

水平慣性力が硬化則・塑性ポテンシャル曲面に与える影響

西日本高速道路エンジニアリング四国(株)  
愛媛大学大学院

正会員 ○田村直登  
正会員 岡村未対

1. はじめに

性能設計に移行するに従い、基礎の耐震設計法は鉛直荷重  $V$ 、水平荷重  $H$ 、モーメント荷重  $M/B$  の組合せ荷重を受ける基礎の簡便な応答変位予測を必要としている。予測法の一つとして、塑性論を基とした基礎-地盤系を一つの要素として捉えるマクロエレメント法が提案されており<sup>1)</sup>、降伏曲面・硬化則・塑性ポテンシャル曲面の3つを適切に設定することにより変位予測ができる。本研究では、地震時に基礎地盤に作用する水平慣性力が硬化則・塑性ポテンシャル曲面に及ぼす影響を調べた。

2. 実験概要

実験の概要図を図1に示す。実験土槽は内寸400mm(幅)×120mm(奥行)×200mm(高さ)のせん断土槽を用いた。地盤は試料に豊浦砂を用い、相対密度を  $Dr \approx 85\%$  とした。模型基礎は幅  $B=30\text{mm}$  の底面が粗な帯基礎である。荷重はロードセルとモーターをワイヤーで接続し、ワイヤーを  $1.7\text{mm}/\text{min}$  の一定速度で巻き取ることで行った。荷重は基礎にピン接続したロードセル、変位はレーザー変位計で計測した。鉛直荷重  $V$  とモーメント荷重  $M/B$  を同時に基礎に載荷する  $V$ - $M/B$  載荷試験は、載荷点を基礎中心から左右に偏心量  $e=3.75\text{mm}$ ,  $7.5\text{mm}$  で偏心させ、鉛直(傾斜角度  $i = 0^\circ$ )に載荷した実験である。一方、鉛直荷重  $V$  と水平荷重  $H$  を同時に基礎に載荷する  $V$ - $H$  載荷試験は、載荷点を基礎中心( $e=0$ )とし、ワイヤーを鉛直から  $i = \pm 15^\circ$  傾斜させ載荷した実験である。単純鉛直載荷試験は載荷点が基礎中心( $e=0$ )で、傾斜角度  $i = 0^\circ$  で載荷した実験である。荷重方向の定義を図2に示す。本研究ではこれら3種類の試験を異なる水平方向の加速度場にて行った。

図3に示すように遠心模型装置のプラットフォームを振り上げられないよう固定し、遠心模型装置を回転させることで、地盤に一定に水平慣性力を作用させた。作用させた水平加速度比は  $K_h=0, 0.2, 0.4$  である。ここで  $K_h$  とは重力加速度に対する水平慣性力の比である。

3. 実験結果

3.1 塑性ポテンシャル曲面

塑性ポテンシャル曲面は荷重比から塑性変位の増分比率を決める曲面である。 $V$ - $M/B$  載荷試験と  $V$ - $H$  載荷

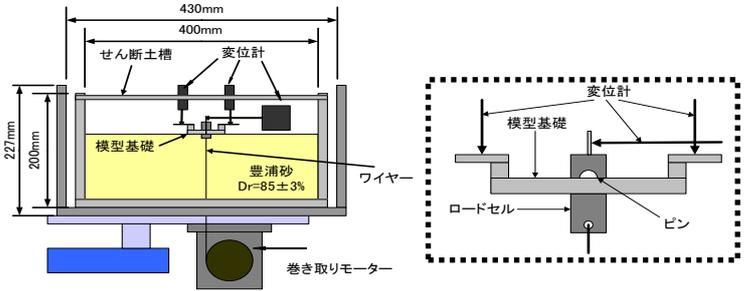


図1 実験概要

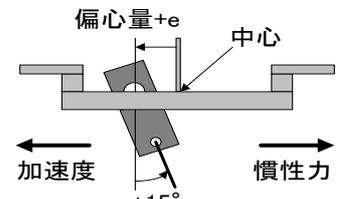


図2 偏心, 傾斜の定義

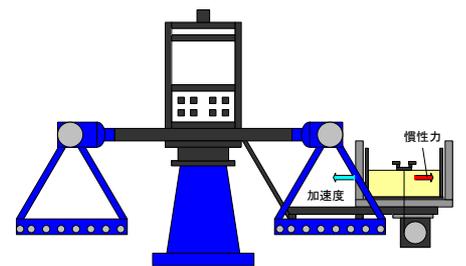


図3 慣性力の付与方法

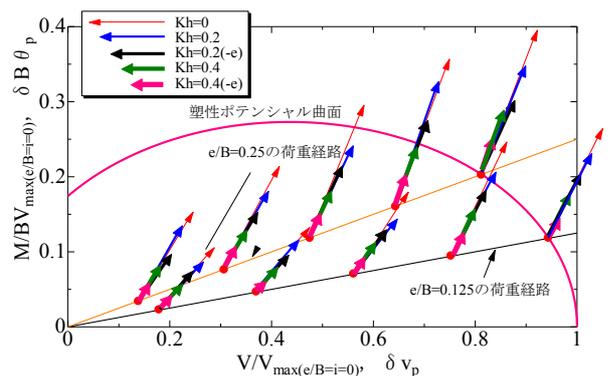


図4  $\delta B\theta_p$ - $\delta v_p$  増分比率

3. 実験結果

3.1 塑性ポテンシャル曲面

塑性ポテンシャル曲面は荷重比から塑性変位の増分比率を決める曲面である。 $V$ - $M/B$  載荷試験と  $V$ - $H$  載荷

キーワード 帯基礎, 支持力, マクロエレメント法, 水平慣性力

連絡先 〒760-0072 香川県高松市花園町三丁目1番1号 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

TEL 089-834-1121

試験の処女載荷時における $V/V_{max} = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$ の時の塑性変位増分比を調べた。 $V_{max}$ はV-M/B 載荷試験とV-H 載荷試験の最大鉛直荷重である。塑性変位増分比率 $\delta B\theta_p/\delta v_p$ を図4,  $\delta h_p/\delta v_p$ を図5に示す。図中の塑性ポテンシャル曲面は既往の研究によって導き出された曲面である<sup>2)</sup>。ここで、 $\delta v_p$ ,  $\delta h_p$ ,  $\delta B\theta_p$ は鉛直・水平・回転の塑性変位増分であり、図中の $V_{max}(e/B=i=0)$ は $K_h$ 毎の単純鉛直載荷試験から得られた最大鉛直荷重である。図4, 5のいずれにおいても、各荷重比の塑性変位増分比率は $K_h$ の影響を受けていないことが確認できる。

3.2 硬化則

$K_h$ を0, 0.2 または 0.4 で一定に保って行った単純鉛直載荷試験から得られた $V - v_p$ 曲線を図6に示す。 $v_p$ は鉛直塑性変位である。 $K_h$ の増加と共にピーク時の $V$ は減少し、 $v_p$ は小さくなっていることから $V - v_p$ 曲線は $K_h$ の影響を受けることが確認された<sup>3)</sup>。続いて、 $K_h$ を実験途中で変化させた鉛直載荷試験を行った。図7に $K_h=0$ で鉛直荷重 $V=300N$ まで載荷、 $V=0$ まで除荷し、そして $K_h$ を0.4まで増加させた後に再載荷を行った実験の $V - v_p$ 関係、図8には $K_h=0.4$ で $V=300N$ まで載荷、 $V=0$ まで除荷し、 $K_h$ を0まで減少させた後に再載荷を行った実験の $V - v_p$ 関係を示す。また図7, 8には $K_h$ 一定で行った単純鉛直載荷試験から得られた $V - v_p$ 曲線も破線で示している。これらの図より、 $K_h$ を増減させると、再載荷時の $V - v_p$ 関係はその時の $K_h$ の $V - v_p$ 曲線上を通ることが確認できる。

図9は横軸に(除荷直前の $K_h$ ) - (再載荷時の $K_h$ )を、縦軸に(再載荷における降伏点の荷重) / (除荷直前の荷重)をとり、実験結果をプロットしたものである。図9より、 $K_h$ の変化に伴い、降伏点の荷重が変化していることが確認できる。以上より $K_h$ が載荷中に変化し再載荷時の $V - v_p$ 関係がその時々々の $V - v_p$ 曲線上を通ることがわかった。

4. 結論

本研究では一様な水平加速度を作用させた地盤において組合せ荷重の載荷試験を行った。その結果以下のことが分かった。

塑性ポテンシャル曲面：水平慣性力の影響をあまり受けない。

硬化則：水平慣性力の影響を大きく受け、慣性力が変化すると $V - v_p$ 関係はその時の慣性力の $V - v_p$ 曲線上を通ることが確認できた。

参考文献

- 1) G. T. Houlsby and M. J. Cassidy : A plasticity model for the behaviour of footings on sand under combined loading, Geotechnique 52, No.2, pp.117~129, 2002
- 2) 古川直樹：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, pp1341-1342, 2008
- 3) 田村直登：地盤に作用する水平慣性力が組合せ荷重を受ける基礎の支持力に及ぼす影響第45回地盤工学会研究発表会, pp1089-1090, 2010

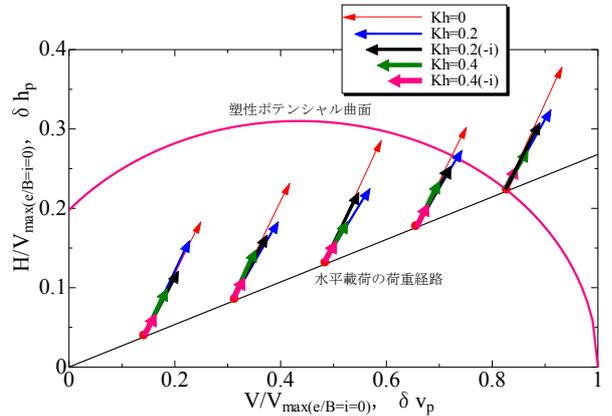


図5  $\delta h_p - \delta v_p$ 増分比率

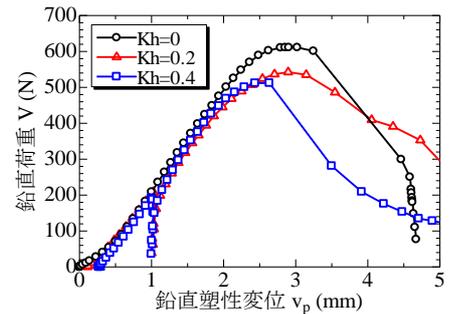


図6 各 $K_h$ の $V - v_p$ 曲線

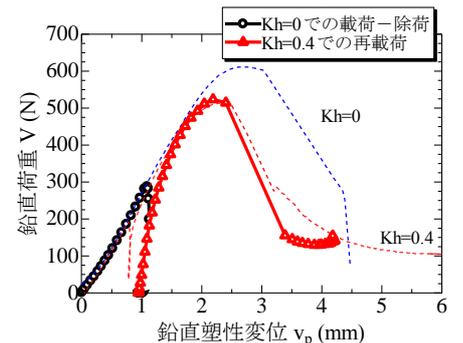


図7  $K_h$ を増加させた $V - v_p$ 曲線

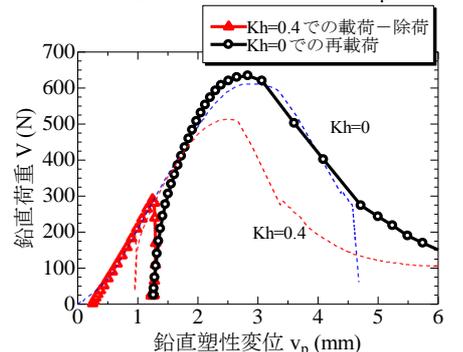


図8  $K_h$ を減少させた $V - v_p$ 曲線

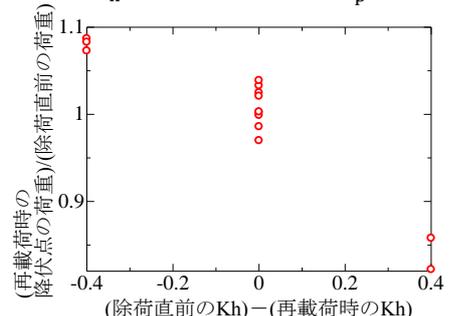


図9  $K_h$ の変化による降伏点の変化