

地震時の基礎の回転運動に関する研究

鳥取大学大学院 学 片山 将也
 鳥取大学工学部 正 榎 明潔
 鳥取大学大学院 学 吉村 崇

1. はじめに

地震時の基礎の運動において、基礎の沈み込み時には並進運動と回転運動を行っていると考えられる。しかし、現在までは基礎が傾くような運動（回転運動）に関して取り扱ってなかった。そこで、本研究では回転運動と並進運動を考慮したものを取り扱っていく。これにより、基礎の沈み込み時の運動をより正確に解析が行える。本研究により、耐震性に優れた構造物の建設、既設構造物の耐震性の確認などに用いることができ有意義なものであると考えられる。

2. 基礎の運動モード

地震時の基礎の運動モードとしては 基礎と基盤が一体に運動するモード、 基礎が基盤上をすべるモード、 基礎が基盤に沈み込むモード、 基礎が基盤から離れる分離モードの 4 種類の運動モードが考えられる。これらのモードの発生条件としては 基礎と基盤の加速度が一致しているとき、 基礎底面と地盤の接触面でのせん断力 T とせん断強度 S が $|T| > S$ となるとき、 鉛直下向きに基礎の加速度が基盤の加速度より大きくなる時、 基礎の加速度が $1G$ 以上鉛直上向きに働くときである。ただし、最初の相対速度はゼロとする。本研究では、基礎が基盤上をすべるモード、基礎が基盤から離れる分離モードに関して発生しない条件で行う。

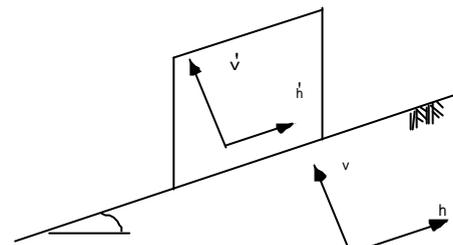


図.1 加速度の連続条件

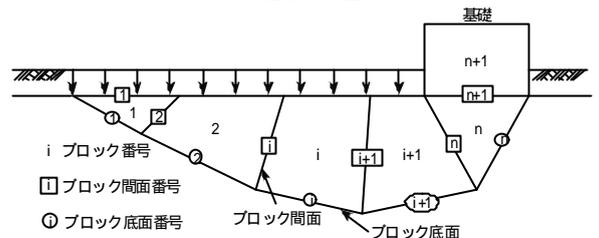


図.2 すべり面で囲まれるブロック

3. 基礎の運動の解法

従来、塑性化領域内の加速度は求めることは困難であった。そこで、図 1 に示しているように基盤から伝播した地震動がすべり面を超える際に「すべり面に垂直な加速度成分がすべり面の両側で連続である」という条件を用いる。以下、この条件を「加速度の連続条件」と呼ぶこととする。この条件は すべり面に平行な加速度成分は伝達されないが、すべり面方向の相対速度の反対方向に土のせん断強度に相当する力が伝えられる。

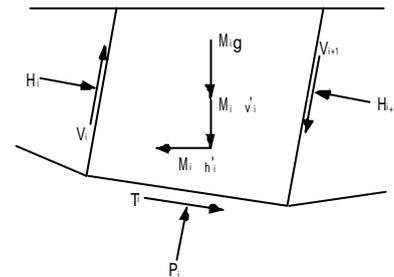


図.3 任意のブロックに加わる力

塑性体内にすべり面が生じるとすべり面に垂直な加速度成分のみが基岩から表層土に伝達されるという 2 つの条件のことである。この条件を用いることにより塑性化領域内の加速度を求めることができる。

表.1 基礎に質量を仮定時の式と未知数の数

未知数の数		未知数の数	
ブロック底面	ブロック間面	ブロック底面	ブロック間面
垂直力	n	せん断力	n-1
せん断力	n	せん断力	n-1
未知数の数の合計	2n-2	せん断力	n-1

式の数		式の数	
ブロックのつりあい式	破壊条件式	ブロック底面	ブロック間面
鉛直方向	n	ブロック底面	n
水平方向	n	ブロック間面	n-1
式の数の合計	2n-2	ブロック間面	n-1

図. 2 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。この n 個のブロックが極限状態（安全率 = 1）にある時、加速度の求め方として 各ブロックの底面に垂直な加速度成分は基盤のブロックの底面に垂直な加速度成分は等しい、隣接する 2 ブロックのブロック間面に垂直な加速度成分は等しいという条件を用いる。

キーワード 支持力、回転、地震

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4 丁目 101 番地 鳥取大学工学部土木工学科

求められた加速度を「ダランベールの原理」を用いていることにより各ブロックに働く力は図.3 に示したようになる。このままでは、未知数と式の数を考えると不静定問題であるため解くことが出来ない。そこで、基礎の質量を仮定すれば表.1 に示したように静定問題となる。同様に、基礎の加速度を仮定すれば静定問題となり解くことができる。基礎の支持力は基礎の応答加速度を用いることにより求めているため、基礎の水平方向の力と鉛直方向の力を合成した力が最小となるすべり面で地盤の破壊が発生すると考えている。

4. 基礎の回転運動の定式化

一般的な回転運動の式としては $M=I\ddot{\theta}$ であり、 M はモーメント、 I は慣性モーメント、 $\ddot{\theta}$ は角加速度である。基礎の回転運動にも上式を適用する。基礎のモーメントと慣性モーメントを求めれば、角加速度を2回積分することにより基礎の回転運動を求めることができる。基礎の形状は長方形と仮定しているため、慣性モーメント $I=ab(a^2+b^2)/12$ で表せる。極限支持力を利用することにより基礎に働く接地圧分布を求め、着力点を求めることができる。以下に着力点の求め方を示す。

基礎幅 B とし極限支持力 Q_B を求める。

基礎幅を微小 dB だけ大きくして極限支持力 Q_{B+dB} を求める。

$Q_{dB}=Q_{B+dB} - Q_B$ より基礎幅の変化による極限支持力の増分を求める。微小幅 dB に Q_{dB} の力が働いているとみなせる。

$q=Q_{dB}/dB$ より幅 B の地点に働く接地圧が求められることができる

基礎幅を変化させて から まで繰り返す

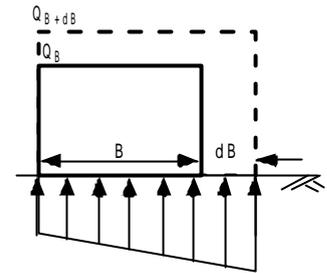


図.4 接地圧分布の求め方

本研究では、基礎の質量を仮定している。そのため、最初の基礎幅のとき、質量を仮定する解析方法で基礎の加速度と極限支持力を求め、基礎幅が変化したときは、基礎に加速度を仮定する解析方法を用いて極限支持力を求めている。このときに使用している基礎の加速度は質量を仮定して求めた加速度である。

5. SIN 波を用いた解析

前述した方法により基礎の回転運動について求められる。解析条件として水平加速度に sin 波、鉛直加速度はゼロを与える。地盤の強度定数として $\phi=36^\circ$ 、 $c=0$ 、 $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$ 、基礎の形状は奥行き 1 m、幅が 3 m、根入れはなしとする。ここで、地盤破壊開始と終了の条件として、基礎の鉛直加速度が基礎の鉛直加速度より地盤方向に大きくなる加速度から地盤破壊が始まる。地盤破壊後、鉛直方向の相対速度がゼロになるところで地盤破壊が終了する。ただし、最初の相対速度はゼロとする。

図 5、図 6 に解析結果を示す。これにより、解析によって基礎の沈み込み時の回転運動について評価できていると考える。

6. 結論

極限支持力を用いることにより接地圧分布を求めることができる。これにより、モーメントの着力点を求めることができるようになり基礎の回転運動について求められる。

参考文献

- 1) 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、2001
- 2) 吉村 崇：地震時の基礎の運動に関する研究、第 37 回地盤工学会研究発表会、pp1357 ~ 1358、2002

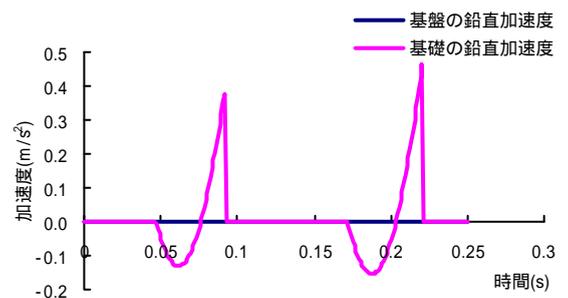
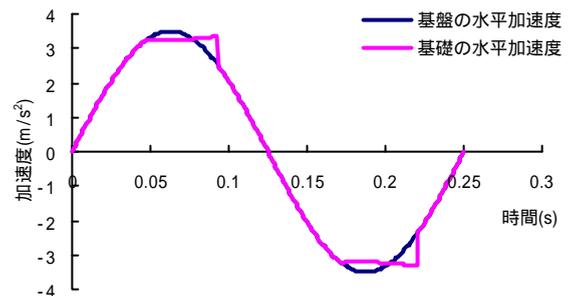


図.5 基礎と基礎の加速度
(周波数 4 Hz、最大振幅 3.5 m/s^2)

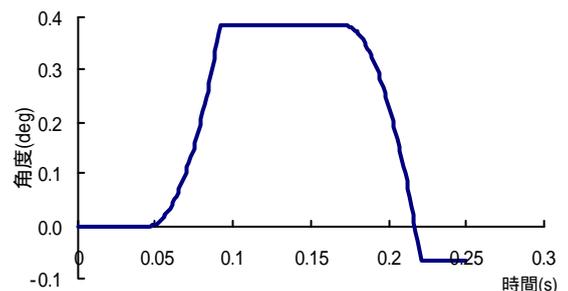


図.6 基礎の回転量