

地盤の密度が液状化による浮上りに与える影響

東京電機大学 学生会員 ○山下丈二
 東京電機大学 正会員 安田 進
 東京電機大学 勝沼美雪 渡邊隆夫

1. はじめに

液状化による地中構造物の被害の一つに、浮上りによる被害がある。以前より行われてきた地中構造物の設計方法では、浮上りに対しての安全率を求めるものしかなく、浮上り量を推定する方法が確立されていない。特に今後レベル 2 地震動に対する検討を行なう時に、浮上り量の推定方法と、さらに密な地盤での挙動が問題となる。そこで、本実験では密な地盤を対象にし、振動台実験によって地盤の密度と共同溝の浮上り量の関係を検討することを目的とした。また、残留変形解析 ALID を用いて解析を行い、その解析結果と実験結果を比較し ALID の適応性に関しても検討した。

2. 浮上り実験

実験装置の振動台には電気油圧式振動試験装置を用い、土槽には擬似せん断土槽（幅 1200mm × 奥行き 450mm × 深さ 700mm）を用いた。また、共同溝モデルには幅 150mm × 奥行き 450mm × 高さ 100mm のアクリル製のものを用い、比重を 0.8 に設定した。試料には豊浦砂を用い、その相対密度を 60% 未満、60%、70%、80%、90% とした。

模型地盤の作成方法は、加振実験を一度行って締め固まった模型地盤でも再利用できる方法をとった。そのため、試料上部から圧力水をパイプを用いて 10cm 間隔で送り込むジェット方法と、同時に底盤から圧力水を送り込むボイリング方法とをとり混ぜた。このようにすると、試料は完全に浮遊状態になり均質に緩くなった。これを所定の密度の地盤とするため、規定の高さになるように加振して締め固めた。以上のようにして作成された共同溝を含まない模型地盤に対して、予め、各密度において入力加速度をいくつか考えて加振実験を繰返し、密度毎に液状化回数と加速度の関係を求め、各密度の液状化回数が 10 回の時の加速度を求めた。そして、これをもとに 10 波で液状化する入力加速度と相対密度の関係を曲線のように推定した。これを図 - 1 で示す。

ところで、液状化に対する安全率 F_L の定義は、その地盤が持つ液状化強度比 R と加わるせん断応力比 L の両者の比で表わされる。そこで R を地盤が本来持っている液状化に対する強度ということで液状化回数 10 回のときの加速度とし、 L を図 - 1 の (▲) の値で加えた加速度として F_L を求めた。このようにすると、図 - 1 で推定した曲線上の (▲) のプロットは $F_L = 1$ となる。このようにして求めた F_L を 0 から 1 の間で 0.1 毎に区切り、その浮上り量と相対密度の関係を推定してプロットすると図 - 2 のようになった。各相対密度とも F_L が小さくなるにつれて浮上り量が大きくなり、 Dr が大きくなるにつれて H が小さくなっていった。つまり、地盤が密になると液状化しても浮上り量は小さく、また、浮上り量は F_L に大きく関係した。

キーワード：液状化・振動台実験・地中構造物・浮上り・地震

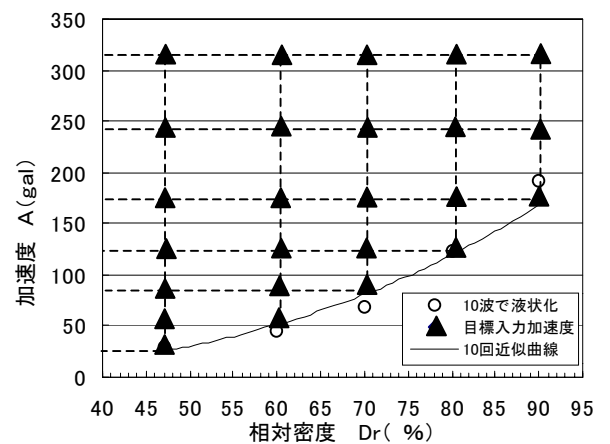


図 - 1 相対密度 Dr と加速度 (gal) の関係

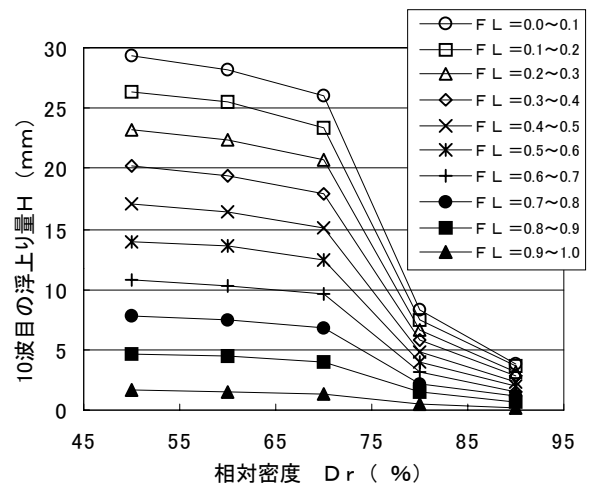


図 - 2 相対密度 Dr - 浮上り量 H の関係

3. 浮上り解析

本解析では、地盤作成、矢板挿入、掘削、共同溝の埋め戻し、矢板引き抜き、液状化発生と7つの工程を踏み、それぞれのせん断剛性を用いた有限要素法を使う。まず、常時のせん断剛性を用いて地盤作成から矢板引き抜きまでの工程の変形状態を推定する。次に、このせん断剛性を用いて、液状化にともなう材料の特性の変化により生じる不釣合いの力を外力として与えて、変形量を求める。そして、後者から前者の変形量を差し引いて液状化による浮上り量を求めた。その結果の変形図例を図-3に示す。

入力定数の設定は、地盤形状・相対密度・水位などの条件は全て実験と同条件にした。また、地盤のヤング率はN値をもとに道路橋示方書¹⁾に示されている式(1)から求めた。

$$E = 28N \cdots \cdots (1)$$

N値は、拘束圧を考慮するため模型地盤中心部の平均主応力を求め、相対密度とN値の関係²⁾より求めた。

液状化時のせん断剛性低下率は、細粒分含有率とせん断剛性低下率・液状化安全率の関係の提案曲線と、応力とひずみの関係のバイリニアに仮定したモデル³⁾から求めた。

これによって求めた浮上り量と各相対密度の関係について F_L を、0.1毎に区切ったものを図-4に示した。ただし、 $F_L=0 \sim 0.5$ までの結果は同じになったため $F_L=0.4 \sim 1.0$ を示した。すると、同一相対密度下において F_L が大きくなるにつれて浮上り量が減少する傾向が得られた。また、地盤が締め固まってくにつれて浮上り量も全体的に減少した。

次に、実験と解析で得られた浮上り量を相対密度毎に図-2・4を比較してみると、緩い地盤は、実験値と解析値の浮上り量がほぼ等しくなった。これに対し、締め固まった地盤は、解析値の浮上り量の方が大きくなった。この要因として、相対密度に伴うせん断剛性の影響を考慮せずに解析を行っているが、実際の地盤ではせん断剛性低下率と細粒分の関係には相対密度の影響もあり、相対密度が大きくなるとせん断剛性低下率が小さくなっていくと考えられる。このために、密な地盤における解析では、実際の地盤より液状化時の剛性を低く判断してたのではないかと考えられる。

4. まとめ

- (1) 地盤の相対密度および F_L が、液状化による地中構造物の浮上りに与える影響は、非常に大きいことがわかった。
- (2) ALIDによる解析は地盤が緩い場合実験値によく合い、その有効性が示された。

なお、本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金、および文部科学省科学技術振興調整費の補助を受けて行った。

【参考文献】

- 1) 道路協会編：道路橋示方書（耐震設計編）・同解説、1996 2) 安田進、西川修、浅香寛之、内藤福隆：相対密度とN値の関係に関する模型実験、土木学会第51回年次学術講演会講演概論集、-A145、pp290-291、1996、9 3) 安田進、吉田望、安達健司、規矩大義、五瀬伸吾、増田民夫：液状化に伴う流動の簡易評価法、土木学会論文集 No 638/ -49、pp71-89、1999.12

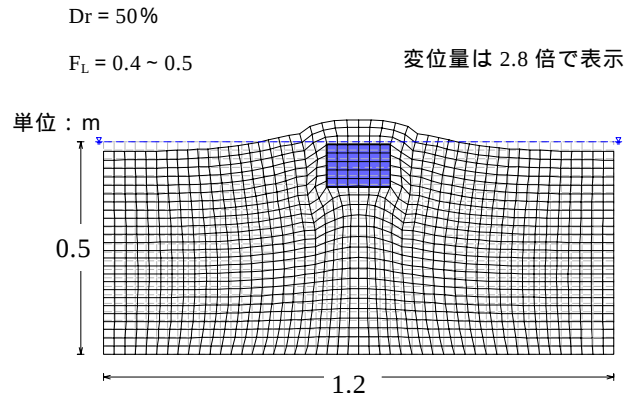


図-3 浮上り後の変形図例

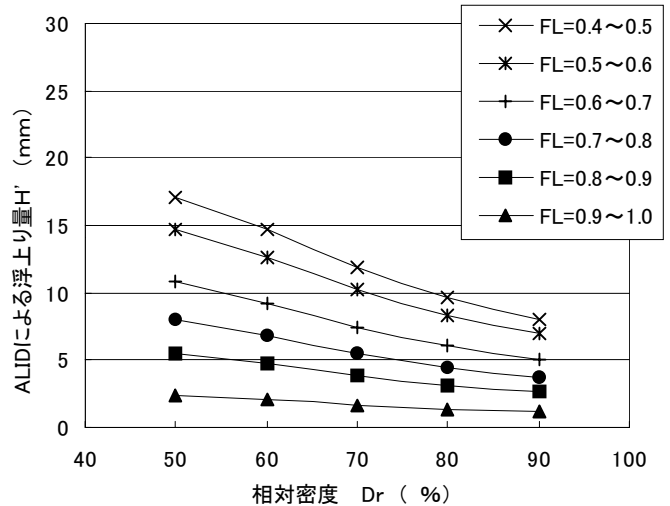


図-4 ALIDによる相対密度Dr・浮上り量H'の関係