重(圧縮)側		負荷重(引張)側		正荷重(圧縮)側		負荷重(引張)側		正荷重(圧縮)側		負荷重(引張)側		
	平均値 (kN)	変動 係数	平均値 (kN)	変動 係数	平均値	変動 係数	平均値	変動 係数	平均値 (kN)	変動 係数	平均値 (kN)	変動 係数	
L1	7.5	0.099	7.0	0.061	0.377	0.061	0.356	0.060	6.1	0.140	5.4	0.115	1.13
L2	16.5	0.072	15.9	0.062	0.440	0.058	0.398	0.049	15.1	0.123	13.2	0.103	1.14
T1	9.1	0.050	9.3	0.052	0.346	0.073	0.329	0.060	6.7	0.047	6.5	0.044	1.03
T2	19.1	0.042	19.1	0.041	0.503	0.091	0.464	0.068	19.7	0.052	18.2	0.030	1.08

版の面外モーメントに対する回転を拘束しない範囲で、可能な限り小さくする必要があったことが分かった。

- (3) 今回提案した材料・工法の組み合わせでは、一つの摺動材あたり最大約 20kN の水平力を負担できることが分かった。

今後はPC版の回転による浮き上がりに対する工夫や、主体構造を想定したフレームに接合した場合の挙動の把握を中心に検討する。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C), 課題番号: 20560524, 研究者代表: 山口謙太郎)の助成を受けた。また、九州大学河野昭彦教授, 長崎総合科学大学安井信行准教授らを中心に行われている, 外壁ファスナーの制振装置化に関する研究打ち合わせで得た情報を参考に実施した。載荷実験は北九州市立大学国際環境工学部の構造物多軸試験システムを使用して実施した。摺動材としたモルタルブロックの製作には麻生ラファージュセメント株式会社福岡支店技術部前田禎夫氏らの協力を得た。末尾ながら記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 山口謙太郎, 吉岡智和, 奥村卓也, 尾崎 景: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1123-1128, 2008.7
- 2) 田原桂太, 山口謙太郎, 奥村卓也, 尾崎景: 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に関する研究 その2 3層の建物モデルに関する振動解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.975-976, 2008.9
- 3) 奥村卓也, 山口謙太郎, 尾崎景, 田原桂太: 端面を摩擦接合したコンクリート系非構造壁の制振効果(その2 壁版と主体架構を接合した試験体の水平載荷実験) 日本建築学会九州支部研究報告, 第48号・1, 構造系, pp 425 - 428, 2009.3
- 4) 小野聡子, 徳山純一郎, 井上一朗: アルミ溶射摩擦ダンパーの静的履歴特性に関する研究(その2) 実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.589 - 590, 1993.9