

◆ 土質及び基礎特集 ◆

表層安定処理を併用したフローティング式 深層混合処理工法に関する実験的検討

大野真希* 三木博史** 恒岡伸幸*** 古本一司****

1. はじめに

道路の路線選定にあたり、軟弱地盤地帯を避けることにより得られる利点は大きいですが、開発が高度に進んでおり、軟弱地盤上に盛土せざるを得ない場合が増えている。こうした軟弱地盤の残留沈下量の低減を図るためのひとつの方法として、従来、改良率 50%以上の深層混合処理工法が用いられてきた。

近年では、従来のものより改良率の低い深層混合処理工法 (図-1 (b)) についての設計法がある程度確立しており¹⁾、新潟西バイパスなどでの適用事例 (図-2) が増えつつある。また、従来のような支持層に着底させた形式ではなく、フローティング型にした深層混合処理工法 (図-1 (c)) もタイ・バンコク郊外の高速道路などにおいて適用されている²⁾。

本研究では、コスト縮減のために、さらに改良率を小さくし、改良柱体の間隔を大きくした場合の地盤沈下抑制効果などについて検討している。

改良柱体の間隔が大きくなると、改良柱体間の未改良地盤に盛土荷重が直接作用し、圧密沈下が促進される。そこで、表層安定処理工法を併用することによって、盛土荷重を直接直下の未改良地盤に作用させることなく、表層の安定処理層および改良柱体に伝達させる。このことにより、改良柱体間の未改良地盤を軟らかいまま封じ込めることができると考えられる。この場合は、改良柱体に働く周面摩擦力により盛土荷重の一部が支えられ、さらに、改良柱体を介して元々ある程度の強度がある補強ゾーン (図-1 (d) の破線内) 下の深層部分に盛土荷重が伝達される。このようにして、地盤変形・側方流動の抑制、および地盤沈下量の減少を期待することができる。

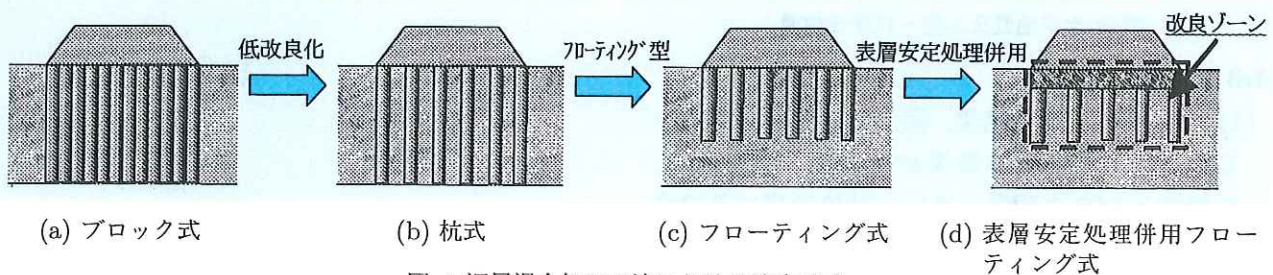


図-1 深層混合処理工法における改良形式

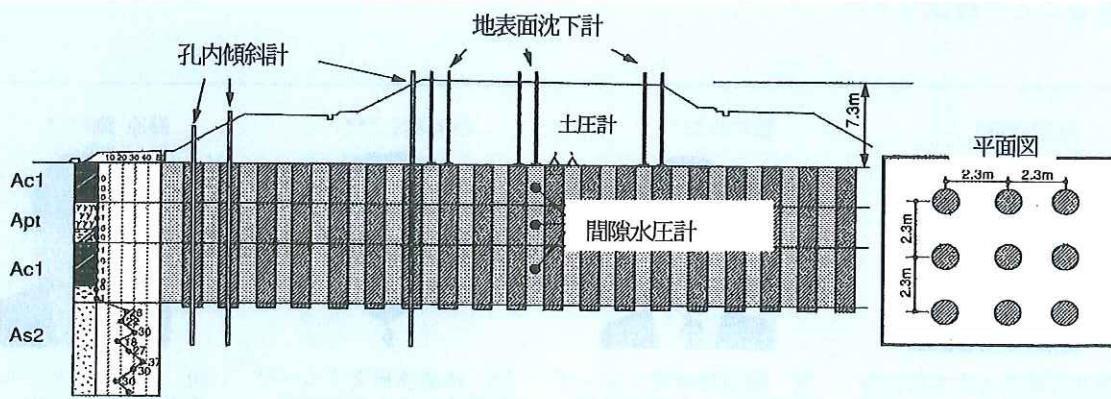


図-2 新潟西バイパスで用いられた工法

このように想定されるメカニズムにおいては、表層安定処理層の荷重伝達効果および封じ込め効果や改良柱体と地盤の摩擦力が沈下に大きな影響を及ぼすと考えられる。また、地盤内の応力伝搬に対しても、軟弱粘土層の強度・圧密特性が大きな影響を及ぼすと考えられる。したがって、対策後の地盤の沈下挙動を把握し、設計法を確立するためには、摩擦力や圧密といった地盤特性の影響を明らかにする必要がある。

本報では、表層安定処理を併用した低改良率深層混合処理工法(以下、本工法)において、地盤の沈下挙動に対する圧密特性の影響を把握するために実施した二種類の粘性土を用いた模型実験結果について報告する。

2. 大型模型実験

2.1 実験概要

2.1.1 霞ヶ浦粘土での実験方法

実験に用いた模型地盤の概要を図-3に示す(1/20スケール)。地盤材料には霞ヶ浦粘土、盛土材料には砂鉄(単位体積重量:20.0kN/m³)を用いて実験を行った。霞ヶ浦粘土の物性値は表-1に示す。

模型地盤は、霞ヶ浦粘土を含水比230%に調整して土槽に投入した後、16日間自重圧密させて作製した。圧密中の排水条件は、上下両面排水とした。

また、固化盤(表層安定処理部分)と改良柱体(深層混合処理部分)は、霞ヶ浦粘土に軟弱地盤改良用のセメントを混合したスラリー状の材料で作製した。改良柱体は、あらかじめ模型地盤に設置しておいた塩化ビニールパイプに材料を注入した後パイプを取り出す方法で打設した。固化盤は別途作製して実験直前に模型地盤に設置した。両部材とも打設後1週間の養生を行った。それぞれの目標一軸圧縮強度(7日)は300kN/m²とした。

盛土載荷方法は、5kNの荷重を5段(1kN/段)に分けて載荷した。載荷は、一段あたり10分かけて砂鉄を載せた後、20分放置した。載荷後1カ月間放置し、計測・観察を行った。

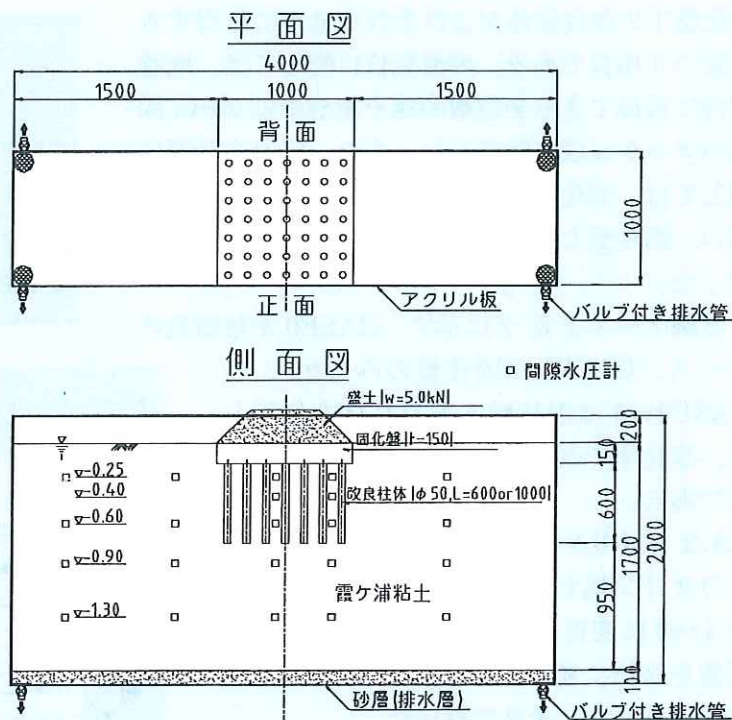


図-3 模型地盤概要図(単位:mm)

表-1 霞ヶ浦粘土の物性値

比重	G_s	2.542
自然含水比	W_n (%)	220.8
圧縮指数	C_c	1.306
液性限界	W_L (%)	193.5
塑性限界	W_p (%)	52.9
塑性指数	I_p	140.6

表-2 実験ケース一覧表

	固化盤	改良柱体		
		直径×長さ (cm)	ピッチ (cm)	改良率 A_s (%)
CASE 0	無し	—	—	—
CASE 1	あり	—	—	—
CASE 2	あり	5×60	14.0	10.0
CASE 3	あり	5×60	20.0	4.9
CASE 4	あり	5×60	9.0	24.2
CASE 5	あり	5×100	14.0	10.0

表-3 カオリン粘土の物性値

比重	G_s	2.610
自然含水比	W_n (%)	70.0
圧縮指数	C_c	0.27
液性限界	W_L (%)	49.4
塑性限界	W_p (%)	34.4
塑性指数	I_p	15.0

計測項目は、地表面沈下、地盤変位、間隙水圧、固化盤下の改良柱体および未改良地盤に作用する荷重の5項目である。地盤変位に関しては、地盤変位に追従できる変位観測線を地盤中に20cm間隔のメッシュ状に敷設した。また、応力の計測に関しては、固化盤と改良柱体の間はロードセルを用い、固化盤と未改良地盤の間は土圧計を用いて行った。

実験ケースを表-2に示す。CASE0が無改良のケース、CASE1が固化盤のみのケース、CASE2~5は固化盤と改良柱体を併用して、改良率や改良柱体長を変化させたケースである。

2.1.2 カオリン粘土での実験方法

カオリン粘土での実験方法は、スケールを1/40に変更し、単位面積あたりの盛土荷重を3倍に変えたこと以外は霞ヶ浦粘土での実験と同じ条件で行った。

表-3にカオリン粘土の物性値、表-4にカオリン粘土での実験ケースを示す。また、今回の実験に用いた粘土は、霞ヶ浦粘土(圧縮指数 $C_c = 1.306$)とカオリン粘土(圧縮指数 $C_c = 0.27$)であり、圧密特性が大きく異なる。

2.2 大型模型実験結果と考察

2.2.1 沈下量

図-4と図-5に霞ヶ浦粘土実験とカオリン粘土実験における盛土沈下量の経時変化を示す。

これらの図から、改良率を高くするに従って沈下量が減少していることがわかる。無改良のケースでは、周辺地盤が大きく隆起し、沈下中は多量の排水が見られた。また、図-4から同じ改良率でも改良柱体を長くすると、沈下量が減少することも確認された。これは、改良柱体による地盤沈下抑制効果が働き補強ゾーンがある程度一体化され、沈下の対象となる層厚が減少しているためと考えられる。

ただし、これらの沈下量は、特に改良率が低いケースにおいては、補強ゾーン下の軟弱地盤層の沈下量として想定される量を上回っており、補強ゾーンもある程度圧密をしていると考えられる。

表-4 実験ケース一覧表

	固化盤	改良柱体		
		直径×長さ (cm)	ピッチ (cm)	改良率 A_s (%)
CASE A	あり	2.5×30	7.0	10.0
CASE B	あり	2.5×30	5.0	20.0
CASE C	あり	2.5×30	4.4	30.0
CASE D	あり	幅×奥行×高さ (50×50×37.5)	—	100.0

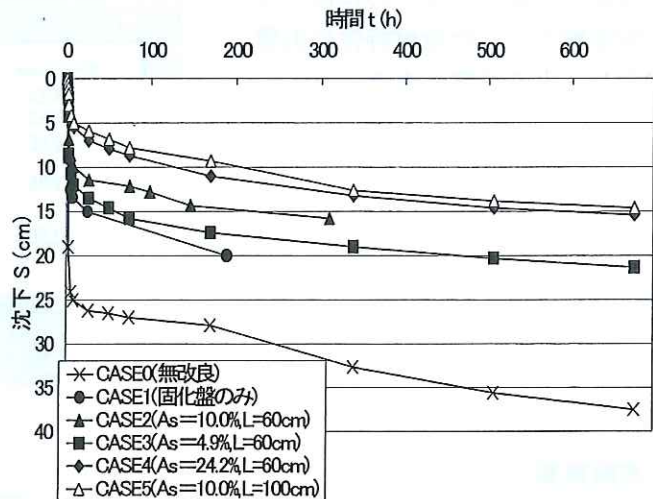


図-4 霞ヶ浦粘土実験における沈下量経時変化

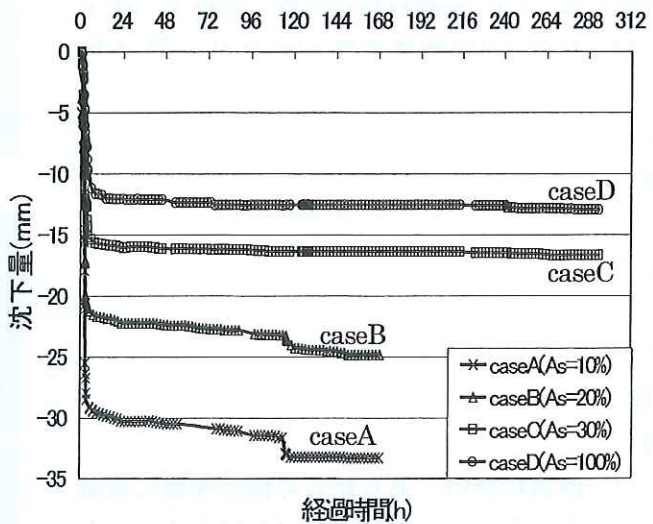


図-5 カオリン粘土実験における沈下量経時変化

以上のことから、ある改良率以上であれば補強ゾーンの一体化が保たれ、大部分の盛土荷重を比較的強度の高い深層部分に伝達して沈下量を減少させることができる。しかし、改良率が小さくなると、補強ゾーン内の未改良地盤に伝わる盛土荷重が大きくなり圧密される状況となるため、改良効果が小さくなると考えられる。

2.2.2 地盤特性と改良効果の関係

実験から得られた沈下量を、固化盤のみのケースの沈下量を1として改良率が沈下量に与える影響を示したのが図-6、図-7である。これらの図から、地盤の圧密特性が変化しても、改良率の増加に伴う沈下量減少の割合は変わらないことがわかる。

2.2.3 改良率と改良効果の関係

図-6、図-7によると10%~20%の低改良率の範囲では、沈下抑制効果は改良率に比例しているが、ある改良率を越えると100%改良したときと同等の効果が得られるもの想定できる。これは、ある改良率までは改良柱体と地盤の摩擦力および改良柱体の先端支持力により盛土荷重が支持されるため、改良柱体の本数に応じて改良効果に変化する。しかし、それ以上の改良率になるといわゆる群杭効果が発生することにより、補強ゾーンが一体化し、深層部分に応力を伝達するため、補強ゾーンの圧密はほとんどなく、補強ゾーン下の軟弱地盤のみが圧密すると考えられる。

2.2.4 応力分担比

霞ヶ浦粘土実験での応力分担比の経時変化を図-8に示す。応力分担比とは、盛土直下(固化盤底面部)での改良柱体と未改良地盤に作用する応力の比であり、大きいほど盛土荷重が改良柱体に作用し、未改良部には伝わっていないことを示す。

図-8を見ると、CASE5の応力分担比がCASE2, 3, 4の2倍以上となっている。これは、フローティング式の場合、改良率は応力分担比にあまり影響を及ぼさないが、改良柱体長を長くすることによって改良柱体の周面摩擦力および先端支持力が大きくなること等から、一本あたりに作用する荷重がより大きくなったためと考えられる。

2.2.5 間隙水圧と地盤変位

図-9に霞ヶ浦粘土での実験における載荷直後の過剰間隙水圧分布と地盤変位を示す。改良柱体長が等しいCASE 2, 3, 4の過剰間隙水圧に注目すると、CASE4では補強ゾーンの下に過剰間隙水圧のピークがあるのに対し、CASE2, CASE3と改良率が小さくなるに従って補強ゾーン内に過剰間隙水圧のピークが移動している。これは、改良率が小さくなり改良柱体の

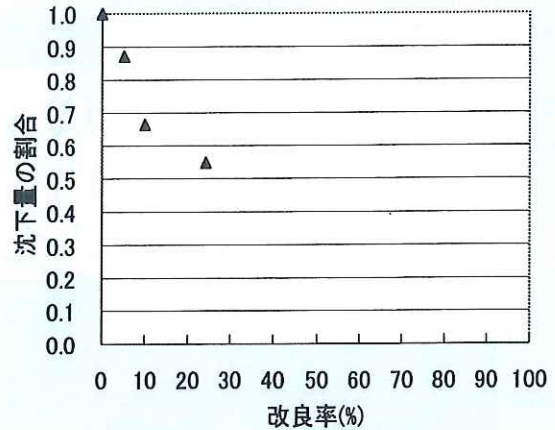


図-6 改良率と沈下割合の関係 (霞ヶ浦粘土)

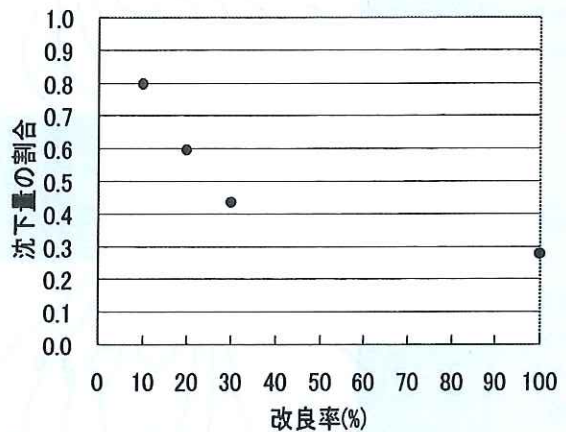


図-7 改良率と沈下割合の関係 (カオリン粘土)

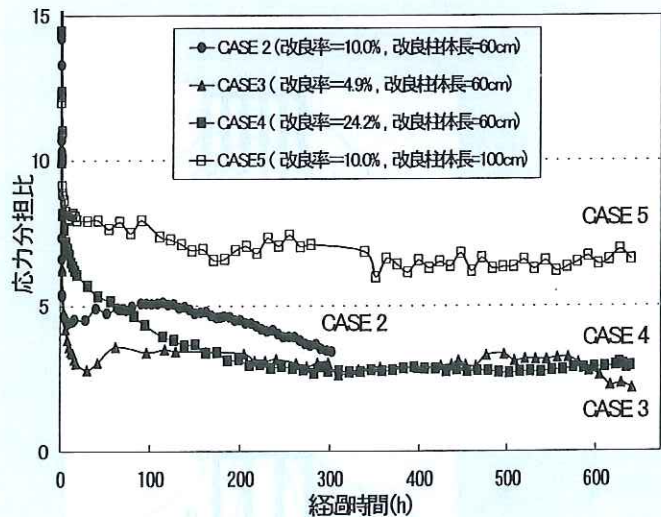


図-8 応力分担比経時変化

本数が減ることにより、改良ゾーン内の未改良地盤にも応力が伝わっていることを示していると考えられる(この結果、補強ゾーン内の地盤も圧密されている)。さらに、CASE5では改良柱体長を長くした分だけ深部でピークが発生している。

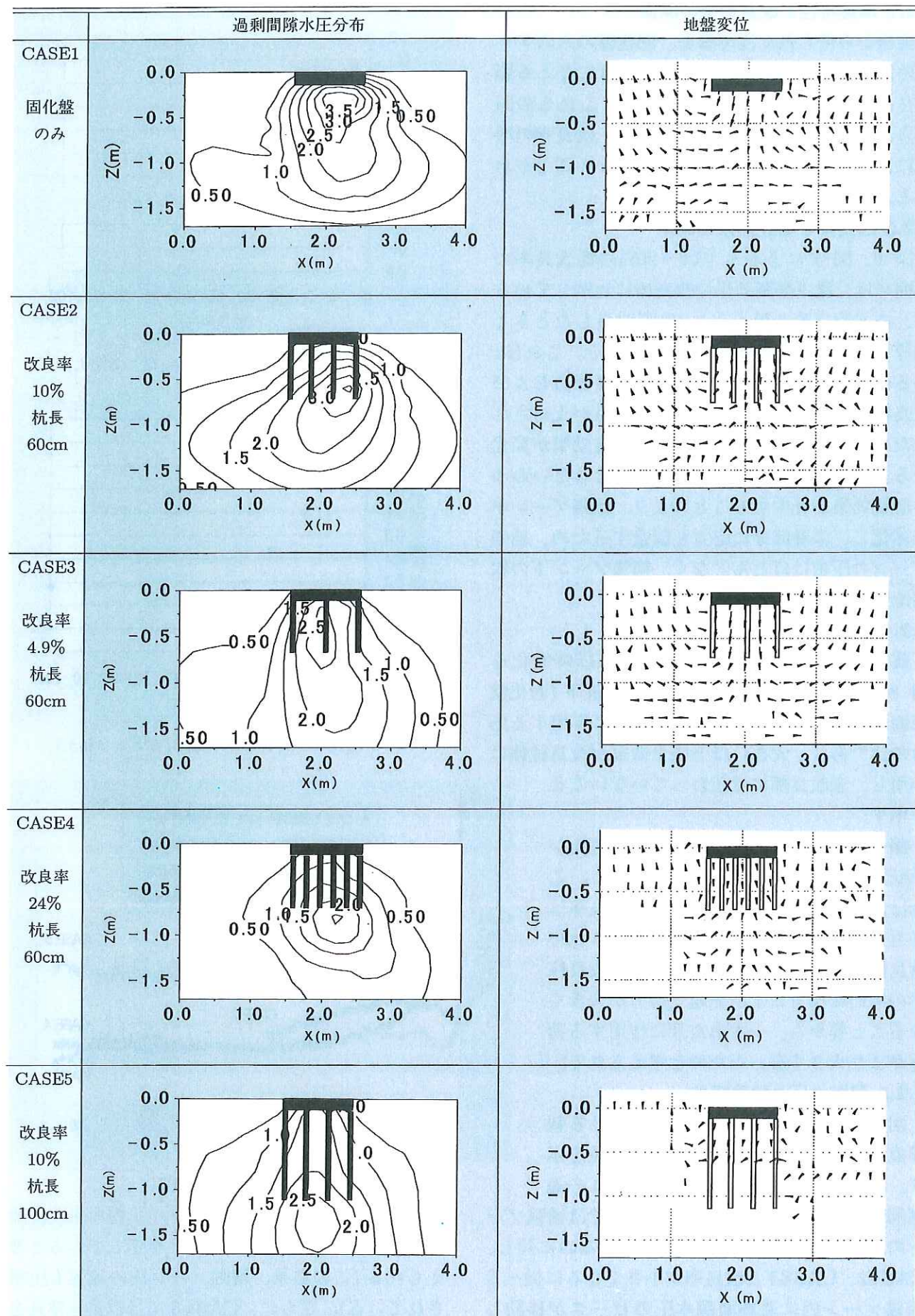


図-9 震ヶ浦粘土実験における過剰間隙水圧分布と地盤変位

これらの過剰間隙水圧の発生状況と地盤変位を比較すると、過剰間隙水圧のピークが発生した付近で地盤変位が大きくなっていることが確認できる。ただし、CASE4 や CASE5 では、強度の比較的高い深層部分に過剰間隙水圧のピークが発生しているため、地盤変位も抑制された。

3. まとめと今後の課題

3.1 まとめ

軟弱地盤対策工法の一つとして考えられる表層安定処理を併用した低改良率フローティング式深層混合処理工法について、霞ヶ浦粘土とカオリン粘土という圧密特性が異なる二種類の地盤材料を用いて大型模型実験を行った。その結果、以下に示すような知見を得た。

- (1) 改良率が大きいほど沈下量は小さくなる。
- (2) 地盤の圧密特性が変化しても、改良率の増加に伴う沈下量の減少の割合は変わらない。
- (3) 10%程度の低改良率の範囲においては、改良率と改良効果は比例するが、ある改良率以上になると100%改良した場合とほぼ同等の効果が得られる。
- (4) フローティング式の場合、改良率は応力分担比にあまり影響を及ぼさない。
- (5) 改良柱体の先端部分で過剰間隙水圧のピークが発生し、補強ゾーンにおいては過剰間隙水圧がほとんど発生しなかった。

このことから、本工法を適用した場合、盛土等の上載荷重は改良柱体を介して先端支持力が発揮されることにより、補強ゾーンより下部の比較的強度の高い地盤に伝達され、補強ゾーン内の未改良地盤は軟らかいまま封じ込められた状態に保たれる。

したがって、軟弱地盤対策として本工法を適用した場合においても、地盤変位や沈下量の低減が図られるなど、効果的な改良が期待できると考えられる。

3.2 今後の課題

- (1) 改良柱体と地盤の摩擦力および先端支持力で支持される10%程度の低改良率の範囲では、摩擦力を大きくすることが効果的である。その一つの手段として、改良柱体の径を小さくして比表面積を増やし、摩擦力を大きくする方法についても今後検討の余地があると考えられる。
- (2) 沈下量算定方法の検討にあたっては、改良部の周面摩擦等の定量的な評価手法が重要な課題になると考えられる。
- (3) 今後は、最適な改良率や改良径について検討を進めるとともに、表層安定処理を併用したフローティング式深層混合処理工法の設計法を確立していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 改訂版, pp.248-264
- 2) 三木 博史：地盤改良の最新動向—低改良率浅層混合処理工法の開発—, 日経コンストラクション 1.25 号, pp.101-104, 2002.
- 3) 大野、恒岡、古本、藤村、清水：フローティング式深層混合処理工法の改良率に関する模型実験, 第 36 回地盤工学研究発表会・平成 13 年度発表講演集, 2 冊分の 1, pp.1077-1078

大野真希*



独立行政法人土木研究所
材料地盤研究グループ土質
チーム研究員
Masaki OHNO

三木博史**



同 技術推進本部
総括研究官, 工博
(前 材料地盤研究グループ
長, 工博)
Dr.Hiroshi MIKI

恒岡伸幸***



同 材料地盤研究グループ
土質チーム上席研究員
Nobuyuki TSUNEOKA

古本一司****



同 材料地盤研究グループ
土質チーム研究員
Kazushi FURUMOTO