

水平加速度が砂地盤の鉛直支持力特性に与える影響

浅い基礎，支持力，遠心模型実験

愛媛大学大学院 学生会員 ○沖 俊貴，岩本 一誠

愛媛大学大学院 国際会員 岡村 未対

1. はじめに

任意の組み合わせ荷重を受ける浅い基礎の荷重－変位関係を，基礎－地盤系をマクロな要素として取り扱い，塑性論に基づいて予測するマクロエレメント法^{1) 2)}の研究が進められている．マクロエレメント法は，鉛直荷重－塑性鉛直変位関係を硬化関数とし，基礎の鉛直変位を一定に保ちつつ水平変位または回転変位を増加させる *swipe* 試験から得られる降伏局面、鉛直・水平・回転変位の増加割合を一定に保ちながら載荷する *Radial* 試験により得られる塑性ポテンシャルを用いて基礎－地盤系の塑性挙動を予測する．これまでに，基礎の形状や寸法，砂の密度などの影響が実験的に調べられ，それを基にモデルの構築が進められてきたが，地震により地盤に作用する慣性力の影響は考慮されていない．地震時の支持力に関する既往の研究は，主に極限解析法による支持力計算であり，それらの結果を実験的に検証された事例も少ない．そこで本研究では，一定の慣性力が作用する地盤の支持力特性（荷重－沈下関係、すなわち硬化則）を実験的に調べることを目的とした．

本研究では，遠心模型実験装置を用いて地盤に水平慣性力を作用させ，荷重の傾斜及び偏心の無い条件で支持力実験を行った．地盤に水平慣性力を与える方法としては，実験土層全体を傾斜させる方法もあるが，本研究の実験方法は，土の自重成分（土の自重の地盤表面に垂直方向の成分）が変化しないという利点を有する．

2. 実験概要

実験装置の概略を図 1 に示す．内寸 430mm（幅）×120mm（奥行）×227mm（深さ）の剛な土槽を用い，これに乾燥した豊浦砂を相対密度が約 85% となるよう空中落下させて模型地盤を作成した．模型基礎は幅 $B=30\text{mm}$ の底面が粗な帯基礎である．基礎中央にピン接合したロードセルに接続したワイヤーを土層底部に取り付けたモーターで巻き取ることで，基礎の荷重の傾斜と偏心のない鉛直荷重を与えた．載荷中の基礎の変位は基礎両端に取り付けたレーザー変位計で測定した．慣性力の作用方法は，図 2 に示すように土槽を遠心模型実験装置に設置し，プラットホームが振り上がらないように固定した状態で遠心装置を回転して所定の水平加速度を地盤に与えた．水平加速度 a_h は基礎の位置（遠心装置の回転中心から 72.5cm）で 0m/s^2 ， 2m/s^2 ， 4m/s^2 とし，それぞれ複数回の実験を行った．この実験では地盤内の水平加速度は半径と共に増加するので，図 2 の地盤右端では地盤中央部の 1.29 倍の加速度である．

3. 実験結果

鉛直載荷試験より得られた荷重強度－沈下曲線図を図 3 に示す．ここで縦軸は荷重強度 q を地盤の単位体積重量 γ と基礎幅 B で，横軸は基礎中心の鉛直変位 v を B でそれぞれ無次元化したものである．水平加

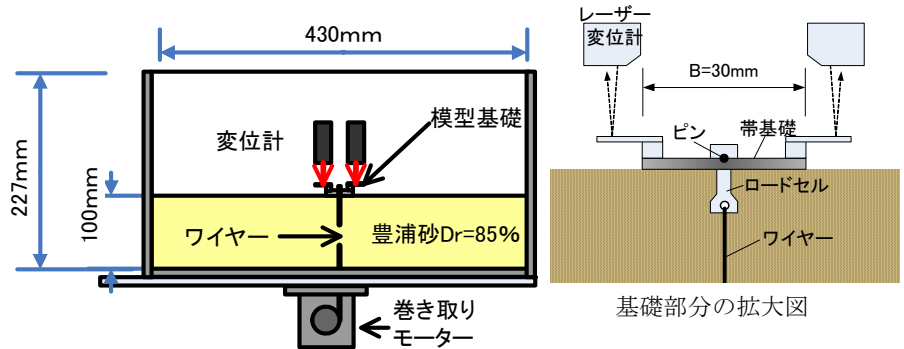


図 1 模型地盤と載荷装置の概要

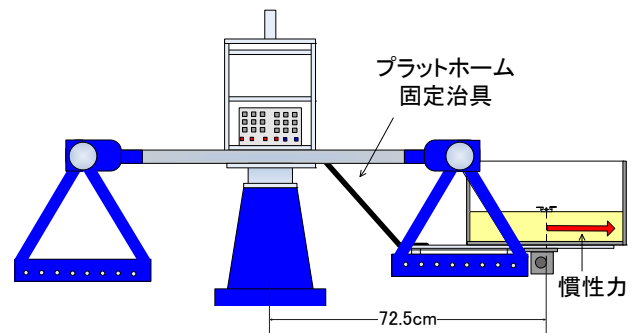


図 2 遠心装置に搭載した模型地盤と載荷装置

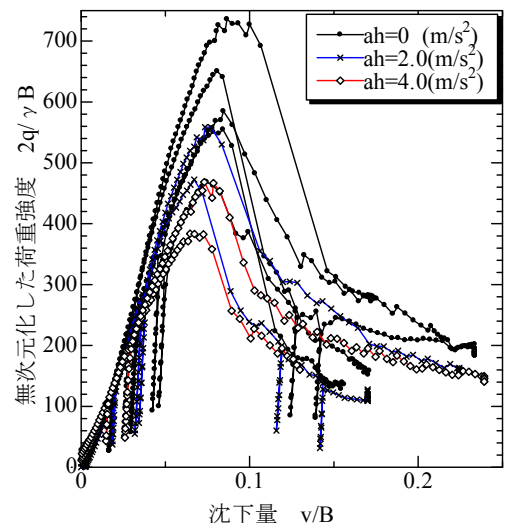


図 3 無次元化した荷重－沈下曲線

Bearing capacity tests of strip footing on dense sand subjecting horizontal inertial force.

Graduate School, Ehime University: T. Oki, I. Iwamoto and M. Okamura.

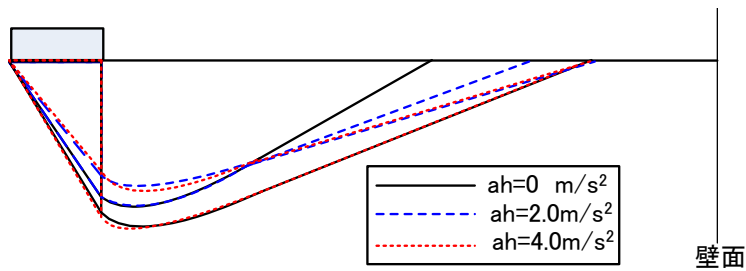


図 4 実験で観察された滑り線の形状

速度の増加と共に、曲線が下方に移動しており、水平加速度 a_h の影響が表れている。

実験では事前に地盤内に色砂を敷設することですべり線を確認した。確認したすべり線の形状を図 4 に示す。すべり線の形状を加速度毎に比較すると、発生位置に多少のばらつきがあるものの加速度が増加するに従いすべり線の最大到達深度は浅くなり、すべり線は加速度の作用方向に伸びていく傾向にあることがわかる。

図 5 は荷重強度－沈下曲線のピーク時の荷重強度 q_f から求めた支持力係数 $N_\gamma (=2q_f/\gamma B)$ を a_h に対してプロットしたものである。図には地盤の破壊領域での水平加速度の範囲を示している。作用する加速度が増加すると N_γ は減少していることがわかる。図 6 は Ching ら³⁾ が分割法により求めた、地盤に作用する水平加速度とそれによる支持力の低減係数 η_e の関係である。 η_e の計算には、平面歪圧縮試験の結果より決定した内部摩擦角 ϕ_p を用いた⁴⁾。図中には $a_h=0$ のケースの平均値で除した実験結果も示している。Ching らの計算結果、実験結果ともに加速度の増加により支持力が直線的に減少し、その低減率は $a_h=4.0\text{m/s}^2$ のときに約 25% であることがわかる。

図 3 の荷重強度－沈下曲線の初期勾配、すなわち無次元化した初期地盤反力係数 $2q_i/\gamma v_i$ と a_h の関係を図 7 に示す。初期地盤反力係数は a_h の増加と共に減少している。ある程度のバラツキはあるものの、その低減率は支持力係数の低減率と概ね同程度である。

実験では、図 3 に示すように载荷中に一時的な除荷－再载荷を行った。図 8 は除荷過程の勾配、すなわち除荷剛性 k_v と加速度の関係である。除荷剛性は a_h によらずほぼ一定であることがわかる。

以上より、水平加速度が作用する砂地盤上の基礎の荷重－沈下関係は、慣性力を考慮した極限平衡法により得られた支持力低減率に応じて荷重強度を低減したものとなることがわかった。

4. まとめ

本研究から、以下の結論が得られた。

- ① 極限支持力・初期地盤反力係数は水平加速度の増加と共に減少し、その減少率は分割法による解析結果と良い対応を示す。
- ② 除荷剛性は水平加速度が増加しても変化しない。
- ③ マクロエレメント法の硬化関数である鉛直荷重－沈下曲線は、水平加速度の増加と共に、極限平衡法で得られる地震時支持力低減率に応じて荷重強度を低減したものとなる。

参考文献:

- 1) G. Gottardi ら: Plastic response of circular footings on sand under general planar loading. Geotechnique 49, No.4 pp.453-469, 1999.
- 2) 古川ら: 組合せ荷重を受ける帯基礎のマクロエレメントモデル, 第 43 回地盤工学研究発表会, pp.1341-1342, 2008.
- 3) Ching ら: Seismic bearing capacity of rigid footing adjacent to a cohesionless slope. Soil and Foundations, Vol.48, No.5, 641-651, 2008.
- 4) 岡村ら: 砂地盤における円形及び帯基礎の支持力に関する研究. 土木学会論文集 No.463/III-22, pp.85-94, 1993

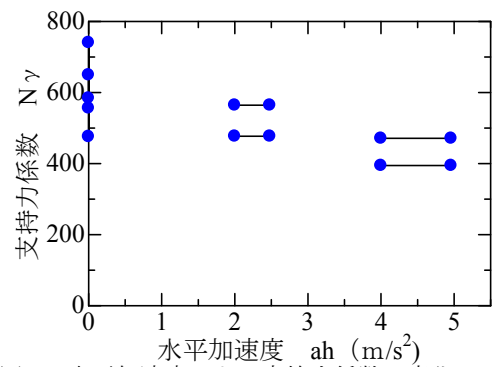


図 5 水平加速度による支持力係数の変化

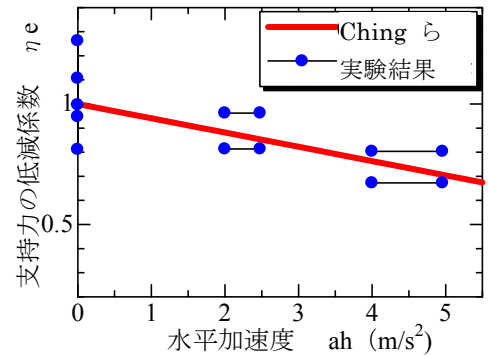


図 6 支持力低減率と水平加速度の関係

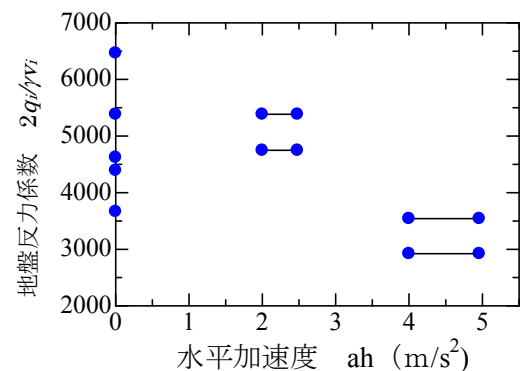


図 7 初期地盤反力係数と水平加速度の関係

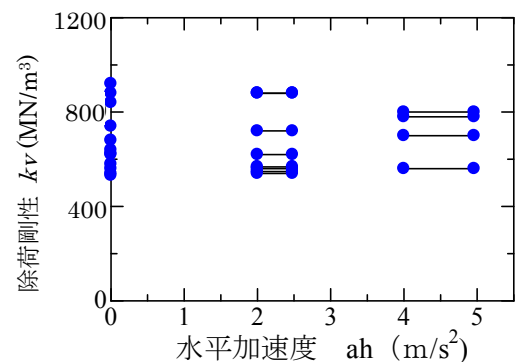


図 8 除荷剛性と水平加速度の関係