

砕石ドレーンの液状化防止効果について

新潟池組技術研究所 正員 ○大 北 康 治

同 上 柚 木 孝 治

同 上 正 員 南 川 洋 士 雄

1. まえがき

新潟地震以来、地盤の液状化現象の解明に力が注がれ、土の動的性質、特に、地盤の液状化に関する研究は著しく進歩し、各機関から液状化の判定基準が提案・制定されるまでに至っている。しかし、液状化対策に関しては研究の歴史も浅く、いまだ十分解明されていない点が多く残されている。現在、地盤の液状化対策工法としては、施工実績・信頼性の点で優れている振動や衝撃を用いた締固め工法が多用されているが、振動・騒音等の公害問題、既設構造物に対する影響等が問題となることも多く、振動・騒音を伴わない液状化対策工法として、砕石ドレーン工法が採用される事例が増加している。砕石ドレーン工法とは、地盤中へ透水性・剛性の優れた砕石のドレーン体を構築し、これによつて地震時に発生する過剰間隙水圧を抑制・消散させて地盤の安定性を保つ工法である。しかるに、砕石ドレーンの効果は理論的に認識されてはいるが、影響因子が多いため、解析的には不明確な点も残されている。本報告では、Seed and Bookerが提案したプログラムを用いて、砕石ドレーンの効果を検討したものである。

2. 解析方法

砕石ドレーンの打設地盤は、図-1に示すように砕石ドレーンを中心として砂層の等価円柱の集合と考えることができる。過剰間隙水圧の消散は、水平方向の排水が支配的であると仮定すれば、砂層中の過剰間隙水圧 u は次式の基本方程式によつてあらわすことができる。

$$\frac{k_h}{m_v \rho_w G} \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial t} \right) = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial t} \dots \dots (1)$$

ここに、 m_v : 土の体積圧縮係数、 $\rho_w G$: 水の単位重量、 k_h : 水平方向透水係数、 N : 繰返し回数、 r : 半径、 t : 時間、 $\frac{\partial u}{\partial t}$: 間隙水圧消散速度、 $\frac{\partial u}{\partial N}$: 繰返しによる間隙水圧蓄積速度である。Seed and Bookerは、上式を用いて液状化対策工法としての排水効果を検討するプログラム LARFを開発している。このプログラムを利用して、パラメトリックスタディーをし、その結果を砕石ドレーンのノモグラムとした。

3. 解析結果および考察

図-2は、ドレーン半径/有効排水半径 n をパラメーターとして、地震継続時間 t_d 2.5秒、液状化繰返し回数 N_{li} 2回、地震波の等価繰返し回数 N_{eq} 4回で、砕石ドレーン周辺部の最大過剰間隙水圧分布を解析した結果である。なお、間隙水圧は有効上載圧に関して無次元化して表示している。また、砂地盤の土質特性は、間隙水圧上昇特性 $\alpha = 0.7$ 、水平方向透水係数 $5.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 、体積圧縮係数 $6.12 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kgf}$ とした。ドレーン間隔が大きい場合 ($n = 1.0$ の場合) には、ドレーンの中間部で、ほぼ液状化しているのに対し、ドレーン間隔を小さくすれば、液状化が防止されるのがわかる。また、ドレーンの近傍では、動水勾配が非常に大きくなる可能性があることもわかる。例えば、 $n = 0.1$ の場合、

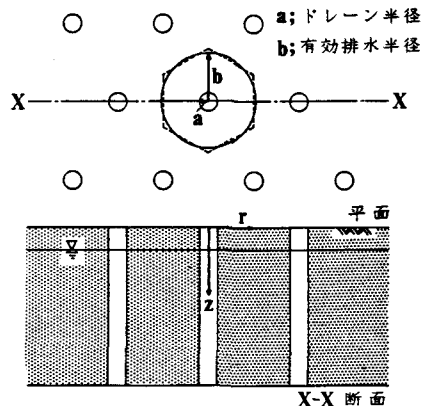


図-1 砕石ドレーンの配置

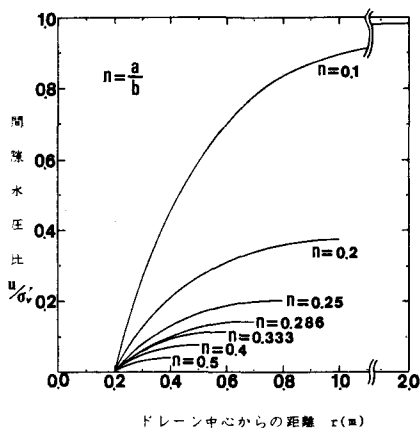


図-2 最大過剰間隙水圧分布

Yasuji OKITA, Takaharu YUNOKI and Yoshio MINAMIKAWA

有効上載圧を 1.0 kgf/cm^2 とし、最大動水勾配を試算すれば約 3.0 になる。

図-3 (a) は、 $N_{eq}/N_1 = 2$ の地震波に関して、砕石ドレーン近傍に生じる最大動水勾配の値を、間隙水圧の消散を支配する時間係数 T_d と砕石ドレーンの配置間隔を表わすパラメーター(砕石ドレーン半径比) n を用いて表示したものである。ここに、 T_d は

$$T_d = k_n t_d / m_v \rho_w G \dots\dots\dots (2)$$

t_d は地震動の有効継続時間を示している。

最大動水勾配は、有効上載圧に比例し、有効上載圧 1.0 kgf/cm^2 の場合には、5.0 以上にまで上昇する可能性があることがわかる。時間係数および砕石ドレーン半径比が大きくなれば最大動水勾配の値は小さくなる。すなわち、最大動水勾配の値を下げるには、ドレーン間隔を小さくするか、地盤の圧縮性を小さくする。または、地盤の水平方向透水性を高くすれば良い。しかし、時間係数の分母にドレーン半径 a の自乗が入っているため、ドレーン半径を大きくしても、最大動水勾配の値を下げる効果は少ない。

砕石ドレーン半径比と砕石ドレーンの配置間隔の関係を図-3 (b) に示す。砕石ドレーンの半径は、現在使用されている打設機の公称半径に合わせて 20 cm としている。ドレーンの配置は、正三角形配置と正方形配置の場合について示し、ドレーン間隔は、ドレーン中心間隔を示している。

図-3 (c) は、時間係数 T_d と砕石ドレーン半径比 n を用いて、最大間隙水圧比 0.6 と平均間隙水圧比 0.5 になる N_{eq}/N_1 の値を示したものである。現在、水平砂地盤の間隙水圧想定目標値は、最大間隙水圧比 0.6 を採用する場合と平均間隙水圧比 0.5 を採用する場合があり、想定目標値の優劣が検討される場合もある。しかし、本例では全体的に、最大間隙水圧比 0.6 と平均間隙水圧比 0.5 の間に大きな差異は認められない。ただし、時間係数の小さい所は、最大間隙水圧比 0.6 を採用したほうがドレーン間隔は小さくなることからわかる。想定目標値を統一するとすれば、砂地盤の液状化条件として厳しい場合にも安全側を示すように、最大間隙水圧比 0.6 を採用すべきであろう。

(2) 式と図-3 を使って、砕石ドレーンの効果を評価することができる。番号を付した矢印は設計手順を示している。たとえば、(2) 式で算定した時間係数が、 $T_d = 3.0$ とすれば、 $N_{eq}/N_1 = 2$ で正方形配置の場合は、ドレーン間隔が約 1.7 m で、最大間隙水圧比を 0.6 に押えることができる。また、この時ドレーン周辺に生じる過剰間隙水圧は、有効上載圧 1.0 kgf/cm^2 の深度の所で約 2.0 であることが、矢印を追うことによって簡単に求められる。

4. あとがき

本報告は、砕石ドレーンの効果判定を目的として実施した研究成果の一部である。この研究において、何かと御助言を頂いた日本鋼管(株)の大野・島岡両氏に感謝の意を表す。

参考文献 1) 佐々木康：液状化対策としての砕石ドレーン工法の効果、基礎工、Vol. 11, No. 2, 1983

2) H.B.Seed & J.R.Booker: Stabilization of Potentially liquefiable Sand Deposits Using Gravel Drains, J.GED, Vol. 103, No. GT7, 1977

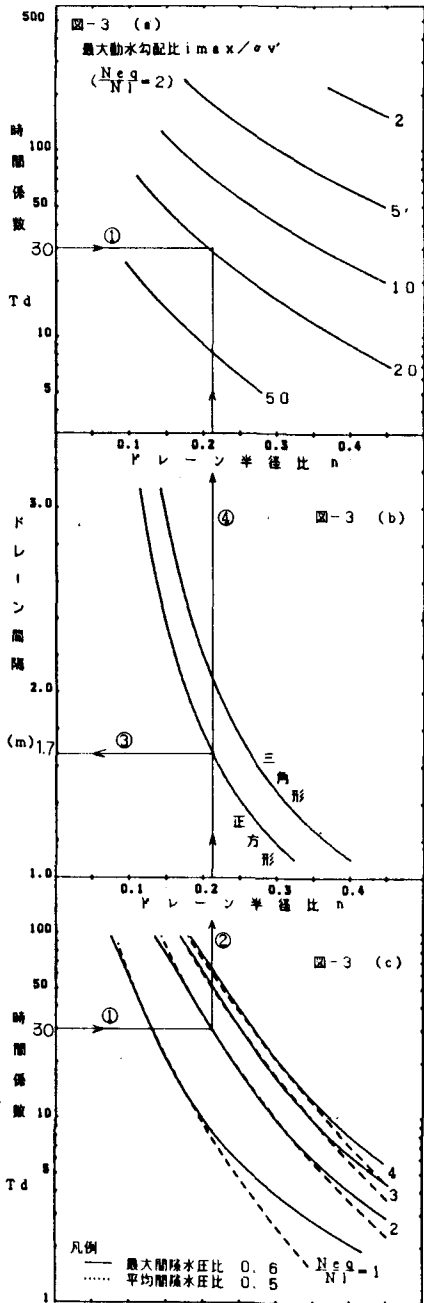


図-3 砕石ドレーン間隔と液状化防止効果