明　細　書

発明の名称 ： 水硬性組成物及び水硬性組成物の硬化体の製造方法

技術分野

[0001]　本発明は、水硬性組成物及び水硬性組成物の硬化体の製造方法に関する。

背景技術

[0002]　コンクリート製品の製造の生産性向上のため、通常、蒸気養生が行われている。しかし、蒸気養生が行われたコンクリートは、通常の養生が行われたコンクリートと比較して、強度（特に長期強度）、及び、耐久性が低下する傾向があり、この傾向は、蒸気養生前の養生時間（以下、「前置き時間」ともいう。）が短い程、強く現れる。

コンクリートの製造時間を短縮することができる方法として、特許文献１には、高流動コンクリートを型枠に打ち込み、該高流動コンクリートが自立し表面仕上げ可能となるまで硬化してから、蓋型枠を外して表面の仕上げを行うセグメント製造方法であって、前記高流動コンクリートに硬化促進剤を添加して前記高流動コンクリートの硬化を促進することを特徴とするセグメントの製造方法が記載されている。

また、特許文献２には、水と、産業副産物と、アルカリ刺激材と、膨張材と、細骨材と、粗骨材と、高性能減水剤とが配合され、遠心力成形で締め固めて製造されることを特徴とする耐酸性コンクリートが記載されている。該耐酸性コンクリートは、遠心成形を行うことで、振動成形よりも蒸気養生時間（前置時間）を短縮できることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２００７－６９３６６号公報

特許文献2：国際公開第２０１９／１７２３４９号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 強度（特に長期強度）、及び、耐久性を向上するための対策として、前置き時間を長くとることや、蒸気養生後に散水を行い、湿潤養生を行うこと等が挙げられる。

しかし、前置き時間を長くとると、脱型時期が遅くなるため生産効率が悪くなるという問題がある。また、湿潤養生を行うと、製品表面に色むらが生じ、外観が悪くなるという問題がある。

本発明の目的は、蒸気養生が行われるコンクリート等の硬化体の製造において、前置き時間を短くすることで製造効率を向上できるとともに、前置き時間を短くしても、強度に優れたコンクリート等の硬化体を製造でき、かつ、原料中のセメントまたはセメント水和物の一部に二酸化炭素を固定化してなる炭酸化セメント水和物を用いることで、二酸化炭素の排出量を削減できる水硬性組成物及び該水硬性組成物の硬化体の製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明者は、上記課題を解決するために鋭意検討した結果、セメント、炭酸化セメント水和物、骨材、及び水を含み、セメント及び炭酸化セメント水和物の合計１００質量％中、炭酸化セメント水和物の割合が１～５０質量％であり、セメント及び炭酸化セメント水和物の合計１００質量部に対する、水の量が３０～６０質量部である水硬性組成物によれば、上記目的を達成できることを見出し、本発明を完成した。

すなわち、本発明は、以下の［１］～［７］を提供するものである。

［１］ セメント、炭酸化セメント水和物、骨材、及び水を含む水硬性組成物であって、上記セメント及び上記炭酸化セメント水和物の合計１００質量％中、上記炭酸化セメント水和物の割合が１～５０質量％であり、上記セメント及び上記炭酸化セメント水和物の合計１００質量部に対する、上記水の量が３０～６０質量部であることを特徴とする水硬性組成物。

［２］ 上記水硬性組成物が、上記骨材として、細骨材及び粗骨材を含み、かつ、細骨材率が３５～６５％である前記［１］に記載の水硬性組成物。

[0006] ［３］　前記［１］又は［２］に記載の水硬性組成物の硬化体を製造するための方法であって、第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方と、第一の水を混合して、セメント水和物スラリーを得るセメント水和物スラリー調製工程と、上記セメント水和物スラリーの中に炭酸ガスを供給して、炭酸化セメント水和物含有物を得る炭酸化工程と、上記炭酸化セメント水和物含有物と、第二のセメントと、第二の水と、上記骨材を混合して、未硬化の上記水硬性組成物を得る混合工程と、上記未硬化の水硬性組成物を型枠内に打設して、未硬化の成形体を得る成形工程と、上記未硬化の成形体について、１０～４０℃の温度雰囲気下で、０．１～５時間の前養生を行う前養生工程と、上記前養生後の成形体について、蒸気養生を行い、硬化した成形体を得る蒸気養生工程と、上記硬化した成形体を上記型枠から脱型して、上記水硬性組成物の硬化体を得る脱型工程、を含む水硬性組成物の硬化体の製造方法。

［４］　上記炭酸化工程と上記混合工程の間に設けられる工程であって、上記炭酸化セメント水和物含有物に含まれる水分割合を調整する水分調整工程、を含む前記［３］に記載の水硬性組成物の硬化体の製造方法。

［５］　上記炭酸化セメント水和物含有物に含まれる水と上記第二の水の合計１００質量％中、上記炭酸化セメント水和物含有物に含まれる水の割合が０～９５質量％である前記［３］又は［４］に記載の水硬性組成物の硬化体の製造方法。

［６］　上記セメント水和物スラリー調製工程において、上記第一の水と上記第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方の質量比（上記第一の水／上記第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方）が、１．０～５．０である前記［３］～［５］のいずれかに記載の水硬性組成物の硬化体の製造方法。

［７］　上記蒸気養生工程において、４０～８０℃の温度雰囲気下で３時間以上の蒸気養生を行う前記［３］～［６］のいずれかに記載の水硬性組成物の硬化体製造方法。

発明の効果

[0007] 本発明の水硬性組成物及び該水硬性組成物の硬化体の製造方法によれば、蒸気養生が行われるコンクリート等の硬化体の製造において、前置き時間を短くすることで製造効率を向上することができるとともに、前置き時間を短くしても、強度に優れたコンクリート等の硬化体を製造することができる。

また、原料の一部に二酸化炭素を固定化してなる炭酸化セメント水和物を用いることで、二酸化炭素の排出量を削減することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]本発明の実施例、比較例における、温度履歴を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 本発明の水硬性組成物は、セメント、炭酸化セメント水和物、骨材、及び水を含む水硬性組成物であって、セメント及び炭酸化セメント水和物の合計１００質量％中、炭酸化セメント水和物の割合が１～５０質量％であり、セメント及び炭酸化セメント水和物の合計１００質量部に対する、水の量が３０～６０質量部であるものである。以下、詳しく説明する。

セメントの例としては、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、低熱ポルトランドセメント、耐硫酸塩ポルトランドセメント等の各種ポルトランドセメントや、高炉セメント、フライアッシュセメント、シリカセメント等の混合セメントや、アルミナセメントや、エコセメント等が挙げられる。これらは１種を単独で用いてもよく、２種以上を組み合わせて用いてもよい。

[0010] 炭酸化セメント水和物は、セメント又はセメント水和物を炭酸化してなるものである。なお、本明細書中、「炭酸化」とは、二酸化炭素を吸収及び固定化することをいう。

上記セメント水和物として、例えば、生コンクリートスラッジ、軽量気泡コンクリートの端材、及び廃コンクリート等の、セメント水和物を含むセメント組成物の硬化体を用いてもよい。また、セメント水和物は、セメントと同程度の粉末状である。

炭酸化セメント水和物には、ケイ酸カルシウム水和物（$CaO-SiO_2-H_2O$）、水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）、エトリンガイト（$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 . 32H_2O$）、アルミン酸カルシウム水和物（$3Ca \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$）、及びモノサルフェート水和物（$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$）等が含まれている。

炭酸化セメント水和物は、後述するセメント水和物スラリー調製工程及び炭酸化工程等によって、得ることができる。

本発明の水硬性組成物は、炭酸化せずに残存するセメント水和物を含んでいてもよい。

本発明の水硬性組成物は、原料の一部として、セメント又はセメント水和物に二酸化炭素を固定化してなる炭酸化セメント水和物を用いていることから、二酸化炭素の排出量の削減を図ることができる。

[0011] セメント及び炭酸化セメント水和物の合計１００質量％中、炭酸化セメント水和物の割合は、１～５０質量％、好ましくは５～４５質量％、より好ましくは８～４３質量％、さらに好ましくは１２～４０質量％、特に好ましくは２０～３７質量％である。上記割合が１質量％以下であると、水硬性組成物の強度発現性（特に、養生において前置き時間を短くした場合）が低下する。また、二酸化炭素の排出量の削減量が少なくなる。上記割合が５０質量％を超える場合、水硬性組成物の硬化体の強度（例えば、圧縮強度）が低下するとともに、水硬性組成物の硬化前の粘性が高くなる。

[0012] 骨材としては、細骨材のみ、または、細骨材と粗骨材の組み合わせが挙げられる。また、天然骨材、人工骨材、再生骨材のいずれも用いることができる。

細骨材としては、特に限定されず、例えば、川砂、山砂、陸砂、海砂、砕砂、珪砂、石灰石骨材、スラグ細骨材、軽量細骨材、クリンカ細骨材、及びＣＣＵ細骨材（再生骨材、廃コンクリート、高炉スラブ、および製鋼スラグから選ばれる１種以上に二酸化炭素を固定した細骨材）等が挙げられる。これらは１種を単独で用いてもよく、２種以上を組み合わせて用いてもよい。

[0013] 粗骨材としては、特に限定されず、例えば、川砂利、山砂利、陸砂利、海砂利、砕石、石灰石骨材、スラグ粗骨材、軽量粗骨材、クリンカ粗骨材、及びＣＣＵ粗骨材（再生骨材、廃コンクリート、高炉スラブ、および製鋼スラグから選ばれる１種以上に二酸化炭素を固定した粗骨材）等が挙げられる。これらは１種を単独で用いてもよく、２種以上を組み合わせて用いてもよい。

[0014] 水硬性組成物が骨材として、細骨材及び粗骨材を含む場合、細骨材率（ｓ／ａ）は、好ましくは３５～６５％、より好ましくは４０～６０％、特に好ましくは４３～５０％である。細骨材率が上記数値範囲内であれば、モルタルやコンクリートのワーカビリティや成型のし易さが向上する。

なお、細骨材率とは、細骨材と粗骨材の合計の体積中の細骨材の体積の割合である。

水硬性組成物中の骨材の含有量（細骨材及び粗骨材の両方が含まれる場合はその合計量）は、セメントと炭酸化セメント水和物の合計１００質量部に対して、好ましくは２００～７５０質量部、より好ましくは３００～６５０質量部である。上記含有量が上記数値範囲内であれば、水硬性組成物の硬化体の強度がより大きくなり、また、硬化体の収縮率が小さくなる。

[0015] 水としては、特に限定されず、例えば、水道水、工業用水、スラッジ水等が挙げられる。

セメント及び炭酸化セメント水和物の合計１００質量部に対する、上記水の量は、３０～６０質量部、好ましくは３５～５５質量部、特に好ましくは４０～５２質量部である。上記量が３０質量部未満であると、硬化前の水硬性組成物の流動性が低下するため、作業性が低下する。上記量が６０質量部を超えると、水硬性組成物の硬化体の強度が低下する。

本発明の水硬性組成物は、必要に応じ、本発明の目的を阻害しない範囲内で、減水剤、ＡＥ減水剤、高性能減水剤、及び高性能ＡＥ減水剤等のセメント分散剤、並びに、ＡＥ剤等の各種混和剤や、シリカフューム、フライアッシュ、及び高炉スラグ微粉末等の各種混和材等を含んでいてもよい。

[0016] なお、原料として炭酸化スラリー（炭酸化セメント水和物と水の混合物）を用いる場合、炭酸化スラリーに含まれる水は、上記水に含まれるものとする。

また、原料として炭酸化スラリーを用いる場合において、水硬性組成物に含まれる水の全量（１００質量％）中、炭酸化スラリー由来の水の割合は、好ましくは５５～９５質量％、より好ましくは５８～９０質量％、さらに好ましくは６０～８０質量％、特に好ましくは６５～７０質量％である。上記割合が５５質量％以上であれば、水硬性組成物の硬化体の強度をより大きくすることができる。上記割合が９５質量％以下であると、セメント組成物に含まれる空気量が大きくなり、水硬性組成物の硬化前の流動性が向上する。

[0017] 本発明の水硬性組成物は、該水硬性組成物の硬化体の製造過程において、前置き時間を短縮しても強度発現性に優れることから、硬化体を製造する際に蒸気養生が行われる方法に好適である。

本発明の水硬性組成物の硬化体の製造方法の例としては、（Ａ）第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方と、第一の水を混合して、セメント水和物スラリーを得るセメント水和物スラリー調製工程と、（Ｂ）セメント水和物スラリーの中に炭酸ガスを供給して、炭酸化セメント水和物含有物を得る炭酸化工程と、（Ｃ）炭酸化セメント水和物含有物と、第二のセメントと、第二の水と、骨材を混合して、未硬化の上記水硬性組成物を得る混合工程と、（Ｄ）上記未硬化の水硬性組成物を型枠内に打設して、未硬化の成形体を得る成形工程と、（Ｅ）未硬化の成形体について、１０～４０℃の温度雰囲気下で、０．１～５時間の前養生を行う前養生工程と、（Ｆ）前養生後の成形体について、蒸気養生を行い、硬化した成形体を得る蒸気養生工程と、（Ｇ）硬化した成形体を型枠から脱型して、水硬性組成物の硬化体を得る脱型工程を含む方法等が挙げられる。

以下、工程ごとに詳しく説明する。

[0018] ［工程（Ａ）：セメント水和物スラリー調製工程］

工程（Ａ）は、第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか

一方と、第一の水を混合して、セメント水和物スラリーを得る工程である。

第一のセメント、セメント水和物及び第一の水としては、特に限定されるものではなく、上述した水硬性組成物に含まれるセメント、セメント水和物及び水と同様のものを使用することができる。

セメント水和物スラリーの上記第一の水と上記第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方の質量比（水固形分比：上記第一の水／上記第一のセメント　及びセメント水和物の少なくともいずれか一方）は、好ましくは１．０～５．０、より好ましくは１．５～４．５、特に好ましくは２．５～３．５である。上記比が１．０以上であれば、セメント水和物スラリーの流動性が向上し、後述の炭酸化工程において、セメント水和物スラリーの中に炭酸ガスを、より容易かつ均質に供給することができる。上記比が５．０以下であれば、セメント水和物スラリーに含まれる第一のセメント又はセメント水和物の炭酸化をより促進することができる。

第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方と第一の水を混合する方法としては特に限定されず、例えば、撹拌槽等に第一の水を投入し、次いで、第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方を投入してもよく、撹拌槽等に第一の水と第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方を同時に投入した後、混合してもよい。

[0019]　［工程（Ｂ）：炭酸化工程］

工程（Ｂ）は、セメント水和物スラリー調製工程で得られたセメント水和物スラリーの中に炭酸ガスを供給して、炭酸化セメント水和物含有物を得る工程である。

ここで、本明細書中、「炭酸化セメント水和物含有物」には、（ｉ）炭酸化セメント水和物の粒子が水の中に懸濁してなるスラリー（「炭酸化スラリー」ともいう。）、（ｉｉ）炭酸化セメント水和物及び水を含みかつ流動性を有しないもの、及び（ｉｉｉ）後述する水分調整工程によって水分を除去してなる粉状の炭酸化セメント水和物、が含まれるものとする。

炭酸ガスの供給は、セメント水和物スラリーの中に炭酸ガスを均質に供給

することができ、炭酸化処理にかかる時間を短くする観点から、セメント水和物スラリーを撹拌しながら行うことが好ましい。具体的には、セメント水和物スラリーを収容し、撹拌するための撹拌槽内に、炭酸ガスを供給するための炭酸ガス供給手段を設置し、撹拌槽内でセメント水和物スラリーを撹拌しながら炭酸ガスを供給する方法等が挙げられる。

[0020] 炭酸ガスの供給は、セメント水和物スラリーのｐＨが、好ましくは９．０以下、より好ましくは５．０～８．０、さらに好ましくは５．５～７．５、特に好ましくは６．０～６．８の数値範囲内になるまで行われる。上記ｐＨが９．０以下になるまで炭酸ガスの供給を行うことで、セメント水和物スラリーに含まれるセメントを十分に炭酸化させて、炭酸化セメント水和物を含むセメント水和物スラリーを調製することができる。

なお、セメント水和物スラリーに含まれるセメントを十分に炭酸化させるために必要な炭酸ガスの供給時間は、第一の水と第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方の質量比、炭酸ガスを含む気体の炭酸ガス濃度、炭酸ガスの単位時間あたりの供給量等によって変わる。このため、炭酸ガスの供給を終了するタイミングは、セメント水和物スラリーのｐＨの実測値を基に定めることが好ましい。

[0021] 炭酸ガスは、炭酸ガスのみからなる気体を供給してもよいが、入手の容易性等の観点から、炭酸ガスを含む気体として、セメント水和物スラリーに供給してもよい。

炭酸ガスを含む気体中の炭酸ガスの割合は、好ましくは５体積％以上、より好ましくは２０体積％以上、さらに好ましくは５０体積％以上、さらに好ましくは８０体積％以上、特に好ましくは９０体積％以上である。上記割合が５体積％以上であれば、セメントを十分に炭酸化させてなるセメント水和物スラリーを得るために必要な時間を短くすることができる。

炭酸ガスを含む気体の例としては、セメント製造工程において発生した排ガス（炭酸ガス濃度：約２０体積％）、製鉄工程において発生した排ガス（炭酸ガス濃度：約２０体積％）、火力発電工程において発生した排ガス（炭

酸ガス濃度：約１０体積%）、及び、これらの排ガスからの分離回収ガス（炭酸ガスの濃度：約１００体積%）等が挙げられる。

[0022] 炭酸化セメント水和物含有物を調製した後、別途、炭酸化セメント水和物含有物（例えば、炭酸化スラリー）を貯蔵するための貯蔵槽に一旦炭酸化セメント水和物含有物を貯蔵し、混合工程（後述）を行う際に、混合を行うための混合槽に、炭酸化セメント水和物含有物を適宜移送してもよい。

[0023] ［工程（Ｈ）：水分調整工程］

工程（Ｈ）は、炭酸化工程と混合工程の間に、任意に設けられる工程であって、炭酸化セメント水和物含有物に含まれる水分割合を調整する工程である。

炭酸化セメント水和物含有物（通常、炭酸化スラリー）中の水分の割合を調整する方法としては、沈降分離機、真空脱水機、加圧脱水機等の固液分離手段を用いて水分を除去する方法や、炭酸化セメント水和物含有物を加熱して水分を蒸発させる方法や、上記水の割合を大きくする目的で、炭酸化セメント水和物含有物に水を添加、混合する方法等が挙げられる。

また、自然乾燥、熱風乾燥、真空乾燥、冷却乾燥、赤外線乾燥、凍結乾燥、及び接触乾燥等の方法を用いて炭酸化セメント水和物含有物（通常、炭酸化スラリー）を乾燥させて、炭酸化セメント水和物のみの粉体としてもよい。

[0024] ［工程（Ｃ）：混合工程］

工程（Ｃ）は、炭酸化工程又は任意で追加される水分調整工程で得られた炭酸化セメント水和物含有物と、第二のセメントと、第二の水と、骨材を混合して、未硬化の水硬性組成物を得る工程である。また、水硬性組成物が各種混和剤及び混合材を含む場合、通常、本工程で各種混和剤及び混合材は混合される。

第二のセメント及び第二の水としては、特に限定されるものではなく、上述した水硬性組成物に含まれるセメント及び水と同様のものを使用することができる。

炭酸化セメント水和物含有物と、第二のセメントと、第二の水と、骨材を混合する方法としては特に限定されず、例えば、ミキサ内に炭酸化セメント水和物含有物を投入した後、炭酸化セメント水和物含有物以外の原料を別々に投入、混合してもよく、ミキサ内に原料を同時に投入して混合してもよい。

各原料の量は、本工程で得られる水硬性組成物が、上述した本発明の水硬性組成物の各原料の配合割合となるように適宜定めればよい。

[0025] 炭酸化セメント水和物含有物に含まれる水と第二の水の合計１００質量％中、炭酸化セメント水和物含有物に含まれる水の割合は、好ましくは０～９５質量％、より好ましくは５５～９２質量％、さらに好ましくは５８～９０質量％、さらに好ましくは６０～８０質量％、特に好ましくは６５～７０質量％である。上記割合が５５質量％以上であれば、水硬性組成物の硬化体の強度をより大きくすることができる。上記割合が９５質量％以下であると、セメント組成物に含まれる空気量が大きくなり、水硬性組成物の硬化前の流動性が向上する。

[0026] ［工程（Ｄ）：成形工程］

工程（Ｄ）は、混合工程で得られた未硬化の水硬性組成物を型枠内に打設して、未硬化の成形体を得る工程である。

［工程（Ｅ）：前養生工程］

工程（Ｅ）は、成形工程で得られた未硬化の成形体について、１０～４０℃（好ましくは１５～３５℃）の温度雰囲気下で、０．１～５時間の前養生（気中養生）を行う工程である。

前養生の時間は、０．１～５時間、好ましくは０．２～４時間、さらに好ましくは０．５～３時間、特に好ましくは０．５時間以上、１時間未満である。上記時間が０．１時間以上であれば、水硬性組成物の硬化体の強度をより大きくすることができる。上記時間が５時間以下であれば、製造効率を向上することができる。

[0027] ［工程（Ｆ）：蒸気養生工程］

工程（Ｆ）は、前養生後の成形体について、蒸気養生を行い、硬化した成形体を得る工程である。

蒸気養生は、好ましくは４０～８０℃（より好ましくは４５～７５℃、特に好ましくは５５～７０℃）の温度雰囲気下で、３時間以上（より好ましくは４～１２時間、さらに好ましくは５～１０時間、特に好ましくは６～９時間）行われる。

蒸気養生は、前養生工程後の温度雰囲気から、所望の最高温度になるまで昇温させた後、該最高温度を、好ましくは２～６時間保持し、次いで常温（例えば、２０℃程度）になるまで降温させることで行われる。

温度雰囲気を所望の最高温度となるまで昇温させる際の昇温速度は、コンクリートの強度発現性や生産性をより向上させる観点から、好ましくは１０～３０℃／時間、より好ましくは１５～２５℃／時間である。

最高温度は、コンクリートの強度発現性や生産性をより向上する観点から、好ましくは５０～８０℃、より好ましくは５５～７０℃であり、最高温度を保持する時間は、好ましくは２～６時間、より好ましくは３～５時間である。

常温になるまで降温させる際の降温速度は、通常、自然の冷却速度（自然冷却）である。蒸気養生は、大気圧下で行われる常圧蒸気養生でも、オートクレーブを用いて、常圧よりも高い圧力下で行われる高温高圧蒸気養生であってもよい。

［工程（Ｇ）：脱型工程］

工程（Ｇ）は、蒸気養生後の硬化した成形体を型枠から脱型して、水硬性組成物の硬化体を得る工程である。

実施例

[0028] 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るものではない。

［使用材料］

（１）セメント；太平洋セメント社製、普通ポルトランドセメント

（２）細骨材；山砂

（３）粗骨材；砕石

（４）水；上水道水

（５）セメント水和物；生コンクリートスラッジの粉砕物

[0029]［実施例１～６、８～１１］

水固形分比（第一の水と、第一のセメントの質量比（第一の水／第一のセメント）、又は、第一の水とセメント水和物含有物中の水分の合計量と、セメント水和物含有物中の固形分の質量比（第一の水とセメント水和物含有物中の水分の合計量／セメント水和物含有物中の固形分）、表１中、「水固液分比」と示す。以下同様）が表１に示す数値となる量のセメント（第一のセメント）及び水を混合して、セメント水和物スラリーを得た。

得られたセメント水和物スラリー内に、二酸化炭素の含有率が９９体積％以上である二酸化炭素含有ガスを吹き込むことで、炭酸化処理を行い、セメントが十分に炭酸化されてなる炭酸化セメント水和物を含む炭酸化スラリーを得た。なお、炭酸化処理は、炭酸化スラリーのｐＨが６．５になるまで行った。

炭酸化スラリーに含まれる水及び炭酸化セメント水和物の各々の含有率（質量％）を、赤外線水分計（ケツト科学研究所社製）を用いて測定し、炭酸化スラリー中の水と炭酸化セメント水和物の質量比（上記水／炭酸化セメント水和物：表１中、「スラリー水／炭酸化セメント水和物」と示す。）が、表１に示す数値となるように、水を除去することで調整した。

炭酸化スラリー（炭酸化セメント水和物及び第一の水を含むスラリー）と、セメント（第二のセメント）と、水（第二の水：表１中、「混合水」と示す。）と、細骨材と、粗骨材を、表１に示す単位量となる量で混合して、水硬性組成物を得た。なお、表１中、炭酸化スラリーに含まれる水を「スラリー水」と示す。

混合後、水硬性組成物を型枠に流し込んだ後、２０℃の環境下で、表２に示す前置き時間で気中養生を行った。

次いで、昇温速度：２０℃／時間の条件で、６０℃になるまで昇温させた後、最高温度（６０℃）の状態を３時間維持し、次いで、降温速度：４．５℃／時間の条件で、２０℃になるまで降温する蒸気養生を行った（図１参照）。蒸気養生後、脱型を行い、水硬性組成物の硬化体を得た。

硬化体について「ＪＩＳ　Ａ　１１０８：２０１８（コンクリートの圧縮試験方法）」に準拠して、材齢１日及び１４日における圧縮強度を測定した。

[0030] ［実施例７］

水固形分比が３．０となる水とセメント（第一のセメント）を混合してなるセメント水和物スラリーを用い、炭酸化処理を行った後、熱風乾燥により炭酸化スラリーを乾燥させて、水分を除去することで炭酸化セメント水和物を得た。

炭酸化スラリーの代わりに、上記炭酸化セメント水和物を用いる以外は、実施例１と同様にして水硬性組成物の硬化体を得た後、材齢１日及び１４日における硬化体の圧縮強度を測定した。

［実施例１２～１３］

セメント（第一のセメント）の代わりにセメント水和物（生コンクリートスラッジの粉砕物）を用いてセメント水和物スラリーを得る以外は、実施例１と同様にして水硬性組成物の硬化体を得た後、材齢１日及び１４日における硬化体の圧縮強度を測定した。

[0031] ［比較例１～６］

セメントと、水（表１中の「混合水」）と、細骨材と、粗骨材を、表１に示す単位量となる量で混合して、水硬性組成物を得た後、前置き時間を表２に示す時間にした以外は、実施例１と同様にして材齢１日及び１４日における硬化体の圧縮強度を測定した。

［比較例７］

セメント水和物スラリーの水固形分比が、表１に示す数値となる量のセメント（第一のセメント）及び水を混合してなるセメント水和物スラリーを用

い、炭酸化処理を行った後、炭酸化スラリー中の水と炭酸化セメント水和物の質量比が表１に示す数値となるように調整し、かつ、前置き時間を表２に示す時間にした以外は、実施例１と同様にして水硬性組成物の硬化体を得た後、材齢１日及び１４日における硬化体の圧縮強度を測定した。

[0032] ［比較例８］

セメント（第一のセメント）の代わりに生コンクリートスラッジの粉砕物（セメント水和物）を用いた以外は、比較例７と同様にして水硬性組成物の硬化体を得た後、材齢１日及び１４日における硬化体の圧縮強度を測定した。

なお、実施例１～７、１２～１３及び比較例７～８について、比較例１を基準として、基準となる比較例の各材齢における圧縮強度と、実施例１～７、１２～１３及び比較例７～８の各材齢における圧縮強度の比（表２中、「基準となる比較例との強度比」と示す。）を算出した。

また、実施例８は比較例３を、実施例９は比較例４を、実施例１０は比較例５を、実施例１１は比較例６を、各々基準として、同様にして圧縮強度の比を算出した。

各々の結果を表２に示す。

[0033]

[表1]

	水固液分比	スラリー水／炭酸化セメント水和物	W／C[1]	s／a[2]	C2／C[3]	水[4]		セメント	炭酸化セメント水和物	細骨材	粗骨材
						混合水	スラリー水				
			(%)	(%)	(質量%)	単位量(kg／m^3)					
実施例1	1．5	1．0	43	48	40	13 (7)	169 (93)	254	169	795	871
実施例2	1．5	1．0			30	55 (30)	127 (70)	296	127	795	871
実施例3	2．0	1．2			25	50 (27)	132 (73)	312	106	795	871
実施例4	2．5	1．8			15	71 (39)	111 (61)	360	63	795	871
実施例5	3．0	2．3			15	39 (21)	143 (79)	360	63	795	871
実施例6	3．5	2．8			10	66 (36)	116 (64)	381	42	795	871
実施例7	3．0	—			15	182 (100)	0 (0)	338	85	795	871
実施例8 実施例9 実施例10 実施例11	2．5	1．8	50	45	20	48 (30)	112 (70)	256	64	805	994
実施例12	3．0	1．0	43	48	20	97 (53)	85 (47)	338	85	795	871
実施例13	3．0	1．0	43	48	30	55 (30)	127 (70)	296	127	795	871
比較例1 比較例2	—	—	43	48	0	182	0	423	0	795	871
比較例3 比較例4 比較例5 比較例6			50	45	0	160	0	320	0	805	994
比較例7	1．5	0．7	43	48	55	19 (10)	163 (90)	190	233	795	871
比較例8	1．5	0．7	43	48	55	19 (10)	163 (90)	190	233	795	871

1)W／C:水と、セメント及び炭酸化セメント水和物の合計量の質量比を百分率で表したもの

2)s／a:細骨材と粗骨材の合計量中の細骨材の体積割合

3)C2／C:セメントと炭酸化セメント水和物の合計100質量%に対する炭酸化セメント水和物の割合

4)カッコ内の数値は水100質量%中の割合(質量%)

[0034]

[表2]

	前置き時間	圧縮強度（MPa）		圧縮強度比	基準となる比較例との強度比[1)]	
	(h)	1日	14日	(14日／1日)	1日	14日
実施例1	2	20.5	35.5	1.73	1.37	1.40
実施例2	2	21.0	39.8	1.90	1.40	1.58
実施例3	2	19.7	36.6	1.86	1.31	1.45
実施例4	2	18.6	34.3	1.84	1.24	1.36
実施例5	2	18.3	32.9	1.80	1.22	1.31
実施例6	2	18.2	32.7	1.80	1.21	1.30
実施例7	2	18.1	33.1	1.83	1.21	1.30
実施例8	0.5	9.9	19.9	2.01	1.08	1.21
実施例9	1	11.8	21.9	1.86	1.24	1.30
実施例10	2	15.4	27.8	1.81	1.21	1.29
実施例11	4	16.8	31.1	1.85	1.11	1.21
実施例12	2	19.3	35.1	1.82	1.29	1.39
実施例13	2	20.7	37.7	1.82	1.38	1.50
比較例1	2	15.0	25.2	1.68	—	—
比較例2	4	18.3	31.4	1.72	—	—
比較例3	0.5	9.2	16.4	1.78	—	—
比較例4	1	9.5	16.8	1.77	—	—
比較例5	2	12.7	21.6	1.70	—	—
比較例6	4	15.2	25.6	1.68	—	—
比較例7	2	14.9	23.4	1.57	0.99	0.93
比較例8	2	13.5	22.3	1.65	0.90	0.88

1)実施例1～7、12～13及び比較例7～8の基準となる比較例は、比較例1であり、実施例8～11の基準となる比較例は、各々、比較例3～6である。

[0035] 表２から、実施例１～１３の圧縮強度は、基準となる比較例（前置き時間及びW／Cが同じもの）の圧縮強度よりも大きく、本発明の水硬性組成物によれば、硬化体の強度をより大きくしうることがわかる。

特に、前置き時間が０．５～１時間（実施例８～９）であっても、硬化体の強度をより大きくしうることがわかる。

請求の範囲

[請求項1] セメント、炭酸化セメント水和物、骨材、及び、水を含む水硬性組成物であって、

上記セメント及び上記炭酸化セメント水和物の合計１００質量％中、上記炭酸化セメント水和物の割合が１～５０質量％であり、

上記セメント及び上記炭酸化セメント水和物の合計１００質量部に対する、上記水の量が３０～６０質量部であることを特徴とする水硬性組成物。

[請求項2] 上記水硬性組成物が、上記骨材として、細骨材及び粗骨材を含み、かつ、細骨材率が３５～６５％である請求項１に記載の水硬性組成物。

[請求項3] 請求項１又は２に記載の水硬性組成物の硬化体を製造するための方法であって、

第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方と、第一の水を混合して、セメント水和物スラリーを得るセメント水和物スラリー調製工程と、

上記セメント水和物スラリーの中に炭酸ガスを供給して、炭酸化セメント水和物含有物を得る炭酸化工程と、

上記炭酸化セメント水和物含有物と、第二のセメントと、第二の水と、上記骨材を混合して、未硬化の上記水硬性組成物を得る混合工程と、

上記未硬化の水硬性組成物を型枠内に打設して、未硬化の成形体を得る成形工程と、

上記未硬化の成形体について、１０～４０℃の温度雰囲気下で、０．１～５時間の前養生を行う前養生工程と、

上記前養生後の成形体について、蒸気養生を行い、硬化した成形体を得る蒸気養生工程と、

上記硬化した成形体を上記型枠から脱型して、上記水硬性組成物の

硬化体を得る脱型工程、

を含む水硬性組成物の硬化体の製造方法。

[請求項4] 上記炭酸化工程と上記混合工程の間に設けられる工程であって、

上記炭酸化セメント水和物含有物に含まれる水分割合を調整する水分調整工程、

を含む請求項３に記載の水硬性組成物の硬化体の製造方法。

[請求項5] 上記炭酸化セメント水和物含有物に含まれる水と上記第二の水の合計１００質量％中、上記炭酸化セメント水和物含有物に含まれる水の割合が０～９５質量％である請求項３に記載の水硬性組成物の硬化体の製造方法。

[請求項6] 上記セメント水和物スラリー調製工程において、上記第一の水と上記第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方の質量比（上記第一の水／上記第一のセメント及びセメント水和物の少なくともいずれか一方）が、１．０～５．０である請求項３に記載の水硬性組成物の硬化体の製造方法。

[請求項7] 上記蒸気養生工程において、４０～８０℃の温度雰囲気下で３時間以上の蒸気養生を行う請求項３に記載の水硬性組成物の硬化体製造方法。