

低改良率地盤改良における盛土条件に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：施工技術チーム

研究担当者：宮武裕昭、近藤益央、宮川智史

【要旨】

軟弱地盤対策の工費及び工期の大幅な縮減策として、地盤改良の低改良率化は極めて有効な手段となっており、NETIS に技術登録され、現場に適用される事例も増えつつある。しかしながら、低改良率化は改良体上部に構築される盛土材のアーチ効果が有効にはたらくことを前提としており、荷重支持機構の影響を大きく受ける。このため、盛土材等の条件を考慮せずに現場への適用を行った場合に、トラブルを生じる恐れがある。

本研究では、改良体上部に構築される盛土材や盛土の形状、軟弱層の傾斜など、支持機構に支障が生じる要因を明らかにし、低改良率地盤改良工法が適切に施工される条件を検討した。

その結果、道路土工盛土工指針に示されている盛土材及び締固め度の範囲であれば、地盤改良の低改良率化に対して、盛土条件が沈下特性（沈下量、不同沈下量等）に与える影響は小さかったが、盛土材が液化化するような場合には盛土天端で大きな沈下が発生するため、浅層改良工法やジオテキスタイル敷設等を併用する必要があることがわかった。さらに、軟弱地盤が傾斜した基盤上にある場合には、沈下量に関する照査は満足できても、すべり安定に対して照査を満足できない事例が確認できた。また、軟弱地盤対策工法によっては改良杭が支持地盤に着底しない場合も想定され、このような場合には不同沈下を引き起こすことがわかった。

キーワード：軟弱地盤対策、低改良率、盛土、材料、地盤条件

1. はじめに

軟弱地盤対策の工費及び工期の大幅な縮減策として、地盤改良の低改良率化は極めて有効な手段となっており、NETIS に技術登録され、現場に適用される事例も増えつつある。軟弱地盤の低改良率地盤改良工法としては、土木研究所の ALiCC 工法、JR 総研のコラムネット工法、佐賀大のコラムアプローチ工法など平地部の新設盛土を中心に導入されてきている。しかしながら、低改良率化は上部に構築される盛土材のアーチ効果が有効にはたらくことを前提としており、盛土中の荷重支持機構の影響を大きく受ける。このため、盛土材等の条件を考慮せずに現場への適用を行った場合に、トラブルを生じる恐れがある。

本研究では、上部に構築される盛土材や盛土の形状、軟弱層や地表の傾斜がどの程度になると、支持機構に支障が生じるかを明らかにし、低地盤改良率工法が適切に施工される条件を検討した。

2. 研究方法

2. 1 低改良率地盤改良に関する遠心力模型実験

実験は盛土材、杭径、杭間距離、地盤強度等を主

な実験パラメータとして、改良杭に作用する応力集中の度合いを計測することで、低改良率地盤改良工法の適用範囲の評価を行うものである。低改良率地盤改良工法では平面的な改良率の他に、着底型ではなく浮き型とすることで体積的にも低改良率化をはかることが多いため、全ケースとも平面的改良率は 16%、改良杭長は 10m の浮き型に統一し、12m の軟弱層に盛土高 7.0m（事前荷重は 1.2m、遠心場での荷重 5.8m）相当の荷重を載荷するものとした。遠心場での荷重にはサンドホッパーを用い、土圧計により未改良部の荷重を、アルミ杭に荷重計を埋め込み、

表-1 実験ケース

Case	杭径	杭長	改良率	盛土材	地盤強度	軟弱層	備考
	(m)	(m)	(%)		(kpa)	(m)	
1	1	10	16	江戸崎砂	9.6	12	基本
2	1	10		粘性土	9.6		C材
3	1	10		飽和砂	9.6		φ材
4	1.8	10		江戸崎砂	9.6		杭径(大)
5	2.7	10		江戸崎砂	9.6		杭径(最大)
6	1	10		江戸崎砂	3.2		地盤強度(弱)
7	1	10		江戸崎砂	16		地盤強度(強)

*改良杭の強度は約1.0Mpaとする。

*荷重計のある計測杭はアルミ杭とする

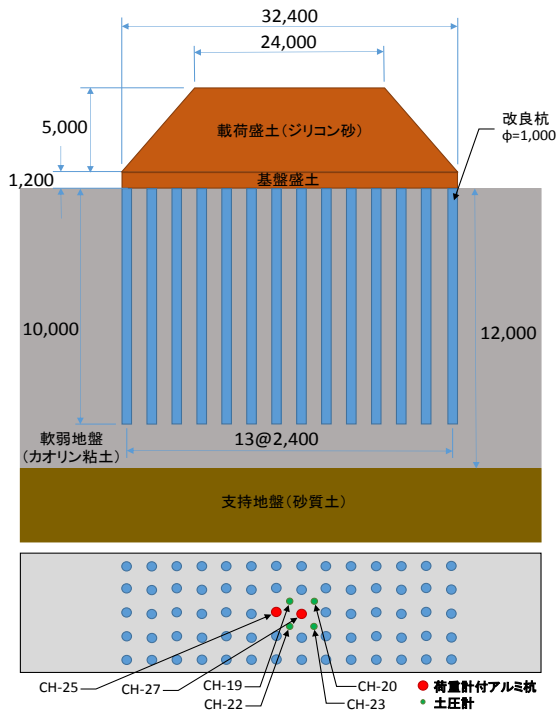
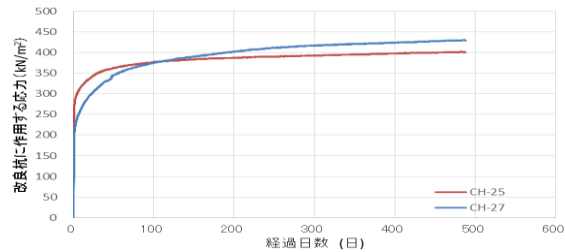


図-1 遠心実験の概要図(CASE1)

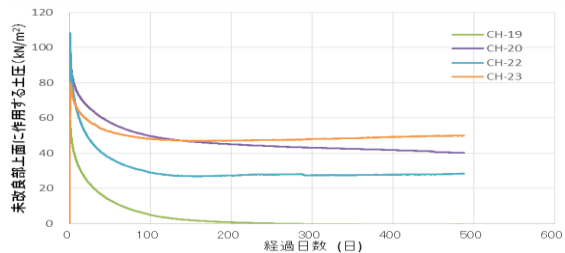
改良杭への集中応力の計測を、実時間換算にして450日間に相当する時間にわたって実施した。模型寸法は1/60、土槽寸法は幅600mm×高さ400mm×奥行200mmである。実験の概要図を図-1に、実験ケースを表-1に示す。

実験では、材料の異なった基盤盛土を作成し、遠心力载荷中にジリコンサンドを投下することで盛土を構築し、その後の作用応力の変化を計測している。実験で想定したCASE1及び2は良質な施工管理下で盛土施工が施され、締固め度Dcが85%以上を満足している状態を再現した。CASE3は施工管理が十分でなかったため締固め度Dcが85%を満足できなかった場合や時間経過により地下水等の影響で緩みが発生した状態を再現した。また、CASE4及び5では改良率を16%としたままで、改良体径を1.8m、2.7mと大きくした実験を行った。これは近年、コスト削減を目的に改良体径の大きな地盤改良工法が開発されていることから、改良体径が大きな場合でも低改良率化が図れるか検討するためである。さらに、CASE6及び7では、軟弱地盤強度を変え、同一盛土条件下での軟弱地盤強度差が改良杭及び未改良地盤の作用応力に与える影響も検証した。

図-2にCASE1で計測された改良杭及び未改良部での作用応力を示す。改良杭に作用する応力(図-2(a))については2点間で大きな差は見受けられな

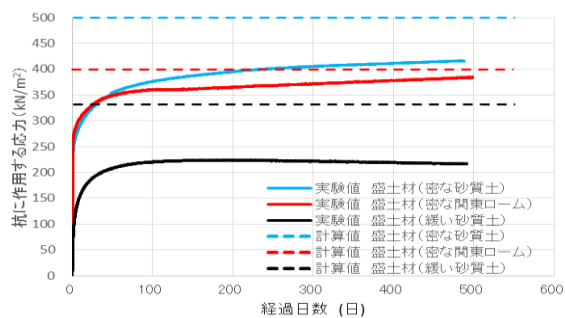


(a) 改良杭に作用する応力

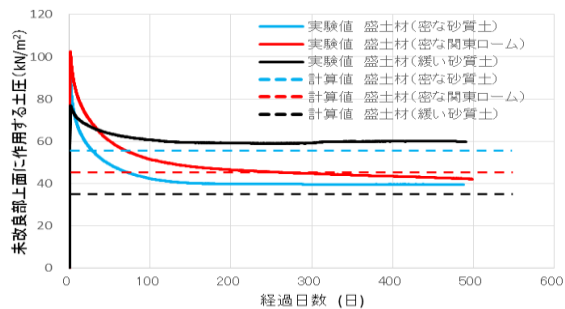


(b) 未改良部地盤に作用する土圧

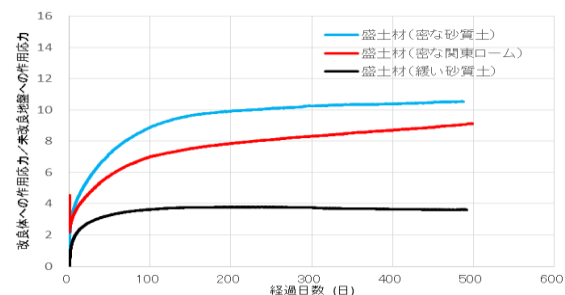
図-2 実験計測値 (CASE1)



(a) 改良杭に作用する応力

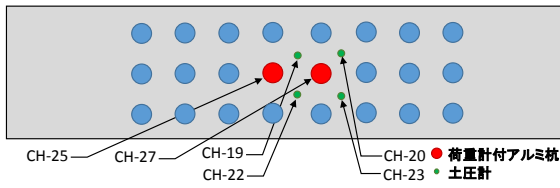


(b) 未改良部地盤に作用する土圧

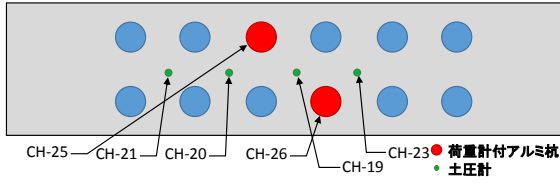


(c) 応力分担比

図-3 盛土材の違いによる影響

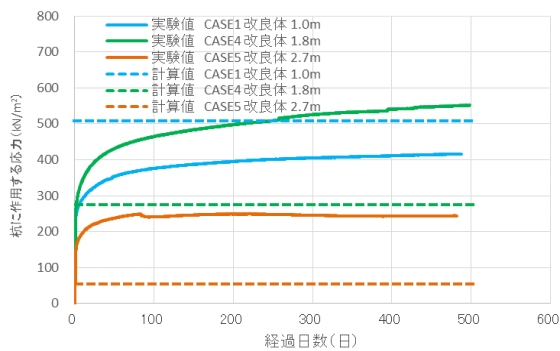


(a) CASE4 での改良体配置

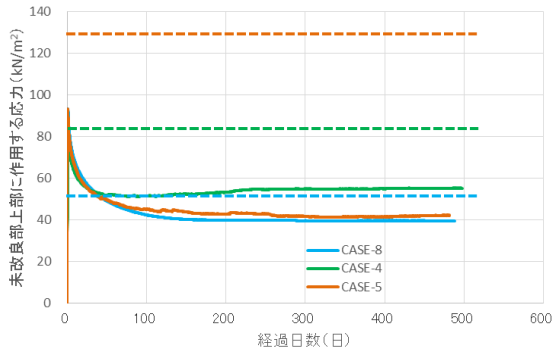


(b) CASE5 での改良体配置

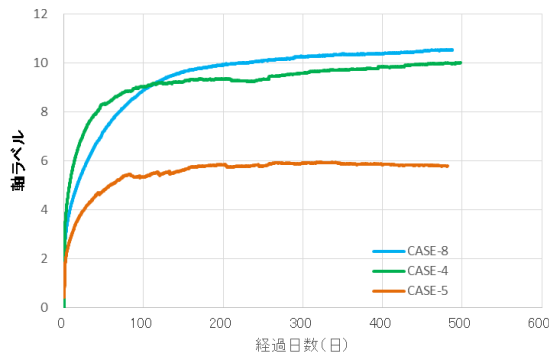
図-4 CASE4 及び 5 での改良体配置図



(a) 改良杭に作用する応力



(b) 未改良部地盤に作用する応力



(c) 応力分担比

図-5 改良体径の違いによる影響

いものの、未改良部に作用する応力(図-2(b))では4点間で値にばらつきがある。盛土構築により未改良部でも盛土荷重が作用するものの、未改良地盤が沈下することにより、未改良地盤部に作用する応力は徐々に下がり、盛土荷重は改良杭に作用していることがわかる。

実験により計測されたデータの平均値を改良杭及び未改良地盤に作用する応力として実験結果を整理したのが図-3である。図-3(b)に示すように、盛土材の締固め度が低い場合には未改良地盤に作用する土圧が若干大きいものの、大きな差は見られない。しかし、図-3(a)では改良杭に作用する応力は良質な施工管理下で盛土施工が施された CASE1 及び 2 ではほぼ同じ値であるのに対して、盛土材の締固め度が低い場合には他の CASE と比較して 1/2 程度しか作用していないことがわかる。そこで、改良杭に作用する応力と未改良地盤に作用する応力との比を応力分担比として図-3(c)に整理した。応力分担比が 1.0 の場合には盛土荷重が改良杭、未改良地盤に均一に作用していることを示し、応力分担比が大きくなるにつれて改良杭が分担する荷重比率が大きくなることとなる。同図によれば、良質な盛土材である CASE1 及び 2 では高い応力分担比を維持しているが、CASE3 では応力分担比少しずつ減少していることが確認できる。これは、未改良地盤への盛土荷重が増加していることを示しており、このような現象が続けば改良部と未改良部での不同沈下が発生することになる。低改良率深層混合処理工法のひとつである ALiCC 工法で用いられている設計法で改良杭及び未改良地盤に作用する応力を算出すると、改良杭に作用する応力が 502kN/m²、397kN/m²、335kN/m²、未改良地盤に作用する応力が 54kN/m²、43kN/m²、36kN/m² となった。緩い砂質土を想定した CASE3 では未改良地盤に作用する応力が計算値を大きく上回っており、作用土圧を過小評価していることになる。

次に改良体径の違いによる影響を検討した。図-4に示したように、改良率を同一としたので改良体径の増加に伴い改良体間隔も広くなる。CASE4 では改良体径 1.8m、改良体間隔は軸間距離で 3.9m に、CASE5 では改良体径 2.7m、改良体間隔は軸間距離で 6.0m とした。同一改良率で改良体径、すなわち軸間距離が異なる CASE1, 4, 5 を比較すると、未改良地盤に作用する応力に大きな差がないことがわかる。しかし、改良体に作用する応力に着目すると

CASE 毎で大きな差があることがわかる。改良体径が最も大きい CASE5 では、改良体の配置が 2 列になっており、図-5(a)に示したとおり改良体に作用する応力が他の CASE に比べて小さくなっている。これは改良体が土槽壁面に近いこともあり、盛土と土槽壁面摩擦の影響を受け改良体に作用している応力が正確に計測できていないためと考えられる。盛土荷重は改良体と未改良部地盤に荷重分配されるものであることから、図-3 に示したように改良体に作用する応力が大きい場合には未改良部地盤に作用する応力は小さく、未改良部地盤に作用する応力が小さくなれば改良体に作用する応力が小さくなる。したがって、土槽中心部で計測している未改良地盤部の作用応力が正しい値であると仮定するならば、改良体には計測された応力より大きな応力が作用しているものと推定される。実験結果では改良率が同じであれば、改良体径が大きくなり軸間距離が広がっても盛土内部で発生しているアーチ効果により盛土荷重が改良体に分配されていることがわかる。しかし、ALiCC 工法の設計法で算出した作用応力と実験値を比較すると、改良体径が大きい場合には計算値と実験値には大きな開きがあることがわかる。計算式には改良体径や軸間距離も考慮出来るものとなっているが、改良径が大きな場合には適用限界があることがわかった。

2. 2 浅層改良による盛土の沈下抑制に関する遠心力载荷模型実験

3m 以上の高さを有する盛土の場合には、2.1 で示したような低改良率の深層混合処理工法がコスト面で沈下抑制に優位と考えるが、盛土高さが 3m 以下の低盛土の場合には盛土荷重も小さく、大がかりな深層混合処理工法による軟弱地盤対策が最善な工法とならない可能性がある。そこで、深層混合処理工法より簡易で安価な軟弱地盤対策を検討するために浅層混合処理工法やジオテキスタイル敷設工法による盛土の沈下抑制に関する遠心力载荷模型実験を実施した。実験ケースを表-2 に、模型概要を図-6 に示す。

ジオテキスタイル敷設材工法は、軟弱地盤上に盛土等の土工構造物を構築する際に必要な施工機械のトラフィカビリティ確保を主な目的として採用されることが多いが、軟弱地盤上に盛土等を構築する際に盛土補強材としてジオテキスタイルが用いられることに着目して実験を行った。ジオテキスタイルに

表-2 実験ケース

ケース名	対策種別
ケース1	無対策
ケース2	ジオテキスタイル敷設
ケース3	浅層固化盤（無鉄筋）敷設
ケース4	浅層固化盤（鉄筋有り）敷設
ケース5	浅層固化盤+ジオテキスタイル

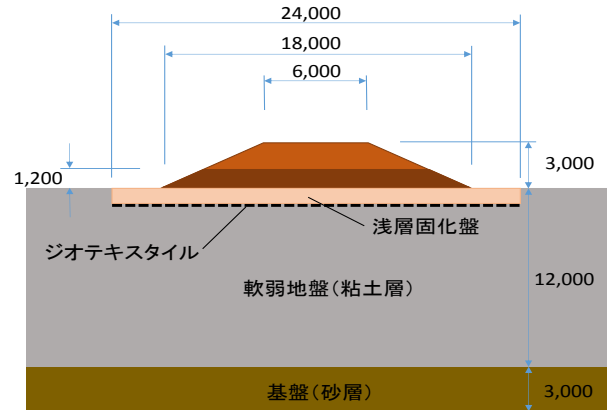


図-6 実験模型概要
(浅層固化盤+ジオテキスタイル)

よる補強工法では、盛土の円弧すべりや不同沈下を抑制することを期待するものであり、軟弱地盤の支持力不足による沈下抑制効果を期待するものではない。しかし、軟弱地盤の支持力がある程度期待出来、盛土等の上載荷重が小さい場合には、盛土の過大な沈下や変形を抑制する効果が期待出来ると考えられる。また、浅層固化盤を盛土直下に敷設する場合も、上載荷重の分散と不同沈下の抑制が期待出来ると考えられる。実験では模型縮尺を 1/60 とし、実換算で 1.2m になる盛土を構築した後に 60G の遠心力を载荷し、その後サンドホッパーからジリコンサンドを落下させて高さ 3.0m の盛土を完成させた。サンドホッパーを用いて盛土構築を行ったため、時刻歴の沈下計測ができなかったため、実験終了後の変形量でケース毎の効果を評価した。写真-1 に示したよう

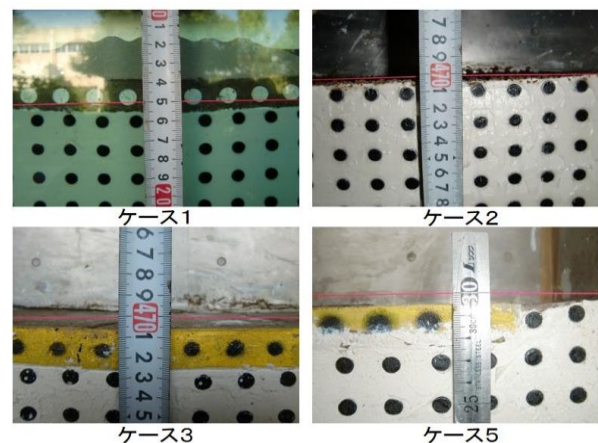
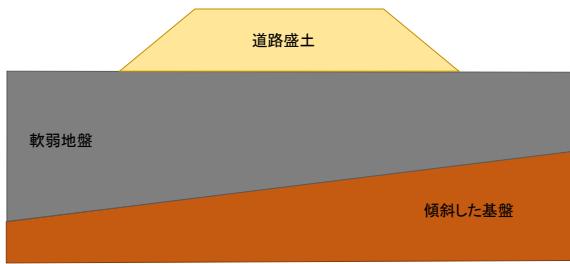
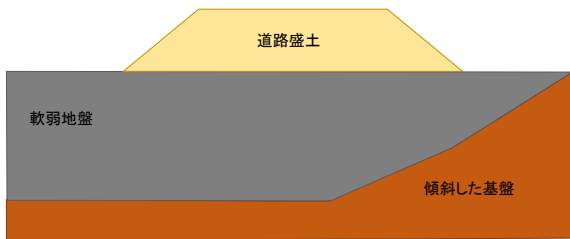


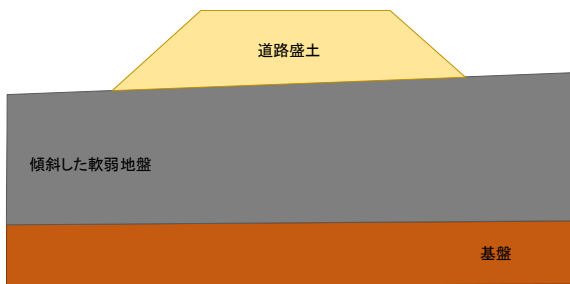
写真-1 実験後の盛土中央部での沈下量



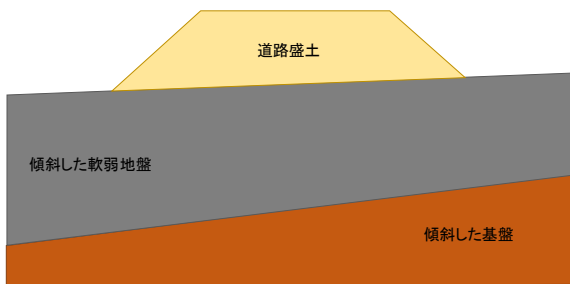
(a) 盛土全体が傾斜基盤上にある場合



(b) 盛土の一部が傾斜基盤上にある場合



(c) 盛土全体が傾斜軟弱地盤上にある場合



(d) 盛土全体が傾斜した基盤及び軟弱地盤上にある場合

図-7 基盤及び軟弱地盤が傾斜するパターンにケース毎による沈下量に大差はなく、今回の実験では浅層改良のみでは沈下抑制効果が期待出来ないことがわかった。

2.3 基盤及び地盤が傾斜する軟弱地盤対策工の調査

道路盛土等の土工構造物が構築される地盤環境は様々である。一様な地盤構成になっていることはまれであり、地層が傾斜していたりするのが一般的といえる。図-7には想定される様々な地盤条件を示した。基盤が傾斜している地に軟弱地盤対策を施すと、盛土のすべり崩壊に伴う水平もしくは斜め方向からの外力の他に、基盤の傾斜による水平力も改良体に



図-8 調査対象 (国道 178 号岩美道路)

作用する。地盤は地震力等の外力が作用したり、盛土等の構造物が新たに構築されたりすると、外力により不安定となった軟弱地盤が安定した状態へと変形が生じる。すなわち、改良体には斜面にそった軟弱地盤の滑動による外力が作用することから、このような条件下で軟弱地盤対策を行う場合には、盛土のすべり安定や沈下量による照査のみならず、滑動に対する照査が重要になってくる。

そこで、基盤が傾斜した地盤で低改良率地盤改良が実施された事例として国道 178 号での事例を調査した。本工事は鳥取県が事業主体として国道 178 号岩美道路 (以下「岩美道路」という) の岩美 IC から東側の 300m 区間で実施され、約 30m の軟弱地盤上に高さ約 14m の盛土を構築するものである。岩美道路では基盤が傾斜しており、軟弱地盤が厚く堆積しているため、工期短縮とコスト縮減を目的として低改良率地盤改良が採用され、動態観測も実施されていることから調査対象とした。この区間においては事前ボーリング調査により、N 値 50 以上の基盤岩が約 20° で傾斜しており、約 32m の最深部では N 値 50

以上の砂礫層が平坦に堆積している。この基盤岩及び砂礫層上にN値0～5程度の貝殻を多く含んだ粘性土が軟弱地盤として堆積している。

このような基盤が傾斜している軟弱地盤においては改良体に偏荷重が作用し、改良体間での軟弱地盤のすり抜けや改良体の倒れ込み等が懸念される。基盤の傾斜に伴う滑動力が懸念される場合には、傾斜基盤下流側のり尻部で盛土の安定を向上させる目的として改良率や改良体強度を高める必要がある。これは、基盤が傾斜していると、改良体に偏荷重や側方流動にともなう水平力が作用し、改良体間での軟弱地盤のすり抜けや改良体の倒れ込み等が懸念されるためである。このため、機械攪拌式深層混合処理工法の一つであるCDM工法では、図-9に示す対策幅Bを対策深度(改良体長さ)Dに対して0.5～1.0とし、改良率についても30～50%以上とすれば過去の実績から盛土のすべり対策や側方流動対策として有効であるとしている²⁾。また、改良率が30%を下回るALiCC工法については以下のように設計を実施している。

- ① 法尻部から滑動に対する対策幅Bを対策深度(改良体長さ)Dに対して0.5以上となるように決める。
- ② 滑動対策部の基盤部から主働崩壊角を立ち上げた範囲Lを決める。
- ③ ②で決めたLが水平基盤の範囲Xを超えていけば傾斜基盤上とみなして滑動安定対策を施す。この際、低改良率地盤改良範囲を軟弱地盤と改良体の複合地盤とせず、改良体を見捨て盛土荷重も含めた主働土圧を算定することで、安全側の設計を行うこととした。
- ④ ②で決めたLが水平基盤の範囲Xを超えていなければ低改良率改良体が傾斜基盤に着底することで盛土荷重を分担できるものとして、滑動安定対策は不要とする。ただし、滑動照査、圧密沈下量、改良体応力照査、円弧すべりに対する安定照査をそれぞれ行い、必要に応じて傾斜基盤上の改良率を上げるなどの対策を行う。

岩美道路では山側法尻部に補強土壁を設置するため、この補強土壁直下については接円タイプの地盤改良を施している。この断面では図-10に示したLがXを超える条件となり、滑動に対する安定対策を施している。滑動対策部は、改良長の0.5倍に相当

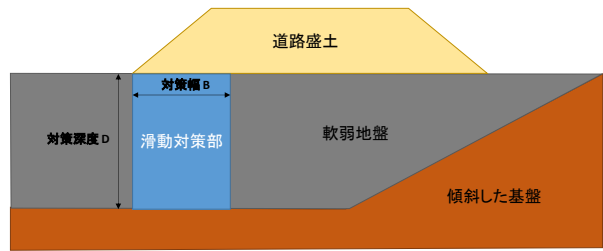


図-9 支持層が傾斜する場合の滑動安定対策

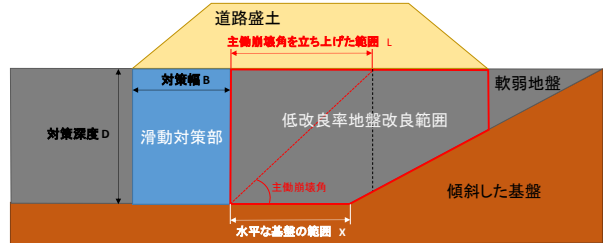


図-10 滑動安定対策の検討

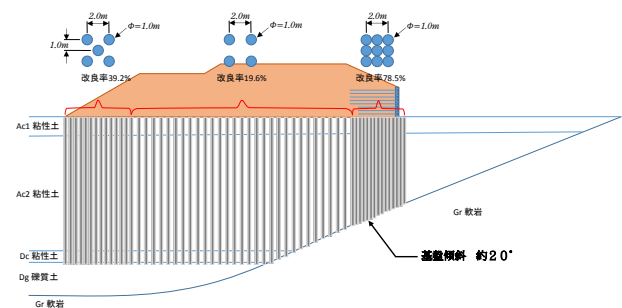


図-11 標準的な横断面図

する幅 15.5m にわたって改良率 39.2%の改良体を千鳥配置となっており、滑動対策部と補強土壁直下に挟まれた盛土直下部は改良率 19.2%の低改良率での格子配置となっている。この条件で改良体の滑動、すべり安定、沈下量(全沈下量、不同沈下量)、改良体応力についてそれぞれ照査を行った結果、改良体の滑動に対する照査では許容安全率 1.2 に対して滑動安全率は 1.201、すべり安定については許容安全率 1.25 に対して安全率は 1.76 となり、沈下量(全沈下量、不同沈下量)、改良体応力についても満足していることを確認された。そのためには、改良体が確実に着底するように施工する必要がある。二軸型の HL-DJM 機を用いる場合には機械設置方向を注意する必要がある。盛土施工時には法尻近傍に観測杭を設置して水平及び鉛直変位を計測した。盛土構築による一時的な変位(50～80mm)が発生したものの、盛土完成後も継続して行った水平変位、鉛直変位を観測では、変位は増加しておらず安定していることが確認できた。

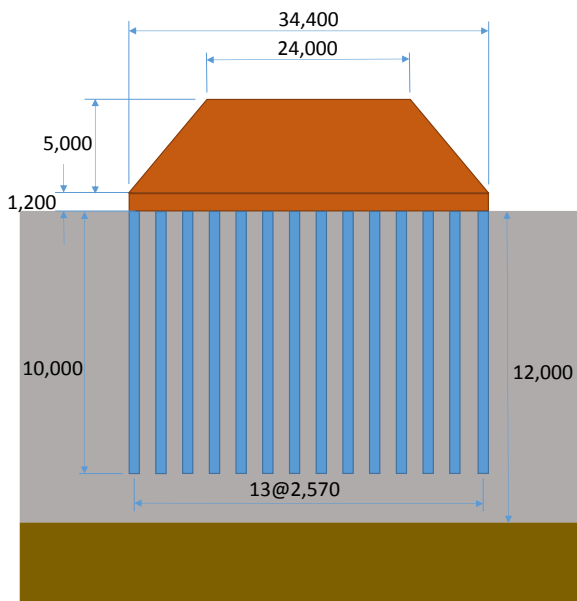


図-12 解析の対象とした実験モデル

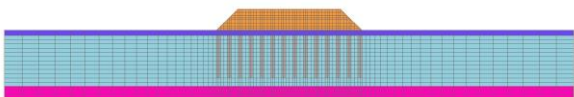


図-13 解析モデル



図-14 解析結果

2. 4 盛土条件、地盤条件が低改良率地盤改良に及ぼす影響を把握するための解析

盛土材料、盛土形状、基盤傾斜が低改良率地盤改良に与える影響を確認するため、二次元有限要素解析を行った。解析結果の妥当性を検証するために、遠心力载荷模型実験で実施したケースをモデル化し、解析を行った。図-12 に実験模型概要、図-13 に解析モデル、図-14 に解析結果を示す。解析結果の変状図では変位量を3倍にして表示しているが、沈下量及び変形モードは解析の対象とした実験結果とほぼ一致した。そこで、表-3 に示すように、盛土材料、盛土形状、傾斜地盤の影響を検討するためにモデル化し、解析的な検討を実施した。表-3 には盛土完成後240日における盛土天端中心部での最終沈下量も示した。圧密沈下解析では、入力項目としての盛土材物性値が限られたものに限定されるため、盛土材の違いによる影響を解析的に評価するのは難しい。本解析結果では盛土材に粘性土を用いた場合における沈下量抑制効果が最も高かったが、これは材料に

表-3 実験解析ケース及び沈下量

ケース	盛土条件	軟弱地盤条件	基盤傾斜	改良杭形式	解析区分	最終沈下量 (cm)
1	江戸崎砂	9.6Kpa	0°	浮き型	実験再現型 圧密沈下解析	60.1
2	江戸崎砂 左右非対称	9.6Kpa	0°	浮き型	圧密沈下解析	60.2
3	粘性土	9.6Kpa	0°	浮き型	圧密沈下解析	52.0
4	礫混じり砂	9.6Kpa	0°	浮き型	圧密沈下解析	62.9
5	江戸崎砂	9.6Kpa	0°	着底型	圧密沈下解析	48.4
6	粘性土	9.6Kpa	0°	着底型	圧密沈下解析	41.3
7	江戸崎砂	3.2Kpa	0°	着底型	圧密沈下解析	53.6
8	江戸崎砂 浅層盤併用	3.2Kpa	0°	着底型	圧密沈下解析	47.9
9	江戸崎砂 ジオテキサ併	3.2Kpa	0°	着底型	圧密沈下解析	48.1
10	江戸崎砂	16.0Kpa	0°	浮き型	圧密沈下解析	53.2
11	江戸崎砂	9.6Kpa	15°	着底型	圧密沈下解析	62.8
12	江戸崎砂	9.6Kpa	30°	着底型	圧密沈下解析	78.2

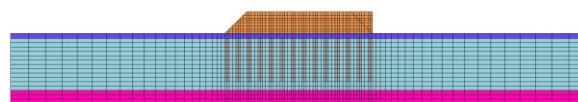
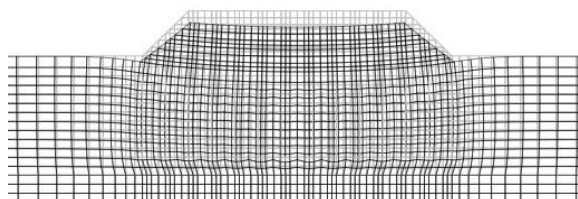
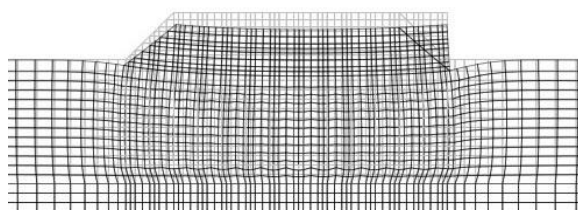


図-15 解析モデル図 (ケース2: 左右非対象盛土)



(a) ケース1



(b) ケース2

図-16 解析結果の比較

より単位体積重量が異なるため、盛土荷重が最も少なかった粘性土の沈下が少なかったものと推定される。次に、左右非対象な盛土形状を想定したケース2の解析モデル図を図-15に示す。ケース2では、片側に補強土壁等により直立した断面を想定したが、図-16に示すように左右対称盛土のケース1と比較すると、直壁側でも大きな変形が発生するものの、変形モードでは大差がないことがわかる。これは、盛土直下の改良体は、施工時の効率性を考慮して盛土中央部でものり面下でも同じ配置としており、改

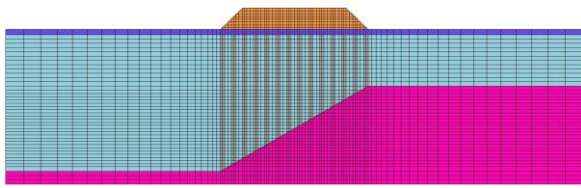
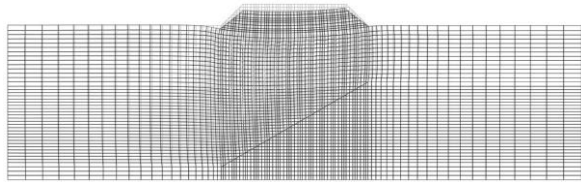
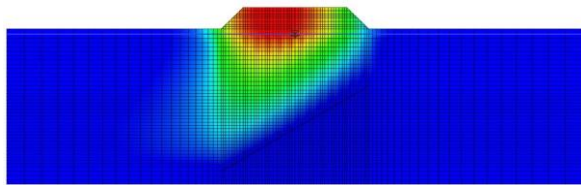


図-17 解析モデル図（ケース 12：基盤傾斜 30°）



(a) 解析結果



(b) 鉛直変位コンター図

図-18 解析結果

良体に作用する応力はのり面直下が最も厳しい条件とならないため、盛土形状による盛土の沈下や地盤の変形への影響は小さいことがわかった。

軟弱地盤強度を 3.2Kpa と小さくしたケース 7~9 では、軟弱地盤強度が 9.6Kpa のケース 5 と比較すると、着底式であってもケース 7 では沈下量が増加しているが、補助工法を併用したケース 8 と 9 ではケース 5 と同程度の沈下量となっており、超軟弱地盤では浅層改良盤やジオテキスタイル敷設などの補助工法を併用することで、盛土荷重を的確に改良体に作用させることができ、その結果として沈下量を抑制できることがわかった。さらに、基盤が傾斜した場合の影響についてケース 11~12 で検討した。図-17 に基盤の傾斜角を 30° としたケース 12 のモデル図を、図-18 に解析結果を示す。2.3 で記したように改良体が基盤に確実に着底されていない場合や、すべり安定に対する検討が不十分な場合には傾斜基盤に沿って大きく変形することが懸念されるが、本解析モデルでは改良体を基盤に着底させているので極端な変形は発生していない。基盤を傾斜させているので軟弱地盤層厚が異なるために単純には比較できないが、基盤の傾斜角が大きくなると盛土天端の沈下量も増加していることがわかる。基盤が傾斜している場合には改良体を確実に着底させるように設計・施工しているが、着底が不十分な場合にはすべりなどの危険性もあるため、さらに検討する必要がある。

3. 研究結果

3.1 低改良率地盤改良に支障が生じる盛土条件

上部に構築される盛土材が低改良率地盤改良に及ぼす影響について検討した。その結果、道路土工盛土工指針に示されている盛土材及び締固め度であれば、低改良率地盤改良に与える影響は小さかった。しかし、改良体径が 1.0m の場合には実験結果と ALiCC 工法による設計計算値は一致したが、改良率が同じであっても、改良体径が大きくなり軸間距離が広がった場合には、ALiCC 工法の設計法で算出した作用応力と実験値を比較すると、改良体径が大きい場合には計算値と実験値には大きな差があることがわかった。計算式には改良体径や軸間距離も考慮出来るものとなっているが、改良径が大きな場合には適用限界があることがわかった。

3.2 浅層改良による盛土の沈下抑制効果

盛土高さが 3m 以下の低盛土で深層混合処理工法より簡易で安価な軟弱地盤対策を検討するために浅層混合処理工法やジオテキスタイル敷設工法による盛土の沈下抑制効果について検討した。その結果、今回実験で実施した盛土高さ、軟弱地盤層厚の条件では、盛土のすべり防止対策としては有効であるものの、沈下抑制効果としてはあまり効果がないことがわかった。しかし、浅層改良を用いることで不同沈下を抑制できることがわかった。盛土高さや軟弱地盤層厚の条件によっては沈下抑制効果も期待出来る可能性があることから、更なる検討が必要と思われる。

3.3 低改良率地盤改良に支障が生じる軟弱層や地形の傾斜条件

基盤が傾斜している地に軟弱地盤対策を施すと、盛土のすべり崩壊に伴う水平もしくは斜め方向からの外力の他に、基盤の傾斜による水平力も改良体に作用することから、基盤が傾斜した地盤で低改良率地盤改良が実施された事例を調査し、基盤が傾斜する地での設計・施工方法について検討した。その結果、傾斜基盤下流側のり尻部で盛土の安定を向上させることを目的とする滑動安定対策を施すとともに、改良体が確実に着底するように施工する必要がある。その場合には、改良体の滑動、すべり安定、沈下量（全沈下量、不同沈下量）、改良体応力についてそれぞれ照査を行い、これらを満足できれば盛土の安定性が確保できることがわかった。

3. 4 盛土条件、地盤条件が低改良率地盤改良に及ぼす影響に関する解析結果

盛土材料、盛土形状、基盤傾斜が低改良率地盤改良に与える影響を確認するため、二次元有限要素解析による検討を行った。その結果、解析により実験結果を再現できたものの、盛土材の違いによる影響では、盛土材の違いによる影響より、盛土材の単位体積重量の影響の方が大きく、解析では盛土材の影響を適切に評価出来ないことがわかった。盛土形状の影響については、盛土形状が左右非対象な盛土であっても低改良率地盤改良に与える影響はほとんどないことがわかった。また、浅層改良のみの対策ではあまり効果がないことがわかったが、低改良率地盤改良との併用することで、沈下量を軽減させる効果があることがわかった。さらに、基盤が傾斜している場合であっても、改良体が確実に着底し、さらに改良体の滑動、すべり安定、沈下量（全沈下量、不同沈下量）、改良体応力についてそれぞれ条件を満足していれば、地盤改良を低くしても影響がないことがわかった。

4. まとめ

本研究では、上部に構築される盛土材や盛土の形状、基盤の傾斜が支持機構に及ぼす影響について検討した。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 道路土工盛土工指針に示されている盛土材及び締固め度の範囲であれば、地盤改良の低改良率化に対して、盛土条件が沈下特性（沈下量、不同沈下量等）に与える影響は小さい。
- 2) 盛土材が液化状するような場合には盛土天端で大きな沈下が発生するため、浅層改良工法やジオテキスタイル敷設等を併用する必要がある。
- 3) 軟弱地盤が傾斜した基盤上にある場合には、沈下量に関する照査は満足できても、すべり安定に対して照査を満足できない事例が確認できた。このため、傾斜基盤下流側のり尻部で盛土の安定を向上させることを目的とする滑動安定対策を施し、改良体の滑動、すべり安定、沈下量（全沈下量、不同沈下量）、改良体応力についてそれぞれ満足できれば盛土の安定性が確保できる。
- 4) 軟弱地盤が傾斜した基盤上にある場合には、改良体が確実に着底するように施工した上である必要がある。

現在、本研究成果を「地盤改良のための ALiCC 工

法マニュアル」改訂に反映させている。今後はさらなる低改良率化や改良体の面的配置を工夫するなど、確実な沈下抑制を確保しつつコスト縮減や工期短縮につながる設計手法についても検討を行っていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) Shoichi Tsutsumi, Hidetoshi Kohashi, Saiichi Sakajyo : Proposal of New Quality Management of Improved Soils(aiming to raise Height of Embankment with a large slope)、International Conference on Slope 2010、
- 2) 阪上最一、堤祥一、小橋秀俊：低改良率セメントコラム工法に適する盛土材の検討、第 65 回土木学会年次学術講演会
- 3) 阪上最一、小橋秀俊、堤祥一：アーチ効果を利用した低改良率セメントコラム工法の設計と適切な盛土条件、第 45 回地盤工学会研究発表会
- 4) S.TSUTSUMI,H.KOHASHI : Research and Development of Deep Mixing Method、International Conference on Highway Engineering 2012
- 5) 小橋秀俊、堤祥一、阪上最一：軟弱地盤上に施工した低改良杭への応力集中の要因に関する遠心模型実験、第 47 回地盤工学研究発表会講演集
- 6) 宮川智史、宮武裕昭、阪上最一：軟弱地盤上における改良地盤の対策効果に関する遠心模型実験、第 48 回地盤工学研究発表会講演集
- 7) 堤祥一、小橋秀俊、阪上最一、藪雅行：軟弱地盤上の盛土の経済的な嵩上げ工法の開発、第 47 回地盤工学研究発表会講演集
- 8) 阪上最一、小橋秀俊、堤祥一：低改良率セメントコラム工法における不同沈下量の算出、第 47 回地盤工学研究発表会講演集
- 9) 阪上最一、小橋秀俊：補助工法を用いた低改良率セメントコラム工法における不同沈下量の算出、第 67 回年次学術講演会講演概要集
- 10) (独)土木研究所:地盤改良のための ALiCC 工法マニュアル、鹿島出版会、2007.1
- 11) CDM Q&A 集、CDM 研究会、2005.2
- 12) 近藤益央、宮武裕昭、宮川智史：盛土条件が低改良率地盤改良に与える影響について、第 49 回地盤工学研究発表会講演集
- 13) 近藤益央、宮武裕昭、宮川智史：傾斜する基盤上で施工する低改良率セメントコラム工法に関する一考察、第 69 回年次学術講演会講演概要集

A Study about Embankment Condition of Low Ratio Soil Improvement Method

Budget: Grant for operating expenses General account (Fundamental Research)

Research Period: FY2010 ~ FY2013

Research Team: Construction Technology Research Team,
Geology and Geotechnical Engineering Research Group

Author: Akihiro MIYATAKE, Masuo KONDOH, Satoshi MIYAGAWA

Abstract :

The low ratio soil improvement is effective for the construction cost of soft ground measures and reduction of the term of works. Therefore the examples applied to the spot are increasing. However, it is thought that laying earth on the ground shape and laying earth on the embankment materials strength influences it when I become a low improved rate.

In this study, we examined the influence that embankment materials, embankment shape, a base slant gave for low improved rate ground improvement.

As a result, there was little influence to give low ratio soil improvement method if it was embankment material shown in road embankment specifications and degree of compaction. When embankment material liquefies, it is necessary to use shallow soil stabilization method and geotextiles laying together. In addition, there was the example that could not satisfy sliding stability even if the condition about settlement could be satisfied when the soft ground was on sloping basement.

Keyword :

Countermeasure for Soft Ground, Ratio Soil Improvement, Embankment, Earth Material, Ground Condition