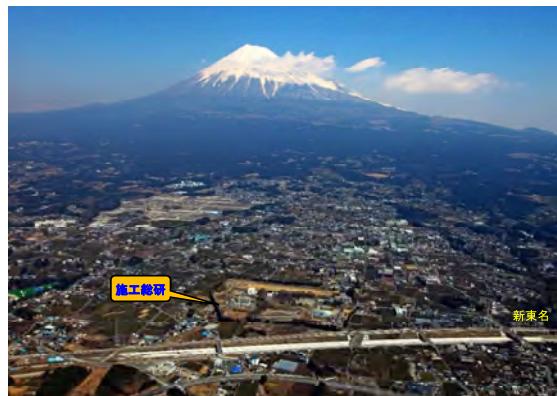


## 「欧洲の橋梁の維持・更新技術について」 — 大規模更新、新材料の適用、WJ —



(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所

谷倉 泉

### 1. 欧州調査の概要

(スイス、ドイツ、2019.7)

ベルン市街とアーレ川



戻る

### 本日の話の内容

#### 1. 欧州調査の概要

- 2019 ドイツ、スイス訪問

#### 2. 橋梁の大規模更新

- ドイツのアウトバーンでの事例(PC橋の架替え)

#### 3. 新材料(UHPFRC)を用いた補修・補強、新設

- 枠、床版、橋脚へUHPFRCを適用した事例

#### 4. 炭素繊維を用いた補修・補強事例

- 枠、床版へのシート、プレート材の適用

#### 5. WJ工法と比較したブレーカ工法の問題

- 変状部のはつり処理における問題(断面修復等)

- X線CT法の適用によるはつり処理工法の評価

参考資料-1

### 欧洲調査報告書

#### 目次

##### まえがき

##### 1. 調査概要

###### 1.1 調査の目的

###### 1.2 調査内容

###### 1.3 訪問先と行程

###### 1.4 調査団メンバー構成

##### 2. 訪問先での調査結果

###### 2.1 スイス連邦工科大学ローテンス校(EPFL)

###### 2.2 FALCH社

###### 2.3 Sika社

###### 2.4 高速道路大規模更新管理事務所

###### 2.5 BAM(ドイツ連邦材料試験研究所)

###### 2.6 bast(ドイツ連邦道路研究所)

###### 2.7 ベルリン工科大

###### 2.8 CONJET.AB社

##### 3. 視察撮影等

###### 3.1 ローテンス近郊橋梁

###### 3.2 アーレ川橋梁(ベルン)

###### 3.3 ライン川橋梁(ケルン)

###### 3.4 シュプレー川橋梁(ベルリン)

###### 3.5 コンクリート舗装

##### 4. 調査結果のまとめ

###### 4.1 橋梁の大規模更新および床版の拡幅工事

###### 4.2 ウォータージェット工法

###### 4.3 RC床版補修・補強技術

###### 4.4 コンクリート構造物の補修・補強技術

###### 4.5 鋼構造物の補修技術

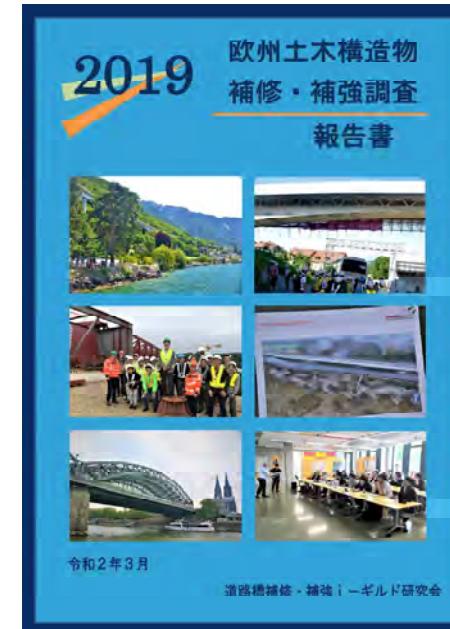
###### 4.6 防水システム

###### 4.7 軽量コンクリート

###### 4.8 埋設ジョイント、コンクリート舗装

全204ページ

R2.3.30発行  
出版:アイギルドの会  
監修:藤野陽三



# 調査内容

## 目的

➢ 橋梁の補修・補強 & 更新技術の調査、橋梁視察

## 調査項目

➢ 橋梁の大規模更新

➢ コンクリート構造物の補修・補強 ⇒ PC橋が中心

➢ 床版の補修・補強 (+防水システム) ⇒ 補修・補強用の新材料

➢ ウォータージェット(WJ)工法

➢ 鋼構造物の補修・補強

➢ 軽量コンクリート

➢ 埋設ジョイント

➢ コンクリート舗装

## 訪問先

➢ スイス、ドイツ: →

## 視察橋梁

➢ スイス: ローザンヌ近郊、アーレ川

➢ ドイツ: ライン川、シュプレー川

スイス連邦工科大学
FALCH社
SIKA社
高速道路大規模更新管理事務所
BAM(ドイツ連邦材料試験研究所)
bast(ドイツ連邦道路研究所)
ベルリン工科大
CONJET AB社

- 新材料、鋼構造、防水、伸縮装置
- WJ
- 補修材料、防水、3Dコンクリート
- 橋梁架け替え
- 防水、埋設ジョイント、風力発電
- 床版、防水、防食、設計、伸縮装置
- 軽量コンクリート、CFRP補強、
- WJ

## 2. 橋梁の大規模更新

### ドイツのアウトバーンでの施工事例(PC橋の架替え)



戻る

## 移動ルート



2019年

- 7/12(金)羽田 → ウィーン → ジュネーブ ⇒ ローザンヌ
- 7/14(日)ローザンヌ ⇒ ベルン
- 7/15(月)ベルン ⇒ チューリッヒ ⇒ デュッセルドルフ ⇒ ケルン
- 7/16(火)ケルン ⇒ ズィーゲン
- 7/17(水)ズィーゲン ⇒ デュッセルドルフ ⇒ ベルリン
- 7/20(土)ベルリン ⇒ ウィーン ⇒ 羽田(7/21着)

### 調査対象橋梁の位置(ドイツ: ズィーゲン)



bast(ドイツ連邦道路研究所)  
の紹介にて見学実現



- アウトバーンA45号線
- 上下線一体、分離構造のPC橋2橋
- 日交通量: 8~10万台
- 20年間で38橋を架替え予定
- 現在5橋で工事中

## 工事概要 (PC橋上下部工の大規模更新)

リンスドルフ橋、レールスバッハ橋(高速A45号線)	
更新/拡幅理由	・交通荷重の増加
更新/拡幅	・新設橋への架替え(2+3車線→3+3車線)
設計	・新設橋は新規建設基準の適用 ・工事中の活荷重増(4車線)に対応のため、中間支点部のせん断補強
施工	・供用中の上下4車線を確保し、車線切り替えを行いながら更新 ・発破を用いた既設橋の撤去 ・リンスドルフ橋(上下線一体構造)は上部工押し出し架設後に上下部工一体で10万トンを同時にジャッキで横移動(約20m)させて設置 ・レールスバッハ橋(上下線分離構造)は固定支保工を設けて架設、広域の交通規制を伴う

## 更新対象橋梁(PC橋)

竣工:1966年

### (1) リンスドルフ橋 (橋長:485.5m) : ズイーゲン市 アウトバーンA45線

#### [既設橋]

上下線一体構造

上下線 2+3車線

PCプレキャスト単純桁橋9連

#### [新設橋]

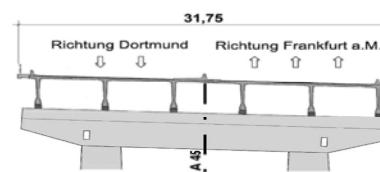
上下線分離構造

上下各3車線

7径間鋼合成箱桁橋(合成床版)

施工法:手延べ機を用いた送り出し架設  
上下部工を20mジャッキ横移動

上下線断面図



## 更新対象橋梁(PC橋)

竣工:1966年

### (2) レールスバッハ橋 (橋長:175.0m) : ズイーゲン市 アウトバーンA45線

#### [既設橋]

上下線分離構造

上下線 2+3車線

5径間連続PC箱桁橋

施工中: ウェブせん断補強

箱桁内PCケーブル補強

#### [新設橋]

上下線分離構造

上下各3車線

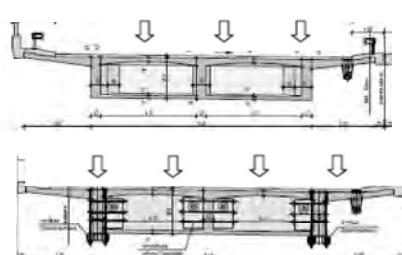
5径間連続PC箱桁橋

施工法: 固定支保工架設

ポストテンション方式

床版型枠

断面図



#### 既設橋(PC橋)

橋長:485.5m

橋脚高さ:最大72m



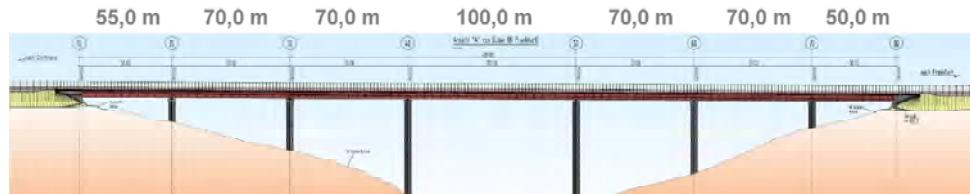
2019



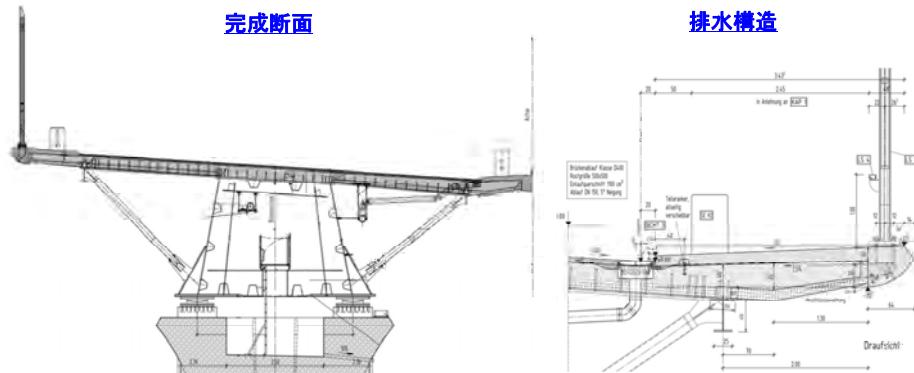
2021

## リンスドルフ橋(上下線一体構造)

## リンスドルフ橋の新設構造

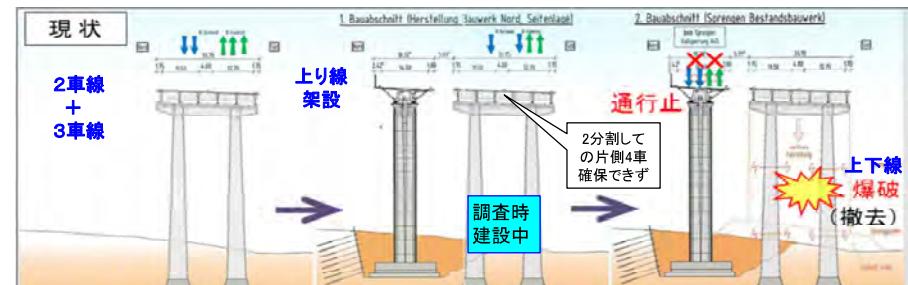


完成断面

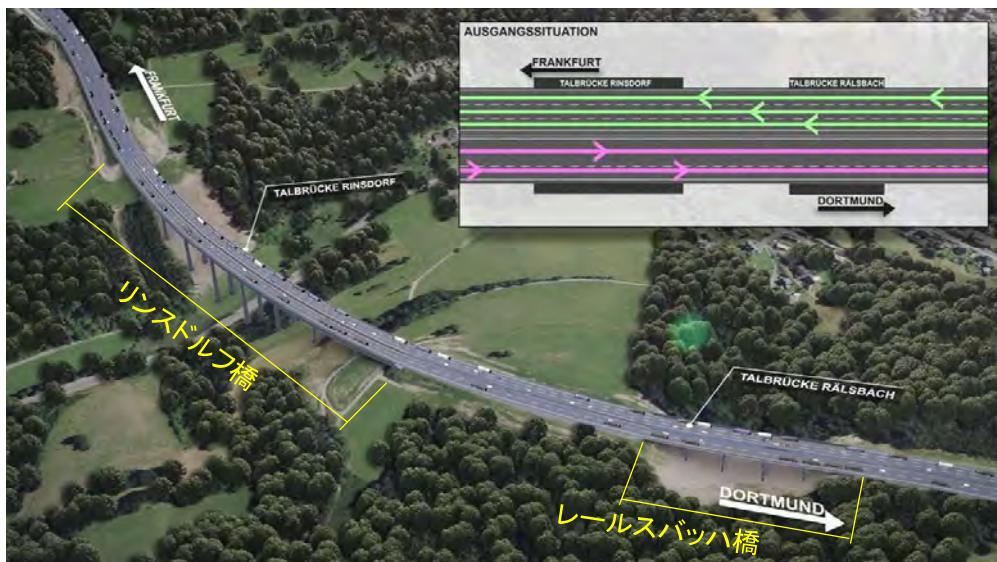


排水構造

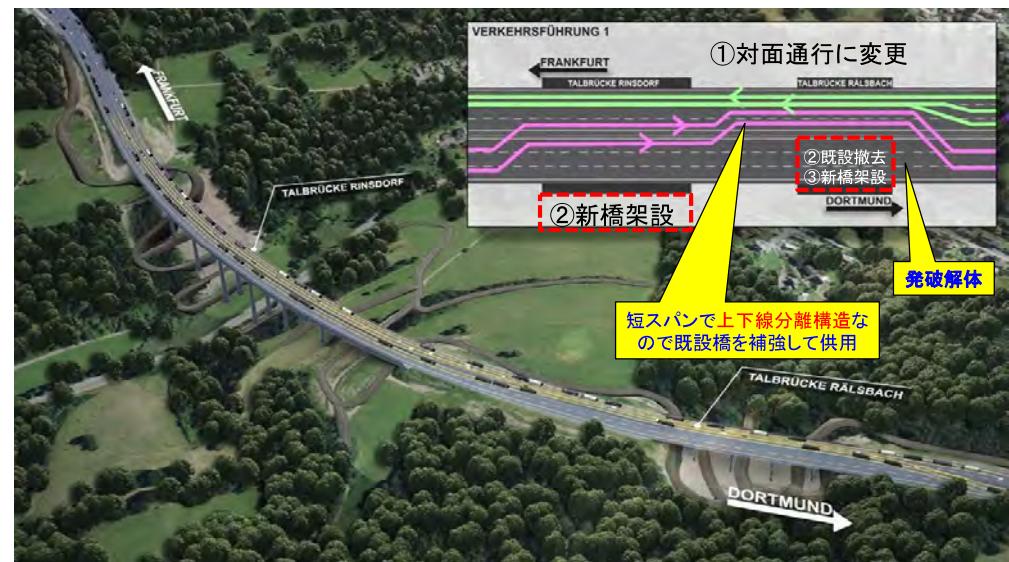
## リンスドルフ橋の施工手順(上下線一体→分離構造)



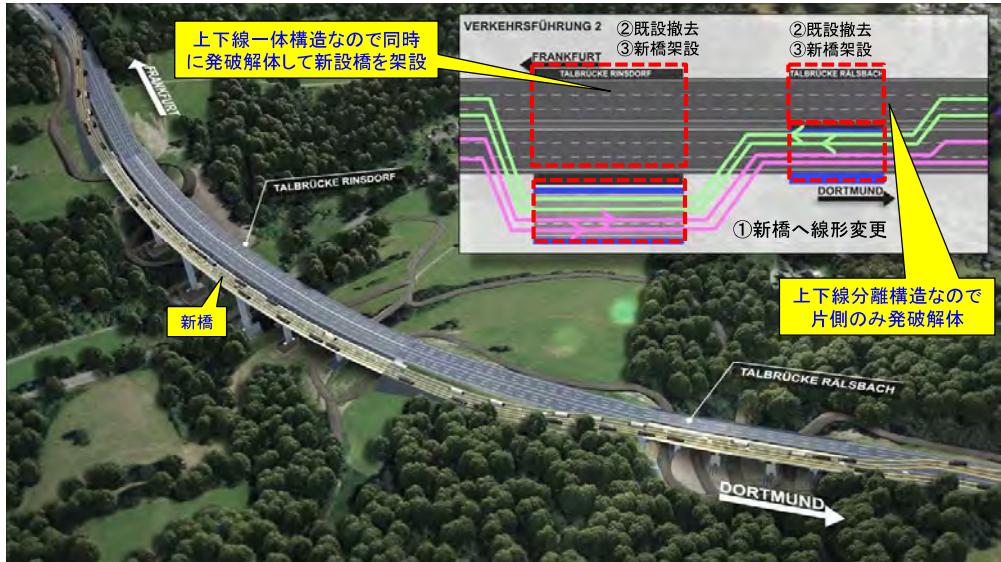
## 大規模更新-施工手順



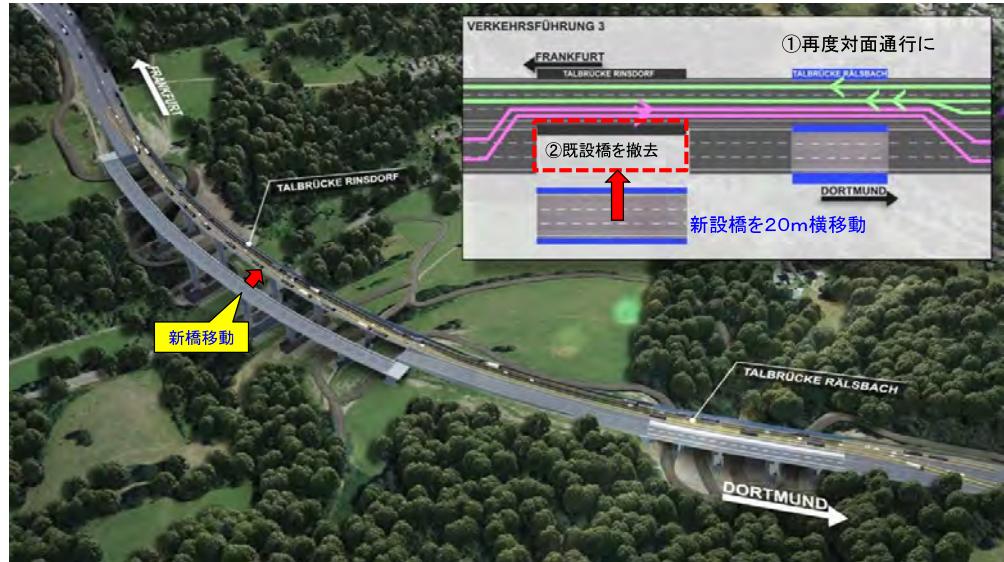
## 大規模更新-施工手順



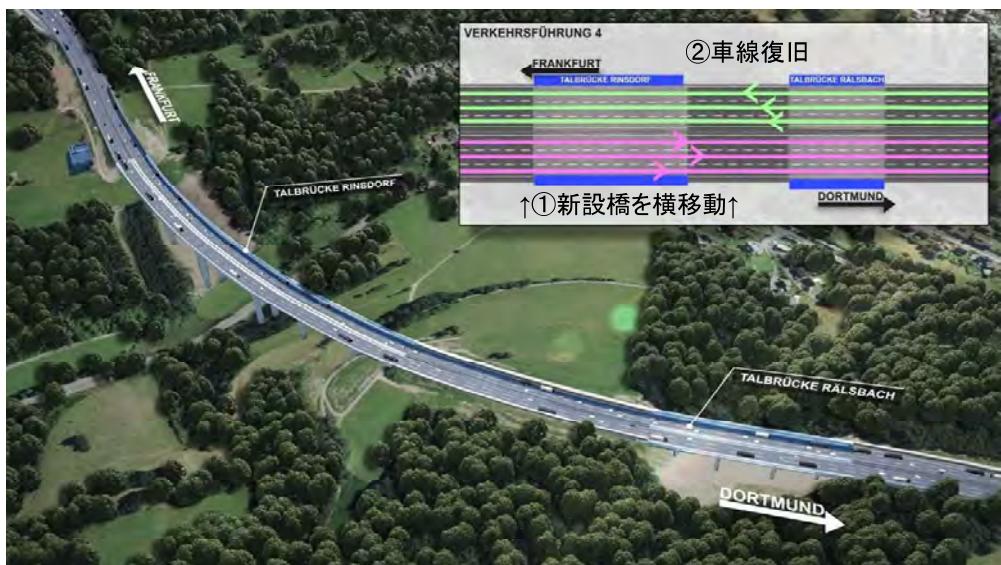
## 大規模更新-施工手順



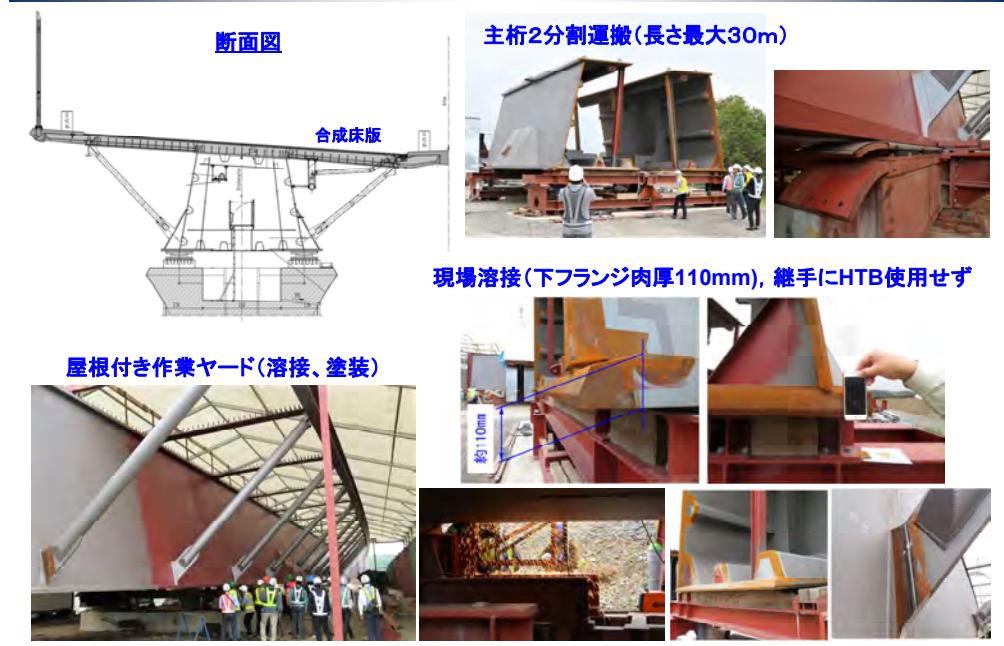
## 大規模更新-施工手順



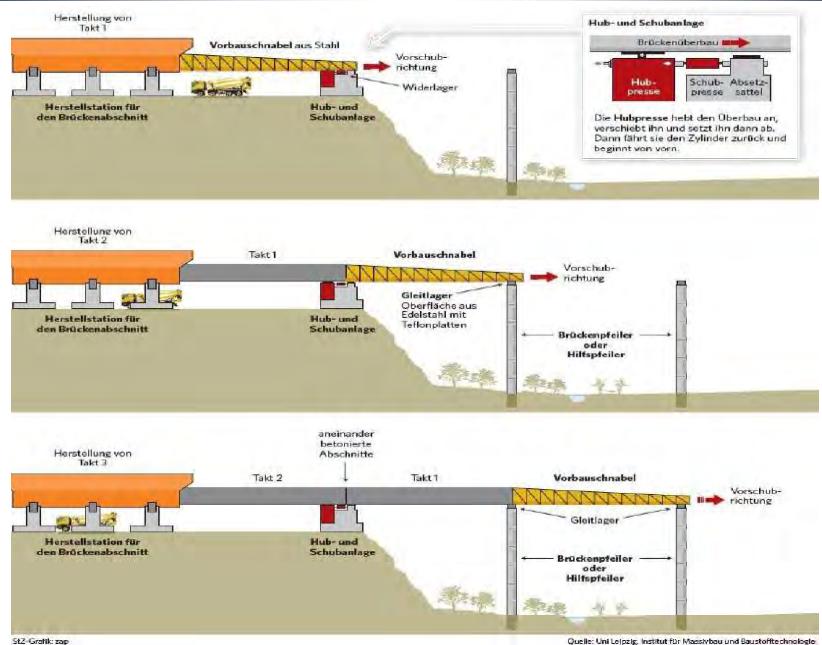
## 大規模更新-施工手順



## リンスドルフ橋の現場施工



## リンスドルフ橋の主桁送り出し

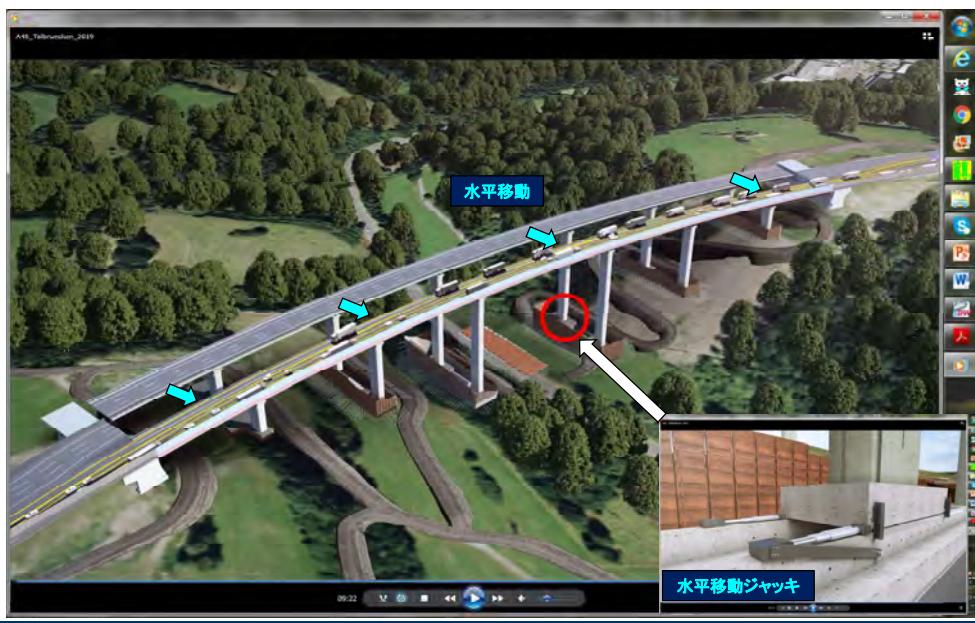


## リンスドルフ橋の主桁送り出し



## リンスドルフ橋上下部工の横移動

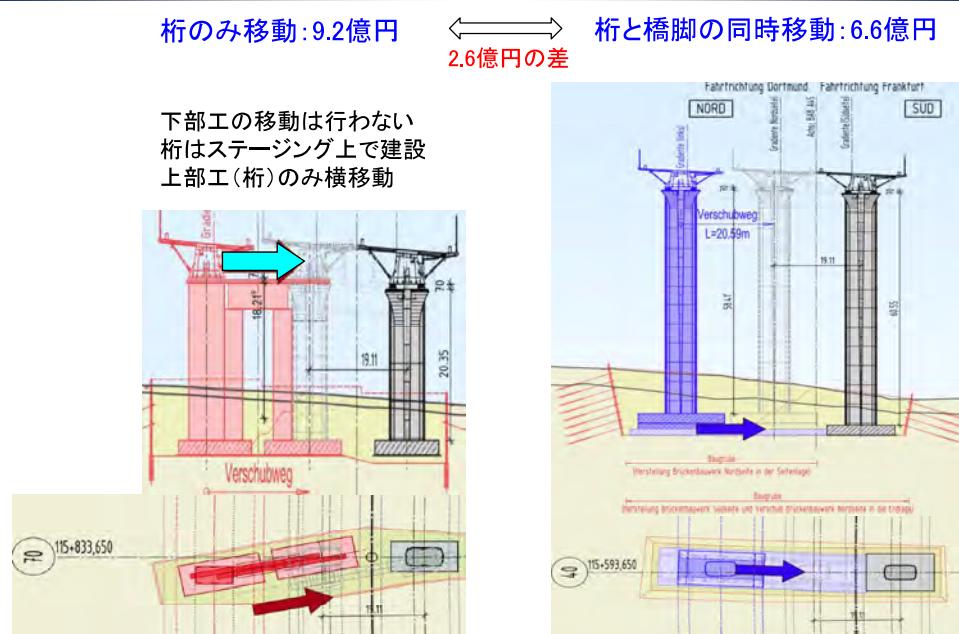
Rinsdorf 溪谷橋 (486m, 曲線橋)



## リンスドルフ橋上下部工の横移動



## リンスドルフ橋上下部工の横移動方法の比較検討



### 大規模更新動画 (ケルン近郊のアウトバーンA45線)

#### >全体架替え計画(解体と交通の切り替え手順) (10分)

[A45-Rälsbach und Rinsdorf 橋の交通切替え手順 .mp4](#)

#### >リンスドルフ橋の発破解体 橋長: 485.5m (2分) 帰国後入手

[Sprengung Talbrücke Eisern in Siegen am 18.10.2020 – YouTube](#)

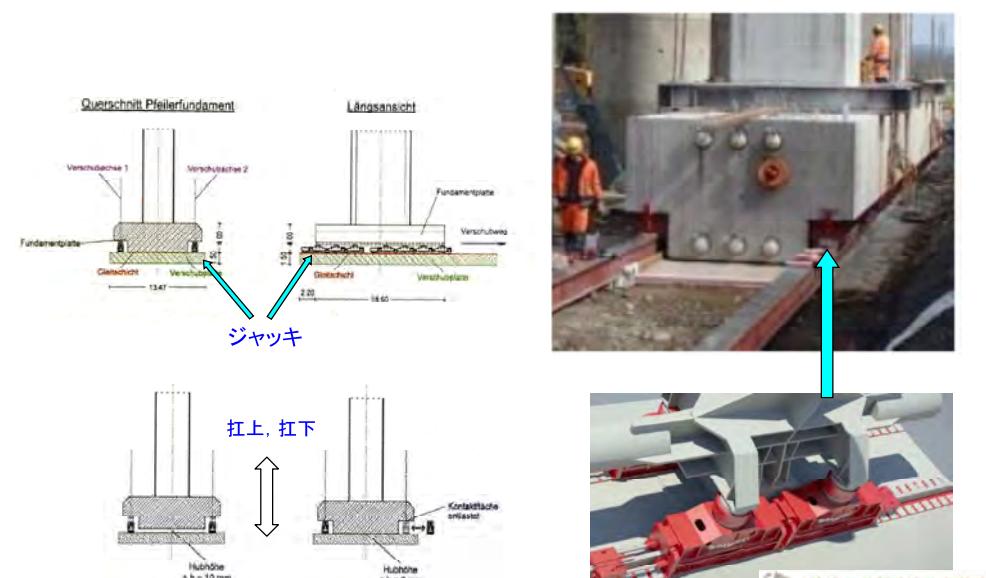
#### >レールスバッハ橋の発破解体 橋長: 175.0m (3分)

[Rälsbach 橋の発破解体動画 2020.mp4](#)

bast(ドイツ連邦道路研究所)  
の紹介にて見学実現(7/7)



## 他橋での橋脚の横移動の例



### レールスバッハ橋の発破解体(上下線分離構造) 橋長: 175.0m



綿密な発破検討

↓  
発破解体により  
1か月工期短縮



既設橋  
(補強して供用)  
(通行止め)



既設橋  
(発破解体)



## >レールスバッハ橋の発破解体 橋長:175.0m (3分)



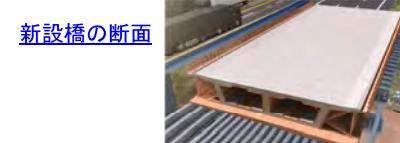
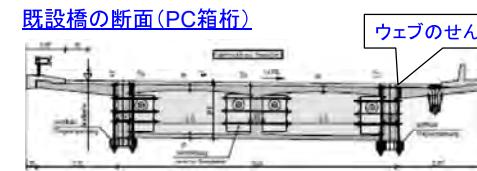
## >リンスドルフ橋の発破解体 橋長:485.5m (2分)



## レールスバッハ橋の現場施工(上下線分離構造)



## レールスバッハ橋の現場施工(ウェブ補強)



## テレビ取材、見学の様子



ドイツTV



## 大規模更新まとめ

### ●技術立国ドイツの緻密な一面

- 10年以上に及ぶ周辺の動植物等に関する環境アセスメント評価
- 現場の施工条件(施工ヤード、供用下での拡幅等)を踏まえた工法選定
- 長期に渡る工事が経済活動を支える交通への影響についても施工母体が国や地方と長年協議し、綿密な調整と将来予測のもとで実施

### ●施工の合理化と耐久性評価

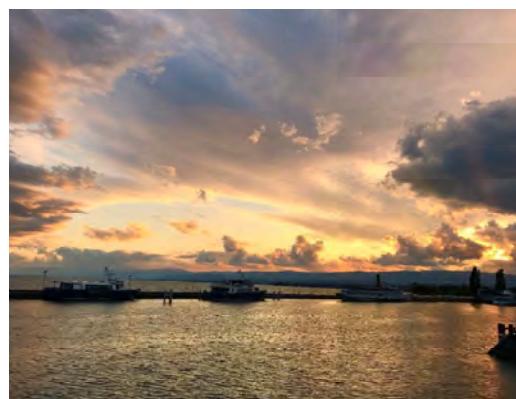
- 工夫された発破解体工法の採用
- 上下部一体構造(10万トン)の横取り工法の採用
- 現場溶接の採用(厚板溶接、HTB不採用)
- 一部の橋はPC構造から鋼・コンクリート合成構造へ
- 上下線一体構造から分離構造へ

## 北ドイツ地方 テレビ局ニュース(3.5分)



### 北ドイツ地方 テレビ局現場見学放送(3.5分)

## 3. 新材料(UHPFRC)用いた補修・補強、新設



レマン湖畔



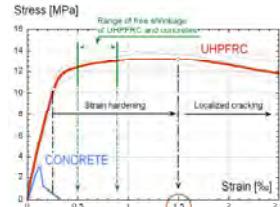
戻る

### 3.1 EPFL(ローザンヌ工科大学)訪問



### 研究室と実験棟

#### UHPFRC関連の試験



### 研究室と実験棟

#### 学内の案内の状況



UHPHRCで作った折り板試験体



#### 土木工学棟の看板



Bruehwiler教授の研究室の看板



### 意見交換会

#### 北大・松本教授のプレゼン



Bruehwiler教授  
(コンクリート  
材料、構造)

Nussbaumer教授  
(鋼構造)



藤野団長

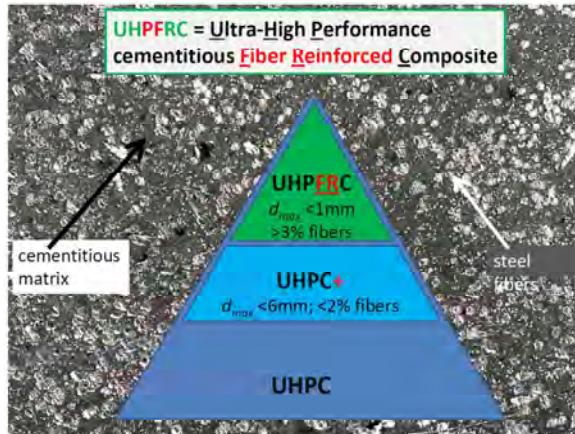


## 適用した補修・補強用新材料(UHPFRC)

UHPFRC = 超高性能繊維補強セメント系『複合材』

Ultra-High Performance cementitious Fiber Reinforced Composite

「軽くて丈夫でスマートなセメント系複合材料！」  
「高強度」ではなく「高性能」！



Prof. Eugen Brühwiler  
(スイス連邦工科大学教授)

スチールファイバーを多く混  
合したセメント系複合材料

UHPFRC:  $D_{max} < 1\text{mm}$   
S.Fibers  $> 3\%$   
UHPC+:  $D_{max} < 6\text{mm}$   
S.Fibers  $< 2\%$

## 補修・補強材としてのUHPFRCの特長

### 特長

- ・圧縮強度、弾性係数とも通常コンクリートに比べて高い  
→ 薄い断面でも優れた物性
- ・構造が非常に緻密で透気性・透水性が小さい  
→ 耐久性に優れる
- ・高い流動性と適度な粘性があり、混入された繊維を偏らせることなく自己充填性を発揮する  
→ 施工性が良い  
既存コンクリート研ぎ面の凹凸にフィット
- ・蒸気養生不要  
→ 現場打設可能



新設はもちろん、特にレイヤー（層）を作る補修・補強材として  
非常にポテンシャルが高い材料。

## 補修・補強材としてのUHPFRCの特長

- ・cement-based matrix (max. grain size = 0.6 mm)
- ・3 to 4%-Vol. steel fibers (0.2/13-15 mm)

Table 1 Mechanical properties of UHPFRC Holcim 707/710 (average values):

Tensile strength (uniaxial tensile test)	$f_{tu}$	11 MPa
Elastic limit tensile stress	$f_{tu}$	8 MPa
Strain hardening	$\varepsilon_{tu}$	3 %
Flexural tensile strength		40 MPa
Compressive strength (cylinder)		170 MPa
Modulus of elasticity	$E_u$	45 GPa
Wearing resistance according to Bohme DIN 52108		4.4 cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup>

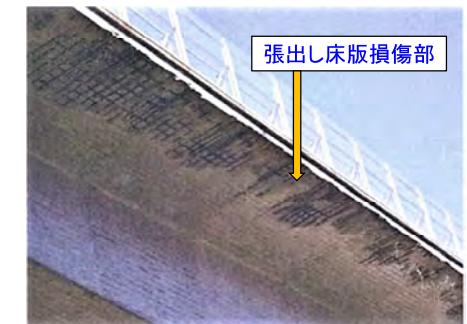
- ・fresh mix holds a slope up to 13%
- ・durability: extremely low air permeability and water conductivity, very high resistance against freeze-thaw-cycles, sulfates and AAR.



急こう配



## 3.2 PC箱桁橋の補修・補強(ポーゼ橋)現場視察



張出し床版損傷部

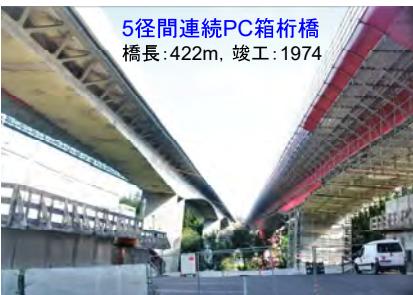
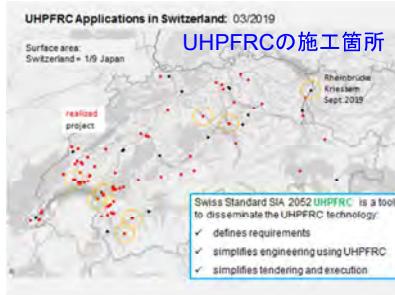


主桁の断面修復部

工事前

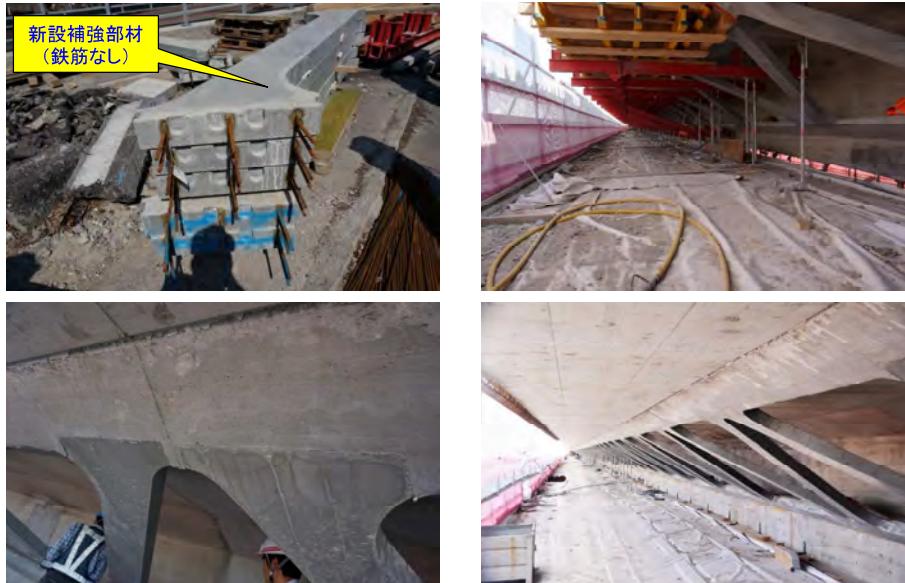
視察時

## 補修・補強対策の概要

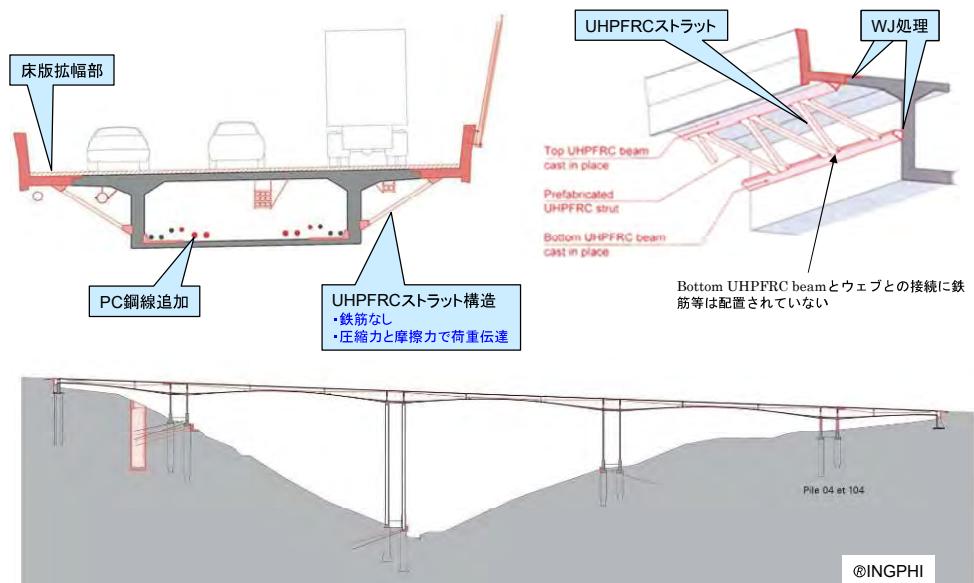
補修理由と対策	
対策原因	<ul style="list-style-type: none"> <li>老朽化</li> <li>交通荷重の増加(交通量 &amp; 大型車)</li> </ul>
主な対策	床版拡幅とその補強に新材料(UHPFRC)を用いたストラット構造を採用 桁と床版の部分補修
設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>上部工については、拡幅床板分の自重増加に対して外ケーブルの追加緊張</li> <li>現行の活荷重条件にも対応</li> <li>床板の増厚等は行っていないが、遮音壁の設置を行っている</li> </ul>
施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設コンクリート(桁、床版)変状部の断面修復</li> <li>損傷した張出し床版の切断後、ストラットを配置し再構築</li> <li>1車線規制して対応</li> </ul>
 <p>5径間連続PC箱桁橋 橋長:422m, 竣工:1974</p>	
 <p>UHPFRC Applications in Switzerland: 03/2019 Surface area: Switzerland + 1/9 Japan realized project Rheinbrücke Kriessern Sept. 2019 Swiss Standard SIA 2052 UHPFRC is a tool to disseminate the UHPFRC technology: ✓ defines requirements ✓ simplifies engineering using UHPFRC ✓ simplifies tendering and execution</p>	

## 床版拡幅に伴う張り出し部の構造補強

### プレキャストUHPFRCストラットによる構造補強



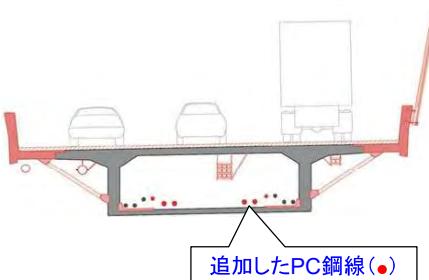
## 床版拡幅と構造補強の概要



## UHPFRCストラットによる補強後の状況



## 箱桁内部のPCケーブルによる補強



## UHPFRC補強層による補修・補強の概要

### 既存構造物の補修・補強

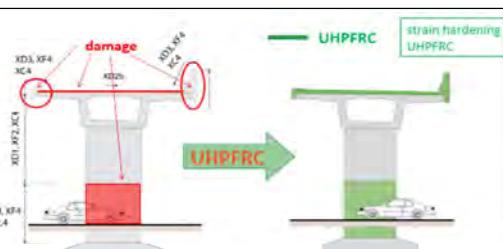
1層で複数の機能を満たす

- 曲げ・せん断強度UP
- 疲労軽減のための剛性UP
- 防水層として（緻密なので）

巻立て、増厚、断面修復

### 床板補修・補強断面

UHPFRC for waterproofing  
 $t_u = 25 \text{ to } 35 \text{ mm}$



R-UHPFRC for strengthening  
( $t_u = 40 \text{ to } 100 \text{ mm}$ ) + steel rebars



## 3.3 コンクリート床版の補修・補強(ポーゼ橋)

### 損傷状況

スイスにおけるRC床版の主な損傷要因は、凍結防止剤の散布による塩害とASRが多い



すべてWJによってはつり処理を行ってから断面修復する

## WJロボットによる床版変状部のはつり処理

### PC橋張出し部の損傷



### WJロボットによるはつり処理



高圧ポンプとハンドガン  
によるはつり処理デモ



## はつり処理後の床版端部と拡幅部



## UHPFRCによる上面補修・補強状況

2014, 2015年で全長を施工(2,100m)  
打設量: 1,125 m<sup>3</sup>  
床版厚さ 40~100mm



ローダーによるUHPFRC打設



## 3.4 コンクリート床版の補修・補強(シオン高架橋)



シオン(Chillon)高架橋: 橋長2,100m



練混ぜ,  
攪拌,  
出荷



## 3.5 コンクリート床版の補修・補強(カドレックス高架橋)

カドレックス(Cudrex)高架橋(橋長450m)

補強前



床版表層の補修・補強(2016)



8工区(450m)を36時間で仕上げる緊急施工

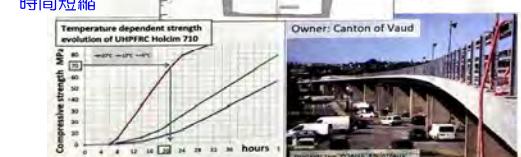
Enhancement of the Cudrex Viaduct (2016)

Concept: accelerated intervention in 8 work phases of 36 hours

Saturday 5pm - Monday 5am

Total length: 450m

時間短縮



## 施工前後の状況



施工状況(土曜PM5～月曜AM5(36hr))



補強後



Costs : UHPFRC works 28'000 JPY per m<sup>2</sup> bridge deck surface + further works (piers, bearings, dilation joints) = about 20% of hypothetical replacement project



## 3.6 新設歩道橋の架設

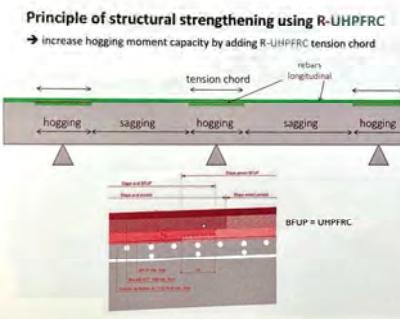
ブーヴェレ(Bouveret)高架橋



橋全体が新材料  
(UHPFRC)

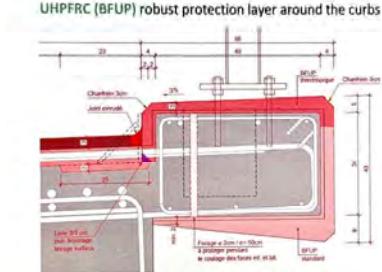
小学校

## 混合するファイバーの改善



部分的な弱点部の構造補強や被覆防水などの様々なUHPFRCのメリットを生かしつつ

今後はスチールファイバーをポリエチレン製のファイバーに代えていく予定  
(ECOマトリックス:UHMW PE)



Next generation UHPFRC

→ use ECO-matrix (replace clinker by limestone filler)  
→ replace steel fibers by UHMW PE



## ブーヴェレ高架橋の構造図

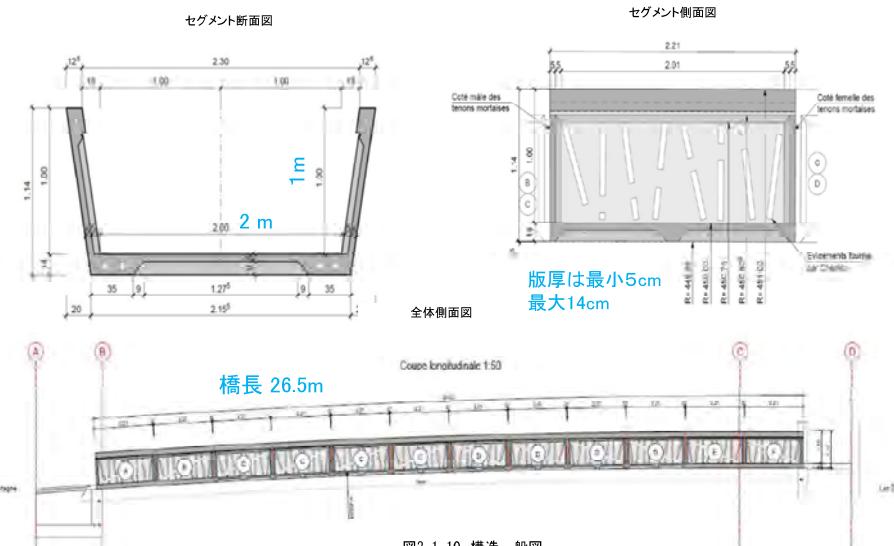


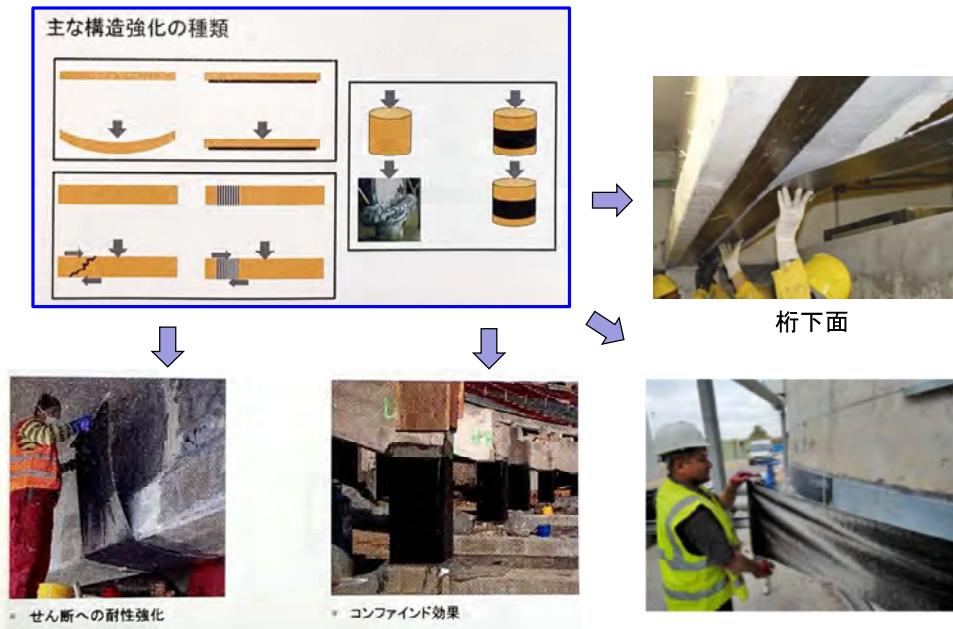
図3.1.10 構造一般図

## セグメント単体と一括架設



この橋の建設費:  
2,600万円

### 4.1 シートによる桁、橋脚の補強



## 4. 炭素繊維を用いた補修・補強事例

アーレ川とコルンハウス橋(スイス:ベルン市)



戻る

### 4.2 プレート材(CFRP)による床版補強

各種補強材



【硬化を促進するヒーター】  
SIKA® CARBOHEATER 2

- Sika CarboOur®の硬化を促進する機械。
- 構造物外側に設置されたプレートやNSMプレートへの使用に適している。

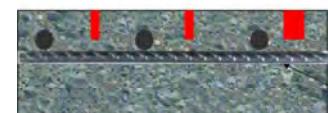
■ コンセプト(概念):

- プレートへの電流の導入。
- 電気抵抗率が要因となり、繊維が温まる。
- 熱い板が接着剤を温め、
- 管理された状況下での高さでの硬化促進につながる。
- 硬化が早いので工期短縮に。



硬化促進に向けた  
ヒーター加熱

【下地表面に注入する補強材】



プレート挿入工法

- コンクリートスラブの負曲げ補強
- 下地調整不要: 凹凸箇所の施工コスト削減
- 低品質の下地などにも向く

## 4.3 柄のせん断補強

### 成型板による補強



### ウォータージェットはつりシステム



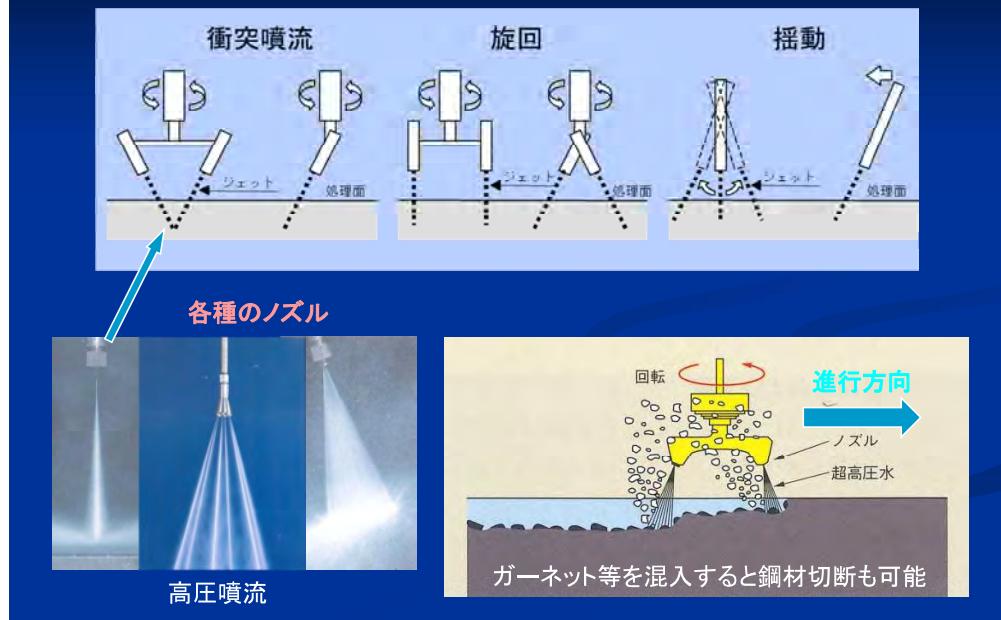
## 5. WJ工法と比較したブレーカ工法の問題

### ウォータージェットはつり装置

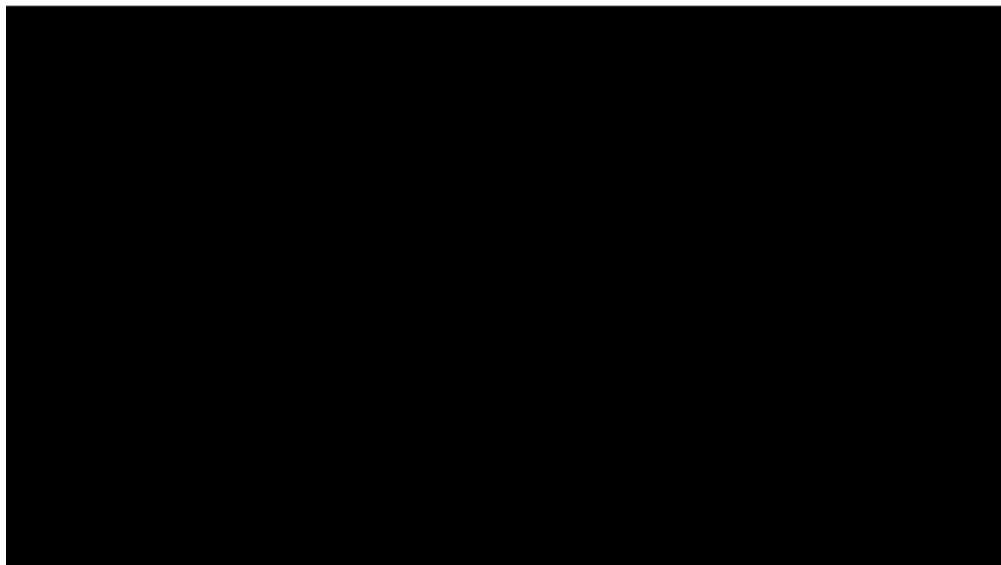
CONJET社HPより



### WJ工法—ノズル操作による破碎方法の違い



## WJロボットを用いた床版上面のはつり処理

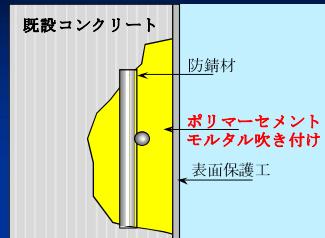


CONJET 2016

[解説動画](#) 3.5分

## コンクリート構造物の断面修復工事

- 塩害, 中性化, 凍害, ASR, 疲労, 初期欠陥等の対策
- 変状部を除去し, 新しい材料を吹付け or 流し込み
- 鉄筋背面まではつり処理を行う



WJによるはつり処理

→ 吹付けによる断面修復(施工事例はかなり多い)



2002.11



WJロボット

2002.11

## Golden Gate bridge



断面修復事例

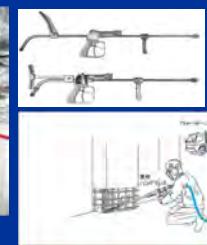
2015.10



## WJ工法とブレーカ工法の概要

### WJ工法

- はつりロボットの自動制御(プログラミング)
- ハンドガンを用いた人力施工



### ブレーカ工法

- 人力施工

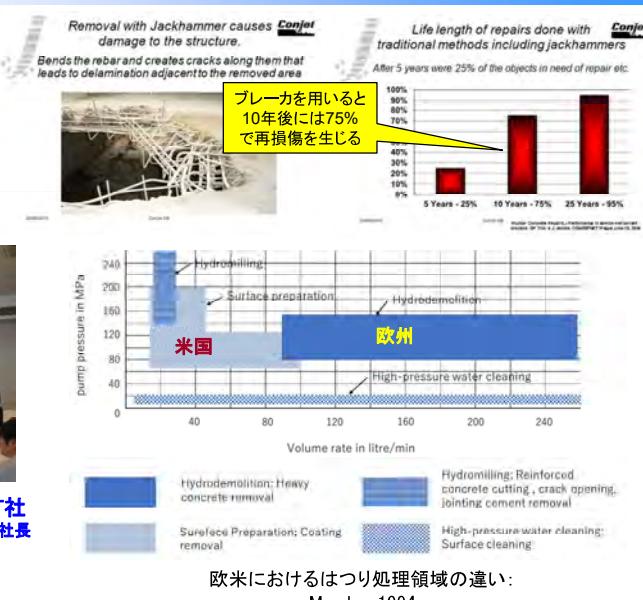


## 再損傷の発生率(CONJET社ニルソン副社長)

ベルリン工科大学



CONJET社  
ニルソン副社長



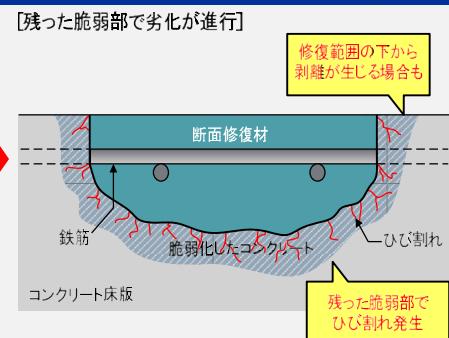
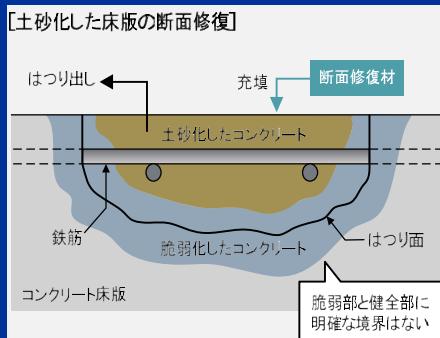
戻る

## 断面修復部の再損傷の問題

日経コンストラクション特集記事(2018.8.27)

### ● 再劣化が生む負の連鎖 — 補修後の悪夢

- 想定外の再劣化が、自治体の予算不足に追い討ちをかける
- 場当たり的な工法選択やいい加減な施工では、補修のトラブルは防げない
- 補修時に劣化が進行する要因を取り除けなかったことで再劣化に多額の費用



日経コンストラクション特集記事および広島コンクリートメンテナンス協会HPを参考に作成

## Hydrodemolition versus jackhammers Advantages versus disadvantages

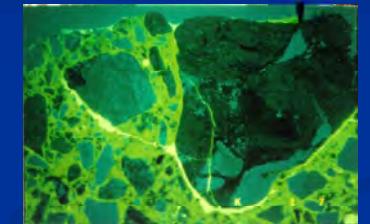


Creates no micro cracks



- Creates super bonding
- Rough surface – good bond
- Bond strength more than 1,5-2,0 MPa
- Selective removal removes the bad and leaves the good concrete to an equal quality level
- Reinforcement not damaged
- Long lasting repair effect

Creates micro cracks



- With micro crack: no bonding
- Bond strength less than 1,0 MPa
- Non-selective removal removes the good as well as the bad concrete uncontrolled.
- Reinforcement damaged
- Causes damages to the operator
- Subject to an earlier repair again

## 断面修復後、早期に再損傷を生じる原因推定

—コンクリート表面の下地処理に着目—

### 1. ブレーカ工法の採用—ひび割れ損傷の発生

打撃に伴う表面近傍のひび割れ発生 → 脆弱な打継ぎの原因

鉄筋損傷

ひび割れ



→ 鉄筋損傷

## 断面修復後、早期に再損傷を生じる原因推定

### 2. ブレーカ工法の採用—表面の清浄性の確保が難しい

表面の汚れ、粉塵の残留 → 脆弱な打継ぎの原因

泥分の堆積



粉塵、はつりガラの残留



## 断面修復後、早期に再損傷を生じる原因推定

### 4. はつり不足—劣化因子の残留



塩害による主筋の損傷部

塩化物の除去が不十分だと

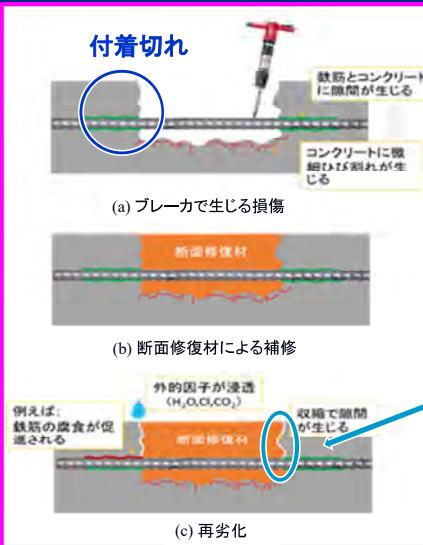
- 鋼材腐食に伴うひび割れが発生
- 雨水等の劣化因子が浸入
- 再劣化が始まる



## 断面修復後、早期に再損傷を生じる原因推定

### 3. ブレーカ工法の採用—鉄筋の打撃に伴う付着切れの発生

鉄筋の付着切れに伴う再損傷のメカニズム



→ 耐久性の低下

修復材と母材界面の付着切れが  
拍車をかける(養生不良)



## コンクリート構造物のはつり処理に関する技術的課題

変状部に対しては、経済的で耐久性の高い復旧対策が求められているが...

- 欧米で汎用的なWJ工法は国内でも徐々に普及してきている。
- 断面修復等の工事で広く一般的に利用されているブレーカ工法の問題はあまり指摘されておらず、文献も極めて少ない。

これらの工法がコンクリート構造物に及ぼす影響を明らかにする必要がある

ブレーカ工法とWJ工法について

- 発生する微小ひび割れ(マイクロクラック)の深さと分布
- 新旧コンクリート打継ぎ部の付着性状
- 鉄筋との付着切れ

どうやって？ → X線CT法の適用

# X線CT法の適用によるはつり処理工法の評価

## ● はつり処理後のコンクリート内部評価:X線CT装置で分析

X線はコンクリート内部の空隙等を微細な単位で分析、把握できる

マイクロフォーカスX線CT装置



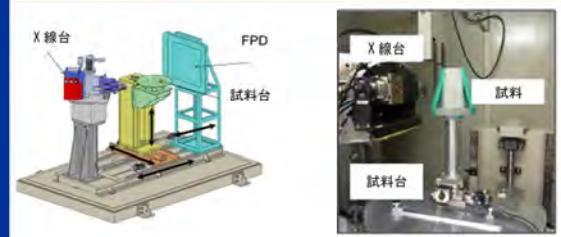
(熊本大学所有:東芝製)

果たしてブレーカーで  
ひび割れはどの程度  
生じるのか?

マイクロフォーカスX線CT装置の仕様

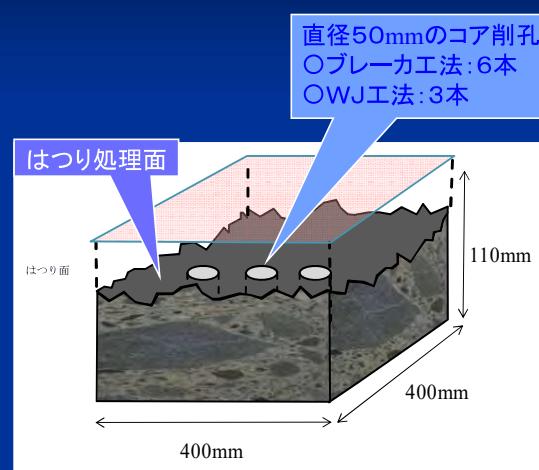
X線写真的視野	400 mm, 高さ 500 mm
ディスプレイのピクセル数	Cone 1024×1024
解像度	最小 $5\mu\text{m}$
コーンビームのスキャン方法	ノーマル, オフセット, ハーフ
X線ビームの厚さ	最小 $5\mu\text{m}$
X線強度	最大 240 kV (140 W)
試料の最大重量	245 N

マイクロフォーカスX線CTスキャナシステムと外観



## 供試体からのコアの採取

### ● はつり処理面を含むコアの採取



コンクリートブロック(はつり処理後)



円柱コア

## 分析に向けた供試体の作成

### ● はつり処理面を含むコアの採取

ブレーカ工法によるはつり処理

重量7.3kg  
はつり深さ2cm



処理面



WJ工法によるはつり処理

水圧: 180MPa,  
水量: 20L/min  
はつり深さ10cm



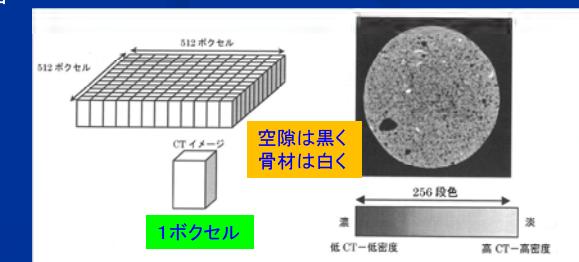
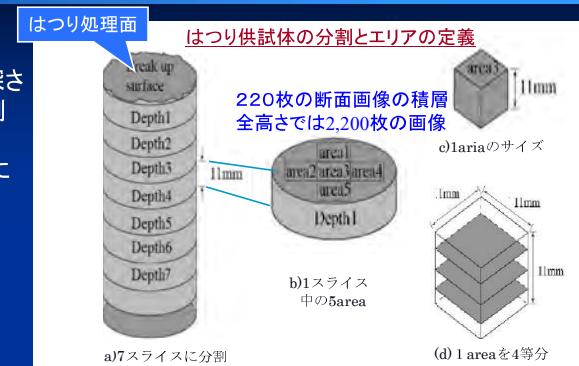
処理面



## 供試体と画像解析

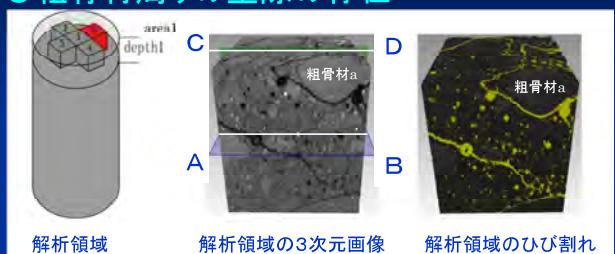
### ● 画像解析手順

- Φ5cm, 高さ11cmの供試体を、深さ方向にDepth 1～Depth 7に分割
- 各スライスを、5つのarea(1～5)に分割
- 各areaは1辺11mmの立方体、220枚の断面画像(スライス厚0.05mm)で構成
- 各areaから3枚の断面画像を抽出し、それぞれのしきい値から空隙領域を求める

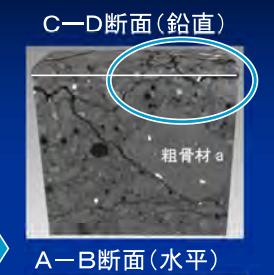
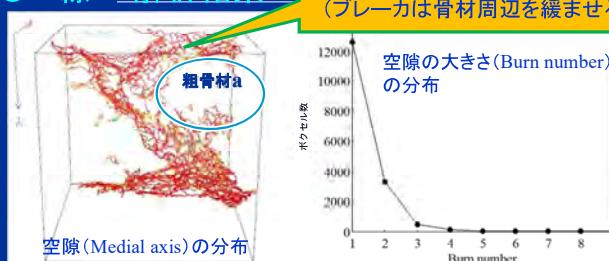


## ブレーカ工法が粗骨材周辺に及ぼす影響

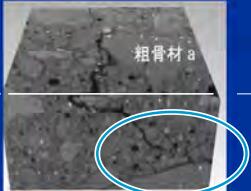
## ●粗骨材周りの空隙の存在



## ● X線CT解析結果

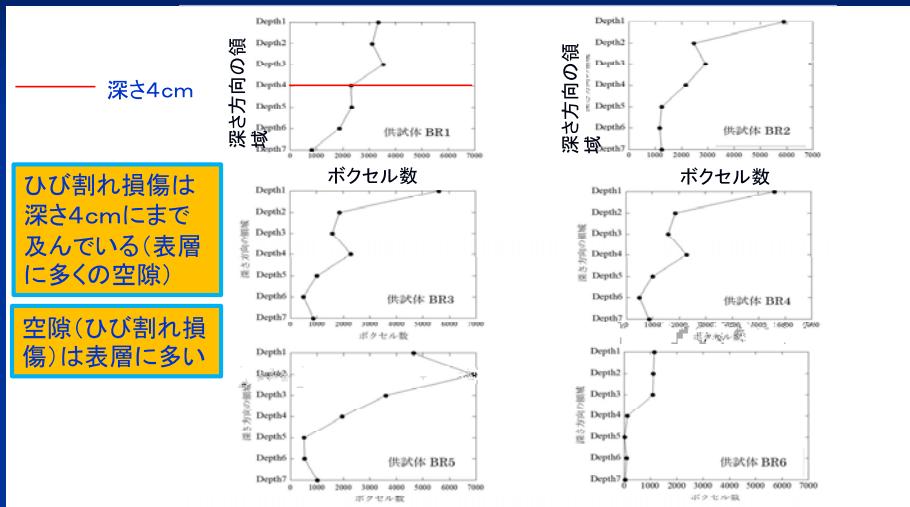


A-B断面(水平)



## ブレーカ工法とWJ工法の解析結果の比較

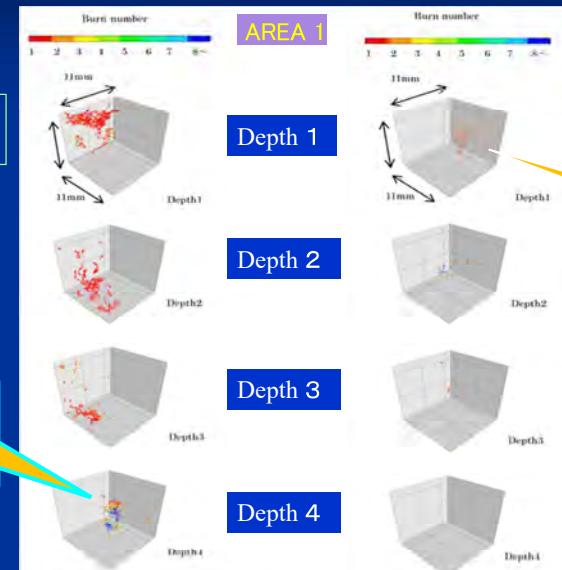
#### ●ブレーカ工法ではつり処理した各供試体の微小空隙の分布



ブレーカ工法ではDepth 1(表層付近)に多くの空隙がある → ヘアクラックを生じる

## ブレーカ工法とWJ工法の解析結果の比較

### ●深さ方向の空隙(Medial axis)の分布(立方体を斜め上から見た図)

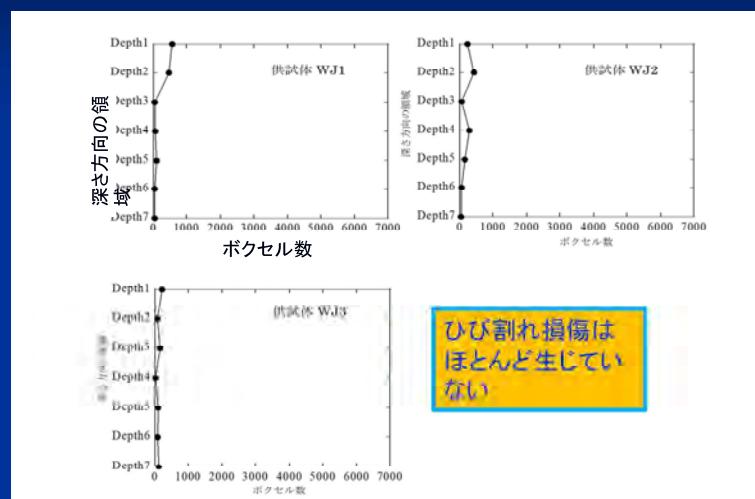


WJ工法  
(W.J1)

微細ひび割れ  
が僅かに発生

## ブレー加工法とWJ工法の解析結果の比較

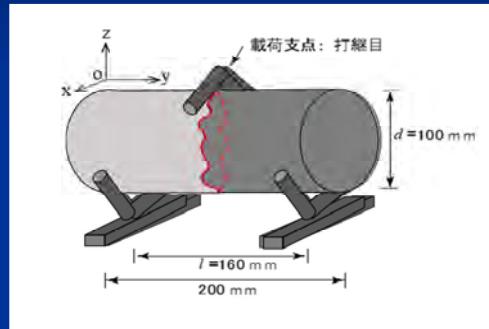
#### ●WJ工法ではつり処理した各供試体の微小空隙の分布



ひび割れ損傷は  
ほとんど生じてい  
ない

## 打継ぎ目の曲げ強度試験（はつり処理の影響評価）

### ●円柱コア打継ぎ部の曲げ強度試験



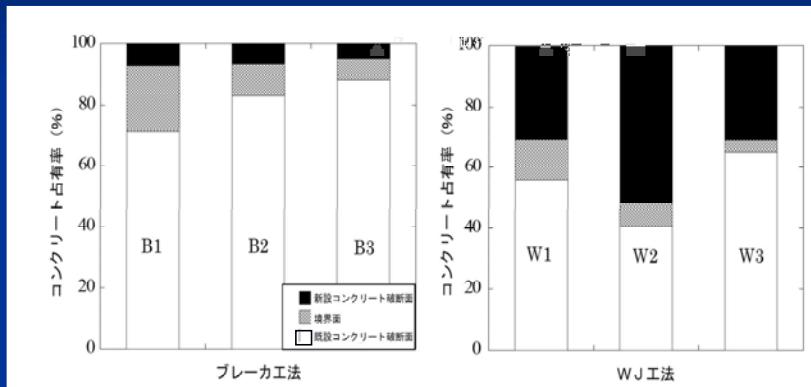
理論式

$$f = K_{c3} \frac{8Pl}{\pi d^3}$$

$$K_{c3} = -0.006\left(\frac{l}{d}\right)^2 + 0.062\left(\frac{l}{d}\right) + 0.79$$

## 円柱コア打継ぎ目の曲げ強度試験

### ●各コア破断面における面積の割合

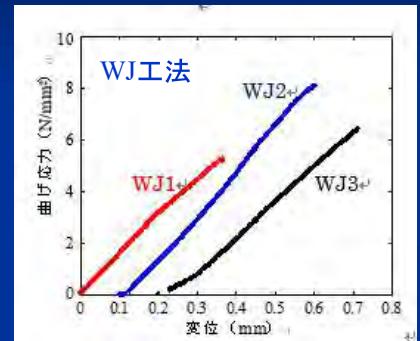
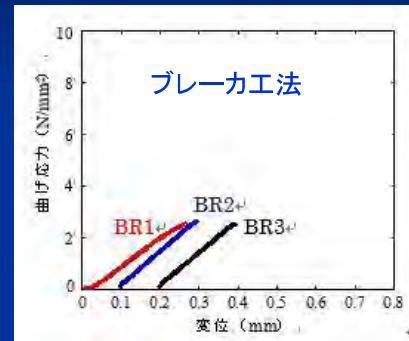


破断位置

- ブレーカ工法: 約80%が既設コンクリート側で破断 → はつり処理面が弱点
- W J 工 法: 新設・既設がほぼ拮抗

## 円柱コア打継ぎ目の曲げ付着強度試験

### ●各円柱コアの曲げ試験結果(曲げ付着強度一変位曲線)

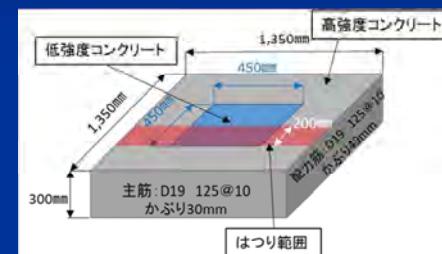


円柱コア打継ぎ目の曲げ付着強度試験結果

- 曲げ付着強度; ブレーカ工法供試体 < WJ供試体 (ブレーカ供試体の2倍以上)
- 破断時の変位; ブレーカ供試体 < WJ供試体

## 鉄筋の付着切れ確認に向けた供試体の採取

### ●鉄筋付着切れ供試体の作製



試験体の模式図



東空販売製  
TCB-200 (質量20kg)



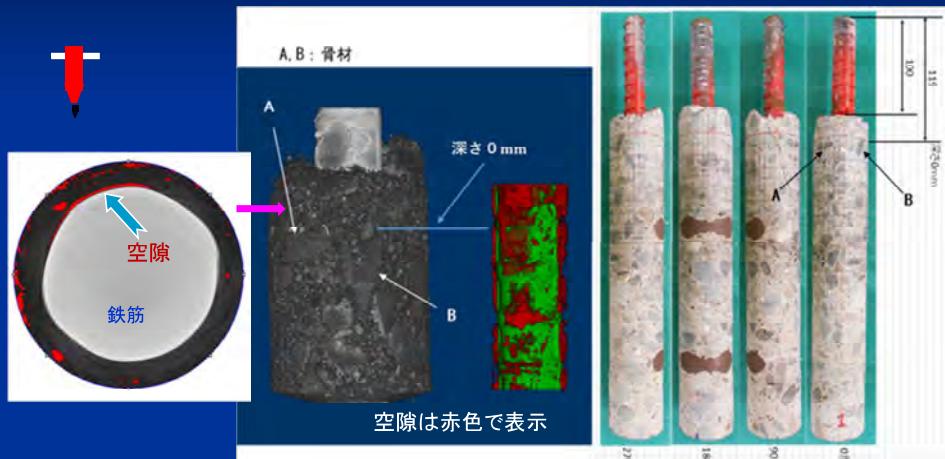
供試体の採取位置



供試体  
(φ 50mm)

## (1) X線CT解析による鉄筋の付着切れ評価

### ● 鉄筋とコンクリートの付着切れの分布



## (2) 弹性波速度試験における鉄筋の付着切れ評価

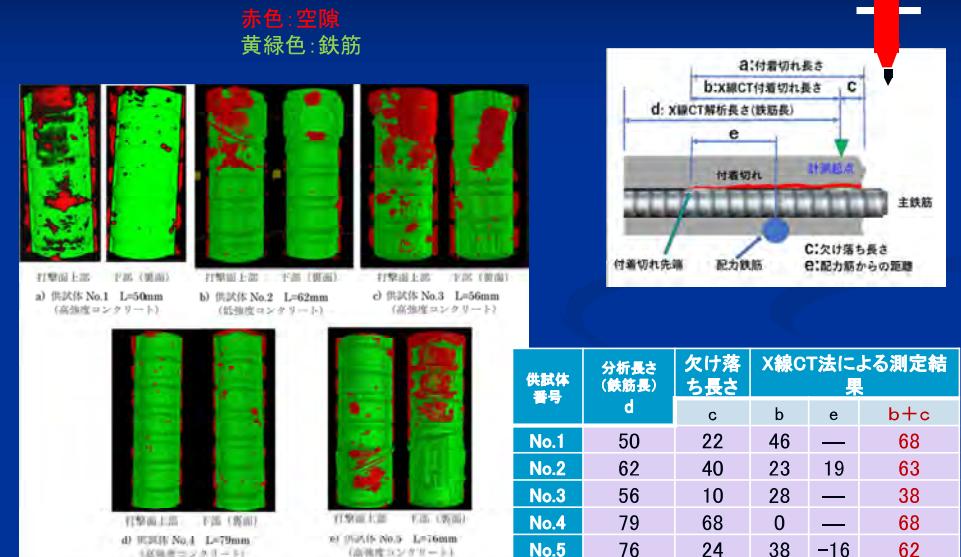
### ● 試験機および測定方法



20kHz以上の周波数の超音波を送受信  
深さ方向に10mmピッチで100mmの奥行まで測定  
円周方向に角度20度ごとに360度まで測定  
健全なコンクリートでは 4,000m/sec近い伝播速度となる

## (1) X線CT 解析による鉄筋の付着切れ評価

### ● 鉄筋とコンクリートの付着切れの解析画像

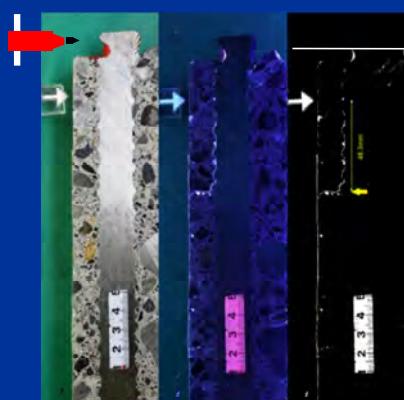


## (3) 蛍光エポキシ樹脂含浸法による目視調査

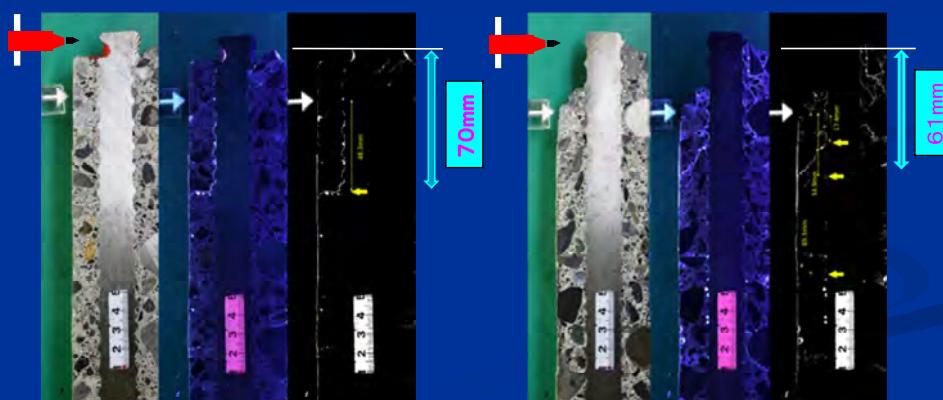
### ● 付着切れ調査結果

蛍光エポキシ樹脂を1時間真空脱泡で含侵させ、1週間後に切断観察

供試体No.1  
(高強度コンクリート部)



供試体No.2  
(低強度コンクリート部)

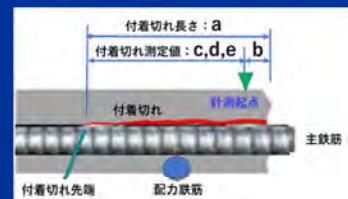


## 鉄筋の付着切れ調査結果のまとめ

### ● 各種方法による鉄筋の付着切れ長さ調査結果一覧

供試体番号	欠け落ち部の長さ(実測) b	X線CT法による測定結果		蛍光エポキシ樹脂含浸法による測定結果		弾性波速度による測定結果	
		空隙の深さ c	付着切れ長さ a=b+c	ひび割れ長さ e	付着切れ長さ a=b+e	損傷深さ d	付着切れ長さ a=b+d
No.1	22	46	68	48	70	50	72
No.2	40	23	63	21	61	—	—
No.3	10	28	38	31	41	—	—
No.4	68	0	68	3	71	—	—
No.5	24	38	62	39	63	—	—

(単位:mm)

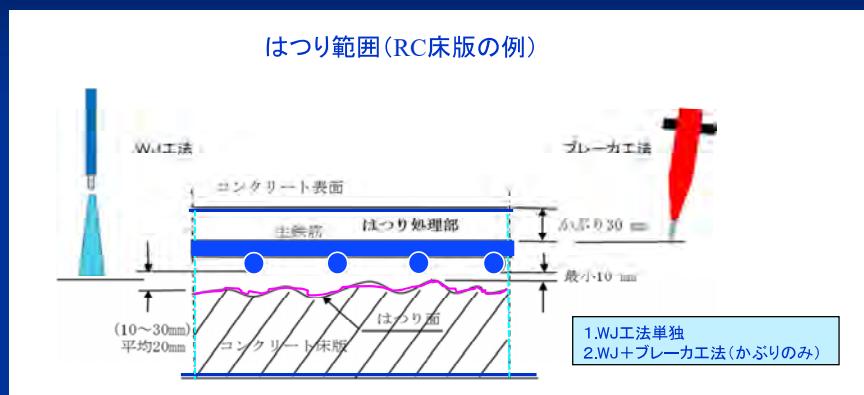


どの手法においても、よく一致している

結論：付着切れの奥行は約70mm

## はつり処理方法の提案

### 構造物・部位・部材ごとのはつり処理方法

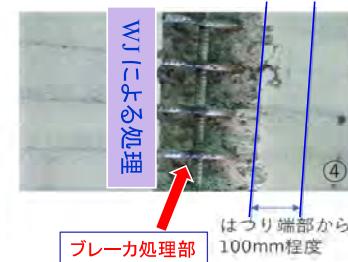
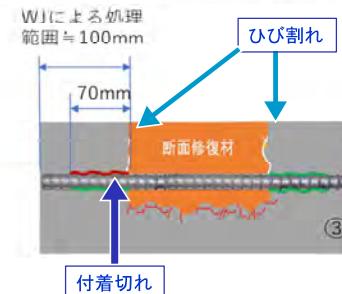


- かぶりまでのはつり制限 — 鉄筋の防錆、付着の確保
- 鉄筋背面までのはつり — 塩分などの劣化因子の除去  
粗骨材の充填  
鉄筋との一体化による断面の安定性確保

## はつり処理方法の提案

### 構造物・部位・部材ごとのはつり処理方法(RC床版の例)

#### RC床版: ブレーカ工法とWJ工法の併用



## WJ工法による清浄なはつり処理面

はつり処理面の設定は鉄筋背面まで一再損傷の防止目的



## まとめ(X線CT法を利用したはつり処理工法の評価)

コンクリート構造物内部のひび割れ発生状況の定量的な評価にはX線CT法が有効であり、その画像解析を用いて得られた主な成果は次のとおりである

### (1)はつり処理後のひび割れ損傷深さ

- WJ工法ではつり処理を行ったコンクリート表面および内部には微細ひび割れはほとんど発生しないが、ブレーカ工法では、はつり面近傍の浅い領域を中心に多数の微細ひび割れが発生する
- そのひび割れは深さは、最大で約40mmの深さにまで達する

### (2)新旧コンクリートの一体化

- WJ工法とブレーカ工法によるはつり処理後の新旧コンクリート間の付着には大きな差があり、WJ工法はブレーカ工法の2倍以上の曲げ強度が得られる
- 打継ぎ目の破断位置は、ブレーカ工法では約80%が既設コンクリート側で破断するが、WJ工法では既設側、新設側でほぼ均等となる

### (3)鉄筋の付着切れの発生

- ブレーカ工法を用いたはつり処理により、はつり処理した端部から最大で約70mmの奥行きまで鉄筋の付着切れが発生する

### (4)鉄筋の損傷

- ブレーカ工法を用いると、表面付近の鉄筋は打撃を受けて著しく損傷する

ご静聴ありがとうございました



## 参考資料－1：止む無くブレーカ力を用いる場合

### －ひび割れ発生を少なく施工する方法－

個別要素法による不連続体の数値解析結果<sup>\*)</sup>

施工条件	ひび割れ発生を少なくする施工方法
チゼルの形状	➢ 先端を尖らせる
打撃速度	➢ 速くする
はつり深さ	➢ 浅くする
はつり角度	➢ 影響は小さい
コンクリート強度	➢ 高いほどひび割れは少ない

<sup>\*)</sup> Taro Sano, Izumi Tanikura, Atsushi Sainoki, Adam Karl Schwartzkopff, Yuzo Obara; Optimization of chipping parameters to mitigate the damage in a concrete substrate using a discontinuum modelling approach, Construction and Building Materials, 258, 2020.