

報告

[1126] 練り混ぜ水として海水を使用したアルカリ骨材反応試験について

正会員 ○ 齋藤 武 (東北電力 電力技術研究所)

正会員 氏家久芳 (東北電力 電力技術研究所)

古屋隆弘 (日本原燃産業株式会社)

1. まえがき

コンクリート構造物の早期劣化原因の1つとしてアルカリ骨材反応(以下AARと略記する)が問題視されており、被害の実態調査や室内試験などが広く行なわれている。このAARに関する各種試験法の1つにモルタルバー法がある。同法の場合、水酸化ナトリウムなどの添加剤を用いて使用セメントのアルカリ含有量(R<sub>2</sub>O)を調整するケースが多いため、試験時には事前にベースとなるセメントのR<sub>2</sub>Oを把握する必要がある。また、同法は判定までに比較的長時間を要するという短所があることも指摘されている。そこで、このモルタルバー法の本質を失なうことなく、簡便でかつ早期判定が可能な方法を見出すべく種々の検討を行なっているが、このうち練り混ぜ水として海水を用いたところ良好な試験結果が得られたので、その概要について報告する。

2. 試験方法

同一骨材を用いた海水練りのケースと、添加剤(NaOH)を加えセメントのR<sub>2</sub>Oを1.2%に調整したケースとの伸び率比較を行なった。

(1) 使用材料

a. 骨材; 使用した骨材7種類の岩石名と、化学法(ASTM C-289)による判定区分を図-1に示す。

b. セメント; 試験に使用したセメントのR<sub>2</sub>Oを表-1に示す。

c. 練り混ぜ水; 調整R<sub>2</sub>O = 1.2%のケースには水道水を使用した。表-2は海水練りのケースに使用した海水の主成分分析結果である。

d. 添加剤; 水酸化ナトリウム溶液(10%)を使用した。

(2) 配合; 各材料の組み合わせおよび配合を表-3に示す。

(3) 供試体寸法; 1 × 1

× 11 1/4インチ

(4) 供試体作成・養生および測定; いずれもASTM C-227に準拠させた。

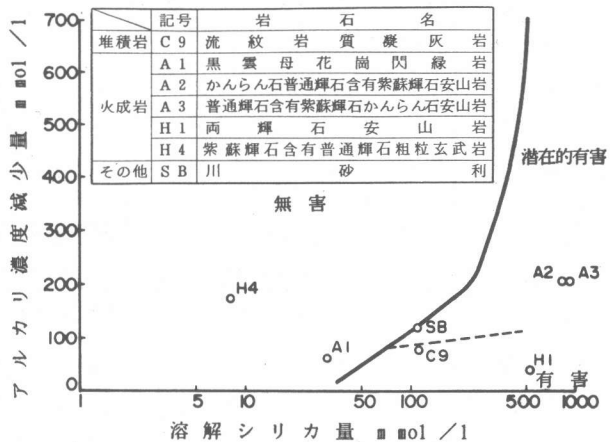


図-1 化学法による骨材の有害度判定区分

表-2 海水の主成分分析結果

項目	試料名 単位	海水 A
pH	-	8.1
電気伝導率	μS/cm	51.2
Na	mg/l	10,800
K	mg/l	399
Ca	mg/l	377
Mg	mg/l	1,290
Sr	mg/l	846
Cl	mg/l	19,200
SO <sub>4</sub>	mg/l	2,600
Br	mg/l	64.7
BO <sub>3</sub>	mg/l	21.7
Si '2	mg/l	2.46

表-1 使用セメント

記号	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	R <sub>2</sub> O (%)
A	0.12	0.49	0.44
B	0.12	0.58	0.50
C	0.49	0.52	0.83

なお、フロー値（JIS R5201 による）は、海水練りのケースが 201～210mm、そして調整R<sub>2</sub>O = 1.2%のケースが204～216mm となっており、各組み合わせとも3～7mm海水練りの方が大きい値を示している。

### 3. 試験結果

#### (1) 各骨材の伸び率特性；NaOH

添加により、R<sub>2</sub>Oを段階的に変化させたセメントとの組み合わせによる各骨材の伸び率の一部を図-2に示す。図中の破線は材令3ヶ月、また実線は材令6ヶ月における伸び率をそれぞれ示す。各骨材ともR<sub>2</sub>Oの上昇に伴い、伸び率も

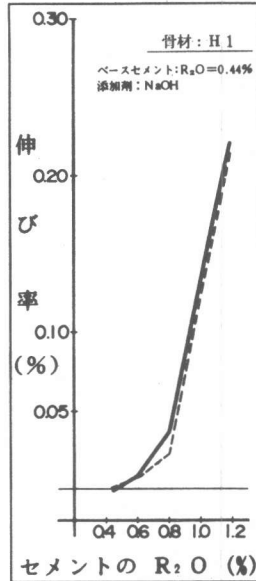
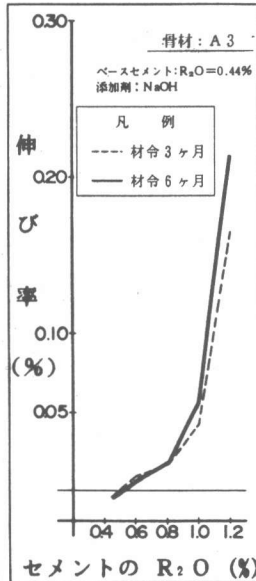
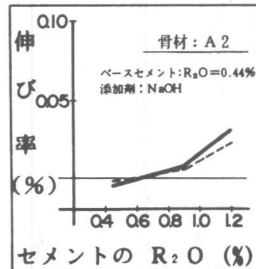
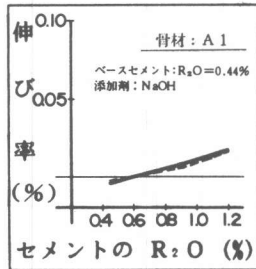


図-2 R<sub>2</sub>Oと伸び率との関係

増加するが、特にA3とH1はその傾向が顕著である。両者とも材令3ヶ月においてすでに0.1%を超過する伸び率を示しているが、そのときのR<sub>2</sub>OはA3が1.1%、そしてH1が0.9%であり、この値は材令6ヶ月においても大差ない。また、材令6ヶ月においてR<sub>2</sub>O = 1.2%の場合には、両者とも0.2%を超過する伸び率を示している。一方、その他の5種類は図中のA1、A2と同様、微小な伸び率にとどまった。これらのことから、7種類の骨材のうちA3とH1を反応性を有する有害骨材と判定した。

(2) 海水練りと調整R<sub>2</sub>O = 1.2%の伸び率比較；表-3に示した配合により、作成した供試体の材令15ヶ月までの伸び率を骨材別に図-3に示す。図中の実線は調整R<sub>2</sub>O = 1.2%、破線は海水練りの伸び率である。調整R<sub>2</sub>O = 1.2%のケースにおいて伸び率が限界値を超えたのは、A3とH1を用いたケースで、いずれも材令2ヶ月で0.10%を超過した。また、海水練りのケースでも調整R<sub>2</sub>O = 1.2%のケースと同様にA3とH1を用いた場合に急激な伸び率増加を示したが、その特性は若干異なっている。A3では調整R<sub>2</sub>O = 1.2%のケースより初期の段階で著しい伸びを示し、材令14日で0.3%、そして1ヶ月では0.5%を超過した。材令2ヶ月では供試体3本のうち1本が、また残り2本も材令6ヶ月の測定を最後に

表-3 配合表

	1 バッチ 当り						
	骨 材		セメント		練り混ぜ水		(cc)
	記号	重量(g)	記号	重量(g)	種類	容量(cc)	
海水練り	C9	1,170	C	520	海水	245	—
	A1	"	A	"	"	"	—
	A2	"	A	"	"	"	—
	A3	"	A	"	"	"	—
	H1	"	B	"	"	"	—
	H4	"	B	"	"	"	—
	SB	"	B	"	"	"	—
※ 調整R <sub>2</sub> O=1.2%	1,170		A	520	水道水	202	48

※7ケースとも同一配合

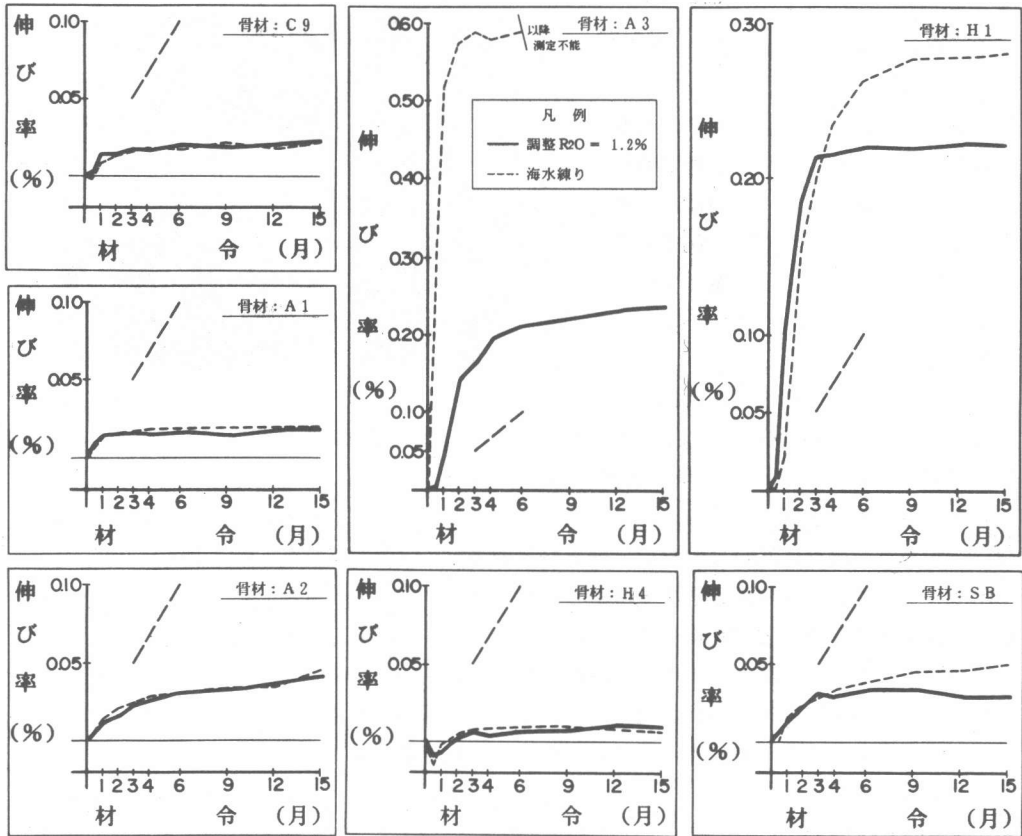


図-3 材令と伸び率との関係

コンパレータの測定限度を超えたため、以降の測定は不能となった。

H1では材令3ヶ月まで調整R<sub>2</sub>O = 1.2%のケースに追従する伸び率を示したが、材令4ヶ月で逆転し、以後も伸び続けた。

一方、調整R<sub>2</sub>O = 1.2%のケースにおいて限界値内の伸び率にとどまった骨材は、海水練りの場合でもほぼ同様の値を示す。

特にC9の如く化学法で有害と判定されても調整R<sub>2</sub>O = 1.2%のケースにおける

伸び率が限界値を下回る骨材は、海水を練り混ぜ水として使用した場合にも同程度の伸び率を示す。写真-1および写真-2は、A3を骨材として用いた調整R<sub>2</sub>O = 1.2%と海水練りの材令6ヶ月における供試体である。海水練りの供試体表面にはAARの特徴の1つである析出物が材令14日時点で確認され、材令15ヶ月では供試体全体に広がった。写真-3は写真-2に示す供試体内部の顕微鏡写真であり、骨材表面の反応生成物およびクラックが確認できる。

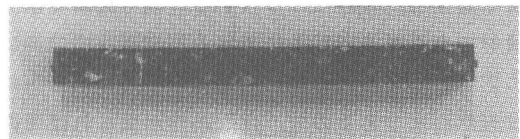


写真-1 R<sub>2</sub>O = 1.2%の供試体 (骨材A3)

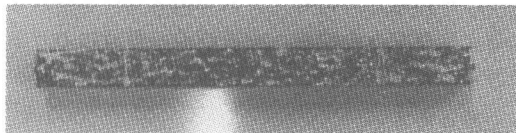


写真-2 海水練りの供試体 (骨材A3)

#### 4. まとめ

本試験により得られた結果を、以下に要約する。

(1) 反応性を有する骨材の場合、海水で練り混ぜることにより、調整  $R_2O = 1.2\%$  のケースよりも、早期に限界値に達するかあるいは判定材令である6ヶ月において大きい値を示している。

また、両試験法とも判定上同一の結果が得られる。

(2) 非反応性骨材の場合、海水練りによる伸び率と、調整  $R_2O = 1.2\%$  に 写真-3 供試体内部の顕微鏡写真（オープンニコル）おける伸び率とは、ほぼ同じ値を示すことから、

(1) と同様、判定上同一の結果が得られる。

(3) 海水練りの場合、 $R_2O$  の調整が不要となるので、使用セメントの  $R_2O$  を事前に把握する必要がないことから、試験準備作業などが簡便化できる。

以上のことから海水練りによる測定法は、調整  $R_2O = 1.2\%$  のケースと比較して、簡便であり、さらに測定期間の短縮化が期待できる。また、海水練りによる測定法によって、モルタルパー法の本質を失うことなく、骨材の反応性の有無を判定できる。

なお、海水で練り混ぜたベースセメントの  $R_2O$  の変化を表-4 に示す。本試験にて用いたAとBのように  $R_2O$  が  $0.5\%$  前後のセメントの場合、約  $1.2\%$  となるが、 $Na_2O$  の増加が大きく、 $K_2O$  はほとんど変化していない。このことは  $Na_2O$  のみ増加する  $NaOH$  添加による調整と、 $R_2O$  のみならずその成分比まではほぼ同一であることがわかる。しかし、反応性骨材であるA3とH1における両試験法での伸び率の相違は、海水中のNaとK以外の成分の影響と考えられるが、本試験のみでは明らかにできなかった。一方、本試験に用いた海水は天然海水であるので、採取条件が異なればその成分も多少異なると考えられるため、成分が明確でかつ同一成分量の人工海水などを用いた試験を検討する必要があると考えている。また、本試験の海水練りによる結果のみでは、データ不足の点からベースとなるセメントの  $R_2O$  と伸び率との関係、および他の骨材における本試験法の適用の妥当性などを今後の研究課題としたい。

#### 5. あとがき

本試験法の妥当性を検証するべく、多くのセメントと骨材を用い、人工海水（市販品）を使用した試験を実施中である。

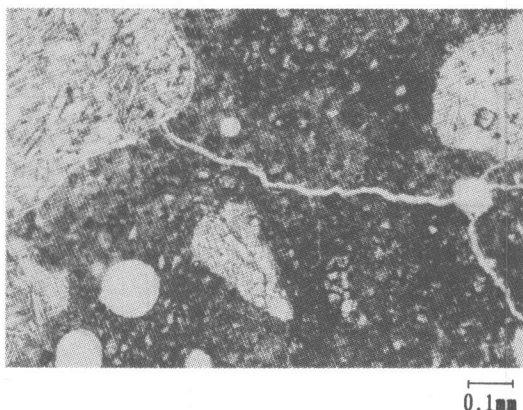


表-4 セメントの  $R_2O$  の変化

記号	海水添加前			海水添加後		
	$Na_2O$	$K_2O$	$R_2O$	$Na_2O$	$K_2O$	$R_2O$
A	0.12	0.49	0.44	0.81	0.51	1.15
B	0.12	0.58	0.50	0.81	0.60	1.21
C	0.49	0.52	0.83	1.18	0.54	1.54