

## 明 細 書

発明の名称：

### 建設向け立体造形用セメント質材料及び建設向けの立体造形方法

#### 技術分野

[0001] 本発明は、主に、土木、建築分野や工場製品分野で使用する建設向け立体造形用セメント質材料及びこれを使用した建設向けの立体造形方法に関するものである。

#### 背景技術

[0002] 近年、立体造形技術は、製造業等における模型・部品の作製に活用されている。その技術を分類すると、光造形（紫外線硬化型樹脂を１層ずつ硬化させて積層する方法）、インクジェット方式（プリンターヘッドから紫外線硬化型樹脂を噴射しながら紫外線を照射して積層する方法）、粉末セッコウ造形（プリンターヘッドから樹脂や糊を噴射し粉末セッコウを固める方法）、粉末焼結造形（樹脂や金属粉末をレーザーで焼き固めて積層する方法）、熱熔融積層造形（細いノズルから熱で熔融した熱可塑性樹脂を吐出して積層する方法）が知られている。造形体は樹脂、セッコウ、及び金属が主体であり、セメント質材料を用いた建設部材のような大型の造形体を造る技術は、国内よりも海外での検討が進んでいる。既に、欧米や中国では、自動建設工事機械として戸建て住宅レベルの大型の造形体の製造を実施している。

[0003] たとえば、セメント質材料を用いた立体造形技術として、特許文献１には、コンピュータで作成した３次元データを所定の厚さで切断して２次元スライスデータを作成し、吹付けノズルを２次元スライスデータに基づいて縦横方向に移動制御しつつ、急結剤を添加混合したモルタルを、ベッド（台）上に吹き付け、吹き付けたモルタルを自立硬化させることで２次元スライスデータに基づく形状の固化層を形成し、かかる固化層の形成作業を繰り返して上下方向に順次積層させて造形する技術が開示されている。特許文献２には、鋳物を製造するための型を３Ｄプリンターで造るための材料について記載

されており、セメント、砂、促進剤としての水溶性ケイ酸塩からなる材料が開示されている。特許文献3、4には、3Dプリンターを使用してプレハブ部材を製造する方法や、3Dプリンターを利用してコンクリートの耐震壁を製造する方法が開示されている。特許文献5には、3Dプリントするための材料を吐出するノズルに関する技術が開示されている。特許文献6には、3次元造形システムを用いて作製してなる樹脂製型枠を使用して、セメント質硬化体を成形して製造することを特徴とするセメント質硬化体の製造方法が開示されている。

[0004] 一方、セメント質材料として、リグニンスルホン酸系分散剤とメラミンスルホン酸系分散剤とを併用した材料は、すでにグラウト組成物や高強度コンクリート組成物として知られている（特許文献7、8）。また、分散剤と増粘剤とを併用した材料としてPCグラウト材が知られている（特許文献9）。さらに、 $\text{SiO}_2$ を含有するカルシウムアルミネートを含む材料としては、アルミノケイ酸カルシウムガラス100重量部に対して、セッコウ類300重量部以下、及び凝結調整剤0.1～20重量部を必須成分とすることを特徴とするセメント混和材とそれをセメントに混和したセメント組成物（特許文献10）、並びに $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比が2.0～3.5で $\text{SiO}_2$ 含有量が10～25%のカルシウムアルミノシリケートと、潜在水硬性物質およびポゾラン物質の中から選ばれる1種または2種以上とを含有してなるセメント組成物（特許文献11）等が知られている。

[0005] さらに、建設向け立体造形用セメント質材料としてセメント、骨材、リグニンスルホン酸系分散剤とメラミンスルホン酸系分散剤の質量割合が、 $R:M=100:80\sim400$ である分散剤、増粘剤、凝結遅延剤、酸化物換算で $\text{SiO}_2$ を10～25%含有する非晶質カルシウムアルミノシリケート、セッコウ、及び短繊維を含有するセメント質材料（特許文献12）が知られている。

## 先行技術文献

## 特許文献

- [0006] 特許文献1：特開平10－235623号公報  
特許文献2：米国特許第8211226号明細書  
特許文献3：中国特許出願公開第104308988号明細書  
特許文献4：中国特許出願公開第104153493号明細書  
特許文献5：米国特許出願公開第2014／0308381号明細書  
特許文献6：特開2016－101737号公報  
特許文献7：特開2008－247677号公報  
特許文献8：特公昭62－10949号公報  
特許文献9：特開2006－290694号公報  
特許文献10：特開平4－97932号公報  
特許文献11：特開2006－232603号公報  
特許文献12：特開2018－140906号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0007] 特許文献1は、セメントと細骨材とをプレミックスしてなるドライミックスモルタル、及び急結剤を含有する水を、吹付けノズルで混合攪拌しながら噴射して自立硬化させる技術であるため、造形体の仕上がり性を更に向上し、粉じんの発生を更に低減することが求められている。特許文献2は、促進剤として水溶性ケイ酸塩を使用しているため、硬化スピードが遅く、強度発現性に劣る可能性があるという課題がある。特許文献3、4は、部材を3Dプリンターで製造する技術に関するもので、ある特定の材料を用いることの記載はない。特許文献5は、3Dプリンターのノズルの形状に関するものであり、ある特定の材料を用いることの記載はない。特許文献6は、樹脂製の型枠を3Dプリンターで成形し、その型枠にセメント質材料を充填してセメント質硬化体を製造する技術に関するものであり、型枠の作製を必須とするものであるため、成形物であるセメント質硬化体を効率的に作製できないという課題がある。

セメント質材料については、特許文献7～11に記載のような種々のもの

が知られているが、前記課題を解決可能なセメント質材料については知られていない。さらには、特許文献12は建設向け立体造形用セメント質材料ではあるが短時間強度に関する記載がない。本発明は、十分な施工速度を得ることができる。

[0008] 本発明は、前記課題に鑑みて、自立性、短時間及び長期強度発現性に優れた建設向け立体造形用セメント質材料、並びに建設向けの立体造形方法を提供することを課題とする。

### 課題を解決するための手段

[0009] 前記課題を解決するために、種々の検討を行った結果、本発明者は、骨材、リグニンスルホン酸系分散剤とメラミンスルホン酸系分散剤とを特定の割合で含む分散剤、平均分子量200万～800万の範囲にあり、0.25質量%水溶液の粘度が2000～10000mPa・sの範囲にあるダイユータンガム、凝結遅延剤、SiO<sub>2</sub>を特定の割合で含む非晶質カルシウムアルミノシリケート、セッコウ、及び短繊維を併用したセメント質材料の使用により、前記課題が解決可能であることを見出し、本発明を完成するに至った。

すなわち、本発明は、

- (1) セメント(A)、骨材(B)、リグニンスルホン酸系分散剤(R)とメラミンスルホン酸系分散剤(M)との質量割合がR:M=100:80～400である分散剤(C)、平均分子量200万～800万の範囲にあり、0.25質量%水溶液の粘度が2000～10000mPa・sの範囲にあるダイユータンガム(D)、凝結遅延剤(E)、酸化物換算でSiO<sub>2</sub>を10～25質量%含有する非晶質カルシウムアルミノシリケート(F)、セッコウ(G)及び短繊維(H)を含有する建設向け立体造形用セメント質材料、
- (2) セメント(A)100質量部に対して、前記分散剤(C)の使用量が0.2～3質量部である前記(1)の建設向け立体造形用セメント質材料、
- (3) セメント(A)100質量部に対して、前記ダイユータンガム(D)の使用量が0.03～1.0質量部である前記(1)又は(2)の建設向け立体造形用セメント質材料、

(4) 前記非晶質カルシウムアルミノシリケート (F) 100質量部に対して、前記セッコウ (G) の使用量が50～250質量部である前記(1)～(3)いずれかの建設向け立体造形用セメント質材料、

(5) セメント (A) 100質量部に対して、前記非晶質カルシウムアルミノシリケート (F) の使用量と前記セッコウ (G) の使用量との合計の使用量が5～30質量部である前記(1)～(4)いずれかの建設向け立体造形用セメント質材料、

(6) 前記骨材 (B) がバルーン系骨材を含む前記(1)～(5)いずれかの建設向け立体造形用セメント質材料、

(7) 前記凝結遅延剤 (E) がオキシカルボン酸類を含有する前記(1)～(6)いずれかの建設向け立体造形用セメント質材料、

(8) 前記短繊維 (H) の平均繊維長が5～15mmである前記(1)～(7)いずれかの建設向け立体造形用セメント質材料、

(9) 前記短繊維 (H) の平均繊維径が100～250 $\mu$ m、1gあたりの繊維本数が5000本以上である前記(8)の建設向け立体造形用セメント質材料、

(10) 前記(1)～(9)いずれかの建設向け立体造形用セメント質材料を水で練り混ぜ、得られるウェット材料をポンプで圧送し、ノズルから吐出される前記ウェット材料を、前記ノズルを移動させながら積層することで造形体を構築する建設向けの立体造形方法、

(11) 前記ポンプが回転容積式一軸偏心ねじポンプである前記(10)の建設向けの立体造形方法である。

### 発明の効果

[0010] 本発明の建設向け立体造形用セメント質材料、及び建設向けの立体造形方法を用いることで、一定量の材料供給が可能となり、一定の積層スピードを確保できる。また、優れた自立性及び強度発現性が得られるので、短時間に大型の造形体を構築できる。

### 図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は立体造形実験システムを示す模式図である。

[図2]図2(a)は吹付けノズルを横から見た模式図であり、図2(b)は吹付けノズルを吐出口側から見た模式図である。

[図3]図3は実施例8で製造された立体造形体の断面形状を示す模式図である。

### 発明を実施するための形態

[0012] 本発明において、「立体造形」とは、型枠等の専用工具を使わずに、3次元データに基づく断面形状を直接積層造形することで、任意の形状の成形体を製造する技術をいう。「積層造形」又は「ラピッドプロトタイピング」と呼ばれることもある。

[0013] [立体造形用セメント質材料]

本発明の立体造形用セメント質材料（以下、単に「セメント質材料」という場合がある。）は、セメント（A）、骨材（B）、リグニンスルホン酸系分散剤（R）とメラミンスルホン酸系分散剤（M）との質量割合がR:M=100:80~400である分散剤（C）、平均分子量200万~800万の範囲にあり、0.25質量%水溶液の粘度が2000~20000 mPa・sの範囲にあるダイユータンガム（D）、凝結遅延剤（E）、酸化物換算でSiO<sub>2</sub>を10~25質量%含有する非晶質カルシウムアルミノシリケート（F）、セッコウ（G）、及び短繊維（H）を含む。

[0014] <セメント（A）>

本発明で使用するセメント（A）としては、普通、早強、超早強、低熱、及び中庸熱などの各種ポルトランドセメントや、これらポルトランドセメントに、高炉スラグ、フライアッシュ、又はシリカを混合した各種混合セメント、ブレン比表面積で2000 cm<sup>2</sup>/g以上の石灰石粉末や高炉徐冷スラグ微粉末などを混合したフィラーセメント、都市ゴミ焼却灰や下水汚泥焼却灰を原料として製造された環境調和型セメント（エコセメント）、並びに耐火物用途で使用されているアルミナセメントなどが挙げられる。これらのうちの1種又は2種以上が使用可能である。セメントのブレン比表面積は3

000 cm<sup>2</sup>/g 以上が好ましい。

[0015] <骨材 (B)>

本発明で使用する骨材 (B) としては、特に限定されず、市販されている天然の石灰岩由来の骨材やケイ酸質由来の骨材、さらに、比重が3.0を越える重量骨材などが使用できる。また、自立性の向上を目的として、使用する骨材の一部がバルーン系骨材であってもよい。バルーン系骨材とは、一般的には軽量骨材と呼ばれているもので、例えば、フライアッシュバルーン、シラスバルーン、黒曜石をキルンで焼成発泡させたバルーンなどが挙げられる。軽量骨材の比重は2.0以下が好ましく、1.8以下がより好ましく、0.3～1.0がさらに好ましい。

骨材 (B) (バルーン系骨材を含む) の最大粒子径は、ポンプ圧送性を考慮すると10mm以下が好ましく、5mm以下がより好ましい。

骨材 (B) の使用量は、セメント (A) 100質量部に対して50～300質量部が好ましく、100～200質量部がより好ましい。使用量が少なすぎると、自立性を確保しにくくなる傾向があり、使用量が多すぎると、適度な軟らかさを確保することが難しくなりポンプ圧送性に支障をきたす可能性がある。

バルーン系骨材を使用する場合、その使用量は、骨材 (B) 100質量部中25質量部以下が好ましく、1～25質量部がより好ましく、3～15質量部がさらに好ましい。使用量が多すぎると、強度発現性が低下したり、適度な軟らかさを確保することが難しくなりポンプ圧送性に支障をきたしたりする可能性がある。一方、使用量が少なすぎると、自立性の向上効果が認められない可能性がある。

[0016] <分散剤 (C)>

本発明では、分散剤 (C) として、リグニンスルホン酸系分散剤 (R) とメラミンスルホン酸系分散剤 (M) とからなる分散剤であり、質量比がR:M=100:80～400の割合でリグニンスルホン酸系分散剤 (R) とメラミンスルホン酸系分散剤 (M) とを併用したものをを用いる。このような分

散剤（C）を用いることで、水を加えて練り混ぜたセメント質材料の流動性を確保するとともに、チクソトロピック性を向上できる。前記比率は、R：M＝100：100～250がより好ましい。メラミンスルホン酸系分散剤（M）の配合割合が下限値に満たないと、所期の流動性を得るために必要な分散剤量が増加するとともに、流動性の経時変化が大きすぎてポンプ圧送に支障をきたすおそれがあり、メラミンスルホン酸系分散剤（M）の配合割合が上限値を超えると、凝結が遅延して流動性の経時変化が小さくなり、圧送後の自立性を確保することが困難となるおそれがある。

分散剤（C）の使用量は、セメント（A）100質量部に対して0.2～3質量部が好ましく、0.5～2質量部がより好ましい。使用量が少なすぎると、十分な流動性を得ることが難しい可能性があり、使用量が多すぎると、凝結が遅延して流動性の経時変化が小さくなり、自立性が失われる可能性がある。

[0017] ＜ダイユータンガム（D）＞

本発明では、平均分子量200万～800万の範囲にあり、0.25質量％水溶液の粘度が2000～10000 mPa・sの範囲にあるダイユータンガム（D）が使用できる。ここで、濃度0.25質量％水溶液の粘度は、25℃において、B型粘度計を用いて3 rpmの条件下で測定した値である。ダイユータンガム（diutan gum）は、例えば、2個のグルコース、1個のグルクロン酸、及び3個のラムノースを構成単位とする天然高分子多糖類である。

平均分子量としては、重量平均分子量が好ましい（以下、重量平均分子量を分子量ということもある。）。重量平均分子量は、例えば、ゲルパーミエーションクロマトグラフィー（GPC）法やサイズ排除クロマトグラフィー法によって測定される標準ポリエチレンオキサイド換算の値である。具体的には、重量平均分子量は、下記の条件にて、溶剤として水を用い、GPCシステム（東ソー社製SC-8010）を使用し、市販の標準ポリエチレンオキサイド検量線を作成して求めることができる。

流速：4.0 ml/min

設定温度：40℃

カラム構成：東ソー社製「TSK gel G5000PWXL」と東ソー社製「TSK gel G3000PWXL（東ソー（株）製）」を、この順に直列接続した。

サンプル注入量：100  $\mu$ l（試料液濃度1 mg/ml）

検出器：RI検出器

ダイユータンガム（D）の使用量は、セメント（A）100質量部に対して0.03～1.0質量部が好ましく、0.05～0.5質量部がより好ましい。使用量が少なすぎると、十分なチクソトロピー性を付与することが難しい可能性があり、使用量が多すぎると、ポンプ圧送性や強度発現性に支障をきたす可能性がある。

#### [0018] <凝結遅延剤（E）>

本発明で使用する凝結遅延剤（E）としては、セメント質材料向けに一般に市販されているものが使用できる。例えば、リン酸塩、ケイフッ化物、水酸化銅、ホウ酸又はその塩、酸化亜鉛、塩化亜鉛、炭酸化亜鉛などの無機遅延剤が挙げられ、これらの1種又は2種以上の混合物が使用できる。また、オキシカルボン酸（クエン酸、グルコン酸、リンゴ酸、酒石酸、グルコヘプトン酸、オキシマロン酸、乳酸など）又はその塩（以下、オキシカルボン酸とオキシカルボン酸の塩を総称してオキシカルボン酸類ということもある。）、砂糖に代表される糖類などの有機系遅延剤が挙げられ、これらの1種又は2種以上の混合物が使用できる。さらに、無機化合物として炭酸塩、重炭酸塩、硝酸塩、水酸化物、ケイ酸塩と上記オキシカルボン酸類又はその塩とを組み合わせた混合物も使用することができる。これらの中で、オキシカルボン酸類を含有するものが好ましく、オキシカルボン酸類単独か、オキシカルボン酸類と無機化合物との混合物からなる群から選択される1種以上がより好ましい。

凝結遅延剤（E）の使用量は、セメント100質量部に対して0.05～

0.7質量部が好ましく、0.07～0.5質量部がより好ましい。使用量が少なすぎると、練混ぜ時間及びポンプ圧送を考慮した可使時間を確保することが難しい可能性があり、使用量が多すぎると、硬化時間が長くなり自立性を確保できない可能性がある。

[0019] <非晶質カルシウムアルミノシリケート (F)>

本発明で使用する酸化物換算で $\text{SiO}_2$ を10～25質量%含有する非晶質カルシウムアルミノシリケート (F) (以下、単に「カルシウムアルミノシリケート」と記述する。)は、 $\text{CaO}$ 原料、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 原料、 $\text{SiO}_2$ 原料を混合したものを、キルンでの焼成、電気炉等での熔融等の熱処理することで得られるカルシウムアルミノシリケートであって、 $\text{SiO}_2$ の含有量が10～25質量%の非晶質である。非晶質であるため、高い反応性を有する。

ここで、非晶質とは、反応性の点で、ガラス化率70%以上をいうことが好ましく、ガラス化率90%以上をいうことがより好ましい。ガラス化率は加熱前のサンプルについて、粉末X線回折法により結晶鉱物のメインピーク面積 $S$ を予め測定し、その後1000℃で2時間加熱後、1～10℃/分の冷却速度で徐冷し、粉末X線回折法による加熱後の結晶鉱物のメインピーク面積 $S_0$ を求め、更に、これらの $S_0$ 及び $S$ の値を用い、下記の式を用いてガラス化率 $\chi$ を算出する。

$$\text{ガラス化率 } \chi (\%) = 100 \times (1 - S / S_0)$$

$\text{SiO}_2$ の含有量が10質量%未満では、水和活性が高くなり、硬化時間を調整するのに必要な凝結遅延剤量が増え、チクソトロピー性や自立性に影響を及ぼす可能性があり、25質量%を超えると、水和活性が低くなり、適度な硬化スピードを得ることができない可能性がある。

カルシウムアルミノシリケート (F) は、酸化物換算した $\text{CaO}$ と $\text{Al}_2\text{O}_3$ のモル比 $\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$ が1.5～3.5であることが好ましく、1.7～2.0であることがより好ましい。また、その他の成分として、ナトリウム、カリウム、及びリチウム等のアルカリ金属を一部固溶させてもよい。

カルシウムアルミノシリケートの粒度は、ブレン値で3000 $\text{cm}^2/\text{g}$

以上が好ましい。ブレン値が小さすぎると、強度発現性が低下する可能性がある。

[0020] <セッコウ (G)>

本発明で使用するセッコウ (G) は、前記カルシウムアルミノシリケートと併用することで、さらに強度を向上させる成分である。セッコウ (G) の種類としては、無水セッコウ、半水セッコウ、二水セッコウが挙げられ、工場で副生するセッコウや天然に産出するセッコウが使用できる。これらの中で、無水セッコウの使用が、強度発現性の点で好ましい。

セッコウ (G) の粒度は、ブレン値で  $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$  以上が好ましい。ブレン値が小さすぎると、強度発現性の向上効果が得られない可能性がある。

前記カルシウムアルミノシリケート (F) に対するセッコウ (G) の割合は、前記カルシウムアルミノシリケート (F) 100質量部に対して50～250質量部が好ましく、100～200質量部がより好ましい。セッコウ (G) の割合が少なすぎると、強度の向上効果が得られない可能性があり、セッコウ (G) の割合が多すぎると、強度発現性が頭打ちとなる可能性がある。

[0021] 前記カルシウムアルミノシリケート (F) と前記セッコウ (G) の合計の使用量は、セメント (A) 100質量部に対して5～30質量部が好ましく、10～20質量部がより好ましい。使用量が少なすぎると、強度増進効果が得られない可能性があり、使用量が多すぎると、可使時間の確保が難しくなったり、強度発現性が低下したりする可能性がある。

[0022] <短繊維 (H)>

本発明で使用する短繊維 (H) としては、セメント混和用として一般に市販されているものが使用できる。例えば、ビニロン繊維、アクリル繊維、ナイロン繊維、鋼繊維、ガラス繊維、ポリプロピレン繊維、ポリエチレン繊維、ポリエステル繊維、バサルト繊維などが挙げられ、これら繊維を1種又は2種以上併用して使用することも可能である。これらの中では、繊維径や繊

維長のバリエーションが多いビニロン繊維や、分散性に優れたナイロン繊維からなる群から選択される１種以上の使用が好ましい。

短繊維（H）の平均繊維長は、予めプレミックスすることを考慮すると、５～１５mmの範囲が好ましい。また短繊維（H）の平均繊維径は、立体造形性の点で、２０～２５０μmが好ましく、１００～２５０μmがより好ましい。平均径が小さすぎる繊維は入手することが困難な場合がある。一方、平均繊維径が大きすぎる繊維は、ウェット材料のポンプ圧送性に支障をきたす可能性があり、またポンプ圧送できる場合でも、圧送に伴うウェット材料の温度上昇が大きすぎ、硬化時間が過度に短くなって成形性が悪化する可能性や成形体の強度発現性が低下する可能性がある。短繊維（H）の平均繊維径を２０μm以上、特に１００μm以上とすることで、セメント質材料に水を加えたウェット材料をポンプ圧送する際に発生する摩擦熱が大きくなり、ノズル先端から吐出されるウェット材料の温度が上昇して硬化時間が適度に短くなることで、連続的に高い積層を実現できる。

短繊維（H）は、モノフィラメント状のものよりも、モノフィラメント同士をバインダーで収束させた収束繊維状のものの方が、繊維を本数として多く混入できるので好ましい。

短繊維（H）１gあたりの本数は、５０００本以上が好ましい。１gあたりの本数が少なすぎると、短繊維（H）による補強効果や初期ひび割れ抑制効果が発揮できない可能性がある。短繊維（H）１gあたりの本数は、５００００本以下が好ましい。短繊維（H）１gあたりの繊維本数は、織度（d t e x、モノフィラメント１００００mあたりの質量（g））より下記式で求める。

$$\text{繊維本数（本／g）} = [1 / (\text{織度} / 10000 \text{（m）})] / \text{平均繊維長（m／本）}$$

短繊維（H）の使用量は、セメント（A）と骨材（B）の合計１００質量部に対して０．１～１．０質量部が好ましく、０．２～０．５質量部がより好ましい。使用量が少なすぎると、補強効果を発揮できない可能性があり、

使用量が多すぎると、ポンプ圧送に支障をきたす可能性がある。

[0023] <他の成分>

本発明では、施工及び硬化体の性能に支障をきたさない範囲で、消泡剤、防錆剤、防凍剤、収縮低減剤、ベントナイトやセピオライトなどの無機鉱物、ハイドロタルサイトなどのアニオン交換体などの各種添加剤、ポリマーエマルジョンなどを添加することが可能である。また、セメントに予め混和されたものとは別に、高炉スラグ、シリカフューム、フライアッシュなどの水和活性のある無機粉末を使用することも可能である。

[0024] <水の使用量>

本発明のセメント質材料は、水で練り混ぜてウェット材料を調製し、立体造形に用いる。水の使用量は、セメント質材料100質量部に対して13～20質量部が好ましく、15～18質量部がより好ましい。使用量が少なすぎると、練り混ぜが難しい可能性があり、使用量が多すぎると、ウェット材料の流動性が増加し、自立性が低下する可能性がある。

[0025] [立体造形方法]

図1に示す立体造形実験システム1を例に挙げて、本発明の立体造形方法について以下説明する。なお、図1に示す立体造形実験システム1は本発明の立体造形方法を限定するものではない。本発明の立体造形方法は、セメント質材料の練混ぜ工程、練り混ぜて得られたウェット材料のポンプ圧送工程、制御されたノズル移動による立体造形工程に分類できる。

[0026] 本発明の立体造形方法で採用されるセメント質材料の練混ぜ方法は、特に限定されず、市販されているミキサー10で練り混ぜることができる。例えば、パン型ミキサー、強制2軸ミキサー、練り混ぜと圧送ポンプ（回転容積式一軸偏心ねじポンプ）が一体化した連続練り混ぜミキサーポンプなどが挙げられる。

[0027] 本発明の立体造形方法で採用される練り混ぜたウェット材料を圧送するポンプ20は、ウェット材料の品質を低下させずに圧送可能なものであれば特に限定されないが、回転容積式一軸偏心ねじポンプ20が好ましい。回転容

積式一軸偏心ねじポンプ20は、モノポンプまたスネークポンプと言われており、スクイズポンプと比べ、圧送時の脈動がなく定量圧送が可能であり、モーター回転数を制御することで吐出量も調整できる。また、回転容積式一軸偏心ねじポンプ20は、その構造から、圧送されるウェット材料の温度が上昇しやすいと考えられ、ウェット材料の硬化反応が短時間で進行し、自立安定性が向上して連続積層高さを大きくできる点でも好ましい。すなわち、回転容積式一軸偏心ねじポンプ20は、雄ねじにあたるローターと雌ねじにあたるステーターを備えており、ステーターの中にローターが差し込まれた状態で、その隙間にキャビティーといわれる密閉空間（例えば、ローターとステーターの間の空間）が形成され、ローターがステーター内で回転することにより、強い吸引力を発生させながら、キャビティーが吐出側へと移動することで材料を連続的に移送する機構を有する。移送時には例えば、ローターは、ステーターの中心軸を中心にして公転移動しながら自転する偏心回転運動を行うようになっている。そして、最初のキャビティーの材料が前（吐出側）のキャビティーに吸引力で移動する際、ステーター面との摩擦抵抗により加温されると考えられる。このような加温現象を活用すれば、可使用時間を確保しつつ、より自立安定性に優れる立体造形を実現できる。例えば、回転容積式一軸偏心ねじポンプ20は、国際公開第2014/142239号の段落0063～0064に例示されている。

圧送配管30は耐圧2～4MPaのフレキシブルホースや部分的に金属配管を組み合わせても使用することができ、設定する吐出量にもよるが、配管径は内径で20～50mmが好ましい。圧送配管30の距離は、特に限定するものではないが、20m以下が圧送性を考慮すると好ましい。

[0028] 本発明の立体造形方法で採用されるウェット材料の吐出部（圧送配管の先端）には吹付けノズル40を設けることが好ましい。吐出口41（図2参照）の径は特に限定するものではないが、使用する骨材径や積層する幅によって適宜設定すればよい。例えば、骨材径が5mm以下、積層幅が50mm以下であれば、吐出口41の内径は、5～20mmが好ましく、8～15mm

がより好ましい。吐出口41の形状は、特に限定するものではないが、円形、楕円形、矩形、十字形、星形などが挙げられ、吐出されたウェット材料の表面に平滑性を付与することを目的に吐出口周囲にツバを設けてもよい。これらは、ベッド50に対して垂直に吐出口41を設けるが、場合によっては、水平方向に吐出口41を設けてもよい。

[0029] 本発明の立体造形方法では、水平方向と垂直方向のノズル移動の制御は、例えば、ロボットアーム60や門型プロッターに吹付けノズル40を固定し、コンピュータ制御することが好ましい。たとえば、コンピュータで作成した3次元データを所定の厚さで切断して2次元スライスデータを作成し、吹付けノズル40を2次元スライスデータに基づいて縦・横・斜めなど水平方向の移動制御を行いながら、ベッド50に吹付けノズル40からウェット材料を吐出させ、垂直方向にノズルを移動させることを繰り返してウェット材料を順次積層させて立体造形体（例えば、図3に示す断面形状70を有する立体造形体）を造形する方法が可能である。なお、ロボットアーム60や門型プロッターに吹付けノズル40を固定したとき、圧送配管30が折れ曲がって閉塞しないようにするために、滑車80を用いるとよい。

吹付けノズル40の移動速度は、特に限定されず、ウェット材料を積層する幅によって変えることができる。ウェット材料の吐出量が一定の場合、スピードを遅くすればウェット材料の積層幅が大きくなり、スピードを速くすればウェット材料の積層幅が小さくなる。

## 実施例

[0030] 以下、実施例に基づき本発明をさらに詳細に説明する。

### <実施例1>

セメント100質量部に対して、骨材150質量部、リグニンスルホン酸系分散剤（R）とメラミンスルホン酸系分散剤（M）との質量割合が $R/M = 100/200$ の分散剤1.0質量部、表1に示す種類と量のダイユータンガム、凝結遅延剤ア0.25質量部、及び表1に示すカルシウムアルミノシリケート100質量部に対してセッコウを150質量部配合した混合物を

20質量部配合するとともに、短繊維aをセメントと骨材の合計100質量部に対して0.2質量部配合し、立体造形用セメント質材料（以下、セメント質材料ということもある）を調製した。この調製した材料100質量部に対して水を17質量部加え、パン型ミキサーで練り混ぜた。得られたウェット材料のミニスランプ（MS、練混ぜ直後と20分後）、硬化時間及び圧縮強度を測定するとともに、MS低減率を算出した。結果を表1に示す。

[0031]（使用材料）

<セメント（A）>

セメント：普通ポルトランドセメント（デンカ（株）製、ブレン比表面積  $3400\text{ cm}^2/\text{g}$ ）

<骨材（B）>

骨材：石灰石骨材（デンカ（株）製、最大粒子径1.2mm、比重2.71）

<分散剤（C）>

リグニンスルホン酸系分散剤（R）：日本製紙（株）製、商品名「サンエキスパ252」

メラミンスルホン酸系分散剤（M）：日本シーカ（株）製、商品名「シーカメントFF86/100」

<ダイユータンガム（D）>

ダイユータンガムA：ブドウ糖を出発原料としてアルカリゲネス属の微生物を用いて好気発酵することによって合成した。分子量410万、0.25質量%水溶液の粘度  $5600\text{ mPa}\cdot\text{s}$

ダイユータンガムB：発酵時間を変えた以外はダイユータンガムAと同様に合成した。分子量220万、0.25質量%水溶液の粘度  $2300\text{ mPa}\cdot\text{s}$

ダイユータンガムC：発酵時間を変えた以外はダイユータンガムAと同様に合成した。分子量530万、0.25質量%水溶液の粘度  $7500\text{ mPa}\cdot\text{s}$

ダイユータンガムD：発酵時間を変えた以外はダイユータンガムAと同様に合成した。分子量780万、0.25質量%水溶液の粘度 9600 mPa · s

ダイユータンガムE：発酵時間を変えた以外はダイユータンガムAと同様に合成した。分子量180万、0.25質量%水溶液の粘度 1800 mPa · s

<ダイユータンガム以外の増粘剤>

増粘剤A：セルロースエーテル系（信越化学工業（株）製、商品名「hi90SH-30000」（20℃で2質量%水溶液の粘度が30000 mPa · s））

<凝結遅延剤（E）>

凝結遅延剤A：クエン酸（試薬1級）

<非晶質カルシウムアルミノシリケート（F）>

カルシウムアルミノシリケートA：市販特級試薬のSiO<sub>2</sub>、CaCO<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を所定割合になるように混合し、高周波炉を用いて約2000℃で加熱熔融し、水中で急冷し、粉碎して調製したもの（非晶質（以下実施例において、非晶質とは、ガラス化率90%以上をいう）、SiO<sub>2</sub>含有量10.1%、CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>モル比1.85、ブレーン比表面積5900 cm<sup>2</sup>/g）

カルシウムアルミノシリケートB：試薬の配合割合を変えた以外はカルシウムシリケートAと同様にして調製したもの（非晶質、SiO<sub>2</sub>含有量14.9%、CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>モル比1.85、ブレーン比表面積5800 cm<sup>2</sup>/g）

カルシウムアルミノシリケートC：試薬の配合割合を変えた以外はカルシウムシリケートAと同様にして調製したもの（非晶質、SiO<sub>2</sub>含有量24.6%、CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>モル比1.85、ブレーン比表面積5800 cm<sup>2</sup>/g）

<セッコウ（G）>

セッコウ：天然無水セッコウ粉碎品（ブレン比表面積  $5200 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）

<短繊維（H）>

短繊維 a：ビニロン繊維（平均繊維長  $12 \text{ mm}$ 、平均繊維径  $50 \mu\text{m}$ 、 $1 \text{ g}$ あたりの繊維本数  $55500$  本）

[0032]（試験方法）

各試験はいずれも  $20^\circ\text{C}$  の環境下で実施した。

（１）ブレン比表面積

JIS R 5201-1997 に準じて測定した。

（２）最大粒子径

JIS A 1102 に準じて骨材のふるい分けを行い、完全通過しない一番大きなふるい目の寸法を最大粒子径とした。

（３）ミニスランプ（MS）

JIS A 1171 に準拠した。測定は練り混ぜ直後と  $20$  分後に実施した。

（４）MS 低減率

練混ぜ直後と  $20$  分後のミニスランプから、下記式を用いて算出した。

スランプ低減率（％）＝〔ミニスランプ（練混ぜ直後）－ミニスランプ（ $20$  分後）〕／〔ミニスランプ（練混ぜ直後） $\times 100$ 〕

（５）硬化時間

練り混ぜが完了してから、ウェット材料  $2 \text{ kg}$  をビニール袋に詰め、指で押しても凹まなくなったときを硬化時間とした。指で押すタイミングは  $5$  分間隔とした。

（６）圧縮強度

JIS R 5201 の  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$  の三連型枠に練り混ぜた材料を充填し、材齢  $3$  時間、 $12$  時間、 $1$  日、 $7$  日で測定した。

（７）石灰石骨材の比重

JIS A 1109 に準じて測定し、絶乾密度を比重とした。

[0033]

[表1]

表1

| 実験<br>No. | カルシウム<br>アルミノ<br>シリケート | ダイユー<br>タンガム | ダイユータンガム<br>使用量<br>(質量部) | MS<br>(mm) |      | MS<br>低減率<br>(%) | 硬化<br>時間<br>(分) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      | 備考  |
|-----------|------------------------|--------------|--------------------------|------------|------|------------------|-----------------|------------------------------|------|------|------|-----|
|           |                        |              |                          | 直後         | 20分後 |                  |                 | 3時間                          | 12時間 | 1日   | 7日   |     |
| 1-1       | A                      | A            | 0.03                     | 39         | 26   | 33.3             | 49              | 6.1                          | 10.9 | 24.8 | 60.4 | 実施例 |
| 1-2       |                        |              | 0.05                     | 35         | 23   | 34.3             | 50              | 6.2                          | 11.0 | 24.9 | 61.3 | 実施例 |
| 1-3       |                        |              | 0.1                      | 32         | 19   | 40.6             | 52              | 6.5                          | 11.3 | 25.1 | 62.5 | 実施例 |
| 1-4       |                        |              | 0.3                      | 25         | 15   | 40.0             | 53              | 6.4                          | 11.1 | 24.3 | 61.9 | 実施例 |
| 1-5       |                        |              | 0.5                      | 21         | 13   | 38.1             | 55              | 6.2                          | 11.1 | 24.0 | 61.8 | 実施例 |
| 1-6       |                        |              | 1.0                      | 20         | 11   | 45.0             | 58              | 6.0                          | 10.9 | 24.0 | 61.0 | 実施例 |
| 1-7       | B                      | A            | 0.03                     | 38         | 27   | 28.9             | 52              | 6.5                          | 10.9 | 23.1 | 60.0 | 実施例 |
| 1-8       |                        |              | 0.05                     | 34         | 24   | 29.4             | 56              | 6.7                          | 11.2 | 24.6 | 61.2 | 実施例 |
| 1-9       |                        |              | 0.1                      | 30         | 19   | 36.7             | 58              | 7.1                          | 11.5 | 25.6 | 63.3 | 実施例 |
| 1-10      |                        |              | 0.3                      | 22         | 15   | 31.8             | 59              | 6.8                          | 10.9 | 24.9 | 63.0 | 実施例 |
| 1-11      |                        |              | 0.5                      | 20         | 12   | 40.0             | 59              | 6.7                          | 10.9 | 24.4 | 62.5 | 実施例 |
| 1-12      |                        |              | 1.0                      | 18         | 11   | 38.9             | 60              | 6.6                          | 10.8 | 24.0 | 61.9 | 実施例 |
| 1-13      | C                      | A            | 0.03                     | 40         | 28   | 30.0             | 68              | 5.8                          | 9.7  | 22.8 | 60.0 | 実施例 |
| 1-14      |                        |              | 0.05                     | 37         | 25   | 32.4             | 69              | 5.9                          | 9.9  | 22.9 | 61.1 | 実施例 |
| 1-15      |                        |              | 0.1                      | 33         | 20   | 39.4             | 72              | 6.2                          | 10.2 | 23.7 | 61.5 | 実施例 |
| 1-16      |                        |              | 0.3                      | 26         | 18   | 30.8             | 78              | 6.1                          | 10.0 | 23.4 | 61.2 | 実施例 |
| 1-17      |                        |              | 0.5                      | 24         | 15   | 37.5             | 85              | 6.1                          | 10.0 | 22.9 | 61.2 | 実施例 |
| 1-18      |                        |              | 1.0                      | 22         | 14   | 36.4             | 89              | 5.8                          | 9.6  | 22.8 | 60.8 | 実施例 |
| 1-19      | B                      | B            | 0.03                     | 46         | 33   | 28.3             | 53              | 6.0                          | 10.4 | 22.9 | 58.9 | 実施例 |
| 1-20      |                        |              | 0.05                     | 40         | 29   | 27.5             | 57              | 6.7                          | 10.6 | 22.9 | 59.3 | 実施例 |
| 1-21      |                        |              | 0.1                      | 34         | 27   | 20.6             | 59              | 6.8                          | 10.9 | 23.4 | 60.5 | 実施例 |
| 1-22      |                        |              | 0.3                      | 26         | 20   | 23.1             | 60              | 6.4                          | 10.5 | 23.3 | 60.1 | 実施例 |
| 1-23      |                        |              | 0.5                      | 23         | 18   | 21.7             | 62              | 6.2                          | 10.3 | 23.1 | 59.6 | 実施例 |
| 1-24      |                        |              | 1.0                      | 21         | 16   | 23.8             | 64              | 6.1                          | 10.3 | 22.9 | 59.2 | 実施例 |
| 1-25      | B                      | C            | 0.03                     | 36         | 25   | 30.6             | 53              | 5.8                          | 10.5 | 22.0 | 58.8 | 実施例 |
| 1-26      |                        |              | 0.05                     | 31         | 22   | 29.0             | 57              | 5.9                          | 10.6 | 22.4 | 59.4 | 実施例 |
| 1-27      |                        |              | 0.1                      | 28         | 20   | 28.6             | 61              | 6.1                          | 10.8 | 23.1 | 60.1 | 実施例 |
| 1-28      |                        |              | 0.3                      | 19         | 15   | 21.1             | 63              | 5.8                          | 10.7 | 22.6 | 59.9 | 実施例 |
| 1-29      |                        |              | 0.5                      | 17         | 13   | 23.5             | 64              | 5.7                          | 10.5 | 22.5 | 59.8 | 実施例 |
| 1-30      |                        |              | 1.0                      | 15         | 11   | 26.7             | 68              | 5.5                          | 10.3 | 22.5 | 58.9 | 実施例 |
| 1-31      | B                      | D            | 0.03                     | 32         | 25   | 21.9             | 54              | 5.5                          | 9.5  | 21.4 | 58.7 | 実施例 |
| 1-32      |                        |              | 0.05                     | 29         | 21   | 27.6             | 58              | 5.6                          | 9.7  | 21.8 | 58.9 | 実施例 |
| 1-33      |                        |              | 0.1                      | 24         | 19   | 20.8             | 62              | 5.8                          | 10.2 | 22.4 | 59.7 | 実施例 |
| 1-34      |                        |              | 0.3                      | 20         | 16   | 20.0             | 63              | 5.7                          | 9.9  | 22.0 | 58.9 | 実施例 |
| 1-35      |                        |              | 0.5                      | 17         | 14   | 17.6             | 65              | 5.7                          | 9.8  | 21.4 | 58.4 | 実施例 |
| 1-36      |                        |              | 1.0                      | 15         | 10   | 33.3             | 66              | 5.4                          | 9.4  | 21.3 | 58.0 | 実施例 |
| 1-37      | B                      | E            | 0.03                     | 52         | 46   | 11.5             | 67              | 2.0                          | 6.5  | 15.4 | 57.0 | 比較例 |
| 1-38      |                        |              | 0.05                     | 46         | 40   | 13.0             | 66              | 1.8                          | 6.7  | 15.5 | 57.2 | 比較例 |
| 1-39      |                        |              | 0.1                      | 40         | 36   | 10.0             | 64              | 1.5                          | 6.8  | 16.2 | 57.1 | 比較例 |
| 1-40      |                        |              | 0.3                      | 35         | 29   | 17.1             | 61              | 0.9                          | 6.0  | 15.4 | 55.6 | 比較例 |
| 1-41      |                        |              | 0.5                      | 32         | 27   | 15.6             | 63              | —                            | 4.4  | 13.2 | 52.1 | 比較例 |
| 1-42      |                        |              | 1.0                      | 28         | 24   | 14.3             | 70              | —                            | 3.9  | 12.9 | 51.4 | 比較例 |
| 1-43      | B                      | 増粘剤A         | 0.1                      | 48         | 34   | 29.2             | 65              | 1.1                          | 5.3  |      | 55.6 | 比較例 |

—:測定又は試験体採取不可

ダイユータンガムは、セメント100質量部に対する質量部

[0034] 表1より、本発明のダイユータンガムの組成範囲では、ポンプ圧送性に支障をきたさず、圧送後に自立性を確保することができた。さらに初期及び長

期強度ともに優れた値を示すため優れた積層速度、施工速度が得られた。一方、本発明範囲を外れたダイユータンガム、その他の増粘剤を使用した場合は自立性を確保できるMS低減率を示す場合があるものの初期強度発現性が悪くなり十分な積層速度及び施工速度が得られなかった。

[0035] <実施例2>

セメント100質量部に対して、骨材150質量部、表1に示す種類及び量の分散剤、ダイユータンガムA0.1質量部、凝結遅延剤ア0.25質量部、及びカルシウムアルミノシリケートB100質量部に対してセッコウを150質量部配合した混合物を20質量部配合するとともに、短繊維aをセメントと骨材の合計100質量部に対して0.2質量部配合し、立体造形用セメント質材料（以下、セメント質材料ということもある）を調製した。この調製した材料100質量部に対して水を17質量部加え、パン型ミキサーで練り混ぜた。得られたウェット材料のミニスランプ（MS、練混ぜ直後と20分後）、硬化時間及び圧縮強度を測定するとともに、MS低減率を算出した。結果を表2に示す。

[0036]

[表2]

表2

| 実験<br>No. | R/M<br>(質量比) | R+M合計<br>(質量部) | MS<br>(mm) |      | MS<br>低減率<br>(%) | 硬化<br>時間<br>(分) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      | 備考  |
|-----------|--------------|----------------|------------|------|------------------|-----------------|------------------------------|------|------|------|-----|
|           |              |                | 直後         | 20分後 |                  |                 | 3時間                          | 12時間 | 1日   | 7日   |     |
| 2-1       | —            | 0              | —          | —    | —                | —               | —                            | —    | —    | —    | 比較例 |
| 2-2       | 100/80       | 0.2            | 27         | 18   | 33.3             | 40              | 6.2                          | 10.9 | 24.6 | 60.1 | 実施例 |
| 2-3       |              | 0.5            | 28         | 18   | 35.7             | 44              | 6.5                          | 11.0 | 24.8 | 61.8 | 実施例 |
| 2-4       |              | 1              | 31         | 22   | 29.0             | 53              | 6.6                          | 11.2 | 24.9 | 60.8 | 実施例 |
| 2-5       |              | 2              | 38         | 29   | 23.7             | 58              | 6.5                          | 11.1 | 24.9 | 60.9 | 実施例 |
| 2-6       |              | 3              | 45         | 33   | 26.7             | 67              | 6.5                          | 11.0 | 25.0 | 60.2 | 実施例 |
| 2-7       | 100/100      | 0.2            | 26         | 16   | 38.5             | 44              | 6.7                          | 10.6 | 25.1 | 61.1 | 実施例 |
| 2-8       |              | 0.5            | 26         | 16   | 38.5             | 50              | 6.8                          | 10.7 | 25.0 | 62.2 | 実施例 |
| 2-9       |              | 1              | 29         | 18   | 37.9             | 56              | 6.8                          | 11.0 | 25.0 | 61.8 | 実施例 |
| 2-10      |              | 2              | 37         | 25   | 32.4             | 60              | 6.9                          | 10.9 | 25.3 | 61.3 | 実施例 |
| 2-11      |              | 3              | 44         | 28   | 36.4             | 69              | 6.8                          | 10.9 | 25.1 | 61.5 | 実施例 |
| 2-12      | 100/200      | 0.2            | 25         | 16   | 36.0             | 45              | 6.9                          | 10.9 | 24.9 | 61.1 | 実施例 |
| 2-13      |              | 0.5            | 26         | 16   | 38.5             | 52              | 6.9                          | 11.2 | 25.3 | 62.2 | 実施例 |
| 1-9       |              | 1              | 30         | 19   | 36.7             | 58              | 7.1                          | 11.5 | 25.6 | 63.3 | 実施例 |
| 2-14      |              | 2              | 36         | 24   | 33.3             | 63              | 6.9                          | 11.3 | 25.1 | 63.0 | 実施例 |
| 2-15      |              | 3              | 44         | 27   | 38.6             | 70              | 6.7                          | 11.3 | 24.9 | 61.5 | 実施例 |
| 2-16      | 100/400      | 0.2            | 28         | 17   | 39.3             | 48              | 6.3                          | 11.2 | 24.7 | 62.0 | 実施例 |
| 2-17      |              | 0.5            | 30         | 19   | 36.7             | 55              | 6.4                          | 11.2 | 24.8 | 62.1 | 実施例 |
| 2-18      |              | 1              | 32         | 23   | 28.1             | 60              | 6.6                          | 11.0 | 25.0 | 61.9 | 実施例 |
| 2-19      |              | 2              | 39         | 26   | 33.3             | 68              | 6.5                          | 10.8 | 25.1 | 62.5 | 実施例 |
| 2-20      |              | 3              | 48         | 30   | 37.5             | 75              | 6.3                          | 10.8 | 24.9 | 62.5 | 実施例 |
| 2-21      | 0/100        | 1              | 69         | 20   | 71.0             | 32              | 6.3                          | 10.0 | 23.6 | 59.4 | 比較例 |
| 2-22      | 100/0        | 1              | 15         | —    | —                | 86              | 6.3                          | 10.4 | 23.9 | 60.0 | 比較例 |

—:測定又は試験体採取不可

R:リグニンスルホン酸系分散剤

M:メラミンスルホン酸系分散剤

R及びMの合計は、セメント100質量部に対する質量部

[0037] 表2より本発明範囲のリグニンスルホン酸系分散剤(R)とメラミンスルホン酸系分散剤(M)を併用することでポンプ圧送性に支障をきたさず、かつ適度なスランプ低減率となるため、圧送後に自立性を確保することができた。

[0038] <実施例3>

セメント100質量部に対して、骨材150質量部、リグニンスルホン酸系分散剤(R)とメラミンスルホン酸系分散剤(M)との質量割合がR/M=100/200の分散剤1.0質量部、ダイユータンガムA0.1質量部、凝結遅延剤A0.25質量部、及びカルシウムアルミノシリケートBとセッコウとの割合が表3に示す比率である混合物を20質量部配合するととも

に、短繊維 a をセメントと骨材の合計 100 質量部に対して 0.2 質量部配合し、立体造形用セメント質材料を調製した。この調製した材料 100 質量部に対して水を 17 質量部加え、パン型ミキサーで練り混ぜた。得られたウェット材料について、実施例 1 と同様の方法で、ミニスランプ（練混ぜ直後と 20 分後）、硬化時間及び圧縮強度を測定するとともに、MS 低減率を算出した。結果を表 3 に示す。

[0039] [表3]

表3

| 実験<br>No. | CAS/CS<br>(質量比) | MS<br>(mm) |      | MS<br>低減率<br>(%) | 硬化<br>時間<br>(分) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      | 備考  |
|-----------|-----------------|------------|------|------------------|-----------------|------------------------------|------|------|------|-----|
|           |                 | 直後         | 20分後 |                  |                 | 3時間                          | 12時間 | 1日   | 7日   |     |
| 3-1       | 100/50          | 29         | 18   | 37.9             | 39              | 5.9                          | 10.8 | 23.9 | 59.8 | 実施例 |
| 3-2       | 100/100         | 32         | 19   | 36.7             | 42              | 6.3                          | 11.1 | 24.5 | 61.7 | 実施例 |
| 1-9       | 100/150         | 30         | 19   | 36.7             | 58              | 7.1                          | 11.5 | 25.6 | 63.3 | 実施例 |
| 3-3       | 100/200         | 32         | 21   | 34.3             | 60              | 6.6                          | 11.1 | 24.9 | 60.8 | 実施例 |
| 3-4       | 100/250         | 33         | 23   | 30.3             | 62              | 6.5                          | 11.0 | 24.8 | 60.9 | 実施例 |

CAS:カルシウムアルミノシリケートB

CS:セッコウ

[0040] カルシウムアルミノシリケート 100 質量部に対してセッコウを 50～250 質量部使用することで、自立性を確保するための適度なミニスランプの低減率と硬化時間とが得られることがわかった。

[0041] <実施例 4>

セメント 100 質量部に対して、骨材 150 質量部、リグニンスルホン酸系分散剤 (R) とメラミンスルホン酸系分散剤 (M) との質量割合が R/M = 100/200 の分散剤 1.0 質量部、ダイユータンガム A 0.1 質量部、凝結遅延剤 A 0.25 質量部、及びカルシウムアルミノシリケート B 100 質量部に対してセッコウ 150 質量部からなる混合物を表 4 に示す量配合するとともに、短繊維 a をセメントと骨材の合計 100 質量部に対して 0.2 質量部配合し、立体造形用セメント質材料を調製した。この調製した材料 100 質量部に対して水を 17 質量部加え、パン型ミキサーで練り混ぜた。得られたウェット材料について、実施例 1 と同様の方法で、ミニスランプ（

練混ぜ直後と20分後)、硬化時間及び圧縮強度を測定するとともに、MS低減率を算出した。結果を表4に示す。

[0042] [表4]

表4

| 実験<br>No. | CAS+CS合計<br>(質量部) | MS<br>(mm) |      | MS<br>低減率<br>(%) | 硬化<br>時間<br>(分) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      | 備考  |
|-----------|-------------------|------------|------|------------------|-----------------|------------------------------|------|------|------|-----|
|           |                   | 直後         | 20分後 |                  |                 | 3時間                          | 12時間 | 1日   | 7日   |     |
| 4-1       | 5                 | 33         | 24   | 27.3             | 88              | 3.6                          | 8.9  | 23.2 | 62.7 | 実施例 |
| 4-2       | 10                | 33         | 23   | 30.3             | 75              | 5.0                          | 9.7  | 23.9 | 62.1 | 実施例 |
| 4-3       | 15                | 32         | 22   | 31.3             | 62              | 6.5                          | 10.4 | 24.7 | 62.9 | 実施例 |
| 1-9       | 20                | 30         | 19   | 36.7             | 58              | 7.1                          | 11.5 | 25.6 | 63.3 | 実施例 |
| 4-4       | 25                | 29         | 18   | 37.9             | 47              | 8.7                          | 12.9 | 27.6 | 63.0 | 実施例 |
| 4-5       | 30                | 27         | 18   | 33.3             | 31              | 9.9                          | 14.1 | 28.0 | 63.0 | 実施例 |

CAS: カルシウムアルミノシリケートB

CS: セッコウ

CAS及びCSの合計は、セメント100質量部に対する質量部

[0043] カルシウムアルミノシリケートとセッコウの使用量の合計の使用量をセメント100質量部に対して合計で5～30質量部とすることで、自立性を確保するための適度なミニランプの低減率と硬化時間とが得られることがわかった。

[0044] <実施例5>

セメント100質量部に対して、表5に示す量の骨材とバルーン系骨材、リグニンスルホン酸系分散剤(R)とメラミンスルホン酸系分散剤(M)との質量割合がR/M=100/200の分散剤1.0質量部、ダイユータンガムA0.1質量部、凝結遅延剤ア0.25質量部、並びにカルシウムアルミノシリケートB100質量部に対してセッコウ150質量部からなる混合物20質量部を配合するとともに、短繊維aをセメントと骨材の合計100質量部に対して0.2質量部配合し、立体造形用セメント質材料を調製した。この調製した材料100質量部に対して水を17質量部加え、パン型ミキサーで練り混ぜた。得られたウェット材料について、実施例1と同様の方法で、ミニランプ(練混ぜ直後と20分後)、硬化時間及び圧縮強度を測定するとともに、MS低減率を算出した。結果を表5に示す。

[0045] (使用材料)

# <骨材B>

骨材：石灰石骨材（デンカ（株）製、最大粒子径 1.2 mm、比重 2.71）

バルーン系骨材：巴工業（株）製、商品名「セノライトSA」（火力発電所で発生したフライアッシュバルーンの粒度調整品、中国産、比重 0.88、最大粒子径 150 μm 以下）

（使用材料）

（7）バルーン系骨材の比重

JIS A 1134 に準じて測定し、絶乾密度を比重とした。

[0046] [表5]

表5

| 実験<br>No. | 骨材<br>(質量部) | バルーン系<br>骨材<br>(質量部) | MS<br>(mm) |      | MS<br>低減率<br>(%) | 硬化<br>時間<br>(分) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      | 備考  |
|-----------|-------------|----------------------|------------|------|------------------|-----------------|------------------------------|------|------|------|-----|
|           |             |                      | 直後         | 20分後 |                  |                 | 3時間                          | 12時間 | 1日   | 7日   |     |
| 5-1       | 50          | 0                    | 42         | 29   | 31.0             | 26              | 8.2                          | 13.6 | 27.8 | 67.7 | 実施例 |
| 5-2       | 100         | 0                    | 36         | 22   | 38.9             | 27              | 7.9                          | 12.4 | 0.0  | 65.5 | 実施例 |
| 1-9       | 150         | 0                    | 30         | 19   | 36.7             | 58              | 7.1                          | 11.5 | 25.6 | 63.3 | 実施例 |
| 5-3       | 200         | 0                    | 27         | 17   | 37.0             | 58              | 6.6                          | 10.8 | 23.9 | 62.1 | 実施例 |
| 5-4       | 300         | 0                    | 22         | 14   | 36.4             | 59              | 6.0                          | 10.4 | 23.1 | 60.1 | 実施例 |
| 5-5       | 149         | 1                    | 29         | 15   | 48.3             | 59              | 7.0                          | 11.2 | 25.4 | 63.0 | 実施例 |
| 5-6       | 147         | 3                    | 27         | 15   | 44.4             | 59              | 6.9                          | 11.0 | 25.0 | 62.4 | 実施例 |
| 5-7       | 140         | 10                   | 26         | 14   | 46.2             | 58              | 6.0                          | 10.5 | 24.4 | 61.3 | 実施例 |
| 5-8       | 135         | 15                   | 26         | 14   | 46.2             | 60              | 5.4                          | 9.9  | 23.8 | 60.0 | 実施例 |

骨材とバルーン系骨材は、セメント100質量部に対する質量部

[0047] 骨材の使用量をセメント100質量部に対して50～300質量部とすることで、自立性を確保するための適度なミンスランプの低減率と硬化時間とが得られることがわかった。また、バルーン系骨材の使用により、MS低減率が増加し、自立性が向上することがわかった。

[0048] <実施例6>

セメント100質量部に対して、骨材150質量部、リグニンスルホン酸系分散剤（R）とメラミンスルホン酸系分散剤（M）との質量割合がR/M＝100/200の分散剤1.0質量部、ダイユータンガムA0.1質量部、表6に示す種類及び量の凝結遅延剤、並びにカルシウムアルミノシリケートB100質量部に対してセッコウ150質量部からなる混合物20質量部

を配合するとともに、短繊維 a をセメントと骨材の合計 100 質量部に対して 0.2 質量部配合し、立体造形用セメント質材料を調製した。この調製した材料 100 質量部に対して水を 17 質量部加え、パン型ミキサーで練り混ぜた。得られたウェット材料について、実施例 1 と同様の方法で、ミニスランプ（練混ぜ直後と 20 分後）、硬化時間及び圧縮強度を測定するとともに、MS 低減率を算出した。結果を表 6 に示す。

[0049]（使用材料）

<凝結遅延剤（E）>

凝結遅延剤ア：クエン酸（試薬 1 級）

凝結遅延剤イ：グルコン酸（試薬 1 級）

凝結遅延剤ウ：クエン酸三ナトリウム（試薬 1 級）

[0050] [表6]

表6

| 実験<br>No. | 凝結遅延剤<br>(質量部) |      | MS<br>(mm) |      | MS<br>低減率<br>(%) | 硬化<br>時間<br>(分) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      | 備考  |
|-----------|----------------|------|------------|------|------------------|-----------------|------------------------------|------|------|------|-----|
|           |                |      | 直後         | 20分後 |                  |                 | 3時間                          | 12時間 | 1日   | 7日   |     |
| 6-1       | ア              | 0.05 | 29         | 17   | 41.4             | 40              | 8.0                          | 13.0 | 27.0 | 63.0 | 実施例 |
| 6-2       |                | 0.07 | 29         | 17   | 41.4             | 47              | 7.5                          | 12.7 | 26.8 | 63.1 | 実施例 |
| 6-3       |                | 0.10 | 30         | 18   | 40.0             | 50              | 7.2                          | 12.0 | 26.1 | 63.2 | 実施例 |
| 1-9       |                | 0.25 | 30         | 19   | 36.7             | 58              | 7.1                          | 11.5 | 25.6 | 63.3 | 実施例 |
| 6-4       |                | 0.5  | 31         | 21   | 32.3             | 66              | 6.7                          | 10.3 | 24.8 | 63.2 | 実施例 |
| 6-5       |                | 0.7  | 33         | 23   | 30.3             | 78              | 6.2                          | 9.8  | 23.7 | 63.1 | 実施例 |
| 6-6       | イ              | 0.05 | 28         | 16   | 42.9             | 38              | 8.1                          | 13.1 | 27.0 | 61.9 | 実施例 |
| 6-7       |                | 0.07 | 29         | 17   | 41.4             | 41              | 7.7                          | 12.9 | 26.9 | 62.8 | 実施例 |
| 6-8       |                | 0.10 | 29         | 18   | 37.9             | 54              | 7.1                          | 12.3 | 26.4 | 63.0 | 実施例 |
| 6-9       |                | 0.25 | 31         | 21   | 32.3             | 62              | 7.0                          | 11.1 | 25.5 | 62.9 | 実施例 |
| 6-10      |                | 0.5  | 33         | 23   | 30.3             | 77              | 6.3                          | 10.0 | 24.2 | 62.1 | 実施例 |
| 6-11      |                | 0.7  | 34         | 24   | 29.4             | 89              | 5.7                          | 9.5  | 23.5 | 62.0 | 実施例 |
| 6-12      | ウ              | 0.05 | 28         | 17   | 39.3             | 42              | 7.7                          | 13.0 | 26.8 | 61.3 | 実施例 |
| 6-13      |                | 0.07 | 30         | 18   | 40.0             | 44              | 7.3                          | 12.8 | 26.3 | 62.4 | 実施例 |
| 6-14      |                | 0.10 | 30         | 20   | 33.3             | 52              | 7.0                          | 12.0 | 25.7 | 62.9 | 実施例 |
| 6-15      |                | 0.25 | 32         | 22   | 31.3             | 59              | 7.0                          | 11.3 | 25.1 | 63.0 | 実施例 |
| 6-16      |                | 0.5  | 34         | 25   | 26.5             | 68              | 6.5                          | 10.4 | 24.4 | 62.4 | 実施例 |
| 6-17      |                | 0.7  | 35         | 26   | 25.7             | 80              | 6.0                          | 10.0 | 24.2 | 62.3 | 実施例 |

凝結遅延剤は、セメント100質量部に対する質量部

[0051] オキシカルボン酸類を含有する凝結遅延剤をセメント100質量部に対して0.05~0.7質量部使用することで、自立性を確保するための適度なミニランプの低減率と硬化時間とが得られることがわかった。

[0052] <実施例7>

セメント100質量部に対して、骨材150質量部、リグニンスルホン酸系分散剤(R)とメラミンスルホン酸系分散剤(M)との質量割合が $R/M = 100/200$ の分散剤1.0質量部、ダイユータンガムA0.1質量部、凝結遅延剤ア0.25質量部、及びカルシウムアルミノシリケートB100質量部に対してセッコウ150質量部からなる混合物20質量部を配合するとともに、セメントと骨材の合計100質量部に対して表7に示す種類及び量の短繊維を配合し、立体造形用セメント質材料を調製した。この調製した材料100質量部に対して水を17質量部加え、パン型ミキサーで練り混ぜた。得られたウェット材料について、実施例1と同様の方法で、ミニランプ(練混ぜ直後と20分後)、及び圧縮強度を測定するとともに、MS低減率を算出した。また、下記試験方法で初期ひび割れ幅を測定した。結果を表7に示す。

[0053] (使用材料)

<短繊維(H)>

短繊維a: ビニロン繊維(平均繊維長12mm、平均繊維径50 $\mu$ m、1gあたりの繊維本数55500本)

短繊維b: ナイロン繊維(東レ・アムテックス(株)製、商品名「タフバインダー」(平均繊維長10mm、平均繊維径28 $\mu$ m、1gあたりの繊維本数185200本))

短繊維c: ナイロン繊維(東レ・アムテックス(株)製、商品名「タフバインダー」(平均繊維長5mm、平均繊維径28 $\mu$ m、1gあたりの繊維本数370500本))

短繊維d: ビニロン繊維((株)クラレ製、商品名「RECS100L」(平均繊維長12mm、平均繊維径130 $\mu$ m、1gあたりの繊維本数830

0本) )

[0054] (試験方法)

初期ひび割れ幅：コンクリート製平版（縦30cm×横30cm×厚さ6cm）に型枠を設置し、厚み2cmとなるように本発明のウェット材料を打設し、表面をコテで仕上げて試験体とした。その試験体を湿度60質量%、温度5℃の環境下で養生し、72時間経過後のひび割れ幅を測定した。ここでのひび割れ幅とは、試験体に発生した任意のひび割れを1つ選んだときの、その長さの中心付近の幅をいう。72時間経過してもひび割れを発生しない場合は0.0mmとした。

[0055] [表7]

表7

| 実験<br>No. | 短繊維<br>(質量部) | MS<br>(mm) |      | MS<br>低減率<br>(%) | 初期ひび<br>割れ幅<br>(mm) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      | 備考  |
|-----------|--------------|------------|------|------------------|---------------------|------------------------------|------|------|------|-----|
|           |              | 直後         | 20分後 |                  |                     | 3時間                          | 12時間 | 1日   | 7日   |     |
| 7-1       | 0            | 40         | 28   | 30.0             | 0.25                | 7.0                          | 10.7 | 25.0 | 62.0 | 比較例 |
| 7-2       | a            | 0.10       | 35   | 24               | 31.4                | 0.15                         | 7.0  | 10.9 | 25.4 | 実施例 |
| 1-9       |              | 0.20       | 30   | 19               | 36.7                | 0                            | 7.1  | 10.8 | 25.6 | 実施例 |
| 7-3       |              | 0.30       | 28   | 19               | 32.1                | 0                            | 7.1  | 10.8 | 25.4 | 実施例 |
| 7-4       |              | 0.50       | 24   | 16               | 33.3                | 0                            | 7.1  | 11.1 | 25.2 | 実施例 |
| 7-5       |              | 1.00       | 20   | 14               | 30.0                | 0                            | 6.9  | 10.9 | 24.9 | 実施例 |
| 7-6       | b            | 0.10       | 36   | 25               | 30.6                | 0.10                         | 7.0  | 10.8 | 25.4 | 実施例 |
| 7-7       |              | 0.20       | 31   | 18               | 41.9                | 0                            | 6.7  | 10.4 | 25.6 | 実施例 |
| 7-8       |              | 0.30       | 27   | 19               | 29.6                | 0                            | 6.9  | 10.5 | 24.9 | 実施例 |
| 7-9       |              | 0.50       | 22   | 15               | 31.8                | 0                            | 7.0  | 10.6 | 25.2 | 実施例 |
| 7-10      |              | 1.00       | 20   | 14               | 30.0                | 0                            | 6.9  | 10.5 | 24.2 | 実施例 |
| 7-11      | c            | 0.10       | 33   | 23               | 30.3                | 0.15                         | 7.0  | 10.2 | 25.4 | 実施例 |
| 7-12      |              | 0.20       | 30   | 20               | 33.3                | 0                            | 6.5  | 10.6 | 25.6 | 実施例 |
| 7-13      |              | 0.30       | 28   | 19               | 32.1                | 0                            | 6.4  | 10.3 | 24.9 | 実施例 |
| 7-14      |              | 0.50       | 25   | 17               | 32.0                | 0                            | 6.9  | 10.0 | 25.2 | 実施例 |
| 7-15      |              | 1.00       | 22   | 14               | 36.4                | 0                            | 6.7  | 10.7 | 24.9 | 実施例 |
| 7-16      | d            | 0.10       | 32   | 24               | 25.0                | 0.15                         | 6.8  | 10.6 | 25.1 | 実施例 |
| 7-17      |              | 0.20       | 29   | 19               | 34.5                | 0                            | 6.9  | 10.8 | 25.2 | 実施例 |
| 7-18      |              | 0.30       | 28   | 19               | 32.1                | 0                            | 6.8  | 10.6 | 24.9 | 実施例 |
| 7-19      |              | 0.50       | 26   | 17               | 34.6                | 0                            | 6.5  | 10.8 | 25.2 | 実施例 |
| 7-20      |              | 1.00       | 22   | 14               | 36.4                | 0                            | 6.5  | 10.9 | 24.7 | 実施例 |

短繊維は、セメントと骨材の合計100質量部に対する質量部

[0056] 平均繊維長が5～15mmの短繊維を、セメントと骨材の合計100質量部に対して0.1～1.0質量部使用することで、自立性を確保するための適度なミニスランプの低減率と硬化時間とが得られるとともに、初期ひび割れ

を抑制できることがわかった。

[0057] <実施例 8>

実験 No. 1-22 の配合で実際に立体造形実験を実施した。環境温度は 22℃であった。使用したシステム及び条件を以下に示す。また、立体造形実験システムの模式図を図 1 に、使用した吹付けノズルの模式図を図 2 に、それぞれ示す。ミキサー 10 に実験 No. 1-22 の立体造形用セメント質材料を 30 kg、水を 5.1 kg 加えて 3 分間練り混ぜてウェット材料を調製した。得られたウェット材料をホッパー付きの回転容積式一軸偏心ねじポンプ 20 に投入し、フレキシブルホース 30 を介してウェット材料を圧送し、吹付けノズル 40 のノズル先端の吐出口 41 より吐出することで、図 3 に示す断面形状 70 を有する立体造形体の造形を行った。即ち、断面形状 70 に対して垂直に積層し、立体造形体の造形を行った。その結果、立体造形用セメント質材料からなる層を順次積み重ねることでき、垂直方向の連続積層高さが 30 cm 以上である立体造形体が得られた。即ち、連続積層高さ 30 cm 以上の連続積層が可能であった（図 3 参照）。

[0058] <実施例 9>

立体造形実験システム 1 を用いて、実験 No. 1-9、No. 1-39、No. 7-17、No. 7-18 の配合で、実施例 8 と同様の立体造形実験を実施した。環境温度は 24℃であった。そのときの、ミキサーで練り混ぜた直後のウェット材料の温度、回転容積式一軸偏心ねじポンプ 20 で圧送されノズル先端の吐出口 41 から吐出されたウェット材料の温度、硬化時間及び連続積層高さ測定した。その結果を表 8 に示す。

[0059] （立体造形実験システム）

ミキサー 10：パン型ミキサー（岡三機工（株）製、商品名「ダマカットミキサー 2.8 型」）

圧送ポンプ 20：回転容積式一軸偏心ねじポンプ（PFT 社製、商品名「PFT BOLERO」）

圧送ホース 30：4 MPa 耐圧フレキシブルホース（PFT 社製、内径 1 イ

ンチ、圧送配管の距離は10m)

吹付けノズル40：自作品（図2参照）、ノズル吐出口径18mm（円形）

ロボットアーム60：安川電機（株）製のロボットアーム（商品名「MOTOMAN-MA2010」）を改造し、アーム先端にノズルを固定して使用

[0060]（造形条件）

1層あたりのセメント質材料の高さ：10mm

立体造形体の形状：トラス形状（縦500mm、横1000mm、積層幅（肉厚）30mm程度）（図3参照）

ウェット材料の吐出量：0.25m<sup>3</sup>/hr、ノズル移動速度：180mm/秒

[0061]（試験方法）

材料の温度：デジタル温度計で測定

硬化時間：ノズル先端の吐出口より吐出した材料をサンプリングし実施例1と同様の方法で測定

連続積層高さ：造形体が崩れるまで積層したときの高さをメジャーで計測

[0062] [表8]

表8

| 実験<br>No. | 配合      | 温度<br>(°C) |       | 硬化<br>時間<br>(分) | 連続<br>積層高さ<br>(mm) | 備考  |
|-----------|---------|------------|-------|-----------------|--------------------|-----|
|           |         | 直後         | ノズル先端 |                 |                    |     |
| 9-1       | No.1-9  | 25.5       | 31.0  | 28              | 1000≤              | 実施例 |
| 9-2       | No.1-39 | 25.4       | 30.4  | 31              | 430                | 比較例 |
| 9-3       | No.7-17 | 25.8       | 35.2  | 26              | 1000≤              | 実施例 |
| 9-4       | No.7-18 | 26.1       | 40.4  | 12              | 1000≤              | 実施例 |

[0063] 本発明の範囲内にあるダイユータンガムを用いることで初期強度発現性が改善され連続積層高さが向上した。一方で本発明の範囲外にあるダイユータンガムを使用すると初期強度発現性が悪く、積層されたモルタルの自重に耐えられず、連続積層できなかった。

### 産業上の利用可能性

[0064] 本発明の建設向け立体造形用セメント質材料、及び建設向けの立体造形方

法を用いることで、一定量の材料供給が可能となり、一定の積層スピードを確保できる。また、優れた自立性及び強度発現性（特に初期強度発現性）が得られるので、短時間に大型の造形体を構築できる。さらに、本発明は、成形時に粉じんを発生しにくい。このため、本発明は、土木建築部材の製造等に好適に利用できる。

### 符号の説明

[0065] 1 立体造形実験システム

10 ミキサー

20 ポンプ（回転容積式一軸偏心ねじポンプ）

30 圧送配管（フレキシブルホース）

40 吹付けノズル

41 吐出口

50 ベッド

60 ロボットアーム

70 立体造形体の断面形状

80 滑車

### 請求の範囲

- [請求項1] セメント（A）、骨材（B）、リグニンスルホン酸系分散剤（R）とメラミンスルホン酸系分散剤（M）との質量割合が $R:M=100:80\sim400$ である分散剤（C）、平均分子量200万～800万の範囲にあり、 $0.25$ 質量％水溶液の粘度が $2000\sim10000$  mPa・sの範囲にあるダイユータンガム（D）、凝結遅延剤（E）、酸化物換算で $SiO_2$ を $10\sim25$ 質量％含有する非晶質カルシウムアルミノシリケート（F）、セッコウ（G）、及び短繊維（H）を含有する建設向け立体造形用セメント質材料。
- [請求項2] セメント（A）100質量部に対して、前記分散剤（C）の使用量が $0.2\sim3$ 質量部である請求項1記載の建設向け立体造形用セメント質材料。
- [請求項3] セメント（A）100質量部に対して、前記ダイユータンガム（D）の使用量が $0.03\sim1.0$ 質量部である請求項1又は2記載の建設向け立体造形用セメント質材料。
- [請求項4] 前記非晶質カルシウムアルミノシリケート（F）100質量部に対して、前記セッコウ（G）の使用量が $50\sim250$ 質量部である請求項1～3のいずれか1項記載の建設向け立体造形用セメント質材料。
- [請求項5] セメント（A）100質量部に対して、前記非晶質カルシウムアルミノシリケート（F）の使用量と前記セッコウ（G）の使用量との合計の使用量が $5\sim30$ 質量部である請求項1～4のいずれか1項記載の建設向け立体造形用セメント質材料。
- [請求項6] 前記骨材（B）がバルーン系骨材を含む請求項1～5のいずれか1項記載の建設向け立体造形用セメント質材料。
- [請求項7] 前記凝結遅延剤（E）が、オキシカルボン酸類を含有する請求項1～6のいずれか1項記載の建設向け立体造形用セメント質材料。
- [請求項8] 前記短繊維（H）の平均繊維長が $5\sim15$  mmである請求項1～7のいずれか1項記載の建設向け立体造形用セメント質材料。

- [請求項9] 前記短繊維（H）の平均繊維径が20～250 $\mu$ m、1gあたりの繊維本数が5000本以上である請求項8記載の建設向け立体造形用セメント質材料。
- [請求項10] 請求項1～9のいずれか1項記載の建設向け立体造形用セメント質材料を水で練り混ぜ、得られるウェット材料をポンプで圧送し、ノズルから吐出される前記ウェット材料を、前記ノズルを移動させながら積層することで造形体を構築する建設向けの立体造形方法。
- [請求項11] 前記ポンプが回転容積式一軸偏心ねじポンプである請求項10記載の建設向けの立体造形方法。