

地震時における直接基礎構造物の滑動現象に関する実験

建設企画コンサルタント

正会員 ○木島久恵

大阪大学大学院

学生員 高橋政秀

大阪大学大学院

フェロー 西村宣男

1. はじめに

我が国では、兵庫県南部地震をはじめとして各地で地震による被害が相次いでおり、大地震時における直接基礎構造物の耐震性能の評価には、地盤-構造物間の滑動特性を把握することが重要である。大地震時において直接基礎構造物は滑動することにより上部工の破壊を軽減できる可能性があるが、上部工の変位量が大きいと問題となる。本研究では地盤-構造物間の滑動現象のメカニズムを明らかにするため、直接基礎構造物の地震時滑動に関する実験を行った。本実験では接触面の滑動現象に着目したため、地盤破壊の起きない強固な地盤を作成し実験を行っている。昨年度は砂質土を用いて地盤を作成し第1次すべり実験を行ったが、土質特性の異なる土を用いて滑動特性を比較するため本年度は粘性土を含んだまさ土を用いて第2次すべり実験を行った。本論文では主に第2次すべり実験の結果を示す。具体的な実験目的は、構造物の滑動限界加速度 α_{cr} 、再付着限界加速度 α'_{cr} の地盤特性の接地圧、構造物重心高さ、地震動の振幅、周波数に対する依存性を考察し、滑動量等の履歴変化を分析し、地盤特性による構造物の滑動量の変化を調べることである。

2. 実験概要

2.1 実験方法

板厚 28mm の SM400 鋼板で作成した 1.5m 四方、深さ 0.8m の土槽にまさ土を 3 層に分けランマーで締固めて深さ約 10cm の地盤を作成した。作成された地盤上に直接基礎構造物を設置し、アクチュエータで変位制御により土槽を加振した。この時の土槽の変位と加速度、構造物の加速度、地盤表層の加速度および両者間の相対変位を計測した。

2.2 実験ケース

①地盤特性 まさ土普通地盤と、砂質土地盤での構造物との接触面の状態を変えた普通地盤、表層乾燥地盤、表層砕石地盤での滑動限界加速度 α_{cr} を比較し、地盤特性に対する依存性を測定する。

②接地圧、構造物重心高さ 62.5kgf の床版に 1 枚 54.95kgf の鉄板を載せることにより構造物重量、接地圧、構造物重心高さを調整し、滑動限界加速度 α_{cr} 、再付着限界加速度 α'_{cr} の接地圧、構造物重心高さに対する依存性を測定する。

③入力波形 (i) 振幅の増幅定常減衰波形：一定周波数 ω の下で振幅 a を増幅定常減衰させて α_{cr} 、 α'_{cr} の周波数依存性を測定する。(ii) 周波数の増幅定常減衰波形：一定振幅 a の下で周波数 ω を増幅減衰させて α_{cr} 、 α'_{cr} の振幅依存性を測定する。(iii) 兵庫県南部地震 JR 西日本鷹取駅構内加速度記録：不規則波形として兵庫県南部地震時の JR 西日本鷹取駅構内加速度記録を周期、振幅を変えて再現した。

3. 実験結果

3.1 滑動限界加速度の考察

地盤の振動により構造物が地盤に対して滑動をはじめた瞬間を滑動限界と呼び、滑動限界における構造物加速度を滑動限界加速度 α_{cr} とする。実験より得られた滑動限界加速度 α_{cr} と(a)地盤特性、(b)接地圧、(c)構造物重心高さ、(d)地震動の振幅、(e)地震動の周波数との関係を図-2に示す。図中の a は砂質土普通地盤、b は砂質土表層乾燥地盤、c は砂質土表層砕石地盤、d はまさ土普通地盤を表している。凡例の 0,2,4,6,8 枚は床版に載せる鉄板の枚数であり、3,4,5,6,7Hz は振幅の増幅定常減衰波形を入力したときの周波数であり、5.0,6.0,7.0,7.5mm は周波数の増幅定常減衰波形を入力したときの振幅である。また、図-2(b)、(c)、(d)、(e)に砂質土普通地盤での実験結果を灰色で示す。

(a)地盤特性 図-2(a)で砂質土地盤での α_{cr} は約 350gal から 450gal を推移しているのに対し、まさ土地盤での α_{cr} は 750gal から 800gal に達している。地盤の土質特性の違いにより α_{cr} の値は大きく変化することがわかる。

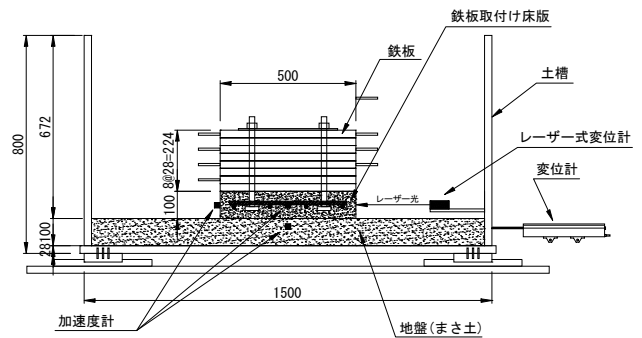
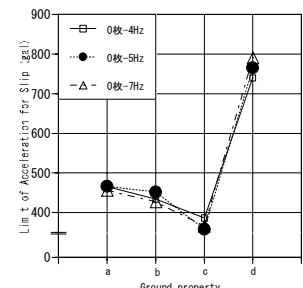


図-1 実験装置



(a) 地盤特性

図-2 構造物の滑動限界加速度

キーワード 直接基礎構造物、地震、滑動、動的相互作用

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院 工学研究科土木工学専攻 TEL 06-6879-7598

(b)接地圧 (c)構造物重心高さ 図-2(b), (c)に接地圧, 構造物重心高さと α_{cr} の関係を示す. 接地圧と重心高さは鉄板の枚数で調整したため, 本実験においては α_{cr} の接地圧と重心高さに対する依存性の考察は同義である. 砂質土地盤では接地圧および重心高さに対する依存傾向はなく, α_{cr} はほぼ水平な近似線が得られ, コンクリートと土の間には粘着力がほとんどないことを示している. これに対し, まさ土地盤では接地圧および重心高さの違いにより α_{cr} にばらつきはあるがゆるやかな右下がりの傾向がみられる. これはコンクリートと土の間に粘着力がはたらいっているためと考えられる.

(d)地震動の振幅 (e)周波数 図-2(d), (e)に示す地震動の振幅, 周波数と α_{cr} の関係は, 地震動の振幅および地震動の周波数の違いによらず α_{cr} はほぼ横ばいとなり明確な傾向は見られない. よって, 地震動の振幅および地震動の周波数に対する依存性はないといえる.

さらに, まさ土地盤の α_{cr} は平均すると鉄板0枚で742.5gal, 2枚で661gal, 4枚で639gal, 6枚で641gal, 8枚で621galと測定され, 土質試験により得られた粘着力の影響を差し引くと静止摩擦係数 μ は約0.625と推定できる.

3. 2 再付着限界の測定と考察

滑動が生じた後再び付着する瞬間を再付着限界とし, 再付着限界における構造物加速度を再付着限界加速度 α'_{cr} とする. 実験より得られた再付着限界加速度 α'_{cr} と(a)接地圧, (b)構造物重心高さ, (c)地震動の振幅, (d)地震動の周波数との関係を図-3に示す. 灰色で示したものは滑動限界加速度 α_{cr} の結果である. 再付着限界加速度 α'_{cr} は接地圧, 構造物重心高さ, 振幅, 周波数に関係なく約50~100galを推移している.

3. 3 履歴変化の考察

構造物は地震時, 滑動後に再付着, 再滑動をくり返すため, 滑動量, 滑動限界, 再付着限界を時刻歴で追跡する必要がある. そこで, 振幅の増幅定常減衰波形の定常状態時の履歴変化を調べた. 滑動履歴変化の傾きは, 多少ばらつきがあり, 滑動回数を経るとしだいに滑動量が増幅する(傾き>0)場合, あるいは滑動量が減衰する(傾き<0)場合があるが, 傾きの平均値はほぼ0となり, 滑動がくり返されることによる滑動量の履歴変化への共通した傾向はみられない.

3. 4 構造物の滑動量に関する考察

滑動発生時, 地盤特性の違いにより構造物の滑動量が変化することが考えられる. 構造物の滑動量は, その地盤の滑動限界加速度 α_{cr} とそのときの構造物への加振力となる地盤加速度との差により増減し, 加速度差が大きくなれば滑動量も増大する比例関係にある. 第1次すべり実験(砂質土普通地盤), 第2次すべり実験(まさ土普通地盤)での加速度差と構造物の滑動量との関係を図-4に示す. 同加速度差のとき, まさ土地盤より砂質土地盤で構造物の滑動量が大きくなり, 構造物の滑動量は地盤特性によって変化することがわかった.

4. まとめ

本実験により, 滑動限界加速度 α_{cr} が地盤特性に対して依存性をもち, 粘着力のあるまさ土地盤では接地圧および重心高さの影響を受けることが分かった. また, 滑動限界加速度 α_{cr} より静止摩擦係数 μ を推定した. 再付着限界加速度 α'_{cr} は, 接地圧, 構造物重心高さ, 振幅, 周波数に対して依存性はないといえ, 滑動量等の履歴変化はみられなかった. また, 地盤特性により構造物の滑動量が変化することがわかった.

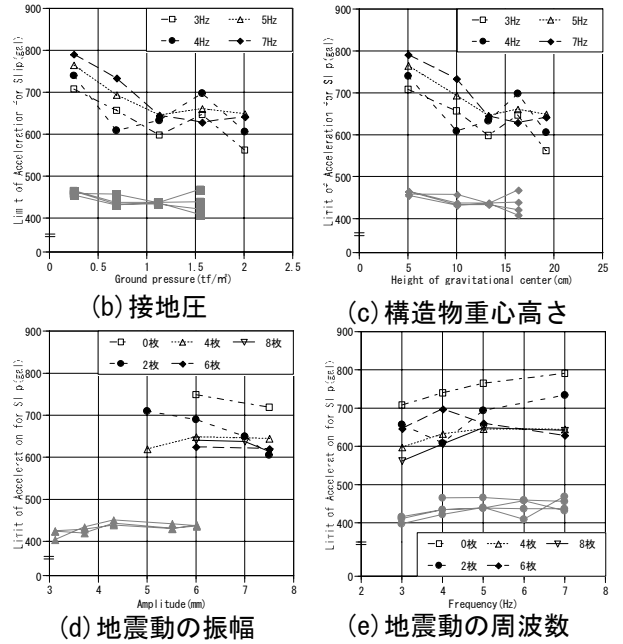


図-2 構造物の滑動限界加速度

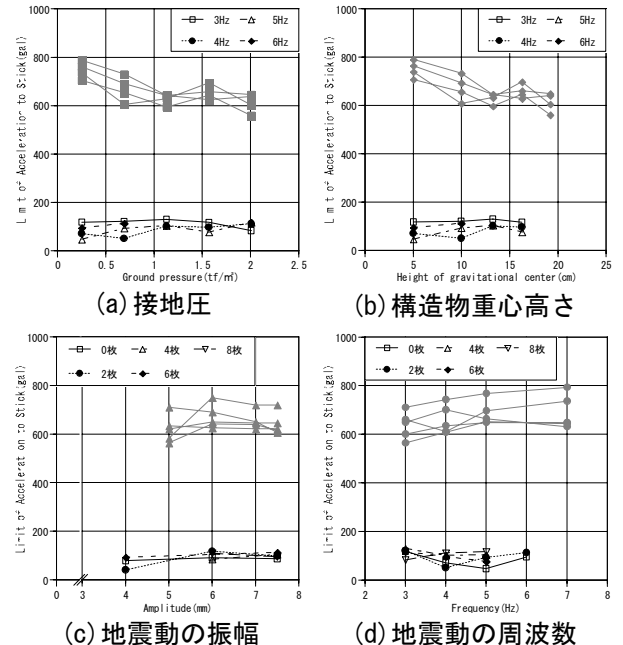


図-3 構造物の再付着限界加速度

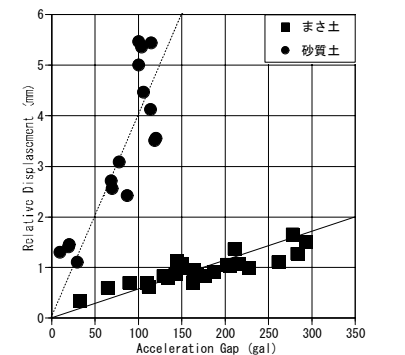


図-4 加速度差と滑動量の関係