

軟弱粘土層上の巨大人工島の埋立履歴を考慮したモデル化と地震応答解析

名古屋大学 正 会 員 ○酒井 崇之 野田 利弘 中野 正樹
財団法人地震予知総合研究振興会 フェロー会員 浅岡 顕

1. はじめに

地震による地盤被害では、砂質地盤の液状化がもっぱら注目される。しかし、軟弱な粘性土地盤においても、地震中～地震後の大変形挙動や不安定挙動が観測されている¹⁾。このため、軟弱な粘性土地盤における地震中や地震後の地盤の変形挙動を把握することは重要である。また、我が国では、経済活動の中心を人工島や埋立地盤などに依拠しているため、浚渫土など中間土から構成される人工地盤の耐震性を評価することが重要である。そこで、本研究では、図1に示すような軟弱な粘性土地盤上に建設された巨大人工島を対象に、埋立履歴を考慮してモデル化した。そして、地震による地盤の変形解析を行い、地震中や地震後の地盤の変形挙動を調べ、大型人工島の弱点箇所を抽出した。解析には、土の構成式に骨格構造(構造・過圧密・異方性)とその働きを記述する SYS Cam-clay model²⁾を搭載した水～土連成有限変形解析コード(GEOASIA³⁾)を用いた。

2. 埋立履歴を考慮したモデル化

人工島の大きさは東西約 1.3km あり、南北約 3km である。本研究では、人工島の護岸を中心として東西に約 1km の区間を解析領域とした。東側護岸と西側護岸を解析対象としたが、紙面の都合上西側護岸のみ報告する。図1は対象となる巨大人工島西側護岸の断面図である。AcU1～AcU3 は軟弱な粘土層であり、AcU1, AcU2 層は護岸直下において、サンドドレーン改良が行われている。As 層は N 値 30 程度の固い地盤で、AcL 層はやや軟弱な粘性土である。また、人工地盤 Bc 層は 30m あり、非常に厚く埋立が行われている。

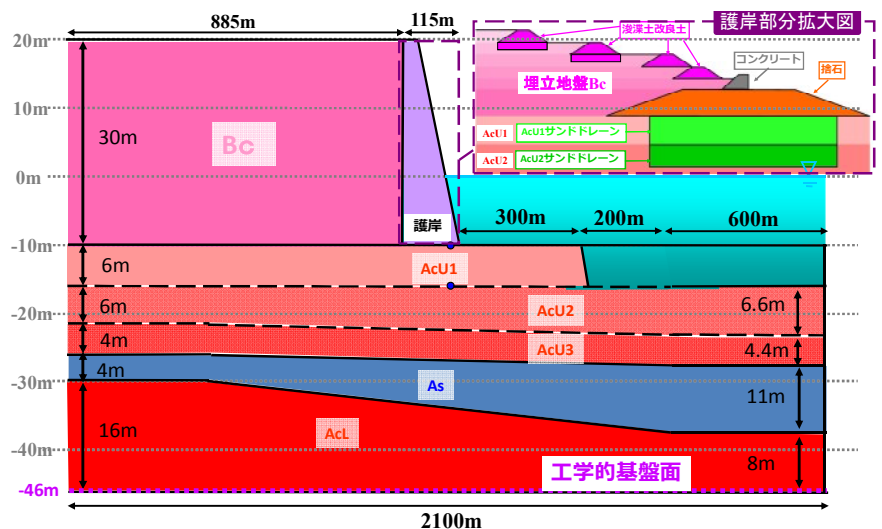


図1 巨大人工島断面概要図

自然堆積地盤については現地で行われたボーリングデータなどを基に平面ひずみ条件でモデル化を行った。自然堆積地盤の概要は図1に示した通りである。自然堆積地盤および人工地盤の材料定数や初期状態については、大部分が現地で採取された不攪乱試料に対する力学試験を SYS Cam-clay model で再現することにより決定している。埋立の各過程は、水～土二相系の弾塑性有限要素を一層ごとに追加し、コンクリート護岸は一相系弾性体有限要素を同様に追加して再現している。埋立履歴については、実際の埋立過程と同様に要素を追加していくことで再現する。地盤の水理境界については、水面より上の地表面は水圧を常にゼロ（大気圧条件）、水面より下の地表面は静水圧分の水圧が作用した排水境界とし、地盤の両端と底面は非排水境界としている。また、地盤は全て飽和地盤と仮定している。なお、地震時には地盤下端節点は PS 検層結果をもとに、底面粘性境界($V_s=300\text{m/sec}$)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を設けている³⁾。

3. 巨大人工島の地震応答解析

図2は入力地震動を示す。最大振幅が約 400gal であり、振幅 100gal 以上が約 100 秒程度続く地震である。この地震を標高 20m まで埋立した 1 年後に入力した。

キーワード 埋立地盤, 軟弱地盤, 有限要素法, 水～土連成, 地震応答解析

連絡先 〒464-0083 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院社会基盤工学専攻 TEL 052-789-2734

図3は地震開始直前、地震終了直後、地震3年後におけるせん断ひずみ分布、平均有効応力分布を示す。地震開始直前にせん断ひずみはほとんど発生していない。地震により地盤が大変形を引き起こし、自然堆積地盤、人工地盤ともに大きいせん断ひずみが発生している。特に、人工地盤に大きいせん断ひずみが発生し、人工地盤がコンクリート護岸に乗り上げている。また、人工地盤から、捨石マウンドの下にかけてすべり面のようにせん断ひずみが発生し、捨石マウンドも大きく変形した。なお、地震後において、せん断ひずみは進展しない。地震により繰返し载荷を受けることにより、正の過剰間隙水圧が発生し、平均有効応力は大きく低下している。その後、過剰間隙水圧の消散に伴い、平均有効応力は回復していく。

また、図4は地震中～後の各点の変位と沈下量を示す。ここで、変位と沈下量は地震直前を0としており、変位は航路からの相対変位である。地震によって、護岸は20m、人工地盤は50m程度側方変位が発生した。地震後については、いずれの点も側方変位が小さくなっていく。これは、人工島の地盤沈下により、護岸が引き戻されていることや、捨石マウンドが重力により徐々に左下方へ沈下しているためである。人工地盤は8m程度沈下量が発生し、地震により大きく沈下している。地震後も沈下量は少しずつ増大しており、地震後3年経過時においても、収束は見られない。捨石マウンドの法尻部は地震中に大きく膨らんでいる。地震後は平均有効応力の回復に伴い少し沈下している。

4. おわりに

解析の結果、人工地盤や、マウンド下の自然堆積地盤など、軟弱な部分にひずみが集中していることや地震後も地盤は長期的に変形していくことがわかった。今回の解析事例のように、経済活動の中心を人工島に依拠している我が国において、埋立履歴を再現して地震中・地震後の挙動を調べ、弱点箇所を抽出することは、地震対策のために、非常に重要であると考えている。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) 安原一哉他: 粘性土の動的性質, 土と基礎, 講座, 平成10年5月～平成11年4月号, 2) Asaoka et al.(2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S & F, 42(5), pp.47-57. 3) Noda et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-slay model, S & F, 48(6), pp. 771-790. 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。

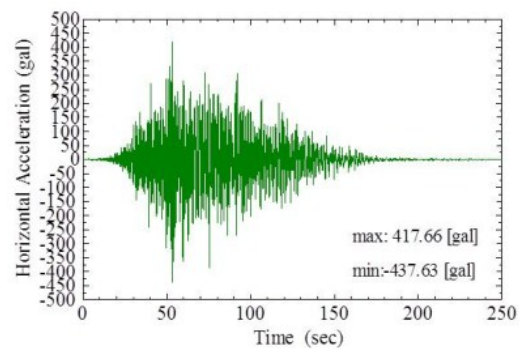


図2 入力地震動

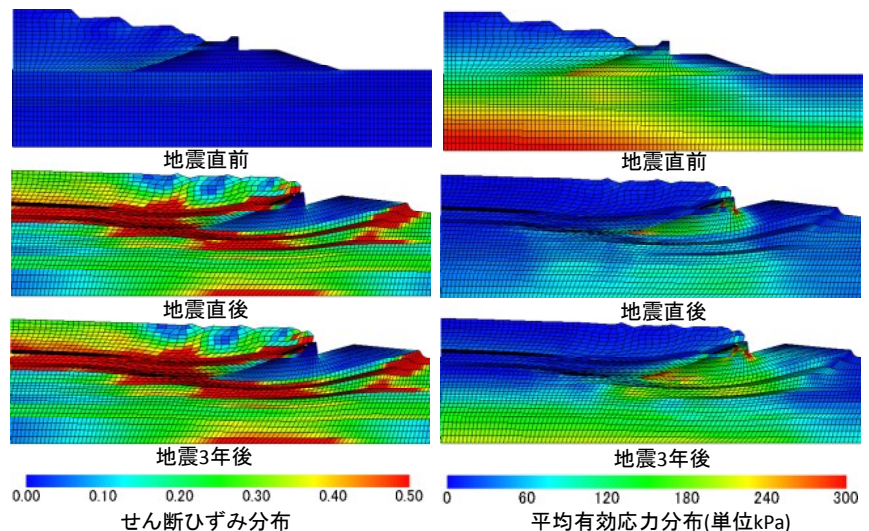


図3 せん断ひずみ分布と平均有効応力分布

