「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」

－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－

報　告　書

（富山・石川・福井版）

平成 25 年 6 月

―委員会の設立にあたって―

当委員会の目的は、委員会の副題にもありますように、この地域でフライアッシュを用いたコンクリートを標準化することにより、「構造物の長寿命化」と「環境負荷低減」を目指していくということです。

この地域では特にアルカリシリカ反応（ＡＳＲ）の問題を抱えており、現状の JIS 5308 の対策でＡＳＲを完全に抑制することは難しいと考えています。さらに、北陸地域では海岸部を中心に塩害の問題もあります。従って、ＡＳＲと塩害の両方に効果のあるフライアッシュを用いることで、良質かつ耐久性に優れたコンクリートの供給が可能となります。また、現在、土木コンクリート構造物では高炉セメントを用いたものが一般的ですが、高炉セメント用の高炉スラグは北九州地区から輸送しております。そのため、地元の石炭火力発電所から副産物として産出されるフライアッシュを用いることは、建設資材の地域的活用による環境負荷低減の面からも効果的となります。

当委員会では、フライアッシュの供給体制や品質管理体制、フライアッシュコンクリートが汎用品として製造・供給されるために必要な技術的基準の確立、この地域の公共工事での標準化等が主な検討項目となります。当委員会を通じて、産学官が連携することによる技術的な信頼と社会的信用を確保しながら、この地域のコンクリートにフライアッシュが有効に活用されることを願っております。

委員長　鳥居和之

目　　次

１．委員会の活動

１）委員会の目的

委員会は、産学官が連携することによる技術的な信頼と社会的信用を確保しながら、コンクリートの耐久性の向上によるコンクリート構造物の長寿命化と建設資材の地域的な活用による環境負荷低減を目指し、コンクリートへのフライアッシュの有効利用を促進することを目的とする。

２）委員会の検討内容

委員会は以下の事項を確認・検討する。

(1) フライアッシュの品質保証とフライアッシュコンクリートの工学的性質の確認

(2) 北陸地方産のフライアッシュを用いたコンクリートの実用化のための各種試験の確認

(3) 北陸地方産のフライアッシュを用いたコンクリートの利用方策の検討（利用促進に向けた需要者側・供給者側の課題解決）

３）委員会の実施工程

表１－１　委員会実施工程表

２．北陸地方産のフライアッシュの品質

北陸地方には、**図２－１**に示す通り、富山県、石川県、福井県の各県に各々１箇所ずつ石炭火力発電所が稼動している。これらの石炭火力発電所（七尾大田火力発電所、敦賀火力発電所、富山新港火力発電所）から副産物として産出されるフライアッシュは、平成２２年度の実績では年間約６２万 ｔ であり、セメント原材料(粘土代替)を中心に、土地造成材や土木資材等に有効利用されている。

このうち、JIS 規格(JIS A6201)に適合するフライアッシュ(JIS 灰)については、コンクリートに混和することにより、コンクリートの施工性・耐久性などが向上することが知られており、七尾大田火力発電所では平成２１年８月に、敦賀火力発電所では平成２４年９月に、それぞれ分級装置を稼動させ、従来よりも高品質なフライアッシュを安定的に供給できる体制を構築した。これにより、七尾大田火力発電所での年間約３万ｔと敦賀火力発電所での年間約３万ｔの計年間約６万ｔの分級フライアッシュを供給できる体制が整うこととなる。ちなみに、この供給量は平成２１年度の北陸地方の公共工事（国・県・市町村）での生コンクリートの出荷量から、フライアッシュをセメントの１５％置換した場合のフライアッシュ使用量の算出結果約８万６千ｔの約７割に相当する。（**表２－１**参照）

さらに、七尾大田火力発電所の分級フライアッシュについては、石川県七尾市の 3,000t サイロ、富山県射水市の 60t サイロおよび 4,300t サイロを、敦賀火力発電所の分級フライアッシュについては、福井県福井市の 1,800t サイロ（七尾産と共用）を中継サイロとして、富山県・石川県・福井県への供給体制強化を図っている。（**図２－２**参照）

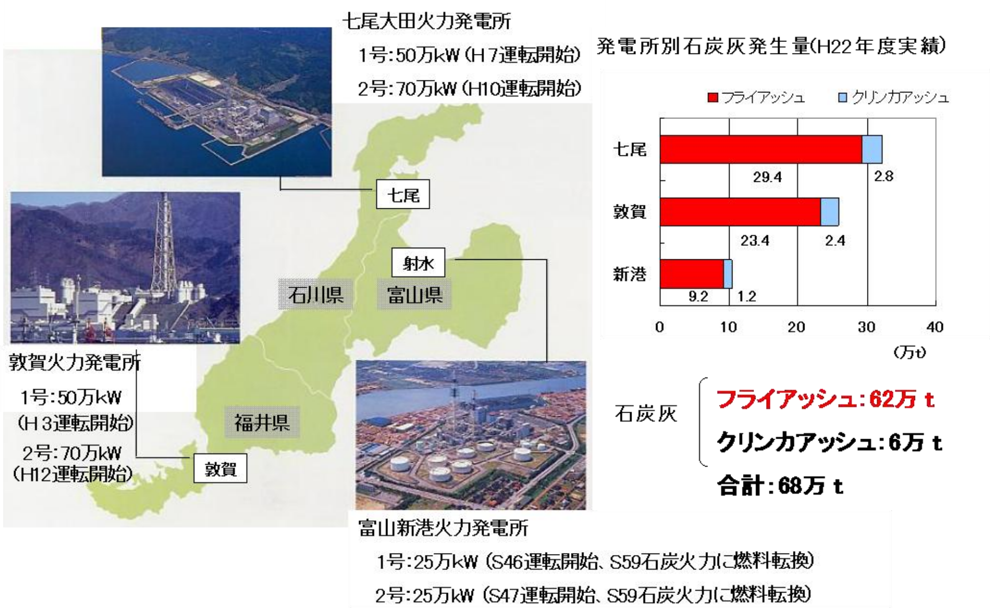


図２－１　北陸地方の石炭火力発電所の状況

表２－１　北陸地方の公共工事(国・県・市町村)でのフライアッシュの需要想定

		富山県	石川県	福井県	北陸(合計)
公共工事(国･県･市町村)での生コンクリート出荷量(平成21年度実績)		約 722,000 m^3	約 519,000 m^3	約 671,000 m^3	約 1,912,000 m^3
普通セメントとした場合	セメント使用量	約 216,600 t	約 155,700 t	約 201,300 t	約 573,600 t
ﾌﾗｲｱｯｼｭ(15%)を用いた場合	セメント使用量	約 184,110 t	約 132,345 t	約 171,105 t	約 487,560 t
	ﾌﾗｲｱｯｼｭ使用量	約　32,490 t	約　23,355 t	約　30,195 t	**約　86,040 t**

図２－２　フライアッシュの供給体制

１）北陸産分級フライアッシュの品質

北陸産分級フライアッシュの品質は、「JIS A6201　コンクリート用フライアッシュ」（**表２－２**参照）に示す JISⅡ種(市場で標準的に使用）の規格を保証する。フライアッシュ試験成績表の例を**図２－３**に示す。

フライアッシュの品質管理は、**図２－４**に示す JIS 灰製造・品質管理フローに従って行っている。まず、JIS 灰の製造が可能な石炭(JIS 灰候補炭)を、石炭調達計画に反映している。JIS 灰候補炭はこれまでの各炭種の品質管理データに基づいて選定しており、現在オーストラリア産の石炭のうち、主力の 2 ～3 炭種が JIS 灰候補炭に該当している。次に、JIS 灰候補炭の燃焼した際に発生するフライアッシュ(電気集じん器出口)についての品質確認を行う。品質管理項目としては、二酸化ケイ素、湿分、強熱減量、密度、粉末度、メチレンブルー吸着量である。ここで、JISⅡ種に適合したものについては、JIS 灰原粉サイロに一旦取り込まれ、その後分級装置にかけられ、粗粉は分級粗粉サイロに、細粉は JIS 灰製品サイロに取り込まれる。JIS 灰製品サイロに取り込まれたものは、品質確認で全品質管理項目が適合することを確認した後、JIS 灰として出荷される。以上、北陸産分級フライアッシュの品質については、JIS 灰候補炭の選定、電気集じん器での品質確認、JIS 灰製品サイロでの品質確認の 3 段階のチェックを行い万全を期している。

表２－２　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
二酸化けい素(%)		45.0以上	45.0以上	45.0以上	45.0以上
湿分(%)		1.0以下	1.0以下	1.0以下	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/cm³)		1.95以上	1.95以上	1.95以上	1.95以上
粉末度	45μ mふるい残分(%)	10以下	40以下	40以下	70以下
	比表面積(cm²/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

平成24年11月29日

日本海環境サービス株式会社

フライアッシュ試験成績表

製造工場：北陸電力株式会社　七尾大田火力発電所

試験場所：日本海環境サービス株式会社　七尾事業所

平成24年11月度

品質		規定値 JISⅡ種	試験値
二酸化けい素　%		45．0以上	66.2
湿分　%		1．0以下	0.1
強熱減量　%		5．0以下	1.8
密度　g／cm³		1．95以上	2.32
粉末度	45μmふるい残分　%	40　以下	0.4
	比表面積　cm²／g	2，500以上	4,870
フロー値比　%		95以上	110
活性度指数　%	材齢　28日	80以上	104
	材齢　91日	90以上	109
メチレンブルー吸着量　mg／g			0.61

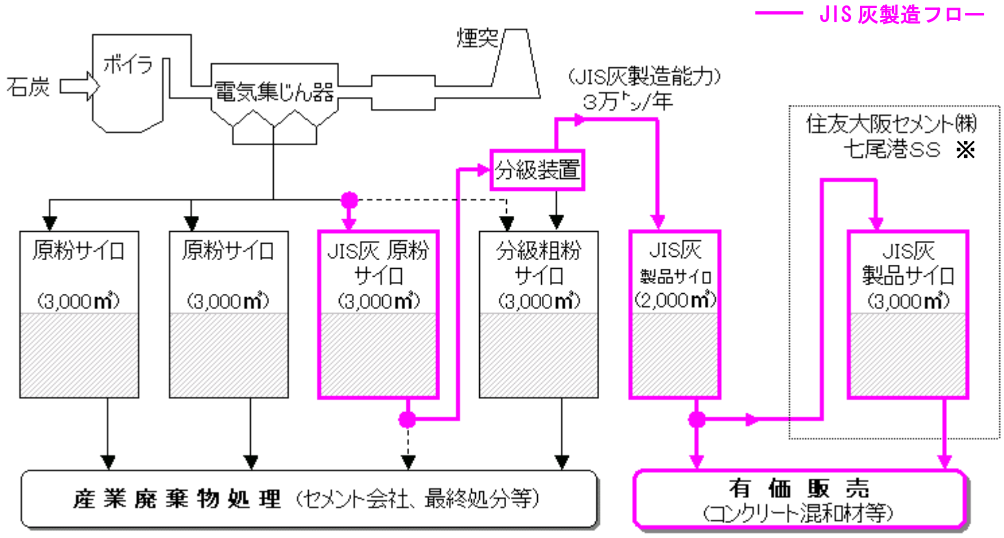
備考
・試験方法は、JIS　A　6201による。
・規定値は、JIS　A　6201に定めたⅡ種に基づく。
・メチレンブルー吸着量は規定外
・試験期間：平成24年8月～平成24年11月
・フライアッシュ：分級品

（製造業者）
北陸電力株式会社
日本海環境サービス株式会社

（連絡先）
日本海環境サービス株式会社　緑化・資源事業部
TEL　076－444－6802
FAX　076－444－6801

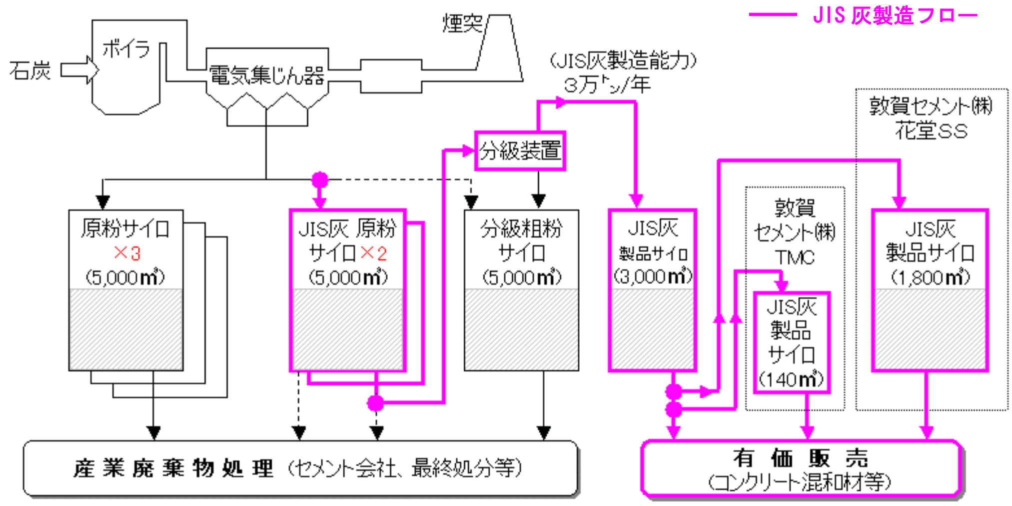
図２－３　フライアッシュ試験成績表の例

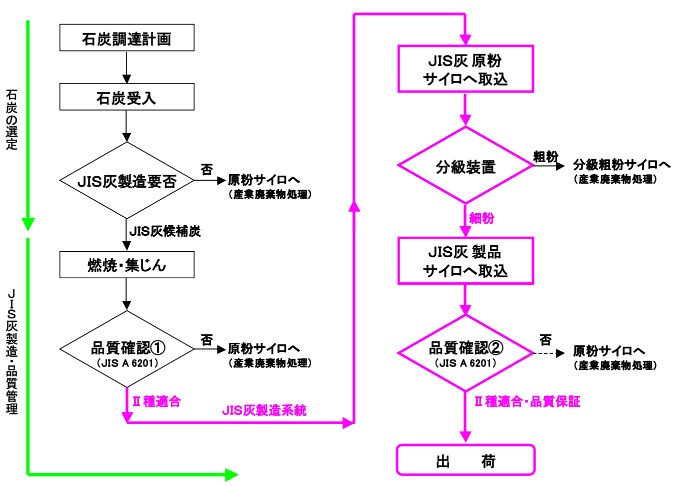
〔七尾大田火力発電所〕



※その他富山県にも２箇所の JIS 灰製品サイロ有り

〔敦賀火力発電所〕





			品質確認 ①	品質確認 ②
採取箇所			電気集じん器出口	JIS灰製品サイロ出口
頻度			JIS灰製造時、炭種切替毎	1回/月
確認項目（JIS A 6201）	二酸化けい素		○	○
	湿分		○	○
	強熱減量		○	○
	密度		○	○
	粉末度	45μ ふるい残分	○	○
		比表面積	○	○
	フロー値比		−	○
	活性度指数	材齢28日	−	○
		材齢91日	−	○
メチレンブルー吸着量			○	○
サンプル保管			−	○

図２−４　ＪＩＳ灰製造・品質管理フロー

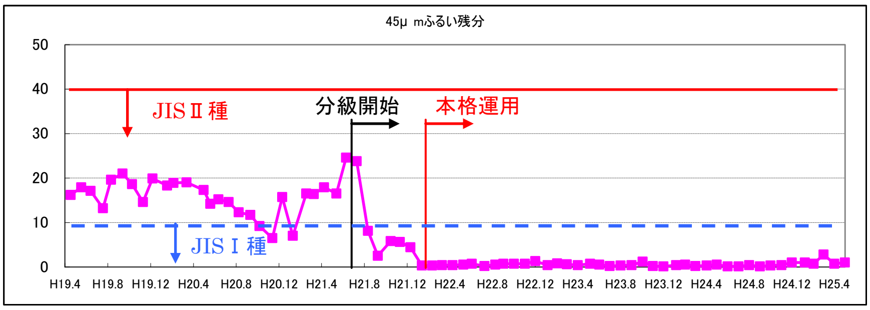
(1) 七尾産分級フライアッシュの品質

七尾大田火力発電所のフライアッシュの品質管理データの分級開始前後の推移(H19.4～H25.5)を、JIS 項目ごとに**図２－５～図２－１２**に示す。図より、七尾産分級フライアッシュの品質は、JISⅡ種の規格を満足するとともに、大部分の項目で JISⅠ種に近い値となっている。

a. 分級による改善が見込まれる JIS 項目

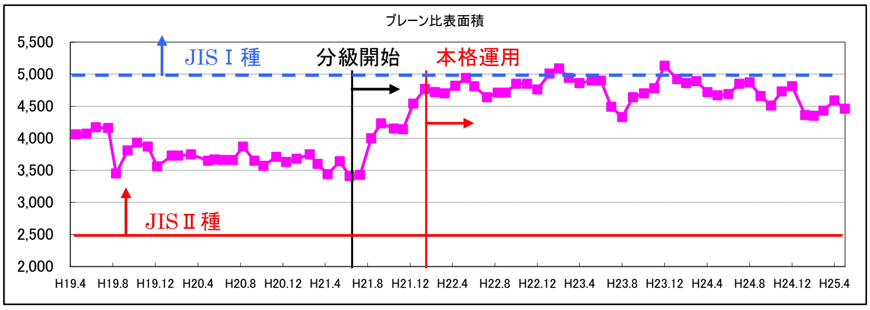
ポゾラン反応性や流動性に影響を与える粉末度のデータを**図２－５**に示す。45μm ふるい分け残分は、分級開始から減り、本格運用後は JISⅠ種の規格を満足している。一方、ブレーン比表面積は分級開始後から増え、本格運用後は JISⅠ種の規格に近い値を示している。

45μ m ふるい残分(%)



	分級開始前 (H21.7以前)	本格運用後 (H22.1以降)
max	24.6	2.8
min	6.5	0.1
ave	16.2	0.6
標準偏差	4.2	0.5
JISⅡ種	40以下	

ブレーン比表面積(cm²/g)

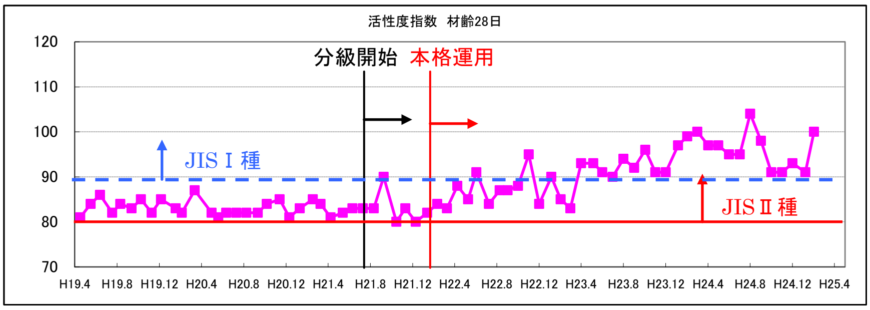


	分級開始前 (H21.7以前)	本格運用後 (H22.1以降)
max	4170	5130
min	3410	4330
ave	3725	4742
標準偏差	204	188
JISⅡ種	2500以上	

図２－５　粉末度の推移データ

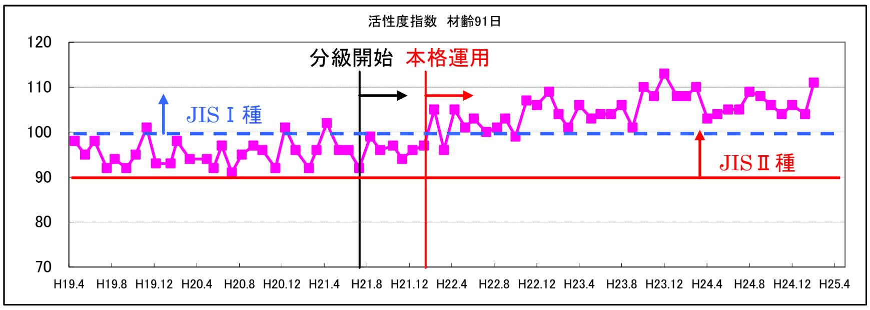
強度増進を示す一つの指標である活性度指数のデータを**図２－６**に示す。活性度指数は材齢 28 日、材齢 91 日ともに本格運用後、改善傾向を示しており、JIS Ⅰ種の規格に近い値を示している。

材齢 28 日（%）



	分級開始前（H21.7以前）	本格運用後（H22.1以降）
max	87	104
min	81	82
ave	83	91
標準偏差	1.6	5.4
JIS Ⅱ 種	80以上	

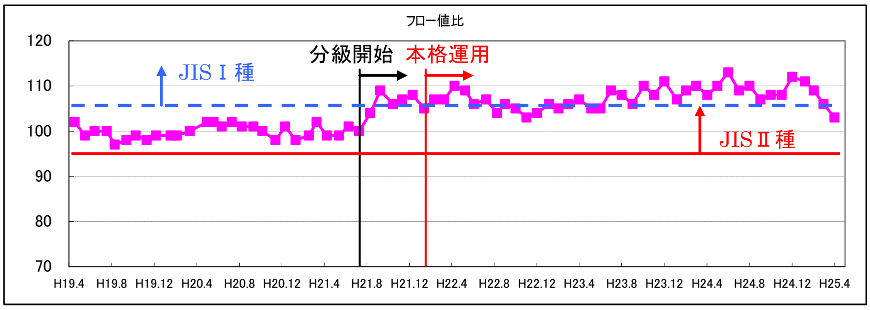
材齢 91 日（%）



	分級開始前（H21.7以前）	本格運用後（H22.1以降）
max	102	113
min	91	96
ave	95	105
標準偏差	2.9	3.7
JIS Ⅱ 種	90以上	

図２－６　活性度指数の推移データ

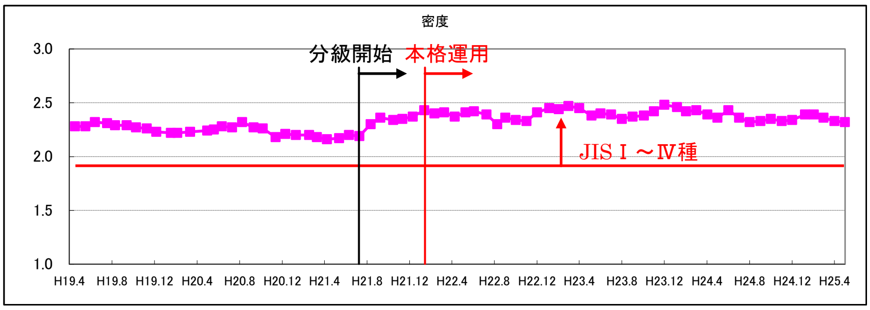
流動性を示す一つの指標であるフロー値比のデータを**図２－７**に示す。フロー値比は、本格運用後、JIS I 種の規格に近い値を示している。



	分級開始前（H21.7以前）	本格運用後（H22.1以降）
max	102	113
min	97	103
ave	100	107
標準偏差	1.4	2.4
JIS II 種	95以上	

図２－７　フロー値比の推移データ

コンクリート製造時の重量に影響を及ぼす密度のデータを**図２－８**に示す。
密度は、本格運用後、平均で 0.15g/cm³ 上昇している。

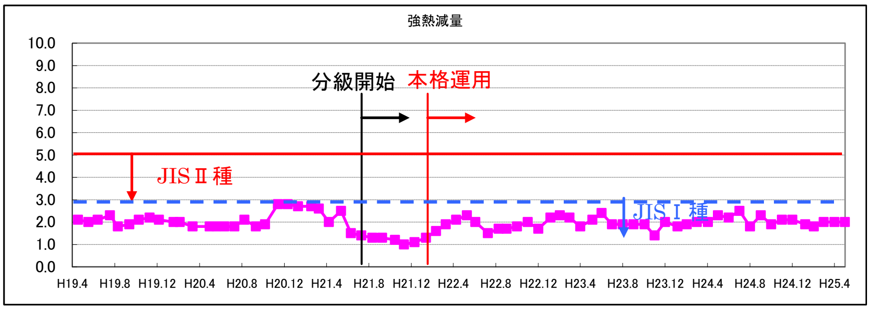


	分級開始前（H21.7以前）	本格運用後（H22.1以降）
max	2.32	2.48
min	2.16	2.30
ave	2.24	2.39
標準偏差	0.05	0.04
JIS II 種	1.95以上	

図２－８　密度の推移データ

b. その他の JIS 項目

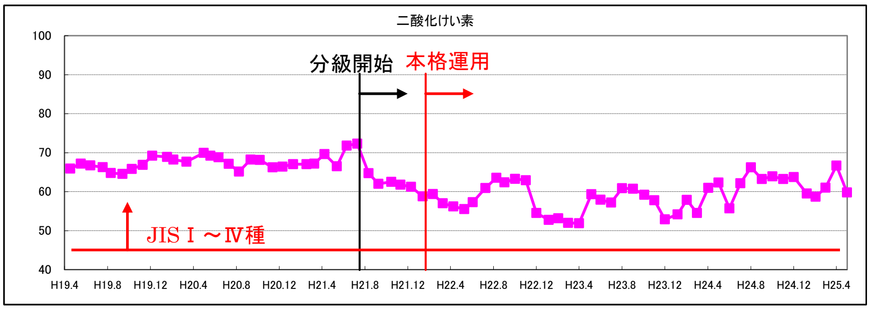
混和剤の必要量に影響を及ぼす強熱減量のデータを**図２－９**に示す。強熱減量は、平均で 2%前後と小さく、JIS I 種の規格を満足している。



	分級開始前（H21.7以前）	本格運用後（H22.1以降）
max	2.8	2.5
min	1.4	1.3
ave	2.1	2.0
標準偏差	0.4	0.3
JIS II 種	5.0以下	

図２－９　強熱減量の推移データ

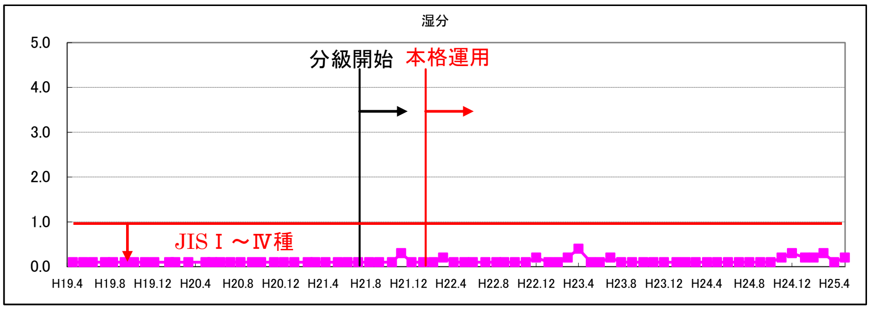
ポゾラン反応(P17 参照)に関する一つの目安値である二酸化けい素のデータを**図２－１０**に示す。二酸化けい素は、平均 59%程度であり、JIS の規格を十分満足している。



	分級開始前 (H21.7以前)	本格運用後 (H22.1以降)
max	72.3	66.7
min	64.6	51.9
ave	67.6	59.0
標準偏差	1.9	3.9
JIS Ⅱ種	45.0以上	

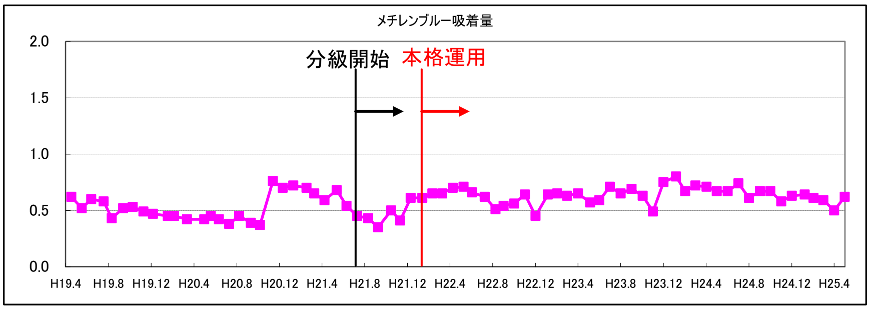
図２－１０　二酸化けい素の推移データ

コンクリート製造時の水分量に影響する湿分のデータを**図２－１１**に示す。湿分は、平均 0.1%以下であり、JIS の規格を十分満足している。



	分級開始前 (H21.7以前)	本格運用後 (H22.1以降)
max	0.1	0.4
min	<0.1	<0.1
ave	－	－
標準偏差	－	－
JIS Ⅱ種	1.0以下	

図２－１１　湿分の推移データ



	分級開始前 (H21.7以前)	本格運用後 (H22.1以降)
max	0.76	0.80
min	0.37	0.45
ave	0.53	0.64
標準偏差	0.11	0.07
JIS Ⅱ種	－	

（参考）　メチレンブルー吸着量の推移データ

七尾産分級フライアッシュ(H22.1～H25.5)の品質管理データを**表２－３**にまとめて再掲する。

表２－３　七尾産分級フライアッシュの JIS 項目データ

品質		規格値 JISⅡ種	分級フライアッシュの品質			
			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
湿分(%)		1.0以下	0.4	<0.1	－	－
強熱減量(%)		5.0以下	2.5	1.3	2.0	0.3
密度(g/cm^3)		1.95以上	2.48	2.30	2.39	0.04
粉末度	45μ ふるい残分(%)	40以下	2.8	0.1	0.6	0.5
	比表面積(cm^2/g)	2,500以上	5,130	4,330	4,742	188
ﾌﾛｰ値比(%)		95以上	113	103	107	2
活性度指数(%)	材齢28日	80以上	104	82	91	5.4
	材齢91日	90以上	113	96	105	3.7
(参考値)ﾒﾁﾚﾝﾌﾞﾙｰ吸着量(mg/g)		－	0.8	0.45	0.64	0.07

(2)敦賀産分級フライアッシュの品質

敦賀火力発電所の分級後(H24.12～H25.5)の品質管理データを JIS 項目ごとに**表２－４**に示す。表より、敦賀産分級フライアッシュの品質は、JISⅡ種の規格を十分に満足している。

表２－４　敦賀産分級フライアッシュの JIS 項目データ

品質		規格値 JISⅡ種	採取日					
			H24.12.3	H25.1.7	H25.2.6	H25.3.1	H25.4.1	H25.5.2
二酸化けい素(%)		45.0以上	62.7	61.1	62.6	61.8	63.4	66.3
湿分(%)		1.0以下	<0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1
強熱減量(%)		5.0以下	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.1
密度(g/cm^3)		1.95以上	2.28	2.30	2.29	2.29	2.29	2.28
粉末度	45μ ふるい残分(%)	40以下	2.1	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2
	比表面積(cm^2/g)	2,500以上	4,740	4,500	4,500	4,410	4,480	4,510
ﾌﾛｰ値比(%)		95以上	104	104	102	－	－	－
活性度指数(%)	材齢28日	80以上	84	86	84	－	－	－
	材齢91日	90以上	102	101	99	－	－	－
(参考値)ﾒﾁﾚﾝﾌﾞﾙｰ吸着量(mg/g)		－	0.92	0.96	0.92	0.92	0.86	0.81

品質		規格値 JISⅡ種	分級フライアッシュの品質			
			最大	最小	平均	標準偏差
二酸化けい素(%)		45.0以上	66.3	61.1	63.0	1.7
湿分(%)		1.0以下	0.1	<0.1	－	－
強熱減量(%)		5.0以下	3.3	3.1	3.2	0.1
密度(g/cm^3)		1.95以上	2.30	2.28	2.29	0.01
粉末度	45μ ふるい残分(%)	40以下	2.1	1.2	1.6	0.3
	比表面積(cm^2/g)	2,500以上	4,740	4,410	4,523	102
ﾌﾛｰ値比(%)		95以上	104	102	103	0.9
活性度指数(%)	材齢28日	80以上	86	84	85	0.9
	材齢91日	90以上	102	99	101	1.2
(参考値)ﾒﾁﾚﾝﾌﾞﾙｰ吸着量(mg/g)		－	0.96	0.81	0.90	0.05

２）北陸産フライアッシュの分級効果

北陸産フライアッシュの分級効果を確認するため、蛍光 X 線法による化学組成分析、レーザー回折法による粒度分布計測などを実施した。その結果、分級によりフライアッシュの粒子が細かくなる上に、SiO_2(シリカ)に富んだガラス質成分が増えることにより、ポゾラン反応性が向上することを確認した。

今回用いたフライアッシュの分級前（フライアッシュ原粉）と分級後（フライアッシュ分級品）の密度、比表面積および活性度指数を**表２－５**に示す。

表２－５　密度、比表面積および活性度指数

試料名		密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)	活性度指数(%)	
				材齢 28 日	材齢 91 日
七尾産	フライアッシュ原粉	2.36	3390	83	95
	フライアッシュ分級品	2.43	4780	91	104
敦賀産	フライアッシュ原粉	2.23	3740	81	95
	フライアッシュ分級品	2.36	4810	87	105

以下に、フライアッシュの分級による化学的効果と物理的効果に分けて比較結果を示す。

(1)化学的効果

a. 試験方法

蛍光 X 線法により、分級前後の化学組成分析を行う。また、粉末 X 線回折/リートベルト解析※により、分級前後の結晶質成分とガラス質成分の割合および結晶質成分の鉱物組成分析を行う。

※ X 線や中性子線といった電磁波と結晶質成分との相互作用により得られる回折像から、その結晶の構造がどのようなものであるかを解析するための手法。ガラス質成分の割合は、内標準物質（α-Al_2O_3 など）を一定量添加し、結晶質成分との割合を定量することで求める。

b. 試験結果

蛍光 X 線法による化学組成分析結果および強熱減量を**表２－６**に、粉末 X 線回折／リートベルト解析による鉱物組成分析結果を**表２－７**に示す。

表より、フライアッシュ分級品の方がフライアッシュ原粉よりも SiO_2（シリカ）量の割合およびガラス質成分の割合が高くなっている。このことは、化学組成では SiO_2（シリカ）量の多い方が、鉱物組成ではガラス質成分の方が一般的にポゾラン反応性が高いと言われている※ことから、分級によってフライアッシュのポゾラン反応性は高くなると考えられる。

※ 例えば、内川浩、宇智田俊一郎、羽原俊祐：セメント用混合材（スラグ、フライアッシュ、シリカフューム、もみ殻灰）中の非晶質相の構造とその水和反応性：セ技年報 39：pp36-pp40、1985

表２－６　蛍光Ｘ線法による化学組成分析結果および強熱減量

〔単位：%〕

試料名		化学組成分析											強熱減量
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	
七尾産	フライアッシュ原粉	50.93	29.53	8.01	4.36	0.82	0.15	0.25	0.55	1.38	0.86	0.12	1.8
	フライアッシュ分級品	53.60	28.93	6.74	3.20	0.77	0.22	0.30	0.72	1.39	0.98	0.09	2.0
敦賀産	フライアッシュ原粉	56.88	25.90	5.41	1.37	0.88	0.21	0.43	1.28	1.18	0.36	0.06	4.4
	フライアッシュ分級品	57.84	26.43	4.45	1.24	0.81	0.25	0.49	1.41	1.17	0.48	0.05	4.0

表２－７　粉末Ｘ線回折／リートベルト解析による鉱物組成分析結果

〔単位：%〕

試料名		結晶質成分				ガラス質成分	合計
		石英	ムライト	マグネタイト	ライム		
七尾産	フライアッシュ原粉	5.4	26.7	2.0	0.8	65.1	100.0
	フライアッシュ分級品	5.0	20.6	1.0	0.2	73.2	100.0
敦賀産	フライアッシュ原粉	9.9	22.0	1.4	0.0	66.6	100.0
	フライアッシュ分級品	8.7	19.0	0.7	0.0	71.6	100.0

(2) 物理的効果

a. 試験方法

レーザー回折法を用いて、分級前後の粒度分布を計測する。また、走査電子顕微鏡(SEM)にて反射電子像の観察を行う。

b. 試験結果

フライアッシュ原粉とフライアッシュ分級品のレーザー回折法による粒度分布測定結果を**図２－１３**に、走査電子顕微鏡による反射電子像を**図２－１４**に示す。図より、累積 50%の粒径はフライアッシュ原粉で 20.86μｍ（七尾産)、19.70μｍ（敦賀産)、フライアッシュ分級品で 7.61μｍ（七尾産)、7.10μｍ（敦賀産）とフライアッシュ分級品の粒径はフライアッシュ原粉の粒径の約 1/3 となっている。また、反射電子像では、分級により粒子の大きなものがなくなるとともに、角張った粒子、中空の粒子が少なくなり、細かく均等な球形の粒子が多くなっている。このことからも、分級によってポゾラン反応性は高くなると考えられる。

試料名		粒径（μm）		
		累積 10%	累積 50%	累積 90%
七尾産	フライアッシュ原粉	3.37	20.86	73.84
	フライアッシュ分級品	2.55	7.61	21.29
敦賀産	フライアッシュ原粉	3.54	19.70	71.81
	フライアッシュ分級品	2.44	7.10	17.69

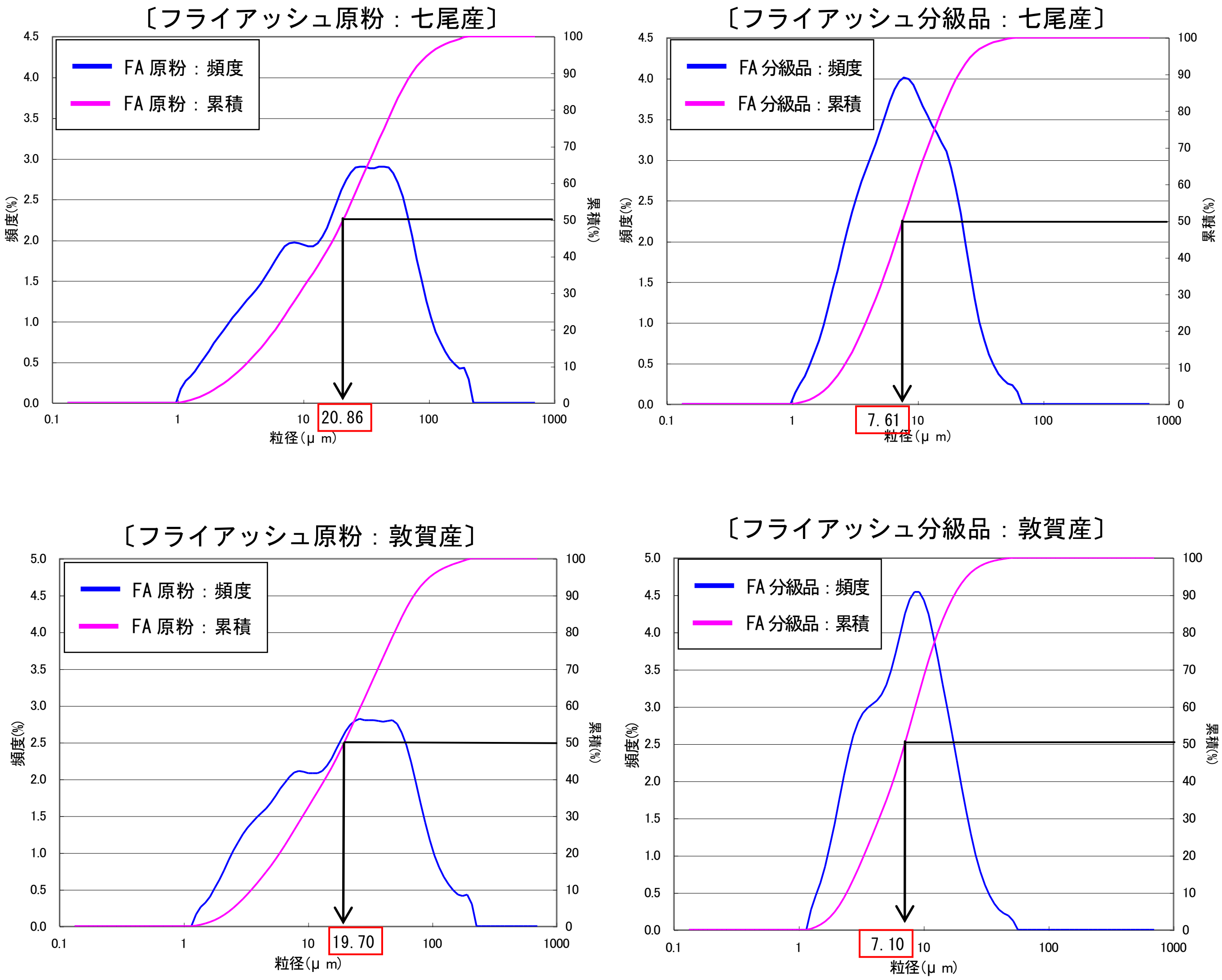
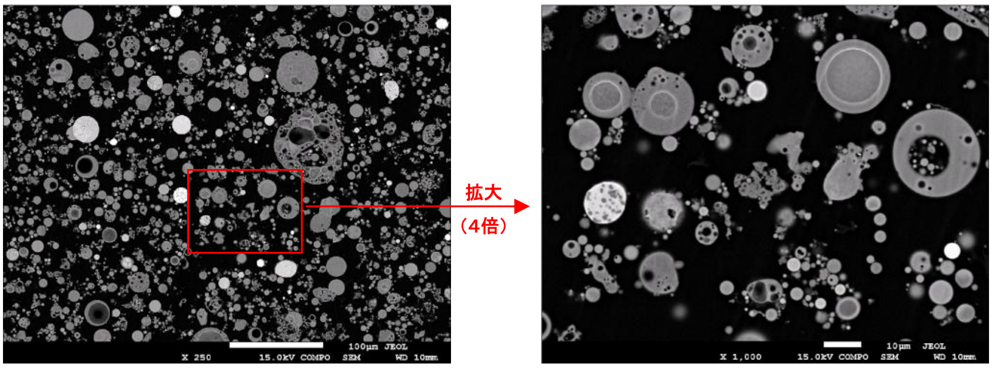


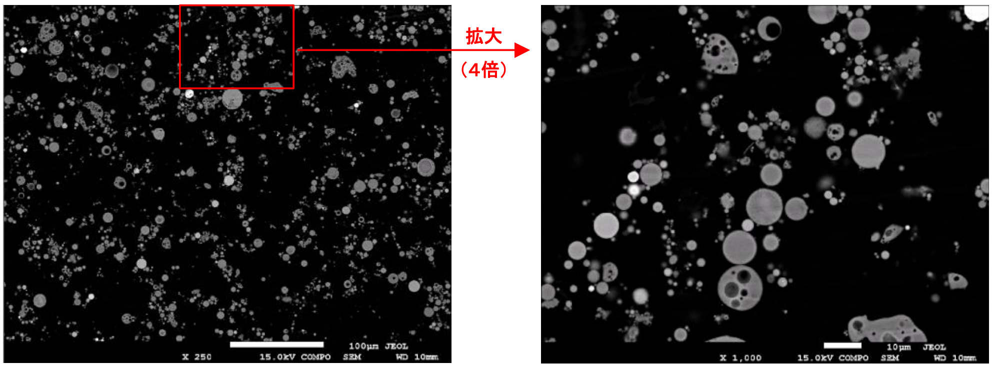
図２－１３　レーザー回折法による粒度分布測定結果

フライアッシュ原粉（七尾産）



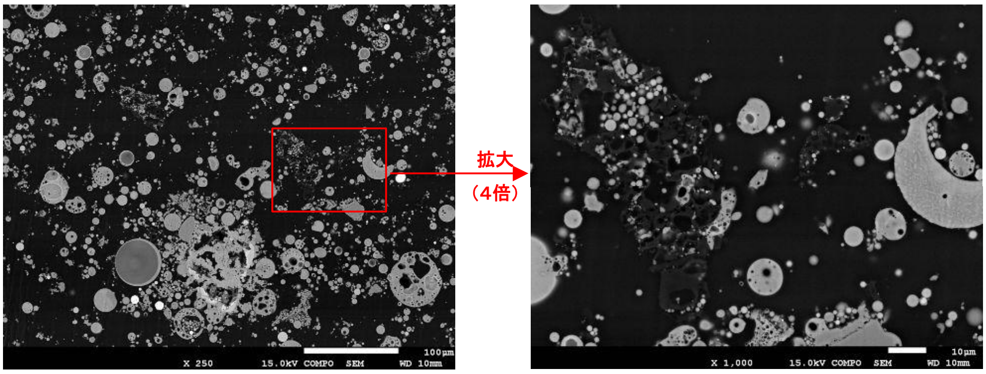
（倍率×250）　（倍率×1000）

フライアッシュ分級品（七尾産）



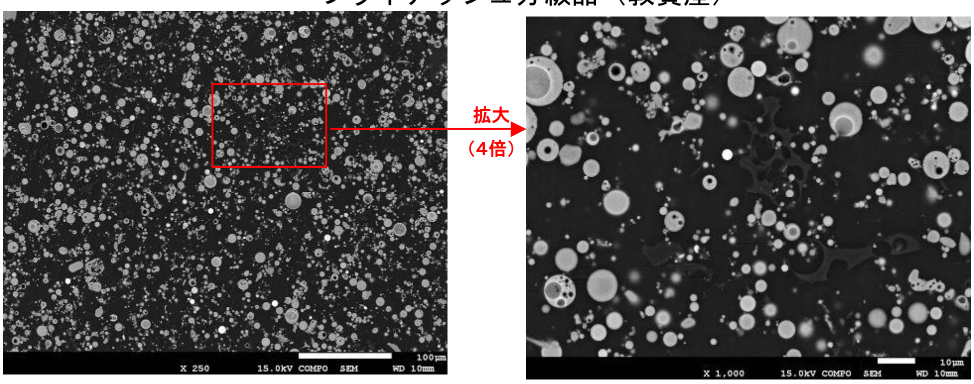
（倍率×250）　（倍率×1000）

フライアッシュ原粉（敦賀産）



（倍率×250）　（倍率×1000）

フライアッシュ分級品（敦賀産）



（倍率×250）　（倍率×1000）

図２－１４　走査電子顕微鏡による反射電子像

〔ポゾラン反応とは..〕

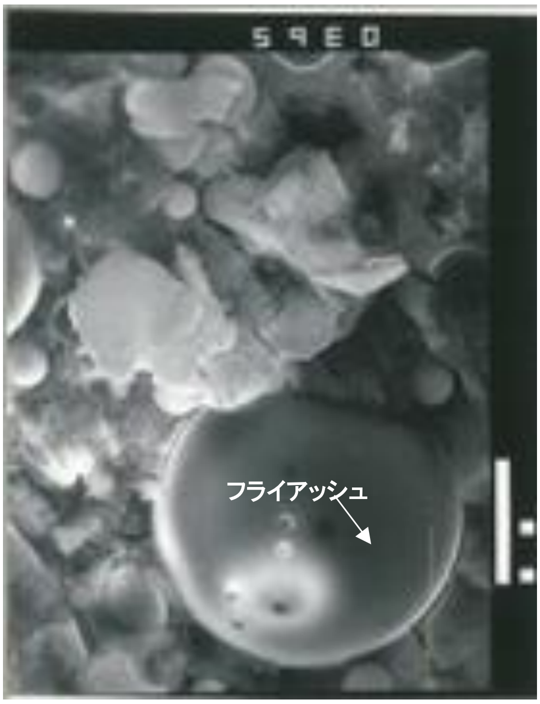
ポゾラン反応とは、フライアッシュの主成分である SiO_2（シリカ）や Al_2O_3（アルミナ）がセメントの水和によって生成される水酸化カルシウム $Ca(OH)_2$ と徐々に反応してケイ酸カルシウム水和物などを生成する反応である。このポゾラン反応によりコンクリートは緻密になり、コンクリートの長期耐久性が向上する。

参考として、コンクリート中のフライアッシュの二次電子像（材齢28日、材齢1年）を図２－１５に、ポゾラン反応の反応式の一例を以下に示す。

$Ca(OH)_2+[SiO_2,Al_2O_3]$

$\rightarrow nCaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$（ケイ酸カルシウム水和物）

$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$（アルミン酸カルシウム水和物）



材齢２８日のコンクリート

材齢１年のコンクリート

図２－１５　コンクリート中のフライアッシュの二次電子像（金沢大学より提供）

３．北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの実用化検討

北陸地方における代表的な骨材を用いた室内試験・実機試験を行い、フライアッシュコンクリートの実用化検討を行った。その結果、いずれの骨材においても実際の生コンクリート工場で品質の良いコンクリートを製造できることを確認した。

以下に、フライアッシュコンクリートの実用化に向けた検討結果を示す。

１）北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの室内試験結果

室内試験は、スランプ、空気量、圧縮強度を計測し、圧縮強度とＢ／Ｗ(Ｂ＝Ｃ＋Ｆ　ここに、Ｂ：結合材量、Ｃ：セメント量、Ｆ：フライアッシュ量)の関係式およびスランプと単位水量の関係式を得ることにより、配合設計の基礎資料を得ることを目的として実施した。その結果、同一条件の配合において、河川砂利を用いている早月川産、庄川産、手取川産、九頭竜川産の骨材については、フライアッシュを混和することで、単位水量を 1～12kg/m^3 減らすことができた。一方、砕石を用いている能登産、南条産、今津産の骨材については、単位水量の減水効果がみられなかった。これは、砕石では、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。

(1)使用材料

室内試験に使用した材料一覧を**表３－１**に示す。使用骨材としては、富山県・石川県・福井県で広く流通している早月川産骨材、庄川産骨材、手取川産骨材、能登産骨材、九頭竜川産骨材、福井県南条産骨材、滋賀県今津産骨材を選定した。フライアッシュは、普通ポルトランドセメントの内割りで 15%の置換率とした。これは、JIS A5308 レディミクストコンクリートではＡＳＲ抑制対策の最低値 15%が示されていること、フライアッシュを内割り置換した場合の初期強度の低下を抑えること等を勘案したものである。試験に使用したセメント、混和剤は、室内試験を実施した生コンクリート工場で通常使用されているものとした。使用したフライアッシュの品質を**表３－２**に、骨材の特徴を**表３－３～表３－９**に示す。

表３－１　使用材料一覧

項　目	富山県		石川県		福井県		
	早月川産	庄川産	手取川産	能登産	九頭竜川産	南条産	滋賀県今津産
普通ｾﾒﾝﾄ	電気化学工業㈱	電気化学工業㈱	太平洋ｾﾒﾝﾄ㈱	住友大阪ｾﾒﾝﾄ㈱	宇部三菱ｾﾒﾝﾄ㈱	太平洋ｾﾒﾝﾄ㈱	太平洋ｾﾒﾝﾄ㈱
混和材 ﾌﾗｲｱｯｼｭ	七尾産 ﾌﾗｲｱｯｼｭ	七尾産 ﾌﾗｲｱｯｼｭ	七尾産 ﾌﾗｲｱｯｼｭ	七尾産 ﾌﾗｲｱｯｼｭ	敦賀産 ﾌﾗｲｱｯｼｭ	敦賀産 ﾌﾗｲｱｯｼｭ	敦賀産 ﾌﾗｲｱｯｼｭ
水	地下水	地下水	地下水	地下水	地下水	地下水	地下水
細骨材１ 5㎜以下	早月川水系 上市建材㈱	庄川水系 ㈱野手組、 富士土石㈱	手取川水系 ㈱舟場組	石休場（砕砂） ㈱新出組	九頭竜川下流域 (陸砂) 九頭竜砂利工業	南条産（砕砂） ㈱ﾌｪﾆｯｸｽ	葉原（砕砂） ㈱堀居組
細骨材２	－	－	0.3㎜以下 高松産陸砂 たち建設㈱	2.5㎜以下 鳥屋産 鳥屋砂工業㈱	1.2㎜以下 あわら市内産 (陸砂) 刀ロ	2.5㎜以下 あわら市内産 (陸砂) 杉田建設興業㈱	1.2㎜以下 三国（陸砂） 福井砂採取 事業協同組合
粗骨材１	25㎜～5㎜ 早月川水系 上市建材㈱	25㎜～5㎜ 庄川水系 ㈱野手組、 富士土石㈱	25㎜～5㎜ 手取川水系 ㈱舟場組	25㎜～5㎜ 石休場（砕石） ㈱新出組	10㎜～5㎜ 九頭竜川下流域 (陸砂利) 九頭竜砂利工業	10㎜～5㎜ 南条産(砕石) ㈱ﾌｪﾆｯｸｽ	今津(砕石) 高島鉱建
粗骨材２	40㎜～20㎜ 早月川水系 上市建材㈱	40㎜～20㎜ 庄川水系 ㈱野手組	40㎜～20㎜ 手取川水系 ㈱河野石産	40㎜～20㎜ 石休場（砕石） ㈱新出組	25㎜～10㎜ 九頭竜川下流域 (陸砂利) 九頭竜砂利工業	20㎜～10㎜ 南条産(砕石) ㈱ﾌｪﾆｯｸｽ	－
粗骨材３	－	－	－	－	40㎜～25㎜ 九頭竜川下流域 (陸砂利) 九頭竜砂利工業	40㎜～20㎜ 南条産(砕石) ㈱ﾌｪﾆｯｸｽ	－
混和剤 AE減水剤	ﾀﾞｰﾚｯｸｽF-1 ｸﾞﾚｰｽｹﾐｶﾙｽﾞ㈱	ﾀﾞｰﾚｯｸｽWRDA ｸﾞﾚｰｽｹﾐｶﾙｽﾞ㈱	ﾁｭｰﾎﾟｰﾙEX60T 竹本油脂㈱	ﾌﾛｰﾘｯｸS ㈱ﾌﾛｰﾘｯｸ	90SE 山宗化学㈱	ﾌﾛｰﾘｯｸSV10L ㈱ﾌﾛｰﾘｯｸ	ﾘｸﾞｴｰｽUA BASFｼﾞｬﾊﾟﾝ㈱
混和剤 AE剤	ﾀﾞｰﾚｯｸｽAEA-FA ｸﾞﾚｰｽｹﾐｶﾙｽﾞ㈱	ﾀﾞｰﾚｯｸｽAEA-FA ｸﾞﾚｰｽｹﾐｶﾙｽﾞ㈱	AE-300 竹本油脂㈱	ﾌﾛｰﾘｯｸAE-4 ㈱ﾌﾛｰﾘｯｸ	AE01 花王	ﾌﾛｰﾘｯｸAE-9B ㈱ﾌﾛｰﾘｯｸ	ﾏｲｸﾛｴｱ303A BASFｼﾞｬﾊﾟﾝ㈱

表３－２　フライアッシュの品質

	JIS A6201 項目									備考
	二酸化けい素(%)	湿分(%)	強熱減量(%)	密度(g/cm^3)	粉末度		フロー値比(%)	活性度指数(%)		
					45μmふるい残分(%)	比表面積(cm^2/g)		材齢28日	材齢91日	
七尾産	53.35	0.10	2.0	2.44	0.8	4,870	106	91	99	H23年4月ﾃﾞｰﾀ
敦賀産	67.23	<0.1	3.3	2.26	1.7	4,740	100	84	99	H24年7月ﾃﾞｰﾀ

表３－３　早月川産骨材の特徴

			種類・銘柄	粗粒率	特徴
早月川産	砂利	G1	早月川産川砂利 25～5mm	6.90	・主要な岩種は花崗岩、閃緑岩などの深成岩。 ・玉砕を混合しているため、角張ったものも混ざっている。
		G2	早月川産川砂利 40～20mm	―	・主要な岩種は花崗岩、閃緑岩などの深成岩。 ・玉砕を混合しているため、角張ったものも混ざっている。
		G1,G2 混合	早月川産川砂利 40～5mm	7.36	―
	砂	S1	早月川産川砂	2.67	・深成岩を起源とする石英、長石などの結晶を含んでおり、白っぽく角張った粒子が多い。


砂利(G1)


砂利(G2)


砂(S1)

表３－４　庄川産骨材の特徴

			種類・銘柄	粗粒率	特徴
庄川産	砂利	G1	庄川産陸砂利 25mm	6.88	・多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含んでいる。 ・ほとんどのものは角が取れており、表面が滑らかである。
		G2	庄川産陸砂利 25mm		・多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含んでいる。 ・ほとんどのものは角が取れており、表面が滑らかである。
		G3	庄川産陸砂利 40mm	7.33	・多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含んでいる。 ・ほとんどのものは角が取れており、表面が滑らかである。
	砂	S1	庄川産陸砂 5mm	2.70	・さまざまな粒子を含んでおり、茶褐色。
		S2	庄川産陸砂 5mm		・さまざまな粒子を含んでおり、茶褐色。


砂利(G1)


砂利(G2)


砂利(G3)

砂(S1)


砂(S2)


表３－５　手取川産骨材の特徴

			種類・銘柄	粗粒率	特徴
手取川産	砂利	G1	手取川産陸砂利 25～5㎜	6.84	・多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含んでいる。 ・角が取れているものが多い。
		G2	手取川産陸砂利 40～25㎜	－	・多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含んでいる。 ・角が取れているものが多い。
		G1,G2 混合	手取川産陸砂利 40～5㎜	7.26 (G1:G2=60:40)	－
	砂	S1	手取川産陸砂 5㎜(粗砂)	2.60 (G1:G2=80:20)	・様々な粒子を含んでおり、黒っぽい。
		S2	高松産陸砂 0.3㎜(細砂)		・細かい粒子からなり、茶褐色。

砂利(G1)

砂利(G2)

砂(S1)

砂(S2)

表３－６　能登産骨材の特徴

			種類・銘柄	粗粒率	特徴
能登産	砂利	G1	石休場産砕石 25～5㎜	6.89	・岩種は安山岩。 ・砕石なので角張っている。
		G2	石休場産砕石 40～20㎜	7.94	・岩種は安山岩。 ・砕石なので角張っている。
		G1,G2 混合	石休場産砕石 40～5㎜	7.31 (G1:G2=60:40)	－
	砂	S1	鳥屋産山砂 2.5㎜以下	2.46	・様々な粒子を含んでおり、白っぽい。
		S2	石休場産砕砂 5㎜以下	3.42	・安山岩の砕砂であり、黒っぽく角張っている。

砂利(G1)

砂利(G2)

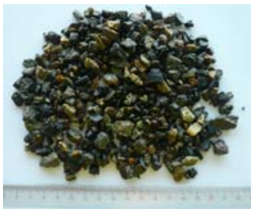
砂(S1)

砂(S2)

表３－７　九頭竜川産骨材の特徴

			種類・銘柄	粗粒率	特徴
九頭竜川産	粗骨材	G1	九頭竜川下流域(陸砂利) 10㎜～5㎜	5.95	・多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含んでいる。 ・角が取れているものが多い。
		G2	九頭竜川下流域(陸砂利) 25～10㎜	7.05	
		G3	九頭竜川下流域(陸砂利) 40～25㎜	7.31 (40～5㎜)	
九頭竜川産	細骨材	S1	九頭竜川下流域(陸砂) 5㎜	2.90	・様々な粒子を含んでおり、黒っぽい。
あわら市内産		S2	あわら市内産(陸砂) 1.2㎜	1.70	・細かい粒子からなり、茶褐色。

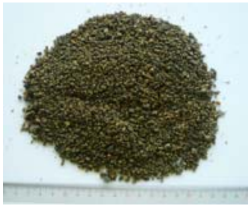
粗骨材(G1)



粗骨材(G2)

粗骨材(G3)

細骨材(S1)



細骨材(S2)

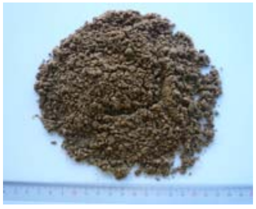


表３－８　南条産骨材の特徴

			種類・銘柄	粗粒率	特徴
南条産	粗骨材	G1	南条産(砕石) 10～5㎜	6.04	・チャートが主要な岩種の砕石で、角張っている。 ・少量の閃緑岩もしくは輝緑岩を含む。
		G2	南条産(砕石) 20～10㎜	7.01	
		G3	南条産(砕石) 40～20㎜	7.97	
南条産	細骨材	S1	南条産(砕砂) 5㎜	3.42	・チャートの砕砂であり、黒っぽく角張っている。
あわら市内産		S2	あわら市内産(陸砂) 2.5㎜	1.80	・細かい粒子からなり、茶褐色。

粗骨材(G1)

粗骨材(G2)

粗骨材(G3)

細骨材(S1)

細骨材(S2)

表３－９　滋賀県今津産骨材の特徴

			種類・銘柄	粗粒率	特徴
今津産	砂利	G1	今津産砕石 10mm	6.40	・砂岩（凝灰岩質）の砕石で、角張っている。
		G2	今津産陸砕石 20mm	7.20	
		G3	今津産陸砕石 40mm	8.00	
三国産	砂	S1	三国産陸砂(細砂) 1.2mm	1.82	・細かい粒子からなり、茶褐色。
		S2	葉原産(粗砂) 5mm	3.42	・硬質砂岩の砕砂であり、黒っぽく角張っている。

粗骨材(G1)

粗骨材(G2)

粗骨材(G3)

細骨材(S1)

細骨材(S2)

(2)実施ケース

室内試験の実施ケースを**表３－１０**に示す。基本配合は、W／B：60、50、40%、スランプ※1：8、12、15、18cm、粗骨材の最大寸法 25mm（20mm）、45mm、空気量※2：4.5%とし、各工場の配合設計の方法に従い実施した。

※1 早月川産、庄川産、手取川産、九頭竜川産、南条産、今津産のスランプは、荷卸し地点でのスランプロスを考慮し、基本配合のスランプ(8, 12, 15, 18)+1cm とした。
※2 早月川産、庄川産、手取川産、九頭竜川産、南条産、今津産の空気量は、荷卸し地点での空気量ロスを考慮し、基本配合の空気量(4.5)+0.5%とした。

混和剤の種類の詳細を**表３－１１**に、フライアッシュ使用量と AE 剤添加量との関係を**図３－１**示す。図より、フライアッシュの使用量に応じた AE 剤の添加量が関係式から決定でき、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。

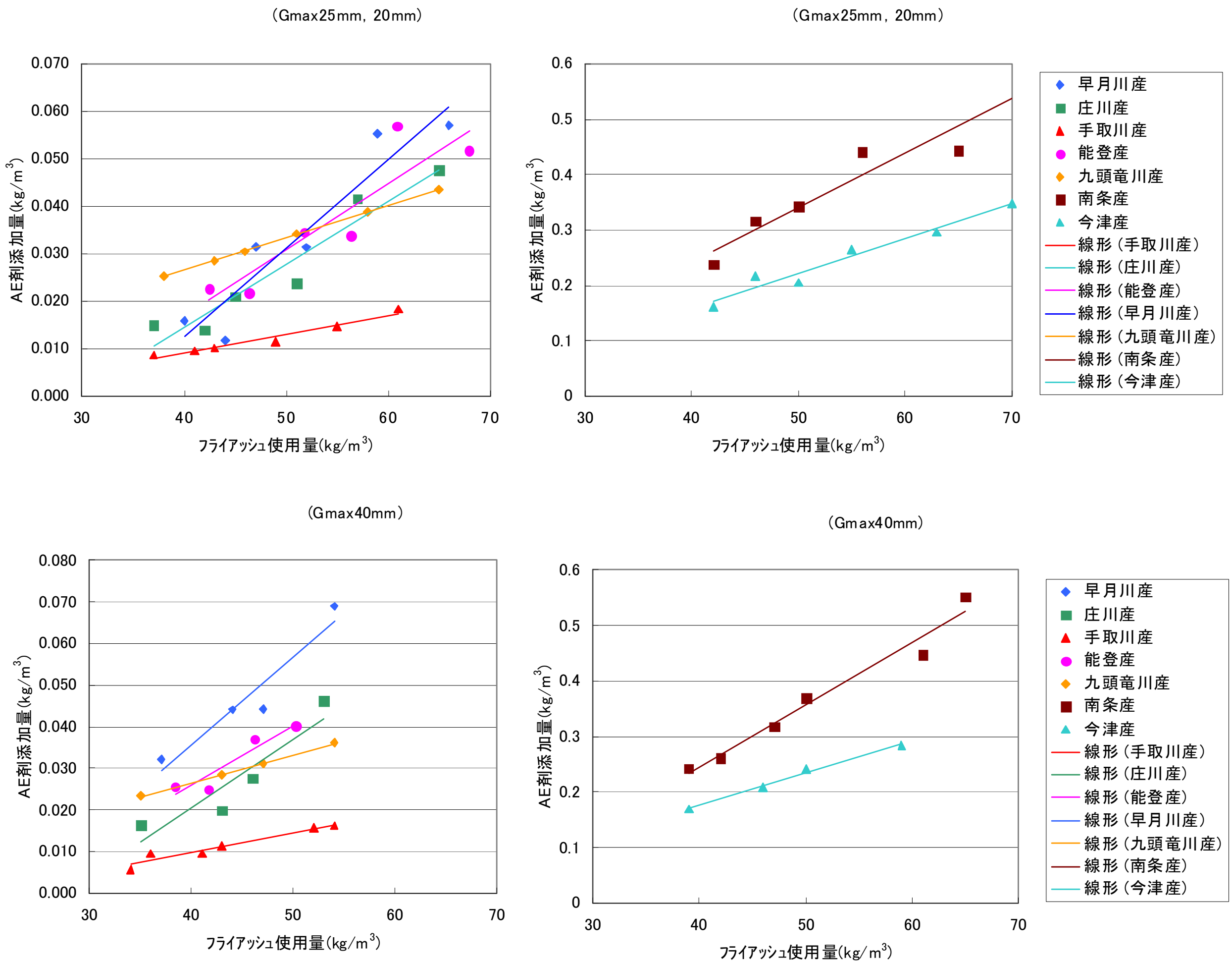
なお、AE 減水剤は、単位セメントと単位フライアッシュ量の合計の約 1%を添加した。

表３－１０　室内試験実施ケース一覧

生コンクリート工場名	実施ケース	実施日	備　考
デンカ生コン富山㈱ （早月川産）	最大骨材寸法 25mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm 最大骨材寸法 40mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 16cm　計１０ケース	平成 23 年 5 月 11 日	管理基準 スランプ 9, 16, 19±1cm 空気量 5.0±1%
呉西生コン㈱ （庄川産）	最大骨材寸法 25mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm 最大骨材寸法 40mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 16cm　計１０ケース	平成 23 年 4 月 27 日	管理基準 スランプ 9, 16, 19±1cm 空気量 5.0±1%
日本海生コン㈱ （手取川産）	最大骨材寸法 25mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm 最大骨材寸法 40mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 13cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 13cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 13cm 計１２ケース	平成 23 年 4 月 20	管理基準 スランプ 9, 13, 19±1cm 空気量 5.0±1%
㈱新出組 （能登産）	最大骨材寸法 25mm W/B 60.5%-ｽﾗﾝﾌﾟ 8cm、W/B 49.0%-ｽﾗﾝﾌﾟ 8cm、W/B 40.6%-ｽﾗﾝﾌﾟ 8cm、 W/B 60.5%-ｽﾗﾝﾌﾟ 18cm、W/B 49.0%-ｽﾗﾝﾌﾟ 18cm、W/B 40.6%-ｽﾗﾝﾌﾟ 18cm 最大骨材寸法 40mm W/B 60.5%-ｽﾗﾝﾌﾟ 8cm、W/B 49.0%-ｽﾗﾝﾌﾟ 8cm、 W/B 60.5%-ｽﾗﾝﾌﾟ 15cm、49.0%-ｽﾗﾝﾌﾟ 15cm　計１０ケース	平成 23 年 4 月 12 日 4 月 13 日	管理基準 スランプ 8, 15, 18±1cm 空気量 4.5±1%
福井宇部生コン㈱芦原工場 （九頭竜川産）	最大骨材寸法 25mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm 最大骨材寸法 40mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 16cm　計１０ケース	平成 24 年 9 月 14 日 9 月 15 日	管理基準 スランプ 9, 16, 19±1cm 空気量 5.0±1%
武生小野田生コン㈱ （南条産）	最大骨材寸法 20mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm 最大骨材寸法 40mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 16cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 16cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 16cm 計１２ケース	平成 24 年 9 月 12 日	管理基準 スランプ 9, 16, 19±1cm 空気量 5.0±1%
㈱日本ピーエス （今津産）	最大骨材寸法 20mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 19cm 最大骨材寸法 40mm W/B 60%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、W/B 40%-ｽﾗﾝﾌﾟ 9cm、 W/B 50%-ｽﾗﾝﾌﾟ 16cm　計１０ケース	平成 24 年 9 月 7 日	管理基準 スランプ 9, 16, 19±1cm 空気量 5.0±1%

表３－１１ 混和剤の種類

		種類	銘柄（生産者）	備 考
早月川産	AE剤	AE剤Ⅰ種	ﾀﾞｰﾚｯｸｽAEA-FA （ｸﾞﾚｰｽｹﾐｶﾙ㈱）	ﾌﾗｲｱ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	ﾀﾞｰﾚｯｸｽF-1 （ｸﾞﾚｰｽｹﾐｶﾙ㈱）	一般用 ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸化合物
庄川産	AE剤	AE剤Ⅰ種	ﾀﾞｰﾚｯｸｽAEA-FA （ｸﾞﾚｰｽｹﾐｶﾙ㈱）	ﾌﾗｲｱ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	ﾀﾞｰﾚｯｸｽWRDA （ｸﾞﾚｰｽｹﾐｶﾙ㈱）	標準形 ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸塩
手取川産	AE剤	AE剤Ⅰ種	AE-300 （竹本油脂㈱）	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	ﾁｭｰﾎﾟｰﾙEX60T （竹本油脂㈱）	高機能ﾀｲﾌﾟ 変性ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸化合物と ﾎﾟﾘｶﾙﾎﾞ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 （㈱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) （㈱ﾌﾛｰﾘｯｸ）	ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸塩/ｵｷｼｶﾙﾎﾞﾝ酸塩
九頭竜川産	AE剤	AE剤Ⅰ種	ﾏｲﾃｨｰAE01 （花王㈱）	特殊AE剤
	AE減水剤	AE減水剤標準形Ⅰ種	90SE （山宗化学㈱）	ﾘｸﾞﾆ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 （㈱ﾌﾛｰﾘｯｸ）	ﾌﾗｲｱ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 （㈱ﾌﾛｰﾘｯｸ）	ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸塩、ｵｷｼｶﾙﾎﾞﾝ酸塩とﾎﾟﾘｶﾙﾎﾞﾝ酸系化合物
今津産	AE剤	AE剤Ⅰ種	ﾏｲｸﾛｴｱ 303A （BASFｼﾞｬﾊﾟﾝ㈱）	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	ﾘｸﾞｴｰｽUA （BASFｼﾞｬﾊﾟﾝ㈱）	無塩化ﾀｲﾌﾟ ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸化合物と ｵｷｼｶﾙﾎﾞﾝ酸化合物の複合体



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

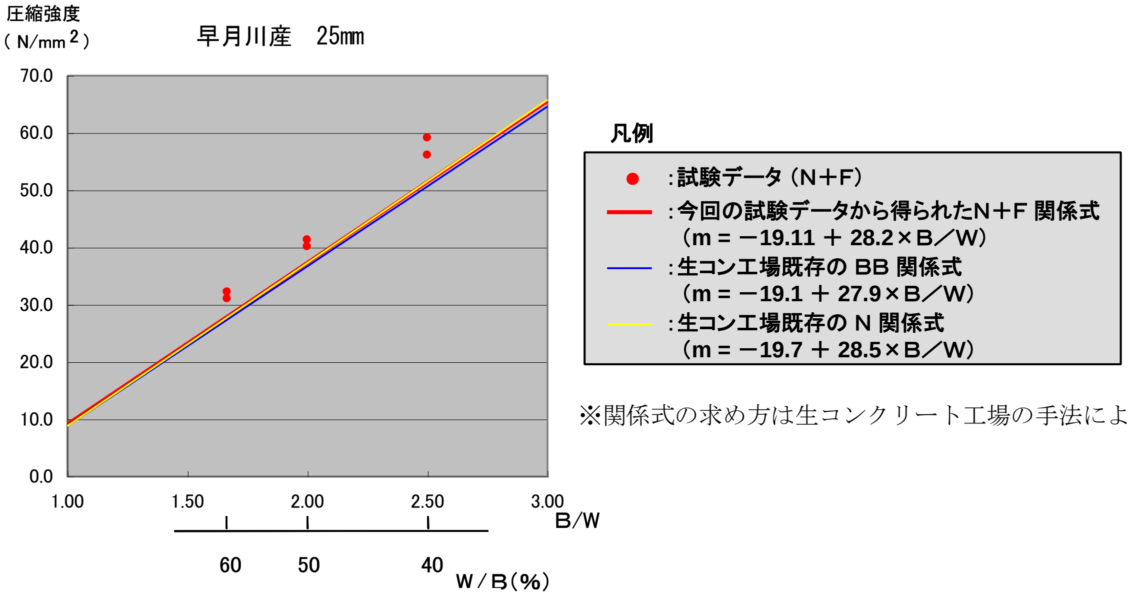
図３－１　フライアッシュ使用量と AE 剤添加量の関係

(3) 室内試験結果

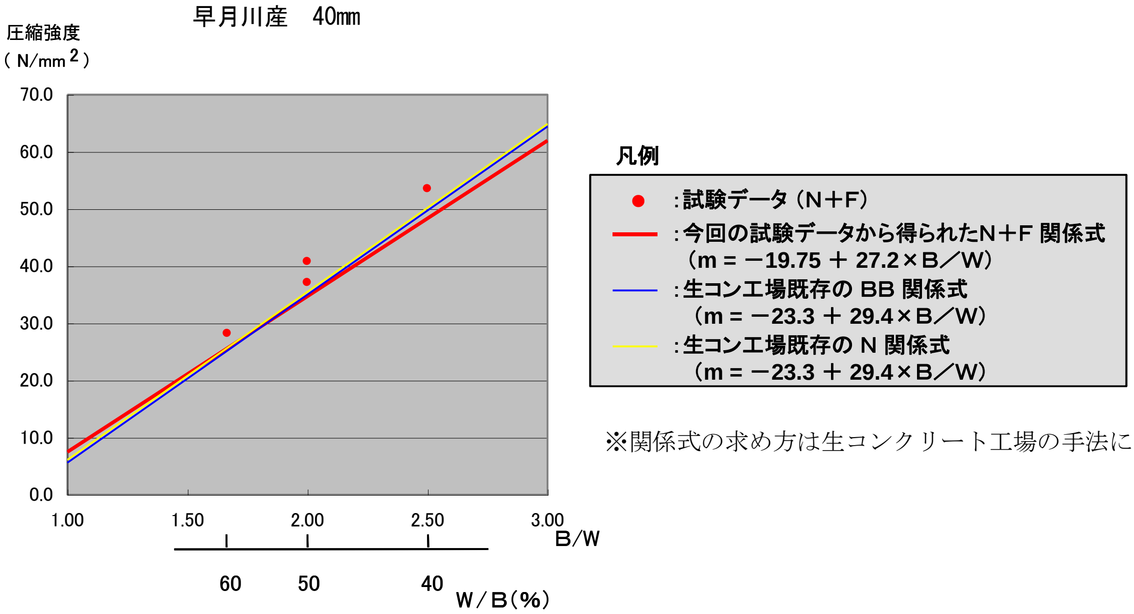
a. 圧縮強度（材齢 28 日）とＢ／Ｗの関係

圧縮強度とＢ／Ｗとの関係を**図３－２～図３－８**に示す。なお、今回の試験データから得られたＮ＋Ｆ関係式は、各生コンクリート工場で通常算出している方法で求めた。図より、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）の圧縮強度は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（Ｎ)、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）の圧縮強度と同等、もしくは、少し低くなる程度であった。

また、各骨材毎の材齢と圧縮強度の関係を**図３－９**に示す。材齢 28 日に対する材齢 56 日の強度の増加率は平均で約 17%､材齢 28 日に対する材齢 91 日の強度の増加率は、平均で約 25%であり、長期強度の増進が確認された。



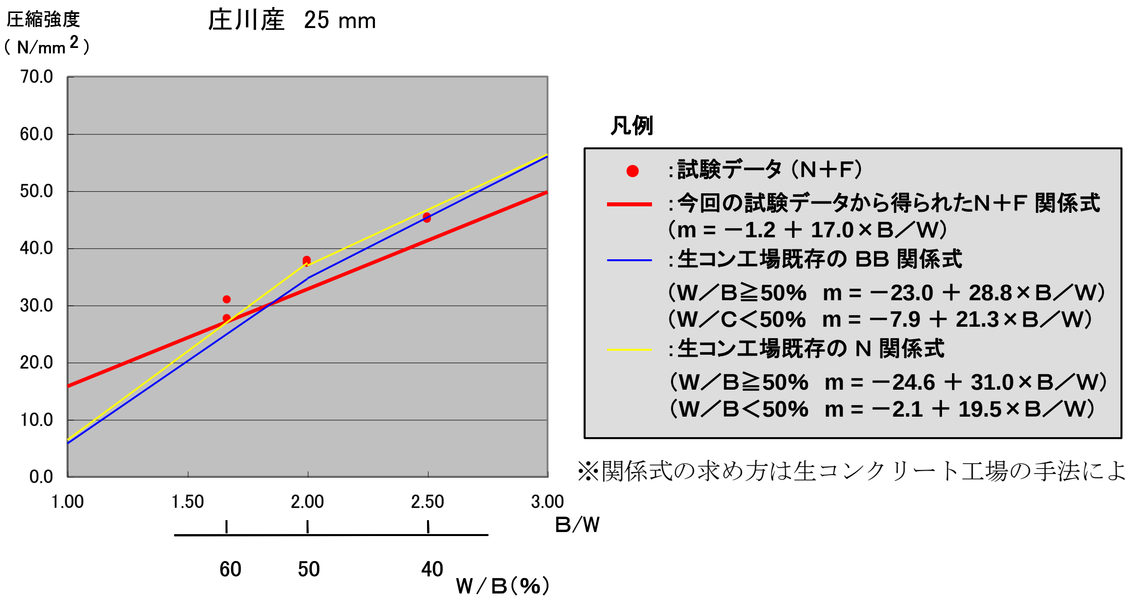
※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。



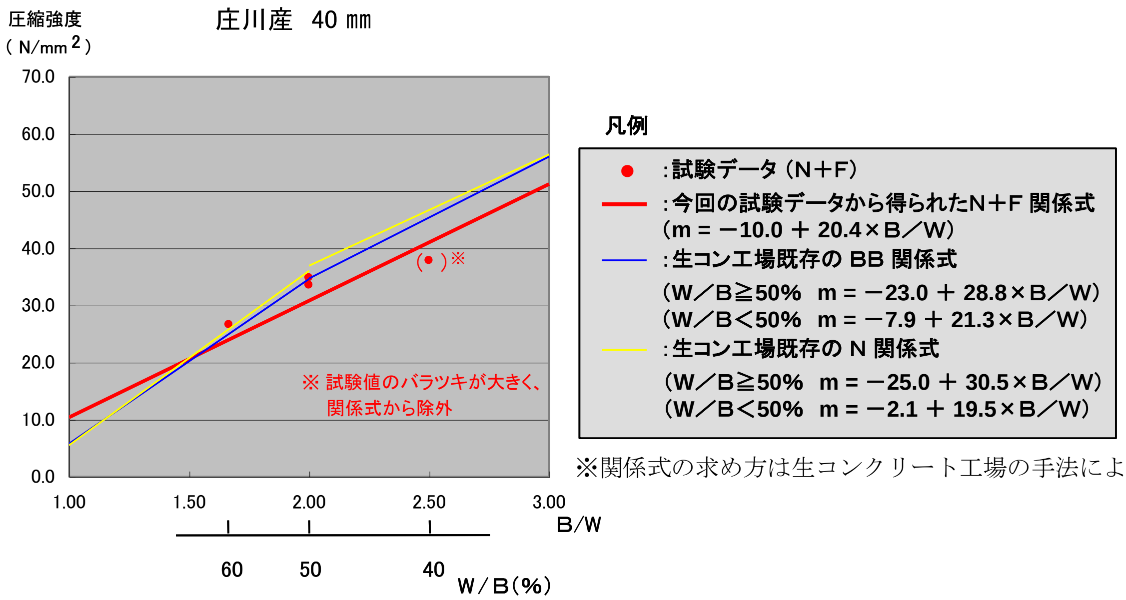
※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。

図３－２　早月川産骨材における圧縮強度と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)）



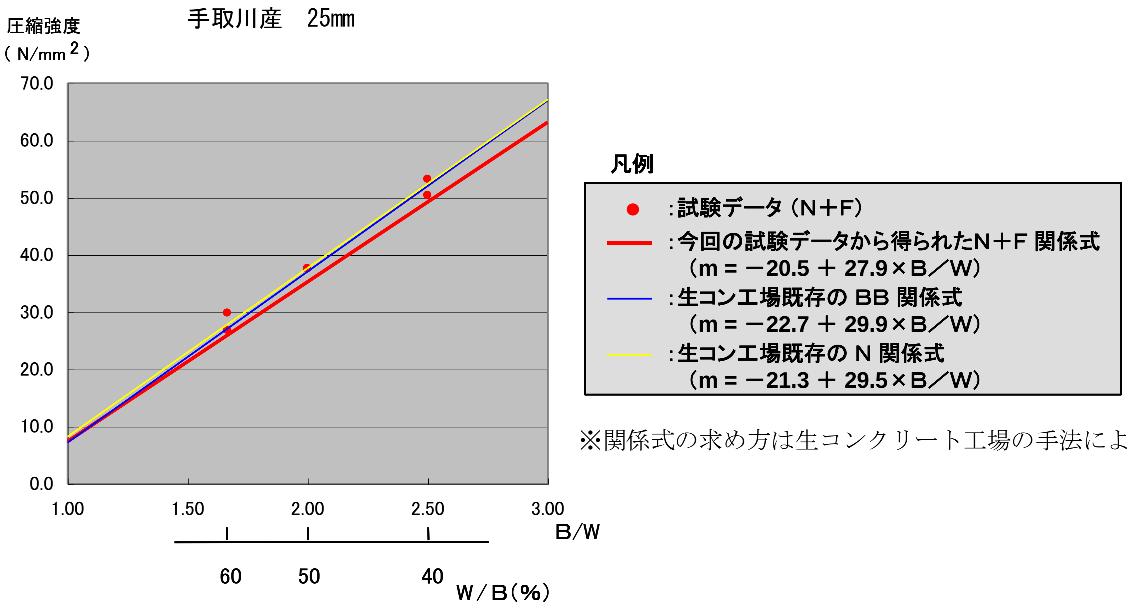
※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。



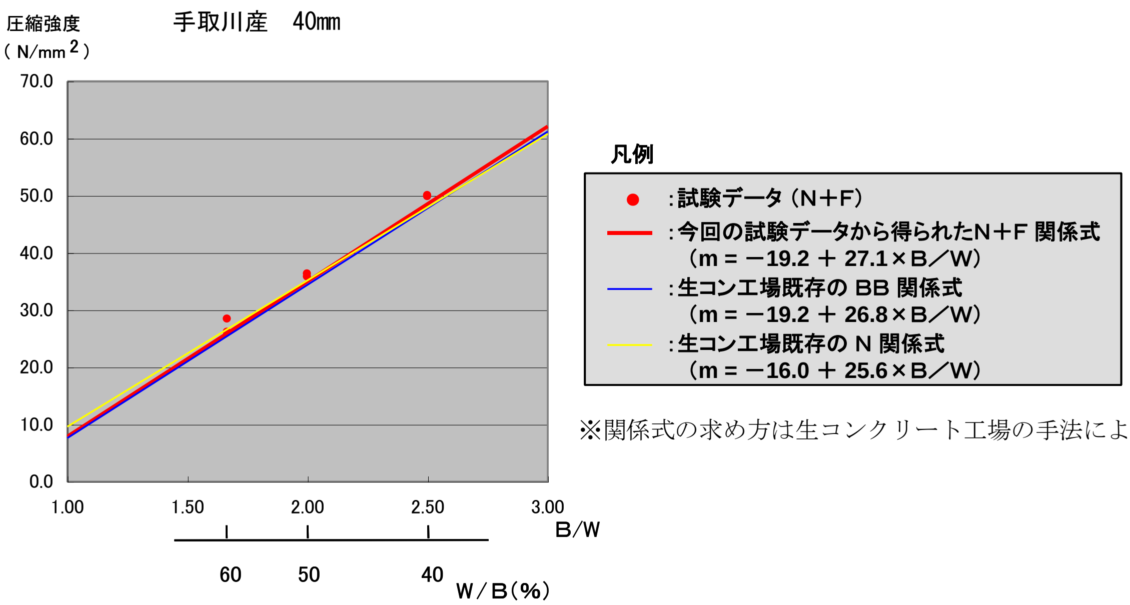
※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。

図３－３　庄川産骨材における圧縮強度と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)）



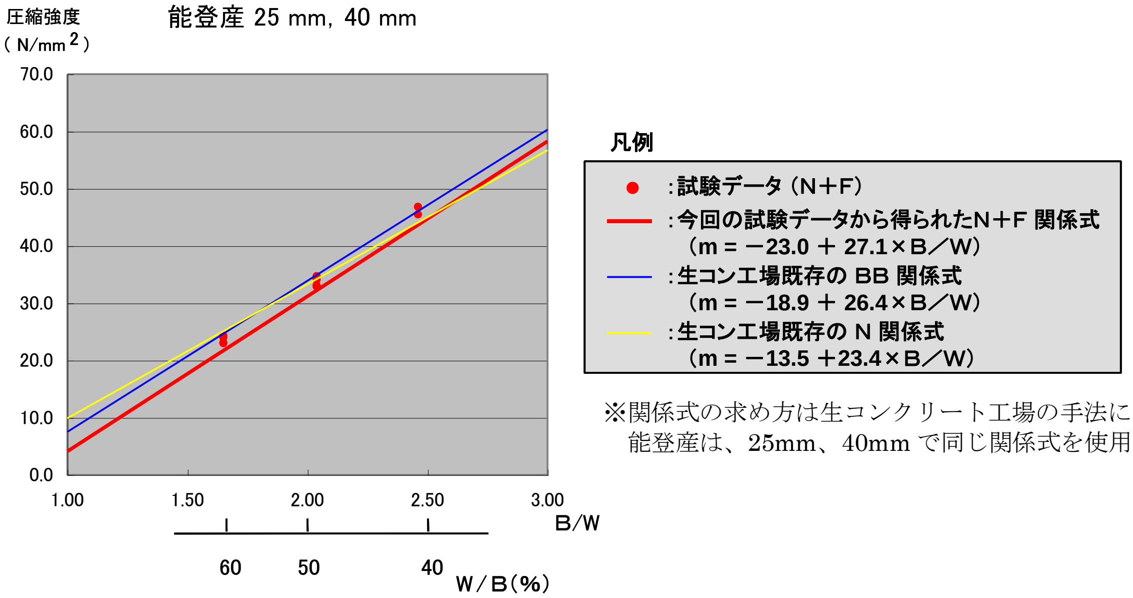
※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。



※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。

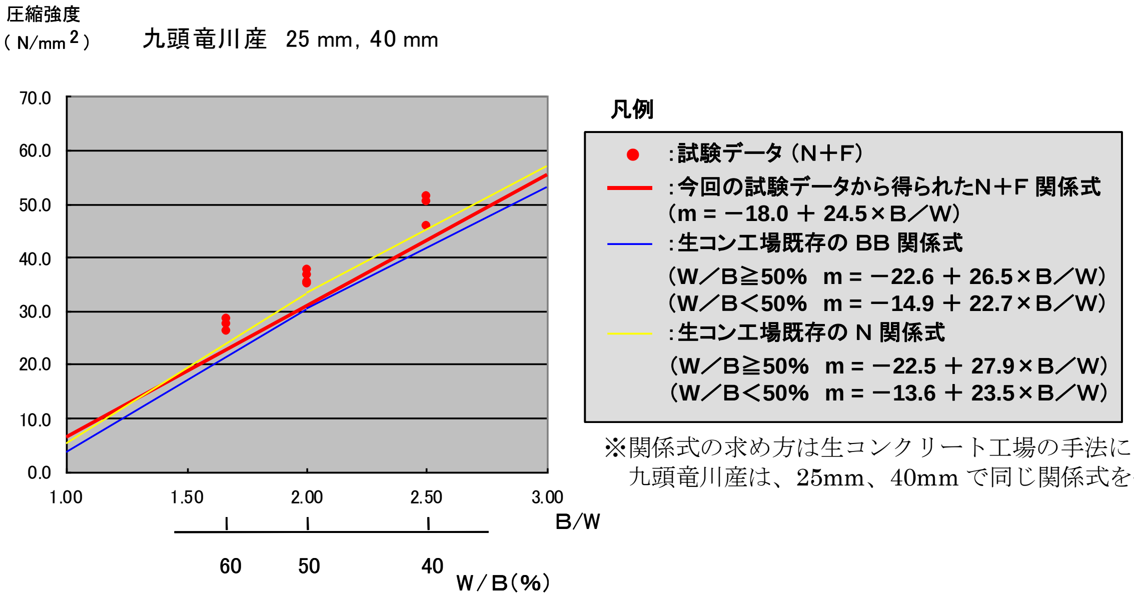
図３－４　手取川産骨材における圧縮強度とＢ／Ｗの関係

（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))



※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。
能登産は、25mm、40mm で同じ関係式を使用。

図３－５　能登産骨材における圧縮強度とＢ／Ｗの関係

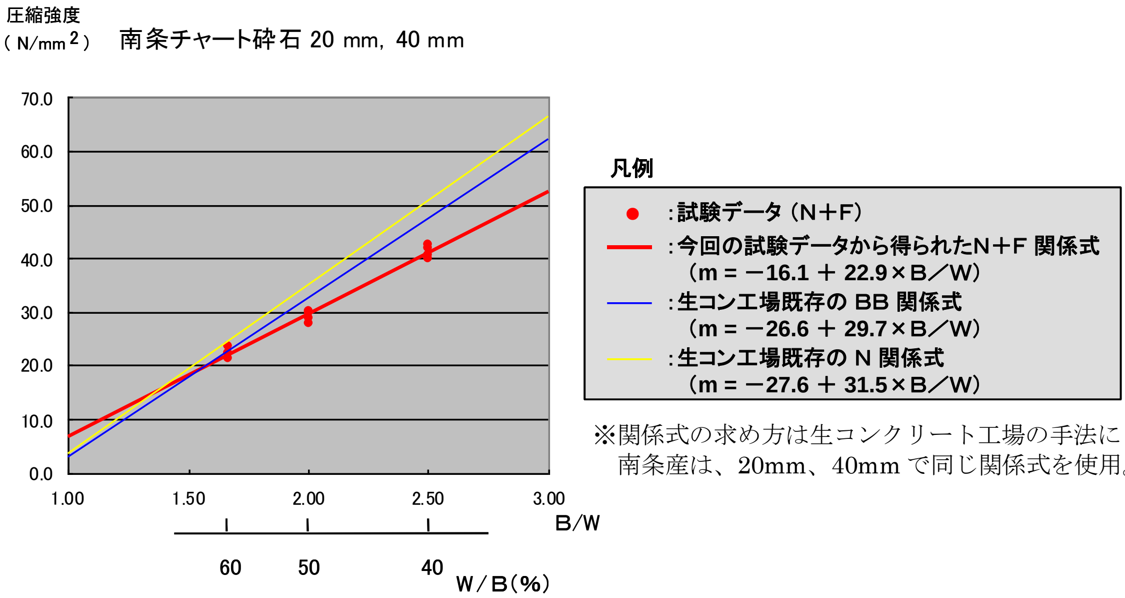


※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。
九頭竜川産は、25mm、40mm で同じ関係式を使用。

（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３－６　九頭竜川産骨材における圧縮強度とＢ／Ｗの関係

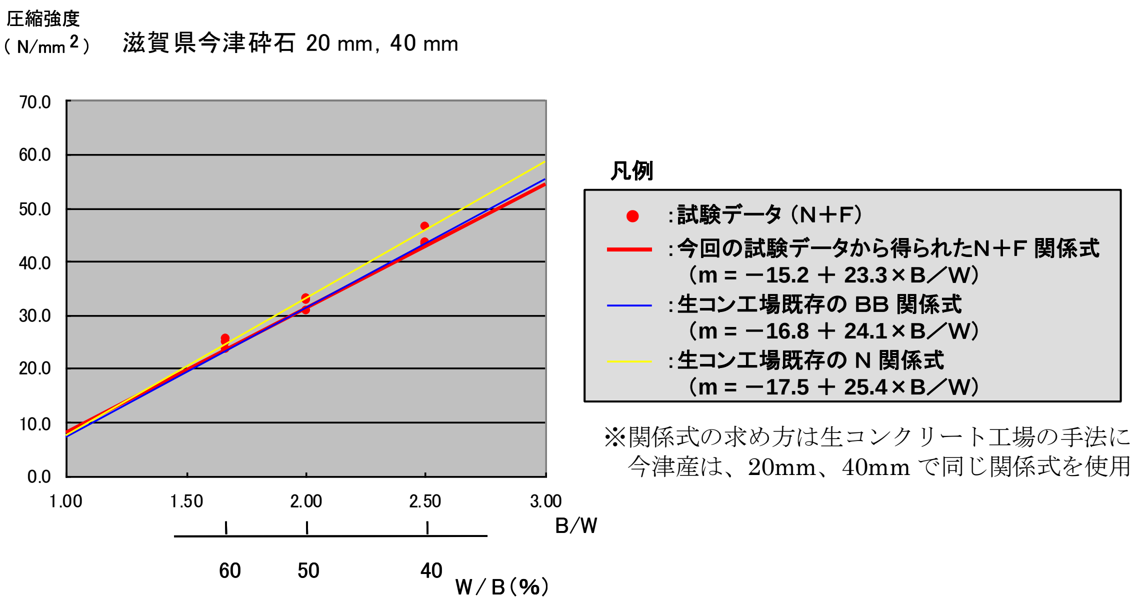
（N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種，N＋F:フライアッシュ 15%置換(内割り)）



※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。
南条産は、20mm、40mm で同じ関係式を使用。

図３－７　南条産骨材における圧縮強度と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)）



※関係式の求め方は生コンクリート工場の手法による。
今津産は、20mm、40mm で同じ関係式を使用。

図３－８　今津産骨材における圧縮強度と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)）

骨材の種類	7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
早月川産(50-8-25)※	28.4	41.3	46.9	51.0	13.6%	23.5%
庄川産(50-8-25)※	25.4	37.3	42.2	46.1	13.1%	23.6%
手取川産(50-8-25)※	26.9	37.5	43.4	45.0	15.7%	20.0%
能登産(49-8-25)※	21.9	33.0	38.9	39.3	17.9%	19.1%
九頭竜川産(50-8-25)※	—	36.8	41.8	46.2	13.6%	25.5%
南条産(50-8-20)※	21.3	30.3	35.7	38.5	17.8%	27.1%
今津産(50-8-20)※	24.1	33.2	41.5	44.6	25.0%	34.3%
平　均	24.7	35.6	41.5	44.4	16.7%	24.7%

※水結合材比－スランプ－粗骨材の最大寸法

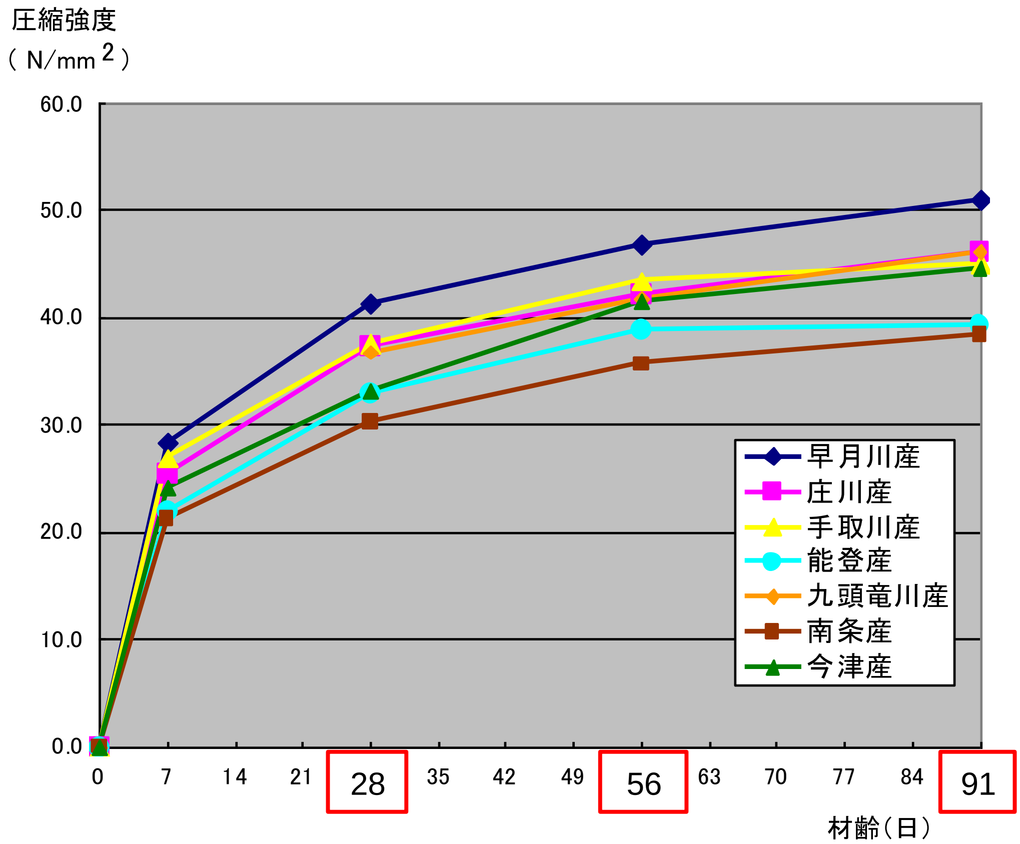
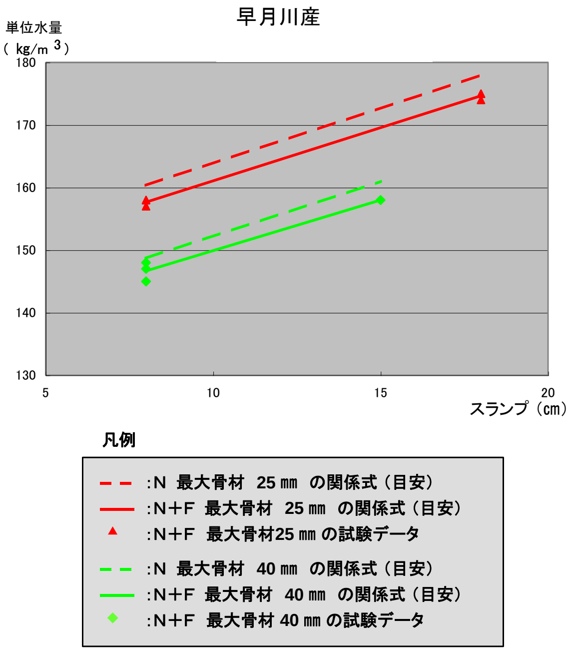


図３－９　材齢と圧縮強度の関係

b. スランプと単位水量の関係

スランプと単位水量との関係を**図３－１０～図３－１６**に示す。図より、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを混和することで、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N）、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と同等のスランプを得るのに必要な単位水量を、0～12kg/m³ 低減することができた。また、この傾向は骨材として河川砂利を用いた場合に顕著であった。



配合	単位水量(kg/m³)		
	N+F	N	差
60－8－25	158	162	－4
50－8－25	157	159	－2
40－8－25	158	160	－2
60－18－25	175	180	－5
50－18－25	174	177	－3
40－18－25	175	177	－2
60－8－40	148	150	－2
50－8－40	147	149	－2
40－8－40	145	147	－2
50－15－40	158	161	－3

※ N+F の単位水量は、今回の試験データ
N の単位水量は、生コン工場既存の配合表の値

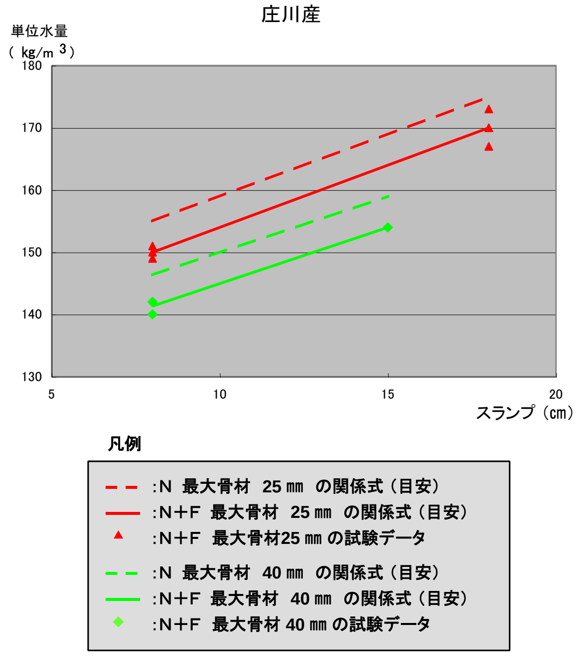
配合※	50-8-25
スランプ(cm)	10.0
空気量(%)	4.5

配合※	50-18-25
スランプ(cm)	19.0
空気量(%)	4.7

※水結合材比－スランプ－粗骨材の最大寸法

図３－１０　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)）



配合	単位水量(kg/m³)		
	N+F	N	差
60−8−25	149	154	−5
50−8−25	150	155	−5
40−8−25	151	156	−5
60−18−25	167	172	−5
50−18−25	170	175	−5
40−18−25	173	178	−5
60−8−40	142	147	−5
50−8−40	140	145	−5
40−8−40	142	147	−5
50−15−40	154	159	−5

※ N+F の単位水量は、今回の試験データ
N の単位水量は、生コン工場既存の配合表の値

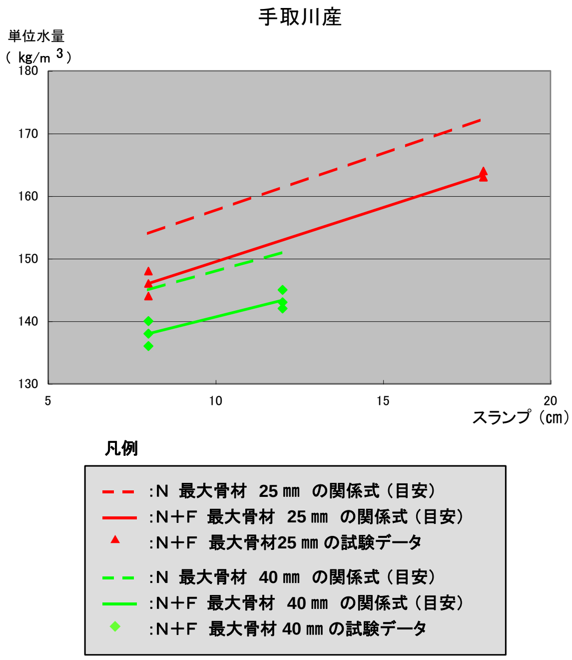
配合※	50-8-25
スランプ(cm)	9.5
空気量(%)	5.4

配合※	50-18-25
スランプ(cm)	19.5
空気量(%)	5.2

※水結合材比ースランプー粗骨材の最大寸法

図３－１１　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)）



配合	単位水量(kg/m³)		
	N+F	N	差
60−8−25	148	156	−8
50−8−25	144	152	−8
40−8−25	146	154	−8
60−18−25	164	173	−9
50−18−25	163	172	−9
40−18−25	163	172	−9
60−8−40	138	145	−7
50−8−40	136	143	−7
40−8−40	140	147	−7
60−12−40	143	151	−8
50−12−40	142	149	−7
40−12−40	145	153	−8

※ N+F の単位水量は、今回の試験データ
N の単位水量は、生コン工場既存の配合表の値

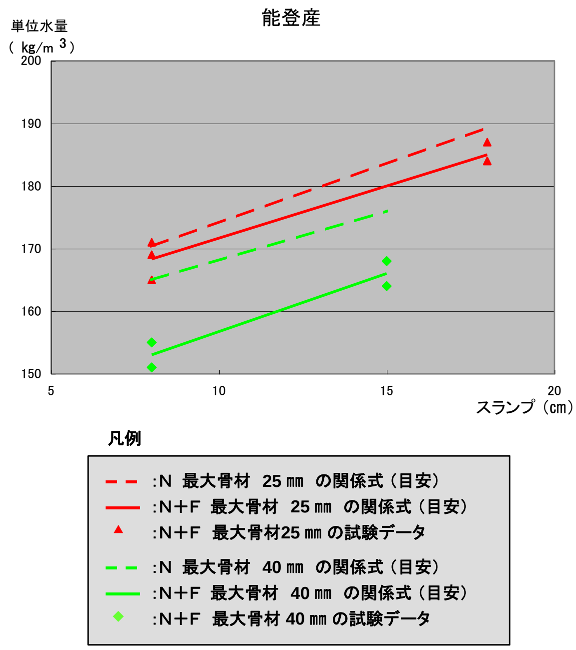
配合※	50-8-25
スランプ(cm)	9.5
空気量(%)	4.7

配合※	50-18-25
スランプ(cm)	19.0
空気量(%)	4.2

※水結合材比－スランプ－粗骨材の最大寸法

図３－１２　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)）



配合	単位水量(kg/m^3)		
	N+F	N	差
60.5−8−25	171	173	−2
49.0−8−25	169	170	−1
40.6−8−25	165	168	−3
60.5−18−25	187	193	−6
49.0−18−25	184	189	−5
40.6−18−25	184	186	−2
60.5−8−40	155	167	−12
49.0−8−40	151	163	−12
60.5−15−40	168	178	−10
49.0−15−40	164	174	−10

※N+F の単位水量は、今回の試験データ
N の単位水量は、生コン工場既存の配合表の値

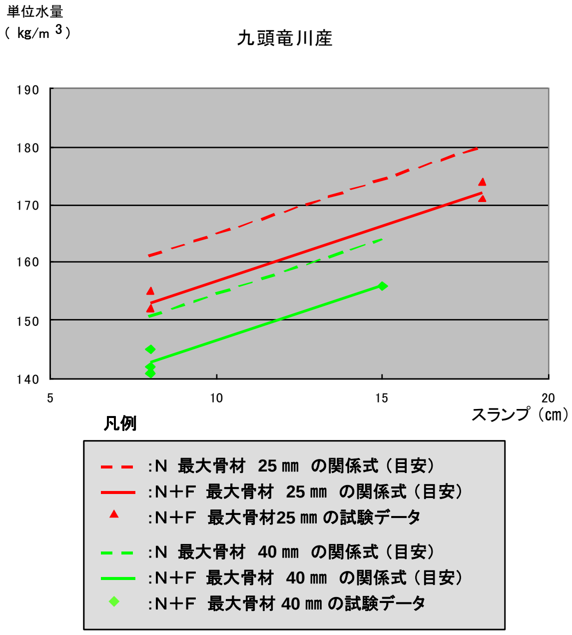
配合※	49-8-25
スランプ(cm)	8.0
空気量(%)	4.3

配合※	49-18-25
スランプ(cm)	18.5
空気量(%)	4.9

※水結合材比－スランプ－粗骨材の最大寸法

図３－１３　能登産砕石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)）



配合	単位水量(kg/m³)		
	N+F	N	差
60−8−25	152	160	−8
50−8−25	152	160	−8
40−8−25	155	163	−8
60−18−25	171	179	−8
50−18−25	171	179	−8
40−18−25	174	182	−8
60−8−40	141	149	−8
50−8−40	142	150	−8
40−8−40	145	153	−8
50−15−40	156	164	−8

※ N+F の単位水量は、今回の試験データ
N の単位水量は、生コン工場既存の配合表の値

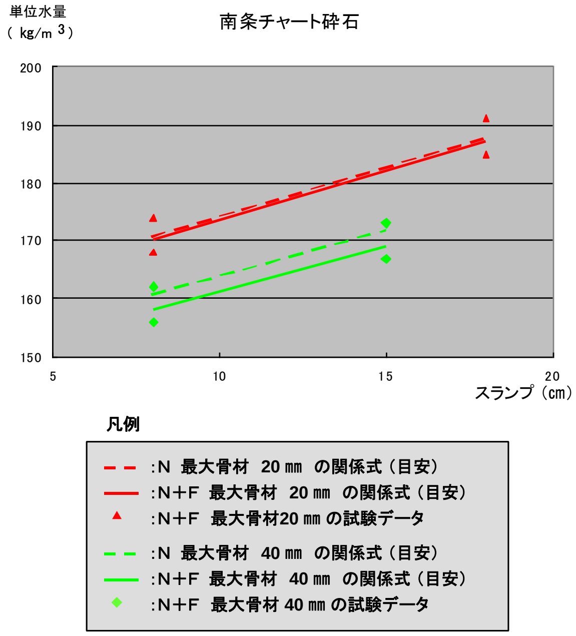
配合※	50-8-25
スランプ(cm)	9.0
空気量(%)	4.7

配合※	50-18-25
スランプ(cm)	19.0
空気量(%)	4.3

※水結合材比―スランプ―粗骨材の最大寸法

図３－１４　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))



配合	単位水量(kg/m³)		
	N+F	N	差
60−8−20	168	168	0
50−8−20	168	168	0
40−8−20	174	176	−2
60−18−20	185	185	0
50−18−20	185	185	0
40−18−20	191	193	−2
60−8−40	156	158	−2
50−8−40	156	158	−2
40−8−40	162	166	−4
60−15−40	167	169	−2
50−15−40	167	169	−2
40−15−40	173	177	−4

※N+F の単位水量は、今回の試験データ
N の単位水量は、生コン工場既存の配合表の値

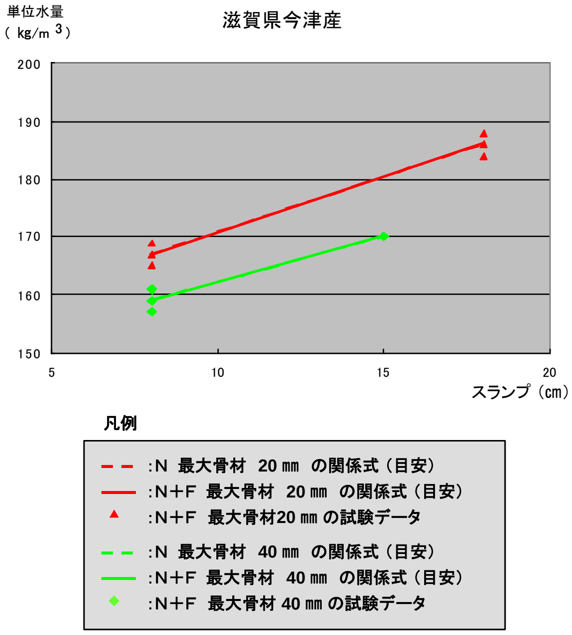
配合※	50-8-20
スランプ(cm)	9.5
空気量(%)	5.5

配合※	50-18-20
スランプ(cm)	18.5
空気量(%)	5.2

※水結合材比ースランプー粗骨材の最大寸法

図３－１５　南条産砕石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))



配合	単位水量(kg/m³)		
	N+F	N	差
60−8−20	167	167	0
50−8−20	165	165	0
40−8−20	169	169	0
60−18−20	186	186	0
50−18−20	184	184	0
40−18−20	188	188	0
60−8−40	159	159	0
50−8−40	157	157	0
40−8−40	161	161	0
50−15−40	170	170	0

※N+F の単位水量は、今回の試験データ
N の単位水量は、生コン工場既存の配合表の値

配合※	50-8-20
スランプ(cm)	10.0
空気量(%)	5.0

配合※	50-18-20
スランプ(cm)	19.0
空気量(%)	5.1

※水結合材比ースランプー粗骨材の最大寸法

図３－１６　今津産砕石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))

c. 配合表

室内試験の結果、得られた配合表（24-8-25 かつW／B 55%以下の場合）を表３－１２～表３－１８に示す。表より、河川砂利を用いている早月川産、庄川産、手取川産、九頭竜川産の骨材については、フライアッシュを混和することで、単位水量を1～12kg/m³減らすことができた。一方、砕石を用いている能登産、南条産、今津産の骨材については、単位水量の減水効果がみられなかった。これは、砕石の場合では、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と推察される。

表３－１２　早月川産骨材における配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m³)	フライアッシュ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)	備 考
N	54.5	44.8	292	－	159	831	1044	2.92	27N/mm² 配合
BB	53.9	44.4	293	－	158	821	1050	2.93	27N/mm² 配合
N＋F	54.5	44.8	245	43	157	828	1044	2.88	27N/mm² 配合

表３－１３　庄川産骨材における配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m³)	フライアッシュ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)	備 考
N	53.8	44.2	286	－	154	814	1034	2.86	27N/mm² 配合
BB	51.5	42.8	297	－	153	782	1052	2.97	27N/mm² 配合
N＋F	50.0	43.5	255	45	150	795	1038	3.00	27N/mm² 配合

表３－１４　手取川産骨材における配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m³)	フライアッシュ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)	備 考
N	54.7	44.0	285	－	156	802	1036	2.85	27N/mm² 配合
BB	53.7	43.4	287	－	154	789	1044	2.87	27N/mm² 配合
N＋F	53.3	45.8	230	40	144	851	1021	2.43	27N/mm² 配合

表３－１５　能登産骨材における配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m³)	フライアッシュ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)	備 考
N	52.3	42.7	331	－	173	732	1024	3.31	27N/mm² 配合
BB	51.5	41.5	326	－	168	714	1051	3.59	27N/mm² 配合
N＋F	54.6	43.0	266	47	171	742	1024	3.13	24N/mm² 配合

表３－１６　九頭竜川産骨材における配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)	備　考
N	54.0	45.0	297	－	160	810	1023	3.20	24N/mm² 配合
BB	51.0	43.2	308	－	157	774	1049	3.31	24N/mm² 配合
N＋F	51.0	44.2	253	45	152	799	1039	2.98	24N/mm² 配合

表３－１７　福井県南条産骨材における配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)	備　考
N	54.0	46.7	312	－	168	845	1023	3.12	24N/mm² 配合
BB	52.0	46.3	320	－	166	835	1049	3.20	24N/mm² 配合
N＋F	49.0	45.1	293	52	169	795	1039	3.45	24N/mm² 配合

表３－１８　滋賀県今津産骨材における配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)	備　考
N	54.0	45.5	304	－	164	822	1065	3.83	24N/mm² 配合
BB	52.0	44.2	310	－	161	796	1085	3.91	24N/mm² 配合
N＋F	52.0	44.4	270	48	165	791	1068	4.01	24N/mm² 配合

⑷感想

今回、試験練りを実施した各生コンクリート工場の品質管理責任者の感想を以下に示す。各工場において、フライアッシュを混和することによるフレッシュ性状の制御や強度発現に対する不安は払拭され、むしろ、ワーカビリティ、ブリーディングおよび早期強度発現の改善に対し好感触を得ている。

早月川産 (デンカ生コン富山㈱)	・過去に、フライアッシュをセメントの 20 %内割としたものを使用したこともあり、15 %内割では、何ら違和感がなかった。 ・思った以上に早期強度が発現しており、N、ＢＢと遜色ないと感じた。
庄川産 (呉西生コン㈱)	・庄川水系の骨材を使用すると、骨材の粒径が良いために大きな変化が認められず、フライアッシュをセメントの 15%内割使用であれば、違和感がなかった。 ・貧配合ほどフライアッシュを入れた場合のワーカビリティの改善が見受けられた。
手取川産 (日本海生コン㈱)	・ワーカビリティが良く、ブリーディングが少ない。また、水セメント比の水準に関わらず空気量の変動が少ない。 ・貧配合では、セメント量の低下により、少しパサパサした感じが見受けられたことから、21 N/mm2 以下の配合への配慮（セメント量の増）が必要だと思われた。
能登産 (㈱新出組)	・フライアッシュの粘性効果でワーカビリティ改良及び減水効果が、特に最大骨材 40㎜ の硬練（スランプ８㎝）で顕著であった。 ・粘性が大きい富配合の一部を除き、単位水量の増減のみでスランプを制御することができた。 ・材齢 28 日以降の強度の伸びが想像以上であった。
九頭竜川産 (福井宇部生コン㈱)	・15%程度の内割り配合では、生コンのリフレッシュ状態は、全く違和感は無い。 ・圧縮強度について、28 日材齢においても、N、ＢＢに対しても遜色なく発現している。
南条産チャート砕石 (武生小野田レミコン㈱)	・練り混ぜ中にやや強いアンモニア臭がしたので換気しながら試験を行った。 ・フライアッシュ用の混和剤を用いることで、通常のコンクリートと同様の性状を確保することができた。 ・フライアッシュの減水効果は、あまり感じられなかった。
滋賀県今津産 (㈱日本ピーエス)	・貧配合でも、ワーカビリティが良かった。 ・普通セメント配合に比べて、ＡＥ剤の添加量が多かった。（約８倍） ・初期強度が出ており、材齢７日から 28 日の伸びはＮと同じである。

２）北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの実機試験結果

実機試験は、室内試験結果から得られた配合を基に、実際の生コンクリート工場で生コンクリートを製造し、コンクリート圧縮強度の増進およびフレッシュコンクリート性状(スランプ、空気量)の経時変化を確認した。その結果、フライアッシュを用いたコンクリートのスランプロス、空気量ロスは、現在市場に幅広く使用されている普通ポルトランドセメント、高炉セメントを用いたコンクリートと同程度であるが、経過１時間以降、若干ロスが大きい傾向にある。

(1) 使用材料

実機試験で使用した材料は、試験練りと同様である。

(2) 実施ケース

実機試験の実施ケースを**表３－１９**に示す。配合は、呼び強度 24、スランプ※1 8cm、粗骨材の最大寸法 25mm(24-8-25)かつW／B 55%以下を満足する配合とし、W／B 55%以下を満足しない場合には、呼び強度を 27 とした。なお、空気量※2 は 4.5%とした。

※1 製造直後のスランプの管理基準は、荷卸し地点でのスランプロスを考慮し、9±1.5cm とした。
※2 製造直後の空気量の管理基準は、荷卸し地点での空気量ロスを考慮し、基本配合の空気量 5.0±1%とした。

表３－１９　実機試験実施ケース

（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㈱	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±1.5cm 空気量5.0±1.0%
手取川産 日本海生コン㈱	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±1.5cm 空気量5.0±1.0%
能登産 ㈱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±1.5cm 空気量5.0±1.0%
九頭竜川産 福井宇部生コン㈱	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9±1.5cm 空気量5.0±1.0%
南条産 武生小野田レミコン㈱	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±1.5cm 空気量5.0±1.0%

(3) 実機試験結果

a. 材齢と圧縮強度の関係

材齢と圧縮強度との関係を**図３－１７**に示す。図より、室内試験同様、材齢 28 日に対する材齢 56 日の強度の増加率は平均で約 15%、材齢 28 日に対する材齢 91 日の強度の増加率は平均で約 21%となった。また、材齢 3 日の強度はいずれの骨材においても 10 N/mm^2 を超え、柱、壁、はりの側面の型枠を取り外してよい時期の参考値 5 N/mm^2 ※ を満足している。

※ 2002 年度制定土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕(P.58:5.5 施工時強度) を参照

(N/mm^2)

骨材の種類	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
早月川産(27-8-25)※	17.5	21.5	24.7	26.8	33.7	38.2	39.9	13.4%	18.4%
手取川産(27-8-25)※	14.4	19.1	20.9	25.6	30.3	34.0	36.9	12.2%	21.8%
能登産(24-8-25)※	10.8	15.2	17.9	22.8	26.2	31.7	31.6	21%	20.6%
九頭竜川産(24-8-25)※	15.6	21.2	24.8	29.5	35.7	39.0	41.0	9.2%	14.8%
南条産(24-8-20)※	15.5	18.2	20.1	24.8	30.7	36.2	39.8	17.9%	29.6%
平　均	14.8	19.0	21.7	25.9	31.3	35.8	37.8	14.7%	21.0%

※呼び強度－スランプ－粗骨材の最大寸法

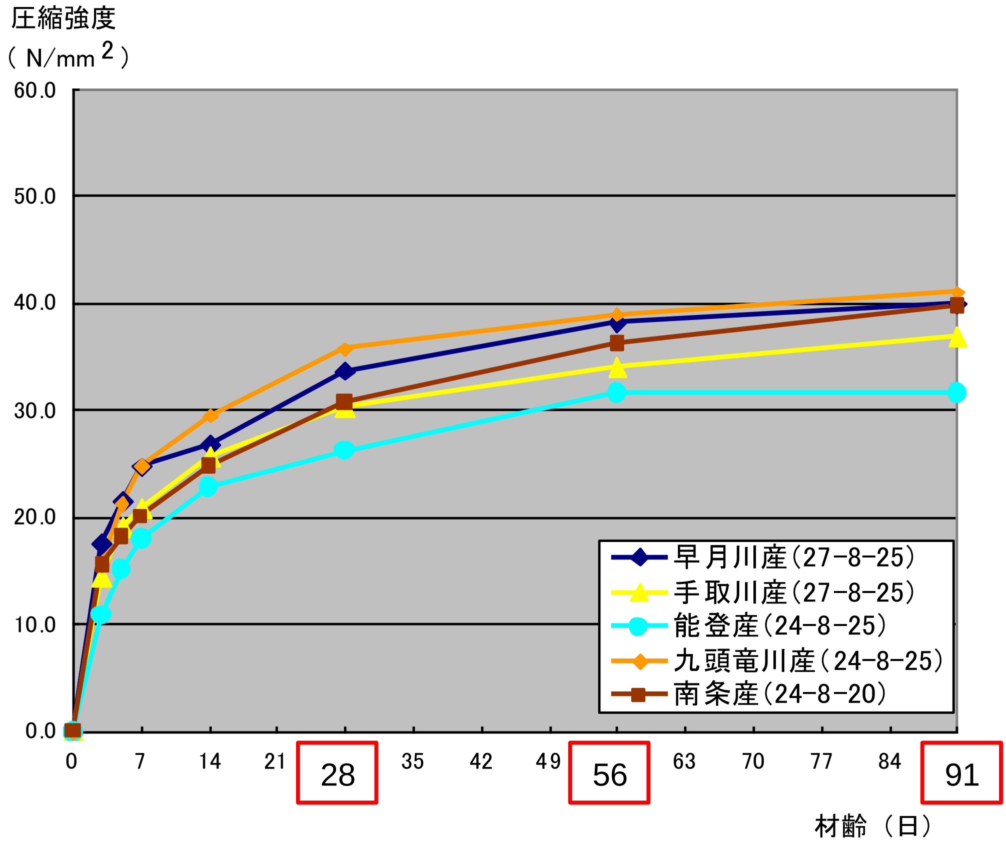


図３－１７　材齢と圧縮強度の関係

b. スランプロス

各使用骨材毎のスランプロスの試験結果を**図３－１８～図３－２２**に、スランプ状況写真を**表３－２０**に示す。図より、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）のスランプロスは、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N）、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（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	9.5	8.5	8.0	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	5.5
BB27-8-25	8.5	7.5	8.0	8.5	8.5	6.5	7.0	6.5	6.5
N27-8-25	10.5	6.5	7.0	8.5	7.0	6.5	7.5	6.0	6.0

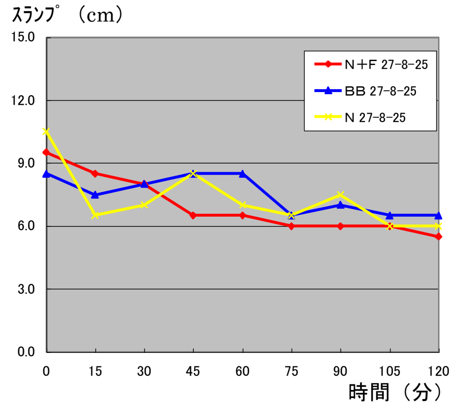


図３－１８　早月川産骨材のスランプロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	9.5	9.5	8.5	7.5	7.0	5.0	4.5	4.5	4.0
BB27-8-25	9.5	8.0	8.0	7.0	6.5	5.0	4.5	4.0	3.5
N27-8-25	9.0	7.5	8.0	6.5	6.0	5.5	4.0	4.0	4.0

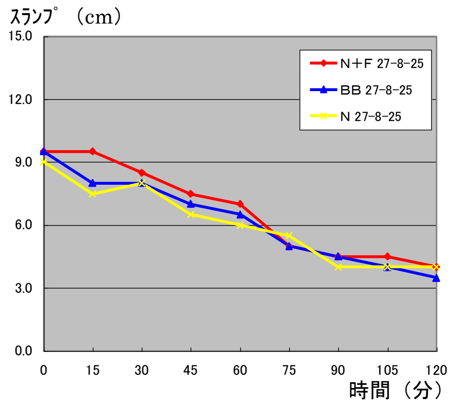


図３－１９　手取川産骨材のスランプロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F24-8-25	10.5	9.0	8.5	8.0	8.0	7.5	7.0	7.0	7.0
BB27-8-25	8.0	6.0	6.0	5.5	5.5	4.5	4.0	4.0	3.0
N27-8-25	8.0	6.0	6.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0

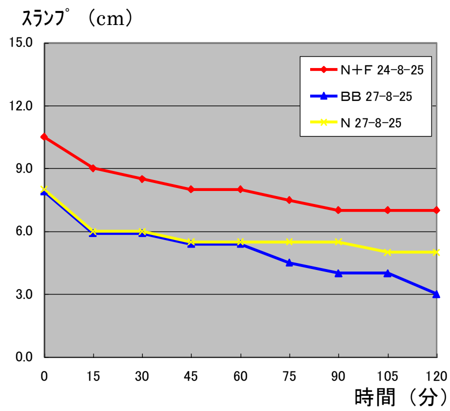


図３－２０　能登産骨材のスランプロス

(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))

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F24-8-25	9.0	8.0	8.0	7.5	7.0	6.0	5.0	3.5	3.5
BB24-8-25	9.5	9.0	9.0	8.0	8.0	7.0	6.5	5.0	4.5
N24-8-25	9.0	8.0	7.5	7.5	7.0	6.5	6.0	5.0	4.0

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F24-8-20	9.0	8.5	7.5	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
BB24-8-20	10.0	9.5	8.5	7.5	6.5	5.0	4.0	3.5	3.5
N24-8-20	10.0	9.5	9.0	8.0	6.5	5.0	4.0	3.5	3.5

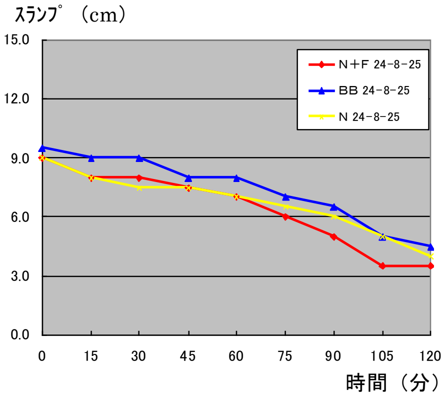


図３－２１　九頭竜川産骨材のスランプロス

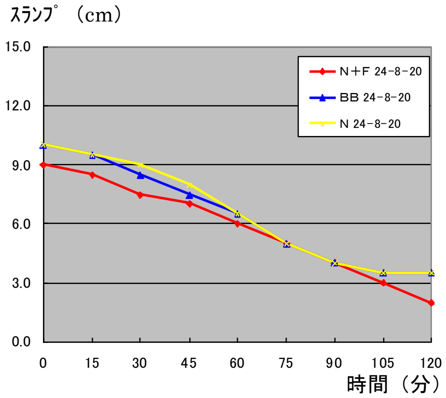
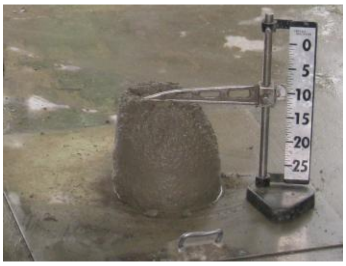
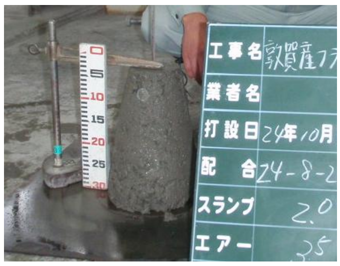


図３－２２　南条産骨材のスランプロス

（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)）

表３－２０　スランプ状況写真　（実機試験）

凡例：スランプ－空気量－コンクリート湿度

骨材	配合※	直後	経時 60 分	経時 120 分
		状態	状態	状態
早月川産	27－8－25	 9.5-5.4-23.0	 6.5-3.5-23.0	 5.5-3.2-23.0
手取川産	27－8－25	 9.5-4.7-23.0	 7.0-3.3-23.0	 4.0-2.6-23.0
能登産	27－8－25	 10.5-5.7-22.0	 8.0-3.8-22.0	 7.0-1.7-22.0
九頭竜川産	27－8－25	 9.0-5.5-20.0	 7.0-4.6-22.0	 3.5-2.6-20.0
南条産	27－8－25	 9.0-5.2-21.0	 6.0-4.0-22.0	 2.0-3.5-22.0

c. 空気量ロス

各使用骨材毎の空気量ロスの試験結果を**図３－２３～図３－２７**に示す。図より、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）の空気量ロスは、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N)、高炉セメントB種を使用したコンクリート（BB）と比較して同程度であるが、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	5.4	4.9	4.6	3.9	3.5	3.4	3.3	3.7	3.2
BB27-8-25	5.3	4.8	4.9	4.5	4.7	4.5	4.7	4.4	4.3
N27-8-25	6.0	5.7	5.2	5.0	4.6	4.8	4.6	4.2	4.2

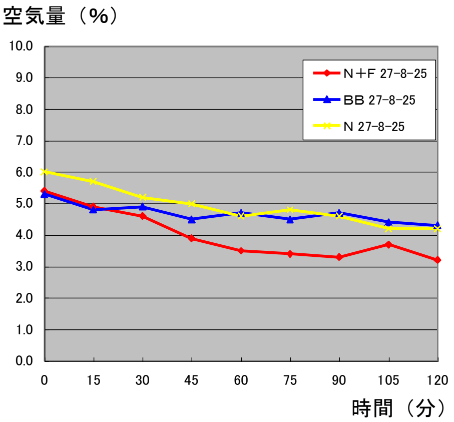


図３－２３　早月川産骨材の空気量ロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	4.7	4.4	4.1	3.7	3.3	3.2	3.0	3.0	2.6
BB27-8-25	5.1	4.6	4.5	4.0	3.9	3.7	3.5	3.1	3.3
N27-8-25	4.8	4.5	4.2	4.1	3.8	3.9	3.7	3.6	3.4

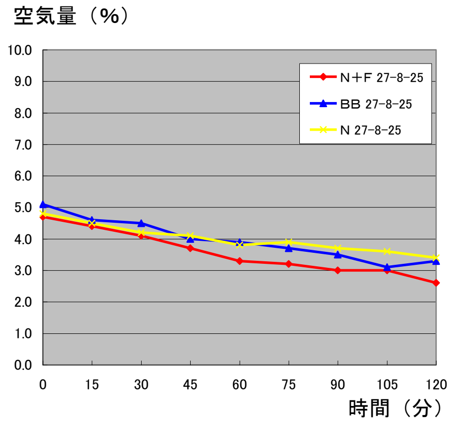


図３－２４　手取川産骨材の空気量ロス

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F24-8-25	5.7	4.8	4.3	4.0	3.8	3.3	2.6	2.2	1.7
BB27-8-25	4.0	3.8	3.8	3.7	3.3	3.3	3.2	3.1	3.0
N27-8-25	5.5	4.9	4.8	4.4	4.2	4.1	4.0	3.9	3.7

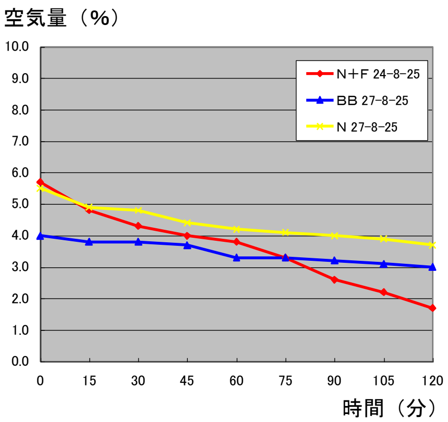


図３－２５　能登産骨材の空気量ロス

（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)）

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	5.5	5.2	4.9	4.8	4.6	4.2	3.6	3.2	2.6
BB27-8-25	5.3	5.3	5.0	5.1	5.1	4.9	4.5	4.6	3.9
N27-8-25	5.8	5.5	5.2	4.8	4.5	4.2	4.0	3.6	4.0

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
N+F27-8-25	5.2	4.8	4.4	4.1	4.0	4.0	3.8	3.7	3.5
BB27-8-25	5.7	5.6	5.4	5.2	4.7	4.2	3.8	3.5	3.5
N27-8-25	5.5	5.9	5.6	5.1	4.8	4.2	3.8	3.5	3.5

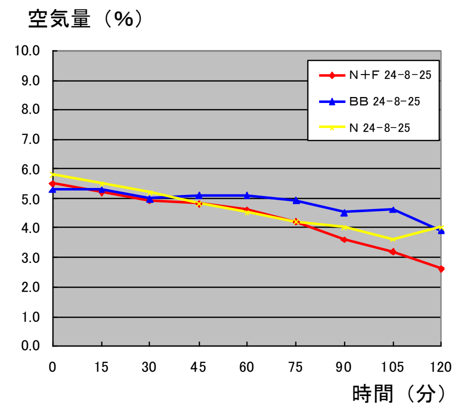


図３－２６　九頭竜川産骨材の空気量ロス

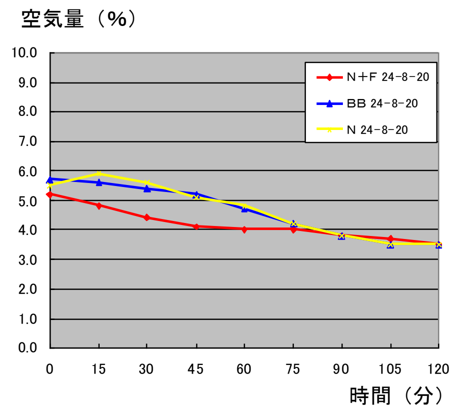


図３－２７　南条産骨材の空気量ロス

（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))

(4) 感想

今回、実機試験を実施した各生コンクリート工場の品質管理責任者の感想を以下に示す。各工場においては、現時点ではフライアッシュを混和することに不慣れではあるが、適切に品質管理を行えばスランプや空気量を十分コントロールできるとの感想であった。

早月川産 (デンカ生コン富山㈱)	・ワーカビリティは普通セメントより良く、高炉セメントより少し劣る感じがしたが、使用には問題ないと感じた。 ・2 時間後のスランプに大きな低下がなく、空気量もコントロールできるので、今後、フライアッシュを使ってコンクリートを練ることに問題はないのではないかと思った。
手取川産 (日本海生コン㈱)	・室内試験と同様、練り直後の性状は非常に良好であり、配合設計時にイメージした通りのコンクリートになったと思う。粘性が大きく、材料分離も無く、フローも出る良質なコンクリートであった。 ・経時変化においては、スランプ値では現れないが、少しパサパサしてきたような感じがした。 ・通常出荷品と比較して 2.5〜3 倍程度の AE 剤が必要となった。 ・通常品から見れば扱い難いコンクリートではあるが、想像より遥かに扱い易いコンクリートであった。適切に品質管理を行えば、スランプや空気量を十分把握できると思う。
能登産 (㈱新出組)	・フライアッシュを混入することにより、スランプロス・空気量ロスが大きくなると事前に見込んでいた。実際にはスランプロスは想定より小さく、ワーカビリティの改善に繋がっていた。空気量のロスについても 60 分までは小さかった。 ・60 分以降の空気量のロスが大きかったことから、AE 剤のタイプをフライアッシュ専用のものに変更して使用していくことも考慮していく必要があると感じた。
九頭竜川産 (福井宇部生コン㈱)	・実機試験練りにおいても通常のＮ、ＢＢと全く違和感は無い。 ・コンクリートの状態も非常に良く、標準出荷は十分に可能である。 (最近においても、フライアッシュをセメントの 20%内割り使用で、国交省、福井県土木発注の工事への出荷実績があり、施工者の評価も良い。)
南条チャート砕石 (武生小野田レミコン㈱)	・室内試験と違い、アンモニア臭は殆ど気にならなかった。 ・練り直後より 60 分までは、通常のコンクリート同様の経時変化を示したが、それ以降はスランプ、空気量のロスがやや大きい。 ・品質管理面では、フライアッシュの品質変動とその影響は今のところ未知であるが、通常行っている品質チェックの頻度を増やし、使い慣れていくことで、対応できると考えられる。

４．北陸地方におけるフライアッシュコンクリート各種比較試験

各種比較試験は、北陸地方における代表的な骨材を用いて、実際の生コンクリート工場で製造されるコンクリート（Ｎ：普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート、ＢＢ：高炉セメントＢ種を使用したコンクリート、Ｎ＋Ｂ：普通ポルトランドセメントに高炉スラグを 42%置換したコンクリート、Ｎ＋Ｆ：普通ポルトランドセメントにフライアッシュを 15%置換したコンクリート）の配合により実施した。その結果、ＢＢがＮ＋Ｆに替わった場合、全ての比較項目において同等もしくは効果有、ＮがＮ＋Ｆに替わった場合、初期強度発現以外の全ての比較項目において同等もしくは効果有であることを確認した。特に、ＢＢに対しては初期強度発現、発熱量抑制の比較項目で、Ｎに対しては長期強度増進、発熱量抑制、ＡＳＲ抑制、塩化物イオン浸透抑止性の比較項目において、顕著な効果が確認された。

Ｎ＋Ｆの品質比較試験結果の一覧表を**表４－１**に示す。

表４－１　Ｎ＋Ｆの品質比較試験結果の一覧表

（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）

比較項目		富山・石川県		福井県		試験項目	参照図表
		ＢＢ	Ｎ	ＢＢ	Ｎ		
(1) 施工性向上		◎	◎	◎	◎	・１２打フロー試験 ・ブリーディング試験	図４－２ 図４－３
(2) 初期強度発現		☆	△	☆	△	・圧縮強度試験	図４－４
(3) 長期強度増進		○	☆	○	☆		図４－５
(4) 収縮抑制		◎	◎	◎	◎	・乾燥収縮試験 ・自己収縮試験	図４－８ 図４－９
(5) 発熱量抑制		☆	☆	☆	☆	・簡易断熱温度上昇試験	図４－１１
(6) ＡＳＲ抑制		◎	☆	○	◎	・モルタルバー法（JIS A1146 およびデンマーク法）	図４－１５～２７
(7) 耐久性向上	a.透水抑止性	○	○	○	○	・透水量の測定	図４－２９
	b.塩化物イオン浸透抑止性	◎	☆	○	◎	・塩化物イオン浸透深さ ・見かけの拡散係数の測定	図４－３０ 図４－３２
	c.鉄筋腐食抑止性	○	○	○	○	・鉄筋の腐食状況	図４－３３
	d.凍害抵抗性	○	○	○	○	・相対動弾性係数の測定 ・質量減少率の測定	図４－３７～３８
	e.中性化抑止性	◎	○	○	○	・中性化深さの測定	図４－３９
	f.細孔率	○	○	○	○	・細孔率	図４－４０

（凡例：ＢＢ又はＮがＮ＋Ｆに替わった場合、
☆：顕著な効果有 ◎：効果有（一部同等） ○：同等 △：効果減（一部同等） ×：顕著な効果減）

1）使用材料

各種比較試験に使用した材料は、表３－１と同様とした。（ただし、セメントは４社のセメントを等量ずつ混合して使用）フライアッシュの品質を**表４－２**に、高炉スラグの品質を**表４－３**に示す。

表４－２　フライアッシュの品質

	JIS A6201 項目									アルカリ量(%)			備考
	二酸化けい素(%)	湿分(%)	強熱減量(%)	密度(g/cm^3)	粉末度		フロー値比(%)	活性度指数(%)		Na_2O	K_2O	R_2O (Na_2O当量)	
					45μmふるい残分(%)	比表面積(cm^2/g)		材齢28日	材齢91日				
七尾産	53.35	0.10	2.0	2.44	0.8	4,870	106	91	99	0.32	1.24	1.14	H23年4月ﾃﾞｰﾀ
敦賀産	67.23	<0.10	3.3	2.26	1.7	4,740	100	84	99	0.44	1.46	1.40	H24年7月ﾃﾞｰﾀ

表４－３　高炉スラグの品質

骨材	JIS A6206 項目										アルカリ量(%)			備考
	密度(g/cm^3)	比表面積(cm^2/g)	活性度指数(%)			フロー値比(%)	酸化ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ(%)	三酸化硫黄(%)	強熱減量(%)	塩化物イオン(%)	Na_2O	K_2O	R_2O (Na_2O当量)	
			材齢7日	材齢28日	材齢91日									
①	2.90	4,120	73	103	108	101	5.29	1.97	0.97	0.007	0.25	0.28	0.43	H23年3月ﾃﾞｰﾀ
②	2.90	3,940	68	98	114	102	5.26	1.99	1.04	0.006	0.22	0.23	0.37	H24年8月ﾃﾞｰﾀ

①：富山・石川県の骨材を用いた試験に使用

②：福井県の骨材を用いた試験に使用

２）配合

各種比較試験に使用した配合を表４－４に示す。

試験に使用した配合は、早月川産、庄川産、手取川産、能登産については、実際の各生コンクリート工場での呼び強度 27、スランプ 8cm（±2cm）、粗骨材の最大寸法 25mm(27-8-25)の配合、九頭竜川産、滋賀県今津産については、呼び強度 24、スランプ 8cm（±2cm）、粗骨材の最大寸法 25、20mm(24-8-25、20)の配合とした。なお、空気量は 4.5%（±1.5%）とした。

表４－４　試験に使用した配合

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメント B 種, N＋B:高炉スラグ微粉末 42%置換, N＋F:フライアッシュ 15%置換)

早月川産(27-8-25)

	水結合材比 W/(C+FA,B) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	高炉ｽﾗｸﾞ B (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)
N	54.5	44.8	292	－	－	159	831	1044	2.92
BB	54.0	44.4	293	－	－	158	821	1050	2.93
N+B	54.0	44.4	169	－	123	159	831	1044	2.93
N+F	54.5	44.8	245	43	－	157	828	1044	2.88

庄川産(27-8-25)

	水結合材比 W/(C+FA,B) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	高炉ｽﾗｸﾞ B (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)
N	54.0	44.2	286	－	－	154	814	1034	2.86
BB	51.5	42.8	297	－	－	153	782	1052	2.97
N+B	51.5	42.8	153	－	125	153	782	1052	2.97
N+F	50.0	43.5	255	45	－	150	795	1038	3.00

手取川産(27-8-25)

	水結合材比 W/(C+FA,B) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	高炉ｽﾗｸﾞ B(kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)
N	54.7	44.0	285	－	－	156	802	1036	2.85
BB	53.7	43.4	287	－	－	154	789	1044	2.87
N+B	53.7	43.4	166	－	121	154	789	1044	2.87
N+F	53.3	45.8	230	40	－	144	851	1021	2.43

能登産(27-8-25)

	水結合材比 W/(C+FA,B) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	高炉ｽﾗｸﾞ B(kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)
N	52.3	42.7	331	－	－	173	732	1024	3.31
BB	51.5	41.5	326	－	－	168	714	1051	3.59
N+B	51.5	41.5	189	－	137	168	714	1051	3.59
N+F	51.2	70.8	284	50	－	171	725	1024	3.34

九頭竜川産(24-8-25)

	水結合材比 W/(C+FA,B) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	高炉ｽﾗｸﾞ B (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)
N	53.9	44.2	297	―	―	160	810	1023	3.18
BB	51.0	42.5	308	―	―	157	774	1049	3.30
N+B	53.9	44.2	172	―	125	160	810	1023	3.18
N+F	51.0	43.5	253	45	―	152	799	1039	2.98

滋賀県今津産(24-8-20)

	水結合材比 W/(C+FA,B) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	高炉ｽﾗｸﾞ B (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 ad (kg/m³)
N	53.9	43.6	304	―	―	164	822	1065	3.83
BB	51.9	42.3	310	―	―	161	796	1085	3.91
N+B	53.9	43.6	176	―	128	164	822	1065	3.83
N+F	51.9	42.6	270	48	―	165	791	1068	3.82

3）施工性向上

(1) 12 打フロー

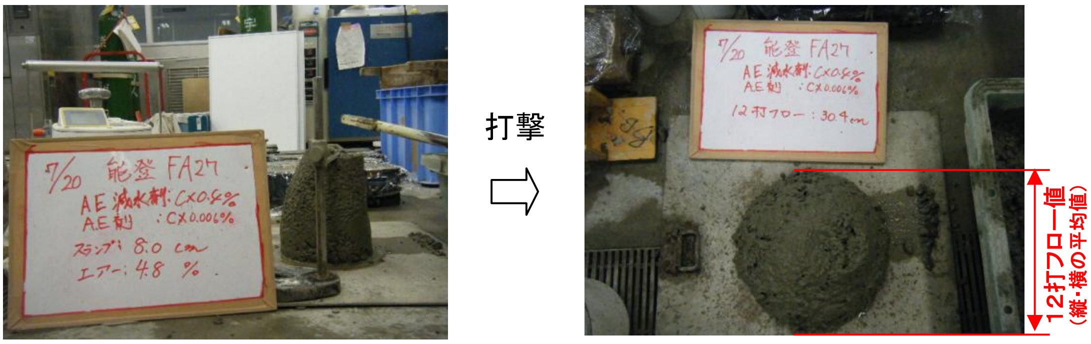
a. 試験方法

スランプ測定後に、スランプ測定用の平板の四隅を各 3 回打撃し、コンクリートの平面的な広がりを測定する。試験状況写真を**図４－１**に示す。

b. 試験結果

１２打フロー試験結果を**図４－２**に示す。図より、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）の流動性は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N)、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）に比べ、同等もしくは良好である。

【測定例】



スランプ測定後に平板の四隅を各3回打撃し、広がりを測定。

図４－１　試験の状況写真

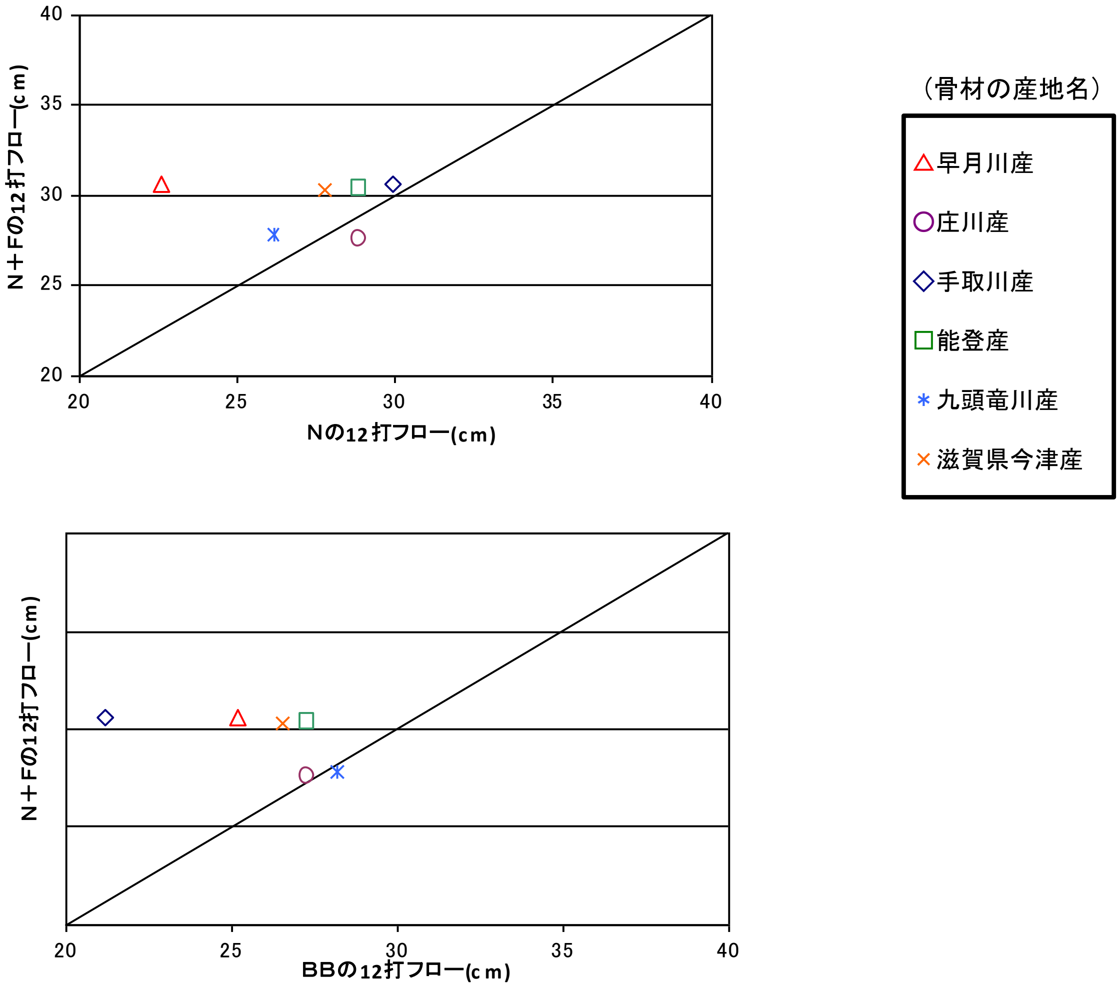


図４－２　１２打フロー試験結果

（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)）

(2) ブリーディング

a. 試験方法

JIS A1123 に準拠し、コンクリート上面に浸み出した水をスポイトで吸い取り、水量を計測する。記録した最初の時間から 60 分間は 10 分ごとに測定し、その後は 30 分ごとに測定する。なお、試料の容器は、水を吸い取る時を除き蓋をしておく。

b. 試験結果

ブリーディング試験結果を**図４－３**に示す。図より、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）のブリーディングは、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N）、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）に比べ、同等もしくは少ない。

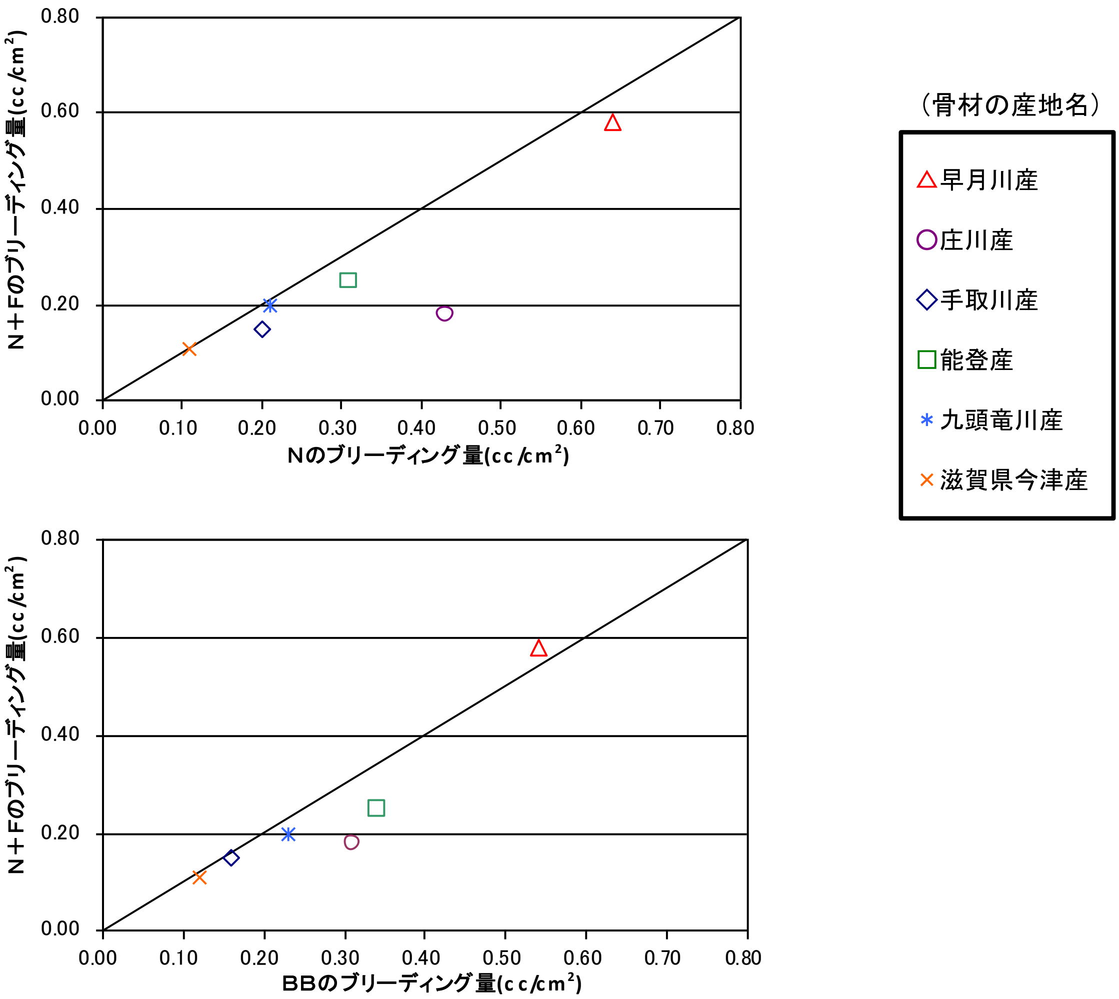


図４－３　ブリーディング試験結果

(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))

４）初期強度発現・長期強度増進

(1)圧縮強度

a.試験方法

JIS A1108 に準拠し、圧縮試験機により供試体の圧縮強度を測定する。測定は、3、5、7、14、28、56、91 日材齢の供試体にて実施する。

b.試験結果

各骨材毎の圧縮強度結果を**図４－４**に、各骨材を平均した圧縮強度結果を**図４－５**に示す。各骨材を平均した圧縮強度結果では、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（N＋F）の初期の強度発現（材齢 3 日、5 日強度）は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N）より小さく、高炉セメントB種を使用したコンクリート（ＢＢ）より大きい。また、N＋Fの長期強度増進（28 日→56 日伸び率および 28 日→91 日伸び率）は、Nより大きく、ＢＢと同等である。

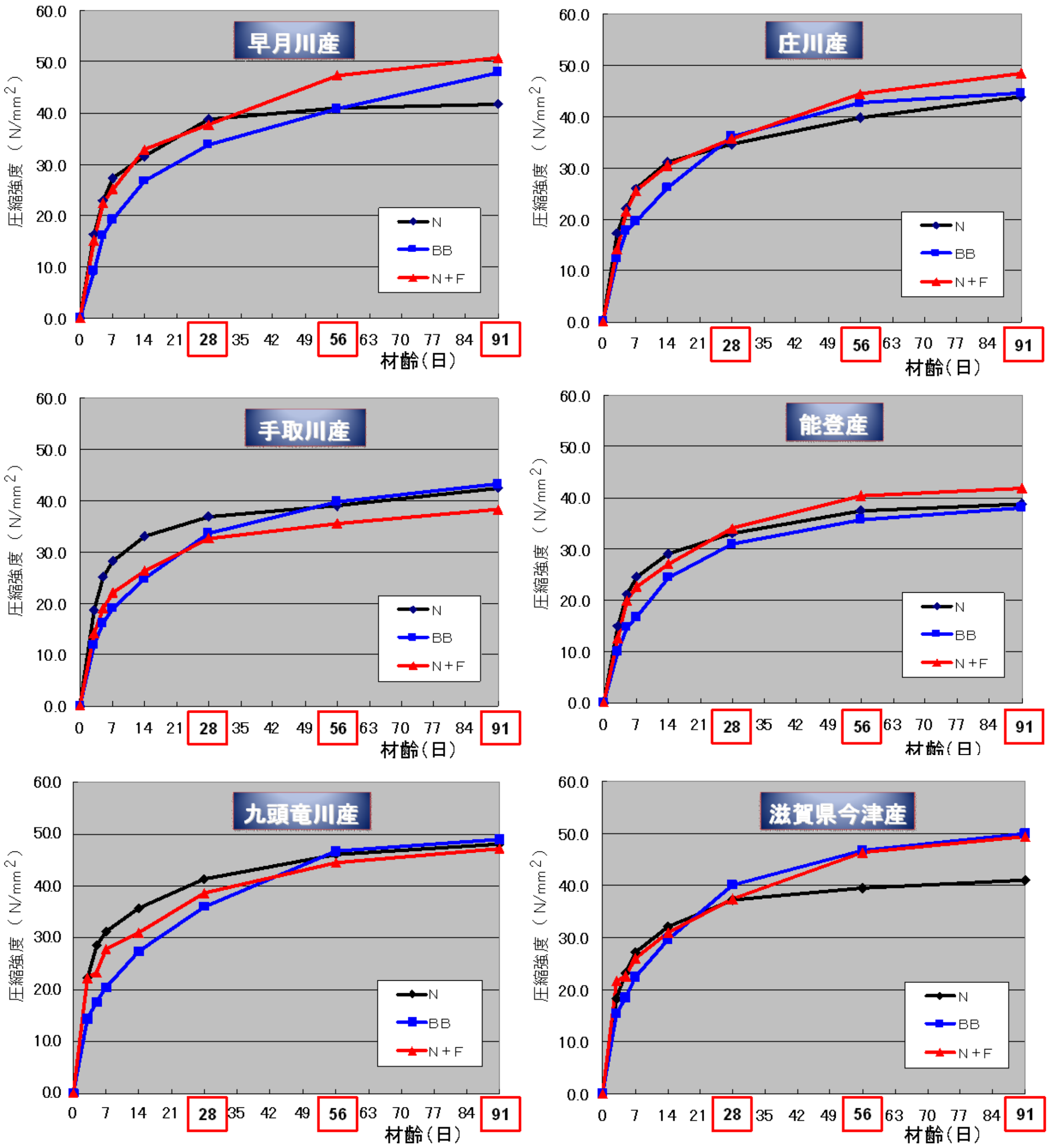


図４－４　圧縮強度結果（各骨材毎）

（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)）

富山県・石川県のケース　　　　　　　　　　　　　　　(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%

福井県のケース　　　　　　　　　　　　　　　(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%

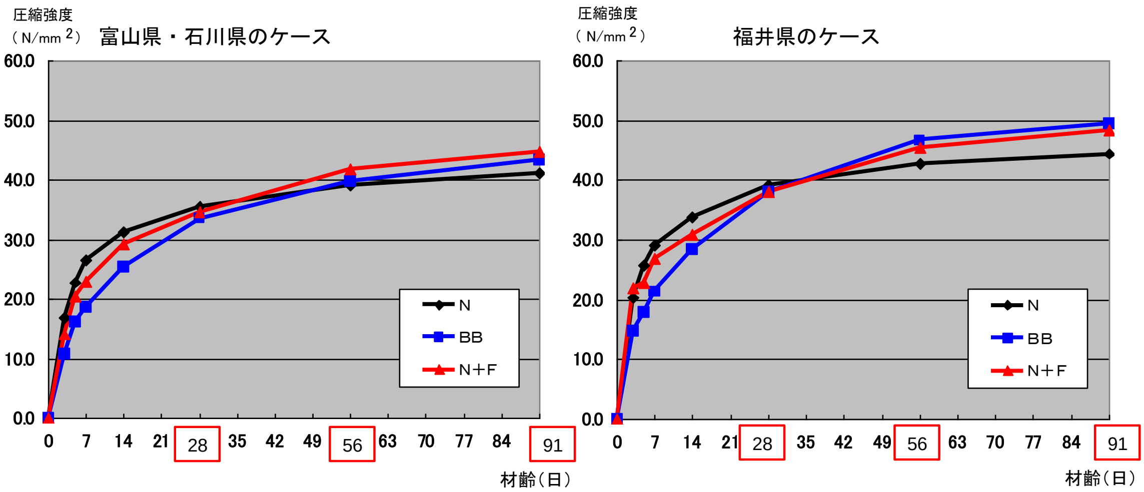


図４－５　圧縮強度結果（各種骨材の平均値）

(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))

(2) 静弾性係数

a. 試験方法

JIS A1149 に準拠し、ひずみ測定器を用いてひずみを測定する。測定は 28、91 日材齢の供試体にて実施する。

b. 試験結果

静弾性係数結果を図４－６に示す。図より、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）の静弾性係数は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート(N)、高炉セメントB種を使用したコンクリート(BB）と同等である。

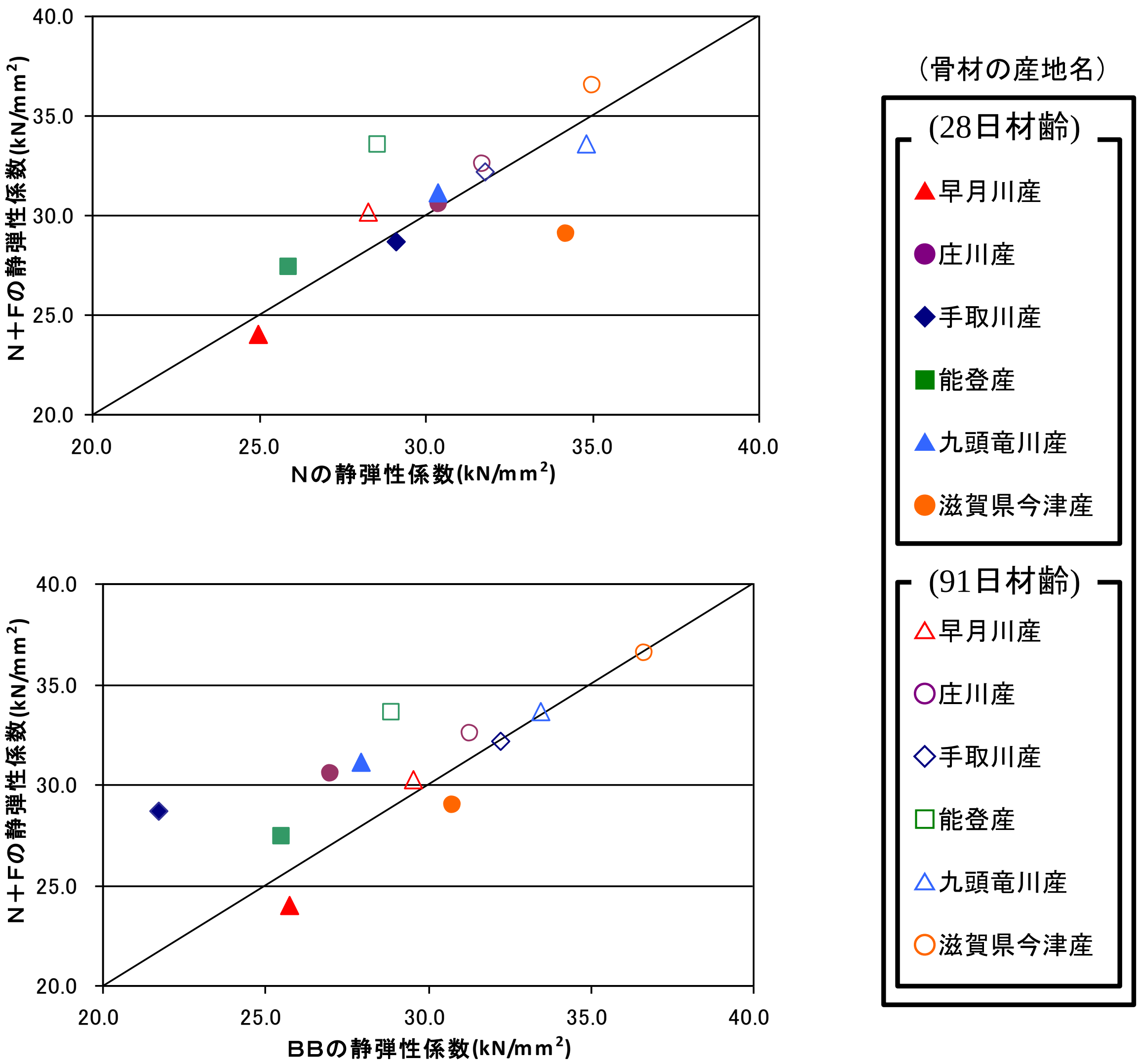


図４－６　静弾性係数結果

(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) 凝結時間

a. 試験方法

JIS A1147 に準拠し、プロクター貫入試験により、モルタルに標準針を降下させ、規定の貫入抵抗値（始発：3.5N/mm²、終結：28.0N/mm²）となった時間を測定する。

b. 試験結果

参考として、凝結時間の比較図を**図４－７**に示す。

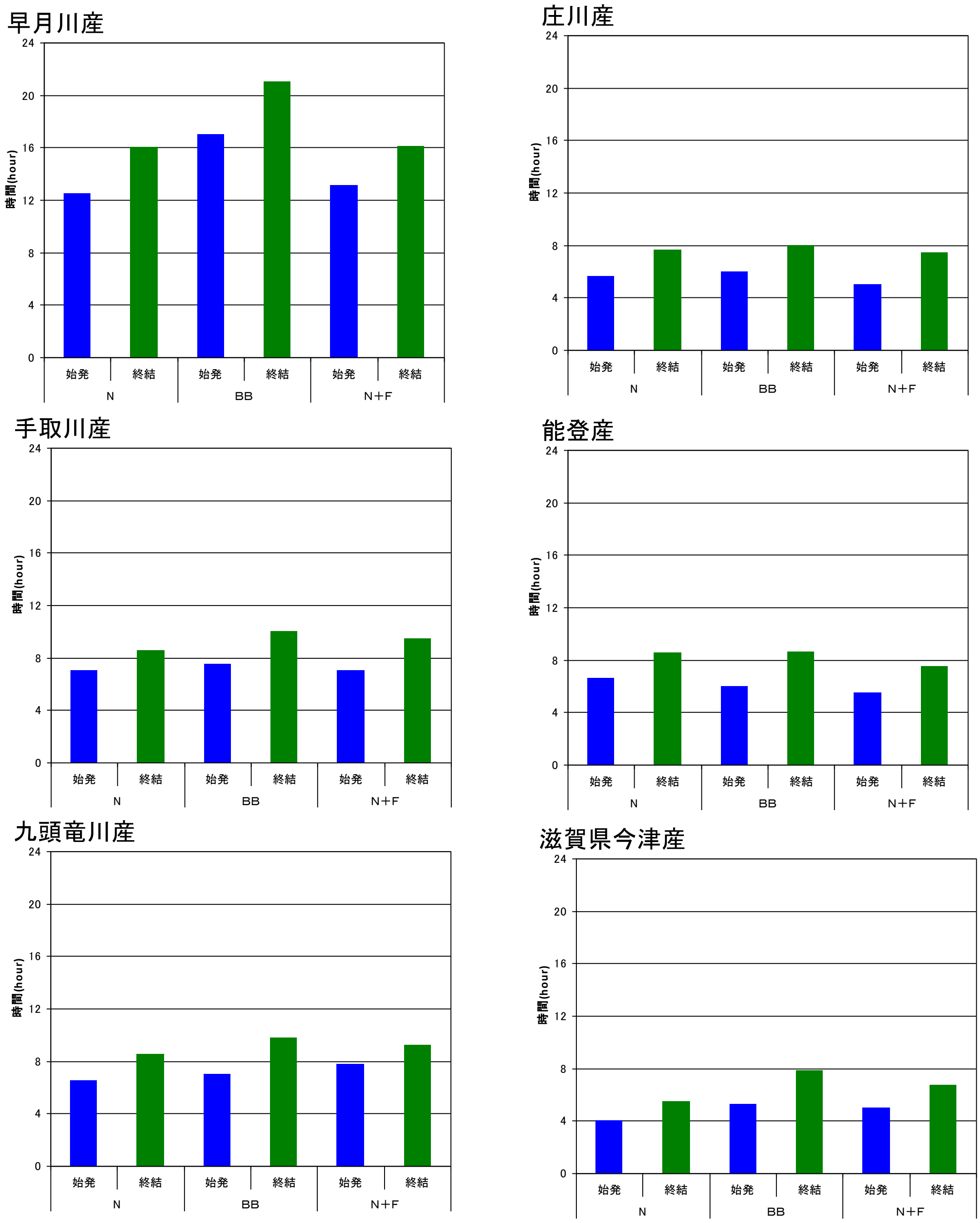


図４－７　凝結時間の比較図

５） 収縮抑制

(1) 乾燥収縮

a. 試験方法

JIS A1129-2 に準拠し、材齢 91 日までの供試体の側面の長さをコンタクトストレインゲージを用いて測定することにより、乾燥収縮ひずみを算出する。

b. 試験結果

乾燥収縮試験の結果（呼び強度 27）を**図４－８**に示す。図より、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）の乾燥収縮は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N）、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）に比べ、同等もしくは小さい。

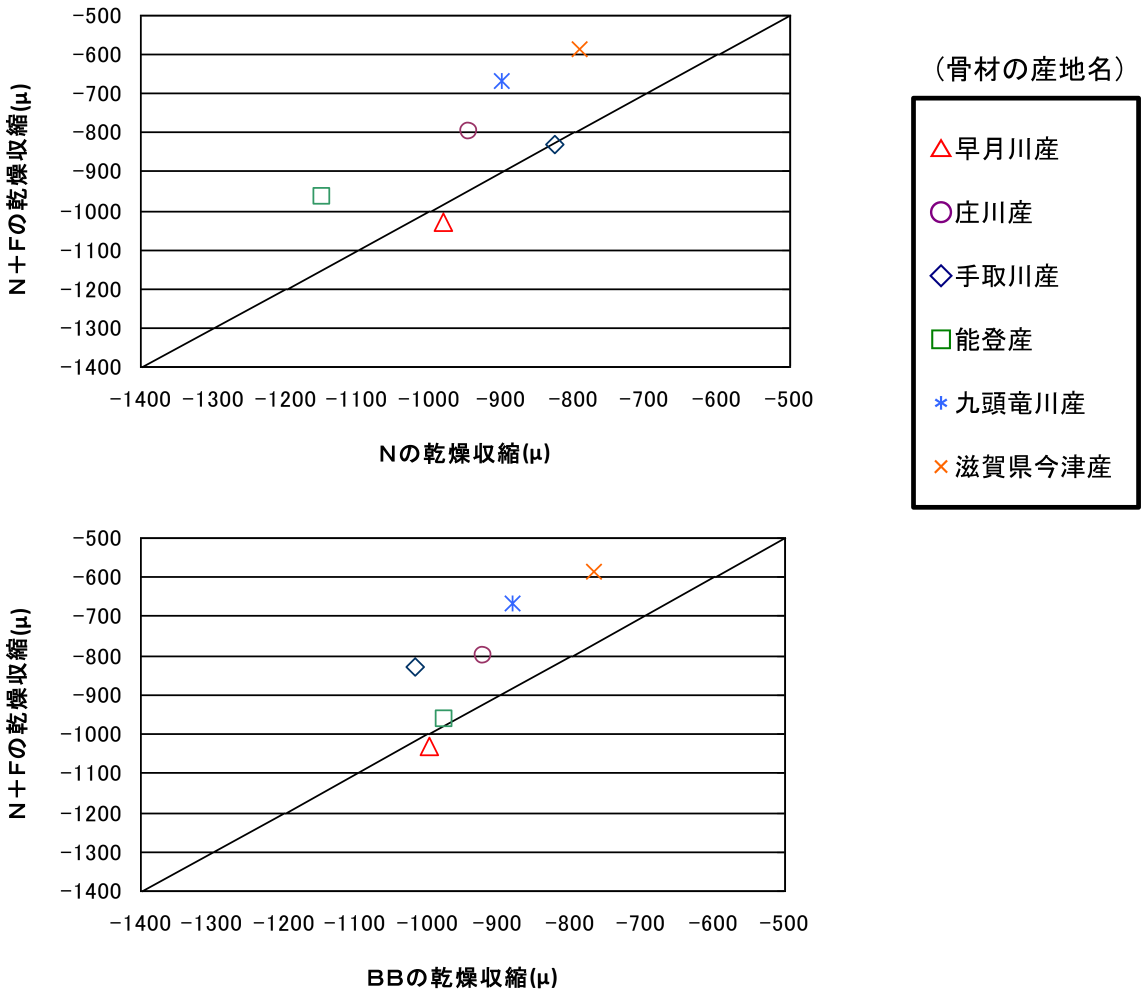


図４－８　乾燥収縮試験結果

（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)）

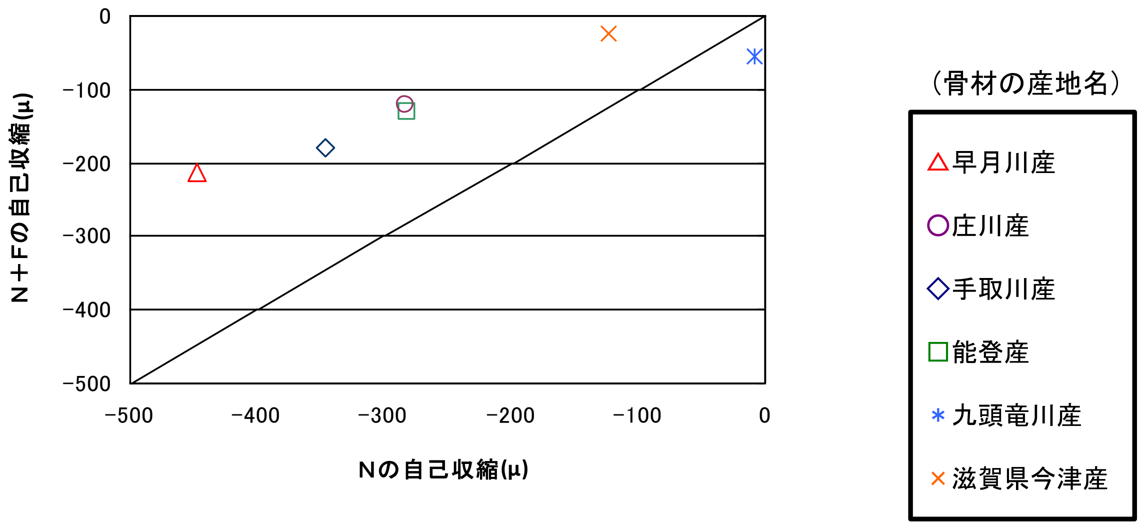
(2) 自己収縮

a. 試験方法

JCI-SAS3-2 に準拠し、鉄筋中心部のリブと節を除去した部分（30cm）にひずみ計を貼り付け、コンクリート打設を行った後、温度湿度一定の養生を行い、供試体にひび割れが発生するまでのひずみを測定する。

b. 試験結果

自己収縮試験の結果を**図４－９**に示す。図より、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）の自己収縮は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（Ｎ)、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）に比べ、同等もしくは小さい。



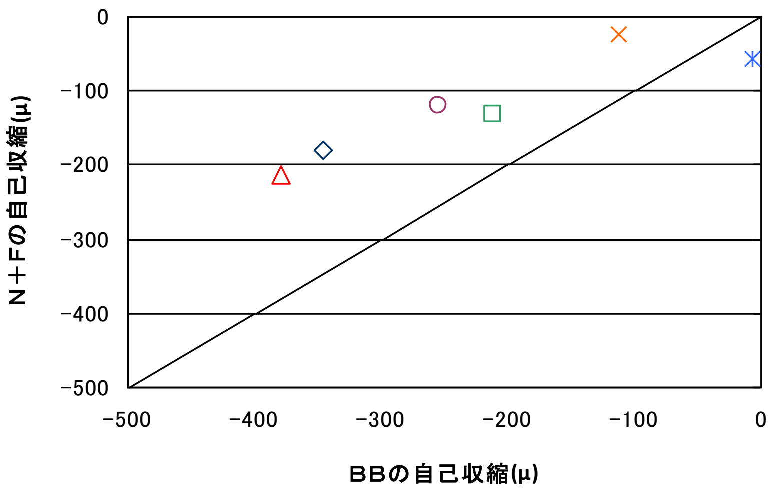


図４－９　自己収縮試験結果

（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)）

６）発熱量抑制

(1)簡易断熱温度上昇

a.試験方法

簡易断熱温度上昇試験装置にて、コンクリート温度上昇量を測定する。簡易断熱温度上昇試験装置の概要を図４－１０に示す。

b.試験結果

簡易断熱温度上昇試験結果(T_0:コンクリート中心部の温度)を図４－１１に示す。図より、いずれの骨材においても、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）の温度上昇量（最高値）は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート(N)、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート(ＢＢ）に比べ小さく、温度ひび割れ抑制に極めて有効と考えられる。

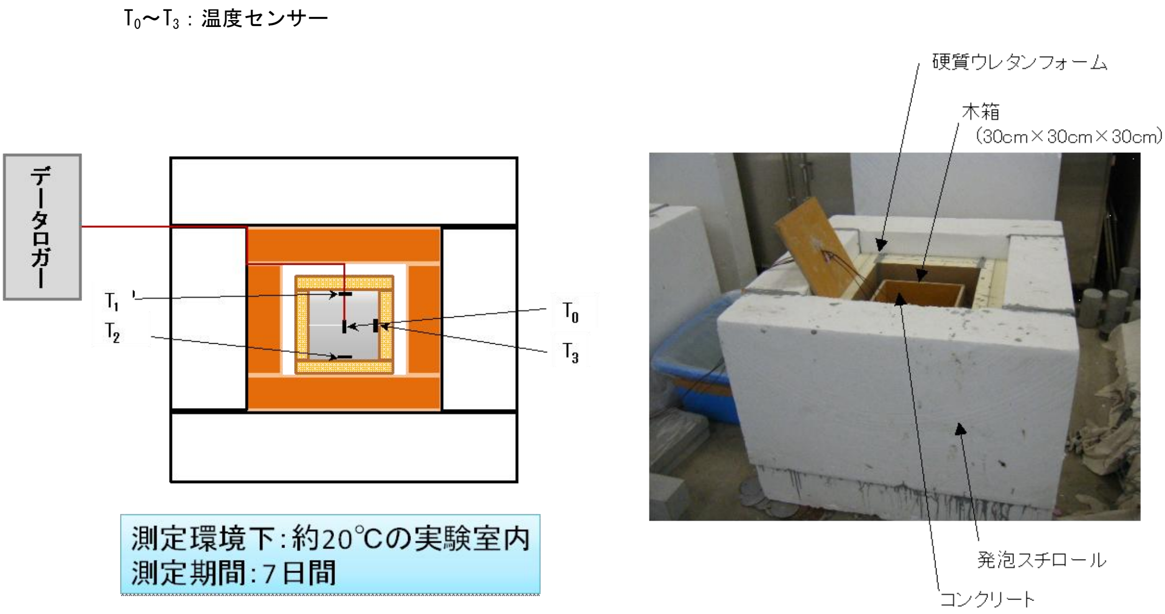
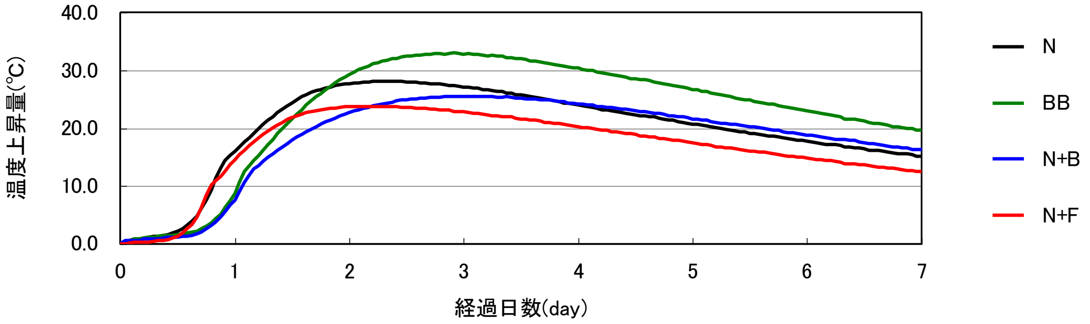
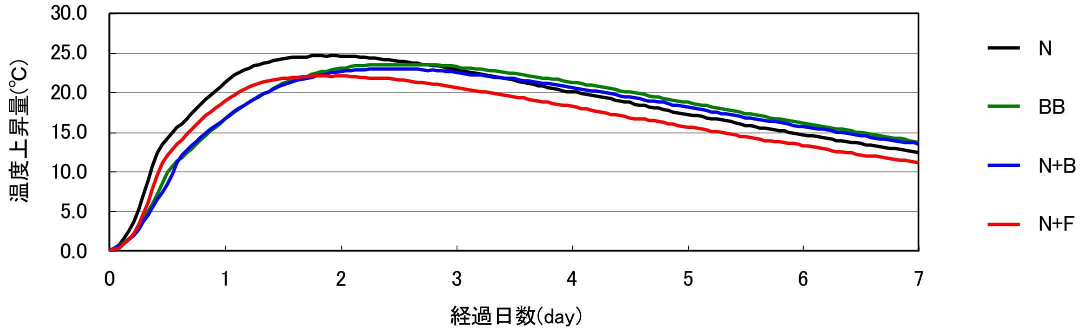


図４－１０　簡易断熱温度上昇試験装置の概要

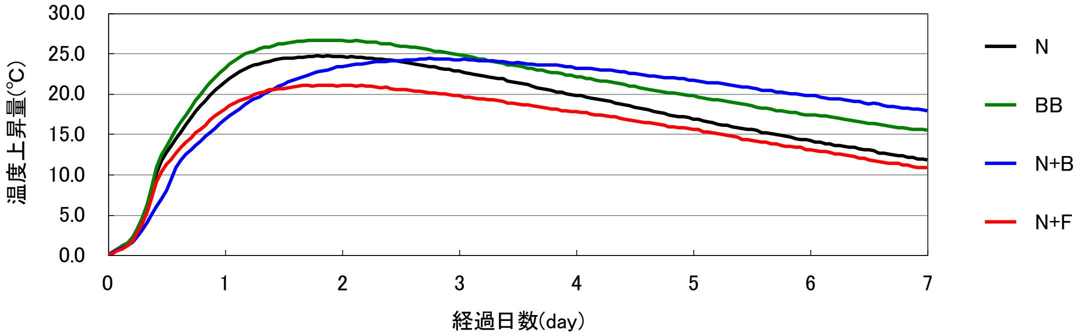
早月川産



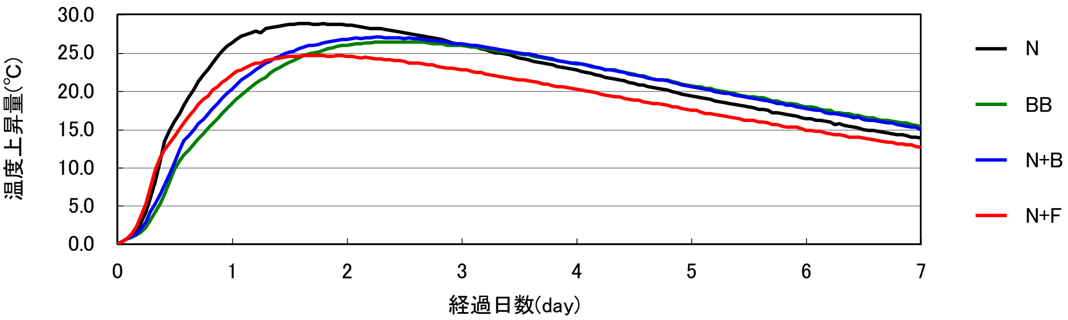
庄川産



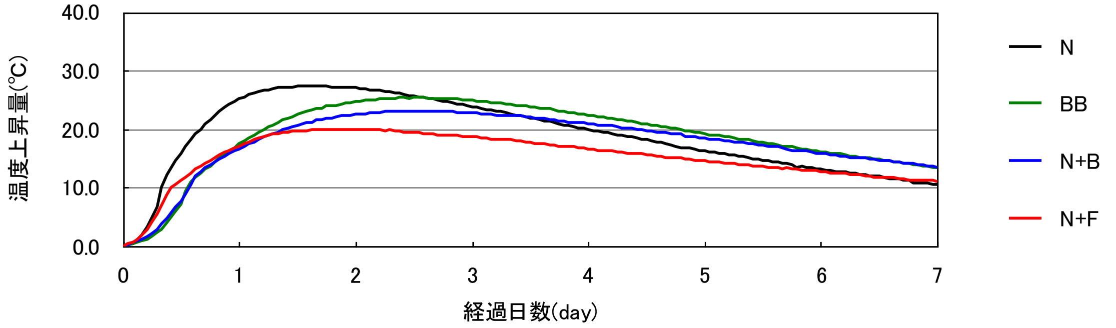
手取川産



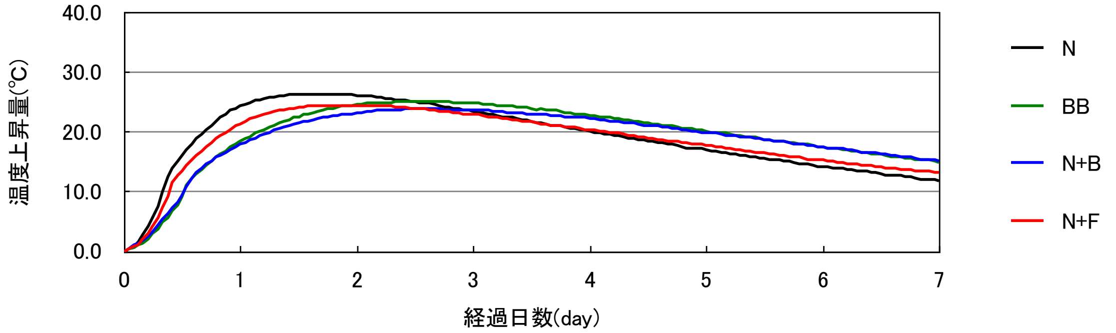
能登産



九頭竜川産

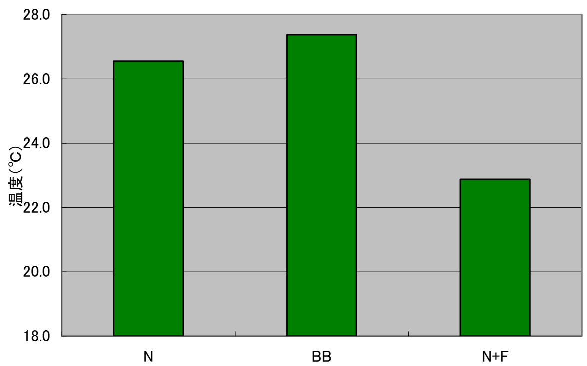


今津産



ピーク温度の平均値

＜富山・石川県のケース＞



＜福井県のケース＞

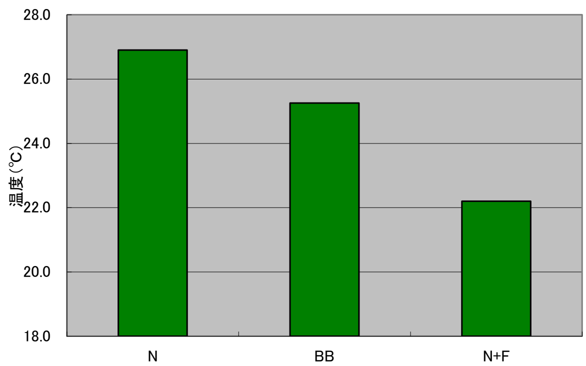


図４－１１　簡易断熱温度上昇試験結果（T_0:コンクリート中心部の温度）

(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントＢ種, N＋B:高炉スラグ微粉末 42%置換, N＋F:フライアッシュ 15%置換)

(2)完全断熱温度上昇

a.試験方法

完全断熱温度上昇試験装置にて、コンクリート温度上昇量を測定する。装置の概要を**図４－１２**に示す。

b.試験結果

完全断熱温度上昇試験結果を**図４－１３**に示す。図より、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）の温度上昇量（材齢２日）は、高炉セメントB種を使用したコンクリート（ＢＢ），普通ポルトランドセメントに高炉スラグを置換したコンクリート（N＋B）に比べ小さく、簡易断熱温度上昇試験結果同様、N＋Fは温度ひび割れ抑制に有効である。

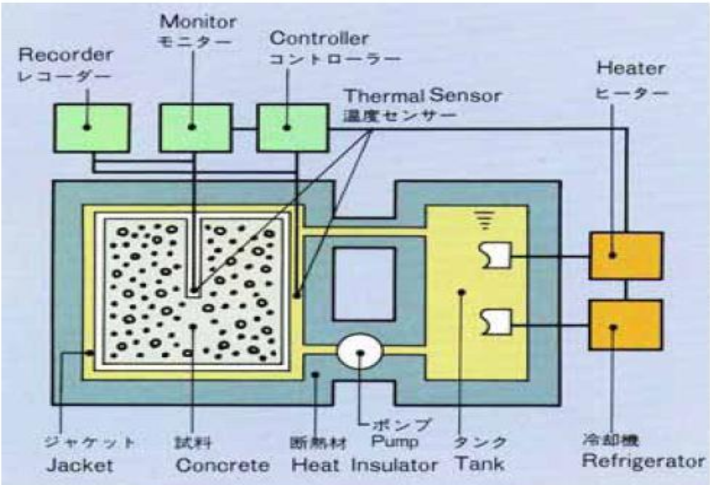


図４－１２　断熱温度上昇試験装置の概要

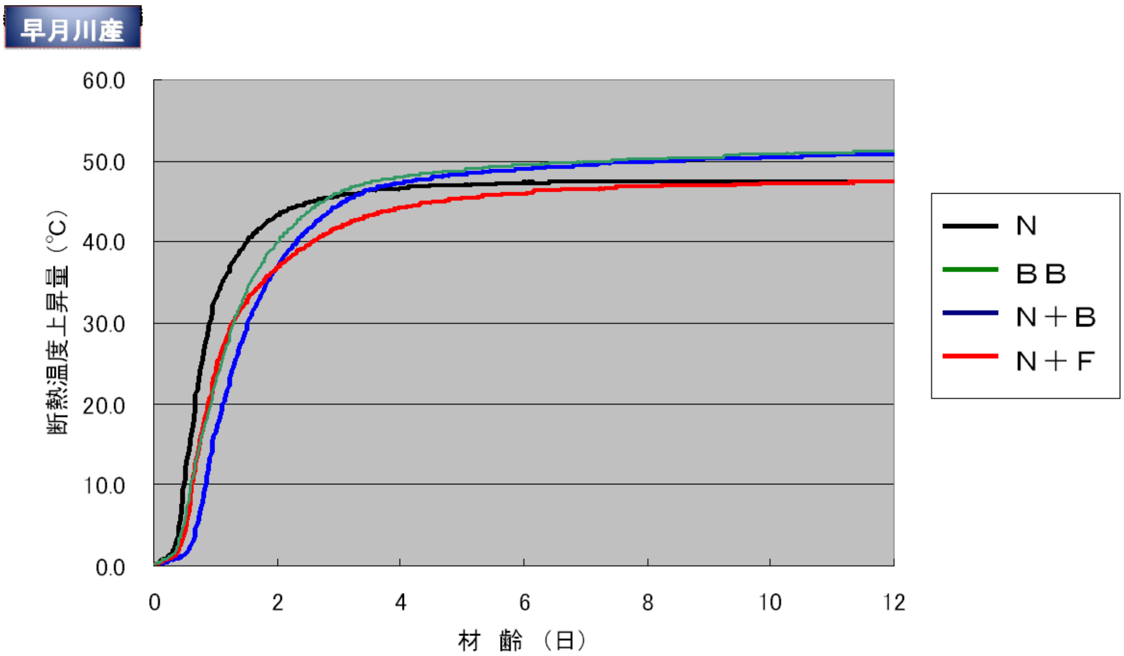


図４－１３　完全断熱温度上昇試験結果

（N：普通ポルトランドセメント，BB：高炉セメントＢ種，N＋B：高炉スラグ微粉末42%置換，N＋F：フライアッシュ15%置換）

７）ＡＳＲ抑制

(1) 化学法（JIS A1145）

a. 試験方法

JIS A 1145 に準拠し、各骨材（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）の反応性を測定する。

b. 試験結果

試験に使用した骨材の特徴を**表４－５**に、化学法の結果を**表４－６**に、化学法の判定図を**図４－１４**に示す。

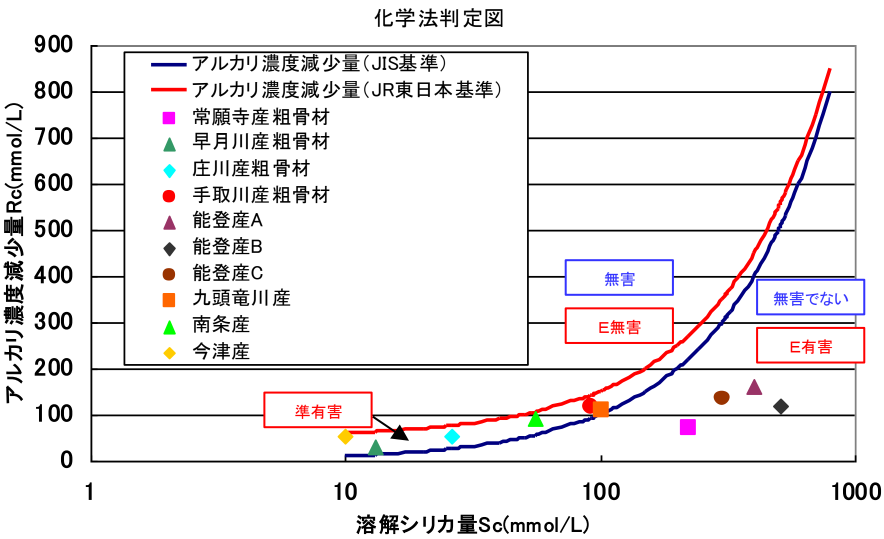
化学法では、常願寺川産骨材と能登産（A、B、C）の骨材が JIS の基準では「無害でない」、JR 東日本の基準では「E 有害」であり、反応性のある判定である。また、早月川産、庄川産、手取川産、九頭竜川産、福井県南条産、滋賀県今津産の骨材は、JIS の基準では「無害」の判定であるが、JR 東日本の基準では「準有害」の判定である。

表４－５　骨材の特徴※

骨材の産地名	岩種	反応性鉱物の特徴
常願寺川産 (川砂利)	主要な岩種は火成岩で安山岩を 40%程度含む	安山岩中に反応性鉱物：クリストバライト、トリディマイト、オパール、火山ガラス
早月川産 (川砂利)	主要な岩種は花崗岩、閃緑岩などの深成岩	反応性鉱物はあまり含まない
庄川産 (川砂利)	多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含む	安山岩中に反応性鉱物：クリストバライト、トリディマイト、火山ガラス（少）
手取川産 (川砂利)	多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含む	安山岩中に反応性鉱物：クリストバライト、トリディマイト、火山ガラス（少）
能登産Ａ (砕石)	安山岩	反応性鉱物：火山ガラス（少）
能登産Ｂ (砕石)	安山岩	反応性鉱物：火山ガラス（中）
能登産Ｃ (砕石)	安山岩	反応性鉱物：火山ガラス（多）
九頭竜川産 (川砂利)	多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含む	安山岩中に反応性鉱物：クリストバライト、トリディマイト、火山ガラス（少）
福井県南条産 (砕石)	チャート、閃緑岩（若しくは輝緑岩）	反応性鉱物は含まない
滋賀県今津産 (砕石)	凝灰岩	反応性鉱物は含まない

表４－６　化学法の結果

骨材の産地名	アルカリ濃度減少量：Ｒｃ（mmｏｌ／Ｌ）	溶解シリカ量：Ｓｃ（mmｏｌ／Ｌ）
常願寺川産	７２	２４２
早月川産	２９	１３
庄川産	５４	２６
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

＜ＪＩＳ＞

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

＜ＪＲ東日本「土木工事標準仕様書」＞

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

図４－１４　化学法の判定図

モルタルバー法（JIS A1146）

a. 試験方法

JIS A1146 に準拠し、化学法で用いた骨材（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）の内、JIS 基準または JR 東日本基準でそれぞれ「無害」もしくは「E 無害」と判定されなかった骨材により作製された供試体(フライアッシュは 15%、高炉スラグは 42%置換したモルタルバー)の膨張率を算出する。なお、JIS A1146 においては、セメントの全アルカリ量が Na_2Oeq で 1.2%となるように NaOH 水溶液を添加することとなっており、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、**表４－７**のとおりアルカリ量を調整した。

b. 試験結果

モルタルバー法(JIS A1146)の結果を**図４－１５～図４－２４**に示す。図より、常願寺川産の場合、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N）、普通ポルトランドセメントに高炉スラグを置換したコンクリート（N＋B）では「無害でない」、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「無害」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。従って、N＋Fは、常願寺川産の中でも特に反応性が高いと考えられる骨材に対しても膨張が抑制され、ＡＳＲ抑制に極めて有効であると考えられる。

表４－７　アルカリ量の調整（富山・石川の例）

種類	材料のアルカリ量	材料の添加量		全体	セメント分	フライアッシュ分	高炉スラグ分	NaOH分(添加量)
N	ｾﾒﾝﾄ:0.55%	ｾﾒﾝﾄ:600g	Na_2Oeq量(g)	７．２	３．３	－	－	３．９
			割合(%)	１．２	０．５５	－	－	０．６５
N＋B	ｾﾒﾝﾄ:0.55%	ｾﾒﾝﾄ:348g	Na_2Oeq量(g)	７．２	１．９	－	１．１	４．２
	高炉ｽﾗｸﾞ:0.43%	高炉ｽﾗｸﾞ:252g	割合(%)	１．２	０．３２	－	０．１８	０．７０
N＋F	ｾﾒﾝﾄ:0.55%	ｾﾒﾝﾄ:510g	Na_2Oeq量(g)	７．２	２．８	１．０	－	３．４
	ﾌﾗｲｱｯｼｭ:1.14%	ﾌﾗｲｱｯｼｭ:90g	割合(%)	１．２	０．４７	０．１７	－	０．５６

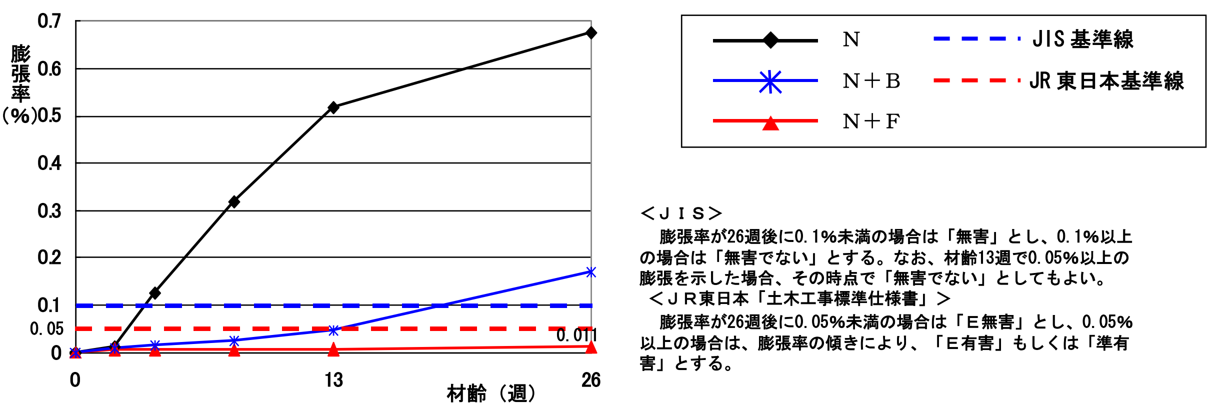
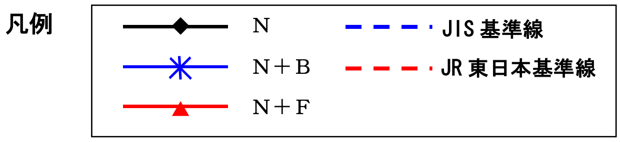
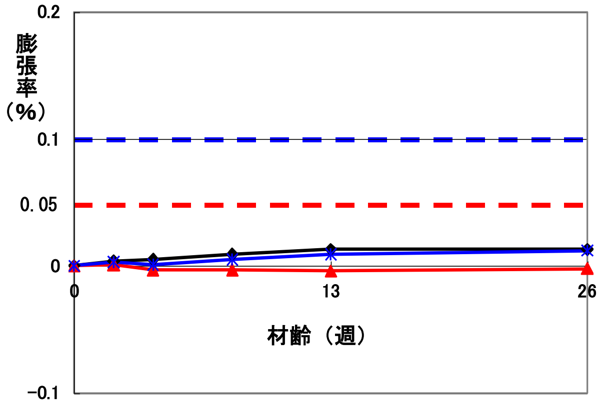


図４－１５　モルタルバー法の結果（常願寺川産）

(N:普通ポルトランドセメント, N＋B:高炉スラグ微粉末 42%置換, N＋F:フライアッシュ 15%置換)





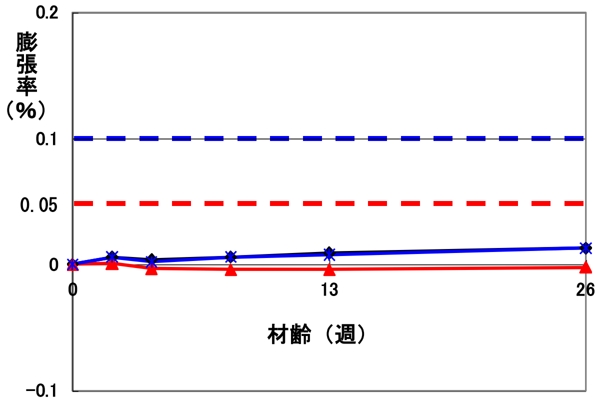
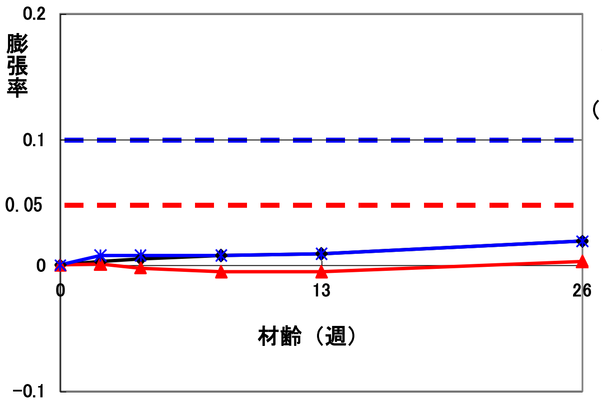


図４－１６　モルタルバー法の結果（早月川産）　図４－１７　モルタルバー法の結果（庄川産）



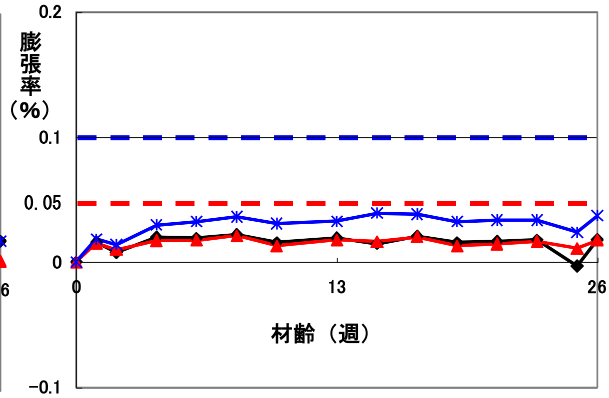
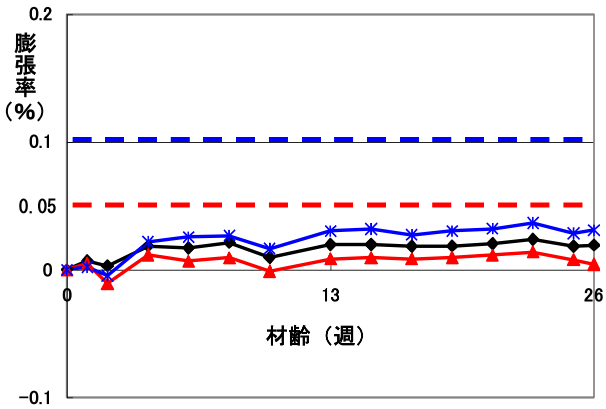


図４－１８　モルタルバー法の結果（手取川産）図４－１９　モルタルバー法の結果（能登産Ａ）



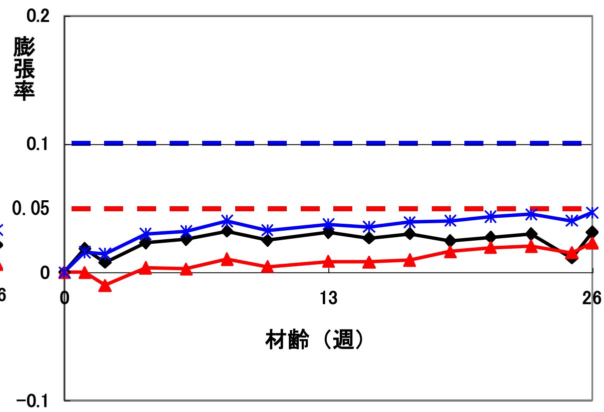
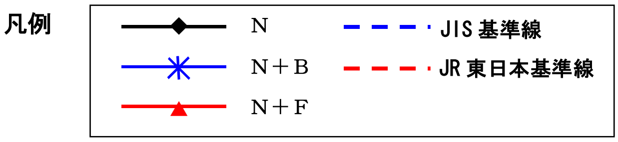


図４－２０　モルタルバー法の結果（能登産Ｂ）図４－２１　モルタルバー法の結果（能登産Ｃ）

(N:普通ポルトランドセメント, N＋B:高炉スラグ微粉末 42%置換, N＋F:フライアッシュ 15%置換)



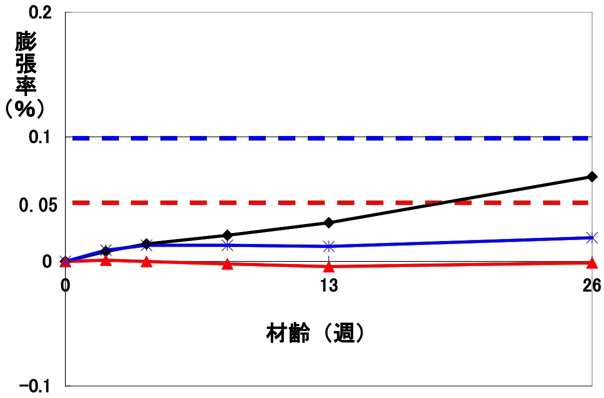


図４－２２　モルタルバー法の結果（九頭竜川産）

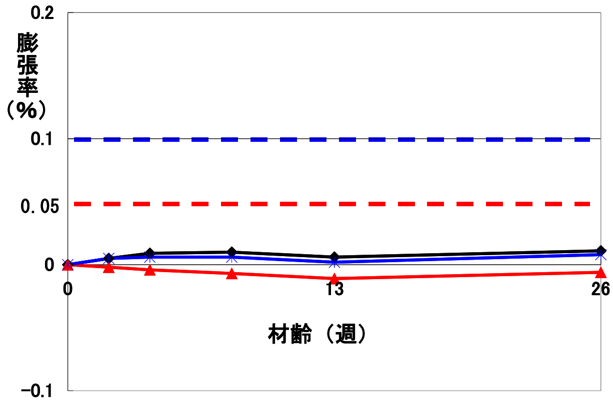


図４－２３　モルタルバー法の結果（南条産）

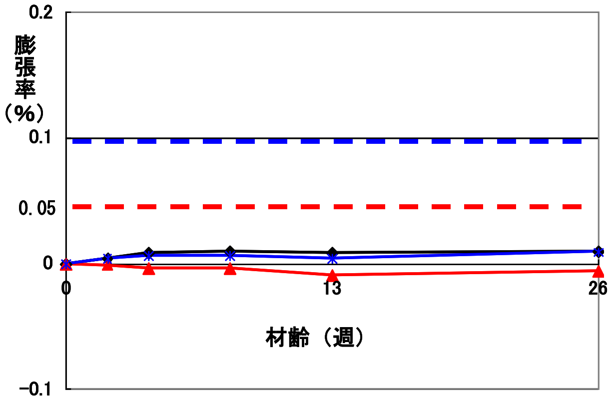


図４－２４　モルタルバー法の結果（今津産）

(N:普通ポルトランドセメント, N＋B:高炉スラグ微粉末 42%置換, N＋F:フライアッシュ 15%置換)

(3) モルタルバー法（デンマーク法※）

a. 試験方法

デンマーク法により、化学法で用いた富山県、石川県の骨材（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）の内、JIS 基準または JR 東日本基準でそれぞれ「無害でない」もしくは「E 有害」と判定された骨材により作製された供試体 (モルタルバー) を用いて膨張率を算出する。フライアッシュの置換率は、5%、10%、15%、20%、高炉スラグの置換率は 42%とした。また、デンマーク法終了後の供試体から薄片（縦約 20㎜×横約 40㎜、厚さ約 20μm）を作製し、偏光顕微鏡観察を行う。

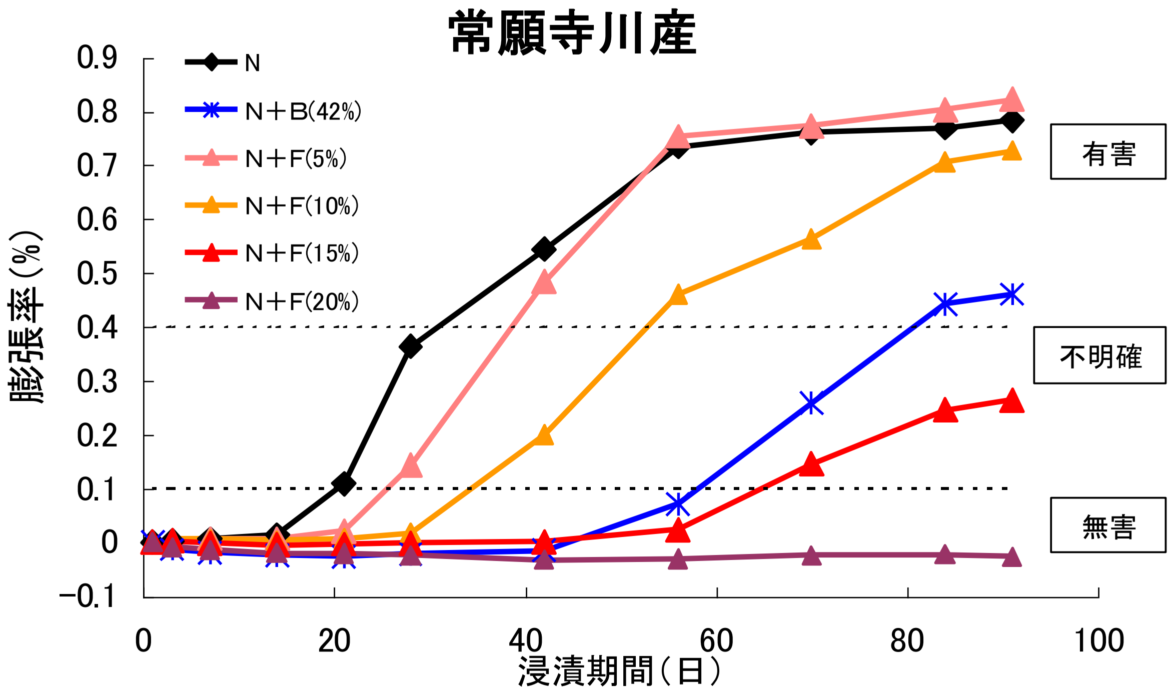
※デンマーク法においては、40㎜×40㎜×160㎜ の供試体を作製し、20℃にて 28 日間水中養生後、供試体を 50℃の飽和 NaCl 溶液に浸漬し、3 箇月間の膨張量の経時変化を測定する。なお、モルタル中のアルカリ量は調整しない。判定は 3 箇月後の膨張率が 0.1%未満の場合は「無害」、0.1～0.4%の場合は「不明確」、0.4%以上の場合は「有害」とする。

b. 試験結果

デンマーク法の結果を**図４－２５**および**図４－２６**に示す。図より、常願寺川産の場合、JIS A1146 法同様、N，N＋Bで「有害」、N＋F (15%以上) で「不明確」※もしくは「無害」であった。門前産の場合、Nで「有害」、N＋Bで「無害」、N＋F (15%以上) で「不明確」もしくは「無害」、それ以外の骨材の場合、いずれも「不明確」もしくは「無害」であった。従って、N＋F (15%以上) は、Nで「有害」と判定された常願寺川産、門前産ともに、膨張が抑制され、ＡＳＲ抑制に大変有効であると考えられる。

また、デンマーク法終了後の偏光顕微鏡観察結果を**図４－２７**に示す。図より、デンマーク法により「有害」と判定されたものには、ＡＳＲゲルを伴う比較的大きなひび割れが見られたが、「不明確」もしくは「無害」と判定されたもののひび割れは軽微であった。

※デンマーク法における養生条件は、かなり厳しい試験条件であり、「不明確」の判定であっても、実構造物の条件においてはＡＳＲを十分抑制できると考えられる。



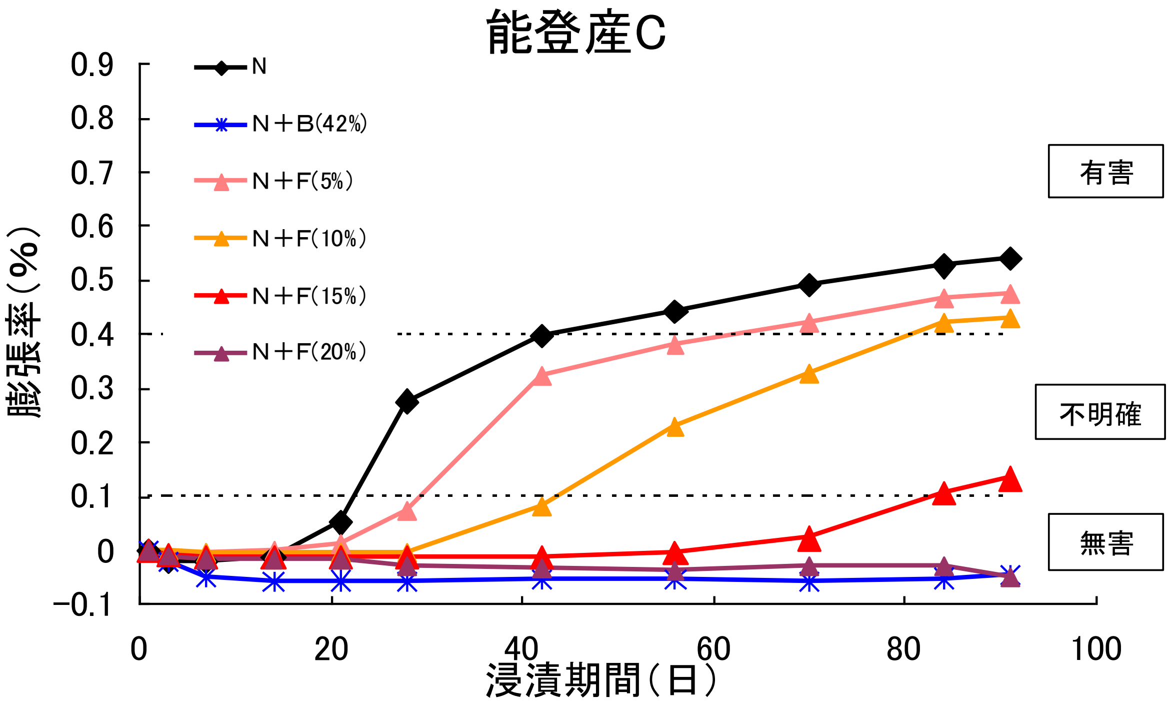


図４－２５　モルタルバー法（デンマーク法）の結果（常願寺川産・能登産Ｃ）

(N：普通ポルトランドセメント，Ｎ＋Ｂ：高炉スラグ微粉末 42%置換，Ｎ＋Ｆ：フライアッシュ 15%置換)

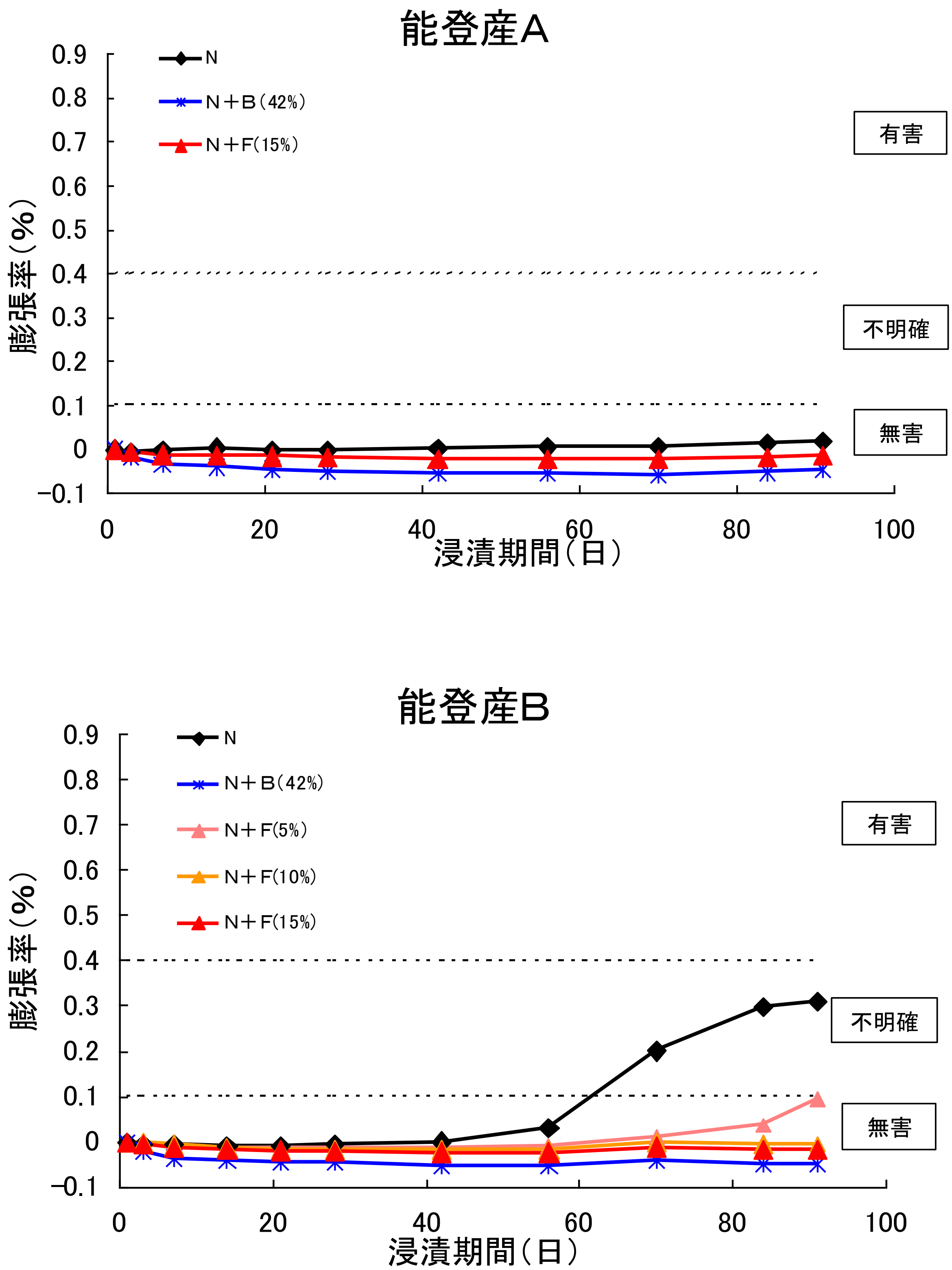
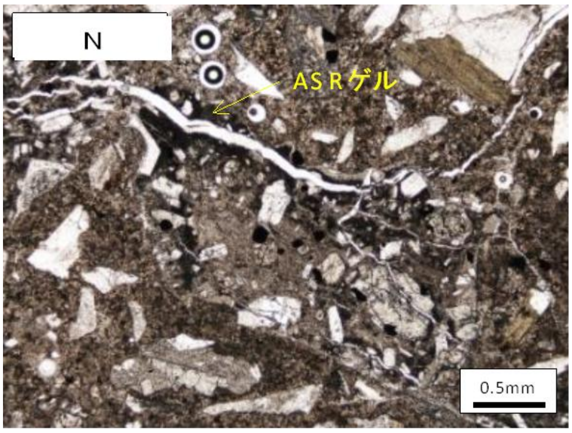


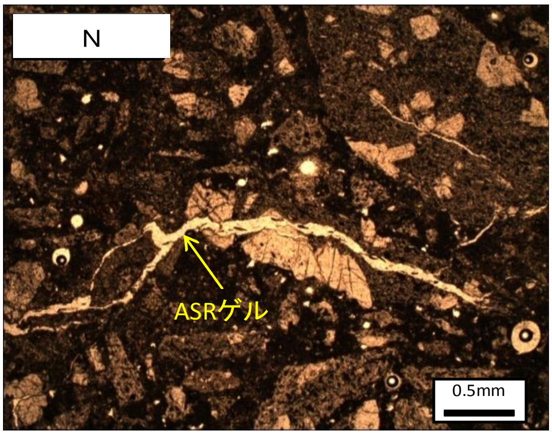
図４－２６　モルタルバー法（デンマーク法）の結果（能登産Ａ・能登産Ｂ）

(N:普通ポルトランドセメント, Ｎ＋Ｂ:高炉スラグ微粉末 42%置換, Ｎ＋Ｆ:フライアッシュ 15%置換)

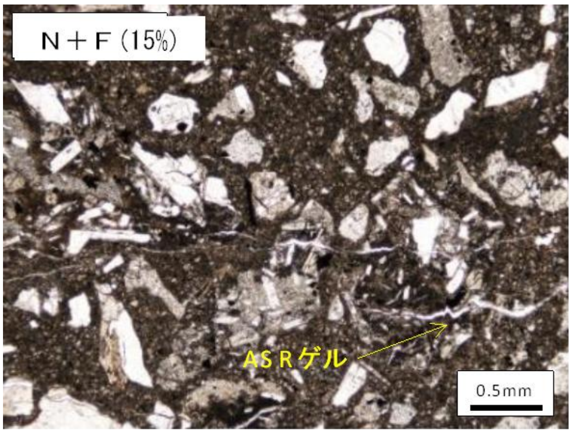
常願寺川産　　　　　能登産Ｃ



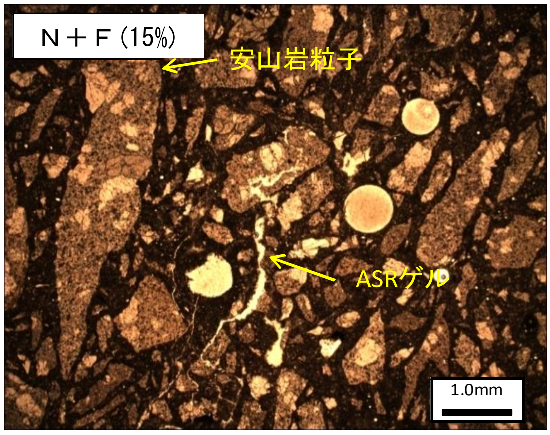
（デンマーク法で「有害」）



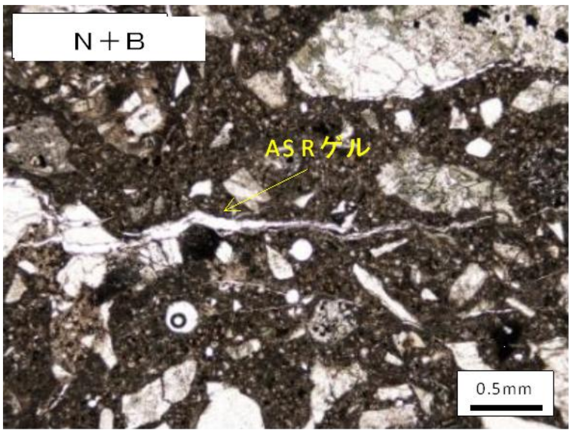
（デンマーク法で「有害」）



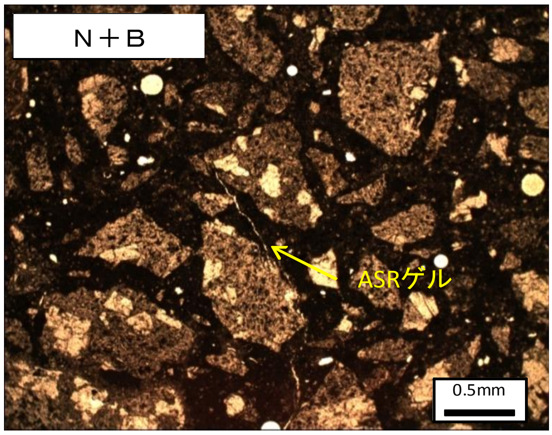
（デンマーク法で「不明確」）



（デンマーク法で「不明確」）



（デンマーク法で「有害」）



（デンマーク法で「無害」）

図４－２７　偏光顕微鏡観察結果

(N：普通ポルトランドセメント, N＋B：高炉スラグ微粉末 42%置換, N＋F：フライアッシュ 15%置換)

８）耐久性向上（供試体は材齢 91 日を使用）

(1)透水抑止性

a. 試験方法

JSCE-K-571-6.3 に準拠し、一定の水圧下における供試体への水の浸透量を透水試験にて測定する。透水試験の方法を**図４－２８**に示す。試験は、角柱供試体(100㎜×100㎜×100㎜)の上面に漏斗を載せて水を満たし、透水量を測定する。供試体の上面および底面以外はエポキシ樹脂にて被覆し、上面は漏斗を固定した周りをシリコンで被覆する。透水により減った分の水を毎日補給し、水面を一定とする。なお、供試体は材齢 91 日以降のものを使用し、透水量は以下の式により求める。

1 日当たりの透水量（ml/日）

$$= \frac{\text{10 日目の積算透水量（ml）－5 日目の積算透水量（ml）}}{\text{5 日間}}$$

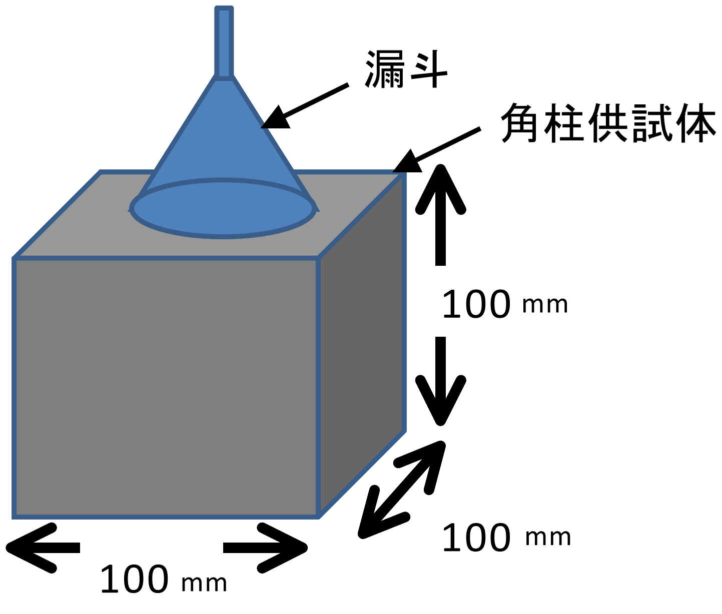


図４－２８　透水試験の方法

b. 試験結果

透水量の測定結果を**図４－２９**に示す。図より、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）の透水抑止性は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N)、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と比べ同等である。

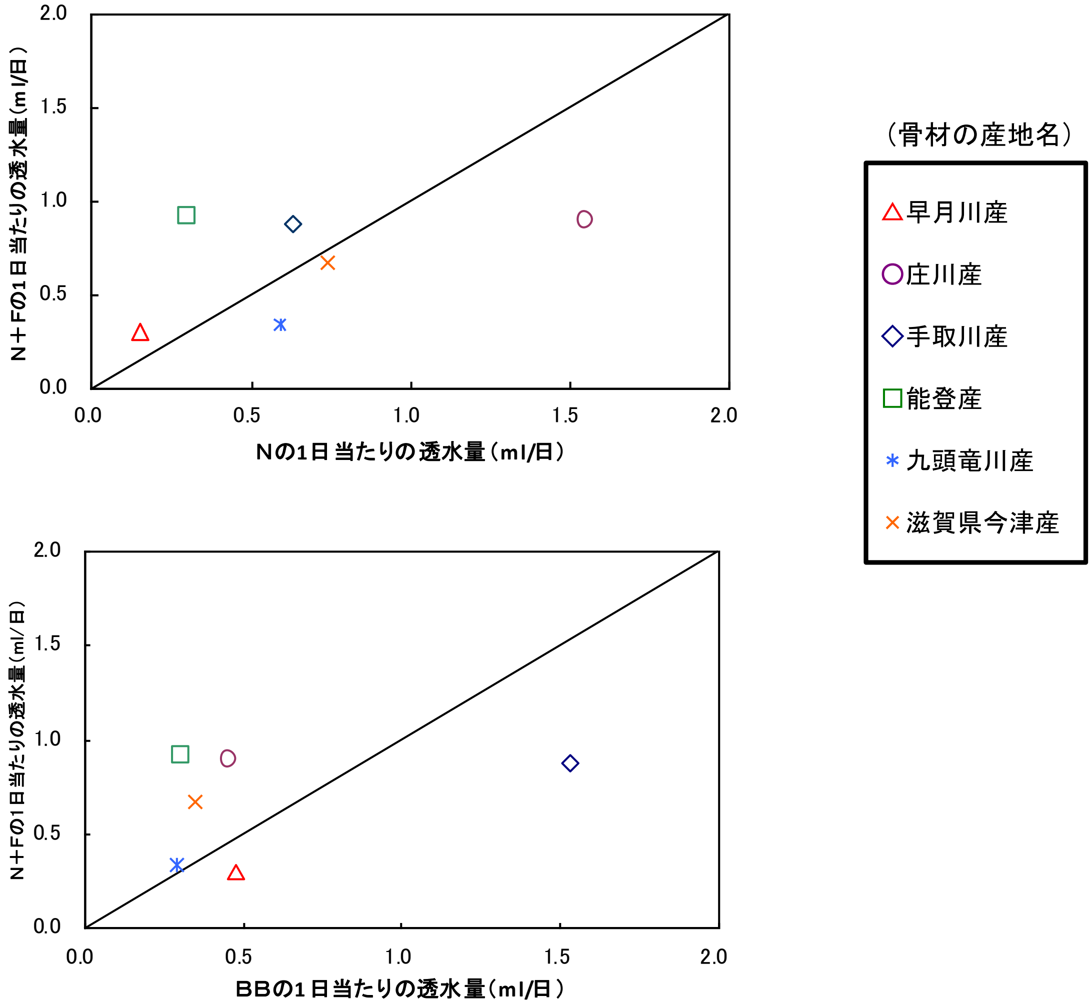


図４－２９　透水量の測定結果

(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)

(2) 塩化物イオン浸透抑止性

a. 塩化物イオン浸透深さ

a) 試験方法

塩水に浸漬した供試体のCl^{-}浸透深さを測定する。供試体は材齢 91 日以降の供試体を使用し、暴露面以外はエポキシ樹脂にて被覆し、3%NaCl 溶液に 91 日間浸漬する。暴露後、エポキシ樹脂をはがし、断面に 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧し、発色法により塩化物イオンの浸透深さを測定する。

b) 試験結果

塩化物イオン浸透深さの測定結果を**図４－３０**に示す。図より、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）の塩化物イオン浸透深さは、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N）よりも小さく、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と同等である。

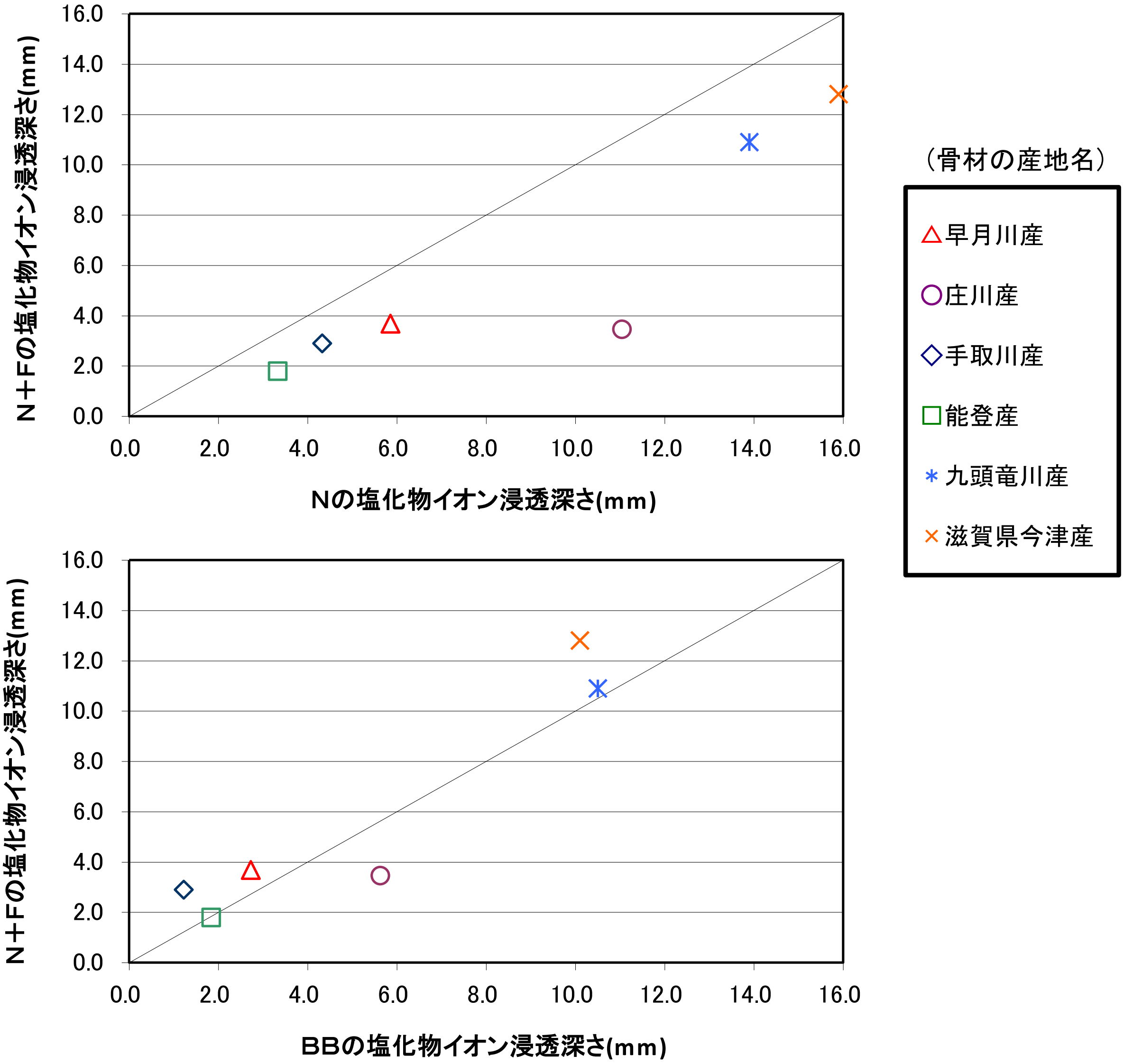


図４－３０　塩化物イオン浸透深さの測定結果

(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)

b. 見かけの拡散係数

a) 試験方法

JSCE-G-571-2007 に準拠し、直流定電圧を用いた電気泳動法により、コンクリート中で定常状態にある塩化物イオンの実効拡散係数を計測し、見掛けの拡散係数を算出する。電気泳動試験の方法を**図４－３１**に示す。見掛けの拡散係数は、塩化物イオンがコンクリートの細孔溶液中で固定化をともないながら濃度勾配を駆動力として移動するとき、全塩化物イオンを対象として拡散の速さを規定する係数である。

b) 試験結果

見掛けの拡散係数の算出結果を**図４－３２**に示す。図より、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）の見掛けの拡散係数は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（Ｎ）よりも小さく、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と同等もしくは小さい。

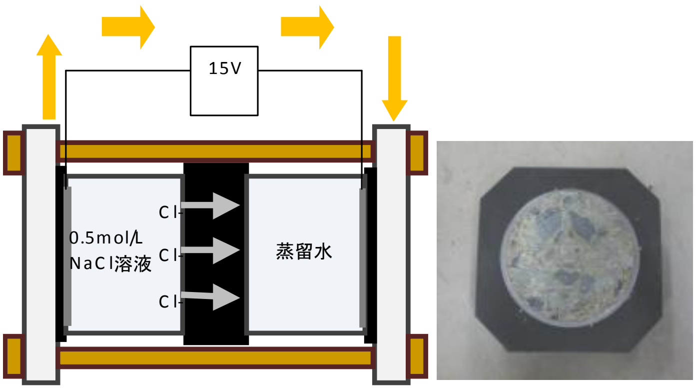


図４－３１　電気泳動試験の方法

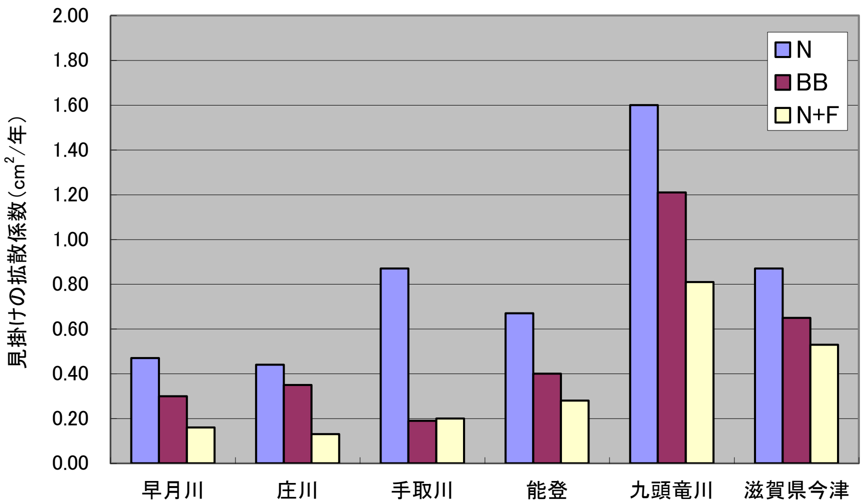


図４－３２　見掛けの拡散係数の算出結果

(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)

(3)鉄筋腐食抑止性

a.試験方法

腐食促進環境下に供試体を暴露して、鉄筋腐食の目安として、鉄筋電位・分極抵抗およびコンクリート抵抗を測定する。供試体は材齢 91 日以降の供試体を使用し、温度 40℃、3%NaCl 水溶液に 12 時間浸漬、温度 40℃、RH60％以下で 72 時間乾燥を繰り返す。その後、各測定に供する。試験終了後には、供試体を割裂し、鉄筋の腐食状況を観察する。

b.試験結果

鉄筋の腐食状況写真（暴露 91 日経過）を**図４－３３**に示す。写真より、いずれも 91 日経過時点では腐食に至っていないことが確認できる。(写真の端部の腐食は対象範囲外)

参考として、自然電位の測定結果を**図４－３４**に、分極抵抗の測定結果を**図４－３５**に、コンクリート抵抗の測定結果を**図４－３６**に示す。

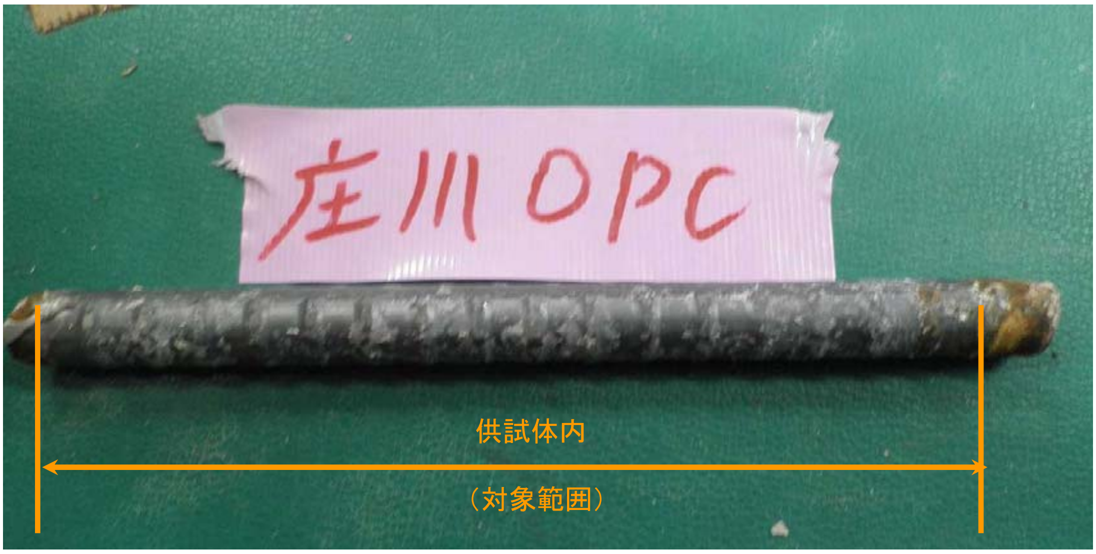
N

N＋F

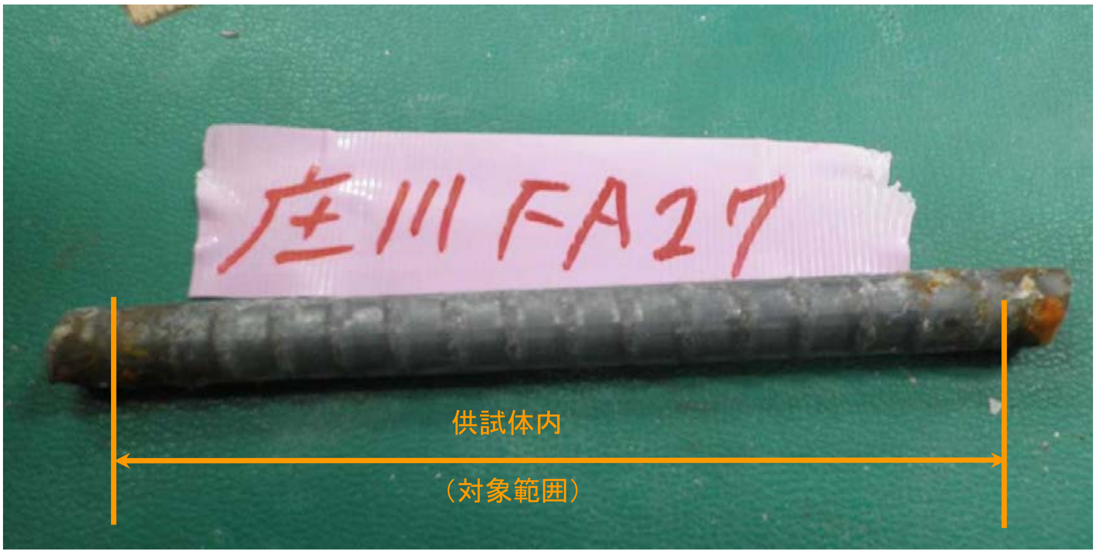
ＢＢ

図４－３３　鉄筋の腐食状況（その１：早月川産）

（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）



Ｎ

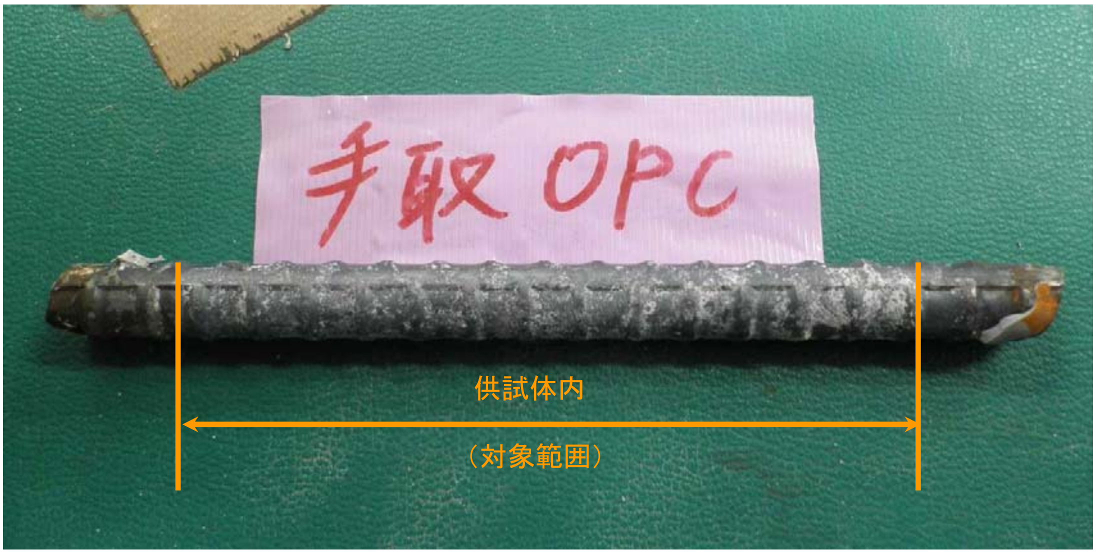


Ｎ＋Ｆ

ＢＢ

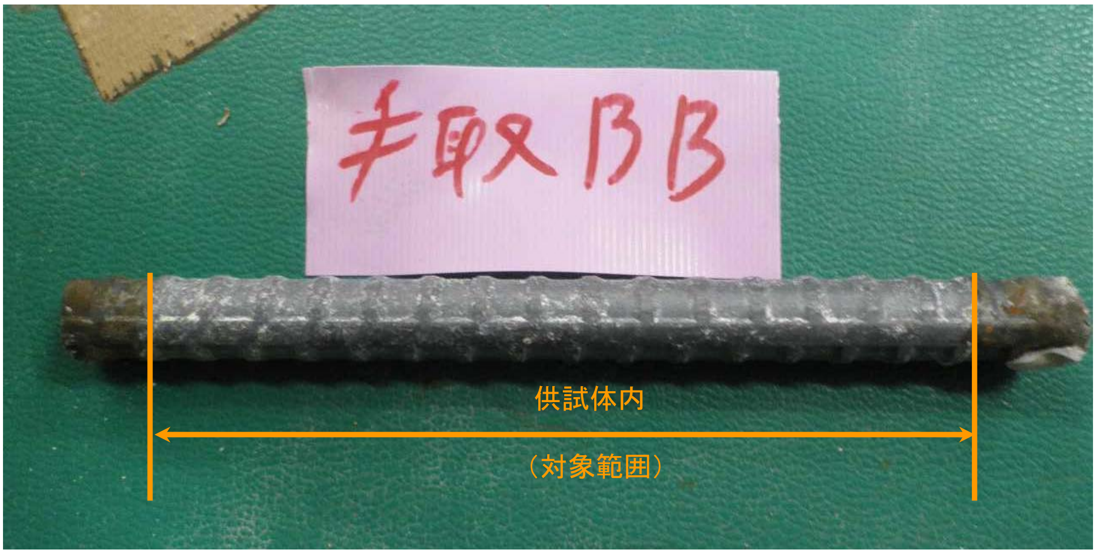
図４－３３　鉄筋の腐食状況（その２：庄川産）

（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）



Ｎ

Ｎ＋Ｆ



ＢＢ

図４－３３　鉄筋の腐食状況（その３：手取川産）

（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）

N

N＋F

ＢＢ

図４－３３　鉄筋の腐食状況（その４：能登産）

（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）

N

N＋F

ＢＢ

図４－３３　鉄筋の腐食状況（その５：九頭竜川産）
（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）

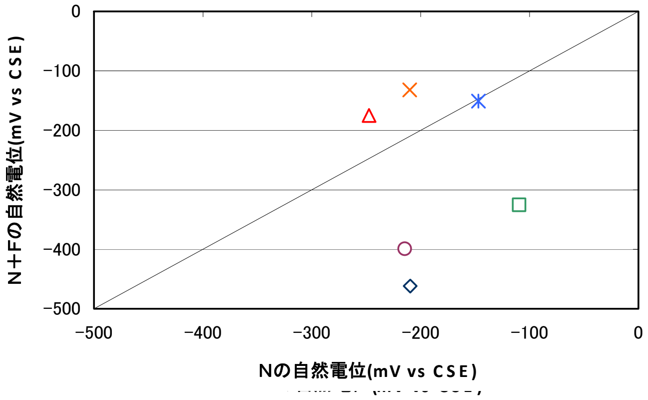
N

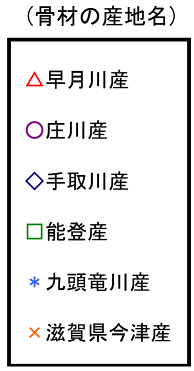
N＋F

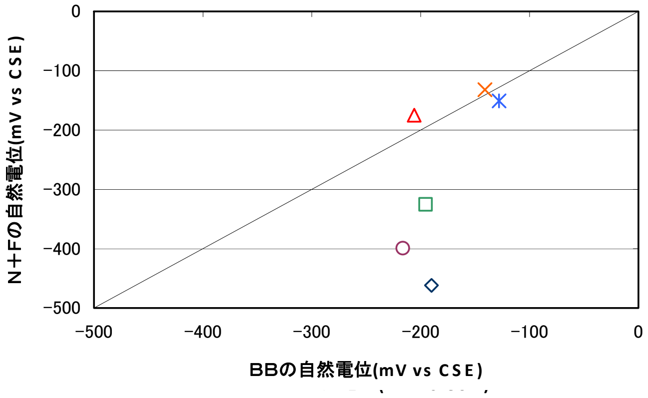
ＢＢ

図４－３３　鉄筋の腐食状況（その６：滋賀産）

（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）





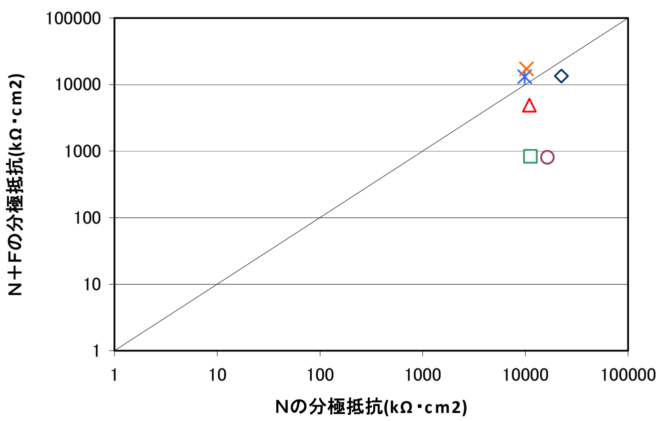


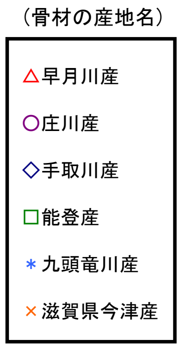
自然電位　E (mV　vs　CSE)	鉄筋腐食の可能性
-200＜E	90%の確率で腐食なし
−350＜E≦−200	不確定
E≦−350	90%の確率で腐食あり

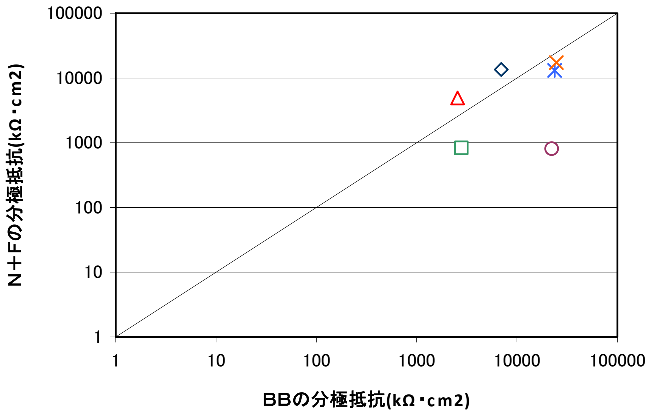
「ASTM C876-91」によるＮに対する基準判定基準

図４－３４　自然電位の測定結果（暴露期間 91 日）

（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）







分極抵抗（kΩcm²）	腐食速度の判定
130～260より大	不動態状態（腐食なし）
52以上130以下	低～中程度の腐食速度
26以上52以下	中～高程度の腐食速度
26未満	激しい、高い腐食速度

「CEB」によるＮに対する基準判定基準

図４－３５　分極抵抗の測定結果（暴露期間 91 日）

（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）

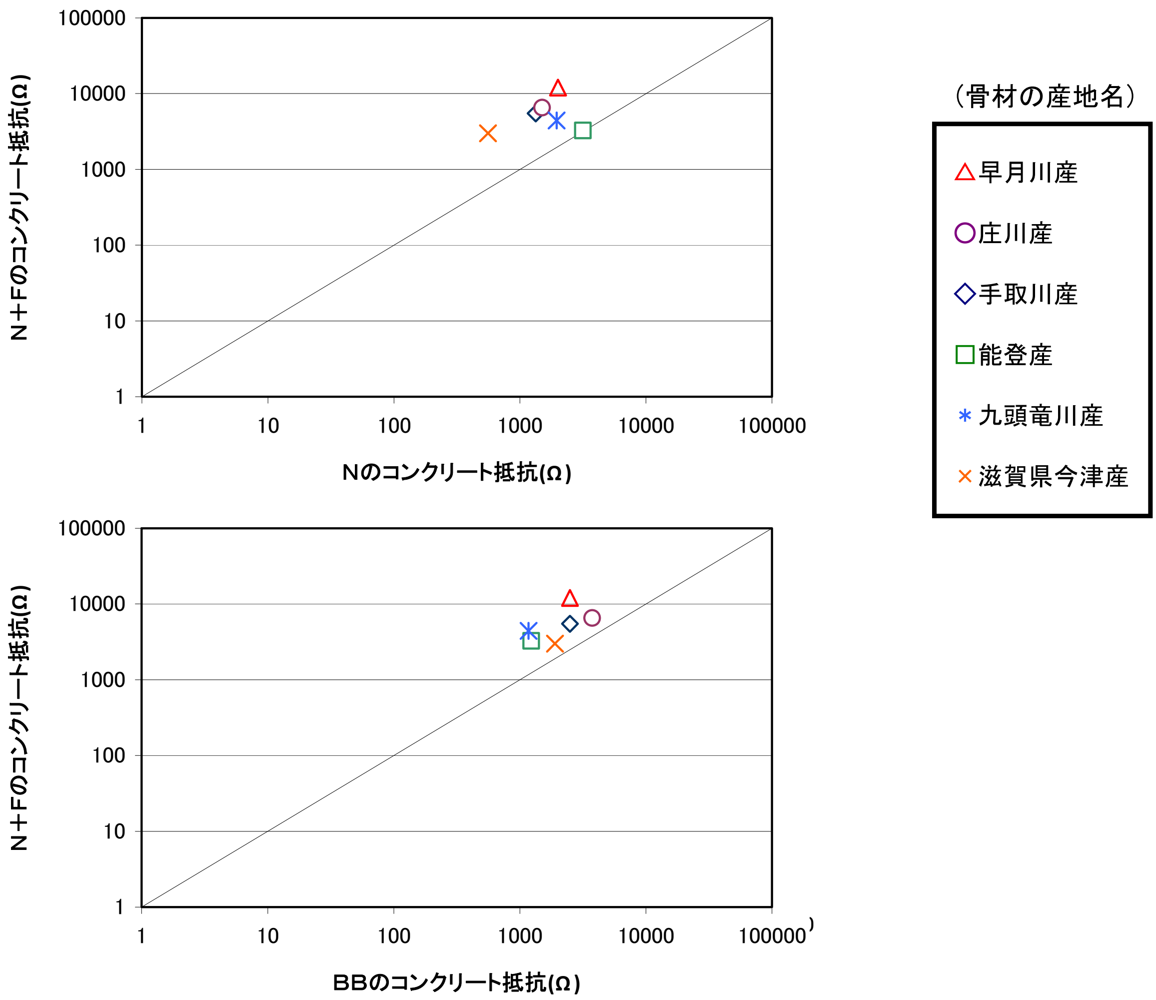


図４－３６　コンクリート抵抗の測定結果（暴露期間 91 日）

（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）

⑷凍害抵抗性

a.試験方法

JIS A1148（B法）に準拠し、凍結と融解を 300 サイクルに亘り行った供試体（100㎜×100㎜×400㎜）の相対動弾性係数と質量減少率を測定し、凍害抵抗性を評価する。

凍害抵抗性は、たわみ振動の一次共鳴振動数より産出した相対動弾性係数（式１）および質量減少率（式２）により評価する。

$$\mathrm{P_n} = \frac{f_n{}^2}{f_0{}^2} \times 100$$

（式１）Pn：凍結融解 n サイクル後の相対動弾性係数(%)

f_n：凍結融解 n サイクル後のたわみ振動の一次共鳴振動数（Hz）

f_0：凍結融解 0 サイクルにおけるたわみ振動の一次共鳴振動数（Hz）

$$\mathrm{W_n} = \frac{w_n}{w_0} \times 100$$

（式２）Wn：凍結融解 n サイクル後の質量減少率(%)

w_n：凍結融解 n サイクル後の供試体の質量（g）

w_0：凍結融解 0 サイクルにおける供試体の質量（g）

b.試験結果

相対動弾性係数の測定結果を**図４－３６**に、質量減少率の測定結果を**図４－３７**に示す。図より、現時点においていずれの骨材においても凍害抵抗性に対する限界値※である相対動弾性係数 60%を満足している。

※ コンクリート標準示方書〔施工編〕((社)土木学会)による「凍害に関するコンクリート構造物の性能を満足するための相対動弾性係数の最小限界値」:60%(一般の断面で普通の露出状態の場合)

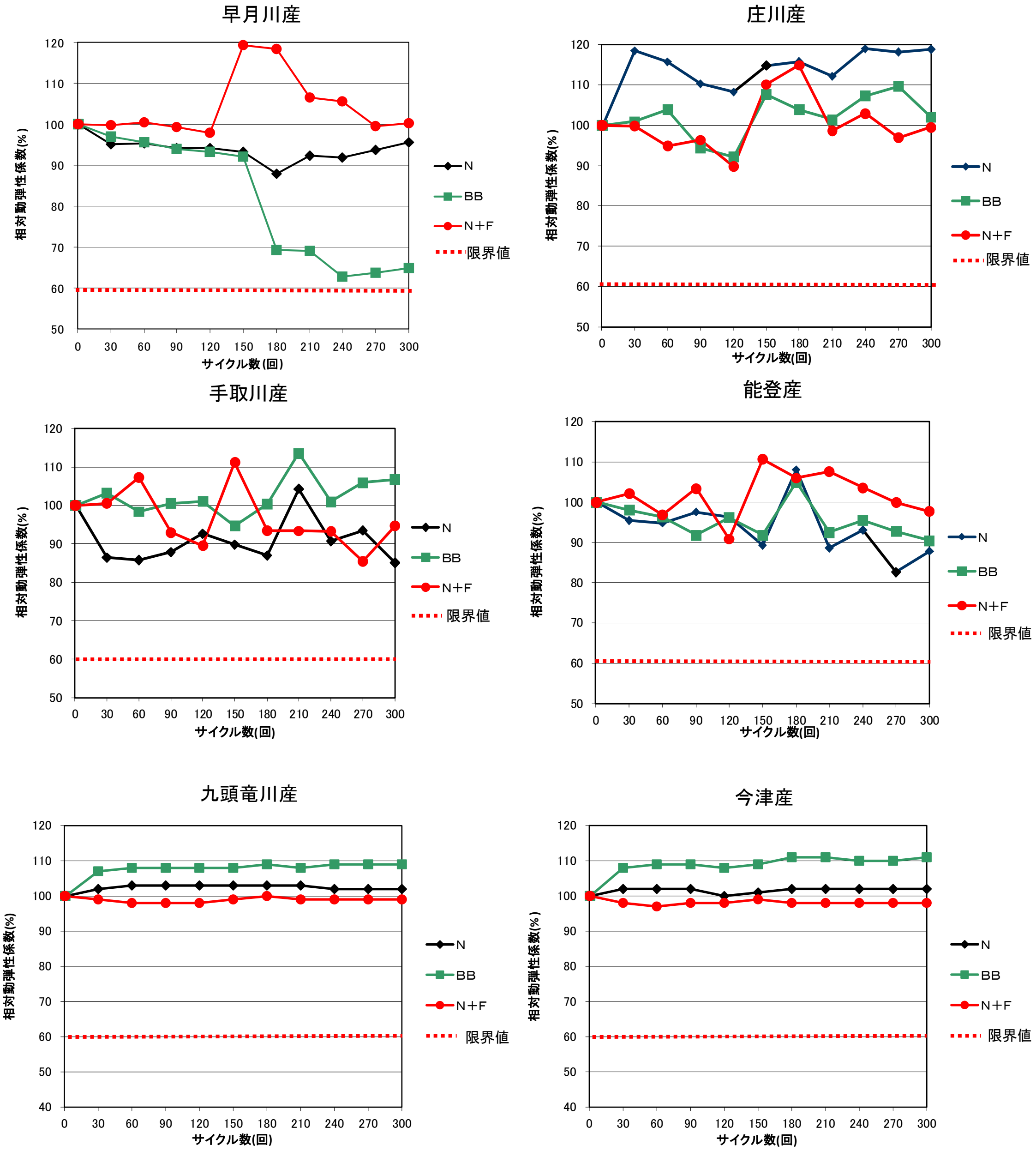


図４－３７　相対動弾性係数の測定結果

(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)

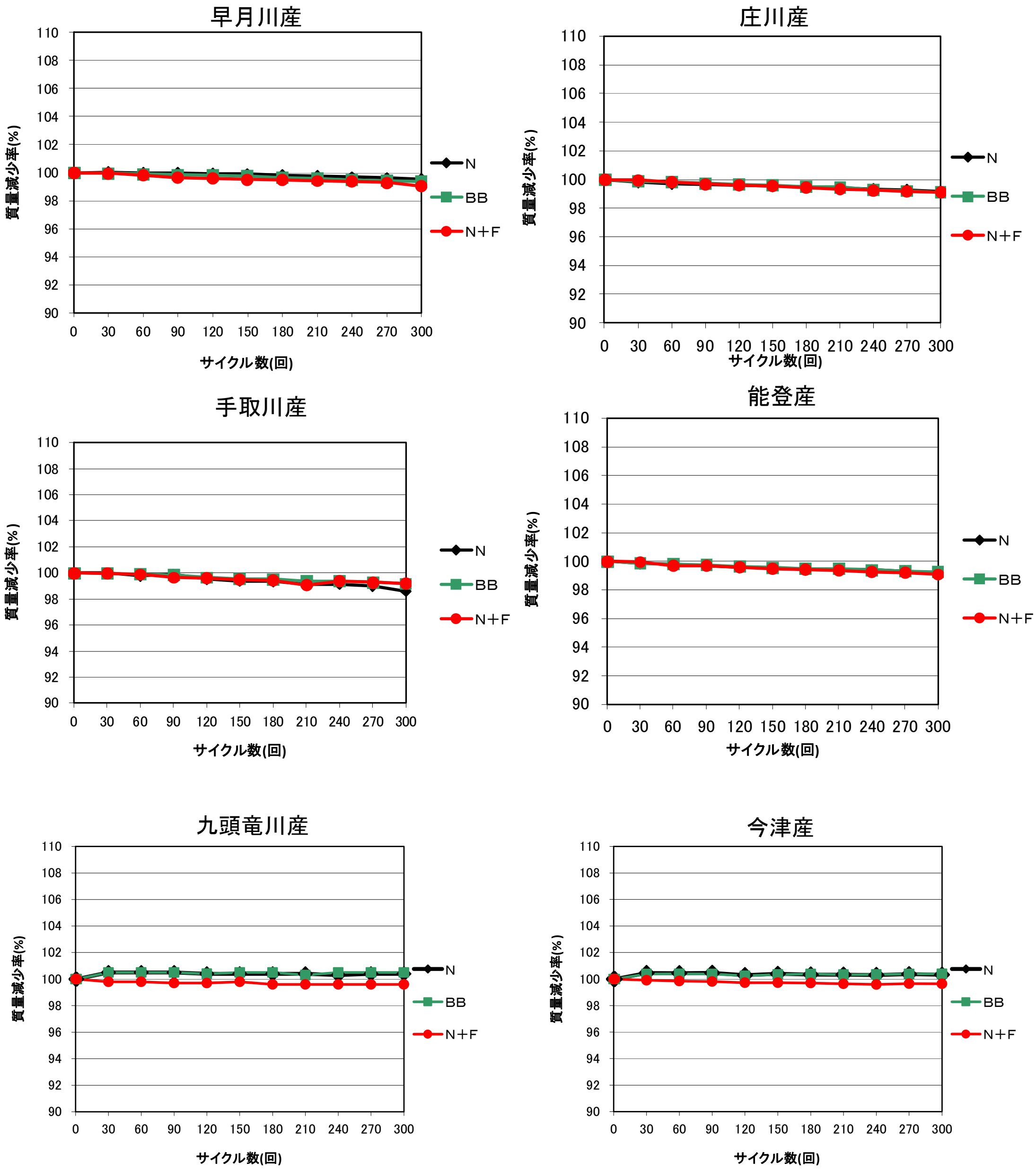


図４－３８　質量減少率の測定結果
(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントＢ種, N＋F:フライアッシュ 15%置換)

(5) 中性化抑止性

a. 試験方法

中性化促進環境下に供試体を暴露して、中性化深さを測定する。供試体は材齢 91 日以降の供試体を使用し、暴露面以外はエポキシ樹脂にて被覆後、温度 20℃、湿度 60%、CO_2濃度 5% （JIS A1153）の条件下に 91 日間静置する。暴露後、エポキシ樹脂をはがし、フェノールフタレイン法（JIS A1152）により断面にフェノールフタレイン 1%エタノール溶液を噴霧し、中性化深さを測定する。

b. 試験結果

中性化深さの測定結果を**図４－３９**に示す。図より、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）の中性化深さは、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N）、高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と同等もしくは小さい。従来、フライアッシュを置換したコンクリートは中性化速度が早いと報告されることがあるが、それは同一水結合材比（結合材はセメント＋フライアッシュ）で比較した場合であり※1、今回の試験では呼び強度を合わせた配合で試験したことから、Ｎ＋Ｆの中性化深さは小さかったものと考えられる。さらに、今回の試験では、水中養生 91 日後に促進を開始したことにより、フライアッシュのポゾラン反応が進み、組織が緻密化されていたこともＮ＋Ｆの中性化深さが小さかった要因と推察される。

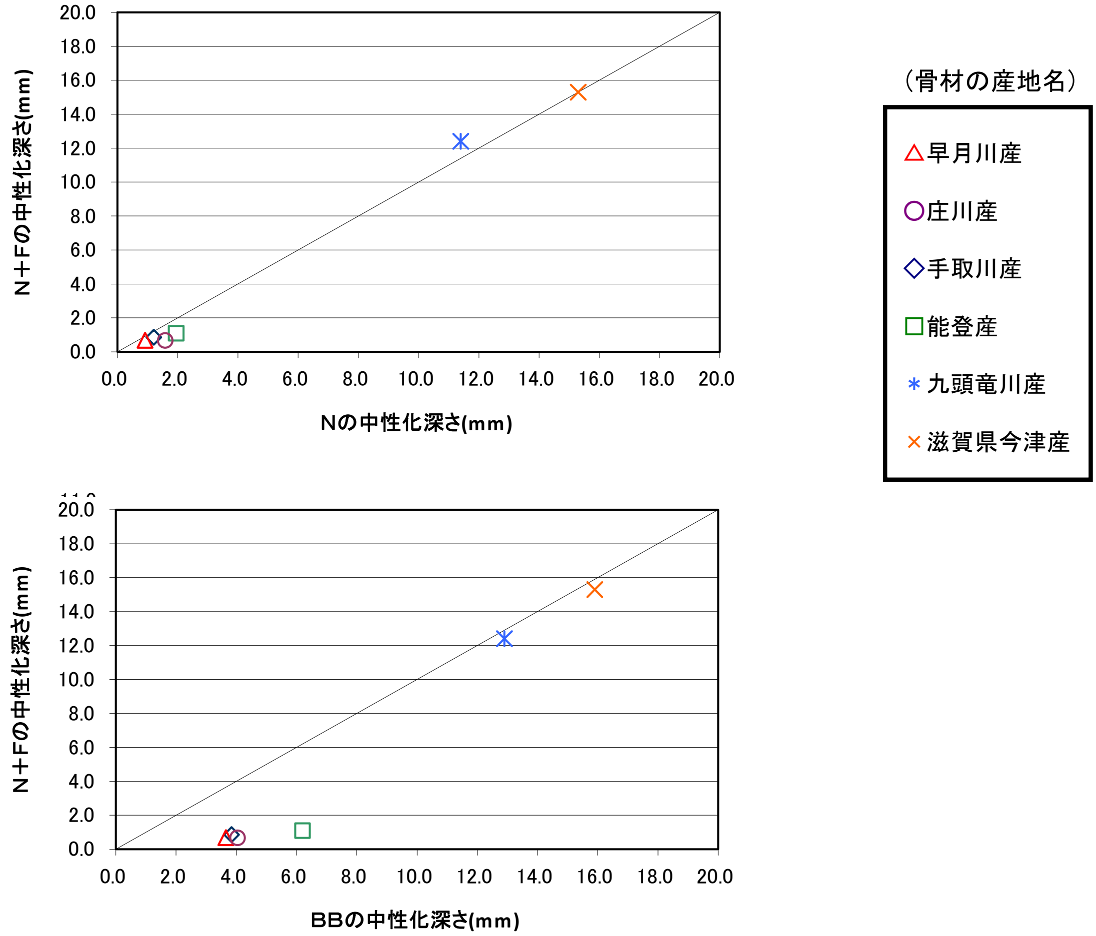


図４－３９　中性化深さの測定結果

（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）

※1 例えば、フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説：(社)日本建築学会：pp162-163、1999

(6) 細孔率

a. 試験方法

水銀圧入式ポロシメータにより、コンクリートの空隙分布を測定する。なお、供試体は材齢 91 日のものを使用する。

b. 試験結果

細孔率を図４－４０に示す。また、参考として積算細孔径容積を図４－４１に示す。図より、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）の細孔率は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート（N）、高炉セメントB種を使用したコンクリート（ＢＢ）と同等である。

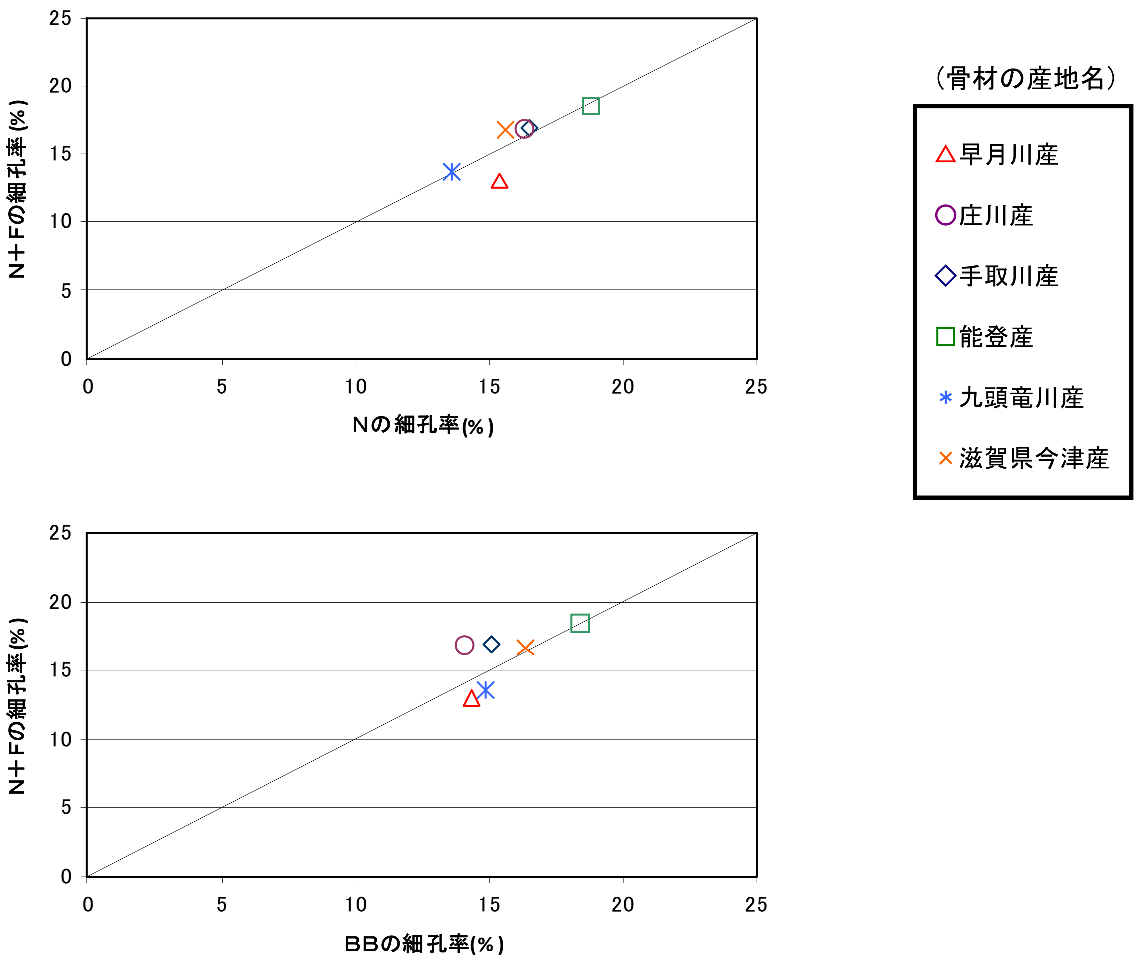
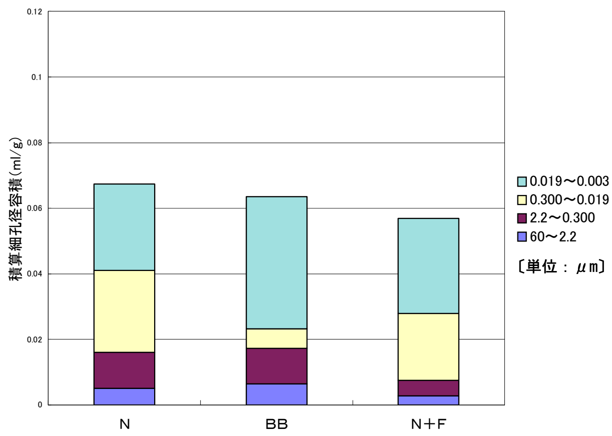


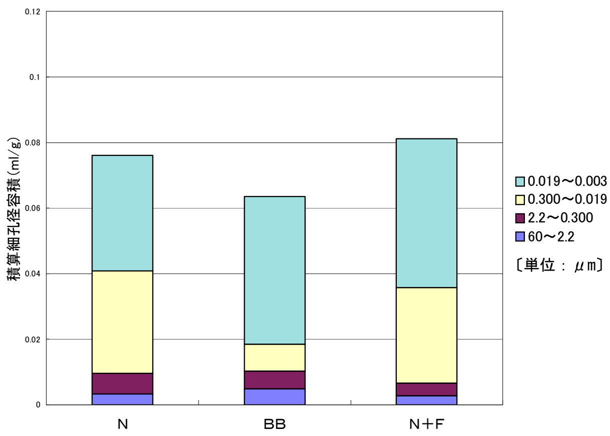
図４－４０　細孔率

(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)

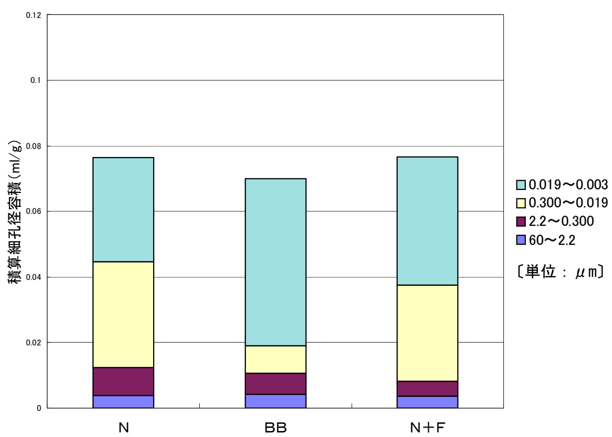
早月川産



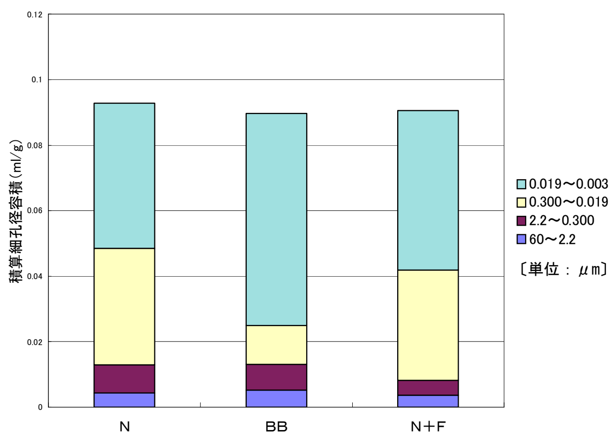
庄川産



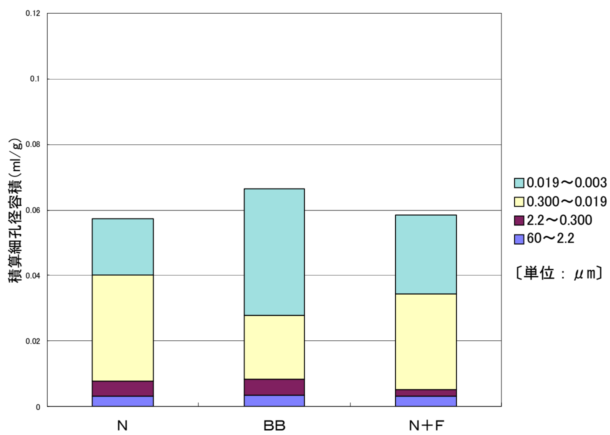
手取川産



能登産



九頭竜川産



今津産

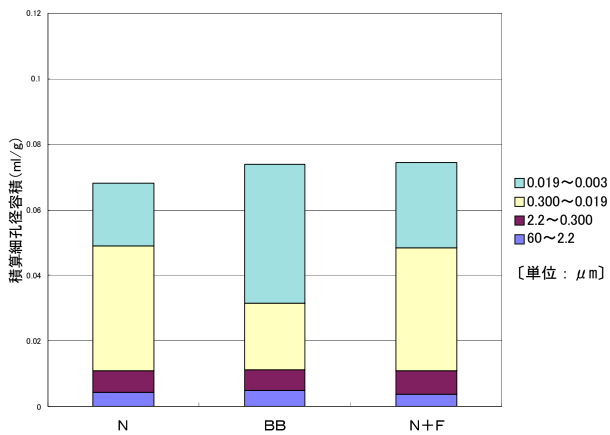


図４－４１　積算細孔径容積

５．官公庁による試験施工

第３章「北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの実用化検討」において、実際の生コンクリート工場で品質の良いフライアッシュコンクリートを製造できることを確認したことから、富山県、石川県、福井県および国土交通省から試験施工箇所を提供いただき、実構造物での施工性等の調査を行った。その結果、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）は、施工面、品質面での問題はなく、特に重力式擁壁等のマスコンクリートでは温度ひび割れに対し極めて有利であること、および低温（０℃～１０℃）での初期強度発現についても高炉セメントＢ種を用いたコンクリート（ＢＢ）より優ることが確認できた。

１）試験施工の実施箇所

試験施工の概要を**表５－１**に示す。

表５－１　試験施工の概要

（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）

<table>
<tr><th></th><th>工事件名</th><th>施工場所</th><th>構造物概要
（打設日）</th><th>備　考</th></tr>
<tr><td>富山県</td><td>呉羽町袋線街路贈号交付金（富山大橋）道路改良その４工事</td><td>富山市安野屋</td><td>逆Ｔ型擁壁
H=3.9～5.2m、L=16m
（H23.11.23、11.29、12.9、12.14）</td><td>ＢＢとＮ＋Ｆの２ブロックで比較する。（各約３０m^3）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">石川県</td><td>小原土清水線道路改良工事</td><td>金沢市別所町</td><td>重力式擁壁
H=2～3m、L=20m
（H23.10.12、10.20）</td><td>ＢＢとＮ＋Ｆの２ブロックで比較する。（各約２５m^3）</td></tr>
<tr><td>五十里深見線地方道改築Ⅲ類工事</td><td>能登町字北河内地内</td><td>集水桝
1.6m×1.6m×1.6m
（H23.10.31、11.4）</td><td>Ｎ＋Ｆで施工性を確認する。（約３m^3）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">福井県</td><td>（県単）交通安全施設整備工事主要地方道武生美山線</td><td>越前市北町</td><td>重力式擁壁
H=1.0m、L=20m
（H24.11.16、11.19）</td><td>ＢＢとＮ＋Ｆの２ブロックで比較する。（各約７m^3）</td></tr>
<tr><td>（県単）道路改良工事（地方特定）主要地方道三国春江線</td><td>坂井市坂井町清永～春江町大牧</td><td>重力式擁壁
H=0.5～1.5m、L=18m
（H25.2.7）</td><td>ＢＢとＮ＋Ｆの２ブロックで比較する。（各約９m^3）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">国交省</td><td rowspan="3">常願寺川水橋護岸その６工事</td><td rowspan="3">富山市水橋</td><td>六脚ブロック（4t×117 個）
0.64m×0.64m×0.64m
（H24.9.7、9.14）</td><td>ＢＢとＮ＋Ｆの２ブロックで比較する。（各約１．８m^3）
Ｎ＋Ｆは合計２１５m^{3}使用</td></tr>
<tr><td>元付けコンクリート
H=0～2.15m、L=8.3m
（H25.1.9）</td><td>ＢＢとＮ＋Ｆの２ブロックで比較する。（各約２６m^3）</td></tr>
<tr><td>巻止工
3.0m×0.3m×1.0m
（H25.1.15）</td><td>ＢＢとＮ＋Ｆの２ブロックで比較する。（各約１m^3）</td></tr>
</table>

2）試験施工の調査項目

試験施工の実施箇所毎の調査項目一覧を表５－２に示す。

表５－２　調査項目一覧表

調査項目	呉羽町袋線街路贈号交付金（富山大橋）道路改良その４工事 逆Ｔ型擁壁工（スラブ、壁）	小原土清水線道路改良工事 重力式擁壁工	五十里深見線地方道改築Ⅲ類工事 集水桝工	（県道）交通安全施設整備工事主要地方道武生美山線 重力式擁壁工	（県道）道路改良工事（地方特定）主要地方道三国春江線 重力式擁壁工	常願寺川水橋護岸その６工事 六脚ブロック元付け工 巻止め工
フレッシュコンクリートの性状 ・製造時、荷卸時等のスランプ、空気量等を計測	○	○	○	○	○	○
コンクリートの圧縮強度 ・荷卸時に採取し、標準養生にて、材齢 3 日、7 日、28 日、56 日、91 日の圧縮強度を計測	○	○	○	○	○	○
ポンプ圧送性 ・筒先の性状を目視で確認、 ・ポンプ圧力をポンプ車圧力計で計測	○	○	ー （バケット打ちのため）	ー （シュート打ちのため）	ー （シュート打ちのため）	ー （バケット打ちのため）
コンクリートの打設状況 ・コンクリートの流動状況を目視で確認 ・ブリーディングの発生状況およびブリーディング量の測定 ・コテ仕上げの施工性を目視で確認	○	○	○ （ブリーディング測定は不可）	○	○	○
構造物の外観状況 ・ひび割れ、色むらの発生状況を確認	○	○	○	○	○	○
コンクリート温度特性等 ・埋め込み式温度センサーによる計測 ・埋め込み式ひずみ計による計測	○	○	ー	○	○	○
温度応力解析の実施	○	○	ー	○	○	○
現場代理人の感想	○	○	○	○	○	○

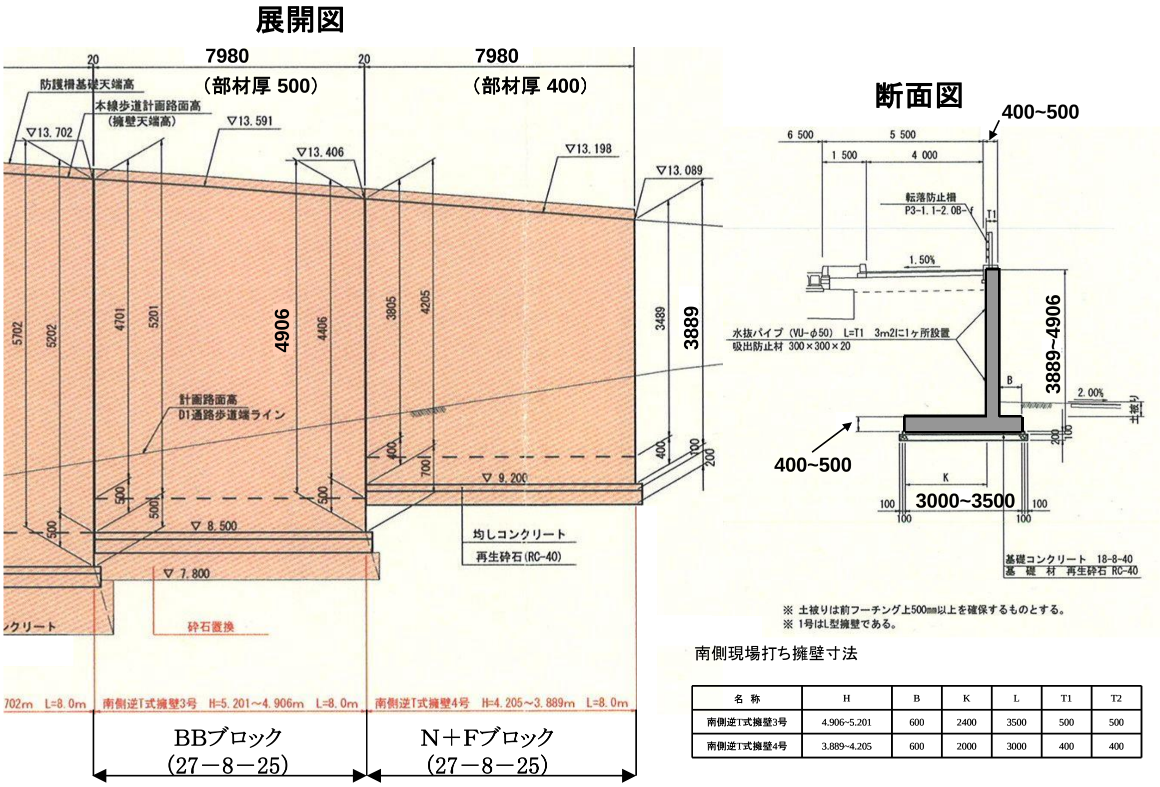
○：実施　ー：未実施

３）呉羽町袋線街路贈号交付金（富山大橋）道路改良その４工事（富山県）

富山県（富山市）で実施した試験施工の概要と結果を以下に示す。

(1) 試験施工の概要

試験施工の概要図を**図５－１**に、配合表を**表５－３**に示す。富山県発注の富山大橋道路改良工事の逆Ｔ型擁壁 2 ブロックを各々高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と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）で試験施工を実施した。



名　称	H	B	K	L	T1	T2
南側逆T式擁壁3号	4.906~5.201	600	2400	3500	500	500
南側逆T式擁壁4号	3.889~4.205	600	2000	3000	400	400

図５－１　試験施工の概要図

表５－３　配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備　考
BB	54.0	44.4	293	―	158	821	1050	2.93	27N/mm² 配合
N＋F	52.0	44.2	257	45	157	814	1047	3.02	27N/mm² 配合

(2)試験施工の結果

a. フレッシュコンクリート性状

フレッシュコンクリートの性状を**表５－４**に示す。表より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、所定のスランプ（8±2.5㎝）、空気量（4.5±1.5%）を確保できた。

b. コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果を**表５－５**に示す。表より、実機試験結果同様、Ｎ＋Ｆブロックの初期強度発現（材齢３日、材齢７日）は、ＢＢブロックに比べて大きいことが確認できた。

c. ポンプ圧送性

ポンプ圧送性を**表５－６**に示す。表より、ポンプ圧送性については、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、ポンプ最大圧力に対し、十分余裕をもって施工できた。

d. コンクリートの打設状況

Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、コンクリートの打設が効率的に行われ、流動性もよく、型枠の隅々や鉄筋等の周囲に密実なコンクリートをゆきわたらせることができた。

ブリーディングの発生状況を**表５－７**に示す。表より、構造物全体としてみると、Ｎ＋ＦブロックはＢＢブロックに比べてブリーディングが少なかった。Ｎ＋Ｆのベースではブリーディングの発生がほとんどなく、仕上げ作業時間の短縮につながった。

e. 構造物の外観状況

構造物の外観状況を**図５－２**に示す。図より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、収縮等によるひび割れは見られなかった。また、Ｎ＋Ｆブロックでは若干全体的に色が濃かったが、色むらは見られなかった。

f. コンクリート温度特性

コンクリート温度とひずみ量を**図５－３**に示す。図より、中心部コンクリート温度はＮ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックと比べて 6.9℃低く、擁壁軸方向水平ひずみは、Ｎ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックと比べて 30μ大きかった。Ｎ＋Ｆブロックにおいてひずみが大きかった原因として、Ｎ＋Ｆブロックの打設時の気温が低かったため、打設後、練炭による給熱養生を実施したことによるコンクリート表面の乾燥収縮の増大が影響していると考えられる。

表５－４　フレッシュコンクリートの性状

		打設日時	天候	気温	試験時期		時刻	スランプ（cm）	空気量（%）	コンクリート温度（℃）
BBブロック ・呼び強度 27 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	ベース	11月23日 8:46～ 11:42	晴れ	12 ℃	一台目	製造時	－	－	－	－
						荷卸時	**8:40**	**９．０**	**４．９**	**１４．０**
	壁体	11月29日 9:09～ 12:00	晴れ	11～ 15 ℃	一台目	製造時	－	－	－	－
						荷卸時	**8:54**	**９．５**	**４．０**	**１４．０**
					最終車	製造時	－	１０．０	５．３	－
						荷卸時	10:39	９．５	５．５	１５．０
						終了時	10:49	９．５	５．２	１５．０
N+Fブロック ・呼び強度 27 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	ベース	12月9日 13:55～ 15:37	雨	6 ℃	一台目	製造時	－	－	－	－
						荷卸時	**13:42**	**１０．０**	**４．２**	**１４．０**
	壁体	12月14日 8:59～ 11:00	晴れ	4～ 10 ℃	一台目	製造時	－	－	－	－
						荷卸時	**8:41**	**９．５**	**４．５**	**１０．０**
					最終車	製造時	－	１０．５	４．５	－
						荷卸時	9:50	１０．０	３．９	１０．０
						終了時	10:19	９．５	３．３	１２．０

表５－５　コンクリートの圧縮強度試験結果

（単位：Ｎ/mm²）

		３日	７日	28日	56日	91日
ＢＢブロック	ベース	－	２１．４	３９．２	－	－
	壁体	１１．４	２０．７	３９．４	４４．７	４７．６
Ｎ＋Ｆブロック	ベース	－	２４．２	３６．１	－	－
	壁体	１２．９	２３．６	３３．９	４０．４	４４．０

表５－６　ポンプ圧送性

ベースはバケット打設のため、壁体打設時に計測

（単位：kgf/cm²）

		ポンプ圧力	ポンプ能力
BBブロック	通常圧送時	40 ～ 120	最大圧力 315
	切替え瞬時	170 ～ 240	
N+Fブロック	通常圧送時	55 ～ 110	
	切替え瞬時	120 ～ 200	

最大能力

ポンプ圧力計

表５－７　ブリーディングの発生状況

		ブリーディング水採集量(ℓ)	打設量(m³)	1m³当りのブリーディング量(ℓ/m³)
BBブロック	ベース	29.７	14.０	2.０
	壁体	8.０	18.２	0.４
	全体	37.７	32.２	1.２
N＋Fブロック	ベース	0.０	9.６	0.０
	壁体	19.０	12.１	1.３
	全体	19.０	21.７	0.９

ブリーディングの発生状況写真（　　内は溜り水）

BBブロック ベース

N＋Fブロック ベース

BBブロック 壁体

N＋Fブロック 壁体

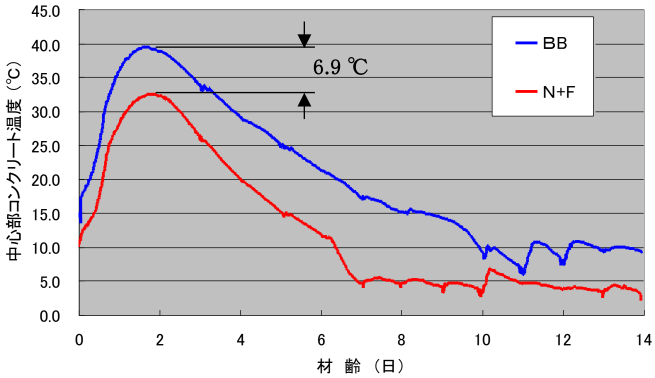
N＋Fブロック 壁体（南面：化粧型枠使用）

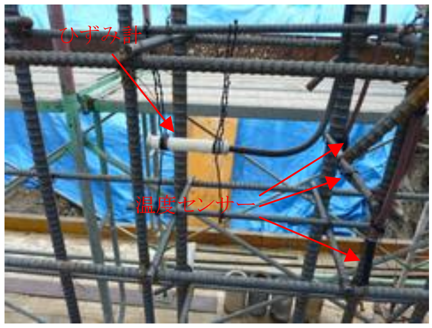
N＋Fブロック 壁体（北面：普通型枠使用）

BBブロック壁体（南面：化粧型枠使用）

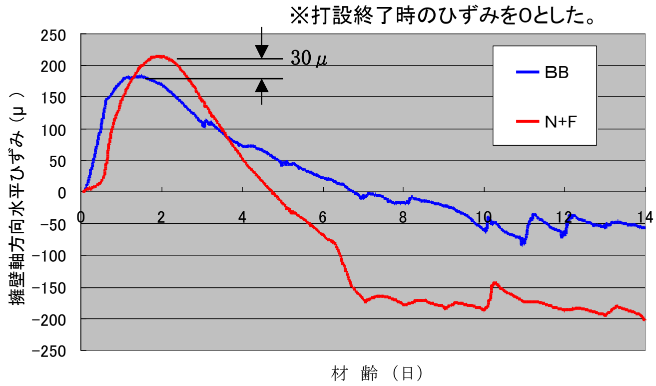
BBブロック壁体（北面：普通型枠使用）

図５－２　構造物の外観状況





計測器設置状況



・Ｎ＋Ｆブロックでは、打設後シートで覆い、練炭による給熱養生を実施したことによるコンクリート表面の乾燥収縮の増大により、Ｎ＋Ｆのひずみが大きくなったと考えられる。（詳細は、試験施工における温度応力解析を参照）

図５－３　コンクリート温度とひずみ量

（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）

(3) 感想（施工者現場代理人）

- 全体については、通常使用しているＮ，ＢＢと何ら違和感なく、施工することができた。
- 荷卸状況については、いずれのコンクリートもほぼ同等で良好であった。
- ポンプ圧送性については、いずれのコンクリートも筒先の状態は良好であった。
- ブリーディングの状況については、Ｎ＋Ｆブロックのベースでは、打設中にブリーディング水の除去を行う必要がなかったが、壁体ではいずれのブロックも仕上げ前にブリーディング水の除去が必要であった。
- コテ仕上げの状況については、いずれのブロックも同等の仕上げが出来た。Ｎ＋Ｆブロックのベースでは、コンクリート打設中のブリーディング発生がほとんどないことにより、仕上げが仕易く、作業時間の短縮にもつながった。
- 仕上がり状況については、いずれのブロックも収縮ひび割れ等は見られず、良好であった。Ｎ＋Ｆブロックの色は少し黒っぽく感じた。

４）小原土清水線道路改良工事（石川県）

石川県（金沢市）で実施した試験施工の概要と結果を以下に示す。

(1) 概要

試験施工の概要図を**図５－４**に、配合表を**表５－８**に示す。石川県発注の小原土清水線道路改良工事の重力式擁壁、2 ブロックを各々高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と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）で試験施工を実施した。

BBブロック（高炉セメントB種）　L＝9.650m, H＝2.065～3.000m, B＝1.733～2.350m
N＋Fブロック（フライアッシュ15%置換）　L＝9.900m, H＝1.592～2.615m, B＝1.435～2.100m

正面図　　　　断面図

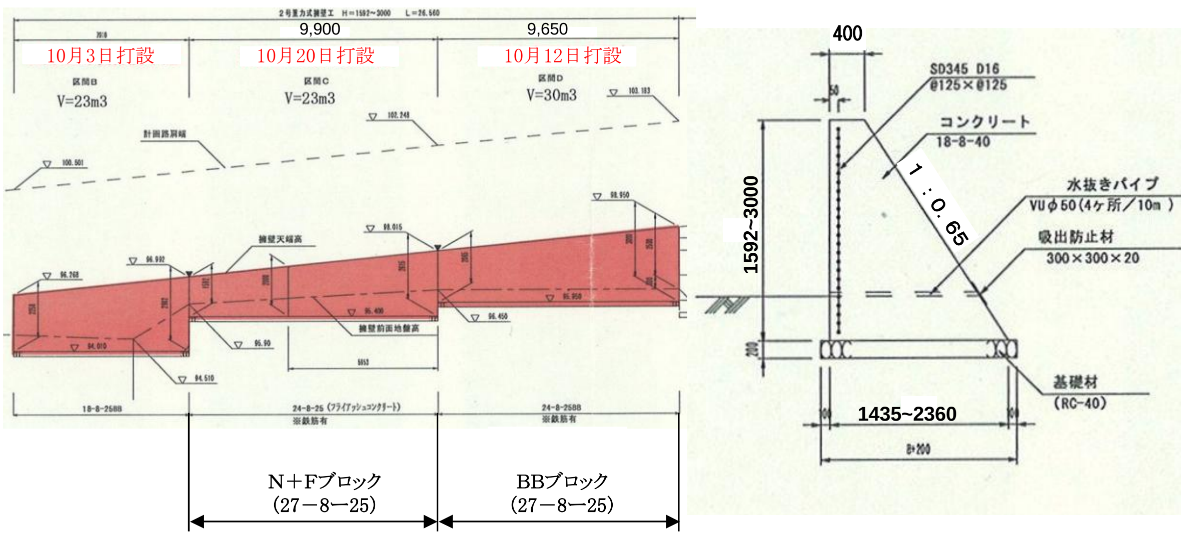


図５－４　試験施工の概要図

表５－８　配合表

（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）

	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 Ad1 (kg/m^3)	混和剤 Ad2 (kg/m^3)	備 考
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	3.51	7.16	27N/mm^{2}配合

※細骨材の混合割合　5mm 以下：0.3mm 以下＝80：20

(2)試験施工の結果

a.フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの性状を**表５－９**に示す。表より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、所定のスランプ（8±2.5cm）、空気量（4.5±1.5%）を確保できた。

b.コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果を**表５－１０**に示す。表より、実機試験結果同様、Ｎ＋Ｆブロックの初期強度発現（材齢３日、材齢７日）は、ＢＢブロックに比べて大きいことが確認できた。なお、圧縮強度試験時に、コンクリート重量を測り密度を算出したところ、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに 2.37g/cm^{3}であった。

c.ポンプ圧送性

ポンプ圧送性を**表５－１１**に示す。表より、ポンプ圧送性については、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、ポンプ最大圧力に対し、十分余裕をもって施工できた。

d.コンクリートの打設状況

Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、コンクリートの打設が効率的に行われ、流動性もよく、型枠の隅々や鉄筋等の周囲に密実なコンクリートをゆきわたらせることができた。

ブリーディングの発生状況を**表５－１２**に示す。表より、Ｎ＋ＦブロックはＢＢブロックと比べてブリーディングが少なく、仕上げ作業時間の短縮につながった。

e.構造物の外観状況

構造物の外観状況を**図５－５**に示す。図より、Ｎ＋Ｆブロックでは表面気泡が、ＢＢブロックでは砂すじや沈降ひび割れが比較的多く見られたが、収縮等によるひび割れは見られなかった。

f.コンクリート温度特性

コンクリート温度とひずみ量を**図５－６**に示す。図より、中心部コンクリート温度は、Ｎ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックと比べて 4.7℃低く、擁壁軸方向水平ひずみは、Ｎ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックに比べて 32μ小さかった。

表５－９　フレッシュコンクリートの性状

	打設日時	天候	気温	試験時期		時刻	スランプ（cm）	空気量（%）	コンクリート温度（℃）
BBブロック ・呼び強度 27 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	10月12日 9:20～12:05	晴れ	19～ 21 ℃	一台目	製造時	8:50	9．5	5．5	19
					荷卸時	9:20	8．5	5．1	20
				最終車	製造時	11:35	9．5	5．5	20
					荷卸時	11:45	9．5	5．1	21
					終了時	12:05	8．5	4．5	21
N＋Fブロック ・呼び強度 27 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	10月20日 9:15～11:10	晴れ	19～ 24 ℃	一台目	製造時	8:50	9．0	5．1	19
					荷卸時	9:15	8．5	4．8	21
				最終車	製造時	10:35	10．0	5．4	20
					荷卸時	10:50	7．5	4．5	21
					終了時	11:10	7．0	4．0	22

表５－１０　コンクリートの圧縮強度試験結果

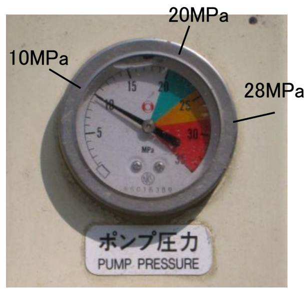
（単位：N/mm^2）

	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
ＢＢブロック	１１．４	１９．８	３２．８	３４．８	３９．３
Ｎ＋Ｆブロック	１５．８	２４．１	３１．７	３４．９	３８．１

表５－１１　ポンプ圧送性

（単位：MPa）

		ポンプ圧力	ポンプ能力
BBブロック	通常圧送時	７．５ ～ １０．１	最大圧力 ２８．０
	切替え瞬時	１０．０ ～ １３．５	
N＋Fブロック	通常圧送時	８．９ ～ １０．３	
	切替え瞬時	１０．５ ～ １４．０	



ポンプ圧力計

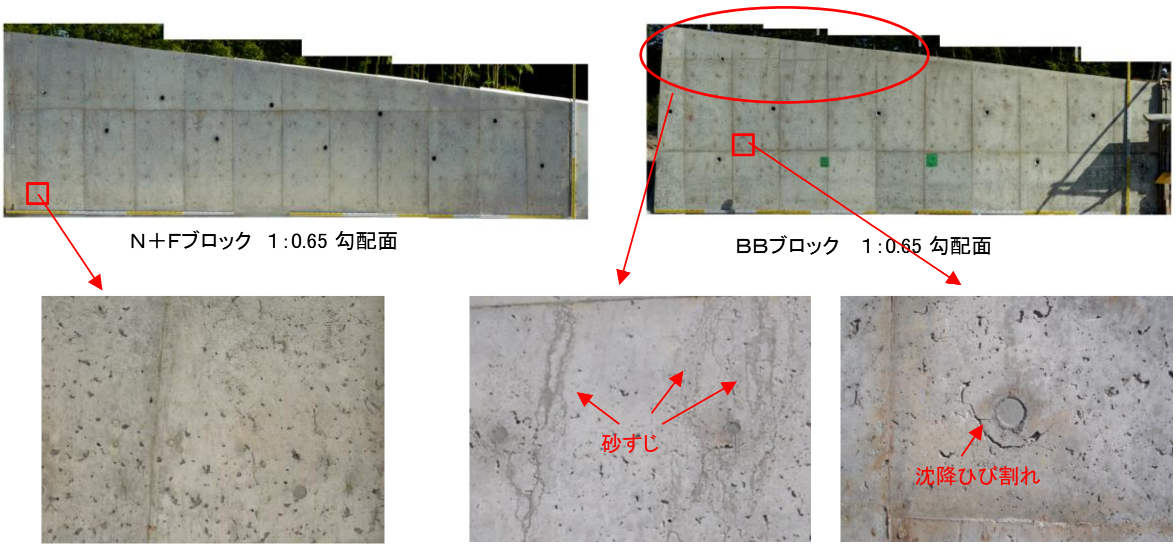
表５－１２　ブリーディングの発生状況

	ブリーディング水採集量（ℓ）	打設量(m³)	1m³当たりのブリーディング量(ℓ/m³)
BBブロック	21．8	32．0	0．7
N＋Fブロック	0．0	24．5	0．0

BBブロックでの採取状況

BBブロックのブリーディング水

N＋Fブロックの打設状況



N＋Fブロック　1：0.65 勾配面

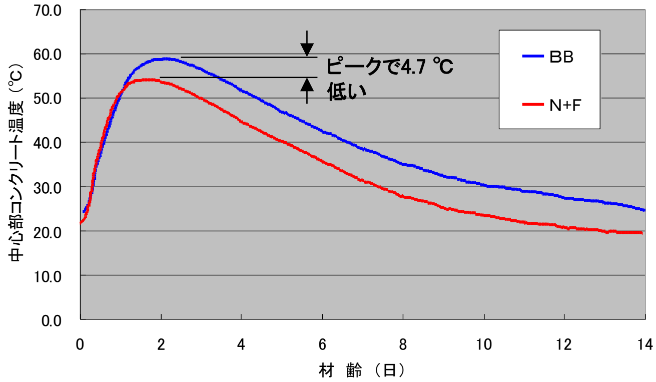
BBブロック　1：0.65 勾配面

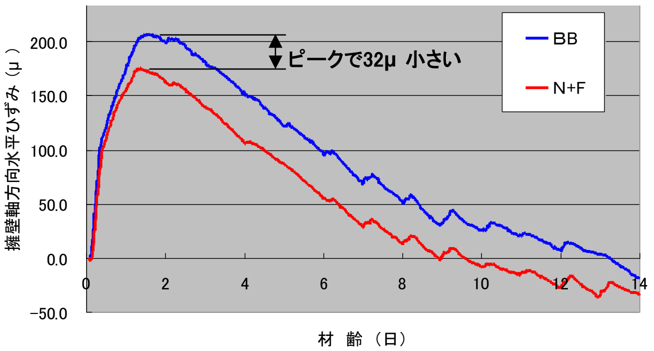
表面気泡

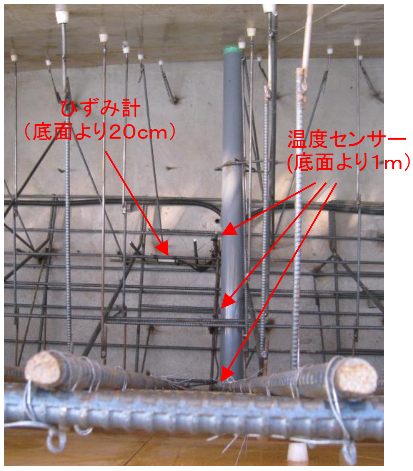
砂すじ

沈降ひび割れ

図５－５　構造物の外観状況







計測器設置状況

※打設終了時のひずみを０とした。

図５－６　コンクリート温度とひずみ量

（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）

(3) 感想（施工者現場代理人）

- 荷卸状況については、いずれのコンクリートもほぼ同等で良好であった。色についても同等の色であった。
- ポンプ圧送性については、いずれのコンクリートも筒先の状態は良好であった。
- ブリーディングの状況については、ＢＢブロックでは、打設途中３回程度、型枠内のブリーディング水の除去を行い、天端仕上げ時にもブリーディングが発生し、除去を行った。Ｎ＋Ｆブロックでは、打設中にブリーディング水の除去を行う必要がなかった。
- コテ仕上げの状況については、いずれのブロックも同等の仕上げが出来た。Ｎ＋Ｆブロックでは、コンクリート打設中のブリーディング発生がほとんどないことにより、仕上げが仕易く、作業時間の短縮にもつながった。

５）五十里深見線地方道改築Ⅲ類工事（石川県）

石川県（能登町）で実施した試験施工の概要と結果を以下に示す。

(1) 概要

試験施工の概要図を**図５－７**に、配合表を**表５－１３**に示す。石川県発注の五十里深見線地方道階層Ⅲ類工事の集水枡において、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）で試験施工を実施した。

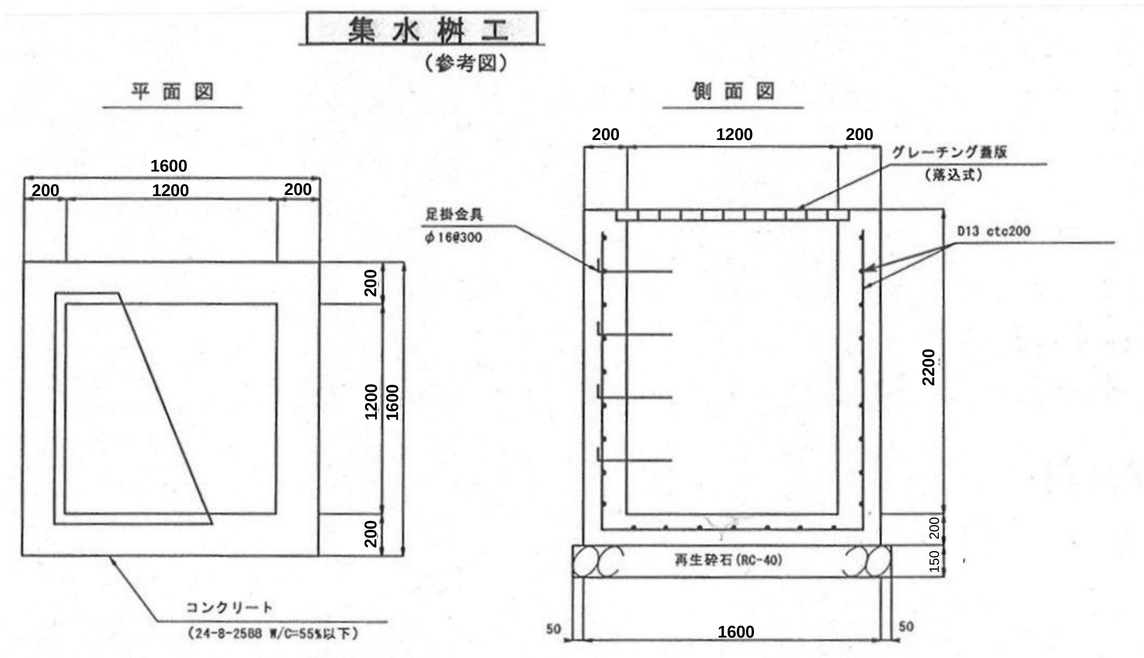


図５－７　試験施工の概要図

表５－１３　配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m³)	フライアッシュ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材① S (kg/m³)	細骨材② S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備考
N＋F	54.6	43.0	266	47	171	552	190	1024	3.13	24N/mm²配合

※細骨材の混合割合　2.5mm 以下：5mm 以下＝75：25

(2)試験施工の結果

a.フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの性状を**表５－１４**に示す。表より、N＋Fブロックは、所定のスランプ（8±2.5cm）、空気量（4.5±1.5%）を確保できた。

b.コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果を**表５－１５**に示す。表より、N＋Fブロックの強度発現は実機試験とほぼ同様であった。

c.コンクリートの打設状況

生コンプラントから現場まで遠く(運搬時間45分程度)、荷卸時、多少スランプは低めであったが、問題なく打設できた。なお、ブリーディングはほとんど発生しなかった。

d.構造物の外観状況

構造物の外観状況を**図５－８**に示す。図より、収縮等によるひび割れは見られなかった。

表５－１４　フレッシュコンクリートの性状

	打設日時	天候	気温	試験時期	時刻	スランプ（cm）	空気量（%）	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度(℃)
集水桝	床（0.7m^3）10月31日 14:15 ～14:30	曇り	18～19 ℃	製造時	13:10	9．0	4．6	19．5
				荷卸時	14:10	6．8	3．6	20．5
	壁（2.5m^3）11月4日 14:10 ～14:50	晴れ	19～21 ℃	製造時	13:10	9．5	4．6	20．5
				荷卸時	14:05	9．0	3．9	22．5
				終了時	14:50	7．5	3．2	23．5

表５－１５　コンクリートの圧縮強度試験結果

（単位：N/mm^2）

	3日	7日	28日	56日	91日
N＋Fブロック	９．５３	１７．１	２５．４	２８．３	３１．７

図５－８　構造物の外観状況

(3)感想（施工者現場代理人）

・　床の打設時は、製造量が少ないことから、スランプロスが大きく、コテ仕上げに苦労した。

・　壁の打設時は、製造から終了まで 1 時間 40 分経過したが、フレッシュ性状は良好であった。

・脱型時のコンクリートの外観に変状は見られなかった。

６）（県単）交通安全施設整備工事主要地方道武生美山線（福井県）

福井県（越前市）で実施した試験施工の概要と結果を以下に示す。

(1) 試験施工の概要

試験施工の概要図を**図５－９**に、配合表を**表５－１６**に示す。福井県発注の武生美山線交通安全施設整備工事の重力式擁壁 2 ブロックを各々高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と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）で試験施工を実施した。

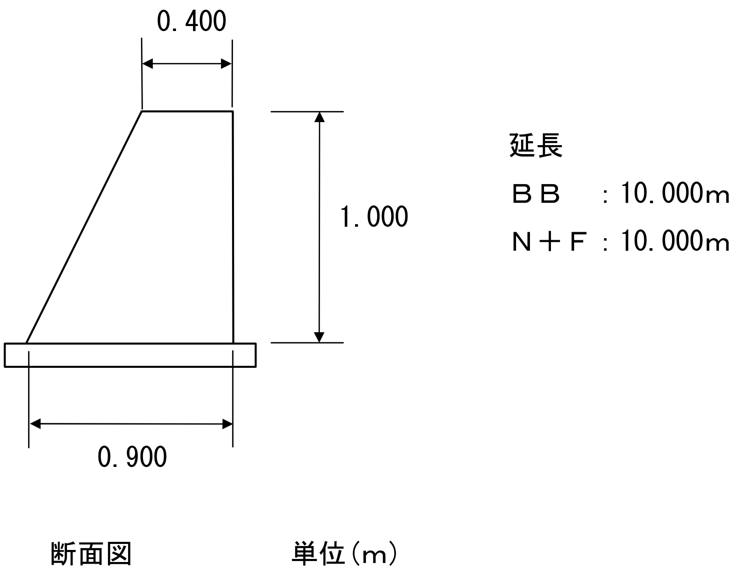


図５－９　試験施工の概要図

表５－１６　配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m³)	フライアッシュ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備　考
BB	59.0	40.9	265	－	156	766	1137	2.65	18N/mm² 配合
N＋F	58.0	40.6	229	40	156	758	1137	2.69	18N/mm² 配合

※細骨材の混合割合　5mm 以下：2.5mm 以下＝60：40

(2)試験施工の結果

a.フレッシュコンクリート性状

フレッシュコンクリートの性状を**表５－１７**に示す。表より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、所定のスランプ（8±2.5cm）、空気量（4.5±1.5%）を確保できた。

b.コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果を**表５－１８**に示す。表より、実機試験結果同様、Ｎ＋Ｆブロックの初期強度発現（材齢３日、材齢７日）は、ＢＢブロックに比べて大きいことが確認できた。

c.コンクリートの打設状況

Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、コンクリートの打設が効率的に行われ、流動性もよく、型枠の隅々や鉄筋等の周囲に密実なコンクリートをゆきわたらせることができた。

ブリーディングの発生状況を**表５－１９**に示す。表より、Ｎ＋ＦブロックはＢＢブロックに比べてブリーディングが少し多かったが、仕上げ作業時間等への影響はほとんどなかった。

d.構造物の外観状況

構造物の外観状況を**図５－９**に示す。図より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、収縮等によるひび割れは見られなかった。

e.コンクリート温度特性

コンクリート温度とひずみ量を**図５－１０**に示す。図より、中心部コンクリート温度はＮ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックと比べて5.0℃高く、擁壁軸方向水平ひずみは、Ｎ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックと比べて 48.6μ大きかった。部材寸法が小さく、打設後の外気温の違いや冬場での強度発現（発熱量）の違いが影響したと考えられる。

表５－１７　フレッシュコンクリートの性状

	打設日時	天候	気温	試験時期		時刻	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度(℃)
BBブロック ・呼び強度 18 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	11月19日 13:05～14:05	曇り	13～ 14 ℃	一台目	製造時	12:50	９．５	５．２	１５．０
					荷卸時	13:05	８．５	４．０	１４．０
				最終車	製造時	13:50	９．０	４．９	１５．０
					荷卸時	14:05	８．０	３．９	１５．０
N＋Fブロック ・呼び強度 18 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	11月16日 8:30～9:50	曇り	9～ 10 ℃	一台目	製造時	8:12	１０．５	５．１	１２．０
					荷卸時	8:30	８．５	３．４	１３．０
				最終車	製造時	9:38	１０．５	６．０	１４．０
					荷卸時	9:50	８．０	４．５	１４．０

表５－１８　コンクリートの圧縮強度試験結果

（単位：N/mm^2）

		3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
ＢＢブロック	擁壁	７．７	１２．０	２５．０	３１．１	３６．１
Ｎ＋Ｆブロック	ベース	１１．０	１６．７	２５．１	３１．２	３４．４

表５－１９　ブリーディングの発生状況

	ブリーディング水採集量(ℓ)	打設量(m^3)	1m^{3}当たりのブリーディング量(ℓ/m^3)
BBブロック	０．９	６．６	０．14
N＋Fブロック	１．４	６．６	０．21

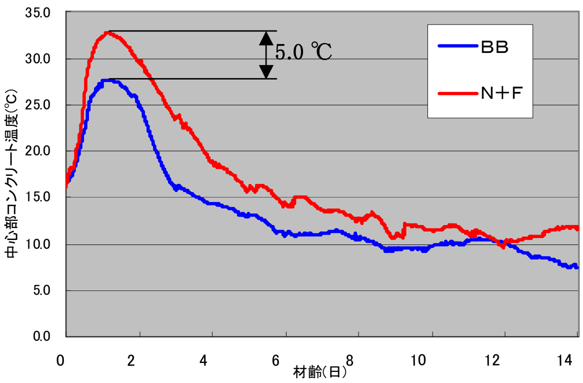
N＋Fブロック

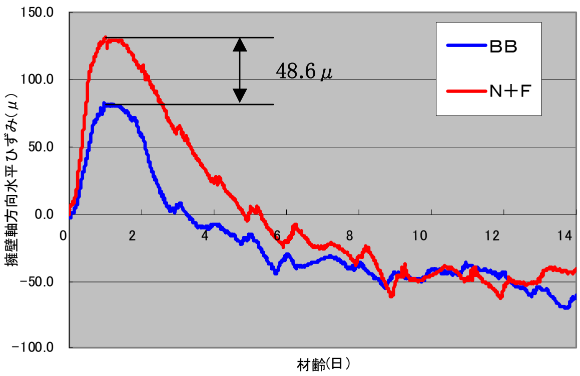
BBブロック

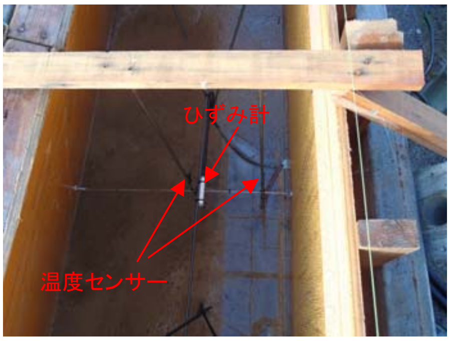
N＋Fブロック 擁壁脱枠時（勾配面）

BBブロック 擁壁脱枠時（勾配面）

図５－１０　構造物の外観状況







計測器設置状況

- 部材が小さく、打設後の外気温の違いや冬場での強度発現（発熱量）の違いが影響し、コンクリート温度、ひずみはN＋Fの方がＢＢより大きい。
- 温度応力解析結果では、両ブロックともにひび割れ指数が１．７５以上（ひび割れを防止したい場合の目安値）であり、温度ひび割れに対して問題ない。

※打設終了時のひずみを0とした。

図５－１１　コンクリート温度とひずみ量

(3)感想（施工者現場代理人）

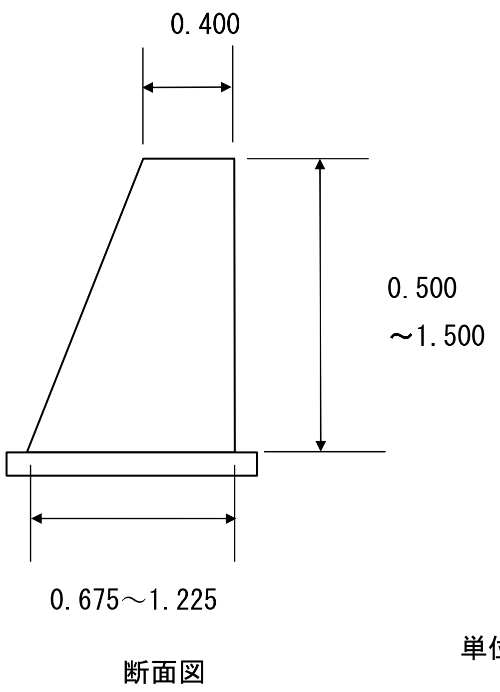
- 打設時の取扱いは他のコンクリートと変わらない。
- コテで均す時、少しねばる感じがした。
- 仕上りの状況も変わらない。

７）（県単）道路改良工事（地方特定）主要地方道三国春江線（福井県）

福井県（坂井市）で実施した試験施工の概要と結果を以下に示す。

(1) 試験施工の概要

試験施工の概要図を**図５－１２**に、配合表を**表５－２０**に示す。福井県発注の三国春江線道路改良工事の重力式擁壁２ブロックを各々高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と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）で試験施工を実施した。



延長
ＢＢ　：8.700m
Ｎ＋Ｆ：9.700m

単位（m）

図５－１２　試験施工の概要図

表５－２０　配合表

（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）

	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
BB	59.0	37.7	248	―	146	704	1200	2.58	18N/mm^{2}配合
N＋F	60.0	38.9	200	35	141	735	1192	2.35	18N/mm^{2}配合

※細骨材の混合割合　5mm 以下：1.2mm 以下＝65：35

(2)試験施工の結果

a.フレッシュコンクリート性状

フレッシュコンクリートの性状を**表５－２１**に示す。表より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、所定のスランプ（8±2.5cm）、空気量（4.5±1.5%）を確保できた。

b.コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果を**表５－２２**に示す。表より、実機試験結果同様、Ｎ＋Ｆブロックの初期強度発現（材齢３日、材齢７日）は、ＢＢブロックに比べて大きいことが確認できた。

c.コンクリートの打設状況

Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、コンクリートの打設が効率的に行われ、流動性もよく、型枠の隅々や鉄筋等の周囲に密実なコンクリートをゆきわたらせることができた。

ブリーディングの発生状況を**表５－２３**に示す。表より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともにブリーディングの発生はほとんどなかった。

d.構造物の外観状況

構造物の外観状況を**図５－１３**に示す。図より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、収縮等によるひび割れは見られなかった。

e.コンクリート温度特性

コンクリート温度とひずみ量を**図５－１４**に示す。図より、中心部コンクリート温度はＮ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックと比べて 3.8℃高く、擁壁軸方向水平ひずみは、Ｎ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックと比べて 1.2μ大きかったが、コンクリート温度の上昇量では、Ｎ＋ＦブロックとＢＢブロックは同程度である。

高炉セメントの水和反応は、温度依存性が大きく、低温時（冬季）では強度発現が遅くなることが影響していると考えられる。

表５－２１　フレッシュコンクリートの性状

	打設日時	天候	気温	試験時期		時刻	スランプ（cm）	空気量（%）	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度（℃）
BBブロック ・呼び強度 18 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	2月7日 8:50～10:50	曇り	5～ 9 ℃	一台目	製造時	8:33	９．０	３．８	９．０
					荷卸時	8:50	７．５	３．３	８．０
				最終車	製造時	9:37	９．５	５．２	９．０
					荷卸時	9:55	９．０	３．９	９．０
					終了時	10:50	７．５	３．７	９．０
N＋Fブロック ・呼び強度 18 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	2月7日 11:03～13:30	曇り	8～ 9 ℃	一台目	製造時	10:33	９．０	５．８	９．０
					荷卸時	11:03	８．０	４．７	１０．０
				最終車	製造時	12:23	９．５	５．６	１０．０
					荷卸時	13:20	７．０	４．０	９．０
					終了時	13:30	６．５	３．４	９．０

表５－２２　コンクリートの圧縮強度試験結果

（単位：N/mm^2）

		3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
ＢＢブロック	擁壁	７．０	１２．６	２４．３	３３．２	３６．２
Ｎ＋Ｆブロック	ベース	９．０	１６．９	２５．７	３０．９	３２．２

表５－２３　ブリーディングの発生状況

		ブリーディング水採集量(ℓ)	打設量(m^3)	1m^{3}当たりのブリーディング量(ℓ/m^3)
BBブロック	擁壁	０．０	８．０	０．０
N＋Fブロック	擁壁	０．０	９．０	０．０

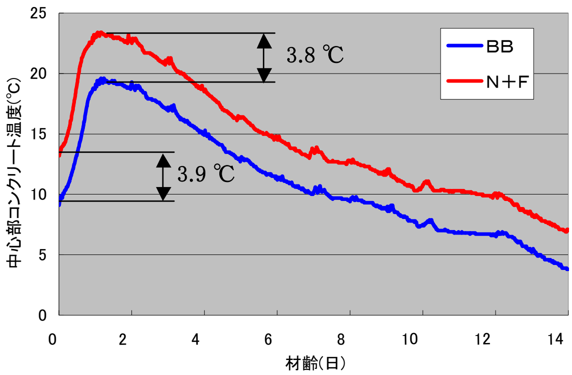
N＋Fブロック

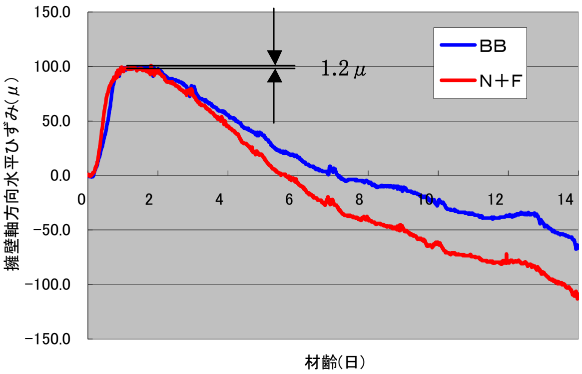
BBブロック

N＋Fブロック

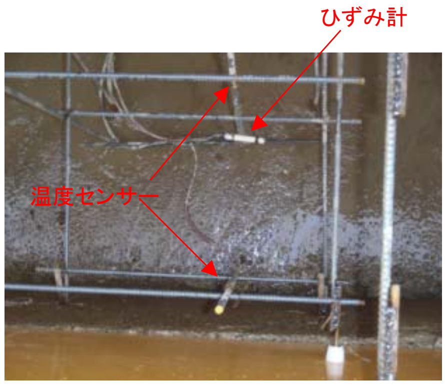
BBブロック

図５－１３　構造物の外観状況





※打設終了時のひずみを0とした。



計測器設置状況

- コンクリート温度の上昇量では、N＋FとＢＢは同程度である。
- 温度応力解析結果では、両ブロックともにひび割れ指数が１．７５以上（ひび割れを防止したい場合の目安値）であり、温度ひび割れに対して問題ない。

図５－１４　コンクリート温度とひずみ量

(3)感想（施工者現場代理人）

- どちらがＮ＋Ｆか分からないぐらい、ＢＢと違和感はなかった。
- フレッシュな状態では、少しパサパサした感じがした。
- コテで均す時、少し砂けが多い感じがした。

８）常願寺川水橋護岸その６工事（国土交通省）

富山市で実施した試験施工の概要と結果を以下に示す。

(1) 六脚ブロック

a. 試験施工の概要

試験施工の概要図を**図５－１５**に、配合表を**表５－２４**に示す。国土交通省発注の常願寺川水橋護岸その６工事の六脚ブロック 2 ブロックを各々高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と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）で試験施工を実施した。なお、各々同日に 13 ブロックを施工している。

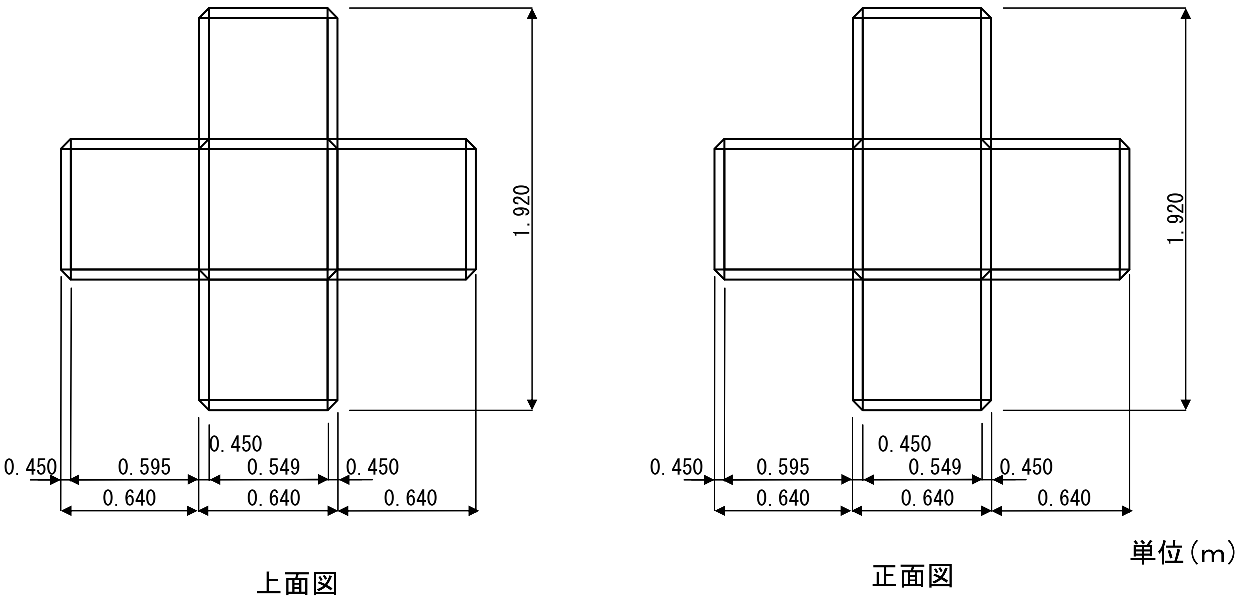


図５－１５　試験施工の概要図

表５－２４　配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m³)	フライアッシュ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備 考
BB	57.5	40.0	260	－	149	755	1145	2.60	21N/mm² 配合
N＋F	57.0	41.2	219	39	147	781	1129	2.06	21N/mm² 配合

b. 試験施工の結果

(a) フレッシュコンクリート性状

フレッシュコンクリートの性状を**表５－２５**に示す。表より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、所定のスランプ（8±2.5cm）、空気量（4.5±1.5%）を確保できた。

(b) コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果を表５－２６に示す。表より、実機試験結果同様、Ｎ＋Ｆブロックの初期強度発現（材齢３日、材齢７日）は、ＢＢブロックに比べて大きいことが確認できた。

(c) コンクリートの打設状況

Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、コンクリートの打設が効率的に行われ、流動性もよく、型枠の隅々や鉄筋等の周囲に密実なコンクリートをゆきわたらせることができた。

ブリーディングの発生状況を**表５－２８**に示す。表より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともにブリーディングの発生はほとんどなかった。

(d) 構造物の外観状況

構造物の外観状況を**図５－１６**に示す。図より、Ｎ＋Ｆブロック、ＢＢブロックともに、収縮等によるひび割れは見られなかった。表面の状況も両ブロックともに良好であるが、Ｎ＋Ｆブロックでは表面気泡が比較的多く見られた。

(e) コンクリート温度特性

コンクリート温度とひずみ量を**図５－１７**に示す。図より、中心部コンクリート温度はＮ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックと比べて 0.4℃低く、擁壁軸方向水平ひずみは、Ｎ＋Ｆブロックの方がＢＢブロックと比べて 17μ小さかった。

表５－２５　フレッシュコンクリートの性状

	打設日時	天候	気温	試験時期		時刻	スランプ（cm）	空気量（%）	コンクリート温度（℃）
BBブロック ・呼び強度 21 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	9月14日 10:10～11:38	晴れ	28～30 ℃	一台目	製造時	9:50	10．0	4．9	30．0
					荷卸時	10:08	9．5	4．4	30．0
				最終車	製造時	10:55	10．0	4．7	30．0
					荷卸時	11:27	9．5	4．5	31．0
					終了時	11:40	8．5	4．3	31．0
N＋Fブロック ・呼び強度 21 ・スランプ 8±2.5cm ・空気量 4.5±1.5%	9月7日 9:15～11:18	晴れ	28～33 ℃	一台目	製造時	8:45	10．5	5．4	28．0
					荷卸時	9:11	8．0	4．7	28．0
				最終車	製造時	10:30	9．0	5．7	29．0
					荷卸時	11:00	7．0	4．8	30．0
					終了時	11:24	7．0	5．2	30．0

表５－２６　コンクリートの圧縮強度試験結果

（単位：N/mm^2）

	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
ＢＢブロック	９．５	１５．７	２６．７	３１．４	３３．５
Ｎ＋Ｆブロック	１４．９	２０．９	３１．９	３６．１	３８．７

表５－２７　ブリーディングの発生状況

	ブリーディング水採集量(ℓ)	打設量(m^3)	$1m^3$当たりのブリーディング量(ℓ/m^3)
BBブロック	０．０	１．８	０．０
N＋Fブロック	０．０	１．８	０．０

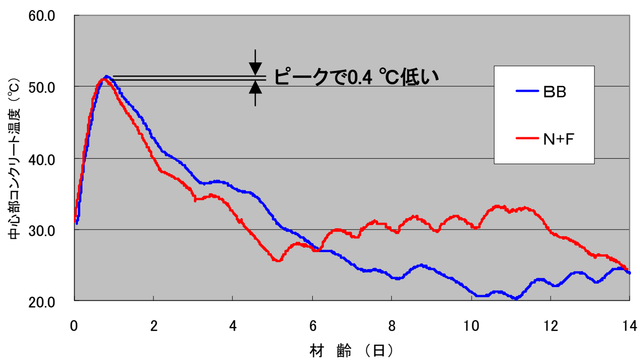
N＋Fの状況写真

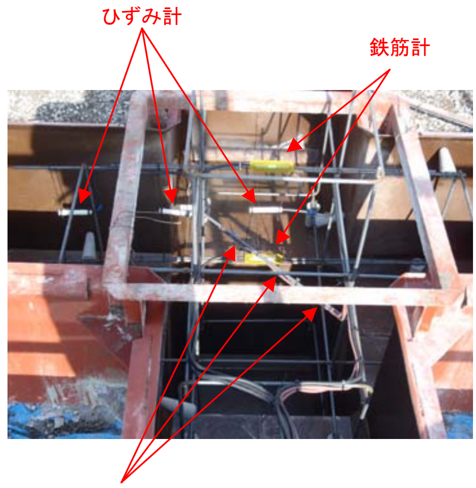
BBの状況写真

六脚ブロック（左 N+F、右 BB）

無筋ブロック（左 N+F、右 BB）

図５－１６　構造物の外観状況





計測器設置状況

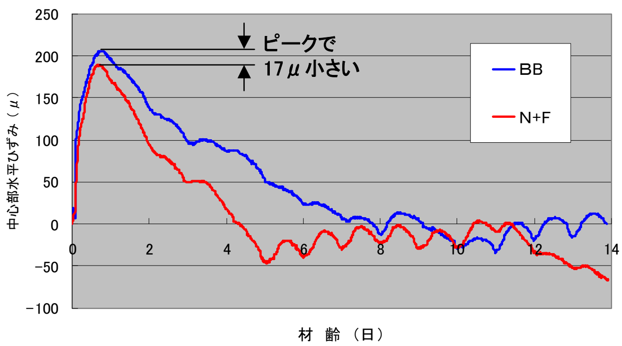


図５－１７　コンクリート温度とひずみ量

c. 感想（施工者現場代理人）

・ＢＢとフライアッシュは生コンの状態ではほとんど変わらず施工できた。
・粘性があるので、生コン車からのシュートでの投入の際に材料分離がみられない。
・フライアッシュの方がブリーディング水が少ないので、仕上がり時間が早くていい。他のブロックでも試してみたかった。
・ＢＢとフライアッシュは表面の仕上がり状況ではほとんど変わらないが、フライアッシュの方は表面気泡が比較的多く感じた。
・全体的に、施工側としての問題はないと考えられます。
・生コン出荷側では、天候と気温の変化による納入時のスランプ管理等が大変だったと感じております。

(2) 元付け工

a. 試験施工の概要

試験施工の概要図を図５－１８に、配合表を表５－２８に示す。国土交通省発注の常願寺川水橋護岸その６工事の元付け工 2 ブロックを各々高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と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）で試験施工を実施した。なお、両ブロックは同日に並行して施工している。

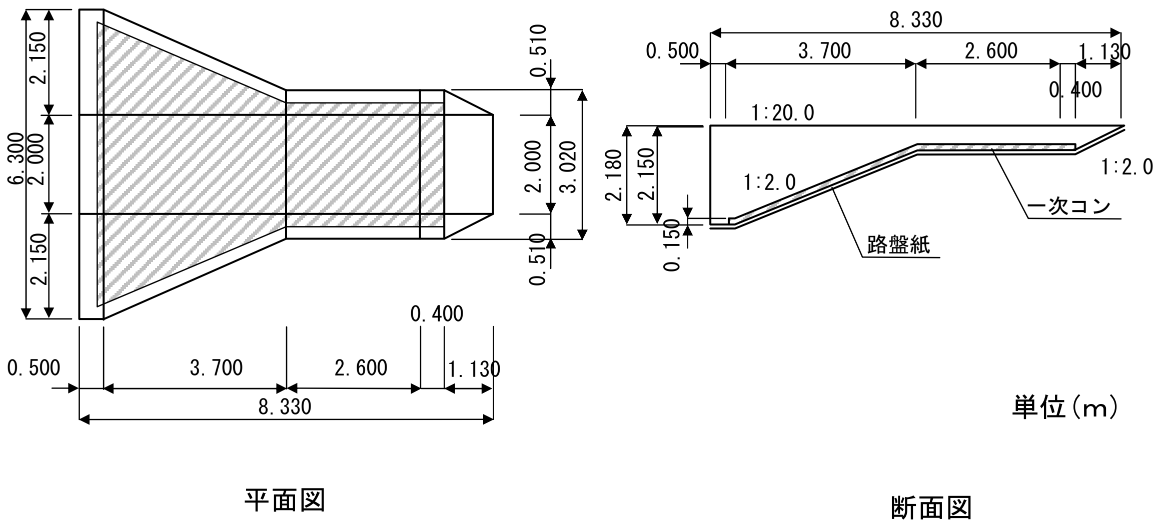


図５－１８　試験施工の概要図

表５－２８　配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント C (kg/m³)	フライアッシュ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備　考
BB	57.5	40.4	254	－	146	768	1145	2.54	21N/mm² 配合
N＋F	57.0	41.2	219	39	147	781	1129	2.06	21N/mm² 配合

b. 試験施工の結果

(a) フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの性状を**表５－２９**に示す。表より、N＋Fブロック、BBブロックともに、所定のスランプ（8±2.5cm）、空気量（4.5±1.5%）を確保できた。

(b) コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果を**表５－３０**に示す。表より、N＋Fブロックの初期強度発現（材齢３日、材齢７日）は、BBブロックに比べて大きいことが確認できた。

(c) コンクリートの打設状況

N＋Fブロック、BBブロックともに、コンクリートの打設が効率的に行われ、流動性もよく、型枠の隅々や鉄筋等の周囲に密実なコンクリートをゆきわたらせることができた。

ブリーディングの発生状況を**表５－３１**に示す。表より、N＋FブロックはBBブロックと比べてブリーディングが少なく、仕上げ作業時間の短縮につながった。

(d) 構造物の外観状況

構造物の外観状況を**図５－１９**に示す。図より、N＋Fブロック、BBブロックともに、収縮等によるひび割れは見られなかった。表面の状況も両ブロックともに良好であるが、N＋Fブロックでは表面気泡が比較的多く見られた。

(e) コンクリート温度特性

コンクリート温度とひずみ量を**図５－２０**に示す。図より、中心部コンクリート温度は、N＋Fブロックの方がBBブロックと比べて 1.2℃高く、擁壁軸方向水平ひずみは、N＋Fブロックの方がBBブロックに比べて 25.6μ小さかった。冬場での強度発現（発熱量）の違いが影響したと考えられる。

	打設日時	天候	気温	試験時期		時刻	スランプ（cm）	空気量（%）	コンクリート温度(℃)
BBブロック	1月9日 9:05～12:34	曇り	3～ 4 ℃	一台目	製造時	8:15	８．０	４．９	８．０
					荷卸時	9:05	７．０	４．１	７．０
				最終車	製造時	12:55	７．５	４．８	８．０
					荷卸時	12:34	７．５	４．１	８．０
					終了時	13:00	６．５	３．６	８．０
N＋Fブロック	1月9日 8:55～12:42	曇り	3～ 4 ℃	一台目	製造時	8:10	７．５	５．５	８．０
					荷卸時	8:55	６．５	５．０	８．０
				最終車	製造時	12:50	９．０	５．９	８．０
					荷卸時	12:15	８．５	４．９	８．０
					終了時	12:42	７．０	４．０	８．０

表５－２９　フレッシュコンクリートの性状

表５－３０　コンクリートの圧縮強度試験結果

（単位：Ｎ/mm²）

	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
ＢＢブロック	５．５	１７．３	３１．８	３６．９	４２．５
Ｎ＋Ｆブロック	８．４	２３．６	３５．１	４１．１	４５．５

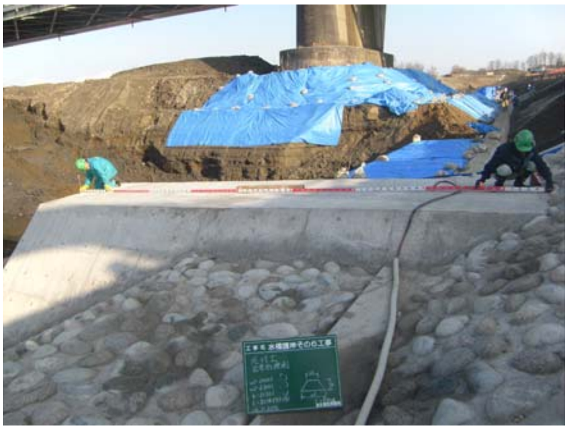
表５－３１　ブリーディングの発生状況

	ブリーディング水採集量(ℓ)	打設量(m^3)	$1m^3$当りのブリーディング量(ℓ/m^3)
BBブロック	12．5	26．0	0．48
N＋Fブロック	8．5	26．0	0．33

Ｎ＋Fの状況写真

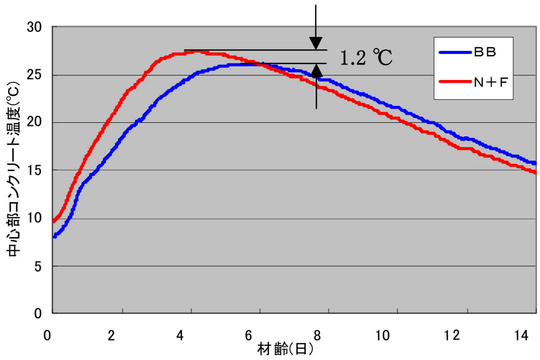
ＢＢの状況写真

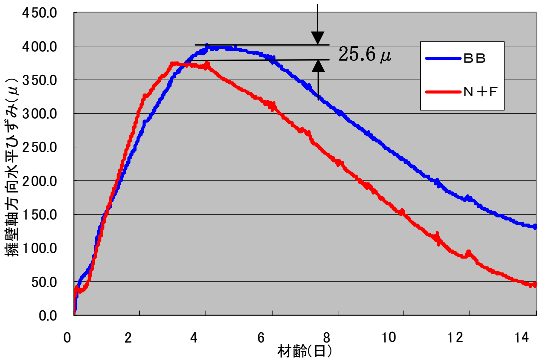
N＋Fブロック

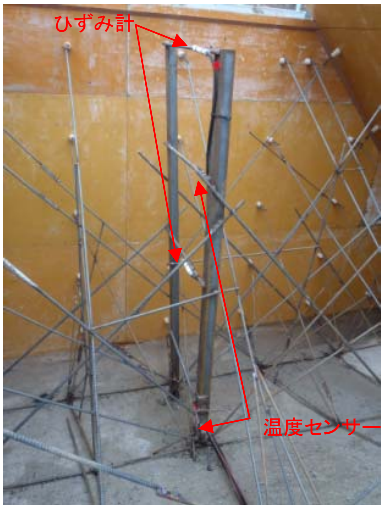


BBブロック

図５－１９　構造物の外観状況







計測器設置状況

- 冬場での強度発現（発熱量）の違いが影響し、コンクリート温度は、Ｎ＋Ｆの方がＢＢより大きい。
- ひずみの挙動は、斜面上の構造物であるため、底面摩擦条件の影響が大きいと考えられる。

※打設終了時のひずみを0とした。

図５－２０　コンクリート温度とひずみ量

c. 感想（施工者現場代理人）

- ＢＢとフライアッシュは生コンの状態ではほとんど変わらず施工出来た。
- 打ち上がり直後に表面を均している時に、少し粘性を感じた。
- フライアッシュの方がブリーディング水の発生時間が短く、１時間程度早く仕上げ作業を始めることができた。
- フライアッシュの方は、表面気泡が比較的多く感じた。
- 脱型直後は仕上り面もＢＢの方が艶があり綺麗だったが、表面が乾燥すると見分けはつかない。

(3) 巻止め工

a. 試験施工の概要

試験施工の概要図を**図５－２１**に、配合表を**表５－３２**に示す。国土交通省発注の常願寺川水橋護岸その６工事の巻止め工２ブロックを各々高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）と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）で試験施工を実施した。なお、両ブロックは同日に並行して施工している。

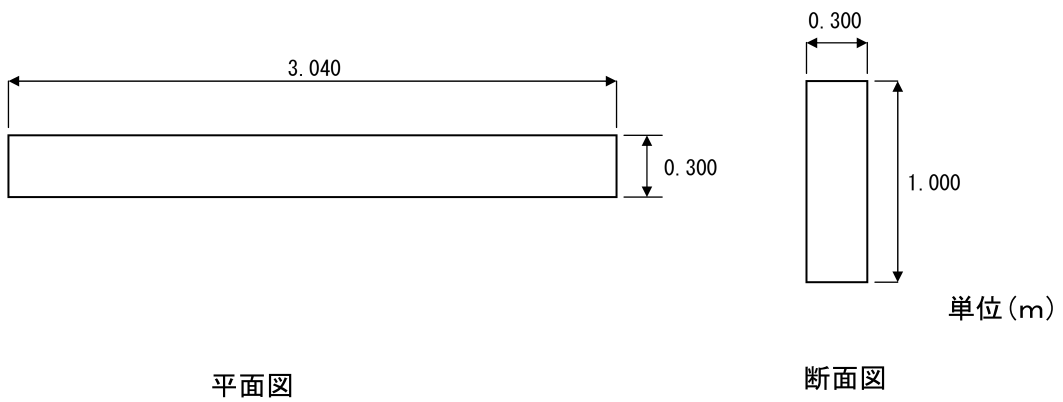


図５－２１　試験施工の概要図

表５－３２　配合表

（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）

	水結合材比 W/(C+FA) (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備　考
BB	57.5	40.4	254	―	146	768	1145	2.54	21N/mm² 配合
N+F	57.0	41.2	219	39	147	781	1129	2.06	21N/mm² 配合

b. 試験施工の結果

(a) フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの性状を**表５－３３**に示す。表より、N＋Fブロック、BBブロックともに、所定のスランプ（8±2.5cm）、空気量（4.5±1.5%）を確保できた。

(b) コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果を**表５－３４**に示す。表より、N＋Fブロックの初期強度発現（材齢３日、材齢７日）は、BBブロックに比べて大きいことが確認できた。

(c) コンクリートの打設状況

N＋Fブロック、BBブロックともに、コンクリートの打設が効率的に行われ、流動性もよく、型枠の隅々や鉄筋等の周囲に密実なコンクリートをゆきわたらせることができた。

ブリーディングの発生状況を**表５－３５**に示す。表より、N＋Fブロック、BBブロックともにブリーディングの発生はほとんどなかった。

(d) 構造物の外観状況

構造物の外観状況を**図５－２２**に示す。図より、N＋Fブロック、BBブロックともに、収縮等によるひび割れは見られなかった。表面の状況も両ブロックともに良好であるが、N＋Fブロックでは表面気泡が比較的多く見られた。

(e) コンクリート温度特性

コンクリート温度とひずみ量を**図５－２０**に示す。図より、中心部コンクリート温度は、N＋Fブロックの方がBBブロックと比べて 1.9℃高く、擁壁軸方向水平ひずみは、N＋Fブロックの方がBBブロックに比べて 34.4μ小さかった。冬場での強度発現（発熱量）の違いが影響したと考えられる。

表５－３３　フレッシュコンクリートの性状

	打設日時	天候	気温	試験時期		時刻	スランプ（cm）	空気量（%）	コンクリート温度（℃）
BBブロック	1月15日 8:40～9:50	曇り	3℃	一台目	荷卸時	8:40	6.５	3.９	7.０
N＋Fブロック	1月15日 8:28～9:50	曇り	3℃	一台目	荷卸時	8:28	6.０	3.９	7.０

表５－３４　コンクリートの圧縮強度試験結果

（単位：N/mm^2）

	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
ＢＢブロック	５．０	１３．９	３１．５	３９．７	３９．６
Ｎ＋Ｆブロック	９．５	２２．７	３３．０	３７．８	４２．０

表５－３５　ブリーディングの発生状況

	ブリーディング水採集量(ℓ)	打設量(m^3)	1m^{3}当りのブリーディング量(ℓ/m^3)
BBブロック	0.０	0.９	0.０
N＋Fブロック	0.０	0.９	0.０

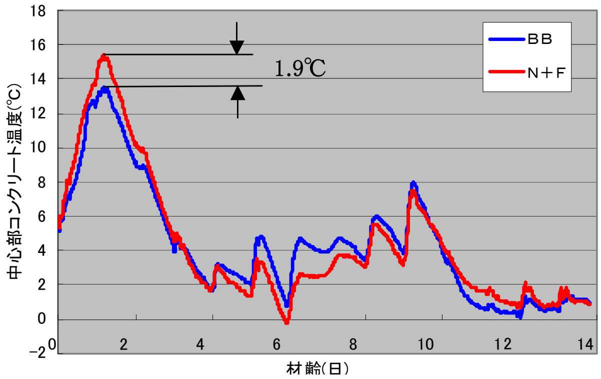
N＋Fの状況写真

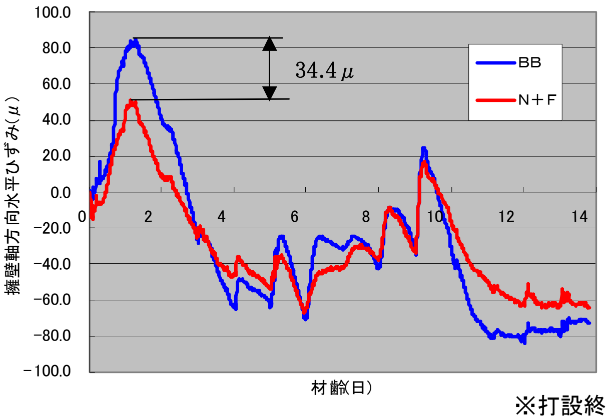
BBの状況写真

N＋Fブロック

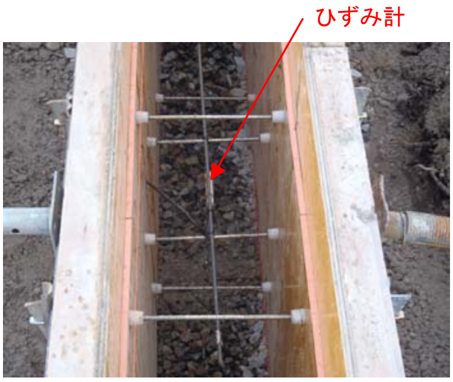
BBブロック

図５－２２　構造物の外観状況





※打設終了時のひずみを0とした。



計測器設置状況

図５－２３　コンクリート温度とひずみ量

c. 感想（施工者現場代理人）

- ＢＢとフライアッシュは生コンの状態ではほとんど変わらず施工出来た。
- 打ち上がり直後に表面を均している時に、少し粘性を感じた。
- 標準養生の他に現場養生で行った脱型確認用の供試体で圧縮強度試験を実施したところ、フライアッシュの方が強度が出ていた。

９）試験施工における温度応力解析

富山県の逆Ｔ型擁壁、石川県の重力式擁壁、福井県の重力式擁壁および国土交通省の元付コンクリートについて、計測結果をもとに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）および高炉セメントＢ種を使用したコンクリート（ＢＢ）それぞれの実施工の条件（躯体寸法、使用コンクリート、外気温等の環境）での温度応力解析を行った。また、富山県の逆Ｔ型擁壁と石川県の重力式擁壁については、ＢＢの実施工の条件にＮ＋Ｆを用いた場合の比較検討も行った。その結果、特に、重力式擁壁等のマスコンクリートでは、フライアッシュを用いたコンクリートは温度ひび割れに対し極めて有利であることが確認できた。

(1) 解析方法

温度解析では、土木学会標準示方書〔施工編〕の算定方法に準拠したパラメータ解析を行い、熱伝導率、セメント量を見直すことで計測値との整合をとった。

応力解析では、温度解析の温度履歴から換算したひずみ履歴と計測値との整合を確認し、発生応力履歴、ひび割れ指数を算出した。

解析のフローを**図５－２４**に示す。

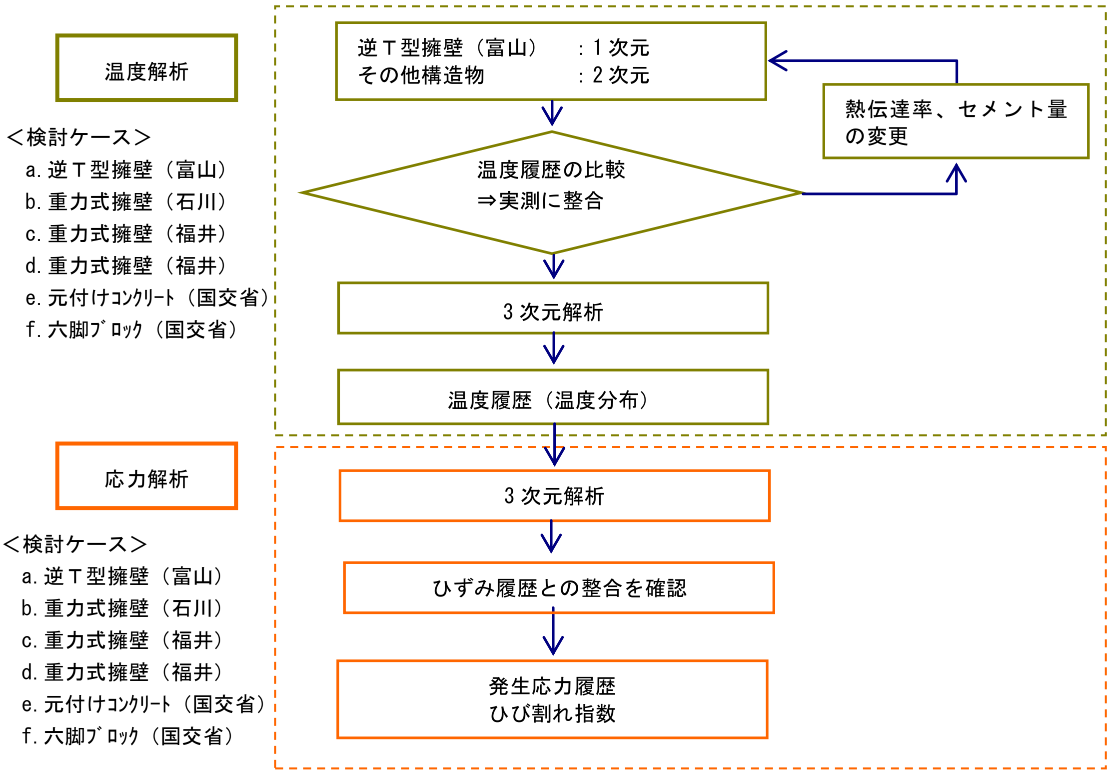


図５－２４　解析のフロー

(2)温度解析

a. 逆Ｔ型擁壁（富山県試験施工）

温度解析の条件を**図５－２５**に、計測値と解析値の比較結果を**図５－２６**および**図５－２７**に、3 次元解析による温度履歴の 1 例として材齢 2 日の温度分布を**図５－２８**に示す。土木学会標準示方書〔設計編〕の算定手法をに対して熱伝達境界として化粧型枠面と埋戻し面の熱伝達率を変更したこと、および、給熱 2 日間、15℃一定と仮定したことにより、計測値と解析値の整合をとることができた。

					N+F	BB
熱物性	設定条件		－	－	土木学会の標準値	
	熱伝導率		kx	W/m℃	2.7	
	比熱		c	kJ/kg℃	1.15	
	単位体積重量		ρ	kg/m³	2300	
温度上昇特性	設定条件		－	－	土木学会の算定式を用い、単位セメント量と打込み温度で補正	
					フライアッシュセメントB種	高炉セメントB種
	打込み温度		TO	℃	12.6	17.5
	単位セメント量		C	kg/m³	302	293
	終局断熱温度上昇量		K	℃	48.42	50.32
	温度上昇速度		α	－	0.530	0.610
熱伝達境界	化粧型枠面側	熱伝達率	η	W/m²℃	0日～8日:1.0 8日～:6.0	0日～10日:1.0 10日～:6.0
		外気温	Tair	℃	実測した履歴	
	埋戻し面側	熱伝達率	η	W/m²℃	0日～6日:6.0 6日～9日:14.0 9日～:2.0	6.0
		外気温	Tair	℃	0日～2日:15℃ 2日以降:実測	実測した履歴
	地盤側	熱伝達率	η	W/m²℃	2	
		外気温	Tair	℃	13.7	

※着色部は適当な温度履歴が得られるように境界条件を仮定した。　熱伝達境界･地盤側の値は応力解析

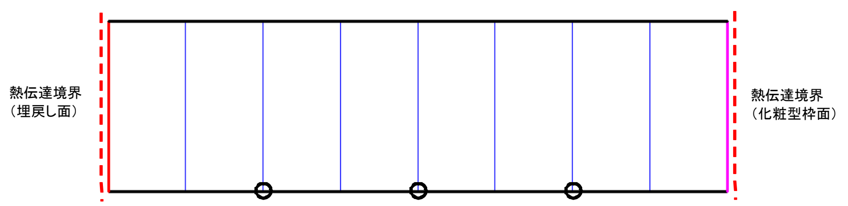


図５－２５　温度解析の条件

(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)

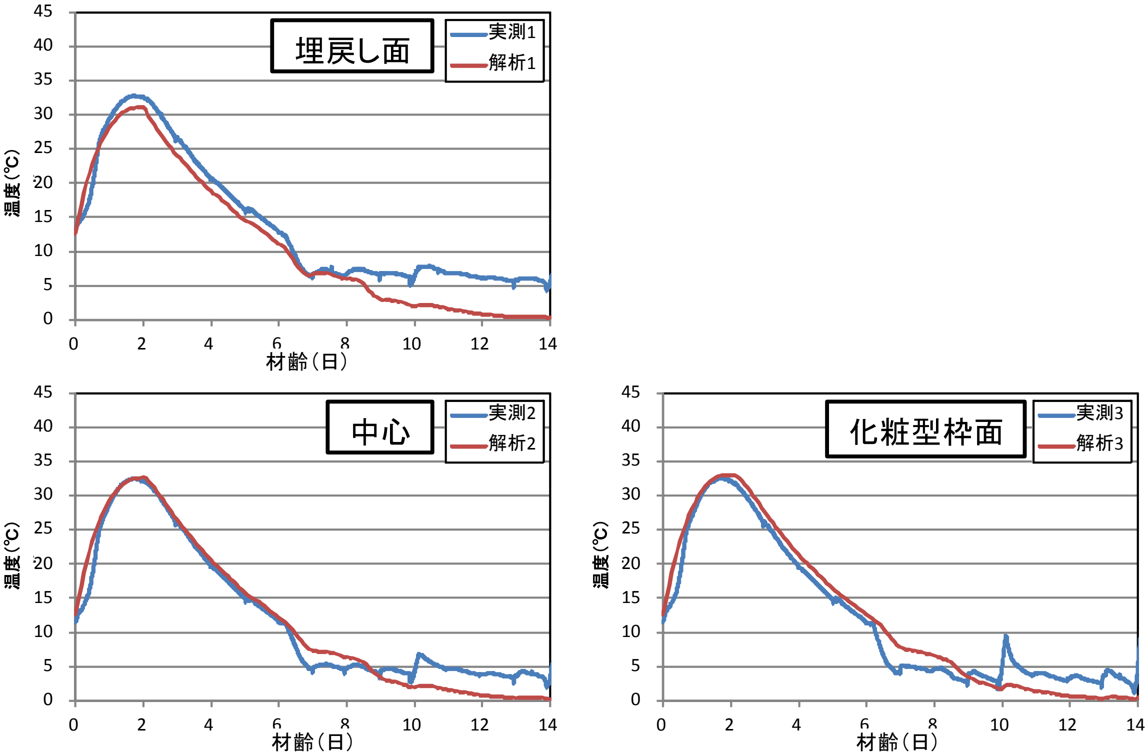


図５－２６　計測値と解析値の比較結果（Ｎ＋Ｆ）

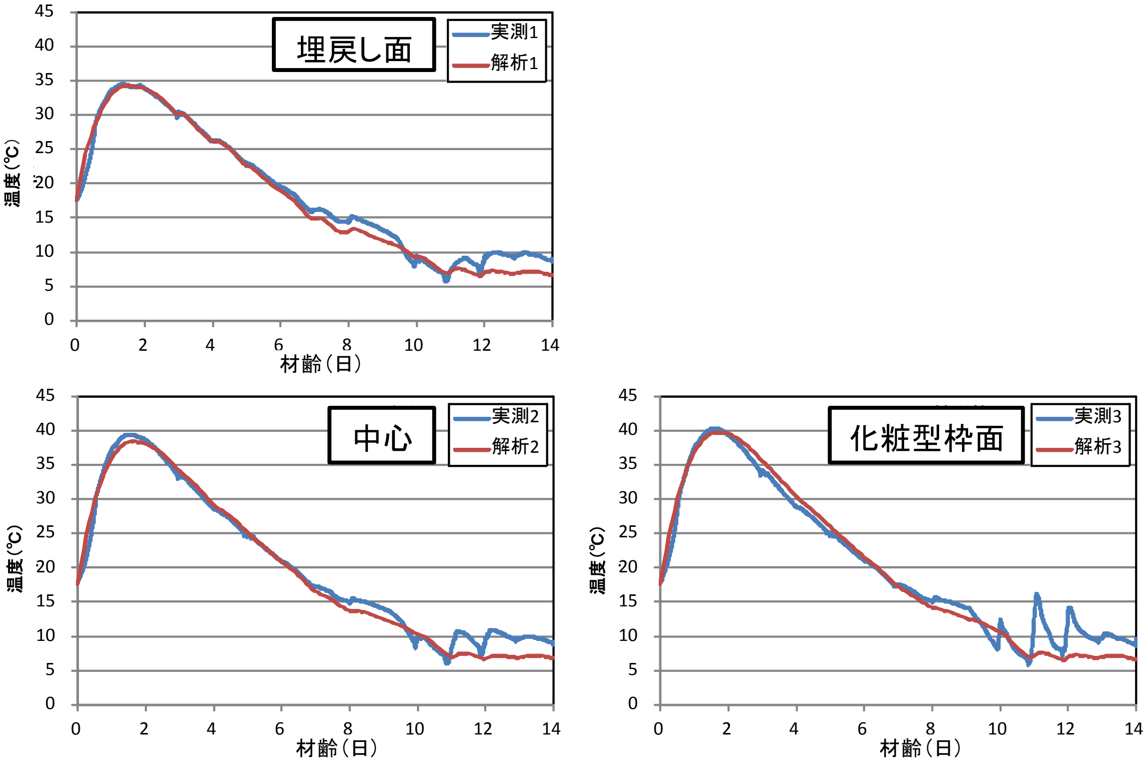


図５－２７　計測値と解析値の比較結果（ＢＢ）

(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)

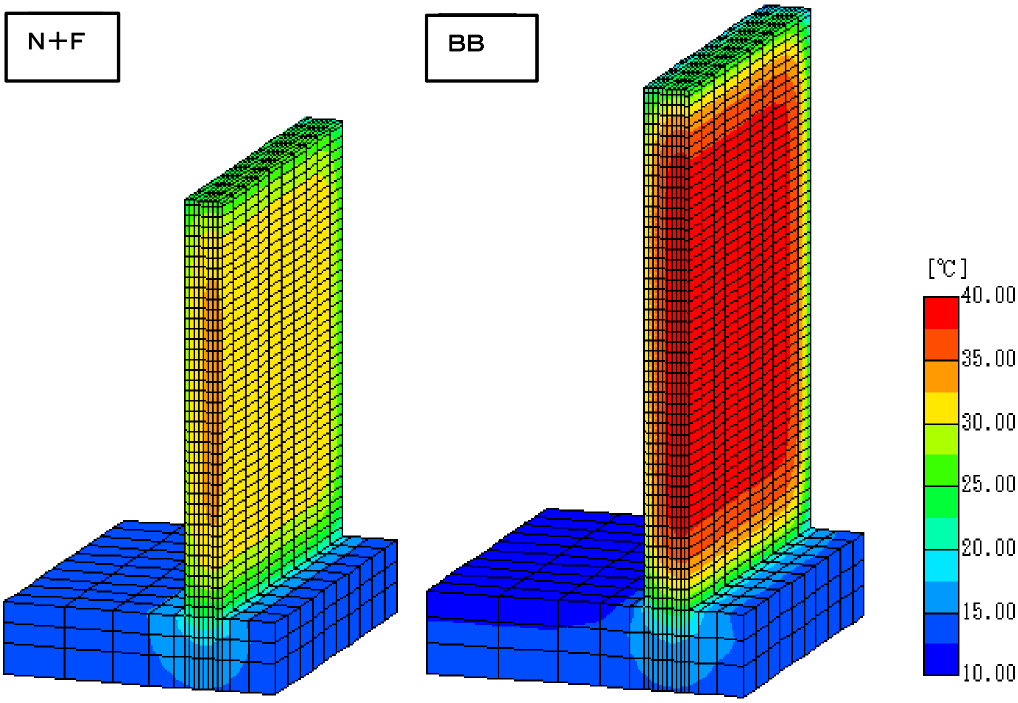


図５－２８　３次元解析による温度分布（材齢２日）

(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)

b. 重力式擁壁（石川県試験施工）

温度解析の条件を**図５－２９**に、計測値と解析値の比較結果を**図５－３０**および**図５－３１**に、3 次元解析による温度履歴の 1 例として材齢 2 日の温度分布を**図５－３２**に示す。図より、土木学会標準示方書〔設計編〕の算定方法に対して温度上昇特性としてセメント量を 1.1 倍としたこと、および、熱伝達境界として外気側の熱伝達率を 8.0（合板型枠相当）から 6.0（シート養生相当）としたことにより、計測値と解析値の整合をとることができた。

					N＋F	BB
熱物性		設定条件	―	―	土木学会の標準値	
		熱伝導率	kx	W/m℃	2.7	
		比熱	c	kJ/kg℃	1.15	
		単位体積重量	ρ	kg/m^3	2300	
温度上昇特性		設定条件	―	―	土木学会の算定式を用い、単位セメント量と打込み温度で補正	
					フライアッシュセメントB種	高炉セメントB種
		打込み温度	TO	℃	21.8	24.2
	C×1.0	単位セメント量	C	kg/m^3	270	287
		終局断熱温度上昇量	K	℃	42.30	48.79
		温度上昇速度	α	―	0.829	0.829
セメント量10%増加	C×1.1	単位セメント量	C	kg/m^3	297	316
		終局断熱温度上昇量	K	℃	46.08	52.56
		温度上昇速度	α	―	0.885	0.887
熱伝達境界	外気側	熱伝達率	η	W/m^2℃	6	
		外気温	Tair	℃	実測した履歴	
	地盤側	熱伝達率	η	W/m^2℃	2	
		外気温	Tair	℃	14.3	

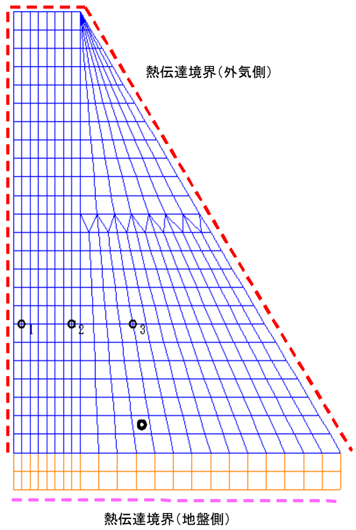


図５－２９　温度解析の条件

(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)

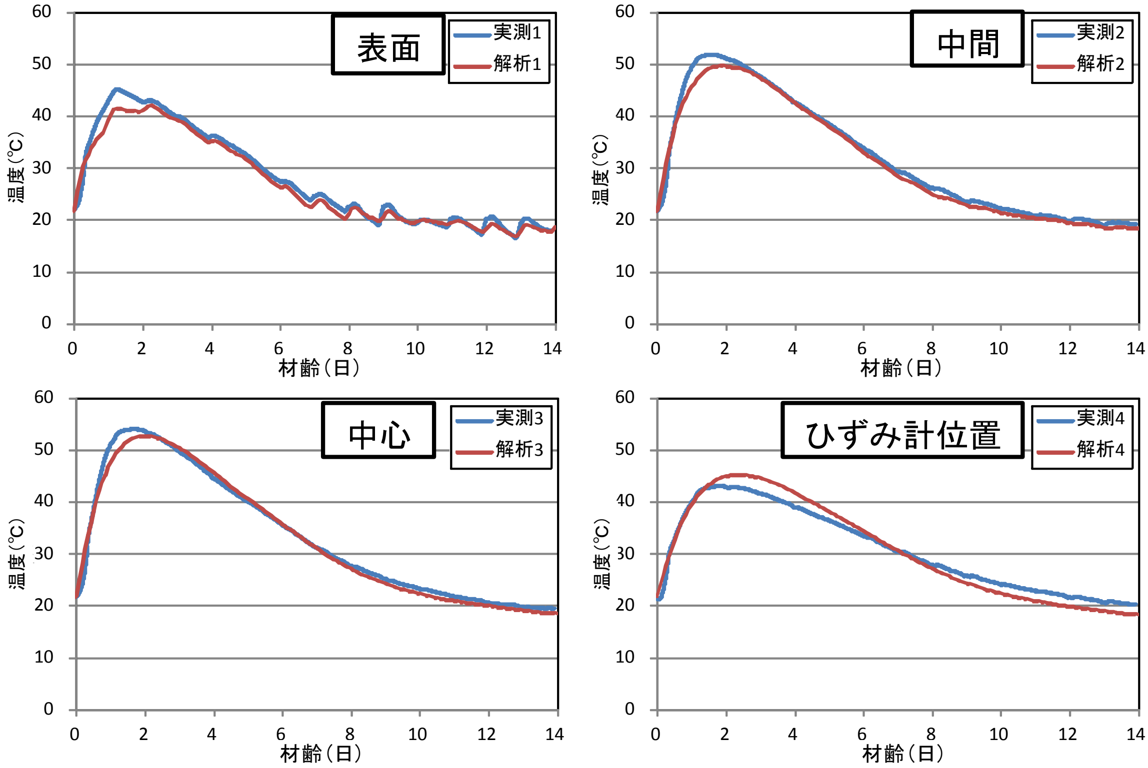


図５－３０　計測値と解析値の比較結果（Ｎ＋Ｆ）

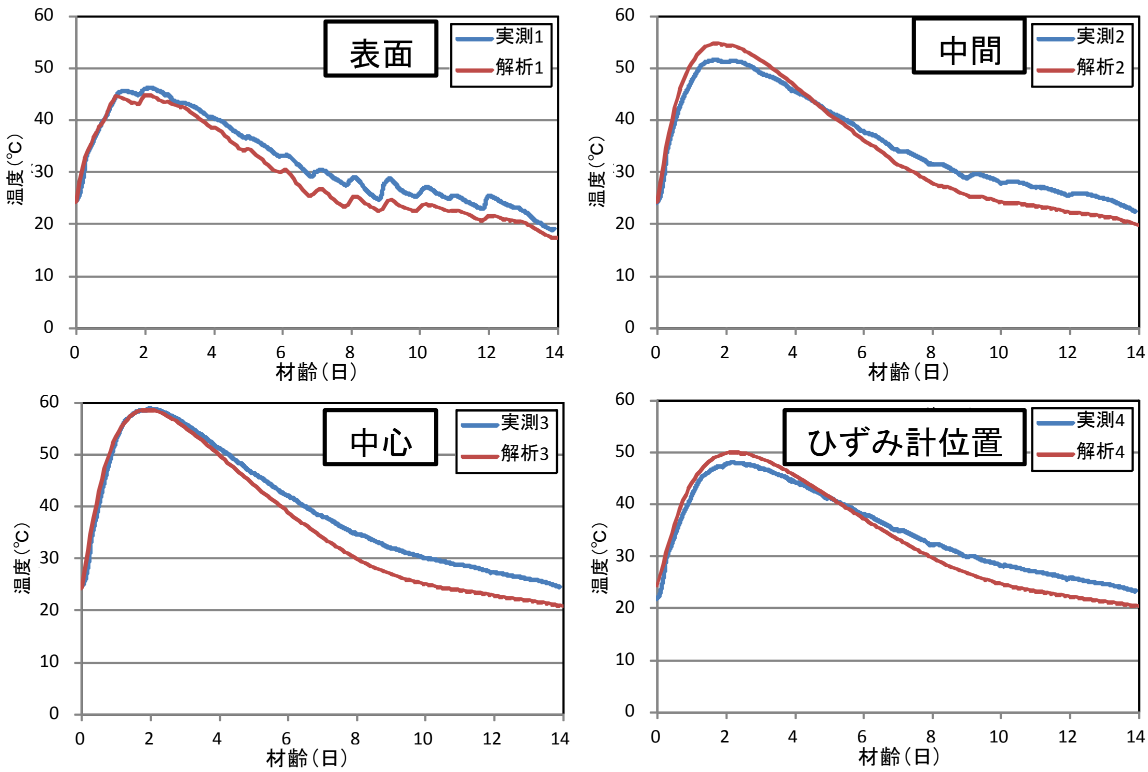


図５－３１　計測値と解析値の比較結果（ＢＢ）

(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)

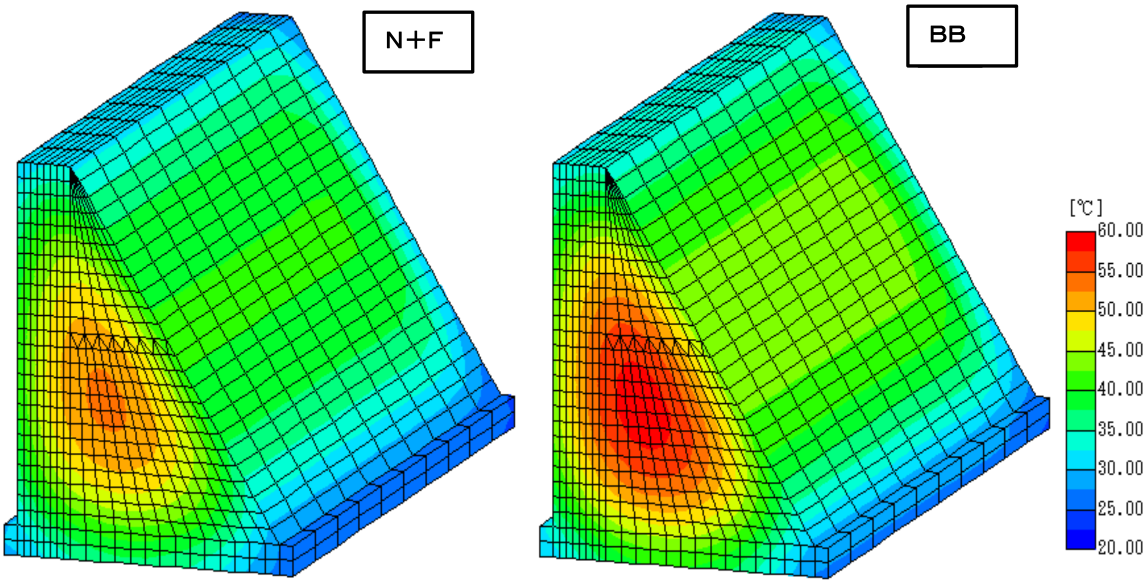


図５－３２　３次元解析による温度分布（材齢２日）
(N：普通ポルトランドセメント，BB:高炉セメントＢ種，Ｎ＋Ｆ：フライアッシュ 15%置換)

c. 重力式擁壁（福井県試験施工：越前市）

温度解析の条件を**図５－３３**に、温度解析での計測値と解析値の比較結果を**図５－３４**に示す。図より、土木学会標準示方書〔設計編〕の算定方法に対して温度上昇特性としてＮ＋Ｆはセメント量を 1.1 倍、ＢＢはセメント量を 0.9 倍したことにより、計測値と解析値の整合をとることができた。

					N+F	N+F 変更条件	BB	BB 変更条件	備考
温度条件	打込み日				11/16 10:00		11/19 14:00		
	打込み温度		T0	℃	15.9		16.5		実測値
	単位セメント量(F量含む)		C	kg/m^3	269	296	265	239	FA:110%、BB:90%
	フライアッシュ量		F	kg/m^3	40	44	−	−	
	終局断熱温度上昇量		K	℃	42.93	46.83	46.81	43.43	
	温度上昇速度		α	ー	0.592	0.635	0.539	0.496	
熱伝達境界	型枠面	熱伝達率	η	$W/m^{2}{}^{\circ}C$	8				合板型枠相当
		外気温	Tair	℃	実測値				
	地盤上面	熱伝達率	η	$W/m^{2}{}^{\circ}C$	14				
		外気温	Tair	℃	実測値				
	地盤底部	固定温度	Tbot	℃	14.5				福井市の年平均気温
力学物性	ヤング係数		Ec	N/mm^2	圧縮強度より算定				
	引張強度		ft	N/mm^2	圧縮強度より算定				
	ポアソン比		ν	−	0.2				
	線膨張係数		α	1/℃	10×10^{-6}				
	初期クリープ		φ	ー	有効弾性係数法				
圧縮強度の発現	設定条件		ー	ー	現場採取時の圧縮強度データ				
	圧縮強度	3日	fc	N/mm^2	11.0		7.7		
		7日			16.7		12.0		
		28日			25.1		25.0		
		56日			31.2		31.1		
地盤条件	弾性係数		Er	N/mm^2	50.0				粘性土相当

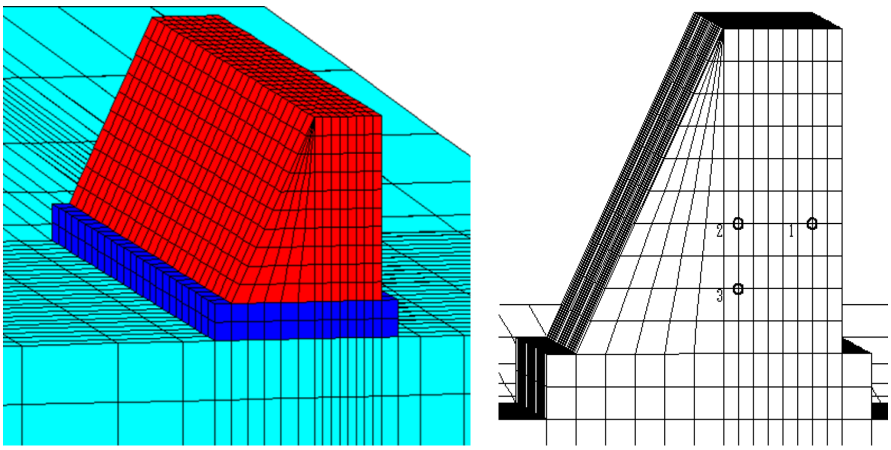


図５－３３　温度応力解析の条件

(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)

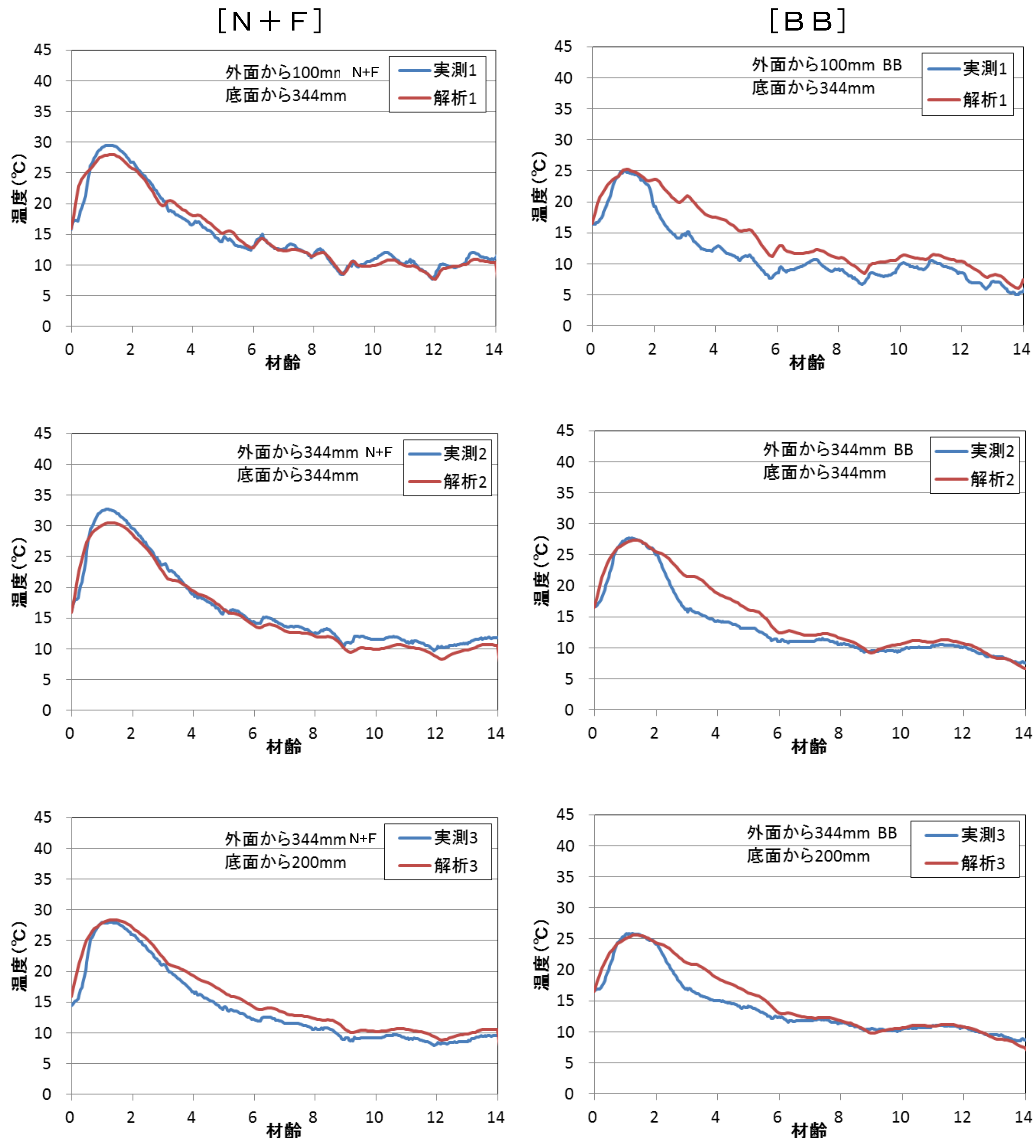


図５－３４　計測値と解析値の比較結果（Ｎ＋Ｆ、ＢＢ）

d. 重力式擁壁（福井県試験施工：坂井市）

温度解析の条件を**図５－３５**に、温度解析での計測値と解析値の比較結果を**図５－３６**に示す。図より、土木学会標準示方書〔設計編〕の算定方法に対して温度上昇特性としてN＋Fはセメント量を 1.0 倍、ＢＢはセメント量を 0.9 倍したことにより、計測値と解析値の整合をとることができた。

					N+F	BB	BB 変更条件	備考
温度条件	打込み日				2/7 12:00	2/7 12:00		
	打込み温度		T0	℃	12.1	10.2		実測値
	単位セメント量(F量含む)		C	kg/m^3	235	248	223	BB:90%
	フライアッシュ量		F	kg/m^3	35	−	−	
	終局断熱温度上昇量		K	℃	38.62	45.41	42.16	
	温度上昇速度		α	―	0.427	0.361	0.328	
熱伝達境界	型枠面	熱伝達率	η	$W/m^2℃$	0～5日:6 5日以降:2			シート養生相当
		外気温	Tair	℃	実測値			
	地盤上面	熱伝達率	η	$W/m^2℃$	14			
		外気温	Tair	℃	実測値			
	地盤底部	固定温度	Tbot	℃	14.5			福井市の年平均気温
力学物性	ヤング係数		Ec	N/mm^2	圧縮強度より算定			
	引張強度		ft	N/mm^2	圧縮強度より算定			
	ポアソン比		ν	−	0.2			
	線膨張係数		α	1/℃	10×10^{-6}			
	初期クリープ		φ	―	有効弾性係数法			
圧縮強度の発現	設定条件		―	―	現場採取時の圧縮強度データ			
	圧縮強度	3日	f'c	N/mm^2	9.0	7.0		
		7日			16.9	12.6		
		28日			25.7	24.3		
地盤条件	弾性係数	改良土	Er1	N/mm^2	5000.0			岩盤相当
		地盤	Er2	N/mm^2	50.0			粘性土相当

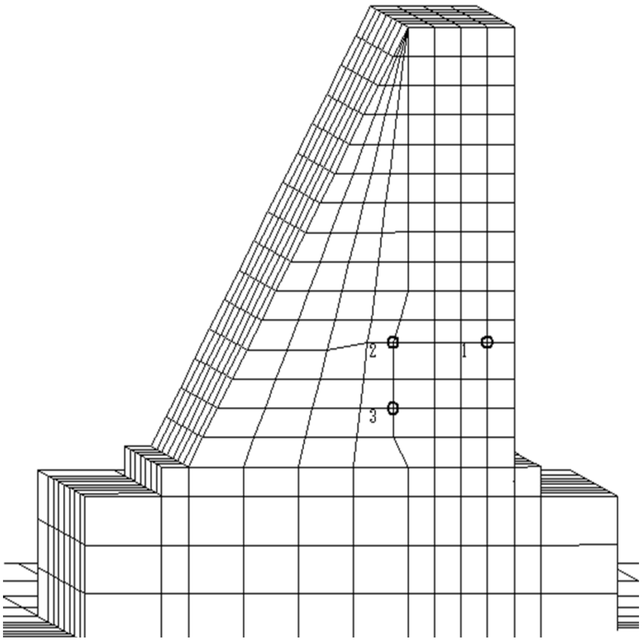


図５－３５　温度応力解析の条件

(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)

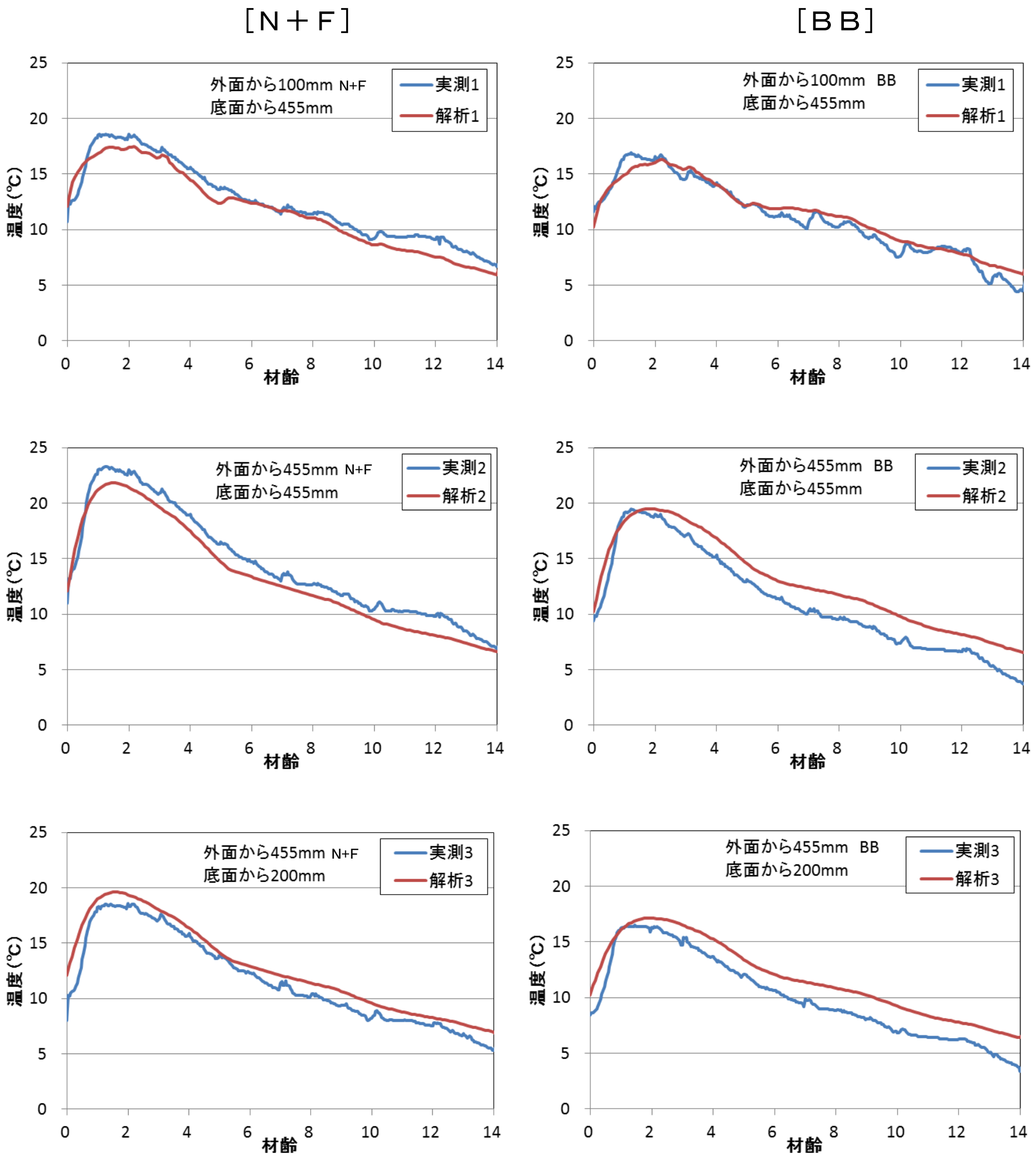
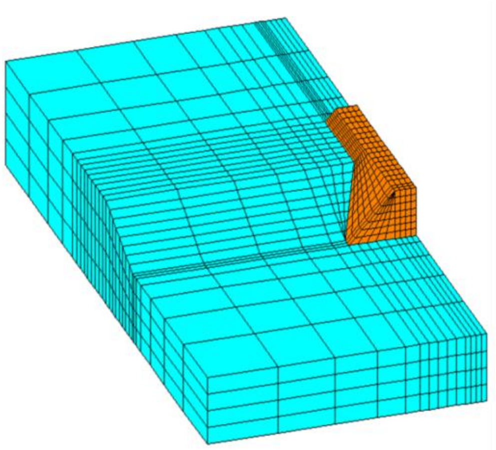


図５－３６　計測値と解析値の比較結果（Ｎ＋Ｆ、ＢＢ）

e. 元付けコンクリート（国土交通省試験施工）

温度解析の条件を**図５－３７**に、温度解析での計測値と解析値の比較結果を**図５－３８**に示す。図より、土木学会標準示方書〔設計編〕の算定方法により、計測値と解析値の整合をとることができた。

					N+F	BB	備考
温度条件	打込み日				1/9 13:00	1/9 13:00	
	打込み温度		T0	℃	9.1	7.3	実測値
	単位セメント量(F量含む)		C	kg/m^3	258	254	
	フライアッシュ量		F	kg/m^3	39	–	
	終局断熱温度上昇量		K	℃	42.56	46.57	
	温度上昇速度		α	ー	0.363	0.299	
熱伝達境界	型枠面	熱伝達率	η	W/m^2℃	0～5日:6 5日以降:14		合板型枠相当
		外気温	Tair	℃	実測値		
	地盤上面	熱伝達率	η	W/m^2℃	14		
		外気温	Tair	℃	実測値		
	地盤底部	固定温度	Tbot	℃	14.1		富山市の年平均気温
力学物性	ヤング係数		Ec	N/mm^2	圧縮強度より算定		
	引張強度		ft	N/mm^2	圧縮強度より算定		
	ポアソン比		ν	–	0.2		
	線膨張係数		α	1/℃	10×10^{-6}		
	初期クリープ		φ	ー	有効弾性係数法		
圧縮強度の発現	設定条件		ー	ー	現場採取時の圧縮強度データ		
	圧縮強度	3日	f'c	N/mm^2	8.4	5.5	
		7日			23.6	17.3	
		28日			35.1	31.8	
地盤条件	弾性係数		Er	N/mm^2	500.0		標準(砂質土、砂礫程度)



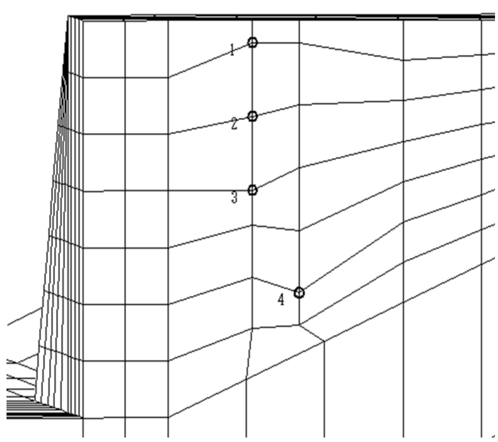


図５－３７　温度応力解析の条件

(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)

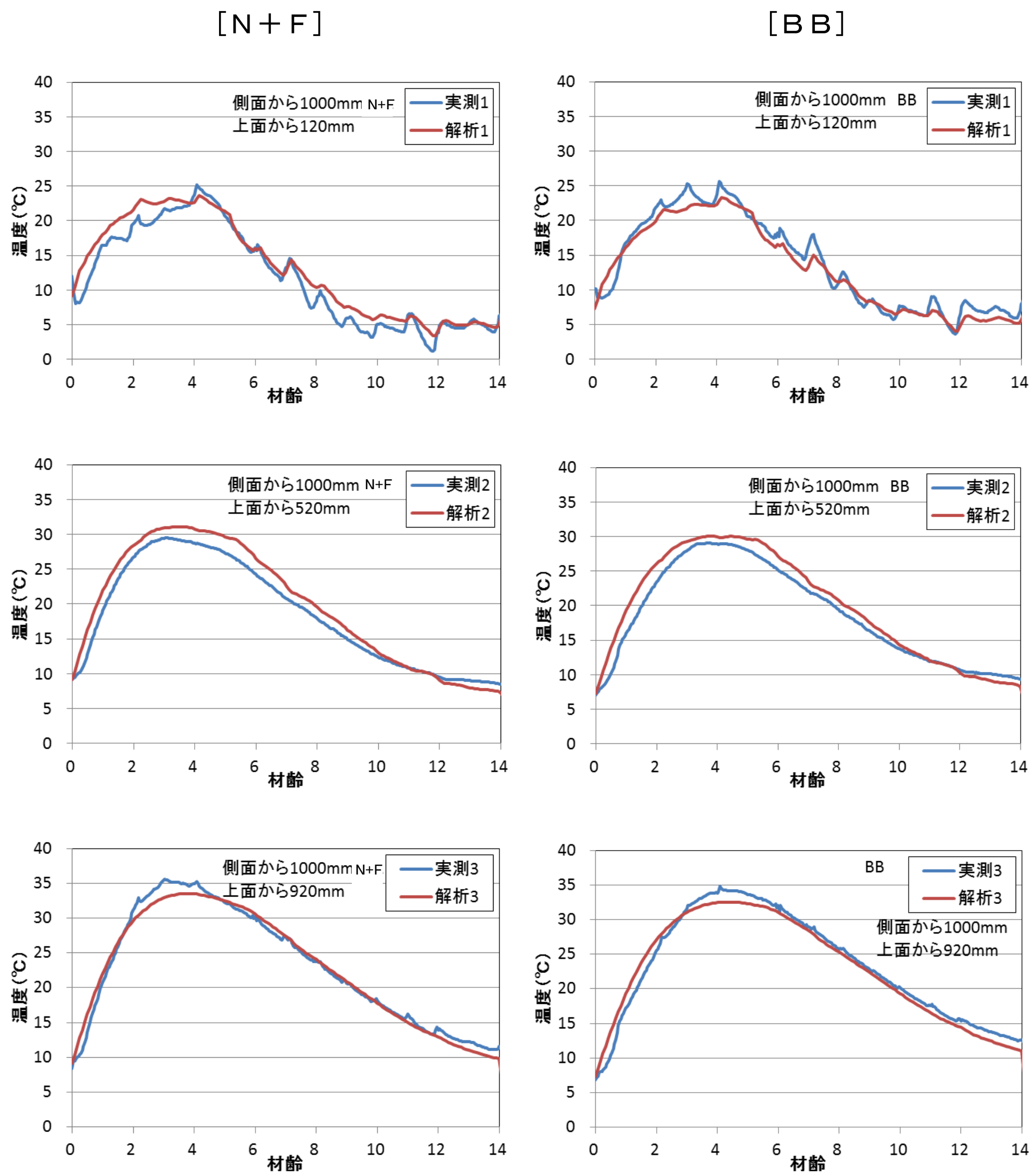
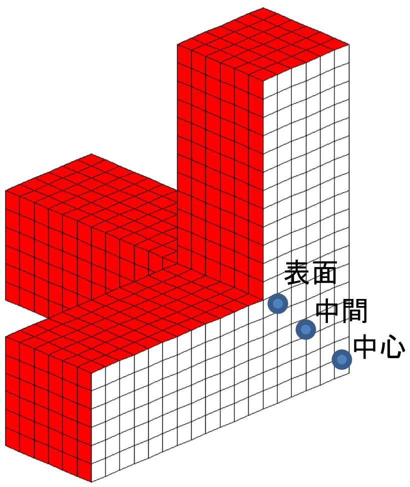


図５－３８　計測値と解析値の比較結果（Ｎ＋Ｆ、ＢＢ）

f．六脚ブロック（国土交通省試験施工）

温度解析の条件を**図５－３９**に、温度解析での計測値と解析値の比較結果を**図５－４０**に示す。図より、土木学会標準示方書〔設計編〕の算定方法により、計測値と解析値の整合をとることができた。

				N＋F	BB
熱物性	設定条件	―	―	土木学会の標準値	
	熱伝導率	kx	W/m℃	2.7	
	比熱	c	kJ/kg℃	1.15	
	単位体積重量	ρ	kg/m^3	2300	
温度上昇特性	設定条件	―	―	土木学会の算定式を用い、単位セメント量と打込み温度で補正	
				フライアッシュセメントB種	高炉セメントB種
	打込み温度	T0	℃	30.4	30.2
	単位セメント量	C	kg/m^3	258	260
	終局断熱温度上昇量	K	℃	40.62	44.68
	温度上昇速度	α	―	1.283	1.002
熱伝達境界	外気温	Tair	℃	実測した履歴	
	熱伝達率	η	W/m2℃	14	



XYZ方向の形状が対称であるため、
8分の1でモデル化した。

図５－３９　温度応力解析の条件

(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)

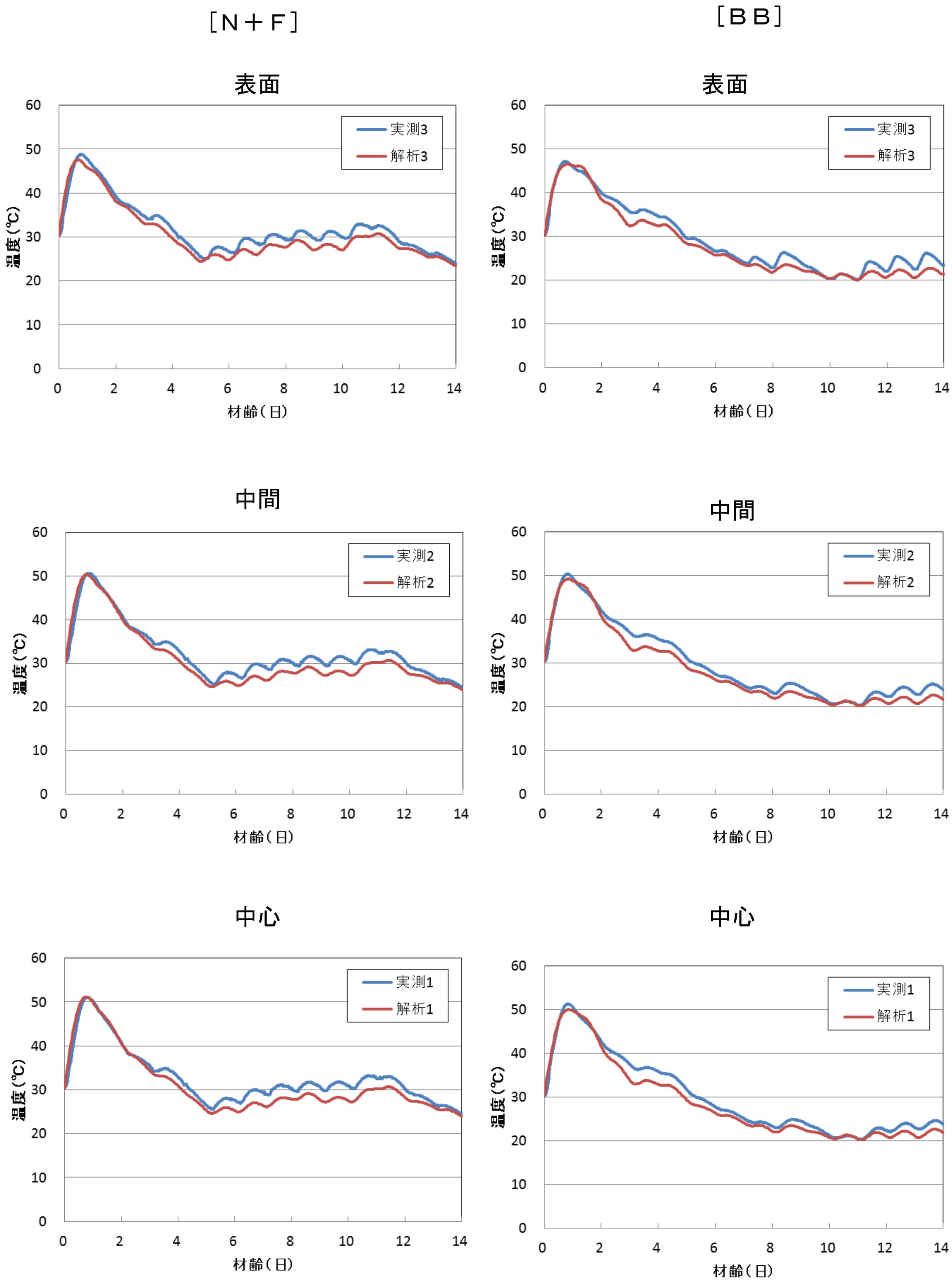


図５－４０　計測値と解析値の比較結果（N＋F、BB）

(3)応力解析

a.逆Ｔ型擁壁（富山県試験施工）

応力解析の条件を**表５－３６**に、ひずみ履歴の解析結果を**図５－４１**に示す。図より、ＢＢについては、実ひずみ、温度ひずみ、弾性ひずみの実測値と解析値がほぼ整合しているが、Ｎ＋Ｆについては、弾性ひずみが初期に膨張側に反転しており、通常の傾向とは異なっている。これは、材齢初期に給熱養生したため、コンクリート外部と内部の温度差が少なくなり、弾性ひずみが膨張側に反転したものと考えられる。また、その後はコンクリート表面の乾燥収縮により、弾性ひずみは収縮傾向になったと考えられる。

発生応力とひび割れ指数の分布を**図５－４２**に示す。図より、逆Ｔ型擁壁上部の表面は内部拘束型、下部は外部拘束型の応力が発生している。なお、実際の施工においては、Ｎ＋Ｆ、ＢＢとも発熱によるひび割れは見られなかった。

表５－３６　解析条件

(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)

					逆Ｔ型擁壁（富山）		備考
					Ｎ＋Ｆ	ＢＢ	
力学特性	ヤング係数		Ec	N/mm^2	圧縮強度より算定		土木学会・示方書に準拠
	引張強度		ft	N/mm^2	圧縮強度より算定		
	ポアソン比		ν	―	0.2		
	線膨張係数		α	1/℃	10×10^{-6}		
	初期クリープ		Φ	―	有効弾性係数法		
圧縮強度の発現	設定条件		―	―	現場採取時の圧縮強度データ		
	圧縮強度	3 日	fc	N/mm^2	12.9	11.4	
		7 日			23.6	20.7	
		28 日			33.9	39.4	

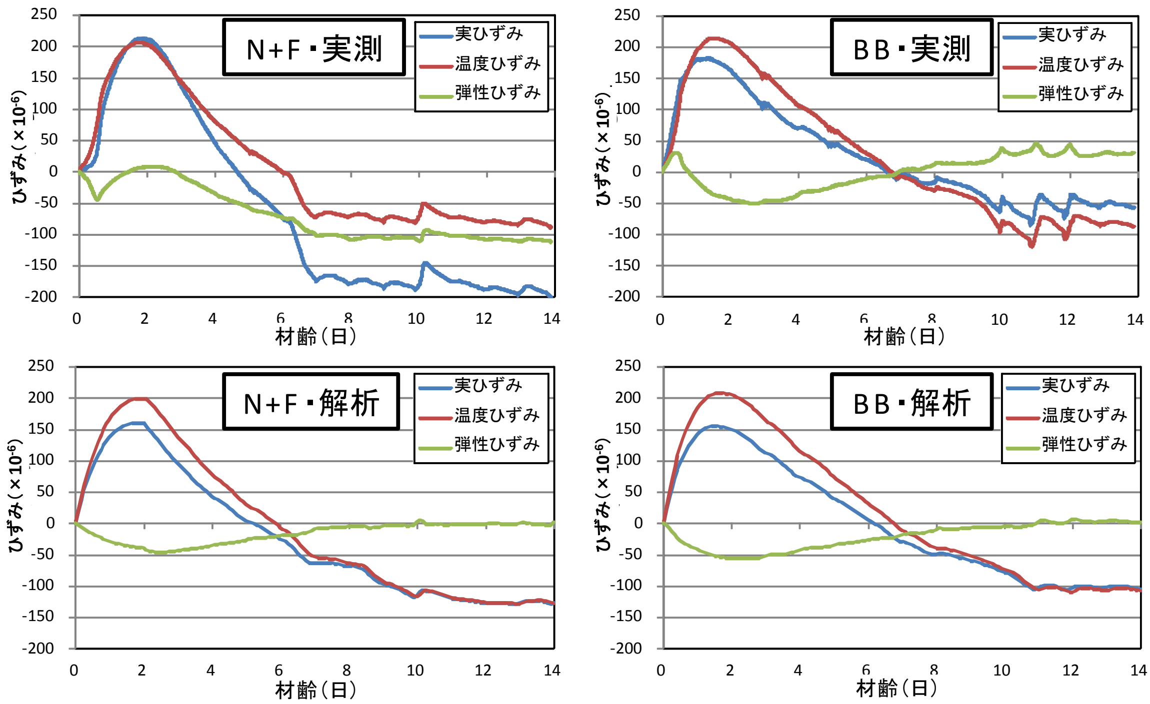


図５－４１　ひずみ履歴の解析結果（逆Ｔ型擁壁）

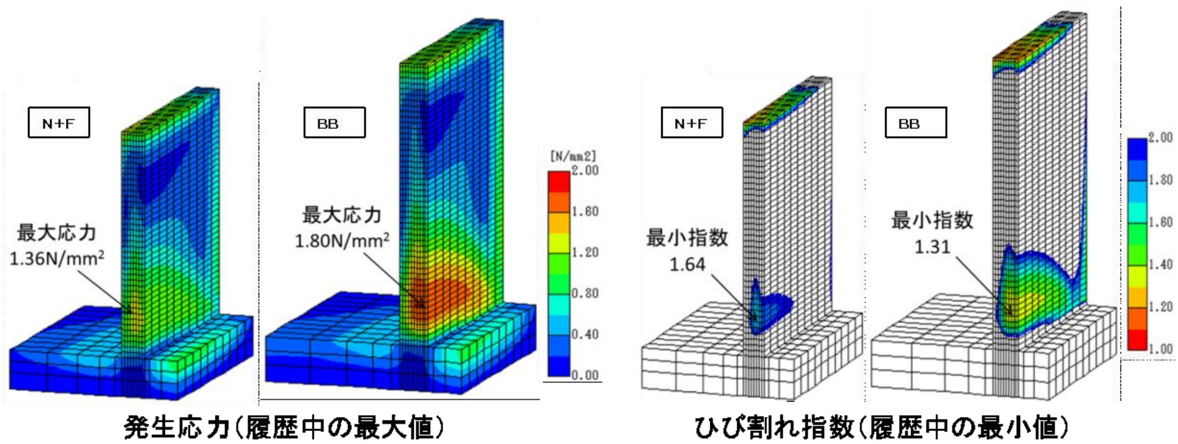


図５－４２　発生応力とひび割れ指数の分布（逆Ｔ型擁壁）

(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)

b. 重力式擁壁（石川県試験施工）

応力解析の条件を**表５－３７**に、ひずみ履歴の解析結果を**図５－４３**に示す。図より、地盤の境界条件の違いにより、解析値より実測値の方が大きくなっているが、ＢＢ，Ｎ＋Ｆそれぞれ実ひずみ※1、温度ひずみ※1、弾性ひずみ※1 の傾向は同様でほぼ整合している。

発生応力とひび割れ指数※2 の分布を**図５－４４**に示す。図より、重力式擁壁の表面は内部拘束型、内部は外部拘束型の応力が発生している。なお、実際の施工においては、Ｎ＋Ｆ、ＢＢとも発熱によるひび割れは見られなかった。

表５－３７　解析条件

(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)

					重力式擁壁（石川）		備考
					Ｎ＋Ｆ	ＢＢ	
力学特性	ヤング係数		Ec	N/mm^2	圧縮強度より算定		土木学会・示方書に準拠
	引張強度		ft	N/mm^2	圧縮強度より算定		
	ポアソン比		ν	－	0.2		
	線膨張係数		α	1/℃	10×10^{-6}		
	初期クリープ		Φ	－	有効弾性係数法		
圧縮強度の発現	設定条件		－	－	現場採取時の圧縮強度データ		
	圧縮強度	3 日	fc	N/mm^2	15.8	11.4	
		7 日			24.1	19.8	
		28 日			31.7	32.8	

※1：

実ひずみ、温度ひずみ、弾性ひずみの関係

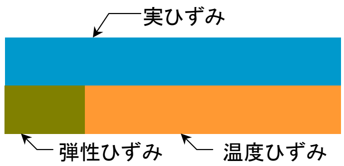
ここに、

実ひずみ　：埋込み型ひずみ計で計測された値

温度ひずみ：温度変化量に線膨張係数（10×10^{-6}）を乗じた値

弾性ひずみ：実ひずみから温度ひずみを引いた値

である。



※2：

ひび割れ指数＝コンクリートの引張強度／コンクリートの引張応力度

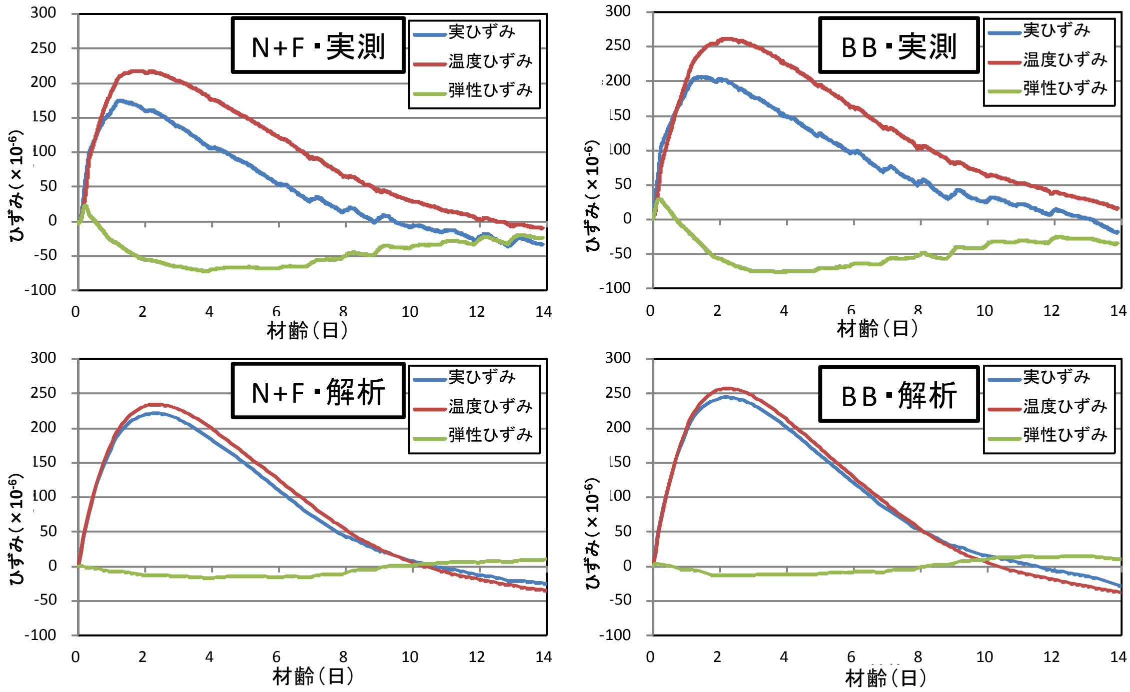


図５－４３　ひずみ履歴の解析結果（重力式擁壁）

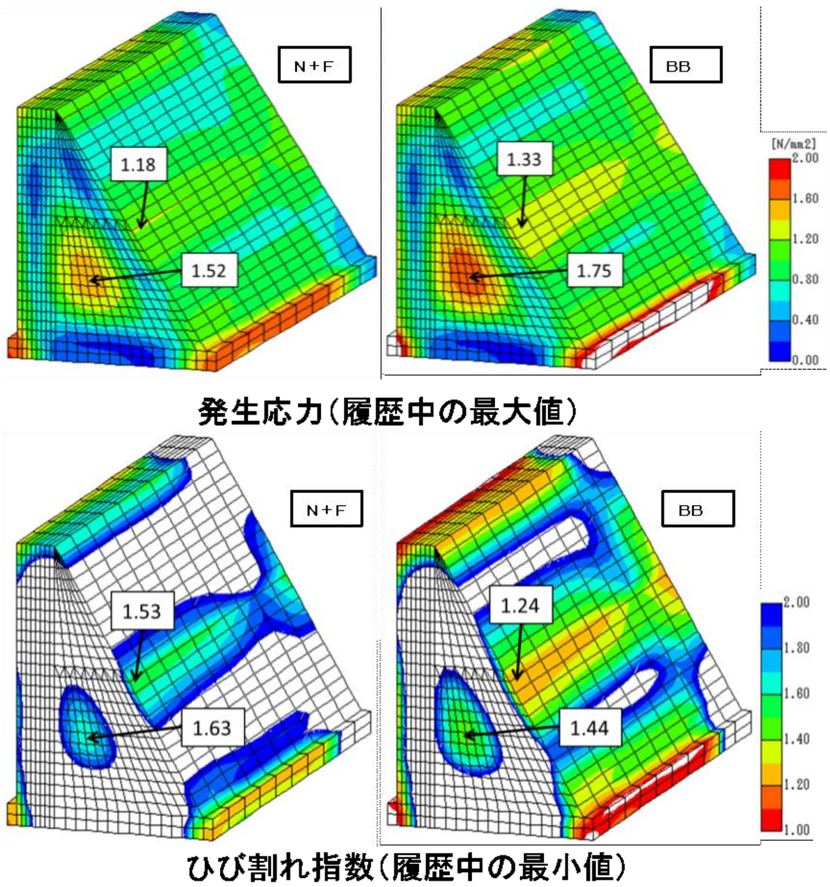


図５－４４　発生応力とひびわれ指数の分布（重力式擁壁）

(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)

c. 重力式擁壁（福井県試験施工：越前市）

応力解析の条件を**表５－３３**に、ひずみ履歴の解析結果を**図５－４５**に示す。図より、地盤の境界条件の違いにより、解析値より実測値の方が大きくなっているが、Ｎ＋Ｆ、ＢＢそれぞれ、実ひずみ、温度ひずみ、弾性ひずみの傾向は同様でほぼ整合している。

ひび割れ指数の分布を**図５－４６**に示す。図より、Ｎ＋Ｆ、ＢＢともに、温度ひび割れを防止したい場合のひび割れ指数 1.75 以上となっている。なお、実際の施工においては、Ｎ＋Ｆ、ＢＢとも発熱によるひび割れは見られなかった。

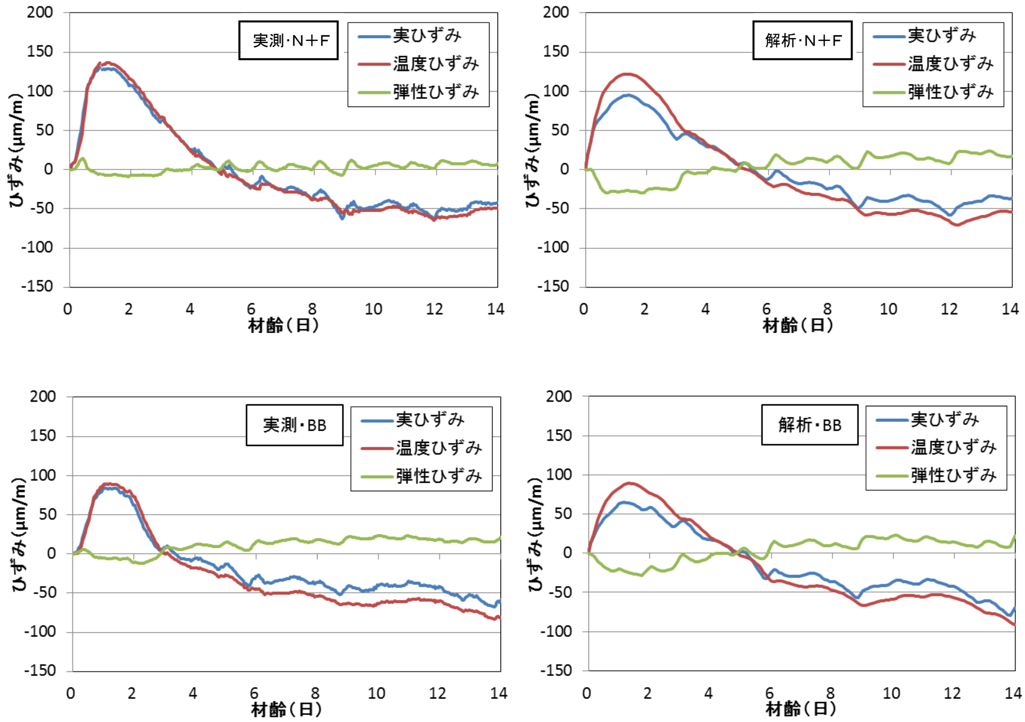


図５－４５　ひずみ履歴の解析結果

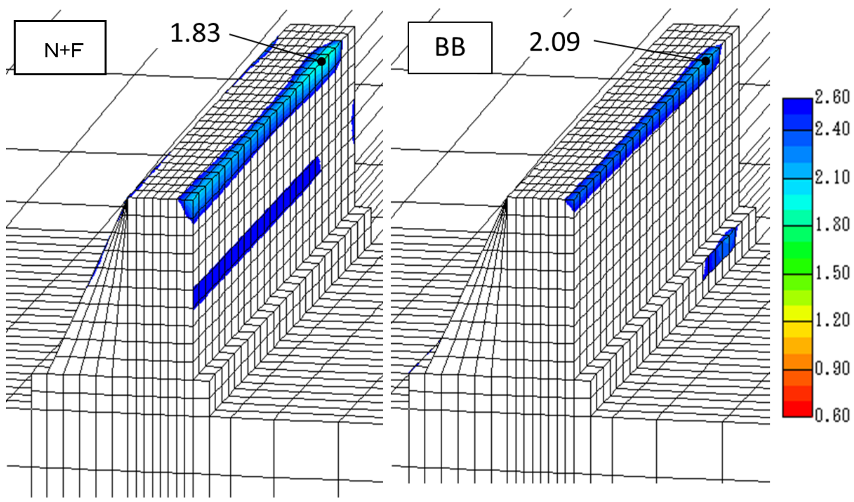


図５－４６　ひび割れ指数の分布

d. 重力式擁壁（福井県試験施工：坂井市）

応力解析の条件を**図５－３５**に、ひずみ履歴の解析結果を**図５－４７**に示す。図より、地盤の境界条件の違いにより、解析値より実測値の方が大きくなっているが、Ｎ＋Ｆ、ＢＢそれぞれ、実ひずみ、温度ひずみ、弾性ひずみの傾向は同様でほぼ整合している。

ひび割れ指数の分布を**図５－４８**に示す。図より、Ｎ＋Ｆ、ＢＢともに、温度ひび割れを防止したい場合のひび割れ指数 1.75 以上となっている。なお、実際の施工においては、Ｎ＋Ｆ、ＢＢとも発熱によるひび割れは見られなかった。

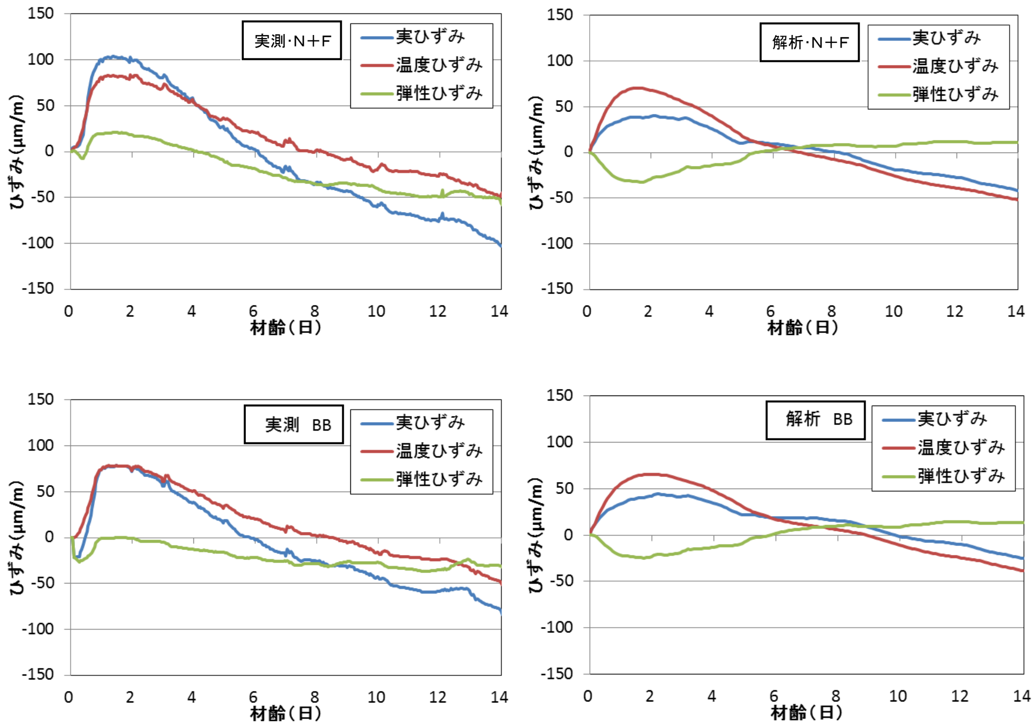


図５－４７　ひずみ履歴の解析結果

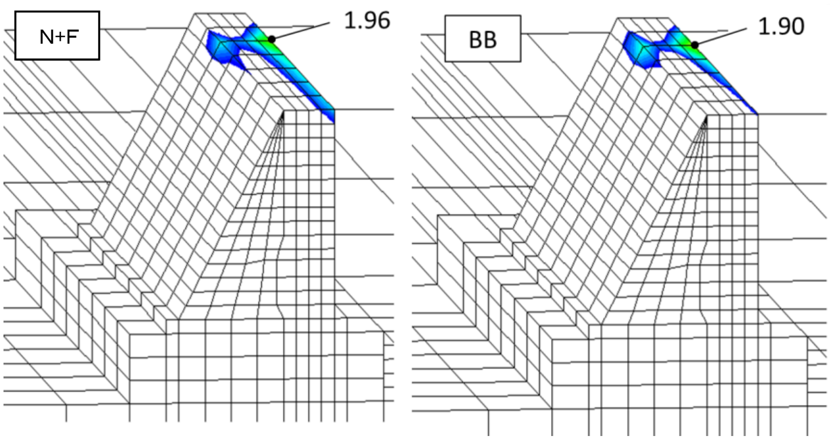


図５－４８　ひび割れ指数の分布

e. 元付けコンクリート（国土交通省試験施工）

応力解析の条件を**図５－３７**に、ひずみ履歴の解析結果を**図５－４９**に、ひび割れ指数の分布を**図５－５０**に示す。図より、実測値の実ひずみで生じている大きな引張りひずみは、解析値では反映できていない。これは、当該構造物が斜面上に設置されていることから、底面の摩擦条件の影響が大きいためと考えられる。なお、実際の施工においては、Ｎ＋Ｆ、ＢＢとも発熱によるひび割れは見られなかった。

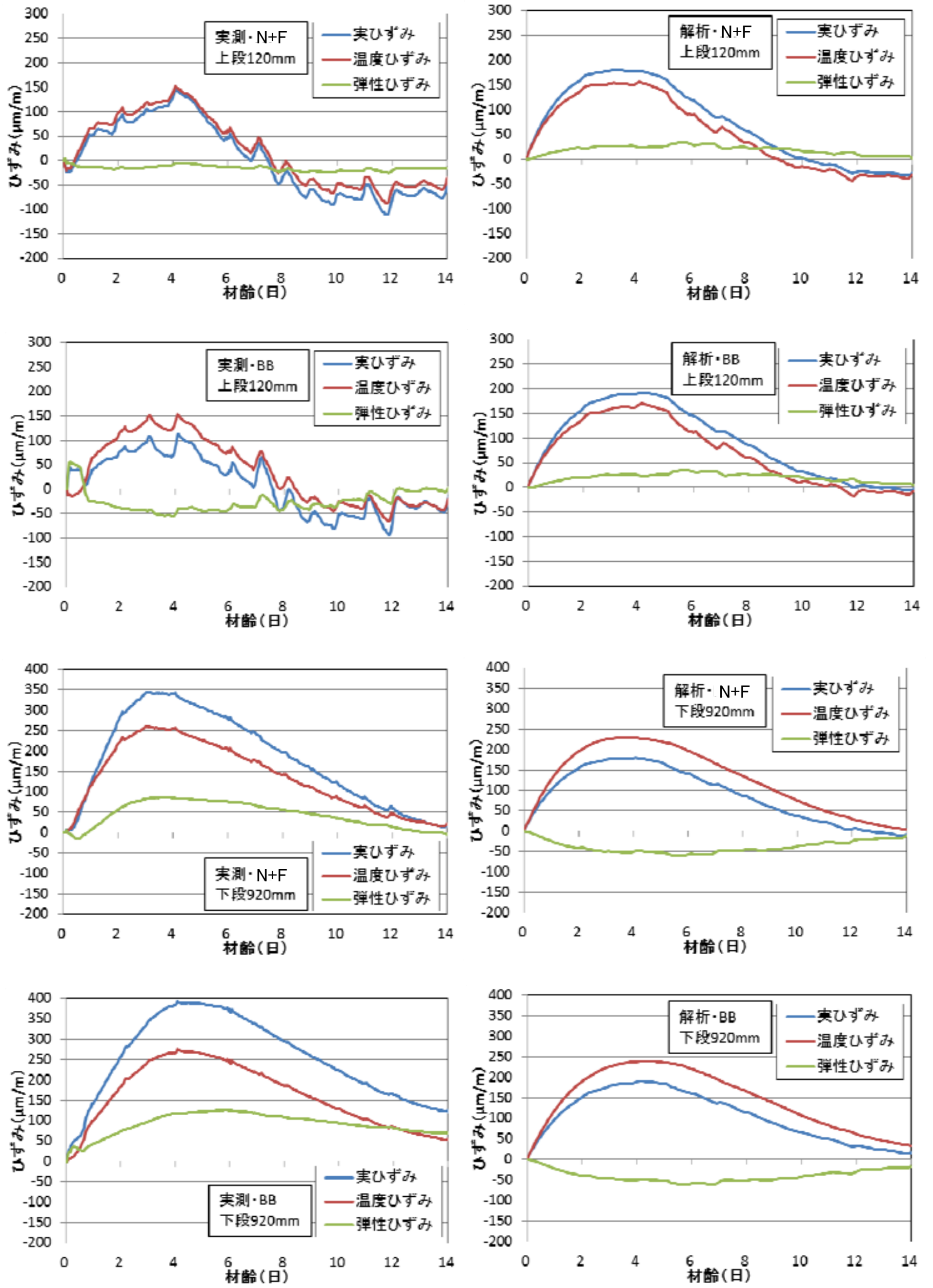


図５－４９　ひずみ履歴の解析結果

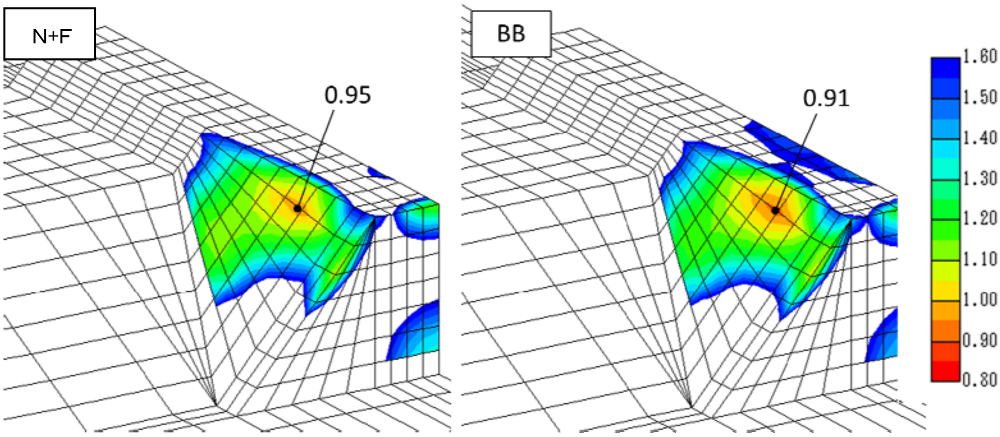


図５－５０　ひび割れ指数の分布

f．六脚ブロック（国土交通省試験施工）

応力解析の条件を表５－３８に、ひずみ履歴の解析結果を図５－５１に、ひび割れ指数の分布を図５－５２に示す。

表５－３８　解析条件

(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)

					六脚ブロック(国交省･富山)		備考
					N＋F	BB	
力学物性	ヤング係数		Ec	N/mm^2	圧縮強度より算定		土木学会･示方書に準拠
	引張強度		ft	N/mm^2	圧縮強度より算定		
	ポアソン比		ν	–	0.2		
	線膨張係数		α	1/℃	10×10^{-6}		
	初期クリープ		ϕ	－	有効弾性係数法		
圧縮強度の発現	設定条件		－	－	現場採取時の圧縮強度データ		
	圧縮強度	3日	f'c	N/mm^2	14.9	9.5	
		7日			20.9	15.7	
		28日			31.9	26.7	

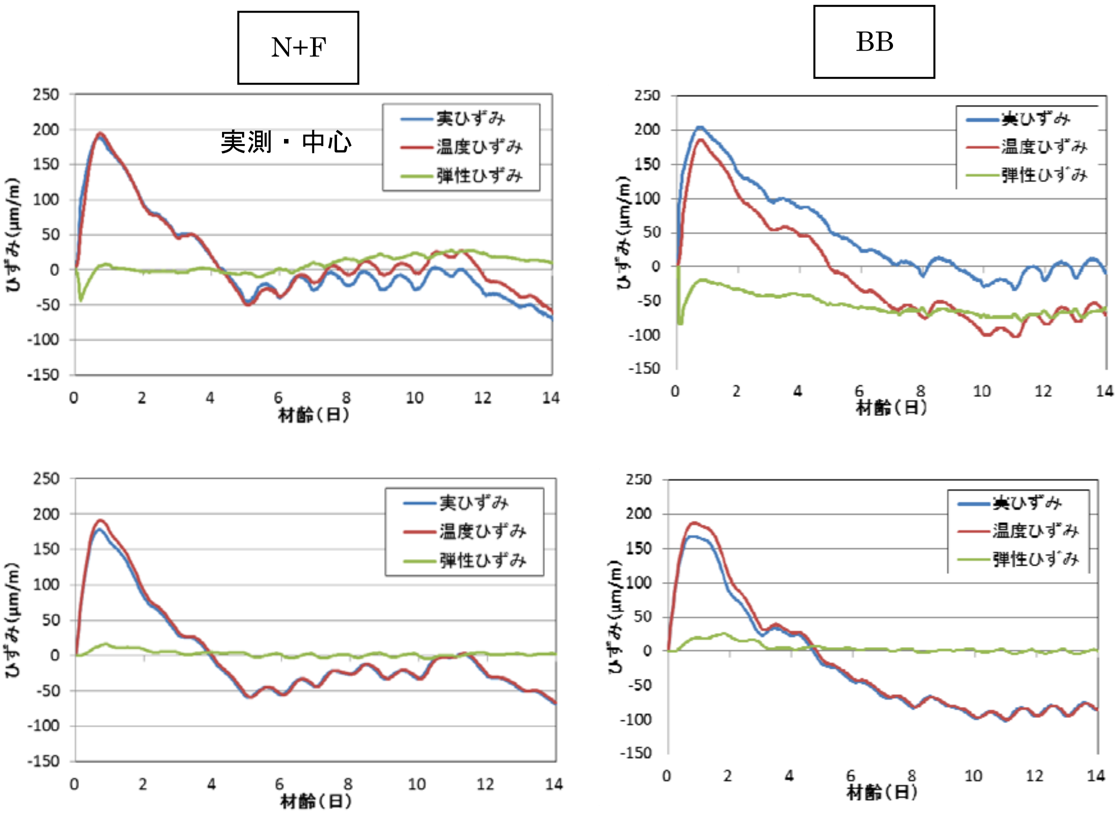


図５－５１　ひずみ履歴の解析結果

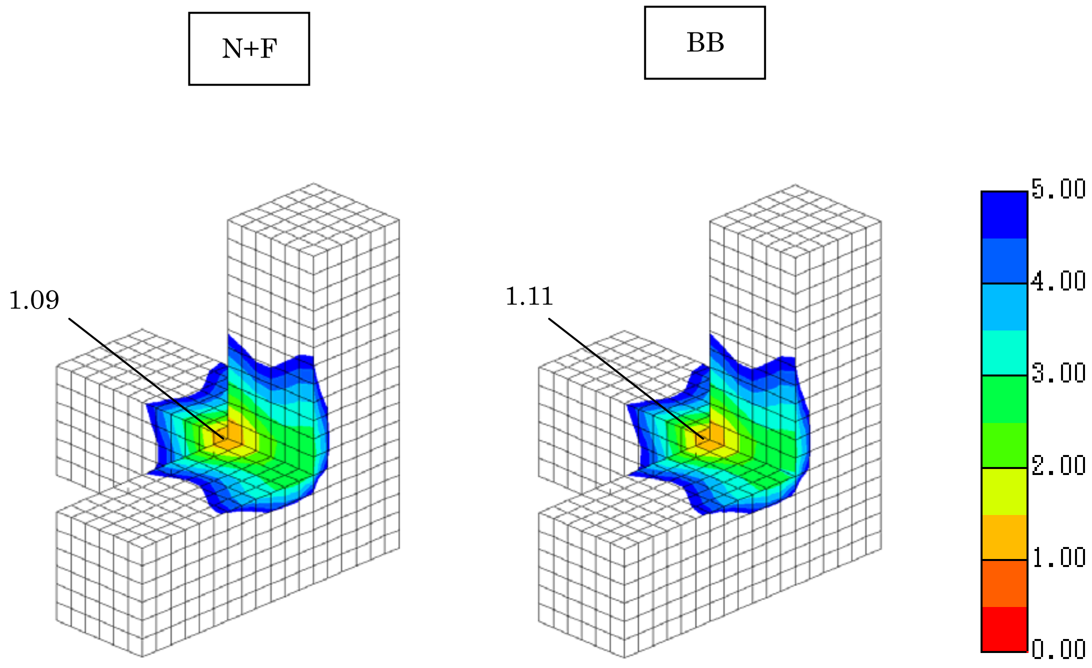


図５－５２　ひび割れ指数の分布

⑷条件を合わせたＮ＋ＦとＢＢの比較

試験施工においては、Ｎ＋ＦとＢＢの躯体の寸法や打設条件などが異なっていたため、それらの条件を合わせた比較検討を行った。

a. 逆Ｔ型擁壁

ＢＢブロックとＮ＋Ｆブロックでは、躯体寸法、打設日、外気温等の環境条件が異なることから、ＢＢブロックの躯体寸法、環境条件にあわせたＮ＋Ｆの３次元解析を行い、コンクリート材料による影響を比較した。

逆Ｔ型擁壁の 3 次元解析による温度分布（材齢 2 日）を**図５－５３**に、発生応力とひび割れ指数の分布を**図５－５４**に示す。図より、Ｎ＋ＦブロックとＢＢブロックでは、すべての項目で、ほぼ同じ値になった。これは、部材厚さが小さく、断熱温度特性の影響が小さいため、フライアッシュを用いたコンクリートの温度ひび割れに対する有意性がみられなかったと考えられる。

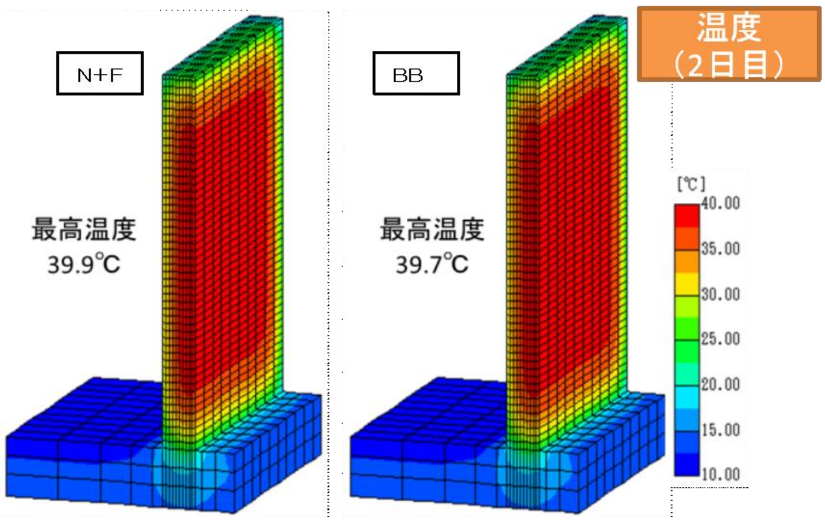


図５－５３　3 次元解析による温度分布（材齢 2 日）
(N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントＢ種, Ｎ＋F:フライアッシュ 15%置換)

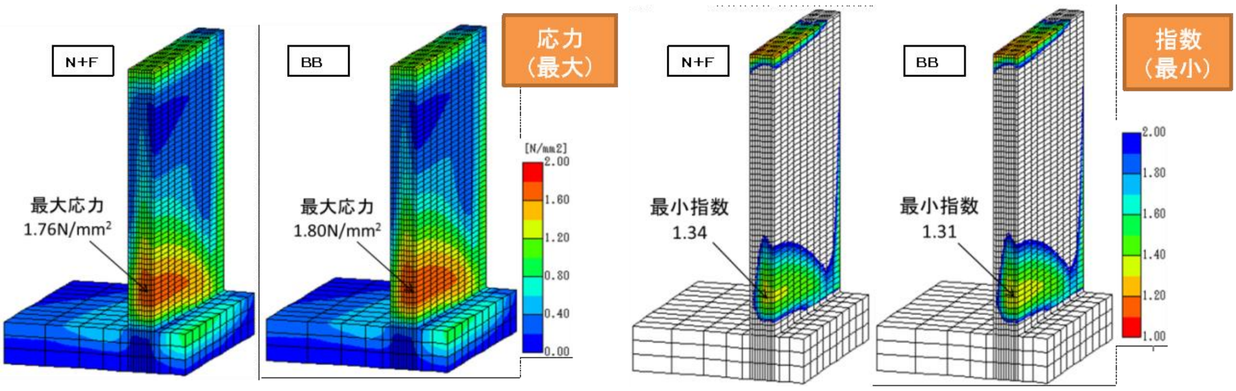


図５－５４　発生応力とひび割れ指数の分布

(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)

b. 重力式擁壁

ＢＢブロックとＮ＋Ｆブロックでは、躯体寸法、打設日、外気温等の環境条件が異なることから、ＢＢブロックの躯体寸法、環境条件にあわせたＮ＋Ｆの３次元解析を行い、コンクリート材料による影響を比較した。

重力式擁壁の 3 次元解析による温度分布（材齢 2 日）を**図５－５５**に、発生応力とひび割れ指数の分布を**図５－５６**に示す。図より、材齢 2 日での温度分布は、Ｎ＋Ｆブロックの方が小さく、また、フライアッシュを用いたコンクリートの初期強度が大きいことや発生応力が小さいことで、ひび割れ指数が大きくなっている。これらのことから、フライアッシュを用いたコンクリートは、温度ひび割れに対し大変有利であると言える。

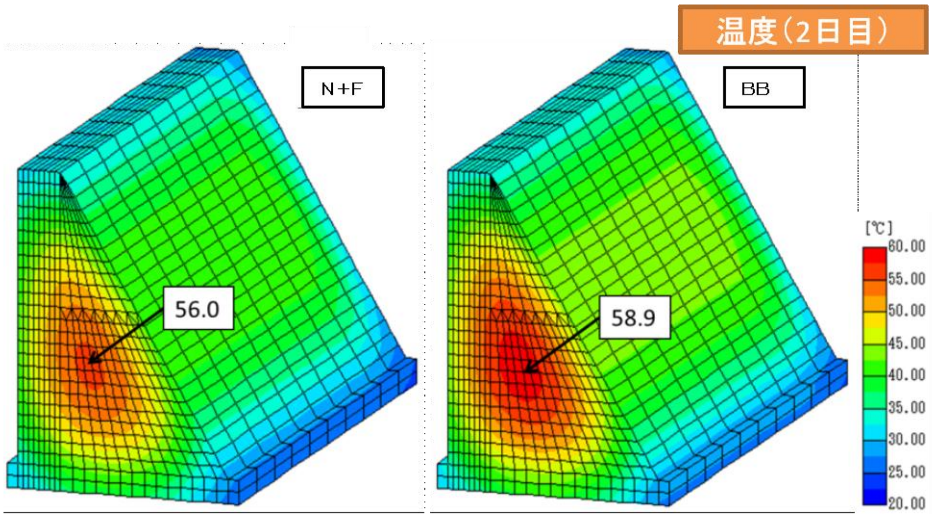


図５－５５　3 次元解析による温度分布（材齢 2 日）
（N：普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントＢ種, Ｎ＋Ｆ：フライアッシュ 15%置換）

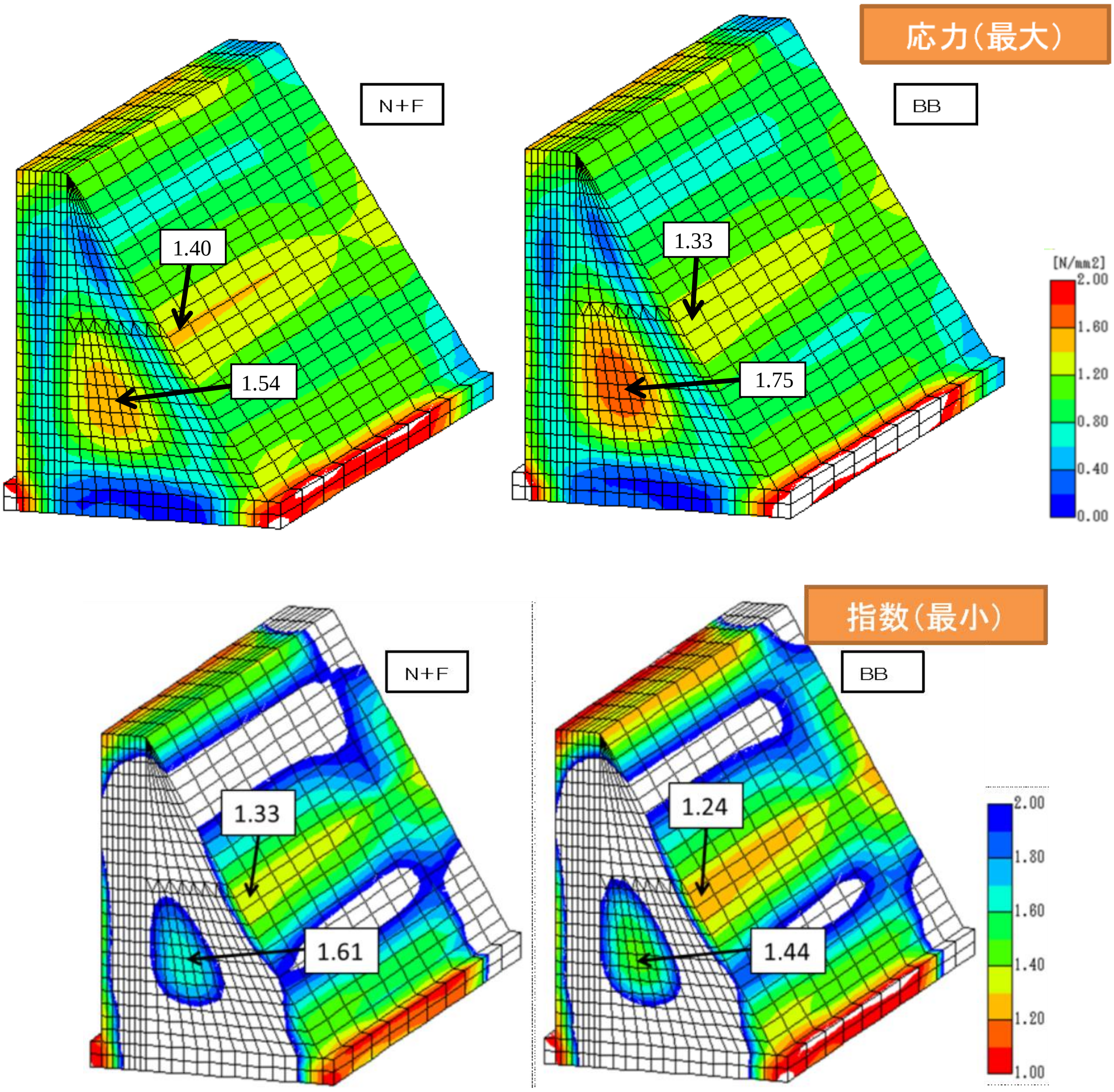


図５－５６　発生応力とひび割れ指数の分布

(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)

６．需要者側・供給者側の課題抽出とその解決策

１）フライアッシュコンクリートの利用に向けての課題と対応策

北陸地方においてフライアッシュコンクリートの利用を促進する上での、品質面と供給面の課題を抽出し対応策を検討した。フライアッシュコンクリートの利用に向けての課題と対応策を**表６－１**に示す。

品質面の課題としては、「1．フライアッシュの品質向上」、「2．フライアッシュコンクリートの製造品質」、「3．フライアッシュコンクリートの施工品質」があり、それぞれ対応策の通り対応を進めている。

供給面の課題としては、「1．フライアッシュの供給（フライアッシュセメント（FB）の供給）」、「2．フライアッシュコンクリートの需要創出」、「3．JIS 認証工場の拡大」があり、課題1については対応策の通り対応を進めるが、課題2および課題3については、一体として調整することが必要である。

表６－１　フライアッシュコンクリートの利用に向けての課題と対応策

	課題	対応策	備　考
品質面	1.フライアッシュの品質向上	・北陸電力による品質管理の徹底(JIS 灰候補炭の選定、2 回の JIS 品質確認) ・分級装置の稼動(七尾大田火力：H22/1～、敦賀火力：H24/8～) ・アンモニア臭対策	・分級により、フライアッシュのポゾラン活性が向上することを確認
	2．フライアッシュコンクリートの製造品質	・生コンクリート工場での JIS 認証取得により品質確保 ・生コンクリート工業組合の監査会議により品質を監視 ・混和剤の調査	
	3．フライアッシュコンクリートの施工品質	・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)の作成 ・建設業界等への説明会の実施	・添付資料参照 ・第 1 回事前報告会(H24. 4.20) ・第 2 回事前報告会(H24. 8.24)
供給面	1．フライアッシュの供給(フライアッシュセメント(FB)の供給)	・北陸地方産のフライアッシュの供給量 6 万 t/年 (～H24/7：3 万 t/年、H24/8～：6 万 t/年) ・中継サイロの設置 (H23/9～福井市 1, 800t、H23/7～射水市 4, 300t) ・FB の供給に向けて、セメント会社への協力依頼	・富山県・石川県・福井県の発注工事でのフライアッシュ利用量想定　約 3 万 t/年（H21 年度実績より想定） ・セメント会社の作業部会への参加（第 4 回作業部会より参加）
	2．フライアッシュコンクリートの需要創出	・国交省・県によるモデル工事の提供	
	3．JIS 認証工場の拡大	・生コンコンクリート工場オーナーの判断材料の提供	

：供給面の課題2と3を一体として調整することが必要

２）フライアッシュコンクリートの需要創出

フライアッシュコンクリートの需要創出を図るため、平成 24 年度は富山県・石川県によるモデル工事を実施した。その結果、いずれのモデル工事においてもフライアッシュコンクリートの施工面、品質面での問題はなかった。

(1) モデル工事概要

モデル工事の概要を表６－２に示す。

表６－２　モデル工事の概要

【富山県でのモデル工事】

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期	調査内容
１	小川水系南尻無谷砂防護岸エ工事	朝日町 山崎	砂防堰堤流路工 垂直壁等	112	9～10 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
２	(一)三箇吉島線道路改良工事	魚津市 吉島	道路側溝工	7	12 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
３	(一)上滝山室線(太田本郷橋) 上部工工事	富山市 太田	橋梁上部工 地覆等	3	8 月	・施工者聞き取り
４	(一)湯八尾線道路改良工事	富山市 八尾町竹ノ内	ブロック積擁壁工 胴込等	2	12 月	・打設状況 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
５	神通川水系合場川護岸工工事	富山市 八尾町深谷	環境ブロック護岸工 天端ｺﾝｸﾘｰﾄ等	16	10～11 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
６	神通川水系黒川護岸工工事	富山市牧野	石積護岸工 基礎等	18	12～2 月	・打設状況 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
７	白岩川樋門工工事	富山市 水橋畠等	樋門工 ボックスカルバート 重力式擁壁	67 67	12 月 2～3 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 ・ひずみ計測等 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
８	(主)高岡小杉線道路標識設置工事その１	射水市 橋下条	大型案内標識工 基礎	5	10 月	・施工者聞き取り
９	(主)高岡小杉線道路標識設置工事その２	射水市 橋下条	大型案内標識工 基礎	9	11 月	・打設状況 ・施工者聞き取り
１０	(主)富山戸出小矢部線消雪配管工工事	高岡市 常国	道路消雪工 保護コンクリート	3	9 月	・施工者聞き取り
			計	309		

【石川県でのモデル工事】

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設日	調査内容
1	風呂谷川通常砂防工事	白山市 小柳町	砂防堰堤工 堰堤本体	425	11～12 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 ・ひずみ計測等 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
2	（主）金沢田鶴浜線地方道改築工事 （４車線化　内灘海浜橋Ａ１橋台工）	内灘町 字大根布 地内	逆Ｔ式橋台 橋台	312	12～2 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 （ﾌｰﾁﾝｸﾞ及び壁） ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
3	（主）金沢田鶴浜線地方道改築工事 （４車線化　内灘海浜橋Ａ２橋台工）	内灘町 字大根布 地内	逆Ｔ式橋台 橋台	448	12～1 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 （ﾌｰﾁﾝｸﾞ及び壁） ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
4	一般国道 249 号 国道改築５類工事 （その１）、（その２）、（その３）	七尾市 国分町地内	函渠工 ボックスカルバート	1421	11～1 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 ・ひずみ計測等 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
5	一般県道七尾鳥屋線いしかわ交流広域交流幹線軸道路整備５類工事 （改良工その１）	七尾市 白馬町地内	函渠工 ボックスカルバート	900	12～3 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
6	谷内川通常砂防工事	輪島市杉平町 地内	砂防堰堤工 堰堤 流路工	67 238	12～3 月	・打設状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ性状 ・仕上り状況 ・施工者聞き取り
			計	3,811		

(2) モデル工事の実施状況

富山県でのモデル工事の実施状況一覧を**表６－３**に、石川県でのモデル工事の実施状況を**表６－４**に示す。

表６－３　モデル工事の実施状況（富山県）

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
1	小川水系南尻無谷砂防護岸工工事	朝日町 山崎	砂防堰堤流路工 垂直壁等	112	9～10 月

【配合表（21-5-40）】

	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備考
ＦＢ	56.5	41.8	243	―	137	810	1156	2.43	

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
垂直壁第１ﾘﾌﾄ	9 月 26 日	荷卸時(1 回目)	５．５	３．９	２３．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	４．５	３．９	２４．０
		(基準)	３．５～６．５	３．０～６．０	

【コンクリートの圧縮強度試験】　(N/mm²)

	３日	７日	２８日	５６日	９１日
垂直壁第１ﾘﾌﾄ	１２．０	１７．９	２７．３	３１．１	３４．８

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量(m^3)	打設時期
2	(一)三箇吉島線道路改良工事	魚津市吉島	道路側溝工	7	12 月

【配合表 (21-8-25)】

	水結合材比 W/B (%)	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
ＦＢ	56.5	45.3	271	ー	153	850	1050	2.71	

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
側壁	12 月 21 日	荷卸時(1 回目)	９．５	４．５	８．０
		(基準)	5.5～10.5	３．０～６．０	

【コンクリートの圧縮強度試験】

(N/mm^2)

	３日	７日	２８日	５６日	９１日
側壁	５．１	１６．９	２８．８	３４．５	３８．２

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
３	(一)上滝山室線（太田本郷橋）上部工工事	富山市太田	橋梁上部工 地覆等	3	8 月

【配合表（27-8-25)】

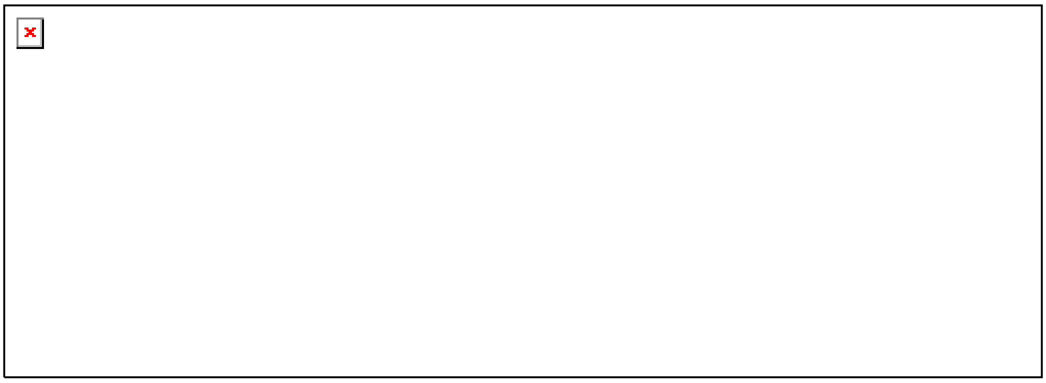
	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m^3)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m^3)	水 W (kg/m^3)	細骨材 S (kg/m^3)	粗骨材 G (kg/m^3)	混和剤 Ad (kg/m^3)	備考
N＋F	52.0	44.2	257	45	157	814	1047	3.02	

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m³）	打設時期
4	(一)湯八尾線道路改良工事	富山市 八尾町竹ノ内	ブロック積擁壁工 胴込等	3	12 月

【配合表（21-8-25)】

	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備考
N＋F	59.0	43.8	213	47	153	817	1067	2.60	

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量(m^3)	打設時期
5	神通川水系合場川護岸工工事	富山市 八尾町深谷	環境ブロック護岸工 天端ｺﾝｸﾘｰﾄ等	20	11 月中旬



【配合表 (21-8-25)】

	水結合材比 W/B (%)	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＋F	59.0	43.8	213	47	153	817	1067	2.60	

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート 温度(℃)
天端	12 月 13 日	荷卸時(1 回目)	９．０	５．３	９．０
		(基準)	5.5～10.5	３．０～６．０	

【コンクリートの圧縮強度試験】

(N/mm^2)

	３日	７日	２８日	５６日	９１日
天端	８．８	１９．１	３０．２	３５．１	３８．９

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
6	神通川水系黒川護岸工工事	富山市牧野	石積護岸工 基礎等	20	12 月中旬以降

【配合表（21-8-40)】

	水結合材比 W/B (%)	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＋F	57.0	40.4	205	45	142	770	1154	2.50	

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量(m^3)	打設時期
7	白岩川樋門工工事	富山市 水橋畠等	樋門工 ボックスカルバート	67	12 月
			重力式擁壁	67	2～3 月


【配合表（24-8-40）】

	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備考
Ｎ＋Ｆ	53.0	40.1	235	41	146	760	1154	2.76	ＢＯＸ

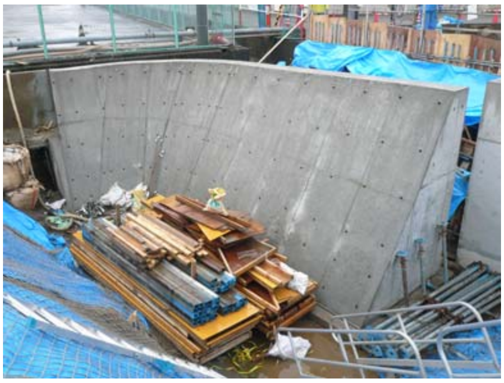
【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
底版	12 月 14 日	荷卸時(1 回目)	７．０	５．８	１０．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	９．０	５．２	１０．０
側壁・頂版	12 月 27 日	荷卸時(1 回目)	８．５	５．５	７．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	８．０	５．３	８．０
		(基準)	5.5～10.5	３．０～６．０	

【コンクリートの圧縮強度試験】

(N/mm²)

	３日	７日	２８日	５６日	９１日
底版	１０．９	２２．４	３３．１	３６．０	３８．８
側壁・頂版	５．４(2 日)	２１．８(8 日)	２９．７	３２．１	３５．０



【配合表（21-8-40）】

	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備考
N＋F	58.0	43.1	209	43	146	824	1111	2.52	擁壁 1
N＋F	54.5	40.8	222	46	146	773	1142	2.68	擁壁 2

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
擁壁 1	2 月 20 日	荷卸時(1 回目)	9．0	3．7	6．0
〃	〃	荷卸時(2 回目)	8．5	3．9	7．5
擁壁 2	3 月 2 日	荷卸時(1 回目)	10．0	5．8	9．0
〃	〃	荷卸時(2 回目)	10．0	5．1	10．0
		(基準)	5.5～10.5	3．0～6．0	

【コンクリートの圧縮強度試験】

(N/mm²)

	3 日	7 日	28 日	56 日	91 日
擁壁 1	7．3	18．9	29．5	32．1	34．3
擁壁 2	4．6	14.5(6 日)	26．3	28．6	32．8

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
８	（主）高岡小杉線道路標識設置工事その１	射水市 橋下条	大型案内標識工 基礎	5	10 月

【配合表（18-8-40）】

	水結合材比 W/B (%)	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＋F	60.0	38.4	198	36	140	735	1208	2.34	

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
９	（主）高岡小杉線道路標識設置工事その２	射水市 橋下条	大型案内標識工 基礎	9	11 月

【配合表（27-8-25）】

	水結合材比 W/B (%)	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＋Ｆ	51.0	43.6	252	44	151	798	1038	2.96	

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
１０	(主)富山戸出小矢部線 消雪配管工工事	高岡市 常国	道路消雪工 保護コンクリート	3	9 月

【配合表（30-8-25)】

	水結合材比 W/B (%)	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＋F	48.0	43.1	268	47	151	779	1038	4.10	

表６－４　モデル工事の実施状況（石川県）

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
1	風呂谷川通常砂防工事	白山市 小柳町	砂防堰堤工 堰堤本体	425	11～12 月

【配合表（21-5-40）】

	水結合材比 W/B (%)	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＋F	58.2	40.4	208	36	142	763	1134	2.44	第２ﾘﾌﾄ
N＋F	58.2	40.8	204	35	139	773	1134	2.39	第３ﾘﾌﾄ

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート 温度(℃)
第２ﾘﾌﾄ	12 月 10 日	荷卸時(1 回目)	５．５	４．９	９．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	６．５	４．５	１２．０
第３ﾘﾌﾄ	12 月 17 日	荷卸時(1 回目)	６．０	５．３	９．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	５．５	５．０	１１．０
		(基準)	３．５～６．５	３．０～６．０	

【コンクリートの圧縮強度試験】　(N/mm^2)

	３日	７日	２８日	５６日	９１日
第２ﾘﾌﾄ	１１．３	１８．５	２７．９	３０．６	３１．９
第３ﾘﾌﾄ	１０．５	１９．４	２８．４	３０．０	３１．５

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
2	（主）金沢田鶴浜線地方道改築工事 （４車線化　内灘海浜橋Ａ１橋台工）	内灘町 字大根布地内	逆Ｔ式橋台 橋台	312	12～2 月


【配合表（底版：30-8-40、躯体：30-8-20）】

	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備考
N＋F	48.1	39.6	233	58	140	743	1146	2.91	底版
N＋F	45.2	48.2	264	66	149	877	964	1.98	躯体

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート 温度(℃)
底版	12 月 3 日	荷卸時(1 回目)	８．０	４．５	１１．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	９．５	４．５	１３．０
躯体	12 月 26 日	荷卸時(1 回目)	１０．５	４．８	６．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	１０．５	５．３	７．０
		(基準)	5.5～10.5	３．０～６．０	

【コンクリートの圧縮強度試験】 (N/mm²)

	３日	７日	２８日	５６日	９１日
底版	１３．０	２６．６	３８．９	４５．６	４８．７
躯体	１２．９	３０．３	４２．２	５１．２	４８．５

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量(m³)	打設時期
３	(主)金沢田鶴浜線地方道改築工事 (４車線化　内灘海浜橋Ａ２橋台工)	内灘町 字大根布地内	逆Ｔ式橋台 橋台	448	12～1 月

【配合表（底版：30-8-40、躯体：30-8-20）】

	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備考
N＋F	48.1	39.6	233	58	140	743	1146	2.91	底版
N＋F	45.2	48.2	264	66	149	877	964	1.98	躯体

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
底版	12 月 7 日	荷卸時(1 回目)	８．０	５．５	１０．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	８．５	４．３	１１．０
躯体	12 月 27 日	荷卸時(1 回目)	９．０	４．９	８．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	９．５	４．５	１０．０
		(基準)	5.5～10.5	３．０～６．０	

【コンクリートの圧縮強度試験】

(N/mm²)

	３日	７日	２８日	５６日	９１日
底版	１０．４	２１．７	３５．２	３８．８	４３．１
躯体	１４．６	３１．８	４６．７	５３．６	５８．７

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量(m^3)	打設時期
4	一般国道 249 号 国道改築 5 類工事 （その１）、（その２）、（その３）	七尾市 国分町地内	函渠工 ボックスカルバート	1421	11～1 月

【配合表（24-8-40)】

	水結合材比 W/B (%)	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＋F	50.8	41.8	236	42	141	755	1100	2.78	

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
底版	12 月 7 日	荷卸時(1 回目)	７．５	４．３	１５．０
側壁	12 月 17 日	荷卸時(1 回目)	７．０	３．７	１０．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	９．５	４．２	１３．０
		(基準)	5.5～10.5	３．０～６．０	

【コンクリートの圧縮強度試験】

(N/mm^2)

	２日	８日	２８日	５６日	９１日
側壁	５．５	２１．４	３１．０	３４．５	３８．２

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
5	一般県道七尾鳥屋線いしかわ交流広域交流幹線軸道路整備５類工事（改良工その１）	七尾市 白馬町地内	函渠工 ボックスカルバート	900	12～3 月


【配合表（24-8-40)】

	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	ｾﾒﾝﾄ C (kg/m³)	ﾌﾗｲｱｯｼｭ FA (kg/m³)	水 W (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	粗骨材 G (kg/m³)	混和剤 Ad (kg/m³)	備考
N＋F	50.8	41.8	236	42	141	755	1100	2.78	

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
底版	1 月 23 日	荷卸時(1 回目)	８．５	３．９	７．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	７．０	４．１	１０．０
側壁・頂版	3 月 2 日	荷卸時(1 回目)	６．５	４．２	８．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	６．５	４．６	９．０
		(基準)	5.5～10.5	３．０～６．０	

【コンクリートの圧縮強度試験】 (N/mm²)

	３日	６日	２８日	５６日	９１日
側壁・頂版	６．７	１８．８	３０．９	３５．９	３７．３

番号	工事件名	工事場所	構造物の名称 打設箇所	数量（m^3）	打設時期
６	谷内川通常砂防工事	輪島市 杉平町地内	砂防堰堤工 堰堤・流路工	67 238	12～3 月


【配合表（24-5-40）】

	水結合材比 W/B (%)	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＋F	54.6	40.1	235	42	151	723	1118	2.77	

【フレッシュコンクリートの性状】

打設部位	打設日	試験時期	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート 温度(℃)
垂直壁第２ﾘﾌﾄ	２月 28 日	荷卸時(1 回目)	５．０	４．８	８．０
〃	〃	荷卸時(2 回目)	４．５	５．０	９．５
		(基準)	３．５～６．５	３．０～６．０	

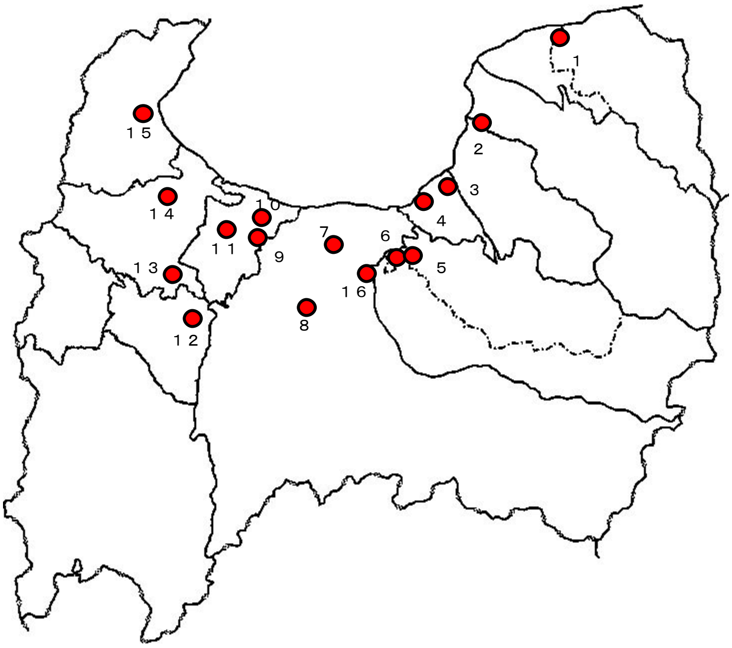
【コンクリートの圧縮強度試験】

(N/mm^2)

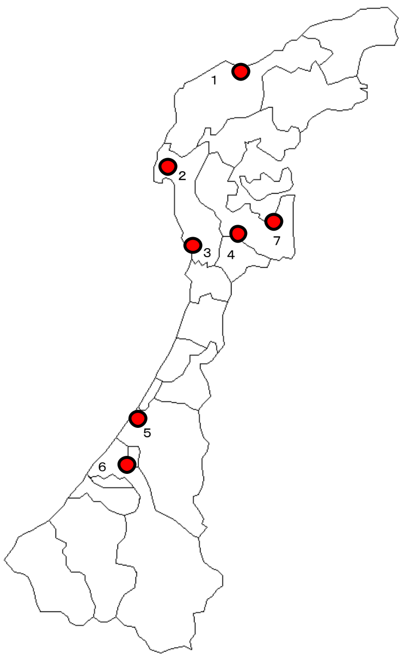
	３日	７日	２８日	５６日	９１日
垂直壁第２ﾘﾌﾄ	９．２	１８．７	３０．２	３４．６	３６．３

３）ＪＩＳ認証工場の拡大

平成 24 年度の富山県・石川県のモデル工事の実施により、ＪＩＳ認証工場は富山県では、平成 23 年度末時点で３工場であったものが、平成 25 年５月末まで 16 工場に、石川県では、平成 23 年度末時点で２工場であったものが、平成 25 年５月末までに７工場に拡大した。以下にＪＩＳ認証工場の一覧を富山県・石川県別に示す。



● JIS認証取得工場
1. 小川産業(株)
2. 黒部生コンクリート工業(株)
3. 早月生コン(株)
4. 新越コンクリート工業(株)
5. 立山生コンクリート(株)
6. 富山東部生コン(株)
7. デンカ生コン富山(株)
8. デンカコンクリート(株)
9. 北陸宇部コンクリート工業(株)
10. 二上生コン(株)射水工場
11. 呉西生コン(株)
12. となみ協立生コン(株)
13. 高岡中央生コン(株)新生工場
14. 富山西部生コン(株)
15. 氷見生コン(株)
16. あづまコンクリート工業(株)



● JIS認証取得工場
1. (株)新出組
2. 石田生コンクリート工業(株)
3. 志賀生コンクリート工業(株)
4. (株)白馬生コンクリート
5. 金沢生コンクリート(株)
6. 新協生コン(株)
7. 七尾生コン(株)

ＪＩＳ認証工場の一覧「富山県・石川県生コンクリート工業組合調べ」

４）今後の課題の整理

北陸地方の代表的骨材を用いたフライアッシュコンクリートの室内試験、実機試験、試験施工、モデル工事を通じ、生コン工場の品質管理責任者や施工者の現場代理人からの感想をもとに、今後の課題について整理する。

主要な課題としては、経過１時間以降の空気量ロス等の品質を改善するため、北陸産フライアッシュに適合する混和剤調査を実施するとともに、夏季での試験施工においてコンクリート性状等の確認を実施する。

	聞きとり時点	良い点	悪い点	対応策
生コン工場	室内試験（全7工場）	・標準品と同様で、全く違和感はない。（3工場） ・早期強度は、標準品と遜色ない。（3工場） ・ワーカビリティの改善がみられた。（3工場）	・貧配合では少しパサパサ感が見受けられ、セメント量の増が必要。（1工場） ・練り混ぜ中にやや強いアンモニア臭有。ただし、実機試験では殆ど気にならなかった。（1工場） ・標準品に比べ、AE剤の添加量が多い。（1工場）	・生コン工場での配合の微調整 ・アンモニアに対する注意喚起を、マニュアルに記載する（MSDSには記載済）
	実機試験（全5工場）	・コンクリートの状態もよく、出荷には問題ない。（5工場） （内、1工場は混和剤をFA用に変更することを検討）	・経過1時間以降の空気量ロスが大きい。（2工場） ・標準品に比べ、AE剤の添加量が多い。（1工場）	・経過1時間以降の空気量ロスが多いことをマニュアルに明記 ・経過1時間以降の空気量ロス等の品質を改善するため、北陸産フライアッシュにより適合する混和剤調査を実施 ・夏季での試験施工の実施
	モデル工事・試験施工（全10工場）	・ワーカビリティやブリーディングの改善効果があった。（7工場） ・高炉コンクリートより強度発現が早い（1工場）	・標準品に比べ、AE剤の添加量が多い。（6工場） ・空気量のコントロールに苦労した。（3工場） ・標準品に比べ、空気量、スランプのロスが大きい。（9工場） ・夏季の空気量、スランプの経時変化が懸念される。（2工場）	
施工者	モデル工事・試験施工（全21社）	・ブリーディングが少ない。（10社） ・ワーカビリティが良い。（3社） ・初期強度の発現が良い（冬季施工に効果）。（6社） ・表面気泡が少ない。（3社）	・スランプロスが大きい（2社） ・少し黒っぽく感じた。（4社） ・表面気泡が少し多く感じた。（1社） ・少しパサパサ感が見受けられた。（2社）	・色が少し黒っぽくなることや表面気泡が少し多くなることをマニュアルに明記 ・生コン工場での配合の微調整

５） 平成２５年度以降の対応（案）

これまでの委員会活動(下表参照)を踏まえ、平成 25 年度は、富山県・石川県に加え、福井県・国土交通省でのモデル工事を実施する。なお、これらの結果については、第６回委員会で品質等の確認を行う。また、平成 26 年度以降は、モデル工事等の実績を踏まえ、公共工事等での標準使用を目指す。

注）数量(m^3)は、コンクリート数量を示す

		～平成23年度	平成24年度	平成25年度		平成26年度以降
委員会の開催		第1回 第2回 第3回 ▼ ▼ ▼	第4回 第5回 ▼ ▼	第6回 ▽	・・・	（1回/年の頻度）
公共工事	富山県工事	試験施工 （約30m^3） ⇨	モデル工事 （約300m^3） ⇨	（拡大継続）※	・・・	公共工事等での標準使用
	石川県工事	試験施工 （約28m^3） ⇨	モデル工事 （約3,800m^3） ⇨	（拡大継続）※	・・・	
	福井県工事	－	試験施工 （約16m^3） ⇨	モデル工事	・・・	
	国交省工事	－	試験施工 （約242m^3） ⇨	モデル工事	・・・	
フライアッシュコンクリートの需要 （公共工事でのコンクリート数量）		約58m^3	約4,358m^3	（需要の拡大）	・・・	（需要の定着）
JIS認証工場数の拡大 （富山県・石川県の工場数）		富山：3工場 ／全41工場 石川：2工場 ／全44工場	富山：16工場 ／全41工場 石川： 7工場 ／全44工場	（JIS工場の拡大）	・・・	（JIS工場の定着）

※夏季に施工するマスコンクリートを含む

７．北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの適用構造物の提案

１）北陸地方の地域特性への対応

北陸地方では、塩害やアルカリシリカ反応（ASR）が発生したコンクリート構造物の維持管理に関連して、経済的かつ合理的な調査・診断と補修・補強の技術開発が重要な課題となっている。北陸地方の塩害に関しては、川砂、川砂利がコンクリート用骨材として使用されてきたことから、西日本各地のような、海砂、海砂利による塩害（内在塩分）は発生していないが、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（外来塩分）が顕在化している。一方、北陸地方は全国でも有数な ASR 劣化構造物が多く存在する地域である。ASR 劣化橋梁の実態調査の結果より、ASR 抑制対策として推奨されているアルカリ総量規制（$3kg/m^3$ 以下）を遵守した場合でも、骨材からのアルカリ溶出や反応性がきわめて高いクリストバライトやオパールを含有する安山岩のペシマム現象の影響により今日でも ASR が発生する事例があることや、外部環境から供給されるアルカリ（海水や凍結防止剤）の影響により長期にわたり鉄筋破断をともなう深刻な ASR 劣化が発生することが明らかになってきている[1)]。よって、北陸地方の地域特性への対応としては、ASR と塩害の発生リスクを低減することが効果的である。北陸地方の ASR 発生橋梁の分布図を**図７－１**に示す。

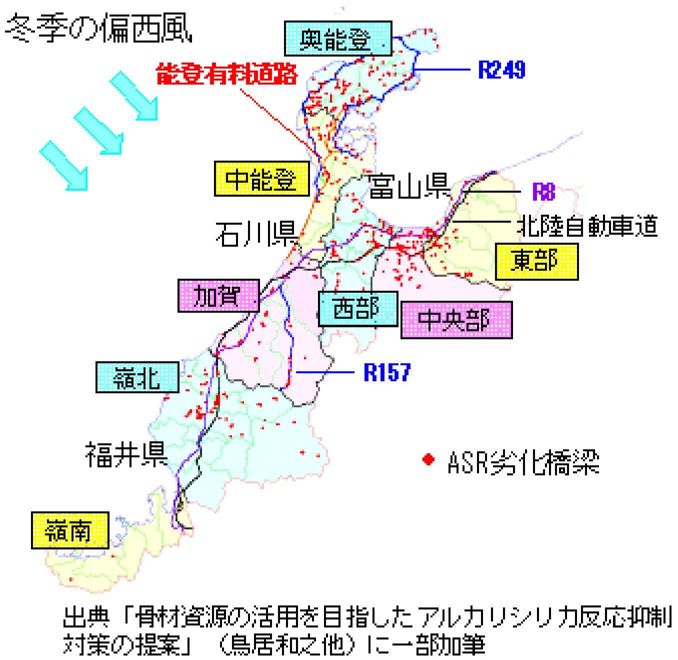


図７－１　北陸地方の ASR 発生橋梁の分布図

第４章の「表４－１　Ｎ＋Ｆの品質比較試験結果の一覧表」では、ＢＢ又はＮがＮ＋Ｆに替わった場合、ASR と塩害の両方の発生リスクの低減が期待できる。

従って、北陸地方においては、ASR 発生リスクが大きい地域の構造物や塩害等による厳しい環境の構造物に対し、フライアッシュコンクリートを適用することが有効である。

２）マスコンクリート等の温度ひび割れ対策

第４章の「表４－１　Ｎ＋Ｆの品質比較試験結果の一覧表」では、ＢＢ又はＮがＮ＋Ｆに替わった場合、発熱量抑制に顕著な効果が期待できる。また、フライアッシュコンクリートは、以前より、ダム等のマスコンクリートの温度ひび割れ対策として使われてきており、近年においては、ダムのコンクリートには中庸熱フライアッシュコンクリートを用いることが一般的となっている。一方、ＢＢについては、一般構造物の汎用品として全国に普及してきたことから、Ｎ並みの早期強度を求められ、高炉スラグの粒子を細かくすることで対応した結果、発熱量が大きくなり、温度ひび割れの発生を招いたという経緯を持つ[2)]。現在では、低発熱型等の改良が加えられているものの、北陸地方では製鉄所がなく、地元で産出されるフライアッシュを用いることで温度ひび割れ対策が可能である。

従って、北陸地方においては、温度ひび割れ発生リスクの低減を図りたいマスコンクリートに対し、フライアッシュコンクリートを適用することが有効である。

３）冬季施工での初期強度発現対策

第４章の「表４－１　Ｎ＋Ｆの品質比較試験結果の一覧表」では、ＢＢがＮ＋Ｆに替わった場合、初期強度発現に顕著な効果が期待できる。公共工事では、冬季施工において、初期強度発現を必要とする場合には、ＢＢをＮ又はＨに変更する措置がとられることがあるが、Ｎ又はＨにした場合には、北陸地方の地域特性である ASR と塩害に対する抑制効果が期待できなくなる。

従って、北陸地方においては、初期強度発現を図りたい冬季施工の構造物に対し、フライアッシュコンクリートの適用が有効である。

【参考文献】

1)鳥居和之，参納千夏男：骨材資源の活用を目指したアルカリシリカ反応抑制対策の提案，コンクリート工学，Vol.48，No.1，2008，pp.44－48

2)二戸信和，鯉渕清，大友健，宮澤伸吾：高炉セメントの特性を活かす 低発熱・抑制型高炉セメントを用いたコンクリートの性能と実施工，セメント・コンクリート，No.722，2007，pp.10－16

８．まとめ

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」は、フライアッシュをコンクリートに混和することでコンクリートの施工性・耐久性が向上するという特性を踏まえ、コンクリート構造物の長寿命化と建設資材の地域的な活用による環境負荷低減を目指し、フライアッシュを用いたコンクリートが北陸地方の建設工事において標準的に使用されるよう、以下の事項を確認・検討してきた。

(1) フライアッシュの品質保証とフライアッシュコンクリートの工学的性質の確認
(2) 北陸地方産のフライアッシュを用いたコンクリートの実用化のための各種試験の確認
(3) 北陸地方産のフライアッシュを用いたコンクリートの利用方策の検討（利用促進に向けた需要者側・供給者側の課題解決）

その結果、北陸地方で産出される分級フライアッシュの品質は、従来のフライアッシュより高品質であること、実際の生コンクリート工場で施工面・品質面に優れたフライアッシュコンクリートを製造できること、および、フライアッシュを用いたコンクリートは、現在市場で幅広く使用されている普通セメント・高炉セメントを用いたコンクリートよりも品質面で同等以上であることが確認された。

また、利用方策の検討においては、「フライアッシュコンクリートの需要創出」と「JIS認証工場の拡大」を一体として調整することが必要であることから、平成 25 年度は富山県、石川県、福井県および国土交通省において、フライアッシュコンクリートを使用したモデル工事を（継続）実施し、平成 26 年度以降の公共工事等での標準使用に繋げていく。

具体的な確認・検討内容は、以下の通りである。

＜フライアッシュの供給能力と品質＞

・ 北陸地方産フライアッシュの供給能力は、石川県の七尾大田火力発電所より年間約3万ｔ、福井県の敦賀火力発電所より年間約3万ｔの計年間約6万ｔである。
・ 北陸地方産フライアッシュの品質は、北陸電力が品質管理をし、「JIS A6201 コンクリート用フライアッシュ」に示す JIS Ⅱ種の規格を保証するとともに、分級により従来のフライアッシュより高品質な製品となっている。

＜生コンクリート工場でのフライアッシュコンクリートの製造試験＞

実際の生コンクリート工場でフライアッシュコンクリートを製造する際に、練上り時のコンクリート性状やコンクリート強度の発現に問題が生じないことを確認するため、北陸地方における代表骨材である早月川産骨材、庄川産骨材※、手取川産骨材、能登産骨材、九頭竜川産骨材、福井県南条産骨材、滋賀県今津産骨材を用いて、モデルプラントでのフライアッシュコンクリートの室内試験、実機試験を実施したところ、以下の知見を得た。

※庄川産骨材については、室内試験のみ実施

- 室内試験により得られた同一条件の配合において、河川砂利の骨材を用いた場合、フライアッシュを混和することで、単位水量を 1～12kg/m^3 減らすことができた。一方、砕石を用いた骨材の場合、単位水量の減水効果はみられなかった。
- 室内試験を実施した各生コンクリート工場の品質管理責任者の感想は、フライアッシュを混和することによる練上り時のコンクリート性状の制御やコンクリート強度の発現に対する不安は払拭され、むしろ、ワーカビリティ、ブリーディングおよび初期強度発現の改善に対し好感触を得たとの感想であった。
- 実機試験において、フライアッシュを用いたコンクリートのスランプロス、空気量ロスは、経過1時間以内では、現在市場に幅広く使用されている普通セメント・高炉セメントを用いたコンクリートと同程度であった。
- 実機試験を実施した各生コンクリート工場の品質管理責任者の感想は、現時点ではフライアッシュを混和することに不慣れではあるが、適切に品質管理を行えば、スランプや空気量を十分にコントロールできるとの感想であった。

以上、実際の生コンクリート工場において、各工場での品質管理のもと、施工面・品質面に優れたフライアッシュコンクリートの製造が可能であることが確認された。

＜フライアッシュを用いたコンクリートと汎用コンクリートとの品質比較試験＞

フライアッシュを用いたコンクリートと汎用コンクリート（現在市場に幅広く使用されている普通セメント・高炉セメントを用いたコンクリート）との品質比較をするため、施工性向上、初期強度発現、長期強度増進、収縮抑制、発熱量抑制、ASR抑制、耐久性向上の7つの項目について、北陸地方における代表骨材である早月川産骨材、庄川産骨材、手取川産骨材、能登産骨材、九頭竜川産骨材、福井県南条産骨材、滋賀県今津産骨材を用いた比較試験を実施したところ、以下の知見を得た。

- 普通セメントを用いたコンクリートを、フライアッシュを用いたコンクリートに替えた場合、初期強度発現以外の全ての比較項目において同等以上の効果があることを確認した。
- 高炉セメントを用いたコンクリートを、フライアッシュを用いたコンクリートに替えた場合、全ての比較項目において同等以上の効果があることを確認した。

以上、フライアッシュを用いたコンクリートは、現在市場で幅広く使用されている普通セメント・高炉セメントを用いたコンクリートよりも品質面で同等以上であることが確認された。

＜官公庁による試験施工＞

富山県、石川県、福井県および国土交通省により実際の公共工事で構築するコンクリート構造物を試験施工としてご提案頂き、その場で試験を行い、比較検討をしたところ、いずれも施工面・品質面での問題はなく、特に、重力式擁壁等のマスコンクリートでは、フライアッシュを用いたコンクリートは温度ひび割れに対し極めて有利であることが確認できた。

＜需要者側・供給者側の課題抽出とその解決策＞

フライアッシュコンクリートの利用に向けて、品質面の課題はほぼ解決されたが、供給面の課題については、今後、「フライアッシュコンクリートの需要創出」（需要者側課題）と「JIS 認証工場の拡大」（供給者側課題）を一体として調整することが必要であり、平成 24 年度は富山県・石川県において、平成 25 年度は更に福井県、国土交通省においてもフライアッシュコンクリートを使用したモデル工事を実施し、平成 26 年度以降の公共工事等での標準使用に繋げていく。

今後の課題としては、経過 1 時間以降のスランプ、空気量ロス等の品質を改善するため、北陸産フライアッシュに適合する混和剤調査を実施していく。

＜北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの適用構造物の提案＞

本委員会では、コンクリート構造物の「構造物の長寿命化」と「環境負荷低減」を目指して、北陸地方の代表的骨材を用いたコンクリートの実用化検討、汎用品との比較検討、試験施工等を実施した結果、特に、以下の構造物へのフライアッシュコンクリートの適用を提案する。

1．ASR 発生リスクが大きい地域の構造物
2．塩害等による厳しい環境の構造物
3．温度ひび割れ発生リスクの低減を図りたいマスコンクリート
4．初期強度発現を図りたい冬季施工の構造物

「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」規約

—構造物の長寿命化と環境負荷低減を目指して—

第1条（名称）　この委員会は、「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」と称する。（以下「委員会」という。）

第2条（目的）　委員会は、産学官が連携することによる技術的な信頼と社会的信用を確保しながら、コンクリートの耐久性の向上によるコンクリート構造物の長寿命化と建設資材の地域的な活用による環境負荷低減を目指し、コンクリートへのフライアッシュの有効利用を促進することを目的とする。

第3条（検討内容）　委員会は、以下の事項を確認・検討する。

（1）フライアッシュの品質保証とフライアッシュコンクリートの工学的性質の確認（既往の知見の整理及び考察）

（2）北陸地方産のフライアッシュを用いたコンクリートの実用化のための各種試験の実施（生コンプラントの実機での配合決定を含む）

（3）北陸地方産のフライアッシュを用いたコンクリートの利用方策の検討（利用促進に向けた生産者側及び発注者側の課題解決）

第4条（組織及び委員）　委員会には、下部組織として作業部会を設ける。

2　委員会及び作業部会は、北陸地方における、学識経験者ならびに官公庁関係（オブザーバー）、生コンクリート関係及び北陸電力株式会社からそれぞれ選出される者で構成し、具体的には別表のとおりとする。

3　各委員の任期は、委嘱の日から平成 24 年 3 月末までとし、必要に応じて任期の更新を行う。

第5条（委員長）　委員会には、委員会の代表として委員長を置く。

2　委員長は、委員会の事務を統括し、作業部会の部会長を兼ねる。

3　委員長は、金沢大学教授　鳥居和之とする。

第6条（事務局）　委員会には、委員会の事務を処理するため事務局を置く。

2　事務局は、北陸電力株式会社に置く。

第7条（委員会の開催）　委員会は、委員長が招集する。

2　委員会の議長は、委員長が務める。

3　委員会の開催日は、全体計画や検討項目の報告書がとりまとまった時点とし、適宜、委員長が決定する。

第8条（作業部会の開催） 作業部会は、部会長が招集する。
2　作業部会の議長は、部会長が務める。
3　作業部会の開催日は、検討項目の進捗にあわせ、適宜、部会長が決定する。

第9条（費用負担） 委員会に要する費用は、北陸電力株式会社が負担する。

第10条（補則） この規約に定めるもののほか、委員会の運営その他必要な事項は、委員長が別に定める。

以　上

付　則

1．平成 23 年 4 月 1 日　富山県、石川県の人事異動に伴う委員の交代により別表を改正する。
2．平成 23 年 5 月 17 日　福井県の人事異動に伴う委員の交代により別表を改正する。
3．平成 23 年 7 月 1 日　北陸電力株式会社の人事異動に伴う委員の交代により別表を改正する。
4．平成 24 年 2 月 9 日セメント会社関係（オブザーバー）の作業部会委員の選出により別表を改正する。
5．平成 24 年 4 月 1 日　石川県、福井県の人事異動に伴う委員の交代により別表を改正する。
6．平成 24 年 4 月 1 日　国土交通省の人事異動に伴う委員の交代により別表を改正する。
7．平成 24 年 7 月 1 日　北陸電力株式会社の人事異動に伴う委員の交代により別表を改正する。
8．平成 24 年 7 月 1 日　福井県生コンクリート工業組合の人事異動に伴う委員の交代により別表を改正する。

別表

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
—構造物の長寿命化と環境負荷低減を目指して—

委　員　名　簿　（平成24年7月更新）

	委員会	作業部会	氏 名	所　　属
学識経験者	委員長	部会長	鳥居　和之	金沢大学 理工研究域環境デザイン学系　教授
	委員	委員	宮里　心一	金沢工業大学 環境・建築学部環境土木工学科　教授
	委員	委員	伊藤　始	富山県立大学 工学部環境工学科　准教授
	委員	委員	本間　礼人	福井大学 工学部建築建設工学科　講師
生コンクリート関係	委員	－	大石　守仁	富山県生コンクリート工業組合 専務理事
	－	委員	白田　繁	富山県生コンクリート工業組合 技術委員会委員長
	委員	－	中島　敏秋	石川県生コンクリート工業組合 専務理事
	－	委員	田丸　昭彦	石川県生コンクリート工業組合 技術部長
	委員	－	夏梅　孝夫	福井県生コンクリート工業組合 専務理事
	－	委員	藤間　文夫	福井県生コンクリート工業組合 総括研究員
	－	委員	石川　裕夏	福井宇部生コンクリート株式会社　常務取締役
北陸電力株式会社	委員	－	赤丸　準一	北陸電力株式会社 常務取締役
	委員	－	柴田　俊治	北陸電力株式会社 執行役員
	委員	－	多田　政之	北陸電力株式会社 火力部長
官公庁関係（オブザーバー）	委員	－	山岸　達也	国土交通省 北陸地方整備局 企画部 技術管理課長
	－	委員	石川　俊之	国土交通省 北陸地方整備局 富山河川国道事務所 副所長
	委員	－	林　　正之	富山県土木部 次長
	－	委員	加藤　昭悦	富山県土木部 参事 建設技術企画課長
	－	委員	高嶋　康	富山県土木部 建設技術企画課 副主幹技術指導係長
	委員	－	山岸　勇	石川県土木部 次長
	－	委員	細沼　宏之	石川県土木部 監理課 技術管理室 課参事
	－	委員	宮村　雅之	石川県土木部 道路建設課 橋梁・指導ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ
	委員	－	幸道　隆治	福井県土木部 技幹
	－	委員	山内　登喜夫	福井県土木部 土木管理課 参事（技術管理）
	－	委員	伊藤　裕一	福井県土木部 土木管理課 技術管理グループ 主任
セメント会社関係（オブザーバー）	－	委員	堀川　和夫	太平洋セメント株式会社 中部北陸支店 副支店長
	－	委員	山澤　賢	太平洋セメント株式会社 北陸セメント営業部技術担当課長
	－	委員	吉田　一義	宇部三菱セメント株式会社 北陸エリアオフィス営業チーム課長
	－	委員	笠井　英志	宇部三菱セメント株式会社 北陸エリアオフィス技術チーム部長
	－	委員	西尾　昌司	住友大阪セメント株式会社 北陸支店販売部長
	－	委員	勝野　生代嗣	住友大阪セメント株式会社 北陸支店技術センター長
	－	委員	倉又　孝雄	電気化学工業株式会社 北陸支店支店長
	－	委員	荒野　憲之	電気化学工業株式会社 セメント部セメント課長
事務局	事務局	委員	江田　明孝	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副部長
		委員	小林　信造	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副課長
		委員	小笠原　功	北陸電力株式会社 土木部副部長（土木計画担当）
		委員	橋本　徹	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長
		事務局	中嶋　光浩	北陸電力株式会社 土木部 課長
			久保　哲司	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長代理
			参納　千夏男	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム
			宮脇　英嗣	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム

― 委 員 名 簿 ―

【第１回委員会時：平成 23 年 1 月 24 日】

	委員会	作業部会※	氏 名	所 属
学識経験者	委員長	部会長	鳥居 和之	金沢大学理工研究域環境デザイン学系 教授
	委員	委員	宮里 心一	金沢工業大学環境・建築学部環境土木工学科 准教授
	委員	委員	伊藤 始	富山県立大学 工学部環境工学科 准教授
	委員	委員	本間 礼人	福井大学 工学部建築建設工学科 講師
生コンクリート関係	委員	―	大石 守仁	富山県生コンクリート工業組合 専務理事
	―	委員	白田 繁	富山県生コンクリート工業組合 技術委員会委員長
	委員	―	中島 敏秋	石川県生コンクリート工業組合 専務理事
	―	委員	田丸 昭彦	石川県生コンクリート工業組合 技術部長
	委員	―	藤間 文夫	福井県生コンクリート工業組合 主幹研究員
	―	委員	石川 裕夏	福井宇部生コンクリート株式会社 常務取締役
北陸電力株式会社	委員	―	金井 豊	北陸電力株式会社 常務取締役
	委員	―	柴田 俊治	北陸電力株式会社 執行役員土木部長
	委員	―	松本 重夫	北陸電力株式会社 支配人火力部長
官公庁関係(ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ)	委員	―	高島 和夫	国土交通省 北陸地方整備局 企画部 技術管理課長
	―	委員	畠中 泰彦	国土交通省 北陸地方整備局 富山河川国道事務所 副所長
	委員	―	柴田 聡	富山県土木部 次長
	―	委員	成瀬 龍也	富山県土木部 建設技術企画課 課長
	―	委員	酒井 信久	富山県土木部 建設技術企画課技術指導係 副主幹
	委員	―	高橋 裕之	石川県土木部 次長
	―	委員	中野 哲朗	石川県土木部 監理課 技術管理室 課参事
	―	委員	塚本 修一	石川県土木部 道路建設課 橋梁・指導ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ
	委員	―	幸道 隆治	福井県土木部 技幹
	―	委員	宮下 真治	福井県土木部 土木監理課 参事(技術管理)
	―	委員	三谷 清	福井県土木部 土木管理課 技術管理ｸﾞﾙｰﾌﾟ主任
事務局	事務局	委員	江田 明孝	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副部長
		委員	澤川 秀雄	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副課長
		委員	門木 秀一	北陸電力株式会社 土木部建設チーム課長
		委員	橋本 徹	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長
		事務局	中嶋 光浩	北陸電力株式会社 土木部課長
			久保 哲司	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長代理
			参納 千夏男	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム
			宮脇 英嗣	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム

※作業部会は委員会の下部組織で、実務担当者により構成

【第 2 回委員会時：平成 23 年 11 月 14 日】

	委員会	作業部会※	氏　名	所　　属
学識経験者	委員長	部会長	鳥居　和之	金沢大学 理工研究域環境デザイン学系　教授
	委員	委員	宮里　心一	金沢工業大学 環境・建築学部環境土木工学科　教授
	委員	委員	伊藤　始	富山県立大学 工学部環境工学科　准教授
	委員	委員	本間　礼人	福井大学 工学部建築建設工学科　講師
生コンクリート関係	委員	−	大石　守仁	富山県生コンクリート工業組合 専務理事
	−	委員	白田　繁	富山県生コンクリート工業組合 技術委員会委員長
	委員	−	中島　敏秋	石川県生コンクリート工業組合 専務理事
	−	委員	田丸　昭彦	石川県生コンクリート工業組合 技術部長
	委員	委員	藤間　文夫	福井県生コンクリート工業組合 主幹研究員
	−	委員	石川　裕夏	福井宇部生コンクリート株式会社　常務取締役
北陸電力株式会社	委員	−	金井　豊	北陸電力株式会社 常務取締役
	委員	−	柴田　俊治	北陸電力株式会社 執行役員土木部長
	委員	−	多田　政之	北陸電力株式会社 火力部長
官公庁関係（オブザーバー）	委員	−	高島　和夫	国土交通省 北陸地方整備局 企画部 技術管理課長
	−	委員	石川　俊之	国土交通省 北陸地方整備局 富山河川国道事務所 副所長
	委員	−	柴田　聡	富山県土木部 次長
	−	委員	加藤　昭悦	富山県土木部 建設技術企画課 課長
	−	委員	山田　晃	富山県土木部 建設技術企画課技術指導係 副主幹
	委員	−	山岸　勇	石川県土木部 道路建設課長
	−	委員	細沼　宏之	石川県土木部 監理課 技術管理室 課参事
	−	委員	二塚　保之	石川県土木部 道路建設課 橋梁・指導ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ
	委員	−	幸道　隆治	福井県土木部 技幹
	−	委員	宮下　真治	福井県土木部 土木管理課 参事（技術管理）
	−	委員	伊藤　裕一	福井県土木部 土木管理課 技術管理グループ 主任
事務局	事務局	委員	江田　明孝	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副部長
		委員	村中　壽一	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム課長代理
		委員	門木　秀一	北陸電力株式会社 土木部火力建設チーム課長
		委員	橋本　徹	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長
		事務局	中嶋　光浩	北陸電力株式会社 土木部 課長
			久保　哲司	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長代理
			参納　千夏男	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム
			宮脇　英嗣	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム

※作業部会は委員会の下部組織で、実務担当者により構成

【第３回委員会時：平成 24 年３月 23 日】

	委員会	作業部会※	氏　名	所　　属
学識経験者	委員長	部会長	鳥居　和之	金沢大学 理工研究域環境デザイン学系　教授
	委員	委員	宮里　心一	金沢工業大学 環境・建築学部環境土木工学科　教授
	委員	委員	伊藤　始	富山県立大学 工学部環境工学科　准教授
	委員	委員	本間　礼人	福井大学 工学部建築建設工学科　講師
生コンクリート関係	委員	－	大石　守仁	富山県生コンクリート工業組合 専務理事
	－	委員	白田　繁	富山県生コンクリート工業組合 技術委員会委員長
	委員	－	中島　敏秋	石川県生コンクリート工業組合 専務理事
	－	委員	田丸　昭彦	石川県生コンクリート工業組合 技術部長
	委員	委員	藤間　文夫	福井県生コンクリート工業組合 主幹研究員
	－	委員	石川　裕夏	福井宇部生コンクリート株式会社　常務取締役
北陸電力株式会社	委員	－	金井　豊	北陸電力株式会社 常務取締役
	委員	－	柴田　俊治	北陸電力株式会社 執行役員土木部長
	委員	－	多田　政之	北陸電力株式会社 火力部長
官公庁関係（オブザーバー）	委員	－	高島　和夫	国土交通省 北陸地方整備局 企画部 技術管理課長
	－	委員	石川　俊之	国土交通省 北陸地方整備局 富山河川国道事務所 副所長
	委員	－	柴田　聡	富山県土木部 次長
	－	委員	加藤　昭悦	富山県土木部 建設技術企画課 課長
	－	委員	山田　晃	富山県土木部 建設技術企画課技術指導係 副主幹
	委員	－	山岸　勇	石川県土木部 道路建設課長
	－	委員	細沼　宏之	石川県土木部 監理課 技術管理室 課参事
	－	委員	二塚　保之	石川県土木部 道路建設課 橋梁・指導ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ
	委員	－	幸道　隆治	福井県土木部 技幹
	－	委員	宮下　真治	福井県土木部 土木管理課 参事（技術管理）
	－	委員	伊藤　裕一	福井県土木部 土木管理課 技術管理グループ 主任
セメント会社関係（オブザーバー）	－	委員	堀川　和夫	太平洋セメント株式会社　北陸セメント営業部部長
	－	委員	山澤　賢	太平洋セメント株式会社　北陸セメント営業部技術担当課長
	－	委員	吉田　一義	宇部三菱セメント株式会社　北陸エリアオフィス営業チーム課長
	－	委員	笠井　英志	宇部三菱セメント株式会社　北陸エリアオフィス技術チーム部長
		委員	西尾　昌司	住友大阪セメント株式会社　北陸支店販売部長
	－	委員	勝野　生代嗣	住友大阪セメント株式会社　北陸支店技術センター長
	－	委員	倉又　孝雄	電気化学工業株式会社　北陸支店支店長
	－	委員	荒野　憲之	電気化学工業株式会社　セメント部セメント課長
事務局	事務局	委員	江田　明孝	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副部長
		委員	村中　壽一	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム課長代理
		委員	門木　秀一	北陸電力株式会社 土木部火力建設チーム課長
		委員	橋本　徹	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長
		事務局	中嶋　光浩	北陸電力株式会社 土木部 課長
			久保　哲司	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長代理
			参納　千夏男	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム
			宮脇　英嗣	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム

※作業部会は委員会の下部組織で、実務担当者により構成

【第 4 回委員会時：平成 24 年 10 月 31 日】

	委員会	作業部会※	氏　名	所　　属
学識経験者	委員長	部会長	鳥居　和之	金沢大学 理工研究域環境デザイン学系　教授
	委員	委員	宮里　心一	金沢工業大学 環境・建築学部環境土木工学科　教授
	委員	委員	伊藤　始	富山県立大学 工学部環境工学科　准教授
	委員	委員	本間　礼人	福井大学 工学部建築建設工学科　講師
生コンクリート関係	委員	－	大石　守仁	富山県生コンクリート工業組合 専務理事
	－	委員	白田　繁	富山県生コンクリート工業組合 技術委員会委員長
	委員	－	中島　敏秋	石川県生コンクリート工業組合 専務理事
	－	委員	田丸　昭彦	石川県生コンクリート工業組合 技術部長
	委員	－	夏梅　孝夫	福井県生コンクリート工業組合　専務理事
	委員	委員	藤間　文夫	福井県生コンクリート工業組合 主幹研究員
	－	委員	石川　裕夏	福井宇部生コンクリート株式会社　常務取締役
北陸電力株式会社	委員	－	赤丸　準一	北陸電力株式会社 常務取締役
	委員	－	柴田　俊治	北陸電力株式会社 執行役員
	委員	－	多田　政之	北陸電力株式会社 火力部長
官公庁関係（オブザーバー）	委員	－	山岸　達也	国土交通省 北陸地方整備局 企画部 技術管理課長
	－	委員	石川　俊之	国土交通省 北陸地方整備局 富山河川国道事務所 副所長
	委員	－	林　　正之	富山県土木部 次長
	－	委員	加藤　昭悦	富山県土木部 参事 建設技術企画課長
	－	委員	高嶋　康	富山県土木部 建設技術企画課 副主幹 技術指導係長
	委員	－	山岸　勇	石川県土木部 次長
	－	委員	細沼　宏之	石川県土木部 監理課 技術管理室 課参事
	－	委員	宮村　雅之	石川県土木部 道路建設課 橋梁・指導ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ
	委員	－	幸道　隆治	福井県土木部 技幹
	－	委員	山内　登喜夫	福井県土木部 土木管理課 参事（技術管理）
	－	委員	伊藤　裕一	福井県土木部 土木管理課 技術管理グループ 主任
セメント会社関係（オブザーバー）	－	委員	堀川　和夫	太平洋セメント株式会社 中部北陸支店 副支店長
	－	委員	山澤　賢	太平洋セメント株式会社　北陸セメント営業部技術担当課長
	－	委員	吉田　一義	宇部三菱セメント株式会社　北陸エリアオフィス営業チーム課長
	－	委員	笠井　英志	宇部三菱セメント株式会社　北陸エリアオフィス技術チーム部長
		委員	西尾　昌司	住友大阪セメント株式会社　北陸支店販売部長
	－	委員	勝野　生代嗣	住友大阪セメント株式会社　北陸支店技術センター長
	－	委員	倉又　孝雄	電気化学工業株式会社　北陸支店支店長
	－	委員	荒野　憲之	電気化学工業株式会社　セメント部セメント課長
事務局	事務局	委員	江田　明孝	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副部長
		委員	小林　信造	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副課長
		委員	小笠原　功	北陸電力株式会社 土木部副部長（土木計画担当）
		委員	橋本　徹	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長
		事務局	中嶋　光浩	北陸電力株式会社 土木部 課長
			久保　哲司	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長代理
			参納　千夏男	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム
			宮脇　英嗣	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム

※作業部会は委員会の下部組織で、実務担当者により構成

【第 5 回委員会時：平成 25 年 3 月 28 日】

	委員会	作業部会※	氏　名	所　　属
学識経験者	委員長	部会長	鳥居　和之	金沢大学 理工研究域環境デザイン学系　教授
	委員	委員	宮里　心一	金沢工業大学 環境・建築学部環境土木工学科　教授
	委員	委員	伊藤　始	富山県立大学 工学部環境工学科　准教授
	委員	委員	本間　礼人	福井大学 工学部建築建設工学科　講師
生コンクリート関係	委員	－	大石　守仁	富山県生コンクリート工業組合 専務理事
	－	委員	白田　繁	富山県生コンクリート工業組合 技術委員会委員長
	委員	－	中島　敏秋	石川県生コンクリート工業組合 専務理事
	－	委員	田丸　昭彦	石川県生コンクリート工業組合 技術部長
	委員	－	夏梅　孝夫	福井県生コンクリート工業組合　専務理事
	委員	委員	藤間　文夫	福井県生コンクリート工業組合 主幹研究員
	－	委員	石川　裕夏	福井宇部生コンクリート株式会社　常務取締役
北陸電力株式会社	委員	－	赤丸　準一	北陸電力株式会社 常務取締役
	委員	－	柴田　俊治	北陸電力株式会社 執行役員
	委員	－	多田　政之	北陸電力株式会社 火力部長
官公庁関係（オブザーバー）	委員	－	山岸　達也	国土交通省 北陸地方整備局 企画部 技術管理課長
	－	委員	石川　俊之	国土交通省 北陸地方整備局 富山河川国道事務所 副所長
	委員	－	林　　正之	富山県土木部 次長
	－	委員	加藤　昭悦	富山県土木部 参事 建設技術企画課長
	－	委員	高嶋　康	富山県土木部 建設技術企画課 副主幹 技術指導係長
	委員	－	山岸　勇	石川県土木部 次長
	－	委員	細沼　宏之	石川県土木部 監理課 技術管理室 課参事
	－	委員	宮村　雅之	石川県土木部 道路建設課 橋梁・指導ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ
	委員	－	幸道　隆治	福井県土木部 技幹
	－	委員	山内　登喜夫	福井県土木部 土木管理課 参事（技術管理）
	－	委員	伊藤　裕一	福井県土木部 土木管理課 技術管理グループ 主任
セメント会社関係（オブザーバー）	－	委員	堀川　和夫	太平洋セメント株式会社 中部北陸支店 副支店長
	－	委員	山澤　賢	太平洋セメント株式会社　北陸セメント営業部技術担当課長
	－	委員	吉田　一義	宇部三菱セメント株式会社　北陸エリアオフィス営業チーム課長
	－	委員	笠井　英志	宇部三菱セメント株式会社　北陸エリアオフィス技術チーム部長
		委員	西尾　昌司	住友大阪セメント株式会社　北陸支店販売部長
	－	委員	勝野　生代嗣	住友大阪セメント株式会社　北陸支店技術センター長
	－	委員	倉又　孝雄	電気化学工業株式会社　北陸支店支店長
	－	委員	荒野　憲之	電気化学工業株式会社　セメント部セメント課長
事務局	事務局	委員	江田　明孝	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副部長
		委員	小林　信造	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム副課長
		委員	小笠原　功	北陸電力株式会社 土木部副部長（土木計画担当）
		委員	橋本　徹	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長
		事務局	中嶋　光浩	北陸電力株式会社 土木部 課長
			久保　哲司	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム課長代理
			参納　千夏男	北陸電力株式会社 土木部土木技術チーム
			宮脇　英嗣	北陸電力株式会社 火力部火力発電環境チーム

※作業部会は委員会の下部組織で、実務担当者により構成