

軟弱地盤上の大型人工埋立地盤の地震中・地震後応答解析

軟弱地盤 埋立て 地震応答

名古屋大学 国際会員 野田利弘

名古屋大学 正会員 酒井崇之

(財)地震予知総合研究振興会 国際会員 浅岡顕

1 はじめに

近年、耐震設計法は仕様規定型から性能規定型へと変化しており、地震中の安定性評価だけでなく、地震後の圧密を伴う変形挙動予測までも視野に入れた性能照査が求められている。本報では、土骨格にSYSカムクレイモデル¹⁾を搭載した水～土連成有限変形解(GEOASIA)²⁾により、埋立過程を考慮して再現した軟弱地盤上の人工埋立地盤³⁾に、引き続き地震動を入力した場合の、地震中・地震後の変形挙動を調べた。なお以下では、地震中の挙動のみを示す。

2 解析諸条件

解析対象を図-1に示す。地盤全体のモデル化、解析断面については文献3)を参照されたい。地盤下端節点はPS検層結果をもとに、底面粘性境界($V_s=420\text{m/sec}$)を設定し、地盤両側端要素には側方境界要素単純せん断変形境界⁴⁾を設けている。地盤底面の全有限要素節点の水平方向に図-2に示す東海・東南海・南海3連動型地震動⁵⁾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計算を実施した。図-3は入力地震動のフーリエスペクトルを示す。約2Hz, 3.5Hzが卓越している。

3 人工埋立地盤の地震中の挙動

図-4はSCP部と無改良部分の境目(図-6の $x=1350\text{m}$)における水平変位分布の経時変化を示す。SCP改良部分(青線で囲まれた箇所)はほとんど変形していない。しかし、その下の③-C層(赤線で囲まれた箇所)では、非常に大きい変位が出ている。図-5は護岸の水平変位分布の経時変化を示す。地震動により護岸の変位が大きくなっていき、地震終了時には約7度護岸が傾く。図-4で示すように、SCP改良により変位は抑制されているが、無改良部が変形するため、護岸が傾いてしまう。図-6は各時間における自然堆積地盤の表面の沈下形状を示す。地震により地表面の形状が大きく変化しているが、護岸はほとんど沈下していない。これは基礎が硬い砂層まで根入れされていることや、SCPにより沈下が抑止されているためである。一方で、捨石マウンド部や中仕切り堤直下については、上載荷重が大きいため、他の部分に比べ地震による沈下量が多い。また、護岸が前方に変位することや、捨石マウンドが沈み込むために捨石マウンド前面では大きく地盤が膨張する。

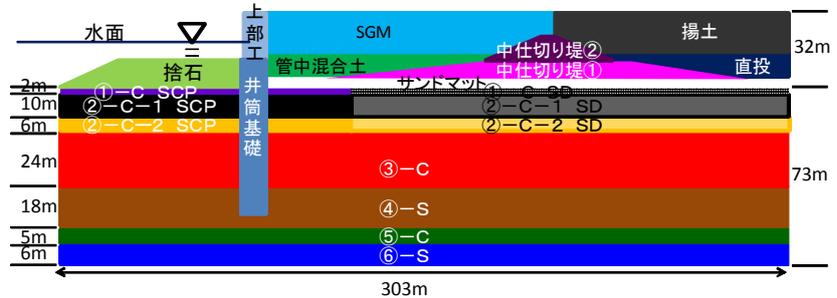


図-1 人工埋立地盤概略図

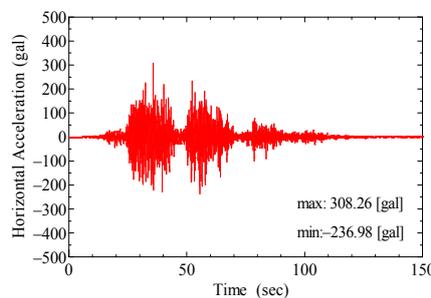


図-2 入力地震動

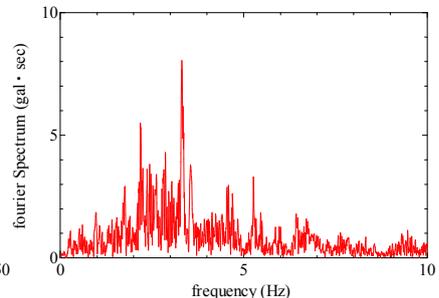


図-3 フーリエスペクトル

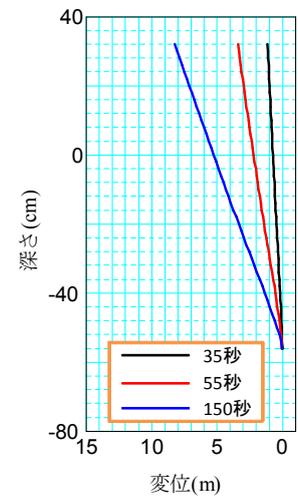
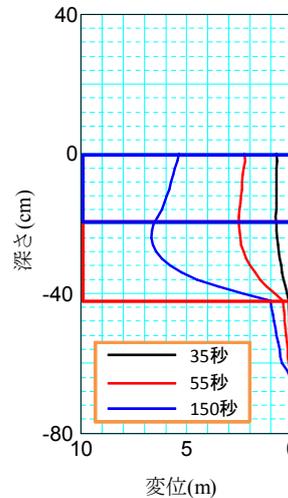


図-4 SCP部分の変位分布 図-5 護岸の水平変位分布

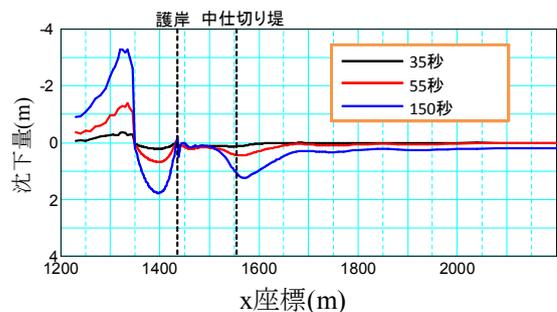


図-6 地表面の沈下形状

図-7はせん断ひずみ、平均有効応力の経時変化をそれぞれ示す。地震により繰返し载荷を受けることにより徐々に平均有効応力が低下する。地震終了時には、⑥-S層を除く全ての層において低下している。特に①-C、②-C-1、②-C-2、③-Cで平均有効応力の減少が顕著である。その後、平均有効応力の回復に伴い、これらの粘土層で長期沈下が生じる(図省略)。SCP打設箇所については、護岸付近で特に平均有効応力の増加が見られ、SCPが地震に対して抵抗している。せん断ひずみは、特に③-C層と④-S層の境目で大きく発生している。また、埋立によりせん断ひずみが発生した①-C、②-C-1、②-C-2層についてはさらにひずみが進展する。一方、SCP打設箇所は、ほとんどせん断ひずみが発生しておらず、SCP改良により地盤の耐震性能が飛躍的に向上している。

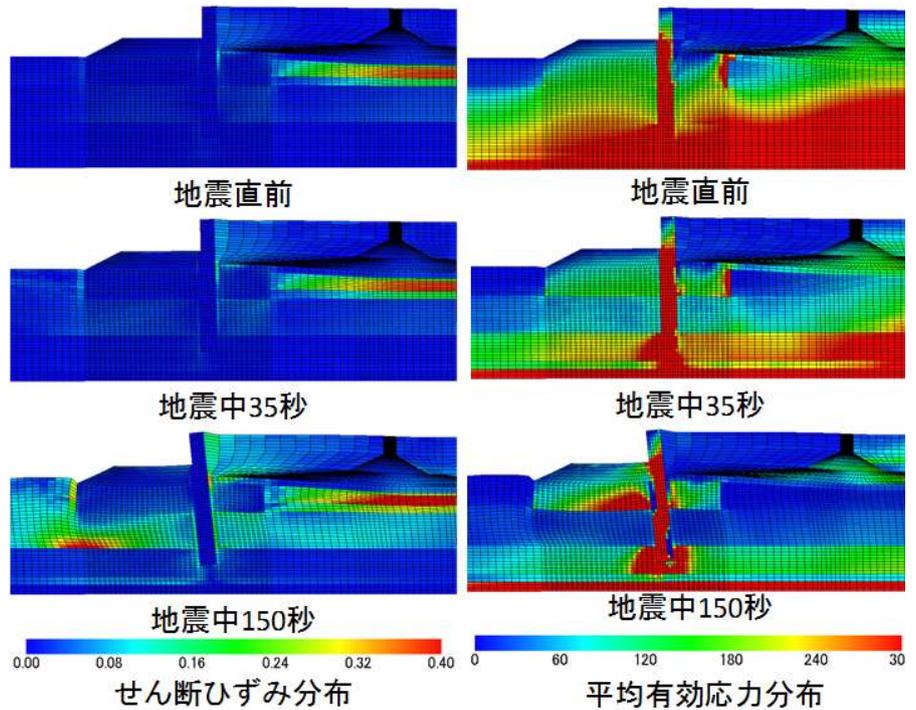


図-7 せん断ひずみ、平均有効応力の経時変化

図-8は応答加速度を示す。なお、グラフはそれぞれ護岸上部(橙色)、護岸から600m程度離れた埋立地盤の地表面(黒色)、その直下の自然堆積地盤の地表面(紫色)をそれぞれ示す。護岸においては、最大加速度が300gal程度であり、ほとんど増幅していない。自然堆積地盤では最大加速度が500gal程度であり、自然堆積地盤においても地震波の増幅の程度は小さい。しかも、三連動地震の1つ目の波ではほとんど増幅が見られない。なお、自然堆積地盤の固有周期⁹⁾を調べたところ、約5秒であり、今回入力した地震動の卓越振動数とずれている。

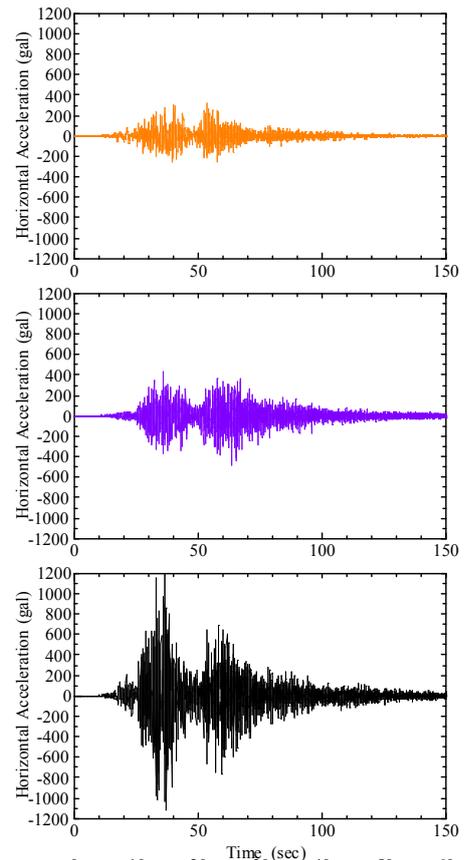


図-8 応答加速度

埋立地盤においては最大加速度が1200gal程度であり、大きく加速度が増幅する。自然堆積地盤や護岸とは異なり、三連動地震の1つ目の地震波で特に地震波が増幅している。

4 まとめ

地震中、人工地盤は埋立地盤とともに変形する。地震中の土の構造低位化に伴う平均有効応力減少と過剰水圧上昇が生じるため、地震後に変形はさらに進行する。(その地震後の挙動は講演時に示す。) その中で、SCP改良箇所については変形量が小さく、せん断ひずみが周囲に比べて発生が小さい。このことから、SCP改良は地盤の耐震性を向上させるのに非常に有効であることがわかる。今回は、限られた資料を基にした地震応答の検討であったが、経済活動の中心を人工島に依拠せざるを得ない我が国において、埋立地盤の造成過程も考慮した上で、シームレスに地震後・地震中挙動を調べ、改良効果の検討や問題点の抽出を行う意義はきわめて大きいと考えている。

なお本報告は、科学研究費補助金(基盤研究(S):課題番号21226012)の助成を受けたものである。

参考文献 1)Asaoka et al.(2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S & F, 42(5), pp.47-57. 2) Asaoka, A. and Noda, T.(2007): All Soils All States All Round Geo-analysis Integration, International Workshop on Constitutive Modelling - Development, Implementation, Evaluation, and Application, Hong Kong, China, pp.11-27. 3)酒井崇之他(2011): 軟弱地盤上人工地盤の埋立履歴を考慮した変形解析, 第46回地盤工学研究発表会概要集(本誌). 4)吉見吉昭, 福武毅芳(2005): 地盤液状化の物理と評価・対策技術, 技報堂出版. 5)内閣府(2004): 東南海、南海地震公開データ. 6)清水亮太他(2011): 粘性境界を有する地盤の固有振動解析による地震中における地盤の固有振動数の経時的変化の把握, 第46回地盤工学研究発表会概要集(本誌).