

鋼材とコンクリートの摩擦性状に関する実験的研究

－ 偏心荷重が作用した場合 －

渡邊 高朗* 小澤 潤治* 大野 浩正**
北村 達也*** 鶴田 賢二****

要約： 本報では、コンクリートと鋼材の摩擦性状について、実験的に検討を行った結果を述べる。実験は、摩擦力を生じさせる外力の作用線を摩擦面から偏心させて行った。実験パラメータは、コンクリート表面の処理方法、摩擦力を発生する外力の載荷方法、摩擦面に垂直方向の力である。

実験結果から以下の知見を得た。

- ・コンクリート表面状態では、鋼製型枠素面がグラインダー処理より高い摩擦力を有している。
- ・繰り返しの摩擦力を受けた場合、最大静止摩擦力は一定の値を保持し安定している。
- ・最大静止摩擦力は、単調載荷が繰り返し載荷より大きい。
- ・偏心した摩擦力を受けた場合でも、最大静止摩擦力と緊張力は概ね比例関係にある。
- ・最大静止摩擦係数 μ は、コンクリートと鋼材の場合、概ね0.5～0.65となった。

キーワード： 摩擦 鋼材 コンクリート クーロンの摩擦法則 最大静止摩擦力 最大静止摩擦係数

- 目次：**
- | | |
|-----------|---------|
| 1. はじめに | 4. 実験結果 |
| 2. 摩擦力の概念 | 5. 考察 |
| 3. 実験概要 | 6. まとめ |

1. はじめに

鋼材とコンクリートをPC鋼棒により圧着する手法は、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材を支持する工法などに用いられている。

一方で、これらを設計する際に必要となる摩擦性状の研究は少なく、必ずしも経済設計であるとはいえない。

そこで、実際の施工を考慮した納まりで実験を行い、摩擦性状の把握と摩擦係数を得ることで、安全性とコストの合理性を確保することができる。

本研究では、実施工を考慮し、鋼材とコンクリートの摩擦面を外力から偏心させて実験を行い、摩擦性状を検討することで、設計に反映させることを目的とする。

2. 摩擦力の概念

摩擦については古くから研究がなされており、クーロンが自身の実験と既往の研究を整理し法則を提唱、現在に至っている¹⁾。

- ①摩擦力は摩擦面に垂直な荷重に比例する(図1参照)
- ②摩擦力は見かけの接触面積に依存しない
- ③静止摩擦力は動摩擦力より大きい
- ④動摩擦力は速度によらず一定である

近年摩擦の研究が進み、金属同士のミクロ的現象を把握しつつあるが、摩擦係数推定の理論確立には至っていない。コンクリートと鋼材の摩擦性状は研究例が少なく、指針等ではこれらを安全側に評価した摩擦係数0.4が提唱されている²⁾。

参考のため、表1に鋼材同士の摩擦係数について示す。鋼材では、最大静止摩擦係数($\mu=0.45$)を得られることが、実験により知られている²⁾。

表1 鋼材の摩擦係数²⁾

鋼材の種類	表面処理方法	摩擦係数
構造用鋼材	浮き錆を除去した赤錆面	0.45
	プラスト処理面 (50 μ mRy以上)	
	無機ジンクリッチ塗料塗装面 (塗膜厚45～75 μ mRy程度)	
	第3種ケレン処理後の黒皮面	0.23
溶融亜鉛めっき構造用鋼材	プラスト処理面 (50 μ mRy以上)	0.40
板厚6mm未満の鋼材	上記のいずれかの処理による	0.23

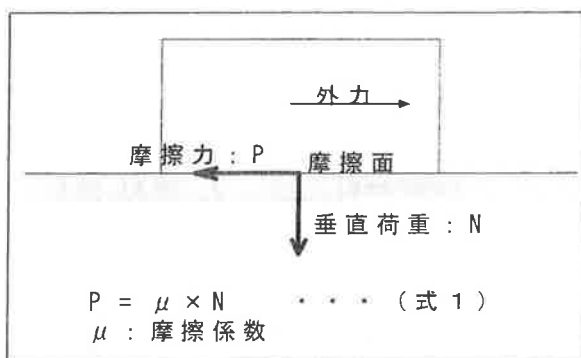


図1 摩擦力の概念

*建築エンジニアリング部 先端技術グループ **機械技術部 工場 ***首都圏本部 建築事業部 技術グループ
****建築エンジニアリング部 生産技術グループ

3. 実験概要

試験体は、鉄筋コンクリート製の柱型（断面 500×500mm、高さ 1000mm）とした。

図 2 に加力方法を、写真 2 に加力状況を示す。

鋼製ブラケットは、柱に設けた 2 本の水平貫通孔に 2 本の PC 鋼棒(φ23mm)を通し、油圧ジャッキで緊張・圧着した。

摩擦力は、垂直方向に PC 鋼棒(φ26mm)を設置し、載荷用センターホールジャッキで鋼製ブラケットを下方へ押し下げ発生させた。実施工では、コンクリート躯体に取付くブラケット材の納まりから、摩擦力を発生させる外力が躯体から離れ偏心荷重となる場合が多い。そこで本実験では、摩擦面から 80(mm)の距離に外力作用点が位置するよう設定した。

本実験では、以下に示す事項を確認・検証するためパラメータの計画を行った。

- ・コンクリート表面の処理状態が及ぼす摩擦性状の特徴
- ・摩擦面に平行な外力（以後、摩擦力）の繰り返しによる摩擦性状の特徴
- ・摩擦面に垂直な力（以後、緊張力）と摩擦性状の関係表 2 に、パラメーター一覧を示す。

実験パラメータは、①コンクリート表面（摩擦面）の処理方法、②外力載荷方法、③摩擦面に垂直な力（導入緊張力）である。

①コンクリート表面処理方法は、鋼製型枠でコンクリートを打設した素面のもの、およびこれをグラインダーで研磨したもの（以降、グラインダー処理）とした。

②外力載荷方法は、摩擦力が緊張力の 0.3、0.4、0.5、0.6 となる荷重と、鋼製ブラケットのズレ量が 0.2、0.4、1.2(mm)の時の荷重について、載荷と除荷を 2 サイクル繰り返しする場合、および単調載荷で加力し続ける場合の 2 ケースを設定した。

③緊張力は、50、100、150、200、250、300(kN)とした。

柱型コンクリート試験体は一体のみ用意し、同一試験体で実験を行った。鋼製ブラケットの摩擦面は、グラインダー処理を施し共通とした。

コンクリートの材料試験結果は、以下の通りである（いずれも実験時の材料試験結果）。

圧縮強度 $\sigma_B=30.5(N/mm^2)$

ヤング係数 $E_c=2.46 \times 10^4(N/mm^2)$

緊張力および外力の計測はロードセルにより、コンクリートと鋼製ブラケットのズレ量は変位計により測定を行った。偏心荷重によるコンクリートの応力状態を検証するため、コンクリート摩擦面近傍の上端および下端にモールドゲージを埋め込んだ（後述図 6 参照）。

4. 実験結果

表 3 に、実験結果一覧を示す。

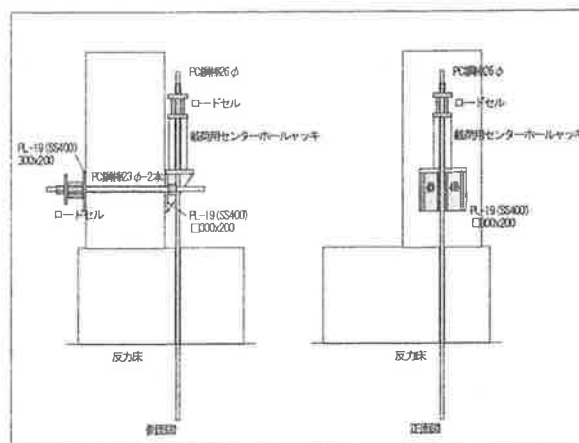


図 2 加力方法

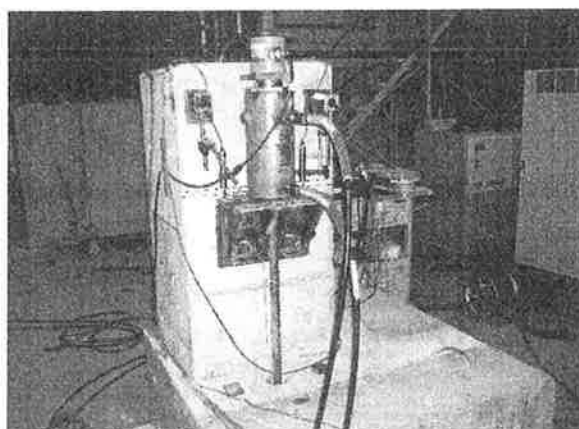


写真 1 加力状況

表 2 パラメーター一覧

鋼製ブラケット 表面処理	コンクリート 表面処理	外力載荷方法 P	導入緊張力* N (kN/本)
グラインダ 研磨処理	鋼製型枠素面	繰り返し載荷	100, 200 250, 300
		単調載荷	50, 100, 150
	グラインダ 研磨処理	繰り返し載荷	50, 100 200, 250

*PC鋼棒 1 本当たりの導入緊張力

表 3 実験結果一覧

鋼製ブラケット 表面処理	コンクリート 表面処理	摩擦力 載荷方法 P	実施 緊張力 N (kN)	最大静止 摩擦力 Pmax (kN)
グラインダ 研磨処理	鋼製型枠素地	繰り返し載荷	100.6	45.2
			198.3	110.2
			248.8	155.2
			296.0	181.0
	グラインダ 研磨処理	繰り返し載荷	52.4	35.7
			98.1	65.3
			153.9	102.3
			255.2	154.2

図3に、コンクリート表面が鋼製型枠素地で緊張力Nが100(kN)の場合の、摩擦力Pとズレ量 δ の関係を示す。

鋼製ブラケットのズレ量は、初めの最大静止摩擦力(図中最左▼)を超えると急激に増加する傾向が見られる。各最大静止摩擦力における荷重の繰り返しにより、摩擦力の減少は見られず安定しており、僅かではあるが増加が認められる。

図4に、コンクリート表面が鋼製型枠素地で緊張力Nが200(kN)の場合の、摩擦力Pとズレ量 δ の関係を示す。

前述と同様に、初めの最大静止摩擦力(図中最左▼)を超えると飛躍的に増加する傾向が見られる。各最大静止摩擦力における荷重の繰り返しにより、摩擦力の減少は見られず、むしろ摩擦力が上昇する傾向が認められた。

これらのことから、摩擦力の繰り返しによる最大静止摩擦力の減少は見られず、安定していることが認められた。

図5に、全パラメータにおける摩擦力Pとズレ量 δ の関係(繰り返し載荷では包絡線)を示す。

どのケースにおいても、最大静止摩擦力を迎えるまでは、摩擦力Pの増加に伴いコンクリートと鋼製ブラケットのズレ量 δ は僅かに増加する傾向が見られる。また、最大静止摩擦力を超えるとズレ量は急激に増加するが、摩擦力の減少は見られず、一定に保持あるいは若干の増加を示していることが分かる。

図中の素地単調載荷100(kN)と素地100(kN)繰り返し載荷)を比較すると、単調載荷で最大静止摩擦力が大きいことが分かる。

図中素地50(kN)とグラインダー処理50(kN)を比較すると、素地面で最大静止摩擦力が大きいことが分かる。同様に100(kN)、250(kN)における素地とグラインダー処理を比較すると、素地面の方が最大静止摩擦力が大きいことが分かる。これらより、グラインダー処理よりも鋼製型枠素面が高い静止摩擦力を得ることが推察される。

図6に、コンクリート表面が鋼製型枠素地で緊張力Nが300(kN)の場合の、摩擦面近傍のコンクリート内に設置したモールドゲージによるひずみの性状を示す。摩擦面上端の歪度は、緊張力増加に従い300(kN)まで単調に減少し、その後摩擦力の増加に伴い増加していることが分かる。下端の歪度は、緊張力導入に従い300(kN)まで単調減少し、その後摩擦力の増加に伴いさらに減少していることが分かる。これらの現象は、外力の作用点が摩擦面に対し偏心しているため鋼製ブラケット材に回転が生じ、上端では摩擦面から離れようと、下端では摩擦面を押そうとするためと考えられる。

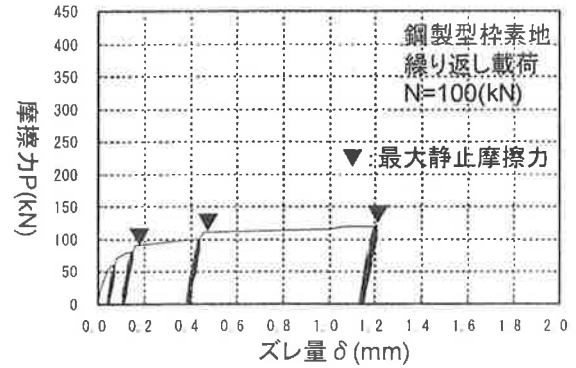


図3 P- δ 関係(素地繰り返し載荷 N=100kN)

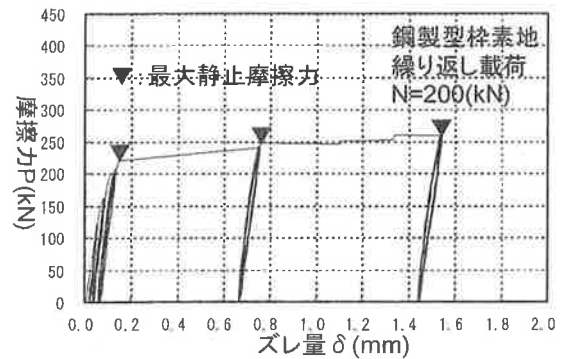


図4 P- δ 関係(素地繰り返し載荷 N=200kN)

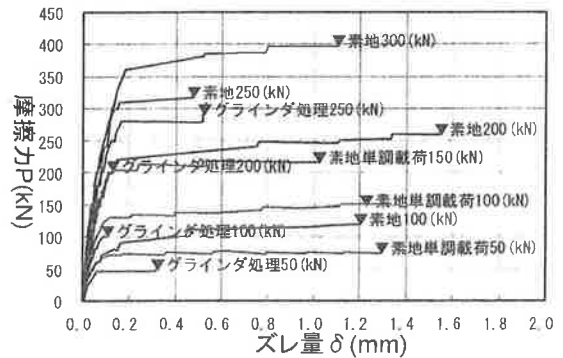


図5 P- δ 関係(全パラメータ・包絡線)

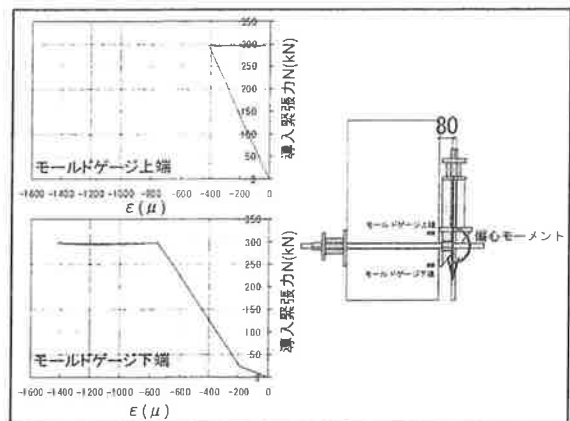


図6 摩擦面近傍のコンクリートひずみ性状

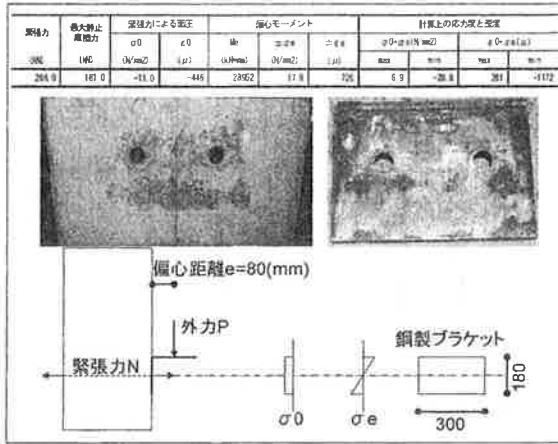


図7 偏心荷重の検討

5. 考察

図7に、コンクリート表面が鋼製型枠素地で導入緊張力が $N=300$ (kN)の場合の、偏心荷重の検討を示す。図中の表にある M_e は偏心モーメントを、 σ_0 は緊張力 N による摩擦面の面圧を、 ϵ_0 は σ_0 と材料試験から得られたヤング係数から算出した歪度を、 σ_e と ϵ_e は M_e から算出された縁応力度および縁歪度を示す。摩擦面近傍のひずみ ($\epsilon_0 + \epsilon_e$) は、測定値 (図6参照) と比較して最大値がおおよそ 300 (μ) 小さく、最小値がおおよそ 250 (μ) 大きい結果となった。この原因として、モールドゲージの測定誤差、見かけの摩擦面と実際の接触面の相違 (図7中写真参照)、鋼製ブラケットの変形等が考えられる。図7の写真より、コンクリート表面に付着した鋼製ブラケットの錆を観察すると、ブラケット面積に対し半分以下の面積で接触していたと思われる。これは、クーロンの摩擦法則「摩擦力は見かけの接触面

参考文献

- 1) 平塚健一：摩擦と摩耗, 千葉工業大学 (<http://www.ne.jp/asahi/hiratsuka/tribology/frictionwear99.pdf>)
- 2) 日本建築学会編：鋼構造接合部設計指針, 日本建築学会, 2001, プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説, 日本建築学会, 1998
- 3) 日本建築防災協会編：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, 日本建築防災協会, 2002

EXPERIMENTAL RESEARCH INTO STEEL MATERIAL AND CONCRETE FRICTION

T.Watanabe, J.Ozawa, H.Oono

T.Kitamura, and K.Tsuruda

In this report, the result of the experiment is described about the friction properties of concrete and the steel material.

- ・In concrete interface state, the frictional force whose steel-made type frame barefaced is higher than the grinder processing is possessed.
- ・When the frictional force of the repetition is received, the maximum statically friction power maintains a constant value and is steady. The maximum statically friction power is larger than power monotonous power repeated.
- ・Even when the eccentric frictional force is received, it roughly has the maximum statically friction power and the tension power in the proportion. And Maximum statically friction coefficient μ roughly became 0.5-0.65 for concrete and the steel material.

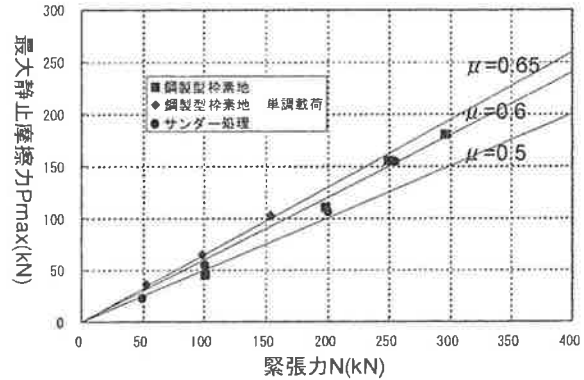


図8 P_{max} - N の関係

積に依存しない」に準じた性状と考えられる。

図8に、最大静止摩擦係数 μ と緊張力 N の関係を示す。図中に示す直線の傾きは最大静止摩擦係数を示す ($\mu = P_{max}/N$)。最大静止摩擦係数 μ は、概ね $0.5 \sim 0.65$ の範囲にあり、比例関係が認められた。

6. まとめ

本実験研究により、以下の知見を得た。

- ・コンクリート表面状態では、鋼製型枠素面がグラインダー処理より高い摩擦力を有している。
- ・繰り返しの摩擦力を受けた場合、最大静止摩擦力は一定の値を保持し安定している。
- ・最大静止摩擦力は、単調載荷が繰り返し載荷より大きい。
- ・偏心した摩擦力を受けた場合でも、最大静止摩擦力と緊張力は概ね比例関係にある。
- ・最大静止摩擦係数 μ は、コンクリートと鋼材の場合、概ね $0.5 \sim 0.65$ となった。