

# 報告 伊良部大橋の主要部材に使用するコンクリート材料選定と配合

風間 洋<sup>\*1</sup>・渡久山 直樹<sup>\*2</sup>・砂川 勇二<sup>\*3</sup>・山田 義智<sup>\*4</sup>

要旨：本報告は、伊良部大橋の100年耐久性を確保するために行った各種コンクリート材料試験および検討結果についてまとめた。伊良部大橋は海上橋であり、冬期風浪や台風の波飛沫を直接受ける著しい塩害環境にある。また、宮古島内で用いられているJISコンクリート用骨材（台湾花蓮産）は、沖縄県内でアルカリ骨材反応（以後、ASR と称す）の発生報告がある。そのため、沖縄県は伊良部大橋に用いるコンクリート用骨材の再選定を行い、下部工コンクリート混和材にフライアッシュ（以後、FA と称す）を用いた。本稿は、それらの採択経緯および配合試験、FA の塩害・温度応力・ASR の抑制効果の確認等について述べている。

キーワード：100年耐久性、塩害、ASR、温度応力、フライアッシュコンクリート

## 1. はじめに

沖縄県の宮古島と伊良部島を結ぶ橋長 3,540m の伊良部大橋（平成 25 年 3 月竣工予定）は、著しい塩害環境にある長大な海上橋であるため（図-1 参照）、その維持管理の困難性や塩害が発生した場合の維持管理費用の増大が懸念されている。そのため沖縄県は、長寿命化・高耐久化を目指した「ミニマムメンテナンス橋」としての塩害対策を伊良部大橋には講じている（表-1 参照）。

ここで、宮古島では、良質なコンクリート用骨材が産出せず、島内の生コンクリート工場は、台湾花蓮産の川砂利および川砂によりJIS工場指定を受けていたが、台湾花蓮産骨材は、既往の調査でASRの発生が報告されていた。この事を受けて、沖縄県は伊良部大橋コンクリート耐久性検討業務<sup>1)</sup>において伊良部大橋コンクリート耐久性検討委員会（以後、耐久性委員会と称す）を開催し、台湾産骨材の代わりに沖縄本島本部産砕石および砕砂、同新川沖産海砂の使用を提案している。また、耐久性委員会では、塩害、温度応力およびASRの抑制効果を期待して、下部工では混和材としてFAの使用を提案している。

本報告では、耐久性委員会での検討経緯を2章において述べ、この検討を受けて沖縄県が実施した下部工のフライアッシュコンクリート（以後、FAC と称す）配合試験については3章に、FAC の塩害、温度応力および ASR の抑制効果の確認試験等については4章で述べる。

本報告の検討結果を受け、伊良部大橋では平成 19 年 9 月から本体工事施工が開始されている。

## 2. 伊良部大橋の使用骨材および混和材の選定

### 2.1 台湾花蓮産骨材による ASR の発生事例

#### (1) 既往構造物調査結果とりまとめ

\*1 アール・アンド・エー（正会員）

\*2 沖縄県土木建築部宮古土木事務所伊良部大橋現場事務所

\*3（財）沖縄県建設技術センター試験研究部

\*4 琉球大学教授 工学部環境建設工学科 博士（工学）（正会員）



図-1 伊良部大橋位置図

表-1 伊良部大橋の設計上の塩害対策<sup>1)</sup>

設計上の塩害対策	
コンクリート橋の塩害による損傷は、隅角部が多く表面積の大きなT桁橋やI桁橋に多く見られることから、塩分の付着面積の小さくなる箱桁橋を採用し、できるだけ隅角部を少なくして塩害を受けにくい構造とする	
道路橋示方書に示される鉄筋最小かぶり厚の確保	
道路橋示方書に示されるエポキシ樹脂塗装鉄筋の採用	
ポリエチレンシースの採用	
セグメントPC用ポリエチレンシースカップラの採用	
エポキシ樹脂被覆PC鋼材の採用	
高耐久性コンクリートの採用	
防錆処理（エポキシ樹脂塗装）定着具の採用	
AlMg溶射処理を施した支承鋼板の採用	

沖縄県内における台湾花蓮産骨材を使用した既往構造物調査結果を表-2にまとめる。これによると、宮古島で用いられている台湾花蓮産骨材は、ASR が発生する可能性があると云える。

しかし、これらの調査結果のうち、宮古島の構造物は

池間大橋のみであるため、沖縄県では宮古島の台湾産骨材を用いた構造物調査を実施し、池間大橋以外でも ASR の発生を確認した。その結果を以下に述べる。

(2) 宮古島内の ASR 発生構造物調査結果

これまで未調査であった宮古島内の構造物で、台湾産骨材を用いたものを選定し、ASR 発生が確認出来たのは世渡橋および B 橋である（前出図-1 参照）。これらの施工資料から、世渡橋は台湾産川砂利および川砂を、B 橋は本部産石灰岩砕石および台湾産川砂を使用した事が確認された。

調査の結果、世渡橋は台湾産粗骨材を使用した A1 橋台のみに ASR 状のひび割れが確認されたことから（写真-1 参照）、コアを採取し、SEM 観察と EPMA 分析の結果、粗骨材および細骨材の周囲からアルカリシリカゲルが確認された（表-3 参照）。なお、A1 橋台以外の部材は、粗骨材に本部産砕石（石灰岩）を使用している。

B 橋は、P24 橋脚の朔望平均満潮位より上の約 2m の範囲で ASR 状のひび割れが確認されたため（写真-2 参照）、世渡橋と同様の試験を行った結果、細骨材の周囲からアルカリシリカゲルが確認された（表-4 参照）。

2.2 伊良部大橋用骨材の選定

以上の調査結果から、宮古島で一般的に使用されていた台湾産川砂利および川砂は、ASR を発生させる可能性があるかと判断できた。

また、上記の ASR を発生させている構造物のほとんどは、波飛沫や飛来塩分のかかる箇所および地下で海水の影響を受ける塩害環境に建設された構造物であり、伊良部大橋も同様の環境であることから、伊良部大橋に台湾産骨材を使用した場合、ASR が発生する可能性があり、100 年の耐久性に対し懸念が大きいと考えられた。

しかし、伊良部大橋建設前の配合設計段階は、宮古島では台湾産骨材が JIS コンクリート骨材であったため、沖縄県は「伊良部大橋建設には、十分な品質管理が可能な骨材で、過去に ASR 等の損傷被害例の無い骨材を使用する事が望ましい」と考え、沖縄本島本部産石灰岩砕石および砕砂、新川沖産海砂を使用する事とした。

2.3 混和材の検討

沖縄において入手できるコンクリート用混和材は、FA のみであり、耐久性委員会でも下部工には FA の利用が考えられると提案された。以下に選定理由を示す。

(1) フライアッシュ（FA）

土木学会コンクリートライブラリー<sup>94</sup>には、FA はその種類と置換率によって伊良部大橋で懸念されている耐海水性の向上、アルカリシリカ反応の抑制、水和熱による温度上昇の抑制等が期待できるとしている。

沖縄県内で得られる FA のうち、コンクリート用混和材として使用可能な「JIS A 6201 コンクリート用フライア

表-2 台湾産骨材使用構造物のASR発生事例<sup>1)</sup>

骨材	A S R 発生構造物	発生部位
台湾産川砂利	A 橋	上・下部工
	山下垣花高架橋	上・下部工
	沖縄県総合運動公園	梁・柱
	名蔵大橋	上・下部工
	山原橋	下部工
台湾産川砂	明治橋	上部工
	池間大橋	上・下部工



写真-1 世渡橋A1 橋台正面中央のひびわれ状況写真<sup>1)</sup>

表-3 世渡橋A1橋台コアのSEM観察とEPMA分析結果<sup>1)</sup>

目視による特徴	SEM観察	EDX分析	判定
	形状	主な元素	
粗骨材(砂岩)の 周囲白色	ゼリー状	Si, Ca, Na, K	アルカリシリカゲル
	花弁状	Si, Ca, Na, K	
粗骨材(泥岩)の 周囲白色	ゼリー状	Si, Ca, Na, K	アルカリシリカゲル
	針~束状		
細骨材(火山岩)の 周囲透明	ゼリー状	Si, Ca, Na, K	アルカリシリカゲル



写真-2 B 橋P24 橋脚西側面ひびわれ状況写真<sup>1)</sup>

表-4 B 橋P24橋脚コアのSEM観察とEPMA分析結果<sup>1)</sup>

目視による特徴	SEM観察	EDX分析	判定
	形状	主な元素	
細骨材(頁岩)の 周囲・透明	ゼリー状	Si, Ca, Na, K	アルカリシリカゲル

ツシュ」の種規格を満足するものは、電源開発石川火力発電所から年間約1万トン産出される。また、沖縄県の試算によると伊良部大橋でコンクリートにFAを100kg/m<sup>3</sup>使用した場合、1ヶ月当たり約50t程度の使用量があると見込まれることから、石川火力発電所のFA産出量は、施工に必要なFA量を十分満足していると考えられる。

また、この伊良部大橋建設でのFA利用は、沖縄県の「ゼロエミッション・アイランド沖縄」構想の推進に大いに寄与するものである。

(2) その他混和材

その他混和材には、国内で流通・実績のある高炉スラグがあげられるが、現在沖縄県内ではFA以外の混和材は入手できず、他府県からの供給は搬入コストが大きく、コンクリート単価が増大するため、使用は現実的でないと考えられる。

3. 下部工コンクリート (27N/mm<sup>2</sup>) の配合決定

耐久性委員会での検討結果を受け、提案されたコンクリート材料を用い、下部工設計基準強度 27N/mm<sup>2</sup>のFAC配合試験を行った (以後、27FACと称す)。

(1) 内割配合により期待する効果とFA置換量

- 塩害対策効果：セメントの内割 10～30%の置換
- 水和熱による温度上昇の抑制効果  
：セメントの内割 20～30%の置換
- ASR抑制効果：セメントの内割 15～30%の置換

(2) 外割配合により期待する効果

土木学会四国支部<sup>3)</sup>によると、FAは細骨材補充混和材として用いることができ、塩害抑制効果があるとしている。また、SORN VIRAR<sup>3)</sup>もFAの外割配合で遮塩性が向上するとしている。

3.1 室内配合の試験配合

室内配合試験は、前述の効果を期待して表-5に示す内割と外割の配合を組み合わせた12配合で実施した。室内配合試験における検討内容は、3.2室内配合試験に示す。

なお、伊良部大橋に用いた骨材は、配合試験当時宮古島内生コンクリート業者のJIS認定骨材ではなかったため、全て非JISコンクリートとして扱った。よって、配合試験は、沖縄県が温暖な気候で凍害がないことから、空気量を規定しない事を前提として実施した。

3.2 室内配合試験

(1) 基本配合

伊良部大橋下部工コンクリートの配合検討における基本配合は、表-5に示す27N-U0F0であり、これは平成16年度竣工の古宇利大橋の下部工の実施工配合である (以後、BCと称す)。

(2) 目標スランプ決定

宮古島の各生コンクリート工場から、伊良部大橋現場への運搬時間は約30分である。このため、各配合で練り上がりから打設までの30分を考慮し、スランプロスを設定すると、0～30分の平均ロスが6.9cm、30～60分の平均ロスが2.8cmと後半のロスが少ないことが判った。

このため、当初設計の目標スランプ 8±2.5cmでは、練り混ぜ直後に上限値 10.5cm で出荷しても現場到着 30

表-5 室内試験の試験配合

No	配合記号	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
						水	セメント	FA	細骨材	FA	粗骨材	混和剤	
						W	C	F1	S	F2	G	A	
1	27N-U0F0	8±2.5	49.5	4.5±1.5	38	156	315	-	703	-	1173	0.3-0.5	
2	27N-U0F50			-	-				50	-	-		
3	27N-U0F75			-	-				75	-	-		
4	27N-U0F100			-	-				100	-	-		
5	27N-U0F125			-	-				125	-	-		
6	27N-U30F50			283	30 (セメントの約10%)		-	-	50	-	-		
7	27N-U30F75						-	-	75	-	-		
8	27N-U30F100						-	-	100	-	-		
9	27N-U30F125						-	-	125	-	-		
10	27N-U65F0						248	65 (セメントの約20%)	-	-	-	-	-
11	27N-U65F25								-	-	25	-	-
12	27N-U65F50								-	-	50	-	-

注1) 配合記号：27N (強度N/mm<sup>2</sup>) -U (内割り配合量kg/m<sup>3</sup>) F (外割り配合量kg/m<sup>3</sup>)

注2) 最大粗骨材寸法 = 40mm

注3) 27N-U0F0は、古宇利大橋橋脚部コンクリート配合より求めた仮定値である。

注4) 塗りつぶし部分について、配合試験により決定する。

注5) フライアッシュは、JIS種灰とする。

注6) 空気量は指定しない。

分後には4cm程度に低下する可能性があるため、スランブを上げる必要性が生じた。

よって、練り混ぜ後30分に良好な施工性が得られるスランブを検討するため、JIS規定のコンクリートスランブ値を参考に再配合し、 $12 \pm 2.5\text{cm}$ を目標スランブとして提案した。なお、スランブを上げるための操作は、全て高機能型AE減水剤を用いて行った。

### (3) 圧縮強度の確認

50リッターのパン型ミキサーを用いた室内試験および生コンクリート工場のプラントを用いた実機試験で採取された供試体に対し、各材令において圧縮強度試験を行った(図-2参照)。

#### 1) BCとFACの圧縮強度比較

- BCと各FACともに、28日強度は呼び強度 $27\text{N}/\text{mm}^2$ および目標配合強度 $32\text{N}/\text{mm}^2$ を上回っている。
- BCと各FACの28日強度を比べると、各FACの方がBCより大きな値になっており、これを内割配合別に見ると、内割0%、10%、20%の順に平均強度は暫減している。
- BCと内割配合別FACの強度発現を見ると、材齢3日・7日では、BCとセメント量が同じ内割0%のFACが大きく、内割10%は同程度かやや大きく、セメント量が最少の内割20%は低い値であった。
- BCと内割配合別FACの強度発現を28日、91日強度で見ると、各配合ともBCよりFACの方が大きな値を示し、セメント量の少ない内割20%でも91日強度では3配合とも大きな値を示している。
- これらの結果は、外割に添加されたFAのポゾラン効果と考えられ、セメント量の最も多い内割0%は初期に圧縮強度が最大となり、セメント量の少ないFA内割20%配合は、初期強度は低くなるが、外割配合が多い場合は長期強度が大きくなった。

#### 2) 養生方法の違いによる圧縮強度比較

圧縮強度供試体は、現場状況を考慮して気中養生供試体も作製し、標準養生供試体との圧縮強度比較を行った。結果は、各配合とも初期強度はほぼ同程度であったが、28日強度以降は標準養生の方が大きかった。

#### (4) ポンプ圧送車を用いた施工性の確認

以下の代表的な以下の配合を用いて、ポンプ圧送車を用いた打設施工試験を実施した。

- BC : 27N-U0F0
- 内割0%配合 : 27N-U0F75
- 内割10%配合 : 27N-U30F50
- 内割20%配合 : 27N-U65F25

試験は、生コンクリートプラントの実機を用いて各配合につき $3.0\text{m}^3$ 出荷し、伊良部大橋下部工と同じピッチで配筋した幅約120cm、高さ90cm、奥行き60cmの通称ト

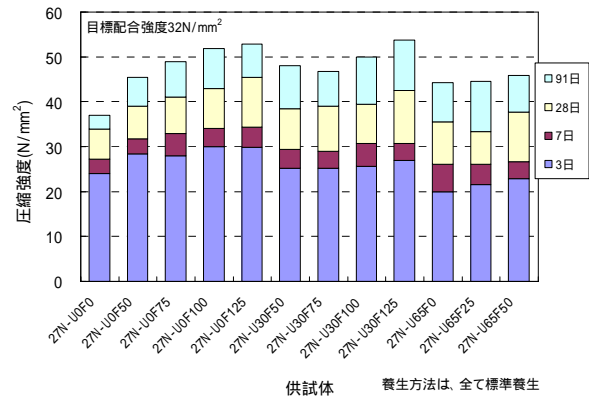


図-2 室内試験における各配合の圧縮強度試験結果

ンブロックに、ポンプ圧送車を用いて実施工と同様の打設試験を行うものである(以後、実機試験と称す)。なお、実機試験では現場の運搬状況も考慮し、30分程度アジテータ車を走行させ、練り上がり後30分と60分の2回打設を行った。また、練り上がり直後と2回の打設時に、スランブ試験および圧縮強度試験供試体採取を行った。

#### 1) 施工性の確認試験結果

試験の結果、実機試験におけるスランブロスは、0~30分が平均1.1cm、30~60分が平均1.5cmといずれも室内試験より小さく、ほとんどロスしなかった。また、施工性は、60分後打設でも低下せず、材料分離などの不具合も認められなかった。

#### 2) 実機試験と室内試験の圧縮強度比較

実機試験における各配合の圧縮強度は、いずれも室内試験のそれを $1 \sim 5\text{N}/\text{mm}^2$ 上回り、材齢28日の目標配合強度を満足していた。

### 3.3 最適配合の選定

以上の室内配合試験および実機試験の結果から最適配合を図-3のフローに従い選定した。

#### (1) 期待する抑制対策を考慮した内割配合量

伊良部大橋下部工は、塩害、温度応力およびASRの抑制対策を期待しており、3つを満足するFA配合は、内割20~30%が妥当である。よって、本試験でこれに当該する配合は、内割配合20%のFACである。

#### (2) 強度発現を考慮した外割配合量

内割配合が多くなると初期強度発現が小さくなるが、外割配合量に比例して大きくなる傾向にあることから、強度管理材齢の28日でも十分な強度発現を得るため、(1)の内割20%配合に外割 $25\text{kg}/\text{m}^3$ もしくは $50\text{kg}/\text{m}^3$ のFA配合とするのが望ましい。

#### (3) 施工性を考慮した選定

室内試験における施工性の確認は、スランブ値の他にスランブコーン引き上げ状況、練り返し時の粘性等を考慮した。この結果、FA総量で $100\text{kg}/\text{m}^3$ 以上配合すると粘



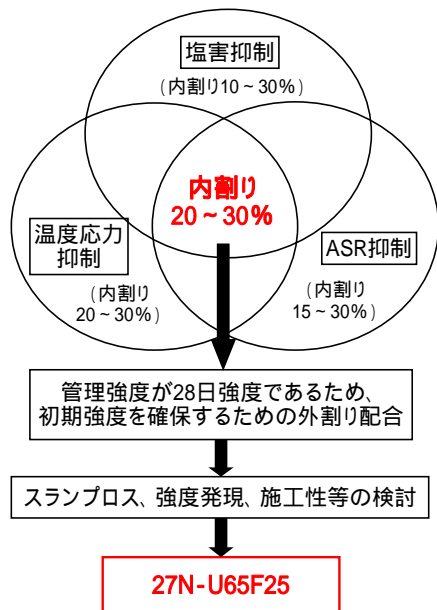


図-3 最適配合選定フロー

性が強くなり、施工性の低下が認められた。

以上から、内割配合は20%とし、FA総量で100kg/m<sup>3</sup>を超えない外割配合を選定すると、27N-U65F25が最適配合と判断した(表-6参照)。

#### 4. 決定配合に対する信頼性確認

##### 4.1 塩害抑制効果の確認

塩害に対する抑制効果は、SORN VIRAら<sup>4)</sup>で沖縄県内のFAを用いた外割配合FACについて確認されており、和田ら<sup>5)</sup>が内割配合FACについて確認している。

よって、ここでは新たに試験等を行わなかった。

##### 4.2 温度応力抑制効果の確認

温度応力抑制効果については、BC(27N-U0F0)と最適配合のFAC(27N-U65F25)の2配合で1m×1m×1mの立方体疑似断熱温度供試体を作製し、温度上昇測定試験を実施した。また、BCとほぼ同じ配合の27N/mm<sup>2</sup>コンクリートを打設した宮古島市内県道235号線深江橋A1橋台とFACを打設した伊良部大橋P6橋脚でもコンクリートの温度上昇測定を実施した。

結果は、疑似断熱温度試験で3.2、実構造物試験でも2.7と、FACの方が温度上昇の抑制効果が認められ、

さらにFACの方が温度上昇速度および温度降下速度がともに遅かった。この結果は、土木学会コンクリート標準示方書[施工編]4.2熱特性<sup>6)</sup>に示された普通ポルトランドセメントとフライアッシュセメントB種の熱特性を再現していた。

##### 4.3 ASR抑制効果の確認

前章で決定した最適配合を用いて平成19年9月から、伊良部大橋A1橋台の施工が開始されたが、平成18年3月に出された西日本高速道路(株)の調査結果<sup>7)</sup>において、新川沖産海砂が台湾産川砂と同様の岩種構成比であり、海砂によるASR発生構造物が確認されたことから、以下の確認試験を実施した。

##### (1) 使用する海砂の岩種判定試験

伊良部大橋で使用する沖縄本島新川沖産海砂に対し、1) 粒度分布、2) 構成岩種の判別、3) 構成岩種の構成比を調べ、ASRに有害な鉱物が含まれるか否かを試験した。本試験の結果、新川沖産海砂は図-4に示すような岩種の構成比であり、表-7に示すようなASRを発生させる鉱物が大部分であると確認できた。また、山田<sup>8)</sup>によると、これらの鉱物を岩石学的に評価すると「Class 2: 潜在的反応もしくは反応性の可能性あり」に分類される。

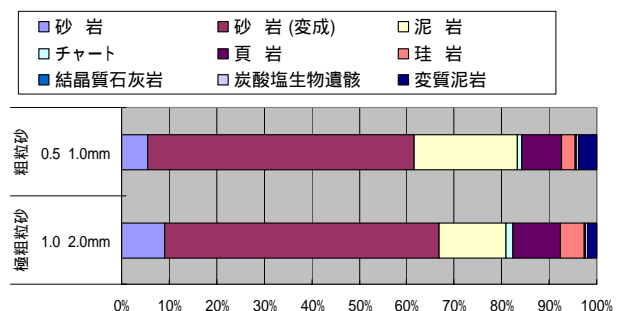


図-4 海砂の岩種構成比

表-7 海砂に含まれるアルカリ骨材反応性岩種と鉱物<sup>8)</sup>

アルカリ反応性岩石		アルカリ反応性鉱物
堆積岩	砂岩	微小石英(基質)、結晶格子にひずみを有する石英(フレームワーク粒子)
	泥岩(チャート含む)	微小石英、結晶格子にひずみを有する石英(石英脈)
	頁岩	微小石英
変成岩(原岩は堆積岩)	砂岩(変成)	微小石英(基質)、結晶格子にひずみを有する石英(フレームワーク粒子、石英脈)
	珪岩	結晶格子にひずみを有する石英
	結晶質石灰岩の一部	微小石英

表-6 下部工27N/mm<sup>2</sup>FACの決定配合(実機試験で用いた配合)

配合	W/C + F1 (%)	sF2/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								混和剤 (C + F1)%	AE助剤 (C + F1)%
			W	C	F1	F2	海砂	砕砂	4005	2005		
U65F25	49.5	38.6	156	250	65	25	399	273	458	687	0.475 (0.50)	0.003

注1) セメントの種類: 普通ポルトランドセメント

注2) 混和剤: 高機能型AE減水剤、( )中の数字は室内試験において配合した量

## (2) 促進膨張試験

(1)の試験結果を受け、伊良部大橋のコンクリート配合で新川産海砂を使用している以下の3配合についてASR促進膨張試験を行った。

- ・前章で選定したFAC(27N-U65F25):下部工27FAC
- ・比較のためのBC(27N-U0F0):下部工27NC
- ・上部工50N/mm<sup>2</sup>コンクリート:上部工50NC

### 1) JCI-DD2法

JCI-DD2法は、13週間の試験期間により判断したが、3配合ともほとんど膨張量は認められなかった。

### 2) NaCl浸漬法(デンマーク法)

NaCl浸漬法も13週間の試験期間により判断したが、NC配合でやや膨張傾向にあるもののASR発生が判断出来る膨張量は認められなかった。

### 3) NaOH浸漬法(カナダ法)

NaOH浸漬法は、4週間の試験期間により判断したが、本試験環境においては、FAを配合しない上部工50NCと下部工27NCとはASRが発生する可能性があると言え、FAを配合した下部工27FACにはASR抑制効果があると確認された(図-5参照)。

## 4.4 信頼性確認結果をうけての決定事項

4.1~4.3の結果から、伊良部大橋下部工は、当初計画通り設計基準強度27N/mm<sup>2</sup>、FAの内割配合65kg/m<sup>3</sup>(20%)、外割配合25kg/m<sup>3</sup>のFACで施工することとした。

また、上部工50NCは、促進膨張試験結果よりASR発生の可能性が確認されたため、上部工には海砂を用いず、細骨材は本部産石灰岩砕砂100%で配合することとした。

## 5. まとめ

本報告では、伊良部大橋の耐久性向上を目的として、コンクリート材料の検討、配合の決定、決定配合のASR抑制効果を確認した。以下に本報告の結果をまとめる。

- 1) 伊良部大橋で用いる骨材は、これまで宮古島で一般的に用いられていた台湾産川砂利および川砂にASR問題があるため使用せず、沖縄本島本部産砕石および同砕砂、新川産海砂を用いる方針とした。
- 2) 各種配合試験結果から、下部工コンクリートには、沖縄本島石川火力発電所から産出するFA(JIS種灰)を内割配合65kg/m<sup>3</sup>(セメントの20%)、外割配合25kg/m<sup>3</sup>で用いることとした。
- 3) 2)の決定後、細骨材として用いる沖縄本島新川産海砂に、ASRの反応性鉱物が含まれ、海砂によるASR発生構造物が確認された。よって、下部工27FAC対しASR促進膨張試験(NaOH浸漬法)を実施したところ、FAによるASR抑制効果が確認された。

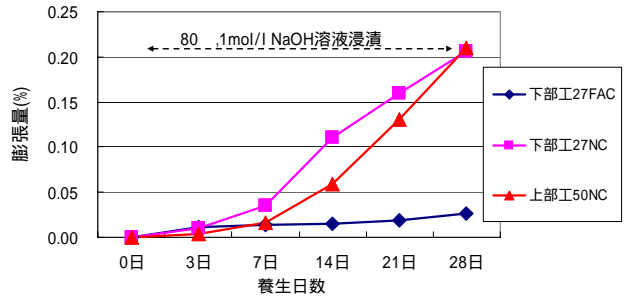


図-5 促進膨張試験結果(NaOH浸漬法)

- 4) FACの塩害抑制効果は既往の文献により確認し、温度応力抑制効果については、疑似断熱温度試験および実構造物の温度測定試験により確認した。

## 謝辞:

本報告作成に当たっては、耐久性委員会委員長の琉球大学名誉教授大城武先生にご指導頂いた。また、配合試験および実機試験等では、沖縄県生コンクリート工業組合中南部試験所および大米建設(株)宮古工場試験室のご助言・ご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献:

- 1) 沖縄県宮古支庁土木建築課:伊良部大橋第コンクリート耐久性検討業務報告書, 2006.3
- 2) 土木学会:コンクリートライブラリー94,フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案) pp.9-10, 2003.3
- 3) 土木学会四国支部:フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針(案), pp.15-17, 2003.3
- 4) SORN Vira, 山田義智, 大城武:フライアッシュコンクリートの遮塩性評価, 日本建築学会学術講演概要集(北陸), pp.585-586, 2002.8
- 5) 和田真平ら:フライアッシュコンクリートの中性化, 水密性および遮延性に関する実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.121-126, 1998
- 6) 土木学会:コンクリート標準示方書[施工編], pp.342-343, 2007.3
- 7) 西日本高速道路(株):平成18年度沖縄自動車道那覇~石川間構造物現況調査総括報告書, 2007.3
- 8) 小林一輔:図解 生コンと材料の品質検査法, 株式会社オーム社, pp.58-69, 2006.12
- 9) 山田一夫:最近の国際的なアルカリ骨材反応対策-関連基準の動向, RILEM TC 191-ARPの指針の概要, セメント・コンクリート, No.704, 2005.10