

住友セメント(株) 正○高橋守男 坂田憲逸 小川健志 銀山 功

1. はじめに 近年、海洋・港湾工事に於いてセメント系固化材を用いた深層混合処理工法が数多く採用されている。改良土は、その改良形状により、海水あるいは未改良土に表面をさらされることになる。セメント硬化体は、一般に海水により浸食をうける。本研究では二つの異なるタイプのセメント系固化材を用いて、浸食の進み方を改良土を実際に海中に浸漬して調べた。また同時に $MgSO_4$ 水溶液中に浸漬する促進試験も実施した。

2. 試験方法 試料土は、千葉県内で採取した海成粘土(CH)である。その物性を表-1に示す。固化材は、エトリンジャイトの非生成タイプ(PC)と生成タイプ(TL)の二種類を用いた。いずれも住友セメント(株)製。試料土及び固化材の化学組成を表-2に示す。固化材の添加量を100, 200, 300, 400, 500 kg/m^3 とし、W/C 100% のミルワにして加えた。コンクリート用強制ミキサーで充分混合し、型枠に衝撃を加えて締固め充填した。7日間湿空養生し、それから水道水、2% $MgSO_4$ 水溶液(以上室内、20℃)および海中(千葉県君津市、海面下10m)に同時に浸漬を開始した(5.56.5.28)。水道水中浸漬を標準試験、 $MgSO_4$ 水溶液中を促進試験とした。供試体寸法は、室内試験では $\phi 5 \times 10$ cm で、海中浸漬のものは $\phi 7 \times 14$ cm である。所定の浸漬日数後(14, 28, 91, 180, 365日)、外觀変化、寸法変化、重量変化、一軸圧縮強度(q_u)変化および中性化深さの進行を調べた。一軸圧縮強度試験はJISに従った。中性化深さは、(浸漬開始時の外径-フェノールフタレン赤変部の径)/2 とした。寸法変化は直径の変化によった。

3. 試験結果及び考察 圧縮強度変化 図-1は標準試験の結果であり、図-2は、海中及び促進試験の結果である。TLの場合強度は初期からスムーズに低下するが、PCの場合91日以後である。表-3は、標

表-1 試料土の物性

無液含水比 (w_n %)	Ip	液性指数 (U_c)	比重 Gs	粒度(%)	PH	有機物量 (K_2O+Na_2O)	粘土鉱物
65.3	25.5	55.8	2.540	10.3 砂分 46.5 シルト分 43.2 粘土分	7.65	4.10	主に カオリン

表-2 試料土及び固化材の化学組成 (%)

	ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	total
試料土	10.5	54.7	16.7	6.1	2.3	2.7	2.0	2.7	1.7	103.8
PC	0.8	22.4	4.5	3.2	63.6	2.1	1.8	0.3	0.6	99.4
TL	3.5	18.8	4.5	2.7	58.7	2.5	8.2	0.3	0.5	99.8

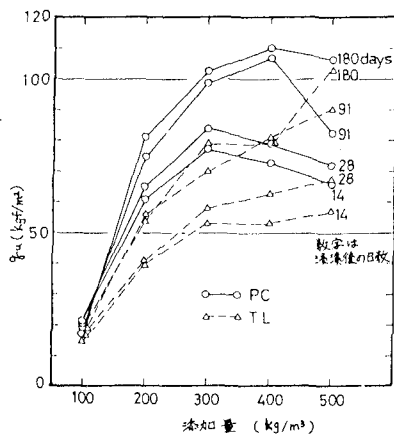


図-1 一軸圧縮強度(標準試験)

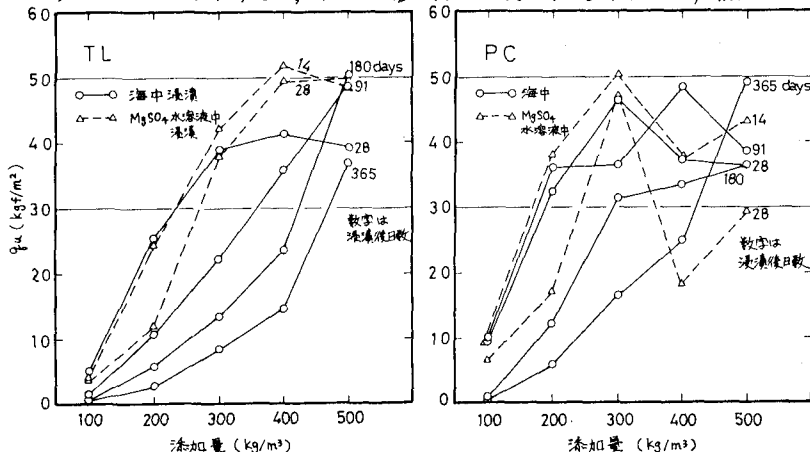
図-2 一軸圧縮強度(海中浸漬および $MgSO_4$ 水溶液浸漬)

表-3 強度比(対標準試験)

固化材	浸漬日数	強度比(%)					
		海中浸漬	促進試験	28	91	180	365
TL	1	30.5	9.1	3.6	3.2	28.6	20.1
	2	61.9	19.5	10.8	5.1	61.2	29.2
	3	66.9	32.0	16.9	10.8	79.1	65.1
	4	65.9	44.1	29.6	17.3	97.5	79.1
	5	58.9	53.6	48.6	33.6	85.8	75.2
PC	1	45.6	51.1	2.1	6.3	46.1	30.4
	2	50.0	48.5	14.9	7.5	67.8	26.0
	3	55.2	37.0	30.6	16.2	64.9	56.3
	4	47.2	45.3	30.6	21.5	51.5	47.4
	5	50.6	46.6	33.8	42.9	65.6	40.8

* 番号は添加量順で(1)添加量は $100 kg/m^3$

準試験に対する強度比を示すが、いずれの場合も初期からかなり、浸漬水による浸食をうけていることがわかる。低い添加量ではTLの方が強度比が低い。寸法変化及び中性化の深さ 図-3は海中浸漬の場合の寸法変化率と中性化深さの関係を示すものである。供試体表面の欠落は殆どなかったため、左上に伸びる直線は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaSO_4 の溶出が中性化の主因であることを、また右上に伸びる直線はクラックの進展が主因であることをそれぞれ意味していると考えらる。添加量 300 kg/m^3 以上から固化材による違いが現れ、PCは膨張傾向が大となる。

中性化の進行速度 図-4は、海中浸漬の場合の中性化深さと、浸漬日数の関係を示す。特に大きなクラックが入ったりしなければ、 $x = A + B\sqrt{t}$ が、かなり良くフィットすることがわかる。係数A、Bは、固化材の種類及び添加量によるものである。Bは速度に相当するものである。TLの方がBが大きく中性化速度が高いのは固化体組織の違いによると考える。外観変化 外見の形状変化を5段階評価したものが表-4である。海中浸漬では添加量が多いほど変化が大きい。またTLの方が変化は小さい。促進試験によるとPCの場合著しく膨張し崩壊するがTLでは比較的良好である。

浸食機構 表-5は中性化部と非中性化部のX線回折結果である。TLでは、エトリンジャイトが、浸漬前に殆ど生成されているので、 CaSO_4 の析出及び $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶出による組織弛緩が浸食の主な機構で、PCでは、エトリンジャイト生成によるクラック進展が主であると考えらる。中性化が全くなくても外観が変化し、強度比が低下することもあるので、浸食の程度は、それらを総合的に評価すべきものと考えらる。

4. あとがき 固化材の種類により浸食のされ方が異なることがわかった。エトリンジャイト生成タイプの方が中性化速度が高いが、外観変化を含めて考えると、比較的良好で、非エトリンジャイト生成タイプの場合、著しい形状変化が急激な浸食につながる事が考えらる。固化材添加量が少なくなると浸食速度がかなり高くなることから、耐用年数に合わせて、改良土の寸法・形状及び適当な固化材の種類の選定とその添加量を決めてやらなくてはならない。

表-5 改良土のX線回折結果 (MgSO_4 2%水溶液中 91日浸漬)

固化材	位置	Etz.	Monosul.	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Calcite	クワモライト
TL-4	A	++	---	+++	---	---	---
	B	++	---	++	---	---	---
	C	+++	---	---	---	---	---
PC-4	A	++	---	+++	---	---	---
	B	+++	---	---	---	---	---
	C	+	---	---	---	---	---

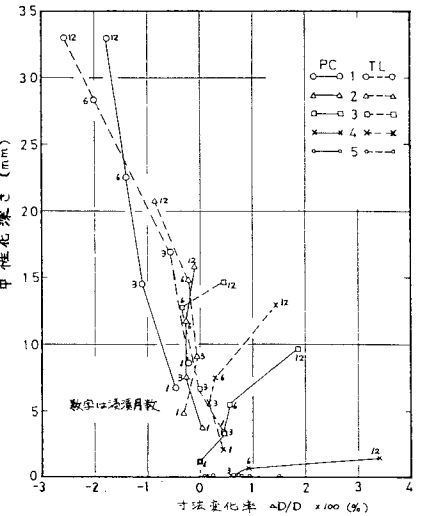
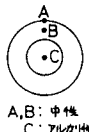


図-3 寸法変化率と中性化深さ(海中浸漬)

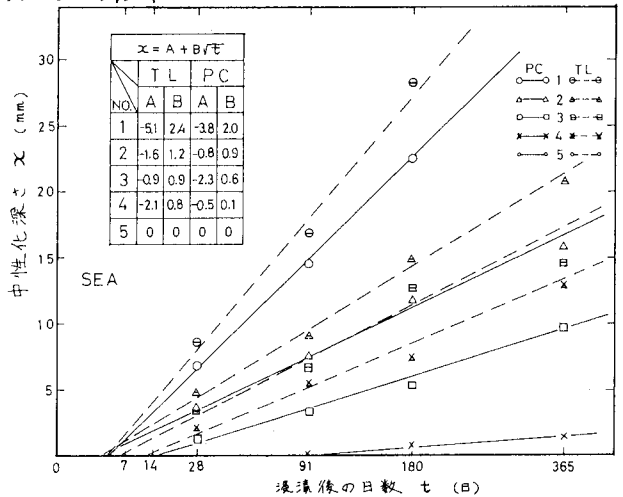


図-4 中性化の進行(海中浸漬)

表-4 外観変化

種類 固化材	浸漬 日数	海中浸漬				促進試験			
		28	91	180	365	7	14	28	180
TL	1	5	5	5	5	5	4	4	2
	2	5	5	5	5	5	5	3	2
	3	5	5	5	5	5	4	4	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	4	4	4	3	5	4	4	4
PC	1	5	5	5	5	5	4	3	2
	2	5	5	5	5	5	3	3	2
	3	4	3	3	3	4	3	3	2
	4	4	3	3	2	4	3	3	1
	5	5	4	3	3	4	4	4	1

* 外観評価基準 *

5(優) 4(良) 3(可) 2(不可) 1(崩壊)

形状変化 無 微細クラック (≦2mm) 大径クラック (>2mm) 表面破壊 崩壊