

解析領域の大きさおよび側方境界条件の違いが土構造物・地盤系の地震中・地震後に生じる変形破壊挙動に与える影響

名古屋大学 (正) ○野田 利弘 (学) 清水 亮太 (正) 山田 正太郎
(財)地震予知総合研究振興会 (フェロー) 浅岡 顕

1. はじめに

別報¹⁾では、水平成層地盤上に土構造物を有する系を対象に、解析領域の大きさや地盤側方の境界条件の違いが土構造物・地盤系全体の固有振動数および固有振動モードに与える影響について調べた。この結果、土構造物の幅に比べある程度広い解析領域を確保すると、系全体の主要な振動特性に大きな影響を与えないことを示した。本報では、別報¹⁾で用いた計算 CASE を対象に、水～土骨格連成有限変形解析コード **GEOASIA**²⁾による地震応答解析を通じて、解析領域の大きさおよび地盤側方の境界条件の違いが系の変形破壊挙動に与える影響について述べる。具体的には、ある土構造物・地盤系に対して、地盤と土構造物がそれぞれ大きく変形する2つの固有振動モードに着目し、各固有振動数付近に卓越振動数を有する2種類の地震波を用いて地震応答解析結果を示す。また、地盤の幅を変化させた場合や地盤側方に与えた境界条件を変化させた場合の、系の変形破壊挙動への影響についても述べる。

2. 基準となる土構造物・地盤系の地震応答解析

別報¹⁾において、基準となる計算 CASE(以降 CASE 1 とする)に対する固有振動解析の結果得られた固有振動数および固有振動モードに着目して、本報では、系全体の固有振動数付近に卓越振動数を有し、最大加速度が 200(gal)となるように作成した入力地震波を用いて、地震応答解析を行う。なお、計算に用いた有限要素メッシュ、境界条件、材料定数および初期値は全て別報¹⁾に示す CASE 1 と同じである。入力地震波の加速度履歴およびフーリエ振幅スペクトルを図 1 に示す。WAVE-1 は別報¹⁾の MODE-1 に対応する固有振動数に卓越振動数を合わせた地震波であり、WAVE-2 は別報¹⁾の MODE-2 に対応する固有振動数に卓越振動数を合わせた地震波である。以上より、地盤底面の全有限要素節点の水平方向(粘性境界)に図 2 に示す地震動を等しく入力し、地震後は地盤変形が収まるまでそのまま圧密放置した。以下では、MODE-1 付近に卓越振動数を有する地震波を入力した場合を CASE 1-1、MODE-2 付近に卓越振動数を有する地震波を入力した場合を CASE 1-2 とする。図 1 に地震中から地震後にかけてのせん断ひずみ分布の推移を示す。CASE 1-1、CASE 1-2 はともに地震後に遅れ破壊を生じている。せん断ひずみの進展過程に着目すると、CASE 1-1 では、地盤が大きく揺れる MODE-1 の振動モードが卓越するために地震中に砂層上端から地盤中央へとせん断ひずみが進展していることが分かる。その後、時間の経過とともに地盤から盛土へとひずみが進展し、遅れ破壊を生じている。一方、CASE 1-2 では、地震中に砂層上端にひずみが集中するものの、地震終了時にはまだ、盛土、地盤ともに大きな変形は生じていない。しかし、地震中に盛土が大きく揺れる MODE-2 の振動モードが卓越した結果、地震後の圧密過程において、まず盛土に滑り面が発生し、その後地盤内へ滑り線が進展していることが分

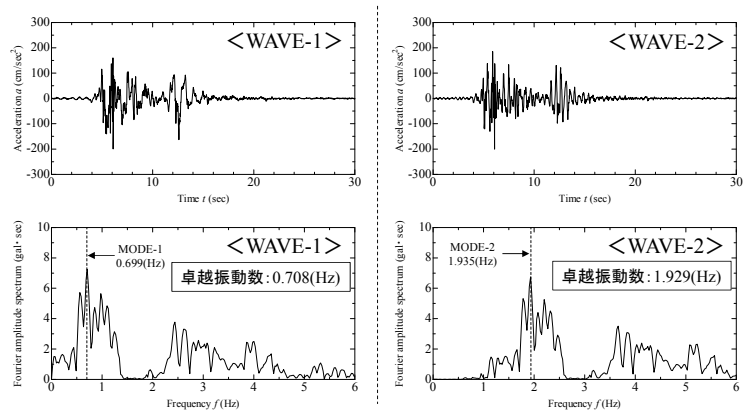


図 1 入力地震波の加速度波形およびフーリエ振幅スペクトル

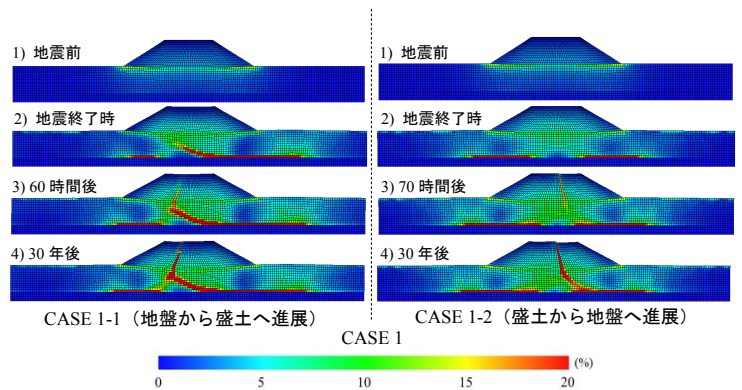


図 2 せん断ひずみ分布図(CASE 1 : 基本ケース)

キーワード 土構造物・地盤系, 地震応答解析, 解析領域, 境界条件, 水～土連成有限変形解析, 遅れ破壊

かる。遅れ破壊のメカニズムや地震応答特性の詳細は文献³⁾に譲るが、地震波が有する卓越振動数の違いによって、卓越する振動モードが異なり、ひいては遅れ破壊過程に大きな違いが生じることが分かる。

3. 地盤の解析領域および境界条件が系の変形破壊挙動に及ぼす影響

別報¹⁾において、新たに想定した3つのCASEに対する固有振動解析の結果得られた固有振動数および固有振動モードに着目し、本報では、各CASEの固有振動数付近に卓越振動数を有する地震波を用いて地震応答解析を行う。計算CASEをまとめたものを表1に示す。地震波については、前章で用いたWAVE-1, WAVE-2を基本的に用いるが、地盤の幅を半分にしたCASE3のみ他のCASEと固有振動数が異なるため、与えた入力波も異なることに注意されたい(紙幅の都合上、CASE3に与えたWAVE-3, WAVE-4の加速度波形は割愛する)。地震後30年間の圧密放置計算を行った際のせん断ひずみ分布図を図3に示す。CASE2に着目すると、CASE1の圧密放置後の変形破壊形状とほぼ同じ結果が得られている。また、地震中には、CASE2-1ではMODE-1が、CASE2-2ではMODE-2が卓越して現れ、結果としてCASE2-1とCASE2-2で、遅れ破壊の進展過程にCASE1-1とCASE1-2に現れたのと同様な違いが生じることを確認している。一方、CASE3は、破壊に至らないことが見て取れる。加えて、CASE3においては、他のCASEに入力した地震波WAVE-1, WAVE-2を用いた場合でもやはり破壊に至らないことを確認している。また、CASE4から、CASE1とほぼ同じ変形破壊形状に至ることが見て取れ、遅れ破壊の進展過程についてもCASE1と同じ傾向であることを確認している。このように、解析領域、境界条件に違いがあっても、同様な固有振動数と固有振動モードが得られるようなCASEでは地震中に同様な応答が生じ、その影響で、地震後にも同様な過程を経て遅れ破壊が発生した。ただし今回の解析例では、CASE1, CASE2, CASE4で同様な形態で遅れ破壊を生じたが、遅れ破壊が発生するまでの時間には多少の違いが見られた。同様な固有振動数と固有振動モードが得られるような解析領域、境界条件であれば地震中は同様な応答を示すが、一方で、地震後の圧密の進行には解析領域や境界条件の影響が別途現れる点には注意が必要である。

4. おわりに

本研究では、水平成層地盤上に土構造物を有する系において、解析領域の大きさおよび地盤側方の境界条件の違いが系の地震中・地震後の変形破壊挙動に与える影響を調べた。今回取り扱った境界値問題では、同様な固有振動数と固有振動モードが得られるように解析領域や境界条件を設定すれば、地震中に同様な応答が生じ、その影響で、地震後にも同様な過程を経て遅れ破壊が発生した。ただし、地震後の圧密過程では解析領域や境界条件の影響が遅れ破壊が発生するまでの時間の違いとして現れた。

参考文献 1) 清水亮太他(2012)：解析領域の幅および側方境界条件の違いが土構造物・地盤系の固有振動数...，土木学会 第67回年次学術講演会概要集(本概要集)。 2) Noda, T. et al.(2008)：Soil-water coupled finite deformation analysis ..., S&F, 48(6), 771-790. 3) 清水亮太他(2012)：卓越する固有振動モードの違いが...，第47回地盤工学研究発表会概要集。

表1 計算CASEまとめ

		着目する固有振動モードと固有振動数	入力地震波名	入力地震波の卓越振動数
CASE 1 基本CASE	CASE 1-1	MODE-1 0.699(Hz)	WAVE-1	0.708(Hz)
	CASE 1-2	MODE-2 1.935(Hz)	WAVE-2	1.929(Hz)
CASE 2 地盤の幅 2倍	CASE 2-1	MODE-1 0.706(Hz)	WAVE-1	0.708(Hz)
	CASE 2-2	MODE-2 1.937(Hz)	WAVE-2	1.929(Hz)
CASE 3 地盤の幅 1/2倍	CASE 3-1	MODE-1 0.670(Hz)	WAVE-3	0.659(Hz)
	CASE 3-2	MODE-2 1.888(Hz)	WAVE-4	1.880(Hz)
CASE 4 側方境界要素単純せん断変形境界	CASE 4-1	MODE-1 0.699(Hz)	WAVE-1	0.708(Hz)
	CASE 4-2	MODE-2 1.937(Hz)	WAVE-2	1.929(Hz)

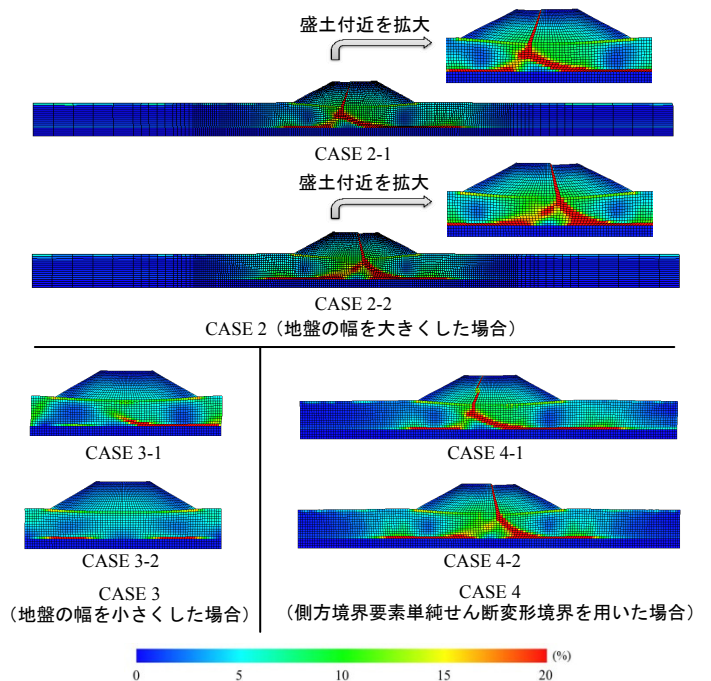


図3 圧密放置後のせん断ひずみ分布図 (CASE 2, CASE 3, CASE 4)