

砂質地盤における直接基礎の偏心鉛直载荷支持力

環境防災研究室 金子泰士
指導教員 大塚 悟

1. はじめに

砂質地盤の支持力は土質力学における古典的問題であり、これまでに解析的研究と実験的研究の両面から膨大な数の研究が行われているが、基礎の寸法効果や地盤の進行性破壊等、未だ不明な点も多い。鉛直荷重の検討は2次元の剛な浅基礎に関してはほぼ完成されたと言えるが、現在は鉛直力、水平力、曲げモーメントの組合せ荷重が重要視され、偏心荷重の検討が数多く行われている。しかし、偏心荷重に関する実験的検証は鉛直荷重に対して実験数が著しく少ない。また、道路橋示方書の支持力式は大規模模型実験に基づいているため、複雑な荷重方式や地盤条件に対する適用性は明らかではないといった課題がある。

したがって、本研究では小型模型実験と剛塑性有限要素法(RPFEM)を用いた数値解析を実施し、極限支持力の比較検討を目的とする。解析は複雑な荷重条件でも検討可能であり、偏心鉛直荷重を受ける基礎の極限支持力を検討した。実験は中心鉛直载荷試験と偏心鉛直载荷試験を実施した。

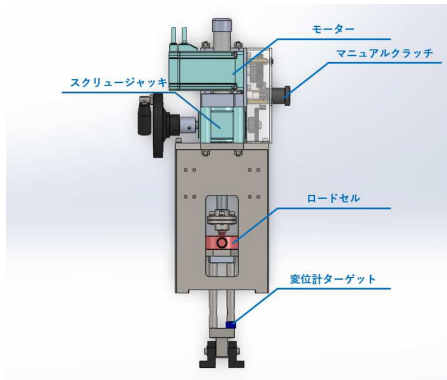


図-1 試験装置概要

表-1 载荷実験ケース

Case	Dr (%)	荷重種類	制御条件
A-1	29.8	中心鉛直	変位制御
B-1	33.4		
A-2	31.7	偏心鉛直	
B-2	34.1		
C-2	68.7	偏心鉛直	
D-2	69.8		

2. 小型模型実験

2.1 実験概要

東北珪砂 6号を用いて空中落下法により、1240×208×500mmの乾燥砂質地盤を作成した。間隙比と土槽体積から土試料投入量を算出し、相対密度(以下、 D_r と示す)を管理した。载荷速度は7.2mm/分、载荷板寸法は180×100mmとし、変位制御で実施した。

図-1に試験装置概要を示し、偏心载荷試験は偏心量35mmとした。表-1に試験ケースを示す。

2.2 実験結果

図-2、図-3に中心载荷試験、偏心鉛直载荷試験の荷重-沈下量の関係を示す。図-2より、载荷初期では線形的に増加していくが、降伏点を越えても緩やかに増加し、明確なピーク強度が得られない。これは、基礎の沈下に伴う土被り圧の増加が生じたことによる。図-3より、緩い地盤(A-2, B-2)ではピーク時の沈下量が大きくピーク後は緩やかに荷重が減少する。一方、密な地盤(C-2, D-2)はピーク時の沈下量が小さくピーク後は急激に減少し一定値に収束した。

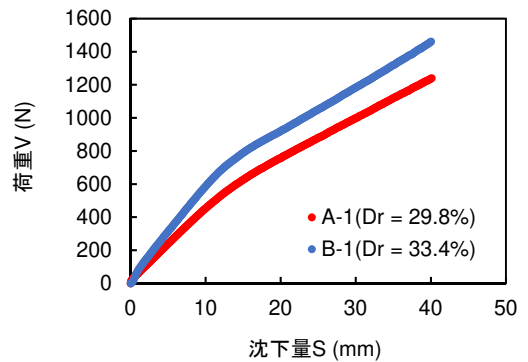


図-2 中心鉛直载荷試験の荷重-沈下曲線

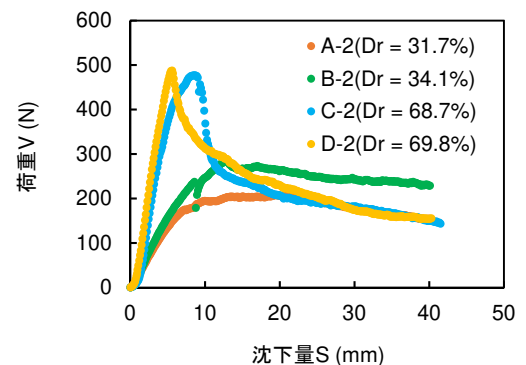


図-3 偏心鉛直载荷試験の荷重-沈下曲線

表-2 に緩い地盤の中心鉛直荷試験及び偏心荷試験における極限支持力の比較を示す。A-1, B-1 は明確なピーク強度が得られなかったため、道路橋示方書のデータ整理方法に基づき、降伏支持力は極限支持力の 0.63 倍と仮定し、極限支持力を算出した。V/V_{ult} は偏心荷試験の極限支持力 V を中心鉛荷試験の極限支持力 V_{ult} で除して鉛直荷重を正規化した値である。なお、A-2, B-2 の V/V_{ult} は、Dr が近い A-1, B-1 の極限支持力でそれぞれ除して算出した。この値から、A-2, B-2 の V/V_{ult} はほぼ一致することが確認された。しかしながら、本実験は緩い地盤での e/B = 0.35 のみの検証であるため、明確な結論に至るには密な地盤や偏心量を変化させて実験する必要がある。

3. RPFEM による 2 次元数値解析

3.1 解析概要

本数値解析は模型実験の再現解析であるため、Dr を模型実験と同条件にした。内部摩擦角は東北珪砂 6 号の三軸圧縮試験(Dr = 30%, 70%)から求め、龍岡らによる豊浦砂の三軸圧縮試験によって求めた内部摩擦角とほぼ一致したため、龍岡らが提案した内部摩擦角の算定式によって算出した。粘着力については、計算を安定させるために小さな粘着力を導入し、粘着力が極限支持力に及ぼす影響が小さい 0.5kPa で解析し、基礎と地盤の摩擦条件は粗面状態とした。

3.2 数値解析と模型実験の比較

図-4 は各ケースの数値解析と模型実験における極限支持力の比較を示す。この図から、中心荷は数値解析の方が大きい支持力となった。中心荷荷試験は明確なピーク強度が得られず、極限支持力を定義できないこと、数値解析における内部摩擦角の過大評価、計算を安定させるための粘着力の考慮等の影響が考えられる。一方、偏心荷の場合には緩い地盤(A-2, B-2)において比較的近い値となり、数値解析は偏心荷重を受ける基礎の現象を概ね捉えていることが示された。これは、偏心荷荷試験は明確なピーク強度を示して極限支持力を明快に定義でき、変位も小さいため基礎の変形に伴う根入れの影響は比較的小さく、解析条件に近いことが考えられる。密な地盤(D-2)では数値解析がやや過大に評価した。密な砂質地盤ではひずみ軟化挙動が影響して、進行性破壊が生じた可能性があると考えられる。

表-2 各試験の極限支持力の比較

Case	Dr (%)	V _{ult} (N)	V/V _{ult}
A-1	29.8	903.0	—
B-1	33.4	1111.1	—
A-2	31.7	204.7	0.227
B-2	34.1	284.0	0.256

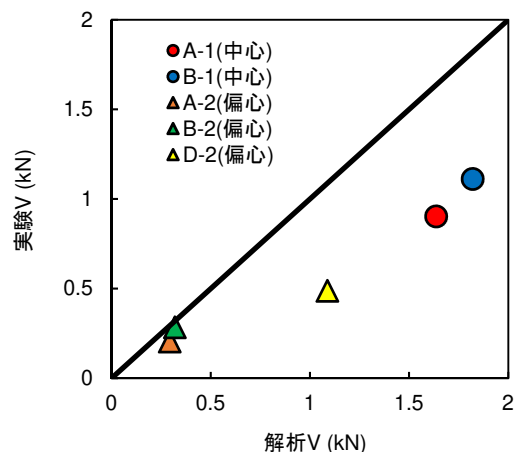


図-4 解析と実験における極限支持力の比較

4. 結論

本研究では、砂質地盤の直接基礎の極限支持力を模型実験と数値解析の両面から検討を行った。模型実験と数値解析の比較では、中心荷において数値解析の支持力が過大に評価された。実験は明確なピーク強度が得られず、基礎の沈下に伴う土被り圧によって極限支持力を定義できない問題が生じた。一方、偏心荷は Dr によらず数値解析による支持力は概ね合理的であることが示された。しかしながら、明確な結論に至るには、更なる試験精度の向上と共に密な地盤における中心荷実験や、偏心量の異なる試験ケースで実施する必要がある。

参考文献

- 1) (独)土木研究所:性能規定体系における直接基礎の安定照査法に関する研究, 土木研究所試料 4255 号, 2014.3
- 2) Pham, Q.N., Ohtsuka, S., Isobe, K., Fukumoto, Y., Hoshina, T.: 2019b. Ultimate bearing capacity of rigid footing under eccentric vertical load. Soils Found. 59(6), 1980-1991.
- 3) 岡村未対, 竹村次郎, 木村孟: 砂地盤上の円形及び帯基礎の支持力特性に関する研究, 土木学会 87 論文集, No.463/III-22, pp.85-94, 1993.