東北地方におけるASRの実態

平成31年3月13日

日本大学　工学部

佐藤　和徳

ASRに関する私の認識
東北地方ではASRは起こらない

私が東北地方整備局の係員だった頃（昭和50年代後半）、先輩からは、ASRの被害は阪神地域など西日本のもので、東北では起きないと教えられていた。

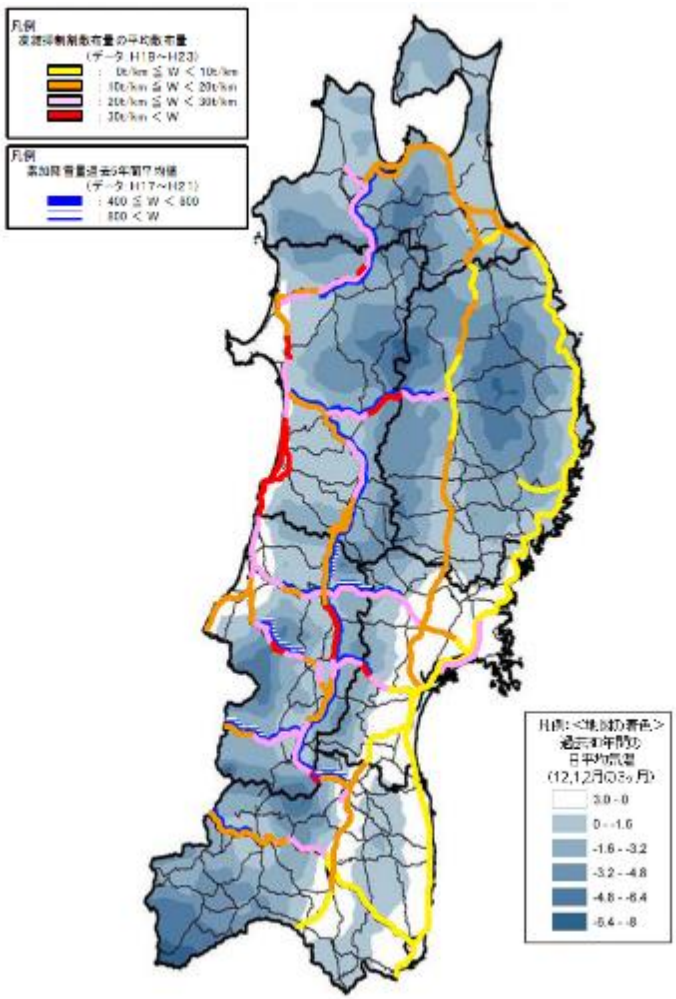
現在では、アルカリ総量規制もあるし、化学法などで無害とされた骨材を使用しているのだからASRは起きない
と思っていた。

大学の先生方からは、凍結防止剤の影響で化学法で無害とされた骨材であっても、ASRが起きる場合があると言われた。

そんなことホントに起きるの？と言うのが3年前までの感想。

凍結防止剤の影響で塩害、凍害、床版の砂利化の他に、ASRが起きている。点検結果を調査してみた。

寒冷の影響で凍結防止剤（塩）を大量散布



10～30ton/km/年の散布量

凍結防止剤由来の劣化の例

凍結防止剤による塩害

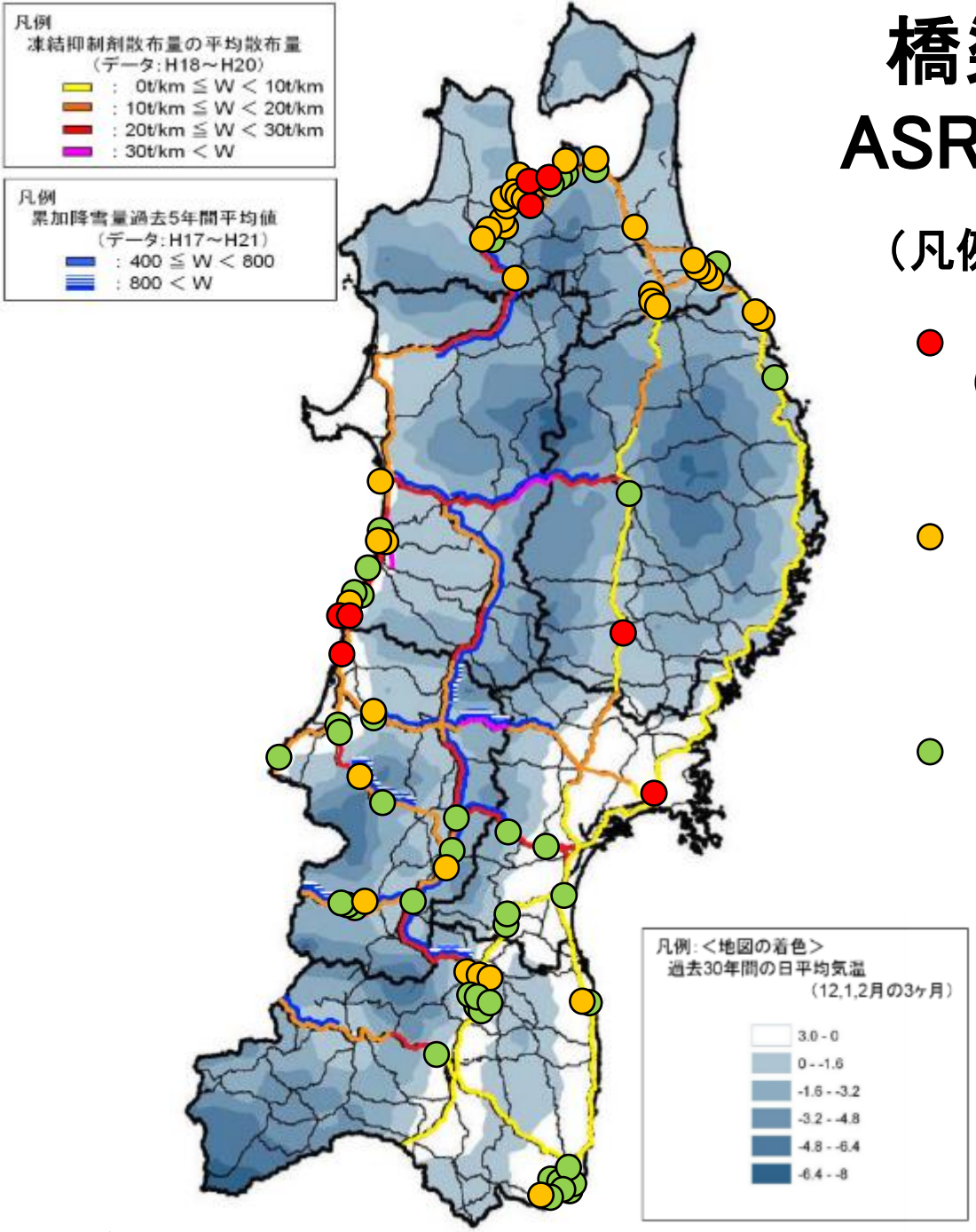
塩分環境下のASR

凍害

床版の砂利化

凍結防止剤により凍害、塩害、ASRが促進され、30～40年で更新が必要となる場合もある

橋梁点検結果による ASRの発生状況の分布



（データ提供：東北技術事務所）

（凡例）

- ● ASR（確定）　詳細調査によりASRと確定された橋梁
- ● ASR（推定）　詳細調査はまだだが高い確率でASRと推定された橋梁
- ● ASR（疑い）　他の劣化の可能性もあるが、ASRの疑いを捨てきれないとされた橋梁

注）
＊H24～H28の点検結果
＊上下部工のいずれかにASRがある橋梁

ASRの再劣化事例（橋台）

橋台は昭和52年（1977年）建設。　内陸部の橋梁

側壁の状況

竪壁のひび割れの状況

H19：ASRと判定。残存膨張量0.1%未満で膨張は収束との見解
H21：ポリマーセメントモルタルによる断面修復
H24：断面修復部に2方向ひび割れ発生のためひび割れ注入実施
H28：ひび割れ注入箇所に沿って新たなひび割れ確認0.15～0.3mm

（データ提供：東北技術事務所）

側道橋のASRの事例

昭和59年（1984年）供用

海岸線に近い橋梁

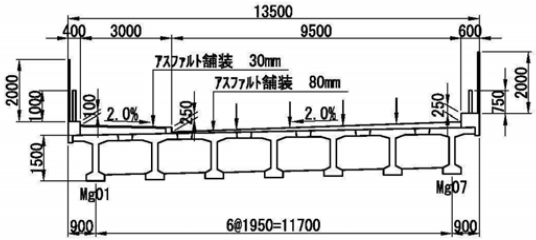
2006年断面修復　2008年詳細調査　残存膨張量1.29%（潜在的に有害）

ASRの確認事例（PC箱桁）

昭和59年（1984年）供用

海岸線に近い橋梁

PCT桁端部のASRの進行状況



昭和58年（1983年）供用

国交省のASR対策のこれまでの経緯

1982年（昭和57年頃）　阪神地区でASRの被害が報告され、その後
他の地域でもASRが確認され始める

1986年（昭和61年）6月　「アルカリ骨材反応暫定通知について」
骨材の選定、低アルカリ型セメント、抑制効果のある混合セメント、
アルカリ総量抑制　試験方法：化学法、モルタルバー法

1989年（平成元年）7月　「アルカリ骨材反応抑制対策について」
暫定通知のうち、抑制効果のある混合セメントの使用および
化学法、モルタルバー法の試験方法の小改訂

2002年（平成14年）8月　「アルカリ骨材反応抑制対策」
対策の優先度を規定。①アルカリ総量規制
②抑制効果のある混合セメントの使用
③試験により無害と判定された骨材の使用

この他に「グリーン購入法」の関係で2001年から高炉セメント標準。

昭和６１年～平成１２年までに建設されたコンクリート構造物にASRは起きているのか？

１９８６年（昭和６１年）６月 「アルカリ骨材反応暫定通知について」

２００１年（平成１３年） グリーン購入法により高炉セメント標準

１９８６年（昭和６１年）以降、２０００年（平成１２年）までであれば、コンクリート構造物は、ASR対策をした普通ポルトランドセメントと骨材を使用したコンクリートで施工しているはずなので、そのような構造物にASRが起きているか調べてみた。

昭和61年～平成12年までに建設されたコンクリート構造物にASRは起きているのか？
側道橋の橋脚のASRの事例

昭和63年（1988年）供用

内陸部の橋梁

側道橋の橋脚のASRの事例

平成3年（1991年）供用

海岸線が近い橋梁

側道橋の橋脚のASRの事例
平成6年（1994年）供用

内陸部の橋梁

対策しているはずなのになぜASRが起きるのか

モルタルバー法などのASR反応性試験は「真水」を使った調査

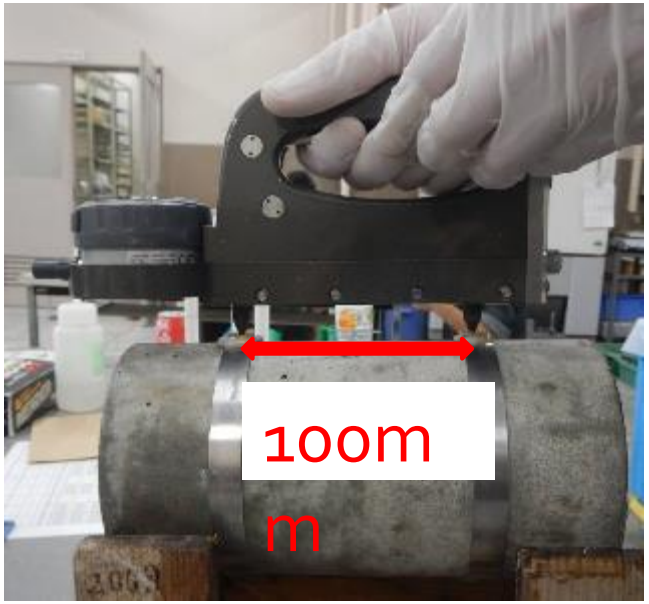
凍結防止剤の主成分はNaCl（塩化ナトリウム）
海からの飛来塩分の主成分も塩化ナトリウムであり、塩分によりアルカリが追加供給される

生コンにアルカリの総量規制があっても、硬化したコンクリートに凍結防止剤や飛来塩分によって、アルカリが追加供給される。

現状は、塩分によるアルカリが追加供給されることを想定したASR反応性試験とはなっていない。

塩分環境下のASR反応性試験（SSW）

円柱供試体を作製し、１日で脱型。
コンタクトゲージを取り付け、初期値を計測。
２０％NaCl溶液につけて、40度の恒温室で促進試験。
計測は、１，７，１４，２８，５６、７０、９１、１２６,１５４，１８２日の計１０回

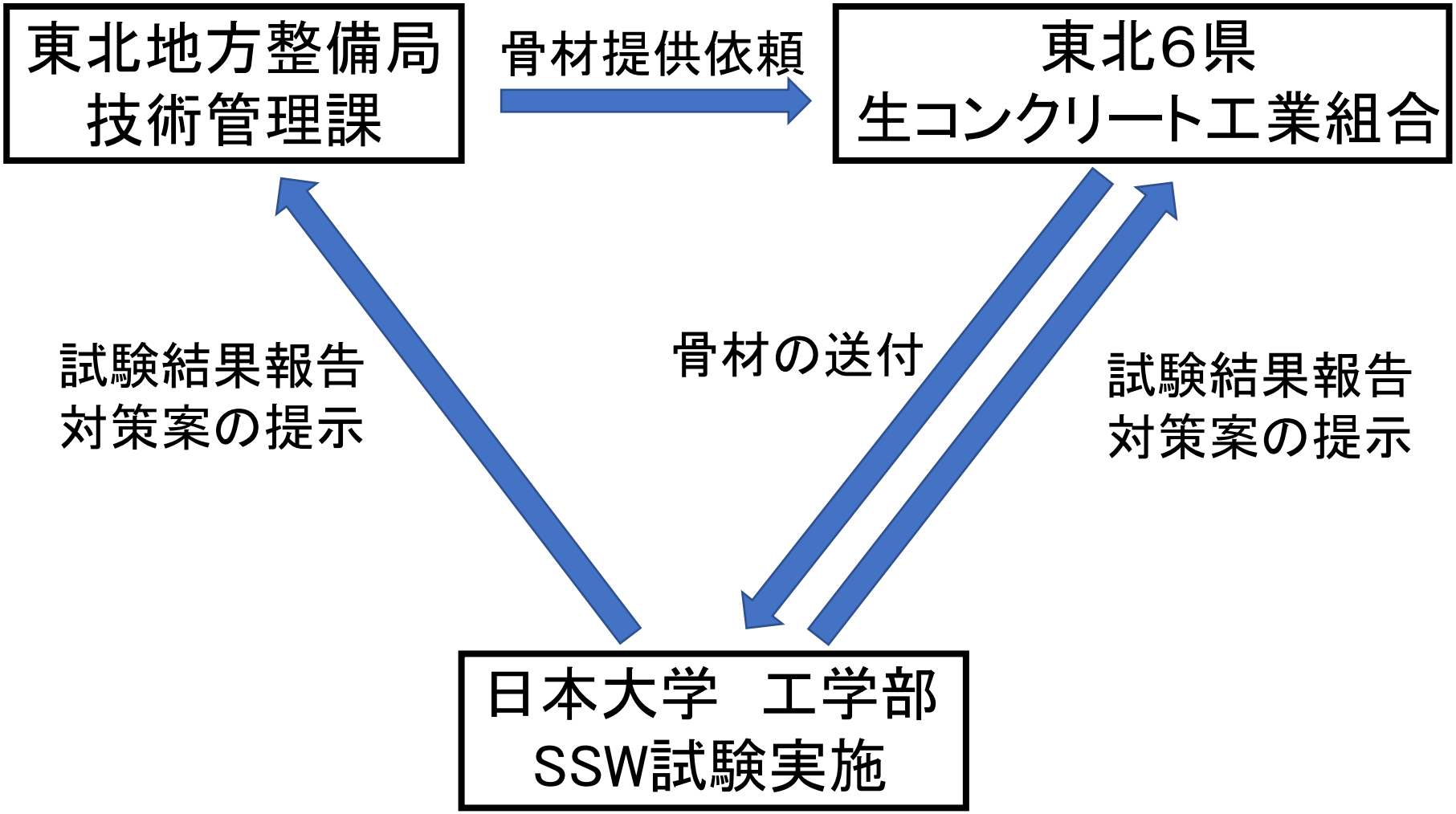


20％食塩水で封入

40度の恒温室で促進

かなり厳しい環境での促進試験

凍結防止剤などの塩分環境下のASRならば東北地方の生コンの実態を調査できないか？



東北地整からの生コン工組への依頼文

国東整技管第１３５号
平成２９年３月１日

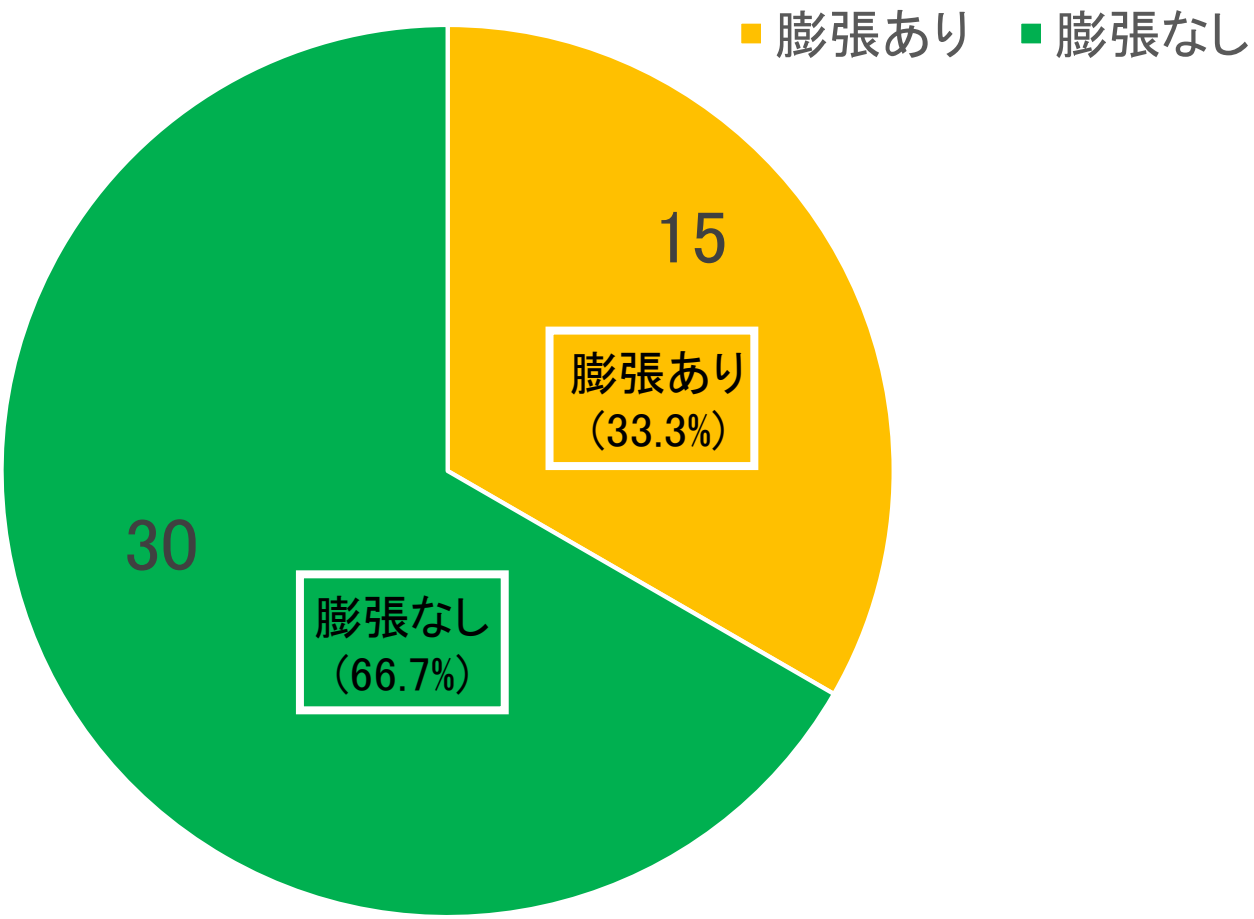
〇〇県生コンクリート工業組合
理事長　〇〇　〇〇　様

国土交通省　東北地方整備局
企画部　技術管理課長

凍結抑制剤散布環境におけるコンクリートのＡＳＲ反応性調査について（協力依頼）

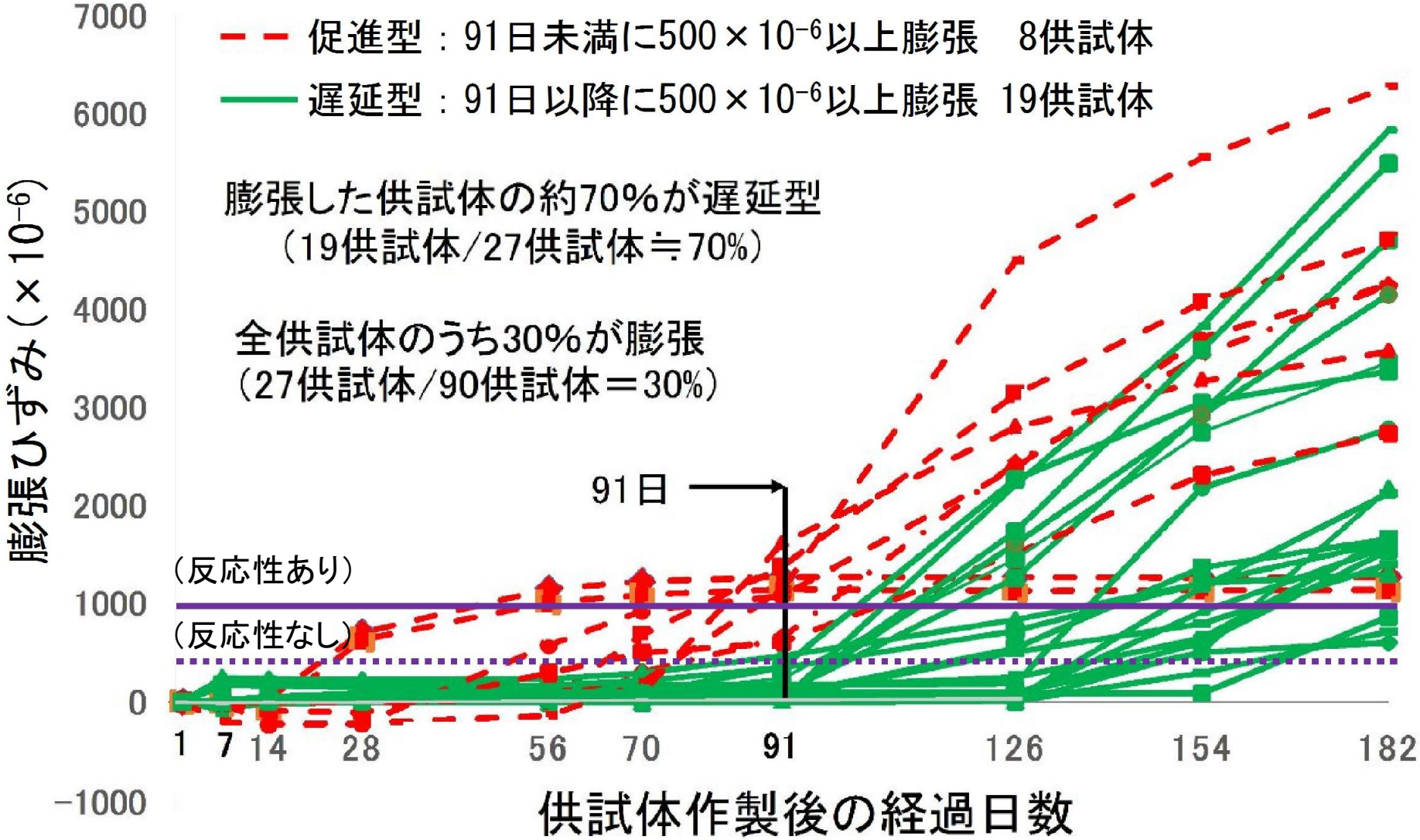
各県の主要な地域毎に協力いただける製造工場から骨材の提供を依頼。東北6県の45の製造工場から骨材提供があった。

東北6県の45のコンクリート製造工場のうち15工場（約30%）でASRによる顕著な膨張

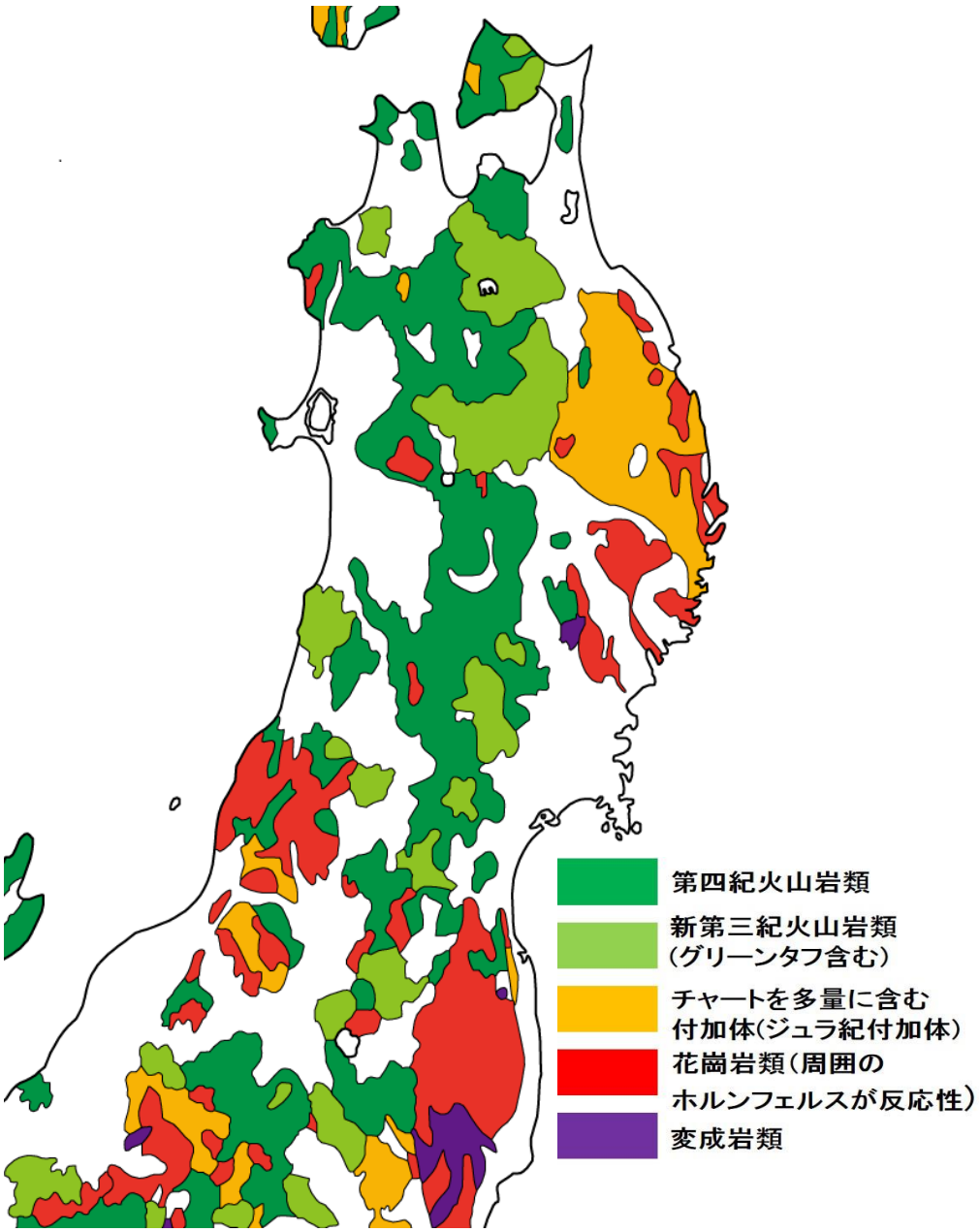


化学法で無害とされた骨材を使用したコンクリートの塩分環境下（SSW）でのASRによる顕著な膨張を示した工場数と割合

１５製造工場２７供試体の膨張状況



東北地方のASR反応性岩石の分布



主な反応性骨材とASR

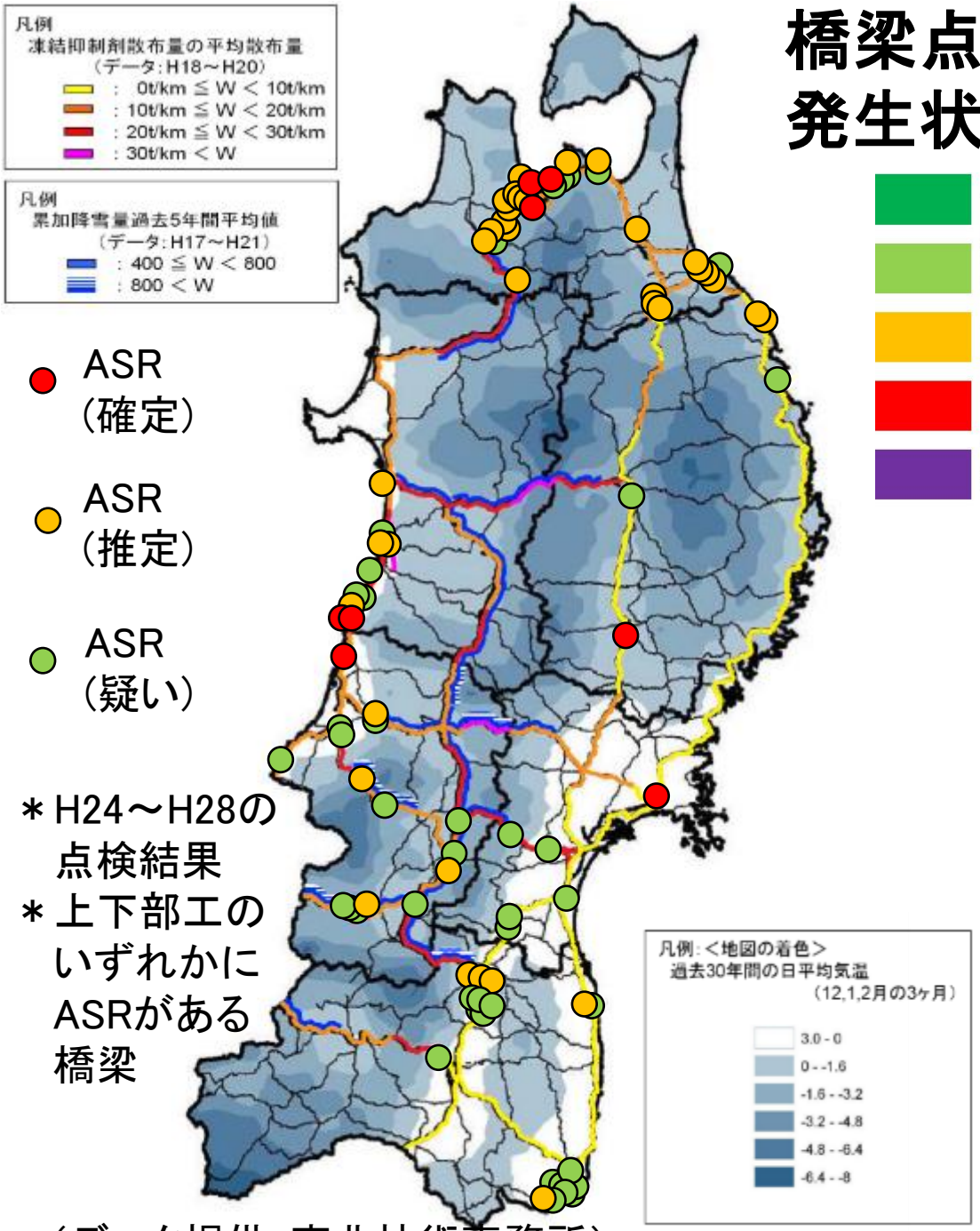
奥羽脊梁山地から日本海側の地域にかけて，安山岩をはじめとする火山岩類が広く分布し，太平洋側でも仙台市・名取市付近をかすめる。東北地方では，このような火山岩類の砕石利用や砂利・砂への混入による急速膨張性ASRの発生事例が非常に多い。

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の発生については詳細不明である。

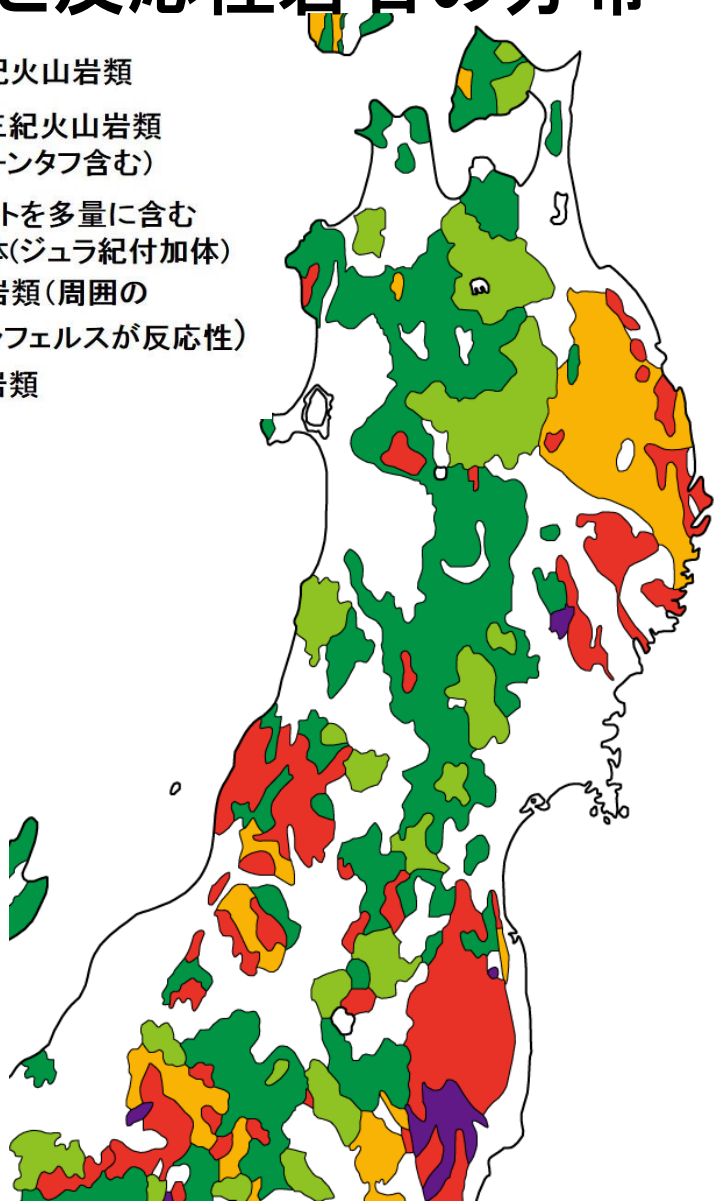
（データ提供：金沢大学　鳥居教授）

橋梁点検結果によるASRの発生状況と反応性岩石の分布



＊H24～H28の点検結果
＊上下部工のいずれかにASRがある橋梁

（データ提供：東北技術事務所）



（データ提供：金沢大学　鳥居教授）

東北地方のASRの実態

○遅延型の膨張が多い
最初は何でも無いが、凍結防止剤が毎年散布される
あるいは、海からの飛来塩分の影響を毎年受ける。
時間経過とともに、いずれASRによる顕著な膨張を示す
可能性がある。現在は潜伏期間の可能性。

○ASRを起こす可能性のある岩石が広範に分布
今回の調査では、約30%の生コン製造工場で塩分に
起因するASRが起きたが、生コン製造工場が骨材産地
を変えれば、この約30%という数字は大きくも小さくも
なる可能性がある。
ASRを起こす可能性のある岩石は広範に分布している
ことから、安全な骨材を選定することも現実的ではない。

では、どうすれば良いのか？

対策は平成14年のASR対策の通知に準拠

①コンクリート中のアルカリ総量の抑制

・コンクリート中のセメント、骨材、混和材に含まれるアルカリ総量をNa_2O換算で3.0kg/m^3以下に抑制

②抑制効果のある混合セメントの使用

・高炉セメントB種（スラグ混合比40%以上）またはC種

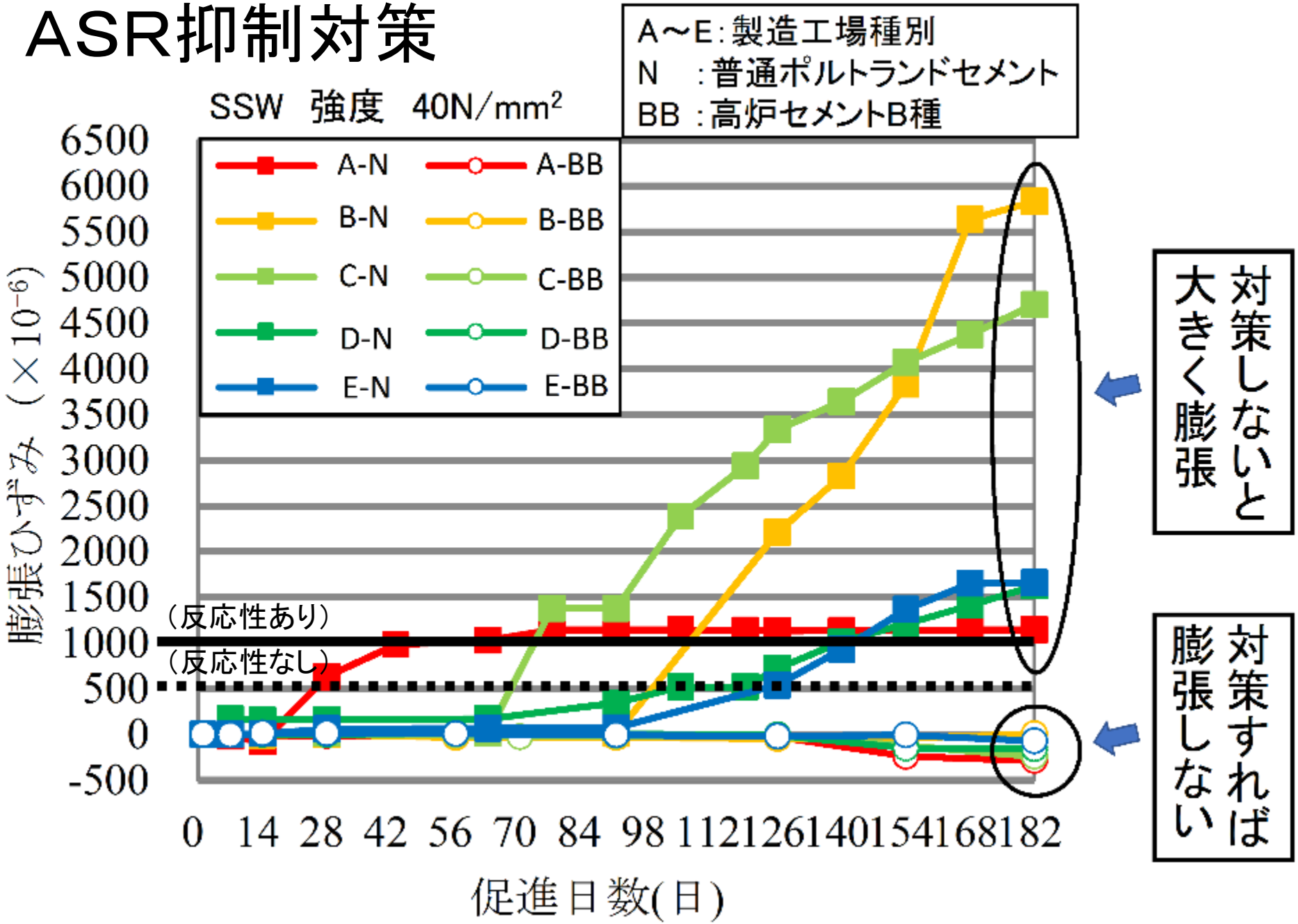
・フライアッシュセメントB種（フライアッシュ混合比15%以上）またはC種の使用

③安全と認められる骨材の使用

・JIS A 1145骨材のアルカリシリカ反応性試験(化学法)等で安全と認められた骨材の使用

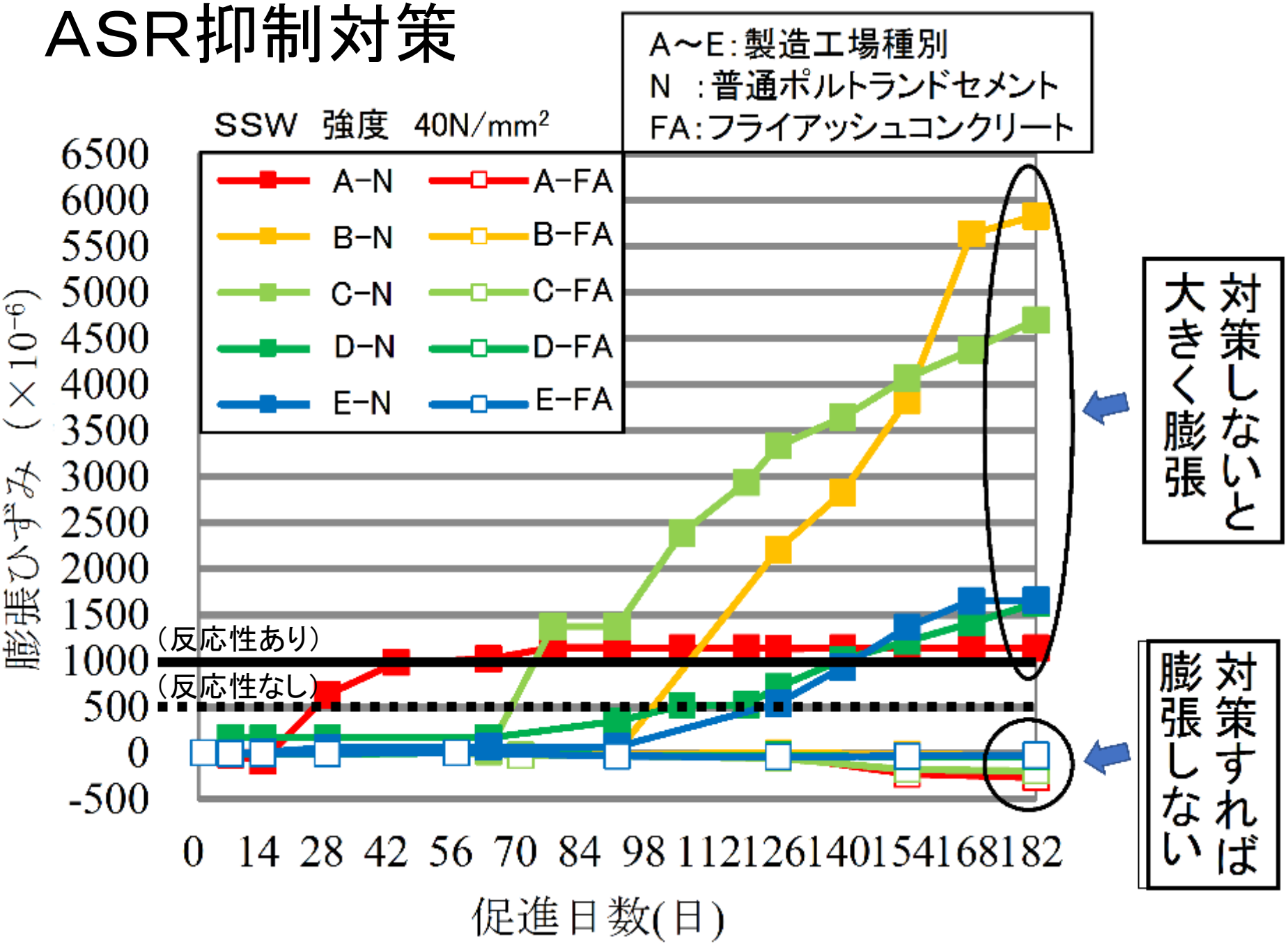
①③は実施済みなので、②ASR抑制効果のある混合セメントを使用する。

ASR抑制対策



高炉セメントのASR抑制効果

ASR抑制対策


A～E：製造工場種別
N　：普通ポルトランドセメント
FA：フライアッシュコンクリート
SSW　強度　40N/mm²
A-N
A-FA
B-N
B-FA
C-N
C-FA
D-N
D-FA
E-N
E-FA
膨張ひずみ（×10⁻⁶）
6500
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
-500
（反応性あり）
（反応性なし）
0 14 28 42 56 70 84 98 112 126 140 154 168 182
促進日数(日)
対策しないと大きく膨張
対策すれば膨張しない

レディーミクストコンクリート標準仕様基準を高炉セメントB種基本、フライアッシュ可とする対策を実施（当面PC除き）

レディーミクストコンクリート標準仕様基準

無筋及び鉄筋別	区別番号	コンクリート種類別	呼び強度 (N/mm2)	スランプ (cm)	粗骨材最大寸法 (mm)	最小セメント使用量 (kg／m3)	水セメント比 (%)	セメントの種類（参考）	構造物の種類	備考
無筋コンクリート	②	普通	18	8	40	－	60以下	高炉セメント(B種)	均しコンクリート、基礎コンクリート、側溝(U, L型)、管渠巻立、集水桝、石積(張)・ブロック積(張)の胴込・裏込、ガードケーブル基礎(端末支柱)、トンネル覆工(インバート)、擁壁、水路、重力式構造物(積台)、護岸(法留、平張)、根固ブロック	
	③		18	8	40	－	55以下	高炉セメント(B種)	海岸構造物、消波ブロック	
	④－1		18	15	40	270	60以下	高炉セメント(B種)	トンネル覆工(NATM、小断面、矢板工法アーチ、側壁)	
	⑤		18	5	40	－	60以下	高炉セメント(B種)	砂防堰堤(堤体、側壁、水叩)	
	⑥		21	5	40	－	60以下	高炉セメント(B種)	同　上(堤冠部)	
	⑦		設計基準強度 16	3	25	265	60以下	高炉セメント(B種)	コンクリート張	
鉄筋コンクリート	⑧		21	8	40	－	55以下	高炉セメント(B種)	側溝蓋、井筒、潜函、堰、水門、ポンプ場	
	⑧－2		21	12	40	－	55以下	高炉セメント(B種)		
	⑨		21	8	25	－	55以下	高炉セメント(B種)	同　上	
	⑨－2		21	12	25	－	55以下	高炉セメント(B種)		
	⑩		21	8	40	300	45以下	高炉セメント(B種)	同　上(海水の影響を受ける構造物)	
	⑩－2		21	12	40	300	45以下	高炉セメント(B種)		
	⑪		21	8	25	330	45以下	高炉セメント(B種)	同　上(同　上)	
	⑪－2		21	12	25	330	45以下	高炉セメント(B種)		
	⑫		24	8	25	－	55以下	高炉セメント(B種)又は普通ポルトランドセメント	ラーメン構造物($\delta ca=80kg/cm^2$)、RCスラブ、RCT桁、RCホロースラブ、地覆、横梁下部、剛性防護柵、擁壁、函渠、樋門(管)	横梁下部、擁壁、函渠、樋門(管)については高炉セメント(B種)を原則とする。
	⑫－2		24	12	25	－	55以下	高炉セメント(B種)又は普通ポルトランドセメント		
	⑬		24	8	40	－	55以下	高炉セメント(B種)	深礎	
	⑬－2		24	12	40	－	55以下	高炉セメント(B種)		
	⑭		24	8	25	300	55以下	普通ポルトランドセメント	非合成桁床版	
	⑭－2		24	12	25	300	55以下	普通ポルトランドセメント		
	⑮－1		30	18	40	350	55以下	高炉セメント(B種)	リバース杭、ベノト杭	
	⑮－2		30	18	25	350	55以下	高炉セメント(B種)	同　上	
	⑯		30	8	25	－	55以下	普通ポルトランドセメント又は早強ポルトランドセメント	PC橋(横桁、床版)、合成桁床版、プレテン桁中詰、PCホロースラブ中詰	
	⑯－2		30	12	25	－	55以下	普通ポルトランドセメント又は早強ポルトランドセメント		

東北地方におけるASR対策

2019年3月13日

日本大学工学部
岩城一郎

東北地方の現状

- 豊かな自然，急峻な地形，積雪寒冷地，太平洋＆日本海
- 日本海沿岸の塩害
- 凍害によるスケーリング
- 凍結防止剤の作用による劣化

- 東北地方におけるコンクリート構造物の耐久性向上検討委員会（委員長：三浦尚東北大学名誉教授）→東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン(案)の策定（2009）
http://www.thr.mlit.go.jp/tougi/choshi/con_guide.html

凍結防止剤散布による劣化

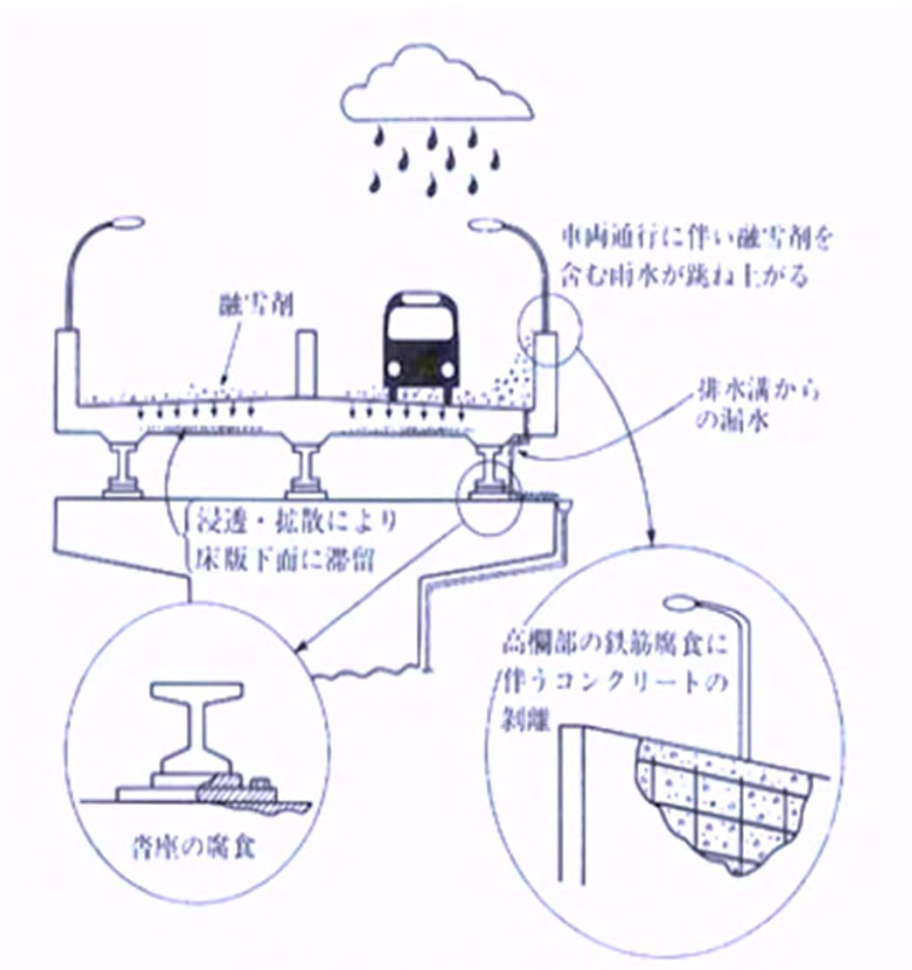


図-1　融雪剤による劣化事例[2]

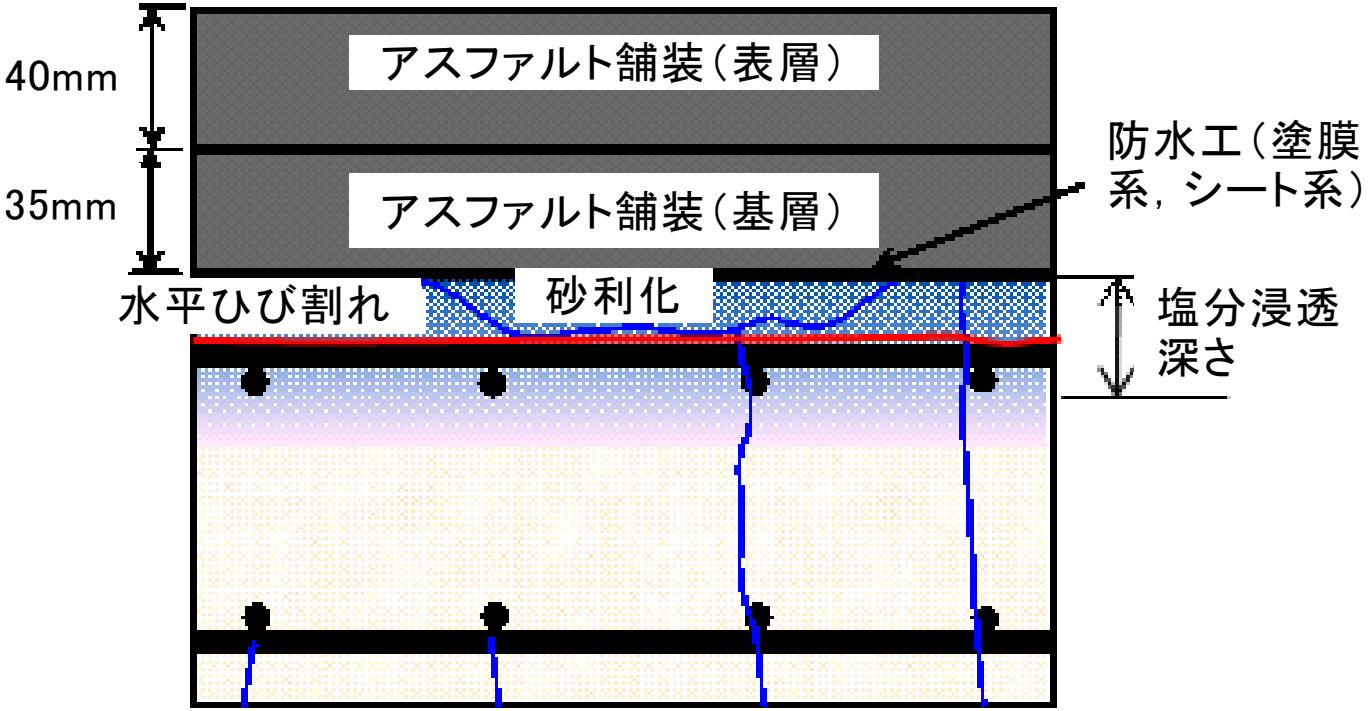
三浦尚：コンクリート工学，Vol.38，No.6，pp.3-8，2000.

- 1991年スパイクタイヤの規制：凍結防止剤（主にNaCl）の散布量急増（規制前の約10倍）
- JCI「融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会（1999年）」（三浦尚委員長）
- 劣化の特徴
  - コンクリート表面の激しいスケーリングとして現れる凍害
  - アルカリシリカ反応の促進
  - コンクリート中の鋼材の急速な腐食（塩害）
  - 交通荷重による疲労

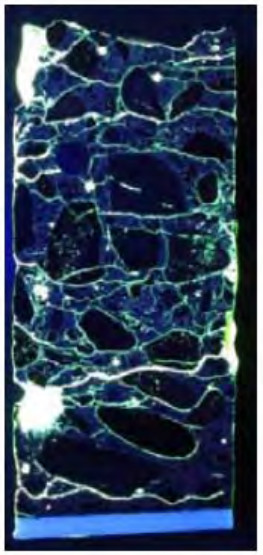
本格散布から20年しか経っておらず多くが潜伏期にある！！

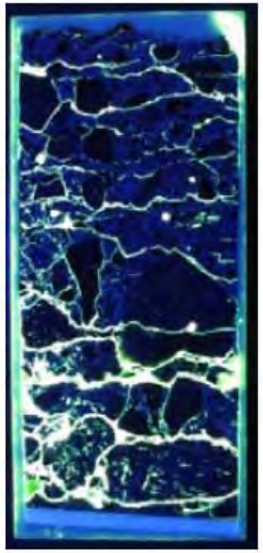
凍結防止剤による劣化事例

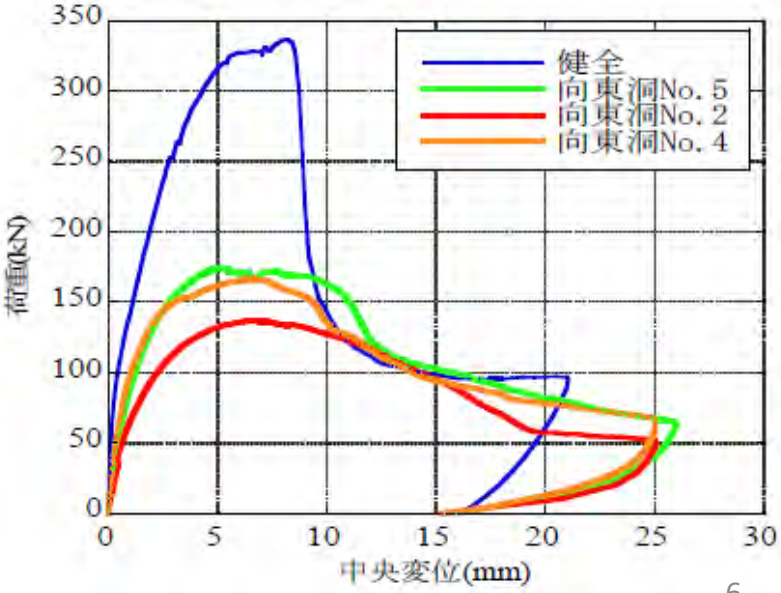
凍結防止剤によるRC床版の劣化機構



福井県におけるASR床版の劣化事例

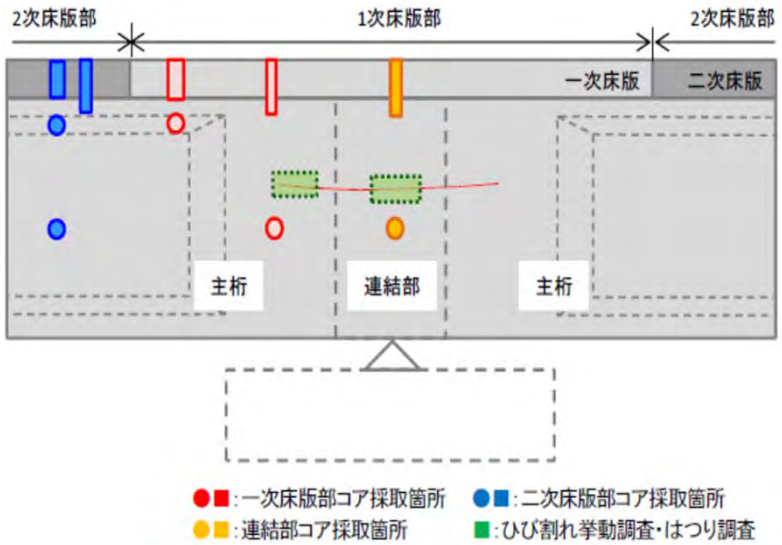






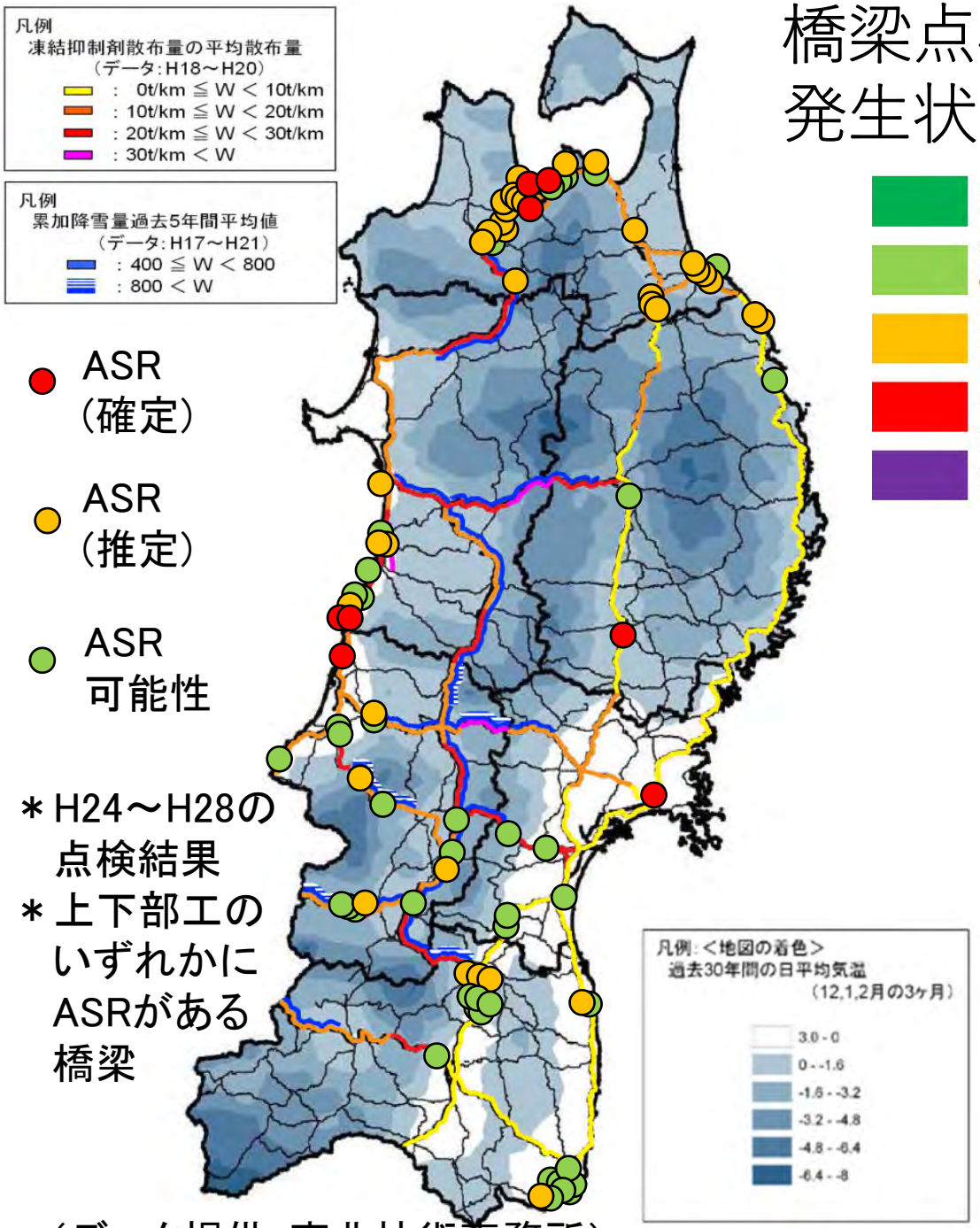
アルカリシリカ反応で損傷した鋼道路橋RC 床版の調査（北陸保全会議資料より）

楢山橋におけるASR床版の劣化事例



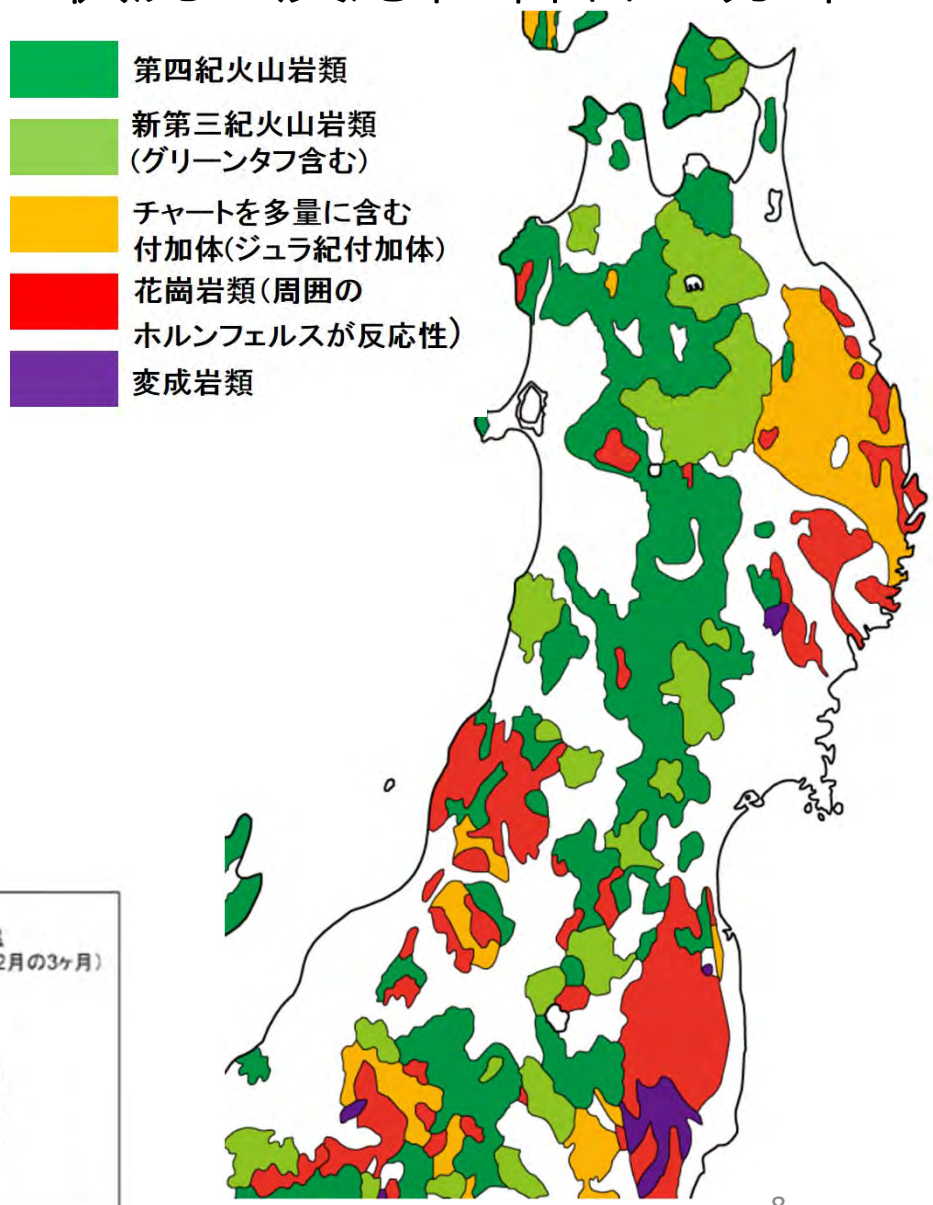
- 八戸自動車道楢山橋（PC３径間連続合成桁，1986年11月供用開始）
- 一次床版に著しい劣化⇔二次床版は変状なし
- 2002年・2003年度の調査より，ASR劣化であることが判明→一次床版は取り替え

橋梁点検結果によるASRの発生状況と反応性岩石の分布



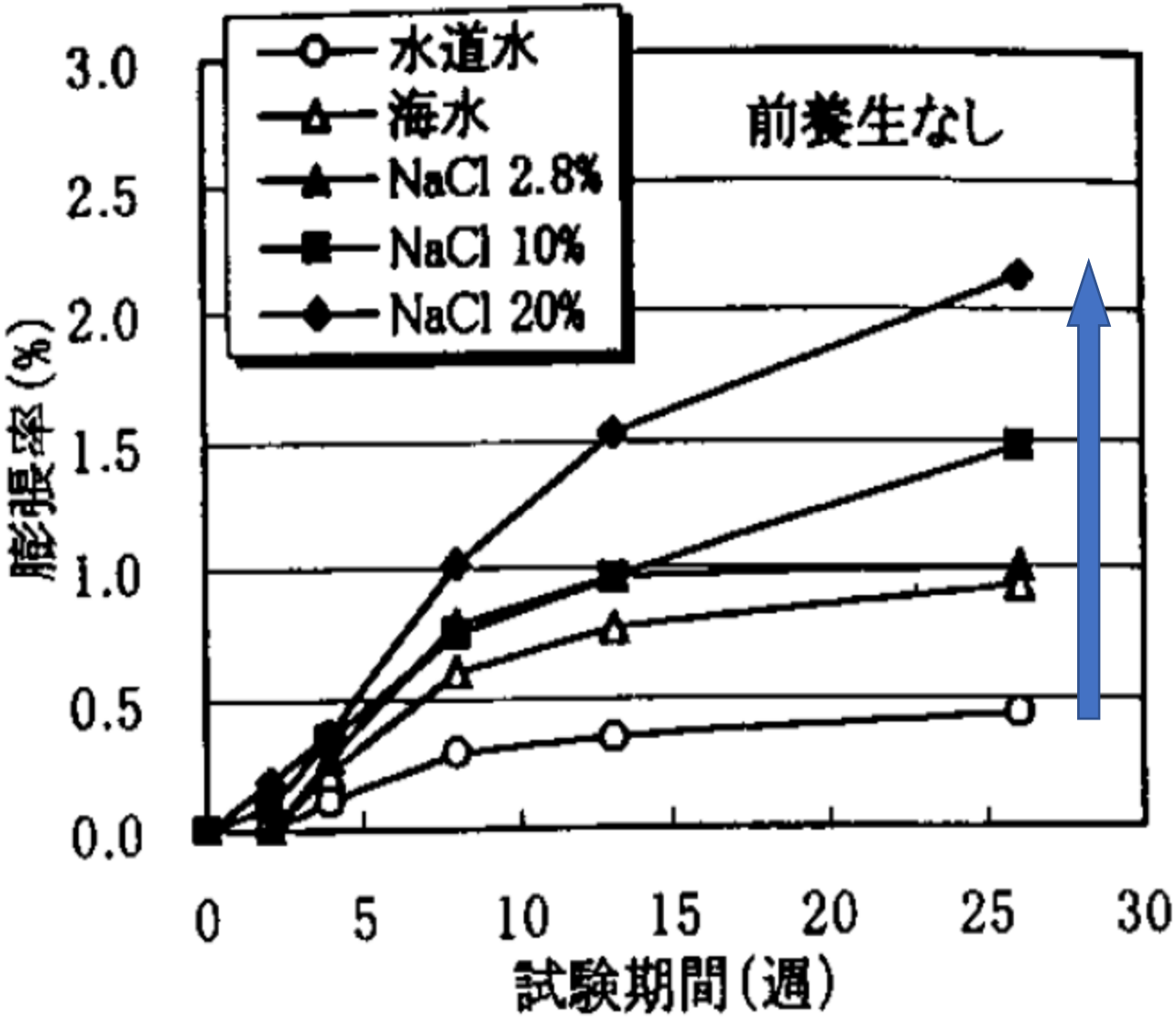
＊H24～H28の点検結果
＊上下部工のいずれかにASRがある橋梁

（データ提供：東北技術事務所）



（データ提供：金沢大学　鳥居教授）

塩分環境下におけるASR膨張



従来の試験法で無害と判定されても，外部からNaClが供給されると有害なASR膨張を引き起こす恐れがある.

凍結防止剤(NaCl)散布を想定したASR試験方法(SSW)の提案

SSW試験方法

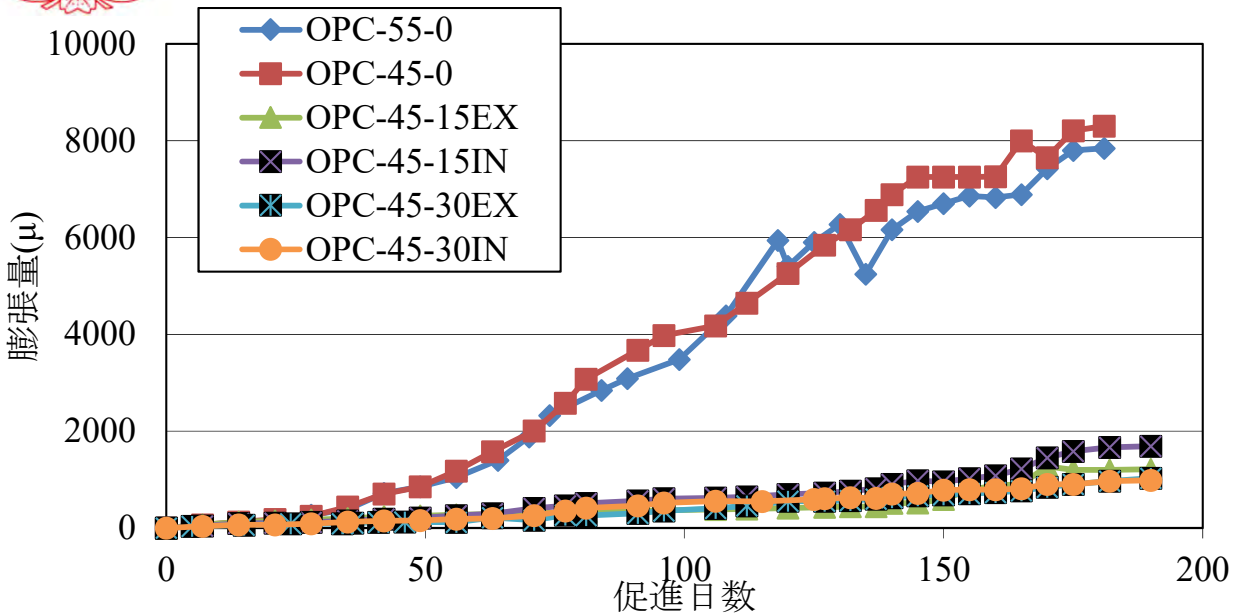
反応性判定試験方法である「コンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験方法（JCI-AAR-3）において，供試体を包む吸取り紙に含まれる真水を20%NaCl水溶液に変える点のみが異なる.

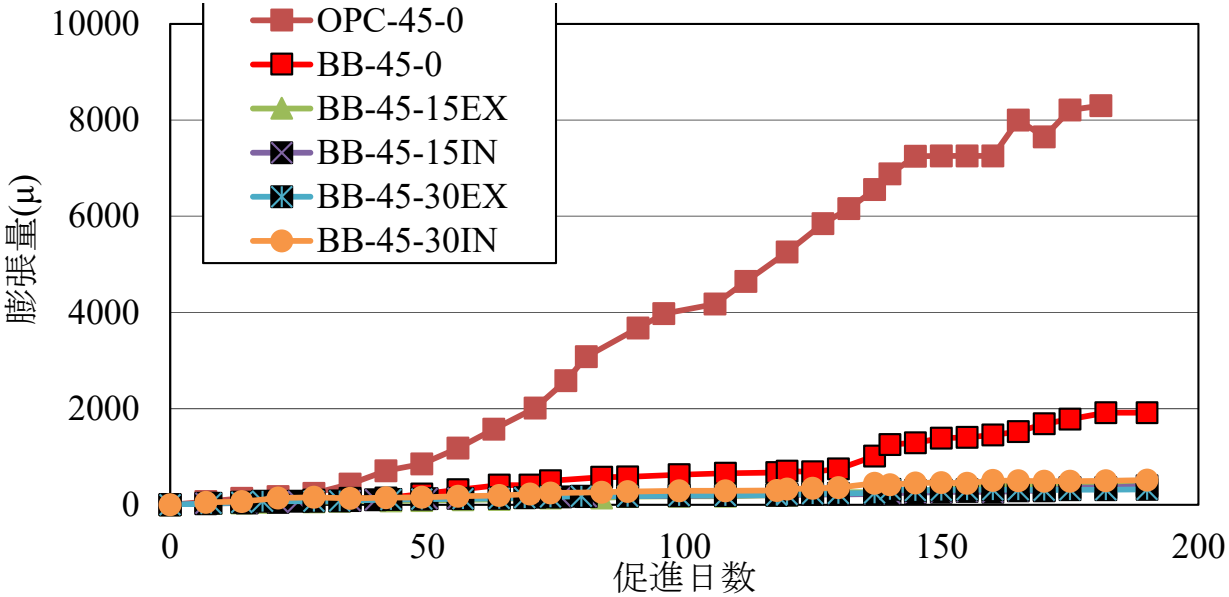
現場配合のコンクリートに対し，φ10×20cmの円柱，もしくは 10×10×40cm角柱供試体を用い．セメントの全アルカリがNa_2O_{eq}で1.2% になるようNaOHで調整．材齢1日で脱型後，40℃で26週間，20%NaCl溶液で濡らした吸取り紙で包み，密閉されたビニール袋の中で保管.

混和材によるASR抑制効果確認試験

ID	セメント	水セメント比	FA置換率	内割/外割
OPC-55-0	普通	55%	0%	-
OPC-45-0	普通	45%	0%	-
OPC-45-15EX	普通	45%	15%	外割
OPC-45-30EX	普通	45%	30%	外割
OPC-45-15IN	普通	45%	15%	内割
OPC-45-30IN	普通	45%	30%	内割
BB-45-0	高炉	45%	0%	-
BB-45-15EX	高炉	45%	15%	外割
BB-45-30EX	高炉	45%	30%	外割
BB-45-15IN	高炉	45%	15%	内割
BB-45-30IN	高炉	45%	30%	内割

FA and/or BBのASR抑制効果





ID	182日目 最終膨張量(μ)
OPC-55-0	7840
OPC-45-0	8305
OPC-45-15EX	1195
OPC-45-15IN	1667
OPC-45-30EX	971
OPC-45-30IN	967
BB-45-0	1916
BB-45-15EX	419
BB-45-15IN	356
BB-45-30EX	312
BB-45-30IN	487

OPCに対し，BBをベースにFAを内割or外割置換することにより優れたASR抑制効果を発揮

ロハスの橋プロジェクト

実物大モデルにより，ロハスの橋（丈夫で長持ちする橋）を実現するプロジェクト：タイプの異なる6種類のRC床版を作製→１年間にわたる実測データを収集→各種耐久性試験を実施→マルチスケール解析により100年先の耐久性を予測

プロジェクトの概要

床版ID	コンクリートの品質	水セメント比	空気量	使用技術
No.1標準	標準	55%	4.5%	
No.2低品質	低品質	65%	3.0%	
No.3高耐久	高耐久	45%	6.0%	膨張材使用
No.4最上級	最上級	45%	6.0%	膨張材使用+FA20%外割置換+長期養生
No.5養生対策	標準	55%	4.5%	長期養生
No.6機械仕上げ	標準	55%	4.5%	機械仕上げ

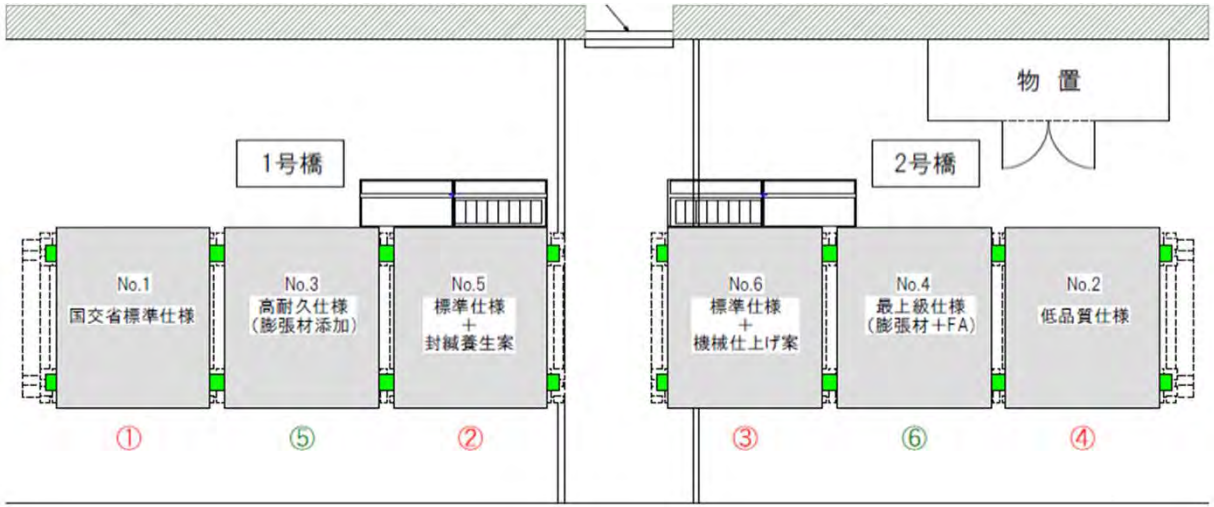


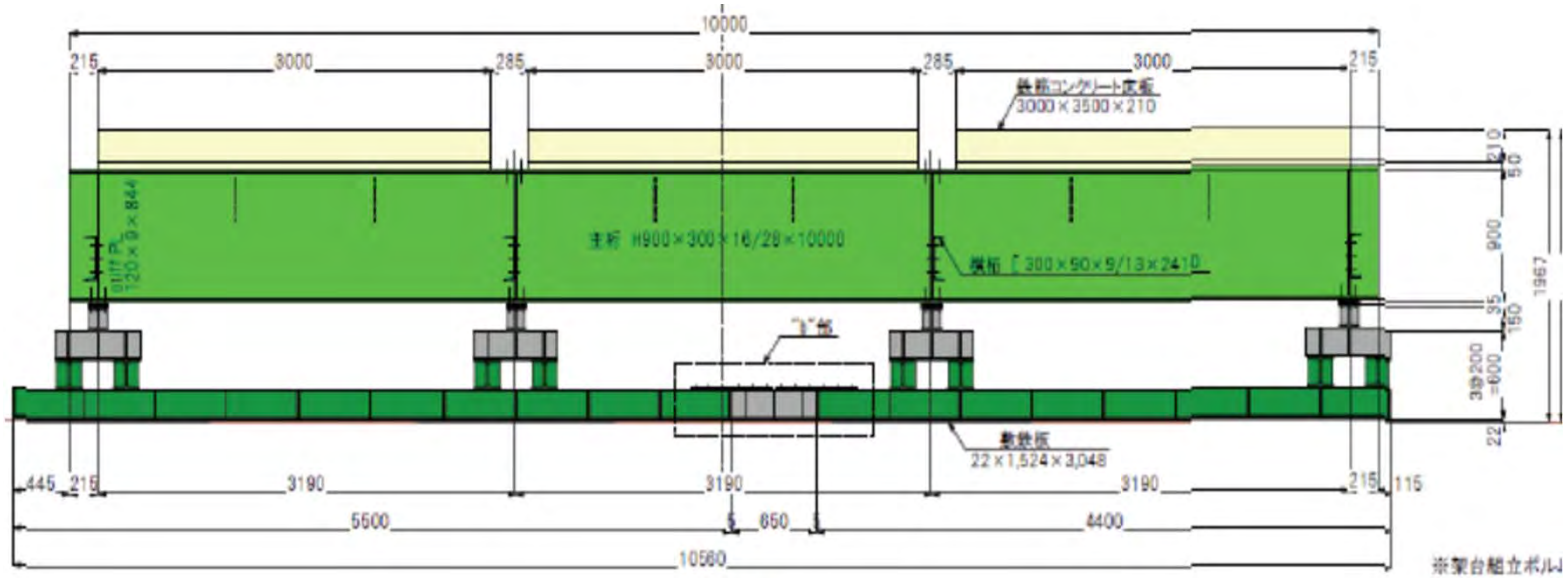
図　床版の配置とその仕様

橋梁形式：
鋼非剛性鈑桁　2連

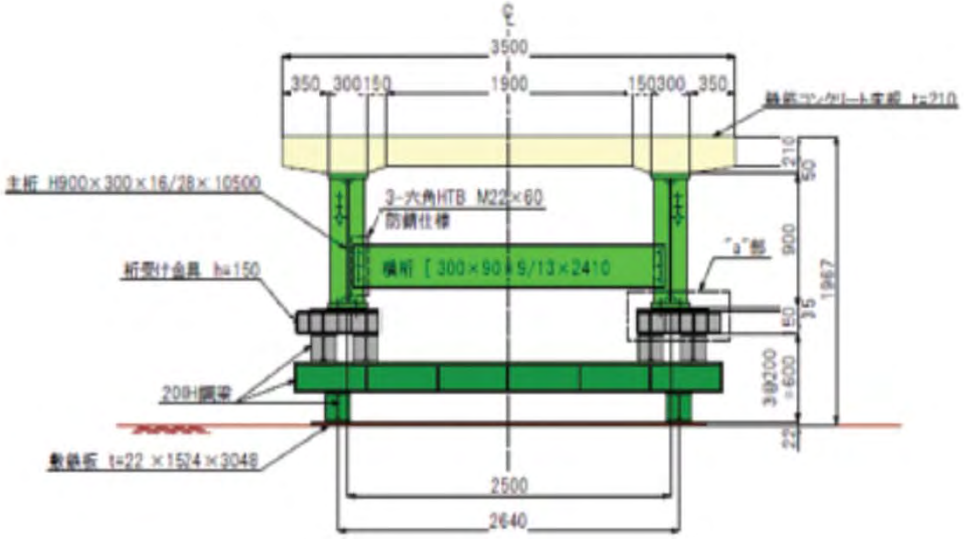
主桁架設→床版型枠工

コンクリートの打込み

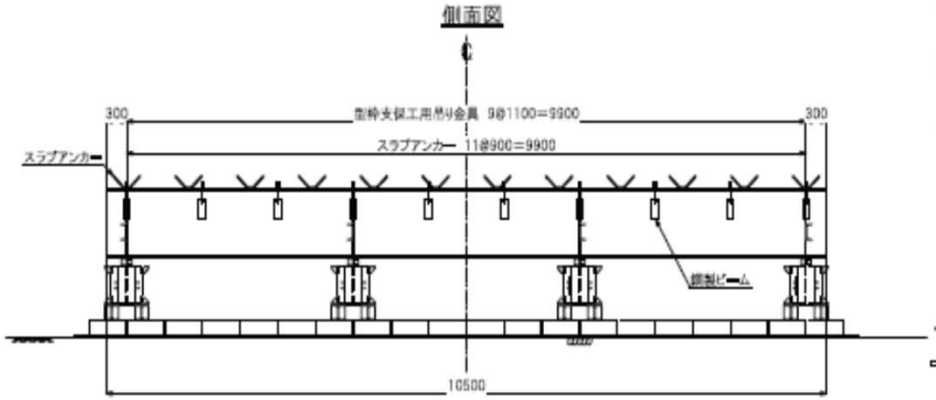
一般図

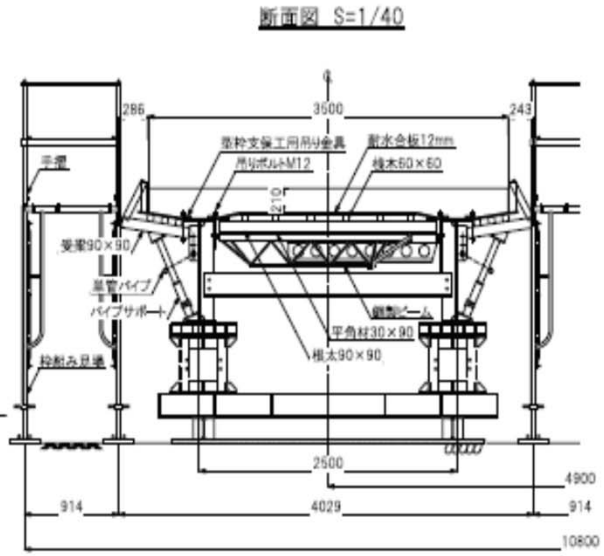

10000
215
3000
285
3000
285
3000
215
鉄筋コンクリート床板
3000×3500×210
主桁 H900×300×16/28×10000
横桁 [300×90×9/13×2410
"a"部
敷鉄板
22×1,524×3,048
445
215
3190
3190
3190
215
115
5500
650
4400
10560
※架台組立ボルト

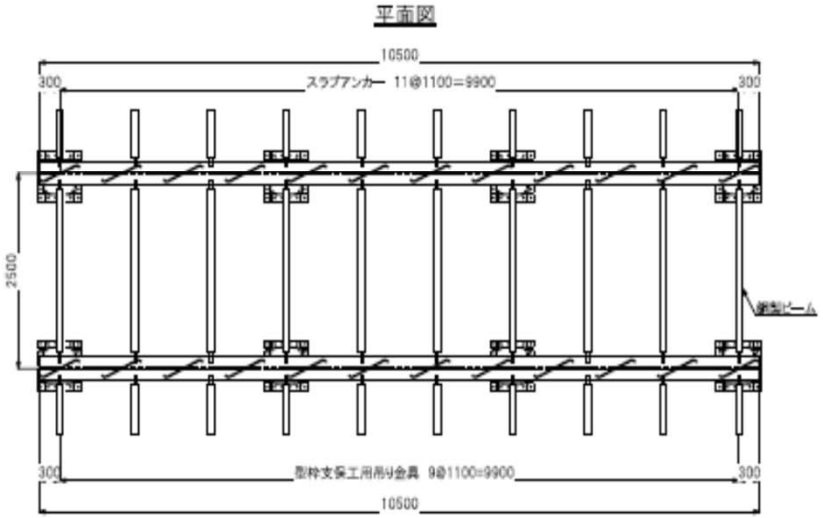
断面図

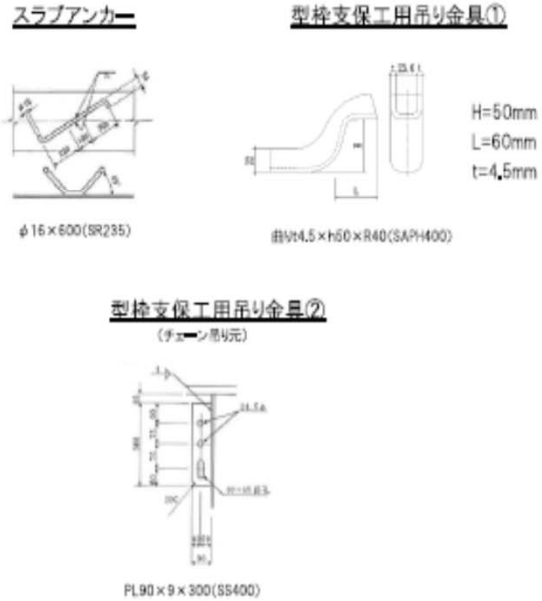

3500
350
300
150
1900
150
300
350
鉄筋コンクリート床板 t=210
主桁 H900×300×16/28×10500
3-六角HTB M22×60
防錆仕様
横桁 [300×90×9/13×2410
"a"部
桁受け金具 h=150
20H鋼管
敷鉄板 t=22 ×1524×3048
2500
2640

スラブアンカーの概要

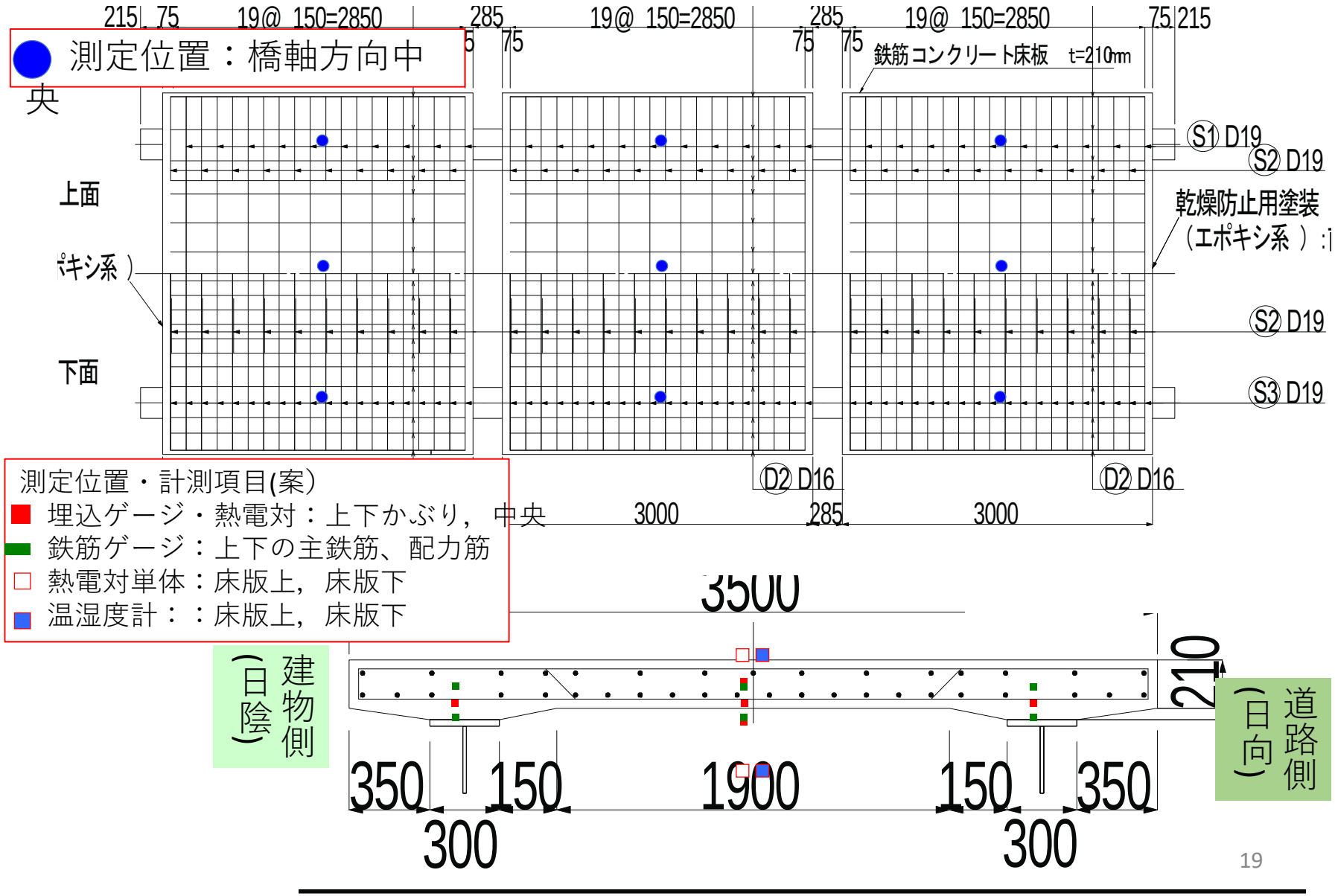

側面図
型枠支保工用吊り金具 9@1100=9900
スラブアンカー 11@900=9900
300
300
スラブアンカー
鋼製ビーム
10500


断面図 S=1/40
286
3500
243
型枠支保工用吊り金具
吊りボルトM12
耐水合板12mm
桟木60×60
手摺
受桟90×90
基礎パイプ
パイプサポート
鋼製ビーム
平角材30×90
桟木90×90
枠組み足場
2500
4900
914
4029
914
10800

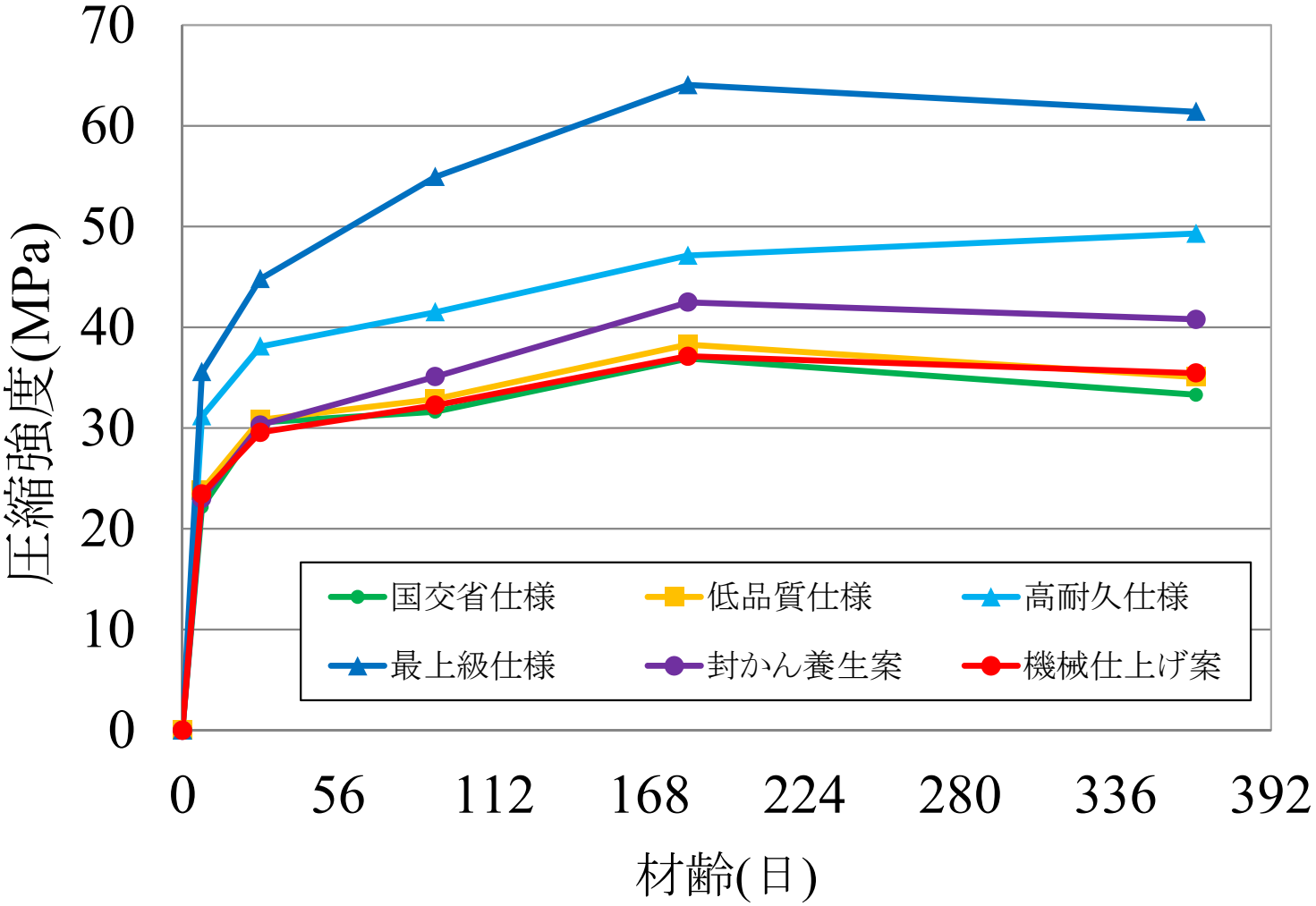

平面図
10500
300
スラブアンカー 11@1100=9900
300
2500
鋼製ビーム
型枠支保工用吊り金具 9@1100=9900
300
300
10500


スラブアンカー
φ16×600(SR235)
型枠支保工用吊り金具①
H=50mm
L=60mm
t=4.5mm
曲げt4.5×h60×R40(SAPH400)
型枠支保工用吊り金具②
(チェーン吊り元)
PL90×9×300(SS400)

計測計画

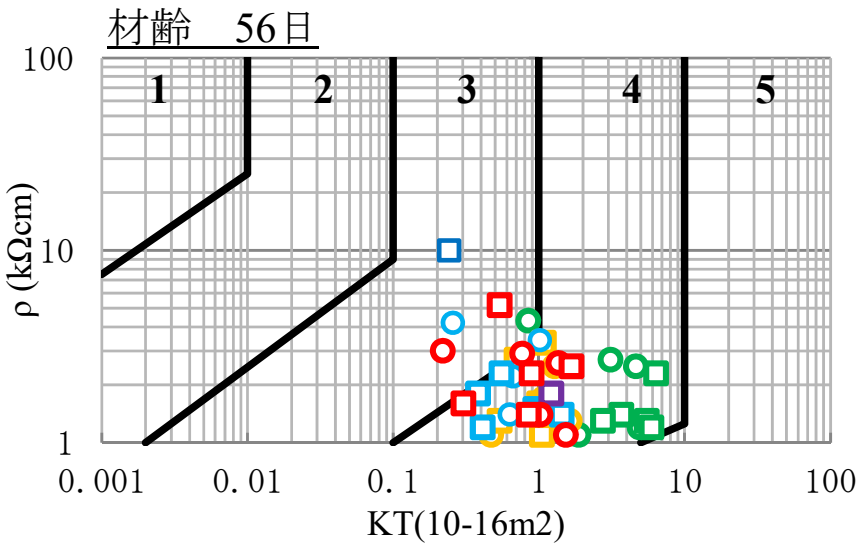

測定位置：橋軸方向中央
215 75 19@ 150=2850 285 19@ 150=2850 285 19@ 150=2850 75 215
75 75 75 75
鉄筋コンクリート床板 t=210mm
S1 D19
S2 D19
S2 D19
S3 D19
上面
下面
乾燥防止用塗装
（エポキシ系）
D2 D16
D2 D16
3000 285 3000
測定位置・計測項目(案)
埋込ゲージ・熱電対：上下かぶり，中央
鉄筋ゲージ：上下の主鉄筋、配力筋
熱電対単体：床版上，床版下
温湿度計：：床版上，床版下
3500
210
建物側（日陰）
道路側（日向）
350 150 1900 150 350
300 300

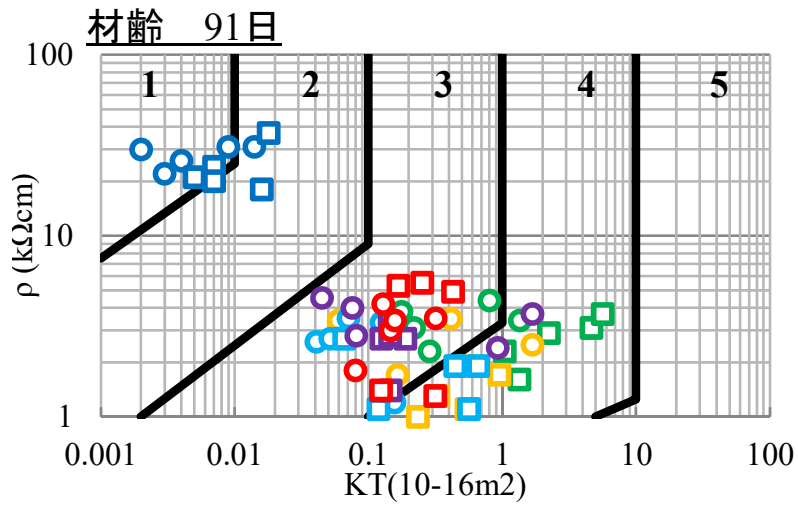
コンクリートの強度発現性

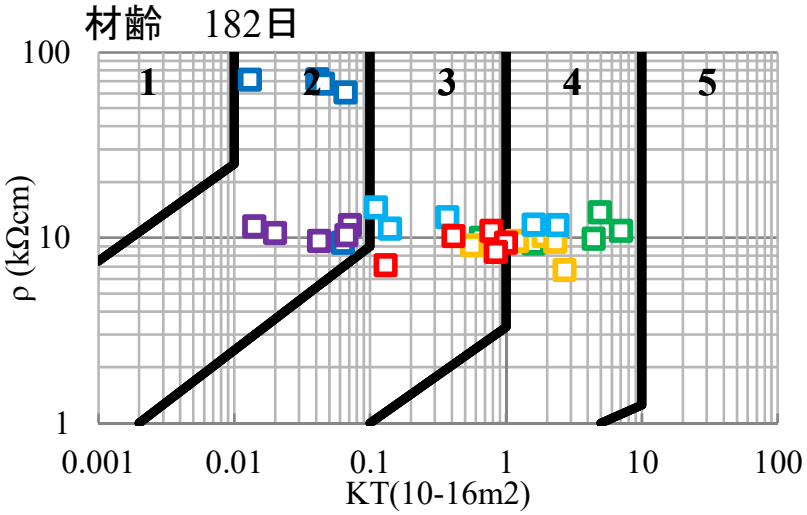


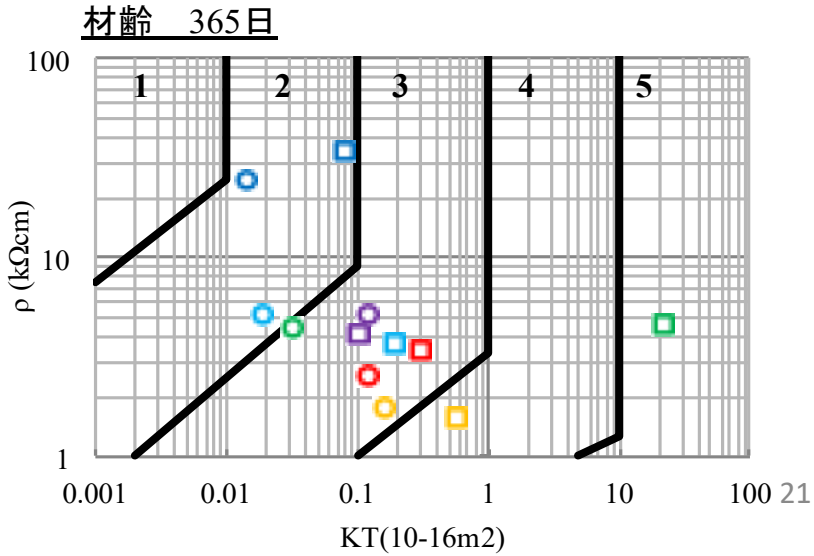
トレント法による透気試験測定結果

○:上面	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
□:下面	標準	低品質	高耐久	最高級	標準封緘	標準機械

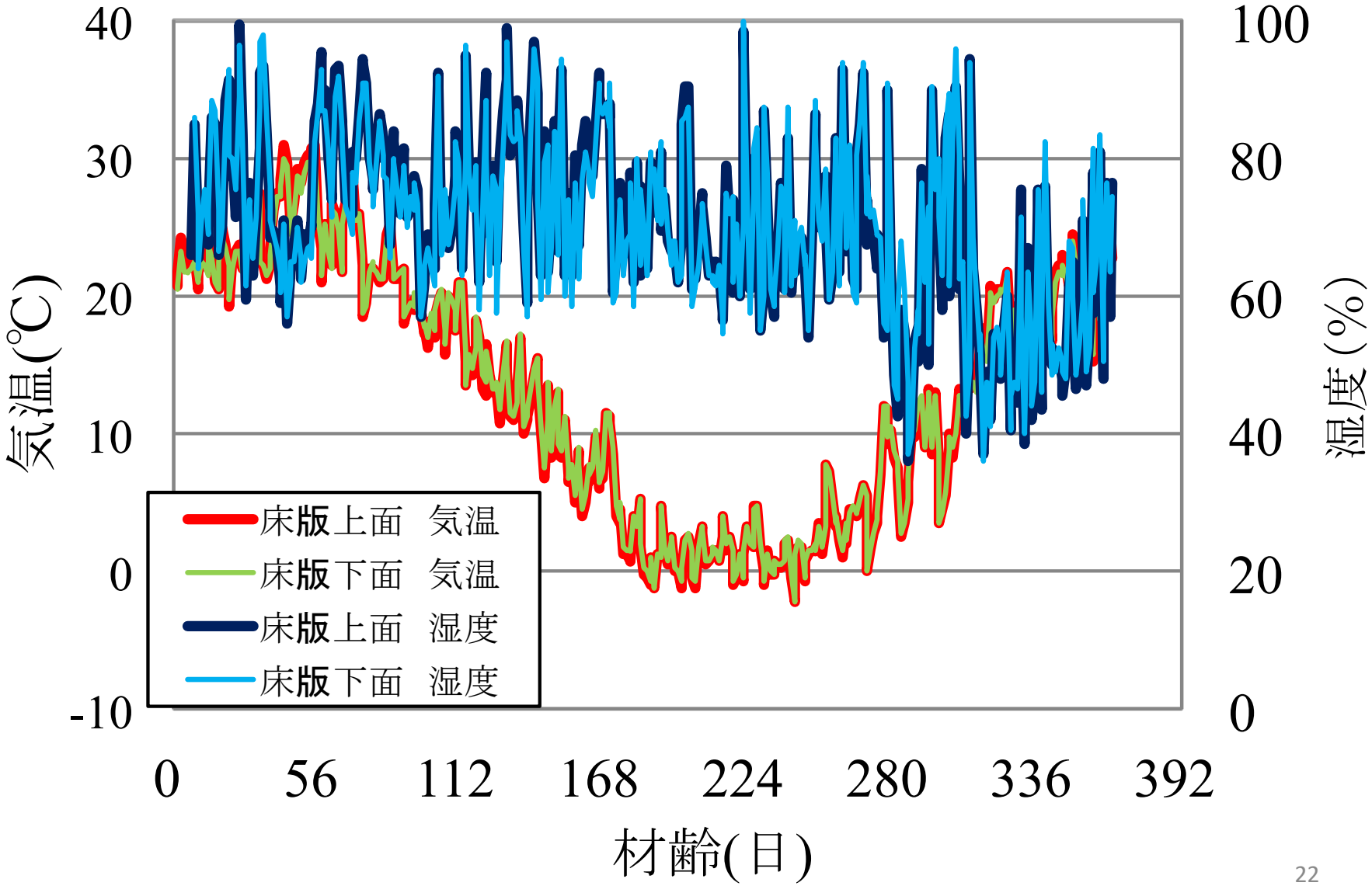




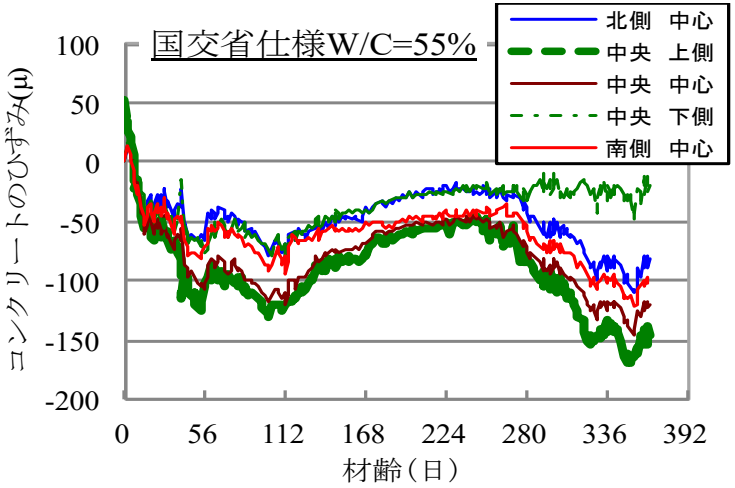


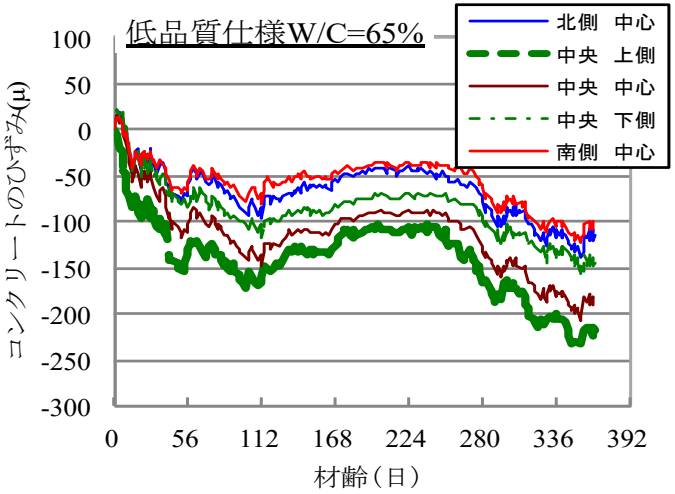


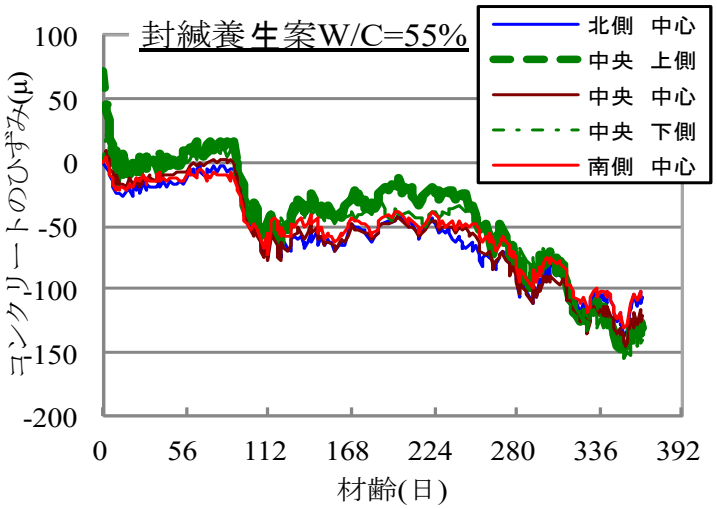
温湿度計測結果

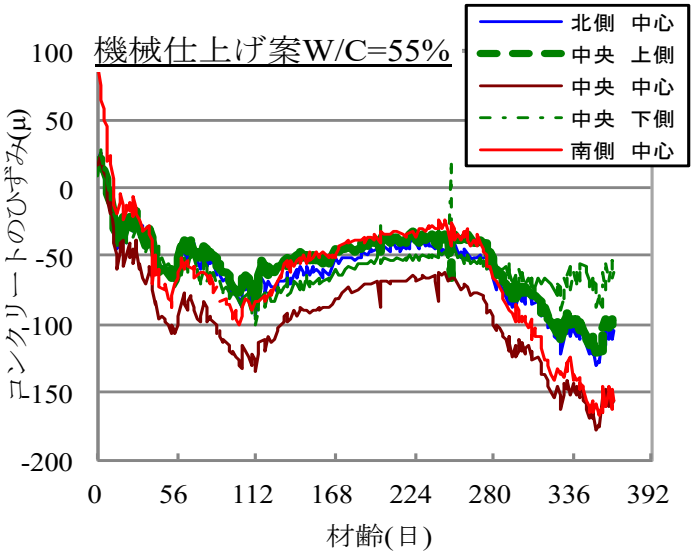

40
30
20
10
0
-10
100
80
60
40
20
0
気温(℃)
湿度(%)
0
56
112
168
224
280
336
392
材齢(日)
床版上面　気温
床版下面　気温
床版上面　湿度
床版下面　湿度

ひずみ挙動測定結果-1

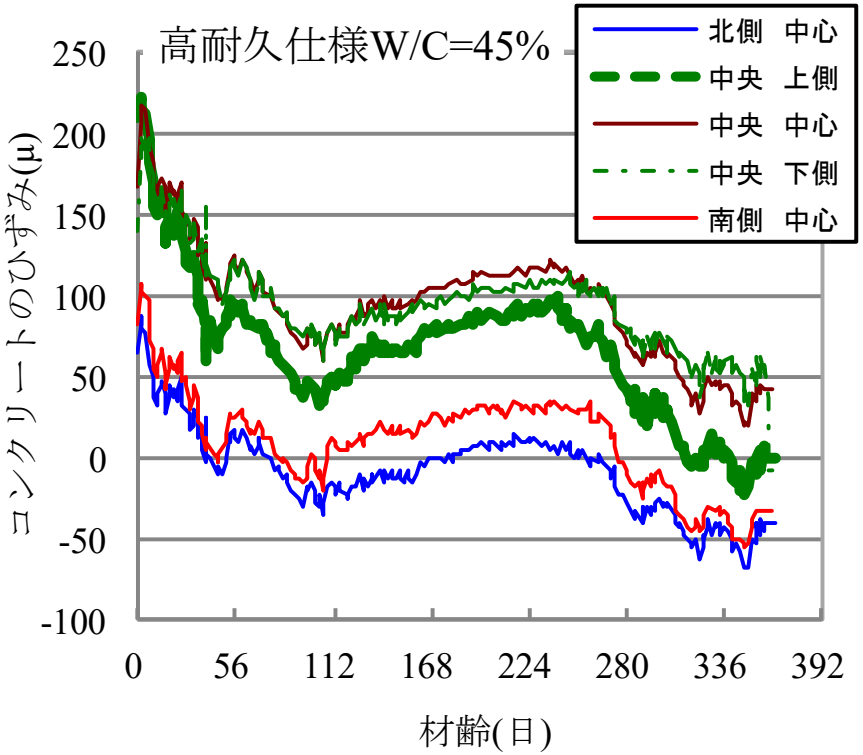

国交省仕様W/C=55%
北側 中心
中央 上側
中央 中心
中央 下側
南側 中心
コンクリートのひずみ(μ)
100
50
0
-50
-100
-150
-200
0
56
112
168
224
280
336
392
材齢（日）

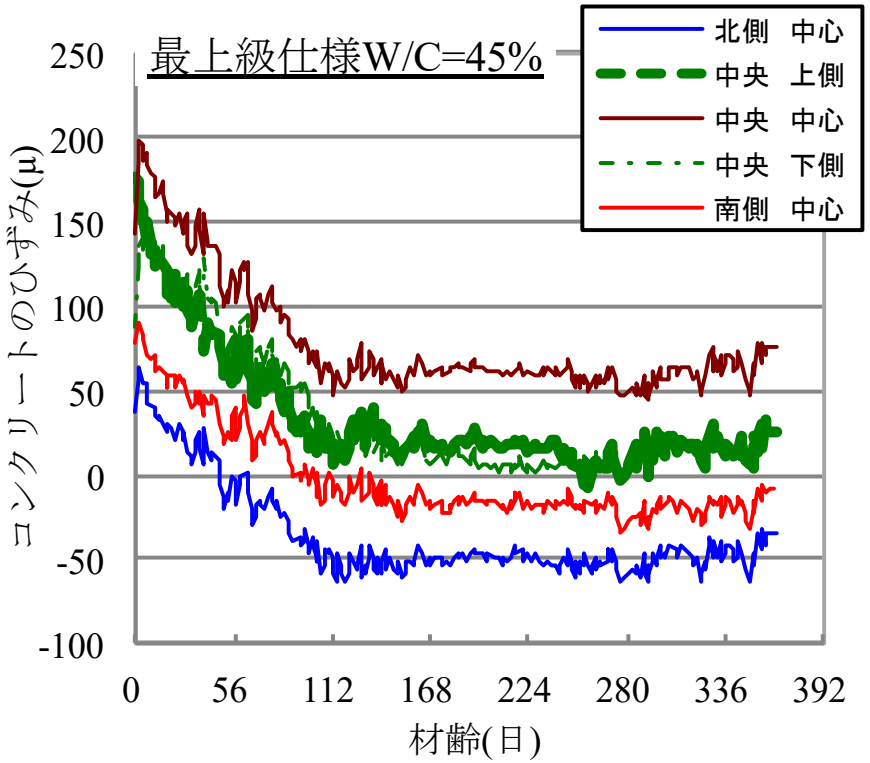

低品質仕様W/C=65%
北側 中心
中央 上側
中央 中心
中央 下側
南側 中心
コンクリートのひずみ(μ)
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
0
56
112
168
224
280
336
392
材齢（日）


封緘養生案W/C=55%
北側 中心
中央 上側
中央 中心
中央 下側
南側 中心
コンクリートのひずみ(μ)
100
50
0
-50
-100
-150
-200
0
56
112
168
224
280
336
392
材齢(日)


機械仕上げ案W/C=55%
北側 中心
中央 上側
中央 中心
中央 下側
南側 中心
コンクリートのひずみ(μ)
100
50
0
-50
-100
-150
-200
0
56
112
168
224
280
336
392
材齢(日)

ひずみ挙動測定結果-2


高耐久仕様W/C=45%
北側　中心
中央　上側
中央　中心
中央　下側
南側　中心
250
200
150
100
50
0
-50
-100
コンクリートのひずみ(μ)
0
56
112
168
224
280
336
392
材齢(日)


最上級仕様W/C=45%
北側　中心
中央　上側
中央　中心
中央　下側
南側　中心
250
200
150
100
50
0
-50
-100
コンクリートのひずみ(μ)
0
56
112
168
224
280
336
392
材齢(日)

実験と解析の連成

実物モデルを用いた計測・実験

耐疲労性評価

実物大鋼主桁上コンクリート床版

耐久性評価

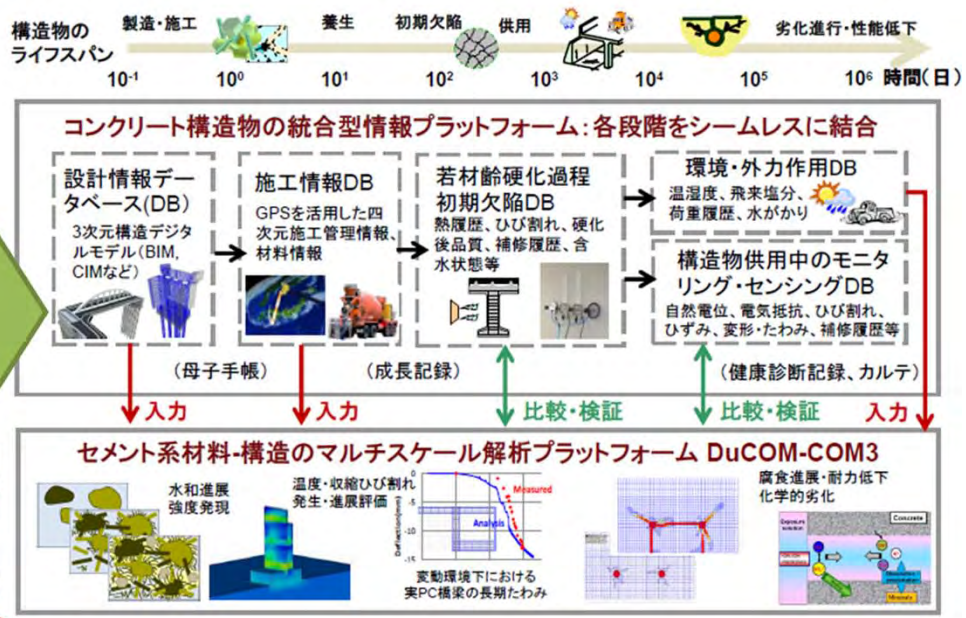
非破壊試験による表層品質・構造性能評価

輪荷重走行試験装置

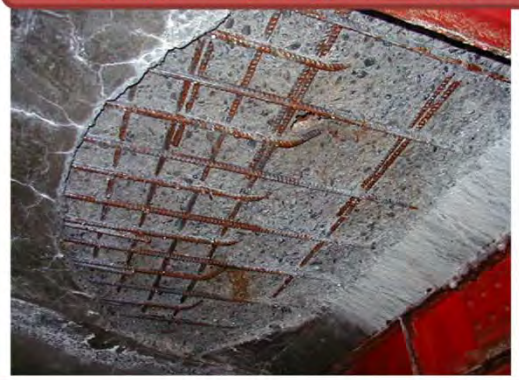
耐久性＆耐疲労性複合評価

大型環境試験装置

マルチスケール解析



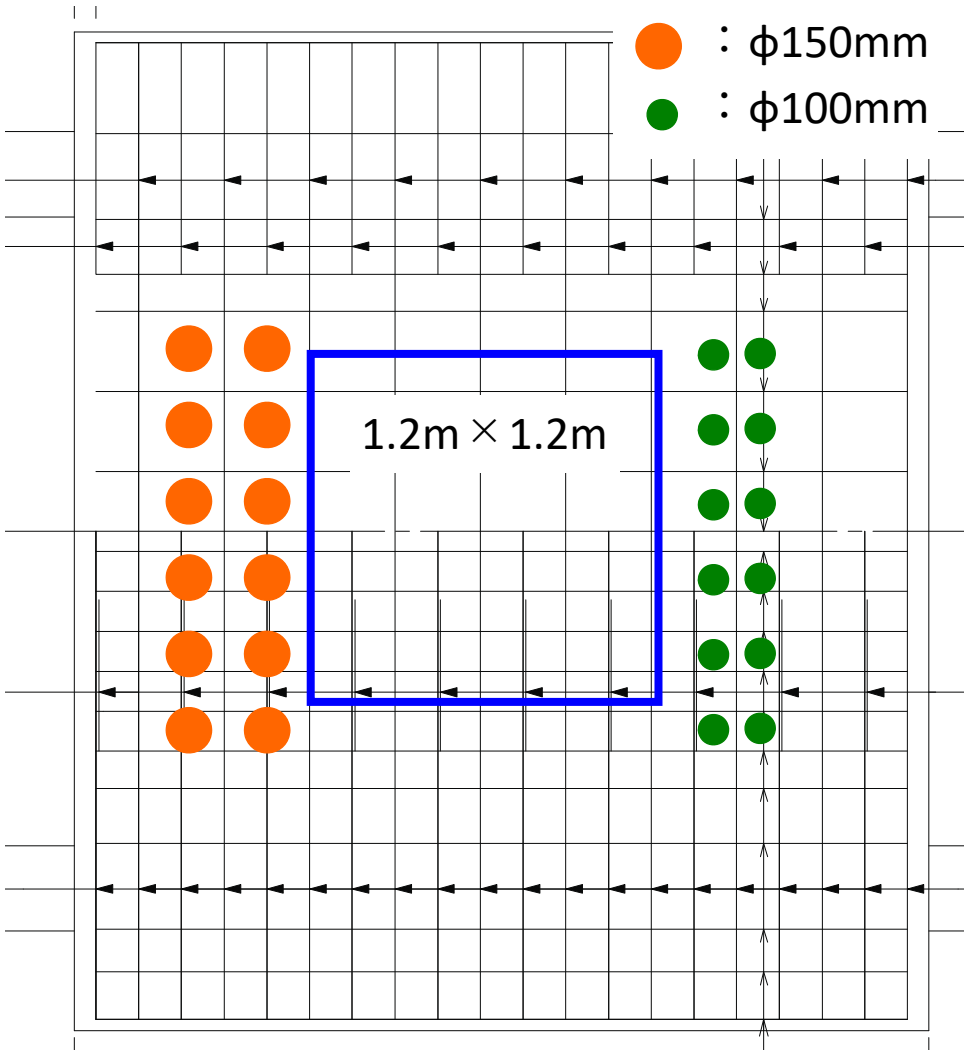
現場の実構造物



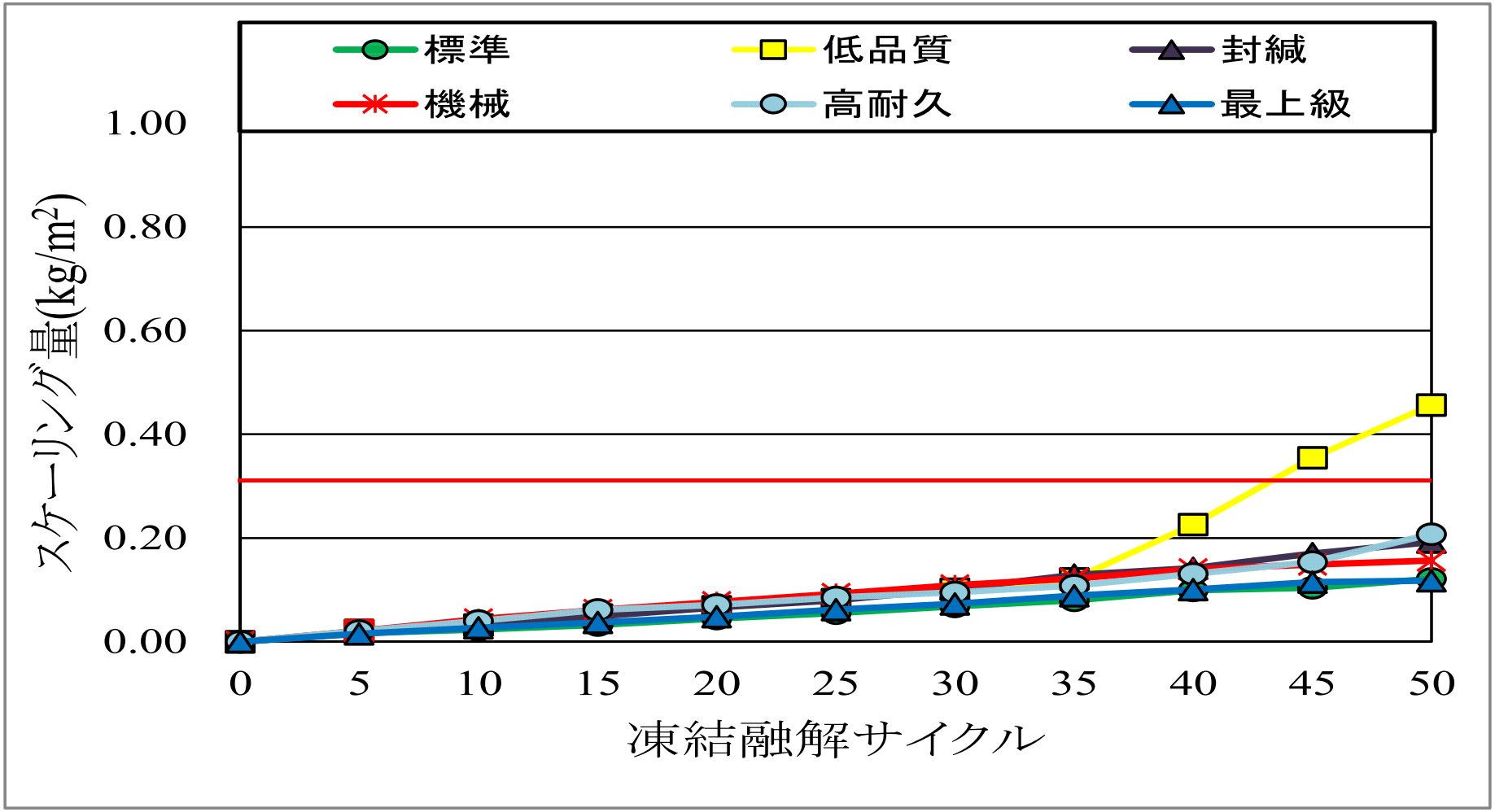
高耐久コンクリート床版の開発と実装

耐久性試験計画

- 塩分浸透性試験：
  φ150mm，3%NaCl
- 凍結融解試験：スケーリング，φ150mm，3%NaCl
- 気泡間隔係数試験：
  φ100mm，上下面と中央
- 圧縮強度試験及び静弾性係数試験：φ100mm

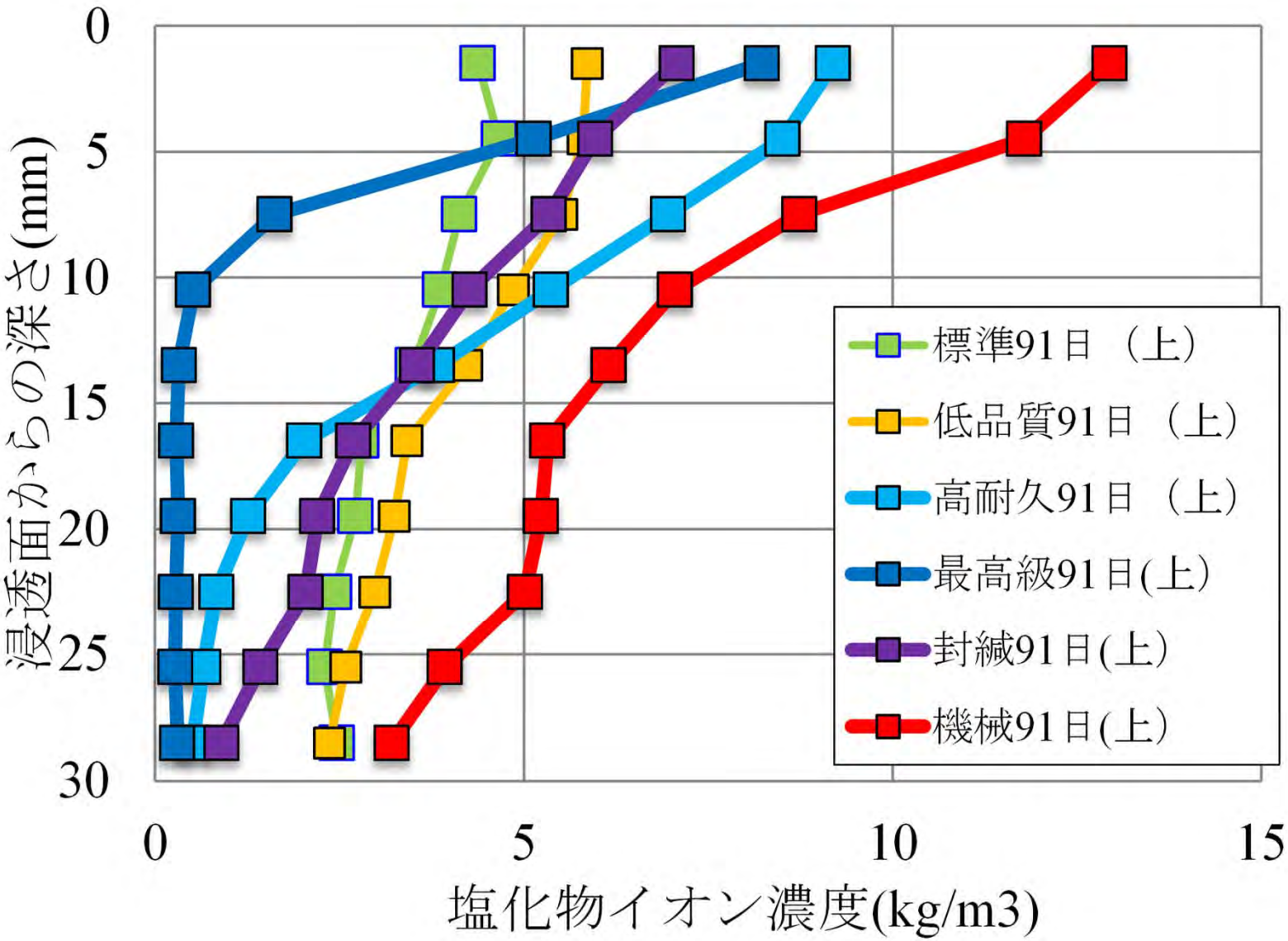


スケーリング抵抗性試験結果



- 低品質のもののみスケーリング抵抗性が著しく低下
- FAを入れても十分な空気量が確保されていればスケーリング抵抗性に問題なし

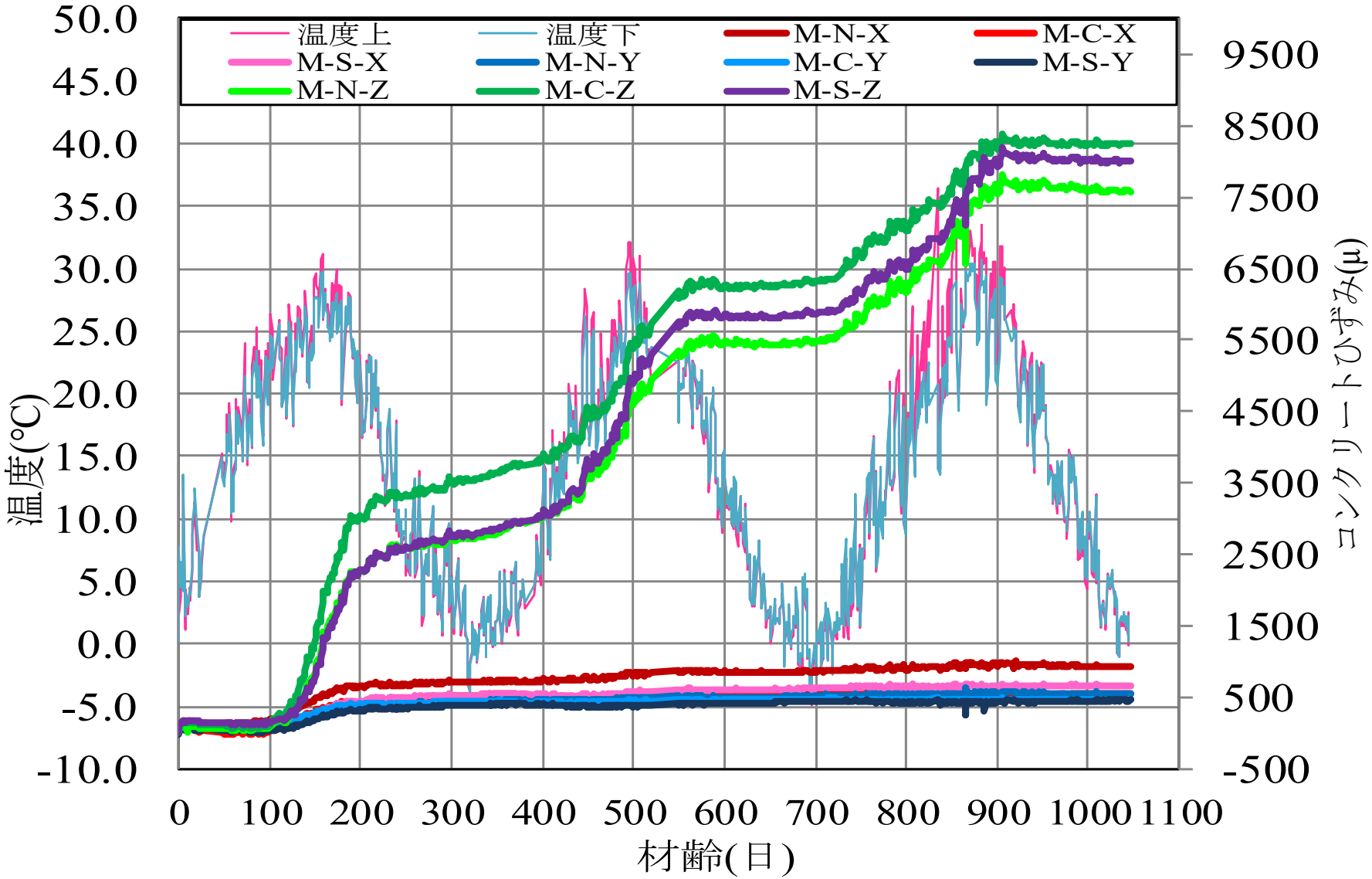
塩分浸透試験結果


0
5
10
15
20
25
30
浸透面からの深さ(mm)
0
5
10
15
塩化物イオン濃度(kg/m3)
標準91日（上）
低品質91日（上）
高耐久91日（上）
最高級91日(上)
封緘91日(上)
機械91日(上)

ロハスの橋第2期プロジェクト

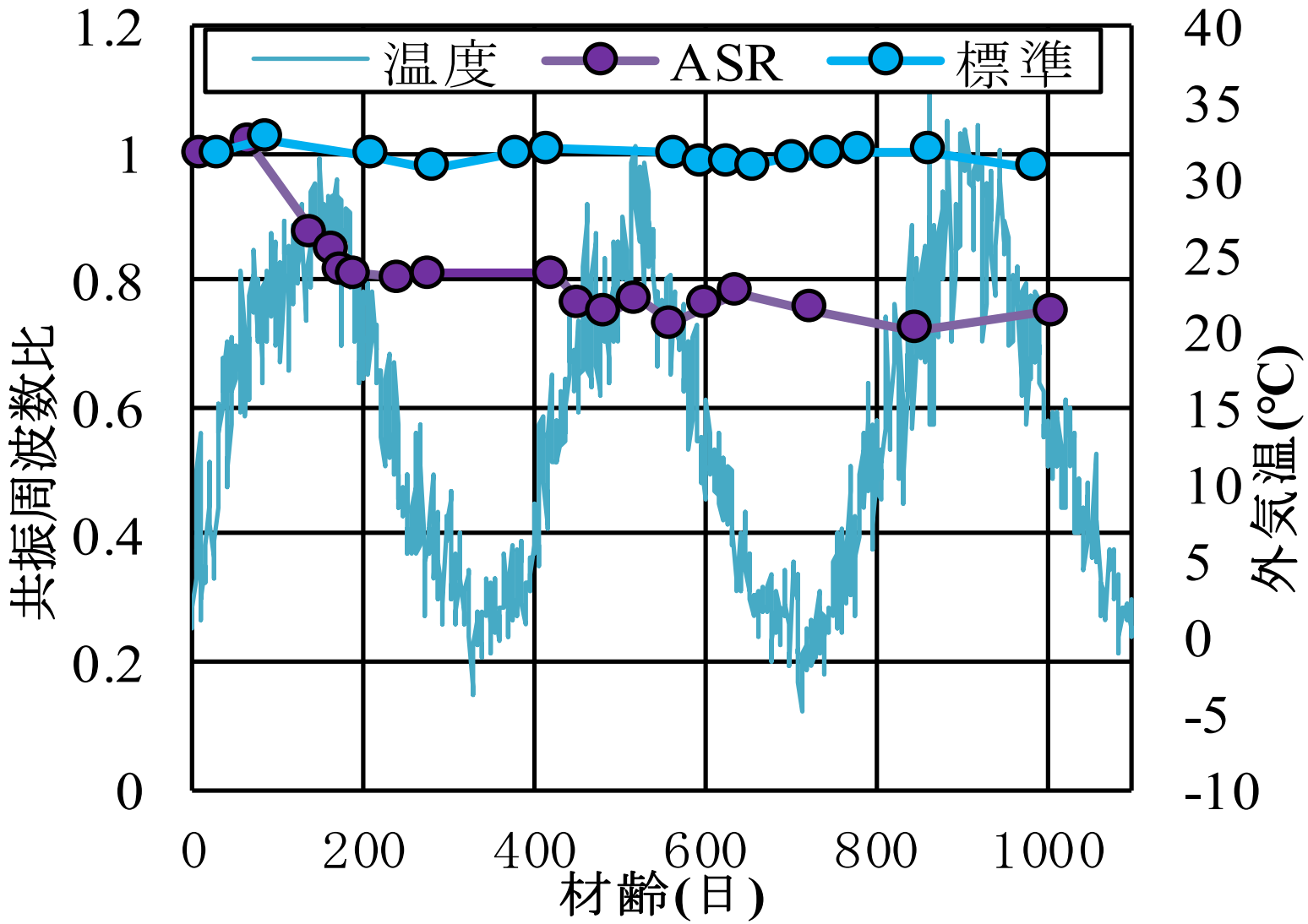
1. 国交省標準（共通：秋冬春夏バージョン）
2. BBコンクリート：膨張材＆封かん養生1ヶ月（橋建協）
3. FA＆中空微小球（デンカ）
4. ASRコンクリート→補修／補強（NIPPO＆首都高）
5. ASRコンクリート→補修／補強（太平洋C）
6. 2層打ちコンクリート床版（NIPPO＆東大＆日大＆太平洋C）

床版コンクリート内部のひずみ変化(中央)



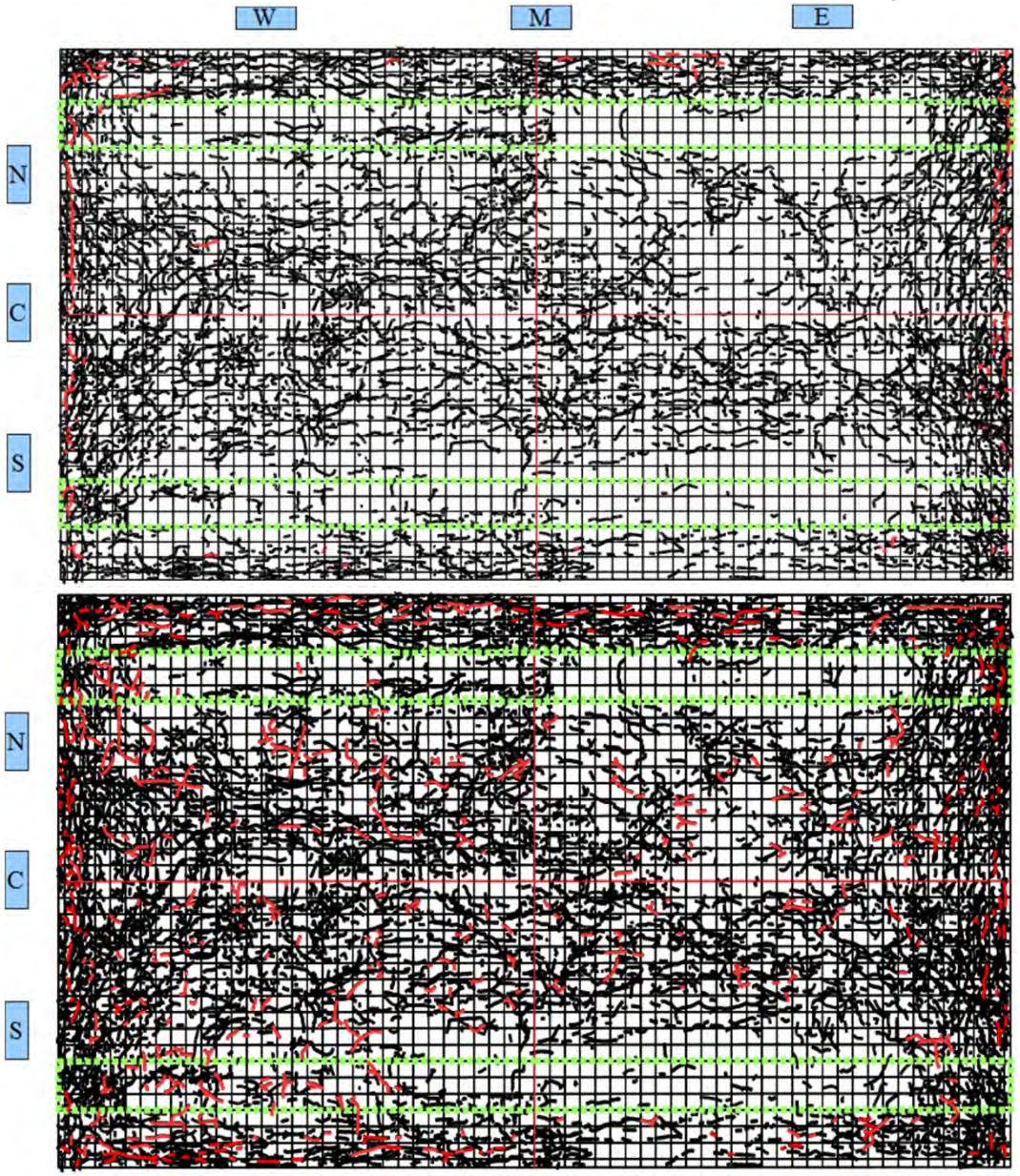
暴露環境下による長期モニタリングによりASRの温度依存性が明確になった。

共振周波数比



ひずみは膨張期間に入っているが、共振周波数比は急激に低下しなかった。
⇒これはASRによって生じたゲルがひび割れに充填した可能性が考えられる

ひび割れ発生状況（上面）



2016年度

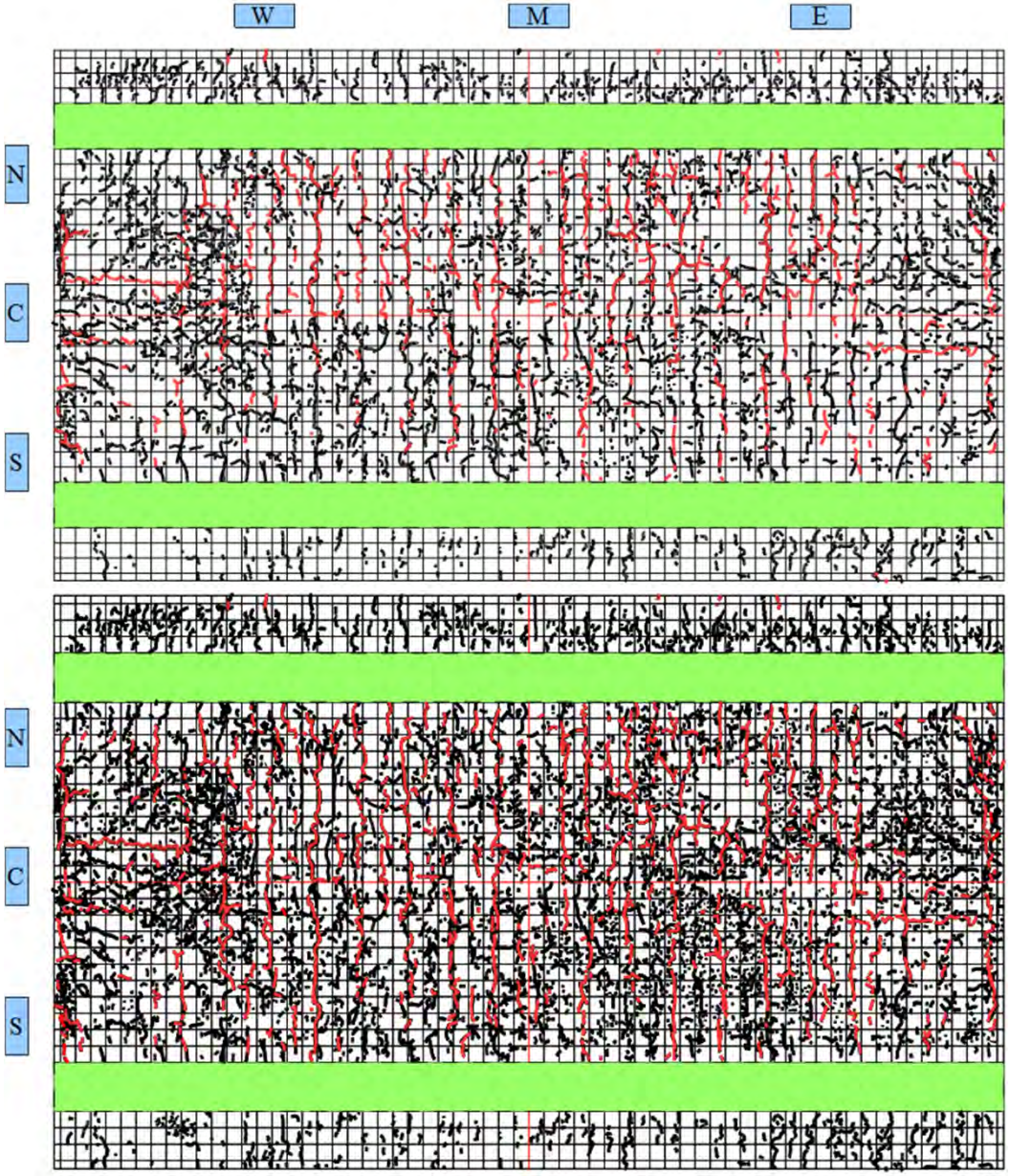
- 配筋量に差があるため拘束度の異なる床版端部に0.1ｍｍ以上のひび割れが発生

2017年度

- 中央部の膨張が大きいため床版中央部にも0.1ｍｍ以上のひび割れが発生
- 新規で出来たひび割れは少ないため、床版上面のひび割れのパターンが固定されつつある

赤：0.1ｍｍ以上

ひび割れ発生状況（下面）



2016年度

- 主桁による拘束がある為0.1ｍｍ以上のひび割れが橋軸直角方向に発生

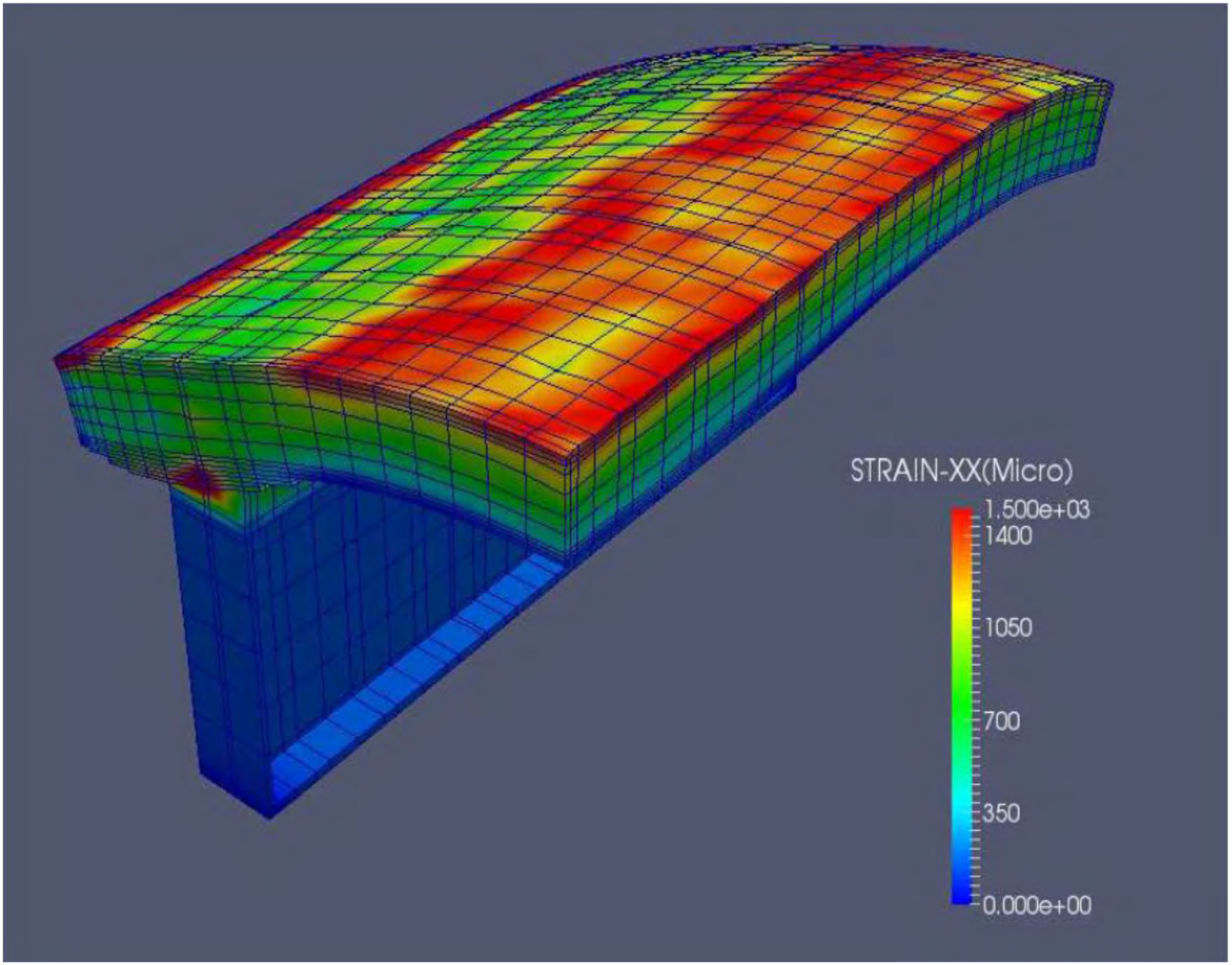
2017年度

- 0.1ｍｍ以上のひび割れは観察されず、床版中央に微細なひび割れが多数発生

床版上下面の中央部に変化が見られたため、ひび割れの発生状況からも床版中央部の膨張が著しく大きいことが判断できる

赤：0.1ｍｍ以上

解析による変形図



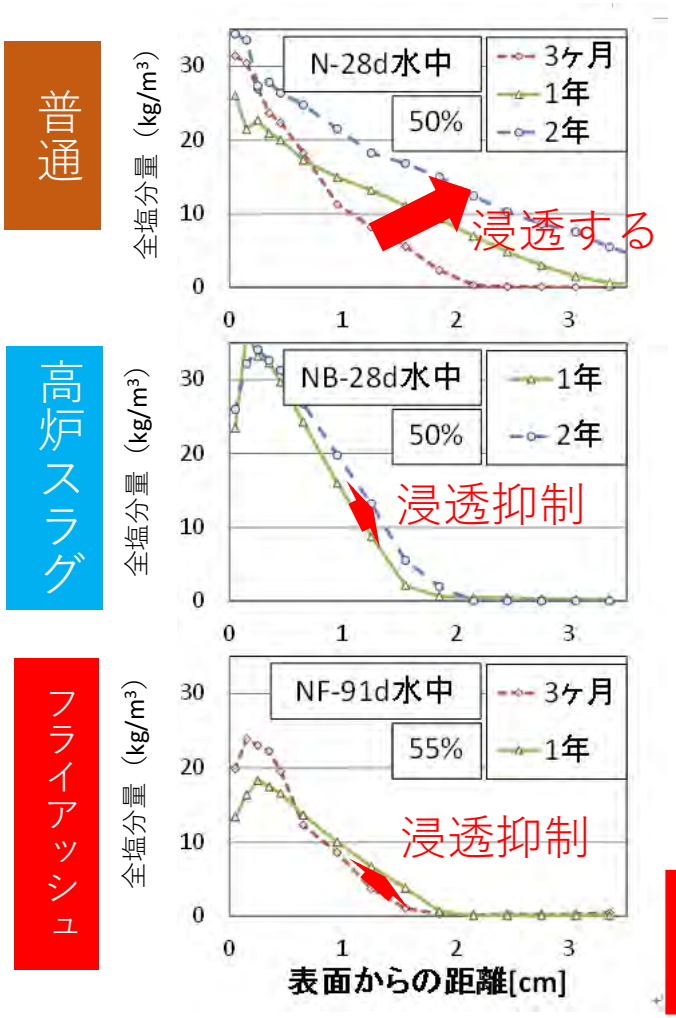
提供：東京大学高橋佑弥講師

多重防護を施した高耐久コンクリートの復興RC床版への実装

フライアッシュの利活用

石田（東大）

緻密性を高め、塩分浸透を抑制

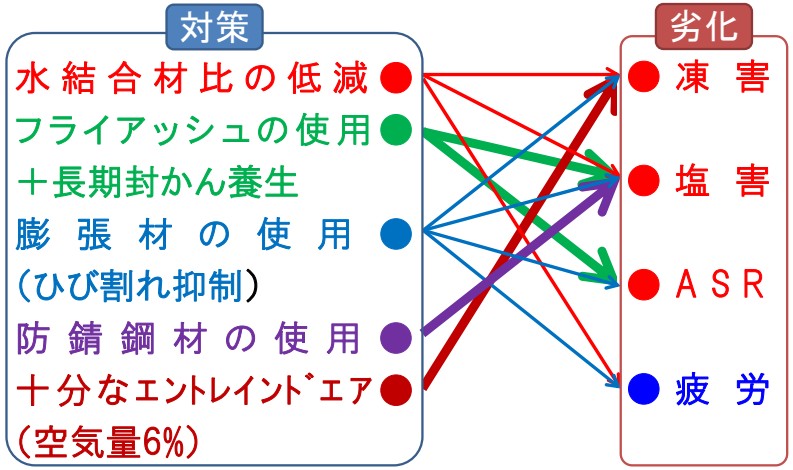


小柳・高橋・石田(JCI年次2015)

多重防護による耐久性の確保

岩城（日大）

東北地方で問題となる4つの劣化に対し、
5つの対策で効率的に多重防護網を形成



一般には、どのひとつも対策を施されていない → 早期劣化の発生

実装

実装

東北地整

復興道路へ実装

向定内橋RC床版へ適用

橋長：44.5m
試験施工：2015年3月4日
本施工：2015年3月20日

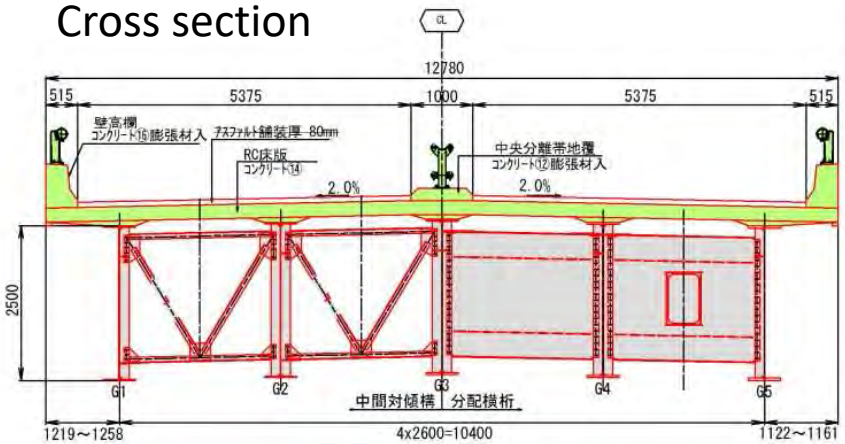
→ 本格実装へ
（復興道路では約300の橋梁を架設）

高耐久RC床版実現へのチャレンジ

榊原、工藤、田中、子田、石田、岩城：フライアッシュコンクリートを用いた高耐久床版の施工、橋梁と基礎、9月号掲載

釜石道路・向定内橋梁の施工、2015年3月

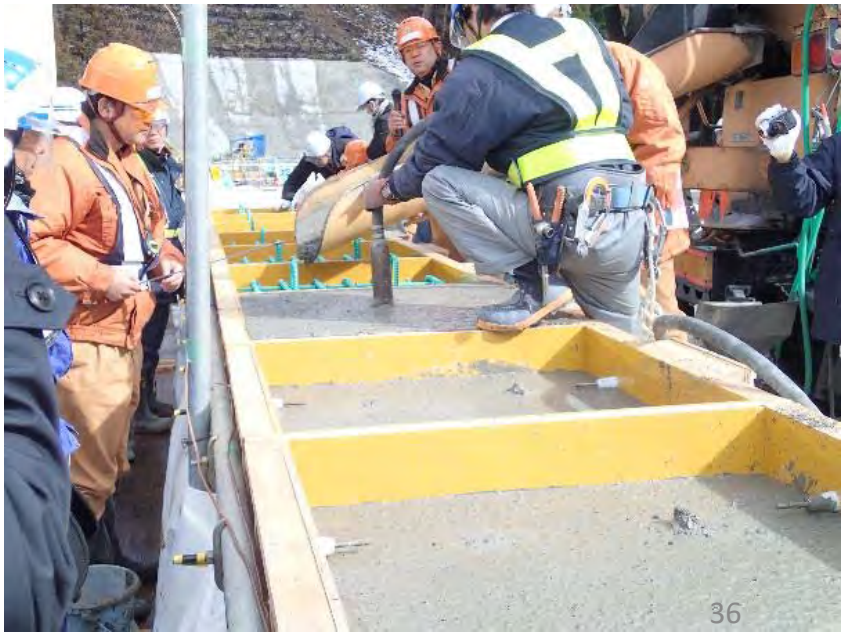
Cross section



Outline

Type	Steel girder bridge
Span	43.5m
Length	44.5m
Width	12.78m

現場試験
(4th-March, 2015)

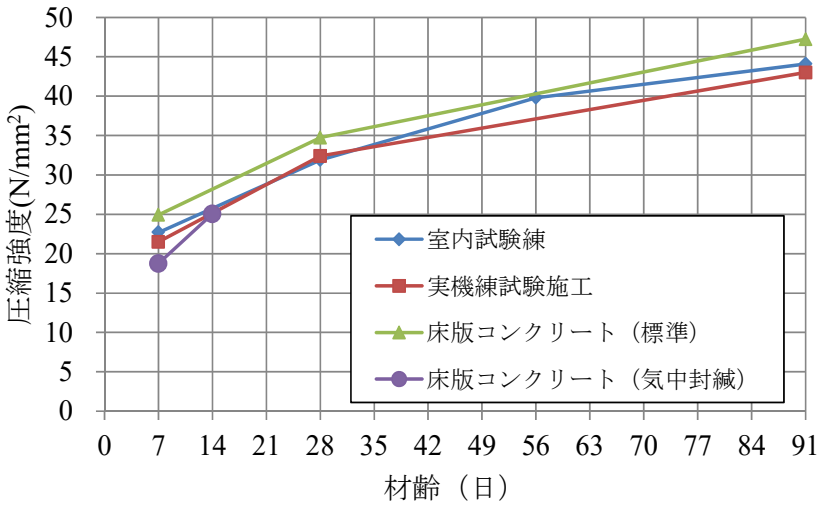


コンクリートの配合

W/C	W/B	s/a	Unit weight (kg/m³)									
(%)	(%)	(%)	W	C	EX	FA	S1	S2	S3	G1	G4	15L
54.8	42.4	43.3	155	283	20	62.5	456	111	185	303	707	3.03

Slump: 12 ± 2.5cm

Air content: 6 % (5.0%～6.9%)



No.	Material	Density (g/cm³)
C	OPC	3.16
EX	Expansive agent	3.16
FA	Fly ash	2.23
W	Water	1.00
S1	S1 sand	2.65
S2	S2 sand	2.59
S3	S3 sand	2.61
G1	G1 gravel	2.68
G4	G4 gravel	2.70
15L	AE water reducing agent	---

コンクリートの打込み、養生

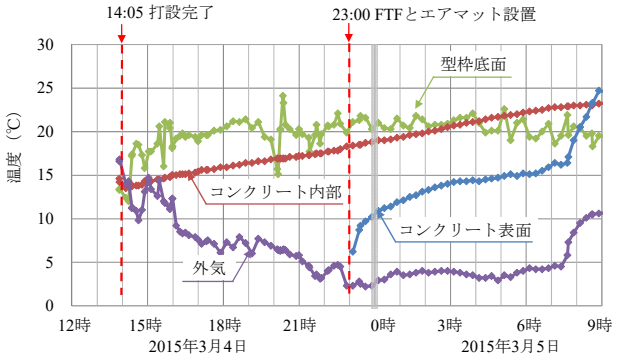
生コンの性状

No. of truck	スランプ (cm)	空気量(%)
1	12.0	6.0
2	13.0	6.0
3	13.0	6.2
4	10.5	6.2
5	11.5	-
6	11.0	-
7	10.5	6.7
10	10.5	-
12	10.5	6.2
24	14.0	6.3
35	12.5	6.2
37	11.0	-
Target	12±2.5	5.0～6.9

良好な品質管理（フレッシュ性状）

養生

初期凍害を防ぐために、ジェットヒータとエアマットを使用



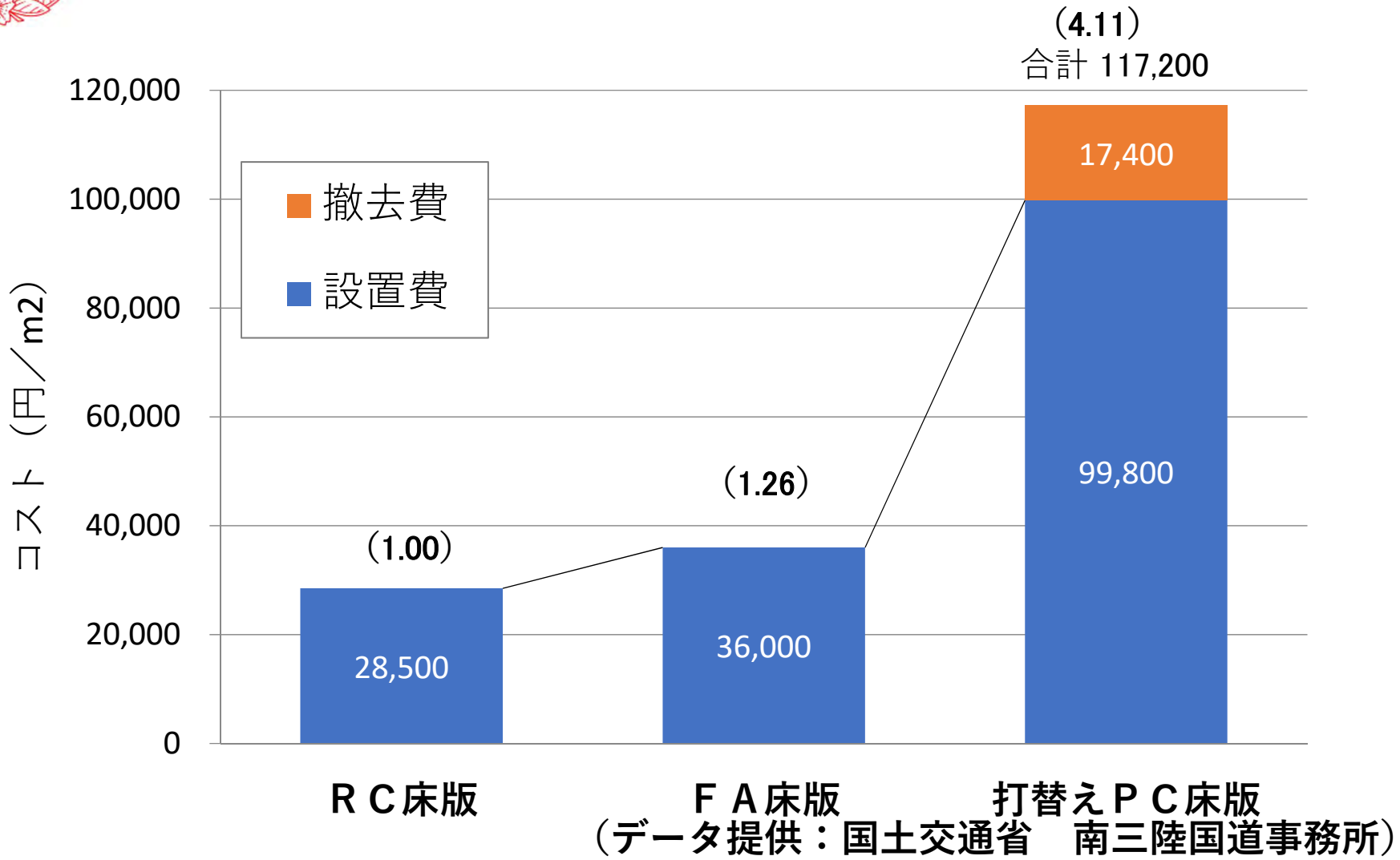
三ヶ月の養生

上面：散水養生

側面および下面：メンブレン養生

榊原、工藤、田中、子田、石田、岩城：フライアッシュコンクリートを用いた高耐久床版の施工、橋梁と基礎、9月号掲載

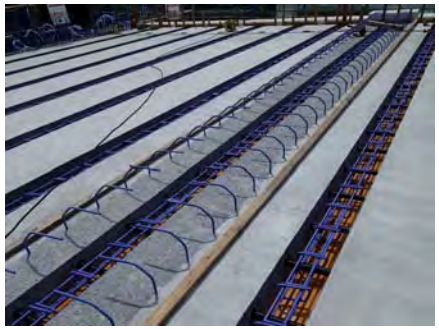
ＦＡ床版のコスト（直接工事費比較）



注１）ＲＣ床版は通常仕様。ＦＡ床版とはエポキシ樹脂鉄筋、コンクリートはフライアッシュ、膨張剤入り。
注２）床版のコストは直接工事費である。
注３）設置費には、型枠、鉄筋、コンクリート、足場が含まれる。打替えＰＣ床版の設置費は、ＰＣ床版、間詰めコン、鉄筋、型枠、足場が含まれる。
注４）撤去費には、既設床版撤去が含まれる。（舗装版撤去や地覆・高欄、照明灯、伸縮装置等付属物の撤去復旧は含まれない。また、交通規制に伴う交通誘導員も含まれない。）

高耐久床版の試行工事

フライアッシュコンクリートによる耐久性確保



不動沢橋　L = 19 m

間詰ｺﾝへのﾌﾗｲｱｯｼｭ適用
（2015年8月）

大沢第３橋 L = 71 m

ﾌﾟﾚｷｬｽﾄ部材との合成場所打ちﾌﾗｲｱｯｼｭ床版 (2016年4月)

浪板橋　L = 38 m

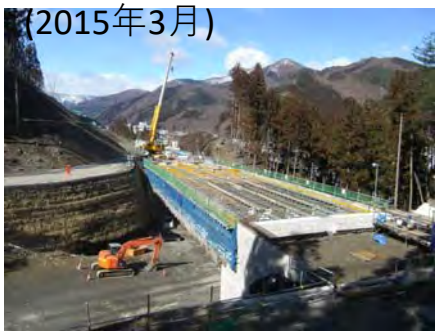
ﾌﾗｲｱｯｼｭコン&平坦仕上げ
(2016年4月)

新気仙大橋　L = 438 m

高炉スラグセメント (2016年5月)

向定内橋　L = 45 m

日本初のﾌﾗｲｱｯｼｭRC床版
(2015年3月)



手引きの作成

SIP前川PJ
として公表

・高炉スラグセメントによる耐久性確保技術の試験実装

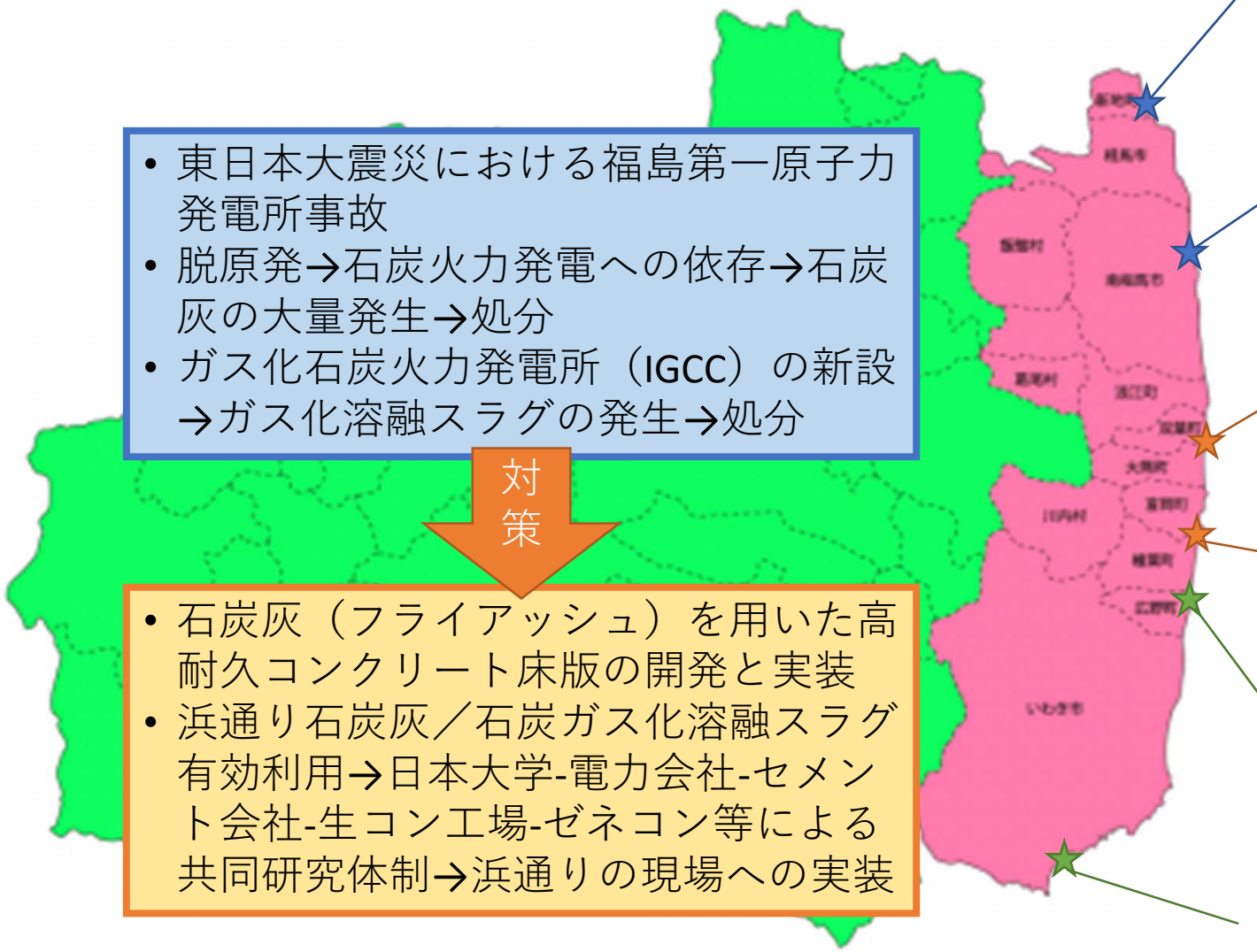
・三陸国道事務所，福島河川国道事務所への展開

三陸から福島県浜通りへ

- 東日本大震災における福島第一原子力発電所事故
- 脱原発→石炭火力発電への依存→石炭灰の大量発生→処分
- ガス化石炭火力発電所（IGCC）の新設→ガス化溶融スラグの発生→処分

対策

- 石炭灰（フライアッシュ）を用いた高耐久コンクリート床版の開発と実装
- 浜通り石炭灰／石炭ガス化溶融スラグ有効利用→日本大学-電力会社-セメント会社-生コン工場-ゼネコン等による共同研究体制→浜通りの現場への実装



相馬共同火力新地発電所

原町火力発電所

福島第一原子力発電所

福島第二原子力発電所

広野火力発電所（IGCC）

常磐共同火力勿来発電所（IGCC）

ASR反応のモデル化と混和材の抑制効果

金沢工業大学　准教授

田中　泰司

外来アルカリがある場合の抑制対策

■ アルカリ骨材反応抑制対策

~~① アルカリ総量の規制~~

● 外来アルカリによってコンクリート中のアルカリ量が増加するので、効果は限定的

~~③ 無害と判定された骨材の使用~~

● 通常よりも高濃度のアルカリで試験する必要がある。アウトになる骨材が増える

② 混和材・混合セメントの使用

● 抑制効果は多くの研究者が実証

● 実用的な適用基準が確立されていない

■ 実際に混和材を使用する場合…

混和材の量から得られる抑制効果が分かる必要がある

抑制効果の実験的検討は長時間を要する
↓
混和材の抑制効果の予測モデルが必要

① アルカリ量と骨材反応性に応じた混和材の抑制効果の確認

② 膨張挙動予測モデルの構築

混和材の抑制効果　試験概要

■ モルタルバー法 （JIS A 1146）

・温度40℃, 湿度95%以上の条件下で促進養生

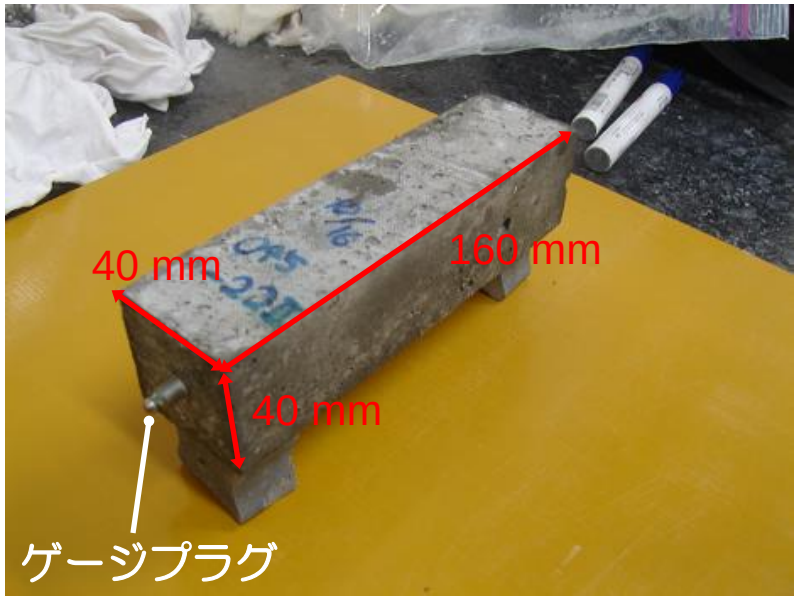
・2, 4, 8, 13, 26週間後に長さ変化を測定 (ダイヤルゲージ)

・本研究では膨張抑制効果の目標値を1000μと設定

■ アルカリ量と混和材置換率を制御因子

・アルカリ量はNa_2O等価量で6～22kg/m^3（通常7.2kg/m^3）

・混和材置換率は体積置換率



試験体水準

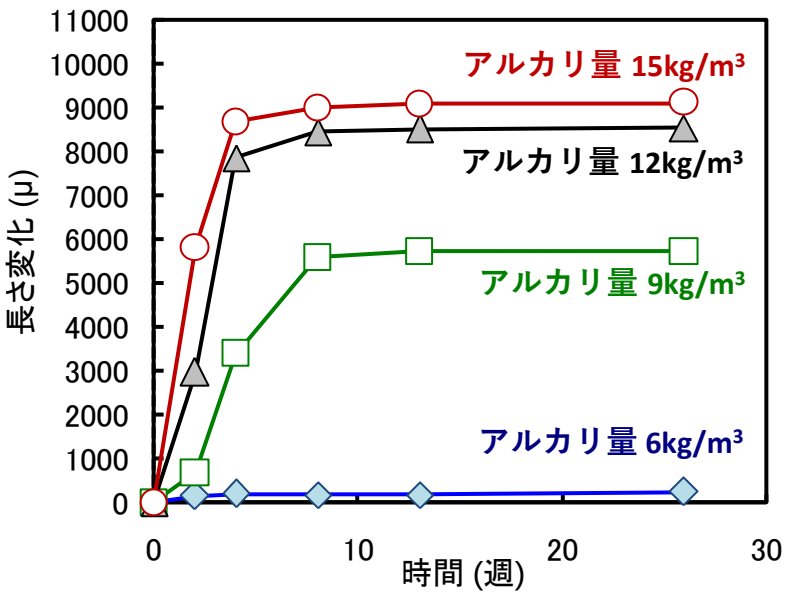
シリーズ	セメント	骨材	混和材	W/B
S	普通	北海道	原町産FA Ⅱ種	50%
FA1	普通	北海道	原町産FA Ⅳ種	50%
AG1	普通	新潟	原町産FA Ⅱ種	50%
AG2	普通	富山	原町産FA Ⅱ種	50%
FA2	普通	富山	七尾大田産FA Ⅱ種	50%
LC	低熱	北海道	原町産FA Ⅱ種	50%
HC	早強	北海道	原町産FA Ⅱ種	50%
WB30	普通	北海道	原町産FA Ⅱ種	30%
SW	普通	北海道	シリカ質微粉末	50%
SF	普通	北海道	シリカヒューム	50%
BB	普通	北海道	高炉スラグ	50%
FA＋BB	普通	北海道	原町産FA Ⅱ種 高炉スラグ微粉末	50%
SF＋BB	普通	北海道	シリカヒューム 高炉スラグ微粉末	50%

考察項目

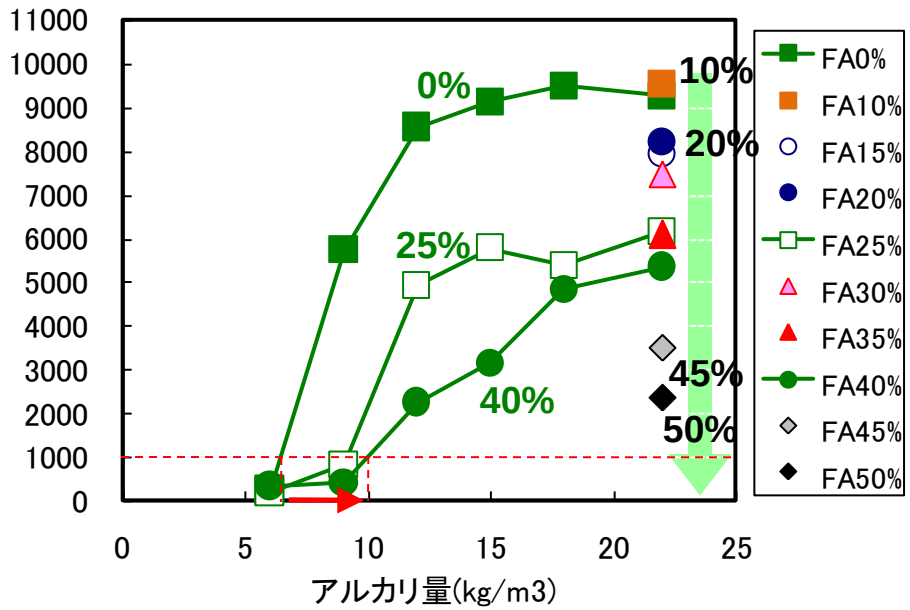
- フライアッシュのASR抑制効果
- フライアッシュの品質規格の影響
- 骨材の反応性の影響
- フライアッシュの産地の影響
- セメントの種類の影響
- 水粉体比の影響
- 他の混和材の抑制効果
- 混和材の組み合わせによる効果

フライアッシュの抑制効果

北海道産骨材使用したシリーズの長さ変化の経時変化
（混和材無置換）



北海道産骨材使用したシリーズの26週目の長さ変化



アルカリ量の増加に伴い膨張量も増加

- FA置換率の増加に伴い膨張量が減少
- FAの置換により限界値が増加

U.F.O.モデルの概要

U.F.O. Method　（魚本・古澤・大賀法）

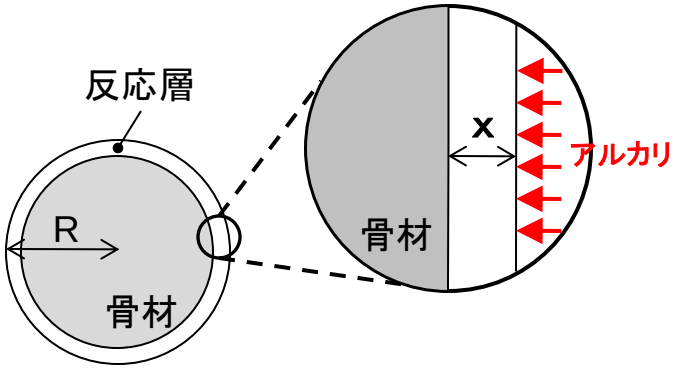
反応層が成長する速度

$$dx/dt = C \cdot k / x$$

↓

$$x = \sqrt{2kCt}$$

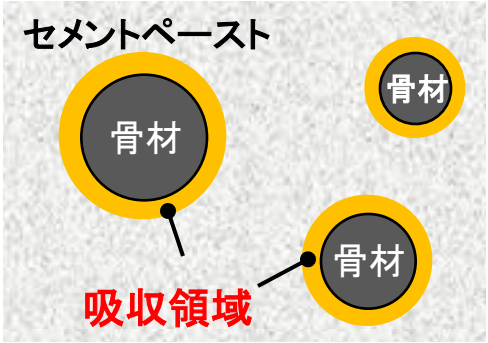
x：反応層(cm)
t：時間(hr)
k：反応速度定数(cm^2/hr)
C：アルカリ濃度(mol/l)



骨材の表面積に比例する反応生成物の吸収領域を仮定

$$T_{er} = A \cdot \sum \beta_i \left(h' \cdot 4\pi R_i^2 / \frac{4\pi R_i^3}{3}\right) = A \cdot \sum \beta_i (h / R_i)$$

T_{er}：総膨張低減容量$(mol/l-mortar)$
h：単位反応比表面積から膨張低減容量に換算する係数



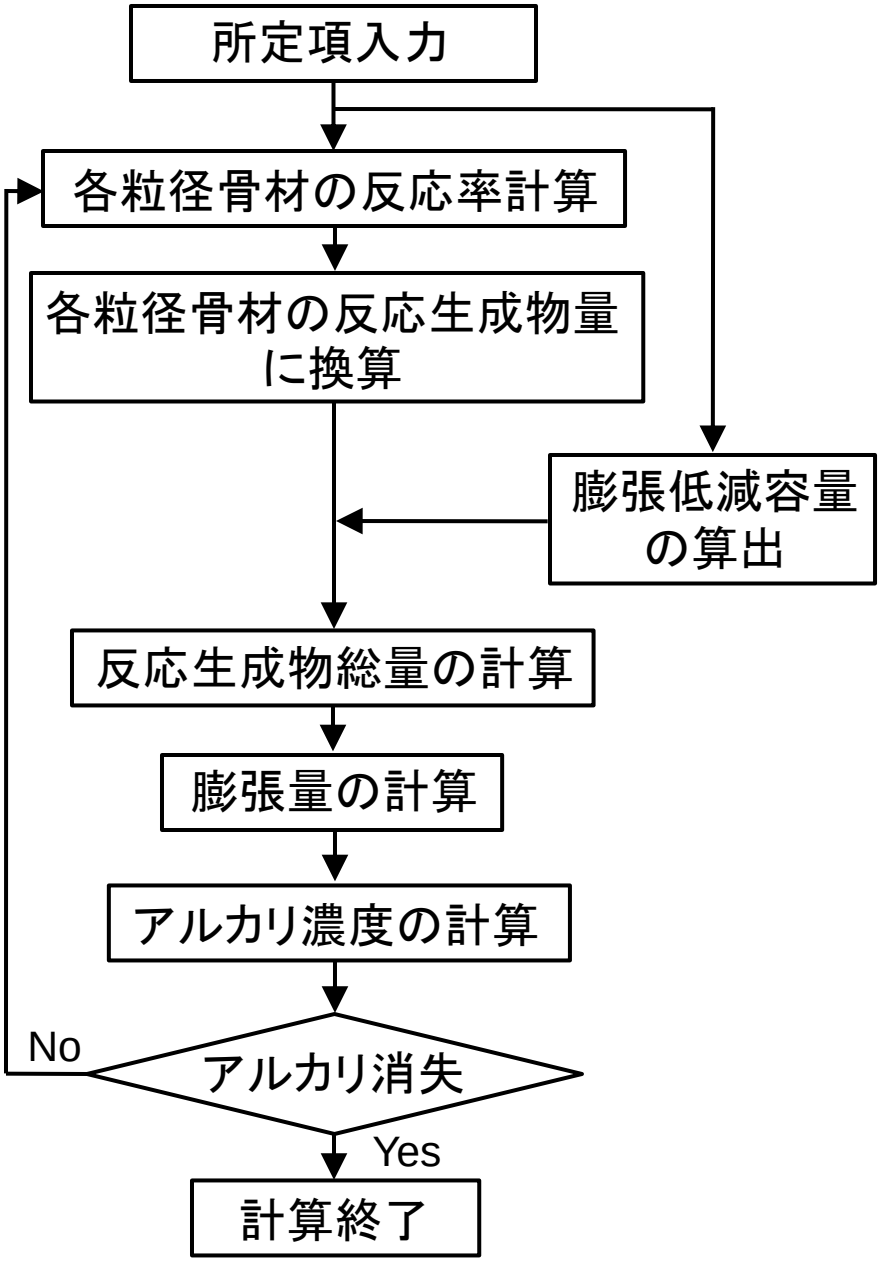
膨張に寄与する反応生成物量から膨張量への換算

$$\varepsilon = \underline{\underline{E}} \cdot \left(T_{pr} - T_{er}\right)$$

→ 反応生成物の膨張への寄与率

ε：膨張量$(\%)$
E：膨張量に換算する係数$(\% \cdot 1-mortar/mol)$

U.F.O.モデルの概要



■ 反応速度定数ｋの決定

① 化学法 （通常：80℃，24時間後測定）

・2水準の温度で実施 （60℃、80℃）
・経時的に測定（数時間～数日間）

② 各温度の反応速度定数の算出

③ アレニウスプロットを用い40℃のｋを算出

40℃の反応速度定数(cm^2/hr)		
北海道	6.39E−12	
富山	初期反応速度	1.63E−12
	後期反応速度	3.00E−12
新潟	初期反応速度	3.01E−13
	後期反応速度	4.34E−12

→ 遅延性骨材と確認

◆ モルタルバー法

結果を得るのに6ヶ月を要する

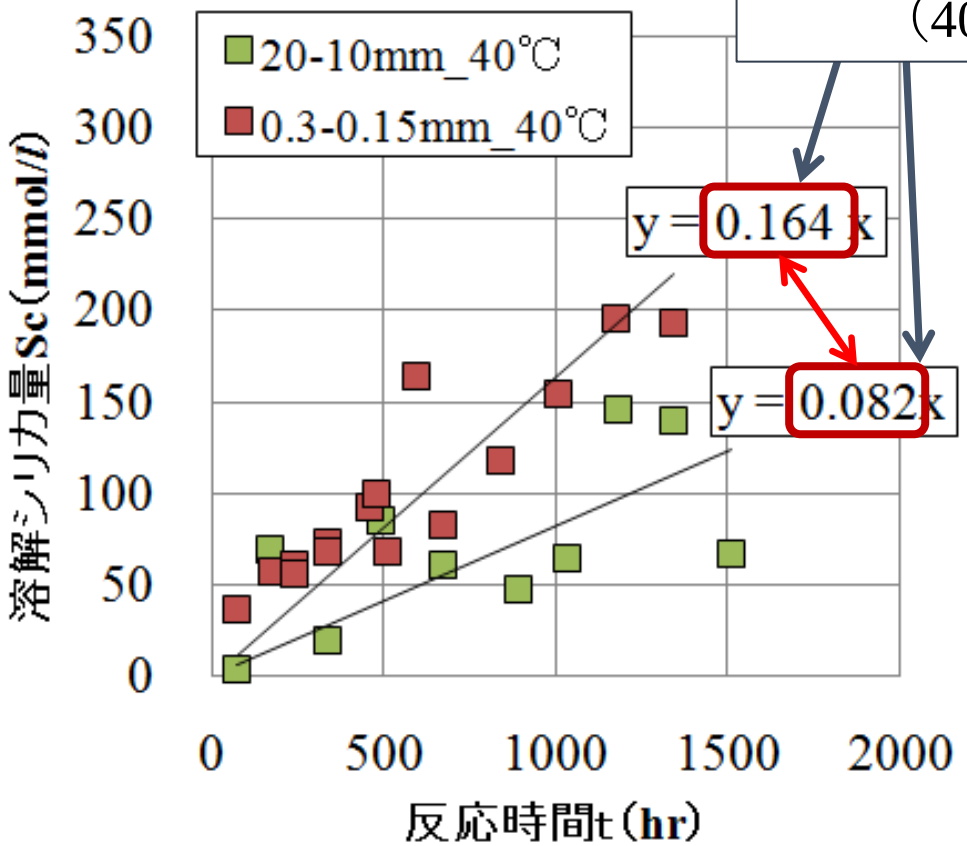
◆ UFOモデル

短期間の試験で長期的な膨張量を予測可能

反応性骨材の反応速度に関する検討

◆検討事項①

シリカの溶出速度
（40℃）



40℃
（コンクリートバー試験と同じ温度）

	0.3-0.15mm : 20-10mm
表面積比（単位重量当り）	65 : 1
シリカの溶出速度比	2 : 1

＜骨材とアルカリの反応速度＞

骨材表面積の違い

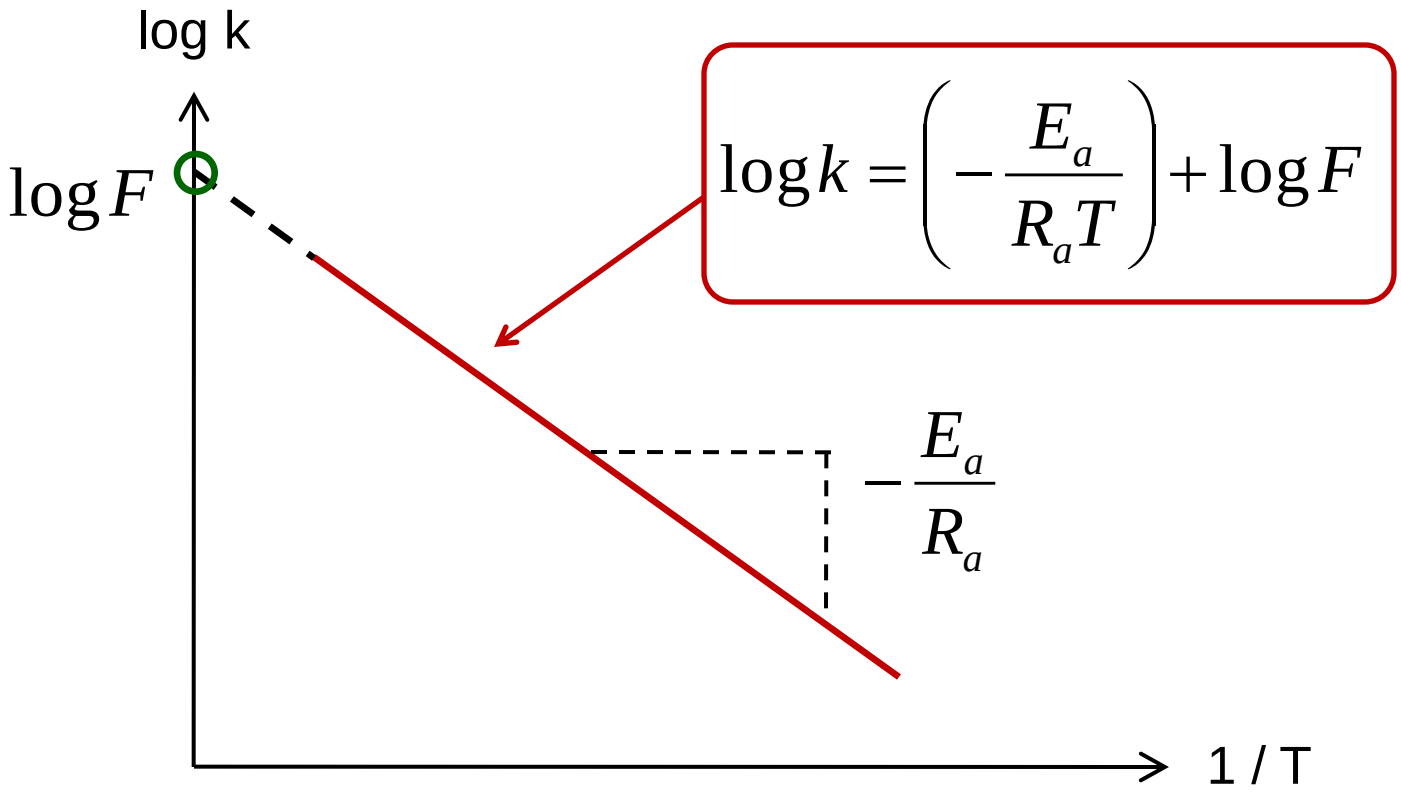
↓

反応速度に及ぼす影響は小さい

アレニウスプロット

アレニウスプロット

反応速度の温度依存性を表した関係性 （物理化学）



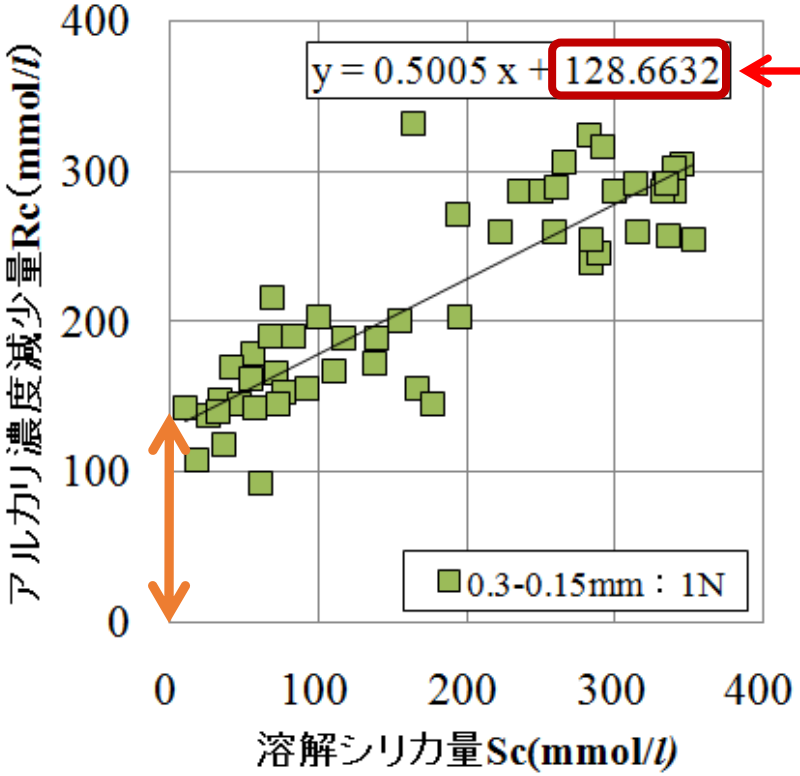
反応性骨材のアルカリ消費に関する検討

◆検討事項②

＜骨材の初期アルカリ消費量に影響を及ぼす因子＞

⇒NaOH溶液濃度を試験因子とした化学法にて検討

◆骨材の初期アルカリ消費量の定義



初期アルカリ消費量

(mmol/*l*)

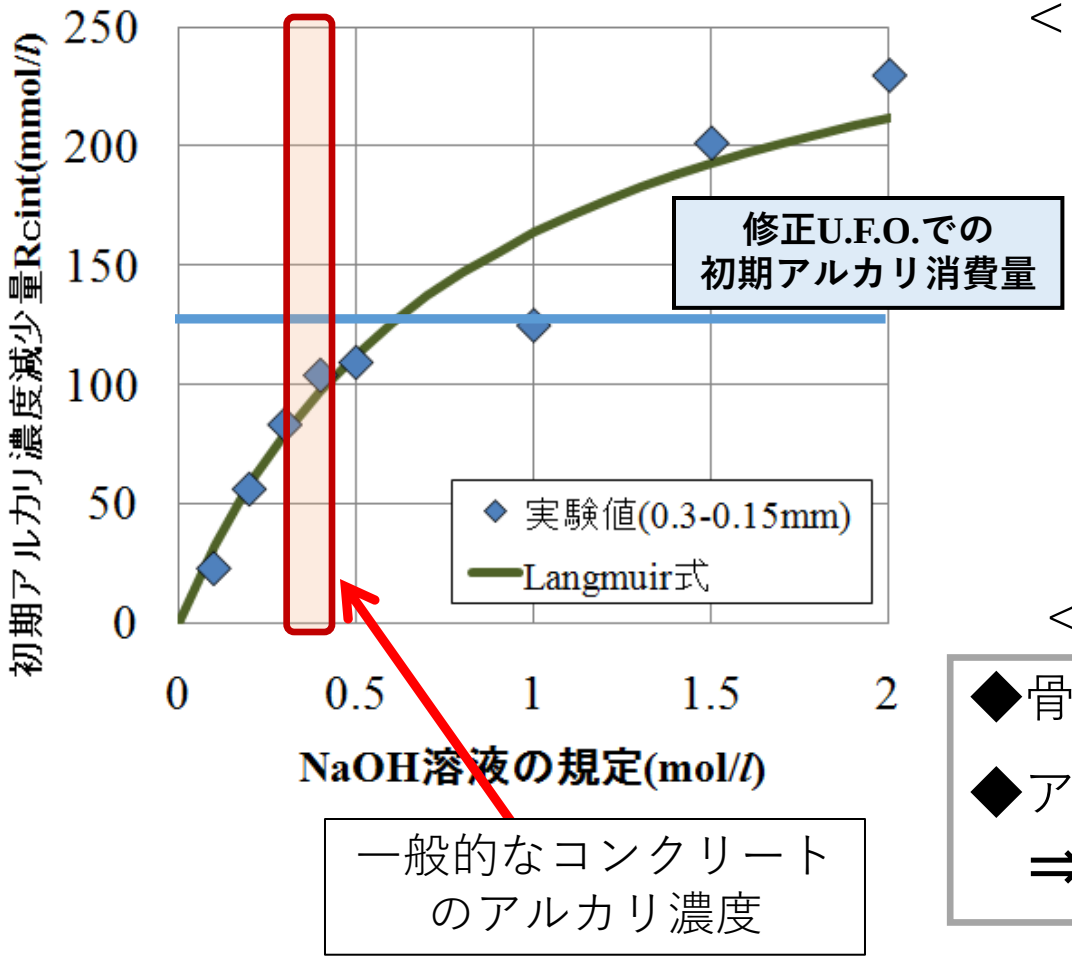
1N-NaOH溶液

(1N = 1mol/*l*)

反応性骨材のアルカリ消費に関する検討

◆検討事項②

＜骨材の初期アルカリ消費量に影響を及ぼす因子＞



＜Langmuir式＞

液相吸着の平衡吸着式

$$W = \frac{a \cdot Ws \cdot C}{1 + a \cdot C}$$

W：吸着剤単位重量当たりの吸着量
C：溶質の平衡濃度
Ws：飽和吸着量（定数）
a ：吸着平衡定数

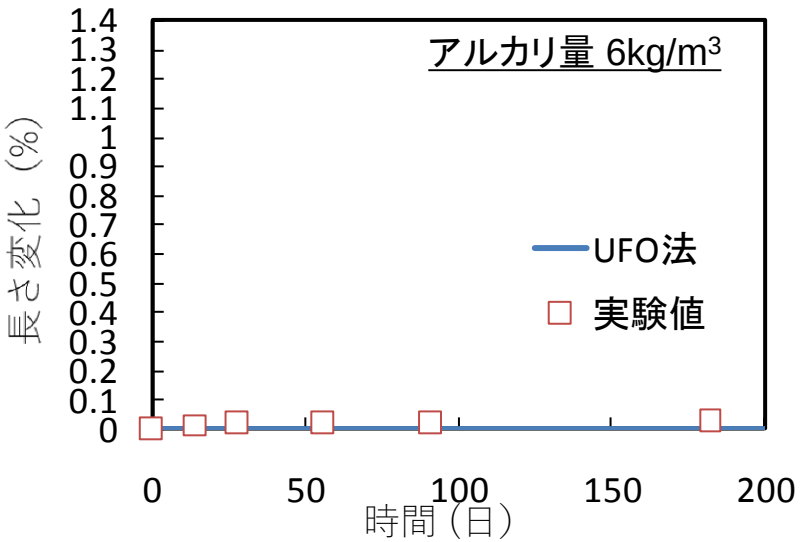
＜骨材の初期アルカリ消費量＞

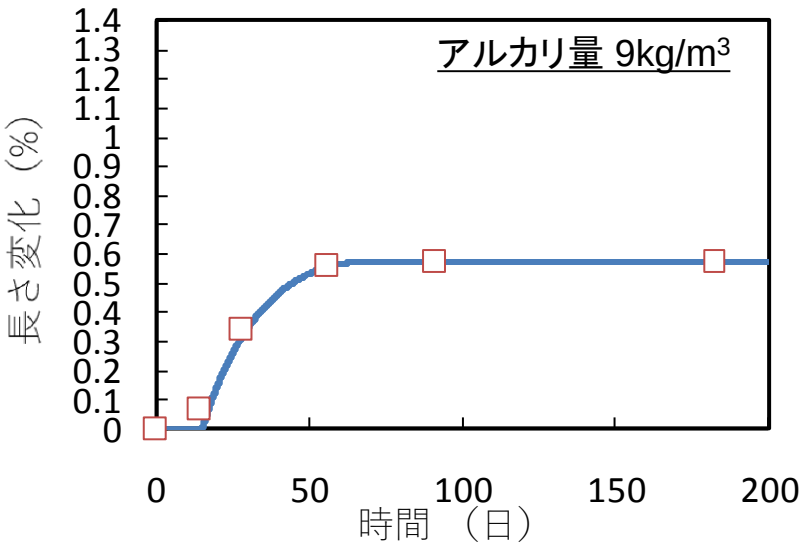
◆骨材へのアルカリイオンの吸着

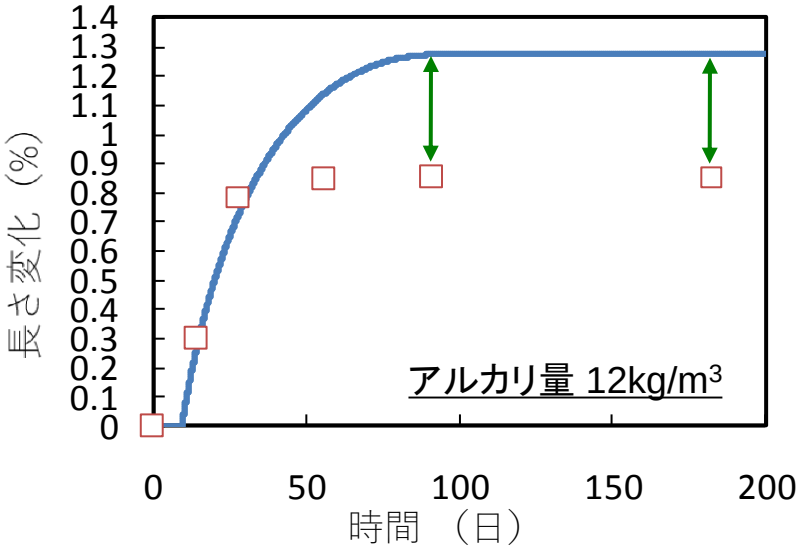
◆アルカリ濃度によって変化

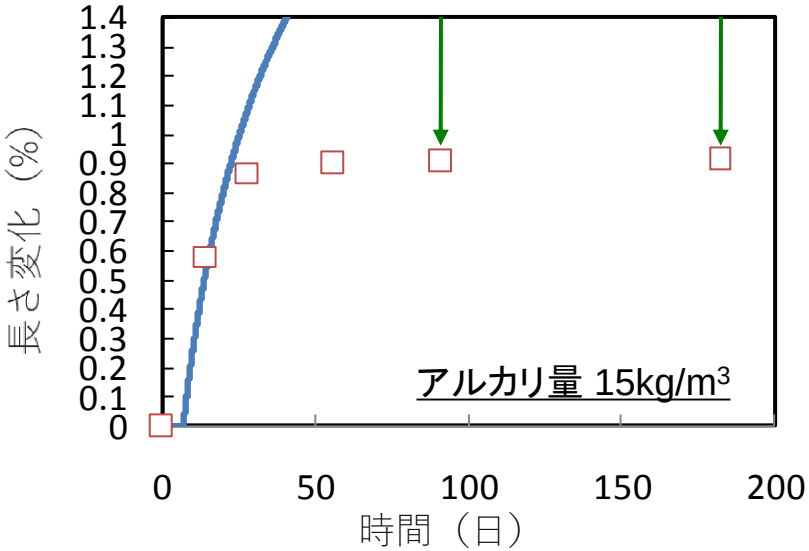
⇒モデルに反映

4．2．　U.F.O.モデルと実験値の比較





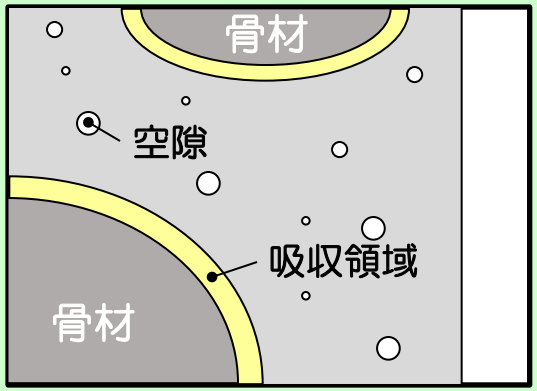




膨張量が過大となるときの組織の状態を考慮できていない

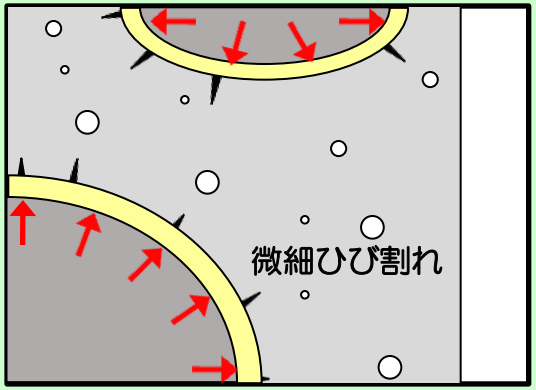
U.F.O.モデルと実験値の比較

■ Stage Ⅰ



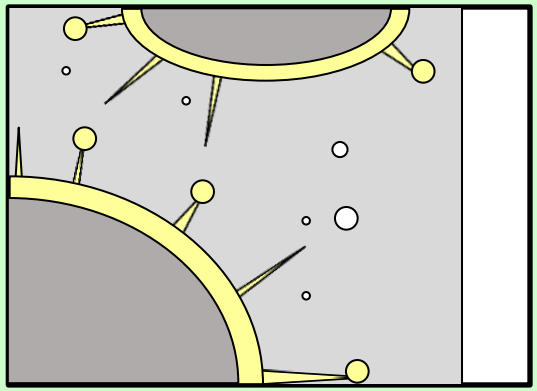
反応生成物が吸収領域に流入

■ Stage Ⅱ



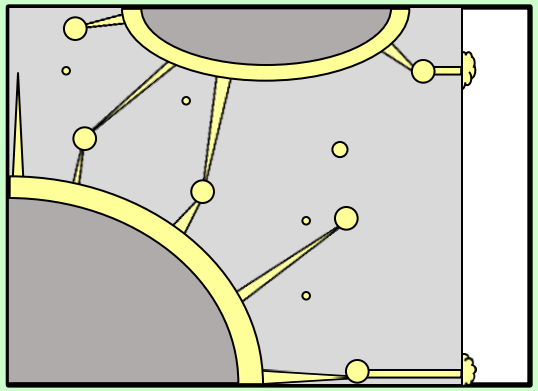
吸収領域が満たされると
圧力が高まり微細ひび割れが発生

■ Stage Ⅲ



反応生成物の生成とともにひび割れが進行

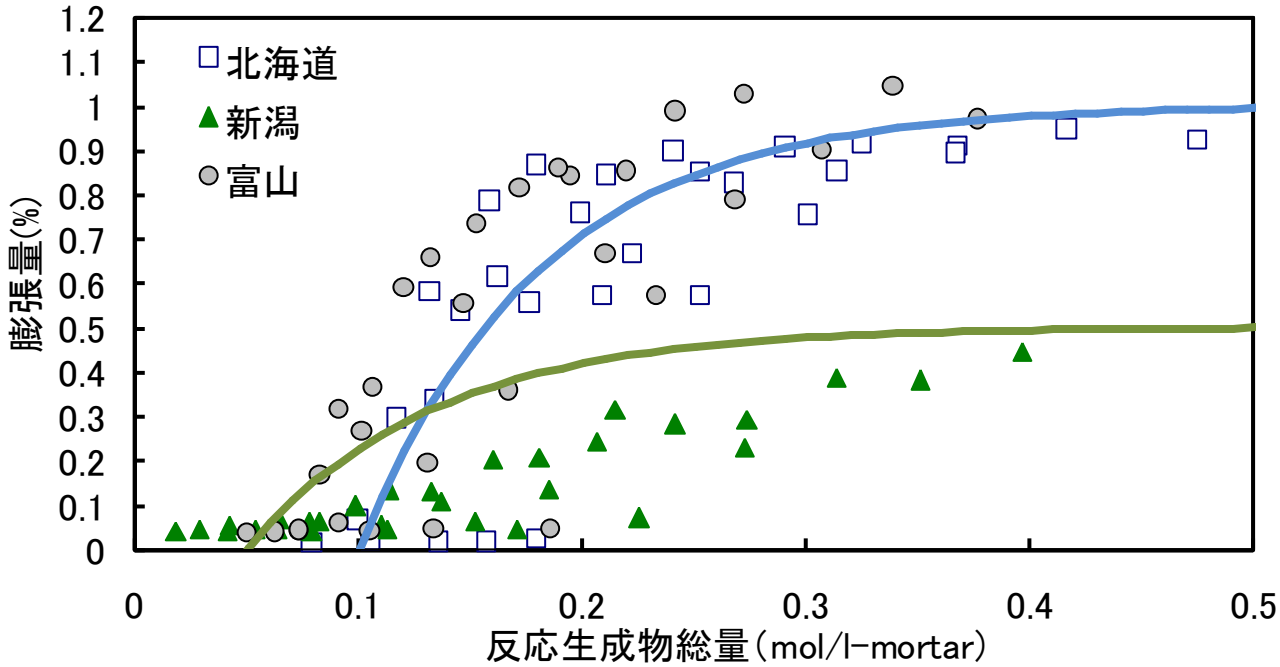
■ Stage Ⅳ



貫通ひび割れが生じ外部に生成物が流出

一定の係数Eではマトリクスの劣化過程を表現できない

U.F.O.モデルの改良



アルカリ量や時間に依らず反応生成物総量と膨張量の間に関係性を確認

従来の膨張量への換算式

$$\varepsilon = E \cdot \left(T_{pr} - T_{er}\right)$$

■ 反応生成物総量から膨張量への換算式

$$\varepsilon = \alpha \cdot \left[1 - \exp\left(-\beta \cdot \left(T_{pr} - T_{er}\right)\right)\right]$$

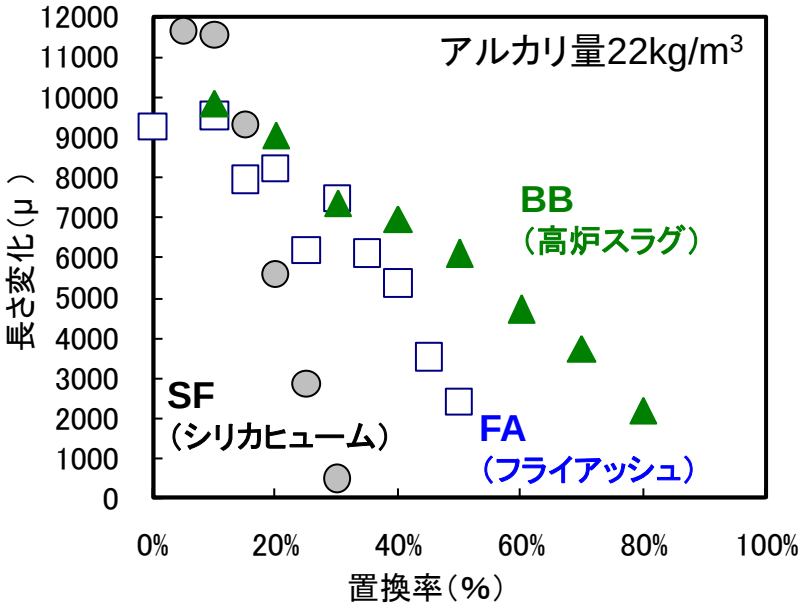
骨材や使用材料に依存する係数

反応生成物総量

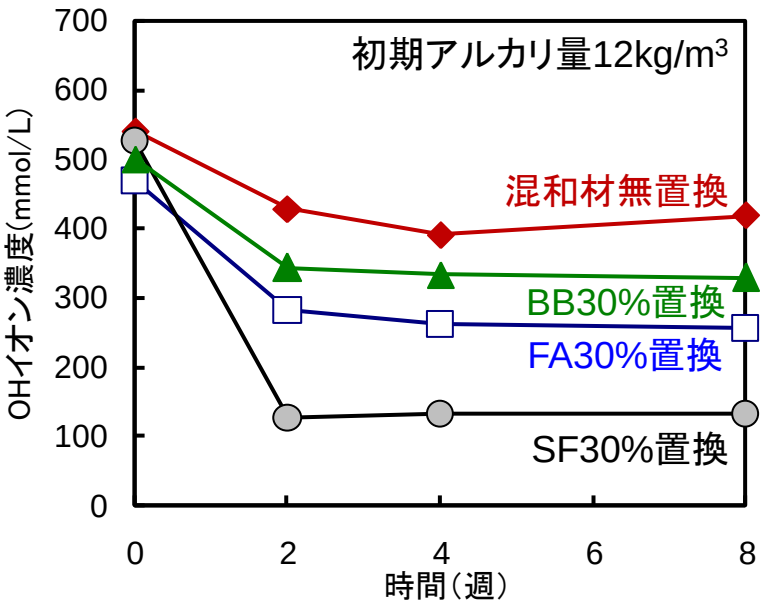
吸収領域に流出する生成物量

混和材の抑制効果

異なる混和材を用いたシリーズの26週目の長さ変化
（北海道産骨材）



細孔溶液のOHイオン濃度の経時変化



■ 抑制効果：SF ＞ FA ＞ BB

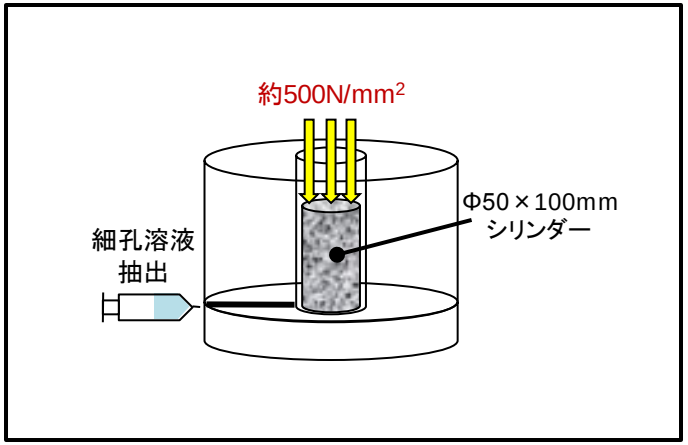
■ アルカリ減少量：SF ＞ FA ＞ BB

混和材の種類により抑制効果に違い

混和材の抑制機構は
アルカリの吸着・消費の影響が大きい

➡ アルカリ濃度の減少のみでは説明できない報告もあり，
他の抑制機構の是非や影響度の検討が必要

細孔溶液分析



各イオンの定量方法

■ OH

HClによる中和滴定

■ Na, K, Ca

ICP（高周波プラズマ発光分光分析装置）

混和材の抑制効果の導入（ＦＡ，ＳＦ）

■ 混和材の抑制機構

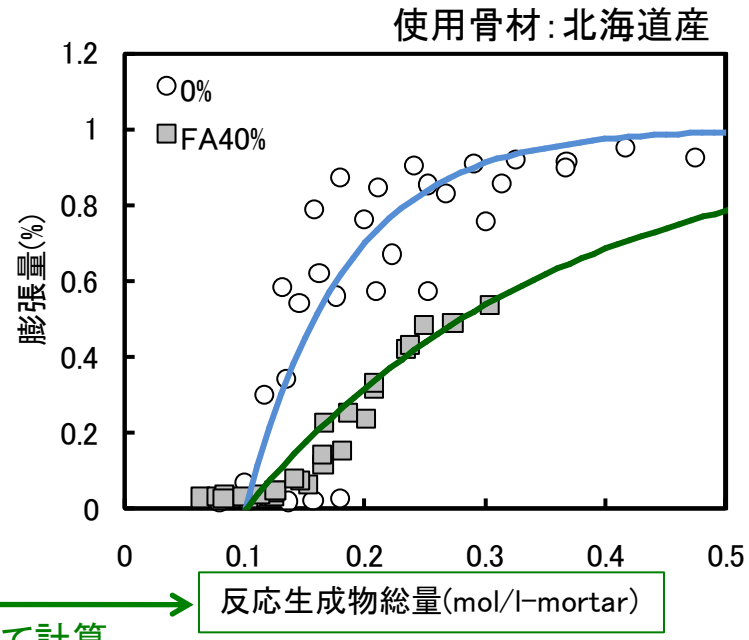
アルカリ消費の影響が大きい

■ フライアッシュ，シリカヒューム

反応性骨材と同様にシリカ質の粉体

骨材と同様に化学法を行い
混和材の反応速度定数を測定

考慮して計算



アルカリ消費を考慮しても反応生成物総量と膨張量の関係に違い

■ 報告されている他の抑制機構

<u>膨張へ寄与する生成物量が</u>
<u>低減する点では合意</u>

■ 混和材の抑制効果の導入

$$\varepsilon = \alpha \cdot \left[1 - \exp\left(-\beta \cdot \boxed{C} \cdot \left(T_{pr} - T_{er}\right)\right)\right]$$

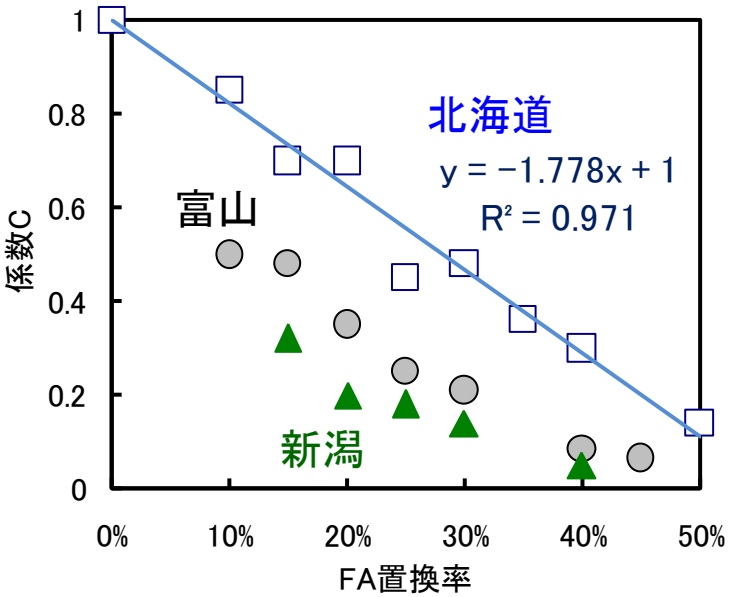
混和材の抑制率を表す係数

４．４．　混和材の抑制効果の導入（ＦＡ，ＳＦ）

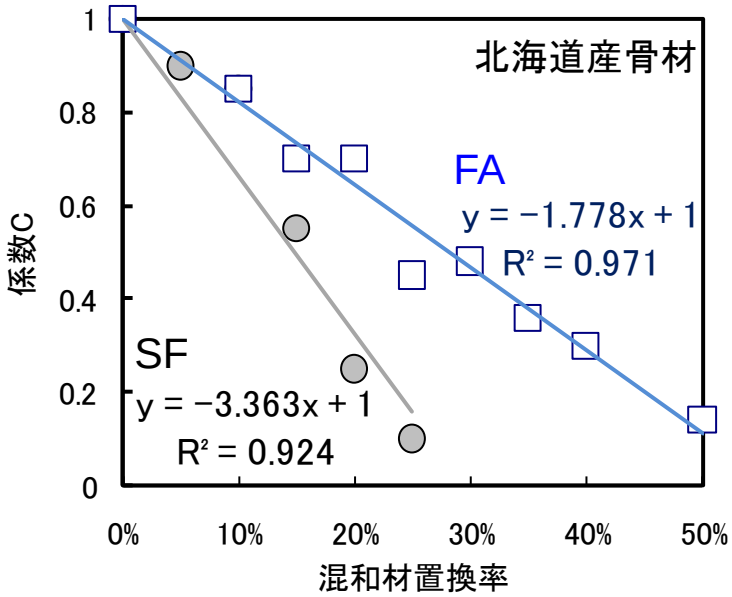
■係数Cの決定方法

混和材置換率0%の係数α，βを固定し，実験値に沿うようにCを決定

フライアッシュ置換率と係数Cの関係



FAとSFの混和材置換率と係数Cの関係



● 骨材により直線の傾きが異なる

骨材の反応速度の違いが影響

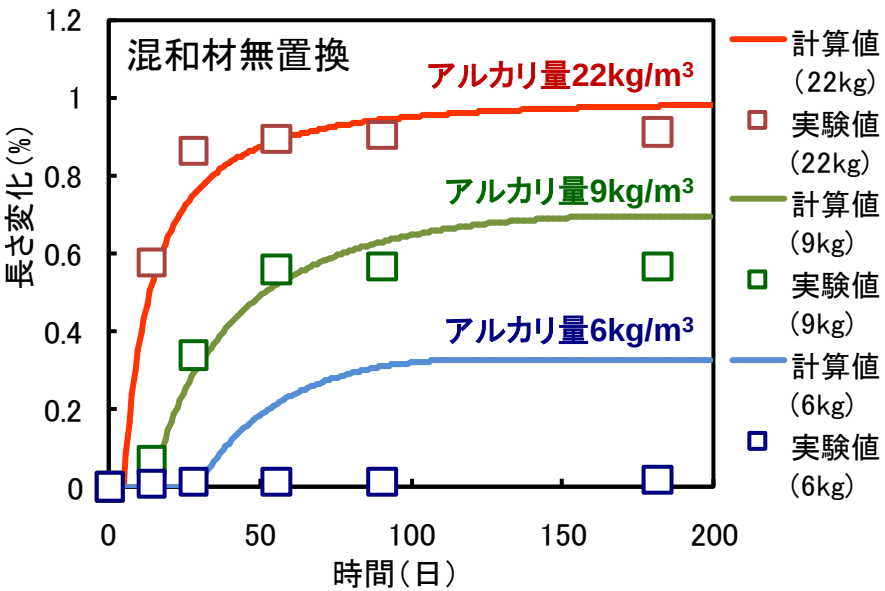
SFの傾きはFAの傾きに比べ約2倍

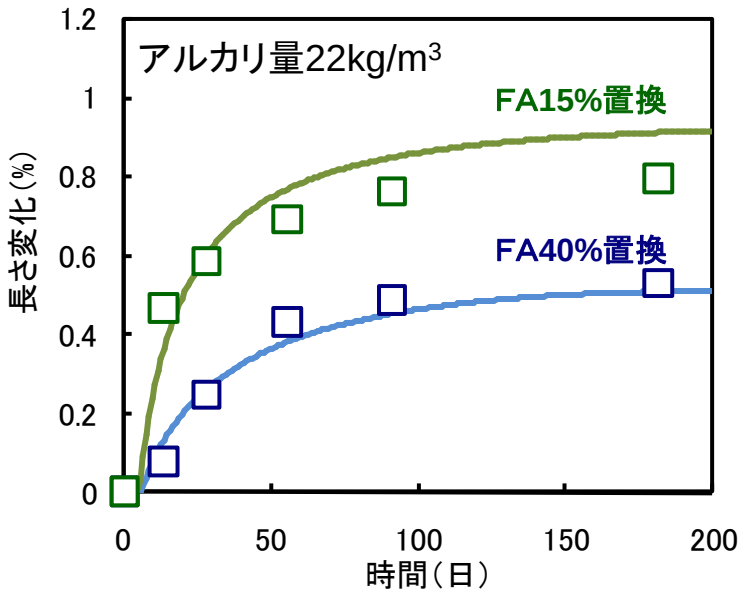
骨材の影響をどのようにして
的確に係数Cに取り込むか検討が必要

シリカヒュームは高い抑制効果

修正U.F.O.モデルの検証

北海道産骨材の予測結果と実験値の比較





■ アルカリ量6kg/m^3

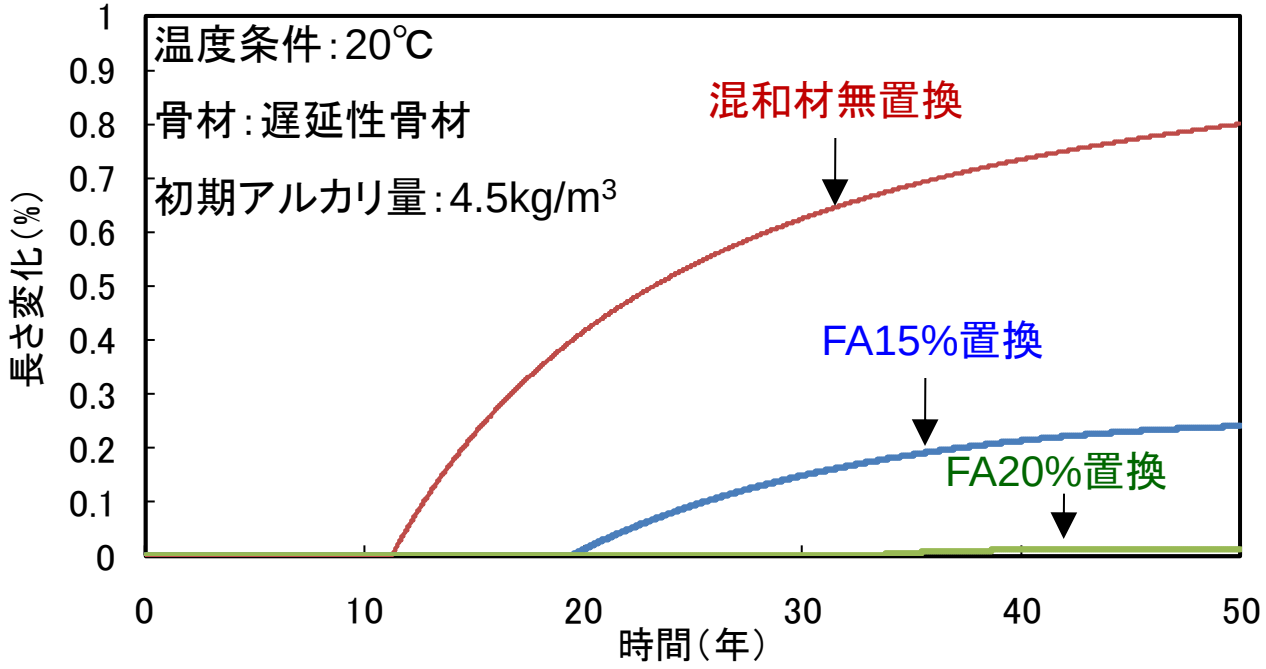
予測結果と実験値の誤差が見られた

再現性向上のため
今後もモデルの改良が必要

膨張挙動や最終膨張量を
概ね表現できている

混和材の抑制効果を表現可能

修正U.F.O.モデルによる長期膨張挙動予測



長期的な膨張挙動を予測することができる

ASRを抑制するために必要な混和材量の決定が可能

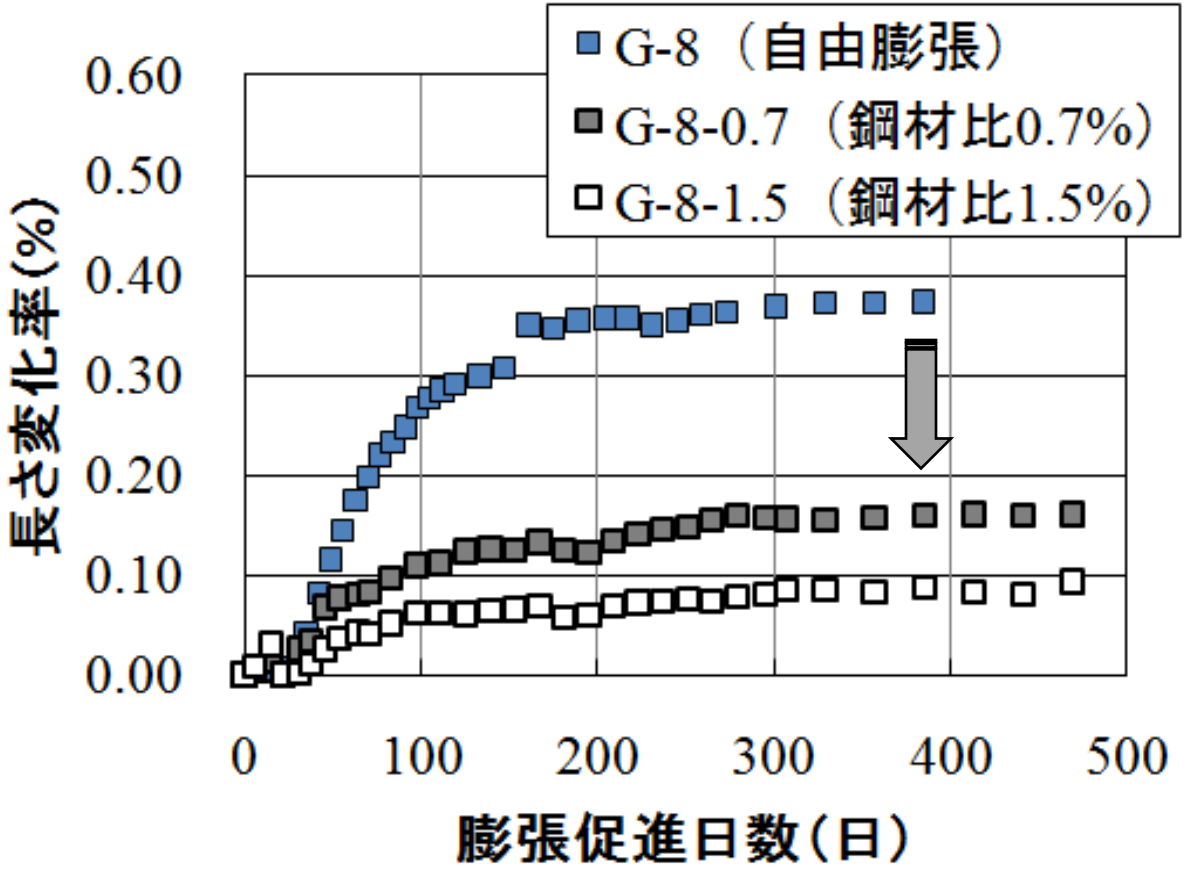
条件によっては再現性が低い

適用性が限られている

今後も継続してASR膨張のモデル化を深化する必要がある

一軸拘束を受けたコンクリートのASR膨張

◆実験結果



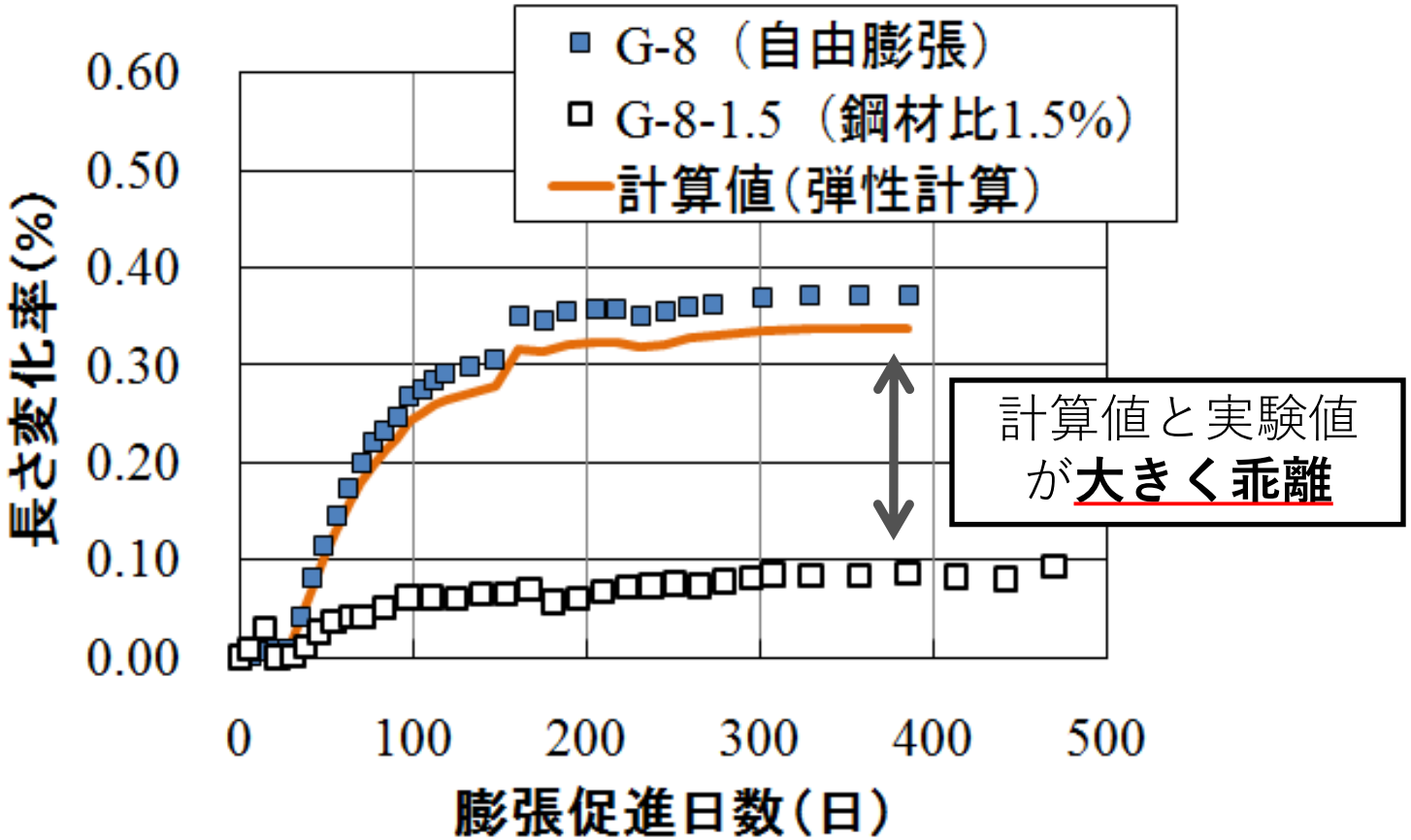
ASR膨張に及ぼす
鉄筋拘束の影響

→

ASR膨張の低減

一軸拘束を受けたコンクリートのASR膨張

◆弾性計算による鉄筋拘束の影響の表現（例：鋼材比1.5%）



ASR膨張に及ぼす
鉄筋拘束の影響

⇒

弾性計算（初期ひずみ問題）では，表現できない

鉄筋拘束によるASR膨張低減メカニズム

◆鉄筋拘束によるASR膨張低減メカニズム

①拘束応力⇒ASRゲルが圧縮される

②拘束応力⇒ASRゲルがペースト内の空隙に圧入される

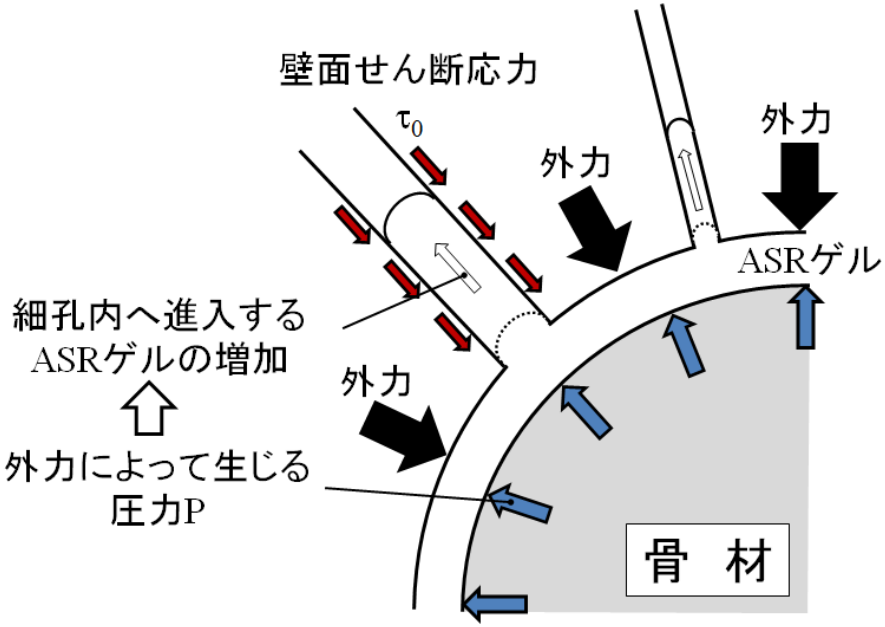
ASRゲル：液体状に近い ⇒ 数MPaの応力増加により，体積が半分以下になるとは考えにくい

＜本研究で提案するメカニズム＞

拘束による応力増加

⇒ペースト内の空隙に一部のASRゲルが圧入

⇒ASR膨張量の低減



拘束応力の作用時

細孔容積分布密度関数に基づくモデル

◆細孔容積分布密度関数（下村ら）

$$\frac{dV(r)}{dr} = V_0 \cdot B \cdot c \cdot r^{cc-1} \cdot \exp(-B \cdot r^{cc})$$

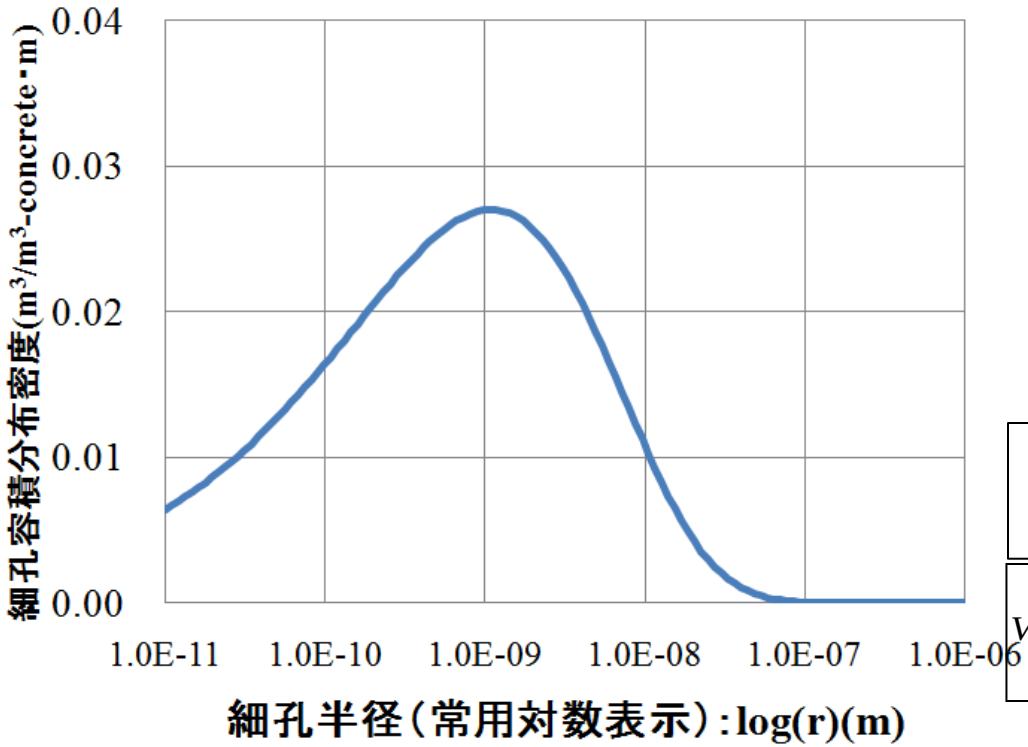
V(r)：細孔容積累積分布関数(m^3/m^3-concrete)

V_0：総細孔容積 (m^3/m^3-concrete)

r：細孔の半径(m)

B, cc：細孔容積分布に関するパラメータ

◆計算に使用した細孔容積分布密度



＜計算に使用したパラメータ＞

V_0=0.0637(m^3/m^3-concrete)

B=29581

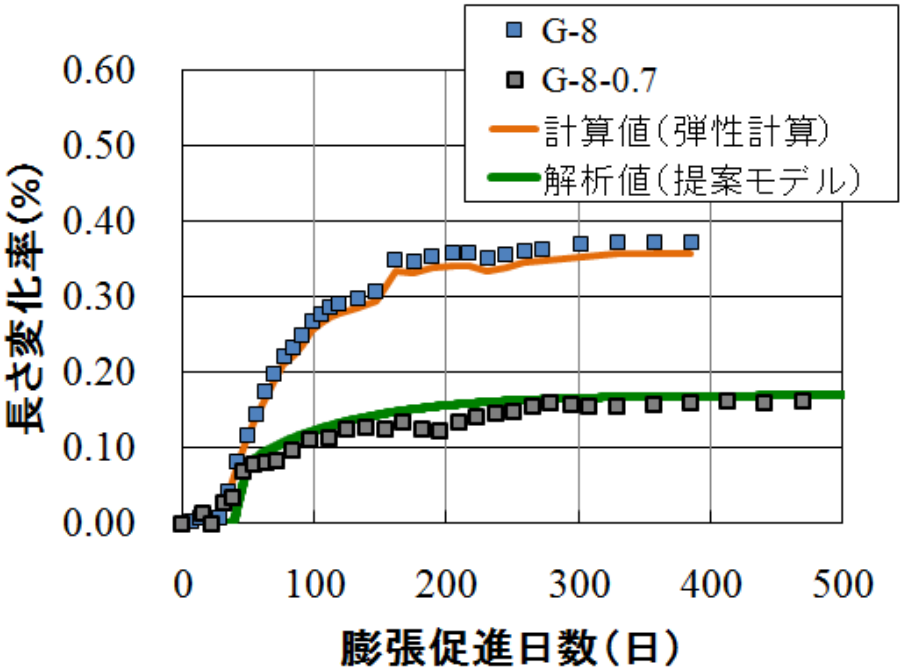
cc=0.5

この体積分だけ，ASR膨張量が低減されると考える

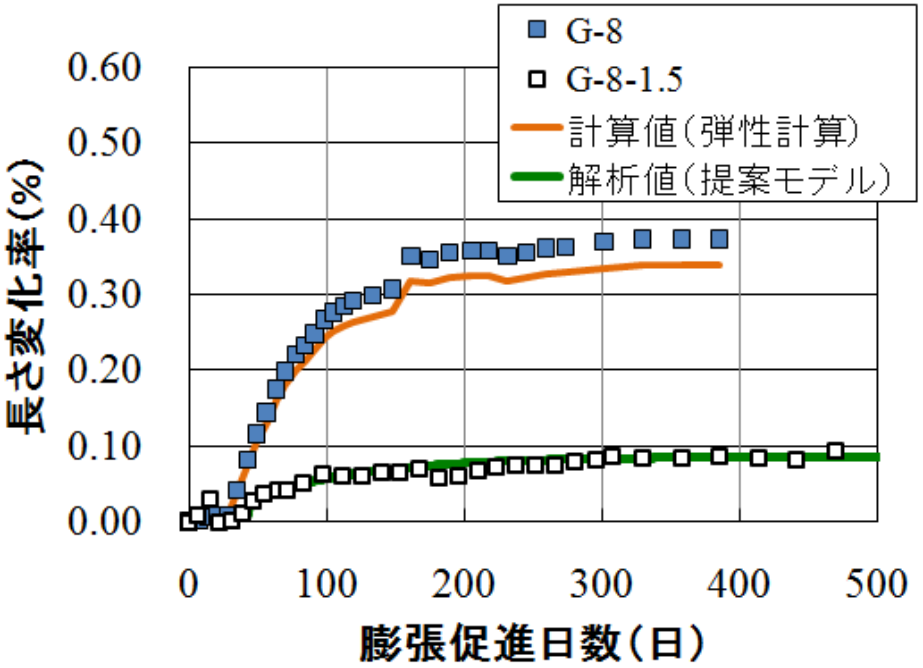
$$V_g = V_0 - V_l = V_0 - V_0\left[1 - \exp\left(-B \cdot \left(\frac{2 \cdot \tau_0 \cdot l_{\max}}{\Delta\sigma}\right)^{cc}\right)\right]$$

拘束を考慮した予測モデルの適用性の検討

◆一軸拘束を受けたコンクリートバー試験結果との比較



(a)G-8-0.7（鉄筋比0.7%）



(b)G-8-1.5（鉄筋比1.5%）

細孔容積分布密度関数に基づくモデル

⇒<u>鉄筋拘束によるASR膨張低減メカニズム</u>を表現可能

ASRのモデル化：地盤の有効応力と同じ考え方 （東京大学・高橋）

Chemical equations for ASR (*X* is *Na* or *K*)

$$nSiO_2 + 2XOH \rightarrow X_2O \cdot nSiO_2 + H_2O \text{ -------(a)}$$

$$X_2O \cdot nSiO_2 + mH_2O \rightarrow X_2O \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O \text{ (b)}$$

ASR rate

$$R'_{ASR_X^+} = k \cdot C_{X^+} \cdot F_{water} \cdot V_{RG} \cdot 1.0E-9 \text{ ----------(c)}$$

$$k_{RH} = \exp\left(-1500.0 * (1.0 - RH)^{5.0}\right) \text{ ----------(d)}$$

$$k_T = \exp\left(6000.0 * \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{313}\right)\right) \text{ ----------(e)}$$

$$R_{ASR_X^+} = k_{RH} \cdot k_T \cdot R'_{ASR_X^+} \text{ ----------(f)}$$

Generated ASR-gel volume at one time step

$$\Delta Gel_{X^+} = \frac{R_{ASR_X^+} \cdot \Delta t \cdot M_{gel}}{\rho_{gel}} \text{ -----(g)}$$

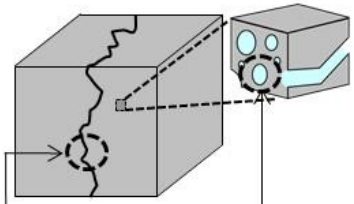
Gel volume

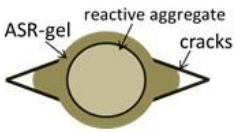
Consumed alkali amount

$$C_{X_ASR} = 2.0 \cdot \Delta Gel_{X^+} \cdot \rho_{gel} \cdot 1.0E+6 / M_{gel} \text{ --(h)}$$

Consumed water amount

$$W_{X_ASR} = 8.4 \cdot \Delta Gel_{X^+} \cdot \rho_{gel} \cdot 1.0E+6 / M_{gel} \text{ ---(i)}$$

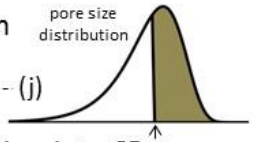




(ii) ASR-gel absorption into capillary pores

Washburn equation

$$r = \frac{-2\sigma\cos\theta}{p} = \frac{2Z}{p} \text{ --- (j)}$$



Z:coef. for gel absorption into CP

absorbed amount

stress field

(i) Pressure with partial anisotropy of ASR-gel and intrusion into cracks

$$p = \frac{1}{3}\sum_i^{x,y,z} pa_i + pi \text{ -------(k)}$$

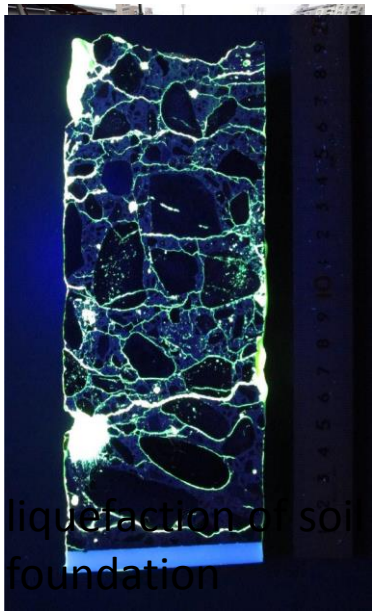
(a) anisotropic pressure by solid phase

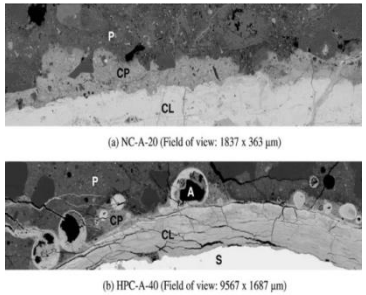
$$pa_i = siffness \cdot \beta \cdot (V_{asr} - V_{crack}) \text{ --------(l)}$$

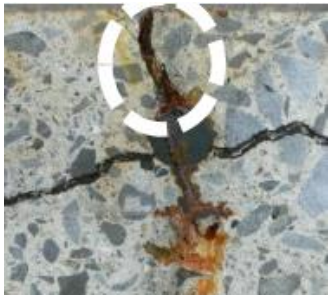
(b) isotropic pressure by liquid phase

$$pi = siffness \cdot (1-\beta) \cdot (V_{asr/3} - V_i) \text{ -- (m)}$$

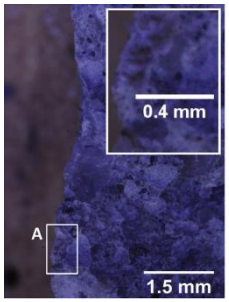
※β_x:ratio of solid phase in ASR-gel: 0.2

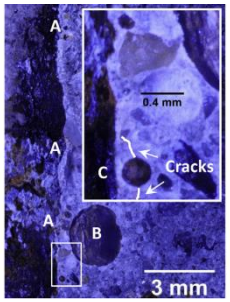


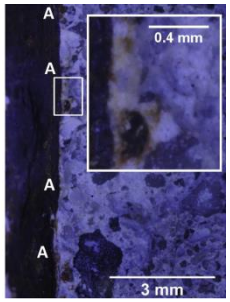




By Micheal et al
C & CR, 2013

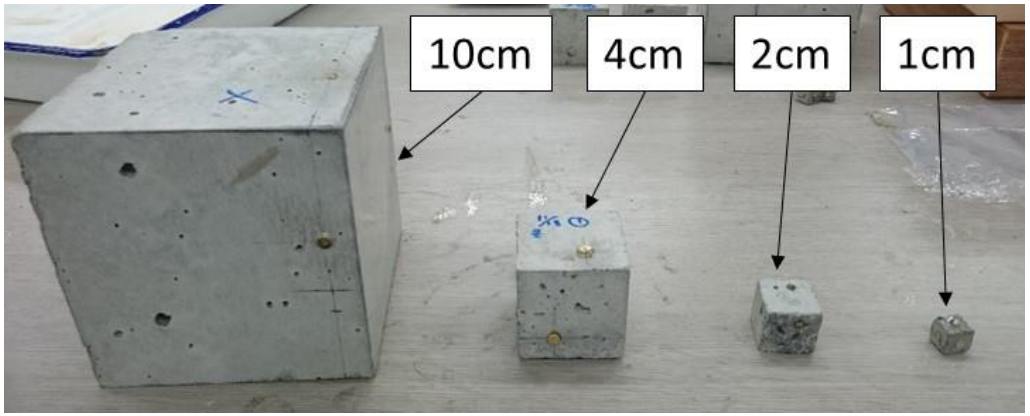


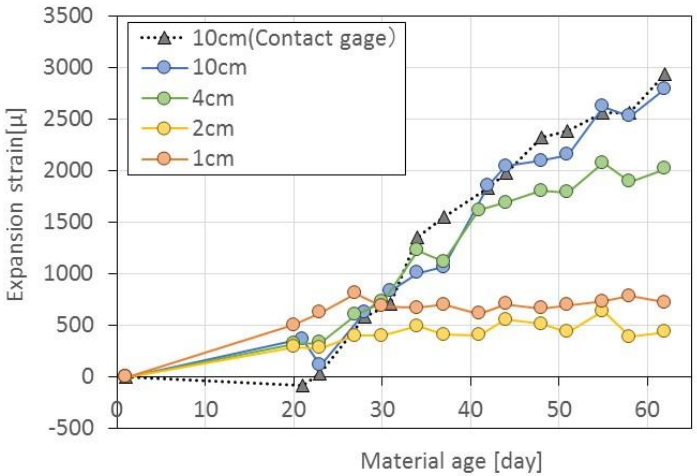


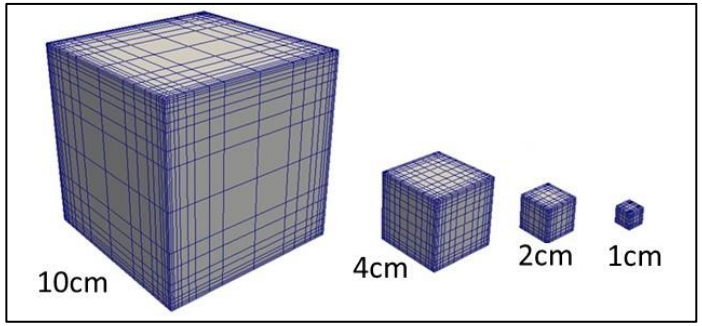


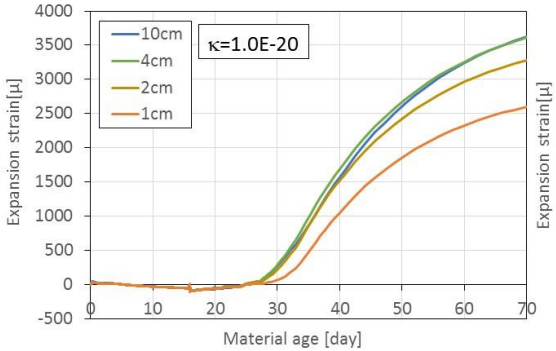
ASR膨張の寸法効果→材料特性ではなく構造応答(東京大学・高橋)

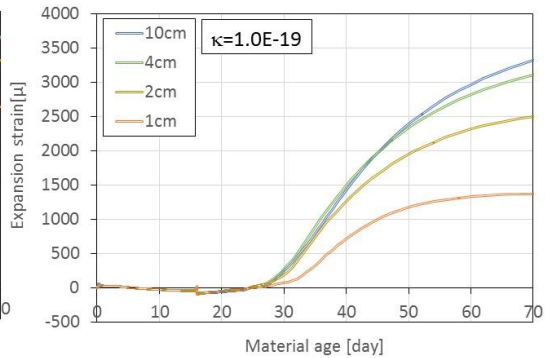
Takahashi, Maekawa 2016, FramCos, Berkley, USA

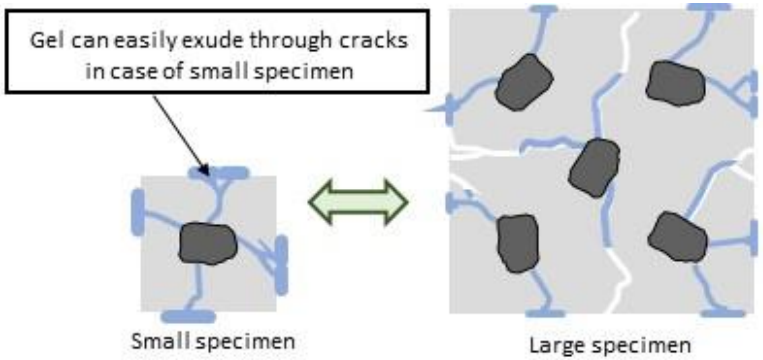


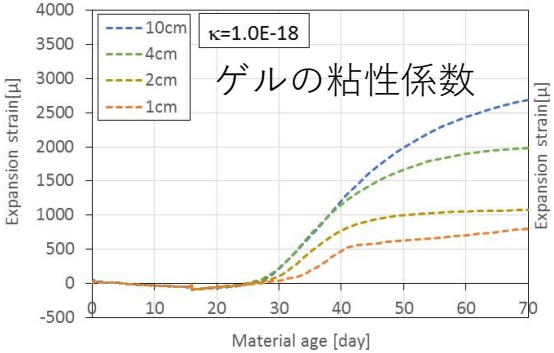


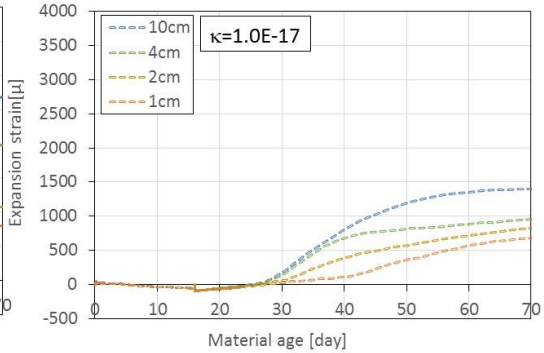






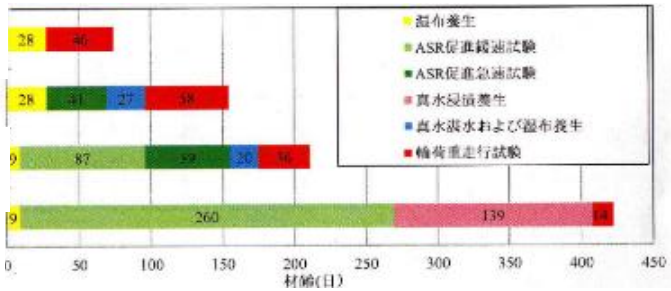


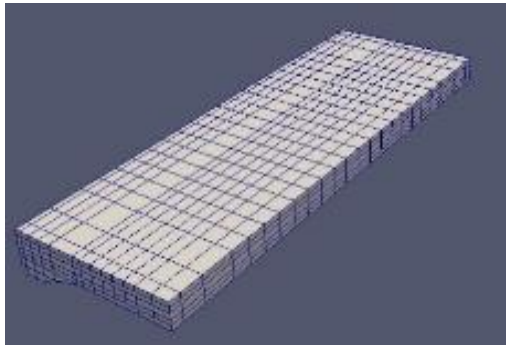




床版の膨張解析：ゲルの生成、移動、硬化と荷重作用（東京大学・高橋）

N-d
R-d
R-w
S-w

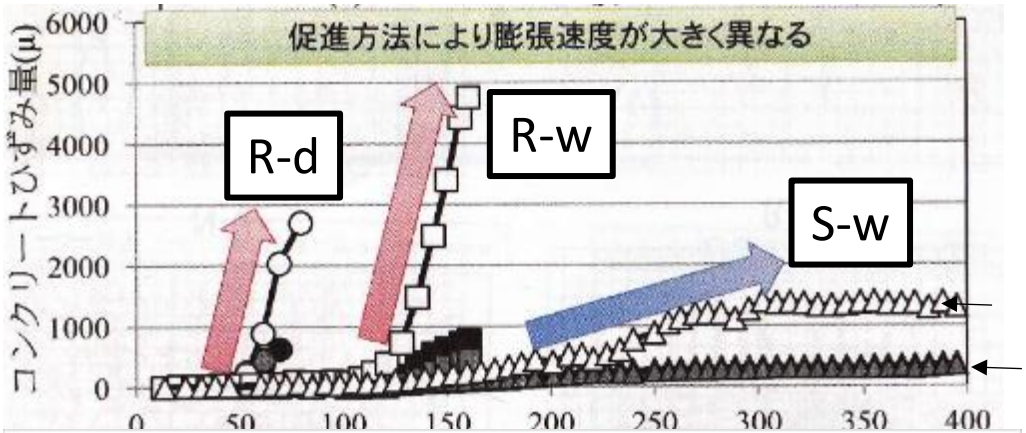




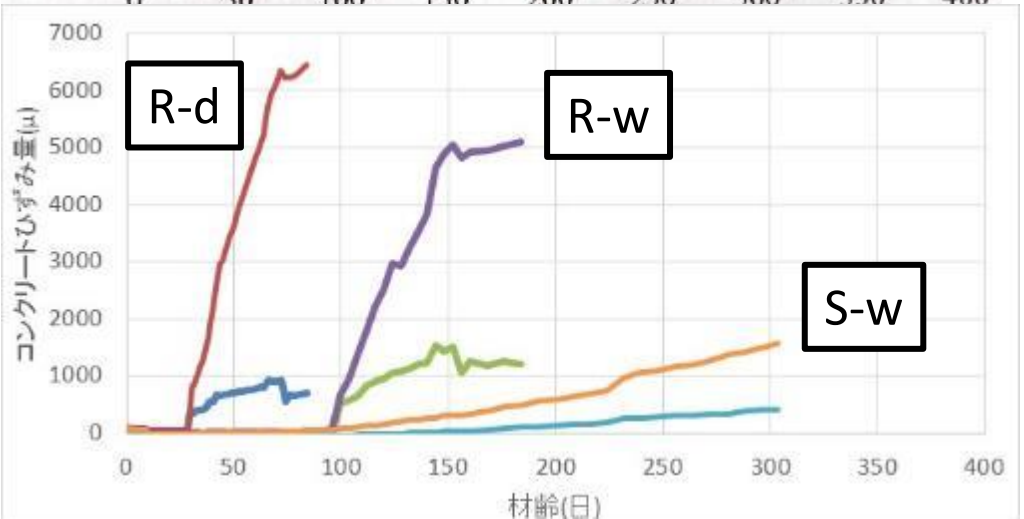
鉛直方向に大きな膨張

[日大前島氏、岩城教授よりご提供]

実験結果



解析結果



供試体スケールで膨張量等を合わせれば、実構造物スケールにも適用可能

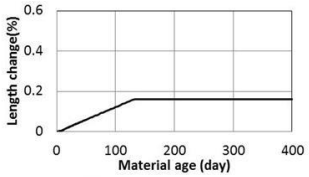
床版の膨張解析：ゲルの生成、移動、硬化と荷重作用（東京大学・高橋）

熱力学計算は計算負荷が大きいので、自由膨張量を所与のものとして与えて、その後の疲労挙動を検討

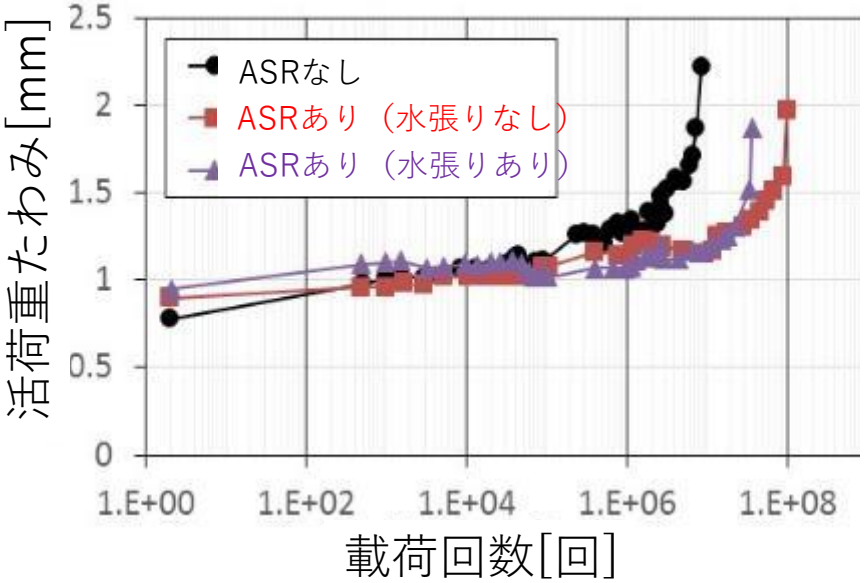
- ASRなし（収縮あり）
- ASRあり（水張りなし）
- ASRあり（水張りあり）

の3ケースで輪荷重疲労載荷を実施

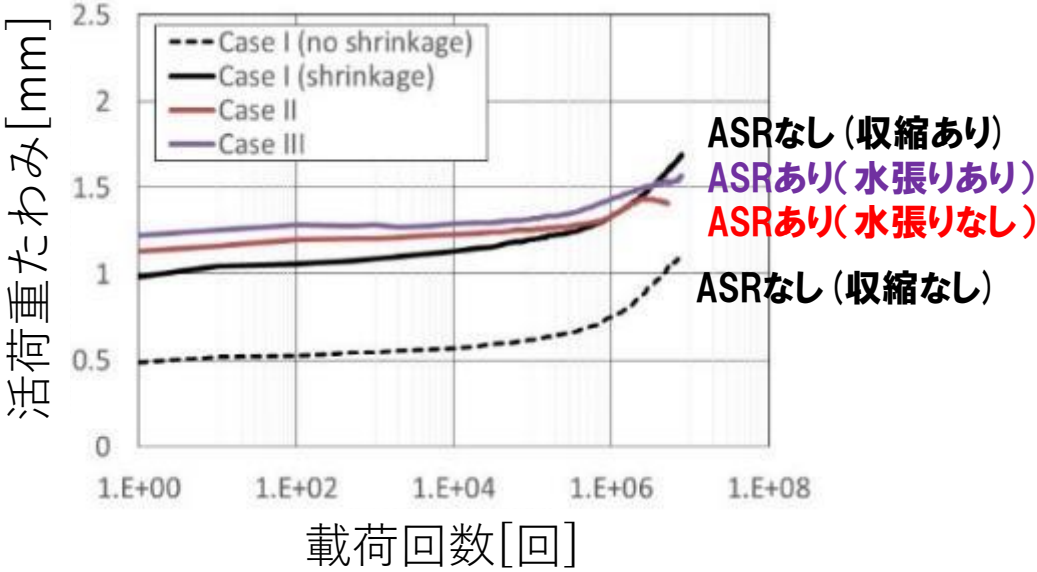
1800μの自由膨張を導入



実験結果



解析結果

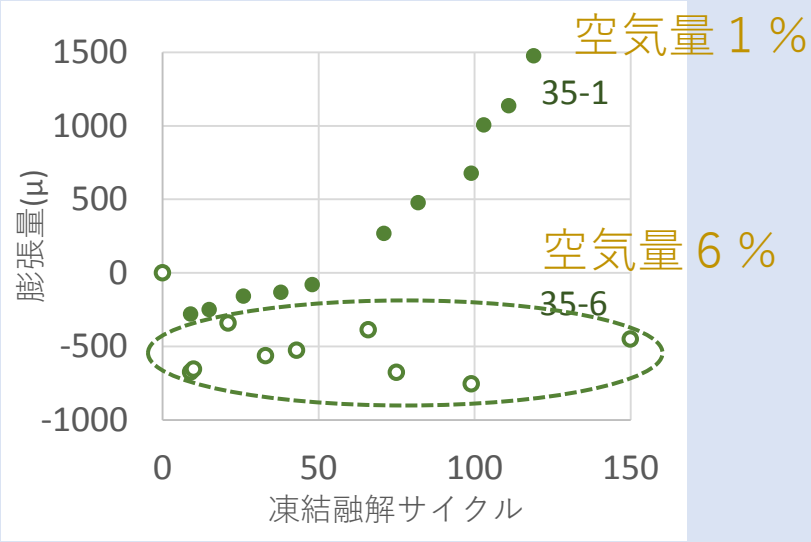


ASRがある場合に疲労寿命が延びている
水張りの影響があまりない

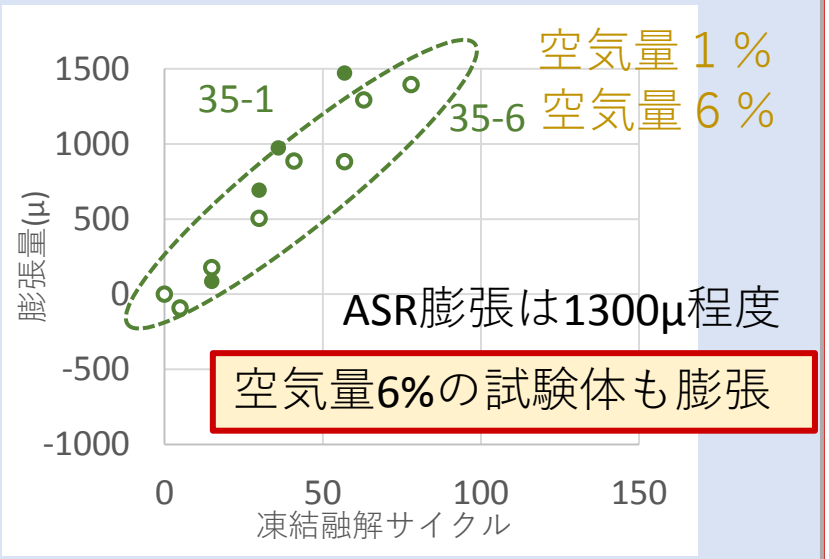
実験と同様の解析結果を得た

ASRと凍結融解作用の複合劣化

凍結融解のみ



ASR → 凍結融解



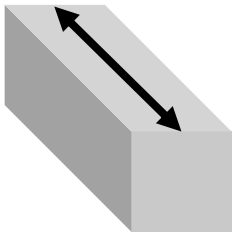
ASR膨張は1300μ程度

空気量6%の試験体も膨張

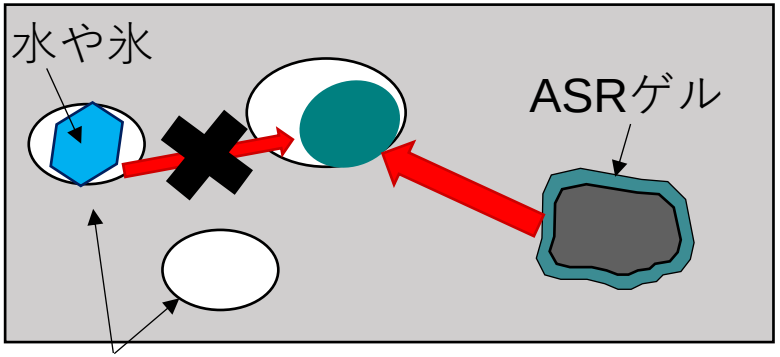
【実験結果】

角柱試験体の長さ変化計測

（東大・瀬川）

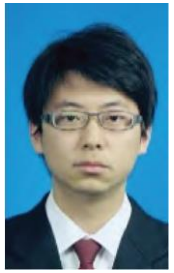


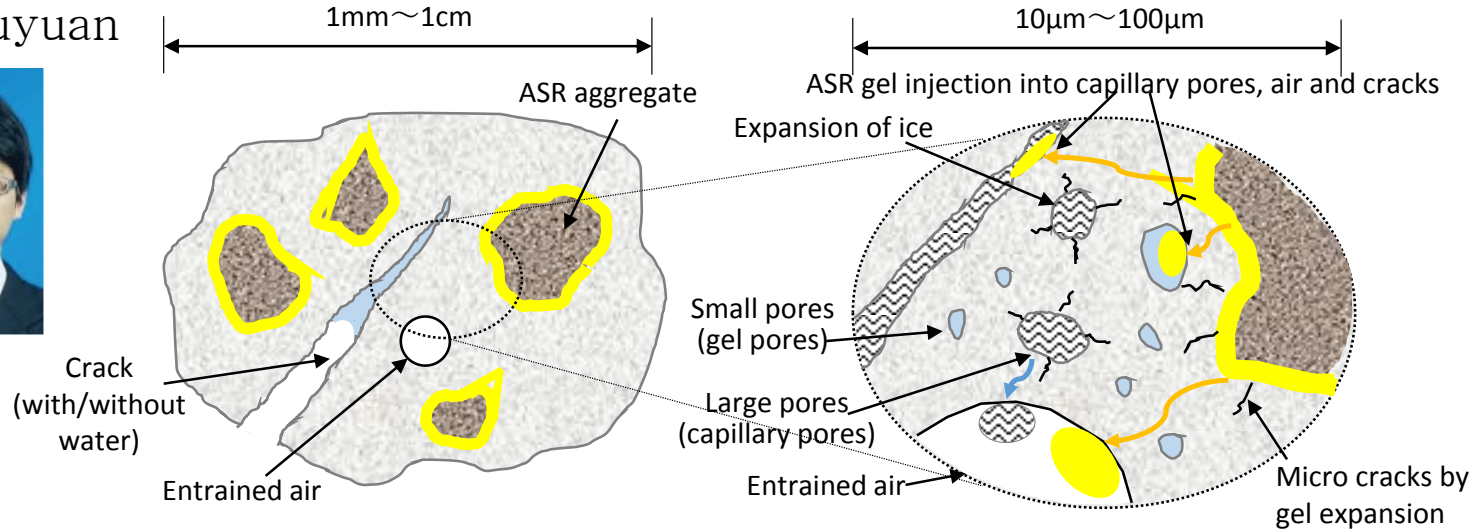
●複合劣化のメカニズムのイメージ



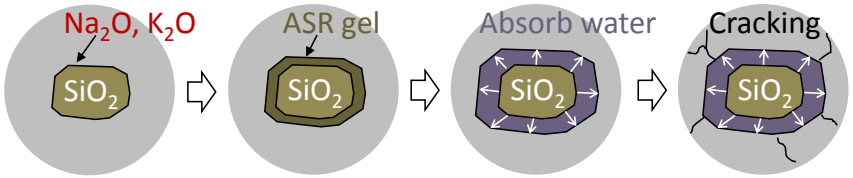
ゲルが空隙内部を占めると
膨張を防げない

Gong Fuyuan





Created ASR gel volume:

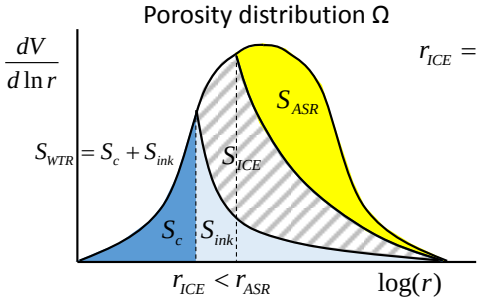


$$nSiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2O \cdot nSiO_2 + H_2O$$

$$Na_2O \cdot nSiO_2 + mH_2O \rightarrow Na_2O \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$$

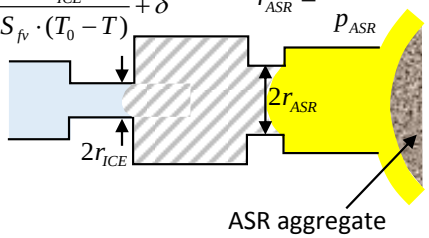
$$V_{ASR_TOTAL} = \int R(C_{X^+}, F_{water}, V_{RG}, RH, T)dt$$

ASR gel and ice occupation in pores:



$$r_{ICE} = \frac{2Z_{ICE}}{\Delta S_{fv} \cdot (T_0 - T)} + \delta$$

$$r_{ASR} = \frac{2Z_{ASR}}{p_{ASR}}$$



$$V_{ASR \rightarrow PORE} = \phi S_{ASR}$$

$$V_{ICE_TOTAL} = [(\rho_L - \rho_C)/\rho_L]\phi S_{ICE}$$

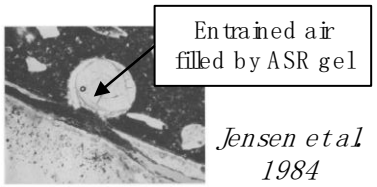
$$S_{ASR} = 1 - S(r_{ASR}) + S(r_{ASR})\ln[S(r_{ASR})]$$

$$S_{ICE} = 1 - S(r_{ICE}) + S(r_{ICE})\ln[S(r_{ICE})] - S_{ASR}$$

ASR gel into entrained air:

$$\frac{dV_{ASR \rightarrow AIR}}{dt} = k_{AIR} \cdot (1 - \beta_{ASR \rightarrow AIR}) \cdot p_{ASR} \cdot Air$$

$$\beta_{ASR \rightarrow AIR} = V_{ASR \rightarrow AIR} / Air$$



Jensen et al 1984

Effective volume for expansion:

$$\Delta V_{ASR} = V_{ASR_TOTAL} - V_{ASR \rightarrow PORE} - V_{ASR \rightarrow AIR}$$

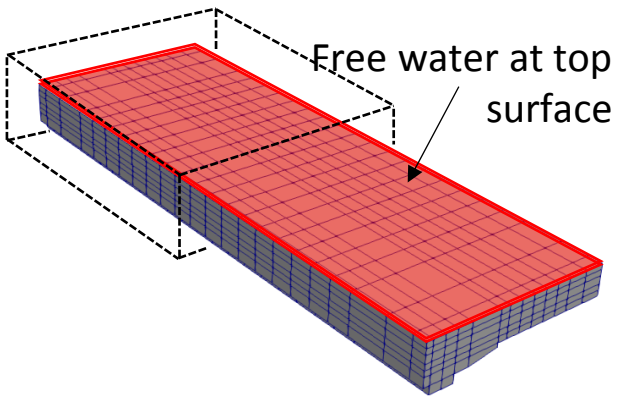
$$\Delta V_{ICE} = V_{ICE_TOTAL} - (0.1Air - V_{ASR \rightarrow AIR})$$

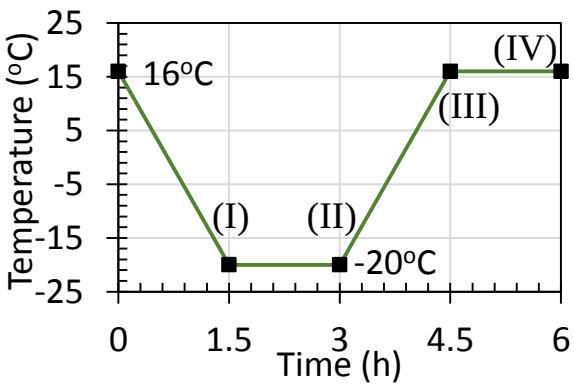
Boundary & Temperature Conditions

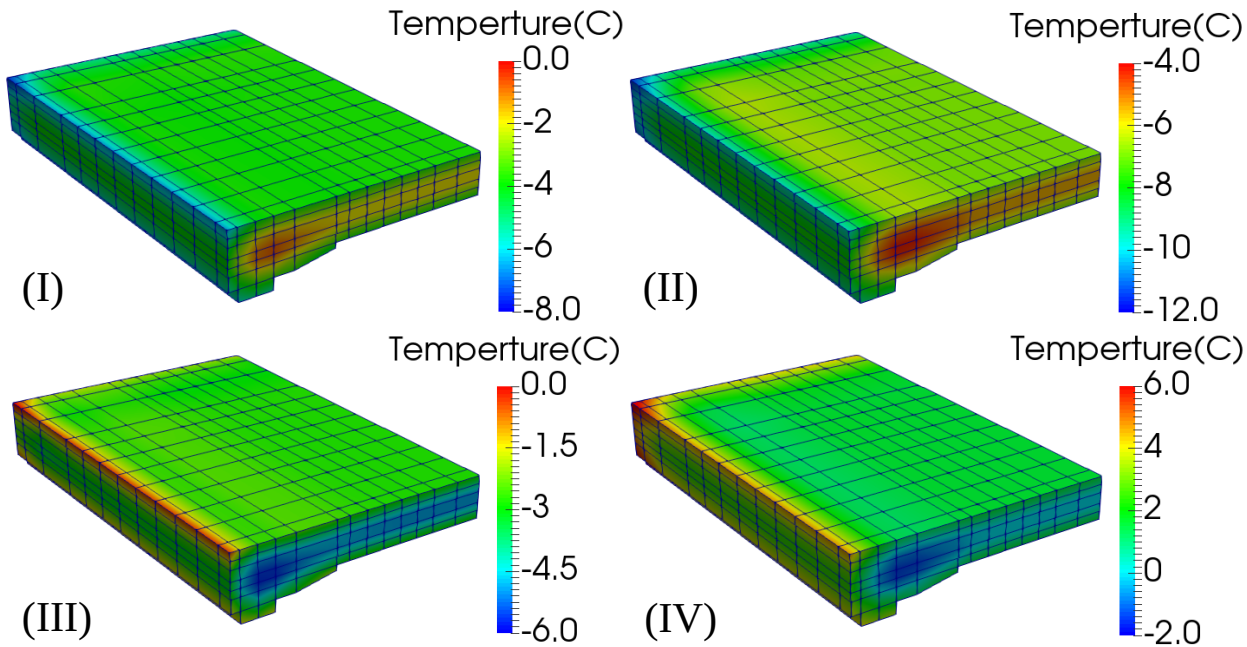
Level	FTC*	ASR**	Fatigue
1	20 cycles (closed)	0.75mol/L	without water
2	20 cycles (open)	1.5mol/L	water on top
3	150 cycles (open)	3.0mol/L	submerged in water

* Initially saturated, with/without water supply on stop surface

** 180 days of exposure at 40°C, with different initial NaOH concentration in pore solution

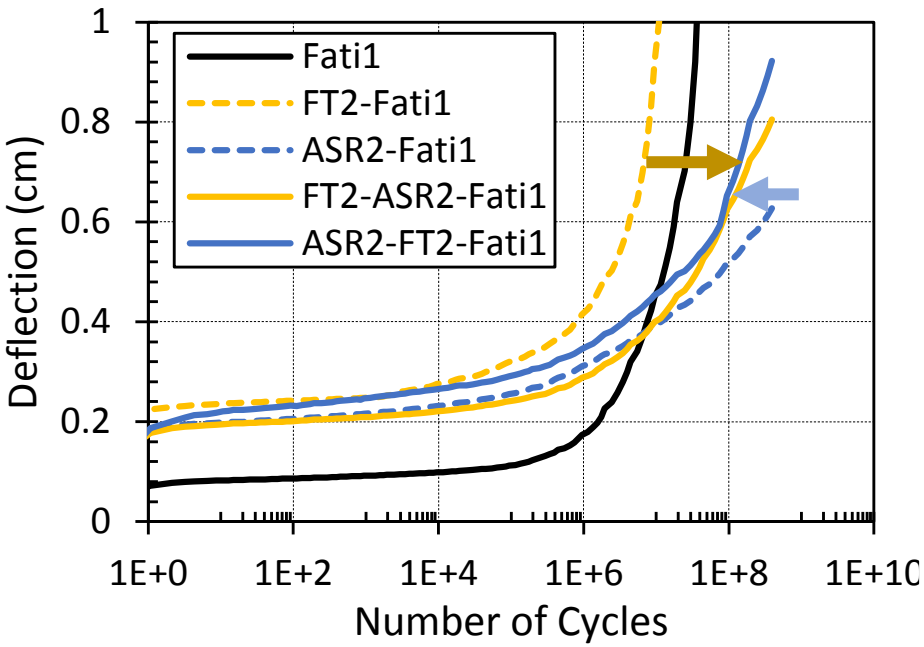


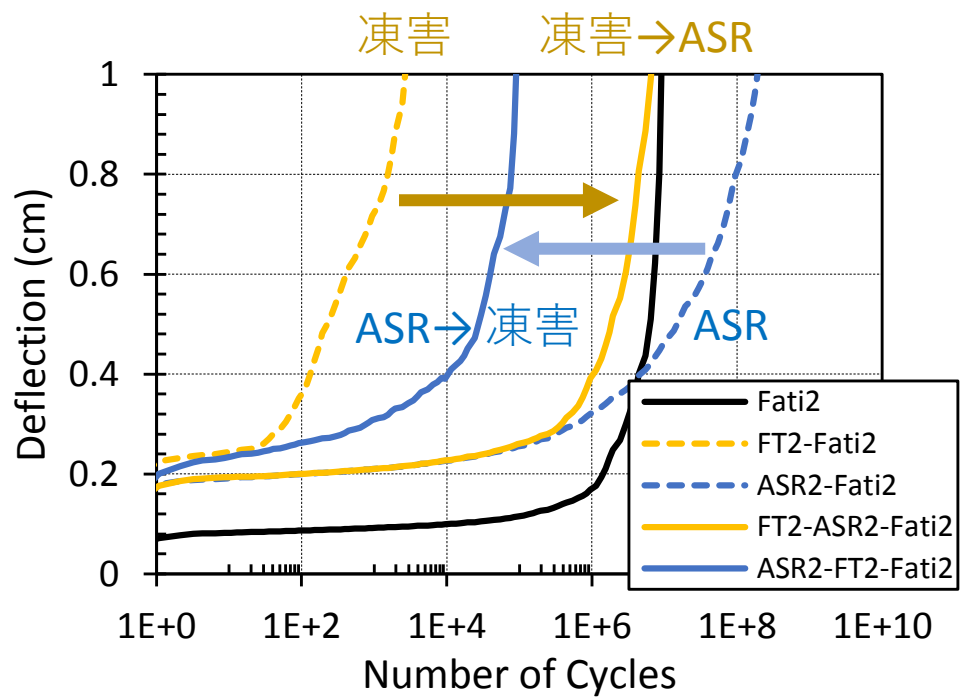




Fatigue Life after Coupled Damage

Level	FTC*	ASR**	Fatigue
1	20 cycles (closed)	0.75mol/L	without water
2	20 cycles (open)	1.5mol/L	water on top
3	150 cycles (open)	3.0mol/L	submerged in water





- FTC damage will reduce the fatigue life, while ASR gel can strengthen the cracked concrete
- Both damaging (FTC) and strengthening (ASR) effects are enlarged under wet fatigue test

まとめ

◆ アルカリ量と骨材反応性に応じた混和材の抑制効果の確認

- モルタルバー法により膨張に寄与する様々な影響・効果を確認
- 細孔溶液分析により，混和材のASR抑制機構はアルカリ消費量が影響していることが示された

◆ 膨張挙動予測モデルの構築

- 反応生成物総量と膨張量の関係を定式化することで物理的な影響の考慮が可能
- FAとSFの抑制効果はアルカリの消費だけでは表現できないが，適当な係数を設定することで抑制効果は概ね表現可能
- 修正U.F.Oモデルにより膨張挙動を概ね予測可能だが，初期アルカリ量によっては誤差が大きく生じる場合がある
- 鉄筋拘束によるASR膨張低減メカニズムを，細孔容積分布密度関数に基づくモデルにより表現することが可能となった

SIP戦略的イノベーション創造プログラム
インフラ維持管理・更新・マネジメント技術　2019年3月１３日

ASR実態と対策に関する合同セミナー

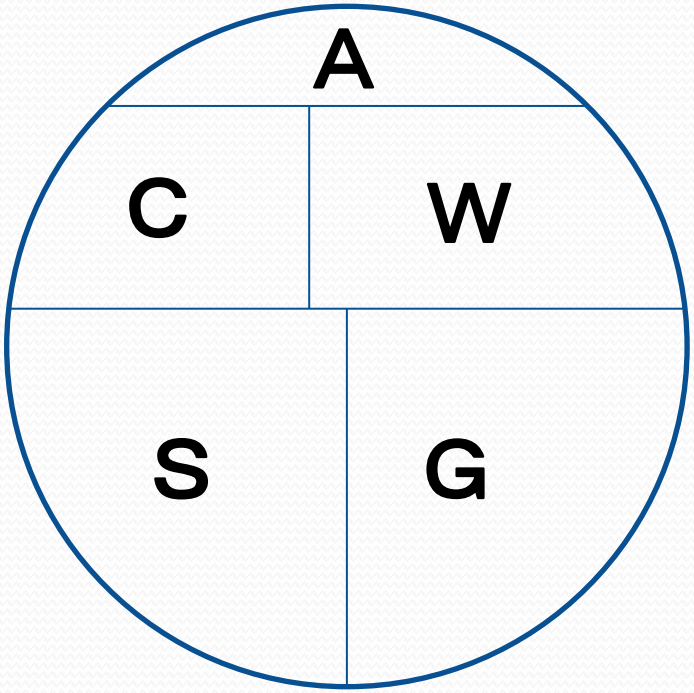
北陸地方におけるASRの実態

石川工業高等専門学校　環境都市工学科　　津田　誠

コンクリートとは

・コンクリートの配合（例）

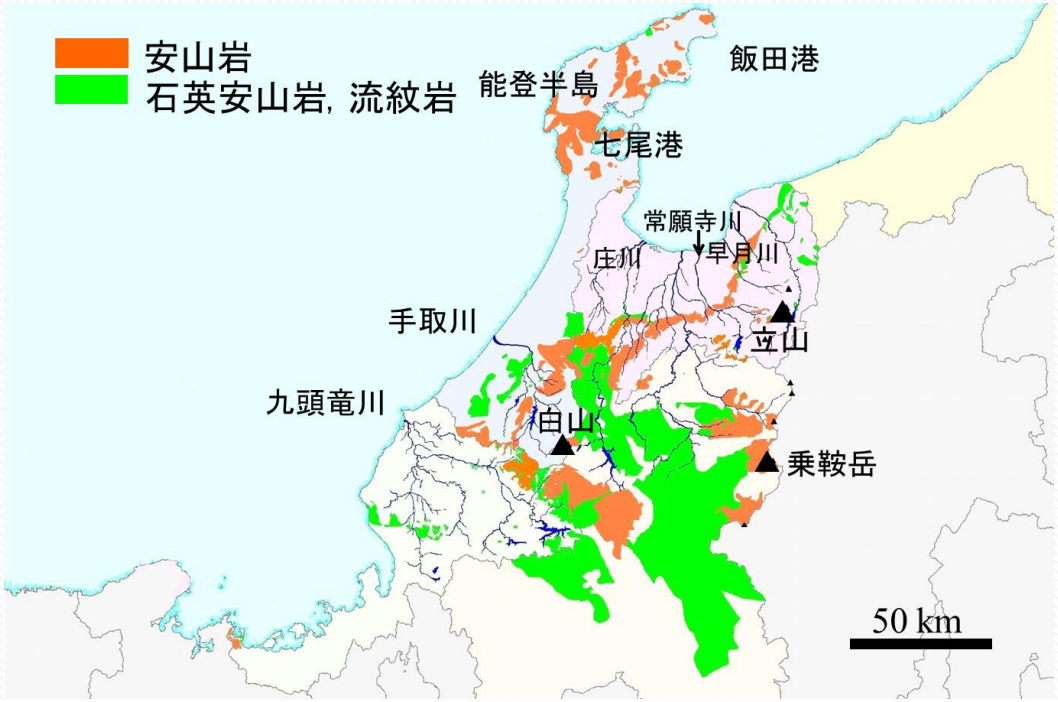
	比重	配合（kg）	容積（ℓ）
セメント	3.15	300	100
水	1	150	150
細骨材	2.5	750	310
粗骨材	2.5	1000	400
空気	0	0	40

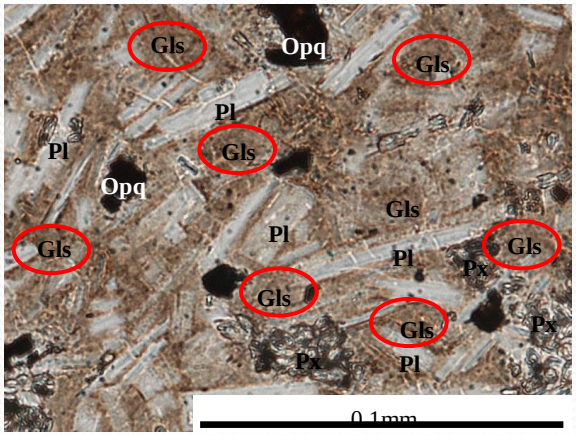


配合は概算　W/C＝150/300＊100
＝50%

容積で約7割は骨材　接着材であるセメントはわずか1割　　骨材の品質が重要　水の量違いがもろに響く

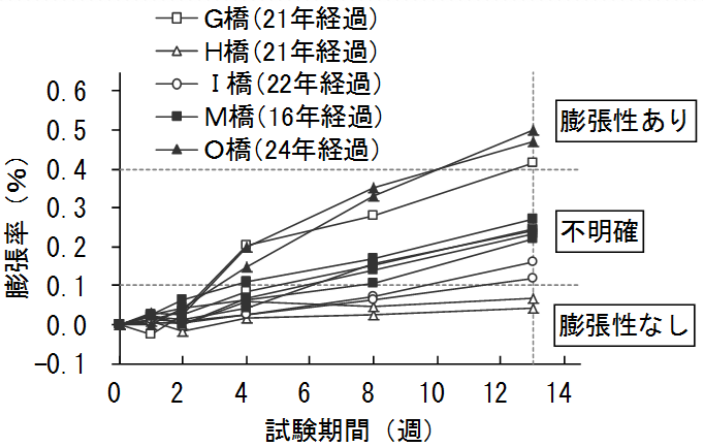
北陸地方の地質





Gls: 火山ガラス； Pl: 斜長石； Px: 輝石； Opq:不透明鉱物

偏光顕微鏡写真



膨張がなかなか収束しない

コアの残存膨張量試験結果
飽和塩化ナトリウム溶液浸漬法

本報告の概要

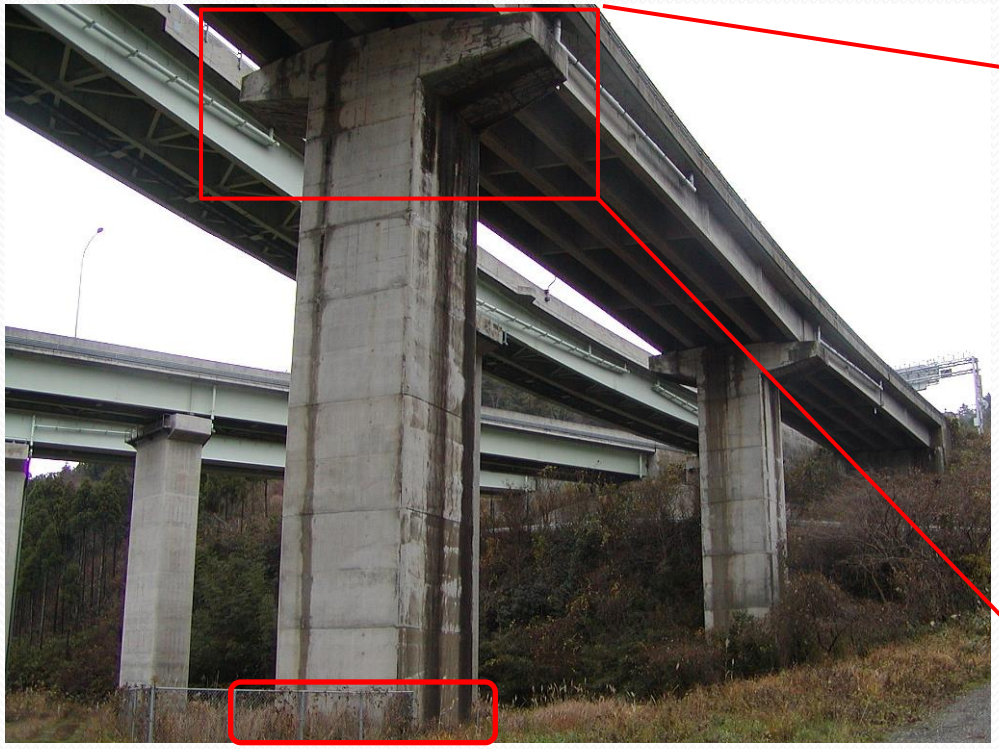
背景
・ASR劣化構造物の補修補強対策について確立された手法はない状況
・ASR補強・補修対策後の効果についての報告事例は少ない
・抑制対策後の構造物においてもASRが発生

報告内容
①ASR反応性に関して　同一骨材に対して複数の判定方法を実施
②飛来塩分や凍結防止剤などの塩化物とASRとの関係
③フライアッシュのASR抑制対策効果について
④実構造物における劣化と対策事例

ASR劣化構造物の事例

橋梁：RC橋脚

■橋梁の外観状況（補強前）



ASR劣化構造物の事例

橋梁：PCプレテン中詰め桁

ASRによるひび割れは網の目状とは限らない
拘束力が卓越している場合、その小さい方向に膨張する
⇒橋軸方向のひび割れ

ASR劣化構造物の事例

擁壁：RC（重力式） 岐阜県の山間部

鉄筋等による拘束力が少ないため、網の目状に発生
ASR＋凍害の複合劣化

ASR劣化構造物の事例

BOXカルバート：RC　海岸付近

面壁に、網の目状に発生　飛来塩分が作用

ASR劣化構造物の事例

トンネル：RC面壁部　海岸付近

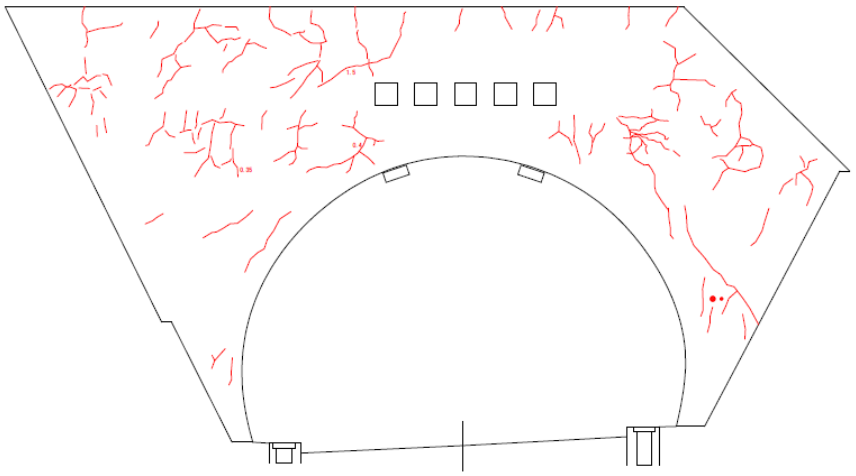
起点側（北東面）

終点側（南西面）

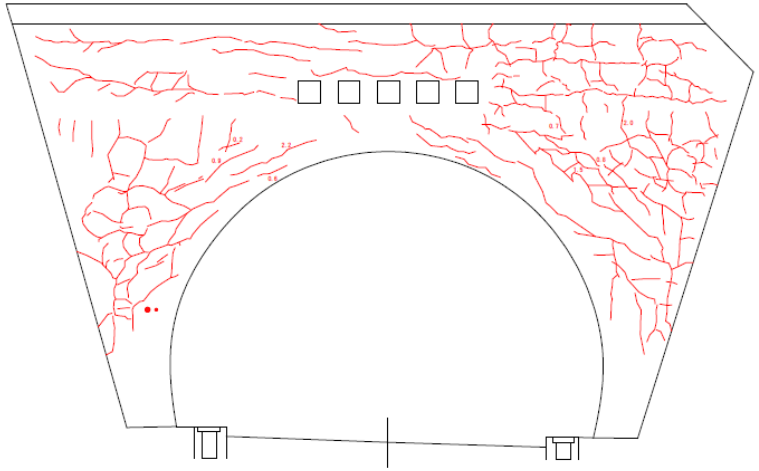
ASR劣化構造物の事例

トンネル：RC面壁部　　海岸付近

起点側（北東面）

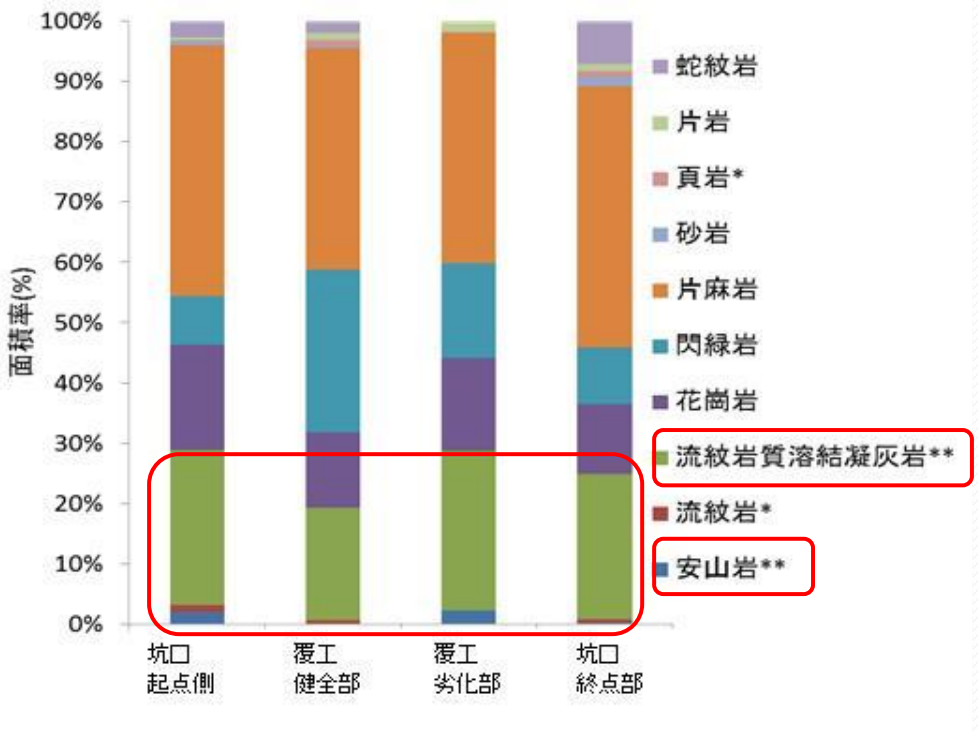


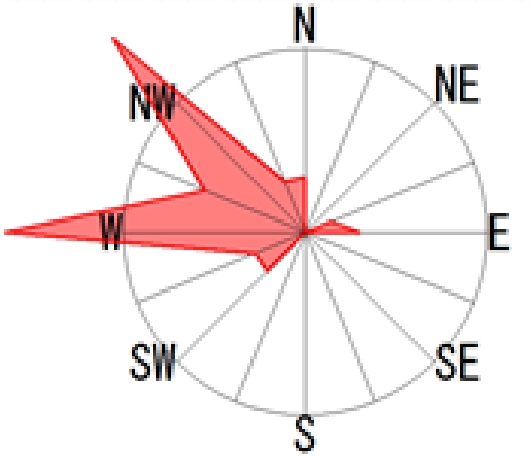
終点側（南西面）



ASR劣化構造物の事例

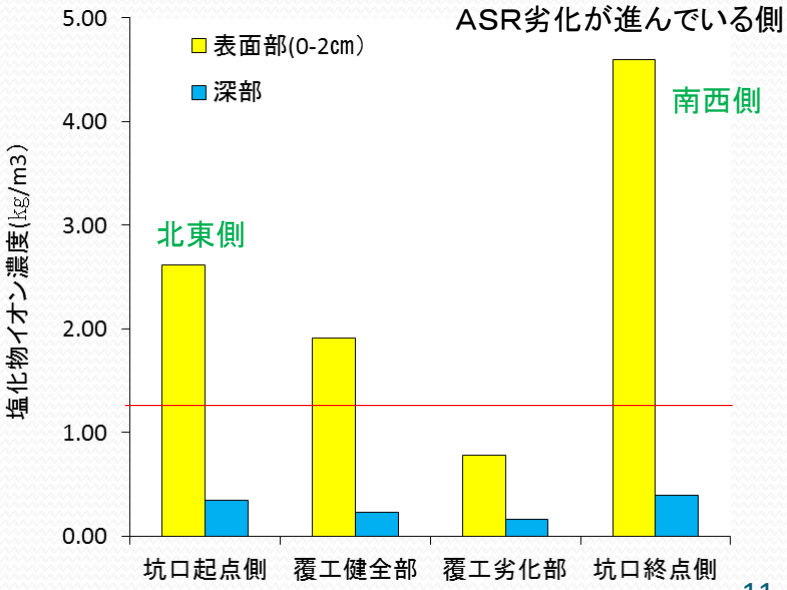
トンネル：RC面壁部　海岸付近





最大風速時の風向図

北西から西風が卓越



塩化物イオン濃度とASRは関係性が深い

ASR劣化構造物の事例

トンネル：トンネル内部覆工コンクリート部

覆工コンクリート（健全部）

覆工コンクリート
（偶然にASR劣化部と分かったところ）

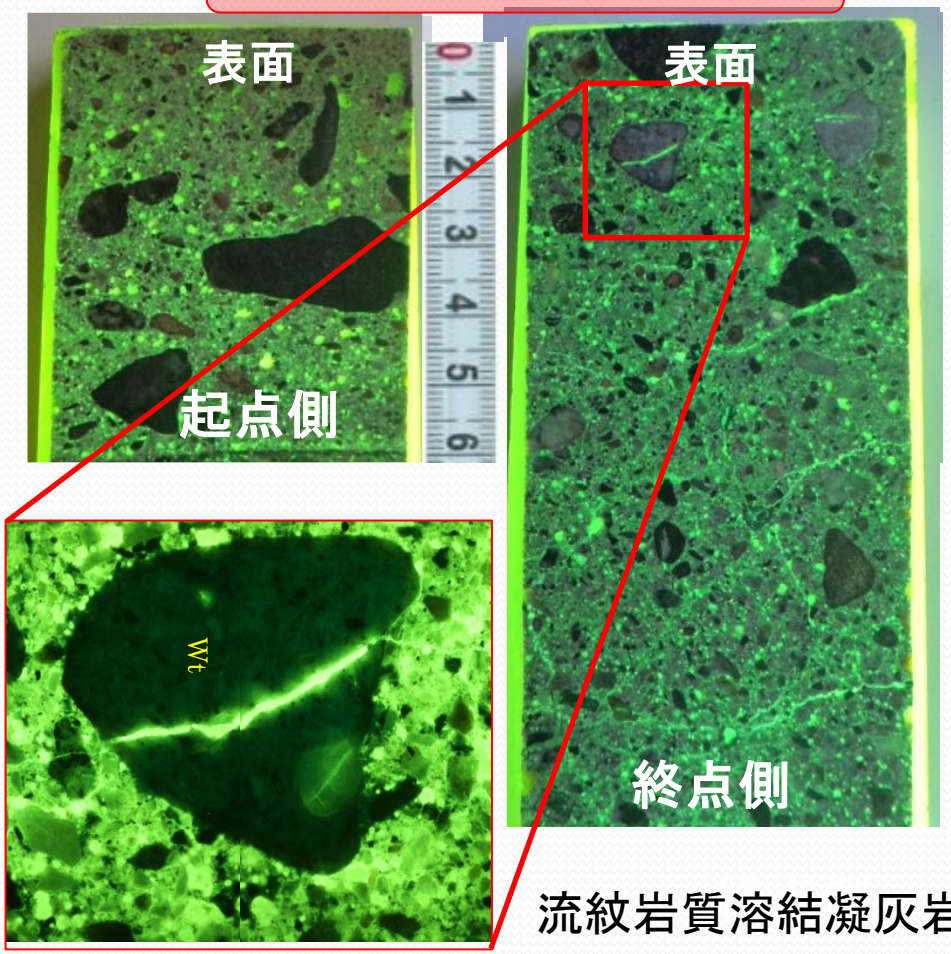
覆工劣化部にて小さな幅のひび割れが見られるが、漏水および遊離石灰等はなし
軽いポップアウトがある　コア採取位置はひび割れ等が表面にない箇所を選定

外観ではほとんど違いがない（目立った損傷が見られない）

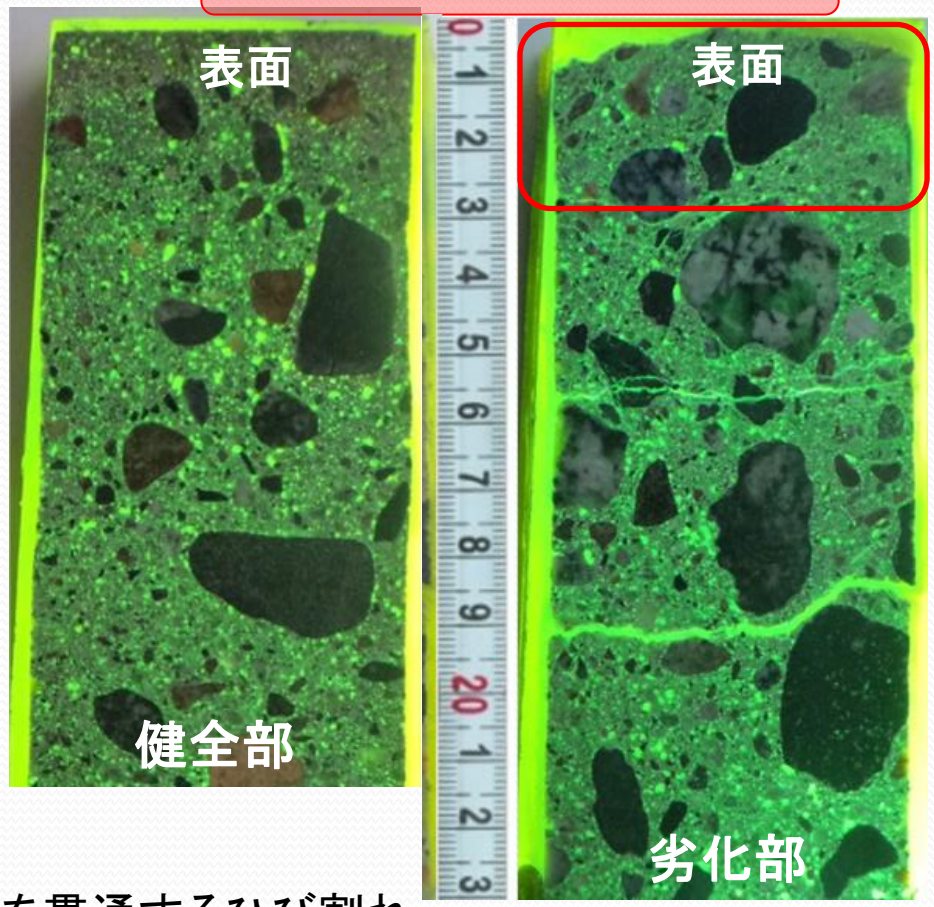
ASR劣化構造物の事例

トンネル:トンネル内部覆工コンクリート部　蛍光顕微鏡観察結果

トンネル坑口



覆工コンクリート



流紋岩質溶結凝灰岩を貫通するひび割れ

坑口終点側と覆工劣化部において層状のひび割れが見られた
覆工劣化部において深さ60mm以深の内部に層状のひび割れが見られた。

ASR劣化構造物の事例

標高が高く凍害の影響も考えられるトンネル：トンネル面壁部

トンネル面壁部

覆工コンリート部

ASR劣化構造物の事例

砂防ダム：無筋構造　岐阜県山間部

ASR劣化構造物の事例

海岸構造物（港湾）：RC構造　奥能登地区

ASR劣化構造物の事例

海岸構造物(港湾):RC構造　奥能登地区

昭和49年竣工

ASR劣化構造物の事例

異形ブロック：無筋構造　奥能登地区

ASR劣化構造物の事例

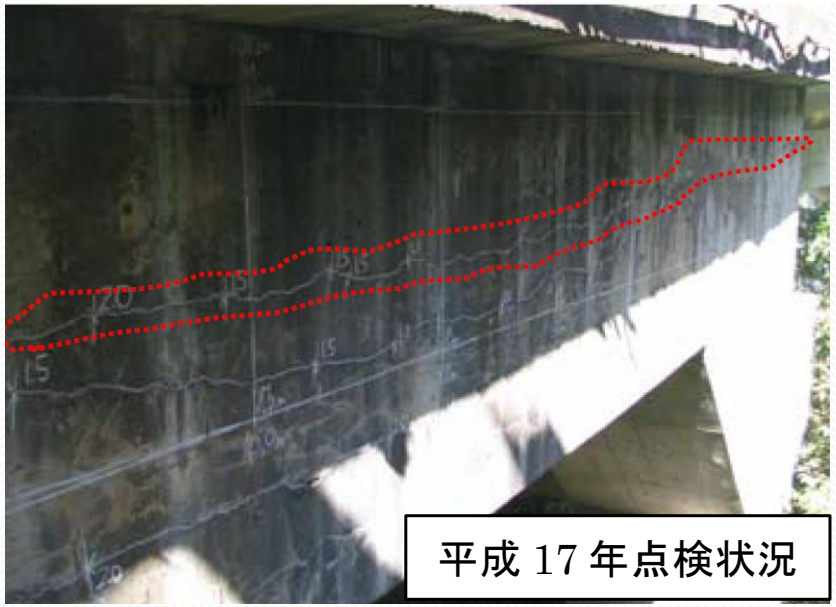
歩車道境界ブロック:プレキャスト製品
無筋構造　奥能登地区

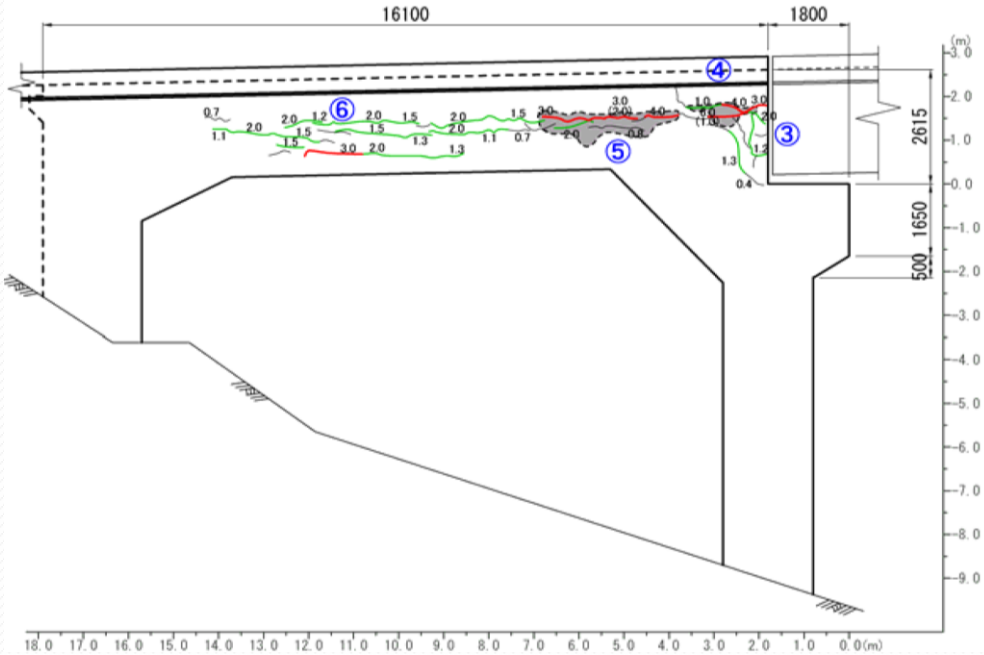
ASR劣化構造物の事例

案内板：構造不明　奥能登地区（外浦）

ASR劣化構造物の補修後再劣化事例

道路橋：RCラーメン橋台





ASR劣化構造物の補修後再劣化事例

道路橋：RCラーメン橋台

平成19年に鉄筋裏まではつりポリマーセメントモルタルにて断面修復

ASR劣化構造物の補修後再劣化事例

道路橋：RCラーメン橋台

2年後の平成21年にひび割れを確認
9年後補修前に近いパターンのひび割れを確認

ASR劣化構造物の補修後再劣化事例

道路橋：RC橋台

平成19年にひび割れ注入＋表面含浸材塗布
8年後の平成27年に新たなひび割れを確認

ASR劣化構造物の補修後再劣化事例

道路橋：RC擁壁

表面保護工

ASR劣化構造物の補修後再劣化事例

道路橋：RC橋台

断面修復＋樹脂材料による表面保護工

ASR劣化構造物の補修事例

道路橋:RC橋台　再劣化後の再補修

ひび割れ注入＋表面含浸工法

ASR劣化構造物の補修事例

道路橋：RC橋台　初回劣化後の補修

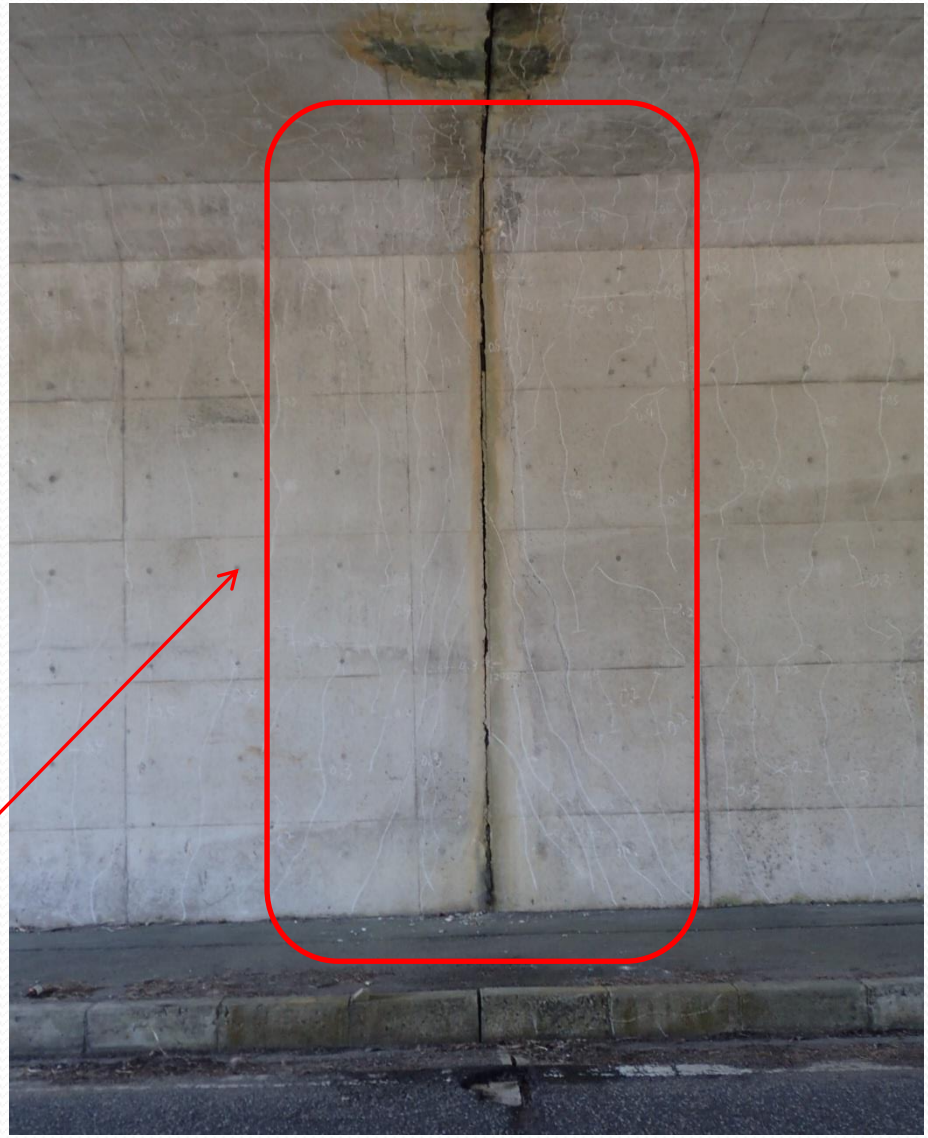
ウイング部および内部に幅1mmを超えるひび割れが多数あり

ASR劣化構造物の補修事例

道路橋：RC橋台　初回劣化後の補修

天井面

側壁



目地板部の漏水箇所付近に
多くのひび割れ

ASR劣化構造物の補修事例

道路橋：RC橋台　初回劣化後の補修

面壁・ウイング部

補修後の状況

ASR劣化構造物の補修事例

道路橋：RC橋台　初回劣化後の補修

面壁・ウイング部

バサルトネットによる剥落防止工法
上面部の水切り用面木の設置
ひび割れ注入＋表面含浸工法

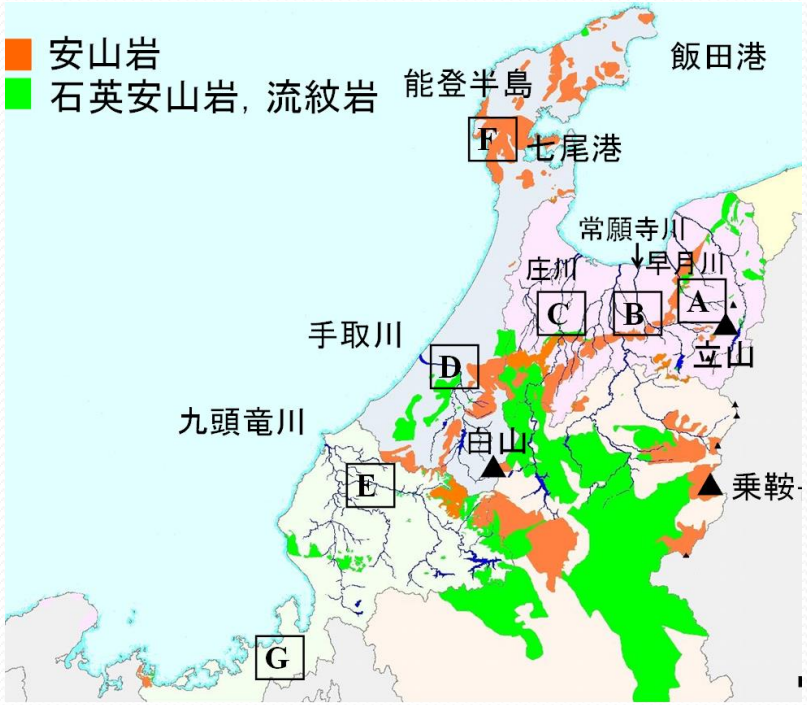
ASR劣化構造物の補修事例

道路橋：RC橋台　初回劣化後の補修

側壁・天井部

バサルトネットによる剥落防止工法
導水樋の設置
ひび割れ注入

北陸産骨材のASR反応性

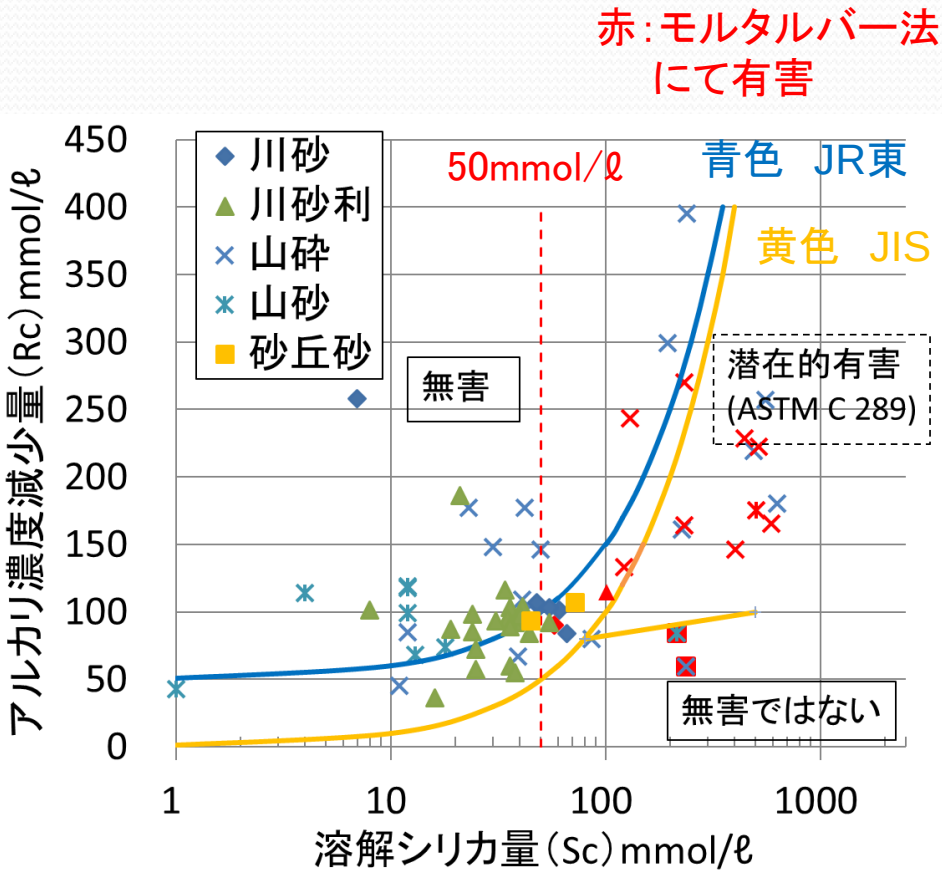


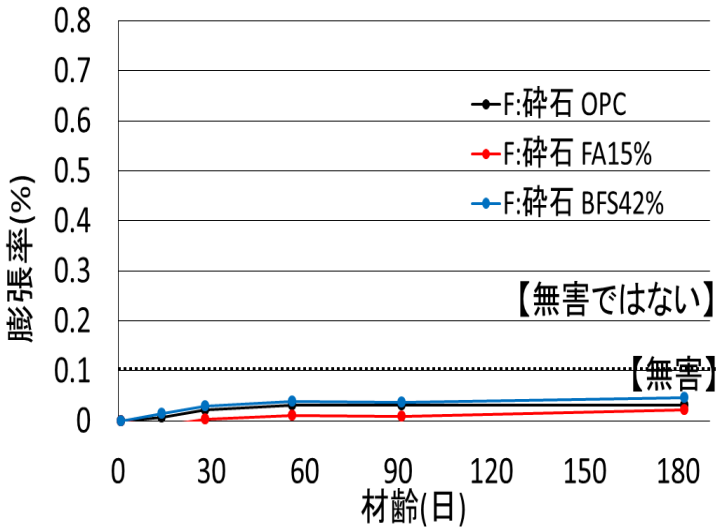
骨材の種類	化学法の判定	試験体の種類	JIS A 1146 膨張率 判定材齢 6ケ月		ASTM C 1260 膨張率 判定材齢 14日	
砂利B	無害でない	OPC	0.675	(×)	0.72	(×)
		FA15%	0.011	(○)	0.058	(○)
		BFS42%	0.171	(×)	0.244	(×)
砂利D	無害	OPC	0.011	(○)	0.365	(×)
		FA15%	0.001	(○)	−0.012	(○)
		BFS42%	0.017	(○)	0.197	(○)
砂利E	無害	OPC	0.068	(○)	0.425	(×)
		FA15%	−0.001	(○)	0.015	(○)
		BFS42%	0.019	(○)	0.087	(○)
砕石F	無害でない	OPC	0.031	(○)	0.521	(×)
		FA15%	0.023	(○)	0.088	(○)
		BFS42%	0.047	(○)	0.23	(×)
砕石G	無害	OPC	0.010	(○)	0.076	(○)
		FA15%	−0.006	(○)	−0.005	(○)
		BFS42%	0.009	(○)	0.023	(○)

各ASR判定試験において結果が異なっているケースがある

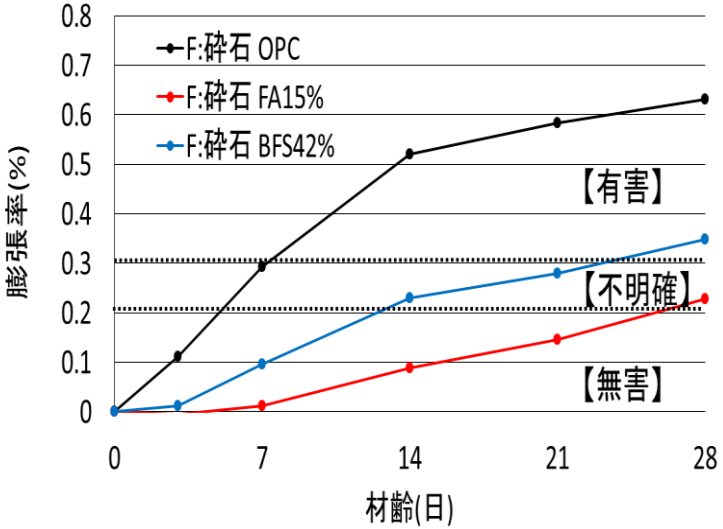
北陸産骨材のASR反応性

■骨材のASR試験（化学法・各種モルタルバー法）による評価





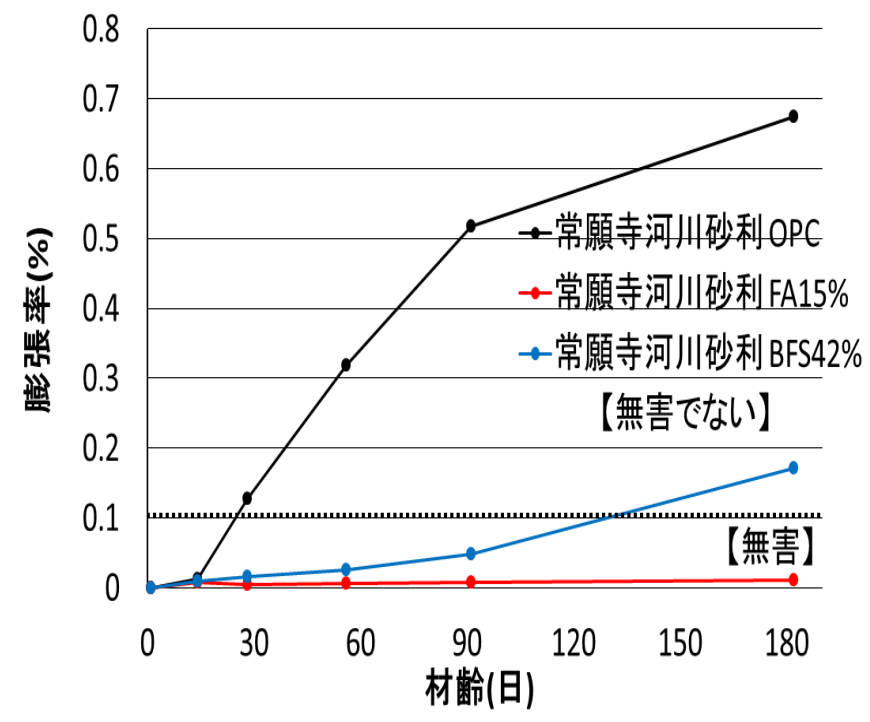
JIS A 1146（モルタルバー法）



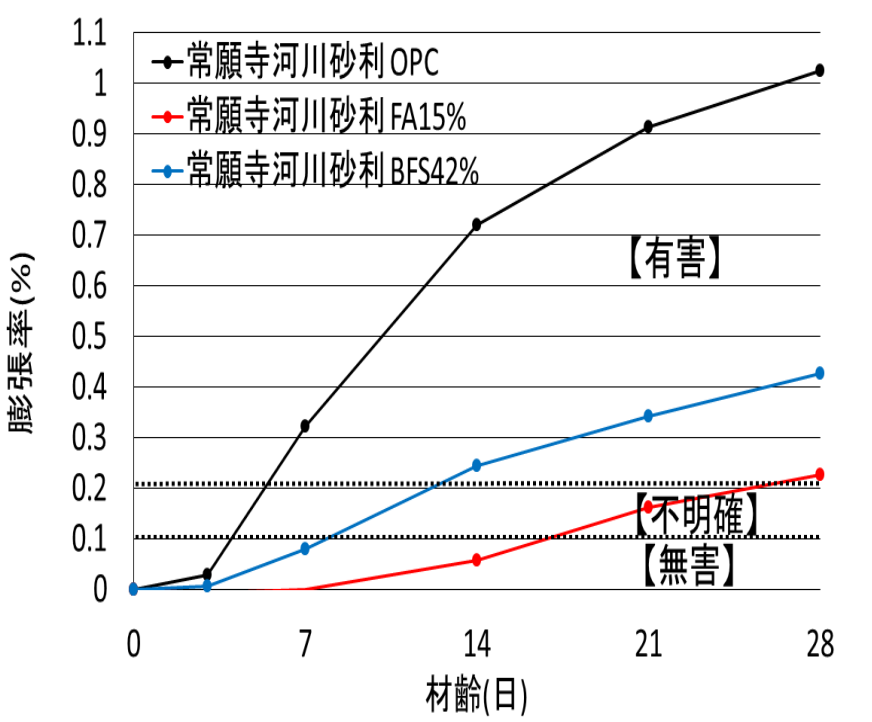
ASTM　C 1260（水酸化ナトリウム溶液浸漬法）

化学法の判定の工夫や複数の試験法を併用することによりASR判定に対するリスクが軽減できる。

北陸産骨材のASR反応性



JIS A 1146

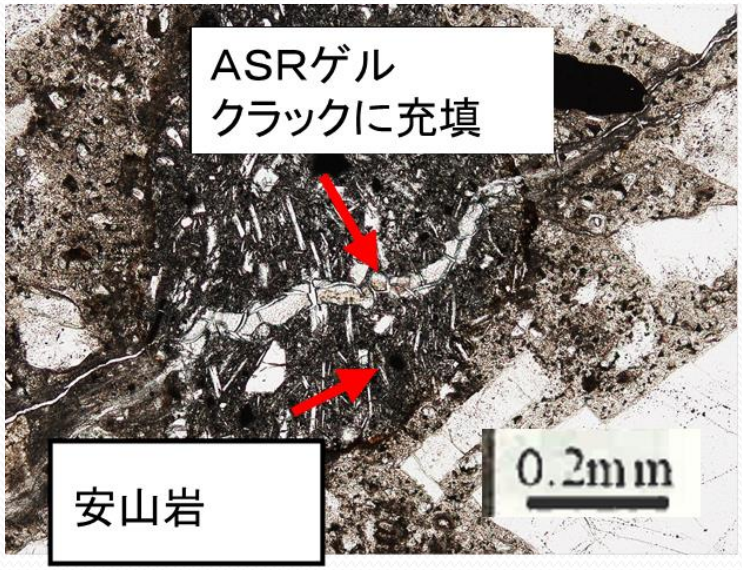


ASTM C 1260

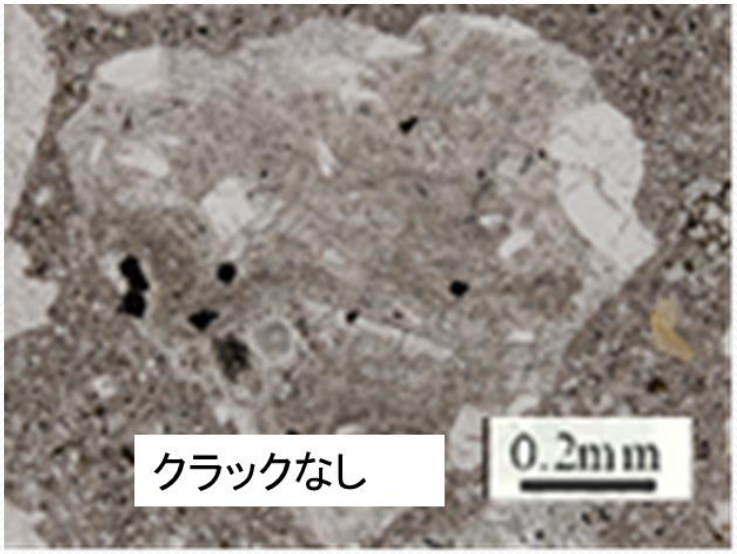
反応性の高い骨材ではJIS，ASTM法とも有害と判断された。
FA15を使用した場合すべてのケースにおいて無害判定

北陸産骨材のASR反応性

砂利B（常願寺川）
促進膨張試験後の偏光顕微鏡観察



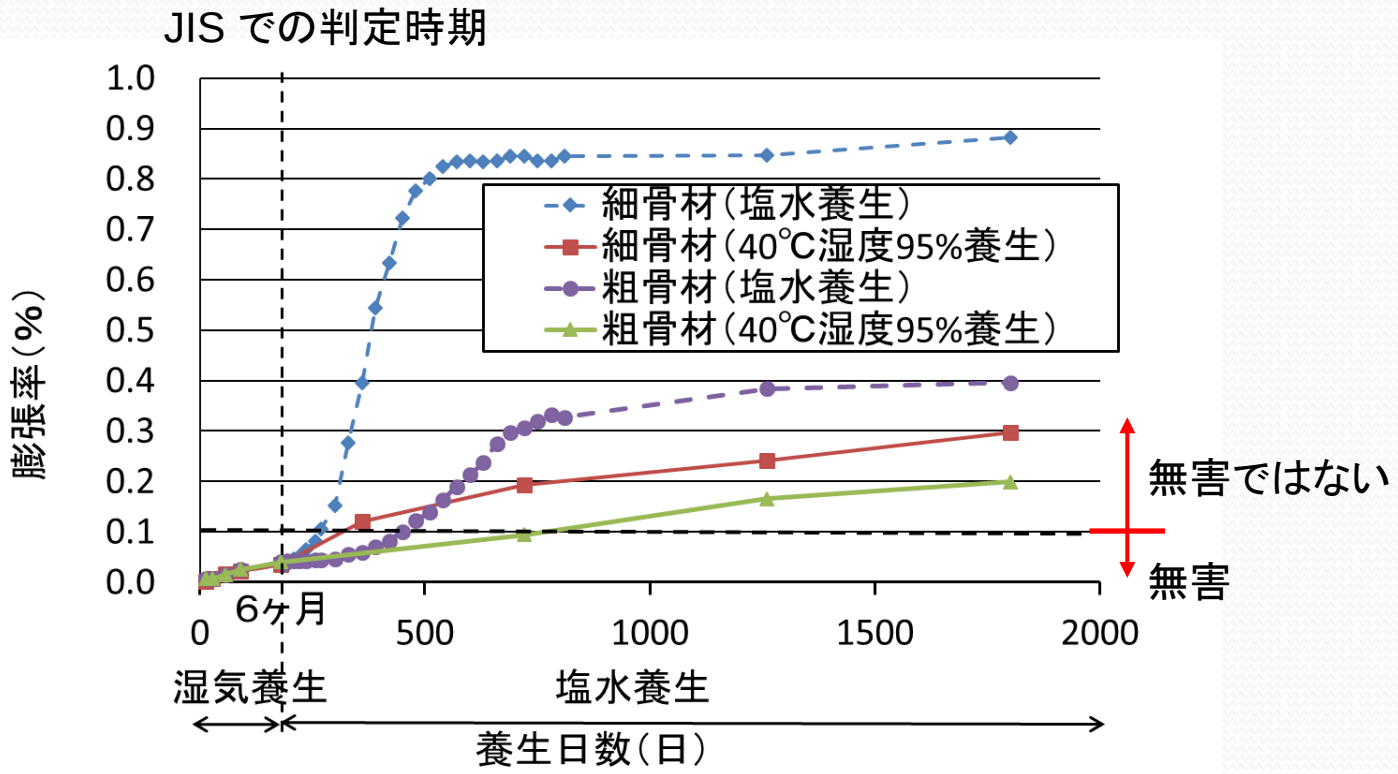
JIS A 1146　OPC



JIS A 1146　FA15%

反応性が高い骨材においても，FA15のケースで有害はクラックやゲルは見られなかった。
⇒反応性の高い骨材でもFAを使用することによりASR抑制効果が確認された。

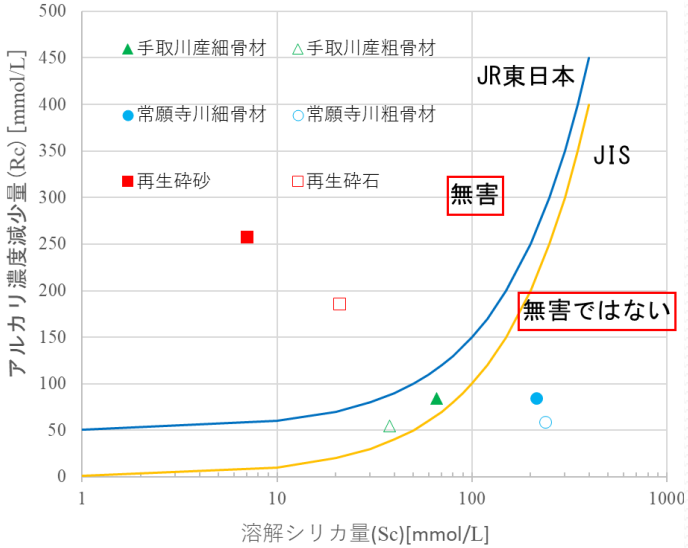
北陸産骨材のASR反応性



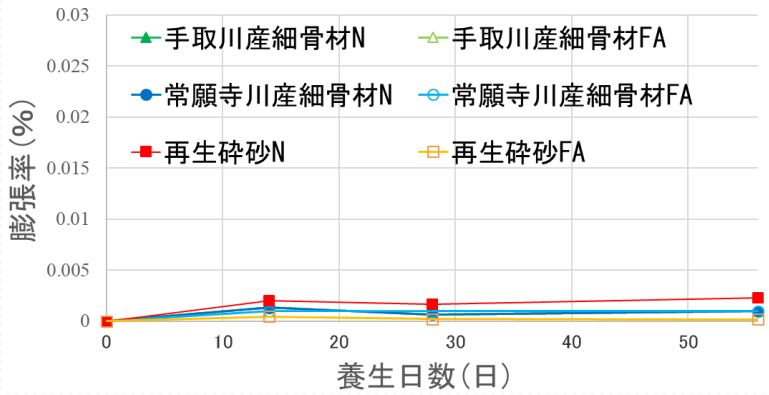
JIS A 1146（モルタルバー法）を応用した試験結果

塩化物とASRには密接な関係がある

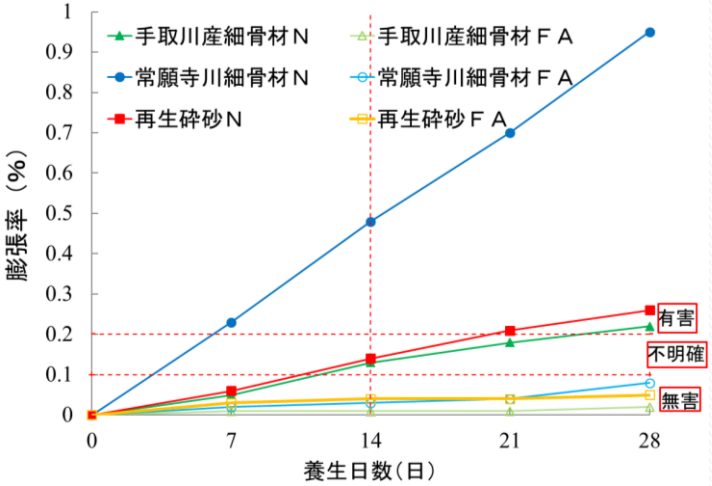
北陸産骨材のASR反応性（研究室速報）



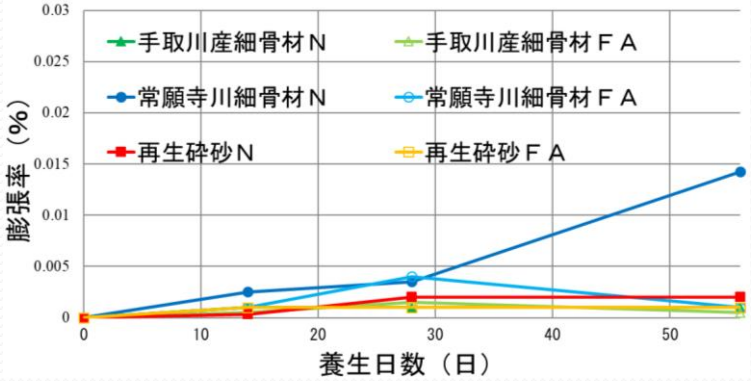
化学法試験結果



JIS A 1146　モルタルバー法



ASTM C1260
水酸化ナトリウム溶液浸漬法

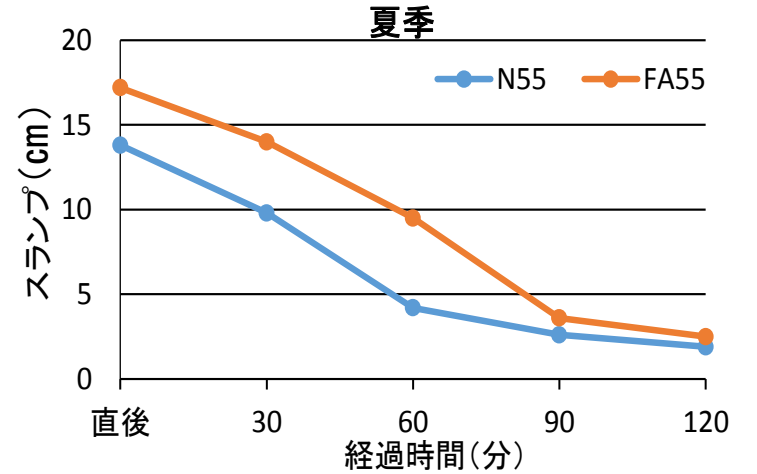


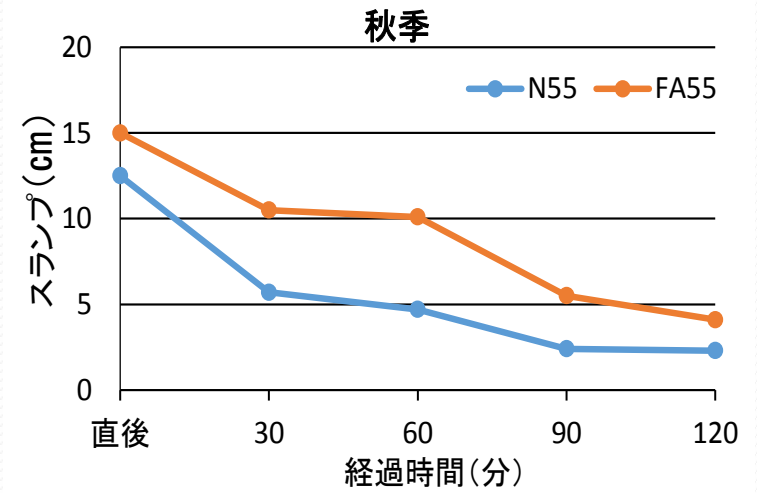
JIS A 1146（モルタルバー法）を応用したSSW試験法

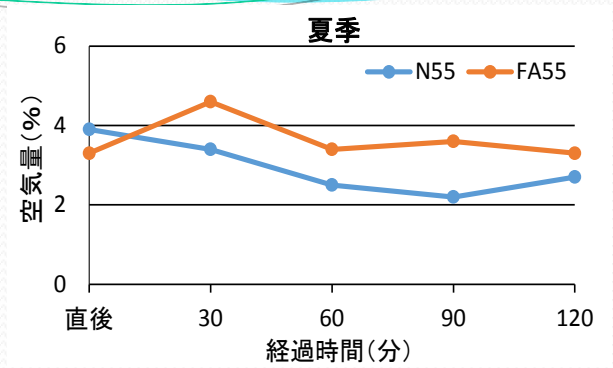
塩化物とASRには密接な関係がある

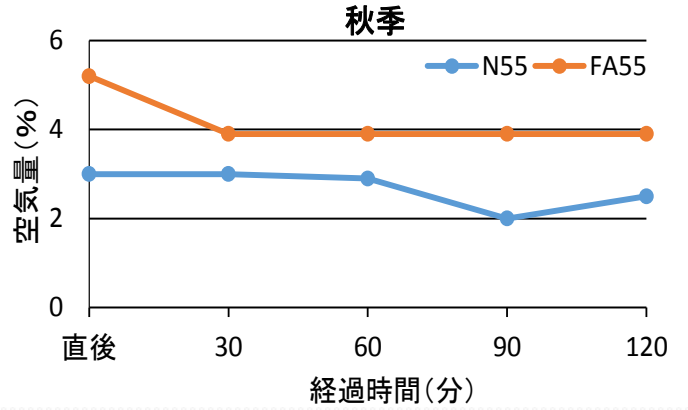
北陸産骨材のASR反応性（研究室速報）

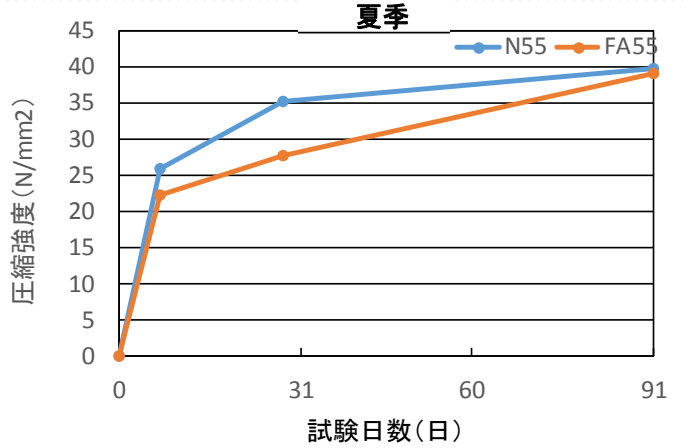
AE減水剤とフライアッシュ専用のAE剤の併用して、練上がり30分後を目標スランプ値（8cm）として設定











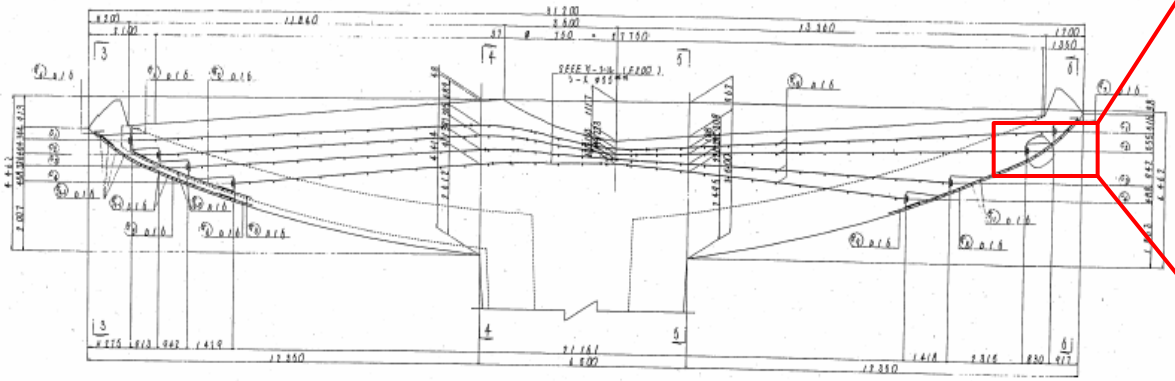
FA混和のケースは夏季においても、普通セメントと同様の傾向を示した。

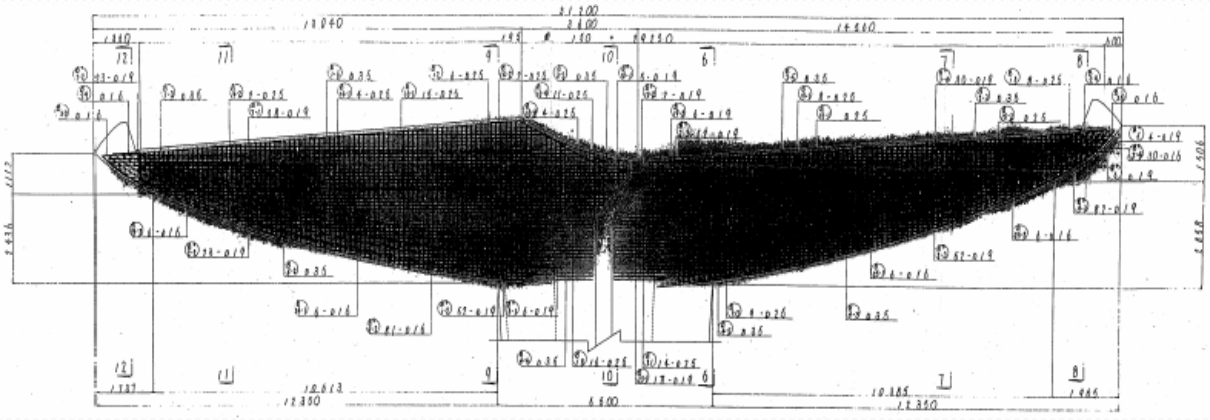
私の失敗事例

都市内高速での失敗経験

私の失敗事例

厳しい配筋の橋脚横梁　輻輳
PC後打ち部の損傷

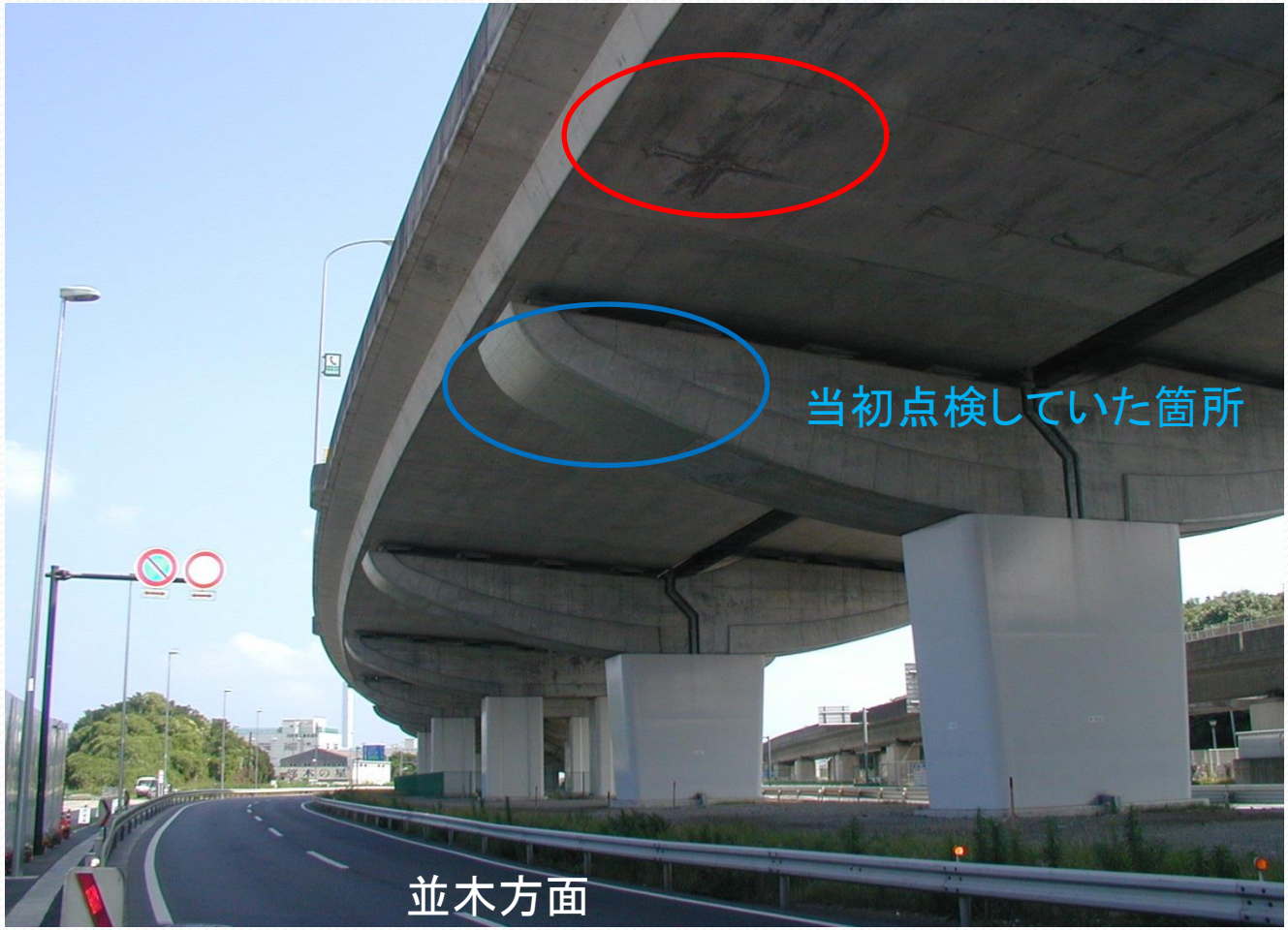




橋脚の不具合調査に呼ばれ損傷原因を特定
⇒木を見て森を見ず　もっと重大な損傷（劣化）を見落とす

私の失敗事例

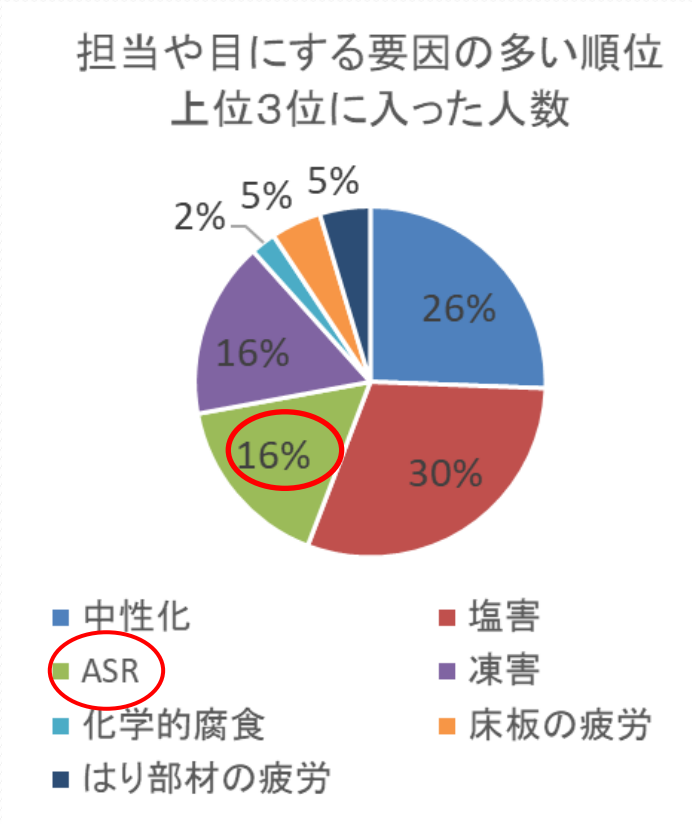
都市内高速での失敗経験

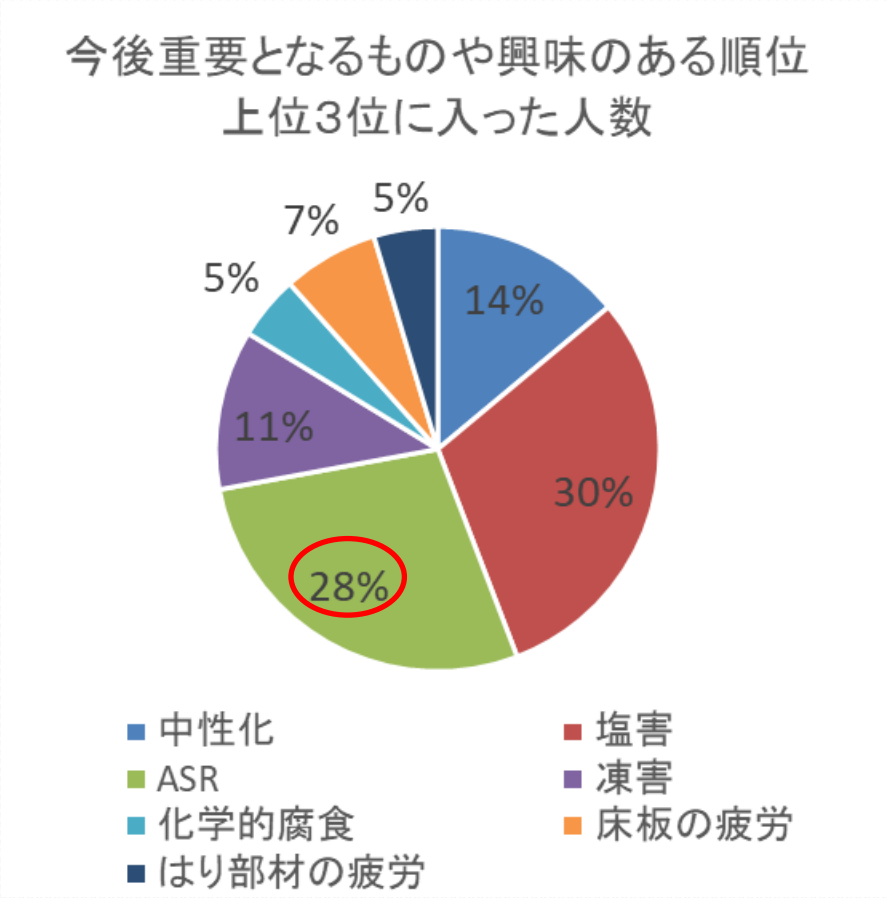


①関東にはASRはないとの思い込み
②思うどおりの成果（損傷原因の判明）があったための油断

最後に

維持管理に関するアンケート
対象：全国のコンクリート診断士会　会員　43名





ASRに対する注目度は高い⇒先進地域である北陸地方の皆様の技術、経験が必要

ご清聴ありがとうございました。