

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目： 若手研究（B）
 研究期間： 2007～2008
 課題番号： 19760392
 研究課題名（和文）
 鋼-コンクリート圧着型摩擦ダンパーを用いた実大乾式組立 P C a R C 制震壁の実験研究
 研究課題名（英文）
 An Experiment Study on Pre-Cast R/C Wall Using Steel-Concrete Frictional Joint
 研究代表者
 吉岡 智和（YOSHIOKA TOMOKAZU）
 九州大学・芸術工学研究院・准教授
 研究者番号： 40304852

研究成果の概要： 損傷制御型構造に利用可能な安価な制震部材として、ボルトを介した 2 面摩擦形式の鋼-コンクリート圧着型摩擦ダンパーを利用したプレキャスト鉄筋コンクリート制震壁を提案し、実大部分架構造試験体を用いた動的加力実験によりその減衰力を調査した。実験結果から所定の安定した減衰力を得るために必要なボルト配置の方法、摩擦面の処理方法、ボルトの締め付け力、皿ばね座金の必要性を確認した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,300,000	0	2,300,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	300,000	3,600,000

研究分野： 建築構造

科研費の分科・細目： 建築学・建築構造・材料

キーワード： 制震構造，摩擦ダンパー，プレキャストコンクリート

1. 研究開始当初の背景

我が国における建築物の大地震に対する耐震設計法として、柱・梁の損傷を許容し、損傷に伴うエネルギー消費により地震に抵抗する設計法が広く採用されてきた。この耐震設計法では、大地震による建築物の崩壊を防ぎ、人命を保護することを第一の目的としており、被災した建築物の継続使用には大規模な修繕、又は改築が必要となり、建築物を不動産と考えてその財産を保護する観点からは十分な耐震設計が行われているとは言い難い。これに対して、損傷制御型設計では、建築物の自重を支える柱、梁により構成された骨組に、地震入力エネルギーの消費のみを目的とする制震部材を付加することで、柱、梁の大地震時応答変形を弾性範囲内に制限し、建築物を構成する構造・非構造部材に損

傷が生じないように設計するものである。

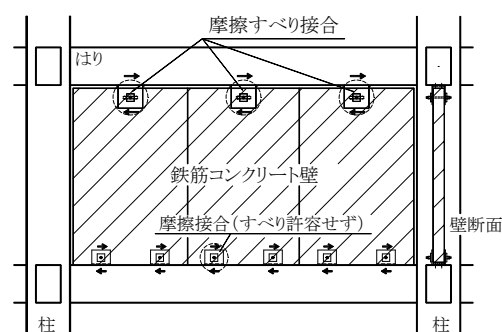


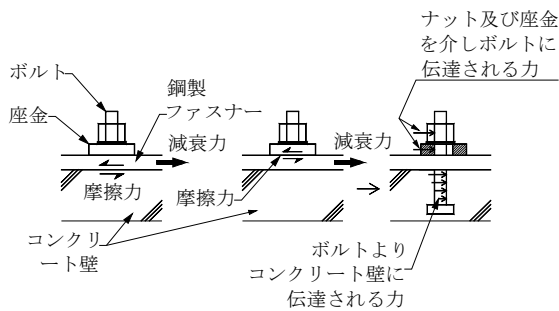
図 1 プレキャスト鉄筋コンクリート制震壁

筆者は、このような損傷制御型構造に利用可能な安価な制震部材として、図 1 に示す建築物の構造骨組を構成する上下の梁に取り

付けた2枚の接合鋼板によりプレキャスト鉄筋コンクリート壁をサンドイッチ状に挟み、高力ボルトで圧着した摩擦すべり接合部（摩擦ダンパー）により接続した乾式組立型のプレキャスト鉄筋コンクリート制震壁（以下、RC壁と略す）を提案している。

2. 研究の目的

本研究では、前記のRC壁に適用する安価な摩擦ダンパーとして、図2に示すコンクリート壁と鋼製ファスナーをボルトで締め付けた鋼-コンクリート摩擦ダンパーを提案した。当該摩擦ダンパーは、コンクリート壁と鋼製ファスナーとの摩擦面（摩擦面1と称す）と鋼製ファスナーとボルト座金との摩擦面（摩擦面2と称す）に摩擦力が生じ、摩擦面2に生じる摩擦力は締め付けボルトの曲げせん断抵抗を介してコンクリート壁から鋼製ファスナーに力が伝達され、大きな減衰力を発揮できる特徴を持つ。すでに、筆者は既往研究において、摩擦面1に適用可能な黒皮未除去の鋼板とコンクリート壁との摩擦面の摩擦力の評価式を提案している。



(a)摩擦面1 (b)摩擦面2
図2 ボルトを介した2面摩擦型ダンパー

そこで本研究では、実大寸法の当該摩擦ダンパーについて、以下の事項を確認した。

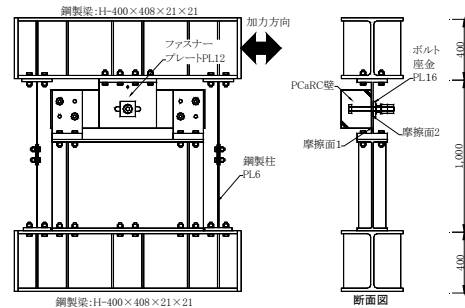
- (1)コンクリート壁内に定着させた締め付けボルトを介して、摩擦面2に生じた摩擦力を伝達可能であること
- (2)鋼製ファスナーとボルト座金との摩擦面2の摩擦挙動
- (3)RC壁に損傷を生じさせない所定の減衰力(120kN)を発揮するために必要な締め付けボルト張力

3. 研究の方法

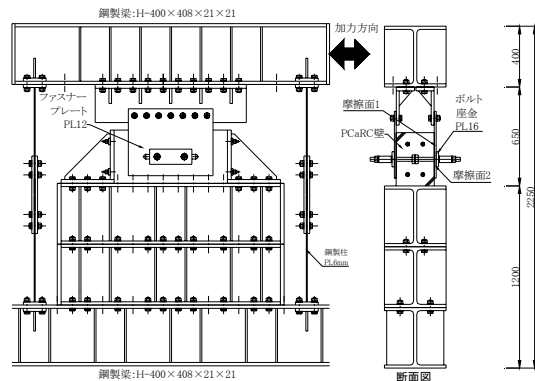
- (1)ボルトを介した2面摩擦型鋼-コンクリート摩擦ダンパーの動的加力実験

主に、研究の目的(1)、(3)を確認するため、鋼製骨組内にRC壁を取り付け固定した部分架構試験体の動的加力実験を行った。図3に部分架構試験体の形状を示す。試験体は、RC壁の接合部位を模したコンクリート板と鋼製ファスナーを模した鋼板をボルトに

より締め付けた摩擦面を有する実大ダンパー要素試験体とした。片側摩擦面のみを模擬したAタイプと両側摩擦面を模擬したBタイプを用い実験を行った。



(a) Aタイプ



(b) Bタイプ

図3 部分架構試験体

実験(1)-1では、Aタイプ部分架構試験体を用い、摩擦面2を構成するボルト座金の摩擦面処理方法として、未処理（黒皮スケール未除去）、亜鉛溶融メッキを設定した2体の試験体(26P-1, 26P-2)を計画した。なお、コンクリート壁の圧縮強度 31.9N/mm^2 、接合面には木製型枠脱型後の未処理面を使用した。ファスナープレート、ボルト座金には厚さ12mm, 16mmの鋼板(SS400)を利用した。締め付けボルトは1本のPC鋼棒(呼び径 26ϕ , C種)とし、初期張力 25kN を導入した。図4に接合部詳細を示す。

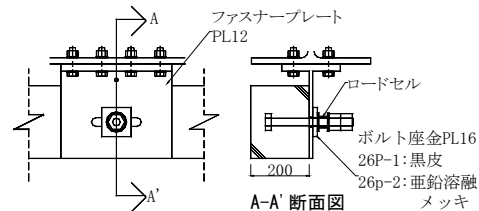


図4 実験(1)-1の接合部詳細

実験(1)-2では、Bタイプ部分架構試験体を用い、締め付けボルトの呼び径としてM20, M22, M24(普通ボルト)を設定した3体の試

験体を計画した。コンクリート壁の圧縮強度 31.5N/mm^2 、接合面には木製型枠脱型後の未処理面を使用した。ファスナープレートには厚さ 12mm の黒皮未除去の鋼板 (SS400) を、ボルト座金には厚さ 16mm の亜鉛溶融メッキ鋼板 (SS400) を利用した。締め付けボルトは、摺動時のボルト座金の回転を防止するため摺動方向に2本並べ、1本当たり 25kN の初期張力を導入した。さらに、M20 試験体については、1回目の加振後に初期導入張力 37.5kN としたテストラン (M20-37.5kN) を実施した。図5に接合部詳細を示す。

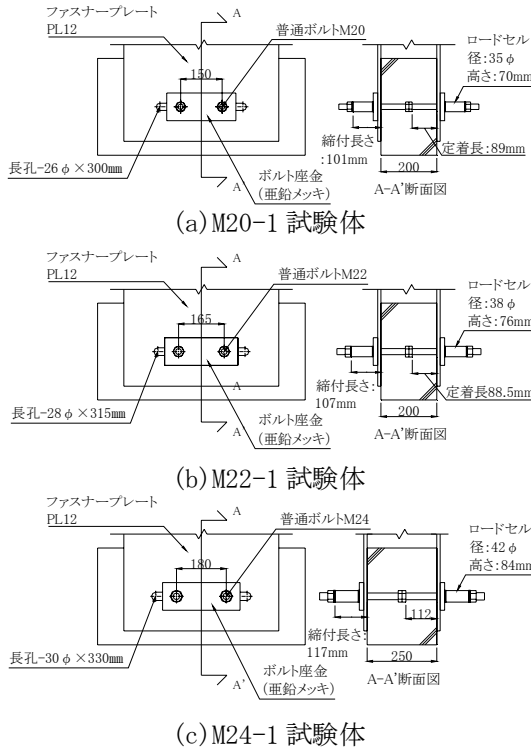


図5 実験(1)-2の接合部詳細

実験(1)-3では、実験(1)-2のM24-1試験体と同一形状・寸法の試験体を用いて、実験変数として皿ばね座金なし(M24-2, 4, 6試験体)と皿ばね座金あり(M24-3SW, 5SW, 7SW試験体)を設定し、同一条件で3体、総計6体を計画した。皿ばね座金には呼び径 24mm (JIS B1251, 軽荷重用 1L) を用いた。図6に接合部の概要を示す。

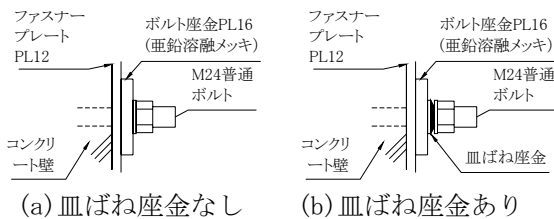


図6 実験(1)-3の接合部

コンクリート壁は圧縮強度 $44.9\sim 56\text{N/mm}^2$ の早強コンクリートとし、接合面には木製型

枠脱型後の未処理面を使用した。締め付けボルトは2本の普通ボルト (呼び径 M24) とし、トルク係数法により初期張力 25kN を導入した。本実験では、実際のボルト締め付け長さと同様とするため、ロードセルによるボルト張力の計測は実施しなかった。

実験(1)-1~3の加力は、摩擦ダンパーの大地震時応答を模擬するため、部分架構試験体の下部梁を固定し、上部梁に取り付けた 200kN 動的サーボアクチュエータにより水平方向に図7に示す強制変位を与えた。計測した物理量は、強制変位に伴い生じる摩擦力、母材と添板の間の相対変位、ボルト張力 (実験(1)-3を除く) である。

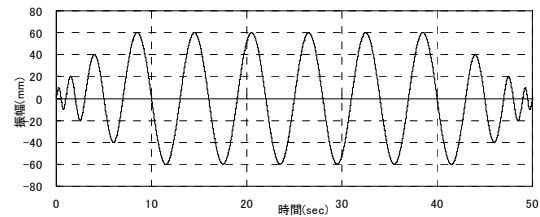


図7 加振波の時刻歴

(2) 黒皮付き鋼板と亜鉛メッキ鋼板の接合要素の摺動実験

研究の目的(2)を確認するため、黒皮未除去のファスナー鋼板と亜鉛溶融メッキを施したボルト座金との摩擦挙動を、図8に示す2面摩擦接合要素(3体)を用いた摺動実験により調査した。ファスナー鋼板、ボルト座金をそれぞれ模した母材、添板には厚さ 22mm 、 16mm の鋼板 (SS400) を用いた。実験(1)-3と同様に、呼び径 M24 の普通ボルト1本を用い、初期ボルト張力 25kN を導入した。

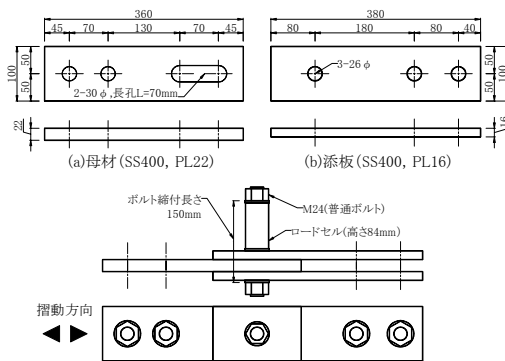


図8 2面摩擦接合要素試験体

加力は、摩擦ダンパーの大地震時応答を模擬するため、添板を固定した状態で母材に強制変位を与えた。与えた変位は、最大振幅 $10, 20, 40, 20, 10\text{mm}$ 、振動数 $0.8, 0.4, 0.2, 0.4, 0.8\text{Hz}$ となる正弦波とし、同振幅で各々9サイクル繰返し、総計45サイクル、累積変位 2000mm となる加振を行った。計測した物

理量は、強制変位時の摩擦力、母材と添板の間の相対変位、ボルト張力とした。

4. 研究成果

(1) ボルトを介した2面摩擦型鋼-コンクリート摩擦ダンパーの摩擦力(減衰力)

①実験(1)-1の実験結果

26P-1, 26P-2 試験体の摩擦力の絶対値と累積すべり量の関係、ボルト張力保持率と累積すべり量の関係を図9, 図10に示す。

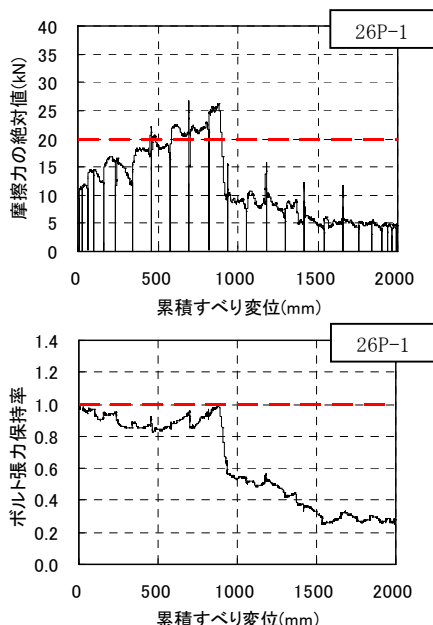


図9 摩擦力/ボルト張力保持率と累積すべり量の関係 (26P-1 試験体)

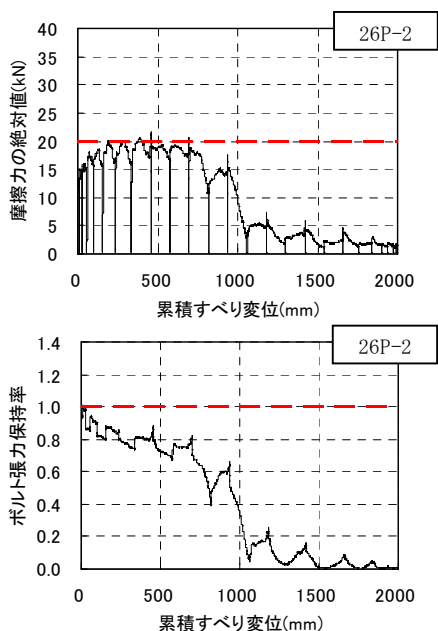


図10 摩擦力/ボルト張力保持率と累積すべり量の関係 (26P-2 試験体)

26P-1 試験体では累積すべり量 900mm 程度

まで摩擦力は上昇し 20kN を超過後に急落した。摩擦力が上昇した要因は、ファスナープレートとボルト座金との摩擦面での同種金属による焼付が生じたものと推測される。また、摩擦力の急落は摺動に伴いボルト座金が回転し、ナットの緩みが生じて起きたボルト張力の急減に起因するものと考えられる。一方、26P-2 試験体では累積すべり量 200mm 程度まで摩擦力が上昇後に 18kN 前後の摩擦力を保持し摺動したが、累積すべり変位約 750mm から 26P-2 試験体と同様の現象により摩擦力が急落した。

従って、ボルト座金に亜鉛溶融メッキを施した 26P-2 でより安定した摩擦力が得られるが、ボルト張力を急落させないためにボルト座金の回転を防ぐ必要がある。

②実験(1)-2の実験結果

M20-1~M24-1 試験体の摩擦力の絶対値と累積すべり量の関係、ボルト張力と累積すべり量の関係を図11~図13にそれぞれ示す。

ずれの試験体でも、摺動に伴うボルト座金の回転が生じておらず目標摩擦力 120kN を超える摩擦力を発揮した。但し、繰り返し摺動に伴い摩擦力が緩やかに増加した後一定値に漸近する試験体 (M20-1) と摩擦力が単調に増加する試験体 (M22-1, M24-1) に大別された。これは、繰り返し摺動に伴いボルト張力が初期値の 90% 程度に低下したまま実験が終了した M20-1 試験体に対して、M22-1, M24-1 試験体では一旦低下したボルト張力が摺動に伴い初期張力前後の値まで緩やかに上昇したためと考えられる。そのため、各試験体の摩擦係数は繰り返し摺動に伴い 1.5 から 1.8 程度に漸近する傾向が観られた。この大きさは、コンクリート負担分 (すべり係数 0.69) に「4. 研究成果(2)」で示す黒皮付き鋼板と溶融亜鉛メッキ鋼板との摩擦面の摩擦係数 0.8 ~ 1.0 程度を加えた値に概ね一致した。

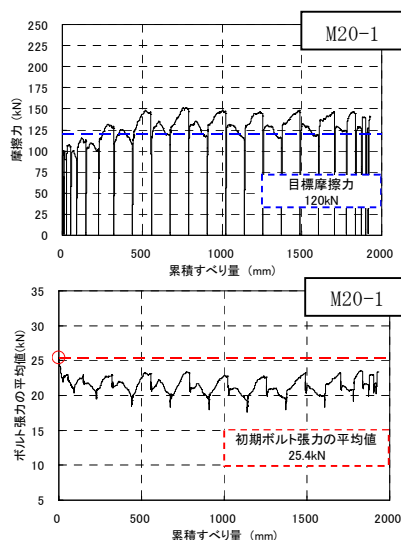


図11 摩擦力/ボルト張力と累積すべり量の関係 (M20-1 試験体)

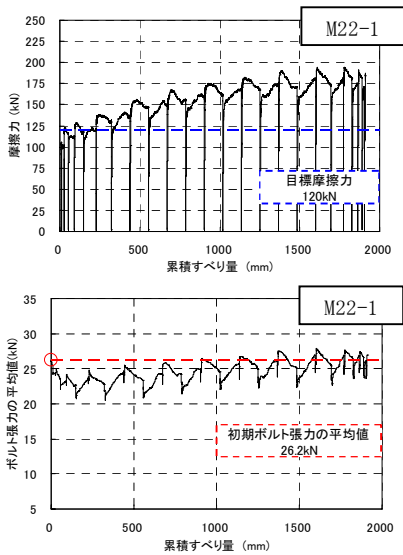


図 12 摩擦力／ボルト張力と累積すべり量の関係 (M22-1 試験体)

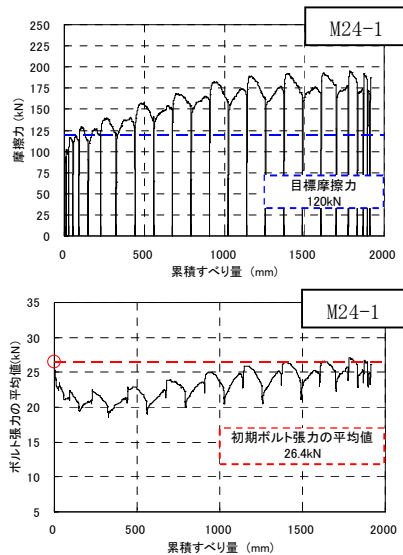


図 13 摩擦力／ボルト張力と累積すべり量の関係 (M24-1 試験体)

なお、ボルト 1 本当りの導入張力が 25 kN の場合では、ボルト径によらず摩擦面 2 (ファスナープレートとボルト座金との間) の摩擦力はボルトを介して十分に伝達可能であったと考えられる。

一方、初期張力 37.5kN を導入した M20-37.5kN テストランと初期張力 25kN を導入した M20-1 試験体のサイクル毎の平均すべり係数と累積すべり量の関係を図 14 に示す。M20-37.5kN テストランのすべり係数は M20-1 試験体に比較し 2 割程度低下している。これは、図 15 に示す M20-37.5kN テストランのボルト張力が摺動に伴い M20-1 試験体より大きく低下するためと推測できる。そのため、より大きな摩擦力を得るためにはボルト張力の低下を緩和する必要があると考えられる。

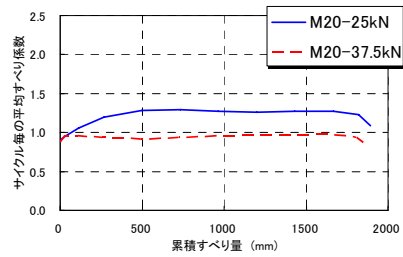


図 14 サイクル毎の平均すべり係数と累積すべり量の関係

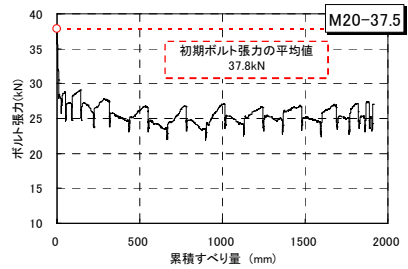
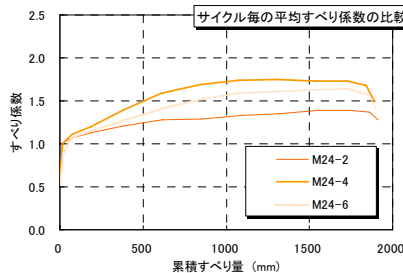


図 15 ボルト張力と累積すべり量の関係 (M20-37.5kN テストラン)

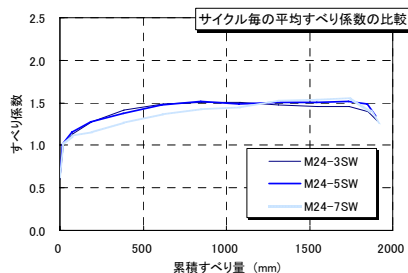
従って、亜鉛溶融メッキを施したボルト座金を用い、摺動方向に 2 本ボルトを並べた当該摩擦ダンパーは、初期張力 25kN を導入することで目標値 120kN を超える摩擦力を発揮した。ただし、摺動時のボルト張力の変化により摩擦力が変動するため、ボルト締め付け部に皿ばね座金を挿入し、その緩和を図る必要があると思われる。

③実験(1)～3の実験結果

図 16 に皿ばね座金なし試験体(M24-2, 4, 6)と皿ばね座金あり試験体(M24-3SW, 5SW, 7SW)のサイクル毎の平均すべり係数と累積すべり量の関係を示す。



(a) 皿ばね座金なし試験体



(b) 皿ばね座金あり試験体

図 16 サイクル毎の平均すべり係数と累積すべり量の関係

M24-3SW, 5SW, 7SW 試験体では, M24-2, 4, 6 試験体に比較し, 同じ実験条件では同一累積すべり量におけるすべり係数のばらつきが小さい。これは, 皿ばね座金を挿入することによりボルト軸剛性が減少し, 繰り返し摺動に伴う摩擦面での摩擦や焼き付きによるボルト締め付け長さの伸長に対して, ボルト張力の変化が緩和されたためと考えられる。

皿ばね座金挿入試験体 (M24-3SW, 5SW, 7SW) では, トルク係数法によりボルト 1 本当たり約 25kN の初期張力を導入することで, 摩擦ダンパー 1 ヶ所当たり約 150kN (=25kN×4 本×1.5) の減衰力が発揮可能であった。

(2) 黒皮付き鋼板と亜鉛メッキ鋼板の摩擦すべり挙動

図 15 にすべり係数, サイクル毎の平均摩擦係数, ボルト張力保持率と累積変位の関係の代表例 (Zn-2 試験体) を示す。全ての試験体で, 繰り返し摺動に伴い摩擦力が増加する傾向が認められた。このような摩擦力の増加は, 固着部分の成長に伴う焼き付き現象による摩擦係数の増加とボルト締め付け長さの伸長によるボルト張力の増加に起因すると考えられる。

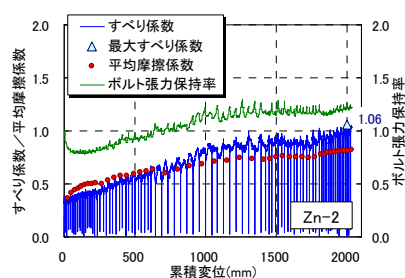


図 15 すべり係数, サイクル毎の平均摩擦係数, ボルト張力保持率と累積変位の関係

全ての試験体より得られたサイクル毎の平均摩擦係数と累積変位の関係を図 16 に示す。当該摩擦面の摩擦係数の評価式として, 累乗回帰モデルを採用し, 前記した摩擦ダンパー要素の実験結果との比較のために, その係数を最小二乗法により求め図中に示した。要素実験の結果は, 図 16 に示す摩擦ダンパーの実験結果における摺動に伴いすべり係数が一定値に漸近する傾向と概ね一致した。

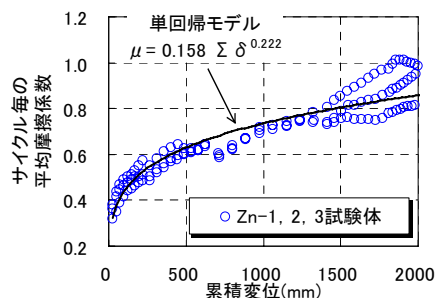


図 16 サイクル毎の平均摩擦係数と累積変位の関係

(3) まとめ

対象とした摩擦ダンパーについて, 実大寸法の部分架構試験体の動的加力実験等を行い, 次の知見が得られた。

- ①初期張力 25kN の場合には, 締め付けボルト (普通ボルト M20~M24) により, 摩擦面 2 (ファスナープレートとボルト座金の間) に生じた摩擦力を伝達可能であった。
- ②亜鉛溶融メッキを施したボルト座金を利用し, 2 本のボルトで締め付けることにより, 安定した摩擦力を発揮可能であった。
- ③ボルト締め付け部に皿ばね座金を挿入し, 1 本当たり初期張力 25kN を導入した当該摩擦ダンパーでは 150kN の減衰力が発揮可能であった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ①吉岡智和, 中城卓也, 野口和宏, 2 本ボルト型鋼-コンクリート摩擦ダンパーのすべり挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, 採録済み, 2009, 査読有り

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉岡 智和 (YOSHIOKA TOMOKAZU)
九州大学・芸術工学研究院・准教授
研究者番号: 40304852