

報告 沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針(案)の概要

比嘉 正也*1・砂川 勇二*2・風間 洋*3・富山 潤*4

要旨：沖縄県土木建築部では、コンクリート構造物の耐久性向上や石炭火力発電所から産出されるフライアッシュの有効利用を図るため、配合方法や施工に関する標準的な考え方を示した「沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針(案)」を策定した。フライアッシュコンクリートの配合は、100年供用を目的として建設された伊良部大橋の配合を基本に検討されており、温度応力の低減、塩分浸透抑制およびアルカリシリカ反応抑制などの耐久性向上を目的としている。本報告では、「沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針(案)」で示す配合決定の根拠と指針概要を報告する。

キーワード：フライアッシュコンクリート、置換率、内割り配合、外割り配合

1. はじめに

沖縄県は、亜熱帯海洋性気候に属する島嶼県で、年間を通して高温多湿である。このため、コンクリート構造物は、塩害劣化が促進されやすい厳しい環境下にある。また、沖縄県で一般的にコンクリートに用いる細骨材は、沖縄県新川沖産海砂(以下、県産海砂と称す)と本部半島産石灰岩砕砂(以下、砕砂と称す)の混合砂であるが、近年、西日本高速道路株式会社による沖縄自動車道の橋梁調査において、県産海砂による遅延膨張性アルカリシリカ反応(以下、ASRと称す)が確認され、多くの離島架橋を有する沖縄県では、コンクリート構造物の耐久性向上・長寿命化が重要課題となっている。

このような状況の中、宮古島と伊良部島を結ぶ伊良部大橋(平成27年1月供用開始)は、100年供用を目的とし、耐久性向上対策として沖縄県土木建築部管理橋梁で初めてフライアッシュコンクリート(以下、FACと称す)を採用した。

この実績を受けて、県内の重要構造物においてFACの利用促進が図られてきたが、沖縄県には独自のFACに関する指針やマニュアル等がなかったため、各現場において個別に検討・採用されていた。そこで、沖縄県土木建築部では、コンクリート構造物の耐久性向上や長寿命化を図るとともに、産業廃棄物の有効利用による環境負荷低減効果を目的にフライアッシュ(以下、FAと称す)の配合方法や施工に関する標準的な考え方を示した「沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針(案)」(以下、FAC指針(案)と称す)を策定した。

FAC指針(案)では、従来のレディーミクストコンクリートと同様の製造・強度管理が可能なFACとして、耐

久性向上効果等の目的に応じ、3つの配合タイプを示しており、沖縄県土木建築部発注の新設もしくは補修工事等で用いる沖縄県土木工事設計要領に示すコンクリート構造物を対象としている。FAC指針(案)の策定により、今後設計される多くの土木構造物の高耐久化が図られるとともに、産業廃棄物の有効利用により環境負荷低減効果が得られる事と考える。

本報告では、FAC指針(案)の基礎となった各種検討結果、およびFAC指針(案)の内容を概説する。

2. 調査検討の概要

沖縄県土木建築部では、FACの採用検討において、後述する3つの耐久性向上に加え、フレッシュ時の性状確認や強度発現の確認などの調査が行われている。FAの使用目的および実施された検討内容を以下に示す。

2.1 FAの使用目的

沖縄県土木建築部では、主に水和熱による温度応力の低減、塩分浸透抑制およびASR抑制の3つの耐久性向上を目的にFACの採用を検討することとした。表-1に、それぞれの使用目的に対して望ましいとされるFAの種類とセメントとの質量置換率の範囲を示す²⁾。ここで、沖縄県内で産出されるFAは、JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」に規定されるII種のFA(以下、JIS II種FAと称す)であり、同表から前述の3つの耐久性向上が期待できる置換率は、20~30%(内割り配合)である事がわかる(表中青色表示)。なお、沖縄県産のJIS II種FAは、3年間のデータから品質規格は安定している事が確認された³⁾。

*1 (一財) 沖縄県建設技術センター 試験研究部試験研究班 主任技師(正会員)

*2 沖縄県 土木建築部技術・建設業課技術管理班 班長 修士(工学)

*3 アール・アンド・エー 代表(正会員)

*4 琉球大学 工学部工学科社会基盤デザインコース 准教授 博士(工学)(正会員)

表一 フライアッシュの種類と置換率

使用目的	種類	I種	II種	III種	IV種
流動性の向上		10~40%	10~30%	—	—
水和熱による温度上昇の抑制		—	20~30%	20~30%	20~30%
アルカリシリカ反応(ASR)の抑制		15~40%	15~30%	15~30%	25~30%
耐硫酸塩性の向上		10~40%	10~30%	10~30%	—
耐海水性(塩害を含む)の向上		10~40%	10~30%	10~30%	—
高流動化		20~40%	20~30%	—	—
高強度化		10~30%	—	—	—

注) 普通ポルトランドセメントの一部をフライアッシュで置換する場合について示したものである

2.2 FACの耐久性検証

表一は、伊良部大橋の実工事で採用した FAC とその基本配合であり、FA の配合は、セメントの一部と置換する配合（内割り配合（F1））と、細骨材の一部と置換する配合（外割り配合（F2））に分けた配合量を示している。FAC の耐久性検証は、これらの配合を用いて行った。表中青色表示は、実工事採用配合である。

表二 FACの耐久性検証に用いた配合の概要

部位	配合	設計基準強度 (N/mm ²)	W/B (%)	単体量 (kg/m ³)			備考
				セメント C	内割FA F1	外割FA F2	
下部工	27FAC	27	49.5	250	65 (C×20%)	25	・FA (内割り、外割り) ・細骨材 (混合砂)
	27NC	27	49.5	315	0	0	・27FACの基本配合 ・細骨材 (混合砂)
	36FAC	36	39.0	323	80 (C×20%)	20	・FA (内割り、外割り) ・細骨材 (混合砂)
	36NC	36	39.0	403	0	0	・36FACの基本配合 ・細骨材 (混合砂)
上部工	50外FAC	50	33.5	446	0	22 (S×3%)	・FA配合 (外割りのみ) ・細骨材 (砕砂のみ)
	50NC	50	33.5	446	0	0	・50外FACの基本配合 ・細骨材 (混合砂)

注) 各記号の意味

FAC: フライアッシュコンクリート, NC: 普通コンクリート, FA: フライアッシュ,
C: セメント, S: 細骨材, B: C+F1, F1: 内割り配合 (kg/m³), F2: 外割り配合 (kg/m³)

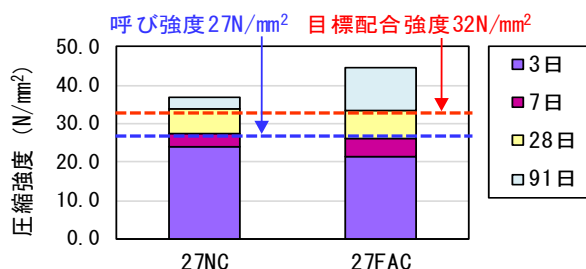
(1) 強度発現

伊良部大橋下部工コンクリートには、耐久性向上を目的に普通コンクリート（以下、NC と称す）のセメントの一部と FA を置換する内割り配合を検討した。しかし、内割り配合は、セメント量が減少するため初期強度の低下が懸念され、その結果、工事の進捗等に影響を与える可能性があった。

そこで、風間ら⁴⁾は、設計基準強度 27N/mm² の下部工コンクリートの配合検討時に、27N/mm² の NC（以下、27NC と称す）の配合を基準として、FA を内割り配合に加え、外割りとして細骨材の一部とも置換する配合も作成して、強度の経時変化を確認し、最適配合を検討している。図一は、その検討において、基本配合とした 27NC

と、最適配合として実工事で採用された 27N/mm² の FAC 配合（以下、27FAC と称す）の強度の経時変化である。27FAC は前出の表一に示す配合で、内割りとしてセメントの 20% 置換し、加えて外割りとして細骨材と 25kg/m³ 置換している FAC の配合である。

同図より、27FAC は、27NC に比べ初期強度が低い、管理材齢 28 日における強度は目標配合強度を満足していることが分かる。また、28 日から 91 日において大きく強度が増進している。この結果から、沖縄県土木建築部では、内割りでの置換率 20% の FAC 配合でも、強度の管理材齢を 28 日としている。



図一 27N/mm² コンクリートの強度の経時変化

(2) ASRの抑制効果

県産海砂は、ASR の発生が懸念されたことから、伊良部大橋コンクリート耐久性検討業務において、ポイントカウント法による県産海砂の岩種判定試験⁵⁾や、FAC による ASR 抑制効果を確認するための ASR 促進膨張試験を行っている⁶⁾。

岩種判定試験の結果、県産海砂は ASR を発生させる鉱物である微晶質石英などで形成される砂岩や泥岩などが大部分を占めていることが確認された（図二）。また、温度 80℃ の 1mol/L-NaOH 水溶液に浸漬する方法（NaOH 溶液浸漬法、通称、カナダ法）により ASR 促進膨張試験を行った。カナダ法は、本来モルタル供試体で行うものであるものに対し、本試験では同じ条件で、直径 68mm、長さ 250mm のコンクリートコアに対し実施した。表三は、コンクリート診断技術¹⁷ [基礎編] で示す促進膨張試験の概要である⁷⁾。ASR 促進膨張試験に用いた配合は、27FAC とその基本配合である 27NC、また工事計画の当初において上部工で採用を予定していた設計基準強度 50 N/mm² の NC（以下、50NC と称す）を用いている。

この結果、図三に示すように、NC である 50NC と 27NC では ASR 発生に伴う膨張の可能性が認められたが、FA を配合した 27FAC は殆ど膨張せず、FA による ASR 抑制効果が確認された。なお、上部工コンクリートの ASR 抑制対策については「(3) 流動性の改善」で後述する。

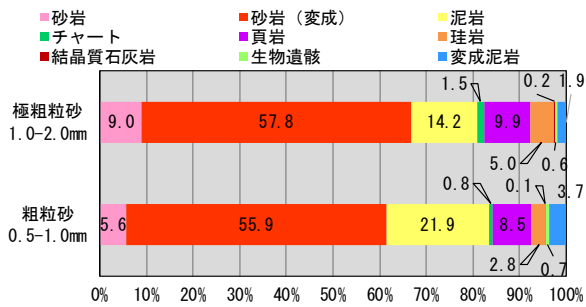


図-2 県産海砂の岩種判定試験結果

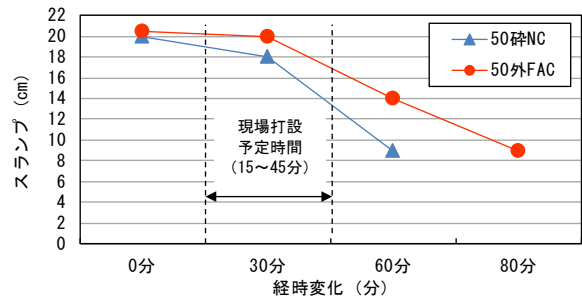


図-4 50 碎 NC, 50 外 FAC のスランプ経時変化

表-3 促進膨張試験の概要

試験法名称	1mol/L-NaOH浸漬法(通称, カナダ法)
促進養生の条件	温度80℃の1mol/L-NaOH水溶液に浸漬
判定基準	ASTM C 1260-94の判定基準: 試験開始後14日間での膨張量で以下のように判定する。 0.10%未満の場合: 無害 0.10%~0.20%の場合: 有害と無害の骨材が含まれる。 (この場合、14日以降も更に試験を継続する) 0.20%超えの場合: 潜在的に有害な膨張率

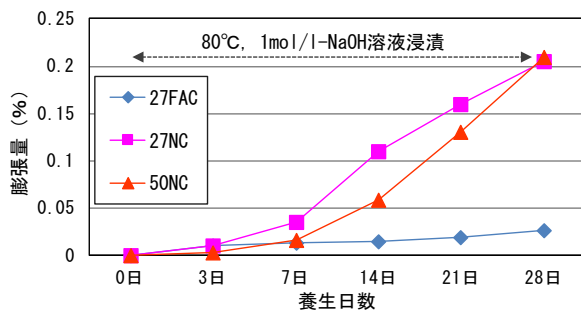


図-3 27FAC, 27NC, 50NC 促進膨張試験結果

(3) 流動性の向上

前述のように県産海砂に ASR 発生の可能性が確認されたため、伊良部大橋上部工のコンクリートでは、ASR のリスクを回避するため、細骨材に県産海砂を使用せず、砕砂のみとした設計基準強度 50N/mm² の NC (以下、50 碎 NC と称す) とした。しかし、砕砂のみでは流動性が著しく低下したため、流動性を改善し、ワーカビリティの確保を目的に、外割り配合で FA を混和する配合が検討された⁹⁾。図-4 に、50 碎 NC と、砕砂の 3% を FA と外割り置換した FAC (以下、50 外 FAC と称す) のスランプの経時変化を示す(目標スランプ: 18.0±2.5cm)。この結果、50 外 FAC は現場打設開始時間まで殆どスランプロスがなく、打設終わりの 45 分まで 3 cm 程度のロスであった。これに対し、50 碎 NC は打設中にスランプロスが大きくなり、打設終わりには目標スランプの範囲を外れていた。

なお、上部工において内割り配合を行わなかったのは、内割り配合では初期強度が確保出来ず、上部工セグメント製作のサイクルタイムが維持できなかったためである。

(4) 水和熱による温度上昇量の抑制

沖縄県宮古土木事務所では、FAC の水和熱による温度上昇抑制効果の参考とするため、2 ヶ月違いで打設された、27FAC を用いる伊良部大橋の P6 橋脚と、同島内に建設され 27NC を用いる深江橋の A2 橋台の 2 構造物において、コンクリート内部の温度上昇の比較検証を行っている⁹⁾。部材厚さは、伊良部大橋 P6 橋脚が 2.5m、深江橋 A2 橋台は 2.3m で、測定箇所は部材中心部とした。検証の結果、表-4 に示すように打設開始時の温度は 27FAC のほうが 5℃高かったが、ピーク時の温度は 27NC のほうが 2.3℃高い結果となっており、温度上昇量としては 27FAC が 2.7℃低かった。

ここで、両者の温度測定開始を重ねてプロットすると図-5 のようになり、27FAC は 27NC に比べ温度の上昇および下降の勾配が緩やかであり、膨張および収縮応力は 27FAC の方が小さかったと考えられる。

以上より、FA を混和することで、水和熱による温度上昇量が抑制され、それに伴う温度応力も抑制される効果があると考えられる。

表-4 27FAC と 27NC の温度測定結果

対象部材	配合	打設日	打込み温度 T ₀ (°C)	最高温度 T _{MAX} (°C)	温度上昇量 (°C)
伊良部大橋 P6橋脚	27FAC	2008/6/13	31	74.8 (2.3日)	43.8
深江橋 A2橋台	27NC	2008/4/11	26	72.5 (1.7日)	46.5

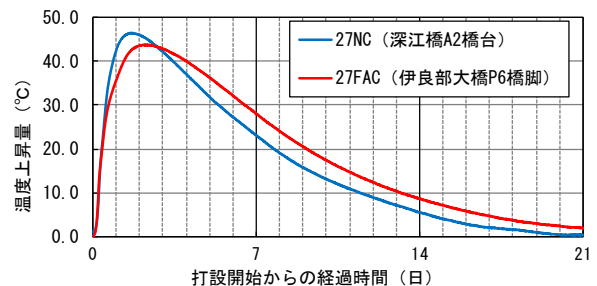


図-5 27FAC と 27NC の温度上昇量比較

(5) 中性化耐久性

FAC は、セメントの一部と FA を置換することで、伊良部大橋のような海から湿分が供給される環境と比べ、内陸部や高濃度 CO₂ 環境においては中性化進行が NC に比べ速いことが懸念されるため、27FAC および 36FAC の配合を用いて中性化促進試験を行った⁸⁾。試験の結果から、促進中性化速度係数を求め、100 年後の中性化進行予測を行ったところ、最も予測中性化深さが大きかったのは 27FAC で 26.0mm であった (図-6)。

ここで、沖縄県の内陸部は、道路橋示方書⁹⁾の規定で鉄筋最小かぶり 50mm とされている。また、コンクリート標準示方書では鉄筋かぶりから中性化深さを引いた未中性化領域「中性化残り」が塩害環境の場合 15mm を下回ると鋼材腐食が顕著になる構造物が急増するとされている¹⁰⁾。この条件から、最も予測中性化深さが大きかった 27FAC を内陸部のかぶり 50mm の環境で用いても、100 年後の予測中性化深さは 26.0mm であるため、かぶり 50mm に対する中性化残りは 24.0mm であり、15mm を下回らないことがわかった。

以上から、27FAC は沖縄県の内陸部においても 100 年間の中性化抵抗性は確保できると考えられた。

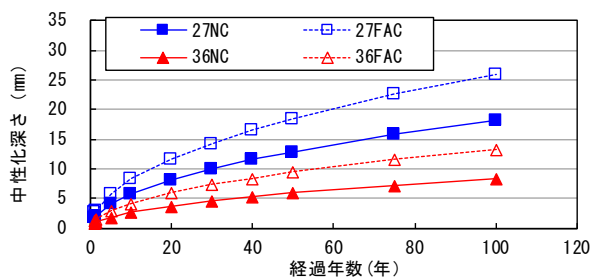


図-6 中性化速度係数から試算した中性化予測

(6) 塩分浸透抑制効果

沖縄県は、道路橋示方書で定める塩害の影響地域において、日本で唯一県内全域が地域区分「A」とされ、海岸線から 300m 以上の内陸部でも最小かぶり 50mm を確保することとされている。さらに、海上環境は「塩害の影響度合いと対策区分」で「S 影響が激しい」とされていることから、伊良部大橋の供用環境は、過酷な塩害環境にあることが分かる。

そのため、沖縄県宮古土木事務所では、実橋の塩分浸透状況を把握するため、実橋と同じ配合を用いた供試体を作製し、実橋と同環境で長期暴露試験を行っている。図-7 は、27FAC と 27NC の暴露 5 年目供試体から採取した貫通コアを 20mm ピッチでスライスし、塩分浸透量を分析した結果である¹¹⁾。横軸はコンクリート表面からの深さを指す。27NC は表面からの深さ 2~4cm まで明らかな塩分浸透認められるが、27FAC では 2~4cm の位置

に僅かに塩分浸透が認められるものの殆ど浸透していないことが確認できた。また、風間ら¹²⁾の研究において、表-5 の配合比較に示すように伊良部大橋の 27FAC に近い配合の供試体を 11 年間暴露した塩分浸透状況を確認しており、FAC 供試体はベースコンクリート供試体に比べ遮塩性が高かった (図-8)。なお、この研究に用いた FA は、二酸化ケイ素が JISII 種 FA の規定値よりやや低い (44.7%) が、それ以外は JISII 種 FA 相当である。

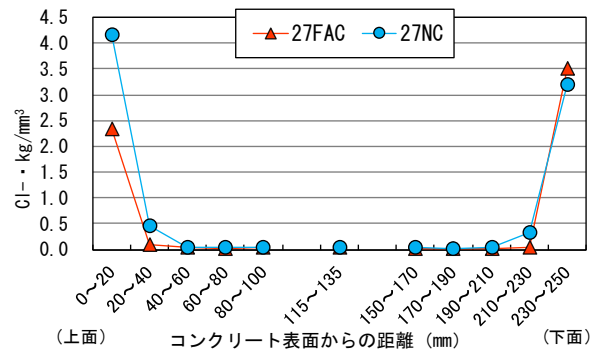


図-7 27FAC と 27NC の塩分浸透状況

表-5 W/C=65%供試体と 27FAC の配合比較

配合名	W/B (B=C+FA) (%)	単位量 (kg/m³)							
		W	C	FA	細骨材		粗骨材		
					海砂	砕砂	2005	4020	
暴露供試体									
65-18-B	65.0	179	275	—	461	461	921	—	—
65-18-50	55.1			50	427	427	929	—	—
65-18-75	51.1			75	384	384	986	—	—
65-18-100	47.7			100	368	368	988	—	—
27FAC	49.5	156	250	90*	399	273	458	687	—

注) 供試体の読み方 65: W/C(%), 18: スランプ(cm), B: ベースコンクリート, 50, 75, 100: 外割りFA配合量(kg/m³)

*) FA総量90kg/m³ (内割り配合量65kg/m³+外割り配合量25kg/m³)

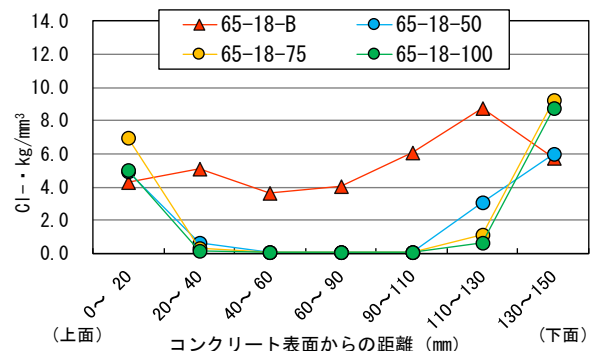


図-8 W/C=65%供試体の塩分浸透状況

3. FAC 指針 (案)

前章で示した耐久性向上効果をもとに沖縄県土木建築部は、「沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針 (案)」を策定した。以下にその概要を示す。

3.1 FAC 指針（案）の構成

FAC 指針（案）で取り扱う FAC の 3 配合タイプは、配合設計上、図-9 に示す内割り+外割り配合タイプ、内割り配合タイプ、外割り配合タイプの 3 タイプに分類する。3.2 節に各配合タイプの概要を示す。

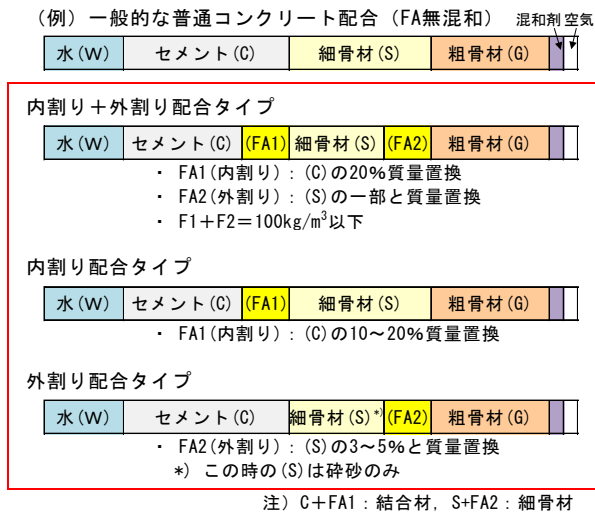


図-9 3つの配合タイプの概念図

3.2 配合タイプの概要

(1) 内割り+外割り配合タイプ

本配合タイプは、FA を内割り 20%、外割りで内割り配合と合わせて 100kg/m³ 以内の量を混和した配合であり、水和熱による温度上昇の抑制、ASR の抑制、耐海水性（塩害を含む）の耐久性向上を目的とした配合である。内割りと外割りを合わせて 100kg/m³ 以内としたのは、FA 総量が 100kg/m³ を超えると粘性が強くなり、施工性が低下するためである。

この配合タイプは、伊良部大橋下部工に用いられた配合を基本としており、前章の検証試験のとおり、従来の NC と同等の強度管理（管理材齢 28 日）が可能で、各種耐久性向上効果が認められるコンクリートであり、伊良部大橋施工以降は、沖縄県内で最も多く用いられている配合である。なお、本配合タイプは、水和熱による温度上昇抑制も主な目的としているため、マスコンクリートを対象としている。

(2) 内割り配合タイプ

本配合タイプは、FA を内割り 10~20% の範囲で混和した配合であり、主に塩害および ASR の抑制対策を目的とした配合である（ASR の場合は 15~20%）。なお、前出の表-1 では 10~30% 配合で塩害および ASR 抑制効果があるとされているが、できる限り管理材齢を 28 日とする行うことを目的としているため、20% 以下の配合とした。仮に材齢 28 日において管理強度を満足できない場合は、最大で 91 日まで管理材齢の延長を可能として

いる。また、JIS フライアッシュセメント B 種を用いる場合もこの配合タイプとなる。なお、本配合は、水和熱による温度上昇の抑制効果を期待していないため、対象部材は、比較的小規模な構造物が望ましいとしている。

(3) 外割り配合タイプ

本配合タイプは、伊良部大橋上部工コンクリートに用いられた配合を基本としており、プレキャスト PC 桁や PC セグメント桁等の脱型・吊り上げを早期に行う必要のある構造物で多く用いられている。

この配合タイプでは、ASR 発生の可能性が懸念される県産海砂りを使用せず、細骨材を砕砂のみとした場合に流動化材として FA を外割り 3~5% 配合するものである。なお、FA 置換率（3%~5%）の選定は、コンクリート製造工場毎に異なる砕砂の粗粒率（FM）や粒度分布を考慮して、各工場で配合試験を行い、最適置換率を決定するものである。

3.3 その他特筆事項

(1) 空気量の規定

FAC 指針（案）で取り扱う、内割り+外割り配合タイプおよび内割り配合タイプは、空気量を規定せず、非 JIS コンクリートとした。

これは、FA を多量配合した場合、FA に含まれる未燃炭素が AE 剤を吸着し、荷卸し地点での空気量は概ね 2.0% 前後と安定した空気連行性が得られないことが判っているが、FA 用 AE 剤を使用すると生コンクリートが高価になることから、凍害がない沖縄県では空気量を規定せずを用いることとしたものである。ただし、外割り配合タイプについては、FA 配合量が少ないため、普通 AE 剤により NC 同様に空気量を調整できることから、空気量は、4.5±1.5% を標準とした。

なお、FAC 指針（案）では、空気量を規定しない内割り+外割り配合タイプおよび内割り配合タイプでも受け入れる生コンクリートが FAC であることを確認する手法の一つとして、全ての配合において荷卸し地点で空気量を測定することとした。

(2) 累加計量

FA の計量は、専用の計量設備を基本とするが、FA の使用を広く進めようという意図から、専用の計量設備がない場合や少量利用の計量設備がない場合は、監督職員立ち会いの上において、セメントとの累加計量も可能とした。特に外割り配合タイプでは、砕砂の 3~5% 程度の置換と FA 量が少量になるため、数百 kg の計量を行うセメント計量ビンで少量計量を行った場合、計量誤差が生じる可能性が高いことも考慮し、累加計量を行っても良いとした。

(3) 特記仕様書（案）

FACの使用にあたっては、発注者が内容を十分に把握するとともに、施工者やコンクリート製造業者に FAC 配合の考え方が伝わるよう、発注しなければならないことから、FAC 指針（案）では、FAC 発注時の留意点を特記仕様書（案）として取り纏めた。特記仕様書（案）の主な記載内容を以下に示す。

a) 水結合材比，単位量の基本

FACの配合は、コンクリート製造工場の持つ FAC と同じ呼び強度の標準配合の水結合材比，単位水量を基本とする。

b) FA 配合量

内割り＋外割り配合タイプの場合，内割り配合量をセメントの 20%とし，外割り配合量は内割り配合量と合わせて 100kg/m³以下。

内割り配合タイプの場合，内割り配合量は，セメントの 10～20%とする。ただし，ASR 抑制効果を期待する場合は，15～20%とする。

外割り配合タイプの場合，砕砂のみとしたコンクリートのワーカビリティ改善を目的に，細骨材（砕砂）の 3～5%程度の外割り配合量とする。

c) 空気量

内割り＋外割り配合タイプおよび内割り配合タイプについては空気量を規定せず，外割り配合タイプのみ 4.5±1.5%とするが，全ての配合において荷卸し地点で空気量の測定を実施すること。

d) 養生期間の設定

FAC の養生期間は，28 日を原則とする。やむを得ない場合であっても，コンクリート標準示方書に示される 7 日間を確保すること¹³⁾。

4. まとめ

本報告では、「沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針（案）」の基礎データとした既往調査検討内容および確認された耐久性効果を概説し，FAC 指針（案）の概要を示した。以下に，本報告の内容をまとめる。

- (1) 既往調査の検討内容から確認された耐久性効果を整理し，FAC 指針（案）で取り扱う 3つの配合タイプを内割り＋外割り配合タイプ，内割り配合タイプ，外割り配合タイプに分類した。
- (2) 沖縄県は温暖で凍害がないことから，内割り＋外割り配合タイプおよび内割り配合タイプでは，空気量を規定しなかった。
- (3) FA の計量設備がない場合や少量計量で計量誤差が生じる可能性がある場合は，監督職員立ち会いの上，セメントとの累加計量を行っても良いこととした。

- (4) FAC の発注において，発注者が内容を十分に把握し，受注者にその意図が伝わるようにするため，FAC 発注時の特記仕様書（案）を示した。

謝辞

本指針（案）策定にあたり，沖縄県におけるフライアッシュコンクリート配合及び施工指針検討委員会の皆様にご協力を頂いた。また，沖縄県土木建築部職員ならびに（一社）沖縄県建設業協会，（一社）沖縄県中小建設業協会および沖縄県生コンクリート工業組合の関係者の皆様にも多数のご意見・ご指摘を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 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
- 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施工指針（案），pp.9-10，1994.4
- 3) 砂川勇二：沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの利用促進について，コンクリート工学，Vol.52，No.5，pp.454-458，2014，5
- 4) 風間洋，渡久山直樹，砂川勇二，山田義智：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，コンクリート工学会年次論文集，Vol.32，No.1，pp.893-898，2010
- 5) 沖縄県土木建築部宮古支庁土木建築課：伊良部大橋第 3 期コンクリート耐久性検討業務委託，2008.3
- 6) 沖縄県土木建築部宮古支庁土木建築課：伊良部大橋第 4 期コンクリート耐久性検討業務委託，2008.9
- 7) 公益社団法人日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'17 [基礎編]，p.207
- 8) 風間洋，富山潤，下地建，小旗俊介：沖縄県内陸部における FAC の中性化耐久性検討，コンクリート工学会年次論文集，Vol.36，No.1，pp.850-855，2014
- 9) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書（I 共通編・III コンクリート橋編）・同解説，pp.174-176，2012.3
- 10) 土木学会：2013 年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】，p.154，2013.10
- 11) 沖縄県土木建築部宮古支庁土木建築課：伊良部大橋第 9 期コンクリート耐久性検討業務委託，2014.3
- 12) 風間洋，富山潤，砂川勇二，比嘉正也，小旗俊介：沖縄県の海岸線に 11 年間暴露したフライアッシュコンクリートの耐久性に関する研究，土木学会論文集 E2，No.3，pp.251-270，2017
- 13) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書【施工編】，p.122，2013.3