

水平交番載荷実験による直接基礎の地震時残留沈下量に関する考察

中央大学 学生会員 ○川田草貴
中央大学 正会員 西岡英俊

1. はじめに

地震後の直接基礎橋脚の沈下量は、鉄道や道路の復旧性に大きく影響する。よって、耐震診断などする際は残留沈下量を正しく評価する必要があるが、上部構造物の地震時慣性力によって直接基礎に回転モーメント M が繰り返し作用することに伴う残留沈下量の発生について、定量的に評価する手法は未開発である。

以上のような背景から、本研究では模型直接基礎の水平交番載荷実験を実施しており、その結果、水平力の載荷の繰り返し回数は、作用モーメント M と回転角 θ の関係にはさほど影響しないが、沈下には顕著な影響を与えることが分かっている¹⁾。本稿では、主に回転角の増加に伴う残留沈下量の増加傾向に着目して実験結果の考察を行う。

2. 実験概要

図-1 に実験装置の概要を示す。土槽寸法は幅 1000mm、高さ 400mm で、模型地盤は乾燥豊浦砂（乾燥密度＝平均 1.56g/cm³、相対密度＝平均 89%）である。直接基礎橋脚模型は、基礎幅 100mm、高さ 300mm、質量 2.9kg の剛体模型であり、その上に錘として鉄板を複数枚重ねて設置することで、桁等の上部構造物の重量を模擬した。この模型の基礎底面から高さ 300mm の位置にワイヤーを取り付け、左右交互に引張ることで水平力 P を載荷した。左右それぞれのワイヤーの基部のロードセルで、水平力 P を計測した。また、レーザー変位計により載荷高さの水平変位 δ_h 、模型上部の鉄板上面の鉛直変位 δ_v 、および回転角 θ を求めた。

次に交番載荷の順序について説明する。まず荷重制御にて、作用モーメント M が $BV/6$ (B : 基礎幅, V : 模型死荷重, 基礎が浮き上がるモーメントに相当) となるように水平力を左右両側で載荷する。そして、この基礎浮き上がり時の δ_h を、「降伏変位 δ_{hy} 」とした。これ以降は変位制御で載荷を行い、 δ_{hy} を基準として左右両側で δ_h の振幅を倍増させていき（塑性率 $\mu = \delta_h / \delta_{hy}$ を $\mu = 2, 4, 8 \dots$ と倍増させていき）、転倒するまで載荷を行なっ

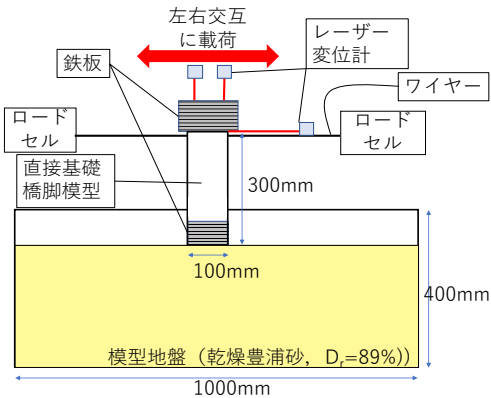


図-1 実験の様子

表-1 実験ケース

ケース名	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
死荷重V(N)	135	212	287	364	389	598
V/V _{limit} (%)	3.1	4.9	6.7	8.5	9.1	14
安全率	32	20	15	12	11	7

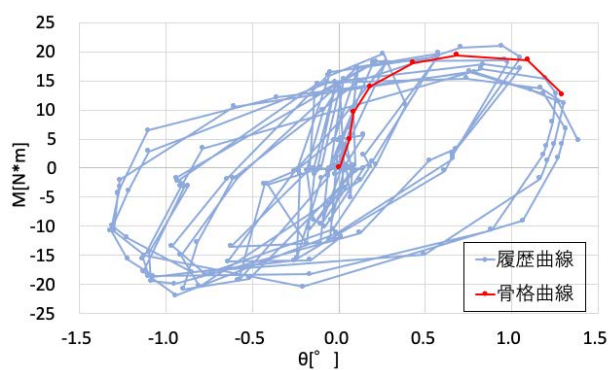
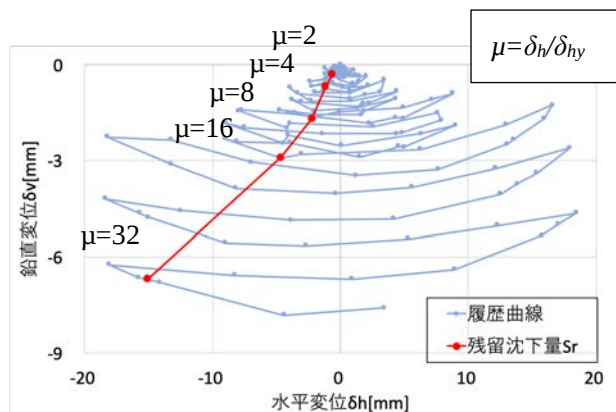
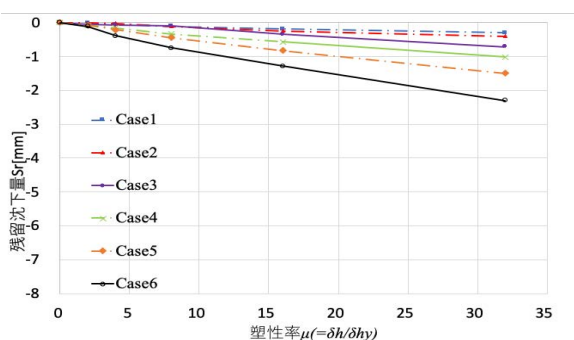
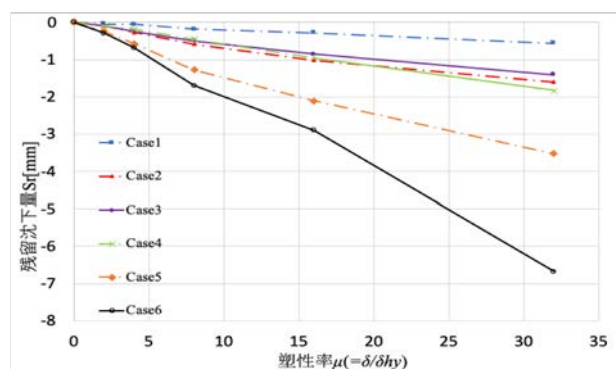
各ケースで、載荷の繰り返し回数1回と3回の2パターンを実施

た。
実験ケースは表-1 に示すように、過去の同規模の模型実験²⁾から推定した無偏心・無傾斜時の極限支持力 $V_{limit}=4,288\text{N}$ に対して模型死荷重 V を $V/V_{limit}=3.1\sim 14\%$ (安全率 $F_s=32\sim 7$) の範囲で設定し、6 ケース実施した。地震動の繰り返し回数が沈下量に与える影響を調べるため、各実験ケースで δ_h をそれぞれ1回与える場合と、3回繰り返して与える場合の2パターンを行った。これらの実験条件の詳細については、参考文献 1) を参照されたい。

3. 実験結果

M - θ 関係の一例を図-2 に示す。正負交互に載荷するため図-2 のような M - θ 関係を示す。なお過去の報告では、図中に赤で示したような骨格曲線にして M - θ 関係を比較したところ、繰り返し回数 1 回と 3 回で大きな変化は見られなかった。詳しくは参考文献 1) を参照されたい。

次に、鉛直変位 δ_v -水平変位 δ_h 関係の一例を図-3 に示す。左右に揺さぶられながらも、全体としては徐々に下方に沈下していく様子を確認することができる。

図-2 M - θ 関係 (Case6, 繰り返し回数 3 回)図-3 鉛直変位 δ_v -水平変位 δ_h 関係 (Case6, 繰り返し回数 3 回)図-4 残留沈下量 S_r -塑性率 μ 関係 (繰り返し回数 1 回)図-5 残留沈下量 S_r -塑性率 μ 関係 (繰り返し回数 3 回)

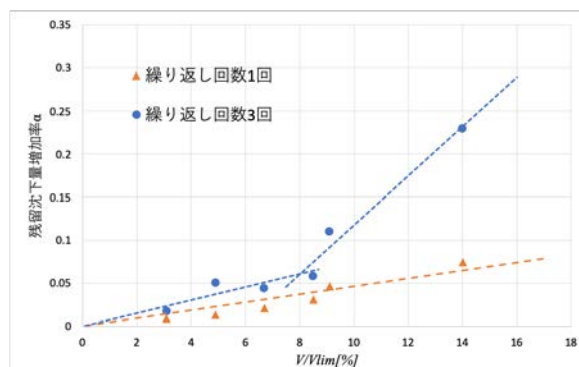
また、図-3 の図中には、「水平荷重がゼロとなった時点での鉛直変位 δ_v 」を「残留沈下量 S_r 」として、各塑性率 $\mu (= \delta_h / \delta_{hy})$ での S_r を赤で示した。この図から μ の増加に応じて S_r が増加していく様子が確認できるが、この関係をグラフにしたのが図-4 (繰り返し回数 1 回) および図-5 (繰り返し回数 3 回) である。まず、同じ死荷重のケースを繰り返し回数の違いで比較すると、どのケースも繰り返し回数 3 回の方が S_r は大きくなった。

次に、図-4、図-5 のグラフの傾きは、 μ の増加に伴う S_r の増加率と解釈できることから、以下「残留沈下量増加率 α 」とする。なお、繰り返し回数 1 回 (図-4) と繰り返し回数 3 回 (図-5) では、模型死荷重の増加に伴う α の増加に違いが見られるため、図-4、図-5 のそれぞれのグラフの傾き α を、図-6 にプロットした。

図-6 を見ると、繰り返し回数 1 回は α はほぼ線形で増加したが、繰り返し回数 3 回では、 $V/V_{limit}=8\%$ 周辺で α が急激に増加した。

4. おわりに

M - θ 関係は水平力の载荷の繰り返し回数が変わっても大きく変化しなかった一方で、残留沈下量は繰り返し回数に大きく影響を受け、繰り返し回数が多い方が大きくなった。また残留沈下量増加率 α についても繰

図-6 残留沈下量増加率 α と V/V_{limit} の関係

り返し回数によって一定でなかったことから、繰り返し回数によって、沈下が顕著になる死荷重に対する安全率が異なることがわかった。

なお、本研究の一部は中央大学特定課題研究費「課題名：偏心荷重が繰り返し作用する直接基礎の累積変形挙動の解明」の助成を受けたものがある。

参考文献

- 1) 川田草貴, 西岡英俊, 地震時の鉛直変位に着目した直接基礎の水平交番載荷実験 (投稿中) 2021
- 2) 西岡英俊, 神田政幸, 舘山勝, 村田修, 平尾淳一, 樋口俊一: 静的模型実験による鋼矢板併用直接基礎の鉛直支持力特性に関する研究, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.3, pp.772-782, 2007.8