

水平正負交番繰り返し載荷実験による直接基礎の地震時挙動に関する基礎的研究

中央大学 ○学生会員 杉井 優路 正会員 西岡 英俊

1. はじめに

直接基礎の地震時挙動は、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、モーメントが $BV/6$ (B : 基礎幅, V : 鉛直荷重) を超えるとフーチングの浮上りによって非線形化し、地盤が弾性体の場合、モーメントが $M_{\text{limit}} = BV/2$ (鉛直地盤反力がフーチング端部に集中した状態) までモーメントが増加して最終的に転倒に至る。ただし、実際に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は M_{limit} よりも小さくなる¹⁾。

そのため、直接基礎の耐震設計においては、この端部地盤の支持力を正しく評価することが重要となる。現在の耐震設計法の多くでは地震時のフーチング底面端部の地盤の支持力の評価は Meyerhof の偏心・傾斜荷重に対する低減の考え方が用いられているが、この考え方は一方向の単調載荷試験の結果が基本となっており、実際の地震時に想定される繰り返し載荷の影響は十分には考慮されていない。

そこで、本研究では地震時慣性力を想定した直接基礎モデルの水平載荷試験を、一方向単調載荷と正負交番繰り返し載荷の二つの載荷方法で実施し、載荷方法の違いが地震時挙動（抵抗特性や地盤の破壊モード）に及ぼす影響について検討した。

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 で片面がアクリル製で地盤の変形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、多重ふるいで砂を均一に降らせた。地盤の乾燥密度は、平均 1.562g/cm^3 であった。直接基礎モデルは、基礎幅 100mm、高さ 200mm、奥行き 195mm、質量 2kg の木材として、桁等の上部構造物の荷重を模擬するため、幅 200mm、厚さ 6mm、質量約 1.7kg の鉄板を複数枚重ねて設置

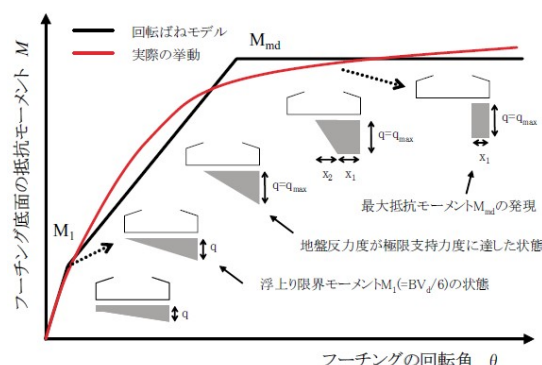


図-1 直接基礎の地震時挙動¹⁾

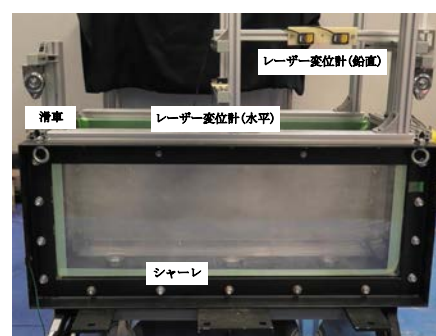


図-2 使用した土槽および試験装置

表-1 実験条件

ケース名	Case1	Case2	Case3	Case4
死荷重 $V(\text{kgf})$	17.38	30.98	44.58	53.08
$V/V_{\text{limit}}(\%)$	4	7	10	12
載荷高さ(mm)	224	248	272	290

した。計測は、レーザー変位計により載荷点付近の水平変位及び鉄板上面の 2 点（離隔 100mm）の鉛直変位を計測し、鉛直変位の差分から回転角を求めた。

載荷方法は、モデルの重心位置相当として重ねた鉄板部の中心高さからワイヤーを水平方向に張り、滑車を介してワイヤー先端に取り付けた錘を増やしていき、その自重により水平力を作用させる方法とした。また、正負交番繰り返し載荷は、まず作用モーメント $M = BV/6$ に相当する水平力を左右両側で載荷する荷重制御とし、これを 3 回繰り返した。それ以降は、 $M = BV/6$ 時の水平変位量を基本として、その 2 倍、3 倍、4 倍と徐々に変位振幅を増加させる変位制御載荷とし、各変位振幅でそれぞれ 3 回繰り返した。実験ケースは、表-1 に示すように鉛直荷重 V を主た

キーワード 直接基礎、正負交番載荷、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: 03-3817-1804

るパラメータとして鉄板枚数を変化させ、それぞれで一方単調載荷試験と正負交番載荷試験を実施した。鉛直荷重 V は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 $V_{\text{limit}}=4,300\text{N}$ に対して、4～12%の範囲とした。

3. 実験結果

図-3に、Case 4 ($V/V_{\text{limit}}=0.12$) の転倒時の地盤の状況と観察されたすべり面を一方単調載荷と正負交番載荷のそれぞれで示す。一方単調載荷時には載荷している前方にすべり面が生じたのに対して、正負交番繰り返し載荷の場合には後方にすべり面が生じており、鉛直荷重は同一であっても地盤の破壊モードに違いが生じていることが確認された。

図-4に一方単調載荷試験、図-5に正負交番載荷試験の $M-\theta$ 関係を示す。図-1と同様の傾向が得られており、いずれも最終的には転倒に至った。

各ケースの結果を比較するため、試験で観測された最大抵抗モーメント M_m と鉛直荷重 V との関係を図-6に示す。なお、図-6では最大抵抗モーメントは $M_{\text{limit}} = BV/2$ で、鉛直荷重は V_{limit} で除して正規化して示すとともに、図-3(b)に示すような後方側へのすべり面が観察されたケースを白抜きのプロットで示している。

図-6の結果から、片方に水平力が作用する一方単調載荷より、左右に水平力が作用する正負交番載荷の方が、抵抗モーメントが低下する傾向が見られた。このような低下が生じた理由の一つとして、正負交番載荷時には地盤の破壊モードが載荷方向に対して後方側へのすべり破壊に変化することが影響している可能性が考えられる。ただし、Case2では破壊モードが変化しても抵抗力は同程度であり、今後の検証が必要である。

4. まとめ

本研究では、直接基礎模型を作成し、一方単調載荷試験及び正負交番載荷試験の比較を行った。その結果、単調載荷試験より正負交番載荷試験の方が、地震時の抵抗力が低下する場合があります。繰り返し載荷に弱いことがわかった。また、地盤の破壊モードとして、正負交番載荷とすることで、載荷方向に対して後方側へのすべり破壊に変化する場合があることがわかった。今後は実験精度を高めて、より詳細な検討を行っていく所存である。

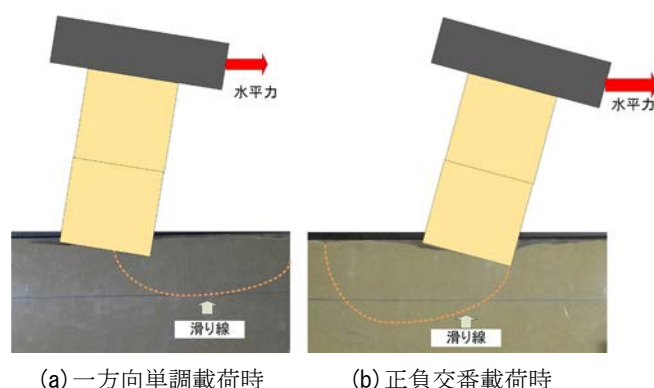


図-3 地盤破壊時の滑り線の観察結果 (Case4)

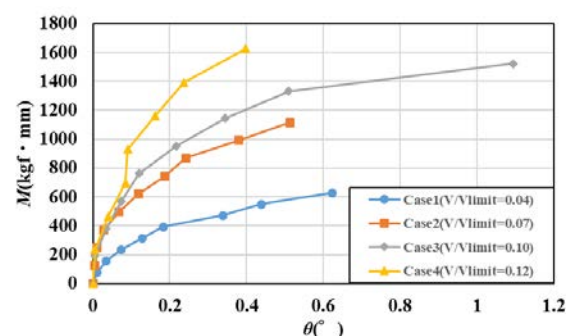


図-4 一方単調載荷試験の $M-\theta$ 関係

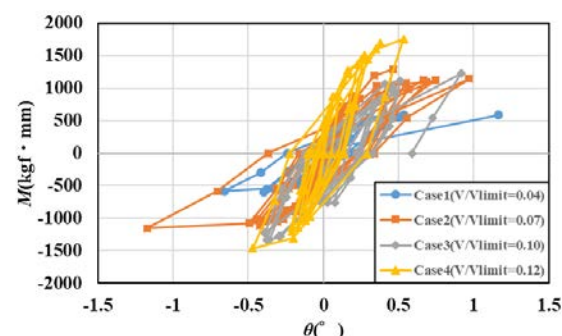


図-5 正負交番載荷試験の $M-\theta$ 関係

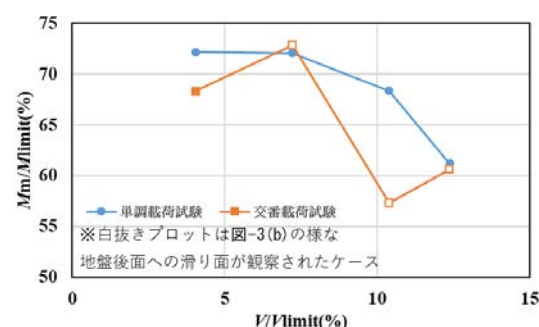


図-6 最大抵抗モーメント M_m と鉛直荷重 V の関係

参考文献

- 1) 西村隆義, 西岡英俊, 神田政幸, 舘山勝: 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 2010 7
- 2) 西岡英俊: シートパイル基礎の開発とその地盤抵抗特性の解明 p16 2009