

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560554

研究課題名(和文) 遅延膨張性アルカリ骨材反応の評価に適した試験法の開発と抑制対策に関する研究

研究課題名(英文) Development of examination method that is appropriate for evaluation of late expansion on alkali aggregate reaction and research on control measures

研究代表者

富山 潤 (TOMIYAMA, JUN)

琉球大学・工学部・准教授

研究者番号：20325830

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：遅延膨張性アルカリ骨材反応(ASR)に対する現行の試験法の適用性の確認、遅延膨張性ASRの評価に適した試験方法の検討および遅延膨張性アルカリ骨材反応の抑制対策として、内在アルカリ環境および外来アルカリ環境に対する沖縄県産フライアッシュの適用性の検証を行った。

新しい試験法の検証として、飽和NaCl溶液に浸漬し、温度設定をパラメータとした基礎研究を行い、新しい試験方法の可能性を示した。また、フライアッシュによる遅延膨張性ASRの抑制効果を実験により確認した。

研究成果の概要(英文)：It is experimentally verified that JIS ASR test is able to be applied to the late-expansive alkali-silica-reaction(ASR). In addition, a new test method which is suitable for evaluation of the late-expansive ASR is examined. And finally, it is confirmed that fly ash has preventive effect against late-expansive ASR.

As a new test method which is suitable for evaluation of late-expansive ASR, we examined the parameter of care temperature on saturated NaCl solution soaking test and show the possibility of a new test. Also, preventive effect of fly-ash against the late-expansive ASR was shown.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木材料・土木材料，施工，建設マネジメント

キーワード：アルカリ骨材反応 遅延膨張性 海砂 フライアッシュ 抑制効果 岩石学的評価

### 1. 研究開始当初の背景

沖縄県内のコンクリート構造物の劣化要因としては、主に塩害とアルカリ骨材反応(以下、ASR と称す)がある。塩害に関してはこれまで数多くの調査・研究が行われ、その評価手法及び抑制対策は充実されてきている。しかし、ASR に関しては解明すべき課題が多く残され、今後その検討が必要である。沖縄県内において検討すべき特殊な課題は、沖縄県のコンクリート用細骨材として、沖縄県本部産石灰岩砕砂と沖縄県新川沖産海砂の混合砂が主に用いられており、新川沖産海砂に含まれる微晶質石英や隠微晶質石英などの有害鉱物による遅延膨張性の ASR を引き起こす可能性があることである。これまで台湾花蓮産骨材による ASR 事例は数多く報告され、広く認識されているが、近年、新川沖産海砂に起因する ASR の発生事例も報告され、その対策が緊急の課題として取り上げられている。なお、細骨材に海砂が用いられている理由は、県内に良質なコンクリート用骨材が不足していることと、本部産石灰岩砕砂との混合砂の粒度調整などである。

遅延膨張性骨材に起因した ASR は他府県ではほとんど見られない沖縄特有の問題であるため、沖縄県で取り組むべき重要課題の一つである。この課題の大きな問題点は、遅延膨張性を示す骨材に対して現行の JIS アルカリ骨材反応試験 (JIS A 1145 (化学法) / JIS A 1146 (モルタルバー法)) ではその危険性の検出が不可能であるということである。また、国内で一般的に用いられているコンクリートの促進膨張試験 (残存膨張試験) である JCI-DD2 においても遅延膨張性 ASR は検出できないことが指摘されている。さらに沖縄県は高温多湿で周囲を海に囲まれた亜熱帯海洋性環境下に置かれ、塩害の非常に厳しい地域でもあり、外部からのアルカリ供給量が多く、ASR の進行しやすい環境にあると考えられる。

本研究では、遅延膨張性骨材に対する現行の ASR 試験法の適用性の検証および確認と、現行の JIS アルカリ骨材試験法に代わる遅延膨張性 ASR の評価に適した新しい ASR 試験法の開発および海砂を安全に使用するために遅延膨張性 ASR の抑制対策に関する研究を行う。

### 2. 研究の目的

本研究では、遅延膨張性 ASR に対する現行の ASR 試験法の適用性と、それに代わる新しい ASR 試験法の開発および遅延膨張性 ASR の抑制対策として、内在アルカリ環境および外来アルカリ環境に対する沖縄県産フライアッシュの適用性を検証する。このために下記項目を実施し、これまで不明確であった遅延膨張性 ASR への対応を明らかにする。

(1) 現行 JIS アルカリ骨材反応試験法 (JIS A 1145 : 化学法, JIS A 1146 : モルタルバー法) が遅延膨張性骨材の危険性を検出不可能であることを確認する。

(2) 沖縄県では、コンクリート用細骨材として本部産石灰岩砕砂と新川沖産海砂を混合して使用しているが、その混合割合で ASR の生じやすさが異なる (ペシマム混合率) ことが分かっていることから、そのペシマム混合率を明らかにする。なお、ペシマム混合率を求めるために促進膨張試験を行う。促進膨張試験として海外で遅延膨張性骨材などの評価に使用されている NaOH 溶液浸漬法 (以下、カナダ法) に加え、沖縄の塩害環境を考慮した飽和 NaCl 溶液浸漬法 (以下、デンマーク法) を採用する。また、促進膨張試験後の ASR ゲルの検出には岩石鉱物学的評価をもとに行い、新たな試験法確立のために、両試験法のゲルの発生形態 (化学組成) の違いやメカニズムを明らかにする。(注意: カナダ法は特に厳しいアルカリ環境であるため ASR の評価を過大評価する可能性や、遅延膨張性の ASR に対して両試験ともに評価 (判定) 基準などに問題を有する。)

(3) フライアッシュ (石炭灰) に ASR の膨張抑制効果があることは既往の研究から明らかとなっているが、燃焼灰の産地や発電所における石炭の粉末処理方法やその燃焼過程の違いによってフライアッシュの品質が変動することから、本研究では沖縄県産のフライアッシュを用いて遅延膨張性 ASR に対する抑制効果の検討を行う。検討は、(2) で求めたペシマム混合率およびその付近の配合に対して行うものとし、コンクリートにあらかじめアルカリを添付した内在アルカリ環境を想定した JCI-DD2 と外来アルカリ環境を想定したカナダ法・デンマーク法により促進膨張試験を実施する。

(4) 現行の ASR 試験法に代わる新しい試験法を提案する。提案する試験法は、カナダ法、デンマーク法の両試験の結果を基礎データとし、沖縄県の塩害環境を考慮に入れ、NaCl 溶液を用いたデンマーク法を基礎とした乾湿繰返し促進膨張試験の開発を行う予定である。乾湿繰返し試験を提案する理由は、コンクリートの ASR 膨張挙動が、溶液のコンクリート中への浸透速度に関係していると考えられ、乾湿繰返しが浸透速度を速めるのに適した養生条件だと考えられるからである。

### 3. 研究の方法

研究方法について、年度ごとに以下に示す。  
平成 23 年度

(現行 JIS の ASR 試験法の適用性について)

目的: 遅延膨張性骨材 (新川沖産海砂: 細骨材) に対する JIS アルカリ骨材反応試験の適用性を検討する。今回実験に使用する骨材の分析を行う。

実験: ・新川沖産海砂に対して化学法 (JIS A 1145), モルタルバー法 (JIS A 1146, ASTM C227) の適用性を検討する。・石灰岩砕砂 (以下、砕砂) と新川沖産海砂の (1) 粒度分布, (2) 構成岩種の判別および構成比等について調査する。

(遅延膨張性 ASR のペシマム混合率について)

目的：遅延膨張性を示す新川沖産海砂を対象にペシマム混合率を検証する。

実験：普通コンクリートにおける細骨材の混合比（海砂：砕砂）の違いによるアルカリ骨材反応の大きさを検討する（ペシマム混合率の検証）。

混合比は、表-1 に 11 ケースのコンクリートの配合表(W/C=50%)を示す。促進膨張試験として、NaOH 溶液浸漬法 (1N, 80℃：カナダ法)、飽和 NaCl 溶液浸漬法 (50℃：デンマーク法) の試験を行う。促進膨張試験の測定は、コンタクトゲージにより行う。なお、促進膨張試験の判定基準は表-2 の通りである。

表-1 配合表

配合 ケース (海砂:砕砂)	kg/m <sup>3</sup>				
	水	セメント	細骨材		粗骨材 (2005)
			海砂	砕砂	
#1(100:0)	167	337	694	0	1126
#2(90:10)			624.888	70.224	
#3(80:20)			555.456	140.448	
#4(70:30)			486.024	210.672	
#5(60:40)			416.592	280.896	
#6(50:50)			347.16	351.12	
#7(40:60)			277.728	421.344	
#8(30:70)			208.296	491.568	
#9(20:80)			138.864	561.792	
#10(10:90)			69.432	632.016	
#11(0:100)			0	702.24	

表-2 促進膨張試験の判定基準

試験項目	試験方法	判定基準
JCI-DD2 法	コンクリートコアを 40±2℃、相対湿度 95%以上で湿気槽に保存し、膨張率の経時変化を測定する。	試験開始後 91 日の膨張率で、0.05%以上：「有害」
デンマーク法	コンクリートコアを 50℃の飽和 NaCl 水溶液に浸漬し、膨張率の経時変化を測定する。	試験開始後 91 日の膨張率で、0.1%未満：「膨張性なし」 0.1~0.4%：「不明確」 0.4%以上：「膨張性あり」
カナダ法	コンクリートコアを 80±2℃、1N の NaOH 溶液に浸漬し、膨張率の経時変化を測定する。(ASTM C 1260 と同様の条件)	試験開始後 14 日の膨張率で、0.1%以下：「無害」 0.1~0.2%：「有害と無害な骨材が含まれる」 0.2%以上：「潜在的に有害」

平成 24 年度

(遅延膨張性 ASR に対するフライアッシュの ASR 抑制効果の検証)

目的：ペシマム混合率に対する沖縄県産フライアッシュの ASR 抑制効果の検討を行う。

実験：フライアッシュをセメント内割で 16mass%混合（フライアッシュセメント B 種を想定）したコンクリート（フライアッシュコンクリート）の促進膨張試験を行い、ペシマム混合率におけるフライアッシュの ASR 抑制効果を評価した。フライアッシュは沖縄県産の JIS の II 種灰を用いる。

ここでは、沖縄県産のフライアッシュの遅延膨張性 ASR に対する抑制効果を明らかに

するために、コンクリートにあらかじめアルカリを添加した試験体を用いた JCI-DD2 による促進膨張試験（内在アルカリ環境）およびカナダ法、デンマーク法による促進膨張試験（外来アルカリ環境）を実施する。

表-3 に試験ケースおよび表-4 にコンクリートの配合条件を示す。

表-3 試験ケース

ケース	試験方法	等価 Na <sub>2</sub> O 量	W/C	海砂：砕砂
①	JCI-DD2 法	8kg/m <sup>3</sup>	50.0%	100：0 60：40
②	デンマーク法・カナダ法	3kg/m <sup>3</sup> 以下	35.0%	100：0 60：40 40：60

※試験ケース①は既往の文献 1) を参考とした。

表-4 コンクリートの配合

W/C (%)	kg/m <sup>3</sup>						
	水	セメント	フライアッシュ	細骨材		粗骨材	NaCl
				砕砂	海砂		
50	167	337	0	0	694	1126	11.152
		337	0	281	417		11.163
		283	54	0	694	1110	11.776
		283	54	281	417		11.789
35	156	446	0	0	749	1004	0
		446	0	303	449	1004	0
		446	0	455	299	1004	0
		375	71	0	734	1002	0
		375	71	297	440	1002	0
		375	71	445	294	1002	0

また、平成 23 年度に行った膨張促進試験のそれぞれの結果に対して岩石鉱物学に基づく評価（実体顕微鏡観察、偏光顕微鏡観察、SEM-EDS 分析など）を行い、ASR ゲルの確認を行う。

平成 25 年度

(遅延膨張性 ASR の評価に適した新しい ASR 試験法の開発)

目的：JIS に代わる新しい試験法を提案する。

検討：当初計画では、「提案する試験法は、カナダ法、デンマーク法の両試験の結果を基礎データとし、沖縄県の塩害環境を考慮に入れ、NaCl 溶液を用いたデンマーク法を基礎として開発を行う。現在予定している方法としては、NaCl 溶液の乾湿繰り返しである。乾湿繰り返し養生を設定した理由は、コンクリート中への NaCl 溶液の浸透速度を速めるためであり、その確認として SEM-EDX 分析による Na のマッピング、硝酸銀法により浸漬法との塩分浸透分布の比較を行い、定量的評価を行う。」を予定していたが、浸漬条件に比較し、膨張開始が遅く、膨張率も小さかったため、当初計画を変更し、促進膨張試験の温度依存性について検討した。変更した検討では、遅延膨張性 ASR に適したコンクリートの促進膨張試験の開発を目的とし、デンマーク法をベースに、養生温度の設定をパラメータとし、膨張開始時期や膨張挙動の温度依存性について検討した。コンクリートは表-5 示す細骨材の混合率の異なる 2 種類の配合を検討に用いた。2 種類のコンクリートに対して 40℃、50℃、60℃、70℃と養生温度の異なる飽和

NaCl 溶液に浸漬し、膨張開始時期と膨張挙動の違いについて検討を行った。測定は、コンタクトゲージを用いて行った。なお、試験は表-6 に示す 4 水準において 2 体実施した。

表-5 コンクリート配合

ケース	W/C (%)	kg/m <sup>3</sup>				
		水	セメント	細骨材		粗骨材
				砕砂	海砂	
#1	50	167	337	0	694	1126
#2	50	167	337	351	347	1126

表-6 試験ケース

試験体名	養生温(°C)	備考
No.1	40	
No.2		
No.3	50	従来のデンマーク法
No.4		
No.5	60	
No.6		
No.7	70	
No.8		

#### 4. 研究成果

研究成果について、年度ごとに示す。

##### 平成 23 年度

##### (現行 JIS の ASR 試験法の適用性について)

JIS に基づいた骨材試験結果を表-7 に示す。骨材に対する ASR 試験としては、化学法 (JIS A 1145) およびモルタルバー法 (JIS A 1146) を行った。その結果、海砂は安全な骨材と判定された。これらの結果は、JIS のアルカリ骨材反応試験では遅延膨張性 ASR の危険性を検出できないことを示している。

表-7 各種骨材試験

試験項目(JIS)		海砂	砕砂	砕石2005
表乾密度	g/cm <sup>3</sup>	2.63	2.66	2.69
吸水率	%	2.06	1.06	0.52
絶乾密度	g/cm <sup>3</sup>	2.58	2.63	2.68
ふるい分け (F.M)	-	2.38	3.14	6.65
実積率	%	—	—	61.3
微粒分量	%	4.0	8.4	0.5
安定性	%	1.0	0.9	0.1
粘土塊量	%	0.29	—	—
粒径判定実積率	%	—	56.7	59.9
すり減り減量	%	—	—	22.8
有機不純物		淡い	—	—
塩化物量(NaCl)	%	0.001	—	—
密度1.95に浮くもの	%	0	—	—
化学法	—	無害	—	—
モルタルバー法	%	0.017	—	0.006

次に新川沖産海砂の 1) 粒度分布、2) 構成岩種の判定、構成岩種の構成比等および粗骨材の目視観察を示す。

##### (1) 粒度分布

海砂と石灰岩砕砂の粒度曲線を図-1 に示す。図中の破線は、土木学会で定めた標準的な細骨材の粒度範囲である。本試験で対象にしている海砂と砕砂は、一部でこの粒度曲線を満足していない。従って、両骨材をコンク

リート用細骨材として使用するためには、粒度調整の必要性がでてくる。この粒度調整に伴い両骨材の混合割合が生じ、ペシマム混合率の懸念が生じている。

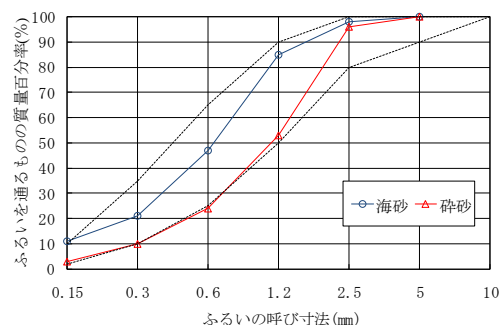


図-1 ふるい分け試験結果

##### (2) 構成岩種の判定および構成比

粒度試験の結果、含有率の高い 1.2mm, 0.6mm, 0.3mm の各ふるいに留まる砂粒子について、薄片試料を作製し、この薄片試料を使用して偏光顕微鏡観察を行った。また、粒径ごとの岩種構成を求めた。測定方法は、ポイントカウント法により行った。カウント数は各粒度で作製した薄片 1 試料あたりの粒子密度を考慮し、約 400mm<sup>2</sup> の試料表面を走査できるように 1 枚あたり 2000 点とした。

海砂は珪質粘板岩、珪岩、砂岩、弱変成砂岩、粘板岩、頁岩、泥岩、緑色片岩、結晶質石灰岩、炭酸塩生物遺骸より構成されている。表-8 に海砂の岩石学的分類を示し、また、図-2 に岩種構成比を示す。

表-8 および図-2 より、海砂の約 90% は変成岩と堆積岩系の岩種から構成されている。その変成岩系および堆積岩系の各岩種は、アルカリと反応しやすい状態の微晶質石英や隠微晶質石英などのシリカ鉱物で形成されている。したがって、新川沖海砂は遅延膨張性の ASR を起こす可能性があることがわかる。

表-8 海砂の岩石学的分類

	変成岩	堆積岩	その他
シリカ鉱物を多く含む	珪質粘板岩, 珪岩, 弱変成砂岩, 粘板岩	砂岩, 頁岩, 泥岩	
シリカ鉱物をほとんど含まない	結晶質石灰岩, 緑色片岩		炭酸塩生物遺骸

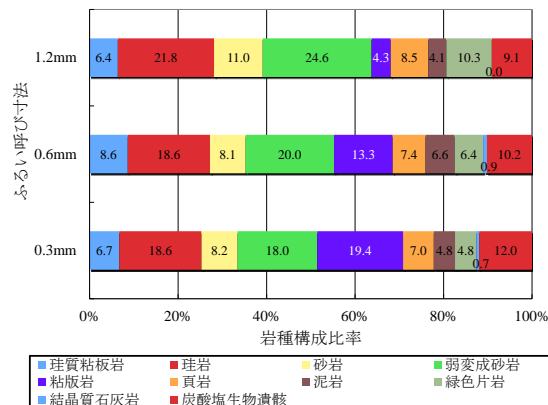


図-2 海砂の岩種構成比

(遅延膨張性 ASR のペシマム混合率について)

文献 1)の配合条件を変えた追加実験として、遅延膨張性を示す新川沖産海砂を対象に海砂(反応性)と石灰岩砕砂(非反応性)のペシマム混合率の検証を行った。検証した比率は、表-1に示すとおりであり、各種ケースに対して表-3に示す促進膨張試験を行った。

図-3にペシマム混合率を検証した結果を示す。図中のJ, D, Cは、それぞれJCI-DD2法(試験期間154日)、デンマーク法(154日)、カナダ法(26日)の結果である。この図より、JCI-DD2法の結果ではいずれのケースも膨張が確認できない。この結果は、遅延膨張性のASRをJCI-DD2法で検出できないことを表している。デンマーク法の結果からは、反応性骨材である海砂の混合率が高いほど膨張率が大きい傾向となり、今回の実験結果からは明らかなペシマム混合率は確認できなかった。カナダ法の結果では海砂混合率70%および50%時において突き出した膨張が表れ、ペシマム混合率の可能性が示された。

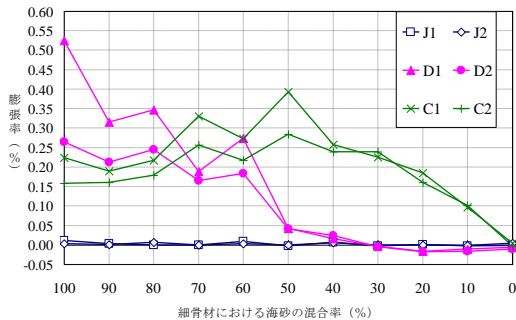


図-3 ペシマム混合率の検証

促進膨張試験後(カナダ法)の最も膨張した試験体から薄片をつくり、ASR発生状況を確認するために、実体顕微鏡、偏光顕微鏡を用い観察を行った。

写真-1に反応性鉱物である頁岩を示す。骨材の周辺にASRゲルが生じている様子が確認できる。また、骨材内部にひび割れが発生し、ゲルが充填され、さらにセメントペースト内にもひび割れが生じ、ゲルの充填が確認できる。写真-2に反応性鉱物である泥岩を示す。骨材の周辺にASRゲルが生じており、その膨張によりセメントペーストにひび割れを起こしている様子が分かる。

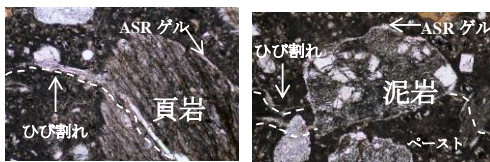


写真-1 頁岩

写真-2 泥岩

参考文献

- 1) 富山潤, 他: 遅延膨張性を示す細骨材に起因したアルカリ骨材反応に関する基礎研究と抑制対策, コンクリート工学年次論文集, Vol33, No1, 2011  
平成 24 年度

(遅延膨張性 ASR に対するフライアッシュのASR抑制効果の検証)

沖縄県産 FA の ASR 抑制効果の検証(内在・外来アルカリ)を行った。FA の ASR 抑制効果の検証を行うためにフライアッシュセメント B 種を想定し、セメントの 16%を表-9に示す FA 置換(内割配合)した試験体を作製した。内在アルカリ環境に対する抑制効果の検証として、等価 Na<sub>2</sub>O 量を 8kg/m<sup>3</sup>に調整した試験体を用いた JCI-DD2 法, および外来アルカリ環境に対する抑制効果の検証して、外来アルカリ環境を養生条件としたデンマーク法およびカナダ法による促進膨張試験を行った。なお、後者に用いた試験体は、等価 Na<sub>2</sub>O 量を 3kg/m<sup>3</sup>以下に調整している。

促進膨張試験は表-2に示す方法で行った。

表-9 試験ケース

試験方法	等価 Na <sub>2</sub> O 量	海砂: 砕砂
JCI-DD2 法	3kg/m <sup>3</sup> 以下	100:0~0:100
デンマーク法		
カナダ法		
JCI-DD2 法	8kg/m <sup>3</sup>	100:0
デンマーク法	3kg/m <sup>3</sup> 以下	60:40
カナダ法		40:60

次に FA の ASR 抑制効果の検証結果を示す。内在アルカリ環境に関する検証として行った JCI-DD2 の結果は膨張しなかったため、割愛する。図-4および図-5にデンマーク法, カナダ法の促進膨張試験の結果を示す。図中の N, FA, FANa はそれぞれ FA 無混和, FA 混和, アルカリを事前添付したコンクリートコアを示し, 100, 60, 40 は, 細骨材中の海砂の混合率を示している。

これらの結果より, FA 未混和の試験体は膨張傾向にあるが, FA 混和の試験体は, FA 未混和の膨張率に比べて抑えられている。

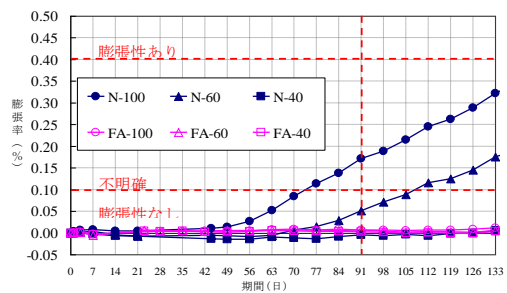


図-4 促進膨張試験(デンマーク法)

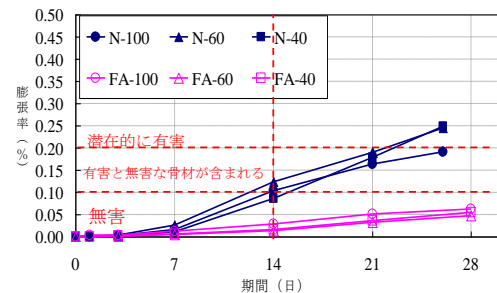


図-5 促進膨張試験 (カナダ法)

平成 25 年度

### (遅延膨張性 ASR の評価に適した新しい ASR 試験法の開発)

ここでは、遅延膨張性 ASR の評価に適した新しい ASR 試験法の開発を目指して、写真-3 に示す乾湿繰返し試験器を作製した。

試験は、50℃の飽和 NaCl 水溶液に 12 時間浸漬させた後、モーターにより水槽 2 に飽和 NaCl 水溶液を移し、水槽 1 で 12 時間乾燥状態とした。この 24 時間を 1 サイクルとして実験を行い、1 週間ごとに膨張量を測定した。

図-6 に乾湿繰返し試験の結果を示す。これより、いずれの実験ケースにおいても有害な膨張は認められない。しかし、今回の結果から乾湿繰返し試験においても浸漬期間、乾燥期間のサイクルを変えることで、デンマーク法よりも迅速に結果を得ることができることが予想され、パラメータの設定と膨張試験の検証には時間を要することから、今回は、浸漬法に対する温度依存性の検証を行い、乾湿繰返し試験の基礎検証を行った。

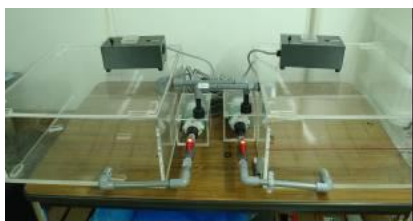


写真-3 装置全体図

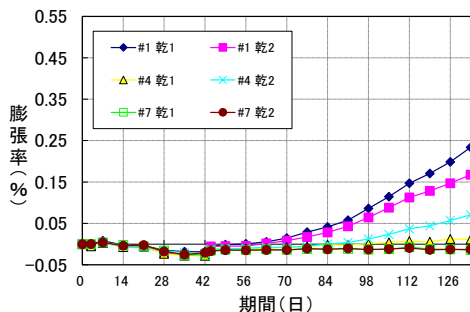


図-6 乾湿繰返し試験

#### (促進膨張試験の温度依存性の検証)

図-7 にコンクリート#1 の促進膨張試験の結果をそれぞれ示す。図には、従来のデンマーク法の判定基準 (91 日において 0.1~0.4% 不明確, 0.4% 以上で膨張性あり) も参考のため示している。

図-7 の海砂(100%)の結果より、養生温度 70℃は、浸漬期間 28 日目以降に膨張が開始し、56 日~63 日程度で膨張性ありに達し、70 日目以降の膨張はほぼ収束している。養生温度 60℃は、浸漬期間 63 日以降に膨張が開始し、その後、急激な膨張を示し、浸漬期間 147 日では、養生温度 70℃と同程度の膨張率を示している。養生温度 50℃は浸漬期間 98 日以降に緩やかな膨張性が表れる程度で、養生温度 40℃においてはほとんど膨張していない。

以上の結果から、遅延膨張性骨材の膨張性評価に養生温度の影響を考慮することで、た

例えば、養生温度 70℃を用いることで、促進膨張試験の試験期間を短縮できる可能性があることが示唆される。ただし、促進試験での膨張性と実環境での膨張性の整合性評価を行うことが必須である。

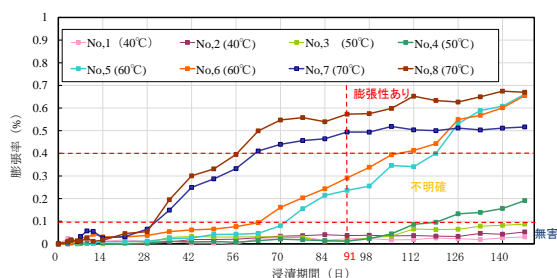


図-7 促進膨張試験(#1)

### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 6 件)

- ① 富山潤, 松本典幸: 飽和 NaCl 水溶液に浸漬した遅延膨張性細骨材を用いたコンクリートの温度依存性評価, 平成 25 年度土木学会西部支部研究会, 査読なし, pp.685-686, 2014.3
  - ② 松本典幸, 富山潤: 遅延膨張性骨材に対する促進膨張試験の温度依存性に関する基礎研究, 第 3 回土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会, 査読なし, pp.56-57, 2013.10
  - ③ 知念正昭, 富山潤, 新城竜一, 大城武: 岩石学的評価による ASR 劣化診断, 第 2 回土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会, 査読なし, pp.91-92, 2012.10
  - ④ 濱川亮太郎, 崎原盛伍, 富山潤, ほか 3 名: 遅延膨張性 ASR を示す海砂に対するフライアッシュの ASR 抑制効果に関する研究, 第 2 回土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会, 査読なし, pp.89-90, 2012.
  - ⑤ 金城和久, 松本康宏, 富山潤, ほか 3 名: 遅延膨張性 ASR を示す細骨材のペシマム混合率とフライアッシュの抑制効果に関する研究, 平成 23 年度土木学会西部支部研究発表会, 査読なし, pp.809-810, 2012.3
  - ⑥ 松本康宏, 崎原盛伍, 金城和久, 富山潤, ほか 2 名: 遅延膨張性細骨材に対するフライアッシュの ASR 抑制効果に関する基礎研究, 第 1 回土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会, 査読なし, pp.21-22, 2011.9
- ### 6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
富山潤 (TOMIYAMA, Jun)  
琉球大学・工学部・准教授  
研究者番号: 20325830
- (2) 研究分担者  
新城竜一 (SHINJO Ryuichi)  
琉球大学・理学部・教授  
研究者番号: 30244289