

北陸新幹線敦賀延伸工事における フライアッシュコンクリートの標準化と ASR抑制対策の地域実装

金沢大学理工研究域環境デザイン学系

教授 鳥居和之

平成29年7月27日

(於 京滋コンクリート診断士会)

本日の講演内容

1. 金沢大学SIPの概要
2. 反応性骨材と反応性鉱物とは何か
3. わが国 の地質構造と反応性骨材の分布
4. PC橋梁およびPCa部材でのASR発生事例
5. JIS A5308によるASR抑制対策の課題
6. 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標準化

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)
インフラ維持管理・更新・マネジメント技術

採択課題の概要

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

研究開発責任者:鳥居和之
(金沢大学 理工研究域)
研究開発グループ : 金沢大学
共同研究グループ(1) : 金沢工業大学
共同研究グループ(2) : 石川工業高等専門学校
共同研究グループ(3) : 長岡技術科学大学
共同研究グループ(4) : 福井大学
共同研究グループ(5) : 富山県立大学(H29.4)

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

塩害劣化



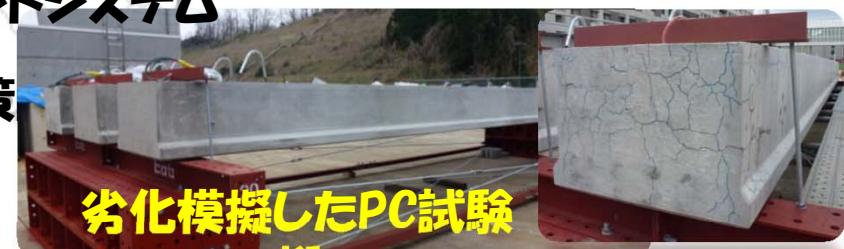
ASR劣化



塩害およびASR
劣化機構の解明

メンテナンスマネジメントシステム

塩害, ASR対策



北陸から全国へ技術情報を発信

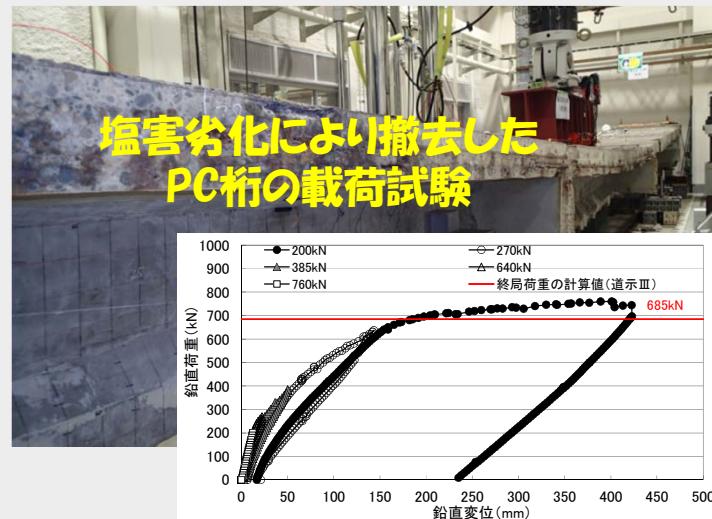
塩害・ASR対策
フライアッシュコンクリートPCa・PC
床版



フライアッシュ(地産地消)

金沢大学SIP 全体概要 進捗状況 ①

塩害劣化機構の解明 「達成率90%」



ASR劣化機構の解明達成率90%」



ASR劣化を模擬したPC試験術

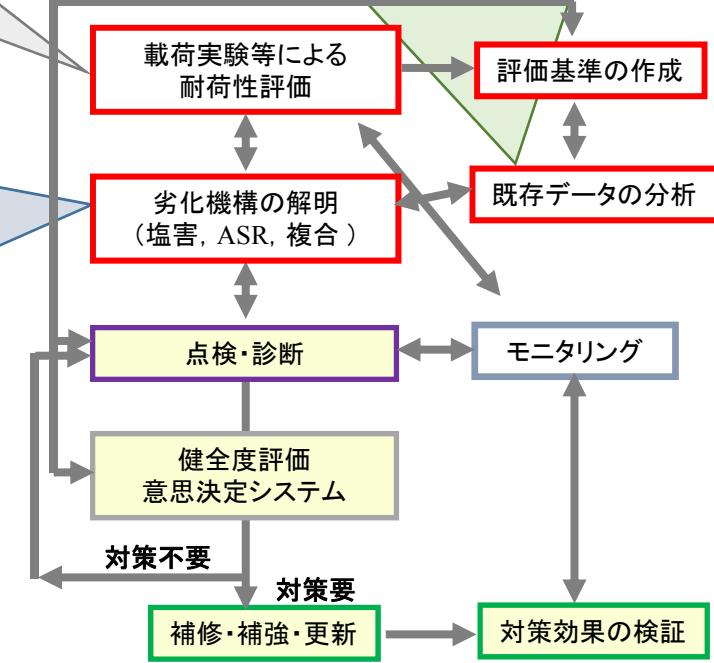
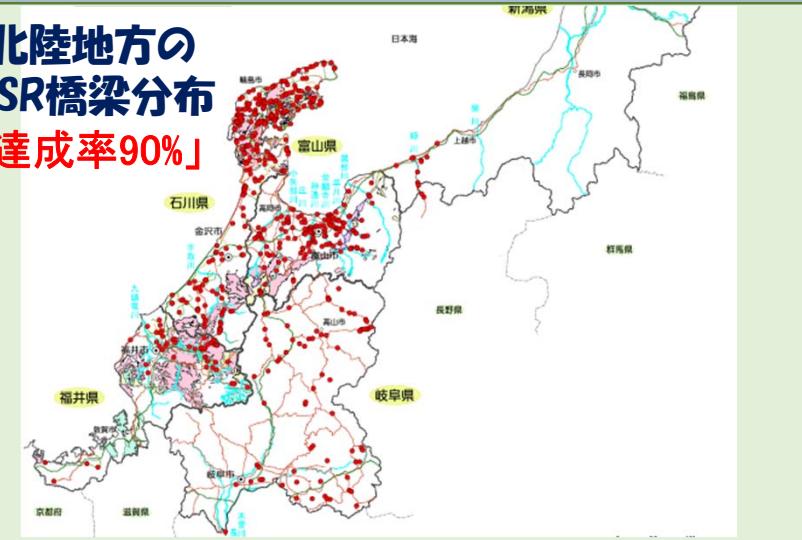


フライアッシュ混入なし



フライアッシュ混入あり

北陸地方の ASR橋梁分布 「達成率90%」



金沢大学SIP 全体概要

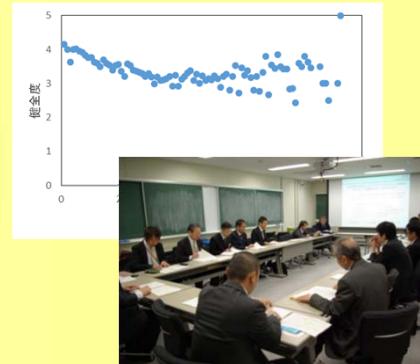
進捗状況 ②

早期劣化を生じた床版の現況把握と健全度評価
「達成率80%」



移動式大型衝撃加振装置を用いた評価

北陸3県の橋梁における維持管理計画の現状把握
「達成率70%」



長期モニタリングと数値解析による早期劣化橋梁の健全度評価
「達成率70%」



早期劣化を生じた下部構造の現況把握と健全度評価
「達成率90%」



ASR劣化を生じた下部構造の補修方法の検討

載荷実験等による耐荷性評価 → 評価基準の作成

既存データの分析

劣化機構の解明
(塩害, ASR, 複合)

点検・診断

健全度評価
意思決定システム

対策不要

補修・補強・更新

対策効果の検証

モニタリング

金沢大学SIP 全体概要

全体スケルトン

ホームページによる技術情報の公開

<http://sip-hokuriku.com>



技術者の育成



産学官民連携

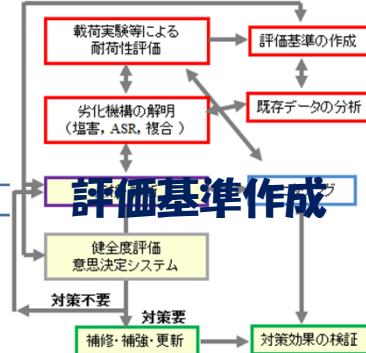
北陸道路
メンテナンス会議



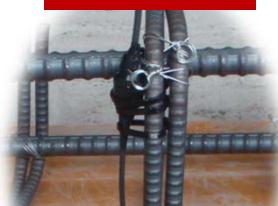
早期劣化機構
の解明



正確な診断
技術の構築



調査診断



チタンワイヤ
センサーによる
点検簡易化
コスト縮減

加速期



塩害対策
電気防食技術の
適用拡大

フライアッシュの有効利用
地産地消

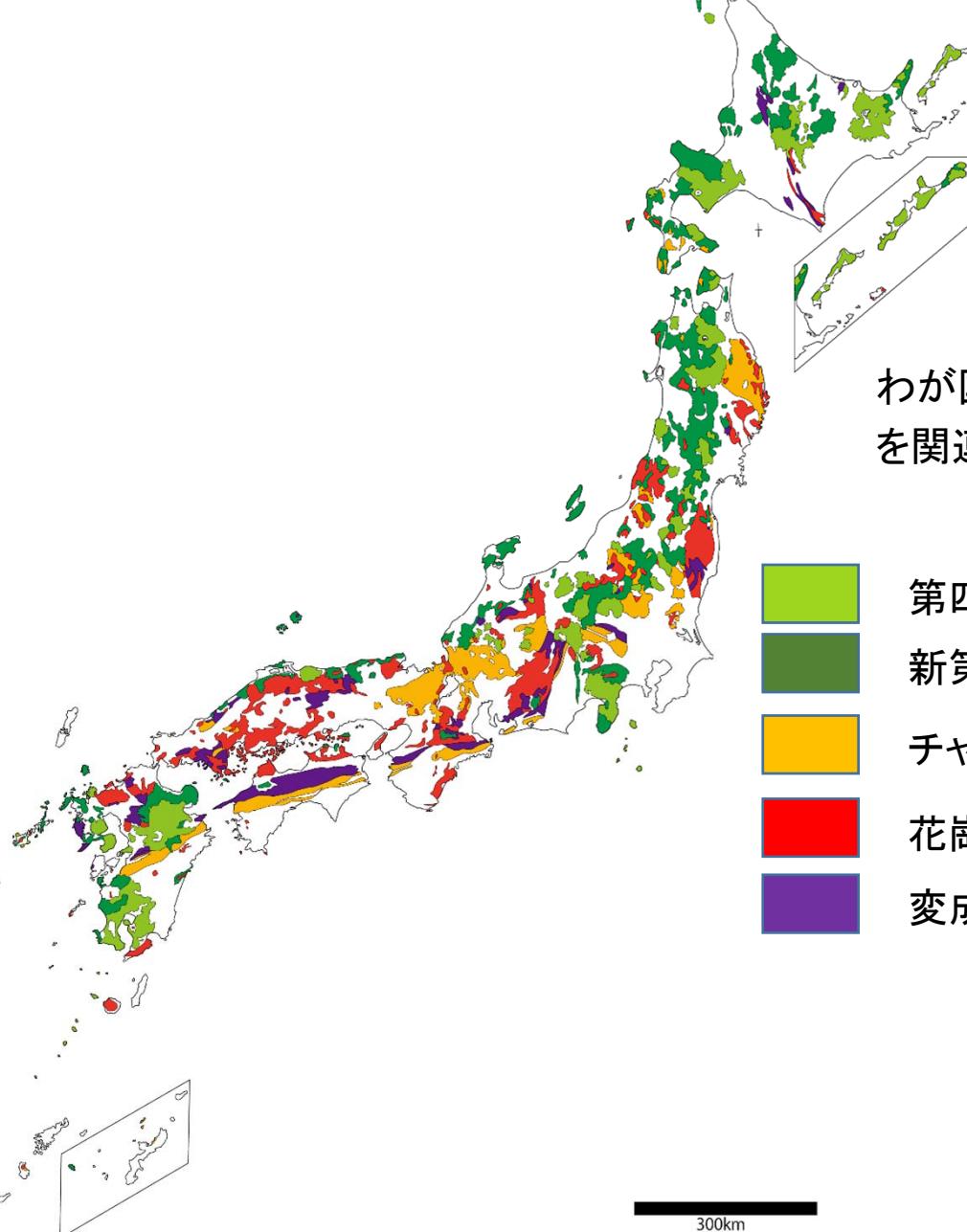
塩害・ASR対策としての
フライアッシュコンクリートを用いた
高耐久プレキャストPC床版による更新

劣化期



北陸3県コンクリート
診断士会との連携による
北陸地方と同様
な問題を抱えている
地域へ展開

わが国の代表的な反応性骨材の分布



わが国地質状況とASRの危険性・発生状況
を関連付けて、地域ごとに考察する。

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)

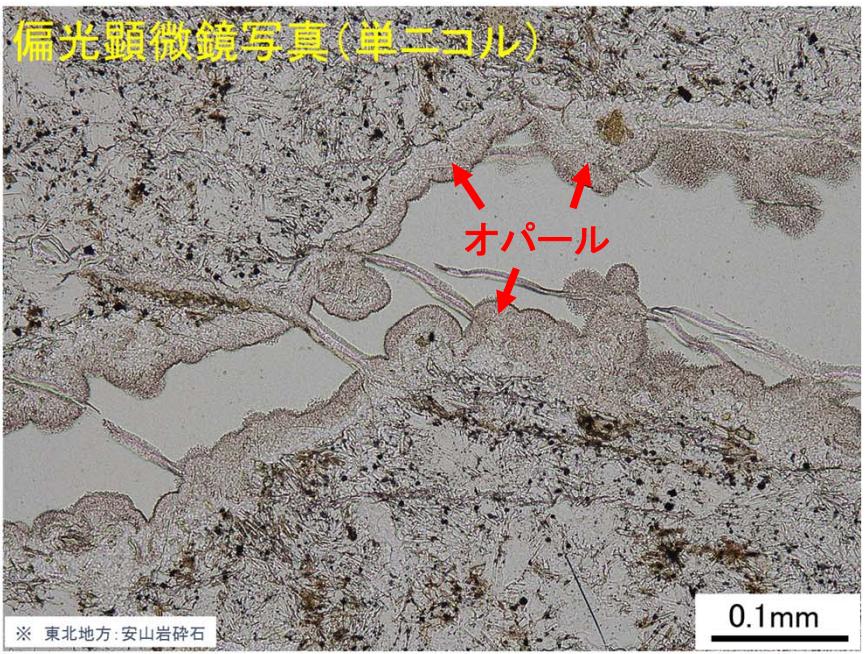
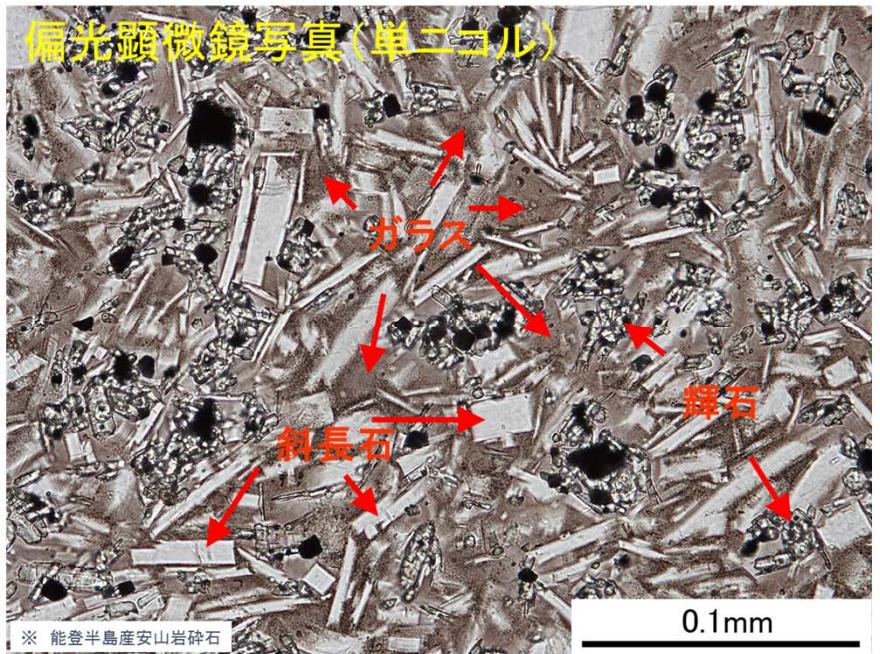
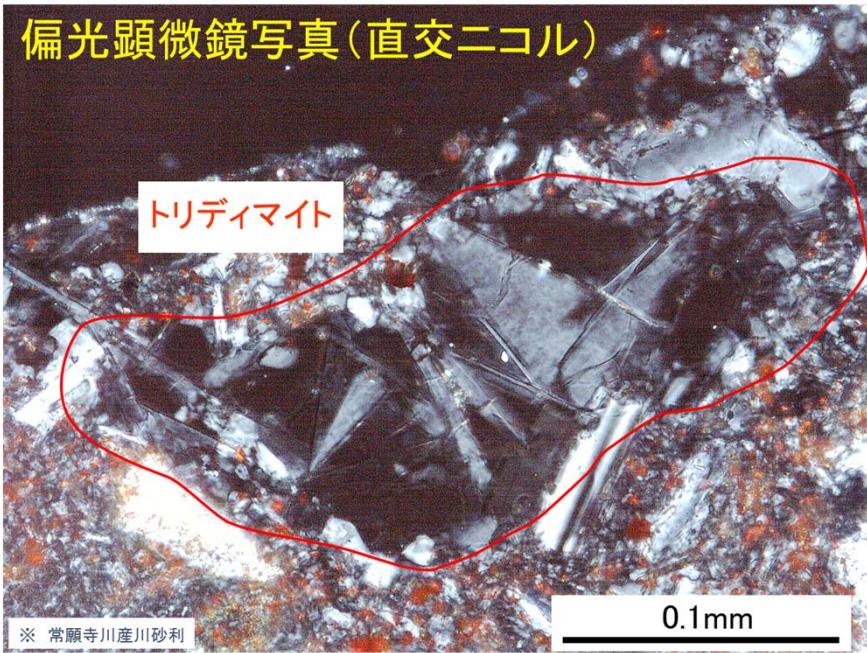
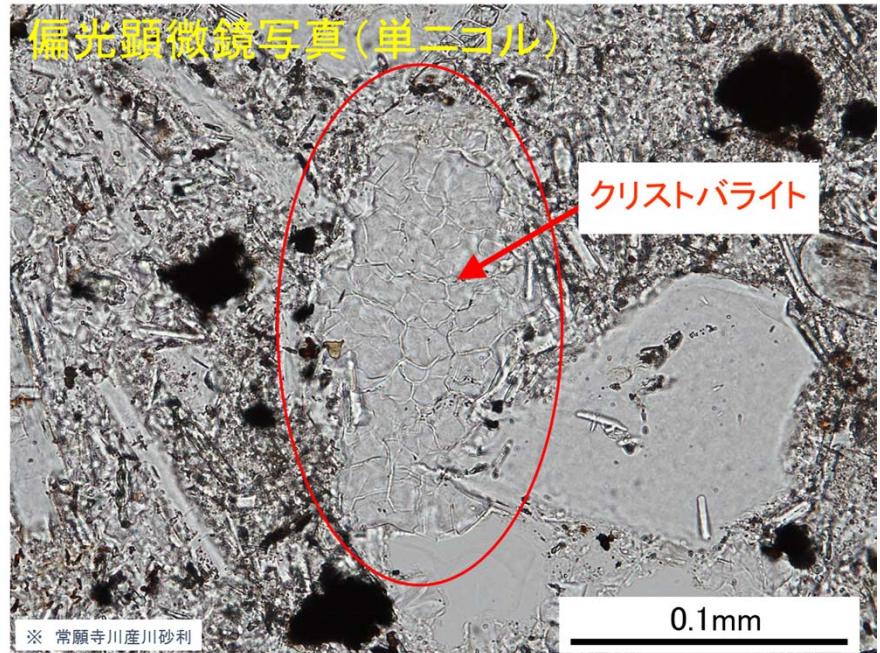
急速膨張性反応性鉱物

代表的なASR反応性の岩石	
オパール (水を含んだ非晶質)	変質を受けた岩石 (火山岩類を含む) 急速膨張性
クリストバライト トリディマイト	新第三紀以降の火山岩類 (新第三紀以降の安山岩, 流紋岩など)
ガラス	新第三紀以降の火山岩類 (新第三紀以降の安山岩, 流紋岩など)
微細な 石英	隠微晶質石英 カルセドニー 微晶質石英

カルセドニー：纖維状で微細な石英の集合体

隠微晶質：偏光顕微鏡でも個々の鉱物粒子が見えないほど細粒な組織

微晶質：偏光顕微鏡で個々の鉱物粒子がようやく見える程度の細粒な組織



新第三紀以降の火山岩類(安山岩など)の反応性鉱物(急速膨張性)¹⁰

遅延膨張性反応性鉱物

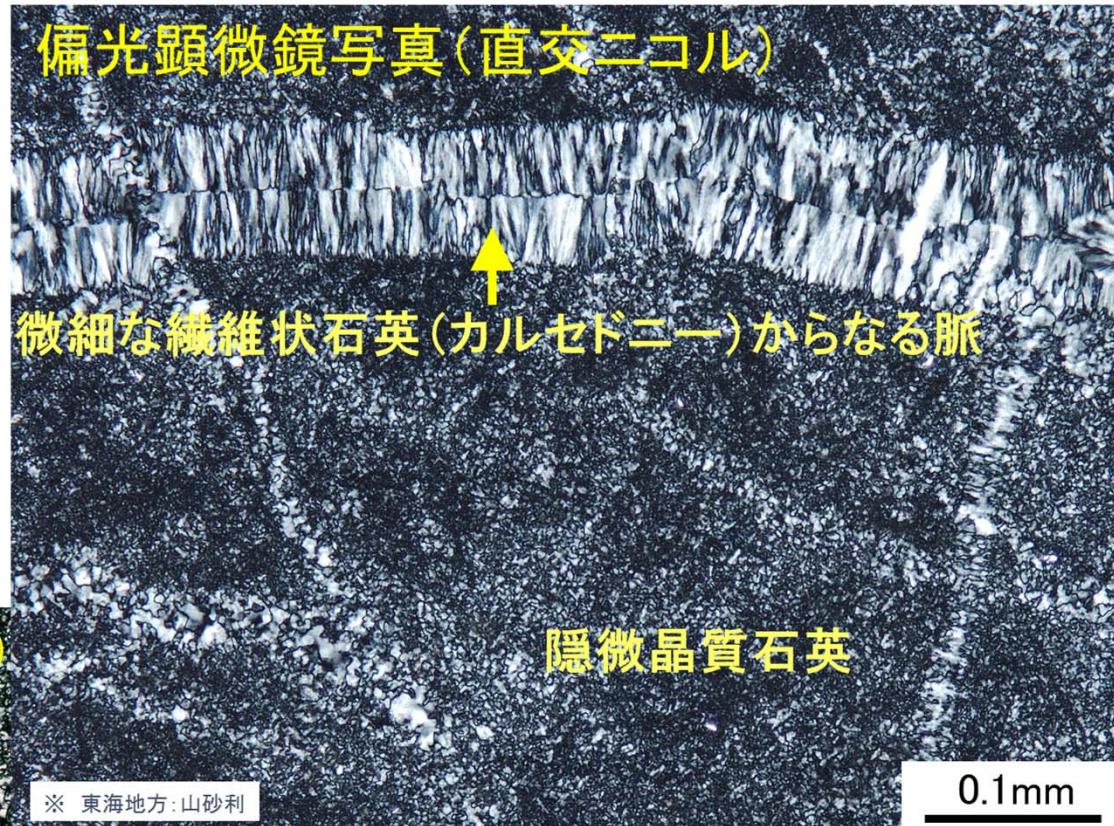
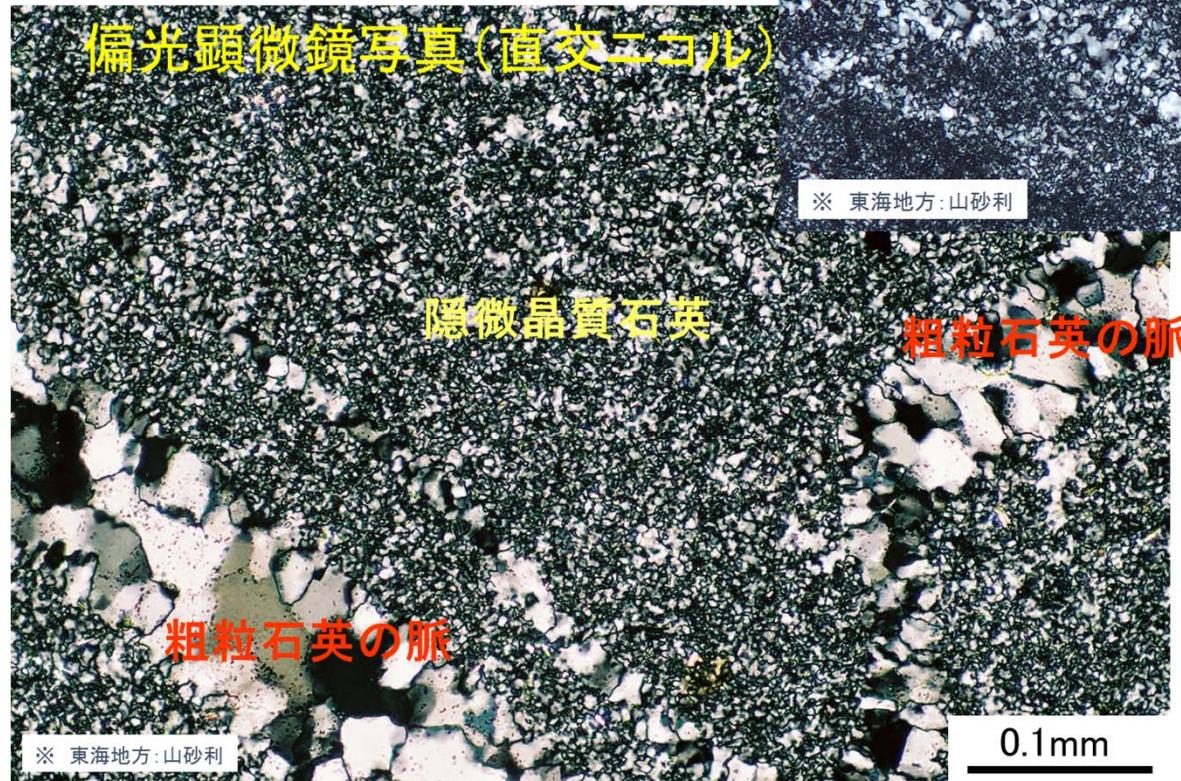
	代表的なASR反応性の岩石
オパール (水を含んだ非晶質)	変質を受けた岩石 (火山岩類を含む)
クリストバライト トリディマイ特	新第三紀以降の火山岩類 (新第三紀以降の安山岩, 流紋岩など)
ガラス	新第三紀以降の火山岩類 (新第三紀以降の安山岩, 流紋岩など)
微細な 石英	様々な岩石(チャート・珪質頁岩, ホルンフェルス, 広域变成岩, 断層岩類…)
隠微晶質石英 カルセドニー 微晶質石英	遅延膨張性

カルセドニー：纖維状で微細な石英の集合体

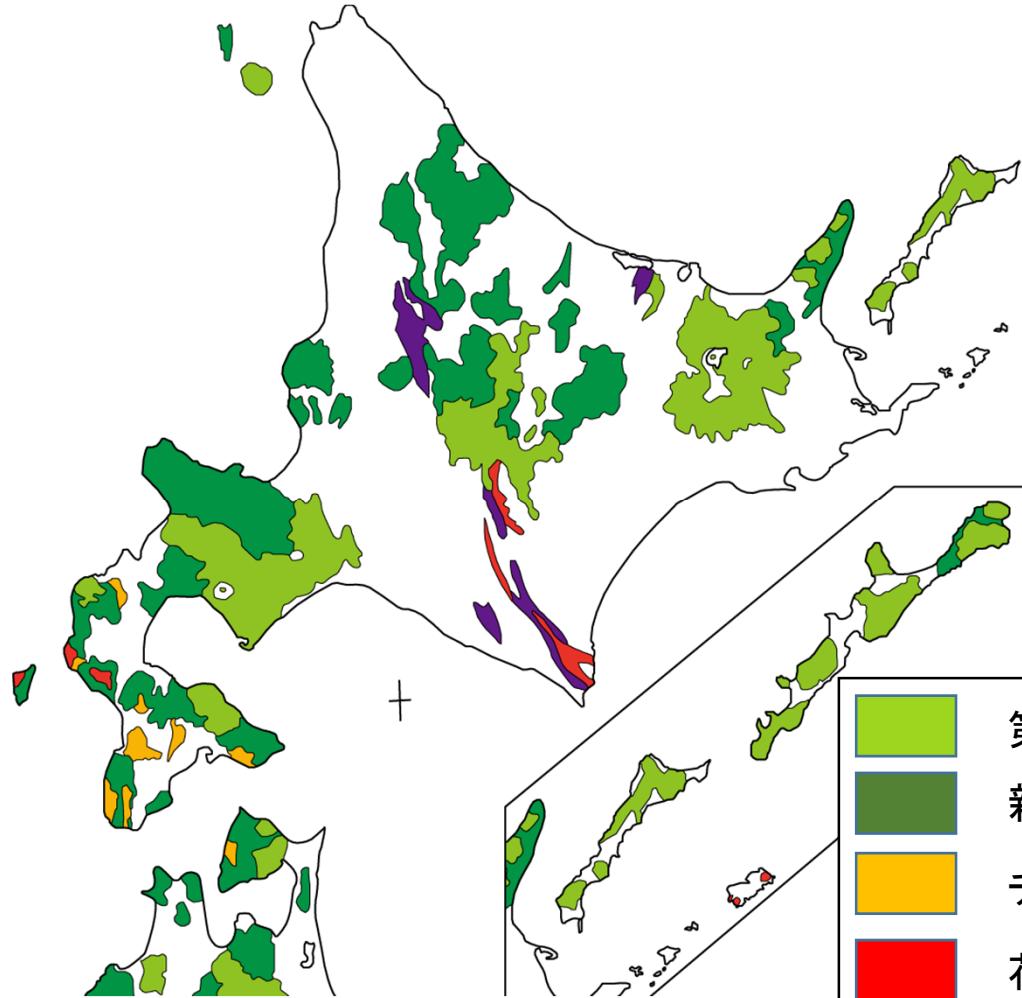
隠微晶質：偏光顕微鏡でも個々の鉱物粒子が見えないほど細粒な組織

微晶質：偏光顕微鏡で個々の鉱物粒子がようやく見える程度の細粒な組織

チャートの反応性鉱物 (遅延膨張性)



北海道



主な反応性骨材

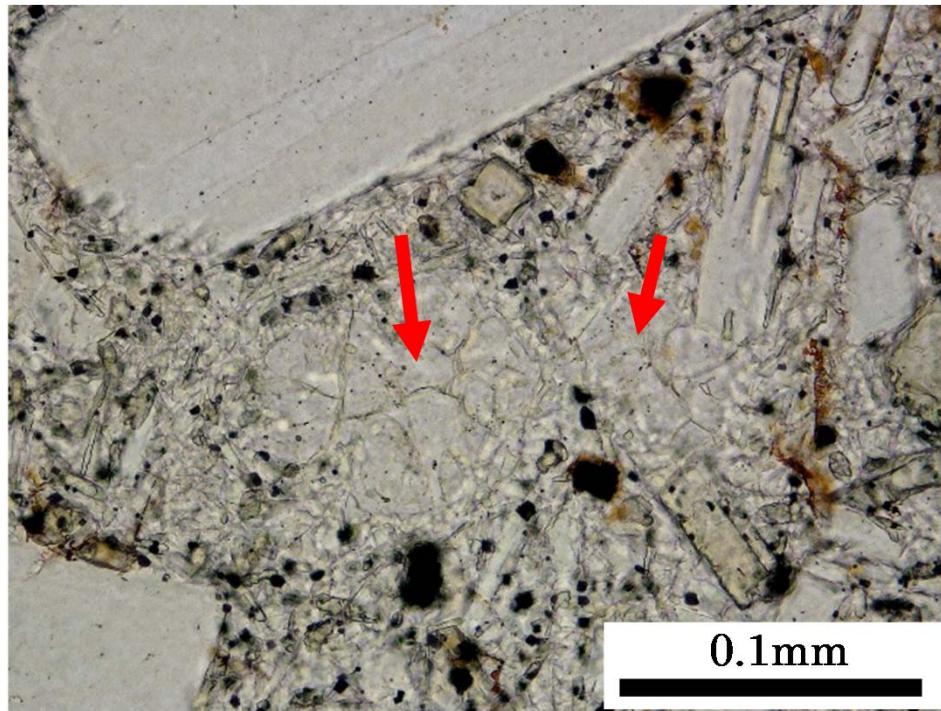
新第三紀以降の安山岩をはじめとする火山岩類(急速膨張性)が非常に広く分布。碎石として非常に多く利用されている。中軸部には变成岩類(遅延膨張性)も南北方向に分布し、川砂利・陸砂利などに混入する。

ASRの発生

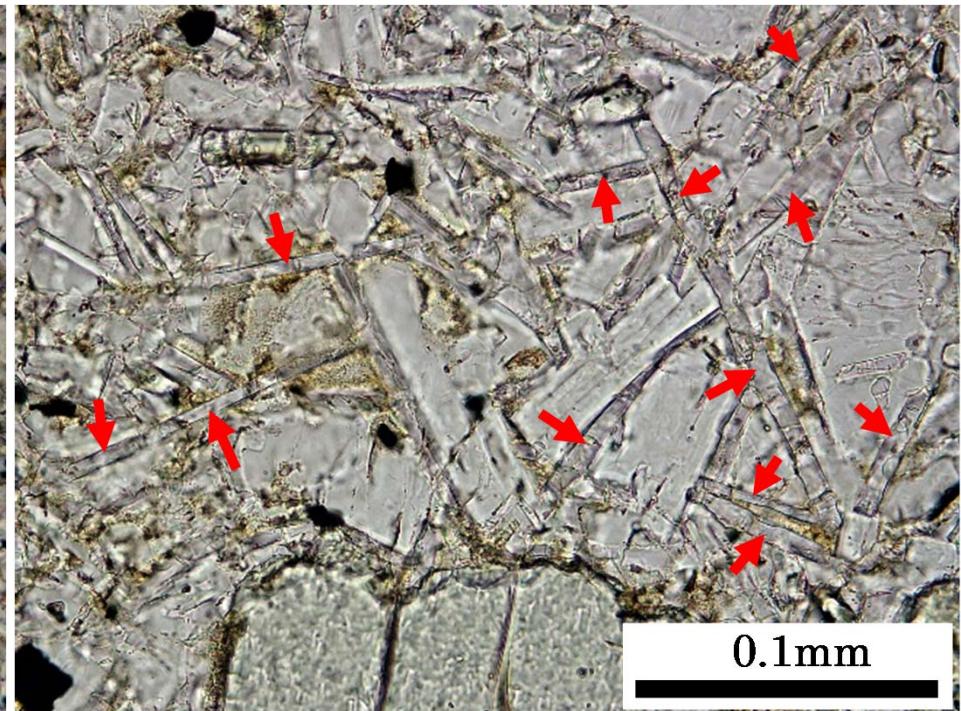
安山岩をはじめとする火山岩類が広く骨材利用されているが、ASRの事例報告は非常に少ない。

- 第四紀火山岩類
- 新第三紀火山岩類(グリーンタフを含む)
- チャートを多量に含む付加体(ジュラ紀付加体)
- 花崗岩類→周囲のホルンフェルスが反応性
- 変成岩類

北海道



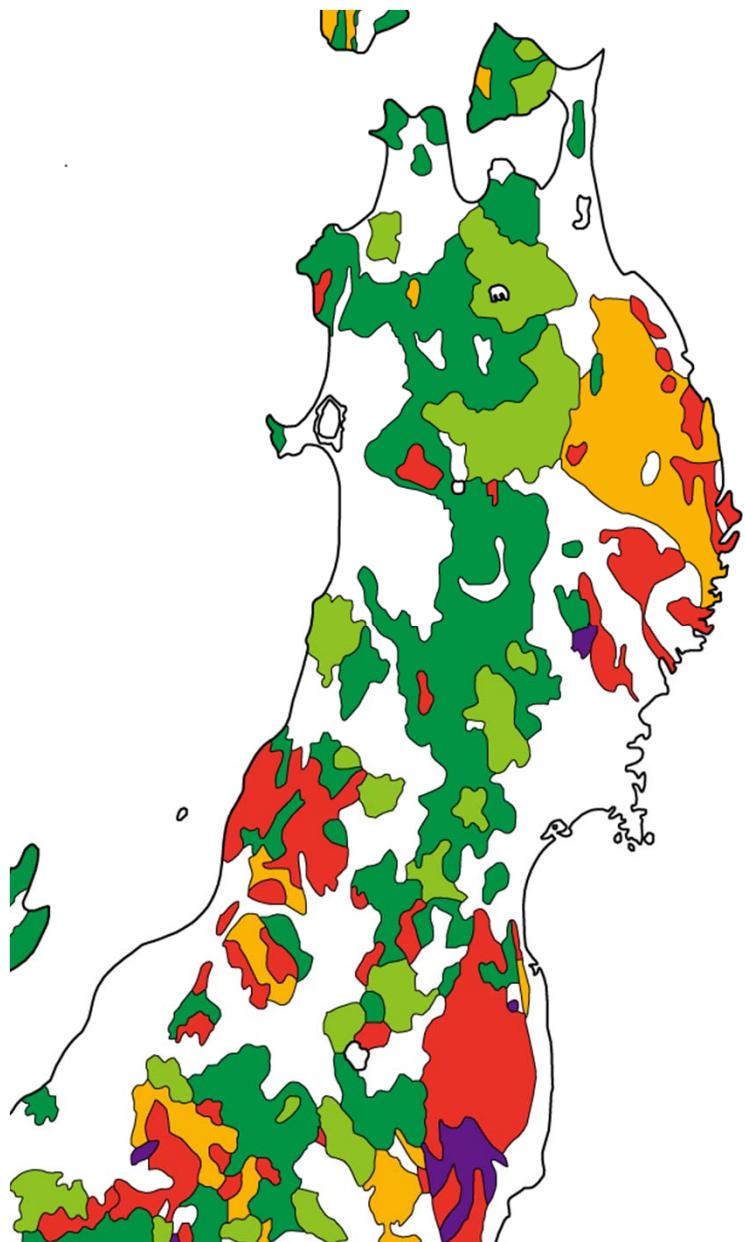
安山岩碎石中に多量に含まれるクリストバライト



“無害”な安山岩碎石中に
多量に含まれるトリディマイト

北海道産安山岩碎石の偏光顕微鏡観察

東北



主な反応性骨材とASR

奥羽脊梁山地から日本海側の地域にかけて、安山岩をはじめとする火山岩類が広く分布し、太平洋側でも仙台市・名取市付近をかすめる。これを碎石などに使用したことによる急速膨張性ASRの発生事例が非常に多い。

その他の主な反応性骨材

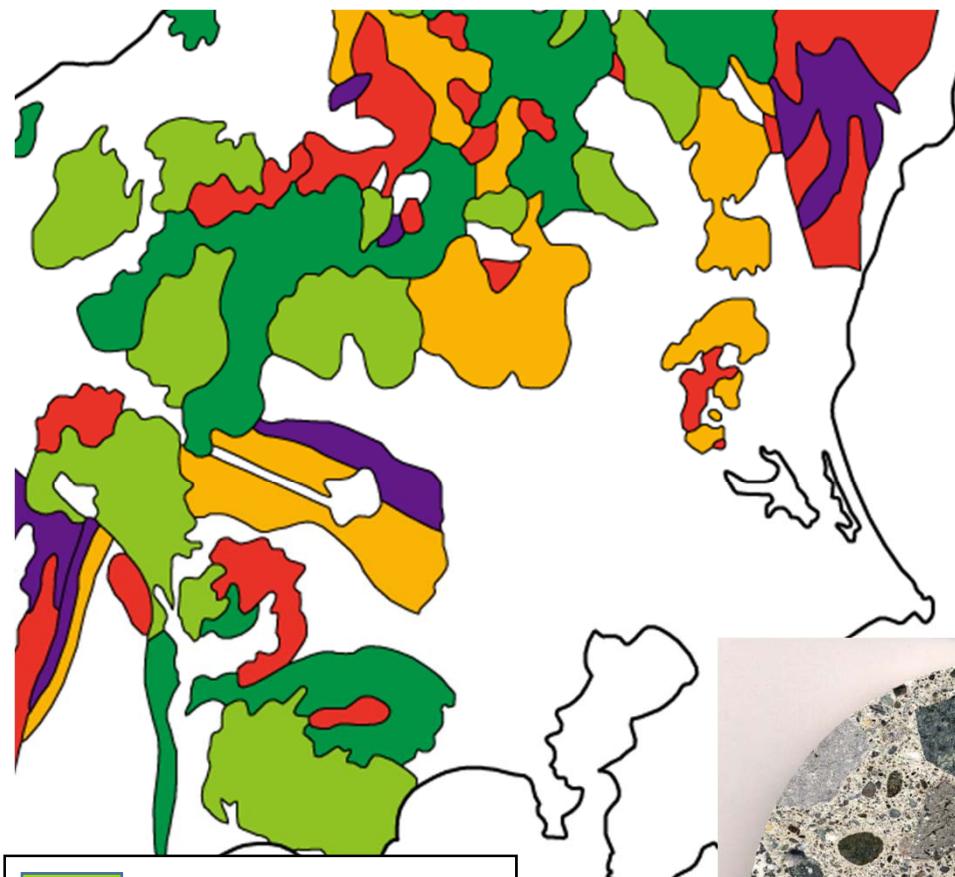
北部北上山地にはチャートを頻繁に挟む地層が分布。阿武隈山地南部には変成岩類が広く分布。東北地方南部～北関東にはチャートを頻繁に挟む地層が分布、またこれを起源とする山砂利の骨材利用もある(福島県いわき市付近)。これらの遅延膨張性骨材によるASRの発生については不明である。

- 第四紀火山岩類
- 新第三紀火山岩類(グリーンタフを含む)
- チャートを多量に含む付加体(ジュラ紀付加体)
- 花崗岩類→周囲のホルンフェルスが反応性
- 変成岩類



青森県産安山岩碎石を使用したPC水槽

関東地方



主な反応性骨材とASR

北と西を新第三紀以降の安山岩などの火山岩類に囲まれ、碎石に多く使用されている。これによる急速膨張性ASRの発生事例が多い。北部のチャート、北東部のホルンフェルスや变成岩による遅延膨張性ASRの事例も見られる。

利根川・那珂川・相模川などの流域には安山岩などの火山岩類が分布、荒川などにはチャートや变成岩類が分布、これらの水系の砂利には、それらが混入している。

海上輸送による他地域からの骨材流入もある。

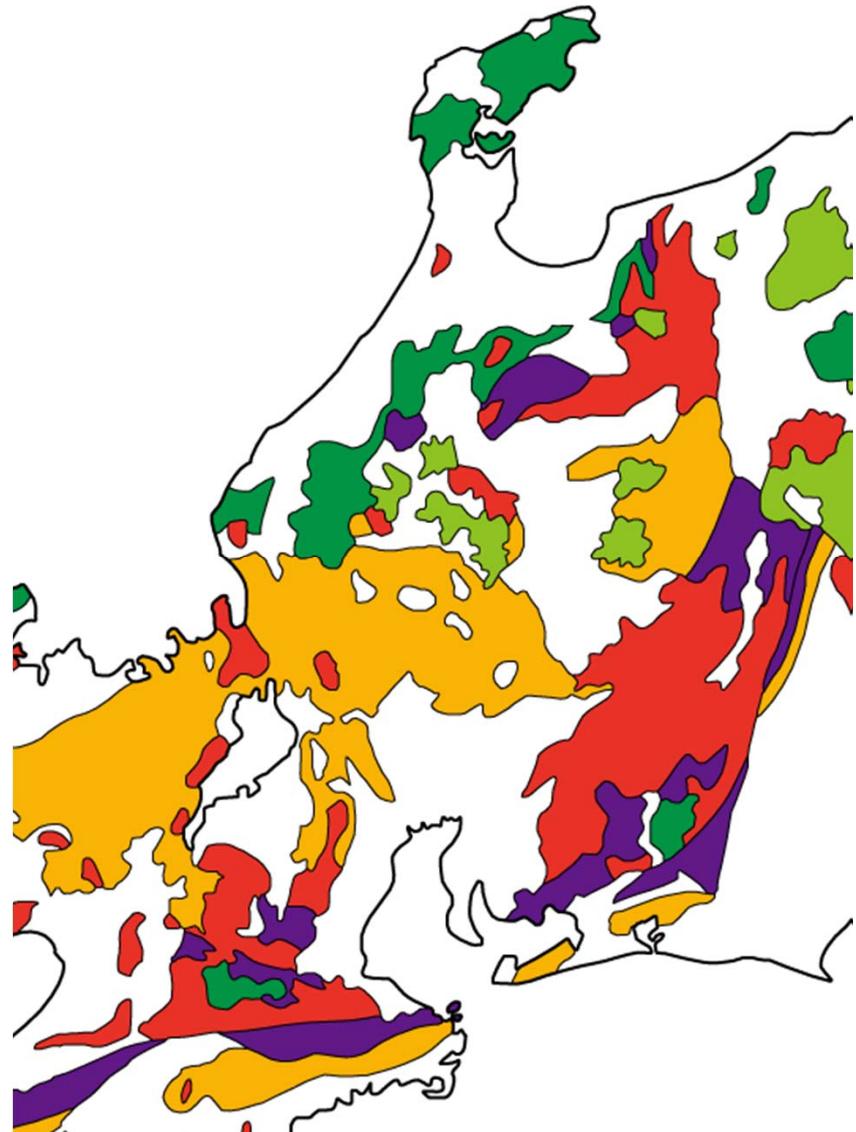


安山岩碎石によるASR



荒川砂利によるASR
(チャート・变成岩)

北陸地方・東海地方



特徴

碎石のほかに砂利資源も豊富。飛騨山脈・両白山地から日本海にかけての地域には、新第三紀以降の急速膨張性火山岩類が分布。遅延膨張性のチャート・珪質頁岩を多く含む地層や変成岩類も分布。

主な反応性骨材とASR

常願寺川をはじめ、日本海側の川砂利資源には急速膨張性の火山岩類が混入する場合がある。一方、名古屋市周辺では遅延膨張性のチャートなどを含む山砂利資源が利用されている。

北陸地方では安山岩による急速膨張性ASR、東海地方ではチャート・珪質頁岩・変成岩類による遅延膨張性ASRが顕在化している。近年、北陸地方では急速膨張性骨材によるASR劣化コンクリート中で、遅延膨張性骨材もASRに加わってきている事例もある。



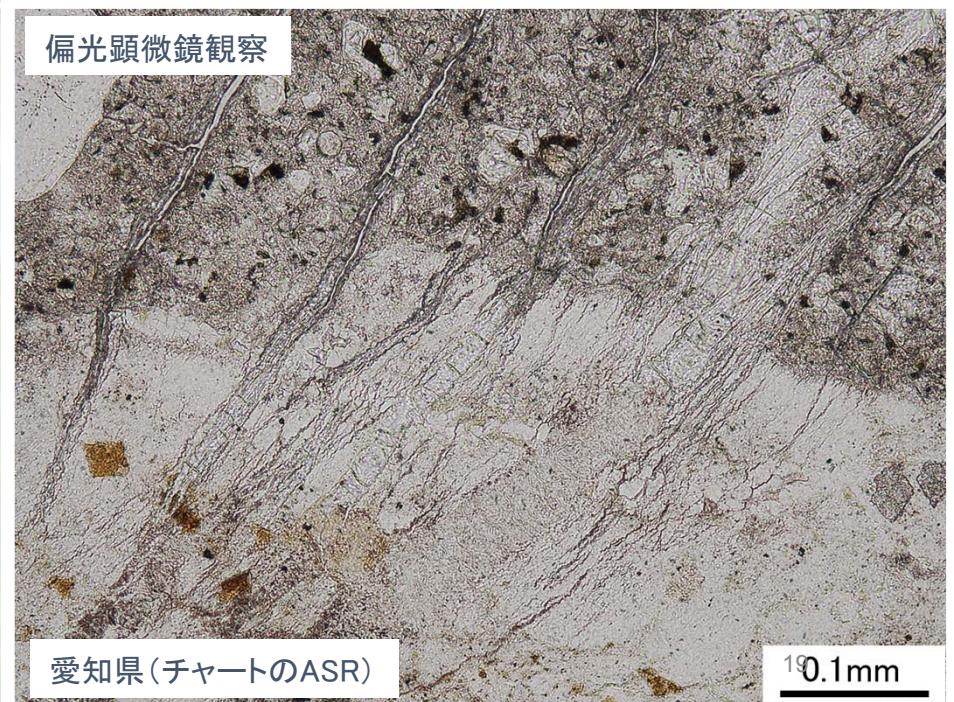
富山県(安山岩)



石川県(安山岩)



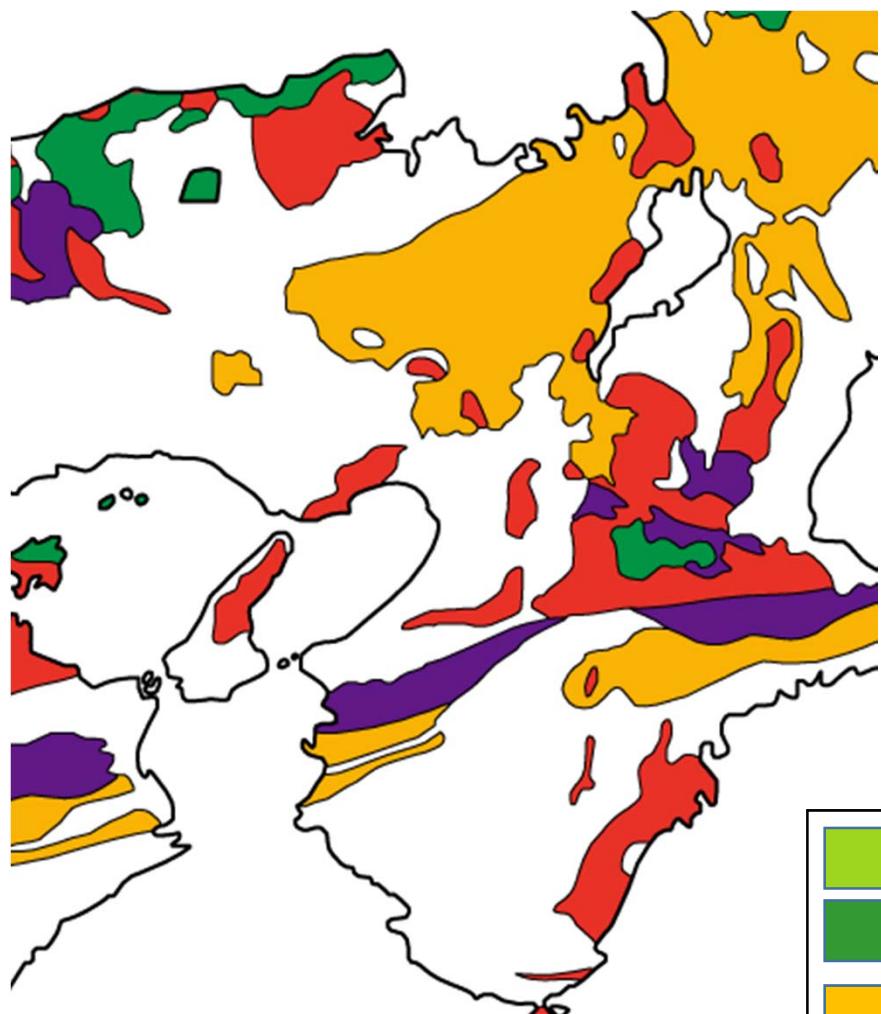
愛知県(変成岩類)



愛知県(チャートのASR)

0.1mm

近畿



特徴

遅延膨張性のチャート・珪質頁岩を多く含む地層や变成岩類が広く分布。日本海沿いと瀬戸内海沿いには新第三紀以降の急速膨張性の火山岩類が分布。

主な反応性骨材とASR

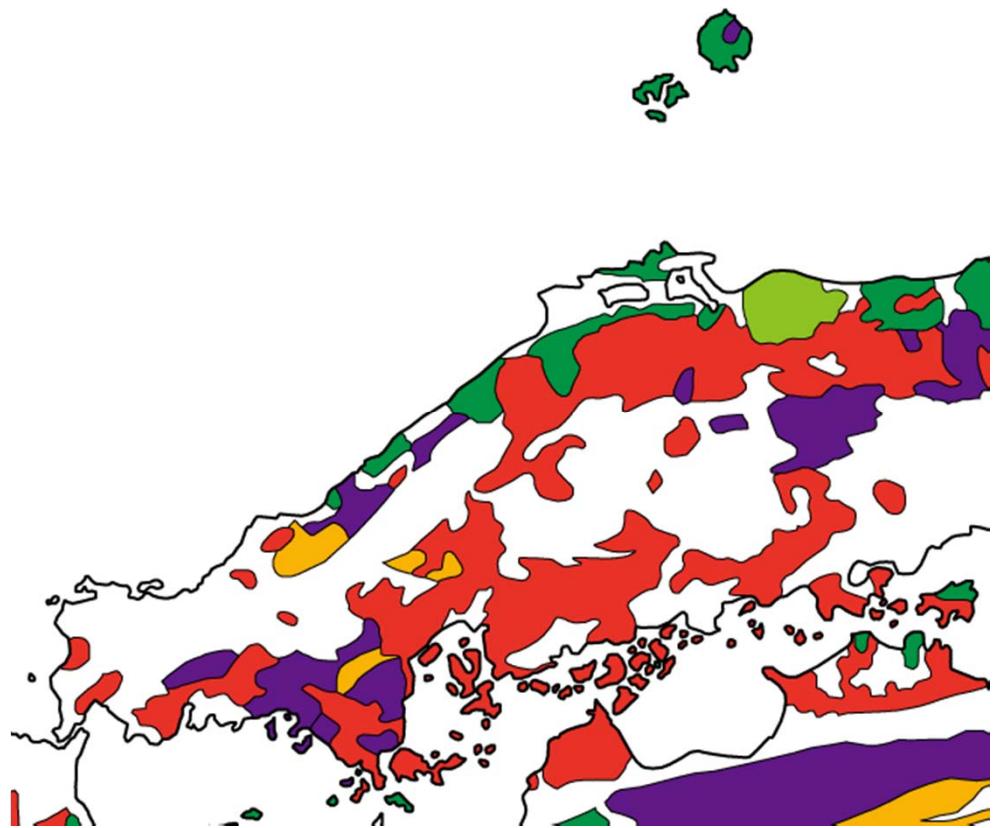
骨材は、砂岩・緑色岩などのほか、古第三紀以前の流紋岩類(遅延膨張性)が利用されている。

遅延膨張性のチャートや变成岩類からなる山砂利が京都府南部などの丘陵で採取されている。

現在までに顕在化しているASRは瀬戸内海からもたらされた急速膨張性の安山岩などの火山岩類によるものが主である。

[Yellow square]	第四紀火山岩類
[Green square]	新第三紀火山岩類(グリーンタフを含む)
[Yellow square]	チャートを多量に含む付加体(ジュラ紀付加体)
[Red square]	花崗岩類→周囲のホルンフェルスが反応性
[Purple square]	变成岩類

中国



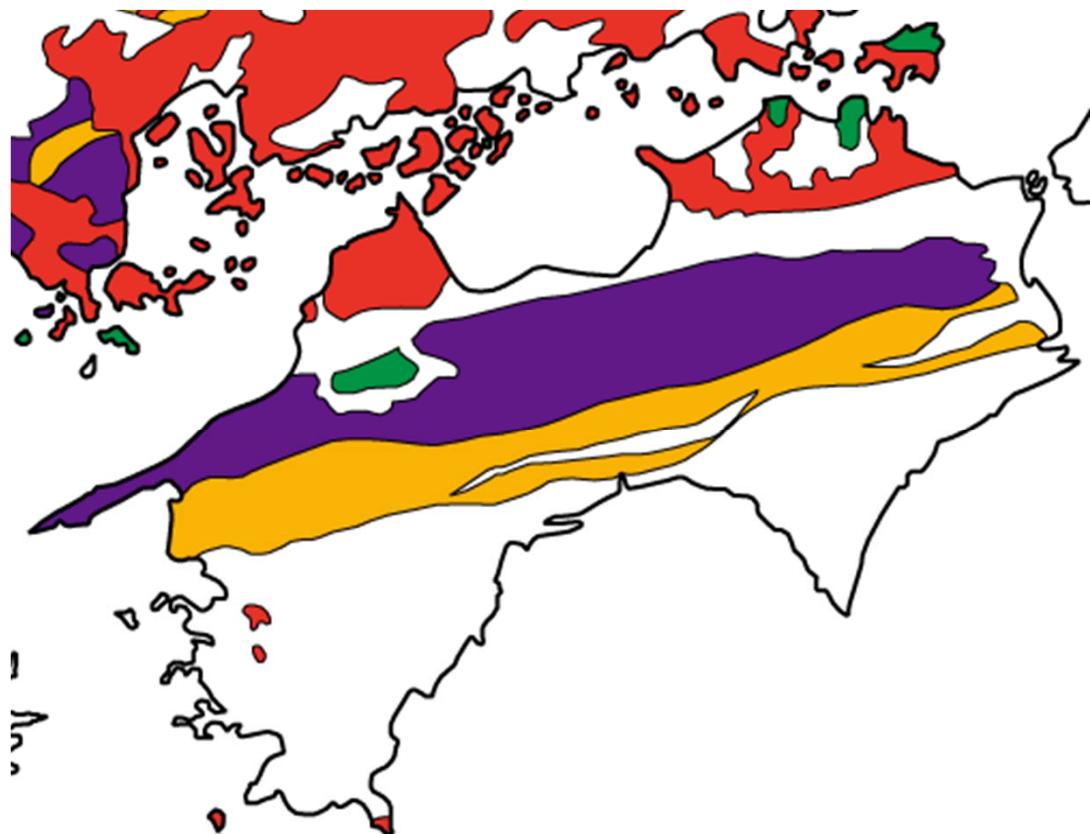
特徴

安山岩などの急速膨張性の火山岩類が山陰海岸沿いから中国山地へ続く地域と、瀬戸内海沿岸に分布。花崗岩や古第三紀以前の遅延膨張性の流紋岩溶結凝灰岩の分布が広大であり、またその周囲には遅延膨張性のホルンフェルスが多く生成。

主な反応性骨材とASR

山陰地方では安山岩などの火山岩類によるASRが多い。山陽地方では砂質岩・泥質岩起源のホルンフェルスによるASRが目立つ。流紋岩溶結凝灰岩が碎石などで利用されているが、古第三紀以前のものであり、クリストバライトやガラスなどが隠微晶質石英に再結晶した遅延膨張性骨材である。

四国



特徴

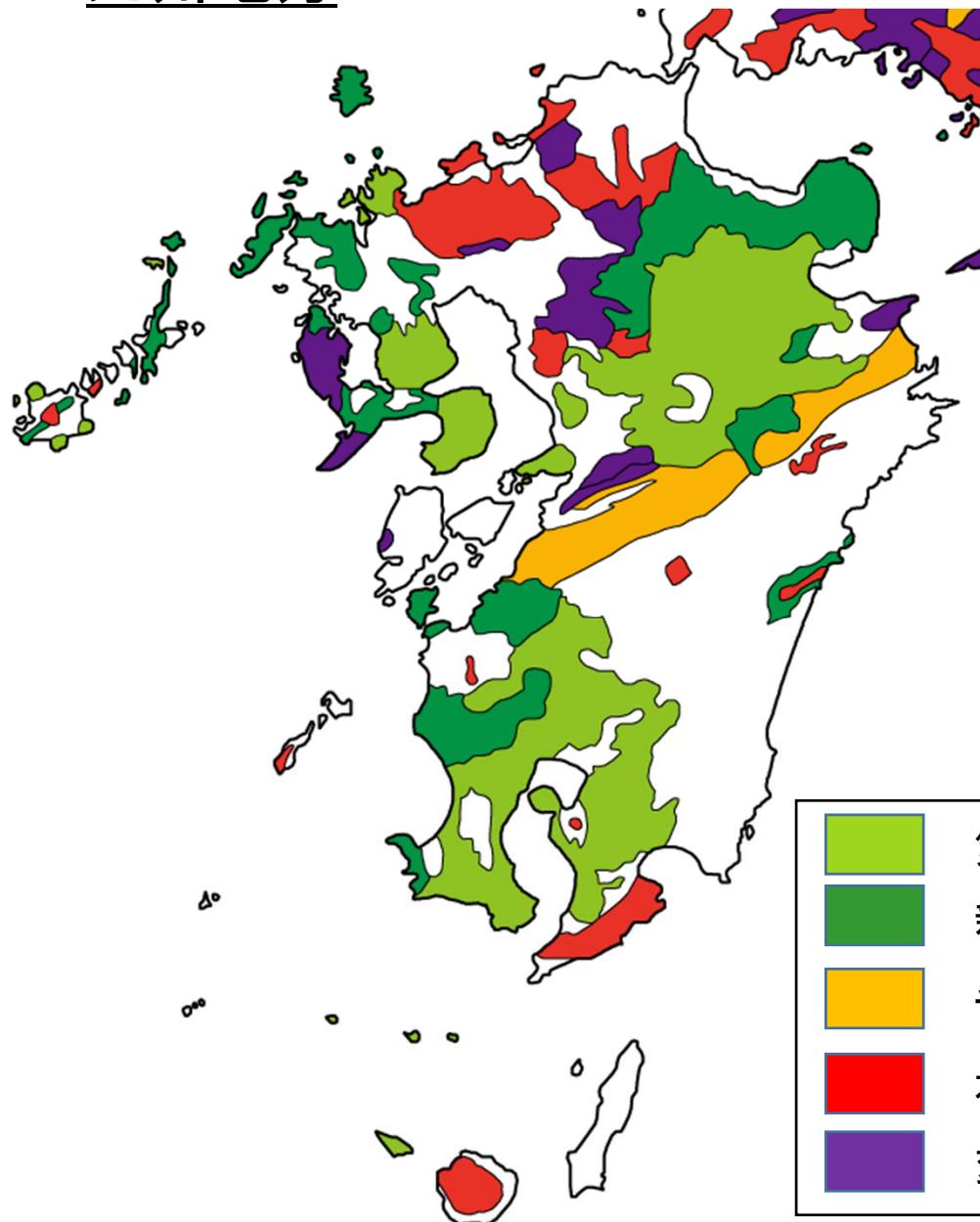
瀬戸内の石鎚山一松山を中心とした地域・讃岐平野・備讃瀬戸の島々に新第三紀の安山岩などの急速膨張性の火山岩類が分布。

遅延膨張性の变成岩類やチャートを多く含む地層が広く分布する。

主な反応性骨材とASR

碎石としては砂岩が最も多く利用されている。ASRは瀬戸内地域の安山岩によるものが主であるが、砂岩・広域变成岩類・ホルンフェルス・流紋岩でも確認されている。この地域の安山岩は瀬戸内海を渡って近畿地方のASRにも関与した。

九州地方



特徴

安山岩をはじめとする急速膨張性の火山岩類に広く覆われ、これを除くと北部九州では遅延膨張性の变成岩類と花崗岩類、南部九州では砂岩や頁岩が多く、中間の秩父累帯分布域には遅延膨張性のチャートも多量に分布する。

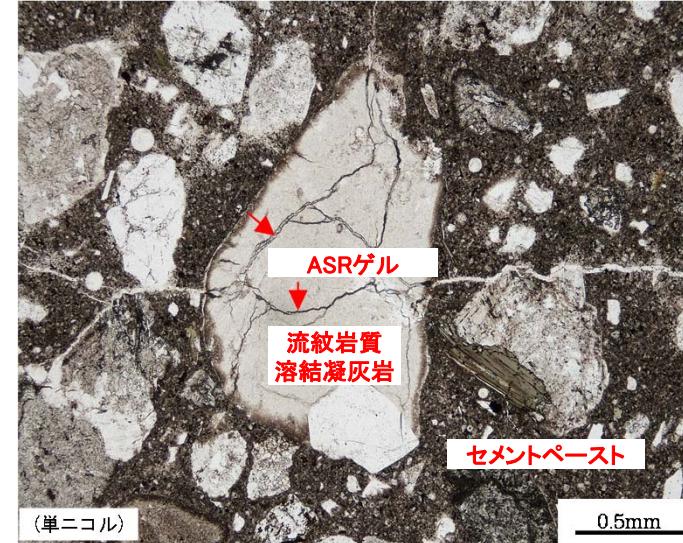
主な反応性骨材とASR

ほぼ全域で安山岩などの火山岩類によるASRが多発。北部九州では变成岩類によるもの、秩父累帯分布域ではチャートや珪質頁岩によるものも加えて発生。また、花崗岩類周囲の砂質・泥質ホルンフェルスについても遅延膨張性ASRが発生する可能性がある。

- 第四紀火山岩類
- 新第三紀火山岩類(グリーンタフを含む)
- チャートを多量に含む付加体(ジュラ紀付加体)
- 花崗岩類→周囲のホルンフェルスが反応性
- 变成岩類

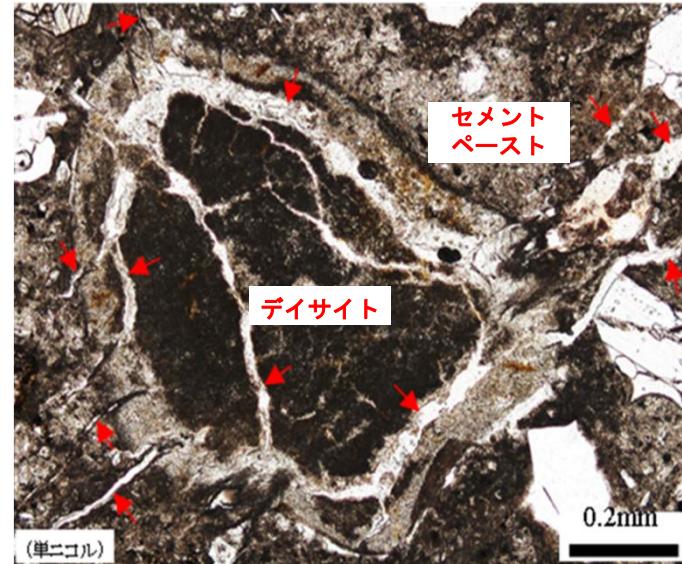
【PC橋梁・PCa部材のASR劣化の実態調査】

[事例 I : プレテンション式PC橋梁(ホロー桁)(北陸)]



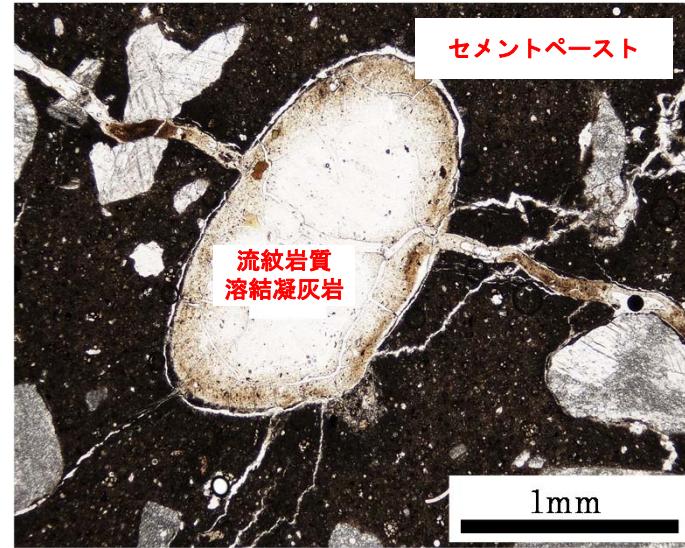
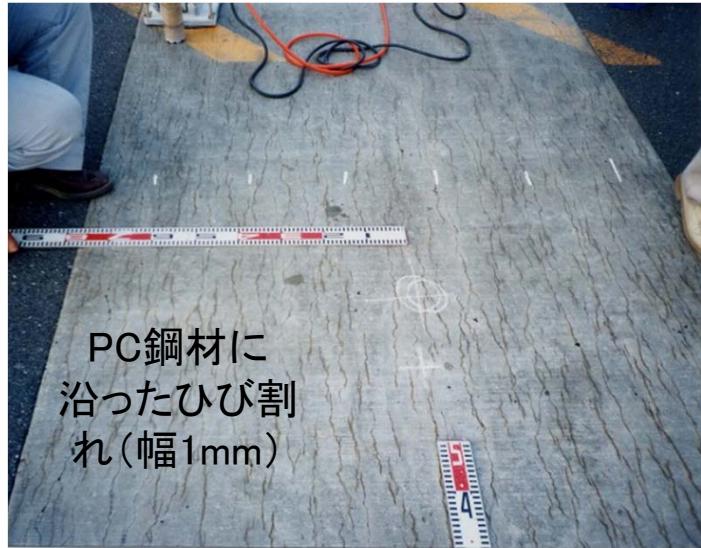
- 富山県庄川産の河川骨材(一部、黒部川産)が使用されていた。
- 石川県および富山県の市町村道に使用されており、昭和50年代に架設されたものにASRが発生している。
- 下フランジの側面および下面に**橋軸方向のひび割れ**が発生している。
(ホロー桁は中空部に水が滞留することによりASRが促進される)
- 流紋岩質溶結凝灰岩**に顕著なASRの反応痕跡と膨張ひび割れが観察された。

[事例Ⅱ:PC橋梁(PC床版)(東北)]



- ・東北地方のポストテンション式PC橋梁の柱頭部に打設されており、**冬期に凍結防止剤が多量に散布される**、厳しい環境条件下にあった。
- ・PC橋梁に用いられたコンクリートの配合上のアルカリ総量はRC床版:**2.4kg/m³** および**PC床版:2.8 kg/m³**程度であり、アルカリ量の相違によりPC床版により深刻なASR劣化が発生したものと推測された。
(骨材には、**石灰石碎石(結晶性)**と**火山岩性の陸砂**が使用されていた)
- ・PC床版のコア片では、**石英安山岩(ディサイト)**(1~2 mm)が良く反応しており、骨材粒子内のひび割れはセメントペーストに進展していた。これは石灰石碎石と火山岩性の陸砂の組み合わせの組成ペシマムによるASRの発生事例であった。

[事例Ⅲ:PC舗装(関東)]



- ・このPC 舗装は東京都の臨海部にあり、建設後約1年で**PC鋼材に沿った舗装表面に幅1 mmのひび割れ**が多数発生した。
(コンクリートのアルカリ量が 2.2kg/m^3 程度であり、規制値以下であった。)
- ・骨材には、**石灰石碎石と千葉県産の山砂と北海道産の陸砂の混合物**が使用されていた。**山砂と陸砂の混合物はモルタルバー法(JIS A 1146)で「無害」と判定されていた。**
- ・黒色および褐色の粒子はそれぞれ**安山岩**と**流紋岩質溶結凝灰岩**であり、反応性鉱物(オパール)を含有する溶結凝灰岩粒子から膨張ひび割れが進展していた。

PC鋼材定着部の局部的破壊により
PC桁の垂れ下がりが発生



[事例IV:PC電柱(北陸)]



- 地際部にPC鋼線に沿った数mmの縦方向のひび割れが発生していた。
- コンクリートのアルカリ量は 3.6kg/m^3 で規制値を満足していなかった。
- 使用した富山県産の川砂および川砂利は、いずれも化学法(JIS A 1145)で「無害」と判定されていた。
- 川砂中の安山岩粒子が反応しており、骨材からの膨張ひび割れの進展が観察された。
- 富山県の河川産骨材の事例のように、反応性骨材を含有する火山岩粒子が混入する場合には、組成ペシマム現象が顕著に現れるので、化学法で「無害」と判定された骨材でも、ASRが実際に発生することに注意が必要である。

PCaPC電柱の劣化状況

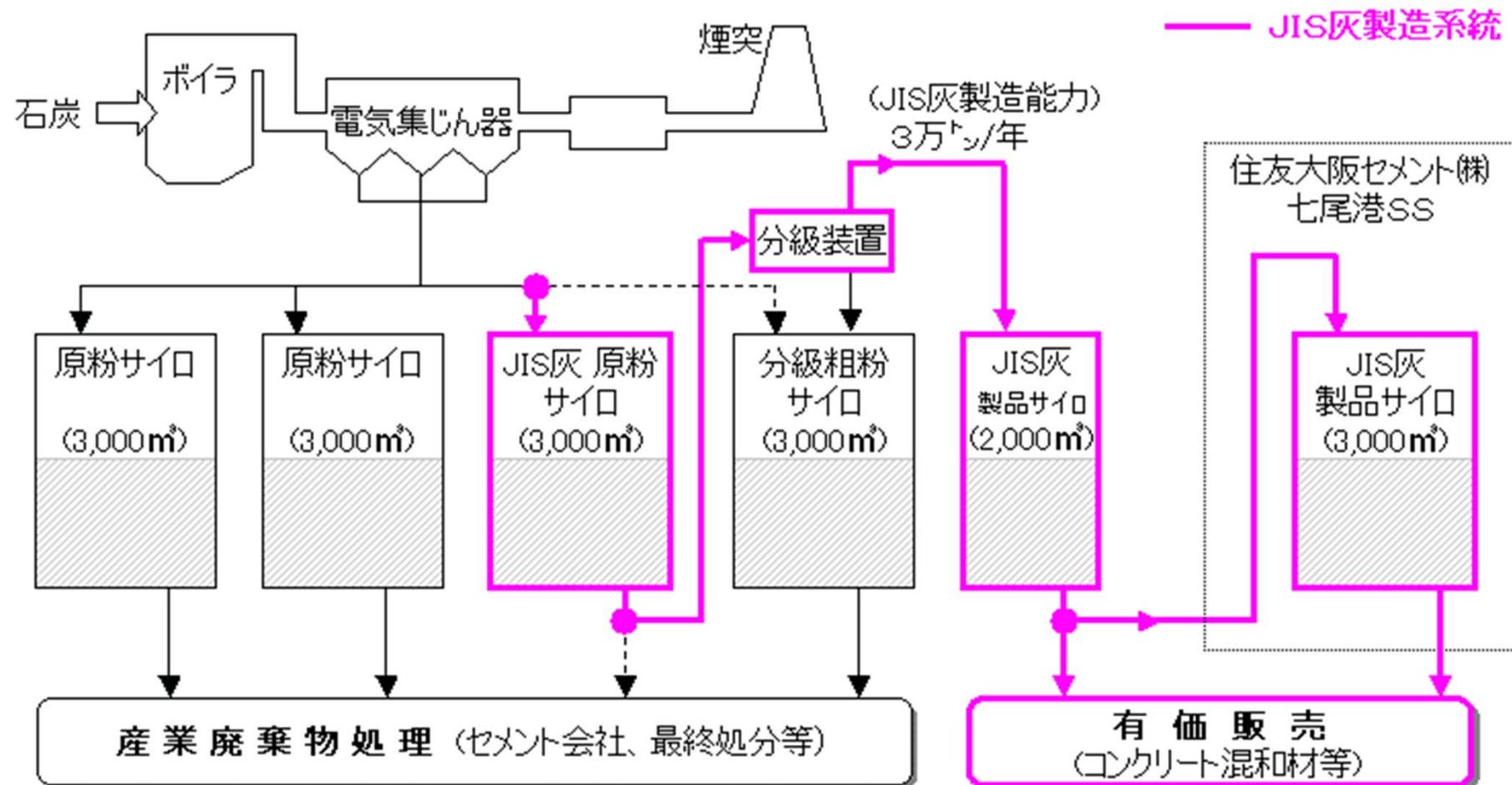


PC鋼線に沿ったひび割れ



ひび割れ幅1mm以上

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



※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

フライアッシュの分級効果の確認試験結果

1) 化学的効果

(1) 強熱減量および蛍光X線法による化学組成分析結果

試料名	ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Total
フライアッシュ原粉	1.8	50.93	29.53	8.01	4.36	0.82	0.15	0.25	0.55	1.38	0.86	0.12	98.76
フライアッシュ分級品	2.0	53.60	28.93	6.74	3.20	0.77	0.22	0.30	0.72	1.39	0.98	0.09	98.94

(2) 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

試料名	鉱物組成 (mass%)					
	石英	ムライト	マグネットタイト	ライム	非晶質相	合計
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

※ X線や中性子線といった電磁波と結晶質物質との相互作用により得られる回折像から、その結晶の構造がどのようなものであるかを解析するための手法。内標準物質を一定量添加して他の結晶相と共に定量し、添加量と定量値の差から非晶質量を求めることができる。

分級により、化学組成ではシリカの成分比率が増えるとともに、鉱物組成ではポゾラン反応を起こさない石英、ムライト、マグネットタイトが減り、非晶質相が増えていることから、シリカに富んだガラス質が増えていることが分かる。

2) 物理的効果

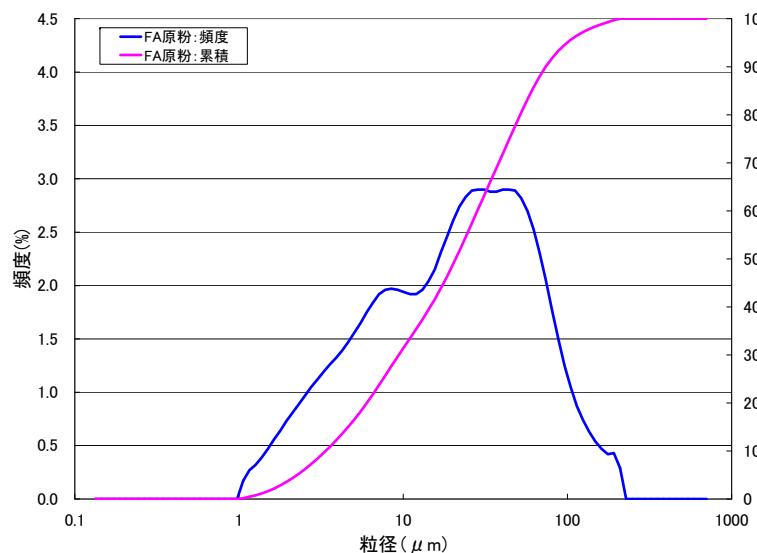
(1) 物理的性質

試料名	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	活性度指數 (%)	
			材齡28日	材齡91日
フライアッシュ原粉	2.36	3390	83	93
フライアッシュ分級品	2.43	4780	91	104

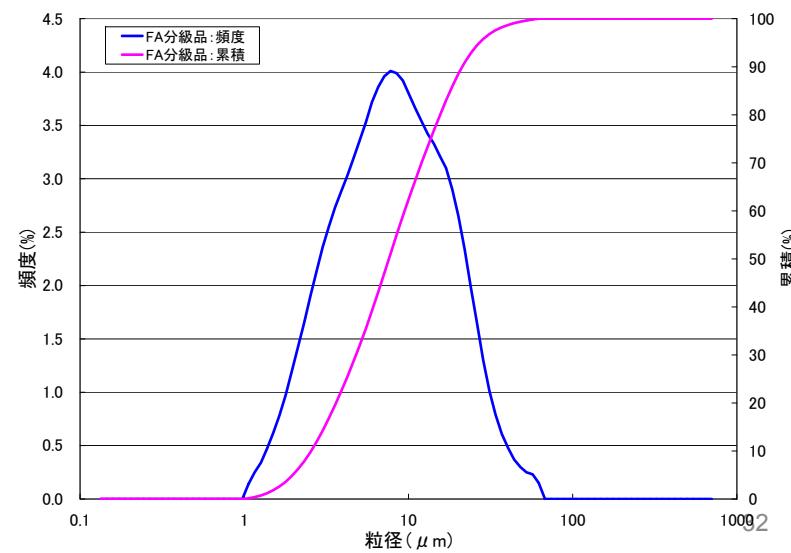
(2) 粒度分布測定結果

試料名	累積中位径 (μm)			比表面積 (m ² /cm ³)
	10%	50%	90%	
フライアッシュ原粉	3.37	20.86	73.84	0.667
フライアッシュ分級品	2.55	7.61	21.29	1.094

原粉の粒度分布

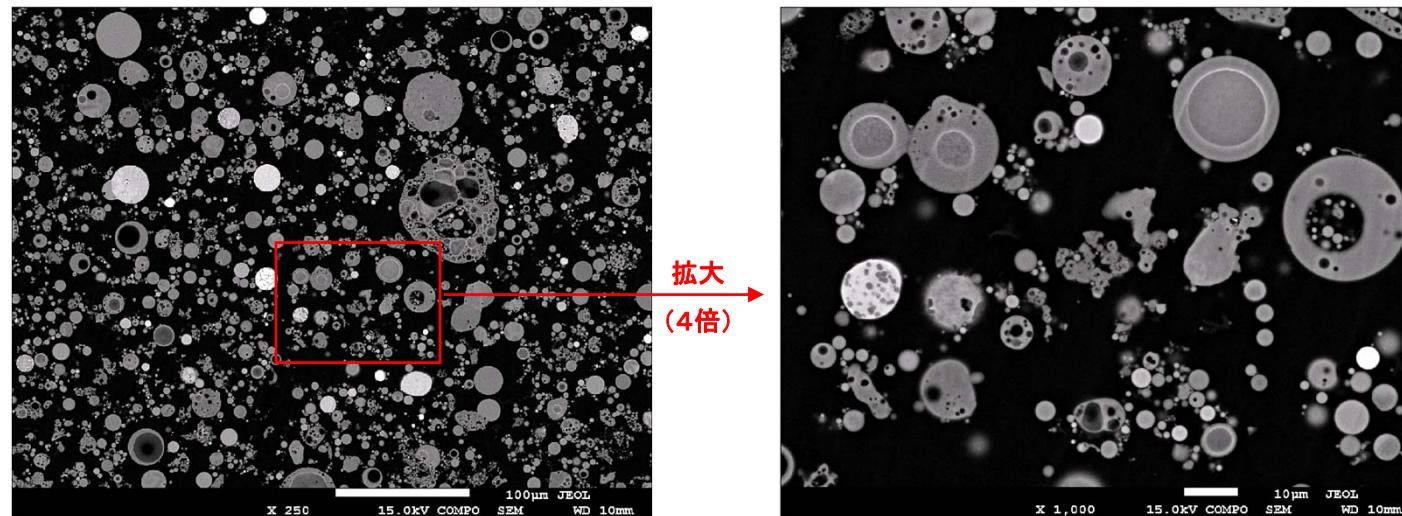


分級品の粒度分布

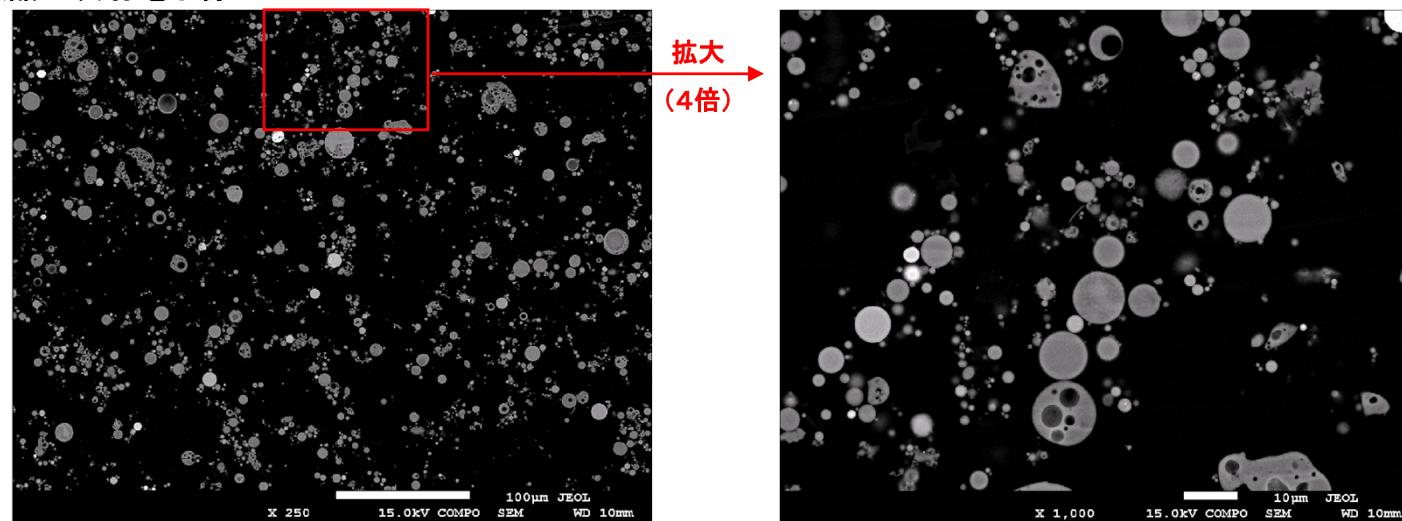


(3) 反射電子像観察

原粉の反射電子像



分級品の反射電子像



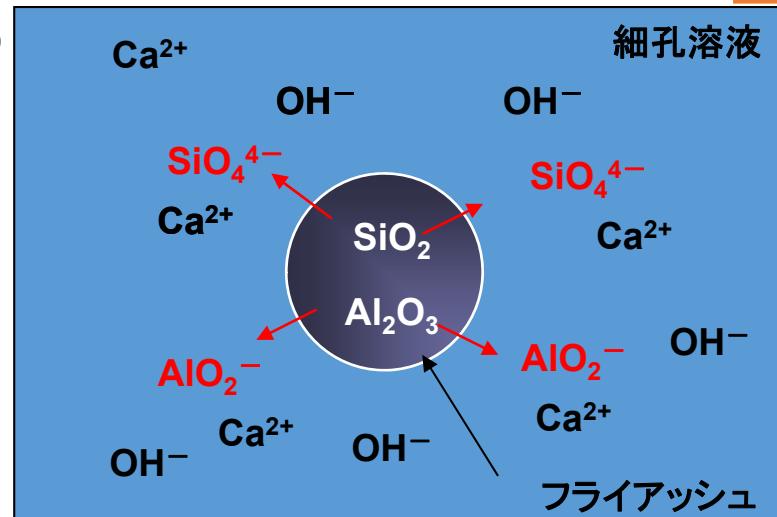
分級により、粒子の大きなものがなくなるとともに、角張った粒子、中空の粒子が少なくなり、細かく均等な球形の粒子が多くなっている。その結果、密度、比表面積も大きくなっている。

【ポゾラン反応のメカニズム】

ポゾラン反応

セメントの水和により生成した $\text{Ca}(\text{OH})_2$ とフライアッシュ中の SiO_2 , Al_2O_3 がゆっくりと反応し安定な水和物を生成

①

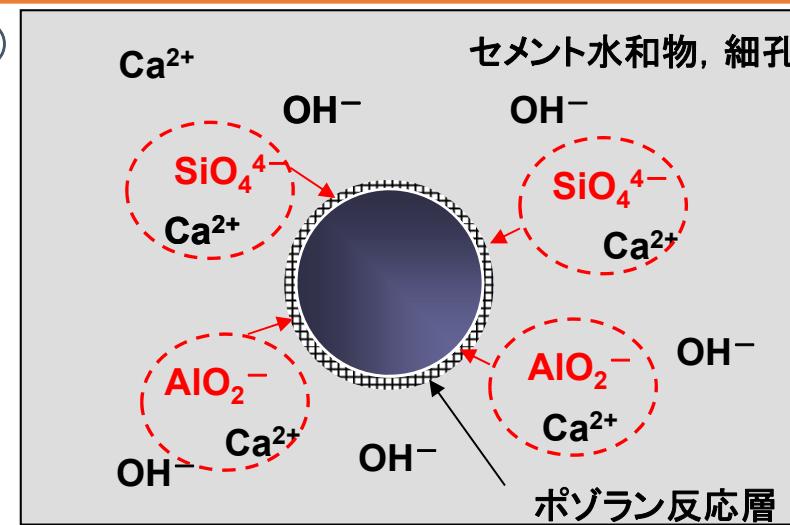


①練り混ぜ後

高アルカリ雰囲気で SiO_2 , Al_2O_3 が細孔溶液中に溶出

②

②



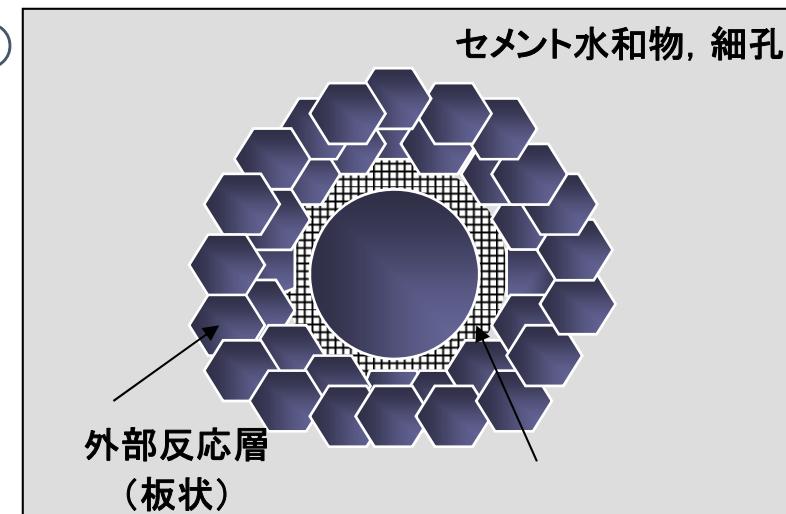
②初期(材齢28日以降)

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

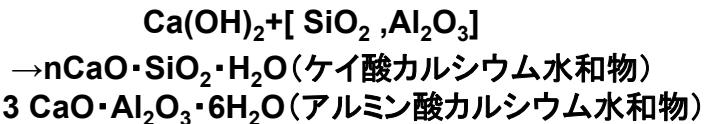
③長期

ポゾラン反応層を広く形成し、細孔を充填する形でポゾラン反応が進展する。

ポゾラン反応生成物とセメント水和物は堅固に結合し、一体化している。

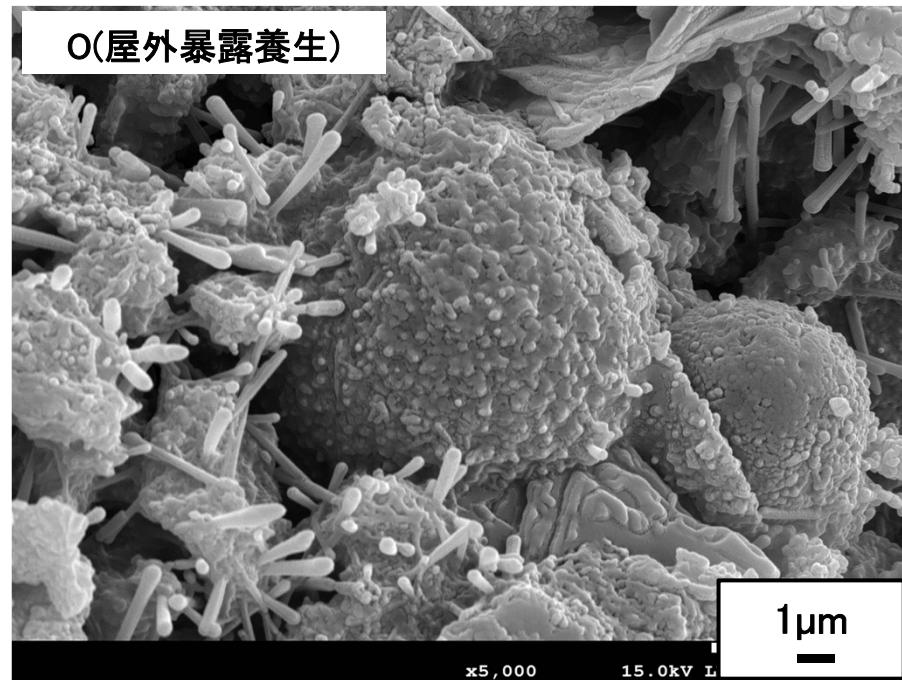
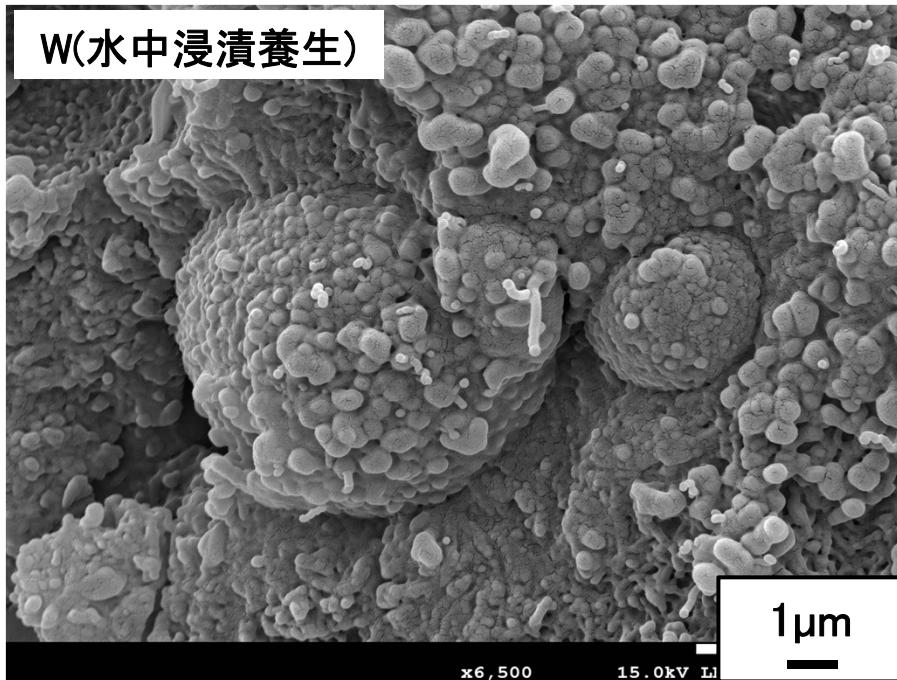


ポゾラン反応式の1例



【SEMによるフライアッシュ粒子の反応状況の観察】

1年材齢



水分供給が十分な環境下では内部組織が均一かつ微細に変化していたのが観察された。



ポゾラン反応による組織の微細な空隙への移行が強度発現性に大きく影響する。

【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/m ³)	3.0	2.4	1.8	1.2	アルカリ総量1.2kg/m ³ 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。

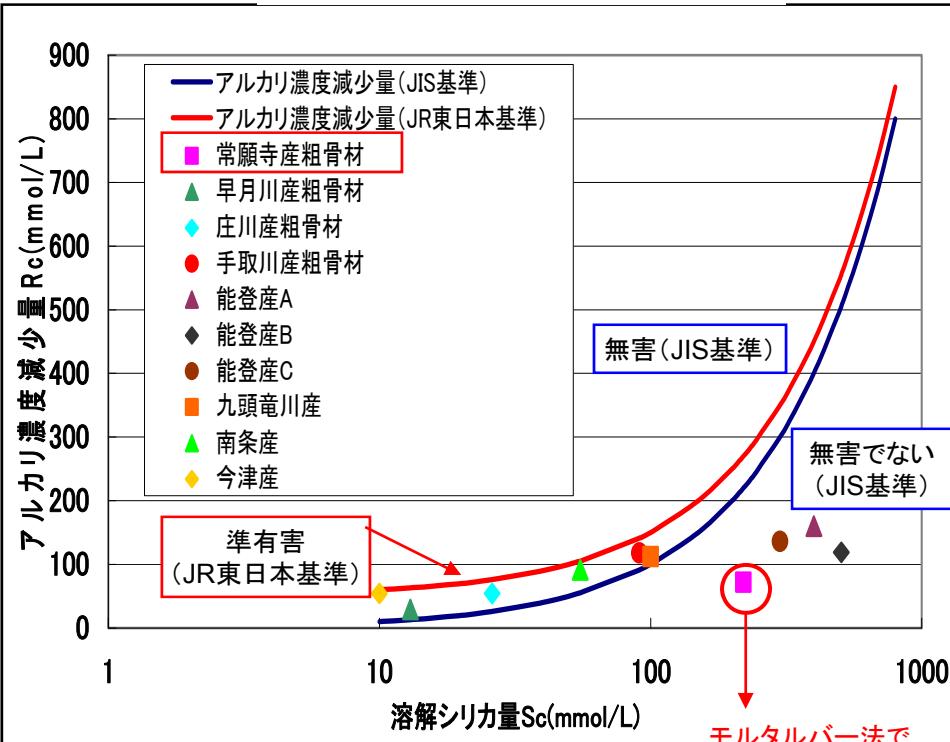
※「フライアッシュ分級品」とは、北陸電力株式会社の七尾大田火力発電所または敦賀火力発電所で産出されるフライアッシュで原粉を分級装置でさらに分級したフライアッシュのことをいう。

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)

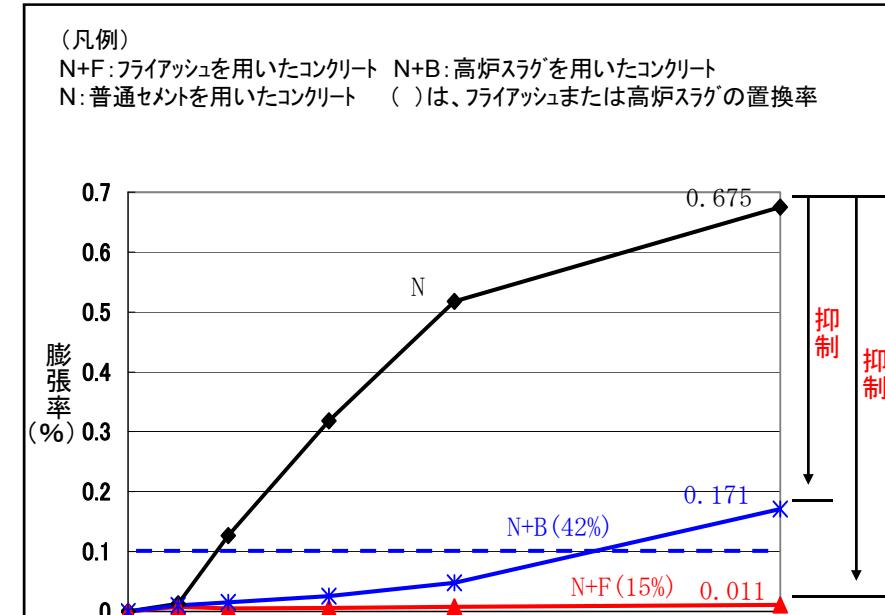
- ・ASR抑制効果に関して、化学法およびモルタルバー法により、比較評価を実施
- ・フライアッシュを混和した場合、常願寺川産の反応性の高い骨材に対しても膨張が抑制され、**フライアッシュには優れたASR抑制効果があることが検証できた。**

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)



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

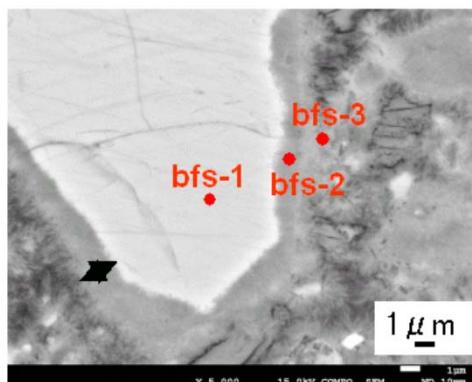
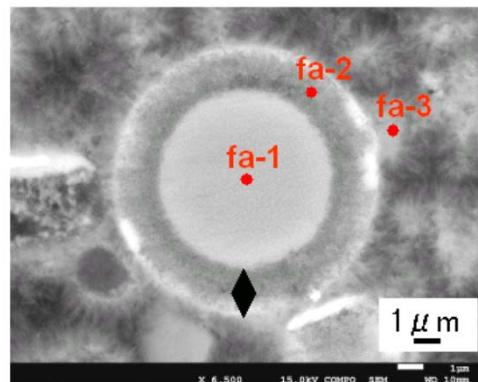
【フライアッシュによるASR抑制メカニズム】

○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



・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。)

	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

【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.

JR東日本のASR抑制対策強化(H23.2.1)

- 無害とされる骨材を使用したが、ASRによるひび割れが発生した事例があり、対策を強化した。(独自の厳しい判定基準設定)
- 2月1日付で改訂する土木工事標準仕様書から適用セメント工業新聞(H23.1.13記事より)

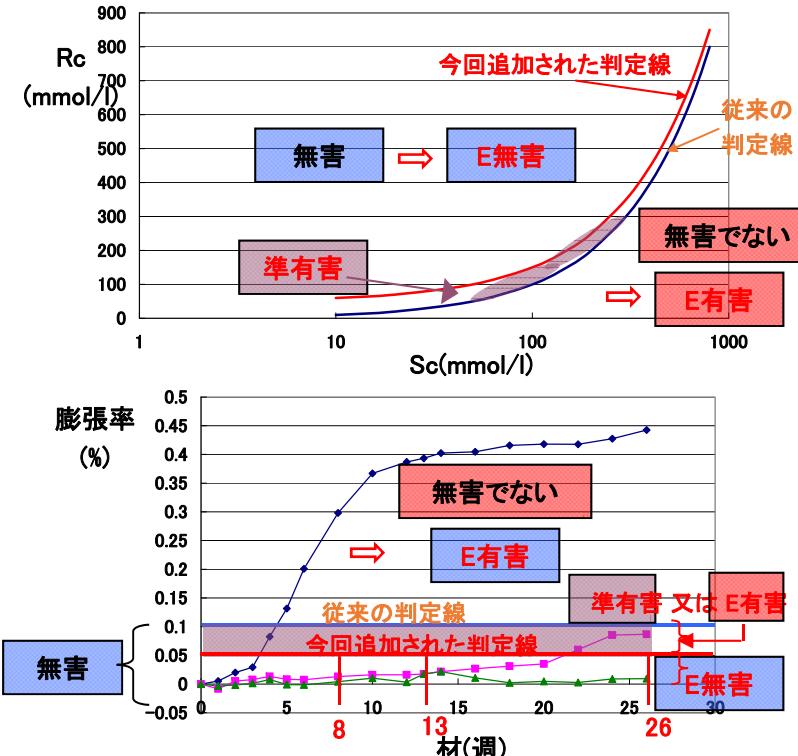
[JIS A1145(化学法)]

※Sc:溶解シリカ量、Rc:アルカリ濃度減少量(mmol/l)

JIS判定		JRの判定	
Sc < Rc	「無害」	Sc + 50 < Rc	「E無害」
Sc >= Rc	「無害でない」	Sc >= Rc	「E有害」
Sc < Rc	「準有害」	Sc < Rc <= Sc + 50	

[JIS A1146(モルタルラバー法):6か月の膨張率]

JIS判定		JRの判定	
0.1%未満	「無害」	0.05%未満	「E無害」
0.1%以上	「無害でない」	0.1%以上	「E有害」
0.05 ~ 0.1%		膨張率の傾き 8~13週 > 13~26週 膨張率の傾き 8~13週 < 13~26週	
		「準有害」	



[対策方法の比較]

JIS抑制対策		JR抑制対策		備考(北陸地方への影響)
「無害」	対策不要	「E無害」	対策不要	・北陸地方の骨材は多くが従来の「無害」から「準有害」または「E有害」に判定されることになる。 ・PCやPCa製品は、総量規制をクリアできないので、混合セメントの使用に変更せざるを得ない。
		「準有害」	・アルカリ総量規制 (2.2kg/m ³) ・混合セメントなど使用	
		「E有害」	混合セメントなど使用	
「無害でない」	・アルカリ総量規制(3kg/m ³) ・混合セメントなど使用 ・安全と認められる骨材の使用		・従来の「無害でない」は、「E有害」となり、「混合セメントの使用」のみがASR抑制対策として認められる。	

JR東日本の橋梁でのASR劣化状況



写真-1 ひび割れ発生状況

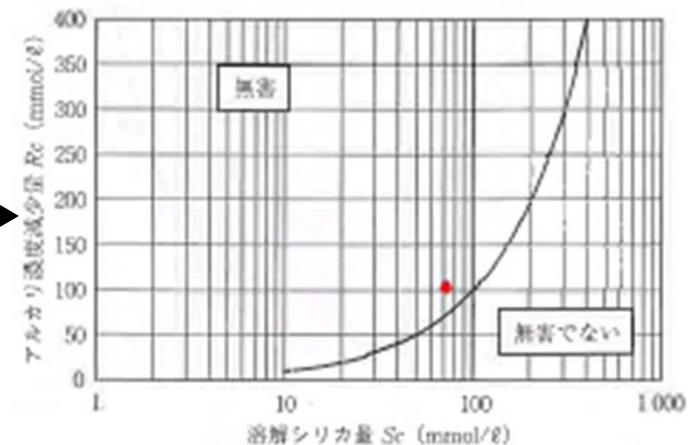


図-2 細骨材の試験結果（化学法）

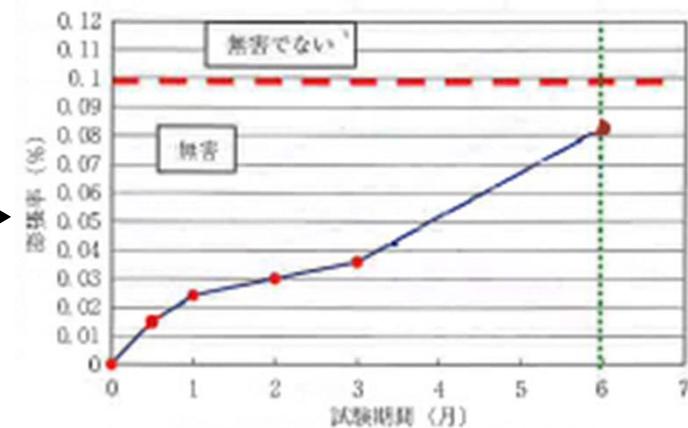


図-1 粗骨材の試験結果（モルタルバー法）

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

JR東日本のASR判定区分(化学法)

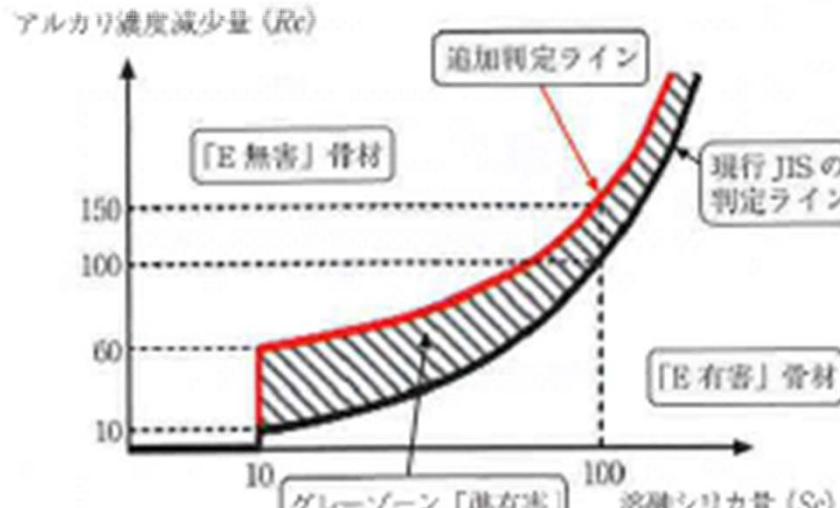


図-5 化学法の判定イメージ

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

表-2 化学法による骨材判定区分の定義

骨材区分	判 定 標 準
「E有害」骨材	溶融シリカ量 (Sc) $\geq 10 \text{ mmol/l}$ かつアルカリ濃度減少量 (Rc) $< 700 \text{ mmol/l}$ 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 ($(Rc) \leq (Sc)$ である骨材)
「準有害」骨材	溶融シリカ量 (Sc) $\geq 10 \text{ mmol/l}$ かつアルカリ濃度減少量 (Rc) $< 700 \text{ mmol/l}$ 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 ($(Sc) < (Rc) \leq (Sc+50)$ である骨材)
「E無害」骨材	溶融シリカ量 (Sc) $\geq 10 \text{ mmol/l}$ かつアルカリ濃度減少量 (Rc) $< 700 \text{ mmol/l}$ 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 標 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 0.06% 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 0.06% 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)

【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抑制対策を更に一步進めた ⇒ 「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」

新潟駅立体化交差事業でのFAコンクリートの採用 (平成25年度より、20万m³打設、七尾大田火力フライアッシュ)

高架横梁に発生したASRひび割れ



単纖維混入FAコンクリートにより打設

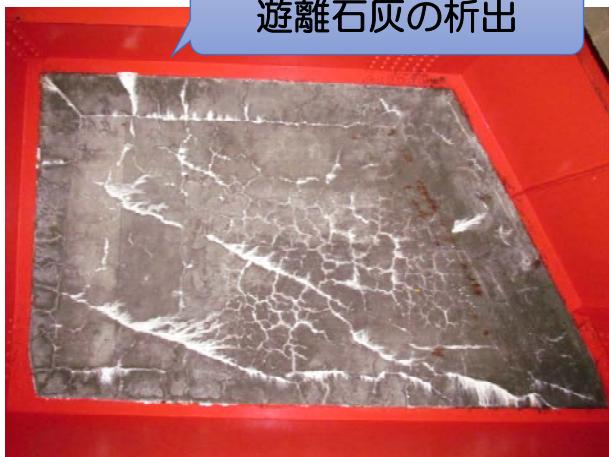


背景：上越新幹線のASR劣化(阿賀野川産骨材のASR対策)

RC床版ASR劣化の実態(国道157号)

産地：手取川産の砂利および砂
劣化：顕著なASRおよび強度低下あり

遊離石灰の析出



ASRによる
亀甲状ひび割れ



RC床版の高耐久化(長寿命化)の取組み

【大規模更新事業におけるPCa・PC床版による取替え】





FAコンクリートを用いたPCa・PC床版の製作
(平成27年7月)

大型構造物載荷試験機による曲げ、
押し抜けせん断試験の実施
(平成27年11月実施)

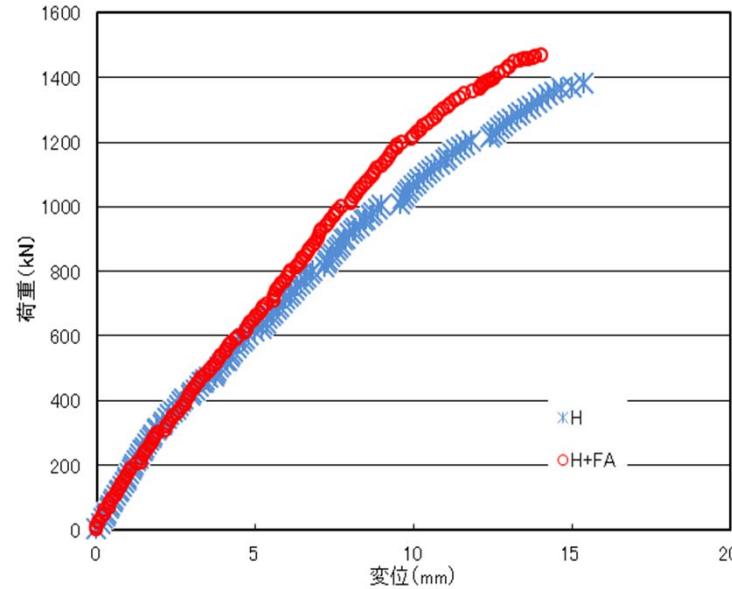


大型構造物載荷試験機

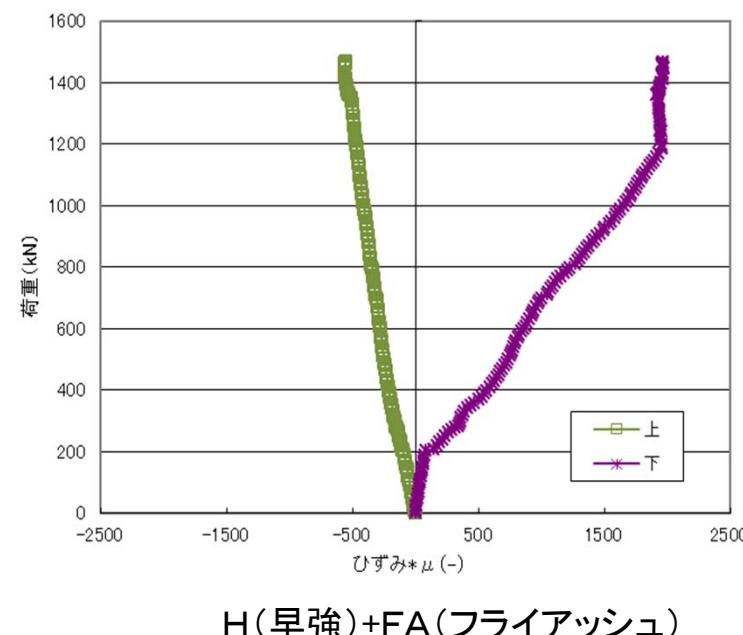
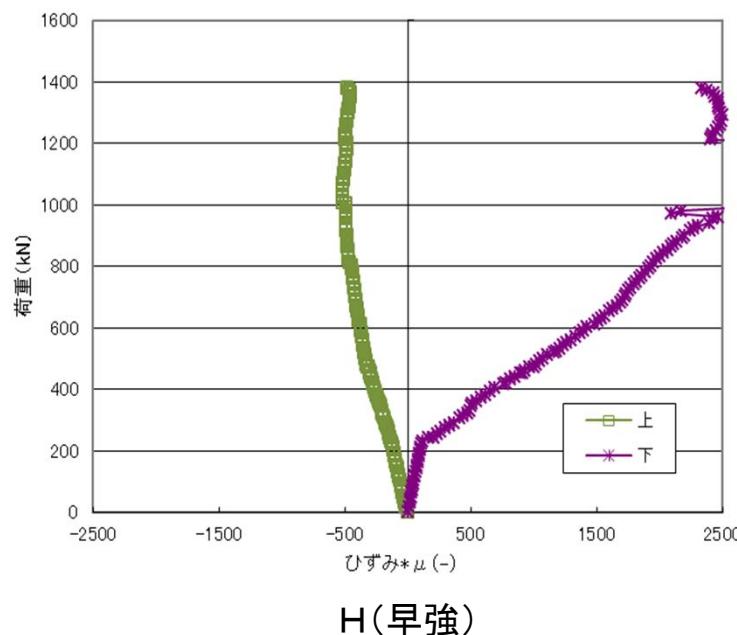


荷重－変位, 荷重－ひずみ関係

荷重－変位
(支間中央, 幅員中央)



荷重－鉄筋ひずみ
(支間中央, 幅員中央)



日野川橋(北陸自動車道)の塩害劣化RC床版取替え(平成28年10月)



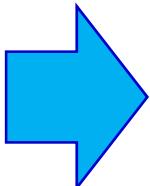
フライッシュコンクリートの打設



プレキャストPC床版の養生(敦賀工場)



旧RC床版の撤去



プレキャストPC床版の設置

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示方書への取り込み(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、
とくに砂のASR抑制対策)

背景3 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)

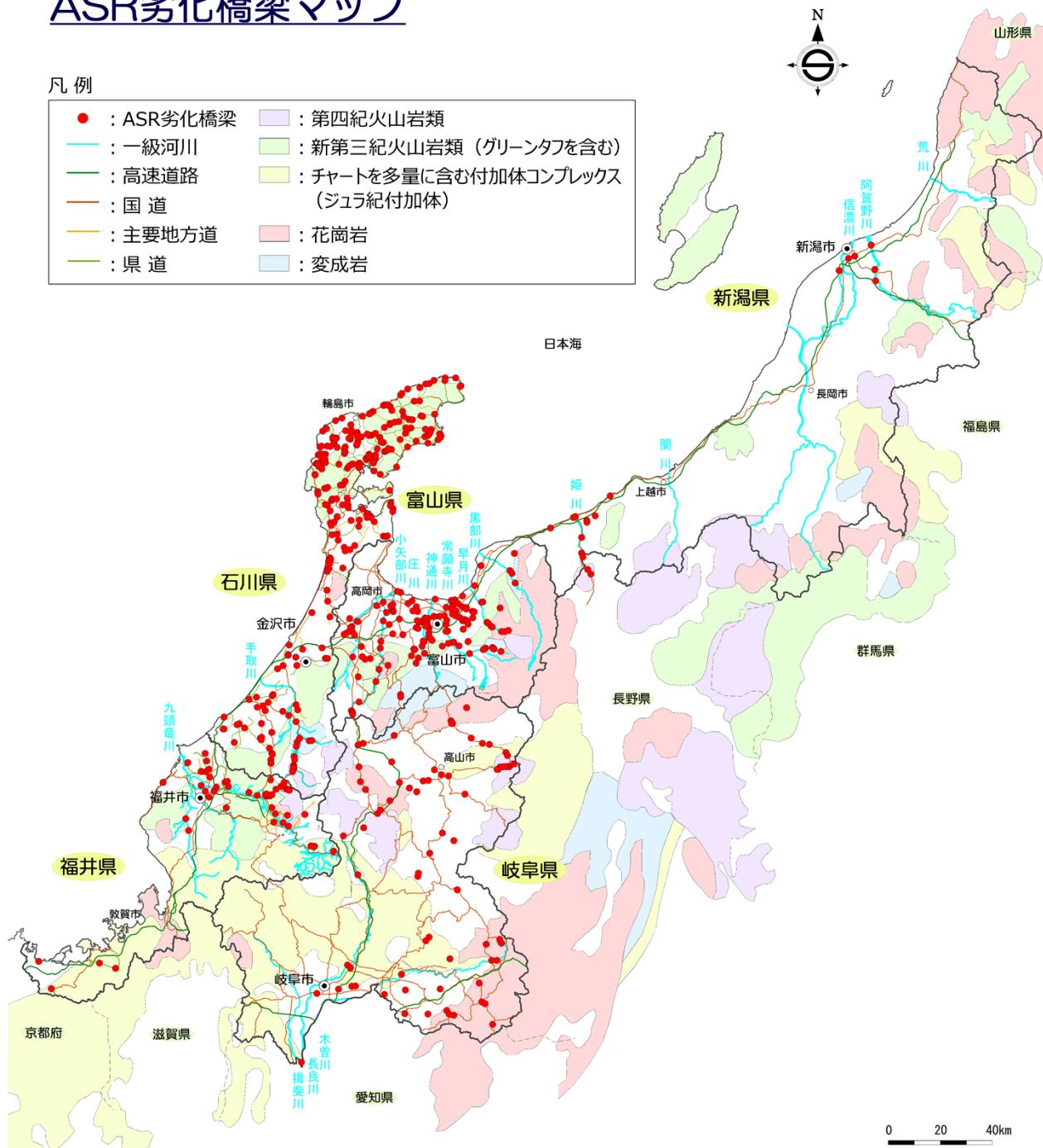
北陸新幹線橋脚(姫川)



ASR劣化橋梁マップ

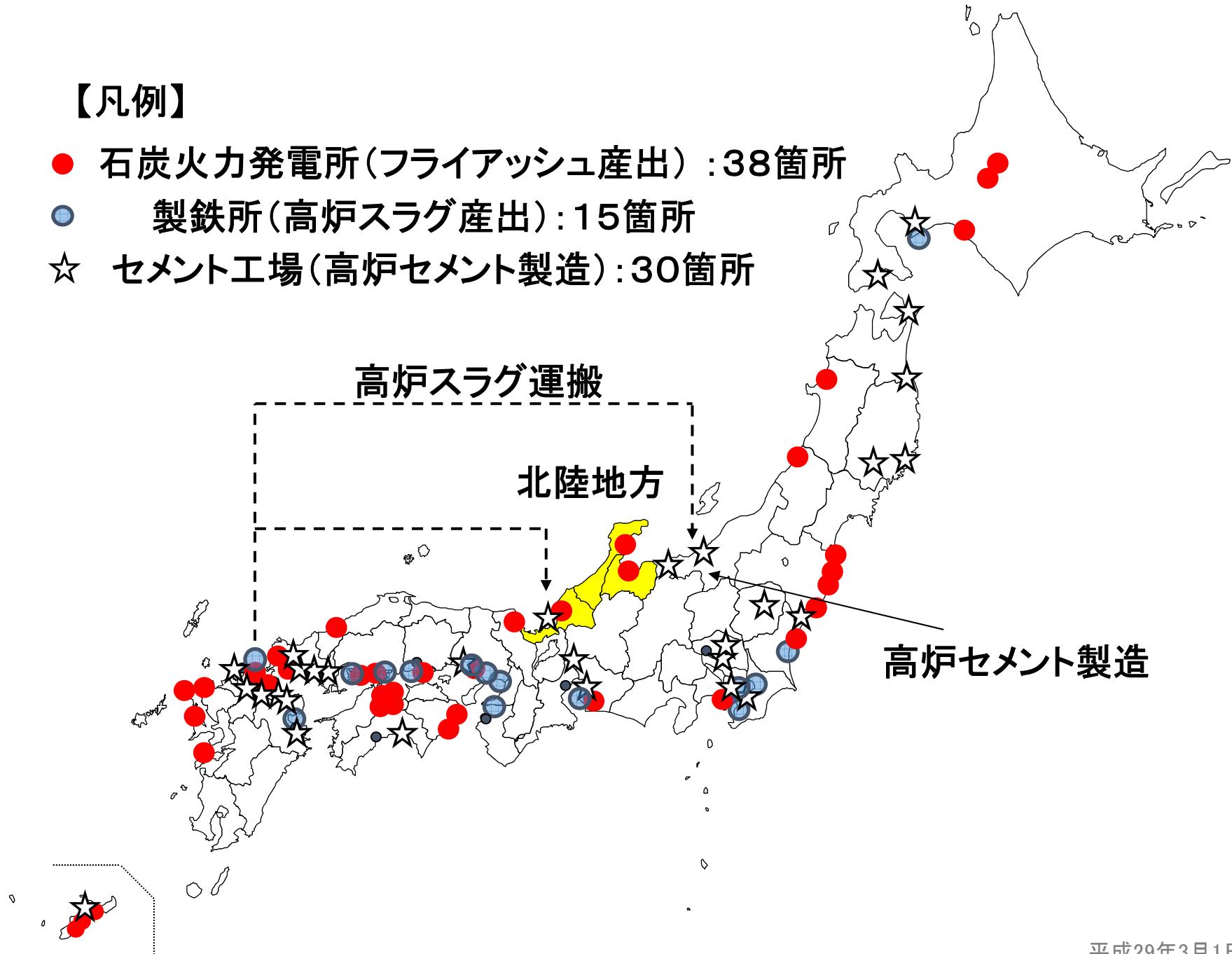
凡例

● : ASR劣化橋梁	■ : 第四紀火山岩類
— : 一級河川	■ : 新第三紀火山岩類 (グリーンタフを含む)
— : 高速道路	■ : チャートを多量に含む付加体コンプレックス (ジュラ紀付加体)
— : 国道	■ : 花崗岩
— : 主要地方道	■ : 変成岩
— : 県道	



【凡例】

- 石炭火力発電所(フライアッシュ産出) : 38箇所
- 製鉄所(高炉スラグ産出) : 15箇所
- ☆ セメント工場(高炉セメント製造) : 30箇所



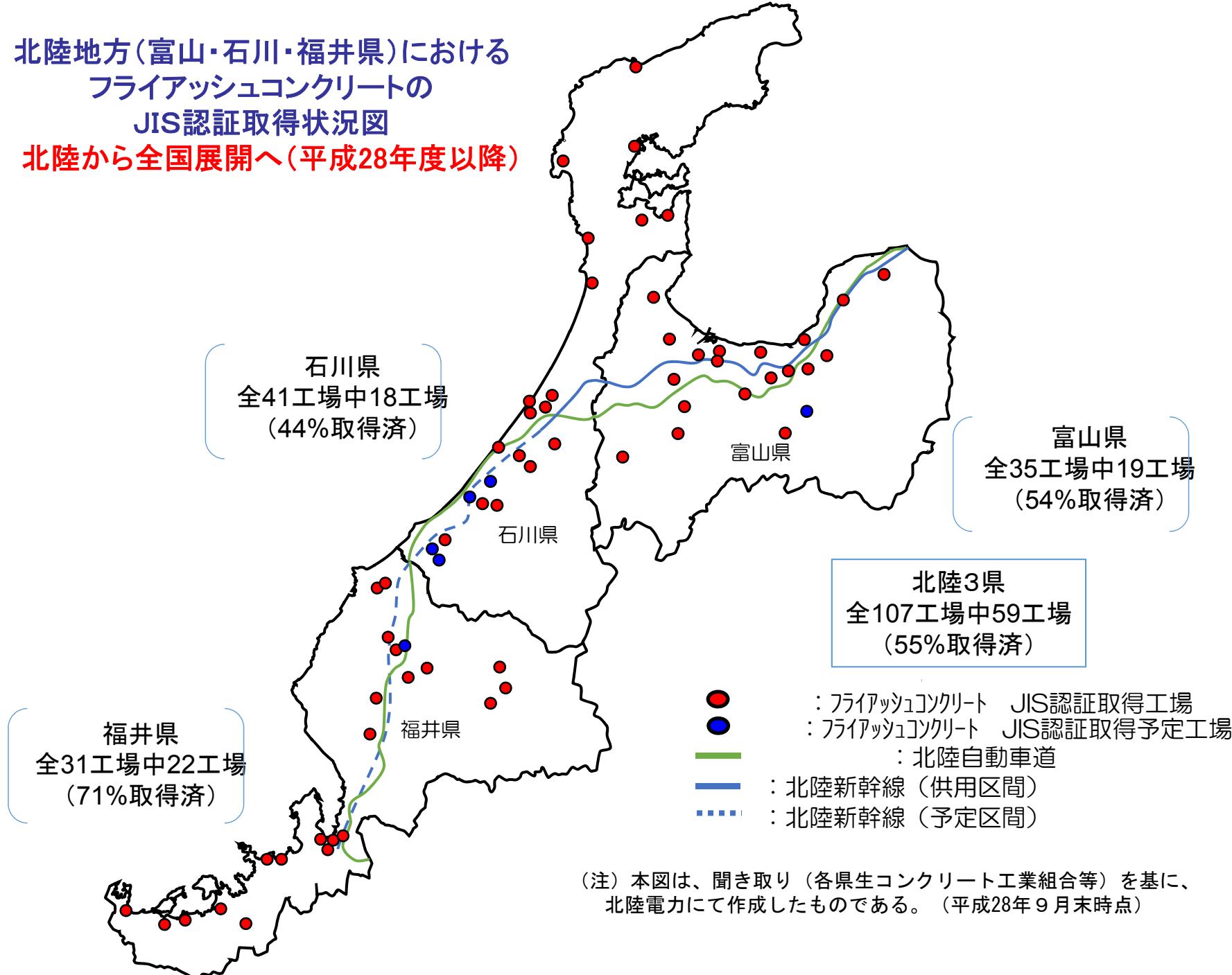
平成29年3月1日作成

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30m ³) → モデル工事 (約340m ³) → モデル工事 (約1,440m ³) → モデル工事 (約723m ³) → モデル工事 (約1,612m ³) → モデル工事 (約6,378m ³)	(継続)	(継続)	(継続)				
	石川県工事	試験施工 (約28m ³) → モデル工事 (約3,800m ³) → モデル工事 (約2,030m ³) → (モデル地区化) モデル地区 (約2,800m ³) → モデル地区 (約2,800m ³) → モデル工事 (約5,406m ³) → (モデル地区化) モデル地区 (約2,800m ³) → モデル地区 (約2,800m ³) → モデル工事 (約10,591m ³) → (モデル地区化)	(モデル地区化)	(モデル地区化)	(モデル地区化)				
	福井県工事	—	試験施工 (約16m ³) → モデル工事 (約820m ³) → モデル工事 (約5,759m ³) → (推進地区化) モデル工事 (約20,314m ³) → モデル工事 (約8,423m ³)	(推進地区化)	(推進地区化)	(推進地区化)			
	国交省工事	—	試験施工 (約242m ³) → モデル工事 (約710m ³) → モデル工事 (約339m ³) → (継続) モデル工事 (約726m ³) → モデル工事 (約726m ³)	(継続)	(継続)	(継続)			
フライアッシュコンクリートの需要	約58m ³	約4,398m ³	約5,000m ³	約15,027m ³	約35,162m ³	約26,118m ³ + 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)		

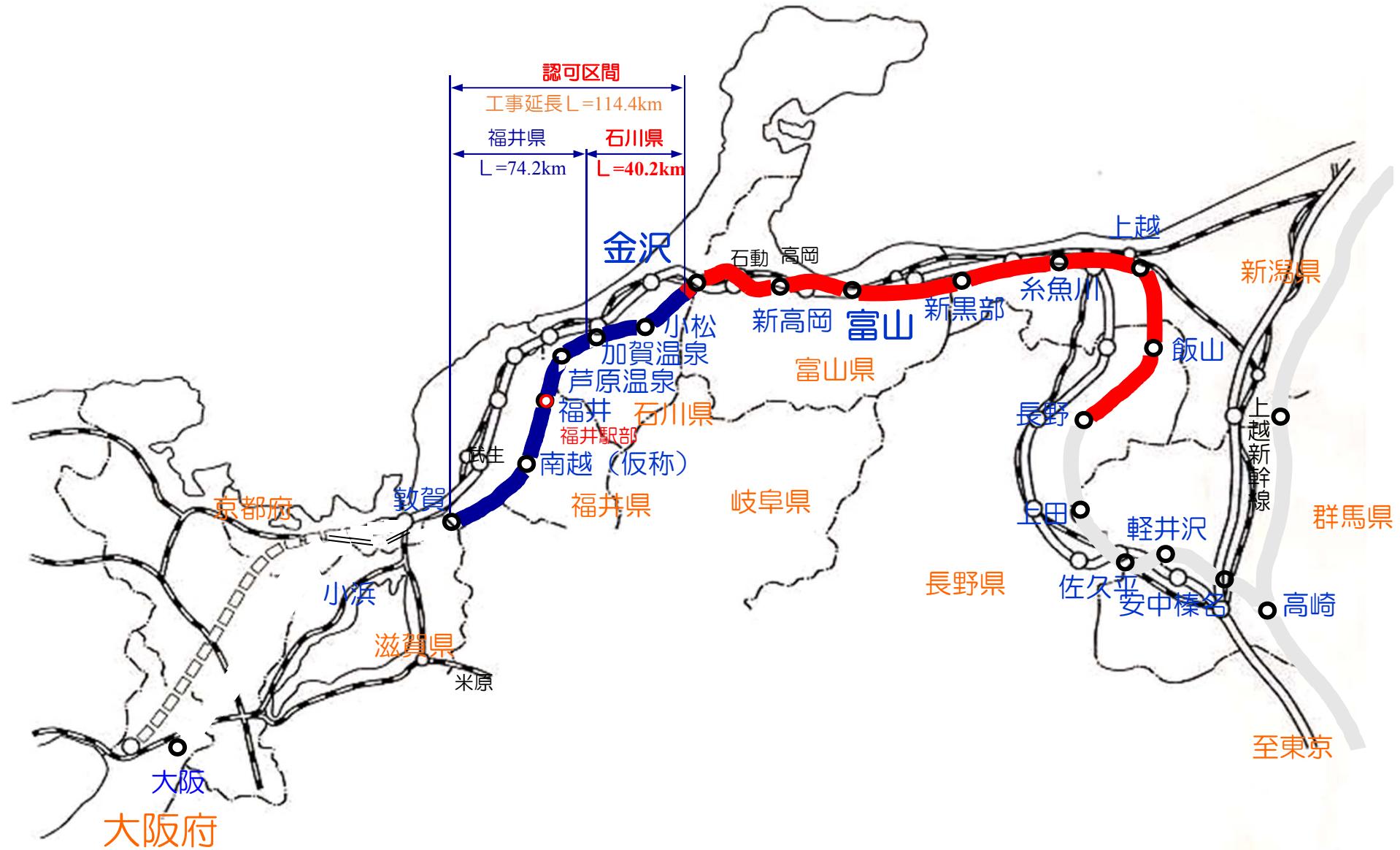
北陸地方(富山・石川・福井県)における
フライッシュコンクリートの
JIS認証取得状況図
北陸から全国展開へ(平成28年度以降)



整備新幹線の開業実績と工事状況



北陸新幹線金沢・敦賀間の概要



追加された北陸新幹線、金沢・敦賀間のコンクリートの配合条件表(標準)

配合条件表は、普通、高炉、FAの3種類のコンクリートを並列併記した。

(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/mm ²)	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			示方配合 に示す単 位水量の 上限値 (kg/m ³)	備 考	
						空気量 の範囲	示方配合に示す最大 水結合材比(%)				
						(%)	普通	高炉	FA※		
ラーメン高架橋											
鉄筋 コン クリ ート	ラーメン高架橋	27 (27)	スラブ、上層梁、柱、中層梁 地中梁 フーチング	25 40	12±2.5 8±2.5	5.5±1.5	53	☆45	☆50	175	1柱1基礎形式は地中梁扱い
						4.5±1.5	55	◎☆55	◎☆55	175	
						55	◎☆55	◎☆55	165		
桁関係											
鉄筋 コン クリ ート	RC桁	27(27)		25	12±2.5	5.5±1.5	53	☆45	☆50	175	*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する。
	合成桁・SRC桁	27(27)					53	*	*		
		30(30)									
		36(36)									
橋脚・橋台											
一般的な橋脚・橋台		27(27)	ぐ体	25	8±2.5	5.5±1.5	53	☆45	☆50	175	

(本表は全体の一部を紹介)

配 合

ラーメン高架橋

部位	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	粗骨材の最 大径(mm)	空気量(%)	FA置換率 (%)	W/B(%)	骨材産地
場所打杭	30	18	25	4.5	16.9	55	手取川
地中梁	27	12	25	4.5	16.9	55	手取川
柱・梁	27	12	25	5.5	16.9	50	手取川

橋脚

部位	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	粗骨材の最 大径(mm)	空気量(%)	FA置換率 (%)	W/B(%)	骨材産地
場所打杭	30	18	25	4.5	16.9	55	手取川
フーチング	27	8	40	4.5	16.2	55	手取川
柱	27	8	25	5.5	16.9	50	手取川
梁	27	12	25	5.5	16.9	50	手取川

試験施工の最初のコンクリート打設となるラーメン高架橋場所打ち杭のコンクリート打設をH29.2.27に実施済み。

施工状況写真



レディーミクストコンクリート受入試験状況



「ASR問題の解決のために今、何をすべきか」

北陸地方(東北地方)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しました！

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に取り組んでいた「北陸地域における高品質フライアッシュ^①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^②」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

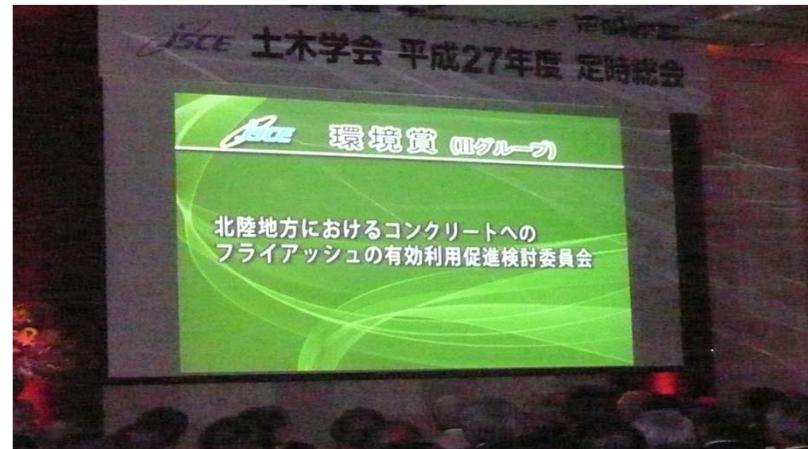
<受賞プロジェクトの概要>
産官連携による当委員会では、北陸地域で顕在化しているコンクリート構造物のアルカリシリカ反応（A.S.R）^③や塩害などへの対策として、当社の火力発電所の副産物として産出されるフライアッシュに着目し、選別した高品質なフライアッシュの供給体制を確保するとともに、委員会活動を通して、耐久性の高いフライアッシュコンクリートを製造、実工事に利用するまでの仕組み作りに取組んできました。
地域の特性を生かした本取組みは、他の地域への展開も可能なプロジェクトであり、フライアッシュの地産地消は、使用セメント量低減による二酸化炭素排出量の低減などの観点からも高く評価できる技術として、土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緒に、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

62

ご清聴ありがとうございました！

Fly ash

Pozzolanic products

Fly
ash

<http://sip-hokuriku.com/>

1 μ m

x 4,300

8.0kV COMPO2 SEM