

## 直接基礎の地震時残留変位に関する振動台実験

(株)大林組(元(独)土木研究所交流研究員) 正会員 浅井 隆一  
 (独)土木研究所 基礎チーム 正会員 白戸 真大  
 同 上 正会員 野々村佳哲  
 同 上 正会員 福井 次郎

### 1. はじめに

現在、道路橋示方書<sup>1)</sup>における直接基礎の耐震設計では地震時慣性力を静的荷重として評価し、支持力と安定性に対する照査は行っているが、変位については直接的には考慮していない。より合理的な設計を行うためには、地震後の残留変位量も考慮した設計法が有効であると考えられる。そこで、本研究では地震時残留変位に着目し、直接基礎の地震時挙動を把握する目的で振動台実験を行った。

### 2. 実験概要

図-1 に実験の概略図を示す。平面寸法 4 m×4 m のせん断土槽内に厚さ 2 m の模型地盤を作成し、その地盤上に直接基礎模型を設置し加振した。加振は一方方向である。図-2 に実験模型を示す。実験模型は、基礎、柱、上部構造部からなる鋼製模型である。基礎平面寸法は 0.5 m×0.5 m、模型全重量は 8.385 kN である。

地盤には、乾燥させた豊浦標準砂を用いた。地盤は 20 cm の層厚ごとに相対密度  $D_r=80\%$  になるよう振動プレートで締め固めて作成した。

計測項目は、地盤および模型の加速度、基礎底面に加振方向に並べて設置した 11 個の 2 方向ロードセルによる鉛直力とせん断力である。また、模型および地盤には標点を設置し、デジタルビデオカメラを用いて定点より撮影した画像から変位を求めた。

実験ケースは、表-1 に示す 3 ケースで、加振波を変化させた。また、Case 2 および Case 3 では加振中の Z 軸まわりの回転を拘束する目的で根入れさせている。実験中に地表面で計測された加速度の最大値は表-1 の通りである。

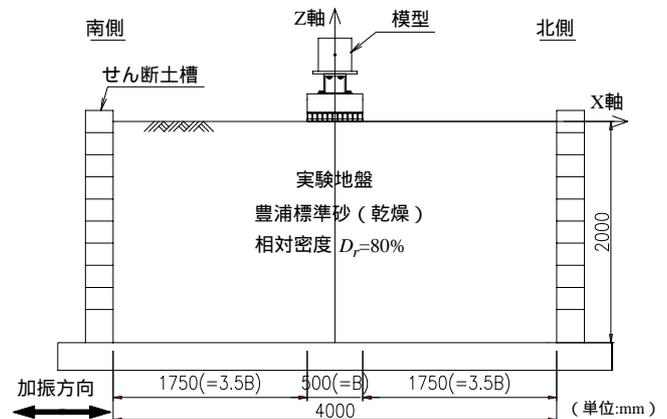


図-1 実験概要図

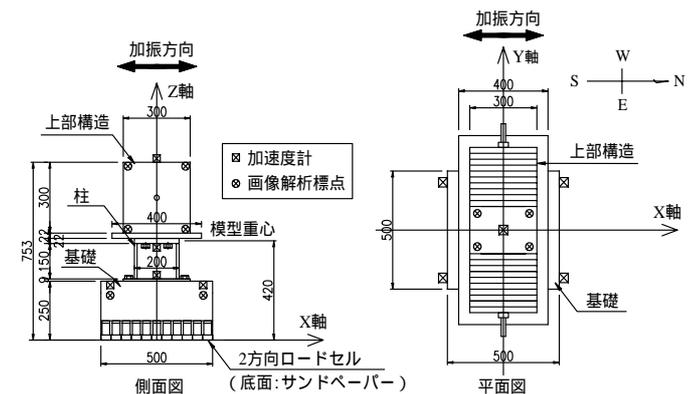


図-2 実験模型

表-1 実験ケース

Case	加振波	地震タイプ	地表面最大加速度実測値(gal)	根入れ(mm)
Case 1	七峰橋波	Type I	601	-
Case 2	神戸波	Type II	712	50
Case 3	神戸波(80%)*	Type II	557	10

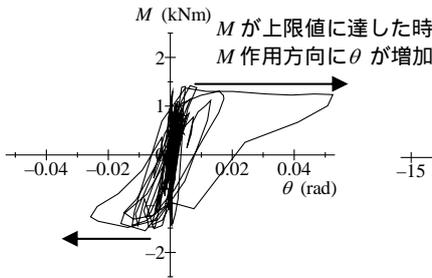
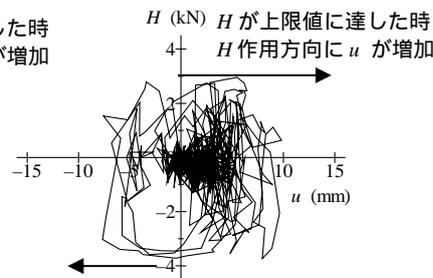
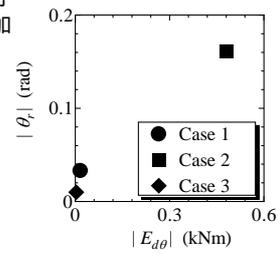
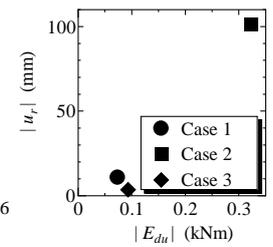
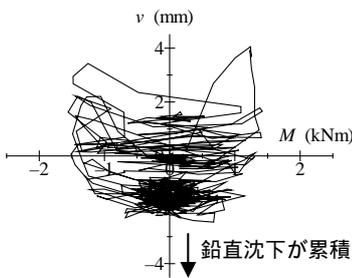
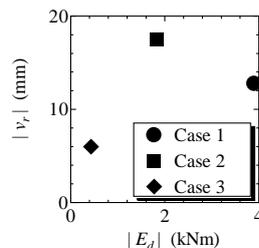
\* 神戸波の加速度振幅を80%に減じた波

### 3. 実験結果

図-3 に示すようにモーメントが上限値（降伏モーメント）に達すると、回転角が急増し、地盤の塑性変形が累積されることがわかった。また、モーメントほど明瞭ではないが、図-4 に示すよう、水平力  $H$  が上限値（降伏水平力）に達すると水平変位  $u$  が急

キーワード 直接基礎，耐震設計，振動台実験，残留変位

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 独立行政法人土木研究所 TEL 029-879-6795 FAX 029-879-6739  
 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 株式会社大林組土木技術本部 TEL 03-5769-1305 FAX 03-5769-1971

図-3 Case 3  $M - \theta$  関係図-4 Case 3  $H - u$  関係図-5  $\theta_r - E_{d\theta}$  関係図-6  $u_r - E_{dv}$  関係図-7 Case 3  $M - v$  関係図-8  $v_r - E_d$  関係

増し、地盤の塑性変形が累積されることがわかった。

基礎の回転と水平運動のそれぞれに関して、基礎の残留変位と基礎に働く仕事量との相関関係の有無を調べた。ここで、残留変位とは、加振により生じた基礎底面中心位置の鉛直、水平、回転変位である。なお、残留変位は周辺地盤との相対変位とする必要があるが、本実験では加振による周辺地盤の沈下がほとんど生じなかったため絶対変位とした。仕事量は式(1)を用いて算出した。

$$E_{d\theta} = \int_0^D |M(t)| d\theta(t), \quad E_{du} = \int_0^D |H(t)| du(t) \quad (1)$$

ここに、 $M(t)$ 、 $H(t)$ は、時刻 $t$ に基礎底面に作用するモーメント、水平力、 $d\theta(t)$ 、 $du(t)$ は、ある時間 $t$ における各変位の増分、 $D$ は全時刻を示す。一般に全仕事量を算出する場合には式(1)中の作用力は絶対値としないが、正側の荷重を受けるときの残留変位量と負側の荷重を受けるときの残留変位量が打ち消し合うように絶対値を用いることにした。

残留回転角 $\theta_r$ 、残留水平変位 $u_r$ と $E_{d\theta}$ 、 $E_{du}$ 比較した結果を図-5、6に示す。水平、回転成分のいずれにおいても良い相関関係が見られた。

図-7に $M - v$ 関係を示す。降伏モーメントに達した時、基礎端部は上方に変位する一方、前述のように基礎端部地盤が塑性化する。その結果、鉛直動は入力されていないにもかかわらず、基礎全体では沈下が生じる。こうした挙動が繰返されることで鉛直変

位は徐々に沈下方向に累積する。したがって、基礎の鉛直変位を予測するためには、鉛直運動と回転・水平運動の連成を考慮する必要がある。そこで、鉛直方向成分の仕事量だけではなく式(2)に示す基礎の全仕事量 $E_d$  (kNm)を算出し、残留鉛直変位 $v_r$ と比較した。

$$E_d = \int_0^D M(t)d\theta(t) + \int_0^D H(t)du(t) + \int_0^D V(t)dv(t) \quad (2)$$

ここで、 $V(t)$ は時刻 $t$ に基礎底面に作用する鉛直力であり、 $dv(t)$ は、ある時間 $t$ における鉛直変位の増分である。図-8に、 $v_r$ と $E_d$ の関係を示す。 $v_r$ についても基礎の仕事量と比較的良好な相関関係が見られた。

#### 4. まとめ

以上の結果から、基礎に作用するモーメント、水平力には上限値が見られること、鉛直運動と水平・回転運動の間には連成効果があること、また基礎の残留変位は、その変位量の大きさは地震中に基礎が受ける仕事量と相関を持つ傾向があることがわかる。しかし、 $E_{d\theta}$ 、 $E_{du}$ 、 $E_d$ は全時刻における基礎の動的な挙動が分かったときに初めて算出される値であり、動的解析を行わなければ個別の地震動に対する事前予測はできない。したがって、直接基礎に生じる残留変位量を予測するためには時々刻々の1) 基礎底面に作用する $V$ 、 $H$ 、 $M$ と鉛直変位 $v$ 、水平変位 $u$ 、回転角 $\theta$ 関係の非線形、2) 鉛直・水平・回転運動の連成の両者を考慮できる動的解析手法が必要である。

今後、直接基礎の地震時残留変位を定量的に予測できる数値解析法の検討を行うとともに、多数の基礎について動的解析を行った結果をまとめることで設計地震動を受けるときの基礎の簡便な変位推定式が作成できるかを検討したい。

#### 参考文献

1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 下部構造編，2002。