

海水練りコンクリート技術の各種構造物への適用

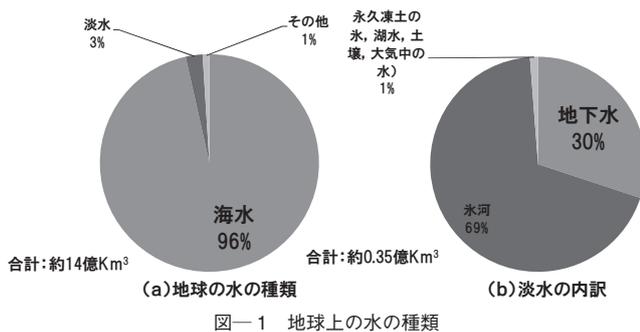
新村 亮・久田 真・大 即 信 明

コンクリートの練混ぜ水に海水を、細骨材に未洗浄の海砂を使用することは、天然資源である海水、海砂の有効利用となる。さらに、海水・海砂とともにコンクリート用混和材（産業副産物）や海水用特殊混和剤等を使用することにより、長期強度、水密性などのコンクリートの品質を改善することができる。また、非腐食性の補強材を使用することにより、鉄筋コンクリートへの適用の可能性もある。この様に優れた海水練りコンクリート技術を放射線遮蔽用コンクリートや地盤改良用のセメント系注入材へ応用することを検討した。また、震災で発生したコンクリートがらを利用した港湾構造物の築造にも適用し、試験施工により技術の有効性を検証した。

キーワード：コンクリート、海水練り、品質改善、震災コンクリートがら

1. はじめに

地球は「水の惑星」といわれるように、約14億 km^3 の水が存在するといわれている。図—1に示す様に、そのうち96%を占める海水は、地球上で最も豊富にある天然資源といえることができる。一方で、淡水の割合は2.5%程度に過ぎず、そのまま利用可能な水は全水量の0.8%の0.1億 km^3 に過ぎない¹⁾。



写真—1 海水と未洗浄の海砂を使用した肥前長崎鼻灯台（手前の灯台、海上保安庁佐世保海上保安部ホームページより転載、<http://www.kaiho.mlit.go.jp/07kanku/sasebo/>）

ントを使用して造られた鉄筋コンクリート構造物である。若干のひび割れや表面のスケールが見られるが、50年経過した現在も現役の灯台として供用されている。

このような状況から海水や洗浄していない海砂を使用し、海水用の混和材料を使用した高品質なコンクリート製造技術の開発を行った。ここでは、このコンクリートの特徴と適用性・応用例を紹介する。

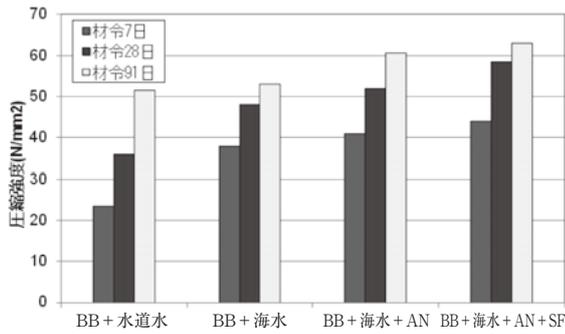
2. 海水練り海砂コンクリートの特徴²⁾

(1) 強度特性

高炉セメントB種（BB）を用いた海水練り海砂コンクリートの圧縮強度の比較を図—2に示す。海水

水資源の有効利用の目的のみならず、災害時の緊急工事、離島での工事などにおいても、淡水や砂の入手が困難な場合、地球上に豊富にある海水や海砂をそのまま使用できれば、工期、コスト、地球環境、資源の有効利用の面で大きなメリットとなる。

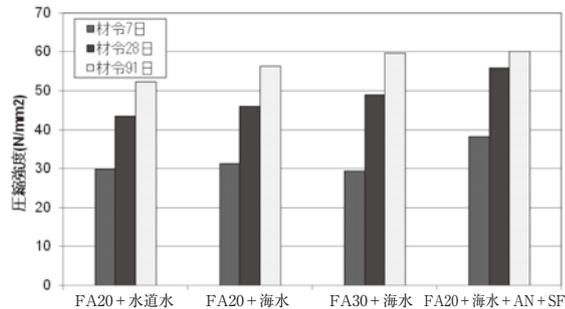
一方、我国には、海水や未洗浄の海砂を使用して造られた古いコンクリート構造物が現存している。長崎県佐世保市宇久島の肥前長崎鼻灯台（写真—1）は、昭和34年に建設され、現地の海水と海砂、高炉セメ



図一 海水練りコンクリートの圧縮強度比較 (高炉セメントB種使用)

だけを使用した場合、圧縮強度は、材齢28日までの初期材齢で増加するが、より長期においては大きな増加はなくなる傾向にある。そこで、新たに亜硝酸カルシウムを主成分とする特殊混和剤 AN やシリカフェーム SF を添加することにより、初期強度がさらに増加するだけでなく、長期においても強度が増加し、1年以上の強度も増加することが確認されている。

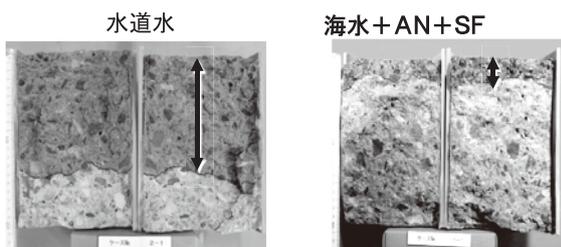
また、図一3に示す通り、石炭火力発電の副産物であるフライアッシュをセメントの20% (FA20)、30% (FA30) 添加した場合も、海水とともに特殊混和剤やシリカフェームを使用することにより、初期および長期強度とも増加することが確認された。



図一3 海水練りコンクリートの圧縮強度比較 (フライアッシュ使用)

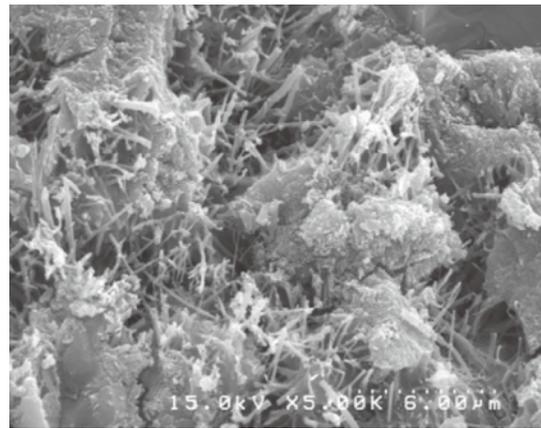
(2) 水密性

透水試験 (インプット法, 水圧 5 MPa, 48 時間作用) 後のコンクリートへの水の浸透状況を写真一2に示す。練混ぜ水に水道水を用いた場合の透水係数に比べ



透水係数 (比率) $3.3 \times 10^{-12}(\text{m}/\text{sec})$ (1) $4.7 \times 10^{-14}(\text{m}/\text{sec})$ (1/70)

写真一2 コンクリート透水試験結果



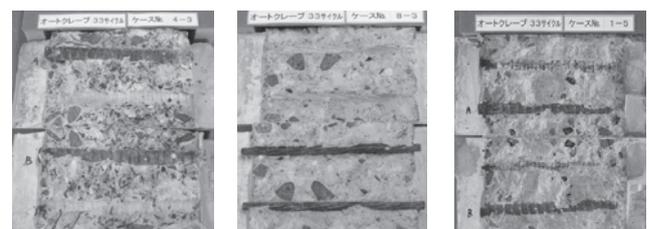
写真一3 海水練り海砂コンクリートの電子顕微鏡写真

て、海水を使用し、特殊混和剤とシリカフェームを使用した場合の透水係数は約 1/70 となり、著しく水密性が向上する。写真一3に海水と特殊混和剤、シリカフェームを使用したモルタルの電子顕微鏡 (SEM) 画像を示す。コンクリート中の空隙に多数の針状結晶 (エトリングイト) が生成されており、この結晶がモルタル中の大きな空隙を埋めることによってコンクリートが緻密化するものと考えられる。

(3) 補強材の腐食および変質

コンクリート中の塩化物イオン濃度が高いと、コンクリート中の鉄筋などの鋼材が腐食することが知られている。普通鉄筋、エポキシ樹脂塗装鉄筋、炭素繊維ロッドをコンクリート中に埋め込み、高温高压のオートクレーブと常温常圧の繰り返しによる鋼材腐食促進試験後の補強材の状況を写真一4に示す。33 サイクルの繰り返し (海洋環境 100 年に相当) 後に、普通鉄筋は全面的に腐食したが、エポキシ樹脂塗装鉄筋、炭素繊維ロッドは、腐食および変質は認められなかった。

このように、防食鉄筋や非腐食性の FRP ロッドを補強材として使用することにより、鉄筋コンクリート構造物にも海水や未洗浄の海砂を使用したコンクリートが適用できると考えられる。



写真一4 補強材の腐食促進試験結果

(4) 施工性の評価

海水と未洗浄の海砂を使用し、補強材としてエポキ



写真一五 海水練り海砂コンクリートを用いたL型ブロック試験体

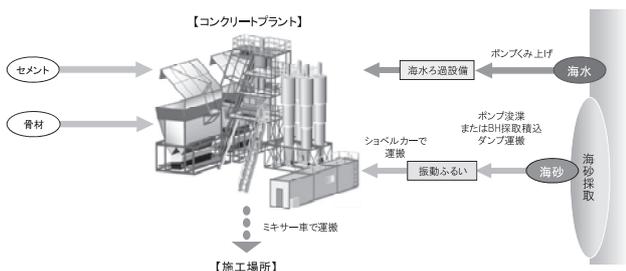
シ樹脂塗装鉄筋，炭素繊維ロッド，ステンレス鉄筋を使用したL型ブロック試験体を作製した（写真一五）。

海水練り海砂コンクリートは普通コンクリートと同様な方法で施工することが可能であることが確認された。また，内陸と海洋環境下に約2年間曝露したが，有害なひび割れ，鋼材の腐食等ほどのブロックにも認められていない。

(5) コストとCO₂排出量の評価

本土より沖合い約100kmの離島における擁壁工事（コンクリート打設量：1,000 m³，設計耐用年数：100年）を想定し，コンクリート工事の建設コストおよびCO₂排出量を試算した。両案とも，現地に設置した簡易プラント（図一四）でコンクリートを製造し，補強材にはエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用するものとした。現地の海水と海砂を使用した場合の建設コストは，真水，陸砂を本土より輸送船により運搬する場合に比べて，無筋構造物の場合，約10%縮減でき，鉄筋を有する構造物の場合，約6%縮減できる結果となった。また，海水海砂使用コンクリートのCO₂排出量は，真水，陸砂を本土より輸送船により運搬する場合に比べて約40%縮減できる結果となった。

材料供給が困難な地域の工事においては，現地の海水や海砂を使用することによって，建設コストやCO₂排出量の縮減が可能と考えられる。



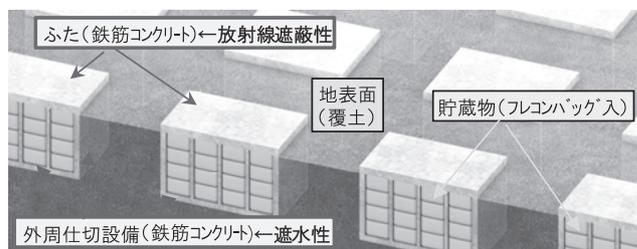
図一四 コンクリート製造プラントのイメージ

3. 海水練りコンクリート技術の応用・適用例

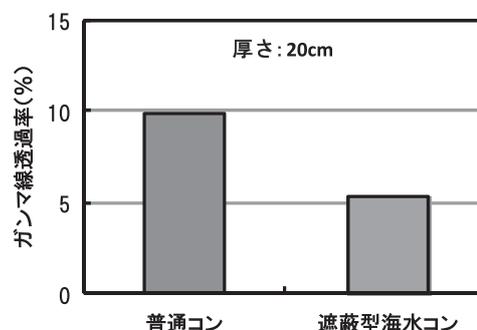
(1) 放射線遮蔽型海水コンクリート

放射性物質を含む土壌や廃棄物を中間貯蔵・処分する施設には，高い放射線遮蔽性と遮水性，耐久性が求められる（図一五）。放射線遮蔽型海水コンクリートは，水密性の高い海水練り海砂コンクリートを基に，重量骨材と特殊混和材を加えることで，人体への影響が高いガンマ線をも遮蔽できるコンクリートである。図一六に示す様に，厚さ20cmの場合，放射線を95%遮り，ガンマ線透過率は普通コンクリートの1/2に低減される。写真一六にガンマ線照射実験状況を示す。

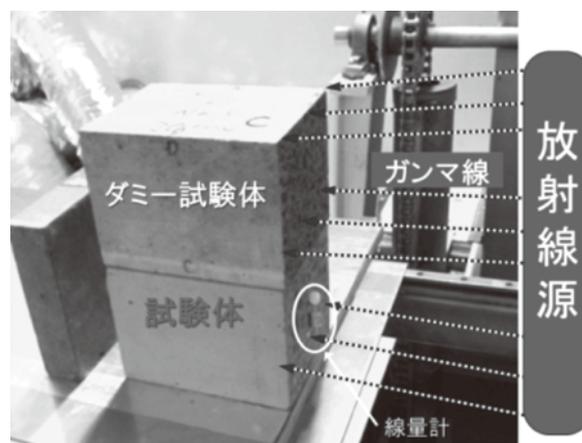
さらに，地下水が海水成分を多く含む沿岸域に建設される放射性廃棄物地層処分施設のコンクリートへの適用も有望と考えられる。



図一五 中間貯蔵施設（セル方式）のイメージ（文献3）に加筆



図一六 放射線遮蔽率の比較



写真一六 ガンマ線照射実験状況（JAEA 高崎量子応用研究所）

(2) 海水を使用した地盤注入工法⁴⁾

セメント系注入材には、真水を使用することが一般的だが、離島や沿岸部での工事、災害復旧工事において真水の入手が困難な場合がある。その様な条件では、海水を使った超微粒子の地盤注入工法が適用できる(図-7)。

特殊混和剤を使用することで流動性や地盤への浸透性の改善が図れ、圧縮強度、遮水性も向上する。地盤

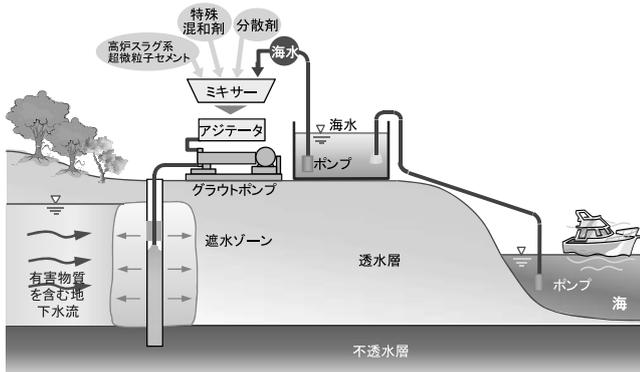


図-7 海水を使用した地盤注入工法

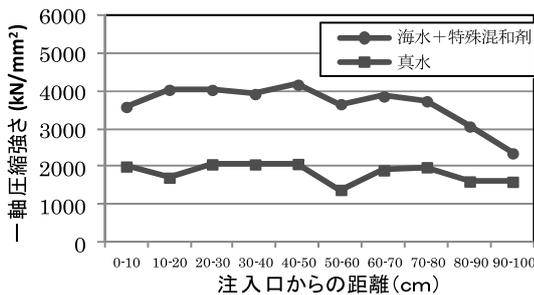


図-8 地盤注入試験による一軸圧縮強度測定結果

注入試験により一軸圧縮強さを測定した結果を図-8に示す。一軸圧縮強さは真水使用の場合の約2倍に増加し、透水係数は真水使用の場合の1/14に低下できる。

地山の補強, 液状化対策, 基礎地盤の透水性の改良, 遮水壁の築造工事など広範囲に使用可能であると考えられる。

(3) 震災コンクリートがらを利用した港湾構造物の築造

東日本大震災では宮城・岩手2県でも400万tの大量なコンクリートがらが発生し、その有効利用が課題となっている。一方で、今後、復興のためには大量のコンクリートが必要となる。

がらを用いた場合でも、練混ぜ水に海水を使用することにより、コンクリートの寒冷地での早期強度発現性, 長期的な高強度化など様々な品質向上効果があり, 工期短縮や耐久性の向上, コストダウンが期待できる。そこで、コンクリートがらを利用し、海水を練混ぜ水に用いて港湾構造物を築造技術の実証試験を行った。

震災コンクリートがらの利用コストを抑えるため、がらはできるだけ破碎や摩砕加工せずに使用することが望まれる。そこで、がらを利用し、海水練りモルタルを注入用モルタルとして使用したプレパックド・ポストパックドコンクリート工法を検討した。プレパックドコンクリート工法ではがらを型枠に詰めた後にモルタルを注入し、ポストパックドコンクリート工法では型枠にモルタルを充てんした後に、がらを投入する。それぞれの施工フローを図-9, 10に示す。

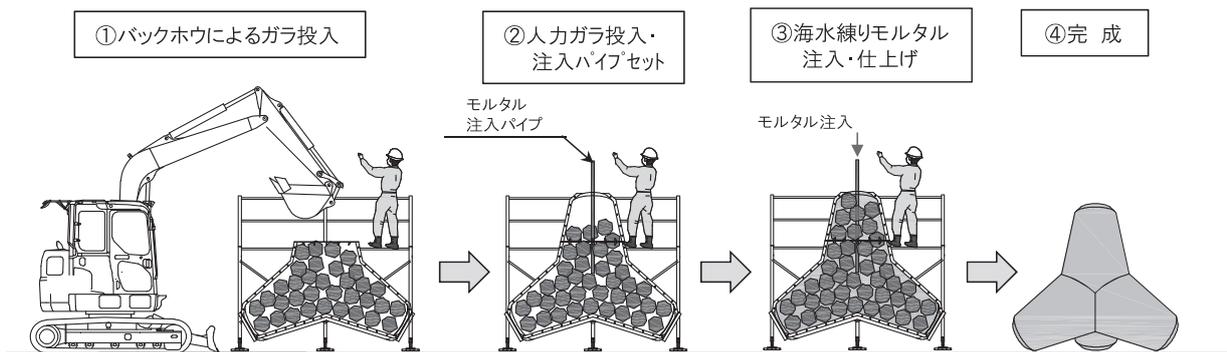


図-9 がらを利用したプレパックドコンクリート施工フロー

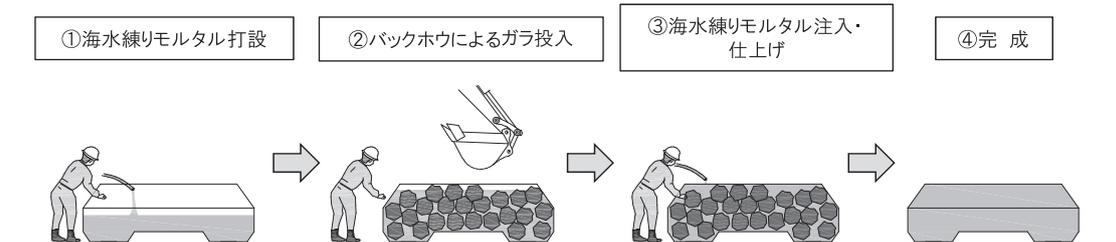


図-10 がらを利用したポストパックドコンクリート施工フロー

室内試験において800 mm角のプレパックドコンクリートを製造した。寸法300～500 mmのがらを使用したが、港湾用のブロックとして必要な強度を満足し、空隙の無い密実なコンクリートが製造可能であることが確認できた(写真一7)。

そこで、国土交通省による福島県相馬港の港湾復興工事において、本技術によって実際に消波ブロック、根固めブロックの試験施工を行った。施工状況を写真一8、9に示す。試験施工により本技術の有効性が実証され、今後、震災復興工事への適用拡大が期待される。

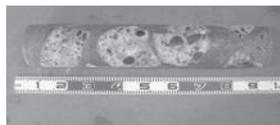
注入管



【モルタル注入状況】



【コンクリート外観】



【コア断面】

写真一7 がらを利用プレパックドコンクリート試験状況



がら充てん状況



モルタル注入状況

写真一8 プレパックド工法による消波ブロックの製作状況



モルタル注入状況



がら投入状況

写真一9 ポストパックド工法による根固めブロックの製作状況

4. おわりに

地球環境保全の観点から、海水を有効利用し、淡水の使用を抑制することは意義が大きい。また、海水を使用することにより、コンクリートの品質向上効果も得られる。その他に、離島や災害復旧工事などでは、材料運搬に伴うCO₂排出量、コスト削減を図ることも可能となる。このように、コンクリート材料として海水を利用することのメリットは多く、今後、さらに広範囲な適用を検討していきたい。

謝 辞

なお、震災コンクリートがらを利用した海水練りコンクリート技術の開発において、東北大学の皆川浩准教授にご指導いただいたことを感謝します。また、現地実証試験実施に協力いただいた国土交通省東北地方整備局港湾空港部、並びに小名浜港湾事務所に感謝致します。

JICMA

《参考文献》

- 1) I.A.Shiklomanov : Assessment of Resources and Water Availability in the World:WMO ed, 1996
- 2) 竹田宣典, 大即信明:海水および海砂を使用したコンクリートの開発, セメント・コンクリート, No.784, 2012.6
- 3) 環境省, 東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質による環境汚染の対処において必要な中間貯蔵施設等の基本的な考え方について, 2011.10
- 4) 阿部智彦, 松本 伸, 新村 亮, 金沢 智彦:海水を使用した地盤注入工法の開発, 第67回年次学術講演会概要集, 2012.9

【筆者紹介】

新村 亮 (しんむら あきら)
 (株大林組
 生産技術本部 技術第一部
 主席技師



久田 真 (ひさだ まこと)
 東北大学大学院 工学研究科
 教授



大即 信明 (おおつき のぶあき)
 東京工業大学大学院 理工学研究科
 教授

