

鳥取大学 正員 工博 西村新蔵
 ○鳥取大学 正員 工博 木山英郎
 鳥取大学 正員 工修 阪田豪次

1 まえがき

最近、わが国においても海洋開発に対する関心が急速に高まりつつある。海洋開発における材料の果たす役割を考えると、陸上構造物にいはば港湾・海岸構造物における土木材料のそれ以上に重要な役割を果たすことが容易に推察でき、さらに海洋開発の進展に伴って、海洋の様々な環境条件や海洋構造物の機能に適合した新しい材料の開発も必要に行われるものと考えられる。しかし、将来出現するであろう海洋構造物においても、鋼材やコンフリートは主要構造材料としての地位を占めるものと考えられるが、そのためには、これらの主要材料が海洋開発の目的にかなう、その機能を十分に発揮しうるものであることを確認しておくなければならない。

本研究は、コンフリートの耐久性のうち、とくに海岸や海洋構造物にコンフリートを利用するに当たって、あらかじめ検討を加えておくなければならない重要な項目の一つである耐硫酸塩性を採り上げ、さらに耐久性が十分に説明されていない人工軽量骨材コンフリートを研究対象に含めた。すなわちコンフリートが硫酸塩溶液中の浸漬と乾燥との繰返しによって、どのような劣化の過程を経るか、また、この試験方法が耐硫酸塩性促進試験として利用できないものか、さらには耐硫酸塩性の判定にどのような特性値を採らなければならないかを検討したものである。

2 試験概要

本試験における実験条件を表-1に示す。

(1) 材料および配合 セメント：市販の普通ポルトランドセメント、骨材：普通骨材(N)、人工軽量骨材(L, M)、混和剤：標準型減水剤、骨材の含水状態：Nは表乾(5.5.D)、L, Mは飽乾(0.D)と表乾、配合条件：スラング^{*} = 9~12cm、容気量 = 5±1% 水セメント比 45, 55% (合計8種類)

(2) 試験方法 本試験においては、Na₂SO₄の10%溶液を用い、原則として1週間毎一度の割合で濃度のチェックを行った。

米国開拓局規定の「コンフリートの乾・湿の繰返しに対する抵抗性試験方法」を参考として、20℃のNa₂SO₄ 10%溶液浸漬(理潤)と80℃乾燥の繰返しをコンフリートに与えた。骨材Nに対する予備試験の結果を考慮に入れて、乾・湿の繰返しサイクル数は2日サイクル(24時間溶液浸漬, 24時間乾燥)とし、これとは別に、水セメント比55%の全コンフリートに対し淡水浸漬、乾燥2日サイクルを与え、ブランクテストとした。供試体方法は7×7×30cmで、検査7日からの溶液浸漬を開始し、原則として1~2サイクルごとに潤潤状態(浸漬終了、乾燥開始直前)と乾燥状態(乾燥終了、浸漬開始直前)における供試体重量、および振動に

表-1 実験条件

要 因	水 準
(1) 骨材種類	普通骨材：N 人工軽量骨材：L, M
(2) 骨材含水状態	表乾：5.5.D 飽乾：0.D
(3) 水セメント比(%)	45, 55
(4) 潤潤(飽和硫酸溶液浸漬)と乾燥(炒乾)のサイクル	N-55：1日, 2日, 3日 N-45, L, M：2日
(5) フランテスト(水中浸漬と乾燥の繰返し)	各骨材比% = 55% 2日1サイクル
(6) 測定項目	動弾性係数 (7×7×30cm) 長さ変化 (〃〃) 圧縮強度 (φ10×20cm)
(7) 測定条件	潤潤状態(浸漬終了、乾燥開始直前) 乾燥状態(乾燥終了、浸漬開始直前)

より動弾性係数、木イットモア型ひずみ計による長さ変化の測定と、供試体が崩壊あるいは大い
ひびわれが発生するまで継続した。供試体数は、一配合につき3個ずつで、結果はその平均値で表わ
し、さらに3個の供試体のうち少なくとも1個が測定不能となったときは崩壊とみなし、残りの供試
体による測定値を崩壊時の値とした。

3 測定結果および考察

測定は乾燥状態、湿潤状態のそれぞれについて行ったが、これら測定値の間にはほとんど差がな
く、より乾燥状態における値は供試体間のばらつきがかなり大きいことを考慮して、考察においては
湿潤状態の測定値に対して行った。供試体崩壊時における測定値を表-2に示す。

(1) 重量の変化

乾・湿の繰返しによる

供試体重量の変化は、水
中浸漬と溶液中浸漬とで
その傾向はかなり異なる。
その一例を図-1に示す(
 $W_c = 45\%$ 、骨材含水状態
S.S.D)。水中浸漬の場合
には、いずれのコンクリ
ートにおいても重量減少
する。硫酸塩溶液中に
浸漬した場合、骨材
の種類や含水状態によ
って重量変化の様相は
かなり異なる。

(2) 相対動弾性係数

$W_c = 45\%$ 、骨材含水状態 S.S.D. にお
ける相対動弾性係数の変化を図-2に示
す。水中浸漬の場合の動弾性係数の低
下率は極く慢いもので、30サイクル
程度の水中浸漬と乾燥の繰返しによ
って、コンクリートはほとんど損傷を
受けにくいと判定できる。硫酸塩溶
液の浸漬と乾燥を繰返した場合、骨
材 N においては、サイクル初期から速

表-2 供試体の崩壊時における測定値

コンクリートの種別		骨材含水状態	Wc (%)	乾燥状態		相対動弾性係数 (%)		長さ変化 (膨張) $\times 10^{-4}$			重量変化 (増減) (%)			
				日数 (日)	日数 (日)	溶液中浸漬	水中浸漬	溶液中浸漬	水中浸漬	溶液中浸漬	水中浸漬	溶液中浸漬	水中浸漬	
N	45	S.S.D.	2	24	48	30 (43)	98	30.6	4.8 (4.8)	-0.2	4.8	0.4	-0.8	1.2
			1	25	25	49 (40)			4.3 (8.1)			2.0		
			3	16	58	40 (68)			3.4 (5.2)			-1.0		
	55	S.S.D.	2	23	46	25 (36)	95	26.3	4.4 (4.4)	-0.3	4.5	10.5	-1.0	9.5
			3	16	58	40 (68)			3.4 (5.2)			-1.0		
			3	16	58	40 (68)			3.4 (5.2)			-1.0		
L	45	O.D.	2	16	32	72 (74)			2.3 (2.1)			4.8		
			1	16	32	71 (73)	95	74.7	2.4 (2.6)	0	2.4	1.0	-3.6	4.6
			2	16	32	70 (74)	99	70.7	3.5 (3.1)	-0.2	3.7	5.0	-1.0	6.9
	55	O.D.	2	16	32	68 (75)	92	74.0	2.9 (3.0)	0	2.9	0.7	-3.7	4.4
			2	16	32	68 (75)	92	74.0	2.9 (3.0)	0	2.9	0.7	-3.7	4.4
			2	16	32	68 (75)	92	74.0	2.9 (3.0)	0	2.9	0.7	-3.7	4.4
M	45	O.D.	2	32	64	75 (59)			2.1 (2.2)			11.2		
			1	32	64	67 (70)	89	75.2	3.1 (3.8)	0.1	3.0	8.8	-8.9	17.7
			2	32	64	73 (64)	89	82.0	2.4 (2.3)	0	2.4	10.3	-4.7	15.0
	55	O.D.	2	32	64	48 (57)	85	56.5	4.2 (4.3)	0.2	4.0	15.2	-9.2	24.4
			2	32	64	48 (57)	85	56.5	4.2 (4.3)	0.2	4.0	15.2	-9.2	24.4
			2	32	64	48 (57)	85	56.5	4.2 (4.3)	0.2	4.0	15.2	-9.2	24.4

※ 供試体3個のうち少なくとも1個が測定不能の場合は崩壊したとき

※※ () は乾燥終了時、その他は浸漬終了時の測定値を示す

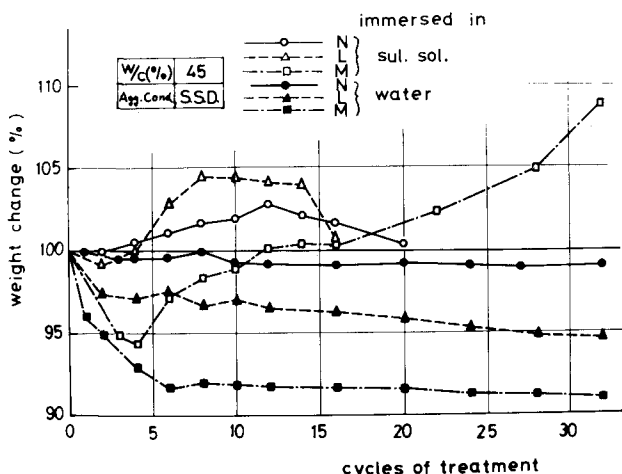


図-1 重量変化の一例

的に動弾性係数が低下し、崩壊時にその低下率が急激に大きくなる。一方、L、Mにおいては、初
期数サイクルの間にはほとんど動弾性係数は低下せず、その後Nの場合と同様の傾向を示して崩
壊に至る。表2に示した水中浸漬の相対動弾性係数と崩壊時のそれとの比を見ると、Nは約30%、L
Mは約70%とかなり軽量コンクリートの方が硫酸塩による物性の変化は小さいとみられる。しかし別

観察から考へると、軽量コンフリートにおいては、物性の変化が小さくても崩壊に至ることがあるのに対して、普通コンフリートでは、かなりの物性変化が現われるまで崩壊に至らないとの判断を下すこともできる。

(3) 長さ変化

乾 = 45%, 骨材含水状態 5.5.

D. における長さ変化の測定結果を図-3に示す。

水中浸漬と乾燥を約30サイクル繰返した場合、骨材Nでは全期間を通じて収縮を呈するのに対して、骨材L、Mにおいては初期数サイクルで収縮を呈し10~15サイクル以降は膨張に転ずる。

溶液浸漬と乾燥を繰返した場合では、いずれのコンフリートにおいても膨張を呈するが、膨張量と崩壊時サイクル数との間には明確な関係は見出されない。しかし、全般的に考へると、Nの長さ変化はL、Mに比べてかなり大きく現われる。

(4) 乾・湿の繰返しによる耐硫酸塩性指数について

前述した試験結果のうち、供試体の重量変化は実験条件あるいは使用骨材によってあまり差がなく、一般的な傾向は見出されなかった。そこで、相対動弾性係数と長さ変化について、これらの測定値がコンフリートの耐硫酸塩性を判定する際の特性値として採用しようかどうかを検討してみる。表-3は、一定の長さ変化(膨張量: 2×10^{-4})に達する際のサイクル数と相対動弾性係数、および一定の相対動弾性

係数(80%)におけるサイクル数と長さ変化を示したものである。これらの基準特性値は、測定結果から崩壊の近傍と見なせる値として選んだものである。全般的に、骨材Nが最も早く、Mが最も遅く基準に達する長さ変化を達し、さらにNとMはLよりも基準長さ変化における相対動弾性係数は小さい。一方、相対動弾性係数が80%に達するときのサイクル数および長さ変化は、コンフリートの種類によってかなり異なり一般的傾向は見出されない。そこで、2つの異なる特性値を合成して、凍結融解試験における耐久性指数に相当する指数(耐硫酸塩性指数と併用、S.D.F.)をもととして考へを加える。この指数は次式で求める。

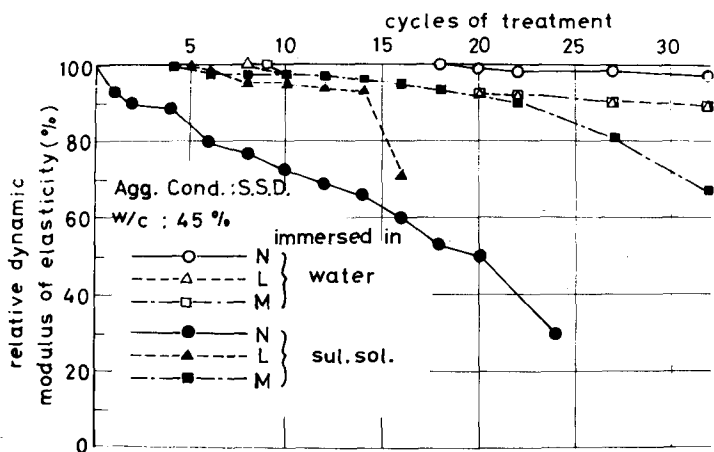


図-2 動弾性係数の変化

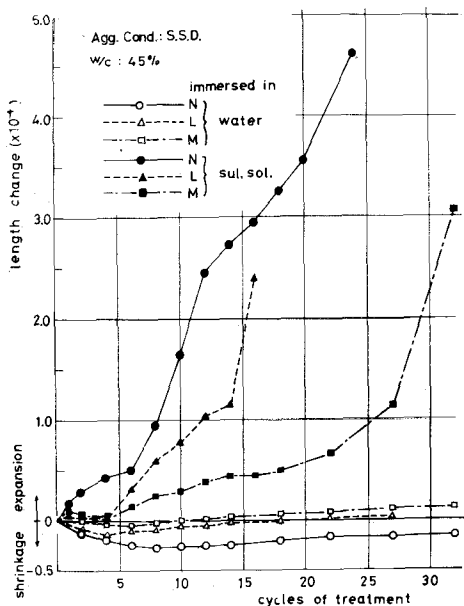


図-3 長さ変化

$$S.D.F.(1) = Pn/m, \quad S.D.F.(2) = Pn/lm$$

ここで、 P ：乾・湿の繰返しサイクルにおける相対動弾性係数(%)、 n ：供試体が崩壊したときあるいは一定の長さ変化に達した際のサイクル数、 m ：所要のサイクル数(32サイクル)、 l ：崩壊時あるいは一定値に達したときの長さ変化($\times 10^{-4}$)である。表-4に上式で求めた硫酸塩指数を示す。崩壊時の特性値を用いて求めた指数

表-3 基準長さ変化あるいは基準相対動弾性係数に対する特性値の比較

は、 $S.D.F.(1) : N = 25\%$, $L = 25\%$, $M = 66\%$, $S.D.F.(2) : N = 6 \times 10^2$, $L = 13 \times 10^2$, $M = 25 \times 10^2$ となり、長さ変化が 2×10^{-4} に達したときの指数は、 $S.D.F.(1) : N = 21\%$, $L = 29\%$, $M = 66\%$, $S.D.F.(2) : N = 16 \times 10^2$, $L = 19 \times 10^2$, $M = 22 \times 10^2$ となり、これらの結果から L は N の約1.5倍、 M は N の約3倍の耐久性を示すことがわかる。

また、相対動弾性係数とサイクル数と特性値に達した場合よりも、それと長さ変化を考慮した方が、さらに崩壊時の特性値と採用した場合の方が耐久性指数の差が大きくなり、耐硫酸塩性を比較するのに便利であることがわかる。

供試体の損傷の状態との関係を考えて見ると、 N の長さ変化が

さいわいのか、相対動弾性係数の低下が著しく、これが急激に崩壊につながる。一方 M は長さ変化と相対動弾性係数の低下が徐々に進行し、そのため強度細りの傾向が強く現われたいと考えられる。なお、 L の損傷の過程は N と M のほぼ中間の様相を呈した。

本研究においては、乾燥と湿潤の物理的作用と、硫酸塩の化学的作用が共に働くとき、コンフリートは急激に劣化することを明らかにした。今後は、試験条件の検討のめざす、コンフリートを構成する材料の特性との関連についても詳しく検討するとともに、その耐久性の評価の方法についても検討を加えて行きたい。

コンフリートの種類別			1サイクルの日数(日)	長さ変化(崩壊) 2×10^{-4}			相対動弾性係数 80%		
骨材種類	W/C	骨材含水状態		サイクル数	相対動弾性係数(%)	重量増(%)	サイクル数	長さ変化(崩壊) $\times 10^{-4}$	重量増(%)
N	45	S.S.D.	2	11	71	2.5	6	0.5	1.1
			1	17	72	2.6	11	0.5	1.9
	55	S.S.D.	2	12	83	2.4	18	3.1	-0.3
			3	14	73	-0.7	13	1.5	-0.4
L	45	O.D.	2	15	83	5.4	15	1.9	5.4
		S.S.D.		15	83	2.5	15	1.8	2.5
	55	O.D.	2	14	85	6.3	15	2.5	6.3
		S.S.D.		14	86	3.9	15	2.3	2.3
M	45	O.D.	2	31	77	10.8	30	1.7	10.4
		S.S.D.		29	75	5.9	27	1.2	4.5
	55	O.D.	2	25	91	7.5	30	1.9	9.4
		S.S.D.		28	57	14.3	23	1.1	12.9

表-4 耐硫酸塩性指数

コンフリートの種類別				SDF(1) = $\frac{Pn}{m}$ (%) (M=32)		SDF(2) = $\frac{Pn}{ml} (\times 10^2)$ (M=32)	
骨材種類	W/C	骨材含水状態	1サイクルの日数(日)	崩壊時	長さ変化 2×10^{-4} のとき	崩壊時	長さ変化 2×10^{-4} のとき
N	45	S.S.D.	2	22.5	24.4	4.9	12.2
			1	38.3	38.2	8.9	19.1
	55	S.S.D.	2	17.9	31.1	5.3	15.6
			3	20.0 (24.7)	32.0 (31.4)	5.8 (6.2)	16.0 (15.7)
L	45	O.D.	2	36.0	38.9	15.7	19.5
		S.S.D.		35.5	38.9	14.8	19.5
	55	O.D.	2	35.0	37.1	10.0	18.6
		S.S.D.		34.0 (35.1)	37.7 (38.2)	11.7 (13.1)	18.9 (19.1)
M	45	O.D.	2	75.0	74.5	35.7	37.3
		S.S.D.		67.0	68.0	21.6	34.0
	55	O.D.	2	73.0	71.0	30.4	35.5
		S.S.D.		48.0 (66.0)	50.5 (66.0)	11.4 (24.8)	25.3 (33.0)

() : 平均値を示す