

## 練混ぜ水に海水を使用したコンクリートに関する文献調査

## Literature survey in seawater mixed concrete

○松浦昂汰<sup>1</sup>, 伊藤祐仁<sup>1</sup>, 北嶋圭二<sup>2</sup>, 中西三和<sup>2</sup>, 安達洋<sup>3</sup>Kota Matsuura<sup>1</sup>, Yuto Itou, Keiji Kitajima<sup>2</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>2</sup>, Hiromi Adachi<sup>3</sup>

Abstract: This paper summarizes the possibility of using in seawater mixed concrete in a literature survey.

## 1. はじめに

人口増加および水需要の急激な増加, 地球温暖化などの気候変動で今後さらに水不足が深刻になると懸念されている. このような背景のもと, 日本コンクリート工学会は 2012 年に「コンクリート分野における海水の有効利用に関する研究委員会」を発足し, コンクリートの練混ぜ水に海水を使用することを検討している. 練混ぜ水に, 淡水の代替として海水を使用できれば, 世界の水不足問題に寄与することが期待される. そこで本論文では, 海水練りコンクリートの使用について考察することを目的として, 2014 年に発刊された報告書<sup>[1]</sup>を基に, その後明らかになった知見を含め, 文献調査した結果についてまとめる.

## 2. 海水が無筋コンクリートに与える影響

## 2.1 フレッシュ性状

海水練りの流動性は, 淡水練りよりも低下する場合があるが, 単位水量や混和剤の種類, 添加量を調整することで所定の流動性を確保できると報告されている. また, 凝結時間は, 淡水練りよりも早いと報告されている<sup>[1]</sup>.

## 2.2 硬化性状

## a) 普通ポルドランドセメント

普通ポルドランドセメントを用いた海水練りの圧縮強度は, 長期材齢においても淡水練りとほぼ同等で, 練混ぜ水の違いによる影響は少ないと報告されている<sup>[1]</sup>.

## b) 高炉スラグセメント

高炉スラグ B 種を用いたコンクリートの圧縮強度は, 海水練りのほうが淡水練りよりも高くなった. また海水練りは淡水練りと比較して, 高炉スラグ微粉末の反応率が向上し, 細孔構造が緻密化すると報告されている<sup>[2]</sup>.

## c) フライアッシュセメント

フライアッシュ B 種を用いたコンクリートの圧縮強度は, 海水練りのほうが淡水練りよりも高くなった. また, 海水練りは淡水練りと比較して, 生成される水酸化カルシウム量が材齢の経過とともに減少した. このことから NaCl が, ポゾラン反応の促進に寄与し, 細孔構造を緻密化すると報告されている<sup>[3]</sup>.

## 2.3 耐久性

## a) アルカリシリカ反応

アルカリシリカ反応 (以下 ASR と称す) とは, 骨材中のシリカとアルカリ金属イオンとの化学反応によって膨張性のゲルを生成し, コンクリートにひび割れを与える現象である. 海水練りの場合, アルカリ金属イオンである  $\text{Na}^+$  が増加するため ASR は促進すると考えられている.

川端らは, 高炉スラグを置換した海水練りコンクリートの ASR 膨張に関する研究を行っている. その結果, 高炉スラグの置換率 40% 以上で ASR 膨張, ASR ゲルの生成を抑制できると報告している<sup>[4]</sup>.

## b) 凍害

凍害とは, 寒冷地において, コンクリートに含まれている水分が凍結し, 膨張圧でひび割れを発生させる現象である.

海水練りコンクリートのように塩化物イオンを多く含んだコンクリートは, 凍結融解抵抗性が低下する. しかし, 高炉スラグ微粉末の使用や空気量を適切に確保すれば, 抑制できると報告されている<sup>[1]</sup>.

## 3. 海水が有筋コンクリートに与える影響

## 3.1 耐久性

## a) 塩害

塩害とは, コンクリートに内在する塩化物イオンが鉄筋の不動態被膜を破壊し, 鉄筋が腐食しやすくなる現象である. コンクリート標準示方書 [設計編]<sup>[5]</sup>では, セメント別に鋼材の腐食発生限界濃度の算定式を定めている. 海水の塩化物イオン量を  $3.0 \text{ kg/m}^3$  と仮定したとき, 練混ぜ水に海水を使用した時点でどのセメントを使用しても, 腐食発生限界濃度を超えてしまう. しかし, 西田らはセメントを高炉スラグに置換することによって, 塩化物イオン拡散係数および酸素透過速度を約 1/5 程度に低減できると報告している<sup>[6]</sup>. したがって, 練混ぜ水に海水を使用する場合, 高炉セメントのような塩害に対して, 高い抵抗性のある材料を用いると良いと報告されている.

1 : 日大理工・海建 2 : 日大理工・教員・海建 3 : 日大・名誉教授

## b) 中性化

中性化とは、コンクリート内に大気中の二酸化炭素が侵入し、コンクリートのアルカリ性が低下する現象である。また中性化が鉄筋位置まで到達すると、鉄筋の不動態皮膜が破壊され鉄筋の腐食が進行する。

中性化速度に関しては、海水練りと淡水練りで概ね同様だと報告されている。しかし海水練りの場合、中性化に伴い塩化物イオンの濃縮現象が起きる。これは腐食によって鉄筋から鉄イオンが溶出し、塩化物イオンを引き付けた可能性があるとして報告されている。また海水練りの場合、中性化位置が鉄筋位置の数ミリに達した時点で鉄筋の腐食が始まるため、かぶり厚さを多くとることが望ましいとされている<sup>[1]</sup>。

### 3.2 亜硝酸を含む特殊混和剤

亜硝酸は防錆作用があり、海水練りコンクリートの混和剤として亜硝酸カルシウム系のものを使用し、強度、防錆作用などに関する研究が行われている。強度に関して、海水+特殊混和剤を用いたものは淡水練り、海水練りコンクリートよりも強度が増加した。防錆作用に関して、亜硝酸塩を添加したものは、塩化物イオンの浸透に抵抗し、塩化物イオンを早期にフリーデル氏塩として固定化することが出来ると報告されている<sup>[7]</sup>。また新村らが行った4.8年間の飛沫帯曝露試験では、特殊混和剤の使用により、鉄筋の腐食を淡水練りのものよりも遅らせることが出来ると報告している<sup>[8]</sup>。

### 3.3 エポキシ樹脂被覆した鉄筋

鉄筋の防錆を目的に、鉄筋にエポキシ樹脂を被覆した海水練り鉄筋コンクリートの研究が行われている<sup>[8]</sup>。この研究では、エポキシ樹脂被覆の鉄筋が施工過程で塗装に軽微な傷が出来るとを想定し、3mm×3mmの範囲で塗装を除去した鉄筋を使用している。曝露期間は飛沫帯で4.8年間行い、鉄筋の腐食状況を確認するものであった。その結果、コンクリートのひび割れが有りの場合でも、腐食は全く生じず、塗装の除去部分にも腐食が生じることはなかった。また新村らは、海中曝露で無加工の鉄筋を用いた腐食試験も行っている。その結果、海中で行ったものは、鉄筋の腐食がほとんど進行しないと報告している<sup>[8]</sup>。

## 4. 製造・施工

海水練りコンクリートの製造・施工方法に関しては、概ね一般的なコンクリートと同様に行うことができる。しかし、海水の影響により製造設備が腐食する可能性があり、ステンレス鋼製や樹脂製の設備を用いて製造するなど、設備を防錆加工することが望ましいとされている。さらに鋼製設備は、海水の使用後に、淡水で

洗浄することにより腐食を抑制できる。また施工の際、海水練りコンクリートは、凝結時間が早いため、運搬時間やコールドジョイントなどに注意する必要がある。

## 5. 事例調査

報告書<sup>[1]</sup>では、海水練りコンクリートを使用した構造物の事例が9つの紹介されている。そのなかで、施工から60年以上経過した灯台のコンクリート表面におけるモルタル層は、激しい損傷が見られず、健全な状態を保っていると報告されている。

## 6. 結論

本論文で得られた知見を以下に示す。

### 6.1 無筋コンクリート

- 海水練りでも淡水練りと同等の強度になり、高炉スラグ、フライアッシュを使用すれば材料性能が向上し、同等以上の強度になることがわかった。
- 海水練りでも高炉セメントを用いて、適切な配合をすればASRや凍害を抑制し、海水練りコンクリートが使用できる可能性があることがわかった。

### 6.2 有筋コンクリート

- 特殊混和剤を用いた場合、飛沫帯であるが淡水練りよりも腐食の進行を遅らせることが出来たと報告された。今後は、飛来塩の影響を受けない環境下での腐食試験が必要である。
- 海水練りでも、エポキシ樹脂被覆した鉄筋は腐食しないため使用できる可能性があることがわかった。
- 海洋構造物の海中部のように、酸素供給のない環境下では、海水練りコンクリートが使用できる可能性があることがわかった。

### 6.3 製造・施工

- 製造設備の防錆対策や製造・施工を適切に行うことで、海水練りコンクリートの使用に問題がないことがわかった。

適切な配合をすることを基本に、無筋コンクリートでは、練混ぜ水に海水を使用することができる。また有筋コンクリートでは、酸素供給がない環境下や鉄筋の防錆加工をすることで練混ぜ水に海水を使用できる。特殊混和材に関しては、今後の検討次第で使用できる可能性がある。

#### 参考文献

- [1] コンクリート分野における海水の有効利用に関する研究委員会報告書、日本コンクリート工学会、2014
- [2] 片野 啓三郎他：「海水を使用したセメント硬化体の強度および内部組成に関する研究」、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、2013
- [3] 石川 嘉崇：「海水で練混ぜたフライアッシュコンクリートの強度発現特性」、セメント・コンクリート論文集、Vol.68、No.1、pp.315-322、2014
- [4] 川端 雄一郎他：「海水練りコンクリートのASR膨張に対する高炉スラグ微粉末の抑制効果」、セメント・コンクリート論文集、Vol.71、No.1、pp.323-330、2017
- [5] 土木学会：「コンクリート標準示方書〔設計編〕」、pp.156-162、2017
- [6] 西田 孝弘他：「練混ぜ水に海水を用いたコンクリートの物質移動抵抗性に関する検討」、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、2013
- [7] 松本 涼他：「亜硝酸塩の濃度や種類の違いがモルタル中への塩化物イオンの浸透および鉄筋防錆に及ぼす影響」、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、2014
- [8] 新村 亮他：「海洋環境曝露試験による海水練り鉄筋コンクリートの耐久性に関する研究」、コンクリート工学年次論文集、Vol.41、No.1、2019