金沢大学SIP
塩害およびASRによる コンクリート橋梁の劣化と メンテナンスマネジメントの開発

金沢大学理工研究域環境デザイン学系

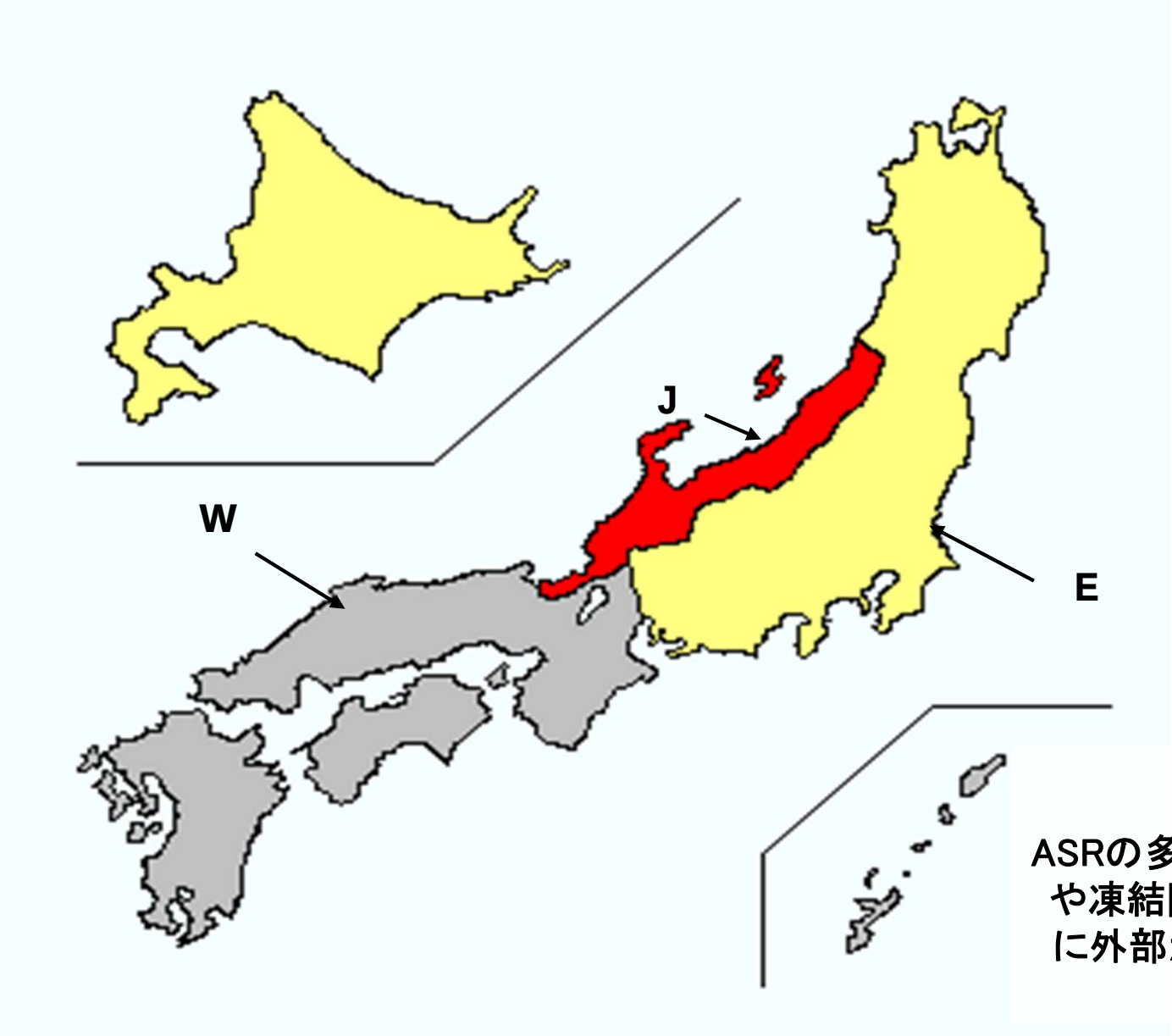
教授　鳥居和之

H27.4.20

於　金沢大学サテライトプラザ

1. 塩害およびASRによる劣化現象と北陸の地域性（何が課題で，今，何をすべきか）

北陸地方の塩害とASRの地域区分



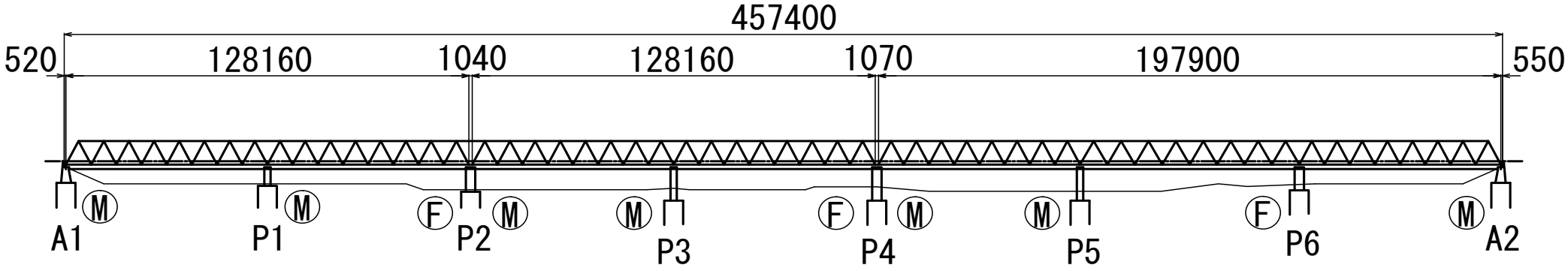
区分　J※

ASRの多発地域である。海洋飛沫帯や凍結防止剤散布地域では，これに外部からの塩分浸透が加わり，ASRを促進させた。

※小林一輔ら：コンクリート構造物の維持管理

まずは，有澤橋のASR劣化の紹介

■橋梁形式
上部構造：2・2・3径間連続ワーレントラス橋
下部構造：橋脚 張出式の小判形鉄筋コンクリート構造
■橋　　長：457.400m
■竣工年月：1972（S.47）年



橋梁の全体側面図

かくも無惨なコンクリートの劣化状況

RC柱部の解体

ばらばらのコンクリート殻

20数年後，ついにRC橋脚の打替えを決断

仮設ベントの設置

打替え後の橋脚

２．　飛来塩分による塩害の劣化事例
（のと里山海道，国道249号，国道305号，北陸自動車道での豊富な経験）

飛来塩分による塩害の損傷事例

石川県根上町付近

南志見橋（国道249号，塩害補修対策済み）

下フランジ部のひび割れ状況

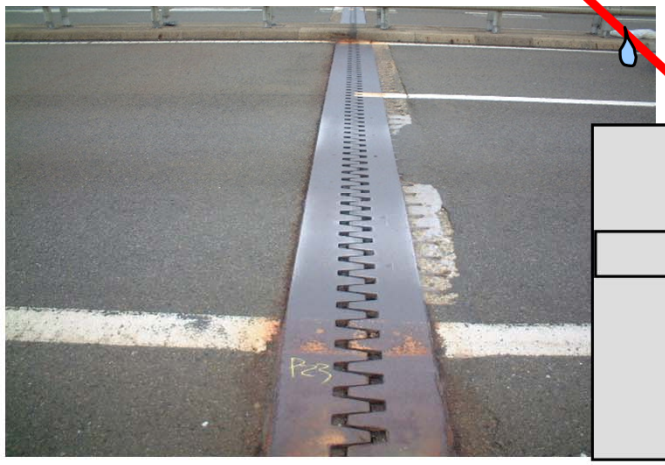
鋼材の腐食状態

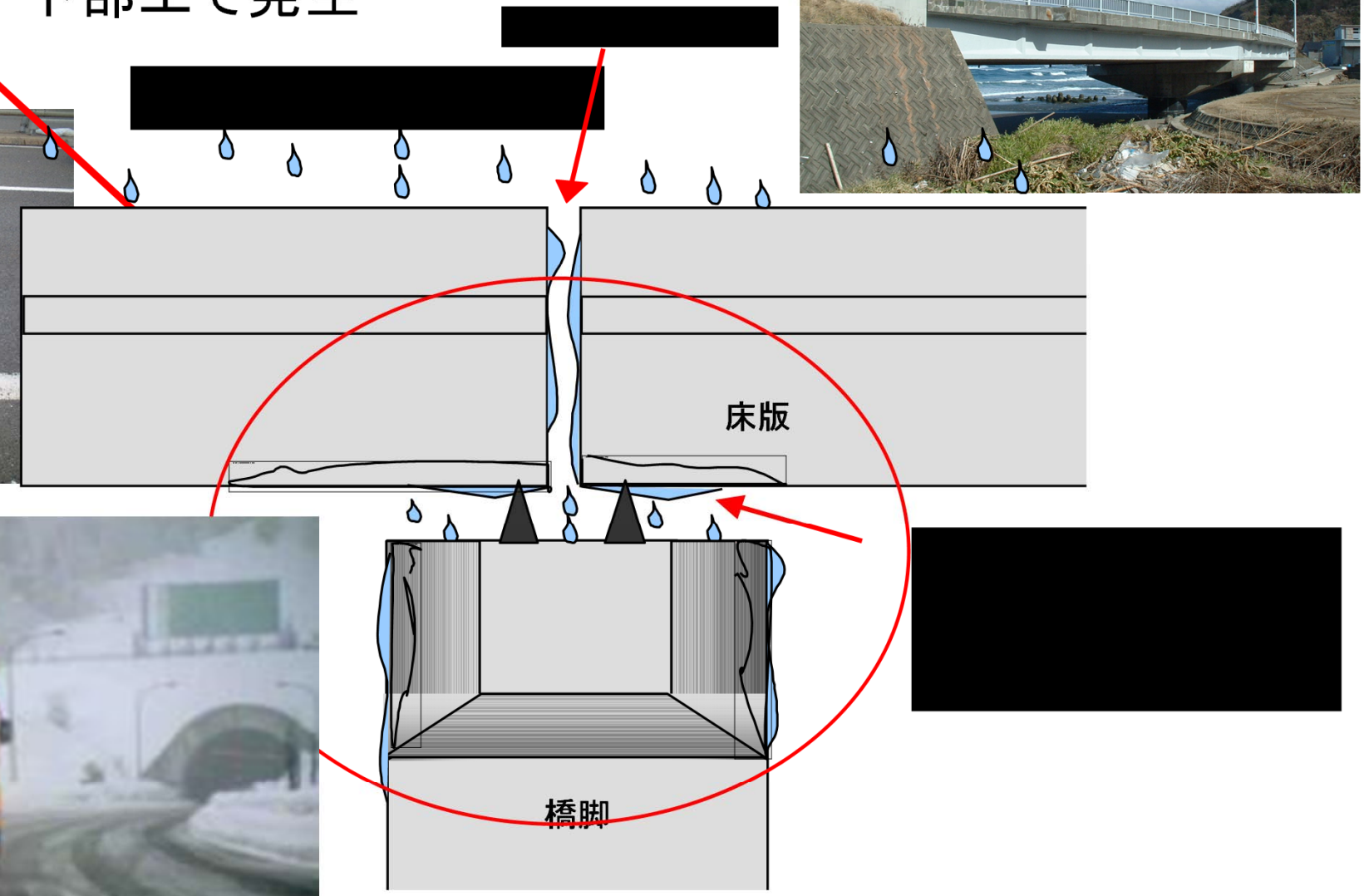
炭素繊維シート（CF）の貼り付け作業（4層）

３．凍結防止剤による塩害の劣化事例
（北陸地方から全国へ情報発信が可能）

凍結防止剤による塩害

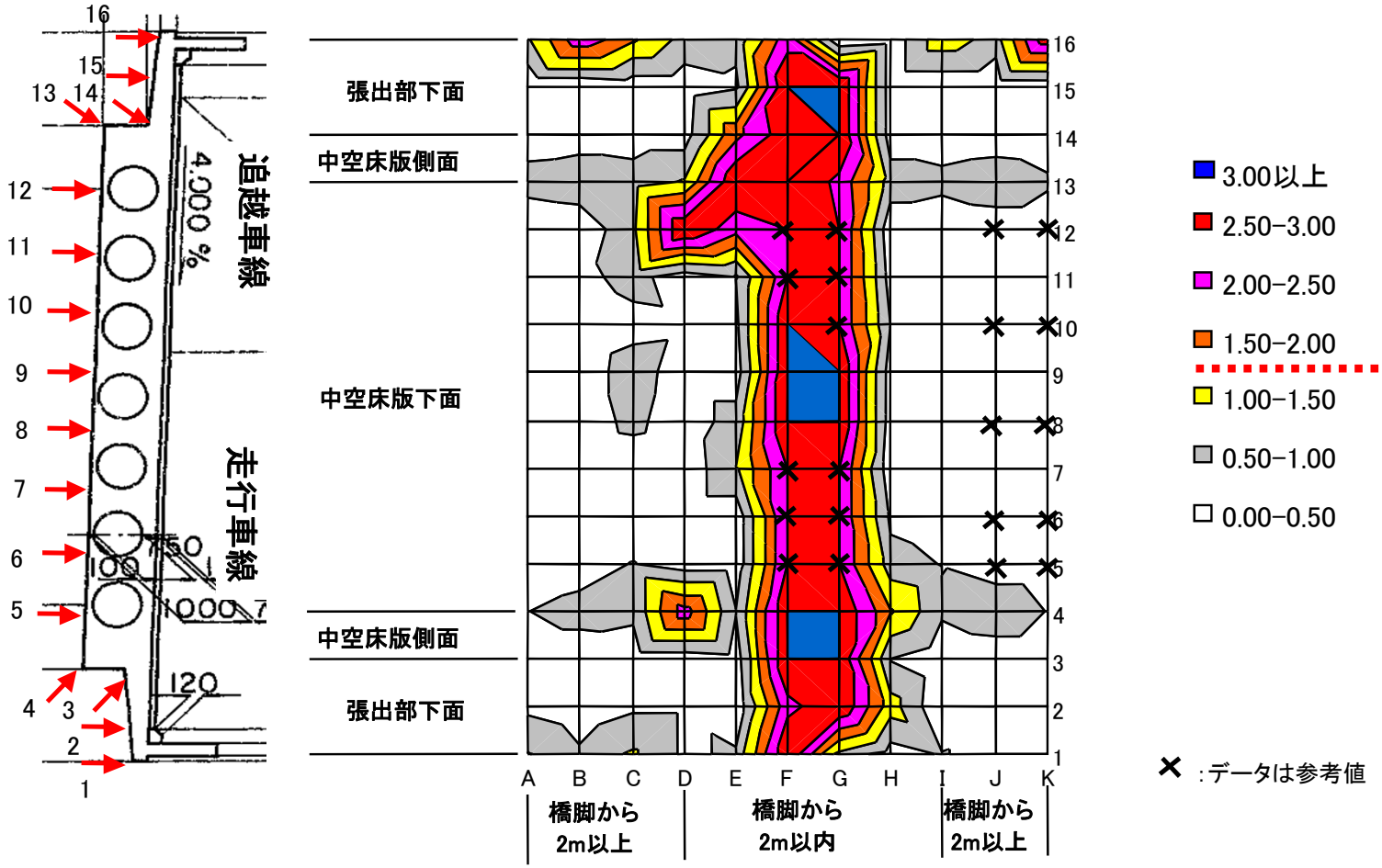
けた端部，下部工で発生





桁端部から塩化物イオンが浸透⇒塩害

床版下面における塩化物イオン調査



凍結防止剤による塩害の損傷事例
(狭隘な箇所での補修技術の開発)

床版端部でのコンクリートの浮きと鉄筋腐食

４．ASRによるコンクリート橋の割れと鉄筋破断（補強，更新後の維持管理をどうするか）

橋脚・はり部のせん断補強鉄筋の破断状況

橋脚側面のひび割れ（枕梁）

はつり後の破断状況

橋脚・フーチングの主鉄筋の破断状況

５．FAコンクリートによる塩害＆ASRの対策（地産地消と環境負荷低減の観点より北陸地方から全国へ情報発信）

今，何故，北陸地方で，FAコンクリートなのか！

その時代的、地域的な背景とは，

(1) 現在，北陸電力管内の電気エネルギーの62%が石炭火力発電所から。残りは石油火力(10%)と水力(26%)から。石炭を炊けば10%の石炭灰（フライアッシュとシンダーアッシュ）が発生する。FA活用の目指す方向は，あくまでも汎用セメント及び汎用コンクリート。

(2) 北陸地方で，何故，今も，ASRが止まらないのか。JIS A 5308のASR抑制対策が不完全，近い将来に，当然，見直しが必要。
（しかし，ローカルルールによる運用を自らでやるしかない）

(3) 環境負荷低減，社会インフラの長寿命化，国土強靭化，維持管理の時代など，謳い文句はどうでもよい。北陸地方は，コンクリート構造物にとってもっとも厳しい使用・環境条件であり，深刻な損傷が発生した構造物が多く存在することの認識。その対策もJISとは自ずと異なるはず。時間がないのである。

(4) 本当は，北陸新幹線の工事が始まる，7年前にFAコンクリートの開発・普及をこの北陸地方でやるべきであった。自らの反省と自戒をこめて。敦賀延伸工事でのFAの採用に全力を尽くす。

【北陸電力の石炭火力発電所】

七尾大田火力発電所

1号：50万kW（H 7運転開始）

2号：70万kW（H10運転開始）

敦賀火力発電所

1号：50万kW

（H 3運転開始）

2号：70万kW

（H12運転開始）

七尾

射水

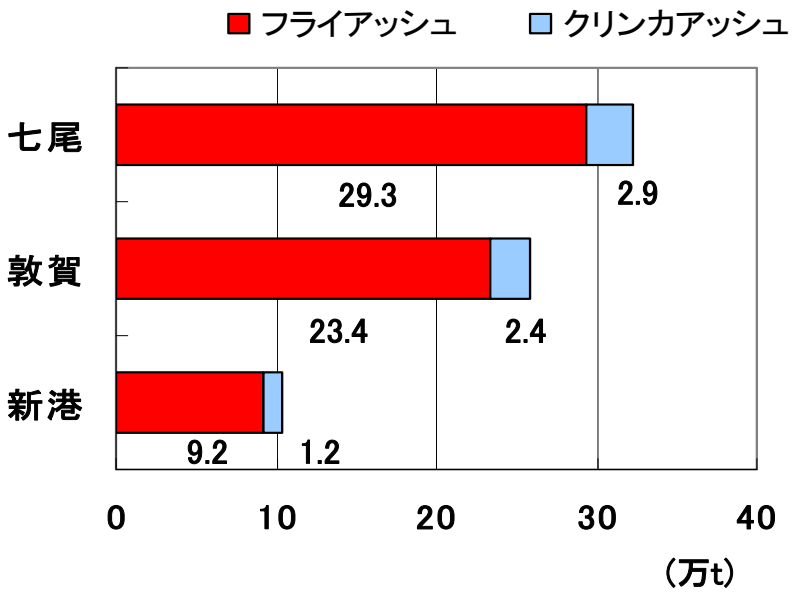
石川県

富山県

福井県

敦賀

発電所別石炭灰発生量(H22年度実績)



石炭灰

フライアッシュ：61.9万 t

クリンカアッシュ：6.5万 t

合計：68.4万 t

富山新港火力発電所

1号：25万kW（S46運転開始、S59石炭火力に燃料転換）

2号：25万kW（S47運転開始、S59石炭火力に燃料転換）

【北陸地方でコンクリートにフライアッシュを使うことの意義】

・北陸地方には製鉄所がなく、高炉スラグは九州から運ばれている。
（各生コン工場には高炉セメントとして供給されている。）

・北陸地方には、ASRを発生させる骨材が分布している。

・環境負荷大きく、不経済

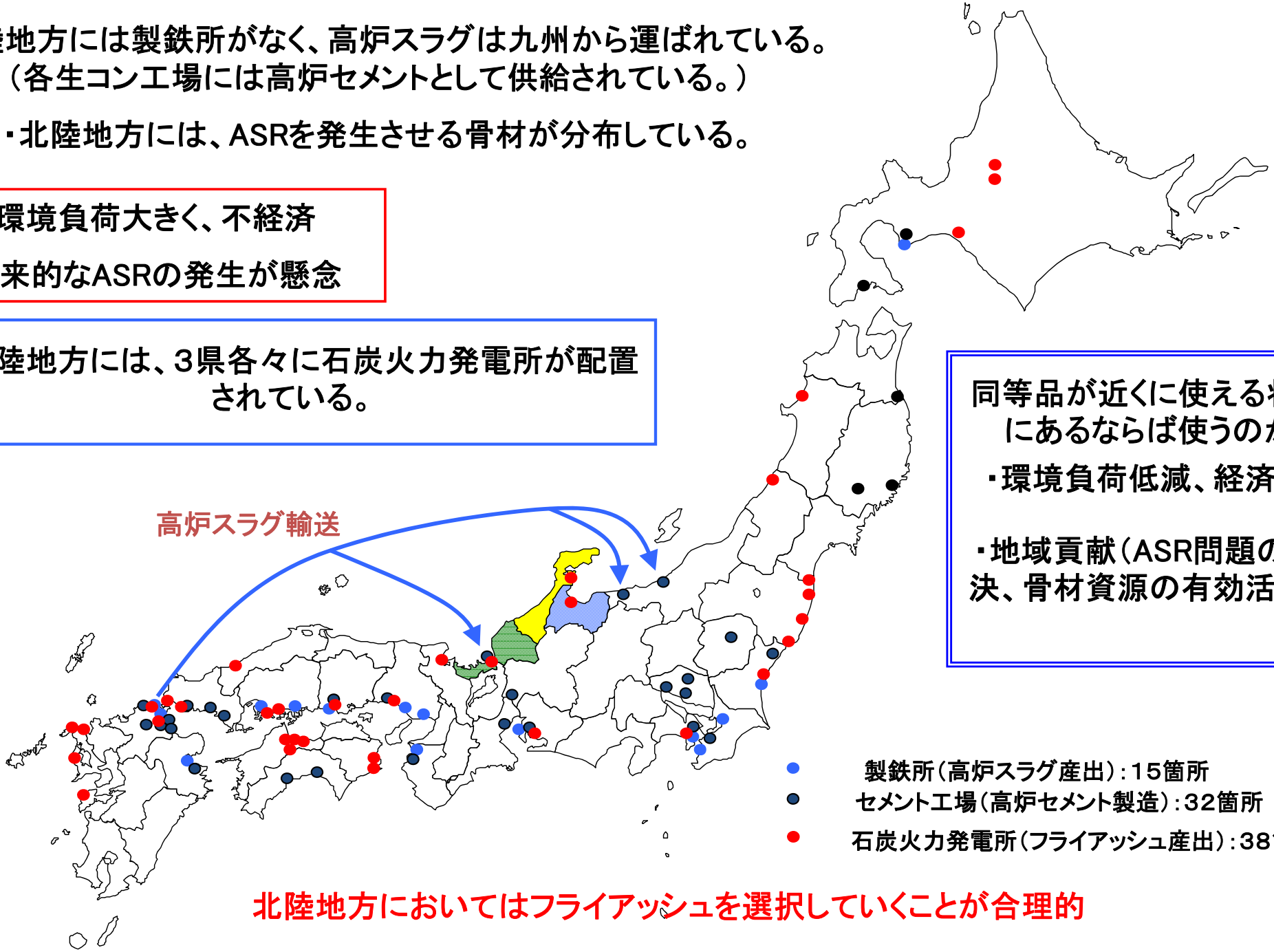
・将来的なASRの発生が懸念

・北陸地方には、3県各々に石炭火力発電所が配置されている。

同等品が近くに使える状況にあるならば使うのが

・環境負荷低減、経済的

・地域貢献（ASR問題の解決、骨材資源の有効活用）



北陸地方においてはフライアッシュを選択していくことが合理的

対策事例1　PCホロー桁（橋梁長寿命化計画）

石川県PC工場製造　川砂，川砂利（富山県庄川水系）

設計基準強度：50N/mm^2

橋軸方向のひび割れ

ASRゲルの滲出

わが国最初のFA15%含有プレテンPC･T桁の製造･架設
（平成26年9月，石川県主要地方道•宮坂橋，ASR＆塩害対策）

対策事例2　新潟駅高架化事業へのFAコンクリート（20%）の採用

阿賀野川産砂利のASR抑制対策（平成25年度より）

高流動FAコンクリート（27N/mm^2)による柱およびスラブ部材（繊維混入）の打設

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

コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発

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

戦略的イノベーション創造プログラム
(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)

総合科学技術・イノベーション会議が，府省の枠や旧来の分野の枠を超えたマネジメントに主導的な役割を果たし，科学技術イノベーションを実現するために新たに創設するプログラムであり，以下の10テーマからなる.

革新的燃焼技術
次世代パワーエレクトロニクス
革新的構造材料
エネルギーキャリア
次世代海洋資源調査技術
自動走行システム
インフラ維持管理・更新・マネジメント技術
レジリエントな防災・減災機能の強化
次世代農林水産業創造技術
革新的設計生産技術

インフラ維持管理・更新・マネジメント技術

(1) 点検・モニタリング・診断技術の研究開発

(A)　先端的な計測技術による点検・モニタリング・診断技術の研究開発
(A)-b インフラ分野にとってこれまでにない新しい計測技術を活用した点検・モニタリング・診断技術の開発

(2) 構造材料・劣化機構・補修・補強技術の研究開発

(A) 各種研究機関の密接な連携による次世代インフラ構造材料の総合的・実用化研究開発
(B) インフラ構造物の劣化検出・診断のための新材料に関する研究開発
(C) 鋼構造物の腐食による劣化損傷に対する補修技術の研究開発
(D) 構造物の補修・補強・更新に関する個別材料技術の研究開発

(3) 情報・通信技術の研究開発

(A) インフラのセンシングデータを収集し統合的に解析する技術の開発
(B) インフラの多種多様なセンシングデータを処理・蓄積・解析する技術の開発

(4) ロボット技術の研究開発

(A) 維持管理ロボット・災害対応ロボット開発に必要なコア技術（ロボティクス技術）の開発
(B) 維持管理ロボット・災害対応ロボット開発の開発　①維持管理ロボット，②災害対応ロボット

(5) アセットマネジメント技術の研究開発

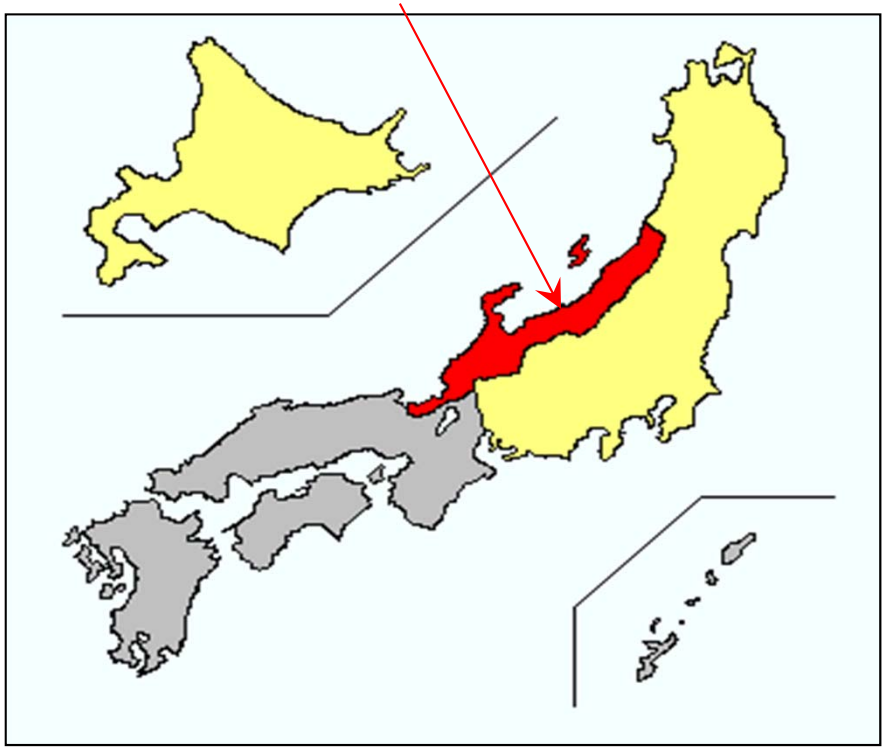
(A) インフラマネジメント技術の国内外への展開を目指した統括的研究
(B) 特定の基幹インフラ施設を対象にした維持管理・更新・マネジメント技術（河川、港湾、鉄道、上下水道、農業分野などの施設・構造物が対象）の開発

研究開発小項目	研究開発課題名	概要
(5)−(A) 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	道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究	東京大学　大学院工学系研究科　前川宏一　教授 コンクリート系橋梁床版の余寿命推定法とコスト削減・高耐久化を実現する橋梁の設計/管理技術を開発するとともに、広域道路への実装を展開し、技術基準や点検制度等の改善と進化を実現するインフラアセットマネジメントの標準化を図る。さらに地方自治体に展開するための財源確保、調達、入札、契約、組織などの仕組みを提案する。あわせてアセットマネジメントを国際展開するアジアのネットワークを形成し、具体的に実装を行う。
	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	金沢大学　理工研究域　環境デザイン学系　鳥居和之 教授 北陸地方のコンクリート橋で生じている、塩害やアルカリシリカ反応（ASR）による深刻な早期劣化の現状を把握するとともに、財源と専門技術者が不足する厳しい状況の中で、緊急性と重要性を踏まえつつ、地域の大学関係者と民間技術者ならびに道路管理者の参画のもと、点検やモニタリング、評価や判定、対策や更新への個別的な課題の抽出を通して、地方道路橋が事後保全から予防保全へ転換できるよう、新技術の開発及びマネジメントシステムの構築を行う。
(5)−(B) 特定の基幹インフラ施設を対象にした維持管理・更新・マネジメント技術の開発	港湾構造物のライフサイクルマネジメントの高度化のための点検診断および性能評価に関する技術開発	（独）港湾空港技術研究所　加藤 絵万　構造研究チームリーダー 港湾構造物の維持管理は、他の社会基盤構造物と比べて劣化の進行が速いことや点検が困難である等の特徴があるため、安全性確保のための大規模な対策が必要となる場合がある。本課題では、港湾における鋼・コンクリート部材の安全性評価手法を高度化するとともに、評価に必要となるデータが取得可能な点検装置の開発、適切な点検箇所・センサ配置等を考慮した点検診断システム等を開発し、効果的・効率的な維持管理の実現を目指す。
	基幹的農業水利施設の戦略的なアセットマネジメント技術の開発	（独）農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所　中嶋 勇　上席研究員 施設の老朽化、管理組織・人の高年齢化という状況を受け、複数種類の施設で構成される農業水利システムのアセットマネジメントを円滑に進める技術の開発を行う。具体的には、目視診断で対応困難な施設に対し、目視診断に換わる技術を開発する。また、後追い対策が多く予防保全が困難な施設に対し定量的な性能評価技術を開発するとともに、維持管理の効率化と人材育成に資する技術を開発する。

研究の背景（北陸地方の複合劣化状況）

塩害とASRの複合劣化地域の区分

ASR多発地域＋飛来塩分，凍結防止剤によりASRを促進

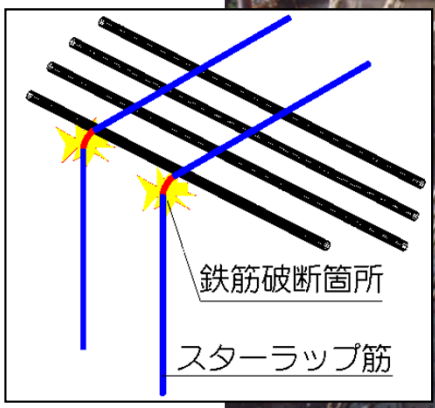


出典：小林一輔ら：コンクリート構造物の維持管理

コンクリート構造物の使用・環境条件は
北陸地方がもっとも過酷！

ASRを含む複合劣化は，北陸だけの問題ではなく
全国共通の重大な問題！

ダブル複合劣化（塩害，ASR）



橋脚（石川，のと里山海道）

トリプル複合劣化（塩害，ASR，凍害）

橋台（白山山麓）

研究開発の目的

地方道路橋の抱える課題

- 橋種・構造形式が多種多様
- 地域特性が複雑
- 人手，財源，技術力　すべてが不足

特に北陸地方では，
塩害やASRによる早期劣化橋梁に対しては，
緊急性と重要性の観点から，
これまでの画一的な
マネジメントシステムの適用が困難

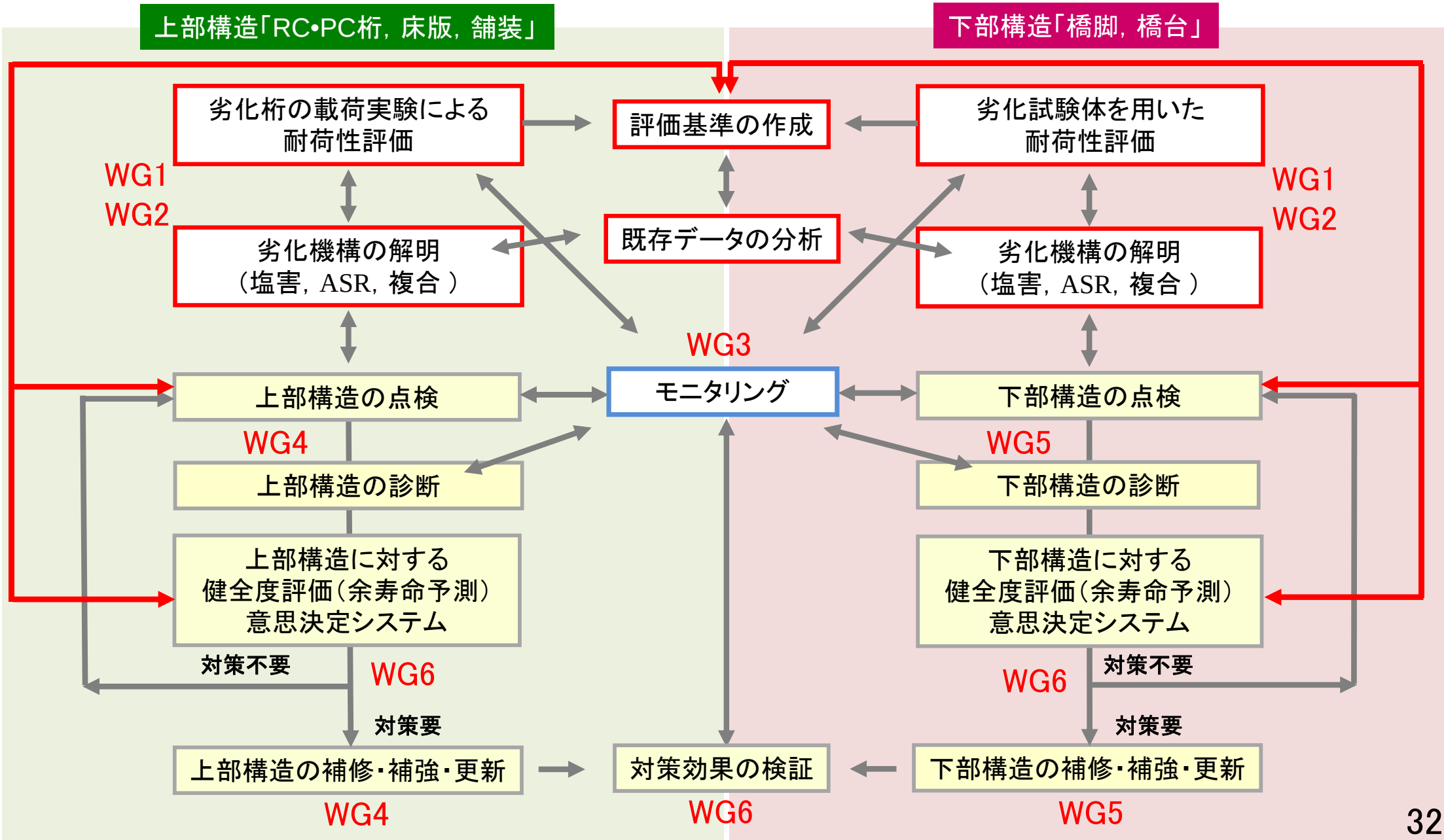
産学官民の研究体制のもと，
早期劣化が生じた北陸地方のコンクリート橋を対象とした
トータルマネジメントシステムを確立

地方道路橋のモデルケース

◆ WG 1～WG 7 による研究開発の実施体制

WG 1　塩害による劣化機構の解明と構造部材の材料・構造性能評価
WG 2　ASRによる劣化機構の解明と構造部材の材料・構造性能評価
WG 3　橋梁の材料・構造性能評価とモニタリング技術の開発
WG 4　上部構造の健全度評価と材料・構造性能評価に基づく補修・補強技術の開発
WG 5　補修・補強材料の性能評価と簡易かつ経済的な新技術の開発
WG 6　メンテナンスマネジメントシステムの確立
WG 7　全体統括

メンテナンスマネジメントシステム



研究組織

研究開発グループ
金沢大学

鳥居和之　教授
前川幸次　教授
近田康夫　教授
桝谷浩　教授
五十嵐心一　教授
北川章夫　教授
上野敏幸　准教授
小林俊一　准教授
深田宰史　准教授
久保善司　准教授
徐 晨　助教
藤生慎　助教
安川直樹　特任助教

共同研究グループ(1)
金沢工業大学

宮里心一　教授
木村定雄　教授
徳永光晴　教授
武市祥司　教授

共同研究グループ(2)
石川高等専門学校

西澤辰男　教授
冨田充宏　教授
福留和人　教授

共同研究グループ(3)
長岡技術科学大学

宮下剛　准教授

共同研究グループ(4)
福井大学

鈴木啓悟　講師

産学官民の連携による研究体制

若手研究者，技術者の人財育成

大学（学）

東京大学

金沢工業大学

石川高専

岩手大学

金沢大学
電子情報分野との連携

長岡技術科学大学

富山県立大学

福井大学

非営利団体（民）

北陸道路研究会

北陸コンクリート診断士会

次世代センサ協議会

ブリッジゼミほくりく

研究支援（産）
建設会社
コンサルタンツ会社

建設会社　㈱日本ピーエス
㈱ピーエス三菱
オリエンタル白石㈱
東亜建設工業㈱　　川田工業㈱

コンサルタンツ会社　㈱日本海コンサルタント
大日本コンサルタント㈱　　㈱フルテック
㈱ 国土開発センター　　アルスコンサルタンツ㈱
朝日エンヂニヤリング㈱
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋㈱

インフラ管理（官）

石川県

富山県

福井県

北陸電力㈱

日本原子力研究開発機構

NEXCO中日本

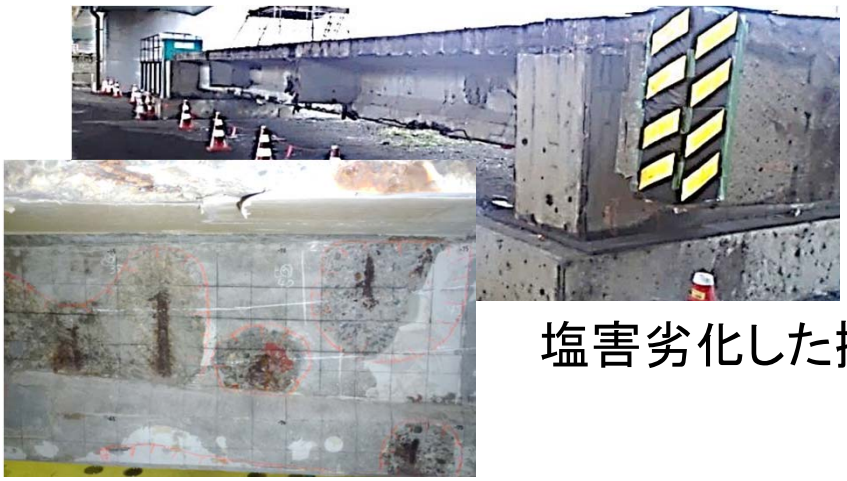
J-POWER（電源開発㈱）

研究開発の内容（WG 1）

WG 1　塩害による劣化機構の解明と構造部材の材料・構造性能評価

- ◆ 塩害劣化させたPC試験桁の作製と塩害劣化促進
- ◆ 塩害劣化橋梁の地域マップの作成
- ◆ **塩害・ASR・中性化による複合劣化の影響評価**
- ◆ **PC試験桁および撤去PC桁の載荷試験と腐食調査**
- ◆ **フライアッシュコンクリートの地域的標準化による塩害抑制対策**

①塩害劣化させた試験桁
②塩害劣化した撤去PC桁



塩害劣化した撤去桁

破壊試験

非破壊モニタリング
一連のプロセスを
数値解析に反映

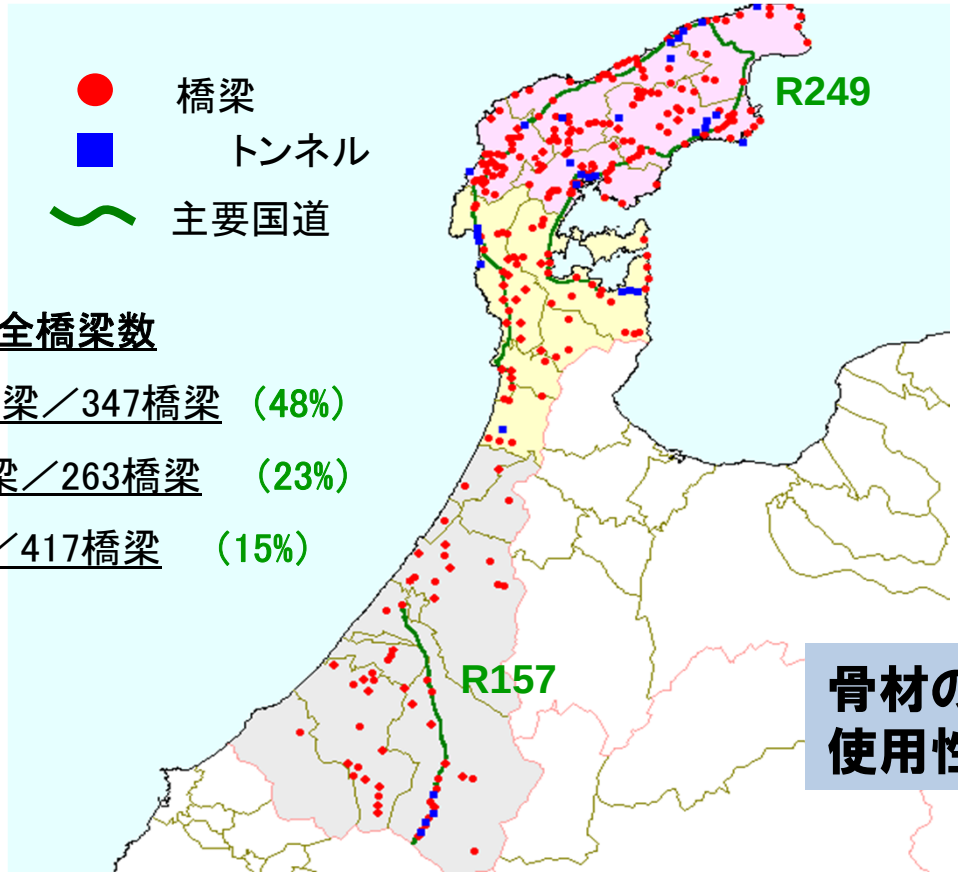
全体構造の耐荷力

使用性，耐荷性の評価判定ができ，目視点検に活用できる簡便，
経済的な非破壊モニタリング技術の開発 （全国の地方道路橋で活用可能！）

研究開発の内容（WG 2）

WG 2　ASRによる劣化機構の解明と構造部材の材料・構造性能評価

- ◆ **ASR劣化させたPC試験桁の作製**
- ◆ **北陸地方におけるASR劣化橋梁の地域マップの作成**
- ◆ ASR劣化させたPC試験桁の載荷試験と使用性・耐荷性の検証
- ◆ RC・PC構造物のASR膨張量の影響に関する実験および解析による検討
  ASR劣化PC試験桁の膨張挙動の解析（東大グループとの連携）
- ◆ **フライアッシュコンクリートの地域的標準化によるASR抑制対策の確立**



ASR橋梁数／全橋梁数

奥能登：166橋梁／347橋梁　（48%）

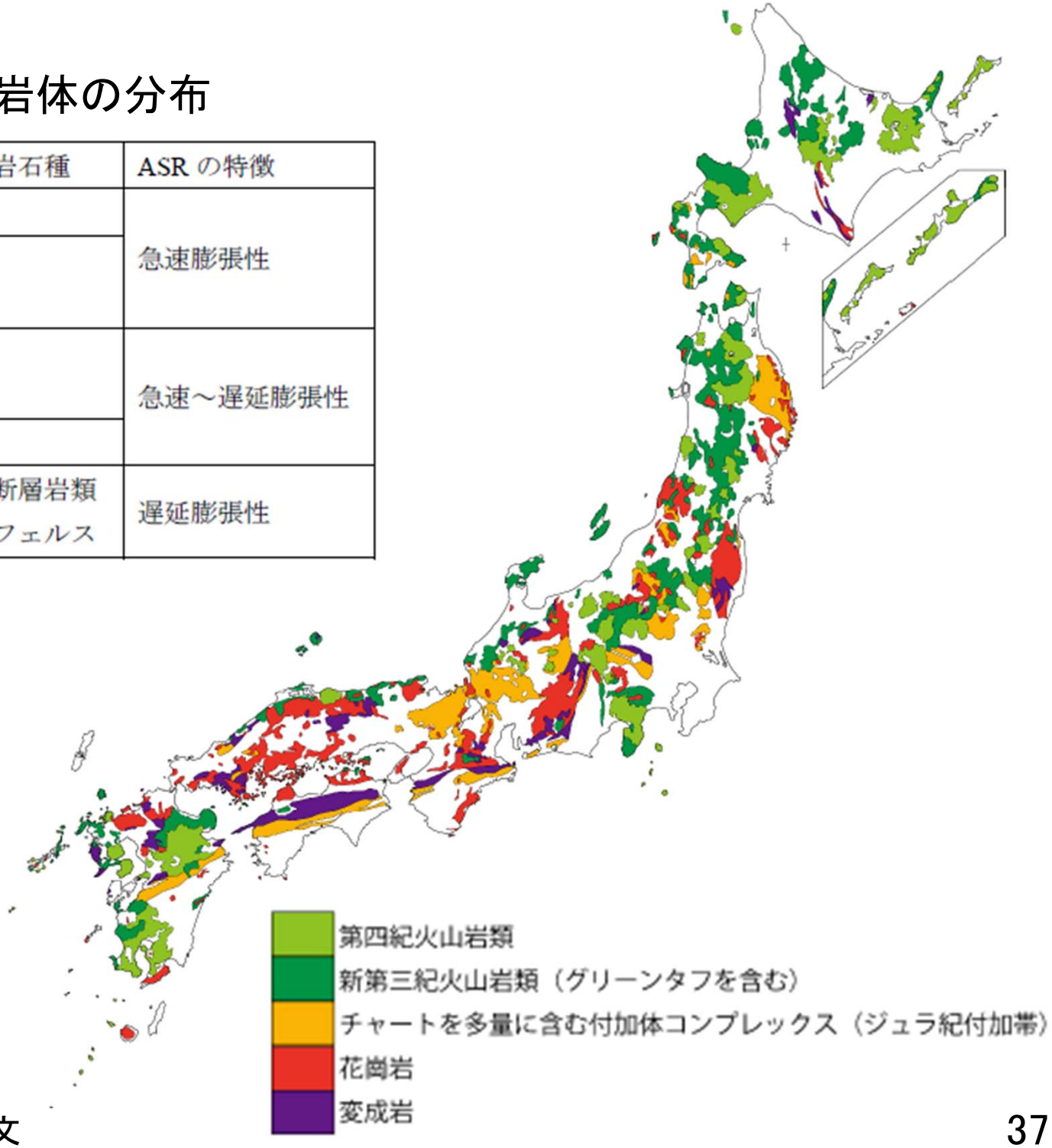
中能登：61橋梁／263橋梁　（23%）

加賀：64橋梁／417橋梁　（15%）

骨材の岩石・鉱物学的特徴，ASR劣化度と部材の使用性・耐荷性の関係を解明

ASRと関連の深い地層や岩体の分布

反応性鉱物	国内で骨材利用の多い主な岩石種	ASR の特徴
オパール	火山岩類など	急速膨張性
クリストバライト トリディマイト	火山岩類 （安山岩，流紋岩など）	
ガラス	火山岩類 （安山岩，流紋岩など）	急速～遅延膨張性
カルセドニー	チャート	
隠微晶質石英 微晶質石英	チャート，広域変成岩類，断層岩類 砂質・泥質岩起源のホルンフェルス	遅延膨張性



出典：WG2メンバー　廣野真一氏　学位論文

研究開発の内容（WG 3）

WG 3　橋梁の材料・構造性能評価とモニタリング技術の開発

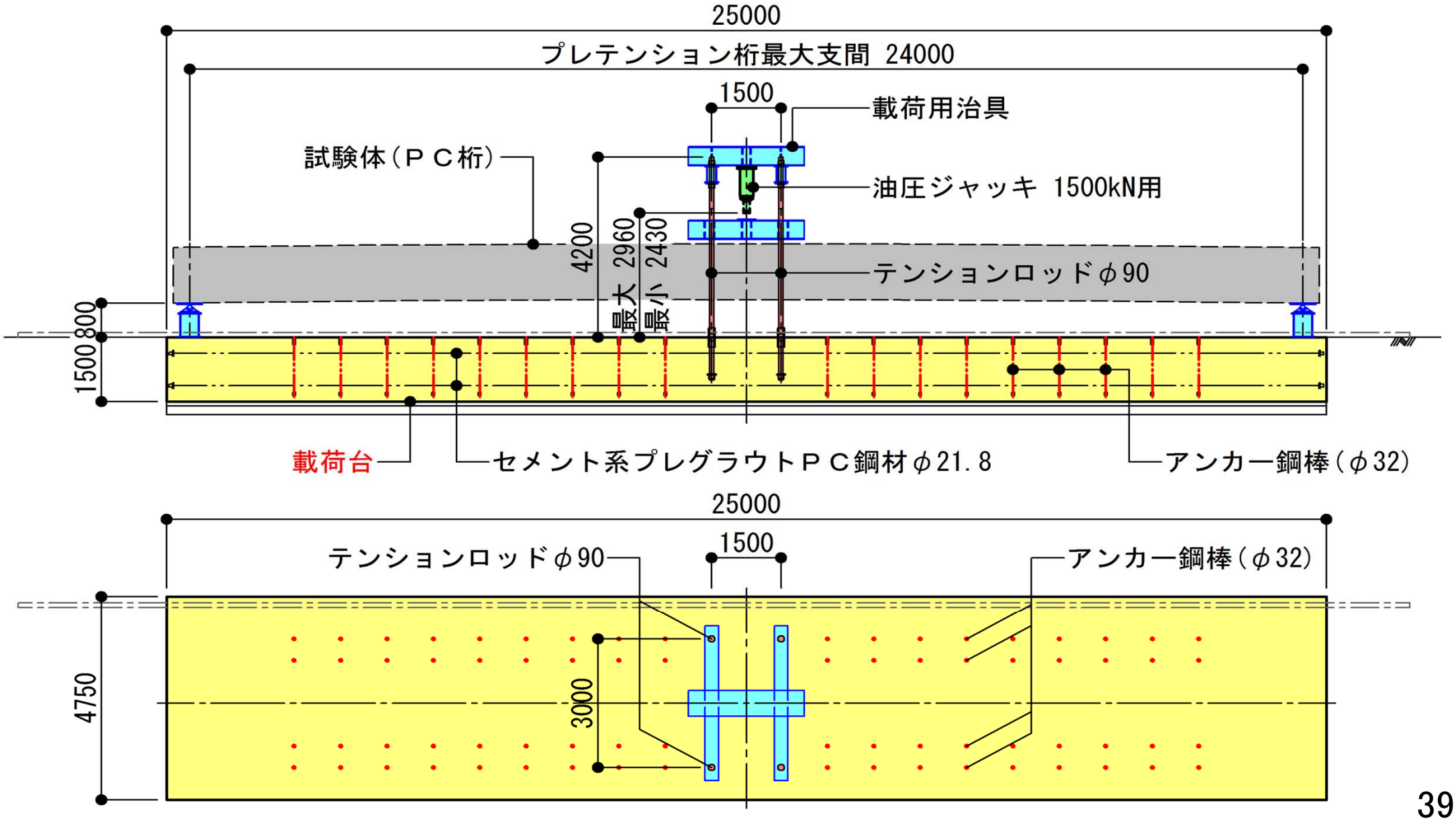
- ◆ 劣化橋梁における静的および動的載荷試験による現況調査
- ◆ 劣化橋梁の変状を把握できるモニタリングシステムの開発
- ◆ モニタリングの結果に基づいた橋梁の劣化原因及び使用性・耐荷性の推定
- ◆ 塩害・ASR劣化した撤去桁およびPC試験桁の載荷試験（WG1，WG2との連携）
  (独)土木研究所，構造物メンテナンス研究センターグループとの連携
- ◆ 早期劣化した実橋梁を対象とした長期モニタリング

塩害劣化したPCラーメン橋（ゲルバー橋）

ASR劣化したPCラーメン橋（ゲルバー橋）

大型構造物載荷試験装置（平成27年３月完成）

●プレテンション方式PC桁の最大支間（JIS）まで試験可能



FAコンクリート(15%)を用いた
大型構造物載荷試験装置架台の寒中での打設
(H27.2.27)

研究開発の内容（WG 4）

WG 4　上部構造の健全度評価と材料・構造性能評価に基づく補修・補強技術の開発

- ◆ 点検データによる現況把握とRC床版の塩害・ASR劣化機構の解明
- ◆ 数値解析に基づく塩害・ASR劣化に伴うRC床版の耐荷力評価
  （東大グループとの連携）
- ◆ コンクリート系の上部構造に対する健全度評価方法と限界状態の評価方法
- ◆ 新素材を用いた複合材料による高耐久性プレキャストRC床版の技術開発

劣化したコンクリート床版の水平ひび割れ

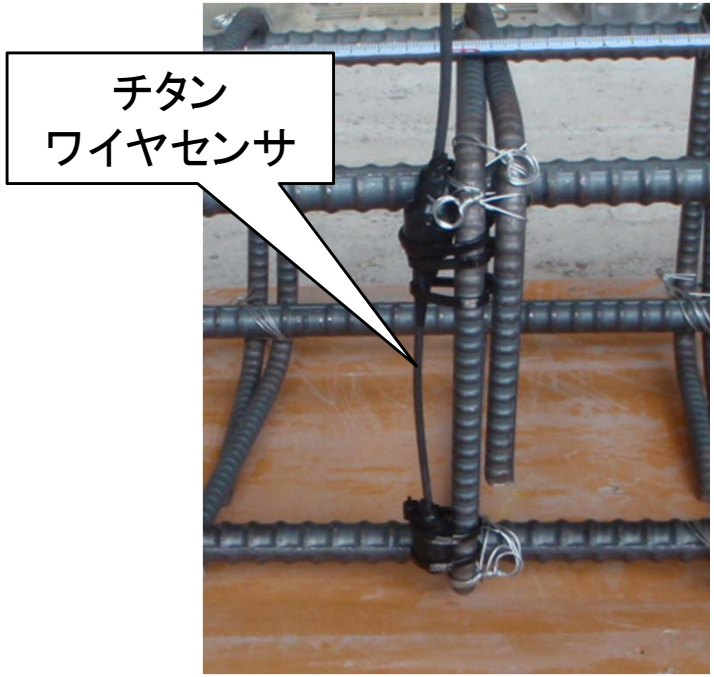
衝撃荷重載荷法を用いた舗装・RC床版の健全度評価

研究開発の内容（WG 5）

WG 5　補修・補強材料の性能評価と簡易かつ経済的な新技術の開発

- ◆ 既存塩害・ASR劣化橋梁に適用した**補修材料の耐用年数の推定**
- ◆ 簡易かつ経済的な**浸透性撥水剤の技術開発**
- ◆ 簡易かつ経済的な**電気防食工法の技術開発**
- ◆ **過酷環境下における補修・補強工法の技術開発**

簡易かつ経済的な
電気防食工法の技術開発



チタンワイヤセンサ：　錆びないチタンを参照電極の代わりとして用いた使い捨てセンサ
（鉄筋が錆びた時の電位差を測定する）

研究開発の内容（WG 6）

WG 6　メンテナンスマネジメントシステムの確立

- ◆ 道路橋（北陸3県管理）の点検，補修・補強履歴，劣化状況のデータベース化
- ◆ **膨大な道路橋（北陸3県管理）点検データを用いた健全度評価法，補修優先順位決定法および予算平準化手法の提案**
- ◆ **県を跨ぐ重要路線の早期劣化に対応したメンテナンスマネジメント（共通仕様）の提案**
- ◆ 東大グループによる国全体を対象としたマネジメントと北陸地方を対象とした本研究（早期劣化）との整合性を図り，市町へのダウンスケールを行う.

健全度		グループA		グループB		グループC	
		A－S	A	B－S	B	C－S	C
5	良	定期点検	定期点検	定期点検	定期点検	定期点検	定期点検
4		補修検討（予防保全）	定期点検	要監視	定期点検	定期点検	定期点検
3		補修検討（予防保全）	補修検討（予防保全）	補修検討（予防保全）	要監視	要監視	定期点検
2		補修検討	補修検討	補修検討	補修検討	補修検討	要監視
1	悪	大規模補修・更新	大規模補修・更新	大規模補修・更新	大規模補修・更新	大規模補修・更新	大規模補修・更新

A 緊急輸送道路 跨道橋・跨線橋

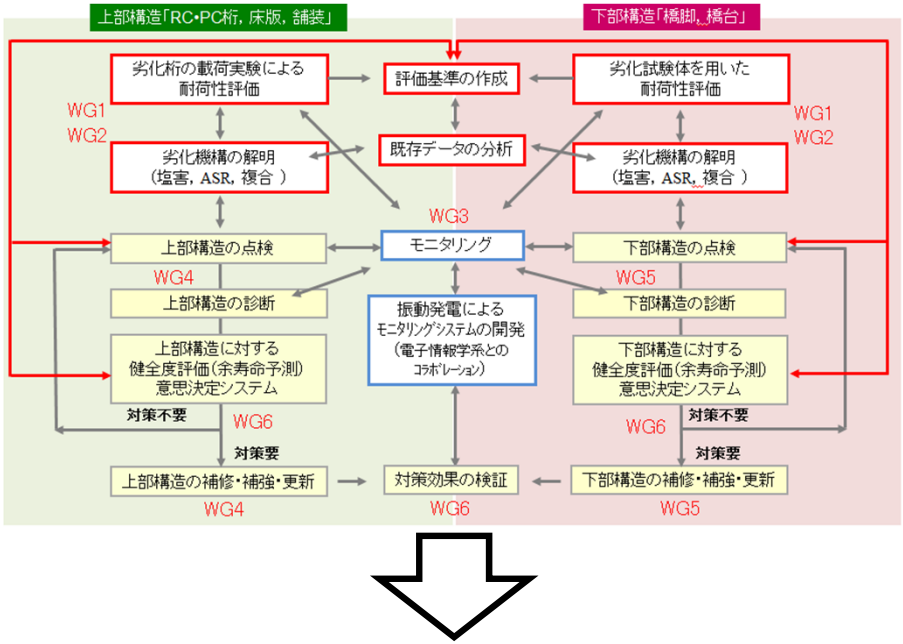
B 上記以外の国道 ・主要地方道 上記以外の県道（橋長15m以上）

C 橋長15m未満の橋梁

S 塩害・ASR等による劣化が顕著な橋梁

出口戦略

メンテナンスマネジメントシステム



全国のモデルケース！

データベース化による
技術情報の蓄積

研究協力体制の強化

- 大学院自然科学研究科にPS三菱を連携先とする**連携講座「構造物メンテナンス講座」**を平成27年4月に設置して研究体制の充実・強化を図る

継続性の確保

- **若手研究者，技術者，地方の人財を育成・強化 （円滑な世代交代と技術の継承）**

情報発信

- **シンポジウムの開催**により，北陸地方の道路橋の維持管理に関する最新情報を発信
- 北陸発，地方道路橋の問題解決の先駆けとなる**報告書および維持管理マニュアルの刊行**

これからの連携について

(1) 点検・モニタリング・診断技術の研究開発

(A) 先端的な計測技術による点検・モニタリング・診断技術の研究開発
(独) 人 土木研究所構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ　石田雅博　上席研究員

(2) 構造材料・劣化機構・補修・補強技術の研究開発

(A) 各種研究機関の密接な連携による次世代インフラ構造材料の総合的・実用化研究開発
独立行政法人 物質・材料研究機構 元素戦略材料センター　土谷浩一　センター長

(D) 構造物の補修・補強・更新に関する個別材料技術の研究開発
岡山大学大学院　環境生命科学研究科　綾野克紀　教授

(5) アセットマネジメント技術の研究開発

(A) 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
東京大学 大学院工学系研究科　前川宏一　教授

(B) 特定の基幹インフラ施設を対象にした維持管理・更新・マネジメント技術の開発
（河川、港湾、鉄道、上下水道、農業分野などの施設・構造物が対象）
独立行政法人 港湾空港技術研究所　加藤絵万　構造研究チームリーダー

さざれ石（角閃石石灰岩，気多大社）