

柱状体基礎の死荷重安全率と地震時残留沈下特性に着目した模型水平載荷実験

中央大学大学院 学生会員 ○磯部 祐輝 中央大学大学院 学生会員 吉田 広基
中央大学 正会員 西岡 英俊

1. はじめに

地盤抵抗に大きく影響する柱状体基礎の構造諸元は平面寸法（基礎幅 B ）と根入れ長 L である。近年の施工技術の向上により、比較的強固な支持層内に深く沈設させて、平面寸法を小さくする設計が可能となっている。すなわち柱状体基礎は、設計段階での構造諸元、特に根入れ深さと基礎幅の比（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（極限支持力に対する鉛直死荷重の比率、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、地震時の底面地盤の塑性化に伴う累積的な沈下挙動に関する観点での研究としては、直接基礎を対象とした検討は行われているものの、柱状体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。地盤材料には長さ 150mm、直径 3.0mm、2.0mm、1.5mm の 3 種類のアルミ棒を重量比 1:1:1 で混合したものを、これらを厚さ 50mm ずつ撒き出し、1 層毎に小型バイブレーターで締め固めることで地盤を作製した。単位体積重量は約 21.8 N/m³であった。

橋脚模型は基礎幅 $B=100\text{mm}$ 、奥行 150mm で、柱状体基礎から橋柱部までを一体としてアルミフレームで作製した。橋柱部の上端には、載荷装置（後述する小型起振器）を 2 つの 2 方向ロードセル（設置中心間隔 108mm）を介して設置した。また、橋脚模型の基礎底面にはアルミ棒を接着して凹凸形状とした剛な受圧板を

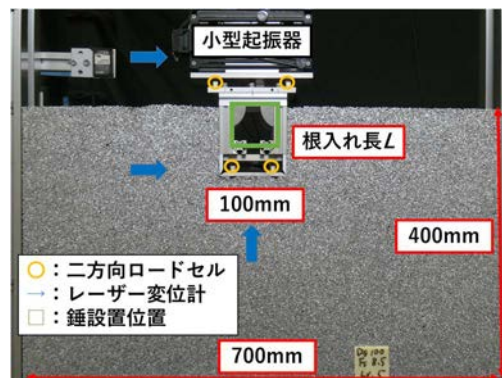


図-1 実験装置の概要

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 $F_{s,DL}$
Case100-a	100 mm	1.0	247.2 N	3.0
Case100-b			152.3 N	5.0
Case100-c			108.1 N	7.1
Case100-d			90.4 N	8.5
Case150-a	150 mm	1.5	333.8 N	3.0
Case150-b			208.3 N	4.9
Case150-c			143.3 N	7.2
Case150-d			126.2 N	8.2
Case150-e			91.3 N	11.4

2 つの 2 方向ロードセル（設置中心間隔 60mm）を介して剛結した。橋脚模型の変位は、基礎底面の鉛直方向と水平方向に 1 か所ずつ、地表面から上方に 90mm の位置の水平方向に 1 か所の計 3 か所に設置したレーザー変位計により計測した。

載荷装置には小型起振器（サンエス社製、SSV-60S、可動部質量 0.6kg、総質量 6.1kg）を使用し、地震時慣性力を模擬した水平力を与えた。加振条件は、3Hz での正弦波加振（1 度の加振は 5 秒間、すなわち 15 波）で、1 加振ごとに入力加速度を大きくしていく段階加振方式とし、起振器の最大出力値（可動部の入力加速度で 4.0m/s^2 ）に達するまで加振を行った。

実験ケースを表-1 に示す。なお、死荷重安全率 $F_{s,DL} = W/Q_u$ を算定する際の極限支持力 Q_u は、同一の方法で作製したアルミ棒積層体模型地盤にて実施した鉛直載荷実験の結果から算定した。

キーワード 柱状体基礎、水平載荷実験、残留沈下量、アルミ棒積層体、死荷重安全率

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

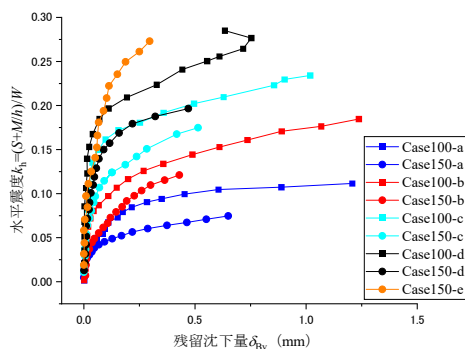


図-2 水平震度 k_h -残留沈下量 δ_{BV} 関係

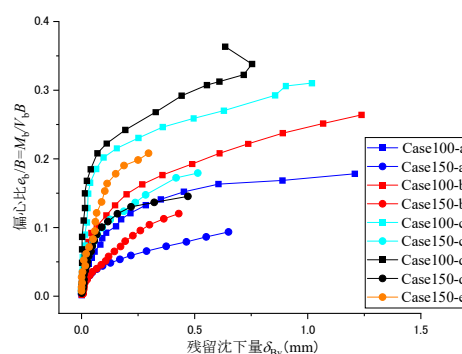


図-3 偏心率 e_b/B -残留沈下量 δ_{BV} 関係

3. 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} の関係の骨格曲線を図-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 とした。水平震度 k_h の計測・算定に関しては文献³⁾を参照されたい。

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発生していることが分かる。また、同程度の死荷重安全率 $F_{s,DL}$ の場合、根入れが深い $L=150\text{mm}$ のケースの方がより小さい水平震度で残留沈下量が増加する傾向が確認された。

4. 基礎底面反力の偏心率と残留沈下量の関係

根入れを有する柱状体基礎の地震時水平力に対する地盤抵抗は主に側面の水平抵抗と底面のせん断及び回転抵抗で分担される。これらのうち残留沈下量と関係が深いのは、死荷重の大半を負担する底面での地盤抵抗であり、特に回転抵抗は基礎端部の地盤に鉛直押し込み方向の塑性化を生じさせるため、残留沈下量の主要な発生要因となり得る。そこで、以下では底面の反力モーメントを鉛直反力で除して求めた偏心率 e_b/B に着目した考察を行う。具体的な偏心率 e_b/B の計測・算定に関しては文献³⁾を参照されたい。

図-3 に基礎底面反力の偏心率 e_b/B と残留沈下量 δ_{BV} の関係を示す。水平震度との関係と同様に、死荷重安全率 $F_{s,DL}$ が小さいケースほど、より小さな偏心率で沈下量が増加し始める傾向を示し、同程度の $F_{s,DL}$ の場合には根入れ長 L が長い方が、より小さい偏心率で残留沈下量が増加し始めることが分かる。

図-4 に各ケースの死荷重安全率 $F_{s,DL}$ と残留沈下が発生する限界状態に達する偏心率 (以下、 $e_{b,s}/B$ と表記) の関係を示す。ここで $e_{b,s}/B$ の値は、図-3 で残留沈下量が 0.1mm に達した時点の偏心率として求めた。ある地震作用に対する基礎底面反力の偏心率が、この残留沈

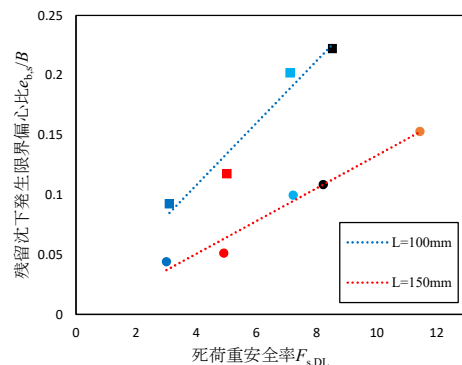


図-4 残留沈下発生限界偏心率 $e_{b,s}/B$ と死荷重安全率 $F_{s,DL}$ の関係

下発生限界偏心率 $e_{b,s}/B$ を下回っていれば、残留沈下が生じる可能性は低いと判断できる。図-4 より、この $e_{b,s}/B$ の値は、 $F_{s,DL}$ が小さくなるほど小さくなっており、残留沈下を抑制したければ基礎底面に作用する荷重の偏心率が小さくなるよう設計する必要があることが分かる。また、本実験結果からは、同じ死荷重安全率であっても、根入れが深い (根入れ比が大きい) 方が、荷重の偏心率をより小さく設計する必要がある結果となった。

5. おわりに

柱状体基礎の残留沈下の発生を抑制するには、常時の死荷重安全率の下限値 $F_{s,DL}=3.0$ では不十分であり、基礎底面に作用する荷重の偏心率が小さくなるように設計する必要があることが確認された。今後、基礎底面に作用する組み合わせ荷重に着目した考察を行い、詳しいメカニズムを明らかにしていく。

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) 磯部祐輝, 吉田広基, 西岡英俊: 柱状体基礎の地震時残留沈下特性に関するアルミ棒積層体を用いた模型水平載荷実験, 日本地震工学会・大会 2022.