

緩傾斜地盤における側方流動量に与える影響要因の検討

東京大学 正会員 若松加寿江 早稲田大学 フェロー会員 濱田政則
早稲田大学土木工学科 犬塚真一 大成建設土木本部 野勢辰也

1. はじめに

最近では耐震設計に側方流動の影響が考慮されるようになりつつあり、対象地域において構造物に顕著な影響を与えるような地盤変位が発生するか否かを概略的に判定することが実務上必要とされている。このことから、筆者らは、1m以上の地盤変位を伴う側方流動が発生するか否かを地盤条件等から簡便に判定することができないかと考え、約100本のボーリングデータに基づき、1964年新潟地震の際の信濃川下流域の緩傾斜地盤における側方流動事例の分析を行った¹⁾。その結果、地表面勾配が0.5%程度以下の信濃川地域においては、1m以上の地盤変位発生の有無は、深度20mまでに液状化層が1層しか存在しない場合、筆者らが液状化土を粘性流体とみなして導いた側方流動量の半経験・半理論予測式²⁾のパラメータである $\sqrt{H}/\bar{N}_l$ (H : 液状化層厚, $\bar{N}_l$: 液状化層の平均換算 N 値)の値により概ね判別することができた。しかしながら、液状化層が複数層に分かれている場合は液状化層厚の単純な総和 H によって地盤変位量を十分説明することはできなかった。そこで、本研究では、表層および中間部の非液状化層の影響を考慮した地表面変位量の理論算定式³⁾を、信濃川下流域の緩傾斜地盤における流動事例に適用し、1m以上の地盤変位発生の有無の判別の指標となりうるか否かの検討を行った。

2. 多層地盤における地表面変位量の理論算定式

図1に示す地表面が θ 傾斜し液状化層が n 層に分かれた多層地盤において、液状化土を一次元粘性流体とみなし、液状化土がせん断力 τ によって定常状態で流動しているとすれば、液状化層第 i 層上面の流動速度 V_{si} は、以下のように表すことができる³⁾。

$$V_{si} = \frac{\tau_i H_i + \frac{1}{2} \rho_i g \theta H_i^2}{\mu_i} = \frac{1}{2} \frac{H_i^2}{\mu_i} \rho_i g \theta + \frac{\sigma_{vi} H_i}{\mu_i} \theta \quad (1)$$

上式において、 τ_i , H_i , ρ_i , g , μ_i , σ_{vi} は、それぞれ i 層上面に作用するせん断力、液状化層第 i 層の厚さ、 i 層の密度、重力加速度、液状化土の割線粘性係数、 i 層上面における鉛直応力である。

式(1)において、地盤の密度を近似的に一定($\rho_i = \rho$)とすれば i 層上面における鉛直応力は $\sigma_{vi} = (h_i - \frac{H_i}{2}) \rho g$ となり、式(1)は以下のように簡略化される。

$$V_{si} = \frac{h_i H_i}{\mu_i} \rho g \theta \quad (2)$$

流動継続時間 t (s)が与えられれば、傾斜地盤において液状化層第 i 層上面の流動変位 D_i は次式で表される。

$$D_i = \frac{h_i H_i}{\mu_i} \rho g \theta t \quad (3)$$

液状化層に挟まれた非液状化層は下部の非液状化層に乗って剛体的に流動しているとすれば、地表面変位 D は各液状化層上面の変位の総和として次式で表される。

$$D = \sum \frac{h_i H_i}{\mu_i} \rho g \theta t \quad (4)$$

上式の粘性係数 μ_i は鉛直応力の3/2乗に比例して増大することが重力場および遠心载荷場での流動実験⁴⁾によって示されている。また、粘性係数が粒度の影響を考慮して補正した換算 N 値である $\bar{N}_a$ (液状化層の平均 N_a 値)に比例する仮定すれば、 $\mu_i \propto h_i^{3/2} \bar{N}_{ai}$ となる。従って地表面変位 D は下式のように表される。

$$D \propto \sum \left(H_i / h_i^{1/2} \bar{N}_{ai} \right) \theta \quad (5)$$

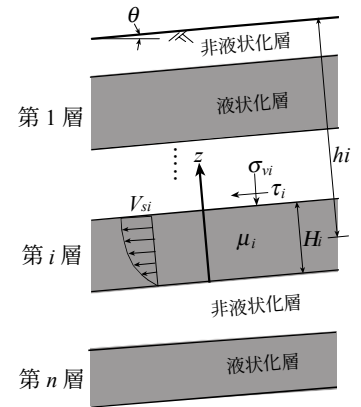


図1 多層地盤のモデル

3. 傾斜地盤における事例への算定式の適用

(5)式を、信濃川下流域の緩傾斜地盤における流動事例に適用した。式(5)の右辺中、地表面勾配 θ は、市街地など構造物が密集した地域において正確に算定することが技術的に困難であること、勾配 θ の値が勾配を算定する水平距離や方向など測定条件の違いに大きく依存することから、本研究では、 θ 以外のパラメータと地表面変位量との関係を検討した。図2は、信濃川下流域(護岸部を除く)の緩傾斜地盤における既往のボーリング調査地点の $\sum(H_i/h_i^{1/2}\bar{N}_{ai})$ と表層の非液状化層厚との関係を、地表面変位が1m以上の地点と1m未満の地点に区別して示した。ここで、液状化層厚の推定は1996年版道路橋示方書によっており、その際の水平震度は0.2とした。液状化層が単層の場合は $\sum(H_i/h_i^{1/2}\bar{N}_{ai})$ が0.2~0.3程度を境に地表面変位が1m以上と未満を明確に区別できる。また、液状化層が複数層存在する場合も単層の場合に比べて多少のばらつきはあるものの同様な傾向が認められ、 $\sqrt{H}/\bar{N}_i$ を用いた場合¹⁾よりもばらつきは改善されている。

1983年日本海中部地震の際の能代市における流動事例に対しても図2と同様な図を作成した結果を図3に示すが、新潟市ほど明瞭な傾向は認められない。図3のばらつきの原因として、能代市の場合、1m以上の地盤変位が発生した地域において、深度20mに達するボーリング資料が極めて少ないため、やむを得ず液状化判定対象層を深度10mまでに限定したこと、また能代市の検討対象地域が起伏に富んだ地形であるため地表面勾配 θ の影響が大きかったことなどが考えられる。

4. まとめ

表層および中間の非液状化層厚の影響を考慮したパラメータ $\sum(H_i/h_i^{1/2}\bar{N}_{ai})$ を新潟地震(新潟市)および日本海中部地震(能代市)の事例に適用した結果、新潟地震の事例に関しては、1m以上の地表面変位発生の有無を区別することができたが、日本海中部地震に関しては明確に判別することはできなかった。この原因としては、能代市の場合検討対象深度が10mと浅かったこと、地表面勾配の影響を考慮しなかったことが挙げられる。今後、勾配の影響も含めてさらに検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 若松・濱田・野勢・犬塚:新潟地震における側方流動発生の地盤条件, 第54回土木学会年次学術講演会第III部門, pp.244-245, 1999.
- 2) 濱田政則, 若松加寿江:液状化による地盤の水平変位の研究, 土木学会論文集 No. 596/III-43, pp.189-208, 1998.
- 3) 若松・濱田・野勢・犬塚:非液状化層の影響を考慮した側方流動量の予測に関する研究—傾斜地盤における事例による検討—第35回地盤工学研究発表会平成12年度発表講演集, 2000(投稿中).
- 4) 濱田・柳瀬・甲村:液状化土の流動に関する相似則の研究, 第35回地盤工学研究発表会発表講演集, 2000(投稿中).

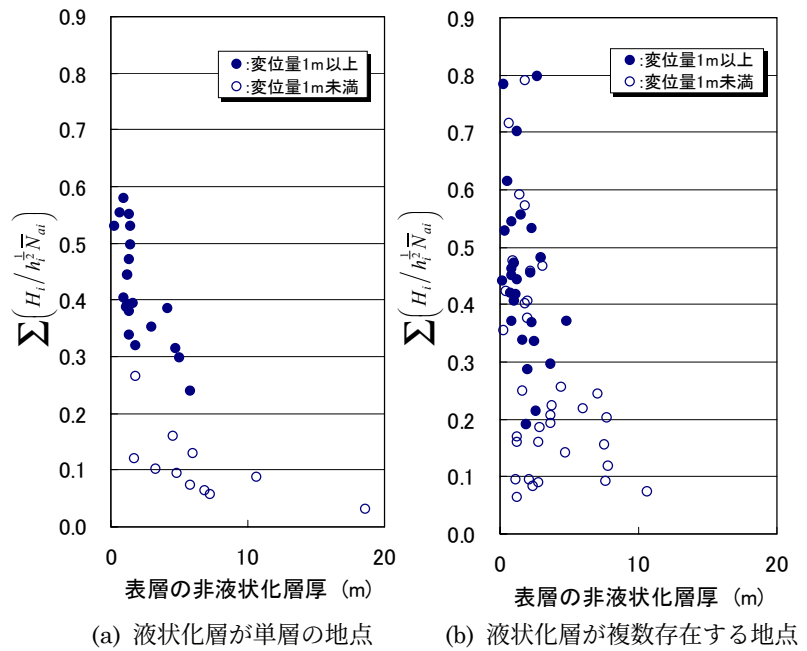


図2 新潟市における $\sum(H_i/h_i^{1/2}\bar{N}_{ai})$ と表層の非液状化層厚との関係

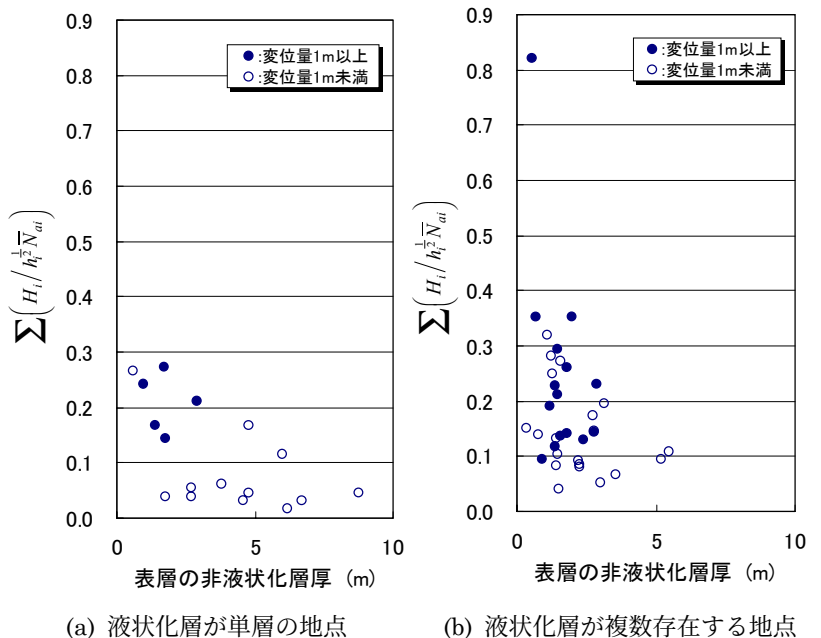


図3 能代市における $\sum(H_i/h_i^{1/2}\bar{N}_{ai})$ と表層の非液状化層厚との関係