

III-41 水平方向排水の有無による地盤の振動締固め効果の差について

清水建設（株） 正員 ○ 尾上篤生、森 信夫、阿部 啓、境 吉秀

1. はじめに

砂地盤の地震時液状化対策として用いられるグラベルドレーン工法は、低騒音・無振動施工を長所としているが、地震時に地盤沈下が避け難いことや設計水平震度の僅かな違いがピッチを大幅に変動させるなどの短所も併せ持っている。またサンドコンパクションパイル工法は地盤を側方にも圧縮するため、既設構造物近傍では適用し難い場合がある。これに対して、地盤に予め造成した礫柱周辺地盤を上下に振動させ、これに伴い発生する地盤内過剰間隙水圧を水平方向に排水する方法（以下、サンド・バイプロ・ドレーニング（SVD）と呼ぶ）は、地盤を側方に圧縮せずに締固め、液状化と沈下とを防ぐ一方法である。SVDによれば、砂地盤の動的せん断強度比が原地盤のそのの1.7 倍に増加することが確認されている²⁾。SVD法は、振動締固め時に礫柱などのバーチカルドレーンを併用するものであるが、本報告はドレーンの有無によって振動締固め効果に著しい差異があることを実験的に明らかにしたものである。

2. 地盤概要と実験方法

図1に示した大口径鋼管($t=12.7\text{mm}$)を、ディーゼルパイルハンマーを用いて10分間に1回づつ発火させながら地盤を乱さないように建て込む。鋼管内地盤の層序を図1に併記した。当地盤は上位に礫混じり砂層、下位に細砂層があり、N値は最大13、平均4.55である。なお鋼管下端はシルト層に達しており、下端は非排水端とみなすことができる。次いで鋼管頭部をバイプロハンマ（VM2-25000A）で加振し、管内地盤の鉛直加速度と過剰間隙水圧を測定した。実験ケースを表1に示すが、各実験とも24時間サイクルで3回づつ加振した。（但し実験Bの2回目と3回目の間は8時間、実験Cの2回目と3回目の間は2時間である。）

3. 実験結果と考察

3.1 水圧比 実験AのG.L.-3.5m とB、C

のG.L.-5m における主な実験結果を表1に併記し、また過剰間隙水圧と加速度の測定例を図2に示す。非排水条件下の当該地盤を上記実験法で加振したときの、液状化所要等価繰返し回数(N_L)と鉛直加速度(α)との関係は、 $\log \alpha = 1.615 - 0.7836 \cdot \log N_L$ で表わせることが分かっている¹⁾。従って図2に示したような不規則な加速度振幅の、加振スタートから i 番目の加速度を α_i とすれば、この加速度1波を任意の加速度 α^* に換算したときの等

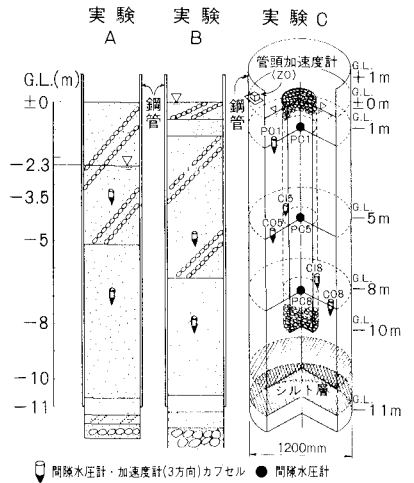


図1 実験方法及び管内柱状図及び計器

表1 実験ケースと実験結果一覧表

実験ケース	A			B			C		
バーチカルドレーン	無			無			有φ500mm		
加振回数(回)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
バイプロ偏心モメント(10 ⁴ N・m)	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1
発電機周波数(Hz)	50	45	50	45	45	45	45	45	45
初期有効応力 σ_{v0} (kg/cm ²)	G.L.-3.5mで0.56			G.L.-5mで0.56			G.L.-5mで0.579		
最大加速度 α_{max} (G)	2.20	0.983	0.79	1.80	1.40	0.411	1.16	1.37	1.16
最大過剰間隙水圧 U_{max} (kg/cm ²)	0.596	0.555	0.566	0.570	0.408	0.541	0.56	0.29	0.076

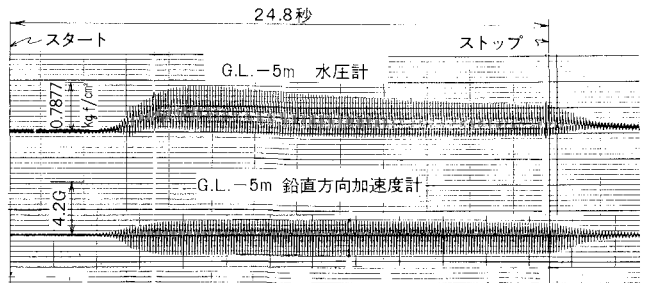


図2 間隙水圧と加速度の測定例（実験C、加振2回目）

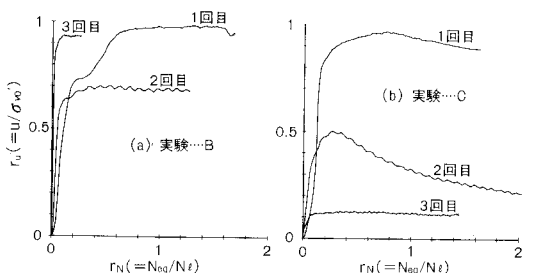


図3 繰返し回数比(r_N)と水圧比(r_u)の関係

価波数は、 $(\alpha_i/\alpha^*)^{1/1.7836}$ 波となる。そして等価繰返し回数比 (r_N) は、 $r_N = N_{eq}/N_i^* = (1/N_i^*) \sum (\alpha_i/\alpha^*)^{1/0.7836}$ で計算される。ここに N_{eq} は等価繰返し回数、 N_i^* は一定加速度振幅 α^* のもとでの液化化所要等価繰返し回数である。 r_N と過剰間隙水圧比 (r_u) との関係を図3に示す。ここに過剰間隙水圧 (u) は、図2に示したような水圧計の記録を2Hzのローパスフィルターを介して再生したものである。図3(a)によれば、実験Bのようにドレーンがない場合は1回目の加振で液化化した後、2、3回目ともごく僅かな r_N で水圧が急激に上昇し、加振を繰返す度に地盤の液化化強度が減少している。これに対して図3(b)によれば、実験Cのようにドレーンがある場合は、加振を繰返す度に r_u は減少し液化化強度の増加が認められる。なお、上記実験方法では表1にあるように1Gを超えるほどの大きな加速度で加振すると、ドレーンによる水圧消散効果に比べて振動による水圧発生が卓越するため、実験Cの1回目の加振のようにドレーンがあってもほぼ液化化に達するが、実際の地震時に生じる水圧比とは異なるものである。図4は、加振回数に応じた最大過剰間隙水圧比 (r_{umax}) の変化を表している。実験A、Bのように鉛直方向排水のみの場合は加振回数を重ねても液化化強度が増えないが、実験Cのように水平方向排水を併用した場合は加振回数の増加とともに r_{umax} が減少しており、液化化強度の増加は明らかである。

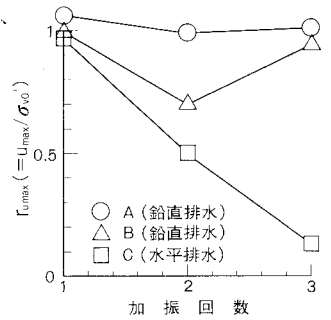


図4 排水方法の違いによる液化化強度増加における差

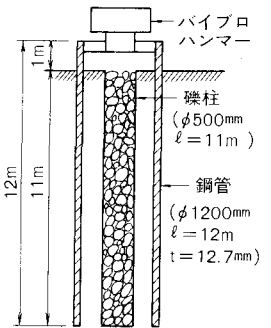


図5 SVD法による締固め方法

3.2 SVDによるN値 SVD法は、上記実験方法とは逆に図5に示すように地盤に予め造成したドレーンを含むように鋼管を打設する方法である。図6

のNo.1~No.4は、SVD法による改良前後の地盤のN値を比較したものである。No.4を除けば、細粒分含有率20%未満の砂質土では締固め後のN値は最小16、最大56であり、No.4も含めた平均でも28に達している。これに対し、図6のNo.5は、ドレーンを用いなかった場合の鋼管打設・締固め後のN値であるが、最大11、平均5.6と小さく締固め効果は認められない。また、No.5の締固め後の管内地表面は締固め前より65cmしか沈下していないが、No.1~No.4では265cm~406cmと著しく大きな沈下を生じ、水平方向排水併用の有無が振動締固めに及ぼす影響は極めて大である。

3.3 騒音・振動 図7に、SVD法の振動・騒音レベルを示す。騒音は騒音規制値を5dB下回るに過ぎないが、振動は規制値に比べて著しく小さく、実用的と考えられる。

4. おわりに

SVD法による砂地盤の締固め効果は著しく大きく、その理由が振動中の水平方向排水にあることが分かった。その詳細なメカニズムと鋼管外にも締固め効果を及ぼす方法とは、今後の課題としたい。

[参考文献] 1)尾上篤生、森信夫「グラベルドレーン工法による液化化防止効果に関する現位置実験と解析」清水建設研究報告第42号、PP.1~20、'85年10月、2)森信夫、尾上篤生、境吉秀、阿部啓「礫柱周辺の砂地盤の振動による締固め効果に関する実験」第26回土質工学研究発表会講演集、'86年6月

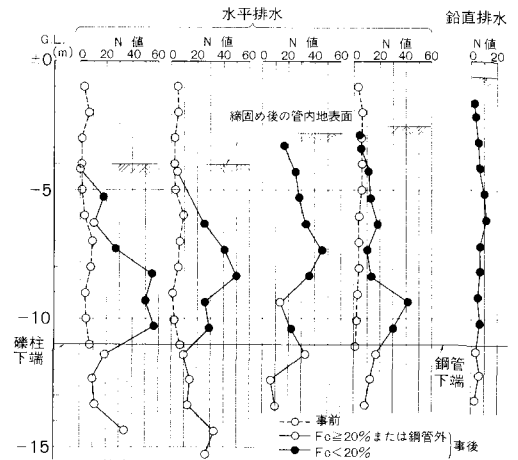


図6 排水方法の違いによるN値増加における差

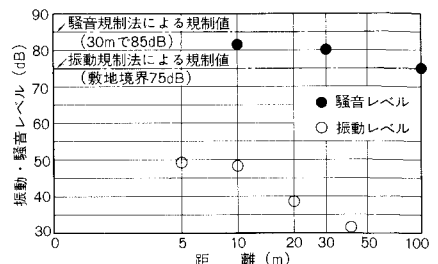


図7 当該締固め方法による振動・騒音レベル