金沢大学SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）シンポジウム

「北陸地方におけるASR問題の解決のために今、何をすべきか」

シンポジウム資料集

2015 年 9 月 25 日

金沢大学自然科学研究科大講義棟レクチャーホール

金沢大学SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）シンポジウム
「北陸地方におけるＡＳＲ問題の解決のために今、何をすべきか」

主　催：金沢大学 SIP WG2 ASR
共　催：北陸道路研究会材料部会
日　時：2015 年 9 月 25 日（金）14:00～17:00
場　所：金沢大学自然科学研究科 1F 大講義棟レクチャーホール

－プログラム－

13:30～　　受付開始

司会　金沢大学 SIP WG2 ASR 主査　金沢大学　鳥居和之教授

14:00～14:05　開会挨拶

14:05～14:40　わが国の反応性骨材の地質･岩石学的特徴
(35 分)　(株)　太平洋コンサルタント　廣野真一氏

14:40～15:05　北陸地方の反応性骨材の地質･岩石学的特徴と骨材の ASR 試験による評価
(25 分)　石川県土木部　津田誠氏

15:05～15:15　－休憩－
(10 分)

15:15～15:40　富山県の ASR 劣化構造物の実態調査と反応性骨材の地域的な分布
(25 分)　富山県土木部　大代武志氏

15:40～16:05　石川県の ASR 劣化構造物の実態調査と反応性骨材の地域的な分布
(25 分)　アルスコンサルタンツ(株)　麻田正弘氏

16:05～16:30　福井県の ASR 劣化構造物の実態調査と反応性骨材の地域的な分布
(25 分)　東京コンサルタンツ(株)　湊俊彦氏

16:30～17:00　全体討議
(30 分)　北陸地方における ASR 問題の解決のために今、何をすべきか
話題提供者　北陸電力（株）参納千夏男氏、（株）国土開発センター 浦修造氏 他

17:00　閉会挨拶

金沢大学SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）シンポジウム
「北陸地方におけるASR問題の解決のために今、何をすべきか」

わが国の反応性骨材の地質・岩石学的特徴

平成27年9月25日
株式会社 太平洋コンサルタント
広野真一

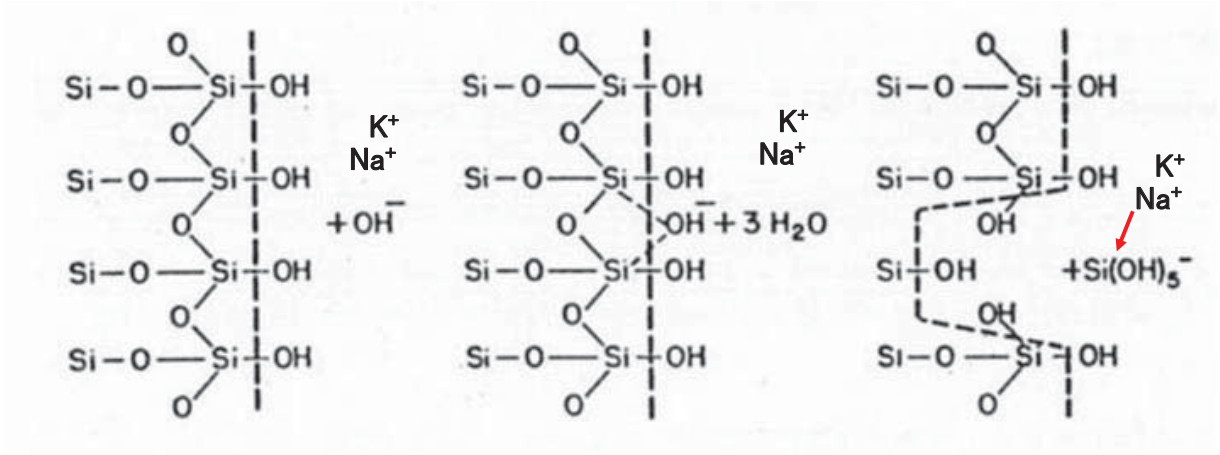
本題目の発表内容

1. 反応性鉱物とは
2. わが国の代表的な反応性骨材（岩石）
3. わが国の地質構造
4. わが国の代表的な反応性骨材の分布
5. 北陸地方の反応性骨材

背景と目的

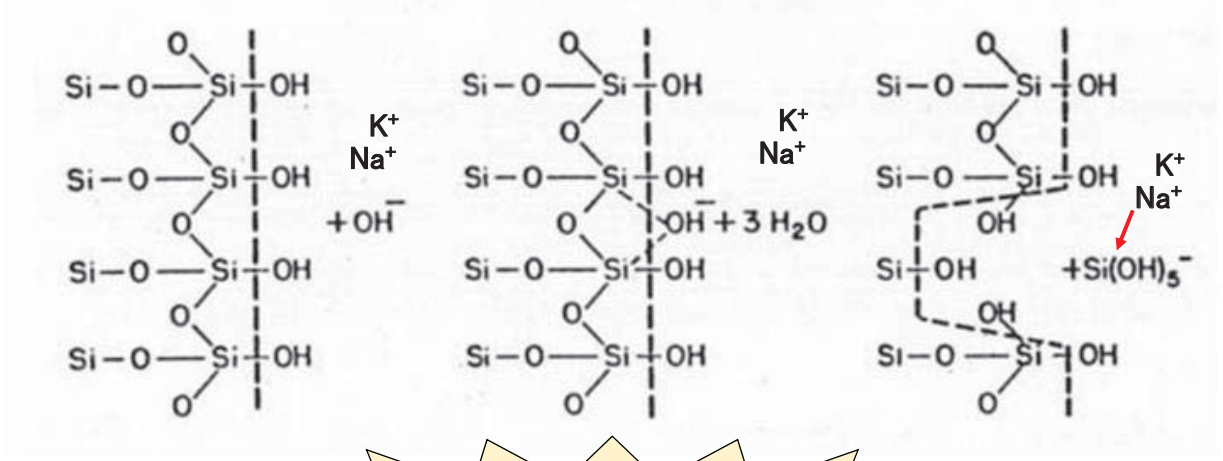
- ASRは骨材岩石の反応であり，診断と対策などには岩石学的な理解が有効で不可欠である。
- 岩石と反応性鉱物に対する認識の不足が，わが国のASRによる多くの被害を助長した。一方，現在，ASRの問題は完全に解決したものとの誤認もあり，骨材岩石や反応性鉱物などの情報を含めて，ASRへの知識や関心は十分ではない。
- ASRは地域特有の要因により発生する現象にも関わらず，地質学的背景などを含めた系統的な研究は一部地域に限られる。
- ASRの被害を今後の対策に活用し，適切に対処するためには，発生したASRについて，地域と反応性骨材，環境要因などの詳細を示すとともに，それに基き，同様な反応性骨材の分布を知ることは非常に有益であるが，一部地域を除いてその詳細が明らかではない。本発表では，可能な範囲で示す。

1．反応性鉱物とは？



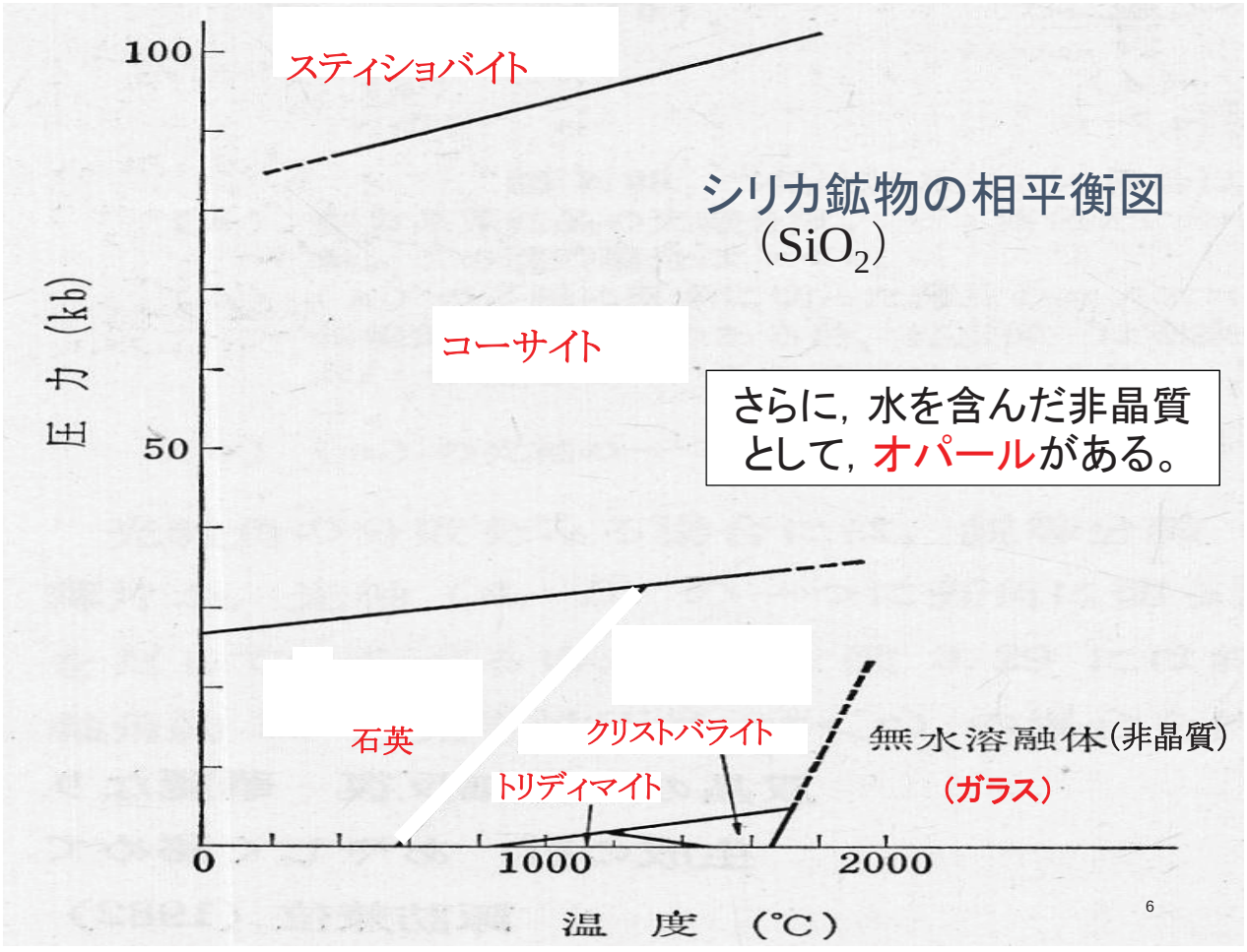
SiO_2の組成をもつ物質＝シリカ

1．反応性鉱物とは？



シリカ（SiO_2）はアルカリに溶解する，そして
シリカ（SiO_2）は大半の岩石に含まれる。

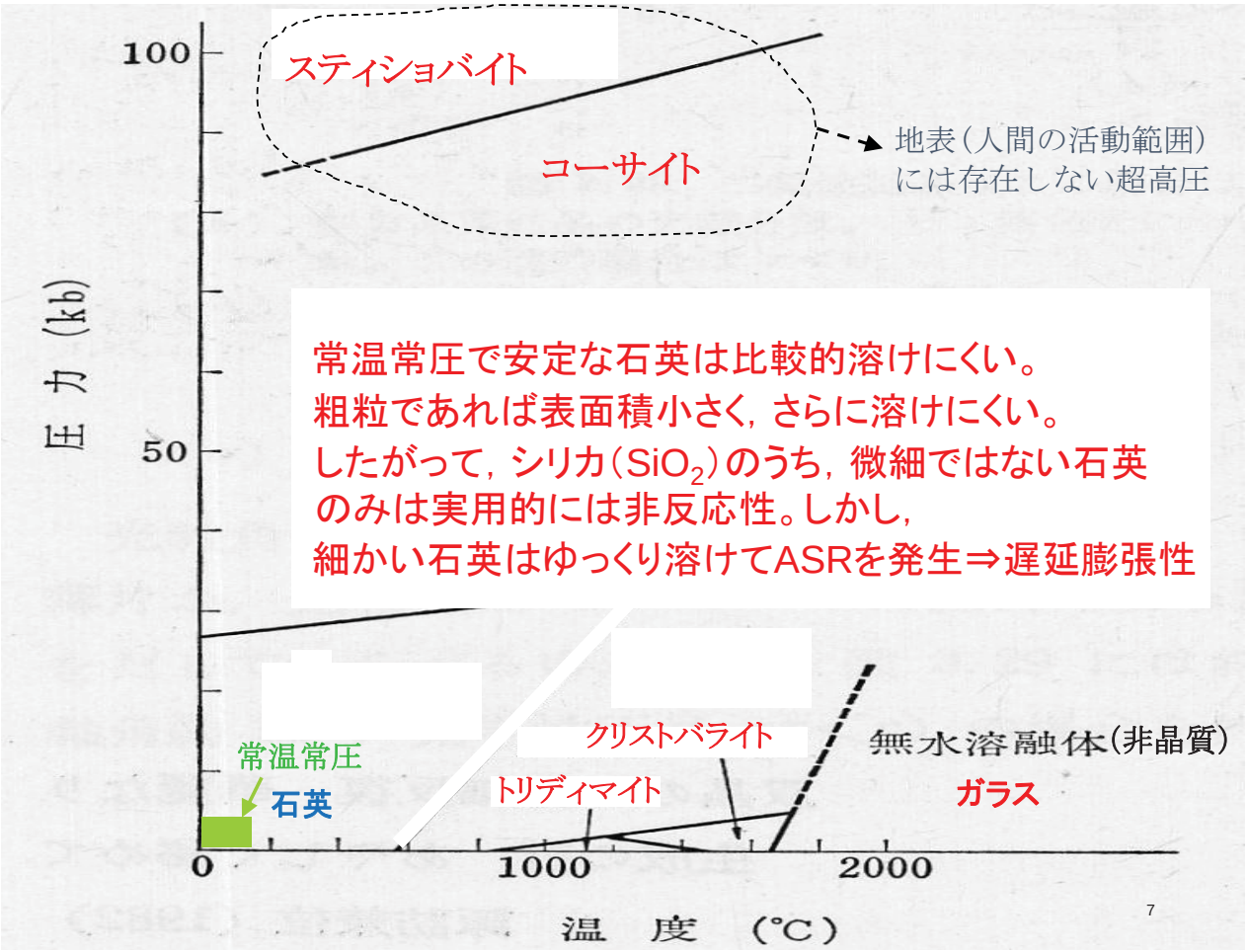
5



シリカ鉱物の相平衡図
（SiO_2）

さらに，水を含んだ非晶質として，オパールがある。

6



7

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	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・・・） 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

8

2. わが国の代表的な反応性骨材（岩石）

オパール・クリストバライト・トリディマイト（溶解速度速い）によるもの⇒急速膨張性

隠微晶質・微晶質石英な石英（溶解速度遅い）によるもの⇒遅延膨張性

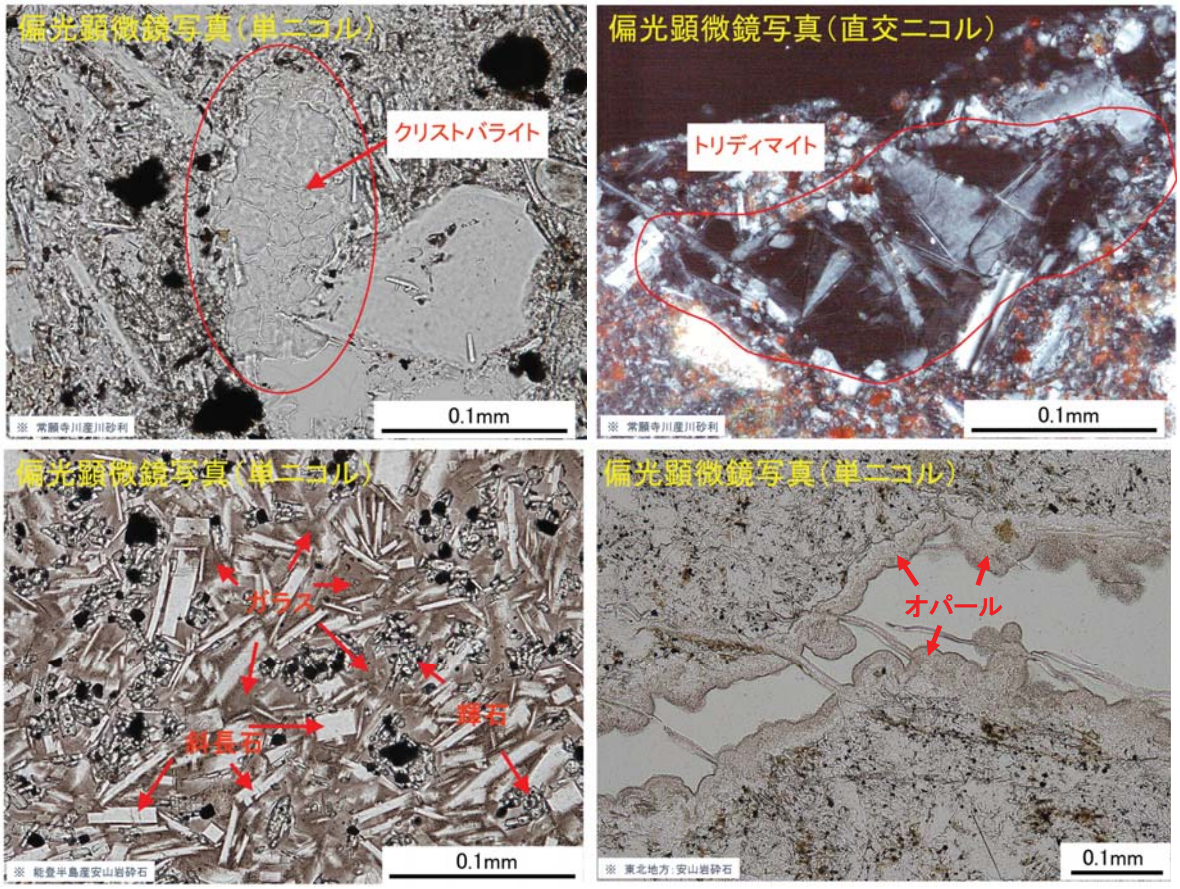
9

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	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・・・） 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

10



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）[11]

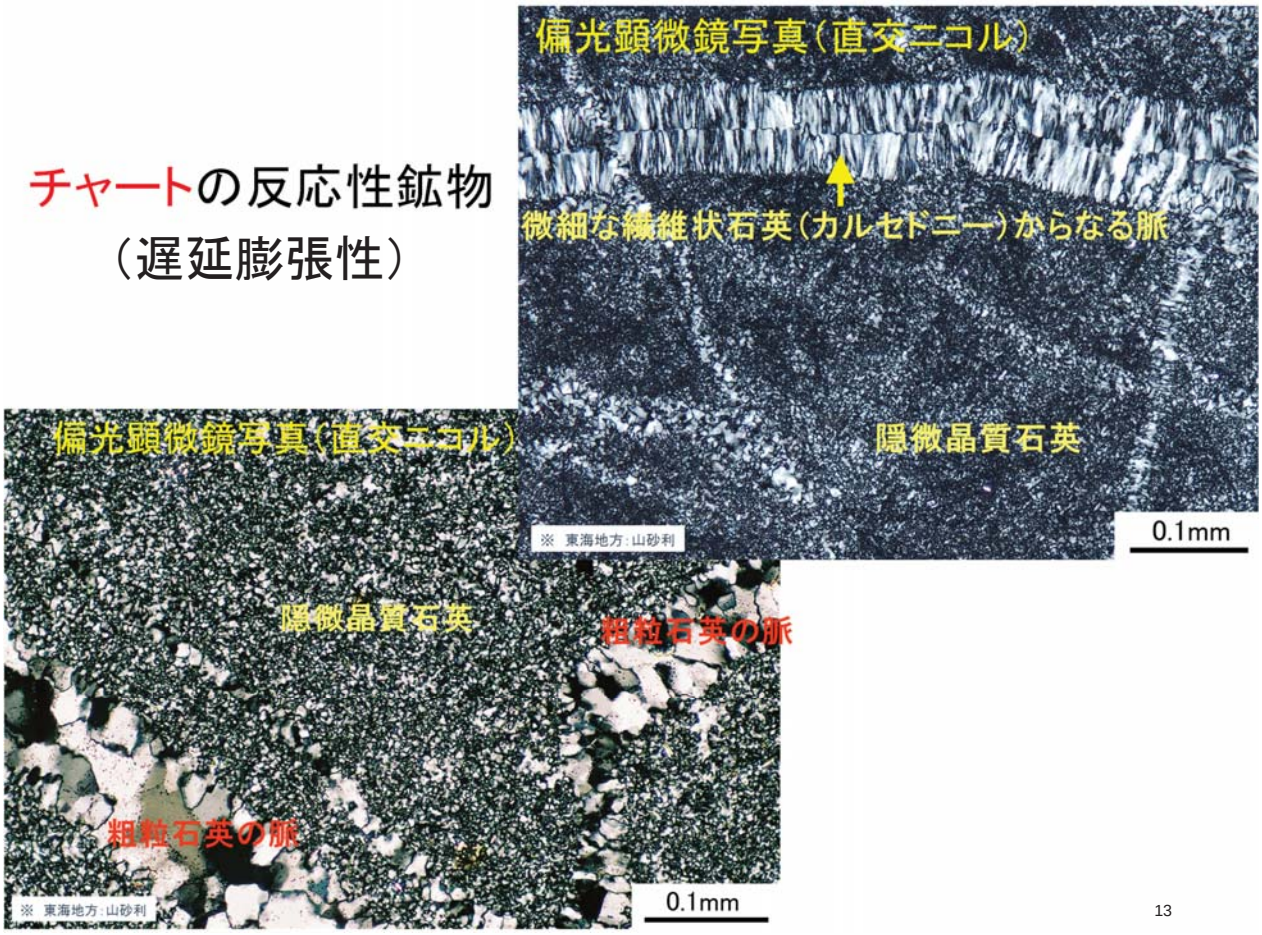
遅延膨張性反応性鉱物

	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） 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	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・・・） 遅延膨張性

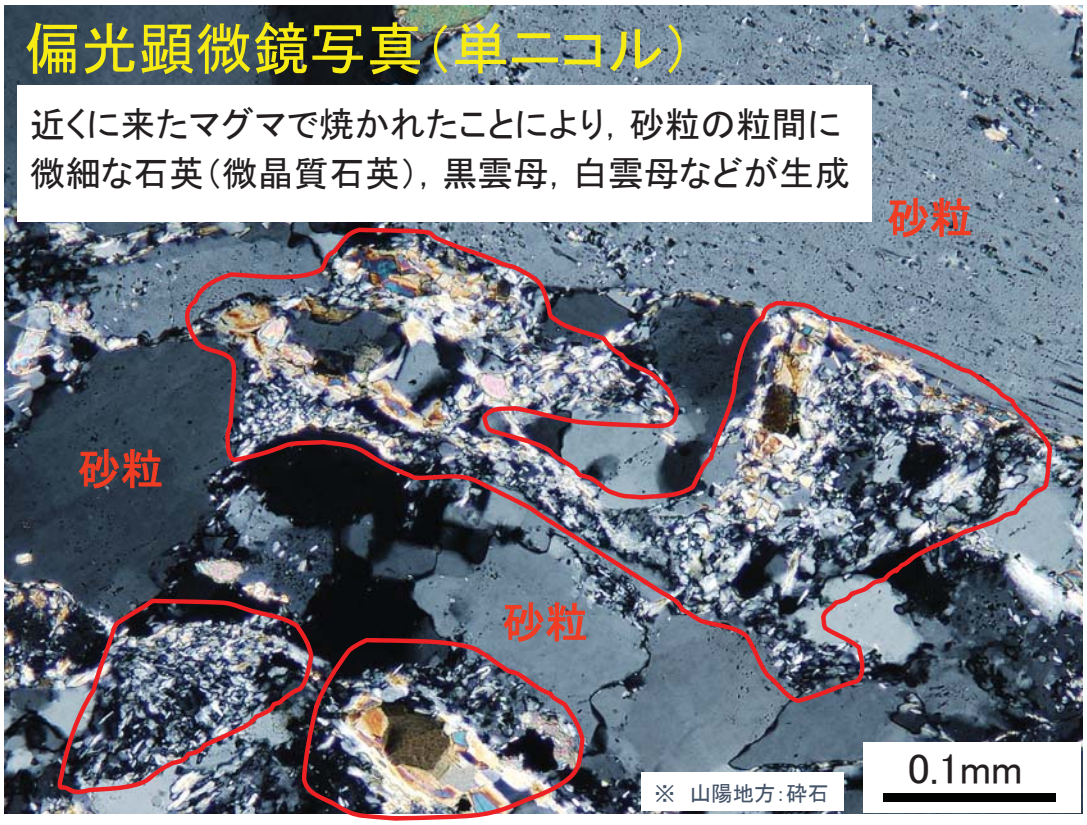
カルセドニー：繊維状で微細な石英の集合体
隠微晶質：偏光顕微鏡でも個々の鉱物粒子が見えないほど細粒な組織
微晶質：偏光顕微鏡で個々の鉱物粒子がようやく見える程度の細粒な組織

12

チャートの反応性鉱物
（遅延膨張性）



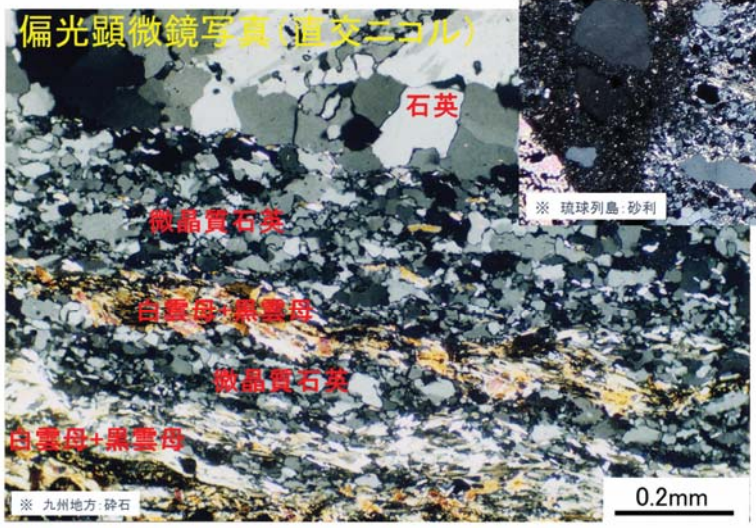
13

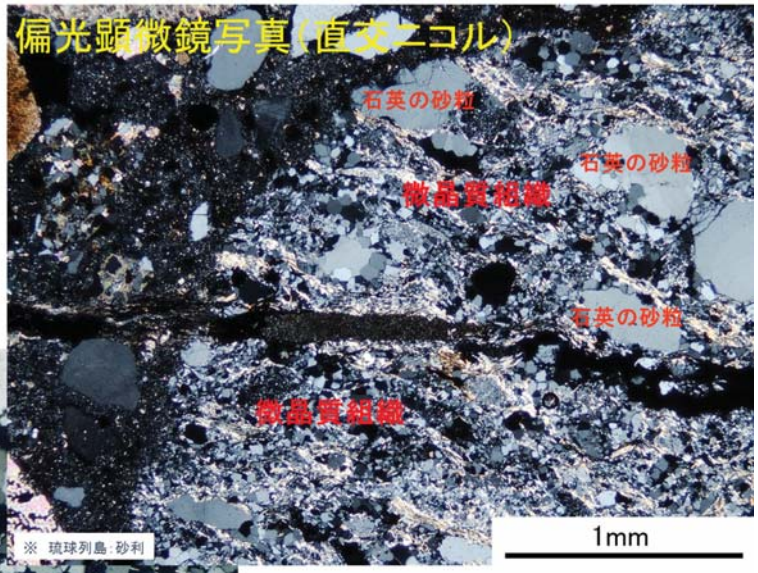


砂質ホルンフェルス（微晶質石英）：遅延膨張性

14

泥質片岩





砂質片岩

変成岩の微晶質石英：遅延膨張性

15

3. わが国の地質構造

16

日本列島の地体構造区分

Ichikawa, K., Pre-Cretaceous Terranes of Japan. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., eds. : Pre-Cretaceous Terranes of Japan. Publication of IGCP Project No.224, 1-12, 1990 を簡略化

日本列島のおいたち　新版地学教育講座8巻
東海大学出版会　1995　図1-6 を引用

（日本列島の骨格）

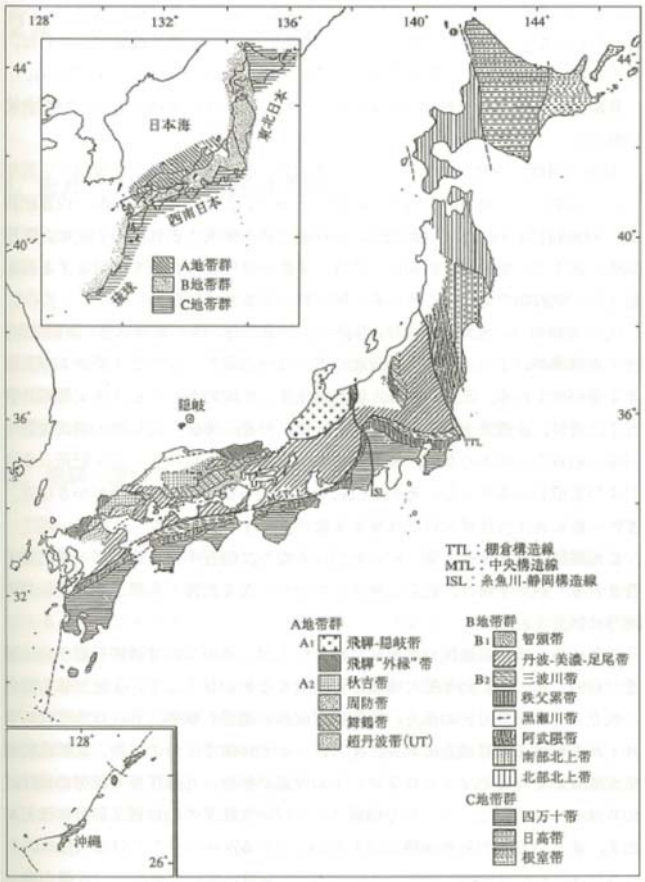


図1-6　日本列島の地体構造区分（Ichikawa, K., Pre-Cretaceous Terranes of Japan. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., eds.: Pre-Cretaceous Terranes of Japan. Publication of IGCP Project No.224, 1-12, 1990を簡略化）

17

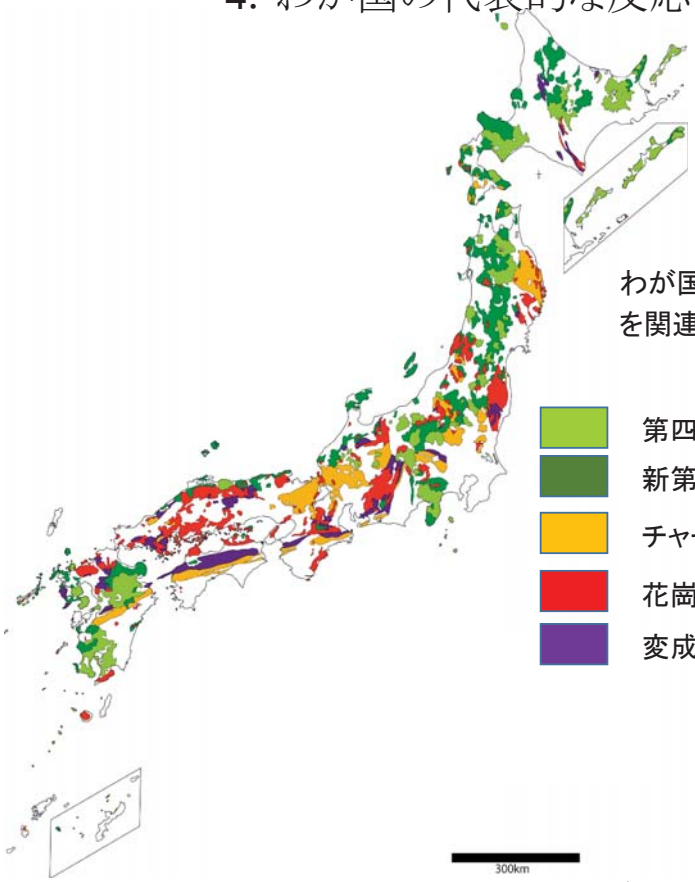
日本の火山岩分布図

（日本列島の骨格に
載る火山岩類）

日本の火成岩　久城育夫･荒牧重雄･青木謙一郎
岩波書店　1989　裏表紙を改変

18

4. わが国の代表的な反応性骨材の分布



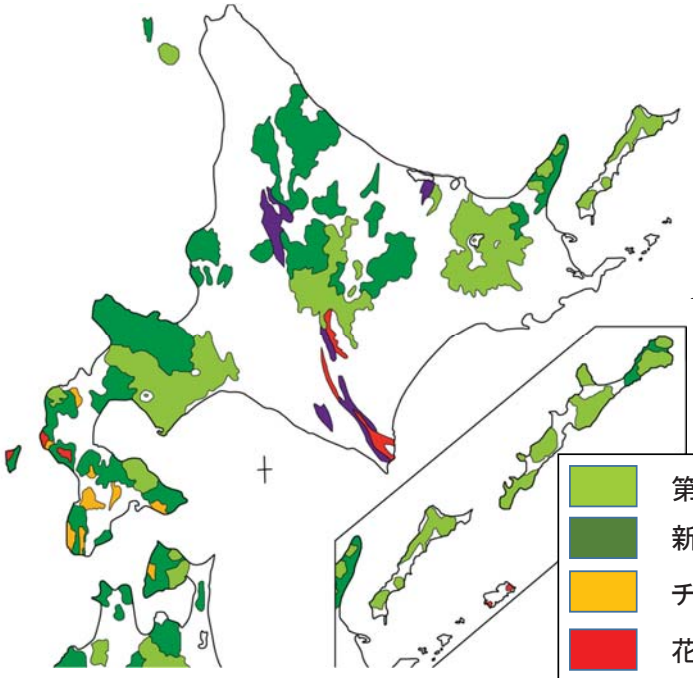
わが国の地質状況とASRの危険性・発生状況を関連付けて，地域ごとに考察する。

- 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

19

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）

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。砕石として非常に多く利用されている。

中軸部には変成岩類（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。

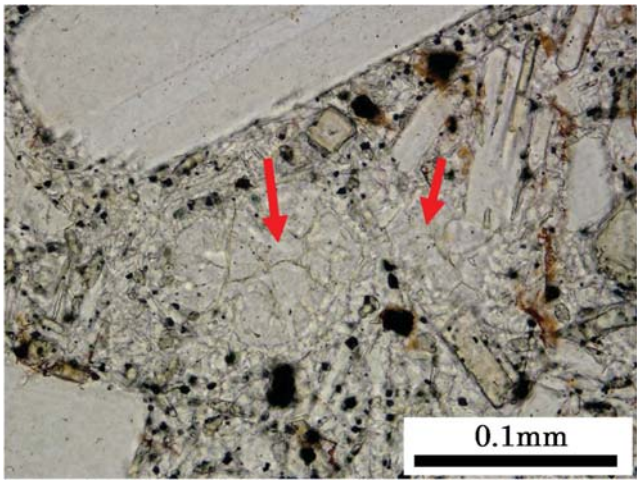
ASRの発生

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。

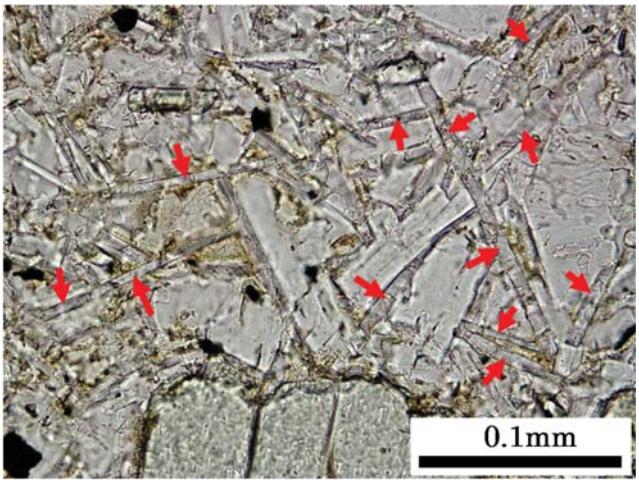
- 第四紀火山岩類
- 新第三紀火山岩類（グリーンタフを含む）
- チャートを多量に含む付加体（ジュラ紀付加体）
- 花崗岩類→周囲のホルンフェルスが反応性
- 変成岩類

20

北海道



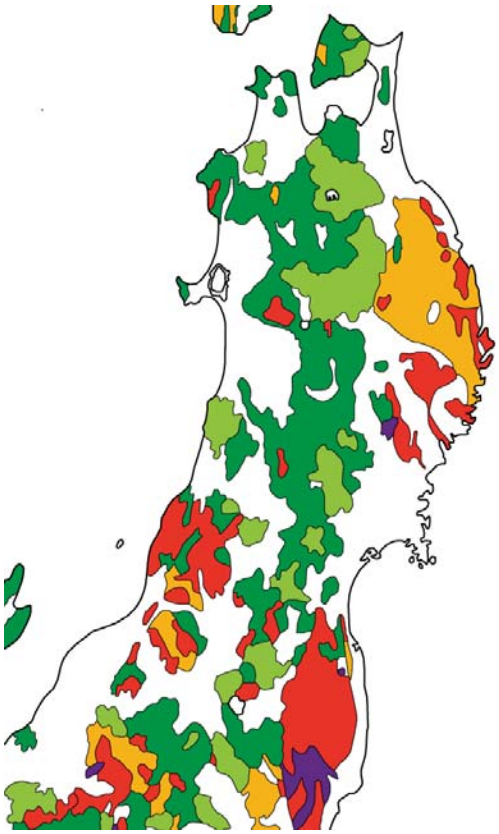
安山岩砕石中に多量に含まれるクリストバライト



“無害”な安山岩砕石中に
多量に含まれるトリディマイト

北海道産安山岩砕石の偏光顕微鏡観察

東北



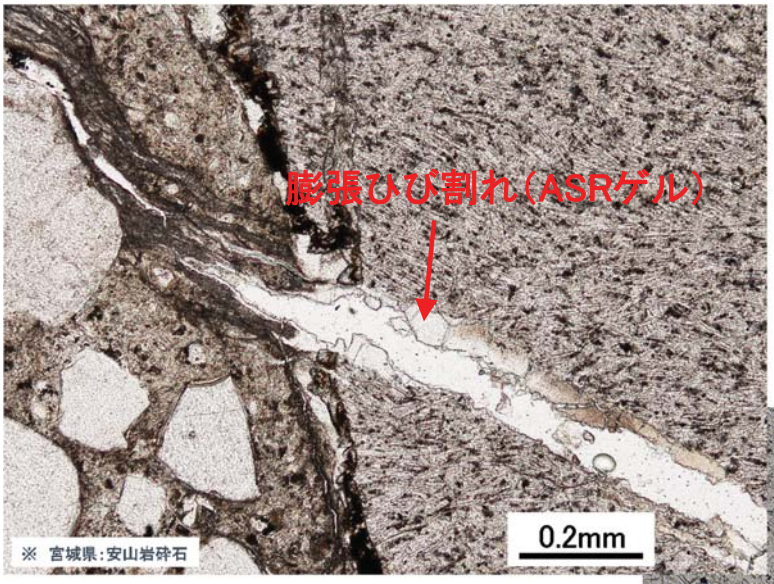
主な反応性骨材とASR

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。これを砕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

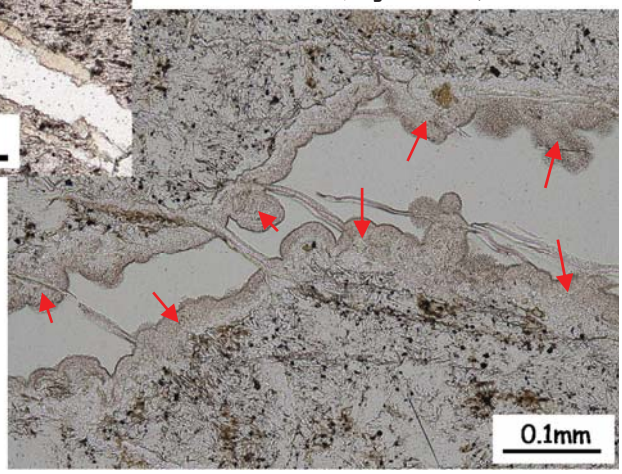
北部北上山地にはチャートを頻繁に挟む地層が分布。阿武隈山地南部には変成岩類が広く分布。東北地方南部～北関東にはチャートを頻繁に挟む地層が分布，またこれを起源とする山砂利の骨材利用もある（福島県いわき市付近）。これらの遅延膨張性骨材によるASRの発生については不明である。

- 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

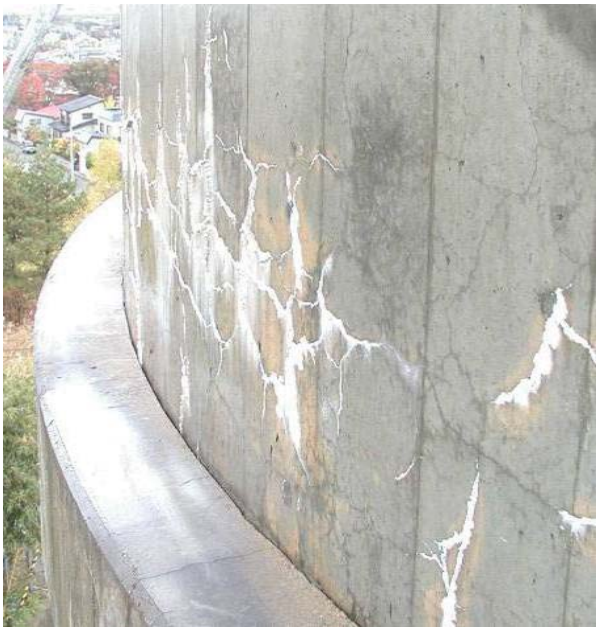


安山岩砕石に発生したASR（宮城県）

青森県産安山岩砕石中のオパール



23



青森県産安山岩砕石を使用したPC水槽

24

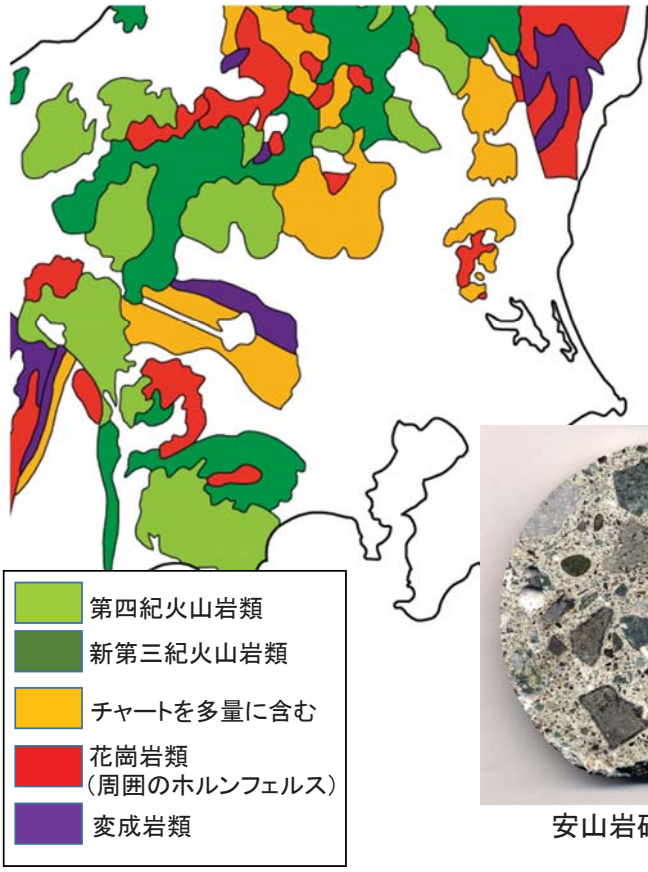
関東地方

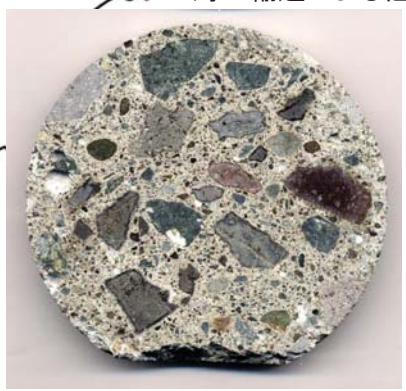
主な反応性骨材とASR

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，砕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変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変成岩類が分布，これらの水系の砂利には，それらが混入している。

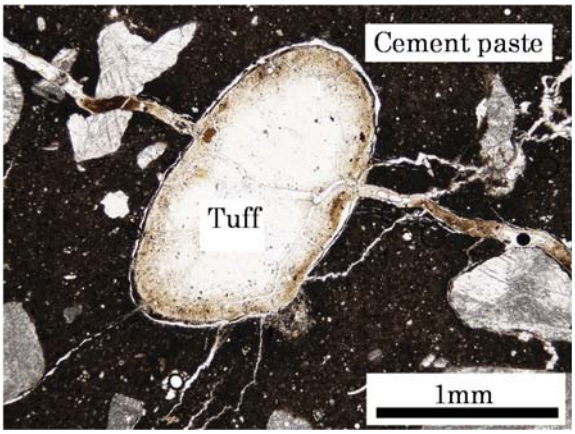
海上輸送による他地域からの骨材流入もある。





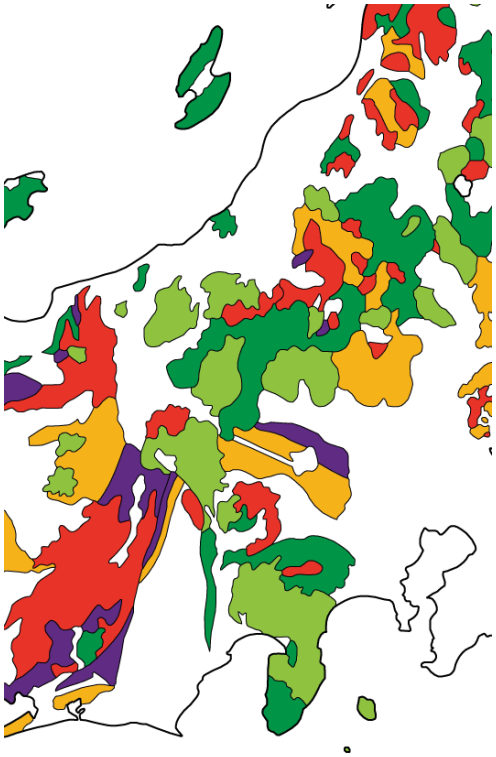
安山岩砕石によるASR

荒川砂利によるASR
（チャート・変成岩）



東京湾岸で発生したASR

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

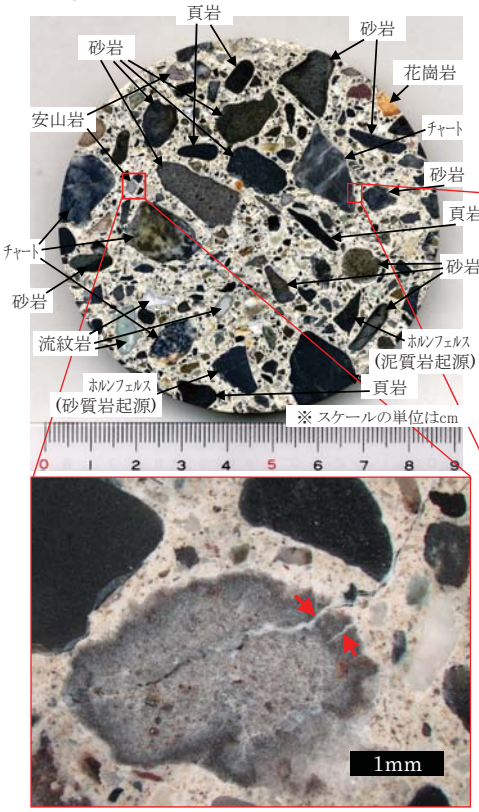
砕石としての利用は安山岩や砂岩が多く，安山岩などの火山岩類による急速膨張性ASRが主に見られる。砂利についても地質状況を反映し，安山岩などの火山岩類のほか，チャートなどの遅延膨張性反応性岩石種を含む場合が多い。とくに日本海に流れ出る河川の流域には，主に火山岩類によるASRの影響を受けた構造物も多い。

- 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

27

長野県でのASR事例

水利構造物からの採取コア



安山岩を起点とする膨張ひび割れ

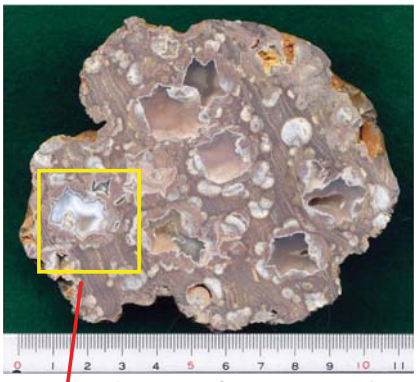
チャートから滲出したASRゲル

電柱のひび割れ

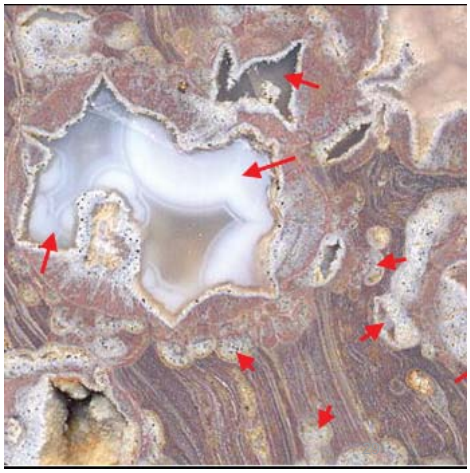
28

新潟県でのASR事例

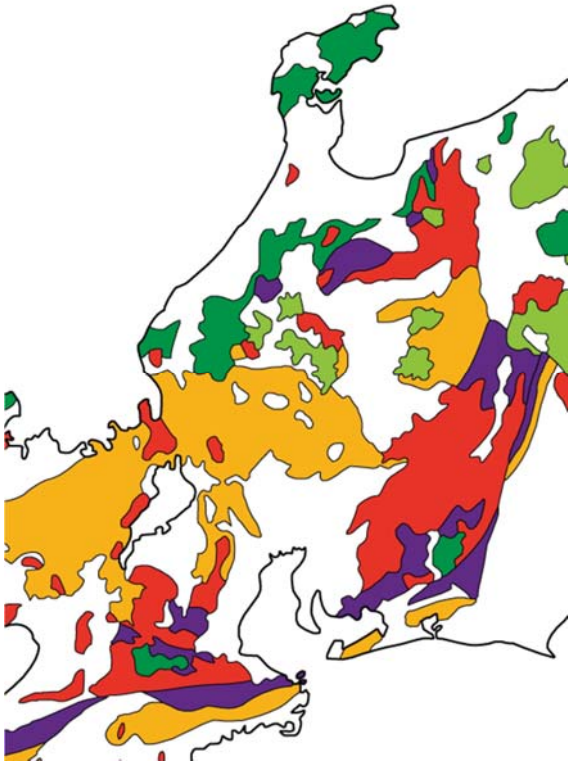
阿賀野川産砂利を使用した構造物

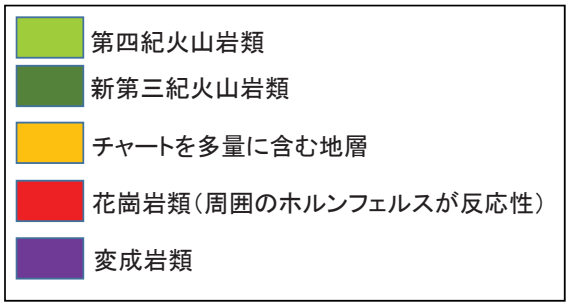


阿賀野川産砂利（流紋岩）に含まれるオパール



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。

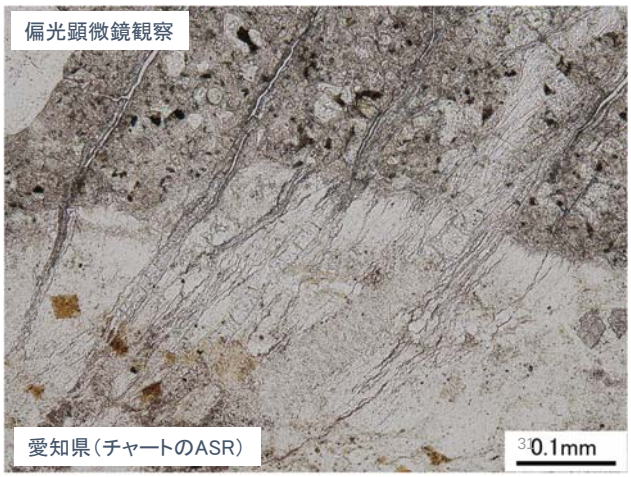
北陸地方では安山岩による急速膨張性ASR，東海地方ではチャート・珪質頁岩・変成岩類による遅延膨張性ASRが顕在化している。近年，北陸地方では急速膨張性骨材によるASR劣化コンクリート中で，遅延膨張性骨材もASRに加わってきている事例もある。

30

富山県（安山岩）

石川県（安山岩）

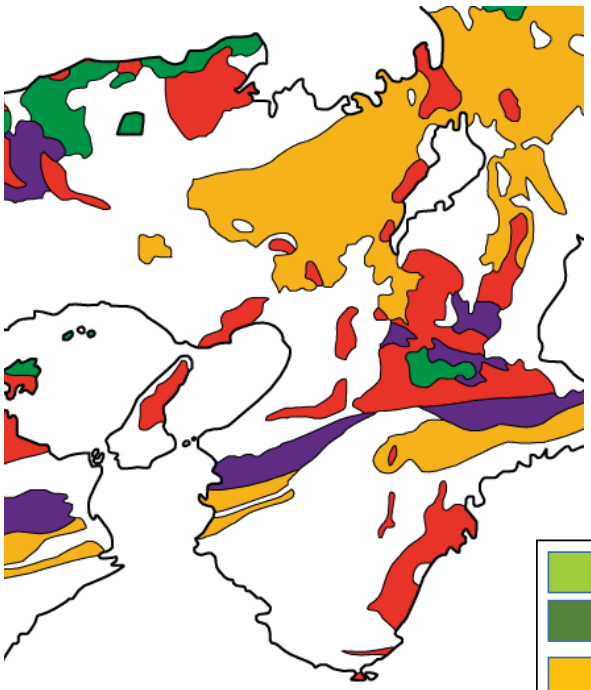
愛知県（変成岩類）



愛知県（チャートのASR）

31

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変成岩類が広く分布。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変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。

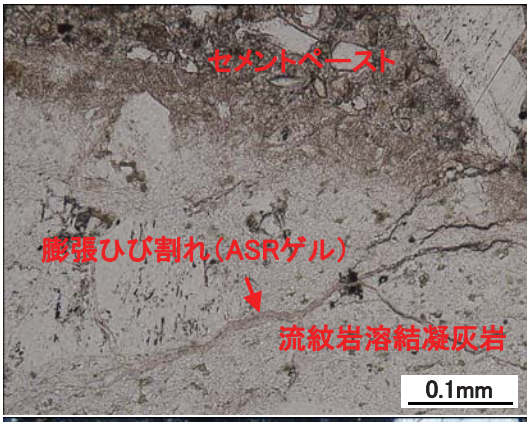
現在までに顕在化しているASRは瀬戸内海からもたらされた急速膨張性の安山岩などの火山岩類によるものが主である。

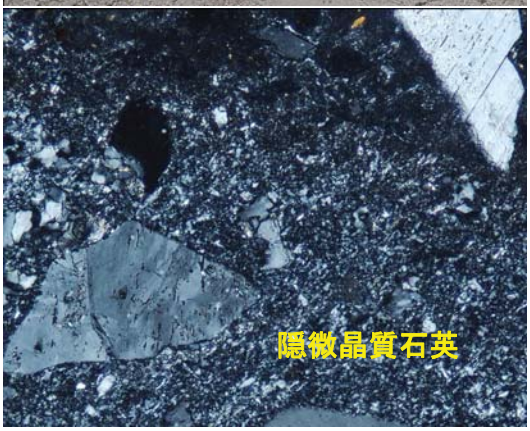
- 第四紀火山岩類
- 新第三紀火山岩類（グリーンタフを含む）
- チャートを多量に含む付加体（ジュラ紀付加体）
- 花崗岩類→周囲のホルンフェルスが反応性
- 変成岩類

32

近畿地方のASR事例

瀬戸内海から海送された新第三紀安山岩
による急速膨張性ASR





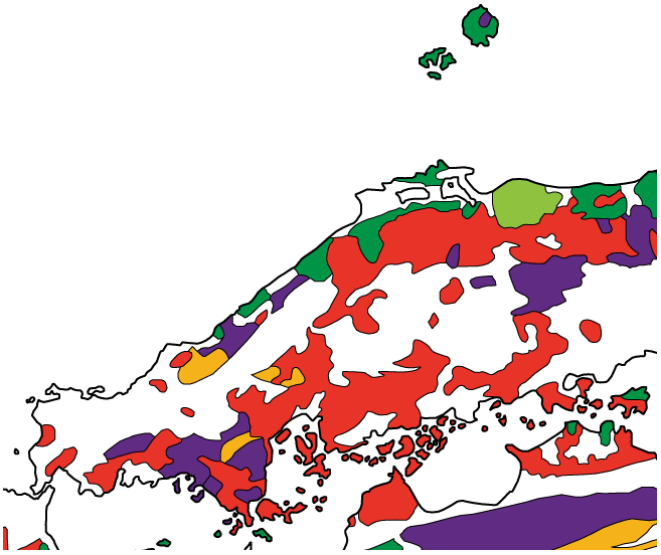
白亜紀～古第三紀の流紋岩溶結凝灰岩
による遅延膨張性ASR

33

近畿地方から連続する丹波帯（チャートを含む）起源の
川砂利・川砂を使用した福井県のコンクリート構造物

34

中国



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

特徴

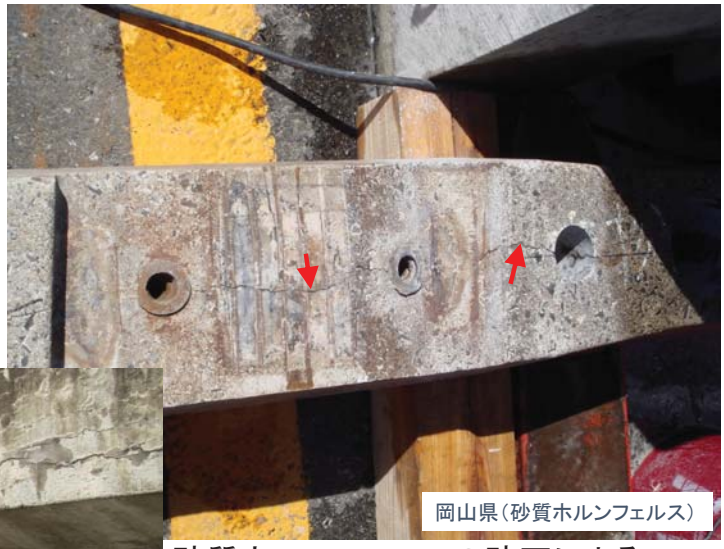
安山岩などの急速膨張性の火山岩類が山陰海岸沿いから中国山地へ続く地域と，瀬戸内海沿岸に分布。花崗岩や古第三紀以前の遅延膨張性の流紋岩溶結凝灰岩の分布が広大であり，またその周囲には遅延膨張性のホルンフェルスが多く生成。

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砕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。

35

中国地方のASR事例



岡山県（砂質ホルンフェルス）

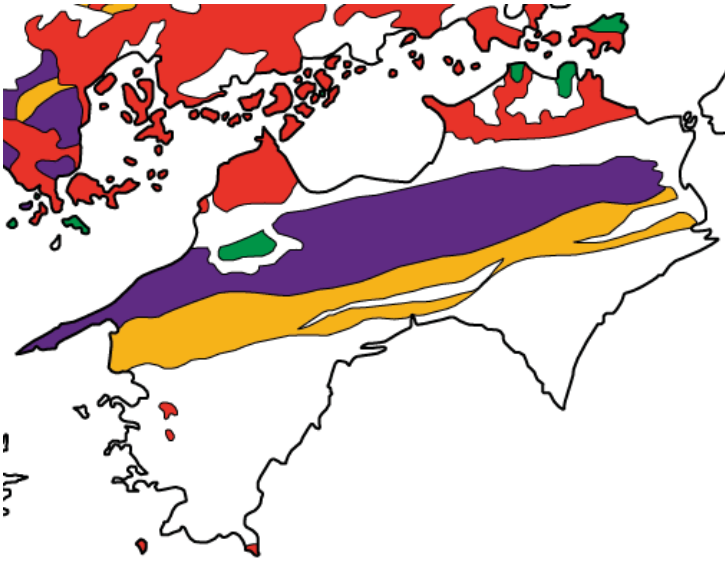
砂質ホルンフェルスの砕石によるASR

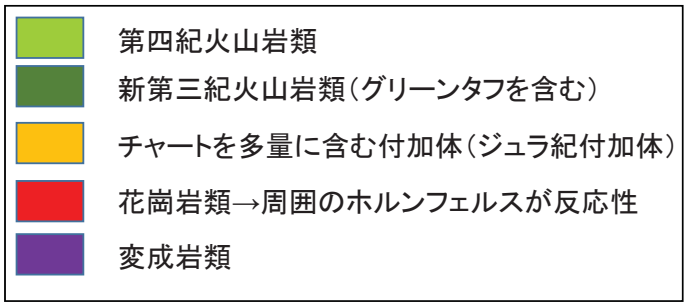
安山岩を含む砂利によるASR

鳥取県（安山岩）

36

四国





特徴

瀬戸内の石鎚山ー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。

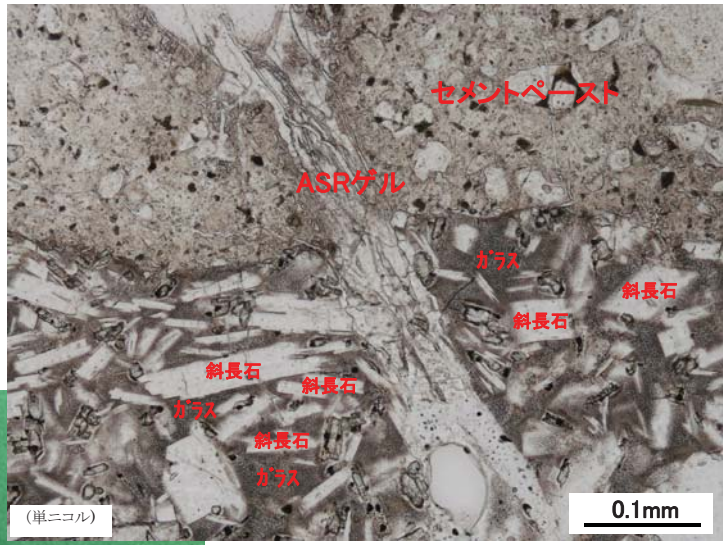
遅延膨張性の変成岩類やチャートを多く含む地層が広く分布する。

主な反応性骨材とASR

砕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・広域変成岩類・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。

37

四国地方のASR事例

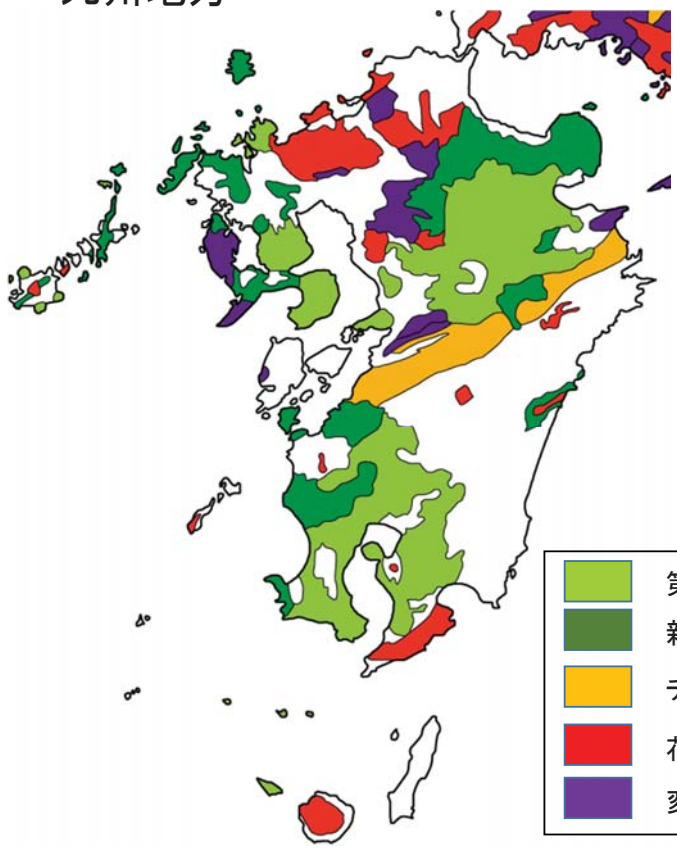


安山岩砕石によるASR

安山岩砕石によるASR

38

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変成岩類と花崗岩類，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。北部九州では変成岩類によるもの，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。

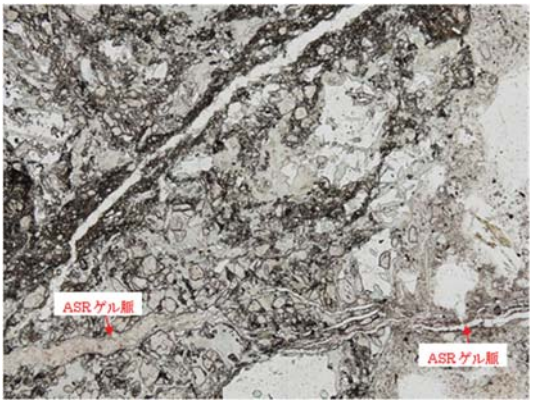
- 第四紀火山岩類
- 新第三紀火山岩類（グリーンタフを含む）
- チャートを多量に含む付加体（ジュラ紀付加体）
- 花崗岩類→周囲のホルンフェルスが反応性
- 変成岩類

39

九州地方のASR事例

北部九州のASR劣化構造物

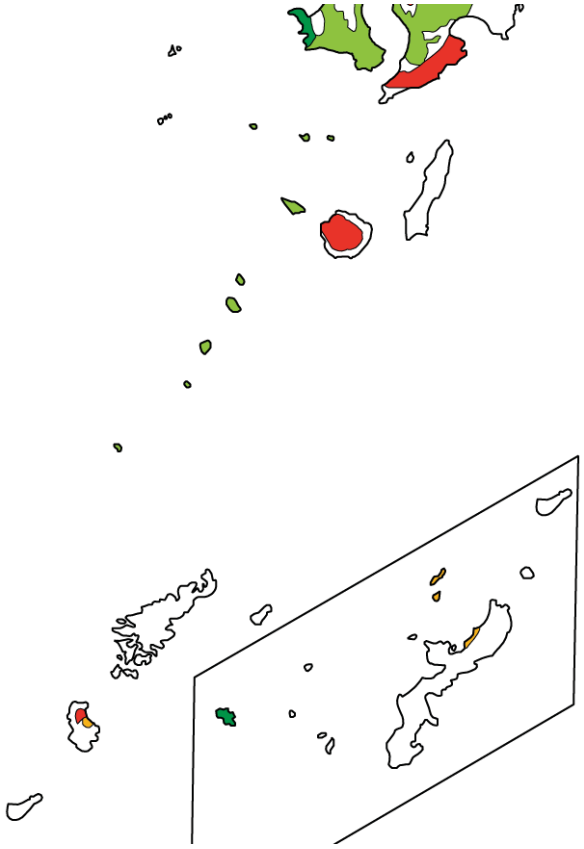
九州各地で安山岩砕石にASRが多発



緑色片岩（変成岩）に発生したASR（北部九州）

40

琉球列島



特徴

北～中琉球は主に泥質岩や砂岩からなるが，厚い石灰岩やチャートの岩体も含む。南琉球には八重山変成岩と呼ばれる変成岩類などが分布。新第三紀以降の急速膨張性の火山岩類が琉球列島の西側に沿い，トカラ列島の島々や硫黄鳥島などに分布。

主な反応性骨材とASR

石灰岩に貫入した安山岩岩脈が石灰石骨材に混入し，顕著なASRが発生した沖縄の事例がある。沖縄の海砂に含まれる変成岩やチャートのほか，台湾から輸入された骨材の関与も確認されている。変成岩の砂利のASRもある。国内・国外からの骨材・プレキャストコンクリートの持ち込みも多く，ASRは複雑。

- 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

41

5. 北陸地方の反応性骨材

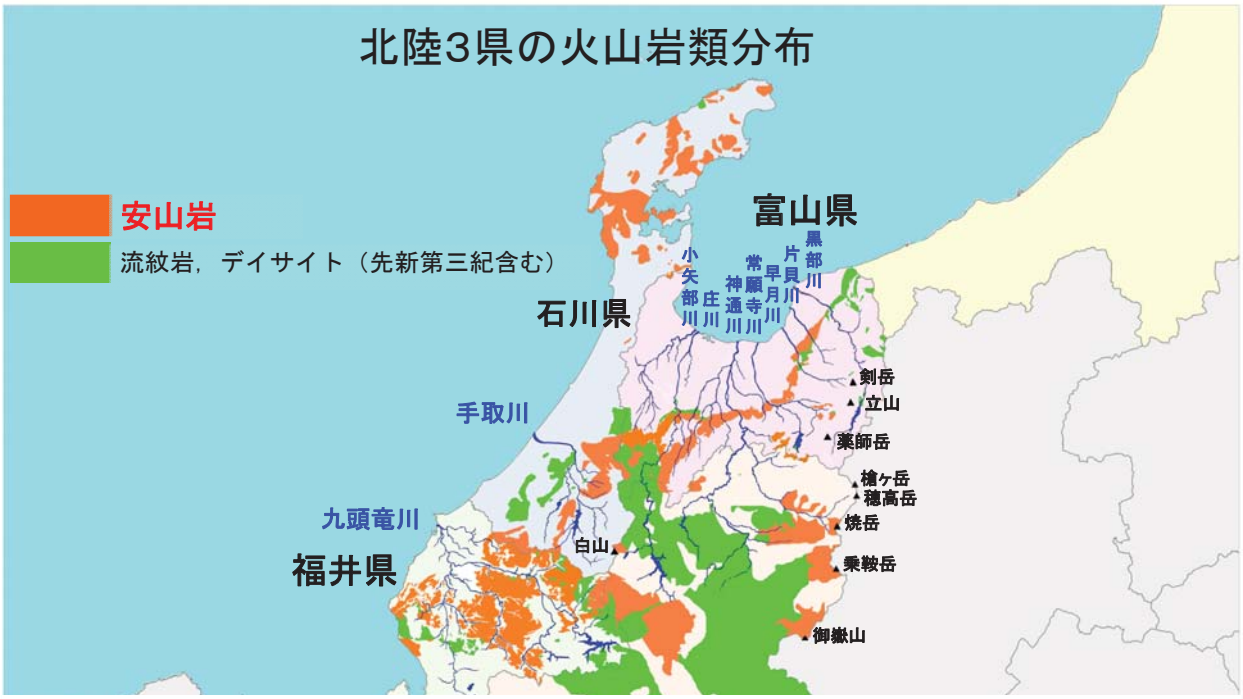
北陸地方の地質構造区分（骨格）

飛騨帯　：　片麻岩などの変成岩類→遅延膨張性

美濃帯・足尾帯　：　チャート・珪質頁岩を多量に含む→遅延膨張性

これらの分布と無関係に新第三紀以降の火山岩類（安山岩など）が載る→急速膨張性（顕在化被害）
（フォッサマグナ・中部山岳地帯～日本海側）

42



これらの分布と無関係に新第三紀以降の火山岩類（安山岩など）が載る→急速膨張性（顕在化被害）
（フォッサマグナ・中部山岳地帯～日本海側）

※ 原図：大代武志（富山県）作成

まとめ

- わが国の地質学的な情報とASRを関連づけて考察した。
- 安山岩による急速膨張性ASRがわが国の代表的な被害事例であるが，その他にチャート・ホルンフェルス・広域変成岩類などによる遅延膨張性ASRも含め，様々な反応性骨材の分布が全国に推定され，実際に被害が発生している。
- なお，ここで述べたものは代表的なものであり，全てではない。

課題と展望

- ASRの被害や補修などの経験を，各地の構造物の維持管理に活用するため，発生したASRについて地域と反応性骨材，環境要因などの詳細を示し，同様な反応性骨材の分布を知ることは，他の地域の今後の発生予測やASR対策にも非常に役立つ。しかし，現在，限定的な情報しかない。

- 現在，上記のようなASRの情報は非常に少ないが，大学などの研究機関などにより，全国を網羅したデータベース化が行われることが切望される。

金沢大学SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）
シンポジウム「北陸地方におけるASR問題の解決のために今、何をすべきか」

北陸地方の反応性骨材の地質・岩石学的特徴と骨材のASR試験による評価

2015年9月25日

石川県中能登土木総合事務所
津田　誠

本題目の発表内容

1．北陸地方（富山・石川・福井）の反応性骨材の地質・岩石学的特徴

2．骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

3．その他

背景

・骨材のASR反応性試験結果と実構造物の劣化状況とに差違がある

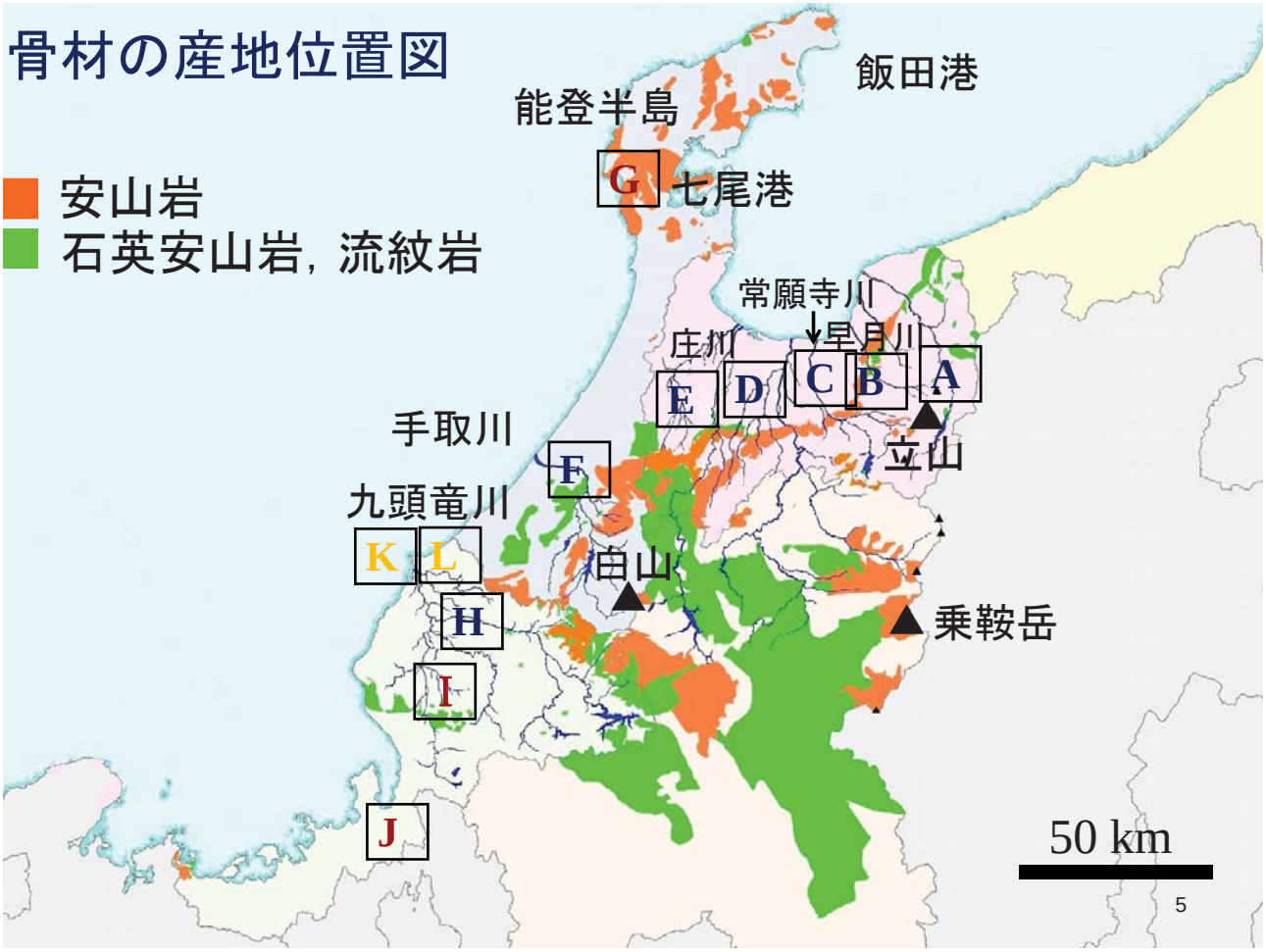
・ASR劣化した構造物を調査すると、アルカリ量がアルカリ総量規制以下のものが多い

北陸3県の河川産骨材や能登産の安山岩砕石にはオパールやクリストバライトなどの反応性が高い鉱物が含まれている

飛来塩分や凍結防止材散布など北陸地方独特の環境がASR劣化の促進させている可能性が考えられる

その地域の使用骨材や環境に適した、試験方法や判定手法を確立することが重要

北陸地方（富山・石川・福井）の反応性骨材の地質・岩石学的特徴



北陸地方の反応性骨材の地質・岩石学的特徴
対象骨材一覧

位置	骨材名	骨材種類
A	黒部	川砂利
B	早月	川砂利
C	常願寺	川砂利
D	神通川	陸砂利
E	庄川	陸砂利
F	手取川	陸砂利
G	能登	砕石
H	九頭竜	陸砂利
I	南条	砕石
J	今津	砕石
K	九頭竜川	浚渫砂
L	三国	浚渫砂

6

北陸地方の反応性骨材の地質・岩石学的特徴
主要な骨材の岩石・鉱物学的特徴

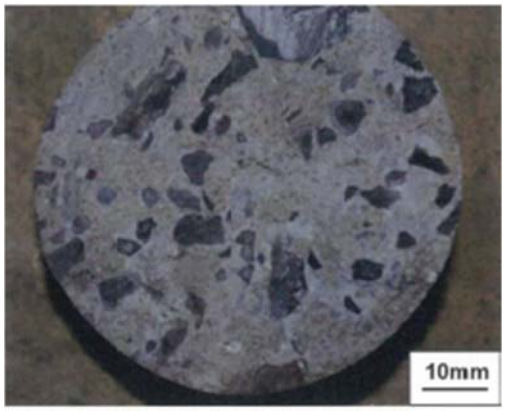
骨材	産地	種類	密度 (g/cm 3)	吸水率 (%)	岩種	反応性鉱物の特徴
B	早月	砂利	2.69	0.78	主要な岩種は花崗岩、閃緑岩などの深成岩	反応性鉱物の有無は未調査
C	常願寺	砂利	2.65	1.45	主要な岩種は火成岩、安山岩を40%程度含む	安山岩中に反応性鉱物：クリストバライト、トリディマイト、オパール、火山ガラス
E	庄川	砂利	2.61	1.14	多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含む	安山岩中に反応性鉱物：クリストバライト、トリディマイト、火山ガラス（小）
F	手取川	砂利	2.61	1.83	多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含む	安山岩中に反応性鉱物：クリストバライト、トリディマイト、火山ガラス（小）
G	能登	砕石	2.65	1.40	安山岩	安山岩中に反応性鉱物：クリストバライト、火山ガラス（多）
H	九頭竜川	砂利	2.65	1.42	多種類の火成岩及び多種類の堆積岩を含む	安山岩中に反応性鉱物：クリストバライト、トリディマイト、火山ガラス（小）
J	今津	砕石	2.83	0.54	硬質砂岩	反応性鉱物の有無は未調査

7

北陸地方の反応性骨材の地質・岩石学的特徴
代表的な骨材の特徴（1）

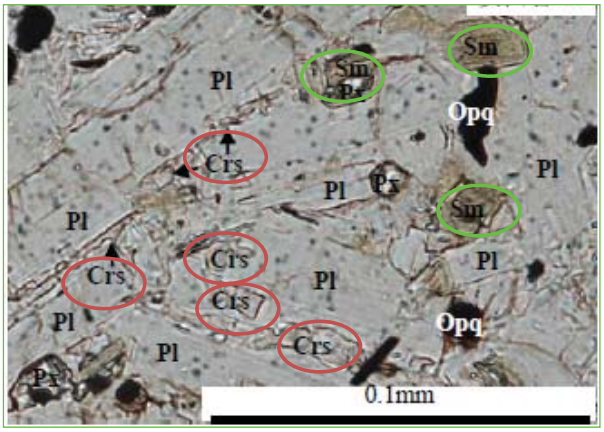
安山岩砕石

コアの断面写真



安山岩砕石

偏光顕微鏡写真



スメクタイト・クリストバライトが多く混入
スメクタイトはアルカリを吸着

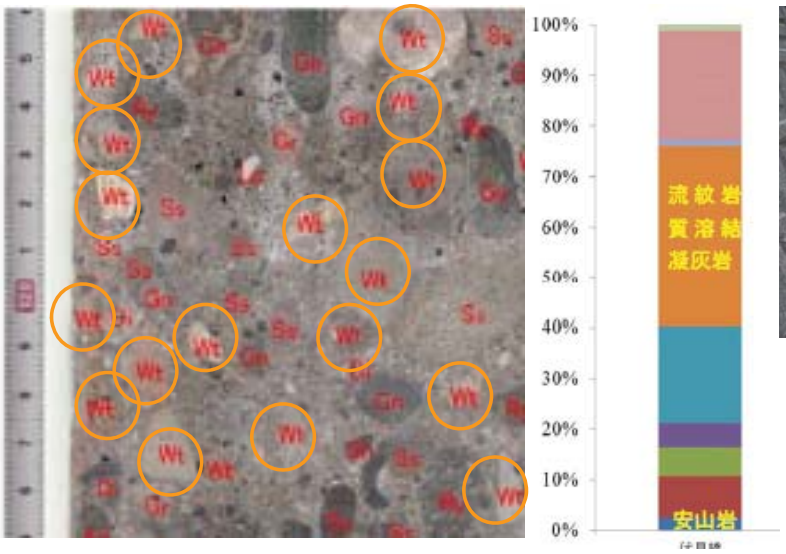
8

北陸地方の反応性骨材の地質・岩石学的特徴

代表的な骨材の特徴（2）

河川　陸砂利（1）

コアの断面写真



トンネル坑口部写真

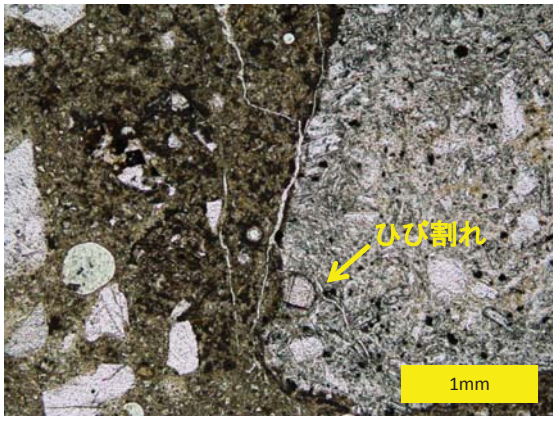
北陸地方の反応性骨材の地質・岩石学的特徴

代表的な骨材の特徴（3）

河川　陸砂利（2）

構造物写真

偏光顕微鏡写真



北陸地方の反応性骨材の地質・岩石学的特徴

代表的な骨材の特徴（4）

河川　陸砂利（3）

構造物写真

骨材のASR試験
（化学法・各種モルタルバー法）による評価

アルカリシリカ反応を化学式にすると

$$2NaOH + SiO_2 \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$$

水酸化アルカリ　反応性シリカ*　水ガラスゲル

$$Na_2SiO_3 + 9H_2O \rightarrow Na_2H_2SiO_4 \cdot 8H_2O$$

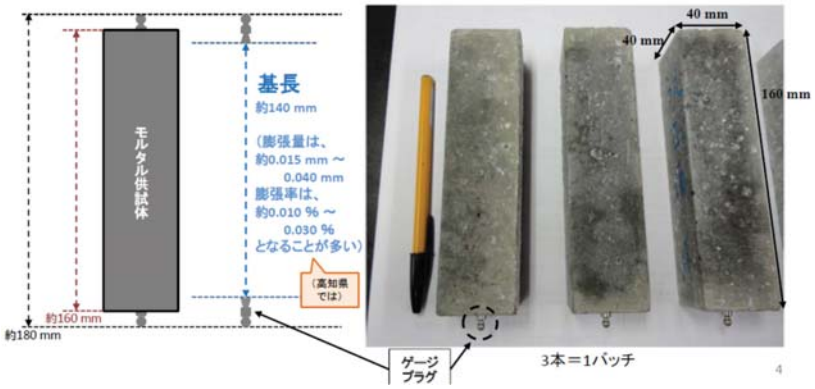
膨張した水ガラスゲル

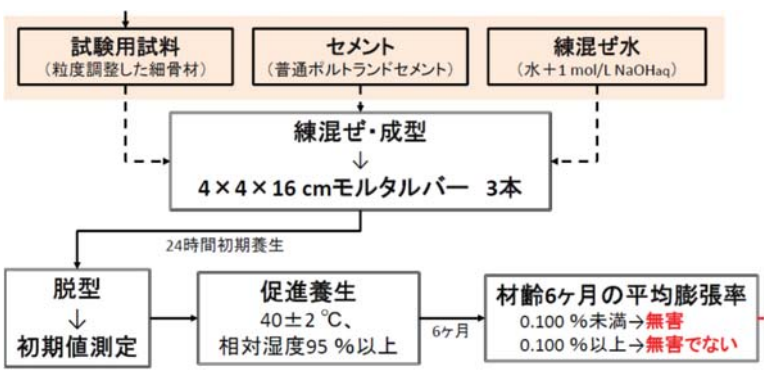
コンクリートに有害なひび割れ・ポップアウトを起こす

反応性シリカ・アルカリ・水分が揃うとASRの可能性が高まる

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

骨材の反応性試験（モルタルバー法）





アルカリ分を先添加

試験期間が長期
半年間相対湿度95%：
40℃を確保

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

骨材の反応性試験（ASTM C 1260　カナダ法）

試験方法：80℃　1N　NaOH浸漬

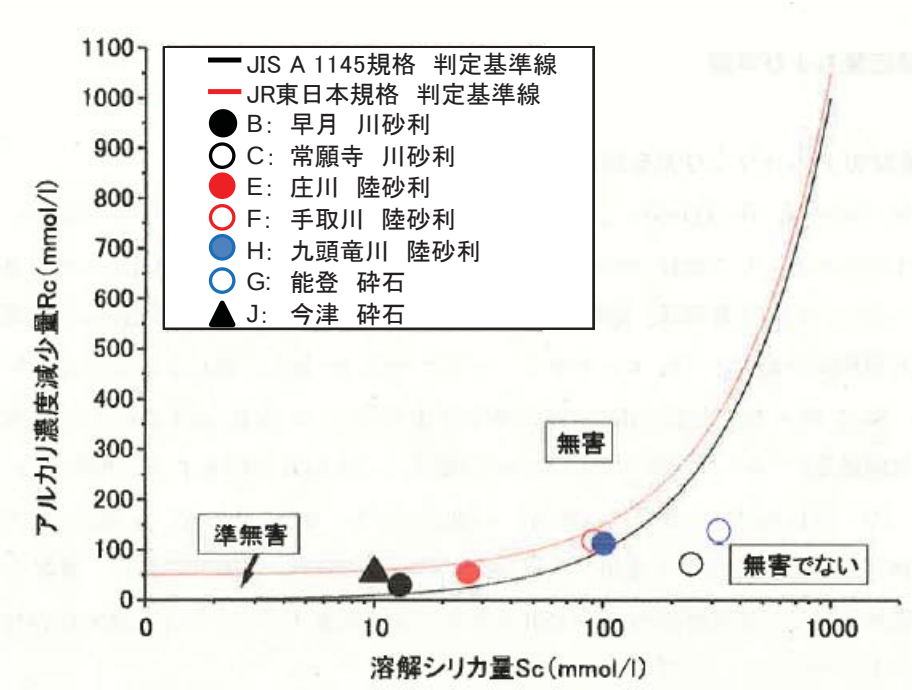
判定：材齢14日間での膨張率
0.1%未満：無害
0.1%以上0.2%未満：不明確
0.2%：有害

養生温度が80℃と高い　試験期間が短い
アルカリは後添加
遅延膨張性の骨材の判定も可能
チャートは骨材自身が溶解するため適用不可

15

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

骨材の反応性試験（JIS A 1145　化学法）



16

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

骨材の反応性試験（各モルタルバー法での判定結果１）

骨材の種類	骨材の種類	化学法 JIS判定	試験体の種類	JIS A1146 膨張率(判定*)（判定材齢6ヵ月）	ASTM C1260 膨張率(判定*)（判定材齢14日）
早月	川砂利	無害	OPC	0.013(○)	
			FA15%	−0.002(○)	
			BFS42%	0.012(○)	
常願寺川	川砂利	無害ではない	OPC	0.675(×)	0.720(×)
			FA15%	0.011(○)	0.058(○)
			BFS42%	0.171(×)	0.244(×)
庄川	陸砂利	無害	OPC	0.013(○)	0.139(○)
			FA15%	−0.002(○)	0.011(○)
			BFS42%	0.013(○)	
手取川	陸砂利	無害	OPC	0.011(○)	0.365(×)
			FA15%	0.001(○)	−0.012(○)
			BFS42%	0.017(○)	0.197(○)
九頭竜	陸砂利	無害	OPC	0.068(○)	0.425(×)
			FA15%	−0.001(○)	0.015(○)
			BFS42%	0.019(○)	0.087(○)
能登	砕石	無害ではない	OPC	0.031(○)	0.521(×)
			FA15%	0.023(○)	0.088(○)
			BFS42%	0.047(○)	0.230(×)

17

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

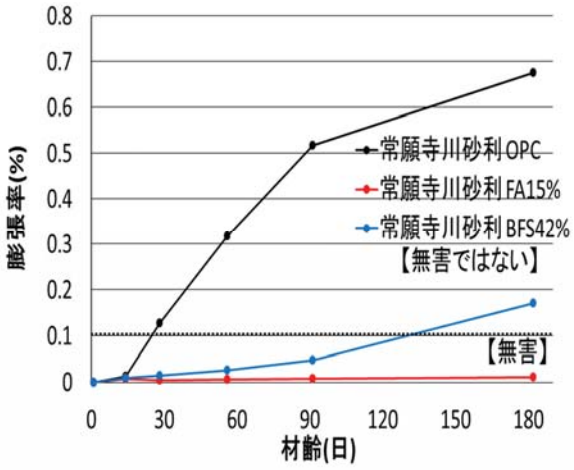
骨材の反応性試験（各モルタルバー法での判定結果２）

骨材の種類	骨材の種類	化学法 JIS判定	試験体の種類	JIS A1146 膨張率(判定*)（判定材齢6ヵ月）	ASTM C1260 膨張率(判定*)（判定材齢14日）
南条	砕石	—	OPC	0.011(○)	
			FA15%	−0.006(○)	
			BFS42%	0.008(○)	
今津	砕石	無害	OPC	0.010(○)	0.076(○)
			FA15%	−0.006(○)	−0.005(○)
			BFS42%	0.009(○)	0.023(○)
九頭竜	浚渫砂	—	OPC	0.011(○)	0.180(○)
			FA15%	0.010(○)	0.010(○)
			BFS42%		
三国	浚渫砂	—	OPC	0.009(○)	0.073(○)
			FA15%	0.017(○)	0.022(○)
			BFS42%		

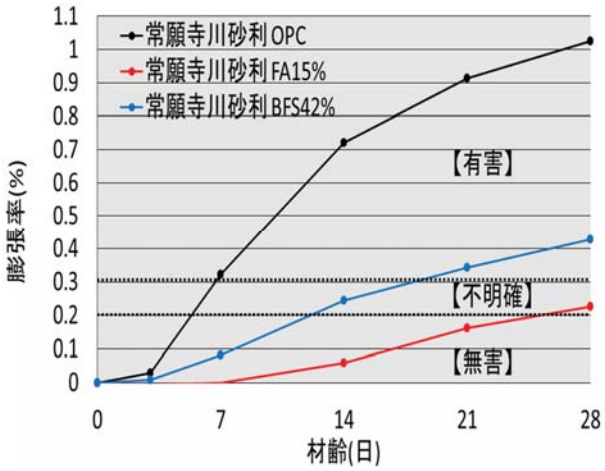
18

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

骨材の反応性試験（各モルタルバー法での膨張挙動1）



JIS A 1146

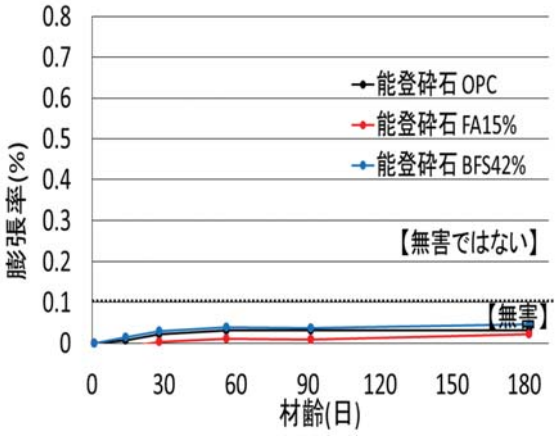


ASTM C 1260

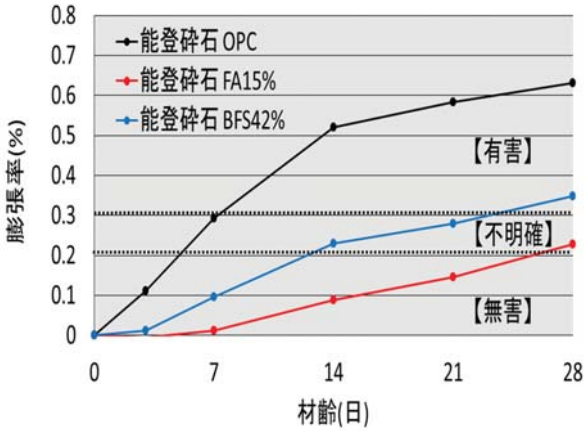
JIS・ASTM両方ともFA15%以外はすべて有害・不明確
JISとASTMとでは判断結果には差がない

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

骨材の反応性試験（各モルタルバー法での膨張挙動2）



JIS A 1146

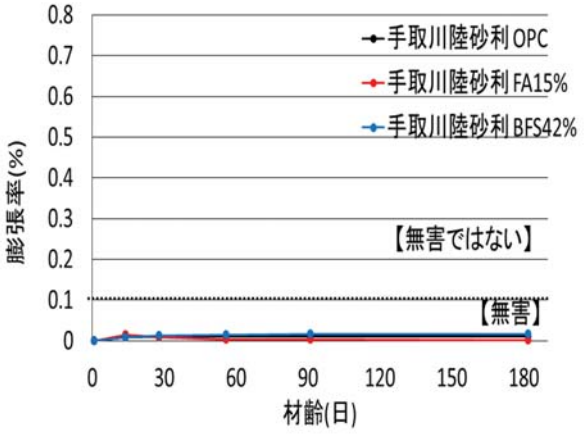


ASTM C 1260

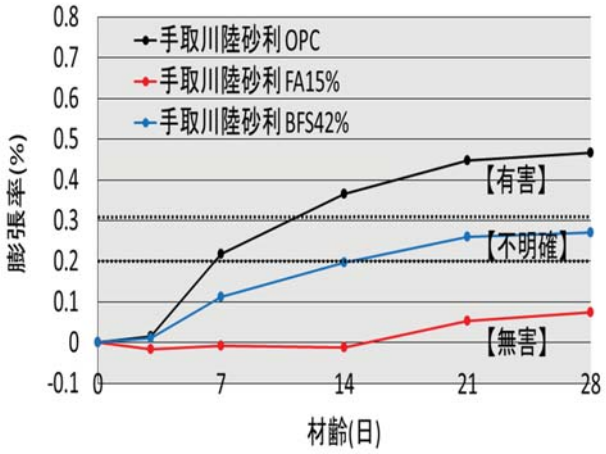
JIS・ASTMとでは異なる結果
モンモリロナイト・スメクタイトなどの粘土鉱物がアルカリを吸着
⇒JIS法　アリカリの先添加　過少評価の可能性あり
ASTM C 1260にて14日判定後もすべてのケースにて膨張傾向を示した。⇒能登砕石は反応が長期間継続することが考えられる。

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

骨材の反応性試験（各モルタルバー法での膨張挙動4）



JIS A 1146



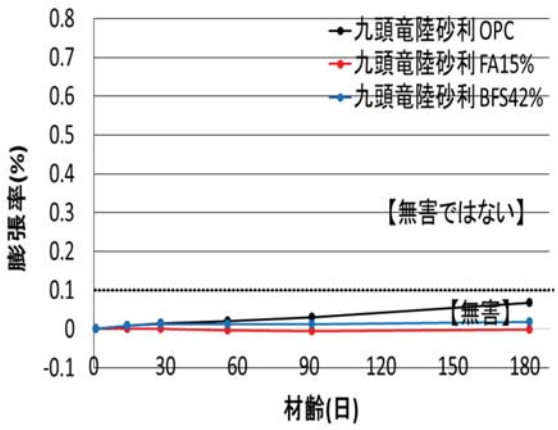
ASTM C 1260

JIS・ASTMとでは異なる結果
化学法無害⇒ASTMの結果ではFA以外は有害・不明確

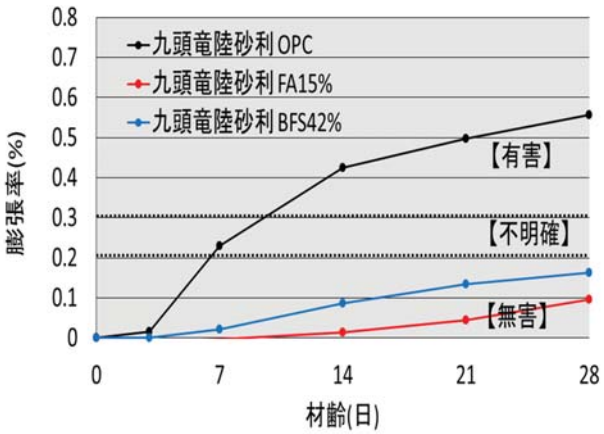
21

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

骨材の反応性試験（各モルタルバー法での膨張挙動4）



JIS A 1146



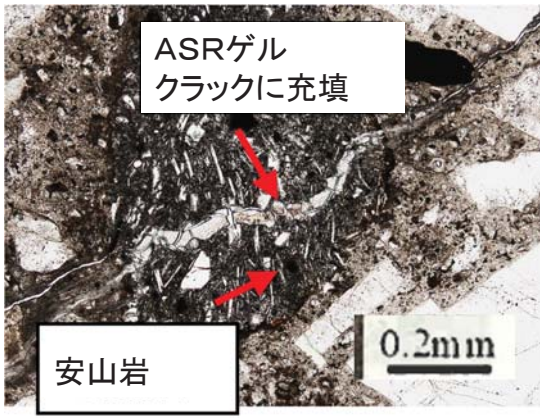
ASTM C 1260

JIS・ASTMとでは異なる結果
化学法無害⇒ASTMの結果ではOPCは有害

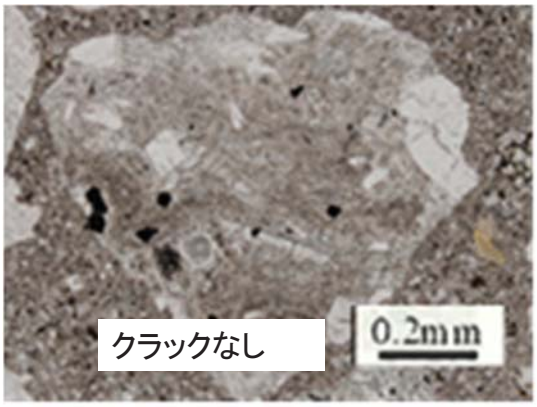
22

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

骨材の反応性試験（各モルタルバー法試験後の状況）



常願寺河川砂利
JIS A 1146　OPC

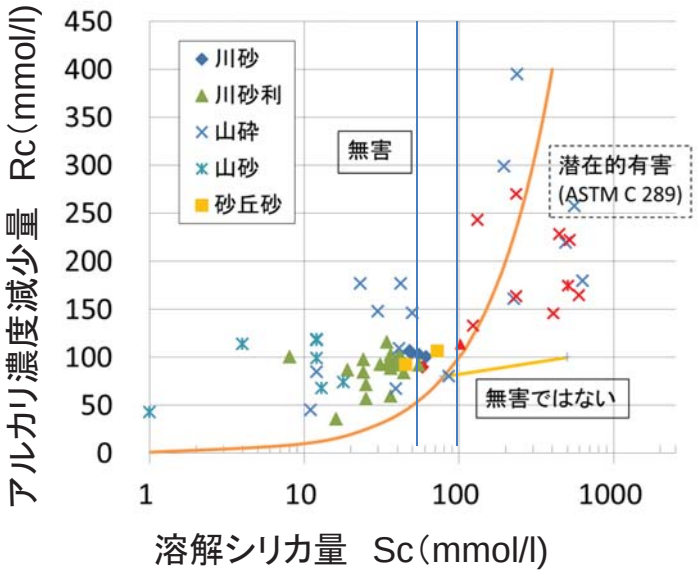


常願寺河川砂利
JIS A 1146　FA15%

試験後OPCではクラックにゲルが充填されているのが確認されたが、
FA15%では変化は見られず、膨張結果と整合した

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

石川県でのコンクリート用骨材産地（70種類）の反応性試験（化学法）　全データ



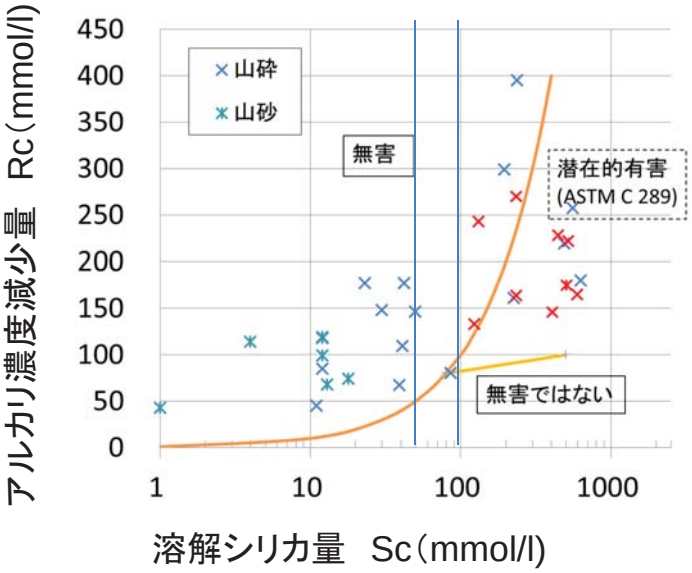
全データ

赤字:モルタルバー法にて有害

化学法では無害でモルタルバー法（JIS A1146）では有害
結果が異なるリスク⇒溶解シリカ量Sc　50mmol/l以下

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

石川県でのコンクリート用骨材産地（70種類）の反応性試験（化学法） 砕石・砕砂



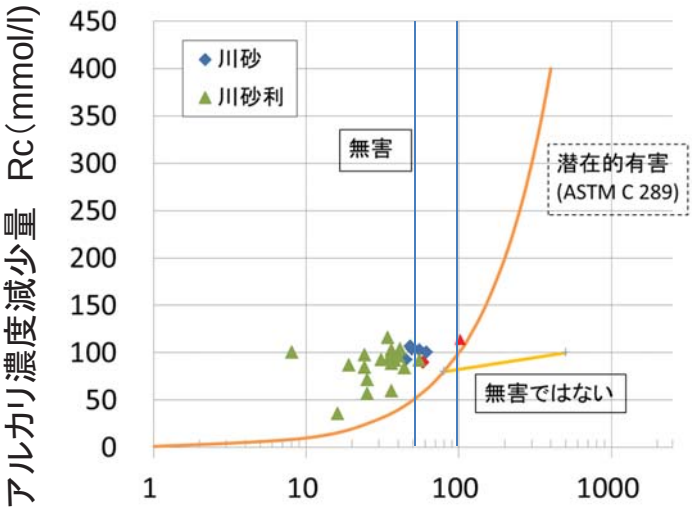
赤字:モルタルバー法にて有害

砕石・砕砂

化学法で無害、モルタルバーにて有害の結果あり
潜在的有害のゾーンではかなりの割合でモルタルバー法にて有害

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

石川県でのコンクリート用骨材産地（70種類）の反応性試験（化学法） 河川砂・砂利



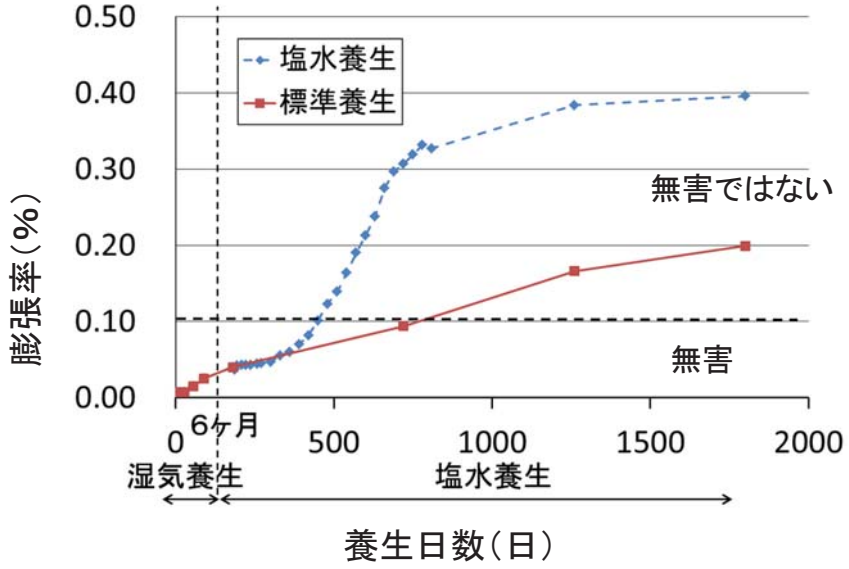
赤字:モルタルバー法にて有害

河川砂・砂利

化学法で無害、モルタルバーにて有害の結果あり

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

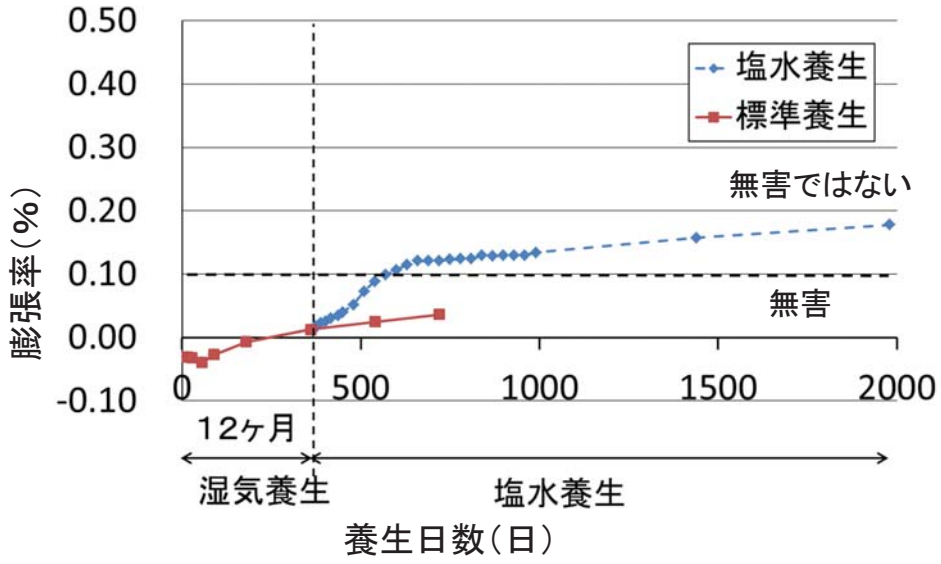
石川県でのコンクリート用骨材産地（70種類）の反応性試験（モルタルバー法） 庄川　陸砂利



通常のJIS A 1146の試験期間では無害判定の骨材でも、供用期間中の塩分を模擬した塩水養生による供試体では大きな膨張挙動を示した

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

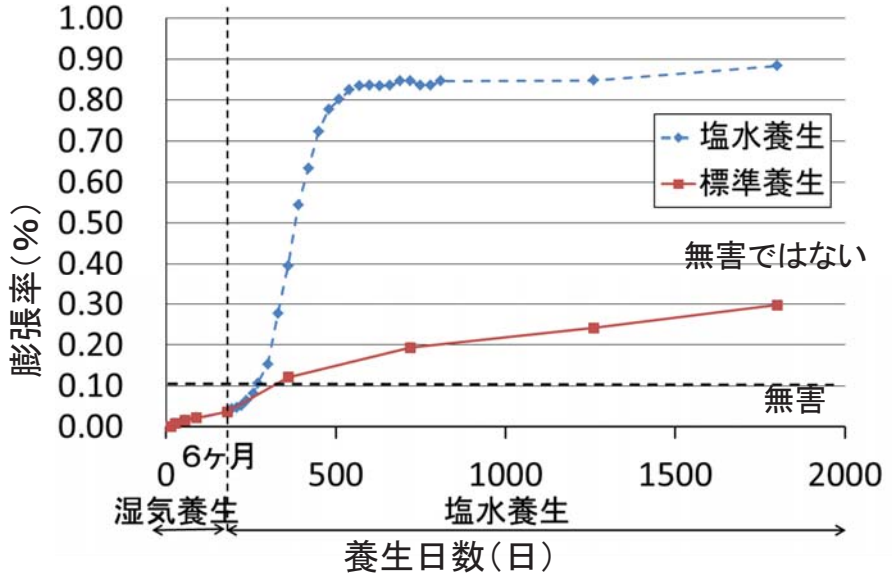
石川県でのコンクリート用骨材産地（70種類）の反応性試験（モルタルバー法） 手取川　陸砂利



通常のJIS A 1146の試験期間ではほとんど膨張しない骨材でも、塩水養生による供試体では0.1%をこえる膨張挙動を示した

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

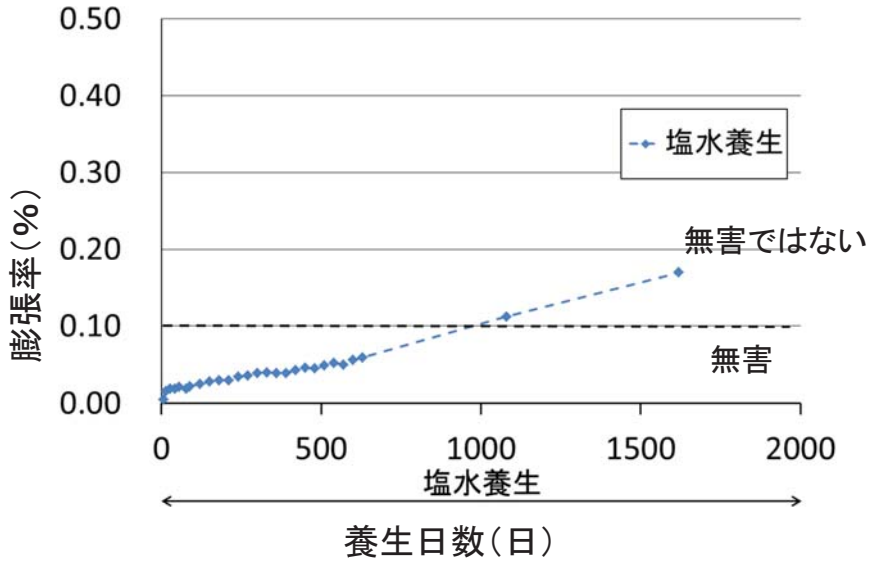
石川県でのコンクリート用骨材産地（70種類）の反応性試験（モルタルバー法） 庄川　陸砂



通常のJIS A 1146の試験期間ではほとんど膨張しない骨材でも、塩水養生による供試体では0.8%をこえる著しい膨張挙動を示した。また、標準養生においても約5年で0.3%の膨張が見られた。

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

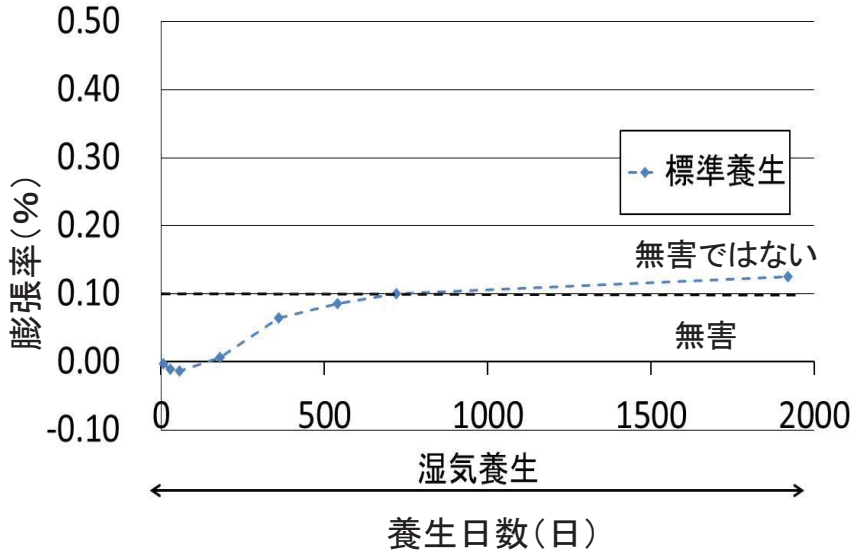
石川県でのコンクリート用骨材産地（70種類）の反応性試験（モルタルバー法） 手取川　陸砂



塩水養生による供試体では約3年で0.1%をこえる膨張挙動を示した。

骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価

石川県でのコンクリート用骨材産地（70種類）の反応性試験（モルタルバー法） 能登　砕石



他の供試体に比べて、膨張量は少ない値を示した。

まとめ

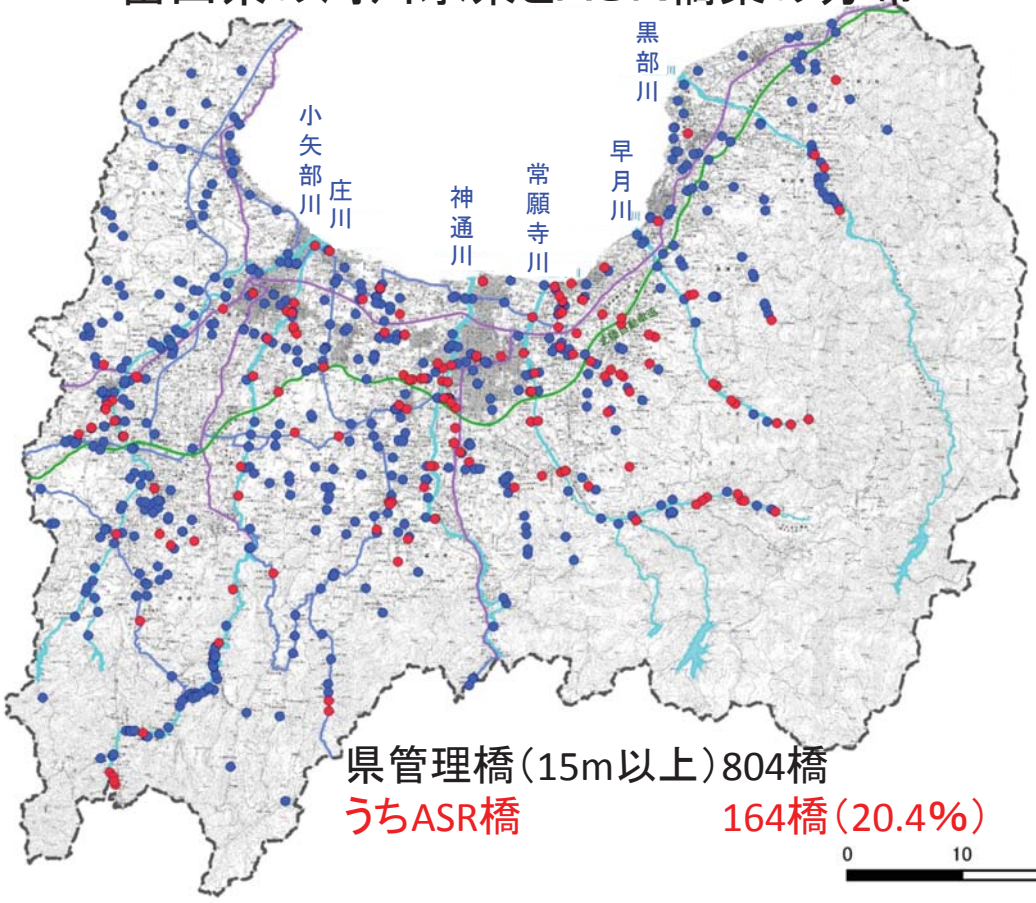
・北陸3県にて使用されているコンクリート用骨材の種類は多く、それぞれの特徴も多岐にわたる。
・JIS A 1146による手法において、粘土鉱物を含む場合、膨張率が少なくなり、過小評価となることがある。
・化学法にて無害判定でかつ溶解シリカ量Sc　100mmol/l未満の骨材のほとんどはモルタルバー法の結果も無害となった。

化学法にて溶解シリカ量Sc　100mmol/l以上の骨材を使用する場合、高炉スラグやフライアッシュなどの混和材を用いることが、将来のASRによるリスクを低減することにつながると考えられる。

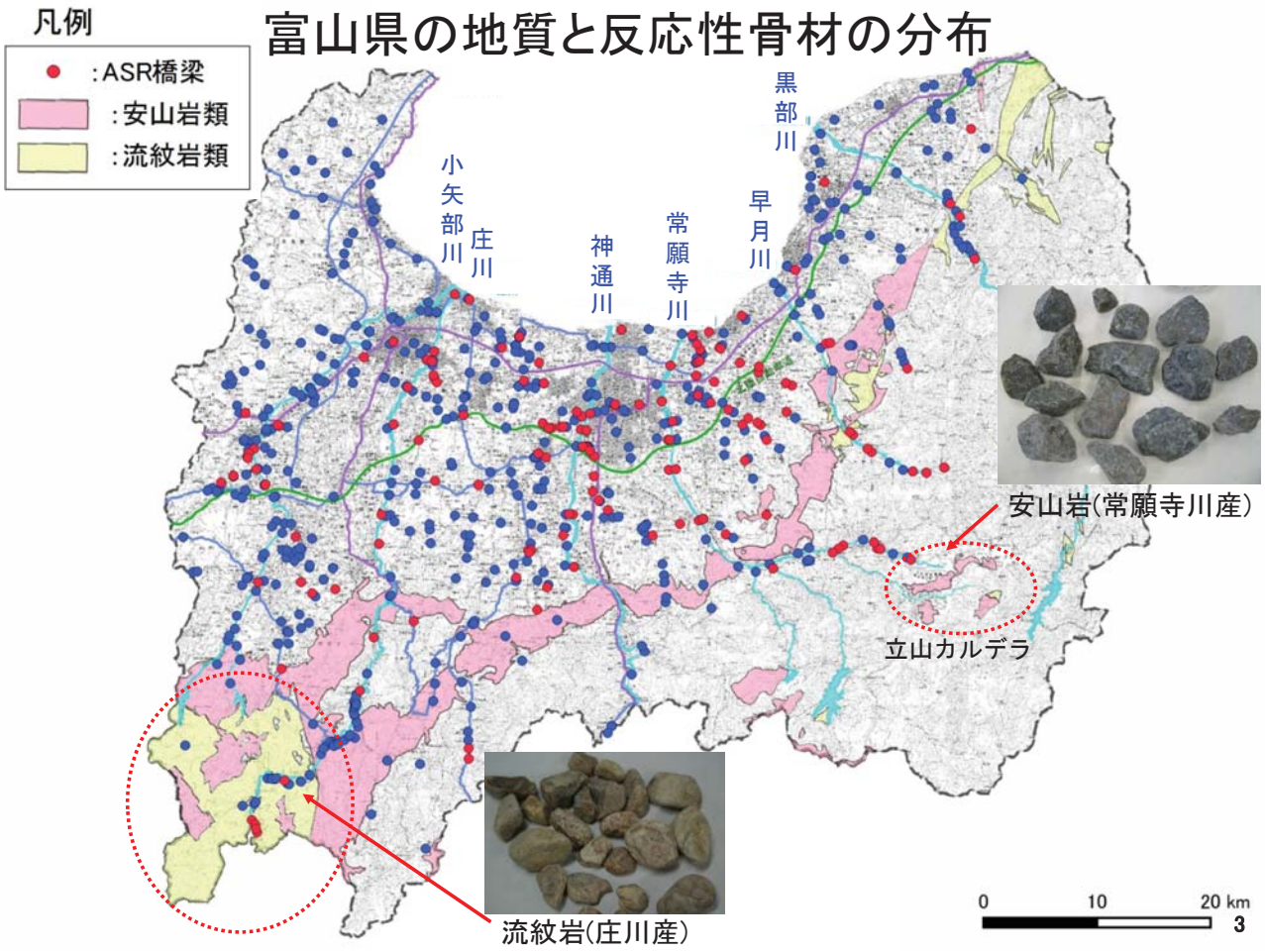
富山県のASR劣化構造物の実態調査と反応性骨材の地域的な特徴

富山県高岡土木センター　大代　武志
フルテック（株）　野村　昌弘
北陸電力（株）　参納　千夏男

富山県の河川水系とASR橋梁の分布



富山県の地質と反応性骨材の分布



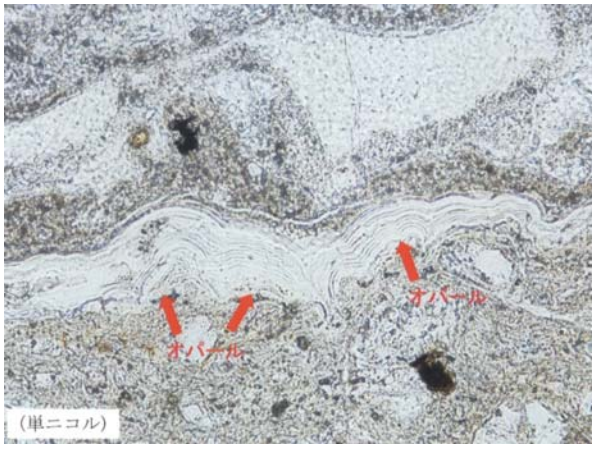
3

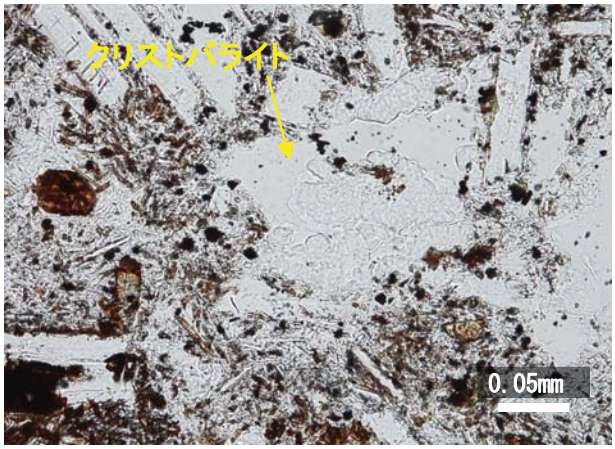
常願寺川産骨材の特徴

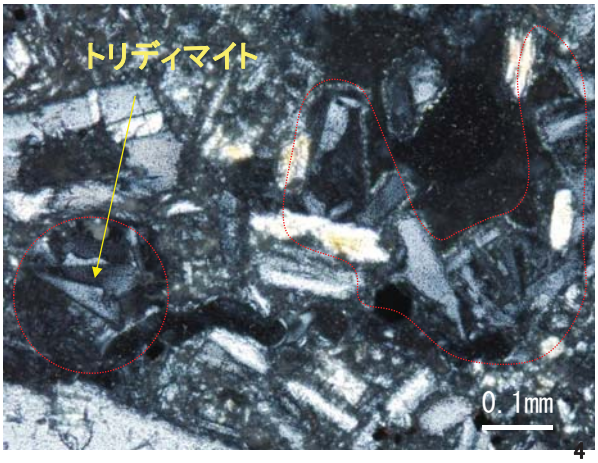
①安山岩には反応性鉱物として，クリストバライト，トリディマイト，オパールを含有する。

②安山岩の含有率がペシマムになっている。

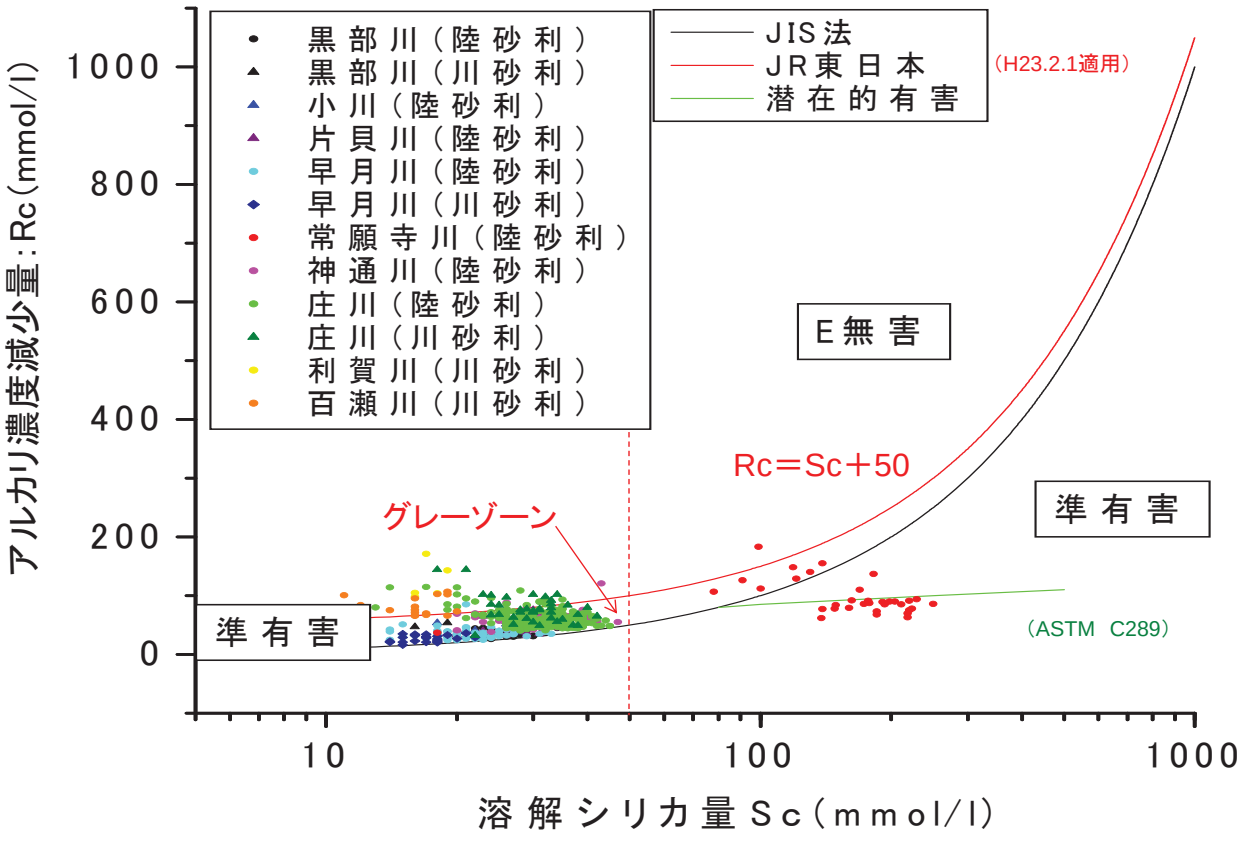
③粗骨材、細骨材ともに反応するため、影響が大きい。





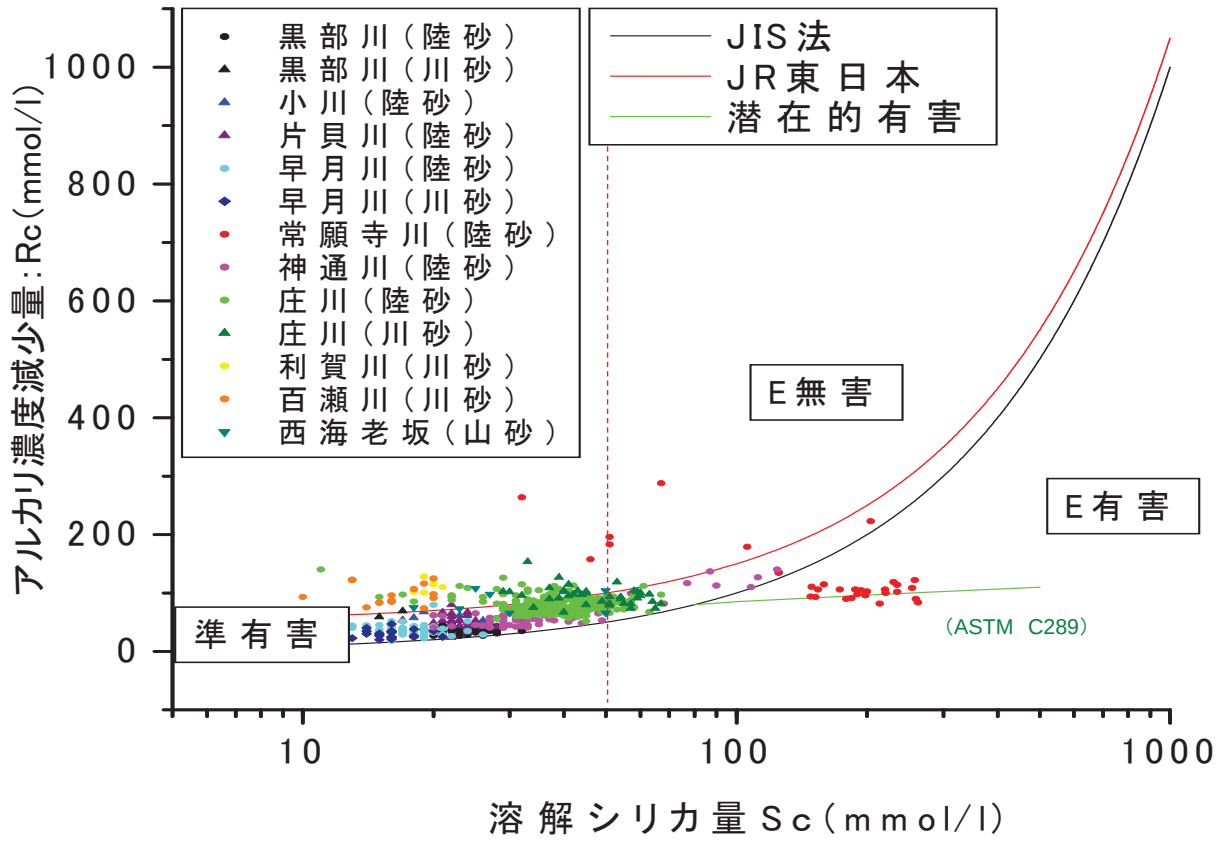


4



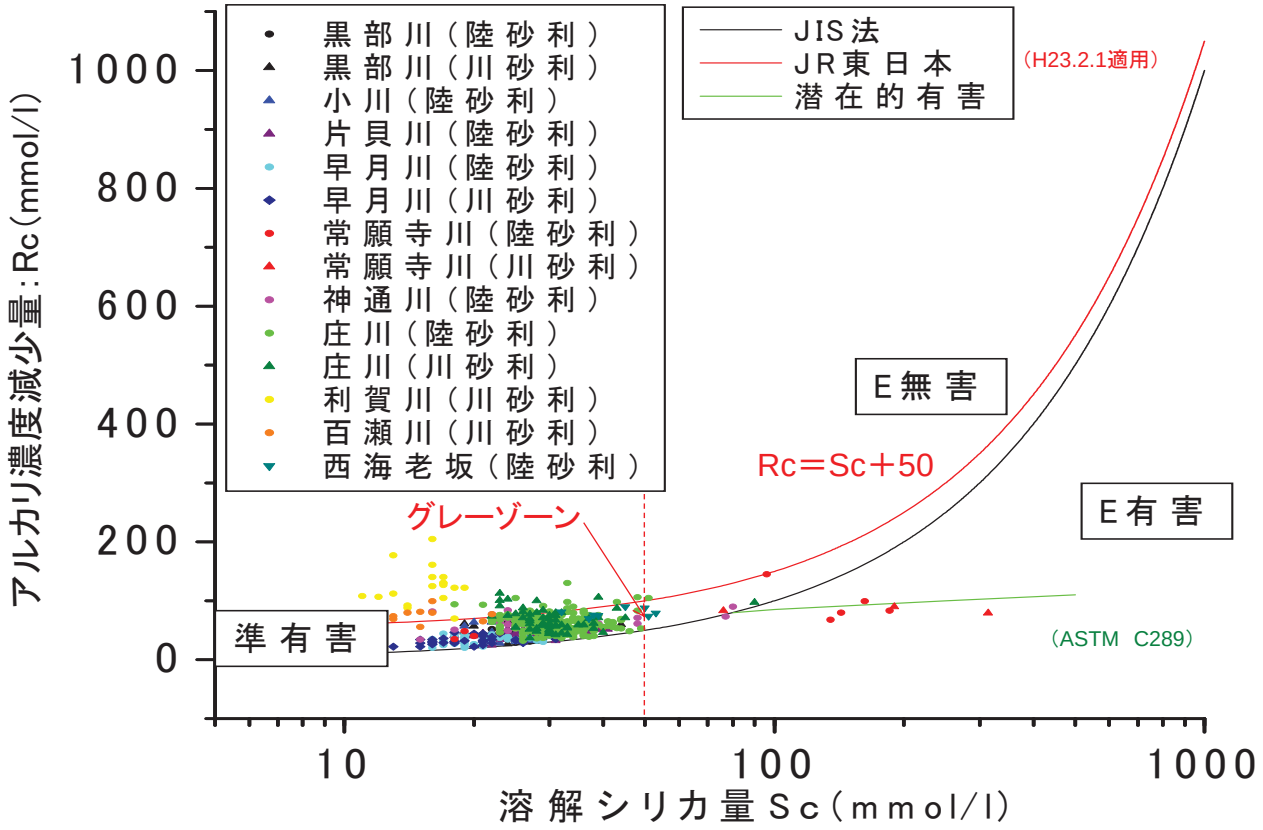
富山県・粗骨材の化学法による試験結果（H17～H27）

5



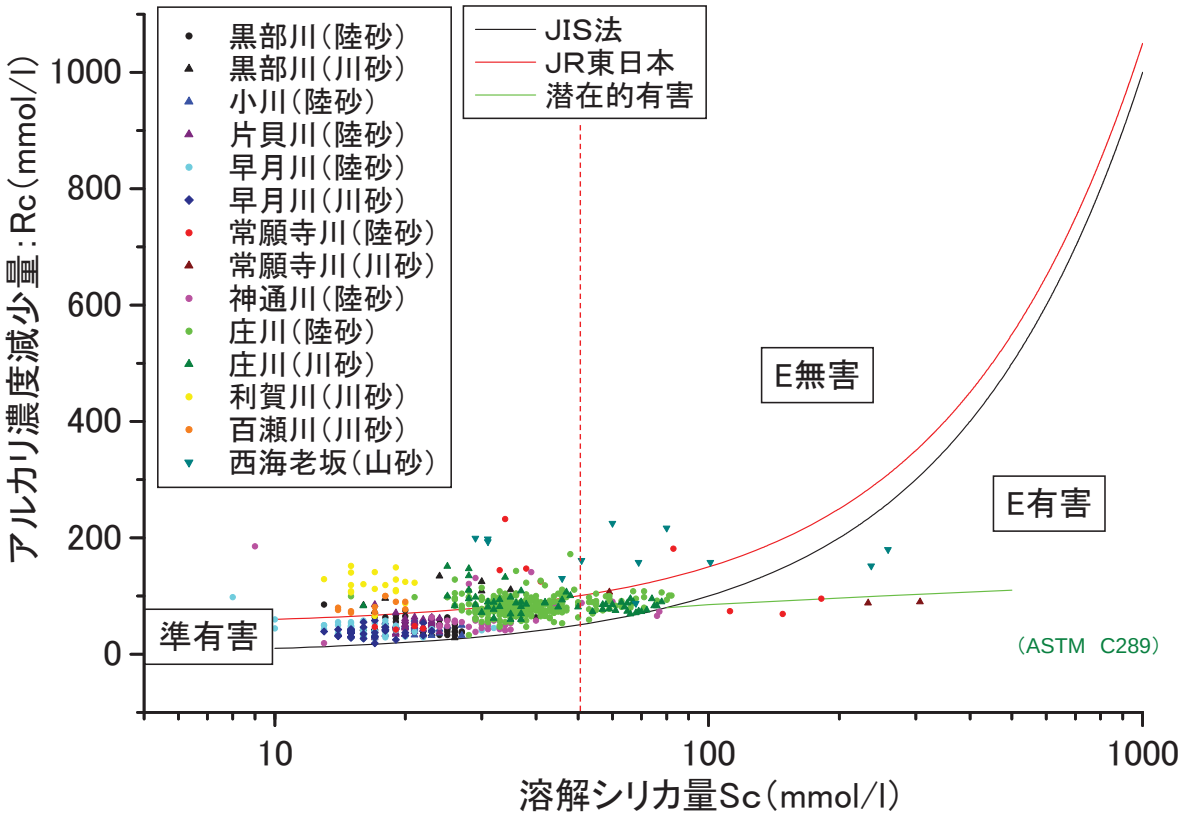
富山県・細骨材の化学法による試験結果（H17～H27）

6



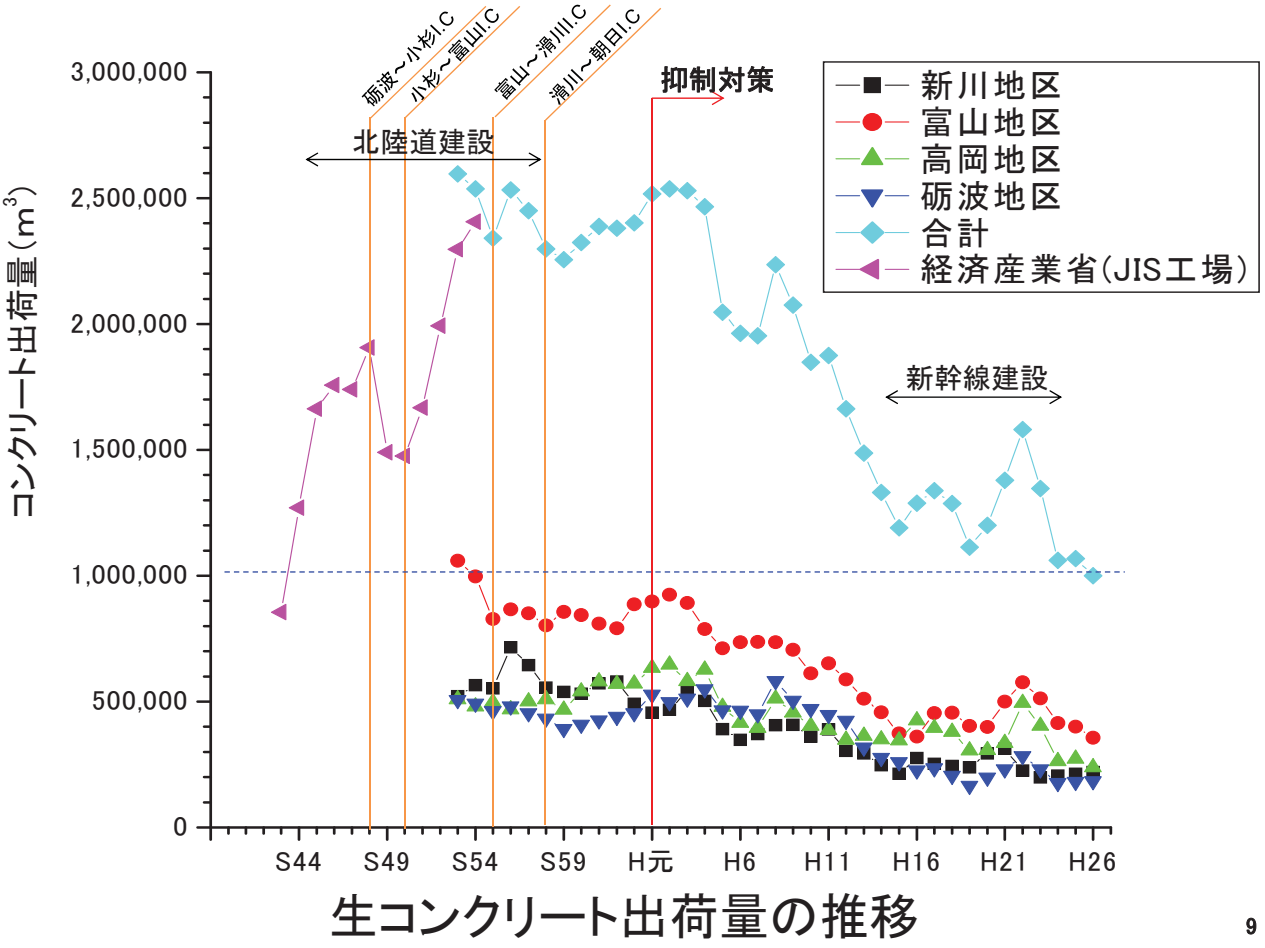
富山県・粗骨材の化学法による試験結果（H6～H16）

7



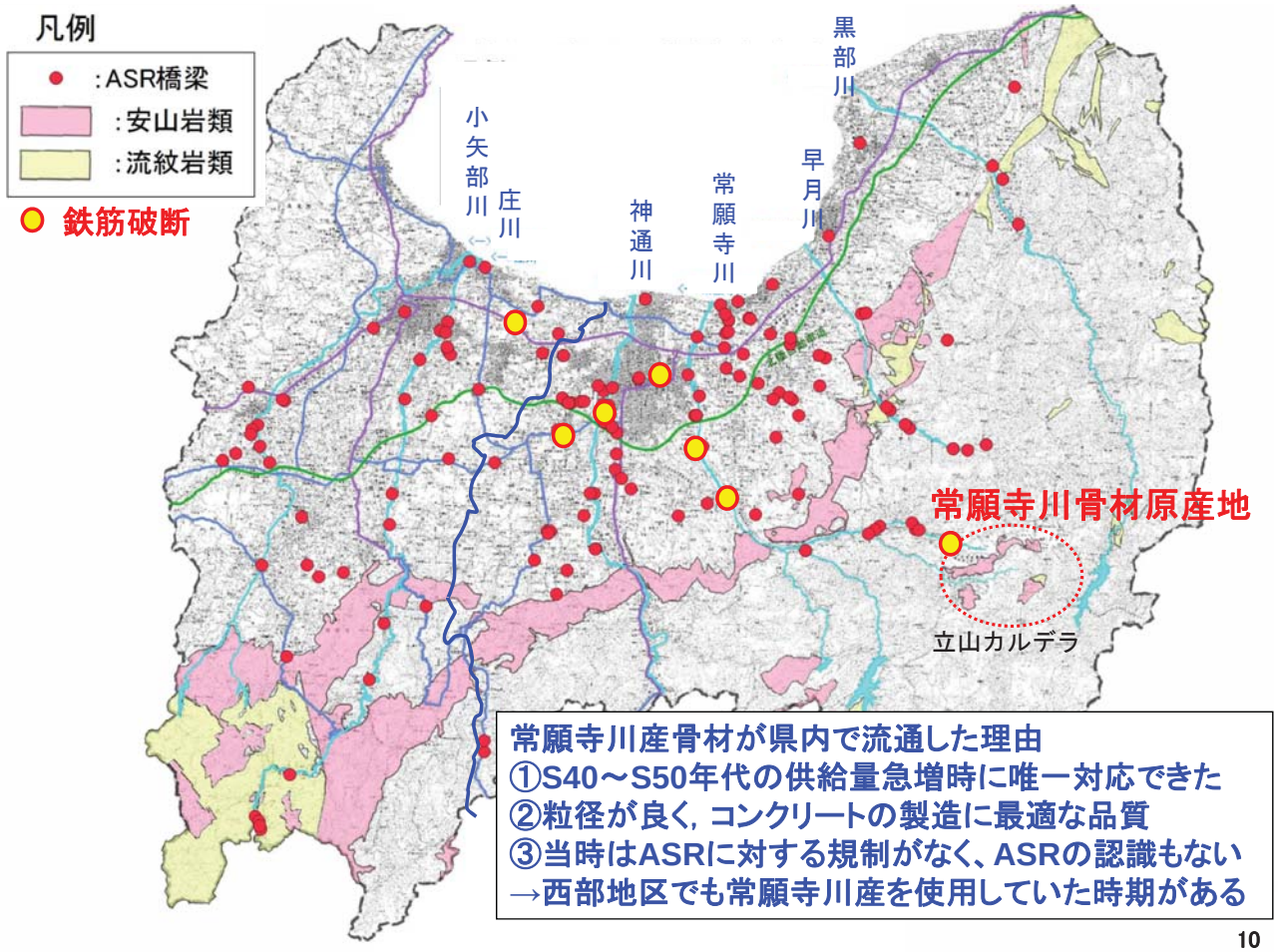
富山県・細骨材の化学法による試験結果（H6～H16）

8



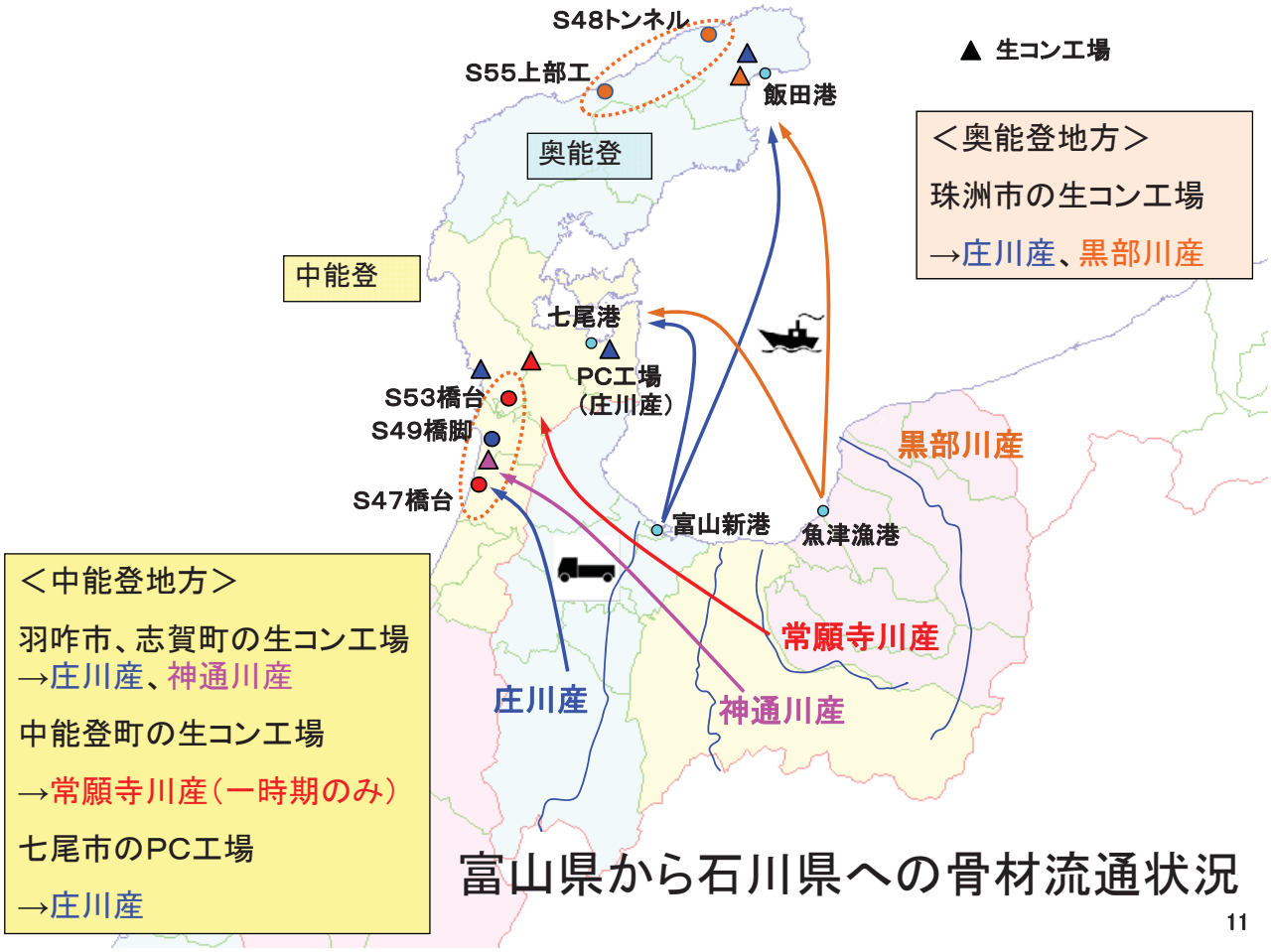
生コンクリート出荷量の推移

9



常願寺川産骨材が県内で流通した理由
①S40～S50年代の供給量急増時に唯一対応できた
②粒径が良く，コンクリートの製造に最適な品質
③当時はASRに対する規制がなく、ASRの認識もない
→西部地区でも常願寺川産を使用していた時期がある

10



富山県から石川県への骨材流通状況

11

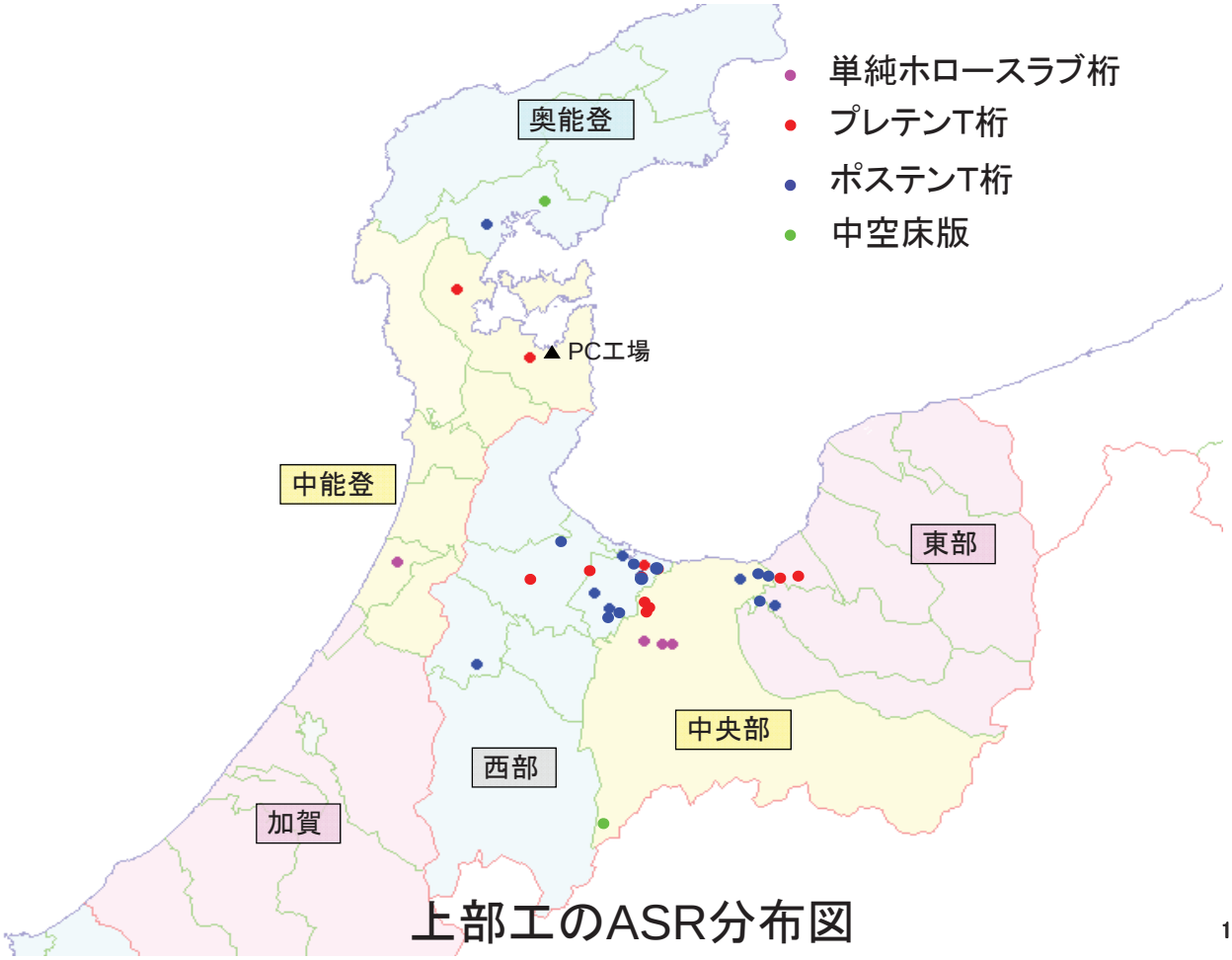
能登有料道路　今浜I.C橋台（S47）

能登有料道路　A1橋台（S53）志賀町

R249　上部工ﾎﾟｽﾃﾝT桁（S55）　輪島市

市道　橋台（S49）　羽咋市

12



上部工のASR分布図

13

A橋（S48）単純ホロー桁

B橋（S51）単純ホロー桁

C橋　（S50）プレテンT桁

D橋　（S52）プレテンT桁

14

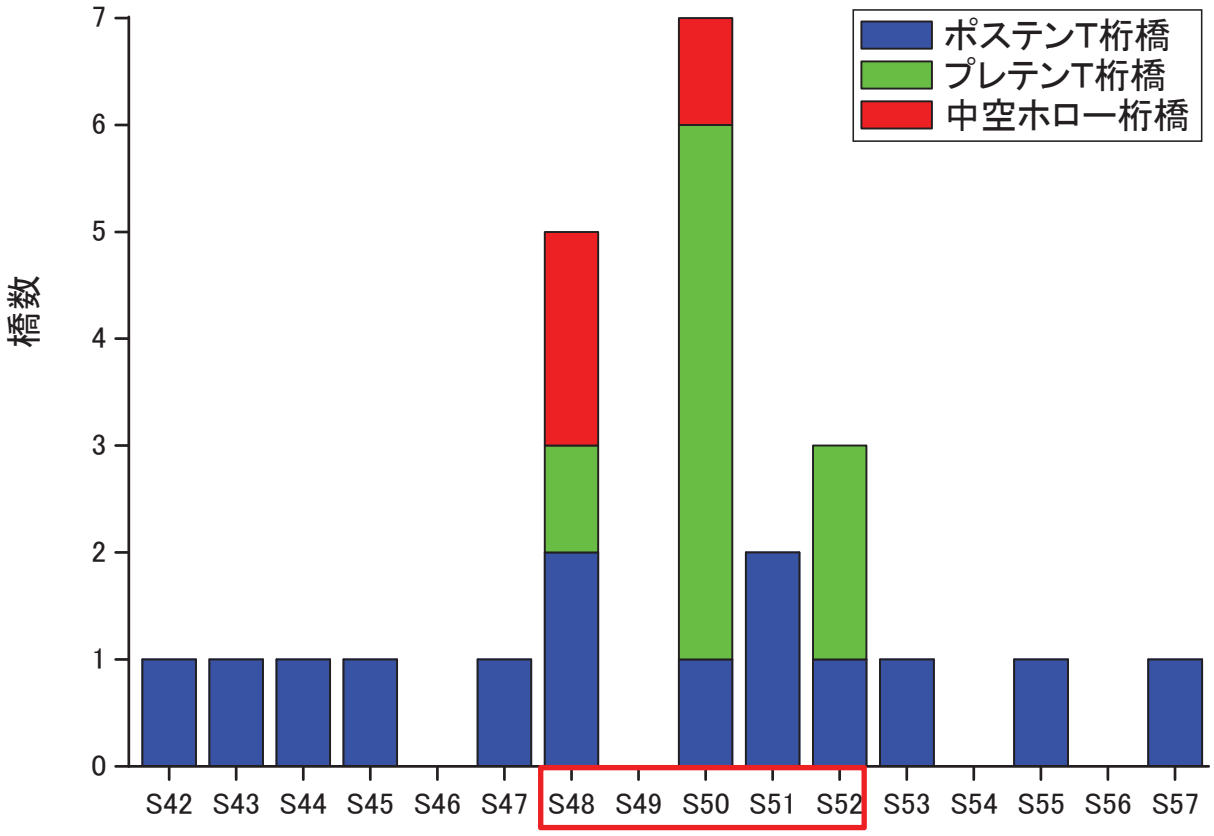
E橋　S42（1967）ﾎﾟｽﾃﾝT桁

F橋　S44（1969）ﾎﾟｽﾃﾝT桁

G橋　S55（1980）ﾎﾟｽﾃﾝT桁

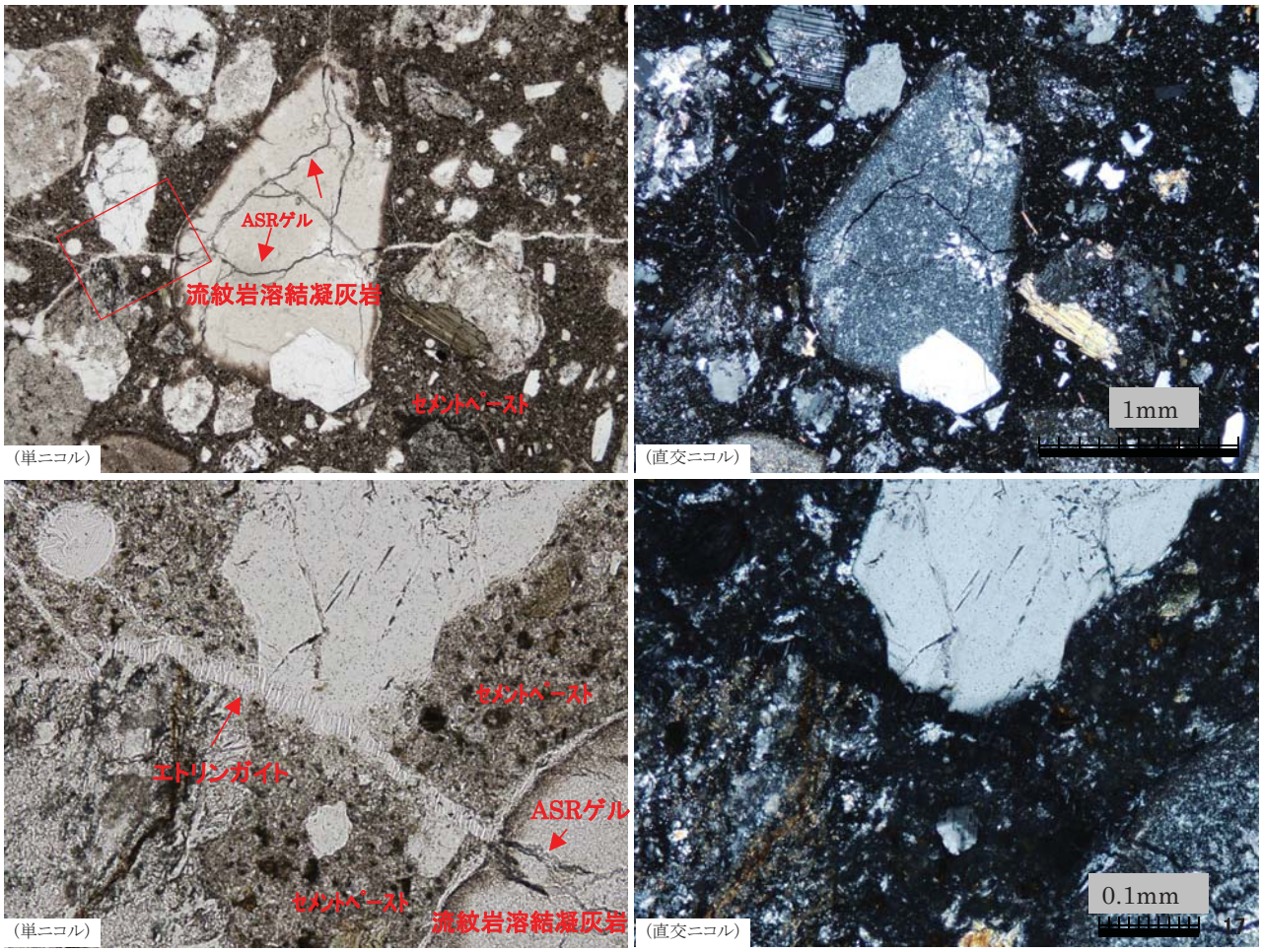
H橋　S45（1970）ﾎﾟｽﾃﾝT桁

15

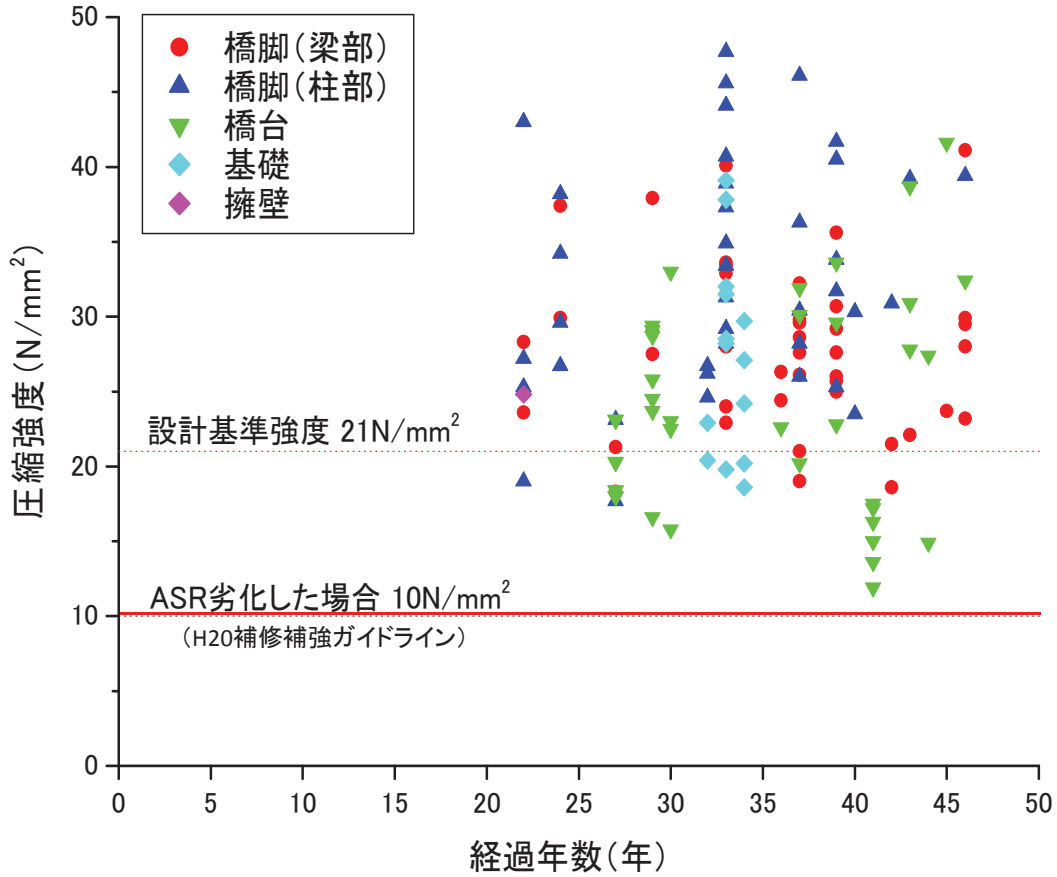


上部工のASR橋の建設年（富山県）

16

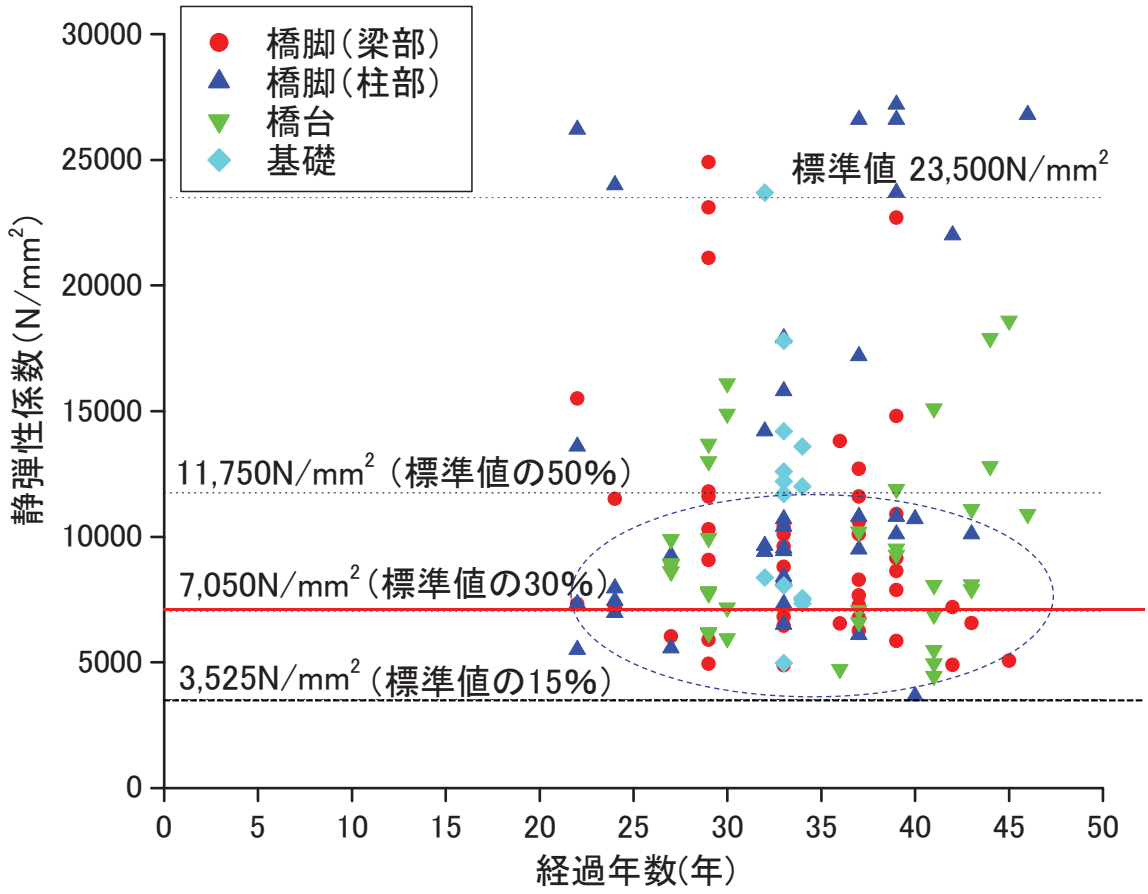


17



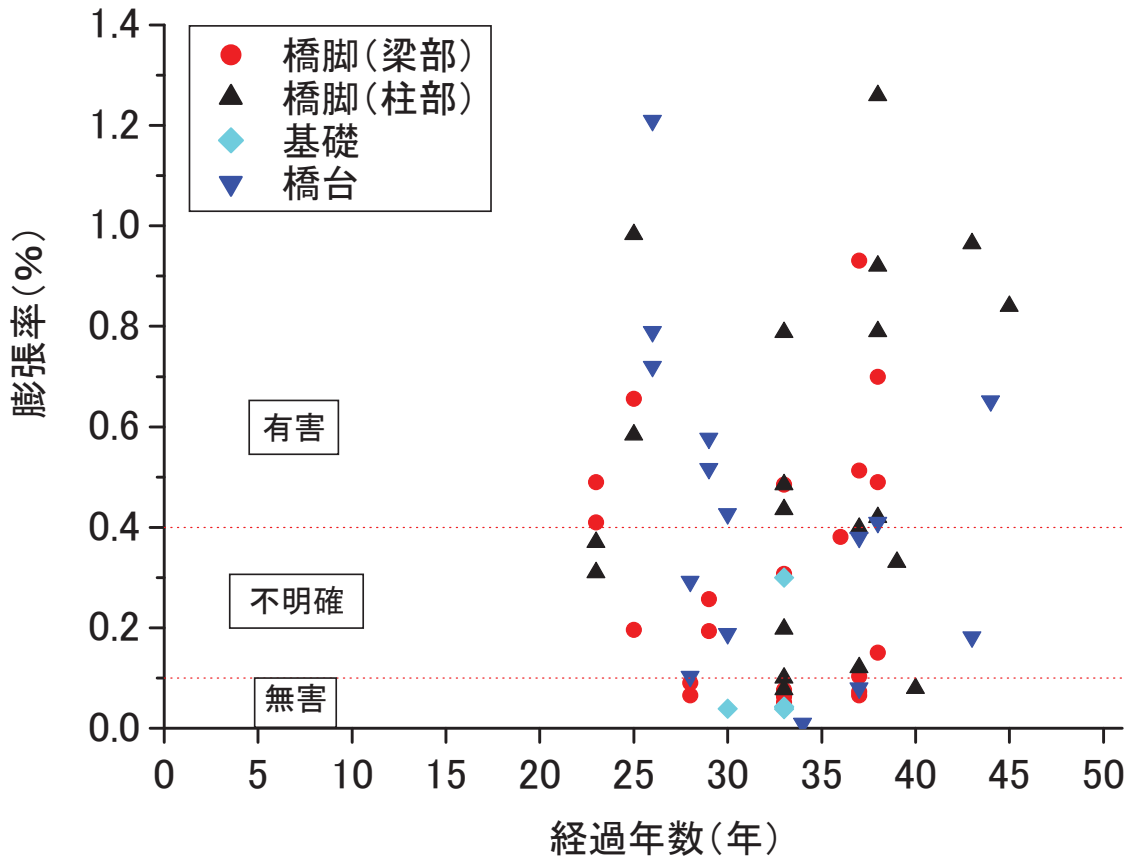
コアの圧縮強度と経過年数の関係

18



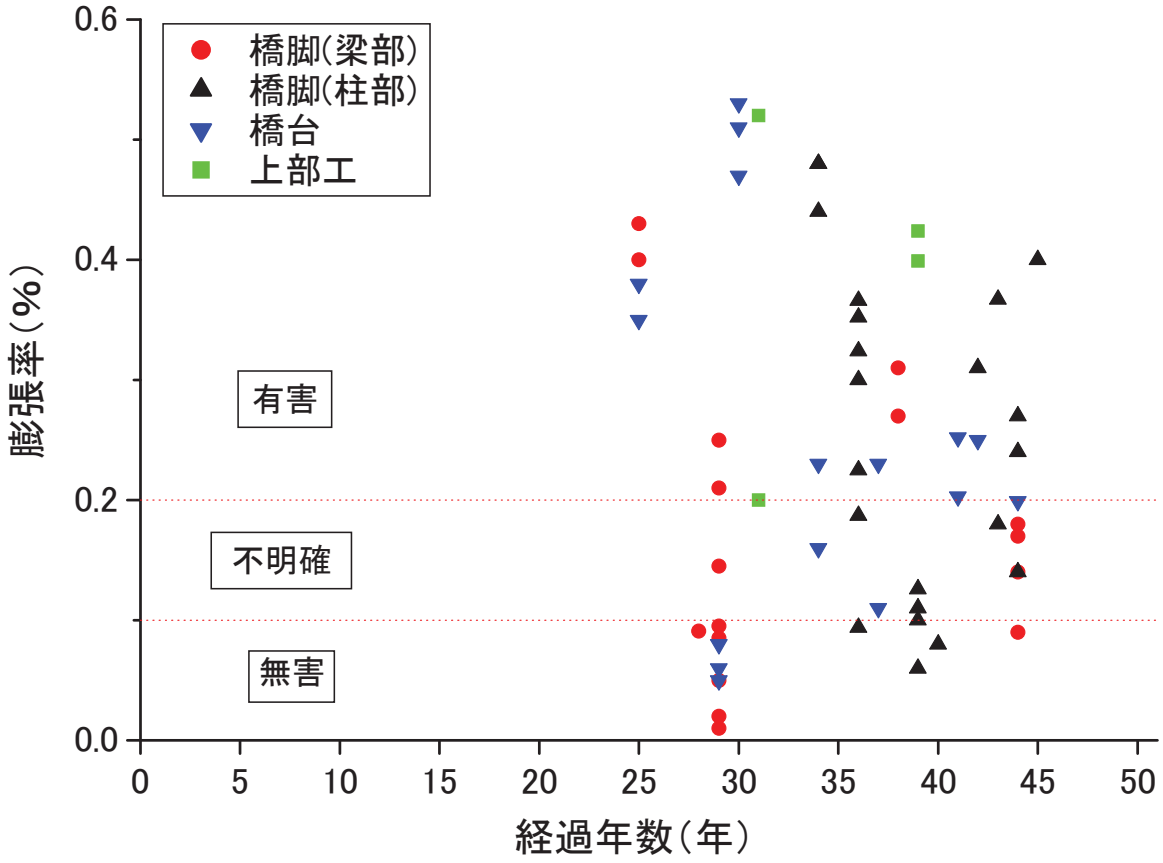
コアの静弾性係数と経過年数の関係

19



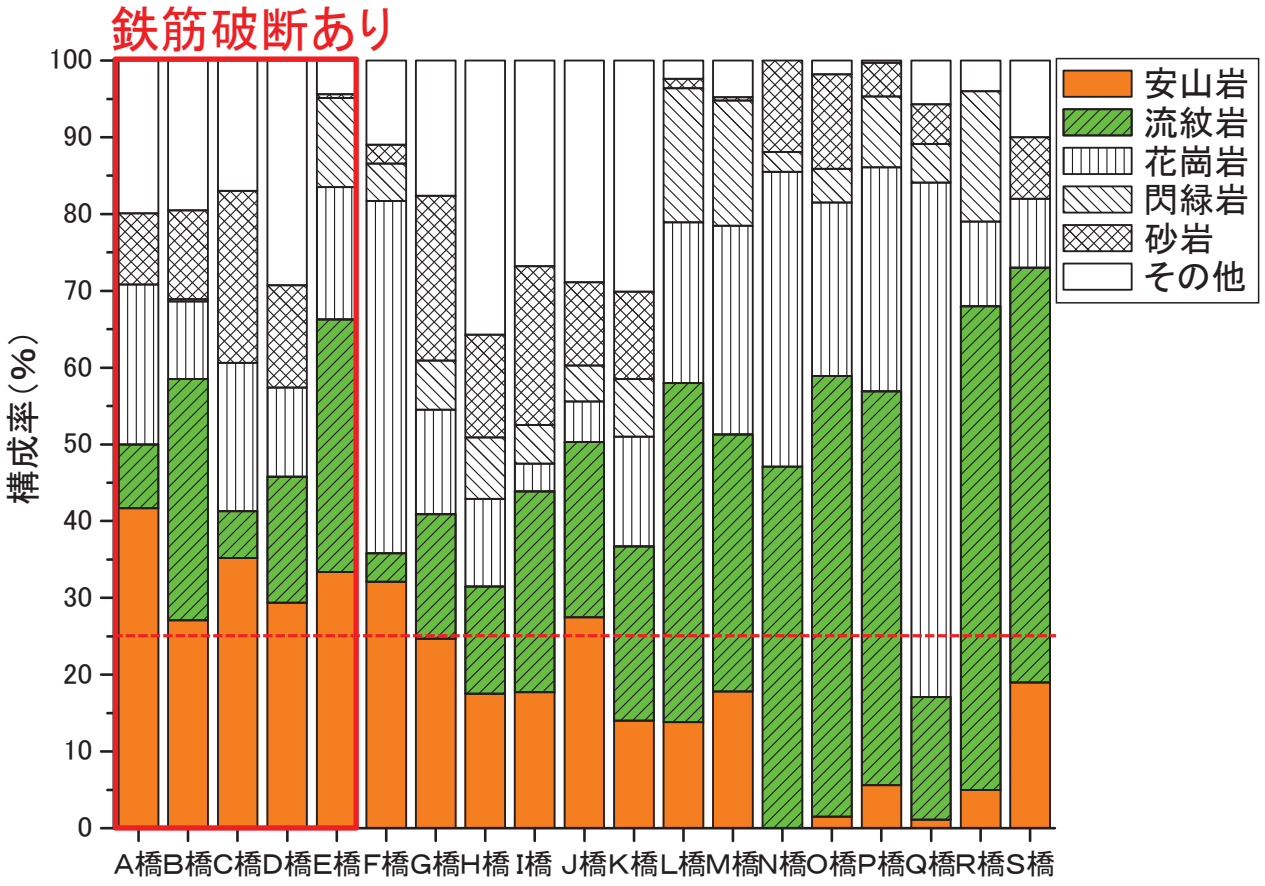
デンマーク法と経過年数の関係 （13橋）

20



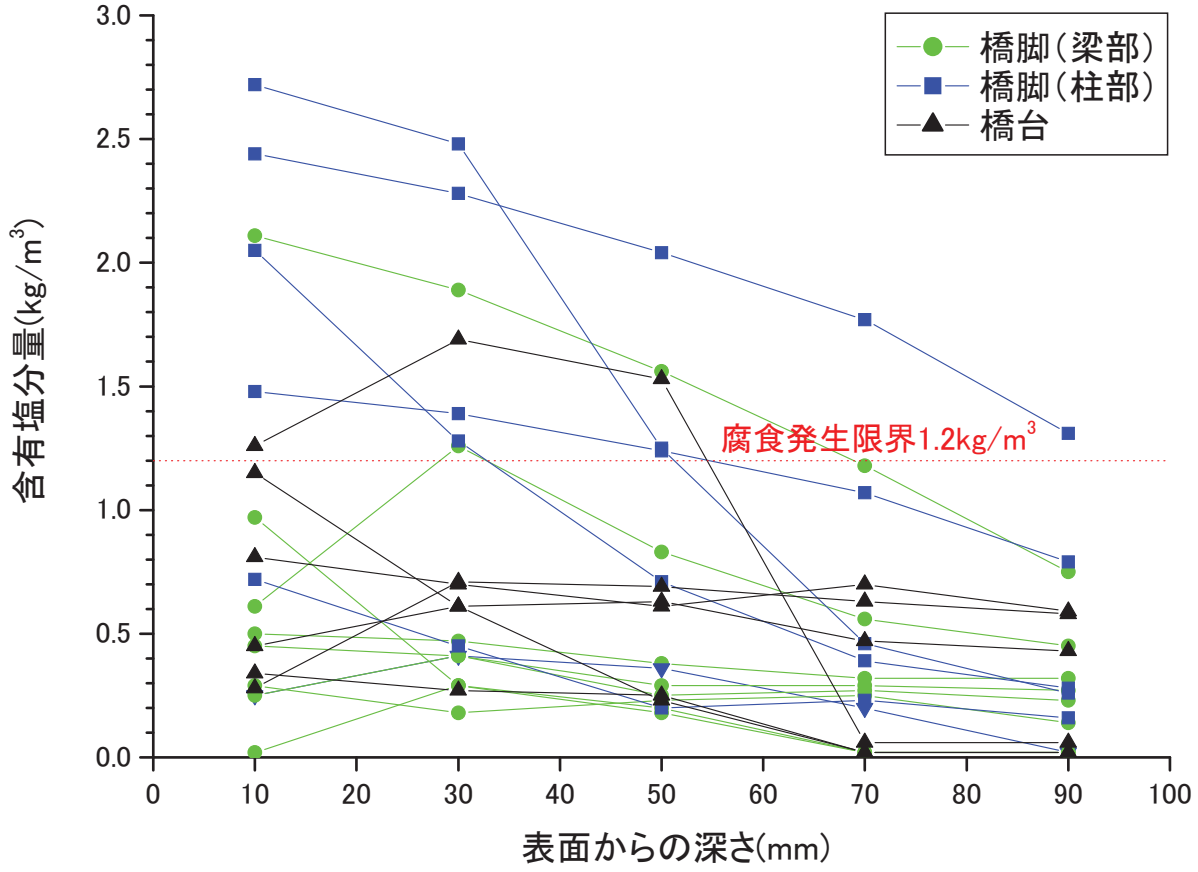
カナダ法(14日)と経過年数の関係　(23橋)

21



コンクリートコアの岩種構成率

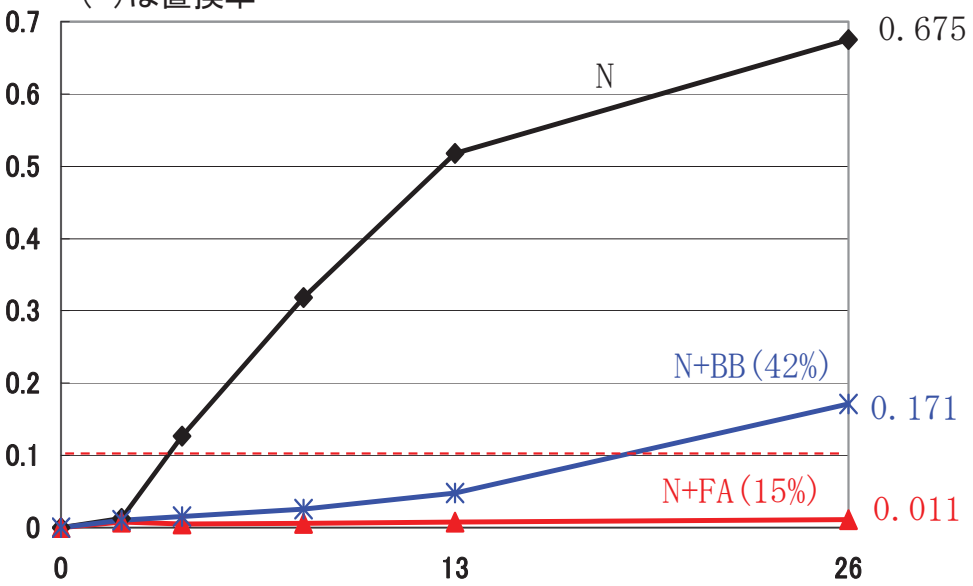
22



コンクリート中の塩化物イオン含有量（12橋）

23

N：普通セメント
N+BB：高炉スラグを用いたコンクリート
N+FA：フライアッシュを用いたコンクリート
（ ）は置換率



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

常願寺川産骨材を用いたモルタルバー法（JIS）の試験結果

「北陸地方におけるフライアッシュの有効利用促進検討委員会」資料

24

今後の課題と展望

化学法（JIS A1145）で判定できない骨材への対応

・Sc値の高い細骨材（JR東日本判定「準有害」）の抑制対策が必要

現行のASR抑制対策の強化（混合セメントの見直し）

・使用する混合セメントを高炉セメントB種（BB）からフライアッシュB種（FB）に変更

フライアッシュコンクリートの標準化

・反応性の高い骨材が流通する地域のため、ローカルルールを適用する

長期的には・・・・

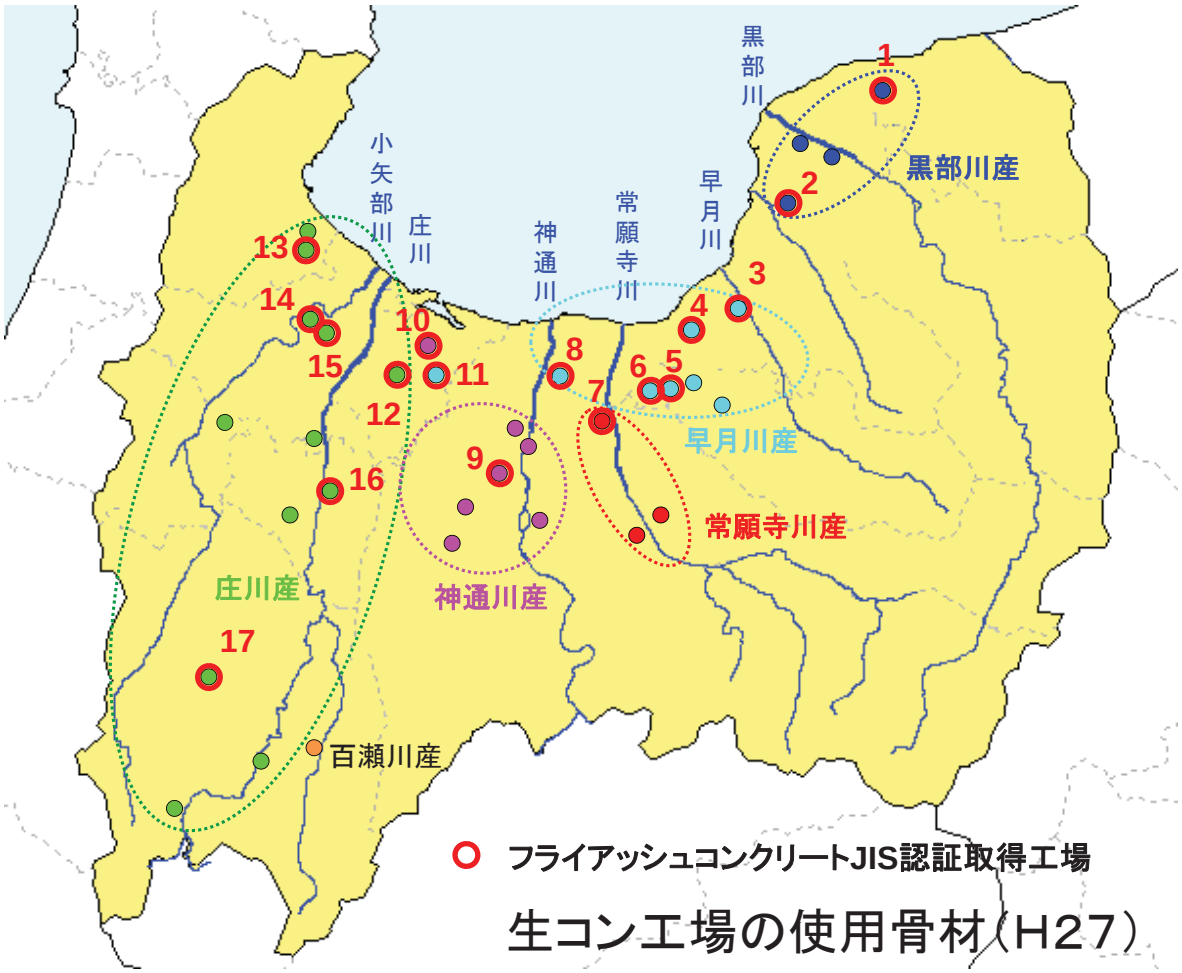
富山県産の陸砂利、陸砂の採取難

常願寺川産骨材の活用

・ASR問題を繰り返してはいけない。→FA添加で技術的には解決済み。

・コンクリート用骨材として施工性が良く、扱いやすい。

25



生コン工場の使用骨材（H27）

26

石川県のＡＳＲ劣化構造物の実態調査と反応性骨材の地域的な分布

2015年 9月25日

金沢大学大学院自然科学研究科後期博士課程
アルスコンサルタンツ株式会社

麻 田 正 弘

本題目の発表内容

1. 背景と目的
2. ASR劣化構造物の分布
3. 石川県の地質概要および河川水系と骨材資源，供給状況
4. 骨材のアルカリシリカ反応性，岩石・鉱物学的特徴
5. ASR劣化構造物の劣化程度と対策事例
6. 石灰石骨材のアルカリシリカ反応性
7. 本題目のまとめ
8. ASR劣化構造物の維持管理の課題

背景と目的

■ 背　景

- 実構造物における使用骨材，使用環境とASR劣化状況，および劣化進行や対策効果をモニタリングした結果など，多くの情報が存在すれば，既設構造物の維持管理に有効に活用されると考えられる。

■ 目　的

- 石川県の代表的な反応性骨材の岩石学的特徴やアルカリシリカ反応性を確認したうえで，反応性骨材を使用した実構造物のASR劣化状況から，他のASR劣化構造物の維持管理に資することを目的とする。

背景と目的

目的の説明フロー

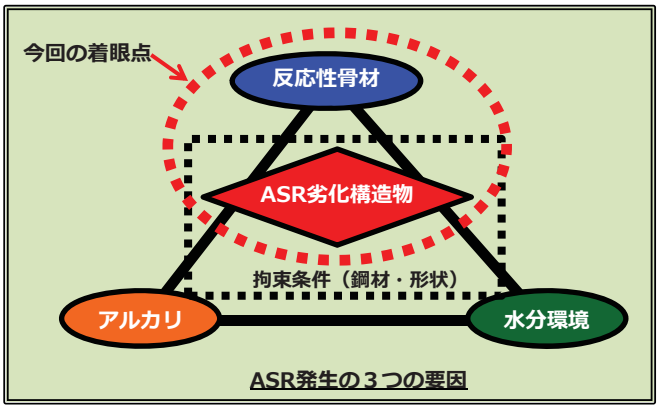
ASR劣化構造物

⇩

代表的な反応性骨材

⇩

・アルカリシリカ反応性
・岩石,鉱物学的特徴
・アルカリ溶出性状

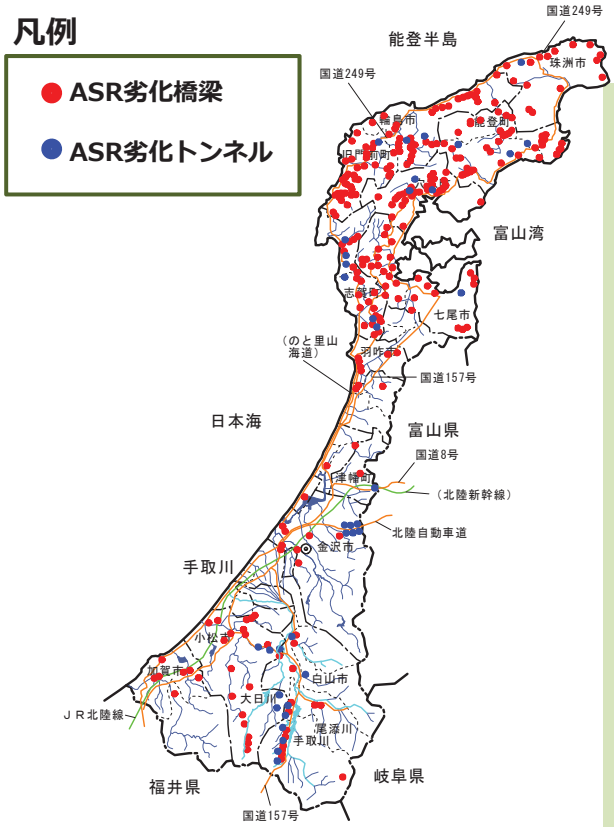


実構造物のASR劣化状況
・外観劣化状況
・強度特性の低下
・残存膨張性
・ゲルや微細ひび割れ

対策事例
・経過観察
・補修
・部分打換え

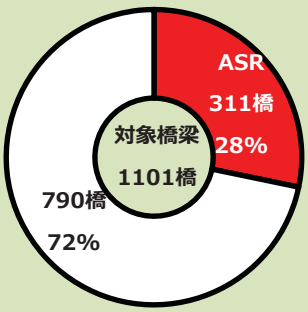
他のASR劣化構造物の維持管理に活用

ＡＳＲ劣化構造物の分布

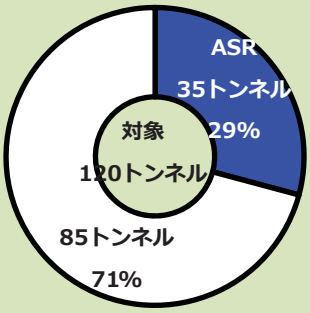


石川県内のASR劣化構造物の分布図

- 橋梁
  - 調　査：2004年～2005年
  - 対　象：1963年～1986年 建設　1101橋
  - 【出典】石川県土木部「ASR劣化橋梁の維持管理の手引き（案），2005」
- トンネル
  - 調　査：2005年
  - 対　象：1929年～2009年 建設　120トンネル



ASRが発生した橋梁数
（2004年～2005年調査）

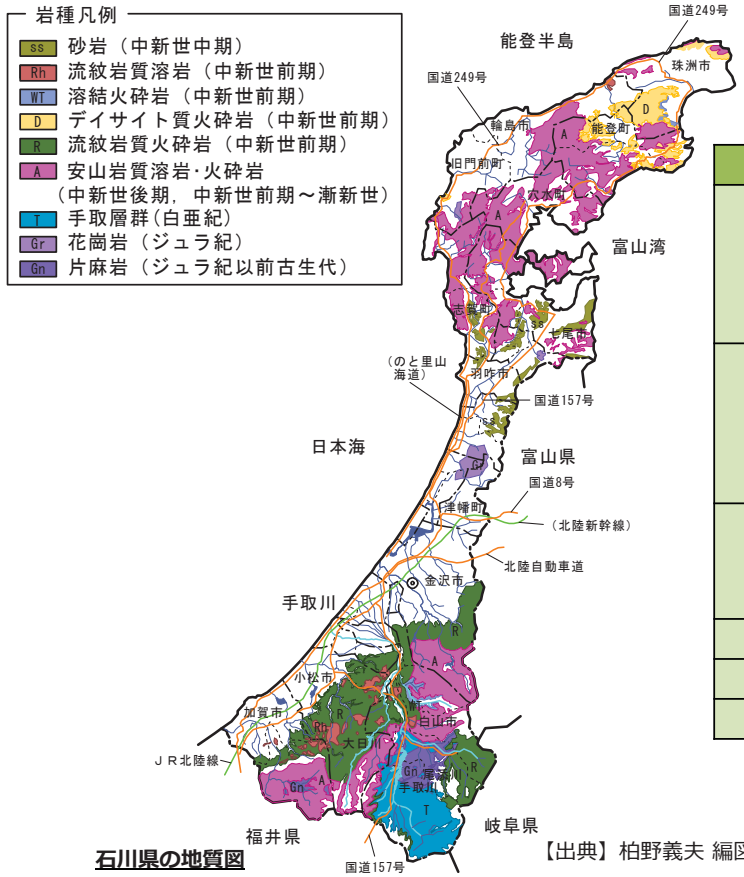


ASRが発生したトンル数
（2005年調査）

※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。

5

石川県の地質概要



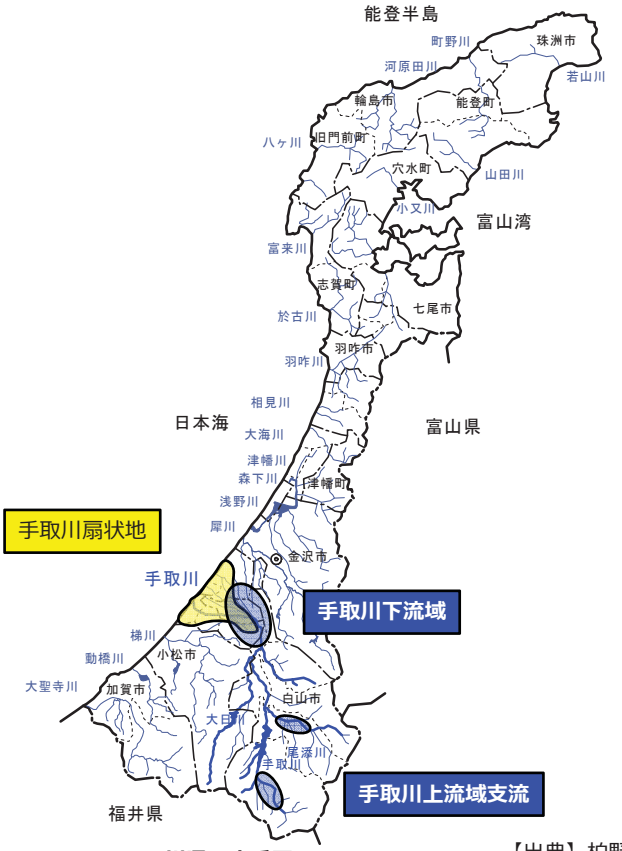
石川県の地質図

【出典】柏野義夫 編図「新版・石川県地質図，1993」

地質時代			年代	骨材
第四紀	完新世		1万年	新期の堆積岩類
	更新世	後期	15万年	
		中期	80万年	
		前期	160万年	
新第三紀	鮮新世		500万年	骨材資源
	中新世	後期	1000万年	
		中期	1600万年	
		前期	2500万年	
古第三紀	漸新世			
	始新世			
	暁新世		6500万年	
白亜紀			1億4000万年	
ジュラ紀			2億1000万年	
ジュラ紀以前				

6

石川県の河川水系

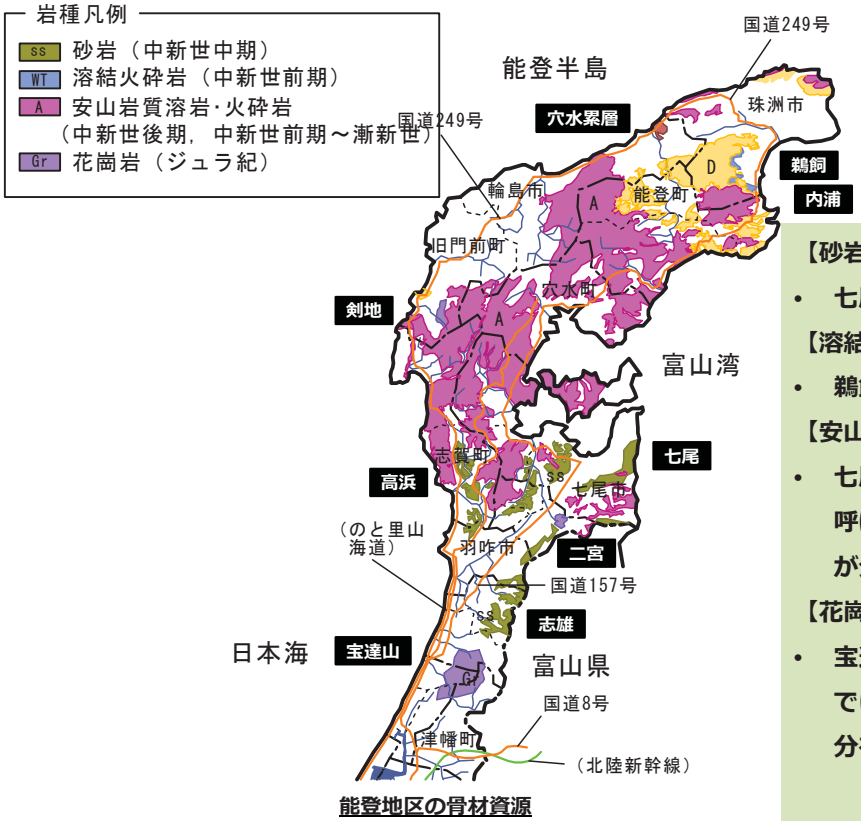


石川県の水系図

- 左図に，石川県の河川のうち比較的流程の長い34河川を示した。
- 県内で唯一最大の典型的扇状地が広がるのが手取川である。
- 手取川の下流域の川砂利･川砂，陸砂利･陸砂上流域支流の川砂利・川砂の採取が行われている。

【出典】柏野義夫 編図「新版・石川県地質図，1993」

能登地区の骨材資源



能登地区の骨材資源

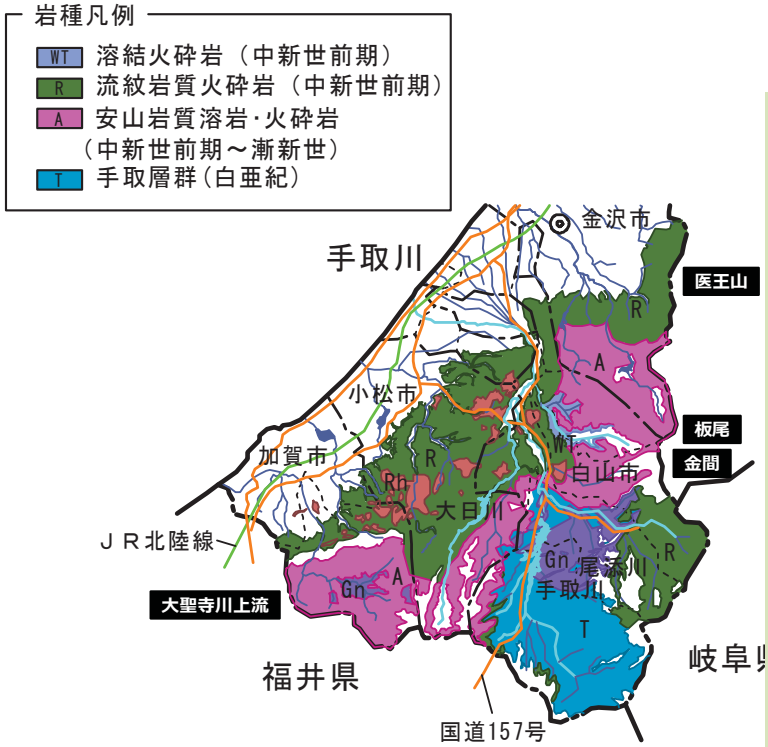
【砂岩】ss
- 七尾，高浜，志雄地区に分布する。

【溶結火砕岩】WT
- 鵜飼，内浦地区に分布する。

【安山岩】A
- 七尾以北に広く分布し，穴水累層と呼ばれる。門前剣地には黒崎安山岩が分布する。

【花崗岩】Gr
- 宝達山の全体に露出し，能登北西部では剣地，能登南部では鹿島二宮に分布する。

加賀地区の骨材資源



加賀地区の骨材資源

【溶結火砕岩】WT
- 直海谷川の板尾，金間地区に分布する。

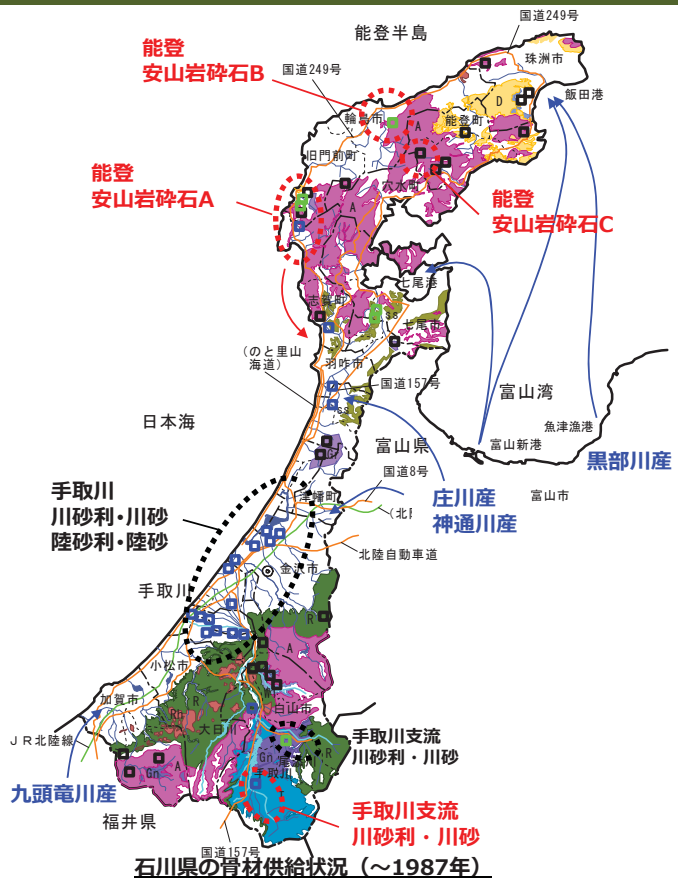
【流紋岩質火砕岩】R
- 医王山地域，手取川中流域，小松東南部山地一帯にかけて広く分布する。

【安山岩】A
- 金沢以南の山地部に広く分布する。大聖寺川上流の山中南部にも分布する。

【手取層群】T
- 礫岩からなる五味島層，砂岩と頁岩の互層からなる桑島層などからなる。

9

石川県の骨材供給状況



石川県の骨材供給状況（～1987年）

凡例
- 採石場＋生コンプラント
- 生コンプラント
- 採石場　（1987年調査）

【奥能登】
- 安山岩砕石が広く使用された。800～900万年前の新鮮な安山岩と2000万年前後の安山岩質溶岩である。珠洲では富山から輸送した川砂利･川砂も使用された。

【中能登】
- 富山から輸送した川砂利･川砂，奥能登の安山岩砕石が使用された。

【金沢市および近郊】
- 手取川の川砂利･川砂，陸砂利･陸砂が広く使用された。一部，富山産の川砂利･川砂も使用された。

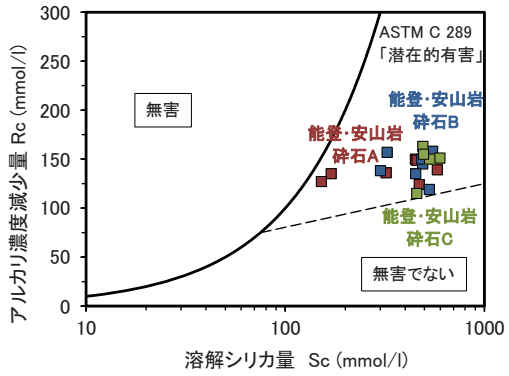
【白山市および近郊】
- 手取川の川砂利･川砂，陸砂利･陸砂が広く使用された。上流域では支流の川砂利･川砂が使用された。

【加賀】
- 九頭竜川産の骨材も使用された。

10

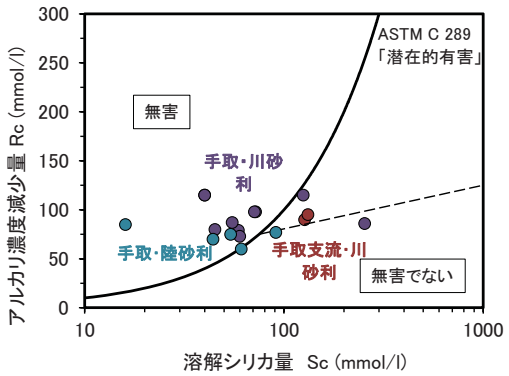
骨材のアルカリシリカ反応性

■化学法（JIS A1145）による判定結果（2006年）

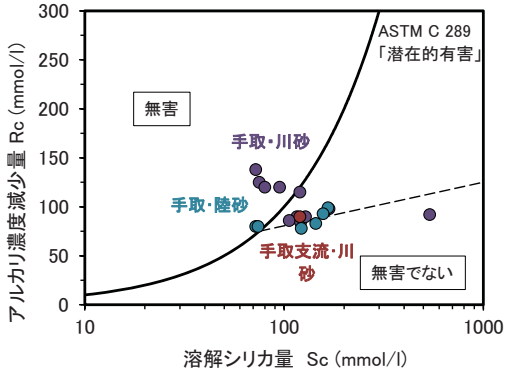


能登 安山岩砕石

- 能登の安山岩砕石は「無害でない」と判定されるとともに，ASTM C289における「潜在的有害」となり，50%～60%の範囲にペシマム混合率を持つ。クリストバライト，火山ガラスのScは大きく，モンモリロナイトのRcは大きい。
- 手取川の川砂利・陸砂利は判定ライン付近にプロットされる場合が多く，試料中の反応性鉱物の多少により判定結果が変わる可能性がある。
- 砂は砂利より比表面積が大きく，Sc，Rcの値がともに大きくなる傾向があった。



手取 川砂利・陸砂利，手取支流 川砂利



手取 川砂・陸砂，手取支流 川砂

11

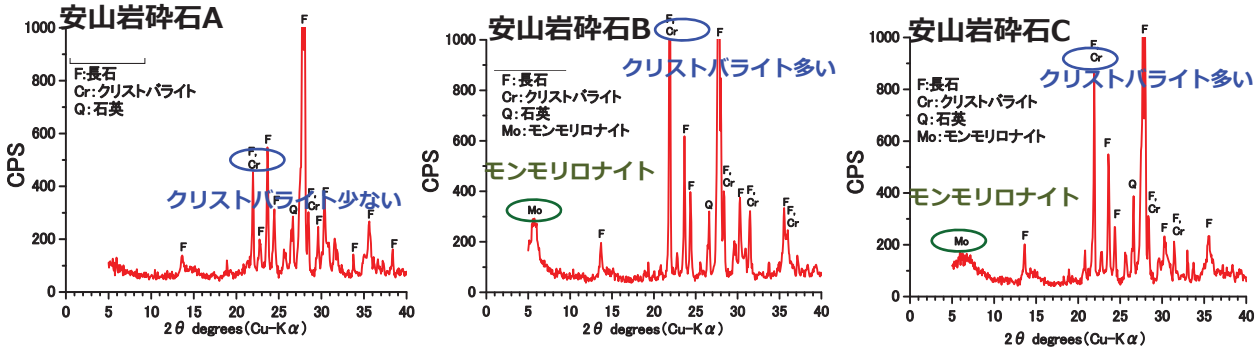
能登 安山岩砕石の岩石・鉱物学的特徴

■蛍光X線分析による化学成分

安山岩砕石の化学成分（%）

化学成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	P_2O_5	MnO	Total
安山岩砕石A	58.4	23.2	5.1	5.9	3.1	2.2	0.9	0.7	0.2	0.1	99.8
安山岩砕石B	63.1	20.2	5.0	4.6	3.2	1.5	1.4	0.7	0.2	0.1	100.0
安山岩砕石B	62.2	19.6	4.7	5.5	2.6	0.8	3.4	0.6	0.2	0.1	99.7
安山岩砕石C	60.7	20.1	5.9	4.8	3.2	1.8	2.3	0.7	0.2	0.1	99.8

■X線回折による鉱物同定



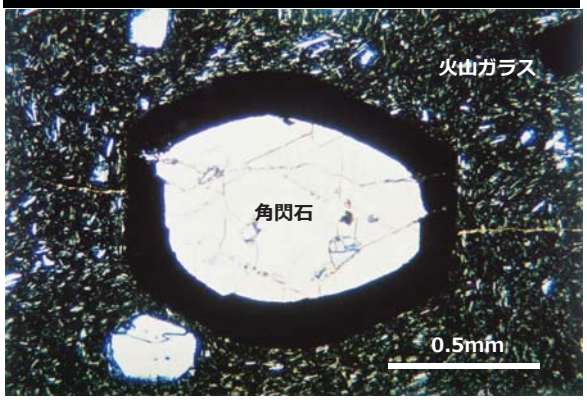
安山岩砕石のX線回折の結果

12

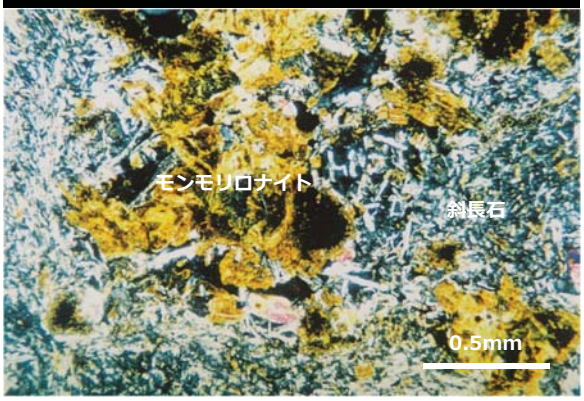
能登 安山岩砕石の薄片観察

■偏光顕微鏡観察

安山岩砕石A



安山岩砕石B

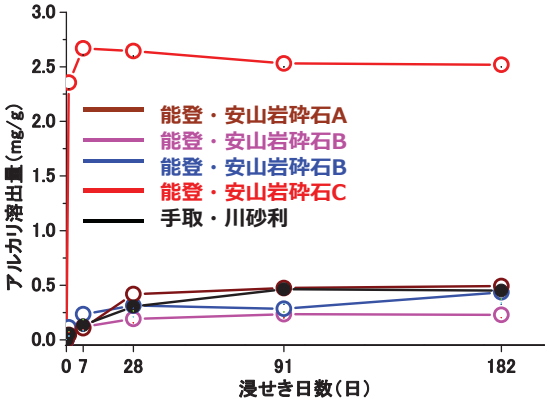


骨材の偏光顕微鏡観察の結果（直交ニコル）

- 能登の安山岩砕石には角閃石，斜長石などの鉱物とともにガラス相（石基）が存在し，その割合は地域ごとに相違していた。
- 安山岩砕石Aは，比較的新鮮なガラス相（直交ニコル下で黒色を呈する）が存在していた。
- 安山岩砕石Bは，ガラス相が風化，変質しており，モンモリロナイト（直交ニコル下で黄色を呈する）が空隙中に存在していた。

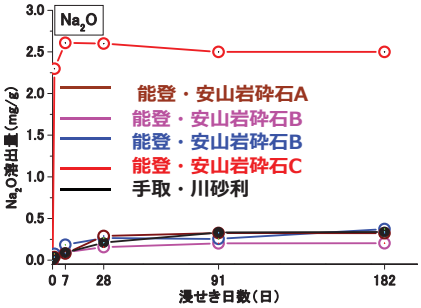
骨材からのアルカリ溶出性状

■原子吸光光度分析による溶出アルカリ濃度

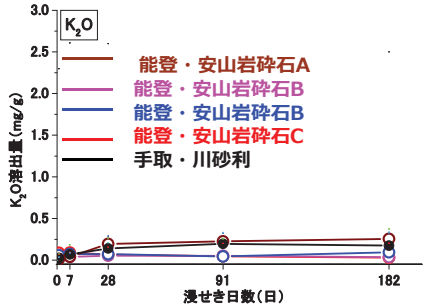


骨材からのアルカリ溶出量（NaO_2+0.658K_2O）

- 骨材50gを38℃の飽和水酸化カルシウム溶液100mlに浸せきし，骨材から溶出するアルカリ濃度Na^+およびKa^+イオンを原子吸光光度分析により測定した。
- 骨材からのアルカリ溶出量は，骨材1g当たりの等価アルカリ溶出量Na_2O+0.658K_2O(mg/1g)で表示した。
- 単純に砕石を砕砂として使用した場合，アルカリ溶出量を0.5mg/gとすると砕砂800kg/m^3で，約0.4kg/m^3の等価アルカリ量の溶出となる。



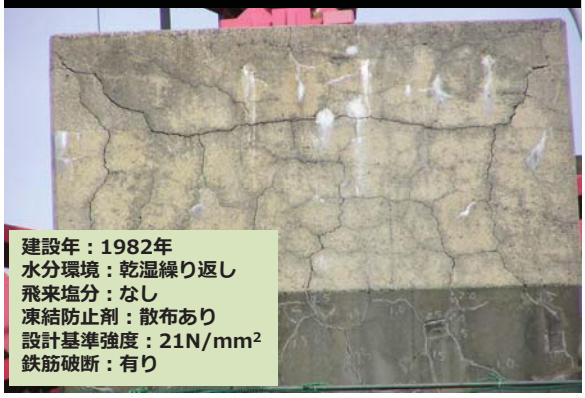
NaO_2の溶出性状



KO_2の溶出性状

実構造物のASR劣化事例１（能登 安山岩砕石A，七尾 砂）

はり

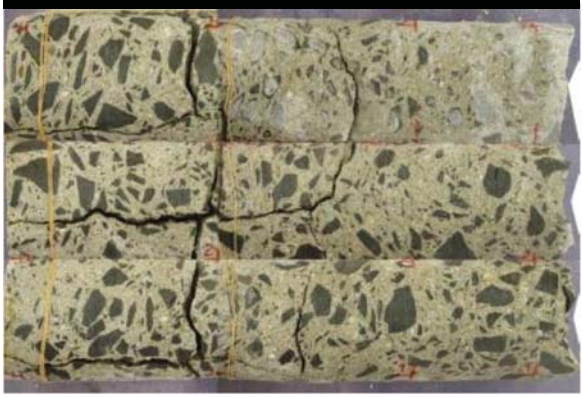


建設年：1982年
水分環境：乾湿繰り返し
飛来塩分：なし
凍結防止剤：散布あり
設計基準強度：21N/mm²
鉄筋破断：有り

柱

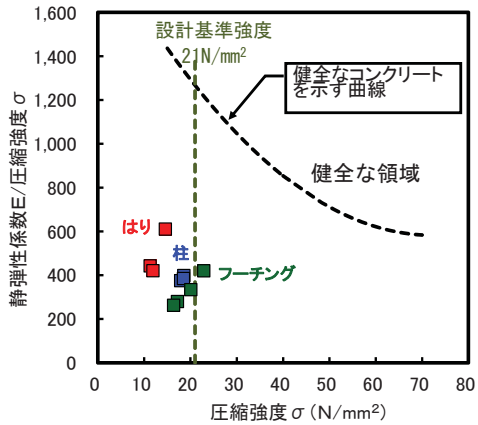
フーチング

コア展開写真Φ55mm

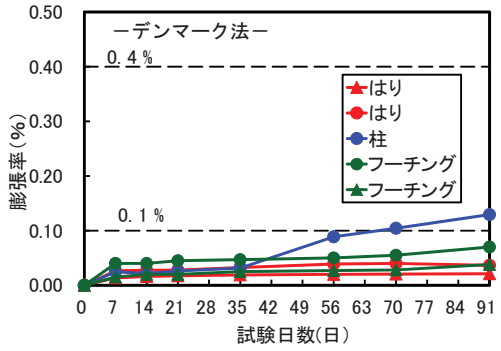


実構造物１のASRによる劣化程度

■圧縮強度と静弾性係数の関係

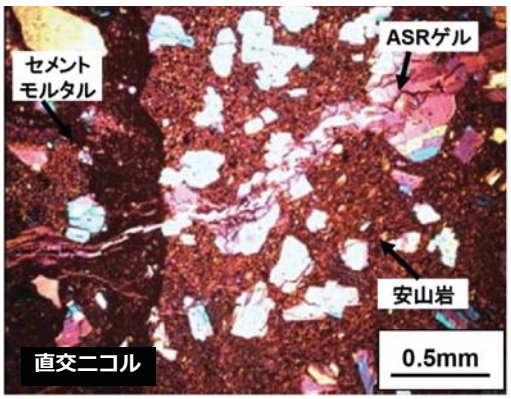


■促進養生試験（デンマーク法）



- 静弾性係数が健全な値の20～45%程度まで低下しており，コンクリート内部に微細なひび割れが進展していると推察された。
- 促進養生試験（デンマーク法）の試験日数91日目の膨張量が0.1%程度以下であり，残存膨張性の可能性はあまりないと推察された。
- 安山岩（粗骨材）から発生したひび割れがセメントペースト中に発展していた。

■偏光顕微鏡による薄片観察

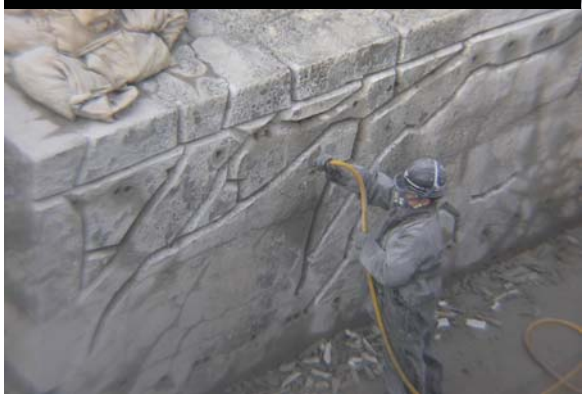


対策工の事例１

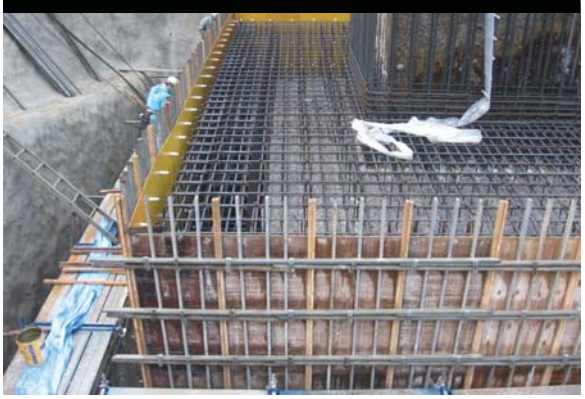
柱のひび割れ注入工

柱のＲＣ巻立て（耐震補強）

フーチングのひび割れ充填工（前処理）



フーチングの拡幅・増厚（耐震補強）



17

実構造物のASR劣化事例２（能登 安山岩砕石B，鳥屋 砂）

橋　台

橋　台

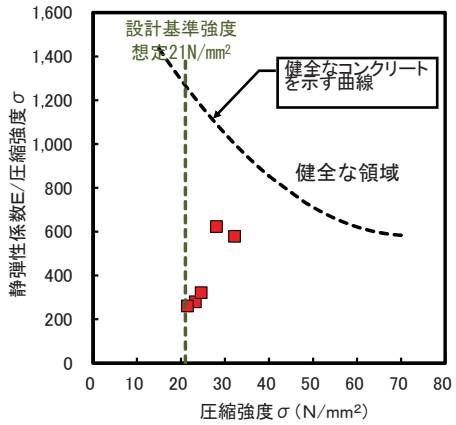
表面被覆工を除去した後

コア展開写真Φ55mm

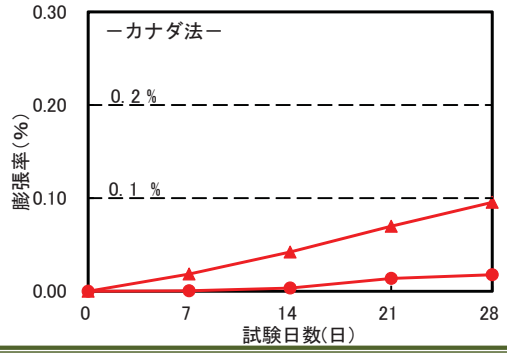
18

実構造物２のASRによる劣化程度

■圧縮強度と静弾性係数の関係

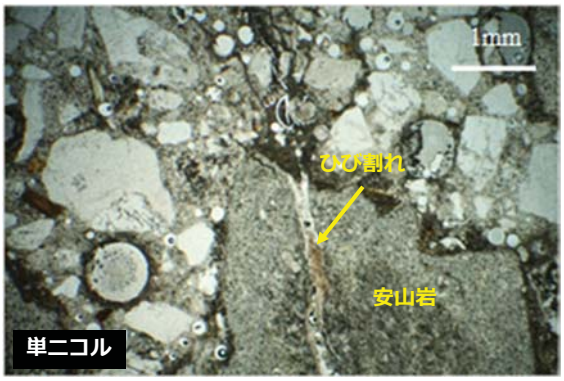


■促進養生試験（カナダ法）



- 静弾性係数が健全な値の25～65%程度まで低下しており，コンクリート内部に微細なひび割れが進展していると推察された。
- 促進養生試験（カナダ法）の試験日数21日目の膨張量が0.1%以下であり，残存膨張性の可能性はあまりないと推察された。
- 安山岩（粗骨材）から発生したひび割れがセメントペースト中に発展していた。

■偏光顕微鏡による薄片観察



19

対策工の事例２

表面被覆工の劣化

ブラストによる表面被覆工の除去

ひび割れ注入工＋表面含浸材

ひび割れ注入工＋表面含浸材

20

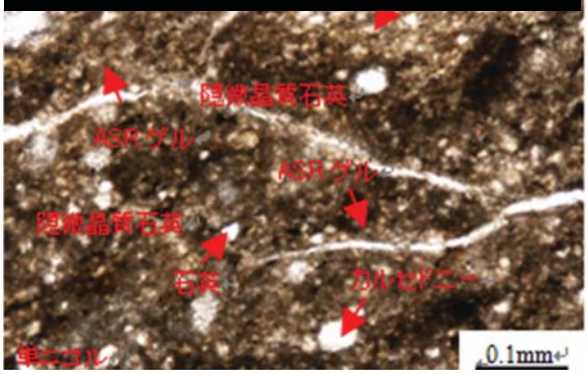
石灰石骨材のアルカリシリカ反応性

■石灰石骨材の使用と問題点

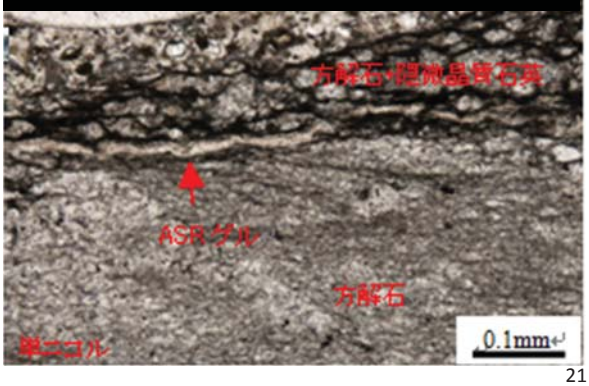
- 石灰石骨材はコンクリートの乾燥収縮低減効果があり，わが国のものは不純物が少なくASRを抑制することから，使用される機会が増えている。
- 一方で，石灰石鉱山中の頁岩や，チャート，砂岩などの堆積岩互層のはさみ層の混入によるASRの問題，石灰石骨材中の隠微晶質石英による遅延膨張性のASRの問題がある。
- 石灰石骨材のASRは，化学法（JIS A1145）やモルタルバー法（JIS A1146）により適切に評価できない。これは石灰石の構成鉱物，方解石やドロマイトはアルカリ溶液中で化合物を生成し，アルカリを消費するためである。

■石灰石骨材の促進モルタルバー試験（ASTMC1260）終了後の偏光顕微鏡による薄片観察

石灰石骨材に混入したチャート粒子からセメントペーストへ延びるゲルに充填されたひび割れ



石灰石粒子泥質部の隠微晶質石英によるゲルに充填されたひび割れ



21

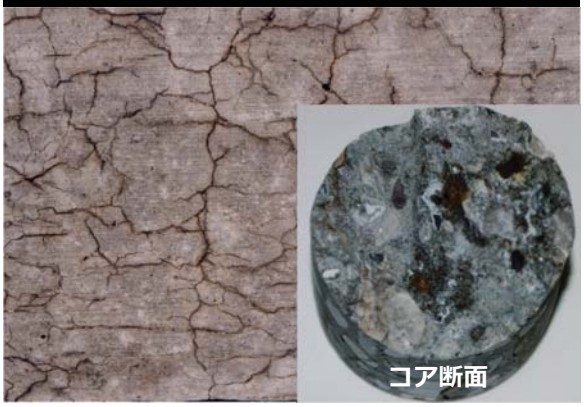
石灰石砕石と反応性の山砂によるPC舗装版のASR劣化

■PC舗装版のひび割れ

- 建設後，約2年で表面に0.5～1mm幅のひび割れが発生した。中央部ではプレストレスカによりPC鋼線に沿ったひび割れとなり，端部目地部では亀甲状のひび割れとなり，その後破壊し，取替られた。）
- コンクリートのアルカリ総量は約2.2kg/m^3，粗骨材は石灰石砕石，細骨材は山砂が使用されていた。
- 山砂は化学法（JIS A1145）「無害でない」，モルタルバー法（JIS A1146）「無害」の判定であった。
- コア断面より，石灰石砕石には反応はみられず1～3mmの黒色，褐色の粒子に反応リムとASRゲルが確認された。石灰石はアルカリを消費しないため，山砂中の限られた粒子のみが反応していた。
- ASRが発生するアルカリ量は反応性骨材の量との相対的な関係に留意する必要があった。

PC鋼線に沿ったひび割れ

亀甲状ひび割れ（端部目地部）



22

本題目のまとめ

1. 石川県の骨材は，能登の安山岩砕石，手取川の川砂利･川砂，陸砂利･陸砂と，富山県の庄川，神通川，黒部川の川砂利，さらに福井県の九頭竜川の川砂利が使用されていた。

2. 能登の安山岩は，ガラス相の量が地域ごとに相違していた。800～900万年前の比較的新鮮な安山岩はガラス相が多く存在し，2000万年前後前のものはガラス相が風化･変質しモンモリロナイトが存在していた。これら2種類の安山岩砕石を使用したASR劣化構造物の劣化状況の差異は明確ではなかった。さらにデータの蓄積が必要であると考えられた。

3. 石灰石のASR判定に化学法を適用するのは適切ではなかった。石灰石と反応性の細骨材の組合せでは，アルカリ総量2kg/m^{3}程度でもASRが発生する場合があった。

ASR劣化構造物の維持管理の課題

■ 骨材資源やその供給状況は地域ごとに異なるため，ASRによる影響を受けた構造物の評価判定や維持管理には，地域の骨材事情に関するデータの蓄積や，補修･補強後の効果確認に関するデータの充実が求められる。

ASR劣化構造物データの一例

種類	建設年	環境条件					使用条件					劣化状況			詳細調査			対策
		日射	水分供給	飛来塩分	凍結防止剤	凍害	セメント	W/C	設計強度	粗骨材	細骨材	ひび割れ幅	鉄筋破断	その他特徴	圧縮静弾性	岩種構成	アルカリ	
橋脚	1984	大	乾湿	多	有	無	N	–	24	能登安山岩	山砂	10 mm	有	水平ひび割れ	–	–	–	部分打換え
トンネル	1980	小	無	少	無	軽微	N	–	18	手取川砂利	手取川砂	3 mm	無	亀甲ひび割れ	–	–	–	ひび割れ注入

参 考 論 文

1）コンクリート工学協会：作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会 報告書，2008.

2）鳥居，大代，山戸，平野：石川県の反応性骨材とASR劣化構造物のデータベース化，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，2008

3）山戸，南，大代，鳥居：石川県産骨材のアルカリシリカ反応性の評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，2007.

4）鳥居，野村，本田：北陸地方の反応性骨材の岩石学的特徴と骨材のアルカリシリカ反応性試験の適合性，土木学会論文集No.767，2004.

5）湊，鳥居：能登有料道路のASR劣化橋梁と反応性骨材の岩石学的特徴，材料Vol.59，No.10，2010.

6）奥山，鳥居：実構造物から採取したASR劣化コアのクリープ性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，2009.

7）山戸，広野，中島，鳥居：石灰石骨材の岩石・鉱物学的特徴とアルカリシリカ反応性の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，2013.

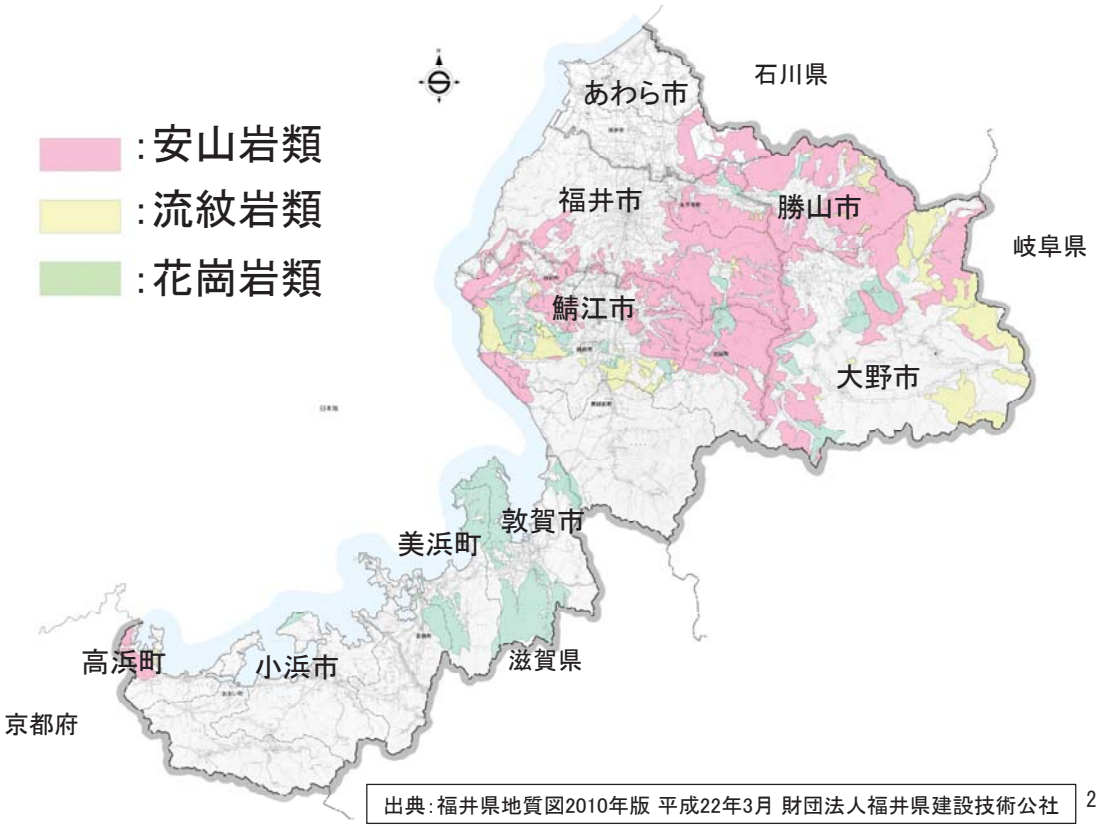
8）尾花，鳥居：プレストレストコンクリート・プレキャストコンクリート部材におけるASR劣化の事例検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，2008.

「北陸地方におけるASR問題の解決のために今，何をすべきか」

福井県のASR劣化構造物の実態調査と反応性骨材の地域的な分布

東京コンサルタンツ株式会社　湊　俊彦
株式会社国土開発センター　浦　修造

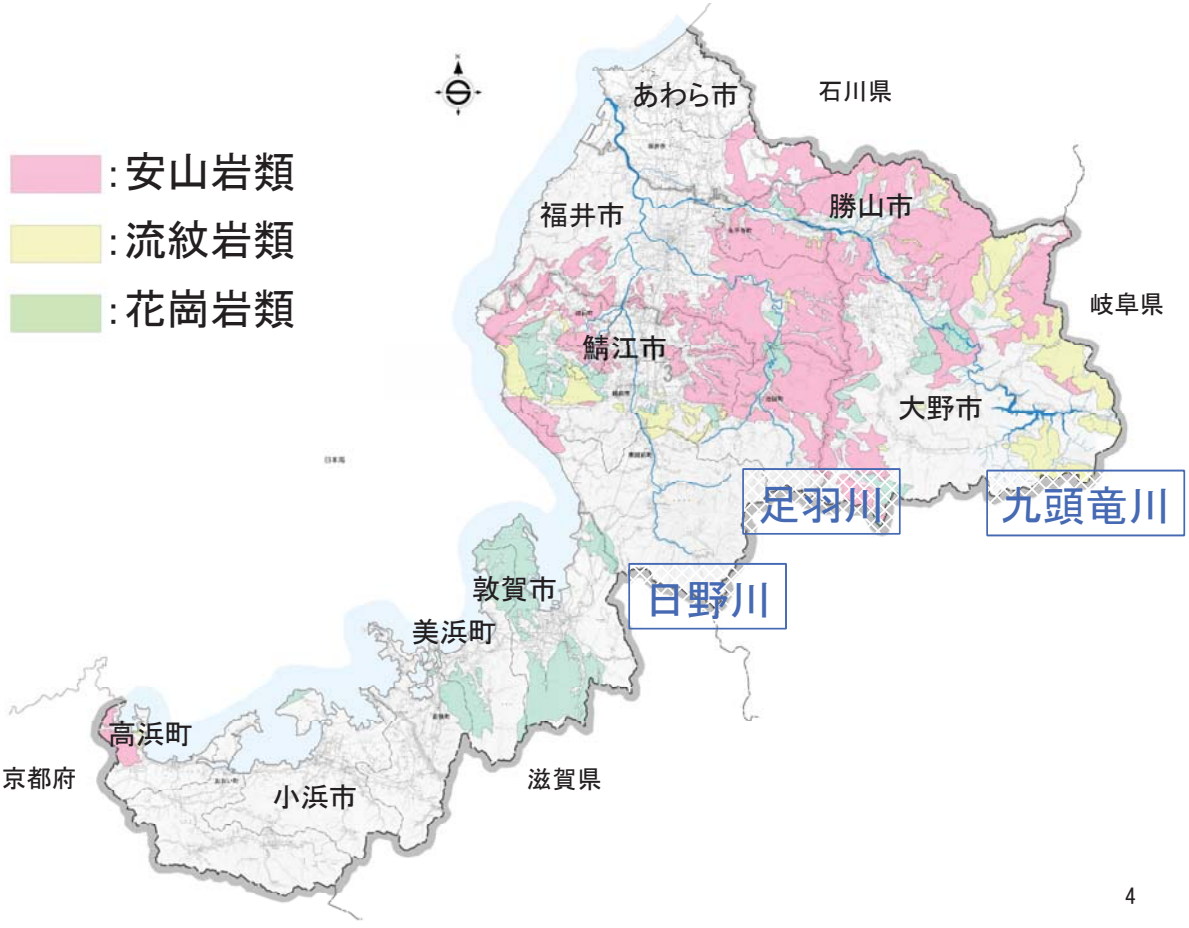
1．福井県の地質概要と河川水系



出典:福井県地質図2010年版 平成22年3月 財団法人福井県建設技術公社

あわら市
石川県
勝山市
福井市
岐阜県
鯖江市
大野市
足羽川
九頭竜川
日野川
敦賀市
美浜町
高浜町
小浜市
滋賀県
京都府

3

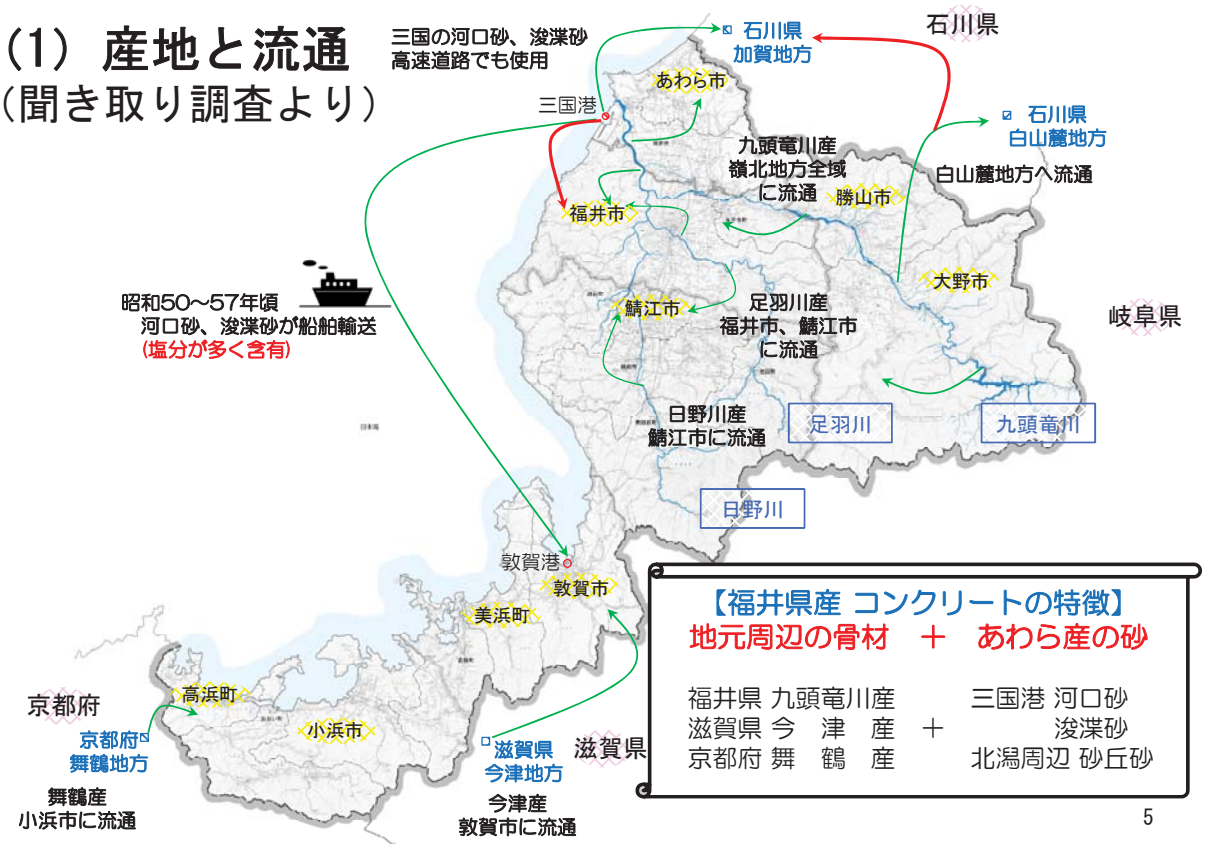

:安山岩類
:流紋岩類
:花崗岩類
あわら市
石川県
福井市
勝山市
岐阜県
鯖江市
大野市
足羽川
九頭竜川
日野川
敦賀市
美浜町
高浜町
京都府
小浜市
滋賀県

4

2．コンクリート用骨材の特徴

（1）産地と流通

（聞き取り調査より）



5

■大野市，勝山市，福井市の大部分，坂井市，あわら市，
　＆石川県加賀市
→九頭竜川水系の川砂・川砂利

■福井市の一部，鯖江市
→足羽川水系

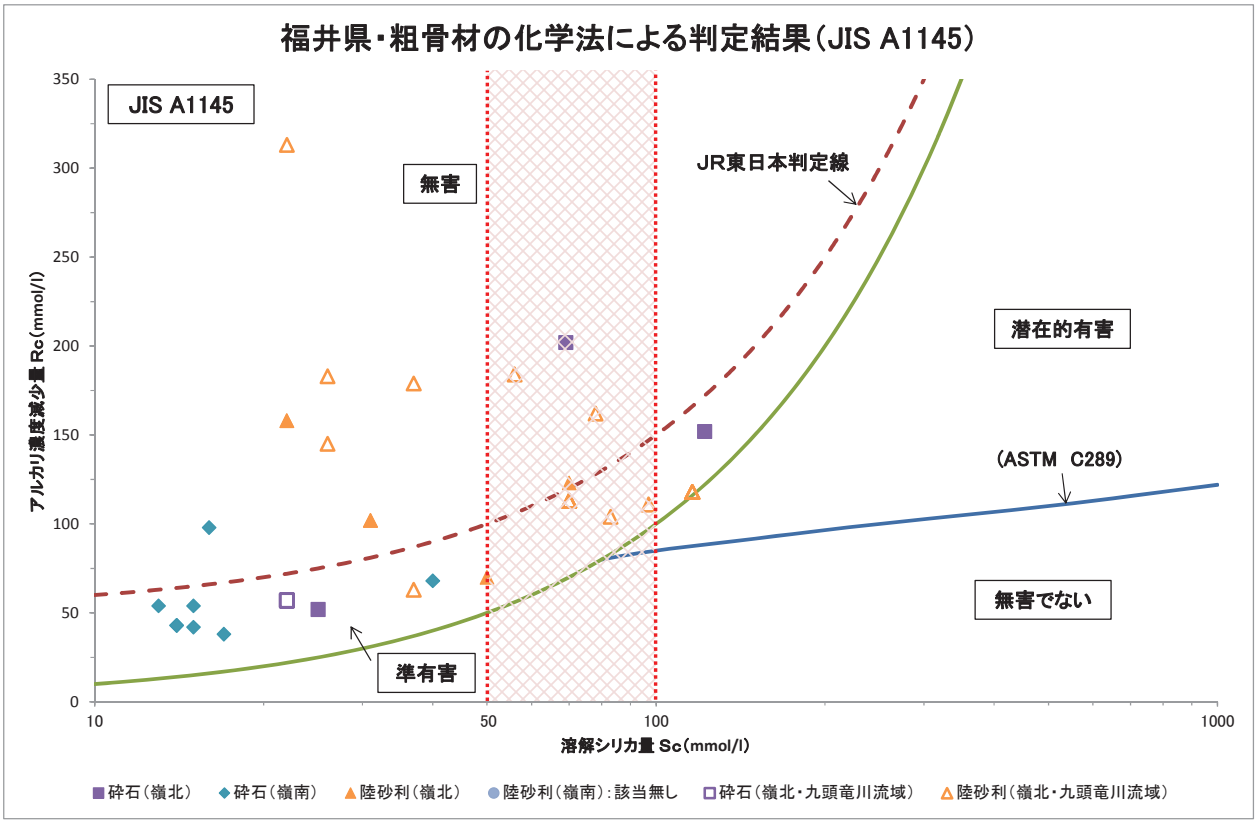
■鯖江市，武生市
→日野川水系、南条赤萩産の山砕石（チャート）

■敦賀市、小浜市
→一部は硬質砂岩（滋賀県産），閃緑岩，北川水系の骨材など

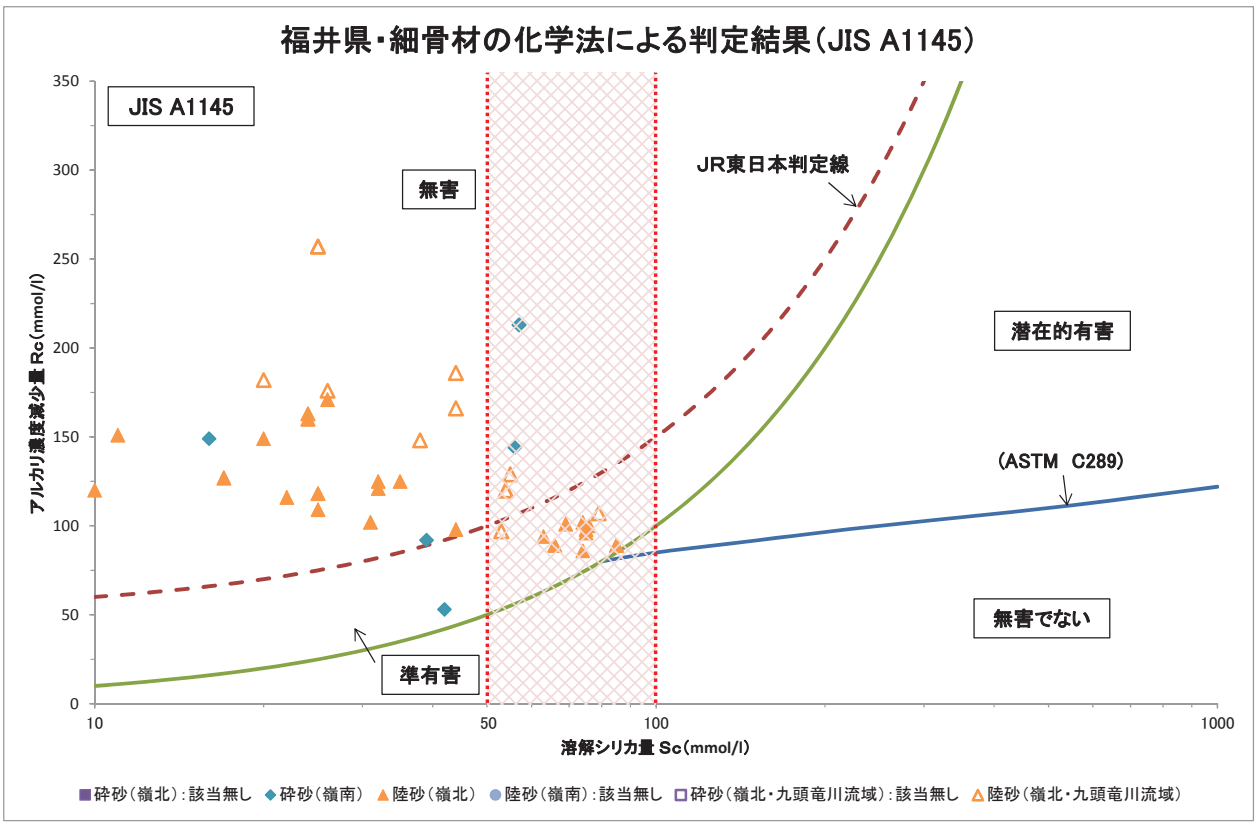
嶺南地区の骨材の使用状況は
調査が不十分

6

(2) 化学法による試験結果



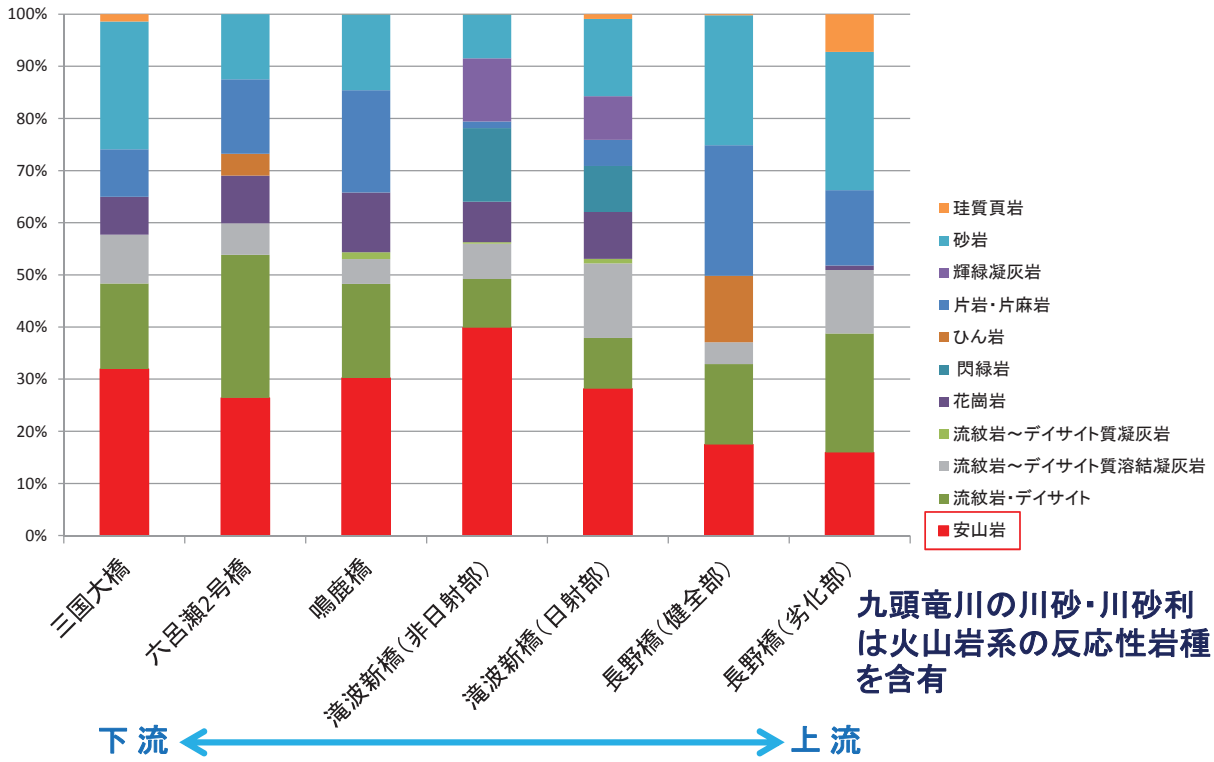
7



8

（3）九頭竜川産砂利の岩石・鉱物学的特徴

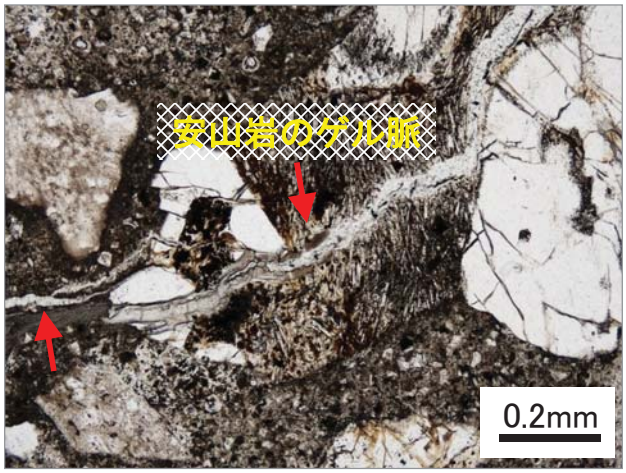
1）岩種構成率の算出結果



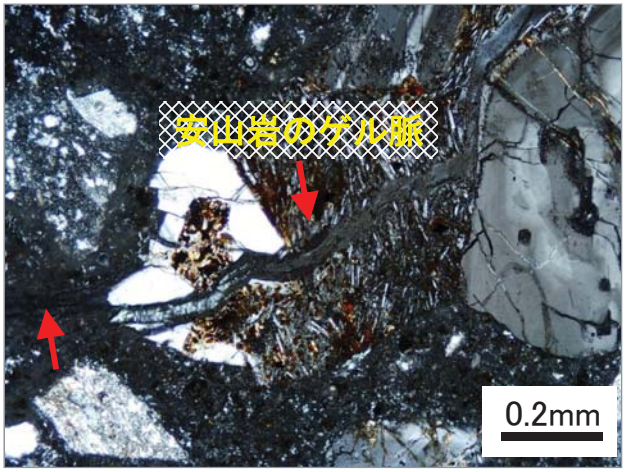
九頭竜川の川砂・川砂利は火山岩系の反応性岩種を含有

9

2）偏光顕微鏡による薄片観察結果



(OPC)：単ニコル



(OPC)：直交ニコル

10

3）まとめ

■骨材の岩種

含有率の多いものから順に，流紋岩溶結凝灰岩，安山岩，砂岩，閃緑岩，花崗岩，玄武岩であった。安山岩の構成割合は２０から３０%であった。

■骨材の反応性鉱物

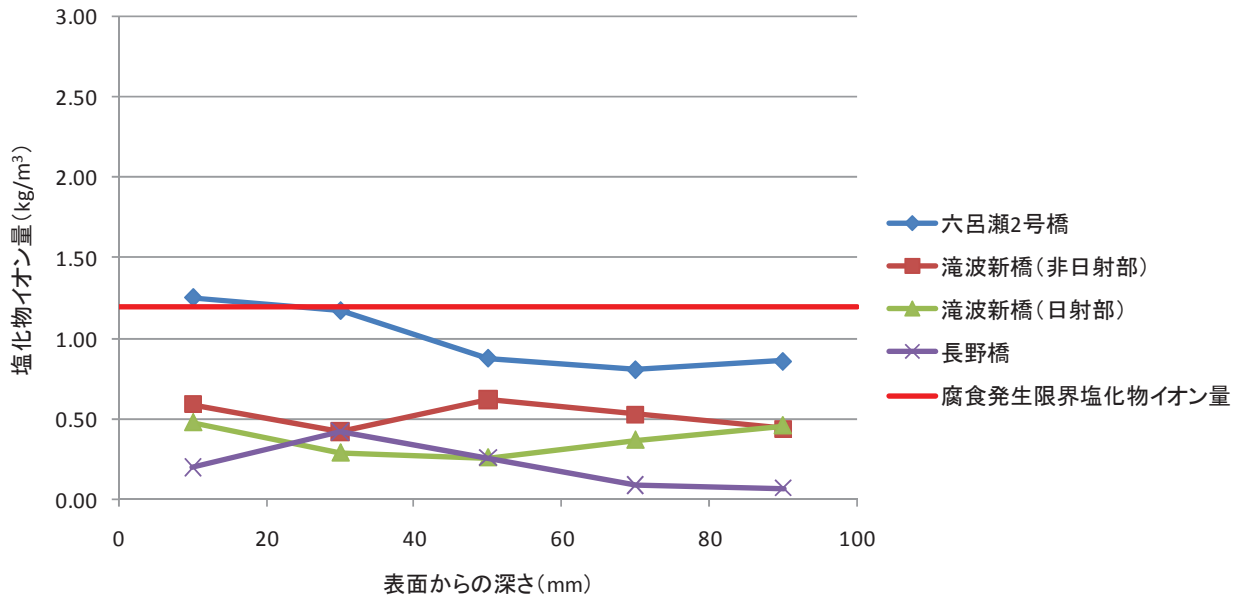
安山岩には反応性鉱物として，火山ガラス，クリストバライト，トリディマイトなどが確認されたが，富山県・常願寺川産の川砂利と比べて，火山ガラスを含むものが多かった（常願寺川産はクリストバライト，トリディマイト，オパールをより多く含有する）。

■反応性の岩種

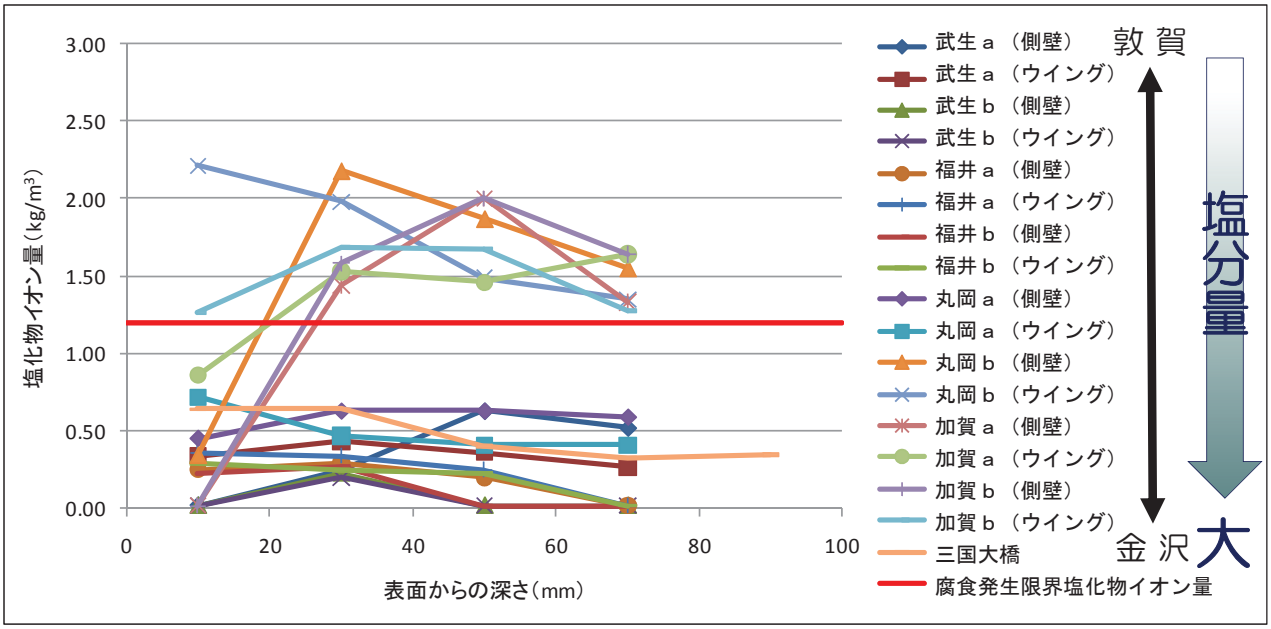
ASRが発生している場合の岩種は安山岩であった。従って，その含有量で反応性の大小が評価できる。

（4）塩分浸透状況

1）凍結防止剤（外来型）



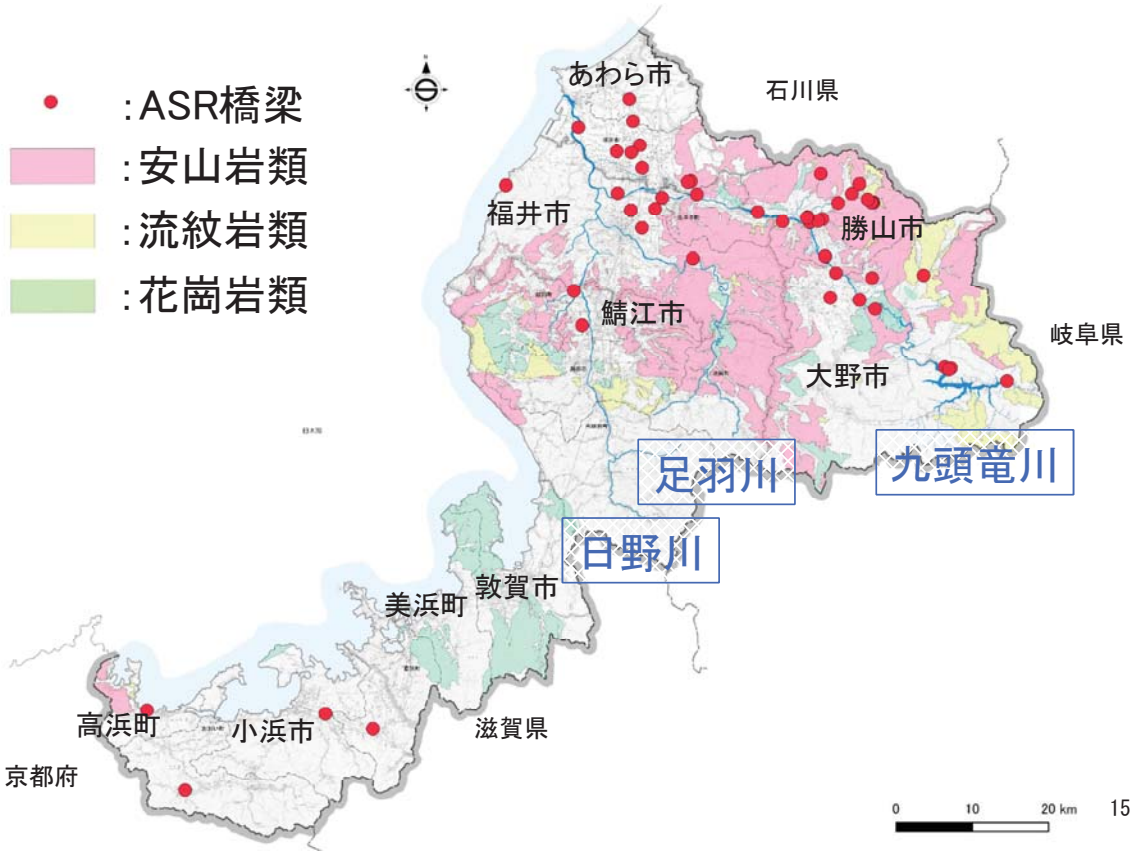
2）内在塩分（未除塩の河口砂）



【橋台の塩害事例】

拡大

3． ASR劣化構造物の実態調査



（1） 九頭竜川流域

■上流域【山間部】 事例1：TM橋1967年（S42年）

16

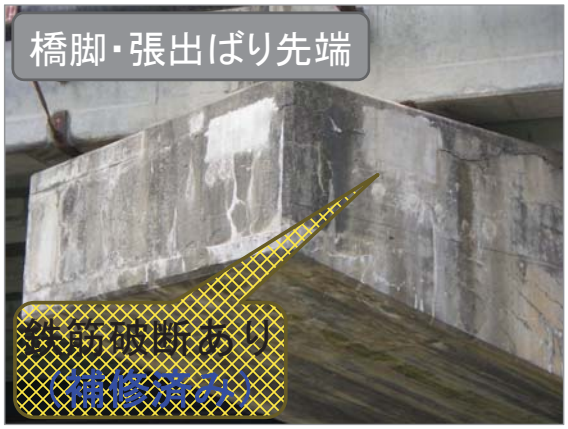
■上流域【山間部】　事例2：EK橋1963年（S38年）

17

■中流域【平野部】　事例3：KM橋[上り]1980年（S55年）

18

■中流域【平野部】　事例4：TK橋[上り]1980年（S55年）



19

■中流域【平野部】　事例5：NR橋1976年（S51年）

20

■下流域【海岸部】　事例6：MK橋1981年（S56年）

21

■下流域【平野部】　事例7：YS橋1975年（S50年）

22

■その他【平野部】　事例8：MD橋(主塔)1991年（H3年）

反応性骨材：川砂・川砂利（日野川）

アップ

23

■その他【平野部】　事例9：PCa・L型擁壁 2000年（H12年）

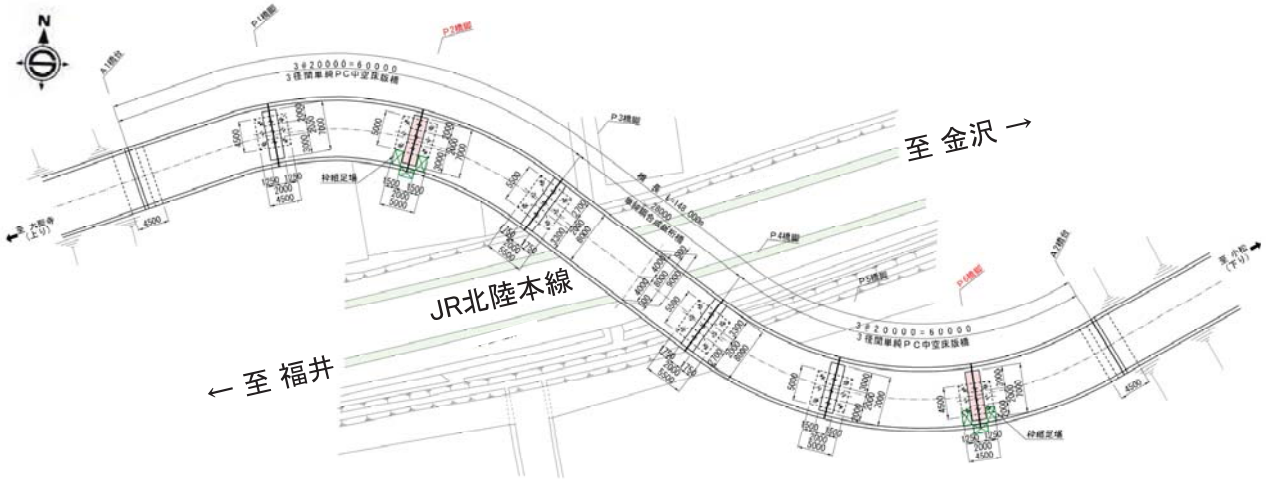
反応性骨材：川砂・川砂利（九頭竜川水系）

24

■その他【平野部】　事例10：IB橋1975年（S50年）

（九頭竜川の骨材が石川県加賀市に流通した事例）

平面図



25

事例10：IB橋1975年（S50年）

反応性骨材：川砂・川砂利（九頭竜川）

26

4．今後の対応

ASR抑制対策

a)コンクリート中のアルカリ総量の抑制

アルカリ量が表示されたポルトランドセメント等を使用し，コンクリート1m³に含まれるアルカリ総量をNa_2O換算で3.0kg以下にする。

b)抑制効果のある混合セメント等の使用

JIS R 5211 高炉セメントに適合する高炉セメント(B種又はC種)又はJIS R 5213フライアッシュセメントに適合するフライアッシュセメント(B種又はC種)，若しくは混和材をポルトランドセメントに混入した結合材でアルカリ骨材反応抑制効果の確認されたものを使用する。

c)安全と認められる骨材の使用

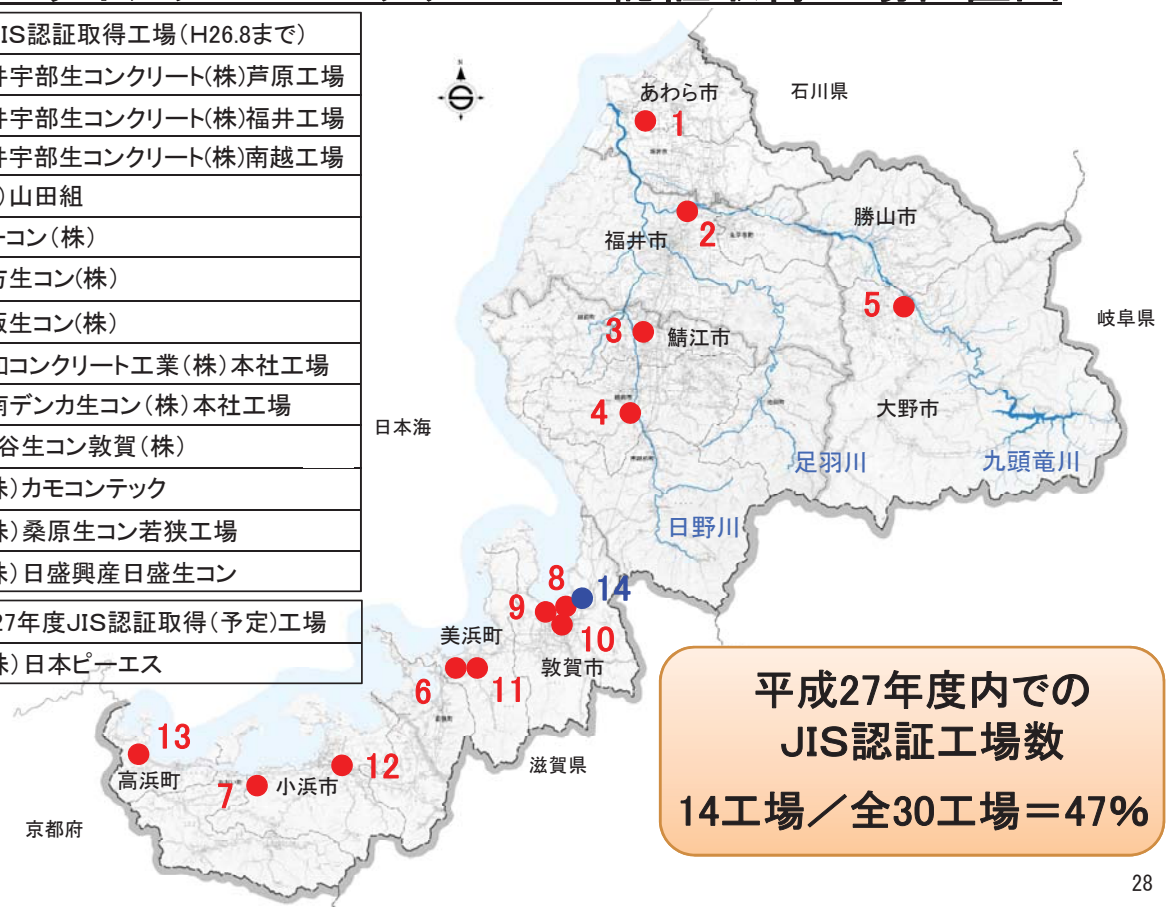
骨材のアルカリシリカ反応性試験(化学法又はモルタルバー法)の結果で無害と確認された骨材を使用する。

27

フライアッシュコンクリートJIS認証取得工場位置図

JIS認証取得工場(H26.8まで)
1.福井宇部生コンクリート(株)芦原工場
2.福井宇部生コンクリート(株)福井工場
3.福井宇部生コンクリート(株)南越工場
4.(株)山田組
5.ユーコン(株)
6.美方生コン(株)
7.大飯生コン(株)
8.大和コンクリート工業(株)本社工場
9.嶺南デンカ生コン(株)本社工場
10.三谷生コン敦賀(株)
11.(株)カモコンテック
12.(株)桑原生コン若狭工場
13.(株)日盛興産日盛生コン

H27年度JIS認証取得(予定)工場
14.(株)日本ピーエス



平成27年度内での JIS認証工場数

14工場／全30工場＝47%

28

金沢大学SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）シンポジウム
「北陸地方におけるASR問題の解決のために今、何をすべきか」

話題提供

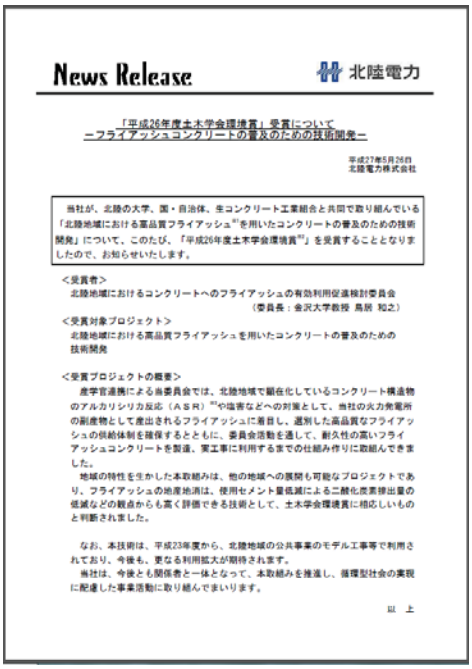
1．北陸地方のフライアッシュの発生状況等

2．フライアッシュによるASR抑制対策

平成27年9月25日
北陸電力株式会社
土木部土木技術チーム
参納　千夏男

「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同で取り組んでいる「北陸地域における高品質フライアッシュ[※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＞
産学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（ASR）[※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体となって、本取組みを推進し、循環型社会の実現に配慮した事業活動に取り組んでまいります。

以　上

H27.5.26　プレスリリース

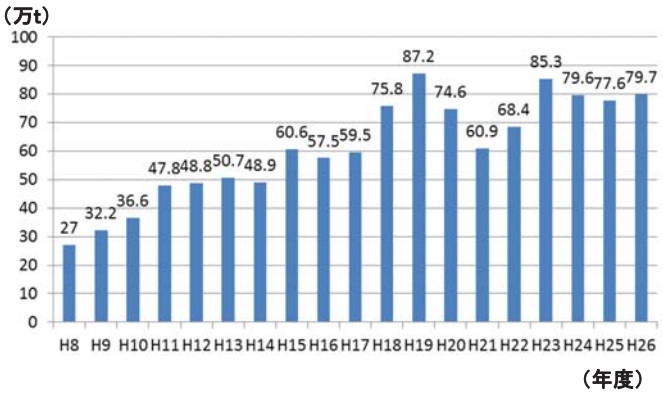
H27.6.12　授賞式の様子

1．北陸地方のフライアッシュの発生状況等

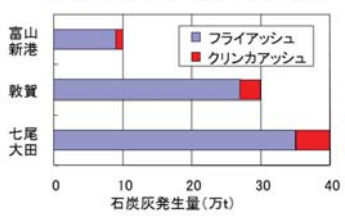
【北陸地方の石炭火力発電所の状況】

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)

【石炭灰発生量の推移】



【発電所別石炭灰発生量(H26年度)】

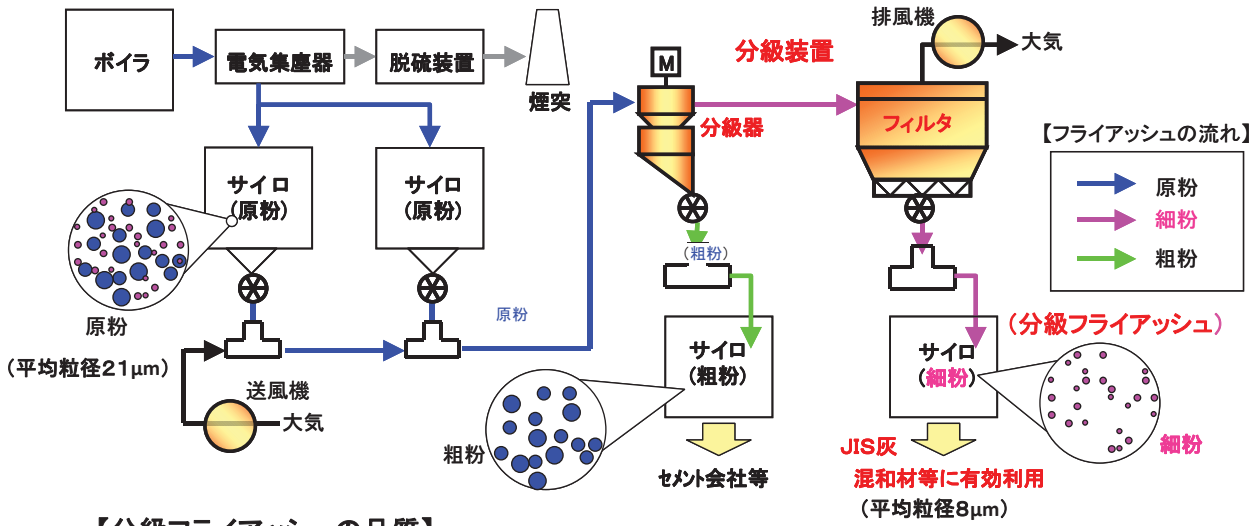


【石炭灰のリサイクル用途(H26年度)】

用途		比率(%)	量(万t)
セメント原料(粘土代替)	国内	45.5	36.3
	国外	35.4	28.2
セメント分野(粘土代替以外)		6.3	5.0
土地造成材		0.2	0.2
再生路盤材		3.2	2.6
建築分野		4.8	3.8
地盤改良材		1.4	1.1
土木分野		3.1	2.5

3

【分級フライアッシュの製造】(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)製造可能)



【分級フライアッシュの品質】

JIS項目		規格値 JIS Ⅱ種	七尾大田火力発電所 (H22.1～H27.7まで)		敦賀火力発電所 (H24.12～H27.7まで)	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差
粉末度	比表面積(cm²/g)	2,500以上	4，697	209	4，661	144
活性度指数	材齢28日	80以上	95	6	90	5
	材齢91日	90以上	106	4	103	4

4

【フライアッシュの供給体制】

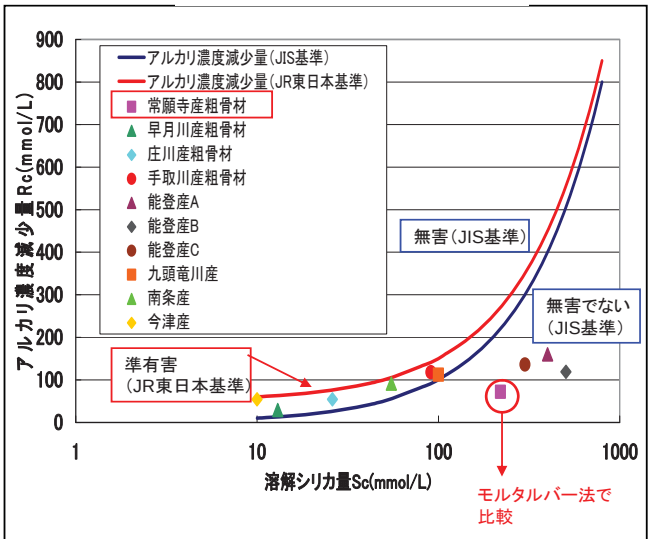
・フライアッシュの出荷拠点は計６箇所
・北陸産分級フライアッシュの製造能力は、合計６万ｔ/年
（七尾大田火力発電所：３万ｔ/年、敦賀火力発電所：３万ｔ/年）

2. 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）

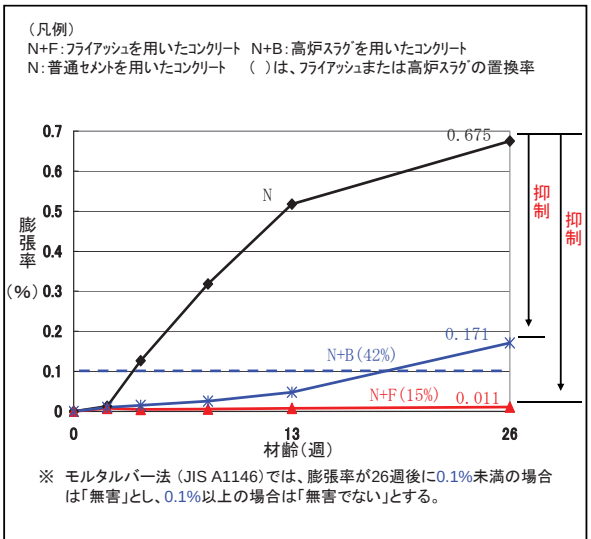
・ASR抑制効果に関して、化学法およびモルタルバー法により、比較評価を実施
・フライアッシュを混和した場合、常願寺川産の反応性の高い骨材に対しても膨張が抑制され、フライアッシュには優れたASR抑制効果があることが検証できた。

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

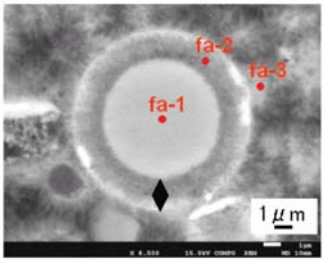
【フライアッシュによるASR抑制メカニズム】

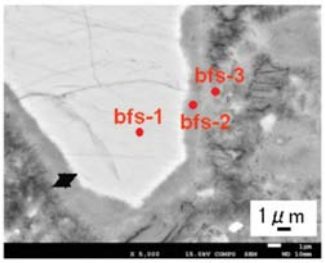
○一般的な解釈

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。

まとめ

1．フライアッシュの供給に関して

・供給量・・・十分

・品質・・・良好

・供給体制・・・整っている

2．フライアッシュによるASR抑制対策

・ASR対策・・・混和材による対策が有効

・フライアッシュの抑制効果

・・・北陸地方では、確認済（置換率15%）

「北陸地方におけるASR問題の解決のために今、何をすべきか」

結論（自論）

北陸地方においては、

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。

フライアッシュを使うことができる仕組み作りが重要

・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の整備

・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及びフライアッシュコンクリートの配合設計

・発注者が設計に積極的にフライアッシュの使用を取り入れていくこと

⇒ 関係者間での連携、ルール作りが必要

「北陸地方におけるASR問題の解決のために今，何をすべきか」

北陸地方でのRC床版劣化の実態と対策の動向

未来の自然を考える 株式会社国土開発センター 測量・調査・設計・総合コンサルタント
浦　修造

1. 北陸地方でのRC床版劣化の実態（特長）

- 国道157号、国道158号などでS31年ならびにS39年の示方書にもとづく、床版厚さが極端に薄い(170mm程度)床版が多く建設されている。この路線は、J-POWER(電源開発株式会社)が手取ダム(国道157号)、九頭竜ダム(国道158号)の建設工事用道路として建設した。
- 反応性骨材(手取川産、九頭竜川産など)を用いたコンクリートで建設されており「アルカリシリカ反応(ASR)」が発生。
- 上記の路線は、標高の高い場所に架橋されていることから「凍害&凍結防止剤での塩害」による複合劣化が発生。
- 北陸自動車道では、反応性骨材によるASRと冬期間における多量の凍結防止剤により「ASR&塩害」が発生。
- 北陸自動車道では、床版補強として上面増厚補強を平成5年頃を中心に実施したが、補強部と既設部の境界面での「剥離&水平ひび割れ」が発生。

1. 北陸地方でのRC床版劣化の実態（石川県）

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

3

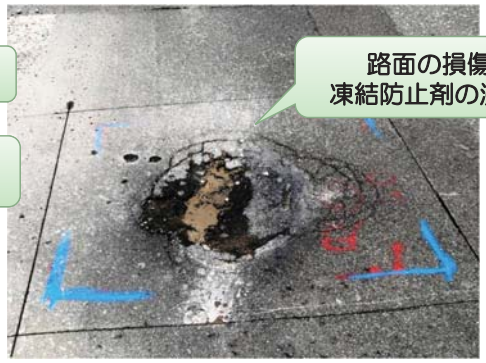
1. 北陸地方でのRC床版劣化の実態（富山県）

産地：庄川産の砂利および砂
劣化：顕著なASR

4

1. 北陸地方でのRC床版劣化の実態（福井県）

産地：九頭竜産の砂利および砂
劣化：顕著なASRおよび強度低下あり



5

1. 北陸地方でのRC床版劣化の実態（NEXCO）

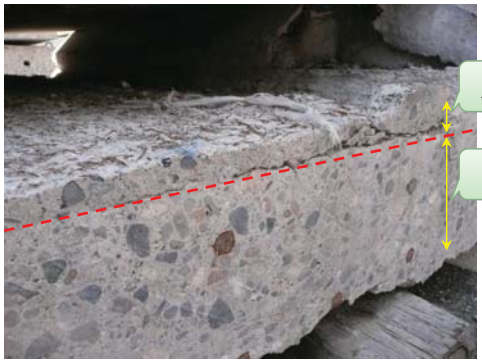
産地：常願寺産の砂利および砂
劣化：顕著なASRおよび強度低下あり

産地：早月川産の砂利および砂
劣化：軽微なASRおよび強度低下なし

6

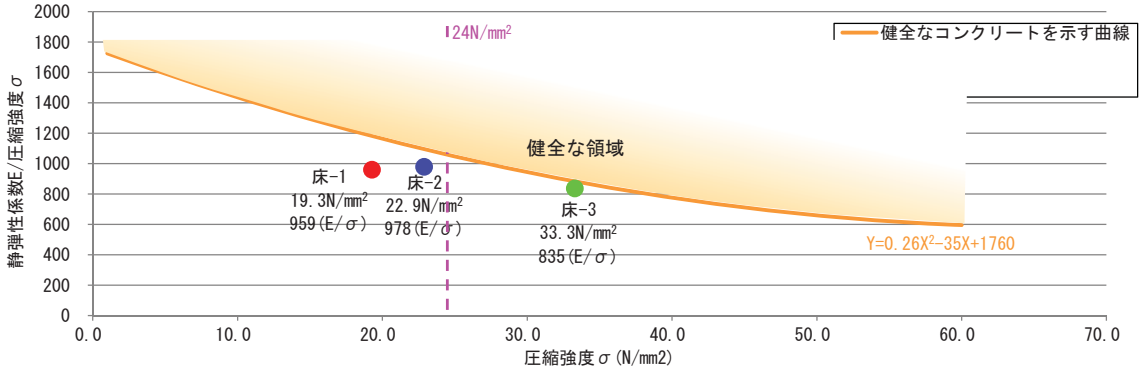
1. 北陸地方でのRC床版劣化の実態(NEXCO)

産地：庄川産の砂利および砂
劣化：軽微なASRおよび強度低下なし

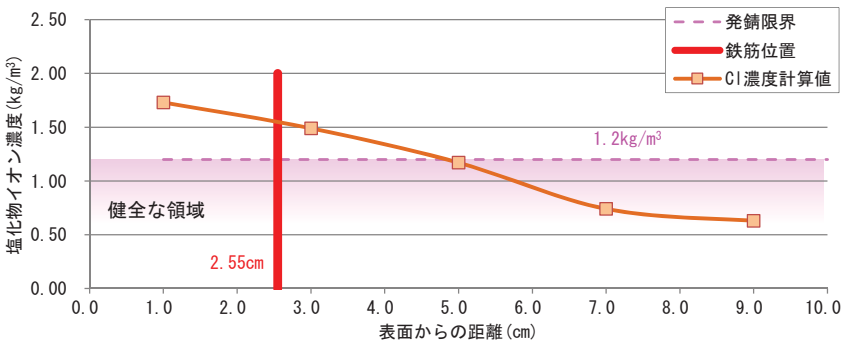


2. 劣化したRC床版でのコンクリート試験

【圧縮強度と静弾性係数の計測試験】

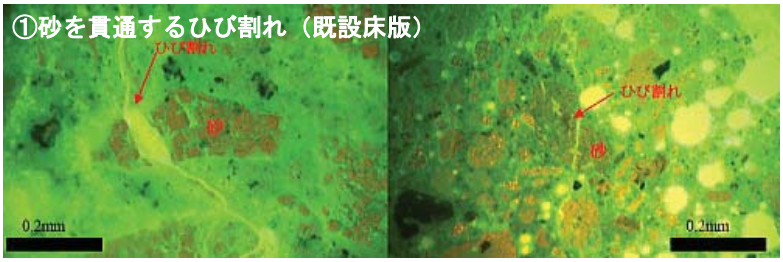


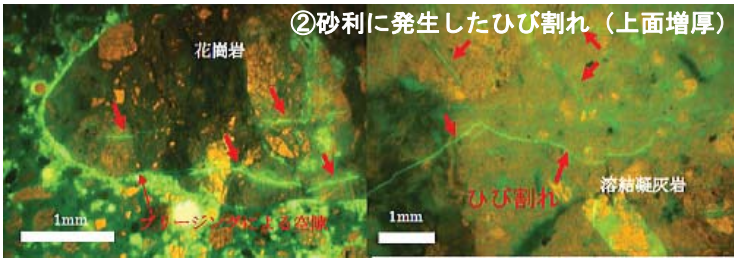
【含有塩化物イオン量試験】

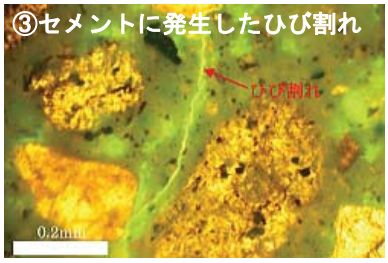


2. 劣化したRC床版でのコンクリート試験

【採取コアの分析(薄片観察)】



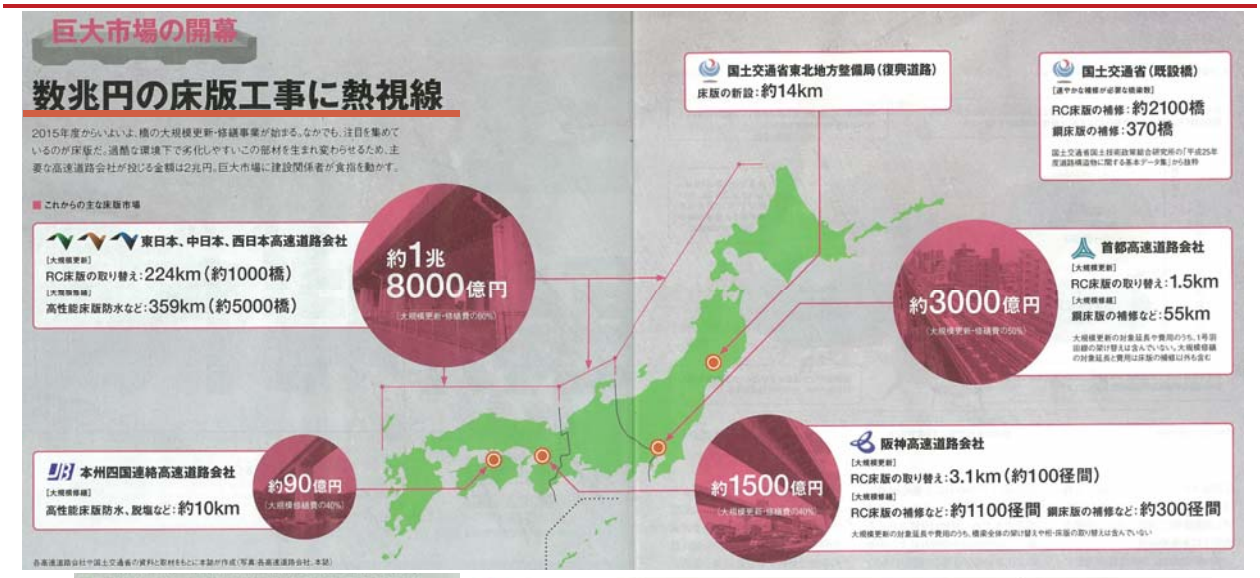


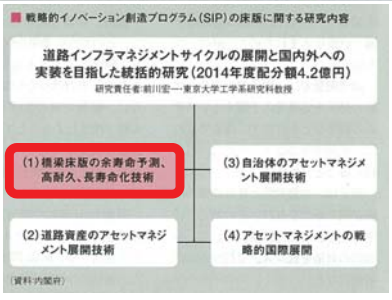


9

※「野村昌弘の研究所」ホームページより全て抜粋

3. 劣化RC床版での対策の動向

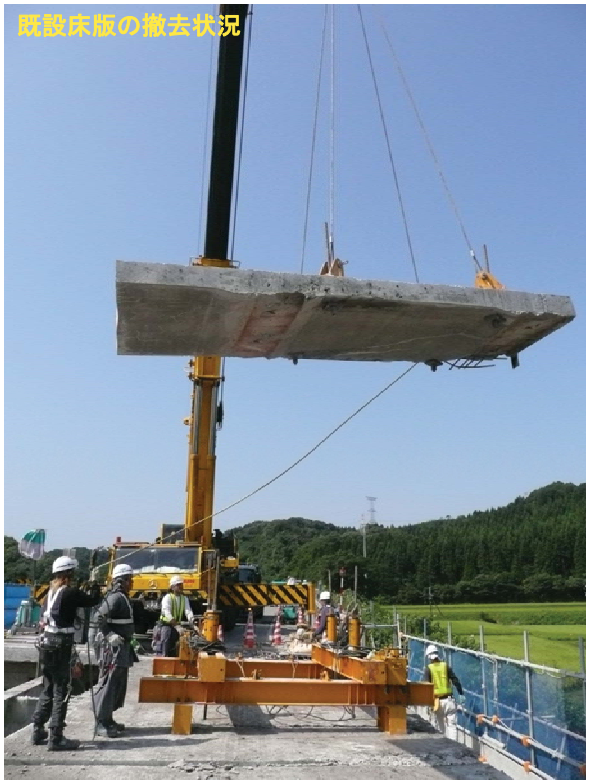




10

※「2015.4.13 日経コンストラクション」より全て抜粋

3. 劣化RC床版での対策の動向(床版取替)



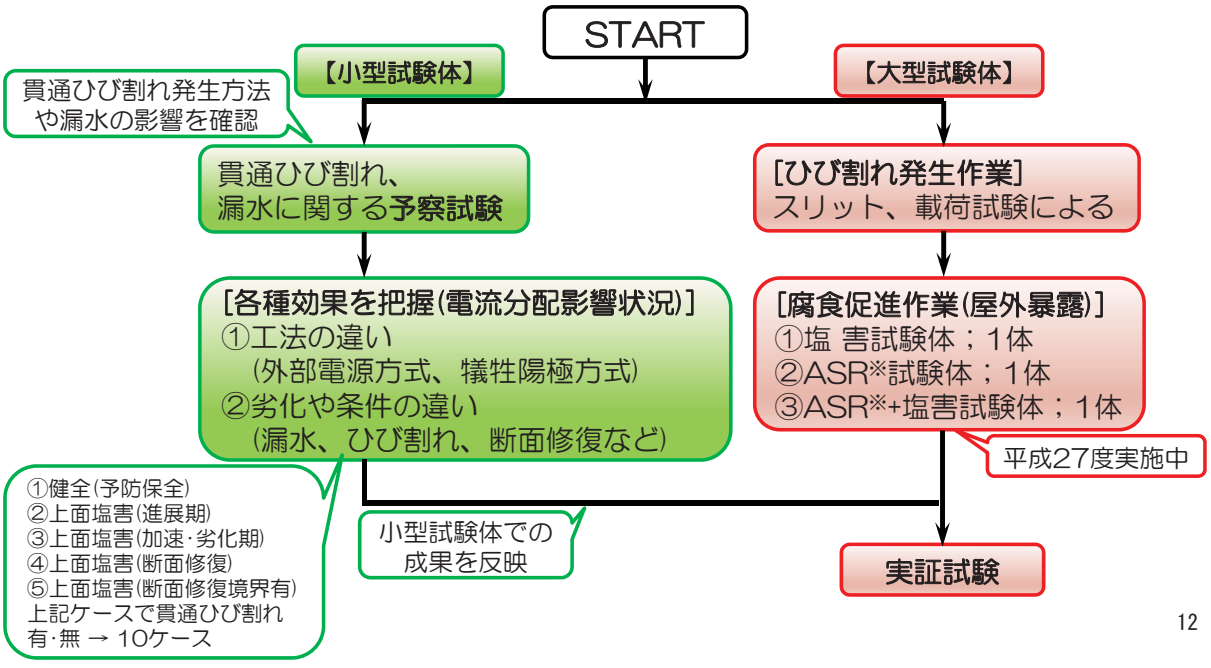
11

※「NEXCO 渋江川床版取替工事

4. 床版の高耐久化と長寿命化の金沢大学SIPの取組み

【塩害劣化床版での電気防食技術の開発；長寿命化】

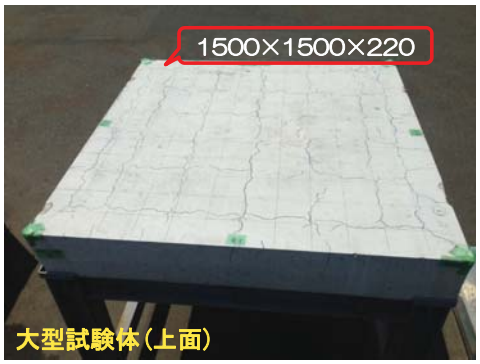
塩害やASRで劣化した**道路橋床版に対する補修工法**は現在、完全なものではなく**試行錯誤**している。
そのため、これらが原因で劣化した床版に注目し、**劣化メカニズムの検証**やASRや塩害を抑制するための**補修方法を開発**する必要がある。

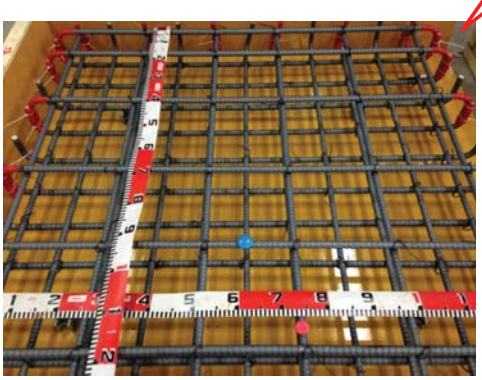


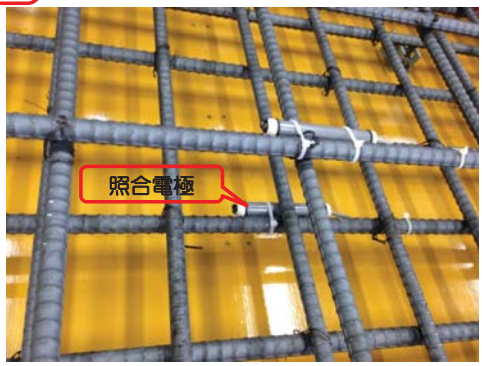
12

4. 床版の高耐久化と長寿命化の金沢大学SIPの取組み

【塩害劣化床版での電気防食技術の開発；長寿命化】







13

4. 床版の高耐久化と長寿命化の金沢大学SIPの取組み

【大規模更新におけるFAPCa床版取替技術の開発；耐久性】

14