

土壌の分級選別処理における速効型中性系土質改良材の開発

井 出 一 貴 三 浦 俊 彦 山 田 祐 樹

高 田 尚 哉 光 本 純

(本社エンジニアリング本部) (本社エンジニアリング本部)

Development of Fast-acting Neutral-type Soil-Improving Material in Classification of Soils

Kazuki Ide Toshihiko Miura Yuki Yamada

Naoya Takada Jun Mitsumoto

Abstract

A series of studies was previously performed to develop a new soil conditioner using a superabsorbent polymer for the sorting treatment of high-water-content and cohesive soils. In this study, the effect of the soil conditioner synthesized using the above superabsorbent polymer and the soil characteristics after the treatment are verified. Accordingly, the following conclusions are drawn. The improvement effect by the superabsorbent polymer-based soil-improving material is remarkable for any target soil. A basic examination of the compaction property and consolidation and hygroscopic expansion characteristics of the improved soil is conducted. Moreover, it is found that the improved soil can be used as a banking material if the moisture content is appropriately managed. The expansion due to the water absorption by the improved soil is considered to be a minor effect in its use in an embankment.

概 要

高含水土壌や粘性土壌の分級選別処理のために吸水性高分子を使用した新しい速効型中性系土質改良材「サラサクリーン®」の開発を行った。ここでは、本改良材の土壌改良効果と改良土壌の性状について試験検討を行い、以下のことが明らかになった。本改良材の改良効果は砂質土および粘性土の両者に対して顕著であった。本改良材を用いた砂質土および粘性土の改良土壌は適切な締固め度管理を行うことで盛土材等に利用可能であった。また、改良土壌の吸水による膨張率は、荷重のある条件では小さく盛土材等への利用に影響しないことがわかった。

1. はじめに

土質改良には、一般的にセメント系材料や生石灰系材料などが使用されている。これらを使用した改良土壌の pH はアルカリ性であることが多く、環境への影響を配慮して改良土壌 pH を中性に保つ改良材が求められることがある。

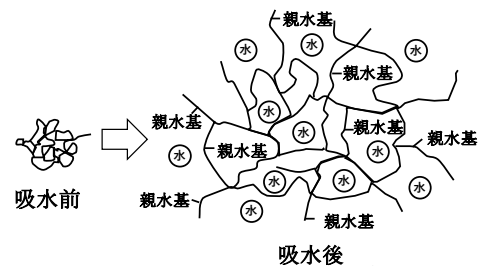
中性系の改良材として半水石膏等、中性の材料を使用した改良材や高分子ポリマーを使用した改良材がある。特に高分子ポリマーを使用した改良材は使用量が少なく、現場の施工システムの中で使用しやすいことから、適用例が増えている。

高分子ポリマーを使用した改良材には、凝集系や吸水系の材料が使用されている。吸水系の高分子を使用した改良材は、主に高含水比の泥状の土を改良に用いられ、廃棄物混入土における廃棄物の分別やダンプ運搬の前処理として利用されている¹⁾。

ここでは、吸水系の高分子を使用して新たに開発した中性系土質改良材²⁾を分級選別に用いた際の改良効果および改良土壌を有効利用する際の基本特性について調べた結果を述べる。

2. 速効型中性系土質改良材について

速効型中性系土質改良材は、ポリアクリル系酸性塩である吸水性高分子を主体成分とし、無機鉱物と混合した粉末状の土質改良材である。吸水性高分子は Fig. 1³⁾に示すように 3 次元の網目構造で、自重の数百倍から数千倍の水を吸水してゲル化し、多少の圧力では離水しない性質を持つ。吸水性高分子の化学的吸水メカニズムは次のように説明できる。親水性基をもつ多数の分子鎖が水に電離し、イ



参考文献3)からの引用に加筆

Fig. 1 吸水性高分子の吸水イメージ
Schematic of Water Absorbing of
Superabsorbent Polymer

オン化した際にイオン基同士がクーロン力によってお互いに反発し合い、分子鎖の拡がりが助長される。さらに、吸水性高分子内部と外部のイオン濃度に差が生じ、その際、イオン濃度を均等にするために浸透圧が生じ、吸水する。通常の高分子の場合、分子鎖が吸水によって拡がり続けると水に溶解してしまうが、3次元の網目構造を持つため、分子鎖がある程度の拡がり方で収まる。吸水性高分子の吸水能は吸水性高分子の親水性、架橋密度(単位体積あたりの網目の架橋点数)、浸透圧の大小、すなわち吸水性高分子の内部と外部のイオン濃度差に依存する。

混合した無機鉱物には、吸水性高分子の吸水能に影響を与えない材料を選定した。無機鉱物には、少量の吸水性高分子を土壌に均質に分散させる役割がある。

開発した速効型中性系土質改良材は吸水性高分子の機能により以下の特長⁴⁾⁵⁾を持っている。

- (1) 短時間で改良：水分との反応が早く、添加した後に30～60秒の短い攪拌時間で改良が終了するため、反応のための養生時間が不要となり、改良後、直ちに分級・分別処理が可能になる。
- (2) 中性：主成分は中性の高分子であり、改良土壌のpH変化が小さく、一般的に使用される土質改良材のように改良土壌がアルカリ化することを防止できる。
- (3) 少量の添加量：少ない添加量で処理できるため、改良に伴う改良土壌量が増加することを防止できる。
- (4) 地盤強度改善効果：改良土壌の地盤強度を増大できる。

3. 改良材の土壌改良効果の検証

改良材の土壌に対する適用範囲を検証するために、土質分類の異なる3種類の土壌を試料土壌とした。また、含水状態の違いによる適用範囲の確認のため、それぞれ3種類の含水比で試験を実施した。

3.1 試料土壌

試験に使用した試料土壌の性状をTable 1に、試料土壌の粒度分布をFig. 2にそれぞれ示す。土壌Aは細粒分質砂、土壌Bは砂質粘土、土壌Cは粘土に分類される。0.075mm以下の細粒分が多くなるほど、粘性が高い土になる。また、Table 2に3種類の含水比・液性指数(相対含水比)を示す。含水比はそれぞれ最適含水比、液性限界およびその中間に設定した。土壌Aは液性限界が測定できなかったため、最適含水比および最適含水比の1.5倍、2倍に設定した。

3.2 試験方法

試料土壌 5kg に対して、土質改良材を一定量添加(吸水性高分子量 5～30kg/t)し、ホバートミキサーで30秒攪拌混合した後、切返しを行い、さらに30秒攪拌混合した。その後、攪拌後の改良土壌を目開き19.5mmの篩(ふるい)を用いて分級し、通過率を求めた。

Table 1 土壌試料の性状
Properties of Test Soils

項目	単位	土壌A	土壌B	土壌C
土粒子の密度	g/cm ³	2.670	2.681	2.724
粒度分布	2mm以上	%	0.0	0.0
	0.075～2mm	%	75.1	49.3
	0.005～0.075mm	%	6.9	11.1
	0.005mm未満	%	18.0	39.6
最大粒径	mm	0.850	0.425	0.425
液性限界	%	NP	36.0	59.8
塑性限界	%	NP	12.1	18.5
塑性指数		NP	23.9	41.3
地盤材料の分類名		細粒分質砂	砂質粘土	粘土
最大乾燥密度	g/cm ³	1.758	1.634	1.432
最適含水比	%	15.8	17.3	25.3

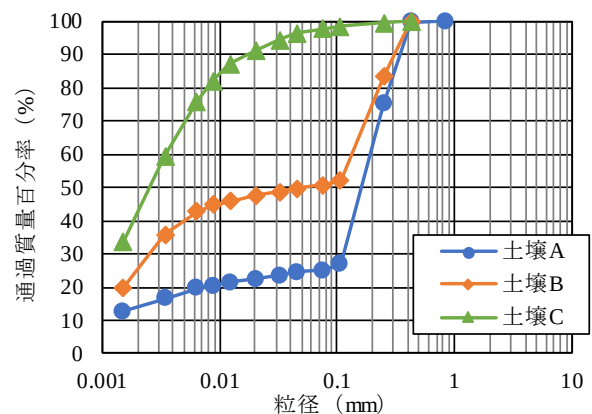


Fig. 2 試料土壌の粒度分布
Grain Size Distribution of Test Soils

Table 2 試料土壌の含水比の設定
Water Content Setting of Test Soils

	含水状態	含水比 %	液性指数
土壌A	低	15.8	-
	中	24.4	-
	高	31.6	-
土壌B	低	17.3	0.22
	中	26.7	0.61
	高	36.0	1.00
土壌C	低	25.3	0.16
	中	42.5	0.58
	高	59.8	1.00

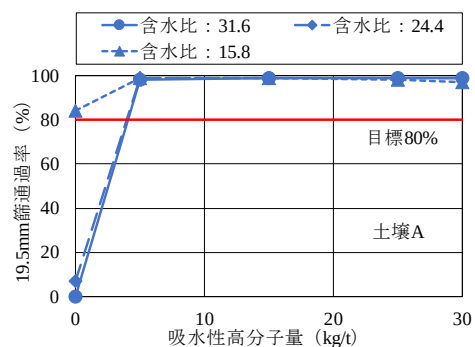


Fig. 3 吸水性高分子量と篩通過率(土壌A)
Relationship between Water-absorbing Polymer Content and Sieve Passing Rate of Soil-A

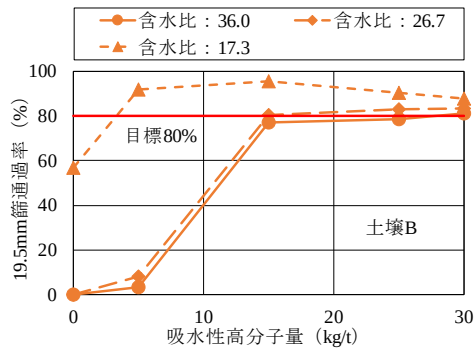


Fig. 4 吸水性高分子量と篩通過率(土壌 B)
Relationship between Water-absorbing Polymer
Content and Sieve Passing Rate of Soil-B

また、攪拌 1 時間後の改良土壌を用いて土質強度としてコーン指数を測定した。コーン指数の測定は「締固めた土のコーン指数試験法」(JIS A 0211)に基づいて行った。試料土壌の pH 測定は「土壌懸濁液の pH 試験方法」(JGS 0211)に基づいて行った。

3.3 試験結果

改良の目標値は、19.5mm篩通過率80%以上、コーン指数は建設汚泥処理土の第3種処理土基準の400kN/m²とした。改良材を添加した改良土壌に対する分級試験(篩試験)の結果をFig. 3～5に示す。

Fig. 3は試料土壌Aの結果で、吸水性高分子添加量と篩通過率を示している。細粒分の少ない試料土壌Aは、最適含水比の状態では、篩通過率は80%以上であり、処理前から改質目標を上回っており改質不要と考えられるが、高分子吸水材を5kg/t添加することで篩通過率が増加した。中含水、高含水状態では、篩を通過しない土塊状態であったが、吸水性高分子添加量が5kg/tと少量で90%以上の高い通過率であった。Fig. 4は試料土壌Bの結果で、低含水状態では添加なしで通過率60%以下であったが、吸水性高分子添加量5kg/tで通過率が80%以上となった。また、高含水試料でも15kg/tの添加量で通過率を80%まで上げることができた。Fig. 5は細粒分の多い試料土壌Cの結果で、低含水状態のものは吸水性高分子添加量5kg/tで改良できた。高含水状態の試料でも吸水性高分子添加量を増加することで、改良が可能であった。

次に強度改善効果についてFig. 6～8にコーン指数の測定結果を示す。試料土壌Aでは低含水状態では、改良前から目標値を上回っていたが、改良によってコーン指数が増加することを確認できた。また、中含水、高含水状態でも吸水性高分子添加量5kg/tでコーン指数も目標値以上に改良できた。試料土壌Bは、吸水性高分子の添加量15kg/tであれば中含水、高含水状態の土壌を目標値以上に改良できた。試料土壌Cは、吸水性高分子の添加量が25kg/t以上であれば、中含水、高含水状態の土壌を目標値以上に改良できた。

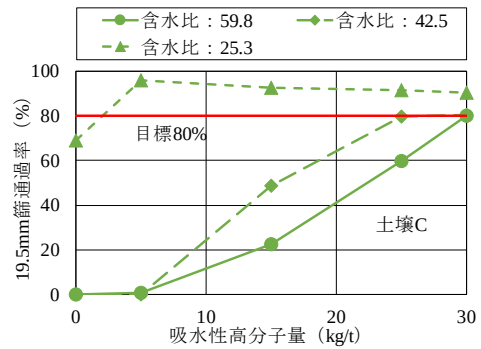


Fig. 5 吸水性高分子量と篩通過率(土壌 C)
Relationship between Water-absorbing Polymer
Content and Sieve Passing Rate of Soil-C

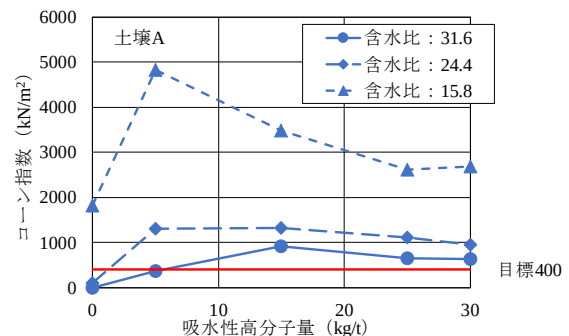


Fig. 6 吸水性高分子量とコーン指数(土壌 A)
Relationship between Water-absorbing Polymer
Content and Corn Index of Soil-A

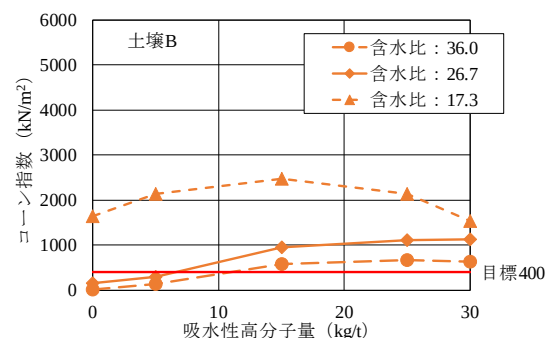


Fig. 7 吸水性高分子量とコーン指数(土壌 B)
Relationship between Water-absorbing Polymer
Content and Corn Index of Soil-B

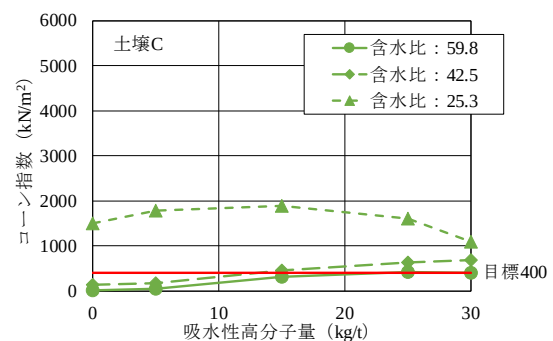


Fig. 8 吸水性高分子量とコーン指数(土壌 C)
Relationship between Water-absorbing Polymer
Content and Corn Index of Soil-C

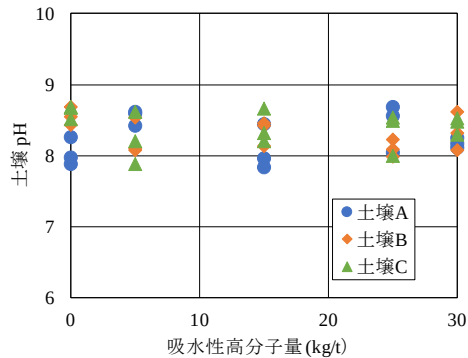


Fig. 9 試料土壌の pH
Relationship between Water-absorbing
Polymer Content and Test Soil pH

また、試料土壌のpH測定結果をFig. 9に示す。いずれの試料土壌も改良材添加によるpHの大きな変化は見られず、添加量が増えてもpHは高くなることはなかった。

Fig. 10に細粒分含有率と篩通過率、コーン指数とともに目標を達成できた改良材の吸水性高分子添加量の関係を示す。細粒分含有率が低い土質の場合、高含水の試料土壌であっても、少量の吸水性高分子量で改良ができていく。細粒分含有率の多い試料土壌に比較して保水力が低く、吸水性高分子の吸水力が発揮できたためと考えられる。細粒分含有率が多い土壌では、含水状態によって改良に必要な添加量が異なり、含水状態が高くなるほど必要な吸水性高分子添加量が多くなるが、従来、改良が難しいと考えられていた高粘性、高含水状態の土壌でも添加量を増加することによって目標を満足することがわかった。

4. 改良土の性状の検証

改良土壌を盛土利用する際の性状調査を目的として、締固め特性や圧密性、吸水膨張性を調べた。

4.1 試料土壌

試験に使用した試料土壌の性状を Table 3 に示す。土壌 D は細粒分質砂、土壌 E は砂まじり粘土に分類された。それぞれ、改良材を添加した区と添加していない区で比較を行った。改良材を添加した区は吸水性高分子を 5kg/t 添加した。

4.2 改良土壌の締固め特性

JIS A 1210 突き固めによる土の締固め試験(A-c 法)を実施した。

Fig. 11 に含水比と乾燥密度の結果を示す。乾燥密度は、いずれの土壌も改良材添加により小さくなる傾向にあり、特にそれぞれの最適含水比よりも乾燥側でその傾向が大きかった。また、細粒分の少ない土壌 D では、減少の幅が大きく、細粒分の多い土壌 E では、減少の幅が少なかった。土壌 E では盛土利用に際して、単位体積あたりの土壌質量の減少が少ないと考えられる。

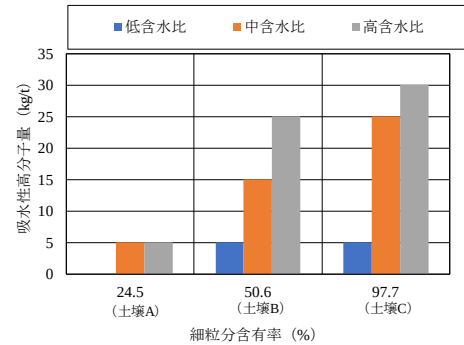


Fig. 10 細粒分含有率と吸水性高分子量
Relationship between Fine Fraction Content and
Water-absorbent Content

Table 3 試料土壌の性状
Properties of Test Soils

項目	単位	土壌D	土壌E
土粒子の密度	g/cm ³	2.659	2.608
粒度分布	2mm以上	0.0	0.0
	0.075~2mm	76.7	11.3
	0.005~0.075mm	11.5	22.2
	0.005mm未満	11.8	66.5
最大粒径	mm	0.850	0.425
液性限界	%	NP	61.2
塑性限界	%	NP	24.9
塑性指数		NP	36.3
地盤材料の分類名		細粒分質砂	砂まじり粘土
最大乾燥密度	g/cm ³	1.835	1.619
最適含水比	%	14.1	20.7

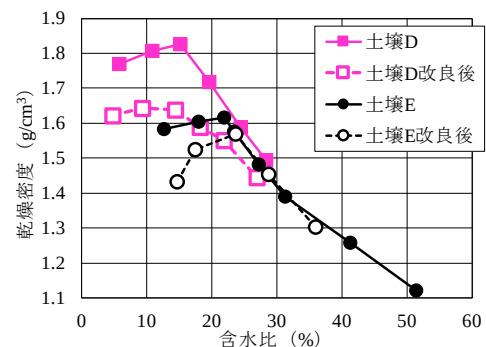


Fig. 11 含水比と乾燥密度の関係
Water Content-Dry Density Curve of Test Soils

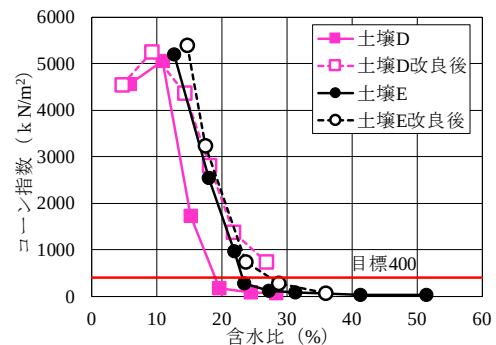


Fig. 12 含水比とコーン指数の関係
Water Content-Corn Index Curve of Test Soils

Fig. 12 に含水比とコーン指数の結果を示す。いずれの資料土壌についても、同じ含水比条件であれば、改良材添加後の方が大きくなり、改良材による強度増加の効果が確認できた。

Fig. 13 に含水比と空気間隙率の結果を示す。空気間隙率は、砂質土の試料土壌 D では増加する傾向にあったが、粘性土の試料土壌 E は改良材を添加すると増加したが、差は小さかった。例えば道路用盛土の路体における施工管理規定では、粘性土の空気間隙率は 10%以下、砂質土は 15%以下と規定されており、いずれの試料土もその規定を達成できる。空気間隙率が増加した改良土壌は改良材なしの土壌と比べて含水比を湿潤側にすることで施工管理できると考えられる。

Fig. 14 に含水比と締固め度の結果を示す。締固め度は、いずれの試料土壌とも土質改良材の添加有無による差は小さく、従来の締固め管理で十分に施工ができると考えられた。

4.3 高分子改良土の圧密と吸水膨張性

高分子改良土を盛土材等に利用した後、上載荷重による沈下や降雨等の接触による膨張の可能性を調べるために、圧密試験と吸水による膨張量と膨張圧を測定した。

圧密試験は、段階載荷による圧密試験 JIS A 1217 に準拠し実施した。締固め度 90%と同じ乾燥密度で圧密リングに充填し、排水条件で載荷荷重を $9.8 \sim 314 \text{ kN/m}^2$ の 6 段階、1 段階につき載荷時間を 24 時間とした。

吸水膨張試験も同様の条件で充填した。0~ 157 kN/m^2 で 1 日あたりの圧縮ひずみが 0.1%以下になるまで載荷荷重をかけた後、最終の沈下量を測定し、これを吸水膨張前の試料土高さとした。その後、圧密容器内に試料の上表面まで完全に水が覆うように水浸させ、経過時間に対する変位を測定し、膨張率を求めた。

膨張圧は、圧密リング充填後に上下を固定して変位が生じないようにセットした後、試料を水浸させて膨張にかかる荷重を測定した。

Table 4 に改良土の圧縮指数を示す。圧縮指数は砂質土の試料土壌 D で 0.1~0.2、粘性土の試料土壌 E で 0.2~0.3 の範囲であった。

Fig. 15 に圧密応力と間隙比の関係を示す。いずれの改良土壌でも、圧密応力が小さい範囲では間隙比が大きくなる傾向を示した。試料土壌 D では、圧密応力が大きくなっても間隙比が大きい傾向を示した。これは、荷重が小さい範囲では吸水材が保持した水量により間隙比が大きくなるが、荷重が大きくなると吸水材から水が一部排水されるが、吸水材中の水が保持され、一定(この試験では 0.7 付近)の間隙比に落ち着くことを示している。試料土壌 E では、圧密応力が大きくなると添加なしのケースと同程度の間隙比となった。

Table 5 に載荷応力 0 kN/m^2 時の最大膨張率と膨張圧の結果をそれぞれ示す。載荷応力 0 kN/m^2 時の膨張率は、改良材を添加した試料土壌 E では 0.69%と小さかったが、改

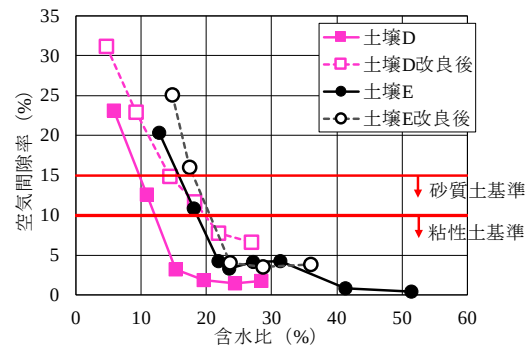


Fig. 13 含水比と空気間隙率の関係
Water Content-Air Porosity Curve of Test Soils

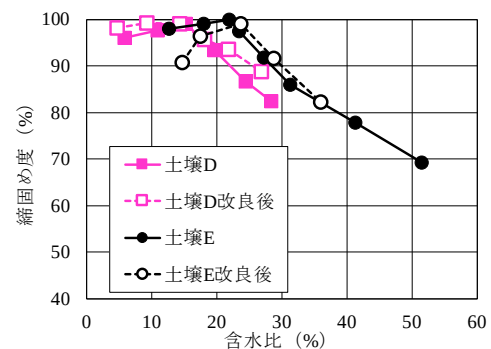


Fig. 14 含水比と締固め度の関係
Water Content-Degree of Compaction Curve of Test Soils

Table 4 試料土壌の圧縮指数
Compression Index of Test Soils

	圧縮指数
土壌D	0.126
土壌D改良後	0.173
土壌E	0.289
土壌E改良後	0.282

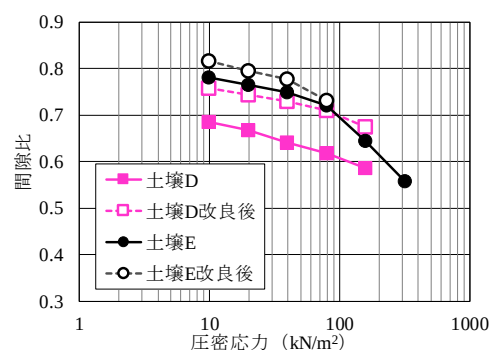


Fig. 15 圧密応力と間隙比の関係
Relationship between Consolidation Pressure and Void Ratio

良材を添加した試料土壌 D では 30.7%と大きい値を示した。

Fig. 16 に載荷応力と膨張率の関係を示す。膨張圧も同様に、改良材を添加した試料土壌 D では 10.6 kN/m^2 と高い値を示した。これは載荷応力が小さい場合で、砂質土の試

料土壌 D で改良材の吸水力が残存する条件では、改良材の吸水膨張により間隙比の減少と土全体の体積増加の両者を発生させることを示している(改良材単独の載荷荷重 0kN/m^2 の時の膨張率は 1000% 以上で、膨張圧は 890kN/m^2 であった)。一方で、載荷応力が大きくなると膨張率は小さくなり、載荷応力 9.8kN/m^2 で 1% 以下となった。砂質土の場合、締固め土の湿潤密度を 1.8t/m^3 とすると、載荷応力 9.8kN/m^2 は土圧で約 0.6m と算出されることから、砂質土の改良土を盛土した場合でも、土約 0.6m 分の上載荷重があれば、膨張する可能性は小さいと考えられる。

試料土壌 E は、改良材を添加してもほとんど膨張せずに、体積増加がないので、盛土した場合、膨張はないと考えられる。

5. まとめ

本研究では、速効型中性系土質改良材の土質の違いによる土質改良効果の確認および改良土壌の性状を調べた。得られた結果を以下に示す。

(1) 速効型中性系土質改良材による改良効果は、対象土質によって分級選別処理ならびに力学特性の値が異なるものの、いずれの対象土質に対しても改良効果がある。特に対象土質が砂質土の場合は、低含水比よりも高含水比の条件において速効型中性系土質改良材による改良効果が大きい期待できる。

(2) 砂質土および粘性土の速効型中性系土質改良材による改良土の締固め特性などからも、改良土は通常の締固め管理すれば盛土材等の施工ができる。

(3) 改良土壌は、圧密応力が小さい条件では間隙比が大きく、圧密とともに一部排水される傾向を示した。砂質土は吸水膨張率と膨張圧は、載荷応力が小さい条件では大きい値を示したが、土圧等で載荷応力がある条件では膨張等は小さく、砂質土やもともと膨張の少ない粘性土ともに盛土等利用できる。

謝辞

本研究の実施にあたり、御指導、御協力いただきました共同研究者の芝浦工業大学の稲積教授に深謝致します。

Table 5 試料土壌の膨張率と膨張圧
Expansion Rate and Expansion Pressure of Test Soils

	膨張率	膨張圧
単位	%	kN/m^2
土壌D	-	0
土壌D改良後	30.7	10.6
土壌E	-	0
土壌E改良後	0.69	1.0

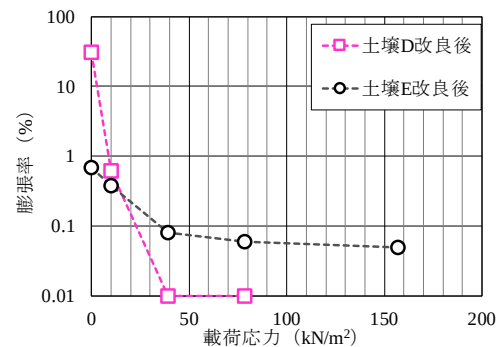


Fig. 16 載荷応力と膨張率の関係
Relationship between Loading Stress and Expansion Rate

参考文献

- 1) 塚田兼司, 他: 高分子吸収剤により改良された建設発生土の土質特性及び有効利用, 第3回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.27-32, 1999
- 2) 高田尚哉, 他: 速効型中性系土質改良材の現場適用, 第23回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.100-104, 2017
- 3) 増田房義, 他: 高吸水性ポリマーとその利用, 日本家政学会誌, vol40, No8, pp.721-724, 1989
- 4) 井出一貴, 他: 速効型中性系土質改良材の適用範囲検討, 第23回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.801-804, 2017
- 5) 稲積真哉, 他: 物理分析による速効型中性系土質改良材の改良機構・改良効果の検証, 土木学会論文集G(環境), vol74, No4, pp.165-175, 2018