

地震後における締固め工法改良域境界部の過剰間隙水圧の消散及び変形解析

九州大学大学院工学研究院 正会員 善 功企

国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所 下司 弘之、齋藤 泰之

復建調査設計株式会社 正会員 藤井 照久、山田 和弘、○木村 康隆

1. はじめに

港湾・空港の締固め工法による液状化対策範囲は、井合ら¹⁾が過去に実施した土槽実験における過剰間隙水圧の伝播範囲に基づき決定している。本検討では、より空港施設の性能に即した対策範囲を決定することを目的として、設計法の見直しに取り組んでいる。平成17年度は、その第一段階として地震後の締固め工法改良域境界部付近の挙動を検討可能な照査方法について検証を行った。照査方法としては、有効応力法による二次元地震応答解析と過剰間隙水圧の消散に伴う変形解析を組み合わせた解析法を用いた。また、解析結果の検証に用いたのは井合らが実施した土槽実験（以下、既往実験と称す）の結果である。

2. 既往実験結果概要

- (1)土槽：土槽のスケールは長さ5m×幅1.5m×高さ1m（図-1参照）。
- (2)使用砂：土槽には秋田港外港地区の採取砂を使用。実験時の相対密度は、緩詰め領域で23%、締固め領域で84%。
- (3)入力波：波形は正弦波（周期10Hz、振動の波数20波、振動時間2秒）。最大加速度振幅は47、120及び206Gal。
- (4)計測項目：過剰間隙水圧（間隙水圧計）、応答加速度（加速度計）、地表面沈下（レベル測量）等。
- (5)実験結果概要：加振中の実験結果では、緩詰め領域において、120Galで20波目、206Galで約3波目にて過剰間隙水圧比がほぼ1に達し、締固め領域と緩詰め領域の境界部付近においても過剰間隙水圧の上昇が見られた。加振停止後は、緩詰め領域では加振停止と同時に過剰間隙水圧が下降し始め、最終的に静水圧に落ち着いた。また境界付近でも、これと同様の消散過程をたどった。

3. 検討方法

本検討では、地震時の解析としてプログラムコードFLIP、地震後の過剰間隙水圧の消散に伴う変形解析としてBiotの圧密方程式に基づく有限要素解析（プログラムコードFLIPDIS²⁾）を使用した。なおFLIPDISによる解析では、土の構成則として下式を採用した。

$$E = \frac{E_0}{\text{Exp}(aR - b) + 1}$$

式(1)

ここに、E：ヤング係数

E₀：初期状態（液状化発生前）のヤング係数

a, b：係数、R：過剰間隙水圧比

解析モデル及び応答加速度・過剰間隙水圧の測点は、図-1に示すように既往実験の地盤モデルと同様とした。また解析定数も、既往実験地盤モデルの土質特性に基づき表-1のように設定した。入力地震動については、既往実験と同様に周期10Hzの正弦波で波数を20波とし、最大加速度振幅は47Gal、120Gal及び206Galの3ケースとした。

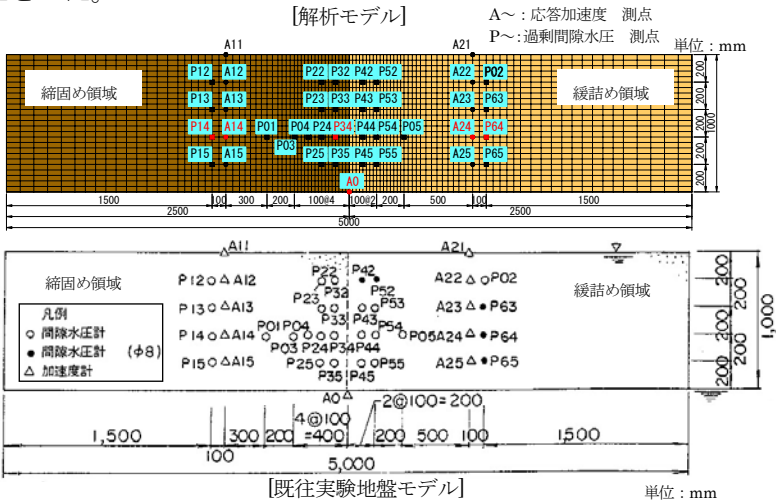


図-1 解析モデル及び既往実験地盤モデル図

表-1 解析定数一覧表

			締固め領域	緩詰め領域	
変形特性	等価N値	N ₆₅	25	5	
	初期せん断剛性	G _{m0}	kN/m2	100000	57000
	基準平均有効拘束圧	σ' _{m0}	kN/m2	98.0	98.0
	Gの拘束圧依存係数	m _G		0.5	0.5
	初期体積弾性係数	K _{m0}	kN/m2	266068	151659
	Kの拘束圧依存係数	m _K		0.5	0.5
	ポアソン比	ν		0.333	0.333
	粘着力	c	kN/m2	0.0	0.0
	内部摩擦角	φ _f	度	42.0	39.0
	最大減衰定数	h _{max}		0.24	0.24
物理定数	密度	ρ	kN/m3	18.5	17.4
	間隙率	n		0.488	0.553
	間隙水の体積弾性係数	K _f	kN/m2	2.24E+06	2.24E+06

キーワード 締固め工法, 二次元地震応答解析, 土槽実験, 応答加速度, 過剰間隙水圧

連絡先 〒101-0032 東京都千代田区岩本町3丁目8-15 復建調査設計株式会社 TEL 03-5835-2631

4. 検討結果

(1) FLIP による解析結果（地震時挙動）

FLIP による解析では、既往実験結果を基に表-2 に示すように液状化特性を設定した。解析結果の内、代表として 206Gal の解析結果を図-2 に示す。同図では、同条件及び同測点の既往実験結果を併せてプロットしたが、応答加速度及び過剰間隙水圧比ともに、解析結果と既往実験結果は概ね整合する傾向が見られた。

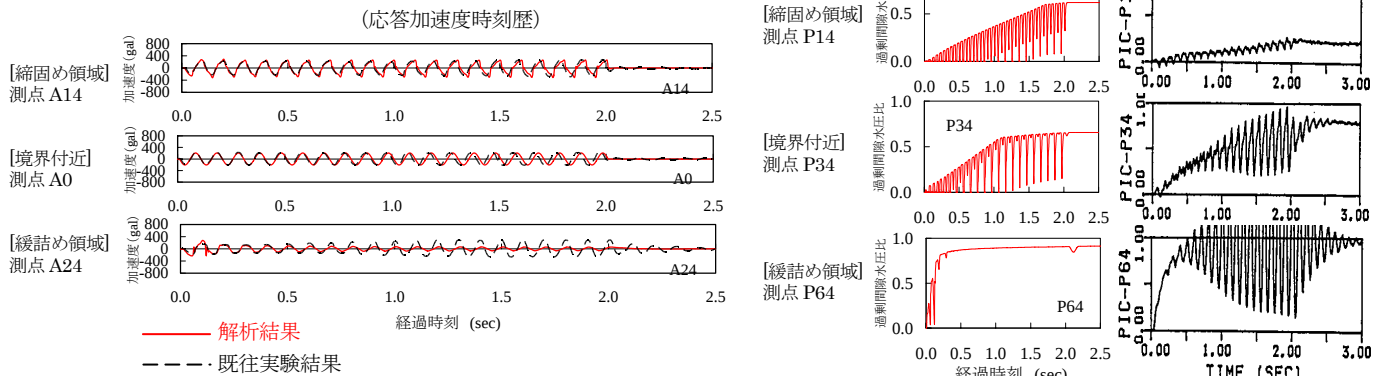


図-2 FLIP による解析結果 応答加速度、過剰間隙水圧の時刻歴 (206Gal)

(2) FLIPDIS による解析結果（地震後挙動）

FLIPDIS による解析では、透水係数及び式(1)の係数 a, b を、既往実験の地盤モデルに基づき表-3 のように設定した。解析から得られた過剰間隙水圧水平分布の内、代表として 206Gal の解析結果及び既往実験結果を図-3 に示す。

同図では、緩詰め領域の過剰間隙水圧の消散が既往実験結果と比べてやや遅れる傾向が見られるが、両者の水平分布は概ね同様であった。

また、過剰間隙水圧の消散に伴う最終地表面沈下量の分布について、解析結果と既往実験結果を図-3 にて比較した。同図より、特に緩詰め領域の沈下量は、解析及び既往実験ともに 47~206Gal で約 0.2~1cm 程度であり、ほぼ同程度となる結果を得た。

表-3 透水係数及び係数 a, b 設定値一覧表

締固め領域			緩詰め領域		
透水係数 k (m/sec)	係数 a	係数 b	透水係数 k (m/sec)	係数 a	係数 b
5.54E-05	9.000	1.750	1.06E-04	9.000	1.750

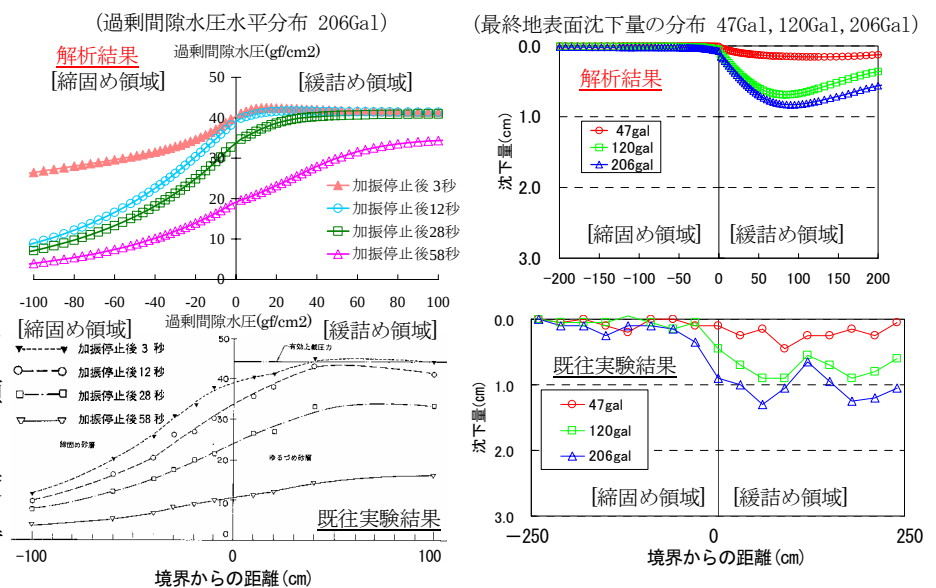


図-3 FLIPDIS による解析結果（過剰間隙水圧水平分布、最終地表面沈下量の分布）

5. まとめ

本検討では、地震後の締固め工法改良域境界部付近の挙動に着目し、FLIP 及び FLIPDIS により既往実験の地盤モデルを再現して解析を行った結果、既往実験結果と概ね同様となる傾向が得られた。以上より、同解析法は締固め工法の改良域境界部付近の検討に対して有用であることが明らかとなった。今後は、より実地盤の境界条件に近いモデルあるいは加振時間が長いケースについて引き続き検討を実施していく予定である。

参考文献

- 井合 進, 小泉勝彦, 倉田栄一: 液状化対策としての地盤の締め固め範囲に関する基礎的検討, 港湾技研資料, No. 590, pp. 1-66, 1987.
- 山崎浩之, 下司弘之, 古土井健, 齋藤泰之, 藤井照久, 山田和弘, 石川雅也: レベル 2 地震動発生時における空港施設の変形照査について, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp. 807-808, 2005.
- 井合 進, 松永康男, 亀岡知弘: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, 港湾技術研究所報告, 第 29 巻, 第 4 号, pp. 27~56, 1990.