

アルミ棒積層地盤中の柱状体基礎模型に対する動的水平載荷実験

その2 死荷重安全率と底面地盤の塑性化挙動との関係

中央大学

学生会員 ○吉田 広基

中央大学大学院

学生会員 磯部 祐輝

中央大学

正会員 西岡 英俊

1. はじめに

極限支持力に対する死荷重の安全率（以下、死荷重安全率）が比較的小さい柱状体基礎は、地震時に底面地盤の塑性化が生じることで沈下・傾斜の被害が生じる懸念があるが、それに着目した実験的検討は少ないのが現状である。そこで本研究ではアルミ棒積層地盤中の柱状体基礎模型（基礎幅 $B=100\text{mm}$ 、根入れ深さ 100mm ）に対して小型起振器により地震時慣性力を模擬した動的水平載荷実験を、死荷重安全率をパラメータとして実施した。

その1¹⁾では、実験方法について詳述するとともに、実験結果のうち時刻歴波形と周辺地盤の変位状況について報告した。本報（その2）では、荷重変位関係および底面反力の測定結果について報告するとともに、死荷重安全率 $F_{s,DL}$ の違いが底面地盤の塑性化挙動に及ぼす影響について考察する。

なお、実験ケースは、表-1¹⁾の通りであり、最も重い Case3 が一般的に常時の設計で最低限必要とされる $F_{s,DL}=3.0$ の条件となっている。また、いずれも起振器の

加振加速度を段階的に増加させていく段階加振方式で載荷を行っている。一部のケースでは最終的に転倒にまで至っているが、本報では変位計の計測を超過しない範囲の加振段階までを図化・報告の対象としている。

2. 基礎底面の変位軌跡

図-1 に各ケースの基礎底面中心の水平変位 δ_{Bh} と鉛直変位 δ_{Bv} の関係、すなわち変位軌跡を示す。なお、鉛直変位 δ_{Bv} の符号は沈下方向が負である。模型質量が小さく死荷重安全率 $F_{s,DL}$ が大きい Case1 ではほとんど沈下傾向がみられず、回転中心が基礎底面よりも上方となるため、基礎全体の回転に伴って底面が水平方向に

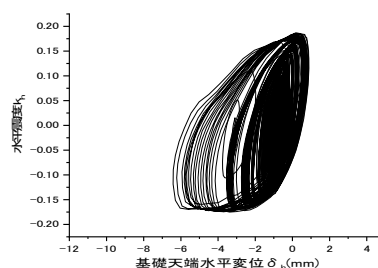
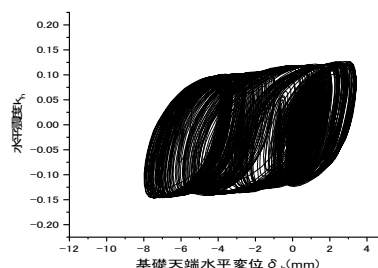
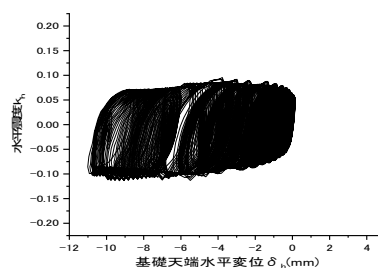
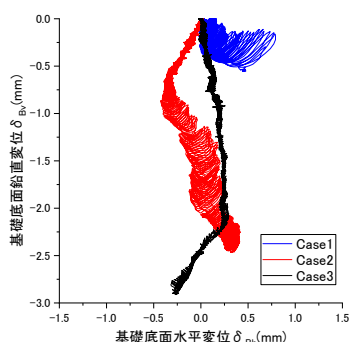
図-2 Case1 における k_h — δ_h 関係図-3 Case2 における k_h — δ_h 関係図-4 Case3 における k_h — δ_h 関係

表-1 実験ケース

ケース名	模型質量	死荷重安全率 $F_{s,DL}$
Case1	9.3 kg	8.5
Case2	16.3 kg	4.9
Case3	26.1 kg	3.0

図-1 δ_{Bv} — δ_{Bh} 関係

キーワード 柱状体基礎、起振器実験、アルミ棒積層体

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

変位していることがわかる。一方、Case2,3 では死荷重安全率が下がるほど、沈下傾向が主体的になることがわかる。

3. 荷重変位関係（水平震度—水平変位関係）

図-2~4 に各ケースの水平方向の荷重変位関係として、入力せん断力を模型自重で除して求めた水平震度 k_h と地上部（地表から高さ 60mm）の水平変位 δ_h の履歴曲線を示す。なお、水平震度 k_h は、以下の式(1)により算定した。

$$k_h = \frac{S-M/h}{V} \quad (1)$$

ここで、 S ：起振器からの入力せん断力、 M ：起振器からの入力モーメント、 h ：模型高さ、 V ：模型自重である。各ケースとも、ある水平震度を上回ると基礎の抵抗が降伏し、一方向に水平変位が累積していくことがわかる。また、死荷重安全率が大きいほど、その降伏震度が大きくなることがわかる。

4. 基礎底面反力の偏心比と残留変位の関係

本実験では底面に設置した 2 つの 2 方向ロードセルから、基礎底面が負担する反力モーメント M_b 、鉛直反力 V_b およびせん断反力 H_b を直接計測している。ここでは、特に以下の式(2)で算定した基礎底面反力の偏心比 e_b/B に着目した考察を行う。

$$\frac{e_b}{B} = \frac{M_b}{B \times V_b} \quad (2)$$

図-5~7 に各加振段階毎の e_b/B の片振幅と基礎底面中心の変位測定結果（回転角の片振幅、回転角の残留値および残留沈下量）の関係を示す。なお、図中には、基礎底面端部の浮き上がりが発生する時点の偏心比 $e_b/B=1/6=0.166\cdots$ を点線で示している。

図-5 および図-6 より、基礎底面端部の浮き上がり発生する $e_b/B=1/6$ までは全ケースともほぼ同等の剛性で弾性的な挙動を示し、それ以降は死荷重安全率の小さい Case3 から順に降伏し、基礎底面地盤の端部の塑性化が生じていることがわかる。

また、図-7 より残留沈下量との関係を見ると、死荷重安全率が小さい Case2,3 では $e_b/B=1/6$ よりも小さい段階から残留沈下の増加傾向を示している。すなわち、基礎底面端部での浮き上がりや塑性化が生じるよりも前から基礎底面中心直下の地盤の塑性化が生じたと考えられる。

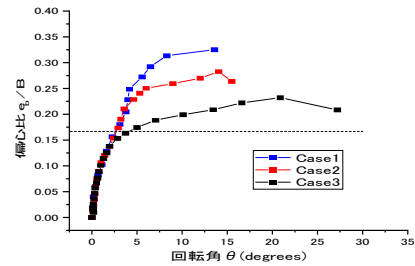


図-5 偏心比と回転角の関係

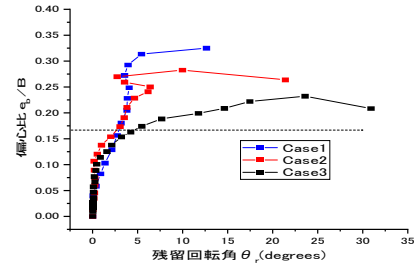


図-6 偏心比と残留回転角の関係

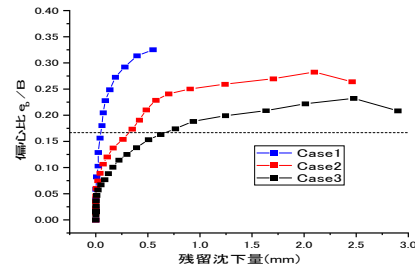


図-7 偏心比と残留沈下量の関係

5. おわりに

死荷重安全率をパラメータとした柱状体基礎模型の動的水平載荷実験の結果、一般に常時で必要とされる死荷重安全率 3 を確保していれば、底面端部地盤の塑性化が生じるのは浮き上がり開始以降となることが確認できた。ただし、死荷重安全率 5 程度を確保していても、端部の浮き上がり開始よりも先に基礎中心直下地盤が塑性化して残留沈下が生じることがわかった。このことは、復旧性の観点から地震後の残留沈下量の発生を許容しない設計を行いたい場合には、常時の死荷重安全率に対して十分な余裕を確保する必要があることを示唆している。今後は、底面のせん断力の影響などについても詳細に分析するとともに、根入れ深さが異なる場合などについても検討していきたい。

参考文献

- 磯部祐輝, 吉田広基, 西岡英俊：アルミ棒積層地盤中の柱状体基礎模型に対する動的水平載荷起振器実験—その 1 起振器による載荷方法と時刻歴応答及び周辺地盤変位—, 土木学会第 49 回関東支部技術研究発表会, 2022. (投稿中)