

建物柱脚と基礎モルタル間の摩擦性状に関する研究

名古屋大学工学部環境土木建築学科
建築学コース 長江研究室 西 峻汰

1. 研究の目的と背景

本研究では、基礎上を建物柱脚が滑ることで地震時の損傷を抑制する直置き型建物の実現を目指している。基礎すべりの研究について、建物種別は木造、鋼構造、鉄筋コンクリート造と多岐にわたり、特に経済性を重視した取り組みが、国際的にも展開されている(例えば1~3)。

すべり面として、一般的な建築材料である鋼とモルタル間を想定した場合、最大静止摩擦係数は0.7~0.8程度である(例えば2)。一方、上部構造の損傷軽減を計るためには、保有水平耐力相当ですべり出す方が有利である。铸铁は中に含まれる黒鉛の潤滑作用により摩擦係数が鋼よりも一般的に低いと言われている。本実験では、鋼と铸铁が基礎モルタルの強度、および接触面の応力度が摩擦性状に与える影響を調べる。

2. 振動台実験の概要

図1,2に想定したモデルを示す。低層建物を想定し、振動台に用いる実験システムは上部構造を模擬した鋼板柱と基礎モルタルからなる。図2に実験システムを示す。柱脚を模擬する接触要素には、鋼(SS400)と铸铁(FC200)を用い、接触面の直径を6,9mm二つの場合で実験を行った。試験体の質量は、用いる接触要素によって若干異なるが、52.5Kgである。基礎モルタルとの摩擦面について、6,9mmの円形断面の平均面圧はそれぞれ2.5 N/mm²、5.6 N/mm²である。これはFAランクの鋼構造角型鋼管柱の露出柱脚における基礎モルタルの鉛直応力に相当している。また、FAランクの鉄筋コンクリート柱の一般的な軸応力に相当している。基礎モルタルには、モルタル強度18.7 N/mm²、41.1 N/mm²、73.7 N/mm²の3種類を準備した。モルタル打設時には鉛直型枠合板と接触する条件とすることで、すべり面を平滑にした。

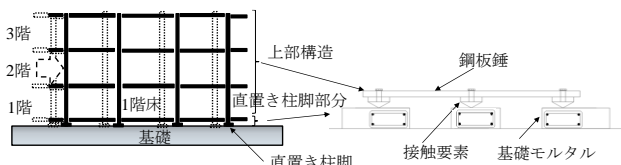
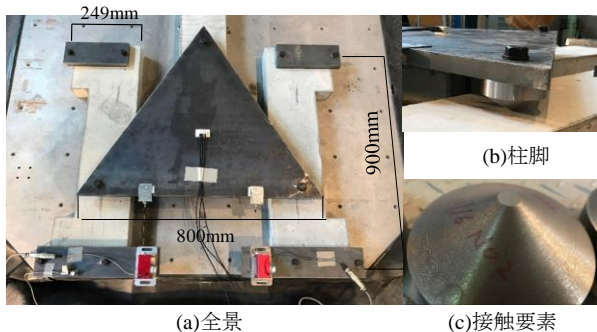


図1 想定モデル



(a) 全景 (b) 柱脚 (c) 接触要素

図2 実験システム

3. 実験条件

図3に振動台実験で用いた2.5Hzの10 m/s²正弦波を示す。入力波は、振幅が8 m/s²,10 m/s²に達してから約10秒間一定に保った。使用機器は、三軸加速度計と、巻き込み型変位計を用い、すべり速度は計測時間刻み(0.01秒)に基づき、計測されたすべり変位の増分から計算する。摩擦係数は、試験体で計測された入力加速度からすべり面に作用するせん断力を求め、これを試験体の全重量で除した値 μ とする。試験体のすべり出しに対する μ を最大静止摩擦係数、すべり進行時における μ を動摩擦係数と定義する。

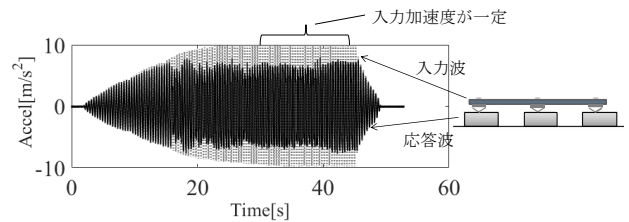
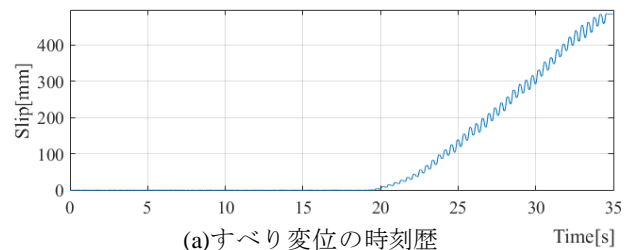


図3 入力波

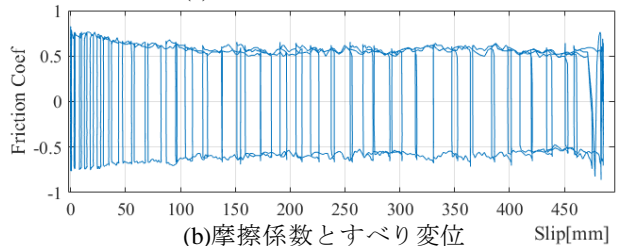
4. 実験結果と分析

試験体の接触要素を鋼(SS400)の $\phi=9$ 、入力波を2.5Hzの10m/s²としたときの実験結果を図4に示す。

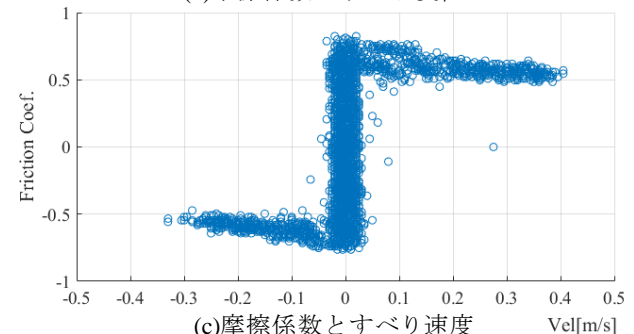
図4のすべり変位の時刻歴において、正方向にすべりが



(a)すべり変位の時刻歴



(b)摩擦係数とすべり変位



(c)摩擦係数とすべり速度

図4 実験結果

進行し、滑り変位は 430mm になる。このとき、すべり挙動は入力波と同じ正弦波のような安定した波形となっている。すべり変位と摩擦係数の関係では、すべり出すときの最大静止摩擦係数は 0.8 前後であるが、すべっているときの摩擦係数は減少している。すべり速度と摩擦係数の関係においても、加速過程では摩擦係数が減少する傾向がある。減速過程になると減速するにつれて摩擦係数は、徐々に増加傾向を示す。この動摩擦特性は既往の研究²⁾の動摩擦特性と近くなっている。

5. すべり振幅と摩擦係数分布についての分析

すべり変位に関して、1 サイクルあたりのすべりのうち、正負のピーク値の差を平均した値(等価すべり振幅 S_k)をすべり振幅⁴⁾とする。また、最大静止摩擦係数とすべり速度が最大のときの動摩擦係数の対数正規分布を考える。鋼(SS400)の 9 mm、入力波を 2.5 Hz の 10 m/s² のすべり振幅を図 5 に示す。入力波が一定の 10 秒間のすべり振幅を考え、すべり振幅は約 35 mm とモルタル強度に応じて変化しない。最大静止摩擦係数均は 0.73、動摩擦係数の平均は 0.68 であり、全て最大静止摩擦係数よりも動摩擦係数の方が小さい値となった。これは、既往の研究²⁾の動摩擦特性に近い。

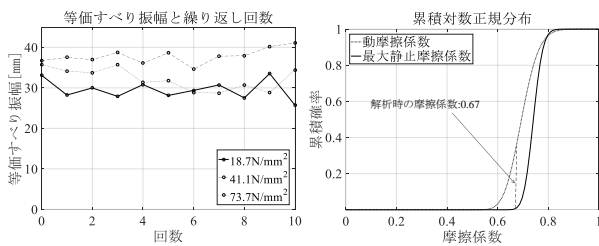


図 5 すべり振幅と摩擦係数分布

6. 数値解析モデル

図 4 に実験結果と解析結果との比較を示す。図 4(c)の摩擦抵抗とすべり変位の関係から剛塑性の履歴特性が得られ、初期剛性を非常に高めた完全弾塑性の履歴を与えた 1 自由度系モデルを作成した。実験結果と比較をするとき、すべり振幅を近づけ解析との比較をした。図 5 の累積対数正規

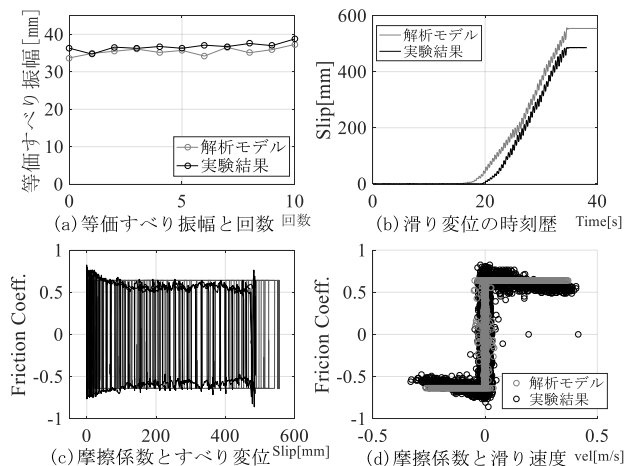


図 6 解析との比較

布からわかるように、解析モデルの摩擦係数は 0.67 とした時、すべり振幅が近くなり、動摩擦係数と最大静止摩擦係数の中央値に近くなった。一方で、応答は再現できたが動摩擦性状を表せておらず、図 6 の(b)のように滑り出しとすべり変位に差が生じる。速度に応じた摩擦係数が変化するモデルの作成が必要である。

7. 鋳鉄の潤滑効果

図 7 で試験体の接触要素を鋳鉄にした場合の既往研究²⁾と比較する。鋳鉄の場合、既往の研究とは異なり本研究では最大静止摩擦係数が 0.5 ~ 0.7 であった。一方で、同じすべり面で繰り返し加振することで、摩擦係数が既往の研究のように 0.2 まで下がった。繰り返し同じ面を滑らせることで、黒鉛の潤滑効果がでてきたと考えられる。

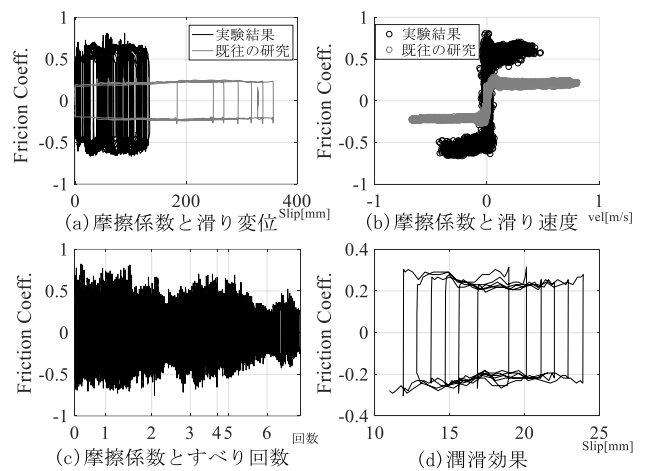


図 7 鋳鉄の潤滑効果

9. 結論と今後の課題

提案する直置き型建物を実現するには、すべり変位の抑制、柱脚と基礎モルタル間の最大静止間摩擦係数の低減、上部構造の転倒モーメントなどのすべり面に対する鉛直力の影響などを考慮していく必要がある。本研究では、その端緒としてすべり面の摩擦係数とモルタル強度との関係を明らかにした。また、接触要素を鋳鉄とした場合の摩擦係数については、今後詳しく検討していきたい。

参考文献

- 1) Ezra Jampole, Gregory Deierlein, Eduardo Miranda, Benjamin Fell, Scott Swensen, and Cristian Acevedo: Full-Scale Dynamic Testing of a Sliding Seismically Isolated Unibody House, Earthquake Spectra, Volume 32, No.4, pp 2245-2270, 2016.11
- 2) R. Enokida, T. Nagae: Seismic Damage Reduction of a Structural System based on Nontraditional Sliding Interfaces with Graphite Lubrication, Journal Of Earthquake Engineering, 2016, , NO.00, 1-21
- 3) K. Kajiwara, Y. Tosauchi, E. Sato, K. Fukuyama, T. Inoue, H. Shiohara, T. Kabeyasawa, T. Nagae, H. Fukuyama, T. Kabeyasawa, T. Mukai: 2015 Three-dimensional Shaking Table Test of a 10-story Reinforced Concrete Building on the E-Defense, 2015 Three-dimensional Shaking Table Test of a 10-story Reinforced Concrete Building on the E-Defense, 13th World Conference on Earthquake, 16th WCEE 2017, Santiago Chile, 2017, Paper No.4012
- 4) 池永 昌容, 長江 拓也, マコーミック ジェイソン, 勝尾 美香, 中島 正愛: 鋼構造露出柱脚と基礎モルタル間の摩擦性状に関する振動台実験, 日本建築学会構造系論文集, No.629, pp.1185-1191, 2008.7.