

柱状体基礎の地震時残留沈下の発生条件に関する実験的検討

中央大学大学院 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

柱状体基礎は、平面寸法（基礎幅 B ）と根入れ長 L の比（以下、根入れ比 L/B ）の設定の自由度が高い基礎である。根入れ比 L/B の大きさによって、常時の鉛直支持力の安全率（以下、死荷重安全率 $F_{s,DL}$ と記す）には違いが生じ、常時の限界値（ $F_{s,DL}=3.0$ 程度）に近いケースも生じ得ると考えられる。このような場合、地震後に残留沈下量が発生する可能性もあり、地震後の使用性や修復性に大きく影響すると考えられる。

しかしながら、それに着目した研究の多くは根入れの浅い直接基礎が対象であり¹⁾、根入れの深い基礎を対象とした研究は、ほとんど実施されていない。そこで本研究では、根入れのある柱状体基礎の地震後の残留沈下量に着目し、アルミ棒積層体で地盤を模擬した模型水平載荷実験を実施した。

2. 実験概要

図-1 に使用した実験装置を示す。模型地盤には、中密な砂の 2 次元モデルに相当するアルミ棒積層体²⁾を用いた。また、実験ケースを表-1 に示す。各根入れ比 L/B に対して、基礎模型空中部に錘を追加することで模型重量 W を変化させた 2~4 ケースの実験を行った。地盤材料および基礎模型の詳細は参考文献³⁾を参照されたい。

3. 実験結果

(1) 水平震度と残留沈下量の関係

各加振段階毎の水平震度 k_h の片振幅と残留沈下量 δ_{BV} の関係を骨格曲線として図-2 に示す。なお、片振幅は各加振段階での最大値と最小値の差の1/2とし、水平震度 k_h は、以下の式(1)により算出した。

$$k_h = \frac{S + \frac{M}{h}}{W}$$

(1)

ここで、 S ：2方向ロードセルで計測した起振器からの入力せん断力（右向きを正）、 M ：2方向ロード

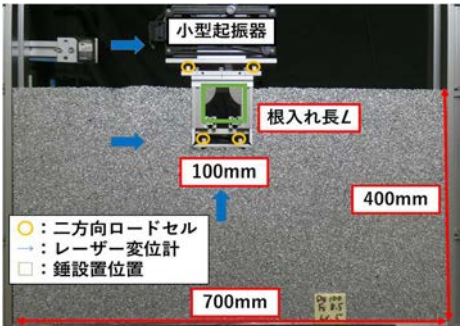


図-1 実験装置の概要

表-1 実験ケース

ケース名	根入れ長 L	根入れ比 L/B	模型重量 W	死荷重安全率 $F_{s,DL}$
Case65-3.1	65mm	0.65	188.6N	3.1
Case65-5.4			107.3N	5.4
Case100-3.1	100mm	1.0	247.2N	3.1
Case100-5.0			152.3N	5.0
Case100-7.1			108.1N	7.1
Case100-8.5			90.4N	8.5
Case150-3.1	150mm	1.5	333.8N	3.1
Case150-4.9			208.3N	4.9
Case150-7.2			143.3N	7.2
Case150-8.2			126.2N	8.2
Case200-3.1	200mm	2.0	419.7N	3.1
Case200-5.0			257.0N	5.0
Case200-8.2			157.8N	8.2

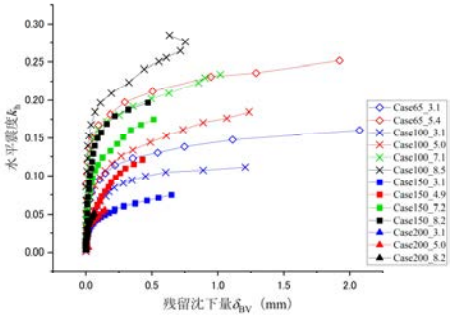


図-2 水平震度 k_h -残留沈下量 δ_{BV} 関係

セルで計測した起振器からの入力モーメント（時計回りを正）、 h ：模型高さ（基礎底面から起振器基部の2方向ロードセル中心までの高さ）、 W ：模型自重である。

図-2より、死荷重安全率 $F_{s,DL}$ が小さいケースでは、より小さい水平震度で残留沈下量が生じていることが分かる。また、同程度の $F_{s,DL}$ の場合、根入れが深

いケース($L=150\text{mm}$, 200mm)の方がより小さい水平震度で残留沈下量が累積的に増加する傾向が確認された。それと同時に、根入れが深いケースでは、基礎上部と下部における入力波形と反力波形および、周辺地盤の変位方向が、逆位相であることが確認されており³⁾、沈下が起きやすい傾向を示した一つの要因であると考えている。

(3) 鉛直支持力の安全率と残留沈下量に関する考察

ケース設定時での死荷重安全率は、同模型地盤での鉛直載荷試験の結果から算出した。しかし、水平力がかかった時の底面の応力状態は、偏心・傾斜荷重を受けた時と等しくなる。そこで、常時の死荷重安全率 $F_{s,DL}$ ではなく、式(2)に示す Meyerhof が提案した方法に倣って低減を行った極限支持力に着目した考察を行う。

$$R_u = \left(\frac{1}{2} i_\gamma \gamma B_e N_\gamma + i_q \gamma D_f N_q \right) B_e L \quad (2)$$

ここで、 γ : 本実験で使用した模型地盤の単位体積重量 $=21.8\text{kN/m}^3$, N_γ , N_q : 同模型地盤で行った鉛直載荷試験の結果から求めた支持力係数, i_γ , i_q : 傾斜荷重に対する補正係数, B_e : 偏心荷重を受けた際の有効幅である。

図-4 に、偏心・傾斜を考慮した極限支持力を模型死荷重で除した値と、 0.5mm までに拡大した残留沈下量の関係を示す。なお、根入れが深いケース程沈下しやすい傾向から、土被り圧の影響を比較するために、根入れ項を含む場合 a) と含まない場合 b) の 2 パターンを示す。図-4 の a) より、全ケースにおいて加振段階が進み、ある値まで極限支持力が下がると、残留沈下量が増加していく傾向が見られたが、その

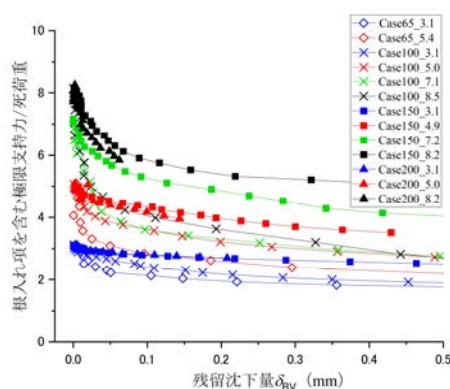
値はケースにより様々であった。また、 $F_{s,DL}=3.1$ のケースでは加振開始後すぐに残留沈下量が増加していく傾向が見られた。一方で、土被り圧を考慮していない b) に着目すると、安全率が 1.0 を下回ると、どのケースでも残留沈下量が累積的に増加する傾向が見られた。また、初期段階での安全率が 1.0 を下回っているケースでは加振開始後すぐに残留沈下が発生することが確認された。そのため、根入れ項を無視した b) の安全率を 1.0 以上確保していれば、少なくとも残留沈下は抑制できると考えられる。

4. おわりに

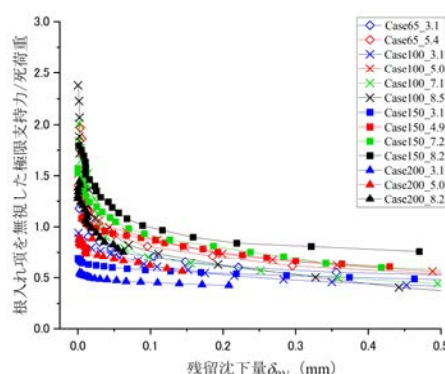
柱状体基礎の地震時残留沈下量は、根入れが深い（根入れ比が大きい）ほど、より小さい水平震度で発生する傾向が確認された。これは、基礎底面に作用するせん断力が作用力と逆方向に作用することで、周辺地盤の破壊面は基礎底面内で小さく発生するため、土被り圧が小さくなることが影響していると考えられる。これらの現象は、死荷重安全率 $F_{s,DL}$ ではなく Meyerhof の偏心・傾斜荷重の低減を考慮したうえで、根入れ項を無視した安全率を用いることで概ね合理的に説明できた。

参考文献

- 1) 西村隆義, 西岡英俊, 神田政幸: 分布地盤ばねモデルによる地震後の直接基礎の沈下量評価法, 鉄道総研報告, Vol.24, No.7, pp.23-28, 2010.
- 2) 尼田正男: 土質工学における基礎の支持力実験装置への新しい試みー異形アルミ棒を地盤材料としてー, 日本工業教育協会誌第40巻第2号, pp.23-27, 1992.3
- 3) 吉田広基, 磯部祐輝, 西岡英俊: 柱状体基礎の地震時残留沈下に関する底面周辺地盤に着目した一考察第 58 回地盤工学研究発表会, 2023 (投稿中)
- 4) 磯部祐輝, 吉田広基, 西岡英俊: 柱状体基礎の地震時沈下特性と基礎底面に作用する傾斜荷重に着目したアルミ棒積層体地盤中の模型水平載荷実験, 土木学会第 25 回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集, pp. 45-52, 2022.



a) 根入れ項を含む場合



b) 根入れ項を含まない場合

図-4 偏心・傾斜を考慮した極限支持力/死荷重と残留沈下量の関係