

動的塑性理論を用いた基礎の運動に関する研究

日本電炉株式会社 正 ○片山 将也 鳥取大学大学院 学 Binh Xuan Luong  
 鳥取大学工学部 正 榎 明潔 鳥取大学大学院 学 寺本 英敬

1.はじめに

地震時の基礎の挙動を考えると、震度法を用いることが多いが、震度法では基礎の応答加速度を求めることができない。そこで、本研究ではすべり線法の積分形である GLEM(一般化極限平衡法)に、図.1 に示すように地震動がすべり面を越える際に「すべり面に垂直な加速度成分がすべり面の両側で等しい」という加速度の連続条件式を導入することによって基礎の応答加速度を求めている。この解析方法と実験によって得られた基礎の応答加速度の比較・検討を行なう。

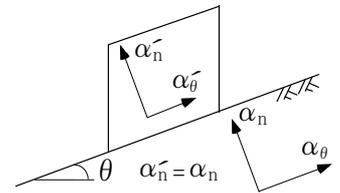


図.1 加速度の連続条件

2.地震時の基礎の運動モード

地震時の基礎の運動モードは図.2 のように①基礎と基盤が一体に運動するモード、②基礎が基盤上をすべるモード、③基礎が基盤に沈み込むモード、④基礎が基盤から離れるモードの4つ存在する。本研究では、地震動を受け地盤が塑性化した時の基礎の運動を対象としているため、沈み込みの運動について考えていく。

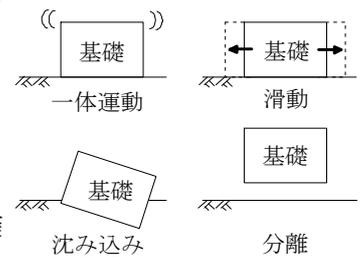


図.2 基礎の運動モード

3.基礎の運動の解法

基礎の運動を考える場合、基礎底面の外部摩擦角によって破壊メカニズムが変化し、基礎の応答加速度に影響を及ぼす。図.3 に示すように基礎底面が粗であればくさび土塊は1つでき、すべり面形状と極限支持力は大きい。滑らかであればくさび土塊は2つでき、すべり面形状と極限支持力は小さい。また、地盤に水平加速度が発生していれば慣性力の影響により左右のすべり面形状は異なる。

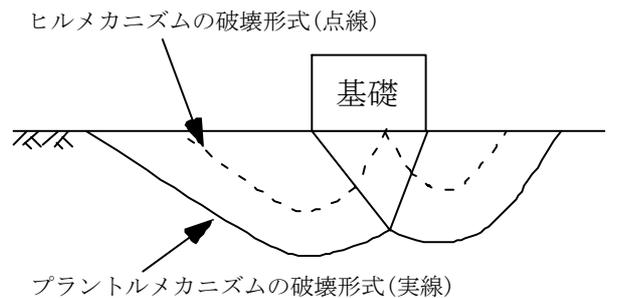


図.3 破壊メカニズムの変化

また、沈み込み運動では基礎の沈下により根入れが発生する。このように根入れが発生した場合、浅い基礎の理論である Terzaghi の支持力式や過去の研究<sup>2)</sup>では根入れ部分をサーチャージとして評価していた。しかし、本来根入れ部分は土塊であるため、本研究では土塊として取り扱い、構造物の応答加速度を求めている。

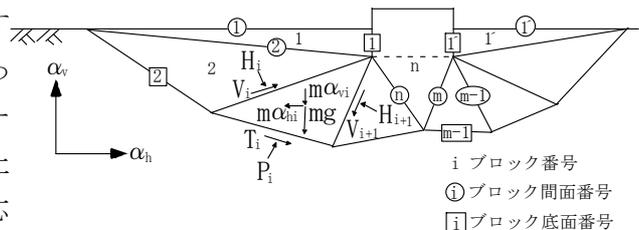


図.4 プラントルメカニズムの任意のブロック

表.1 未知数と式の数

未知数	式
ブロック底面 垂直力 $P_1 \sim P_{n-1}$ : n-1 $P_i \sim P_{i+1}$ : n-1 せん断力 $T_1 \sim T_{n-1}$ : n-1 $T_i \sim T_{i+1}$ : n-1	ブロックのつなぎ式 (運動方程式) 水平方向 $1 \sim n-1$ : n-1 $1' \sim n-1$ : n-1 鉛直方向 $1 \sim n-1$ : n-1 $1' \sim n-1$ : n-1
ブロック間面 垂直力 $H_1 \sim H_n$ : n-1 $H_i \sim H_{i+1}$ : n-1 せん断力 $V_1 \sim V_n$ : n-1 $V_i \sim V_{i+1}$ : n-1	破壊条件式 (クーロンの式) ブロック底面 $1 \sim n-1$ : n-1 $1' \sim n-1$ : n-1 ブロック間面 $2 \sim n-1$ : n-1 $2' \sim n$ : n-1
ブロック加速度 水平加速度 $\alpha_{n1} \sim \alpha_{n2}$ : n $\alpha_{ni} \sim \alpha_{ni+1}$ : n-1 鉛直加速度 $\alpha_{q1} \sim \alpha_{qn}$ : n $\alpha_{qi} \sim \alpha_{qi+1}$ : n-1	加速度の連続条件 ブロック底面 $1 \sim n-1$ : n-1 $1' \sim n-1$ : n-1 ブロック間面 $2 \sim n-1$ : n-1 $2' \sim n-1$ : n-1
未知数の合計 6(n+1)-10 個	式の合計 6(n+1)-12 個

以上のことを考慮に入れて解析を行う。本研究において、実験では基礎底面は粗である。そのため、プラントルメカニズムについて述べる。図.4 に示したすべり面で囲まれる任意のブロックを想定する。プラントルメカニズムでは基礎とくさび土塊は一体として動くため、本研究においても一体として考えている。この条件のもと、未知数の数と式の数を表.1 に示す。この時、不静定問題となるが本来基礎の質量や基礎の加速度は既知と考えられる。そのため、基礎に質量を与えれば基礎での運動方程式が2つたてられ、基礎に加速度を与

キーワード 支持力、根入れ、地震

連絡先 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学工学部土木工学科 土質工学研究室 TEL 0857-31-5291

えれば未知数が2つなくなり静定問題として解くことができる。

#### 4.基礎の沈み込み実験

実験装置の概要を図.5 に示す。振動台（水平方向にのみ加振可能）に土槽を設置し、土槽内に豊浦標準砂を敷き詰め、その上に基礎を設置する。このとき、試料の間隙比は 0.71、内部摩擦角  $37.0^\circ$ 、粘着力 0、外部摩擦角  $32.9^\circ$  である。さらに、すべり面の確認を行なうために、砂の高さが 2 cm 増加するたびに、色砂を用いている。基礎は質量が大きいほど支持力破壊が発生しやすいため、基礎の両側に重りを設置する。実験値と解析値の比較において、解析では土の軟化・硬化など考慮していないことがあるため、定性的な比較を行なうこととする。

実験によって得られたすべり面形状を図.6 に示す。通常、基礎が支持力破壊を起こしたときには、図.3 のように両側にすべり面が発生するはずであるが本実験では片側にのみすべり面が確認された。これは図.7 に示したように振動台の特性上、初期の加速度が大きいいため基礎が傾いた影響だと考えられる。基礎の傾きにより地盤の極限支持力に変化が現れる。そのため、図.8 に示すように正の水平加速度では 260 gal、負の水平加速度では 236 gal で支持力破壊が発生している。また、図.9 より正の水平加速度では基礎の沈み込む加速度が大きいことが分かる。この結果より、基礎の傾きの影響で正の水平加速度では支持力破壊の時間が短いためすべり面が発生しにくく、負の水平加速度では支持力破壊の時間が長いためすべり面が発生しやすい状況であったと考えられる。

基礎の応答加速度について実験値と解析値の比較検討を行なう。図.8 に示すように、負の水平加速度では実験値と解析値の傾向はほぼ同じだが、正の水平加速度では傾向が異なっている。この原因としては、上述したように負の水平加速度ではせん断変形が大きい、正の水平加速度ではせん断変形が小さいためだと考えられる。このときに地盤は密詰めであるため、せん断変形量が少なければ支持力破壊後に常に軟化が発生し、せん断変形量が大きければ支持力破壊後に軟化は発生しない。解析においては、地盤の強度定数は常に一定としているため、このような結果が得られたと考えられる。

#### 5.結論

基礎の沈み込み運動に関して、実験と解析の比較・検討を行なえた。ただし、解析に土の軟化など考慮されていないため、今後解析に導入する必要がある。

#### 参考文献

- 榎明潔：地震時の斜面災害の特徴,2000年10月鳥取県西部地震による災害に関する調査研究 pp155～pp164,2000.
- 吉村崇：一般化極限平衡法を用いた地震時の基礎の運動に関する研究,鳥取大学大学院工学研究科土木工学専攻,修士論文,2004.

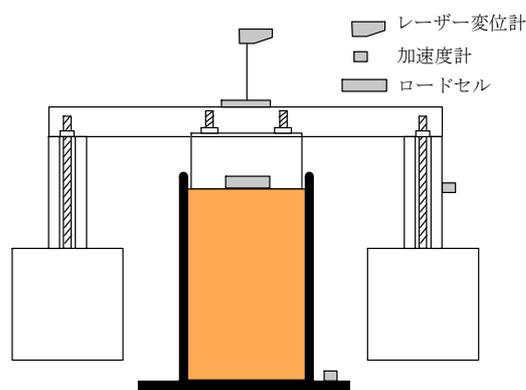


図.5 実験装置概要

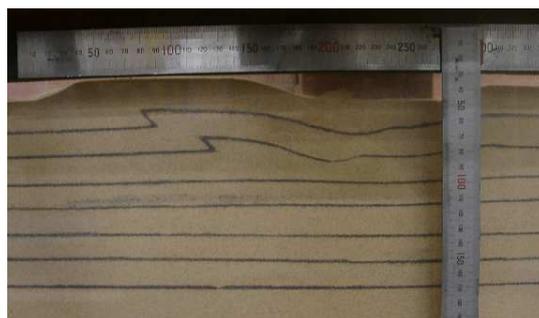


図.6 すべり面形状

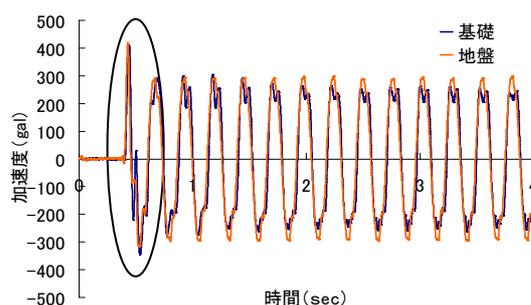


図.7 水平加速度

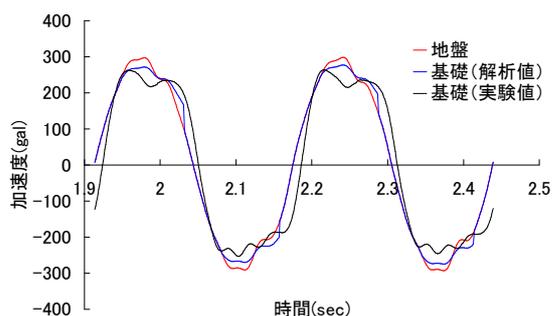


図.8 実験値と解析値の比較（水平加速度）

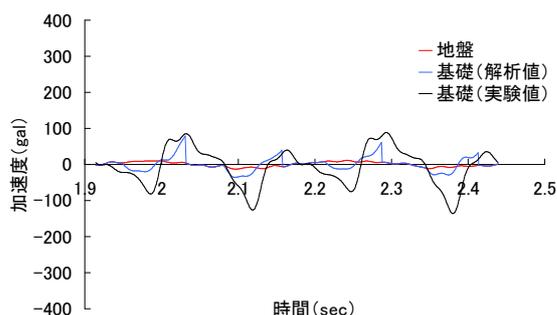


図.9 実験値と解析値の比較（鉛直加速度）