

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-204251

(P2016-204251A)

(43) 公開日 平成28年12月8日(2016.12.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C O 4 B 28/02 (2006.01)	C O 4 B 28/02	4 G 1 1 2
C O 4 B 18/08 (2006.01)	C O 4 B 18/08 Z	
C O 4 B 22/06 (2006.01)	C O 4 B 22/06 Z	
C O 4 B 22/14 (2006.01)	C O 4 B 22/14 D	
C O 4 B 16/06 (2006.01)	C O 4 B 16/06 A	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-77095 (P2016-77095)
 (22) 出願日 平成28年4月7日 (2016.4.7)
 (31) 優先権主張番号 特願2015-90174 (P2015-90174)
 (32) 優先日 平成27年4月27日 (2015.4.27)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000229667
 日本ヒューム株式会社
 東京都港区新橋5丁目33番11号
 (74) 代理人 100097113
 弁理士 堀 城之
 (74) 代理人 100162363
 弁理士 前島 幸彦
 (74) 代理人 100194146
 弁理士 長谷川 明
 (74) 代理人 100194283
 弁理士 村上 大勇
 (74) 代理人 100141324
 弁理士 小河 卓

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自己治癒性重量コンクリート及びプレキャストコンクリート

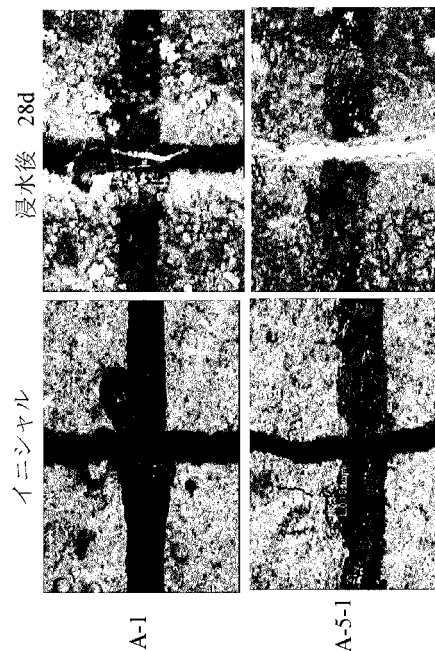
(57) 【要約】

【課題】 施工後にひび割れ補修が難しい放射線遮蔽用格納容器に適用可能な、止水性能を高めた自己治癒性重量コンクリートを提供する。

【解決手段】

自己治癒性重量コンクリートは、セメント、フライアッシュ、及び膨張材を含む粉体と、水と、重量骨材とが配合される。この際、水と粉体との重量比が17~40%である。また、体積1立方メートルあたり、フライアッシュは120~200kg、及び膨張材は30~80kg配合される。更に、脱型後に蒸気養生されることで、膨張材を活性化させる。これにより、重量コンクリートにおいて、0.2mm幅以下、初期の透水量が0.30cm³/s程度以下のひび割れであっても21日後で自己治癒させることができる。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

セメント、フライアッシュ、及び膨張材を含む粉体と、水と、重量骨材とが配合され、体積 1 立方メートルあたり、前記フライアッシュは 120 ~ 200 kg、及び前記膨張材は 30 ~ 80 kg 配合される

ことを特徴とする自己治癒性重量コンクリート。

【請求項 2】

水と前記粉体との重量比が 17 ~ 40 % である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の自己治癒性重量コンクリート。

【請求項 3】

脱型後に蒸気養生される

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の自己治癒性重量コンクリート。

【請求項 4】

前記蒸気養生は、35 ~ 45 で行われる

ことを特徴とする請求項 3 に記載の自己治癒性重量コンクリート。

【請求項 5】

空気量が 3.0 ~ 6.0 % である

ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の自己治癒性重量コンクリート。

【請求項 6】

補強繊維が含まれる

ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の自己治癒性重量コンクリート。

【請求項 7】

前記補強繊維は、ポリプロピレン短繊維、ナイロン短繊維、及びビニロン短繊維からなる群の一種である

ことを特徴とする請求項 6 に記載の自己治癒性重量コンクリート。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の自己治癒性重量コンクリートで製造された

ことを特徴とするプレキャストコンクリート。

【請求項 9】

放射線遮蔽用格納容器である

ことを特徴とする請求項 8 に記載のプレキャストコンクリート。

【請求項 10】

遠心力成形で締め固めて製造する

ことを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載のプレキャストコンクリート。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コンクリート及びプレキャストコンクリートに係り、特に自己治癒性を備える自己治癒性重量コンクリート及びプレキャストコンクリートに関する。

【背景技術】

【0002】

東日本大震災に伴った福島第一原発の放射能漏れ事故により、汚染物質の格納容器に用いるため、重量コンクリートが注目され、研究開発が行われている。この重量コンクリートは、重量骨材（重量細骨材、重量粗骨材）を使用したコンクリートである。重量コンクリートは、普通コンクリートに比べて密度が大きく、遮蔽性能に優れている。しかし、重量コンクリート製の格納容器を地下施設に埋設した後は、ひび割れ等の補修が事実上困難になる。このため、当該重量コンクリートに不可欠な性能として、放射性物質の漏洩を皆無にし、確かな安全性を具備することが求められている。

10

20

30

40

50

【0003】

ここで、特許文献1を参照すると、コンクリートにひび割れの自己修復機能を備えさせ（以下、「自己治癒性」と称する。）、止水性を向上させる技術が記載されている。

特許文献1のコンクリートでは、セメント、膨張材、及び無機質セメント結晶増殖材の混合物に対する水の重量比が、60%以下となるように配合される。また、膨張材の重量が10～80kg/m³となるように配合される。また、無機質セメント結晶増殖材の重量を0.1～10kg/m³となるように配合される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-239482号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1のコンクリートの配合では、重量コンクリートにおいて止水性を向上させることができなかった。

【0006】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、上述の問題を解消し、止水性能を高めた重量コンクリートを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の自己治癒性重量コンクリートは、セメント、フライアッシュ、及び膨張材を含む粉体と、水と、重量骨材とが配合され、体積1立方メートルあたり、前記フライアッシュは120～200kg、及び前記膨張材は30～80kg配合されることを特徴とする。

本発明の自己治癒性重量コンクリートは、水と前記粉体との重量比が17～40%であることを特徴とする。

本発明の自己治癒性重量コンクリートは、脱型後に蒸気養生されることを特徴とする。

本発明の自己治癒性重量コンクリートは、前記蒸気養生は、35～45℃で行われることを特徴とする。

本発明の自己治癒性重量コンクリートは、空気量が3.0～6.0%であることを特徴とする。

本発明の自己治癒性重量コンクリートは、補強繊維が含まれることを特徴とする。

本発明の自己治癒性重量コンクリートは、前記補強繊維は、ポリプロピレン短繊維、ナイロン短繊維、及びビニロン短繊維からなる群の一種であることを特徴とする。

本発明のプレキャストコンクリートは、前記自己治癒性重量コンクリートで製造されたことを特徴とする。

本発明のプレキャストコンクリートは、放射線遮蔽用格納容器であることを特徴とする。

本発明のプレキャストコンクリートは、遠心力成形で締め固めて製造することを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、セメントを含む粉体、フライアッシュ並びに膨張材、水、及び重量骨材を配合することで、止水性を向上させた自己治癒性重量コンクリートを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施例1のひび割れ透水試験の実験装置の構成例を示す写真である。

【図2】本発明の実施例1のひび割れ透水試験において、配合比を変化させた際の結果を

10

20

30

40

50

示すグラフである。

【図3】本発明の実施例1のひび割れ透水試験において、透水量を変化させた際の結果を示すグラフである。

【図4】本発明の実施例1のひび割れ透水試験におけるひび割れの自己治癒の観察結果を示す写真である。

【図5】本発明の実施例2のひび割れ透水試験の供試体の作製例を示す写真である。

【図6】本発明の実施例2のひび割れ透水試験の供試体の水中浸漬状況を示す写真である。

【図7】本発明の実施例2のひび割れ透水試験の試験面のひび割れ部のマイクロ스코プによる観察状況を示す写真である。

【図8】本発明の実施例2のひび割れ透水試験の透水試験結果（初期透水量 $0.25 \text{ cm}^3 / \text{s}$ ）を示すグラフである。

【図9】本発明の実施例2のひび割れ透水試験の透水試験結果（初期透水量 $0.55 \text{ cm}^3 / \text{s}$ ）を示すグラフである。

【図10】本発明の実施例2のひび割れ透水試験のひび割れ閉塞結果（初期透水量 $0.25 \text{ cm}^3 / \text{s}$ ）を示すグラフである。

【図11】本発明の実施例2のひび割れ透水試験のひび割れ閉塞結果（初期透水量 $0.55 \text{ cm}^3 / \text{s}$ ）を示すグラフである。

【図12】本発明の実施例2のひび割れ透水試験の供試体D-0のひび割れ部のマイクロSCOPEによる観察結果を示す写真である。

【図13】本発明の実施例2のひび割れ透水試験の供試体D-1のひび割れ部のマイクロSCOPEによる観察結果を示す写真である。

【図14】本発明の実施例2のひび割れ透水試験の供試体D-2のひび割れ部のマイクロSCOPEによる観察結果を示す写真である。

【図15】本発明の実施例2のひび割れ透水試験の供試体D-3のひび割れ部のマイクロSCOPEによる観察結果を示す写真である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

<実施の形態>

以下、図面により、本発明の実施の形態に係る自己治癒性重量コンクリート、プレキャストコンクリート、及び放射線遮蔽用格納容器の製造方法について説明する。

本発明の発明者らは、重量コンクリートについて、ひび割れの自己修復機能を持たせるため鋭意実験を行い、自己治癒性能を高めた自己治癒性重量コンクリートを完成させるに至った。

【0011】

より詳しく説明すると、本実施形態の自己治癒性重量コンクリートは、セメント、フライアッシュ、及び膨張材を含む粉体と、水と、重量骨材とが配合されている。

【0012】

本実施形態に係るセメントは、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、フライアッシュセメント、シリカセメント、及びこれらの混合セメント等を用いることが可能である。このうち、普通ポルトランドセメントは、例えば、中庸熱、低熱、早強、超早強、耐硫酸塩等の性質を備える各種ポルトランドセメントであってもよい。また、普通ポルトランドセメントとして、例えば、JIS R 5210等で規定された、密度 $3.15 \text{ g} / \text{cm}^3$ 程度、比表面積 $3310 \text{ cm}^2 / \text{g}$ 程度のものであってもよい。

【0013】

また、本実施形態に係るフライアッシュは、コンクリート用のボラゾン石炭灰（フライアッシュ）である。本実施形態に係るフライアッシュとして、例えば、JIS A 6201で規定された、フライアッシュII種又はこれらの類似品、密度 $2.20 \text{ g} / \text{cm}^3$ 程度のものであることが好適である。

【0014】

10

20

30

40

50

また、本実施形態に係る水は、特に制限されず、水道水であってもよい。本実施形態に係る水のpH等も任意である。

【0015】

また、本実施形態に係る膨張材は、粉体状で水分の供給によって膨張し、乾燥収縮によるひび割れを低減する性質の物質である。本実施形態の膨張材の例として、エトリンガイト系（カルシウムサルフォアルミネート系）膨張材、生石灰系膨張材、エトリンガイト・生石灰複合系膨張材等が挙げられる。このうち、本実施形態においては、コンクリートを練り混ぜるときにセメントと同時に混和することで、セメントと水と共に水和し、エトリンガイト（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ）を生成して膨張するカルシウム・サルフォ・アルミネート鉱物を含むものエトリンガイト系膨張材を用いることが、特に好ましい。また、膨張材は、例えば、日本工業規格JIS A 6202等で規定された品質に適合するものであることが好適である。

10

【0016】

本実施形態のフライアッシュと膨張材は、後述するように、ひび割れ内で化学反応してカルシウムの結晶物を生成させ、当該ひび割れを閉塞させる自己治癒性能を備えている。これにより、止水性が向上する。

なお、膨張材として、石灰系膨張材を混合させて使用することも可能である。また、後述の実施例で示すように、フライアッシュを使用しない場合、エトリンガイト系よりも石灰系の膨張材の方が透水量を減少させられる。

【0017】

また、本実施形態に係る重量骨材は、表乾密度（以下、単に「密度」という。）が、例えば、 $3.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上の骨材である。本実施形態の重量骨材の例としては、鉄鉱石、人工石材、重晶石等の比重の大きい成分を含むものが挙げられる。また、本実施形態の人工石材の例としては、製鋼過程で発生する金属ダストと、粉末状にした還元スラグとを混合して加熱溶融させ、冷却固化させ、破碎、粒度調整を行なって製造されるものが挙げられる。

20

また、本実施形態の重量骨材は、特に放射性遮蔽性能が高いものを用いることが好適である。

なお、本実施形態に係る重量骨材は、重量細骨材と、重量粗骨材とから構成される。このうち、重量細骨材は、10mmふるいを全部通り、5mmふるいを重量で85%以上留まる骨材であり、後述するように、混和材と重量置換して加えられてもよい。また、重量細骨材は、5mmふるいで85%以上留まる骨材である。また、この重量細骨材と、重量粗骨材とは、異なる成分の骨材を用いてもよい。また、本実施形態の重量コンクリートの密度が、あまり高くなくても良い場合には、重量粗骨材に砕石等の密度の低い粗骨材を混合してもよい。

30

【0018】

また、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートの含有量として、体積1立方メートル（ 1m^3 ）あたり、フライアッシュは120~200kg、膨張材は30~80kg配合されることが好適である。この際、フライアッシュの含有量が $120\text{kg}/\text{m}^3$ 未満であると、自己治癒しない。また、フライアッシュの含有量が $200\text{kg}/\text{m}^3$ より大きいと、ワーカビリティが低下する。

40

【0019】

また、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートの配合比において、水と、セメント、フライアッシュ、及び膨張材を含む粉体との重量比（以下、単に「水粉体比」という。）は、比較的小さくし、17~40%とすることが好適である。この際、水粉体比が17%未満であると、流動性が低くなり、コンクリートとしての施工性が低くなる。また、水粉体比が40%より大きいと、重量骨材が重いため、材料分離が起こりやすくなる。

また、本実施形態に係る水粉体比を特定の割合とする際に、セメント、フライアッシュ、及び膨張材のうち、セメントを除くフライアッシュと膨張材とは、重量細骨材と容積置換して加えることが好適である。

50

【0020】

また、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートの空気量は、3.0～6.0%、すなわち $4.5 \pm 1.5\%$ であることが好適である。これにより、重量コンクリートのワーカビリティを向上させつつ、所望の強度、放射線遮蔽性能等を得ることができる。

また、本実施形態において、この空気量は、AE (Air Entraining) 剤等の空気量調整剤により調整可能である。このAE剤の例として、陰イオン系、陽イオン系、非イオン系、及び両性系の各種界面活性剤が挙げられる。また、この陰イオン系の界面活性剤の例として、樹脂系、アルキルベンゼンスルホン酸系、高級アルコールエステル系等の界面活性剤が挙げられる。本実施形態においては、特に、変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤を用いることが好適である。なお、AE剤と減水剤との両方の性質をもつ、AE減水剤を用いることも可能である。

10

【0021】

また、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートにおいては、繊維補強用の繊維（以下、「補強繊維」という。）を混入させてもよい。これにより、ひび割れの隙間を密とすることができ、カルシウムの結晶物等をより充填させやすくさせることが可能となる。この補強繊維の重量%は、0.1～0.5%が適当であり、特に0.3%前後で、後述の実施例2に示すように、自己治癒性能の向上には効果的となる。

この補強繊維の例としては、ポリプロピレン短繊維、ナイロン短繊維、ビニロン短繊維からなる群の一種を含むことが好適である。ここで、初期透水量が $0.25 \text{ cm}^3 / \text{s}$ 等の場合には、自己治癒性能の向上率が、ビニロン短繊維、ポリプロピレン短繊維、ナイロン短繊維の順に高くなる。また、初期透水量が $0.55 \text{ cm}^3 / \text{s}$ 等の場合には、自己治癒性能の向上率が、ポリプロピレン短繊維、ナイロン短繊維、ビニロン短繊維の順に高くなる。

20

なお、補強繊維の種類に関わらず、自己治癒効果があるため、経済性とコンクリート練混ぜ時の作業性から判断して、補強繊維を選択することが好適である。

また、繊維の長さが長いと、練混ぜ時に繊維の塊が生成されて十分混入されなくなるため、補強繊維の繊維長さについても適宜選択することが好適である。

また、補強繊維として、パルプ繊維、アクリル繊維、炭素繊維等の繊維状物質を用いることも可能である。

【0022】

30

また、他にも、ひび割れの隙間を密とするため、ゼオライト、シリカ質微粉末、炭酸カルシウム、ベントナイト等の粘土鉱物、水酸化カルシウム、石膏、ケイ酸カルシウム等を適宜配合してもよい。

【0023】

また、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートにおいては、他にも、砂、砂利、減水剤、高性能減水剤、流動化剤、遅延剤、防水混和剤、防湿混和剤、発泡剤、増粘剤、防凍剤、着色剤、ワーカビリティ増進剤、防しろう剤、消泡剤、凝結調整剤、収縮低減剤、セメント急硬材、高分子エマルジョン等を適宜配合することが可能である。

【0024】

また、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートは、脱型後に蒸気養生されることが好適である。

40

また、本実施形態において、蒸気養生は、比較的低温である、 $35 \sim 45$ であることが好ましい。この蒸気養生の実行方式としては、例えば、前置き4時間、昇温を $15 \sim 20$ / 時間、 $35 \sim 45$ で2～3時間以上保持し、その後、約12時間程度かけて試験室温度にて徐冷して、気中養生するといった条件を用いることができる。

このように、比較的低温で蒸気養生させることで、膨張材を活性化させ、フライアッシュと膨張剤とによるカルシウムの結晶物を生成させやすくすることができる。

また、この条件により、完全に水和反応していない未反応の状態の物質を含むため、自己治癒性能を高められる。

【0025】

50

また、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートは、プレキャストコンクリートの製造に用いることが好適である。

また、本実施形態に係るプレキャストコンクリートは、放射線遮蔽用格納容器であることが好適である。

上述のように構成することで、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートは、十分な放射性遮蔽性能を備えた上で自己治癒能力を発揮させ、特定の止水性能を獲得、維持させることが可能である。また、専用工場においてコンクリート製品を製造する際の製造効率を高めることができる。このため、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートで、特に、放射線遮蔽用格納容器を好適に製造することが可能である。

【0026】

また、本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートは、遠心力成形で締め固めることが好適である。このように本実施形態に係る自己治癒性重量コンクリートによるプレキャストコンクリートを、遠心力成形の締め固めで製造することで、自己治癒性能を高めた高性能な放射線遮蔽用格納容器を、安価に製造することが可能となる。

また、この際、本実施形態に係るプレキャストコンクリートを、以下の表1の例に示すような条件の遠心力成形で製造することも可能である。

【0027】

【表1】

遠心力成形締め固め方法

区分	初速	中速	高速
遠心力	4~5G	12~15G	30~35G
製造工程	コンクリートを投入し、全体に広げる	コンクリートを充填して密とする。	遠心分離をして、内側に余剰水を絞り出す

【0028】

なお、本実施形態のプレキャストコンクリートを遠心力成形の締め固めで製造する場合、水粉体比を比較的高め、例えば、30~40%とすることで、好適に製造することが可能となる。

【0029】

以上のように構成することで、以下のような効果を得ることができる。

従来の土木構造物で用いられるコンクリートやモルタルは、水、セメント、骨材から成り水和反応により硬化する性質をもつ。しかしながら、硬化後は応力の作用、乾燥、温度変化、体積変化等によってひび割れが生じる。ひび割れは、水の浸入により漏水や構造物の耐久性の低下に結びつく原因となる。通常のコンクリートの場合、ひび割れに薬注する等して補修工事を行う。しかしながら、放射能汚染物質を格納するための重量コンクリート製の格納容器の場合、地下施設に埋設後に、ひび割れ等の補修が事実上困難となっていた。

また、特許文献1の従来の自己治癒性コンクリートにおいては、そのままの組成では、このような重量コンクリートに用いることができなかった。

これに対して、本実施形態の自己治癒性重量コンクリートは、フライアッシュと膨張材とを混入させることで、重量コンクリートであっても、自己治癒能力を発揮させ、止水性能を向上させることができる。具体的には、本実施形態の自己治癒性重量コンクリートでは、乾燥時等にたとえひび割れが発生しても、当該ひび割れから水分が入り込み、フライアッシュと膨張材とが水和反応を起こし、カルシウムの結晶物を生成させ、ひび割れの空隙を埋めて閉塞させる。結果として、本実施形態の重量コンクリートでは、自己治癒機能を発揮して、止水性能を回復させることができる。

【0030】

より具体的に説明すると、典型的なプレキャストコンクリートにおいては、0.3mm以上のひび割れについて、有害なひび割れとして、製造時に許容しないよう工場出荷時に

10

20

30

40

50

コントロールされている。しかしながら、0.2mm以下のひび割れについても、目視等で発見するのが難しいものの、透水の原因となっていた。

これに対して、本実施形態の重量コンクリートは、特定の止水性能として、下記の実施例1で示すように、重量コンクリートであっても、透水量が $0.30\text{ cm}^3/\text{s}$ 以下で、0.2mm以下の貫通ひび割れ等について、21日程度で確実に止水することが可能である。また、下記の実施例2で示すように、補強繊維を混入させることで、この止水効果を更に高めることができる。

これにより、本実施形態の重量コンクリートにより、確実に特定の止水性能を備えた放射線遮蔽用格納容器を製造することができる。

【実施例1】

【0031】

次に図面に基づき本発明を実施例によりさらに説明するが、以下の具体例は本発明を限定するものではない。

【0032】

〔自己治癒性能の評価試験方法〕

〔使用材料及び配合〕

各供試体で使用した材料、使用した製品や特性（物理的性質等）を、下記の表2に示す。

【0033】

【表2】

材料	記号	物理的性質等
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16 g/cm^3 、比表面積 $3320\text{ cm}^2/\text{g}$
膨張材	EX1	エトリンガイト系膨張材、密度 3.01 g/cm^3
	EX2	石灰系膨張材、密度 3.14 g/cm^3
フライアッシュ	FA	JIS II 類品、密度 2.20 g/cm^3
重量細骨材	S	DSM0-5 密度 4.20 g/cm^3 、吸水率1.67%、粗粒率3.83
重量粗骨材	G	DSM20-05 密度 4.29 g/cm^3 、吸水率0.7%、粗粒率6.52
水	W	上水道
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系高性能減水剤
空気量調整剤	AE	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

【0034】

表2において、エトリンガイト系膨張材（EX1）は太平洋セメント社製アサノジブカル、石灰系膨張材（EX2）は太平洋セメント社製太平洋エクспан（製品用）を使用した。

また、重量細骨材（S）のDSM0-5、重量粗骨材（G）のSM20-05も、太平洋セメント株式会社製の重量骨材である。

また、表2及び以下の表においては、それぞれの材料を、セメント（C）、エトリンガイト系膨張材（EX1）、石灰系膨張材（EX2）、フライアッシュ（AF）、重量細骨材（S）、重量粗骨材（G）、水（W）、高性能減水剤（SP）、空気量調整剤（AE）のように記号で示す。

【0035】

また、各供試体で使用したコンクリートの配合を、下記の表3に示す。なお、混和材は重量細骨材の容積置換とした。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 6 】

【 表 3 】

供試体	W/C	s/a	単位量(kg/m ³)						
	(%)	(%)	W	C	EX1	EX2	FA	S	G
A-1	32.0	52.0	144	450	—	—	—	1460	1377
A-2	32.0	52.0	144	450	60	—	—	1376	1377
A-3	32.0	52.0	144	450	—	60	—	1380	1377
A-4	32.0	52.0	144	450	—	—	160	1155	1377
A-5	32.0	52.0	144	450	60	—	160	1118	1377
B-1	39.7	52.0	144	363	60	—	160	1178	1433

10

【 0 0 3 7 】

なお、表3において、W/Cは水セメント比(%)を示す。また、s/aは、全骨材の容積に対する重量細骨材の占める割合である細骨材率(%)を示す。

【 0 0 3 8 】

(練り混ぜ方法及び養生方法)

コンクリートの練り混ぜは、強制二軸型ミキサーを用いて合計15分練り混ぜて排出し、100×100×L400mmの角柱の供試体に打設した。蒸気養生は前置き4時間、昇温20/h、最高温度40で3時間保持し、その後、翌日(約12時間)まで試験室温度にて徐冷し、脱型して20、60%R.H.環境下で気中養生を材齢14日まで実行した。

20

【 0 0 3 9 】

(透水試験用供試体作製方法)

供試体中央にひび割れを設け、当該部の透水試験を行い自己治癒性能の確認をした。ひび割れは、試験面を角柱型枠の側面部とし、測定部以外の3面の中央部周方向に5mm程度の切れ込みを入れて生じさせた。ひび割れ幅の保持具として、0.2mmの塩化ビニル樹脂製のプラスチック板(以下、「プラ板」と称する。)を中央部に挟み込み、治具により両端をトルクレンチで一定の力で締めて固定した。プラ板を挟みこんだ部分についてはシーリング加工し、一方向に透水させる構造とした。

30

また、上述のA-5の配合においては、ひび割れ幅を0.2mm(A-5-1)の供試体と、それ以上に増大(A-5-2、A-5-3)させた供試体を作成した。なお、ひび割れ幅を増大させると、初期の透水量が増大する。

【 0 0 4 0 】

(ひび割れ透水試験方法)

図1に示すように、角柱の供試体試験面の上に平たいゴム輪(内径80mm、外形90mm、厚さ4mm)を配置し、その上に塩化ビニル樹脂製の管(以下、「塩ビ管」と称する。)を配置して、透水試験装置を構成した。透水量は、水位の変化を、所定のレーザー変位計により計測した。測定方法は、水位の下降を0.5mm毎に10mm下降した所まで測定して、1秒間当たりの平均透水量を試験値とした。なお、試験では供試体をすべて水中浸漬とし、24時間浸漬後の透水量を初期値とした。以降、7日、14日、21日、及び28日の浸漬日数で評価した。

40

【 0 0 4 1 】

(マイクロ스코プによる観察)

試験面のひび割れ部をクラックスケールで計測し、0.15~0.2mm幅の部分に目印をつけて、所定の浸漬日数で観察した。観察方法は、水中から取り出した供試体のひび割れ部をドライヤーで乾燥させてからマイクロ스코プでひび割れの閉塞状況を記録した

50

。

【0042】

〔自己治癒性能の評価試験の試験結果〕

(ひび割れ透水試験結果)

図2により、配合を変えた各供試体の透水試験の試験結果について説明する。

すべての供試体の試験値において、透水量は0日から21日にかけて減少し、21日から28日では、ほぼ変わらない傾向を示した。

混和材を加えない配合の供試体(A-1)では、透水量の減少は少なかった。つまり、重量コンクリートにおいて、A-1配合では、ひび割れ閉塞等の自己治癒効果は、殆ど期待できないことを確認した。

また、混和材として膨張材のみを加えた供試体(A-2、A-3)、フライアッシュのみを加えた供試体(A-4)では、透水量の減少は少なかった。つまり、それぞれ単体の配合では、十分な止水性能は得られなかった。なお、膨張材のみ加えた供試体(A-2、A-3)においては、膨張材の種類として石灰系の方が、透水量が減少した。

これに対して、膨張材とフライアッシュとを混合した配合の供試体(A-5-1、B-1)では、21日で透水量が大きく減少した。すなわち、フライアッシュと膨張材を混合した配合では、透水性が大きく減少し、ひび割れの自己治癒効果が認められた。

また、混和材は同量を混入させて、セメント量のみ減らした配合(B-1)でも、透水量は変わらなかった。すなわち、フライアッシュと膨張材を混合することで、ひび割れの自己治癒効果が得られることが認められた。

【0043】

次に、図3により、A-5(F A + 膨張材)配合において、ひび割れ幅を0.2mm(A-5-1)、それ以上に増大させ透水量が増えた供試体(A-5-2、A-5-3)、及びB1の配合の供試体によるひび割れ透水試験の結果について説明する。

図3に示すように、初期の透水量が $0.30\text{ cm}^3/\text{s}$ 程度以下であれば(A-5-1、A-5-3、B-1)、21日で $0.05\text{ cm}^3/\text{s}$ 以下となり大幅な止水傾向が見られた。すなわち、脱型後14日経過してから、ひび割れを発生させて水に浸漬後、28日でひび割れ幅0.2mmのひび割れが自己治癒した。

しかし、本実施例において $0.30\text{ cm}^3/\text{s}$ 以上となった場合、自己治癒による止水性能は十分ではなかった。これは、ひび割れ部の隙間が大きい場合、結晶物が生成されても隙間を充填することができないためと考えられる。これに対して、後述する実施例2に示すように、繊維混入等により、隙間を密とする事で結晶物をより充填させやすくなることができた。

【0044】

(マイクロスコープによる観察)

次に、図4により、0日目(イニシャル)と材齢28日(28d)まで浸水させた状態の供試体(A-1、A-5)のひび割れの観察結果の比較について説明する。

結果として、A-1配合の供試体では、ひび割れに僅かに白い結晶が生じたものの、閉塞は確認できなかった。一方、A-5(F A + 膨張材)配合の供試体(A-5-1)では、ひび割れに結晶による閉塞が確認された。これはカルシウムの結晶物が埋まって閉塞したものであった。

【0045】

(混和材の適正量の評価)

次に、フライアッシュと膨張材(EX1、エトリンナイト系)の配合比を変えた供試体C1~C24を作成し、水粉体比の適正量について評価を行った。

各供試体の作成方法及びひび割れ透水試験時の条件は、上述の供試体A1~A5に対する試験と同様である。結果を、下記の表4に示す。

【0046】

10

20

30

40

【表 4】

供試体	配合	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	w/p (%)	フライアッシュ 単位数 (kg/m ³)	膨張材 単位数 (kg/m ³)	自己治癒 評価	スランプフローの 評価	圧縮強度の 評価
C-1	フライアッシュ	25.3	144	450	120	0	×	○	○
C-2		23.6			160	0	×	◎	◎
C-3		22.2			200	0	△	○	◎
C-4	膨張材	30.0			0	30	×	◎	△
C-5		28.2			0	60	×	◎	△
C-6		27.2			0	80	×	◎	○
C-7	フライアッシュ +膨張材	23.6			100	60	×	◎	○
C-8		24.0			30	○	◎	○	
C-9		22.9			60	◎	◎	◎	
C-10		22.2			80	◎	◎	○	
C-11		22.9			20	△	◎	◎	
C-12		22.5			30	○	◎	◎	
C-13		21.5			60	◎	◎	◎	
C-14		20.9			80	◎	○	○	
C-15		20.6			90	○	○	×	
C-16		15.0			740	◎	△	◎	
C-17		17.0			625	◎	○	◎	
C-18		25.0			355	◎	◎	◎	
C-19	30.0	260			◎	◎	○		
C-20	35.0	261			○	○	○		
C-21	40.0	210			○	○	○		
C-22	21.2	30			○	○	○		
C-23	20.3	60			◎	○	◎		
C-24	19.7	80			◎	○	○		

10

【0047】

表 4 において、w / p は水粉体比 (%) を示す。

20

また、自己治癒評価として、ここでは、28日目における透水量が減少した量（減少量）を測定した。すなわち、0.2mmのひび割れの作成時から28日経過した際に、透水量の減少量の絶対値が $2.50\text{ cm}^3/\text{s}$ より大きかったものを「△」、 $2.01\sim 2.50\text{ cm}^3/\text{s}$ であったものを「○」、 $1.50\sim 2.00\text{ cm}^3/\text{s}$ であったものを「◎」、 $1.5\text{ cm}^3/\text{s}$ 未満であったものを「×」として示した。

また、スランプフローの評価として、JIS A 1101で規定されたスランプ試験の結果を示した。具体的には、スランプフローが、プレキャストコンクリートの放射線遮蔽用格納容器に良好～不適かについての評価を「△」～「×」の4段階で示した。具体的には、450～500mm又は500～550mmのものを「△」、400～449mm又は551～600mmのものを「○」、350～399mm又は601～650mmのものを「◎」、350mm未満又は650mm超過のものを「×」として示した。

30

また、圧縮強度の評価として、JIS A 1108で規定されたコンクリートの圧縮強度試験方法に準拠した試験の結果について、良好～不適の評価を「△」～「×」の4段階で示した。具体的には、14日における圧縮強度の評価として、 60 N/mm^2 より大きかったものを「△」、 $51\sim 60\text{ N/mm}^2$ のものを「○」、 $40\sim 50\text{ N/mm}^2$ のものを「◎」、 40 N/mm^2 未満又はひび割れ等の異常が生じたものを「×」として示した。

【0048】

結果として、十分な止水性能が得られた供試体は、C-8、C-9、C-10、C-12、C-13、C-14、C-17、C-18、C-19、C-20、C-21、C-22、C-23、及びC-24であった。

40

これによると、重量コンクリートにおいて、水粉体比が17～40%、フライアッシュが120～200kg、膨張材が30～80kg配合されることで、自己治癒能力を発揮させ、止水性を向上させることができる。

【実施例 2】

【0049】

〔繊維補強による自己治癒性能向上〕

次に、初期の透水量が比較的大きい場合においても、更にひび割れの自己治癒性能を高めるため、補強繊維を添加する繊維補強を行った。この際、ひび割れ幅を一定とし、なおかつ初期の透水量もコントロールできる供試体の作成方法を開発した。

50

さらに、初期の透水量が大きい場合の自己治癒性能を高めるために、効果的な補強繊維の種類について検討した。

【0050】

(使用材料と調合)

本実施例で使用した材料を、下記の表5に示す。セメントには普通ポルトランドセメントを用いた。骨材には細骨材、粗骨材ともに、重量骨材として鉄分を多く含むダストと還元スラグを混合溶解し、破碎、粒度調整したものをそれぞれ用いた。いずれも骨材として国内で流通しているものを用いた。

【0051】

【表5】

材料名	記号	種類および物性値
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ 比表面積 $3332\text{cm}^2/\text{g}$
膨張材	EX	エトリンガイト系, 密度 $3.01\text{g}/\text{cm}^3$
フライアッシュ	FA	JISⅡ類品, 密度 $2.20\text{g}/\text{cm}^3$
重量骨材 (細骨材)	S	金属スラグ骨材0-5 表乾密度 $4.20\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率1.67%, 粗粒率3.83
重量骨材 (粗骨材)	G	金属スラグ骨材20-05 表乾密度 $4.27\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率0.45%, 粗粒率6.52
補強繊維	F1	ポリプロピレン短繊維 密度 $0.91\text{g}/\text{cm}^3$
	F2	ナイロン短繊維 密度 $1.16\text{g}/\text{cm}^3$
	F3	ビニロン短繊維 密度 $1.30\text{g}/\text{cm}^3$
水	W	上水道
高性能減水剤	SP1	ポリカルボン酸系高性能減水剤
空気量調整剤	SP2	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

10

20

【0052】

調合条件を、下記の表6に示す。コンクリートの目標とする密度(乾燥単位容積質量)は $3.2\text{t}/\text{m}^2$ 以上とし、設計基準強度は $50\text{N}/\text{mm}^2$ とした。混和材は、実施例1にて自己治癒性能に効果的であったエトリンガイト系膨張材とフライアッシュの混合使用とし、セメントの外割とした。

30

補強繊維としてポリプロピレン短繊維(F1)、ナイロン短繊維(F2)、ビニロン短繊維(F3)を用い、それぞれコンクリートの容積に対する割合とした。ポリプロピレン短繊維(F1)としては、萩原工業株式会社製のバルチップ(密度 $0.91\text{g}/\text{cm}^3$ 、繊維長 30mm)を使用した。また、ナイロン短繊維(F2)としては、株式会社エイオービーアンドダヴィンティインターナショナル製ニュークリート(密度 $1.16\text{g}/\text{cm}^3$ 、繊維長 12mm)を使用した。また、ビニロン短繊維(F3)としては、株式会社クラレ製クラテックRF4000×30(密度 $1.30\text{g}/\text{cm}^3$ 、繊維長 30mm)を使用した。

40

【0053】

繊維を混練するためにコンクリートはスランプフローが 50cm となるように設定し、目標空気量が 4.5% となるように、それぞれ高性能減水剤及び空気量調整剤にて調整した。

【0054】

【表 6】

調合No.	スラブ フロー (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							混和剤		補強繊維 F1~3
				水	セメント	膨張材	フライアッシュ	細骨材	粗骨材	SP1	SP2		
				W	C	EX	FA	S	G				
D-0											7.65	0.068	
D-1											10.35	0.036	F1 0.3(vol%)
D-2	50±10.0	32.0	52.0	144	450	60	160	1071	1370		10.8	0.068	F2 0.3(vol%)
D-3											9.45	0.113	F3 0.3(vol%)

【0055】

(練り混ぜ方法及び養生条件)

重量コンクリートは、強制二軸型ミキサーで1バッチの容積を35Lとし、水以外の材料にて空練りを1分間行ない、水を加えてから補強繊維がファイバーボールにならないように分散させながら入れ、高性能減水剤でフロー調整した。その後、100mm×100mm×L400mmの型枠に打設した。透水試験用の供試体は、調合毎に2本作製した。成型方法は2層詰めとし、振動により各層20秒程度締め固めた。また、各層締め固め後には、モルタルナイフで型枠側面部をスパーキングして気泡を取り除いた。

蒸気養生は、前置き4時間、昇温20 / h、最高温度40 で3時間保持し、翌日まで約12時間、自然降温で徐冷した。脱型後は、20±2、60±5% R.H. 環境下で気中養生を材齢14日まで実行した。

【0056】

(自己治癒性能の評価試験)

(透水試験用供試体作製方法)

実施例1と同様に、透水試験用の供試体は、気中養生14日間後の角柱供試体の中央部を曲げ試験治具により割裂し、模擬ひび割れを作製した。

この際、図5に示すように、ひび割れ幅を保持するために、厚さ0.2mmのプラスチック板を割裂部の両側に挟み込み、供試体の両端から、鋼製治具と鋼棒を用いてトルクレンチで40N・m一定として仮に固定した。また、プラスチック板を挟み込んだ両側部分はシーリング加工を施し、一方向に透水させる構造とした。

【0057】

(ひび割れ透水試験)

ひび割れ透水試験は、模擬ひび割れ部分のひび割れの閉塞状態を定量評価するために実行した。この透水試験装置は、図1に記載したものと同様である。具体的には、供試体の試験面上(供試体作成時の側面)に平滑なゴム板(内径80mm、外形90mm、厚さ2mm)、その上に塩化ビニル管を置き、塩化ビニル管中に浮体部(70×厚さ10mmの発泡スチロール)を入れて透水試験装置とした。

【0058】

試験は、塩化ビニル管内の水位が透水により10mm下降した時間を3回繰り返して計測し、1秒間当たりの透水量(cm^3/s)を算出して、その平均値を試験値とした。

なお、図6に示すように、本試験では恒温室(20±2、60±5% R.H.)の一定環境下の中に水槽(80L程度)を置いて、供試体すべてを水中に浸せきした。

【0059】

24時間浸せき後の透水量を初期値とした。ここで、透水試験及び供試体の浸せきには全て上水道水を使用した。以降、7日、14日、21日及び28日の浸せき日数で評価した。水槽の水は、水和による結晶物の析出を多く生じさせるため、透水試験後に入れ替えをした。

実施例1では、同じひび割れ幅でも初期透水量は大きく異なり、その初期値の違いによって自己治癒性能も異なっていた。そこで、初期透水量のコントロールを高めるため、供試体の両端から、鋼製治具と鋼棒を用いて締め付ける力を加減し、初期透水量が $0.25 \pm 0.05 \text{ cm}^3/\text{s}$ と、 $0.55 \pm 0.05 \text{ cm}^3/\text{s}$ となるように調整した。

【0060】

(マイクロスコープによる観察)

10

20

30

40

50

図7(a)に示すように、透水試験面のひび割れ部をクラックスケールで計測し、0.15～0.2mm幅の部分に目印をつけて、観察個所とした。以降、7日、14日、21日、28日、及び35日の浸せき日数で観察した。

また、図7(b)に示したように、観察方法は、水中から取り出した供試体のひび割れ部をドライヤーで乾燥させてから、マイクロスコブでひび割れの閉塞状況を確認し、その状況を記録した。

【0061】

〔実験結果〕

(コンクリートの物性)

下記の表7にコンクリートのフレッシュ性状と圧縮強度について示す。なお、スランブフローの目標値は 500 ± 100 mm、空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ とした。

【0062】

【表7】

調合No.	コンクリート 温度(°C)	スランブフロー (mm)	空気量 (%)	圧縮強度(N/mm ²)	
				1d	14d
D-0	23.1	410×400	3.0	58.5	92.5
D-1	21.4	440×440	3.0	49.8	81.2
D-3	22.3	505×490	3.0	42.0	75.3
D-4	20.9	500×480	4.0	60.5	90.3

【0063】

このコンクリートは、フライアッシュをセメント量の35%混入しているため、空気量調整剤の効果が少なく、空気量は設定値の下限ぎりぎりの値であった。また、コンクリートの調合強度を 50N/mm^2 とし、水セメント比を32%に設定したが、自己治癒機能を持たせるために混和した膨張材とフライアッシュをセメントの外割で調合したため、水粉体比は小さくなり、その結果材齢14日の圧縮強度は 90N/mm^2 前後の高強度となった。

【0064】

(透水試験結果)

本試験におけるひび割れは、構造的に発生したものではなく、乾燥収縮等の体積変化によるものを対象とした。そのため、ひび割れ幅を0.2mmと固定して実験を進め、先に示したように初期透水量が $0.25\text{cm}^3/\text{s}$ 又は $0.55\text{cm}^3/\text{s}$ となるように調整した。

【0065】

図8に初期透水量が $0.25\text{cm}^3/\text{s}$ の透水試験結果を、図9に初期透水量が $0.55\text{cm}^3/\text{s}$ の透水試験結果を示す。

これらの結果において、D-0は補強繊維なしのコントロール、D-1はF1、D-2はF2、D-3はF3の補強繊維を添加したものである。

透水量の減少が自己治癒性能を評価するものと仮定すると、D-1～D-3の全てにおいて自己治癒性能は見られたが、初期透水量が $0.55\text{cm}^3/\text{s}$ では完全な自己治癒には至らなかった。

自己治癒性能に対する繊維補強の効果を見ると、初期透水量が $0.25\text{cm}^3/\text{s}$ の場合では $F3 > F1 > F2$ であり、初期透水量が $0.55\text{cm}^3/\text{s}$ の場合では $F1 > F2 > F3$ という結果であった。ただし、初期透水量 $0.25\text{cm}^3/\text{s}$ のF2は、浸漬7日以降に透水量が増えていた。これは、透水試験時に供試体を水中から出し入れする際と、透水試験時の水圧等により、ひび割れ部分の脆弱な析出物が取れ、その後の析出が少ないためにこのようになったと考えられる。特に、析出物の生成速度は透水試験の結果から見ても浸漬14日程度までがピークと考えられ、その間に早く析出する水和物の調合と、水に流れない繊維補強の方式等が重要である事が分かる。また、補強繊維の種類に関わらず

10

20

30

40

50

、自己治癒への効果は認められ、その差は僅差であった。そのため、補強繊維の選定は、経済性とコンクリート練混ぜ時の作業性から判断する必要がある。

【0066】

次に、図10及び図11により、マイクロ스코プにより計測されたひび割れ幅、及び、ひび割れの閉塞状況について説明する。図10は、初期透水量 $0.25\text{ cm}^3/\text{s}$ の結果を示す。図11は、初期透水量 $0.55\text{ cm}^3/\text{s}$ の結果を示す。

いずれも、透水量の減少傾向と近似していた。特に、透水量は浸漬7日頃までに大きく減少し、その後は徐々に減少して行くのに対し、ひび割れの閉塞は、浸漬28日頃まで平均的に進行していることが注目される。これは、析出物による自己治癒がひび割れの内部で進行しており、透水量に影響を与えるのに対し、マイクロ스코プによる観察は表面部のみに限られるためである。

すなわち、コンクリートの自己治癒はひび割れ内部のセメント水和物等の析出によって進行しているものであり、浸漬水中のゴミ等の浮遊物による目詰まり等ではないことを示している。また、ひび割れの自己治癒が比較的早い段階である、浸せき3週間以内で収束に近づくことは、実施例1とほぼ同様であった。

【0067】

(マイクロ스코プによる観察結果)

次に図12～図15により、マイクロ스코プによる観察結果について説明する。結果として、補強繊維を入れたほぼ全ての供試体で自己治癒によるひび割れの閉塞が見られた。図12(a)～図15(a)に、初期透水量 $0.25\text{ cm}^3/\text{s}$ におけるD-0～D-3の供試体の状況を示す。

初期透水量 $0.25\text{ cm}^3/\text{s}$ において、D-0の補強繊維なしの供試体では、浸漬35日が経過した段階においても、部分的に閉塞されない箇所が見られた。D-2では先に述べたように、浸漬7日頃にひび割れ内部の析出物が洗い流されたと思われ、その後、ひび割れを閉塞させるには至らなかった。D-2の補強繊維はナイロン短繊維であるが、下記に示すように、図14(b)の初期透水量 $0.55\text{ cm}^3/\text{s}$ においてはD-2も閉塞が見られることから、繊維種類が自己治癒性能に与える影響は少ないものと考えられる。

【0068】

また、図12(b)～図15(b)に、初期透水量 $0.55\text{ cm}^3/\text{s}$ におけるD-0～D-3の供試体の状況を示す。

D-0の補強繊維なしの供試体では、浸漬35日が経過した段階においても、ほとんど閉塞状況が見られなかった。これは、補強繊維等の使用なしでは初期透水量 $0.30\text{ cm}^3/\text{s}$ を超えた場合に、十分な自己治癒性能が得られない従来の結果と同一であった。また、D-1からD-3までのF1からF3の補強繊維を使用したものについては、マイクロ스코プによりひび割れの閉塞が確認された。しかし、図9に示す透水試験の結果では、完全な自己治癒には至っていない。この違いについては、マイクロ스코プが表面部のみの観察しかできないことに対して、透水試験はひび割れ内部の自己治癒の状況を正確に判定できるためである。このことから、自己治癒性能を透水試験によって定量的に判断する手法は、適切なものであると考えられる。

【0069】

(まとめ)

本実施例では、繊維補強した重量コンクリートのひび割れの自己治癒性能について検討し、その結果、以下に示すことが明らかとなった。

(1) 重量コンクリートに膨張材、フライアッシュを同時に混合することにより、ひび割れ部の透水係数は小さくなり、自己治癒性能が上がる。これに加えて、補強繊維を使用することにより、更にその性能を高めることができた。

(2) 補強繊維としてポリプロピレン短繊維、ナイロン短繊維、ビニロン短繊維を比較検討したが、いずれの繊維も自己治癒性能の向上には効果的であった。このため、経済性、作業性を踏まえた上で選定することが可能である。

(3) ひび割れの自己治癒性能の定量的評価において、透水試験方法による透水量を用い

10

20

30

40

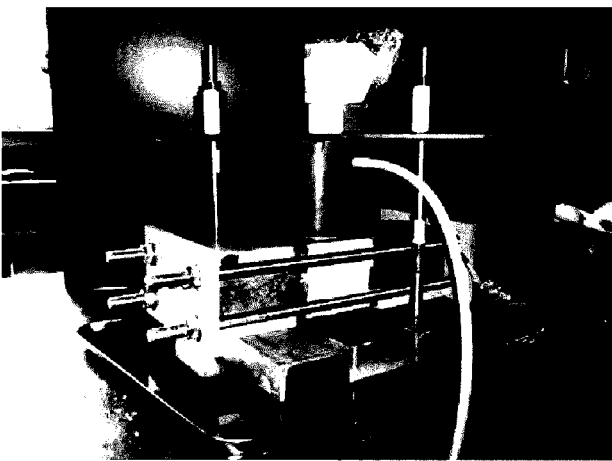
50

た結果、定量的な評価ができた。

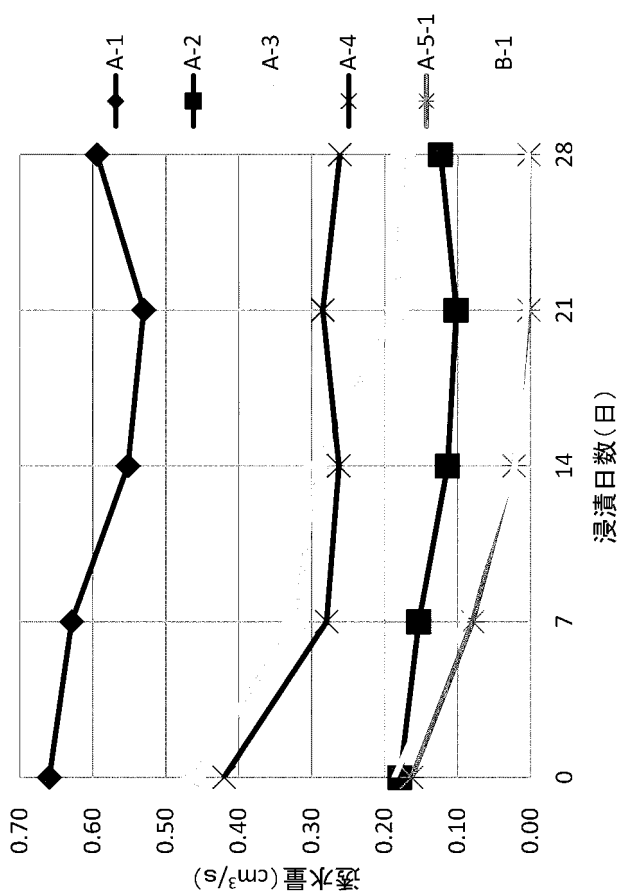
【0070】

なお、上記実施の形態の構成及び動作は例であって、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更して実行することができることは言うまでもない。

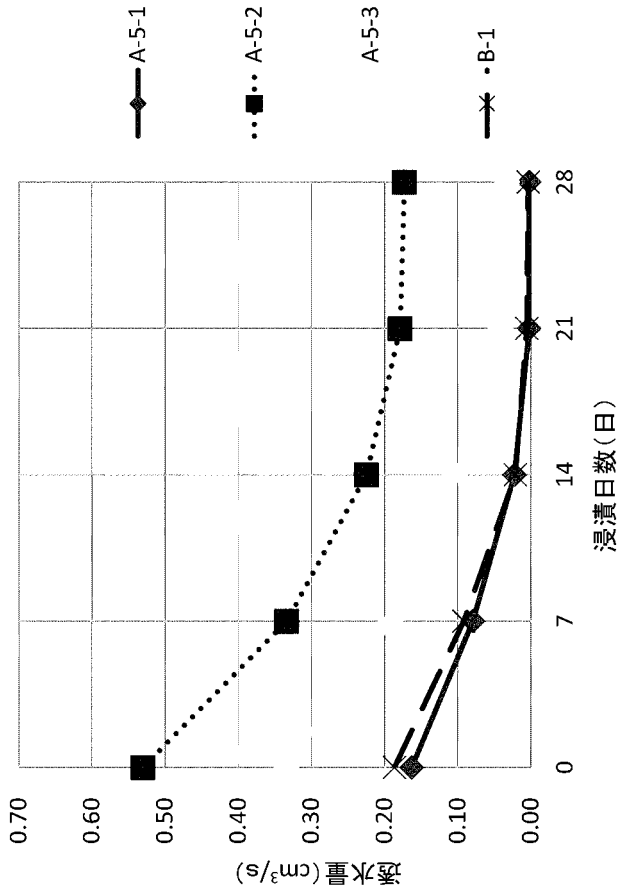
【図1】



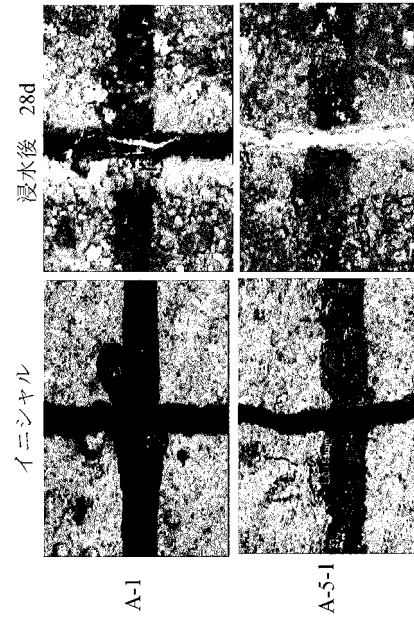
【図2】



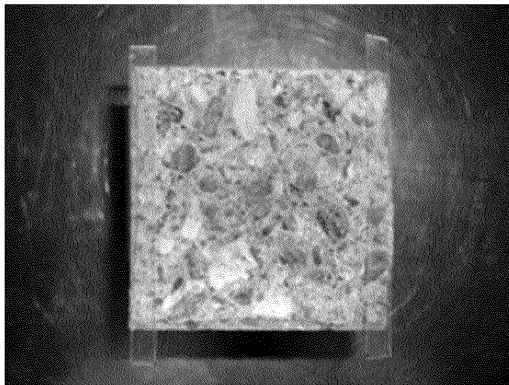
【 図 3 】



【 図 4 】



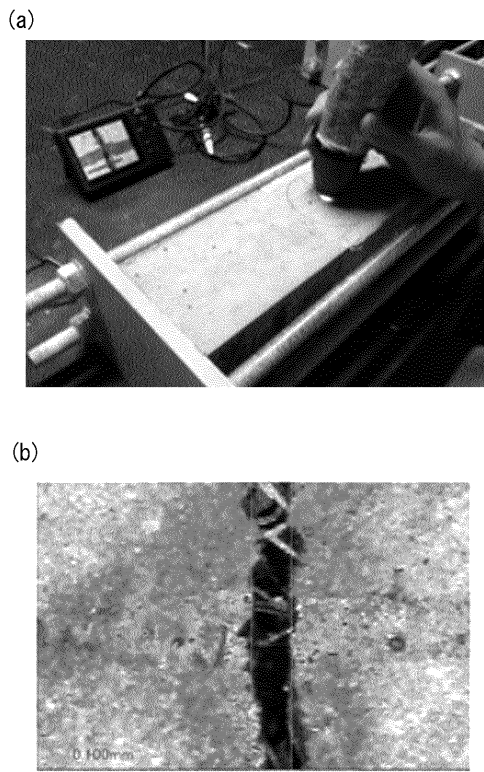
【 図 5 】



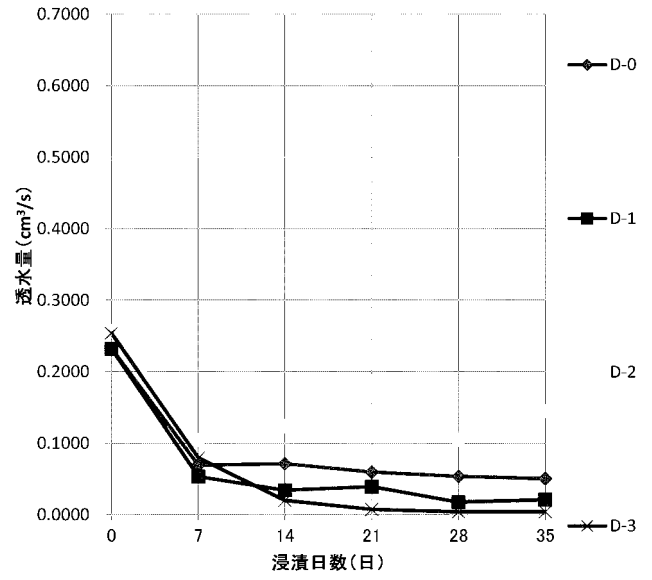
【 図 6 】



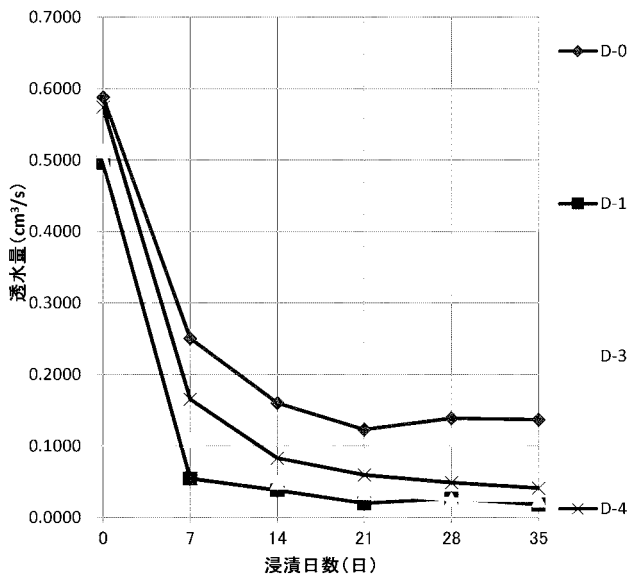
【 図 7 】



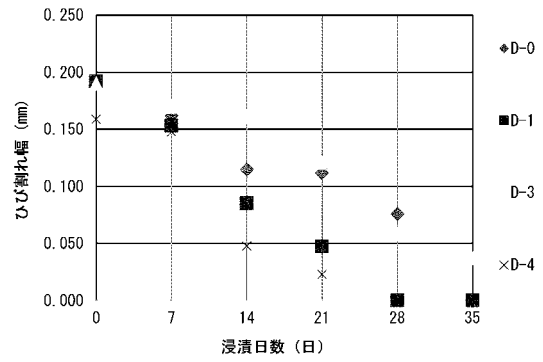
【 図 8 】



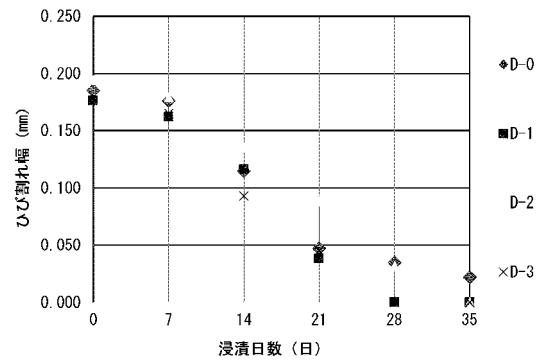
【 図 9 】



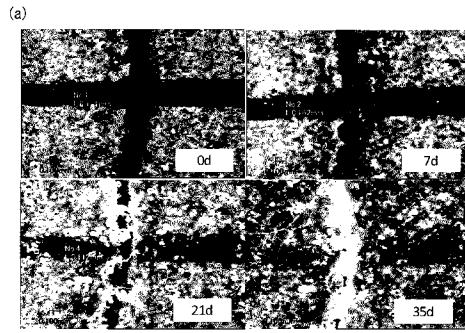
【 図 10 】



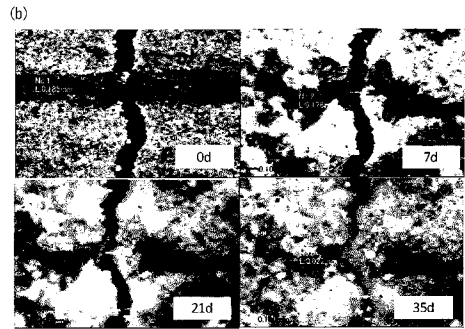
【 図 11 】



【 図 1 2 】

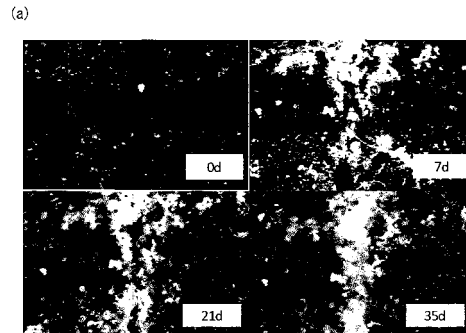


D-0 (初期透水量 $0.25\text{cm}^2/\text{s}$)

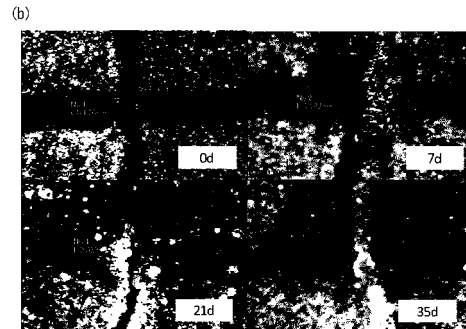


D-0 (初期透水量 $0.55\text{cm}^2/\text{s}$)

【 図 1 3 】

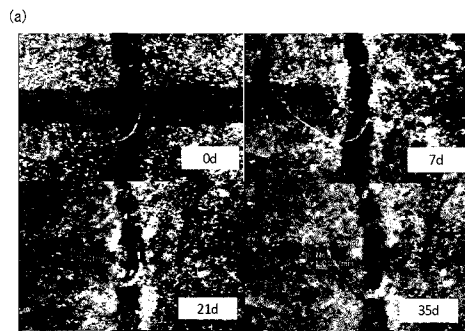


D-1 (初期透水量 $0.25\text{cm}^2/\text{s}$)

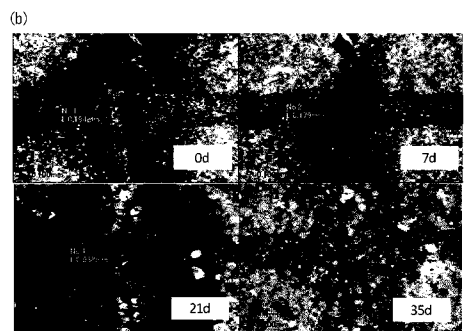


D-1 (初期透水量 $0.55\text{cm}^2/\text{s}$)

【 図 1 4 】

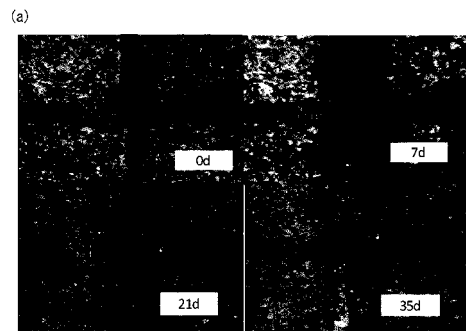


D-2 (初期透水量 $0.25\text{cm}^2/\text{s}$)

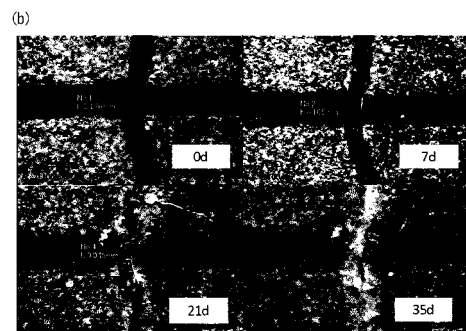


D-2 (初期透水量 $0.55\text{cm}^2/\text{s}$)

【 図 1 5 】



D-3 (初期透水量 $0.25\text{cm}^2/\text{s}$)



D-3 (初期透水量 $0.55\text{cm}^2/\text{s}$)

 フロントページの続き

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード(参考)	
C 0 4 B	40/02	(2006.01)	C 0 4 B	16/06	B
B 2 8 B	1/20	(2006.01)	C 0 4 B	40/02	
G 2 1 F	1/04	(2006.01)	B 2 8 B	1/20	B
G 2 1 C	13/08	(2006.01)	G 2 1 F	1/04	
			G 2 1 C	13/08	

(72)発明者 江口 秀男

東京都港区新橋5丁目3番11号 日本ヒューム株式会社内

(72)発明者 井川 秀樹

東京都港区新橋5丁目3番11号 日本ヒューム株式会社内

Fターム(参考) 4G112 MA00 MB33 PA24 PA27 PB05 PB12 PE02 RA03 RA05