

運輸省港湾技術研究所 正会員 大越 康史
 同 上 正会員 大即 信明
 同 上 正会員 横井 聡之

1. まえがき

最近、国内においても、反応性骨材に起因するコンクリートの劣化が問題となってきた。当所では、およそ20年前より、コンクリートの劣化、特に耐海水性について研究を行なっている。本報告は、当所で実験中の供試体において発見された骨材反応によると見られるコンクリートの劣化の事例およびその原因に関する検討結果について述べたものである。

2. 劣化の現象

劣化が発見された供試体は、1973年に当所において製作されたφ10×20cmの円柱供試体である。供試体製作には、セメントとして早

表-1 コンクリートの示方配合

設計基準 強度 σ_{ck} (kgf/cm^2)	粗骨材 最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単位量 (kgf/m^3)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	A E 減水剤
500	20	5±1	4±1	37	40.5	167	460	710	1080	1.84

強ポルトランドセメント、粗骨材および細骨材としては、それぞれ川砂利（砕石を含む）および川砂を使用した。供試体の配合を表-1に示す。なお、供試体の養生の際には蒸気養生（60℃，4時間）を行った。供試体は、1973年より当所の海水循環水槽（ポンプにより1日に2回海水を給排水し、人工的に潮汐作用が行われる水槽）の海中部（常に海水中に没している部分）、感潮部（満潮時には水中に没し、干潮時には水面より上になる部分）および陸上部（直接海水には触れないが、潮風の影響を受ける部分）に置かれており、暴露期間は約11年である。

海水浸漬後約6年経過したところで、まず海中部の供試体の多くにひびわれがあることが発見された。その後感潮部の供試体にも劣化が発見されたが、現在の被害状況は、海中部が最もひどく、供試体の大多数に写真-1のような大きなひびわれが見られる。続いて被害の大きいのは感潮部で、供試体の半数近くに同様の劣化が見られる。また、陸上部の供試体では、ほとんどの供試体に0.04mm前後の細かいひびわれが発生していた。海中部および感潮部の劣化した供試体は、ひびわれ幅が2mmを超えるものもあり、中には、崩壊してしまっている供試体さえあった。

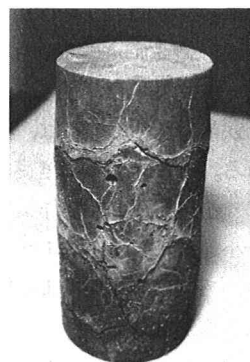


写真-1 供試体劣化状況

3. 原因の追究

劣化が観察された供試体について走査型電子顕微鏡観察（SEM観察）、X線回折、化学分析等を行った。供試体のポップアウト部中心にあった鉱物のSEM観察およびX線回折結果より、供試体の製作に用いた骨材には、ローモンタイト（濁沸石）が含まれていることが判明した。ローモンタイトは、コンクリート用骨材として使用された場合、乾湿繰り返し時の体積変化による粉状化および水の存在下におけるセメント中のCaとの反応によるゾルの生成のためコンクリートの劣化を招くと言われている。また、コンクリート中のローモンタイトは、 Ca(OH)_2 と反応しカルシウムアルミネート水和物を生成するが、特に硫酸塩や塩化物の存在下では、反応が促進され、エトリンガイトやフリーデル氏塩等を生成するとも言われている。

供試体モルタル部の 表-2 供試体モルタル部の
化学分析結果（酸可溶 酸可溶成分百分率）

およびX線回折分析結果を表-2および表-3に示す。化学分析結果において、供試体の膨張部においては、CaOの減少およびMgO、SO₃の増加が特徴的である。CaOの減少は、Ca(OH)₂の溶出が主原因であり、MgO、SO₃の増加は、ブルー

項目	健全部	膨張部
SiO ₂	23.76	22.18
Al ₂ O ₃	6.88	6.35
Fe ₂ O ₃	3.56	3.31
CaO	58.67	46.44
MgO	2.07	11.70
SO ₃	3.51	8.97
Na ₂ O	1.44	0.96
K ₂ O	0.11	0.10

サイト（Mg(OH)₂）およびエトリンガイト（6CaO・Al₂O₃・3SO₃・31H₂O）の生成が原因と見られる。また、X線回折においてもほぼ同様の結果が得られている。したがって、供試体が海水に触れる機会が多いほど劣化が激しいことと考え合わせると、コンクリートの劣化は、海水中のマグネシウムイオンおよび硫酸イオンの侵入が原因の1つと考えられる。

4. 類似の被災例

当所の調査において、上記の海水循環水槽に暴露した供試体のように海水によってコンクリートの劣化が促進されたと思われる被災例が発見された。写真-2は、ある海岸護岸前面の消波ブロックであるが、海に近い位置に置かれたブロックほどコンクリートの劣化が激しいことがわかる。このような海水が関与するコンクリートの劣化は、現在までの調査で数例存在することがわかった。

5. ローモンタイト試験

当所では、上記の供試体の劣化が発見された後、ローモンタイトを含む骨材を用いた円柱供試体を製作し、暴露試験を開始した。供試体は、1981年に製作され、海水循環水槽の海中部および感潮部に浸漬された。供試体の配合、養生等の条件は、上記の供試体とほぼ同一である。暴露後約3年が経過したところで供試体の一部を取り出し、外観観察、X線回折分析およびSEM観察を行なったが、今のところひびわれなどの異常は認められず、分析試験においてもエトリンガイト、フリーデル氏塩などの生成が若干見られる程度で、比較用に製作したローモンタイトを含まない骨材を用いた供試体との差は、まだ明確にはあらわれていない。

6. おわりに

供試体の劣化については、現在調査が進行中であり、原因はまだ詳しくは解明されていないが、海水によって劣化がさらに進行する骨材反応もある。当所では特に、海水に関係のある骨材反応について検討を進めて行く予定である。

7. 参考文献

- ・丸章夫、柳田力：岩石鉱物学・地質学的にみた骨材の選択，コンクリート工学，Vol.19, No.11, 1981
- ・丸章夫：鉱物学的立場からみた骨材の品質，セメント・コンクリート，No.415, Sept. 1981
- ・尾野幹也，永嶋正久，斎藤征士：骨材の化学的安定性について，セメント技術年報 35，昭和56年

表-3 供試体X線回折結果

試料	測定結果
ポップアウト中心部の鉱物	Lau.
膨張部内部のモルタル	Ett.
ひびわれ面のモルタル	Ett. Bru.
健全部のモルタル	Fri. Ett.

略号		
Bru.	Brucite	Mg(OH) ₂
Ett.	Ettringite	6CaO・Al ₂ O ₃ ・3SO ₃ ・31H ₂ O
Fri.	Calcium Aluminate Chloride Hydrate	(フリーデル氏塩)
		3CaO・Al ₂ O ₃ ・CaCl ₂ ・10H ₂ O
Lau.	Laumontite	CaAl ₂ Si ₄ O ₁₂ ・4H ₂ O



写真-2 骨材反応による
コンクリートの劣化例