

金沢大学 SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)

『北陸地方における ASR 問題の解決を目指して』

平成28年9月30日(金)

KKR ホテル金沢

金沢大学 SIP シンポジウム
WG2 (ASR 部会) 研究報告会
「北陸地方における ASR 問題の解決を目指して」

1. 日 時 : 平成 28 年 9 月 30 日 (金) 14 時 ~ 17 時 (13 時 30 分より受付開始)
2. 場 所 : KKR ホテル金沢 (石川県金沢市大手町 2-32) 3 階 凰凰の間
3. 主 催 : 金沢大学 SIP, 共催 : 北陸道路研究会, 北陸 3 県コンクリート診断士会
4. プログラム (14 時 00 分 ~ 17 時 00 分)
14:00~14:10 開会挨拶 [金沢大学教授 鳥居和之]
14:10~14:40 特別講演 1 (講演 25 分, 質疑 5 分)
「内部膨張反応の診断と予測」
[海上・港湾・航空技術研究所 川端雄一郎]
14:40~15:10 特別講演 2 (講演 25 分, 質疑 5 分)
「The 15th ICAAR 2016(Brazil, sao-Paulo)における ASR の話題」
[金沢大学教授 鳥居和之]
15:10~15:20 休憩

15:20~16:50 一般発表 (各発表 10 分, 質疑 5 分)
「各種環境下に曝された ASR 劣化構造物の特徴と使用・環境条件」
(1) 15:20~15:35 北陸自動車道の ASR 劣化構造物の特徴と補修対策
[(株)野村昌弘の研究所 野村昌弘]
(2) 15:35~15:50 能登有料道路の ASR 劣化構造物の特徴と補強対策
[石川県中能登土木総合事務所 津田誠]
(3) 15:50~16:05 道路橋 RC 床版の ASR の特徴とプレキャスト PC 床版の技術開発
[(株)国土開発センター 浦修造]
(4) 16:05~16:20 プレストレストコンクリートの ASR の特徴と対策
[(株)ピーエス三菱 青山敏幸]
(5) 16:20~15:35 道路トンネルの ASR の特徴と対策
[アルスコンサルタンツ(株) 麻田正弘]
(6) 16:35~16:50 水利構造物の ASR の特徴と調査診断
[北陸電力(株) 参納千夏男]
16:50~17:00 閉会挨拶 [(株)ピーエス三菱 小林和弘]

■研究開発項目：インフラマネジメント技術の国内外への展開を目指した統括的研究

■研究開発テーマ：コンクリート橋の早期劣化機構の解明と

材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発

■研究責任者：金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授 鳥居和之

■共同研究グループ：金沢工業大学、石川工業高等専門学校、長岡技術科学大学、福井大学

研究開発の目的・内容

研究開発の目的

北陸地方の橋梁は、以下のような過酷環境下に晒されている。

- 海岸地域では、季節風などによって飛来する塩分により、塩害劣化が生じる。
- 積雪寒冷地域では、冬季に散布される凍結防止剤の影響により塩害劣化が生じる。
- 安山岩などの反応性骨材を使用した橋梁においてASR劣化が生じる。
- 山間部における標高の高い地域では凍害劣化が起きやすい。

目標：これらは全国標準の経年劣化と異なり早期に、かつ複合して劣化が生じている。北陸地方の道路橋に対する点検・診断・モニタリング、評価・判定、対策（補強・補修・更新）への一連の流れを産官民のトータルな支援体制のもとメンテナスマネジメントシステムとして確立する。

実装：北陸地方はもとより、同様な早期劣化を生じている地域へ展開する。

研究開発の内容

○塩害やASRの早期劣化機構を解明し、道路を永く安心して使用できる策を開発する。

- ・北陸地方の道路橋における塩害劣化やASR劣化の実態を調査する。
- ・劣化を模擬した実寸の橋桁や床版を作製し、安全性能や使用性能を評価する。
- ・地域環境の向上にも寄与するフライアッシュコンクリートを標準化し、塩害やASRの劣化進行を遅延させる。
- ・簡易モニタリング技術を含めた合理的な点検技術を開発する。

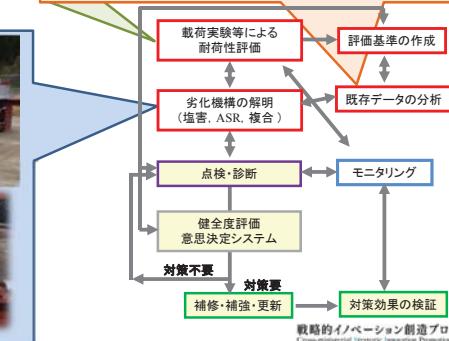
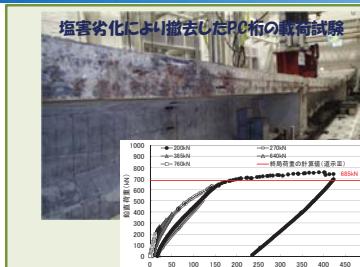
○地方自治体が運用できるメンテナスマネジメントシステムを開発する。

- ・健全度評価法、補修優先順位決定法および予算平準化手法を構築し、早期劣化に対応した評価・判定手法を提案する。
- ・定期的に公開セミナーを開催し、人材を育成する。

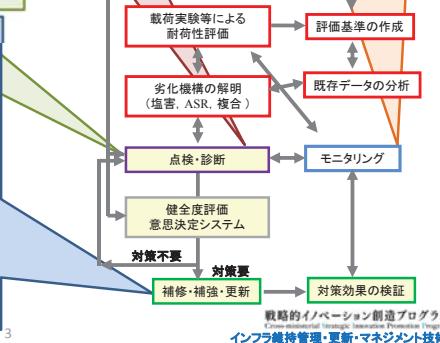
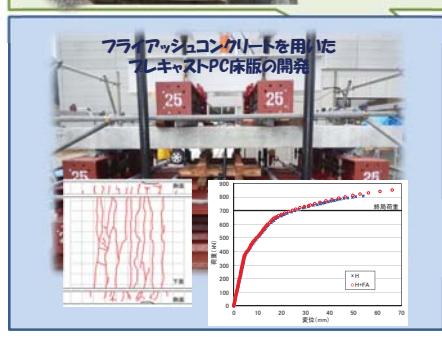
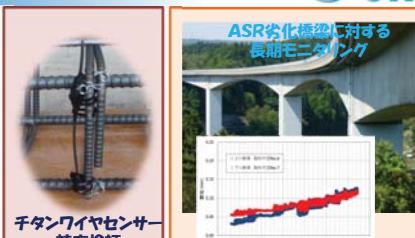


1

現状の成果①



現状の成果②



最終目標

構造物の正確な現況把握と診断技術の精度を向上させ、効果的な事後保全を繰り返しながら、50年後には地方自治体が身の丈に応じた予防保全に転換できるメンテナスマネジメントを構築する。

特長：現在の全国をマクロに見た画一的な維持管理の仕組みではなく、地域の特徴を鑑みた維持管理の仕組みを構築することで、社会基盤の安全を向上し、かつ無駄な予算の支出を減ずる。

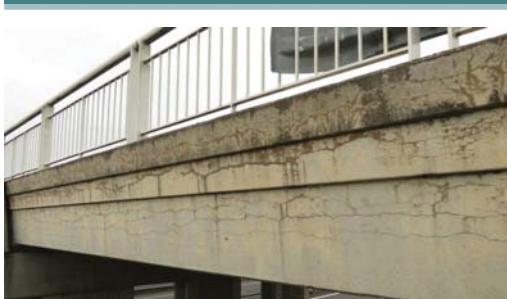
ホームページによる技術情報の公開
<http://sip-hokuriku.com>



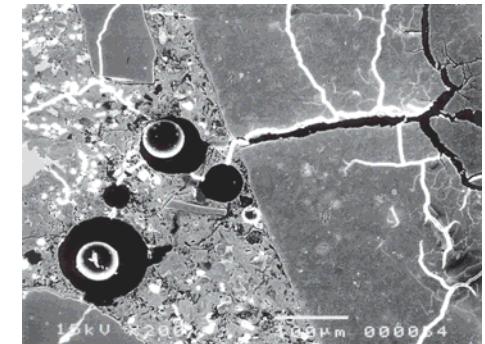
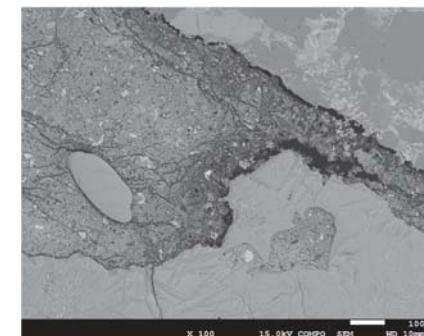
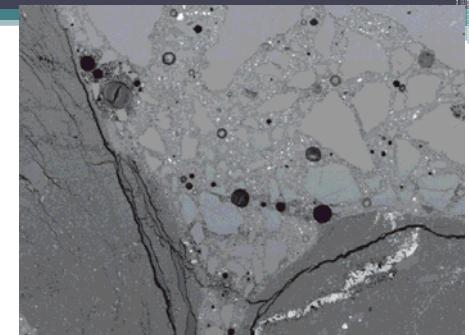
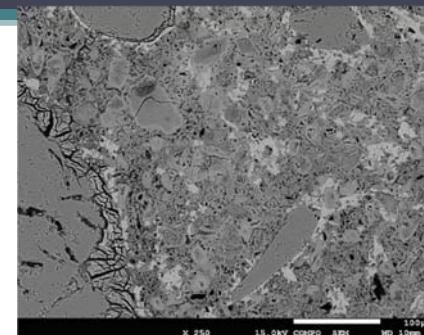
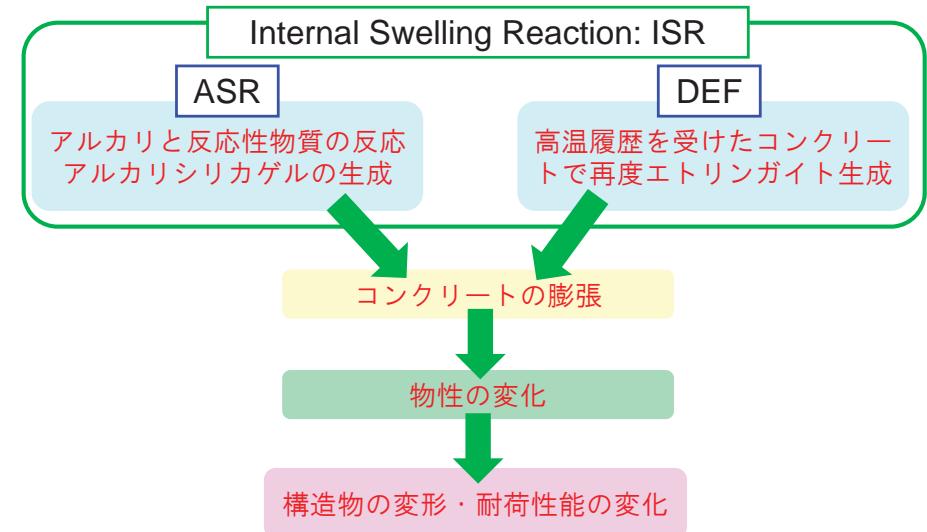
内部膨張反応の診断と予測

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所
港湾空港技術研究所
IFSTTAR (2014.09-2016.08)

川端 雄一郎



内部膨張反応: ISR



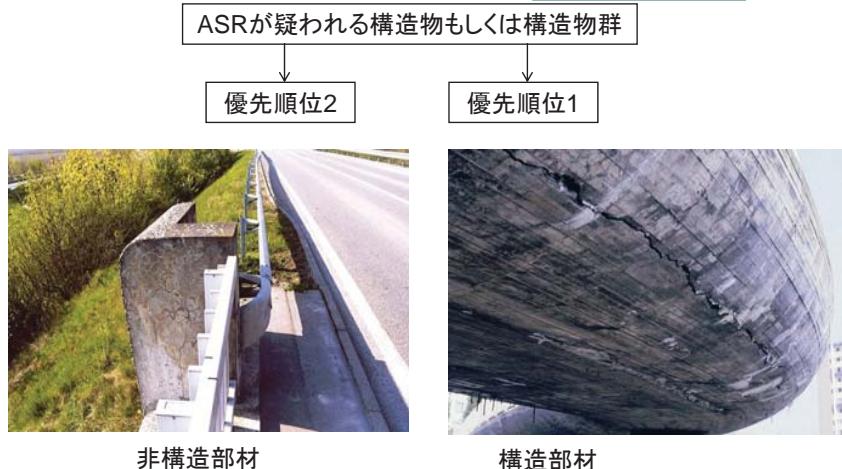
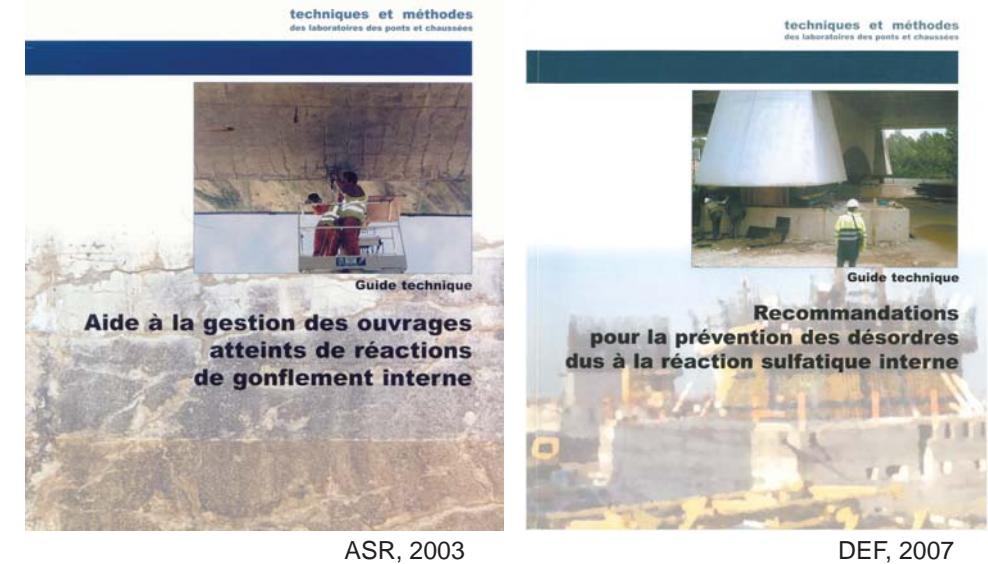
ASR vs. DEF

- ✓ 共通点と相違点
 - メカニズム
 - 診断
 - 予測

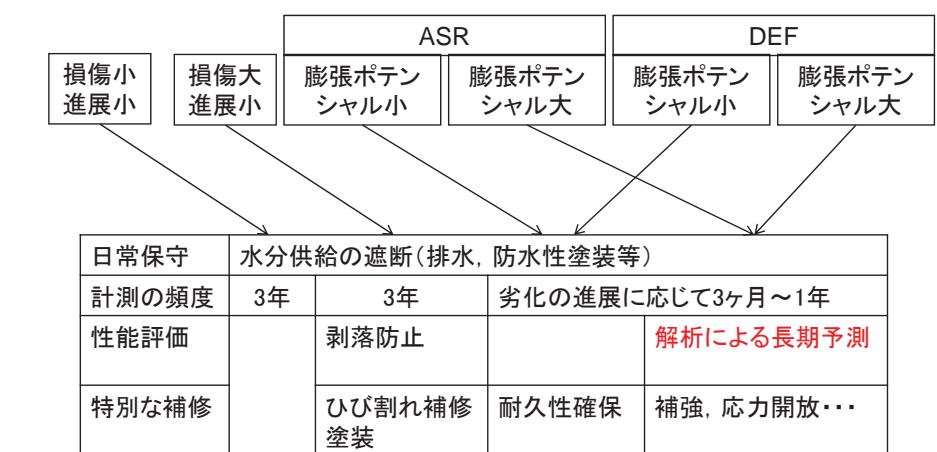
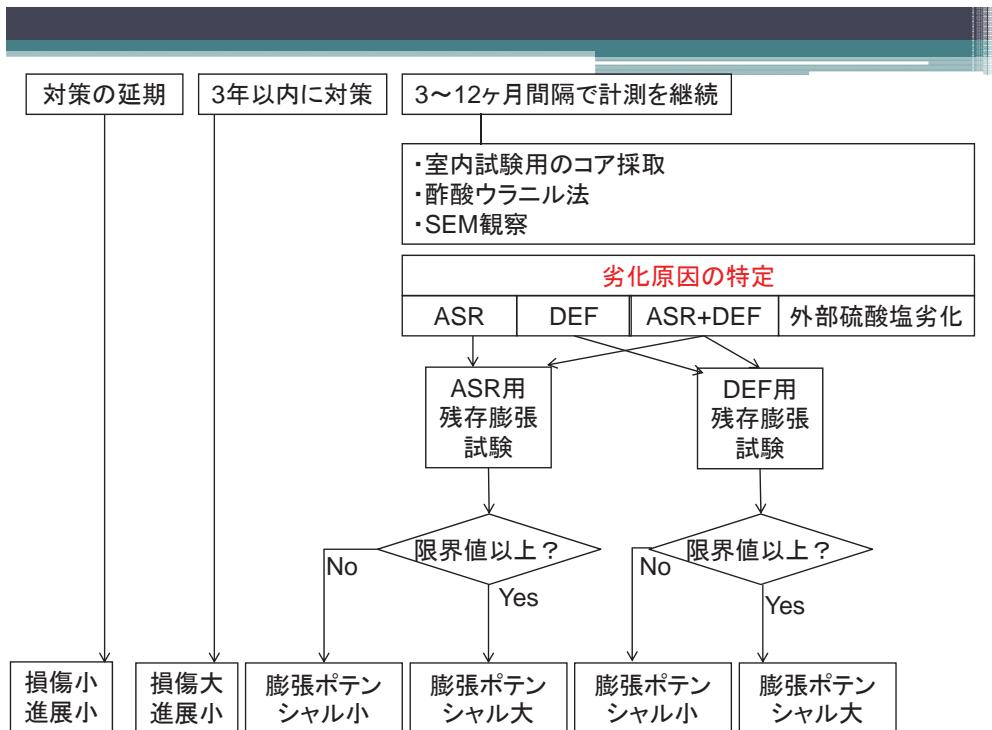
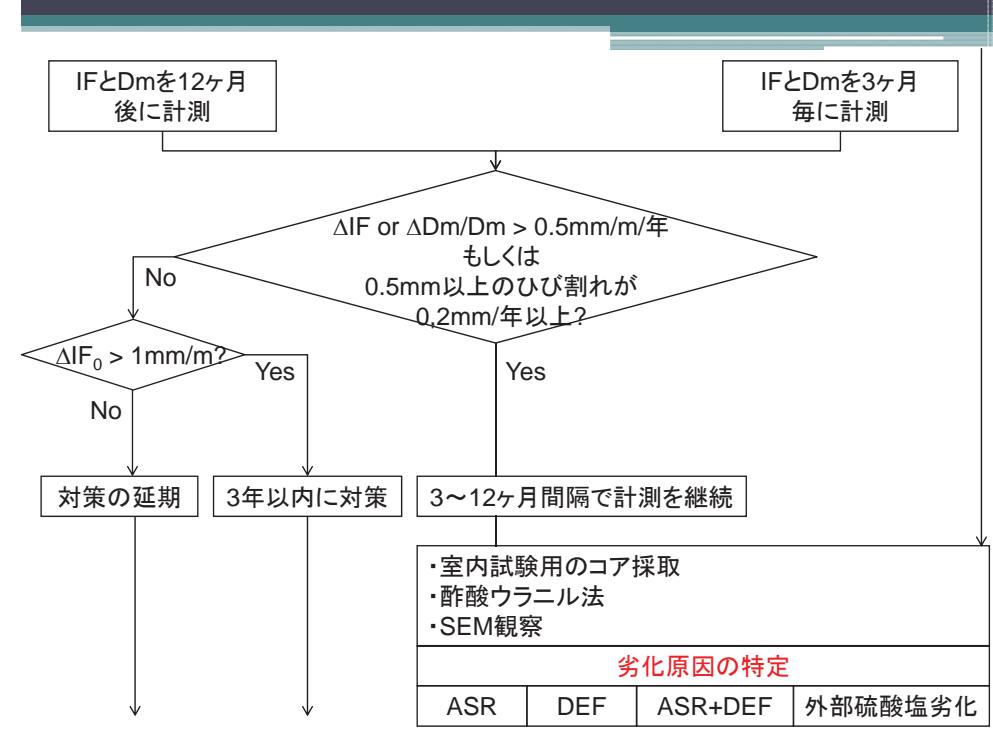
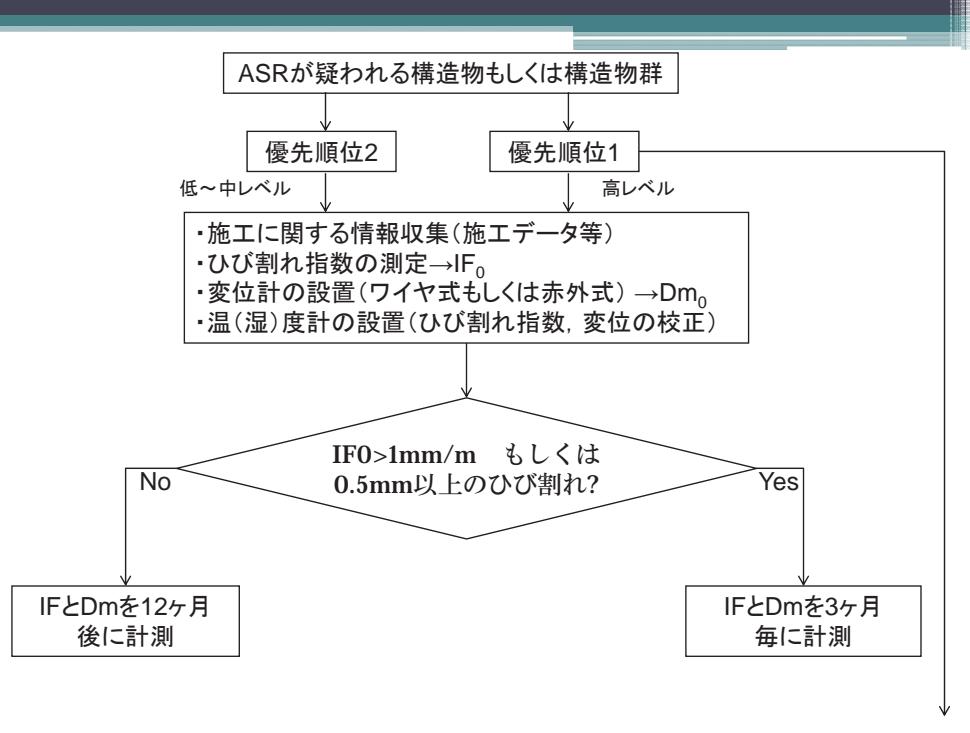
教科書的説明によれば…

- ✓ ASR
 - 反応性骨材がアルカリと反応してASRゲルの生成、膨張
- ✓ DEF
 - 初期(後期)に高温作用(>65°C)を受けたコンクリートにおいてエトリンガイト(Ett)が再生成、膨張

劣化したコンクリートでASRゲルがあればASR?
EttがあればDEF?両方ある場合は?

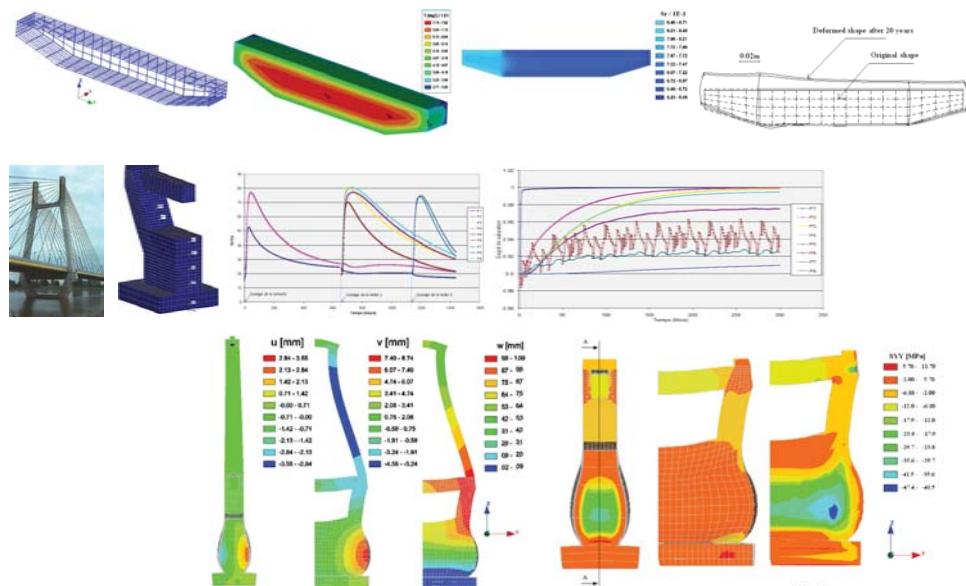


社会・経済への影響
ネットワーク
損傷レベル



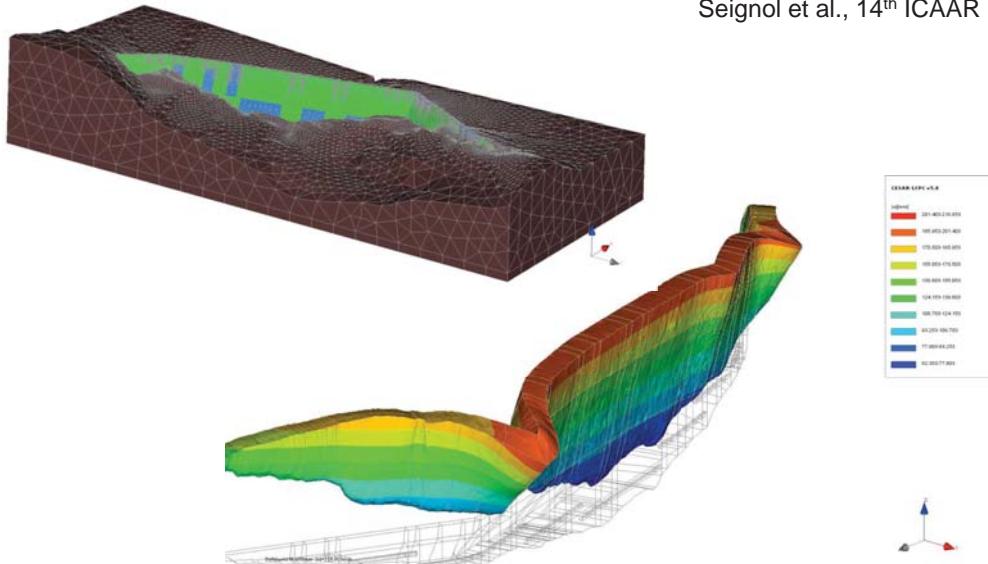
数値解析による予測

Seignol et al., CTCS09



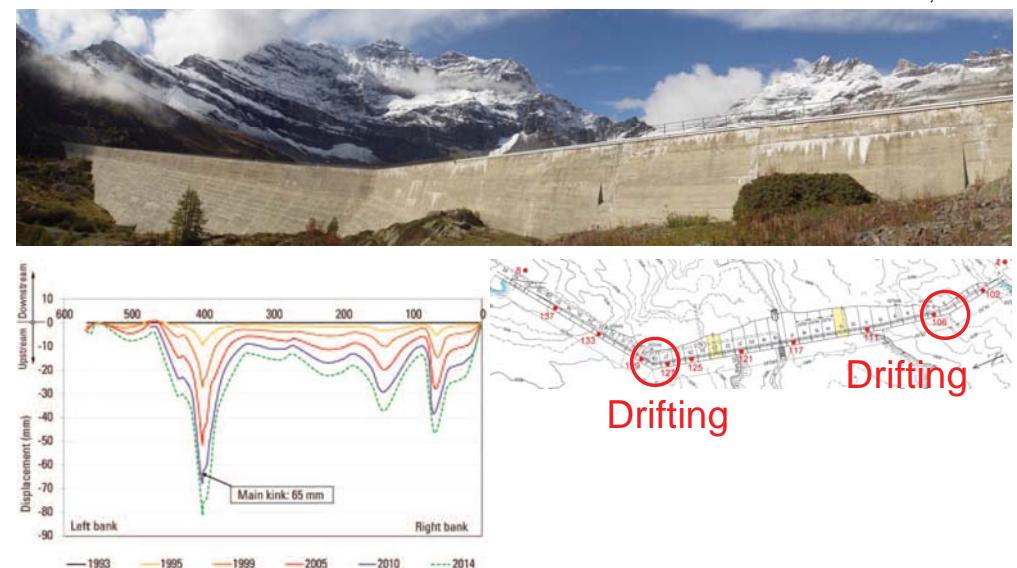
CESAR-RGIB by IFSTTAR

Seignol et al., 14th ICAAR



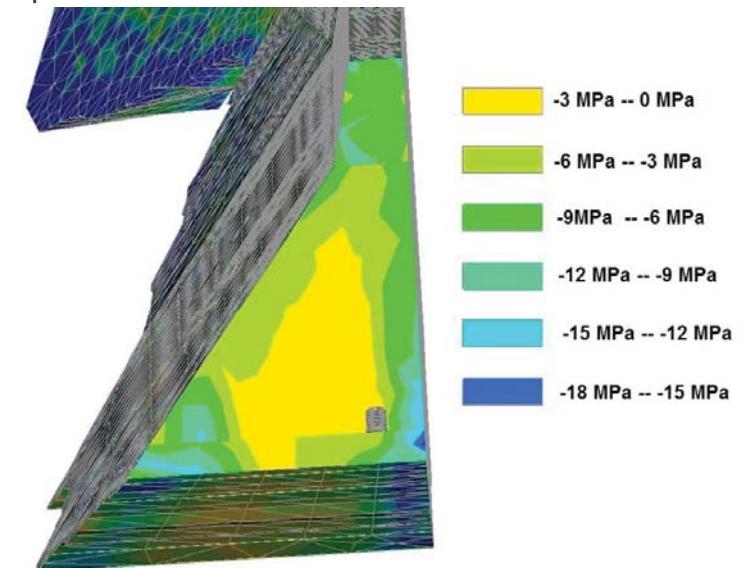
Salanfe dam, Switzerland

Seignol et al., 14th ICAAR
Droz et al., 2013



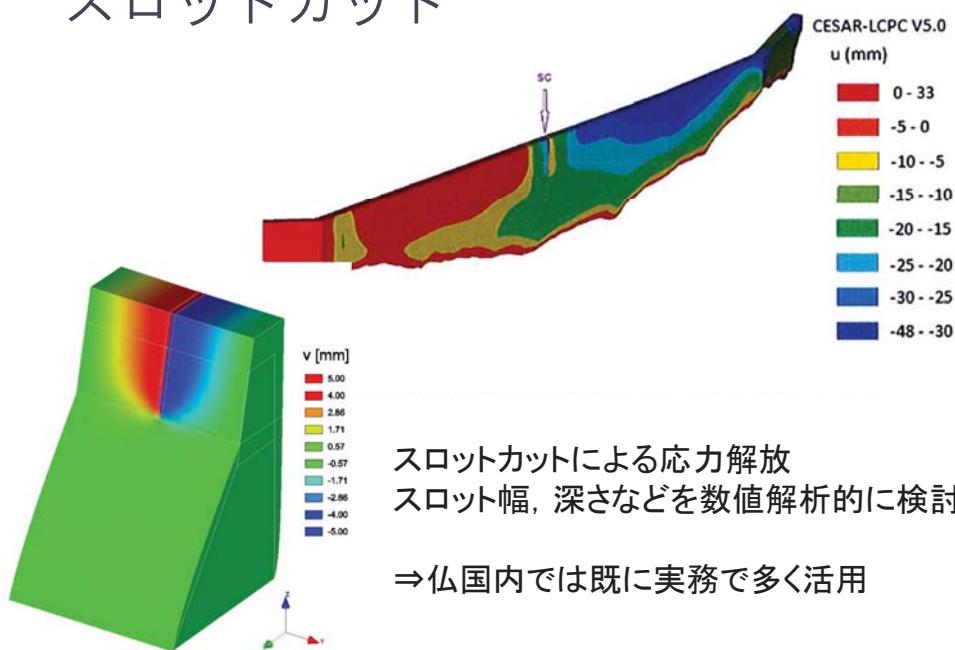
応力分布

Seignol et al., 14th ICAAR

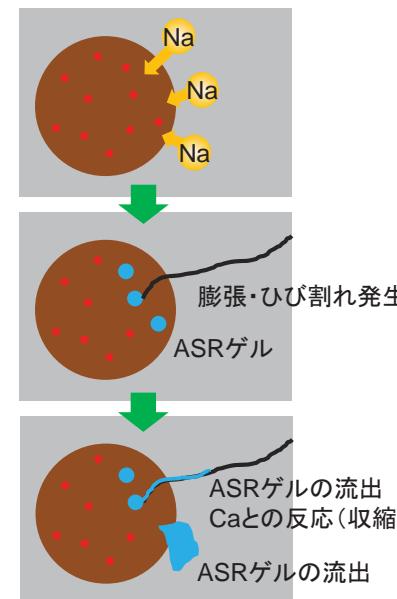


スロットカット

Omkirine-Metalssi et al., Engineering failure analysis, 2014



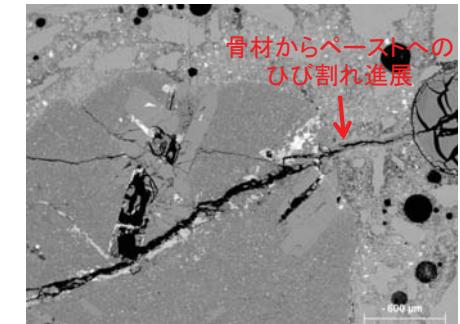
ASR



✓ 高pH環境で反応性物質が溶解し, ASRゲルを生成

✓ ASRゲルは主に骨材内部で膨張, 一部はペーストへ拡散し膨張圧を発現しない。

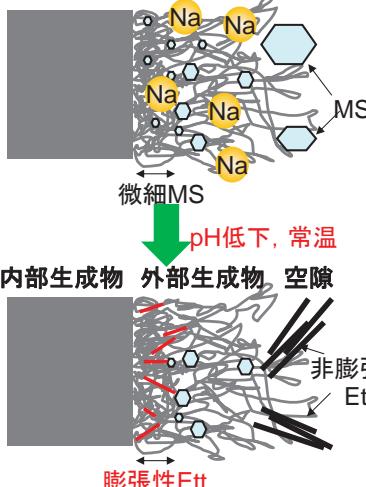
✓ ひび割れ中のASRゲルは拘束が無ければ流動する ⇒ 反応率と膨張率は非線形。



DEF

高pH, 高温

内部生成物 外部生成物 空隙



- ✓ 微細空隙(20nm)でEtt生成
- ✓ ペースト膨張で骨材界面にギャップ生成
- ✓ XRDでは検出できない
- ✓ 非膨張性のマクロなEttがギャップに析出

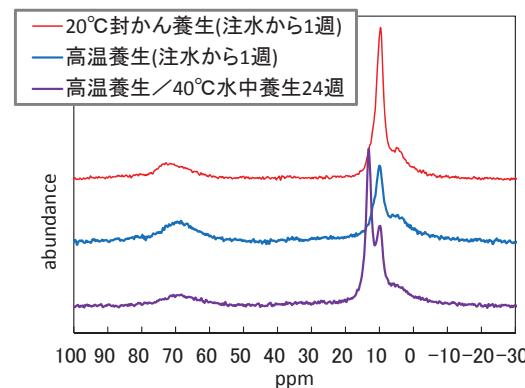


Famy, Ph.D thesis, 1999

小川ほか, アップグレード論文集, 2016

✓ ²⁷Al NMRによるAI動態解析

✓ 膨張原因物質の詳細なトレース



AI配位数	化学シフト (ppm)	推定AI含有率(Al_2O_3 mass%)		
		20°C封かん養生 (注水から1週)	高温養生 (注水から1週)	高温養生／40°C 水中養生 24週
4	73	0.12		
	70	1.15	1.60	0.82
5	37			
	13			1.61
6	10	2.34	0.97	0.82
	4	0.99	2.03	1.35

CASH/bridging
CASH/pairing, aAI

Ett
Afm(Ms), Ka, CAH
TAH, aAI

ASRとDEFの診断

- ✓ 国際的にも議論の余地
- ✓ 多くの場合、ASRゲルとEttが共存
- ✓ 膨張性物質の所在と損傷の関連の明確化が大事



Hirono et al., 15th ICAAR, 2016

応力下での異方性

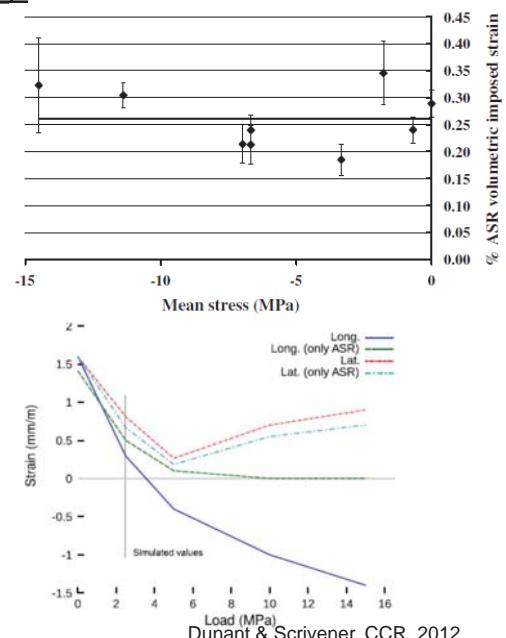
ASR



S. Multon, Ph. D Thesis, 2003

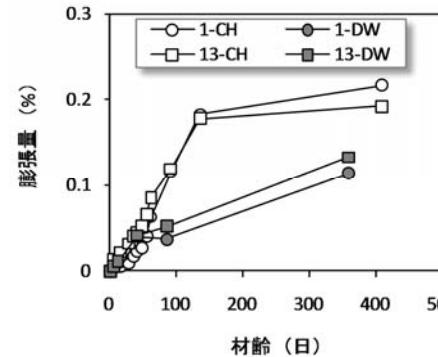
Expansion transfer
全体としての体積変化は概ね同じ
未だ国際的議論

Multon & Toutlemonde, CCR, 2006



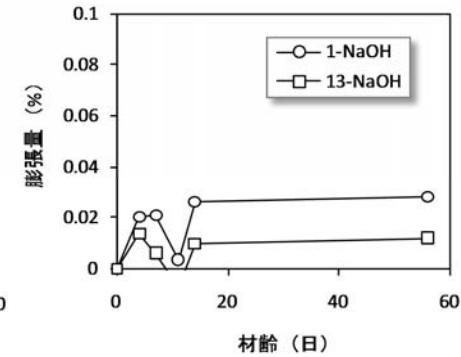
コア膨張試験

- ✓ アルカリの役割を考慮した膨張試験も有効



• 80°C 1mol/l NaOH

• 20°C 飽和CH溶液, 蒸留水

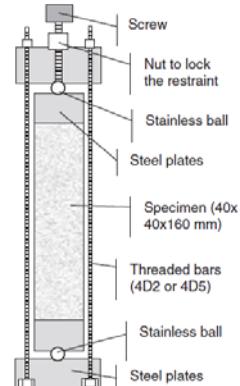


⇒ 膨張しない

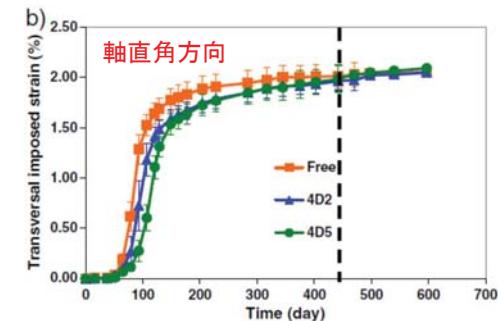
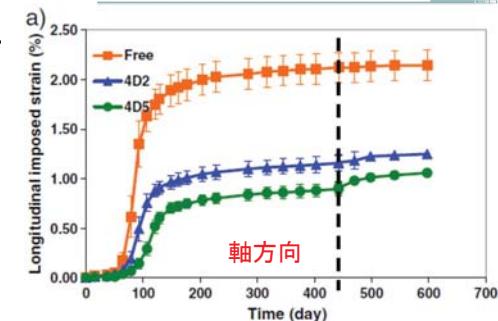
⇒ 膨張

応力下での異方性

DEF

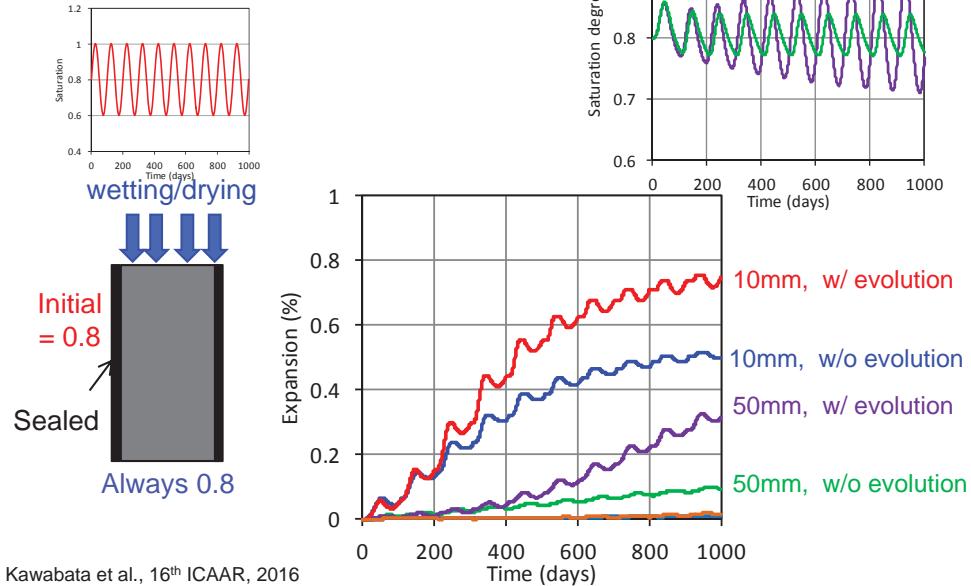


結晶成長圧
Expansion transferなし

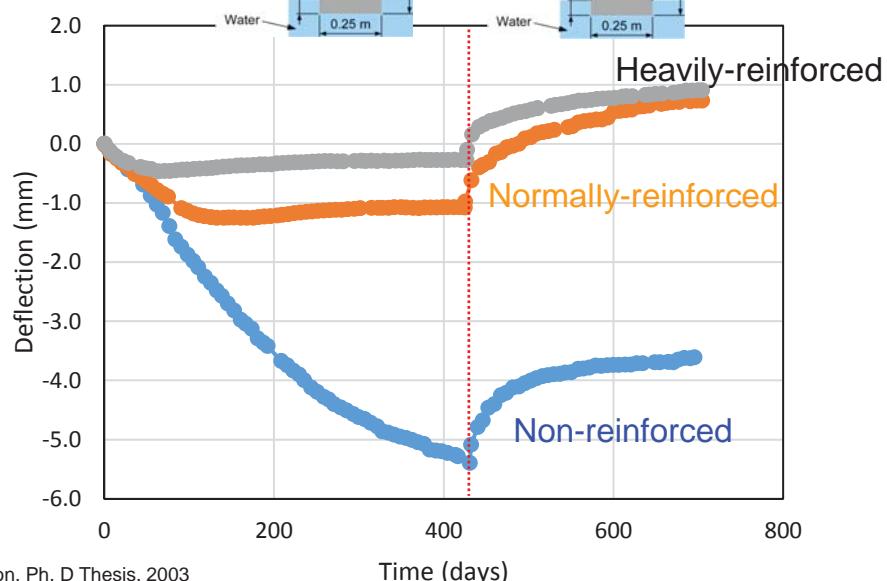


Bouzabata et al., CCC, 2012

物質移動への影響



ASR

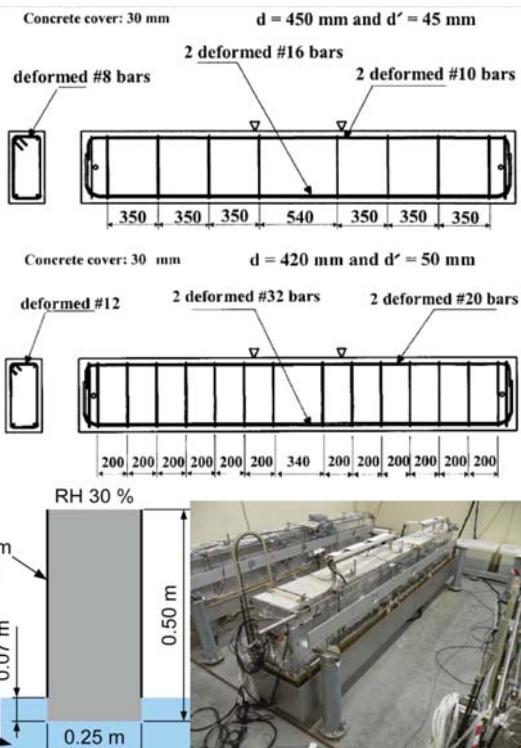


IFSTTAR (旧LCPC)

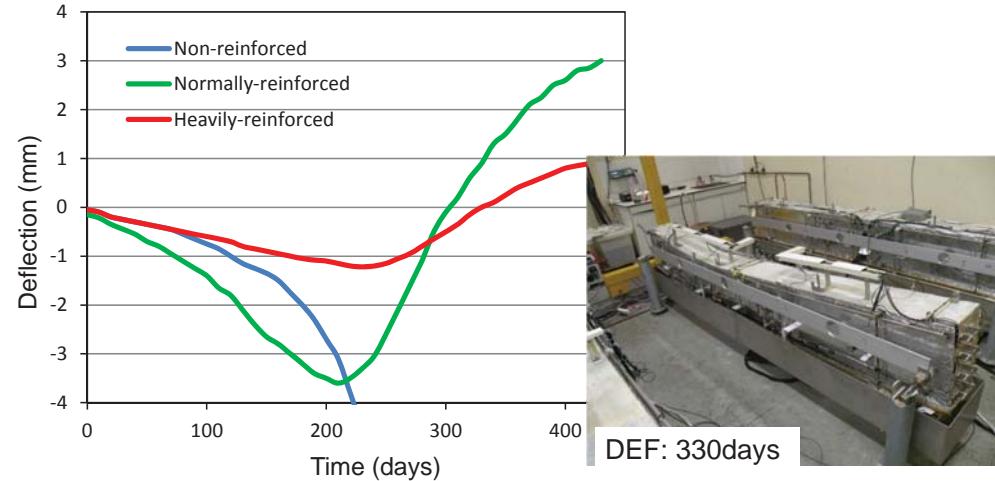


✓ ASR: Dr. S. Multon (2003)

✓ DEF: Dr. R.-P. Martin (2010)



DEF



おわりに

✓ 内部膨張反応ISR(ASR, DEF)

- 同じ膨張反応、ただし膨張機構は異なる
- マネジメントシステムとして同じ枠組み、要素技術は膨張機構別
⇒膨張機構に基づいた適切な診断が重要
- 適切な診断⇒適切な予測の実施
- 構造影響は大きく相違。応力異方性、物質移動との連成、物性への影響
- 國際的にも未解明。今後の研究が不可欠。

The 15th ICAAR 2016 (Brazil, Sao Paulo) におけるASRの話題



平成28年9月30日
金沢大学理工研究域環境デザイン学系
教授 鳥居 和之
(於 KKR ホテル金沢)

2016 ICAAR 会議スケジュール 事例、 ケーススタディー

	7月4日	7月5日	7月6日	7月7日	7月8日
8:30-10:00	基調講演	基調講演	基調講演	基調講演	
10:00-12:00	① ②	① ②	① ②	① ②	
12:00-13:30		ランチブレイク			閉会式
13:30-15:00	① ②	① ②	① ②		
15:00-15:30		コーヒーブレイク			
15:30-17:00	① ②	① ②	① ②		
17:00-17:30		ポスターセッション			
17:30-18:00	基調講演	基調講演	基調講演	構造、解析、診断	カンファレンスディナー

メカニズム
影響要因

試験、評価

テクニカルツアー
ダム

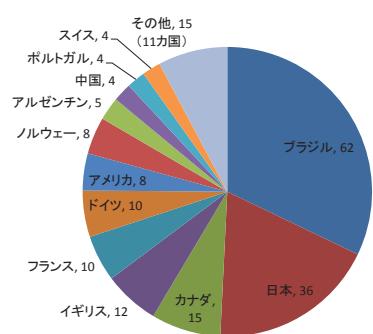
関係者会議

ICAAR調査団に参加しての印象



- * 大学、コンサルタント、ゼネコン、JH、JR、電力から
総勢**24名**(団長:宮川豊章先生)
- * 関空→ドバイ→サンパウロ
(地球の裏側へ、**27時間**の長旅)
- * ブラジル開催の困難さ
(**治安**、財政、交通事情、支援体制)
- * 著名なセメント化学やコンクリート工学の研究者の**引退**や**不参加**
- * 岩石・地質研究者への偏り
(RILEM AAR委員会、工学的かつ実用的な議論が不十分(茶飲み話(?))
- * 日常会話で英語が通じない
(ポルトガル語のみ、買い物が大変)

参加国と発表件数



- * 日本からのICAARへの多大な貢献
(第7回ICAAR(モントリオール)より
研究論文の量・質ともに)
第15回ICAAR(サンパウロ)では、
参加者:**36/193名**(全体の**18%**)
口頭発表件数:**17/103件**(金沢大
学SIPより**5件**)(全体の**17%**)
Key Note Lecture: **0/6件**(?)
- * 欧米やアジアからの参加者が大きく
減少
- * Chairmanの人選と発表形式の変更
(質疑にてスライドが使用ができない
ので、議論が噛み合わなかった)
- * 貧弱な昼食(Lunch Box)と豪華なバ
ンケット(シュラスコ(串刺し肉))

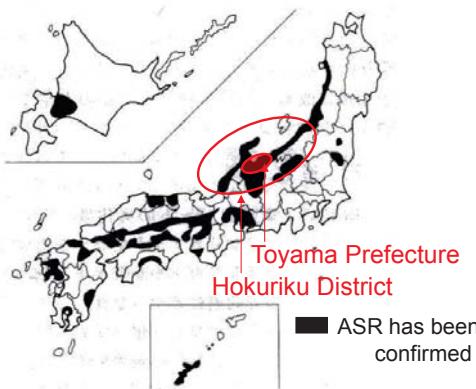
水力発電ダム施設のASR現場見学

写真提供: 岩佐洋一郎 (2016年)



堆積岩系骨材
(Quartzite)

【The Occurrence of ASR】



Abutment of a viaduct damaged by ASR
In the Hokuriku District

[Survey of the Ministry of National Highways as of 2004]

ASR occurred in 37 bridges out of 300($37/300=12\%$) in Toyama Prefecture.

>> The national average is 1.2%.

It is believed that there are many more structures in the Hokuriku District built in the 1970s and '80s that have serious damage caused by ASR.

金沢大学SIP Part 1(鳥居):常願寺川産砂利, 砂(現地)

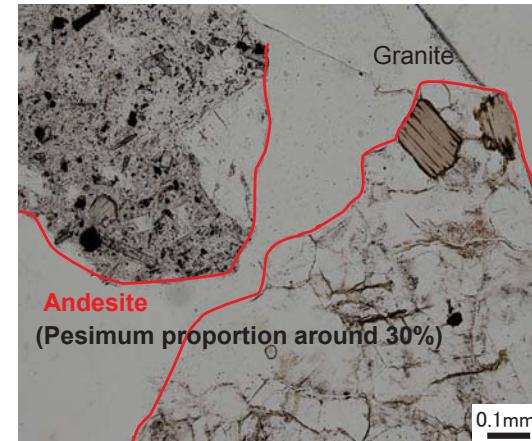
The Alkali-Silica Reactivity of Andesitic River Aggregates and ASR Mitigation Effect by Using Fine Fly Ashes

Tateyama Mountains

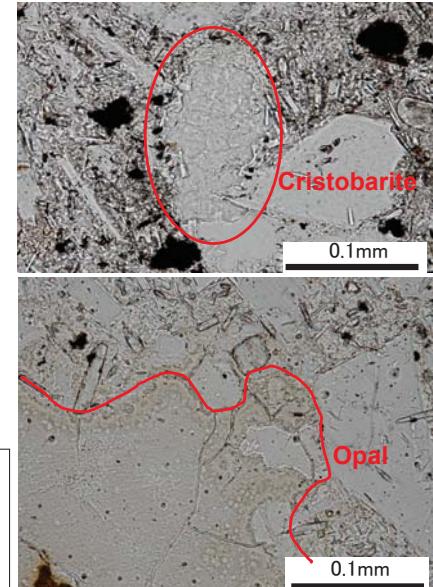
Hokuriku Shin-kansen Line (JR)

Prof. Kazuyuki Torii
Kanazawa University

【Properties of Reactive Aggregate in Toyama Prefecture, Japan】

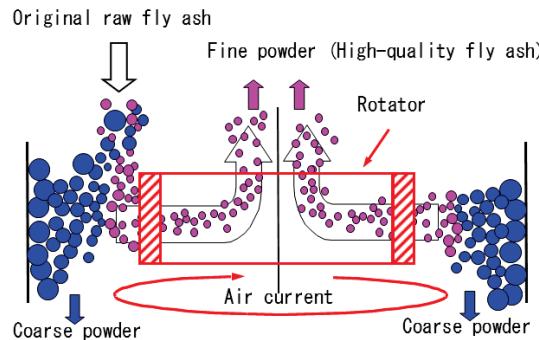


The gravels and the sands of the Jyoganji River in Toyama Prefecture include **andesite** particles which contain **cristobalite** and/or **opal** which are reactive components.
(pesum proportion around 30%)



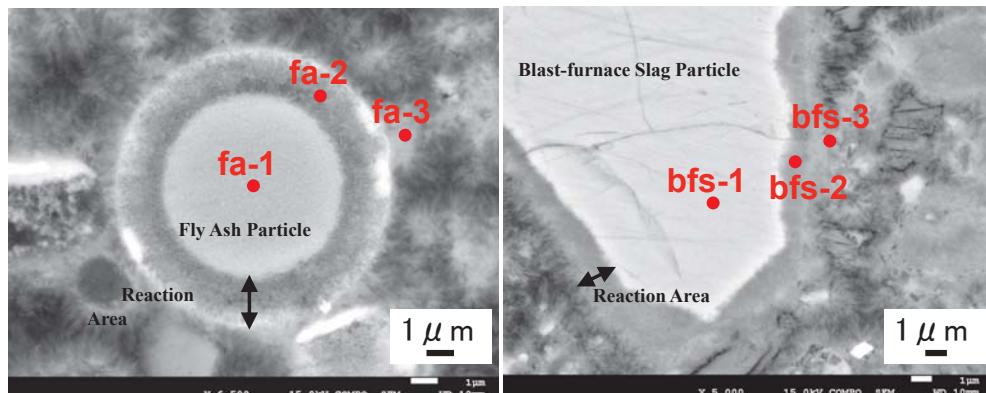
It is said the gravels produced in the Jyoganji River are some of the most reactive in Japan.

Schematic Diagram of Centrifugal Machine in Production of Fine and High-quality Fly Ashes



Fly ash type	Physical properties		Mineralogical properties(%)				
	Density (g/cm³)	Blaine fineness (cm²/g)	Quartz	Mullite	Magnetite	Lime	Glass
Original	2.36	3390	5.4	26.7	2	0.8	65.1
High-quality	2.43	4780	5	20.6	1	0.2	73.2

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.

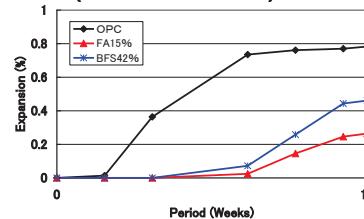


Reaction Area and CSH Products (SEM-BEI)

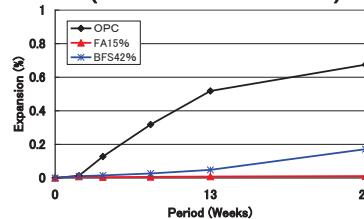
Points	fa-1	fa-2	fa-3	Points	bfs-1	bfs-2	bfs-3
Ca/Si Ratio	0.05	0.88	1.64	Ca/Si Ratio	1.39	1.47	1.58

【 Advantages of Fly Ash Concrete in ASR Mitigation 】

Expansion behaviors (Danish method)

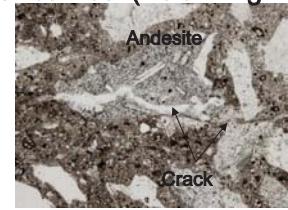


Expansion behaviors (JIS A1146 method)

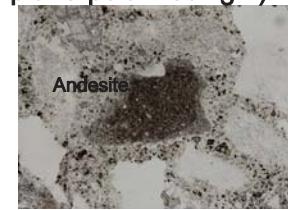


It became clear that the ASR expansion of mortars was controlled over the long term by using high-quality fly ash.

Petrographic observations for thin section of mortars after the JIS A1146 mortar bar test (Polarizing microscope in plane-polarized light)



BFS 42%



FA 15%

10

Concluding remarks

In January 2011, a joint-collaborative industry-academia-government research committee on the "promotion of effective utilization of fly ash concrete in the Hokuriku district" was set up.

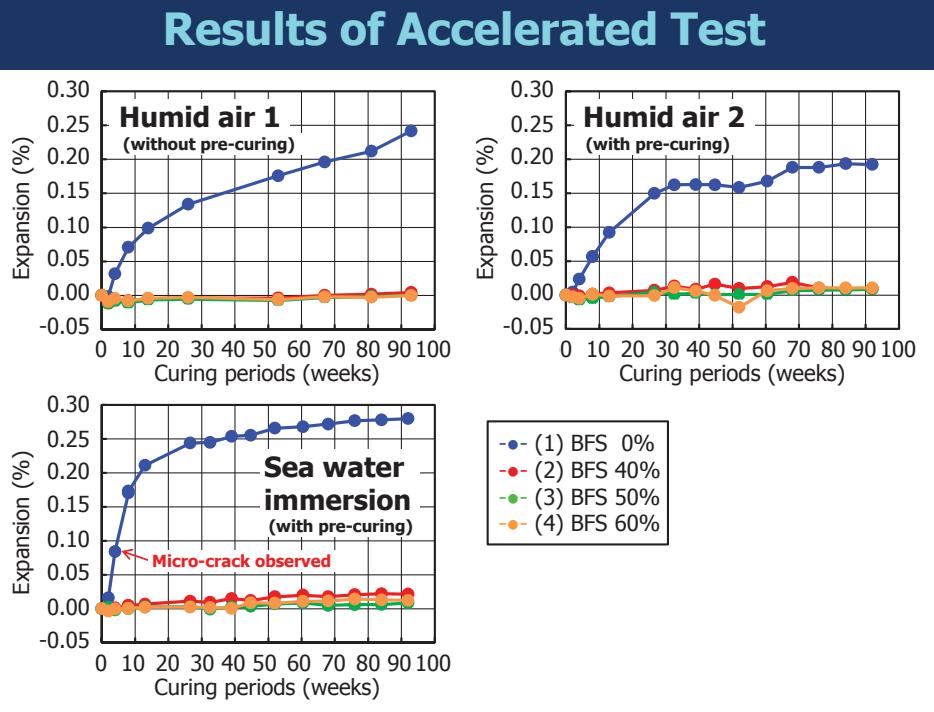


At present, a lot of candidates for the actual use of fly ash concrete in bridge, culvert and dam structures are being actively investigated.

We would like to propose the know-how for a further effective utilization of fly ash concrete in the Hokuriku District and other districts, based on the strong ethic . That is "Local Production for Local Consumption" .

Study on ASR Expansion and its Suppressing Measures of Self-compacting Concrete using Sea Water

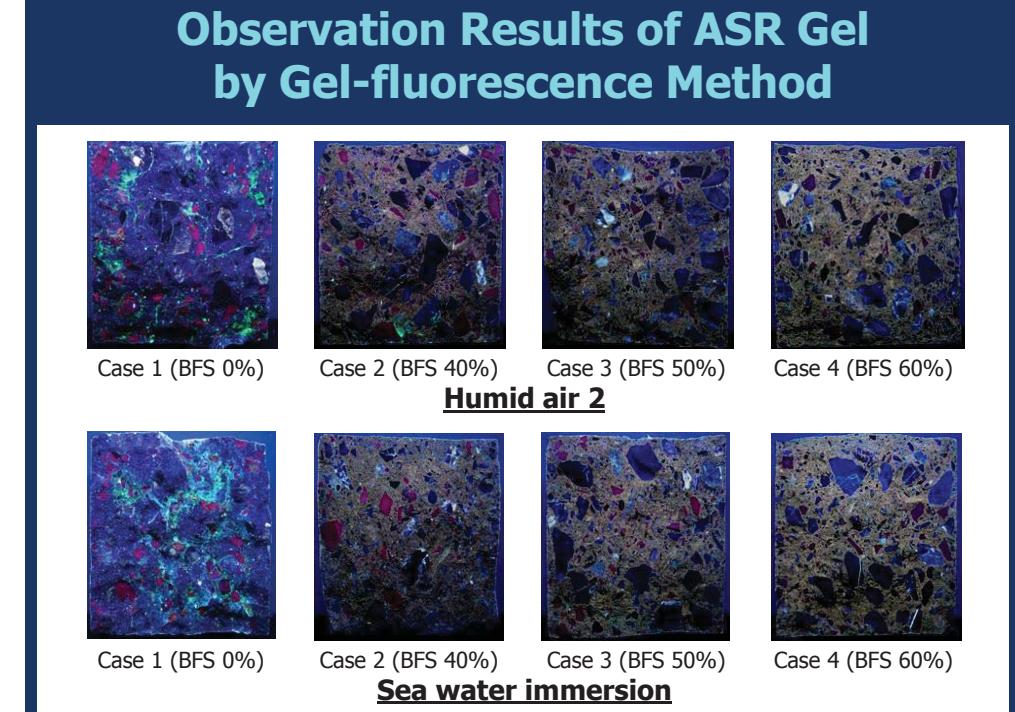
Takashi Habuchi, Yuichiro Kawabata,
Naoya Kawamura, Ryoichi Tanaka,
Jun Kutsuna, Toru Yamaji
and Osamu Kiyomiya
Japan



Case.	BFS replacement level (%)	Unit weight (kg/m ³)							
		SW	OPC	BFS	S	GR	GN	Ad1	Ad2
1	0	175	390	0	860	262	611	6.83	1.56
2	40	175	234	156	848	262	611	5.34	0.70
3	50	175	195	195	845	262	611	5.11	0.51
4	60	175	156	234	842	262	611	4.88	0.31

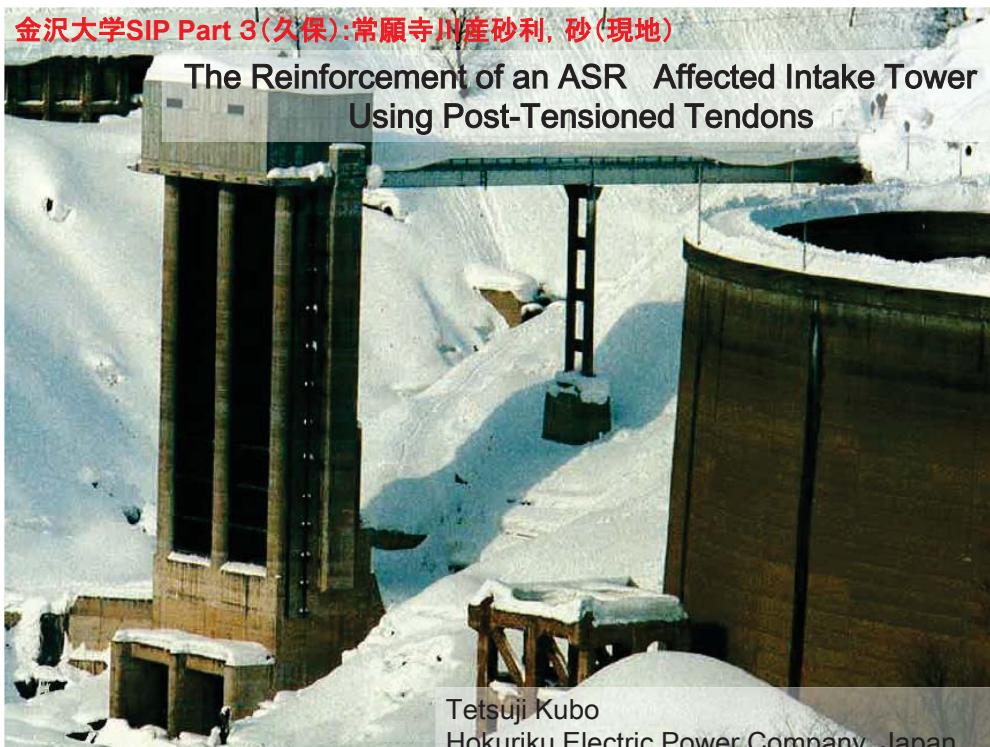
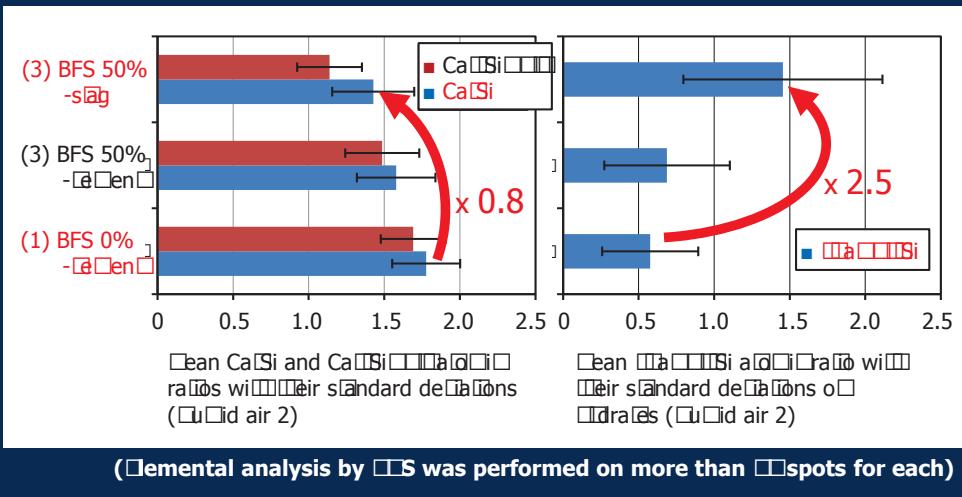
Target slump flow : $600 \pm 50\text{mm}$
 Target air content : $4.5 \pm 1.5\%$
 Water binder ratio : 45%
 Volume of unit coarse aggregates : $0.33\text{m}^3/\text{m}^3$

Case1 (BFS 0%)
 Equivalent alkali content, $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 4.8\text{kg}/\text{m}^3$



Results of S-M-S Analysis

After 2 weeks acceleration of the test S-M-S analysis was performed for the specimens of Humid air 2



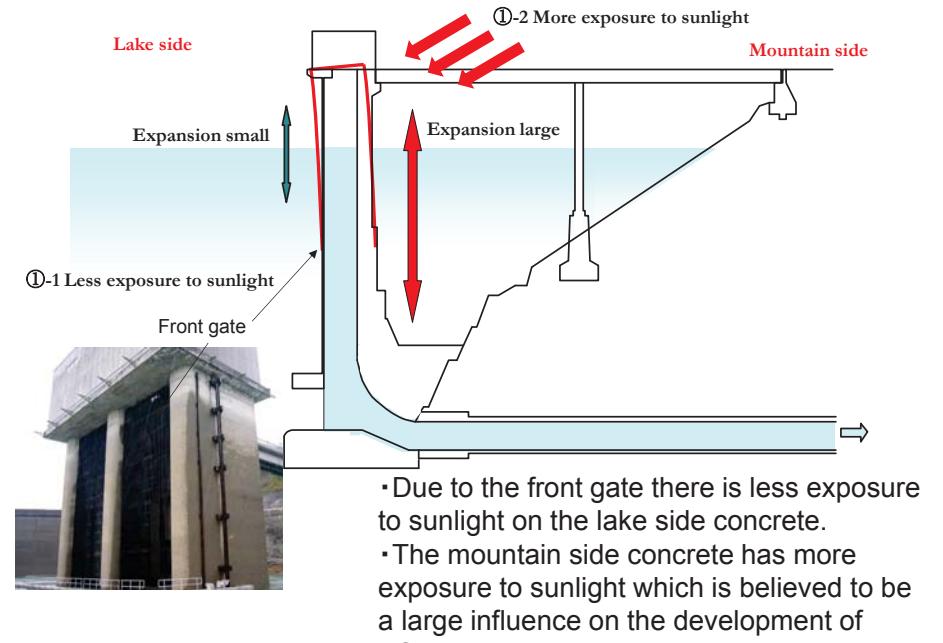
Conclusions

ASR expansion of self-compacting concrete using sea water and its suppressing measures are studied

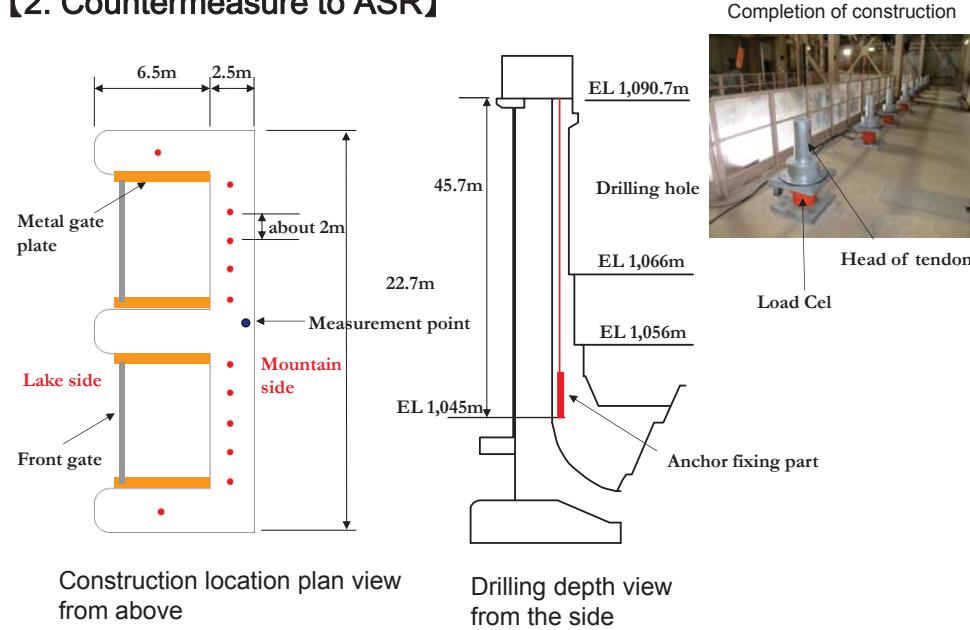
- 1) ASR expansion of this concrete without S-M-S in this study exceeded 12% for each accelerated test
- 2) Even if highly reactive aggregate was used for this concrete by replacement over 50% of cement with S-S-ASR gel formation and ASR expansion was remarkably suppressed
- Replacement of cement by S-S in the system decreases mean Ca/Si ratio of S-H gel which results in increase in alkali uptake in S-H gel
- Replacement of cement by sufficient amount of S according to the reactivity of aggregate is effective to suppress the ASR expansion of this concrete

【1. Displacement Measurement】

[A summary outline of the primary Causes of the Deformation]



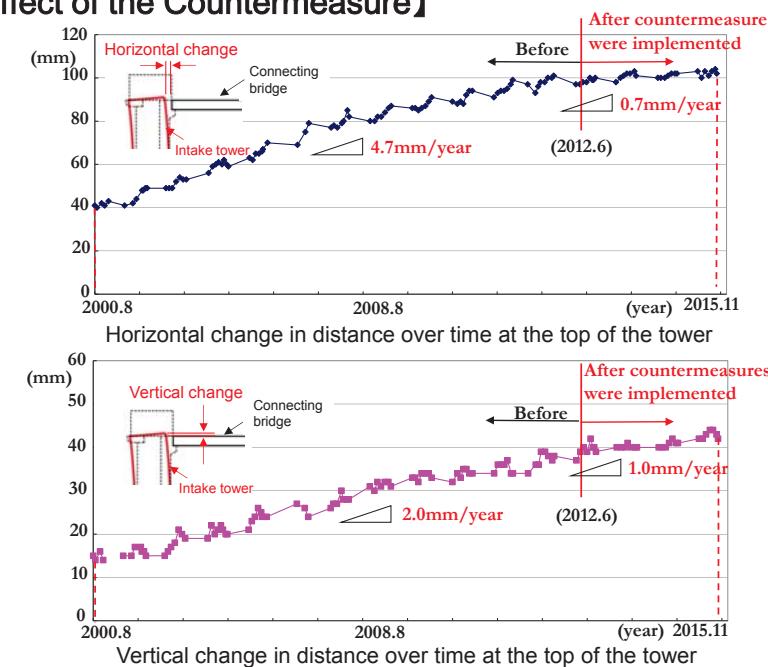
【2. Countermeasure to ASR】



- We set the anchor fixing part close to the bottom portion, and in this way tension was applied to the entire structure.

□□

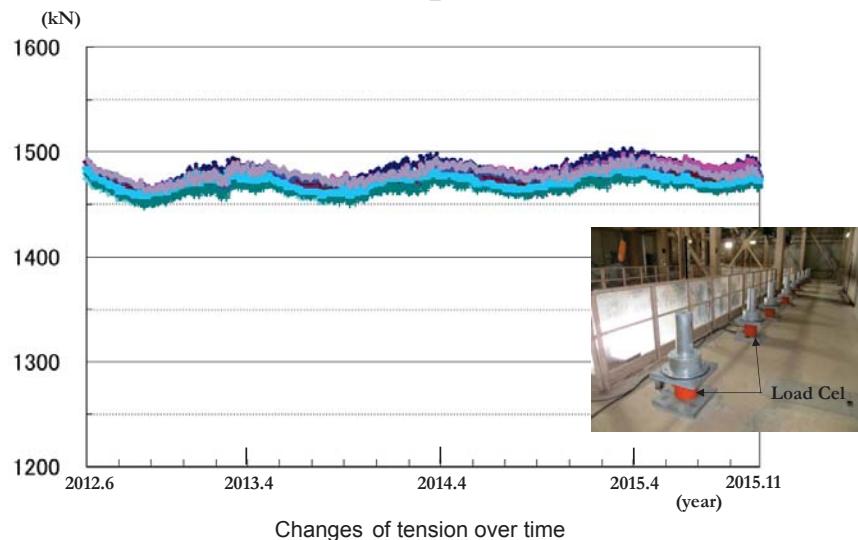
【3. Effect of the Countermeasure】



- The effect of the countermeasures has been confirmed at this time.

22

【3. Effect of the Countermeasure】



- Although some variation due to temperature change over a year's time and a slight increase of the load was seen, drastic load changes were not seen.

- We have confirmed that the tensions have been stabilized.

23

Conclusion

- (1) Although an inclination was confirmed on the intake tower, it has been shown that this is because of the difference in the ASR expansion due to the difference in environmental conditions and structural conditions at the different parts of the tower structure.
- (2) As a method for controlling the deformation of the intake tower caused by ASR, the method of using a PC anchor was adopted. Consequently it was possible to effectively suppress the deformation from the applied force of 0.2 ~ 0.3N / mm².

24

ASR FOUND IN THAILAND AND TROPICAL REGIONS OF SOUTHEAST ASIA

Shinichi Hirono, Yoko Ando, Tomomi Sato, Kazuo Yamada,
Hiroyuki Kagimoto, Kazuyuki Torii



ASR Deterioration Level of Bridge Footings

Deterioration Level			
Very severe (Many wide cracks)	Severe (Many cracks)	Moderate (Few cracks)	None (No cracks)
Footing A Pier A	Footing B Pier B	Footing C Pier C	Footing D Pier D

※ $\phi=68\text{mm}$ Concrete Cores

Taken from the bridge pier constructed in 1998

- * The ASR deterioration level of PC column and PC super structure was generally minor compared with that of RC footing.
- * This is due to the microclimate around bridge pier, the temperature, water supply etc..

ASR in Bridge Pier of Expressway in Bangkok



Pile cap(Footing)

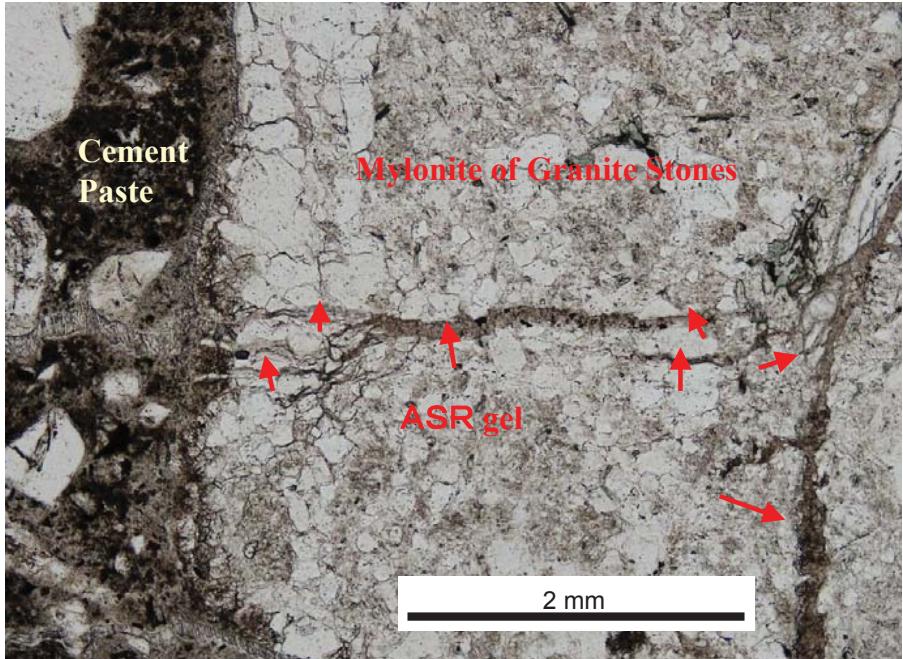


PC Pier column(Bridge)

Observations by Polarized Microscopy

Sample	Footing A (Very severe)	Footing B (Severe)	Footing C (Moderate)	Footing D (None)
Coarse aggregate (ASR stage)	Granite mylonite (4)	Granite mylonite (3)	Granite mylonite (2) Pelitic hornfels (2) Limestone (2) Chert (2)	Limestone (2)
Fine aggregate (ASR stage)	Granite (2)	Granite (2)	Granite (2)	Granite (2)
ASR stage of total core	4	3	2	2
Remarks	Much ettringite	Much ettringite	Much ettringite	Much ettringite

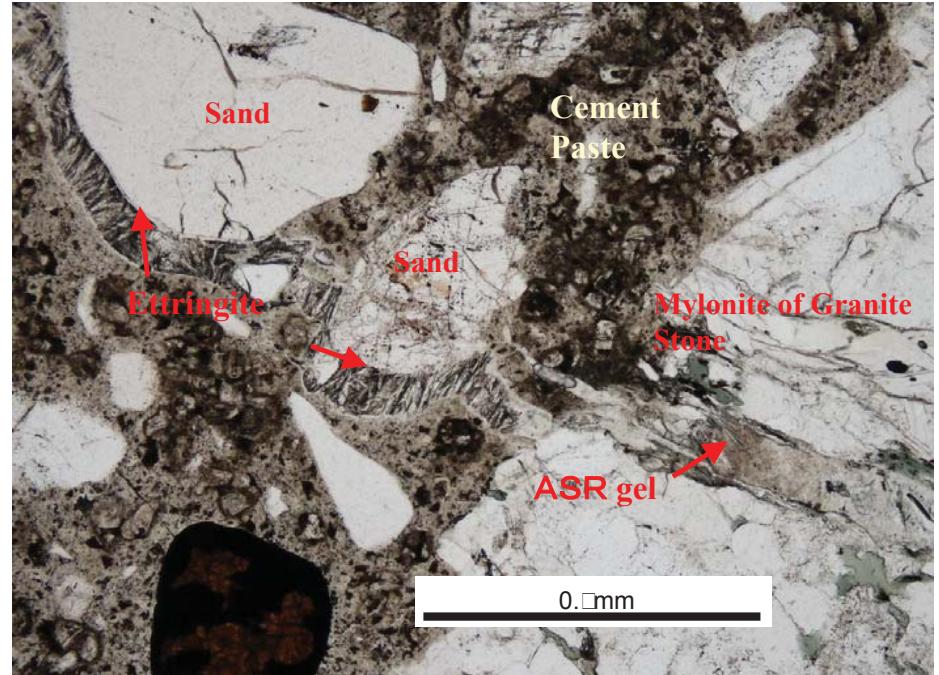
ASR Deterioration is mainly caused by mylonite contained in Granite stones.



(Footing A)

CONCLUSIONS

- From relationships between ASR degree in each rock type and damage levels of concrete structures, it was assumed that ASR in granite mylonite dominantly contributed to the deterioration of structures.
- In all footing samples, much ettringite was found. Samples with advanced ASR bore more, because it had grown inside cracks caused by ASR. Therefore, there is no evidence to suggest that ettringite formation contributed to the deterioration.
- Minor ASR was found along with amorphous or low crystallized products from altered mica in granitic fine aggregate. This is attributed to weathering under hot and humid climate. Therefore, weathered rocks in tropical regions contain potentially ASR reactive aggregates.
- Occurrence of ASR in tropical regions was considered to be characteristic as a relatively rapid reaction due to late-expansive minerals and weathering that might produce opal.



先輩からの一言

- * ICAAR会議の名称変更(ASRからASR&DEF)が提案された。DEFは骨材とセメントペーストの界面の観察手法が「鍵」。偏光顕微鏡またはSEM-EDSによる観察が必須となる。ポルトガル・リスボンでのICAAR2020までに結論。
- * 材料科学とコンクリート工学を融合した分野を中心に議論できる場(国内・国際会議)が必要である。ICCCとICAARが担った役割の意義。セメント技術大会の存在意義も同様。
- * RehabilitationやMaintenance分野でのわが国の積極的な関与と貢献が期待される。とくに、東南アジアでの塩害とASRでの課題解決はわが国の使命(SIPからの要望あり)。
- * ASRやDEFの研究は困難(失敗)かつ長い道のり(時間)だが、研究者としてのやりがいがある研究分野である。

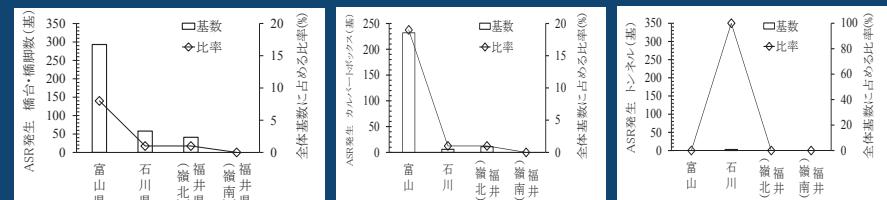
北陸自動車道のASR劣化構造物の特徴および調査診断と補修対策

平成28年9月30日

(株)野村昌弘の研究所、(株)フルテック
野 村 昌 弘

I 北陸自動車道のASR劣化構造物の特徴

- 北陸自動車道は、北陸3県を東西に通過(昭和47年～昭和58年の供用)
- ASRは富山県での発生がもっとも多く、石川県および福井県嶺北でも点在
- ASRによるひび割れ発生部位は、路面水の影響を受ける橋梁橋台、掛け違い橋脚、カルバートボックスの入り口、トンネル面壁
- 路面水：冬期には凍結防止剤(主成分NaCl)を散布(IC間で200～500t/年 使用)
- コンクリート用骨材として地元の河川産骨材(多種類の岩種が混在)を使用(福井県の一部の南部を除く)



高速道路における県別のASR発生状況

II 北陸自動車道のASR劣化構造物の調査診断(1)

点検との関連性を持たせるため、外観上のASRランクを4段階に分類



ASRのひび割れが広範囲に多
数発生し、段差やすれも認めら
れるもの

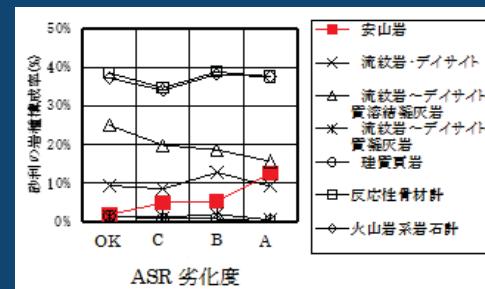
ASRのひび割れが構造物の約1/3
以上の面積で発生しているもの

構造物の隅角部などにASRの
ひび割れがごく一部発生してい
るもの

劣化度OK: ASRのひび割れが発生していないもの

II 北陸自動車道のASR劣化構造物の調査診断(2)

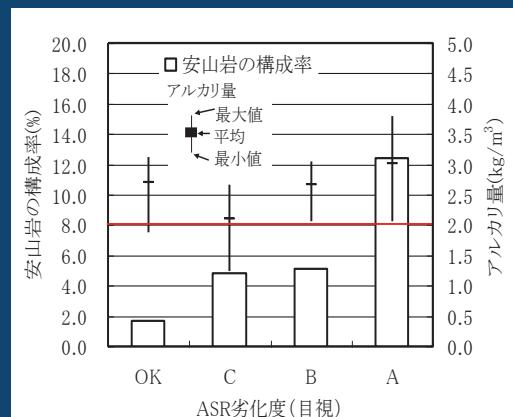
- ASRランクが高い構造物の骨材の起源
富山県: 常願寺川、神通川、庄川
福井県: 九頭竜川
石川県: 常願寺川や九頭竜川の骨材が流通
の関係で使用したことによりASRが発生
- 岩種とASR劣化度の関係では安山岩の構成率が高くなるほど
ASR劣化度が増加(ペシマム混合率に近づく→)
■ 維持管理では安山岩の反応状況を確認することがポイント！



川砂利には多種類の岩種が混在

II 北陸自動車道のASR劣化構造物の調査診断(2)

- アルカリ量とASR劣化度との関係では、コンクリートのアルカリ量が多くなるとともに、構造物のASR劣化度が増加
- 1.5kg/m³程度のアルカリ量でも劣化度CのASRが発生
- 現行のアルカリ総量規制値3kg/m³を遵守してもASRの発生を完全に抑制することができない



安山岩の構成率、コンクリートのアルカリおよびASR劣化度との関係

III-1. 北陸自動車道のASR劣化構造物の補修対策

- ASR補修として、ひび割れ注入と表面被覆工法を実施してきたが、再損傷を生じるものが多い。
- 中には10数年経過しても健全な状態を継続しているものもある。何が違うのか？



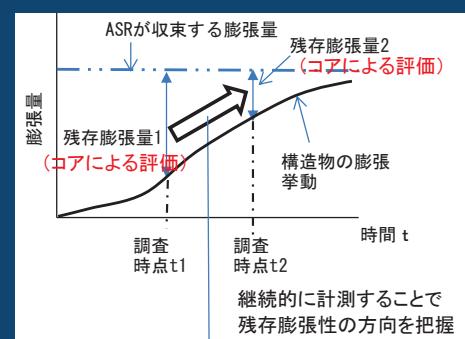
(1)供用(昭和50年)から12年後の状況 (2)第1次補修(昭和63年)から17年後の状況 (3)第2次補修(平成17年)から10年後の状況

表面被覆工法のASRによる再損傷の事例

- 富山県内のASR補修 表面被覆工法、連続繊維シート接着工法、表面含浸工法、コンクリート巻立てによる断面修復法工法について追跡調査
- 補修の目的：凍結防止剤対策(鉄筋腐食の抑制)、コンクリート片の剥落防止
- 補修前と補修後約10年でのNaOH溶液浸漬法による残存膨張性の評価

III-2. NaOH溶液浸漬法による残存膨張性の評価

- 北陸地方のASR残存膨張性の評価ではコアによるNaOH溶液浸漬法(カナダ法、温度80°C、1N-NaOH溶液浸漬)を取り入れてきた経緯
- 残存膨張性をコアで確認できないか？
- コアによる一回の試験では、試験当時における断面の結果に留まる
- また試験結果は、含有する岩石、鉱物、アルカリ量、ASRの進行状況により変化
- 養生温度が80°Cと高く、構造物の現状と乖離して本来ASRを生じない岩石までASRを促進してしまう、ということを指摘！
- 同一構造物で試験を複数回実施することで残存膨張性の方向性が確認できるのではないか



III-3. 表面被覆工法 (1)種別と現況

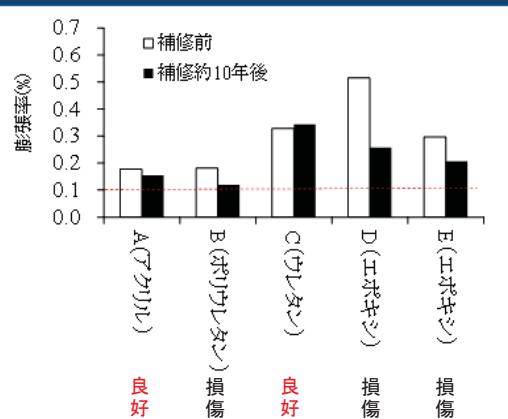
表面被覆材の種別と現況				
補修材料	アクリルゴム系塗装	ポリウレタン系塗装	ウレタン系塗装	エポキシ系塗装
構成	上塗: アクリルウレタン系 (300g/m ²) 中塗: アクリルゴム系 (2000g/m ²) 下塗: エポキシ系 (200g/m ²)	上塗: アクリルシリコン系 (100g/m ²) 中塗: ポリウレタン系 (500g/m ²) 下塗: シラン系 (150g/m ²)	上塗: フッ素系 (300g/m ²) 中塗: ウレタン系 (2500g/m ²) 下塗: ウレタン系 (200g/m ²)	上塗: ポリウレタン系 (120g/m ²) 中塗: エポキシ系 (700g/m ²) 下塗: エポキシ系 (400g/m ²)
構造物名	A	B	C	D, E
供用年	1975	1975	1975	1975
補修年	2001	2001	2001	2004
部位	橋台 (部材厚 1.5m)	橋台 (部材厚 1.5m)	橋台 (部材厚 1.5m)	橋脚 (部材厚 2m)
現況※	良好	損傷	良好	損傷
コア採取位置	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受ける、地盤より0.3m程度の高さの位置			

※2015年12月での状況

- ASR劣化度Aの構造物に4種類の表面被覆工法を追跡してきたが、14年経過後でもアクリルゴム系やウレタン系の表面被覆材は良好な状態を継続
- これらの材料に共通することは下塗+中塗が2200g/m²以上
- ひび割れ追従性のある中塗材を厚くすることでASRの膨張を抑制－

III-3.表面被覆工法 (2)NaOH溶液浸漬法の結果

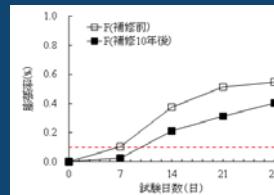
- 表面被覆材が良好な状態を継続していたものは、コアの膨張率にほとんど変化なし
→ASRの進行を抑制していたと評価
- 表面被覆が損傷したものはコアの膨張率が時間の経過とともに低下
→ASRの進行を抑制できなかったことを評価



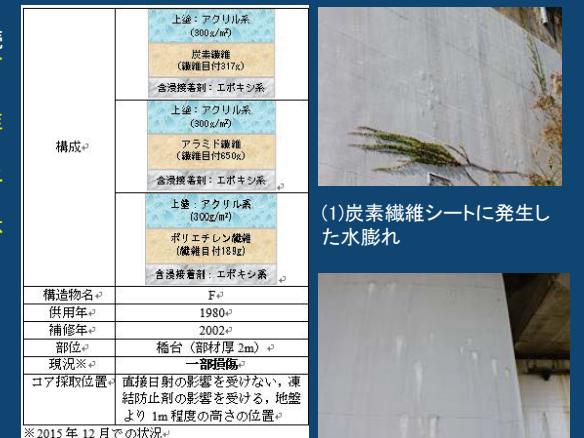
補修前後のNaOH溶液浸漬法による膨張率の比較(試験日数21日)

III-4.連続繊維シート接着工法による補修

- ASR劣化度Aの橋台に3種類シートの施工
- 施工から約10年程度までは良好な状態を継続していたが、13年経過後には水膨れや遊離石灰の滲み出しを確認。
- コアによる残存膨張性の傾向では、連続繊維シートではASRを抑制できない
- 材料が丈夫なのでコンクリート片の剥落防止機能は継続ー
- 遊離石灰が発生している箇所では、シート自体が硬化しており今後、検証する必要?



補修前後のNaOH溶液浸漬法の比較



(1)炭素繊維シートに発生した水膨れ



(2)ポリエチレン繊維シートに発生した遊離石灰

III-5.表面含浸工法による補修 (1)種別と現況

構成	ケイ酸ナトリウム系表面含浸材		構成	シラン系表面含浸材	
	ひび割れ注入	ひび割れ充填		構成	ひび割れ注入
構成物名	G ^a	H ^a	I ^a	J ^a	K ^a
供用年	1973 ^a	1973 ^a	1973 ^a	1976 ^a	1979 ^a
補修年	1997 ^a	1995 ^a	2010 ^a	2013 ^a	2013 ^a
部位	カルバート ^a ボックス内壁 ^a (染部材 厚0.6m) ^a	橋脚 ^a (染部材 厚2m) ^a	橋脚(壁部 材厚1.5m) ^a	橋台(部材厚1.5m) ^a	カルバート ^a ボックス ^a
現況※	損傷 ^a	損傷 ^a	一部損傷 ^a	良好 ^a	一部損傷 ^a
コア採取位置	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受けない、地盤より1m程度の高さの位置 ^a	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受けない、地盤より1m程度の高さの位置 ^a	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受けない、地盤より5m程度の高さ ^a	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受けない、地盤より5m程度の高さ ^a	— ^a

* 2015年12月までの状況^a

一般道での追跡事例

III-5.表面含浸工法による補修 (2)ケイ酸ナトリウム系表面含浸材

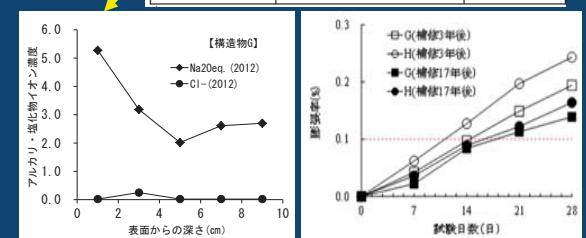
- 本材料の説明ではASRの抑制効果を明記
- 平成7年～平成9年に施工したが、数年でひび割れ等の再損傷が発生！
- 主剤の成分を調べるとASR対策といいながら、水溶性の炭酸ナトリウムを9%も含有しており、そのアルカリがコンクリートに浸透→ASRを助長ー
- ひび割れ部からコアを採取し、EPMAによるマッピングを行ったが、ホームページに記載しているような増殖機能は確認できない
- コアの残存膨張性の傾向は、ASRを進行させているような傾向ー



ケイ酸ナトリウム系表面含浸材塗布後の損傷状況
(2015年の状況)

ケイ酸ナトリウム系表面被覆材(主剤)の分析結果

構成材料	含有率(%)
骨材	石英砂 ^a
セメント	ポルトランドセメント ^a
触媒性化合物	水酸化カルシウム ^a
無機系混和材	水酸化マグネシウム ^a
有機系混和剤	炭酸ナトリウム ^a
	9 ^a
	フマル酸 ^a



アルカリ金属の外部からの浸透
NaOH溶液浸漬法の比較結果
(構造物G, H)

【材料の特徴(ホームページより)】
マグネシウム(Mg)を主材とする触媒性化合物がコンクリート深部に浸透するとともに毛細管空隙や連絡孔さらに微細なひび割れに新たなセメント結晶物(CSH)を増殖させ、コンクリートを緻密化することでASRを抑制

III-5.表面含浸工法による補修

(3)シラン系表面含浸材とひび割れ注入による補修

- 施工から2年で全体の1割程度で注入箇所が開いたり、新たなひび割れの発生を確認
- 含浸材の撥水機能は継続
- 本工法では、コアの膨張傾向が継続するような場合、長期的な耐久性は望めない



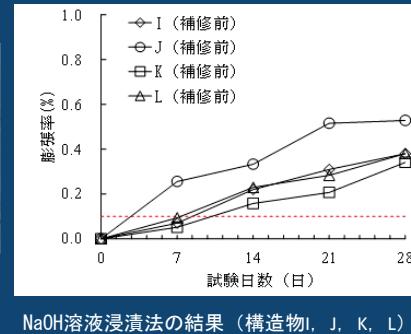
表面含浸材の撥水効果は確認



ひび割れ注入材の損傷状況
(構造物I)

新しいひび割れの発生
(構造物)

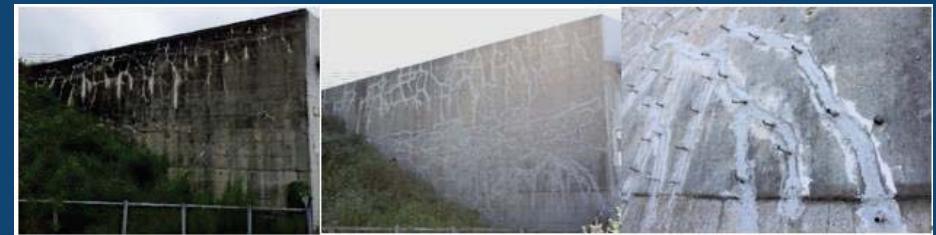
補修後2年での損傷状況



III-5.表面含浸工法による補修

(4)シラン系表面含浸材とひび割れ充填工による補修

- 構造物MではASRによる遊離石灰が発生しており、対策としてポリウレタン系弾性シーリング材によるひび割れ充填工を実施した後、シラン系の表面含浸材を塗布
- 軸体内部の水対策として導水工のパイプが約20cmピッチで配置
- 一部のパイプから水の排出も確認
- 補修5年後ではスポットによる散水で含浸材の撥水機能が確認
- ひび割れ充填材に損傷は発生していない
- 本工法では内部鉄筋の腐食抑制という目的を発揮



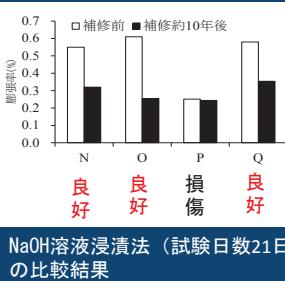
構造物Mの状況

III-6.コンクリート巻立てによる断面修復工法による補修

- かぶりを除去し、追加鉄筋およびコンクリートによる修復
- 遊離石灰の滲出もあるが12年以上、良好な状態を保つものが多い
- ASRが顕著に発生した道路構造物の下部工鉄筋には降伏点を超える応力が作用
- 追加鉄筋を配置することで既設の鉄筋の応力負担を軽減
- ASR膨張によって引張力が発生していたかぶり部分を除去し、新たなコンクリートで断面修復することでかぶり部分の引張力を一度リセット
- 断面修復のコンクリートにはビニロン繊維(K社製)をセメント量の0.5%を混入しひび割れ発生を抑制
- かなり高価な工法であるが、ほとんどメンテナンスフリーとなれば費用対効果が大きい！
- 残存膨張性の傾向では、本工法では軸体内部のASR抑制効果が期待できない



構造物Pでの遊離石灰の発生



IV.まとめ(1)

- 北陸地方の構造物では、常願川水系(富山県)や九頭竜川水系(福井県)の河川産骨材を使用したことにより、一部の構造物に劣化度の高いASRが発生していた。この地域の河川産骨材は、安山岩の岩種構成率がペシマム混合率に近いことが深刻なASR発生の原因の一つと考えられた。
- コンクリートのアルカリ量と安山岩の構成率が増加するとともに、構造物のASR劣化度が高くなり、アルカリ量が2kg/m³程度でも劣化度AのASRが発生していた。1.5kg/m³程度のアルカリ量でも劣化度CのASRが発生していることから、現行のアルカリ総量規制値3kg/m³を遵守してもASRの発生を完全に抑制することができないことが判明した。
- アクリルゴム系およびウレタン系の表面被覆材は、14年間 ASRを抑制する効果を示した。これらの被覆材に共通することは中塗材と下塗材の塗布量の計が2,200g/m²以上ものであった。特にひび割れ追従性のある中塗材厚くすることで、ASRによる膨張を抑制し、被覆材自身の損傷のリスクを低減できた。

IV.まとめ(2)

- iv. 連続繊維シート接着工法は、コンクリートはく落防止の性能は持続するもののASRを抑制する効果は期待できず、13年経過後より水膨れや遊離石灰の発生が顕在化した。なお、遊離石灰の発生箇所では、シートの性能を検証することが必要であった。
- v. 本調査で追跡したケイ酸ナトリウム系の表面含浸材は、主剤中に炭酸ナトリウムを含み、成分中の Na^+ がASRを促進させた可能性があった。
- vi. シラン系表面含浸材と柔軟型エポキシ系のひび割れ注入による組み合わせでは、注入箇所のひび割れが開くとともに新たなひび割れが発生するなど、鉄筋腐食を抑制できない場合が確認された。
- vii. シラン系表面含浸材とポリウレタン系弾性シーリング材によるひび割れ充填工は、5年間健全な状態を継続していた。
- viii. コンクリート巻立てによる断面修復工法は、断面修復の構造によってASR膨張を処理する場合があり、12年以上、凍結防止剤の浸透抑制やコンクリートはく落片の防止効果が期待できた。

ご清聴ありがとうございました。

能登有料道路のASR劣化構造物の特徴と補強対策



石川県中能登土木総合事務所のと里山海道維持管理課

津田 誠

1

本報告の目的

ASR劣化橋梁の補修補強対策について確立された手法
はない

Task1 ASR劣化対策と橋脚補強とを同時に施工した橋脚
に対して、ASR抑制効果があったのか？

Task2 橋脚形状とPC巻立てによるASR抑制効果の関係

Task3 ASR劣化が生じたフーチングへの対策の検証

Task4 効果的なモニタリング手法



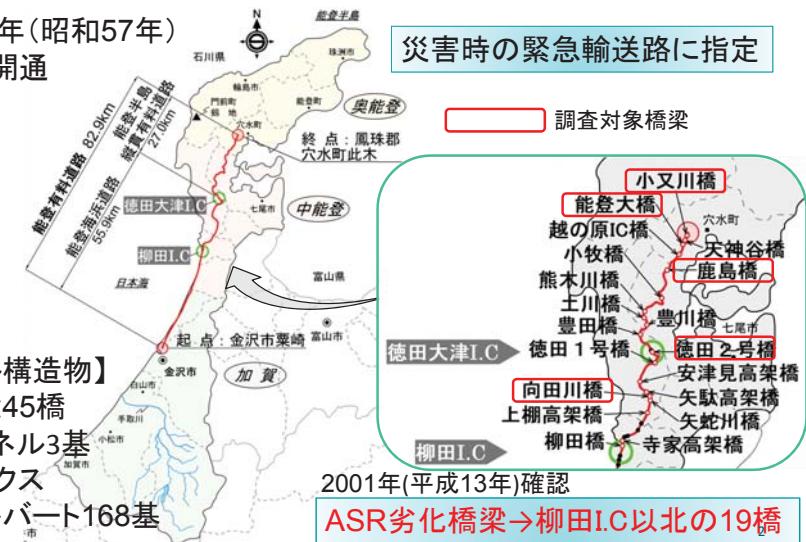
①劣化の構造物の調査・特性を把握
②亀裂変位計を用いた長期間のモニタリングを実施

ASR劣化橋脚のASR抑制効果の検証および問題点の抽出
し、今後の維持管理手法の確立

のと里山海道の概要(旧能登有料道路)

1982年(昭和57年)
全線開通

災害時の緊急輸送路に指定



調査対象橋梁の概要(1)

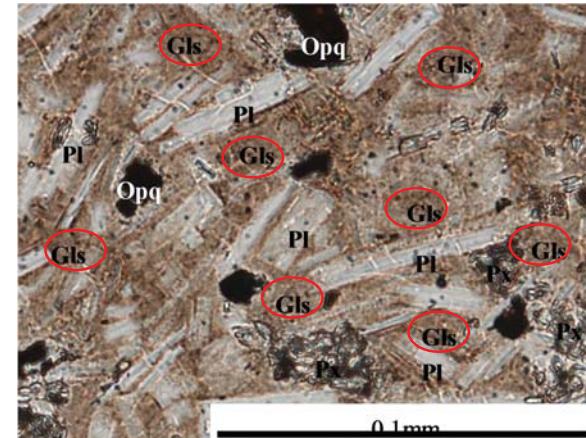
対象橋梁	建設年	補強年	下部工形式	構造高	柱断面寸法	
A橋	P1 橋脚	S55	H14～ H16	張出式橋脚 (基部付近 のみ中空)	26.5m	3.8×3.8m
	P2 橋脚				26.5m	同上
B橋	PA1 橋脚	S53	H19	壁式橋脚	29.5m	10×3m
C橋	P1 橋脚	S53	H17～ H18	中空式 張出式橋脚	42.1m	4×4m
	A1橋台			ラーメン式 橋台	5.9m	10.7×0.6m
D橋	P2 橋脚	S57	H19	張出式橋脚	33.0 m	4.1× 9.1 m
E橋	A1, A2 橋台	S51	H10～ H11	張出式橋脚 から橋台に 構造変更	8.8 m	—

調査対象橋梁の概要(2)

対象橋梁	ASR劣化状況	帶鉄筋の状況	補修・補強工法
A橋	P1 橋脚	柱基部付近の隅角部に大きなひび割れ	破断 帶鉄筋復旧（フレア溶接）+RC巻立て補強
	P2 橋脚	柱基部付近の隅角部に大きなひび割れ	未確認 PC巻立て補強
B橋	PA1 橋脚	柱隅角部に非常に大きなひび割れ	建設時から接続なし PC巻立て補強
C橋	P1 橋脚	柱鉛直方向にひび割れ	健全 鋼板巻立て補強+梁打替え
	A1橋台	主鉄筋方向にひび割れ	健全 無し（ひび割れ注入のみ）
D橋	P2 橋脚	柱横梁部およびフーチング上面にひび割れ	破断 帶鉄筋復旧+柱:RC巻立て補強 フーチング:RC計算による巻立て補強
E橋	A1, A2 橋台	フーチング隅角部に大きなひび割れ	破断 フーチング巻立て補強+側径間部にボックスカルバートを構築し、構造変更

5

調査結果: 使用されていた骨材の偏光顕微鏡写真



Gls: 火山ガラス
Crs: クリストバライト
Pl: 斜長石
Px: 輝石
Sm: スメクタイト
Opq: 不透明鉱物

6

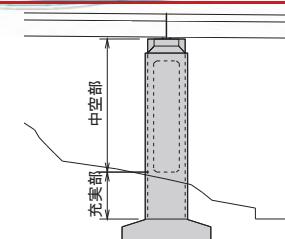
調査結果 橋脚のASRに劣化状況(A橋)

■充実部と帶鉄筋の破断との関係

【割れを発生させた要因】

充実部にてASR膨張力が大きく、さらに橋脚外側に集中

隅角部に割れが発生



7

調査結果 橋脚のASRに劣化状況(D橋)

■反応性の高い骨材を使用したフーチングのひび割れ



【割れを発生させた要因】

反応性の高い骨材

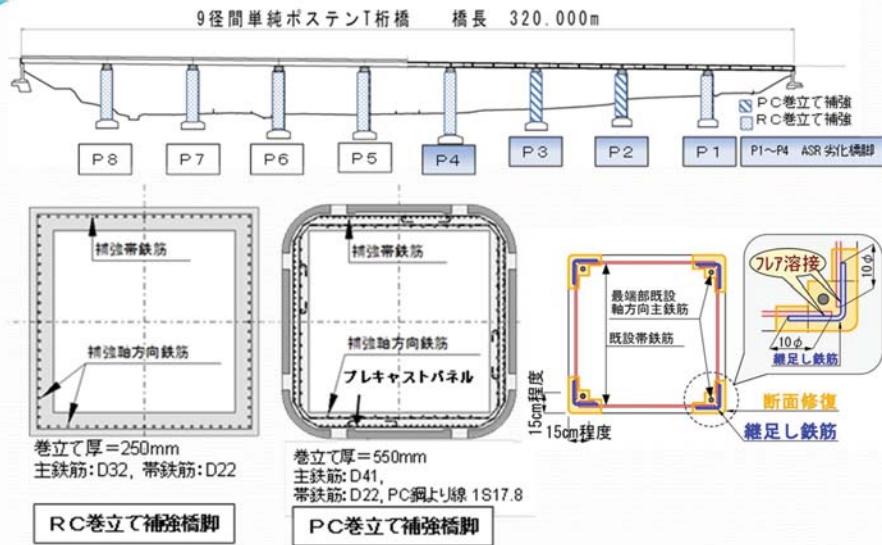
地下水位の変動・鉄筋の曲げ加工部の初期損傷・応力の集中

フーチング表面・角部にひび割れ

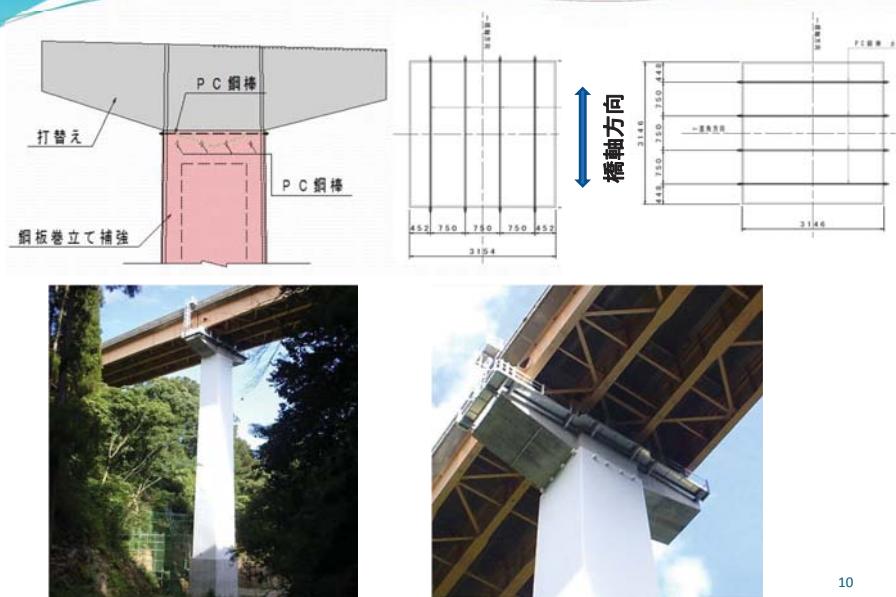


8

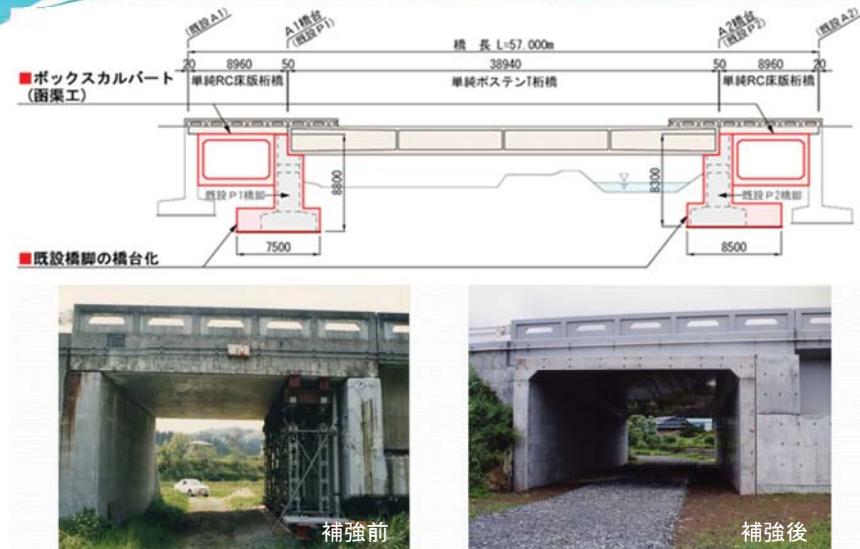
対象橋梁の補修補強工法(A橋)



対象橋梁の補修補強工法(C橋)

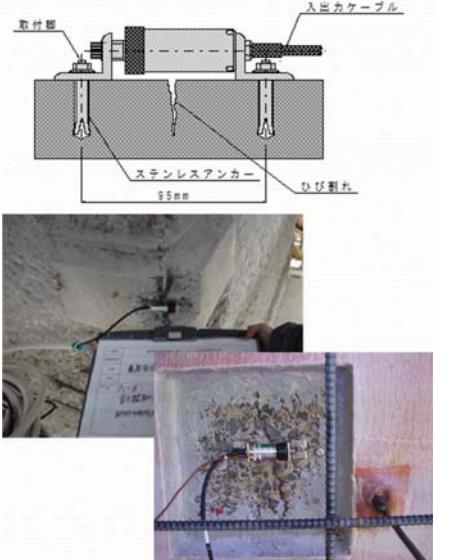


対象橋梁の補修補強工法(E橋)

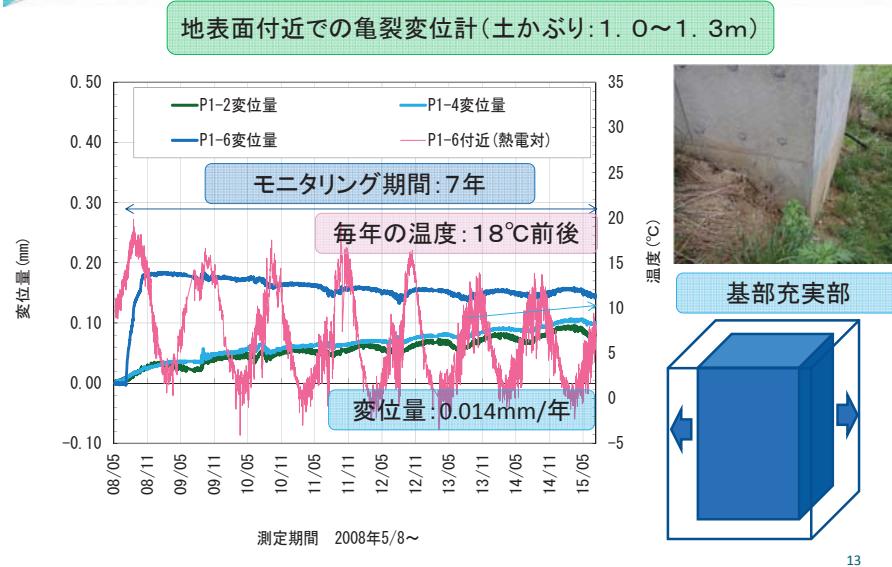


亀裂変位計によるモニタリング概要

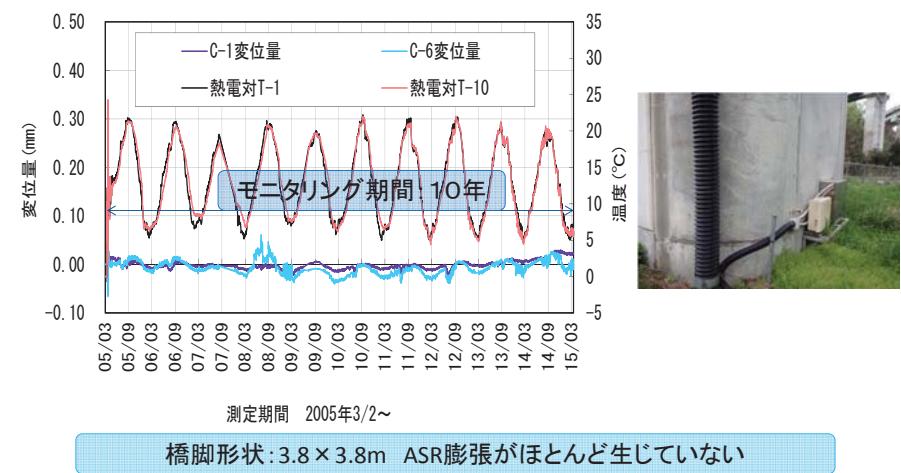
対象橋梁		計測時期	亀裂変位計設置状況
A橋	P1	補強後	土中部 表面付近 : 3箇所 土中部 柱基部付近 : 3箇所
	P2	補強後	地表部 : 2箇所
B橋	PA1	補強後	気中部 : 3箇所 土中部 : 2箇所
C橋	P1	補強前 補強後	気中部 : 2箇所 気中部 : 1箇所 土中部 : 1箇所
	上部		主桁ウェブ : 6箇所
D橋	A1	補修後	気中部 : 3箇所
D橋	P2	補強後	土中部フーチング : 2箇所



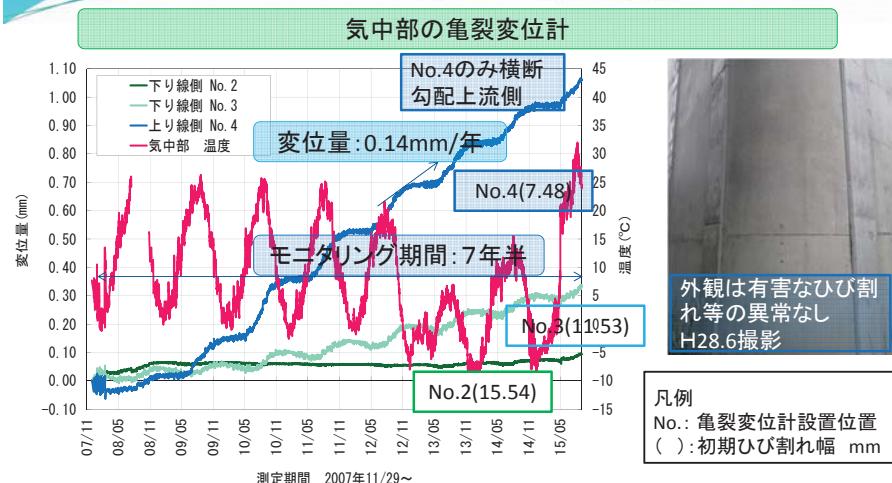
モニタリング結果(A橋 P1橋脚 RC巻立て)



モニタリング結果(A橋 P2橋脚 PC巻立て)



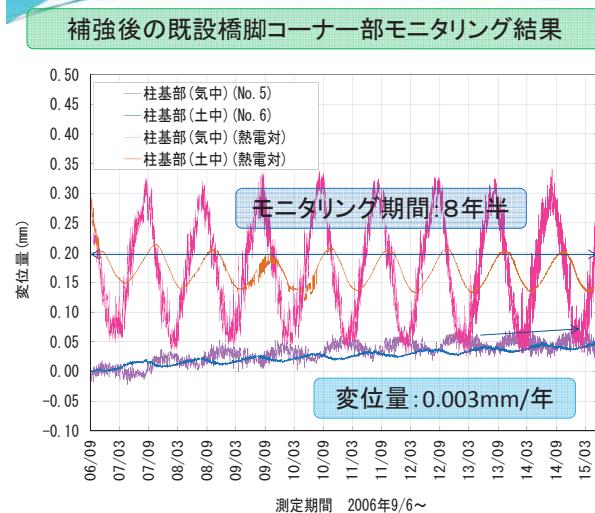
モニタリング結果(B橋 PA1橋脚 PC巻立て)



B橋 PA1橋脚 橋脚形状 10×3m(長方形)

A橋3.8×3.8(正方形)と比較しASR膨張に対する抑制効果が少ない
初期ひび割れが小さい横断勾配上流側の亀裂変位計が大きく増加

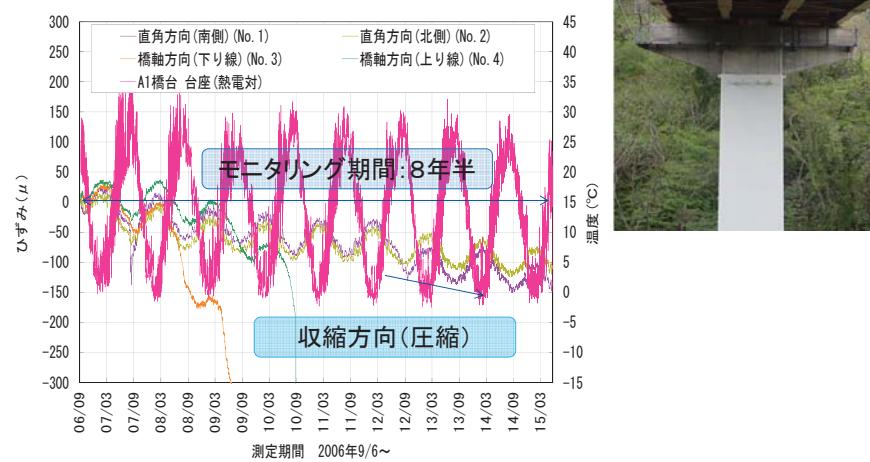
モニタリング結果(C橋P1橋脚 鋼板巻立て)



変位量は微増、さらに点検により鋼板コーナー部等の異常なし

モニタリング結果(C橋P1橋脚 鋼板巻立て)

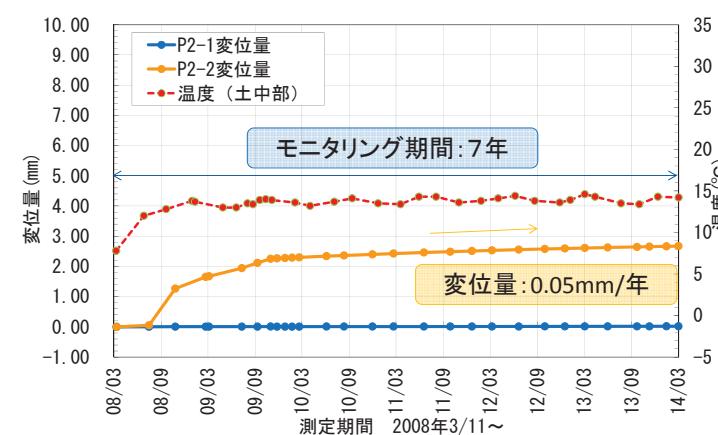
補強後の橋脚柱頭部PC鋼棒のひずみのモニタリング結果



17

モニタリング結果(D橋P2橋脚 フーチング)

RC巻立て補強でのフーチングのモニタリング



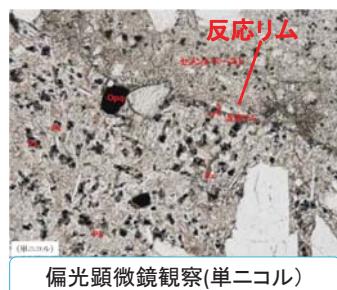
18

調査結果 E橋外観・顕微鏡観察

■ASR劣化のため、橋梁下部にBOXを施工し構造形式を変更



本橋は平成10年、現在のASR抑制対策後に建設され、骨材の周りにASRによる反応リムが見られた。



反応性の高い骨材でかつ環境条件で、現在の抑制対策に加えて、さらに配慮が必要

19

まとめ

- (1) PC巻立て工法の代替えのRC巻立て工法は、7年間のモニタリングの結果、一部でひび割れ幅の増加が見られる箇所があるものの、ASR膨張に対して制御できていると考えられた。
- (2) PC巻立て工法において、断面形状と補強効果において、ASR対策効果に差があることが判明した。
- (3) RC補強を行ったフーチングではモニタリングの結果異常な挙動はなく、十分に補強効果があった。
- (4) 鋼板巻立て工法は、橋脚部のひび割れ幅の増加量は微量でかつ、有害なPC鋼棒のひずみの変化がないことから、ASR抑制対策の1つとして選定することは可能と考えられる。
- (5) ASR抑制対策後に建設されたコンクリートBOXにて、頂版の下面および側面部にASRひび割れが確認された。環境条件を考慮し、ASR対策として材料など工夫する必要がある。
- (6) 大規模はASR対策後、モニタリングにて補強の効果を検証することは重要であるが、手法については十分な配慮が必要である。

20

「北陸地方における ASR 問題の解決を目指して」

道路橋 RC 床版の ASR の特徴と プレキャスト PC 床版の技術開発

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

道路橋RC床版の劣化(外観)

RC床版下面の劣化状況 → 亀甲状ひび割れ、遊離石灰の発生



RC床版上面の劣化状況 → 補装面のひび割れ、土砂化、上面鉄筋の腐食



本講演の発表内容

1. 北陸地方の道路橋RC床版の劣化現象
2. NEXCO中日本(北陸自動車道)のプレキャストPC床版による大規模更新事業の紹介
3. 地方道路橋での劣化RC床版に対する維持管理のあり方

道路橋RC床版の劣化(舗装・床版上面)

橋面の舗装状況に注意…

- 橋面舗装のポットホールは、床版コンクリートが損傷(土砂化)している兆候
- ASR、塩害などの材料劣化や疲労などの可能性



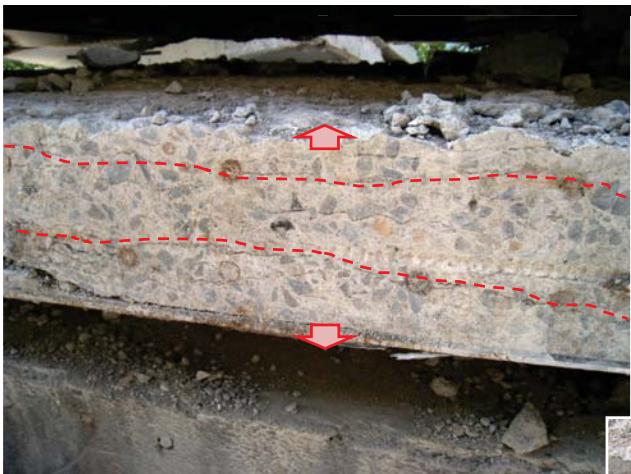
舗装・床版ひび割れと
鉄筋腐食が同一線上



車両の通行軌跡で
鉄筋腐食が進行

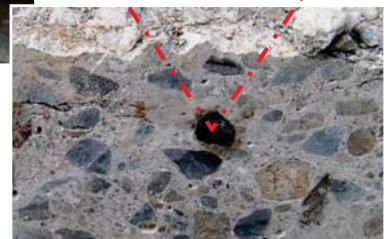
舗装ひび割れや舗装内の浸透水に加えて、車両通行による輪荷重の繰り返し作用での水圧作用で道路橋RC床版の土砂化や上面鉄筋腐食を促進している。

道路橋RC床版の劣化(床版断面)



アルカリ骨材反応が生じると……

- 拘束の少ない版厚方向に膨張
- 多数の水平ひび割れの発生



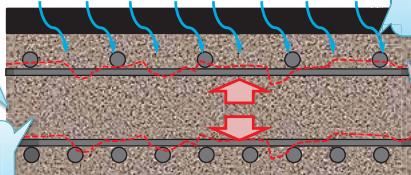
道路橋RC床版の劣化要因

北陸地方では、次の複数の劣化要因が作用して劣化が促進されると考えられる。

1. 施工時のブリージング、骨材の乾燥収縮
2. 凍結防止剤を含む路面排水による、床版への水浸透
3. 反応性骨材によるASRの進展(水平ひび割れの発生)
4. 凍結防止剤による床版上面鉄筋の腐食
5. 標高の高い路線では凍害劣化も発生
6. 供用後の床版コンクリートの乾燥収縮ひび割れ
7. 輪荷重による水圧作用での土砂化と鉄筋腐食
8. 中性化の進展による塩分固定

【環境】
床版への水浸透
輪荷重の水圧作用

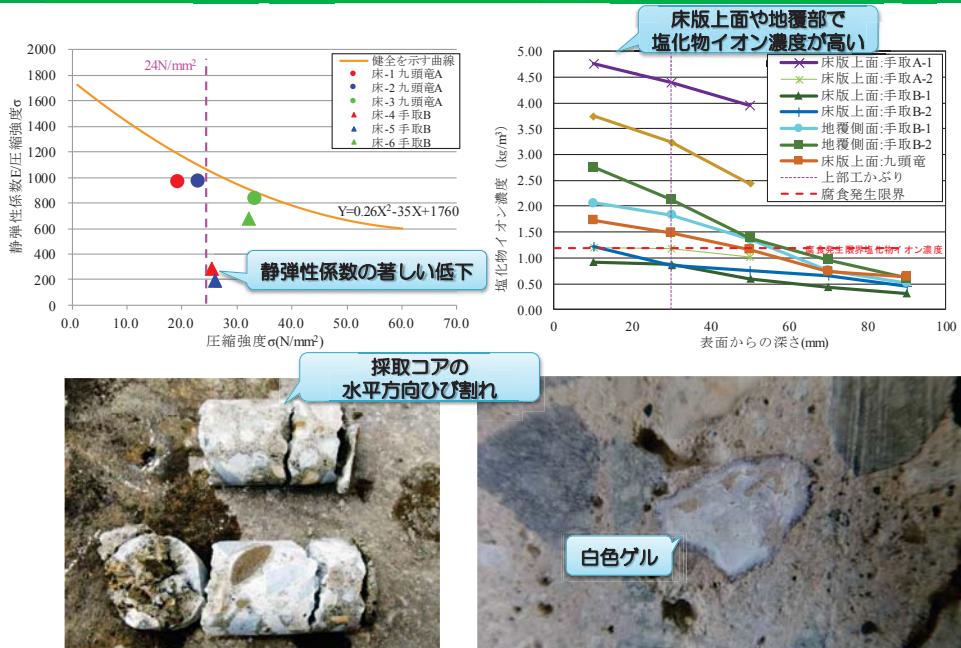
【材料】
反応性骨材によるASR
凍結防止剤による塩害
凍害、塩害による劣化



【劣化現象】
舗装ひび割れ
土砂化、鉄筋腐食
床版の水平ひび割れ
床版下面のひび割れ
遊離石灰 など

【施工】
ブリージング(鉄筋下の空けき)
骨材の乾燥収縮(骨材界面)

道路橋RC床版の劣化(試験での傾向)



北陸自動車道(NEXCO中日本)の取り組み

NEXCOの取り組み → 平成28年度より大規模更新、大規模修繕事業を**本格化**
[NEXCO中日本] ※工事の内容については、NEXCO中日本へお問い合わせください。

	路線	区間	期間	規制内容	工事内容	対象数量
H28年春	東名高速道路	静岡 IC～焼津 IC	H28.5.9～2016.7.10	対面通行規制	床版取替など	1橋
	中央自動車道	岡谷 JCT～伊北 IC	H28.5.17～2016.7.15	対面通行規制	床版取替など	1橋
H28年秋	北陸自動車道	滑川 IC～魚津 IC	調整中	対面通行規制	床版取替など	1橋
	北陸自動車道	今庄 IC～武生 IC	調整中	対面通行規制	床版取替など	1橋
	中央自動車道	諏訪南 IC～諏訪 IC	調整中	対面通行規制	床版取替など	1橋

【中日本高速道路】

27年度: 計画や設計を実施
28年度: 北陸自動車道の**早月川橋梁**や**日野川橋梁**、東名道の用宗高架橋や中央道の沢底川橋など5橋で**床版取替**を予定。

【西日本高速道路】

27年度: 床版取替17橋
28年度: 床版取替約20橋を予定
具体的には、中国道の道谷第二橋など8橋で対面通行規制による床版の取替に着手

[NEXCO西日本] ※工事の内容については、NEXCO西日本へお問い合わせください。

	路線	区間	期間	規制内容	工事内容	対象数量
H28年春	中国自動車道	徳島 IC～庭野 IC	H28.5月上旬～H28.10月下旬予定	対面通行規制	床版取替など	1橋
	中国自動車道	山崎 IC～佐用 IC	H28.5月下旬～H28.8月上旬予定	対面通行規制	床版取替など	2橋
	中国自動車道	新見 IC～北房 IC	H28.8月上旬～H28.9月上旬予定	対面通行規制	床版取替など	1橋
	中国自動車道	六日市 IC～吉和 IC	H28.6月上旬～H28.10月下旬予定	対面通行規制	床版取替など	1橋
	中国自動車道	庄原 IC～東城 IC	H28.7月上旬～H28.10月中旬予定	対面通行規制	床版取替など	1橋
H28年秋	中国自動車道	福崎 IC～山崎 IC	調整中	対面通行規制	床版取替など	2橋

[NEXCO東日本]

	路線	区間	期間	規制内容	工事内容	対象数量
H28年春	東北自動車道	仙台宮城 IC～泉 IC	調整中	昼夜連続車線規制及び夜間通行止	床版取替など	1橋
H28年秋	長野自動車道	安曇野 IC～麻績 IC	調整中	対面通行規制	床版取替など	1橋

※「平成28年3月30日 定例会見資料「大規模更新・修繕事業の進捗状況と今後の計画について」より引用

北陸自動車道(NEXCO中日本)の取り組み



【日野川橋の工事概要】	
橋梁名	日野川橋(下り線)
開通日	1977年(昭和52年)12月8日 (開通から38年経過)
道路名・区間	北陸自動車道 今庄IC～武生IC間
所在地	福井県南条郡南越前町
橋長	300m
橋梁上部工形式	鋼2径間連続鋼析(A1橋台～P2橋脚)+鋼3径間連続鋼析(P2～P5橋脚)+鋼3径間連続鋼析橋(P5橋脚～A2橋台)
床版取替延長	113m(橋長300mのうちP2～P5橋脚の間113mを施工)
橋梁上部工形式	鋼3径間連続鋼析橋(P2～P5橋脚)

工程	7月	8月	9月	10月	11月	備考
準備作業						
→遮離設置(現用便道) ～保土工設置 ～列面竹打防護施設						
跡片付け作業						
全体						

产地：日野川産の砂利
劣化：ごく軽微なASRおよび強度低下なし

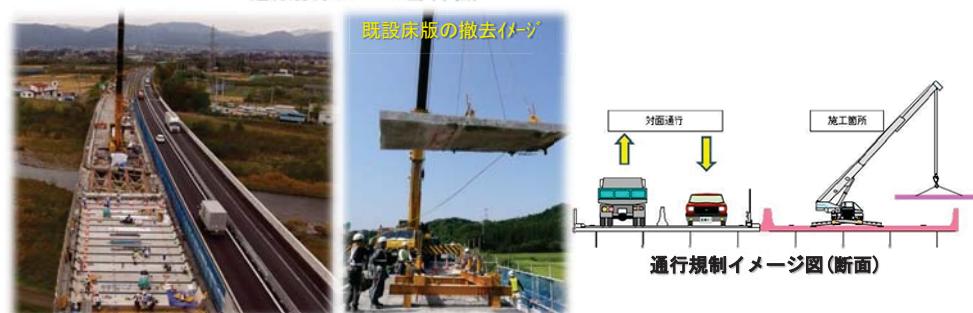
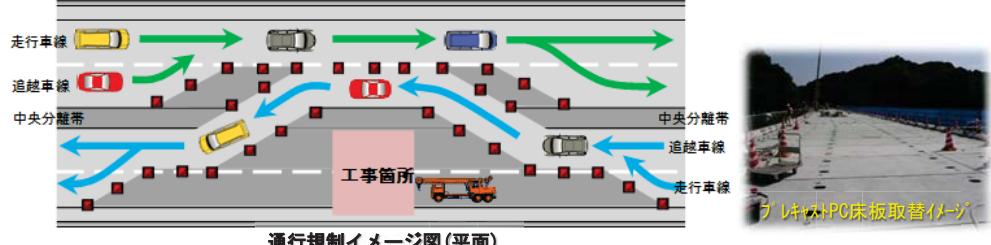
剥落防止対策後の劣化進展(ASR)

床版張出部の
鉄筋露出(塗害)



北陸自動車道(NEXCO中日本)の取り組み

通行止めを行わず両方向の通行を確保する対面通行規制など可能な限り交通への影響を抑えられる工事方法で対策を実施。



北陸自動車道(NEXCO中日本)の取り組み



【早月川橋の工事概要】	
橋梁名	早月川橋(下り線)
開通日	1983年(昭和58年)12月13日 (開通から32年経過)
道路名・区間	北陸自動車道 滑川IC～魚津IC間
所在地	富山県滑川市栗山
橋長	299m
橋梁上部工形式	RC4径間連続中空床版(A1橋台～P4橋脚)+鋼単純鋼析(P4～P5橋脚)+鋼4径間連続鋼析(P5～P9橋脚)
床版取替延長	197m(橋長300mのうちP5～P9橋脚の間197mを施工)
橋梁上部工形式	鋼4径間連続鋼析(P5～P9橋脚)

工程	7月	8月	9月	10月	11月	備考
準備作業						
→遮離設置(現用便道) ～保土工設置 ～列面竹打防護施設						
跡片付け作業						
全体						

产地：早月川産の砂利および砂
劣化：ごく軽微なASRおよび強度低下なし



地方道路橋での劣化RC床版に対する維持管理のあり方

劣化橋梁が数多く、対策予算の確保がしづらいため、劣化状態や路線の交通量などの使用環境を考えながら、戦略的に賢く長く使用する。

【潜伏期 → 水分・塩分の供給を遮断：防水層の設置】

劣化RC床版の劣化は、水分と輪荷重による水圧作用で加速度的に進展する。そのため、劣化要因の塩分や水分の供給を断つことで耐久性を確保する。



※「東北ニチレイ株式会社」ホームページより抜粋

【加速期、劣化期 → 早期の抜本的な床版取替：フライアッシュ床版など】

- ASRによる劣化が顕著
- 劣化期相当に進行
- コンクリートの脆弱化でひび割れは貫通
- 鋼管の水分が床版下面まで浸透

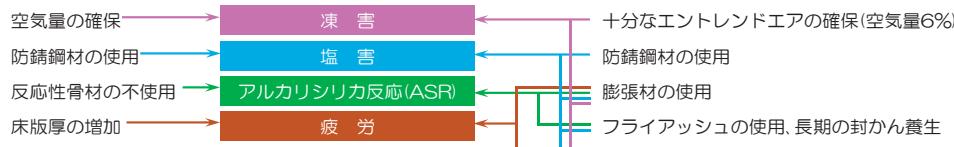
床版の打換えが必要

(フライアッシュコンクリートなどを活用した多重防護への取組み)



現場打ちコンクリートによる床版打替えの実施

【従来】



迂回路・仮橋設置



床版撤去状況



撤去床版コンクリート



完了

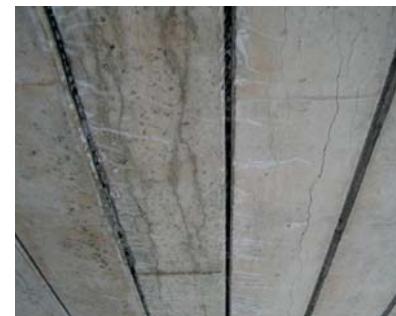


プレストレストコンクリートの ASRの特徴と対策

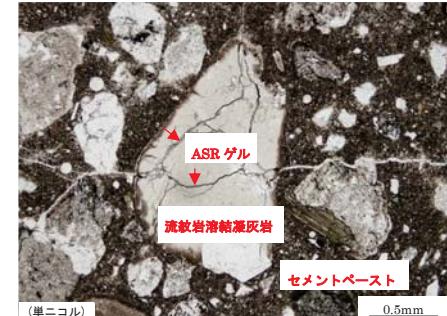
2016年9月30日
(株)ピーエス三菱
青山 敏幸

1. 反応性骨材の使用によるASRによる劣化事例 (プレテンション方式PC桁)

昭和46年(1971年)完成 プレテンション方式スラブ桁



ASRによるひび割れ発生状況



偏光顕微鏡による観察結果
(単ニコル)

骨材の種類: 安山岩、流紋岩(庄川水系)

コンクリート工学年次論文集: Vol.33 北陸地方におけるASRが発生したPC橋の詳細調査: 渡俊彦、鳥居和之

2

1. 反応性骨材の使用によるASRによる劣化事例 (プレテンション方式PC桁)



(S48)単純ホロ一桁



(S51)単純ホロ一桁



(S50)プレテンT桁



(S52)プレテンT桁

1. 反応性骨材の使用によるASRによる劣化事例 (プレテンション方式PC桁)



間詰めコンクリートのASR発生
により舗装面にリフレクション
クラックが発生した事例

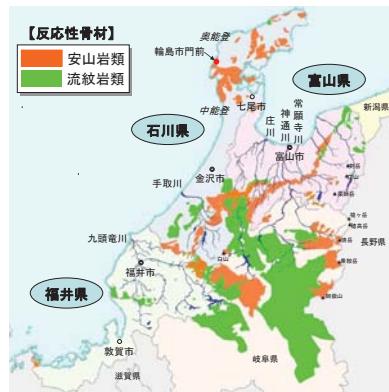


ASR膨張力 + 腐食PC鋼棒により
横縫めPC鋼棒が破断した事例

2. 反応性骨材の使用によるASRによる劣化事例 (ポストテンション方式PC桁)

ポストテンション方式PC桁

→ 場所打ちコンクリートによる製作が主であるため、PC橋の架橋地域に近い生コンクリート工場から出荷されるコンクリートを使用



北陸地方の主要河川と
岩体分布

→ ポストテンション方式によるASRの劣化は、北陸地方の反応性骨材の分布状況と一致

コンクリート工学年次論文集: Vol.33 北陸地方におけるASRが発生したPC橋の詳細調査: 湊俊彦、鳥居和之

2. 反応性骨材の使用によるASRによる劣化事例 (ポストテンション方式PC桁)



石川県の奥能登における中空床版橋

・外桁に最も顕著なひび割れが発生

・桁端定着部にかけて曲げ上げたPC鋼線に沿ったひび割れ

骨材の種類: 輪島市門前産の反応性の高い安山岩碎石

2. 反応性骨材の使用によるASRによる劣化事例 (ポストテンション方式PC桁)



S42(1967)ポステンT桁



S44(1969)ポステンT桁



S55(1980)ポステンT桁



S45(1970)ポステンT桁

5

コンクリート工学年次論文集: Vol.33 北陸地方におけるASRが発生したPC橋の詳細調査: 湊俊彦、鳥居和之

6

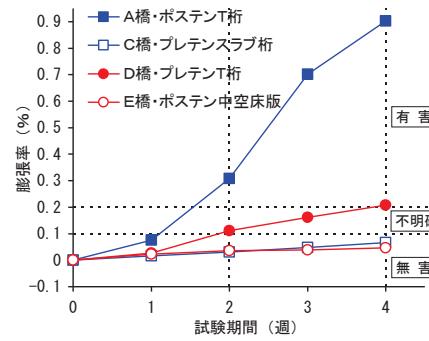
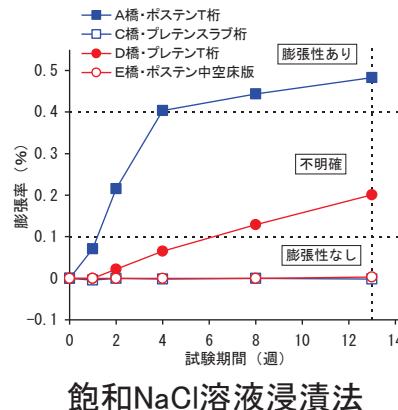
3. 反応性骨材の使用によるASRによる劣化事例 (PC橋梁から採取したコアによる詳細調査)

調査対象橋梁

橋梁名	完成年	形式	使用・環境条件	反応性骨材の種類 (河川水系)
A橋	S55(1980)年	ポストテンション方式T桁	北陸自動車道・平野部※	安山岩、流紋岩 (常願寺川水系)
B橋	S57(1982)年	ポストテンション方式T桁	県道・海上部※※	安山岩、流紋岩 (庄川水系)
		ポストテンション方式箱桁		
C橋	S46(1971)年	プレテンション方式スラブ桁	市道・平野部※	安山岩、流紋岩 (庄川水系)
D橋	S50(1975)年	プレテンション方式T桁	市道・平野部※	安山岩、流紋岩 (庄川水系)
E橋	S48(1973)年	ポストテンション方式 中空床版	北陸自動車道の跨 道橋・海岸部※	安山岩、流紋岩 (九頭竜川水系)

※:凍結防止剤の影響あり、※※:凍結防止剤および海から飛来塩分の影響あり

3. 反応性骨材の使用によるASRによる劣化事例 (PC橋梁から採取したコアによる調査(膨張率))

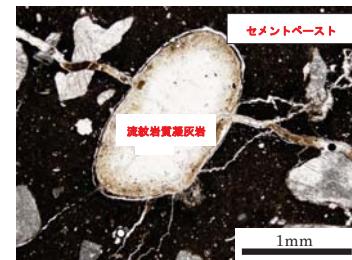


→ PC橋梁の場合、水セメント比が小さく、コンクリート内部が乾燥状態にあるため、水の影響を受けない場合は反応性の骨材が未反応として残っている場合がある。

コンクリート工学年次論文集: Vol.33 北陸地方におけるASRが発生したPC橋の詳細調査: 湊俊彦、鳥居和也

4. 組成ペシマム現象によるASRによる劣化事例 (PC舗装の劣化事例)

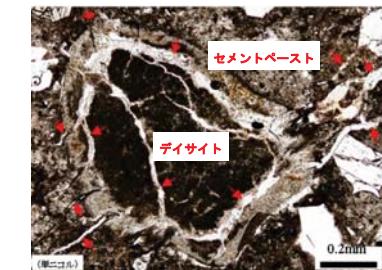
完成年	構造物種類	形式	設置場所	コンクリートの種類			設計基準強度(N/mm ²)	
				セメントの種類	骨材の種類			
					細骨材	粗骨材		
H10年 (1998)	PC	舗装	沿岸部	HPC	山砂と 陸砂	石灰石 碎石	40	



→反応性鉱物(オパール)を含有する溶結凝灰粒子から膨張ひび割れが進展したASRの劣化事例

4. 組成ペシマム現象によるASRによる劣化事例 (PC橋梁とPC床版の劣化事例)

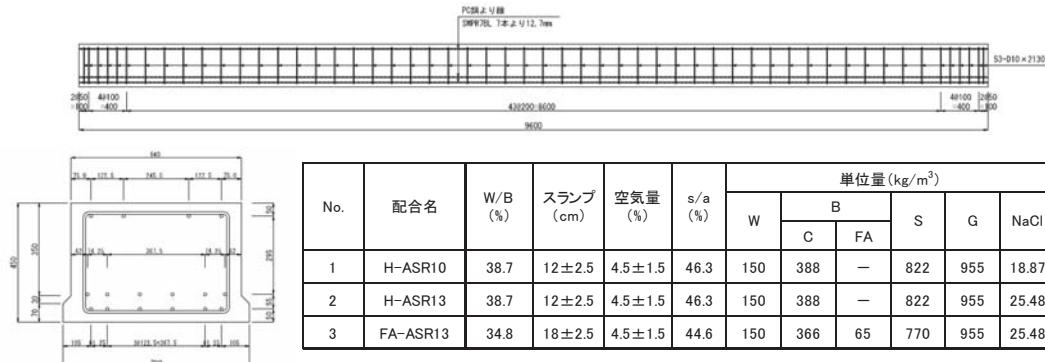
完成年	構造物種類	形式	設置場所	コンクリートの種類			設計基準強度 (N/mm ²)	
				セメントの種類	骨材の種類			
					細骨材	粗骨材		
S61年 (1986)	PC	PC床版	山間部	HPC	陸砂	石灰石 砕石	35	
		RC床版					24	



→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劣化の事例

⁹ コンクリート工学年次論文集: Vol.38 細・粗骨材の組み合わせのペシマム現象によるASR劣化事例の検証: 菊地弘紀、山戸博晃、広野真一、鳥居和之

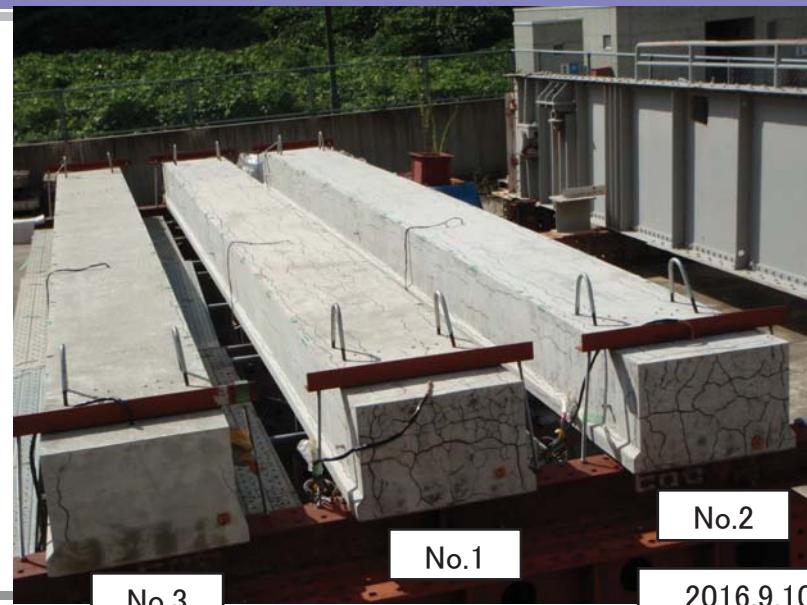
5. 金沢大学SIP(WG2)実施 ASR暴露枠



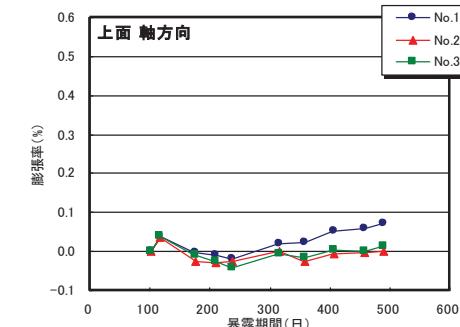
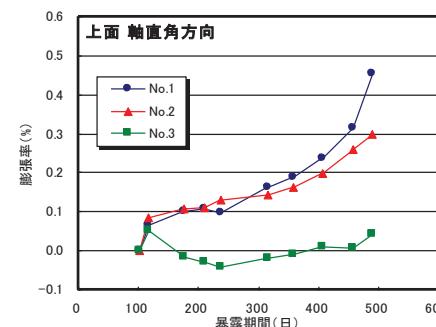
平成27年4月から
金沢大学角間キャンパスにて暴露開始



5. 金沢大学SIP(WG2)実施 ASR暴露桁 (ひび割れ発生状況)



5. 金沢大学SIP(WG2)実施 ASR暴露桁 (膨張率の測定結果)



桁上面の軸直角方向の膨張率が進行
FA桁(No.3)は、ASRによる膨張を抑制



6. ASR劣化が生じたPC橋梁の維持管理

・水分の供給の遮断

スラブ桁の場合、中空部に溜まった水によりASRが発生。
桁下面から水を抜く、橋面防水層等により水の浸透を防ぐことが重要。

・ASRと塩害の複合劣化構造物

ASRによるひび割れの進行を防ぐことよりも、塩害による鋼材腐食を
止めることの方が、構造物の長寿命化としては重要。

塩害対策→電気防食工法

(電気防食がASRに及ぼす影響を実構造物にてモニタリング中)

・新設構造物

組成ペシマムをもつ川砂や陸砂のASR抑制対策として、フライアッシュ
の積極的な使用。

- 北陸地方におけるASR問題の解決を目指して -

道路トンネルのASRの特徴と対策

2016年 9月 30日

アルスコンサルタンツ株式会社

麻田 正弘

1

北陸地方の道路トンネル覆工および坑門のASR劣化

覆工コンクリートのASR劣化

道路構造物で、利用者の頭上に、無筋コンクリートが使われるのは、トンネルの覆工コンクリートだけ？



3

1. 道路トンネルのASRの概要

2. ASR劣化と対策の事例

3. 維持管理の課題

(発表+質疑 15分)

2

道路トンネルのASRによる劣化の認識

道路トンネル維持管理便覧
(社)日本道路協会

道路トンネル維持管理便覧

平成5年11月

社団法人 日本道路協会

平成5年11月

道路トンネル維持管理便覧
(公)日本道路協会

道路トンネル維持管理便覧

[本体工編]

平成27年6月

公益社団法人 日本道路協会

平成27年6月



- トンネル覆工では、これまでのところアルカリ骨材反応による変状事例は少ない。

- アルカリ骨材反応による変状の研究や対策は途上にある。
- 鋼板接着等で覆工内側を密閉すると、反応を促進するおそれがある。
- 坑門や坑口付近の覆工で顕在化する場合が多い。

4

道路トンネルの変状の区分

● 変状区分

トンネルの変状は、3つに区分して取り扱っている。

① 外 力

② 材質劣化（材料劣化）

③ 漏 水

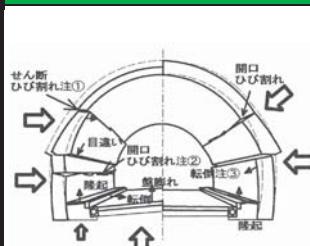
日本道路協会「道路トンネル維持管理便覧」平成27年6月

5

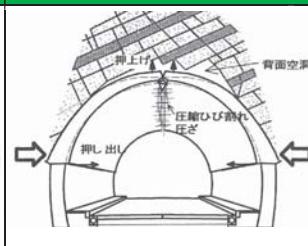
道路トンネルの代表的な変状（外力による）

● 外力が原因によるもの

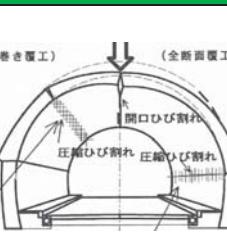
(a) 塑性圧、水圧、凍上圧(1)



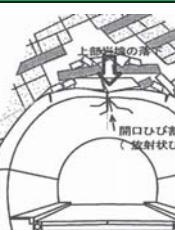
(b) 塑性圧、水圧、凍上圧(2)



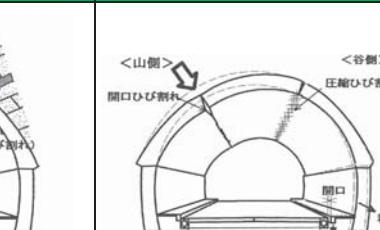
(c) 緩み鉛直圧(1)



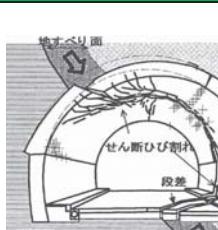
(d) 緩み鉛直圧(2)



(e) 偏圧、斜面クリープ



(f) 地すべり



土木学会「山岳トンネル覆工の現状と対策」平成14年9月 6

道路トンネルの代表的な変状（材料劣化）

● 材料劣化が原因によるもの

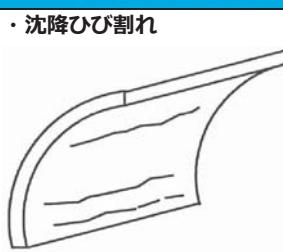
① 不規則なひび割れ



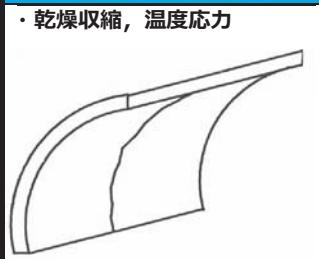
② 方形状のひび割れ



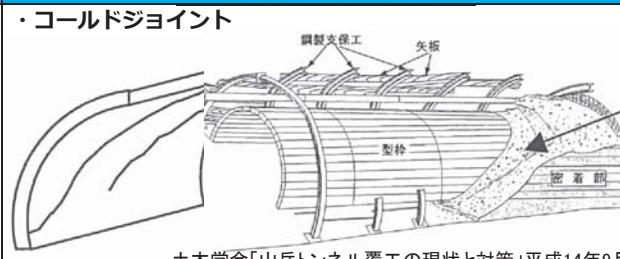
③ 水平方向のひび割れ



④ 横断方向のひび割れ



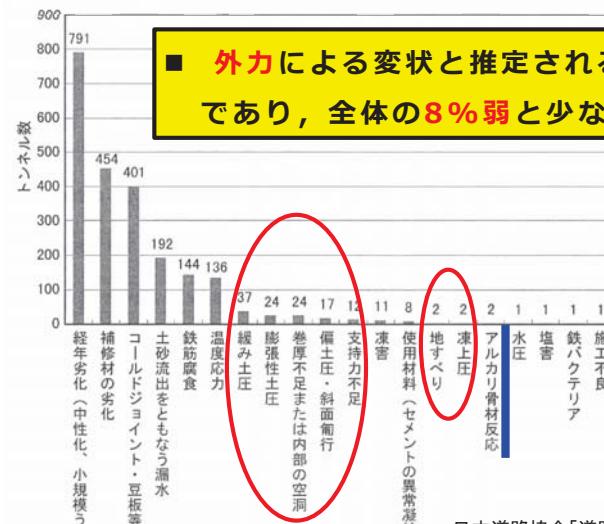
⑤ 斜め方向のひび割れ



土木学会「山岳トンネル覆工の現状と対策」平成14年9月 7

道路トンネルの変状区分の割合

● 平成14・15年 直轄国道1,058トンネルの定期点検結果

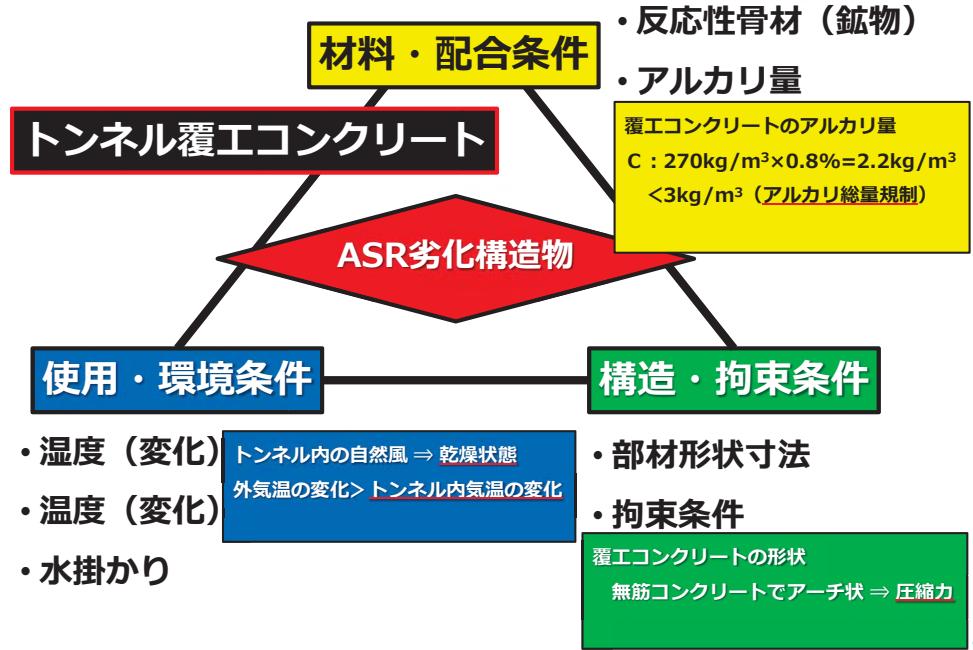


■ 外力による変状と推定されるものは、80トンネルであり、全体の8%弱と少ない。

日本道路協会「道路トンネル維持管理便覧」平成27年6月

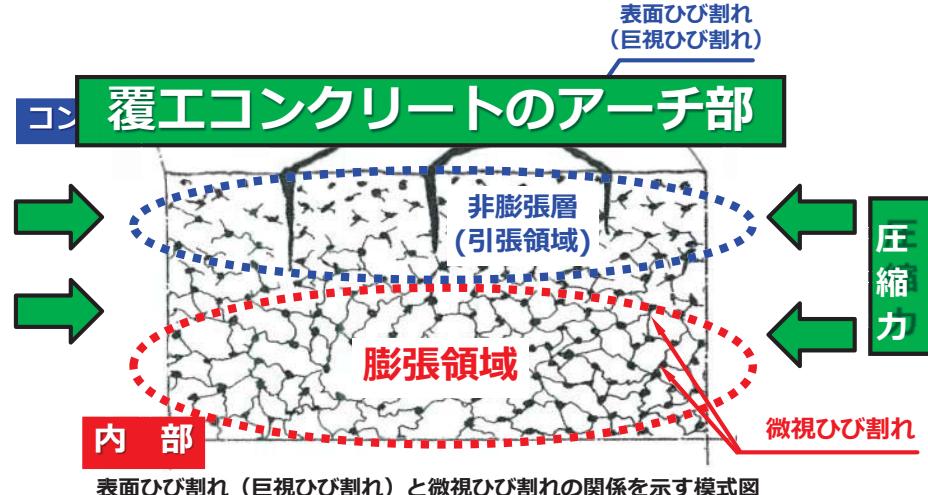
8

トンネル覆工コンクリートにASRが発生する条件



構造物におけるASRによる膨張とひび割れ

- ・コンクリート表面に見られる表面ひび割れは、内部の膨張領域の微視ひび割れが発達してできたものではない。
 - ・表面ひび割れは、表面に非膨張層が形成され、引張応力によるものである。



表面ひび割れ（巨視ひび割れ）と微視ひび割れの関係を示す模式図

出典：「現場技術のためのASR対策ノート」川村満紀 先生 10

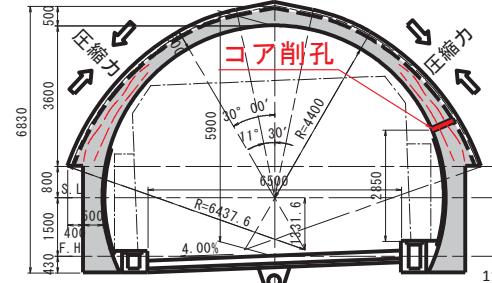
覆工コンクリートのASRによるひび割れの事例



コアの削孔跡



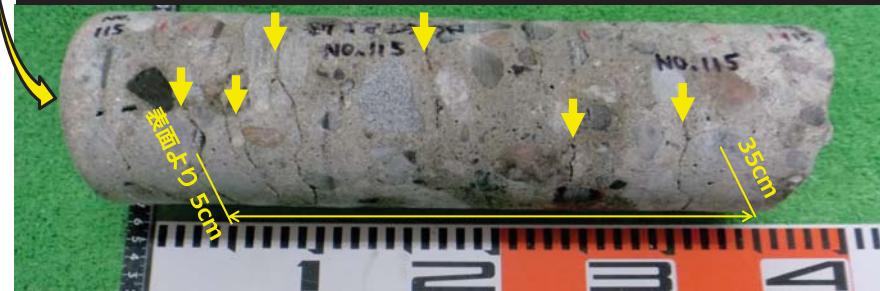
コンクリートコアの削孔位置



覆工コンクリートのASRによるひび割れの事例



覆工コンクリート断面内部に生じた輪切り状のひび割れ

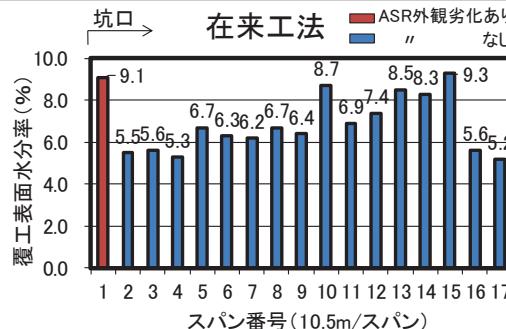


12

トンネル覆工コンクリートの表面水分率調査

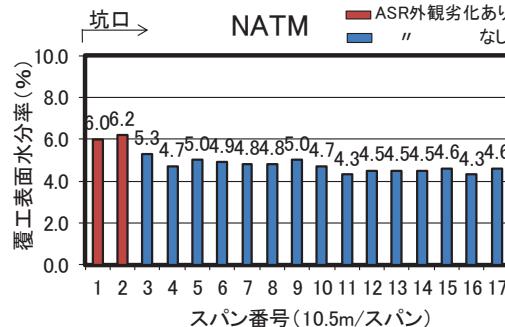


測定状況



在来工法

- 表面水分率に、
バラツキがある。



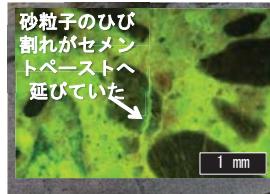
NATM

- 在来工法に比べ1~2%程小さい。
- 坑口付近を最大として坑奥へ向かって減少傾向にあった。

漏水の凍結とASRによる覆工コンクリートのはく落



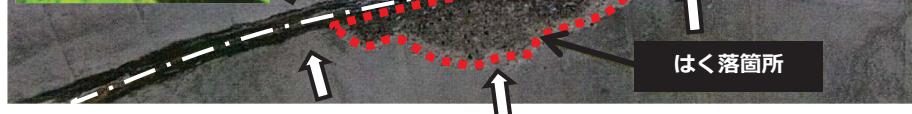
冬期、横断目地付近で、漏水の凍結によりASRに起因するひび割れから、はく落したと推察された。



砂粒子のひび割れがセメントベーストへ延びていた

1 mm

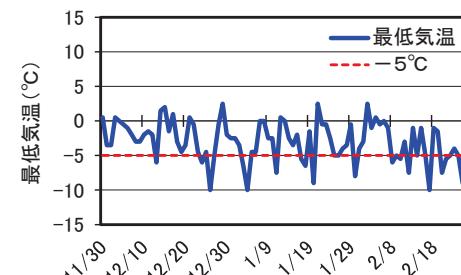
はく落後の状況



1回

標高が高く凍結の影響を受ける山間部の道路トンネル

冬期トンネル付近の最低気温の推移



冬期トンネル内の氷柱発生状況



冬期トンネル内の側氷発生状況



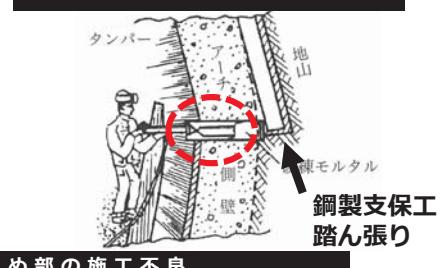
1回

覆工コンクリート側壁部の縦断方向のひび割れ

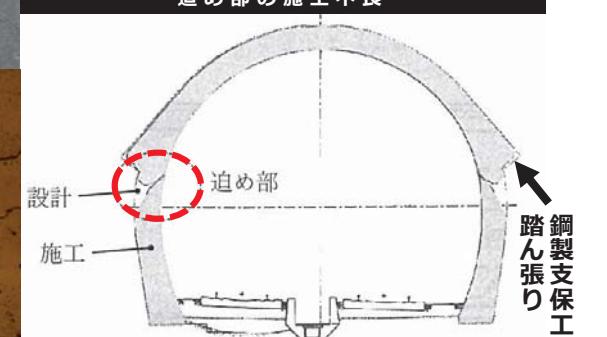
在来工法における側壁部の縦断方向のひび割れ



望ましい迫め部の施工法



迫め部の施工不良



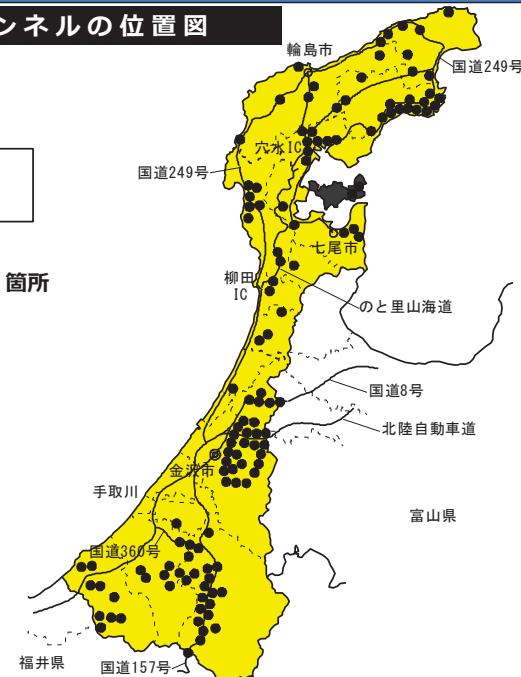
石川県内の道路トンネルの位置図（1）

石川県内の道路トンネルの位置図

凡例

- トンネル位置

トンネル数：125箇所



17

石川県内の道路トンネルの位置図（2）

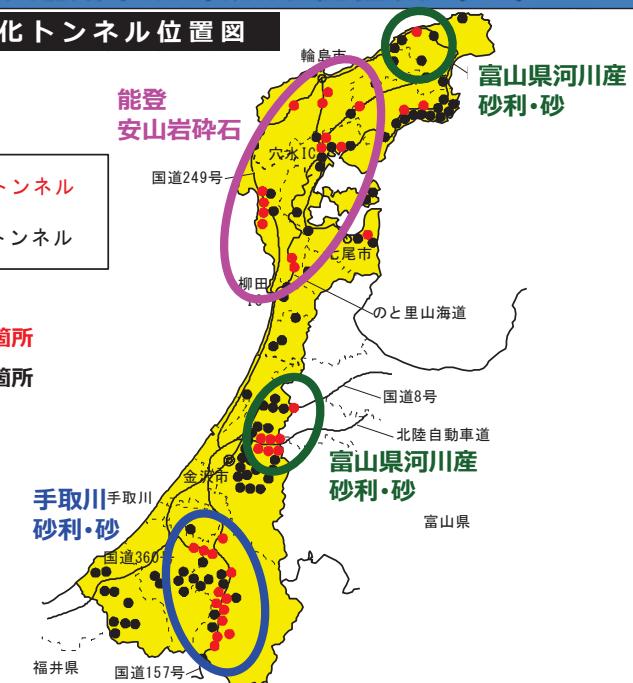
石川県内のASR劣化トンネル位置図

凡例

- ASR劣化トンネル
- それ以外のトンネル

ASR : 37箇所

それ以外 : 88箇所



18

在来工法の覆工コンクリートにASRが発生した事例

(a) トンネルA覆工（安山岩碎石）



- ASRの判定
- 亀甲状ひび割れ
 - ゲル滲出による濡れ

(b) トンネルB覆工（川砂利）



- ASRの判定
- 亀甲状ひび割れ
 - 白色析出物

(c) トンネルC覆工（安山岩碎石）



- ASRの判定
- 亀甲状ひび割れ
 - 白色析出物

(d) トンネルD覆工（安山岩碎石）



- ASRの判定
- 水平方向に延びるひび割れ

19

NATMの覆工コンクリートにASRが発生した事例

(e) トンネルE覆工（安山岩碎石）



- ASRの判定
- 乾湿繰返し部のひび割れ
 - 白色析出物

(f) トンネルF覆工（安山岩碎石）



- ASRの判定
- 乾湿繰返し部のひび割れ
 - 白色析出物

(g) トンネルG覆工（川砂利）



- ASRの判定
- 乾湿繰返し部のひび割れ
 - 白色析出物

(h) トンネルH坑門（安山岩碎石）



- ASRの判定
- 亀甲状ひび割れ
 - 白色析出物

20

坑門にASRが発生した事例



(i) チンネルI坑門（安山岩碎石）

ASRの判定
● 亀甲状ひび割れ



(j) チンネルJ坑門（川砂利）

ASRの判定
● 亀甲状ひび割れ
● ゲル滲出による濡れ



(k) チンネルK坑門（川砂利）

ASRの判定
● 亀甲状ひび割れ
● ゲル滲出による濡れ

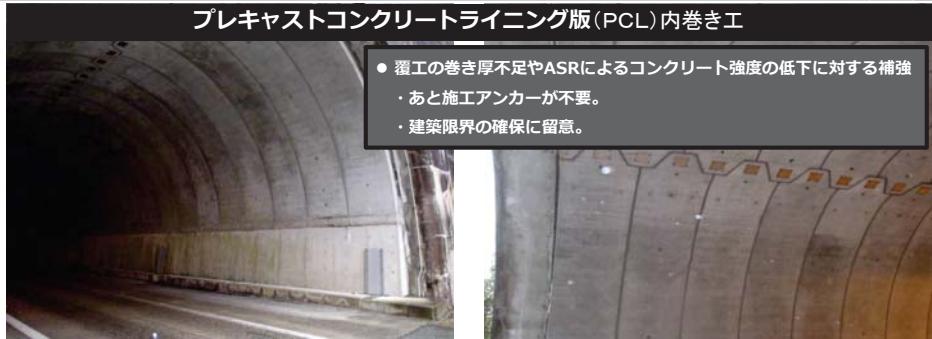


(l) チンネルL坑門（安山岩碎石）

ASRの判定
● 水平方向に延びるひび割れ

21

ASRが発生した覆工コンクリートの対策事例



プレキャストコンクリートライニング版(PCL)内巻き工

- 覆工の巻き厚不足やASRによるコンクリート強度の低下に対する補強
- ・あと施工アンカーが不要。
- ・建築限界の確保に留意。

鋼板接着工



- せん断力に対する補強
- ・漏水対策が十分でない場合、鋼板内部でASR促進の懸念。
- ・ASR劣化コンクリートへのあと施工アンカーに留意。
- ・コンクリートの状態が確認できない。

22

ASRが発生した覆工コンクリートの対策事例



繊維シート接着工

- はく落防止対策
 - ・止水、導水対策が十分でない場合、樹脂系接着剤の性能に留意。
 - ・ASRの膨張が継続する場合は留意。



F R P メッシュ張付け工

- はく落防止対策
 - ・ASRの膨張へも追隨が可能。
 - ・ASR劣化コンクリートへのあと施工アンカーに留意。
 - ・経過観察が可能。

23

ASRが懸念される道路トンネルの維持管理の課題

- トンネルの坑口付近や坑門は、降雨や日射の影響を受け、他のコンクリート構造物と同様な使用・環境条件である。一方、トンネル坑内の覆工コンクリートは、次の点で留意が必要である。

- トンネル坑内の覆工コンクリートは、ASRが抑制される環境である。
- しかし、覆工背面に漏水がある場合、覆工の断面内でASRによる輪切り状のひび割れが進展することがあり、層状に付着力が低下していることも示唆する。
- 標高が高いトンネルでは、ASRが軽微な場合でも、漏水の凍結膨張により、ASRのひび割れをはく離面とし、コンクリート片のはく落の危険性がある。

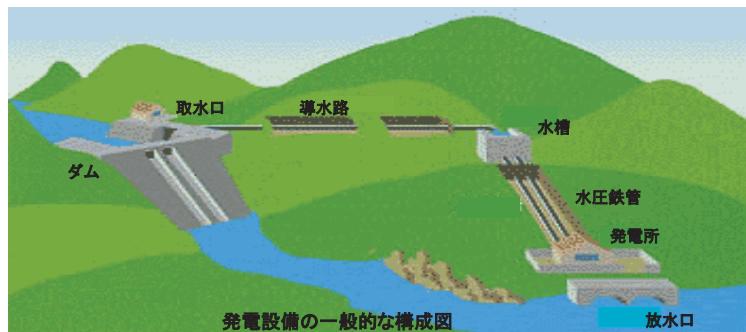
24

E N D

ご静聴ありがとうございました。

水利構造物のASRの特徴と調査診断

1. 水利構造物のASRの特徴(ダム、取水口、導水路、水槽、サージタンク)
 2. 水利構造物の調査診断例(導水路、水槽)
 3. 【補足】「温度変化を受けるASR劣化コアの膨張挙動」(試験データの紹介)
- 北陸電力株式会社 土木部 参納千夏男



1

1. 水利構造物のASRの特徴

① ダム



・ダム本体は、発熱量を低減するため、最大粗骨材寸法を大きくし、単位セメント量を少なくしているため、ASRが発生しにくいようである。

(写真のダムの場合: Gmax 80 mm, 単位セメント量 200 kg/m³)

・洪水吐ゲートピア上部でASRによるひび割れが発生している。ASRの進展は、下方からの水分供給と日射による影響が関係していると考えられる。ひび割れは、白色生成物で充填されている。

(写真の洪水吐ゲートピアの場合: Gmax 80 mm, 単位セメント量 261 kg/m³)

② 取水口



・ピア上部でASRによるひび割れが発生している。ASRの進展は、下方からの水分供給と日射による影響が関係していると考えられる。ひび割れは、白色生成物で充填されている。

(写真の取水口ピアの場合: Gmax 40 mm, 単位セメント量 273 kg/m³)

③ 導水路

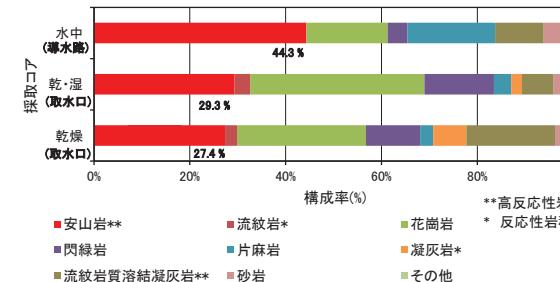


・導水路トンネルでは、ASRによるひび割れは確認されていない。常時水面下にあり、温度上昇もそれほどないため、ASRが進展しにくいものと考えられる。

・外壁にASRによるひび割れが発生している。ASRの進展は、水槽内部からの水分供給と日射による影響が関係していると考えられる。ひび割れは、白色生成物で充填されており、漏水には至っていない。

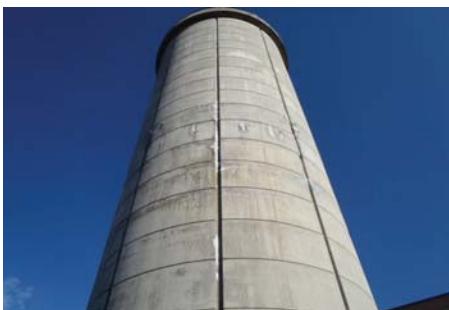
2. 水利構造物の調査診断例(導水路、取水口)

(1) 構造物の概要



⑤ サージタンク(調圧水槽)

・圧力導水路(トンネル)内の圧力上昇を防ぐために、圧力導水路と水圧管との接合部に設けられる自由水面をもった水槽



サージタンク外観

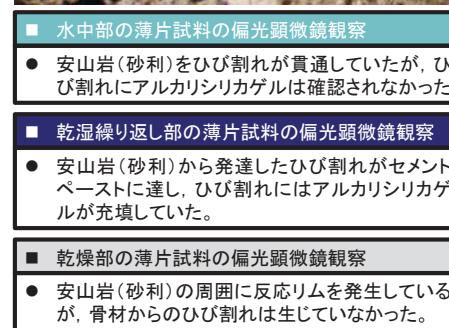
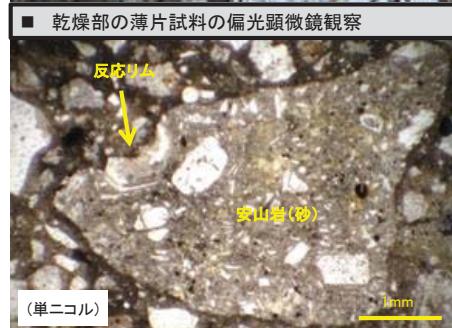
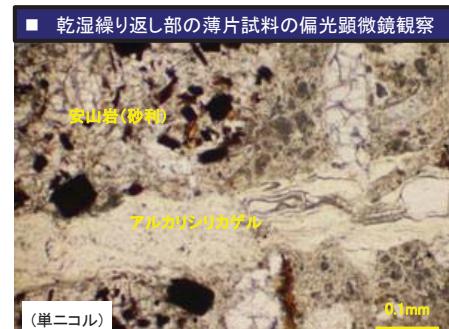
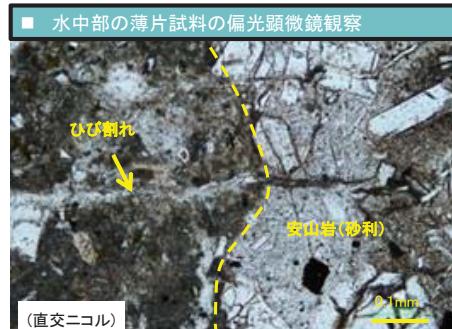


サージタンク内面

・内面の自由水面より上部で、ASRによるひび割れが発生している。内面は、湿分が高く、ASRが進展しやすいことが考えられる。ひび割れは、白色生成物で充填されている。

5

(2) 偏光顕微鏡による薄片観察



7

粗骨材の岩種面積率

コンクリートの配合表

構造物名	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプの範囲(cm)	空気量の範囲(%)	水セメント比W/C(%)	細骨材率s/a(%)	単位量(kg/m ³)					設計基準強度(kg/cm ²)
						水W	セメントC	細骨材S	粗骨材G	混和剤	
導水路	25	14±1.0	4±1.0	53	44.0	168	315	789	1,011	0.088	240
取水口	40	12±2.5	4±1.0	55	40.0	149	271	751	1,140	542(cc)	240

6

薄片の偏光顕微鏡観察によるASRの進行状況

岩種	ASR進行段階 →					評価
	i	ii	iii	iv	v	
	骨材	セメントペースト	骨材	セメントペースト		
	反応リム ゲルの滲み・取り巻き	ひび割れ ゲル充填	ひび割れ ゲル充填	気泡 ゲル充填		

【水中部】							劣化度の評価
砂利	安山岩	+	+				
	流紋岩質溶結凝灰岩	+	+				
砂	安山岩	+	+				1

劣化度の評価 軽微

砂利	【乾・湿部】						劣化度の評価
	安山岩	◎	◎	◎	◎	◎	3
	安山岩	◎	◎	◎	◎	◎	3
砂	流紋岩質溶結凝灰岩	○					1

劣化度の評価 覚著

砂利	【乾燥部】						劣化度の評価
	安山岩	+					1
	安山岩	+					1
砂							軽微

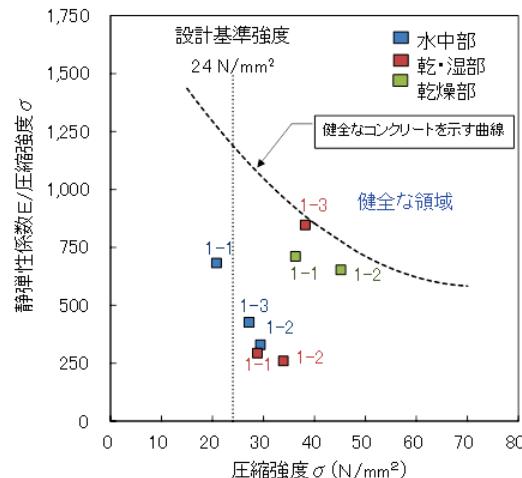
顕微鏡観察による評価

ASRの程度: ◎ 覚著, ○ あり, + わずか

劣化度の評価: 1 軽微, 2 中程度, 3 覚著

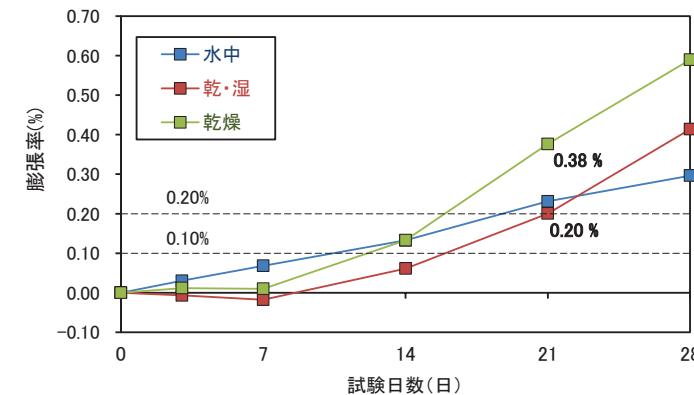
8

(3) 圧縮強度と静弾性係数の関係



・水中部と乾・湿部では、静弾性係数の低下が見られ、ASRが進展していると推察された。

(4) 残存膨張性



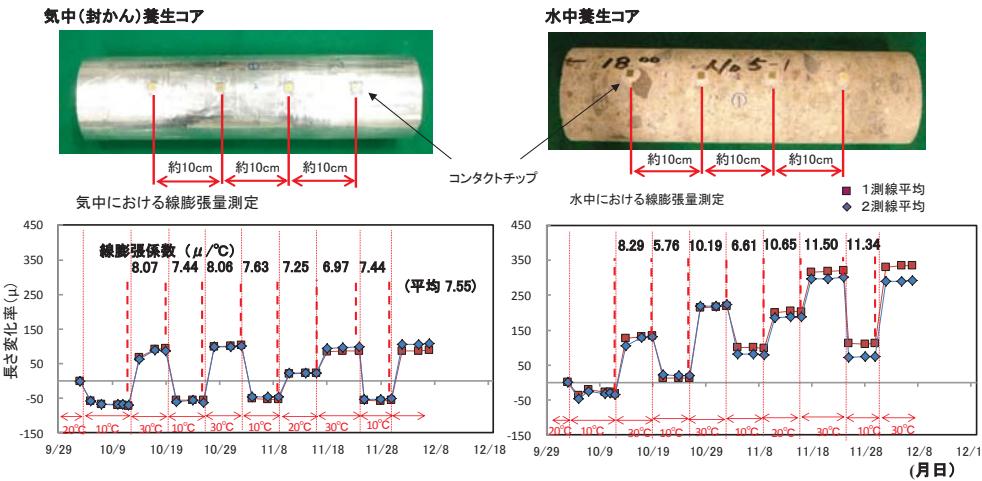
- ・乾燥部が健全である(ASRの進展が少ない)と仮定した場合、
乾燥部(0.38 %)-乾・湿部(0.20 %)=建設後から調査時点(28年)までの膨張率の消費量(0.18%)
- ・0.18%/28年を、これまでの膨張速度と考慮することにより、今後の残存膨張性を推定できる可能性がある。

9

10

3. 【補足】「温度変化を受けるASR劣化コアの膨張挙動」(試験データの紹介)

- ・コンタクトチップ間(基長10cm)の長さをコンタクトストレインメーターにより測定
- ・温度を10°C~30°Cに3往復変動
- ・養生条件は、気中(封かん状態)及び水中の2ケース



- ・気中(封かん)養生のコアの線膨張係数は、7~8 $\mu/\text{°C}$ 程度であった。
- ・水中養生のコアの線膨張係数は、温度変化による膨張だけではなく、ASRゲルの吸水膨張も含まれていると推測された。

【まとめ】

○水利構造物のASRの特徴として、

- ・特に、湿潤状態にある部位において、ASRの進展が見られた。
- ・ASRによるひび割れは、湿潤状態にある部位においては、白色生成物が充填されている場合が多いようである。
- ・ダム本体は、セメント量が少ない配合のため、ASRが進展しにくいようである。

○水利構造物の調査診断において、

- ・環境条件の違いにより、ASRの進行状況に違いが見られた。

○温度変化を受けるASR劣化コアの膨張挙動より、

- ・ASR劣化コアの線膨張係数を測定することができた。
- ・温度上昇により膨張したコンクリートにおいて、ASRゲルの吸水膨張と見られる挙動が確認された。

11

12