

地震波を模擬した乾燥砂地盤上直接基礎橋脚模型の水平荷重実験による 水平荷重と鉛直変位の関係に関する一考察

中央大学大学院 学生会員 ○川田 草貴 中央大学 正会員 西岡 英俊

1. 研究背景

地震時における慣性力の作用によって直接基礎に偏心・傾斜荷重が作用して基礎底面地盤が塑性化した場合には、鉛直方向の荷重が増加していなくても鉛直下向きに変位（沈下）が生じる場合がある。橋梁基礎に地震後に有害な沈下量が残留すると地震後の鉄道や道路の供用性・復旧性に影響が出るため、これらの性能を評価するためには、地震後に残留する沈下量を高精度に把握する必要がある。しかし水平荷重 H やモーメント M と鉛直変位の関係が明らかになっていないため、直接基礎の地震後の沈下量を直接照査できていないのが現状である。

そこで本研究では、直接基礎橋脚模型に地震時における載荷経路を模擬した水平荷重実験を行い、水平荷重と鉛直変位の関係を規定するパラメータについて考察した。

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、奥行き 199mm である。模型地盤は乾燥豊浦砂を用いて空中落下法にて作成し、その乾燥密度は平均 1.58g/cm^3 、相対密度は平均 86% であった。直接基礎橋脚模型は、基礎幅 100mm、高さ 336mm、奥行き 195mm、質量 3.3kg の剛体模型である。この上に錘として鉄板を複数枚設置することで死荷重として鉛直荷重 V を一定に載荷した ($V=425\text{N}$)。また基礎模型底面には摩擦抵抗を確保するためサンドペーパーを貼り付けてある。また電動シリンダと直接基礎橋脚模型はピンおよびリニアガイドで結合しており、沈下を拘束しない機構としている。

計測は、レーザー変位計により模型上面（上部に設置した錘の上面）の鉛直変位 2 点、および模型上面（橋脚部の上面）と載荷高さの水平変位 2 点を計測している。また載荷点に設置してあるロードセルで水平荷重を計測している。

次に載荷方法について説明する。実験模型が載荷点を重心位置とする 1 質点系でモデル化できると仮定し、実地震波で加振した際の載荷点の応答変位を Newmark β 法により解析的に求め、得られた応答変位の通りに載荷点に変位するように電動シリンダで 0.1mm/s の一定速度で準静的に載荷を行った。

入力変位波形はスケールを載荷終了毎に倍で増加させて

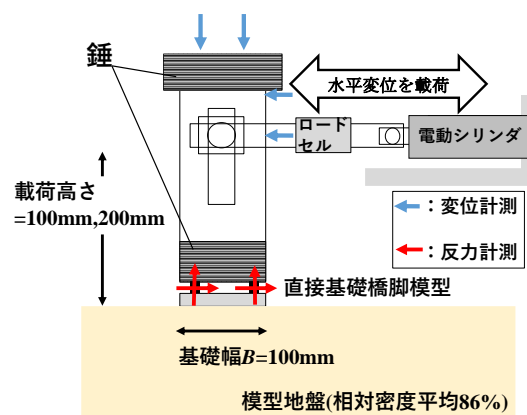


図-1 実験装置模式図

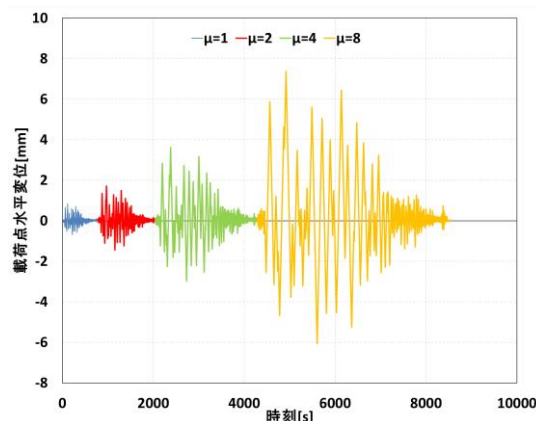


図-2 載荷点水平変位時刻歴（内陸型）

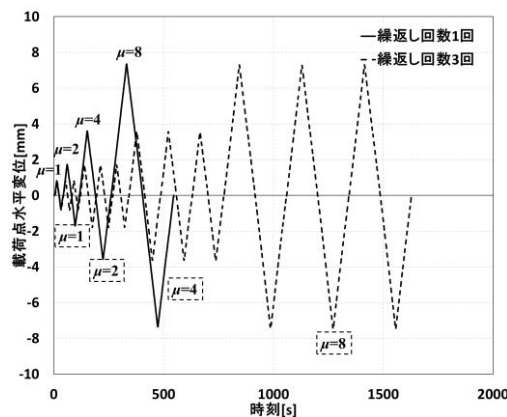


図-3 載荷点水平変位時刻歴
(繰返し回数 1 回, 3 回)

キーワード 直接基礎, 沈下量, 履歴吸収エネルギー, 地震,

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

いる。具体的には、入力変位波形の最大値 δ_{hm} を降伏変位 δ_{hy} の 1 倍, 2 倍, 4 倍, 8 倍となるように、入力変位波形のスケールを载荷終了毎に増加させた。なお、この δ_{hm} と δ_{hy} の比 δ_{hm}/δ_{hy} は降伏変位に対する入力変位波形の最大値の割合を示すものであり、塑性率 μ とする。この入力変位波形は、鉄道標準 L2 スペクトル I (海溝型) と神戸地震波 (内陸型) の 2 種の地震波から作成した。(図-2) この他、各塑性率の水平変位を 1 回のみ与える場合 (繰返し回数 1 回) と、3 回のみ与える場合 (繰返し回数 3 回) の実験も行った (図-3)。これらの実験ケースを表-1 にまとめて示す。

3. 実験結果

鉛直変位と回転角の関係を図-4 に示す。鉛直変位は鉛直上向きを正とし、 $M=0$ の時の鉛直変位および回転角を、それぞれ残留沈下量および残留回転角として赤点でプロットしている。図-4 から、回転変形を生じながら残留沈下量が鉛直下向きに累積していく様子が確認できる。

ここで、残留沈下量は底面地盤の塑性化によって生じるものであり、塑性化の程度が大きいほどそこで消費されるエネルギーが大きいはずである。そして、任意の時点までに载荷点でした仕事の累計、すなわち累積履歴吸収エネルギーを用いることで、その時点までの累積沈下量の大きさを簡潔にモデル化できる可能性が考えられる。なお、一般に 1 サイクルあたりの履歴吸収エネルギーは、図-5 の斜線部の面積として定義されるが、ここでは瀧本・川島²⁾の考え方等を参考として、これらを順次累積させたものを累積履歴吸収エネルギーとした。そしてこの累積履歴吸収エネルギーと沈下量の関係を各 μ 終了時点で抽出しプロットした結果を図-6 に示す。ただし 0.2mm 以下の沈下量は除外して図化を行っている。この結果、累積履歴吸収エネルギーと沈下量の関係は同一線上に概ね集約しているように見られる。

4. まとめ

本研究では模型死荷重と载荷高さ一定の基、入力波をパラメータとして直接基礎橋脚模型に地震時を模擬した水平载荷実験を実施した。その結果、水平荷重による累積履歴吸収エネルギーと鉛直方向の沈下量には载荷履歴に依らない概ね一定の関係があることが分かった。

参考文献

- 1) 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载荷実験(载荷高さが基礎幅の 2 倍の場合), 日本地震工学会第 16 回年次大会梗概集, T2021-060, 2021
- 2) 滝本和志, 川島一彦: 基部で曲げ破壊する RC 橋脚のエネルギー吸収容量の定式化, 土木学会論文集, No.532/V-30, pp.5-13, 1996.

表-1 実験ケース

ケース名	载荷高さ (mm)	地震波	模型死荷重 V(N)
425_200_内陸型	200	神戸地震波	425
425_200_海溝型		鉄道標準L2 スペクトルI	425
425_200_1		繰返し回数1回	425
425_200_3		繰返し回数3回	425
$V_m=5659N$ (無偏心・無傾斜の極限鉛直支持力)			

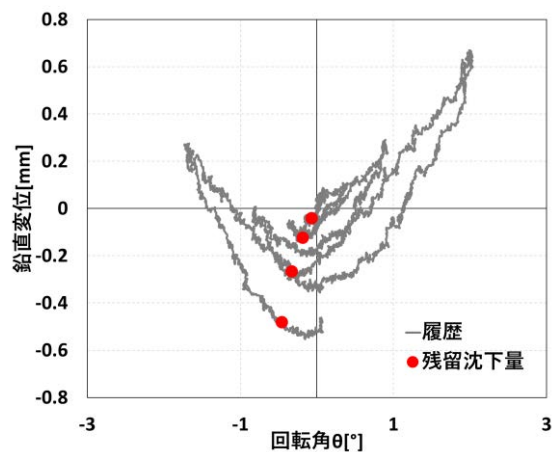


図-4 鉛直変位-回転角関係(425_200_1)

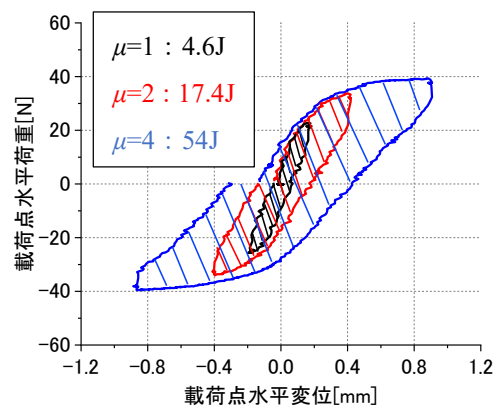


図-5 履歴吸収エネルギー (斜線部)

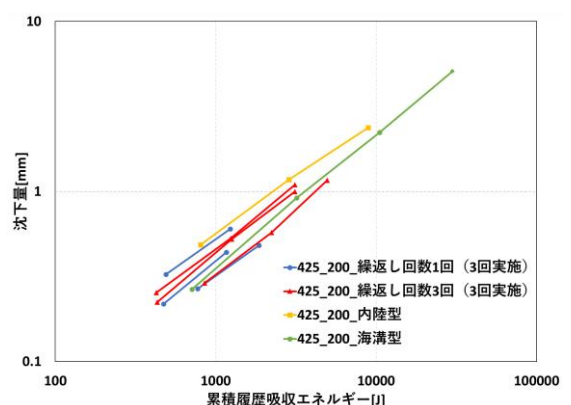


図-6 累積履歴吸収エネルギーと沈下量