

水平力の作用によって荷重に傾斜が生じる場合の 極限鉛直支持力の低減に関する実験的検討

中央大学大学院 学生会員 ○川田草貴 正会員 西岡英俊

1. 研究背景

基礎に作用する鉛直荷重に水平荷重が組み合わされてその合力が傾斜角 δ を持つ場合、極限鉛直支持力 q_u は無傾斜の場合と比べて低下することがわかっており、この時の q_u の評価方法は Meyerhof によって提案されている¹⁾。具体的には、Terzaghi の極限鉛直支持力の式に、傾斜角 δ によって決まる補正係数 i_γ を乗算することで q_u を低減して評価する。根入れと粘着力を無視した場合のこれらの算定式を以下に示す。

$$q_u = i_\gamma \beta \gamma_1 B e N_\gamma \quad (1)$$

$$i_\gamma = (1 - \delta/\phi)^2 \quad (2)$$

ここで、 ϕ は土の内部摩擦角、 β は基礎の形状による係数、 N_γ は支持力係数、 γ_1 は土の単位体積重量である。

特に地震時においては、慣性力が橋脚や桁等の上部構造物の重心位置に作用するため、基礎に作用する鉛直荷重 V と水平力 H の合力に傾斜角 $\delta = \tan^{-1}(H/V)$ が生じるえよって、直接基礎の耐震設計においても、上述の Meyerhof の低減方法によって極限鉛直支持力が評価されることが多い。しかし、Meyerhof の低減方法は、水平力の作用高さを基礎上面とした模型実験に基づくものであり、比較的重心高さ（すなわち水平力の作用高さ）が高い直接基礎の地震時挙動に対する適用性について、実験的に検証された事例は少ないのが現状である。

そこで本研究では、模型死荷重と水平力作用高さをパラメータとした模型地盤での静的単調水平載荷実験を体系的に実施し、地震時の直接基礎の極限鉛直支持力 q_u に合力に傾斜角 δ が及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

図1に実験装置の概要を示す。土槽寸法は幅 1000mm、高さ 400mm、奥行き 199mm で、この土槽の中に相対密度 90% となるように乾燥豊浦砂で模型地盤を作成した。実際の乾燥密度は平均 1.60g/cm^3 、相対密度は平均 86% であった。

直接基礎橋脚模型は、基礎幅 100mm、高さ 300mm、奥行き 195mm、質量 2.9kg の剛体模型である。この上

に錘を複数枚設置することで死荷重として鉛直荷重 V を載荷した。また、基礎底面にはサンドペーパーを貼り付けてある。

計測は、模型上面と載荷高さの 2 点の水平変位を計測した。また模型底面には 2 組の 2 方向ロードセルを設置して、それらを一枚の剛な受圧板で連結して、底面反力を計測した。

実験ケースは表 1 に示すように、過去の同規模の模型実験²⁾から推定した偏心・傾斜の無い条件での極限鉛直支持力 $Q_u=4288\text{N}$ に対して、模型死荷重 V が $V/Q_u=3.3\sim 14.1\%$ となる範囲で 4 ケース設定した。なお、この比率 V/Q_u の逆数が常時の極限鉛直支持力に対する安全率に相当する。

載荷方法は、模型に連結した電動シリンダを用いて載荷速度 0.1mm/s で模型が転倒するまで模型を水平に単調に押すことで水平荷重を載荷した。なお、各模型死荷重で載荷高さ $h=100\text{mm}$ と $h=200\text{mm}$ を、各 3 回ずつ行った。

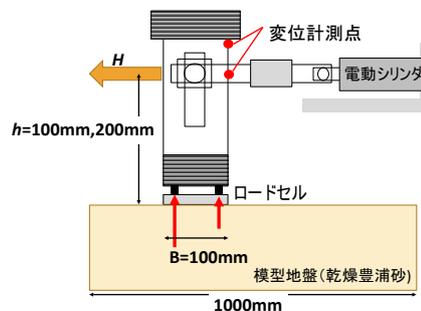


図 1 実験装置の概要

表 1 実験ケース

死荷重 V (N)	140	292	367	603
V/Q_u (%)	3.3	6.8	8.6	14.1
各ケースで載荷高さ 100mm, 200mm を 3 回ずつ実施				

3. 実験結果

図 2 に作用モーメント M と回転角 θ の関係を示す。 M は、模型底面に設置した 2 組の 2 方向ロードセルで計測した鉛直反力に基づいて、フーチング中心からの距離を乗じ

キーワード 直接基礎 極限鉛直支持力 補正係数

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎・地下構造研究室 TEL : 03-3817-1804

て算出し、 θ は模型上面と荷重高さの2点で計測した水平変位から算出した。図2を見ると $M-\theta$ 関係は荷重高さによって大きく変わらなかった。

次に実験により算出した補正係数 i_γ について検討する。まず、 M が最大値 M_{max} に達した時に図3(a)のような終局状態になると仮定して算出した極限鉛直支持力 q_u を、式(1)に代入することで $i_\gamma N_\gamma$ を逆算した。なお、本実験結果には模型地盤の内部摩擦角 ϕ のばらつきの影響を含むほか、図3(a)の仮定が実態とは異なる場合があることなどから支持力係数 N_γ を正確に逆算することが困難であるため、補正係数 i_γ と支持力係数 N_γ の積 $i_\gamma N_\gamma$ でまとめて評価することとする。次に、2組の2方向ロードセルで計測したせん断反力 H を模型死荷重 V で除して合力の傾斜角 δ を算出し、 $i_\gamma N_\gamma$ と δ の関係を図3(b)にまとめた。また比較のため図3(b)に、式(2)で算出した $i_\gamma N_\gamma$ の値を内部摩擦角 ϕ 別に併記した。実験結果の $i_\gamma N_\gamma$ と δ の関係は、図2の $M-\theta$ 関係に比べて大きくばらついているが、全データを対象とした線形近似直線(図中青線)の勾配は式(2)よりは明らかに小さく、傾斜角に対する明確な低減傾向は確認できなかった。ただし、デー

タは式(2)で算出した $i_\gamma N_\gamma$ の $\phi=40\sim 48^\circ$ の範囲には含まれている。

4. まとめ

直接基礎の地震時を想定した水平力作用高さでの水平単調荷重実験の結果、水平力作用高さを考慮していない場合のような明確な低減傾向は確認できなかった。ただし、データは大きくばらついており、傾斜角による低減傾向を正確に判断するにはこれらのばらつきの要因を精査するとともに、より広範な傾斜角が生じるように荷重高さを変化させた実験を追加する必要があると考えている。

参考文献

- 1) G.G.Meyerhof: The Bearing Capacity of Foundations under Eccentric and Inclined loads, Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech. & Found. Eng., Vol.1, pp.440-445, 1953.
- 2) 西岡 英俊, 神田 政幸, 舘山 勝, 村田 修, 平尾 淳一, 樋口 俊一: 静的模型実験による鋼矢板併用直接基礎の鉛直支持力特性に関する研究, 土木学会論文集C, Vol. 63, No. 3, p. 772-782, 2007.

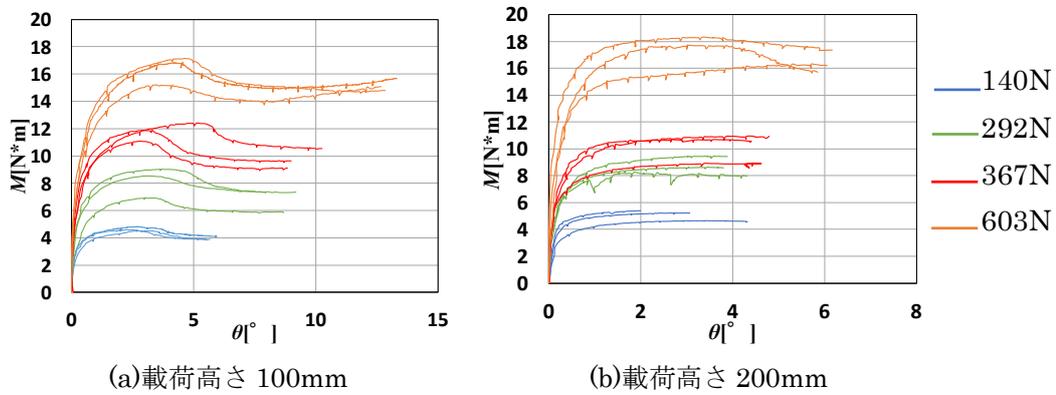
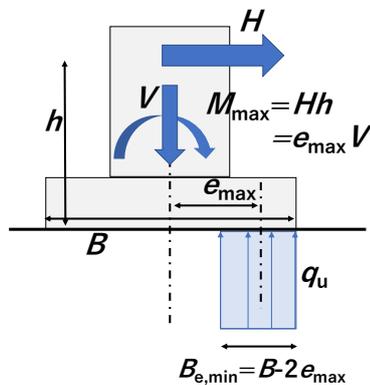
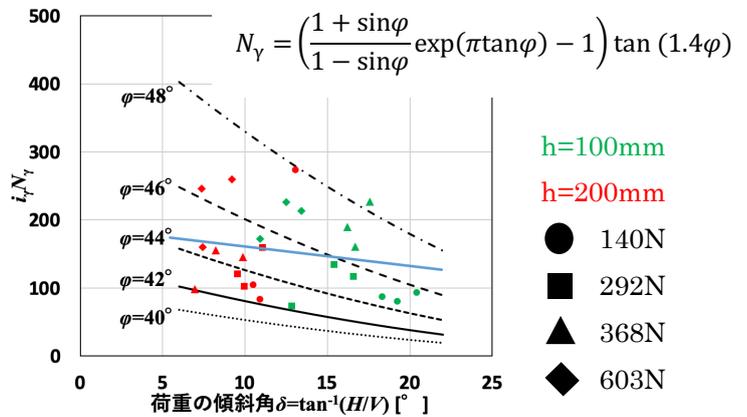


図2 M- θ 関係



(a)直接基礎の終局状態



(b) $i_\gamma N_\gamma-\delta$ 関係

図3 $i_\gamma N_\gamma-\delta$ 関係