

(74) 碎石ドレーン工法施工地盤の地震時 地盤沈下に及ぼす諸要因について

福井工業高等専門学校 正会員 ○吉田雅穂
 金沢大学工学部 正会員 宮島昌克
 金沢大学工学部 正会員 北浦 勝
 NKK 正会員 大石 博

1. はじめに 筆者らはこれまで、地震時における碎石ドレーン工法の効果が周辺地盤に及ぼす影響として地盤沈下に注目し、模型実験により本工法の液状化防止効果とその影響範囲に関して検討を行ってきた。その結果、地盤沈下と過剰間隙水圧の相関性を示し、碎石ドレーン工法の液状化防止効果により地盤内に発生する過剰間隙水圧を低減することによって、地盤沈下を抑制することができることを明らかにした¹⁾。本研究では、地盤内の不透水層による影響、および入力波形による影響に関する実験を新たに行い、既報の実験結果と比較検討を行いながら、碎石ドレーン工法施工地盤の地震時地盤沈下に影響を及ぼす諸要因について、後述の項目に関して検討を行った。まず、地盤条件としては改良地盤（碎石ドレーン工法施工地盤、締め固め工法施工地盤）と非改良地盤（透水地盤、不透水地盤）、また、入力条件としては入力加速度（70～110 gal）、加振時間（30秒、5秒）、および入力波形（過渡的調和波、定常的調和波）である。ここで、不透水地盤とは地表面方向への排水を抑制するための不等水層を地盤内に設置した飽和砂地盤のことであり、透水地盤とは不透水層の設置されていない均質で一層の飽和砂地盤のことであり、また、過渡的調和波とは5秒間で最大加速度となるよう徐々に加速度が増加する入力波形のことであり、定常的調和波とは入力開始時より最大加速度となる入力波形のことであり、Table 1に各実験ケースの実験条件を示す。

Table 1 Conditions in tests.

Case number	Improved ground	Unimproved ground	Input acceleration (gal)	Duration of shaking (s)	Input wave motion (harmonic wave)
1	Gravel drain system (Gravel)	Permeable ground (Loose saturated sand layer)	80	30	Transient
2			100		
3			5	Stationary	
4					
5	Sand compaction method (Dense sand layer)	Impermeable ground (Loose saturated sand layer)	80	30	Transient
6			100		
7			5	Stationary	
8					
9	Gravel drain system (Gravel)	Impermeable ground (Loose saturated sand layer)	80	30	Transient
10			100		
11			5	Stationary	
12					
13	Sand compaction method (Dense sand layer)	Impermeable ground (Loose saturated sand layer)	100	30	Transient
14			80		

2. 実験概要 Fig. 1に実験装置の概要を示す。模型地盤は振動台上に固定した鋼製の砂箱内に作成し、非改良地盤（緩詰め砂層）と改良地盤の2つの部分から成っている。緩詰め砂層 ($D_r=30\%$) は、粒径が比較的均一で液状化しやすい範囲にある石川県手取川の川砂 ($G_s=2.67, U_c=2.96, D_{50}=0.20\text{mm}, k=1.92 \times 10^{-2}\text{cm/s}$) を用いて、水中落下法により作成した。改良地盤としては、碎石ドレーン工法施工地盤と締め固め工法施工地盤の2種類があり、前者はコンクリート骨材用の5号碎石 ($G_s=2.69, D_{\text{max}}=25\text{mm}, k=8.24\text{cm/s}$) からなり、後者はあらかじめ水中落下法により作成した緩詰め砂層を、加速度約250galで3分間加振した密詰め砂層 ($D_r=50\%$) となっている。なお、非改良地盤と改良地盤の境界部には、両地盤間の砂の移動を防止するためのナイロン製のメッシュが施されている。また、不透水地盤においては、非改良地盤中に不透水層として厚さ1mmのビニール製のシートが施されている。地下水位面は透水地盤では地表面、不透水地盤では不透水層面となっている。入力波として5Hzの調和波を用いた。測定項目は入力加速度、地盤応答加速度、過剰間隙水圧、地盤沈下量（34点）である。

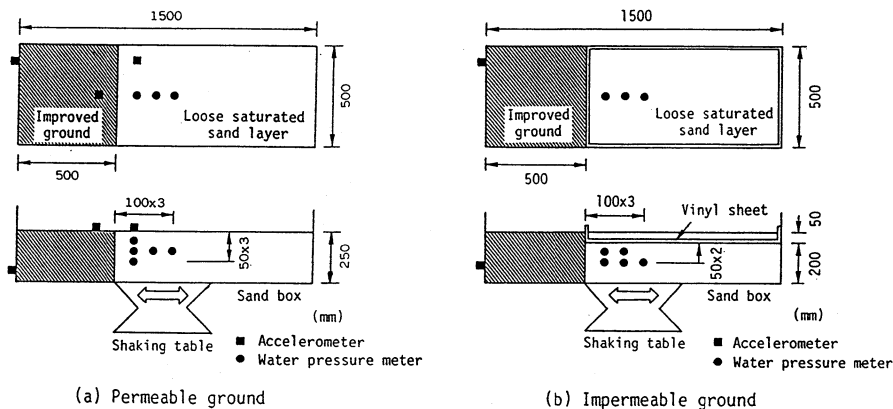


Fig.1 General view of test apparatus.

3. 実験結果および考察 文中では、地表面はG.L.とし、地表面から深さ方向への距離はG.L.-100 (100mmの場合)、改良地盤と非改良地盤との境界はB.D.とし、境界から非改良地盤側への距離はB.D.-100と表示している。

3.1 地盤沈下率の水平方向分布について Fig.2は非改良地盤における、改良地盤からの距離と地盤沈下率の関係を示したものである。なお、地盤沈下率とは地盤沈下量を加振前の地盤厚で除した地盤ひずみの値であり、百分率で表示している。

1) 入力加速度による影響 (a-1), (b-1)は入力加速度約80gal、加振時間30秒、過渡的調和波による入力条件での結果である。透水地盤においては、碎石ドレーン工法の沈下率は締固め工法に比べて1.6%低下しており、碎石ドレーン工法の液状化防止効果による地盤沈下の抑制効果が見られる。しかし、不透水地盤においては両工法の差は0.7%に減少している。これは、不透水層上の未液状化層の抑え込み効果により、下層の液状化層の振動締固めが促進されたためと考えられる。(a-2), (b-2)は入力加速度約100gal、加振時間30秒、過渡的調和波による入力条件での結果である。(a-2)では(a-1)に見られた碎石ドレーン工法の地盤沈下抑制効果は見られず、両工法ともにほぼ同様な沈下傾向を示している。これは、入力加速度の増加にともなう、碎石ドレーン工法の液状化抵抗力の低下が原因と考えられる。

2) 加振時間による影響 (a-3), (b-3)は入力加速度約100gal、加振時間5秒、過渡的調和波による入力条件での結果である。同一入力加速度で加振時間30秒の(a-2), (b-2)と比較してみると、両工法、両地盤ともに沈下率は大きく減少している。これは、加振時間5秒の実験では液状化発生後の振動締固めの影響がなかったためであり、液状化発生後の振動継続により地盤沈下が促進されることが分かる。

3) 入力波形による影響 (a-4), (b-4)は加振時間5秒の入力条件での結果であり、過渡的調和波(入力加速度約100gal)と定常的調和波(入力加速度約80gal)とを比較したものである。同図によれば、定常的調和波は過渡的調和波に比べて入力加速度が約20gal小さいにも関わらず、両工法とも定常的調和波の方が沈下率が大きく、碎石ドレーン工法で1.2%、締固め工法で1.8%の増加となっている。定常的調和波では、地盤が瞬時に液状化したため液状化抵抗力を発揮する時間的余裕がなく、碎石ドレーン工法においてもその効果は発揮できなかったと考えられる。このことから、液状化発生後の振動の有無が地盤沈下に大きく影響を及ぼすことが分かる。

3.2 入力加速度と地盤沈下率の関係について Fig.3は加振時間30秒、過渡的調和波の入力条件での、入力加速度と地盤沈下率の関係を示したものである。図中の実線および点線は碎石ドレーン工法および締固め工法の一次回帰直線となっている。透水地盤の回帰直線を見ると、両工法ともに入力加速度の増加にともない沈下率が増加する右上がりの傾向を示している。締固め工法では改良地盤からの距離に対してほとんど変化がないのに対し、碎石ドレーン工法では改良地盤に近づくにつれて、その傾き、切片ともに減少しており、改良地盤近傍での液状化抵抗力の増加が確認できる。しかし、(a-3)のB.D.-300においては両直線はほぼ重なっており、本実験においてはこの付近が碎石ドレーン工法の地盤沈下抑制効果の限界であったと思われる。

不透水地盤の回帰直線を見ると、いずれの直線も碎石ドレーン工法の方が締め固め工法の下に位置しているが、透水地盤で見られたような明確な傾向は見られず、前述の抑え込み効果により、碎石ドレーン工法においても低入力加速度で大きな沈下率を示したものと思われる。

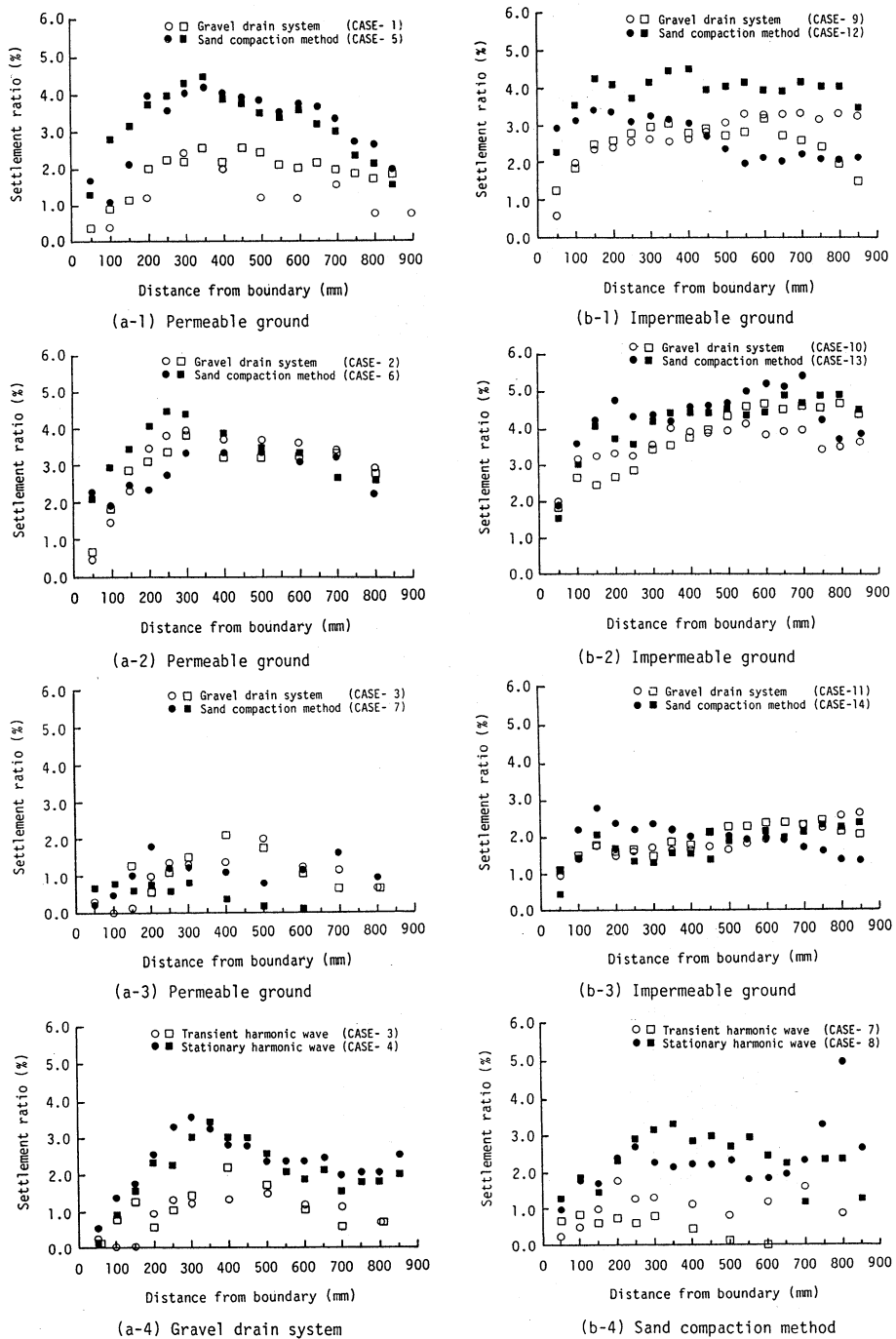


Fig.2 Settlement ratio in relation to distance from boundary.

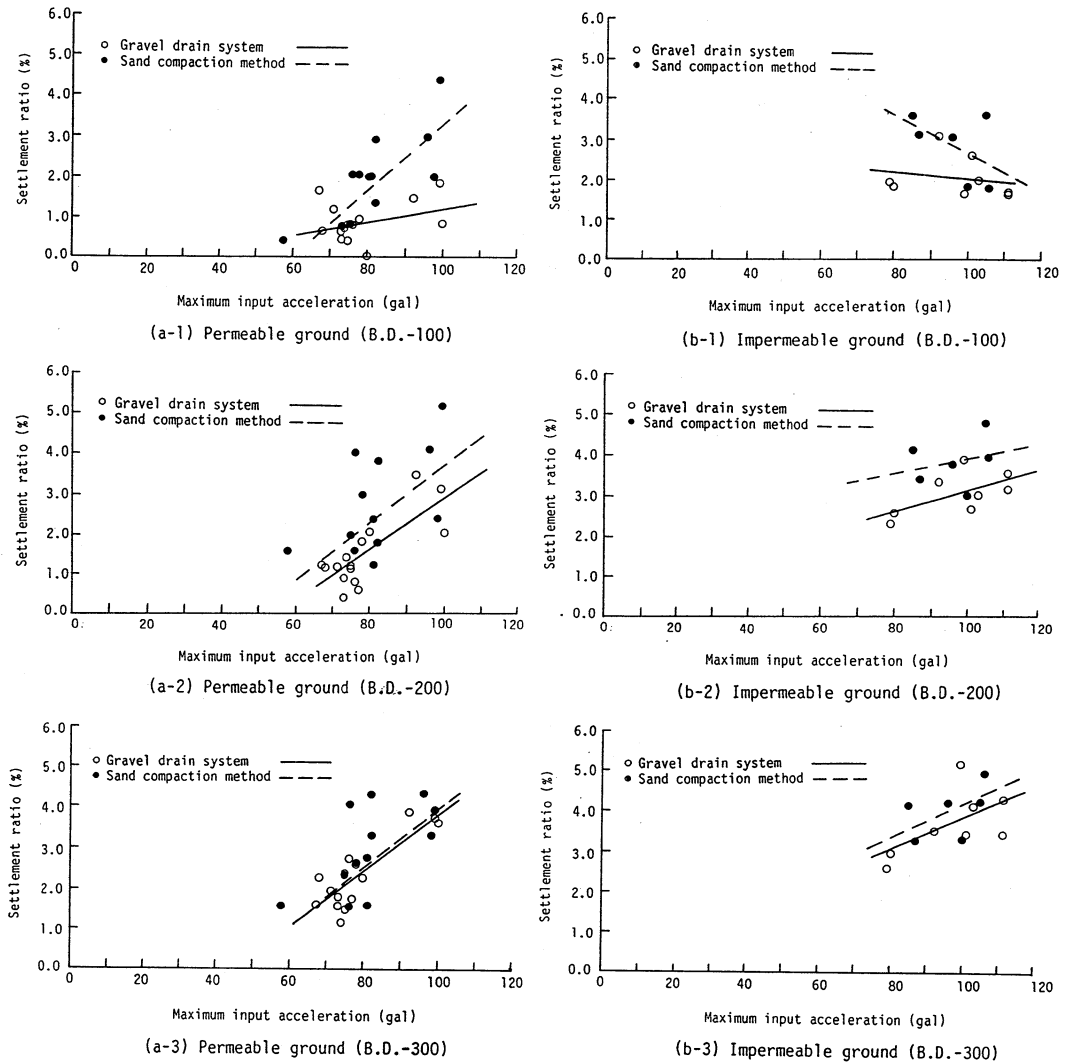


Fig.3 Settlement ratio in relation to maximum input acceleration.

4. おわりに 以下に、本研究で得られた成果を記す。

- 1) 低入力レベルでは、碎石ドレーン工法の液状化防止効果による地盤沈下抑制効果が見られたが、碎石ドレーン工法の液状化抵抗力を上回る入力レベルではその効果は期待できない。
- 2) 地盤沈下は、液状化発生後の振動の有無とその継続時間に大きく影響を受ける。
- 3) 不透水層を有する地盤が液状化すると、不透水層上部の未液状化層の抑え込み効果により、不透水層下部の液状化層の振動締め固めが促進される。

最後に、本研究の遂行にあたりご協力賜った金沢大学工学部 池本敏和技官、元金沢大学学部生 峯田敏宏氏（現 日本車輛製造㈱）、また、元福井工業高等専門学校学生 高田卓氏（現 ㈱ホクコン）、同 安野満喜氏（現 石黒建設㈱）の諸氏に感謝の意を表します。

参考文献 1) 吉田雅穂・宮島昌克・北浦 勝・大石 博：碎石ドレーン工法施工地盤の地震時沈下特性に関する研究，第8回日本地震工学シンポジウム論文集，Vol.1，pp.879-884.

連絡先 〒916 福井県鯖江市下司町 福井工業高等専門学校 土木工学科
Tel. (0778)62-1111 Fax. (0778)62-1108