

### 地層構成が異なる地盤上に建設された防波堤の耐震性評価

名古屋大学 正会員 中井健太郎 ○酒井崇之  
名古屋大学 フェロー会員 野田利弘  
名古屋大学 学生会員 中島努 長谷川将之

#### 1. はじめに

南海トラフ巨大地震に備え、既設の防波堤の地震時の変状を予測するとともに、変状に応じた対策が求められている。本報では、愛知県内にある防波堤を対象に地震応答解析を実施し、防波堤の耐震性や地震後の機能維持について検討を行った。解析コードは、砂から中間土、粘土までを同じ理論的枠組で記述する弾塑性構成式 (SYS カムクレイモデル<sup>1)</sup>) を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コード **GEOASIA**<sup>2)</sup> である。

#### 2. 解析対象地点の地層構成と弾塑性性状の推定

解析対象とした3地点の地層構成図を図1に示す。A地盤は、N値が5程度と小さくて液状化の危険性の高い砂質土が卓越している。B地盤は、N値がほぼ0の軟弱な粘性土が厚く堆積している。従来、粘性土地盤は地震被害が発生しない／考えなくてよいとされることが多かったが、過去の地震被害を精査していくと、特に軟弱な粘性土地盤では、地震直後の沈下加速化や長期にわたって継続する沈下被害が観測されており、B地盤においても同様の被害が危惧される。C地盤は、砂礫と粘性土が互層となっている。N値は砂礫層が10程度、粘土層が0～2であり、N値が大きいとは言えない。解析に用いた弾塑性性状については、各地盤から採取された不攪乱試料の力学試験結果から特定するのが望ましいが、全ての土層において力学試験が実施されている

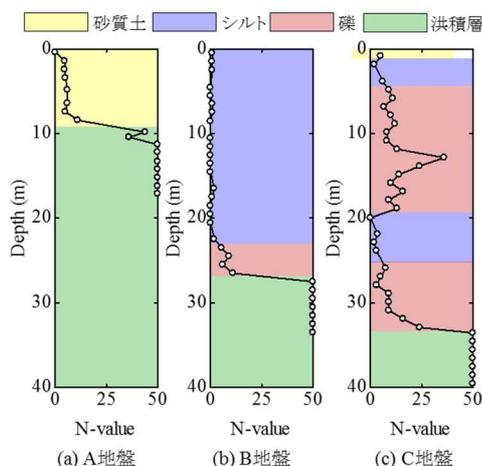


図1 解析対象地盤の地層構成, N値分布

わけではない。本報では名古屋大学で過去に取り扱った土質材料を参考に、柱状図と物理試験結果から材料定数と状態量を推定した。

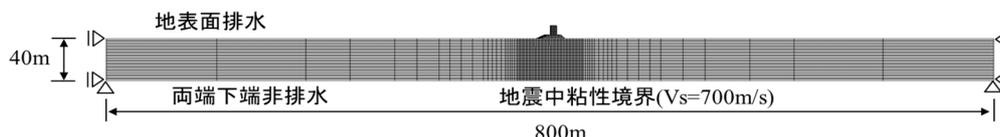


図2 防波堤築堤後の有限要素メッシュ

#### 3. 解析に用いた有限要素メッシュと入力地震動

図2に防波堤築堤後の有限要素メッシュを示す。図3は防波堤部分の拡大図を示す。地盤は水平成層を仮定し、地層構成は図1に示した通りである。また防波堤は有限要素メッシュを追加する手法で構築した。水理境界は、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、下端面は不透水層の存在を考慮して、両側面と合わせて非排水境界とした。また、制約条件として周期境界を設けるために、両側面の同一高さの全節点の各成分に等変位条件を与えている。本検討で用いた入力地震波の加速度履歴を図4に示す。地震波は対象地点周辺で内閣府が定める南海トラフ地震(基本ケース)のEW成分である。地震入力時は、工学的基盤面にあ

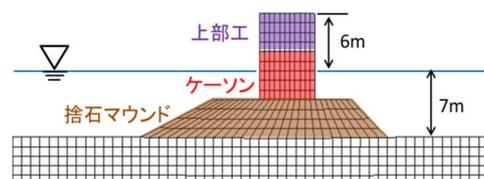


図3 防波堤部分の拡大図

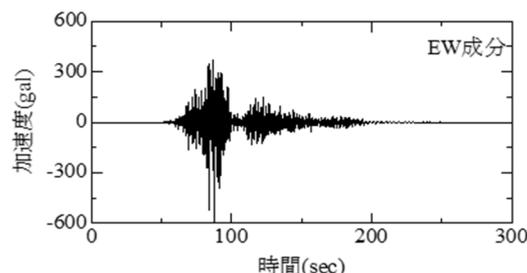


図4 入力地震動

地震応答解析, 低N値, 砂質土, 液状化, 粘性土, 地震後長期沈下

たる地盤底面全節点の水平方向に加速度を等しく入力し、 $V_s=700\text{m/sec}$  に相当する粘性境界を設定した。

4. 地震応答解析結果

図5~7にA~C地盤の地震直後のせん断ひずみ分布と平均有効応力分布を示す。また、各図のせん断ひずみ分布の上に記載の数字は、地震中および地震後の防波堤天端中央における沈下量である。A地盤では、マウンド直下および防波堤から離れた水平地盤上では、砂質土層の平均有効応力がほぼゼロとなって液状化している。せん断ひずみ分布は、地盤とマウンドの境目において特に大きい。これは、液状化によってマウンド周辺地盤の剛性が低下し、揺すりこみ沈下が生じたためである。防波堤は、地震中に約1m沈下し、地震後は地震中に蓄積した過剰間隙水圧の消散に伴って、数時間かけてさらに10cm沈下する。B地盤はA地盤と比べると、平均有効応力の低下の程度は小さいが、粘性土地盤であってもN値が小さく軟弱であるため、地震中に地盤が乱されて剛性が低下する。剛性低下に伴って、防波堤が不等沈下する。粘性土は砂質土に比べて圧縮性が大きく、透水性が小さい。そのため、砂質土に比べて有効応力減少の程度は小さくても地震中に約2m沈下することに加えて、地震後も長期に亘り緩やかに沈下量が増大する。C地盤はB地盤と同様、粘性土層において平均有効応力の低下が見られるが、それに加えて、礫層でも有効応力が大きく減少する。礫層の液状化は、兵庫県南部地震でも見られた現象である。せん断ひずみは浅部で大きく、特に表層付近の粘性土層で卓越する。防波堤は、地震中に約1.8m沈下し、地震後はさらに80cmの沈下が発生する。砂礫層は透水性が大きい、上下を透水性の小さい粘性土層に挟まれているため、沈下収束までには長い時間を要する。

5. まとめ

本報では、愛知県内の地層構成の異なる3つの地盤を対象に地震応答解析を実施し、地盤上に設置されている防波堤の地震時変状予測を行った。その結果、N値が小さい砂質土だけでなく、粘性土であっても、N値が小さく軟弱な場合には、地震中に平均有効応力が減少して剛性が低下し、防波堤が大きく沈下する危険性があることを示した。また、粘性土は透水性が小さいため、変状が長期にわたって継続する点にも注意が必要である。本報で対象とした地盤はいずれもN値が小さい状態にあるため、南海トラフ地震のように大きな揺れに見舞われると、防波堤が大きく沈下する危険性を秘めている。地震後に来襲する津波高さを考慮して、適切な対策や防波堤の嵩上げを検討していくことが重要である。

5. まとめ

本報では、愛知県内の地層構成の異なる3つの地盤を対象に地震応答解析を実施し、地盤上に設置されている防波堤の地震時変状予測を行った。その結果、N値が小さい砂質土だけでなく、粘性土であっても、N値が小さく軟弱な場合には、地震中に平均有効応力が減少して剛性が低下し、防波堤が大きく沈下する危険性があることを示した。また、粘性土は透水性が小さいため、変状が長期にわたって継続する点にも注意が必要である。本報で対象とした地盤はいずれもN値が小さい状態にあるため、南海トラフ地震のように大きな揺れに見舞われると、防波堤が大きく沈下する危険性を秘めている。地震後に来襲する津波高さを考慮して、適切な対策や防波堤の嵩上げを検討していくことが重要である。

謝辞 本研究は南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト(文部科学省)の助成を受けた。また、地盤のモデル化にあたっては、JSPS 科研費(基盤研究A:25249064)の成果を参照した。

参考文献

1) Asaoka, A. et al., An elasto-plastic description of two distinct..., S&F, Vol 42, No.5, pp.47-57, 2002. 2) Noda, T. et al., Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type..., S&F, Vol.48, No.6, pp.771-790, 2008.

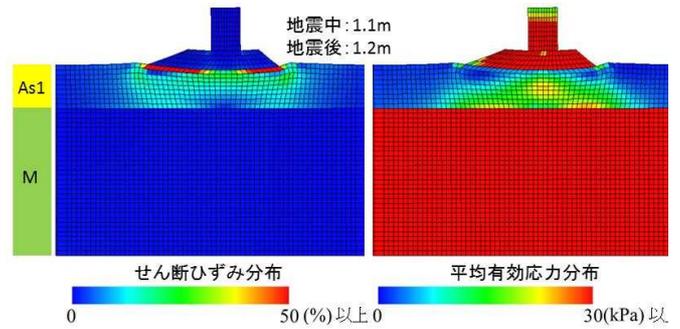


図5 解析結果(A地盤)

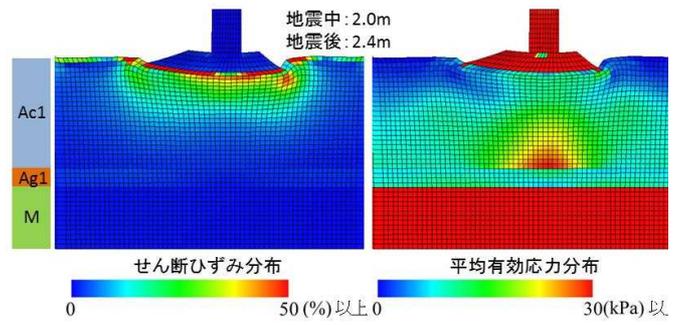


図6 解析結果(B地盤)

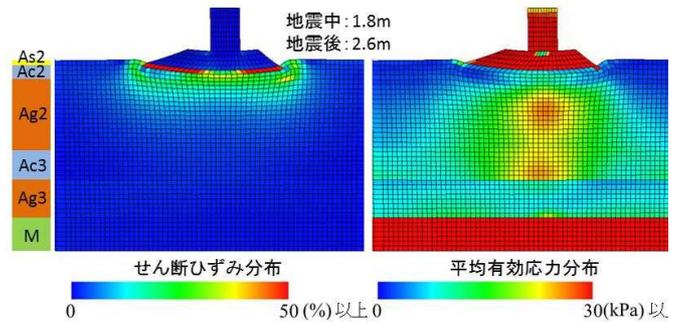


図7 解析結果(C地盤)