金沢大学 SIP
（戦略的イノベーション創造プログラム）

平成 30 年度 WG1（塩害 & ASR 部会）
研究成果報告会

平成 30 年 9 月 7 日(金)

KKR ホテル金沢

北陸 SIP シンポジウム

WG1（塩害 & ASR 部会）研究成果報告会

「北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの地域実装」

主　催：北陸 SIP
共　催：北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュ有効利用促進検討委員会
後　援：JCOAL，北陸道路研究会材料部会，北陸３県コンクリート診断士会

日　時：平成３０年９月７日（金）１４時～１７時（１３時３０分より受付開始）
場　所：ＫＫＲホテル金沢（石川県金沢市大手町２－３２）３階鳳凰

◇シンポジウムプログラム（14 時 00 分～17 時 00 分）
14:00～14:05　開会挨拶　金沢大学 鳥居 和之特任教授

フライアッシュコンクリートの最近の話題（講演 20 分，質疑 5 分）
14:05～14:30　講演１　(一財)電力中央研究所　山本 武志氏
「JCOAL　電力等によるフライアッシュの利用拡大に向けた取り組み」
14:30～14:55　講演２　鹿島建設㈱ 横関 康祐氏
「フライアッシュ・石炭灰の利活用におけるゼネコンの取り組み」
14:55～15:20　講演３　金沢大学 鳥居 和之特任教授
「フライアッシュコンクリートの標準化による ASR 対策の意義と課題」

15:20～15:30　休憩

北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの地域実装（講演 15 分，質疑 5 分）
15:30～15:50　講演４　北陸電力㈱ 参納 千夏男氏
「北陸電力におけるフライアッシュの安定供給と品質管理」
15:50～16:10　講演５　富山県立大学　伊藤 始教授
「北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの利活用の実績」
16:10～16:30　講演６　㈱日本ピーエス　中野 一政氏
「地方道路橋へのフライアッシュコンクリートの適用実績」
16:30～16:50　講演７　㈱ピーエス三菱 小林 和弘氏
「北陸新幹線上部工へのフライアッシュコンクリートの適用実績
16:50～16:55　閉会挨拶　富山県立大学　伊藤 始教授

◇情報交換会
KKR ホテル金沢　17:00～19:00

電力、Jコール等による
フライアッシュの利用拡大に向けた取り組み

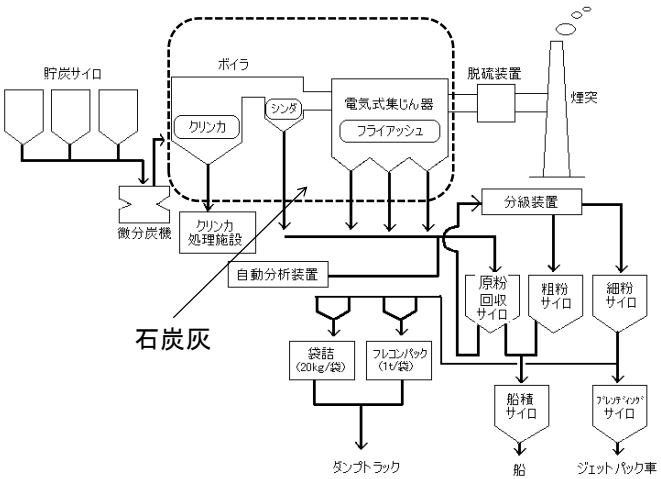
北陸SIPシンポジウム
WG1（塩害＆ASR部会）研究報告会
「北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの地域実装」
平成30年9月7日

一般財団法人　電力中央研究所　地球工学研究所
上席研究員　山本武志

電力中央研究所

CRIEPI

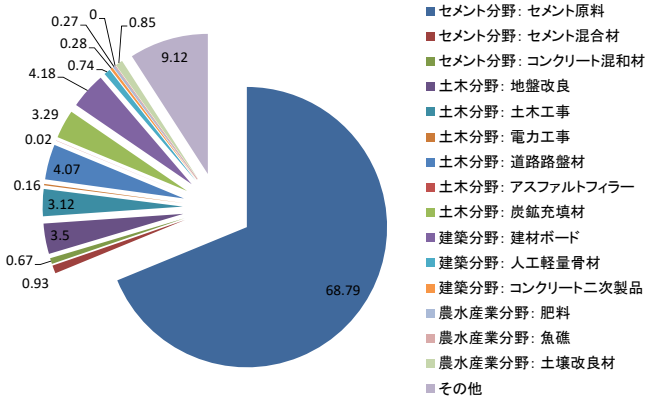
フライアッシュとは？
ー石炭火力発電所におけるフライアッシューー



フライアッシュを含む石炭灰の発生量と利用状況

- 2016年度の総排出量：12,337千トン、利用率は、99.3%
- 2016年度の日本の石炭灰有効利用分野は68.8%がセメント製造用原料として利用されている。

2016年度石炭灰分野別有効利用率（%，合計12,250千トン）



米国でのFA/石炭灰　排出・利用実態

American Coal Ash Association　Phone: 720-870-7897
38800 Country Club Drive　Fax: 720-870-7889
Farmington Hills, MI 48331　Internet: www.ACAA-USA.org
Email: info@acaa-usa.org

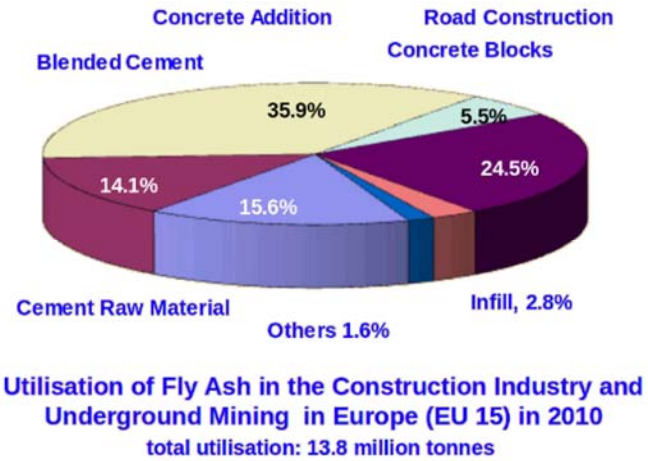
2015 Coa

Beneficial Utilization versus Production

2015 CCP Categories	Fly Ash	Bottom Ash	Boiler Slag	FGD Gypsum
Total CCPs Produced by Category	44,365,587	12,010,425	2,228,205	32,661,536
Total CCPs Used by Category	24,062,786	4,819,205	1,866,912	17,058,178
1. Concrete/Concrete Products /Grout	15,737,238	570,092	33,290	409,134
2. Blended Cement/ Feed for Clinker	3,629,151	1,130,802	0	1,649,934
3. Flowable Fill	107,263	9,106	0	0
4. Structural Fills/Embankments	1,277,356	1,561,531	305,770	1,221,865
5. Road Base/Sub-base	178,281	311,779	21	0
6. Soil Modification/Stabilization	216,483	66,253	0	8,053
7. Mineral Filler in Asphalt	52,784	0	14,176	0
8. Snow and Ice Control	0	527,695	77,935	0

コンクリート用：ASTM C618準拠、45μm over 34%以下、分級機あり、一部静電分級

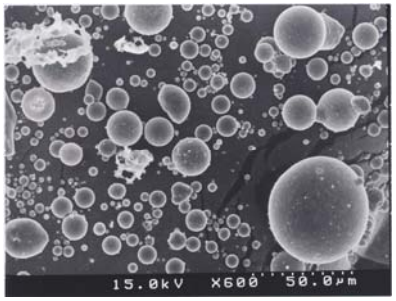
欧州でのFA/石炭灰　排出・利用実態

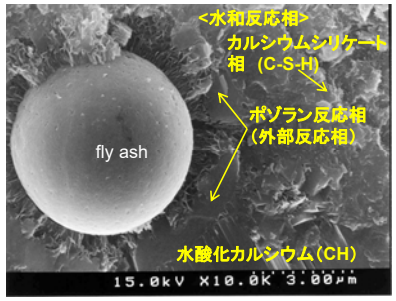


注）4割程度は炭鉱充填，埋立処分は僅か

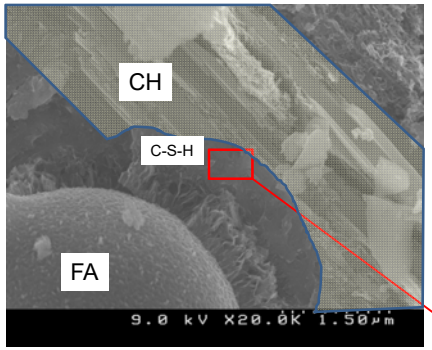
フライアッシュのコンクリート用混和材利用でのメリット

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）



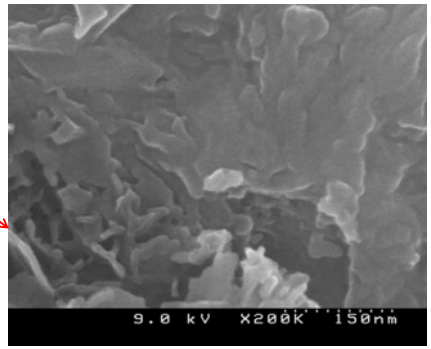


ポゾラン反応では、ポルトランダイト（水酸化カルシウム）のC-S-H化も生じる



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）

低Ca型のC-S-H



山本武志　他
（電力中央研究所報告　N06018）

利用拡大に向けた組織的な取り組み
－石炭エネルギーセンターにおける取組み－

石炭灰利用拡大検討委員会 （2017年度）

委員構成
委員長　鳥居和之（金沢大学）
委員　福留和人（石川高専）　倉岡進輔（東京電力FP）
鍵本公之（電源開発）　浅田素之（清水建設）
山田勝年（ジェイペック）　峯　秀和（関電パワーテック）
山本武志（電中研）　今木　圭 (電事連)

オブザーバー　経産省資源エネルギー庁、NEDO
事務局　石炭エネルギーセンター

1.石炭エネルギーセンターとしての研究開発中長期ロードマップ策定に向けた検討
・インフラと共に輸出する選択肢もあるが、コンクリート用として国内シェアを広げるべき
・土木資材のうち、石炭灰混合材料としての需要は大きいので、利用量拡大に向けた取り組みを行うべき

2.ホームページの改善に向けた検討
・ハイボリュームな石炭灰QA集案の作成（2018年度中にupの予定）

利用拡大に向けた組織的な取り組み
ー産官学協力体制による取組みー

産官学の共同体によるフライアッシュコンクリートを取り扱う各種指針の制定

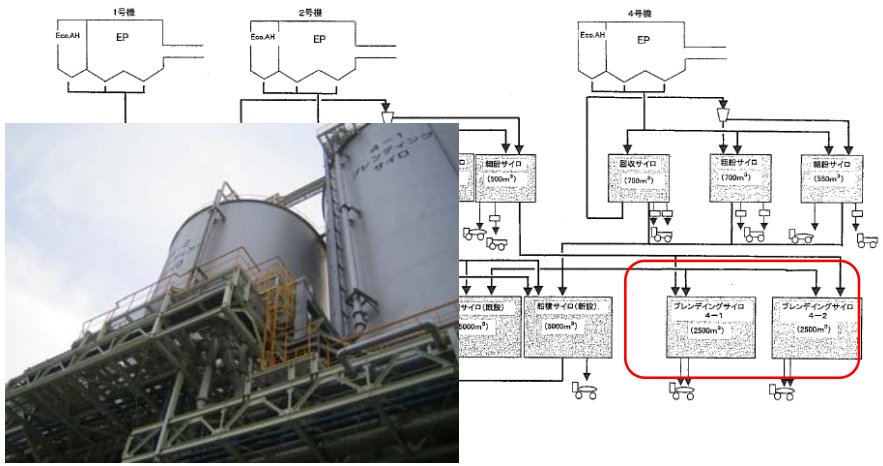
- 北陸地方では、コンクリート構造物の長寿命化と環境負荷低減を目指して「北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会」が2011年1月に組織され，「北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造および施工マニュアル（案）」が2014年に刊行、現在も活動中
- 北陸新幹線の延伸工事で、鉄道運輸機構（JRTT）も同様な理由（ASR抑制、ブリーディング抑制）で工事示方書にフライアッシュの使用を書き入れた（2017年）。
- コンクリート工事発注時にフライアッシュを結合材として扱えるよう，「長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針」が長崎県土木部から2016年に刊行
- 同様にフライアッシュを結合材として扱えるよう，「四国版フライアッシュを結合材として用いたコンクリートの配合設計・施工指針」が土木学会四国支部から2016年に刊行

利用拡大に向けた組織的な取り組み
ー電力における取組みー

品質安定化処理

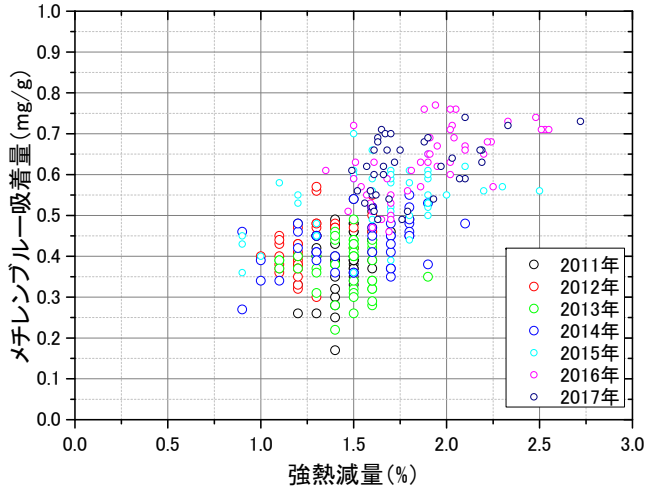
質と量の確保（品質変動幅の抑制）

→ブレンディングサイロ・中継サイロの活用



（北海道電力　苫東厚真-4号ユニット）

1発電所におけるフライアッシュの品質変動調査事例



		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
強熱減量（%）	平均値	1.5	1.3	1.5	1.5	1.7	1.9	1.8
	標準偏差	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3
メチレンブルー吸着量（mg/g）	平均	0.40	0.43	0.37	0.43	0.54	0.62	0.62
	標準偏差	0.08	0.06	0.06	0.06	0.08	0.09	0.07

（北海道電力提供データを基に作成）

最近のFAコンクリート施工事例

富山新港LNG火力発電所でLNG受入桟橋にFA混和PC床版を設置した工事例
（北陸電力提供，2016年撮影）

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。

利用拡大に向けた組織的な取り組み
ー生コン生産者の取組みー

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

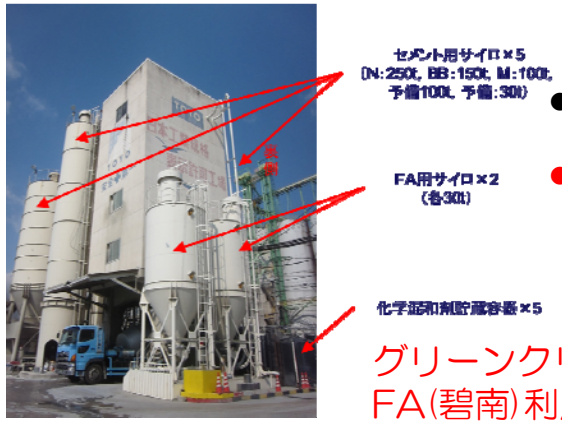
- セメント（普通，早強，中庸熱，高炉Ｂ）
  ＋ FAⅡ種（碧南）＋ 高炉スラグ細骨材（新日鐵住金）
- ➢ <u>セメント量は通常コント同じ</u>，細骨材量を低減してＦＡ混和
- ➢ <u>細骨材（低品位な砕砂）の半分をBFS細骨材</u>で代替（骨材枯渇，良質骨材の価格高騰，BFS細骨材が安価に手に入る工場立地 ⇒ コストメリットの創出）
- ➢ メビウスマーク取得
- ➢ 特長：低環境負荷・ひび割れリスク低減・高耐久

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

利用拡大に向けた組織的な取り組み
ー日本フライアッシュ協会の取組みー

取組みの一例：JIS改定作業

目的：JIS管理項目を評価する方法の合理化

① 活性度指数の迅速評価法のJIS化

- 電中研開発-API法(Assessed Pozolanic-activity Index)
- ➢ 活性度指数の評価時間の短縮、出荷品の同時ラベリングによる品質保証

② Si等元素量の迅速・高精度定量法のJIS化

- XRF-ガラスビード・検量線法
- ➢ JIS従来法の代替手法として併記、ISOにおける3成分含有量（Si/Al/Fe）規定への備え

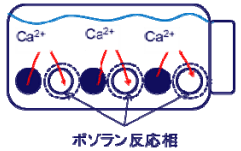
API法の効果

電中研開発-API法の概要

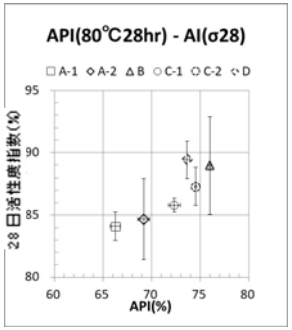
＜材料＞
FA=2.0 g，セメント=2.0 g，水=80 g

① 80℃-28hボトル内で促進反応

② Ca濃度減少率をAPI値として算出（ICPで分析3h程度）

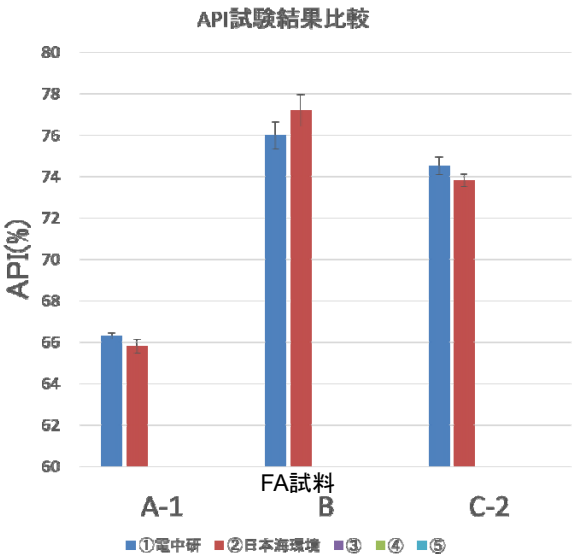


$$API(\%) = \left(\frac{([Ca(C)]-[Ca(F+C)])}{[Ca(C)]}\right)\times 100$$



従来評価法（1～3ヶ月） → 試料採取から結果が出るまで 2営業日

FA協会におけるAPI法のクロスチェック試験（2018年8月時点）



終わりに　ー耳にしたお言葉ー

- フライアッシュの用法（環境、要求性能に応じた配合調整）に留意し、使い慣れることで高耐久コンクリートを得ることができる。
- 品質変動の影響を懸念する。
  →生産者側でブレンディングサイロを進めるべき。
  併せて混和剤の使い方を含めた使用方法を指南できるFA販売者を育成するべき。
- 使ってみたいが、近くの供給元が無い。
  →特に首都圏（供給に向けて検討中）
  一方、FA利用に勢いがある地区（北海道、北陸、中部、関西）では供給量確保が心配事。需要の高い地域では、電力会社の側で中継サイロの設置を進め、供給可能範囲を拡大している。需要を高める策を講じるべき。

100年をつくる会社 鹿島

フライアッシュ・石炭灰の利活用における ゼネコンの取り組み

鹿島建設
横関康祐

1

2 本日のご紹介内容

フライアッシュは，従来の土木工事ではダム・トンネル工事にスポット的に利用　⇒　その他の新しい取り組み

- 混合セメントの初期強度改善技術
  『生産性向上コンクリート』
- CO_2排出量ゼロ以下の環境配慮技術
  『CO_2-SUICOM』
- 汚染水の海域への拡散抑制技術
  『長距離水中流動充填材 Hilo』

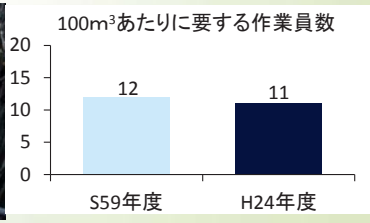
生産性向上コンクリート

3

開発の背景

4 鉄筋コンクリート躯体構築の生産性

- コンクリート施工人員は，数十年間変わっていない
  - 施工方法が進化していない（技術）？
- コンクリート工は「不採算工種」
  - 現場作業の生産性が異なる（積算）？
- 作業員の減少，技能低下が見込まれる
  - 労働力不足，安全性の低下（雇用）？



少ない人数で早く作ることができれば上記は解決する

開発の着眼点

5 コンクリート工における生産性向上

強度を早期に発現させ，

支保工撤去・解体※までの日数を短縮

※コンクリート標準示方書では14N/mm²

頂版の支保工例

頂版支保工が必要な構造物の例（外環道）

生産性向上コンクリート

6 混合セメント

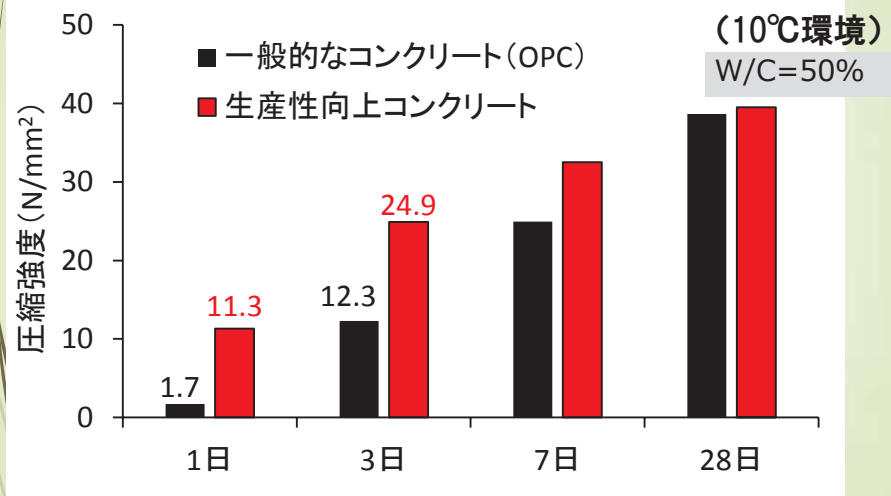
品質を確保しながら，打設後3日目までの初期強度発現性を向上し，**脱型までの期間短縮（生産性向上）**を図る

使用セメント	工程	品質	○×の要因
高炉ｾﾒﾝﾄB種・ﾌﾗｲｱｯｼｭｾﾒﾝﾄB種	×	○	脱型時期が遅くなる
早強ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ	○	×	温度ひび割れが懸念
・早強ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ ＋ﾌﾗｲｱｯｼｭ ・高炉ｾﾒﾝﾄB種 ・ﾌﾗｲｱｯｼｭｾﾒﾝﾄB種 **＋早強剤※**	○	○	ｾﾒﾝﾄの混和材置換 早強剤の膨張効果 →品質確保・向上 早強性付与 →工程短縮

※混合セメントの初期強度改善･品質向上技術

生産性向上コンクリート

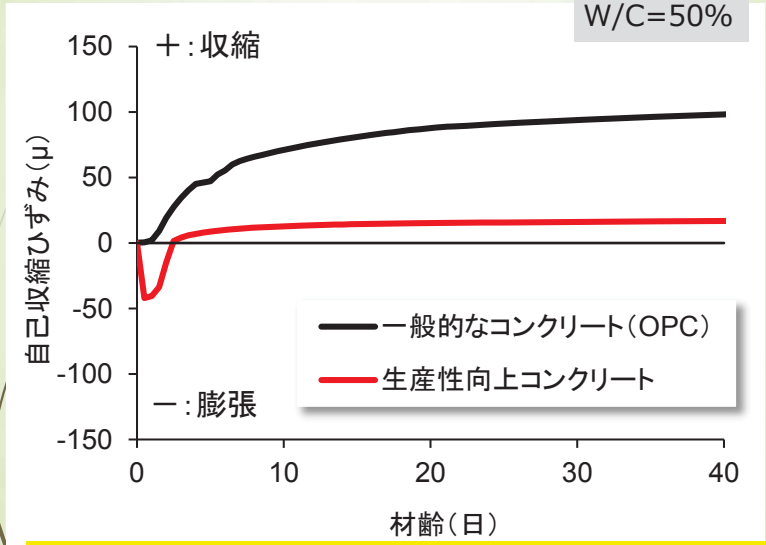
7 強度発現性



初期強度発現性が高い→脱型までの工程短縮

生産性向上コンクリート

8 収縮特性

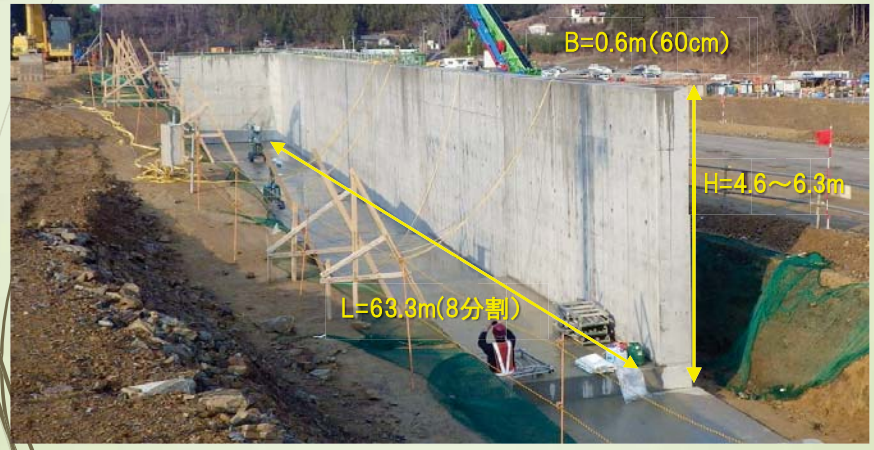


初期に膨張→ひび割れ抑制効果が期待

生産性向上コンクリート

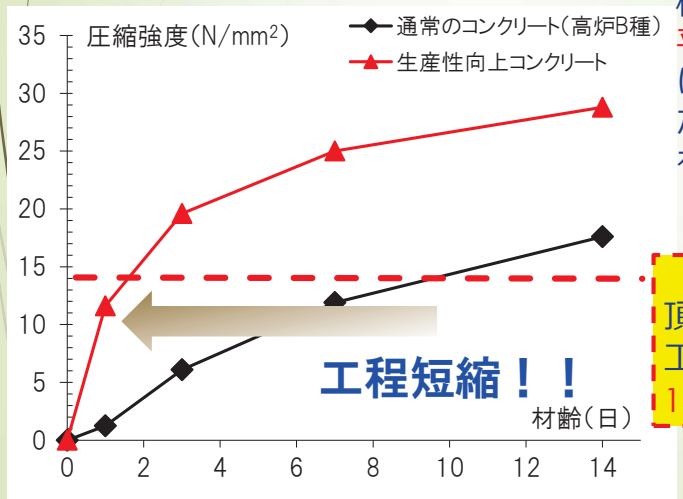
9 現場適用事例

- 東北地方の工事の宅地造成擁壁に適用
- 施工時期は2月末～3月初旬（施工時外気温１～4℃）
- 設計配合は24-8-20BB



生産性向上コンクリート

10 現場での強度発現性



極寒期（計測期間平均気温4～5℃）においても，優れた初期強度発現性を確認

【コン示】
頂版施工時の支保工解体可能強度
14N/mm²

生産性向上コンクリート

11 工程短縮効果

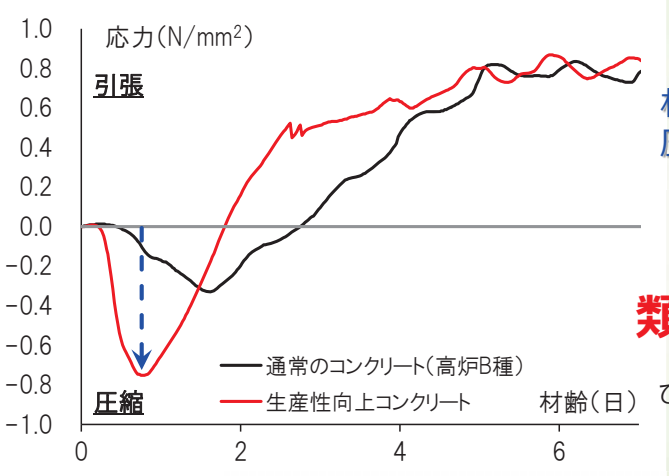
頂版の支保工を解体できるまでの日数(14N/mm²)

	冬季（2月：東北）	秋季（11月：四国）
一般的なコンクリート	9日	3日
生産性向上コンクリート	2日	1日
【短縮効果】	7日	2日

※寒い時期ほど工程短縮に効果的

生産性向上コンクリート

12 躯体に発生する応力



材齢初期に大きな圧縮力を付与

↓

膨張材に類似した効果

温度ひび割れ抑制
ひび割れ指数20%低減

『初期強度発現性（生産性）』と『温度ひび割れ抑制（品質）』を両立できる技術

CO_2-SUICOM

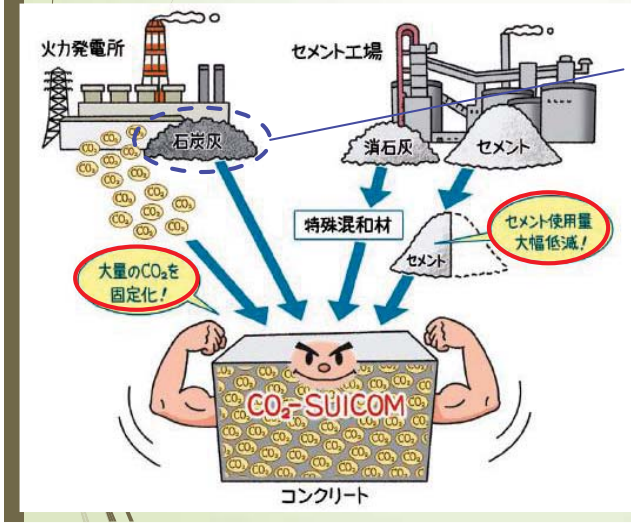
13

CO_2-
Storage
Under
Infrastructure by
Concrete
Materials

CO_2-SUICOM（スイコム）

14

排気ガスに含まれるCO_2をコンクリートに大量に吸い込む（スイコム）とともに，固定/貯留させる
環境配慮型コンクリート技術



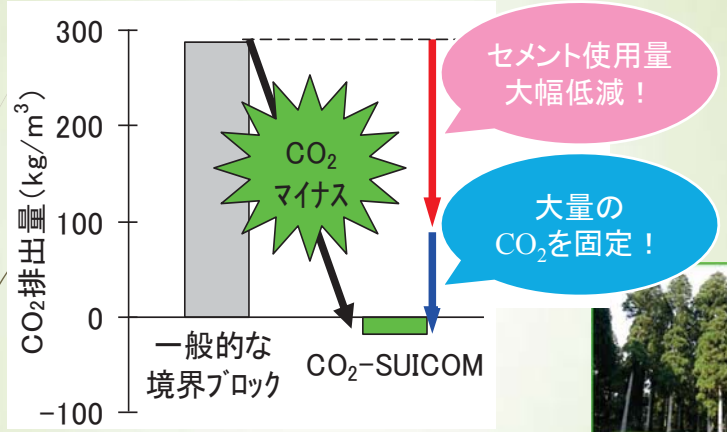
粉体の増量材として
石炭灰（非JIS灰）を
100～200kg/m³使用

100年をつくる会社 鹿島
Energia 中国電力
Denka
LANDES

CO_2-SUICOM（スイコム）

15

CO_2排出量



■これらの技術の組合せにより、コンクリート製造時の**CO_2排出量ゼロ以下を達成**
（世界初）

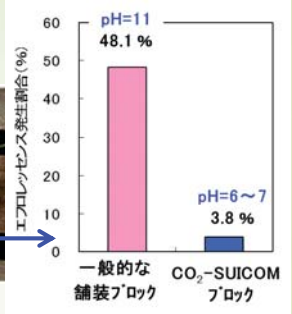
CO_2-SUICOM（スイコム）

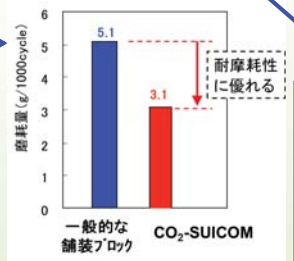
16

コンクリートの特徴

- 圧縮強度は普通コンと同等
- 乾燥収縮量が少ない（ほぼゼロ）
- エフロレッセンスの発生を抑制
- 低アルカリで環境（生物・植物）に優しい
- 耐摩耗性に優れる
- Caなどの溶出がない
- **石炭灰の有効利用**
  100～200kg/m³

一般製品





植物生育能力への影響

CO_2-SUICOM(スイコム)

17 適用事例

土木・建築の
様々なコンクリート
二次製品に適用
(2011年～)

境界ブロック

パネル部材

太陽光パネル基礎

フェンス基礎ブロック

舗装ブロック

CO_2-SUICOM二次製品

18 最近のトピック

褄型枠に着目

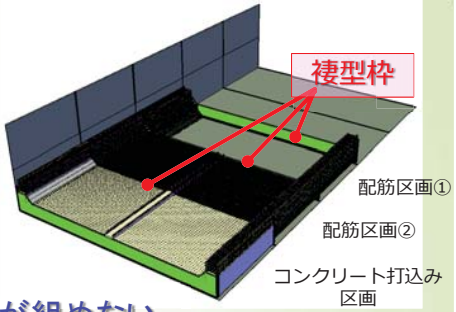
合板(コンパネ)を用いると

・**脱型に手間**がかかる

・脱型完了まで，**隣接箇所の鉄筋が組めない**

⇒脱型不要で，残置可能な**CO_2-SUICOM埋設型枠**

→工期・人工が3/4～2/3(ex.100mのボックスカルバート)



合板型枠を用いた場合

CO_2-SUICOM埋設型枠を用いた場合

長距離水中流動充填材 Hilo

19

High leveling for Long distance

長距離水中流動充填材 Hilo

20 海水配管トレンチ汚染水処理

トレンチ内に汚染水が滞留し，周辺への漏えいリスクを抱え，**一刻も早い汚染水の除去が必要となり，充填により置き換えることが命題**となった。

- **トンネル内をドライアップできないため、水中充填を行う(施工)**
- **長期安定性の観点から「セメント系の充填材」で置換え(品質)**
- **充填作業にかかわる被ばく線量を最小限とする(安全)**

長距離水中流動充填材 Hilo

21 充填材の要求性能

- 水中での85mの**流動性**
- **レベリング性**
- 流動先端部の物性が低下しない（**材料分離**）
- 水のアルカリ濃度を上昇させない**水中不分離性**
- 内部設置物（ケーブルや配管）に廻り込む**自己充填性**
- **ノンブリーディング性**
- 軟岩相当の**透水係数**（1×10^{-7}cm/s以下）
- 軟岩相当の**強度**（2N/mm^{2}以上：5N/mm^{2}程度）
- 発熱，収縮に対する**体積変化**が小さい

長距離水中流動充填材 Hilo

22 充填材の配合

水セメント比 W/C（%）	水粉体容積比 Vw/Vp（%）	単位量（kg/m^3）				
		水 W	高炉B種 C	フライアッシュ F	特殊水中不分離性混和剤 VT	高性能減水剤 SP
189	194	660	350	513	29.7 ※（水×4.5%）	38.8 ※（粉体×4.5%）

※ 水の一部として計量

フライアッシュの役割

- ☑ 水和熱による温度ひびわれの抑制
  → ひび割れによる遮水性能の低下を回避
- ☑ 自己収縮による体積変化の抑制
  → 隙間生成による遮水性能の低下を回避
- ☑ 汚染水のアルカリ濃度の抑制
  → 汚染水処理設備の大敵を抑制
- ☑ 強度の調整
  →周辺地盤（軟岩）相当に調整
- ☑ 副産物有効利用

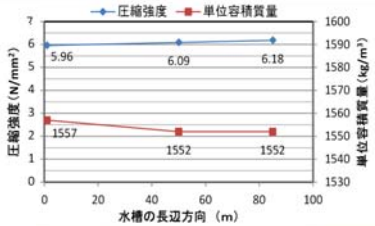
長距離水中流動充填材 Hilo

23 試験後の上部，内部充填状況，物性

上蓋撤去後の状況
（幅：1m×高さ1m×長さ100m）

埋設物周りへの充填状況
（86m地点）

- 天井面：水みちとなるような連続的な空気溜まりはし
- 配管周囲：密実に充填
- ケーブルトレイ内側：密実に充填
- 強度，単位容積質量：80m低下なし



柳井，日比，西郡，佐藤：コンクリート工学，Vol.54，No.4より

長距離水中流動充填材 Hilo

24 コストダウンとしての非JIS灰の適用

◆ スクリーンポンプ室の閉塞が対象

◆ 必要流動距離は最大30m（**要求品質の緩和**）
⇒できるだけ安価で，環境にやさしい材料選定

①混和材として**石炭灰（非JIS灰）**を活用
②プラント等の**洗浄水を回収**し，練混ぜ水に再利用

長距離水中流動充填材 Hilo

25 コストダウン型Hiloの物性

400±30mm

佐藤，相馬，柳井，庄司：土木学会第71回年次学術講演会より

【JIS灰】

- 流動性は低下するが，30m程度の水中流動は可能
- 水中不分離性，圧縮強度問題なし
- 品質のばらつきは製造管理でカバー可能（現場にて実証）

350～400mm

【非JIS灰】

340mm

【非JIS灰】＋【洗浄水】

おわりに

26 ﾌﾗｲｱｯｼｭ/石炭灰利活用の新たな取り組み

- 混合セメントの初期強度改善技術(生産性)
- CO_2排出量ゼロ以下の環境配慮技術(環境)
- 汚染水の海域への拡散抑制技術(品質・安全)

今後も，環境対策，品質向上，生産性向上を目指したフライアッシュ・石炭灰の有効利用に関する技術開発を進めていきます。

フライアッシュコンクリートの標準化によるASR対策の意義と課題

2018年9月7日

金沢大学理工研究域地球社会基盤学系
特任教授　　鳥居 和之

（於　KKRホテル金沢）

北陸SIPの活動

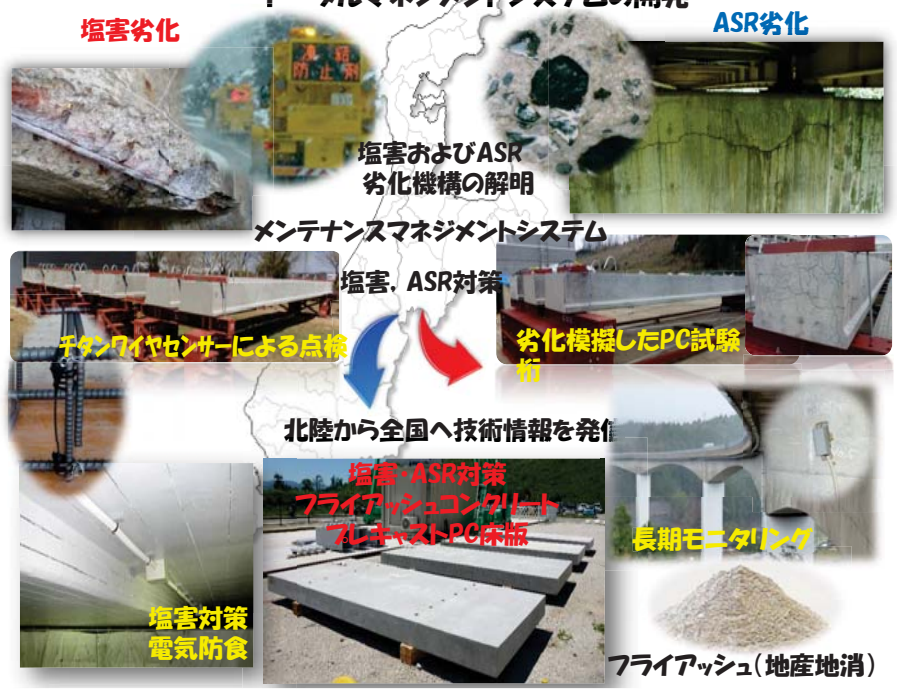
「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発」

研究責任者　鳥居和之（金沢大学）

研究開発グループ　　：金沢大学　　深田宰史，久保善司，中山晶一朗
共同研究グループ（１）：金沢工業大学　　宮里心一，田中泰司，花岡大伸
共同研究グループ（２）：石川工業高等専門学校　　津田誠，寺山一輝
共同研究グループ（３）：長岡技術科学大学　　宮下剛
共同研究グループ（４）：福井大学　　鈴木啓悟
共同研究グループ（５）：富山県立大学（H29～）　伊藤始，内田慎哉，立花潤三
共同研究グループ（６）：長岡工業高等専門学校（H30～）　井林康

- 早期劣化に対応した維持管理の標準化，統一化
- 若手研究者・技術者の育成（コンクリート診断士会との連携）
- 北陸道路メンテナンス会議の機能強化
- 北陸地方の産官学民の連携と全国へのネットワーク化
- 北陸地方の大学拠点（核）としての地域実装支援の推進

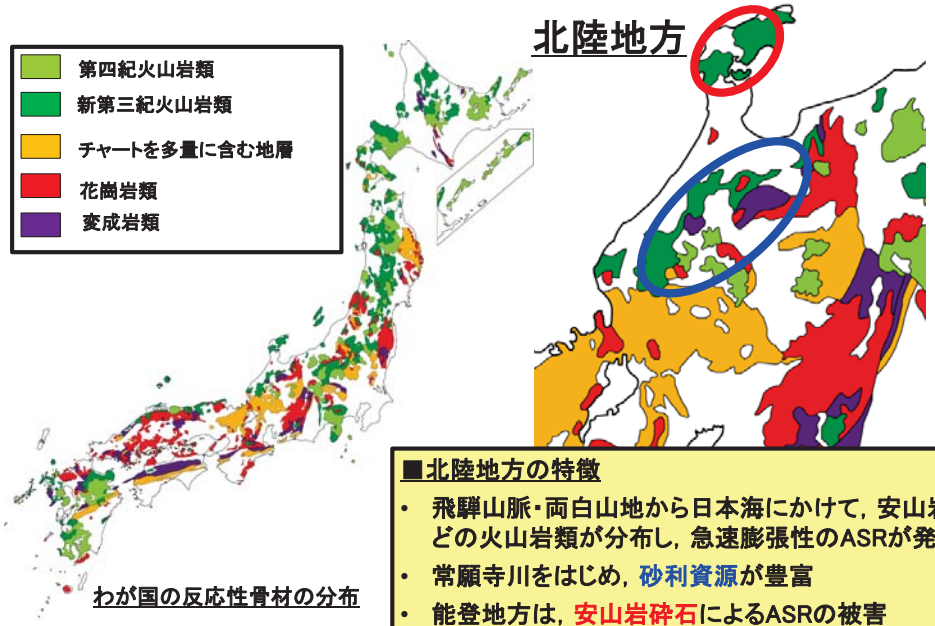
SIP：コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発



トータルマネジメントシステムの構築（メンテナンスマネジメント）

北信越での大学間連携の強化

北陸地方（富山・石川・福井）の反応性骨材の分布

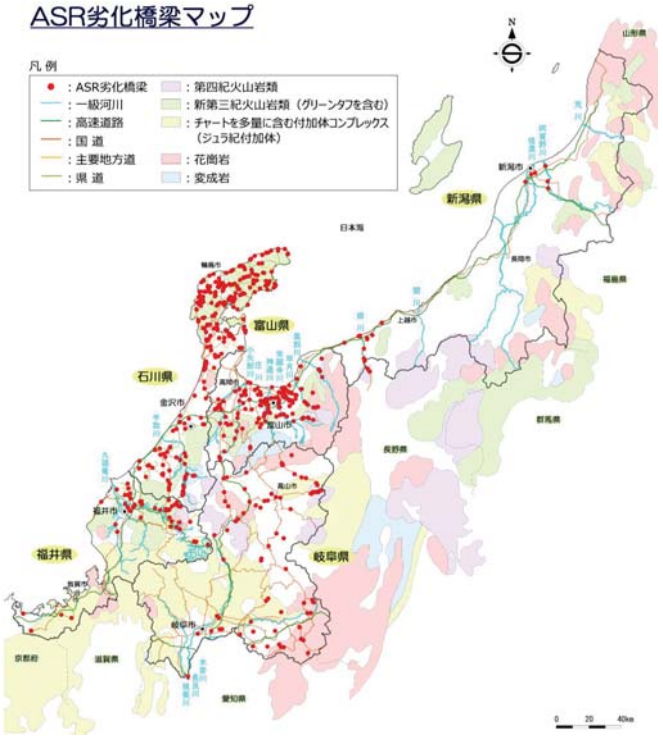


■北陸地方の特徴

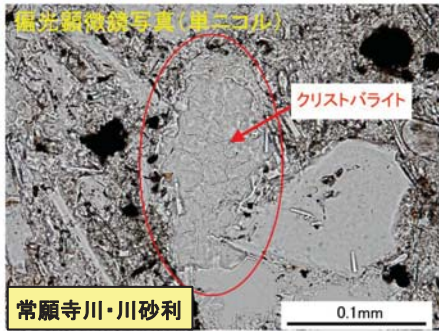
- 飛騨山脈・両白山地から日本海にかけて，安山岩などの火山岩類が分布し，急速膨張性のASRが発生
- 常願寺川をはじめ，砂利資源が豊富
- 能登地方は，安山岩砕石によるASRの被害

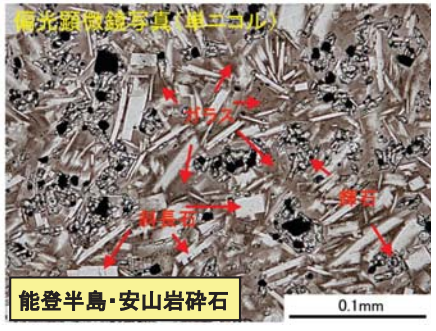
（ASRと関係の深い岩石の分布図（小笠原正継・須藤定久（2003）:「地質標本館グラフィックスシリーズ8 日本の鉱物資源」を改変して作成）

ASR劣化橋梁マップ



北陸地方の代表的なASR劣化構造物

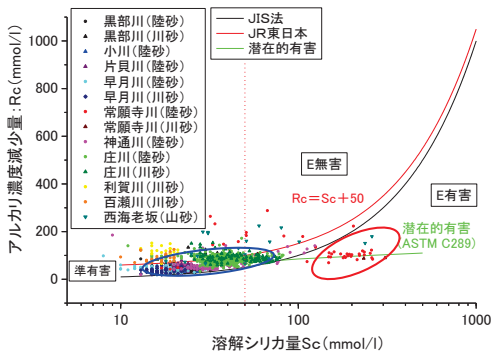




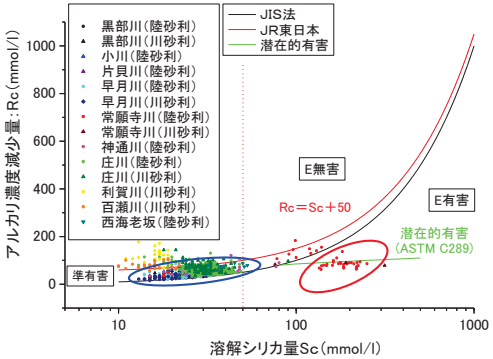
富山県の地質とASR劣化橋梁の分布

- 富山県管理の橋（15m以上）804橋のうち，下部工ASR劣化橋梁 164橋（20.4%）
- 常願寺川や神通川，庄川のエリアでASR発生が多い
- 安山岩系の常願寺川産と流紋岩系の庄川産によるASRであった。

富山県産骨材の化学法（JIS A1145）判定結果



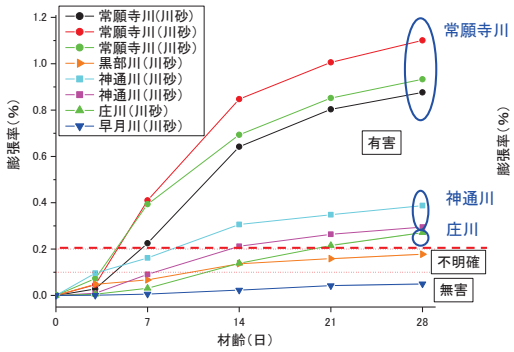
富山県産の川砂・陸砂の化学法による判定結果



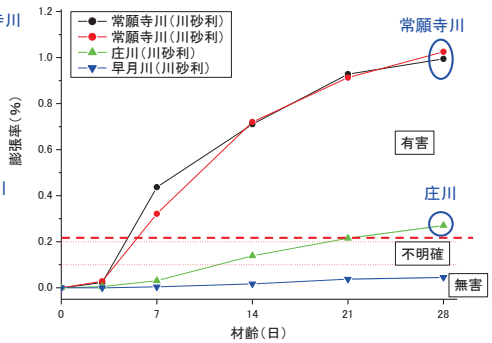
富山県産の川砂利・陸砂利の化学法による判定結果

- JIS A1145化学法の判定によると，ほとんどの骨材は「無害」と判定された。
- 常願寺川産の川砂と川砂利は，「無害でない」と判定された。また，ASTM C289による潜在的有害のライン付近にあり，ペシマム混合率を持つことが示唆された。。
- JR東日本の新しい判定基準で検証すると，神通川産と庄川産の川砂が「準有害」と判定され，ASR劣化橋梁の実態調査の結果と整合した。

富山県産骨材の促進モルタルバー法の判定結果



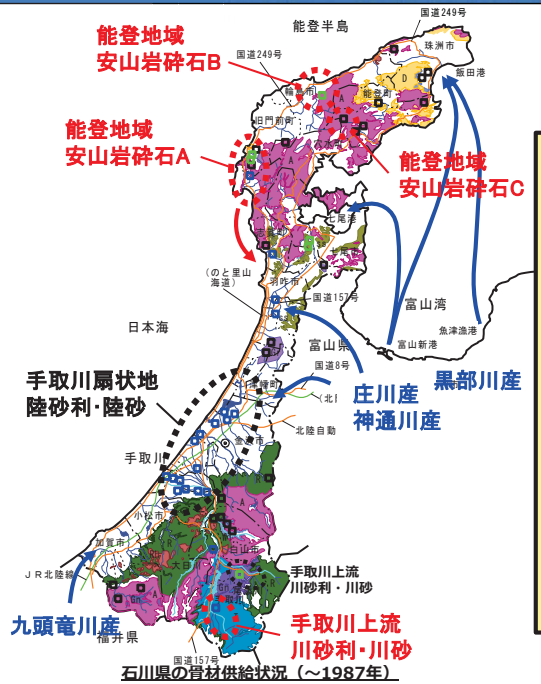
富山県産（川砂利）のASTM C1260の判定結果



富山県産（川砂）のASTM C1260の判定結果

- ASTM C1260促進モルタルバー法の判定では，常願寺川，神通川，庄川の川砂および川砂利は「有害」と判定された。
- 河川産骨材のASR反応性は，常願寺川＞神通川＞庄川＞黒部川・早月川の順となった。
- このような地域の骨材事情に応じた，ASR判定法を取り入れることも重要と考えられた。

石川県の骨材供給状況（昭和61年）



石川県の骨材供給状況（～1987年）

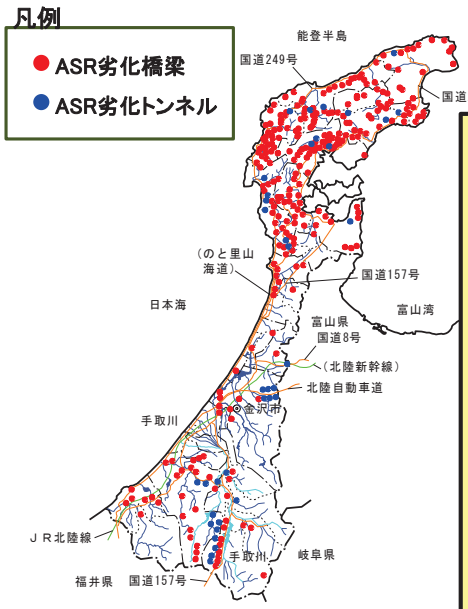
【奥能登】
- 800万年前の新鮮な安山岩砕石 A
- 2,000万年前の安山岩砕石Bと C

【中能登】
- 富山県から輸送した川砂利・川砂
- 奥能登の安山岩砕石

【金沢市近郊】
- 手取川扇状地の陸砂利・陸砂
- 富山県産の川砂利・川砂

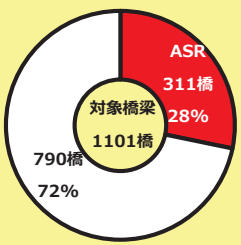
【加賀市近郊】
- 手取川上流の川砂利・川砂
- 福井県の九頭竜川産

石川県のASR劣化橋梁およびトンネルの分布

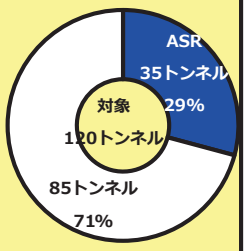


石川県内のASR劣化構造物の分布図

- 橋梁
  対　象：昭和38年～昭和61年 建設
  1，001橋
- トンネル
  対　象：昭和4年～平成21年 建設
  120トンネル

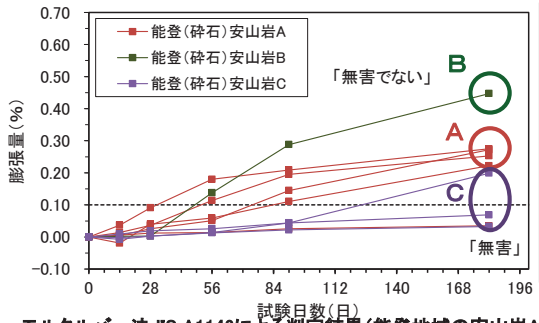


ASRが発生した橋梁数



ASRが発生したトンル数

石川県能登地域における3種類の安山岩砕石のモルタルバーの膨張量



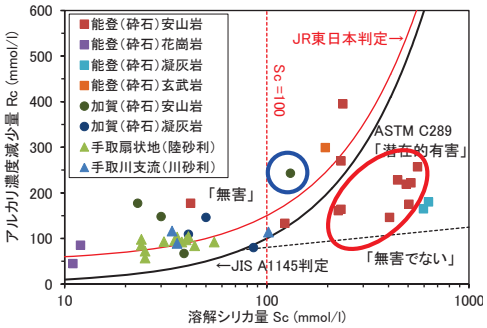
モルタルバー法JIS A1146による判定結果(能登地域の安山岩A, B, C)

- 能登地域の安山岩砕石は，安山岩砕石A，安山岩砕石B，安山岩砕石Cの3つの産地に分けられていた。
- 3種類の安山岩は，反応性シリカの種類や含有量に違いがあった。
- モルタルバー法の膨張量の大小は，それらに応じた結果となった。

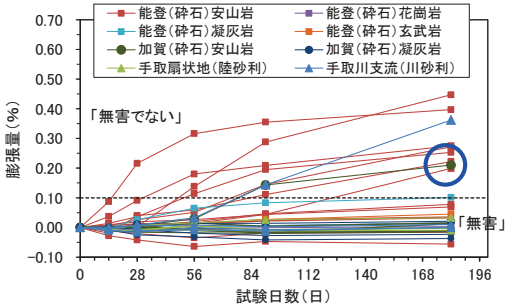
モルタルバー法の膨張量の大きさ　安山岩砕石 B ＞ 安山岩砕石 A ＞ 安山岩砕石 C
(クリストバライト多)(火山ガラス多)(クリストバライト少)

骨材種別	反応性シリカ鉱物	特　徴
安山岩砕石 A	火山ガラス 多	急速膨張性 やや緩
安山岩砕石 B	クリストバライト 多	急速膨張性 大
安山岩砕石 C	火山ガラス 少 クリストバライト 少 スメクタイト 多	スメクタイト アルカリ吸着

石川県における骨材のアルカリシリカ反応性試験結果



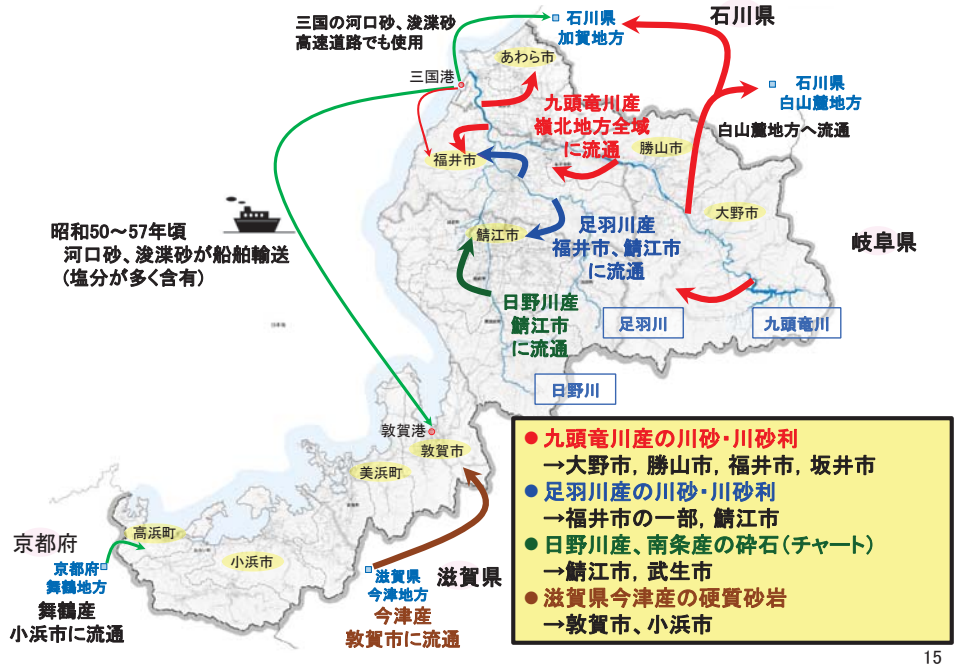
石川県の粗骨材の化学法による判定結果



石川県の粗骨材のモルタルバー法による判定結果

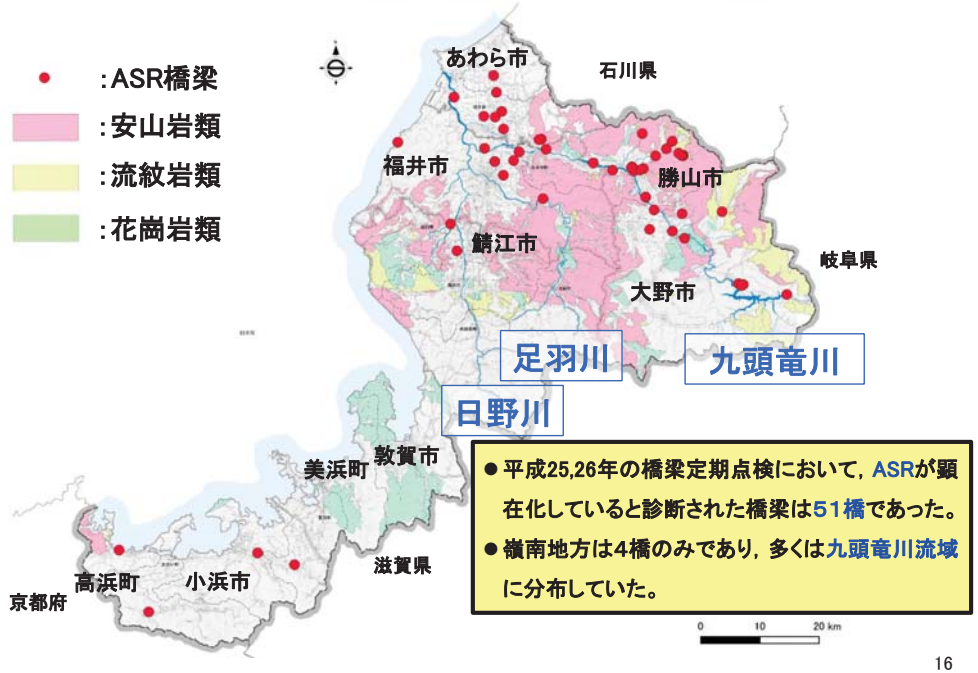
- 能登地域の安山岩砕石の多くは，化学法で「無害でない」と判定されるとともに，ASTM　C289の「潜在的有害」の範囲にプロットされ，ペシマム混合率を持つことが示唆された。
- 加賀地域の安山岩砕石で，溶解シリカ量Scが100(mmol/l)以上の安山岩砕石は，モルタルバー法の判定で「無害でない」となった。実際，金沢市山間部のこの安山岩砕石によりASRが発生していた。

福井県の骨材供給状況(昭和50年代)



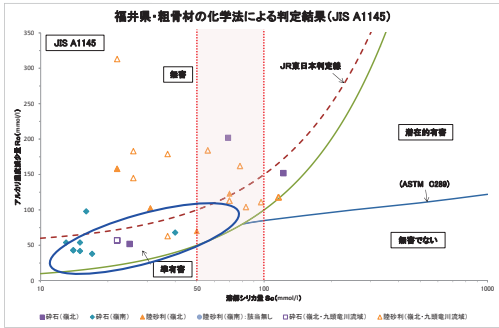
- 九頭竜川産の川砂・川砂利
  →大野市，勝山市，福井市，坂井市
- 足羽川産の川砂・川砂利
  →福井市の一部，鯖江市
- 日野川産、南条産の砕石(チャート)
  →鯖江市，武生市
- 滋賀県今津産の硬質砂岩
  →敦賀市、小浜市

福井県のASR劣化橋梁の分布

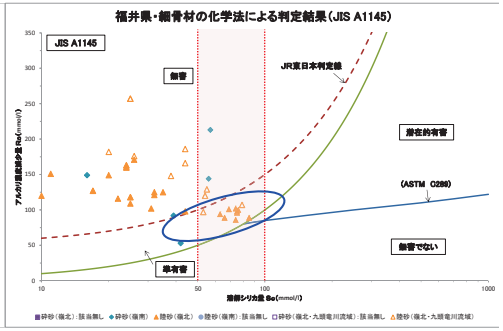


- 平成25,26年の橋梁定期点検において，ASRが顕在化していると診断された橋梁は51橋であった。
- 嶺南地方は4橋のみであり，多くは九頭竜川流域に分布していた。

福井県の骨材のアルカリシリカ反応性



福井県の粗骨材の化学法による判定結果



福井県の細骨材の化学法による判定結果

- 福井県の使用骨材は，化学JIS A1145法による判定によると，すべて「無害」と判定された。
- JR東日本の新しい判定基準に基づくと，「無害」から「準有害」へと判定されるものが粗骨材で60%，細骨材での30%であった。

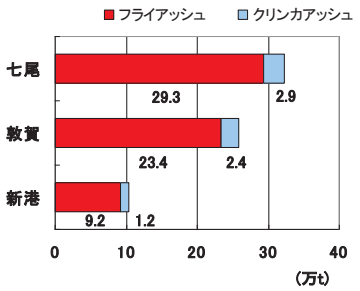
【北陸地方における石炭火力発電所】

七尾大田火力発電所
1号：50万kW（H 7運転開始）
2号：70万kW（H10運転開始）

敦賀火力発電所
1号：50万kW
（H 3運転開始）
2号：70万kW
（H12運転開始）

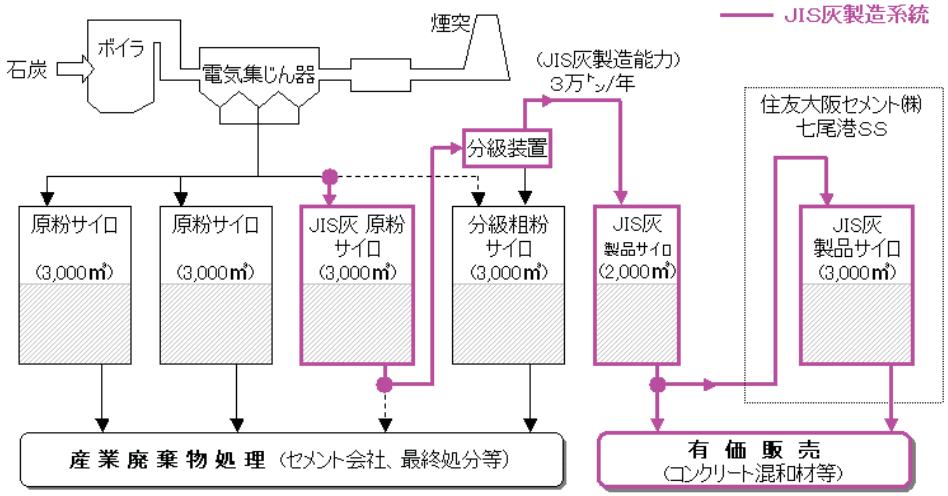
富山新港火力発電所
1号：25万kW（S46運転開始、S59石炭火力に燃料転換）
2号：25万kW（S47運転開始、S59石炭火力に燃料転換）

発電所別石炭灰発生量(H22年度実績)



石炭灰
- フライアッシュ：61.9万 t
- クリンカアッシュ：6.5万 t
- 合計：68.4万 t

七尾大田火力発電所の JIS規格フライアッシュの製造工程

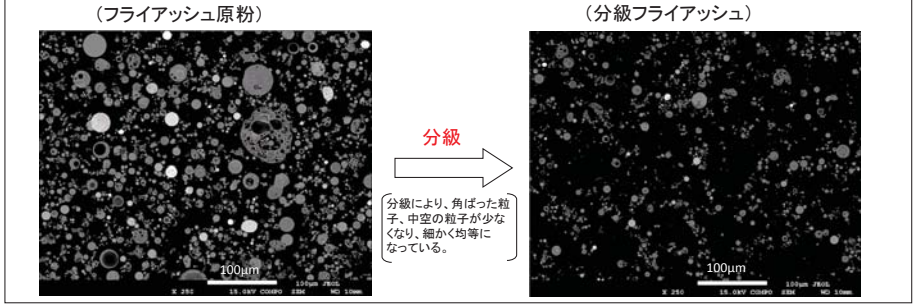


分級装置による捕捉率：50%

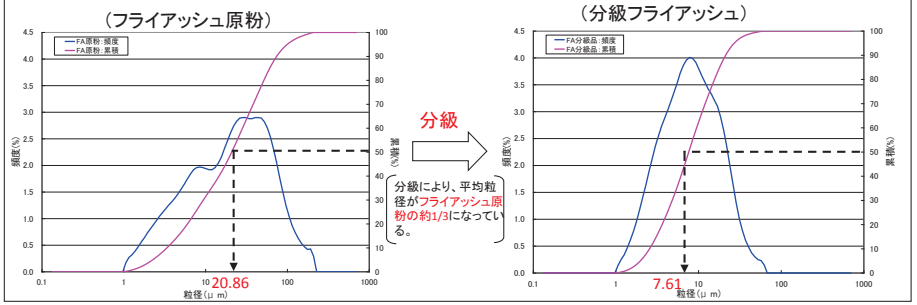
※JIS灰安定供給量の確保を図るため、射水市および福井市で新たな供給拠点（JIS灰製品サイロ）を確保

フライアッシュの物理的性質の変化（七尾産）

走査電子顕微鏡による反射電子像



レーザー回折法による粒度分布測定結果



フライアッシュの化学的性質の変化（七尾産、敦賀産）

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

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

【フライアッシュの分級による改善効果】

〈物理的性質の変化〉

試料名	平均粒径（μm）	比表面積（cm^2/g）
フライアッシュ原粉	20.86（19.70）	3,390（3,740）
分級フライアッシュ	7.61（7.10）	4,380（4,810）

＋

〈化学的性質の変化〉

結晶質成分（%）	ｶﾞﾗｽ質成分（%）
34.9（33.4）	65.1（66.6）
26.8（28.4）	73.2（71.6）

ポゾラン反応性が向上

活性度指数（%）	
材齢28日	材齢91日
83（81）	95（95）
91（87）	104（105）

フロー値比（%）
101（101）
106（105）

流動性が向上

※数値は七尾産フライアッシュの値
（ ）内は敦賀産フライアッシュの値を示す

- 物理的性質として、分級により粒径が1/3程度になることや細かく均等な粒径になることにより、ポゾラン反応性や流動性が向上する。
- 化学的性質として、分級によりガラス質成分が増加し、ポゾラン反応性が向上する。
- 物理的・化学的性質の変化により、硬化コンクリートの強度・耐久性に影響する活性度指数やフレッシュコンクリートの流動性に影響するフロー値比が向上する。

【フライアッシュによるASR抑制対策】

○JIS A5308「レディーミクストコンクリート」附属書Bによる規定

a)コンクリート中のアルカリ総量を規制する抑制対策
⇒ 3kg/m³以下で十分か？
b)アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメントなどを使用する抑制対策
⇒ 抑制するために必要な置換率は？
c)安全と認められる骨材を使用する抑制対策
⇒ 化学法は万全ではない？

○海外の規定の例（カナダ：CSA A23.2－27A）
・予防レベルに応じてアルカリ総量又は混和材置換率を設定

対策方法	予防レベル				
	低い	中程度	高い	非常に高い	特別
アルカリ総量(kg/m³)	3.0	2.4	1.8	1.2	アルカリ総量1.2kg/m³以下，かつフライアッシュ置換率35%以上
フライアッシュ置換率(%)	15	20	25	35	

○「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」の推奨
・「フライアッシュ分級品※15%以上」を「ASR抑制効果があると確認された単位量」としている。

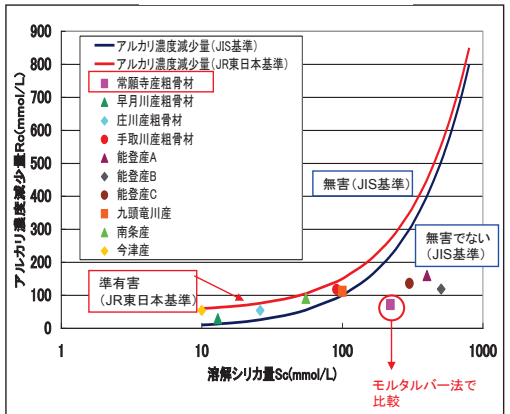
※「フライアッシュ分級品」とは、北陸電力株式会社の七尾大田火力発電所または敦賀火力発電所で産出されるフライアッシュで原粉を分級装置でさらに分級したフライアッシュのことをいう。

フライアッシュによるASR抑制対策

【フライアッシュによるASR抑制効果】（委員会による検証）

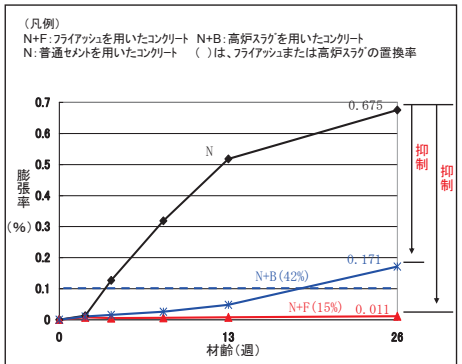
・ASR抑制効果に関して、化学法およびモルタルバー法により、比較評価を実施
・フライアッシュを混和した場合、常願寺川産の反応性の高い骨材に対しても膨張が抑制され、フライアッシュには優れたASR抑制効果があることが検証できた。

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

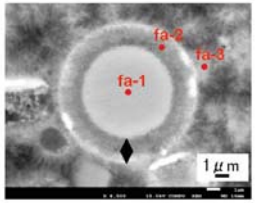
【フライアッシュによるASR抑制メカニズム】

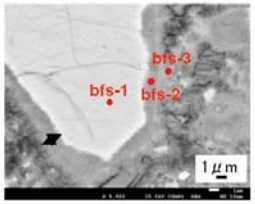
○一般的な解釈

①セメントとの置換により，コンクリート中のアルカリ総量が減る効果
②フライアッシュのポゾラン反応により，コンクリートが密実になる効果
③フライアッシュのポゾラン反応の際に，細孔溶液中のアルカリが吸着される効果

「③アルカリ吸着効果」について

フライアッシュ粒子の反応層　　高炉スラグ微粉末の反応層





	fa-1	fa-2	fa-3
Ca/Si	0.05	0.88	1.64

	bfs-1	bfs-2	bfs-3
Ca/Si	1.39	1.47	1.58

・Ca/Si比が小さい方が，細孔溶液中のアルカリが吸着されやすいことが言われており、フライアッシュの反応層のCa/Si比は、高炉スラグ微粉末の反応層のCa/Si比に比べて小さく、細孔溶液中のアルカリを吸着し、OH-濃度を下げる効果が高いことが推察される。
（ASR抑制効果が高い。）

【出典】広野真一；安藤陽子；大代武志；鳥居和之．フライアッシュと高炉スラグ微粉末によるASR抑制効果の比較．セメント・コンクリート論文集．Vol.67，2014，p.441-448.

フライアッシュコンクリートの地域実装

鉄道　平成29年3月　JR-TTの土木工事標準示方書に明記．
- ➡ 北陸新幹線敦賀延伸工事への採用増加
- ➡ フライアッシュコンクリートを使用したフルプレキャスト化（合理化施工技術）の検討開始

高速道路　平成28年度　北陸自動車道（NEXCO中日本）でフライアッシュコンクリートを使用したプレキャストPC床版による更新事業（日野川橋梁および太田川橋梁（福井県））．

地方道　福井県内のPC橋梁会社との共同開発により，高耐久なプレテンション方式PC桁を地方道路橋の新設工事（福井県内にて新たに4件架設）に適用．

北陸新幹線敦賀延伸工事でのフライアッシュコンクリートの工事仕様書への取り込み（平成29年3月）

背景１　コンクリートのブリーディング対策
（材料分離が凍害を促進，沈降ひび割れの発生防止）

背景２　新潟及び富山地区でのASRの発生
（姫川，常願寺川，神通川，庄川産の骨材，砂のASR対策）

背景３　福井先行開業または敦賀延伸工事の課題
（プレキャスト部材の活用，冬期工事，労働力確保）

JR東日本のASR判定区分（化学法）

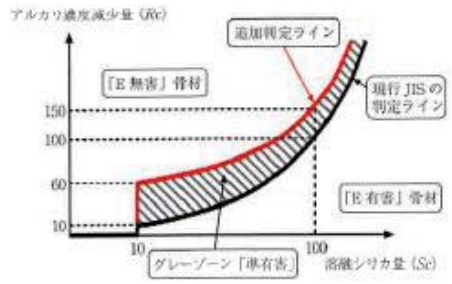


図-5　化学法の判定イメージ

表-2　化学法による骨材判定区分の定義

骨材区分	判定規準
「E有害」骨材	溶融シリカ量（Sc）≧10 mmol/ℓ かつアルカリ濃度減少量（Rc）<700 mmol/ℓ のとき，アルカリ濃度減少量（Rc）が溶融シリカ量（Sc）以下となる骨材（(Rc)≦(Sc) である骨材）
「準有害」骨材	溶融シリカ量（Sc）≧10 mmol/ℓ かつアルカリ濃度減少量（Rc）<700 mmol/ℓ のとき，アルカリ濃度減少量（Rc）が溶融シリカ量（Sc）より大きく，かつ溶融シリカ量（Sc）に50を加えた値（Sc＋50）以下となる骨材（(Sc)<(Rc)≦(Sc＋50) である骨材）
「E無害」骨材	溶融シリカ量（Sc）≧10 mmol/ℓ かつアルカリ濃度減少量（Rc）<700 mmol/ℓ のとき，アルカリ濃度減少量（Rc）が溶融シリカ量（Sc）に50を加えた値（Sc＋50）より大きい骨材（(Sc＋50)<(Rc) である骨材）

表-3　モルタルバー法による骨材のJR東日本判定区分

骨材区分	判定規準
「E有害」骨材	膨張率が26週で0.10%以上（c），もしくは膨張率が26週で0.05%以上～0.10%未満であっても13週から26週までの膨張の増加割合が8週から13週までの増加割合に対し大きい骨材（d）
「準有害」骨材	膨張率が26週で0.05%以上～0.10%未満かつ13週から26週までの膨張の増加割合が8週から13週までの膨張の増加割合に対し小さい骨材
「E無害」骨材	膨張率が26週で0.05%未満の骨材（a）および（b）

松田芳範：JR東日本における混和材使用の現状と課題,コンクリート工学,Vol.52,No.5,2014.より抜粋

【北陸地方のASR抑制対策】
・JR東日本では混合セメントを原則としているが、北陸地方では、ほぼ全域でASRが発生している現状を踏まえると、
JR東日本のASR抑制対策を更に一歩進めた　⇒「コンクリートへの混合セメントなどの使用を標準化」
更に、北陸の地域特性を踏まえた対策　⇒「コンクリートへのフライアッシュの活用を標準化」

北陸新幹線の金沢・敦賀間のコンクリートの配合条件表（土木工事標準示方書）（H29.3）

配合条件表は普通（N）、高炉(BB)、フライアッシュ(FB)の3種類を並列併記

（注）1.水結合材比53%で呼び強度が27以上となる地域(寒冷地)に適用する。
2.この表は、北陸新幹線、金沢・敦賀間の設計条件における標準値であるので、構造物の重要度、気象および地域の条件等に応じて、適宜修正して用いるものとする。

種別	構造物種別	設計基準強度（呼び強度）（N／mm²）	部材名称	粗骨材の最大寸法（mm）	スランプの範囲（cm）	寒冷地用 空気量の範囲（%）	寒冷地用 示方配合に示す最大水結合材比（%） 普通	高炉	FA添	示方配合に示す単位水量の上限値（kg／m³）	備考 ※FAのセメント置換率は内割15～17%を標準とする
鉄筋コンクリート	ラーメン高架橋										
	ラーメン高架橋	27（27）	スラブ、上層梁、柱、中層梁	25	12±2.5	5.5±1.5	53	☆45	☆50	175	
			地中梁			4.5±1.5	55	◎☆55	◎☆55	175	
			ラーチング	40	8±2.5		55	◎☆55	◎☆55	165	1柱1基礎形式は地中梁扱い
	桁間係										
	RC桁	27（27）		25	12±2.5	5.5±1.5	53	☆45	☆50	175	
	合成桁・SRC桁	27（27） 30（30） 36（36） 40（40）					53	＊	＊		＊高炉セメント及びフライアッシュセメントは別途検討を要する。
	橋脚・橋台										
	一般的な橋脚・橋台	27（27）	く体	25	8±2.5	5.5±1.5	53	☆45	☆50	175	

（本表は全体の一部を紹介）

北陸中日新聞　H29.8.14掲載

北陸中日新聞　2017年8月14日

延伸にコンクリ新手法

細かな灰使用 構造物の劣化防止

通常のコンクリ ひび多数

新しい手法は劣化 激減

北陸新幹線 長野～金沢 延伸に向けて

鉄道運輸機構 県内で試工

考案の金沢大教授 研究30年

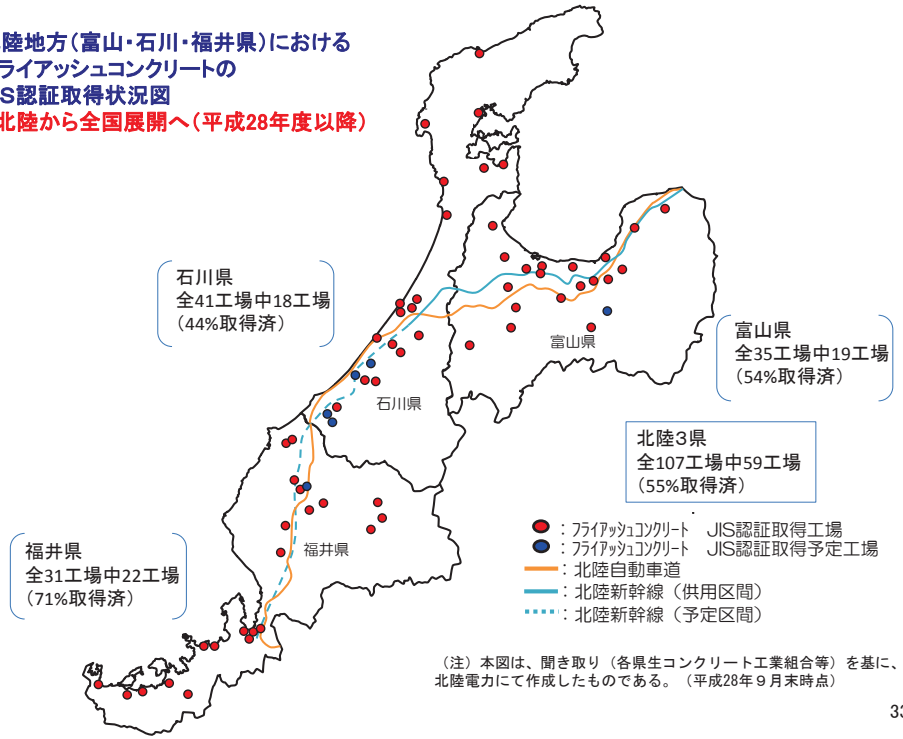
「ASR問題の解決のために今、何をすべきか」

北陸地方（全国共通）においては、
ASR発生リスク低減のため、
フライアッシュの標準化（実際に使っていくこと）が必要（当然）

そのためには，フライアッシュを使うことができる仕組み作りが重要
（1）フライアッシュ産出事業者である電力会社のフライアッシュ供給体制と品質保証の確立
（2）コンクリートを製造するコンクリート工場のサイロ，計量設備等の増設や整備とフライアッシュコンクリートの配合設計
（3）発注者が設計に積極的にフライアッシュの使用を推進すること
⇒ 関係者間での連携、ルール作りが必要

北陸地方（富山・石川・福井県）における フライアッシュコンクリートの JIS認証取得状況図

北陸から全国展開へ（平成28年度以降）



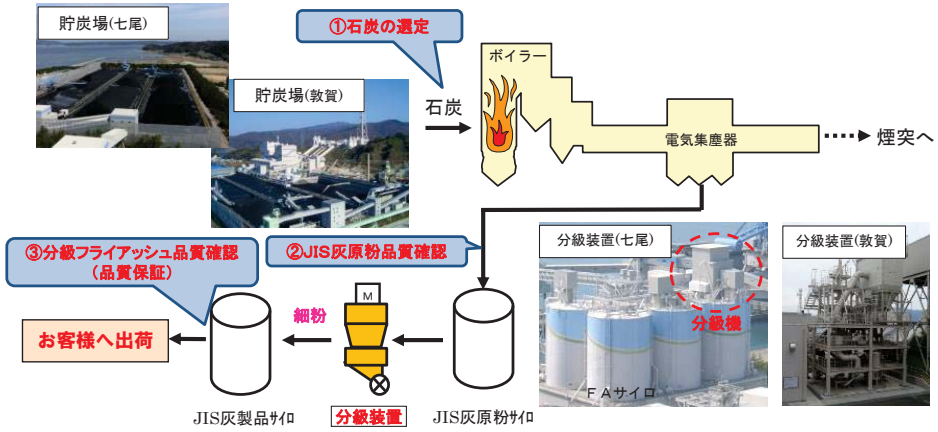
（注）本図は、聞き取り（各県生コンクリート工業組合等）を基に、北陸電力にて作成したものである。（平成28年９月末時点）

分級フライアッシュ（JIS灰）の品質管理の確立

①石炭の選定
- 石炭調達計画において，ＪＩＳ灰適合炭を確保

②ＪＩＳ灰原粉の品質確認
- 電気集塵器出口のフライアッシュ品質がＪＩＳⅡ種に適合することを確認し，ＪＩＳ灰原粉サイロへ取込み（ＪＩＳ灰製造計画に基づき分級を実施）

③分級フライアッシュの品質確認
- 分級フライアッシュ（製品）の品質を定期的に確認（品質保証）



①分級フライアッシュの品質

JIS項目		JIS A 6201（コンクリート用フライアッシュ）		敦賀火力発電所（H24.12～H28.12）		七尾大田火力発電所（H22.1～H28.12）	
		Ⅰ種	Ⅱ種	平均	標準偏差	平均	標準偏差
二酸化けい素含有量(%)		45.0 以上	45.0 以上	63．5	1．8	57．8	4．0
湿分(%)		1.0 以下	1.0 以下	0．1	－	0．1	－
強熱減量(%)		3.0 以下	5.0 以下	3．5	0．2	2．0	0．4
密度(g/cm³)		1.95 以上	1.95 以上	2．29	0．01	2．40	0．05
粉末度	網ふるい方法(%)（45μmふるい残分）	10 以下	40 以下	1．3	0．3	0．5	0．5
	ブレーン方法(cm2/g)（比表面積）	5,000 以上	2,500 以上	4，659	129	4，719	198
フロー値比(%)		105 以上	95 以上	102	3	107	2
活性度指数(%)	材齢28日	90 以上	80 以上	93	7	96	7
	材齢91日	100 以上	90 以上	106	6	108	5

- 分級フライアッシュの品質は、JISⅡ種の規格を満足するだけでなく、JISⅠ種の規格も大部分の項目で満足している。
- **JISⅡ種灰の製造に適した石炭の優先調達**および**貯蔵前の分級性状確認等を行い**、JISⅡ種を上回る需要家の要求に対しても**品質保証**している。

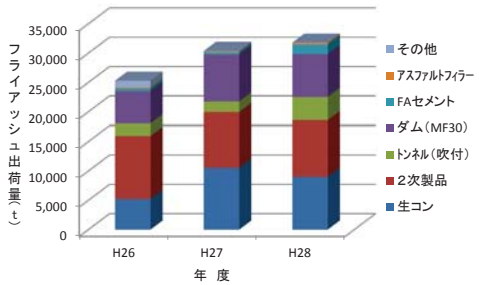
②分級フライアッシュの供給体制

- **北陸地方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のコンクリート量に相当

○ＦＡ有効利用の用途内訳と推移

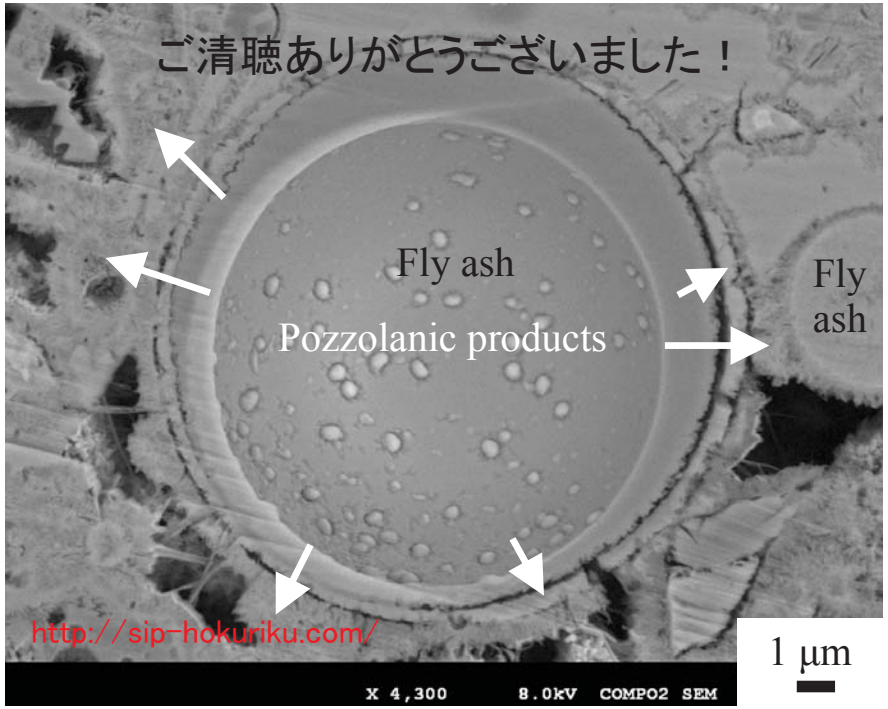
分級フライアッシュ用途別出荷量の推移
（粘土代替を除く）



（単位；t）

用　途	H26	H27	H28
生コン	5,210	10,545	9,010
2次製品	10,734	9,426	9,574
トンネル（吹付）	2,107	1,801	3,962
ダム（MF30）	5,444	7,987	7,324
FAセメント	498	365	1,580
アスファルトフィラー	178	168	289
その他	1,122	77	61
合計	25,293	30,369	31,800

○分級フライアッシュ出荷量は、H28年度まで2年連続で3万t/年越えを達成
自社LNG火力P/S(生コン)，北陸新幹線トンネル(吹付)，ダム用セメント(MF30)等の建設需要が時期的に重なったことの効用。⇒今後は大幅減となる見込み
○既存需要を3万t/年として、残り3万t（生コン約60万㎥）は新幹線工事へ利用可。
ただし、生コン工事等のピーク対応として増産・サイロ備蓄等の生産調整は必要



北陸電力におけるフライアッシュの安定供給と品質管理

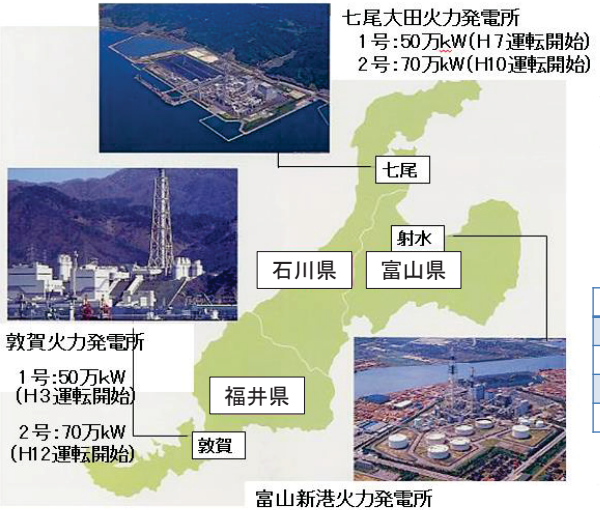
【内容】

1. 北陸地方のフライアッシュの発生量と利用状況
2. 分級フライアッシュの供給体制
3. 分級フライアッシュの品質管理
4. フライアッシュを用いたコンクリートの特性

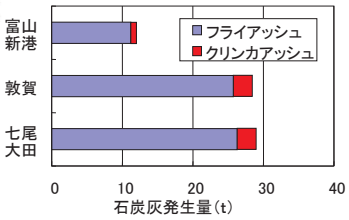
平成30年9月7日
北陸電力株式会社
参納　千夏男

1. 北陸地方のフライアッシュの発生量と利用状況

【フライアッシュの発生量】



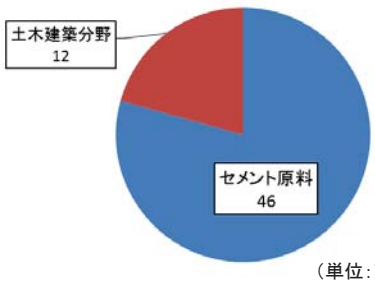
発電所別石炭灰発生量(H29年度実績)

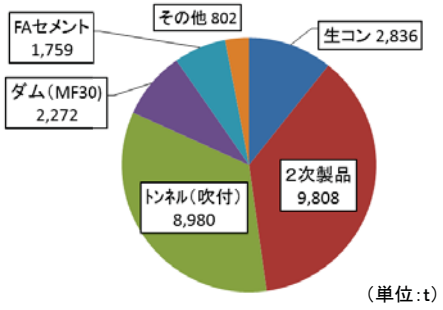


発電所	フライアッシュ	クリンカアッシュ
富山新港	11万トン/年	1万トン/年
敦　　賀	25万トン/年	3万トン/年
七尾大田	26万トン/年	3万トン/年
計	62万トン/年	7万トン/年

◆北陸地方のフライアッシュの発生量は約６２万トン(H29年度実績)

【フライアッシュの利用状況】





フライアッシュ有効利用量(58万t)　　分級フライアッシュ利用量(約3万t)

◆現状、フライアッシュは、58万t(発生量の94%)が有効利用されている。
・主な利用先であるセメント原料(粘土代替)へ約46万トン利用
・土木建築分野のうち、分級フライアッシュは、生コン、2次製品、トンネル吹付等へ約3万トン利用

2. 分級フライアッシュの供給体制

◆北陸地方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

小杉サイロの全景

根上サイロの全景

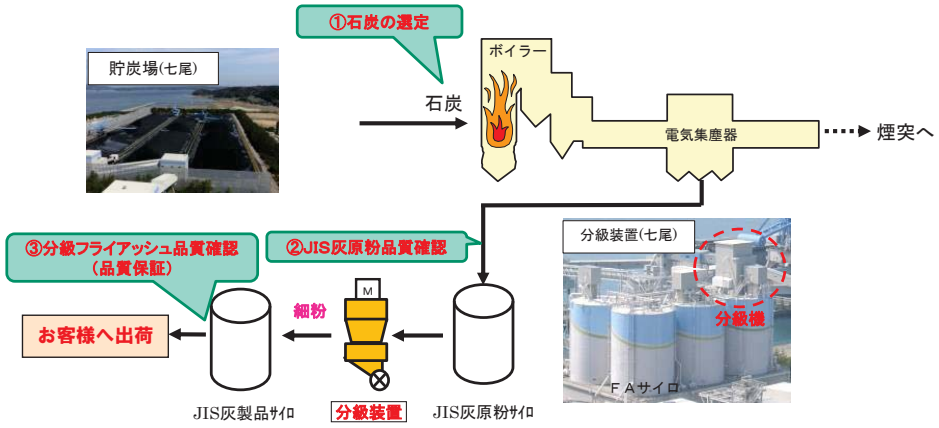
3. 分級フライアッシュの品質管理

【分級フライアッシュの品質を確保するための製造工程】

①石炭の選定
- 石炭調達計画において，ＪＩＳ灰適合炭を確保

②ＪＩＳ灰原粉の品質確認
- 電気集塵器出口のフライアッシュ品質がＪＩＳⅡ種に適合することを確認し，ＪＩＳ灰原粉サイロへ取込み（ＪＩＳ灰製造計画に基づき分級を実施）

③分級フライアッシュの品質確認
- 分級フライアッシュ（製品）の品質を定期的に確認（品質保証）

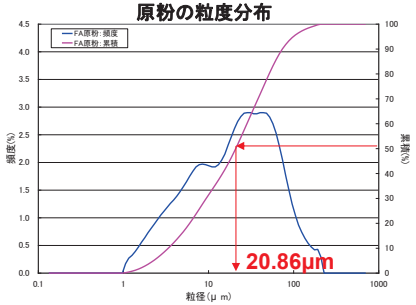


【分級フライアッシュの性質（試験結果）：物理的効果】

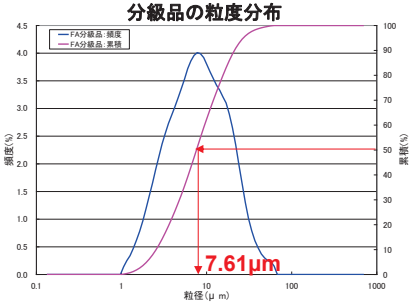
試料名	密度 (g/cm³)	比表面積 (cm²/g)
フライアッシュ原粉	2.36	3390
フライアッシュ分級品	2.43	4780

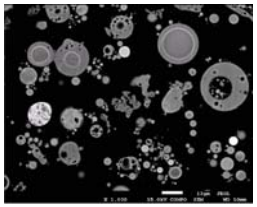
累積中位径（μm）		
10%	50%	90%
3.37	20.86	73.84
2.55	7.61	21.29

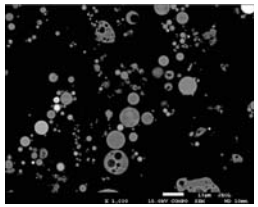
原粉の粒度分布



分級品の粒度分布







【分級効果について】

氷砂糖

粒が大きく表面積が小さい

（同じ質量で比較した場合）

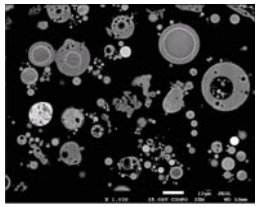
水に接する面積が多く ⇨ 溶け易い

グラニュー糖

粒が小さく（約0.5mm）表面積が大きい

※ granulated ：「粒状にした」

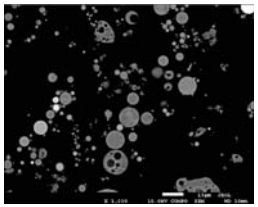
フライアッシュ原粉



50%粒径：20.86μm

細孔溶液に接する面積が多く ⇨ 反応し易い

フライアッシュ分級品



50%粒径：7.61μm

◆分級フライアッシュは、反応しやすい。（ポゾラン反応性が良好）
さらに、フライアッシュのポゾラン反応は、ごく表面で起こることが言われており、分級により、効率的に反応が起こっていると推定される。

【分級フライアッシュの品質データ推移】（分級運用開始～H29.12）

JIS項目		JIS値（Ⅰ種）	JIS値（Ⅱ種）	七尾大田火力発電所（H22.1～H29.12） 平均	標準偏差
二酸化けい素含有量(%)		45.0以上		57.4	4.1
湿分(%)		1.0以下		0.1	－
強熱減量(%)		3.0以下	5.0以下	2.0	0.4
密度(g/cm³)		1.95以上		2.41	0.05
粉末度	網ふるい方法(%)（45μmふるい残分）	10以下	40以下	0.5	0.5
粉末度	ブレーン方(cm²/g)（比表面積）	5,000以上	2,500以上	4,710	198
フロー値比(%)		105以上	95以上	107	2
活性度指数(%)	材齢28日	90以上	80以上	97	7
	材齢91日	100以上	90以上	109	6

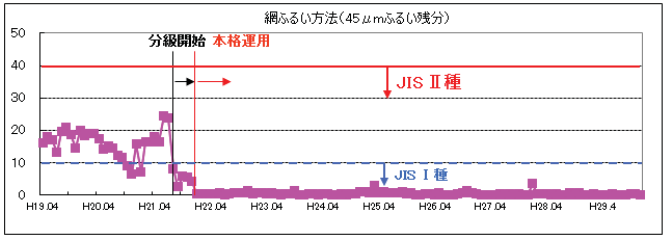
（下線部は，JIS Ⅰ種に近い品質の項目）

JIS Ⅱ種の規格を満足（品質保証）するとともに，下記の品質管理・対応を実施
- 強熱減量が低め安定となるよう，炭種選定や燃焼状態を管理
- メチレンブルー吸着量（参考値）を利用者に情報提供

（1）分級により改善が見込まれるJIS項目

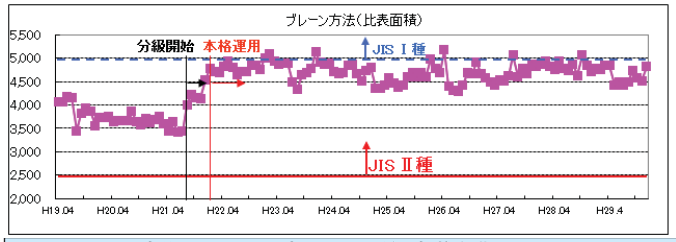
①粉末度：ポゾラン反応性や流動性に影響

1）網ふるい方法（45μmふるい残分）（%）



	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	24.6	3.5
min	6.5	0.1
ave	16.2	0.5
標準偏差	4.2	0.5
JIS Ⅱ種	40以下	

2）ブレーン方法（比表面積）（cm²/g）

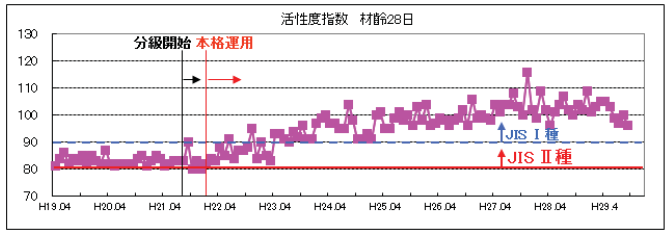


	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	4,170	5,180
min	3,410	4,300
ave	3,730	4,710
標準偏差	204	196
JIS Ⅱ種	2,500以上	

- 45μmふるい残分は5%以下であり、JIS Ⅰ種の規格を満足している。
- 比表面積は4,750cm²/g±450cm²/g（4,300～5,200cm²/g）で管理しており、JIS Ⅰ種に近い値を示している。

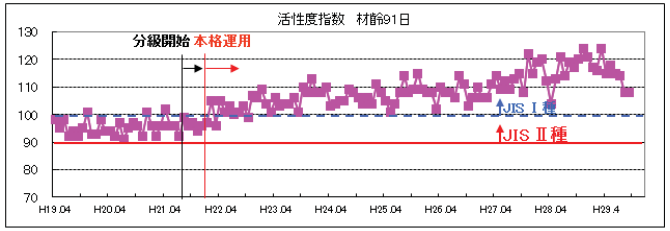
②活性度指数：強度増進を示す指標

1）材齢28日（%）



	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	87	116
min	81	82
ave	83	97
標準偏差	2	7
JIS Ⅱ種	80以上	

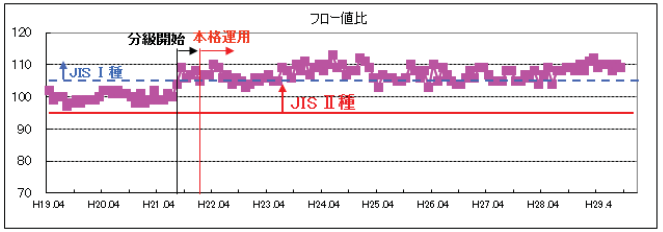
2）材齢91日（%）



	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	102	124
min	91	96
ave	95	109
標準偏差	3	6
JIS Ⅱ種	90以上	

- 活性度指数は、材齢28日、材齢91日ともに、JIS Ⅰ種規格を満足している。

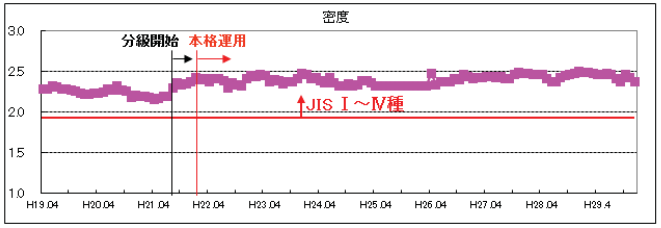
③フロー値比（%）：流動性を示す指標



	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	102	113
min	97	103
ave	100	107
標準偏差	1	2
JIS Ⅱ種	95以上	

- 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。

④密度（g/cm³）：コンクリート製造に必要な物性値でコンクリート重量に影響

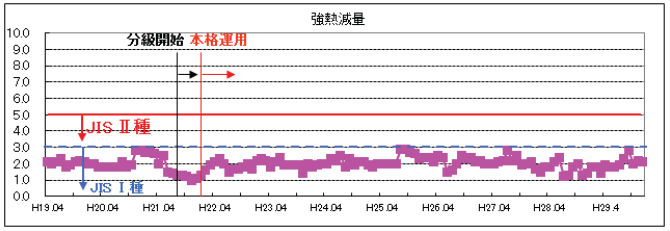


	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	2.32	2.50
min	2.16	2.30
ave	2.24	2.41
標準偏差	0.05	0.05
JIS Ⅱ種	1.95以上	

- 密度は、本格運用後、平均で0.17g/cm³上昇している。
- 密度は生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）その他のJIS項目

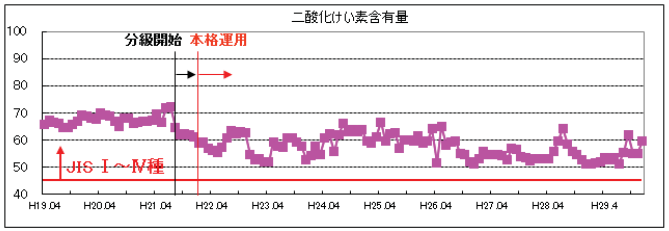
①強熱減量（%）：混和剤の必要量に影響



	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	2.8	2.9
min	1.4	1.2
ave	2.1	2.0
標準偏差	0.4	0.4
JIS Ⅱ種	5.0以下	

- 強熱減量は、平均で2.0%と低く、JIS Ⅰ種の規格を満足している。

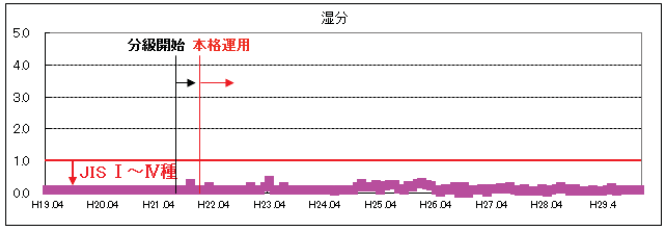
②二酸化けい素含有量（%）：ポゾラン反応性に関するひとつの目安



	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	72.3	66.7
min	64.6	51.1
ave	67.6	57.4
標準偏差	1.9	4.1
JIS Ⅱ種	45.0以上	

- 二酸化けい素は、平均で58%程度であり、JISの規格を十分満足している。

③湿分（%）：コンクリート製造に必要な条件（コンクリートの全体の水分量に影響）

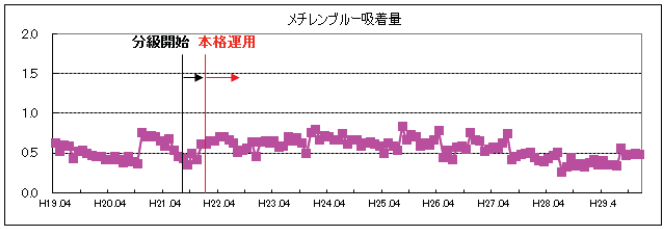


	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	0.1	0.4
min	<0.1	<0.1
ave	<0.1	<0.1
標準偏差	—	—
JIS Ⅱ種	1.0以下	

・湿分は、平均で0.1%以下であり、JISの規格を十分満足している。

（3）参考

①メチレンブルー吸着量（mg/g）



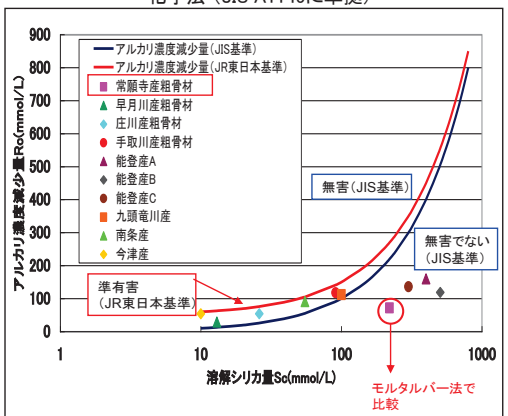
	七尾	
	分級前（～H21.7）	分級後（H22.1～）
max	0.76	0.83
min	0.37	0.26
ave	0.53	0.56
標準偏差	0.11	0.12
JIS Ⅱ種	—	

4. フライアッシュを用いたコンクリートの特性（委員会※における比較試験より）

（1）ASR抑制効果

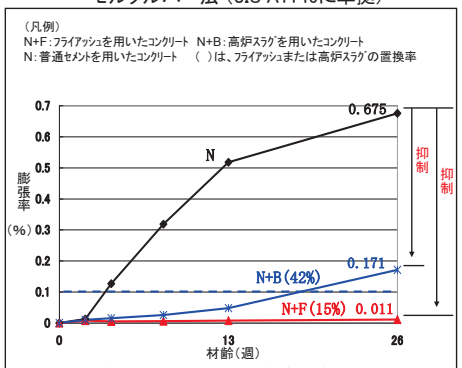
◆ASR抑制効果に関して、化学法およびモルタルバー法により、比較評価を実施
◆フライアッシュを混和(**セメント15%置換**)した場合、常願寺川産の反応性の高い骨材に対しても膨張が抑制され、**フライアッシュには優れたASR抑制効果**があることが検証できた。

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）



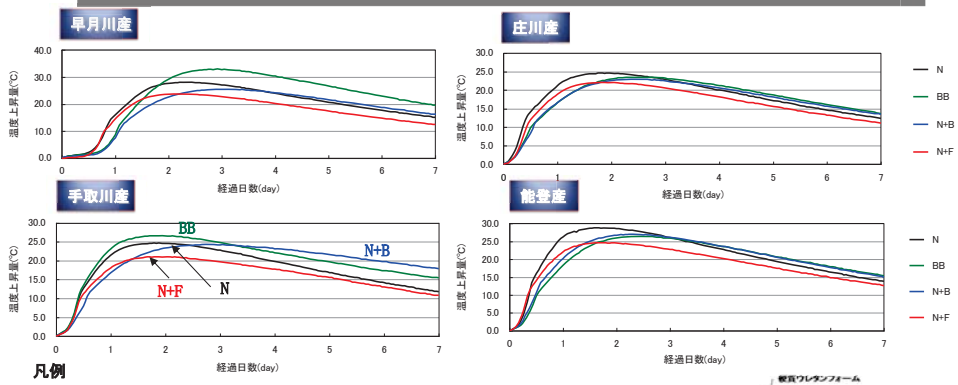
※ モルタルバー法（JIS A1146）では、膨張率が26週後に0.1%未満の場合は「無害」とし、0.1%以上の場合は「無害でない」とする。

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

※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

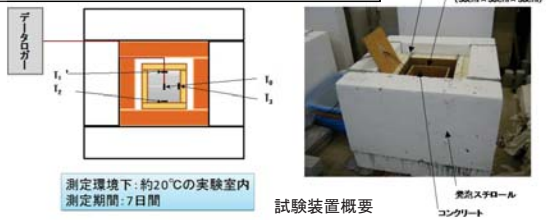
（2）発熱量抑制効果（簡易断熱温度上昇試験）

◆フライアッシュを混和(セメント15%置換)したコンクリートの温度上昇量がNやBBより低くなり、**発熱量抑制効果が最も高いことが検証できた。**



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：FA15%置換

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



試験装置概要

（3）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）

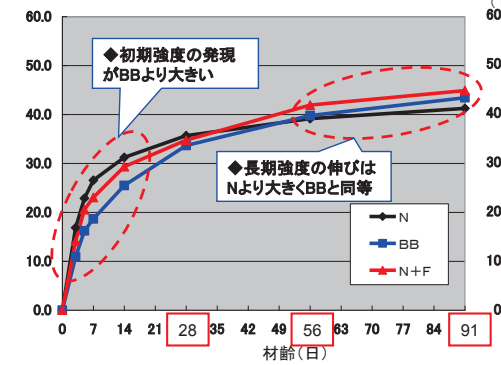
富山県・石川県のケース

	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%**

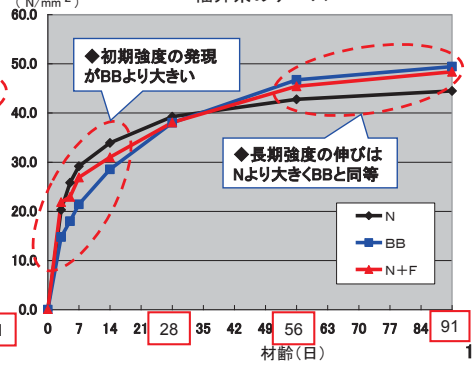
福井県のケース

	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%**

富山県・石川県のケース



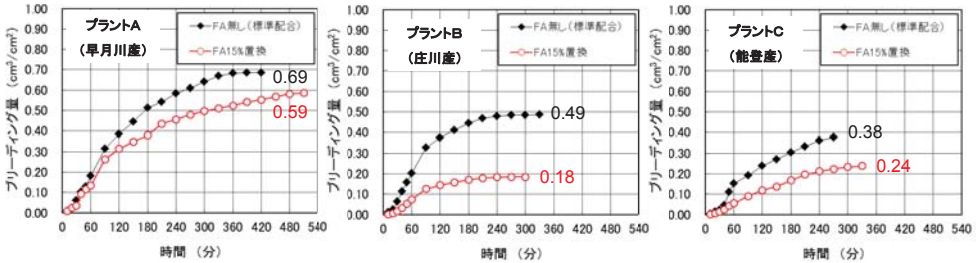
福井県のケース



(4)施工性向上(ブリーディング試験(JIS A1123))

配合表(27-8-25)		水結合材比 W/(C+FA) (%)	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)	標準配合に対するFA置換の単位水量低減量(kg/m³)
プラントA (早月川産)	標準配合	54.5	292	―	159	831	1044	2
	FA15%置換	54.5	245	43	157	828	1044	
プラントB (庄川産)	標準配合	54.0	286	―	154	814	1034	4
	FA15%置換	50.0	255	45	150	795	1038	
プラントC (能登産)	標準配合	52.3	331	―	173	732	1024	2
	FA15%置換	52.2	284	50	171	725	1024	

ブリーディング試験結果

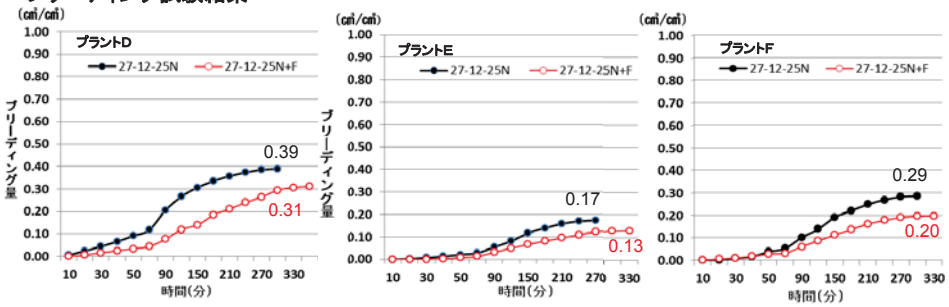


◆いずれのプラントのコンクリートにおいてもフライアッシュを混和した方が，ブリーディングが抑制された。
◆単位水量低減効果が大きい方が，ブリーディングの抑制効果が大きい傾向であったことから，単位水量低減効果もブリーディングの抑制に寄与していることが推察された。

【参考】施工性向上(ブリーディング試験(JIS A1123)) 石川県内プラントでの試験(H30.3実施)

配合表(27-12-25)		水結合材比 W/(C+FA) (%)	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)	標準配合に対するFA置換の単位水量低減量(kg/m³)
プラントD (庄川産)	標準配合	52.3	310	―	162	746	1041	15
	FA15%置換	48.7	257	45	147	779	1041	
プラントE (青梅産)	標準配合	47.1	291	―	158	872	999	3
	FA20%置換	49.0	257	64	155	890	946	
プラントF (手取川産，板尾産)	標準配合	54.4	300	―	163	810	992	2
	FA16%置換	50.1	270	52	161	784	992	

ブリーディング試験結果



◆いずれのプラントのコンクリートにおいてもフライアッシュを混和した方が，ブリーディングが抑制された。

【補足】フライアッシュの単位水量低減効果について

〔フライアッシュの単位水量低減効果のメカニズム〕

(1)フライアッシュの細かい粒子が逆に帯電されたセメント粒子表面に吸着し、セメント粒子同士が固まりになるのを防ぐ。

⇒ セメント粒子は効果的に分散し、大量の水を閉じ込める固まりを作らない。

(2)丸くなめらかな表面のフライアッシュ粒子はコンクリート内部粒子の摩擦を減らす。(ボールベアリング効果)

⇒ 流動性が促進される。

(3)フライアッシュはセメントよりも単位体積重量が小さいため、セメントと重量置換した場合に粉体量が増える。

⇒セメント粒子やフライアッシュ粒子は1～45μm程度の粒度分布であり、粉体は骨材間の空隙を充填し、コンクリートをより可塑的にする。

(a) Flocculated cement paste before dispersion

(b) Deflocculated cement paste after dispersion

Fig. 2.2 - Diagrammatic representation of freshly-mixed cement paste.

【参考文献】

V.M.Malhotra,P.K.Mehta,High-Performance High-Volume FlyAsh Concrete second Edition,pp13-pp24,2005.1

フライアッシュを用いたコンクリートの特性一覧(委員会における比較試験より)

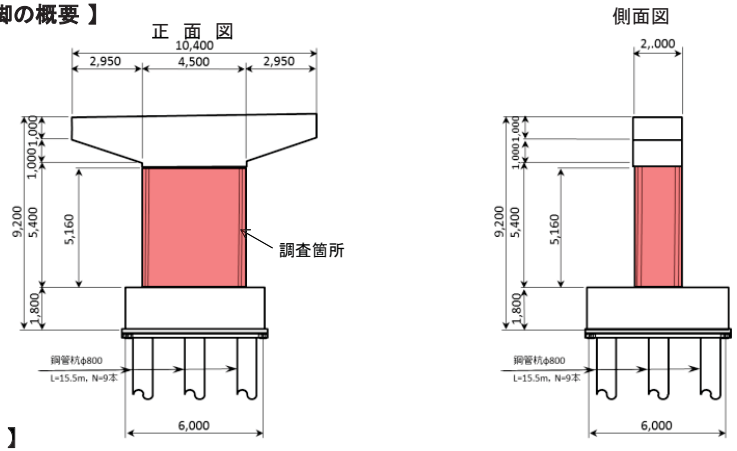
(凡例：高炉又は普通がフライアッシュに替わった場合
☆：顕著な効果有 ◎：効果有（一部同等） ○：同等 △：効果減（一部同等） ×：顕著な効果減)

比較項目		富山・石川県(七尾産FA) 高炉	富山・石川県(七尾産FA) 普通	福井県(敦賀産FA) 高炉	福井県(敦賀産FA) 普通	試験項目
(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およびﾃﾞﾝﾏｰｸ法)
(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

【フライアッシュコンクリート施工例】

・T型橋脚〔148m³使用〕

【 T型橋脚の概要 】



【 配合表 】

配 合	種 類	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
30-8-40	N＋F	45	37. 6	262	54	142	689	1, 151	3. 16	

N＋F:フライアッシュ17%置換（内割り）

【フレッシュコンクリートの性状】 （呼び強度） 30 （スランプ） 8±2.5cm （空気量） 4.5±1.5%

	打設日	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 (℃)
橋梁柱	8月19日	晴	29～31 ℃	一台目	荷卸時	8:20	9. 5	5. 0	29
					製造時	－	－	－	－
				最終車	荷卸時	10:44	10. 0	4. 7	31
					製造時	－	－	－	－
						（基準）	5.5～10.5	3.0～6.0	

【施工状況】

【コンクリートの圧縮強度試験】

（単位:N/mm²）

	3日	7日	28日	56日	91日
N＋F	19. 5	24. 0	36. 6	40. 4	42. 0

【ブリーディングの発生状況】

（単位: ℓ）

	ブリーディング水採集量
N＋F	0. 0

【外観状況（脱型時）】

【感想（施工者現場代理人）】

＜コンクリートの打設状況＞

・ポンプ打設中は、BBコンクリートと違いはあまり感じられない。

＜ブリーディングの状況＞

・ブリーディングはなかった。

・コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度に問題なし。
・フライアッシュコンクリートは、問題なく、良好に打設できた。
・外観調査において、収縮等によるひび割れは見られず、仕上がり状態は良好であった。

【まとめ】

〇フライアッシュの供給に関して

・出荷拠点（サイロ）を整備し、安定供給に努めている。

〇フライアッシュの品質管理に関して

・分級により、品質向上を図るとともに、石炭の選定、原粉、分級フライアッシュの品質確認等により、品質管理に努めている。

〇フライアッシュを用いたコンクリートの特性に関して

・硬化コンクリートの耐久性向上効果、ブリーディング低減による初期欠陥低減効果等を示した。

北陸SIPシンポジウム

持続可能な
社会を目指して

北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの利活用の実績

2018年 9月 7日

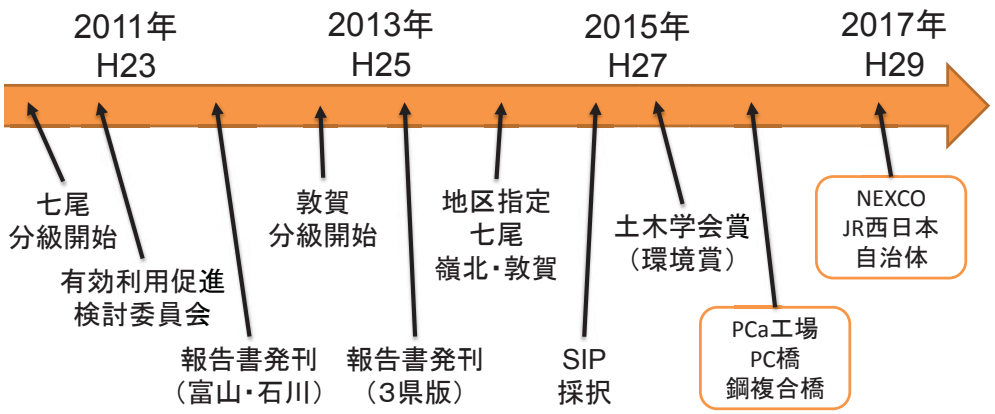
富山県立大学
伊藤　始

1. マスコンクリート
2. 道路舗装用の速硬コンクリート
3. プレビーム桁

1. マスコンクリートへの適用

・国交省　・石川県
・富山県　・福井県

北陸地方でのFA適用の流れ



重力式擁壁
逆T型擁壁
護岸ブロック
砂防えん堤
ﾎﾞｯｸｽｶﾙﾊﾞｰﾄ
橋台・橋脚
LNG関連工事
金大・ポステン梁
プレテン桁
取替用PCa-PC床版
プレビーム桁
舗装コンクリート

温度ひび割れ抑制効果の検討

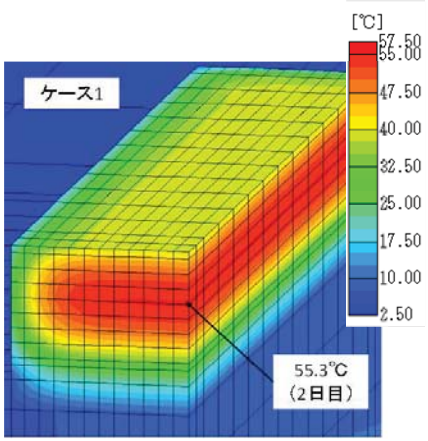
2011年～2014年に検討：
実構造物での計測と解析を基に、
「温度ひび割れ抑制効果」を明らかにする。

重力式擁壁（石川県）	逆T型擁壁（富山県）	六脚ブロック（国交省・富山）

他にも十数件

金沢大学
載荷試験場　PCスラブ

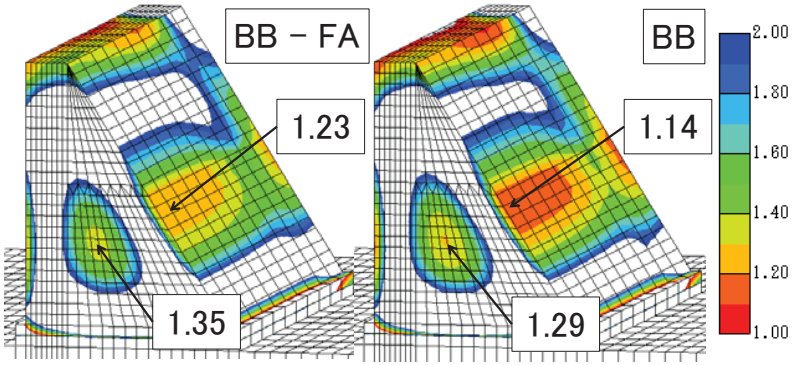
部材中心部の温度履歴



温度分布（材齢2日）

ひび割れ指数分布

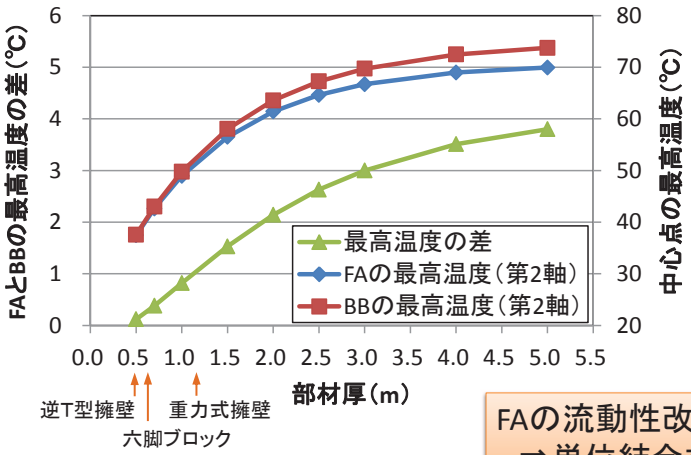
$$= \frac{\text{引張強度}}{\text{発生応力}}$$



期間内の最小値

○FAの水和発熱量が小さいこと、初期強度が大きいことで、ひび割れ指数が大きくなった。
○部材厚さが大きいときに、ひび割れ抑制効果が大きくなった

効果が得られる構造物条件



断熱温度上昇特性の条件

		FA	BB
K	℃	46.5	50.9
α	―	0.783	0.688

FAの流動性改善
⇒単位結合材量の減少

最高温度をさらに小さくできる

2. 道路舗装用の速硬コンクリート 1Day Pave への適用

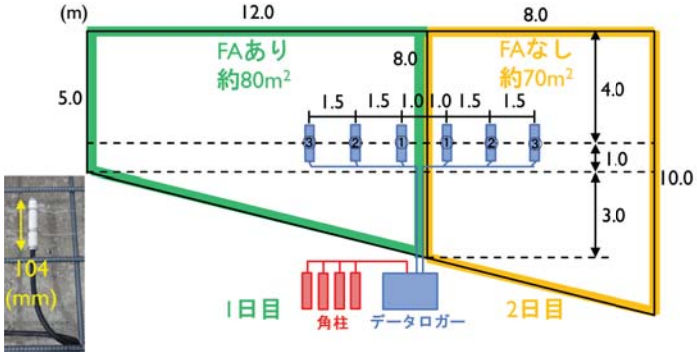
・デンカセメント
・黒部生コンクリート

適用方法

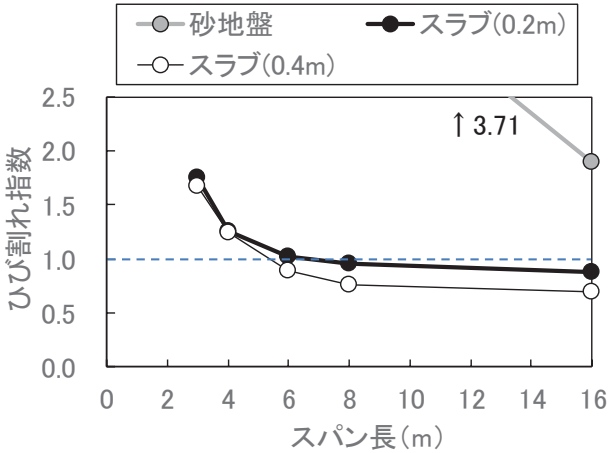
ケース名	FAの有無	W/C (%)	単位量(kg/m³) C	W	S	G	FA
FA	あり	35.0	458	160	591	1067	69
N	なし				718	1015	–

強度発現を優先
⇒**砂置換**

計測項目
ひずみ、温度
計測期間
2016/6/8～7/12



ひび割れ解析



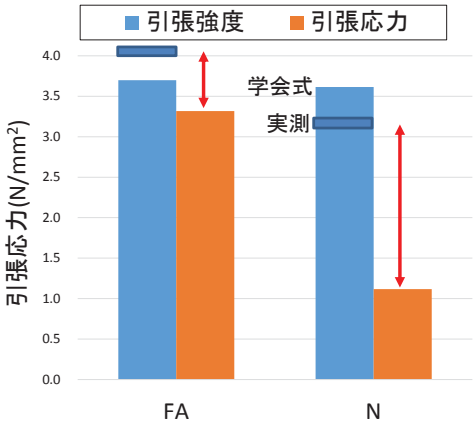
砂地盤の弾性係数
500 N/mm²

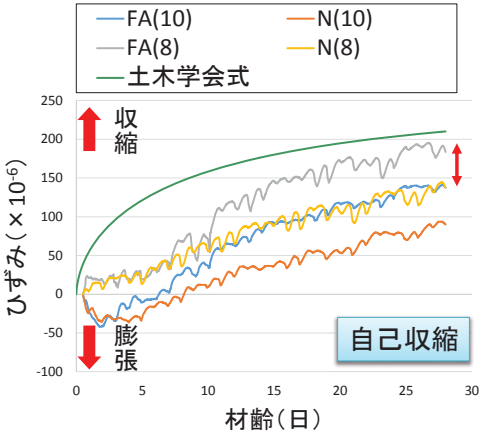
既設スラブの弾性係数
30000 N/mm²

舗装コン・自由収縮
300×10⁻⁶

施工条件ごとの拘束度合いによって、目地等を設置する必要がある。

ひび割れ発生の余裕度





今回の実験(**砂置換**)では
乾燥収縮　N＝FA
自己収縮　N＜FA

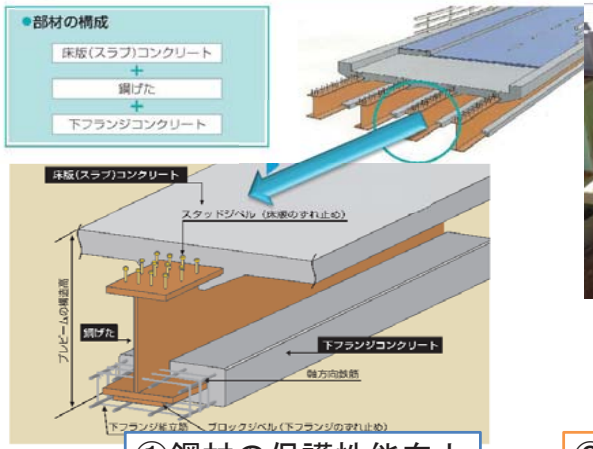
→ FAのひび割れ発生への余裕度が小さくなった。

3. プレビーム桁への適用

・川田工業
・となみ協立生コン

プレビーム桁とは（高強度FAのデータ蓄積）

PC鋼材の代わりに，鋼桁の曲げ剛性を利用して下フランジコンクリートにプレストレスを導入する構造形式.



①鋼材の保護性能向上

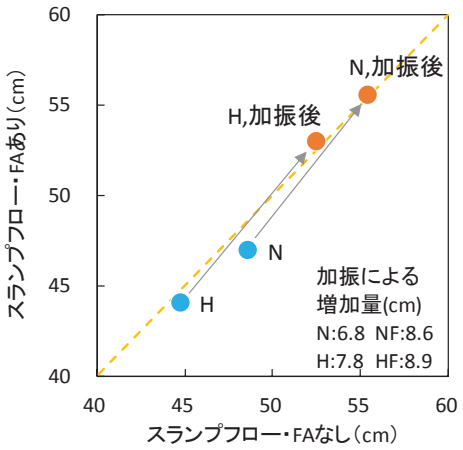
②狭隘な打込み箇所

プレストレス導入
打込み後5～7日

③早期に高い強度の発現

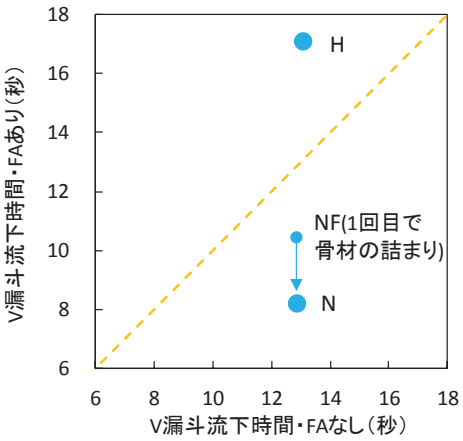
流動性、加振締固め性

加振スランプフロー



・加振後のフローはFAで大きい。
・加振変形量7～13cmを満足。

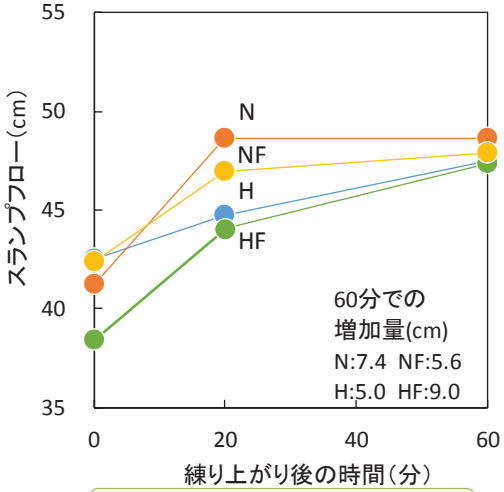
V漏斗・流下時間



・HFで大きい。NFで詰まり⇒粘性
・細骨材率s/a=39%の見直しで、改善。

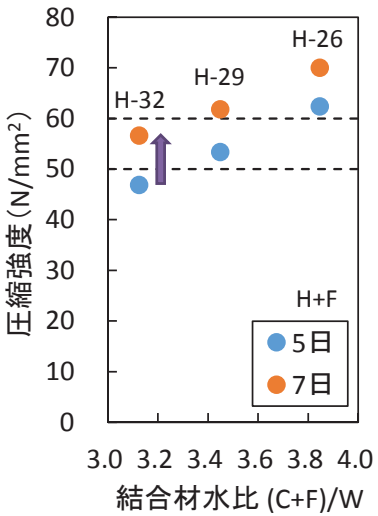
フレッシュ、強度発現

スランプフロー



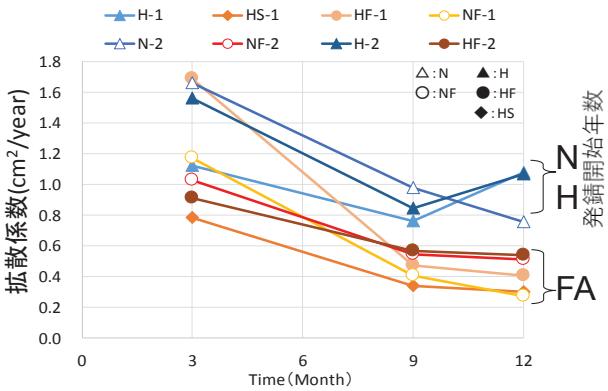
・混和剤の効果　・60分で同程度

圧縮強度・早強



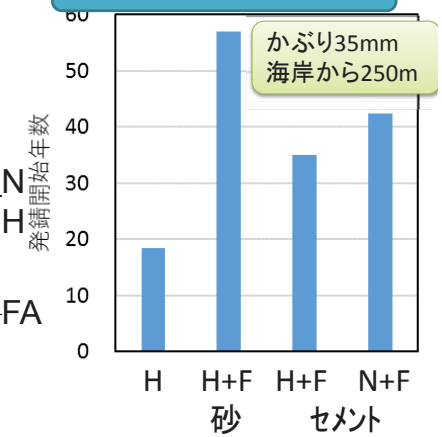
塩分浸透抵抗性

拡散係数と浸漬期間の関係



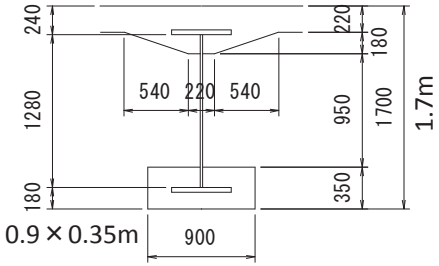
FA添加で、拡散係数が低下

発錆開始年数の計算

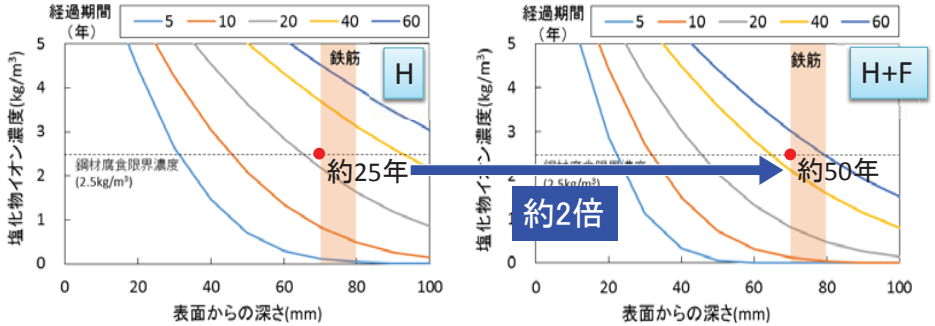


FA・セメント置換の発錆は、
通常より15年以上遅れる

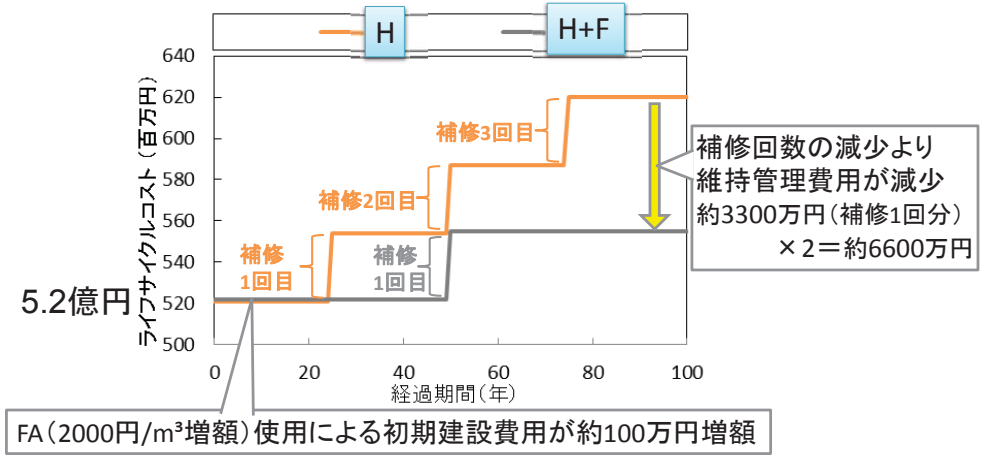
ライフサイクルコストの試算



橋長	150m
支間長	34.3m+40m+40m+34.3m
幅員	車道 8m
	歩道 3.5m
主桁本数	6
桁高	1.7m
床版	RC床版 22cm、K1=1.15
コンクリートかぶり	70mm ➡ 断面修復
耐用年数	100年



LCCの試算結果



+100万円－6600万円＝－6500万円
ライフサイクルコストを約6500万円低減
（表面被覆による補修を想定）

若手連携会議　自治体職員等への周知

自治体職員、診断士に向けた公開実験（富山、石川、福井）

ＡＳＲ・塩害の促進（複合劣化）

ＦＡなし供試体
ＦＡ混入供試体 ➡ **ひび割れ発生や耐荷力を比較**

⬇

効果を実証

北陸電力と自治体や生コンの職員のコーディネート

北陸電力（若手） ➡ SIP北陸 **研修・実地** ➡ 自治体職員 / 生コン職員

ＦＡ品質保証
配合の選定
性質の評価
適用の事例
研究成果

地域的標準化に向けて

北陸地方は、コンクリートの劣化が進行しやすい地域である。

⬇

SIPでは、塩害抑制対策、ASR抑制対策を主目的に、フライアッシュコンクリートの地域的標準化を目指している。

⬇

FAの技術的なメリットとデメリットは、おおむね整理されたが、コストの課題は残る。

⬇

ライフサイクルコスト（LCC）の考えを適用して、耐久性向上によるLCC低減効果が大きい構造物に適用していきたい。

NIPPON PS
Bridge for the future

地方道路橋への
フライアッシュコンクリートの適用実績

(株)日本ピーエス
中野一政

目次

1. 施工実績
2. 製造準備
3. 性能試験
4. 地方道路橋への適用
5. PC床版への適用

1. 施工実績

1－1. 歴史は繰り返す

日本のPC橋は北陸から

日本初のプレテンション橋：長生橋（石川県七尾市）

日本初のポストテンション橋：十郷橋（福井県坂井市）

フライアッシュPC橋も北陸から

フライアッシュ・プレテンション橋：宮坂橋歩道橋（石川県）

フライアッシュ・ポストテンション橋：希望橋（福井県）
PC床版（富山県、福井県）

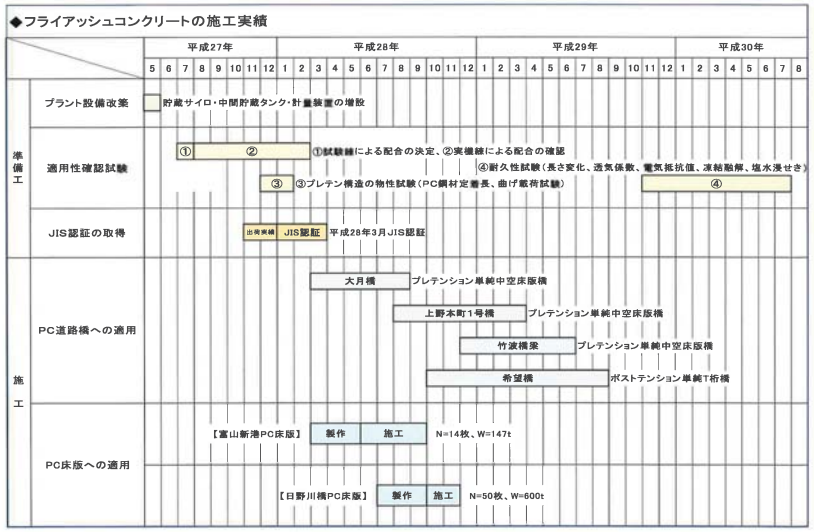
1－2. フライアッシュの使用目的

PC製品の付加価値向上
長期耐久性の向上

地産地消
敦賀火力発電所産フライアッシュ

環境負荷低減効果
CO_2発生量の削減

1－3. 施工実績工程



2. 製造準備

2－1. 設備投資

フライアッシュ用サイロの増設
（15tサイロ）

フライアッシュ中間貯蔵タンクの新設
（5tタンク）

フライアッシュ計量装置の新設

フライアッシュ用混和剤タンク増設

製造工場と生コンプラント

生コンプラントとＰＣ床版

サイロ

中間貯蔵タンク（５ｔ）

計量装置

3. 性能試験

3－1. 試験練りによる配合の検討

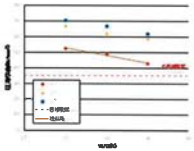
水結合材比（W/B）は30%、33%、36%の3種類とし、FAの置換率は15%とした

蒸気養生条件は前置き3時間で、最高温度55℃で継続時間を5時間とした。

試験練りの配合，養生方法，フレッシュ性状，圧縮強度

配合	W/B (%)	混和材置換率 (%)	単位量 (kg/m³) W	B H	B FA	B BFS	S	G	養生方法※	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm²) σ1	σ7	σ14	σ28
FA30	30	15	151	428	75	-	673	1057	3h-55℃5h	12.5	4.0	52.5	67.0	-	70.4
FA33	33			389	69	-	700	1070		13.0	3.9	48.9	62.1	-	66.8
FA36	36			357	63	-	723	1082		6.5	4.7	42.8	58.9	-	61.8

※　養生方法の表記は「前置き時間 － 最高温度および継続時間」とした



W/B と圧縮強度の関係（FA 配合）

3－2. 実機練りによる配合の検討

試験練りの結果を受け、実機練りでの配合と養生はFA33(3h-55℃5h)で検討した

冬期配合にFA32(3h-55℃5h)、冬期以外にFA33(3h-60 ℃7h)を用いることとした

フレッシュ性状および圧縮強度試験の結果

配合	水結合材比(%)	混和材置換率(%)	ｽﾗﾝﾌﾟ(%)	空気量(%)	養生方法※	圧縮強度（N/mm²）				備考
						σ1	σ7	σ14	σ28	
FA32	32	15	10.5	4.0	3h-55℃5h	42.9	54.4	58.4	57.9	冬期配合
FA33	33		13.0	5.6	3h-55℃5h	32.8	45.1	-	-	
			14.5	6.0	3h-60℃7h	38.5	50.4	-	56.0	冬期以外配合

※　養生方法の表記は「前置き時間 － 最高温度および継続時間」とした

3－3. 硬化コンクリートの特性

早強コンクリートと比較した結果、いずれの試験においても同等以上の結果が得られた

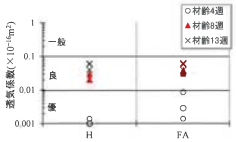
配合および蒸気養生方法

配合	W/B(%)	混和材置換率(%)	単位量（kg/m³）							養生方法※	ｽﾗﾝﾌﾟ(cm)	空気量(%)
			W	B			S	G				
				H	FA	BFS						
H36	36	-	151	420	-	-	726	1082		3h-55℃5h	14.0	4.0
FA33	33	15		389	69	-	699	1071		3h-60℃7h	14.5	5.2

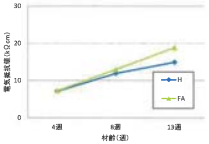
※　養生方法の表記は「前置き時間 － 最高温度および継続時間」とした

実験項目の一覧

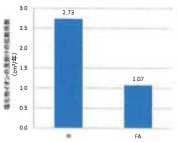
実験項目		供試体の寸法	試験材齢
圧縮強度	JIS A 1108	φ100×200 mm	材齢 1,7,14,28 日
長さ変化	JIS A 1129	□100×400 mm	材齢 1,2,4,8,13,26 週
透気係数	トレント法	□150×530 mm	材齢 4,8,13 週
電気抵抗	4 点 WENNER プローブ方式	□150×530 mm	材齢 4,8,13 週
凍結融解抵抗性	JIS A 1148 A 法	□100×400 mm	300 サイクル時点
塩化物イオン浸透抵抗性	JSCE-G572 JSCE-G574	φ100×200 mm	浸せき期間終了後



透気係数測定結果



電気抵抗値測定結果



塩化物ｲｵﾝの見掛けの拡散係数

4. 地方道路橋への適用

4－1. 適用実績

＊発注者は全て福井県

橋梁名	構造形式	規模	施工場所	配合完成年月
大月橋	ﾌﾟﾚﾃﾝｼｮﾝ 単純中空床版橋	橋長：12.0m 幅員： 4.1m	福井県 永平寺町	50-12-20H 2016年8月
上野本町1号橋	ﾌﾟﾚﾃﾝｼｮﾝ 単純中空床版橋	橋長：22.0m 幅員：15.3m	福井県 福井市	50-12-20H 2017年3月
馬背橋（ﾏｼﾞｮﾊｼ）	ﾌﾟﾚﾃﾝｼｮﾝ 単純中空床版橋	橋長：12.0m 幅員： 9.8m	福井県 美浜町	50-12-20H 2017年6月
希望橋	ﾎﾟｽﾄﾃﾝｼｮﾝ 単純T桁橋（ｾｸﾞﾒﾝﾄ桁）	橋長：34.6m 幅員：16.8m	福井県 越前市	50-15-20H 2017年8月

4－2. 大月橋

①型枠組立完了

②蒸気養生

③製品保管

④橋梁完成

4－3. 上野本町1号橋

①鉄筋組立完了

②主桁架設

③架設完了

④橋梁完成

4－4. 馬背橋

①緊張装置

②緊張完了

③緊張導入完了

④橋梁完成

4－5. 希望橋

①セグメント桁運搬

②主桁緊張

③主桁架設(吊下方式)

④橋梁完成

5. PC床版への適用

5－1. LNG船着岸桟橋

①製品保管

②ＰＣ床版架設

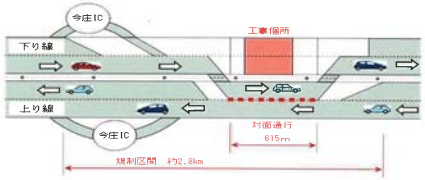
③打設前状況

④橋体架設

５－２．日野川橋

①打設前配筋状況

②製品保管



③交通規制図

④既設床版撤去

⑤ＰＣ床版架設

⑥ＰＣ床版架設完了

⑦完成

⑧コンクリート配合表

部　材	設計基準強度 (N/mm²)	SL (cm)	水結合材比 (W/B) (%)	水 (W) (kg/m³)	セメント (C) (kg/m³)	混和材		細骨材 (kg/m³)	粗骨材 (kg/m³)
						FA (kg/m³)	膨張材 (kg/m³)		
プレキャストＰＣ床版	50	12	33.0	151	389	69	－	699	1074
間詰め床版 場所打ち床版	50	12	31.7	165	419	74	28	609	1074
壁高欄	30	12	43.3	170	313	55	25	709	1068

おわりに

・早強コンクリートと比較して、フライアッシュコンクリートの優位性が確認された

・地方道路橋のPC橋にフライアッシュコンクリートを使用することで多くの実績ができた

・北陸地方の道路橋に共通する劣化因子に対してフライアッシュコンクリートは有効である

北陸SIPシンポジウム

「北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの地域実装」

北陸新幹線 上部工(PCけた)へのフライアッシュコンクリートの適用実績

平成30年9月7日　KKRホテル金沢

株式会社ピーエス三菱

金沢営業所長（PC建協北陸支部副支部長）

小 林 和 弘

目 次

本　編	Page
1.　はじめに	1
2.　経緯	2
3.　試し練り①、圧送試験	3～6
4.　配合見直し	7～9
5.　試し練り②、使用承諾	10～11
6.　打設	12～13
7.　まとめ（今後に向けて）	14

1.　はじめに

北陸地方は骨材事情が良好ではなく、北陸新幹線の建設工事では、コンクリートのASR抑制対策が必要であった。

このため、H27年度から、金沢大学 鳥居教授を含む学識経験者および鉄道総研、JR西日本、鉄道・運輸機構の関係者による検討委員会を設置して審議を行ってきた。

H29.6.1 金沢大学SIP
実務者のためのコンクリートフォーラム
ー北陸地方でのフライアッシュコンクリートの活用を目指してー
技術報告4（鉄道・運輸機構）より引用

今回は、北陸新幹線工事において土木工事標準示方書に追加されたフライアッシュコンクリートを、早強ポルトランドセメントを使用した上部工PCけた（設計基準強度40N/mm^2）に適用した実績についてご報告いたします。

2.　経緯

時　期	内　容	概　要
平成29年3月29日	【JRTT・事務連絡】ASR抑制対策の改訂	・アルカリ総量を2.2kg/m3以下に抑制 ・ASR抑制効果の確認された混和材の使用
平成29年11月	【ピーエス三菱・受注契約】第1下粟津橋りょう、第4矢田野橋りょう	・第1下粟津　10連（24～45m）　42本 ・第4矢田野　11連（24～45m）　54本 ・PPC単純Tけた（現場製作）、工期24ヶ月 ・40N/mm2、SL=12±2.5cm、Air=5.5±1.5%
平成30年2月13日	【試し練り①】室内試験（梯デンカ生コン）	・FA（七尾大田火力産）内割り15%置換　→　OK
平成30年3月24日	【圧送試験・FA有効利用促進委員会】 実機による練り混ぜ、運搬、圧送の確認	・V=4m3、運搬時間約20分　→　NG（SL、Airのロス大）
平成30年3～4月	【配合見直し】実機による練り混ぜ、経時変化の確認	・FA15%置換は固定 ・W/B、単位水量、混和剤の変更をトライアル ・実機4m3で60分後のSL、Airロスを確認 ・同時に圧縮強度σ3（現場気中）、σ7σ28（標準）を確認
平成30年4月18日	【試し練り②】修正配合での室内試験	・W/B：33.8→36.0% ・単位水量：149→155kg/m3 ・高性能AE減水剤：0.62→0.60%
平成30年6月	【使用承諾】JRTTへFAC使用承諾書を提出	・圧縮強度、静弾性係数 ・圧縮クリープ、長さ変化率
平成30年7月23日	【打設】第3下粟津BL Ctp1 G4桁	・暑中は、高性能AE減水剤（遅延形）で対応 ・以降、残り3本の打設を完了 ・9月にトラッククレーン相吊りで架設予定

3－1.　試し練り①

試し練り①　配合

セメント種類	W/B (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m3) W	C	FA	B	S	G	SP (B×%)
早強	33.8	5.5	40.9	149	374	67	441	686	1000	0.62

SP：高性能AE減水剤

フレッシュ性状

スランプ (cm)	Air (%)	CT (℃)
14.0	6.0	20

ただし、経時変化
↓
確認が不足・・・

圧縮強度結果

圧縮強度(N/mm2) 現場気中 σ2	σ3	標準 σ7	σ28
39.0	47.2	56.8	66.9

設計基準強度：40N/mm2
プレストレス導入時強度：34N/mm2
⇒　ともに、十分満足（富配合？）

3－2.　実機による練り混ぜ、運搬、圧送試験（1）

試験状況写真-1

3－2.　実機による練り混ぜ、運搬、圧送試験（2）

試験状況写真-2

7分後・出荷前、SL：13.5cm、Air：6.2%

FA混入により
粘性大であるが
圧送には適合

3－2.　実機による練り混ぜ、運搬、圧送試験（3）

データシート

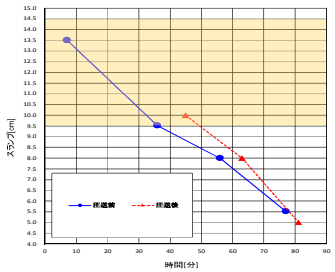
圧送性は問題ないが
特にスランプロスが大きく
実施工では使用不可
↓
配合見直しへ

高強度（早強40N）フライアッシュコンクリート圧送試験　試験結果

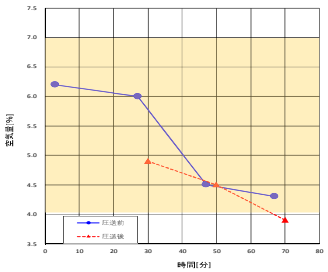
試験No.	項目	想定時間	経過時間 (分)	実時間	経過時間 (分)	スランプ (cm)	空気量 (%)	CON温度 (℃)	外気温 (℃)	圧送状況
						規格値 12.0±2.5 (9.5～14.5)	規格値 5.5±1.5 (4.0～7.0)			
	練混ぜ開始	13:35	0'	14:06	0'					
①	出荷時	13:38	3'	14:12	7'	13.5	6.2	18	12	
②-1	現場着直後	14:02	27'	14:41	36'	9.5	6.0	15	13	
②-2		14:05	30'	14:50	45'	10.0	4.9	16		良好
③-1	現場着20分後	14:22	47'	15:01	56'	8.0	4.5	16	15	
③-2		14:25	50'	15:06	63'	8.0	4.5	17		良好
④-1	現場着40分後	14:42	67'	15:22	77'	6.5	4.3	18	15	
④-2		14:45	70'	15:26	81'	6.0	3.9	18		良好
⑤-1	現場着60分後	15:02	87'	:						
⑤-2		15:05	90'	:						
⑥-1	現場着80分後	15:22	107'	:						
⑥-2		15:25	110'	:						

スランプ値が小さくなったため
⑤⑥試験は中止した

＊-1は圧送前（アジテータより直接採取）
＊-2は圧送後（ポンプ筒先より採取）



スランプ

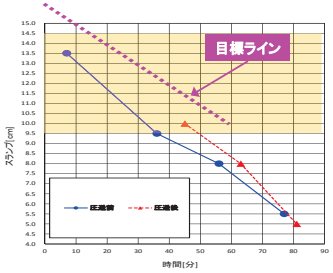


空気量

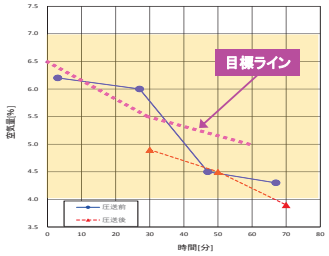
4.　配合見直し（1）

改善事項・目標

1. 圧縮強度（σ2、3、7）は十分大きい　⇒　W/Bを大きくする
2. 実機プラント練り混ぜ、アジテータ撹拌での経時変化を確認
   ⇒　試験練りミキサー、静置（練り返し）での確認では実用に耐えない
3. スランプ経時変化は、練り混ぜ後30分で▲3cm以内、60分で▲6cm以内程度
4. 空気量経時変化は、練り混ぜ後30分で▲1.0%以内、60分で▲1.5%以内程度
5. 混和剤の保持性能を発揮させるには、単位水量の増加も検討する



スランプ



空気量

4.　配合見直し（2）

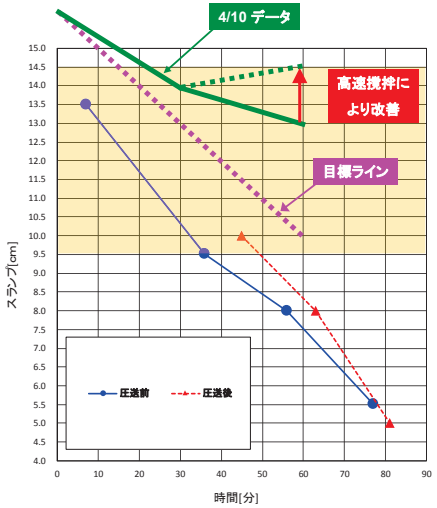
データシート

早強FAC　試験練り結果データ（40-12-25-5.5）　　プラント：横デンカ生コンクリート（株）

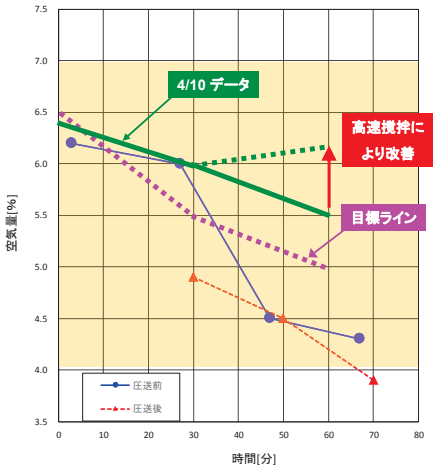
日付 場所	配合 No.	No.	セメント種類	W/B (W/C) (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m3) W	C	FA	B	S	G	SP (B×%)	練上り後経過時間（分）	スランプ (cm)	Air (%)	CT (℃)	圧縮強度(N/mm2) 現場気中 σ2	σ3	標準 σ3	σ7	σ28	備考
H30 2/13	1	1	早強	33.8	5.5	40.9	149	374	67	441	686	1000	0.62		14.0	6.0	20	39.0	47.2		56.8	66.9	室内試し練り①
3/24 圧送試験	1	2	早強	33.8	5.5	40.9	149	374	67	441	686	1000	0.62	7（0）	13.5	6.2	15		筒先採取→		50.5	62.3	
														36	9.5	6.0	15						
														56	8.0	4.5	16				56.8	66.4	
														77	5.5	4.3	18						
3/26	2	3	早強	35.0	5.5	41.3	149	362	64	426	697	1000	0.66	0	18.0	6.5	16						以下、V=1.0m3 アジトラ撹拌
														30	12.0	6.2	17		38.0	40.5	50.0	59.9	
														60	11.0	5.6	18						
	3	4	早強	36.0	5.5	41.9	149	351	63	414	712	997	0.65	0	18.5	7.0	17						
														30	13.0	6.6	18		34.2	37.0	45.3	54.1	
														60	10.0	6.6	20						
3/27	4	5	早強	35.0	5.5	41.3	149	362	64	426	697	1000	0.71	0	19.5	6.0	18						
														30	19.0	7.4	19		39.5	41.5	50.5	60.0	
														60	16.0	7.0	19						
	5	6	早強	36.0	5.5	41.9	149	351	63	414	712	997	0.70	0	20.5	7.6	17						
														30	16.5	7.4	18		34.6	36.8	45.5	53.1	
														60	13.5	6.2	20		35.5	35.8	44.7	54.2	
3/30	5	7	早強	36.0	5.5	41.9	149	351	63	414	712	997	0.70	0	20.5	6.4	16						
														30	12.5	5.5	17		35.8	42.3	52.3	58.0	V=2.0m3
														60	13.0	5.6	17						
4/3	6	8	早強	38.0	5.5	41.2	158	353	63	416	689	995	1.00	0	9.5	4.6	20						
													（高機能型）	30	4.5	4.0	22						
													（EX60）	60									
	7	9	早強	38.0	5.5	41.2	158	353	63	416	689	995	1.30	0	13.5	4.8	20		35.7	38.1	46.1	56.9	
													（高機能型）	30	8.5	4.4	21						
													（EX60）	60	5.5	3.7	21						
	8	10	早強	36.0	5.5	40.9	155	366	65	431	680	997	0.50	0	11.0	4.9	20		37.4	39.1	47.8	55.1	
														30	9.5	4.0	21						
														60	7.5	3.6	22						
	9	11	早強	36.0	5.5	40.9	155	366	65	431	680	997	0.70	0	19.5	6.7	20		35.8	38.6	48.1	57.1	
														30	18.0	6.3	20						
														60	16.0	5.7	20						
4/10	10	12	早強	36.0	5.5	40.9	155	366	65	431	680	997	0.60	0	16.0	6.4	17		35.2	38.6	48.3	56.5	V=4.0m3 60①：高速撹拌なし 60②：高速撹拌60秒 60③：高速撹拌90秒
														30	14.0	6.0	18						
														60①	13.0	5.5	18			39.4	49.0		
														60②	14.5	6.0	18			38.3	47.7		
														60③	14.5	6.2	18			38.1	47.2		
4/18	10	13	早強	36.0	5.5	40.9	155	366	65	431	680	997	0.60	0①	17.0	6.0	21	31.4	35.8		44.9	53.0	室内試し練り②
														0②	15.0	6.4	21						

4.　配合見直し（3）

経時変化グラフ



スランプ



空気量

5－1.　試し練り②

試し練り②　配合

下表で、①は2/13実施の試し練り①を、②は4/18実施の試し練り②を示す

No.	セメント種類	W/B (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m3) W	C	FA	B	S	G	SP (B×%)
①	早強	33.8	5.5	40.9	149	374	67	441	686	1000	0.62
②		36.0	5.5	40.9	155	366	65	431	680	997	0.60

フレッシュ性状

No.	スランプ (cm)	Air (%)	CT (℃)
①	14.0	6.0	20
②	17.0	6.0	21

圧縮強度結果

No.	圧縮強度(N/mm2) 現場気中 σ2	σ3	標準 σ7	σ28
①	39.0	47.2	56.8	66.9
②	31.4	35.8	44.9	53.0

設計基準強度：40N/mm²
プレ導入時強度：34N/mm²

経時変化（4/10データ）

項目	時間	0～30分	0～60分	30～60分	60分後の高速撹拌	なし	60秒	90秒
スランプ (cm)	目標	▲ 3.0	▲ 6.0	▲ 3.0	測定値	13.0	14.5	14.5
	4/10	▲ 2.0	▲ 3.0	▲ 1.0	改善値	―	1.5	1.5
Air (%)	目標	▲ 1.0	▲ 1.5	▲ 0.5	測定値	5.5	6.0	6.2
	4/10	▲ 0.4	▲ 0.9	▲ 0.5	改善値	―	0.5	0.7

フレッシュ性状、強度、経時変化　ともにOK　⇒　実用可能な早強FAC（40N）配合の完成

5－2.　使用承諾

確認項目（フレッシュ性状、圧縮強度以外）

1. 静弾性係数
   計測値：30.3 kN/mm² （圧縮強度53.3 N/mm²・σ28）
   設計値：31.0 kN/mm² （圧縮強度40 N/mm²）
   ⇒　静弾性係数　設計値比　97.7%と近似
2. クリープ係数（クリープ特性）
   材齢28日までの計測データより回帰式で求めた材齢365日のクリープ係数：1.492
   ⇒　鉄道構造物等設計標準・同解説
   設計クリープ係数：1.6（推定式より1.553）より小さい
   （材齢91日までの計測データより回帰式で求めた材齢365日のクリープ係数：1.417）
3. 長さ変化率試験（乾燥収縮ひずみ）
   材齢28日までの計測データより回帰式で求めた材齢365日の推定ひずみ値：551μ
   ⇒　コンクリート標準示方書　乾燥収縮ひずみ：610μと同等
   （材齢91日までの計測データより回帰式で求めた材齢365日の推定ひずみ値：610μ）

静弾性係数、クリープ係数、乾燥収縮ひずみ　ともにOK　⇒　コンクリート使用承諾書を提出

6.　打設（1）

7/23　1本目（第3下粟津BL　G4けた）

第1下粟津橋りょう（PCけた）　コンクリート試験値一覧表

月日	位置	スランプ (cm)	空気量 (%)	CON温度 (℃)	外気温 (℃)	圧縮強度（N/mm2） σ1	σ3	σ7	σ28
						現場養生		標準養生	
7/23	第3下粟津BL　Ctp1　G4	13.5	6.1	32	30	34.4	47.3	51.8	61.3
8/1	第3下粟津BL　Ctp1　G3	14.0	6.0	31	28	32.2	45.9	51.2	68.4
8/18	第3下粟津BL　Ctp1　G2	13.5	6.0	30	21	38.9(σ2)	43.0	47.8(σ6)	
8/27	第3下粟津BL　Ctp1　G1	13.0	5.3	30	27				

暑中においても、高性能AE減水剤（遅延形）の使用でフレッシュ性状も安定
圧縮強度（プレストレス導入時強度、設計基準強度）も問題はない

6.　打設（2）

製作ヤード状況

桁長：35m、桁高：2.9m、桁質量：121.6t/本

7.　まとめ（今後に向けて）

1. 暑中施工においても、フレッシュ性状、経時変化、ワーカビリティー、圧送性には問題がない。
2. （夏季においては）ブリーディングが発生しないので、天端均し（仕上げ）に十分注意が必要。
3. 今後、秋季で気温が低下してきた場合の、高性能AE減水剤（標準型）への切り替えに十分注意が必要。
4. さらに、冬季の給熱養生、初期強度発現の確認にも、十分注意が必要。
5. 総合的には、施工性がよく、生産性向上が期待できる。
6. 配合検討（完成）には、経験と根気が必要である。
   （関係者、特に梯デンカの皆様、ご協力ありがとうございました）

※「ご紹介した現場写真やデータ等については、鉄道・運輸機構さんの了解をいただいております。」

ご静聴ありがとうございました