

U. D. C 531.44, 624.041

# アルミニウム合金と無収縮モルタルの摩擦性状に関する実験的研究

渡邊 高朗\* 小澤 潤治\*  
松沢 晃一\* 佐藤 良介\*

**要約:** アルミニウム合金と無収縮モルタルの摩擦性状については既往の研究が僅かであり、アルミニウム合金を耐圧板として利用する圧着工法の設計手法は確立されていない。本実験的研究では、両者の基本的摩擦性状を把握し、設計手法確立のための基礎データを得る目的で実施している。実験の変動要因は、アルミ合金耐圧板の仕様、無収縮モルタルの圧縮強度、圧着力としている。実験の結果、次の所見を得た。①アルミ合金およびモルタル双方に摩耗と移着が認められた。②摩擦力と圧着力には比例関係が認められ、摩擦力はアモントンクーロンの摩擦法則の式が適用できる。③アルミ合金にまだ固まらないモルタルが接触すると、水素と水が発生する。また、ジンクリッチ系塗装により、この反応を防止できる。④アルミ合金耐圧板にジンクリッチ系塗装を施すと、素地に比較して最大静止摩擦力は低下する。⑤摩擦係数は、モルタルの圧縮強度に依存しない。

**キーワード:** アルミニウム合金, 摩擦, アモントンクーロンの摩擦法則, 摩擦係数, 最大静止摩擦力, 無収縮モルタル

目次:	1. はじめに	3. 実験結果と考察
	2. 実験計画	4. まとめ

## 1. はじめに

当社では、耐震補強の需要が最も見込まれる中低層RC造建築物を対象とする、アルミ合金製ブレースを用いた耐震補強工法を開発中である。図1に、このアルミブレース耐震補強工法(圧着タイプ)の概要を示す。アルミ合金製ブレースを取り付けたアルミ合金製ベースプレートは、PC鋼棒を介し圧着により既存躯体の梁に固定される。地震時の外力は、図中に示す目地モルタルとアルミ合金製ベースプレートの摩擦力により、既存躯体からブレースへと伝達される。ここで重要なことは、その際に摩擦力が想定される外力に対し安全に設計・施工できる手法を確立することである。一方で、アルミ合金とモルタルの摩擦性状についての研究はほとんど無い<sup>1)</sup>。本実験的研究は、これらの背景より、アルミ合金とモルタルの摩擦実験を行い、摩擦接合の設計手法を検討する基本データを得ることを目的とする。

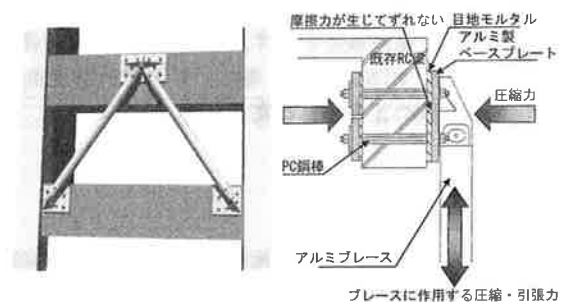


図1 アルミブレース耐震補強工法 圧着タイプ

## 2. 実験計画

### 2.1 変動要因

表1に、変動要因一覧を示す。変動要因は、以下に示す3項目より構成される。

- ① アルミ合金製耐圧板(ベースプレートを想定)の仕様: 素地(圧延素地)、グラインダー処理(圧延素地をグラインダー処理したもの)、グリットブラスト Rz50 $\mu$ (アルミ合金の高力ボルト接合

表1 変動要因一覧

アルミ合金製耐圧板の仕様	無収縮モルタルの仕様
素地	普通強度無収縮モルタル $\sigma_B=64.0 \text{ N/mm}^2$
グラインダー処理	
グリットブラスト Rz50 $\mu$ (以後 Rz50)	
グリットブラスト Rz100 $\mu$ (以降 Rz100)	
素地+無機ジンクリッチ塗装	
Rz50+無機ジンクリッチ塗装	高強度無収縮モルタル $\sigma_B=99.4 \text{ N/mm}^2$
素地+有機ジンクリッチ塗装	
Rz50+有機ジンクリッチ塗装	
素地	高強度無収縮モルタル $\sigma_B=99.4 \text{ N/mm}^2$
Rz50	
共通事項	
圧着力の設定 $P_{max}=675\text{kN}$ とし、 $1/9P_{max}$ 、 $1/3P_{max}$ 、 $2/3P_{max}$ 、 $P_{max}$ の4段階とする。P=75、225、450、675 kN	

\*建築エンジニアリング部 先端技術グループ

の処理、以降 Rz50)、グリットブラスト Rz100  $\mu$ 、素地に無機ジンクリッチ塗装処理したもの、Rz50 に無機ジンクリッチ塗装処理したもの、素地に有機ジンクリッチ塗装処理したもの、Rz50 に有機ジンクリッチ塗装処理したもの。

- ② 無収縮モルタルの仕様：普通強度の無収縮モルタル（材料試験結果  $\sigma_B=64.0\text{N/mm}^2$ ）、高強度の無収縮モルタル（材料試験結果  $\sigma_B=99.4\text{N/mm}^2$ ）。
- ③ 圧着力P：圧着力Pは、75、225、450、675kNの4段階を設定した。圧着力Pは、既存躯体のコンクリート圧縮強度を  $18\text{N/mm}^2$ と設定した場合の許容支圧応力度<sup>2)3)</sup> ( $f_n=10.8\text{N/mm}^2$ ) に実験用耐圧板の断面積を乗じた値 (675kN) に対する 1/9、1/3、2/3、1の4段階である。

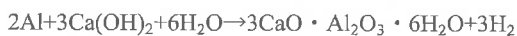
## 2.2 試験体と载荷計画

図2に、载荷フレームと試験体を示す。試験体は、既存RC造梁を想定したコンクリート部 ( $800 \times 800 \times 350\text{mm}$ 、 $\sigma_B=33.6\text{N/mm}^2$ )、無収縮モルタル部、アルミ合金製ベースプレートを想定した耐圧板より構成される。アルミ合金製耐圧板の形状は、 $250 \times 250 \times 40\text{mm}$ である。材質は、A5083P-Oである。無収縮モルタル部は、 $250 \times 250 \times 20\text{mm}$ である。圧着力は、垂直方向串形ジャッキを用い、変動のないよう制御し载荷した。摩擦力は、水平方向の串形ジャッキにより正負方向に载荷した。図3に、载荷履歴を示す。载荷は、圧着力 (P=75、225、450、675kNの順) 毎に、それぞれ正方向3回、負方向2回の正負交番载荷とした。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 モルタルの打設状況

写真1に、Rz100で普通強度無収縮モルタルの試験体におけるモルタル打設時の状況を示す。モルタル打設直後から、アルミ合金製耐圧板とモルタルの界面より、水素と水の発生が認められた。水素と水の発生は、打設後4時間ほどで収束した。この現象は、無機ジンクリッチおよび有機ジンクリッチ塗装した試験体4体を除く全ての試験体で確認された。原因は、次の通りである。アルミニウムは両性金属で、酸にもアルカリにも溶解する。まだ固まらないモルタルのアルカリ性水溶液中では、以下の反応によって水と水素が発生する。



時間の経過と共にモルタルの硬化が進むと、モルタル中の水分（つまりアルカリ水溶液）が減少し、また上記化学反応によりアルミ表面に生成される酸化アルミの増加により、反応が収束すると考えられる。

### 3.2 摩擦実験後の表面の物理的状況

写真2に、素地で普通強度無収縮モルタルの実験後の状況を示す。写真は、向かって左側がアルミ合金製耐圧板、右側が無収縮モルタルとなっている。耐圧板は、

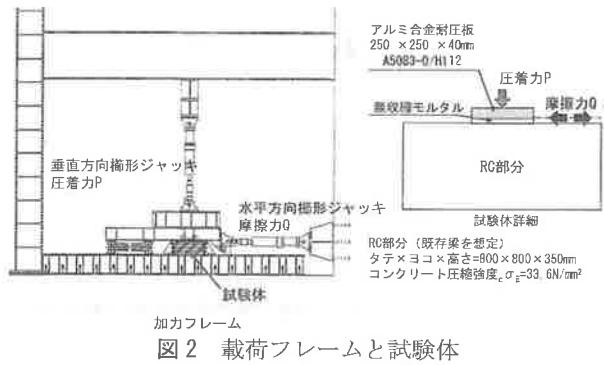


図2 载荷フレームと試験体

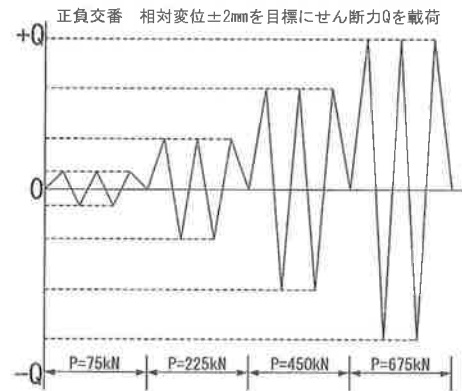


図3 载荷履歴

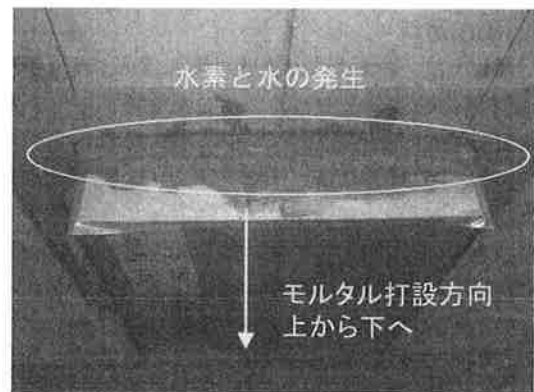


写真1 モルタル打設状況 (Rz100-普通強度)

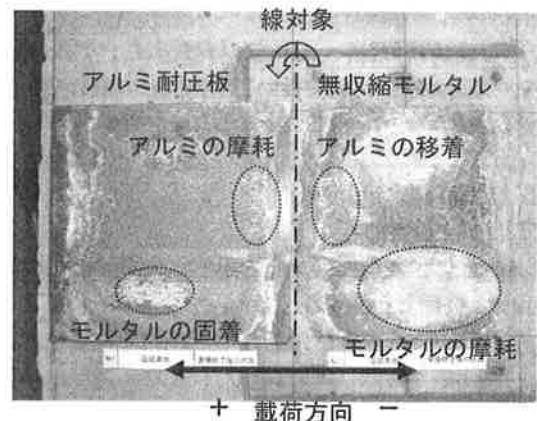


写真2 摩擦実験後の状況  
(素地-普通強度無収縮モルタルの例)

線対称となるように回転させ摩擦面を撮影している。アルミ合金製耐圧板には、モルタルの固着と摩耗、およびアルミの摩耗が確認された。モルタル部分には、モルタルの摩耗とアルミの移着が確認された。ここで摩耗とは、2つの物体が摩擦により一方が削られることをいい、他方は削られたものが付着することを移着と呼ぶ。

### 3.3 摩擦力と相対ズレ変位の関係

図4に、素地で普通強度無収縮モルタルの試験体における、摩擦力  $Q$  と相対ズレ変位  $\delta$  の関係を示す。相対ズレ変位  $\delta$  とは、摩擦力载荷方向におけるアルミ合金製耐圧板とコンクリート部分の相対変位（つまり摩擦によるズレ、以降相対ズレ）である。  $P=75$ 、 $225$ 、 $450$ 、 $675$ kN の各圧着力時において、当初線形的に摩擦力と相対ズレは増加し、その後摩擦力は一定のまま相対ズレだけが增加する傾向が見られる。これは、はじめの勾配を持った直線部分が静止摩擦力の状態、その後の摩擦力が一定の部分で動摩擦力の状態と考えられる。この  $Q$ - $\delta$  関係は、明確な最大静止摩擦力の現れないランドハウス型を示した。尚、 $P=675$ kN 時に動摩擦状態において急激に摩擦力が低下しズレ量が増加している部分が見られる。これは、载荷フレームの一部に剛性が不足しズレ量の増加と共にフレームの一部に変形が蓄積し、一定のズレ量に達した際に、一気にフレーム変形が戻ったためと考えている。このため、以降に示す  $Q$ - $\delta$  関係における同様な性状は、本来の動摩擦性状とは異なり、摩擦力が一定であると考えてよいと思われる。

図5に、素地に有機ジンクリッチ塗装し普通強度無収縮モルタルを打設した試験体の  $Q$ - $\delta$  関係を示す。前述と同様、 $P=75$ 、 $225$ 、 $450$ 、 $675$ kN の各圧着力時において、当初線形的に摩擦力と相対ズレは増加する静摩擦部と、その後摩擦力は一定若しくは若干の減少を呈しながら、相対ズレだけが増加する動摩擦部が認められた。この  $Q$ - $\delta$  関係においても、明確な最大静止摩擦力の現れないランドハウス型を示した。また、図4と比較すると、最大静止摩擦力は、各圧着直共に、ジンクリッチ塗装によりおよそ半減していることが分かる。

図6に、素地で高強度無収縮モルタルを打設した試験体の  $Q$ - $\delta$  関係を示す。 $P=75$ 、 $225$ 、 $450$ 、 $675$ kN の各圧着力時において、前述同様、線形的に摩擦力と相対ズレが増加する静摩擦部と、その後摩擦力は一定のまま相対ズレだけが増加する動摩擦部が見られる。ここで、 $P=225$ 、 $450$ kN における動摩擦部では、急激に摩擦力が低下しズレ量が増加している部分が見られる。これは、载荷フレームの一部に剛性が不足しズレ量の増加と共にフレームの一部に変形が蓄積し、一定のズレ量に達した際に、一気にフレーム変形が戻ったためであり、図4と同様、摩擦力が一定であると考えてよいと思われる。また、この試験体においても、明確な最大静止摩擦力の現れないランドハウス型を示した。図4と比較すると、最

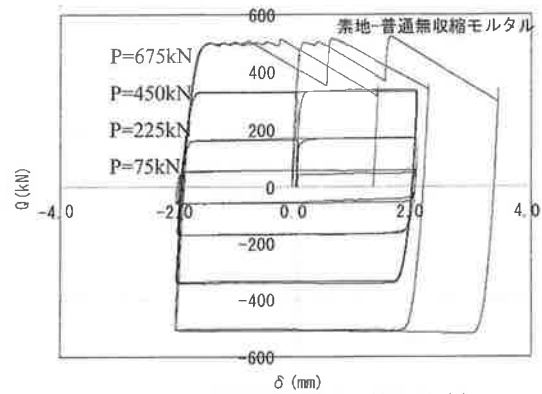


図4  $Q$ - $\delta$  関係図 (素地-普通強度)

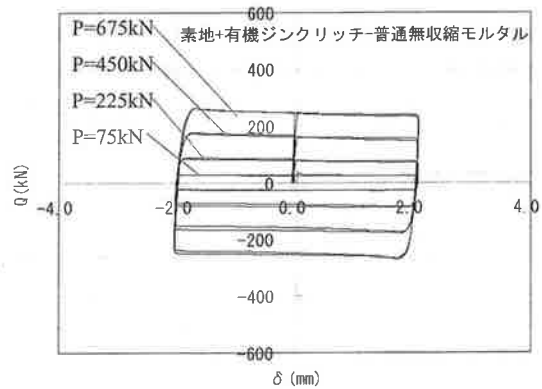


図5  $Q$ - $\delta$  関係図 (素地有機ジンクリッチ-普通強度)

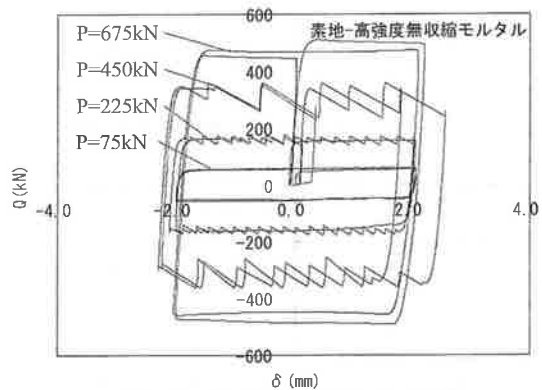


図6  $Q$ - $\delta$  関係図 (素地-高強度)

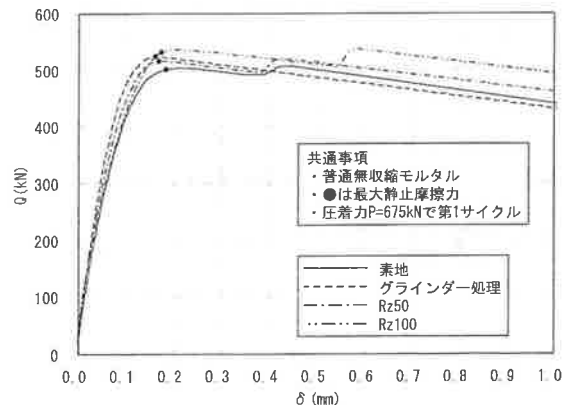


図7  $Q$ - $\delta$  曲線の比較 その1

大静止摩擦力と  $Q$ - $\delta$  関係における性状は、ほぼ同じであると見ることができそうである。

図 7 に、普通強度無収縮モルタルで、素地、グラインダー処理、Rz50、Rz100 の試験体の  $Q$ - $\delta$  関係を示す。この比較では、圧着力  $P=675\text{kN}$  での第 1 ループ载荷を共通とする。また、摩擦力  $Q=0\text{kN}$  時のズレ量を初期値として、グラフを表現している。グラフ中に示した●印は、実験時に確認された急激にズレ量が増加し始める直前の摩擦力である。前述の通り、どの試験体の摩擦性状も、明確な最大静止摩擦力を呈することのないランドハウス型の性状を示しているため、●印で示す荷重を本報では最大静止摩擦力とした。以降、最大静止摩擦力は、この方法により定めた値とする。素地、グラインダー処理、Rz50、Rz100 共に、最大静止摩擦力は  $500\sim 531\text{kN}$  の値を示している。各々のアルミ耐圧板表面の仕様による最大静止摩擦力の差異は、ほとんど認められなかった。この理由として、一つにはモルタル打設の際に発生した水素の影響が懸念される。

図 8 に、普通強度無収縮モルタルで、素地、無機ジンクリッチ、有機ジンクリッチの試験体の  $Q$ - $\delta$  関係を示す。この比較では前述同様、圧着力  $P=675\text{kN}$  での第 1 ループ载荷を共通とする。また、摩擦力  $Q=0\text{kN}$  時のズレ量を初期値として、グラフを表現している。最大静止摩擦力は素地が最も大きく、無機ジンクリッチでは素地の  $4/5$  程度、有機ジンクリッチでは素地の  $1/2$  程度まで低下していることが分かる。ジンクリッチ塗装の仕様では、モルタル打設時の水素発生がないものの、塗膜がモルタル側にほぼ全面移着し、塗膜と耐圧版の界面ですべりを呈したことが、最大静止摩擦力低下の原因と考えられる（写真 3 参照）。これら最大静止摩擦力の低下は、Rz50 の試験体においても見られた。また、塗膜のモルタル側への移着も、同様に認められた。

図 9 に、素地における普通強度および高強度無収縮モルタルの  $Q$ - $\delta$  関係の比較を示す。この比較では前述同様、圧着力  $P=675\text{kN}$  での第 1 ループ载荷を共通とする。また、摩擦力  $Q=0\text{kN}$  時のズレ量を初期値として、グラフを表現している。普通強度および高強度無収縮モルタルの試験体共に、最大静止摩擦力は  $500\text{kN}$  程度と差異は認められなかった。この傾向は、圧着力  $75$ 、 $225$ 、 $450\text{kN}$  においても同様であった。写真 2 に示したものと同様に、普通強度および高強度無収縮モルタルの試験体の双方とも、アルミ合金が摩耗しモルタル側に移着していることが確認されている。これは、摩擦によりアルミ側が摩耗するため、モルタルの強度が異なってもアルミ側の影響が大きく、最大静止摩擦力に差異が出なかったと考えられる。また、双方の試験体に、モルタル打設の際水素が発生していることも影響していると推察される。

図 10 に、Rz50 における普通強度および高強度無収縮

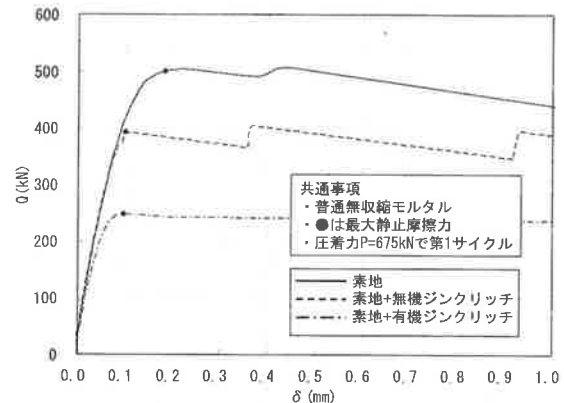


図 8  $Q$ - $\delta$  曲線の比較 その 2

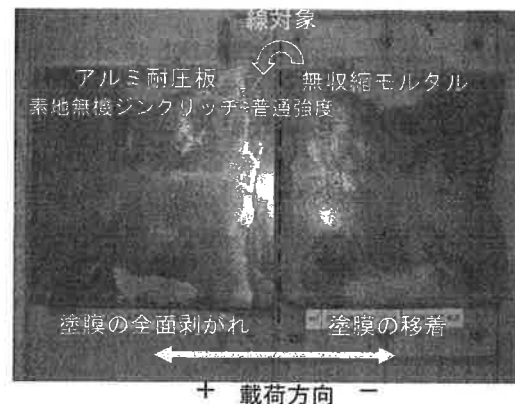


写真 3 摩擦実験後の状況

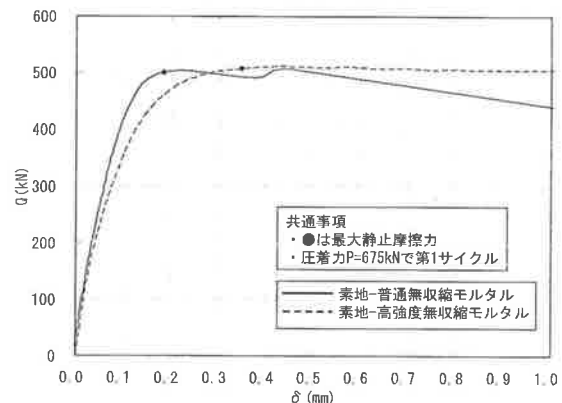


図 9  $Q$ - $\delta$  曲線の比較 その 3

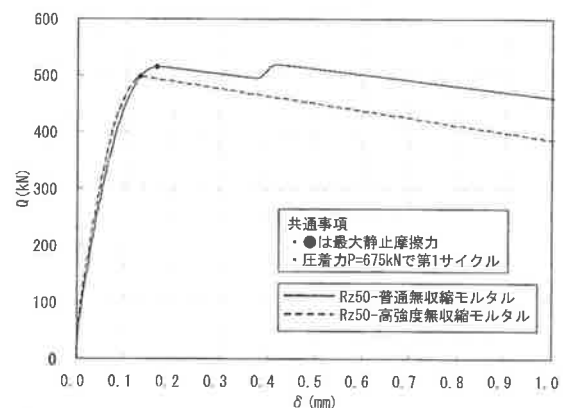


図 10  $Q$ - $\delta$  曲線の比較 その 4

縮モルタルの Q-δ 関係の比較を示す。この比較では前述同様、圧着力 P=675kN での第 1 ループ载荷を共通とする。また、摩擦力 Q=0kN 時のズレ量を初期値として、グラフを表現している。普通強度および高強度無収縮モルタルの試験体の最大静止摩擦力は、523.6 と 498.0kN であった。高強度無収縮モルタルの最大静止摩擦力が小さい結果となっているが、前述同様、これらの試験体でもアルミ合金が摩耗しモルタル側に移着していることが確認されていることから、むしろ差異がないと考えられる。また、双方の試験体に、モルタル打設の際水素が発生していることも影響していると推察される。

図 11 に、普通強度無収縮モルタルにおける素地、グラインダー処理、Rz50、Rz100 の、圧着力 P（実験計測値）と最大静止摩擦力 Qmax の関係を示す。図中に示す μ は、試験体毎（変動要因毎）の各プロット点に示す最大静止摩擦力を圧着力（実験計測値）で除した摩擦係数の平均値を示す。図に示す通り、各仕様共に圧着力の増加に伴い比例的に最大静止摩擦力の増加が認められる。このことから、摩擦力の算定には、以下に示すアモントン-クーロンの摩擦法則による式を用いることが可能と判断される。

$$Q = \mu \times P$$

Q : 静止摩擦力  
P : 圧着力  
μ : 摩擦係数

また、素地、グラインダー処理、Rz50、Rz100 の仕様では、摩擦係数 μ は、0.69~0.72 となっており、ほとんど差異は無いものと推察される。

図 12 に、普通強度無収縮モルタルにおける素地、無機ジンクリッチ、有機ジンクリッチ塗装の、圧着力 P（実験計測値）と最大静止摩擦力 Qmax の関係を示す。図に示す通り、各仕様共に圧着力の増加に伴い比例的に最大静止摩擦力の増加が認められ、摩擦力の算定には、アモントン-クーロンの摩擦法則による式を用いることが可能と判断される。

図 13 に、普通強度無収縮モルタルにおける Rz50、無機ジンクリッチ、有機ジンクリッチ塗装の、圧着力 P（実験計測値）と最大静止摩擦力 Qmax の関係を示す。図に示す通り、各仕様共に圧着力の増加に伴い比例的に最大静止摩擦力の増加が認められ、摩擦力の算定には、アモントン-クーロンの摩擦法則による式を用いることが可能と判断される。

図 14 に、素地で普通強度および高強度無収縮モルタルにおける圧着力 P（実験計測値）と最大静止摩擦力 Qmax の関係を示す。図に示す通り、各仕様共に圧着力の増加に伴い比例的に最大静止摩擦力の増加が認められることから、摩擦力の算定には、アモントン-クーロンの摩擦法則による式を用いることが可能と判断される。また摩擦係数は、普通強度無収縮モルタルで 0.69、高強度無収縮モルタルで 0.67 となっている。これらの試

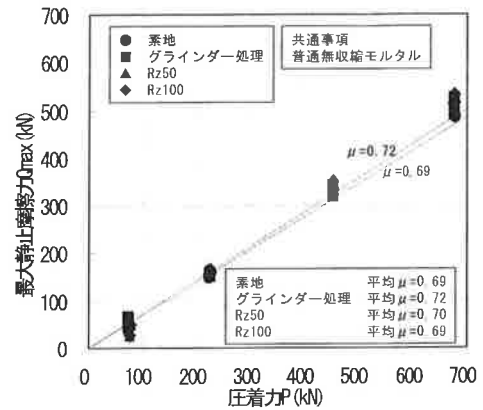


図 11 P-Q の比較 その 1

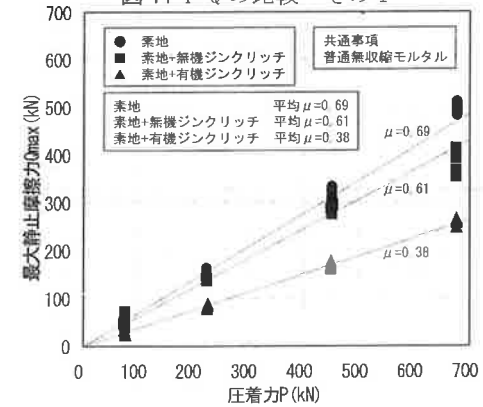


図 12 P-Q の比較 その 2

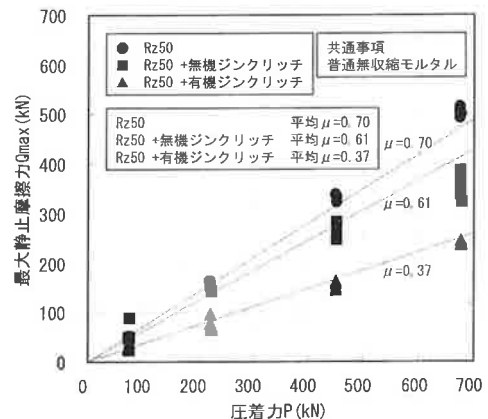


図 13 P-Q の比較 その 3

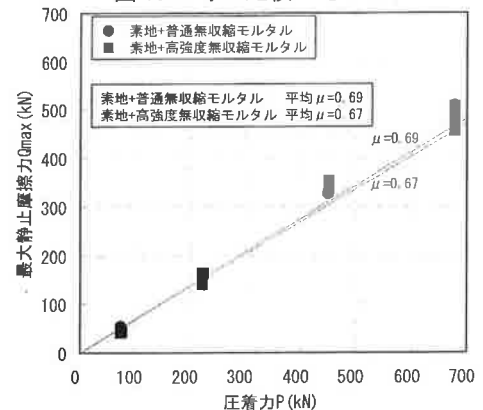


図 14 P-Q の比較 その 4

験体は、アルミ合金が摩耗しモルタル側に移着していることが確認されており、モルタルの圧縮強度の影響は少なく、アルミ合金の摩耗による影響が支配的であると考えられ、摩擦係数の値はほぼ同じであると考えて良さそうである。

図 15 に、Rz50 で普通強度および高強度無収縮モルタルにおける圧着力 P (実験計測値) と最大静止摩擦力 Qmax の関係を示す。図に示す通り、各仕様共に圧着力の増加に伴い比例的に最大静止摩擦力の増加が認められ、摩擦力の算定には、アモンソン-クーロンの摩擦法則による式を用いることが可能と判断される。また摩擦係数は、双方とも 0.70 となっている。これらの試験体は、アルミ合金が摩耗しモルタル側に移着していることが確認されていることから、摩擦係数の値は、ほぼ同じであると考えて良さそうである。

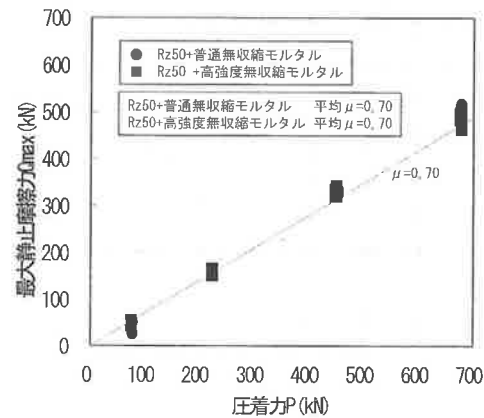


図 15 P-Q の比較 その 5

#### 4. まとめ

本実験の結果を検討した結果、以下の所見を得た。

- ・アルミ合金とまだ固まらないモルタルとの化学反応により、水素と水が発生する。この反応は、無機若しくは有機ジンクリッチ塗装で防止できる。

- ・アルミ合金とモルタルの摩擦性状において、双方の摩耗と移着が認められた。
- ・圧着力と摩擦力は比例関係にある。
- ・ジンクリッチ系塗装で、最大静止摩擦力は低下する。
- ・最大静止摩擦力は、モルタルの圧縮強度 ( $c\sigma_B=64.0 \sim 99.4\text{N/mm}^2$ ) に依存しない。

#### 謝辞

本実験研究は、「TSKアルミブレース耐震補強工法」共同開発に伴う基礎実験シリーズをまとめたものです。共同研究を行った(株)住軽日軽エンジニアリング、(株)建研、当社構造設計部、同リニューアル事業部の関係者の方々に深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 庄司耕平・山田文富・他 4 名：アルミニウム合金を用いた建築構造に関する研究 (その 32) ベースプレートとモルタル間のすべり実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北) C-1 分冊, p.999-1000, 2000 年 9 月
- 2) (財)日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の「外側耐震改修マニュアル」, 2003 年 2 月
- 3) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説, 1998 改訂

## AN EXPERIMENTAL STUDY ON FRICTION PROPERTIES BETWEEN ALUMINUM ALLOY AND NON-SHRINKAGE MORTAR

T.Watanabe, J.Ozawa,  
K.Matsuzawa, and R.Sato

In order to develop a structural design method of press joint composed of aluminum plate, it is tried to elucidate friction properties between aluminum alloy and non-shrink grout based on a series of experiment planned with the parameters: surface treatment of aluminum plates, compressive strength of non-shrink grout and magnitude of pressing force.

Results can be summarized as follows: 1) abrasion and material transfer can be observed on both surfaces of aluminum and of non-shrink grout. 2) it seems that friction force can be described with pressing force based on Amonton-Coulomb's law. 3) treatment with zinc rich paint is efficient to avoid generation of hydrogen and water observed when untreated aluminum plate faces non-shrink grout paste directly. 4) maximum static friction force between aluminum plate treated with zinc rich paint and non-shrink grout can not reach that of untreated aluminum plate and non-shrink grout. 5) it seems difficult to relate friction coefficient and compressive strength of non-shrink grout.