

## 海溝型連発大地震も視野に入れた我が国沿岸域の耐震性 再評価と地盤強化技術の検討

Reevaluation of the seismic resistance of coastal areas in the event of large-scale serial ocean trench earthquakes, with a consideration of foundation reinforcement technologies

野田 利弘 (NODA TOSHIHIRO)

名古屋大学・減災連携研究センター・教授



### 研究の概要

自然堆積粘土～砂互層地盤および中間土からなる人工地盤の精密な弾塑性プロファイルの記述を基礎に、来るべき海溝型の、しかも連発で来るとも言われる地震も視野に入れて、自然・人工地盤とその上の護岸や盛土、建物基礎、各種埋設施設の地震中および地震後の耐震性を、新技術を駆使して評価し、強化必要箇所を抽出して各種地盤強化技術の効果を検証する。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤防災、地震、数値解析、中間土、自然堆積／人工地盤

### 1. 研究開始当初の背景

阪神淡路大震災以降、強震動観測網の充実等、集中的な地震研究投資が奏功して、特に我が国沿岸域における地震危険度評価は、格段に精密を極めてきた。しかし、これに応えるべき対地震の地盤工学は、地震学のこの急速な進歩に十分追いついてはいない。だから、海溝型巨大地震の特性も視野に入れた、粘土や砂の互層からなる自然堆積地盤とその上の中間土からなる人工島や埋立地、盛土など、地盤と（土）構造物システムの地震中～地震後の地震応答解析と地盤強化技術は、むしろこれからの課題と言ってもよい。

### 2. 研究の目的

自然堆積（沖・洪積）粘土～砂互層地盤、および「中間土」からなる人工島の精密な弾塑性プロファイルの記述を基礎に、来るべき海溝型の、しかも連発で来るとも言われる地震も視野に入れて、自然・人工地盤とその上の護岸や盛土、建物基礎、各種埋設施設の耐震性を、新技術を駆使して再評価し、強化必要箇所を抽出し、各種地盤強化技術の効果の検証をする。これを通じて、より災害に強い沿岸域創生に寄与する。あわせて、本解析技術でしか果たすことができない役割と位置づけを整理し、性能設計法における本解析技術の利用法を検討し、沿岸域にある人工地盤・土構造物の耐震設計法の開発も目指す。さらに、解析技術の習得訓練を実施し、でき

るだけ多くの解析技術者を育成する。

### 3. 研究の方法

名大地盤力学研究室で開発した水～土骨格連成有限変形理論に基づく有限要素コードは、自然堆積粘土や砂、そして細粒分を多く含む中間土までを一貫して記述する弾塑性構成式（SYS カムクレイモデル）を基礎に（All Soils）、変形から破壊までを（All States）、動的・静的を問わずあらゆる外力条件のもとで（All Round）統合的に解析する新技術である。地震中の安定問題だけでなく、地震後の変形挙動までを一貫して解析し、耐震強化ポイントを適切に抽出できる点に主たる特徴がある。

本研究課題では、①中間土・特殊土を含む各種土材料を用いて各種室内試験を実施し、この解析コードが搭載する SYS カムクレイモデルの（更なる）検証と高度化を行うとともに、解析コードの高速化・大容量化を進める。②官・民との協力体制を取りつつ、複数の具体的問題を取り上げて耐震性を再評価する。これに基づき、耐震化のための工法原理または設計原理を見直し、人工島や埋立地盤からなる沿岸域に依拠せざるを得ない我が国の耐震化手法の開発に寄与する。③本研究課題を通じて解析技術をマスターするための教育プログラムを提供し、耐震地盤工学に精通した解析技術者の育成を行う。

#### 4. これまでの成果

##### 海溝型Strong Ground Motionが及ぼす特別な効果の把握

長周期成分を含み継続時間が2分にも及ぶと言われる海溝型地震は、たとえ瞬間加速度が直下型より小さいとしても、予期しない地盤挙動をもたらす可能性が高い。従来は砂質地盤の地震中挙動、つまり液状化ばかりが注目を浴びていたが、砂地盤だけでなく、細粒分を多く含む中間土の液状化や液状化後の圧密変形までの地盤挙動を把握することが重要である。数値解によって、主に以下のような成果を得た。

##### 1) 軟弱な砂/粘土地盤の振動特性の把握

深部から伝播する地震動は概して、軟弱地盤で増幅すると考えられてきたが、地盤の状態と外力の大きさによっては、砂地盤であっても粘土地盤であっても、地震波の減衰現象が生じうることを示し、軟弱地盤で地震波の減衰が生じるのは、砂質土の液状化に代表されるような、土の塑性変形進展に伴う履歴減衰効果にあることを示した。

##### 2) 軟弱粘土地盤の乱れに伴う地震被害

重量構造物直下のように、上載荷重によって大きなせん断力が作用している粘土地盤では、地震中に粘土層が乱されることによって、地震中の沈下に加えて、地震後に長期にわたる大沈下を生じる危険性があることを示し、地震時には砂質土の液状化だけでなく、粘性土の乱れに伴う地盤変状にも注意が必要であることを新たに指摘した。

##### 3) 深部地層構成に着目した液状化地盤の地震時挙動

既存の液状化判定においては、液状化層の細粒分含有率の影響や深部の地層構成の違いが厳密には考慮されていないといった問題点が指摘されている。本研究課題では、表層が同じ液状化地盤であっても、深部の地層構成によって、表層での揺れや構造物の安定性は大きく異なることを指摘した。つまり、液状化層深部に粘土層が介在していると、粘土層で加速度が大きく増幅し、液状化層への入力加速度が増大して、地震時安定性が低下すること、特に、液状化層厚が薄いと液状化層での加速度減衰の程度が小さいため、地震時安定性が著しく低下することを示した。

##### 沿岸域重要施設の耐震性再評価と耐震強化技術の効果の再検討

産・官との連携を取りながら、沿岸域重要施設の耐震性を数値解析的に再評価した。地盤のモデル化においては、海底地盤の掘削・埋立や盛土の施工、構造物の建設など、実際の施工履歴を有限要素メッシュ追加の手法を用いて可能な限り忠実に模擬することによって、埋立などの大荷重によって生じる地盤の性状変化を追従することができ、自然地盤および人工地盤の複雑な弾塑性プロファイルを精密に記述することに成功している。

各施設の弱点箇所を抽出するとともに、耐震強化技術の効果を検証し、弱点を克服するより適切な耐震対策も検討した。

#### 5. 今後の計画

現在、地盤構造物の設計においても性能設計の思想が導入されている。性能設計では、最終的に出来上がる構造物の要求性能は、基本的にユーザーによって決められ（少なくとも性能の明示が必要）、技術者はこれに応じて、要求性能を満足させる設計を行う必要がある。地盤構造物の性能設計を開発・実施する上で、従来の対象を決めてから対象毎に使い分ける解析技術では果たすことができず、「地盤に何が起こるかを教えてくれる」本解析技術でしか果たすことができない役割と位置づけを整理し、本解析技術の利用法を検討する。

#### 6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

- Noda, T., Yamada, E., Nakano, M., Asaoka, A. and Sun, K. (2010): Reproduction of a reclaimed ground considering its construction history and evaluation of its seismic behavior by using a soil-water coupled analysis, Recent Developments of Geotechnical Engineering, pp. 174-179.
- 中井健太郎, 野田利弘 (2010): 軟弱地盤上に設置した仮設構造物の地震時安定性評価と転倒防止対策の一検討, 地盤工学ジャーナル, Vol. 5, No. 3, pp. 499-510.
- 竹内秀克, 中井健太郎, 野田利弘 (2010): 部分的に固化改良したゆるい砂地盤の地震時/地震後応答解析, 応用力学論文集, Vol. 13, pp. 443-452.
- Nakai, K., Noda, T., Asaoka, A. (2010): Different failure modes of a clay foundation-embankment system corresponding to different incident seismic waves, ASCE Geotechnical Special Publication, No. 201, pp.125-130.
- Nakano, M., Sakai, T., Noda, T., Asaoka, A. (2010): Soil-water coupled finite deformation analysis of seismic deformation and failure of embankment on horizontal and inclined ground, ASCE Geotechnical Special Publication, No. 201, pp. 139-144.
- Noda, T., Asaoka, A., Nakai, K. (2010): Modeling and seismic response analysis of a reclaimed artificial ground, ASCE Geotechnical Special Publication, No. 201, pp.294-299.  
→Best Paper Award in ASCE Geotechnical Special Publication No.201 受賞