金沢大学SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）
SIPセミナー

「フライアッシュコンクリートの活用と実践」

平成２８年７月２９日（金）

金沢大学自然科学研究科図書館棟1F大会議室

金沢大学 SIP セミナー

「フライアッシュコンクリートの活用と実践」

１．日　時：平成２８年７月２９日（金）　１４時００分～１７時００分
（１３時３０分より受付開始）

２．場　所：金沢大学自然科学研究科図書館棟 1F 大会議室（石川県金沢市角間町）

３．主　催：金沢大学 SIP

４．共　催：北陸電力株式会社,

５．後　援：北陸道路研究会材料部会，北陸３県生コンクリート工業組合

６．定　員：１００名（参加費無料：定員に達し次第、参加受付を終了します）

７．プログラム（14:00～17:00）

14:00～14:10　開会あいさつ　［金沢大学教授　鳥居和之］

14:10～14:40　基調講演１(発表 25 分，質疑 5 分)
「わが国の石炭灰の有効利用の現状とジオポリマーへの新規用途」
［電力中央研究所　山本武志 氏］

14:40～15:10　基調講演２(発表 25 分，質疑 5 分)
「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
-5 年間の活動実績と今後の展開-」
［北陸電力（株）土木部　渡邉茂 氏］

15:10～15:20　休憩

「北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの実践」(発表 10 分，質疑 5 分)

(1)15:20～15:35　事例報告１ 富山新港 LNG タンク基礎　大林組　桜井邦昭氏

(2)15:35～15:50　事例報告 2 金沢外環状道路橋脚　真柄建設　上田信二氏

(3)15:50～16:05　事例報告 3 土木・海岸構造物　福井宇部生コン　石川裕夏氏

(4)16:05～16:20　事例報告 4 土木・海岸構造物　梯デンカ生コン　村井啓介氏

(5)16:20～16:35　事例報告 5 PC 橋梁　ピーエス三菱　小林和弘氏

(6)16:35～16:50　事例報告 6 藻場再生・魚礁　金沢大学　三木理教授

16:50～17:00　閉会あいさつ　［北陸電力（株）土木部長　小笠原功］

わが国の石炭灰の有効利用状況とジオポリマーへの新規用途

新技術のご紹介

平成28年7月29日　金沢大学SIPセミナー
「フライアッシュコンクリートの活用と実践」

一般財団法人　電力中央研究所　地球工学研究所
山本武志

電力中央研究所

© CRIEPI

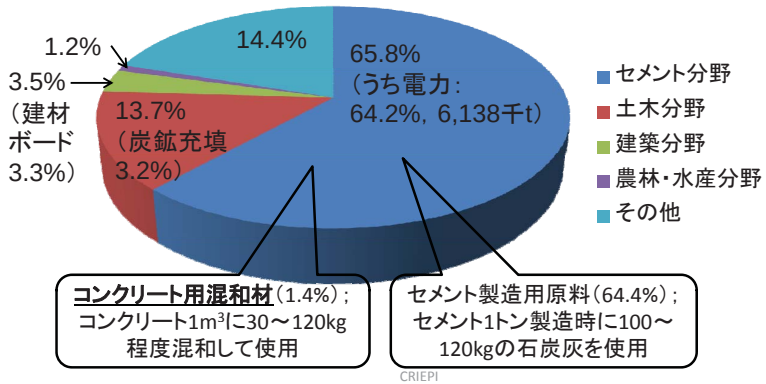
I.　コンクリート用フライアッシュの現状（JIS品）

電力中央研究所

© CRIEPI

フライアッシュを含む石炭灰の発生量と利用状況

- 平成25年度の総排出量：12,492千トン（電力：9,568千トン）、利用率は、ほぼ100%
- 平成25年度の日本の石炭灰有効利用分野は約6.5割がセメント製造用原料（粘土材料）での利用となっている。



米国でのFA/石炭灰　排出・利用実態

ACAA

American Coal Ash Association
38800 Country Club Drive
Farmington Hills, MI 48331

Phone: 720-870-7897
Fax: 720-870-7889
Internet: www.ACAA-USA.org
Email: info@acaa-usa.org

2012 Coal C

Beneficial Utilization versus Producti

2012 CCP Categories	Fly Ash**	Bottom Ash**	Boiler Slag*	FGD Gypsum**
Total CCPs Produced by Category	52,100,000	14,100,000	1,720,945	24,200,000
Total CCPs Used by Category	23,205,204	5,474,167	1,437,556	12,102,964
1. Concrete/Concrete Products /Grout	11,779,021	732,260	0	63,607
2. Blended Cement/ Feed for Clinker	2,281,211	1,287,343	0	1,755,891
3. Flowable Fill	141,081	9,435	0	0
4. Structural Fills/Embankments	3,083,441	1,716,196	210,000	6,738
5. Road Base/Sub-base	193,711	352,469	1,300	31
6. Soil Modification/Stabilization	303,354	140,092	0	1,425
7. Snow and Ice Control	0	198,153	57,975	0

欧州でのFA/石炭灰　排出・利用実態

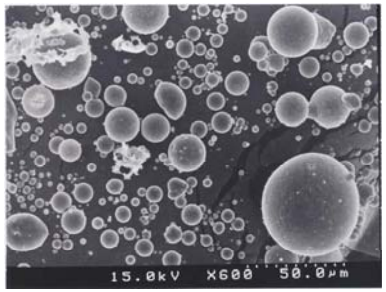
Production and Utilisation of CCPs in 2006 in Europe

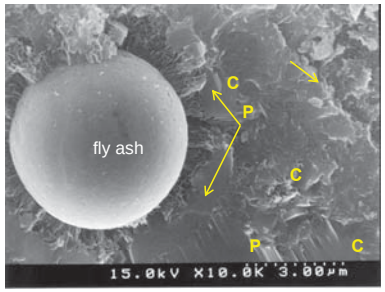
		Fly Ash	Bottom Ash	Boiler Slag	FBC-Ash	Other[1)]	SDA-Product	F
		1	2	3	4	5	6	
CCP Production		40.403	6.137	1.770	936	127	504	
Subtotal 1 - 5						**49.373**		
Subtotal 6 - 7								
Total 1 - 7								
CCP Utilisation								
Cement raw material	1	5.253	299				1	
Blended cement	2	2.652			41			
Concrete addition	3	6.119	56	224				
Aerated concrete blocks	4	801	20					
Non-aerated concrete blocks	5	277	1.255			43		
Lightweight aggregate	6							
Bricks + ceramics	7	78	24			82		
Grouting	8	915		107	1			
Asphalt filler	9	97						
Subgrade stabilisation	10	297	147		9			
Pavement base course	11	46	293	623	30			
General engineering fill	12	1.474	691				109	
Structural fill	13	1.154	34				62	
Soil amendment	14	49	254				2	
Infill	15	735	18		242		28	
Blasting grit	16		14	816				

注）4割程度は炭鉱充填，埋立処分は僅か

フライアッシュのコンクリート用混和材利用でのメリット

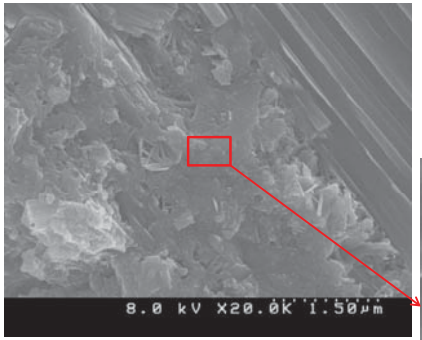
効果	/ 主要因
• 単位水量低減	（球状粒子）
• 温度ひび割れ抑制	（緩慢な反応速度）
• アルカリシリカ反応抑制	（ポゾラン反応の進展）
• 塩分浸透抑制	（組織の緻密化）



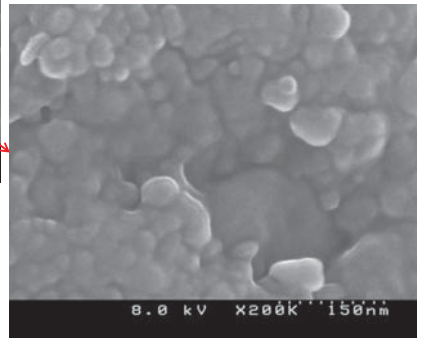


フライアッシュのポゾラン反応

セメント単味モルタル中の水和物相

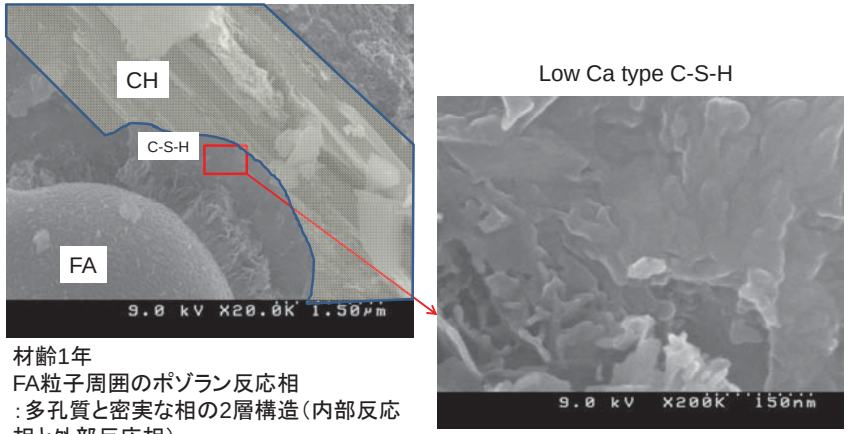


材齢1年
セメント水和物C-S-H
：直径数10nmの粒状体の集積体



山本武志　他
（電力中央研究所報告　N06018）

ポゾラン反応では、ポルトランダイト（水酸化カルシウム）のC-S-H化も生じる



材齢1年
FA粒子周囲のポゾラン反応相
：多孔質と密実な相の2層構造（内部反応相と外部反応相）

山本武志　他
（電力中央研究所報告　N06018）

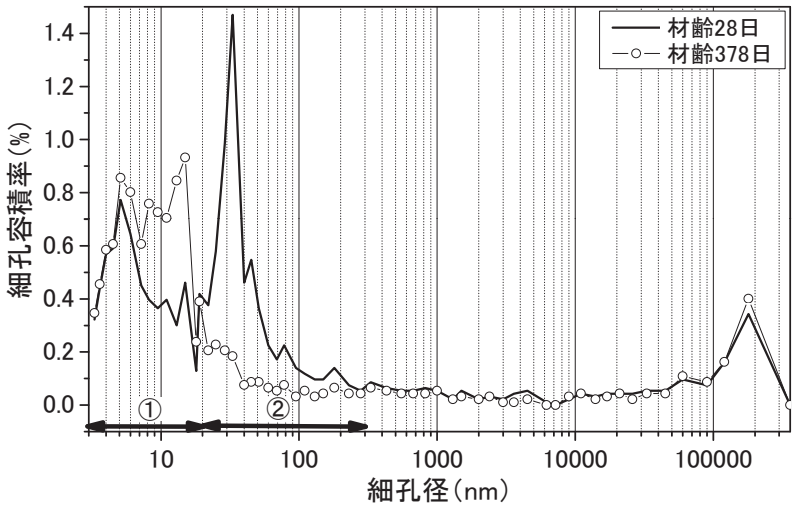
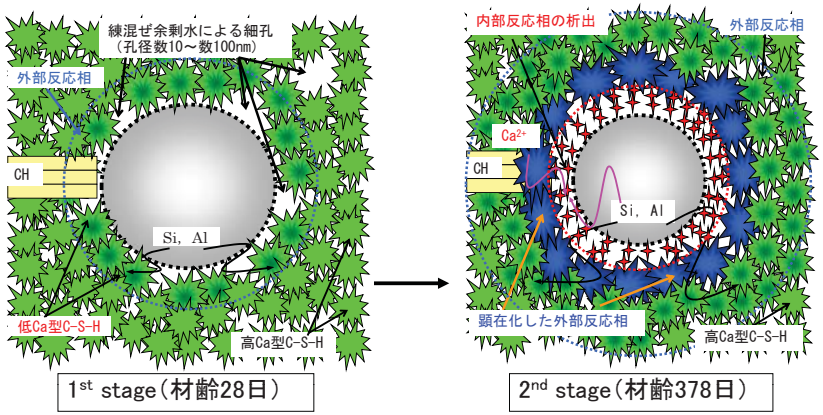


図3　ポゾラン反応の進行に伴う細孔径分布の変化(WA−原)

山本武志　他（電力中央研究所報告　N06018）

組織緻密化の推測モデル



フライアッシュのポゾラン反応による組織緻密化モデル

山本武志　他（電力中央研究所報告　N06018）

コンクリート用フライアッシュの利用拡大に向けて

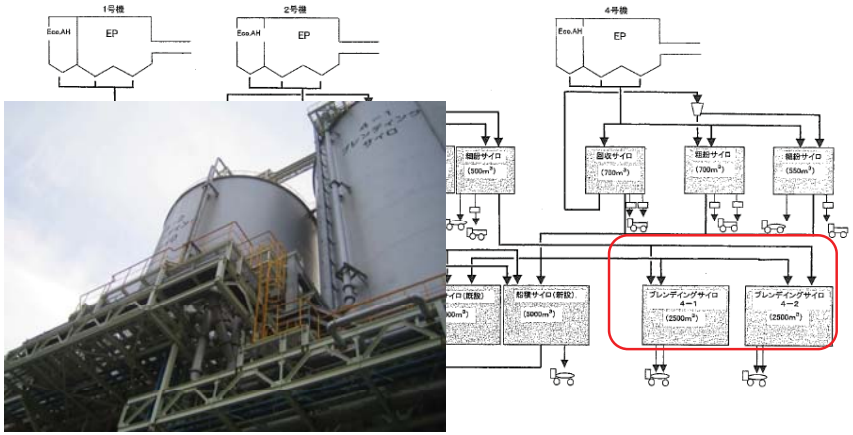
・生産者／供給者側で求められる改善努力

・利用量拡大に向けて

生産者／供給者側で求められる改善努力

質と量の確保（品質変動幅の抑制）

→ブレンディングサイロ・中継サイロの活用



利用量拡大に向けて，その1
＜長所を活かし，短所を隠せる用途での市場拡大＞

今まで築き上げた適用先；
トンネル吹付けコンクリート
（効用：粘性を上げて，リバウンド抑制）

ただし，市場が小さい。

さらに高流動＆non-airコンクリート市場？
・コンクリート充填交換構造（Concrete Filled steel Tube, CFT）
・セルフレベリング材

利用量拡大に向けて，その2
＜BBセメントとの共生＆配合の工夫＞

例：グリーンクリート

主に中部地区において開発・実用化しているFA利用生コン

- セメント（普通，早強，中庸熱，高炉Ｂ）
  ＋ FAⅡ種（碧南）＋ 高炉スラグ細骨材（新日鐵住金）
- ➢ セメント量は通常コント同じ，細骨材量を低減してＦＡ混和
- ➢ 細骨材（砕砂）の半分をBFS細骨材で代替（骨材枯渇，良質骨材の価格高騰，BFS細骨材が安価に手に入る工場立地 ⇒ コストメリットの創出）
- ➢ メビウスマーク取得
- ➢ 特長：低環境負荷・ひび割れリスク低減・高耐久

研究会を立ち上げ活動している
※研究会（(株)テクノ中部，(株)関電パワーテック，日鉄住金スラグ(株)，他生コン会社など，計12社）

グリーンクリート

全製品にFAが入っているが，使用者はNコンと同じ感覚でハンドリングできる。
（使用者の声：同じ単価で違和感なく使え，ひび割れ低減など上々の仕上がり）

トーヨーテクノ(株)工場

- 約2,000万円投資し，FA用サイロ，計量瓶，計量器等を導入
- JIS A 5308 生コン認定取得
- 現在，出荷生コンの全てがグリーンクリート（FAコン）

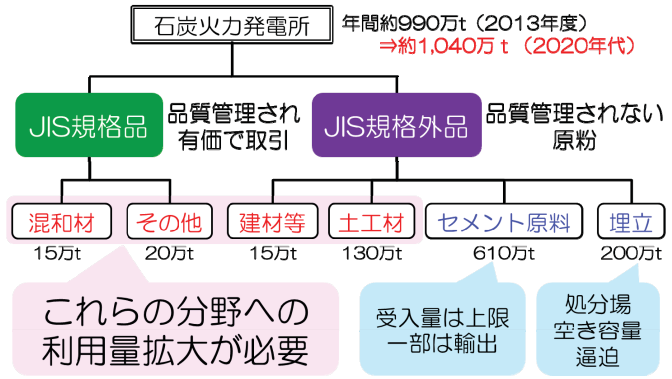
グリーンクリート製造会社3社
FA(碧南)利用量＝1万t/年

II. 新規用途；
セメントを使用しないフライアッシュコンクリート（非JIS品）

電力中央研究所

© CRIEPI

1. 背景・目的



■ フライアッシュ原粉(FA)有効利用量の拡大
➡ セメント不使用FA硬化体の
建設資材としての実用化

© CRIEPI

2-1. 技術背景

セメント不使用FA硬化体 ＝ ジオポリマー

◆ アルカリの刺激により粉体表面から Si や Al が水中に溶解した後、粉体間においてそれら金属元素が再び結合し Si-Al 系の固体となり、粉体同士を糊状につなぐことで硬化する。

© CRIEPI

2-2. セメント不使用コンの特長

原材料製造に関わるCO_2排出量が少ない

セメントコンのCO_2排出量

セメント・1t製造CO_2排出量：
- 石灰石由来：470kg
- 電力・エネルギー由来：290kg

計：760kg

セメント 1t の製造に必要な原料

普通セメントコンクリートCO_2排出量≒320kg/m^3

セメント不使用硬化体のCO_2排出量

FA・1tを調達するためのCO_2排出量＝ 17.9 kg/t※

CO_2排出量≒90kg/m^3

CO_2排出量70%減 ”エコなコンクリート”

※土木学会：コンクリート技術シリーズ，コンクリートの環境負荷評価（その2）

© CRIEPI

2-3. 海外研究動向

ASEAN諸国，北米での研究例・実用化例が多い

常温では強度発現に時間を要する＆高強度化が困難
⇒高温（蒸気）養生（～80℃程度）を施し製造する，
プレキャストコンクリート製品としての実用化例が多い

建材パネル（豪州）

ブロック（インド）

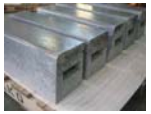
セグメント試作品（豪州）

現場打ちについても，実用化例がではじめている（水ガラス使用）
- 土間打ちコン（豪州，南アフリカ）
- 吹き付けコン（米国）

2-4. 国内研究動向

近年，研究例が増大

- 2010年以降，研究例増大
  - 大分高専，西松建設，九工大，山口大，鉄道総研，前田建設，三重大，電中研，　etc
- 巨視的な基本性能に関する検討例がほとんど
- 実用化例は，西松建設の製造した歩車道境界ブロック「ジオポリー」の1件のみ
  別府温泉2013年施工，県公共工事



- 九州地区での研究例が多い
- 昨年度，日本コンクリート工学会において，ジオポリマーに関する知見と課題の収集等を目的とした委員会（建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会）が発足し活動を行っている（2016/6/24，JCIシンポ開催）

3. 当所研究　特徴

水ガラス不使用，FA原粉使用

外部研究大半	FA(JIS品)等 ＋ NaOH ＋水ガラス ＋ 水

- 強度は得られ易いが，繊細な製造管理が必要(収縮大，白シミ浮き出し等)

- 水ガラス不使用⇒懸念を軽減，原材料価格低減
- FA原粉（非JIS）を使用

本研究	FA原粉（非JIS）等 ＋ NaOH ＋ 水

蒸気養生 → 高耐酸タイプ
高強度硬化体の汎用的製造技術
（製造方法当所独自/特許出願済）

水熱処理 → 陽イオン高吸着能タイプ
ゼオライトが内部生成しているブロック
（製造方法当所独自/特許出願済）

4-1. 使用材料

- フライアッシュ原粉（品質例）

種類	比表面積	密度	化学組成 (%)				強熱減量	フロー値比	活性度指数 (%)	
	(cm^2/g)	(g/cm^3)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	(%)	(%)	28日	91日
A	4387	2.25	62.2	23.7	4.8	1.0	2.1	109	84	95
B	4324	2.19	65.6	20.4	4.2	1.8	2.5	106	82	92
C	4231	2.21	63.6	20.8	4.2	0.9	4.9	106	79	92
D	2915	2.25	61.0	19.1	5.1	1.6	3.3	99	83	91
E	2545	2.37	48.4	26.2	12.7	4.2	1.3	108	81	95

- 高炉スラグ微粉末
- シリカフューム
- 細骨材
- 水酸化ナトリウム水溶液
- 減水剤

4-2. 配合・製造方法

- FA品質により，配合を調整
- 全粉体中に占めるFA原粉の質量割合：70～80%
- 減水剤量で流動性をコントロール

FA原粉
高炉スラグ微粉末
シリカフューム

水酸化ナトリウム
水溶液

減水剤

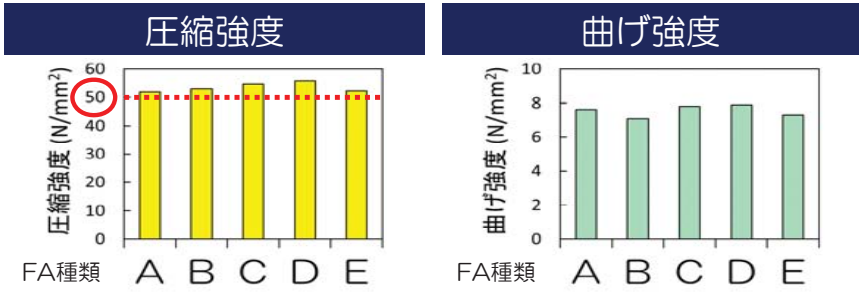
細骨材

ミキサー練混ぜ，打設 → 蒸気養生（例：80℃×24h） →

© CRIEPI

4-3. 高耐酸タイプ（蒸気養生品）の性能

目標圧縮強度：50N/mm^2
FA品質に合わせ配合調整，製造日数２日



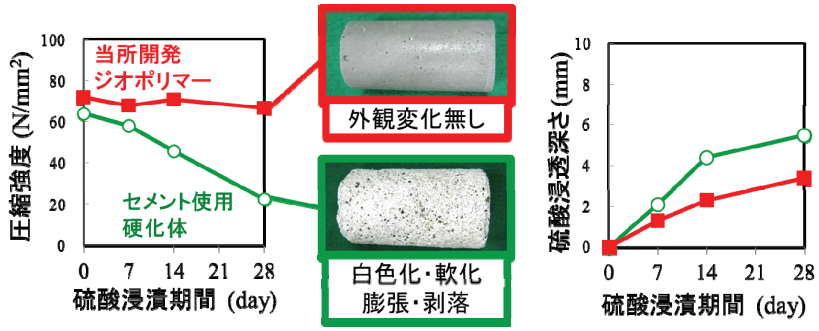
D, E：比表面積3000cm^2/g以下の低品質なFA原粉

FA品質に合わせた配合調整により，
低品質なFAであっても一定の強度が得られる

© CRIEPI

4-4. 高耐酸タイプ（蒸気養生品）の性能

耐硫酸性（5mass%硫酸浸漬試験）



酸に対する反応性が高い$Ca(OH)_2$が生成していない

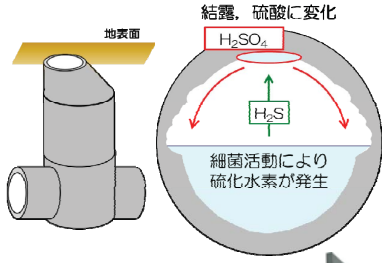
セメント系硬化体と比較し，耐酸性が非常に高い

© CRIEPI

5. 高耐酸タイプの実用化先

既存の蒸気養生製品（PCa製品）

- ニーズがある下水道資材
  - 硫酸腐食が問題
  - 高耐酸性材料に対するニーズがある
  - 一定規模の市場（出荷数量：約50万t/年）



- 市場規模が大きい一般用途品
  - 道路用製品（出荷数量：約300万t/年）護岸用など

マンホール管を試作（2015年12月）

© CRIEPI

6-1. 高耐酸タイプ・マンホール部材の試作風景

例）蒸気養生による高耐酸タイプの製造風景

使用ミキサー：強制二軸

※締固め：ハンドバイブと棒バイブ

© CRIEPI

6-2. 高耐酸タイプ・マンホール部材の試作

試験概要

◆実工場の強制二軸ミキサー・振動台・蒸気養生設備を使用
◆製造日数1日（従来の製造方法を踏襲）

仕上がり

強度

◆圧縮強度= 27.4 (N/mm^2)
◆曲げ強度= 7.4 (N/mm^2)

◆要求強度≒24(N/mm^2)達成

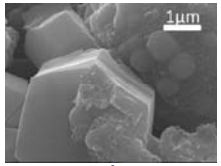
その後の追加検討により，製造日数1日以内で，
40N/mm^{2}以上の強度を得ることが出来ている

＜現在の課題＞
高い強度の確保と，製造コスト低減に向けた養生条件最適化
etc...

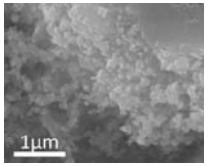
© CRIEPI

7-1. 高吸着能タイプ（水熱処理品）の性能

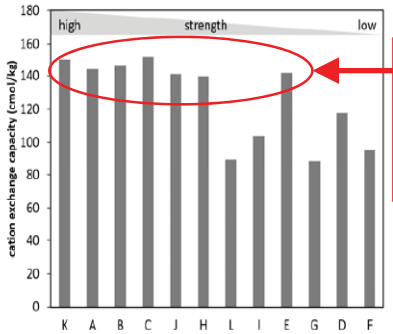
陽イオン交換能（ＣＥＣ：Cation exchange capacity）



Gmelinite



zeolite NaP1

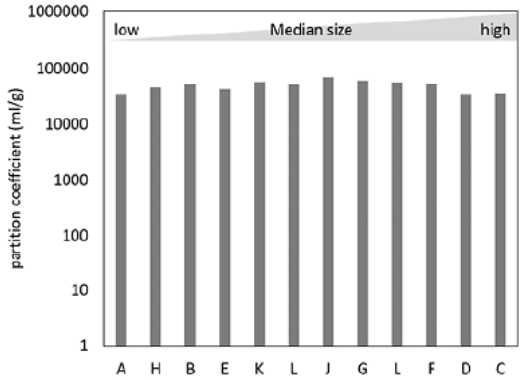


➢ 天然ゼオライト並のＣＥＣ
➢ セメント系硬化体の30 倍以上

© CRIEPI

7-2. 高吸着能タイプ（水熱処理品）の性能

セシウム分配係数



➢ 天然ゼオライト並の非常に高いセシウム分配係数

© CRIEPI

8. まとめ

蒸気養生/高耐酸タイプ

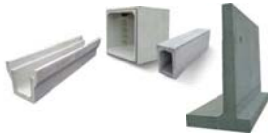
- セメント系コンクリートに比べ高い耐酸性
- セメント系と同程度の乾燥収縮

水熱処理/高吸着能タイプ

- 天然ゼオライト並の非常に高い陽イオン吸着能力
- 非常に高い重金属（Cs等）吸着能力

下水道（酸劣化環境）資材

一般資材



環境浄化機能材

- 水中のアンモニウムイオン等陽イオンの吸着材
- Cs吸着材

＜今年度の主な検討課題＞

- 養生条件の最適化
- 力学的性能の検証
- 耐久性の検証（ASR，鋼材腐食など）

© CRIEPI

33

「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 ー５年間の活動実績と今後の展開ー」

平成28年7月29日

北陸電力株式会社

金沢大学SIPセミナー
「フライアッシュコンクリートの活用と実践」

＜本日の講演内容＞

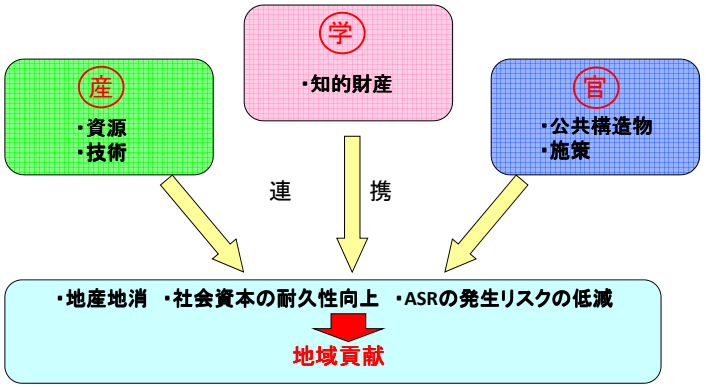
1. 委員会の目的
2. 委員会の構成
3. 委員会の実施工程
4. 委員会での検討内容
   - 4-(1) フライアッシュの品質保証とフライアッシュコンクリートの工学的性質の確認
   - 4-(2) 北陸地方産のフライアッシュを用いたコンクリートの実用化のための各種試験の実施
   - 4-(3) 北陸地方産のフライアッシュを用いたコンクリートの利用方策の検討
5. 今後の展開

1. 委員会の目的

「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」

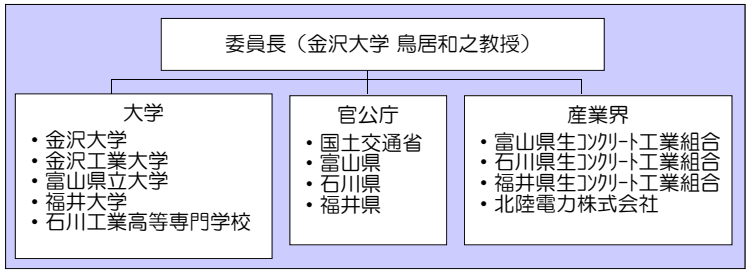
ー構造物の長寿命化と環境負荷低減を目指してー

【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。【平成23年1月24日設立】



2. 委員会の構成

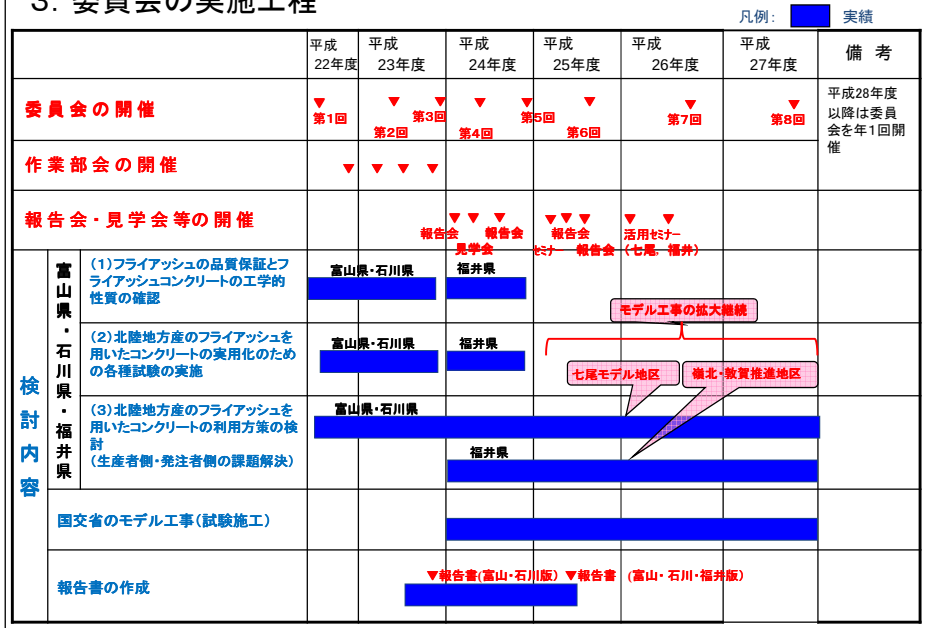
- 産学官が連携することによる技術的な信頼と社会的信用を確保しながら活動。
- 委員会の構成は下図とおり。



第１回委員会（H23.1.24）の様子

第１回作業部会（H23.3.22）の様子

3. 委員会の実施工程



4. 委員会での検討内容

(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）

① 北陸地方産分級フライアッシュの品質について
② フライアッシュを用いたコンクリートの工学的性質について

(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
（生コンプラントの実機での配合決定を含む）

① フライアッシュを用いたコンクリートの実用化について
② フライアッシュを用いたコンクリートの各種比較試験結果について

(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）

① 利用に向けての課題と対応策について
② 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

4-(1)-① 北陸地方産分級フライアッシュの品質について

(1) 分級フライアッシュの製造

ＪＩＳ灰の製造が可能な石炭の優先調達※およびＪＩＳ灰貯蔵前に分級性状を確認し品質確保に努めている

※調達については、石炭調達の年度計画策定等において優先調達を行う
新たな石炭については事前に品質確認を実施し、問題がないことを確認

(2) 分級フライアッシュの品質

① 七尾大田火力発電所

- JISⅡ種灰の品質保証
- 品質の均一性（粉末度） 比表面積 4,750cm²/g±450cm²/g（4,300～5,200cm²/g）
- 密度はコンクリートの製造に影響することから、2.33～2.50g/cm³を目標に管理しており、上下限に近い密度となる場合は、速やかに情報提供している

② 敦賀火力発電所

- JISⅡ種灰の品質保証
- 品質の均一性（粉末度） 比表面積4,650cm²/g±450cm²/g（4,200～5,100cm²/g）
- フライアッシュを混和材として使用する場合の福井県仕様を満足
  - 45μふるい残分：25%以下 （JISⅡ種規格：40%以下）
  - 比表面積：4,000cm²/g以上 （JISⅡ種規格：2,500cm²/g以上）

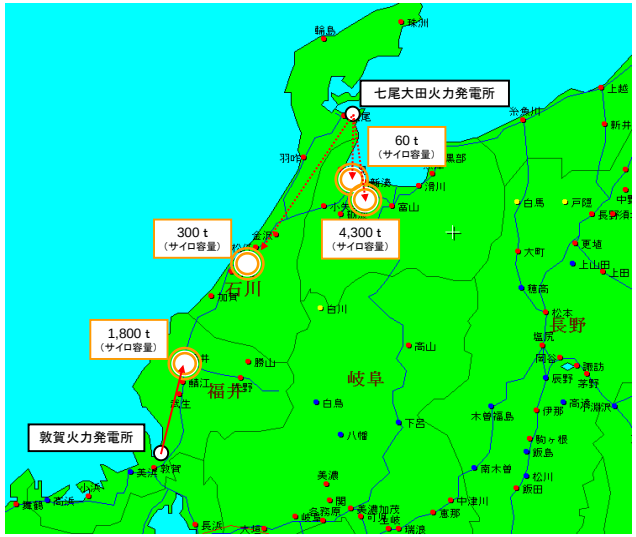
◎分級フライアッシュの品質データ

JIS項目		七尾産（H22.1～H27.12）		敦賀産（H24.12～H27.12）		JIS規格	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	Ⅰ種	Ⅱ種
二酸化けい素含有量(%)		58．2	4．0	64．0	1．7	45.0 以上	45.0 以上
湿分(%)		＜0．1	－	＜0．1	－	1.0 以下	1.0 以下
強熱減量(%)		2．1	0．3	3．4	0．2	3.0 以下	5.0 以下
密度（g/cm³）		2．39	0．05	2．29	0．01	1.95 以上	1.95 以上
粉末度	網ふるい方法（45μmふるい残分）(%)	0．5	0．4	1．2	0．3	10 以下	40 以下
	ブレーン方法（比表面積） (cm²/g)	4，700	204	4，648	139	5000 以上	2500 以上
フロー値比(%)		107	2	102	3	105 以上	95 以上
活性度指数 (%)	材齢28日	95	6	91	6	90 以上	80 以上
	材齢91日	107	4	104	5	100 以上	90 以上

・分級フライアッシュの品質は、七尾産、敦賀産ともにJISⅡ種の規格を十分満足するとともに、網掛部の4項目以外についてはJISⅠ種の規格もクリアしている。
（Ⅱ種灰としては極めて高品質な部類）

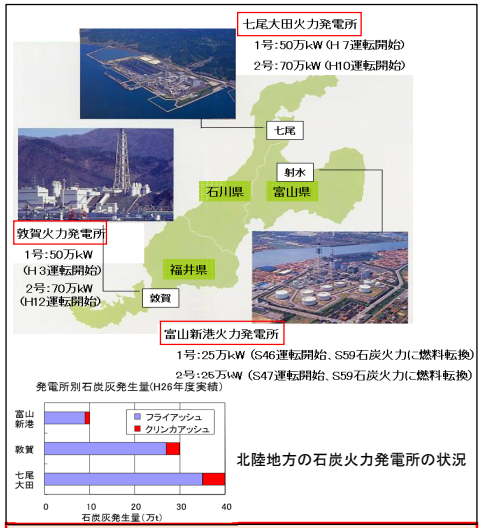
◎分級フライアッシュの供給体制

- **北陸産分級フライアッシュの年間製造能力は、６万ｔ/年※**
  （七尾大田火力発電所：３万ｔ/年、敦賀火力発電所：３万ｔ/年）
- **フライアッシュの出荷拠点は、七尾大田・敦賀火力発電所を含めて６箇所**



※
仮に1m³当たり50kgのフライアッシュを混和した場合、6万tは120万m³のコンクリートに相当する

＜参考：北陸地域の再生資源としてのフライアッシュ（地産地消）＞



北陸地方の石炭火力発電所の状況

- 北陸地方には各県１箇所の石炭火力発電所があり、年間約70万tのフライアッシュが産出されている。
- うち、JIS規格に適合するフライアッシュは、七尾大田、敦賀火力発電所を合わせて年間6万tの供給が可能である。

石炭火力発電所、製鉄所、セメント工場の位置図

- 北陸地方には製鉄所がないため、高炉セメントに使用する高炉スラグは九州地方から運搬している。
- 北陸地方でフライアッシュを有効活用することが地産地消に繋がる。

4-(1)-② フライアッシュを用いたコンクリートの工学的性質について

◎フライアッシュの使用目的（土木学会、建築学会）

土木学会：「循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術」より
建築学会：「フライアッシュを使用するコンクリートの配合設計・施工指針・同解説」より

	土木学会	建築学会
使用目的	フライアッシュのコンクリートへの利用は、以下に示すコンクリートの**性能向上**に係わる利点のみならず、**セメント代替によるＣＯ2削減**、また、近年の骨材事情の悪化に伴う細骨材の代替材料としての利用など、**地球環境保全**の観点からのメリットも兼ね備えている。 ・施工性能の向上 ・温度ひび割れの抑制 ・耐久性の向上 ・長期強度の増進 ・アルカリシリカ反応の抑制	フライアッシュは、以下に示すフライアッシュの使用によるコンクリートの**品質改善**効果および**施工性の改善**効果のほか、フライアッシュの使用による**地球環境問題の改善**を考慮して使用する。 ・単位水量の低減 ・流動性の増大と粘性の確保 ・乾燥収縮ひび割れの抑制 ・水和熱の低減 ・粒形・粒度が不良な細骨材を使用するコンクリートの品質改善 ・アルカリシリカ反応抑制対策

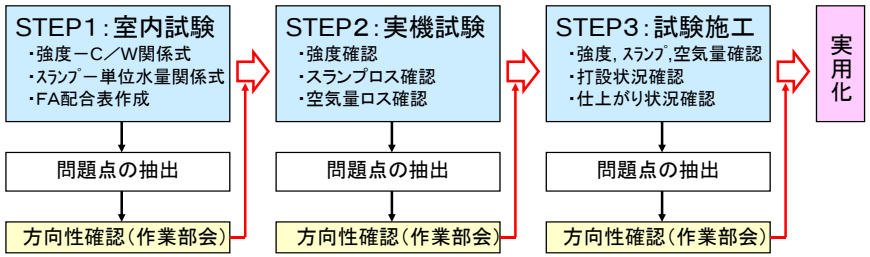
＜参考：使用上の注意事項＞

	建築学会
配慮事項	・空気連行性 ・初期強度 ・中性化（かぶり厚さ） ・フライアッシュの品質管理

4-(2)-① フライアッシュを用いたコンクリートの実用化について

北陸地方における代表的な骨材（早月川産、庄川産、手取川産、九頭竜川産、能登産、南条産、今津産）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。

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。



4-(2)-② フライアッシュを用いたコンクリートの比較試験結果について

（凡例：高炉又は普通がフライアッシュに替わった場合、
☆：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）

比較項目		富山・石川県		福井県		試験項目
		高炉	普通	高炉	普通	
(1)施工性向上		◎	◎	◎	◎	・１２打フロー試験 ・ブリーディング試験
(2)初期強度発現		☆	△	☆	△	・圧縮強度試験
(3)長期強度増進		○	☆	○	☆	
(4)乾燥収縮抑制		◎	◎	◎	◎	・乾燥収縮試験 ・自己収縮試験
(5)発熱量抑制		☆	☆	☆	☆	・簡易断熱温度上昇試験
(6)ASR抑制		◎	☆	○	◎	・モルタルバー法（JISA1146およびデンマーク法）
(7)耐久性向上	a.透水抑止性	○	○	○	○	・透水量の測定
	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
	c.鉄筋腐食抑止性	○	○	○	○	・鉄筋の腐食状況
	d.凍害抵抗性	○	○	○	○	・相対動弾性係数の測定 ・質量減少率の測定
	e.中性化抑止性	◎	○	○	○	・中性化深さの測定
	f.細孔率	○	○	○	○	・細孔率

13

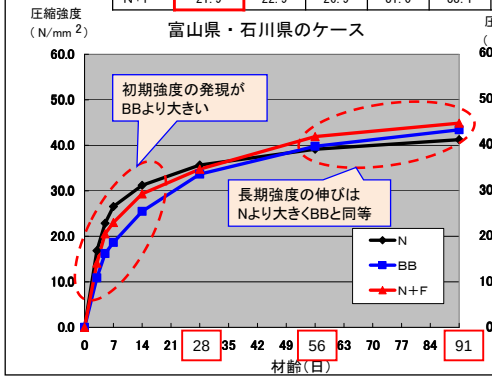
◎初期強度発現・長期強度増進（呼び強度 24, スランプ 8cm, 最大骨材寸法 25(20)mm, W/B≦55%の配合）

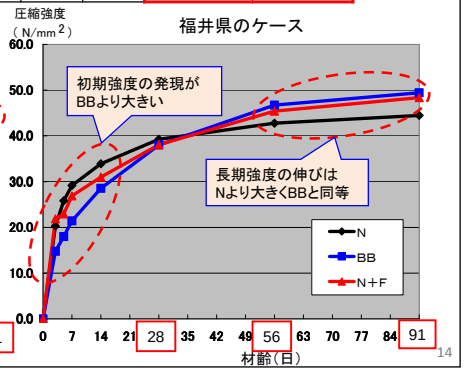
富山県・石川県のケース

	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

	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%

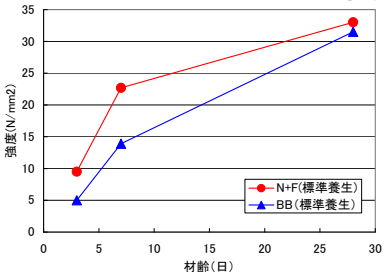


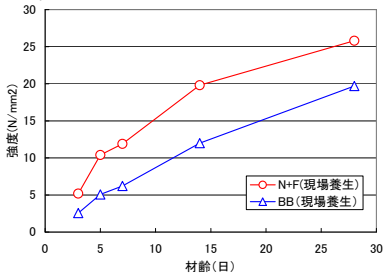


14

＜参考：冬季の標準・現場養生での強度発現状況（国交省試験施工データ）＞

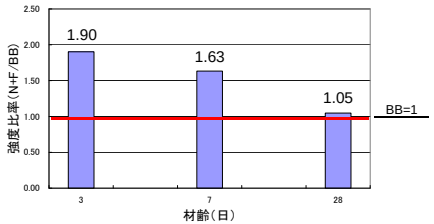
圧縮強度の経時変化



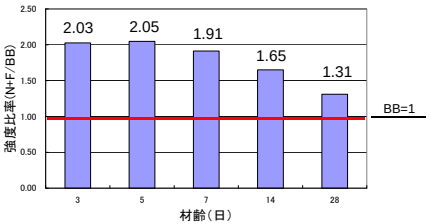


圧縮強度の強度比率（ BB の強度を1としたときのN+Fの強度比率）

標準養生



現場養生



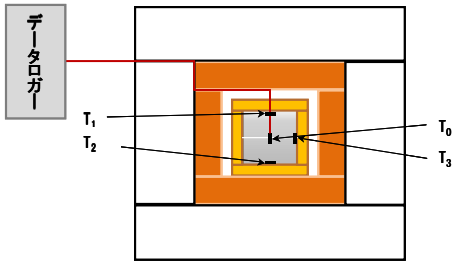
※現場養生は、現場にて供試体を水中養生（水温変化0～7℃）した。

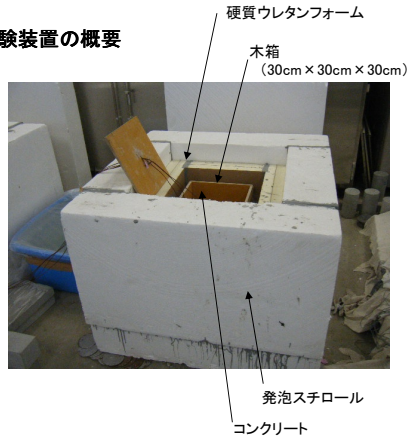
15

◎発熱量抑制

北陸3県の代表的骨材を用いて、呼び強度 24,スランプ 8cm,最大骨材寸法 25(20)mm,W/B≦55%の同一条件でのN（普通）、BB（高炉）、N＋F（フライアッシュ）の生コン配合で、簡易断熱温度上昇試験を実施。

簡易断熱温度上昇試験装置の概要

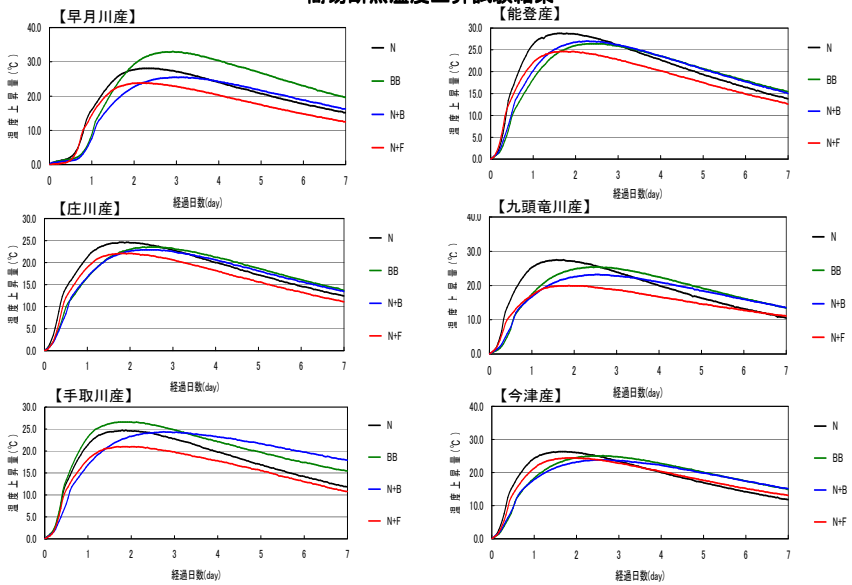




測定環境下：約20℃の実験室内
測定期間：7日間

16

簡易断熱温度上昇試験結果

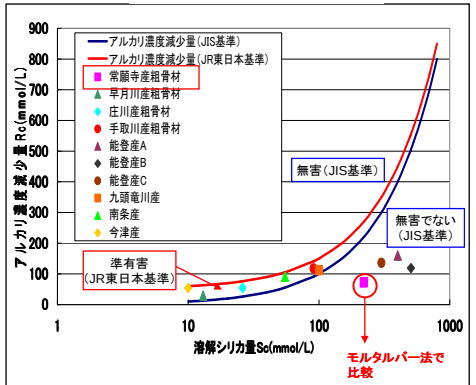


・簡易断熱試験装置による温度上昇量（最高値）の結果から、いずれの骨材においても温度ひびわれの抑制効果は、フライアッシュ（N+F） ≧ 高炉(N+B) ＞ 普通(N) となる。

◎ASR抑制

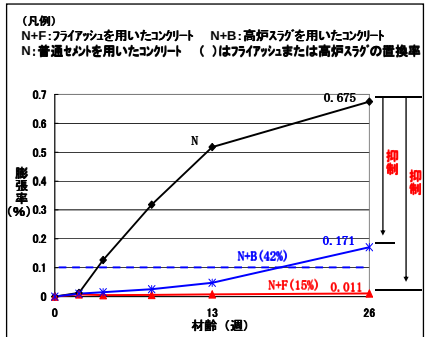
委員会では、実用段階での検討として、同一条件（例えば、24-8-25、W/C≦55%）で市中生コンにN（普通）、BB又はN+B（高炉）、N＋F（フライアッシュ）を用いたコンクリートを注文した時の配合での品質比較を実施。

化学法（JIS A1145に準拠）



北陸3県の代表的骨材を用いた化学法 の試験結果

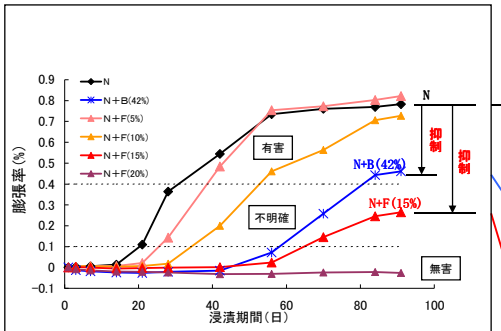
モルタルバー法（JIS A1146に準拠）



※ モルタルバー法（JIS A1146）では、膨張率が26週後に0.1%未満の場合は「無害」とし、0.1%以上の場合は「無害でない」とする。

常願寺川産骨材（産地のなかで特に反応性の高い材料）を用いたモルタルバー法（JIS）の試験結果

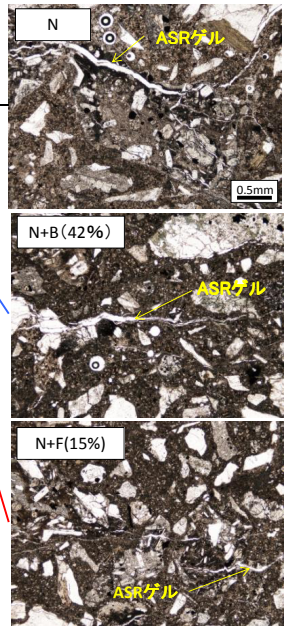
モルタルバー法（デンマーク法に準拠）



※デンマーク法は、20℃にて20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。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。

常願寺川産骨材（産地のなかで特に反応性の高い材料）を用いたモルタルバー法（デンマーク法）の試験結果

【偏光顕微鏡観察結果】

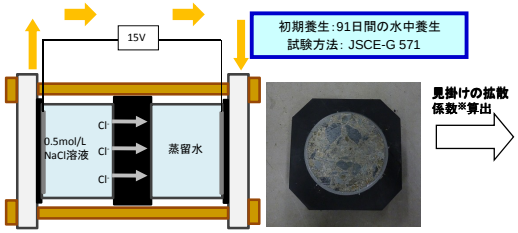


・化学法の結果から、北陸3県の代表的骨材は、JIS基準の「無害でない」またはJR東日本基準の「準有害」に区分される。

・モルタルバー法（JIS、ﾃﾞﾝﾏｰｸ法）の結果から、ASR発生リスクの低減効果は、フライアッシュ（N+F） ≧ 高炉(N+B) ＞ 普通(N) となる。

◎塩化物イオン浸透抑止性

電気泳動試験



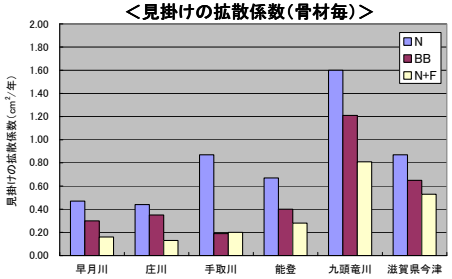
電気泳動方法によって、コンクリート中における塩化物イオンの実効拡散係数を求める。

・見掛けの拡散係数は、塩化物イオンの拡散予測に用いる係数Dとして活用

$$C(x,t) = C_0\left(1-\mathrm{erf}\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)+Ci$$

C(x,t)：深さx(cm)、時刻t（年）における塩化物イオン濃度（kg/m³）
Ci：初期混入塩化物イオン濃度（kg/m³）
C_0：表面における塩化物イオン濃度（kg/m³）
D：塩化物イオンの見掛けの拡散係数（cm²/年）
erf：誤差関数

＜見掛けの拡散係数（骨材毎）＞



・見掛けの拡散係数から、塩害発生リスクの低減効果は、フライアッシュ（N+F） ≧ 高炉(BB) ＞ 普通(N) となる。

4-(3)-① 利用に向けての課題と対応策について

※ 第３回委員会（H24.3.23）資料より抜粋

	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～）	・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	・JIS認証工場(平成23年12月現在) 富山2工場、石川2工場 ・監査会議議長 富山県：宮里教授、石川県：鳥居教授
	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 ・コンクリートフォーラム・イン金沢　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」事業報告をH24.4.20 に予定
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)）	・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） ・新規供給拠点（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	・公共工事等での仕様変更	
	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

21

4-(3)-③ 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

注）数量(m³)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	平成27年度	平成28年度（計画）	平成29年度以降
委員会等の開催		第1回 第2回 第3回	第4回 第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	(1回/年の頻度)
公共工事	富山県工事	試験施工（約30m³）	モデル工事（約340m³）	モデル工事（約1,440m³）	（継続）モデル工事（約723m³）	（継続）モデル工事（約1,612m³）	（継続）モデル工事（約6,378m³）	公共工事等での標準使用
	石川県工事	試験施工（約28m³）	モデル工事（約3,800m³）	モデル工事（約2,030m³）	（モデル地区化）モデル地区（約2,800m³）モデル工事（約5,406m³）	（モデル地区化）モデル地区（約2,800m³）モデル工事（約9,710m³）	（モデル地区化）モデル地区（約2,800m³）モデル工事（約10,591m³）	
	福井県工事	－	試験施工（約16m³）	モデル工事（約820m³）	（推進地区化）モデル工事（約5,759m³）	（推進地区化）モデル工事（約20,314m³）	（推進地区化）モデル工事（約8,423m³）	
	国交省工事	－	試験施工（約242m³）	モデル工事（約710m³）	（継続）モデル工事（約339m³）	（継続）モデル工事（約726m³）	（継続）モデル工事（約726m³）	
フライアッシュコンクリートの需要		約58m³	約4,398m³	約5,000m³	約15,027m³	約35,162m³	約26,118m³ ＋施工者提案	（需要の拡大・定着）
JIS認証工場数の拡大（富山県：全35工場、石川県：全41工場、福井県：全29工場）		富山：3工場 石川：2工場	富山：16工場 石川： 7工場 福井： 4工場	富山：17工場 石川： 7工場 福井： 7工場	富山：17工場 石川：10工場 福井：11工場	富山：17工場 石川：17工場 福井：14工場	富山：18工場 石川：22工場 福井：22工場	（JIS工場の拡大・定着）

22

＜参考：モデル地区（七尾）の取組み状況＞

平成26年2月	石川県・石川県生コンクリート工業組合・七尾地区生コンクリート協同組合・北陸電力によるモデル地区実施に向けた調整 ⇒　七尾地区生コンクリート協同組合理事会承認(2/18)
平成26年3月5日	石川県・七尾市・七尾鹿島建設業協会・七尾地区生コンクリート協同組合・北陸電力によるモデル地区実施打合せ会(説明会)
平成26年3月下旬	関係箇所への協力依頼(国土交通省北陸地方整備局を含む)
平成26年4月1日（1年目）	七尾フライアッシュコンクリートモデル地区を実施 （石川県土木部発注の土木工事に用いる生コンクリートは原則フライアッシュコンクリート）
平成26年4月22日	「七尾地区 フライアッシュコンクリート活用セミナー」の開催
平成27年4月1日（2年目）	七尾フライアッシュコンクリートモデル地区を継続実施 （石川県発注（土木部・農林水産部）の土木工事に用いる生コンクリートは原則フライアッシュコンクリート）
平成28年4月1日（3年目）	七尾フライアッシュコンクリートモデル地区を継続実施 （石川県発注（土木部・農林水産部）の土木工事に用いる生コンクリートは原則フライアッシュコンクリート）

23

＜参考：推進地区（嶺北・敦賀）の取組み状況＞

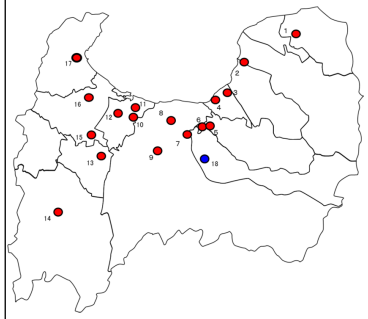
平成26年3月下旬	福井県のホームページに「フライアッシュコンクリートの使用推進について」を公開 1. 公共土木施設の長寿命化が期待できることから、フライアッシュコンクリートの使用を推奨する 2. 受注者より使用したい旨の申し入れがあった場合、発注者はこれを承諾する 3. 嶺北地方および敦賀市の区域を「推進地区」に指定し、モデル工事を順次拡大する。
平成26年4月（1年目）	福井県内全生コンプラントを対象にモデル工事協力プラントを募集し、応募した生コンプラントの立地場所を考慮し、平成26年度のモデル工事の候補を選定 ⇒ 随時、特記仕様書にモデル工事協力プラントを記載し発注
平成27年4月（2年目）	福井県内全生コンプラントを対象に、再度、モデル工事協力プラントを募集し、応募した生コンプラントの立地場所を考慮し、平成27年度のモデル工事の候補を選定 ⇒ 随時、特記仕様書にモデル工事協力プラントを記載し発注
平成28年4月（3年目）	福井県内全生コンプラントを対象に、再度、モデル工事協力プラントを募集し、応募した生コンプラントの立地場所を考慮し、平成28年度のモデル工事の候補を選定 ⇒ 随時、特記仕様書にモデル工事協力プラントを記載し発注

24

＜JIS認証工場の拡大＞

〔富山県〕

フライアッシュコンクリート　JIS認証取得工場　位置図



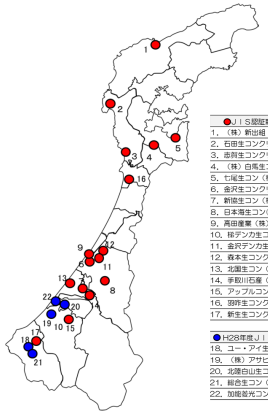
● ＪＩＳ認証取得工場（H28.6迄）
1、小川産業（株）
2、黒部生コンクリート工業（株）
3、早月生コン（株）
4、新越コンクリート工業（株）
5、立山生コンクリート（株）
6、富山栗部生コン（株）
7、あづまコンクリート工業（株）
8、デンカ生コン富山（株）
9、デンカコンクリート（株）
10、北陸宇部コンクリート工業（株）
11、二上生コン（株）射水工場
12、県西生コン（株）
13、となみ協立生コン（株）
14、アント生コン(有)
15、高岡中央生コン（株）新生工場
16、富山西部生コン（株）
17、氷見生コン（株）

● H28年度ＪＩＳ認証取得（予定）工場
18、常願寺川生コンクリート（有）

平成28年度末までのJIS認証工場数（予定）
18工場／全35工場 ＝51%

〔石川県〕

フライアッシュコンクリート　JIS認証取得工場　位置図



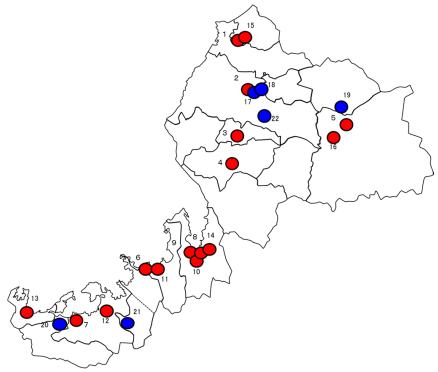
● ＪＩＳ認証取得工場（H28.6迄）
1、（株）新出組
2、石田生コンクリート工業（株）
3、志賀生コンクリート工業（株）
4、（株）白尾生コンクリート
5、七尾生コン（株）
6、金沢生コンクリート（株）
7、新宿生コン（株）
8、日本海生コン(株)
9、高田産業（株）
10、松デンカ生コンクリート（株）
11、金沢デンカ生コン（株）
12、森本生コンクリート（株）
13、北国生コン（株）
14、手取川石産（株）ﾌｧｽﾄｸﾘｰﾄ
15、アップルコンクリート(株)
16、羽咋生コンクリート工業（株）
17、新生生コンクリート(株)

● H28年度ＪＩＳ認証取得（予定）工場
18、ユー・アイ生コン（株）
19、（株）アサヒ物産
20、北陸白山生コン（株）
21、総合生コン（株）東部工場
22、加賀岩光コンクリート(株)

平成28年度末までのJIS認証工場数（予定）
22工場／全41工場 ＝54%

〔福井県〕

フライアッシュコンクリート　JIS認証取得工場　位置図



● ＪＩＳ認証取得工場（H28.6迄）
1、福井宇部生ｺﾝｸﾘｰﾄ(株)神明工場
2、福井宇部生ｺﾝｸﾘｰﾄ(株)福井工場
3、福井宇部生ｺﾝｸﾘｰﾄ(株)南越工場
4、（株）山田組
5、ユーコン（株）
6、美方生コン（株）
7、大飯生コン（株）
8、大和ｺﾝｸﾘｰﾄ工業(株)本社工場
9、嶺南デンカ生コン(株)本社工場
10、三谷生コン敦賀（株）
11、（株）カモコンテック
12、（株）桑原生コン若狭工場
13、（株）日盛興産日盛生コン
14、（株）日本ビーエス
15、寺前生コン（株）あわら工場
16、（株）のぞみ　第二工場

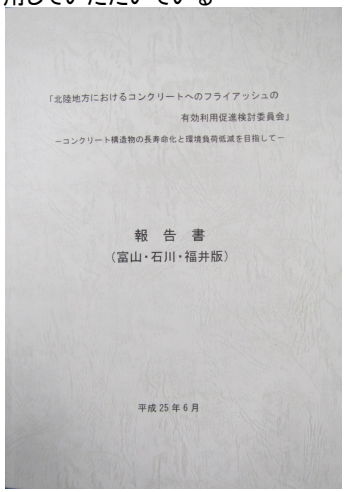
● H28年度ＪＩＳ認証取得（予定）工場
17、九頭竜生コン（株）
18、協立生コンクリート（株）
19、（株）ギチュー　勝山工場
20、福邦生コン（株）
21、嶺福生コン（株）
22、北部生コン（株）

平成28年度末までのJIS認証工場数（予定）
22工場／全29工場 ＝76%

＜参考：委員会の活動報告＞

平成23年3月委員会の活動成果をとりまとめた**報告書（富山・石川版）を作成**！
さらに平成25年6月追補版として**報告書（富山・石川・福井版）を発行**！

報告書はフライアッシュの有効利用の促進に取り組む関係機関へ配布し活用していただいている

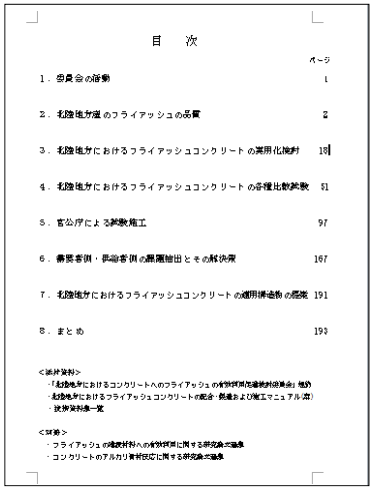


「北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの
有効利用促進検討委員会」
－コンクリート構造物の長寿命化と環境負荷低減を目指して－

報　告　書
（富山・石川・福井版）

平成 25 年 6 月

H25.6改定した報告書



目　次

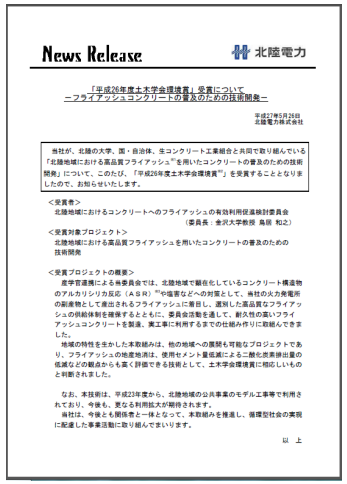
ページ
1．委員会の活動　1
2．北陸地方産のフライアッシュの品質　2
3．北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの実用化検討　18
4．北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの各種比較試験　51
5．官公庁による試験施工　97
6．構築者側・供給者側の課題抽出とその解決策　167
7．北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの適用構造物の提案　191
8．まとめ　193

報告書の内容（目次）

＜参考：土木学会環境賞の受賞＞

平成27年6月 「北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会」が**平成26年度土木学会環境賞を受賞**！

フライアッシュの**地産地消**による**耐久性の高いコンクリートの製造**や、使用セメント量低減による**二酸化炭素排出量の低減**等が高く評価された



News Release　北陸電力

「平成26年度土木学会環境賞」受賞について
－フライアッシュコンクリートの普及のための技術開発－

平成27年5月26日
北陸電力株式会社

当社が、北陸の大学、国・自治体、生コンクリート工業組合と共同で取り組んでいる「北陸地域における高品質フライアッシュ*を用いたコンクリートの普及のための技術開発」について、このたび、「平成26年度土木学会環境賞*」を受賞することとなりましたので、お知らせいたします。

＜受賞者＞
北陸地域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
（委員長：金沢大学教授　鳥居 和之）

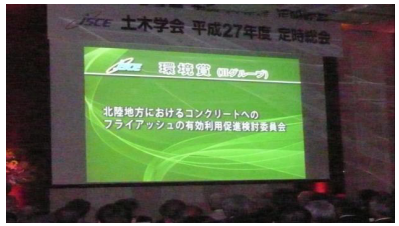
＜受賞対象プロジェクト＞
北陸地域における高品質フライアッシュを用いたコンクリートの普及のための技術開発

＜受賞プロジェクトの概要＞
産学官連携による検討委員会では、北陸地域で顕在化しているコンクリート構造物のアルカリシリカ反応（ＡＳＲ）*1や塩害などへの対策として、当社の火力発電所の副産物として産出されるフライアッシュに着目し、選別した高品質なフライアッシュの供給体制を確保するとともに、委員会活動を通じて、耐久性の高いフライアッシュコンクリートを製造、実工事に利用するまでの仕組み作りに取組んできました。
地域の特性を生かした本取組みは、他の地域への展開も可能なプロジェクトであり、フライアッシュの地産地消は、使用セメント量低減による二酸化炭素排出量の低減などの観点からも高く評価できる技術として、土木学会環境賞に相応しいものと判断されました。

なお、本技術は、平成23年度から、北陸地域の公共事業のモデル工事等で利用されており、今後も、更なる利用拡大が期待されます。
当社は、今後とも関係者と一体となって、本取組みを推進し、循環型社会の実現に配慮した事業活動に取り組んでまいります。

以　上

H27.5.26　プレスリリース



H27.6.12　授賞式の様子

５. 今後の展開

（１）公共工事　　※第８回委員会（H28.1.22）資料より抜粋

〔平成２８年度〕

◎富山県：土木部発注の土木工事を対象に、発注者が指定したモデル工事に加え、施工者がフライアッシュコンクリートの使用を希望する場合においても、発注者が承認すればモデル工事と位置付けて実施する。また、この取組みを各発注機関、施工者、生コン関係者に広く周知する。

◎石川県：平成２７年度に引き続き、県発注の土木工事に用いる生コンクリートを原則フライアッシュコンクリートとしている『七尾モデル地区』を継続する。その他の地区においては、モデル工事を継続実施し、生産・施工技術の習得と有効利用の促進を図る。あわせて、試験・調査を実施し、品質の安定と向上を図る。

◎福井県：『福井県嶺北地区・敦賀市推進地区』を引き続き継続し、モデル工事を実施するとともに、施工者にフライアッシュコンクリートの使用を推奨していく。標準使用にあたっては、課題を調整していく必要があることから、まずは構造物・地域を限定した使用を検討していく。

◎国交省：モデル工事の継続

◎北陸電力：フライアッシュの品質確保と安定供給に万全を期していくとともに、自社工事への利用拡大を図る。

◎上記、モデル工事等の品質等の確認のため、第9回委員会（1月頃）の継続実施

〔平成２９年度以降〕

◎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

29

（２）北陸新幹線工事（金沢～敦賀間）

◎鉄道･運輸機構（ＪＲＴＴ）は、新設する北陸新幹線のコンクリート構造物においてフライアッシュの使用を想定し、学識、鉄道総研、鉄道事業者、鉄道･運輸機構による「コンクリート構造物の長期耐久性向上検討会」を設置し、平成27～28年度の２ヵ年で実施工に向けての運用方針を決定することとしている。

◎当委員会では、上記検討会での審議が速やかに行われるよう、フライアッシュを用いたコンクリートの各種比較試験データを提供するとともに検討会が実施する試験に協力している。また、沿線の生コンクリート工場とも情報を共有し、ＪＩＳの認証取得を促している。

（３）電力他関連施設

◎北陸電力では、発電所建設工事（富山新港ＬＮＧ火力発電所建設、志賀原子力発電所安全性向上施策、福井県三国風力発電所建設等）にフライアッシュコンクリートを積極的に採用している。また、コンクリート柱(電柱)やコンクリート杭（基礎工事用）にもフライアッシュを混和し、耐久性を向上させている。

◎NEXCO中日本では、大規模更新・修繕事業で実施する床版取替工事において、請負者提案によりフライアッシュを混和したプレストレストコンクリート床版を採用。

（４）海岸保全事業

◎藻場造成材としてフライアッシュ高含有ポーラスコンクリートを開発し、輪島地区でフィールド試験を行い、藻の繁殖状況等を確認している。

◎海底浚渫砂およびフライアッシュを有効利用したコンクリートの製造技術を確立し、消波ブロックの暴露試験を行い、耐久性を確認している。

30

PC防液堤コンクリートへの フライアッシュコンクリートの適用 －富山新港火力発電所 LNG1号機新設工事－

（株）大林組 技術研究所　桜井邦昭

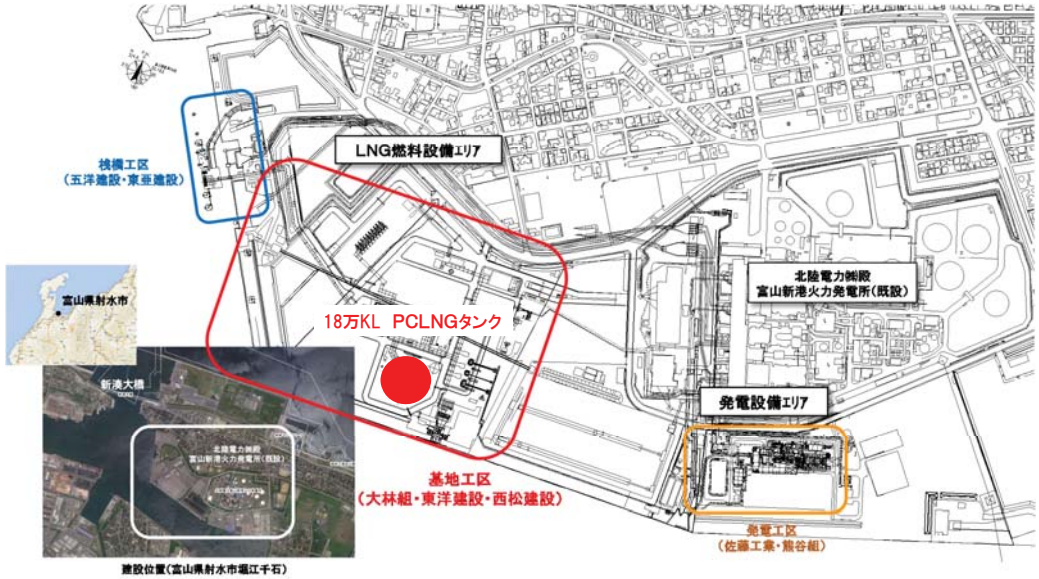
工事概要（プロジェクト概要）

1

■ 件　名	富山新港火力発電所LNG1号機新設工事
■ 発注者	北陸電力株式会社殿
■ 企業体	㈱大林組・東洋建設㈱・西松建設㈱
■ 工　期	平成26年10月1日～平成30年9月25日
■ 主要工事	地盤改良工事
	PCLNGタンク工事
	取水口工事・冷排水路工事
	電気ｹｰﾌﾞﾙﾄﾚﾝﾁ工事
	機器基礎工事、ピット・トレンチ工事
	配管基礎工事

工事概要（工事全体平面図）

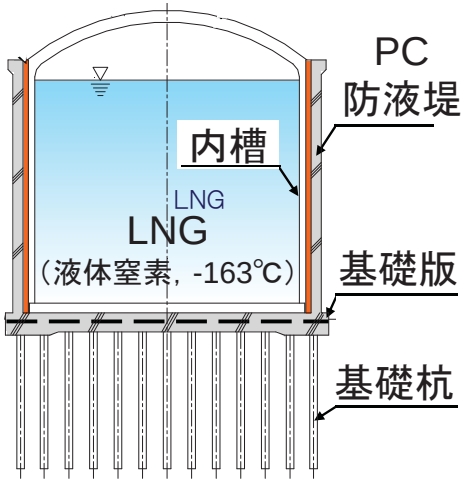
2

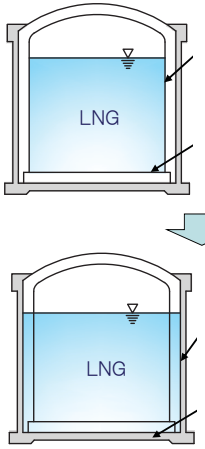


工事概要（ＰＣＬＮＧタンクとは？）

3

内槽（金属二重殻式貯槽）にPC防液堤を限りなく近づけて基礎版を一体化した構造





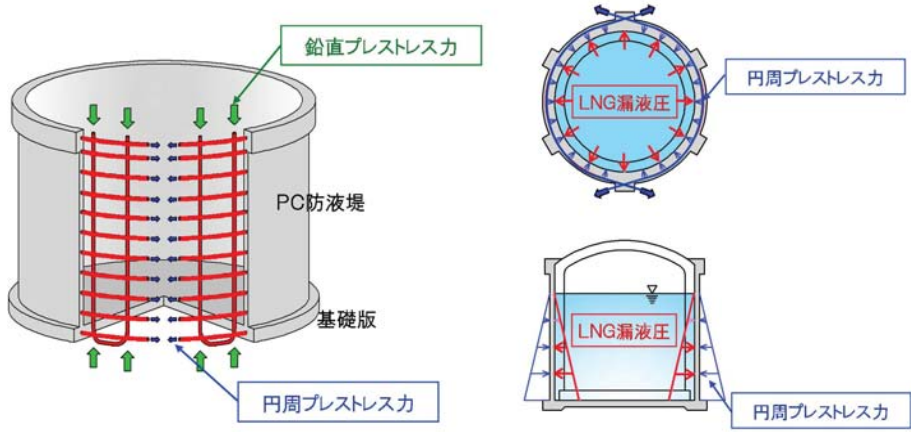
【通常時】
内槽で保持

【漏液時】
PC防液堤で
保持

工事概要（ＰＣＬＮＧタンクの特徴）

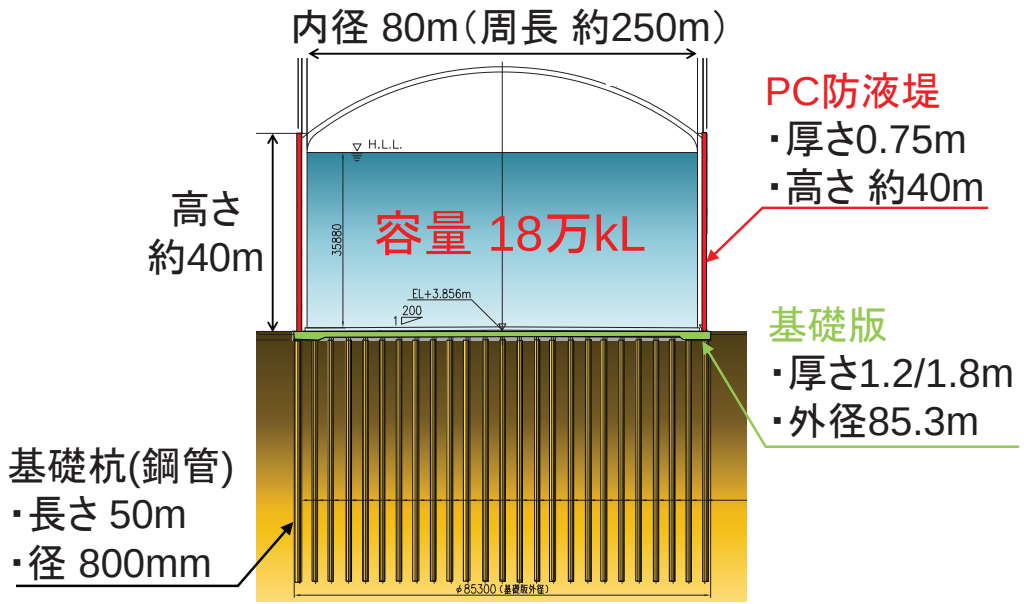
4

- 円周および鉛直方向にPC鋼材を配置
- プレストレス力による圧縮力を導入し，液密性を確保



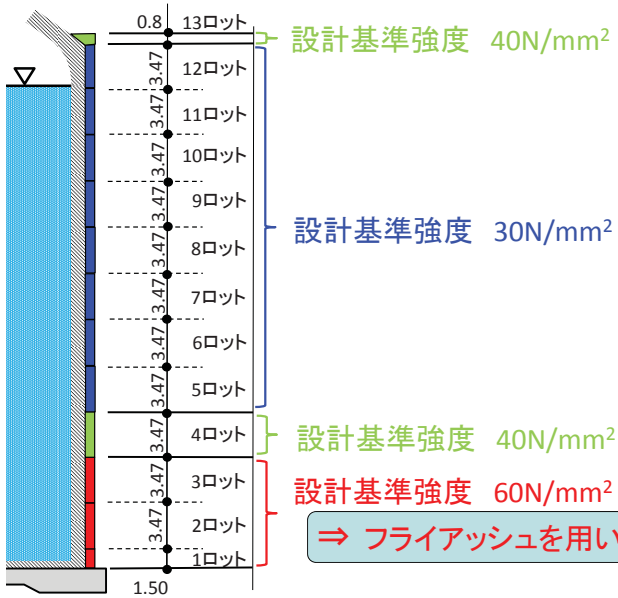
工事概要（構築するタンクの概要）

5



工事概要（PC防液堤 強度区分，リフト割）

6



- 強度3水準
  (30,40,60N/mm²)
- 13ロットで施工
  高さ 約3.5m/ロット

⇒ フライアッシュを用いた高流動コンクリート

PC防液堤コンクリートの要求事項

7

【設計面】

①温度ひび割れの防止（ひび割れ指数1.85以上）
（対応策） 低熱ポルトランドセメント，膨張材の使用
（照査方法） 温度応力解析

②耐久性（塩害，中性化）の確保：設計耐用期間50年
（対応策） 水セメント比の低減（50%以下）
（照査方法） 塩分，中性化促進試験の実施

【施工面（工程確保）】

③脱型に必要な強度（10N/mm²）の早期確保
（対応策） 上記，セメントおよびW/Cの条件
（照査方法） 強度試験の実施（材齢5日で脱型可能）

アルカリシリカ反応性の抑制対策①

8

【JIS A 5308，コンクリート標準示方書】いずれか1つを満足

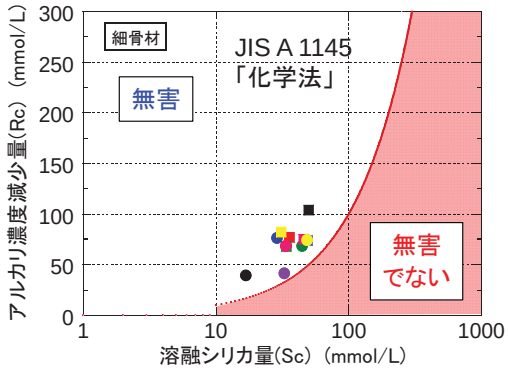
①アルカリ総量＜3.0kg/m³

適用部位	設計基準強度 (N/mm²)	アルカリ総量 (kg/m³)	判定
4～13ロット	30，40	1.4	OK
1～3ロット	60	2.1	OK
外周部	30	1.3	OK

②混合セメントの使用

・低熱セメントのため該当せず

③無害な骨材　「無害」判定



JIS，示方書に従うと，「アルカリ総量」，「無害な骨材」でOK

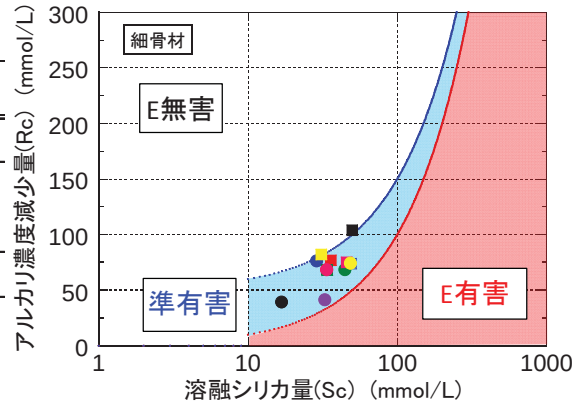
アルカリシリカ反応性の抑制対策②

9

【JR東日本の基準】

判定種別	対策
E有害	混合セメント
準有害	アルカリ総量＜2.2kg/m³ もしくは，混合セメント
E無害	無対策

⇒骨材は「準有害」判定



【その他にも，，，】

・周辺地域でアル骨発生　・潜在的な影響（長期耐久性）

防液堤1～3ロット(60N/mm²)　アルカリ総量：最大2.1kg/m³
フライアッシュコンクリートを適用

FAコンクリートの配合選定（室内試験）

10

【仕様・方針】

・高流動コンクリート（SF60±10cm）　*高密度な配筋部の充填確保
・FAは，セメントの外割で置換（C=485kg/m³固定。初期強度の確保）

【フレッシュコンクリートの状態】

比較（FAなし）　①細骨材容積の7%相当（FA50kg/m³）　②単位粉体量の15%相当（FA86kg/m³）

【温度応力解析結果】
(ひび割れ指数1.85以上)

部位	比較 FAなし	① 細骨材 7%	② 粉体量 15%
3	3以上	3以上	3以上
2	2.51	2.21	2.04
1	2.37	1.87	1.72

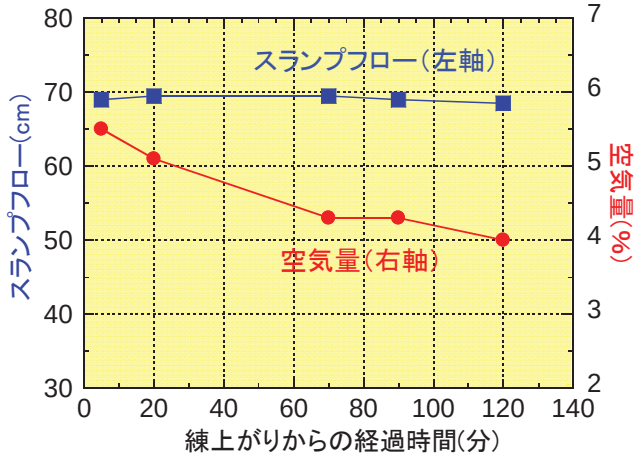
NG

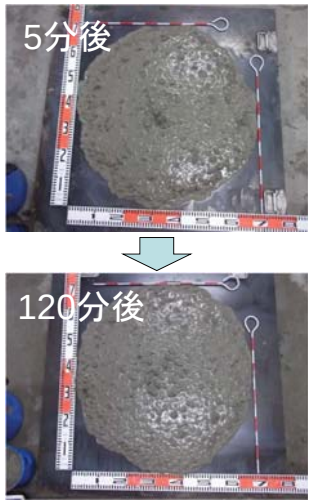
フレッシュ性状はいずれも良好。ひび割れ制御から，①を採用

FAコンクリートの配合選定（実機試験）

11

【概要】実機ミキサで4m³製造。経時変化を確認





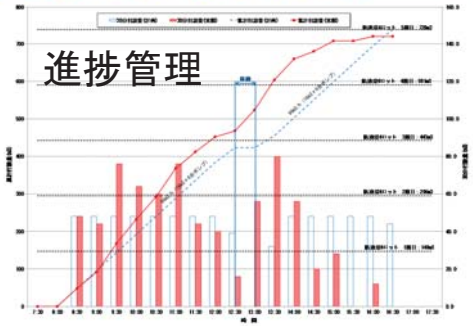
時間経過に伴う品質変化は小さい ⇒配合決定

FAコンクリートによるPC防液堤の施工① 12

【施工概要】
数量：約700m³/ロット（生コン3工場）
体制：6班，ポンプ車6台
施工時間：約7時間

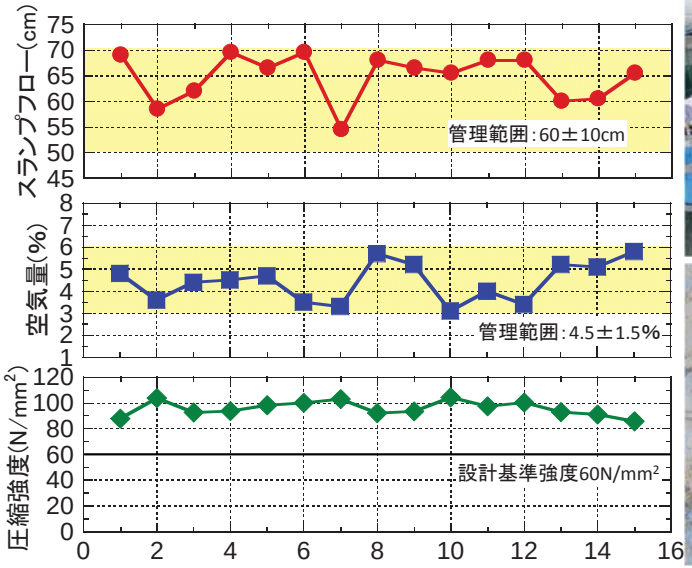
FAコンクリートによるPC防液堤の施工② 13

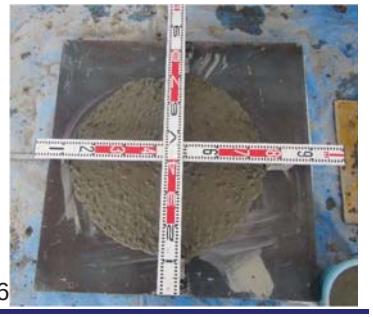
【施工情報の管理】大量施工



FAコンクリートによるPC防液堤の施工③ 14

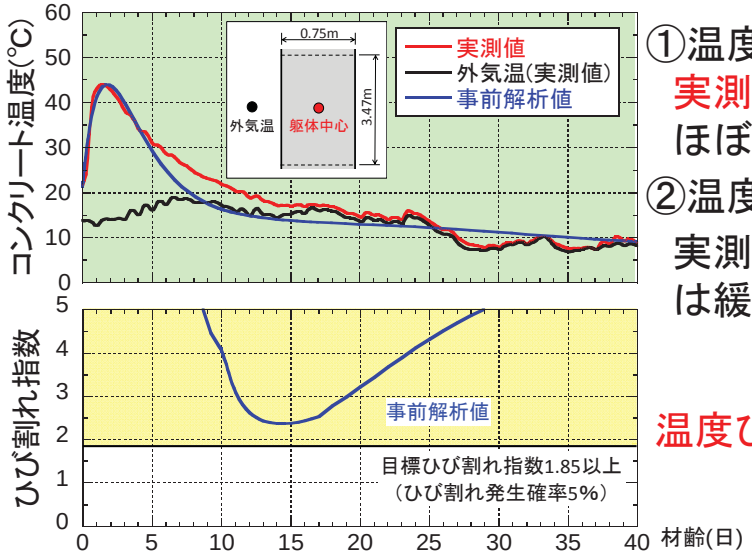
【コンクリートの品質管理試験結果】





FAコンクリートによるPC防液堤の施工④ 15

【躯体の温度推移の測定結果　2ロット】



①温度上昇量
実測値と解析値は，ほぼ一致
②温度降下速度
実測値の温度降下は緩やか

温度ひび割れを防止

FAコンクリートによるPC防液堤の施工⑤

16

充填不良やひび割れなし

まとめ

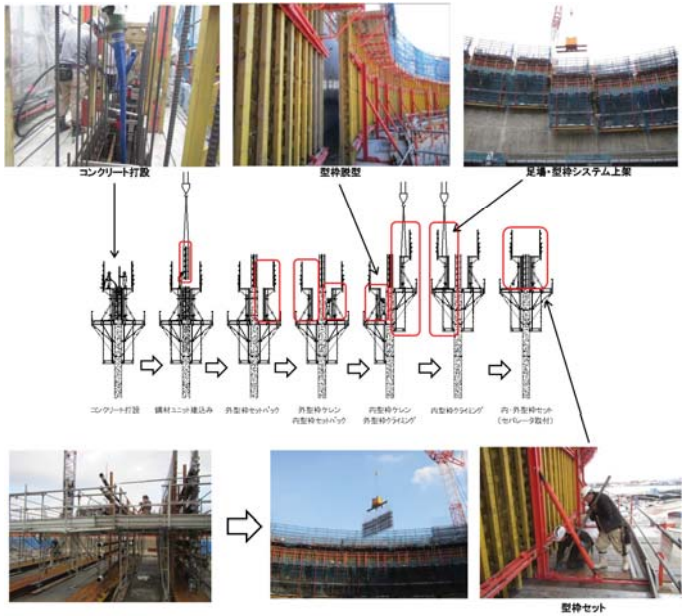
17

（1）フライアッシュを混入しても，スランプおよび空気量の経時変化の小さい，高流動コンクリートを安定的に製造・供給できた。

（2）低熱ポルトランドセメントとフライアッシュを併用したコンクリートを用いることで，初期ひび割れがなく，耐久性に優れたPC防液堤が構築できた。

（3）打設システムにより,施工に関する情報を一元的に管理することで，安定した品質の大量コンクリート施工を計画通りに行うことができた。

【補足】PC防液堤の構築手順



金沢大学ＳＩＰセミナー
「フライアッシュコンクリートの活用と実践」
平成２８年7月２９日（金）

事例報告2　金沢外環状道路橋脚

真柄建設（株）上田　信二

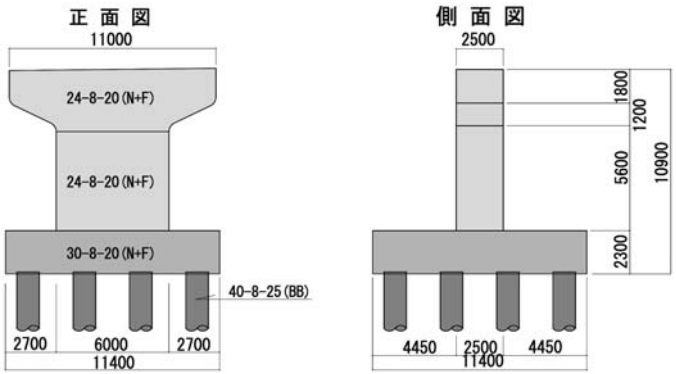
1．工事概要

橋脚名：浅野川橋梁　海側P4橋脚

着工前

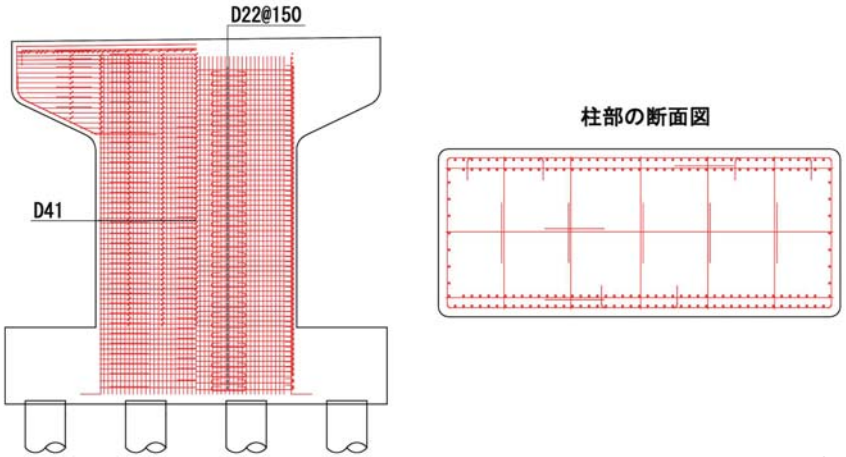
工事完成

• 構造図



• 杭基礎：リバース工法 φ1.2m L=43.5m N=16本 40-8-25(BB)
• フーチング：300m³ 30-8-20(N+F)フライアッシュコンクリート
• 柱、梁部　：160m³ 24-8-20(N+F)フライアッシュコンクリート

• 配筋図



・コンクリートの配合

フーチング

配合の設計条件

呼び方	コンクリートの種類による記号	呼び強度	スランプ又はスランプフロー cm	粗骨材の最大寸法 mm	セメントの種類による記号
	普通	30	8	20	N

指定事項			
セメントの種類	呼び方欄に記載	空気量	4.5 %
骨材の種類	使用材料欄に記載	軽量コンクリートの単位容積質量	－ kg/m³
粗骨材の最大寸法	呼び方欄に記載	コンクリートの温度	－ ℃
アルカリシリカ反応抑制対策の方法 b)	F（20.0 %）	水セメント比の目標値の上限	55.0 %
骨材のアルカリシリカ反応性による区分	使用材料欄に記載	単位水量の目標値の上限	－ kg/m³
水の区分	使用材料欄に記載	単位セメント量の目標値の下限又は目標値の上限	－ kg/m³
混和材料の種類及び使用量	使用材料及び配合表欄に記載	流動化後のスランプ増大量	－ cm
塩化物含有量	0.30 kg/m³以下		
呼び強度を保証する材齢	28 日		

使用材料 c)

セメント	生産者名	三菱マテリアル㈱		密度 g/cm³	3.16	Na_2O_{eq} % d)	0.61
混和材	製品名	フライアッシュ	種類 フライアッシュⅡ種	密度 g/cm³	2.36	Na_2O_{eq} % e)	－

骨材	No.	種類	産地又は品名	アルカリシリカ反応性による区分 f) 区分	試験方法	粒の大きさの範囲 g)	粗粒率又は実積率 h)	密度 g/cm³ 絶乾	表乾	微粒分量の範囲% i)
細骨材	①	砕砂	青梅産	A	化学法	5mm以下	3.05	－	2.64	7.0±2.0
細骨材	②	砂	内灘産	A	化学法	－	1.20	－	2.57	－
細骨材	③	－	－	－	－	－	－	－	－	－
粗骨材	①	砕石	青梅産	A	化学法	20～5	60.0	－	2.68	1.0±1.0
粗骨材	②	－	－	－	－	－	－	－	－	－
粗骨材	③	－	－	－	－	－	－	－	－	－

混和剤①	製品名 チューポールEX60T	種類 AE減水剤標準形Ⅰ種	Na_2O_{eq} % j)	1.2
混和剤②	－	－		－

細骨材の塩化物量 k)	① 0.000 %	② 0.000 %	水の区分 l) 上澄水・地下水	目標スラッジ固形分率 m) － %
回収骨材の使用方法 n)	細骨材 －	粗骨材 －		

配合表 o) kg/m³

セメント	混和材	水	細骨材①	細骨材②	細骨材③	粗骨材①	粗骨材②	粗骨材③	混和剤① p)	混和剤②
264	66	149	660	216	－	964	－	－	1.98	－

水セメント比	－ %	水結合材比 q)	45.2 %	細骨材率	48.1 %

柱・梁部

配合の設計条件

呼び方	コンクリートの種類による記号	呼び強度	スランプ又はスランプフロー cm	粗骨材の最大寸法 mm	セメントの種類による記号
	普通	24	8	20	N

指定事項			
セメントの種類	呼び方欄に記載	空気量	4.5 %
骨材の種類	使用材料欄に記載	軽量コンクリートの単位容積質量	－ kg/m³
粗骨材の最大寸法	呼び方欄に記載	コンクリートの温度	－ ℃
アルカリシリカ反応抑制対策の方法 b)	F（20.1 %）	水セメント比の目標値の上限	55.0 %
骨材のアルカリシリカ反応性による区分	使用材料欄に記載	単位水量の目標値の上限	－ kg/m³
水の区分	使用材料欄に記載	単位セメント量の目標値の下限又は目標値の上限	－ kg/m³
混和材料の種類及び使用量	使用材料及び配合表欄に記載	流動化後のスランプ増大量	－ cm
塩化物含有量	0.30 kg/m³以下		
呼び強度を保証する材齢	28 日		

使用材料 c)

セメント	生産者名	三菱マテリアル㈱		密度 g/cm³	3.16	Na_2O_{eq} % d)	0.61
混和材	製品名	フライアッシュ	種類 フライアッシュⅡ種	密度 g/cm³	2.36	Na_2O_{eq} % e)	－

骨材	No.	種類	産地又は品名	アルカリシリカ反応性による区分 f) 区分	試験方法	粒の大きさの範囲 g)	粗粒率又は実積率 h)	密度 g/cm³ 絶乾	表乾	微粒分量の範囲% i)
細骨材	①	砕砂	青梅産	A	化学法	5mm以下	3.05	－	2.64	7.0±2.0
細骨材	②	砂	内灘産	A	化学法	－	1.20	－	2.57	－
細骨材	③	－	－	－	－	－	－	－	－	－
粗骨材	①	砕石	青梅産	A	化学法	20～5	60.0	－	2.68	1.0±1.0
粗骨材	②	－	－	－	－	－	－	－	－	－
粗骨材	③	－	－	－	－	－	－	－	－	－

混和剤①	製品名 チューポールEX60T	種類 AE減水剤標準形Ⅰ種	Na_2O_{eq} % j)	1.2
混和剤②	－	－		－

細骨材の塩化物量 k)	① 0.000 %	② 0.000 %	水の区分 l) 上澄水・地下水	目標スラッジ固形分率 m) － %
回収骨材の使用方法 n)	細骨材 －	粗骨材 －		

配合表 o) kg/m³

セメント	混和材	水	細骨材①	細骨材②	細骨材③	粗骨材①	粗骨材②	粗骨材③	混和剤① p)	混和剤②
227	57	148	700	226	－	960	－	－	1.70	－

水セメント比	－ %	水結合材比 q)	52.1 %	細骨材率	49.6 %

5

2．フライアッシュコンクリートの施工

本橋脚は、フライアッシュコンクリートでの冬期施工（1月～2月）となることから『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)』に準拠し施工を行った。

【施工での留意点】

・フライアッシュコンクリートはスランプロスや空気量ロスが若干大きくなる傾向にある。

・養生期間中は、コンクリートの表面温度を 10 ℃以上に保つことを原則とする。

・温度応力ひび割れの発生が懸念された。

6

①準備工

- 本体構造物を施工する前に、フライアッシュコンクリートの空気量・スランプロス量を把握し、施工計画に反映させるために（運搬時間や経路など）、均しコンクリートにおいて試験施工を実施
- フライアッシュコンクリートでの温度応力解析の実施

②施工中

- 雪寒仮囲いによる寒中養生の実施
- ジェットヒーターによる給熱養生の実施
- 養生温度の計測
- 事前の温度応力解析と比較するためにコンクリートの内部温度と応力の計測

③施工後

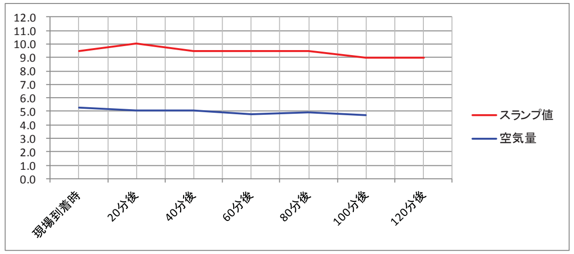
- コンクリート表層の目視調査（表層評価シート）
- 柱部において透気試験（トレント法）、反発硬度試験（シュミットハンマー）、超音波試験（エルソニック）、圧縮強度試験を型枠解体から１年経過後まで実施

7

（１）均しコンクリートでの試験施工

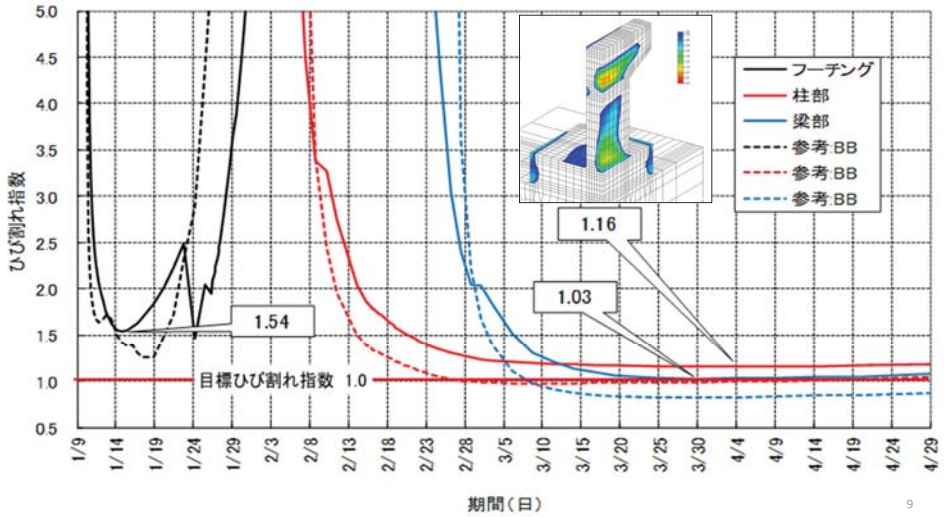
- 平成26年12月16日に試験施工を実施。
- 配合：30-8-20（N+F）フーチングと同材料
- 冬期での顕著なスランプや空気量ロスがない材料であることを確認

試験時期	スランプ値	空気量	コンクリート温度	外気温	備考
現場到着時	9.5	5.3	10	6	
20分後	10.0	5.1	10	5	
40分後	9.5	5.1	10	5	
60分後	9.5	4.8	10	5	
80分後	9.5	4.9	10	5	
100分後	9.0	4.7	10	5	
120分後	9.0	－	10	5	スランプ量のみ計測



8

（2）施工前の温度応力解析結果



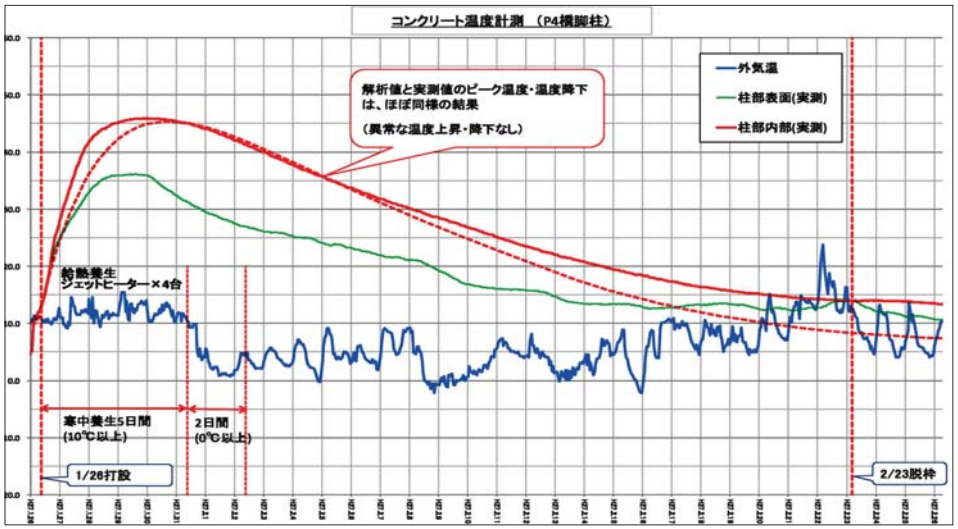
9

（3）コンクリートの温度計測結果

雪寒仮囲いの設置状況

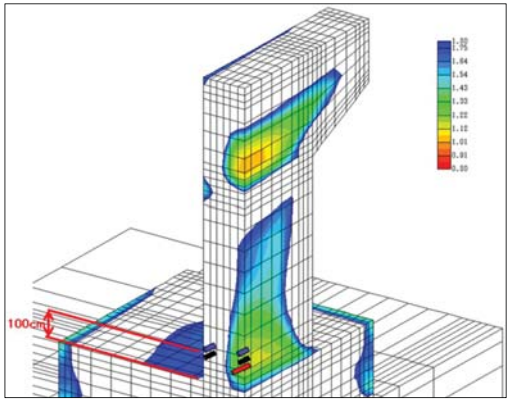
ジェットヒーターによる給熱養生状況

10

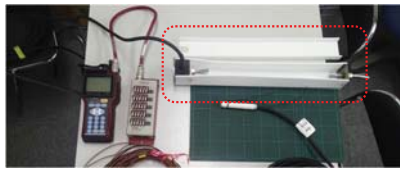


11

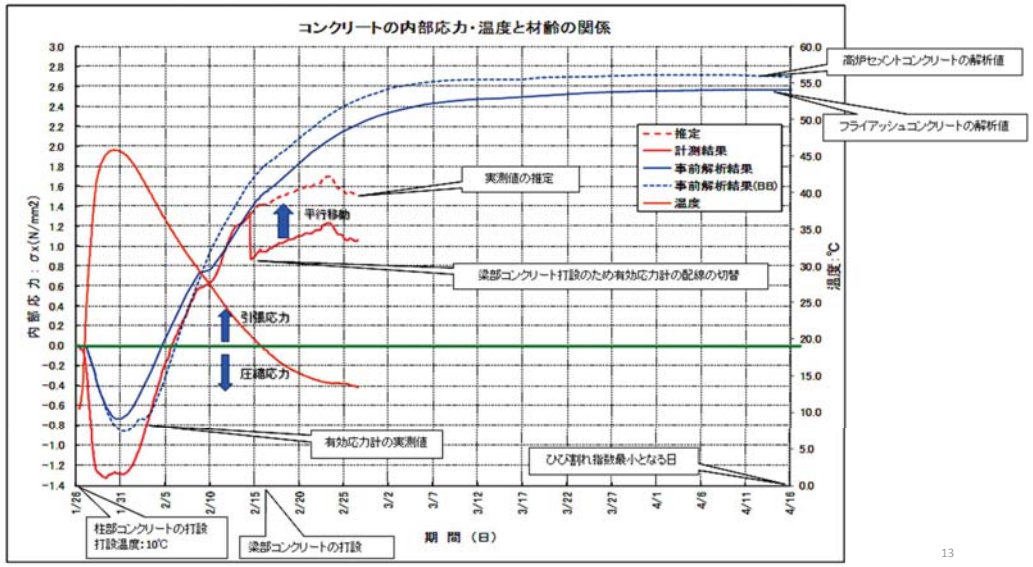
（4）コンクリートの内部応力の計測結果



コンクリート有効応力計

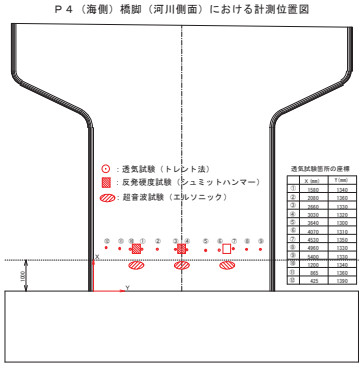


12



（5）コンクリートの表層評価調査

（6）柱部におけるコンクリート表層透気試験等の結果



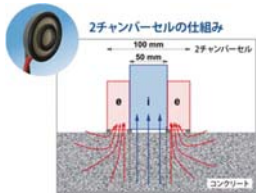
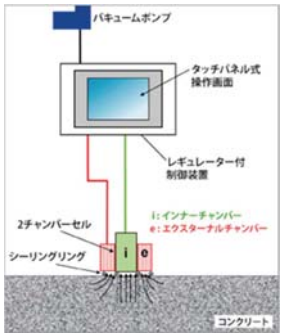


表-3.2　透気係数によるコンクリートの品質クラス分け

クラス	透気係数($10^{-16}m^2$)	評価
PK1	<0.01	非常に良い
PK2	0.01～0.1	良い
PK3	0.1～1	普通
PK4	1～10	悪い
PK5	10～100	非常に悪い
PK6	>100	極端に悪い



【トレント法】

表層コンクリートの品質を確認することは耐久性能を考える上で非常に重要となる。トレント法は、コンクリート表層を減圧した上で、圧力の戻り方から表層における透気性を調べることにより、表層品質を評価する手法である。

トレント法の試験状況

トレント法の試験機器

チャンバー

試験結果の一覧表

材　齢 (日)	圧縮強度試験 (N/mm2)	反発硬度による推定強度 (N/mm2)	透気係数（KT） ($10^{-16}m^2$)	水分率 (%)	判定	伝搬速度 (km/s)	判定
23	29.2	28.5	0.0062	9.5	非常に良い	4.47	良
28	29.6	28.9	0.0085	8.3	非常に良い	4.51	良
184	46.6	38.9	0.2037	3.1	普通	3.98	良
366	48.2	44.1	0.0019	5.4	良い	4.20	良

設計基準強度：24N/mm2

表-3.2　透気係数によるコンクリートの品質クラス分け

クラス	透気係数($10^{-16}m^2$)	評価
PK1	＜0.01	非常に良い
PK2	0.01～0.1	良い
PK3	0.1～1	普通
PK4	1～10	悪い
PK5	10～100	非常に悪い
PK6	＞100	極端に悪い

解説表-1　ｺﾝｸﾘｰﾄの品質と伝播速度

伝播速度 (km/s)	ｺﾝｸﾘｰﾄの品　質
4.60以上	優
3.70～4.60	良
3.10～3.70	やや良
2.10～3.10	不良
2.10以下	不可

3．まとめ

- 冬期施工でのフライアッシュコンクリートは、スランプや空気量ロスが生じないことを確認できた。
- 高炉セメントに比べフライアッシュコンクリートは、ブリーディング水の発生が少なかった。
- 事前の温度応力解析においてフライアッシュコンクリートは高炉セメントに比べ、ひび割れ指数が大きくなり、ひび割れの発生を低減できることが分かった。
- 初期段階で発生する圧縮応力の実測値は、温度応力解析値の２倍程度になっていることが分かった。
- 型枠解体から１年経過したコンクリートの表面状態は良好であった。

謝辞

本工事での計測を進めるにあたり、多大なご協力を頂きました石川県県央土木総合事務所様ならびに金沢大学 鳥居教授、金沢工業大学 宮里教授、富山県立大学 伊藤教授の皆様には心より感謝申し上げます。

北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの実践

土木・海岸構造物　適用事例の紹介

福井宇部生コンクリート株式会社　石川 裕夏

工事の概要

平成２７年度海岸災害復旧工事（浜地海岸）	
納入時期	平成２７年5月１５日～7月１７日
運搬時間	約３０分
構造物	消波ブロック３２t …８７５個
出荷実績	１１，３８４m³（５１回打設）
施工者	株式会社半澤組

平成２８年度海岸災害復旧工事（浜地海岸）	
納入時期	平成２８年5月１１日～7月5日
運搬時間	約２０分
構造物	消波ブロック２０t …４７０個 被覆ブロック３t …　１個 被覆ブロック６t …１０８個
出荷実績	４，６２３m³（４３回打設）
施工者	株式会社半澤組

フライアッシュコンクリートの配合

１８-８-４０N（フライアッシュ混和材）←使用配合

W/B	s/a	単位量（kg/m³）									
		セメント	敦賀火力産フライアッシュ（内割１５%）	水	細骨材		粗骨材			混和剤	
					細砂	粗砂	10mm	20mm	40mm	AE減水剤	AE剤
60	38.9	200	35	141	184	554	179	536	477	2.35	2.35

フライアッシュ用ＡＥ剤

単位水量　－５kg
単位セメント量　－４８kg

１８-８-４０BB

W/C	s/a	単位量（kg/m³）									
		セメント	フライアッシュ	水	細骨材		粗骨材			混和剤	
					細砂	粗砂	10mm	20mm	40mm	AE減水剤	AE剤
59	37.7	248	―	146	177	530	180	540	480	2.58	―

© Fukui-Ube Ready-Mixed Concrete Corporation

施工の状況

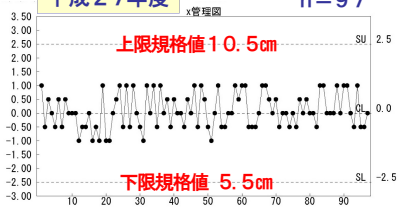
ポンプ車による打設。
ほぼ順調に打設が行われた。

およその打設ペースとして、
平成２７年度…約２４０m³/日
平成２８年度…約１２０m³/日
→脱型材齢などは、従来（高炉コンクリート）と変わらない

© Fukui-Ube Ready-Mixed Concrete Corporation

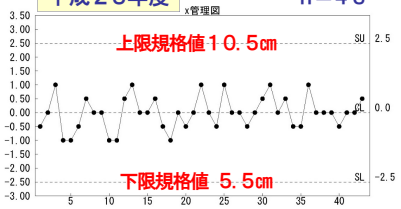
品質管理の状況ースランプ試験

平成２７年度　n＝９７



スランプ（cm）目標値８cm	
平均値	８.０
最大値	９.０
最小値	７.０
標準偏差	０.６３
工程能力指数	１.３３ p=0.0067%（工程能力は十分）

平成２８年度　n＝４３

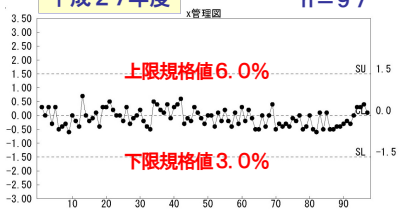


スランプ（cm）目標値８cm	
平均値	８.０
最大値	９.０
最小値	７.０
標準偏差	０.５９
工程能力指数	１.４１ p=0.0023%（工程能力は十分）

4

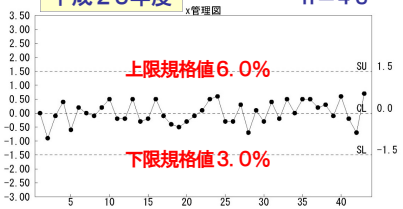
品質管理の状況ー空気量試験

平成２７年度　n＝９７



空気量（%）目標値４.５%	
平均値	４.４
最大値	５.２
最小値	３.９
標準偏差	０.３１
工程能力指数	１.６０ p=0.00016%（工程能力は十分）

平成２８年度　n＝４３

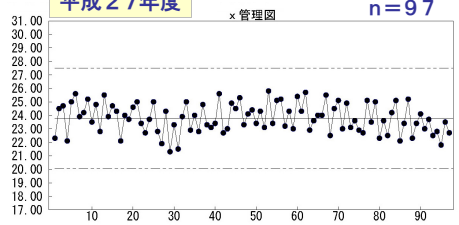


空気量（%）目標値４.５%	
平均値	４.５
最大値	５.２
最小値	３.６
標準偏差	０.４０
工程能力指数	１.２４ p=0.020%（工程能力はまずまず）

5

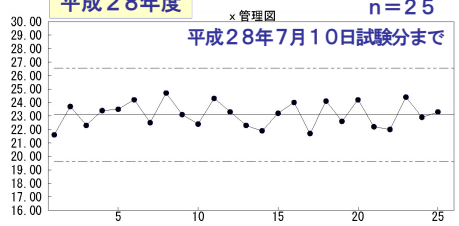
品質管理の状況ー圧縮強度（材齢28日）

平成２７年度　n＝９７



材齢２８日 圧縮強度（N/mm²）	
平均値	２３.８
最大値	２５.８
最小値	２１.３
標準偏差	１.０８

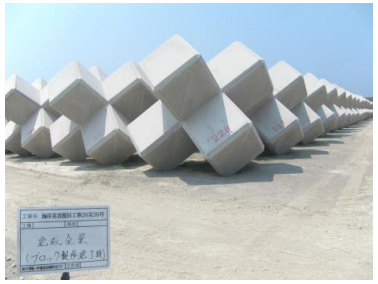
平成２８年度　n＝２５



材齢２８日 圧縮強度（N/mm²）	
平均値	２３.１
最大値	２４.７
最小値	２１.６
標準偏差	０.９

6

品質管理の状況ー外観性状



ひび割れやジャンカなどの
初期欠陥は生じていない

六脚ブロックに比べて、
曲線形のテトラポッドで
気泡が若干多い傾向あり

© Fukui-Ube Ready-Mixed Concrete Corporation

7

施工者の感想として・・・

コンクリート打設時の
材料分離が通常の生コンよりも
少なく感じた。

ブリーディングが少なく、
冬季に金ゴテ仕上げが
多い構造物には
良い生コンだと思った。

Ⓒ Fukui-Ube Ready-Mixed Concrete Corporation

当社の品質管理課の感想

- フライアッシュコンクリートの特長として、
  単位水量を低減させつつ、コンシステンシーおよび
  ワーカビリティーを確保できる。
- フライアッシュコンクリートの空気連行性は、
  温度依存性が非常に高いという特徴を有する。
  コンクリート温度の上昇によって、
  空気連行性は顕著に低下する。
  但し、混和剤を適切に調整することで対応は十分可能。
- 今回は、ポンプ打設であったため、閉塞しないように
  空気量の確保には、細心の注意を払って対応した。

Ⓒ Fukui-Ube Ready-Mixed Concrete Corporation

【フライアッシュコンクリートの出荷実績】

モデル工事以外の他の工事でも・・・

技術提案案件として・・・
福井県発注工事
浄水場の増設工事
→１６００m³の出荷予定
（現在、納入中）

北陸電力グループさんの発注工事で・・・
日本海発電株式会社発注工事
三国風力発電所風車設置工事
→８０３m³の出荷実績
（納入済み）

Ⓒ Fukui-Ube Ready-Mixed Concrete Corporation

【フライアッシュコンクリートの出荷実績】

国土交通省発注工事（永平寺大野道路）でも・・・

平成２７年度の出荷実績

工事名	構造物の種類	出荷実績（m³）
永平寺東ＩＣ改良工事	橋台	1,１４２
上志比ＩＣ改良工事	Ｕ型擁壁	1,２０３
轟４号橋下部その他工事	橋台	３４６
上志比ＩＣ改良他工事	ボックスカルバート	４４０

平成２８年度の出荷予定（納入中）

工事名	構造物の種類	出荷予定（m³）
轟１号橋他下部工事	橋台・橋脚	2,４００
轟地区改良他工事	橋台	４５０

※ 元々は技術提案で、フライアッシュコンクリートが使用されていたが、
今では温度ひび割れ対策として、国交省が使用を推奨している。

Ⓒ Fukui-Ube Ready-Mixed Concrete Corporation

最後に・・・

環境ラベル

- フライアッシュコンクリートの特性は、研究において、もう十分に把握されている。
  今は、**実際に使いながら、フライアッシュコンクリートに、生コン製造者・施工者・発注者が順応していく段階**にあると思う。
- 環境にやさしいコンクリートであることを示す**環境ラベルを伝票に表示**。
  発注者の方には、**環境ラベル**の適用も評価してほしい。

- 技術提案などを通じてさらなる普及に努めたい。
  フライアッシュ有効利用促進検討委員会の報告書が国交省に対して、非常に役に立っている！

12

フライアッシュコンクリート
事例発表

金沢大学SIPセミナー

平成28年7月29日

梯デンカ生コンクリート株式会社

1

発表内容

①会社概要
②フライアッシュコンクリート出荷実績について
③事例紹介1 民間土木擁壁工事
④事例紹介2 北陸電力鉄塔移設建替工事
⑤事例紹介3 大型商業施設 地下貯留槽工事
⑥事例紹介4 南加賀道路改築工事
⑦事例紹介4 海洋構造物 片山津海岸護岸消波ブロック工事
⑧使用骨材 手取産改良砂について
⑨フライアッシュコンクリートの顧客評価

2

会社概要

プラント能力	平成9年12月製造（SB） 3,000ℓ　強制2軸 最大製造能力　216㎥／h
車両台数	大型 18台　小型 2台 セメントバルク車 2台 ダンプトラック 1台
セメント	デンカ株式会社
粗骨材	手取産
細骨材	手取産
有資格者	コンクリート診断士 1名 コンクリート主任技士 3名 コンクリート技士 4名
高強度コンクリート大臣認定（平成21年7月）	

平成28年6月末日現在

3

フライアッシュコンクリート
出荷実績

施工業者	工事名称	出荷量（㎥）
一松建設（株）	民間土木擁壁工事	7
石川経常共同企業体	北陸電力鉄塔移設建替工事	248
鹿島建設（株）	大型商業施設 地下貯留槽工事	2,900
小川建設（株）	片山津海岸護岸消波ブロック工事	1,376
（株）江口組	南加賀道路改築工事	34.8

平成28年7月12日現在　累計 4565.8㎥

4

事例紹介１　民間土木擁壁工事

弊社、および南加賀エリア内における、FAコン出荷第1号（JIS外品）

平成27年10月

5

事例紹介１　民間土木擁壁工事

平成27年10月

脱型直後、黒い染みが発現したが、数日後、消滅した。

6

事例紹介２　北陸電力鉄塔移設建替工事（石川経常共同企業体）

初のJIS出荷

平成27年11月

長い配管だったが、良好な流動性により、問題なく圧送できた。

7

事例紹介２　北陸電力鉄塔移設建替工事（石川経常共同企業体）

平成27年11月

8

事例紹介 3　大型商業施設 地下貯留槽（周辺造成工事）

NからN+FAに設計変更

初の大量出荷（2,900㎥）

平成27年12月

9

事例紹介 4　南加賀道路改築工事

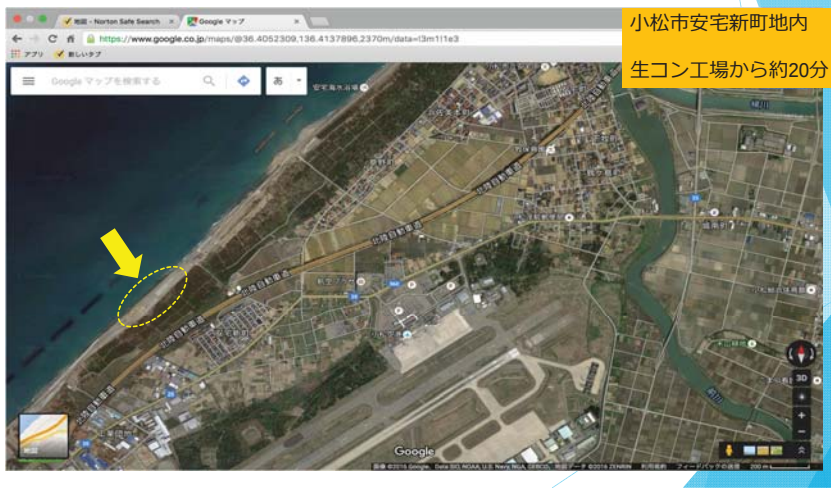
平成28年7月7日

10

事例紹介 5　片山津海岸 護岸消波ブロック

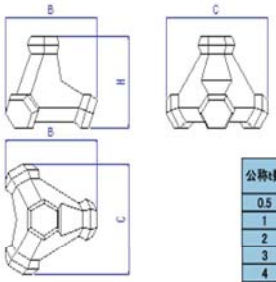
小松市安宅新町地内

生コン工場から約20分



11

事例紹介 4　片山津海岸 護岸消波ブロック



クリンガー 10t
消波・根固ブロック

公称t数	体積 (m³)	参考質量 (t)	型枠面積 (m²)	寸法(m) B	寸法(m) C	寸法(m) H	公称t数	体積 (m³)	参考質量 (t)	型枠面積 (m²)	寸法(m) B	寸法(m) C	寸法(m) H
0.5	0.219	0.500	2.23	0.977	1.074	0.877	15	6.529	15.020	21.45	3.028	3.329	2.719
1	0.438	1.010	3.54	1.231	1.353	1.104	20	8.728	20.070	27.74	3.336	3.667	2.995
2	0.866	1.990	5.58	1.544	1.698	1.387	25	10.872	25.010	32.12	3.590	3.946	3.223
3	1.298	2.990	7.31	1.768	1.943	1.587	30	13.091	30.110	36.35	3.819	4.198	3.429
4	1.739	4.000	8.88	1.948	2.142	1.749	40	17.401	40.020	43.95	4.199	4.616	3.770
5	2.175	5.000	10.31	2.099	2.308	1.884	50	21.774	50.080	51.03	4.524	4.974	4.062
6	2.614	6.010	11.65	2.232	2.454	2.004	60	26.118	60.070	54.47	4.802	5.280	4.311
8	3.480	8.000	14.10	2.455	2.699	2.204	70	30.474	70.090	63.69	5.056	5.558	4.538
10	4.337	9.970	16.33	2.642	2.904	2.372	80	34.810	80.060	69.60	5.285	5.811	4.744
12	5.223	12.010	18.48	2.811	3.091	2.524							

菱和コンクリート工業株式会社HP より
http://www.ryowa-concrete.jp/index.html

12

事例紹介４　片山津海岸 護岸消波ブロック（配合・圧縮強度）

【配合】

配合	種類	水結合材比 W/B(%)	細骨材率 s/a(%)	セメント (kg/㎥)	フライアッシュ(kg/㎥)	水 (kg/㎥)	細骨材① (kg/㎥)	細骨材② (kg/㎥)	粗骨材① (kg/㎥)	粗骨材② (kg/㎥)	混和剤 (kg/㎥)
24-8-40	N+F	52.9	41.2	234	44	147	532	231	715	384	2.780

置換率15.8%

【圧縮強度試験】　（単位:N/㎟）

	3日	7日	28日
3/16～4/11	13.0	20.7	31.1
4/12～4/22	13.0	20.7	31.0
4/25～5/20	12.6	19.9	29.6
5/21～6/2	13.0	20.3	29.7

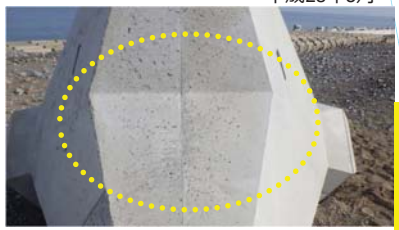
公共工事初出荷（石川県）

事例紹介４　片山津海岸護岸消波ブロック

平成28年5月

事例紹介４　片山津海岸護岸消波ブロック

平成28年5月



施工初期に、軽い表面気泡が発現したが、締固めを丁寧に施工することで解消した。

FAコンの高い粘性により、エントラップトエアが増大、抜けにくくなったことが原因と推察される。

事例紹介４　片山津海岸 護岸消波ブロック（性状変化試験）

呼び方	コンクリートの種類による記号	呼び強度	スランプ又はスランプフロー cm	粗骨材の最大寸法 mm	セメントの種類による記号
	普通	24	8	40	N
指定事項	W／C≦55%				

試験結果

試験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
運搬車番号	155	155	156	156	156					
採取時刻	7:58	8:30	9:25	9:50	10:00					
スランプ(cm)	10.0	8.0	10.0	9.0	9.0					
空気量(%)	5.0	4.4	4.7	4.2	4.3					
コンクリート温度(℃)	23	25	23	25	25					
外気温度（℃）	23	24	26	26	26					
台数	１台目 製造時	１台目 荷卸時	８台目 製造時	８台目 荷卸時	８台目 終了時					

2016年5月24日　製造時及び荷下し地点における性状変化
北陸電力(株)土木部、北電技術コンサルタント(株)による立会い

使用骨材 手取産改良砂について

株式会社トーホーテクノ
http://toho-techno.com/index.htm

ミルブレーカーⅡ ボールミル

新幹線工事を控え、細骨材（細砂）の安定供給を考慮し、材料変更（産地変更）を実施

手取産を使用し、吉光建材株式会社による製造

17

使用骨材 手取産改良砂について

吉光建材株式会社にて

粗骨材製造過程に生じる、10mm以下分をボールミルに投入し、細骨材化する。

18

使用骨材 手取産改良砂について

吉光建材株式会社にて

19

フライアッシュコンクリートの顧客評価

【施工時の特徴】

- やや粘性が高いが、締固めを丁寧に施すことで、施工上の支障にはならない。
- 充填性、ポンパビリティは比較的良好である。
- ブリーディングが少なく、仕上げの時間短縮に繋がる
- 脱型後の収縮ひび割れ等、外観上の目立った問題はない。

【フレッシュ性状】

- スランプロス、空気量ロスについてN、BBと遜色ないレベル。

フレッシュ性状、圧縮強度等について問題なく、より良好なワーカビリティを得るに至った。

FAコンクリートのメリットを積極的にPRし、今後も普及拡大に貢献していきたい。

20

フライアッシュコンクリートのPC構造物への適用
株式会社ピーエス三菱

1. 当社の取組み

プレストレストコンクリート構造物

耐久性向上による長寿命化

環境負荷の低減

分級フライアッシュ

- 塩害に対する耐久性
- ASRの抑制効果
- コンクリート製造時のCO_2排出量の低減
- 未利用資源の有効利用、地産地消

当社は**耐久性が高く**、**環境にやさしいPC橋の提供**を目指し、

混和材(フライアッシュ)を用いたコンクリートの開発に取組んでいます。

2. PC桁適用に向けた研究結果(FA置換率15%)

配合検討：FA置換率15%

表-1 コンクリートの目標性状

項目	目標値
導入時強度（材齢14時間）	35N/mm²
設計基準強度（材齢28日）	50N/mm²
スランプ	18±2.5cm
空気量	4.5±1.5%

表-2 示方配合

配合	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				
			W	C	FA	S	G
FAC	34.8	44.6	150	366	65	762	958

2. PC桁適用に向けた研究結果(FA置換率15%)

圧縮強度試験および乾燥収縮試験

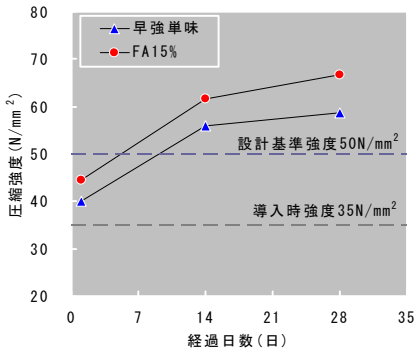


図-1 圧縮強度試験の結果

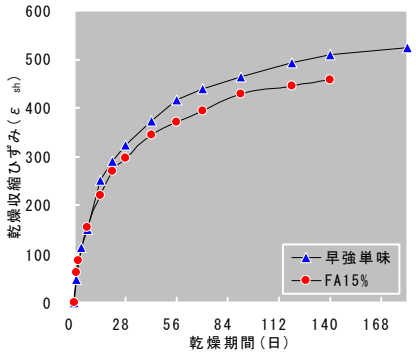
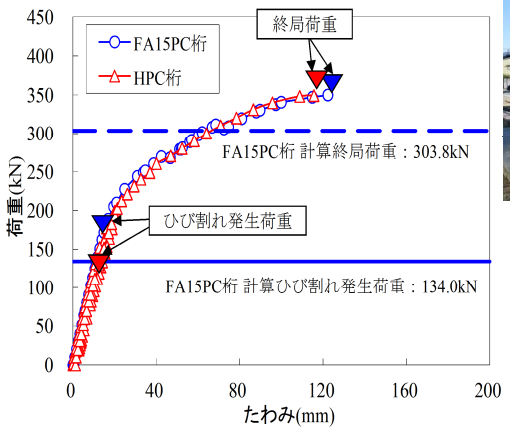


図-2 乾燥収縮試験の結果

2. PC桁適用に向けた研究結果(FA置換率15%)

プレテンションPC桁の構造特性

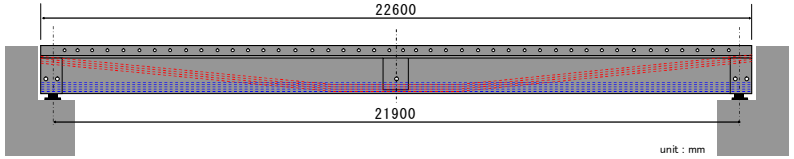


当社七尾工場にて

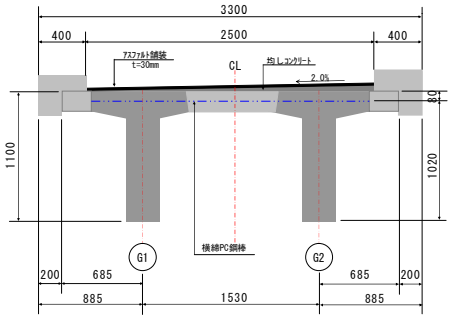
FA15%置換したPC桁は
早強単味と同等の構造特性を
有する

3. FAC(フライアッシュコンクリート)のPC橋への適用事例

プレテンションPCT桁



宮坂橋歩道橋（石川県）
平成26年8月完成
橋長：22.7m
支間：21.9m
幅員：3.3m



5/10

3. FAC(フライアッシュコンクリート)のPC橋への適用事例

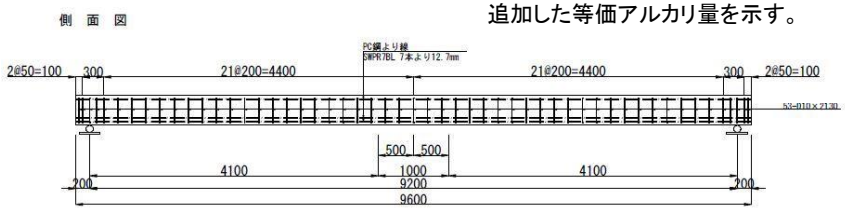
6/10

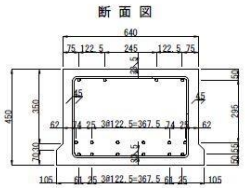
プレテンション方式PC試験桁
金沢大学SIP　WG1（ASR）

1. PC試験桁の製作

PC鋼材配置および配筋図

【AS09　JISプレテン桁】 V=2.8m³/本
※配合名末尾の数値は、1m³あたりの追加した等価アルカリ量を示す。





No.	配合名	W/B	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m³)					
					W	B		S	G	NaCl
						C	FA			
①	H-ASR10	38.7	12±2.5	4.5±1.5	150	388	-	822	955	18.87
②	H-ASR13	38.7	12±2.5	4.5±1.5	150	388	-	822	955	25.48
③	FA-ASR13	34.8	18±2.5	4.5±1.5	150	366	65	770	955	25.48

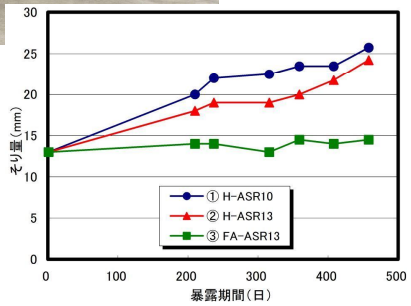
7/10

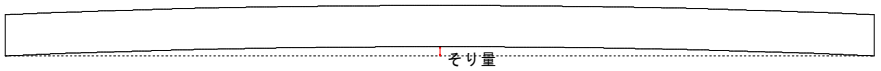
2－1. PC試験桁の暴露（たわみ変化）

①	H-ASR10
②	H-ASR13
③	FA-ASR13

平成27年4月より
金沢大学角間キャンパスで暴露開始

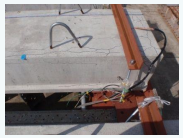
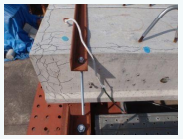
試験体側面の両端部間に水糸を張り、
スパン中央のそり量を測定





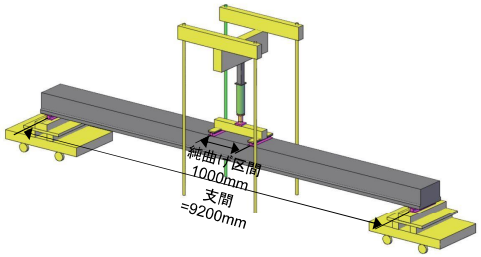
8/10

2－2. PC試験桁の暴露（ひび割れ発生状況）

	桁端部　断面		桁端部　側面	
① H-ASR 10				
② H-ASR 13				
③ FA-ASR 13				

撮影日：H28.4.2（製作1年後）

3. PC試験桁の載荷試験概要



純曲げ区間の破壊状況

試験場所・年月		ピーエス三菱七尾工場		金沢大学 H28.11（予定）	
桁種別		FA15PC桁	HPC桁	② H-ASR13	③ FA-ASR13
圧縮強度(載荷時)		76.7N/mm^2	59.8N/mm^2		
ヤング係数(載荷時)		35.3kN/mm^2	32.0kN/mm^2		
ひび割れ発生荷重	計算値	134.0kN	120.6kN		
	実験値	171.7kN	147.0kN		
終局荷重	計算値	303.8kN	296.5kN		
	実験値	**354.0kN**	**349.0kN**		

@金沢大学レクチャーホール
0　年　月　9日

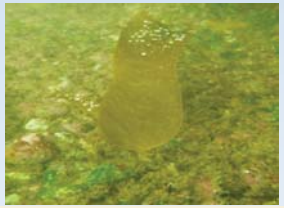
フライアッシュ高含有ポーラスコンクリートの藻場造成材としての評価及び藻場造成技術の研究

金沢大学　理工研究域
サステナブルエネルギー研究センター
三木　理

フライアッシュ(FA)高含有ポーラスコンクリートの藻場造成材としての評価及び藻場造成技術の研究

■ 体制：一般財団法人北陸産業活性化センター研究助成、 大学-企業共同研究
■ 期間：平成25年度～平成29年度（予定）

←安山岩とﾌﾗｲｱｯｼｭを用いたポーラスコンクリート製の藻場造成材を　5年　月に能登沿岸に設置し、研究を開始。



藻場造成材上でのカジメ属幼体の生長を確認（H26.10 ）

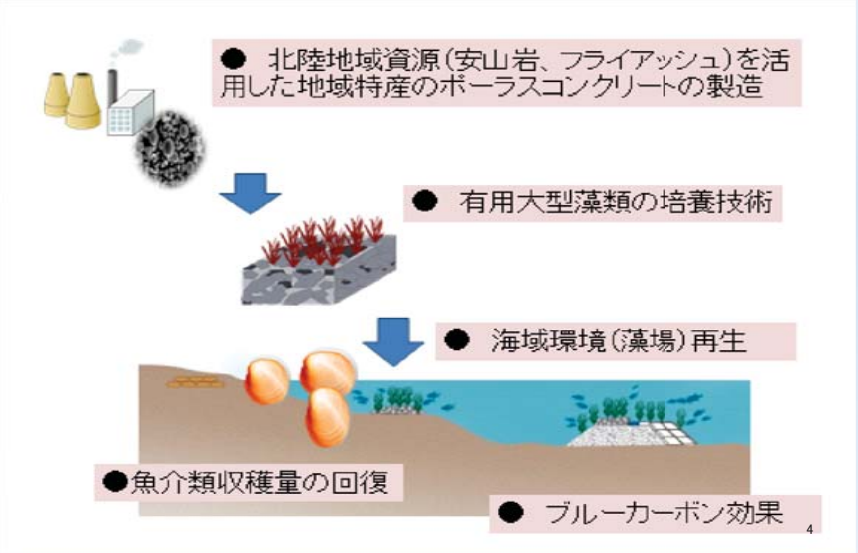
3

■能登半島におけるアワビなどの漁獲量の急速な減少
■カジメ属（現地では「かじめ」と呼称）から構成される藻場の減少　（アワビ、サザエ、ウニ等の餌植物）
⇒輪島市での藻場再生活動の活発な展開

図　輪島市沿岸で採取したカジメ属（クロメ）

・11月頃、成熟。遊走子を放出 ⇒岩などに付着。配偶体を形成。
・春先から急速に生長 (胞子体)
・寿命3-4年の多年生

4



フライアッシュ（FA）高含有ポーラスコンクリート

5

FA高含有ポーラスコンクリート（セメント置換率：20-40%）
：平版コンクリートよりも、ホンダワラ類幼胚の着底・発芽や幼体の生長が優れていることを報告　★コンクリート工学年次論文集３　１，　０４）

図　平板コンクリート（左）とFA高含有ポーラスコンクリート（右）

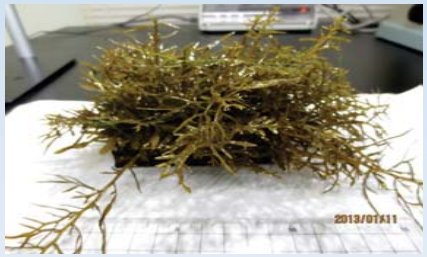


図　FA高含有ポーラスコンクリート上で生長したホンダワラ類

5

フィールド実験の目的

図　フィールド実験用藻場造成材
（平成25年11月に海域設置）
：側面に、FA高含有ポーラスコンクリートなど
4種類のコンクリートパネルを貼り付け

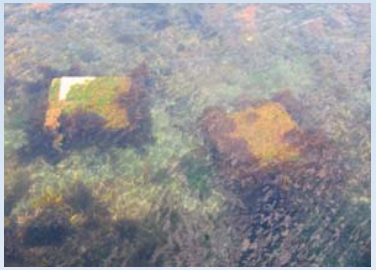
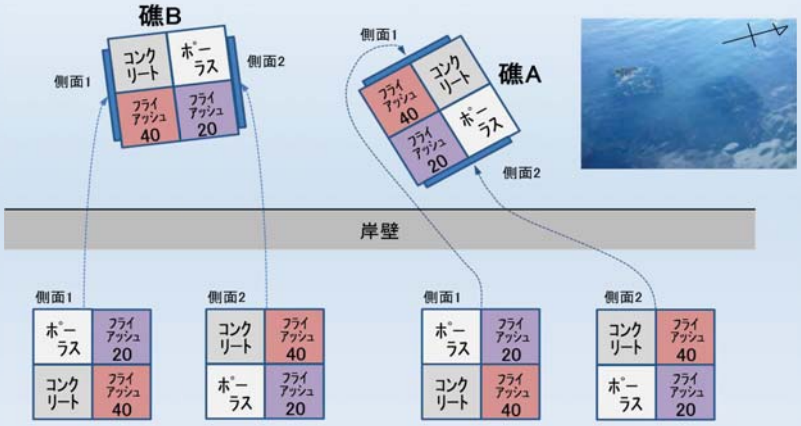


図　海域設置後の藻場造成材

6

フィールド実験方法



含まず

7

図　潜水調査

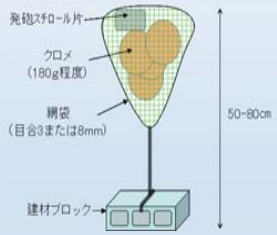


図　スポアバッグ＊

	実施日	内容
第1回	2014/10/26	潜水調査による着床状況の確認　カジメ属7個体
第2回	2014/11/25	スポアバッグ方式＊によるカジメ属の播種（着床促進）
第3回	2015/5/25	潜水調査による着床状況の確認　カジメ属14個体
第4回	2015/11/8	潜水調査による着床状況の確認　カジメ属13-17個体
第5回	2016/6/3	潜水調査による着床状況の確認　カジメ属16個体

8

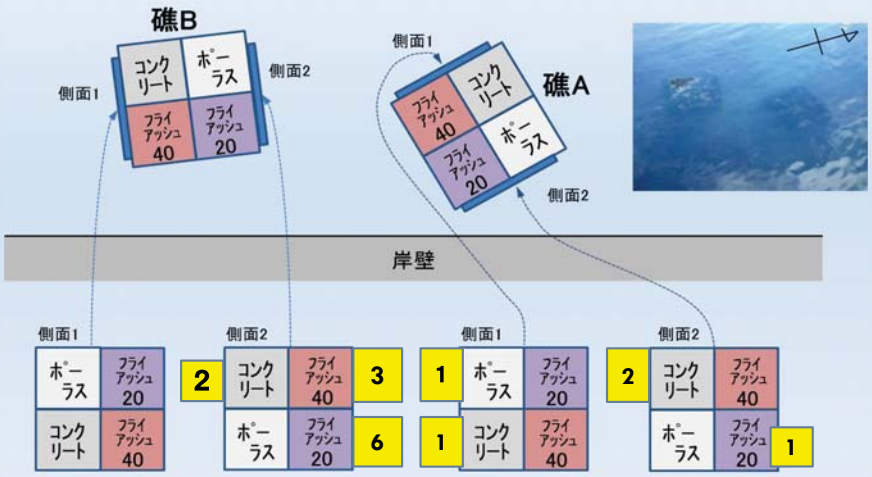


図　各パネル上でのカジメ属の着床数（ 0　年 月3日）

カジメ属の着生状況(2016年6月)

1）礁Bの側面2 に集中 （波浪の影響？）

11個体/ 16個体

2） フライアッシュ系 ： 10個体/ 16個体

非フライアッシュ系 ： 6個体/16個体

3） 表層 ： 0個体/16個体 （～0. 5m）

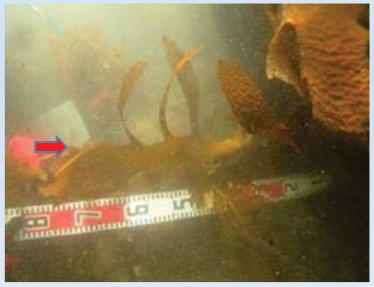
中層 ： 8個体/16個体 （0. 5～1m水深）

深層 ： 8個体/16個体 （1～1. 5m水深）

B/側面2/フライアッシュ20%）

1年後
2014/10/26
（平均葉長:7.2cm、n=3）

2年後
2015/11/8
（平均葉長:27. 4 cm、n=5）



2. 5年後
2016/6/3
（平均葉長:38. 3cm、n=6）

撮影: 0 5 5 5 （ .5年目）

3

(1)能登地域にはカジメ属として、ツルアラメとクロメが混在している。本実験において生長しているカジメ属は、仮根の形状から南方系のクロメであることが明らかになった。

(2)クロメに加え一部のホンダワラ類の加入も見られており現在はカジメ属、ホンダワラ類などの大型褐藻(多年生)からなる藻場段階まで遷移が進んでいる。

13

4

(3)クロメは、2016年6月で計16個体確認された。個体の大半は葉長が30～50cmの3年目個体であり、順調な生長が認められた。

(4)クロメの着床は、礁Bの側面2に集中しており(11個体/16個体) 波浪等の影響があることが推定された。

(5)FA高含有ポーラスコンクリート系のパネルにクロメの着床数が多い傾向があった(10個体/16個体)。

(6)水深0.5mのパネルにはクロメの着床、生長は困難であった。

14

5

	H25 年度	H26 年度	H27 年度	H28 年度	H29 年度
フィールド実験	藻場材の製造と設置	一年目海藻	二年目海藻 一年目海藻	三年目海藻 二年目海藻 一年目海藻	(四年目流出?) 三年目海藻 二年目海藻 一年目海藻
		潜水調査(2回)	潜水調査(2回)	潜水調査(2回)	潜水調査(2回) 藻場材引き上げ調査、& 撤去

15