

# 細粒分を含んだ材料による振動台液状化実験

石田英毅・東畑郁生

不動建設株式会社 ジオ・エンジニアリング本部 技術統括部 (〒110-0016台東区台東1-2-1)  
工博 東京大学教授 大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

振動台模型実験により、細粒分を含む砂地盤の液状化及び盛土の沈下について調べた。その結果、細粒分を多く含む混合地盤 ( $F_c=25.6\%$ ) は、透水性が低いため過剰間隙水圧の消散が大幅に遅れることが確認された。また、豊浦砂においては、振動終了後 6.7 秒程度で沈下は収束するものの、混合砂では、振動終了後に過剰間隙水圧は徐々に消散するため沈下も緩やかで残留沈下は長期にわたった。また地中変位計の計測の結果によれば、豊浦砂の場合には、基礎の変形は外側に押し出される動きであったのに対して、混合砂の場合には、地表付近の地層が盛土の沈下と共に内側へ引き込まれた。混合砂の場合には、盛土荷重は下方向に大きく分配、豊浦砂の場合には、横方向に分散した可能性がある。

キーワード：液状化、振動台実験、沈下、変形、細粒分

## 1. 概要

自然の沖積地盤は細粒分を含んでいるのが普通であり、洪水時と平常時とでは堆積物の粒径に差の生じることが珍しくない。また、埋め立て地盤では、水の中を沈降する間に、粗い粒と細かい粒とが分離して堆積する。ところが、模型実験を行う場合には、実験の作業性や、材料の再利用などの観点から使用材料は豊浦標準砂のような透水性が高く、粒径が整った材料を使用することが多い。豊浦標準砂は、細粒分が極めて少ない ( $F_c \leq 5\%$ ) ため、加振終了後の過剰間隙水圧が直ちに消散してしまい、液状化後の砂地盤の圧密が早期に終了するなど、実地盤の再現性に問題がある。

今回は、実地盤に近い状態を模擬するため、珪砂の 8 号と 4 号を混合して細粒分を含んだ混合砂を使用し、水中落下によって互層状の地盤を作製した。そして、盛土構造物の沈下現象を対象とした 1G 場で振動台実験を実施した。また混合砂との比較のため、豊浦砂においても実験を行った。

振動台模型実験により、細粒分を含む砂地盤の液状化及び沈下について調べた。その結果、細粒分を多く含む混合地盤 ( $F_c=25.6\%$ ) は、透水性が低いため過剰間隙水圧の消散が大幅に遅れることが確認された。また、豊浦砂においては、振動終了後 6.7 秒程度で沈下は収束するものの、混合砂では、振動終

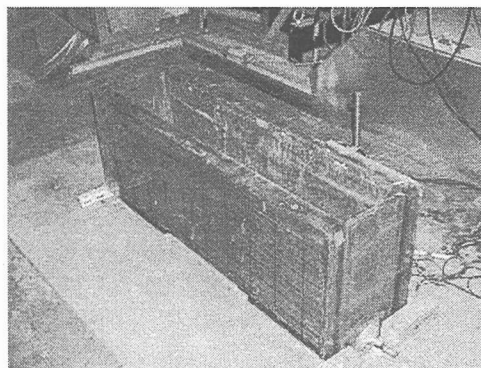


図1－使用土槽

了後に過剰間隙水圧は徐々に消散するため沈下も緩やかで残留沈下は長期にわたった。また地中変位計の計測の結果によれば、豊浦砂の場合には、基礎の変形は外側に押し出される動きであったのに対して、混合砂の場合には、地表付近の地層が盛土の沈下と共に内側へ引き込まれた。混合砂の場合には、盛土荷重は下方向に大きく分配、豊浦砂の場合には、横方向に分散した可能性がある。

本実験の混合砂を用いた実験では、沖積や埋め立てによって形成される実地盤にならい水中落下法で模型地盤を作製した。上述したように粒径に応じて沈降速度が異なるので地盤は均一とは限らない。そして、過剰間隙水圧の消散過程や残留沈下、地中変位計の計測結果から豊浦砂と混合砂の間で明確な違いが確認された。したがって、細粒分を変化させた

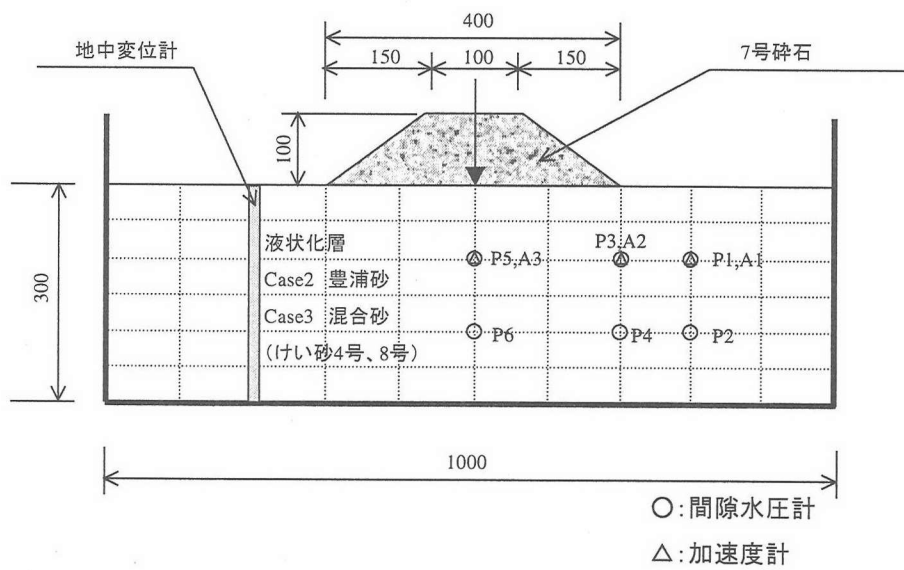


図-2 計器配置図

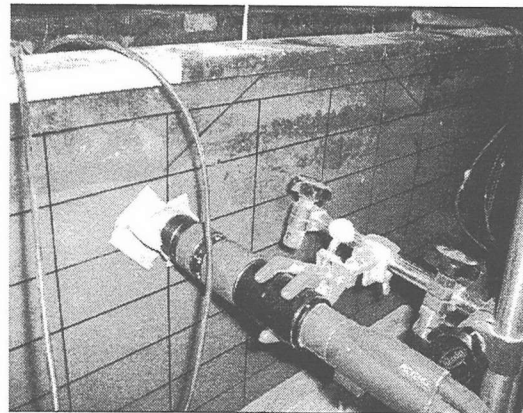


図-3 デジタル顕微鏡

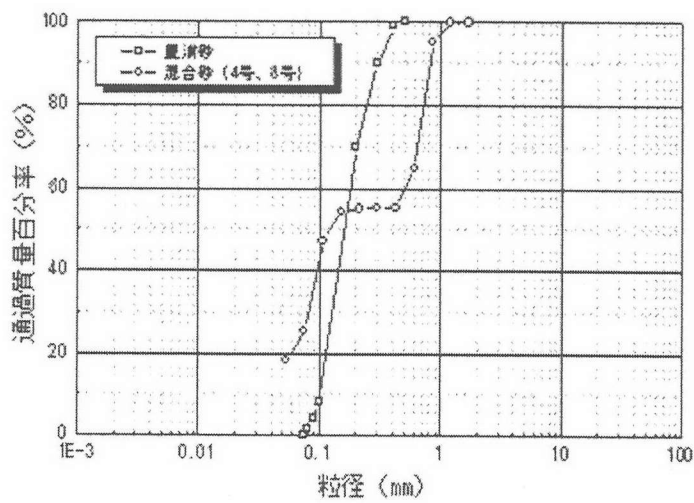


図-4 粒径加積曲線

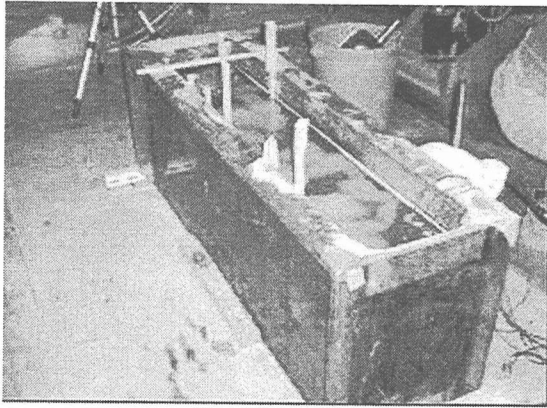


図-5 地盤の作製状況

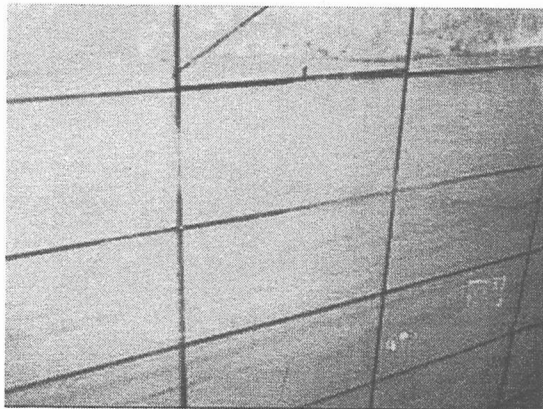


図-6 混合砂の堆積状況

場合や、砂の種類を変えた場合等で多くの実験を行い、理想的な均質模型地盤と実際の地盤との違いについてデータを蓄積することが先決と考えられる。

## 2. 実験概要

### (1) 実験方法

今回使用した土槽は、(幅 100cm×高さ 40cm×奥行 20cm) の小型土槽(図-1) で水中落下法により地盤を作製した。計測項目は、加速度、間隙水圧、地中変位、沈下量である。また、デジタルカメラにより、地盤の全体像を捉えると共に、試行的に土槽の側壁に設置したデジタル顕微鏡により地盤流動時の粒子の動きを観測した。

計測装置の配置図とデジタル顕微鏡の設置状況を図-2~4 に示す。

### (2) 使用材料

使用材料は、豊浦砂および混合砂(硅砂 4 号、8 号) で、混合砂については、細粒分含有率を 25% と

なるように調整した。豊浦砂および混合砂の主な物性は表-1 に示すとおりである。

### (3) 実験ケース

実験ケースは、予備実験を含めて以下に示す 3 ケースである。また、入力地震動は、正弦波で入力加速度 200gal、加振時間 12 秒(テーパー長 2 秒を含む)、周波数 10Hz とした。

### (4) 地盤の作製方法

地盤(液状化層)の作製方法は、土槽内に水を入れておき、材料砂を上から降らす水中落下法により作製した。混合砂については、あらかじめ、4号と8号の硅砂を均質に混合しておき、1回 1.5kg 程度ずつスコップにて水中落下させ、沈降速度の違いによって粒子の粗い粒と細かい粒の互層になるように作製した。

図-5~6 に水中落下法の作製状況と混合砂の堆積状況を示す。

また、作製した地盤の地盤高から、算出した相対密度は以下の通りである。

Case2 豊浦砂  $Dr=29.0\%$

Case3 混合砂  $Dr=29.1\%$

## 3. 実験結果

### (1) 変形状況

Case3(混合砂)の場合には、加振前に目視できた粗い粒子と細粒分との境界は、加振後には確認できなかった。また、細粒分は、地表面に多く堆積していた。

### (2) 加速度

加速度の計測結果は図-9,10 に示す通りとなり、地盤の軟化に伴い、加速度の応答は小さくなるが、豊浦砂と混合砂に明確な違いは見られない。

### (3) 沈下量

盛土の下端に設置した巻き取り式変位計の計測結果は、図 11 に示す通りとなる。

Case2(豊浦砂)の沈下量は、振動終了後 6~7 秒程度で、収束に向かうが、Case3(混合砂)の場合には、グラフからは読み取りづらいが、振動終了後も長期に渡って緩やかに沈下が持続する。これは、透水性の低い混合砂の場合には、液状化による地盤の軟化による沈下とその後に圧密沈下が継続するためと思われる。

	豊浦砂	混合砂 硅砂4号63%、8号37%
土粒子の密度 $\rho_s$	2.648	2.648
最大間隙比 $e_{max}$	0.974	0.892
最小間隙比 $e_{min}$	0.605	0.478
細粒含有率(%)	$F_c < 5\%$	25.6

表-1 豊浦砂および混合砂の物性

	使用砂	加振条件
case1(予備実験)	混合砂 $F_c=14.0\%$	入力加速度=200gal 加振時間=12s 周波数=10Hz
case2	豊浦砂	
case3	混合砂 $F_c=25.6\%$	

表-2 実験ケース

Case2 豊浦砂

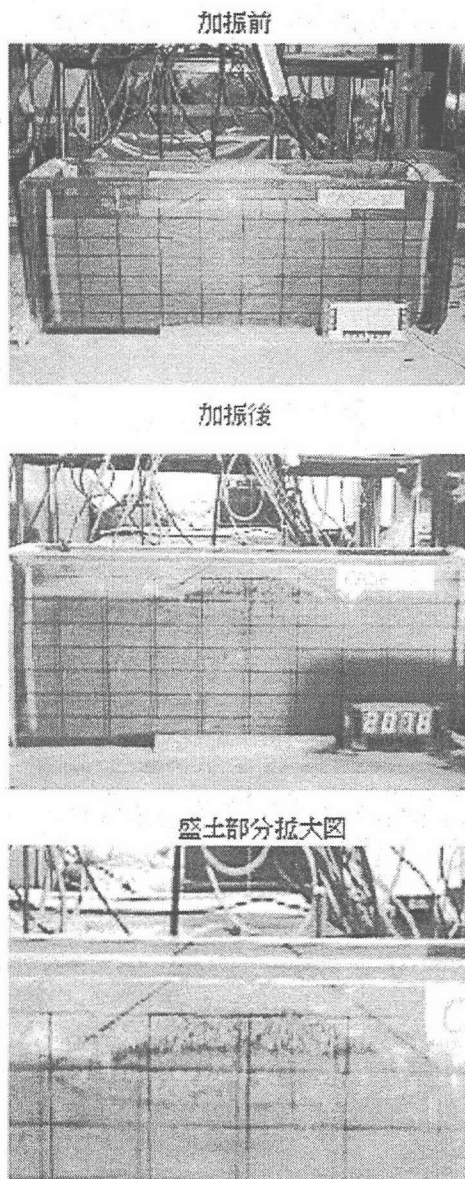


図-7 Case2 変形状況

Case3 混合砂

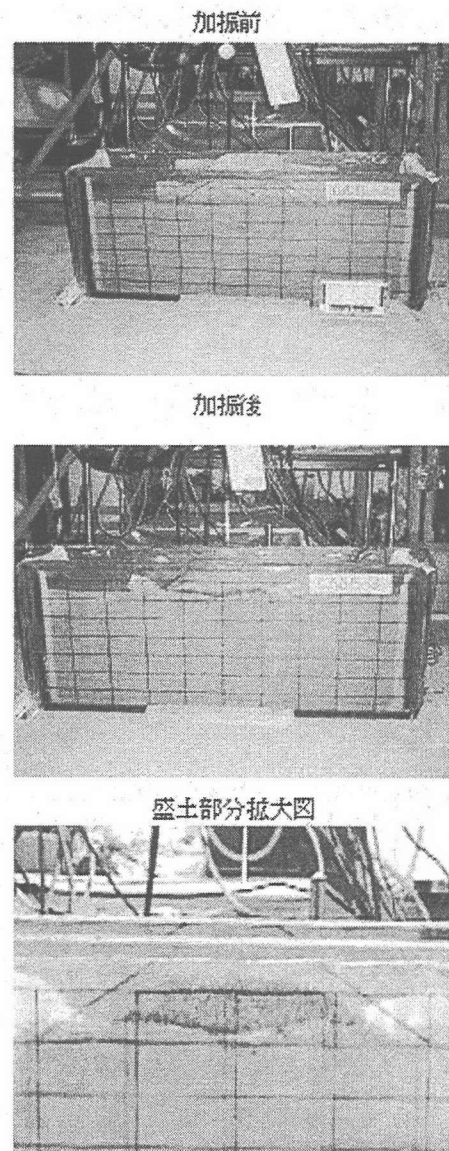


図-8 Case3 変形状況

Case2

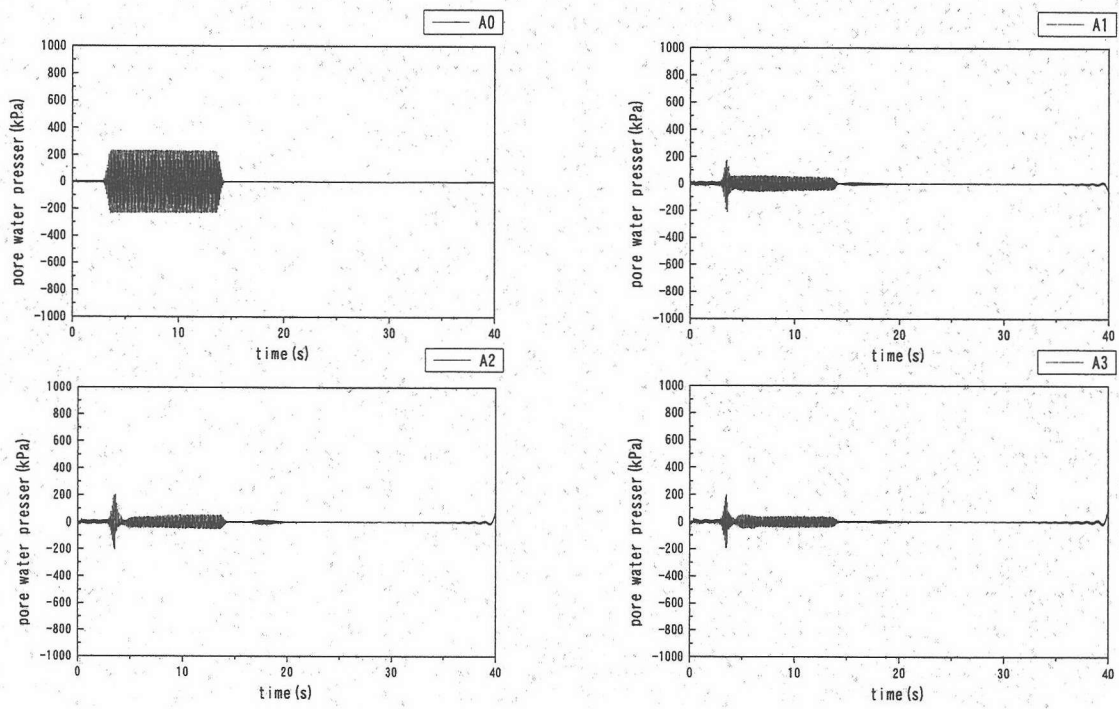


図-9 Case2 加速度計測結果 (豊浦砂)

(4) 間隙水圧

Case3

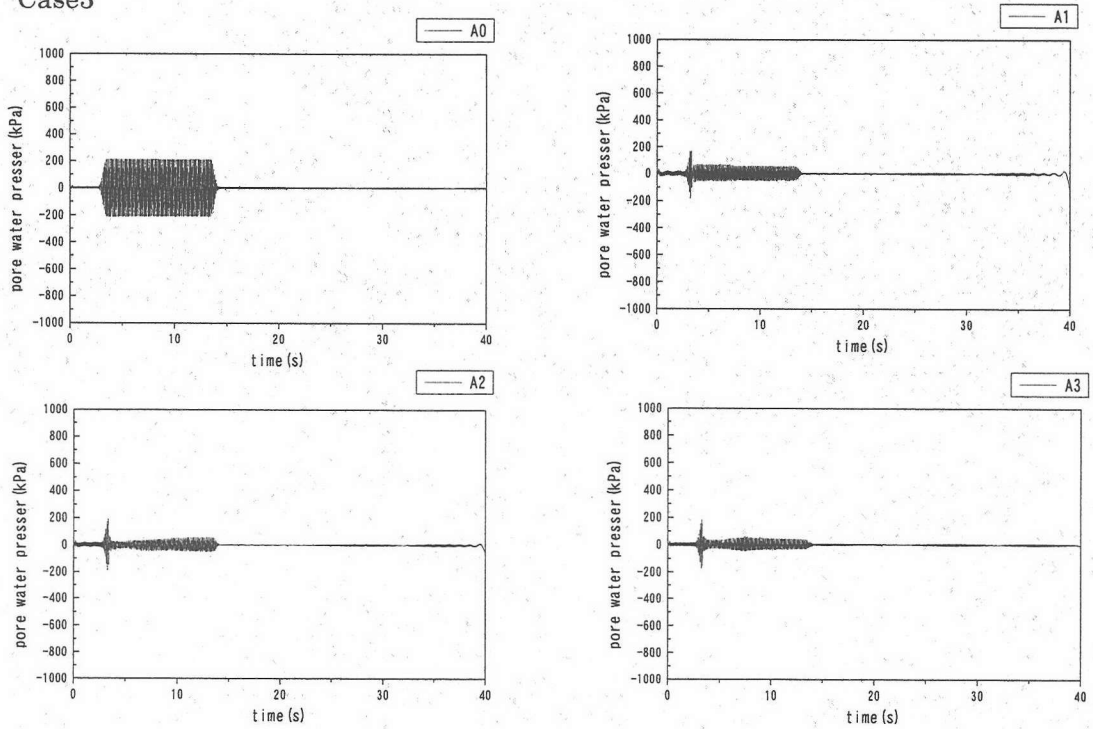


図-10 Case3 加速度計測結果 (矽砂)

間隙水圧計の計測結果によれば、Case2 の豊浦砂の場合には、振動終了後、すぐに過剰間隙水圧は消散するが、Case3 の混合砂の場合には、細粒分を含んでおり透水性が低いため、残留水圧が残る結果となった。前述した残留沈下量は、この過剰間隙水圧が消散するまで継続するものと思われる。沈下計測値のかなりが、圧密沈下に帰せられるものである。

#### (5) 地中変位と地表変位

Case2 (豊浦砂) の場合には、変形は外側に押し出される動きであったのに対して、Case3 (混合砂) の場合には、上部で引き込まれる動きを示している。したがって、混合砂の場合には、盛土荷重は下方向に大きく伝播し、豊浦砂の場合には、横方向に分散した可能性がある。また、加振前後の地盤高の計測結果からは、豊浦砂と混合砂の大きな相違は見られない。

#### (6) デジタル顕微鏡

今回、試行的に地盤流動の状況をデジタル顕微鏡で撮影してみた。

本実験で使用した土槽は、側壁の亚克力板が厚く、倍率を最小 (25 倍) にした場合でも多少焦点があわず、また、今回のために作製した土槽でないため、側壁の傷が多く、良好な画像が録画できなかった。特に、混合砂の場合には、細粒分の粒子が小さく、

現在の仕様のままだと、地盤の流動状態を確認するのは困難と考えられる。

#### 4. 今後の課題とまとめ

本実験の混合砂では、実地盤に即した地盤を作製するため、均質性をあえて求めずに地盤を作製した。しかし、過剰間隙水圧の消散過程や残留沈下、地中変位計の計測結果から豊浦砂と混合砂の間で明確な違いが確認された。したがって、細粒分を変化させた場合や、砂の種類を変えた場合等で多くの実験を行い、理想的な均質模型地盤と実際の地盤との違いについてデータを蓄積することが先決と考えられる。

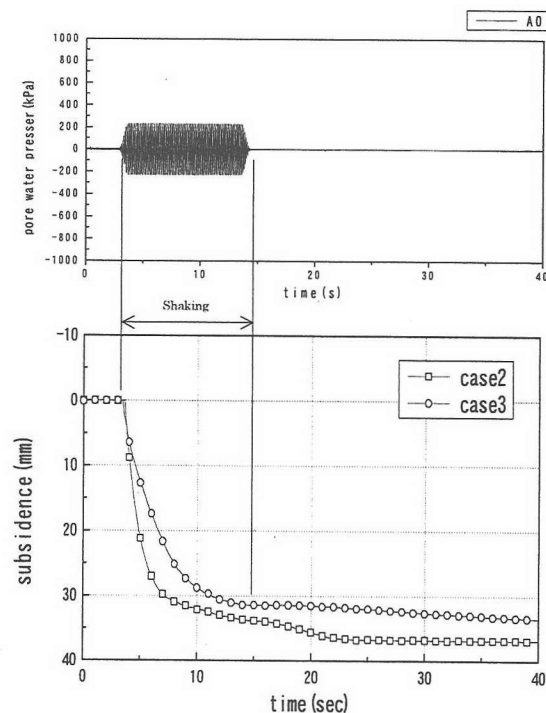


図-11 沈下量計測結果

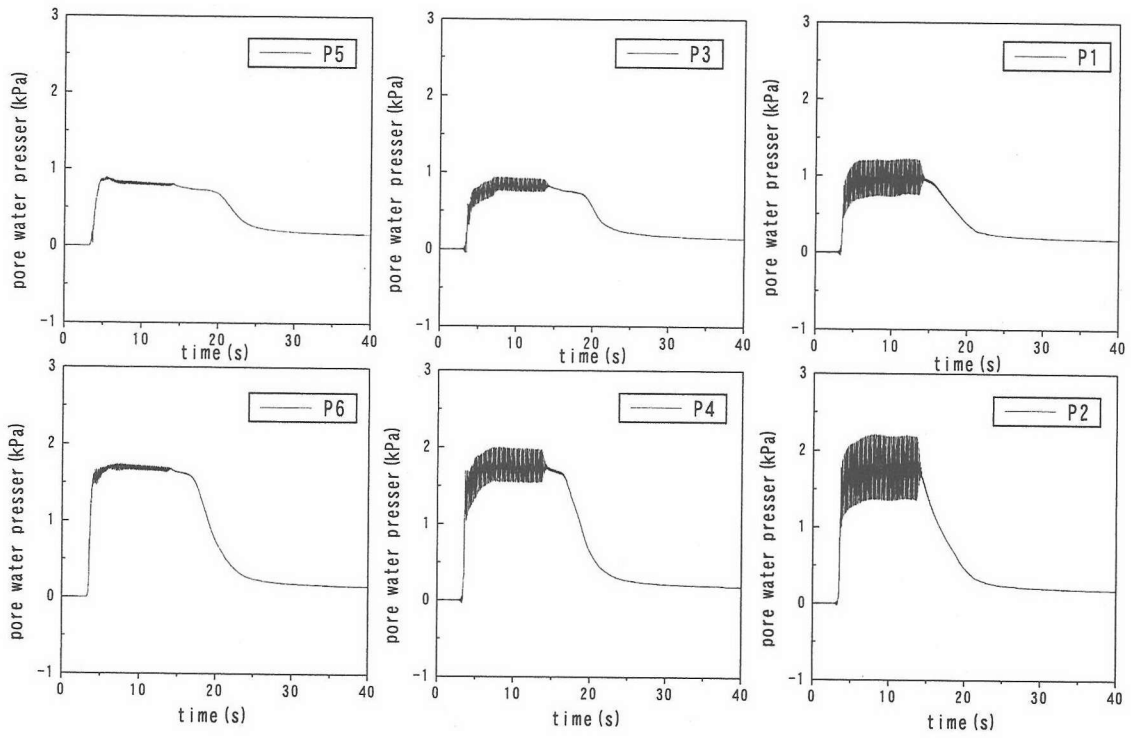


圖-12 Case2 過剩間隙水圧計測結果

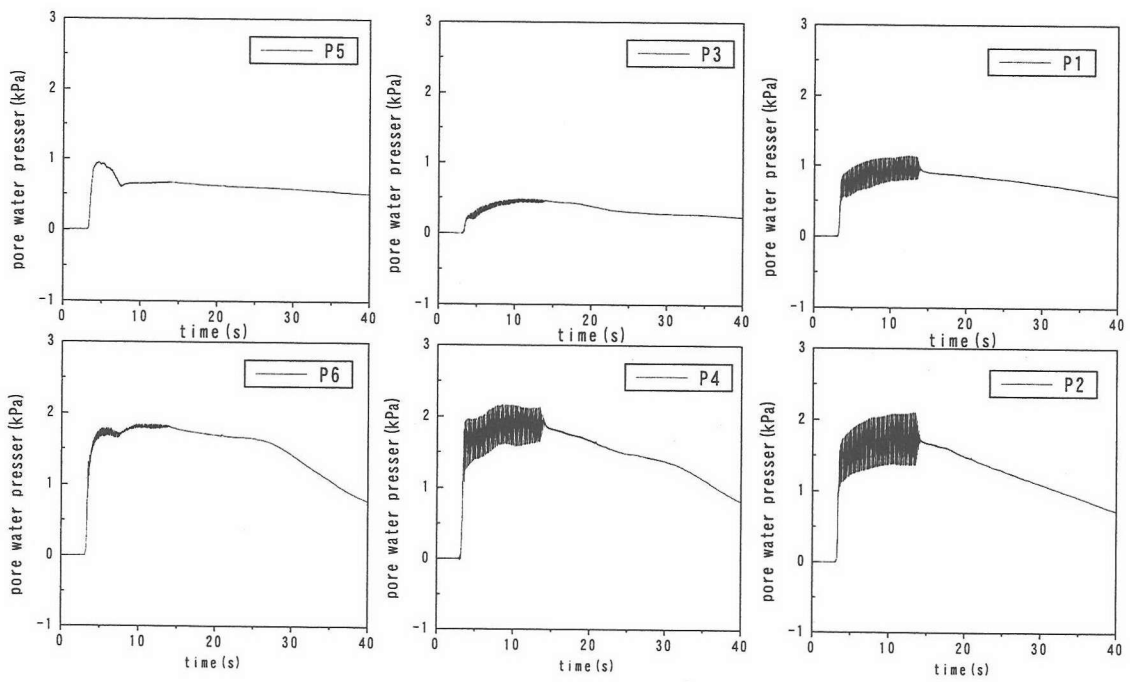


圖-13 Case 3 過剩間隙水圧計測結果

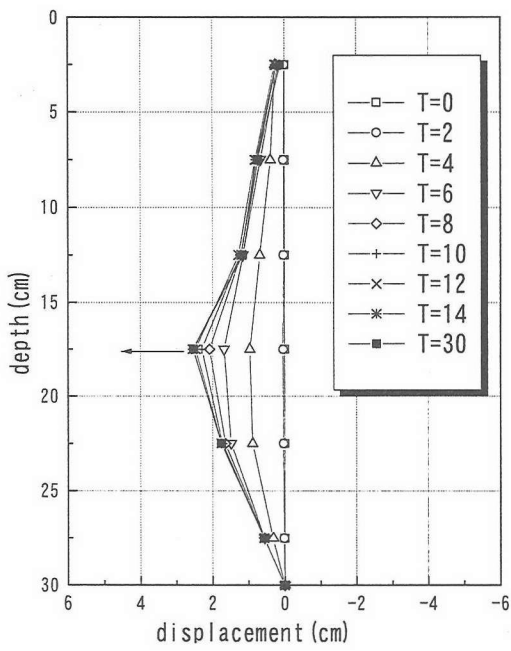


図-14 Case2 地中変位計測結果

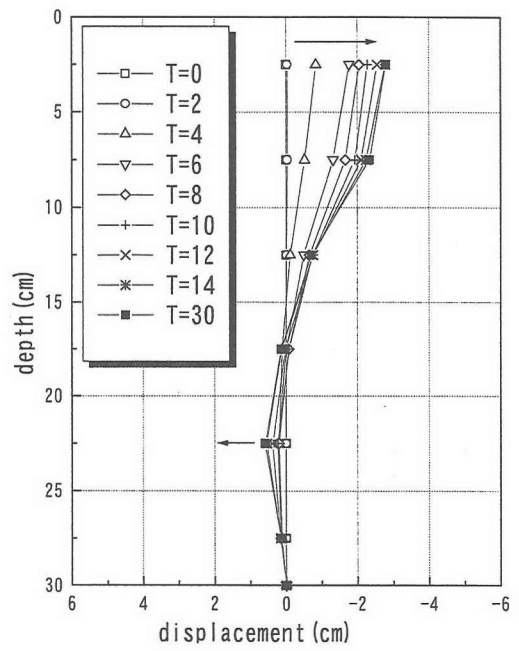


図-15 Case3 地中変位計測結果

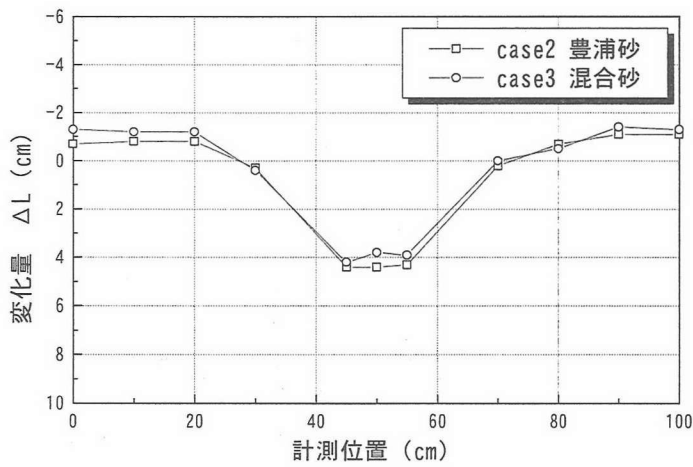


図-16 地盤高計測結果

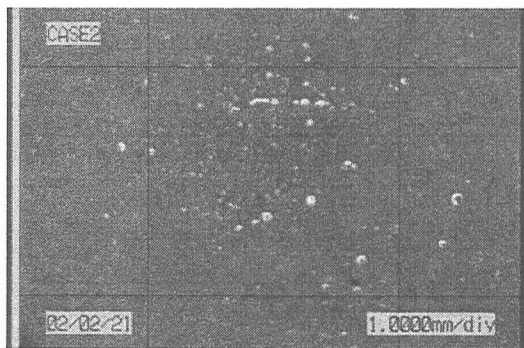


図-17 Case2 デジタル顕微鏡撮影状況  
(豊浦砂)

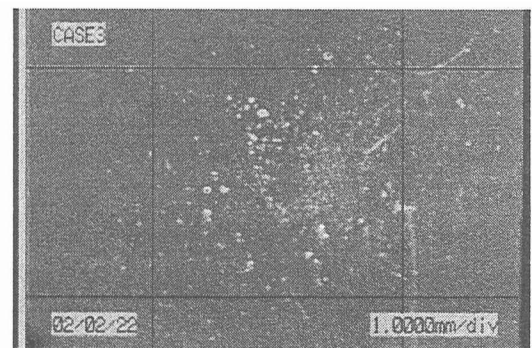


図-18 Case3 デジタル顕微鏡撮影状況  
(硅砂)