

水平交番载荷試験による直接基礎橋脚の地震時残留沈下量に関する研究

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沈下量を正しく評価する必要があるが、そのような評価方法は未開発であるというのが現状である。

直接基礎橋脚の地震時挙動は、桁等の上部構造物を含めた重心高さ h での水平方向の慣性力 H によって、基礎底面にモーメント $M=Hh$ が作用し、図-1に示すように慣性力の増加に伴ってフーチングが回転していく。慣性力が小さいうちはモーメント M と回転角 θ の関係はほぼ線形となるが、 M が $BV/6$ (B : 基礎幅、 V : 鉛直荷重) を超えるとフーチングが浮き上がることによって $M-\theta$ 関係は非線形化していく。地盤が弾性体の場合、モーメントが $M = BV/2$ (鉛直地盤反力がフーチング端部に集中した状態) まで増加して最終的に転倒に至る。しかし実際はフーチング端部の地盤が支持力破壊を生じるため、最大抵抗モーメント M_{md} は M_{limit} を発揮することなく頭打ちとなる。この M_{md} と、地盤強度や繰り返し回数といった諸条件との関係は明らかになっていない。

このような背景から、本研究では様々な安全率で水平交番载荷試験を実施し、直接基礎の設計時に留意すべき点を、沈下量に着目して調べた。

2. 実験概要

図-2に使用土槽及び試験装置を示す。用いた土槽は幅 1000mm、高さ 400mm、奥行き 198mm で、アクリル製の側面から地盤の挙動を観察できる小型土槽を用いた。模型地盤は乾燥豊浦砂を用い、多重ふるいで空中落下法にて砂を均一に降らせた。地盤の乾燥密度は平均 1.56g/cm³、相対密度は平均 72%であった。

直接基礎橋脚模型は、基礎幅 100mm、高さ 300mm、奥行き 195mm、質量 2.9kg でアルミフレームを用いた剛体模型とした。桁等の上部構造物の荷重を模擬するために、上部に幅 140mm、厚さ 6mm、奥行き 200mm、質量 1.3kg の鉄板を、下部に幅 100mm、厚さ 6mm、奥行き 140mm、質量 0.6kg の鉄板を複数枚

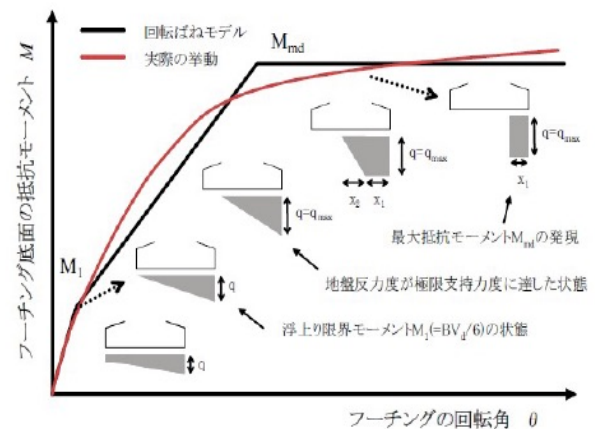


図-1 直接基礎の地震時挙動



図-2 左図:使用土槽 右図:直接基礎橋脚重ねて設置した。

载荷は、基礎底面から高さ 300mm の位置にワイヤーを取り付け、これを左右交互に水平に引張ることによって地震時の慣性力によって直接基礎に水平力とモーメントが繰り返し作用する状況を模擬した。計測は、レーザー変位計により载荷高さでの水平変位及び鉄板上面の 2 点 (水平方向離隔 70mm) で鉛直変位を計測し、2 点の平均から橋脚天端中心位置での沈下量 S (沈下する方向が正) を求め、2 点の差分から回転角 θ を求めた。また、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。

交番载荷の順序は、まず作用モーメントが基礎端部浮き上がり発生モーメント ($M=BV/6$) に相当する水平力まで荷重制御で正負両側に载荷し、この時の最大水平変位と最小水平変位の絶対値の平均を降伏変位 δ_y とする。以降はこの降伏変位の 2 倍、4 倍、8

キーワード 直接基礎、正負交番载荷試験、偏心・傾斜荷重、極限支持力

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:03-38171804

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/Vlimit(%)	3.1	4.8	6.5	8.3	8.8	13.6
安全率	33	21	15	12	11	7

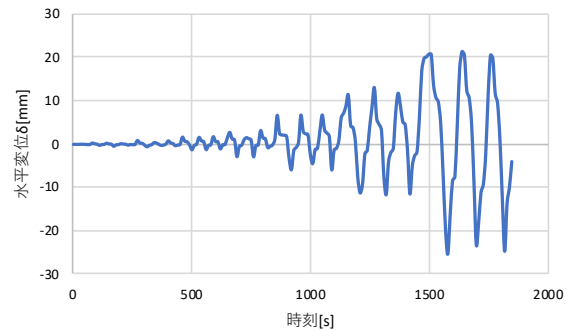


図-3 载荷点水平変位 δ の時刻歴波形(Case3)

倍・・・と正負交番で水平変位 δ を倍増させ（すなわち塑性率 $\mu=\delta/\delta_y$ を $\mu=2, 4, 8・・・$ と倍増させ）、転倒に至るまで変位制御で载荷を行なった。なお、今回は実際の地震動を考慮し、同じ変位を3回繰り返して与えた（ $\mu=1$ も3回）。この順序による水平変位の時刻歴の一例を図-3に示す。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から推定した無偏心・無傾斜時の極限支持力 $V_{limit}=4,398\text{N}$ に対して模型死荷重 V を3～13%（安全率 $F_s=33\sim7$ ）の範囲で設定し、6ケース実施した。

3. 実験結果

実験結果の一例として、Case3（死荷重の安全率 $F_s=15$ ）の载荷水平荷重 $P\sim$ 载荷点水平変位 δ 関係を図-4に、载荷点水平変位 δ と沈下量 S の時刻歴を図-5に示す。正負交番载荷に伴って水平変位が生じているときには浮き上がりを生じつつも、全体としては沈下量が増加していく傾向が確認できる。

ここで各ケースでの沈下量の増加傾向を比較するため、各塑性率 μ での3回繰り返し後に水平変位がゼロになった時点での「残留沈下量 S_r 」に着目する。図-6に示した塑性率 μ と残留沈下量 S_r との関係から、塑性率に応じて残留沈下量が増加する傾向が確認でき、その増加傾向は死荷重の安全率が小さくなるほど大きいことがわかる。

4. まとめ

模型地盤上の正負交番水平载荷実験により、鉛直荷重が大きいほど、直接基礎の塑性率の増加に伴う残留沈下量の増加傾向が強まることが確認できた。本実験で残留沈下量が最も大きくなったのは Case6

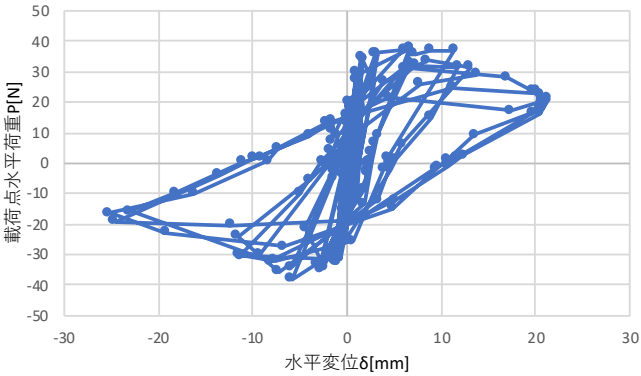


図-4 水平荷重 $P\sim$ 水平変位 δ 関係(Case3)

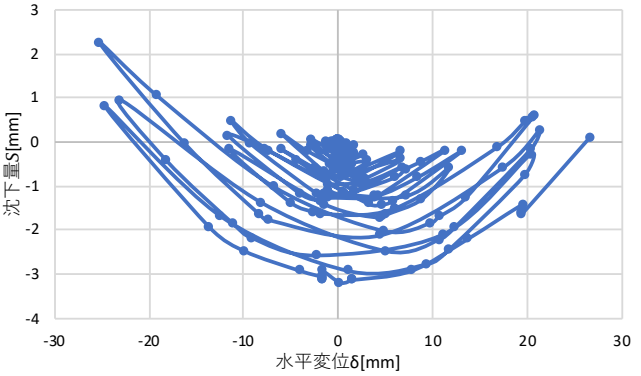


図-5 沈下量 $S\sim$ 水平変位 δ 関係(Case3)

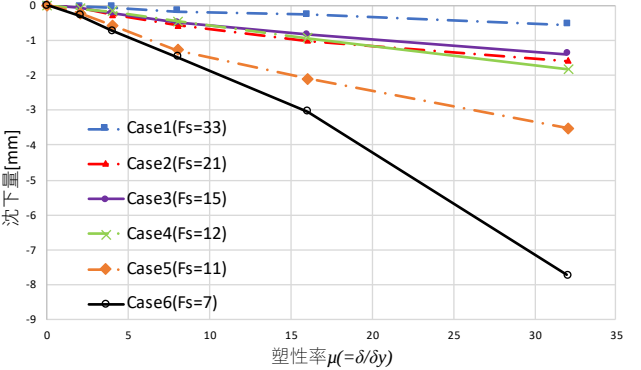


図-6 塑性率 μ と残留沈下量 S_r の関係

であるが、これでも直接基礎の常時の設計で最低限必要とされる安全率 $F_s=3$ は十分に満足している。すなわち、大地震時に残留沈下量の発生を避ける必要のある構造物の場合には、耐震設計上の観点から死荷重に対してかなり大きな安全率を確保することが重要と考えられる。

参考文献

1) 西村隆義,西岡英俊,神田政幸,館山勝,分布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.22-28, 2010 7
2) 西岡英俊, 神田政幸, 館山勝, 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