

(134) グラベルドレーンを用いた地中埋設管の液状化対策工法 に関する基礎的研究

金沢大学工学部 正会員 北浦 勝
金沢大学工学部 正会員 ○宮島 昌克
第二電電 ㈱ 正会員 北島 孝

1. はじめに

液状化対策工法の1つに、低振動、低騒音で施工できることを特徴とするグラベルドレーン工法がある。この工法は、砂質地盤中に透水性の高いグラベルを打設し、地震時に発生する過剰間隙水圧の上昇を抑えるとともに、それを急速に消散させるものであり、既存構造物や護岸への対策としてその施工実績が増加しつつある。しかし、地中埋設管をはじめとする地中埋設ライフラインに対しては、地上構造物に比べて液状化が構造物の応答に及ぼす影響が複雑であること、敷設延長距離が膨大であるので、対策工法の有効な施工範囲を明確にしなければ、従来の方法では非常にコストアップとなることなどにより、施工例が限られているのが現状である。そこで本研究では、地中埋設管の液状化対策工法におけるグラベルドレーン工法の適用に関して、模型実験および透水シミュレーションを実施し、対策工法の施工範囲と対策の効果との関係を明らかにしようとした。

2. 模型実験

本研究では、既存の埋設管にも施工が可能であり、施工範囲が広大にならないことを考慮して、埋設管の両脇にトレンチを掘り、そこをグラベルで埋め戻すという工法について検討した。埋設管の破壊要因として液状化地盤と非液状化地盤との境界部に生ずる動的および静的な地盤の相対変位に注目し、管模型の両端部の地盤を締め固め、中央部のみが液状化するように模型地盤を作成し、実験を実施した。Fig. 1に実験装置の概略を示す。グラベルドレーンを施した場合と施さない場合について等しい入力条件で液状化加振実験を実施し、地盤および管路の応答を計測した。なお、実験材料、実験地盤の諸定数はTables 1, 2 に示すとおりである。入力波は、加振開始後5秒後に約 100gal となり、その後は一定加速度である 5 Hzの調和波で約 30秒間加振した。

Figs. 2, 3は、対策を施さない場合と施した場合の入力加速度、応答加速度、過剰間隙水圧、管模型の軸歪の時刻歴変化をそれぞれ示している。両者の過剰間隙水圧の変化の比較から、グラベルドレーンを施した Fig. 3の方が、その過剰間隙水圧消散促進効果によりゆるめ地盤における液状化継続時間が短くなっていることがわかる。しかし本実験においては、対策を施した場合もグラベルドレーンの周辺地盤において完全液状化に至っている。管の軸歪に注目すると、無対策の場合には特に液状化地盤と非液状化地盤との境界部 (SG5 and SG6)で動歪(歪の動振幅)が卓越している。また他の箇所においては動的な成分よりも静的な成分が卓越しているが、これは液状化地盤に埋設されている管中央部付近が浮上したためである。一方グラベルドレーンを施した場合には、液状化の継続時間が短くなることと対応して、動歪の卓越する時間も短くなっている。しかしその最大値に注目すると、無対策の場合とあまり変わらない値となっている。これは本実験においては、対策を施した場合も継続時間は短いものの完全液状化に至っているためであると考えられる。なお実験終了後の地盤の沈下量に注目すると、グラベルドレーンを施した場合の方が間隙水の排水が促進されるので、液状化地盤における沈下量が無対策の場合に比べて大きくなると考えられるが、Table 3に示すように本実験においては大きな差は生じなかった。しかし、液状化地盤と非液状化地盤との相対変位量は無対策のほうがむしろ大きくなっている。またグラベルドレーンの沈下量を計測すると、液状化地盤において

は0.65cm, 非液状化地盤では0.5cm, それぞれ沈下していた。すなわち, 周辺地盤が不等沈下した場合でもグラベルドレーンではそれ自身の剛性によりほとんど鉛直方向の相対変位を生じないことがわかった。したがって, グラベルドレーンに挟まれている埋設管にも大きな静歪が生じなかったものと考えられる。このようにグラベルドレーンの剛性が不等沈下の埋設管に与える影響を緩和するということが明らかとなった。

3. 透水シミュレーション

本対策工法の施工範囲と液状化対策効果の関係を検討するために, 透水シミュレーションを実施した。本シミュレーションにおいては, 液状化の発生している状態を初期条件として与え, 過剰間隙水圧の消散過程について解析を進めた。過剰間隙水圧の消散に関する基礎方程式には次式を用いた。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{m_v \gamma_w} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\}$$

ここで, u : 間隙水圧, t : 時間, m_v : 体積圧縮係数, γ_w : 水の単位体積重量, k_x, k_z : それぞれ水平, 鉛直方向の透水係数である。なお, 本シミュレーションでは管軸に直角方向の鉛直断面について解析を行った。シミュレーションで用いた諸定数をTable 4に示す。 Δt は解析の時間ステップである。本解析においては, 過剰間隙水圧比に対する体積圧縮係数の変化についても文献1)を参考にして考慮している。

Fig. 4に解析対象地盤を示す。一例として幅10m, 深さ4mにわたって地盤が液状化した場合を想定し, その半分について解析を行った。地表面から1.5mの深さに管が埋設されているものとし, 管の中心から水平方向に60cm離れた位置から幅1m, 深さ2mの大きさのグラベルドレーンを考え, これを標準タイプのグラベルドレーンとして解析を行った。また幅をさらに60cm拡張したものや, 深さをさらに60cm拡張したものなどについても同様の解析を行った。図中の過剰間隙水圧比の値は, 解析の初期条件として与えたものである。なお地表面付近では車の通行などにより密度が比較的高くなり, 液状化抵抗が大きくなることを考慮して, ここでは初期の過剰間隙水圧比を小さくしている。

Fig. 5は, 標準タイプのグラベルドレーンを施した場合の30秒後の過剰間隙水圧比の分布状況を示している。この場合, グラベルドレーンの周辺はもとより, ドレーン直下の深い部分でも過剰間隙水圧が消散しているようすがわかる。Fig. 6は, 埋設管が位置する要素の過剰間隙水圧比の時刻歴変化を示している。同図によれば, 無対策の場合には下方からの浸透流によって埋設位置の過剰間隙水圧比が上昇していくのに対し, 対策を施した場合には初期の2~3秒間に過剰間隙水圧比の上昇が見られるのみで, その後は急激に低下することがわかる。

4. おわりに

本研究では, 地中埋設管の液状化対策工法におけるグラベルドレーン工法の適用に関して, 模型実験および透水シミュレーションを実施した。グラベルドレーンの間隙水排水促進効果により液状化をある程度抑制することができることが明らかとなったが, 一方では地盤沈下を増大させる働きをすることが考えられる。地盤沈下に対する対応や, 管路とグラベルドレーンとの距離, グラベルドレーンの規模などについてはさらに検討を要する。

最後に, 本研究の一部が文部省科学研究費奨励研究(A) (No. 62750421)の補助によって行われたことを記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 大野・伊藤・大北: 砕石ドレーン工法の間隙水圧消散解析に用いる体積圧縮係数について, 第18回土質工学研究発表会講演集, pp. 575 ~ 576, 1983.

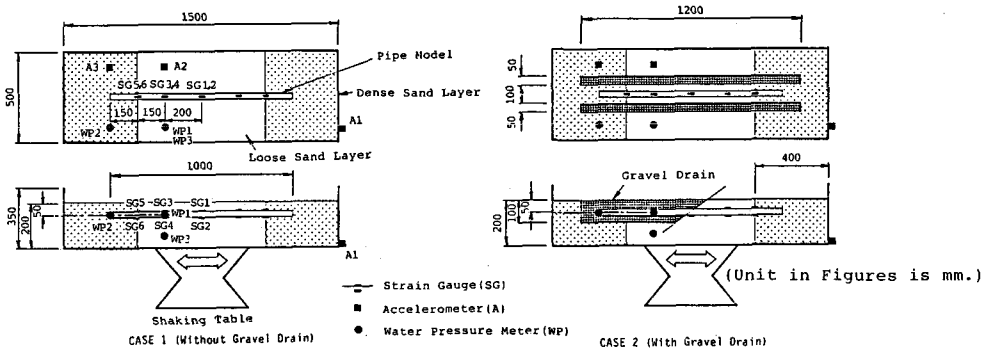


Fig. 1 General view of experimental apparatus.

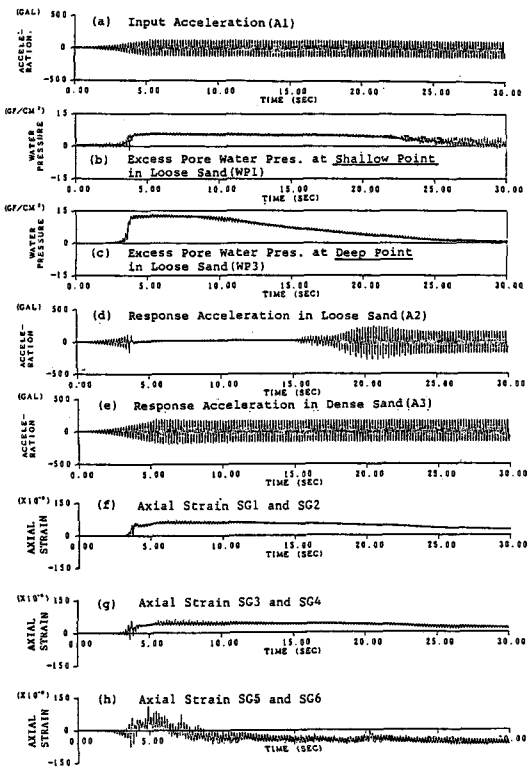


Fig. 2 Time histories of acceleration, excess pore water pressure and axial strain (without gravel drain).

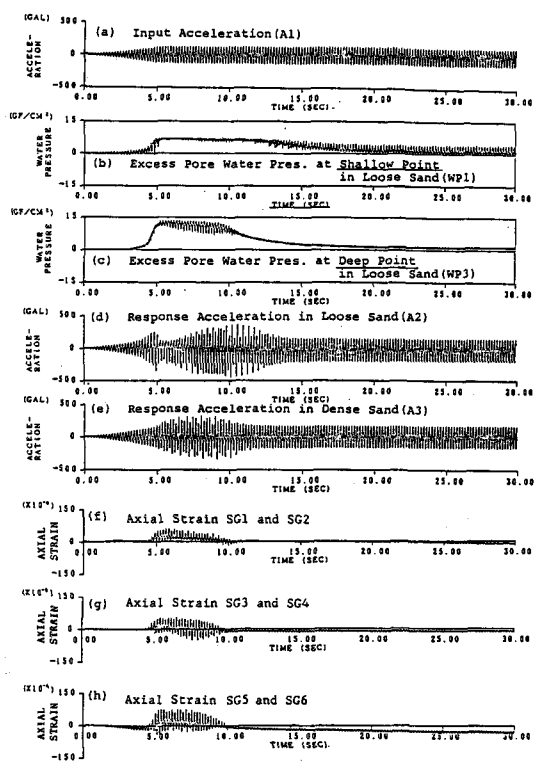


Fig. 3 Time histories of acceleration, excess pore water pressure and axial strain (with gravel drain).

Table 1 Physical properties of sand, gravel and model pipe.

SAND		
Specific Gravity	(G_s)	2.67
Uniformity Coefficient	(U_c)	2.96
Maximum Void Ratio	(e_{max})	1.030
Minimum Void Ratio	(e_{min})	0.721
50 Percent Diameter	(D_{50})	0.2 (mm)
Coefficient of Permeability	(k_{sand})	1.92×10^{-2} (cm/sec)
GRAVEL		
Specific Gravity	(G_s)	2.69
Maximum Grain Size	(D_{max})	25 (mm)
Coefficient of Permeability	(k_{gravel})	8.24 (cm/sec)
PIPE MODEL		
Young's Modulus	(E)	810 (kgf/cm ²)
Unit Weight	(γ)	1.65 (gf/cm ³)
Length	(l)	1000 (mm)
Diameter	(d)	20 (mm)

Table 2 Physical properties of sand layer.

Loose Sand Layer (Liquefiable Part)	
Wet Density	(γ_s) 1.84 (g/cm ³)
Void Ratio	(e) 0.95
Water Content	(w) 32.4 (%)
Relative Density	(D_r) 26.5 (%)
Dense Sand Layer (Un-liquefiable Part)	
Wet Density	(γ_s) 1.90 (g/cm ³)
Void Ratio	(e) 0.87
Water Content	(w) 32.9 (%)
Relative Density	(D_r) 52.4 (%)
Gravel Drain	
Wet Density	(γ_s) 1.79 (g/cm ³)

Table 3 Settlement of model ground.

	Liquefied Part	Un-liquefied Part
Case 1 (Without Gravel Drain)	2.15 cm	0 cm
Case 2 (With Gravel Drain)	2.30 cm	0.38 cm

Table 4 Constants and coefficients used in the simulation.

Δt		0.001 (sec)
m_b	sand	0.027 (cm ² /kgf)
	gravel	0.075 (cm ² /kgf)
τ_b		0.001 (kgf/cm ²)
k	sand	1.92×10^{-2} (cm/sec)
	gravel	8.24 (cm/sec)

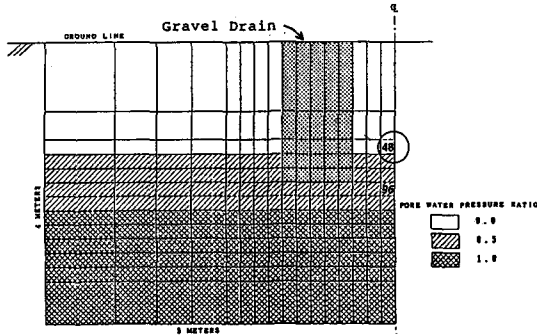


Fig. 4 Initial condition of excess pore water pressure ratio in the sand layers.

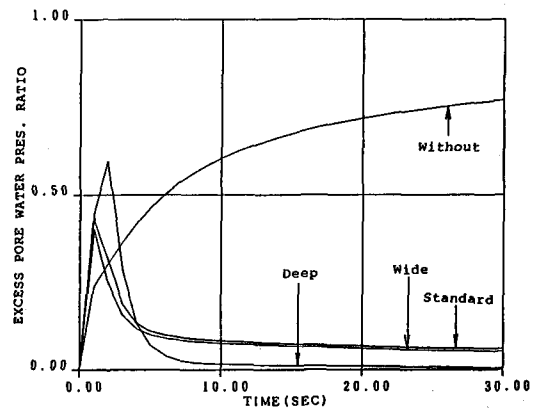


Fig. 6 Time histories of excess pore water pressure ratio in the element on which the pipeline is located.

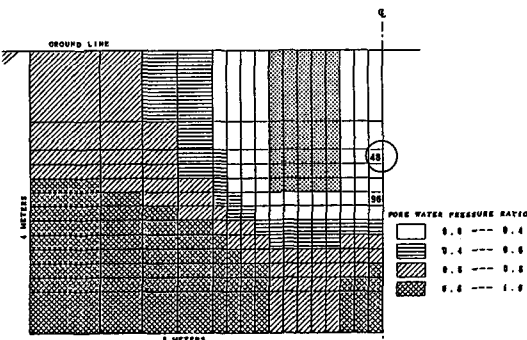


Fig. 5 Distribution of the pore water pressure ratio after 30 seconds (with standard gravel drain).