

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 2 7 年 1 月

長崎県 土木部

はじめに

本指針は、長崎県内の火力発電所から排出されるフライアッシュ（石炭を燃焼する際に生じる灰の一種）をコンクリート用混和材として利用することで、再生資源（指定副産物）の有効活用を図ると共に、コンクリート構造物の長寿命化や耐久性向上などフライアッシュの有用性の活用を目指して策定を行ったものです。

本指針の特徴は、フライアッシュを結合材として扱い従来の「水セメント比（ W/C ）」を「水結合材比（ $W/(C+FA)$ ）」と定義し、長崎県の発注工事における標準化を目指した点です。

また、本指針は、目的やフライアッシュの特徴を述べた「総則」、従来の高炉セメントB種を使用したレディーミクストコンクリートと同等の製造管理と強度管理が可能な「Ⅰ．標準型」、部材断面の大きなマスコンクリートのセメント水和熱に起因したひび割れ発生抑制などを期待した「Ⅱ．低熱型」で構成されています。また、パイロット工事を通して得られたデータなどを「技術資料」として別冊として取りまとめています。

フライアッシュコンクリートを利用する場合の配合・製造及び施工における標準を示すことにより、フライアッシュコンクリートの利用促進が図られるとともに、コンクリート構造物の品質向上に寄与することを期待するものです。

おわりに、本指針の策定にあたりご尽力いただいた「フライアッシュコンクリート利用指針作成検討委員会」の原田哲夫会長をはじめ各委員ならびに産官学メンバー各位に感謝申し上げます。

平成27年1月

長崎県土木部長 浅野 和広

目 次

総則

1.1 目的	1-1
1.2 指針の構成	1-4
1.3 用語の定義	1-5

I. 標準型

I—1 適用の範囲

1.1 適用の範囲	2-1
-----------	-----

I—2 使用材料

2.1 フライアッシュ	2-4
2.2 セメント	2-5
2.3 骨材	2-5
2.4 水	2-5
2.5 混和剤	2-5

I—3 配合設計

3.1 一般	2-6
3.2 フライアッシュのセメント置換配合	2-7

I—4 製造及び施工

4.1 フライアッシュの貯蔵設備	2-9
4.2 フライアッシュの計量	2-10
4.3 練混ぜ	2-11
4.4 運搬及び打込み	2-12
4.5 養生	2-13

II. 低熱型

II—1 適用の範囲

1.1 適用の範囲	3-1
-----------	-----

II—2 使用材料

2.1 フライアッシュ	3-4
2.2 セメント	3-5
2.3 骨材	3-5
2.4 水	3-5
2.5 混和剤	3-5

II—3 配合設計

3.1 一般	3-6
3.2 フライアッシュのセメント置換配合	3-7

Ⅱ—4 製造及び施工

4.1	フライアッシュの貯蔵設備	3-9
4.2	フライアッシュの計量	3-10
4.3	練混ぜ	3-11
4.4	運搬及び打込み	3-12
4.5	養生	3-13

【 総 則 】

総 則

1.1 目的

本指針は、長崎県内で発生するフライアッシュをコンクリート用混和材として利用し、品質向上を図ったレディーミクストコンクリート（以下、当指針においては、フライアッシュコンクリートと記す）を使用するための配合・製造及び施工の基本的な考え方を示したものである。

（解説）

長崎県内の火力発電所より排出されるフライアッシュをコンクリート用混和材として、セメントの一部に代替することで、県内で発生する指定副産物の有効活用を図る。

また、フライアッシュコンクリートは、循環型社会の構築や環境負荷軽減などに資するだけでなく、コンクリート構造物の長寿命化や耐久性向上などコンクリートの品質向上に有効である。

① 環境負荷低減

・再生資源（指定副産物）の有効利用

フライアッシュ（石炭灰）は、1991年に「再生資源の利用の促進に関する法律」が制定（2001年に「資源の有効な利用の促進に関する法律」に改定）され、指定副産物に定められている。

・CO₂削減効果

フライアッシュの製造時 CO₂ 排出量（約 20 kg-CO₂/t）は、セメント（ポルトランドセメント：約 760 kg-CO₂/t、高炉セメント B 種：約 460 kg-CO₂/t）に比べて少ない。

フライアッシュコンクリートの CO₂ 排出量は、本指針で示す標準型、低熱型の利用方法において、普通コンクリート（高炉セメント B 種使用）に比べて、それぞれ実績で 8～10%、20～22%の削減効果が認められる。

② コンクリートの品質向上

・流動性の改善

フライアッシュ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著しく改善され、コンクリートの打設が効率的に行われ、充填性がよく、仕上げが良好となる。ただし、使用量によっては粘性の増大で施工性を逆に悪くし、また、フライアッシュ中の未燃カーボンの影響で空気量の調整も難しくすることもあるため、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）

フライアッシュ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、ひび割れ現象が起こりにくくなる。

・長期強度の増進

フライアッシュ混和によるポゾラン反応は、セメントの水和反応に比べて長期にわたり続く

ため強度が増進する。

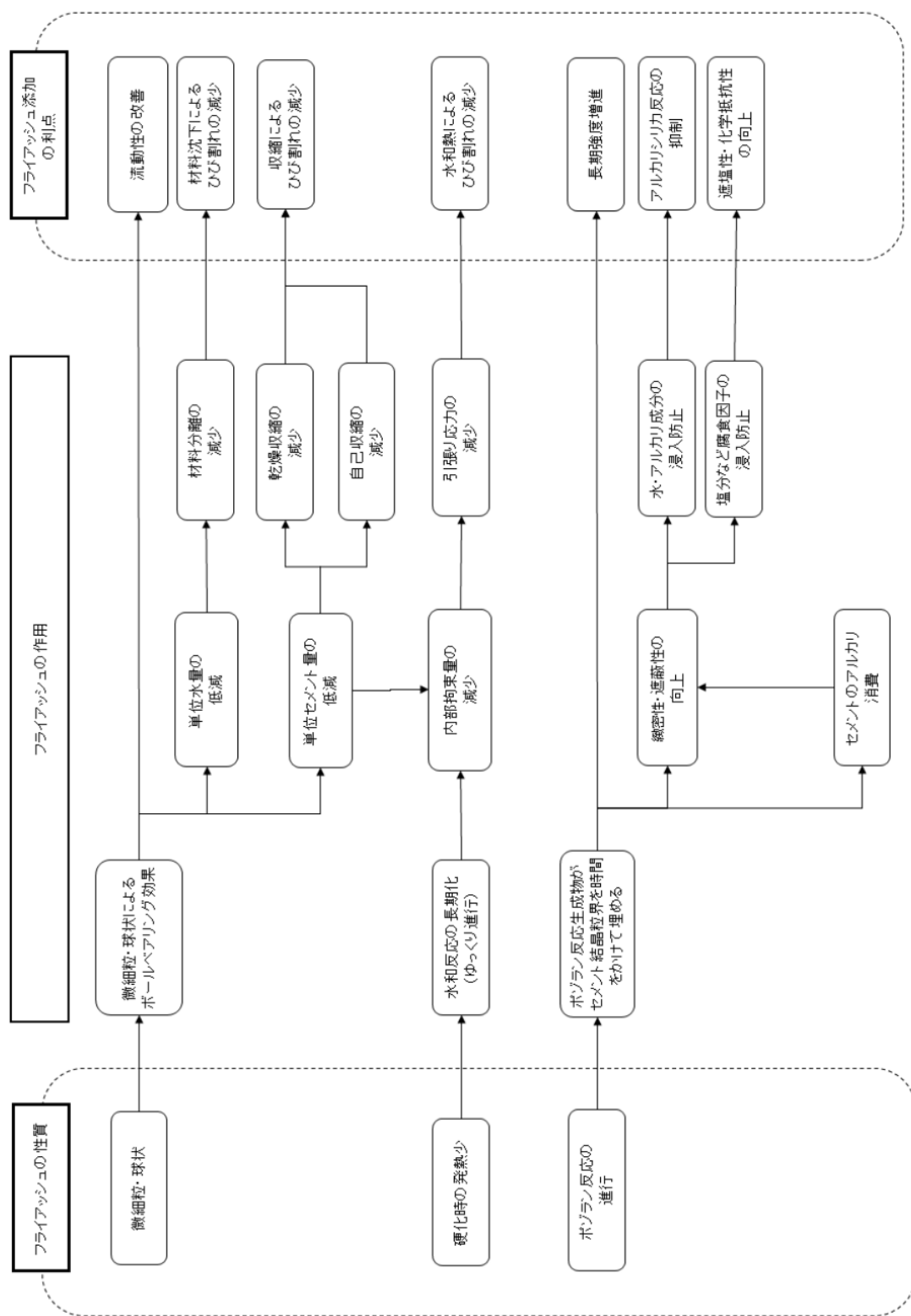
- ・アルカリシリカ反応（A S R）の抑制

A S R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現象であり、フライアッシュをセメントの一部に置換することで、直接的なアルカリ量の低減とともに、ポゾラン反応によるアルカリ消費効果で、これを抑制する。

- ・遮塩性、化学抵抗性の向上

フライアッシュのポゾラン反応は、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・薬液等の腐食作用に対して抵抗性が大きい。

なお、コンクリートへのフライアッシュ利用による品質向上に関する要因分析を図-1.1 に示す。本図はフライアッシュの主な3つの性質である、①形状が微細粒・球状であること、②硬化時の発熱量が少ないこと、③ポゾラン反応が進行すること、などの働きがもたらす利点（効果）のプロセスを示したものである。



図ー1. 1 コンクリートのフライアッシュ利用による品質向上に関する要因分析

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は、配合設計上、内割り配合（標準型）、内割り配合（低熱型）の2種類に分類する。

- ① 内割り配合（標準型）：セメントの一部に質量置換（置換率 $10 \pm 2\%$ ）
- ② 内割り配合（低熱型）：セメントの一部に質量置換
(置換率 標準型の置換率を超え 20%以下)

(解説)

フライアッシュコンクリートの利用方法は、内割り配合（セメント置換）と外割り配合（細骨材置換）に大別される。このうち、1999 年の JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」の改定に伴い発刊された「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 094】」（土木学会）も「内割り配合」を対象としている。

本指針で取り扱うフライアッシュコンクリートは、以下の通りである。

① 内割り配合(標準型)

従来の普通コンクリートと同等の製造管理と強度管理が可能な汎用性の高いコンクリートであり、主にコンクリートの流動性改善効果を期待し、収縮ひび割れ等の改善に寄与する配合である。セメントに対する質量置換率は、 $10 \pm 2\%$ の範囲とする。

② 内割り配合(低熱型)

従来の普通コンクリート（管理材齢 28 日）ではなく、低熱セメントを使用した場合と同じように管理材齢を 56 日とし、マスコンクリートのセメント水和熱に起因したひび割れ発生の抑制に寄与する配合であり、アルカリシリカ反応に対しても高い抑制効果がある。セメントに対する質量置換率は、標準型の置換率を超え 20%以下の範囲とする。

1.3 用語の定義

本指針では、次のように用語を定義する。

フライアッシュコンクリート：フライアッシュをコンクリート混和材(セメント代替)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。

内割り配合：セメントの一部をフライアッシュで質量置換した配合である。フライアッシュ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、フライアッシュ (FA) をセメント (C) と同様の結合材としてみなす。

標準型〔内割り配合(標準型)〕：従来の普通コンクリート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り、主にコンクリートの流動性改善効果を期待し、収縮ひび割れ等の改善に寄与する配合である。

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とは、県内の土木分野で多く使用されるセメントに高炉セメント B 種 (混合セメント B 種) を用いたレディーミクストコンクリートを指す。

低熱型〔内割り配合(低熱型)〕：従来の普通コンクリート (管理材齢 28 日) ではなく、低熱セメントを使用した場合と同じように管理材齢 56 日とし、主にマスコンクリートのセメント水和熱に起因したひび割れ発生の抑制を期待するとともに、アルカリシリカ反応に対しても高い抑制効果のある配合である。

外割り配合：細骨材の一部をフライアッシュで容積置換した配合である。フライアッシュは、細骨材補充混和材として用いるものであり、結合材としてみなさない。

置換率：単位セメント量 (C) と単位フライアッシュ量 (FA) の和に対する単位フライアッシュ量の比で、質量百分率で表したものを言う。

結合材 (B)：セメント、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフュ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。本指針(案)では、セメント、フライアッシュのみが対象となる。

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した混合セメントは含むが、セメントとは別に混合する混和材は含まない。

水結合材比 (W/B)：フライアッシュを混和材として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 ($B=C+FA$) で除した値を言う。

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。

【 I . 標 準 型 】

I. 標準型

I—1 適用の範囲

1.1 適用の範囲

- (1) 本編は、長崎県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) 本編で取り扱うフライアッシュコンクリートは、内割り配合（標準型）である。以下、標準型と言う。

標準型：セメントの一部に質量置換
置換率：10±2%の範囲

（解説）

(1) について

本編は、長崎県土木部発注の新設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、施工及び供用環境など様々な要因を考慮して適用する。

フライアッシュコンクリートの利用により、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-1.1 と表-1.2 に示す。適用工種としては、原則として高炉セメントB種が適用可能なものとする。

なお、本編に示されていない事項は、以下の指針・基準類に準拠する。

- ・「コンクリート標準示方書【施工編】」（2012 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094】」
(1999 年発行、土木学会)

(2) について

フライアッシュは、セメントと同様に結合材として用いるものとし、従来の水セメント比に対して、水結合材比を用いる。

標準型は、従来の普通コンクリート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り、コンクリートの流動性改善効果を期待し、収縮ひび割れ等の改善に寄与する配合である。セメントに対する質量置換率は、10±2%の範囲とする。

表－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

(長崎県建設工事共通仕様書〔平成２６年４月長崎県土木部〕 共-5-26 に加筆)

(一般土木)

無筋・鉄筋別	区分番号	適用工種	圧縮応力曲げ度 σ_{ca} N/mm ²	強度基準 σ_{ck} N/mm ²	設計仕様書				セメントの種類	備考	FA利用方法 標準型
					呼び強度 N/mm ²	最大骨寸法の mm	スラン プ cm	結合材大比水 W/B %	結合材小量 B kg/m ³		
無筋コンクリート	①	重力式・半重力式(橋台、橋脚、擁壁、胸橋)	4.5	18	18	40	8±2.5	60	—	高炉セメント(B種以上)	○
	②	根固めブロック・水路・格子枠・基礎・裏込・側溝	4.5	18	18	40 (20～25)	8±2.5	60	—	〃	○
	③	均し	—	—	18	40	8±2.5	60	—	〃	○
	④	基礎・裏込・根固	4.5	18	18	40	8±2.5	60	—	〃	注) 3 ○
		海岸堤防波除工・海岸擁壁	4.5	18	18	40	8±2.5	60	—	〃	注) 3 ○
		海岸堤防表張工	4.5	18	21	40	8±2.5	60	—	〃	注) 3 ○
	⑤	砂防ダム(堤体、側壁、水叩)	4.5	18	18	40～80	5±1.5	—	—	〃	注) 4 ○
鉄筋コンクリート	⑥	トンネル覆工	—	18	18	40	15±2.5	60	(270)	〃	○
		インパート	4.5	18	18	40	8±2.5	60	(230)	〃	○
	⑪	堰・水門・ポンプ場	7.0	21	21	20(25) ～40	8±2.5	55	—	高炉セメント(B種以上)	○
	⑫	樋門・管	8.0	24	24	20(25) ～40	8±2.5	55	—	〃	土木構造物設計マニュアルによるもの ○
		単純化構造以外	7.0	21	21	20(25) ～40	8±2.5	55	—	〃	○
	⑬	橋梁下部工(路掛版含む)	8.0	24	24	20(25)	8±2.5	55	—	〃	○
	⑭	函渠・擁壁	8.0	24	24	20(25) ～40	8±2.5	55	—	〃	○
	⑮	場所打ち	8.0	24	30	20(25) ～40	15±2.5 18±2.5 21±1.5	55	350	〃	注) 11 ○
		水中：ベント杭 リバース杭	7.0	24	24	20(25) ～40	8±2.5	55	—	〃	注) 12 ○
	⑯	海 岸 構 造 物	7.0	21	24	20(25) ～40	8±2.5	55	—	〃	注) 3 ○

B=C+FA、C：セメント、FA：フライアッシュ

- 注) 1. 設計基準強度 (σ_{ck}) 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。なお、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_{ck}) 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、JIS A 5308 で保障される圧縮強度をいう。
3. 区分番号④、⑯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 100 mm とした場合は規格外品とする。
11. 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。
12. 区分番号⑬の深礎工 ($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$) については、標準値であり指定強度ではない。
13. コンクリートの耐久性及び塩害対策等現場の特性により、上記により難しい場合は別途考慮する。
14. 耐久性より水結合材比、単位結合材量が決められた場合は、 σ_{ck} 以上の呼び強度が得られる場合があるので注意を要する。

表－１． ２ 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

(長崎県建設工事共通仕様書〔平成２６年４月長崎県土木部〕 共-5-27 に加筆)

(港湾・漁港)

区分	適用工種	設計 基準 強度 (N/ mm ²)	生コン 種類名	生コン 呼び 強度 (N/mm ²)	骨材 最大 寸法 (mm)	スランプ (cm)	最大水 結合材比 (%)	セメント の種類	備 考	FA 利用 方法
無 筋 構 造 物	異形ブロック（消波用、根固用）（35 t 未満） 普通方塊（本体用、根固用） 上部コンクリート（護岸、係船岸、防波堤） 水叩舗装コンクリート 張りブロック（船揚場） ケーソン蓋コンクリート 小型構造物（Ⅰ）（Ⅱ）…※ 直立消波用プレキャストブロック（孔部蓋）	18	標準品	18	40	8	65	高炉 B	※エプロン舗装、水叩舗装等に伴う舗装止め、側溝、集水溝等をいう。	○
	異形ブロック（消波用、根固用）（35 t 以上） 直立消波ブロック、斜積消波ブロック 直立消波用底版方塊（鉄筋有）	21	標準品	21	40	8	60	高炉 B		○
	エプロン	曲げ 4.5	標準品	曲げ 4.5	40	6.5		高炉 B	強度は曲げ強度とする	○
	水中コンクリート	18	標準品	30	40	15	50	高炉 B	最小結合材量 370 kg/m ³	○
鉄 筋 構 造 物	係船岸上部工、防波堤上部工、護岸上部工	24	標準品	24	20	8	65	高炉 B		○
	栈橋上部工	24	標準品	24	20	8	55	高炉 B		○
	ケーソン・L 型・セルラー塊	30	標準品	30	20	12	50	高炉 B		○
	ポンツーン	24	標準品	24	20	8	55	高炉 B		○

- 注) 1. 生コンクリートの呼び強度は標準養生した場合の強度である。
2. プーム車打設、ポンプ車打設のスランプは 8 cm を標準とする。
3. 舗装コンクリートの場合、厚さが 10 cm 未満のときは骨材最大寸法を 20 mm とする。
4. 本表に記載していない工種については一般土木による。

I—2 使用材料

2.1 フライアッシュ

長崎県内で生産された JIS A 6201 に示されるⅡ種に適合するフライアッシュ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、強熱減量や粉末度及びフロー値比などの組み合わせによって、Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種及びⅣ種の品質が規定されている(表-2.1 参照)。

当指針においては、長崎県内で発生するフライアッシュの使用を原則とするが、長崎県内産と同等以上の品質であることが確認でき、かつ、配合試験等で同様に使用することが確認できるものについては、使用することができる。

表-2.1 JIS A 6201 フライアッシュの品質

		Ⅰ種	Ⅱ種	Ⅲ種	Ⅳ種
二酸化けい素 (%)		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 ³)		1.95 以上			
粉末度	45 μ m 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 (ブレーン方法) (cm ² /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 (%)	材齢 28 日	90 以上	80 以上	80 以上	60 以上
	材齢 91 日	100 以上	90 以上	90 以上	70 以上

2.2 セメント

セメントは、JIS R 5211 に適合した「高炉セメント B 種」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)

長崎県建設工事共通仕様書（H26.4 月）第 1 編共通編第 5 章第 16 節において、セメントの種類を高炉セメント（B 種以上）と規定した適用工種を対象とする。

2.3 骨材

JIS A 5308 付属書 A 及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。

2.4 水

JIS A 5308 付属書 C に適合した水を使用する。

2.5 混和剤

JIS A 6204 に適合した混和剤を使用する。

I—3 配合設計

3.1 一般

- (1) コンクリートの配合は、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) 標準型は、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、スランプや空気量などを適切に選定する必要がある。

(解説)

(1) について

配合に関する規定値は、土木工事設計要領（平成 23 年度版、九州地方整備局）、土木工事共通仕様書（平成 25 年度版、九州地方整備局）およびコンクリート標準示方書【施工編】（2012 年制定、土木学会）をもとに、以下の通りに定める（表－3.1 参照）。

なお、標準型の場合は、水セメント比の代わりに水結合材比を用いるものとする。

表－3.1 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+FA	鉄筋コンクリート	55%以下 注 1)
	無筋コンクリート	60%以下 注 1)
単位水量 (W)	粗骨材の最大寸法 20～25 mm	175 kg/m ³ 以下
	粗骨材の最大寸法 40 mm	165 kg/m ³ 以下

※ B：結合材 C：セメント FA：フライアッシュ

注 1) 港湾・漁港の構造物は、この規定でなく表-1.2 を適用

(2) について

標準型は、従来の普通コンクリート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 3.2 に記述する。

空気量については、「九州地区における土木コンクリート構造物設計・施工指針（案）、平成 26 年 4 月（改訂版）、国土交通省 九州地方整備局」によれば、九州地区では凍害を受ける地域が一部に限られることから、原則として耐凍害性を考慮する必要はなく、凍害抵抗性の面からはコンクリート中に空気量を確保しなくてもよいとされている。

また、長崎県フライアッシュ利用促進検討委員会（平成 20～21 年度）においても、委員会成果のとりまとめとして、非凍害地域では、現場管理において空気量 4.5±1.5%を 3.5±1.5%に変更できるとの提言がなされており、協議により 3.5±1.5%の選定が可能である。

3.2 フライアッシュのセメント置換配合

- (1) 標準型は、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) フライアッシュの置換率は、 $10 \pm 2\%$ の範囲とする。水結合材比は、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) 強度の管理材齢は、通常のコンクリートと同様に材齢 28 日を基本とする。

(解説)

(1) について

標準型の考え方と特徴を以下に示す。

- ①標準型は、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。

$$\text{※} B = C + FA$$

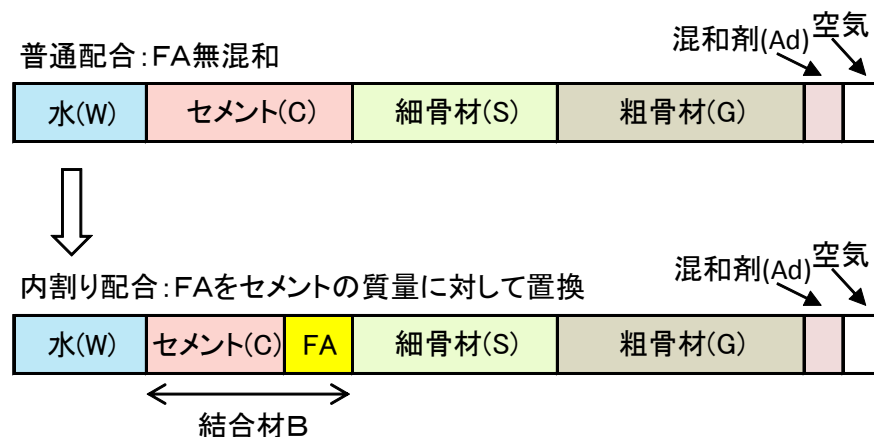


図-3.1 標準型の概念図

- ② フライアッシュ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。圧縮強度と結合材水比の関係から、設定される管理材齢で必要な圧縮強度が得られるように、水結合材比を定めることを原則とする。
- ③ 標準型における配合調整
 - ・細骨材率は普通コンクリートと同等か、1%程度小さくなる。
 - ・AE 剤使用量は、普通コンクリートと同等か、若干増える。

(2) について

フライアッシュ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及び単位水量の減少（単位結合材量の低減）が期待できる。この効果の得られるフライアッシュ置換率は、水結合材比 50%～60%の範囲で実験結果より 10%程度が目安となるが、固定したものでなく領域を持ったものである。このため、既往の文献等を参考に置換率の範囲に±2%の裕度を設けた。

(3) について

強度の管理材齢については、水結合材比を調整することで、強度レベルの選択が可能である。このため、標準型の管理材齢は 28 日を基本とする。

I — 4 製造及び施工

4.1 フライアッシュの貯蔵設備

フライアッシュの貯蔵設備は、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)

フライアッシュの貯蔵設備に要求される事項は、基本的にセメントの貯蔵施設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、フライアッシュの貯蔵には、専用の設備を使用することとする。

4.2 フライアッシュの計量

- (1) フライアッシュの計量設備は、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) フライアッシュは、1 バッチ分ずつ質量で計量する。
- (3) フライアッシュ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

フライアッシュの計量を正確に行うことは、重要事項の一つである。フライアッシュは、コンクリートの品質に特に敏感に影響を与える材料であるため、計量値の許容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、構造物の使用に支障を及ぼすこともある。

したがって、フライアッシュの計量は、専用の設備を基本とする。ただし、少量利用で専用の計量設備がない場合、これと同等の計量が確認できればよいものとする。

(2) について

フライアッシュは、(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 練混ぜ

- (1) フライアッシュコンクリートは、均等質の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) 材料をミキサに投入する順序及び練混ぜ時間は、あらかじめ適切に定めておかなければならない。

(解説)

(1) について

フライアッシュはセメントなどの粉体に比べて密度が小さいため、フライアッシュを用いたコンクリートは、コンクリート中にフライアッシュ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。

(2) について

フライアッシュを投入する順序及び練混ぜ時間は、使用する生コン工場で適切に定めなければならない。

4.4 運搬及び打込み

- (1) フライアッシュコンクリートは、練混ぜた後、速やかに運搬し、直ちに打込み、十分に締め固めなければならない。コンクリートの練混ぜを開始してから打ち終わるまでの時間は、原則として、外気温が 25℃を超える時で 1.5 時間、25℃以下の時で 2 時間を越えてはならない。
- (2) 標準型のフレッシュコンクリートの経時変化は、普通コンクリートと同等とみなしてよい。

(解説)

(1)について

フライアッシュコンクリートの運搬及び打込みに要する時間は、普通コンクリートと同等の範囲で管理できる。

(2)について

標準型のスランプ及び空気量のロス量は、普通コンクリートと差異はない。

4.5 養生

- (1) フライアッシュコンクリートは、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) 標準型は、高炉セメントB種（混合セメントB種）を使用したコンクリートと同等の強度発現が確保できるので、これと同じ期間の養生を行うものとする。

（解説）

(1) について

フライアッシュコンクリートの養生は、通常のコンクリートと同様に、強度増進及び耐久性確保のために、打込み後の一定期間、コンクリート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

標準型は、普通コンクリートと同等の養生期間が必要である。なお、養生期間の目安としては、土木学会「コンクリート標準示方書〔施工編〕」に示す混合セメントB種と同等とする（表－4.1 参照）。

表－4.1 標準養生期間

日平均 温 度	フライアッシュ コンクリート	普通ポルトランド セメント	混合セメントB種	早強ポルトランド セメント
15℃以上	7 日	5 日	7 日	3 日
10℃以上	9 日	7 日	9 日	4 日
5℃以上	12 日	9 日	12 日	5 日

【 II. 低熱型 】

Ⅱ. 低熱型

Ⅱ—1 適用の範囲

1.1 適用の範囲

- (1) 本編は、長崎県発注の建設工事に使用する土木用コンクリート（マスコンクリート）に適用する。
- (2) 本編で取り扱うフライアッシュコンクリートは、内割り配合（低熱型）である。以下、低熱型と言う。

低熱型：セメントの一部に質量置換

置換率：標準型の基本置換率（10%）を超え 20%以下の範囲

（解説）

(1) について

本編は、長崎県土木部発注の新設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、施工及び供用環境など様々な要因を考慮して適用する。

フライアッシュコンクリートの利用により、品質向上効果が期待される構造物及びその利用方法を表-1.1 と表-1.2 に示す。適用工種としては、原則として高炉セメントB種が適用可能なもので、管理材齢 56 日が設定可能な部材断面の大きなマスコンクリートに適用する。

なお、本編に示されていない事項は、以下の指針・基準類に準拠する。

- ・「コンクリート標準示方書【施工編】」（2012 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094】」
(1999 年発行、土木学会)

(2) について

フライアッシュは、セメントと同様に結合材として用いるものとし、従来の水セメント比に対して、水結合材比を用いる。

低熱型は、マスコンクリートのセメント水和熱に起因したひび割れ発生の抑制や、アルカリシリカ反応の抑制等を主に期待した配合である。セメントに対する質量置換率は、標準型の基本置換率（10%）を超え 20%以下の範囲とする。

表－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

(長崎県建設工事共通仕様書〔平成２６年４月長崎県土木部〕 共-5-26 に加筆)

(一般土木)

無筋・鉄筋別	区分番号	適用工種		圧縮応力曲度げ	強度基準計	設計仕様書				セメントの種類	備考	FA利用方法	
				呼び強度 N/mm ²	強度 N/mm ²	呼吸コン強度 N/mm ²	最粗大骨寸法の mm	スラン プ注)15 cm	結合材大比水 W/B %			結合材小量 B kg/m ³	低熱型注)16
無筋コンクリート	①	重力式・半重力式（橋台、橋脚、擁壁、胸橋）		4.5	18	18	40	8±2.5	60	—	高炉セメント（B種以上）		○
	②	根固めブロック		4.5	18	18	40 (20～25)	8±2.5	60	—	〃		○
	④	海岸構造物	基礎・裏込・根固	4.5	18	18	40	8±2.5	60	—	〃	注) 3	○
			海岸堤防波除工・海岸擁壁	4.5	18	18	40	8±2.5	60	—	〃	注) 3	○
			海岸堤防表張工	4.5	18	21	40	8±2.5	60	—	〃	注) 3	○
	⑤	砂防ダム（堤体、側壁、水叩）		4.5	18	18	40～80	5±1.5	—	—	〃	注) 4	○
	⑥	トンネル覆工	アーチ・側壁	—	18	18	40	15±2.5	60	(270)	〃		○
インバート			4.5	18	18	40	8±2.5	60	(230)	〃		○	
鉄筋コンクリート※	⑪	堰・水門・ポンプ場		7.0	21	21	20(25)～40	8±2.5	55	—	高炉セメント（B種以上）		○
	⑫	樋門・樋管	単純化構造	8.0	24	24	20(25)～40	8±2.5	55	—	〃	土木構造物設計マニュアルによるもの	○
			単純化構造以外	7.0	21	21	20(25)～40	8±2.5	55	—	〃		○
	⑬	橋梁下部工（踏掛版含む）		8.0	24	24	20(25)～40	8±2.5	55	—	〃		○
	⑭	擁壁		8.0	24	24	20(25)～40	8±2.5	55	—	〃		○
	⑮	場所打ち	水中：ベノト杭 リバース杭	8.0	24	30	20(25)～40	15±2.5 18±2.5 21±1.5	55	350	〃	注) 11	○
			大気中：深礎工	7.0	24	24	20(25)～40	8±2.5	55	—	〃	注) 12	○
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	20(25)～40	8±2.5	55	—	〃	注) 3	○	

B=C+FA、C：セメント、FA：フライアッシュ

※鉄筋コンクリート構造物へ適用する場合は、別途、十分な協議を行なうこと。また、かぶり等について検討すること。

- 注) 1. 設計基準強度(σ_{ck})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。なお、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_{ck})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、JIS A 5308 で保障される圧縮強度をいう。
3. 区分番号④、⑩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 100 mm とした場合は規格外品とする。
11. 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。
12. 区分番号⑬の深礎工($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$)については、標準値であり指定強度ではない。
13. コンクリートの耐久性及び塩害対策等現場の特性により、上記により難い場合は別途考慮する。
14. 耐久性より水結合材比、単位結合材量が決められた場合は、 σ_{ck} 以上の呼び強度が得られる場合があるので注意を要する。
15. ポンプ打設の場合、スランプ値を 10cm 以上で設定する。
16. 低熱型は、水和熱の低減等が必要なマスコンクリート仕様の大型構造物へ利用する場合に適用する。

表－１． ２ 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

(長崎県建設工事共通仕様書〔平成２６年４月長崎県土木部〕 共-5-27 に加筆)

(港湾・漁港)

区 分	適用工種	設計 基準 強度 (N/ mm ²)	生コン 種類名	生コン 呼び 強度 (N/mm ²)	骨材 最大 寸法 (mm)	スランプ (cm)	最大水 結合材比 (%)	セメント の種類	備 考	FA 利用 方法
		低熱型								
無 筋 構 造 物	異形ブロック（消波用、根固用）（35 t 未満） 普通方塊（本体用、根固用） 上部コンクリート（護岸、係船岸、防波堤） 水叩舗装コンクリート 張りブロック（船揚場） ケーソン蓋コンクリート 直立消波用プレキャストブロック（孔部蓋）	18	標準品	18	40	8	65	高炉 B		○
	異形ブロック（消波用、根固用）（35 t 以上） 直立消波ブロック、斜積消波ブロック 直立消波用底版方塊（鉄筋有）	21	標準品	21	40	8	60	高炉 B		○
	エプロン	曲げ 4.5	標準品	曲げ 4.5	40	6.5		高炉 B	強度は曲げ強度とする	○
	水中コンクリート	18	標準品	30	40	15	50	高炉 B	最小結合材量 370 kg/m ³	○
鉄 筋 構 造 物 ※	係船岸上部工、防波堤上部工、護岸上部工	24	標準品	24	20	8	65	高炉 B		○
	栈橋上部工	24	標準品	24	20	8	55	高炉 B		○
	ケーソン・L 型・セルラー塊	30	標準品	30	20	12	50	高炉 B		○
	ポンツーン	24	標準品	24	20	8	55	高炉 B		○

※鉄筋コンクリート構造物へ適用する場合は、別途、十分な協議を行なうこと。

- 注) 1. 生コンクリートの呼び強度は標準養生した場合の強度である。
2. ブーム車打設、ポンプ車打設のスランプは 10 cm 以上を標準とする。
3. 舗装コンクリートの場合、厚さが 10 cm 未満のときは骨材最大寸法を 20 mm とする。
4. 本表に記載していない工種については一般土木による。

Ⅱ－２ 使用材料

2.1 フライアッシュ

長崎県内で生産された JIS A 6201 に示されるⅡ種に適合するフライアッシュ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、強熱減量や粉末度及びフロー値比などの組み合わせによって、Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種及びⅣ種の品質が規定されている（表－2.1 参照）。

当指針においては、長崎県内で発生するフライアッシュの使用を原則とするが、長崎県内産と同等以上の品質であることが確認でき、かつ、配合試験等で同様に使用することが確認できるものについては、使用することができる。

表－2.1 JIS A 6201 フライアッシュの品質

		Ⅰ種	Ⅱ種	Ⅲ種	Ⅳ種
二酸化けい素（％）		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 ³ ）		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 （ブレーン方法） （cm ² /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（％）	材齢 28 日	90 以上	80 以上	80 以上	60 以上
	材齢 91 日	100 以上	90 以上	90 以上	70 以上

2.2 セメント

セメントは、JIS R 5211 に適合した「高炉セメント B 種」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)

長崎県建設工事共通仕様書（H26.4 月）第 1 編共通編第 5 章第 16 節において、セメントの種類を高炉セメント（B 種以上）と規定した適用工種を対象とする。

2.3 骨材

JIS A 5308 付属書 A 及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。

2.4 水

JIS A 5308 付属書 C に適合した水を使用する。

2.5 混和剤

JIS A 6204 に適合した混和剤を使用する。

Ⅱ－3 配合設計

3.1 一般

- (1) コンクリートの配合は、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) 低熱型は、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、スランプや空気量などを適切に選定する必要がある。

(解説)

(1) について

配合に関する規定値は、土木工事設計要領（平成 23 年度版、九州地方整備局）、土木工事共通仕様書（平成 25 年度版、九州地方整備局）およびコンクリート標準示方書【施工編】（2012 年制定、土木学会）をもとに、以下の通りに定める（表－3.1 参照）。

なお、低熱型の場合は、水セメント比の代わりに水結合材比を用いるものとする。

表－3.1 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+FA	鉄筋コンクリート	55%以下 注 1)
	無筋コンクリート	60%以下 注 1)
単位水量 (W)	粗骨材の最大寸法 20～25 mm	175 kg/m ³ 以下
	粗骨材の最大寸法 40 mm	165 kg/m ³ 以下

※ B：結合材 C：セメント FA：フライアッシュ

注 1) 港湾・漁港の構造物は、この規定でなく表-1.2 を適用

(2) について

低熱型は、フライアッシュの置換率が標準型より大きく、普通コンクリートに比べて粘性が増大するため、適用に当たっては施工性に留意した配合設計が必要となる。特にポンプ打設を用いた工事では、目標スランプ 10cm 以上を標準とする。

空気量については、「九州地区における土木コンクリート構造物設計・施工指針（案）、平成 26 年 4 月（改訂版）、国土交通省 九州地方整備局」によれば、九州地区では凍害を受ける地域が一部に限られることから、原則として耐凍害性を考慮する必要はなく、凍害抵抗性の面からはコンクリート中に空気量を確保しなくてもよいとされている。

また、長崎県フライアッシュ利用促進検討委員会（平成 20～21 年度）においても、委員会成果のとりまとめとして、非凍害地域では、現場管理において空気量 4.5±1.5%を 3.5±1.5%に変更できるとの提言がなされており、協議により 3.5±1.5%の選定が可能である。

3.2 フライアッシュのセメント置換配合

- (1) 低熱型は、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) フライアッシュの置換率は、標準型の基本置換率 (10%) を超え 20%以下を標準とする。水結合材比は、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) 強度の管理材齢は、低熱型の場合、初期強度の発現が通常のコングリートよりも遅れるため、56 日で管理する必要がある。

(解説)

(1) について

低熱型の考え方と特徴を以下に示す。

- ①低熱型は、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。

$$\text{※}B=C+FA$$

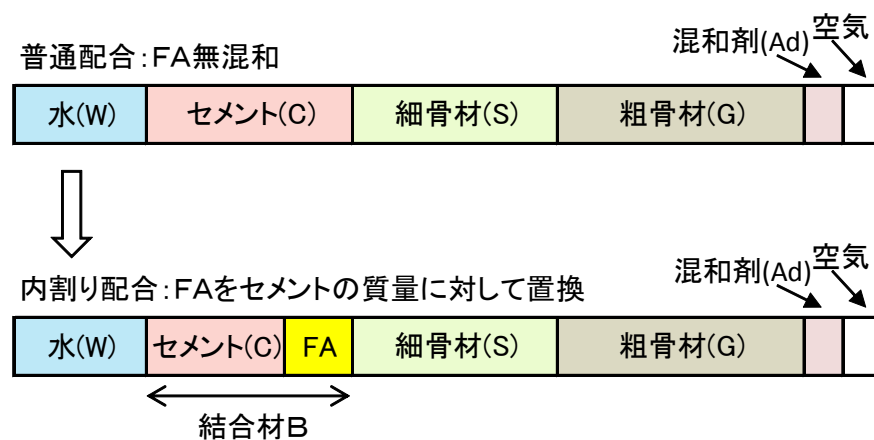


図-3.1 低熱型の概念図

- ② フライアッシュ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。圧縮強度と結合材水比の関係から、設定される管理材齢で必要な圧縮強度が得られるように、水結合材比を定めることを原則とする。

③ 低熱型における配合調整

- ・細骨材率は、普通コンクリートに比べて1%程度小さくなる。
- ・AE 剤使用量は、普通コンクリートに比べて大幅に増大する。このため、通常の AE 剤で所要の空気量が確保しにくい場合には、フライアッシュ用 AE 剤の使用を図り安定化させる必要がある。

(2) について

フライアッシュの置換率は、水和熱による温度上昇の抑制を目的に管理材齢を 56 日と設定し、上限を 20%とした。特に、水結合材比が小さくなると、低熱型は普通コンクリートに比べて粘性が増大するため、予め試験によるフレッシュコンクリート性状の確認も必要である。

(3) について

強度の管理材齢については、水結合材比を調整することで、強度レベルの選択が可能である。

低熱型の場合、初期強度の発現が通常のコンクリートよりも遅れるため、管理材齢は、一般的な材齢 28 日ではなく、56 日を基本とする。この理由としては、管理材齢を 56 日にすることで、ポズラン反応によって長期強度が伸びるというフライアッシュの特長を活かすことができ、また、フライアッシュの置換率を増やすことで、単位セメント量の低減が図れ、セメントの水和熱を抑えたコンクリートとすることができるからである。

Ⅱ—4 製造及び施工

4.1 フライアッシュの貯蔵設備

フライアッシュの貯蔵設備は、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)

フライアッシュの貯蔵設備に要求される事項は、基本的にセメントの貯蔵施設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、フライアッシュの貯蔵には、専用の設備を使用することとする。

4.2 フライアッシュの計量

- (1) フライアッシュの計量設備は、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) フライアッシュは、1 バッチ分ずつ質量で計量する。
- (3) フライアッシュの計量誤差は、2%以下でなければならない。

(解説)

(1) について

フライアッシュの計量を正確に行うことは、重要事項の一つである。フライアッシュは、コンクリートの品質に特に敏感に影響を与える材料であるため、計量値の許容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、構造物の使用に支障を及ぼすこともある。

したがって、フライアッシュの計量は、専用の設備を基本とする。ただし、少量利用で専用の計量設備がない場合、これと同等の計量が確認できればよいものとする。

(2) について

フライアッシュは、(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 練混ぜ

- (1) フライアッシュコンクリートは、均等質の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) 材料をミキサに投入する順序及び練混ぜ時間は、あらかじめ適切に定めておかなければならない。

(解説)

(1) について

フライアッシュはセメントなどの粉体に比べて密度が小さいため、フライアッシュを用いたコンクリートは、コンクリート中にフライアッシュ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。

(2) について

フライアッシュを投入する順序及び練混ぜ時間は、使用する生コン工場で適切に定めなければならない。

4.4 運搬及び打込み

- (1) フライアッシュコンクリートは、練混ぜた後、速やかに運搬し、直ちに打込み、十分に締め固めなければならない。コンクリートの練混ぜを開始してから打ち終わるまでの時間は、原則として、外気温が 25℃を超える時で 1.5 時間、25℃以下の時で 2 時間を越えてはならない。
- (2) 低熱型のフレッシュコンクリートの経時変化は、普通コンクリートと比べ、大きくなることがあるため、予め試験等によりロス量を確認する必要がある。特に、ポンプ打設が採用される場合のスランプ値の設定は 10cm 以上を標準とする。

(解説)

(1)について

フライアッシュコンクリートの運搬及び打込みに要する時間は、普通コンクリートと同等の範囲で管理できる。

(2)について

低熱型は、粉体量の増加により粘性が増大し、普通コンクリートに比べてスランプ及び空気量の運搬(経時)ロスが大きくなることがある。特に、ポンプ打設の場合は、運搬荷卸しまでのロスに圧送ロスを加えて決定する必要がある。

このため、普通コンクリートがスランプ 8cm でポンプ打設が計画されている場合は、過度なブリーディング発生や材料分離が生じない範囲で、スランプを 10cm 以上で設定する。

4.5 養生

- (1) フライアッシュコンクリートは、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) 低熱型は、初期の強度発現が普通コンクリートに比べて遅延するため、養生期間は、現場とできるだけ同じ状態で養生した供試体の強度試験によるか、コンクリート温度の記録から推定した強度によって定める。

(解説)

(1) について

フライアッシュコンクリートの養生は、通常のコンクリートと同様に、強度増進及び耐久性確保のために、打込み後の一定期間、コンクリート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

低熱型をマスコンクリートのひび割れ対策で利用する場合、管理材齢を 56 日とする。この型枠脱型時期を含む養生期間の設定について、フライアッシュコンクリートは、無混和の各種セメントを用いたコンクリートと同様に積算温度で強度を推定することが可能であり、寒冷地施工や寒中コンクリートにおいて適用される次式の積算温度と強度の関係から、型枠脱型期間を設定することができる。

$$M = \sum (\theta + A) \Delta t$$

M : 積算温度(℃・日又は℃・時)

θ : Δt 時間中のコンクリート温度(℃)

A : 定数で一般に 10℃が用いられる。

Δt : 時間(日または時)