

# 埋立過程を考慮してモデル化した軟弱地盤上大型人工地盤の地震中・地震後応答解析

## Numerical analysis on co- and post-seismic behavior of a large reclaimed land modeled in consideration of the reclamation history on soft alluvial deposit

野井 崇之 (名古屋大・工) 野田利弘 (名古屋大・工) 浅岡顕 (地震予知総合研究振興会)

Takayuki SAKAI, Nagoya University

Toshihiro NODA, Nagoya University

Akira ASAOKA, Association for the development of earthquake prediction

E-mail: t-sakai@soil.civil.nagoya-u.ac.jp

Most of important infrastructures are built on reclaimed lands in Japan. Big earthquake has fears of damage to reclaimed ground and naturally deposited soft soil. In this study, a large man-made island on soft alluvial deposit is modeled in consideration of the reclamation history and co- and post- seismic behavior of the constructed island is simulated by the soil-water coupled finite deformation analysis code, GEOASIA. The main conclusions are shown as follows. (1) Even after an earthquake, displacement and settlement continue in the island for the long time. (2) The place where the largest settlement is located in front of shore protection. The reason is that the plastic compression occurs with loss of structure in a clay layer without SCP improvement during and after the earthquake.

### 1. はじめに

日本の重要な社会資本の多くは埋立地盤上に建設されている。また、埋立地盤や軟弱な自然堆積地盤は地震による液状化や長期沈下などの被害が懸念されている。埋立地盤や軟弱な自然堆積地盤上に建設された重要構造物の地震時被害を最小限にとどめるためには、事前に耐震性能をより適切に照査することが必要である。また、地震中だけではなく、地震後の変形挙動の予測まで視野に入れた照査が必要である。

本報告では、Fig. 1 に示すような軟弱地盤上に建設された空港滑走路を有する大型人工地盤を想定し、埋立履歴を考慮して人工地盤をモデル化した。さらに、完成した人工地盤に対し地震波を入力し地震中および地震後の変形を調べた。なお、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 model<sup>1)</sup>を搭載した水～土連成有限変形解析コード(GEOASIA<sup>2),3)</sup>を用いた。

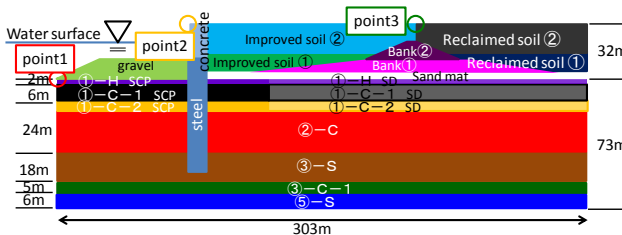


Fig. 1 A schematic drawing of reclaimed land

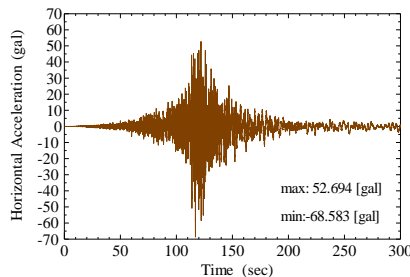


Fig. 2 Input earthquake motion

### 2. 解析条件

自然堆積地盤各層および、埋立地盤の材料定数の決定方法や、解析断面などの条件は文献 4)を参照されたい。入力

地震動として 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した東北地方太平洋沖地震において Kik-net 所沢観測点の地中で観測された地震波を入力した<sup>5)</sup>。なお、実際の入力地震動は翠川の式<sup>6)</sup>を用いて補正した。Fig. 2 は入力地震動を示す。

### 3. 地震による大型埋立人工地盤の変形

本計算では、埋立過程の初期段階から計算を行い、埋立に伴う地盤の変形も調べたが、紙面の都合上、地震による変形のみを報告する。なお、埋立中の地盤の変形については、文献 4)を参考されたい。Fig. 3 は地震直前、地震直後、地震後 20 年経過時の平均有効応力分布および構造分布を示す。地震により繰返し载荷を受けることにより①-C-1、①-C-2、②-C 層で平均有効応力が減少した。地震 20 年後の時点では平均有効応力は回復し、それに伴い沈下が発生した。

自然に堆積した土は、同じ応力状態で繰返し土よりも大きい間隙比を有することができる。この状態を「嵩張った状態」と言い、この状態にある土を、構造を持った土と呼ぶ。構造が喪失すると、土は塑性圧縮を示し、大圧縮の原因になる。構造分布をみると地震直前の段階で埋立を行わない箇所は、①-C-1、①-C-2、②-C 層で構造が存在するのにに対し、埋立箇所は埋立により構造が破壊され、構造がほとんど喪失している。地震により、護岸前面の②-C 層において、構造の劣化が特に顕著に現れる。地震直後と地震 20 年後を比べて見ても構造の劣化が進行している。

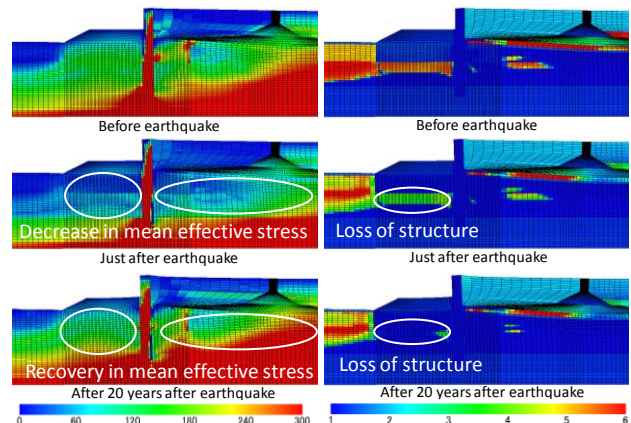


Fig. 3 Mean effective stress (left) and structure (right)

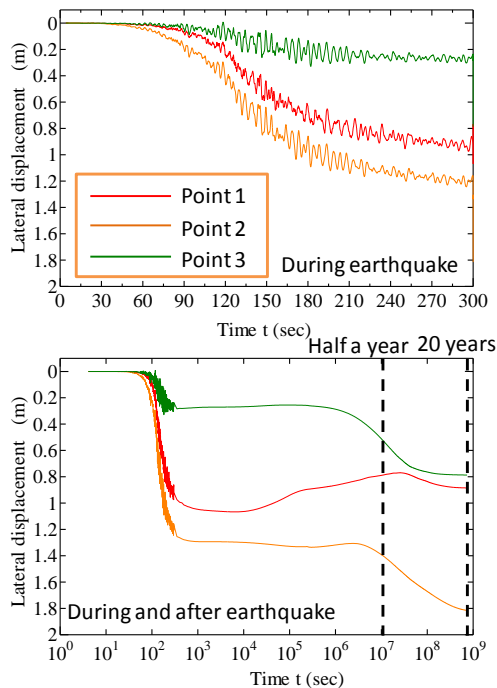


Fig. 4 Lateral displacement during and after the earthquake

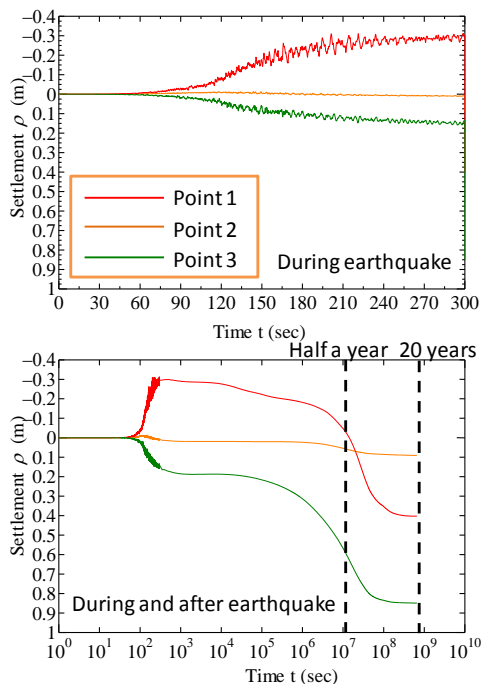


Fig. 5 Settlement during and after the earthquake

Fig. 4, Fig. 5 はそれぞれ地震中および地震後の水平変位, 沈下量を示す。なお, point 1~3 は Fig. 1 に示している。護岸の前面(point 1)では地震中は膨張するが, 地震後に大きく沈下している。この沈下は, 上述した構造劣化に伴う圧縮が原因である。側方変位は地震により約 1m 発生したが, 地震後はほとんど変位が発生しなかった。

護岸頂上(point 2)では, 沈下はほとんど発生していない。これは SCP による地盤改良を行ったことにより沈下が抑制されていることと, 護岸を硬い層まで根入れしているためである。一方, 側方変位は地震中に約 1m 発生する。さらに, 地震後約半年経過時に変位が増大し始め, 地震終了

後徐々に変位が増大した。地震後 20 年の時点では 1m 変位し, 変位がまだ収束していない。中仕切り堤直上(point 3)では, 地震後にも沈下が増大し, 地震後 20 年経過時でも沈下が完全に収束していない。側方変位も同様である。point 3 では最終的に沈下も側方変位も約 80cm 発生した。

#### 4. まとめ

本報告では, 軟弱地盤上の大型人工地盤を, 施工履歴を考慮した上でモデル化を行い, 埋立や地震に伴う人工地盤の変形を調べた。本報告で得られた知見を以下に示す。

- 1) 地震により地盤の沈下や護岸の側方変位が発生するが, 地震中では, (空港が使用不可能になるほどの)大変形は起きない。
- 2) 地震後, 長期的な沈下と側方変位が生じる。地震後 20 年の時点では中仕切り堤直上では沈下量・側方変位が約 80cm 発生している。護岸や護岸前面では, 約半年の時点で沈下や側方変位が加速し始め, 地震後 20 年時点では収束していない。護岸は 20 年間にわたり約 2.0m 側方変位が発生する。
- 3) 地震後に変形量が最も大きい箇所は護岸前面である。SCP 改良を施しているのにも拘わらず, 変形が大きくなっている。これは, 地震後に②-C 層が構造劣化に伴い, 圧縮しているためである。SCP 改良は耐震性を上げるのに有効である。しかし, ②-C 層に至る深層部までを改良していないため, 地震後に護岸前面で長期的な大変形を引き起こしている。

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。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, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol.42, No.6, 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) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M.(2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-slay model, *Soils and Foundations*, Vol.48, No. 6, pp. 771-790.
- 4) 酒井崇之, 野田利弘, 浅岡顕:(2011) 軟弱地盤上の埋立履歴を考慮してモデル化した大型人工地盤の地震中・地震後応答解析, 地盤工学中部シンポジウム論文集, pp.71-78
- 5) 防災科学技術研究所 基盤強震観測網 KiK-net URL: <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 6) 翠川三郎(1987): 関東平野を対象とした震度分布予測, 構造工学論文集, vol.33B