

JSPE
2022年4月16日

自治体向けインフラマネジメント支援と データサイエンスを援用した診断技術

福井大学 工学系部門 建築建設工学講座 准教授
鈴木啓悟

自己紹介

専門分野

土木工学：構造力学、維持管理工学、橋梁工学

研究内容

橋梁の維持管理に資する診断技術、モニタリング技術

- 超音波探傷
 - 橋梁モニタリング
- } 大量のデータを扱う分野
データサイエンスの援用

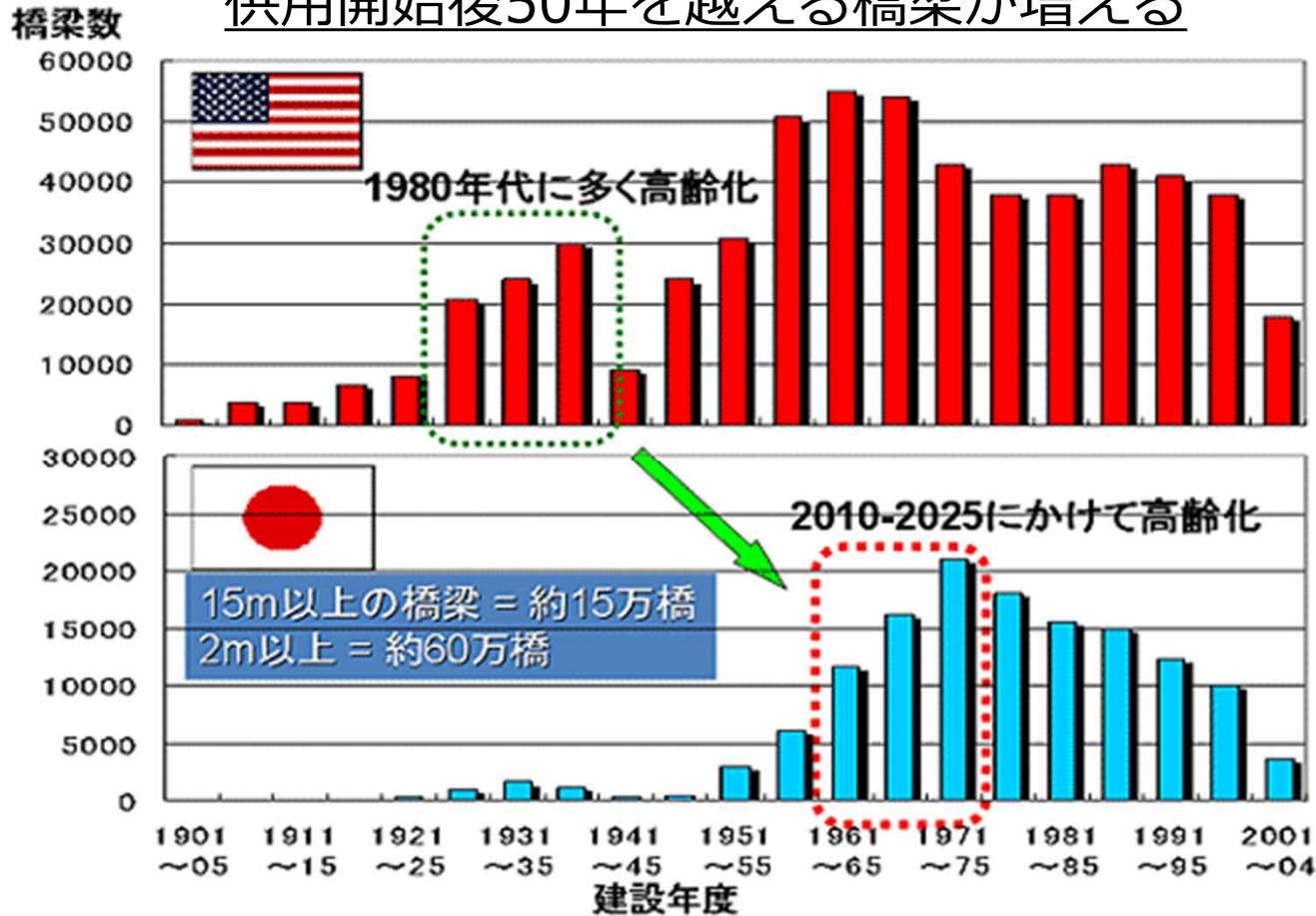
アウトライン

- インフラストラクチャーをめぐる社会的背景
 - 50年経てば老朽化？
 - 笹子トンネル 天井板崩落事故
 - 橋梁の疲労損傷
 - 橋梁の腐食損傷
- 橋梁定期点検要領の策定
- 北陸SIPの紹介
- 今後の橋梁維持管理へ向けて
 - 画像から腐食減肉レベルの評価(研究)
 - 画像からの橋梁上部工ASR判定(研究)
 - ドローンを用いた橋脚傾斜評価の試み(研究)

我が国の社会基盤は高度経済成長期に多く整備された

橋梁の例

供用開始後50年を越える橋梁が増える



出展 (独)土木研究所 構造物メンテナンス研究センターHP

橋やダムなどの社会資本▶

建設から50年以上経過する社会資本の割合

	2009年度	2019年度	2029年度
橋	8	25	51
河川管理施設	11	25	51
港湾岸壁	5	19	48
下水道管など	3	7	22

(注) 単位%、数値は概数

7月16日に閣議報告する予定。国交省が所管する道路や港湾などの社会資本について、国と地方の事業費の見通しを分析した。高速道路は道路会社が維持管理するため対象から外した。白書原案は今後20年のうち

老朽化で更新・維持費急増

国土交通省は16日の政策会議分科会で、国土交通白書の原案を公表した。高度成長期に集中的に整備した橋やダムなどの社会資本が今後、急速に老朽化すると指摘。2060年度までの50年間で更新費は約190兆円に達すると試算した。公共事業などの水準が現状のままとした場合、37年度には維持管理・更新費が膨らんで新規事業に回す財源がゼロになるとしている。

国土交通省は16日の政策会議分科会で、国土交通白書の原案を公表した。高度成長期に集中的に整備した橋やダムなどの社会資本が今後、急速に老朽化すると指摘。2060年度までの50年間で更新費は約190兆円に達すると試算した。公共事業などの水準が現状のままとした場合、37年度には維持管理・更新費が膨らんで新規事業に回す財源がゼロになるとしている。

国交省試算「50年で190兆円必要」

国交省は16日の政策会議分科会で、国土交通白書の原案を公表した。高度成長期に集中的に整備した橋やダムなどの社会資本が今後、急速に老朽化すると指摘。2060年度までの50年間で更新費は約190兆円に達すると試算した。公共事業などの水準が現状のままとした場合、37年度には維持管理・更新費が膨らんで新規事業に回す財源がゼロになるとしている。

建設から50年以上経過する社会資本の割合

	2009年度	2019年度	2029年度
橋	8	25	51
河川管理施設	11	25	51
港湾岸壁	5	19	48
下水道管等	3	7	22

(注) 単位%、数値は概数

建設から50年以上経過すれば老朽化するのか？

鋼構造の使用環境やメンテナンスによって寿命は変わる

Coalbrookdale Bridge 英国 1779年 支間30.5m

最初の鉄製の橋

www.GreatBuildings.com

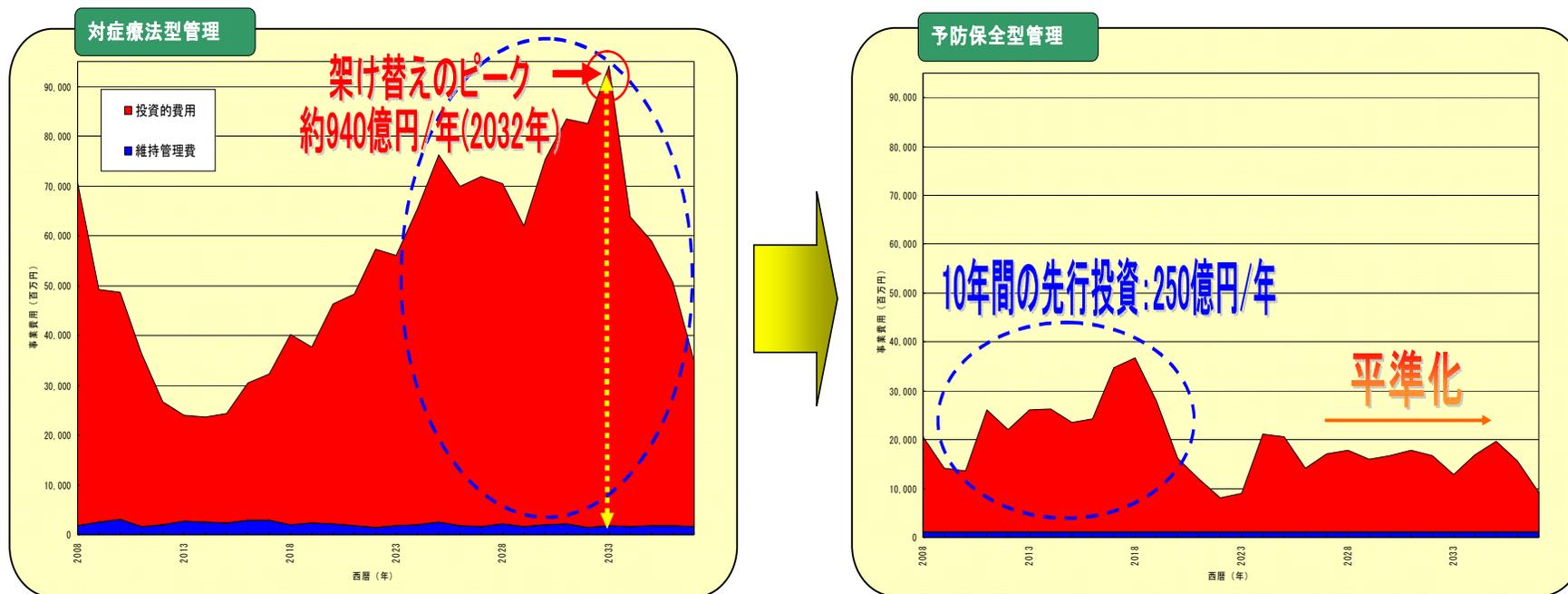


Eads Bridge 米国セントルイス市 1874年 支間158.5m

最初の全鋼製橋梁

鉄道も供用中

老朽化したら修繕？それとも架け替え？



30年間橋梁総事業費 縮減額: 1兆円 **30年間橋梁総事業費**
 1兆6000億円 → 6000億円

東京都建設局：橋梁の管理に関する中長期計画、平成21年3月より

社会資本は国民の財産。財産を守るためには何が必要か？

既存構造物の諸問題と対応

構造物の老朽化

笹子トンネル天井板落下事故
橋梁の腐食損傷・疲労損傷

定期点検要領の策定

笹子トンネル天井板落下事故

10

平成24年12月2日午前8時03分頃発生
中央自動車道大月JCT～勝沼IC（山梨県）
死者9名、負傷者2名



笹子トンネルの空調

天井板の役割：換気
隔壁による排気ガス排出と外気取入れの機能分離

排気

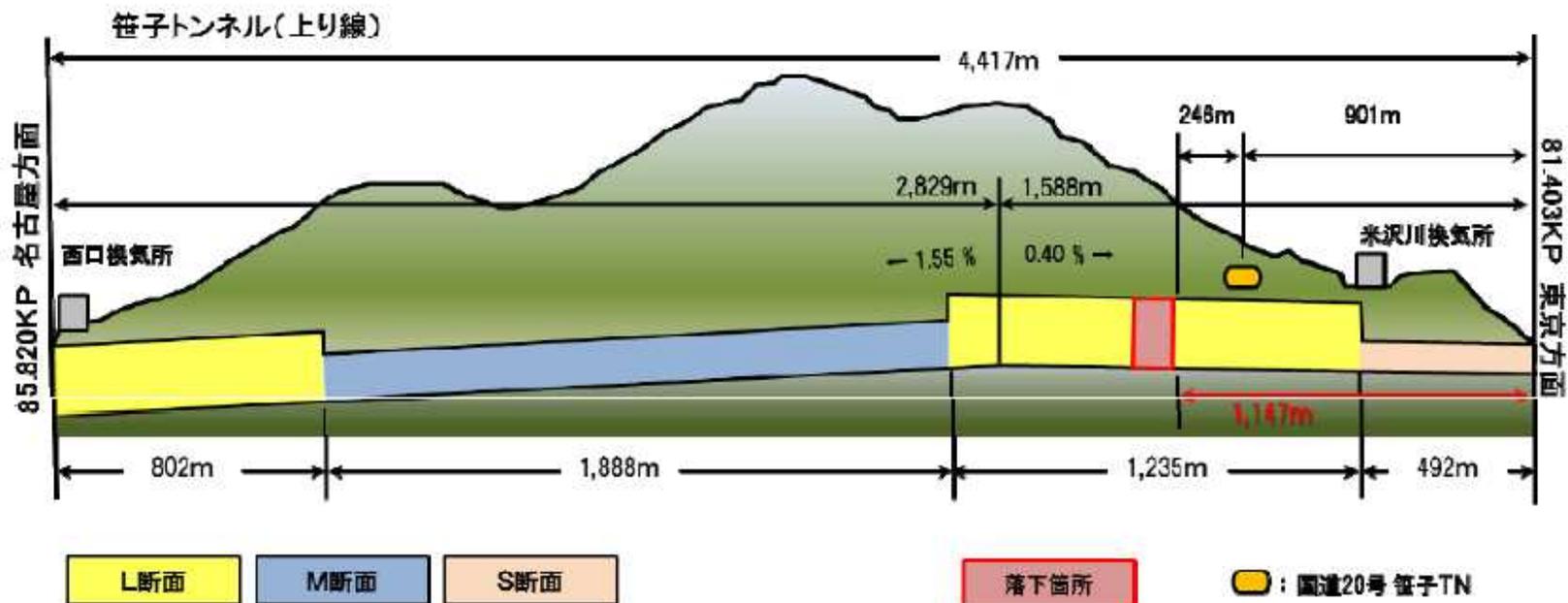
隔壁

外気流入



トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書
<http://www.mlit.go.jp/common/001001299.pdf>

笹子トンネルの断面構造

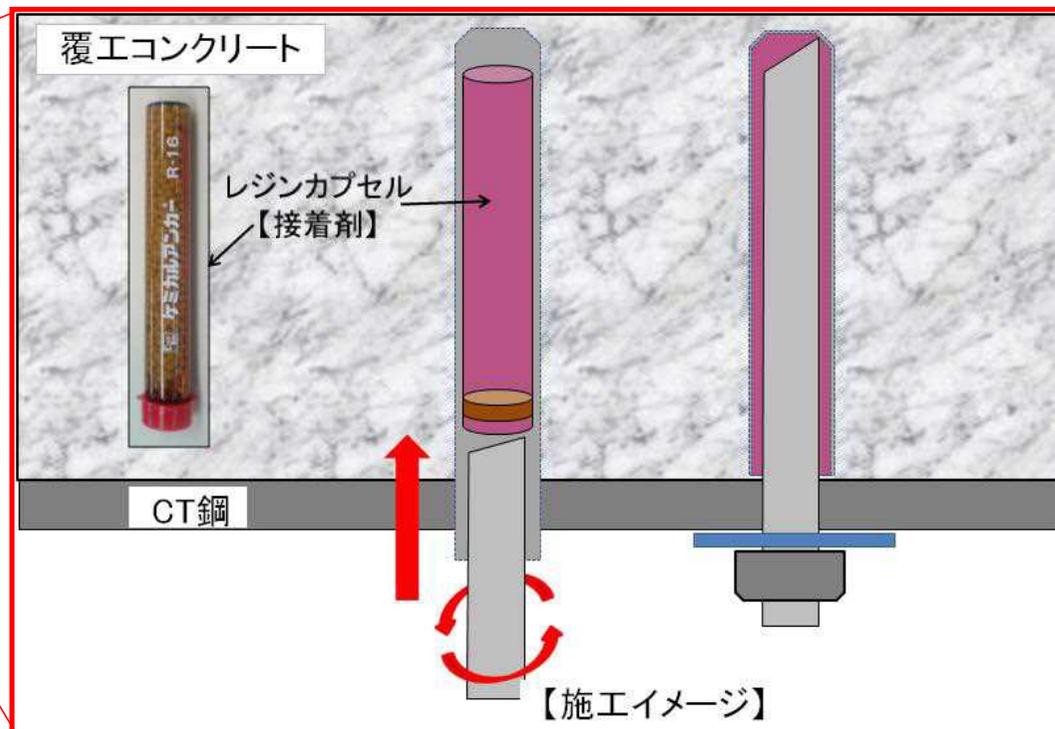
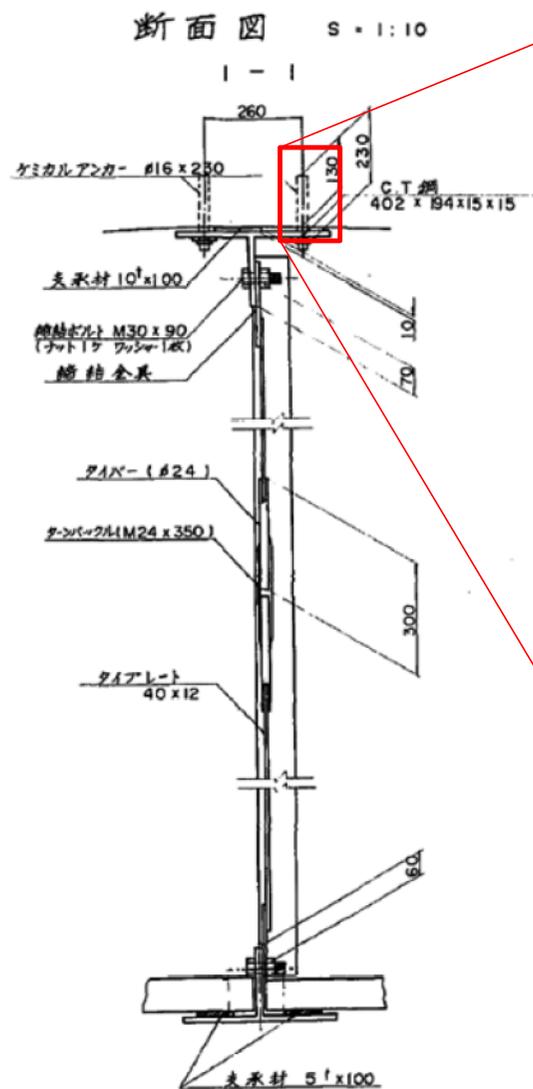


断面が最も大きいL断面にて事故が発生

断面	高さ
S断面	2,360mm
M断面	3,570mm
L断面	5,370mm

トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書
<http://www.mlit.go.jp/common/001001299.pdf>

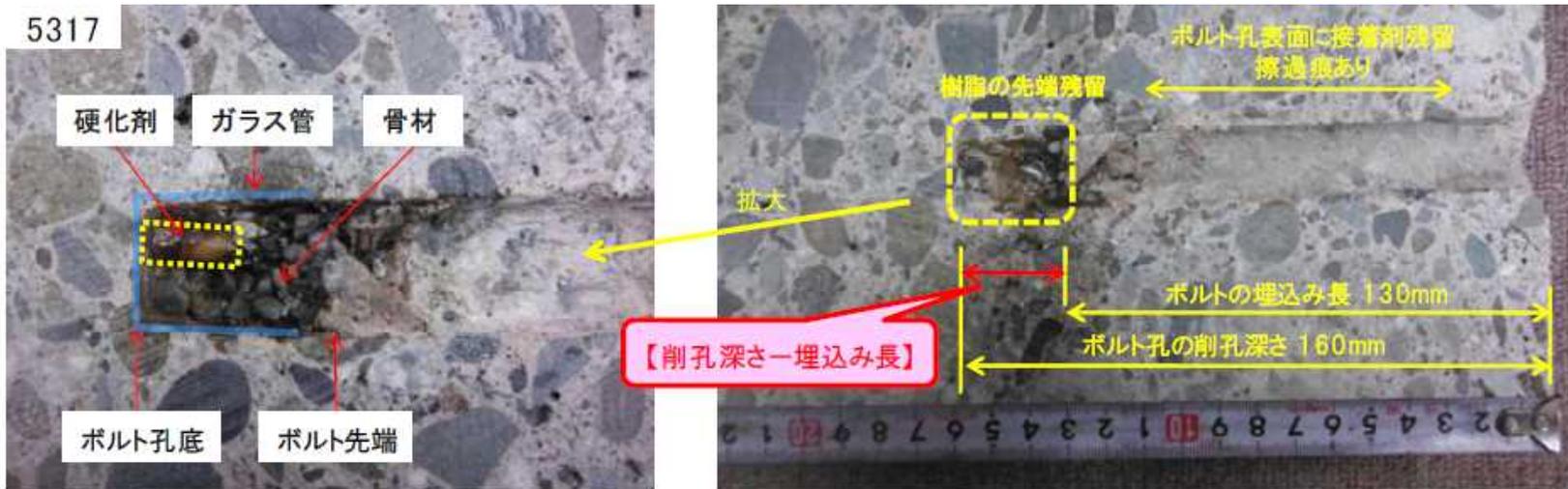
吊り天井の定着構造



1. コンクリート孔あけ
2. カプセル(接着剤)の挿入
3. ボルトの挿入、接着剤の充填

トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書
<http://www.mlit.go.jp/common/001001299.pdf>

ボルト孔とボルト先端の位置



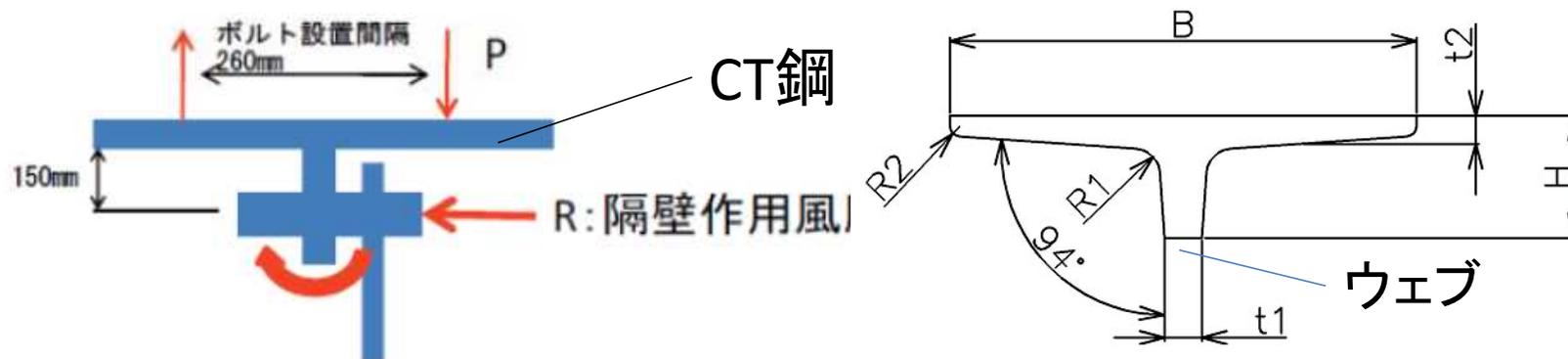
ボルト孔削孔深長さ > ボルト埋込長さ

ボルト孔底とボルト先端が一致しなければ、樹脂の一部が攪拌されないままボルト先端に残留する

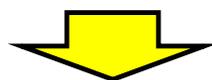
トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書
<http://www.mlit.go.jp/common/001001299.pdf>

風荷重の影響

15



隔壁板に作用する水平方向の風荷重がCT鋼に伝達され、CT鋼のウェブが曲げられることにより、天頂部接着系ボルトに生じる引張力が影響を受ける



走行車両より生じる風の影響により設計荷重のみ考慮した場合の約1.6倍の引張力がボルトに作用

トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書
<http://www.mlit.go.jp/common/001001299.pdf>

橋梁の高経年化に伴う諸問題

疲労損傷



大型重量車両の高頻度走行

腐食損傷



飛来塩分・ぬれ時間

PC鋼線の破断



施工不良・滞水

複合劣化



重量車両・凍結防止剤

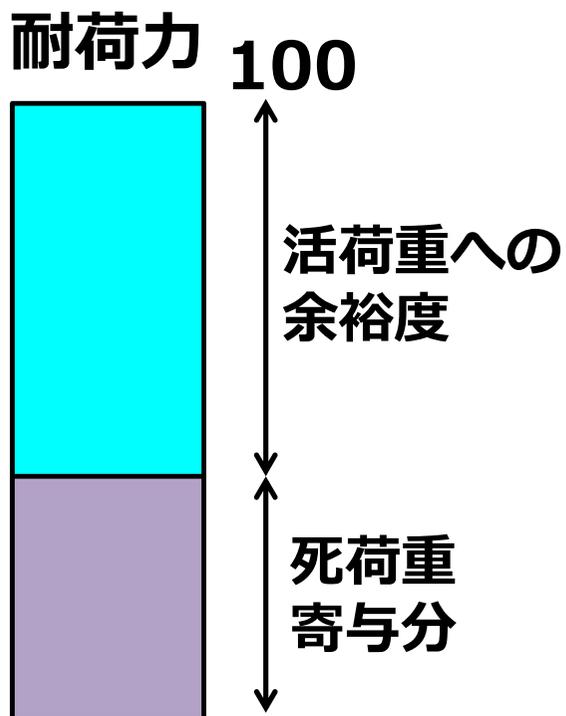
疲労損傷

17

疲労き裂の発生と進展



重量車両（法定総重量25tf、法定軸重10tf）
通行回数
構造ディテール（応力集中を招く構造、溶接品質）



道路橋

活荷重レベル
通行頻度

- 時代とともに変化
- 道路によって多様
- 違法重量車両

構造パフォーマンス
の現況把握

外力となる荷重レベルの設定
重要

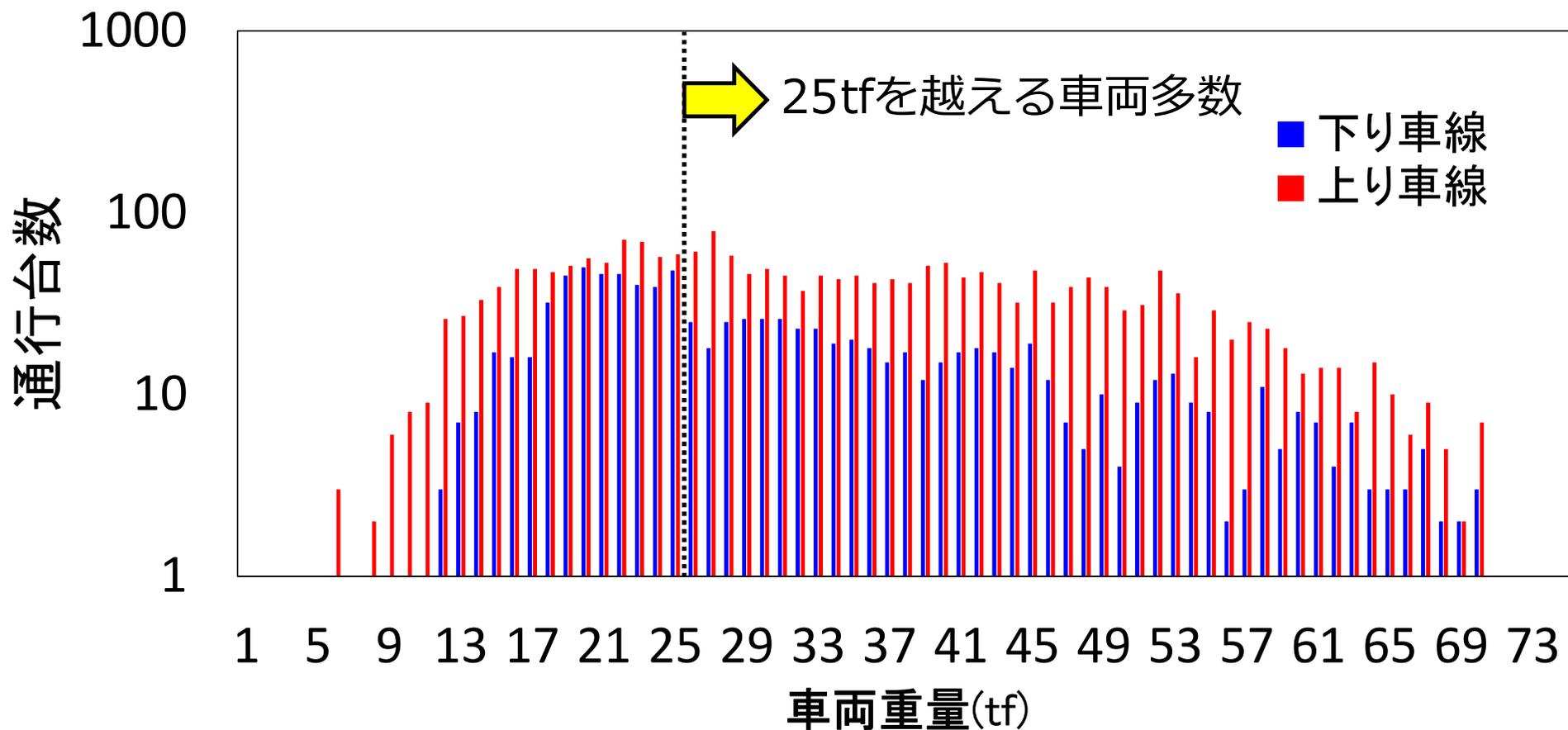


重量のレベル

設計時の想定と異なる可能性

主要道路の交通実態（7日間）

20tf以下はカウント外



腐食損傷



- 気温 (80°Cで腐食速度max)
- 湿度
- 降雨・風
- 日照
- 飛来塩分
- 凍結防止剤
- 亜硫酸ガス
- 構造ディテール

鋼材の減肉

腐食損傷進行の結果

沖縄県国頭郡国頭村 辺野喜橋

21



依田照彦先生
鋼橋の損傷事例とメカニズム

老朽化したコンクリート橋



耐荷力の低下により過大なたわみ発生



鉄筋腐食→鉄筋断面膨張→コンクリートはく離

橋梁点検要領「健全性の診断」

対象橋梁 : 道路橋の橋長2.0m以上の橋

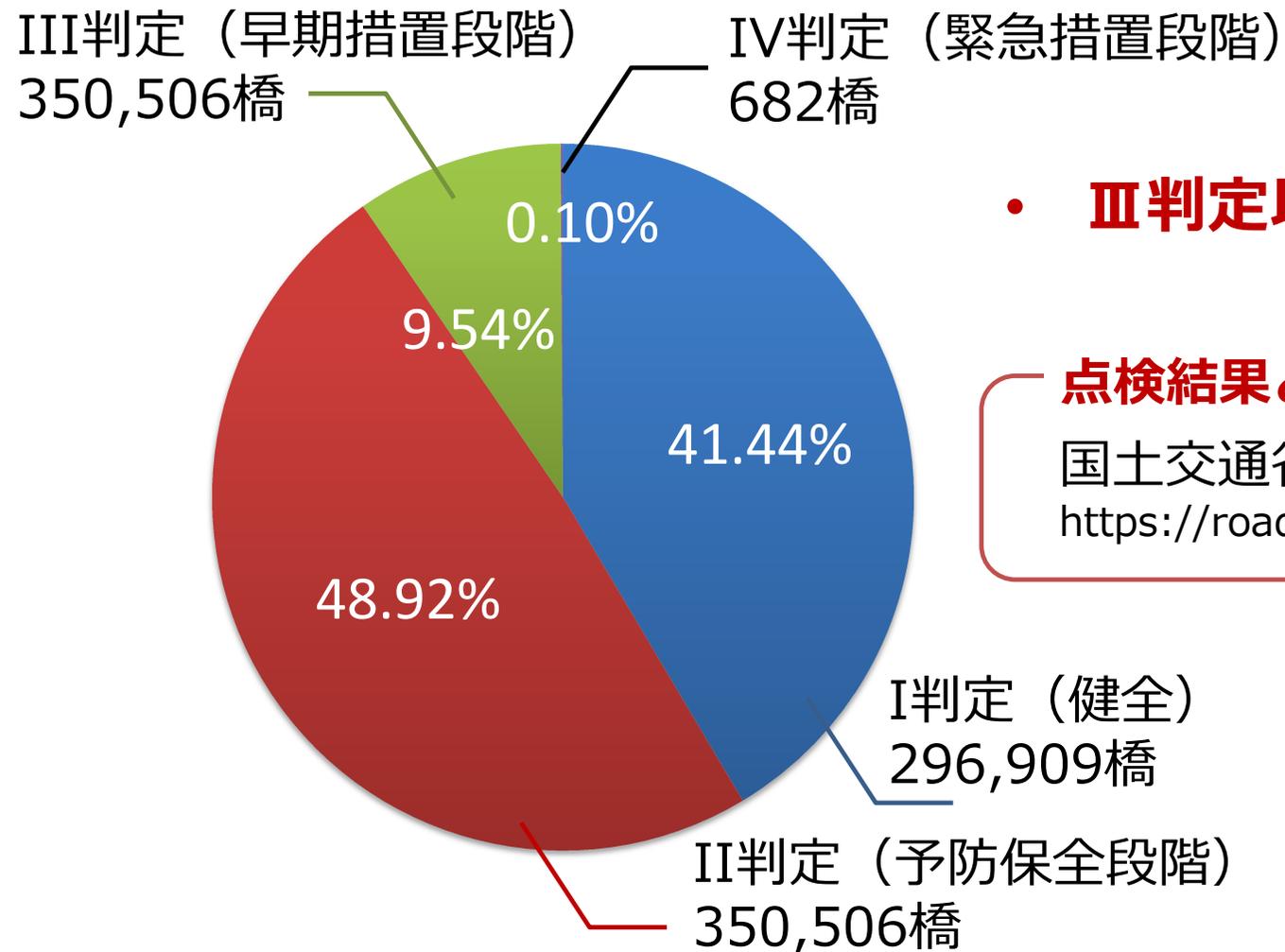
定期点検の頻度 : 供用開始後2年以内に初回を行い、2回目以降は、5年に1回の頻度で行うことを基本とする。

点検の方法 : 近接目視点検（手の届く範囲で目視）

健全性の診断：

区分		定義
I	健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	道路橋の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

全国716,466橋の点検結果 2014~2018年度（1巡目点検）



- **Ⅲ判定以上の橋梁を優先的に補修**

点検結果と補修状況

国土交通省道路構造物マップ

<https://road-structures-map.mlit.go.jp/Map.aspx>

統計出展元

https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobochozen/yobochozen_maint_h30.html

判定IV 緊急措置段階の事例

腐食減肉進行により適切な耐荷力を有していない²⁵



判定IV 緊急措置段階の事例

腐食減肉進行により適切な耐荷力を有していない²⁶



IV判定
通行止め
撤去

5年サイクルの定期点検は2巡目 2019~2023

27

新技術導入を含めた点検・診断へ

4. 状態の把握

【法令運用上の留意事項】

定期点検を行う者は、健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を、近接目視により把握するか、または、**自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができる情報が得られると判断した方法により把握しなければならない。**

道路橋定期点検要領〔H31.2改正〕

点検の高度化、省力化へ向けて新技術導入を促進



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

代表：鳥居和之（金沢大学）
主査：宮里心一（金沢工業大学）
深田宰史（金沢大学）
近田康夫（金沢大学）

共同研究校：長岡技大、福井大学、石川高専
富山県立大学、長岡高専

そもそもSIPとは？



総合科学技術・イノベーション会議が自らの司令塔機能を発揮して、**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すことを通じて、**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**

期間：平成26年度～

母体組織： **内閣府**
Cabinet Office, Government of Japan

アセットマネジメントに関わる技術の地域への実装支援

- 維持管理に関わるニーズと技術開発のシーズとのマッチングを重視し、新しい技術を現場で使える形で展開。
- 予防保全による維持管理水準の向上を低コストで実現。
- 魅力ある継続的な維持管理市場を創造。

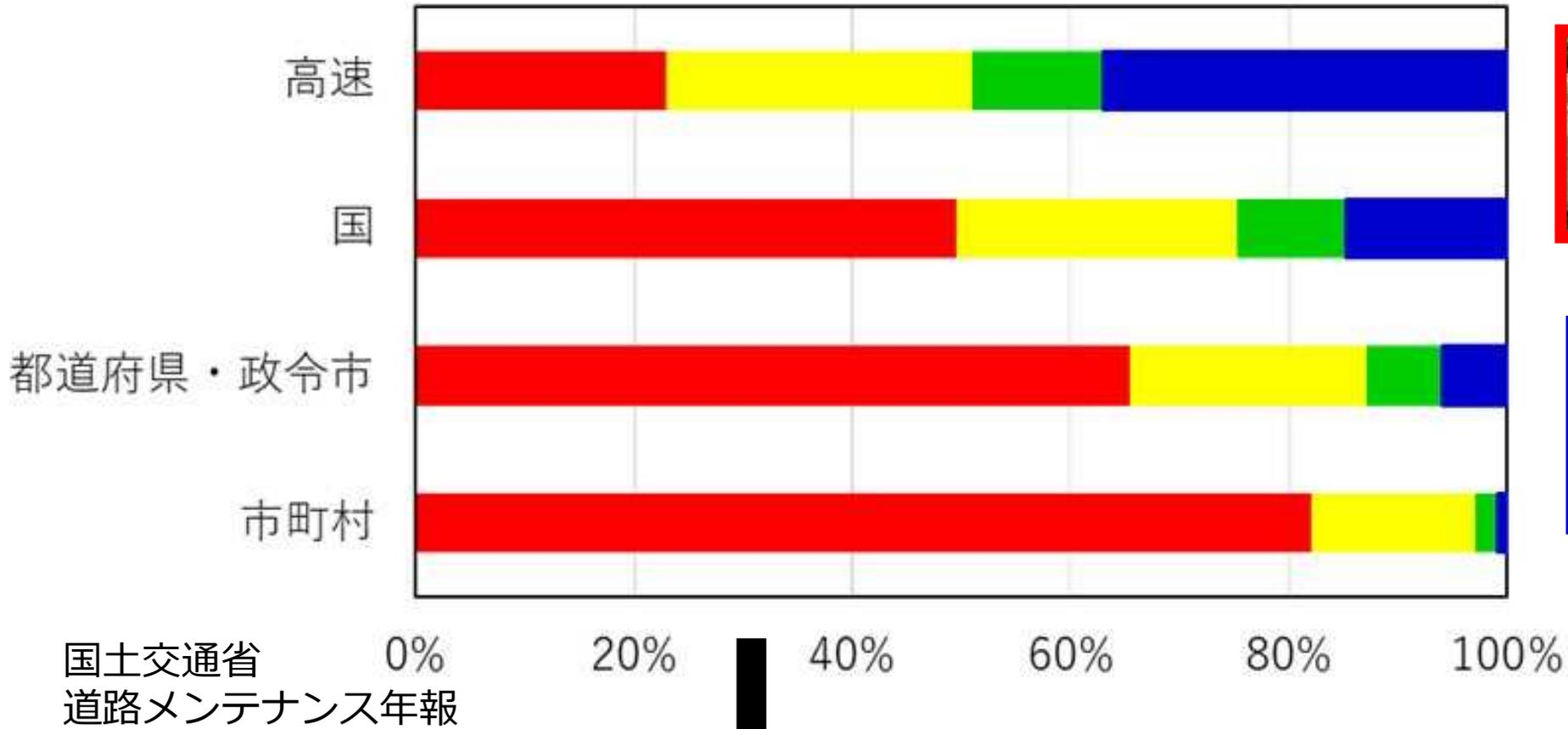
	組織
1	金沢大学
2	東京大学
3	岐阜大学
4	長崎大学
5	琉球大学
6	東北大学
7	関西大学
8	愛媛大学
9	北海道大学
10	鳥取大学
11	北海道立総合研究機構



解決すべき北陸地域の道路橋の早期劣化の実例

自治体別の管理橋梁の長さ

■ 2~15m ■ 15~50m ■ 50~100m ■ 100m~

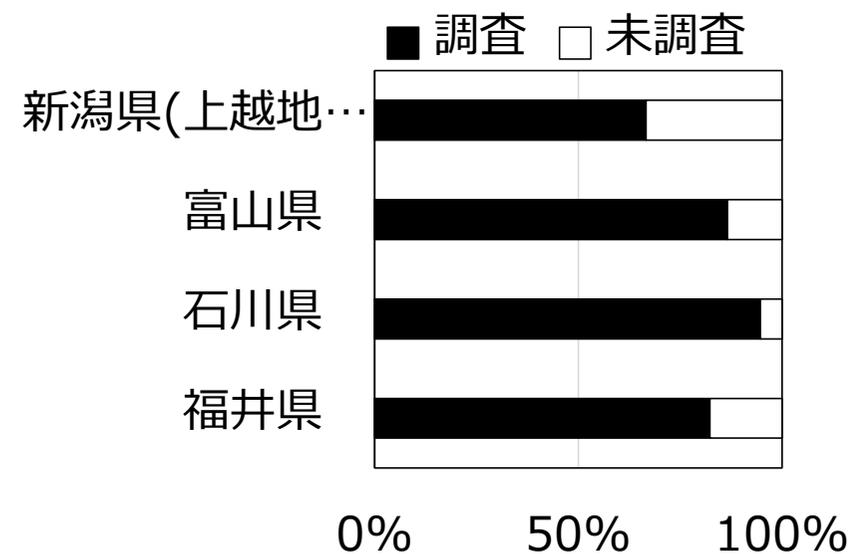


市町村では短支間、特に北陸では農業用水を跨ぐ5m以下の橋梁が多い。

ヒアリング調査の実績



- 新潟県上越地方、富山県、石川県および福井県の**全47市町**(全体の87%)を訪問
- 道路橋の維持管理者へヒアリング
- 実情と課題を把握

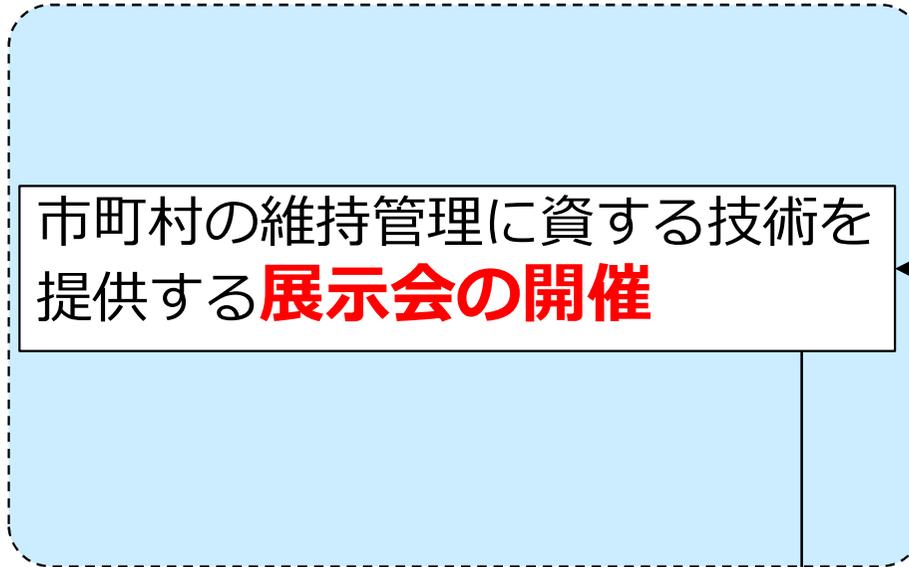


市町の課題

原因	No	課題
人材	①	橋梁に詳しい職員が少なく ，また橋梁の維持管理に専念できず，さらに異動が度々あるため，OJTによる職場内での 人材育成は難しい 。
支援	②	最新技術に関する情報を得る機会が少ない 。
劣化	③	事後保全さえも苦慮しており，予防保全への移行を計画できない。
	④	塩害やASRおよびその複合による劣化が進行 している。
	⑤	初期不具合が存在 し，劣化が進行している。
点検	⑥	点検の容易な橋梁に対しては，技術力に自信のない職員等が点検したい。
	⑦	点検，診断および措置が一連になった手引きを欲する。 https://www.youtube.com/channel/UCehokIaJxpd0OD0JofAQgVA
補修	⑧	適切な補修方法とその効果が分からない 。
	⑨	できる限り補修せずに延命し，安全性や使用性を満足できなくなったら更新したい。

官学連携の構築

技術情報を提供する仕組み



企画・運営

支援



協力

企画・運営

補修の試験施工

合理的な点検・診断・補修の抽出

短支間橋梁に対する維持管理の手引きの提案

策定

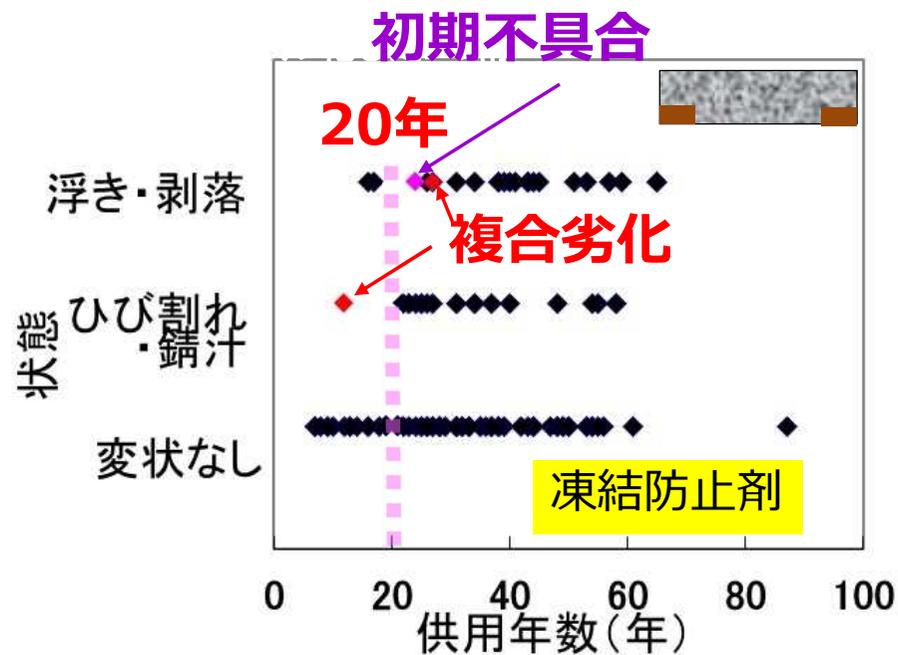
北陸SIPを基盤とする大学・高専の教員

維持管理手順の合理化を図る仕組み

北陸SIPの目的

人員不足
財源不足

- 地方自治体に適応する、点検→診断→補修・補強・更新の手法を構築
- 継続的に利活用される仕組みの立ち上げ



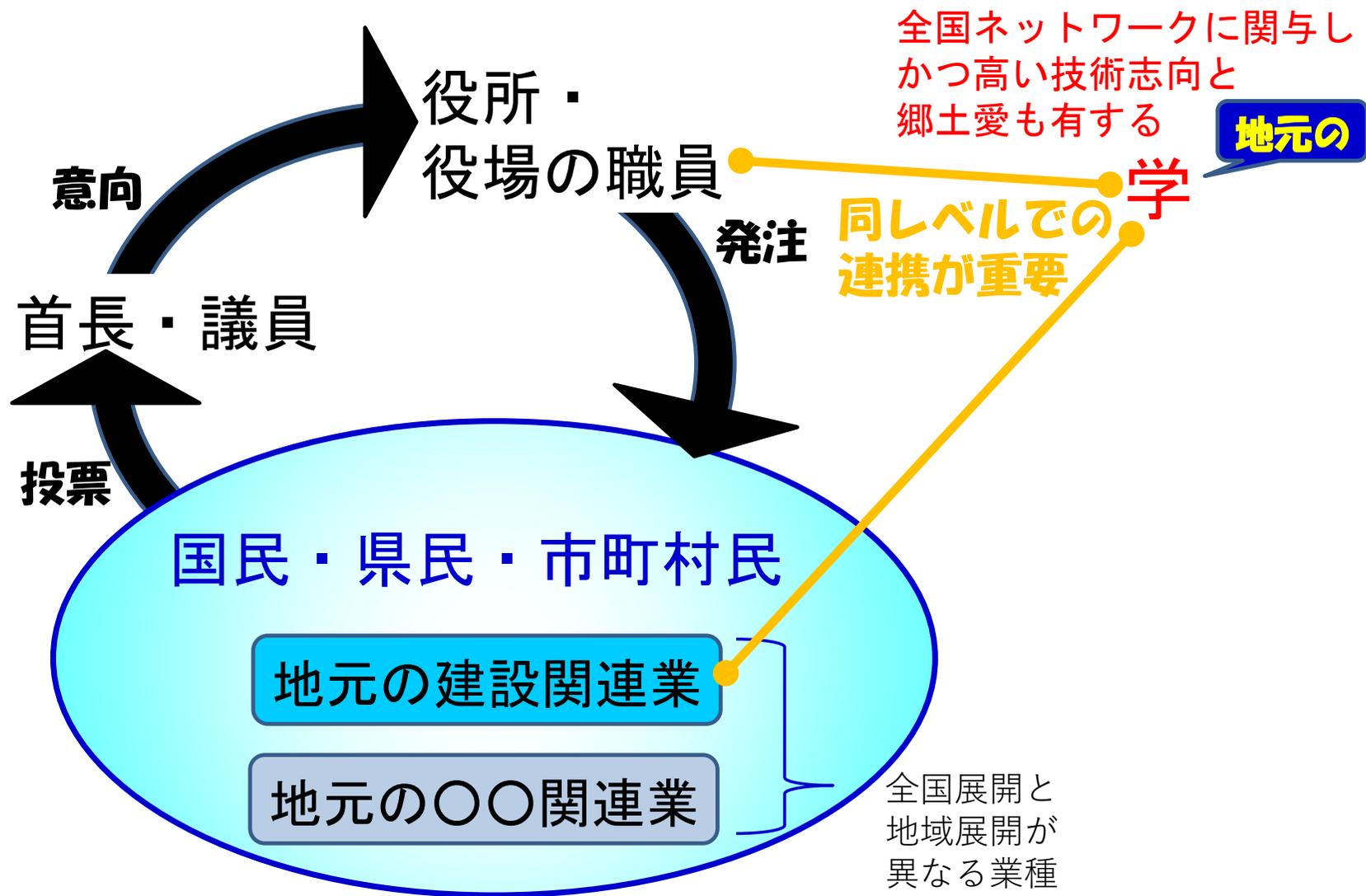
再劣化事例

市町のニーズと、北陸SIPで提案する対応策

原因	ニーズと課題
支援体制	道路メンテナンス会議で、技術的な知見を得にくい。 ⇒相談しやすい関係づくり
	道路橋DBへの登録料は高価だが、フィードバックは少ない。 ⇒維持管理の合理化に資するDBの設計・運用
計画	橋梁長寿命化修繕計画の改定に参考となるモデルがわからない。⇒支援
	更新も含むLCCを踏まえ、アセットマネジメントの最適化を図りたい。
	予防保全への移行を希望するが、現時点では計画できない。
	対策しなくても現時点で安全なので、予防保全の必要性を見い出せない。
点検	管理対象から外したくても、橋を撤去できない。
	重要性や形式などを鑑みて、点検プロセスを変化させたい。⇒例えば、SIP技術を用いてスクリーニング後、部分的・重点的な近接目視点検。
措置	点検費用を確保するため、補修費用を捻出しづらい。⇒点検で要補修と判定された場合、同時に簡易な補修設計と補修を実施。
	適切な補修方法とその効果が分からない。⇒維持管理レベルに応じた、有効な補修工法を紹介
風土	田舎度が高いほど、住民や政治家は新設を重視し、既設管理を軽視する。

定義 予防保全 = 劣化が目視で確認できる前に、進行を予防する。

地方創生に好影響を及ぼす産官学の連携



橋梁グルーピングと維持管理レベル

グループ	内容	維持管理レベル	
A	緊急輸送道路の橋梁 跨道橋、跨線橋 橋長15m以上の橋梁	高	<p>高速道・国道 県道 市町村道</p>
B	上記以外で、例えば橋長5～15mの橋梁	少し高	
C	上記以外で、例えば橋長5m未満の橋梁 50年以上に亘り健全な橋梁 ボックスカルバート製の橋梁 剥落しても支障のない橋梁	中	
D	設計耐用年が近く、交通量の少ない橋梁 過疎地域で今後廃止の可能性がある橋梁	供用最終年を提示し、その後に撤去	
S	塩害やASRによる劣化が懸念される橋梁	特に高い	

土木学会示方書の
観察維持管理

橋梁グルーピングと維持管理レベル

判定区分	グループA		グループB		グループC	
	A-S	A	B-S	B	C-S	C
良 I	部分的な 予防保全					
↑ II	小規模補修	部分的な 予防保全	部分的な 予防保全			
↓ III	簡易補修後に 大規模補修	簡易補修後に 大規模補修	詳細調査 必要に応じて 簡易補修後に 大規模補修	小規模補修	点検強化 通行規制	点検強化
悪 IV	更新	更新	更新	更新	更新	更新

点検型式

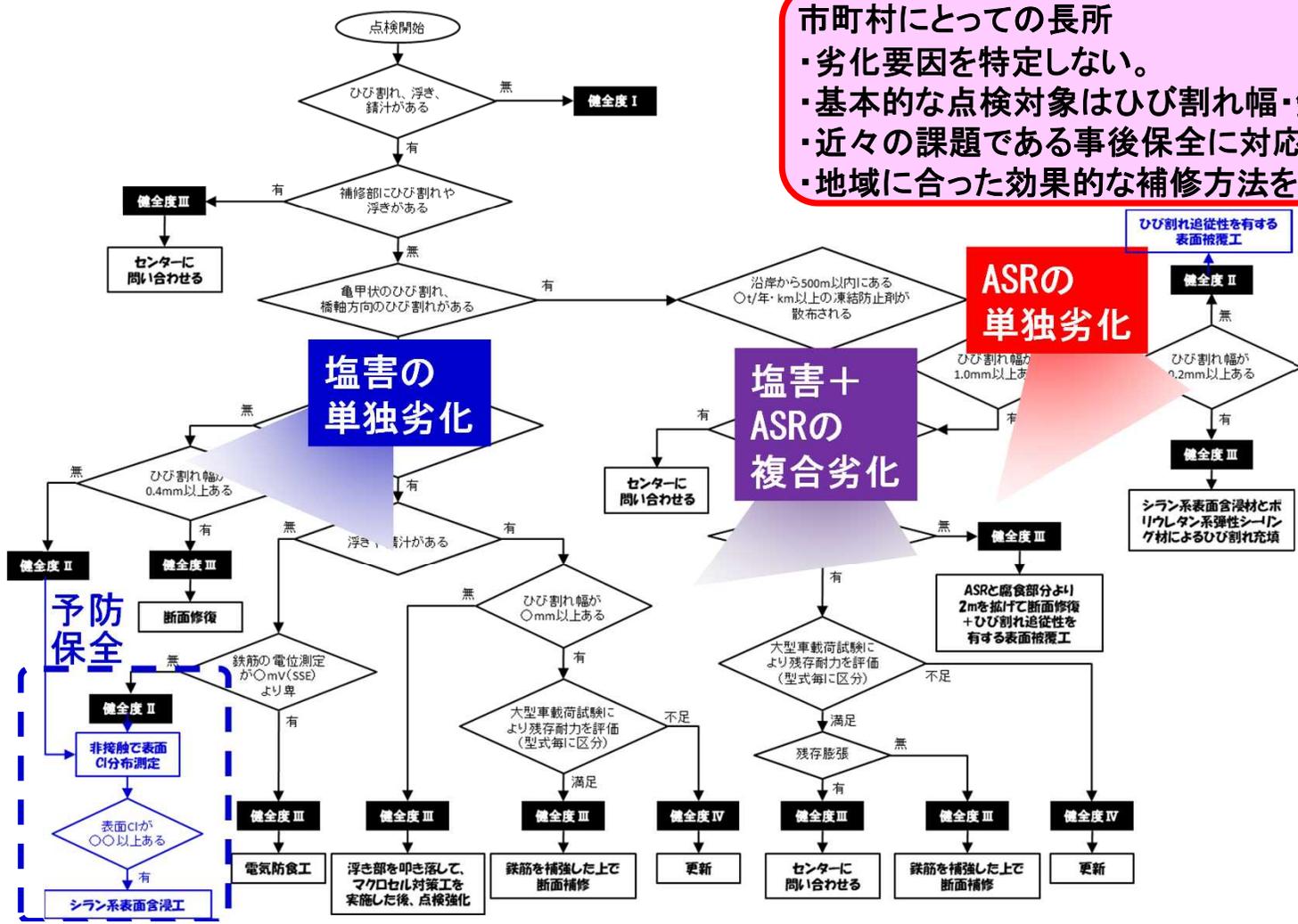
- ①  簡易型⇒タブレットによる点検（直営あるいは地元の建設会社）
- ②  標準型（特殊な足場等を必要とせず近接目視が可能な橋梁）
⇒コンサルなどによる点検（包括的な一括発注）
- ③ 特殊型（橋梁点検車やロープアクセスなどが必要となる橋梁）
⇒ローテクロボットを用いた点検（将来的に認められたら）

各自治体でアレンジ可能な 北陸版 維持管理の手順 (例)

北陸版 コンクリート製道路橋の維持管理の手順例 (グループB -S)

市町村にとっての長所

- ・劣化要因を特定しない。
- ・基本的な点検対象はひび割れ幅・錆汁・浮き等だけである。
- ・近々の課題である事後保全に対応している。
- ・地域に合った効果的な補修方法を選択できる。



塩害の
単独劣化

塩害+
ASRの
複合劣化

ASRの
単独劣化

予防
保全

タブレットによる点検の合理化

新潟県で実用され始めているタブレットやスマホを基盤とし、北陸版の点検手順に沿った運用方法へ改良する。

特長

- 前回のひび割れ等の劣化・損傷のデータを見ながらチェックできる。
- 誤った点検や見落とし易い劣化・損傷を分析し、点検者へ注目箇所や注意点を知らせられる。
- 地元の長岡高専の井林教授が開発しているため、使用者の要望に迅速に対応できる。
- 持ち運び可能なため、災害後の初動検査に活用できる。



- ① 糸魚川市では、地元の建設会社の診断士が5～10mの道路橋をタブレットを用いて点検する。
- ② 一部橋梁だけでも、直営で点検することにより、職員が課題を発見する機会となる。

北陸SIPの教員による集約・撤去に関する研究事例

道路橋定期点検要領における措置

- 補修や補強などの対策 😊
- 通行規制・通行止め
- 撤去
- 定期的あるいは常時の監視 😊

国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）の第2次計画

- 集中的な修繕実施による「予防保全」への本格転換
- 新技術や官民連携手法の導入促進
- 集約・再編の促進
- 個別施設計画の内容の充実化
- 点検要領などの基準類の充実

今後の橋梁管理へ向けて

- 機械学習・深層学習の援用



- UAV・点検ロボットによる点検の一部代替



- 疲労損傷, 腐食損傷の生じやすい路線, 地域を詳細に把握



効率的なモニタリング, 診断



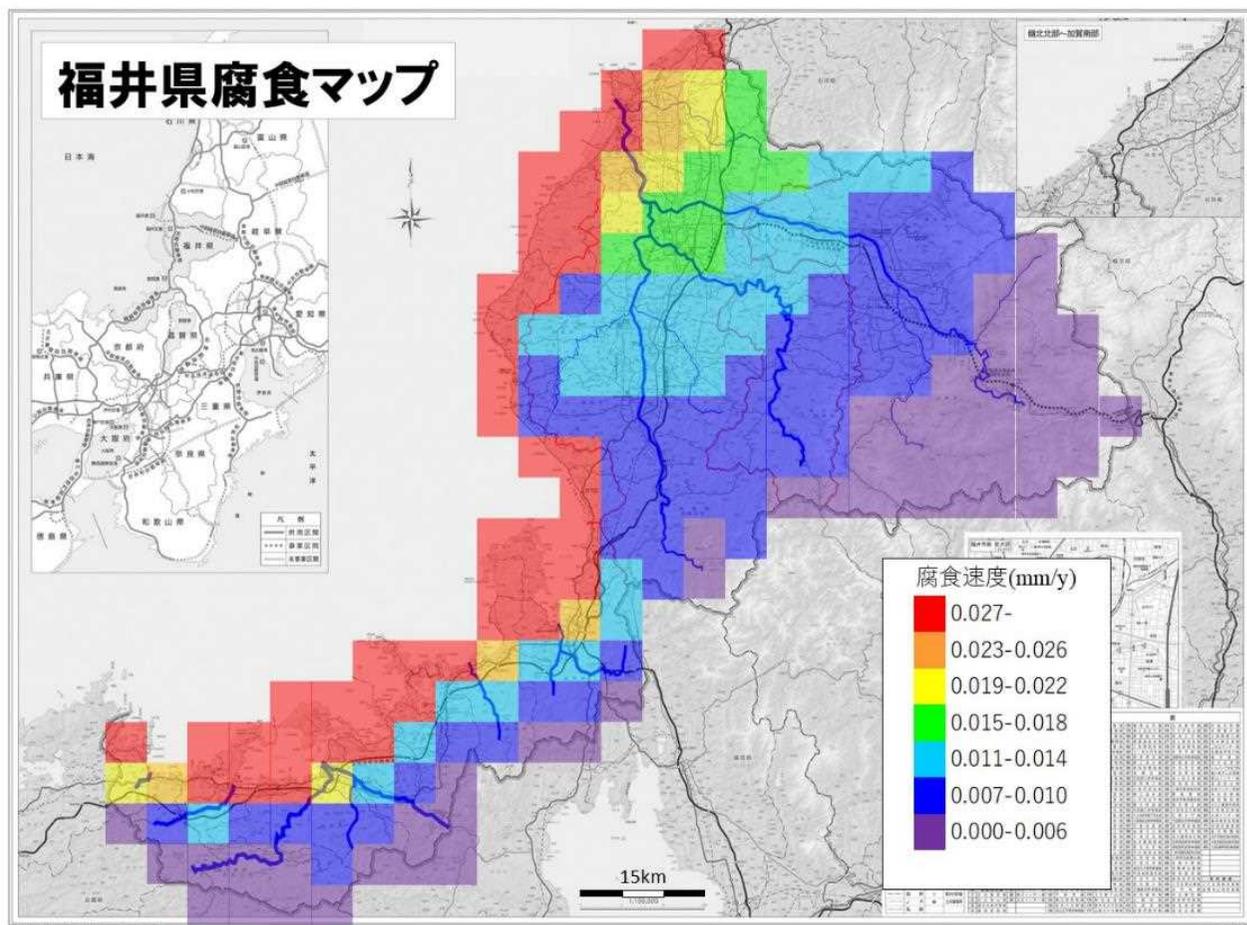
**客観的判断性の向上
人手不足の解決**



弾力的な維持管理 (私見)

腐食劣化しやすい地域を把握 深層学習の援用例

44



判定 I & 腐食速度小地域

5年に1回の近接目視点検



点検の弾力化もOK？

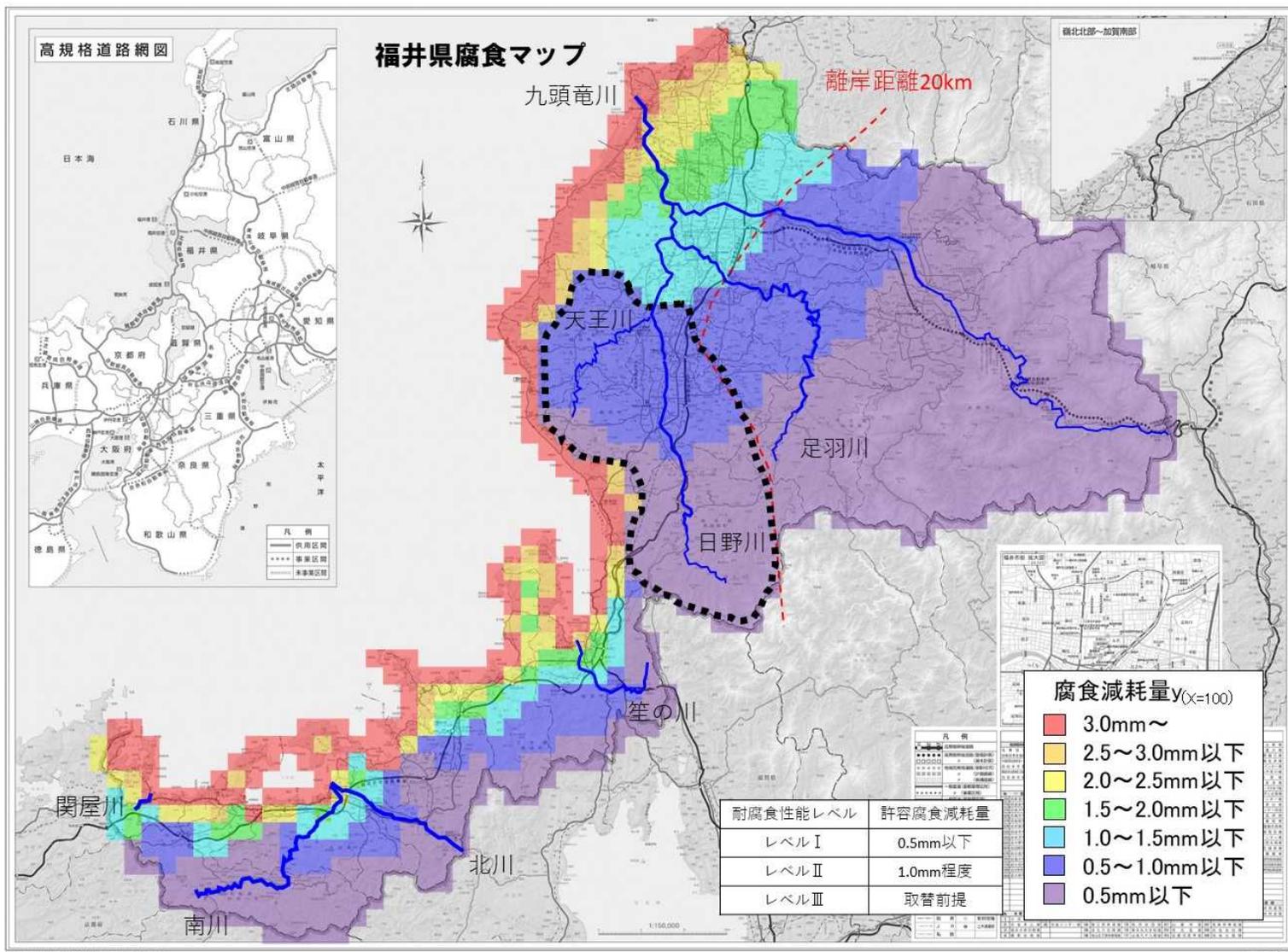
腐食マップの作成には多大な労力

- 試験片の設置
- 年単位の暴露
- 腐食減肉量評価

データサイエンスを援用

前田健児, 鈴木啓悟, 近藤泰光, 河川距離に基づく腐食環境レベルの推定, 鋼構造論文集, Vol.28, No.113, 2021.12 (掲載決定)

腐食環境の可視化による橋梁材料適用性の見直し 45



- 点線で囲まれた地域
耐候性鋼材の裸材
使用等の検討を推奨

腐食減肉量を可視判断するための深層学習モデルの構築

Thinning Evaluation of Steel Plates for Weathering Tests Based on Convolutional Neural Networks
Kai Wu, Keigo Suzuki, Kenji Maeda

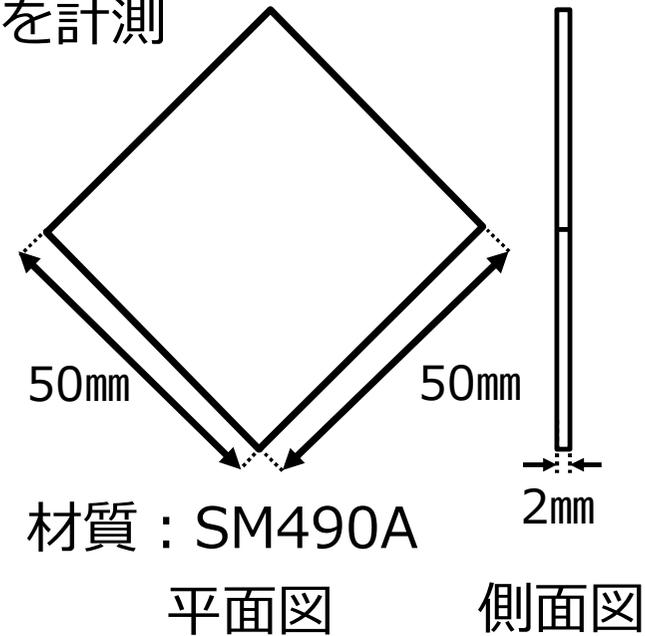
<https://dx.doi.org/https://doi.org/10.5006/3674>

モニタリング鋼板による 腐食環境評価

47

モニタリング鋼板

- 橋梁に6か月～24か月間設置
- 腐食減肉量を計測



橋梁毎、地域毎に異なる腐食環境を評価



従来の減肉量測定方法

除錆前



除錆後



除錆作業



膜厚50 μ mまで



温度90 $^{\circ}$ Cで濃度20%
クエン酸水素ニアンモニウム
水溶液



蒸留水を使用

鋼板の撮影と減肉厚さの算出

- ・除錆作業前に腐食画像の撮影
 - ・除錆作業後に試験片の質量を測定
- ➔ 平均減肉厚さの算出

試験片 1枚当たり
約90分

画像認識学習モデル構築の目的

深層学習を用いて画像情報から腐食鋼板減肉レベルの判定

サンプル数の
少なさを補間



土木工学において必要

曝露試験により腐食部外観と劣化度の教師データ取得

腐食レベル分類基準の決定

腐食レベル分類例



腐食レベル1



腐食レベル4

データ拡張

転移学習

深層学習を用いた
画像識別モデルの作成

所要時間と精度の確認

データ拡張

裁断

元画像の画像データ
1600x1600ピクセル



400x400ピクセルに
して裁断

→ サンプル数確保

Flip Rotation



元画像



90°回転



180°回転



270°回転



左右反転



上下反転

学習データ数を
6倍に拡張

拡張・裁断

元画像
60枚



学習サンプル

8450枚 (from 50枚)

妥当性検証サンプル

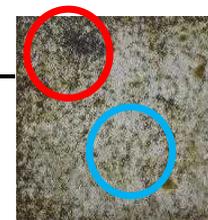
1690枚 (from 10枚)

均一



学習データへ

不均一

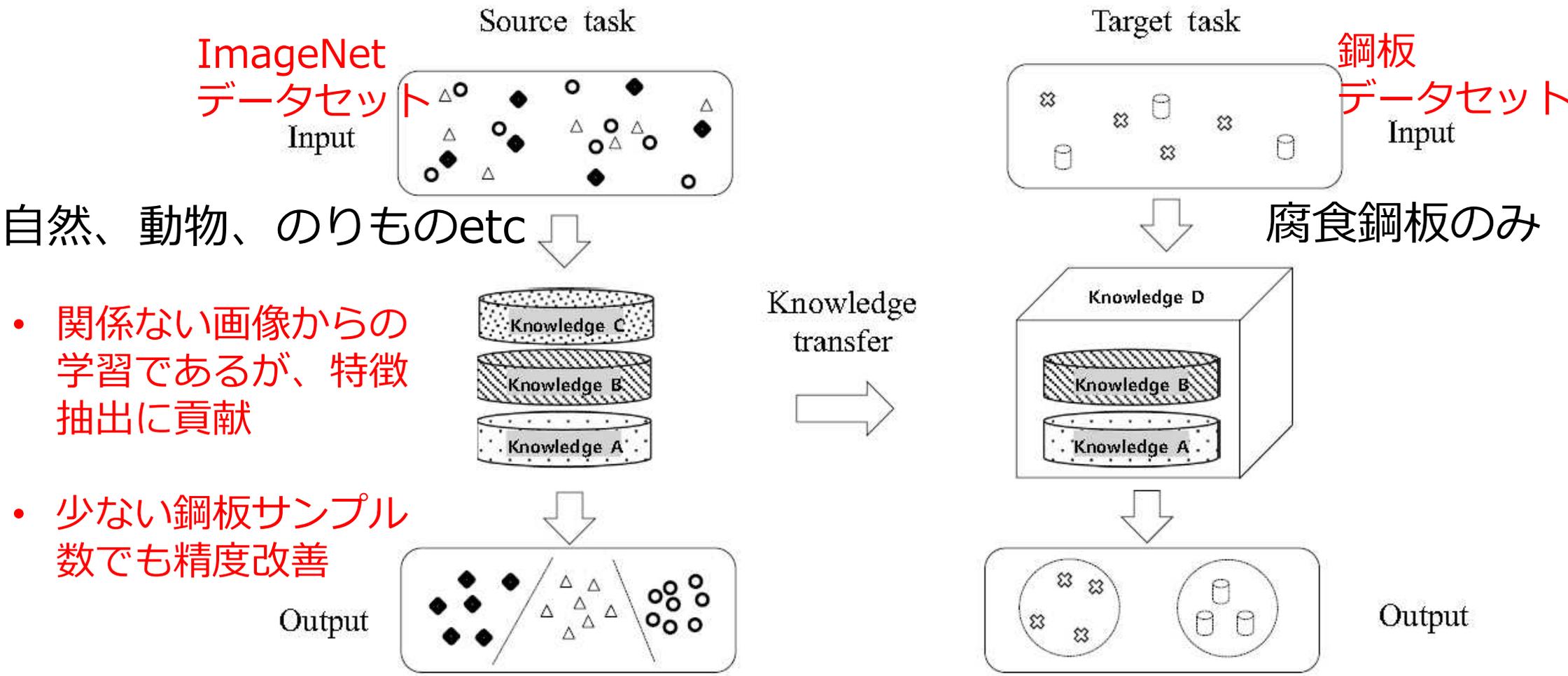


テストデータへ

Flip Rotationの有効性

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5977656/>

転移学習による画像認識能力の向上



自然、動物、のりものetc

鋼板 データセット Input

腐食鋼板のみ

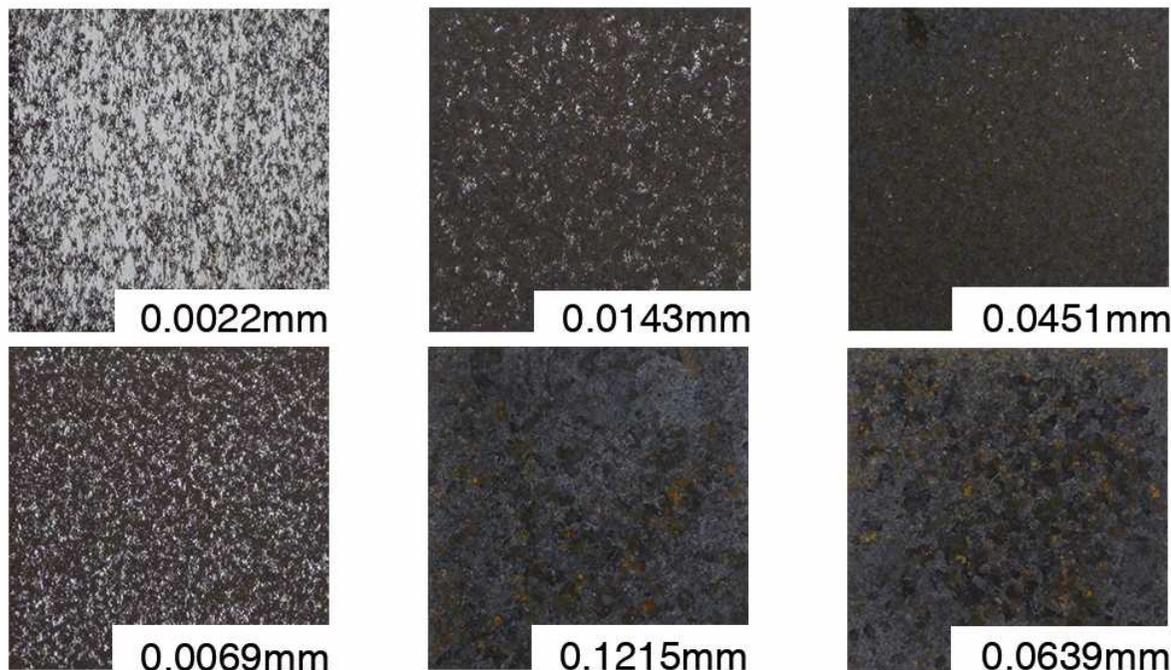
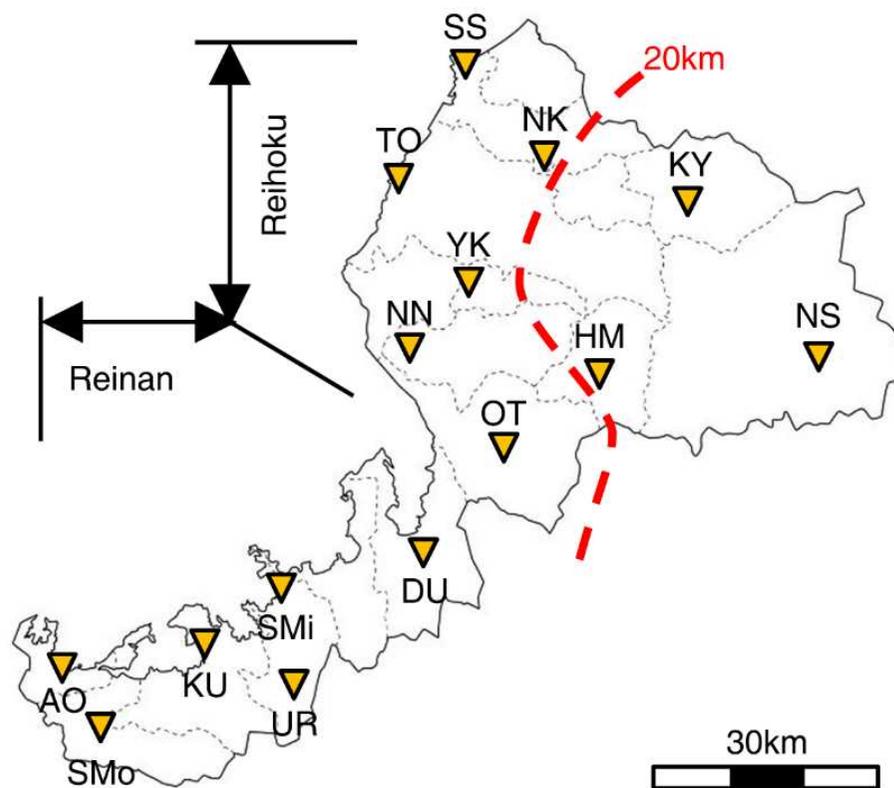
- 関係ない画像からの学習であるが、特徴抽出に貢献
- 少ない鋼板サンプル数でも精度改善

Fig. 1. Illustration of transfer learning.

Yang, Q., Shi, W., Chen, J. and Lin, W. (2020). Deep convolution neural network-based transfer learning method for civil infrastructure crack detection. *AUTOMAT CONSTR* 116:103199.

深層学習の適用事例

深層学習を利用した腐食鋼板の減肉レベル判定



- 県内15ヶ所に後半を6カ月～2年間暴露
- 腐食減肉レベルを画像判断
- 画像判定による精度は83.5%

画像判定時間：約7秒(写真数77枚)
(NVIDIA GTX 1060 使用)

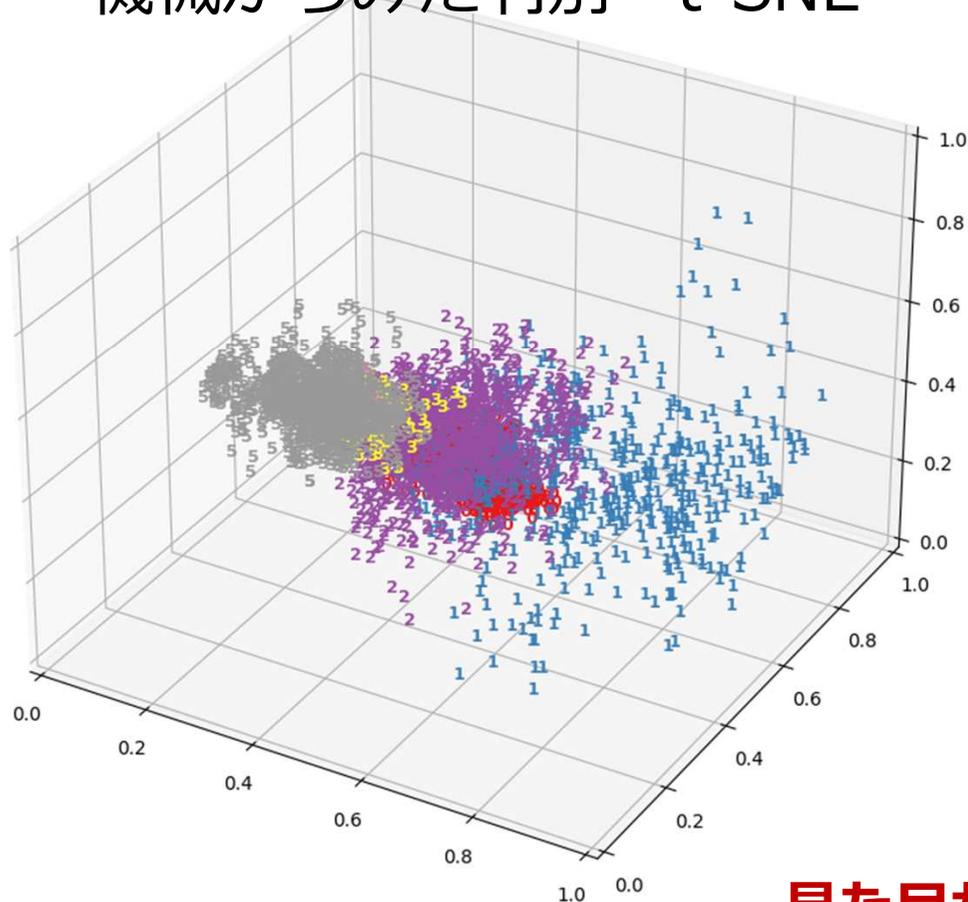


薬液 + 錆落とし時間：25時間程度 (77枚)

画像判別研究の反省点

t-SNE embedding of the Corrsion image with different thinning levels (time 163.40s)

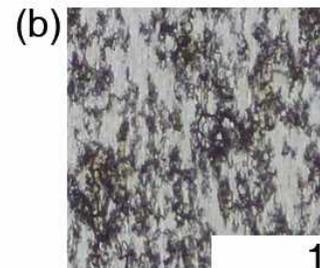
機械からみた判別 t-SNE



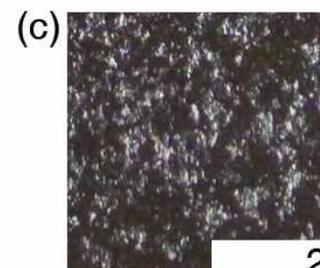
0 : レベル0



1 : レベル1



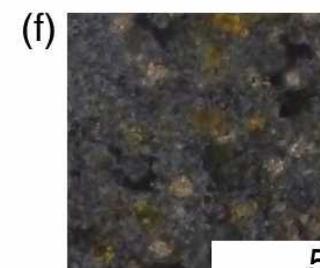
2 : レベル2



3 : レベル3



4 : レベル4



5 : レベル5

人間の視覚：異なる 類似
機械の視覚：類似 異なる

見た目が異なっても機械が判別しやすいとは限らない

ASR損傷判別を目的とした 深層学習モデルの構築

土木学会2022年度全国大会で発表予定
2022年9月14日～16日

研究背景

ASRの外観の特徴

床板・橋脚

→亀甲状のひび割れ



上部工

→鉄筋・PC鋼線に沿ったひび割れ



判断が難しい

近年のASRに関する問題点

- 北陸地方でASR発生橋梁の確認
- 土木技術者による判定のばらつき
- 点検作業効率化の必要性



画像判断モデルを使用した
効率化・客観化

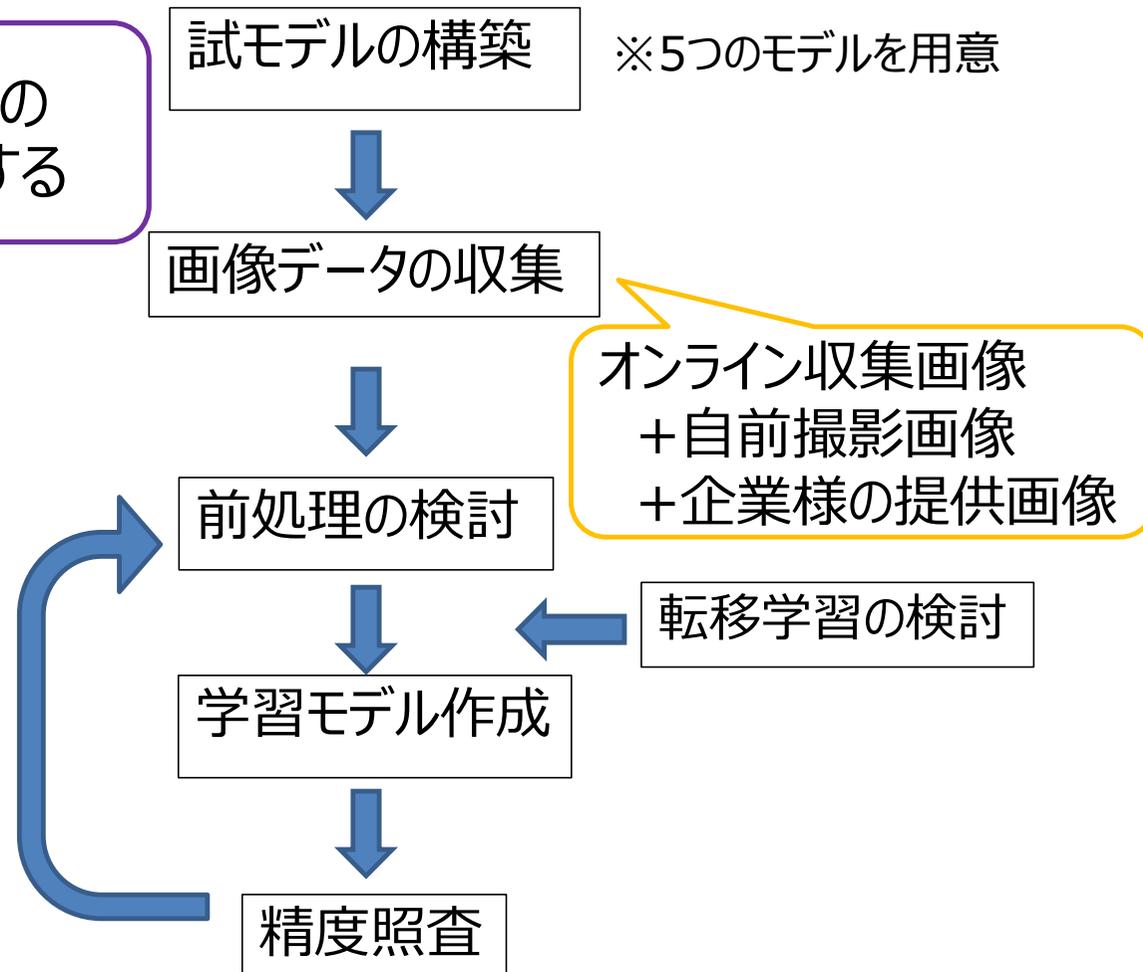


研究の目的・流れ

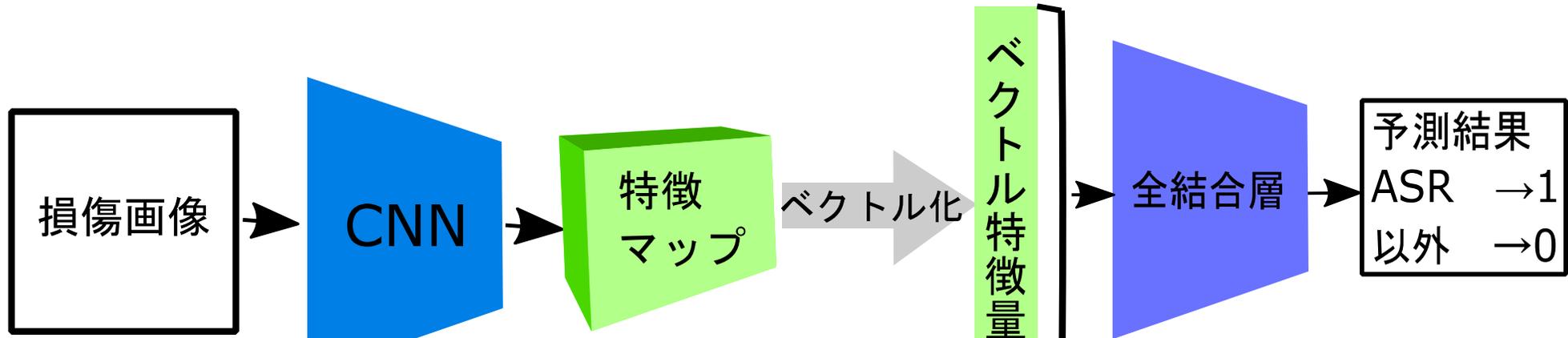
目的

画像情報からPC・RC建造物のASR発生の有無を判断するための学習モデルを構築する

- 試モデルでアルゴリズム・前処理の検討
- 本モデルで精度照査



モデルの構築



層数が異なる5モデル

VGG16
GoogLeNet
ResNet

転移学習モデル
論文参考¹⁾モデル

画像認識コンペにおいて
著名な3モデル

→ImageNetでvgg16を事前学習
(RGB入力のみ対応)

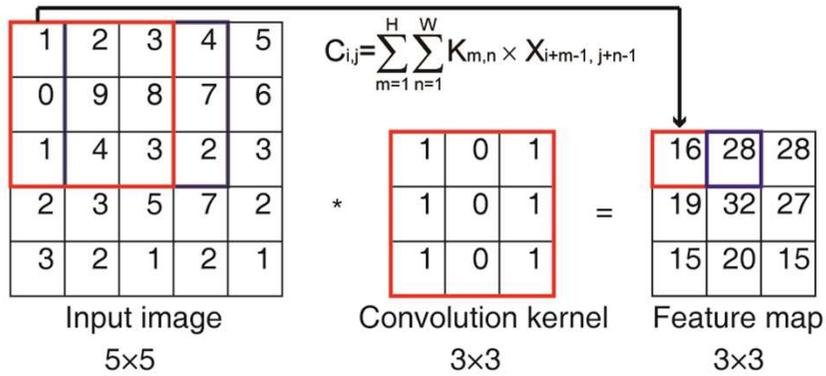
追加情報

- 立地情報
- 骨材情報
- 部材情報
- 損傷情報 etc...

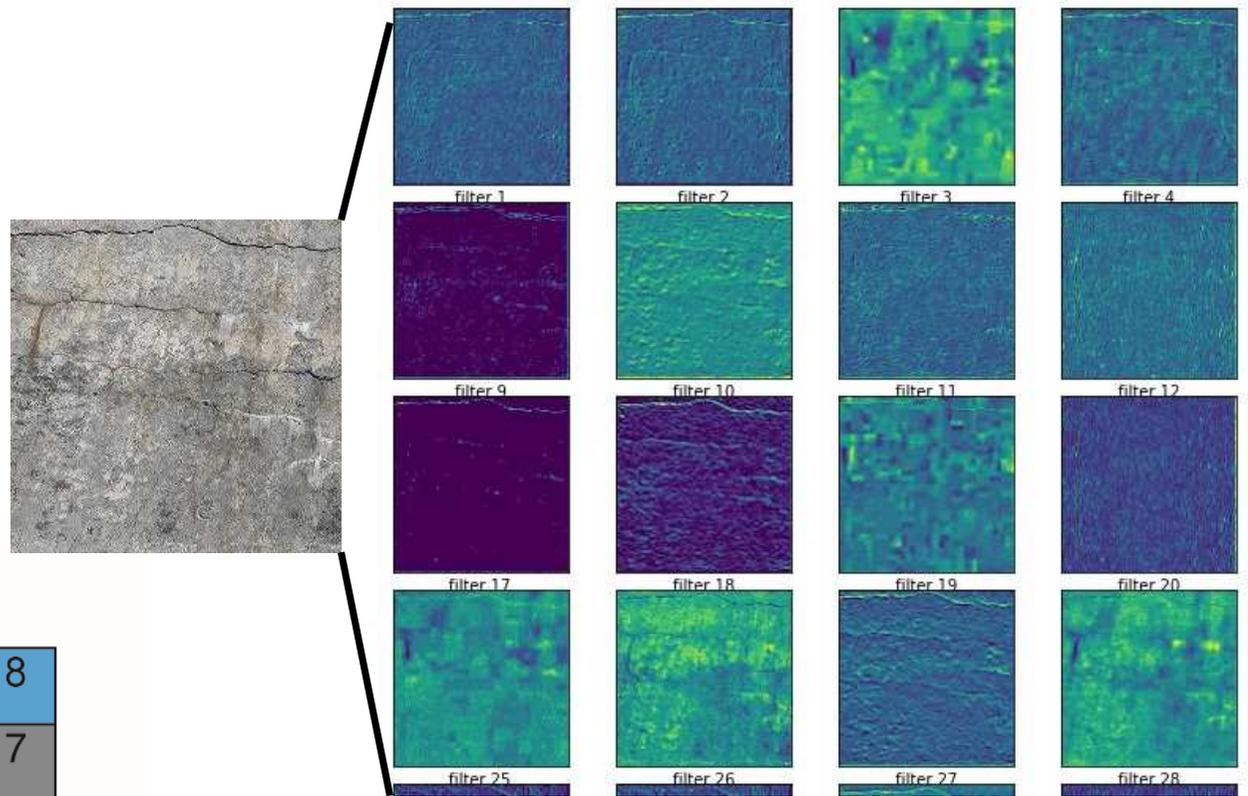
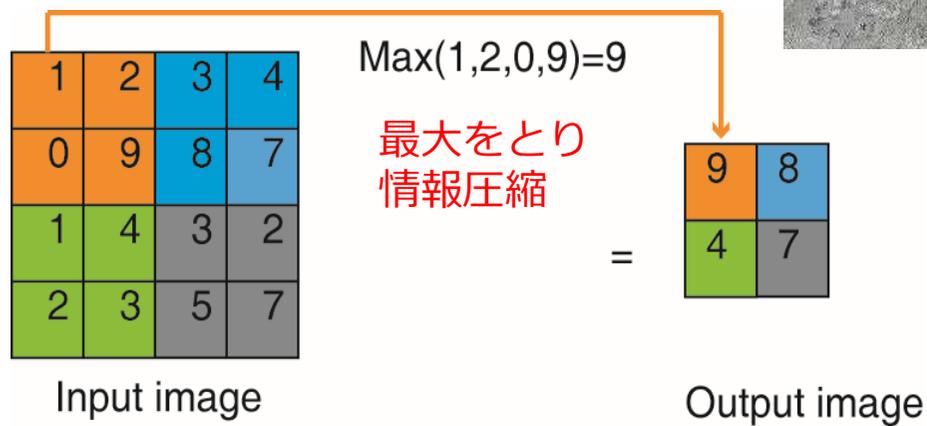
1)町口敦志 喜多敏春 多田徳夫 武井宏将 近田康夫：ディープラーニングによるコンクリート構造物の劣化要因判定支援システムの開発に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol.64A，pp.129-136，2018

CNNについて

畳込み演算



Max Pooling



画像の蓄積とサンプリング

損傷部分トリミング(手動)



損傷部分のみを抽出

裁断

224x224ピクセルで裁断



640x228px



ランダムクロッピング(例)

224x224px(20枚)

→データ数確保

データ拡張・写真枚数とデータ数

Rotation



224x224
(32枚)



90°



180°



270°

224x224
(20→80枚)

データ数
4倍に拡張

Flip

4枚それぞれに適用
2倍に拡張



224x224(80→160枚)

劣化要因	写真枚数 (学習:検証:テスト)	細断画像枚数			
		学習	検証	テスト	合計
ASR	95 (59:25:11)	2360	125	55	2540
ASR以外	17 (11:3:3)	1760	60	60	1880
合計	53 (33:10:10)	4120	185	115	4420

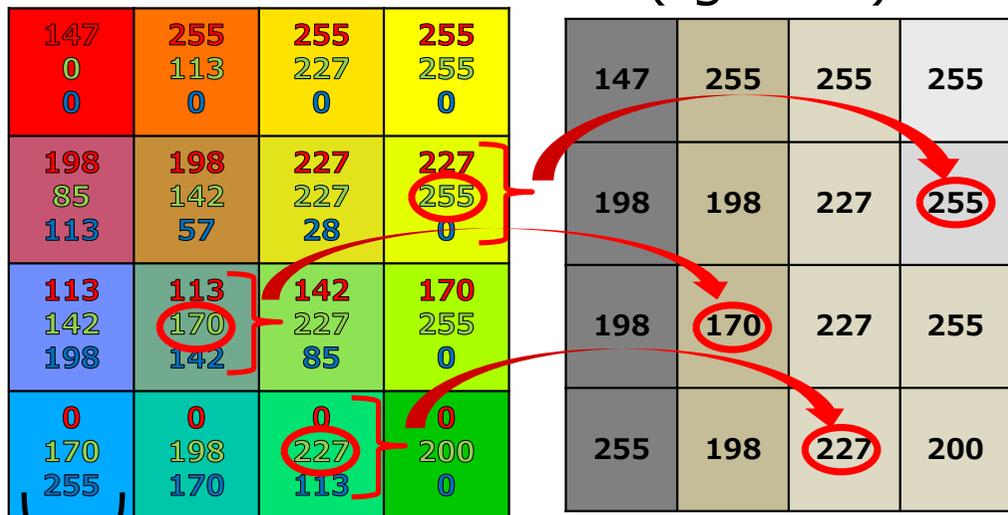
合計8倍に拡張 ※学習データのみ適用

画像の前処理 グレースケール化と輝度調整

グレースケール → 色彩による誤分類低減

輝度調整 → 時間帯による明るさ変化の影響低減

- RGB最大値手法(rgbMax)

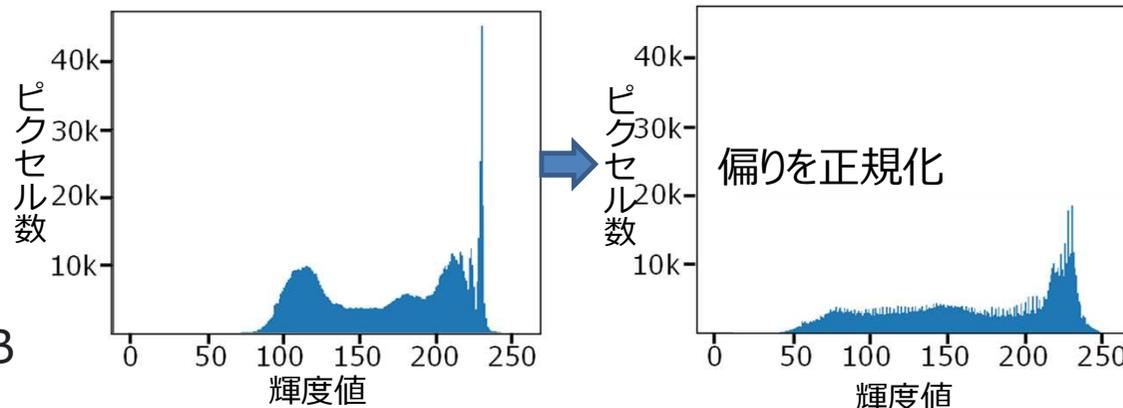
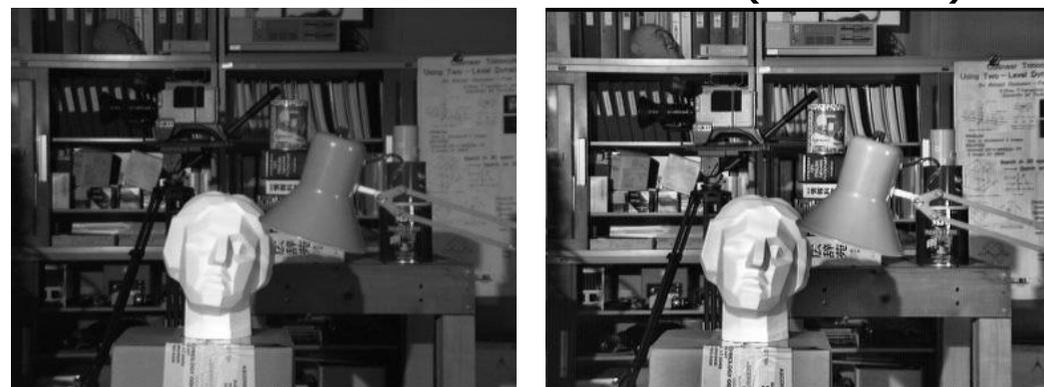


1ピクセルに3つ(rgb)のデータ値

- NTSC加重平均法(NTSC)

$$\text{輝度} = 0.29891 \times R + 0.58661 \times G + 0.11448 \times B$$

- 適応的ヒストグラム平坦化(CLAHE)



<https://qiita.com/s-kajioka/items/9c9fc6c0e9e8a9d05800>

コンクリートへの前処理適用例

元画像(RGB)



NTSC加重平均法



最大値手法(rgbMax)



適応的ヒストグラム平坦化
(CI AHF)

追加情報のデータ化

変数対応表

変数名	質問	回答方法
distance(撮影距離)	距離はどのくらい	0~4
river(河川系統)	川の種類	川の名前
brName(橋の名前)	撮影した橋	橋の名前

- 0. 超近接距離(10cm付近)
- 1. 近接距離(10cm~50cm)
- 2. 中距離(50cm~100cm)
- 3. 中距離以上遠距離未満(100cm~300cm)
- 4. 遠距離(300cm~)

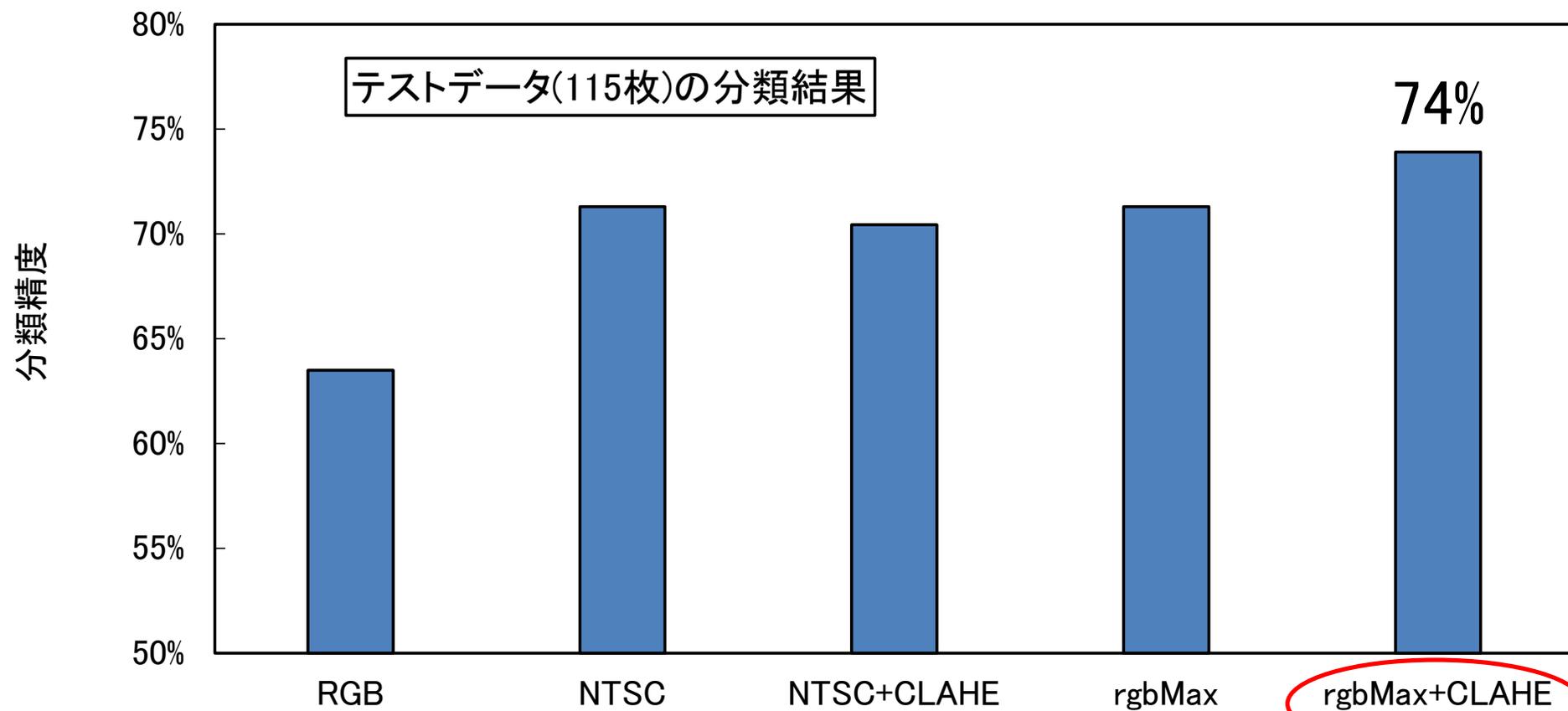
画像ごとの追加情報をデータ化

画像番号	撮影距離	川1	川2	川3	川4	川5	川6	川
1	0.25	1	0	0	0	0	0	0
2	0.25	0	1	0	0	0	0	0
3	0.75	0	0	1	0	0	0	0
4	0.5	0	0	0	1	0	0	0
5	0.25	0	0	0	0	1	0	0
6	0.75	0	0	0	0	0	0	1
7	0.75	0	0	0	0	0	0	0

※Pandasを用いて
エンコーディング(数値化)
スケーリング(正規化)

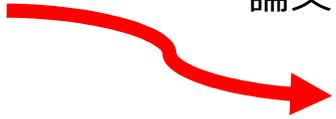
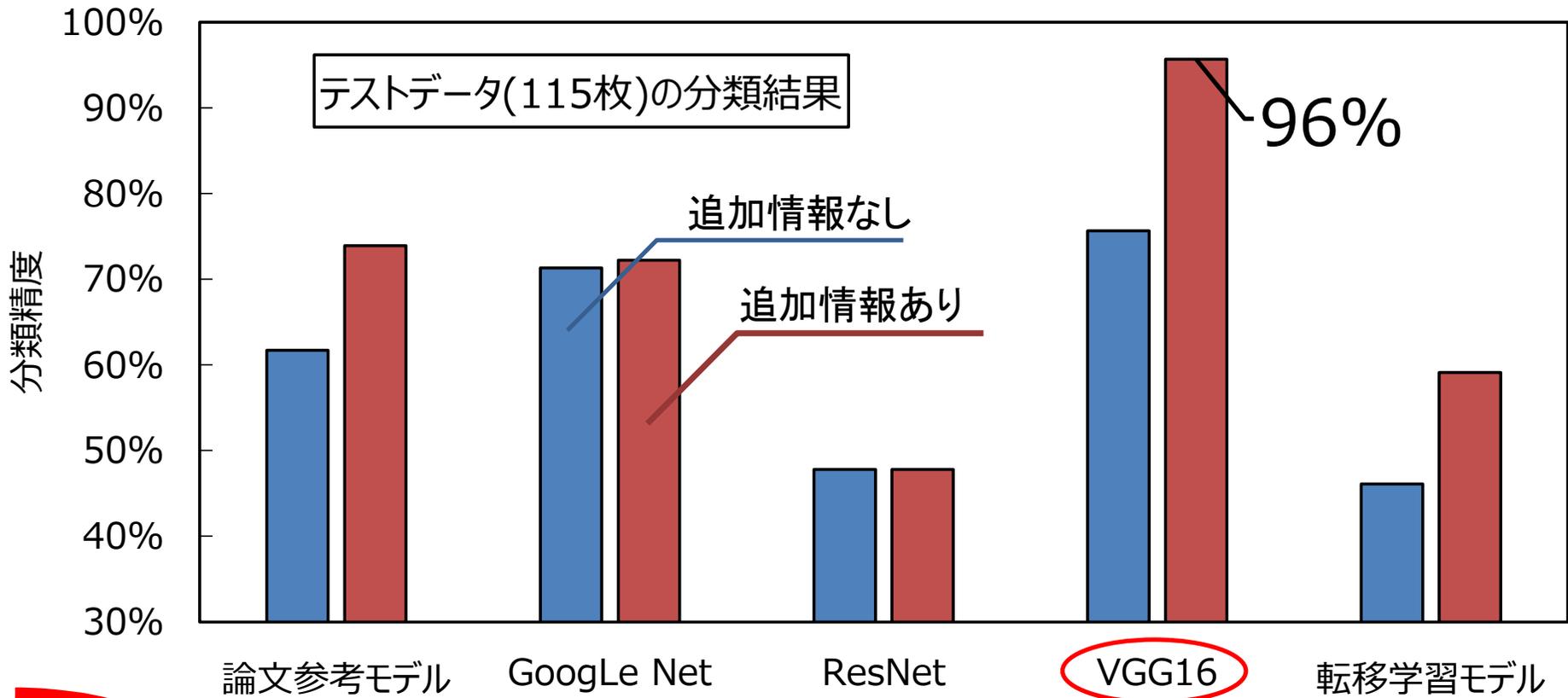
モデルの全結合層で
入力・結合

分類精度-前処理比較



※最も構造がシンプルである論文参考モデルで比較

分類精度-モデル比較



rgbMax+CLAHEを適用 ※転移学習モデルはカラーのまま入力

追加情報によって精度改善傾向

ASR損傷を画像から判断するための学習モデルを構築し、その精度を検証した。

- コンクリート構造物の内、橋梁上部工表面における画像認識においてVGG16の適正が示唆されており、VGG16を含めた種々の学習モデルで検証すべきである。
- コンクリート画像の前処理において、グレースケール化を最大値手法(rgbMax)で施し、さらに適応的ヒストグラム平坦化(CLAHE)によって輝度調整を施すことが、分類精度向上に貢献する可能性がある。
- 河川情報、橋梁名などの追加情報はASR分類精度向上に寄与する。
 より多くの追加情報を収集することで、さらなる精度向上を目指す

ドローンを用いた橋脚傾斜評価の試み

洗堀や地震などによる橋脚の傾き



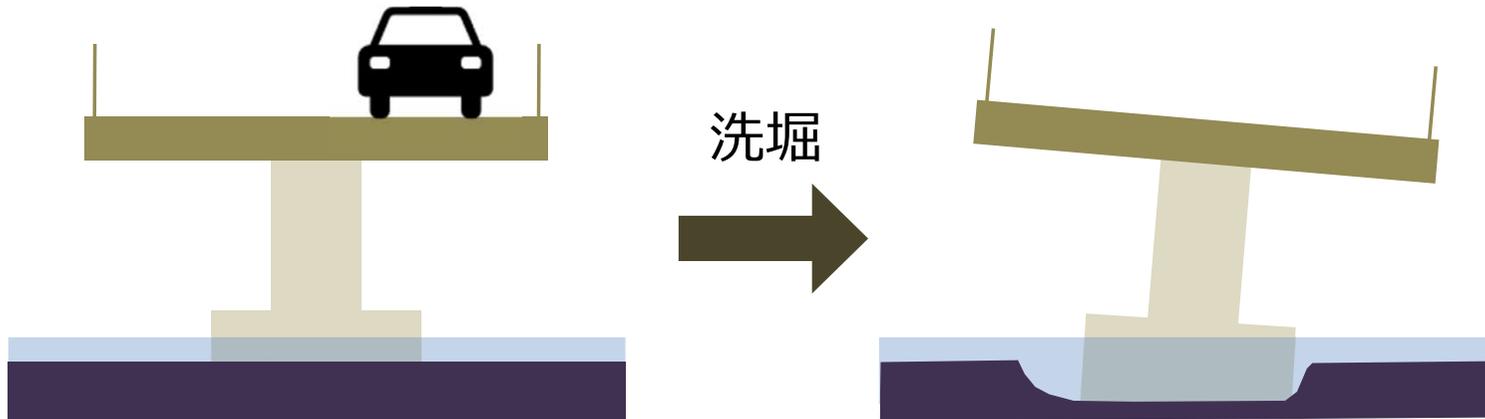
アクセス方法が制限



迅速に通行の安全性を確認することが必要



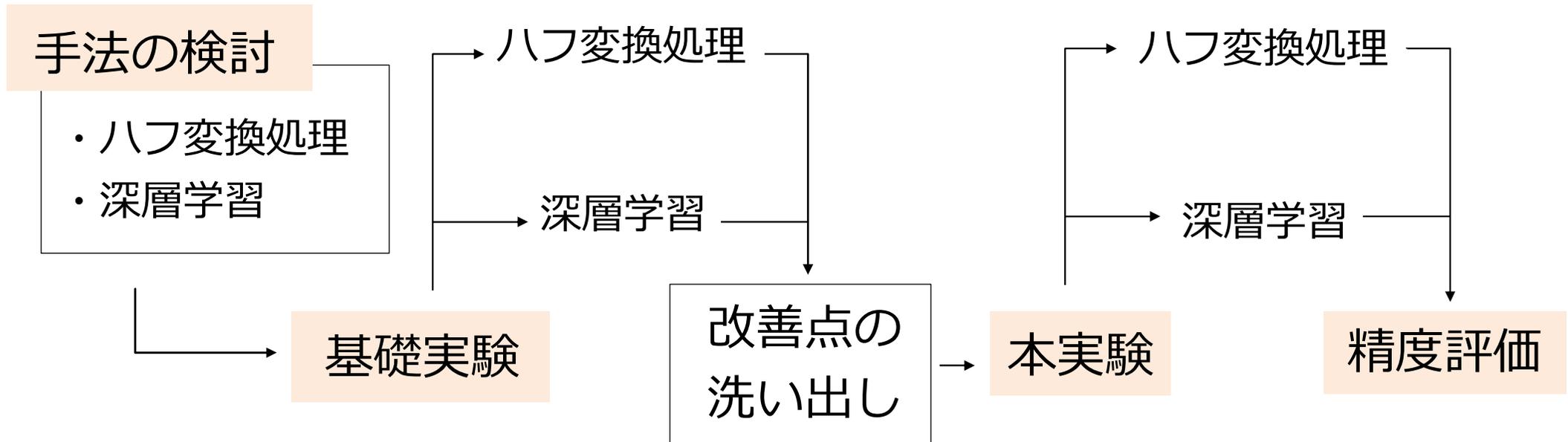
地震により傾いた橋脚



研究目的と流れ

- 無人航空機(UAV)画像を基にした橋脚の傾斜定量化手法の構築

JR東日本の運転中止規制値： $0.2 \sim 0.4^\circ$ → 目標値：平均絶対誤差 0.04° 以下

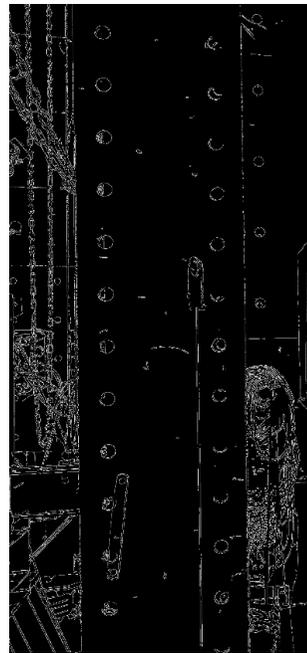


ハフ変換処理

- ハフ変換 ... 画像の中から直線などの要素を持つオブジェクトを検出する手法

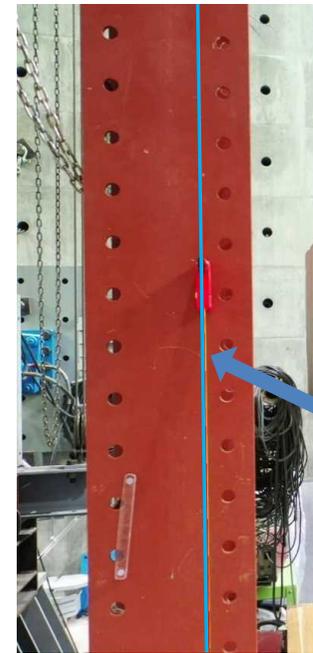
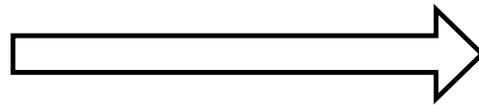


元画像



点群画像

点の数が最大となる
直線を抽出

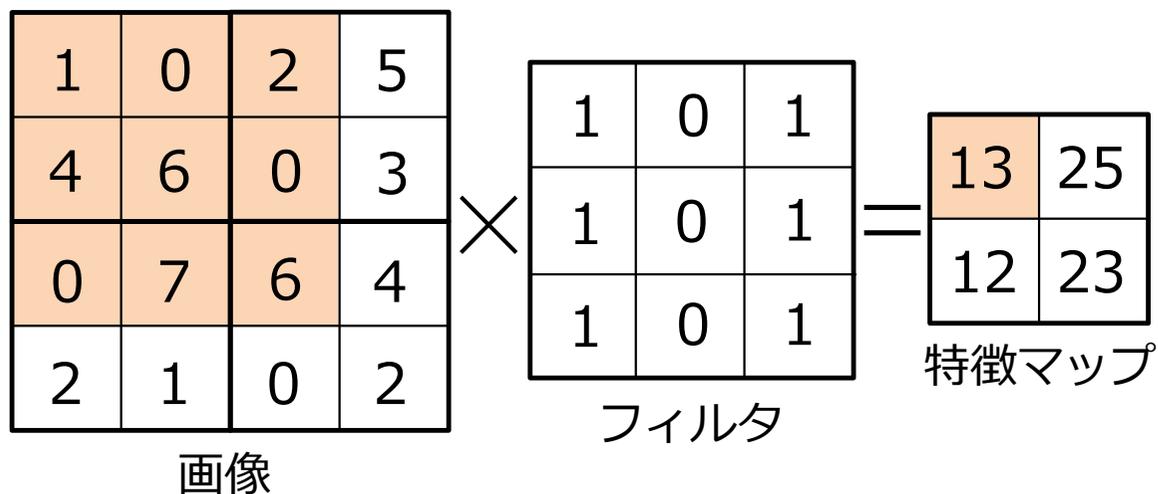


検出結果

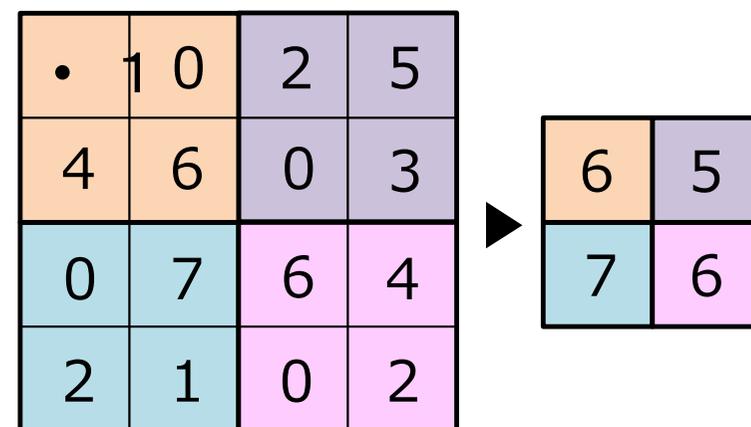
下げ振り
を検出

深層学習～CNN（畳み込みニューラルネットワーク）～

畳み込み層



プーリング層



CNNはこれらの層を繰り返し行って学習

コンクリート柱の水平力載荷試験

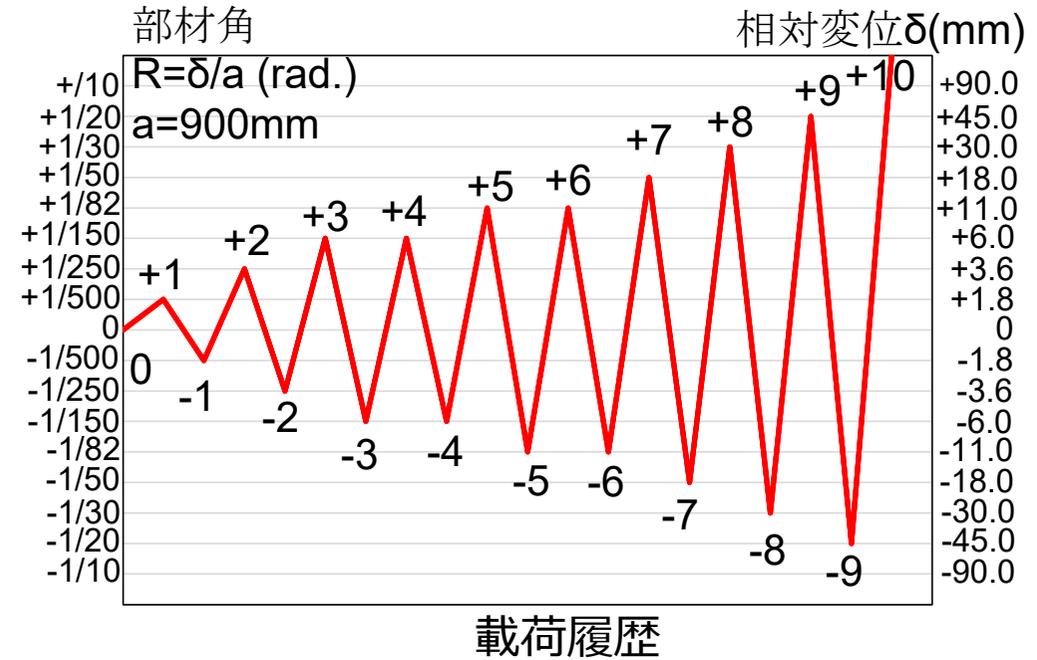
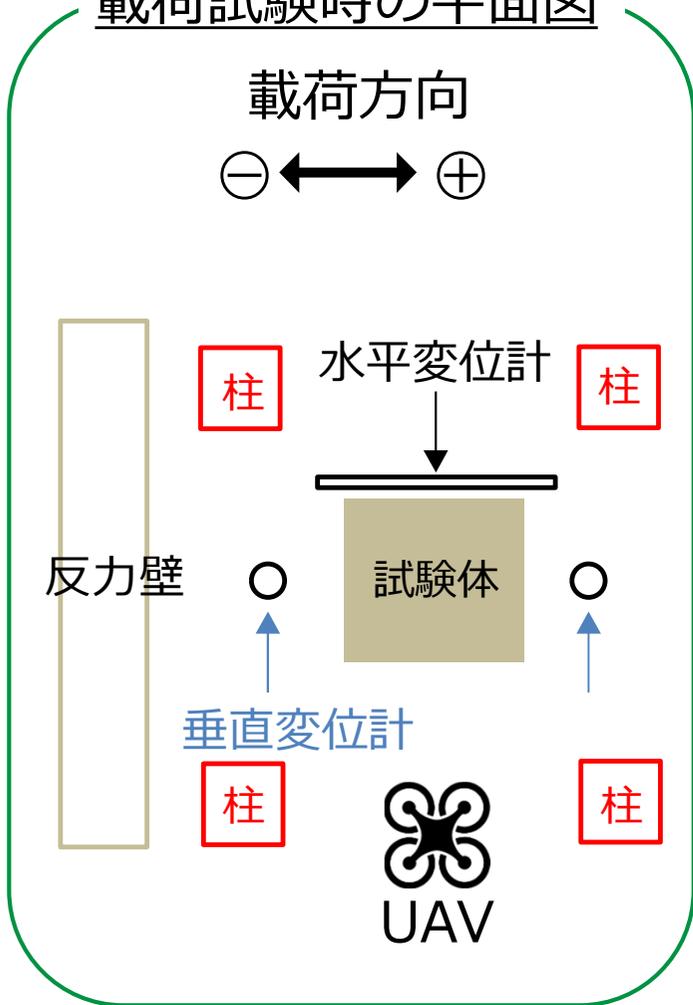
載荷試験時の平面図



試験体



UAV(Mavic 2 Pro)



$$\theta = \tan^{-1} \frac{h + (\delta_{v1} + \delta_{v2})/2}{\delta_h} * \frac{180}{\pi}$$

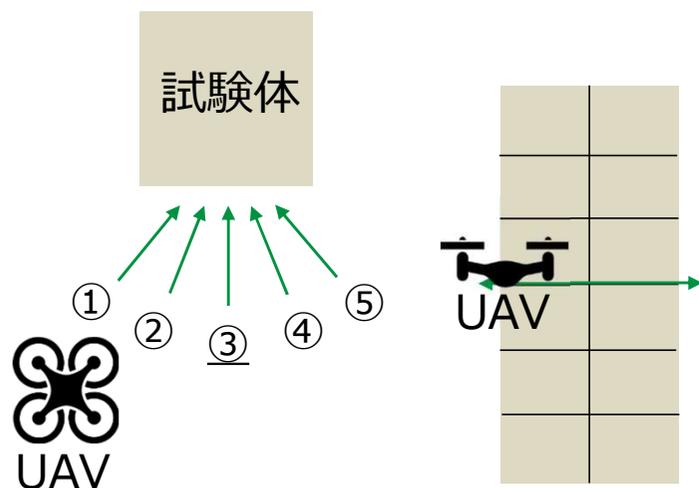
θ=試験体の傾き(°), h=試験体高さ(mm),
 δ_{v1}, δ_{v2} =垂直変位(mm), δ_h =水平変位

基礎実験

- 目的: 不確定要素の洗い出し

撮影方法

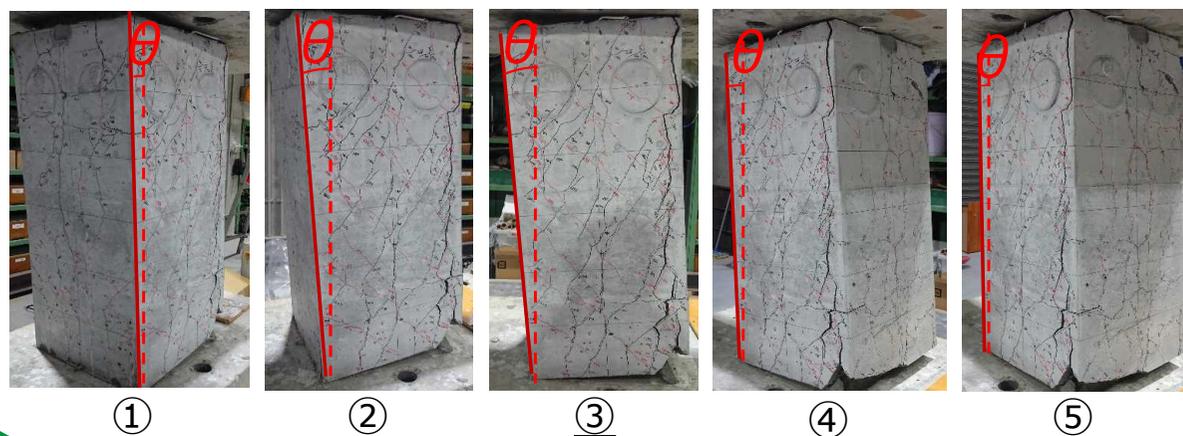
- 位置: 試験体中央部
- 距離: 約1m
- 水平方向に回転



正確な角度を検出するには
正対な画像であることが必要

Mavic 2 Pro ジンバル角度ぶれ範囲
 $\pm 0.01^\circ$

▼
回転させて撮影させた中で、
検出角度が最も大きいものが正対な画像



ハフ変換処理結果と考察（基礎実験）

[例]ピーク+4の検出結果

撮影順序	検出角度(°)
1	0.0625
2	0.1687
3	0.0812
4	-0.0250
5	-0.0500
6	0.0375
7	-0.2062

(ピーク+4の実測値 : 0.3927°)

- 値のばらつきが大きい

原因として考えられること

- ・ 風によるUAVのジンバルの揺れ
- ・ カメラレンズによる画像そのものの歪み
- ・ 撮影時のブレやトリミングによる画質の低下
- ・ 試験体の傾きの局所的な変化
- ・ コンクリート表面の凹凸による点群データのばらつき

→ 手動でのあおり補正は精度が低下

深層学習結果と考察 (基礎実験)

応用性が高い

VGG
ResNet
GoogLeNet } 有名なモデル

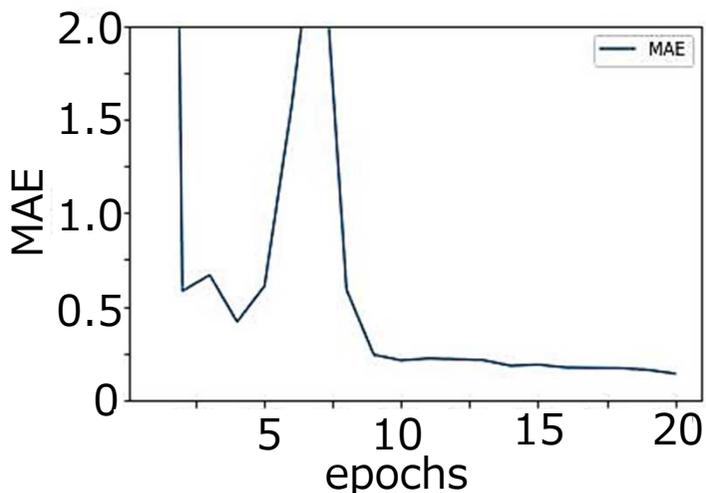
少ないデータ数
でも良好に学習

転移学習

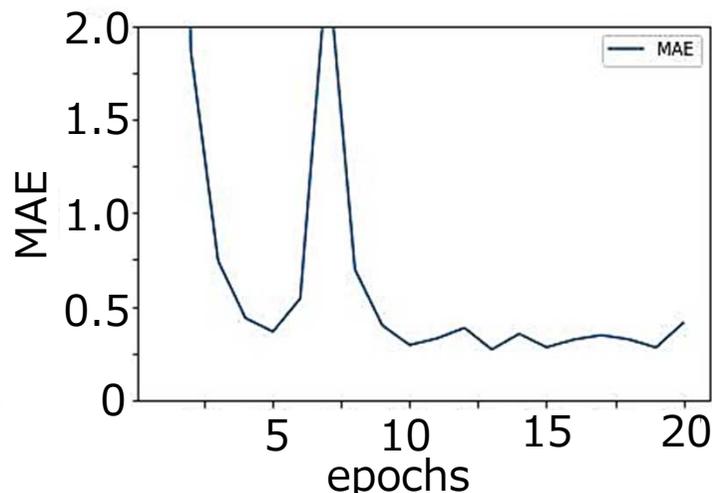
VGGでImageNet
を事前に学習

教師データ：851枚
テストデータ：15枚
(基礎実験で得た画像のほぼ
すべてを使用)

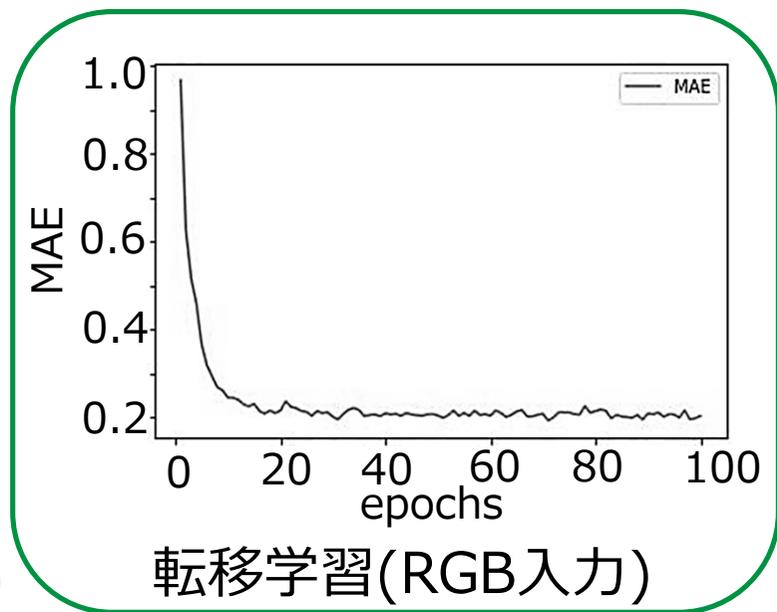
epochs: 学習回数
MAE: 平均絶対誤差



VGG(RGB入力)



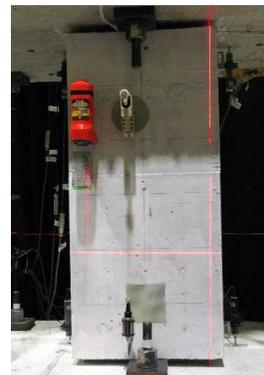
VGG(グレースケール入力)



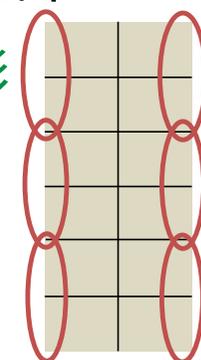
転移学習(RGB入力)

ハフ変換処理に対する改善点

- ・ 風によるUAVのジンバルの揺れ
- ・ レーザー下げ振りとレーザー墨出し器により鉛直線を投影
- ・ カメラレンズによる画像そのものの歪み
- ・ 試験体のエッジと鉛直線が画角の中央部に来るように撮影
- ・ 撮影時のブレやトリミングによる画質の低下
- ・ UAVを3秒程度ホバリングさせてから撮影
- ・ 試験体の傾きの局所的な変化
- ・ 検出角度は試験体を6分割した平均値



鉛直線投影



6分割検出

撮影方法

- ・ 位置：6分割(ハフ変換)試験体全体(深層学習)
- ・ 距離：対象ごとに調整
- ・ 目視で正対判断

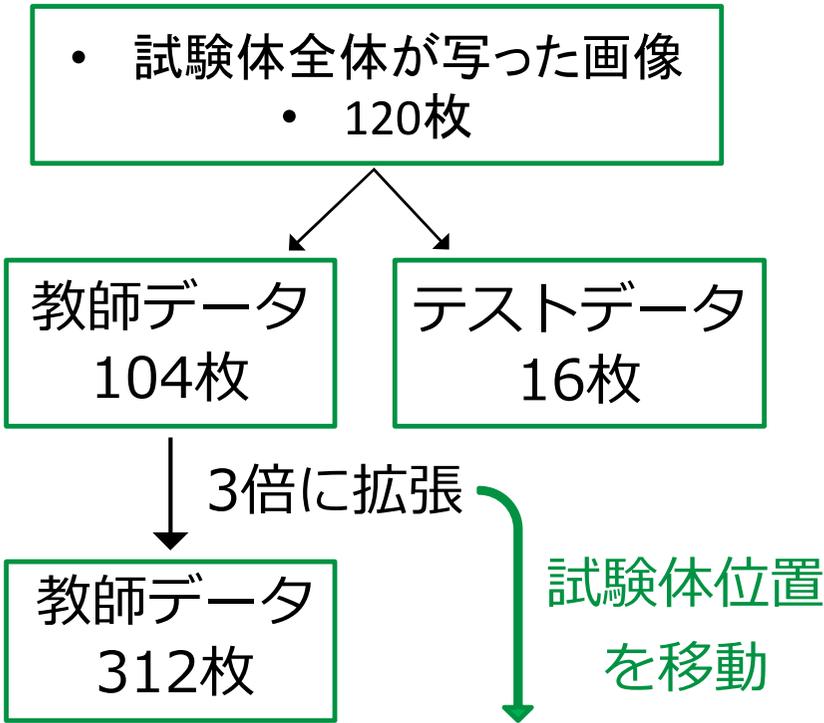


試験体

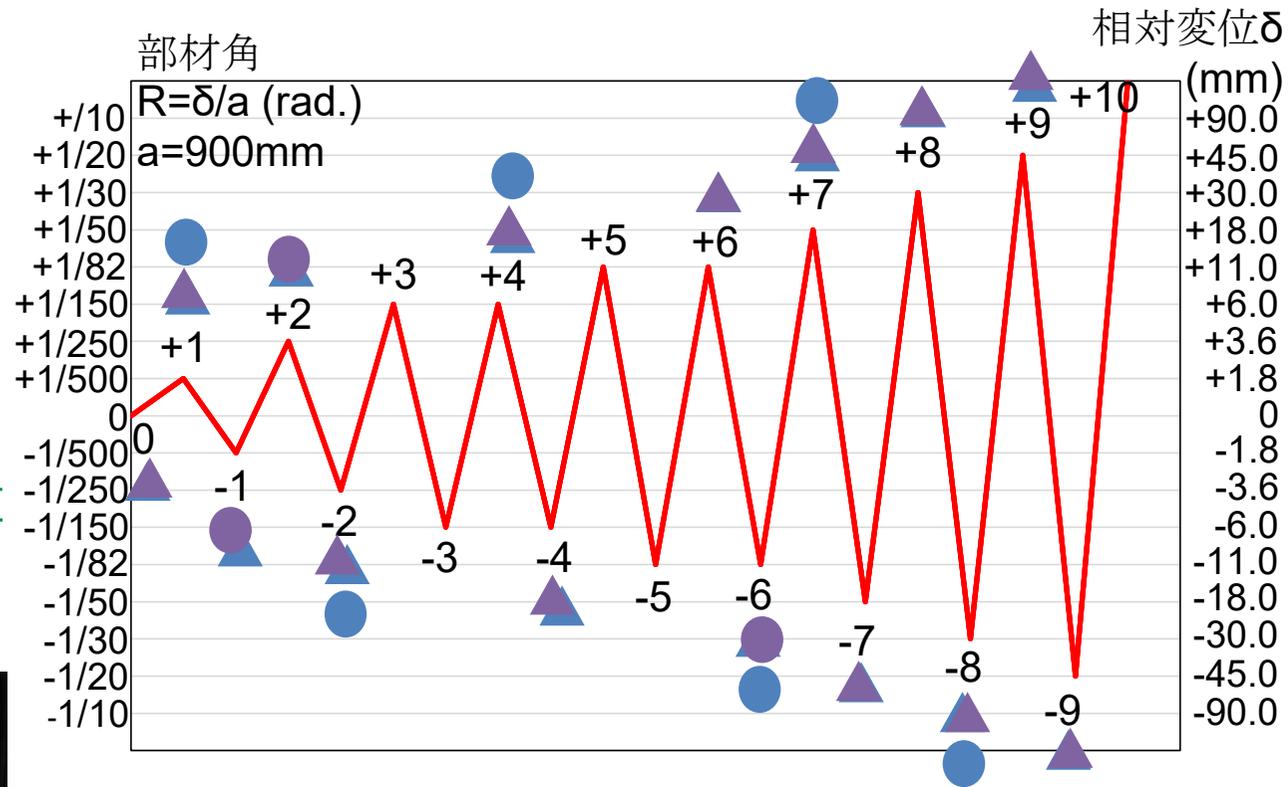


UAV

深層学習データセット作成



データを2パターンに振り分け

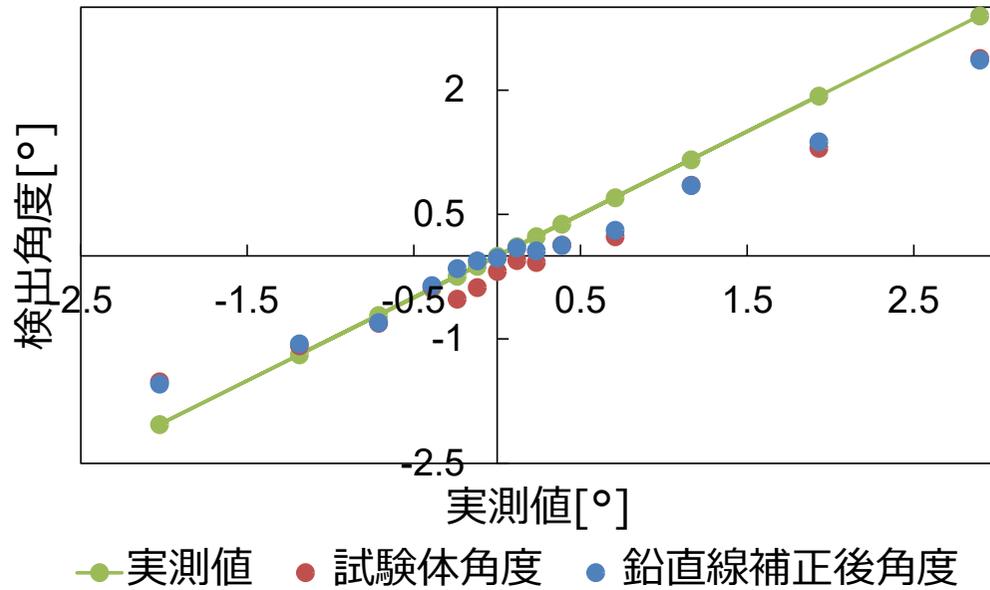


▲ パターンB教師データ ● パターンBテストデータ

結果と考察

ハフ変換処理結果

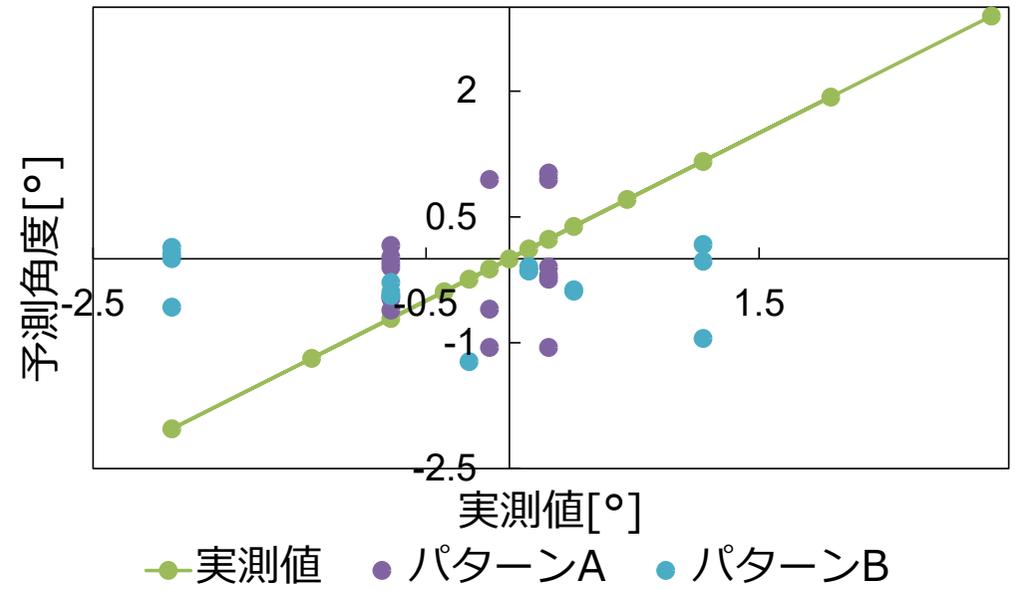
- 平均絶対誤差: 0.23° (鉛直線補正後)



概ね傾向を把握

深層学習結果

- 平均絶対誤差: 0.63° (パターンA)
- 平均絶対誤差: 1.03° (パターンB)



ばらつきが大きい

ハフ変換処理は柱の傾きについて概ね評価できているが、実用的な精度には改善が必要

本研究では、ハフ変換処理と深層学習を用いて、UAV画像を基にした橋脚の傾斜定量化手法の構築を試みた。

- ハフ変換処理による角度検出では、橋脚の角度を概ね評価できるが、平均絶対誤差が 0.23° となり、目標値の平均絶対誤差 0.04° に達するには改善が必要である。
- 深層学習による角度評価は、画像サンプル数120枚で、平均絶対誤差が 0.63° であったため、ハフ変換処理と比較して精度が低かった。

今後の展望

- ハフ変換処理
- 試験体の局所的な傾きを把握し，自動でのあおり補正を試みて画像の歪みをなくした上で，精度向上がみられるかを確認する.
- 実現場ではレーザーでの鉛直線投影が難しいことが予想されるため，レーザーなしでの角度補正手法を構築する.
- 深層学習
- 深層学習にはパラメータが多量に存在し，データの増強や前処理の工夫などと合わせて最適なものを選択することで，精度向上を図れる可能性があるため，グリッドサーチを行う.

ご清聴ありがとうございました

鈴木 啓悟

suzuki-k@u-fukui.ac.jp

HP 「福井大 鈴木研」で検索するとアクセスが容易です

<https://sites.google.com/view/suzukilab/>