

北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの 配合・製造および施工マニュアル

(案)

平成30年12月

「北陸地方におけるコンクリートへの

フライアッシュの有効利用促進検討委員会」

目 次

1. 総 則	1
1. 1 本マニュアルの目的	1
1. 2 本マニュアルの適用範囲	1
1. 3 用語の説明	2
2. コンクリートの材料	6
2. 1 フライアッシュ	6
2. 2 セメント	7
2. 3 骨材	7
2. 4 水	12
2. 5 混和剤	12
3. コンクリートの配合	15
3. 1 フライアッシュの置換率	15
3. 2 水結合材比	15
3. 3 単位水量	21
3. 4 細骨材率	27
3. 5 スランプ	27
3. 6 空気量	27
4. コンクリートの製造	28

4. 1	工場の JIS 認証	28
4. 2	品質についての指定	28
4. 3	フライアッシュの貯蔵設備	28
4. 4	フライアッシュの計量	29
4. 5	混和剤の計量	29
4. 6	練混ぜ	29
5.	フライアッシュコンクリートの施工	30
5. 1	運搬および打込み	30
5. 2	締固め	36
5. 3	養生	37
5. 4	仕上げ	42
	付則	43

1. 総 則

1. 1 本マニュアルの目的

本マニュアルは、北陸地方において、フライアッシュを混和材として用いるコンクリートおよびフライアッシュセメントを用いるコンクリート(以下、「フライアッシュコンクリート」という)を使用する場合の配合・製造および施工における標準を示すものである。

【解説】北陸地方では、北陸の大学（金沢大学、富山県立大学、金沢工業大学、福井大学）、生コンクリート工業組合（富山県、石川県、福井県）、北陸電力（株）およびオブザーバーとして、国（国土交通省北陸地方整備局）、県（富山県、石川県、福井県）の産学官連携による「北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会」（以下、「フライアッシュ委員会」という）を平成23年1月24日に立ち上げ、フライアッシュコンクリートの実用化検討、各種比較試験および官公庁による試験施工を実施し、コンクリートへのフライアッシュの有効利用の促進検討を進めてきた。

本マニュアルでは、フライアッシュ委員会活動を通して得た知見をとりまとめ、北陸地方（富山県、石川県、福井県）において、フライアッシュコンクリートを使用する場合の配合・製造およ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品質向上や利用促進に資することを期待している。

1. 2 本マニュアルの適用範囲

本マニュアルは、北陸地方の公共工事等においてフライアッシュコンクリートを使用する場合に適用する。

【解説】北陸地方では、コンクリート構造物の維持管理に関して、冬期における日本海からの北西の季節風や道路に散布される凍結防止剤による塩害や主に河川産骨材によるアルカリシリカ反応（ASR）に対する対応が課題となっている。これらに対しては、フライアッシュ、高炉スラグを混和材やフライアッシュセメント、高炉セメントとして使用することが有効であると考えられるが、北陸地方には高炉スラグを産出する製鉄所がなく、建設資材の地域的活用による環境負荷軽減の観点から北陸地方産のフライアッシュを活用していくことが望ましいと言える。

そこで、本マニュアルでは、北陸地方におけるコンクリート構造物の長寿命化と環境負荷低減を目指して、北陸地方（富山県、石川県、福井県）の公共工事等を適用範囲とした。

なお、本マニュアルに示されていない事項は、土木学会「コンクリート標準示方書〔設計編および施工編〕」、「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）」および各県の「土木工事共通仕様書」によるものとする。

1. 3 用語の説明

本マニュアルで使用する用語の意味は、以下の通りである。

(1) フライアッシュ

フライアッシュは、石炭火力発電所で石炭を燃やした後に排出される石炭灰のうち、電気集塵器で採取される球形微粒子で、主成分は二酸化けい素 SiO_2 （シリカ）と酸化アルミニウム Al_2O_3 （アルミナ）である。石炭使用量のおおよそ1割がフライアッシュとして産出される。

(2) ポゾラン反応

フライアッシュがもつ性質で、セメントの水和により生成した $\text{Ca}(\text{OH})_2$ とフライアッシュ中の SiO_2 、 Al_2O_3 がゆっくりと反応し安定な水和物を生成する反応のこと。

(3) アルカリシリカ反応（A S R）

アルカリとの反応性をもつ骨材が、セメント、その他のアルカリ分と長期にわたって反応し、コンクリートに膨張ひび割れなどを生じさせる現象のこと。フライアッシュにはアルカリシリカ反応抑制効果がある。

【解説】以下に、各用語について解説する。

(1) フライアッシュ

図1-1に、フライアッシュの生成概念図を示す。石炭灰のうち、フライアッシュは電気集塵器で、クリンカアッシュはボイラ底部で採取される。

石炭は、太古の植物が地下にうずもれて、炭化（炭素が主成分となった）したものであり、炭化の過程で砂や粘土の成分（ SiO_2 、 Al_2O_3 ）が10%程度取り込まれている。従って、石炭を燃焼すれば、これら砂や粘土の成分が残る。火力発電所では、石炭をミルで $50\mu\text{m}$ 程度に粉砕した微粉炭を 1500°C 程度の高温で燃焼する。フライアッシュは、石炭中の砂や粘土成分（ SiO_2 、 Al_2O_3 ）が熔融後に冷えて固まったものであるため、ガラス質であり、表面張力により球形になっている。なお、粒径が小さい方が、早く冷えて固まるため、結晶化せずにガラス質成分が多いと言われている。

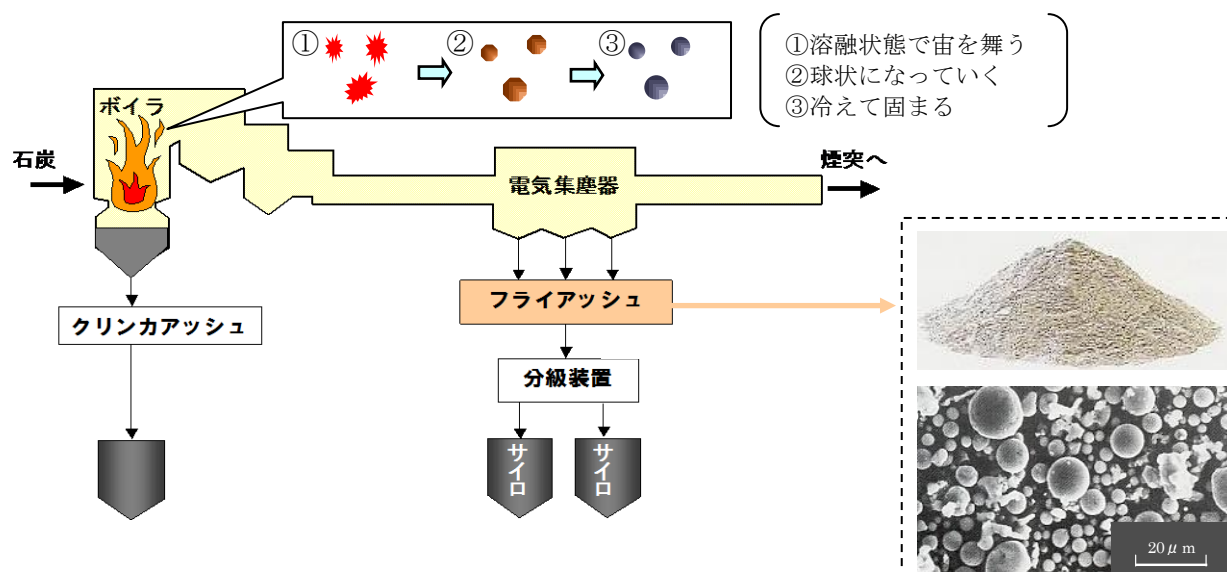


図1-1 フライアッシュの生成概念図

また、図 1－2 に、電気集塵器の仕組み図を示す。電気集塵器とは、コロナ放電により、排ガス中のフライアッシュに電荷を与え、電界の作用によりこれを電極上に捕集する集塵装置のことである。フライアッシュは、電気集塵器の中で飛来している灰を集めたものであることから、燃焼飛灰（フライアッシュ）と呼ばれる。

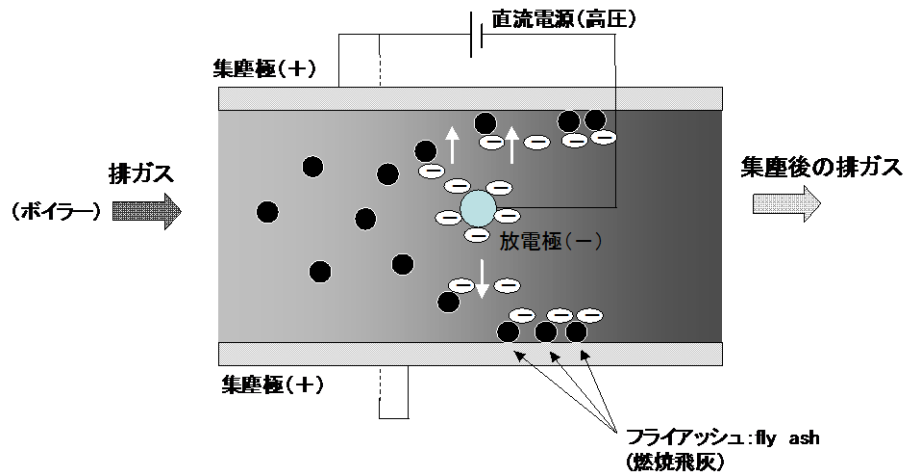
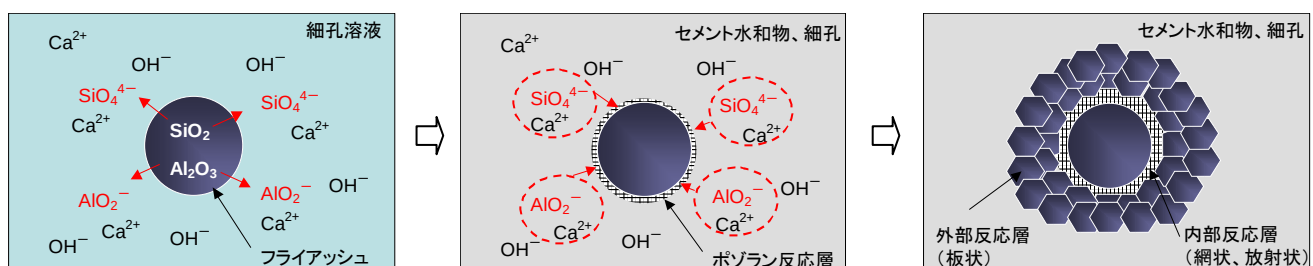
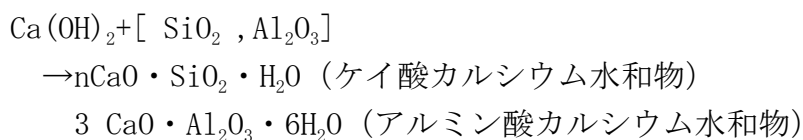


図 1－2 電気集塵器の概念図（上から見た図）

(2) ポゾラン反応

図 1－3 に、ポゾラン反応のメカニズムを示す。
また、ポゾラン反応式の 1 例を以下に示す。



① 練り混ぜ後

高アルカリ雰囲気中で SiO_2 、 Al_2O_3 が細孔溶液中に溶出

② 初期（材齢 28 日以降）

溶液中の Ca^{2+} と SiO_4^{4-} 、 AlO_2^- によりカルシウムシリケート（アルミノ）水和物がフライアッシュ表面に生成し、ポゾラン反応層を形成

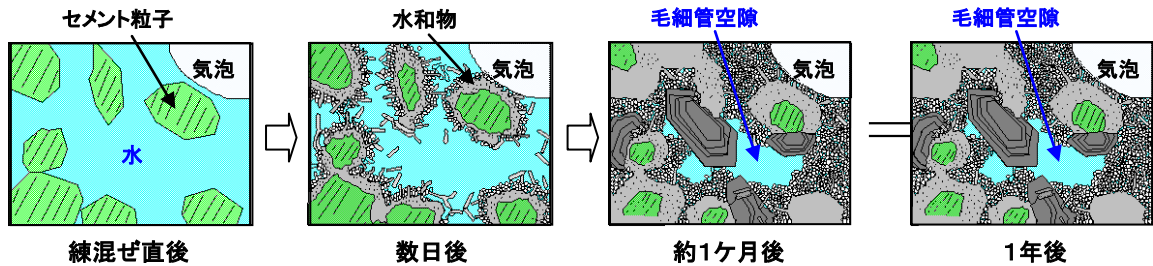
③ 長期

ポゾラン反応層を広く形成し、細孔を充填する形でポゾラン反応が生成する。ポゾラン反応生成物とセメント水和物は堅固に結合し、一体化している。

図 1－3 ポゾラン反応のメカニズム

さらに、図 1－4 に、ポズラン反応のメカニズムをセメントの水和と合わせて示す。
セメントの水和（硬化）反応では、セメント粒子と水が反応し、安定な水和物が生成されるが、フライアッシュを混和した場合、水和反応で残された隙間（毛細管空隙）にあるアルカリ性溶液とフライアッシュが更に反応し、ポズラン反応層が形成され、毛細管空隙を埋めるため、コンクリートはより緻密なものとなる。

【フライアッシュを混和しない場合】



【フライアッシュを混和した場合】

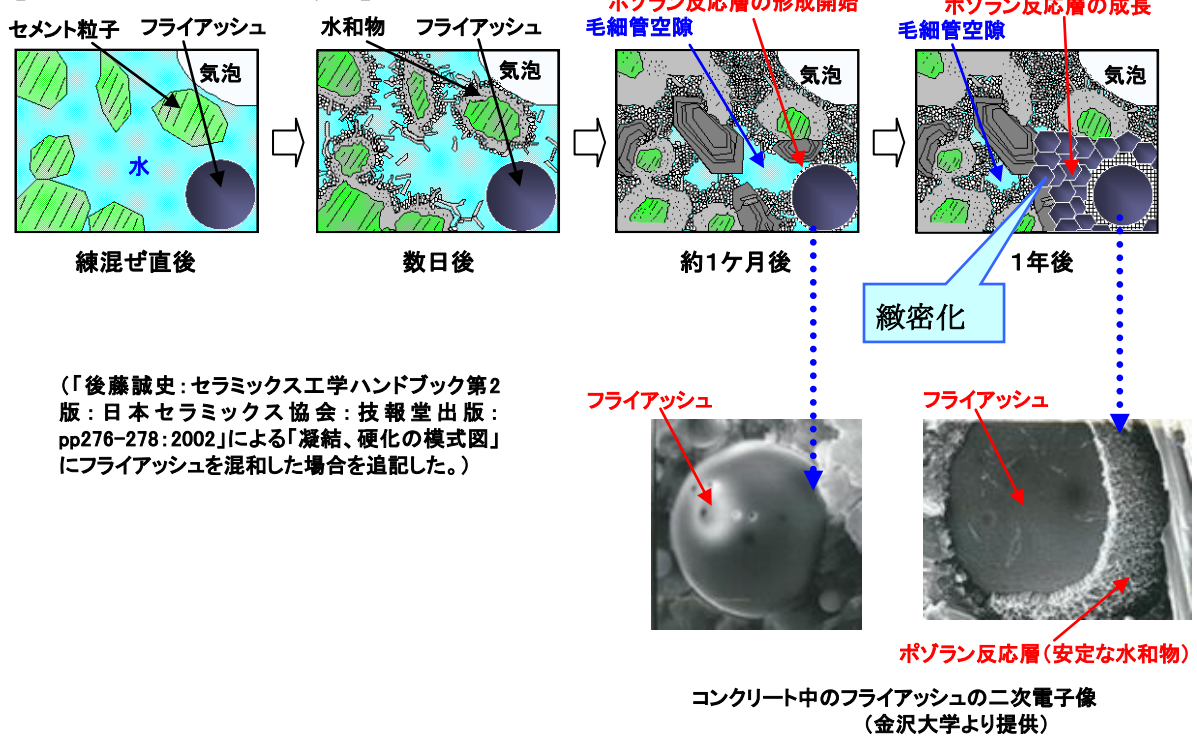


図 1－4 ポズラン反応のメカニズム

(3) アルカリシリカ反応（ASR）

図1-5に、アルカリシリカ反応のメカニズムを示す。ASRは、ゆっくり進む化学反応であり、症状が顕在化するのは、環境条件にもよるが、一般的には10～20年後と言われている。また、図1-6に、ASRの発生した構造物の1例を示す。

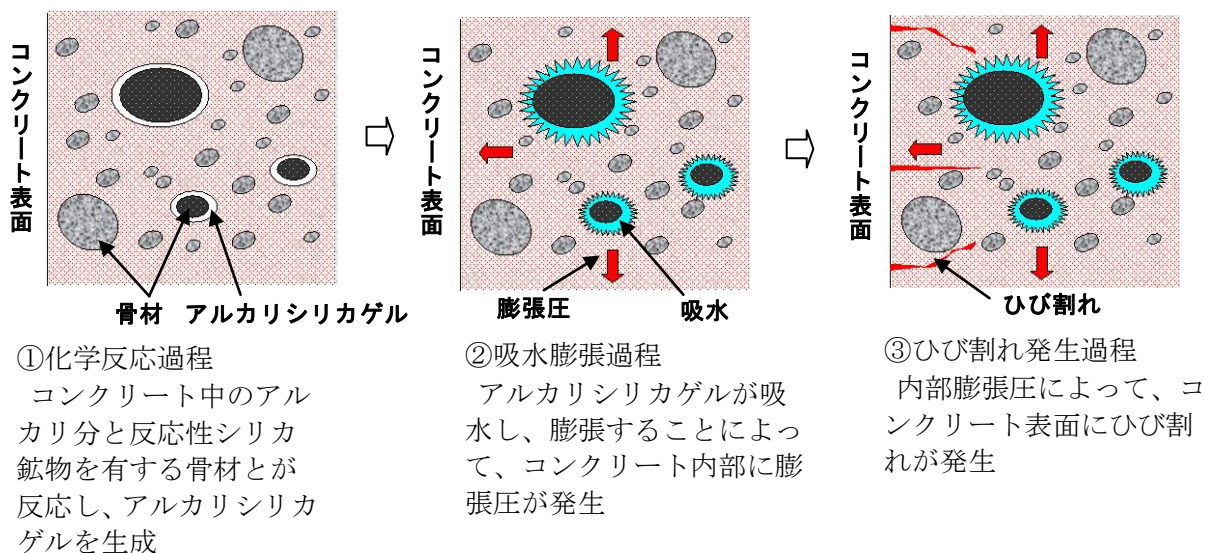


図1-5 アルカリシリカ反応のメカニズム

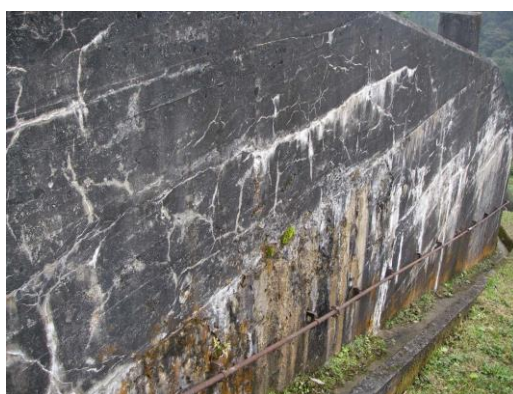


図1-6 ASRが発生した構造物の1例
(水力発電所のアンカーブロック)

なお、フライアッシュによるASR抑制効果のメカニズムとしては、以下のことが言われている。

- ①フライアッシュの置換により、その添加に相当するセメントの水和により生成する Ca(OH)_2 が減る効果
- ②ポゾラン反応により Ca(OH)_2 が消費される効果
- ③ポゾラン反応により生成した水和物にアルカリが吸着され、ASRゲル生成量を減少させる効果
- ④ポゾラン反応により、組織が緻密化し、外部からの水分やアルカリ分の進入を抑制する効果

2. コンクリートの材料

2.1 フライアッシュ

フライアッシュの種類は、北陸電力株式会社七尾大田火力発電所、または、敦賀火力発電所から産出される JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」で規定される「フライアッシュⅡ種」を使用することとする。

【解説】北陸地方の石炭火力発電所のうち、品質保証が可能である北陸電力株式会社七尾大田火力発電所、または、敦賀火力発電所から産出されるフライアッシュⅡ種を使用することとした。

表 2-1 に JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」の規格を示す。また、参考として、七尾大田火力発電所から産出されるフライアッシュの品質データ（平成 22 年 1 月～平成 25 年 5 月のデータ）および敦賀火力発電所から算出されるフライアッシュの品質データ（平成 24 年 12 月～平成 25 年 5 月のデータ）も合わせて示す。

なお、フライアッシュに付着したアンモニアが水と接触しアンモニア臭を発することがごく稀にあるため注意を要す。

表 2-1 JIS A6201 コンクリート用フライアッシュ

種類		Ⅰ 種	Ⅱ 種	Ⅲ 種	Ⅳ 種	フライアッシュⅡ種データ(参考)							
						七尾大田火力発電所				敦賀火力発電所			
						最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
二酸化けい素(%)		45.0以上				66.7	51.9	59.0	3.9	66.3	61.1	63.0	1.7
湿分(%)		1.0以下				0.4	<0.1	—	—	0.1	<0.1	—	—
強熱減量(%)		3.0以下	5.0以下	8.0以下	5.0以下	2.5	1.3	2.0	0.3	3.3	3.1	3.2	0.1
密度(g/cm ³)		1.95以上				2.48	2.30	2.39	0.04	2.30	2.28	2.29	0.01
粉末度	45μ ふるい残分(%)	10以下	40以下	40以下	70以下	2.8	0.1	0.6	0.5	2.1	1.2	1.6	0.3
	比表面積 (cm ² /g)	5,000以上	2,500以上	2,500以上	1,500以上	5,130	4,330	4,742	188	4,740	4,410	4,523	102
フロー値比(%)		105以上	95以上	85以上	75以上	113	103	107	2.4	104	102	103	0.9
活性度	材齢28日	90以上	80以上	80以上	60以上	104	82	91	5.4	86	84	85	0.9
指数(%)	材齢91日	100以上	90以上	90以上	70以上	113	96	105	3.7	102	99	101	1.2
メチレンブルー吸着量 (mg/g)(参考)		—				0.80	0.45	0.64	0.07	0.96	0.81	0.90	0.05

2.2 セメント

セメントは、以下のいずれかのものを用いる。

(1) 混和材としてフライアッシュを使用する場合

セメントは、JIS R 5210 「ポルトランドセメント」で規定される「普通ポルトランドセメント」を用いる。

(2) セメントとしてフライアッシュセメントを使用する場合

フライアッシュセメントは、JIS R 5213 「フライアッシュセメント」で規定される「フライアッシュセメントB種」(フライアッシュ置換率 15%以上)を用いる。

【解説】フライアッシュコンクリートを製造する方法には、混和材としてフライアッシュを使用する場合とフライアッシュセメントを使用する場合とがあり、それぞれについて規定した。フライアッシュセメントを使用する場合は、アルカリシリカ反応抑制効果が期待できる「フライアッシュセメントB種」(ただし、フライアッシュ置換率 15%以上)を標準とした。

なお、本マニュアルでは高炉セメントにフライアッシュを混和材として使用する場合は対象外とするが、その場合は、“「フライアッシュ混合型高炉セメントコンクリート」配合・製造および施工指針(案)(平成 19 年 3 月、(財)福井県建設技術公社)”を参考とするのがよい。

2.3 骨材

細骨材および粗骨材は、JIS A 5308 「レディミクストコンクリート」 附属書 A に適合するものを用いる。

【解説】通常のコングリートで用いられる骨材を使用することとし、JIS A 5308 附属書 A 「レディミクストコンクリート用骨材」に適合する骨材を用いる。

フライアッシュ委員会においては、北陸地方で産出される代表的な骨材について七尾大田火力発電所から産出されるフライアッシュⅡ種によるアルカリシリカ反応(以下、ASR という)抑制効果を確認している。

【参考】（フライアッシュ委員会による試験データ）

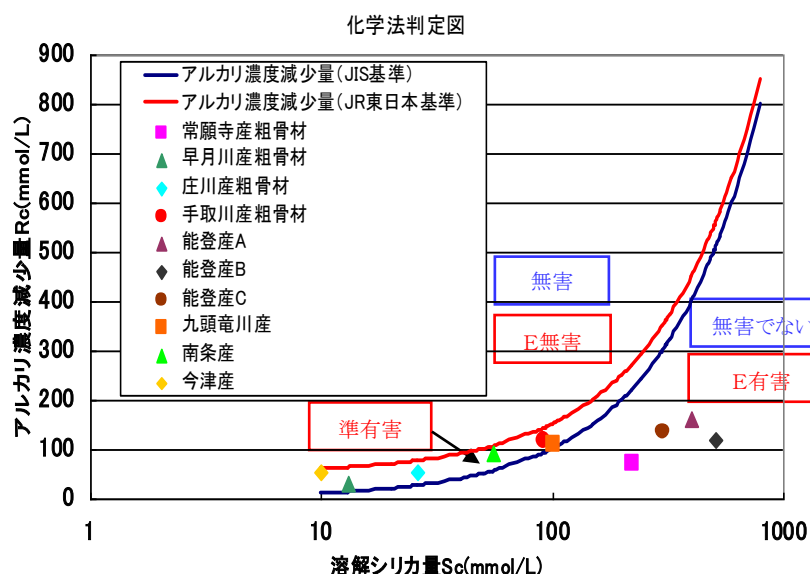
以下に北陸地方で産出される代表的な骨材（各産地の中で特に反応性が高いと考えられる骨材を選定）の化学法の結果（表 2-2 および図 2-1）とモルタルバー法の結果（表 2-3 および図 2-2）を示す。

化学法では、常願寺川産、能登産 A、B、C の骨材が JIS の基準では「無害でない」、JR 東日本の基準では「E 有害」の区分であった。また、早月川産、庄川産、手取川産の骨材は、JIS の基準では「無害」の区分であったが、JR 東日本の基準では「準有害」の区分であった。

モルタルバー法の結果、常願寺川産の骨材では、フライアッシュを添加しなかった場合に高い膨張率を示し、JIS の基準では「無害でない」、JR 東日本の基準では「E 有害」の判定区分であった。一方、フライアッシュを 15 % 置換した場合、膨張はほとんど抑制され、JIS の基準では「無害」、JR 東日本の基準では「E 無害」の判定であった。また、それ以外の骨材の場合、いずれも「無害」であった。

表 2-2 化学法（JIS A1145）の結果

	アルカリ濃度減少量：R c (mmol/L)	溶解シリカ量：S c (mmol/L)
常願寺川産	72	242
庄川産	54	26
早月川産	29	13
手取川産	118	92
能登産 A	160	495
能登産 B	119	529
能登産 C	136	321
九頭竜川産	112	102
南条産	91	55
今津産	54	10



判定方法

< J I S >

溶解シリカ量（S c）がアルカリ濃度減少量（R c）未満の場合は「無害」とし、S c が R c 以上の場合は「無害でない」とする。

< J R 東日本 >

S c に 50 を加えた値が R c 未満の場合は「E 無害」、S c が R c 以上の場合は「E 有害」とし、その中間を「準有害」とする。

表 2－3 モルタルバー法の試験条件（アルカリ添加量（富山・石川県の例））※

種類	材料の アルカリ	材料の 添加量		全体	C 分	FA 分	BFS 分	Na ₂ OH 分 (添加量)
普通ポルトランドセメント	C:0.55%	C:600 g	Na ₂ Oeq 量(g)	7. 2	3. 3	—	—	3. 9
			割合 (%)	1. 2	0. 55	—	—	0. 65
フライアッシュ (FA15%)	C:0.55% FA:1.14%	C:510g FA:90 g	Na ₂ Oeq 量(g)	7. 2	2. 8	1. 0	—	3. 4
			割合 (%)	1. 2	0. 47	0. 17	—	0. 56
高炉スラグ微粉末 (BFS42%)	C:0.55% BFS:0.43%	C:348g BFS:252 g	Na ₂ Oeq 量(g)	7. 2	1. 9	—	1. 1	4. 2
			割合 (%)	1. 2	0. 32	—	0. 18	0. 70

※モルタルバー法(JIS A1146法) においては、セメントの全アルカリ量がNa₂Oeqで1. 2%となるようにNaOH水溶液を添加する。今回の試験では、混和材に含まれるアルカリ量を考慮して、以下の通りアルカリ量を調整した。

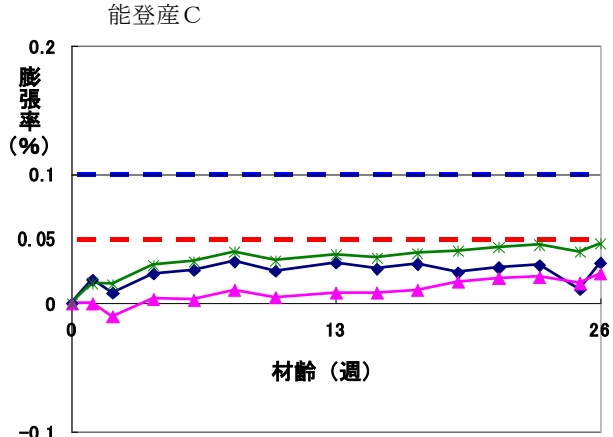
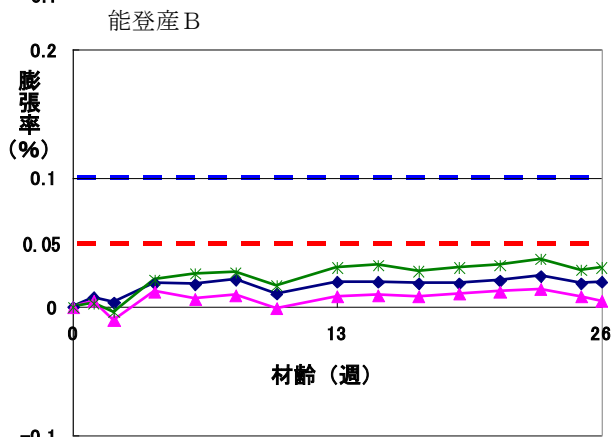
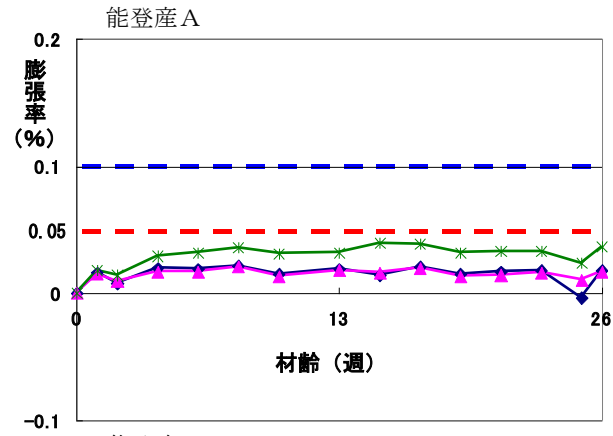
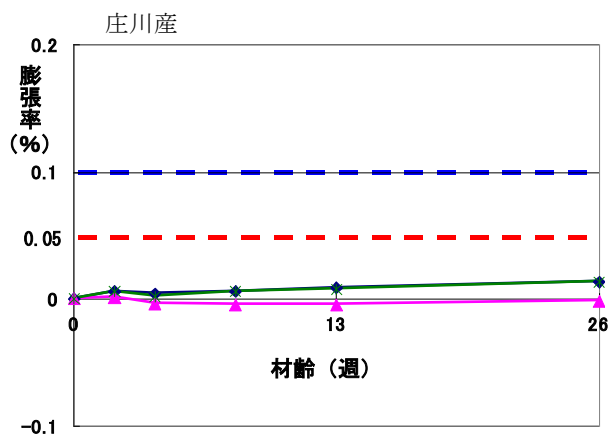
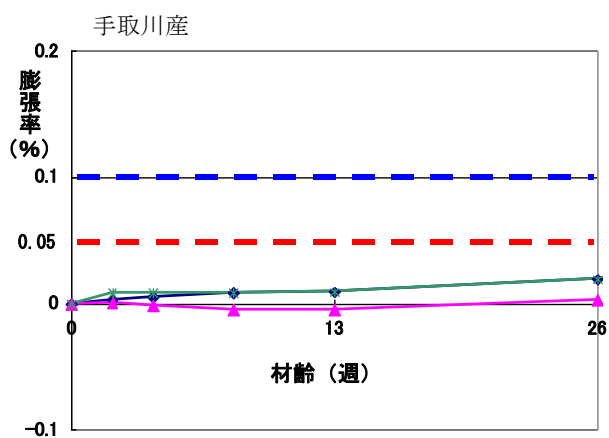
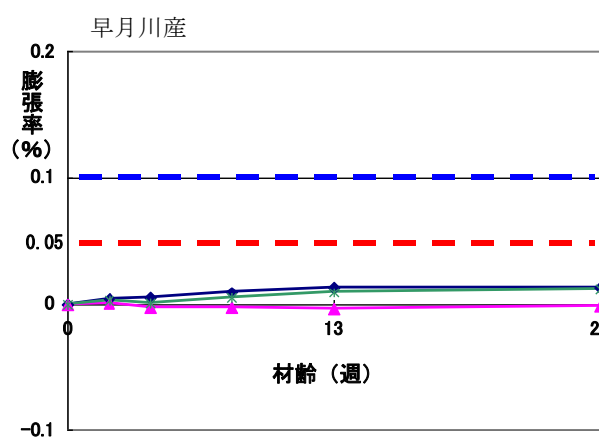
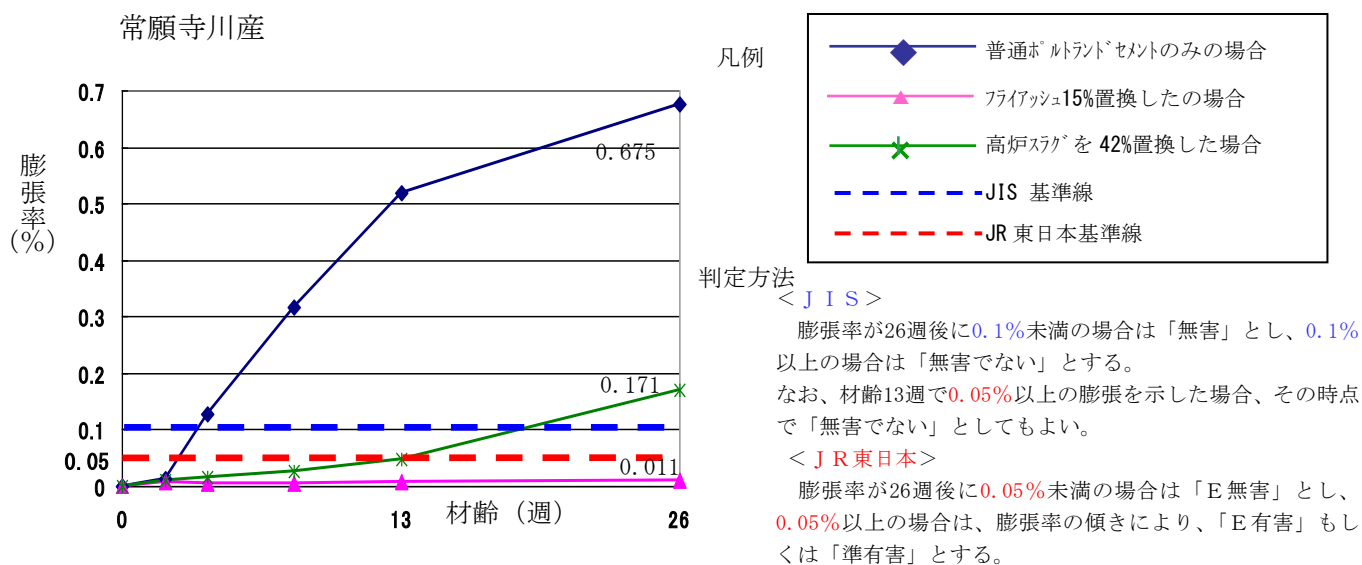


図2-2 モルタルバー法 (JIS A 1146) の結果

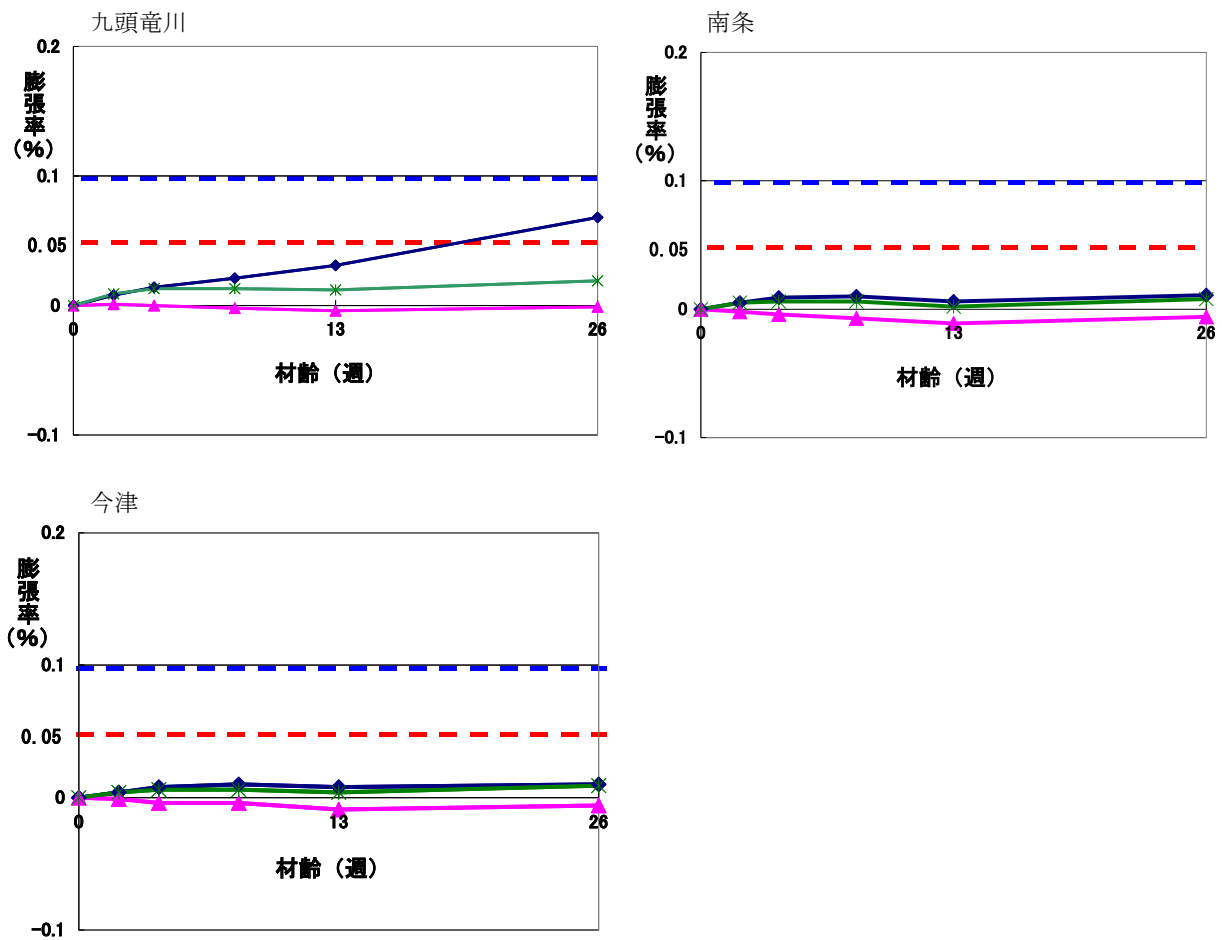


図 2 - 2 モルタルバー法 (JIS A 1146) の結果

2.4 水

水は、JIS A 5308 「レディミクストコンクリート」 附属書 C に適合するものを用いる。

【解説】 通常のコンクリートで用いられている練り水を使用することとし、JIS A 5308 附属書 C （規定）「レディミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」で規定されている水を用いる。

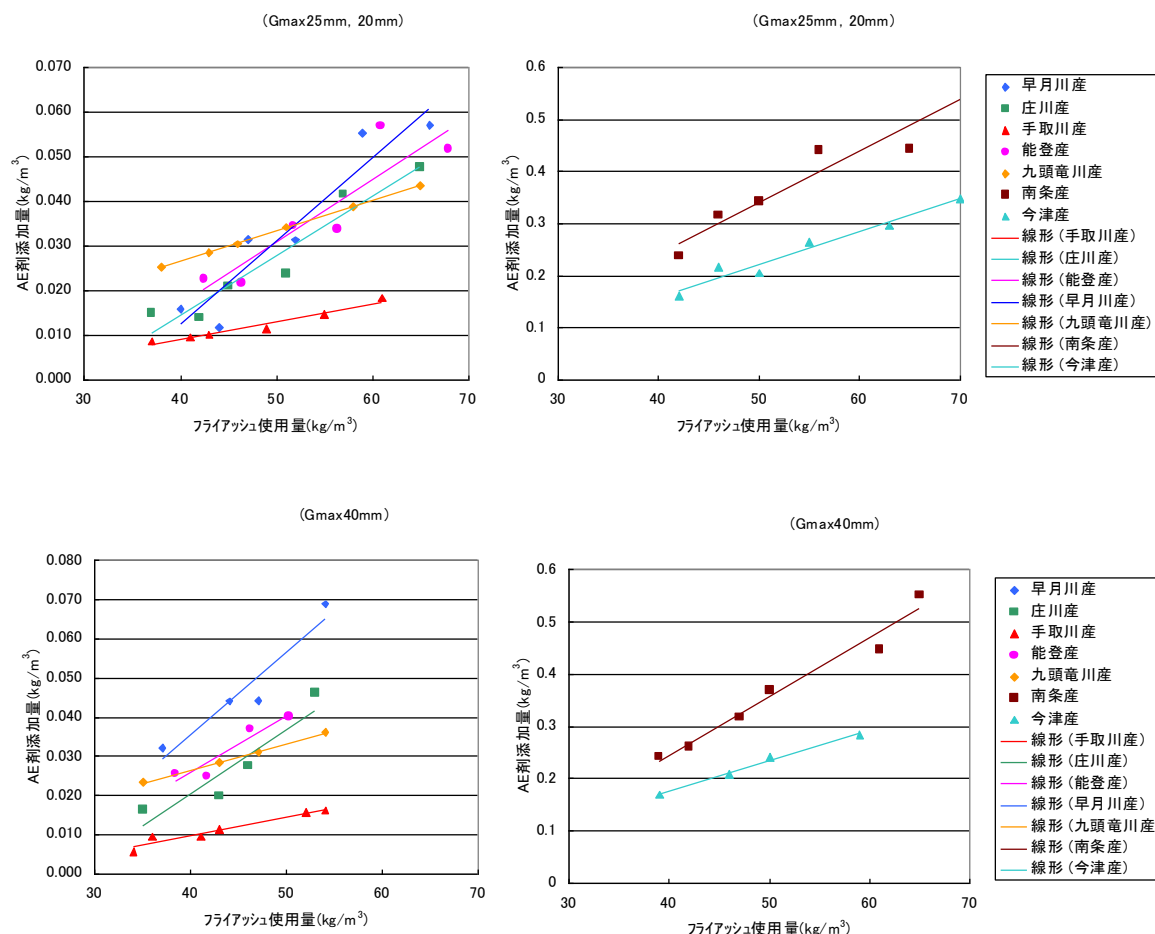
2.5 混和剤

混和剤として、各工場で通常使用している JIS A 6204 に適合するコンクリート用化学混和剤を用いる。

【解説】 フライアッシュ委員会において、各工場で通常使用している混和剤を用いた室内試験を実施したところ、AE 剤の添加量を調整することでスランプや空気量の調整が可能であったことから、各工場で通常使用している混和剤を用いることとした。

【参考】（フライアッシュ委員会による試験データ）

図2-3に試験練りにおけるフライアッシュの使用量とAE剤添加量との関係を示す。また、表2-4に使用した混和剤の種類を示す。図より、フライアッシュの使用量とAE剤の添加量は比例関係があり、表に示すいずれのAE剤においても各工場で通常使用しているAE剤により、空気量の調整が可能であった。なお、AE減水剤は、単位セメント量と単位フライアッシュ量の合計の約1%を添加した。



骨材種類	Gmax20,25mm		Gmax40mm	
	関係式	相関係数(R ²)	関係式	相関係数(R ²)
早月川産	$y=0.0019x-0.0612$	0.8922	$y=0.0021x-0.0484$	0.9164
庄川産	$y=0.0013x-0.0380$	0.9217	$y=0.0017x-0.0457$	0.8623
手取川産	$y=0.0004x-0.0068$	0.9527	$y=0.0005x-0.0094$	0.9422
能登産	$y=0.0014x-0.0393$	0.8186	$y=0.0014x-0.0306$	0.8910
九頭竜川産	$y=0.0007x-0.0006$	0.9996	$y=0.0007x-0.0001$	0.9982
南条産	$y=0.0098x-0.1472$	0.9338	$y=0.0112x-0.2028$	0.9694
今津産	$y=0.0062x-0.0899$	0.9570	$y=0.0058x-0.0548$	0.9894

図2-3 フライアッシュ使用量とAE剤添加量との関係

表 2 - 4 混和剤の種類

骨材名	AE剤・AE減水剤	種類	銘柄（生産者）	備 考
早月川産	AE 剤	AE 剤Ⅰ種	ダレックスAEA-FA (グレースケミカル株)	フライッシュ配合コンクリート用 特殊アニオン系/ノニオン系界面活性剤
	AE 減水剤	AE 減水剤標準 形Ⅰ種	ダレックスF-1 (グレースケミカル株)	一般用 リグニンスルホン酸化合物
庄川産	AE 剤	AE 剤Ⅰ種	ダレックスAEA-FA (グレースケミカル株)	フライッシュ配合コンクリート用 特殊アニオン系/ノニオン系界面活性剤
	AE 減水剤	AE 減水剤標準 形Ⅰ種	ダレックスWRDA (グレースケミカル株)	標準形 リグニンスルホン酸塩
手取川産	AE 剤	AE 剤Ⅰ種	AE-300 (竹本油脂株)	樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤
	AE 減水剤	AE 減水剤標準 形Ⅰ種	チューボールEX60T (竹本油脂株)	高機能タイプ 変性リグニンスルホン酸化合物と ポリカルボン酸系化合物の複合体
能登産	AE 剤	AE 剤Ⅰ種	フローリックAE-4 (株フローリック)	樹脂酸塩系界面活性剤
	AE 減水剤	AE 減水剤標準 形Ⅰ種	フローリックS(50) (株フローリック)	リグニンスルホン酸塩/オキシカルボン酸塩
九頭竜川産	AE 剤	AE 剤Ⅰ種	マイティーAE01 (花王株)	特殊 AE 剤
	AE 減水剤	AE 減水剤標準 形Ⅰ種	90SE (山宗化学株)	リグニンスルホン酸塩と特殊界面活性剤
南条産	AE 剤	AE 剤Ⅰ種	フローリックAE-9B (株フローリック)	フライッシュ配合コンクリート用
	AE 減水剤	AE 減水剤標準 形Ⅰ種	フローリックSV10L (株フローリック)	リグニンスルホン酸塩、オキシカルボン酸塩とポリカルボン酸系化合物
今津産	AE 剤	AE 剤Ⅰ種	マイクロエア303A (BASFジャパン株)	アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤
	AE 減水剤	AE 減水剤標準 形Ⅰ種	リグニスUA (BASFジャパン株)	無塩化タイプ リグニンスルホン酸化合物と オキシカルボン酸化合物の複合体

3. コンクリートの配合

3.1 フライアッシュの置換率

フライアッシュの置換率は、以下のいずれかとする。

(1) 混和材としてフライアッシュを使用する場合

使用するフライアッシュの置換率は 15～20 %とする。なお、ここでいう置換率とは、フライアッシュの質量を結合材[※]の質量で除した値を百分率で表したものをいう。

(2) セメントとしてフライアッシュセメント B 種を用いる場合

フライアッシュの分量は、15～20 %とする。

【解説】フライアッシュの置換率は、ASR 抑制の観点から設定した。

図 2-1、図 2-2 で示した通り、モルタルバー法 (JIS A1146) において、フライアッシュを 15%置換した場合、化学法 (JIS A1145) で「無害でない」と区分された常願寺川産、能登産、輪島産、門前産の骨材を用いた場合であっても、ASR による膨張はほとんど抑制された。また、JIS A5308 (レディミクストコンクリート) 附属書 B「アルカリシリカ反応抑制対策の方法」では、アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメントなどを使用する抑制対策の方法として、フライアッシュの分量は 15%以上とすることが規定されている。

従って、フライアッシュの最低置換率は 15%とし、実際には、必要な強度に応じて 15～20%とすることを推奨とした。

※「結合材」とは、「粉体の内、水と反応し、コンクリートの強度発現に寄与する物質を生成するものの総称で、セメント、フライアッシュなどを含めたもの」をいう。

3.2 水結合材比

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決めるものとする。

【解説】フライアッシュコンクリートも通常のコンクリートと同様に、コンクリートの圧縮強度は結合材水比と直線関係にあることから、コンクリートの圧縮強度と結合材水比との関係から水結合材比を定めることを原則とする。

また、北陸地方各県の土木工事共通仕様書では、土木コンクリート構造物の耐久性を向上させる目的で、「水セメント比は、鉄筋コンクリートについては 55%以下、無筋コンクリートについては 60 %以下とするものとする。」とされており、フライアッシュコンクリートの場合は、水セメント比を水結合材比に置き換え使用することとする。

【参考】（フライアッシュ委員会による試験データ）

図 3-1～図 3-7 に北陸地方で産出される代表的な骨材の試験練りにおける圧縮強度と結合材水比（B/W）の関係を示す。

普通ポルトランドセメントにフライアッシュを置換したコンクリート（N+F）の圧縮強度と結合材水比（B/W）とは直線関係にあり、圧縮強度は普通セメント（N）、高炉セメント（BB）を使用したコンクリートと同等、もしくは少し低くなる程度であった。

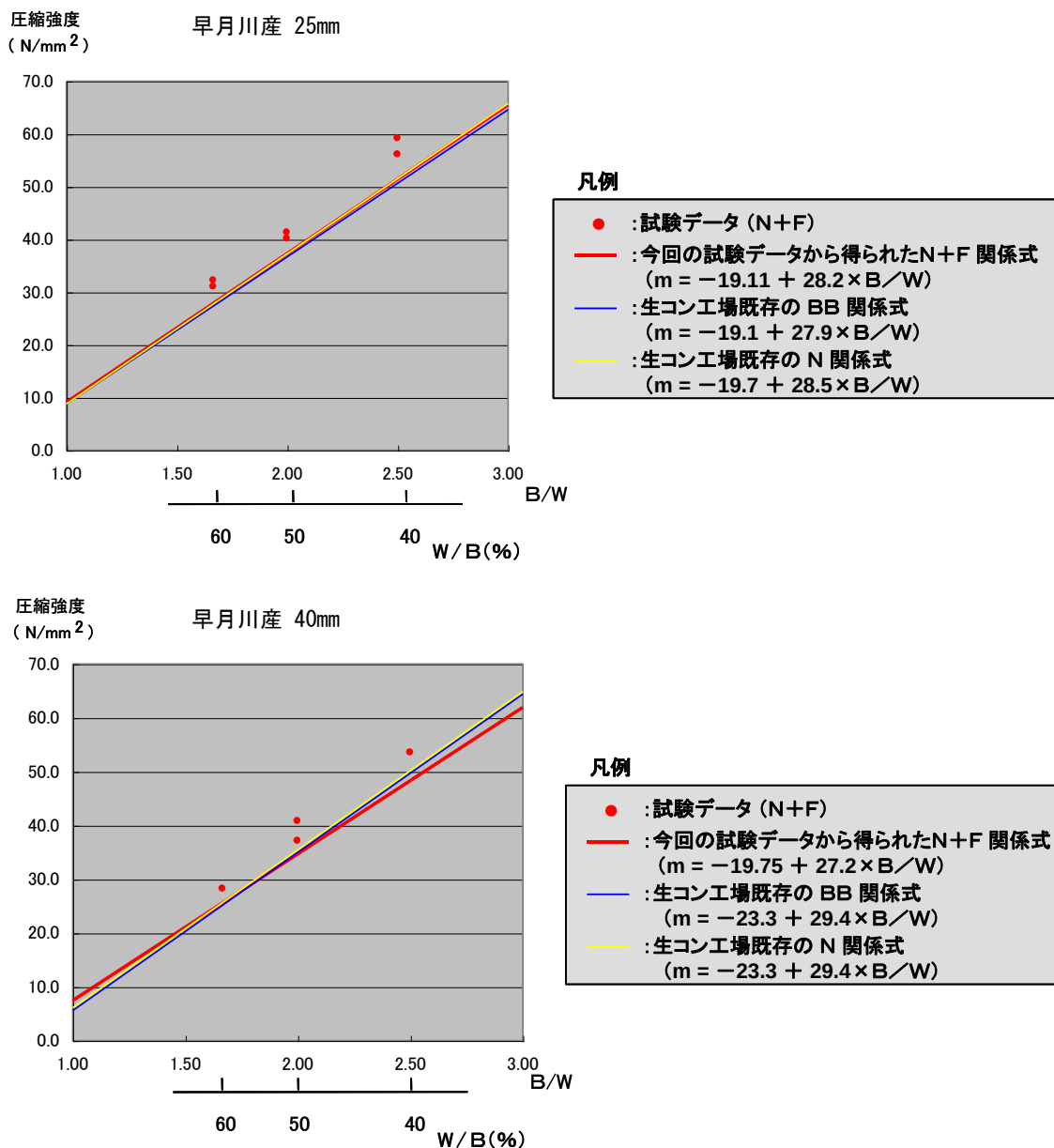
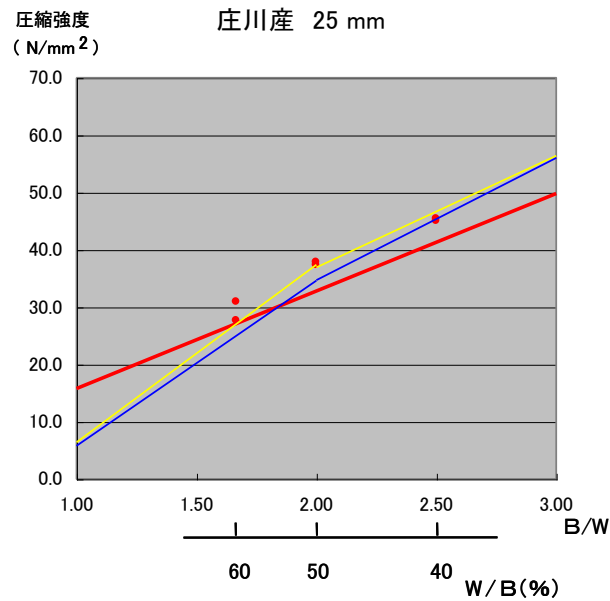


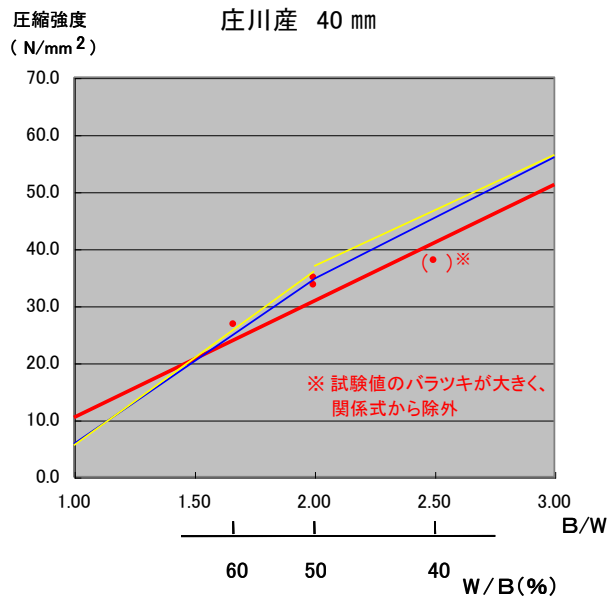
図 3-1 早月川産骨材における圧縮強度と結合材水比（B/W）の関係

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))



凡例

- : 試験データ (N+F)
- : 今回の試験データから得られたN+F 関係式
($m = -1.2 + 17.0 \times B/W$)
- : 生コン工場既存の BB 関係式
($W/B \geq 50\%$ $m = -23.0 + 28.8 \times B/W$)
($W/B < 50\%$ $m = -7.9 + 21.3 \times B/W$)
- : 生コン工場既存の N 関係式
($W/B \geq 50\%$ $m = -24.6 + 31.0 \times B/W$)
($W/B < 50\%$ $m = -2.1 + 19.5 \times B/W$)



凡例

- : 試験データ (N+F)
- : 今回の試験データから得られたN+F 関係式
($m = -10.0 + 20.4 \times B/W$)
- : 生コン工場既存の BB 関係式
($W/B \geq 50\%$ $m = -23.0 + 28.8 \times B/W$)
($W/B < 50\%$ $m = -7.9 + 21.3 \times B/W$)
- : 生コン工場既存の N 関係式
($W/B \geq 50\%$ $m = -25.0 + 30.5 \times B/W$)
($W/B < 50\%$ $m = -2.1 + 19.5 \times B/W$)

図 3-2 庄川産骨材における圧縮強度と結合材水比 (B/W) の関係

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

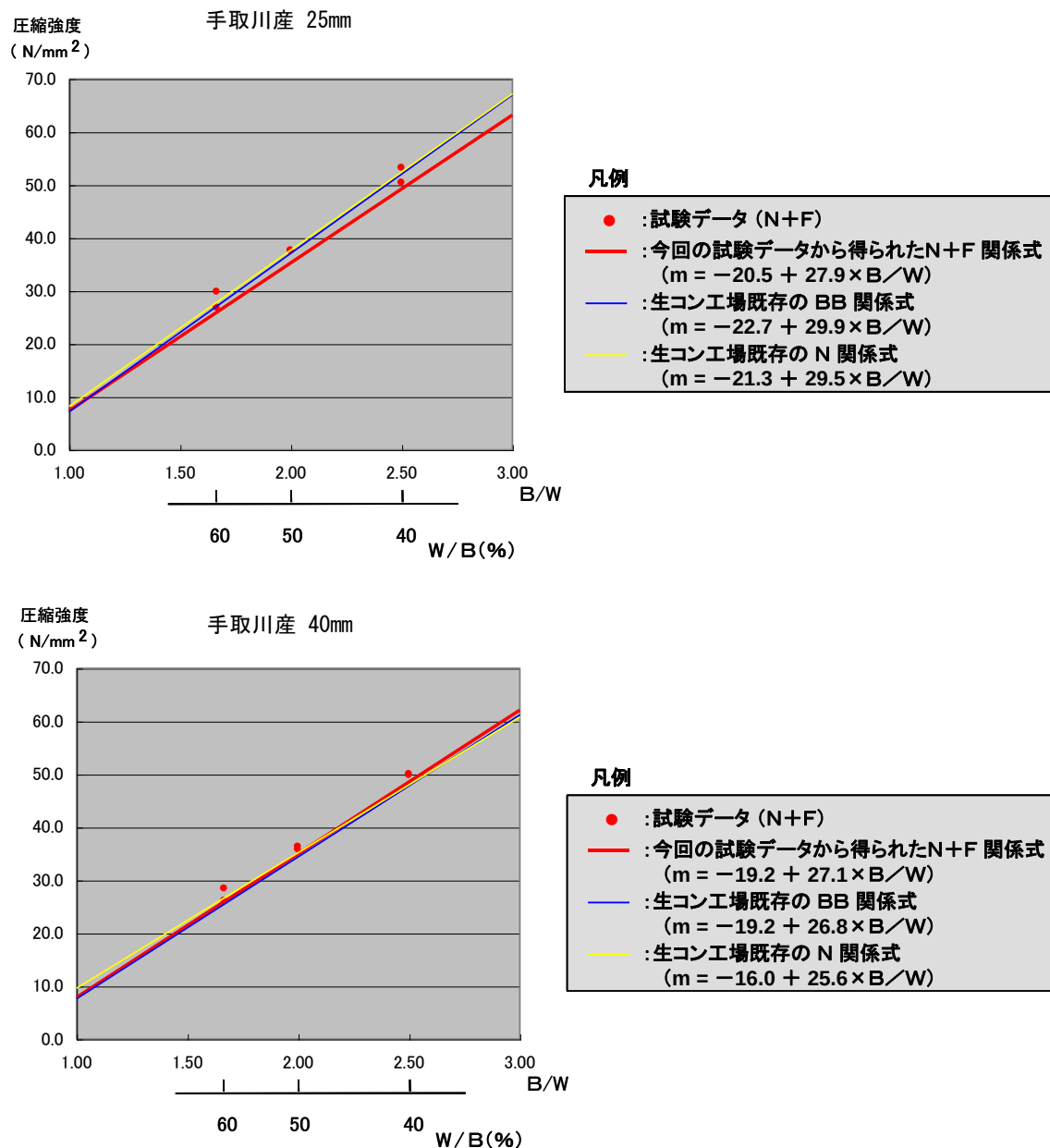


図 3 - 3 手取川産骨材における圧縮強度と結合材水比 (B/W) の関係

(N: 普通ポルトランドセメント, BB: 高炉セメントB種, N+F: フライアッシュ 15% 置換 (内割り))

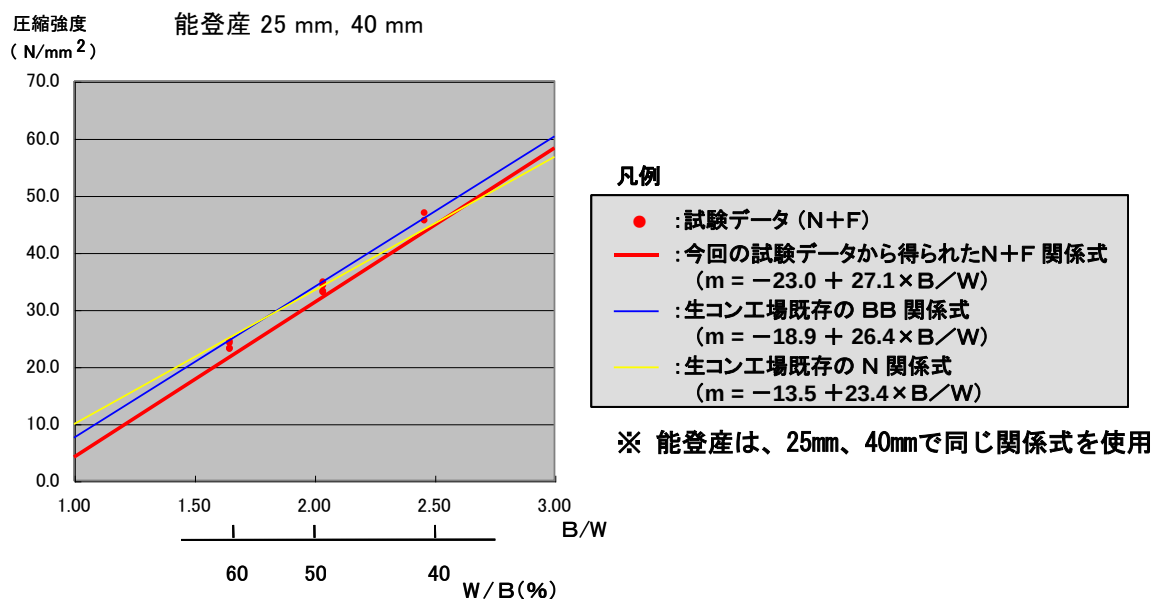


図 3 - 4 能登産骨材における圧縮強度と結合材水比 (B/W) の関係

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

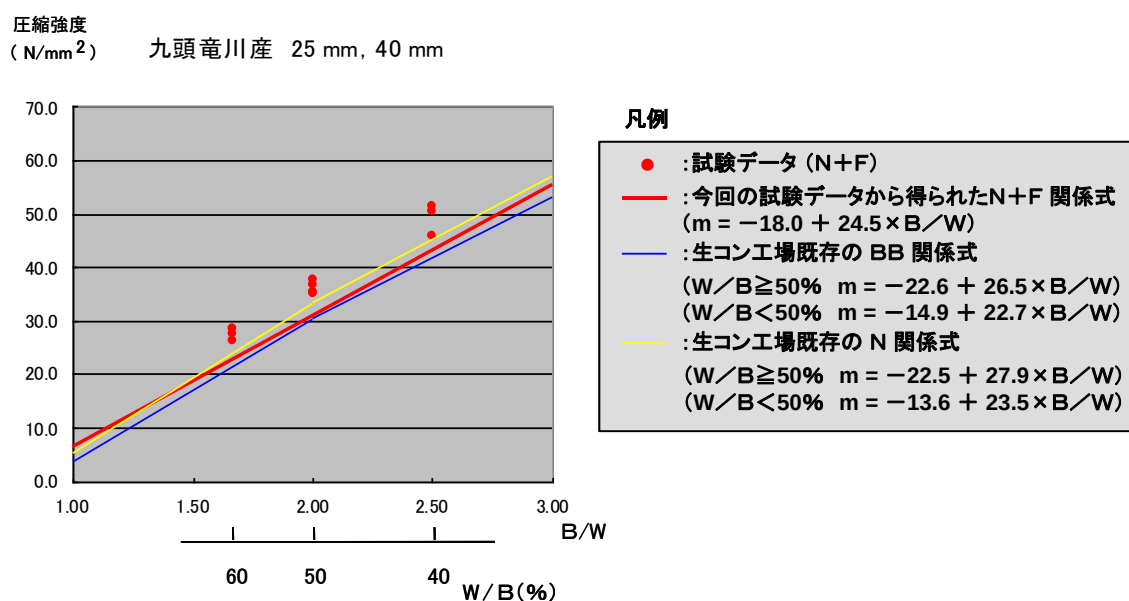


図 3 - 5 九頭竜川産骨材における圧縮強度と結合材水比 (B/W) の関係

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

圧縮強度
(N/mm^2) 南条チャート砕石 20 mm, 40 mm

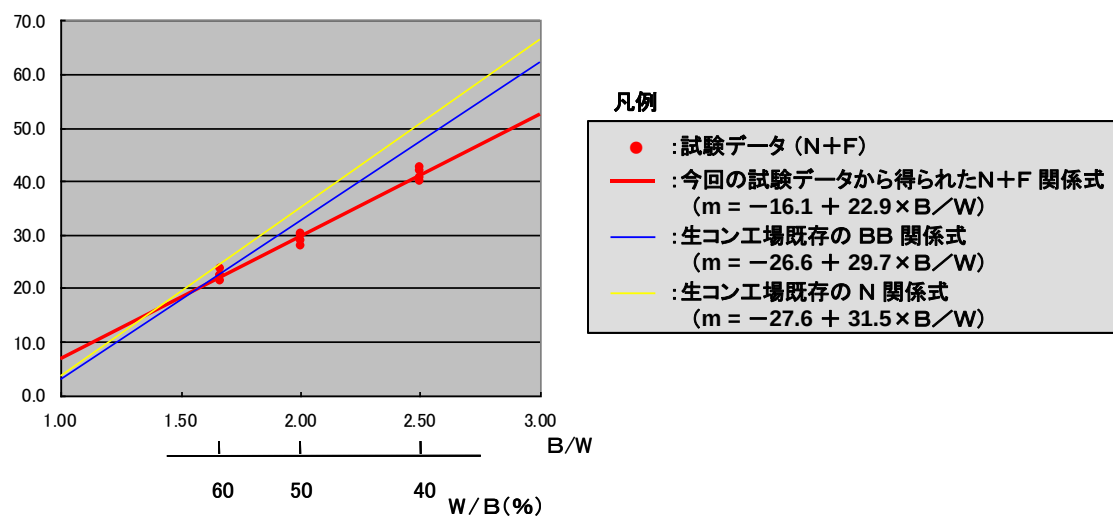


図 3-6 南条産骨材における圧縮強度と結合材水比 (B/W) の関係

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

圧縮強度
(N/mm^2) 滋賀県今津砕石 20 mm, 40 mm

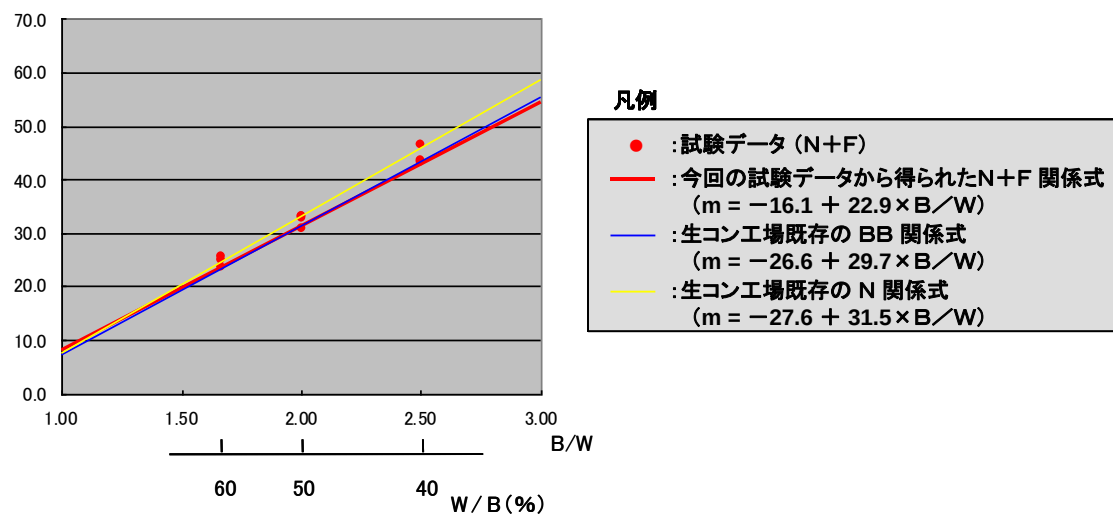


図 3-7 今津産骨材における圧縮強度と結合材水比 (B/W) の関係

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

3.3 単位水量

単位水量は、フライアッシュの利点を活かした品質のよいコンクリートを製造するため、作業ができる範囲内でできるだけ少なくなるよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解説】所用のスランプを得るのに必要な単位水量は、使用材料、配合などによって相違するので、実際の施工に用いる材料を用いて試験を行い決定する。この際、単位水量はできるだけ小さくなるように定めることとする。フライアッシュ委員会では、北陸地方で産出される代表的な骨材を用いて配合試験を実施した結果、フライアッシュを置換した場合に、河川砂利を用いる場合は、概ね $1\sim 12\text{kg/m}^3$ 単位水量が低減されたことから、この利点を活かした配合設計をすることが望ましい。

【参考】（フライアッシュ委員会による試験データ）

図3-5～図3-14に北陸地方で産出される代表的な骨材の試験練りにおけるスランプと単位水量の関係を示す。また、表3-1に室内試験の結果得られた配合表例（24-8-25 かつ W/B 55%以下の場合）を示す。

普通ポルトランドセメントにフライアッシュを置換したコンクリート（N+F）では、普通ポルトランドセメント（N）、高炉セメント（BB）を使用したコンクリートと同等のスランプを得るのに必要な単位水量が河川砂利の骨材については、 $1\sim 12\text{kg/m}^3$ 低減された。一方、碎石を骨材とする場合には単位水量の低減効果がみられなかった。これは、碎石では、骨材の形状が角張っており、骨材同士のかみ合わせ効果がスランプ値に大きく影響したためと推察される。

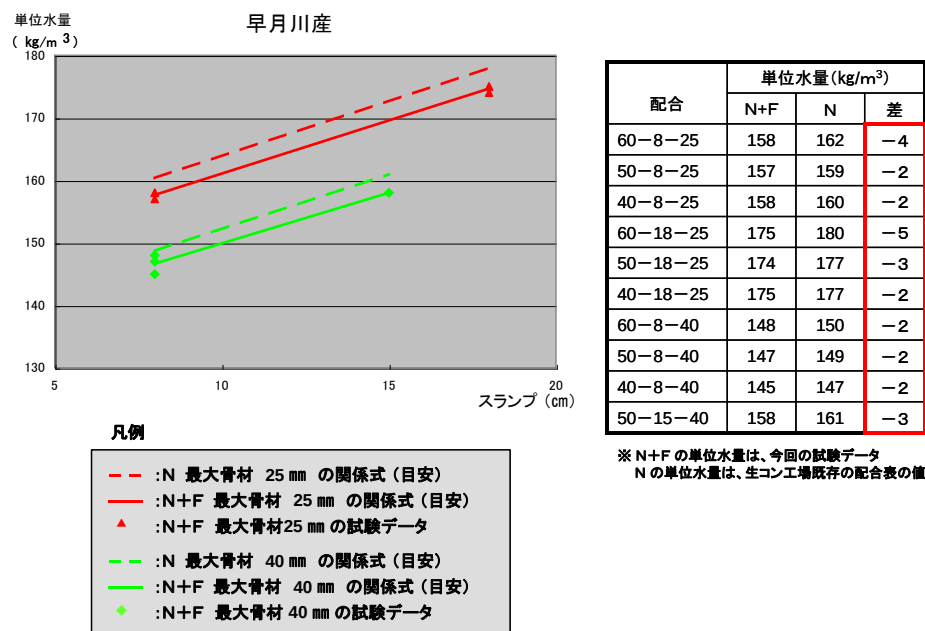


図3-8 早月川産骨材におけるスランプと単位水量の関係

(N:普通ポルトランドセメント, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

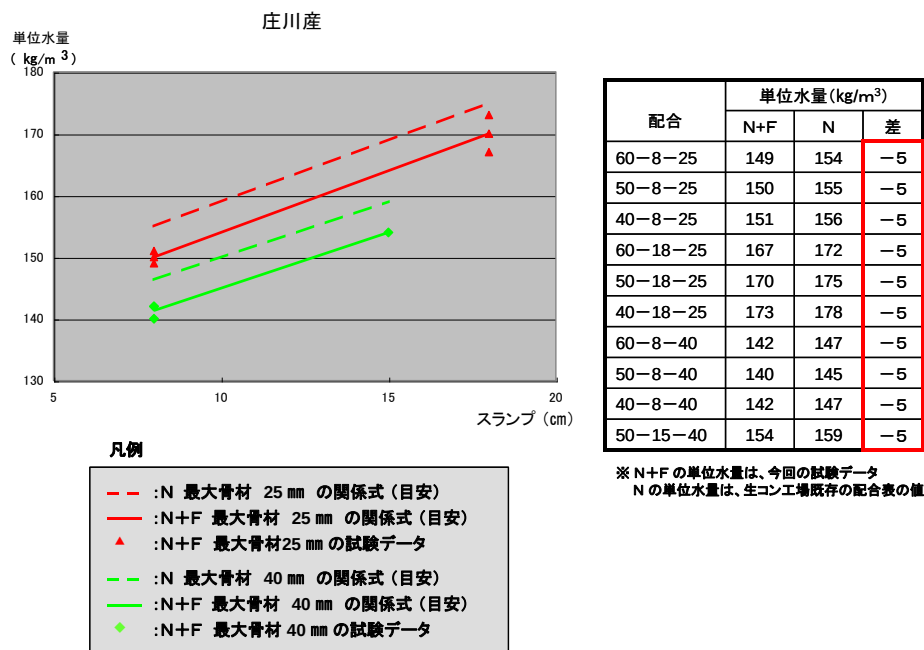


図 3-9 庄川産骨材におけるスランプと単位水量の関係

(N:普通ポルトランドセメント, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

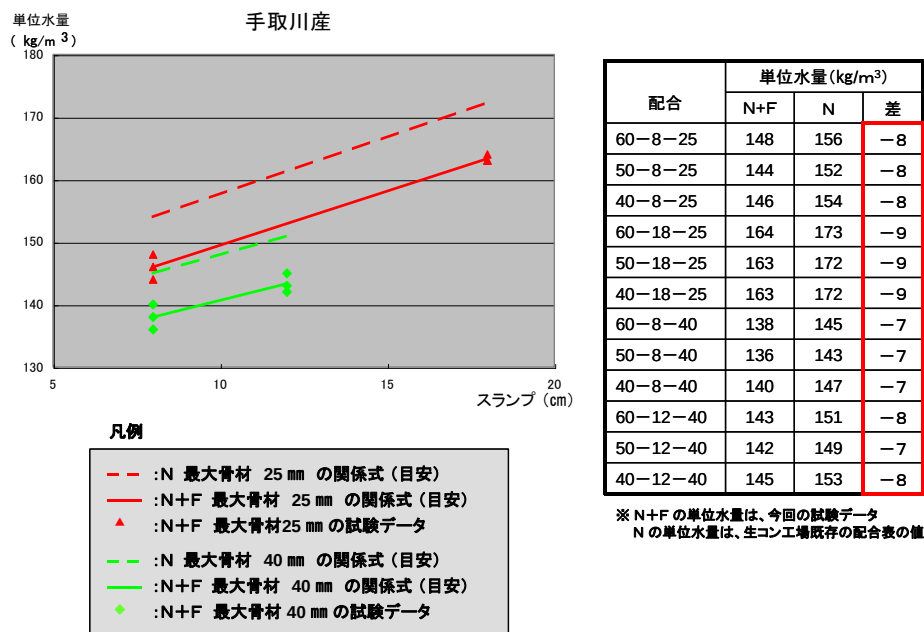


図 3-10 手取川産骨材におけるスランプと単位水量の関係

(N:普通ポルトランドセメント, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

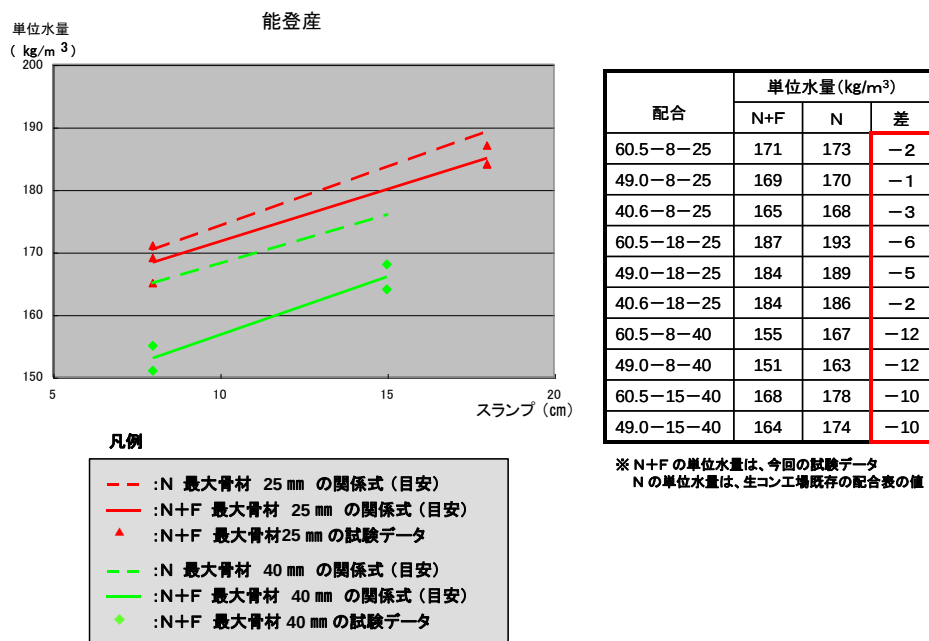


図 3-1-1 能登産骨材におけるスランプと単位水量の関係

(N:普通ポルトランドセメント, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

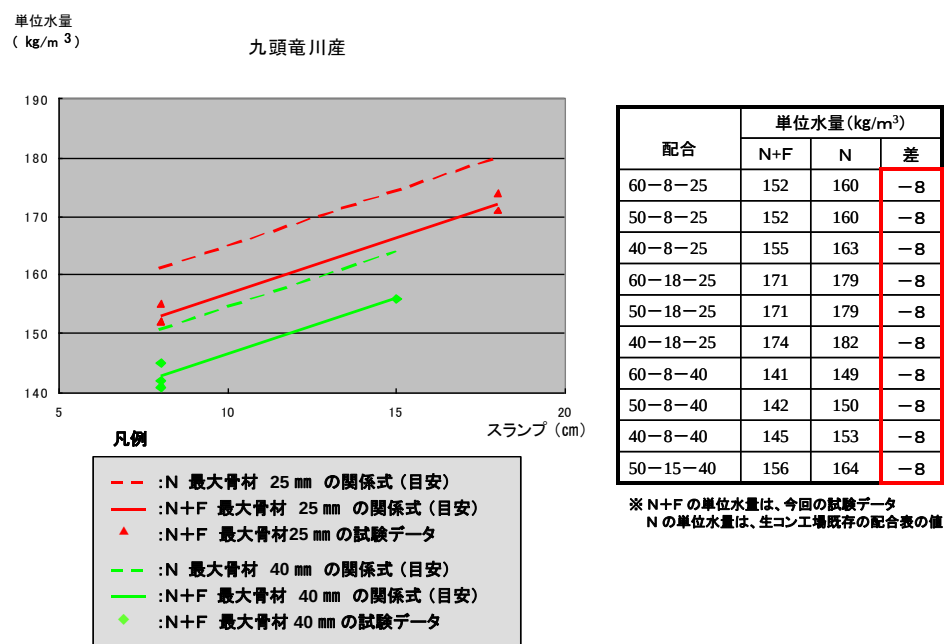


図 3-1-2 九頭竜川産骨材におけるスランプと単位水量の関係

(N:普通ポルトランドセメント, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

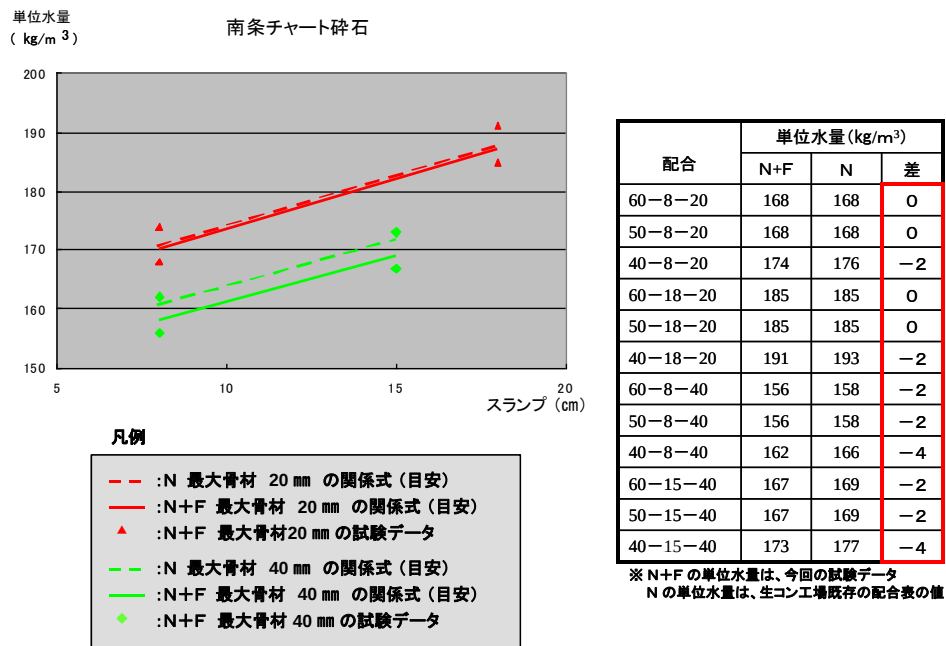


図 3-13 南条産骨材におけるスランプと単位水量の関係

(N:普通ポルトランドセメント, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

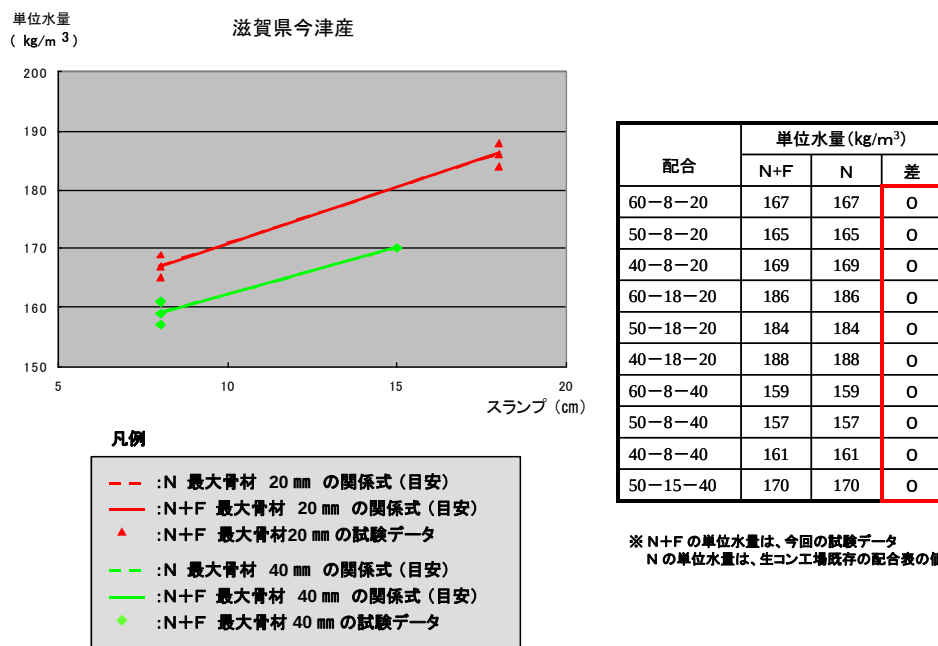


図 3-14 南条産骨材におけるスランプと単位水量の関係

(N:普通ポルトランドセメント, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

表 3 - 1 室内試験により作成した配合表例

(凡例 N:普通ポルトランドセメント、BB:高炉セメントB種、N+F:フライアッシュ15%置換(内割り))

早月川産骨材

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m ³)	フライアッシュ FA (kg/m ³)	水 W (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	混和剤 Ad (kg/m ³)	備 考
N	54.5	44.8	292	—	159	831	1044	2.92	27N/mm ² 配合
BB	53.9	44.4	293	—	158	821	1050	2.93	27N/mm ² 配合
N+F	54.5	44.8	245	43	157	828	1044	2.88	27N/mm ² 配合

(凡例 N:普通ポルトランドセメント、BB:高炉セメントB種、N+F:フライアッシュ15%置換(内割り))

庄川産骨材

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m ³)	フライアッシュ FA (kg/m ³)	水 W (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	混和剤 Ad (kg/m ³)	備 考
N	53.8	44.2	286	—	154	814	1034	2.86	27N/mm ² 配合
BB	51.5	42.8	297	—	153	782	1052	2.97	27N/mm ² 配合
N+F	50.0	43.5	255	45	150	795	1038	3.00	27N/mm ² 配合

(凡例 N:普通ポルトランドセメント、BB:高炉セメントB種、N+F:フライアッシュ15%置換(内割り))

手取川産骨材

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m ³)	フライアッシュ FA (kg/m ³)	水 W (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	混和剤 Ad (kg/m ³)	備 考
N	54.7	44.0	285	—	156	802	1036	2.85	27N/mm ² 配合
BB	53.7	43.4	287	—	154	789	1044	2.87	27N/mm ² 配合
N+F	53.3	45.8	230	40	144	851	1021	2.43	27N/mm ² 配合

(凡例 N:普通ポルトランドセメント、BB:高炉セメントB種、N+F:フライアッシュ15%置換(内割り))

能登産骨材

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m ³)	フライアッシュ FA (kg/m ³)	水 W (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	混和剤 Ad (kg/m ³)	備 考
N	52.3	42.7	331	—	173	732	1024	3.31	27N/mm ² 配合
BB	51.5	41.5	326	—	168	714	1051	3.59	27N/mm ² 配合
N+F	54.6	43.0	266	47	171	742	1024	3.13	24N/mm ² 配合

九頭竜川産骨

(凡例 N:普通ポルトランドセメント、BB:高炉セメントB種、N+F:フライアッシュ15%置換(内割り))

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m ³)	フライアッシュ FA (kg/m ³)	水 W (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	混和剤 Ad (kg/m ³)	備 考
N	54.0	45.0	297	—	160	810	1023	3.20	24N/mm ² 配合
BB	51.0	43.2	308	—	157	774	1049	3.31	24N/mm ² 配合
N+F	51.0	44.2	253	45	152	799	1039	2.98	24N/mm ² 配合

南条産骨材

(凡例 N:普通ポルトランドセメント、BB:高炉セメントB種、N+F:フライアッシュ15%置換(内割り))

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m ³)	フライアッシュ FA (kg/m ³)	水 W (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	混和剤 Ad (kg/m ³)	備 考
N	54.0	46.7	312	—	168	845	1023	3.20	24N/mm ² 配合
BB	52.0	46.3	320	—	166	835	1049	3.31	24N/mm ² 配合
N+F	49.0	45.1	293	52	169	795	1039	3.45	24N/mm ² 配合

滋賀県今津産骨材

(凡例 N:普通ポルトランドセメント、BB:高炉セメントB種、N+F:フライアッシュ15%置換(内割り))

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m ³)	フライアッシュ FA (kg/m ³)	水 W (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	混和剤 Ad (kg/m ³)	備 考
N	54.0	45.5	304	—	164	822	1065	3.83	24N/mm ² 配合
BB	52.0	44.2	310	—	161	796	1085	3.91	24N/mm ² 配合
N+F	52.0	44.4	270	48	165	791	1068	4.01	24N/mm ² 配合

3.4 細骨材率

細骨材率は、所要のワーカビリティが得られる範囲内で、単位水量が最小になるよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解説】試験により細骨材率を定めることとする。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）」では、セメントの一部をフライアッシュで置換して用いると、密度がセメントに比べて小さいためペーストの容積が増えるので、細骨材率は、これを用いない通常のコンクリートに比べて小さくできるとし、たとえば、Ⅱ種を置換率 20%として用いた場合に、一般に細骨材は 1%程度小さくできるとしている。

3.5 スランプ

スランプの許容差は、以下の表の通りとする。

(単位:cm)

スランプ	スランプの許容差
2.5	±1
5 および 6.5	±1.5
8 以上 18 以下	±2.5
21	±1.5※

※呼び強度 27 以上で、高性能 AE 減水剤を使用する場合は、±2 とする。

【解説】スランプの設定は、通常のコンクリートと同様とした。

3.6 空気量

空気量は、打込み時に所定の値が得られるよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解説】空気量の設定は、通常のコンクリートと同様とした。

4. コンクリートの製造

4.1 工場の JIS 認証

フライアッシュコンクリートを製造する工場は、予め配合試験を行い、JIS 認証を取得することを原則とする。

【解説】フライアッシュコンクリートの JIS 認証に要する標準的な期間は、配合試験を開始し、約 3 ヶ月程度である。

4.2 品質についての指定

フライアッシュコンクリートは、JIS 認証を受けたものとし、発注する際には、購入者は、次のとおり、呼び強度のほか、スランプ、粗骨材の最大寸法などを指定しなければならない。

- (a) 呼び強度
- (b) スランプ
- (c) 粗骨材の最大寸法
- (d) 呼び強度を保証する材齢
- (e) その他必要な事項

【解説】フライアッシュコンクリートも、通常のコンクリートと同様に、呼び強度、スランプ、粗骨材の最大寸法などを指定して発注を行うこととする。その他、必要な事項については、その都度指定を行うこととする。

4.3 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、専用のものであることとし、貯蔵中に品質が変化したり、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、基本的にセメントに求められる要求事項と同じであり、湿気を防ぐことはもちろん、通気も避けることが必要である。

4.4 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、所定の計量誤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、1 回計量に対して 2 %以下でなければならない。

【解説】フライアッシュコンクリートを製造するうえで、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。フライアッシュは結合材の一部であり、コンクリートの品質に影響を与える材料であるため、計量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、このコンクリートを用いた構造物の使用目的が達せられなくなる恐れもある。したがって、フライアッシュの計量には、専用の設備を用いることとする。また、計量誤差については、通常の混和材と同様に 2 %とする。

4.5 混和剤の計量

混和剤の計量は AE 減水剤と AE 剤の別添方式を基本とする。

【解説】各工場で通常使用している混和剤を用いてスランプや空気量の調整を行うため、混和剤の計量は AE 減水剤と AE 剤を別計量できる設備を使用することが望ましい。

4.6 練混ぜ

- (1) コンクリートは、均等質のコンクリートが得られるよう十分に練混ぜなければならない。
- (2) 材料をミキサに投入する順序、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】フライアッシュコンクリートは、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、十分にこれを練混ぜなければならない。また、材料をミキサに投入する順序、練混ぜ時間は、試験によって定めなければならない。フライアッシュ委員会の実機試験においては、念のため、通常の練混ぜ時間に約 30 秒を追加している。

5. フライアッシュコンクリートの施工

5. 1 運搬および打込み

- (1) コンクリートは、練り混ぜたのち速やかに運搬し、直ちに打込み、十分に締め固めなければならない。練り混ぜ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) 打込み時のコンクリートの温度は、原則として 10℃以上でなければならないが、現地の状況等により、5～10℃となる場合は、コンクリートの打込み後、低温、高温、急激な温度変化、乾燥等の有害な作用の影響を受けないよう十分に養生して施工する。

【解説】(1)について、フライアッシュコンクリートの運搬および打込みは、通常のコンクリートと同様であるが、フライアッシュ委員会による試験データでは、スランプロス、空気量ロスを経過 1 時間以降若干大きい傾向にあったため、練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は 1 時間以内が望ましく、工場の選定に配慮することなどが必要である。

(2)について、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）」に従い、打込み時のコンクリートの温度は、原則として 10℃以上でなければならないとした。

ただし、冬季に 10℃以下となる場合は、強度発現性の良好な七尾大田火力発電所、または敦賀火力発電所から産出されるフライアッシュを使用することを前提として、初期凍害を受けないように十分に養生することで施工してもよいこととした。

フライアッシュコンクリートのポンプ圧送性については、フライアッシュ委員会において横付けのポンプ打ちについては問題ないことを確認したが、長い配管を要する場合等には、試験施工などにより計画した運搬方法の基本的な施工性や運搬による性状変化を事前に確認し、施工計画に反映させることが望ましい。

【参考】(運搬および打込みに関する基準の比較)

表 5 - 1 に運搬および打込みに関する基準の比較を示す。

表 5 - 1 運搬および打込みに関する基準の比較

出典	コンクリート標準示方書[施工編:施工標準];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);土木学会	高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針;土木学会
基準	12 章 寒中コンクリート 12.5 運搬および打込み (2)打込み時のコンクリートの温度は、構造物の断面寸法、気象条件等を考慮して、5～20℃の範囲に保たなければならない。 [解説] 構造物の部材寸法や気象条件を考慮し、新しく打ち込んだコンクリートが初期凍害を受けないよう 5～20℃の範囲とした。 13 章 暑中コンクリート 13.6 打込み (3)打込み時のコンクリートの温度の上限は、35℃以下を標準とする。 [解説] これまでの実績より、一般的な条件下では、打込み温度が 35℃以下であればコンクリートの品質への影響は小さいため、打込み時のコンクリート温度の上限が 35℃以下であることを標準とした。	5 章 コンクリートの製造および打込み 5.5 運搬および打込み (2)打込み時のコンクリートの温度は、原則として 10℃以上でなければならない。 [解説] なお、マスコンクリートの場合には、硬化時の水和発熱によって温度の上昇が期待できるので、十分な養生を実施することを条件に、打込み時のコンクリートの温度を 5℃以上としてもよい。 10 章 寒中コンクリート 10.4 運搬および打込み 打込み時におけるコンクリートの温度は、構造物の断面の最小寸法、気象条件等を考慮して、7～25℃の範囲で定めるものとする。 [解説] フライアッシュを混和材として用いたコンクリートは、ポルトランドセメント単味を用いたコンクリートに比べて、低温では水和反応が進行しにくく、発熱速度が小さいので、打込み時の温度を通常のコンクリートよりもいくぶん高くする必要がある。 11 章 暑中コンクリート 11.4 運搬および打込み コンクリートの運搬および打込みは、コンクリートが乾燥したり、熱せられたりすることの少ない装置および方法によらなければならない。	5 章 コンクリートの製造および打込み 5.5 運搬および打込み (2)打込み時のコンクリートの温度は、原則として 10℃以上でなければならない。 [解説] なお、マスコンクリートの場合には、硬化時の水和発熱によって温度の上昇が期待できるので、十分な養生を実施することを条件に、打込み時のコンクリートの温度を 7℃以上としてもよい。 10 章 寒中コンクリート 10.4 運搬および打込み 打込み時におけるコンクリートの温度は、構造物の断面の最小寸法、気象条件等を考慮して、7～25℃の範囲でこれを定めるものとする。 [解説] 高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートは、ポルトランドセメント単味を用いたコンクリートに比べて、低温では水和反応が進行しにくく、発熱速度が小さいので、打込み時の温度を一般のコンクリートよりもいくぶん高くする必要がある。 11 章 暑中コンクリート 11.4 運搬および打込み コンクリートの運搬および打込みは、コンクリートが乾燥したり、熱せられたりすることの少ない装置および方法によらなければならない。

【参考】（フライアッシュ委員会による試験データ）

図5-1～図5-5に、実機試験を実施し、①普通セメントにフライアッシュを置換したコンクリート(N+F)、②高炉セメントB種を用いたコンクリート(BB)、③普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート(N)の3ケースについて、スランプロスを計測した結果を示す。また、実機試験実施ケースは表5-2に示す。図より、N+Fのスランプロスは、N、BBと同程度であるが、経過1時間以降、若干ロスが大きい傾向にある。

表5-2 実機試験実施ケース一覧

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種, N+F:フライアッシュ15%置換)

	実施ケース	実施日	備考
早月川産 デンカ生コン 富山(株)	①N+F : 27-8-25 ②BB : 27-8-25 ③N : 27-8-25	平成23年 6月11日	管理基準(製造直後) スランプ 9 ± 1.5 cm 空気量 5.0 ± 1.0 %
手取川産 日本海生コン(株)	①N+F : 27-8-25 ②BB : 27-8-25 ③N : 27-8-25	平成23年 6月14日	管理基準(製造直後) スランプ 9 ± 1.5 cm 空気量 5.0 ± 1.0 %
能登産 (株)新出組	①N+F : 24-8-25 ②BB : 27-8-25 ③N : 27-8-25	平成23年 6月14日	管理基準(製造直後) スランプ 9 ± 1.5 cm 空気量 5.0 ± 1.0 %
九頭竜川産 福井宇部生コン(株)	①N+F : 24-8-25 ②BB : 24-8-25 ③N : 24-8-25	平成24年 10月18, 19日	管理基準(製造直後) スランプ 8 ± 2.5 cm 空気量 4.5 ± 1.5 %
南条産 武生小野田レミコン(株)	①N+F : 24-8-20 ②BB : 24-8-20 ③N : 24-8-20	平成24年 10月17, 18日	管理基準(製造直後) スランプ 9 ± 1.0 cm 空気量 5.0 ± 1.0 %

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	95	85	80	65	65	60	60	60	55
BB27-8-25	85	75	80	85	85	65	70	65	65
N27-8-25	105	65	70	85	70	65	75	60	60

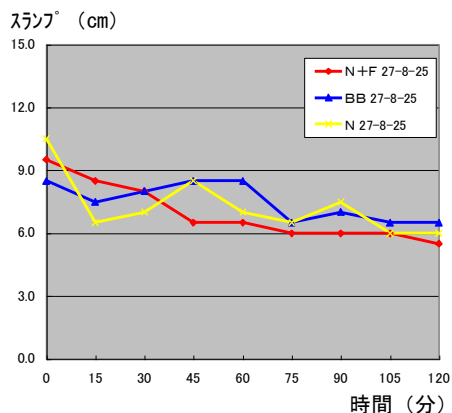


図5-1 早月川産骨材のスランプロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	95	95	85	75	70	50	45	45	40
BB27-8-25	95	80	80	70	65	50	45	40	35
N27-8-25	90	75	80	65	60	55	40	40	40

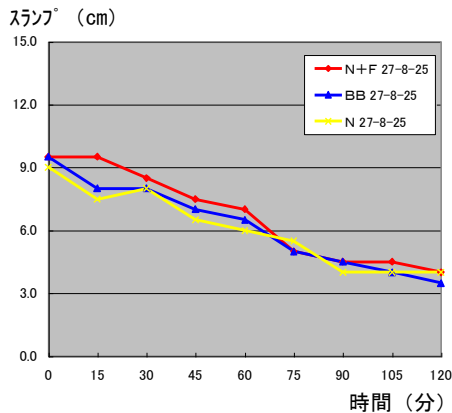


図5-2 手取川産骨材のスランプロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	105	90	85	80	80	75	70	70	70
BB27-8-25	80	60	60	55	55	45	40	40	30
N27-8-25	80	60	60	55	55	55	55	50	50

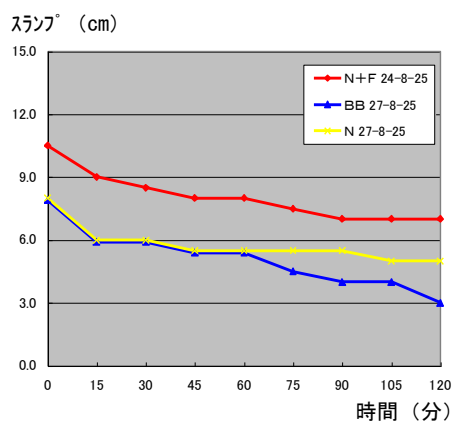


図5-3 能登産骨材のスランプロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F24-8-25	95	95	85	75	70	50	45	45	40
BB24-8-25	95	80	80	70	65	50	45	40	35
N24-8-25	90	75	80	65	60	55	40	40	40

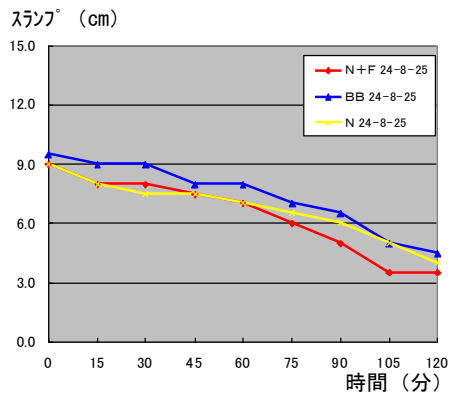


図5-4 九頭竜川産骨材のスランプロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F24-8-20	90	85	75	70	50	40	40	30	20
BB24-8-20	100	95	85	75	50	40	40	35	35
N24-8-20	100	95	90	80	50	40	40	35	35

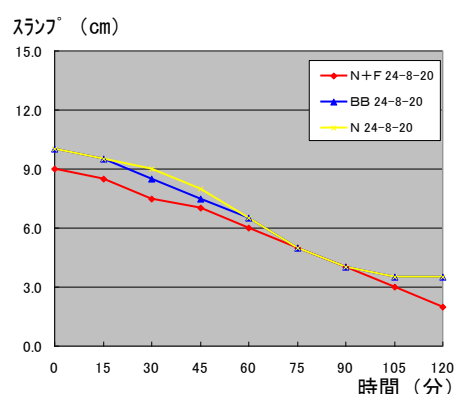


図5-5 南条産骨材のスランプロス

【参考】（フライアッシュ委員会による試験データ）

図5-6～図5-10に、実機試験を実施し、①普通ポルトランドセメントにフライアッシュを置換したコンクリート（N+F）、②高炉セメントB種を用いたコンクリート（BB）、③普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート（N）の3ケースについて、空気量ロスを計測した結果を示す。図より、N+Fの空気量ロスはN、BBと同程度であるが、経過1時間以降、若干ロスが大きい傾向にある。

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	54	49	46	39	35	34	33	37	32
BB27-8-25	53	48	49	45	47	45	47	44	43
N27-8-25	60	57	52	50	46	48	46	42	42

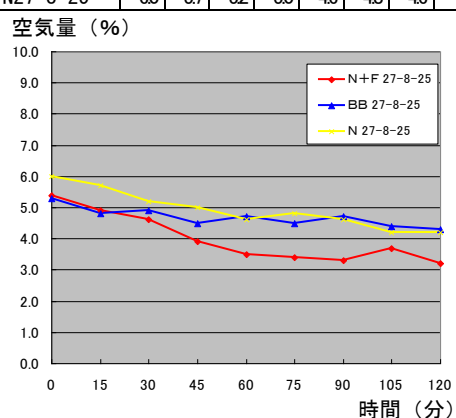


図5-6 早月川産骨材の空気量ロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	47	44	41	37	33	32	30	30	26
BB27-8-25	51	46	45	40	39	37	35	31	33
N27-8-25	48	45	42	41	38	39	37	36	34

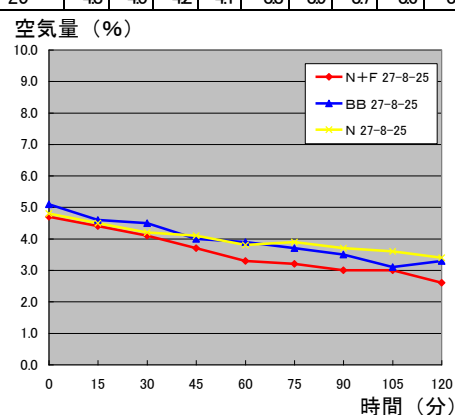


図5-7 手取川産骨材の空気量ロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	54	49	46	39	35	34	33	37	32
BB27-8-25	53	48	49	45	47	45	47	44	43
N27-8-25	60	57	52	50	46	48	46	42	42

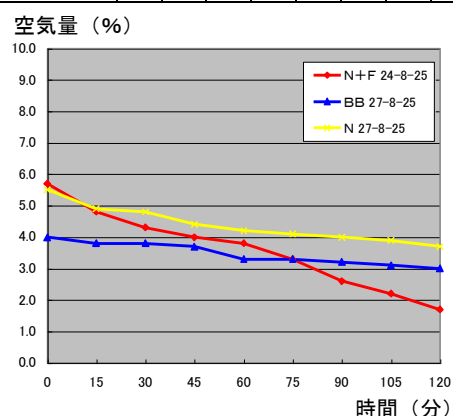


図5-8 能登産骨材の空気量ロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F24-8-25	55	52	49	48	46	42	36	32	26
BB24-8-25	53	53	50	51	51	49	45	44	39
N24-8-25	58	55	52	48	45	42	40	42	40

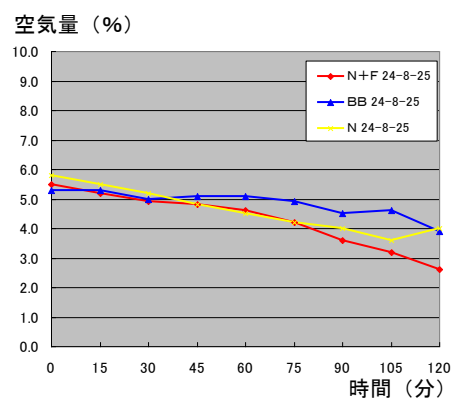


図5-9 九頭竜川産骨材の空気量ロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F24-8-20	52	48	44	41	40	40	38	37	35
BB24-8-20	57	56	54	52	47	42	38	35	35
N24-8-20	55	59	56	51	48	42	38	35	35

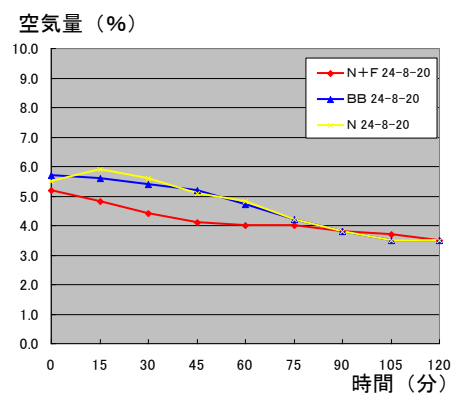


図5-10 南条産骨材の空気量ロス

5. 2 締固め

- (1) コンクリート締固めには、内部振動機を用いることを原則とし、内部振動機の使用が困難な場所には型枠振動機を使用してもよい。
- (2) 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) せき板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ち込み、締め固めなければならない。
- (4) 締固めにあたっては、内部振動機を下層のコンクリート中に 10cm 程度挿入しなければならない。
- (5) コンクリートを十分に締め固められるよう、内部振動機の挿入間隔および 1 か所あたりの振動時間を定めなければならない。また、内部振動機はコンクリートから徐々に引き抜き、後に穴が残らないようにしなければならない。
- (6) 再振動を行う場合には、コンクリートの締固めが可能な範囲でできるだけ遅い時期がよい。

【解説】フライアッシュコンクリートの締固めに関しては、通常のコンクリートと同様の注意を行う。フライアッシュ委員会では、試験施工において低勾配の伏せ型枠の場合、表面気泡が多く見られたことから、構造物の用途によっては表面気泡に対する対策を取ることが望ましい。

5. 3 養生

5. 3. 1 総則

フライアッシュコンクリートは、打込み後、硬化に必要な温度および湿度条件を保ち、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。

【解説】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）」に示すように養生への十分な配慮が必要であるとした。なお、フライアッシュ委員会における試験では、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを置換したコンクリート（呼び強度 27 の配合）の初期強度（材齢 3 日）は、10N/mm²以上であった。

【参考】（フライアッシュ委員会による試験データ）

表 5－3 にフライアッシュコンクリートの室内試験におけるフライアッシュコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。

なお、早月川産、庄川産、手取川産、能登産の配合は、27-8-25、九頭竜川産、滋賀県今津産の配合は、24-8-25 である。

表 5－3 圧縮強度試験結果

(N/mm²)

骨 材	3 日 強度	5 日 強度	7 日 強度	14 日 強度	28 日 強度	56 日 強度	91 日 強度
早月川産	15.1	22.4	25.1	33.0	37.7	47.3	50.8
庄川産	14.3	21.5	25.7	30.5	35.7	44.5	48.5
手取川産	14.1	19.1	22.2	26.3	32.8	35.5	38.3
能登産	12.7	19.9	22.7	27.1	34.0	40.4	41.8
平 均(27-8-25)	14.1	20.7	23.9	29.2	35.1	41.9	44.9
九頭竜川産	22.2	23.2	27.8	31.1	38.7	44.6	47.3
今津産	21.6	22.7	25.9	30.9	37.4	46.3	49.5
平 均(24-8-25)	21.9	22.9	26.9	31.0	38.1	45.5	48.4

5. 3. 2 湿潤養生

- (1) コンクリートの養生にあたっては、養生期間中、日光の直射、風等による水分の逸散を防ぐことはもちろん、コンクリートの露出面を常に湿潤状態に保たなければならない。
- (2) 表面を荒らさないで作業ができる程度に硬化したら、コンクリートの露出面は養生用マット、布等を濡らしたものでこれを覆うか、または散水あるいは湛水を行い、湿潤状態を保たなければならない。

【解説】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）」に示すように、(1)については、養生期間中はせき板に接している面でも、水分の逸散を少なくするために、シート等で日よけや風よけを設けることを基本とした。

(2)については、養生期間中に、壁、はり、柱等の型枠を取り外した場合には、その露出面を湿潤状態に保たなければならない。また、膜養生を行う場合には、一般の湿潤養生と異なることが多いので、あらかじめその効果を確認しておかなければならないとした。

5. 3. 3 湿潤養生期間

フライアッシュコンクリートの湿潤養生期間は、日平均気温が 15℃以上で 7 日間以上、10℃以上 15℃未満で 9 日間以上、5℃以上 10℃未満で 12 日以上を標準とする。

【解説】フライアッシュ委員会における試験では、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを置換したコンクリートの初期強度発現は、北陸地方の代表的骨材において、いずれも高炉セメントを使用したコンクリート以上であったことから、湿潤養生期間は土木学会「コンクリート標準示方書〔施工編〕」に示す混合セメント B 種と同等とした。

【参考】（土木学会「コンクリート標準示方書〔施工編〕」より「湿潤養生期間の標準」を抜粋）

表 5－4 に土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕で規定されている「湿潤養生期間の標準」に、今回設定したフライアッシュコンクリートの湿潤養生期間を合わせて示す。

表 5－4 湿潤養生期間の標準

日平均気温	今回設定	土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕		
	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 15℃未満	9 日	7 日	9 日	4 日
5℃以上 10℃未満	12 日	9 日	12 日	5 日

【参考】（フライアッシュ委員会による試験データ）

図5-11および図5-12にフライアッシュコンクリートの室内試験におけるフライアッシュコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。

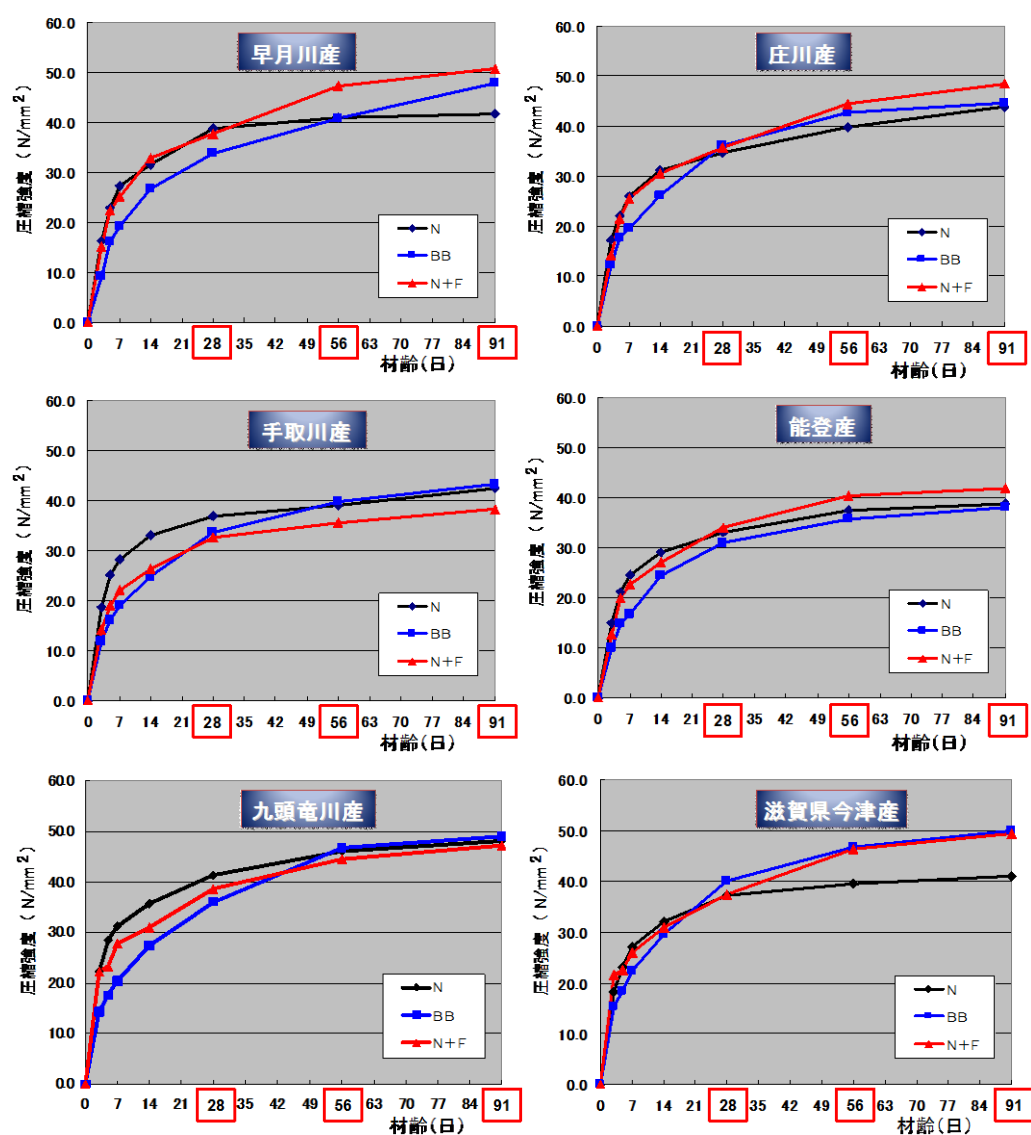


図5-11 圧縮強度結果（各骨材毎）

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

(呼び強度 27 のケース)

(N/mm²)

	3日 強度	5日 強度	7日 強度	14日 強度	28日 強度	56日 強度	91日 強度	28日→56日 の伸び率	28日→91日 の伸び率
N	16.8	22.9	26.6	31.2	35.7	39.1	41.2	9.5%	15.4%
BB	10.9	16.2	18.7	25.5	33.6	39.8	43.4	18.5%	29.2%
N+F	14.1	20.5	23.0	29.3	34.8	41.9	44.9	20.4%	29.0%

(呼び強度 24 のケース)

(N/mm²)

	3日 強度	5日 強度	7日 強度	14日 強度	28日 強度	56日 強度	91日 強度	28日→56日 の伸び率	28日→91日 の伸び率
N	20.3	25.8	29.2	33.9	39.3	42.8	44.5	8.9%	13.2%
BB	14.8	18.0	21.4	28.5	38.0	46.7	49.4	22.9%	30.0%
N+F	21.9	22.9	26.9	31.0	38.1	45.4	48.4	19.2%	27.0%

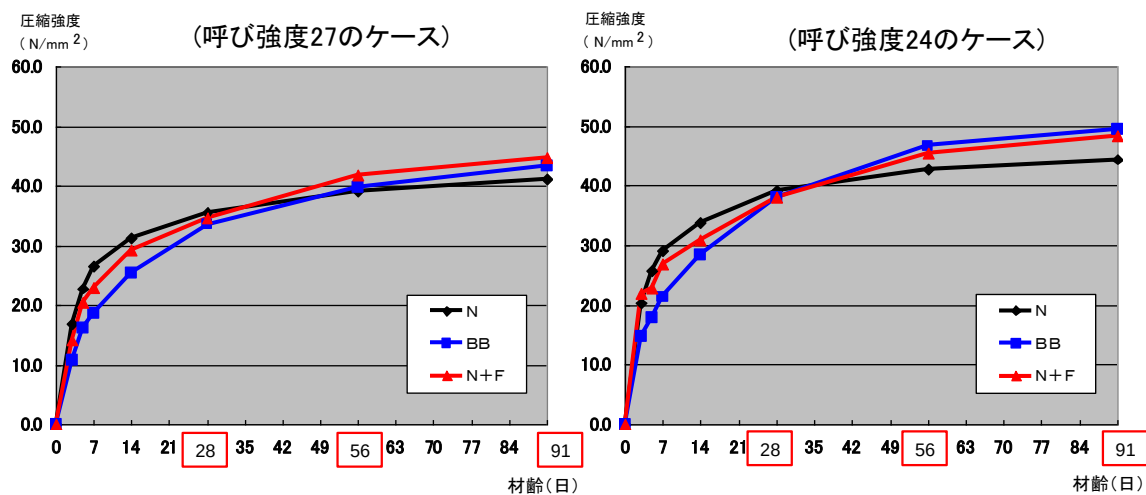


図 5-12 圧縮強度結果 (図 5-11 に示す各種骨材の平均値)

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種, N+F:フライアッシュ 15%置換(内割り))

5. 3. 4 養生温度

養生期間中は、コンクリートの表面温度を 10℃以上に保つことを原則とする。

【解説】「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）」（（社）土木学会コンクリートライブラリー 94、p33、1999 年）や「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針」（（社）土木学会コンクリートライブラリー 86、p29、1996 年）によれば、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、一般的に寒中コンクリートの場合のみならず気温が低い場合には、強度発現が遅れたり初期凍害を受ける恐れが大きいことが言われている。したがって、養生期間中はコンクリートの表面が急激に乾燥しないように注意したうえで、給熱または保温により、コンクリートの表面の温度を 10℃以上に保つことが望ましく、部材厚が薄い場合には特に注意を要する。

5. 4 仕上げ

打上り面の表面仕上げ

- (1) 締め固めが終わり、ほぼ所定の高さおよび形にならしたコンクリートの上面は、しみ出た水がなくなるかまたは上面の水を取り除くまで仕上げてはならない。
- (2) 仕上げ作業後、コンクリートが固まり始めるまでの間に発生したひび割れは、タンピングまたは再仕上げによって修復しなければならない。
- (3) 滑らかで密実な表面を必要とする場合には、作業が可能な範囲で、できるだけ遅い時期に、金ごてで強い力を加えてコンクリート上面を仕上げるものとする。

【解説】フライアッシュコンクリートの仕上げに関しては、通常のコンクリートと同様の注意を行う。

なお、フライアッシュ委員会における試験施工では、普通セメントにフライアッシュを置換したコンクリートでブリーディングが少なく、仕上げが仕易く、作業時間の短縮につながる場合もあった。また、仕上がり面の感想の中に「ＢＢに比べ表面気泡が多く感じられた」や「ＢＢに比べ黒っぽく感じた」との意見も聞かれた。

付則

1. このマニュアルは，平成 25 年 6 月 27 日から施行する。
2. フライアッシュコンクリート打込み時のコンクリートの温度に関する記載を改訂し平成 30 年 12 月 13 日から施行する。