

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

第2回改訂版

令和 6年 3月



沖縄県土木建築部



## はじめに

沖縄県土木建築部では、平成 27 年 1 月に開通した伊良部大橋において、沖縄県内の火力発電所から排出されるフライアッシュをコンクリート混和材として利用するため、室内・実機配合試験、打設試験等を実施してその品質を確認したフライアッシュコンクリートを採用し、100 年耐用を目指した耐久性の向上を図った。以来、フライアッシュを混和材として利用する際の配合・製造及び施工等の調査研究を行い、副産物の有効利用による環境負荷低減やコンクリート構造物の耐久性向上、長寿命化を図ることを目指し、平成 29 年 12 月に「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）」を定め、運用してきたところである。また、令和元年 5 月には、一部内容の見直しを行い、第 1 回改訂を行っている。

今般、フライアッシュコンクリートの利用が広がってきた中で、生コンクリート工場や建設会社、発注機関より、製造・施工等に関する新たな意見が挙がっていたことから、「沖縄県におけるフライアッシュコンクリート配合・施工指針検討委員会」において検討を行った結果、本指針第 2 回改訂版の策定に至ったところである。また、「参考資料」には、各種試験データの追記や施工事例等の追加を行っており、さらには施工に関する技術的な手法等を追記している。

今後とも、フライアッシュコンクリートの利用促進により、石炭灰最終処分場の延命化に加え、コンクリート構造物の品質・長期耐久性向上につながることを期待する。

最後に、本指針の改訂にあたって貴重なご意見・ご助言をいただいた「沖縄県におけるフライアッシュコンクリート配合・施工指針検討委員会」の富山委員長をはじめとする委員の皆様に対し、心よりお礼と感謝を申し上げます。

令和 6 年 3 月

沖縄県土木建築部長 前川 智宏

**【改訂履歴】**

第1回改訂

「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（第1回改訂）」  
令和元年5月

第2回改訂

「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（第2回改訂）」  
令和6年3月

## 指針の改訂にあたって

「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）」は、平成29年12月に策定され、南部東道路や泡瀬人工島連絡橋（仮称）を始めとするいくつかの重要構造物に適用されています。今回の改訂では、これまでの実績や経験を反映させる目的で、本指針を利用した建設会社や生コンクリート工場からのヒアリングを実施し、その意見が反映された内容となっています。さらに、これまで電源開発株式会社石川火力発電所から供給されていた分級フライアッシュ（JPFA）に加え、新たに沖縄電力（株）金武火力発電所算出FAを加熱改質したフライアッシュ（HrFA）が追加されました。これにより、本指針はより実践的かつ応用性の高いものとなり、その有効性が高まると考えています。

建設現場での経験と技術的なデータを組み合わせたこの指針は、信頼性と適用性をさらに高め、施工性、強度、耐久性をバランスよく向上させることで、沖縄県の厳しい自然環境に適した高品質なフライアッシュコンクリート構造物の建設を実現することが期待されます。

また、HrFAの採用は、この指針のもう一つの重要な進展です。HrFAは従来のフライアッシュと比較して、空気量のコントロールが容易であり、フライアッシュコンクリートの適用範囲を拡大することが可能です。HrFAの指針への導入により、フライアッシュコンクリートの利用促進がさらに進むことが期待されます。

この指針改訂は、沖縄県の建設業界における持続可能性を高めるための重要なステップであったと考えています。フライアッシュコンクリートの利用促進により、資源の有効活用を図り、環境への負担を減らすと同時に、耐久性と経済性を兼ね備えたコンクリート構造物の建設を実現できると信じています。この指針が建設業界全体の技術的進歩と環境保護の両立に貢献することを期待しています。

最後に、この指針改訂に際し、多大な努力と時間を割いてくださったすべての関係者に対し、心からの感謝を申し上げます。皆様の貢献により、沖縄県の建設業界はより環境に優しく、持続可能な未来へと進むことができます。引き続き、この指針が沖縄県の建設業界の発展に貢献し、より良い社会の実現に向けた基盤となることを心から願っています。

令和6年2月

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  
委員長 富山潤

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  
(平成 29 年度初版策定時)

委員長	富山 潤	琉球大学工学部 准教授
委員	山田 義智	琉球大学工学部 教授
委員	上原 国定	沖縄県土木建築部 土木整備統括監
委員	仲田 康司	沖縄県生コンクリート工業組合 専務理事
委員	喜屋武 忠	一般社団法人 沖縄県建設業協会 理事
委員	我如古 明延	一般社団法人 沖縄県中小建設業協会 理事

(順不同)

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  
(令和 5 年度第 2 回改訂時)

委員長	富山 潤	琉球大学工学部 教授
委員	山田 義智	琉球大学工学部 教授
委員	砂川 勇二	沖縄県土木建築部 統括監
委員	安谷屋 政秀	沖縄県生コンクリート工業組合 特別顧問
委員	真栄里 嘉孝	一般社団法人 沖縄県建設業協会 理事
委員	仲間 祐一	一般社団法人 沖縄県中小建設業協会 監事

(順不同)

## 【本 文】 目 次

1. 総 則	1
1. 1 目 的	1
1. 2 指針の構成	5
1. 3 用語の定義	9
2. フライアッシュコンクリート（FAC）の適用範囲・置換率および強度の管理材齢	11
2. 1 適用の範囲	11
2. 2 フライアッシュ（FA）の置換率	15
2. 3 強度の管理材齢	16
3. 使用材料	17
3. 1 フライアッシュ（FA）	17
3. 2 セメント	19
3. 3 骨材	19
3. 4 水	19
3. 5 混和剤	19
4. 内割り＋外割り配合タイプ	20
4. 1 適用の範囲	20
4. 2 配合設計	20
4. 2. 1 一般	21
4. 2. 2 フライアッシュ（FA）のセメントおよび細骨材の置換配合	22
4. 3 製造および施工	27
4. 3. 1 フライアッシュ（FA）の貯蔵設備	27
4. 3. 2 フライアッシュ（FA）の計量	28
4. 3. 3 練り混ぜ	29
4. 3. 4 運搬	30
4. 3. 5 打込み・締固めおよび仕上げ	31
4. 3. 6 養生	34

5. 内割り配合タイプ	36
5. 1 適用の範囲	36
5. 2 配合設計	37
5. 2. 1 一般	37
5. 2. 2 フライアッシュ (FA) のセメント置換配合	39
5. 3 製造および施工	42
5. 3. 1 フライアッシュ (FA) の貯蔵設備	42
5. 3. 2 フライアッシュ (FA) の計量	43
5. 3. 3 練り混ぜ	44
5. 3. 4 運搬	45
5. 3. 5 打込み・締固めおよび仕上げ	46
5. 3. 6 養生	49
6. 外割り配合タイプ	51
6. 1 適用の範囲	51
6. 2 配合設計	51
6. 2. 1 一般	51
6. 2. 2 フライアッシュ (FA) の細骨材置換配合	53
6. 3 製造および施工	57
6. 3. 1 フライアッシュ (FA) の貯蔵設備	57
6. 3. 2 フライアッシュ (FA) の計量	58
6. 3. 3 練り混ぜ	59
6. 3. 4 運搬	60
6. 3. 5 打込み・締固めおよび仕上げ	61
6. 3. 6 養生	64

【巻末】 第1回改訂から第2回改訂の新旧対照表 1～23



## 【参考資料】 目 次

1. はじめに	参資-	1
2. フライアッシュ (FA) の性質	参資-	3
1. 4 物理的性質	参資-	3
1. 5 化学的性質	参資-	3
1. 6 沖縄県内で産出するフライアッシュの成分成績	参資-	4
3. フライアッシュコンクリート (FAC) の特性	参資-	23
3. 1 流動性の改善	参資-	23
3. 2 水和熱の抑制	参資-	27
3. 3 乾燥収縮及び自己収縮の低減	参資-	30
3. 4 力学的特性 (長期強度の増進)	参資-	32
3. 5 アルカリシリカ反応 (ASR) の抑制	参資-	37
3. 6 遮塩性の向上	参資-	41
3. 7 中性化に対する抵抗性	参資-	47
4. フライアッシュ (FA) の供給能力	参資-	53
5. 環境負荷低減効果 (CO <sub>2</sub> 削減効果)	参資-	56
6. 経済性	参資-	58
6. 1 施工費用の検討	参資-	58
6. 2 補修費用の検討	参資-	61
6. 3 ライフサイクルコスト (LCC)	参資-	62
7. 配合設計例	参資-	65
5. 4 内割り+外割り配合タイプ	参資-	66
5. 5 内割り配合タイプ	参資-	81
5. 6 外割り配合タイプ	参資-	90
8. 施工事例	参資-	108
9. コンクリート製造工場および施工会社へのヒアリング結果	参資-	158
9. 1 ヒアリング概要	参資-	158
9. 2 ヒアリング結果	参資-	159
9. 3 ヒアリングで得られた情報および意見	参資-	180
10. コンクリート打ち込み・締固めのテクニック	参資-	181

## 【参考文献】

- 1) 土木学会コンクリート委員会：フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）、コンクリートライブラリー94、1999.4
- 2) 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）、2003.3
- 3) 沖縄県土木建築部宮古土木事務所：伊良部大橋第2期コンクリート耐久性検討業務委託報告書、2009.3
- 4) 土木学会コンクリート委員会：循環型社会に適合したフライアッシュを用いたコンクリートの最新利用技術－利用拡大に向けた設計施工指針試案、コンクリートライブラリー132、2009.12
- 5) 土木学会四国支部：四国版 フライアッシュを結合材として用いたコンクリートの配合設計・施工指針、2016.3
- 6) 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、コンクリート工学年次論文集、vol.32、No.1、pp.893-898、2010.
- 7) 沖縄県土木建築部宮古土木事務所：伊良部大橋第3期コンクリート耐久性検討業務委託報告書、2010.3
- 8) 沖縄県土木建築部宮古土木事務所：伊良部大橋第4期コンクリート耐久性検討業務委託報告書、2011.3
- 9) 風間洋、富山潤、砂川勇二、比嘉正也、小籟俊介：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（材料・コンクリート構造）、No.3、pp.251-270、2017
- 10) 土木学会：2023年度制定コンクリート標準示方書【施工編】、2023
- 11) 土木学会：2022年度制定コンクリート標準示方書【設計編】、2022
- 12) 土木学会：2022年度制定コンクリート標準示方書【維持管理編】、2022
- 13) 沖縄県土木建築部技術・建設業課：令和2年度フライアッシュコンクリートに関する品質確保等検討業務委託報告書、2021.3
- 14) 沖縄県土木建築部技術・建設業課：令和3年度フライアッシュコンクリートに関する品質確保等検討業務委託報告書、2022.4
- 15) 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
- 16) 山城正吾、風間洋：沖縄県内陸部におけるフライアッシュコンクリートの中性化耐久性検討、土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会、2016.1
- 17) 沖縄県土木建築部沖縄都市モノレール建設事務所：沖縄都市モノレールPC軌道桁等コンクリート配合検討業務委託報告書、2016.1
- 18) 楠貞則、添田政司、大和竹史：フライアッシュコンクリートの簡易品質評価手法に関する研究、土木学会論文集 E、Vol.65、No.1、pp.93-102、2009.3

- 19) 富山潤・知念正昭・大宜見圭太・山田 義智：長期間暴露した FAC 試験体を用いた遅延膨張型 ASR に関する研究、コンクリート工学年次論文、Vol. 32、No. 1、2010、pp. 947-952
- 20) 土木学会：コンクリートライブラリー119「表面保護工法設計施工指針（案）」（平成 17 年 4 月）、表面保護工法工種別資料編、pp. 135-252
- 21) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2022、参考資料-6. 2. 3 補修・補強工法の耐用年数の報告例、p. 121
- 22) 長崎県土木部：長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針、2015. 1
- 23) 日本フライアッシュ協会 HP (<http://www.japan-flyash.com/index.html>)
- 24) 山口県土木建築部：コンクリート構造物品質確保ガイド 2021、令和 3 年 10 月
- 25) 土木学会：養生および混和材料技術に着目したコンクリート構造物の品質・耐久性確保システム研究小委員会（356 委員会）第Ⅱ期報告書、2023. 11
- 26) 国立大学法人琉球大学，一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会，琉球セメント株式会社：フライアッシュを用いたコンクリートのポストテンション PC 橋への適用化に関する基礎的研究報告書，<https://sm1039.skr.u-ryukyu.ac.jp/center2020/2755/>，2022 年 3 月
- 27) 沖縄県土木建築部道路管理課：沖縄県道路構造物耐久性調査業務委託（R3）報告書、令和 4 年 3 月
- 28) 石川嘉崇、安田幸弘：コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性に関するフライアッシュ混和の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 33、No.1、2011、pp. 191-196
- 29) 沖縄県土木建築部道路管理課：沖縄県道路構造物耐久性調査業務委託（H30）報告書、2017. 3
- 30) 沖縄県土木建築部道路管理課：沖縄県道路構造物耐久性調査業務委託（R1）報告書、2018. 3
- 31) 沖縄県土木建築部道路管理課：沖縄県道路構造物耐久性調査業務委託（R3）報告書、2020. 3
- 32) 国土交通省大臣官房技術調査課：「レディーミクストコンクリートの品質確保について」の運用について、平成 15 年 10 月 2 日、国官技第 185 号
- 33) 国土交通省：レディーミクストコンクリート単位水量測定要領（案）、平成 16 年 3 月
- 34) 沖縄県土木建築部：構造計画・施工計画の留意事項、平成 25 年 4 月

## 1. 総 則

### 1. 1 目 的

本指針は、沖縄県内の石炭火力発電所で産出するフライアッシュ（FA）をコンクリート用混和材として利用し、耐久性向上およびワーカビリティ向上を図ったレディーミクストコンクリート（フライアッシュコンクリート（FAC））を使用するための配合・製造および施工の基本的な考え方を示したものである。

### 【解 説】

沖縄県内の石炭火力発電所より産出されるFAを、コンクリート用混和材としてセメントの一部もしくは細骨材の一部に代替することで、塩害、アルカリシリカ反応（ASR）の抑制および温度応力の低減効果等を持つことから、コンクリートの品質向上を図ることができる。

なお、本指針で示すFACとは、普通コンクリート（NC）のセメントや細骨材をFAと置き換えたコンクリートを指す。ダムコンクリートで用いられているFACは、水セメント比（W/C）等の考え方がNCと大きく異なるため、ここでは対象としない。

また、あくまで配合・製造および施工の基本的な考え方を示すものであり、FACのJIS認証取得等については本指針の範疇外である。

#### ① 環境負荷低減（参考資料1, 5）

##### ● 再生資源の有効利用

再生資源の有効利用については、資源の消費を抑制し、環境への負荷が少ない「循環型社会」を形成するため、2000年6月に「循環型社会形成推進基本法」が個別の廃棄物・リサイクル関係法律と一体的に整備された。また、「資源の有効な利用の促進に関する法律（1991年制定「再生資源の利用の促進に関する法律」が改正）では、FA（石炭灰の一種）は指定副産物に指定されており、資源の有効な利用の促進を図ることとされている。

この他、「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（グリーン購入法）」に基づき、国土交通省が定めた「環境物品等の調達の推進を図るための方針」や沖縄県が定めた「グリーン調達方針」においては、フライアッシュセメントやFACが公共工事における特定調達品目に指定されており、事業ごとの特性、必要とされる強度や耐久性等に留意しつつ、その使用を推進することが求められている。

さらに、国土交通省が策定した「建設リサイクル推進計画2014」や、沖縄地方建設副産物対策連絡協議会が策定した「沖縄地方建設リサイクル推進計画2015」において、他産業副産物についてもグリーン調達に基づき建設工事での有効利用を促進することが施策として明記されるなど、環境負荷低減を図る取り組みが積極的に推進されているところである。

これら取り組みに見られるように、副産物の有効利用等により環境負荷低減を図ることは重要な課題であり、沖縄県土木建築部でも、環境負荷低減を図るとともに、コンクリート構

造物の耐久性向上を図る目的でFACの使用を検討するよう、2014年1月に事務連絡により関連部署に周知し、FAの有効利用を推進している。

## ② カーボンニュートラル

カーボンニュートラルとは、温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させることを意味している。2020年10月、政府は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことを宣言した。この結果、我が国は2050年に向けて、人口減少・少子高齢化が加速する中、激甚災害やインフラの老朽化に直面しつつ、カーボンニュートラルを志向するという、未だかつてない複雑かつ多様な課題を突きつけられている。

この激動の時代に備え、我々土木の世界では「耐久性の高い（長持ちする）土木構造物」を作ることに今一度立ち返る必要がある。そこで、カーボンニュートラルおよび耐久性を確保できる材料として火力発電所から産出するフライアッシュがある。

ここで、セメントは、石灰石（炭酸カルシウム $\text{CaCO}_3$ ）等原材料を $1450^\circ\text{C}$ 程度で焼成後粉砕し製造され輸送され利用され、この焼成・粉砕・輸送に要する燃料等から発生する $\text{CO}_2$ と、焼成の際に石灰石から発生する脱炭酸分 $\text{CO}_2$ と合わせ、セメント1tを使用する際には約760kgの $\text{CO}_2$ が発生することになる。

一方、フライアッシュは、副産物であることから製造に関わる $\text{CO}_2$ は非常に少なく、主に輸送の際に発生する $\text{CO}_2$ を考慮することになり、フライアッシュ1tを使用する際に発生する $\text{CO}_2$ は約20kgと、セメントに比べ排出量が非常に少量である。

このため、フライアッシュをセメント混合材やコンクリート混合材として使用し、セメントの使用量を低減すると、より少ない $\text{CO}_2$ 排出量でコンクリートを製造することが出来るのである。また、フライアッシュは後述③に示すようにコンクリートの品質を向上させ高耐久化が図られることがわかっている。

以上から、沖縄県内のフライアッシュをコンクリートに有効利用する事で、地産地消効果やコンクリート構造物の高耐久化が期待でき、カーボンニュートラルへ向けての地に足の付いた持続可能な建設産業の手段であると考えられる。

（土木学会論説委員、日本大学教授岩城一郎氏による土木学会誌第188回記事、および一般財団法人石炭フロンティア機構HPより一部引用）

## ③ コンクリートの品質向上

### ● 流動性の改善（参考資料3.1）

FAは、球状の微細粒であるため、これを混和すると流動性が改善され、コンクリートの打込みが効率的となり、充填性がよく、仕上げが良好となる。ただし、使用するFAや使用量によっては粘性が増大し、逆にワーカビリティが悪くなることもある。また、FAによってはFA中の未燃カーボンがコンクリート中の気泡（エントレインドエア）を吸着して空気量が低減することがあるため、使用するFAや使用量には注意が必要である。

### ● ひび割れ抵抗性の向上（水和熱抑制、乾燥収縮の減少など）（参考資料3.2, 3.3）

FAをセメントの一部に置換することでセメント量が減少し、水和発熱の低減とともに、硬化後の収縮率も小さくなり、ひび割れの発生が抑制される。

- 長期強度の増進（参考資料3.4）

FAをコンクリートの混和材として使用した場合、FAに含まれるガラス状のシリカやアルミナがセメントの水和反応により生成される水酸化カルシウムと徐々に反応して、カルシウムシリケート水和生成物等を生成する。これをポズラン反応と言い、セメントの水和物に似た化合物となり、セメントの結晶粒界を長期に渡り充填していくため、長期の強度増進や水密性向上により耐久性が向上する。

- アルカリシリカ反応（ASR）の抑制（参考資料3.5）

ASRは、骨材中の反応性物質とセメント中のアルカリが反応を起こす化学反応であり、FAをセメントの一部に置換することで、主に直接的なアルカリ量の低減とともに、ポズラン反応によるアルカリ消費等の効果が得られ、これを抑制する。

沖縄県のコンクリートで一般に使用する細骨材は、沖縄県産の海砂と石灰岩砕砂の混合砂であるが、海砂は遅延膨張性のアルカリシリカ反応（ASR）を示す骨材であることが判っており、条件によってはASRによる劣化を発生させる可能性が考えられる。よって、FAを混和することで、ASR劣化の発生リスク低減を図るものである。

- 遮塩性、化学抵抗性の向上（参考資料3.6）

FAのポズラン反応は、緻密な組織を形成するため、塩化物イオンの浸透抑制や、硫酸塩・薬液等の侵入に対して抵抗性が大きい。

以上を鑑みて、コンクリートにFAを混和材として混和した場合の効果を要因分析し図1.1.1に示す。本図はFAの主な3つの性質（①形状が球状の微細粒であること、②硬化時の発熱量が少ないこと、③ポズラン反応が進行すること）がもたらす効果について利用過程を踏まえて示しており、利用効果の色分けは後述する配合タイプとの関係である。

#### ④ その他

- 中性化抵抗性に関する検討（参考資料3.7）

FAを内割り配合した内割り＋外割り配合タイプや内割り配合タイプは、中性化抵抗性が低下すると一時考えられていたが、各種試験により伊良部大橋下部工FAC配合は中性化抵抗性が100年耐久性を満足することが確認された。

- FAの供給能力の確認（参考資料4）

電源開発株式会社石川火力発電所から算出するFAⅡ種灰（JPFA）の出荷量や主な施工工事、販売元である琉球セメントの受入量等についてとりまとめ、供給能力は十分あると確認した。

- 経済性の検討（参考資料6）

本指針に示されたFACは、沖縄県内で懸念される耐久性劣化対策として用いるものであるが、NCより初期投資費用が大きい。しかし、NCを用いて耐久性劣化が発生した場合の補修工法や、補修工法の維持管理費をFACの初期投資費と比較することで、FACを用いた方が経済性で有利

だと確認された。

● 配合設計例・施工事例の列挙（参考資料7, 8）

沖縄県内におけるFAC配合を用いた施工実績は橋梁が主であり、施工経験のある建設会社や生コン工場が少ない。よって、これから新たにFAC施工を経験する建設会社や生コン工場が参考にできるように、沖縄県内において過去に施工した、もしくは現在施工中のFACの配合設計例および施工事例を示した。

● ヒアリング結果（参考資料9）

FAC指針は、平成29年12月の初版発刊から約6年が経過し、FAC指針を利用した建設会社や生コン工場からFAC指針に対する要望等が上がっている。そこで、本指針改訂に当たりこれらの業者にヒアリングを行った。ここでは、それらのヒアリング結果を示した。

● 耐久性向上を目的とした施工方法（参考資料10）

コンクリートの長期耐久性は、FAC等の材料だけでなく施工にも大きく由来することが確認されており、土木学会では、コンクリート構造物の表層品質確保が重要であるとその各種検討を行っており、ここではそのテクニックをとりまとめて示した。

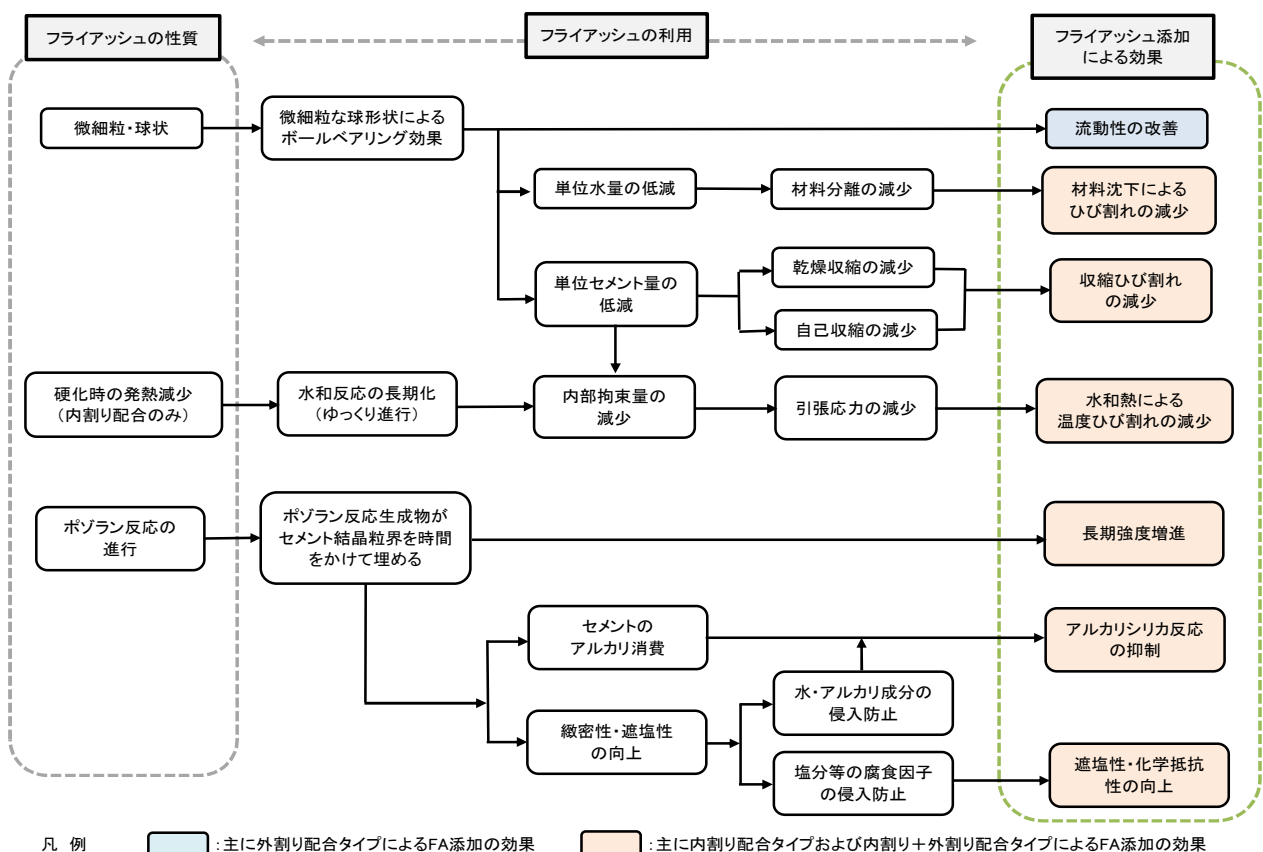


図 1.1.1 フライアッシュ利用によるコンクリートの品質向上の要因分析

※長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針（平成27年1月、長崎県土木部）  
 （参考文献22）に記載された図-1.1に加筆

## 1. 2 指針の構成

本指針で取り扱うフライアッシュコンクリート (FAC) は、配合設計上、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。

- ① 内割り+外割り配合タイプ：セメントの一部に質量置換（置換率20%）、細骨材の一部に質量置換とする（内割り配合と合わせてトータル100kg/m<sup>3</sup>以下の量）。
- ② 内割り配合タイプ：セメントの一部に質量置換（置換率10～20%のJIS R 5213フライアッシュセメントB種相当）とするが、ASR抑制効果を求める場合は15～20%とする。
- ③ 外割り配合タイプ：細骨材は砕砂のみとし、その一部を質量置換する。置換率は3～5%程度を標準とするが、フレッシュコンクリートのワーカビリティが得られない場合は、必要に応じて増やしても良い。

### 【解 説】

FACの利用方法は、セメントの一部をFAに置換する内割り配合と細骨材の一部をFAに置換する外割り配合に大別される。これまで発刊された指針類のうち、1999年の JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」の改訂に伴い発刊された「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)【コンクリートライブラリー94】」（1999年4月、土木学会）や「四国版 フライアッシュを結合材として用いたコンクリートの配合設計・施工指針」（2016年3月、土木学会四国支部）は「内割り配合」を対象としており、「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)」（2003年3月発行、土木学会四国支部）は「外割り配合」を対象としている。

しかし、県内におけるFACの配合実績は、内割り+外割り配合タイプが最も多いため、本指針では、①内割り+外割り配合タイプ、②内割り配合タイプ、③外割り配合タイプの順に示している。これらの配合タイプを図1.2.2に示し、各配合タイプについて、以下に述べる。

#### ① 内割り+外割り配合タイプ

本配合は、伊良部大橋下部工コンクリートに用いられた配合を基本としており、従来の普通コンクリート (NC) と同等の強度管理（管理材齢 28日）が可能なコンクリートで、伊良部大橋施工以降沖縄県内の橋梁下部工等で最も多く用いられている配合である。

本配合の特徴は、表1.2.1に示すFAの使用目的のうち、水和熱による温度上昇の抑制、アルカリシリカ反応 (ASR) の抑制、耐海水性（塩害を含む）の向上を目的としたものであり、使用するFAがJIS II種灰であることから、図1.2.1に示すようにこれら3つの使用目的に合った置換率は20～30%の内割り配合（セメントに対する質量置換率）となる。



この20～30%を目標に各種配合試験を行った結果、セメントの20%の内割り配合に加え、初期強度発現不足を補うために細骨材の一部と質量置換（外割り配合）すれば、材齢28日での強度管理が可能で、塩害抑制、ASR抑制に加え、温度上昇を抑制する高耐久性コンクリートになることが確認されたため、内割り配合量はセメントの20%とした。ただし、外割り配合の置換量は、粘性の増加などワーカビリティを考慮して内割り配合量と合わせて100kg/m<sup>3</sup>以下とした（参考文献6）。

なお、本配合は、水和熱による温度上昇抑制も主な目的としており、温度上昇が発生しやすいマスコンクリートを対象とする。

表 1.2.1 フライアッシュの種類と置換率<sup>\*</sup>

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

<sup>\*</sup>：フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）：土木学会、コンクリートライブラリー94

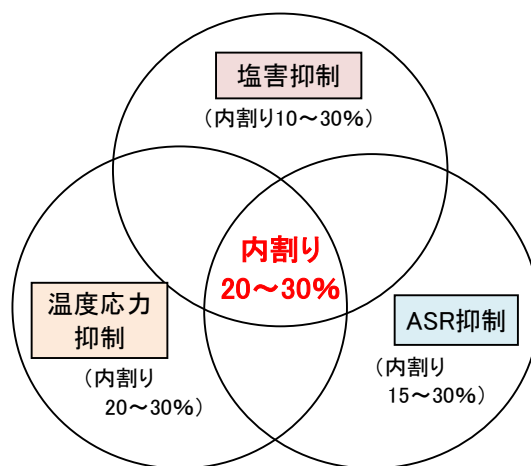


図1.2.1 主な3つの使用目的を満足させるFAの置換量

## ② 内割り配合タイプ

本配合は、土木学会や建築学会で一般にFACと言われる配合で、NCと同等の製造管理と強度管理（管理材齢 28日）が可能なコンクリートであり、FAをプレミックスされたセメント（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に入る。フライアッシュセメントB種については、後出「2. 2 フライアッシュ (FA) の置換率」で述べる。

本配合は、主にコンクリートの塩害抑制効果やASR抑制効果、および収縮ひび割れ等の改善に寄与するものであり、流動性の向上も期待できる。本配合のセメントに対する質量置換率は、10～20%の範囲とする。ただし、ASR抑制効果を望む場合は、表1.2.1に示すように質量置換率は15%以上必要であるため、置換率を15～20%とする必要がある。また、水和熱による温度上昇の抑制効果を望む場合は、同表から質量置換率が20%以上必要であるため、内割り配合タイプの対象部材は、温度応力の発生しにくい比較的小規模なコンクリート構造物が望ましい。

また、本配合の場合、強度の管理材齢28日では十分な強度発現が確保出来ない可能性もあるが、本配合はNCのセメント量を低減し、FAに置き換えることを目標としているため、強度発現を求めてセメント量を増加させ、セメントとFAの総量がNCのセメント量を超えないようにすることが重要である。なお、強度の管理材齢は、監督員と協議の上28日から最大91日まで変更して良いものとする。

### ③ 外割り配合タイプ

FAの外割り配合については、土木学会四国支部の研究があるが(参考文献2, 5)、本指針で扱う外割り配合タイプは、伊良部大橋の上部工セグメントに用いた配合を基礎としている。そのため、セグメントの工程を念頭に、打設後1日脱型(約14～17時間後)、2日吊り上げ(約36時間後)が可能な強度発現を目標としていることから、初期強度発現が小さい内割り配合は採用していない。また、細骨材は、アルカリシリカ反応(ASR)を発生させる県産海砂を用いず、砕砂100%としている。

この場合、セメント量およびW/Cは、1日脱型を目標とするように設定されているため、強度管理を行う材齢28日において沖縄県土木建築部土木工事成績評定のガイドライン(令和2年2月)で示されている過剰強度(呼び強度の1.5倍以上)になる場合がある。ここで、ガイドラインで言う過剰強度とは、マスコンクリートにおける強度発現に対してであり、セメント量の増加により水和熱が高くなることで温度応力ひび割れに繋がると言うものである。しかし、外割り配合タイプを用いる部材は、スレンダーで鉄筋比の大きいPC上部工セグメント等であり、マスコンクリートではない。よって、呼び強度の1.5倍の強度発現となってもひび割れ発生には寄与しにくいいため、本配合タイプにおいて1.5倍の強度発現となっても過剰強度と扱わなくてよい。

外割り配合タイプを上部工セグメント等で用いる理由は、沖縄県産の海砂が遅延膨張性のアルカリシリカ反応(ASR)を示す骨材であり、PCコンクリート橋上部工のようにセメント量の多い高強度コンクリートでは、セメントのアルカリ量によりASRが発生する可能性がある。

このため、伊良部大橋上部工では、ASR抑制の効果を狙って内割りでFAを配合する事を検討したが、初期強度発現が低くなることからこれを断念し、細骨材を砕砂のみとした配合を用いることを検討した。しかし、砕砂のみでは流動性が確保出来なかったため、流動性確保・ワーカビリティ改善を目的として、砕砂の質量の3%をFAに置換した配合を作った。また、この配合を参考に、伊良部島側の取付橋梁PCホロスラブ桁でも砕砂100%+FA外割り3%置換の配合を用いた。

これらを参考に、近年沖縄本島でも砕砂100%+FA外割り置換の配合を用いる橋梁施工が行われ、沖縄都市モノレール延伸工事の軌道桁では砕砂100%+FA外割り5%置換の配合、県道20号線泡瀬橋梁上部工工事のセグメントおよび柱頭部では砕砂100%+FA外割り3%置換の配合が用いられている（参考文献17）。

なお、このFA外割り置換率の違いは、フレッシュコンクリートに用いる砕砂の粗粒率（FM）や粒度分布がコンクリート製造工場毎に違うためであり、FMが大きい砕砂は空気の巻き込みやスランプロスが大きくなる場合がある。よって、各工場で配合試験を行い使用砕砂に合わせた最適置換率を決定する必要がある。

この他、本配合タイプは、当初からスランプ18cmを目標としている。これは、近年PC上部工の配筋が非常に密となり、さらに橋軸方向・橋軸直角方向にPC鋼線が配筋されたるシース管により、沖縄県土木建築部の設計要領に示されたPC橋上部工のスランプ設定12cmではコンクリートでは打設不可能な場合が多いためである。なお、県道20号（泡瀬工区）橋梁上部工セグメントでは、ウェブ中にシース管が配置されている事例もあり、バイブレータの挿入しにくい配筋であったため、スランプは20±2.5cmで設計されている。

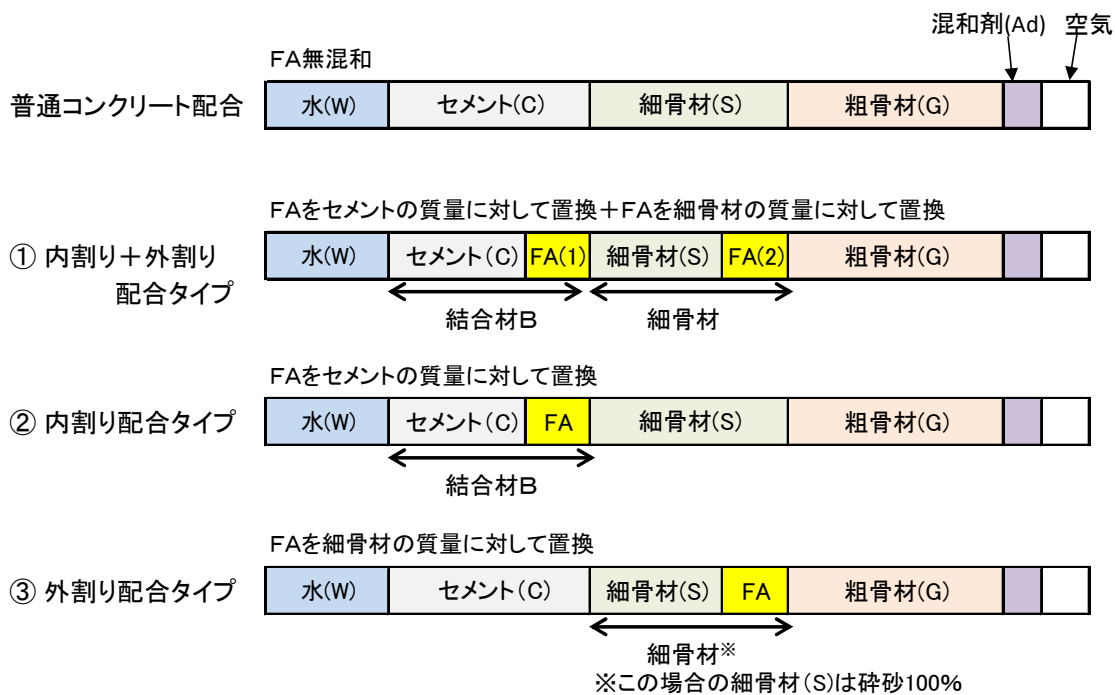


図 1.2.2 配合タイプ毎の概念図

### 1. 3 用語の定義

本指針では、次のように用語を定義する。

- **フライアッシュ (FA)** : 沖縄県内のJIS A 6201 に示されるⅡ種に適合するフライアッシュ (FA) を言う。
- **電源開発 (株) 石川火力発電所産出の分級FA (Japan Power FlyAsh : JPFA)** : 本指針で取り扱う沖縄県内産のJIS A 6201 Ⅱ種適合FAであり、本指針初版および第1回改訂版で取り扱っているFAである。
- **沖縄電力 (株) 金武火力発電所産出FAを加熱改質したFA (Heat reforming FlyAsh : HrFA)** : 本第2回改訂版において新たに加えたFAで、沖縄県内産のJIS A 6201 Ⅱ種適合FAである。
- **フライアッシュコンクリート (FAC)** : フライアッシュ (FA) をコンクリート混和材(セメント代替もしくは細骨材代替)として使用したコンクリートであり、JIS A 5308に規定されるレディーミクストコンクリートに利用できるコンクリートを言う。本指針で使用するFAは、上記JPFAとHrFAのいずれかとする。
- **フライアッシュセメントB種** : フライアッシュセメントB種とは、JIS R 5213に示されたフライアッシュセメントの品質B種を指す。同JISには、フライアッシュの分量としてフライアッシュセメント質量の10%を超え20%以下とされており、この量をプレミックス置換したセメントを言う。
- **内割り配合タイプ** : セメントの一部をFAで質量置換した配合である。フライアッシュ (FA) をコンクリート混和材として JIS A 5308に準じて利用するため、FAをセメントと同様の結合材としてみなす。
- **外割り配合タイプ** : 細骨材を全て砕砂とした配合で、砕砂100%としたことによるワーカビリティ低下を改善する目的で、細骨材の一部をフライアッシュ (FA) で質量置換した配合である。ここで用いるFAは、細骨材として利用するため、内割り配合と同じJIS A 5308に準じて混和材としてFAを利用するが、セメントと同様の結合材として扱わない。
- **内割り+外割り配合タイプ** : セメントの一部をフライアッシュ (FA) で質量置換した内割り配合と細骨材の一部を質量置換した外割り配合を合わせて用いた配合である。なお、FAの品質は同じとし、コンクリート混和材として JIS A 5308に準じて利用するが、外割り配合は細骨材として利用するため、FAを結合材とみなすのは内割り配合分のみである。
- **普通コンクリート** : 本指針中に表記される普通コンクリート (NC) とは、県内の土木分野で多く使用される普通セメントを用いたレディーミクストコンクリート

を指す。

- **内割り配合における置換率**：単位セメント量と単位フライアッシュ（FA）量の和に対する単位FA量の比で、質量百分率で表したものを言う。
- **外割り配合における置換率**：単位細骨材量と単位フライアッシュ（FA）量の和に対する単位FA量の比で、質量百分率で表したものを言う。
- **結合材（B）**：一般にセメント、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ（FA）、シリカフェームなど水と反応してコンクリートの強度発現に寄与するものを指すが、本指針では、セメントおよび内割り配合のFAのみを対象とし、外割り配合のFAは細骨材扱いとする。
- **水セメント比（W/C）**：コンクリート、モルタルおよびセメントペーストにおける単位水量（W）を単位セメント量（C）で除した値を言う。なお、この場合のセメントには、あらかじめ混合材を混合（プレミックス）した混合セメントは含むが、セメントとは別に混合（ポストミックス）した混和材（FA）は含まない。
- **水結合材比（W/B）**：フライアッシュ（FA）を混和材として内割りで使用した場合に水セメント比に代えて使用するもので、単位水量（W）を単位結合材量（B=C+内割りFA）で除した値を言う。
- **海砂**：コンクリート用骨材として採取された海底の砂で、国有財産であるため、沖縄県知事の砂利採取許可を受けて採取された砂を言う。また、海砂の塩分含有量は、0.04%を下回らなければならない。
- **砕砂**：コンクリート用細骨材として天然の岩石を破砕機・粉砕機等で人工的に小さく砕いて出来た砂のことであり、沖縄県では主に本部半島産石灰岩砕砂が使用されている。
- **マスコンクリート**：体積が大きなコンクリートを言い（コンクリート標準示方書【設計編】では「広がりのあるスラブについては厚さ 80～100cm以上、下端が拘束された壁では厚さ 50cm以上のコンクリート」と記載）、例えば大きな壁や箱型ラーメン、ダム、フーチング、橋梁下部工などが該当する。
- **監督員**：主任監督員および現場監督員の総称。

## 2. フライアッシュコンクリート (FAC) の適用範囲・置換率および強度の管理材齢

### 2. 1 適用の範囲

- (1) 本指針は、沖縄県土木建築部発注の建設工事に使用する土木用コンクリートに適用する。
- (2) 本指針で取り扱うフライアッシュコンクリート (FAC) は、以下の3タイプである。
  - ①内割り+外割り配合タイプ
  - ②内割り配合タイプ
  - ③外割り配合タイプ

### 【解 説】

#### (1) について

本指針は、沖縄県土木建築部発注の新設もしくは補修工事等のコンクリート構造物を対象とし、構造物の重要度、要求性能、施工の難易度、施工および供用環境など様々な要因を考慮して適用する。

FACの利用により、品質向上効果が期待される構造物およびその利用方法を表2.1.1に示す。適用工種としては、原則として普通コンクリート (NC) が適用可能なものとする。

なお、同表中に示した「◎：使用が好ましい」、「○：使用できる」、「－：実績無し」の区分は、これまでの沖縄県内の施工実績から示しており、特に内割り+外割り配合タイプは水和熱による温度上昇が発生しやすいマスコンクリートに対しては有効であることから、マスコンクリートの多い土木構造物では「◎：使用が好ましい」とした。

ここで、表2.1.1は、沖縄県土木建築部制定の設計要領に基づいて作成したものである。本指針策定当時の設計要領では、スランプ値 $8\pm 2.5\text{cm}$ が標準とされていたが、平成29年4月21日付けの国土交通省通知「現場打ちの鉄筋コンクリート構造物におけるスランプ値の設定等について」により、一般的なコンクリート構造物（コンクリート舗装工、場所打ち杭等の水中コンクリート及びトンネル覆工を除く）では、スランプ値を12cmとすることが標準とされた（次頁枠内参照）。これを受け、沖縄県土木建築部も平成29年5月17日付けの通知により、スランプ値 $12\pm 2.5\text{cm}$ を標準とすることとしたことから、本FAC施工においてもスランプ値は $12\pm 2.5\text{cm}$ を標準とした。

なお、受注者からスランプ値の変更について協議がある場合は、コンクリート標準示方書【施工編】の「最小スランプの目安」に基づき、必要があると認められる場合は、スランプ値を適切に設定するものとする。

【平成29年4月21日 国土交通省の通達】

- ・現場打ちの鉄筋コンクリート構造物の施工にあたっては、「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」を基本とし、構造物の種類、部材の種類と大きさ、鋼材の配筋条件、コンクリートの運搬、打込み、締固め等の作業条件を適切に考慮し、スランプ値を設定するものとする。ただし、一般的な鉄筋コンクリート構造物\*においては、スランプ値は12cmとすることを標準とし、特記仕様書に明記する。
  - ・受注者からのスランプ値の変更協議については、コンクリート標準示方書（施工編）の「最小スランプの目安」等に基づき、変更が必要と認められる場合は設計変更の対象とすること。
- ※「一般的な鉄筋コンクリート構造物」とは、共通仕様書等に記載のあるコンクリート舗装工、場所打ち杭等の水中コンクリート及びトンネル覆工を除くものとする。

この他、本指針に示されていない事項は、以下の指針・基準類等に準拠する。

- 「コンクリート標準示方書【施工編】」（2023年制定、土木学会）
- 「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)【コンクリートライブラリー94】」（1999年4月、土木学会）
- 「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)」（2003年3月、土木学会四国支部）
- 「循環型社会に適合したフライアッシュを用いたコンクリートの最新利用技術—利用拡大に向けた設計施工指針試案【コンクリートライブラリー132】」（2009.12、土木学会コンクリート委員会）
- 「四国版 フライアッシュを結合材として用いたコンクリートの配合設計・施工指針」（2016.3、土木学会四国支部）

※準拠する指針・基準類は、最新版を適用すること。

(2) について

土木学会では、FAはセメントの一部代替材として混和し、セメントと同様の結合材として用いる場合を内割り配合と呼び、細骨材の一部代替材として混和し、セメントのような結合材として用いないものを外割り配合として定義している。

本指針で取り扱うFACは、①内割り+外割り配合タイプ、②内割り配合タイプ、③外割り配合タイプの3タイプである。

①は、一般構造物に用いるコンクリートで、セメントの一部を内割FAに置換し、あわせて細骨材の一部を外割FAに置換えた配合であり、従来の水セメント比[W/C（セメント）]に対して水結合材比[W/B（セメント+内割FA）]を用いる。なお、この時の内割りFA+外割り

FA の和は、 $100\text{kg}/\text{m}^3$  以下とし、外割り配合分の FA は水結合材比 [W/B (セメント+内割り FA)] の結合材中には加えない。なお、1. 2【解説】にも記載しているとおり、本配合タイプは温度上昇が発生しやすいマスコンクリートを対象とする。また、本配合タイプは、NC と同等の製造管理と強度管理が可能なコンクリートであるが、養生期間を可能な限り長く取ることが望ましい。

②は、一般構造物に用いるコンクリートで、セメントの一部を内割 FA に置換した配合であり、従来の水セメント比 [W/C (セメント)] に対して水結合材比 [W/B (セメント+内割り FA)] を用いる。なお、1. 2【解説】にも記載しているとおり、本配合タイプは温度応力の発生しにくい比較的小規模なコンクリート構造物での使用が望ましい。また、本配合タイプも、NC と同等の製造管理と強度管理が可能なコンクリートであるが、養生期間を可能な限り長く取ることが望ましい。

③は、PC 橋梁上部工などに用いるコンクリートで、海砂による ASR 発生を抑止する目的で細骨材を砕砂 100% 配合とし、そのワーカビリティ確保のために砕砂の一部を FA に置換するものであり、この場合の FA も水結合材として扱わない。よって、この配合コンクリートの水セメント比は W/C のままとする。また、本配合タイプは、NC と同等のセメント量であるため、製造管理と強度管理も NC と同等で良く、養生期間も NC と同等で良い。



表 2.1.1 フライアッシュ利用による品質向上効果が期待される構造物及びその利用方法

[沖縄県土木工事設計要領(平成30年8月、沖縄県土木建築部)  
第6節土木工事数量計算規程 8.コンクリート工 に加筆]

無筋・鉄筋別	区分番号	適用工程	圧縮応力度 σ <sub>ck</sub> N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 σ <sub>ck</sub> N/mm <sup>2</sup>	設計仕様書					セメントの種類	備考	FA利用方法 <sup>注11</sup>				
					呼び寸法 強度 注)2	最大骨材 寸法の mm	スラン プ cm	水最大 結合材 比 注)12 W/B %	結晶小 材量 注)12 B kg/m <sup>3</sup>			内 割 り + 外 割 り	内 割 り 配 合	外 割 り 配 合		
															呼 び 寸 法 強 度 注)2 N/mm <sup>2</sup>	最 大 骨 材 寸 法 の mm
無筋 コン クリ ート	①	重力式・半重力式(橋台、橋脚、擁壁、胸壁)	4.5	18	21	40	12±2.5	60	—	普通ポルトランドセメント		◎	○	—		
		根固ブロック・水路・格子枠・基礎・裏込・側溝	4.5	18	21	40	12±2.5	60	—	〃		◎	○	—		
	②	均し	—	—	18	40	12±2.5	—	—	〃	注)1	◎	○	—		
		基礎・裏込・根固	4.5	18	21	40	12±2.5	60	—	〃		◎	○	—		
	④	海岸 構造物	海岸堤防波除工・海岸擁壁	4.5	18	21	40	12±2.5	60	—	〃	注)3	◎	○	—	
		海岸堤防表張工	4.5	18	21	40	12±2.5	60	—	〃	◎		○	—		
		砂防ダム(堤体、側壁、水叩)	4.5	18	21	40~80	5±1.5	60	—	〃	注)4		◎	○	—	
	⑥	トンネル 覆工	アーチ・側壁	—	18	21	40	15±2.5	60	(270)	〃		◎	○	—	
		インバート	4.5	18	21	40	12±2.5	60	(230)	〃		◎	○	—		
	鉄筋 コン クリ ート	⑦	RC橋	場所打床版橋	8.0	24	30	20	12±2.5	50	—	〃	注)10	◎	○	—
PC橋			ポストテンション	T桁橋	18.0	40	40	20	12±2.5	43 <sup>注)13</sup>	—	〃	注)6,7,10	—	—	◎
		横桁・間詰床版		14.0	30	36	20	12±2.5	43 <sup>注)13</sup>	—	〃	注)10	—	—	◎	
		箱桁橋		16.0	36	36	20	12±2.5	43 <sup>注)13</sup>	—	〃	注)5,10	—	—	◎	
		プレテンション	中空床版橋	16.0	36	36	20	12±2.5	43 <sup>注)13</sup>	—	〃	注)10	—	—	◎	
			横桁・間詰床版	14.0	30	36	20	12±2.5	43	—	〃	注)10,14	○	○	◎	
床版橋の間詰		14.0	30	36	20	12±2.5	43	—	〃	注)10,14	○	○	◎			
プレキャストセグメント桁橋		18.0	40	40	20	12±2.5	43 <sup>注)13</sup>	—	〃	現地製作 注)10,14	—	—	◎			
⑨		床版	PC合成桁	RC床版	8.0	24	30	20	12±2.5	50	—	〃	現地製作 注)10	◎	○	—
				PC(合成)床版	8.5	30	36	20	12±2.5	43 <sup>注)13</sup>	—	〃		—	—	◎
	鋼非合成桁		RC床版	8.0	24	30	20	12±2.5	50	—	〃	◎		○	—	
			RC床版	9.0	27	30	20	12±2.5	50	—	〃	◎		○	—	
鋼合成桁	PC床版	8.5	30	36	20	12±2.5	43 <sup>注)13</sup>	—	〃	—	—	◎				
⑩	地覆・壁高欄		8.0	24	30	20	12±2.5	50	—	〃	注)10	◎	○	—		
			7.0	24	24	40	12±2.5	55	—	〃		◎	○	—		
⑪	堰・水門・ポンプ場		7.0	24	24	40	12±2.5	55	—	〃		◎	○	—		
			7.0	24	27	20	12±2.5	55	—	〃		◎	○	—		
⑫	樋門・樋管		8.0	24	24	40	12±2.5	55	—	〃		◎	○	—		
			8.0	24	27	20	12±2.5	55	—	〃		◎	○	—		
⑬	橋梁下部工(踏掛版含む)		8.0	24	30	20	12±2.5	50	—	〃	注)10	◎	○	—		
			8.0	24	30	40	12±2.5	50	—	〃		◎	○	—		
⑭	潜函・函渠・擁壁・井筒		8.0	24	30	20	12±2.5	50	—	〃	注)10	◎	○	—		
			8.0	24	30	20	12±2.5	50	—	〃		◎	○	—		
⑮	場所打杭	水 中:ベト杭 リバース杭	8.0	24	30	20~40	18±2.5 21±2.5	55	350	〃	注)8	◎	○	—		
		大気中:深礎工		7.0	24	24	40	12±2.5	55	—	〃	注)9	◎	○	—	
				7.0	24	27	20	12±2.5	55	—	〃		◎	○	—	
⑯	海岸 構造物	水門・堰など耐久性を考慮する場合		7.0	21	24	40	12±2.5	55	—	〃	注)3	◎	○	—	
				7.0	21	27	20	12±2.5	55	—	〃		◎	○	—	

注) 1. 設計基準強度(σ<sub>ck</sub>)とは、コンクリート構造物の設計において基準とするコンクリートの圧縮強度をいうが、均しコンクリートについては構造計算上考慮するものではなく、地盤または基礎砕石等の表面の凹凸を平均化し、鉄筋組立やすみ出し作業等を容易にする目的のコンクリートであるので、設計基準強度(σ<sub>ck</sub>)は規定しない。  
2. 呼び強度とは、レディーミクストコンクリートにおける強度区分を示す呼称であり、JISA5308で保障される圧縮強度をいう。  
3. 区分番号④、⑥の適用区域は、河川における高潮区間と海岸区域とする。  
4. 区分番号⑤は、粗骨材の最大寸法を100mmとした場合は規格外品となる。  
5. 区分番号⑧のポストテンション箱桁橋の片持ち架設工法の場合はσ<sub>ck</sub>=40N/mm<sup>2</sup>とする。  
6. 区分番号⑧のポストテンションT桁橋及びプレテンションT桁橋・床版橋の定着部を有する張出床版部の場所打コンクリートはσ<sub>ck</sub>=30N/mm<sup>2</sup>とする。  
7. 区分番号⑧のポストテンションT桁橋及びプレテンションT桁橋・床版橋の定着部を有しない張出床版部の場所打コンクリートはσ<sub>ck</sub>=24N/mm<sup>2</sup>とする。  
8. 区分番号⑬の水中コンクリートは、最大水結合材比(W/B)及び最小結合材量(B)を指定している。  
9. 区分番号⑮の深礎工(σ<sub>ck</sub>=24N/mm<sup>2</sup>)については、標準値であり指定強度ではない。  
10. 区分番号⑦・⑧・⑨・⑩・⑪に係る道路橋及び函渠・擁壁の最大水結合材比(W/B)に関しては耐久性を考慮し、道路橋示方書に基づき次のとおりとする。  
上部構造のプレストレスコンクリート構造:43%、上部構造の鉄筋コンクリート構造:50%、下部構造:50%、函渠・擁壁:50%  
11. 「◎:使用が好ましい」、「○:使用できる」、「—:実績無し」の区分は、これまでの沖縄県内の施工実績から示しており、特に内割り+外割り配合タイプは水和熱による温度上昇が発生しやすいマスコンクリートに対しては有効であることから、マスコンクリートの多い土木構造物では「◎:使用が好ましい」とした。  
よって、内割り配合タイプの対象部材は、温度応力の発生しにくい比較的小規模なコンクリート構造物が望ましい。  
12. B=C+F+A、C:セメント、FA:内割り配合のフライアッシュ。  
13.  :この欄は最大水セメント比W/C(%)  
14. プレテンション桁およびプレキャストセグメント桁に用いるコンクリートに対しては、空気量を規定しないものとする。  
15. 構造物・現場の特殊性により、上記により難い場合は別途考慮する。  
16. 工事の実施に先立ち、配合計画書により所定の条件を満たすことを確認すること。  
17. 本表により難い場合は、担当課と協議の上、決定する。

## 2. 2 フライアッシュ (FA) の置換率

セメント置換率、細骨材置換率は、以下の通りとする。

- (1) 内割り+外割り配合タイプ：セメント量の 20%、細骨材の一部置換えて、セメントと細骨材の置換量と合わせて 100 kg/m<sup>3</sup> 以下の量とする。
- (2) 内割り配合タイプ：セメント量の 10~20% (フライアッシュセメント B 種相当) とするが、ASR 抑制効果を求める場合は 15~20% とする。
- (3) 外割り配合タイプ：細骨材 (砕砂 100%) の 3~5% を基本とするが、最適なワーカビリティが確保できない場合は必要に応じて配合量を増やしても良い。

### 【解 説】

#### (1) について

内割り+外割り配合タイプは、塩害・温度応力・アルカリシリカ反応 (ASR) を抑制する配合で、セメント量の 20%、細骨材の一部を FA に置換え、セメントと細骨材の置換量と合わせて 100 kg/m<sup>3</sup> 以下の FA 量とする。

#### (2) について

内割り配合タイプは、塩害・ASR を抑制する配合で、セメント量の 10~20% を FA に置換えるものである。また、フライアッシュセメント B 種もセメント量の 10~20% を FA に置換したものであり、これに該当する。ただし、ASR 抑制効果を求める場合は表 1.2.1 に示すように質量置換率は 15% 以上必要であるため、15~20% 置換のものを使用する。なお、フライアッシュセメントの種類別 FA 置換量を表 2.2.1 に示し、FA セメントの品質を表 2.2.2 に示す。

#### (3) について

外割り配合タイプでは、海砂による ASR を発生させないために砕砂 100% 配合とし、そのワーカビリティ改善のために FA を砕砂の一部と置換するものである。FA の置換率は砕砂の質量の 3~5% を基本とするが、使用する砕砂の粗粒率 (FM) が 2.9 より大きい場合は、急速にスランプロスする可能性が考えられる。そのため、出荷時に良好なワーカビリティであっても、運搬時間を経ると打設が困難になる可能性があることから、これらを考慮して適宜配合量を増やしても良い。

ただし、FA の配合量を増加させると以下のことに懸念が生じる。

- 粘性が上がる。
- 高性能 AE 減水剤の添加量が増加する。
- 場合によっては配合不能の場合がある。

表 2.2.1 FAセメントのFA置換率

種類	フライアッシュの分量 (質量%)
A種	5を超え 10以下
B種	10を超え 20以下
C種	20を超え 30以下

表 2.2.2 FAセメントの品質

品質		A種	B種	C種
密度	g/cm <sup>3</sup>	—	—	—
比表面積	cm <sup>2</sup> /g	2500以上	2500以上	2500以上
凝結	始発 min	60以上	60以上	60以上
	終結 h	10以下	10以下	10以下
安定性	パット法	良	良	良
	ルシャテリ工法 min	10以下	10以下	10以下
圧縮 強さ N/mm <sup>2</sup>	3d	12.5以上	10.0以上	7.5以上
	7d	22.5以上	17.5以上	15.0以上
	28d	42.5以上	37.5以上	32.5以上
化学 成分 %	酸化マグネシウム	5.0以下	5.0以下	5.0以下
	三酸化硫黄	3.0以下	3.0以下	3.0以下
	強熱減量	5.0以下	—	—

### 2.3 強度の管理材齢

フライアッシュコンクリート (FAC) の強度の管理材齢は、いずれのタイプにおいても 28 日とする。

#### 【解説】

FAC は、ポズラン反応により長期強度発現が望めるが、その強度の管理材齢は 28 日とする。

なお、内割り配合を行った場合は、材齢 7 日強度等では普通コンクリート (NC) より低い強度発現となるが、28 日材齢では必要強度が得られるため、セメント量を増やすなどの配合変更を行ってはいけない。

また、やむを得ず強度の管理材齢を変更する必要がある場合は、監督員と協議の上変更して良いものとする。ただし、管理材齢の上限は、91 日とする。

### 3. 使用材料

#### 3. 1 フライアッシュ (FA)

沖縄県内の石炭火力発電所で産出された JIS A 6201 に示されるⅡ種に適合する分級フライアッシュ (JPFA)、および沖縄電力 (株) 金武火力発電所で産出されたフライアッシュを再燃焼して JIS A 6201 のⅡ種に適合する品質にした加熱改質フライアッシュ (HrFA) の使用を原則とする。

#### 【解 説】

JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」は、強熱減量や粉末度およびフロー値比などの組み合わせによって、Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種およびⅣ種の品質が規定されている(表 3.1 参照)。なお、本指針においては、沖縄県内で産出するⅡ種の FA の使用を原則とする。

表 3.1 JIS A 6201 フライアッシュの品質

		Ⅰ種	Ⅱ種	Ⅲ種	Ⅳ種
二酸化ケイ素 (%)		45.0以上			
湿分 (%)		1.0以下			
強熱減量 (%)		3.0以下	5.0以下	8.0以下	5.0以下
密度 (g/cm <sup>3</sup> )		1.95以上			
粉末度	45 μmふるい残分・ (網ふるい方法)	10以下	40以下	40以下	70以下
	比表面積 (プレーン方法) (cm <sup>2</sup> /g)	5000以上	2500以上	2500以上	1500以上
フロー値比 (%)		105以上	95以上	85以上	75以上
活性度指数 (%)	材令28日	90以上	80以上	80以上	60以上
	材令91日	100以上	90以上	90以上	70以上

ここで、県内で産出するFAは、電源開発株式会社石川発電所産出の分級FA (JPFA) と沖縄電力(株)金武火力発電所から産出したFAを再燃焼した加熱改質FA (HrFA) の2種類がJIS Ⅱ種灰として出荷されている(参考資料2.3)。

このうち、沖縄県土木建築部のJIS Ⅱ種灰を用いたFAC第1号工事である伊良部大橋では、JPFAを用いており、その配合は沖縄県が独自に実施した配合試験で決定し、コンクリート製造工場へ提供したものであり、すべて非JISのレディーミクストコンクリートとして出荷されている。この伊良部大橋施工の経験から、沖縄県土木建築部では伊良部大橋タイプのFAC配合(下部工：内割り+外割り配合タイプ、上部工：外割り配合タイプ)が主に使われている。

また、近年使用実績が増えているHrFAは、強熱減量が小さく(未燃カーボンが少ない)、JPFA

では管理しにくい空気量が普通コンクリート (NC) と同様に管理できる特性を持つ。このため、沖縄県内ではHrFAを用いてJIS配合を取得したコンクリート製造工場が10社程度あり、FACを要求する建築現場への出荷を行っている。

ここで、JPFAとHrFAの物性値は、参考資料「**2. 3 沖縄県内で産出するフライアッシュの成分成績**」で示すように一部の項目でやや異なるため、同じ単位量で配合すると強度発現やワーカビリティが異なる可能性があると考えられた。よって、沖縄県土木建築部では、HrFAの使用可能性について各種検討を行い、最適配合やそのフレッシュ性状・ワーカビリティ等のフレッシュコンクリートとしての性質、および強度発現、塩害等への耐久性等に関する硬化コンクリートとしての性能が、JPFAと基本的に同等で、本FAC指針に採用することが出来ると判断した。各種試験結果結果を参考資料**3. フライアッシュコンクリート (FAC) の特性**に示す。

FAの品質確認は、出荷元が発行した試験成績報告書により行うものとする。

### 3. 2 セメント

セメントは、JIS R 5210 に適合した「普通ポルトランドセメント」を使用することを原則とし、コンクリートが所要の性能を発揮できるように適切に選定する。

#### 【解 説】

沖縄県土木工事設計要領(平成 30 年 10 月、沖縄県土木建築部) 第 6 節土木工事数量計算規程 8. コンクリート工に示された、セメントの種類「普通ポルトランドセメント」と規定した適用工種を対象とする。

### 3. 3 骨材

JIS A 5308 付属書 A および土木学会基準などの品質規格に適合した骨材を使用する。

### 3. 4 水

JIS A 5308 付属書 C に適合した水を使用する。

### 3. 5 混和剤

JIS A 6204 に適合した化学混和剤を使用する。

## 4. 内割り+外割り配合タイプ

### 4. 1 適用の範囲

内割り+外割り配合タイプのフライアッシュコンクリート（FAC）は、以下を除く鉄筋コンクリートおよび無筋コンクリートに用いるものとする。

- ◆ ポストテンションプレストレストコンクリート桁・床板
  - ◆ プレキャストセグメント桁橋
  - ◆ プレストレストコンクリート（合成）床版
  - ◆ 鋼合成桁 PC 床版
- } これらを除く  
鉄筋コンクリート

### 4. 2 配合設計

内割り+外割り配合タイプのフライアッシュコンクリート（FAC）の配合設計は、以下の項立てでとりまとめる

4. 2. 1 一般

4. 2. 2 フライアッシュ（FA）のセメントおよび細骨材置換配合

#### 4. 2. 1 一般

- (1) 内割り+外割り配合タイプのフライアッシュコンクリート (FAC) の配合は、コンクリートに要求される性能を満足するとともに、各規定値を満足するよう適切に設計しなければならない。
- (2) 内割り+外割り配合タイプは、構造物の要求性能を満足するコンクリートの性能を確保するように、スランプを監督員と協議の上適切に選定し、ワーカビリティを確保する必要がある。
- (3) 空気量については、JIS で規定された空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を必ずしも必要としない。

#### 【解説】

##### (1) について

配合に関する規定値は、土木工事共通仕様書（令和4年7月、沖縄県土木建築部）およびコンクリート標準示方書【施工編】（2023年制定、土木学会）をもとに、以下の通りに定める（表4.2.1）。

なお、内割り+外割り配合タイプは、水セメント比の代わりに水結合材比（ $W/B:B=C+$ 内割りFA）を用いるものとする。

表 4.2.1 配合に関する規定値

項目	条件	規定値
水結合材比 (W/B) ※B=C+内割り FA	鉄筋コンクリート	55% 以下 <sup>1)</sup>
	無筋コンクリート	60% 以下
単位水量 (W)	粗骨材の最大寸法 20 mm	175kg/m <sup>3</sup> 以下
	粗骨材の最大寸法 40 mm	165kg/m <sup>3</sup> 以下

※ B：結合材、C：セメント、FA：フライアッシュ

注1) RC橋、鋼非合成桁RC床版、鋼合成桁RC床版、地覆・壁高欄は50%、  
PC合成桁PC床版、PC橋、PC合成桁PC床版、鋼合成桁PC床版には用いない。

##### (2) について

内割り+外割り配合タイプは、従来の普通コンクリート (NC) と同様に製造管理が可能なコンクリートである。配合設計上の詳細は4. 3に記述する。

本配合は、構造物の要求性能を満足するコンクリートの性能を確保するように、必要に応じて協議のうえスランプを適切に選定し、ワーカビリティを確保する。なお、本配合は、FA配合コンクリートでJISを取得していないコンクリート製造工場でも製造できるように非JISコンクリートを基本としている。



(3) について

FA を配合したコンクリートは、FA 中の未燃カーボンがコンクリート中の気泡（エントレインドエア）を吸着して空気量が低減することがある（参考文献 18）。しかし、沖縄県全域が原則として耐凍害性を考慮する必要のない環境であることから、空気量については JIS で規定された空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）を必ずしも必要としない。ただし、容積率算定の関係から配合計算において空気量を規定する必要がある場合は、 $2.0\%$ としてよい。また、JIS で規定された空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）を確保する必要がある場合等、特に別途空気量を定める必要がある場合は、監督員と協議の上で変更可能とする。

#### 4. 2. 2 フライアッシュ (FA) のセメントおよび細骨材の置換配合

- (1) 内割り+外割り配合タイプは、セメント (C) とフライアッシュ (FA) の総和を結合材 (B) として、水結合材比 (W/B) で管理するが、この場合のフライアッシュ (FA) は内割り配合のフライアッシュとし、外割りフライアッシュは結合材として取り扱わない。
- (2) 内割り+外割り配合タイプの内割りフライアッシュのセメント置換率は  $20\%$ とする。
- (3) 内割り+外割り配合タイプの外割りフライアッシュの細骨材置換量は、内割り配合のフライアッシュとの合計で  $100\text{kg}/\text{m}^3$ 以下とする。
- (4) 水結合材比 (W/B) は、各コンクリート製造工場の持つ同じ呼び強度の JIS 普通コンクリート (NC) の水セメント比 (W/C) を基本とする。
- (5) 強度の管理材齢は、普通コンクリート (NC) と同様材齢 28 日を基本とする。
- (6) 室内配合試験は、FAC の要求性能および品質等を確認する。また、FAC の出荷実績がないコンクリート製造工場では、実機試験も行う。

#### 【解 説】

(1) について

内割り+外割り配合タイプの考え方と特徴を以下に示す。

① 配合の概念

FA 無混和の NC 配合と内割り+外割り配合タイプの FAC の配合の概念図を **図 4.2.1** に示す。同図に示すように、内割り+外割り配合タイプはセメント (C) と内割り FA(1) の総和を結合材 (B) として、水結合材比 (W/B) で管理するが、外割り FA(2) は細骨材として扱い、結合材として扱わない。

ただし、混和剤 (Ad) は、製造段階で水に累加計量されるため、単位水量に含まれる。

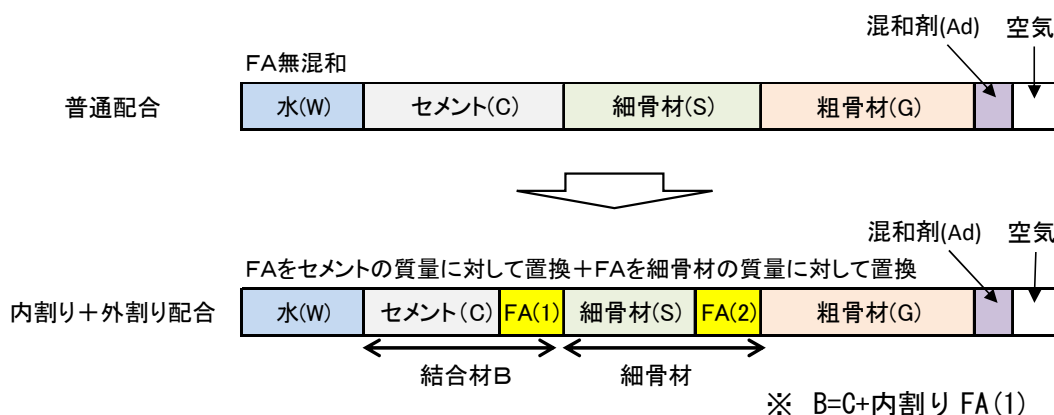


図 4.2.1 内割り+外割り配合タイプの概念図

② 圧縮強度の考え方

図 4.2.2 は伊良部大橋下部工の配合検討時に試験した JPFAC の各種水結合材比と圧縮強度の関係である。これらの配合は、ベースの水セメント比 (W/C) および FAC の水結合材比 (W/B) は一定であり、内割り FA 置換率 0%、10%、20%毎に外割り配合量を変化させている (参考資料 3.4.1)。

同図から、JPFAC の圧縮強度は、材齢ごとに増進し、⑥を除いて外割り FA 量の増加に比例して強度の増加が認められ、全ての配合でベース配合強度を上回っている。また、何れも材齢 28 日で目標配合強度  $32\text{N/mm}^2$  を超えており、一般的な規準である 28 日強度管理を満足している。また、図 4.2.3 は、打込みから 3 ヶ月間における伊良部大橋下部工  $27\text{N/mm}^2$  FAC と同時期に出荷された  $27\text{N/mm}^2$  NC の圧縮強度 ( $\sigma_{28}$ ) の頻度分布である。同図から、 $27\text{N/mm}^2$  FAC は、同 NC より最低圧縮強度も高く、標準偏差は小さかったことから、長期的な運用にも強度的な観点では良好な品質を保っていた事がわかる (参考文献 15)。

図 4.2.4 は、HrFAC (③30N-HrU71F19) と比較のための NC (①30N-U0F0) , JPFAC (②30N-JPU71F19) の強度発現である。この HrFAC と JPFAC は、HrFA と JPFA が同量内割り+外割り配合されており、両者の強度発現は 28 日までの強度で HrFAC がやや劣る他は、ほぼ同じ強度増進が認められている。ベース配合の NC と比較すると、NC が 3 日~28 日強度で大きいのが、91 日強度は HrFAC が大きくなっていた。また、強度管理材令の 28 日強度では、何れも呼び強度  $30\text{N/mm}^2$  を超えている (参考資料 3.4.2)。

なお、本 FAC 指針で配合設計したコンクリートは、基本的に発注者指定配合であるため、各コンクリート製造工場には圧縮強度の標準偏差等の基礎データがない場合が多い。そのため、原材料を規準に合った品質のものを使用し、材料の保管・計量、およびコンクリートの練りまぜを適切に行うことが必要である。

③ 内割り+外割り配合タイプにおける配合調整

- 細骨材率 (s/a) は、出荷するコンクリート製造工場の持つ同じ呼び強度の NC と同等を標準とするが、外割りの FA と細骨材では粒度分布が異なるため、フレッシュコンクリートの圧送性が悪くなる等の場合が考えられる。よって、その場合は、監督員と協議の上、

配合試験において s/a を僅かに変更するなどの必要な措置をとっても良い。

- FA を配合したコンクリートは、FA 中の未燃カーボンがコンクリート中の気泡（エントレインドエアー）を吸着して空気量が低減することがある。しかし、沖縄県全域が原則として耐凍害性を考慮する必要のない環境であることから、JPFA を用いる場合、空気量は JIS で規定された空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）を必ずしも必要としない。このため、AE 剤使用量は NC と同等か、特に添加しなくても良い。
- ただし、JPFA を用いる場合で、やむを得ない理由で標準の空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）を規定する必要がある場合は、空気量を確保するために AE 剤の添加量を必要量添加する（参考文献 18）、もしくは FA 用 AE 剤を用いるなどして空気量を調整する。
- また、HrFA を用いる場合は、空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）を確保できるため、NC と同様の考え方で AE 剤を配合し、空気量を調整する。

## (2) について

内割り FA の置換率は、前出表 1.2.1 に示しており、同表によると水和熱による温度上昇の抑制、アルカリシリカ反応の抑制、耐海水性（塩害を含む）の向上の 3 つを目的として配合するためには、セメントとの置換率は 20～30% が好ましいとされる（参考文献 1）。ここで、沖縄県の標準的なコンクリート強度の管理材齢は 28 日であり、これを満足させるために安全側を見込んで 20% とする。この置換率は、伊良部大橋下部工コンクリートの配合検討にあたり、上記の耐久性向上や初期強度発現が十分認められ、28 日強度管理が可能であったことから決定したものである（参考文献 3）。

ここで、FA は微細な球形をしているため、これを混和すると流動性が改善され、ワーカビリティの向上および単位水量の減少（単位結合材量の低減）が期待できる。伊良部大橋の下部工コンクリートの配合試験では、この効果も確認されており、置換率は 20% が妥当であると判断した（参考資料 3.1.1）。

ただし、HrFA を使用した場合は、JPFA を使用した場合に比べ粘性が高くなることが予想されるため、AE 減水剤の使用量が増えることが考えられる。また、事前の配合試験ではスランプの経時変化試験を行うなどして、予定打設時間内にワーカビリティが低下しないか確認する必要がある（参考資料 3.1.2）。

なお、本配合の要求性能は、水和熱による温度上昇の抑制、アルカリシリカ反応の抑制、耐海水性（塩害を含む）の向上の 3 つであり、特にマスコンクリートで発生しやすい水和熱による温度上昇を抑制のために置換率 20% としている（参考資料 3.2）。よって、部材が小さく温度応力の影響を受けにくい構造物では置換率を 20% 以下に低下させるなど、**表 1.2.1 フライアッシュの種類と置換率** を参考に監督員と協議の上置換率を変更しても良いものとする。

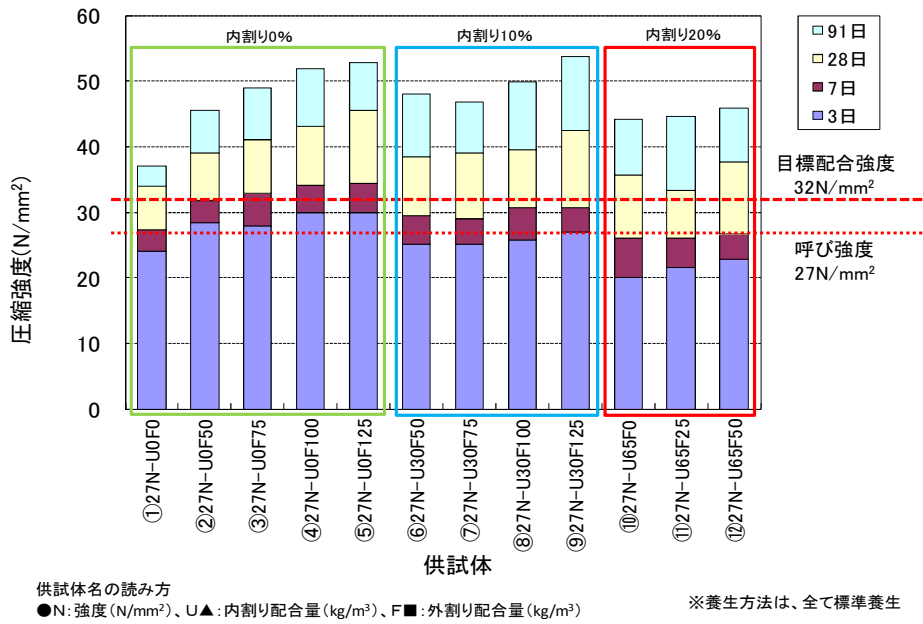


図 4.2.2 伊良部大橋下部工 27N/mm<sup>2</sup> 配合検討時に得られた JPFAC の材齢別圧縮強度

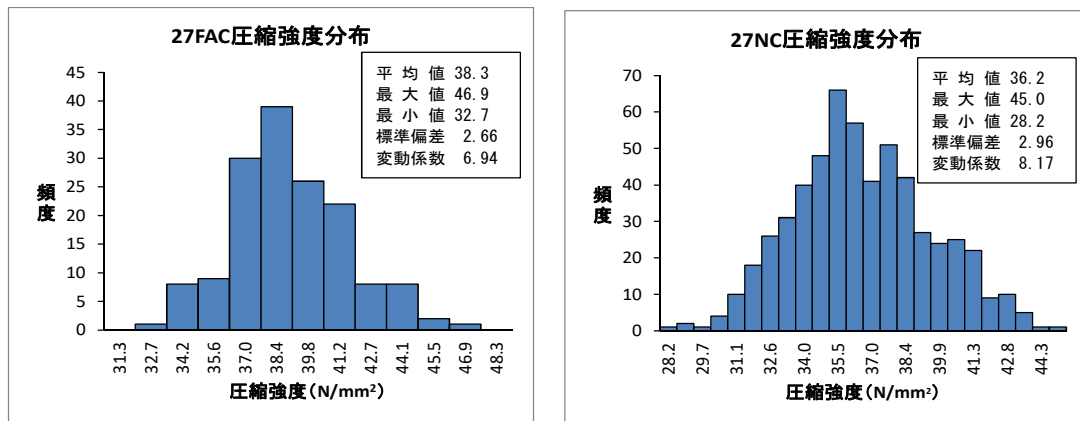


図 4.2.3 伊良部大橋下部工打設から3年間の JPFAC と同時期出荷 NC の圧縮強度  $\sigma_{28}$  の頻度分布

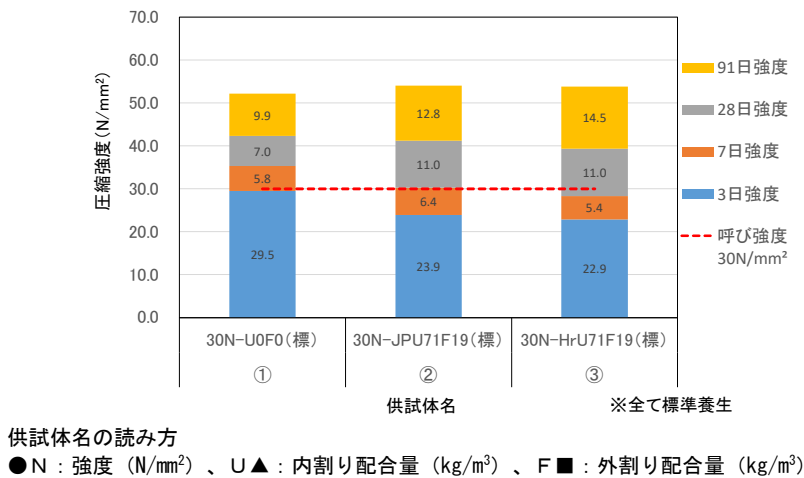


図 4.2.4 HrFA の圧縮強度試験結果

(3) について

外割り FA の細骨材置換量が増加し、内割り FA との合計で  $100\text{kg}/\text{m}^3$  を超えると、粘性が高くなりワーカビリティが悪くなることから、合計量で  $100\text{kg}/\text{m}^3$  以下とする（参考文献 3）。

なお、外割りで FA を配合する場合は、FA と細骨材の密度が異なるため嵩容積の関係から細骨材量を僅かに変更しても良い。

(4) について

FAC は、各コンクリート製造工場における同じ呼び強度の JIS 普通コンクリート配合を基本とする。よって、水結合材比 (W/B) についても、各コンクリート製造工場の持つ同じ呼び強度の JIS 普通コンクリートの水セメント比 (W/C) を基本とし、水セメント比 (W/C) を水結合材比 (W/B) と読み替えるものとする。ただし、この場合の結合材 B は「C+内割り配合 FA」とし、この水結合材比 (W/B) で所要の強度が得られない場合は、監督員と協議の上変更しても良い。

なお、FAC 配合は、FA の流動性により単位水量を僅かに減らすことも可能であるが、打設現場では逆にロスが大きいとの声もある。よって、打設を想定した施工性の経時変化を確認した上で、想定打設時間内に施工性が確保できる場合は、僅かに単位水量を変更しても良い。

(5) について

沖縄県の土木構造物は、NC の強度の管理材齢を 28 日としている。よって、FAC においても、強度の管理材齢は NC と同様、材齢 28 日を基本とする。

(6) について

配合試験においては、通常練り混ぜ直後にスランプ、空気量、単位水量、コンクリート温度、外気温度、等を測定するが、スランプと空気量については練り混ぜ後 30 分および 60 分の経時変化も確認する。

また、圧縮強度試験は、コンクリート製造工場から現場到着までの時間を勘案し、0 分、30 分もしくは 60 分のいずれかで最も近い時間のコンクリートを用いて供試体を採取するのが良い。圧縮強度試験は、管理強度 28 日材齢を基本とし、施工上確認が必要と考えられる材齢で試験を行う。ここで、内割り+外割り配合タイプの強度発現は、セメントの一部を FA に置き換えているため、NC に比べ初期強度が発現しにくい。よって、コンクリート製造工場では室内試験練りおよび実機試験練りにより 28 日材齢で十分強度発現することを確認する。

この他、過去に内割り+外割り配合タイプの出荷実績がないコンクリート製造工場では、必ず実機試験でスランプや空気量等の経時変化試験を行い、室内配合試験の FAC と同等の性状が得られることを確認する。

#### 4. 3 製造および施工

内割り+外割り配合タイプのフライアッシュコンクリート（FAC）の製造および施工は、以下の項立てでとりまとめる。

- 4. 3. 1 フライアッシュ（FA）の貯蔵設備
- 4. 3. 2 フライアッシュ（FA）の計量
- 4. 3. 3 練り混ぜ
- 4. 3. 4 運搬
- 4. 3. 5 打込み・締固めおよび仕上げ
- 4. 3. 6 養生

##### 4. 3. 1 フライアッシュ（FA）の貯蔵設備

フライアッシュ（FA）の貯蔵設備は、貯蔵中に品質が変化せず、また、他の物質が混入しない構造のものでなければならない。

#### 【解説】

FAの貯蔵設備は、基本的にセメントの貯蔵設備に要求される事項と同じで、湿気や通気を避けなければならない。また、他のセメントや混和材などが混入しないようにしなければならない。このため、FAの貯蔵には、専用の設備を使用することとする。

#### 4. 3. 2 フライアッシュ (FA) の計量

1. フライアッシュ (FA) の計量設備は、専用のものであることとし、所定の計量値の許容差内で計量できるものでなければならない。
2. フライアッシュ (FA) は、1 バッチ分ずつ質量で計量する。
3. フライアッシュ (FA) の計量値の許容差は、2%以下でなければならない。

#### 【解 説】

##### (1) について

FA の計量を正確に行うことは、重要事項の一つである。特に FA の計量誤差は、コンクリートの品質に敏感に影響を与えるため、計量値の誤差が大きい場合には、所定の品質のコンクリートが得られないばかりか、支障を来すこともある。

したがって、FA の計量は、専用の設備とする。

ただし、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、累加計量などにより専用計量設備と同等の計量が確認できればよいものとし、確認は監督員の計量立ち会いにより行うものとする。監督員の計量立ち会いは、1 日 1 回を基本とし、打込みが午前・午後にまたがる場合は、午前・午後の最初のバッチで各 1 回立ち会うものとする。

##### (2) について

FA は、(1)の理由から 1 バッチ分ずつ、所定の計量値の許容差内となるように計量する。

##### (3) について

計量値の許容差については、通常の混和材と同様に 2%以下とする。

#### 4. 3. 3 練り混ぜ

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) は、各材料が均等に混ざり合ったコンクリートが得られるように十分に練り混ぜなければならない。
- (2) 材料をミキサーに投入する順序および練り混ぜ時間は、あらかじめ適切に定めておかなければならない。
- (3) 内割り+外割り配合タイプの FAC は NC に比べ粘性が高いため、ミキサー内をモニターで確認する場合、粘性を考慮することが必要である。

#### 【解説】

##### (1) について

FA はセメントなどの粉体に比べて密度が小さいため、FA を用いたコンクリートは、コンクリート中に FA が均等に分散するように、十分に練り混ぜなければならない。

なお、内割り+外割り配合タイプの FAC は、粉体量が多いため、NC に比べ練り混ぜ時間が長くなることに注意しなければならない。

##### (2) について

FA を投入する順序および練り混ぜ時間は、使用するコンクリート製造工場における事前配合試験で確認し、適切に定めなければならない。

##### (3) について

内割り+外割り配合タイプの FAC は、単位水量が適正であっても NC に比べ粘性が高い。そのため、練り混ぜミキサー内をモニターで確認しているバッチャーは、「粘性が高い＝単位水量が不足している」とは考えず、国土交通省「レディーミクストコンクリート単位水量測定要領(案)」(参考文献 32, 33, 34) に示された国土交通省の管理値 ( $\pm 15\text{kg/m}^3$ ) の範囲内であっても加水を行ってはならない。



#### 4. 3. 4 運搬

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) は、練り混ぜた後、速やかに運搬し、直ちに打込み、十分に締固めなければならない。コンクリートの練り混ぜを開始してから打込み完了までの時間は、原則として、1.5 時間を越えてはならない。
- (2) 内割り+外割り配合タイプのフレッシュコンクリートのスランプの経時変化は、普通コンクリート (NC) と同等とみなしてよい。
- (3) 内割り+外割り配合タイプのフレッシュコンクリートの空気量は、JIS で規定された空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を必ずしも必要としないため、空気量の経時変化については特に問題としなくても良い。

#### 【解説】

##### (1)について

FAC の運搬および打込みに要する時間は、NC と同等の範囲で管理できる。ただし、やむを得ない事情で 1.5 時間を超える場合は、遅延剤を用いてよいが、使用に当たっては監督員との協議の上決定するものとする。また、遅延剤の効果については事前試験において確認し、その結果を監督員に提出しなければならない。

##### (2)について

内割り+外割り配合タイプのフレッシュコンクリートのスランプの経時変化は、普通コンクリート (NC) と同等とみなしてよいが、スランプロスが NC より僅かに大きくなる場合があることに注意を要する。

##### (3)について

内割り+外割り配合タイプの空気量は、JIS で規定された空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を必ずしも必要としないため、空気量のロスがあっても問題としなくて良い。

#### 4. 3. 5 打込み・締固めおよび仕上げ

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) の打込み・締固めには、内部振動機 (棒状バイブレータ) を用いる事を原則とし、棒状バイブレータの使用が困難な場合や、かぶり部分のコンクリートが十分締固められないと判断された場合は、型枠振動機 (型枠バイブレータ) を使用しても良い。
- (2) 打込み・締固めは、予め計画した締固め作業高さを超えることがないように、作業足場の設置や施工方法を検討しなくてはならない。
- (3) 型枠に接するコンクリートは、できるだけ平坦な表面が得られるように打込み、締固め、躯体の表層に気泡が残らないようにしなければならない。なお、荷下ろし時点の高速回転を必要以上に行うと、エントラップトエアを巻き込むので注意しなければならない。
- (4) 2層目以上のコンクリートの締固めに当たっては、棒状バイブレータを下層コンクリートに 10cm 程度挿入しなければならない。
- (5) コンクリートを 2 層以上に分けて打ち込む場合、打ち重ね時間間隔は出来るだけ短くするよう注意しなければならない。
- (6) フライアッシュコンクリート (FAC) は、ブリージング水が少ない配合であり、仕上げは普通コンクリート (NC) と異なることに注意しなければならない。
- (7) 打込み・締固めおよび仕上げのテクニックについては、参考資料 10 に示しており、参考にされたい。
- (8) 夏季打設においては硬化が早くなる場合があるので注意を要する。

#### 【解説】

##### (1) について

FAC の打込み・締固めに関しては、NC と同様の注意を払う必要がある。ただし、FAC は粘性が高いため、バイブレータが効きにくそうに見えるが、バイブレータを当てると FA のベアリング効果で十分な流動性を発揮する。また、逆に打込み後直ぐになめらかなコンクリート表面になる場合もあることから、バイブレータのかけ忘れに注意を要する。対策としては、型枠に一定間隔で印を付け、必要な場合は水糸を張るなどして打込み面に格子点を仮想し、一箇所ずつ格子点を潰すように棒状バイブレータをかけていくことが望ましい。また、1箇所当たりの振動時間を適切に設定し (5~15 秒程度)、全箇所同じ時間振動させなければならない (参考資料 10)。

この他、かぶり部分のコンクリートが十分締固められないと判断された場合は、型枠バイブレータを使用しても良いが、かけ過ぎはコンクリートの表層の強度低下など品質劣化を引き起こすことがあるので注意を要する。

棒状バイブレータは JIS A 8610「コンクリート内部振動機」に、型枠バイブレータは JIS A 8611「コンクリート外部振動機」に規定されている。

(2) について

FACの打込み・締固め作業高さの設定は、NCと同じで良い。ただし、NCに比べ、FAの流動性効果により、バイブレータをかけると流れてレベリングしようとするので、コンクリートポンプ車の筒先を管理する作業員は、FACが流れるのに任せず、一定間隔で打込みしなければならない。

(3) について

コンクリート表層に5mm以上の気泡が出る原因は、フレッシュコンクリートの初期空気量(エントレインドエア)ではなく、アジテータ車中で巻き込まれたエントラップトエアである。FACは、その粘性の高さからエントラップトエアが入りやすく、伏せ型枠部分で表面気泡やあばたが見られる事があるため、構造物によっては表面気泡に対する対策をとることが望ましい。

ここで、アジテータ車中は、移動中材料硬化を防ぐために低速回転してフレッシュコンクリートを攪拌しているが、荷下ろし地点では高速回転させミキサー内のコンクリートを均一にしている。しかし、沖縄県内の打設現場では、スランプや空気量の品質試験車両が試験前に高速回転を行い、さらに数分後荷下ろし地点に移動して再び高速回転する場合がある。これは、ミキサー内のフレッシュコンクリートにエントラップトエアを巻き込む行為であるため、試験前に高速回転を行ったアジテータ車は、荷下ろし地点で再度高速回転を行ってはならない。試験車両以外のアジテータ車は、荷下ろし前に1回高速回転を行ってもよい。

この他、砕砂の粗粒率(FM)が2.9より大きい場合は、細骨材を砕砂100%にするとエントラップトエアが増えやすくなるため、海砂との混合砂にして用いる必要がある。

(4) について

2層目以上のコンクリートの打込み・締固めでは、下層コンクリートとの一体化が重要である。対策としては、棒状バイブレータに型枠上端面から打込み層の高さ+10cmがわかるようにビニールテープで印を付け、その印を目安に各打込み層でバイブレータを挿入すると良い。

(5) について

コンクリートを2層以上に分けて打ち込む場合、下層コンクリートが固まり始めている時にそのまま上層コンクリートを打ち込むとコールドジョイントが出来る恐れがあるため、コンクリートの練り混ぜ時間から打込み終了までの時間経過、コンクリートの温度、締固め方法等の影響を考慮して設定し、できる限り短い打重ね時間間隔となるように管理することが大事である。打重ね間隔の上限は、表4.3.1に示すが、沖縄県は高温多湿であり、FACは硬化がやや早いことから、同表よりも早めに打重ねる事が望ましい。

表 4.3.1 打重ね時間間隔の上限

外気温	許容打ち重ね時間間隔
25℃以下	2.5時間
25℃を超える	2.0時間

※2012年制定土木学会コンクリート標準示方書【施工編】

(6) について

内割り+外割り配合タイプの FAC は、ブリージング水が少ない配合であり、ブリージングを待って仕上げようとすると、仕上げが遅れる可能性があるため注意する必要がある。ただし、単位水量が国土交通省「レディーミクストコンクリート単位水量測定要領（案）」（参考文献 32, 33, 34）に示された国土交通省の管理値（±15kg/m<sup>3</sup>）の範囲内であっても、+10 kg/m<sup>3</sup>程度になるとブリージング水が上がる場合があるため、受入時の単位水量値を確認して仕上げを行う必要がある。

また、フーチングなどの広範囲な仕上げ面や風の強く当たる場所での仕上げは、NC よりも早く硬化が始まる可能性があるため、左官作業員の人数を増やすなどして対応する必要がある。

この他、内割り+外割り配合タイプの FAC は、左官仕上げ剤の利用が可能な配合であるため、必要に応じて仕上げ剤を利用して仕上げを行うのが良い。

(7) について

打込み・締固めおよび仕上げにテクニックについては、土木学会「養生および混和材料技術に着目したコンクリート構造物の品質・耐久性確保システム研究小委員会」（356 委員会）で推奨している表層品質確保のテクニックがあり、これらを参考資料 10 に示している。打設方法については、これらを参考にされたい。

(8) について

県道 20 号線（泡瀬工区）橋梁下部工工事では、夏季に打継ぎまでの時間を 1 時間以内にする必要があった。これは、夏季は硬化が早く、フーチングのような打設量の多い、打設面積の広い構造物では、先行打設層に後打ち層のバイブレータが挿入しにくいことがあったため、バイブレータをφ50 からφ60 に変更した事例が見られた。また、この工区では、当初打設時間は 1 層当たり 1 時間を予定していたが、40 分へ変更した。このように、夏季打設では硬化が早くなる場合があり、十分注意を要する。

#### 4. 3. 6 養生

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) は、打込み後、硬化に必要な温度及び湿度条件を保ち、有害な作用の影響を受けないように、これを十分に養生しなければならない。
- (2) 内割り+外割り配合タイプは、打込み後の養生が重要であることから、十分な湿潤状態を保ち、工程を勘案して可能な限り長期養生を行うものとする。
- (3) 湿潤状態を保持する手段としては、保水養生マットまたは粘着型養生シート等による養生が望ましい。

#### 【解説】

##### (1) について

FAC の養生は、強度増進および耐久性確保のために、打込み後の一定期間、通常のコンクリート以上に FAC を適切な温度のもとで、湿潤状態を保ち、かつ、有害な作用を受けないようにしなければならない。そのため、受・発注者は、養生期間を考慮した工程管理を行う必要がある。

なお、内割り+外割り FA 配合は、内割りでセメント量の一部を FA に置き換えているため、温度応力ひび割れの抑制効果が期待される配合である。しかし、この効果は、あくまで抑制であって抑止ではない事に留意されたい。

##### (2) について

FAC は、初期養生が不十分であると、強度発現の低下、飛来塩分等の劣化因子の侵入を容易にさせることがわかっている。このため、工期を勘案して可能な限り長期養生を行うものとする。

ここで、2023 年度制定コンクリート標準示方書【施工編】（土木学会）には、混合セメント B 種を使用したコンクリートの湿潤養生期間を「日平均気温 15℃以上：7 日」、「10℃以上：9 日」、「5℃以上：12 日」と最短養生期間は 7 日と定めているが、塩害や凍害環境の厳しい国土交通省東北地方整備局管内では、FAC の養生期間を 28 日と定めており、最も凍害環境が厳しく凍結防止剤による塩害発生が懸念される箇所での橋梁 FAC 床版の施工事例では、粘着型養生シートにより 3 ヶ月間の養生を行っている。

そこで、厳しい塩害環境である沖縄県でも内割り+外割り配合タイプの FAC 養生期間は、28 日を目標として可能な限り長期間の養生期間を確保するものとする。また、工程上 28 日を確保できない場合は、最短でも示方書に示される 7 日間を確保することが望ましい。

以上を鑑みて、受注者は、監督員と協議の上適切な養生期間を設定するものとする。

(3) について

湿潤状態を保持する手段は、保水養生マットまたは粘着型養生シート等が利用されている。ここで、前述の東北地方整備局での事例にもあるように、長期養生には粘着型養生シートが望ましく、沖縄県でもこの施工事例が増えている。よって、沖縄県における内割り+外割り配合タイプのFACの養生には粘着型養生シート等の利用が望ましいと考えられる。

ただし、粘着型養生シートは、躯体が濡れていると粘着性能が落ちるため、躯体が乾燥してから使用する必要がある。また、脱型後躯体が濡れていても速やかに養生する必要がある場合は、農業ハウス用のビニールシートなどを躯体に貼り付けて養生するのも良い。

この他、橋脚などのマスコンクリート構造物は、昼夜の温度差が大きくなる冬季に温度応力ひび割れ発生の事例もある。そのため、保湿養生シートに加え、気泡入り緩衝材を用いるなど、保温養生を行うことが望ましい。

## 5. 内割り配合タイプ

### 5. 1 適用の範囲

内割り配合タイプのフライアッシュコンクリート (FAC) は、以下を除く鉄筋コンクリートおよび無筋コンクリートに用いるものとする。

- ◆ ポストテンションプレストレストコンクリート桁・床板
  - ◆ プレキャストセグメント桁橋
  - ◆ プレストレストコンクリート (合成) 床版
  - ◆ 鋼合成桁 PC 床版
- } これらを除く  
鉄筋コンクリート

#### 【解 説】

内割り配合タイプのフライアッシュコンクリート (FAC) は、上記コンクリート構造物に用いるものである。しかし、近年、琉球大学と一般社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会、および琉球セメント株式会社は、プレストレストコンクリートT桁の製作に用いるよう各種研究を進め「フライアッシュを用いたコンクリートのポストテンション PC 橋への適用化に関する基礎的研究報告書」を作成しており、琉球大学地域創成研究センターにて公開している (参考文献 26)。

ただし、これらの有意性について、現時点で沖縄県として確認できていないため、本指針における内割り配合タイプの FAC 適用範囲は上記の通りとする。

## 5. 2 配合設計

内割り配合タイプのフライアッシュコンクリート (FAC) の配合設計は、以下の項立てでとりまとめる

### 5. 2. 1 一般

#### 5. 2. 2 フライアッシュ (FA) のセメント置換配合

### 5. 2. 1 一般

- (1) 内割り配合タイプのフライアッシュコンクリート (FAC) の配合は、コンクリートに要求される性能を満足するとともに、各規定値を満足するよう適切に設計しなければならない。
- (2) 内割り配合タイプは、構造物の要求性能を満足するコンクリートの性能を確保するように、スランプを監督員と協議の上適切に選定し、ワーカビリティを確保する必要がある。
- (3) 空気量については、JIS で規定された  $4.5 \pm 1.5\%$  を必ずしも必要としない。

## 【解 説】

### (1) について

配合に関する規定値は、土木工事等共通仕様書（平成 30 年 7 月、沖縄県土木建築部）およびコンクリート標準示方書【施工編】（2023 年制定、土木学会）をもとに、以下の通りに定める（表 5.2.1 参照）。

なお、内割り配合タイプは、水セメント比の代わりに水結合材比 (W/B:B=C+内割り FA) を用いるものとする。

表 5.2.1 配合に関する規定値

項目	条件	規定値
水結合材比 (W/B) ※B=C+内割り FA	鉄筋コンクリート	55% 以下 <sup>1)</sup>
	無筋コンクリート	60% 以下
単位水量 (W)	粗骨材の最大寸法 20 mm	175kg/m <sup>3</sup> 以下
	粗骨材の最大寸法 40 mm	165kg/m <sup>3</sup> 以下

※ B：結合材、C：セメント、FA：フライアッシュ

注 1) RC 橋、鋼非合成桁 RC 床版、鋼合成桁 RC 床版、地覆・壁高欄は 50%、  
PC 合成桁 PC 床版、PC 橋、PC 合成桁 PC 床版、鋼合成桁 PC 床版には用いない。



(2) について

内割り配合タイプは、従来の普通コンクリート（NC）と同様に製造管理が可能なコンクリートである。配合設計上の詳細は5. 3に記述する。

本配合は、構造物の要求性能を満足するコンクリートの性能を確保するように、必要に応じて協議のうえスランプを適切に選定し、ワーカビリティを確保する。なお、本配合は、FA配合コンクリートでJISを取得していないコンクリート製造工場でも製造できるように非JISコンクリートを基本としている。

(3) について

FAを配合したコンクリートは、FA中の未燃カーボンがコンクリート中の気泡（エントレインドエア）を吸着して空気量が低減することがある（参考文献18）。しかし、沖縄県全域が原則として耐凍害性を考慮する必要のない環境であることから、空気量についてはJISで規定された空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）を必ずしも必要としない。ただし、容積率算定の関係から配合計算において空気量を規定する必要がある場合は、2.0%としてよい。ただし、JISで規定された空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）を確保する必要がある場合等、特に別途空気量を定める必要がある場合は、監督員と協議の上で変更可能とする。

### 5. 2. 2 フライアッシュ (FA) のセメント置換配合

- (1) 内割り配合タイプは、セメント (C) とフライアッシュ (FA) の総和を結合材 (B) として、水結合材比 (W/B) で管理する。
- (2) 内割りフライアッシュのセメント置換率は、10～20%の範囲とするが、ASR 抑制効果を求める場合は 15～20%の範囲とする。水結合材比 (W/B) は、コンクリートの所要の強度や耐久性などを考慮して定める。
- (3) セメントとしてのフライアッシュセメントを用いる場合は、フライアッシュセメント B 種とし、フライアッシュの分量は 10～20%の範囲とするが、ASR 抑制効果を求める場合は 15～20%の範囲とする。
- (4) 水結合材比 (W/B) は、各コンクリート製造工場の持つ同じ呼び強度の JIS 普通コンクリート (NC) の水セメント比 (W/C) を基本とする。
- (5) 強度の管理材齢は、普通コンクリート (NC) と同様材齢 28 日を基本とする。
- (6) 室内配合試験は、FAC の要求性能および品質等を確認する。また、FAC の出荷実績がないコンクリート製造工場では、実機試験も行う。

#### 【解説】

(1) について

内割り配合タイプの考え方と特徴を以下に示す。

##### ① 配合の概念

内割り配合タイプは、セメント (C) と FA の総和を結合材 (B) として、水結合材比 (W/B) で管理する。

ただし、混和剤 (Ad) は、製造段階で水に累加計量されるため、単位水量に含まれる。

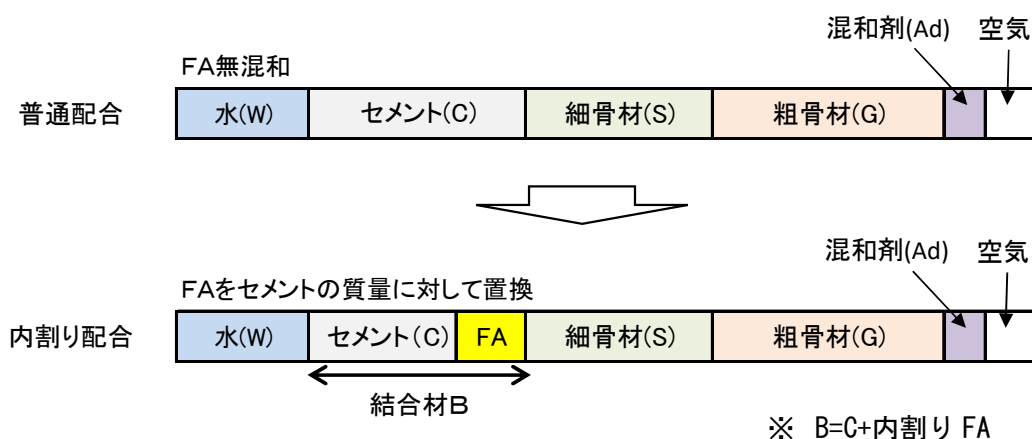


図 5. 2. 1 内割り配合タイプの概念図

##### ② 圧縮強度の考え方

FA の置換率を一定としたコンクリートの圧縮強度は、材齢ごとに結合材水比 (B/W) と

直線関係で表わされることがわかっている。ここで、伊良部大橋下部工の配合検討時の試験結果（**図 4.2.2** 参照）では、内割り置換率が最も大きい 20% で外割り配合が無い配合でも、圧縮強度は管理材齢 28 日で目標配合強度を超えることが確認されているが、その超過分は僅かであり、管理材齢 28 日では十分な強度発現が確保できない可能性もある。

よって、このような場合は、圧縮強度と結合材水比 (B/W) の関係から、管理材齢で必要な圧縮強度が得られるように、水結合材比 (W/B) を再検討する（後出(4)も関連）。

なお、本 FAC 指針で配合設計したコンクリートは、基本的に発注者指定配合であるため、各コンクリート製造工場には圧縮強度の標準偏差等の基礎データがない場合が多い。そのため、原材料を規準に合った品質のものを使用し、材料の保管・計量、およびコンクリートの練りまぜを適切に行うことが必要である。

### ③ 内割り配合タイプにおける配合調整

- 細骨材率は、出荷するコンクリート製造工場の持つ同じ呼び強度の NC と同等を標準とするが、配合試験において必要と考えられた場合は監督員と協議の上変更しても良い。
- FA を配合したコンクリートは、FA 中の未燃カーボンがコンクリート中の気泡（エントレインドエア）を吸着して空気量が低減することがある。しかし、沖縄県全域が原則として耐凍害性を考慮する必要のない環境であることから、JPFA を用いる場合、空気量は JIS で規定された空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を必ずしも必要としない。よって、AE 剤使用量は NC と同等か、特に添加しなくても良い。
- ただし、JPFA を用いる場合で、やむを得ない理由で標準の空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を規定する必要がある場合は、空気量を確保するために AE 剤の添加量を必要量添加する（参考文献 18）、もしくは FA 用 AE 剤を用いるなどして空気量を調整する。
- また、HrFA を用いる場合は、空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を確保できるため、NC と同様の考え方で AE 剤を配合し、空気量を調整する。

### (2) および(3) について

ポストミックスの内割り FA の置換率は、10～20%の範囲とする。これは、フライアッシュセメント B 種相当の割合である。よって、プレミックスのフライアッシュセメントを用いる場合も B 種を用いるものとし、FA の置換率は 10～20%の範囲とする（**表 2.2.1** 参照）。

なお、本配合の要求性能は、塩害および ASR 抑制であるが、ASR 抑制効果を求める場合は FA の置換率が 15～20%のフライアッシュセメントを用いる必要がある。

ただし、HrFA を使用した場合は、JPFA を使用した場合に比べ粘性が高くなることが予想されるため、AE 減水剤の使用量が増えることが考えられる。また、事前の配合試験ではスランプの経時変化試験を行うなどして、予定打設時間内にワーカビリティが低下しないか確認する必要がある。

また、マスコンクリートにおいて発生しやすい水和熱による温度上昇抑制には 20%以上の置換率が必要となることから、本配合は、温度応力の発生しにくい比較的小規模なコンクリート構造物を対象に用いるのが望ましい（**表 1.2.1** 参照）。

(4) について

FACは、各コンクリート製造工場における同じ呼び強度のJIS普通コンクリート配合を基本とする。よって、水結合材比(W/B)についても、各コンクリート製造工場の持つ同じ呼び強度のJIS普通コンクリートの水セメント比(W/C)を基本とし、水セメント比(W/C)を水結合材比(W/B)と読み替えるものとする。ただし、この水結合材比(W/B)で所要の強度が得られない場合は、監督員と協議の上変更しても良い。

これは、プレミックスのフライアッシュセメントB種を用いた場合でも同様である。

なお、内割り配合タイプの場合、FAによるコンシステンシーが得られるので、単位水量をNCの設計値より $-2\text{kg}/\text{m}^3$ で検討しているコンクリート製造工場がある。ただし、単位水量を減じると、スランプロスが大きくなる場合等が考えられるため、減じる場合はスランプの経時変化などを十分に確認してから行わなければならない。

(5) について

沖縄県の土木構造物は、NCの強度の管理材齢を28日としている。なお、内割り配合タイプFACの強度の管理材齢は、水結合材比(W/B)を調整することで、強度レベルの選択が可能である。

よって、内割り配合タイプFACにおいても、強度の管理材齢はNCと同様、材齢28日を基本とする。

(6) について

配合試験においては、通常練り混ぜ直後にスランプ、空気量、単位水量、コンクリート温度、外気温度、等を測定するが、スランプと空気量については練り混ぜ後30分および60分の経時変化も確認する。

また、圧縮強度試験は、コンクリート製造工場から現場到着までの時間を勘案し、0分、30分もしくは60分のいずれかで最も近い時間のコンクリートを用いて供試体を採取する。圧縮強度試験は、管理強度28日材齢を基本とし、施工上確認が必要と考えられる材齢で試験を行う。ここで、内割り配合タイプの強度発現は、セメントの一部をFAに置き換えているため、NCに比べて初期7日強度等が発現しにくい。よって、コンクリート製造工場では、室内試験練りおよび実機試験練りにより28日材齢で十分強度発現する事を確認する。

また、過去に内割り配合タイプの出荷実績がないコンクリート製造工場では、必ず実機試験を行い、室内配合試験で行ったスランプや空気量等の経時変化試験を行うことにより、室内配合試験のFACと同等の性状が得られることを確認する。

### 5. 3 製造および施工

内割り配合タイプのフライアッシュコンクリート（FAC）の製造および施工は、以下の項立てでとりまとめる。

- 5. 3. 1 フライアッシュ（FA）の貯蔵設備
- 5. 3. 2 フライアッシュ（FA）の計量
- 5. 3. 3 練り混ぜ
- 5. 3. 4 運搬
- 5. 3. 5 打込み・締固めおよび仕上げ
- 5. 3. 6 養生

#### 5. 3. 1 フライアッシュ（FA）の貯蔵設備

フライアッシュ（FA）の貯蔵設備は、貯蔵中に品質が変化せず、また、他の物質が混入しない構造のものでなければならない。

#### 【解 説】

FAの貯蔵設備は、基本的にセメントの貯蔵設備に要求される事項と同じで、湿気や通気を避けなければならない。また、他のセメントや混和材などが混入しないようにしなければならない。このため、FAの貯蔵には、専用の設備を使用することとする。

### 5. 3. 2 フライアッシュ (FA) の計量

- (1) フライアッシュ (FA) の計量設備は、専用のものであることとし、所定の計量値の許容差内で計量できるものでなければならない。
- (2) フライアッシュ (FA) は、1 バッチ分ずつ質量で計量する。
- (3) フライアッシュ (FA) の計量値の許容差は、2%以下でなければならない。

#### 【解 説】

##### (1) について

FA の計量を正確に行うことは、重要事項の一つである。特に FA の計量誤差は、コンクリートの品質に敏感に影響を与えるため、計量値の誤差が大きい場合には、所定の品質のコンクリートが得られないばかりか、支障を来すこともある。

したがって、FA の計量は、専用の設備とする。

ただし、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、累加計量などにより専用計量設備と同等の計量が確認できればよいものとし、確認は監督員の計量立ち会いにより行うものとする。監督員の計量立ち会いは、1 日 1 回を基本とし、打込みが午前・午後にまたがる場合は、午前・午後の最初のバッチで各 1 回立ち会うものとする。

##### (2) について

FA は、(1) の理由から 1 バッチ分ずつ、所定の計量値の許容差内となるように計量する。

##### (3) について

計量値の許容差については、通常の混和材と同様に 2%以下とする。

### 5. 3. 3 練り混ぜ

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) は、各材料が均等に混ざり合ったコンクリートが得られるように十分に練り混ぜなければならない。
- (2) 材料をミキサーに投入する順序および練り混ぜ時間は、あらかじめ適切に定めておかななければならない。
- (3) 内割り配合タイプの FAC は NC に比べ粘性が高いため、ミキサー内をモニターで確認する場合、粘性を考慮することが必要である。

#### 【解説】

##### (1) について

FA はセメントなどの粉体に比べて密度が小さいため、FA を用いたコンクリートは、コンクリート中に FA が均等に分散するように、十分に練り混ぜなければならない。

なお、内割り配合タイプの FAC は、粉体量が多いため、NC に比べ練り混ぜ時間が長くなることに注意しなければならない。

##### (2) について

FA を投入する順序および練り混ぜ時間は、使用するコンクリート製造工場における事前配合試験で確認し、適切に定めなければならない。

##### (3) について

内割り配合タイプの FAC は、単位水量が適正であっても NC に比べ粘性が高い。そのため、練り混ぜミキサー内をモニターで確認しているバッチャーは、「粘性が高い＝単位水量が不足している」とは考えず、国土交通省「レディーミクストコンクリート単位水量測定要領(案)」

(参考文献 32, 33, 34) に示された国土交通省の管理値 ( $\pm 15\text{kg/m}^3$ ) の範囲内であっても加水を行ってはならない。

#### 5. 3. 4 運搬

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) は、練り混ぜた後、速やかに運搬し、直ちに打込み、十分に締固めなければならない。コンクリートの練り混ぜを開始してから打込み完了までの時間は、原則として、1.5 時間を越えてはならない。
- (2) 内割り配合タイプのフレッシュコンクリートのスランプの経時変化は、普通コンクリート (NC) と同等とみなしてよい。
- (3) 内割り配合タイプのフレッシュコンクリートの空気量は、JIS で規定された空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を必ずしも必要としないため、空気量の経時変化についても特に問題としなくても良い。

#### 【解説】

##### (1)について

FAC の運搬および打込みに要する時間は、NC と同等の範囲で管理できる。ただし、やむを得ない事情で 1.5 時間を超える場合は、遅延剤を用いてよいが、使用に当たっては監督員との協議の上決定するものとする。また、遅延剤の効果については事前試験において確認し、その結果を監督員に提出しなければならない。

##### (2)について

内割り配合タイプのフレッシュコンクリートのスランプの経時変化は、普通コンクリート (NC) と同等とみなしてよい。ただし、スランプロスが NC より僅かに大きくなる場合があるが、スランプ試験後にタッピングなどを行うとスランプの山は崩れ、ワーカビリティの観点からは問題ないコンクリートの場合が多い。

##### (3)について

内割り配合タイプの空気量は、JIS で規定された空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を必ずしも必要としないため、空気量のロスがあっても問題としなくて良い。



### 5. 3. 5 打込み・締固めおよび仕上げ

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) の打込み・締固めには、内部振動機 (棒状バイブレータ) を用いる事を原則とし、棒状バイブレータの使用が困難な場合や、かぶり部分のコンクリートが十分締固められないと判断された場合は、型枠振動機 (壁バイブレータ) を使用しても良い。
- (2) 打込み・締固めは、予め計画した締固め作業高さを超えることがないように、作業足場の設置や施工方法を検討しなくてはならない。
- (3) 型枠に接するコンクリートは、できるだけ平坦な表面が得られるように打込み、締固め、躯体の表層に気泡が残らないようにしなければならない。なお、荷下ろし時点の高速回転を必要以上に行うと、エントラップトエアを巻き込むので注意しなければならない。
- (4) 2層目以上のコンクリートの締固めに当たっては、棒状バイブレータを下層コンクリートに 10cm 程度挿入しなければならない。
- (5) コンクリートを 2層以上に分けて打ち込む場合、打ち重ね時間間隔は出来るだけ短くするよう注意しなければならない。
- (6) フライアッシュコンクリート (FAC) は、ブリージング水が少ない場合があり、仕上げは普通コンクリート (NC) と異なることに注意しなければならない。
- (7) 打込み・締固めおよび仕上げのテクニックについては、参考資料 10 に示しており、参考にされたい。
- (8) 夏季打設においては硬化が早くなる場合がある。

#### 【解説】

##### (1) について

FAC の打込み・締固めに関しては、NC と同様の注意を払う必要がある。ただし、FAC は粘性が高いため、バイブレータが効きにくそうに見えるが、バイブレータを当てると FA のベアリング効果で十分な流動性を発揮する。また、逆に打込み後直ぐになめらかなコンクリート表面になる場合もあることから、バイブレータのかけ忘れに注意を要する。対策としては、型枠に一定間隔で印を付け、必要な場合は水糸を張るなどして打込み面に格子点を仮想し、一箇所ずつ格子点を潰すように棒状バイブレータをかけていくことが望ましい。また、1箇所当たりの振動時間を適切に設定し (5~15 秒程度)、全箇所同じ時間振動させなければならない (参考資料 10)。

この他、かぶり部分のコンクリートが十分締固められないと判断された場合は、型枠バイブレータを使用しても良いが、かけ過ぎはコンクリートの表層の強度低下など品質劣化を引き起こすことがあるので注意を要する。

棒状バイブレータは JIS A 8610「コンクリート内部振動機」に、型枠バイブレータは JIS A 8611「コンクリート外部振動機」に規定されている。

(2) について

FACの打込み・締固め作業高さの設定は、NCと同じで良い。ただし、NCに比べ、FAの流動性効果により、バイブレータをかけると流れてレベリングしようとするので、コンクリートポンプ車の筒先を管理する作業員は、FACが流れるのに任せず、一定間隔で打込みしなければならない。

(3) について

コンクリート表層に5mm以上の気泡が出る原因は、フレッシュコンクリートの初期空気量(エントレインドエア)ではなく、アジテータ車中で巻き込まれたエントラップトエアである。FACは、その粘性の高さからエントラップトエアが入りやすく、伏せ型枠部分で表面気泡やあばたが見られる事があるため、構造物によっては表面気泡に対する対策をとることが望ましい。特に砕砂の粗粒率(FM)が2.9より大きい場合は、エントラップトエアを巻き込みやすくなるので注意が必要である。

ここで、アジテータ車中は、移動中材料硬化を防ぐために低速回転してフレッシュコンクリートを攪拌しているが、荷下ろし地点では高速回転させミキサー内のコンクリートを均一にしている。しかし、沖縄県内の打設現場では、スランプや空気量の品質試験車両が試験前に高速回転を行い、さらに数分後荷下ろし地点に移動して再び高速回転する場合がある。これは、ミキサー内のフレッシュコンクリートにエントラップトエアを巻き込む行為であるため、試験前に高速回転を行ったアジテータ車は、荷下ろし地点で再度高速回転を行ってはならない。試験車両以外のアジテータ車は、荷下ろし前に1回高速回転を行ってもよい。

(4) について

2層目以上のコンクリートの打込み・締固めでは、下層コンクリートとの一体化が重要である。対策としては、棒状バイブレータに型枠上端面から打込み層の高さ+10cmがわかるようにビニールテープで印を付け、その印を目安に各打込み層でバイブレータを挿入すると良い。

(5) について

コンクリートを2層以上に分けて打ち込む場合、下層コンクリートが固まり始めている時にそのまま上層コンクリートを打ち込むとコールドジョイントが出来る恐れがあるため、コンクリートの練り混ぜ時間から打込み終了までの時間経過、コンクリートの温度、締固め方法等の影響を考慮して設定し、できる限り短い打重ね時間間隔となるように管理することが大事である。打重ね間隔の上限は、**表5.3.1**に示すが、沖縄県は高温多湿であり、FACは硬化がやや早いことから、同表よりも早めに打重ねる事が望ましい。

表 5.3.1 打重ね時間間隔の上限

外気温	許容打ち重ね時間間隔
25℃以下	2.5時間
25℃を超える	2.0時間

※2012年制定土木学会コンクリート標準示方書【施工編】

(6) について

内割り配合タイプの FAC は、ブリージング水が少ない配合であり、ブリージングを待って仕上げようとすると、仕上げが遅れる可能性があるため注意する必要がある。ただし、単位水量が国土交通省「レディーミクストコンクリート単位水量測定要領（案）」（参考文献 32, 33, 34）に示された国土交通省の管理値（±15kg/m<sup>3</sup>）の範囲内であっても、+10 kg/m<sup>3</sup>程度になるとブリージング水が上がる場合があるため、受入時の単位水量値を確認して仕上げを行う必要がある。

また、フーチングなどの広範囲な仕上げ面や風の強く当たる場所での仕上げは、NC よりも早く硬化が始まる可能性があるため、左官作業員の人数を増やすなどして対応する必要がある。

この他、内割り配合タイプの FAC は、普通コンクリート用左官仕上げ剤の利用が可能な配合であるため、必要に応じて仕上げ剤を利用して仕上げを行うのが良い。

(7) について

打込み・締固めおよび仕上げにテクニックについては、土木学会「養生および混和材料技術に着目したコンクリート構造物の品質・耐久性確保システム研究小委員会」（356 委員会）で推奨している表層品質確保のテクニックがあり、これらを参考資料 10 に示している。打設方法については、これらを参考にされたい。

(8) について

県道 20 号線（泡瀬工区）橋梁下部工工事では、夏季に打継ぎまでの時間を 1 時間以内にする必要があった。これは、夏季は硬化が早く、フーチングのような打設量の多い、打設面積の広い構造物では、先行打設層に後打ち層のバイブレータが挿入しにくいことがあったため、バイブレータをφ50 からφ60 に変更した事例が見られた。また、この工区では、当初打設時間は 1 層当たり 1 時間を予定していたが、40 分へ変更した。このように、夏季打設では硬化が早くなる場合があり、十分注意を要する。

### 5. 3. 6 養生

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) は、打込み後、硬化に必要な温度及び湿度条件を保ち、有害な作用の影響を受けないように、これを十分に養生しなければならない。
- (2) 内割り配合タイプは、打込み後の養生が重要であることから、十分な湿潤状態を保ち、工程を勘案して可能な限り長期養生を行うものとする。
- (3) 湿潤状態を保持する手段としては、保水養生マットまたは粘着型養生シート等による養生が望ましい。

#### 【解説】

##### (1) について

FAC の養生は、強度増進および耐久性確保のために、打込み後の一定期間、通常のコンクリート以上に FAC を適切な温度のもとで、湿潤状態を保ち、かつ、有害な作用を受けないようにしなければならない。そのため、受・発注者は、養生期間を考慮した工程管理を行う必要がある。

##### (2) について

FAC は、初期養生が不十分であると、強度発現の低下、飛来塩分等の劣化因子の侵入を容易にさせることがわかっている。このため、工期を勘案して可能な限り長期養生を行うものとする。

ここで、2023 年度制定コンクリート標準示方書【施工編】(土木学会) には、混合セメント B 種を使用したコンクリートの湿潤養生期間を「日平均気温 15℃以上 : 7 日」、「10℃以上 : 9 日」、「5℃以上 : 12 日」と最短養生期間は 7 日と定めているが、塩害や凍害環境の厳しい国土交通省東北地方整備局管内では、FAC の養生期間を 28 日と定めており、最も凍害環境が厳しく凍結防止剤による塩害発生が懸念される箇所での橋梁 FAC 床版の施工事例では、粘着型養生シートにより 3 ヶ月間の養生を行っている。

そこで、厳しい塩害環境である沖縄県でも内割り配合タイプの FAC 養生期間は、28 日を目標として可能な限り長期間の養生期間を確保するものとする。また、工程上 28 日を確保できない場合は、最短でも示方書に示される 7 日間を確保することが望ましい。

以上を鑑みて、受注者は監督員と協議の上適切な養生期間を設定するものとする。

##### (3) について

湿潤状態を保持する手段は、保水養生マットまたは粘着型養生シート等が利用されている。ここで、前述の東北地方整備局での事例にもあるように、長期養生には粘着型養生シートが望ましく、沖縄県でもこの施工事例が増えている。よって、沖縄県における内割り配合タイプの FAC の養生には粘着型養生シート等の利用が望ましいと考えられる。

ただし、粘着型養生シートは、躯体が濡れていると粘着性能が落ちるため、躯体が乾燥してから使用する必要がある。また、脱型後躯体が濡れていても速やかに養生する必要がある場合は、農業ハウス用のビニールシートなどを躯体に貼り付け、養生するのも良い。

## 6. 外割り配合タイプ

### 6. 1 適用の範囲

外割り配合タイプのフライアッシュコンクリート (FAC) は、伊良部大橋の上部工セグメントに用いた配合を基礎としており、プレストレストコンクリート橋梁上部工等の鉄筋コンクリートに用いるものとする。

### 6. 2 配合設計

外割り配合タイプのフライアッシュコンクリート (FAC) の配合設計は、以下の項立てでとりまとめる。

#### 6. 2. 1 一般

#### 6. 2. 2 フライアッシュ (FA) の細骨材置換配合

#### 6. 2. 1 一般

- (1) 外割り配合タイプのフライアッシュコンクリート (FAC) の配合は、コンクリートに要求される性能を満足するとともに、各規定値を満足するよう適切に設計しなければならない。
- (2) 外割り配合タイプは、構造物の要求性能を満足するコンクリートのワーカビリティを確保するため、スランプの選定は監督員と協議の上適切に行わなければならない。
- (3) 空気量については、JIS で規定された空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を必ずしも必要としない。

### 【解 説】

#### (1) について

配合に関する規定値は、土木工事等共通仕様書（平成 30 年 7 月、沖縄県土木建築部）およびコンクリート標準示方書【施工編】（2023 年制定、土木学会）をもとに、以下の通りに定める（表 6.2.1 参照）。

なお、外割り配合タイプは、FA を細骨材代替として扱うため、結合材として用いない。よって、水結合材比 (W/B) ではなく水セメント比を用いるものとする。

表 6.2.1 配合に関する規定値

項目	規定値	適用
水セメント比(W/C)	43%	鉄筋コンクリート
単位水量(W)	175kg/m <sup>3</sup> 以下	
粗骨材の最大寸法	20mm	

注1) W:水、C:セメント

注2) ポストテンションPC桁、プレテンションPC桁、プレキャストセグメント桁、PC合成桁PC(合成)床版等に用いる。

(2) について

外割り配合タイプは、従来の普通コンクリート（NC）と同様に製造管理が可能なコンクリートである。配合設計上の詳細は 6. 3 に記述する。

本配合は、構造物の要求性能を満足するコンクリートのワーカビリティを確保するために、必要に応じて協議のうえスランブを適切に選定する。なお、本配合は、FA 外割り配合コンクリートで JIS を取得していないコンクリート製造工場でも製造できるように非 JIS コンクリートを基本としている。

(3) について

FA を配合したコンクリートは、FA 中の未燃カーボンがコンクリート中の気泡（エントレインドエア）を吸着して空気量が低減し、JIS で規定されている  $4.5 \pm 1.5\%$  に調整できないことがある（参考文献 18）。ただし、外割り配合タイプは、砕砂と置換する FA 量が少ないため、伊良部大橋上部工の施工時期は普通 AE 剤の添加量により空気量は  $4.5 \pm 1.5\%$  に調整できていた。しかし、令和元年度以降 FA は、密度がやや低下していることなどから、空気量が  $4.5 \pm 1.5\%$  に調整しにくくなっており（参考資料 2.3）、県道 20 号線泡瀬橋梁上部工工事や南部東道路橋梁上部工工事に出荷したコンクリート製造工場では、令和 4 年度のヒアリング調査で以下の意見が聞かれた。

- 空気量を  $4.5 \pm 1.5\%$  に調整するために、AE 剤を多量添加（3 倍程度）する必要があるあった。
- 空気量のロスが大きく、荷下ろし地点で 3% 以下になる場合もあった。
- 外割り配合タイプの空気量が、内割り+外割り配合タイプのように 2% であれば出荷は問題なくできるが、 $4.5 \pm 1.5\%$  では調整できない場合がある。

以上から、外割り配合タイプにおいても空気量は、JIS で規定された空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）を必ずしも必要としないものとする。なお、容積率算定の関係から、配合計算において空気量を規定する必要がある場合は 2.0% としてよい。

なお、HrFA を用いた場合は、空気量を調整できるため、標準の空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）を確保する必要がある場合は HrFA を用いるのも良い。ただし、HrFA を用いた場合、JPFA を用いるよりも粘性が高くなるため、高性能 AE 減水剤の添加量が増加することに留意する必要がある（参考資料 3.1.1）。

また、プレテンション桁およびプレキャストセグメント桁についても空気量は規定しない。これは、プレテンション桁およびプレキャストセグメント桁が工場製品として JIS が認証されており、その材料のコンクリートについては JIS 規格を適用していないためである。

### 6. 2. 2 フライアッシュ (FA) の細骨材置換配合

- (1) 外割り配合タイプは、フライアッシュ (FA) を内割りで使用しないため、水結合材比 (W/B) ではなく水セメント比 (W/C) で管理し、外割り配合のフライアッシュ (FA) は結合材として扱わない。
- (2) 外割りフライアッシュ (FA) の細骨材置換率は、細骨材の 3~5% を基本とするが、対象構造物に要求された耐久性効果とフレッシュコンクリートのワーカビリティが得られない場合は、監督員と協議の上置換率の変更を行っても良い。
- (3) 水セメント比 (W/C) は、各コンクリート製造工場の持つ同じ呼び強度の JIS 普通コンクリート (NC) の水セメント比 (W/C) を基本とする。
- (4) 強度の管理材齢は、普通コンクリート (NC) と同様材齢 28 日を基本とする。
- (5) 室内配合試験は、FAC の要求性能および品質等を確認する。また、FAC の出荷実績がないコンクリート製造工場では、実機試験も行う。

#### 【解 説】

##### (1) について

外割り配合タイプの考え方と特徴を以下に示す。

##### ① 配合の概念

FA 無混和の NC 配合と外割り配合タイプの FAC の配合の概念図を **図 6.2.1** に示す。

この配合は、沖縄県産の海砂に遅延膨張性のアルカリシリカ反応 (ASR) 性骨材が含まれることから、リスク回避のため砕砂 100% とした場合、ワーカビリティが極端に悪くなる対策として、砕砂の一部を FA に置き換える外割り FA 配合を行うものである。なお、この配合は、長期耐久性を求められる構造物で、PC 上部工箱桁をセグメントヤードで連続施工する場合等、施工工程上十分な養生期間が確保できず、脱型強度・吊り上げ強度等の初期強度発現が必要な構造物等に用いる。同図に示すように、外割り配合タイプはセメント (C) の内割りで FA を混和しないため、結合材はセメントのみとして扱い、細骨材と置換する外割り FA は結合材として扱わない。

ただし、混和剤 (Ad) は、製造段階で水に累加計量されるため、単位水量に含まれる。



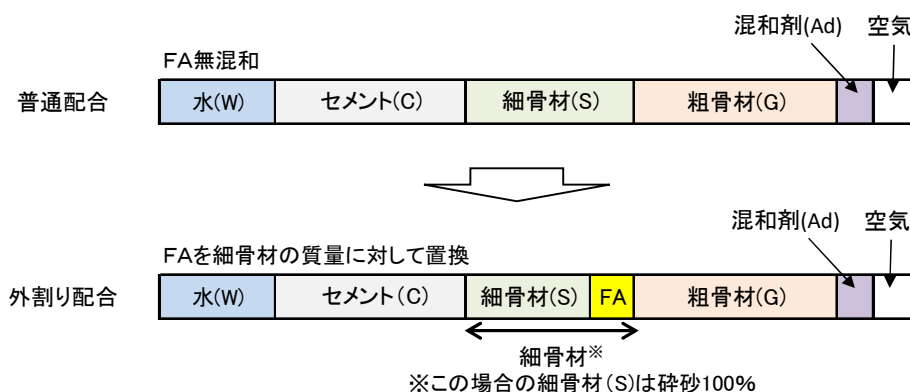


図 6.2.1 外割り配合タイプの概念図

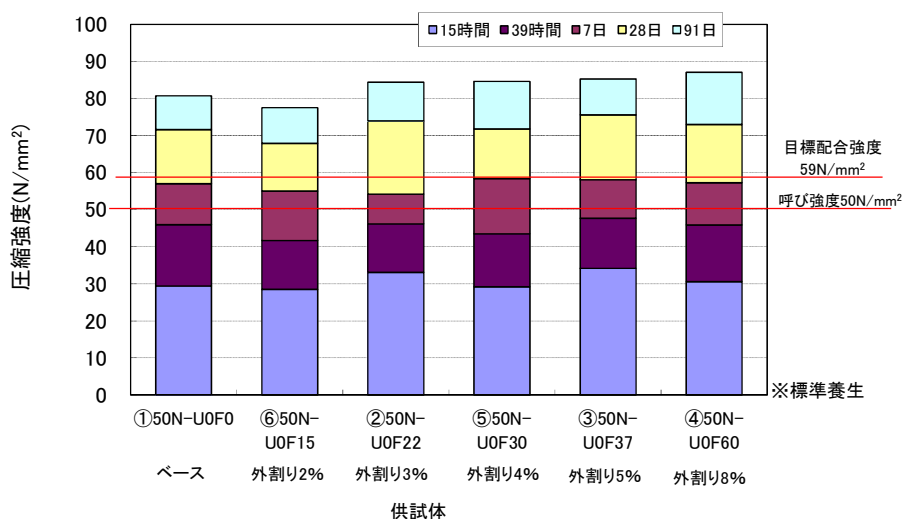
## ② 圧縮強度の考え方

図 6.2.2 は伊良部大橋上部工 PC 箱桁セグメントの配合検討時に試験した外割り配合量別の圧縮強度の経時変化である。これらの配合は、ベースの水セメント比 (W/C) を用い、外割り FA 置換率 2%、3%、4%、5%、8% で吊り上げ強度 15 時間から長期強度 91 日までの強度試験を行った。同図から、外割り FAC の圧縮強度は、材齢ごとに増進し、ほぼ外割り配合量に比例して強度の増加が認められた。ただし、その差は軽微であった。また、何れも材齢 28 日で目標配合強度  $59\text{N/mm}^2$  を超えており、一般的な基準である 28 日強度管理を満足している (参考文献 8)。

なお、本 FAC 指針で配合設計したコンクリートは、基本的に発注者指定配合であるため、各コンクリート製造工場には圧縮強度の標準偏差等の基礎データがない場合が多い。そのため、規準に合った品質の原材料を使用し、材料の保管・計量、およびコンクリートの練りまぜを適切に行うことが必要である。

ここで、沖縄県土木建築部土木工事成績評価ガイドライン (令和 2 年 2 月、沖縄県土木建築部) では、「重要構造物 (橋梁下部工・上部工、擁壁工、カルバート工など) が 100 年耐久性確保の観点から水セメント比が 50% 以下を求められ、呼び強度が  $30\text{N/mm}^2$  と高強度 (PC プレストレストコンクリートの最低強度でもある) となっていることである。そのため、現場では、温度ひび割れによるカルバート側壁の貫通ひび割れ、橋梁下部工の表層ひび割れ、地覆工の温度ひび割れが発生している。また、受け入れる生コンクリートも過剰強度 (呼び強度の 1.5 倍) が散見されることから、社会基盤施設となる重要構造物の品質を確保することは、品確法の趣旨から重要な課題となっている。」 (単位 Mps は  $\text{N/mm}^2$  に修正) とされている。しかし、ガイドラインで言う過剰強度とは、マスコンクリートにおける強度発現に対してであり、セメント量の増加により水和熱が高くなることで温度応力ひび割れに繋がると言うものである。

これに対し、外割り配合タイプを用いる部材は、鉄筋比の大きい PC 上部工セグメント等であり、14~17 時間の脱型強度など初期強度増進が求められる部材である。そのため、28 日強度は呼び強度の 1.5 倍を超える場合が多いが、部材がマスコンクリートではないため、呼び強度の 1.5 倍の強度発現となってもひび割れ発生には寄与しにくい。よって、本配合タイプにおいては、呼び強度の 1.5 倍の強度発現となっても過剰強度と扱わなくてよい。



供試体名の読み方

● N : 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>)

図 6.2.2 伊良部大橋上部工 50N/mm<sup>2</sup> 配合検討時に得られた各種配合の材齢別圧縮強度

### ③ 外割り配合タイプにおける配合調整

- 細骨材率 (s/a) は、出荷するコンクリート製造工場の持つ同じ呼び強度の NC と同等を標準とするが、外割りの FA と細骨材では粒度分布が異なるため、フレッシュコンクリートの圧送性が悪くなる等の場合が考えられる。よって、その場合は、監督員と協議し、配合試験を行った上で、s/a や細骨材量を僅かに変更しても良い。
- 空気量は、JIS で規定された空気量 (4.5 ± 1.5%) を必ずしも必要としない。よって、AE 剤使用量は NC と同等か、特に添加しなくても良いが、容積率の関係から 2.0% としてよい。
- ただし、JPFA を用いる場合で、やむを得ない理由で標準の空気量 (4.5 ± 1.5%) を規定する必要がある場合は、空気量を確保するために AE 剤の添加量を必要量添加する (参考文献 18)、もしくは FA 用 AE 剤を用いるなどして空気量を調整する。
- また、HrFA を用いる場合は、空気量 (4.5 ± 1.5%) を確保できるため、NC と同様の考え方で AE 剤を配合し、空気量を調整する。

### (2) について

外割り FA によるワーカビリティーの改善には、前出「表 1.2.1 フライアッシュの種類と置換率」のような置換率の規定がない。よって、FA の細骨材置換率は過去の施工履歴から 3~5% を基本とするが、スランプロスが少なくワーカビリティーが良いことを確認できる場合は、最適な置換率として 3~5% 以外の値に変更しても良い。

沖縄県土木建築部の施工例としては、伊良部大橋本体橋梁上部工 PC 箱桁や伊良部大橋取付橋梁ホロスラブ桁、沖縄都市モノレール PC 軌道桁などがあるが、前者は外割り 3%、後者は外割り 5% である。この理由は、出荷コンクリート製造工場の砕砂にあり、沖縄都市モノレール軌道桁に出荷するコンクリート製造工場は、FM=3.2 の粗い砕砂を用いていたため、FA の外割り配合量は 5% が必要となった。なお、伊良部大橋セグメントや沖縄都市モノレール軌道桁

では、FA の外割り配合量を 7%まで増加させて試験したが、FA が増加すると粘性が大きくなりすぎてワーカビリティが悪くなる問題が発生した。よって、FA の外割り配合量は砕砂の FM 値と正の比例関係にはないことがわかった（参考文献 8, 15, 17）。

ここで、近年は FM の大きな砕砂を用いているコンクリート製造工場が増加しており、令和 4 年度のヒアリング調査では県道 20 号線（泡瀬工区）橋梁上部工工事でも FM=2.9 より大きい砕砂の工場から出荷されたフレッシュコンクリートは、スランプロスが大きく打設しにくいという声が多く聞かれた。このため、FM=2.9 より大きい砕砂は、外割り配合タイプには不向きな場合も考えられる。よって、指定された出荷工場が、事前の配合試験により十分なワーカビリティが得られない場合は、出荷工場を変更する可能性があることに留意する必要がある。

この他、HrFA を使用した場合は、JPFA を使用した場合に比べ粘性が高くなることが予想されるため、AE 減水剤の使用量が増えることが考えられる。そのため、JPFA を使用するよりもスランプロスが大きくなるなどワーカビリティの低下が考えられ、事前の室内試験および実機試験で予定打設時間内にワーカビリティが低下しないか確認する必要がある。

### (3) について

FAC は、各コンクリート製造工場における同じ呼び強度の JIS 普通コンクリート配合を基本とする。よって、水セメント比についても、各コンクリート製造工場の持つ同じ呼び強度の JIS 普通コンクリートの水セメント比 (W/C) を基本とする。特に、外割り配合タイプは、FA を結合材として見なさないため、水セメント比 (W/C) は JIS フレッシュコンクリートのそれと同じで良い。

なお、フレッシュコンクリートのコンシステンシー維持には、ある程度の単位水量が必要であるため、単位水量を減じて高性能 AE 減水剤でスランプを誘導するような配合はできるだけ避けることが重要である。

### (4) について

沖縄県の土木構造物は、NC の強度の管理材齢を 28 日としている。よって、FAC においても、強度の管理材齢は NC と同様、材齢 28 日を基本とする。

### (5) について

室内配合試験においては、通常練り混ぜ直後にスランプ、空気量、単位水量、コンクリート温度、外気温度、等を測定するが、スランプと空気量については練り混ぜ後 30 分および 60 分の経時変化も確認する。

また、圧縮強度試験は、コンクリート製造工場から現場到着までの時間を勘案し、0 分、30 分もしくは 60 分のいずれかで最も近い時間のコンクリートを用いて供試体を採取する。圧縮強度試験は、管理強度 28 日材齢を基本とし、施工上確認が必要と考えられる材齢で試験を行う。

なお、外割り配合タイプの強度発現は、セメントの一部を FA に置き換えていないため、NC と同等の初期強度が得られるため、強度管理は NC と同様で良い。

### 6. 3 製造および施工

外割り配合タイプのフライアッシュコンクリート（FAC）の製造および施工は、以下の項立てでとりまとめる。

- 6. 3. 1 フライアッシュ（FA）の貯蔵設備
- 6. 3. 2 フライアッシュ（FA）の計量
- 6. 3. 3 練り混ぜ
- 6. 3. 4 運搬
- 6. 3. 5 打込み・締固めおよび仕上げ
- 6. 3. 6 養生

#### 6. 3. 1 フライアッシュ（FA）の貯蔵設備

フライアッシュ（FA）の貯蔵設備は、貯蔵中に品質が変化せず、また、他の物質が混入しない構造のものでなければならない。

#### 【解 説】

FAの貯蔵設備は、基本的にセメントの貯蔵設備に要求される事項と同じで、湿気や通気を避けなければならない。また、他のセメントや混和材などが混入しないようにしなければならない。このため、FAの貯蔵には、専用の設備を使用することとする。

### 6. 3. 2 フライアッシュ (FA) の計量

- (1) フライアッシュ (FA) の計量設備は、専用のものであることとし、所定の計量値の許容差内で計量できるものでなければならない。
- (2) フライアッシュ (FA) は、1 バッチ分ずつ質量で計量する。
- (3) フライアッシュ (FA) の計量値の許容差は、2%以下でなければならない。

#### 【解 説】

##### (1) について

FA の計量を正確に行うことは、重要事項の一つである。特に FA の計量誤差は、コンクリートの品質に敏感に影響を与えるため、計量値の誤差が大きい場合には、所定の品質のコンクリートが得られないばかりか、支障を来すこともある。

したがって、FA の計量は、専用の設備を基本とする。

ただし、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、累加計量などにより専用計量設備と同等の計量が確認できればよいものとし、確認は監督員の計量立ち会いにより行うものとする。特に、外割り配合タイプは、砕砂の 3~5% 程度の置換となるため、FA 量は 20~50kg/m<sup>3</sup> 程度となることから、セメントなど数百 kg/m<sup>3</sup> を測定するための計量ビンでは誤差の発生が懸念される。よって、場合によっては累加計量の方が正確な測定が可能な場合もあると考えられ、監督員はコンクリート製造工場の能力を良く把握して、FA の計量管理を行う必要がある。監督員の計量立ち会いは、1 日 1 回を基本とし、打込みが午前・午後にまたがる場合は、午前・午後の最初のバッチで各 1 回立ち会うものとする。

##### (2) について

FA は、(1) の理由から 1 バッチ分ずつ、所定の計量値の許容差内となるように計量する。

##### (3) について

計量値の許容差については、通常の混和材と同様に 2% 以下とする。

### 6. 3. 3 練り混ぜ

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) は、各材料が均等に混ざり合ったコンクリートが得られるように十分に練り混ぜなければならない。
- (2) 材料をミキサーに投入する順序および練り混ぜ時間は、あらかじめ適切に定めておかなければならない。
- (3) 外割り配合タイプは、粉体量が多いため、練り混ぜ時間は NC に比べ長くなる。

#### 【解説】

##### (1) について

FA はセメントなどの粉体に比べて密度が小さい。また、外割り配合タイプの FAC は、細骨材を砕砂 100%としており、ワーカビリティを向上させる目的で FA を外割りで数% (3~5%を基本) 配合している。そのため、少ない FA がコンクリート中に均等に分散するように、十分に練り混ぜなければならない。

##### (2) について

FA を投入する順序および練り混ぜ時間は、使用するコンクリート製造工場における事前配合試験で確認し、適切に定めなければならない。

##### (3) について

外割り配合タイプは、粉体量が多いため練り混ぜ時間が 1 バッチ 3 分程度かかることに留意する必要がある。

#### 6. 3. 4 運搬

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) は、練り混ぜた後、速やかに運搬し、直ちに打込み、十分に締固めなければならない。コンクリートの練り混ぜを開始してから打込み完了までの時間は、原則として、1.5 時間を越えてはならない。
- (2) 外割り配合タイプのフレッシュコンクリートのスランプの経時変化は、事前配合試験において確認し、その特性を十分確認する必要がある。
- (3) 外割り配合タイプのフレッシュコンクリートの空気量は、JIS で規定された空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を必ずしも必要としない。

#### 【解 説】

##### (1) について

FAC の運搬および打込みに要する時間は、NC と同等の範囲で管理できる。ただし、やむを得ない事情で 1.5 時間を超える場合は、遅延剤を用いてよいが、使用に当たっては監督員と協議の上決定するものとする。また、遅延剤の効果については事前試験において確認し、その結果を監督員に提出しなければならない。

##### (2) について

外割り配合タイプの FAC は、細骨材を砕砂 100%としており、ワーカビリティを向上させる目的で FA を外割り配合している。しかし、各コンクリート製造工場で使用している砕砂は、FM や粒度分布が異なるため、FA の外割り配合量も微妙に異なる。また、これによりスランプの経時変化についても各コンクリート製造工場で異なることが予想される。

よって、外割り配合タイプの FAC のスランプロス、事前配合試験において確認し、その特性を十分把握する必要がある。その結果を考慮して現場打込みにおけるスランプの経時変化を予測することが重要である。

##### (3) について

FA を配合したコンクリートは、FA 中の未燃カーボンがコンクリート中の気泡 (エントレインドエア) を吸着して空気量が低減し、JIS で規定されている  $4.5 \pm 1.5\%$  に調整できないことがある。ただし、外割り配合タイプは、砕砂と置換する FA 量が少ないため、伊良部大橋上部工の施工時期は普通 AE 剤の添加量により空気量は  $4.5 \pm 1.5\%$  に調整できていた。しかし、令和元年度以降 FA は、密度がやや低下していることなどから、空気量が  $4.5 \pm 1.5\%$  に調整しにくくなっており (参考資料 2.3)、県道 20 号線泡瀬橋梁上部工工事や南部東道路橋梁上部工工事に出荷したコンクリート製造工場では、 $4.5 \pm 1.5\%$  に調整するために AE 剤を多量添加 (3 倍程度) する必要がある。また、空気量のロスも大きく、荷下ろし地点で 3% 以下になる場合もあった。

よって、外割り配合タイプにおいても空気量は、JIS で規定された空気量 ( $4.5 \pm 1.5\%$ ) を必ずしも必要としないものとする。なお、容積率算定の関係から配合計算において空気量を

規定する必要がある場合は、2.0%としてよい。

また、プレテンション桁およびプレキャストセグメント桁についても空気量は、JISで規定された空気量(4.5±1.5%)を必ずしも必要としない。これは、プレテンション桁およびプレキャストセグメント桁が工場製品としてJISが認証されており、その材料のコンクリートについてはJIS規格を適用していないためである。

### 6. 3. 5 打込み・締固めおよび仕上げ

- (1) フライアッシュコンクリート(FAC)の打込み・締固めには、内部振動機(棒状バイブレータ)を用いる事を原則とし、棒状バイブレータの使用が困難な場合や、かぶり部分のコンクリートが十分締固められないと判断された場合は、型枠振動機(壁バイブレータ)を使用しても良い。
- (2) 打込み・締固めは、予め計画した締固め作業高さを超えることがないように、作業足場の設置や施工方法を検討しなくてはならない。
- (3) 型枠に接するコンクリートは、できるだけ平坦な表面が得られるように打込み、締固め、躯体の表層に気泡が残らないようにしなければならない。なお、荷下ろし時点の高速回転を必要以上に行うと、エントラップトエアを巻き込むので注意しなければならない。
- (4) 2層目以上のコンクリートの打込み・締固めに当たっては、棒状バイブレータを下層コンクリートに10cm程度挿入しなければならない。
- (5) コンクリートを2層以上に分けて打ち込む場合、打ち重ね時間間隔は出来るだけ短くするよう注意しなければならない。
- (6) フライアッシュコンクリート(FAC)は、ブリージング水が少ない場合があり、仕上げは普通コンクリート(NC)と異なることに注意しなければならない。

#### 【解説】

##### (1) について

外割り配合タイプのFACは、砕砂100%の細骨材を一部FA置換することによりワーカビリティを向上させているが、見た目はNCとほぼ同じである。よって、打込み・締固めに関しては、NCと同様の注意を払う必要がある。

ただし、外割り配合タイプは、NCに比べ粘性が高い場合があり、棒状バイブレータが効きにくそうに見える場合があるが、十分なスランプが確保されていればFAのベアリング効果もあり十分な流動性を発揮する。また、打込み後直ぐになめらかなコンクリート表面になる場合もあり、既に棒状バイブレータをかけたと勘違いすることのないように注意を要する。



対策としては、型枠に一定間隔で印を付け、必要な場合は水糸を張るなどして打込み面に格子点を仮想し、一箇所ずつ格子点を潰すように棒状バイブレータを挿入するなどの配慮を行う事が望ましい。また、1箇所当たりの振動時間を適切に設定し（5～15秒程度）、全箇所同じ時間振動させなければならない。

また、PC上部工のような配筋やPC鋼線のシース管が蜜に配置されている躯体は、型枠バイブレータを用いて打設することも有効である。ただし、型枠バイブレータのかけ過ぎはコンクリートの表層の強度低下など品質劣化を引き起こすことがあるので注意を要する。

棒状バイブレータはJIS A 8610「コンクリート内部振動機」に、型枠バイブレータはJIS A 8611「コンクリート外部振動機」に規定されている。

(2) について

FACの打込み・締固め作業高さの設定は、NCと同じで良い。ただし、NCに比べ、FAの流動性効果により、バイブレータをかけると流れてレベリングしようとするので、コンクリートポンプ車の筒先を管理する作業員は、FACが流れるのに任せず、一定間隔で打込みしなければならない。

(3) について

コンクリート表層に5mm以上の気泡が出る原因は、フレッシュコンクリートの初期空気量（エントレインドエア）ではなく、アジテータ車中で巻き込まれたエントラップトエアである。FACは、その粘性の高さからエントラップトエアが入りやすく、伏せ型枠部分で表面気泡やあばたが見られる事があるため、構造物によっては表面気泡に対する対策をとることが望ましい。

ここで、アジテータ車中は、移動中材料硬化を防ぐために低速回転してフレッシュコンクリートを攪拌しているが、荷下ろし地点では高速回転させミキサー内のコンクリートを均一にしている。しかし、沖縄県内の打設現場では、スランプや空気量の品質試験車両が試験前に高速回転を行い、さらに数分後荷下ろし地点に移動して再び高速回転する場合がある。これは、ミキサー内のフレッシュコンクリートにエントラップトエアを巻き込む行為であるため、試験前に高速回転を行ったアジテータ車は、荷下ろし地点で再度高速回転を行ってはならない。試験車両以外のアジテータ車は、荷下ろし前に1回高速回転を行ってもよい。

この他、外割り配合タイプは、砕砂の粗粒率（FM）が2.9より大きい場合は、エントラップトエアが増えやすくなる事に注意する必要がある。

(4) について

2層目以上のコンクリートの打込み・締固めでは、下層コンクリートとの一体化が不十分になる場合があるため、棒状バイブレータに型枠上端面から打込み層の高さ+10cmがわかるようにビニールテープで印を付け、その印を目安に各打込み層でバイブレータを挿入すると良い。

(5) について

コンクリートを2層以上に分けて打ち込む場合、下層コンクリートが固まり始めている時にそのまま上層コンクリートを打ち込むとコールドジョイントが出来る恐れがあるため、コンクリートの練り混ぜ時間から打込み終了までの時間経過、コンクリートの温度、締固め方法等の影響を考慮して設定し、できる限り短い打重ね時間間隔となるように管理することが大事である。打重ね間隔の上限は、表 6.3.1 に示すが、沖縄県は高温多湿であり、FAC は硬化がやや早いことから、同表よりも早めに打重ねる事が望ましい。

また、施工計画において、あらかじめ練り混ぜから打ち終わりまでの時間の限度を設定し、その時間内においてコンクリートが、打込みの最小スランプ等、所要のフレッシュコンクリートの品質および所要の硬化コンクリートの品質を確保できることを確認しておく必要がある。

表 6.3.1 打重ね時間間隔の上限

外気温	許容打ち重ね時間間隔
25℃以下	2.5時間
25℃を超える	2.0時間

※2012年制定土木学会コンクリート標準示方書【施工編】

(6) について

外割り配合タイプの FAC は、ブリージング水が少ない場合があり、ブリージングを待って仕上げようとすると、仕上げが遅れる可能性があるため注意する必要がある。ただし、単位水量が国土交通省「レディーミクストコンクリート単位水量測定要領（案）」（参考文献 32, 33, 34）に示された国土交通省の管理値（±15kg/m<sup>3</sup>）の範囲内であっても、+10 kg/m<sup>3</sup>程度になるとブリージング水が上がる場合があるため、受入時の単位水量値を確認して仕上げを行う必要がある。

また、ホロースラブ桁のように仕上げ面積が広い場合や風の強く当たる場所での施工では、NC よりも早く硬化が始まる可能性があるため、左官の人数を増やすなどして対応する必要がある。

この他、外割り配合タイプの FAC は、左官仕上げ剤の利用が可能な配合であるため、必要に応じて仕上げ剤を利用して仕上げを行うのが良い。

### 6. 3. 6 養生

- (1) フライアッシュコンクリート (FAC) は、打込み後、硬化に必要な温度及び湿度条件を保ち、有害な作用の影響を受けないように、これを十分に養生しなければならない。
- (2) 外割り配合タイプは、セメントとの置換がないことから、打込み後は普通コンクリート (NC) と同様の養生として良い。
- (3) 湿潤状態を保持する手段としては、保水養生マットまたは粘着型養生シート等による養生が望ましい。
- (4) 外割り配合タイプは、型枠存置期間を特に長くする必要がない。

#### 【解説】

##### (1) について

FAC の養生は、強度増進および耐久性確保のために、打込み後の一定期間、通常のコンクリート以上に FAC を適切な温度のもとで、湿潤状態を保ち、かつ、有害な作用を受けないようにしなければならない。

##### (2) について

一般に内割りで FA を配合した FAC は、初期養生が不十分であると、強度発現の低下、飛来塩分等の劣化因子の侵入を容易にさせることがわかっている。このため、工期を勘案して可能な限り長期養生を行うものとするが、外割り FA 配合タイプの FAC は、セメント量が NC と同量であるため、初期強度発現なども普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと同様となる。

よって、養生も普通ポルトランドセメントのコンクリートと同様が良いが、確実な養生は表層品質を向上させ、耐久性向上にも資することから、可能な限り長期養生に努めるものとする。

ここで、2023 年度制定コンクリート標準示方書【施工編】(土木学会)には、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの湿潤養生期間を「日平均気温 15℃以上 : 5 日」、「10℃以上 : 7 日」、「5℃以上 : 9 日」と定めており、厳しい塩害環境にある沖縄県ではこの養生期間を最低でも遵守するものとする。

##### (3) について

湿潤状態を保持する手段は、保水養生マットまたは粘着型養生シート等が利用されている。ここで、長期養生には粘着型養生シートが望ましく、沖縄県でもこの施工事例が増えており、沖縄県における外割り配合タイプの FAC の養生には粘着型養生シート等の利用が望ましいと考えられる。

ただし、粘着型養生シートは、躯体が濡れていると粘着性能が落ちるため、躯体が乾燥してから使用する必要がある。また、脱型後躯体が濡れていても速やかに養生する必要がある場合は、農業ハウス用のビニールシートなどを躯体に貼り付け、養生するのも良い。

また、断面の大きな構造物では、昼夜の温度差が大きくなる冬季に温度応力ひび割れ発生の事例がある。そのため、保湿養生シートに加え、気泡入り緩衝材を用いるなど、保温養生を行うことが望ましい。

(4)について

外割り配合タイプは、セメント量がNCと同じであるため、型枠存置期間を特に長く取る必要はない。

以 上