

杭式深層混合処理工法における新たな杭配置方法

New Arrangement of Column by Deep Mixing Method

高橋 直樹 NAOKI TAKAHASHI

山本 陽一 YOICHI YAMAMOTO

黒川 幸彦 YUKIHIKO KUROKAWA

土木技術部 黒島 一郎 ICHIRO KUROSHIMA

深層混合処理工法の杭式改良における新たな改良杭配置方法を考案した。この改良杭配置方法は、どの方向から見ても改良杭が地盤中に存在する配置であり、連続する未改良領域が千鳥配置と比較して少ないことから、地盤のせん断変形に対して改良杭が効果的に抵抗し、側方流動などの変位低減効果が高まると考えられる。

矢板護岸をモデル化した模型振動台実験を実施した結果、液状化に伴う矢板護岸模型の水平変位量の比較から、提案した新たな改良杭の配置方法は、既往の改良杭配置方法である千鳥配置よりも変位低減効果が高いことが確認された。

キーワード：液状化，側方流動，振動台実験，深層混合処理工法

New arrangement of soil cement column by deep mixing method is proposed. In order to estimate the effect of deep mixing method of soil stabilization against liquefaction, model shaking table tests were conducted varying the arrangement of the columns. Two types of the arrangement were considered where the one is the conventional method with checkered arrangement, and the other is the newly proposed one with random arrangement. As a result of shaking table tests on sheet pile quay model, it was found that the proposed arrangement was more effective than the checkered arrangement in decreasing the ground lateral flow by liquefaction by decreasing the lateral displacement of the quay wall.

Key Words: Liquefaction, Lateral Flow, Shaking Table Test, Deep Mixing Method of Soil Stabilization

1. はじめに

深層混合処理工法の改良形式としては、全面改良のほか、図-1 に示すように格子式改良，壁式改良，杭式改良がある。このうち、液状化対策としては全面改良あるいは格子式改良を適用しているのが一般的である。格子式改良は格子状に囲まれた改良体の内部に未改良部分を有するが、改良体が地震時のせん断変形を抑制することによって液状化を防止すると言われて¹⁾いる。また、兵庫県南部地震（1995）を経験した格子状改良地盤が周辺の液状化による壊滅的な被害に対して健全であったことが確認されている²⁾。

これに対し、杭式改良は他の改良形式に比べて液状化対策効果は低いと考えられてきた³⁾。しかしながら、最近の振動台実験による研究によると、改良体を杭式に配置した場合でも地震時のせん断ひずみが小さくなり、せん断変形が抑制されて液状化対策効果があると考えられた

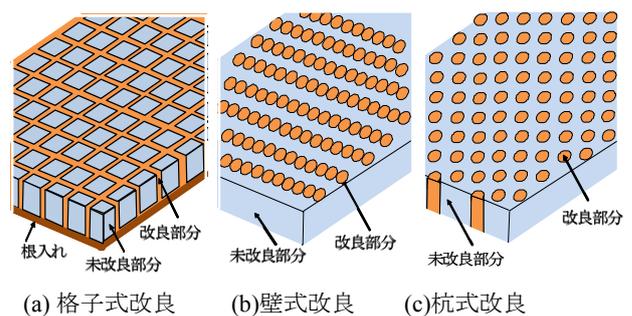


図-1 改良形式

事例が報告^{4),5)}されている。また、先に著者らが実施した解析的に検討した結果⁶⁾からは、格子式改良のほうが小さい改良率の段階から改良効果を示すものの、杭式改良についても改良率がおおむね 35%以上であれば格子式改良と同様に過剰間隙水圧の上昇が抑えられて液状化を抑制することが示された。そこで、著者らは杭式改良に着目し、一度に通常の深層混合処理改良杭 4 本分に相

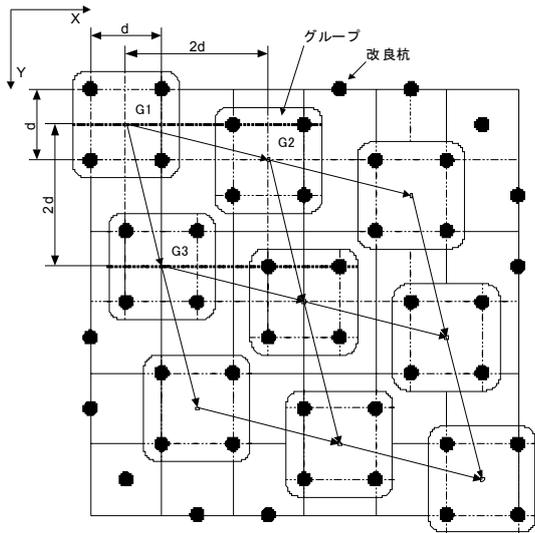


図-2 イレギュラー配置方法

当する改良体が施工可能である CDM-Land4 工法⁷⁾の液状化対策効果について、振動台実験の結果から検証を行った⁸⁾。また、改良杭配置方法を工夫し、液状化に伴う地盤の側方流動に対して既往の配置方法よりも効果的な改良杭配置方法（以下、イレギュラー配置⁹⁾という）を考案した。

本報は、イレギュラー配置について述べるとともに、矢板護岸をモデル化した模型振動台実験における護岸の水平変位の結果からその液状化対策効果を検証するものである。

2. 新たな改良杭の配置方法

イレギュラー配置の概要を図-2 に示す。本配置方法では、黒丸で示す間隔 d で正方形に配置された改良杭 4 本を一つのグループとする。図中 G1 で示すグループに隣接するグループ G2 および G3 では、G1 の中心座標を G1 (0,0) とした場合、それぞれの中心座標が G2 ($2d, d/2$) および G3 ($d/2, 2d$) となるように改良杭を配置する。千鳥配置などでは一定の方向に未改良領域が連続するのに対し、イレギュラー配置ではどの方向から見ても改良杭が地盤中に存在する形になる。また、連続する未改良領域が千鳥配置と比較して少ないことから、地盤のせん断変形に対して改良杭が効果的に抵抗し、液状化対策効果が高まるものと期待される。なお、ここではグループにおける改良体の配置を 2×2 の正方形配置として説明したが、例えば 3×3 や 3×2 の長方形配置の場合にもイレギュラー配置は適用可能である。

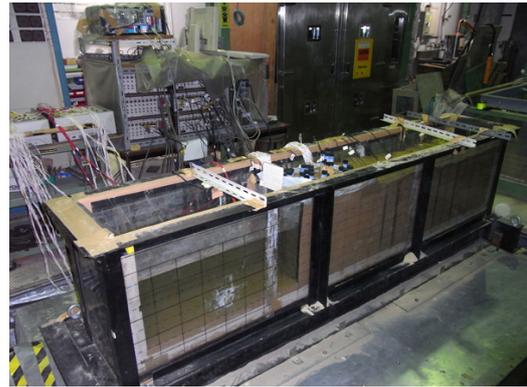


写真-1 固定土槽

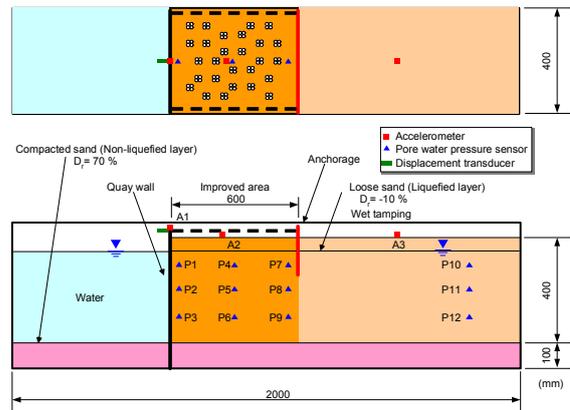


図-3 実験モデル

3. 模型振動台実験概要

矢板護岸モデルを対象として実施した模型振動台実験は、写真-1 に示す幅 2,000mm × 奥行き 400mm × 高さ 700mm の固定土槽を用いて重力場で行った。図-3 に、後述する実験ケース (CASE2) における実験モデルの概要を示す。模型地盤は、100mm の非液状化層とその上の 400mm の液状化層の 2 層構造とした。非液状化層は、相対密度が 70% となるよう乾燥状態の豊浦砂を空中落下させた後、突き固めて作成した。液状化層は含水比 5% の湿潤状態の豊浦砂を用いてウェットタンピング法で作成し、初期相対密度-10%とした。

改良体は先述した CDM-Land4 工法⁸⁾を対象とし、その模型には、外径 27mm、厚さ 1.5mm、長さ 600mm のテフロン管を 4 本束ね、ナイロン製の結束バンドで上下を固定したものを用いた。テフロン管の上端および下端には、それぞれ厚さ 5mm のプラスチックボードを配し、テフロン管を相互に固定した。写真-2 にテフロン管を配置した状況を示す。なお、テフロン管 1 本の直径（外径 27mm）をプロトタイプの改良体に換算した場合、杭径は約 500mm となる。今回はこれを 4 本束ねているため

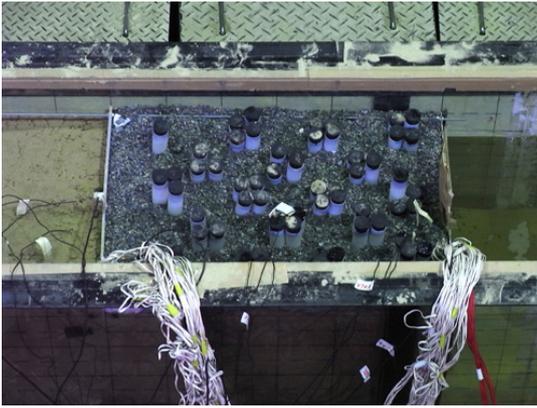


写真-2 改良体模型の配置状況

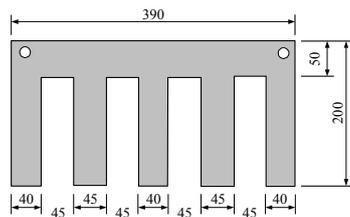


図-4 アンカーモデル

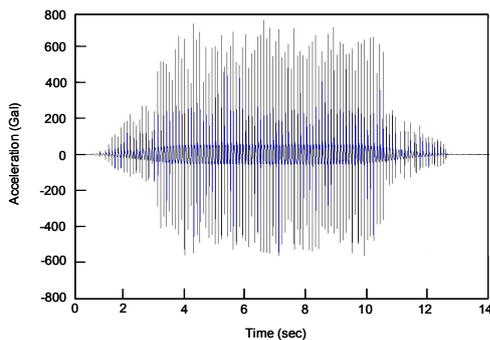


図-5 入力波の時刻歴

表-1 実験ケース

項目	CASE1	CASE2	CASE3
改良形式	無対策	千鳥	イレギュラー
改良率(%)	0	25	25
入力加速度(Gal)	200および500		

一辺約1,000mmの改良体を想定していることになる。

矢板護岸模型には厚さ26mm、高さ510mmのアルミ板を用い、この上端と図-4に示すプラスチックボード製のアンカーを直径5mmの鉄製ロッドで結合した。なお、矢板護岸模型の下端は土槽底部の溝にはめ込んでいるだけで固定していない。

実験模型には地盤中に加速度計および間隙水圧計を、固定土槽に加速度計を、矢板護岸模型には加速度計と上部の水平変位を計るレーザー変位計をそれぞれ設置して計測を行った(図-3)。

入力波は図-5に示す10Hzの正弦波であり、最大加速

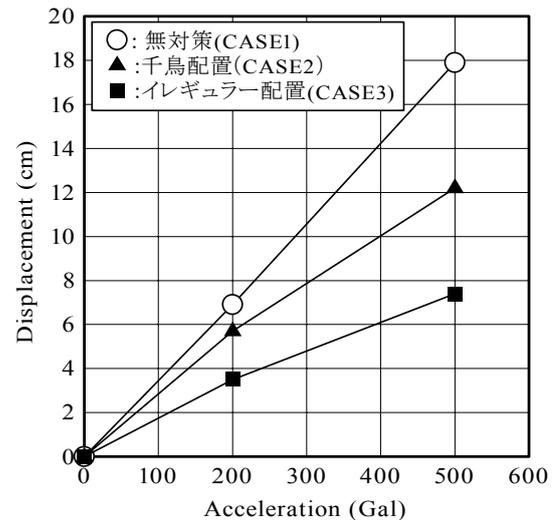


図-6 矢板護岸の水平変位と入力加速度の関係

度は200Galおよび500Gal、最大加速度での加振時間は5秒間とした。

実験ケースは、表-1に示すように無対策(CASE1)、千鳥配置(CASE2:改良率25%)およびイレギュラー配置(CASE3:改良率25%)の3ケースである。

4. 実験結果および考察

(1) 矢板護岸模型の水平変位

矢板護岸模型上端部の水平変位と入力加速度の関係を図-6に示す。図は、200Galおよび500Gal加振終了後の累積変位量を示している。

200Gal加振後の結果について、無対策(CASE1)では矢板護岸の水平変位が6.9cm生じているのに対して千鳥配置(CASE2)のそれは5.7cmとなっており、千鳥配置でも若干の変位低減効果が認められる。これに対して、イレギュラー配置の水平変位は3.5cmであり、無対策の50%程度の値に低減されている。

500Gal加振後の結果について、矢板護岸模型の水平変位は、千鳥配置が12.2cm、イレギュラー配置が7.4cmとなっており、変位低減効果は千鳥配置よりもイレギュラー配置のほうが高いことが明らかである。このイレギュラー配置の変位低減効果は、連続する未改良領域が少なく、未改良地盤のせん断変形に対して改良杭が効果的に抵抗していることに起因するものと考えられる。

(2) 過剰間隙水圧比

図-7は、加振中における過剰間隙水圧比の最大値と入力加速度の関係を示したものであり、図-3中のP6での結果を示している。

200Gal加振の結果について、無対策および千鳥配置に

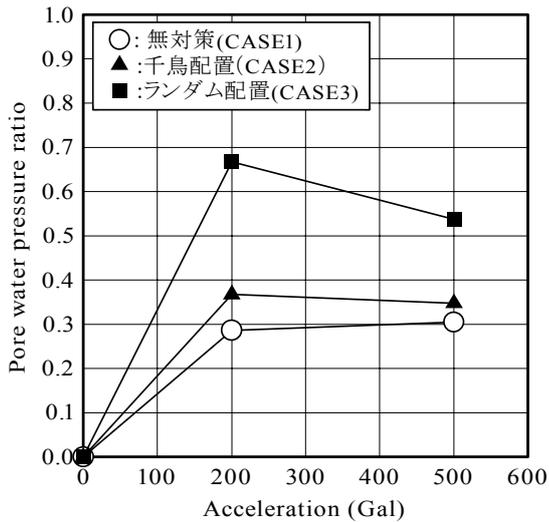


図-7 過剰間隙水圧比の最大値と入力加速度の関係

における過剰間隙水圧比が 0.3~0.4 程度であるのに対し、イレギュラー配置におけるそれは 0.67 と大きな値となっているのが特徴である。500Gal 加振においてもこの傾向は同様であり、イレギュラー配置における過剰間隙水圧比が 0.55 であるのに対し、無対策および千鳥配置のそれは 0.3~0.35 と相対的に小さな値となっている。

図-6 に示した矢板護岸の変位の結果と本結果を照らし合わせると、過剰間隙水圧比は矢板護岸の変位量に応じて変化することが分かる。すなわち、改良領域における過剰間隙水圧比は、矢板護岸の変位量が小さい場合に大きな値となり、矢板護岸の変位量が大きい場合に小さな値となる。これは、矢板護岸の変位に伴う側方拘束圧の低下と地盤流動に伴う砂のダイレイタンスより、間隙水圧の発生量が減少することに起因するものと考えられる。このことは、同様の振動台実験¹⁰⁾においても報告されている。

5. おわりに

杭式改良における新たな改良杭配置方法としてイレギュラー配置を考案し、矢板護岸をモデル化した模型振動台実験の結果からその液状化対策効果について検討した。以下に、本研究で得られた知見をまとめる。

- ① 液状化に伴う矢板護岸模型の水平変位量の比較から、イレギュラー配置は千鳥配置よりも変位低減効果が高いことが確認された。
- ② イレギュラー配置の変位低減効果は、連続する未改良領域が少なく、未改良地盤のせん断変形に対して改良杭が効果的に抵抗していることに起因するも

のと考えられた。

- ③ 改良領域における過剰間隙水圧比は、矢板護岸の変位量が小さい場合に大きな値となり、矢板護岸の変位量が大きい場合に小さな値となった。

今後は、入力地震動や地盤密度の違いがイレギュラー配置の液状化対策効果に与える影響についても検討する予定である。

謝辞：本研究は、東京大学との共同研究として実施したものです。ご指導いただいた東京大学東畑教授、山田助教、実験を担当していただいた Amin Bahmanpour 氏（博士課程）に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 例えば、鈴木義雄，時任和哉，鈴木吉夫，馬場崎亮一：固化工法による耐液状化基礎地盤改良工法の適用事例，基礎工，Vol.17, No.9, pp.87-95, 1989
- 2) 鈴木吉夫，斉藤聡，木村玄，木林長仁，細見尚史：格子状地盤改良による液状化対策を施した建築基礎の調査報告，基礎工，Vol.23, No.10, pp.54-58, 1995
- 3) 古賀泰之，谷口栄一，中角功，栗波啓治：深層混合処理工法による砂地盤の液状化対策に関する模型振動実験，土木学会第 41 回年次学術講演概要集（第Ⅲ部門），pp.201-202, 1986
- 4) 安田進，村澤譲，小西武，田中智宏，内山純一：杭式に配置した改良体の液状化抑制効果，第 38 回地盤工学研究発表会講演集，pp.1881-1882, 2003
- 5) 田中智宏，安田進，村澤譲，小西武，内山純一：杭式深層混合処理工法による液状化対策効果，土木学会地震工学論文集，Vol.27, No.210, 2003
- 6) 山本陽一，高橋直樹，黒川幸彦：杭式深層混合処理工法の液状化対策効果に関する解析検討，三井住友建設技術研究所報告，No.4, pp.45-53, 2006
- 7) CDM 研究会：CDM-Land4 工法技術マニュアル，2002
- 8) 高橋直樹，Amin Bahmanpour，東畑郁生，山田卓，山本陽一：杭式深層混合処理工法の液状化対策効果に関する振動台実験，土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集（第Ⅰ部門），pp.1175-1176, 2009
- 9) Amin Bahmanpour：Experimental study on the effect of Underground columns on liquefaction mitigation, 東京大学博士学位論文, 2010
- 10) 水谷崇亮，東畑郁生，穴井啓二，中村滋：鋼矢板式護岸の背後地盤液状化に関する模型実験，第 10 回地震工学シンポジウム論文集，pp.1377-1382, 1998