

地震時の基礎の並進運動に関する研究

鳥取大学大学院 学生会員 ○石川 智喜
 鹿島建設株式会社 正会員 文村 昌史
 鳥取大学工学部 正会員 榎 明潔

1. はじめに

現在、地震時の基礎の運動は解明されていない。解明するためには基礎の応答加速度を求める必要がある。過去の研究¹⁾により地震時の基礎と地盤の相対運動モードとして、次の4つが想定され定式化されている。

(1) 地盤と一体となって運動する（一体運動）。(2) 地盤から基礎が分離する（分離運動）。(3) 地盤に対して基礎が沈み込み運動する（沈み込み運動）。(4) 地盤に対して基礎が滑動する（滑動）。

本研究の目的は、想定した各運動、及び各運動モード（運動の境界）を模型土槽による実験でそれぞれの存在を確認する。それと共に、基礎の挙動を理論解析した解析値（理論応答加速度）と測定された測定値（測定応答加速度）とで比較検討を行う。

2. 地震時の基礎の運動に関する解析方法及び実験方法

図2に実験に用いた模型土槽と基礎の概略図を示す。

一体運動に関しては $\alpha_v' = \alpha_v$ 、 $\alpha_h' = \alpha_h$ を満たす必要があり、滑動しない条件としては、 $\alpha_h < (\alpha_v + g) \tan \delta + a_d \cdot B/M$ を満たさなければならない。また分離しない条件として $\alpha_v \geq -g$ を満たす必要がある。沈み込み運動は、「加速度の連続条件」²⁾により、塑性化した領域の加速度分布を求める。そしてこの条件を、慣性力を導入した塑性理論の *Kötter* 式に導入する事により、地震時を対象とした動的塑性理論の確立が可能である。このようにして、基礎の沈み込み運動 ($\alpha_v' - \alpha_v < 0$ となる時) を解析した。

次に、模型土槽の寸法は、幅 1300 mm、高さ 360 mm、奥行き 170 mm であり、1次元振動を与える振動台上に設置してある。土槽内は、気乾状態の豊浦標準砂を、間隙比 0.71 で作成した地盤上に基礎を設置している。基礎の寸法は、幅 60 mm、奥行き 150 mm、質量 10000 g である。基礎底面の処理はサンドペーパー（外部摩擦角：30°）とテフロンシート（外部摩擦角：13°）をそれぞれの実験条件によって使い分けた。基礎と地盤内には加速度計を設置している。

3. 実験結果と理論値との比較

<一体運動>図-3は測定された加速度波形である。実験条件として基礎底面は、サンドペーパーで粗く処理している。基礎と地盤が一体運動する条件で解析して得られた水平・鉛直加速度領域内の加速度（90 gal, 2 Hz）を実験で地盤へ入力した。基礎と地盤は一体運動していると考えられる加速度波形を示している。これは、解析結果と同様に実験結果で一体運動する領域が存在している事を確認できた事を示している。

<滑動>図-4は測定された加速度波形である。実験条件として基礎底面は、テフロンシートで滑らかに処理している。さらに基礎が滑動を起す条件で解析して得られた加速度（320 gal, 4 Hz）を地盤へ入力した事で基礎が滑動している加速度波形を得られた。理論値と比較すると基礎が滑動を始める加速

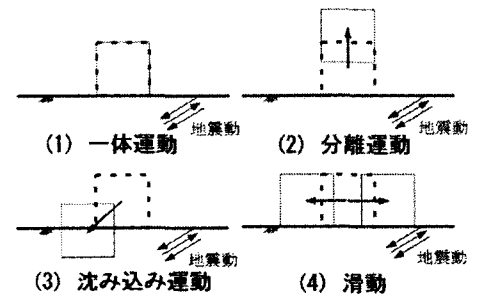


図-1 地震時の基礎の運動モード

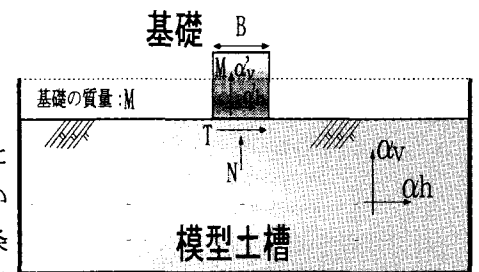
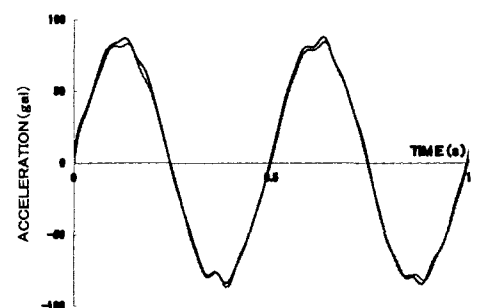
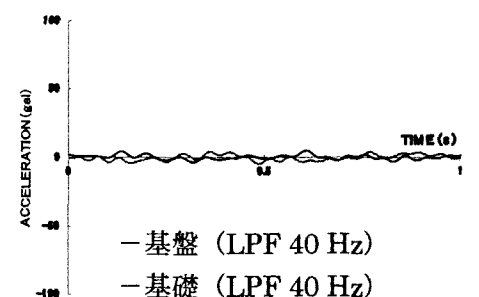


図-2 実験装置



水平加速度波形



鉛直加速度波形

図-3 測定加速度波形

度は測定値と一致している時刻 ($t=1.15\text{ s}$ 、 $t=1.4\text{ s}$) と、一致はしていないが、理論値と近いすべり出し加速度が測定されている時刻 ($t=1.03\text{ s}$ 、 $t=1.28\text{ s}$) が確認できる。また滑動中に関しては、基礎の加速度が時刻と共に増加していること (理論値と比較) が見て取れる。これは基礎底面と地盤の境界面での、ひずみ硬化現象によるものであると考えられる。この事は、堤が行った簡易せん断試験³⁾の結果より妥当性は確認している。理論値では基礎・地盤、共に剛塑性体近似しているため、基礎が滑動中の測定水平加速度波形とは理論値が違ふものとなっている。だが基礎が滑動を起こす事の確認、及びモードの確認に関しては理論値と近い値を示していたと考える。

＜沈み込み運動＞図-5 は測定された加速度波形である。実験条件として基礎底面は、サンドペーパーで粗に処理している。さらに基礎が沈み込み運動を起す条件で解析して得られた加速度 (300 gal, 3.75 Hz) を地盤へ入力した事で基礎は地盤に沈み込み運動をしていると考えられる測定加速度波形を示している。しかし、地盤へ加振した後、しばらく経ってから地盤の塑性破壊が明確に見て取れる測定加速度波形領域 ($t=1.10\text{ s}$ 以降) が顕著に現れた。それ以前の基礎の測定水平加速度波形は、塑性破壊していない波形を示している。だが、測定鉛直加速度波形は、地盤が破壊していると考えられる波形を示している。これは、地盤を加振している時刻では、基礎は常に左右に連続的に傾きを起している。この傾きの運動を加速度計が測定している事でこのような波形が示される事を確認した。その時の地盤の状態を①、そして地盤の塑性破壊にいたるまでの時刻との関係を②で考察する。

① 地盤が塑性破壊を起している以前の基礎の状態は傾きが起こっている。これは砂地盤の弾性挙動の影響と考えられる。この事は、同時に測定した基礎の変位波形、さらに上記の条件下での静的支持力試験の応力-変位波形から妥当性の確認を行った。よって基礎が傾きを起している状態でも、地盤は塑性破壊に至っておらず、砂地盤の弾性挙動による基礎の運動だと考えられる。

② 地盤が弾性挙動を起したのち、傾きによって基礎の角に荷重が集中するため部分的な地盤の塑性破壊、局所せん断破壊が起こっていると考えられる。また、この破壊の繰り返しによる地盤の軟化の影響で全般せん断破壊にいたるのではないかと考えられる。しかし確認するまでに至っていないため塑性破壊にいたるまでの時刻歴に関する考察は難しい。

図-6 は地盤が明確に塑性破壊していると考えられる 1 波を抽出し理論値と実験値とで比較したものである。地盤が塑性破壊した最初のすべり出し加速度に関しては理論値と比較的近い値を示している。よって、基礎の沈み込み運動する領域、またモードの確認はできたと考えられる。

4. 結論

- 1) 地震時の基礎の沈み込み・滑動・一体運動を起こす事を確認。
 - 2) 各モードに関しては、測定値と解析値は近い値を示した。
- 参考文献 1) 吉村崇：地震時の基礎の運動に関する研究、第37回地盤工学研究発表会講演集、pp.1357-1358, 2000.

- 2) 榎明潔：地震時の斜面災害の特徴、2000年10月鳥取西部地震による被害に関する調査研究、pp.155-164, 2000.

- 3) 堤祐輝：地震時における砂の強度定数に関する研究、第37回地盤工学研究発表会講演集。

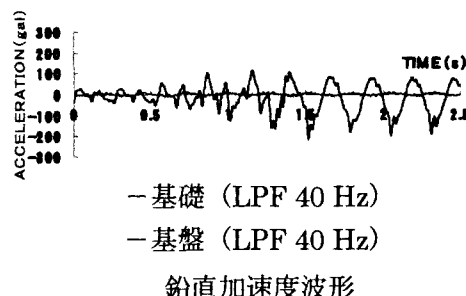
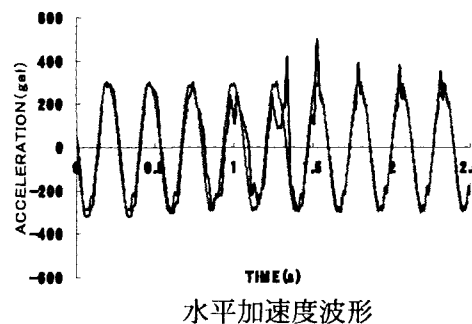


図-5 測定加速度波形

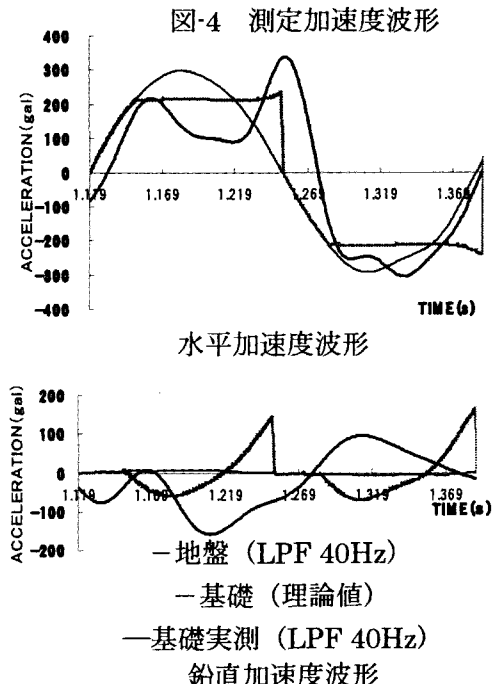
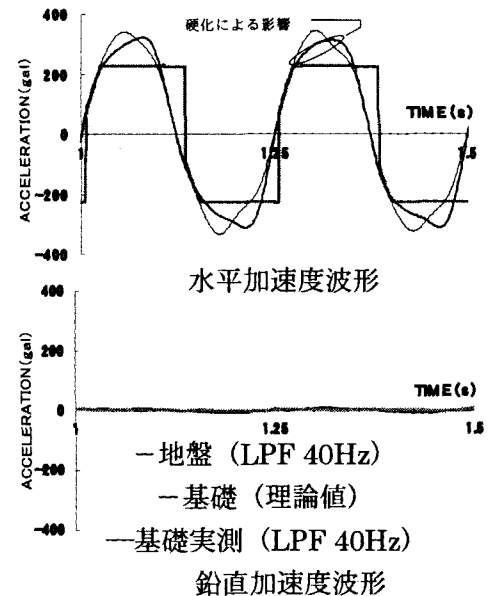


図-6 実測値・理論値比較