

明 細 書

発明の名称：プレストレストコンクリートの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、コンクリート膨張材によるケミカルストレスと、連続繊維補強線材を用いたメカニカルストレスとを併用して導入するプレストレストコンクリートに関し、特に硫酸イオン、あるいは硫酸イオンを含む海水を練り混ぜ水に使用するプレストレストコンクリートの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来より、機械的特性（圧縮強度、曲げ強度等）に優れるセメント系材料にプレストレスを導入してなるコンクリートの開発が行なわれている。

[0003] 従来のプレストレストコンクリートにおいて、プレテンション方式の場合は、プレストレスを導入する緊張材として高張力鋼材（P C 鋼材）を使用し、P C 鋼線や 2 ～ 3 本撚り P C 鋼撚り線をロングライン方式または型枠定着方式によって緊張しながらコンクリートを打設し、養生硬化後にこれらの P C 鋼線を切断してプレストレストコンクリートを製造している。

[0004] 近年、高強度を有するガラス繊維、炭素繊維、アラミド繊維などにより一方向に強化した繊維素材によるロッドを利用したプレストレスト緊張材が使用され、防蝕性に勝れたプレストレストコンクリートとして注目されている。

[0005] プレストレストコンクリートの高い引張強度やせん断強度を発現する技術として特開 2 0 0 4 - 1 5 5 6 2 3 号が開示されている。

[0006] 連続繊維強化プラスチック複合材によるプレストレストコンクリート緊張材の技術として、特開 2 0 0 2 - 3 2 6 2 8 5 号が開示されている。

[0007] また、通常、コンクリート構造物は、その表面から乾燥が進むため、収縮し、その収縮応力がコンクリートの引張り強度を上回るとひび割れが生じることとなる。

[0008] このひび割れを低減するためには、コンクリートに所定のコンクリート混

和材料を配合することにより、コンクリートの乾燥収縮量を補償するに足りる膨張量を与えること、あるいは乾燥収縮量を低減することが必要である。そのためのコンクリート混和材料として、膨張材や収縮低減剤が知られている。

[0009] このうち、膨張材は水和反応に伴って膨張する材料を含み、水和膨張によりコンクリート構造物の乾燥収縮を防止するものである。

[0010] コンクリートの膨張材として、特開 2 0 0 5 - 1 6 2 5 6 4 号が開示されている。これは安価な生石灰を、例えば従来のように他の原料成分を加えてクリンカ焼成物を製造するような煩雑な処理を経ることもなく、且つコストの増加を殆どもたさずに、モルタルやコンクリート用の膨張材として十分使用できるようにし、モルタルやコンクリートの収縮や外圧に十分対抗できるような安定した膨張力を付与できる膨張材、特に、大量に使用しなくともケミカルプレストレスの導入を可能にした膨張材及びケミカルプレストレスが導入できるコンクリートを提供するとしたものである。

[0011] このように、プレストレストコンクリートは、コンクリートの最大の弱点である、圧縮には強いが引張には弱いという問題を克服する目的で開発されたものであり、荷重が作用する前にコンクリート部材に圧縮力がかかった状態（プレストレス）とし、荷重を受けた時にコンクリートに引張応力が発生しないようにする、もしくは引張応力を制御するもので、通常の鉄筋コンクリートに比べ、引張応力によるひび割れを防ぐことができるものである。

[0012] また、近年、東北の被災地復旧工事等で、建設資材が足りないため、海水を練り混ぜ水に用いたコンクリートが開発されている。

[0013] 例えば、特開 2 0 1 5 - 2 0 9 2 5 号公報では、2 0 0 m m 以上 5 0 0 m m 以下の大きさに破碎されたコンクリート殻を粗骨材とするプレパックドコンクリート工法、又は、ポストパックドコンクリート工法に使用される注入用モルタルであって、結合材及び細骨材を練り混ぜる練り混ぜ水として海水を用いるコンクリートの製造方法が開示されている。

[0014] 練り混ぜ水に海水を用いることで初期強度を向上させ、脱型までの期間の

短縮を目的とするものであり、十分な強度を確保させ、製造効率が高く、ブリーディング抑制にも寄与するというものである。

[0015] また、特開 2005-281112 号公報では、鉄筋により構成される鉄筋構造体をコンクリート型枠内に配置した後に、アルミナセメントと海水と細骨材と粗骨材をを練り混ぜて流動体状のフレッシュコンクリートを生成し、このフレッシュコンクリートを型枠内に充填して鉄筋構造体を埋設して硬化させた海水配合型アルミナセメントコンクリートが開示されている。

[0016] 水道水配合型普通ポルトランドセメントコンクリートや水道水配合型アルミナセメントコンクリートに比べて、鉄筋の腐食防止効果が高いものである。

[0017] また、プレストレストコンクリートの PC 鋼材の腐食防止にも適応可能とされている。

[0018] このように、従来、海水は塩分を含むため、鉄筋を錆びさせてしまうため、コンクリートの製造において種々の規制がされていたものであるが、使用方法によっては、初期強度の向上や鉄筋の腐食防止などに活用されるようになってきている。

先行技術文献

特許文献

[0019] 特許文献1：特開 2004-155623 号公報

特許文献2：特開 2002-326285 号公報

特許文献3：特開 2005-162564 号公報

特許文献4：特開 2015-20925 号公報

特許文献5：特開 2005-281112 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0020] 上記の従来特許公報に示すように、プレストレストコンクリートは、その強度を高めるために種々の開発が行われている。

- [0021] 従来のプレストレストコンクリートは、その用途として、橋梁、電柱、コンクリートパイル、建設部材や、建築物の梁などによく使用され、主に構造材に用いられている。
- [0022] プレストレストコンクリートは、コンクリートの宿命ともいえる、表面のひび割れを抑制できる効果的な技術である。
- [0023] また、上記の従来特許公報では、コンクリートの練り混ぜ水に海水を使用することにより、初期強度の向上、鉄筋の腐食防止効果が期待できる。
- [0024] プレストレスコンクリートでは、機械的プレストレスを付与するために、緊張材に引張応力をかけた状態で打設するが、打設後に緊張材とコンクリートの付着力が問題となる。すなわち、硬化時にコンクリートの膨張効果が必要となる。
- [0025] 付着力が小さいと、緊張材とコンクリートの付着部で滑りが生じてしまい、プレストレスが十分に発揮されないことになる。
- [0026] 上記の従来特許公報（特開 2005-281112 号公報）では、プレストレストコンクリートへの適応可能とされているが、アルミナコンクリートでは、緻密性が高く、強度を高め、外部からの塩素イオンの侵入を抑え、PC 鋼材の錆びを防止できるが、ポルトランドセメントに比べて硬化期間が非常に短く、膨張効果を発揮するエトリンガイトの生成が不十分のまま硬化してしまうため、膨張効果はほとんど期待できない。このため、付着力は高められない。
- [0027] エトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) は、 SO_4^{2-} （硫酸イオン）と H_2O が存在するセメント水和時に、アルミネート相（アルミン酸三カルシウム、 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ）と SO_4^{2-} （硫酸イオン）と H_2O が反応し、生成される水和物という。エトリンガイトの生成量が多すぎるとセメント硬化体を膨張させる。
- [0028] 生成されるエトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) は、数ミクロン程度の非常に小さい結晶で、この結晶がセメントペーストの硬化過程においてコロイド状で、ゲル間の微細な空隙にイガグリ状に発達し、ゲルの硬化による収縮ならびに乾燥による収縮を低減し、さらに膨張させる働きをする

。この場合の膨張とは、強度の増進に伴って生じる膨張変形のことであり、本発明では、これが、プレストレストコンクリートにおいて、緊張材とコンクリートの付着部の強度、膨張を促進し、付着力を高めるものと思われる。

[0029] 本発明は、上記の問題に鑑みてなされたものであり、膨張材によるケミカルストレスと連続繊維補強線材によるメカニカルストレスを併用し、かつ、練り混ぜ水に海水を使用し、付着力を高め、プレストレスによる強度を十分に発揮させることのできるプレストレストコンクリート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

[0030] 本発明は諸課題を解決するために、請求項1では、緊張材による機械的ストレスと、膨張材によるケミカルストレスとを導入するプレストレストコンクリートの製造方法において、アルミナセメントを除くセメント材を用い、練り混ぜ水に硫酸イオンを練り混ぜ水の単位質量当たり、1000～5000ppmの比率で混合して製造することを特徴とするプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

[0031] 該緊張材による機械的ストレスとは、各種の線材を緊張材としてコンクリートにあらかじめ機械的な引張応力を導入できるものであればいずれでもよく、プレテンション方式あるいはポストテンション方式のいずれの方式によるプレストレスの導入方式でも良い。

[0032] 該コンクリート用膨張材によるケミカルストレスは、コンクリート用として使用されている膨張材であればいずれの膨張材を混入しても良く、コンクリートにケミカルストレスを導入できる混和剤などでも良い。

[0033] 該練り混ぜ水とは、セメントなどの結合材、及び砂利や砂などの骨材を練り混ぜるための水であり、従来、上水道水などの真水が使用されているが、本請求項1では、硫酸イオンが混合された水を使用するものである。

[0034] 本発明に使用する硫酸イオン (SO_4^{2-}) は、練り混ぜ水中で硫酸イオンとなるものであればいずれでも良い。例えば、水溶性の硫酸塩など、硫酸ナトリウム (Na_2SO_4) などでも良い。

該練り混ぜ水中の硫酸イオンは、セメント水和時に生成されるエトリンガイトの量が膨張効果に十分な生成量となるものであれば良い。

練り混ぜ水中の硫酸イオンの比率が1000ppm以下では、エトリンガイトの生成が不十分であり好ましくない。5000ppm以上では、エトリンガイトの生成量が多くなりすぎるため、膨張効果が過剰となり、ひび割れの要因となるため好ましくない。

好ましくは、1500～4000ppm、さらに好ましくは、1800～3000ppm程度が良い。

[0035] 請求項2では、前記の練り混ぜ水に混合する硫酸イオンとして海水を用いることを特徴とするプレストレストコンクリートの製造方法である。

[0036] 海水は、海から採取される水であり、水を主成分とし、3.5%程度の塩、微量金属から構成されており、硫酸イオン (SO_4^{2-}) は、0.2649質量%程度が含まれている。(海域により含有量は異なる。)

[0037] 一般に、コンクリートの材料としてポルトランドセメントを用いた鉄筋コンクリートやPC鋼材を用いたプレストレストコンクリートの場合、コンクリート内部はアルカリ性となっており、鉄筋PC鋼材などの表面には、20～60マイクロメートル程度の厚さの鉄の水酸化物 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、 n は自然数)の薄い皮膜(以下、「不動態皮膜」という。)が形成されているため電気化学的に安定であり、鋼材は腐食しにくくなっている。

[0038] しかし、コンクリート構造物は塩化物イオン (Cl^-) がコンクリート内部に浸透すると、これに伴い鋼材表面の不動態被膜が破壊され、鋼材の腐食を生じるという問題があるため、練り混ぜ水に海水を使用することは一般的にはほとんどなかった。

[0039] 該海水は、海から採取した海水をそのまま使用しても良く、好ましくは、フィルターなどでごみなどを除去した海水が良く、浮遊物の多い表層海水ではなく、ごみなどの少ない一定程度の深さの海水をくみ上げて使用しても良い。

[0040] 請求項3では、前記の緊張材は、難錆性線材であることを特徴とする請求

項 1 又は請求項 2 に記載のプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

[0041] 該難錆性線材は、コンクリート打設後において、緊張材の錆びによる膨張によってコンクリートが破裂する恐れのない線材であればいずれでも良く、例えば、ステンレス鋼、アルミニウム合金、チタン合金、ニッケル合金、クロム合金、モリブデン合金、タングステン合金などの難錆性金属や、樹脂材、植物繊維材などの非金属材を用いても良い。

[0042] 請求項 4 では、前記の緊張材は、連続繊維補強線材であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載のプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

[0043] 該連続繊維補強線材とは、線状の連続繊維補強材であり、連続的に線状に成形された強化繊維補強材による P C 緊張材である。連続繊維補強材は、炭素繊維、ガラス繊維、アラミド繊維、ビニロン繊維などをエポキシ樹脂などでバインドしたものの総称である。

[0044] 該強化繊維補強材は、軽量、高強度、高弾性、耐食性、非電導、非磁性など、鉄筋よりも優れた物性（引張強度、弾性率）と鉄筋にはない優れた耐食、電磁気的特性とを有しているものである。

[0045] 線状とは、丸形、矩形、異形（リブ、インデンテッド表面）ロッド、組紐状ロッド、撚り線状ストランド、格子状等、概して線形形状またはその形状単位からの 2 次元または 3 次元組立て形状を意味するものである。

[0046] 請求項 5 では、前記の連続繊維補強線材は、金属繊維、アラミド繊維、炭素繊維、ガラス繊維、ポリ p-フェニレンベンゾビスオキサゾール繊維から選ばれた 1 種又は 2 種以上の繊維による強化繊維線材であることを特徴とする請求項 4 に記載のプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

[0047] 請求項 6 では、該膨張材は、生石灰等の石灰系膨張材、カルシウムサルホアルミネート、海水等のエトリンサイト系膨張材、エトリンサイト-石灰複合系膨張材、鉄粉系膨張材、マグネシウム系膨張材、アルミニウム粉末系膨

張材、頁岩系膨張材及び珪石系膨張材から選ばれた１種又は２種以上の混合物であることを特徴とする請求項１から請求項５までの何れか１項に記載のプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

[0048] 該ケミカルストレスの効果は、コンクリート表面において作用するものであればよく、軽量化とひび割れ抑制効果を有するものであればいずれでも良く、組み合わせを限定するものではない。

[0049] 請求項７では、前記の練り混ぜ水に用いる海水は、練り混ぜ水全重量に対して、５０～２００重量％であることを特徴とする請求項２から請求項６までのいずれか１項に記載のプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

[0050] 該練り混ぜ水に用いる海水の量は、５０重量％以下では、海水中の硫酸イオンが少なく、セメント硬化体を膨張させる膨張材となるエトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) の生成量が少なく、膨張効果が期待できない。好ましくは、６０～１５０重量％が良く、さらに好ましくは、８０～１２０重量％が良い。

[0051] 海水を濃縮した濃縮海水を使用する場合の海水の量は、濃縮する前の自然海水の重量で換算するものとする。

[0052] 請求項８では、前記の海水に含まれる硫酸イオンは、海水の単位質量当たり、１５００～３０００ppmの比率で含有されていることを特徴とする請求項２から請求項７でのいずれか１項に記載のプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

[0053] 自然海水中の硫酸イオンは、概ね２０００～２８００程度とされており、通常のフィルターにより、ごみ等を除去した場合には、若干の変動があるが、どここの海水を使用しても、１５００～３０００ppmの範囲内となる。

[0054] 請求項９では、前記の海水は、塩素イオンが除去された海水を練り混ぜ水とすることを特徴とする請求項２から請求項８までの何れか１項に記載のプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

[0055] 該塩素イオンの除去には、種々の既存技術を使用できる。例えば、硝酸銀

水溶液で塩化物イオンを塩化銀として沈殿させて除去する方法や、イオン交換樹脂などを使用しても良い。

[0056] 請求項 10 では、コンクリート打設時に不連続繊維補強材を混入したことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 までの何れか 1 項に記載のプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

[0057] 該不連続繊維補強材は、不連続状態の繊維補強材であればいずれでも良い。

[0058] 繊維の寸法は、配合物中におけるこれら繊維の材料分離の防止や硬化後の曲げ強度や靱性の向上の点から、直径 0.005～1.0 mm、長さ 2～30 mm が好ましく、さらに好ましくは、直径 0.01～0.5 mm、長さ 5～25 mm が良い。また、炭素繊維のアスペクト比（繊維長／繊維直径）は 20～200 が好ましく、30～150 がより好ましい。

[0059] 配合量は、配合物中の体積百分率で、0.2～5.0% が適当であり、0.5～3.0% が好ましく、0.8～2.0% がより好ましい。この配合量が 0.2% 未満では曲げ強度や靱性を高めることは期待できない。一方、この配合量が 5.0% を超えると、流動性等を確保するために単位水量が増大するうえ、配合量を増やしても繊維の増強効果が向上しないため、経済的でなく、さらに混練物中にいわゆるファイバーボールを生じ易くなるので、好ましくない。

[0060] 請求項 11 では、該不連続繊維補強材は、金属繊維、炭素繊維、ガラス繊維、樹脂繊維から選ばれた 1 種又は 2 種以上の繊維による強化繊維材であることを特徴とする請求項 1 から請求項 10 までのいずれか 1 項に記載のプレストレストコンクリートの製造方法とするものである。

発明の効果

[0061] 本発明は以下の効果を奏する。

1) プレストレストコンクリートの製造方法において、練り混ぜ水に硫酸イオンを使用することにより、セメント水和時に膨張材であるエトリンガイトを生成するため、その膨張作用により、緊張材とコンクリートの付着力を高

めることができる。

- [0062] 2) プレストレストコンクリートの製造方法において、練り混ぜ水に海水を使用することにより、海水中の硫酸イオンにより、セメント水和時に膨張材であるエトリンガイトを生成するため、その膨張作用により、緊張材とコンクリートの付着力を高めることができる。
- [0063] 3) 上記の付着力の強化により、機械的プレストレス時の滑りを防止でき、強度でかつ信頼性の高いプレストレストコンクリートを実現できる。
- [0064] 4) 上記の付着力の強化により、機械的プレストレスの緊張材の有効範囲を大きく広げることができる。
- [0065] 5) 練り混ぜ水に海水を使用することにより、その膨張作用により、機械的プレストレスの影響しにくい部分をケミカルストレスとしてカバーすることができる。
- [0066] 6) 練り混ぜ水に塩素イオンを除去した海水を使用することにより、PC鋼材を緊張材として使用しても錆びの問題を解消できる。
- [0067] 7) コンクリート中に不連続繊維補強材が混入されていると、コンクリートの曲げ強度を向上させることができ、膨張材の効果を高め、付着力を高めることができる。
- [0068] 8) コンクリートの薄肉化や切り欠き形状が可能となり、デザインの自由度が大きく広がる。
- [0069] 9) 機械的ストレスとケミカルストレス及びエトリンガイト生成の相乗効果により、表面形状の変化や切り欠き部、あるいは、開口部を設けた場合においても強度を高めることができるので、思い切ったデザイン構成を可能とし、よりフレキシブルなプレストレストコンクリートが実現できる。
- [0070] 10) 薄肉化と軽量化、及びひび割れ抑制により、今までコンクリートでは使用不可能であった部材への適用が可能となる。
- [0071] 11) 金属部材、ガラス部材、硬質樹脂部材、木部材、制振部材や免振部材などの衝撃エネルギー吸収部材、先行躯体としての型枠材などの代替部材として活用できる。

図面の簡単な説明

- [0072] [図1]本発明のプレストレスコンクリートの製造方法を示すフロー図である。
- [図2]本発明によるプレストレスコンクリートにおける緊張材の配置を示す概略図である。
- [図3]付着力比較試験に使用した工業用水使用コンクリートの強度試験成績書である。
- [図4]付着力比較試験に使用した海水使用コンクリートの強度試験成績書である。

発明を実施するための形態

- [0073] 本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。
- 最初にプレテンション方式による機械的なプレストレスの導入方法を図1に示す。
- [0074] 図1は、プレテンションベッド（製造装置）の説明図である。
- 緊張材としてPC鋼より線 $\phi 26\text{ mm}$ を使用し、50トン（490 kN）の緊張力を導入する例である。
- [0075] この例では、図1に示すように、ロングライン式でプレテンションベッド（製造装置）上に長手方向に3体のプレストレストコンクリート部材を同時に製造するものである。
- [0076] (A)に示すように、反力台間にPC鋼より線を張り、左側のジャッキで50トン（490 kN）の引張荷重で緊張させ、プレストレス力を付加する。
- [0077] 次に(B)に示すように、PC鋼より線が緊張した状態で格子筋（鉄筋）、型枠組み立てを行い、コンクリートを打設・養生する。
- [0078] 所定のコンクリート強度が得られたら、(C)に示すように、緊張ジャッキを徐々に解放し、PCより線を切断し、プレストレストコンクリート部材を緊張させる。
- [0079] このように、プレストレストコンクリートは製造される。
- [0080] 本発明によるプレストレストコンクリートは、新規なコンクリートの組成

、緊張材、及び引張荷重を実現するものである。

[0081] 以下にコンクリートの打設におけるコンクリートの配合を示す。(単位 kg/m^3)

コンクリート配合例 1 (基本配合)

普通ポルトランドセメント	:	626
海水	:	175
細骨材	:	809
粗骨材	:	818
混和剤：減水剤	:	6.89

[0082] 本実施例では、練り混ぜ水として水に替えて海水が使用されている。

1 m^3 当たりの総重量は、2434.9 kg であり、総量に対する海水の割合は、7.2%である。

[0083] また、海水は、沖縄県の北部残波岬沖、約100 m の海中より採取し、0.5 mm メッシュの網でごみ等を除去したものを使用した。

海水の成分は以下のとおりである。

比重	pH	Na^+	K^+	Ca^+	Mg^+	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	(ppm)
1.02	8.1	9290	346	356	1167	17087	2378	110	

[0084] また、上記の基本配合に膨張材を添加した場合のコンクリート配合を以下に示す。(単位 kg/m^3)

コンクリート配合例 2 (膨張材添加)

普通ポルトランドセメント	:	606
膨張材	:	20
海水	:	175
細骨材	:	809
粗骨材	:	818
混和剤：減水剤	:	6.89

本実施例では、1 m^3 当たりの総重量は、2434.9 kg であり、総量に

対する海水の割合は、7.2%である。

[0085] また、上記の基本配合にフライアッシュを添加した場合のコンクリート配合を以下に示す。(単位 kg/m³)

コンクリート配合例3 (フライアッシュ添加)

普通ポルトランドセメント	: 563
フライアッシュ	: 63
海水	: 175
細骨材	: 798
粗骨材	: 810
混和剤：減水剤	: 6.89

本実施例では、1m³当たりの総重量は、2381.5 kgであり、総量に対する海水の割合は、7.3%である。

[0086] また、上記の基本配合に膨張材、フライアッシュ、繊維補強材を添加した場合のコンクリート配合を以下に示す。(単位 kg/m³)

コンクリート配合例4 (膨張材+フライアッシュ+繊維補強材添加)

普通ポルトランドセメント	: 621
膨張材	: 20
フライアッシュ	: 71
繊維補強材	: 9.1
海水	: 185
細骨材	: 1205
粗骨材	: 267
混和剤：減水剤	: 11.38

本実施例では、1m³当たりの総重量は、2381.5 kgであり、総量に対する海水の割合は、7.3%である。

[0087] 上記のコンクリート配合例1から4については、いずれも、練り混ぜ水中及び海水中の硫酸イオンは、2,378 ppmである。

[0088] また、コンクリートの板厚を薄くしたプレストレストコンクリートとして

も良い。

[0089] 例えば、緊張材として、難錆性線材であり、連続繊維補強線材である、直径 12.5 mm の炭素繊維強化型高分子 (CFRP) 材によるより線を使用し、プレストレストコンクリートのサイズは、3 m × 2.4 m × 36 mm のものを 1 体とし、短手方向に 500 mm 間隔で 5 本の緊張材を配置したものでも良い。

[0090] 図 2 に緊張材の配置図を示す。

プレストレストコンクリート 1 の厚さ T は、36 mm であり、 ϕ 12.5 mm の緊張材 2 を板厚の中心部に配置した。

[0091] 緊張材の上面に格子筋 3 を配置した。カブリ厚は約 7 mm である。

[0092] 以上のコンクリート組成において、緊張材を配置し、緊張材 1 本あたりに 18 kN の引張荷重を導入した。

[0093] 約 24 時間養生後、緊張力を解放した。

[0094] プレストレストコンクリート製作後の圧縮強度は 60 MPa 以上であり、強度基準を満たすものであった。

[0095] 本実施例のプレストレストコンクリートの板厚は 36 mm である。従来の鋼製緊張材 (ϕ 12.5 mm) を使用したプレストレストコンクリートの場合、板厚は、錆びなどの問題を考慮し、カブリ厚は 30 mm 程度必要であるため、本発明のプレストレストコンクリートよりカブリ厚の差分 (30 mm - 7 mm)、すなわち、片側で 23 mm 程度厚くする必要がある。

[0096] また、本実施例によるプレストレストコンクリートの重量は 648 kg であった。

[0097] 鋼製緊張材を用いたプレストレストコンクリートの場合には、板厚はカブリ厚を考慮して 82 mm となる。一般的な鉄筋コンクリートの概算重量 (1 m³あたり 2.5 ton で算出) で算出すると、約 1476 kg となり、50% 以上の軽量化となった。

[0098] プレストレストコンクリートにおいては、引張応力に弱いという、コンクリートの弱点を、緊張材による機械的プレストレスによりカバーし、引張応力

によるひび割れ等を防ぐことができるものである。

[0099] このプレストレスの能力を十分に発揮させるためには、コンクリートと緊張材との付着力が重要となる。付着力が不十分な場合には、コンクリートと緊張材の間ですべりが発生し、機械的なプレストレスが発揮できなくなる。

[0100] 本発明は、練り混ぜ水に硫酸イオンあるいは海水を混合することにより、コンクリート硬化時に膨張作用をするエトリンガイトを生成させ、コンクリートを緻密にかつ膨張力を発揮させることで、緊張材とコンクリートの付着力を強化するものである。

[0101] 以下に海水を用いた付着力の比較試験を示す。

[0102] 〈付着力比較試験〉

従来の工業用水を用いたコンクリート（工業用水C）と、海水を用いたコンクリート（海水C）の付着力比較試験を行った。

[0103] 試験方法及び評価は、（財）建材試験センターの「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法（JSTM C 2101）」に準拠し、すべり量：0.002D（直径）での付着応力度及び破断時の最大付着応力度を比較した。

[0104] 〈試験体〉

1) 工業用水C 3体

練り混ぜ水：工業用水

比重：1.0

硫酸イオン：7.0mg/L（7ppm）

2) 海水C 3体

練り混ぜ水：読谷村海水

比重：1.02

硫酸イオン：2090mg/L（2132ppm）

3) 試験体条件

・試験体サイズ

立方体試験体：200mm×200mm×200mm

鉄筋直径：13mm（SD295A D13）

付着部分：50 mm

・コンクリートの配合割合

普通ポルトランドセメント	:	621
膨張材	:	20
海水又は工業用水	:	185
細骨材	:	1205
粗骨材	:	267
混和剤（減水剤）	:	11.38
フライアッシュ	:	71
炭素繊維	:	9.1

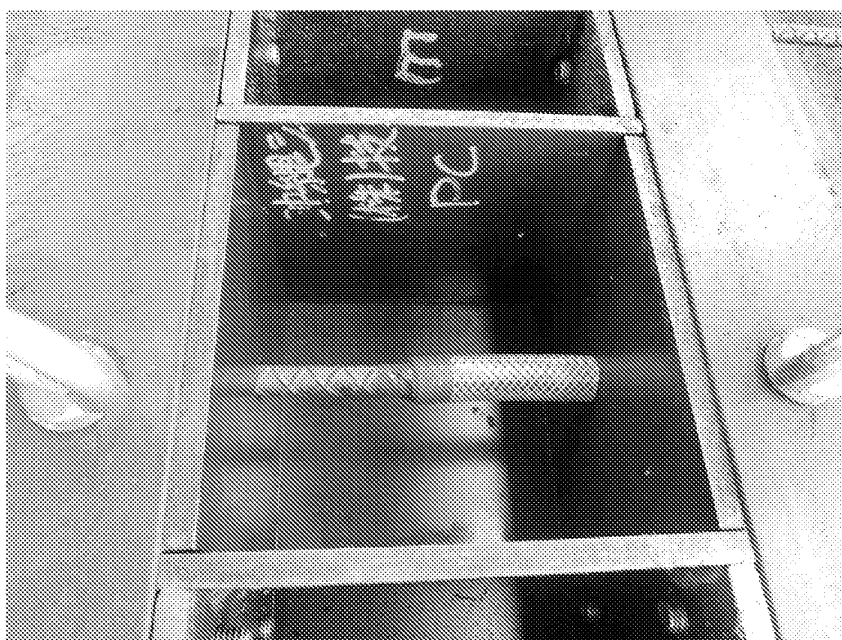
・強度試験：材齢28日（図3、図4参照）

圧縮強度：工業用水コンクリート：99.1 N/mm²

圧縮強度：海水コンクリート：88.5 N/mm²

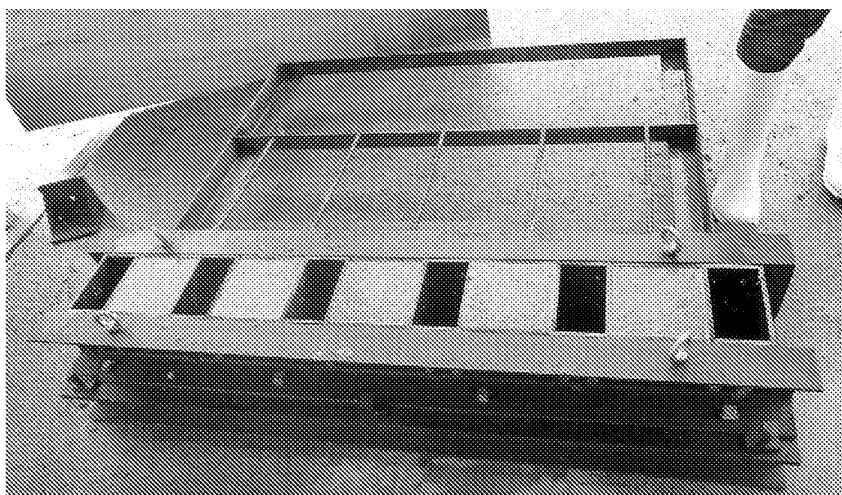
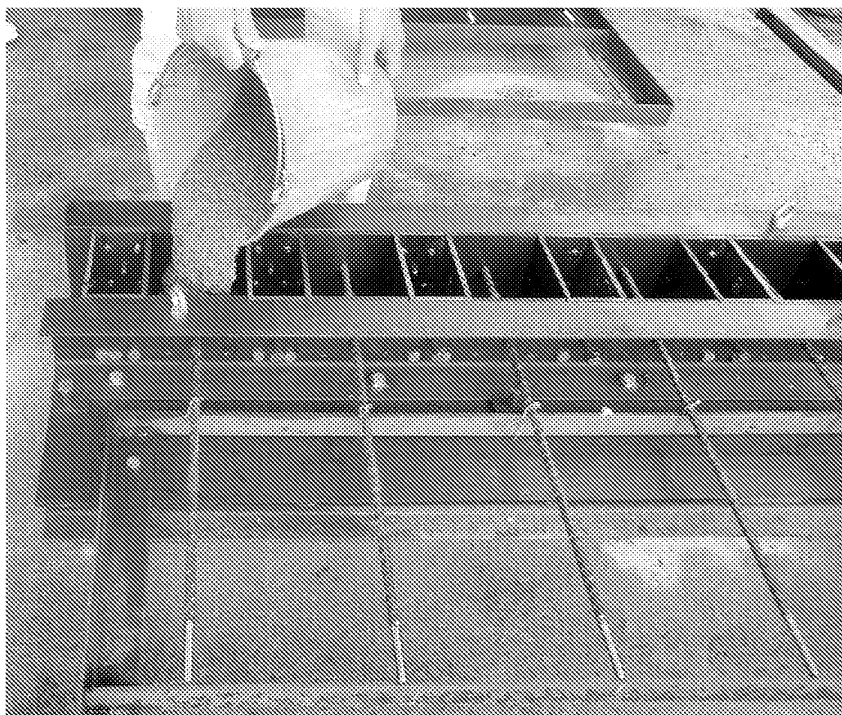
[0105] 〈試験体製作状況〉

型枠状況



(付着部拡大状況)

打設状況



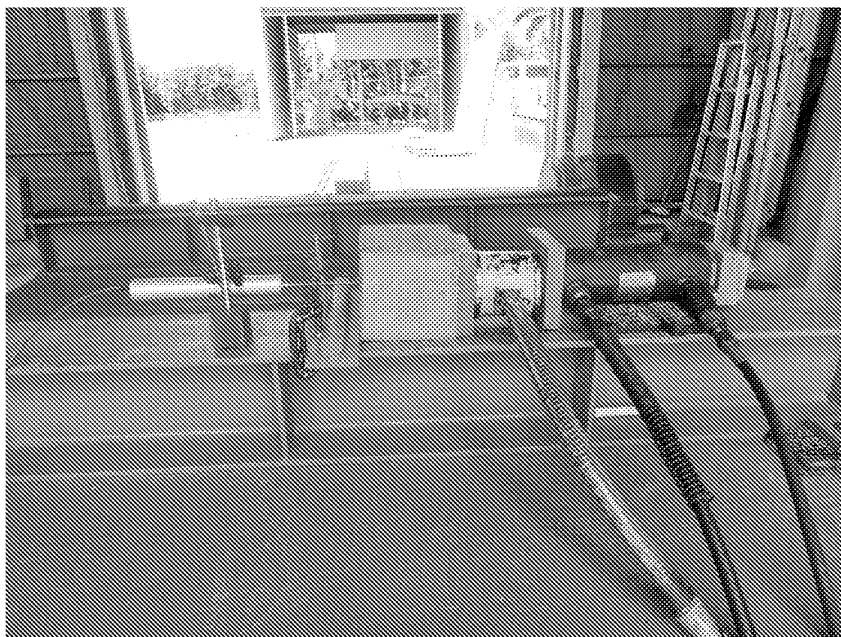
[0106] 〈試験体〉



[0107] 〈試験装置〉



(試験装置全体外観)



(試験体部分の状況)

[0108] 〈破断状況〉



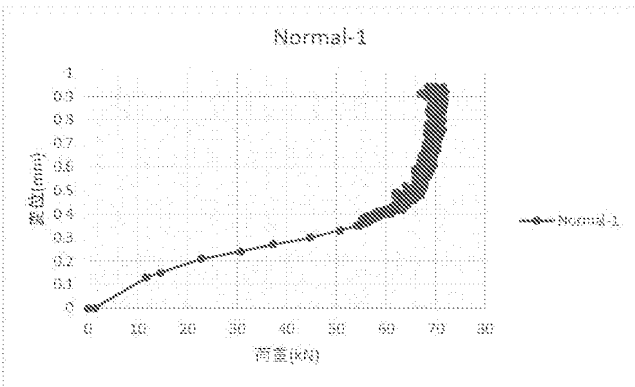
(ねじ部での破断状況)



(鉄筋部での破断状況)

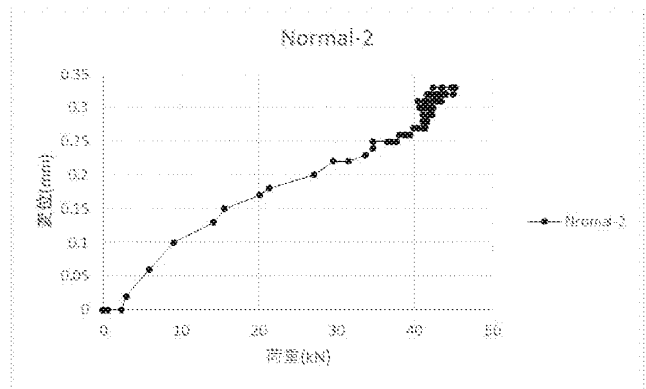
[0109] <試験結果>

工業用水C- 1



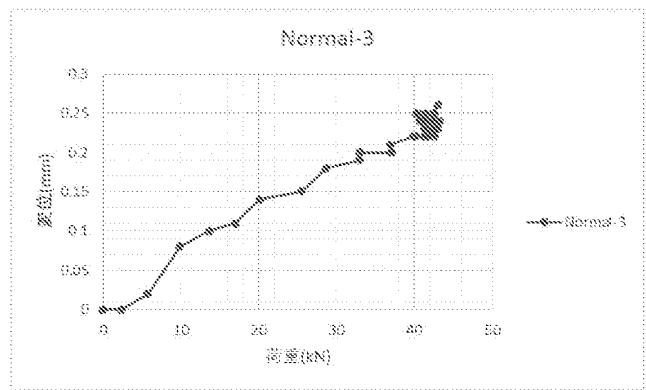
付着応力度	:	$\tau =$		
すべり量	:	$0.002D =$	0.026	mm
引張強度	0.002D	:	$P =$	2.002 kN
	MAX	:	$P =$	72.05 kN
鉄筋の直径	:	$D =$	13	mm
圧縮強度	:	$\sigma_c =$	99.1	N/mm ²
補正係数	:	$\alpha = 90/\sigma_c$	0.908	
0.002D時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4 \pi D^2)$		
	$=$	0.298	N/mm ²	
MAX時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4 \pi D^2)$		
	$=$	10.38	N/mm ²	

[0110] 工業用水C-2



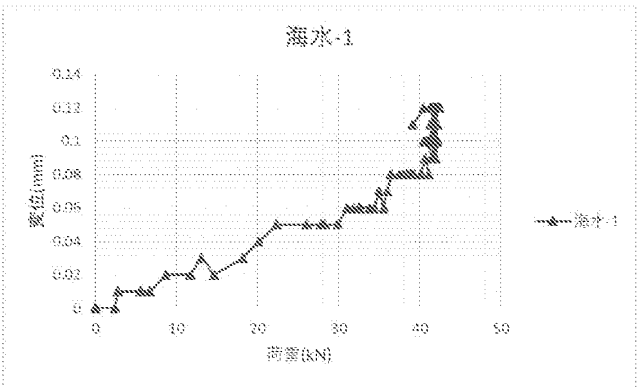
付着応力度	:	$\tau =$		
すべり量	:	$0.992D =$	0.928	mm
引張強度	0.992D	$P =$	1.924	kN
	MAX	$P =$	45.2	kN
試験の直径	:	$D =$	13	mm
圧縮強度	:	$\sigma c =$	99.1	N/mm ²
補正係数	:	$\alpha = 3R/\sigma c$	0.903	
0.992D時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4\pi D^2)$		
	$=$	0.275	N/mm ²	
MAX時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4\pi D^2)$		
	$=$	6.348	N/mm ²	

[0111] 工業用水C-3



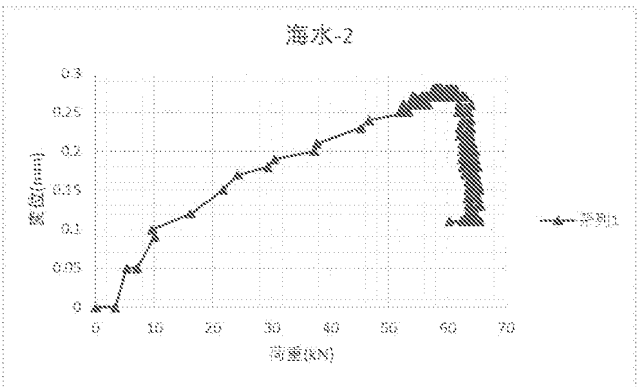
付着応力度	:	$\tau =$		
すべり量	:	$0.992D =$	0.928	mm
引張強度	0.992D	$P =$	1.798333	kN
	MAX	$P =$	48.23	kN
試験の直径	:	$D =$	13	mm
圧縮強度	:	$\sigma c =$	99.1	N/mm ²
補正係数	:	$\alpha = 3R/\sigma c$	0.903	
0.992D時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4\pi D^2)$		
	$=$	0.257	N/mm ²	
MAX時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4\pi D^2)$		
	$=$	6.398	N/mm ²	

[0112] 海水C-1



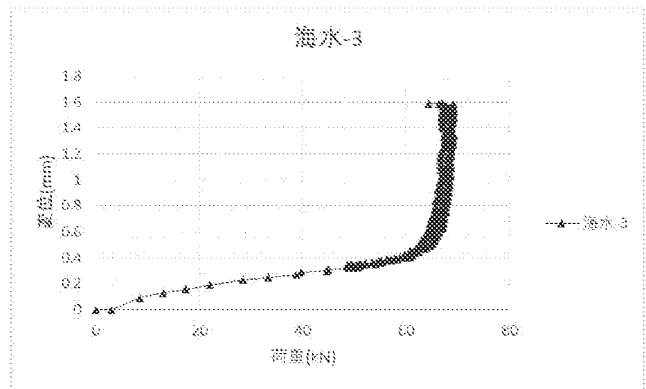
付着応力度	:	$\tau =$		
すべり量	:	$0.002D =$	0.028	mm
引張強度	0.002D	:	$P =$	9.33 kN
	MAX	:	$P =$	42.44 kN
鉄線の直径	:	$D =$	18	mm
圧縮強度	:	$\sigma c =$	88.5	N/mm ²
補正係数	:	$\alpha = 9/\sigma c$	0.338	
0.002D 時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4 \pi D^2)$		
	$=$	1.478	N/mm ²	
MAX 時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4 \pi D^2)$		
	$=$	6.775	N/mm ²	

[0113] 海水C-2



付着応力度	:	$\tau =$		
すべり量	:	$0.002D =$	0.028	mm
引張強度	0.002D	:	$P =$	1.0244 kN
	MAX	:	$P =$	65.54 kN
鉄線の直径	:	$D =$	18	mm
圧縮強度	:	$\sigma c =$	88.5	N/mm ²
補正係数	:	$\alpha = 9/\sigma c$	0.338	
0.002D 時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4 \pi D^2)$		
	$=$	0.184	N/mm ²	
MAX 時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4 \pi D^2)$		
	$=$	10.492	N/mm ²	

[0114] 海水C-3



付着応力度	:	$\tau =$		
すべり量	:	$0.002D =$	0.026	mm
引張強度	$0.002D$	$P =$	1.597536	kN
	MAX	$P =$	69.29	kN
鉄筋の直径	:	$D =$	13	mm
圧縮強度	:	$\sigma_c =$	58.5	N/mm ²
補正係数	:	$\alpha = 0.7 \sigma_c$	0.329	
$0.002D$ 時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4 \pi D^2)$		
	$=$	0.255	N/mm ²	
MAX時	$\tau =$	$P \cdot \alpha / (4 \pi D^2)$		
	$=$	11.08	N/mm ²	

[0115] 〈付着応力度の比較〉

表1. 引抜き試験結果(付着応力度)

	強度試験 N/mm ²	付着応力度 N/mm ² すべり量0.002D時			
	材齢28日	試験1	試験2	試験3	平均
工業用水	99.1	0.298	0.275	0.257	0.277
海水	89.5	1.473	0.164	0.255	0.631
差	-10.6	1.18	-0.11	0.00	0.35
比率(%)	89.3%	494.3%	59.6%	99.2%	229.0%

表2. 引抜き試験結果(最大付着応力度)

	強度試験 N/mm ²	付着応力度 N/mm ²		
	材齢28日	鉄筋破断	ねじ切り破断	全平均
工業用水	99.1	10.28	6.31	7.63
海水	89.5	10.76	6.78	8.43
差	-10.6	0.48	0.47	1.80
比率(%)	89.3%	104.7%	107.4%	123.6%

[0116] 材齢28日の強度試験では、工業用水使用のコンクリートに対して海水使

用コンクリートは89.3%であり、強度が低い値であったが、付着応力度（表1）は、全体としては、工業用水Cに対して海水Cは228.0%と非常に高い値となった。（試験体2では海水Cの方が低い値を示したが、強度試験を考慮すると付着応力度は良好な値となっている。）

[0117] また、最大付着応力度では、工業用水Cに対して海水Cは123.6%と高い値となった。

これらの結果から、コンクリートの練り混ぜ水に海水を使用することにより、付着応力度が高くなることが確認できた。

[0118] 従って、練り混ぜ水に海水を混合することにより、付着力の増加が認められ、プレストレス導入によるプレストレストコンクリートの性能を高めることができるものである。

符号の説明

- [0119]
- 1 プレストレストコンクリート
 - 2 緊張材
 - 3 格子筋