

SCP 改良地盤模型の作製とその地震時挙動に関する検討

東北大学 ○岡 有己, 河井 正  
(株)大林組技術研究所 樋口 俊一

1. はじめに

サンドコンパクションパイル工法はその実績と経済性から地盤改良方法として数多くの現場で採用されており、その改良効果についての実験的検討も多く行われているが多くの模型実験では砂杭を打設する際に模型地盤中の砂を砂杭と置換する方法がとられている。本研究では、振動させながら貫入したパイプを引き抜いた後に砂杭を打設する。この方法によって実際の改良地盤に近い状態の地盤を作製し、遠心力場において地震時の挙動を検証した。

2. SCP 改良地盤模型の作製

(1) 実験方法：せん断土槽内に、支持基盤と改良対象地盤の地盤模型を作製し、その地盤に対して拘束圧をかけながら砂杭を打設した。また、1G 場において適宜コーン貫入試験を行い、地盤の改良の程度を測定した。さらに後述の遠心力場での加振後、地盤の密度計測のためのサンプリングを行った。

(2) 実験条件：土槽の中央を鋼板で仕切り、奥行方向に異なる改良率(12. 6%, 19. 6%)の 2 種類の改良地盤を作製して、同時に加振実験を行うものとした。支持基盤の厚さは土槽底面より 200mm, 改良対象地盤の厚さは 300mm である。改良対象地盤、砂杭の材料として珪砂 7 号を用いた。支持基盤には珪砂 7 号とセメントの混合土を用いた。改良対象地盤の相対密度は約 60%であり砂杭は約 90%である。地表面と地下水面は一致する。砂杭の打設は 30kPa の拘束圧を与えた状態で行う。図-1 に土層、砂杭・センサーの配置を示す。表 1 には珪砂 7 号の物性を示す。

図 - 1 土層の条件

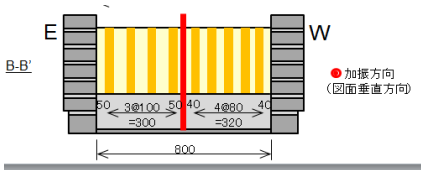
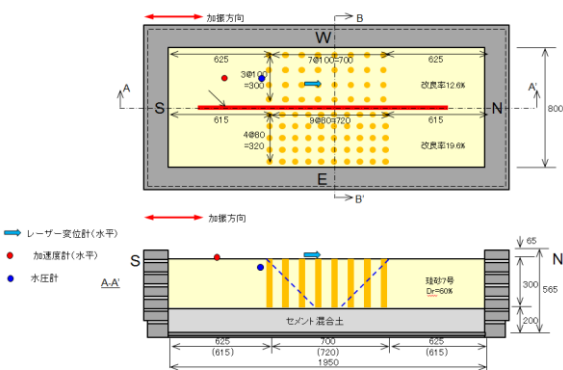


図 - 1 地盤模型およびセンサー配置

表 - 1 珪砂 7 号の物性

|                           | 珪砂7号 |
|---------------------------|------|
| 土粒子密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 2.65 |
| 最小密度(g/cm <sup>3</sup> )  | 1.19 |
| 最大密度(g/cm <sup>3</sup> )  | 1.55 |
| 最小間隙比                     | 0.71 |
| 最大間隙比                     | 1.23 |

(3) 砂杭の打設方法：本実験においては先行して地盤に孔をあけ、凍った砂杭を打設する方法により地盤を改良した。振動を与えつつパイプを貫入し、地盤を局部的に液状化させながら削孔し、パイプを引き抜いた後、凍った砂杭を打設した。その際、振動を与えることのできるハンマードリルに別途作製した砂杭と同じサイズのパイプ状の器具を装着して用いた。

(4) 地盤改良の結果：砂杭の打設を始める前、全砂杭の打設の終了後にそれぞれコーン貫入試験を行った。また、後述の遠心力場実験の後に地盤の密度を確認するためサンプリングを行った。コーン貫入を行った場所を以下の図-2 に、結果を表-2、表-3 に示す。サンプリングを行った場所を図-3 に、その結果を表-4 に示す。

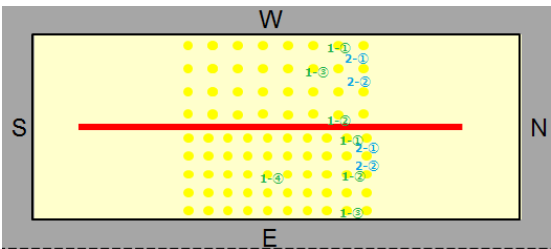


図 - 2 コーン貫入試験位置

表 - 2 コーン貫入試験結果(打設開始前)(N)

| 深さ (cm) | W1-① | W1-② | W1-③ | E1-① | E1-② | E1-③ | E1-④ |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0       | 365  |      |      |      |      |      | 30   |
| 5       | 365  | 300  | 123  | 100  | 118  |      | 40   |
| 10      | 563  | 320  | 271  | 120  | 215  | 147  | 117  |
| 15      | 600  | 345  | 318  | 160  | 250  | 210  | 189  |
| 20      | 692  | 298  | 322  | 233  | 247  | 526  | 226  |
| 25      | 802  | 320  | 294  | 303  | 365  | 639  | 230  |
| 30      | 820  | 350  | 321  | 367  | 350  | 688  | 284  |

表 - 3 コーン貫入試験結果(打設終了後)(N)

| 深さ<br>(cm) | W2-① | W2-②     | E2-①     | E2-②     |
|------------|------|----------|----------|----------|
| 0          | 152  | 148      | 114      | 114      |
| 5          | 615  | 628      | 210      | 468      |
| 10         |      | 648(5.5) | 507(7.0) | 591(8.0) |

括弧内の数字は貫入することができた地表面からの深さ(cm)

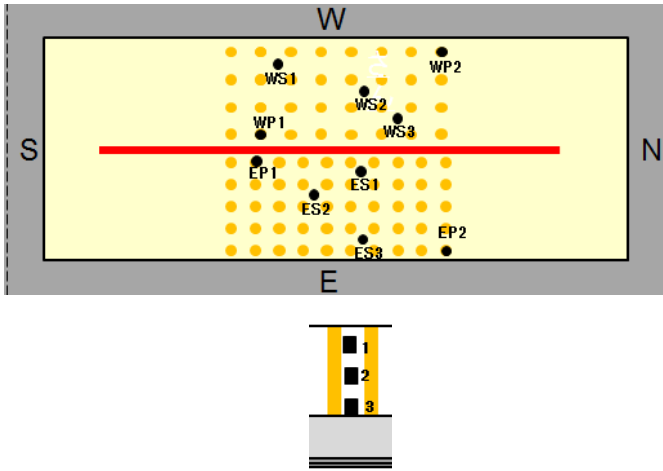


図 - 3 サンプル位置

表 - 4 サンプルの密度測定結果

| 採取場所 | 密度(g/cm <sup>3</sup> ) | Dr(%) | 採取場所 | 密度(g/cm <sup>3</sup> ) | Dr(%) |
|------|------------------------|-------|------|------------------------|-------|
| WS11 | 1.5422                 | 98.0  | ES11 | 1.4658                 | 80.7  |
| WS12 | 1.4754                 | 83.0  | ES12 | 1.5008                 | 88.9  |
| WS13 | 1.5215                 | 93.5  | ES13 | 1.4976                 | 88.2  |
| WS21 | 1.4817                 | 84.5  | ES31 | 1.4563                 | 78.5  |
| WS22 | 1.5374                 | 97.0  | ES22 | 1.5024                 | 89.3  |
| WS23 | 1.5008                 | 88.9  | ES23 | 1.4849                 | 85.2  |
| WS31 | 1.5470                 | 99.1  | ES31 | 1.4945                 | 87.4  |
| WS32 | 1.4881                 | 86.0  | ES32 | 1.5231                 | 93.9  |
| WS33 | 1.4961                 | 87.8  | ES33 | 1.4738                 | 82.6  |
| WP11 | 1.4579                 | 78.8  | EP11 | 1.4849                 | 85.2  |
| WP12 | 1.5024                 | 89.3  | EP12 | 1.4738                 | 82.6  |
| WP13 | 1.5072                 | 90.3  | EP13 | 1.4690                 | 81.5  |
| WP21 | 1.4594                 | 79.2  | EP21 | 1.4992                 | 88.5  |
| WP22 | 1.4594                 | 79.2  | EP22 | 1.4531                 | 77.7  |
| WP23 | 1.4594                 | 79.2  | EP23 | 1.4754                 | 83.0  |

### 3. 遠心力場実験

(1) 実験方法: 砂杭の打設がすべて終了した後、遠心加速度 25G 場で、図-4 に示す地震波形を用いて 2 回加振した。振動中の地盤内での水圧・変位・加速度のデータを計測した。

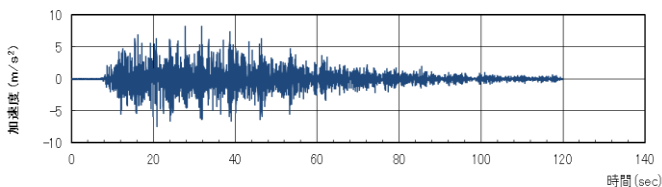


図 - 4 入力地震波形

(2) 実験結果: 図-1 中に示す各種センサーで記録した加振中の加速度、変位、水圧の時刻歴を図-5 から図-7 に示す。加速度は入力値の最大値(8.2m/s<sup>2</sup>)に対して地表面は小さな応答を示した(1回目: 5.2m/s<sup>2</sup>, 2回目: 5.1m/s<sup>2</sup>)。地表面の最大相対変位を改良対象地盤厚さで除した最大せん断ひずみは1回目、2回目ともに1.2%で

あった。さらに、それぞれの時刻歴波形は全時刻を通して概ね同様であり、1回目と2回目の加振における地盤の応答はほぼ同等であった。

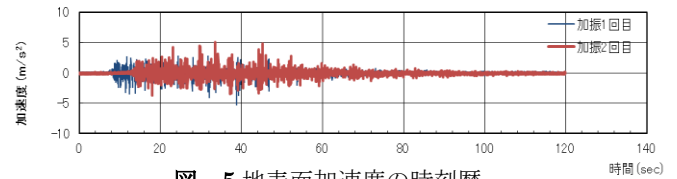


図 - 5 地表面加速度の時刻歴

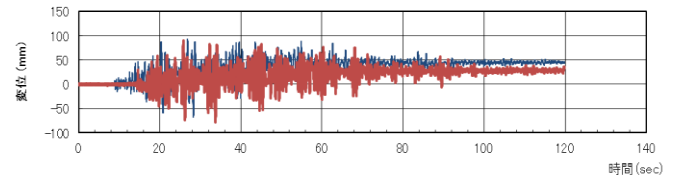


図 - 6 地表面変位の時刻歴

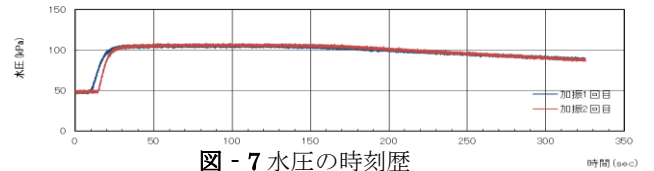


図 - 7 水圧の時刻歴

### 3. 結果と考察

(1) 改良地盤作製時のコーン貫入試験の結果を確認すると、砂杭の打設前に比べ打設後は地表面からの貫入可能深さが小さくなり、さらに、同一深度でのコーン貫入抵抗値も増大している。また、サンプリングの結果から、砂杭間の相対密度が増大している。したがって、砂杭間の地盤も含め、本研究で実施した SCP 改良地盤作製方法により、地盤密度を増大させることが可能であることを確認した。過剰間隙水圧は概ね液状化に達したものの、消散後に実施した 2 回目の加振実験においても、模型地盤中の加速度・変位・水圧は 1 回目とほぼ同等な応答であった。したがって、今回の実験データにより、一例ではあるが、継続時間の長い地震が発生した後の余震に対して、SCP 改良地盤は設計時と同等の効果が期待できることが示された。

(2) 遠心力場模型実験では、主要動が 100 秒以上継続する波形を用いて、同じ加振を 2 回実施したところ、水圧は頭打ちの傾向を示し概ね液状化に達したものの、消散後に実施した 2 回目の加振実験においても、模型地盤中の加速度・変位・水圧は 1 回目とほぼ同等な応答であった。したがって、今回の実験データにより、一例ではあるが、継続時間の長い地震が発生した後の余震に対して、SCP 改良地盤は設計時と同等の効果が期待できることが示された。