海上部コンクリート構造物のポップアウト現象の考察

本州四国連絡高速道路　正会員　大川　宗男
本州四国連絡高速道路　宮口　典博
本州四国連絡高速道路　正会員　○坂本　佳也

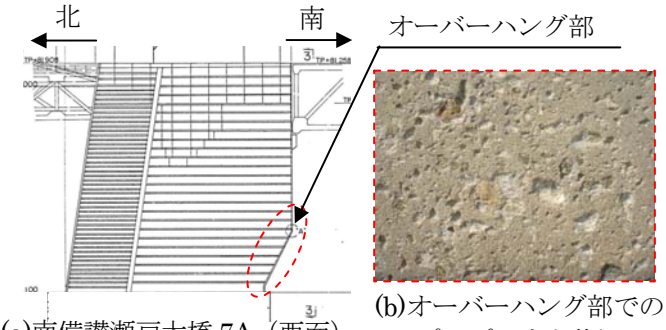
1．はじめに

瀬戸中央自動車道における最大の海中基礎である南備讃瀬戸大橋7Aアンカレイジは，橋軸方向76m，橋軸直角方向55m，海面上の高さ72.7mの大きさをもつ．また，躯体は北面が下部に向かって張り出すように傾斜しているのに対し，南面は下部から上部に向かって海上部に張り出すオーバーハング構造となっている．

この南面のオーバーハング部において，骨材の脱落や骨材の表層剥離等のポップアウト現象が確認された．そこで，このポップアウト現象の原因を特定するために，外観調査及び室内試験（EPMA分析，粉末X線回折，化学法，促進膨張試験）を実施した．本報告では，その調査結果及び劣化原因について報告する．

2．南備讃瀬戸大橋7Aの現況

南備讃瀬戸大橋7A南面のオーバーハング部は，雨水による表面の洗い流しがされにくい形状であり，また年間を通じて西南西からの風が卓越していることから，飛来塩分等の影響を受けやすい環境にある．これは，H20年度に実施した全塩化物イオン濃度試験で，北面・西面基部の表面付近で約1.5kg/m^{3}に対し，オーバーハング部の基部で約22.3kg/m^{3}という結果からも明らかである．このオーバーハング部において，写真－1に示すようなポップアウト現象が確認された．ポップアウトの状況として，コンクリートの剥離による骨材の露出，骨材が薄皮状に剥離，骨材の脱落等が確認された．



(a)南備讃瀬戸大橋 7A（西面）　(b)オーバーハング部でのポップアウト状況

写真－1　南備讃瀬戸大橋 7A の劣化状況

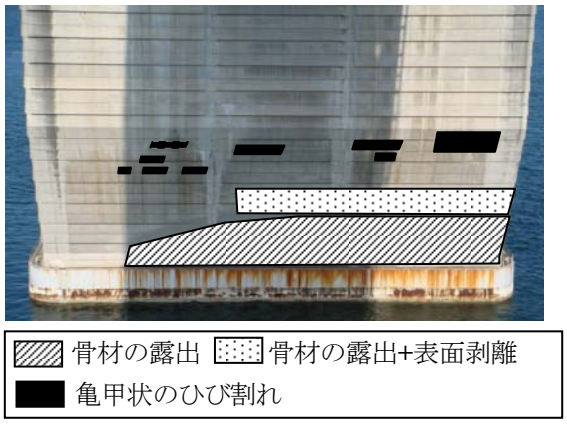
このポップアウト現象が生じる原因として，①化学的侵食，②ASR，③凍害，④中性化が考えられる．しかしながら，現地が瀬戸内の温暖な気候に位置することや過去の調査で中性化があまり進行していないことを考慮し，今回は①化学的侵食，②ASRを対象とした調査を行うこととし，外観調査及び室内試験を実施した．外観調査はアンカレイジ基部からの目視及びオーバーハングに沿うように設置した仮設足場上からの目視により実施した．室内試験は表－1に示す項目について実施し，使用する試料はアンカレイジ基部の劣化部にて採取した．

表－1　室内試験

調査項目	調査数	試験内容
EPMA分析	1	定性分析・定量分析・面分析
粉末X線回折	2	セメントペースト・骨材・析出物を対象
化学法	2	建設省総プロ法
促進膨張試験	6	JCI-DD2

3．調査結果

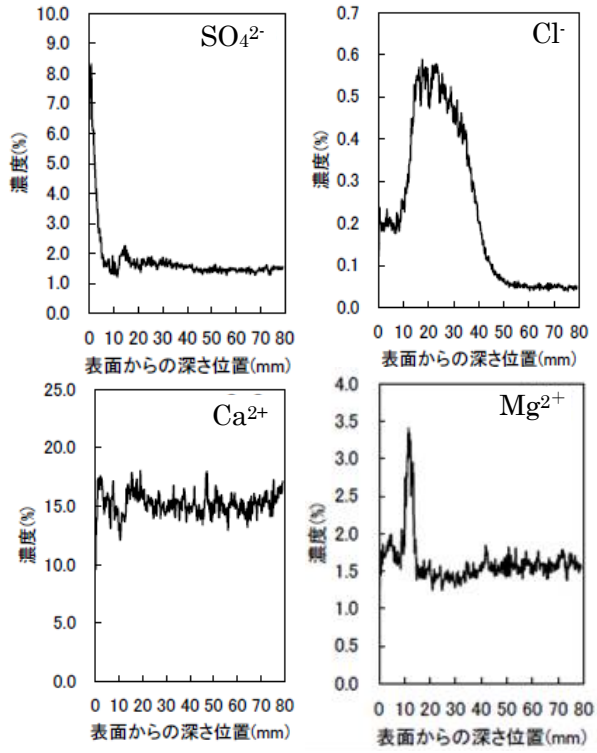
外観調査結果を図－1に示す．図－1より，高さ毎に変状が異なり，オーバーハング下部付近ではポップアウト現象が見られる一方で，オーバーハング上部ではASRの特徴である亀甲状のひび割れが確認された．



図－1　外観調査結果

室内試験結果として，EPMA分析（面分析）結果のうち，SO_4^{2-}，Cl^-，Ca^{2+}，Mg^{2+}の濃度分布を図－2に示す．図－2より，各成分で濃度分布が異なるのは各成分の拡散係数の違いによるものであり，これらの濃度分布は海水による化学的侵食の典型例[1)]と一致する．

キーワード：コンクリート，ポップアウト，複合劣化，ASR，塩害，化学的侵食
連絡先：〒762-0025　香川県坂出市川津町下川津4388-1　本州四国連絡高速道路　坂出管理センター　TEL（0877）45-5511



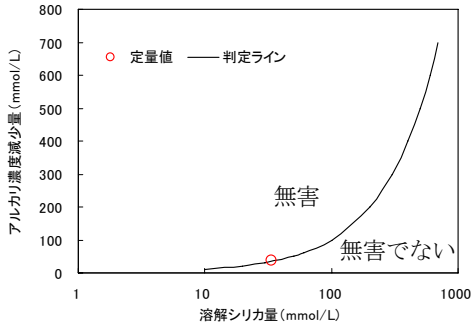
図－2　EPMA 分析（面分析）結果

次に，鉱物学的評価の点から実施した粉末X線回折の結果を表－2に示す．粉末X線回折は表層付近の劣化部及び内部の健全部について，セメントペースト及び骨材，表層付近の劣化した骨材周囲の白色生成物を対象に実施した．

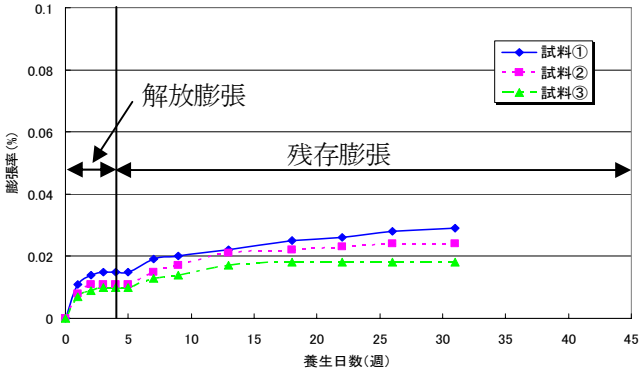
表－2　粉末 X 線回折結果

対象		同定された物質
セメントペースト	劣化部（表層）	カルサイト（$CaCO_3$）、バテライト（$CaCO_3$）、石こう（$CaSO_4$・$2H_2O$）、ハライト（NaCl）、石英、長石、雲母
	健全部（内部）	カルサイト（$CaCO_3$）、石こう（$CaSO_4$・$2H_2O$）、水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）、モノサルフェート（$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$）、石英、長石、雲母
骨材	劣化部（表層）	石英、長石、雲母
	健全部（内部）	石英、長石、雲母
白色生成物		石こう（$CaSO_4$・$2H_2O$）、石英、長石、雲母

表－2のように，セメントペーストの劣化部では石こう及びハライトが，表層付近の白色生成物では石こうが確認され，図－2で表面付近のSO_4^{2-}が高濃度であることを踏まえると，海水に含まれるSO_4^{2-}が供給されることで生成されたものと推測される．また，骨材は劣化部・健全部ともにASRを引き起こす可能性のある石英，長石，雲母[2)]が含まれていることが確認された．



図－3　化学法結果



図－4　促進膨張試験結果（南備讃瀬戸大橋 7A 南面）

図－3に化学法の結果を示す．図－3より，化学法では無害と判定されたが，結果が判定ライン近傍であることから，ASRの可能性を否定できない結果となった．

ASRによる今後の劣化進行の確認として実施した促進膨張試験結果を図－4に示す．図－4より，31週時点において，膨張率は0.02～0.03%程度であり，有害とされる0.05%に満たないことから，短期間での顕著な劣化が生じる可能性は低い．しかし，試料①は膨張が収束していないため，長期間に渡り劣化が進行する可能性は考えられる．

4．まとめ

南備讃瀬戸大橋7Aの劣化原因を特定するため，外観調査及び室内試験を実施した結果，以下のことが分かった．

- ポップアウトが生じた箇所は海上部に位置し，さらにその形状により雨水による洗い流しがされないことから，飛来塩分の影響が大
- 変状はポップアウトに加え，亀甲状のひび割れ
- コンクリート内部に海水に含まれる成分が見られ，また海水中の硫酸塩で生成された石こうを確認
- 骨材中にASR原因物質を含有

上記の結果から，今回確認された劣化は，海水による化学的侵食＋ASR＋乾湿繰り返しの複合劣化によるものである．この対策として，現在海水等のコンクリート内部への浸入を抑制するため，ひび割れ補修及び表面被覆を順次実施している．

参考文献

1）（社）セメント協会：C&C"CEMENT&CONCRETE"エンサイクロペディア[セメント・コンクリート化学の基礎解説]，p201，1996.

2）（社）日本コンクリート工学協会：作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会報告書，p118，2008.