

神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎
 NTT アクセス網研究所 出口 大志
 神戸大学大学院 学生員 ○尾崎 竜三

1. はじめに

液状化対策工法の 1 つである「グラベルドレーン工法」では、過剰間隙水圧を消散させ、マンホールの浮上を抑止するためにマンホール周辺に碎石を配置している。しかし最近、施工の簡略化および経済化を期待し、碎石の代わりにプラスチック材を用いる「グリッドドレーン工法」が適用されるようになった。そこで、これら対策工法の効果を確認することを目的とし、実用に対して検討されている最も深い埋設位置までの過剰間隙水圧発生に関する解析を動的な 2 次元有効応力 FEM を用いて行った。

2. 解析手法

2.1 解析モデルと入力地震波

解析対象は、現在使用されている最大サイズのマンホール（中口径管路用 6 号 MH）で、その形状を図-1 に、解析モデル図を図-2 に示している。本解析で用いた砂、グラベルの透水係数は、それぞれ $5.0 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ 、 $3.0 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$ で、グリッドの透水係数は、縦横それぞれ 4 m/sec 、 0.01 m/sec である。地下水位は地表面下 0.6 m である。また入力地震波は、最初の 4 秒間で、振幅が 0 gal から 150 gal まで直線的に変化し、以降 4 秒間は振幅 150 gal が継続する正弦波である。それを図-3 に示す。

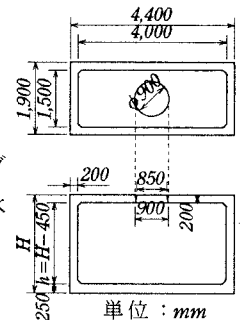


図-1 解析対象マンホール

2.2 解析ケース

埋設深さおよび適用される対策工法に従い、表-1 に示す 12 ケースの解析を行った。

1) case1 ～ case4 : グリッドドレーン工法 (図-4)

厚さ 15 mm のグリッド材のモデル化は、小さい要素を取り抜くことになるため、FEM では莫大な時間を必要とし、解析が困難になる。そこで、グリッド材の透水係数は、周辺の砂と比較してきわめて大きいので、グリッド材周辺を排水点と見なす。遮水シートによって横からのグリッド材への水の流入が遮断されているので、下部のグラベルと接する位置から排水される。モデル化では、グリッド下端 (図-2 の●の節点) を排水点とした。

2) case5 ～ case8 : グラベルドレーン工法 (図-5)

マンホール側面のグラベル層は、遮水シートにより横からの水の流入が遮断されているため、縦方向のみ透水とし、横方向は不透水としてモデル化した。またマンホール底面のグラベル層は縦横ともに透水である。図-2 において、斜線を施したメッシュがグラベル要素である。

3) case9 ～ case12 : 無対策 (図-6)

全要素を砂として解析するケースである。

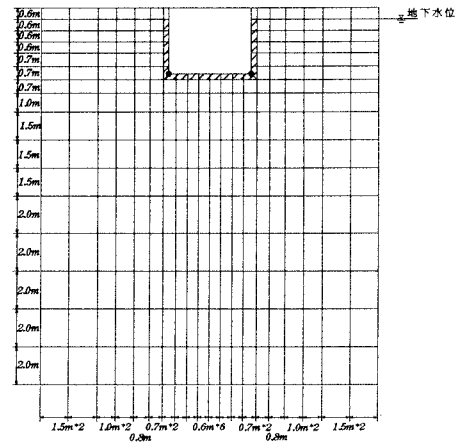


図-2 解析モデル

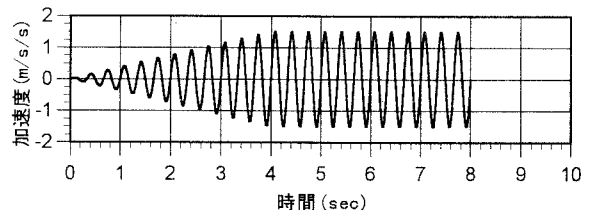


図-3 入力地震波

表-1 解析ケース

浮上抑止工法	解析ケース			
グリッドドレーン	case1	case2	case3	case4
グラベルドレーン	case5	case6	case7	case8
無対策	case9	case10	case11	case12
H寸法 (単位: mm)	3200	4200	5200	6200

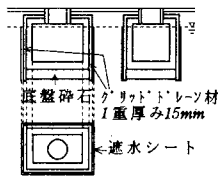


図-4 グリッドドレーン工法

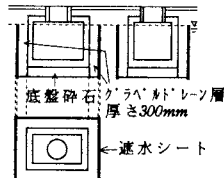


図-5 グラベルドレーン工法

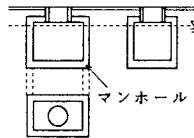


図-6 無対策

3. 解析結果

図-7 に $H=3.2\text{m}$ の 3 ケース (case1, 5, 9) のマンホール底面中央位置での過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。この図よりマンホール底面に作用する過剰間隙水圧は対策工法によって消散させられることが分かる。またグリッドドレーン工法、グラベルドレーン工法の順にマンホール底面に作用する過剰間隙水圧を低減させる効果があることが分かった。

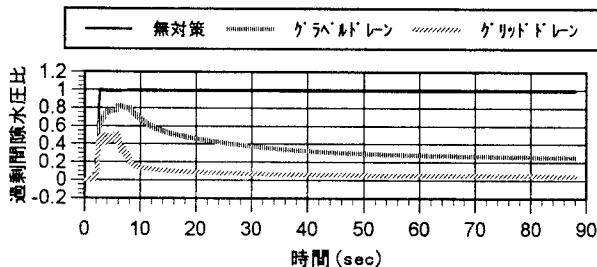


図-7 マンホール底面中央での過剰間隙水圧比の時刻歴

4. マンホールの浮上に関する検討

マンホールの浮上計算は共同溝耐震設計要領 (案) に基づいて、上述までの FEM により得られた過剰間隙水圧よりマンホール底面に作用する揚圧力を求め、さらにマンホールの浮上とともに変化する底面位置での静水圧による揚圧力を考慮して、マンホールの浮上安全率を式(1)により算定する。

$$F_s = \frac{W_s + W_b + Q}{U_s + U_d} \quad (1)$$

ここに、 W_s : 上載土の重量、 W_b : マンホールの自重、 Q : 側面の抵抗、 U_s : マンホール底面位置での静水圧による揚圧力、 U_d : 前出した過剰間隙水圧によりマンホール底面に作用する揚圧力である。

式(1)より得られた最小浮上安全率を表-2 に示す。

表-2 よりどのケースも最小安全率が 1.0 以下となり、マンホールが浮上する結果となっていることが分かる。全体的には埋設深さが深くなるにつれて最小安全率が大きくなり、安全になる傾向がある。また最小安全率は 1.0 を下回ったけれども、グリッドドレーン工法がグラベルドレーン工法よりは安全である結果となった。

さらにマンホールの浮上を考慮せず、底面位置での静水圧を一定とした場合の浮上安全率を表-3 に示す。表-3 についても、どのケースとも最小安全率は 1.0 以下となっており、マンホールは浮上する結果となった。

ここで、表-2 と表-3 を比較すると表-3 の方が全体的に小さい値をとっていることが分かる。マンホールの浮上に伴う静水圧の減少を考慮する場合 (表-2)、静水圧を一定とした場合 (表-3) より最小安全率は大きい値となるため、最も危険な状況を検討するには、静水圧を初期値に固定した状態で、発生する最大過剰間隙水圧を考慮しなければならない。

5. まとめ

マンホール底面に作用する過剰間隙水圧は、グリッドドレーン、グラベルドレーン工法などでかなりの程度に消散されるという結果が得られた。しかし、マンホールの浮上に関しては、安全率が 1.0 を下回るという結果になり、本文で検討した対策のみでは不十分であり、さらに排水パイプなどの対策工を検討する必要がある。

表-2 最小浮上安全率

H寸法(mm)	3200	4200	5200	6200
グリッドドレーン	0.964	0.902	0.944	0.951
グラベルドレーン	0.842	0.742	0.783	0.807
無対策	0.793	0.811	0.853	0.865

表-3 最小浮上安全率 (静水圧一定)

H寸法(mm)	3200	4200	5200	6200
グリッドドレーン	0.964	0.884	0.925	0.936
グラベルドレーン	0.712	0.660	0.624	0.636
無対策	0.642	0.594	0.570	0.606