

中部地方の反応性骨材の岩石学的特徴と

ASR試験法及び抑制対策の新提案

金沢大学名誉教授 鳥居和之

(中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)TA)

令和2年10月23日

第17回岐阜県骨材セミナー(大垣フォーラムホテル)

1. 塩害およびASRによる劣化現象と 中部地方の地域性

(コンクリート構造物の耐久性は、「所変われば品変わる」, その見極めが大切)

本日の講演(話題)の内容

第1部 中部地方の反応性骨材の特徴とアルカリシリカ反応抑制対策

1. 中部地方のコンクリート構造物の深刻な早期劣化問題
(中部地方の地質構造と反応性骨材の特徴)
(アルカリシリカ反応(ASR)の地域性)
2. 中部地方でのフライアッシュコンクリートの利活用
(何故、今、この地域でフライアッシュコンクリートなのか)
(中部電力(JERA)と北陸電力との協働体制の構築)
3. 北陸新幹線敦賀延伸工事(JR-TT)や新潟駅高架化事業
(JR東日本)にてフライアッシュコンクリートを標準化
さらに、JR東海も平成31年3月に新しいASR抑制対策を通過

第2部 骨材のアルカリシリカ反応性試験の現状と課題

中部地方の深刻な早期劣化問題の現状



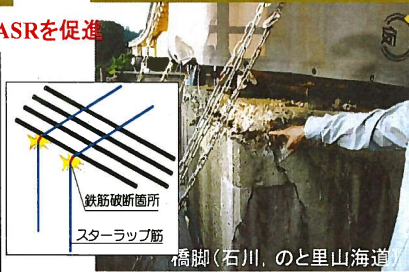
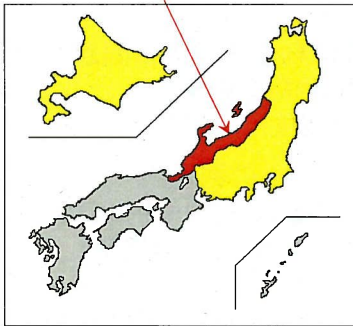
コンクリートの経年劣化(老朽化)とは異なった深刻な劣化が早期に発生

中部地方の塩害とASR, 凍害による複合劣化状況

塩害とASRの複合劣化地域の区分

ダブル複合劣化(塩害, ASR)

ASR多発地域+飛来塩分, 凍結防止剤によりASRを促進



橋脚(石川, のと里山海道)

トリプル複合劣化(塩害, ASR, 凍害)



橋台(白山山麓)

出典: 小林一輔ら: コンクリート構造物の維持管理

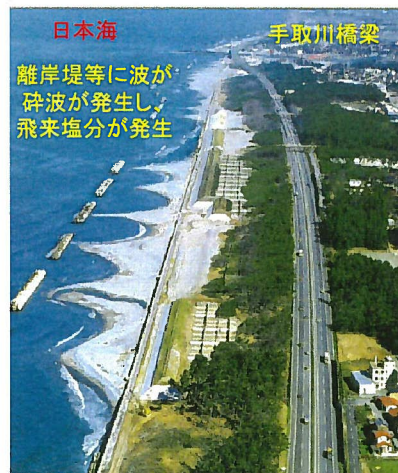
コンクリート構造物の使用・環境条件は
北陸地方がもっとも過酷!

ASRを含む複合劣化は, 北陸だけの問題ではなく
全国共通の重大な問題!

2. 飛来塩分による塩害の劣化事例

(能登有料道路(現, のと里山海道)や
国道249号, 北陸自動車道などでの知見を活用))

飛来塩分による塩害の損傷事例



石川県根上町付近



PC桁での鉄筋腐食



床版での鉄筋腐食

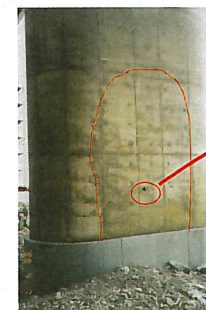
飛来塩分による塩害の損傷事例



新潟県親不知海岸



冬期波浪の状況



拡大

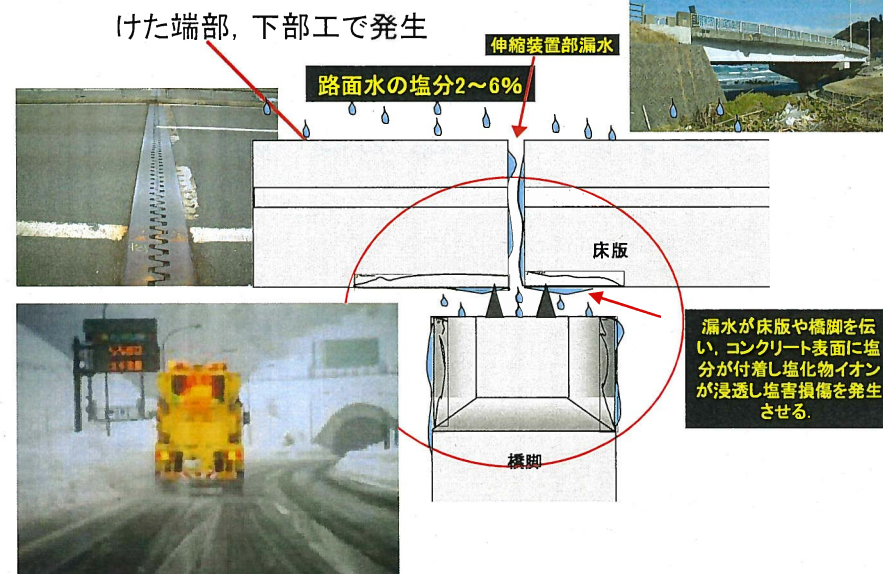


橋脚に発生した塩害

3. 凍結防止剤による塩害およびASRによる劣化事例

(北陸道, 中央道, 国道156号, 157号, 158号)

凍結防止剤による塩害



9

山間部 RC床版のASR劣化の実態(国道157号, 石川県)



凍結防止剤による劣化事例
(中空RC床版, 北陸道)



11

12

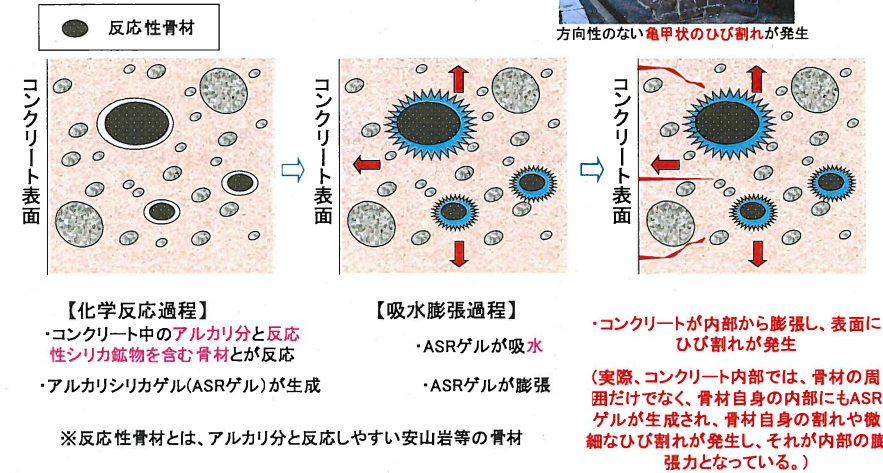
4. 骨材の岩石・鉱物学的特徴と コンクリート構造物のASR劣化

アルカリシリカ反応(ASR)とは？

コンクリート中のある種の骨材がアルカリ性水溶液と反応して、コンクリートに異常膨張やひび割れを発生させる現象

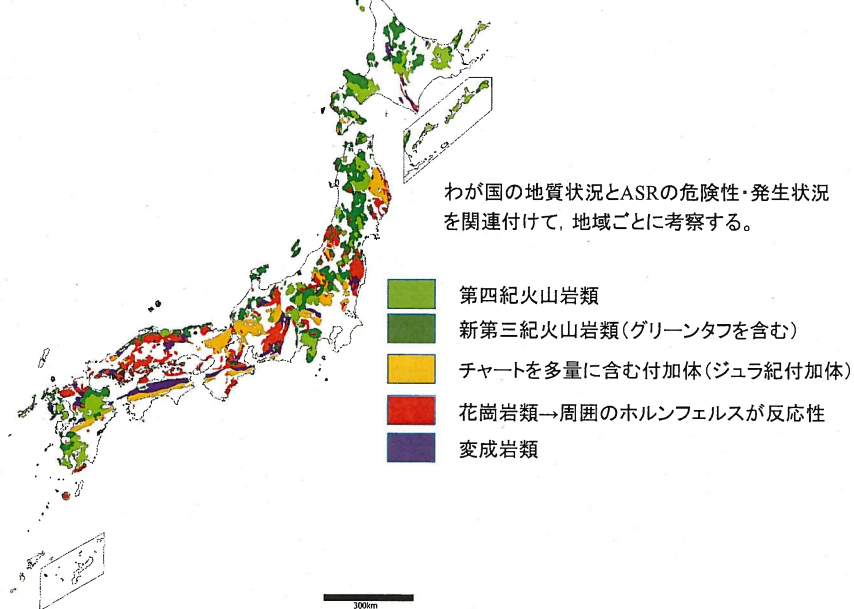


方向性のない亀甲状のひび割れが発生



13

わが国の代表的な反応性骨材の分布



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)

15



16

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)
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	様々な岩石(チャート・珪質頁岩、ホルンフェルス、広域変成岩、断層岩類・・・)

急速膨張性

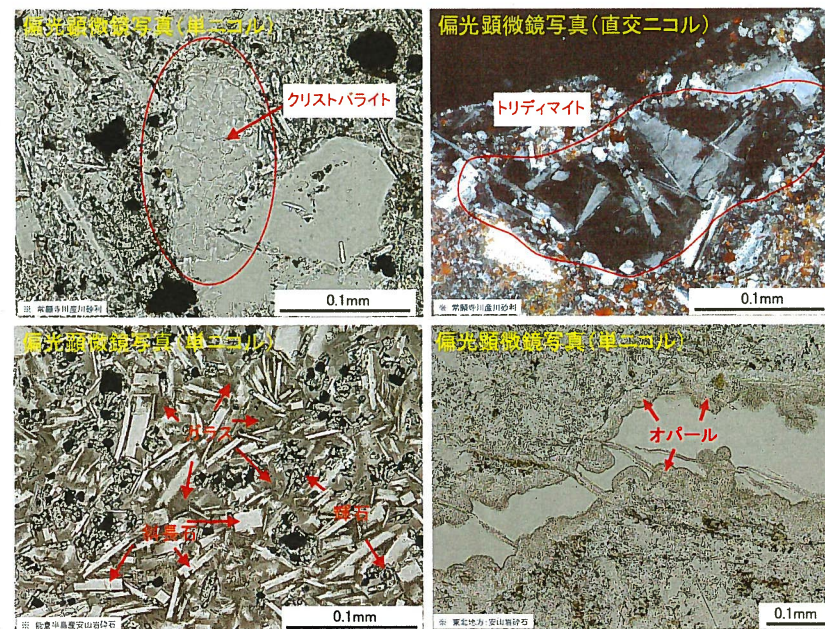
遅延膨張性

カルセドニー：繊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

17



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)¹⁸

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	様々な岩石(チャート・珪質頁岩、ホルンフェルス、広域変成岩、断層岩類・・・)

急速膨張性

遅延膨張性

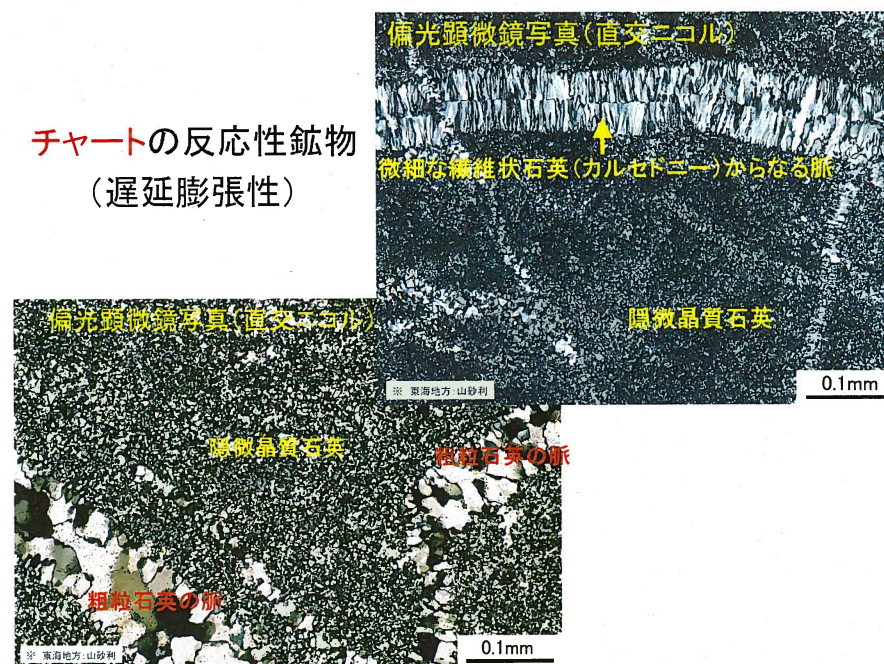
カルセドニー：繊維状で微細な石英の集合体

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

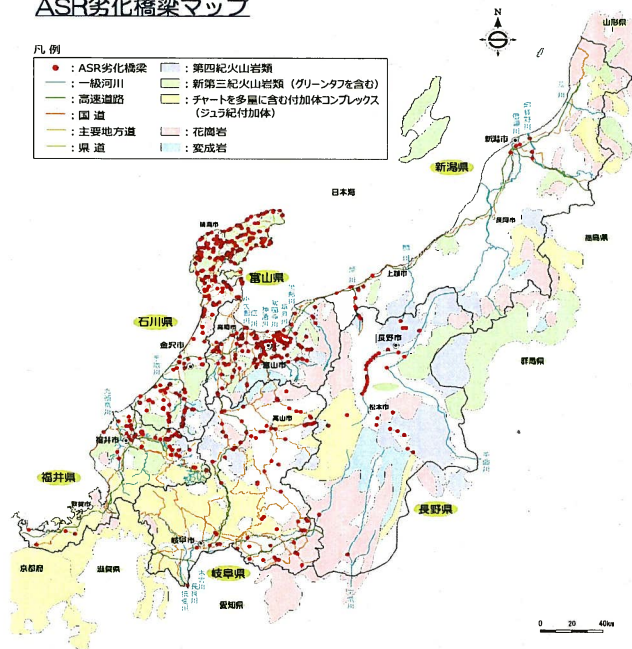
19

チャートの反応性鉱物
(遅延膨張性)



20

ASR劣化橋梁マップ



中部(山梨県・長野県・新潟県・静岡県)

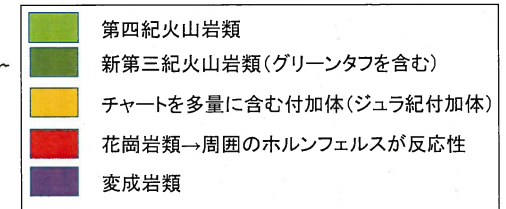


特徴

砕石のほかに砂利資源が豊富。富士山・浅間山をはじめ、多くの火山がある。チャートや珪質頁岩を多く含む地層や変成岩類も分布。大きな断層に伴う断層岩類もある。

主な反応性骨材とASR

砕石としての利用は安山岩や砂岩が多く、安山岩などの火山岩類による急速膨張性ASRが主に見られる。砂利についても地質状況を反映し、安山岩などの火山岩類のほか、チャートなどの遅延膨張性反応性岩石種を含む場合が多い。とくに日本海に流れ出る河川の流域には、主に火山岩類によるASRの影響を受けた構造物も多い。



新潟県でのASR事例



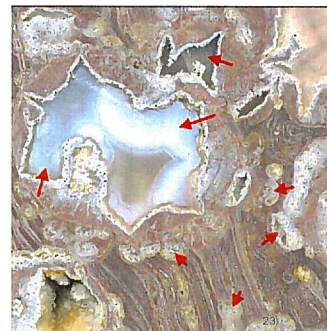
阿賀野川産の砂利、砂を使用した上越新幹線でのASR発生

新潟駅高架化事業でのフライアッシュコンクリートの利活用(平成25年度～)

(令和元年土木学会技術賞受賞)



阿賀野川産砂利(流紋岩)に含まれるオパール



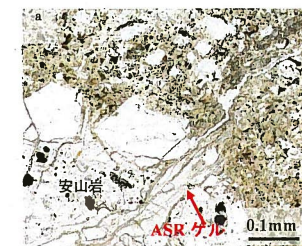
長野県梓川上流ダム湖の高欄のASR劣化事例



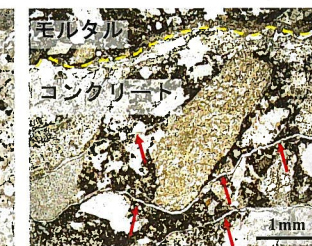
ダム湖周囲の高欄



表層部の被覆モルタルの剥離 麻田博士ご提供



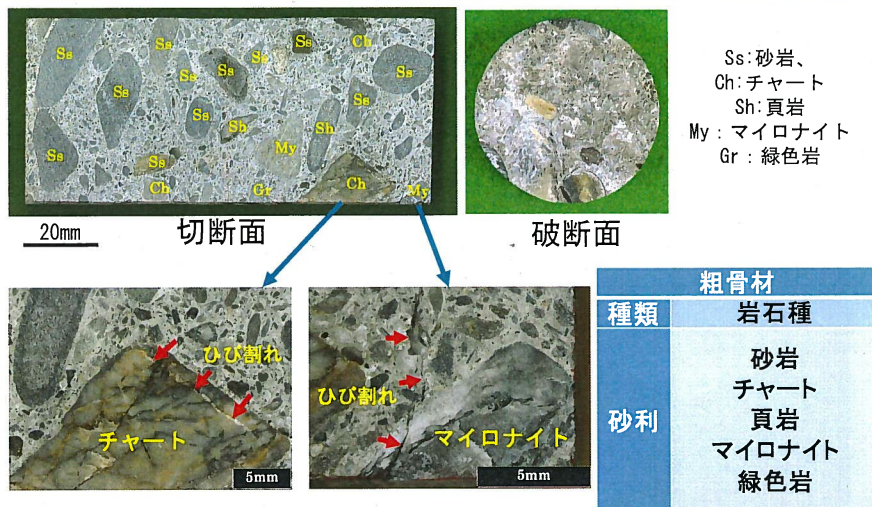
安山岩のASR



表層に平行なひび割れ

長野県では冬季に繰返し凍結融解の影響を受けるため、ASRと凍害との複合劣化が認められることも多い。

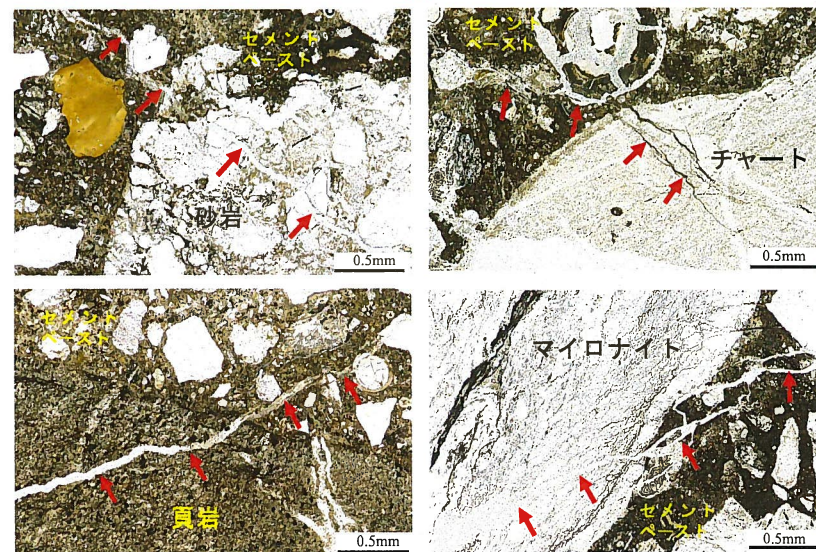
PC橋の橋台（天竜川上流の砂利・砂）のASR劣化事例



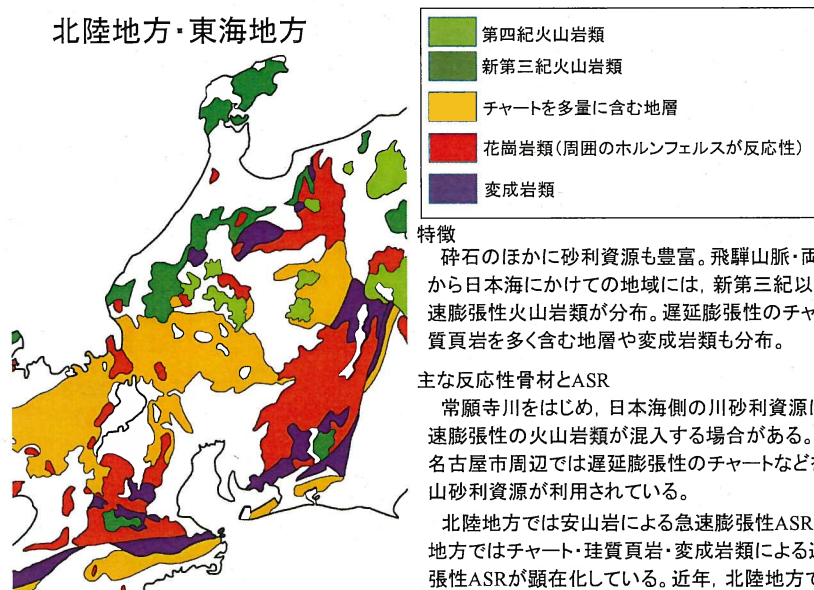
堆積岩(砂岩、チャート、頁岩)、マイロナイトにASRが発生

PC橋の橋台のASR（岩種構成と反応性鉱物の特徴）

ASR反応性鉱物は遅延膨張性の微晶質・隠微晶質石英である。



北陸地方・東海地方



特徴

砕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

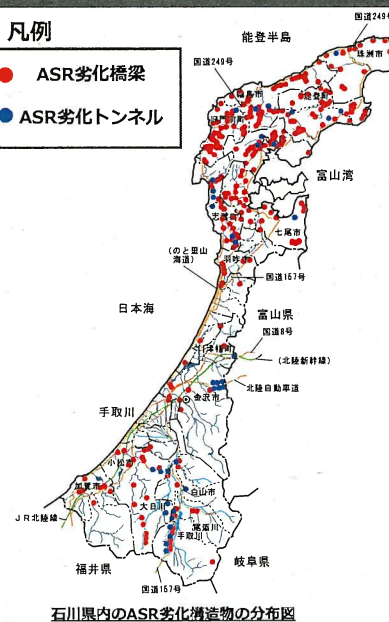
常願寺川をはじめ、日本海側の川砂利資源には急速膨張性の火山岩類が混入する場合がある。一方、名古屋市周辺では遅延膨張性のチャートなどを含む山砂利資源が利用されている。

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。

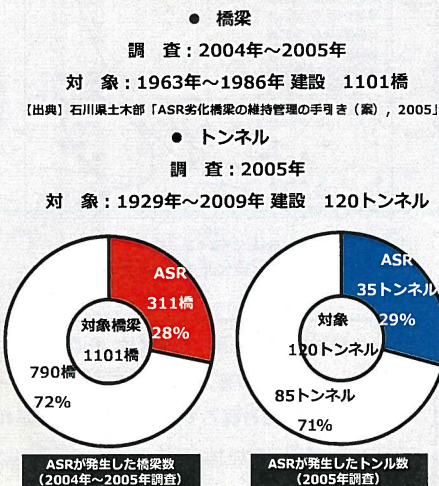
ASR劣化構造物の分布

凡例

- ASR劣化橋梁
- ASR劣化トンネル



石川県内のASR劣化構造物の分布図



※ASRによる劣化が顕著なものから軽微なものまでをASR劣化構造物とした。

橋脚・はり部のせん断補強鉄筋の破断状況 (能登有料道路、安山岩碎石)



橋脚側面のひび割れ(枕梁)

はつり後の破断状況

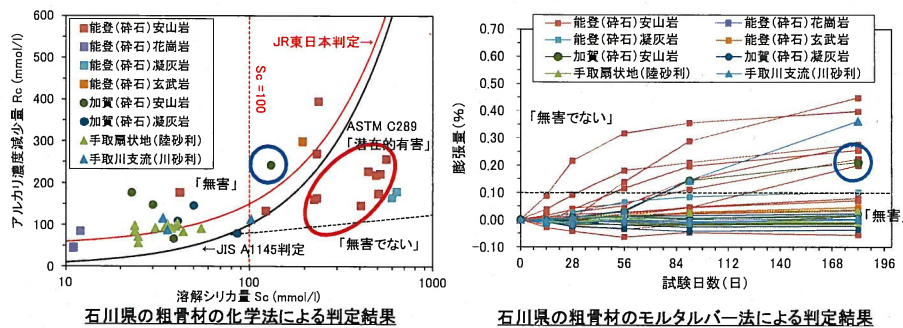
橋脚・フーチングの主鉄筋の破断状況 (能登有料道路、安山岩碎石)



29

30

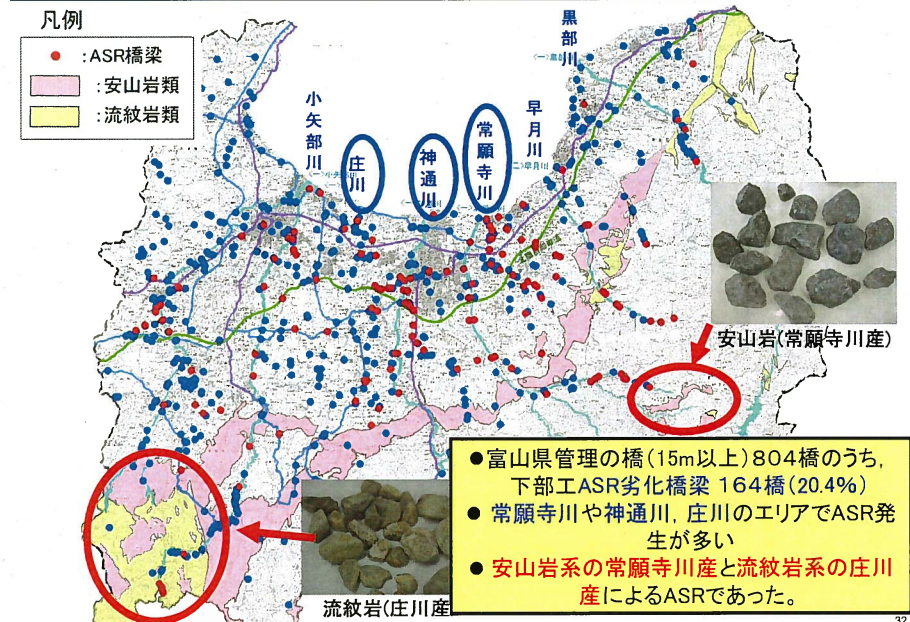
石川県における骨材のアルカリシリカ反応性試験結果



- 能登地域の安山岩碎石の多くは、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、ベシマム混合率を持つことが示唆された。
- 加賀地域の安山岩碎石で、溶解シリカ量 Sc が100(mmol/l)以上の安山岩碎石は、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碎石によりASRが発生していた。

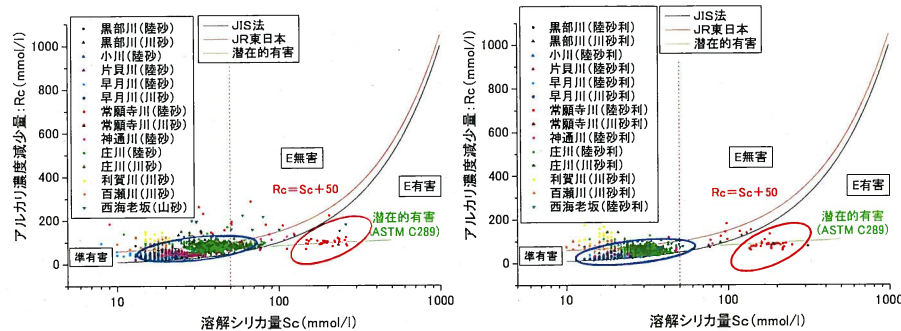
31

富山県の地質とASR劣化橋梁の分布



32

富山県産骨材の化学法(JIS A1145)判定結果



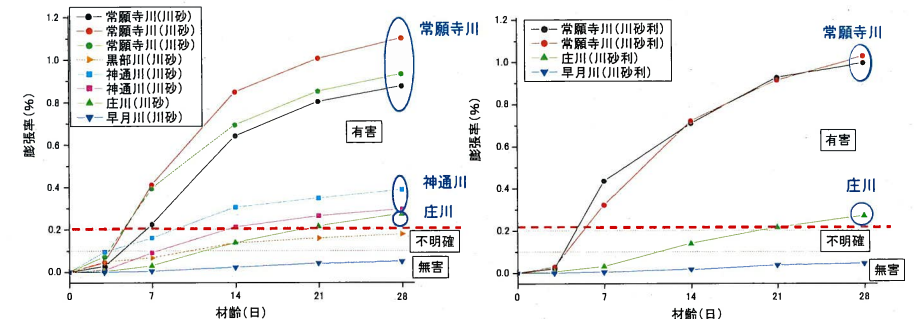
富山県産の川砂・陸砂の化学法による判定結果

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。

33

富山県産骨材の促進モルタルバー法の判定結果



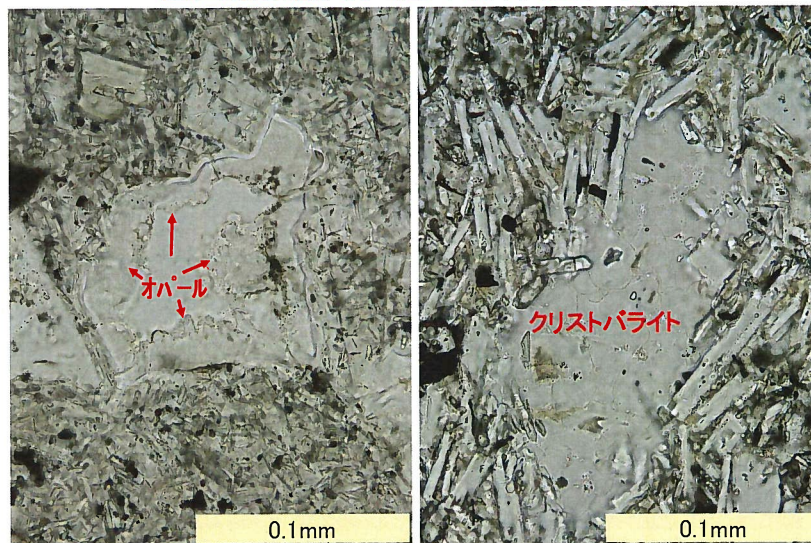
富山県産(川砂利)のASTM C1260の判定結果

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。

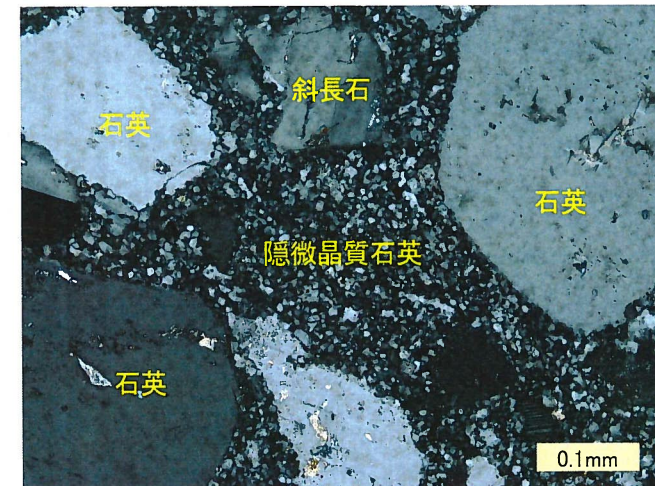
34

富山県常願寺川産の骨材(安山岩)



- 庄川産骨材⇒流紋岩溶結凝灰岩に隠微晶質石英を多く含む⇒遅延膨張性
- 常願寺川産骨材⇒安山岩にオパールやクリストパライトなどを含む⇒急速膨張性

富山県庄川産の骨材(流紋岩質溶結凝灰岩)

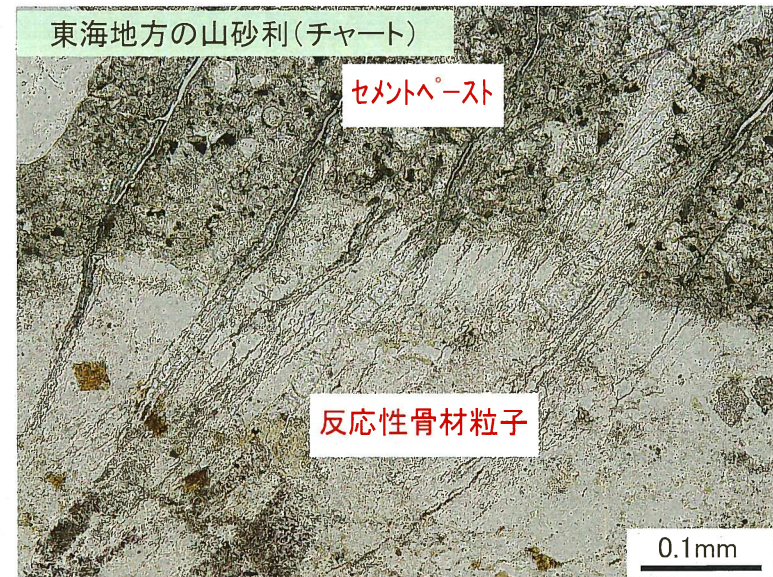


- 庄川産骨材⇒流紋岩溶結凝灰岩に隠微晶質石英を多く含む⇒遅延膨張性
- 常願寺川産骨材⇒安山岩にオパールやクリストパライトなどを含む⇒急速膨張性

36



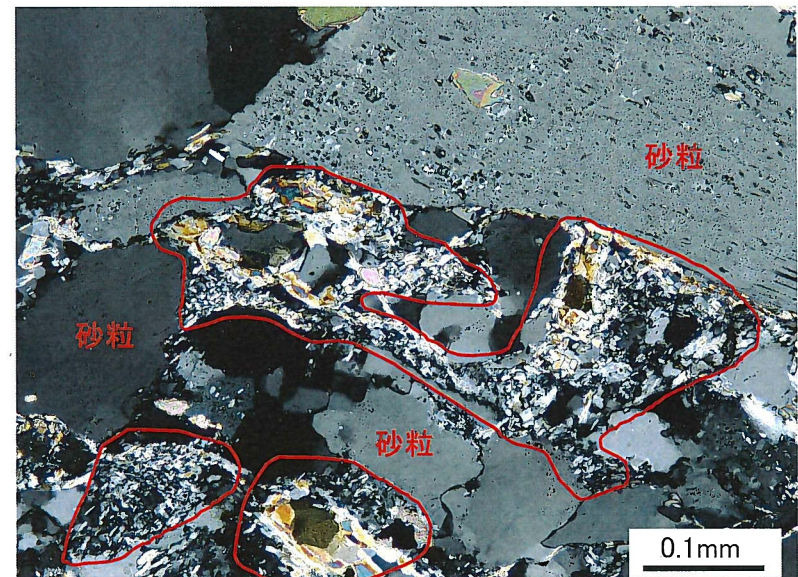
チャートによる擁壁の劣化事例(愛知県)



※ チャート(東海地方)の事例



砂質ホルンフェルスによる劣化事例(愛知県 奥三河)

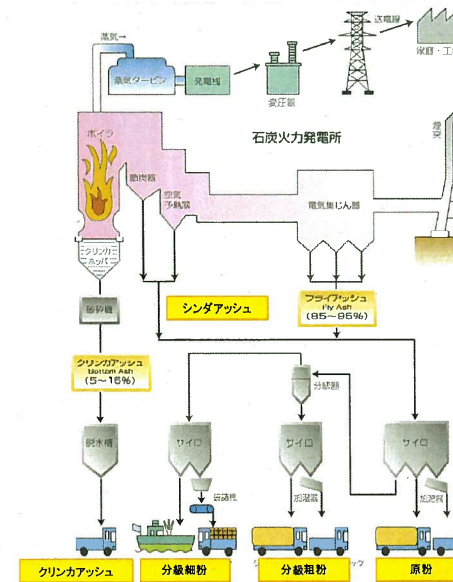


砂質ホルンフェルス(微晶質石英): 遅延膨張性

5. フライアッシュの高品質化と コンクリート構造物の長寿命化

(早期劣化問題の解決策の決め手、
地域での標準使用の推進)

フライアッシュとは？ 石炭の灰(石炭灰)である！



石炭灰の発生工程

石炭灰はフライアッシュとクリンカアッシュに大別される。

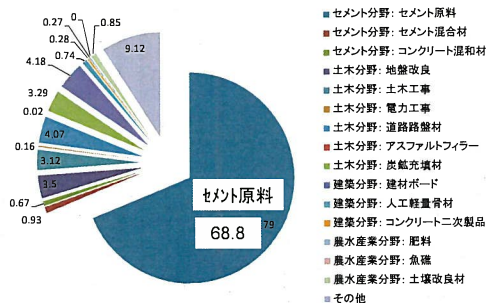
図に石炭灰の発生工程を示す。
現在、ほとんどの石炭火力発電所では多品種の海外炭を使用している。

1. フライアッシュ : 高性能の電気集塵装置で採取された粉体状のもの。
石炭灰のうち85～95%がフライアッシュとして回収される。

2. クリンカアッシュ: ボイラ底部の水槽に落下、急冷させ、破碎、粒度調整した砂状のもの。
石炭灰のうち5～15%がクリンカアッシュとして回収される。

国内における石炭灰(フライアッシュ、クリンカアッシュ)の発生量と利用状況

2016年度石炭灰分野別有効利用率(%、合計12,250千トン)



【国内】

- ・ 2016年度の総発生量：12,337千トン
- ・ 利用量：12,250千トン(利用率99.3%)
- ・ セメント製造用原料として68.8%利用

【北陸地方】

- ・ 2017年度の総発生量：687千トン
- ・ 利用量：649千トン(利用率94.5%)
- ・ セメント・コンクリート分野の利用量が比較的多い：32.0千トン(4.93%)
- ・ コンクリート混和材としての利用を促進中

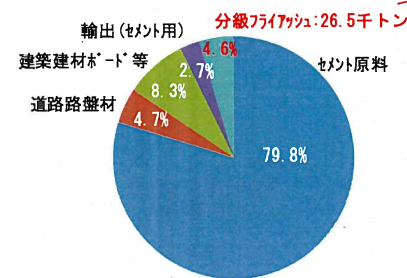
セメント・コンクリート分野における国内と北陸地方との利用状況比較

	国内(2016年度)		北陸地方(2017年度)	
	(%)	(千トン)	(%)	(千トン)
総計	100	12,250	100	649
セメント原料	68.8	8,427	77.9	505
セメント混合材	0.93	114	2.98	19(輸出15含む)
コンクリート混和材	0.67	82	0.44	2.8
コンクリート二次製品	0.28	34	1.51	9.8
セメント・コンクリート分野(再掲)	1.88	230	4.93	32.0

北陸地方におけるフライアッシュの発生量と利用状況

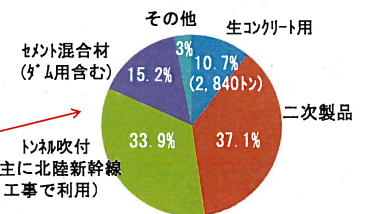
- ・ 2017年度の総発生量：613千トン
- 富山新港火力発電所：111千トン
- 七尾大田火力発電所：255千トン
- 敦賀火力発電所：247千トン
- ・ 利用量：577千トン(産廃処理を除く利用率94.1%)

【フライアッシュの利用状況】

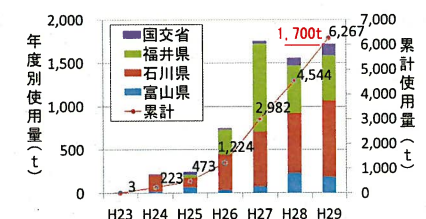


- ・ 北陸地方においては、分級フライアッシュの生コンクリートへの利用が進みつつある。

【分級フライアッシュの利用状況】



【公共工事における生コンクリートへのフライアッシュの利用の推移】



今、何故、北陸地方でフライアッシュコンクリートなのか！

○コンクリート構造物の長寿命化の観点

・北陸地域は、全国的に見ても、**ASRと塩害による構造物の劣化**が顕在化しており、今後の対応としてコンクリートの耐久性を向上させることが必要。

○環境負荷低減の観点

・北陸地域では、現在、全国的に汎用化されている高炉セメントの材料である高炉スラグが産出されないため、九州から運搬されている。一方で、北陸地域では、フライアッシュを産出する火力発電所が稼働しており、フライアッシュを使うことにより**運搬による環境負荷の低減**が可能。

○エネルギー供給事情の観点

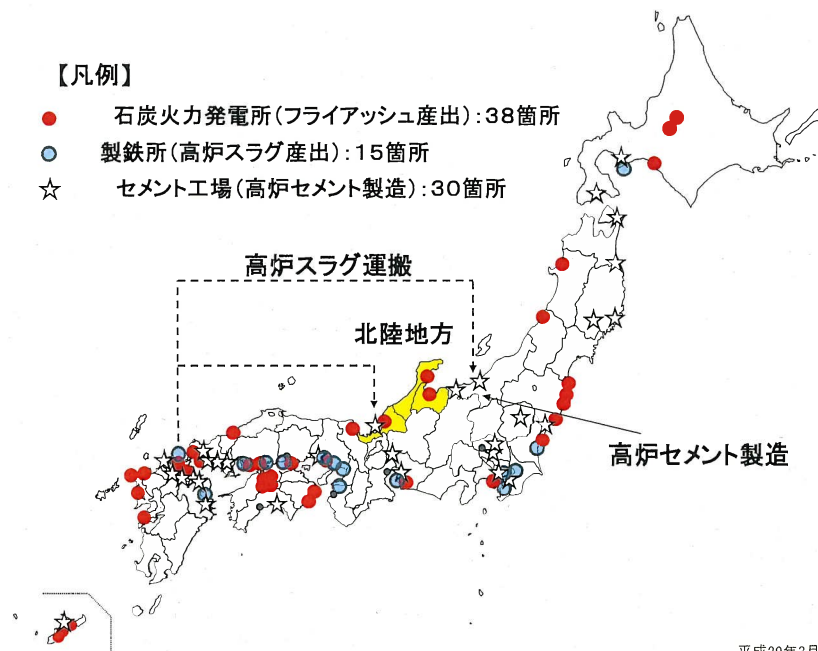
・火力発電は、重要な電源であり、3. 11の東日本大震災以降、益々、その重要度は増している。北陸地域では、現在、約6割の電力が火力発電所から供給されており、**火力発電所の安定的な運転継続**には、フライアッシュの利用が不可欠。

昨今、上記の対応を図る機運が高まっている中、**高品質なフライアッシュを供給する体制**が産出事業者（電力会社）で整えられたこと、具現化には、**関係者の連携が必須**なことから、**産学官による委員会を設立**し、取組んでいる。

45

【凡例】

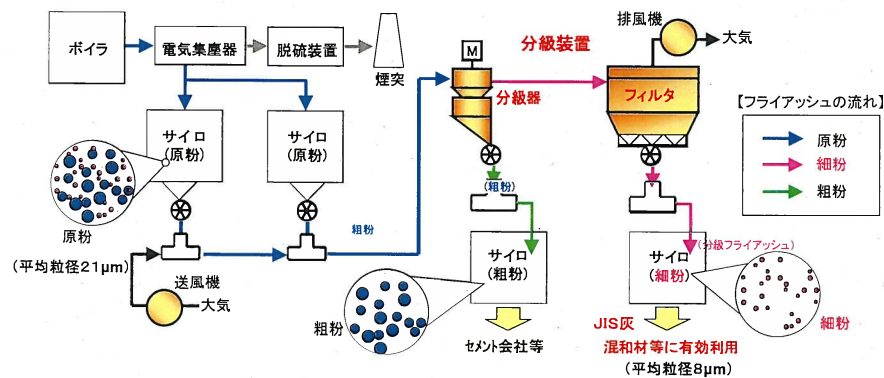
- 石炭火力発電所（フライアッシュ産出）：38箇所
- 製鉄所（高炉スラグ産出）：15箇所
- ☆ セメント工場（高炉セメント製造）：30箇所



平成29年3月1日作成

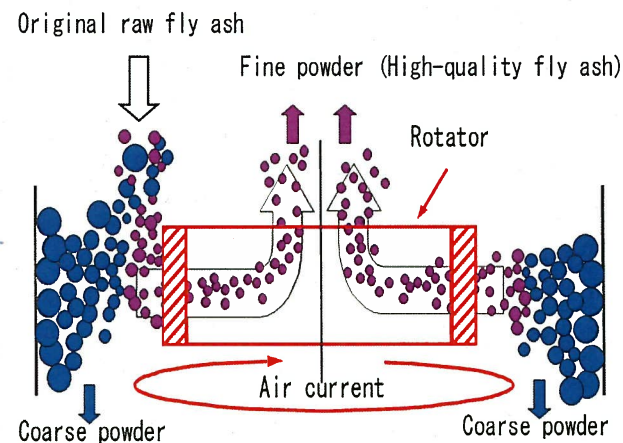
プロジェクトの成果

フライアッシュの品質管理及び出荷体制の構築



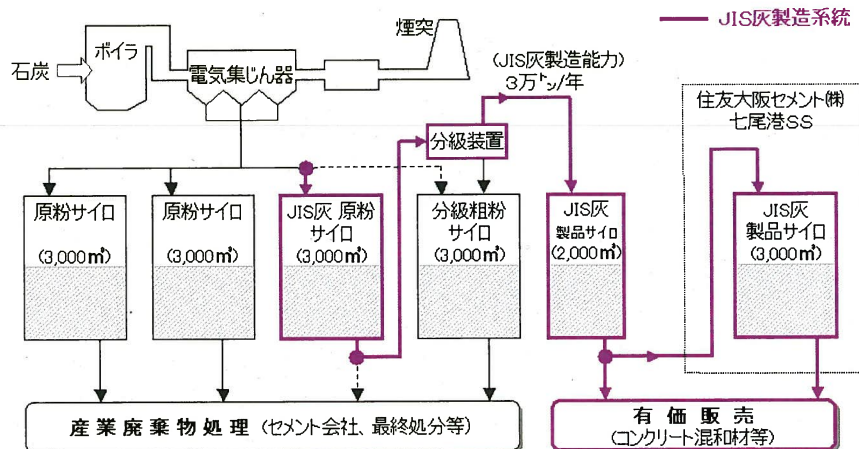
高品質な分級フライアッシュを供給する体制が構築された。
(七尾大田火力発電所で3万t/年、敦賀火力発電所で3万t/年)

フライアッシュの分級化の模式図



The physical and chemical properties of fly ash produced are well in line with the quality standard of the highest level "**Class I**" according to JIS A6201.

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

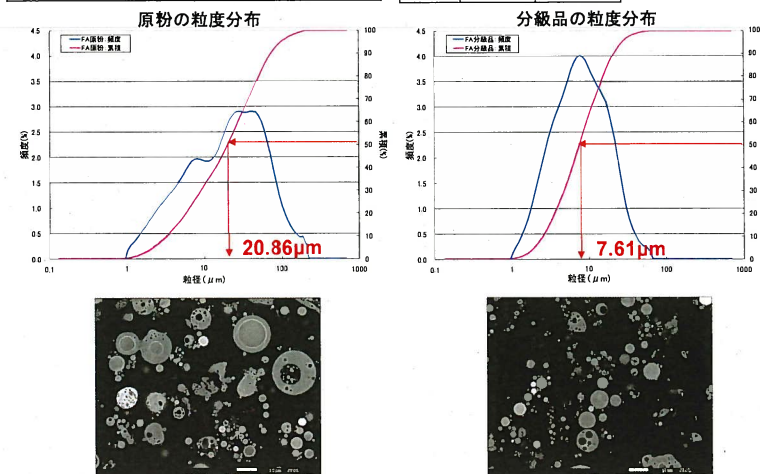


分級装置による捕捉率: 50%

※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

【分級フライアッシュの性質(試験結果): 物理的效果】

試料名	密度 (g/cm³)	比表面積 (cm²/g)	累積中位径 (μm)		
			10%	50%	90%
フライアッシュ原粉	2.36	3390	3.37	20.86	73.84
フライアッシュ分級品	2.43	4780	2.55	7.61	21.29



①分級フライアッシュの品質

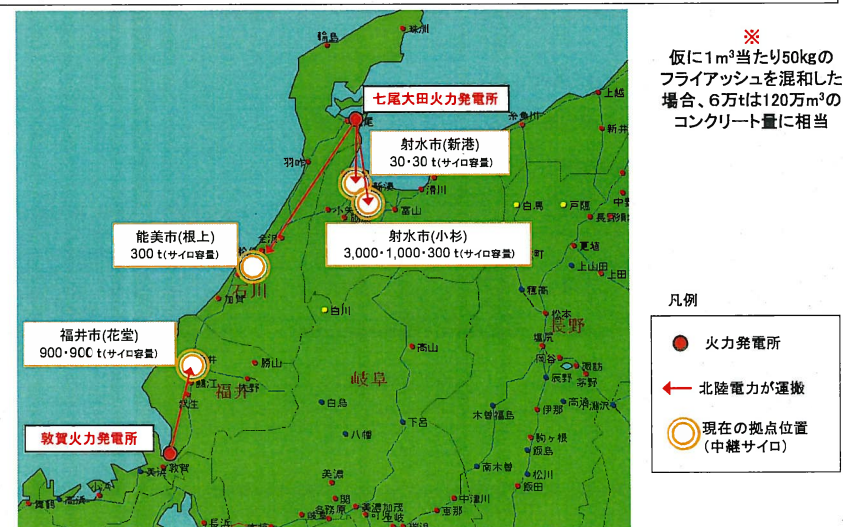
JIS項目	JIS A 6201 (コンクリート用フライアッシュ)		敦賀火力発電所 (H24.12~H28.12)		七尾大田火力発電所 (H22.1~H28.12)	
	I 種	II 種	平均	標準偏差	平均	標準偏差
二酸化けい素含有量(%)	45.0 以上	45.0 以上	63.5	1.8	57.8	4.0
湿分(%)	1.0 以下	1.0 以下	0.1	—	0.1	—
強熱減量(%)	3.0 以下	5.0 以下	3.5	0.2	2.0	0.4
密度 (g/cm³)	1.95 以上	1.95 以上	2.29	0.01	2.40	0.05
粉末度	網ふるい方法(%) (45μmふるい残分)	10 以下	40 以下	1.3	0.3	0.5
	ブレン方法(cm²/g) (比表面積)	5,000 以上	2,500 以上	4,659	129	4,719
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
	材齢91日	100 以上	90 以上	106	6	108

・分級フライアッシュの品質は、JIS II 種の規格を満足するだけでなく、JIS I 種の規格も大部分の項目で満足している。

・JIS II 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、JIS II 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**



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

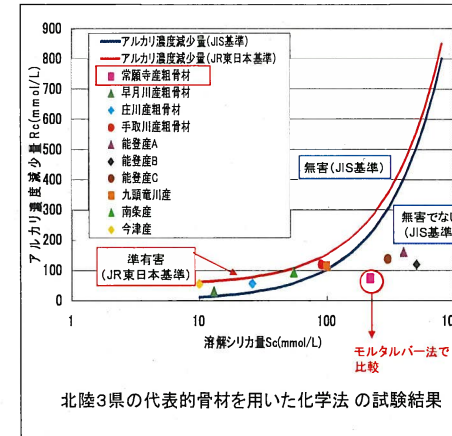
比較項目	富山・石川県 (七尾産FA)		福井県 (敦賀産FA)		試験項目
	高炉	普通	高炉	普通	
(1)施工性向上	◎	◎	◎	◎	・12打フロー試験 ・ブリーディング試験
(2)初期強度発現	☆	△	☆	△	・圧縮強度試験
(3)長期強度増進	○	☆	○	☆	
(4)乾燥収縮抑制	◎	◎	◎	◎	・乾燥収縮試験 ・自己収縮試験
(5)発熱量抑制	☆	☆	☆	☆	・簡易断熱温度上昇試験
(6)ASR抑制	◎	☆	○	◎	・モルタルバー法 (JISA1146およびデソマック法)
(7)耐久性向上	a.透水抑制性	○	○	○	・透水量の測定
	b.塩化物イオン浸透抑制性	◎	☆	◎	・塩化物イオン浸透深さ ・見かけの拡散係数の測定
	c.鉄筋腐食抑制性	○	○	○	・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.中性化抑制性	◎	○	○	・中性化深さの測定
	f.細孔率	○	○	○	・細孔率

フライアッシュによるASR抑制対策

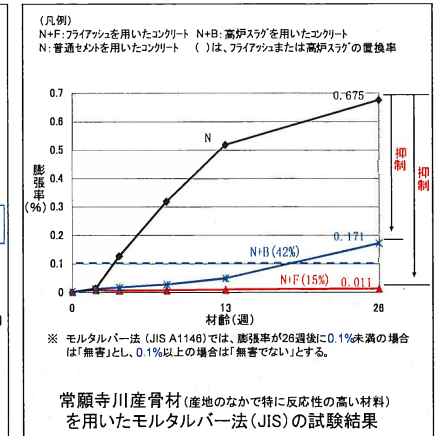
【フライアッシュによるASR抑制効果】(委員会による検証)

- ・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)



モルタルバー法 (JIS A1146に準拠)



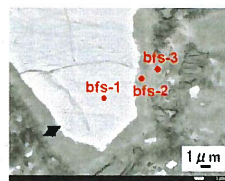
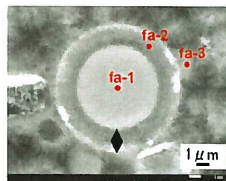
【フライアッシュによるASR抑制メカニズム】

○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(間接的)
- 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(間接的)
- 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(直接的)

「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。)

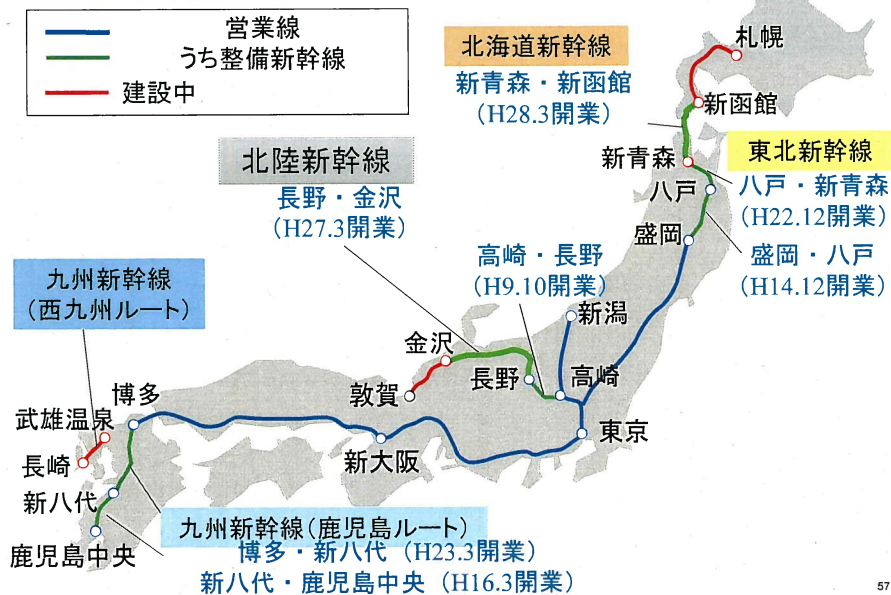
	fa-1	fa-2	fa-3	bfs-1	bfs-2	bfs-3
Ca/Si	0.05	0.88	1.64	1.39	1.47	1.58

5. 北陸新幹線敦賀延伸工事へのフライアッシュコンクリートの採用

(2016年から着工, 2023年開業目指す, しかし生コン, 機材, 人手の全てが不足)

【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.

整備新幹線の開業実績と工事状況



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

(材料分離による沈降ひび割れの発生, 色むら(黒ずみ))

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, 庄川産の細骨材でのASR発生, とくに石灰石碎石と川砂, 陸砂の組合わせ(注意必要))

背景3 敦賀延伸工事(積雪寒冷地)での課題と対策

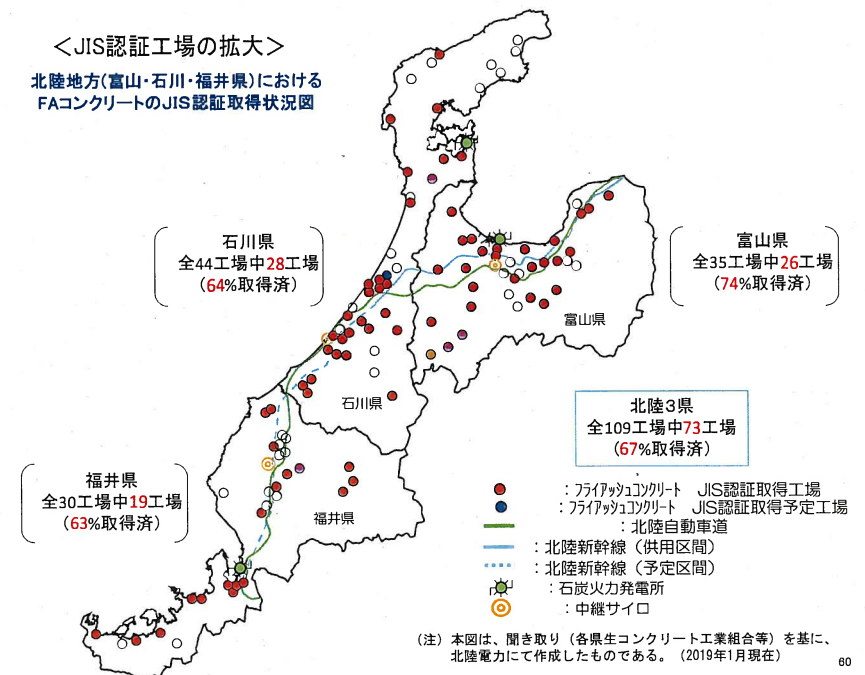
(プレキャスト製品の活用, 冬期施工, 資材・人材確保)

* 平成31年3月にJR東海もより厳しいASR抑制対策を通達
リニア中央新幹線工事などに今後適用予定



<JIS認証工場の拡大>

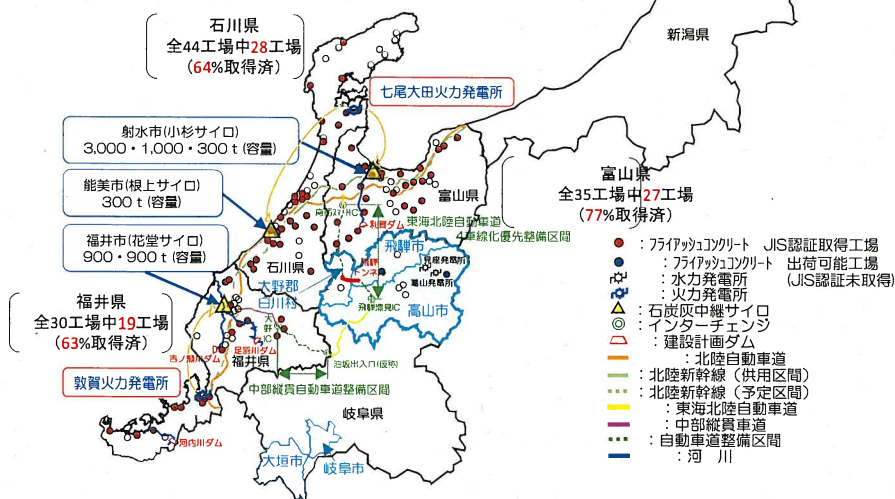
北陸地方(富山・石川・福井県)における
FAコンクリートのJIS認証取得状況図



(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。(2019年1月現在)

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

北陸3県全109工場中74工場(68%取得済)



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/mm ²)	部材名称	配筋材の 最大寸法 (mm)	スラブの 範囲 (cm)	寒冷地用			示方配合 に示す単位 水結合材比(%)	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※
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	25	12±2.5	5.5±1.5	53	☆45	☆50	175
			地中梁			4.5±1.5	55	◎☆55	◎☆55	175
			ラーメン橋	40	8±2.5		55	◎☆55	◎☆55	165
										1柱1基礎形式は柱と基礎間、
鉄筋 コン クリ ート	RC橋	27 (27)		25	12±2.5	5.5±1.5	53	☆45	☆50	175
	合成材・SRC橋	27 (27)					53	*	*	
		30 (30)								
		36 (36)								
鉄筋 コン クリ ート	橋脚・橋台	40 (40)								
	一般的な橋脚・橋台	27 (27)	小橋	25	8±2.5	5.5±1.5	53	☆45	☆50	175

アルカリシリカ反応の試験に用いる**骨材の採取には施工管理人が立ち会うことを原則とする**
(JIS A5308の骨材採取の規定を厳格化)

第一下栗津橋梁(手取川産砂利・砂)

ポステンPCT桁 配合: 40-12-25H (FA15%置換)

(40NクラスFAコンクリートのポンプ圧送性を事前に現場試験により確認)
(PC桁表面が滑らかで、仕上がり面が綺麗)H単味との比較



小松栗津高架橋(手取川産砂利・砂)

ラーメン柱 配合: 27-12-25N (FA17%置換)

(40m(軟弱地盤)の現場打ちコンクリート杭の施工性が良い(材料分離なし))
(コンクリート面の色むら(黒ずみ)が目立たない)BBとの比較



小松栗津高架橋(手取川産砂利、砂)
スラブ基盤配合: 27-8-25N (FA17%置換)
(沈降ひび割れや乾燥収縮ひび割れが少ない)BBとの比較
(5年前、北陸新幹線金沢開業時にひび割れの補修費負担問題が発生)

