

論文 鋼材とセメント系材料の摩擦性状に関する実験的研究

松沢 晃一^{*1}・小澤 潤治^{*2}・渡邊 高朗^{*3}

要旨：鋼材とセメント系材料を圧着接合し、摩擦抵抗でせん断力を伝達させるためには、鋼材とセメント系材料間の摩擦性状を把握する必要がある。その際、鋼材およびセメント系材料のそれぞれの表面性状により、摩擦性状が異なると考えられる。本研究では、2種類の表面処理を施した鋼材を用い、鋼材とコンクリートの間に無収縮モルタルを充填した場合、2種類の型枠を用いて作製したコンクリート表面に鋼材を直接圧着させた場合の摩擦性状について検討を行った。その結果、それぞれの材料の仕様を変えることにより摩擦性状に差があることが確認された。

キーワード：摩擦、摩擦係数、鋼材、無収縮モルタル、コンクリート

1. はじめに

鋼材とセメント系材料を PC 鋼棒で圧着する手法は、耐震補強のブレース圧着や、ブラケット材を躯体に圧着し仮設構造物を支持する工法で使用されており、様々な研究^{1),2),3)}もなされている。

鋼材とセメント系材料を圧着接合し、摩擦抵抗でせん断力を伝達させるためには、鋼材とセメント系材料間の摩擦性状を把握する必要がある。その際、鋼材およびセメント系材料のそれぞれの表面性状の違いにより摩擦性状が異なることが考えられるが、鋼材やコンクリートの表面性状の違いによる摩擦性状の検討はあまり行われていない。

本研究では、2種類の表面処理方法を用いた鋼材と、鋼材とコンクリート間に無収縮モルタルを充填した場合、2種類の型枠を用いて作製したコンクリート表面に鋼材を直接圧着させた場合の摩擦性状について検討を行った。

2. 試験概要

2.1 試験体

表-1に試験体一覧、写真-1に鋼材（以下、鋼製耐圧板）の表面処理状況を示す。摩擦面の表面処理は、鋼製耐圧板およびセメント系材料のそれぞれについて行った。

鋼製耐圧板の仕様は、グラインダー処理および赤錆処理の2種類である。グラインダー処理は、鋼材の黒皮をグラインダー（120#）で除去したものである。赤錆処理は、黒皮を除去したものに錆促進剤を塗布、1週間放置後に浮錆を乾いた布で除去し、鋼材の高力ボルト接合面に必要な赤錆状態と同等としたものである。

セメント系材料の仕様は、無収縮モルタル充填、2種類の型枠を用いて作製したコンクリート表面に鋼材を直接圧着させた場合の3種類である。無収縮モルタル充填は、鋼製耐圧板とコンクリートの間に無収縮モルタルを充填したものである。なお、鋼製耐圧板をグラインダー処理し、無収縮モルタル充填とした試験体は、モルタル強度を変えた2種類について検討を行った。2種類の型枠の仕様は、コンクリート型枠用合板（JAS 記号 B-C 片面塗装）（以下、合板型枠）および鋼製型枠である。合板型枠仕様は合板型枠を用いて作製したコンクリート表面、鋼製型枠仕様は鋼製型枠を用いて作製したコンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させたものである。なお、コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させた試験体作製に使用した型枠に剥離剤の塗布は行っていない。

以上の表面処理を組み合わせ、合計7体の試験体で実験および検討を行った。

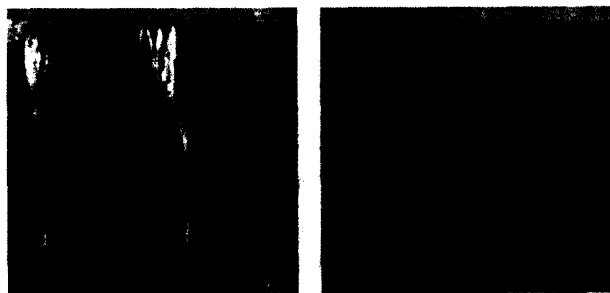
表-1 試験体一覧

記号	鋼製耐圧板の仕様	セメント系材料の仕様	セメント系材料試験結果	
			圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
G-M64	グラインダー処理	無収縮モルタル充填	64.4	25.2
G-M86	グラインダー処理	無収縮モルタル充填	86.0	28.3
R-M72	赤錆処理	無収縮モルタル充填	71.5	27.3
G-W	グラインダー処理	合板型枠仕様コンクリート	29.9	22.9
G-S	グラインダー処理	鋼製型枠仕様コンクリート	29.7	19.2
R-W	赤錆処理	合板型枠仕様コンクリート	29.7	19.2
R-S	赤錆処理	鋼製型枠仕様コンクリート	31.0	23.1

*1 東急建設（株） 技術研究所 修士（工学）（正会員）

*2 東急建設（株） 技術研究所 工修

*3 東急建設（株） 建築技術部 修士（工学）（正会員）



(a) グラインダー処理 (b) 赤錆処理
写真-1 鋼材（鋼製耐圧板）の表面処理状況

2.2 試験方法

図-1 に荷重フレームおよび試験体形状を示す。試験体は、鉄筋コンクリート造躯体を想定したコンクリート部分（ $800 \times 800 \times 350\text{mm}$ ）と、摩擦面として鋼製耐圧板とセメント系材料で構成されている。鋼製耐圧板の材質はSS400、寸法は $250 \times 250 \times 40\text{mm}$ とした。セメント系材料部分の寸法は $250 \times 250 \times 20\text{mm}$ とした。

無収縮モルタルを充填する試験体は、コンクリート表面に鋼製耐圧板を固定し、無収縮モルタルを充填した。コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着する試験体は、セメント系材料部分と躯体部分を同一のコンクリートとして打設した。

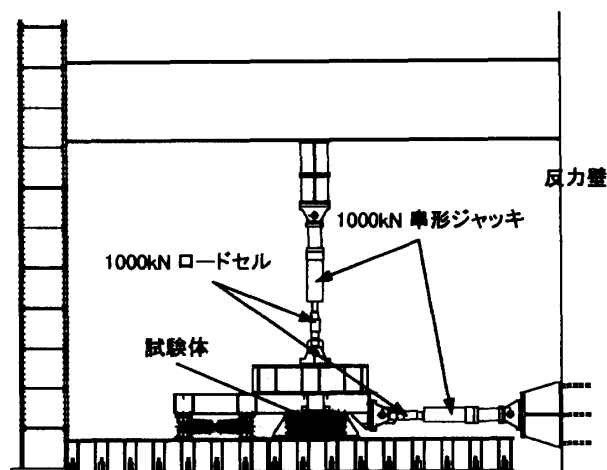
荷重は、圧着力和せん断力（摩擦力）ともに 1000kN 串形ジャッキを用いた。設定した圧着力は、一定となるように制御した。

せん断力の作用線は、鋼製耐圧板とセメント系材料部分の境界面に一致させ、パンタグラフにより作用線方向以外にせん断力が作用することを防止した。

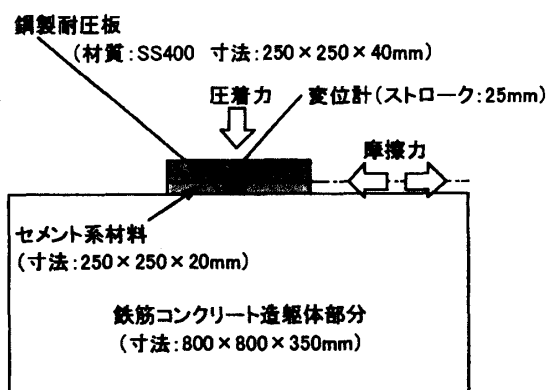
荷重の計測は、圧着力和摩擦力を 1000kN ロードセルで、鋼製耐圧板と鉄筋コンクリート造躯体部分との相対変位（以下、すべり量）をストローク 25mm の変位計で計測した。なお、水平方向の荷重はすべり量 $\pm 2\text{mm}$ を目標に行った。

図-2 に荷重履歴を示す。圧着力は 75kN、225kN、450kN、675kN の 4 段階を設定した。これは、既存躯体のコンクリート圧縮強度を 18N/mm^2 とした場合の許容支圧応力度（ 10.8N/mm^2 ）^{3),4)}に、試験に用いた鋼製耐圧板の断面積を乗じて算出した最大圧着力（675kN）を基準とし、最大圧着力の 1/9、1/3、2/3、1 倍としたものである。

荷重は、G-M64、G-M86 が圧着力を 75kN、225kN、450kN、675kN と変化させた場合に、それぞれ正方向 3 回、負方向 2 回の正負交番荷重とした。R-M72、R-W、R-S は、圧着力を 675kN 一定とし、正方向 5 回、負方向 4 回の正負交番荷重とした。G-W、G-S は、圧着力を 675kN 一定とし、正方向 4 回、負方向 3 回の正負交番荷重とした。



(a) 荷重フレーム



(b) 試験体形状

図-1 荷重フレームおよび試験体形状

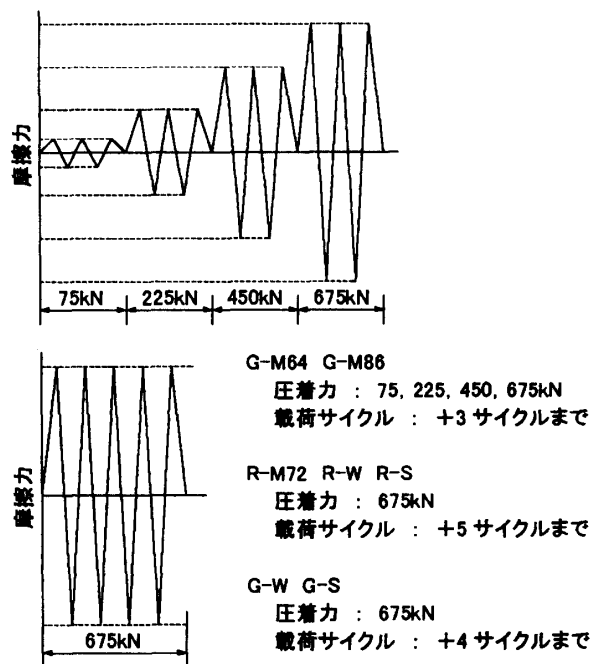
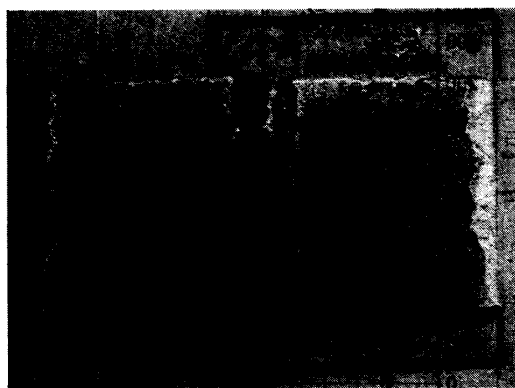
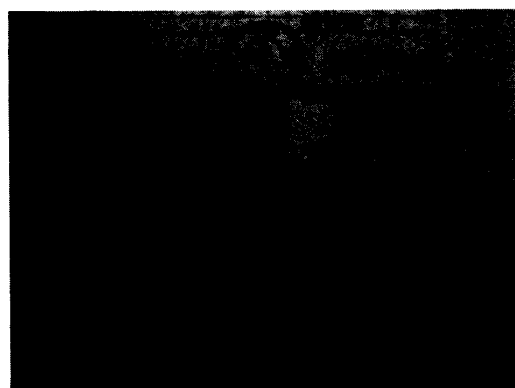


図-2 荷重履歴



(a) R-M72 : 赤錆・無収縮モルタル



(b) R-S : 赤錆・鋼製型枠

写真-3 試験後の表面性状

3. 試験結果および考察

3.1 試験性状

写真-2 に試験後の表面性状を示す。写真は右側がセメント系材料、左側が鋼製耐圧板を線対称に置いて撮影されている。

無収縮モルタルを充填した場合、無収縮モルタル面には、ほぼ全面にわたり無収縮モルタルの磨耗が見られ、磨耗した無収縮モルタルは粉体状になっていた。また、鋼製耐圧板の赤錆の移着が見られた。鋼製耐圧板面には、無収縮モルタルの移着が見られ、赤錆部分の磨耗も見られた。摩擦は無収縮モルタル部分と鋼製耐圧板の圧着面のほぼ全体で生じていた。この性状は、無収縮モルタルを充填した試験体 G-M64, G-M86, R-M72 の全てで確認された。

コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させた場合、コンクリート面には、コンクリートの磨耗と赤錆の移着が見られた。鋼製耐圧板面には、コンクリートの移着が見られ、赤錆部分の磨耗が見られた。摩擦は無収縮モルタルを使用した場合と異なり、コンクリート部分と鋼製耐圧板の圧着面全体には生じていなかった。この性状は、コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させた試験体 G-W, G-S, R-W, R-S の全てで確認された。

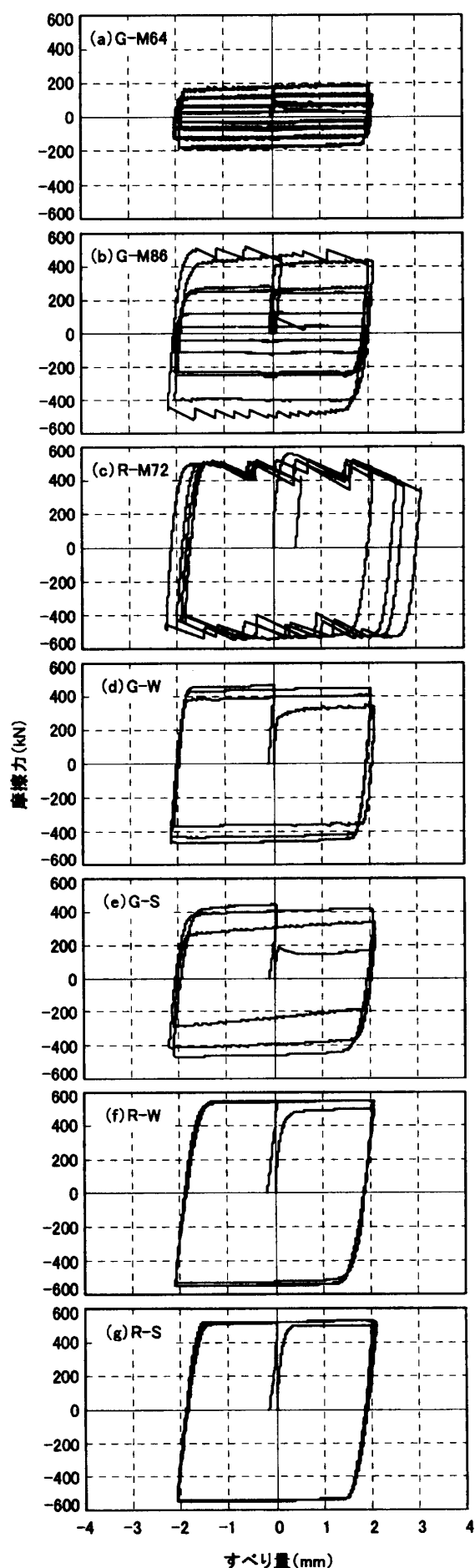


図-3 摩擦力とすべり量の関係

図-3 に摩擦力とすべり量の関係を示す。圧着力を変化させた試験体、圧着力を 675kN 一定にした試験体ともに、各圧着力時とも、初期はすべり量の増加に伴い摩擦力も直線的に増加し、その後、摩擦力がほぼ一定となる傾向が見られた。これは、初期の直線部分が静止摩擦力の状態、摩擦力がほぼ一定となっている部分が動摩擦力の状態であると判断できる。グラフ形状は、明確な最大静止摩擦力が判断できないランドハウス型を示した。なお、急激に摩擦力が低下している部分は、載荷フレームの剛性に一部不足があり、すべり量の増加とともにフレームの一部に変形が蓄積し、一気にフレームの変形が戻ったためと考えられる。

3.2 摩擦力とすべり量の関係

図-4 に G-M64 と G-M86 の圧着力=75kN における摩擦力とすべり量の関係（摩擦力=0kN となるときすべり量を原点とした）、図-5 に全ての試験体の圧着力=675kN における圧着力とすべり量の関係（摩擦力=0kN となるときすべり量を原点とした）を示す。G-M64 と G-M86 の圧着力=75kN の+1 サイクル以外のグラフ形状はランドハウス型を示し、明確な最大静止摩擦力を確認することができなかったため、試験時にすべり量が急激に増加する直前の値を最大静止摩擦力とした。

G-M64 と G-M86（鋼製耐圧板グラインダー処理）の圧着力=75kN の+1 サイクルの摩擦力が、同圧着力のほかの載荷サイクルの摩擦力と比較して大きくなった。これは、無収縮モルタルと鋼製耐圧板の固着によるものと考えられる。

このグラフから、 ± 1 サイクルの摩擦力の履歴が若干異なるものの、2 サイクル以降はほぼ同様の履歴を示す傾向にあると思われる。

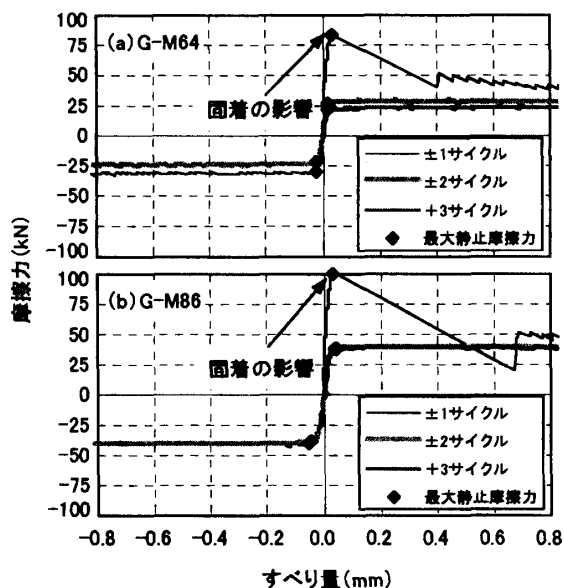


図-4 摩擦力とすべり量の関係（圧着力=75kN）

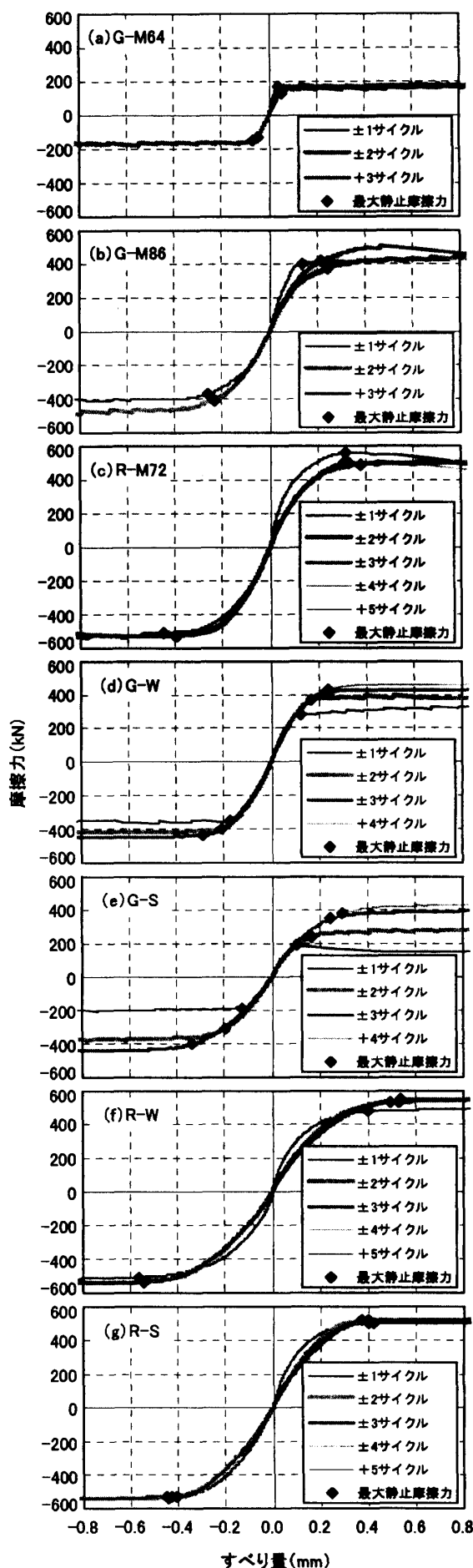


図-5 摩擦力とすべり量の関係（圧着力=675kN）

3.3 摩擦係数の検討

図-6 に最大静止摩擦力和圧着力の関係（固着の影響と思われる G-M64, G-M86 の圧着力=75kN の+1 サイクルを除く）を示す。なお、摩擦係数は、図-5 中の最大静止摩擦力から算出した。このグラフから、既往の研究結果^{2),3)}同様に、最大静止摩擦力と圧着力は、比例関係にあると判断できる。しかし、同一圧着力時でも、最大静止摩擦力にばらつきが見られたため、この原因を摩擦係数と載荷サイクルの関係から検討することとした。

図-7 に鋼製耐圧板とコンクリート間に無収縮モルタルを充填した場合の摩擦係数と載荷サイクルの関係（固着の影響と思われる G-M64, G-M86 の圧着力=75kN の+1 サイクルを除く）を示す。

各圧着力時とも+1 サイクルの摩擦係数が同圧着力のほかのサイクルの摩擦係数と比較して若干高いが、載荷サイクルを重ねると摩擦係数が安定してくる。この摩擦係数の安定性は、繰り返しの摩擦作用により、ばらつきが小さくなったためと思われる。

鋼製耐圧板とコンクリート間に無収縮モルタルを充填した場合の摩擦係数は、R-M72 が最も高く、G-M86, G-M64 の順であった。鋼製耐圧板はグラインダー処理よりも赤錆処理することで摩擦係数が高くなった。赤錆のセメント系材料部分への移着（写真-2 (a)）が影響していると思われる。また、充填する無収縮モルタルは、モルタル強度を上げることで摩擦係数が高くなった。

図-8 にコンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させた場合の摩擦係数と載荷サイクルの関係を示す。

各試験体ともに+1 サイクルの摩擦係数が同圧着力のほかのサイクルの摩擦係数と比較して若干低いが、載荷サイクルを重ねると摩擦係数が安定してくる。この摩擦係数の安定性は、繰り返しの摩擦作用により、ばらつきが小さくなったためと思われる。

鋼製耐圧板をグラインダー処理した試験体（G-W, G-S）と赤錆処理した試験体（R-W, R-S）を比較すると、赤錆処理した試験体の方が、グラインダー処理した試験体よりも少ない載荷サイクル数で摩擦係数が安定すると思われる。

コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させた場合の摩擦係数は、R-W, R-S, G-W, G-S の順であった。コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させた場合でも、鋼製耐圧板とコンクリート間に無収縮モルタルを充填した場合と同様に、鋼製耐圧板を赤錆処理することで摩擦係数が高くなった。ここでも、赤錆のセメント系材料部分への移着（写真-2 (b)）が影響していると思われる。鋼製耐圧板を赤錆処理した試験体（R-W, R-S）は、載荷サイクルに関係なく摩擦係数の変動が少なく安定していた。摩擦係数は平均で R-W が 0.78, R-S が 0.77 であった。

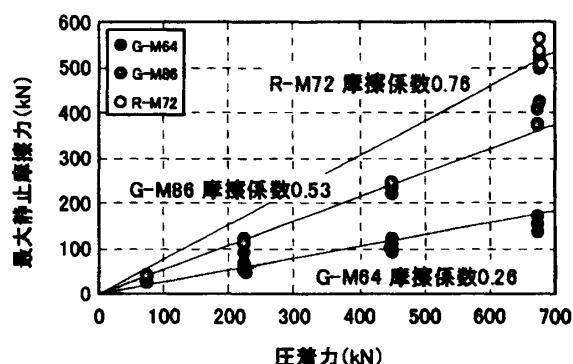


図-6 最大静止摩擦力と圧着力の関係
(無収縮モルタル充填)

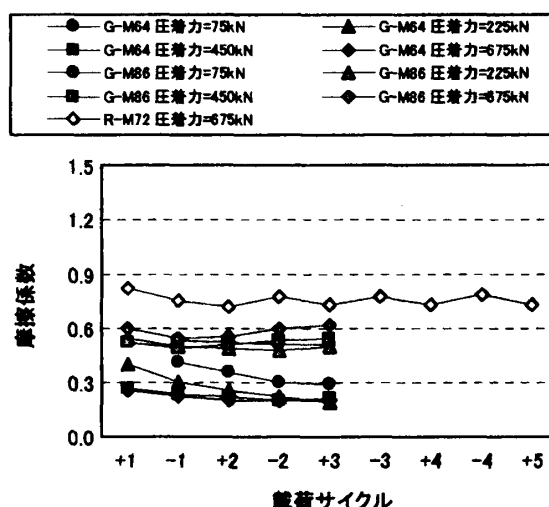


図-7 摩擦係数と載荷サイクルの関係
(無収縮モルタル充填)

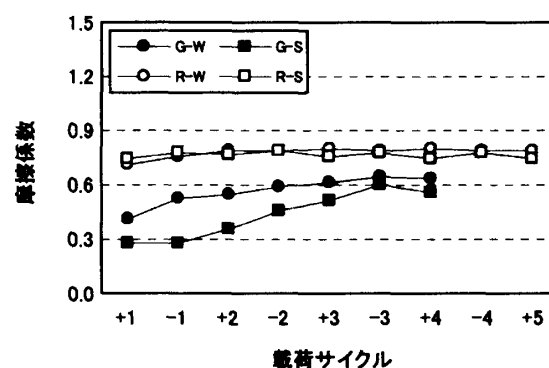


図-8 摩擦係数と載荷サイクルの関係
(鋼製耐圧板をコンクリートに圧着)

鋼製耐圧板をグラインダー処理した試験体（G-W, G-S）は、載荷サイクルによる摩擦係数の差が大きく、+1 サイクルと+4 サイクルで G-W が 1.5 倍程度、G-S が 2 倍程度変化している。なお、摩擦係数は平均で G-W が 0.57, G-S が 0.43 であった。コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させた場合の摩擦係数は、型枠の仕様よりも鋼製耐圧板の仕様による影響の方が大きかった。

図-7 および図-8 から、鋼製耐圧板とコンクリート間に無収縮モルタルを充填した場合、載荷サイクルを重ねることで摩擦係数が低下し、一定の値に安定する傾向にある。コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させた場合、載荷サイクルを重ねることで摩擦係数が高くなり、一定の値に安定する傾向にある。このことから、鋼製耐圧板とコンクリート間に無収縮モルタルを充填する場合、実務上の摩擦係数は、+1 サイクルの最大静止摩擦力から設定するのではなく、数サイクル（本研究では 2～3 サイクル）後の最大静止摩擦力から設定する方が良いと思われる。また、コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させる場合の摩擦係数は、+1 サイクルの最大静止摩擦力から設定する方が良いと思われる。

4. まとめ

2 種類の表面処理方法を用いた鋼材と、鋼材とコンクリートの間に無収縮モルタルを充填した場合、2 種類の型枠を用いて作製したコンクリートに鋼材を圧着させた場合の摩擦性状について検討を行った結果、本研究の範囲内で以下のことが明らかとなった。

- (1) 鋼材とコンクリートの間に無収縮モルタルを充填する場合、鋼材の表面は、グラインダー処理より赤錆処理の方が摩擦係数が高い。無収縮モルタルは、モルタル強度が高い方が摩擦係数が高い。
- (2) 鋼材をコンクリートに直接圧着する場合、摩擦係数

は、型枠の仕様よりも鋼製耐圧版の仕様による影響の方が大きかった。鋼材の表面は、グラインダー処理より赤錆処理の方が摩擦係数が高い。

- (3) 鋼製耐圧板とコンクリート間に無収縮モルタルを充填した場合、載荷サイクルを重ねることで摩擦係数が低下し、一定の値に安定する傾向にある。コンクリート表面に鋼製耐圧板を直接圧着させた場合、載荷サイクルを重ねることで摩擦係数が高くなり、一定の値に安定する傾向にある。これらを踏まえ、実務上の摩擦係数を設定する方が良いと思われる。

参考文献

- 1) 石井智章ほか：圧着接合された鉄骨柱と RC 部材との接合面におけるせん断伝達に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）C，pp.1061-1062，1993.9
- 2) 太田義弘ほか：鋼管コンクリート柱とプレキャストプレストレストコンクリート梁との圧着接合に関する研究（鋼板とコンクリートの圧着接合面におけるせん断力伝達），日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）C-2，pp.897-898，1996.9
- 3) （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」，2003.2
- 4) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説，1998