

地中構造物の浮上がり予測手法に関する検討（その2）

独立行政法人土木研究所 正会員 佐々木哲也、田村 敬一

1. はじめに

現在、地中構造物の液状化による浮上がりに対する安定性は、浮き上がり安全率¹⁾により判定されている。しかし、著者らは、浮上がり安全率による判定法をそのまま大規模地震動に対して適用すると、安全側の結果を与えることを報告してきている²⁾。本研究では、文献3),4)に引き続き、地中構造物の浮上がりに関する動的遠心模型実験結果をもとに簡易浮上がり変位置予測手法の検討を行った。

2. 検討対象

表1 遠心模型実験の概要（重力場換算）

表1に検討対象とした遠心模型実験の実験概要を、図1に模型断面図の例を示す。実験に用いた模型は、主に豊浦砂で作製した地盤の中にアクリル製の共同溝模型を埋設したものである。遠心模型実験では、実物の

遠心加速度 (G)	地中構造物模型 幅 b (m) 高さ h_m (m) 模型密度 ρ_m (T/m ³)	地盤条件					加振条件		
		地盤材料	目標相対密度 Dr (%)	地下水位 h_w G.L.-(m)	液状化層厚 h_l (m)	土被り厚 h_t (m)	地中構造物下の液状化層厚 h_b (m)	入力波形	目標最大加振加速度 a_0 (gal)
50	b=5, $h_m=3.75$, $\rho_m=0.4, 0.8, 1.6$ b=10, $h_m=3.75$, $\rho_m=0.8$ b=2.5, $h_m=2.5$, $\rho_m=0.8$ 円形 $\phi 2.5m, \rho_m=0.8$	豊浦砂、 江戸崎砂	20~90	0, -3, -5.75	7.5, 10, 12.5	0, 2.5, 5	1.25, 3.75, 5.00, 6.25	sin波 1.2Hz 20波、 八戸波、 神戸波、 鉦路波	133~785

の1/50を想定し、50Gの遠心力場で水平加振を行った。実験では、ケースにより地中構造物の模型形状、幅、地盤材料、地盤の相対密度、地下水位、液状化層厚、土被り厚、および加振条件等を変化させて、合計33ケース実施している。実験の詳細については文献3),4),5)を参照されたい。図2に、遠心模型実験の結果の一例として地盤の相対密度と加振加速度を変化させたケースの加振加速度と最終浮上がり量の関係を示す。加振加速度が大きくなるほど浮上がり量は大きくなり、同じ加振加速度では地盤の相対密度が高いほど浮上がり量は小さくなる。

3. 簡易浮上がり予測手法の検討

著者らは、浮上がりに対する地盤の抵抗を浮上がり速度に比例するものとして定式化した浮上がり予測手法を検討している^{5),6)}。地中構造物が浮き上がる際、地中構造物には地中構造物と上載土の自重、浮力、および浮上がり速度に比例した抵抗が作用すると仮定すると、鉛直方向の運動方程式は次のように表される（図3参照）。

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{C}{M} \frac{dx}{dt} + \frac{\rho_{sat}bg}{M} x = -\frac{[M - \{\rho_t h_w + \rho_{sat}(h_0 - h_w)\}b]g}{M} \quad (1)$$

ここに、 x ：浮上がり変位、 C ：液状化した土の浮上がり速度に比例する単位奥行きあたりの抵抗を表す定数、 M ：地中構造物および上載土の単位奥行きあたりの質量、 ρ_t ：地下水位以上の土の密度、 ρ_{sat} ：砂の飽和密度、 h_w ：地下水位、 h_0 ：地中構造物の底面深さ、 b ：地中構造物の幅、 g ：重力加速度。

ここで、浮上がり速度の変化は小さいため左辺第一項の慣性項を無視し、これを初期条件 $t=0, x=0$ のもとで解くと、次のようになる。

$$x = \frac{[\rho_t h_w + \rho_{sat}(h_0 - h_w)]b - M}{\rho_{sat}Bg} g \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\rho_{sat}bg}{C} t\right) \right\} \quad (2)$$

地盤抵抗係数 C 以外の定数は実験条件から求まるため、これを実験結果の浮上がり変位の時刻歴にフィッティングさせることにより、 C を逆算した。

図4(a)~(c)に、上記のように逆算した抵抗係数 C と、地盤の相対密度、模型幅 b と模型下の液状化層厚 h_b の比 (b/h_b) および地盤密度 ρ_{sat} と模型密度 ρ_m の比 (ρ_{sat}/ρ_m) との関係を示す。これらより、抵抗係数 C は、加振加速度が小さいほど、相対密度が高いほど大きいことがわかる。また、模型幅 b と模型下の液状化層厚 h_b の比 (b/h_b) が大きいほど、 C は大きくなっている。さらに、(ρ_{sat}/ρ_m) が小さいほど C は小さいことがわかる。

キーワード：液状化，地中構造物，浮上がり

連絡先：〒305-8516 つくば市南原1-6, Tel 0298-79-6771, Fax 0298-79-6735

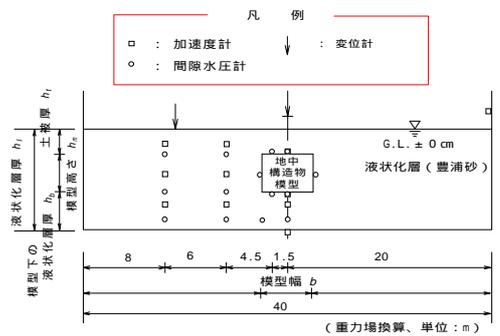


図1 遠心実験模型の概要

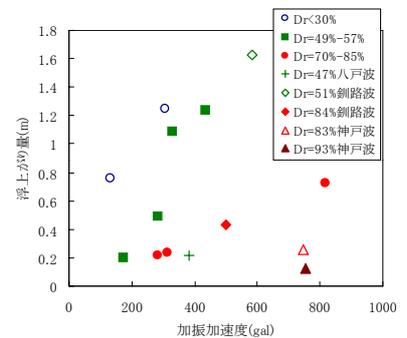


図2 加振加速度と浮上がり量の関係

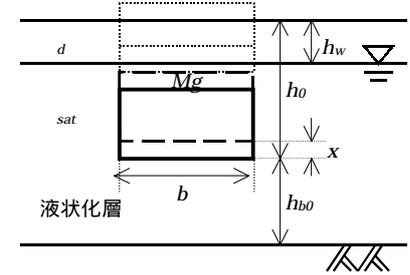


図3 記号の定義

次に、抵抗係数 C が地盤の相対密度、加振加速度、 (b/h_b) および (ρ_{sat}/ρ_m) と相関が高いことから、次の式で表されると仮定し、実験値にフィッティングさせたことにより係数 c_0, c_1, c_2, c_3 を求めた。

$$C = c_0 \cdot (b/h_b)^\alpha \cdot (\rho_{sat}/\rho_m)^\beta \cdot R^\gamma \cdot F_L^\epsilon \quad (3)$$

ここに、 c_0 : 係数(t/ms)、 R : 動的せん断強度比、 F_L : 液状化に対する抵抗率。なお、フィッティングさせた結果は図4に示したとおりであり、次の式ようになる。

$$C(t/ms) = 18000 \cdot (b/h_b)^{1.5} \cdot (\rho_{sat}/\rho_m) \cdot R^{0.5} \cdot F_L \quad (4)$$

式(4)により各ケースの抵抗係数 C を求め、これを式(2)に代入することにより各ケースの加振終了時の浮上がり量を求めた。ここで、動的せん断強度比 R は、豊浦砂の繰返し三軸試験結果を用いて推定した繰返し三軸強度比に道路橋示方書⁷⁾で定められている地震動特性による補正係数 c_w を乗ずることにより求めた。この際、正弦波加振および鉋路波加振のケースはタイプ Ⅰの地震動、神戸波および八戸波のケースはタイプ Ⅱの地震動とした。 F_L は、上記の R と、加振加速度から推定した地盤に作用するせん断応力比から求めた。また、 t として、実験において過剰間隙水圧比が 1 となつてから加振終了までの液状化後の地震動継続時間を用いた。図5に浮上がり量の実験値と式(2)による予測値を比較した結果を示す。(a)は正弦波加振のケースで加振加速度と浮上がり量の関係を、(b)は不規則波加振のケースについて相対密度と浮上がり量の関係を、(c)は全ケースについて予測値と実験値の比較を、それぞれ示している。これより、不規則波加振のケースでは、予測値は実験値より大きくなるが、概ね実験値と整合している。

4. まとめ

動的遠心模型実験結果を対象に、浮上がりに対する地盤の抵抗を浮上がり速度に比例するものとして定式化した簡易浮上がり変位量予測手法の検討を行った。浮上がり速度に比例する地盤の抵抗係数を、液状化に対する抵抗率、動的せん断強度比、模型幅 b 、模型下の液状化層厚 h_b 、模型密度および地盤密度の関数として与えた提案式により、実験による浮上がり量を概ね予測することができた。今後の課題として、地震動の不規則性の影響および液状化後の継続時間の評価法等を検討し、浮上がり予測手法として提案する事があげられる。

<参考文献> 1) (社)日本道路協会: 共同溝設計指針, 1986. 2) 佐々木哲也, 松尾修, 近藤浩市: 地中構造物の浮上がり安定性評価法の適用性に関する検討, 第33回地盤工学研究発表会, pp.871-872, 1998. 3) 佐々木哲也, 松尾修: 地中構造物の浮上がり安定性評価法の適用性に関する検討, 第36回地盤工学研究発表会, pp.1995-1996, 2001. 4) 佐々木哲也, 田村敬一: 地中構造物の浮上がり予測手法の検討, 第35回地盤工学研究発表会, 2002(投稿中). 5) 近藤浩市, 佐々木哲也, 松尾修: 共同溝の浮上がりに関する動的遠心模型実験, 第33回地盤工学研究発表会, pp.873-874, 1998. 6) 田本修一, 佐々木哲也, 松尾修: 共同溝の浮き上がりに関する動的遠心模型実験(その2), 第34回地盤工学研究発表会, pp.2057-2058, 1999. 7) (社)日本道路協会: 道路橋示方書 耐震設計編, 2002.

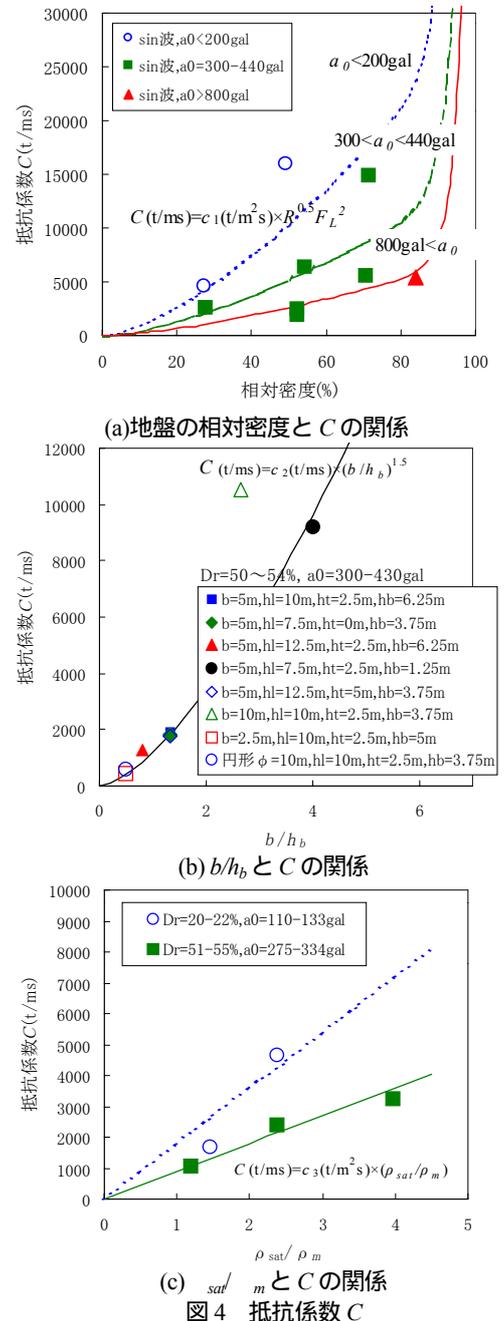


図4 抵抗係数 C

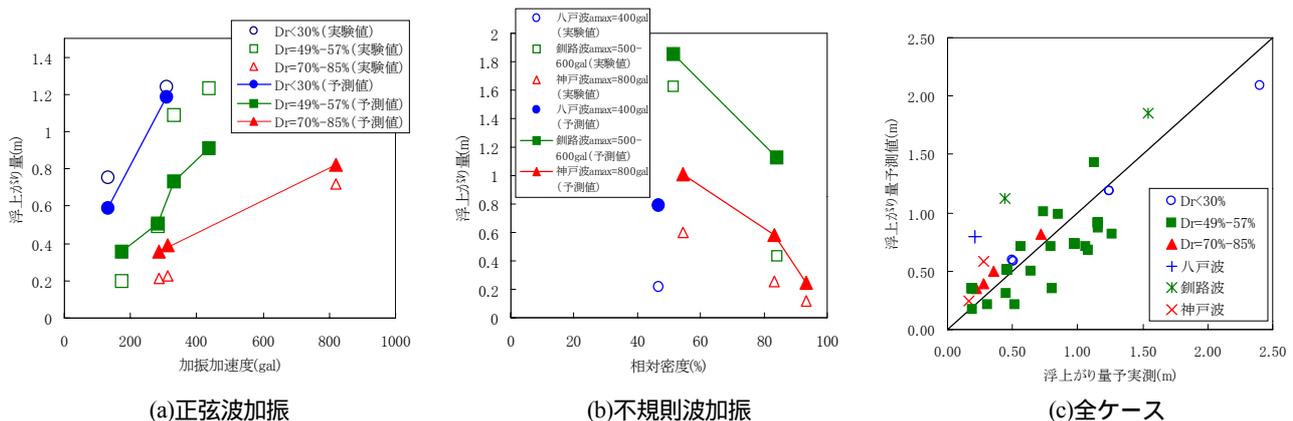


図5 浮上がり量の実験値と予測値の比較