

明 細 書

発明の名称：

地盤改良用セメント組成物、地盤改良工法、および地盤改良体

技術分野

[0001] 本発明は、気温が高い天候や地域でも、作業性および強度発現性が高い地盤改良用セメント組成物、該セメント組成物を用いた地盤改良工法、および地盤改良体に関する。なお、本明細書において「気温が高い」とは、年平均気温が25℃以上を意味する。

背景技術

[0002] セメント系地盤改良材は、構造物の基礎地盤の改良、仮設地盤の築造、液状化対策、建設発生土や建設汚泥の改良、および汚染土壌の固化処理などに多用されている。このセメント系地盤改良材は、対象土壌や改良の目的などに応じて、各種の副材を主材であるポルトランドセメントに添加することにより、種々の機能を付与できる。

近年、産業廃棄物の有効活用の観点から、鉄鋼業界や電力業界から排出される多量の副産物を活用した地盤改良材が開発されている。例えば、特許文献1、2には、未燃炭素が多い石炭灰を粉砕して得られた特定の明度を有する石炭灰と、セメントを含むセメント組成物を、粘性土の地盤改良に用いて、改良時（混合時）の均一性を改善できる石炭灰、石炭灰の製造方法、およびセメント組成物が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2018-122260号公報
特許文献2：特開2018-122290号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、気温が高い天候や地域において地盤改良を行うとき、地盤改良

材と水の混合物（以下「地盤改良材スラリー」という。）の流動性の保持時間は短くなるため、地盤改良工事が遅延すると地盤改良材スラリーの粘性が高くなり過ぎて施工ができない場合がある。この場合、地盤改良材スラリーは廃棄せざるを得ないが、これでは、さらに工事が遅れ、廃棄物の有効活用を促進する観点から問題である。

もし、地盤改良材スラリーの流動性の保持時間を長くできれば、作業性が向上して、地盤改良工事における資材の損失を減らし、また、石炭灰等の廃棄物（副産物）の有効活用を促進できる。

そこで、本発明の目的は、気温が高い天候や地域でも、地盤改良材スラリーの流動性の保持時間をより長くでき、また強度発現性が高い地盤改良用セメント組成物等を提供することである。

課題を解決するための手段

[0005] そこで、本発明者は、前記目的を達成できる地盤改良用セメント組成物を鋭意検討したところ、特定の条件を満たすフライアッシュを含む地盤改良用セメント組成物は前記目的を達成できることを見出し、本発明を完成させた。

すなわち、本発明は以下の構成を有する地盤改良用セメント組成物等である。

[0006] 〔１〕 下記（Ｆ１）～（Ｆ５）の条件を全て満たすフライアッシュと、ポルトランドセメントを、少なくとも含み、
該フライアッシュとポルトランドセメントの合計を１００質量％として、該フライアッシュの含有率が１０～４０質量％である、地盤改良用セメント組成物。

（Ｆ１）フライアッシュのブレーン比表面積が $2500 \sim 6000 \text{ cm}^2/\text{g}$

（Ｆ２）フライアッシュを $975 \pm 25^\circ\text{C}$ で１５分間加熱した後の、フライアッシュの質量減少率が５質量％以下

（Ｆ３）フライアッシュ中の SiO_2 の含有率が５０質量％以上

(F4) フライアッシュ中の、酸化鉄と非晶質が混在した粒子の球換算比表面積が $2800 \sim 11000 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$

(F5) フライアッシュ中の、Ca (カルシウム) を含む非晶質粒子の球換算比表面積が $2100 \sim 22500 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$

[2] 前記フライアッシュが、さらに下記(F6)の条件を満たす、前記[1]に記載の地盤改良用セメント組成物。

(F6) フライアッシュ中の、ムライトと非晶質が混在した粒子の球換算比表面積が $1900 \sim 9500 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$

[3] 前記フライアッシュが、さらに下記(F7)の条件を満たす、前記[1]または[2]に記載の地盤改良用セメント組成物。

(F7) フライアッシュ中の、Caを含まない非晶質粒子の球換算比表面積が $2100 \sim 9000 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$

[4] さらに無水石膏、半水石膏、二水石膏から選ばれる1種以上の石膏を含む地盤改良用セメント組成物であって、ポルトランドセメント、フライアッシュ、および前記石膏の合計を100質量%として、前記石膏の含有率が SO_3 換算で6.0質量%以下である、前記[1]～[3]のいずれかに記載の地盤改良用セメント組成物。

[5] 前記[1]～[4]のいずれかに記載の地盤改良用セメント組成物と水を、少なくとも含む地盤改良材スラリーと、土壌を混合して地盤を改良する、地盤改良工法。

[6] 下記(S1)～(S3)の条件を全て満たす粘性土と、前記[5]に記載の地盤改良材スラリーを混合してなる、地盤改良体。

(S1) 含水比が70～150%

(S2) 酸性シュウ酸塩抽出法により測定したアロフェン含有率が5.0%以上

(S3) 粘性土と、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 150mgと水100mlを含むスラリーを混合したときの、粘性土中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の吸着量が、粘性土1g当たり80mg以上

発明の効果

[0007] 本発明の地盤改良用セメント組成物は、気温が高い天候や地域でも、地盤改良材スラリーの流動性の保持時間を長くでき、また強度発現性が高い。また、本発明の地盤改良工法によれば、作業性が向上して資材の損失を低減でき、また、廃棄物の有効活用を促進することができる。さらに、本発明の地盤改良体は高い強度を有する。

発明を実施するための形態

[0008] 本発明は、前記のとおり、地盤改良用セメント組成物、地盤改良工法、および地盤改良体である。

初めに、本発明の地盤改良用セメント組成物について説明する。

1. 地盤改良用セメント組成物

該セメント組成物は、前記特定の条件を満たすフライアッシュとポルトランドセメントを少なくとも含み、該フライアッシュの含有率は、フライアッシュとポルトランドセメントの合計を100質量%として10～40質量%である。フライアッシュの含有率が10質量%未満では、地盤改良材スラリーの作業性が低下し、40質量%を越えると、地盤改良用セメント組成物の強度発現性が低下する。なお、該フライアッシュの含有率は、好ましくは12～35質量%、より好ましくは14～30質量%である。

[0009] (i) ポルトランドセメント

本発明で用いるポルトランドセメントは、日本工業規格（以下「JIS」という。）のR 5210「ポルトランドセメント」に規定する、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、および低熱ポルトランドセメントから選ばれる1種以上が挙げられる。これらの中でも、前記ポルトランドセメントは、地盤改良用セメント組成物の強度発現性が向上するため、好ましくは、普通ポルトランドセメントおよび／または早強ポルトランドセメントである。

[0010] (ii) フライアッシュ

本発明で用いるフライアッシュは、下記（F1）～（F5）の条件を全て

満たすフライアッシュである。

(F 1) フライアッシュのブレン比表面積が $2500 \sim 6000 \text{ cm}^2/\text{g}$

(F 2) フライアッシュを $975 \pm 25^\circ\text{C}$ で 15 分間加熱した後の、フライアッシュの質量減少率が 5 質量% 以下

(F 3) フライアッシュ中の SiO_2 の含有率が 50 質量% 以上

(F 4) フライアッシュ中の、酸化鉄と非晶質が混在した粒子の球換算比表面積が $2800 \sim 11000 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$

(F 5) フライアッシュ中の、Ca を含む非晶質粒子の球換算比表面積が $2100 \sim 22500 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$

[0011] 次に、前記 (F 1) ～ (F 5) のフライアッシュの条件を詳細に説明する。

(F 1) : 前記フライアッシュのブレン比表面積が $2500 \text{ cm}^2/\text{g}$ 未満では、地盤改良用セメント組成物の強度発現性が低下し、 $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ を越えると、地盤改良材スラリーの粘性が増加するほか、ブレン比表面積が $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ を越えるフライアッシュは入手が困難である。なお、該ブレン比表面積は、好ましくは $2700 \sim 5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、より好ましくは $2900 \sim 4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ である。

[0012] (F 2) : 前記フライアッシュを $975 \pm 25^\circ\text{C}$ で 15 分間加熱した後の、フライアッシュの質量減少率が 5 質量% を越えると、地盤改良用セメント組成物の強度発現性が低下する。なお、該質量減少率は、入手の容易性や強度発現性から、好ましくは 4.3 質量% 以下、より好ましくは 3.5 質量% 以下である。

[0013] (F 3) : 前記フライアッシュの SiO_2 の含有率が 50 質量% 未満では、地盤改良用セメント組成物の強度発現性が低下する。なお、該 SiO_2 の含有率は、入手の容易性や強度発現性から、好ましくは 52 ～ 70 質量%、より好ましくは 54 ～ 65 質量% である。

[0014] (F 4) : 前記フライアッシュ中の、酸化鉄と非晶質が混在した粒子の球換

算比表面積が $2800 \sim 11000 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ の範囲外では、地盤改良材スラリーの作業性や地盤改良用セメント組成物の強度発現性が低下するおそれがある。なお、該酸化鉄と非晶質が混在した粒子の球換算比表面積は、好ましくは $4000 \sim 10000 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $5000 \sim 9000 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ である。

[0015] (F5) : 前記フライアッシュ中の、Caを含む非晶質粒子の球換算比表面積が $2100 \sim 22500 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ の範囲外では、地盤改良材スラリーの作業性や地盤改良用セメント組成物の強度発現性が低下するおそれがある。なお、該Caを含む非晶質粒子の球換算比表面積は、好ましくは $4000 \sim 20000 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $7000 \sim 18500 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ である。

[0016] このほか、地盤改良材スラリーの作業性、特に、流動性や、地盤改良用セメント組成物の強度発現性が向上するため、フライアッシュ中の、ムライトと非晶質が混在した粒子の球換算比表面積は、好ましくは $1900 \sim 9500 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $3000 \sim 9000 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $4500 \sim 9000 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ である。また、フライアッシュ中のCaを含まない非晶質粒子の球換算比表面積は、同じ理由から、好ましくは $2100 \sim 9000 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $3000 \sim 8500 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $4500 \sim 8500 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ である。

[0017] また、フライアッシュは、通常、石英を5～25質量%含むものであり、本発明で用いるフライアッシュ中の石英の格子体積は、リートベルト解析法を用いて求めた値で、好ましくは $113.5 \sim 114.5 \text{ Å}^3$ である。石英の格子体積が前記範囲内にあれば、地盤改良材スラリーの流動性や、地盤改良用セメント組成物の強度発現性はさらに向上する。なお、石英の格子体積は、より好ましくは $113.6 \sim 114.4 \text{ Å}^3$ 、さらに好ましくは $113.7 \sim 114.3 \text{ Å}^3$ である。

フライアッシュ中の石英のリートベルト解析は、フライアッシュのX線回

折図に基づき、例えば、Bruker社製の解析ソフト(Topas ver. 2.1)、および結晶構造データ(ICDD number)として331161(Quartz)を用いて行うことができる。

また、フライアッシュ中の、石英粒子の球換算比表面積は、強度発現性等が向上するため、好ましくは $1100 \sim 12500 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ 、より好ましくは $2500 \sim 10000 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $4000 \sim 10000 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ である。

[0018] フライアッシュ粒子は、下記(1)～(4)の工程を経て、(i)酸化鉄と非晶質が混在した粒子、(ii)ムライトと非晶質が混在した粒子、(iii)Caを含まない非晶質粒子、(iv)Caを含む非晶質粒子、および(v)石英粒子、の5種類に分類する。

(1) 試料の調製工程

該工程は、フライアッシュと樹脂を混合し、硬化した試験片を調整する工程である。フライアッシュを樹脂に分散させることにより、フライアッシュ粒子は重なり合わず、後述する粒子解析時に、粒子一つ一つを的確に抽出して、その特性値を測定できる。

前記樹脂は、硬化過程において収縮が小さく、ひび割れが生じない樹脂であればよく、エポキシ樹脂、アクリル系樹脂、ポリエステル系樹脂、およびメタクリル系樹脂等が挙げられる。該樹脂の混合割合は、好ましくは、フライアッシュに対する体積比で0.8～4である。該樹脂の混合割合がこの範囲内であれば、複数の粒子が接触することなく分散し、また、後述する研磨を実施して、多くの粒子の切断面を取得できる。

[0019] 次に、硬化した試験片の撮像面を研磨する。像面に凹凸ができたり、粒子の切断面が十分に現れないと、粒子の粒径や形状を正確に測定できず、後述する粒子解析の精度が低下する。

試験片の撮像面の研磨装置は、特に限定されず、通常用いられる研磨装置が使用できる。また、研磨工程で使用する研磨材は、特に限定されず、シリコンカーバイト研磨材、ボロンカーバイト研磨材、ダイヤモンドペースト、

およびアルミナ粉末が挙げられる。また、前記研磨は、好ましくは、径 $0.3 \sim 3 \mu\text{m}$ のアルミナ粉末等を研磨材として用いたバフ研磨であり、像面に凹凸が少ないことから、より好ましくはアルゴンイオンビームを用いたクロスセクションポリッシャーによる研磨である。

[0020] 最後に、撮像面を研磨した試験片の表面に蒸着膜を形成して、試験片に導電性を付与する。後述する粒子解析において、試験片に電子線を照射するが、フライアッシュと樹脂は導電性を有しないため、試験片に蒸着膜を形成せずに反射電子像を取得すると試験片の表面が帯電し、正確な反射電子像を取得できない。そこで、正確な反射電子像を取得するため、試験片の表面に導電性を有する蒸着膜を形成する。

前記蒸着膜は、試験片の表面に導電性を付与できれば特に限定されず、例えば、炭素、白金パラジウム、および金等の蒸着膜が挙げられる。また、蒸着膜の形成方法は、特に限定されず、公知の方法を用いることができる。

[0021] (2) フライアッシュの粒子解析工程

該工程は、まず、前記の試料の調製工程で調製した試験片を、電子顕微鏡を用いて反射電子像(BSE)と化学組成を取得する工程である。電子顕微鏡は、反射電子像や微小領域の化学組成を測定できればよいから、走査型電子顕微鏡(SEM)や電子線マイクロアナライザ(EPMA)等が使用できる。反射電子像は、その領域を構成する元素の平均原子番号が大きいほど明るく表示される。化学組成の取得装置は、波長分散型X線分光器(WDS)やエネルギー分散型X線分光器(EDS)が挙げられるが、短時間で化学組成を取得できるため、好ましくはエネルギー分散型X線分光器(EDS)である。

解像度の高い反射電子像を取得するためには、好ましくは、加速電圧は $10 \sim 15 \text{ keV}$ 程度、照射電流は $200 \sim 1000 \text{ pA}$ 程度、および観察倍率は $500 \sim 2000$ 倍に設定するとよい。

[0022] フライアッシュの粒子解析を行うにあたり、フライアッシュの試験片から反射電子像を得て、フライアッシュ粒子と樹脂の反射電子像の、目視による

輝度の比較や輝度のヒストグラムを参考にして、フライアッシュ粒子と樹脂を分離できる輝度の閾値を決定する。そして、該閾値を用いて、2値化処理してフライアッシュ粒子を抽出する。この抽出したフライアッシュ粒子に対して、粒子ごとに幾何学的計量値を測定する。この幾何学的計量値は、円形度係数、円相当径（その粒子の断面積と等しい面積を有する円の直径）、およびアスペクト比等が挙げられる。

[0023] （３）フライアッシュ粒子の化学分析工程

該工程は、フライアッシュ粒子を化学分析して、フライアッシュの化学組成を把握する工程である。エネルギー分散型X線分光器を用いて、フライアッシュの化学組成を高い精度で迅速に取得するためには、加速電圧は10～15 keV程度、照射電流は200～1000 pA程度、および分析時間は1分析点につき5～10秒に設定するとよい。また、分析領域径は、好ましくは個々の粒子の全体とする。

なお、前記化学分析と幾何学的計量値の測定の順序は問わない。また、測定対象のフライアッシュ粒子の数は、化学分析と幾何学的計量値の測定誤差を小さくするため、好ましくは1000粒以上、より好ましくは2000粒以上である。また、1粒子あたりのX線カウント数は、好ましくは5000カウント以上、より好ましくは10000カウント以上、さらに好ましくは100000カウント以上である。粒子解析における画像処理の都合上、画像端部の分割された粒子は、解析上でつなぎ合わせて、1つの粒子としてカウントする。また、粒子解析では、粒子ごとのキャラクターとして、粒子の面積と化学組成を取得する。

[0024] （４）フライアッシュ粒子のクラス分類工程

該工程は、フライアッシュ粒子の前記化学組成と、表1に示すフライアッシュ粒子の化学組成の閾値を用いて、（i）酸化鉄と非晶質が混在した粒子、（ii）ムライトと非晶質が混在した粒子、（iii）Caを含まない非晶質粒子、（iv）Caを含む非晶質粒子、および（v）石英粒子、のいずれかのクラスに分類する工程である。なお、クラス分類に供するフライアッシュ粒子の抽出

、化学分析、および幾何学的計量値の算出は、電子顕微鏡に付属する粒子解析ソフトを用いれば、自動的に測定でき簡便である。

[0025] [表1]

クラスの 分類	フライアッシュ粒子の化学組成				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂ +Al ₂ O ₃
(i)	—	—	≥25	—	<50
(ii)	—	≥25	—	<50	≥50
(iii)	—	<25	—	<10	≥50
(iv)	—	<25	—	≥10	≥50
(v)	≥95	—	—	—	—

注) SiO₂+Al₂O₃ はガラス相を擬似的に示す。

[0026] 球換算比表面積は下記に従い算出する。

まず、前記各クラスに分類したフライアッシュ粒子ごとに、粒子がすべて球と仮定して、該粒子の断面積Sから下記(1)式を用いて、円相当径Dを算出する。

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} \quad \dots (1)$$

次に、前記算出した円相当径から、粒子が球と仮定したときの、粒子の表面積Aと体積Vを(2)式および(3)式を用いて算出する。

$$A = \pi D^2 \quad \dots (2)$$

$$V = \frac{\pi D^3}{6} \quad \dots (3)$$

最後に、各クラスのフライアッシュ粒子の体積の総和と表面積の総和を算出し、(4)式を用いて球換算比表面積S_Aを算出する。

$$S_A = \frac{\sum_{i=1}^n A_n}{\sum_{i=1}^n V_n} \quad \dots (4)$$

[0027] 地盤改良材スラリーの作業性、および地盤改良用セメント組成物の強度発現性の向上のために、前記フライアッシュ中の、 $(\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \times \text{K}_2\text{O}) / (\text{MgO} + \text{SO}_3 + \text{TiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{MnO})$ の質量比は、好ましくは0.2～1.0、より好ましくは0.25～0.8、さらに好ましくは0.28～0.7、特に好ましくは0.3～0.6である。

また、地盤改良材スラリーの作業性や地盤改良用セメント組成物の強度発現性の向上のために、さらに下記の方法で測定して算出した前記フライアッシュの締め固め密度は、好ましくは $1.0 \sim 1.5 \text{ cm}^3/\text{g}$ 、より好ましくは $1.05 \sim 1.45 \text{ cm}^3/\text{g}$ 、さらに好ましくは $1.1 \sim 1.4 \text{ cm}^3/\text{g}$ である。

[締め固め密度の測定方法]

ホソカワミクロン社製のパウダーテスターPT-Dを用いて、フライアッシュを 100 cm^3 のカップ内に充填しながら、当該カップを180秒間で180回タッピングした後、当該カップ内で締め固まったフライアッシュの質量を測定し、締め固め密度を算出する。なお、前記密度の算出式に用いる体積（分母）は、カップの容積である。

[0028] さらに、本発明の地盤改良用セメント組成物は、地盤改良用セメント組成物の強度発現性が向上するため、さらに無水石膏、半水石膏、および二水石膏から選ばれる1種以上の石膏を含んでもよい。石膏の含有率は、石膏、フライアッシュ、およびポルトランドセメントの合計を100質量%として、 SO_3 換算で6.0質量%以下である。石膏の含有率が SO_3 換算6.0質量%を越えると、地盤改良材スラリーの流動性が低下する。なお、前記石膏の含有率は SO_3 換算で、より好ましくは0.3～5.0質量%、さらに好ましくは0.6～4.0質量%以下、特に好ましくは1.0～3.0質量%である。

前記石膏は、地盤改良用セメント組成物の強度発現性の向上のため、好ましくは無水石膏または二水石膏である。また、石膏のブレン比表面積は、強度発現性の向上のため、好ましくは $3000 \sim 15000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、より

好ましくは $3500 \sim 13000 \text{ cm}^2/\text{g}$ である。

なお、本発明の地盤改良用セメント組成物は、さらに任意の構成成分として、高炉スラグ粉末、石灰石粉末、および珪石粉末から選ばれる1種以上の無機粉末を含んでもよい。地盤改良用セメント組成物の混合装置は、一般に粉体の混合に用いる混合機、ミキサー、およびブレンダーなどが挙げられる。

[0029] 2. 地盤改良工法

次に、本発明の地盤改良工法について説明する。

該工法は、前記地盤改良用セメント組成物と水を、少なくとも含む地盤改良材スラリーと、土壌を混合して地盤を改良する工法である。

前記水は水道水等を使用でき、該水の配合量は、地盤改良用セメント組成物100質量部に対し、好ましくは65～120質量部、より好ましくは70～110質量部、さらに好ましくは75～100質量部、特に好ましくは75～90質量部である。水の配合量が65質量部以上で、地盤改良材スラリーを比較的長時間保管した後でも、スラリーと土壌は均一に混合でき、120質量部を超えると含水率の高い土壌と混合すると、十分な地盤改良効果が得られない場合がある。

また、気温が30℃以上の場合は、地盤改良材スラリーの流動性を確保するため、減水剤や遅延剤を併用してもよい。該減水剤は、セメントやコンクリートに一般に用いる、減水剤、AE減水剤、高性能AE減水剤などが挙げられる。また、該遅延剤は、オキシカルボン酸、ケトカルボン酸、アミノカルボン酸、および高分子有機酸などの有機酸、およびその塩類や、糖類、および糖アルコール類などが挙げられる。

地盤改良材スラリーの練り混ぜには、一般にスラリーの練り混ぜに使用されているミキサーやハンドミキサーなどが使用できる。

[0030] 3. 地盤改良体

本発明の地盤改良体は、前記(S1)～(S3)の条件を全て満たす粘性土と、前記地盤改良材スラリーを混合してなる改良土である。

前記(S1)～(S3)の条件を全て満たす粘性土に、前記地盤改良材ス

ラリーを施用して地盤改良すれば、強度が高い地盤改良体が得られる。

[0031] 以下、本発明を実施例により具体的に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されない。

1. 使用材料

試験に用いた各種材料を以下に示す。

(1) 普通ポルトランドセメント

ブレン比表面積は $3310 \text{ cm}^2/\text{g}$ で、太平洋セメント社製である。

(2) 無水石膏

ブレン比表面積は $8250 \text{ cm}^2/\text{g}$ で、ナコード社製である。

(3) 水

水道水である。

また、試験に用いたフライアッシュ (F A) の特性を表 2 と表 3 に示す。

なお、前記 (F 1) ~ (F 5) の条件を、F A 1 ~ 5 は全て満たすが、F A 6 ~ 8 はこれらの条件のいずれかを満たさない。さらに、F A 1 は (F 6) の条件を満たさず、F A 2 は (F 7) の件を満たさないが、F A 3 と F A 4 は (F 6) と (F 7) の条件をいずれも満たす。また、F A 5 中の石英粒子の球換算比表面積は、 $1100 \sim 12500 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ の範囲を外れている。

[0032]

[表2]

フライアッシュ の種類	フレーン 比表面積 (cm^2/g)	質量減少率 (質量%)	SiO_2 含有率 (質量%)	Fe-G (cm^2/cm^3)	CAS (cm^2/cm^3)
FA 1	3880	3.1	57.3	7690	4100
FA 2	3800	3.2	58.5	7560	11820
FA 3	3660	3.4	54.8	5630	18160
FA 4	3020	3.7	58.3	10560	14290
FA 5	3500	2.5	51.3	3430	7360
FA 6	2300	2.9	53.3	6320	5810
FA 7	3160	7.2	53.8	7350	5300
FA 8	3360	4.2	46.8	2670	1570

注) Fe-G は酸化鉄と非晶質が混在した粒子の球換算比表面積、CAS はCaを含む非晶質粒子の球換算比表面積を表す。

[0033] [表3]

フライアッシュ の種類	M-G (cm^2/cm^3)	AS (cm^2/cm^3)	Q (cm^2/cm^3)
FA 1	1300	8860	8600
FA 2	8840	9430	9120
FA 3	4660	7630	8160
FA 4	9020	8560	4200
FA 5	3500	3430	16000

注) M-Gはムライトと非晶質が混在した粒子の球換算比表面積を表す。

注) ASはCaを含まない非晶質粒子の球換算比表面積を表す。

注) Qは石英粒子の球換算比表面積を表す。

[0034] 2. 地盤改良用セメント組成物の製造

フライアッシュ (FA)、セメント (C)、任意成分である無水石膏 (G) を、表4に示す配合に従い混合してセメント組成物を製造した。

[0035]

[表4]

	セメント組成物の配合				
	FA の 種類	FA (質量%)	C (質量%)	G	
				(質量%)	SO ₃ 換算
実施例 1	FA 1	20	80	0	0
実施例 2	FA 2	20	80	0	0
実施例 3	FA 3	20	80	0	0
実施例 4	FA 4	20	80	0	0
実施例 5	FA 5	20	80	0	0
実施例 6	FA 2	10	90	0	0
実施例 7	FA 2	40	60	0	0
実施例 8	FA 2	20	79	1	0.6
実施例 9	FA 2	20	78	2	1.2
実施例 10	FA 2	20	76	4	2.4
比較例 1	—	—	100	0	0
比較例 2	—	—	99	1	0.6
比較例 3	—	—	98	2	1.2
比較例 4	—	—	96	4	2.4
比較例 5	FA 6	20	80	0	0
比較例 6	FA 7	20	80	0	0
比較例 7	FA 8	20	80	0	0
比較例 8	FA 2	5	95	0	0
比較例 9	FA 2	50	50	0	0

ちなみに、表3において、

(i) 実施例1～7は、前記(F1)～(F5)の条件を全て満たすフライアッシュFA1～5とポルトランドセメントの合計を100質量%として、フライアッシュの含有率が10～40質量%の範囲内にある本発明のセメント組成物である。

(ii) 実施例8～10は、さらに無水石膏をSO₃換算が6質量%以下となるように混合した本発明のセメント組成物である。

(iii) 比較例 1～4 は、フライアッシュを含まないセメント組成物である。

(iv) 比較例 5～7 は、前記 (F 1)～(F 5) のいずれかの条件を満たさない F A 6～8 を含むセメント組成物である。

(V) 比較例 8、9 はフライアッシュの含有率が前記 10～40 質量%の範囲を外れたセメント組成物である。

[0036] 3. 地盤改良材スラリーの可使時間の測定

環境温度（周辺の温度）が 27℃において、5 L プラスチックカップに表 2 の地盤改良用セメント組成物（粉体）2 kg と水 1.5 kg を投入し（水粉体比は 75%）、ハンドミキサーを用いて 2 分間練り混ぜて地盤改良材スラリーを作製した後、該スラリーの P ロート流下時間を 2 回測定してこれらの平均値を求めた。

次に、地盤改良材スラリーを 5 L プラスチックカップに戻し、水分の散逸を防止するためラップフィルムで密栓して静置した。静置後 2 時間および 3 時間が経過した時点で、地盤改良材スラリーをハンドミキサーにより同じく練り混ぜて、再度 P ロート流下時間を同様に測定し、練り混ぜ直後からの流下時間の経時変化を求めた。下記文献 A の記載に基づき、練り混ぜ直後から 3 時間経過時の P ロート流下時間が 12 秒以上を不合格と判定した。

文献 A：「石炭灰を利用した F G C 深層混合処理工法による改良土の工学的性質と今後の展望について」、第 6 回石炭利用技術会議講演集、pp 145～157、1996 年

[0037] 4. 地盤改良体の強度の測定

トスロン缶に地盤改良用セメント組成物 10 kg と水 7.5 kg を投入し（水粉体比は 75%）、ハンドミキサーで練り混ぜて地盤改良材スラリーを作製した。

次に、該スラリーと、含水比 75.1%、酸性シュウ酸塩抽出法により測定したアロフェン含有率 18.3%、および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸着量 90 mg である火山灰質粘性土（関東ローム）を、地盤工学会基準（J G S 0 8 2 1 - 2 0 0 9）「安定処理土の締固めをしない供試体作成方法」に準拠して、温

度 20℃において混合して、直径 5 cm、高さ 10 cm の地盤改良体の供試体を作製した。

さらに、ここで作製した供試体は、7 日間、28 日間、および 91 日間、養生を行った後、J I S A 1 2 1 6「土の一軸圧縮試験方法」に準拠して一軸圧縮強度を測定し、強度発現性を確認した。

なお、一軸圧縮強度は、下記文献 B の記載に基づき、発生土の改良において一般的に必要とされる改良後の一軸圧縮強度 50～100 kN/m²に対し、室内配合試験を考慮した（現場/室内）強さ比を 0.5 と仮定して、その最大値である 200（= 100 / 0.5）kN/m²以上を合格とした。

文献 B：「セメント系固化材の地盤改良マニュアル 第 4 版」（社団法人セメント協会 発行）

P ロート流下時間と、一軸圧縮強度の測定結果を表 5 に示す。

[0038]

[表5]

	P ロート流下時間 (秒)			一軸圧縮強度 (kN/m ²)		
	直後	2 時間後	3 時間後	材 齢 7 日	材 齢 28 日	材 齢 91 日
実施例 1	10.6	10.8	11.1	149	243	290
実施例 2	10.5	10.6	11.0	151	248	291
実施例 3	10.6	10.8	11.1	148	241	276
実施例 4	10.2	10.4	10.9	145	260	301
実施例 5	10.5	10.5	10.9	150	242	274
実施例 6	10.7	10.9	11.4	155	263	300
実施例 7	10.0	10.1	10.3	110	203	213
実施例 8	10.5	10.6	11.0	248	235	287
実施例 9	10.6	10.6	11.0	328	355	414
実施例 10	10.7	10.7	11.2	525	688	787
比較例 1	10.5	10.8	12.2	220	298	448
比較例 2	10.6	10.7	12.4	385	490	571
比較例 3	10.5	10.8	12.5	402	629	666
比較例 4	10.7	10.8	12.8	792	1067	1147
比較例 5	10.5	10.6	11.2	142	198	185
比較例 6	10.5	10.6	11.1	145	188	191
比較例 7	10.5	10.7	11.3	149	196	210
比較例 8	10.5	10.7	12.2	220	298	448
比較例 9	10.0	10.1	10.2	110	153	181

[0039] 5. 測定結果の評価

(i) 流動性の保持時間について

表5に示すように、本発明の地盤改良用セメント組成物（実施例1～10）を用いた地盤改良材スラリーは、環境温度27℃において、練り混ぜ後のPロート流下時間が3時間経過後でも12秒以下と短く、流動性の保持時間が長い。

これに対し、比較例1～4と比較例8のセメント組成物を用いたスラリー

は、環境温度 27℃において、流動性の保持時間が短くなる傾向がある。

(ii) 一軸圧縮強度について

本発明の地盤改良用セメント組成物（実施例 1～10）を用いた地盤改良体の、材令 28 日における一軸圧縮強度は、いずれも 200 kN/m²を超えており、特に実施例 8～10 では、石膏の添加により強度が普通ポルトランドセメント（比較例 1）と同じ程度まで増進し、また可使時間を確保できる。

これに対し、比較例 5～7 では、実施例 1～10 と比べ、強度の増進が小さく、また比較例 2～4 では、石膏の添加により強度の増進があるものの、流下時間が長くなり、温度が高い天候や地域では可使時間の確保は難しい。

請求の範囲

- [請求項1] 下記（F 1）～（F 5）の条件を全て満たすフライアッシュと、ポルトランドセメントを、少なくとも含み、
該フライアッシュとポルトランドセメントの合計を100質量%として、該フライアッシュの含有率が10～40質量%である、地盤改良用セメント組成物。
- （F 1）フライアッシュのブレン比表面積が $2500 \sim 6000 \text{ cm}^2/\text{g}$
- （F 2）フライアッシュを $975 \pm 25^\circ\text{C}$ で15分間加熱した後の、フライアッシュの質量減少率が5質量%以下
- （F 3）フライアッシュ中の SiO_2 の含有率が50質量%以上
- （F 4）フライアッシュ中の、酸化鉄と非晶質が混在した粒子の球換算比表面積が $2800 \sim 11000 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$
- （F 5）フライアッシュ中の、Ca（カルシウム）を含む非晶質粒子の球換算比表面積が $2100 \sim 22500 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$
- [請求項2] 前記フライアッシュが、さらに下記（F 6）の条件を満たす、請求項1に記載の地盤改良用セメント組成物。
- （F 6）フライアッシュ中の、ムライトと非晶質が混在した粒子の球換算比表面積が $1900 \sim 9500 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$
- [請求項3] 前記フライアッシュが、さらに下記（F 7）の条件を満たす、請求項1または2に記載の地盤改良用セメント組成物。
- （F 7）フライアッシュ中の、Caを含まない非晶質粒子の球換算比表面積が $2100 \sim 9000 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$
- [請求項4] さらに無水石膏、半水石膏、二水石膏から選ばれる1種以上の石膏を含む地盤改良用セメント組成物であって、
ポルトランドセメント、フライアッシュ、および前記石膏の合計を100質量%として、前記石膏の含有率が SO_3 換算で6.0質量%以下である、請求項1～3のいずれか1項に記載の地盤改良用セメント

組成物。

[請求項5] 請求項1～4のいずれか1項に記載の地盤改良用セメント組成物と水を、少なくとも含む地盤改良材スラリーと、土壌を混合して地盤を改良する、地盤改良工法。

[請求項6] 下記(S1)～(S3)の条件を全て満たす粘性土と、請求項5に記載の地盤改良材スラリーを混合してなる、地盤改良体。

(S1) 含水比が70～150%

(S2) 酸性シュウ酸塩抽出法により測定したアロフェン含有率が5.0%以上

(S3) 粘性土と、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 150mgと水100mlを含むスラリーを混合したときの、粘性土中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の吸着量が、粘性土1g当たり80mg以上