

# 深海底に長期間暴露したセメント系材料の劣化挙動

○小林真理・高橋恵輔(宇部興産(株)), 川端雄一郎(港湾空港技術研究所), 牧田寛子・山中寿朗(東京海洋大学), 岩波光保(東京工業大学)

## 1. はじめに

新たな金属鉱物資源として海底鉱物資源が注目されており、近年、その開発に向けた様々な実証試験が行われている。海底鉱物資源はその多くが深海に賦存し、回収に関する技術開発や海洋環境及び海洋生態系へ影響評価など多くの課題が存在する。セメント系材料(コンクリート・モルタル)は経済性や耐久性から海底資源開発で回収時に必要となる様々な設備や設置物の基礎部等に利用されると考えられ、その耐水圧特性が研究されている<sup>1)</sup>。また、セメント系被覆材を利用した環境擾乱を抑制する資源回収技術が提案されており<sup>2)</sup>、その他にも用途は広がることが予想される。しかし、深海という低温で高水圧が作用する環境におけるセメント系材料の耐久性は十分に検証されていないという現状にある。そこで本研究では深海底に暴露したモルタル供試体の特性変化について物理化学的側面から検討を行った。

## 2. 実験概要

【供試体】ポルトランドセメントを結合材とするモルタル(以下、OPC)と三種類の結合材を混合したモルタル(以下、TB)を用いて供試体を作製した。OPCとTBとは、それぞれ構成する水和物相が大きく異なり、OPCはカルシウムシリケート水和物(以下、CSH)と水酸化カルシウム( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )で主に構成され、TBは主に、膨張性の水和物であるエトリングライト( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ )で構成される。

【供試体の暴露・浸漬条件】暴露試験は沖縄県多良間島の北約60km沖合海底、水深約1680mで実施した。設置個所周辺に熱水噴出域など特異な環境は存在せず、海水の化学組成はIAPSO標準海水と比べても大差なく<sup>3)</sup>、海水温は年間を通じて約4°Cと一定である。試験期間は、2015年12月から2017年8月までの608日間とした。供試体の設置は「なつしま」によるNT15-22次航海にて、回収は「よこすか」によるYK17-17次航海にて行われた。暴露試験の比較として、5°C恒温室内で同じ期間、人工海水を用いた浸漬試験を実施した。

## 3. 結果・考察

608日間深海底で暴露および人工海水に浸漬した供試体を図1に示す。人工海水に浸漬した供試体と比べ、OPC、TB共に深海底で暴露した供試体の劣化が確認できた。OPCは供試体両端が崩壊しており、表面は触ると崩壊するような脆弱な状態であった。一方、TBでは供試体表面に膨張ひび割れが確認されたが、OPCのように表層の崩壊は生じていなかった。圧縮強さについて、OPC、TB共に著しく低下した。このような物理的特性の変化は、既往の文献で報告されている一般的な海洋環境(浅海域)での劣化と比べて顕著であり、さらに、結合材の種類によって耐久性及び劣化挙動が異なることが明らかとなった。

物理的特性が変化した原因について、化学組成およびXRD結果からOPCの場合、CSHや $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のカルシウムが溶脱し、組織構造が脆弱なマグネシウム系の水和物が生成することが主な原因であると考えられた。TBの場合は大きなエトリングライトの結晶生成による膨張及び疎な空隙の増加による強

度低下が原因と考えられた。ただし、TBを構成するエトリンガイトは深海環境において比較的安定であったため、OPCのような表層崩壊が生じなかったと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究の結果から、低温高圧という特殊環境下ではセメント系材料の劣化が比較的早く進むことが明らかとなった。また、結合材の種類によっても劣化挙動は異なり、既存の技術が深海環境では適応できない可能性が示唆された。深海におけるセメント系材料の利用に際しては、カルシウムの溶脱および膨張性水和物の生成を制御するような材料設計やモルタル・コンクリート構造体の被覆、材料特性の変化を考慮した構造体の設計などが求められると考えられる。しかしながら、深海底に暴露することにより生じるセメント系材料の特性変化のメカニズムは未だ解明出来ておらず、今後、圧力と温度が水和物の存在形態や結晶性に与える影響などを評価し、深海でのセメント系材料の利用を検討していく。

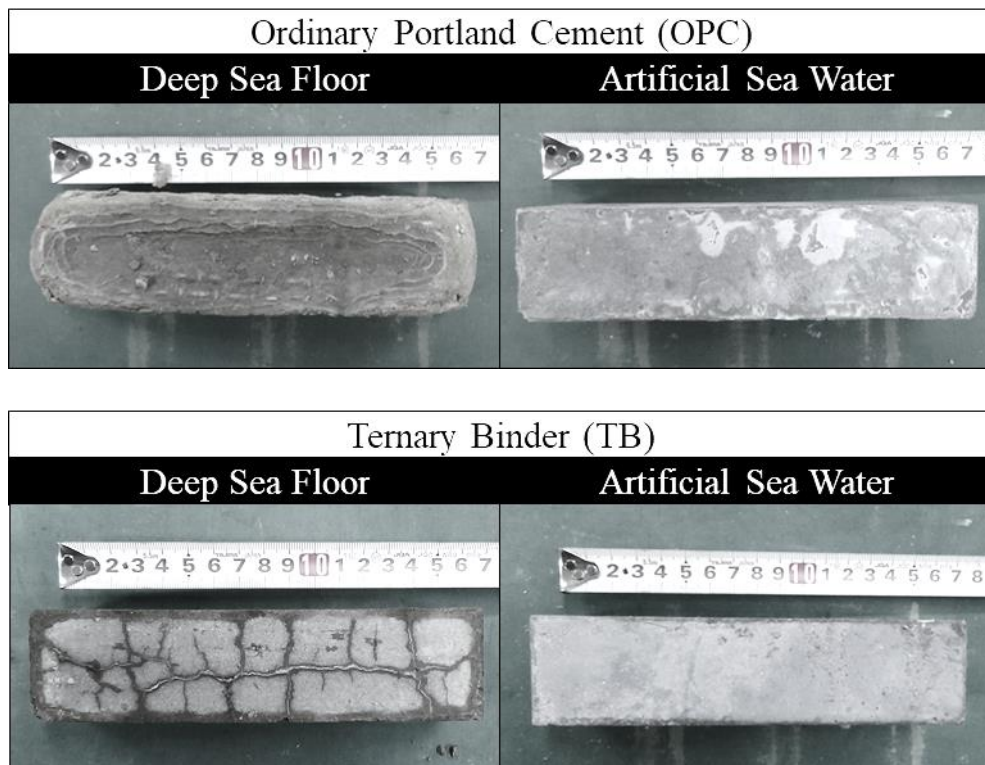


図1 深海底および人工海水に608日間暴露した供試体の様子

#### 参考文献

- 1) 堀尚ほか: 高水圧作用下におけるコンクリートの破壊挙動に関する基礎的研究、土木学会論文集、B3(海洋開発)、Vol.71、No.2、pp.I-179-I-184 (2015)
- 2) 高橋恵輔ほか: 海底熱水資源開発に伴う環境擾乱のリハビリテーション、ブルーアースシンポジウム2015、pp.144-145 (2015)
- 3) T. Yamanaka et al.: The Tarama Knoll: Geochemical and Biological Profiles of Hydrothermal Activity, Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal System, pp.497-504 (2015)