

継続時間の長い地震動を受ける盛土の浸透を考慮した遠心模型実験

京都大学大学院 正会員 ○衣川 哲平(現 建設技研インターナショナル)
 京都大学大学院 正会員 肥後 陽介, 木村 亮, 木元 小百合
 京都大学大学院 フェロー 岡 二三生

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、加速度が小さくとも150秒を超える長い継続時間の地震動が液状化被害や土構造物の崩壊を引き起こす事が広く認識された。また、昨今の地震では、道路盛土の被害が集水地形に集中しており、水分履歴と土構造物の被害が密接に関係する事が指摘されている。そこで、本研究では、集水地形に建設された盛土を対象とし、浸透を考慮した盛土の動的遠心模型実験を実施した。入力地震動には継続時間の長い地震動と短い地震動を用い、それらの結果の比較から継続時間が長かつ浸透水を有する盛土の地震時変形挙動を詳細に研究した。

2. 実験概要

実験には淀川の堤防の改修に用いられる砂質土を用いた。試料は2mm以下に粒度調整しており、細粒分含有率は25.5%である。また、締固め試験の結果、最適含水比 w_{opt} は13.7%で、最大乾燥密度 ρ_{dmax} は1.838g/cm³であった。模型地盤、浸透機構の模式図及び計測器位置を図1に示す。遠心加速度は50gであり、プロトタイプ換算値で盛土高は5m、勾配は1:1.8、基礎地盤は3mである。最適含水比付近の含水比で、締固め度90%になるように突き固めて作製した。間隙流体には、粘性流体によるサクシヨンの低下を避けるため水を用いた。模型の透水係数は実試料の50倍を仮定し、土槽右側面から土槽左側面に水を浸透させた。

実験は異なる入力地震動で4ケース実施した。図2に入力地震動の加速度時刻歴を示す。Case1, 2は地震動継続時間と加速度振幅が異なるテーパ付き正弦波であり、Case3は兵庫県南部地震(東神戸大橋橋軸直角方向成分, 地中-34m, 建設省土木研究所(1995)¹⁾), Case4は

東北地方太平洋沖地震(田尻MYGH06, NS成分, 地中-80m²⁾)の観測波を振幅調整したものである。浸透過程において間隙水圧の変動が十分に小さくなった後に、入力地震動を加えた。

3. 加振中の間隙水圧と変位

各ケースの間隙水圧時刻歴を図3に示す。まず、初期水圧を見るといずれのケースも各測点で類似した値を示している。また、上流側のP1はP3より大きい。S2はP1よりも下流側でかつ上部に位置するが、模型下端を基準とした水頭は、S2の約4.5mはP1の約3.7mよりも高い。これは、盛土内の浸透が不飽和浸透状態となっているためと考えられる³⁾。次に加振時の挙動を見ると、Case1では、P1, S2で大きな間隙水圧の変動が見られるのに対して、Case2ではP1でわずかな増加のみ見られるものの変動は小さい。観測波を入力したCase3と4を見るとP1において両ケースに水圧の変動が見られるが、加振時の上昇量はCase3の方が大きい。これはP3についても同様である。

図4に各ケースの変位時刻歴を示す。Case1では20~30秒で変位の増分が増加している事がわかる。これは、間隙水圧の上昇と対応しており、骨格応力の減少が変位速度の増加につながったと考えられる。一方、Case2では単調に変位が蓄積している事がわかる。加振中の間隙水圧の発生がわずかであったため、骨格応力に大きな変化が生じずに、ほぼ同じ変位速度であったと考えられる。観測波を用いたケースでは、Case3では主要動が終わる15秒程度までに大きく変位が発生しており、Case4では入力動で大きな加速度が発生している25秒および70秒付近で大きな変位が発生しているが、その他の変位量は小さい事がわかる。

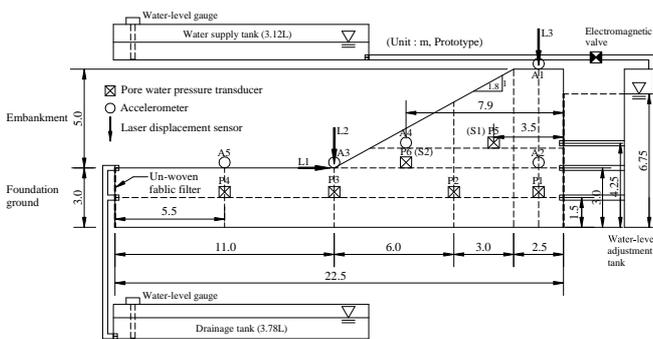


図1 実験に用いた模型断面と浸透機構

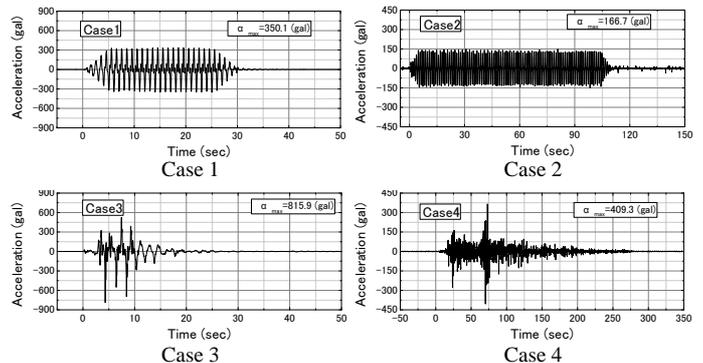


図2 入力地震動(振動台で測定した加速度)

長時間地震動, 遠心模型実験, 不飽和土, 盛土, 浸透

〒651-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 TEL075-383-3193

4. 継続時間の長い地震における盛土の変形モード

試験前後の写真を用いて、予め設置したマーカーのPTV 画像解析によって算定した変位から計算したひずみ分布図を図5に示す。Case 1では、天端下に大きな体積圧縮とせん断ひずみが見られる。一方、Case 2では、天端下の圧縮ひずみとせん断ひずみはCase 1に比べて小さく、法尻付近で大きなせん断ひずみと体積膨張が見られる。

上記の結果から、Case 1と2における変形モードの模式図を描いた(図6)。継続時間が短い地震動では、天端で大きな沈下が生じ、天端直下から左斜め下方向に比較的深い位置で体積圧縮を伴うせん断変形が卓越するモードとなった。同じ位置で間隙水圧の上昇がみられ(P1)、負のダイレイタンスの発生を伴う大きなせん断変形が発生したと考えられる。一方、継続時間が長い地震動では、法尻および法面付近において正のダイレイタンスを伴うせん断変形が卓越するモードとなった。これらの位置は相対的に骨格応力が小さく、浸透で飽和度が上昇し強度低下した箇所が、滑るように変形が卓越したものと考えられる。この地震外力では間隙水圧がほとんど上昇しなかった事が、継続時間の短い場合と異なるモードとなった一因と考えられる。

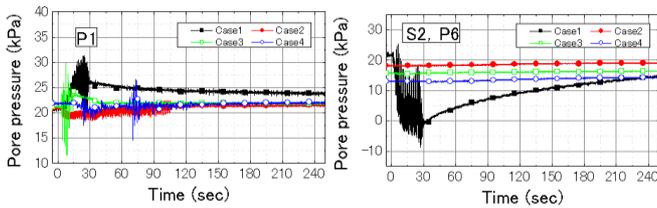


図3 間隙水圧時刻歴

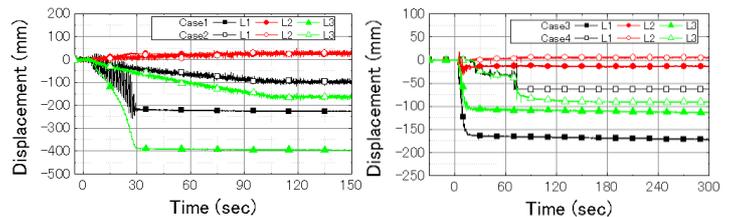


図4 変位時刻歴

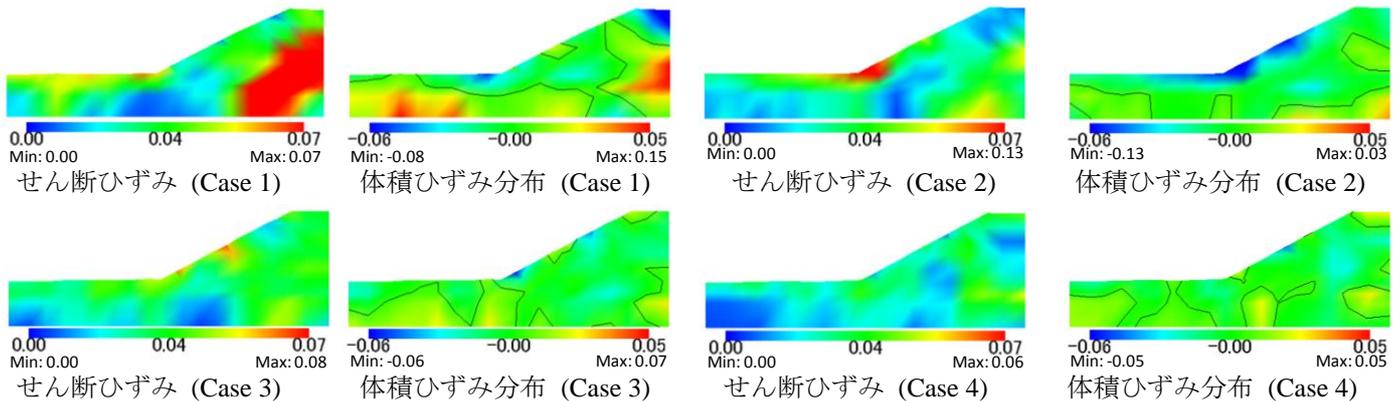


図5 せん断ひずみおよび体積ひずみ分布図 (せん断ひずみは偏差ひずみの第二不変量)

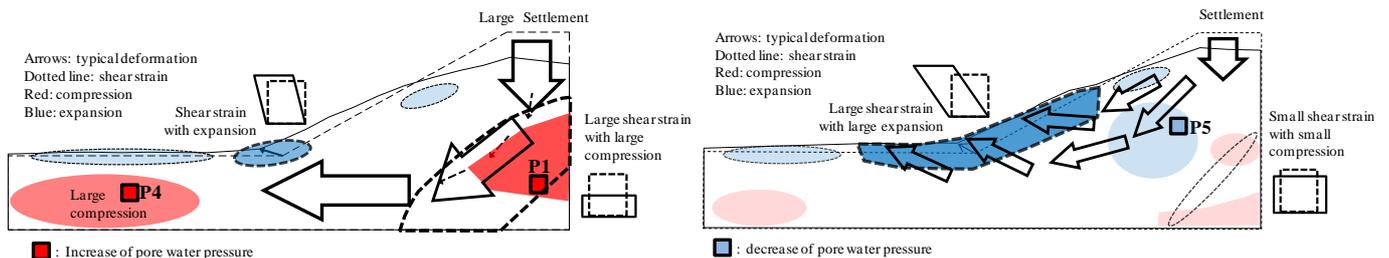


図6 変形モードの模式図 (左:継続時間の短い地震動 (Case 1), 右:継続時間の長い地震動 (Case 2))

観測波を用いたケースのひずみ分布を見ると、Case 3では天端下部の体積圧縮と左斜め下へのせん断ひずみが見られ、Case 4では表層部に体積膨張を伴うせん断ひずみが見られる。それぞれひずみの大きさは異なるものの類似した変形モードを示していると考えられる。

5. 結論

継続時間と振幅の異なる入力波を用いて浸透を考慮した動的遠心模型実験を実施し、継続時間が長く振幅の相対的に小さい地震動と継続時間が短く振幅の相対的に大きい地震動において見られる、変形モードを明らかにした。今後、数値解析を実施し、サクシオンや応力の変化等を議論し、地震動のタイプが不飽和盛土の変形挙動に与える影響を更に研究する。

謝辞

本研究の一部は、社団法人近畿建設協会からの研究助成(平成24年度)を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 液化化解析法 LIQCA 開発グループ, 2011., 2) 防災科学技術研究所, 基盤強震観測網 Kik-net, 2011., 3) 土井, 肥後, 岡, 木村, 木元, 李, 衣川, 第47回地盤工学研究発表会, 八戸, No.485, pp.965-966, 2012.