

廃棄物を主原料とした混合セメント硬化体の海洋暴露について

鹿児島工業高等専門学校 ○萱場 将士、三原 めぐみ、長山 昭夫

鞘脇 和也、中野 大樹、前野 祐二

1. はじめに

本研究室では、焼却灰などの廃棄物を主原料とした混合セメントの作製と、この混合セメントで作製した硬化体の研究を行ってきた。本論では、この硬化体を漁礁や消波ブロックなど海洋構造物としての活用を目指した。特にこの硬化体（モルタル）が海洋環境において強度・化学的な影響を明らかにした。

2. 供試体作製と養生

本混合セメントは、表 1 に示すように川辺焼却灰、骨灰、石炭灰、廃石膏の廃棄物とセメントを原料として微粉碎・混合だけで混合セメントを製造した。混合セメントと細骨材と粗骨材を重量比 1:2:3、水セメント比 40%で混合・締固めで供試体を作製した、この硬化体（コンクリート）供試体を主に骨材の混合割合を変えた。No. 1～No. 3 の供試体は原料割合が焼却灰 44%、骨灰 6%、石炭灰 14%、セメント 29%、廃石膏 6%とし、添加剤添加割合が異なるだけである。No. 4 は水セメント比が 35%とし、砂の混合割合を減少させた。コンクリート供試体の養生場所は、コンクリート養生室と海中、飛沫で 1 年間養生した。

3. 実験方法

養生させたコンクリート供試体 1 年間後、コンクリート供試体の動弾性係数と強度試験をした。動弾性係数は、ヤング率測定器を用いて一次共鳴振動数を測定し、動弾性係数を求めた。一般には、コンクリートの非破壊検査の手段として利用されるが、圧縮強度試験と併用することで圧縮強度と動弾性係数との比較ができ、コンクリート供試体の強度変化がより明確になると考えた。

4. 養生室・飛沫・海中の違いによる強度変化

No.1～No.4 すべてにおいて養生室に 1 年間養生したものが最も強度が低く、飛沫、海中いずれも強度が増加している。また海中での強度が一番大きい結果となった。動弾性係数は強度が増加すると大きくなる。そのため、強度と同様に海中養生の動弾性係数が最も大きくなる。しかし、まだ 1 年だけなので長期にしては短くさらに養生を続けるべきである。参考文献 1) で、普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、高炉セメントで作製した供試体は強度低下がないが、アルミナセメントで作製した供試体は強度低下の傾向を示す。図 2 に圧縮強度と動弾性係数の相関を示す。図に示すように、圧縮強度と動弾性係数はほぼ比例している。相関係数 $R=0.757$ とやや強い相関が得られた。すなわち、動弾性係数で強度推定が可能であろう。

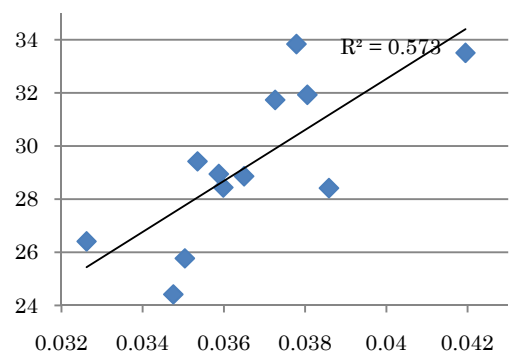
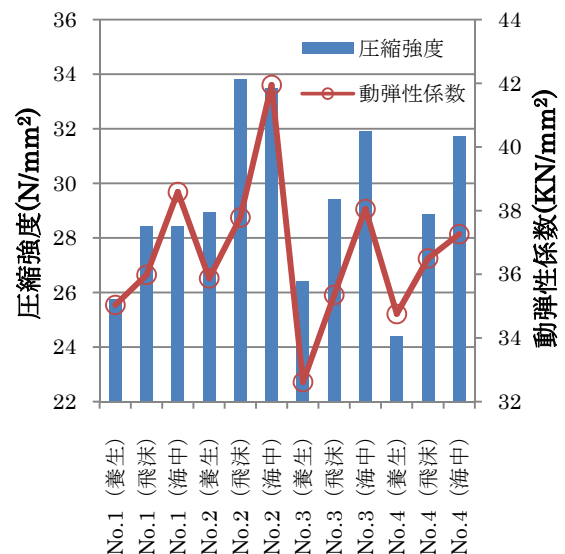


図2 圧縮強度と動弾性係数の相関

5. 化学組成と強度変化

表 2 に蛍光 X 線分析装置により得られた、養生した供試体の化学組成を示す。なお、このデータは 4 供試体の平均値である。表に示すように供試体内部の化学組成は養生の違いによる変化はない。このことよ

り, 内部には浸透せず影響を与えないと考えられる. 海中表面の化学組成の変化を見てみると MgO の値が飛沫に比べて 1.82 から 4.16 と大きく増加している. 海水中にマグネシウムイオンは塩素イオンなどの 1/10 程度と, 比較的に含まれている. そのためマグネシウムが供試体の表面に析出し, 酸化物が生成されたと考えられる. マグネシウムは水と反応し容積の大きな水酸化マグネシウムとなり, 空隙を充填している可能性がある. よって MgO がコンクリート表面と化合することで強度が増したと考えられる. 一方, Cl の含有量は 0.23%増加している. Cl は最も海水溶存量で多い塩害の原因とされている成分であるが変化量は少なかった. CaO が減少したのは Ca が Mg よりイオン化傾向が大きいので, Mg と Ca が入れ替わった可能性がある.

6. X 線回折による定性分析

X 線回折パターンを図 3 に示す. 図に示すように

供試体は, Quartz(SiO_2), Calcite(CaCO_3), Ettringite, CSH によって構成されていることが分かる. 硬化体の表面において, 養生(黒)・飛沫(赤)・海中(青)別の鉱物組成量を比較すると表面の CSH 量が増加していると考えられる. X 線回折パターンにおいても MgO の増加が明確であることから, MgO の化学組成に着目して研究を進める必要があるようである.

7. EPMA による面分析

EPMA(電子線マイクロアナライザ)による面分析の分析結果を図に示す. 面分析結果は, 白色～赤色(含有量が多い)部分がその元素の含有を示す. 面分析(Mg)は, 硬化体表面に白色～赤色部分があり Mg が多く含有していることが分かる. 更に Ca の減少といった反応も見られ, これらは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ がイオン化し, そこへ海中の $\text{Mg}(\text{OH})_2$ が析出したことが考えられる. Al が多く見られるのは, 硬化体中の Al が増加し, Ca が減少しているようである.

8.まとめ

本研究の硬化体は, 海洋条件により強度増加を示すことが明らかになった.

【参考文献】 濱田秀則, TarekUddin MOHAMMED, 山路徹:30 年間常時海水中に暴露されたコンクリートの諸性質について, Vol.54, No.8, pp.842-849, 2005.

表 2 飛沫・海中で養生した供試体の化学組成

No.1, No.2, No.3, No.4 の平均データ						
主な成分	分析値 (%)					
	養生表面	養生内部	飛沫表面	飛沫内部	海中表面	海中内部
CaO	42.6	27.3	41.48	42.58	37.5	41.93
SiO ₂	37.9	50.1	37.1	37.93	38.43	37.63
Al ₂ O ₃	7.95	9.95	7.87	7.9	8.14	7.95
Fe ₂ O ₃	5.87	5.92	5.47	4.8	5.58	4.93
P ₂ O ₅	2.04	1.42	1.91	1.52	1.8	1.71
MgO	0.884	1.62	1.82	1.01	4.16	0.99
K ₂ O	<0.0001	0.426	1.38	1.32	1.34	1.36
SO ₃	0.882	1.2	1.11	1.54	1.1	1.82
TiO ₂	1.07	0.916	0.76	0.69	0.77	0.85
Cl	0.0956	0.625	0.44	0.23	0.5	0.25
ZnO	0.254	0.148	0.2	0.12	0.18	0.13
MnO	0.0469	0.055	0.11	0.1	0.12	0.1

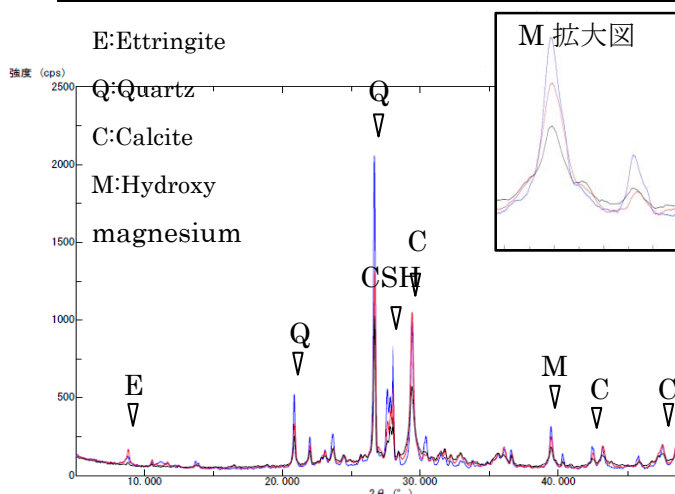


図 3 養生・飛沫・海中の表面の違いによる X 線回折

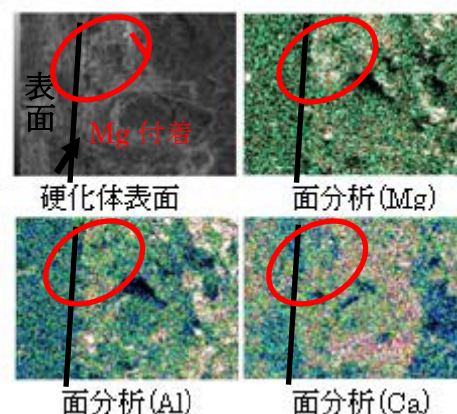


図 4 EPMA による面分析結果