

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6532319号
(P6532319)

(45) 発行日 令和1年6月19日(2019.6.19)

(24) 登録日 令和1年5月31日(2019.5.31)

(51) Int.Cl. F 1
E O 2 D 3/12 (2006.01) E O 2 D 3/12 1 0 2

請求項の数 5 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-128042 (P2015-128042) (22) 出願日 平成27年6月25日 (2015.6.25) (65) 公開番号 特開2017-8673 (P2017-8673A) (43) 公開日 平成29年1月12日 (2017.1.12) 審査請求日 平成30年6月13日 (2018.6.13)</p>	<p>(73) 特許権者 501304607 株式会社チダエンジニアリング 東京都台東区東上野1丁目11番10号 (74) 代理人 100082647 弁理士 永井 義久 (72) 発明者 千田 昌平 東京都台東区東上野1丁目11番10号 株式会社チダエンジニアリング内 審査官 神尾 寧</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粉体固化材を用いる深層混合処理工法および深層混合処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

径方向に突出する攪拌翼を備えた攪拌軸を、軸心周りに回転させつつ地盤の改良対象部位に掘削貫入するとともに、その過程で前記攪拌軸の先端部から流動性向上剤水溶液を噴射し、回転する前記攪拌翼により原位置土と流動性向上剤水溶液とを攪拌混合して、前記改良対象部位を流動性向上部位とし、

しかる後に、前記攪拌軸を軸心周りに回転しつつ、前記攪拌翼が前記流動性向上部位を通過するように貫入及び引き抜きの少なくとも一方を行うとともに、その過程で前記攪拌翼の回転方向背後に粉体固化材を噴射し、回転する前記攪拌翼により原位置土と粉体固化材とを攪拌混合し、その混合物の固化により柱状の改良体を造成する、

深層混合処理工法であって、

前記流動性向上剤水溶液を噴射しつつ掘削貫入する際、前記攪拌軸の掘削貫入抵抗を検出し、この掘削貫入抵抗が所定範囲に収まるように、前記攪拌軸の先端部から噴射する流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び噴射量をそれぞれ連続的又は段階的に変化させる、

ことを特徴とする粉体固化材を用いる深層混合処理工法。

【請求項2】

前記流動性向上剤濃度及び噴射量をそれぞれ連続的又は段階的に変化させるにあたり、
 (a) 掘削貫入抵抗が所定値未満では流動性向上剤濃度は一定として噴射量を変化させ、所定値以上では噴射量を一定として流動性向上剤濃度を変化させるか、

(b) 掘削貫入抵抗が所定値未満では噴射量は一定として流動性向上剤濃度を変化させ、所定値以上では流動性向上剤濃度を一定として又は変化させつつ噴射量を変化させるか、
 (c) 掘削貫入抵抗に応じて噴射量及び流動性向上剤濃度の両方を変化させるか、又は
 (d) 深度又は地層に応じて前記(a)～(c)のいずれか一つの変化を行う、
 請求項1記載の粉体固化材を用いる深層混合処理工法。

【請求項3】

前記粉体固化材の噴射に際して、前記攪拌翼の突出方向中間と対応する径方向範囲に開口する粉体噴射口から前記粉体固化材を噴射し、筒状の改良体を造成する、請求項1又は2記載の粉体固化材を用いる深層混合処理工法。

【請求項4】

径方向に突出する攪拌翼と、この攪拌翼の回転方向一方側に設けられた粉体噴射口と、先端部に設けられた液体噴射口と、を備えた攪拌軸と、
 この攪拌軸を支持するとともに、攪拌軸に回転力、引上げ力及び押し込み力を付与するベースマシンと、
 前記攪拌軸内を通じて前記粉体噴射口に粉体固化材を圧縮空気に乗せて圧送供給する粉体固化材供給装置と、
 この粉体固化材供給装置とは別に設けられた、前記攪拌軸内を通じて前記液体噴射口に流動性向上剤水溶液を、供給量可変かつ流動性向上剤の濃度可変で圧送供給する流動性向上剤供給装置と、

前記攪拌軸の掘削貫入抵抗を検出する検出装置と、

前記検出装置による検出結果に基づいて、前記掘削貫入抵抗が所定範囲に収まるように、前記攪拌軸の先端部から噴射する流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び噴射量をそれぞれ連続的又は段階的に変化させる制御装置と、

を備えたことを特徴とする粉体固化材を用いる深層混合処理装置。

【請求項5】

前記粉体噴射口が前記攪拌翼の突出方向中間と対応する径方向範囲に開口されている、請求項4記載の粉体固化材を用いる深層混合処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、粉体固化材を用いる深層混合処理工法およびこれに好適な深層混合処理装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

深層混合処理工法は、攪拌翼を備えた攪拌軸を地盤に挿入し、攪拌軸を介して地盤中に固化材を供給するとともに、攪拌軸を回転させて攪拌翼により原位置土と固化材とを攪拌混合し、その混合物の固化により柱状の改良体を造成するものであり、わが国固有の技術として開発され、普及以来30年余りを経過している工法である。深層混合処理工法は、これまで多くの実績を上げ、現在もなお代表的な地盤改良工法として広く用いられており、最近では、海外でも普及が始まり、深層混合処理工法は国際的な工法となりつつある。

深層混合処理工法は、セメント系固化材を水で溶いてスラリー状にして地盤に供給するスラリー系工法と、粉体状の固化材を直接地中に供給する粉体系工法とに大別することができる。スラリー系工法では、攪拌効率を高める目的で、攪拌翼の形状及び翼数の異なるものの他、正逆回転をするものなど多くの種類の施工機械が提案されている。一方、粉体系工法は、スウェーデンで開発されたライムコラム工法系のものと、我が国で本発明者により発明されたDJM工法の2種類だけである。ただし、ライムコラム工法は、DJM工法のように攪拌翼の背面から固化材を噴射する方式を採用しておらず、攪拌翼と直角方向に軸噴射しているだけで、粉体の噴射到達距離を大きく取ることができないため、改良径も最大600mmとDJM工法に比べて小さく噴射攪拌の原理が根本的に異なっている。しかも改良深度も最大15mであることから、我が国でいう深層混合処理工法の領域に

10

20

30

40

50

達していない。したがって、現状では深層混合処理工法の領域における粉体系工法といえ
ばD J M工法ということが出来る。以下、スラリー系工法とD J M工法との相違について
述べる。

【0003】

(固化材の相違)

スラリー系工法の場合は、セメントまたはセメント系固化材が好適であり、吸水性の高
いフライアッシュや石灰系固化材は不向きであるのに対して、粉体系工法の場合はいずれ
の材料にも適用できるため、低コストの材料を選定することができる。

【0004】

(余剰土)

深層混合処理工法の対象となる軟弱な地盤はもともと高含水比地盤であり、余分な水分
は必要としないところであるが、スラリー系工法は、固化材のハンドリングの関係から水
溶液に加工した状態で用いることになる。そのため、スラリー系工法では、スラリー化す
るために固化材を溶解するのに必要な水の分だけ固化材の体積が増加することになる。一
般的には改良地盤の20～30%のスラリーを供給することになる。その結果、飽和して
いる地盤であればその分が余剰土となり、その処理・処分が必要となる。これに対して、
粉体系工法の場合は原位置の水分に固化材を吸着させて固化させるため、スラリー系の一
ような固化材の体積増はなく、したがって余剰土も殆ど発生しない。

【0005】

(攪拌混合の原理)

粉体系工法では、空気圧送される粉体固化材が回転する攪拌翼の背後に一瞬できる空隙
に噴射され、攪拌翼により流動化された軟弱土の攪拌面(空隙内面)に散布されて軟弱土
内の水分に付着する。粉体固化材とともに噴射された空気は、軸周辺を通過して地上に排出
される。固化材が付着した軟弱泥土は、攪拌翼の回転速度と攪拌軸の軸方向移動速度の関
係で定まる螺旋状の深さ方向ピッチで攪拌翼によって削り取られ、面的に攪拌されること
で混合される。この攪拌翼による削り取り作用により、攪拌翼の背後に形成される空隙内
には順次新しい固化材付着面が作り出され、固化材の付着・切削・攪拌が繰り返される結
果、混合性の高い柱体が造成される。これに対して、スラリー系工法では、粉体系工法の一
ような固化材の原位置土との付着現象がないため、文字通り固化材スラリーと原位置土と
を混合させる必要がある。そのため、混合性能を向上させるために、攪拌翼の形状、正逆
回転翼、固定翼の取り付けなどの工夫がなされている。

【0006】

以上の対比からも粉体系工法の優位性は明らかである。しかし、粉体系工法においては
、スラリー系工法と比べて掘削貫入時及び固化材攪拌混合時の攪拌翼の回転抵抗が大きく
、改良径の大径化が困難であり、施工機械の大型化が不可避である等の問題点が残されて
いた。建設需要の低迷と海外需要の増加に伴い低コスト化が余儀なくされている昨今では
、大径化、すなわち大断面にすることによって、単位時間当たりの施工量を増やし1m³
当たりのコストを低減することは極めて重要である。

【0007】

そこで、本発明者は、粉体系工法において粉体系特有の利点を損ねずに改良径の大径化
を可能とするために、界面活性剤等の流動性向上剤水溶液を地盤中に噴射して掘削攪拌抵
抗を低減する粉体系工法について提案した(特許文献1参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2011-256541号公報

【特許文献2】特許第2790759号公報

【特許文献3】特許第3509579号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【0009】

しかしながら、本発明者らが試験を行ったところ、掘削攪拌抵抗を軽減する効果は認められたものの、地盤によっては加水が過度になり、不経済になるだけでなく、加水分の容積増加により余剰土の発生や地盤の盛り上がりのおそれがあることが認められた。つまり、改良対象は軟弱地盤と一口にいうことができるが、軟弱地盤といっても多種多様な地層からなっており、一般的には地表部が比較的固結した地層からなっており、途中にも締まった砂層に遭遇する場合がある一方、ピート層のようにほとんど泥水状の地層もあり、一律に流動性向上剤水溶液を噴射するのでは、高い経済性と改良径の大径化とを両立することができない。改良径の大径化の限界は、固結した地層を効率的に掘削貫入できる経済的限界ということもできる。

10

【0010】

特に、我が国においては合計1億 m^3 以上の実績のある深層混合処理工法ではあるが、海外においては、必ずしも汎用工法として定着しているわけではない。その理由は、情報や技術力がないということではなく、同じ深層地盤改良工法であるパーチカルドレーン工法に比べてコストが高いことにあると考えられる。パーチカルドレーン工法は、深層混合処理工法に比べて施工コストは安い、圧密促進工法であるため地盤強度が安定するまでに時間がかかる(数年)こと、載荷盛土を必要とするなどの問題があるのに対して、深層混合処理工法は、施工後すぐに上部構造物を構築できるといった利点がある。

【0011】

そこで、本発明の主たる課題は、粉体系工法において、粉体系特有の利点を生かして改良径の大径化を可能にしつつ、施工コストの低減を図ることにある。

20

【0012】

なお、粉体系工法においては、低含水比の地盤における攪拌混合に際し、原位置に水を供給して原位置土の含水比を調整する工法も提案されている(特許文献2、3参照)が、これらの技術は、低含水比の地盤において含水比を調整する範囲では加水により結果的に攪拌翼の回転抵抗が低減するものであるが、積極的に回転抵抗を低減して改良径の大径化を図ろうとするものではない。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題を解決した本発明は次記のとおりである。

30

<請求項1記載の発明>

径方向に突出する攪拌翼を備えた攪拌軸を、軸心周りに回転させつつ地盤の改良対象部位に掘削貫入するとともに、その過程で前記攪拌軸の先端部から流動性向上剤水溶液を噴射し、回転する前記攪拌翼により原位置土と流動性向上剤水溶液とを攪拌混合して、前記改良対象部位を流動性向上部位とし、

しかる後に、前記攪拌軸を軸心周りに回転しつつ、前記攪拌翼が前記流動性向上部位を通るように貫入及び引き抜きの少なくとも一方を行うとともに、その過程で前記攪拌翼の回転方向背後に粉体固化材を噴射し、回転する前記攪拌翼により原位置土と粉体固化材とを攪拌混合し、その混合物の固化により柱状の改良体を造成する、

深層混合処理工法であって、

40

前記流動性向上剤水溶液を噴射しつつ掘削貫入する際、前記攪拌軸の掘削貫入抵抗を検出し、この掘削貫入抵抗が所定範囲に収まるように、前記攪拌軸の先端部から噴射する流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び噴射量をそれぞれ連続的又は段階的に変化させる、

ことを特徴とする粉体固化材を用いる深層混合処理工法。

【0014】

(作用効果)

本発明は、粉体固化材の供給に先立ち、流動性向上剤水溶液を改良対象部位に供給して、掘削貫入時及び固化材攪拌混合時の攪拌翼の回転抵抗を軽減するにあたり、攪拌軸の掘削貫入抵抗を検出し、この掘削貫入抵抗が所定範囲に収まるように、流動性向上剤水溶液

50

の流動性向上剤濃度及び噴射量をそれぞれ連続的又は段階的に変化させることにある。

先ず、粉体系工法において流動性向上剤水溶液を利用することにより、原位置土の流動性向上及び粘性低下により、攪拌翼の回転抵抗が軽減するだけでなく、後の粉体固化材との攪拌混合性も向上することになる。また、原位置土の粘着性が高い場合であっても、土の塊が攪拌翼や攪拌軸に付着し難くなるという効果もある。さらに、粉体系工法においては、原位置土及びこれと固化材との攪拌混合物の流動性が比較的乏しいと、原位置に供給した空気が地上に抜けずに改良体内に空気溜まりとして残るおそれがあるが、流動性向上剤水溶液の使用により原位置土の流動性向上及び粘性低下が図られるため、原位置に供給した空気は攪拌軸外周面に沿って上昇して排気され易くなり、空気溜まりが発生し難くなるという効果もある。

10

【0015】

さらにまた、粉体系工法においては、前述したように、回転する攪拌翼の背後に一瞬できる空隙に粉体固化材が噴射され、固化材が付着した軟弱泥土は、攪拌翼の回転速度と攪拌軸の軸方向移動速度の関係で定まる螺旋状の深さ方向ピッチで攪拌翼によって削り取られ、面的に攪拌されることで混合され、この固化材の付着・切削・攪拌の繰り返しにより高い混合性が維持される。つまり、粉体固化材の攪拌混合原理と流動性向上剤との巧みな組み合わせにより、攪拌混合時の攪拌翼の回転抵抗が低減しても混合性が低下しにくいのである。これは、スラリー状固化材と原位置土とを攪拌翼で立体的に攪拌するスラリー系工法のように、一般的な攪拌混合原理に基づく場合、良好な混合性を得るためには攪拌翼の回転抵抗も大きくなければならないのとは対照的である。

20

【0016】

ただし、所定濃度の流動性向上剤水溶液を用いる場合、噴射量を変化させたとしても、前述のとおり、地盤によっては加水が過度になり、不経済になるだけでなく、加水分の容積増加により余剰土の発生や地盤の盛り上がりのおそれがある。これに対して、本発明のように、攪拌軸の掘削貫入抵抗を検出し、この掘削貫入抵抗が所定範囲に収まるように、流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び噴射量をそれぞれ連続的又は段階的に変化させると、地盤性状の変化に応じて掘削抵抗を効率的に低減することができ、もって、粉体系特有の利点を損ねずに改良径の大径化（換言すると、改良径が同径であれば、駆動装置の小型化等、施工機械の小型化が可能となる）が可能となるだけでなく、施工コストの低減も図ることができる。特に、濃度及び噴射量の両方の制御により、広範な土質変化に対応できる点は重要である。

30

【0017】

<請求項2記載の発明>

前記流動性向上剤濃度及び噴射量をそれぞれ連続的又は段階的に変化させるにあたり、
 (a) 掘削貫入抵抗が所定値未満では流動性向上剤濃度は下限一定として噴射量を変化させ、所定値以上では噴射量を上限一定として流動性向上剤濃度を変化させるか、
 (b) 掘削貫入抵抗が所定値未満では噴射量は下限一定として流動性向上剤濃度を変化させ、所定値以上では流動性向上剤濃度を上限一定として又は変化させつつ噴射量を変化させるか、
 (c) 掘削貫入抵抗に応じて噴射量及び流動性向上剤濃度の両方を変化させるか、又は
 (d) 深度又は地層に応じて前記(a)～(c)のいずれか一つの変化を行う、

40

請求項1記載の粉体固化材を用いる深層混合処理工法。

【0018】

(作用効果)

(a)の形態は、掘削貫入抵抗がある程度低い場合は噴射量の増加のみで流動性向上を図り、掘削貫入抵抗がある程度以上に高くなったときには流動性向上剤濃度の増加のみにより流動性向上を図ることにより、流動性向上剤の使用量を最小限に抑えつつ（つまりローコスト）、過度の加水による地盤の盛り上がりを防止できる利点がある。また、(b)の形態は、掘削貫入抵抗がある程度低い場合は流動性向上剤濃度の増加のみで流動性向上を図り、掘削貫入抵抗がある程度以上に高くなり、濃度の増加のみでは流動性向上が困難

50

になったときに噴射量の増加により流動性向上を図ることにより、地盤への加水を最小限に抑えて地盤の盛り上がり防止しつつ、適切な流動性向上を図ることができる。他方、例えば、砂質系の比較的固結した層を貫通させる場合は、低濃度に希釈した状態の流動性向上剤水溶液を多く注入した方が効果的であることが確認されており、このような場合には(a)の形態の制御が好ましいものとなる。(c)の形態は流動性向上効果を緩やかに発揮させる場合に好適である。他方、含水率の高い粘性地盤などではもともと地盤の中に十分過ぎるほどの水が含まれており、濃度の高い流動性向上剤水溶液を少量注入することで流動性向上効果が得られ、その分排土の発生や地盤の盛り上がり抑制できるため、このような場合には(b)の形態の制御が好ましいものとなる。よって、(d)の形態のように(a)～(c)の形態を適宜組み合わせるのも好ましい形態である。

10

【0019】

<請求項3記載の発明>

前記粉体固化材の噴射に際して、前記攪拌翼の突出方向中間と対応する径方向範囲に開口する粉体噴射口から前記粉体固化材を噴射し、筒状の改良体を造成する、請求項1又は2記載の粉体固化材を用いる深層混合処理工法。

【0020】

(作用効果)

深層混合処理工法における改良体の強さは、側方荷重すなわち曲げ強さが重要になることが多い。この場合、同じ断面積で大きな断面係数が得られる筒状の改良が有効になる。本発明の粉体系工法では、前述のとおり粉体系固化材が散布された断面で土中の水分に付着してその場で混合されるため、粉体固化材吐出位置を攪拌翼の突出方向中間と対応する径方向範囲にすることによって筒状の改良体を容易に造成することができ、また、中実断面改良に比べて粉体固化材の使用量を低減することができる。よって、粉体固化材の量の低減(つまりローコスト化)と改良径の大径化を図る上で非常に有効であるとともに、そのときに前述の本発明の利点が顕著となることはいうまでもない。スラリー系工法で筒状改良体を形成しようとした場合、一見可能なようではあるが、スラリー状固化材は流動性が高く複雑な動きをするとともに、注入圧によって抵抗の少ない攪拌軸側に移動し、攪拌軸に沿って地上に流れ出ようとする作用が働くため、現実には筒状の改良体を形成するのは困難であり、形成できるとしても粉体固化材を用いる場合と比べて崩れた形状の改良体となることは容易に理解できるものである。

20

30

なお、本項記載の発明と請求項1記載の発明との対比からも明らかなように、本発明における用語「柱状の改良体」には、中実の柱状の改良体の他、筒状の改良体も含まれる。

【0021】

<請求項4記載の発明>

径方向に突出する攪拌翼と、この攪拌翼の回転方向一方側に設けられた粉体噴射口と、先端部に設けられた液体噴射口と、を備えた攪拌軸と、

この攪拌軸を支持するとともに、攪拌軸に回転力、引上げ力及び押し込み力を付与するベースマシンと、

前記攪拌軸内を通じて前記粉体噴射口に粉体固化材を圧縮空気に乗せて圧送供給する粉体固化材供給装置と、

40

この粉体固化材供給装置とは別に設けられた、前記攪拌軸内を通じて前記液体噴射口に流動性向上剤水溶液を、供給量可変かつ流動性向上剤の濃度可変で圧送供給する流動性向上剤供給装置と、

前記攪拌軸の掘削貫入抵抗を検出する検出装置と、

前記検出装置による検出結果に基づいて、前記掘削貫入抵抗が所定範囲に収まるように、前記攪拌軸の先端部から噴射する流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び噴射量をそれぞれ連続的又は段階的に変化させる制御装置と、

を備えたことを特徴とする粉体固化材を用いる深層混合処理装置。

【0022】

(作用効果)

50

請求項 1 記載の発明と同様の作用効果を奏する。

【 0 0 2 3 】

< 請求項 5 記載の発明 >

前記粉体噴射口が前記攪拌翼の突出方向中間と対応する径方向範囲に開口されている、請求項 4 記載の粉体固化材を用いる深層混合処理装置。

【 0 0 2 4 】

(作用効果)

このように粉体噴射口を攪拌翼の突出方向中間と対応する径方向範囲に位置させることによって、粉体固化材の散布範囲を限定し、容易に筒状に改良することができる。その他は、請求項 3 記載の発明と同様の採用効果を奏する。

10

【 発明の効果 】

【 0 0 2 5 】

以上のとおり本発明によれば、粉体系工法において、粉体系特有の利点を生かして改良径の大径化を可能にしつつ、施工コストの低減を図ることが可能となる、等の利点がもたらされる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 6 】

【 図 1 】 深層混合処理装置の概略図である。

【 図 2 】 スイベルジョイント部分の縦断面図である。

【 図 3 】 (a) 管ユニットの正面図、(b) 2 - 2 断面図、及び (c) 内部管の断面図である。

20

【 図 4 】 (a) 管ユニットの接続部分の正面図、(b) 3 - 3 断面図、及び (c) 4 - 4 断面図である。

【 図 5 】 攪拌軸の攪拌部を示す拡大図である。

【 図 6 】 図 5 の 5 - 5 断面図である。

【 図 7 】 攪拌軸の攪拌部を示す拡大図である。

【 図 8 】 図 7 の 6 - 6 断面図である。

【 図 9 】 攪拌軸の攪拌部の縦断面図である。

【 図 1 0 】 貫入時及び引上げ時における、図 9 の 7 - 7 断面図、8 - 8 断面図、及び 9 - 9 断面図である。

30

【 図 1 1 】 掘削攪拌抵抗に対する噴射量及び濃度の変化を示すグラフである。

【 図 1 2 】 施工方法例を概略的に示す縦断面図である。

【 図 1 3 】 施工方法例を概略的に示す縦断面図である。

【 図 1 4 】 (a) 掘削貫入時の下段攪拌翼周囲の状態を示す概略図、(b) 引き上げ攪拌時の上段攪拌翼周囲の状態を示す概略図、及び (c) 下段攪拌翼の締固め効果を説明するための概略図である。

【 図 1 5 】 攪拌軸の横断面図である。

【 図 1 6 】 攪拌軸の攪拌部を示す拡大図である。

【 図 1 7 】 図 1 6 の 5 - 5 断面図である。

【 図 1 8 】 攪拌軸の攪拌部を示す拡大図である。

40

【 図 1 9 】 図 1 8 の 6 - 6 断面図である。

【 図 2 0 】 攪拌軸の攪拌部の縦断面図である。

【 図 2 1 】 筒状改良体を概略的に示す略斜視図である。

【 図 2 2 】 改良体の平面配列図である。

【 図 2 3 】 盛土構築例を概略的に示す縦断面図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 7 】

以下、本発明の一実施形態について添付図面を参照しながら詳説する。

図 1 は、深層混合処理装置 1 を示しており、この装置 1 は、攪拌軸 1 0 を備えたベースマシン 2 0 と、粉体固化材を計量圧送する粉体固化材供給装置 3 0 と、流動性向上剤水溶

50

液を、供給量可変かつ流動性向上剤の濃度可変で圧送供給する流動性向上剤供給装置 40 とで構成されている。

【0028】

ベースマシン 20 は、前端部に立設されたリーダー 21 と、リーダー 21 に沿って昇降自在に設けられた昇降部 22 と、昇降部 22 によって支持された攪拌軸 10 と、昇降部に搭載された、攪拌軸 10 を軸心周りに回転させる回転駆動装置 23 とを備えている。攪拌軸 10 は、昇降部 22 の昇降によって押し込み力又は引上げ力が付与されるとともに、回転駆動装置 23 により回転力が付与されるようになっている。

【0029】

攪拌軸 10 は、頭部にスイベルジョイント 11 が取り付けられた本体管 200 と、本体管 200 の先端部に設けられた攪拌部 100 とを備えており、攪拌部 100 は径方向両側に突出する下段攪拌翼 13 と、この下段攪拌翼 13 に対して基端側に所定の間隔を空けて設けられた、径方向両側に突出する上段攪拌翼 14 とを備えている。

【0030】

図 5、図 7 及び図 14 に示すように、上段攪拌翼 14 及び下段攪拌翼 13 は、攪拌軸 10 の周方向一方側が他方側よりも下側に位置する所定の傾斜姿勢で取り付けられており、貫入時の攪拌軸 10 の回転方向は翼下縁部が回転方向前側となり、引上げ時の回転方向はその逆で翼上縁部が回転方向前側となる。下段攪拌翼 13 の下縁部には下方に突出するカッター b1 が径方向に適宜の間隔を空けて取り付けられている。このカッター b1 は掘削貫入時に地盤を切削するためのものである。また、上段攪拌翼 14 の下縁部には下方に突出する攪拌刃 b2 が径方向に適宜の間隔を空けて取り付けられている。さらに、下段攪拌翼 13 の上縁部にも、上方に突出する攪拌刃 b3 が径方向に適宜の間隔を空けて取り付けられている。これらの攪拌刃 b3 は攪拌作用を発揮するものである。

【0031】

また、図 5 ~ 図 10 に示すように、攪拌部 100 には、上段攪拌翼 14 の引上げ時回転方向背後の位置に径方向外側を向く上段粉体噴射口 15 が形成されるとともに、下段攪拌翼 13 の径方向一方側の翼部及び他方側の翼部の貫入時回転方向背後の位置に径方向外側を向く下段粉体噴射口 12 及び下段液体噴射口 16 がそれぞれ設けられ、また先端部に先端液体噴射口 17 が設けられており、これら粉体噴射口 12, 15 及び液体噴射口 16, 17 には、攪拌軸 10 に内蔵された内部粉体ライン L1 及び内部液体ライン L2 がそれぞれ接続されている。

【0032】

図示形態についてより詳細に説明すると、攪拌部 100 は、本体軸 101 と、本体軸 101 の外側に同心状に回動自在に支持された管状部 110 とを有しており、本体軸 101 の外周面に設けられた凸部 105 が管状部 110 の内周面の所定の角度範囲に設けられた凹部 111 内に位置されることにより、管状部 110 が本体軸 101 に対して所定の角度範囲内で回動自在とされている。管状部 110 には上段攪拌翼 14 及び下段攪拌翼 13 がそれぞれ設けられるとともに、前述の位置に上段粉体噴射口 15、下段粉体噴射口 12 及び下段液体噴射口 16 がそれぞれ形成され、本体軸 101 の先端部（下端部）には先端液体噴射口 17 が形成されている。また、本体軸 101 内には、内部粉体ライン L1 を形成する攪拌部粉体流路 102、及び内部液体ライン L2 を形成する攪拌部液体流路 103 がそれぞれ形成されている。このうち、攪拌部粉体流路 102 は、本体軸 101 の上端部から先端側に延在するとともに二流路に分岐して、一方は下段粉体噴射口 12 と対応する軸方向位置の側面に、及び他方は上段粉体噴射口 15 と対応する軸方向位置の側面にそれぞれ開口されている。また、攪拌部液体流路 103 は、本体軸 101 の上端部から先端側に延在するとともに二流路に分岐して、一方は下段液体噴射口 16 と対応する軸方向位置の側面に開口されるとともに、他方は先端液体噴射口 17 に接続されている。

【0033】

そして、図 6 及び図 8 の対比からも分かるように、上段粉体噴射口 15 及び下段粉体噴射口 12 の回転方向位置が管状部 110 の回動角度と等しい角度（図示例では 90 度）だ

10

20

30

40

50

けずらされており、図10に示されるように、管状部110を本体軸101に対して貫入時回転方向と反対側の回動限界まで回動した状態で、攪拌部粉体流路102の一方の出口が下段粉体噴射口12に接続され、攪拌部液体流路103の一方の出口が下段液体噴射口16に接続され、攪拌部粉体流路102の他方の出口が上段粉体噴射口15に接続されない貫入時状態となり、管状部110を本体軸101に対して引き上げ時回転方向（貫入時回転方向と逆向き）と反対側の回動限界まで回動した状態で、攪拌部粉体流路102の一方の出口が下段粉体噴射口12に接続されず（図示形態では、攪拌部液体流路103の一方の出口も下段液体噴射口16に接続されなくなるが、必須ではない）、攪拌部粉体流路102の他方の出口が上段粉体噴射口15に接続される引き上げ時状態となるように構成されている。したがって、掘削貫入時には攪拌翼13, 14が受ける抵抗により自動的に管状部110が本体軸101に対して貫入時回転方向と反対側の回動限界まで回動した上述の貫入時状態に維持され、引き上げ時に攪拌軸10の回転方向を逆向きにすることにより、攪拌翼13, 14が受ける抵抗により管状部110が本体軸101に対して逆向きに回動し、管状部110が本体軸101に対して引き上げ時回転方向と反対側の回動限界まで回動した上述の引き上げ時状態に維持されるようになる。なお、図示形態の攪拌部100の本体軸101は上端部が後述の管ユニット201のソケット部203と同様に形成されており、管ユニット201のプラグ部202を連結することにより、本体軸101の内部に設けられた攪拌部粉体流路102及び攪拌部液体流路103が管ユニット201の内部管212, 213にそれぞれ接続されるようになっている。

10

【0034】

20

本体管200は、内部粉体ラインL1及び内部液体ラインL2を形成するために二重管構造あるいは三重管構造とすることもできるが、図示形態では、図4に拡大して示すように、内部粉体ラインL1及び内部液体ラインL2が並んで設けられた簡素な構造としている。また、本体管200は、掘削深度に応じて複数の管ユニット201を継ぎ足して延長できるものであれば特に限定されず、継手構造もネジ継手やフランジ継手とすることもできるが、図示形態では、アースオーガーで良く用いられている六角断面の嵌合・ピン止め式の継手構造を採用している。すなわち、図3に示すように、管ユニット201の長手方向一端部には軸方向に突出する六角柱状のプラグ部202が設けられるとともに、他端部にはプラグ部202が軸方向に嵌合される六角筒状のソケット部203が設けられ、他の管ユニット201と突き合わせてプラグ部202をソケット部203に挿入した状態で、プラグ部202及びソケット部203を横断方向に貫通するピン溝207及びピン孔204が形成され、当該挿入状態でピン孔204に図示しないコッターピン205を差し込むことにより両管ユニット201が連結されるものである。プラグ部202には、連結される一方の管ユニット201の内部管212, 213と他方の管ユニット201の内部管212, 213を中継接続するための中継管路206が軸方向に貫通するように形成されており、両管ユニット201の連結時に内部管212, 213も接続されるようになっている。

30

【0035】

一方、図2に詳細に示すように、攪拌軸10の頭部は、粉体および液体を個別のラインで同時に圧送できる構造のスイベルジョイント11に接続されており、攪拌軸10の内部粉体ラインL1及び内部液体ラインL2は、このスイベルジョイント11を介して対応する外部粉体ラインL11及び外部液体ラインL12に相互独立に且つ恒常的に接続されており、外部粉体ラインL11は粉体固化材供給装置30に、及び外部液体ラインL12は流動性向上剤供給装置40にそれぞれ接続されている。なお、図示形態のスイベルジョイント11では、空気混合状態の粉体は複雑な経路を通らないように回転軸11Xの回転中心に沿って直列に連結し、複雑な経路を通っても詰まりの心配のない流動性向上剤水溶液は、スイベルジョイント11の軸受部11Bの内周面に沿って環状に設けた溝11dを介して、回転軸11Xの側面に開口し、当該溝に沿って回転する供給口11iから供給する構造としている。また、図示形態のスイベルジョイント11の回転軸11Xは下端部11Pが前述の管ユニット201のプラグ部202と同様に形成されており、管ユニット20

40

50

1のソケット部203を連結することにより、回転軸11Xの内部に設けられた粉体流路112及び液体流路113が管ユニット201の内部管212, 213にそれぞれ接続されるようになっている。

【0036】

粉体固化材供給装置30は、粉体固化材を貯留するサイロ31と、このサイロ31から投入される粉体固化材を図示しないコンプレッサーから供給される圧縮空気に乗せて、外部粉体ラインL11を介して送出する送出機32とを備えている。

【0037】

流動性向上剤供給装置40は、供給量可変かつ流動性向上剤の濃度可変で流動性向上剤水溶液を供給するものであれば特に限定されないが、図示形態では、流動性向上剤原液（使用濃度以上の濃度の水溶液を含む）を貯留する原液貯留槽41と、その貯留液を送出する原液ポンプ42と、希釈水槽43と、その貯留水を送出する希釈水ポンプ44と、原液ポンプ42及び希釈水ポンプ44から送出される流動性向上剤原液及び希釈水を合流混合した後に外部液体ラインL12を介して攪拌軸10に供給するものであり、原液ポンプ42及び希釈水ポンプ44の吐出量を独立的に変化させることにより、攪拌軸10に供給する流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び供給量を変化させることができるようになっている。

【0038】

流動性向上剤としては、水溶液にして地盤に注入することにより土の流動性を向上させることができる限り、特に限定されるものではないが、界面活性剤が好適である。流動性向上剤としては、例えばコンクリート用混和剤として公知の、起泡剤（合成界面活性剤系、樹脂石鹼系、蛋白系）、流動化剤（界面活性剤が主成分であり、ナフタリンスルホン酸ホルムアルデヒド高縮合物塩やメラミンスルホン酸ホルムアルデヒド高縮合物塩、スチレンスルホン酸共重合体塩など）、AE剤、AE減水剤、減水剤、高性能AE減水剤等を好適に使用することができる。

【0039】

他方、深層混合処理装置1は、攪拌軸10の掘削貫入抵抗（回転貫入負荷）を検出する検出装置を備える。検出する掘削貫入抵抗は、掘削貫入の際の貫入抵抗及び回転抵抗の少なくとも一方の指標となるものであれば特に限定されず、例えば攪拌軸10の回転駆動トルク等を単独で掘削貫入抵抗として検出することもできるが、原地盤の地盤性状（地層種類、粘性、含水率等）をより正確に反映させるために、攪拌軸10の回転駆動トルク（施工機械がトルクセンサーを装備していない場合は、電動機駆動の方式のものには電流値、油圧駆動のものには油圧を用いることも可能）、攪拌軸10の回転速度（又は回転数）、及び貫入速度を各計測器により計測して、これらの計測結果からコンピュータによる算出等により深度毎の掘削貫入抵抗を検出することが望ましい。この場合、各計測器及びコンピュータが検出装置を構成することになる。現在の施工機械はこれらの機器を装備していることが多く、その場合にはその機器をそのまま利用すれば良いが、機器の一部又は全部を備えない場合には別途装備する必要がある。また、掘削貫入抵抗の算出手法は、仕事量によるもの（例えば特開2002-266343号公報の[0037]記載の式）等、公知の手法を特に限定無く用いることができる。

【0040】

さらに、深層混合処理装置1は、掘削貫入の際に検出装置による検出結果に基づいて、掘削貫入抵抗の増減に応じて、攪拌軸10の先端部から噴射する流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び噴射量をそれぞれ連続的又は段階的に上下させる制御装置50を備えている。図示形態のように、原液ポンプ42からの流動性向上剤原液と希釈水ポンプ44からの希釈水とを合流混合して供給するとともに、原液ポンプ42及び希釈水ポンプ44の吐出量を独立的に変化させることにより、攪拌軸10に供給する流動性向上剤濃度及び供給量を変化させる場合、原液ポンプ42及び希釈水ポンプ44の吐出量の比を一定に保ちつつ各吐出量を増減すれば供給量のみを増減させることができ、また、原液ポンプ42及び希釈水ポンプ44の吐出量の和を一定に保ちつつ吐出量の比を変化させれば濃度のみ

10

20

30

40

50

を増減させることができる。もちろん、原液ポンプ 4 2 及び希釈水ポンプ 4 4 の吐出量の比が変化するように各吐出量を増減すれば濃度及び供給量の両方を同時に変化させることができる。希釈水ポンプ 4 4 を停止（吐出量 0）して、原液ポンプ 4 2 を作動させることにより、流動性向上剤水溶液の濃度は最高（原液濃度）となり、これを流動性向上剤水溶液の制御濃度の上限とすることもできるが、濃度の上限はこれよりも低く設定し、常に原液ポンプ 4 2 及び希釈水ポンプ 4 4 の両方を駆動することも可能である。

【 0 0 4 1 】

掘削貫入抵抗に基づく流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び噴射量の制御形態は適宜定めることができるが、主に以下のような形態が考えられる。

(a) 第 1 の形態は、図 1 1 (a) に示すように、掘削貫入抵抗が所定値 k 未満では流動性向上剤濃度は下限 j_1 一定として噴射量を増減させ、所定値 k 以上では噴射量を上限 i_2 一定として流動性向上剤濃度を増減させる形態である。この形態は、掘削貫入抵抗がある程度低い場合は噴射量の増加のみで流動性向上を図り、掘削貫入抵抗がある程度以上に高くなったときには流動性向上剤濃度の増加のみにより流動性向上を図ることにより、流動性向上剤の使用量を最小限に抑えつつ（つまりローコスト）、過度の加水による地盤の盛り上がり防止防止するものである。

(b) 第 2 の形態は、図 1 1 (b) に示すように、掘削貫入抵抗が所定値 k 未満では噴射量は下限 i_1 一定として流動性向上剤濃度を増減させ、所定値 k 以上では流動性向上剤濃度を上限 j_2 一定として（又は増減させつつ）噴射量を増減させる形態である。この形態は、掘削貫入抵抗がある程度低い場合は流動性向上剤濃度の増加のみで流動性向上を図り、掘削貫入抵抗がある程度以上に高くなり、濃度の増加のみでは流動性向上が困難になったときに噴射量の増加により流動性向上を図ることにより、地盤への加水を最小限に抑えて地盤の盛り上がり防止しつつ、適切な流動性向上を図ろうとするものである。

(c) 第 3 の形態は、図 1 1 (c) に示すように、掘削貫入抵抗に応じて噴射量及び流動性向上剤濃度の両方を増減させる形態である。本第 3 の形態は流動性向上効果を緩やかに発揮させる場合に好適である。

(d) 第 4 の形態は、深度や地層に応じて第 1 ~ 第 3 のいずれか一つの形態を行うものである。例えば、砂質系の比較的固結した層を貫通させる場合は、低濃度に希釈した状態の流動性向上剤水溶液を多く注入した方が効果的であることが確認されており、このような場合には第 1 の形態の制御が好ましいものとなる。また、含水率の高い粘性地盤などではもともと地盤の中に十分過ぎるほどの水が含まれており、濃度の高い流動性向上剤水溶液を少量注入することで流動性向上効果が得られ、その分排土の発生や地盤の盛り上がりを抑制できるため、このような場合には第 2 の形態の制御が好ましいものとなる。

【 0 0 4 2 】

上記 (a) (b) の制御形態における掘削貫入抵抗の所定値 k 、噴射量の下限 i_1 及び上限 i_2 、並びに流動性向上剤濃度の下限 j_1 及び上限 j_2 は、施工に際して通常行われる原位置でのサンプリング、標準貫入試験、三成分コーン貫入試験等の土質調査の結果（原位置ではなく標準的データを用いても良い）により適宜定めることができる。また、上記 (a) (b) (c) の制御形態における噴射量及び流動性向上剤濃度の増減変化は、グラフでは直線的に連続変化させているが、曲線的に連続変化させることもでき、また図示しないが、段階的（階段状）に変化させることもできる。

【 0 0 4 3 】

掘削貫入抵抗に基づく流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び噴射量の制御に際しては、原位置又はそれに近い土質の地盤で試験を行い、検出される掘削貫入抵抗に対して流動性向上剤濃度及び噴射量をどの程度にすれば掘削貫入抵抗が目的範囲に収まるのか両者の関係を予め把握しておき、施工に際してはこの関係を用いて制御を行うことが望ましい。もちろん、このようなプリセットされた関係に基づく制御だけでなく、検出される掘削貫入抵抗が目的に範囲に収まるように流動性向上剤濃度及び噴射量をフィードバック制御することも可能である。

【 0 0 4 4 】

次に、図 1 2 及び図 1 3 を参照しつつ、上記深層混合処理装置 1 を用いた施工方法の一例について説明する。この例は、攪拌軸 1 0 を地盤に掘削貫入し、改良対象部位の流動性を向上させた後、当該流動性向上部位 G に粉体状の固化材を噴射し攪拌翼 1 3 , 1 4 により攪拌し、固化柱体 C B を造成する施工形態への応用例である。この例では、先ず制御装置 5 0 により流動性向上剤供給装置 4 0 の原液ポンプ 4 2 及び希釈水ポンプ 4 4 を作動させ、流動性向上剤供給装置 4 0 から流動性向上剤水溶液を圧送し、外部液体ライン L 1 2 及び内部液体ライン L 2 を経て、図 1 2 (a) に示すように下段液体噴射口 1 6 からは径方向外側に及び先端液体噴射口 1 7 からは貫入方向にそれぞれ噴射させながら、攪拌軸 1 0 を地盤の改良対象部位に回転貫入する。この際、前述のとおり攪拌翼 1 3 , 1 4 が受ける抵抗により図 1 0 に示すように自動的に管状部 1 1 0 が本体軸 1 0 1 に対して貫入時回転方向と反対側の回動限界まで回動し、攪拌部粉体流路 1 0 2 の一方の出口が下段粉体噴射口 1 2 に接続され、攪拌部液体流路 1 0 3 の一方の出口が下段液体噴射口 1 6 に接続され、攪拌部粉体流路 1 0 2 の他方の出口が上段粉体噴射口 1 5 に接続されない貫入時状態に維持される。このため、粉体固化材供給装置 3 0 は粉体固化材の供給は停止したまま圧縮空気のみ供給して、下段粉体噴射口 1 2 からは地下水等の逆流防止のため圧縮空気を噴射させる。下段液体噴射口 1 6 から噴射される流動性向上剤水溶液は、図 1 4 (a) に示すように下段攪拌翼 1 3 の回転方向背後に形成される空隙 S 1 に散布される。これによって、回転する攪拌翼 1 3 , 1 4 により原位置土と流動性向上剤水溶液とが攪拌混合され、原位置土の流動性向上及び粘性低下が図られる。その結果、掘削貫入時の攪拌翼 1 3 , 1 4 の回転抵抗が軽減され、改良径を大径化しても良好に掘削貫入を行うことができるとともに、改良対象部位の流動性が向上して、後の粉体固化材の散布混合に適した流動性向上部位 G になる。改良径（攪拌翼 1 3 , 1 4 径）は特に限定されないが、本発明によれば流動性向上剤水溶液を使用することによって改良径で 1 . 3 倍以上、断面積で 1 . 5 倍以上の能力が期待でき、我が国の従来 1 m 径、海外の 0 . 6 m 径に対して 1 . 3 ~ 3 m 径程度とすることができる。

【 0 0 4 5 】

この掘削貫入の際、検出装置により攪拌軸 1 0 の掘削貫入抵抗が検出され、制御装置 5 0 により流動性向上剤水溶液の流動性向上剤濃度及び噴射量の制御がなされる。これにより地盤性状の振動方向の変化に応じて掘削抵抗を効率的に低減することができ、もって、粉体系特有の利点を損ねずに改良径の大径化（換言すると、改良径が同径であれば、駆動装置の小型化等、施工機械の小型化が可能となる）が可能となるだけでなく、施工コストの低減も図ることができる。また、流動性向上剤濃度及び噴射量の両方の制御により、広範な土質変化に対応できる点も重要である。

【 0 0 4 6 】

一例として、基本的に軟弱地盤であるが深度方向の途中に比較的締まった砂層が存在する場合を考えると、掘削貫入抵抗は当該砂層に達するまでは比較的低い状態が続き、砂層に達すると急に高くなり、当該層を貫通すると元の低い状態に戻ることになる。ここで、制御装置 5 0 の制御形態を図 1 1 (a) に示される第 1 の形態とし、かつ掘削貫入抵抗の所定値 k を砂層における掘削貫入抵抗よりも低く設定したとすると、砂層に到達するまでは検出装置により検出される掘削貫入抵抗が所定値未満となるため、流動性向上剤濃度は下限 j_1 一定として噴射量を掘削貫入抵抗に応じて増減させる制御となる。そして、砂層に到達すると、検出装置により検出される掘削貫入抵抗が所定値 k 以上となるため、噴射量を上限 i_2 一定として流動性向上剤濃度を掘削貫入抵抗に応じて増減させる制御となる。さらに、砂層を貫通すると、検出装置により検出される掘削貫入抵抗が所定値 k 未満となるため、流動性向上剤濃度は下限 j_1 一定として噴射量を掘削貫入抵抗に応じて増減させる制御となる。

【 0 0 4 7 】

攪拌軸 1 0 が所定深度に達したならば、以降は適宜の手法により流動性向上部位 G に粉体状の固化材を噴射攪拌し、固化柱体 C B を造成する。例えば、図 1 2 (b) に示すように定着部（改良部位の底部）深度に下段攪拌翼 1 3 が達したならば、流動性向上剤供給装

置 40 からの流動性向上剤水溶液の供給を停止し、図 12 (c) に示すように下段攪拌翼 13 が上段攪拌翼 14 付近に来るまで (図中の距離 D1 だけ) 攪拌軸 10 を上げた後、図 13 (d) に示すように再び下段攪拌翼 13 が元の深度に達するまで貫入時回転方向に回転しつつ貫入するとともに、粉体固化材供給装置 30 を作動させ、今度は圧縮空気に粉体固化材を混合して外部粉体ライン L11 及び内部粉体ライン L1 を経て下段粉体噴射口 12 から噴射させる (先端処理)。下段粉体噴射口 12 から噴射される粉体固化材は、図 14 (a) に示す流動性向上剤液の場合と同様に、下段攪拌翼 13 の回転方向背後に形成される空隙 S1 に散布される。固化材が付着した軟弱泥土は、下段攪拌翼 13 の回転速度と攪拌軸 10 の軸方向移動速度の関係で定まる螺旋状の深さ方向ピッチで下段攪拌翼 13 によって削り取られ、面的に攪拌されることで混合される。そして、この固化材の付着・切削・攪拌の繰り返しによって、図 12 (c) に示すように、先端部 M1 において原位置土と粉体固化材とが良好に攪拌混合される。

10

【0048】

そして、下段攪拌翼 13 が定着部深度に達して先端処理が終了したならば、図 13 (e) に示すように、攪拌軸 10 を貫入時とは逆に回転しつつ引き上げるとともに、その過程で、粉体固化材供給装置 30 を作動させて粉体固化材を外部粉体ライン L11 及び内部粉体ライン L1 を経て上段粉体噴射口 15 から噴射させる。引き上げ時に攪拌軸 10 の回転方向を逆向きにすることにより、攪拌翼 13, 14 が受ける抵抗により図 10 に示すように管状部 110 が本体軸 101 に対して逆向きに回動し、管状部 110 が本体軸 101 に対して引き上げ時回転方向と反対側の回動限界まで回動し、攪拌部粉体流路 102 の一方の出口が下段粉体噴射口 12 に接続されず、攪拌部粉体流路 102 の他方の出口が上段粉体噴射口 15 に接続された引き上げ時状態に維持される。上段粉体噴射口 15 から噴射される粉体固化材は、図 14 (b) に示すように上段攪拌翼 14 の回転方向背後に形成される空隙 S2 に散布される。固化材が付着した軟弱泥土は、上段攪拌翼 14 の回転速度と攪拌軸 10 の軸方向移動速度の関係で定まる螺旋状の深さ方向ピッチで攪拌翼 13, 14 によって削り取られ、面的に攪拌されることで混合される。さらに、図示例では、攪拌軸 10 の引き上げに伴い、下段攪拌翼 13 の上縁部に設けられた掘削ビット b3 により、上段攪拌翼 14 に続いて、逆向きで面的な攪拌がなされるため、混合性はより一層向上する。そして、この固化材の付着・切削・攪拌の繰り返しによって、先端部 M1 より上側の部位 M2 において原位置土と粉体固化材とが良好に攪拌混合され、先端部 M1 及びそれより上側の部分の固化により、図 13 (f) に示すように柱状の改良体 CB が造成される。なお、この際、下段攪拌翼 13 は図 14 (c) に矢印で示すように混合処理土を下方に押し付ける作用を発揮するため、造成される改良体 CB は良好に締め固められたものとなる。

20

30

【0049】

一方、粉体固化材の噴射に際し、粉体固化材とともに供給された空気は、図 13 (d) 及び (e) に矢印で示すように、攪拌軸 10 外面に沿って地上に排出される。この空気排出を円滑にするために、図 7、図 8 及び図 14 (b) に示すように、上段攪拌翼 14 の引き上げ時回転方向背面に、粉体噴射口 15 の上側近傍の高さ位置に、径方向に沿って翼基端から先端部近傍まで延在する尾根状の凸筋 14p を形成するのは好ましい。上段攪拌翼 14 背面に凸筋 14p を有すると、図 14 (b) から理解できるように、上段攪拌翼 14 の回転方向背後に空隙が上下 2 段に仕切られ、凸筋 14p 下側に噴射される空気が凸筋 14p 上側の空隙を通じて本体軸 101 側に還流し、本体軸 101 及び本体管 200 と地盤との間を通じて地上に排出されるため、改良体 CB に空気溜まりが発生し難くなる。

40

【0050】

また、図 5、図 7、図 12、図 13 及び図 15 (b) に示すように、攪拌軸 10 の外周面に攪拌軸 10 の長手方向に沿って延在する筋状突起 18 を形成し、攪拌軸 10 の回転により、筋状突起 18 の回転方向背後に形成される空隙を地上へ通じる空気排出通路として排気を促進するのも好ましい。ただし、この場合、攪拌軸 10 に泥土が付着して筋状突起 18 の突出高さが低くなり、十分な空隙を維持することが困難となることもありうる。また、筋状突起 18 を平鋼で形成すると強度が問題となるおそれがある。そこで、図 5、図

50

7及び図15(a)に示すように、攪拌軸10の外周面に攪拌軸10の長手方向に沿って延在する排気管路19Sを形成することを提案する。図示形態では、攪拌軸10の本体管200の外周面に、軸方向に沿うアングル(山形鋼)19を頂部が外側となる向きで溶接し、本体管200外面とアングル19内面との間の空間が排気管路19Sとなるようにしているが、鋼管等のパイプを攪拌軸10の外周面に沿って取り付け排気管路19Sを形成しても良い。図示例では、攪拌軸10の周方向の対向位置に排気管路19Sをそれぞれ設けているが、さらに排気管路19Sの数を増やすこともできる。図5及び図7に示す例のように、攪拌部100における攪拌翼13,14を有する部分には筋状突起18を設け、それより上側には排気管路19Sを設ける形態とする他、後述する図16及び図18に示す例のように、攪拌部100における攪拌翼13,14を有する部分を含めて排気管路19Sを形成することもできる。また、排気管路19Sは攪拌軸10に沿って連続していることが望ましいが、例えば後述する図16及び図18に示す例における下段攪拌翼13と上段攪拌翼14との間における排気管路19Sと、上段攪拌翼14以上の排気管路19Sとが不連続となっていることから分かるように、排気管路19Sは管ユニット201の接続位置等である程度不連続となっても良い。

【0051】

他方、上記例では、攪拌軸10の外周面に粉体噴射口12,15を設けているため、造成される改良体CBは中実の柱状の改良体となるが、図16~図20に示すように、攪拌軸10の外周面から粉体噴射管12P,15Pを径方向外側に延ばす等により、粉体噴射口12,15を攪拌翼13,14の突出方向中間と対応する径方向範囲に開口させ、粉体固化材の噴射に際して、攪拌翼13,14の突出方向中間と対応する径方向範囲に開口する粉体噴射口12,15から粉体固化材を噴射し、図21に示すような筒状の改良体CB(中心部が未改良の固化柱体)を造成することも提案される。その他は、前述の形態と同様である。深層混合処理工法における改良体CBの強さは、側方荷重すなわち曲げ強さが重要になることが多い。この場合、同じ断面積で大きな断面係数が得られる筒状の改良が有効になる。本発明の粉体系工法では、前述のとおり粉体系固化材が散布された断面で土中の水分に付着してその場で混合されるため、粉体固化材吐出位置を攪拌翼13,14の突出方向中間と対応する径方向範囲にすることによって図21に示すような筒状の改良体CBを容易に造成することができ、また、中実断面改良に比べて粉体固化材の使用量を低減することができる。よって、粉体固化材の量の低減(つまりローコスト化)と改良径の大径化を図る上で非常に有効であるとともに、そのときに前述の本発明の利点が顕著となることはいうまでもない。スラリー系工法で筒状の改良体を形成しようとした場合、一見可能なようではあるが、スラリー状固化材は流動性が高く複雑な動きをするとともに、注入圧によって抵抗の少ない攪拌軸側に移動し、攪拌軸に沿って地上に流れ出ようとする作用が働くため、現実には筒状の改良体を形成するのは困難であり、形成できるとしても粉体固化材を用いる場合と比べて崩れた形状の改良体となることは容易に理解できるものである。

【0052】

(その他)

(A)攪拌翼は図示例の下段攪拌翼13だけとし、上段粉体噴射口15を省略しても良い。さらに、同一の段の攪拌翼は図示例では対向方向に2枚突出させているが、3枚以上放射方向に突出させることも可能である。

【0053】

(B)下段液体噴射口16の位置は、攪拌軸10の先端部であれば、攪拌翼の貫入時回転方向背後でなくても良い。

【0054】

(C)上記例では、粉体固化材のみで先端処理まで行っているが、特許文献1記載のもののように、スラリー固化材による先端処理を行っても良く、その場合には下段粉体噴射口12を省略し、下段液体噴射口16からスラリー固化材を噴射させることができる。

【0055】

(D) 粉体固化材の噴射は、流動性向上剤水溶液の攪拌混合後であれば攪拌軸 10 の引上げ時のみならず、攪拌軸 10 を一度引上げた後に再度貫入する過程で行うこともでき、その場合、上段粉体噴射口を省略することもできる。

【0056】

(E) 本発明では、セメント、セメント系固化材、フライアッシュ(石炭灰)、石灰系固化材等の複数種の粉体固化材を同時噴射することができ、その場合、供給ラインを粉体固化材の種類別に設けて個別に圧送・噴射するほか、予め混合可能な材料である場合は共通の供給ラインで圧送・噴射することができる。

【0057】

(F) 本発明では、流動性向上剤水溶液を空気とともに高圧噴射することができ、これにより流動性向上剤水溶液と原位置土との混合性を向上させるとともに、改良体CB内への気泡混入により改良体CBの軽量化を図ることができる。

【0058】

(G) 深層混合処理工法における改良(固化処理)柱体の品質管理においては、改良体CBをそのままの状態で見ることができないため、安全率を十分に高くすることが一般的である。これは、改良体CBの径が小さい場合には強度のばらつきが柱体強さの信頼性を損なうことになるため、特に重要である。一方、改良体CBを多数配列する場合、部分的に弱い改良体CBがあっても断面全体としてとらえたとき、平均化された強さとして評価することができるため、安全率を通常より下げることが可能である。具体的には、条件にもよるが、一般的に改良体CBに求められる耐荷重応力は $100 \sim 200 \text{ kN/m}^3$ であるのに対して、配合設計においては $500 \sim 2,000 \text{ kN/m}^3$ と大きな安全率で設計されている。これが、大断面としてとらえ、安全率をみても平均強さが $200 \sim 400 \text{ kN/m}^3$ でよくなるのであれば、固化材の量もその分少なくて済むことになる(適用地盤によっても異なるが、固化材の量は圧縮強度にほぼ比例するため、単純に強度を2倍にするには固化材の量も2倍必要になる)。

従来、深層混合処理工法の改良体CBの配置は、一般の道路盛土や河川堤防の基礎では経済的観点から、図22(a)(b)に示すように群杭状の改良が多く採用されている。これに対して、図22(c)(d)に示すように、改良体CBの側面を接触させるか、又は改良体CBの側部を一部ラップさせた配置した場合、全体ブロックをケーソンと見立てて設計することができ、上記の大断面化による固化材使用量の削減が可能となる。ただし、この場合には改良体数が増加せざるを得ず、場合により不経済となるおそれがあるため、図23(a)(b)に示すように、改良体CBは間隔を空けて複数配置するとともに、これら複数の改良体CBの頭部を改良土SBやジオテキスタイルGT等で構成されるスラブで一体化し、盛土等の上載構造物300の荷重を分散して受けるようにするのが好ましい。これにより、大断面効果(強さの平均化)による固化材使用量の削減を確実に達成することができる。

【産業上の利用可能性】

【0059】

本発明は、深層混合処理工法および深層混合処理装置に適用できるものである。

【符号の説明】

【0060】

1 ... 深層混合処理装置、10 ... 攪拌軸、100 ... 攪拌部、101 ... 本体軸、102 ... 攪拌部粉体流路、103 ... 攪拌部液体流路、110 ... 管状部、12, 15 ... 粉体噴射口、12 ... 下段粉体噴射口、13, 14 ... 攪拌翼、13 ... 下段攪拌翼、14 ... 上段攪拌翼、15 ... 上段粉体噴射口、16, 17 ... 液体噴射口、16 ... 下段液体噴射口、17 ... 先端液体噴射口、18 ... 筋状突起、19S ... 排気管路、200 ... 本体管、201 ... 管ユニット、202 ... プラグ部、203 ... ソケット部、204 ... ピン孔、205 ... コッターピン、206 ... 中継管路、207 ... ピン溝、212, 213 ... 内部管、300 ... 上載構造物、41 ... 原液貯留槽、42 ... 原液ポンプ、43 ... 希釈水槽、44 ... 希釈水ポンプ、50 ... 制御装置、CB ... 改良体、G ... 流動性向上部位、GT ... ジオテキスタイル、SB ... 改良土。

10

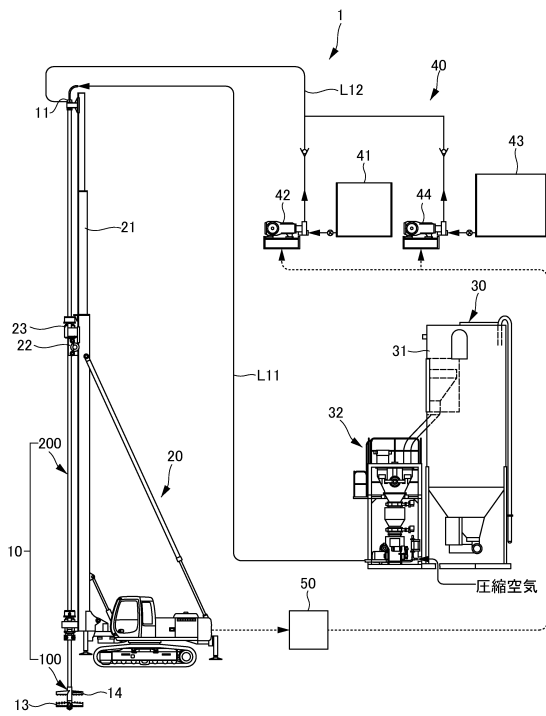
20

30

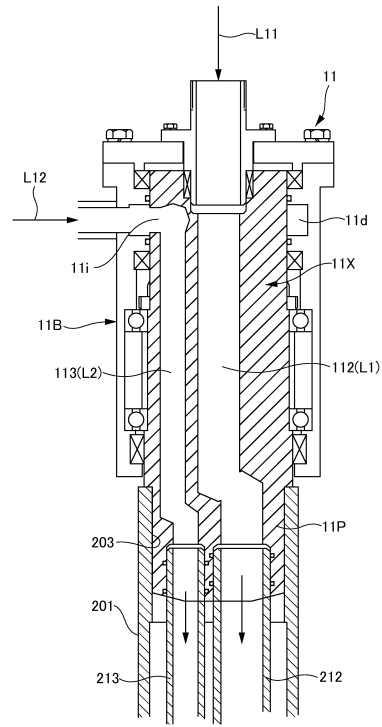
40

50

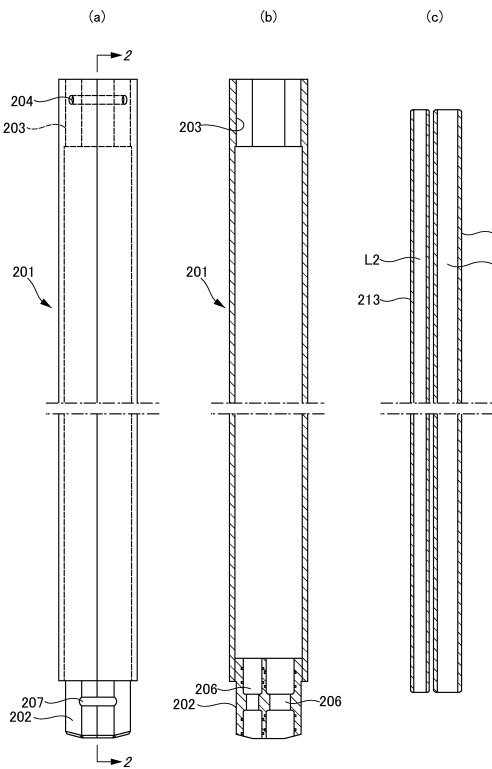
【図1】



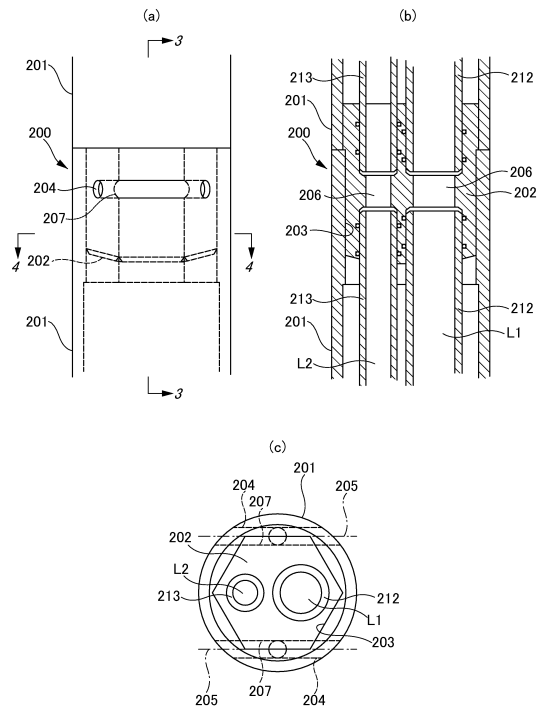
【図2】



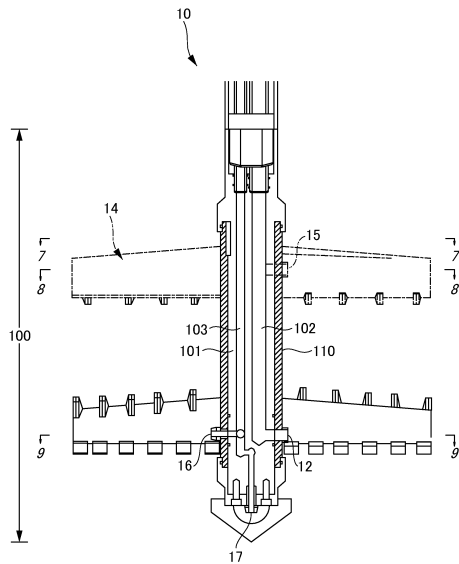
【図3】



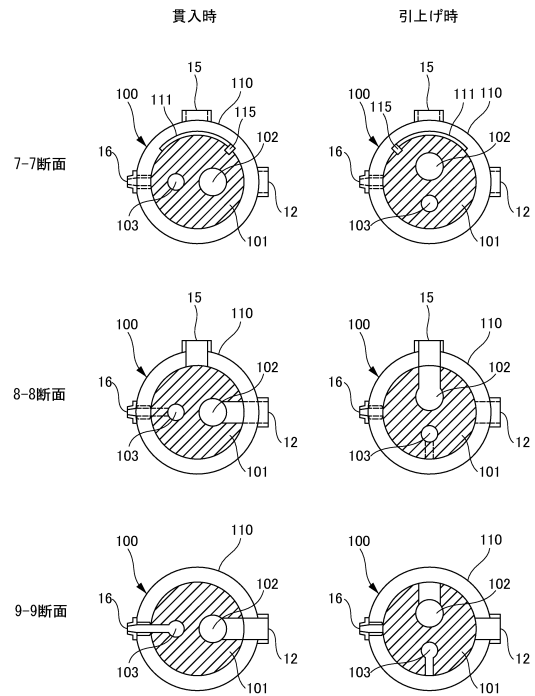
【図4】



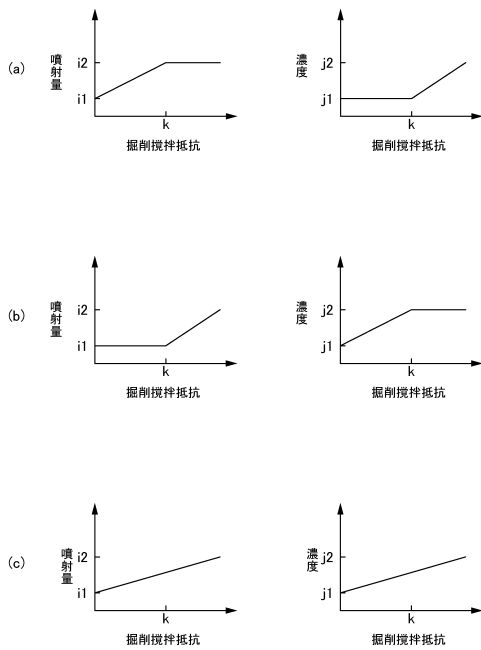
【図9】



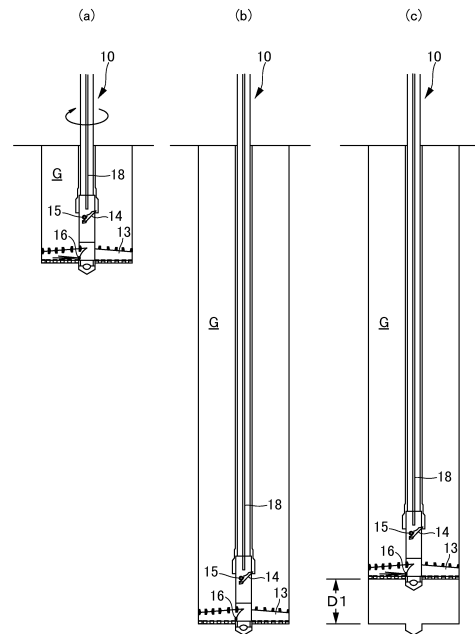
【図10】



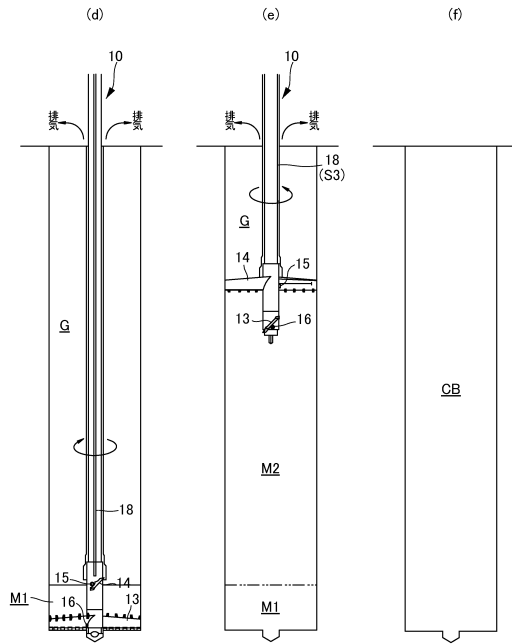
【図11】



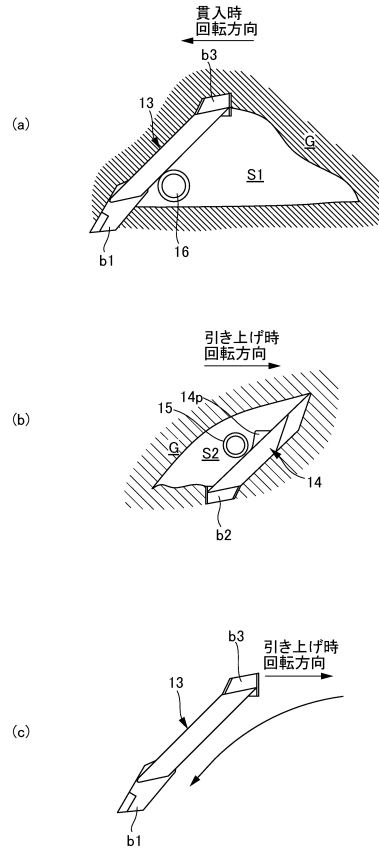
【図12】



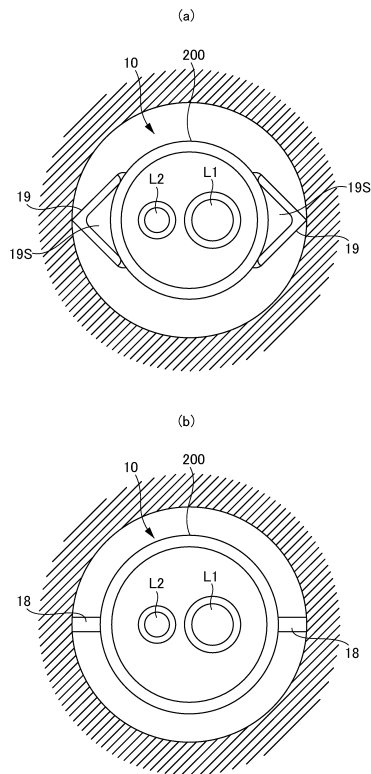
【図 13】



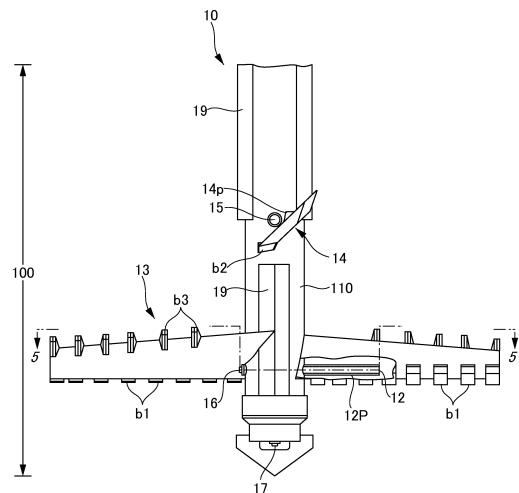
【図 14】



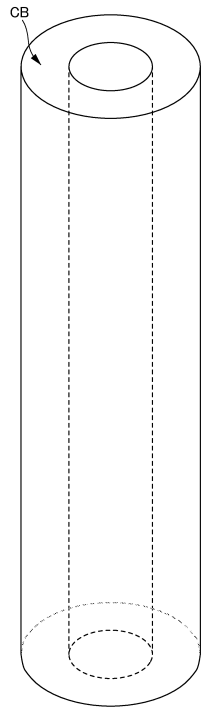
【図 15】



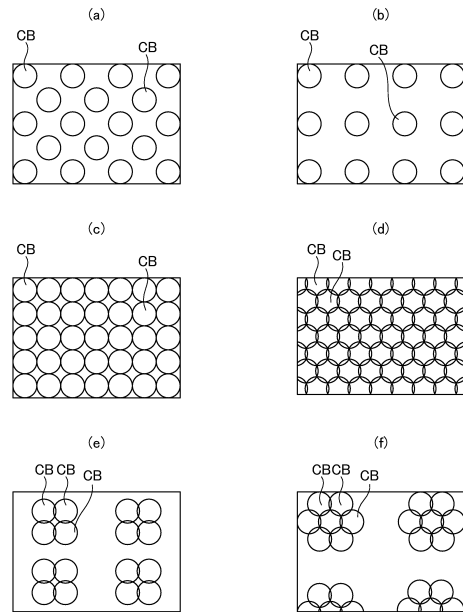
【図 16】



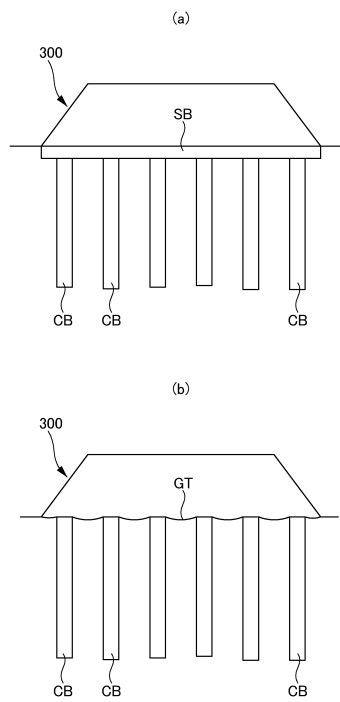
【 図 2 1 】



【 図 2 2 】



【 図 2 3 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-256541(JP,A)
特開2008-101388(JP,A)
特開平7-109727(JP,A)
特開2004-44179(JP,A)
特開2007-217363(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
E02D 3/12