

アルミ棒積層地盤を用いた柱状体基礎の地震時の残留沈下挙動に関する基礎的実験

吉田 広基¹・磯部 祐輝²・西岡 英俊³

¹ 学生会員 中央大学大学院 理工学研究科都市人間環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: a18.tyn6@g.chuo-u.ac.jp

² 学生会員 中央大学大学院 理工学研究科都市人間環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: a17.afbh@g.chuo-u.ac.jp

³ 正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: nishioka@civil.chuo-u.ac.jp

柱状体基礎の地震時の抵抗メカニズムは、側面での水平抵抗だけでなく、基礎底面での回転抵抗および滑動抵抗の組み合わせとなるが、常時の死荷重に対する余裕が小さい柱状体基礎では、地震時に基礎底面地盤の塑性化が生じて残留沈下が発生する可能性がある。そこで中密な砂に似た力学特性を示すアルミ棒積層地盤中に柱状体基礎模型を設置し、その上の橋脚天端相当位置に設置した起振器で地震時慣性力を模擬した水平力を与える模型実験を、死荷重安全率を変化させて実施した。その結果、周辺地盤の塑性化状況が明らかになったほか、死荷重安全率が5程度を下回ると、基礎端部が浮き上がらない中規模の地震によっても残留沈下量が生じる可能性があることがわかった。

Key Words: *Oscillator, Column Foundation, Safety Factor of Dead Load*

1. はじめに

渡河橋梁等の比較的長スパンを有する橋梁の基礎には、ケーソン基礎等の柱状体基礎が適用されることが多い。ケーソン基礎の設計では、必要とされる全ての性能を確保できる範囲で経済性と施工性の観点も考慮して、その構造諸元を適切に設定することが求められる。常時の鉛直荷重については、ケーソン基礎の場合は沈設という施工プロセスから周面抵抗は期待せず、基礎底面での鉛直支持力のみで負担するように設計するのが一般的である。また、ケーソン基礎以外の柱状体基礎でも底面積に対する側面の周面積の比率から、同一荷重を支持する群杭基礎に比べれば、周面抵抗よりも基礎底面での負担割合が大きい。

一方、我が国では、耐震設計上で考慮すべき地震作用が他の作用に対して比較的大きく、橋梁基礎の構造諸元は主に地震時の性能照査によって決定されるケースが多い。柱状体基礎の地震時の地盤抵抗としては、一般に側面（前面および背面）の水平地盤ばね、底面のせん断地盤ばね、および底面の回転地盤ばねを考慮する¹⁾。また、柱状体基礎の地盤抵抗のうち、基礎底面の地盤抵抗は、

地震時、常時ともに根入れの浅い直接基礎と類似のモデル化として、回転抵抗と滑動抵抗を期待するのが一般的である。

常時の鉛直荷重を基礎底面で負担している直接基礎や柱状体基礎では、地震時に上部構造物に作用する水平方向の慣性力に伴って基礎底面に作用する荷重に偏心・傾斜が生じることとなる。これに伴って底面地盤が塑性化する場合には、鉛直方向の荷重が増加しなくても地震後に累積的な沈下量を生じる恐れがある。

この観点での研究としては、直接基礎を対象とした検討²⁾⁴⁾が行われている一方、根入れの深い柱状体基礎については、直接基礎よりも抵抗要素が多く挙動が複雑であることのほか、実験自体の難易度が高いことなどから、これまでこの観点での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実験を実施した。

2. 死荷重安全率に及ぼす根入れ比の影響

柱状体基礎の構造諸元のうち、地盤抵抗に大きく影響するのは平面寸法（基礎幅 B ）と根入れ長 L である。従来は柱状体基礎の根入れ長 L は支持層出現深度とした上で、基礎幅 B を施工上で必要とされる最小寸法は確保しつつ、さらに設計計算上必要な幅となるように設定することが多かったと考えられる。しかしながら、近年の施工技術の改良により、比較的強固な支持層内に深く沈設させて根入れ長 L を大きくすることも可能となってきた。すなわち、地震時の水平方向慣性力に対する性能を確保できる構造諸元として、根入れ長 L を浅くする代わりに基礎幅 B を大きくしたケースから、基礎幅 B を小さくする代わりに根入れ長 L を深くしたケースまで、幅広い条件で設計することが可能になっている。

このように直接基礎に比べて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くなることが柱状体基礎の設計の特徴の一つであるが、根入れ比 L/B が異なることによって死荷重安全率 F_{sDL} に違いが生じ、地震後の鉛直方向の残留沈下量（すなわち地震後の使用性や修復性）に差異が生じる可能性が考えられる。

一般に柱状体基礎底面の鉛直支持力算定式には、直接基礎と同様にいわゆる Terzaghi 系の支持力理論を拡張・補正して適用されている。柱状体基礎の断面形状が幅 B の正方形で鉛直荷重の偏心・傾斜が無い場合の Terzaghi 系の支持力理論による砂質土地盤での極限支持力 Q_u の算定式の例を式(1)に示す。

$$Q_u = A(\beta_b B \gamma N_\gamma + \gamma D_f N_q) \quad (1)$$

ここで、 A : 底面積
 β_b : 形状係数（正方形の場合=0.3）
 N_γ, N_q : 支持力係数
 γ : 地盤の単位体積重量
 D_f : 基礎底面の土被り厚（= L ）

内部摩擦角 $\phi=31^\circ$ 粘着力度 $c=0\text{kN/m}^2$ 、単位体積重量 $\gamma=22\text{kN/m}^3$ の地盤（後述するアルミ棒積層体と同条件の地盤）に対して、根入れ深さ $L=15\text{m}$ 、基礎幅 $B=10\text{m}$ の柱状体基礎と全体積が一定となる条件の下で、根入れ比 L/B を変化させた場合の極限支持力 Q_u の算定結果を図-1

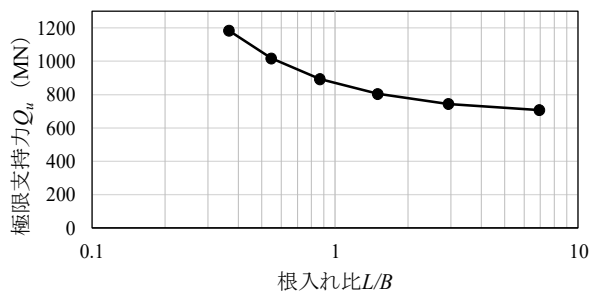


図-1 根入れ比 L/B と極限支持力 Q_u の関係

に示す。なお、ここでは側面の周面抵抗は無視している。基準類による補正方法の違いもあるため、実際の影響の程度は地盤・構造条件によって異なるものの、定性的には根入れ比 L/B を大きくするほど柱状体基礎底面の極限支持力 Q_u は小さくなる傾向にある。実際には、地震時の水平方向慣性力に対する性能が同等となる基礎幅 B と根入れ長 L の組合せで柱状体基礎の全体積が一定になるとは限らないが、基礎幅 B を小さくする代わりに根入れ長 L を深くしていけば、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_{sDL} と記す）は低下することが多い。

なお、この死荷重安全率 F_{sDL} の大きさに関しては、根入れが浅い直接基礎の場合には、 $F_{sDL} \approx 10 \sim 30$ 程度と非常に大きい余裕を有していることが報告されている²⁾。これは、直接基礎では地震時の地盤抵抗の大半は基礎底面の回転抵抗によって負担されるため、基礎幅 B が耐震設計によって決定されるためである。一方、根入れの深い柱状体基礎を対象とした同様の設計事例の分析結果は報告されていないが、上述した根入れ比 L/B と死荷重安全率 F_{sDL} の定性的な傾向からすれば直接基礎よりも死荷重安全率 F_{sDL} の余裕は小さくなり、常時の設計として最低限必要とされる値（一般には $F_{sDL}=3.0$ 程度）に近いケースも生じ得ると考えられる。すなわち、柱状体基礎は直接基礎に比べて相対的に、地震後の残留沈下量の発生確率、およびそれに伴う地震後の使用性や修復性の限界状態の超過確率が高くなっている可能性もある。

以上より、本研究では、死荷重安全率 F_{sDL} を主たる実験パラメータとし、その範囲を $F_{sDL}=3 \sim 10$ 程度の範囲で設定することとした。

3. 模型実験の概要

(1) 模型地盤および模型橋脚

使用した実験装置の概要を図-2に示す。模型地盤には既往の柱状体基礎の水平地盤反力評価に関する研究でも使用実績⁹⁾があり、中密な砂の2次元モデルと見なすことができるアルミ棒積層体⁶⁾を用いた。模型地盤の寸法は幅700mm、深さ300mmであり、使用したアルミ棒は長さ150mmで、直径3.0mm、2.0mm、1.5mmの3種類を重量比1:1:1で混合した。模型地盤の構築は、アルミ棒を厚さ50mmずつ撒き出し、1層毎に小型パイププレートを用いて締め固めた。この作業の結果、単位体積重量 $\gamma=22.0\text{kN/m}^3$ となり、傾斜法により求めた安息角は約31度となった。

模型橋脚は、アルミフレームで基礎から地上部分までを一体で作製し、基礎幅 $B=100\text{mm}$ 、根入れ長 $L=100\text{mm}$ 、奥行き150mmとした。模型橋脚の設置方法

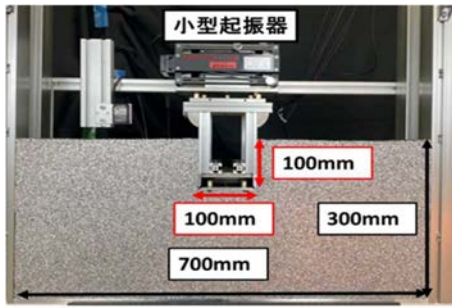


図-2 模型実験の概要

表-1 実験ケース

| ケース名 | 模型質量 | F_{sDL} |
|-------|---------|-----------|
| Case1 | 9.3 kg | 8.5 |
| Case2 | 16.3 kg | 4.9 |
| Case3 | 26.1 kg | 3.0 |

は、まず基礎底面の高さまで模型地盤を構築し、その上に模型橋脚を設置した後に残りの基礎側面の模型地盤を構築する方法とした。

模型橋脚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、基礎底面全体での反力（鉛直反力、せん断反力及び反力モーメント）を直接計測した。模型橋脚の変位は、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60mm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。

(2) 荷重方法および実験ケース

本実験では、荷重装置の拘束によって基礎の沈下が抑制されることが無いよう、地震時慣性力に相当する水平力を模型橋脚天端に設置した小型起振器（サンエス社製、SSV-60S、可動部質量0.6kg、総質量6.1kg）によって与えることとした。

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）とし、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により、模型橋脚が自重で倒れるまで加振を行った。小型起振器からの入力荷重につ

いては、模型橋脚天端との間に設置した2つの2方向ロードセルを用いて計測した。実際には水平力とモーメントの両方が作用したが、モーメント分を水平力に換算して求めた換算水平力作用高さは、基礎底面から385mm付近であった。

実験ケースは、模型橋脚のアルミフレームで囲まれた部分に錘（鉄板）を追加することで模型橋脚の全死荷重を変化させた表-1に示す計3ケースとした。これらの全死荷重を極限支持力 Q_u で除して求めた死荷重安全率 F_{sDL} は、それぞれ $F_{sDL}=3.0, 4.9, 8.5$ である。なお、極限支持力 Q_u は、内部摩擦角等から支持力式で推定した値ではなく、同一のアルミ棒積層体の模型地盤での同一寸法・同一根入れ長の模型基礎に対する鉛直載荷実験によって実測した値（ $Q_u=770\text{N}$ ）を用いた。

4. 実験結果

(1) 模型橋脚全体での水平震度と変位の関係

図-3に各ケースの水平方向の荷重変位関係として、起振器による換算水平力を模型自重で除した水平震度 k_h と重心位置（＝換算水平力作用位置、基礎底面から385mm）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(2)から算出した。

$$k_h = \frac{S + \frac{M}{h}}{W} \quad (2)$$

ここで、 S ：起振器からの入力せん断力（右向きを正）、 M ：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ロードセル中心までの高さ、 $h=185\text{mm}$ ）、 W ：模型自重（追加した錘と起振器を含む）である。

図-3より水平震度 k_h が0.1～0.25程度の加振段階で繰り返し荷重によって一方向に変位が累積していく傾向を示していることがわかる。また、荷重変位関係の骨格曲線

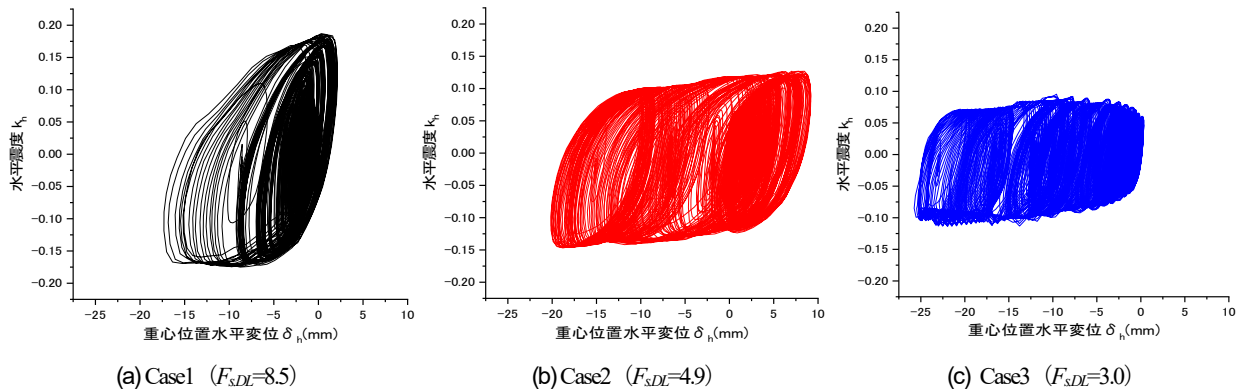


図-3 水平震度—水平変位履歴曲線

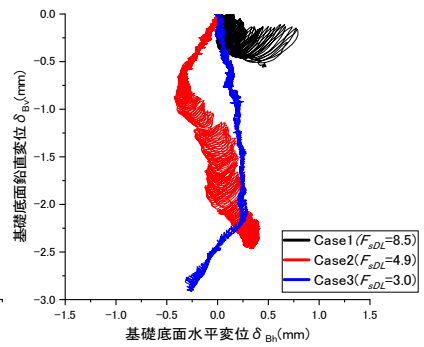
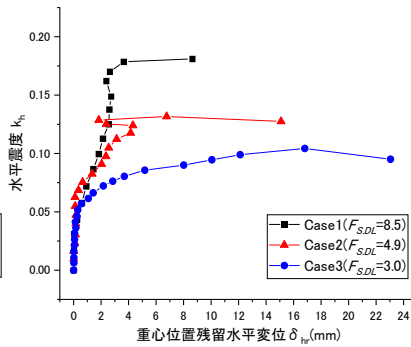
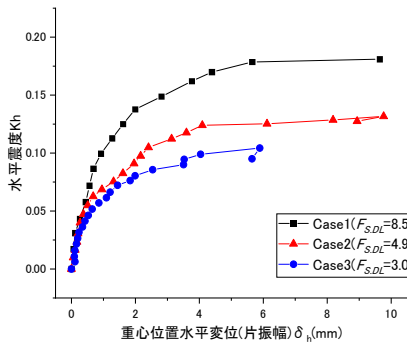


図-4 水平震度—片振幅水平変位関係 (骨格曲線) 図-5 水平震度—残留水平変位関係 (骨格曲線) 図-6 基礎底面変位軌跡

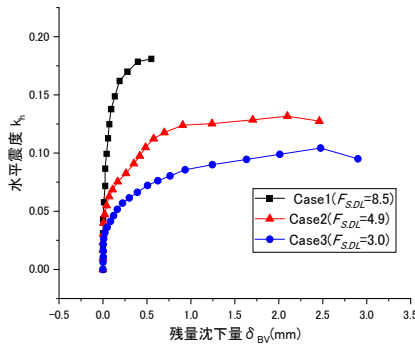


図-7 水平震度—残留沈下量関係

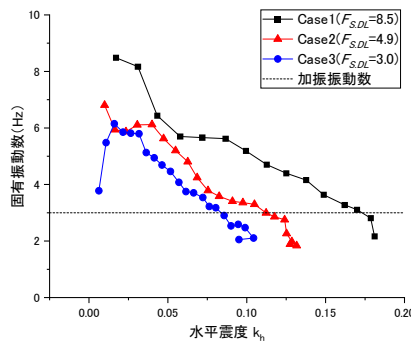


図-8 固有振動数—水平震度関係

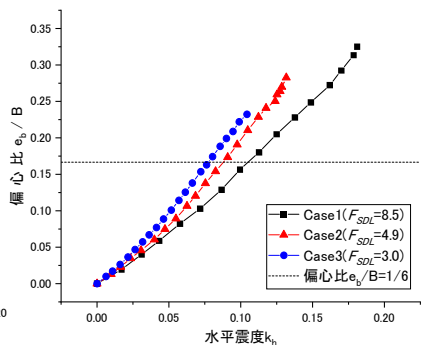


図-9 偏心率—水平震度関係

として、各加振段階毎の水平震度 k_h の片振幅と加振終了後の残留水平変位との関係を図-4に、水平震度 k_h の片振幅と水平変位 δ_h の片振幅との関係を図-5に示す。なお、本報では片振幅は、全15波の加振での最大値と最小値の差の1/2として求めた。各ケースとも、変位振幅が増加して残留水平変位が発生し始める水平震度、すなわち水平抵抗の観点での降伏震度 k_{hy} は0.05程度ではほぼ同程度であることがわかる。一方、水平震度の最大値 k_{hmax} （すなわち基礎の最大抵抗力）には差異があり、Case1 ($F_{sDL}=8.5$) では $k_{hmax} \approx 0.18$ 程度であるが、Case3 ($F_{sDL}=3.0$) になると $k_{hmax} \approx 0.10$ 程度まで低下していることがわかる。

次に、水平方向加振に伴う沈下挙動について比較するため、各ケースの基礎底面中心位置の変位軌跡を図-6に示し、各加振段階毎の水平震度 k_h の片振幅と加振終了後の基礎底面中心の残留沈下量の骨格曲線を図-7に示す。死荷重安全率 F_{sDL} が小さいほど、加振に伴って累積的に沈下していく傾向が確認でき、残留沈下量が発生し始める水平震度、すなわち残留沈下の観点での降伏震度は、死荷重安全率 F_{sDL} の影響が大きく、特にCase3 ($F_{sDL}=3.0$) では図-4から求めた水平抵抗の観点での降伏震度 ($k_{hy} \approx 0.05$ 程度) を下回っていることがわかる。

以上より、水平抵抗の観点での降伏震度 k_{hy} が同一であっても、死荷重安全率 F_{sDL} が小さいほど、基礎の最大抵抗力や残留沈下が生じ始める水平震度が小さくなるだけでなく、残留沈下が生じ始める水平震度は水平抵抗の観点での降伏震度 k_{hy} よりも小さくなる恐れがあること

がわかる。

また、今回の実験における固有振動数を評価するため各水平震度に対する固有振動数の関係を図-8に示す。なお固有振動数は、水平震度 k_h と重心高さ（地表面から285mm）における水平変位 δ_h の片振幅を用いて以下の式(3)で算出した。

$$f_n = \frac{\sqrt{k_h g}}{2\pi} \div \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k_h}{\delta_h}} \quad (3)$$

なお、本報では水平変位 δ_h の片振幅を、データ整理上の都合により便宜的に全15波の加振での最大値と最小値の差の1/2として求めたため、水平変位の残留変位が生じ始める $k_{hy} \approx 0.05$ 程度以降では図-8の固有振動数を過小していることとなる（正確に1サイクルでの片振幅を求めた場合よりも式(3)中の水平変位 δ_h の値を過大評価しているため）。図-8より、水平抵抗の観点での降伏震度 $k_{hy} \approx 0.05$ 付近では固有振動数は加振振動数（3 Hz）よりも高くなっており、弾性域では長周期側での加振となっていたことがわかる。また、模型橋脚が自重で倒れる最終の加振段階付近では全ケースとも固有振動数が加振振動数付近まで低下し、大きく共振して転倒に至ったことが分かる。

(2) 基礎底面での回転抵抗特性と地盤の塑性化の状況

根入れを有する柱状体基礎の場合、地震時の地盤抵抗は、側面の水平抵抗と底面のせん断および回転抵抗で分

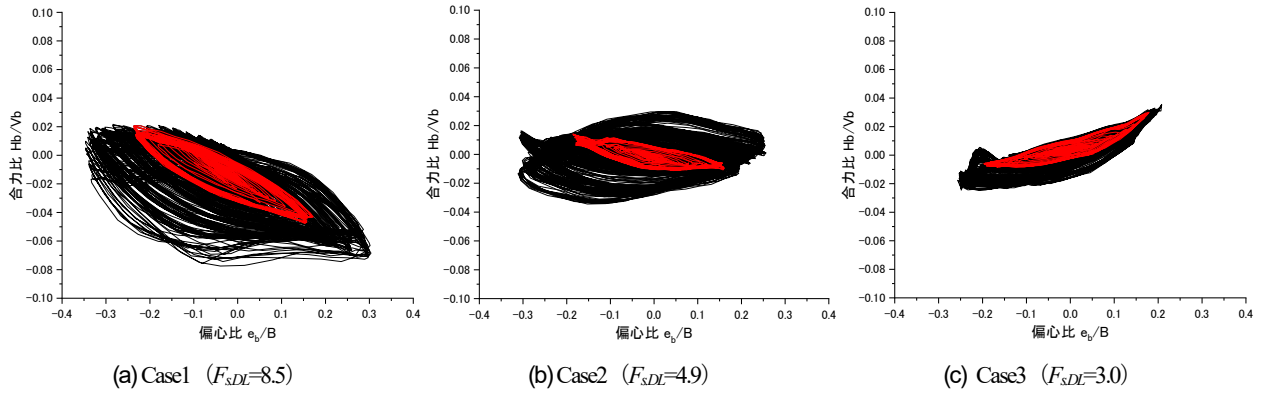


図-10 底面荷重の合力比—偏心比関係

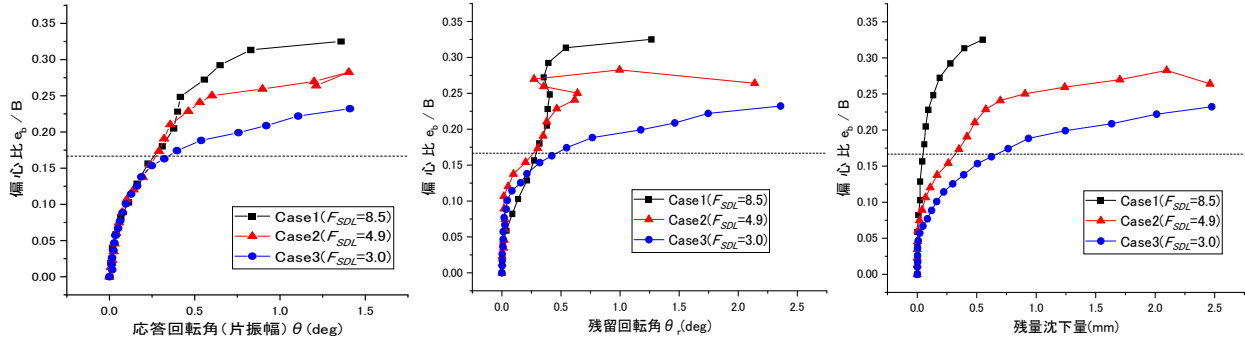


図-11 偏心比—片振幅回転角関係

図-12 偏心比—残留回転角関係

図-13 偏心比—残留沈下量関係

担される．ここでは模型橋脚基礎底面に設置した2方向ロードセルにより計測した反力（反力モーメント M_b 、および鉛直反力 V_b ）を用いて式(4)により求めた偏心比 e_b 、および基礎底面端部の浮上りが生じ始める時点の偏心比（以下、浮上り開始時偏心比 $e_{bu}/B=1/6$ ）との大小関係に着目した検討結果について示す．

$$\frac{e_b}{B} = \frac{M_b}{V_b B} \quad (4)$$

まず、各加振段階毎の水平震度 k_h の片振幅と基礎底面の偏心比 e_b/B の片振幅の関係を図-9に示す．全ケースとも水平震度 $k_h \approx 0.07 \sim 1.12$ 程度で、偏心比 e_b が浮上り開始時偏心比 e_{bu}/B に達している．図-4より求めた水平抵抗の観点での降伏震度 $k_{vy} \approx 0.05$ 程度であることを踏まえると、浮き上がりに伴う基礎底面の回転抵抗の剛性低下よりも前に柱状体基礎全体の降伏が発生することが分かる．

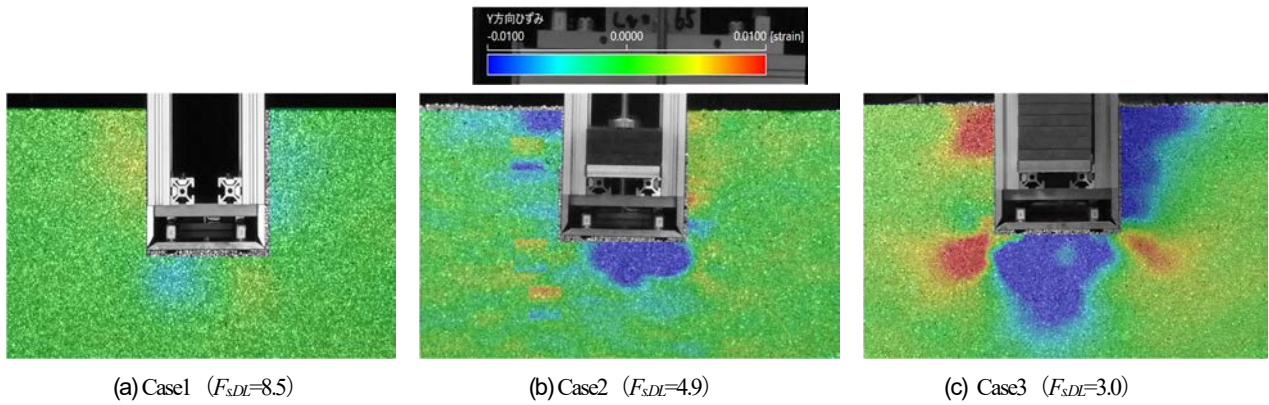
次に基礎底面におけるすべり現象を評価するために偏心比に対する底面反力の合力比（底面で計測したせん断反力 H_b を底面の鉛直反力 V_b で除した値）の関係を図-10に示す．今回の実験では基礎底面にアルミ棒を接着した模型を使用しているため、摩擦係数は内部摩擦角 ϕ の正接である0.6程度と考えられる．図-10の合力比はこの摩擦係数に比べて十分に小さく、今回の実験ではすべてのケースにおいて基礎底面でのすべり現象は生じていないと判断できる．

また図-10中では浮上り開始時偏心比 $e_{bu}/B=1/6$ に達し

た加振段階での履歴曲線を赤色で示しているが、その勾配は差異があることがわかる．特に死荷重安全率 F_{SDL} が高いケースでは基礎底面での合力の作用位置が偏心する方向とせん断力が生じる方向（すなわち合力の傾斜方向）が逆転していることが見て取れる．なお、図-9よりこの加振段階は水平震度では $k_h \approx 0.07 \sim 1.12$ 程度であり、図-8よりこの段階での固有振動数は加振振動数よりも大きいことから、上下が明確に逆位相となるような2次モードの振動成分はほとんど含まれていない．つまり、死荷重安全率 F_{SDL} が高いケースでの合力の偏心方向と傾斜方向の逆転は、模型重量が軽いため回転中心が基礎底面よりも若干上方にあることを意味している．

次に、各加振段階毎の基礎底面の偏心比 e_b/B の片振幅に対する応答回転角の片振幅の骨格曲線を図-11に、残留回転角との骨格曲線を図-12に、残留沈下量との骨格曲線を図-13に示す．また、各図中には、浮上り開始時偏心比 $e_{bu}/B=1/6$ を点線で示している．

図-11および図-12より、基礎底面の回転抵抗特性は浮上り開始時偏心比 $e_{bu}/B=1/6$ までは3ケースとも同一の抵抗特性を示すが、浮上り発生直後から死荷重安全率 $F_{SDL}=3$ のCase3が他2ケースよりも抵抗特性が低下しており、端部地盤の塑性化が生じ始めていると想定される．なお、直接基礎の設計においては、偏心荷重の影響のモデル化手法として、Meyerhofの有効幅⁷⁾の考え方が広く用いられている．この考え方を適用すると、端部の浮上り発生と同時に端部地盤が塑性化するのには、死荷重安全率が



(a) Case1 ($F_{s,DL}=8.5$) (b) Case2 ($F_{s,DL}=4.9$) (c) Case3 ($F_{s,DL}=3.0$)

図-14 画像解析による浮き上がり発生加振段階終了時の残留ひずみ（鉛直方向の伸びひずみ ϵ_y ）の分布

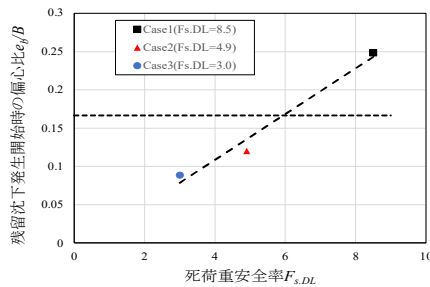


図-15 残留沈下発生開始時偏心比と

$F_{s,DL}=3$ の状態（かつ荷重の偏心が無い状態）と評価される。すなわち、本実験のCase3の底面の回転抵抗特性は、既往の直接基礎の設計モデルで評価できることがわかる。

一方、図-13からは、Case2およびCase3では底面に浮き上がりが生じ始める $e_b/B=1/6$ よりも載荷荷重が小さい加振段階から残留沈下量が生じ始めていることが確認できる。そこで、浮上り開始時偏心比 $e_{bu}/B=1/6$ に達した加振段階終了時の基礎周辺地盤の残留ひずみ（鉛直方向の伸びひずみ ϵ_y ）を画像解析で求めた結果を図-14に示す。

図-14より、Case2およびCase3では端部地盤の塑性化が生じるよりも先に基礎直下地盤に塑性化が生じて残留ひずみが発生すること、また、死荷重安全率 $F_{s,DL}$ が小さいほど残留ひずみの発生範囲が広く、また基礎中心直下に集中する傾向が確認できる。よって、残留沈下量の発生は、一般的な直接基礎底面の回転抵抗の終局状態として想定されている端部地盤の塑性化ではなく、基礎底面中心直下地盤が塑性化して圧縮されて生じていることがわかる。

各ケースで残留沈下が発生し始めた時（ここでは残留沈下量が0.1mmを超過した加振段階とした）の偏心比 e_b/B と死荷重安全率 $F_{s,DL}$ との関係を図-15に示す。これらの近似直線と浮上り開始時偏心比 $e_{bu}/B=1/6$ の交点は $F_{s,DL}=6$ 程度となった。すなわち、本実験の構造諸元および地盤条件においては、基礎底面端部の浮上りよりも前に【基礎中心直下地盤の塑性化を生じさせない】ためには、従来の直接基礎の設計法で【基礎端部地盤の塑性化を生じさせない】ために最低限必要とされる死荷重安全

率 $F_{s,DL}=3$ では不十分であるということになる。

5. おわりに

本研究では、柱状体基礎の地震後の残留沈下量の発生傾向と死荷重安全率の関係に着目した模型実験を行った。加振条件は実際の地震に比べて厳しい条件であることなどから定量的な評価には至っていないが、定性的には地震後の残留沈下量の発生を回避する必要がある場合には、死荷重安全率を十分に確保しておく必要があることが確認できた。

なお、これまでの柱状体基礎橋脚が地震によって基礎全体の傾斜や沈下等の被害を受けた事例は、躯体の損傷あるいは地盤の液状化に起因するものに限られており、本実験のような基礎底面直下地盤の塑性化に起因した残留沈下が問題となった事例は報告されていない。これは、既往の柱状体基礎橋脚の設計事例では、耐震設計が基礎幅および根入れ長が決定した結果、死荷重安全率自体に十分に大きな値が確保できていたことや、地盤のモデル化誤差および支持力推定誤差などにも配慮した設計を行うことで、（設計上は把握できていない）真の極限支持力に対する死荷重安全率自体は十分に大きな値となっていたことなどによって、問題が顕在化しなかったものと考えられる。

ただし、今後は、施工技術の進展や近接施工等の観点から基礎幅を極力小さくし、その代わりに根入れ長を深くする設計事例も増えると考えられる。さらに性能設計の導入により、詳細な地盤調査を行って支持力等の推定誤差を極力小さくして設計を合理化する事例も増えていくと考えられる。これらの合理化の取り組みが、意図せずに地震後の残留沈下量発生リスクを高めてしまう恐れもあることから、引き続き、残留沈下量を精度よく評価できる定量的な手法の開発に取り組んでいきたいと考えている。具体的には、当面は根入れ比 L/B や載荷高さなどもパラメータとした実験を追加していくことを考えている。

REFERENCES

- 1) 西岡英俊, 佐名川太亮, 神田政幸: 鉄道橋のケーソン基礎の設計, 基礎工, Vol.43, No.5, pp.11-14, 2015.
- 2) 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.
- 3) 笠原康平, 佐名川太亮, 中島卓哉: 地震を受けた直接基礎の残留変形量の推定に関する研究, 第15回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2600-2609, 2018.
- 4) 川田草貴, 西岡英俊: 地震時慣性力を想定した乾燥砂地盤上直接基礎橋脚の水平載荷実験 (載荷高さが基礎幅の2倍の場合), 日本地震工学会第16回年次大会梗概集, 2021.
- 5) 大石雅彦, 前田良刀, 落合英俊, 北崎誠: 柱状剛体基礎の水平地盤反力, 第48回地盤工学シンポジウム論文集, pp.115-120, 2003.
- 6) 菊本統, 中井照夫, 張鋒, ホサインシャヒン: アルミ棒積層体を用いた2次元模型実験, 地盤工学会誌, Vol.56, No.10, pp.12-15, 2008.
- 7) G.G. Meyerhof: The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads, Proc. of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Switzerland), Vol.1, pp.440-445, 1953.

Basic experiments on seismic residual settlement of column foundation in aluminum rod laminate model ground

Hiroki YOSHIDA, Yuki ISOBE and Hidetoshi NISHIOKA

The resistance mechanism of columnar foundations during an earthquake is a combination of horizontal resistance at the sides, rotational and sliding resistance at the bottom of the foundation. Residual settlement may occur due to plasticization of the ground at the bottom of the foundation. Therefore, we installed a columnar foundation model in the aluminum rod laminate model ground that exhibits mechanical properties similar to dense sand, and applied a horizontal force model that simulates the inertial force during an earthquake with an oscillator at the position equivalent to the top of the pier. A model experiment was conducted by changing the safety factor of dead load. As a result, the plasticity of the surrounding ground was clarified, and if the safety factor of dead load is less than about 5, residual settlement may occur even in a medium-scale earthquake in which the edge of the bottom does not rise.