

「WJ工法の利点とブレーカ工法の弊害」

— 国内外の事例を参考として —



(一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所
谷倉 泉

本日の話の内容

1. コンクリート構造物に生じる各種変状と対策工法

2. ウォータージェット(WJ)工法とブレーカ工法

2. 1 WJ工法

2. 2 ブレーカ工法

3. 海外におけるWJ工法の適用事例

- ドイツ,スイス,米国,スウェーデン

4. ブレーカ工法の弊害

- WJ工法とブレーカ工法がコンクリートに及ぼす影響

5. X線CT法の適用によるはつり処理工法の評価

6. まとめ

- コンクリート構造物の断面修復と維持管理

参考 - 国土交通省選定 2024年度 推奨技術

NETISに登録された新技術より選定

国土交通省

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism



Press Release



超高圧水でコンクリートを切削する新技術を推奨技術に選定

令和6年5月9日

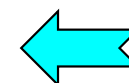
大臣官房技術調査課

～令和6年度の有用な新技術～

公共工事等における新技術の活用を促進するため、有用な新技術として、「推奨技術」・「準推奨技術」・「評価促進技術」を選定いたしました。

【令和6年度 選定技術一覧】

推奨技術	① CB-180013-VE ウォータージェットはつり処理工法 (ジェットマスターJMK-2100)
準推奨技術	① KT-160064-VE Gブロックドレイン ② KT-170070-VE ポストウイングシリーズ ③ KT-200133-VE 砕石メッシュかご「かご楽」 ④ HR-180002-VE ソーラー式 LED クッションドラムⅡ ⑤ KK-180061-VE DC ネット工法 ⑥ CG-130006-VE ハレーサルト張り出し歩道 ⑦ CG-210003-VE 養生用防災クロス ⑧ SK-180020-VE 法面設置点検用階段・非常階段



【有用な新技術とは】

国土交通省では NETIS※に登録された新技術の中から、外部有識者の審査を経て、画期的な新技術を有用な新技術として選定しており、本省では「推奨技術」・「準推奨技術」・「評価促進技術」を選定しています

1. コンクリート構造物に生じる各種変状と対策工法

RC桁

ひび割れとはく落



コンクリート構造物に生じている変状(劣化, 損傷)事例

PC桁

鋼材腐食とはく落



PC鋼材の破断



再損傷と撤去(更新)



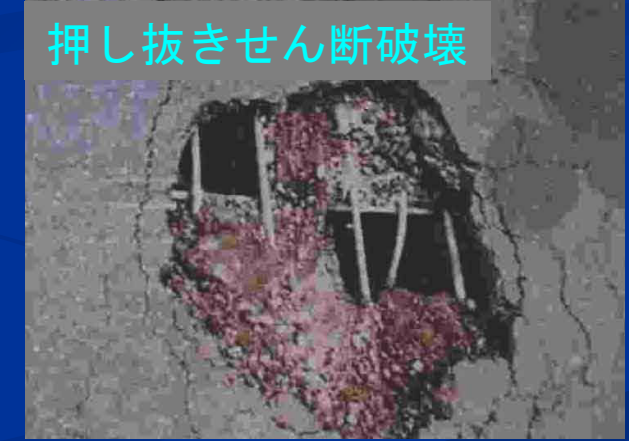
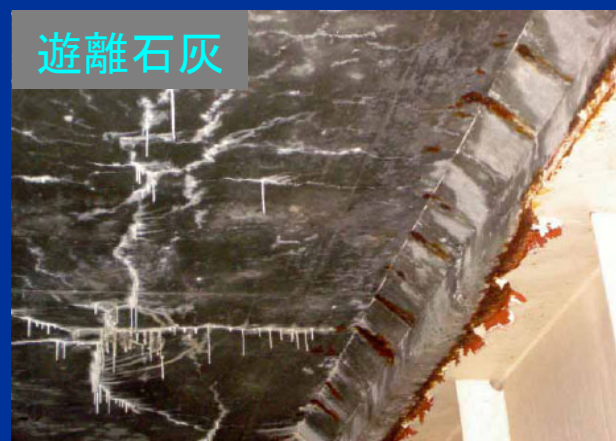
付着剥離



コンクリート構造物に生じている変状(劣化, 損傷)事例

鋼橋RC床版

変状の進展



- 横断方向および2方向ひび割れ、貫通ひび割れの発生
- 各種劣化因子が、ひび割れから床版内部に浸入
- 塩害、凍害、ASR, 疲労等の影響で上面が砂利化
- 下面のはく落、押し抜きせん断破壊に至る

コンクリート構造物に生じている変状(劣化, 損傷)事例

橋台, 橋脚

塩害



ASR

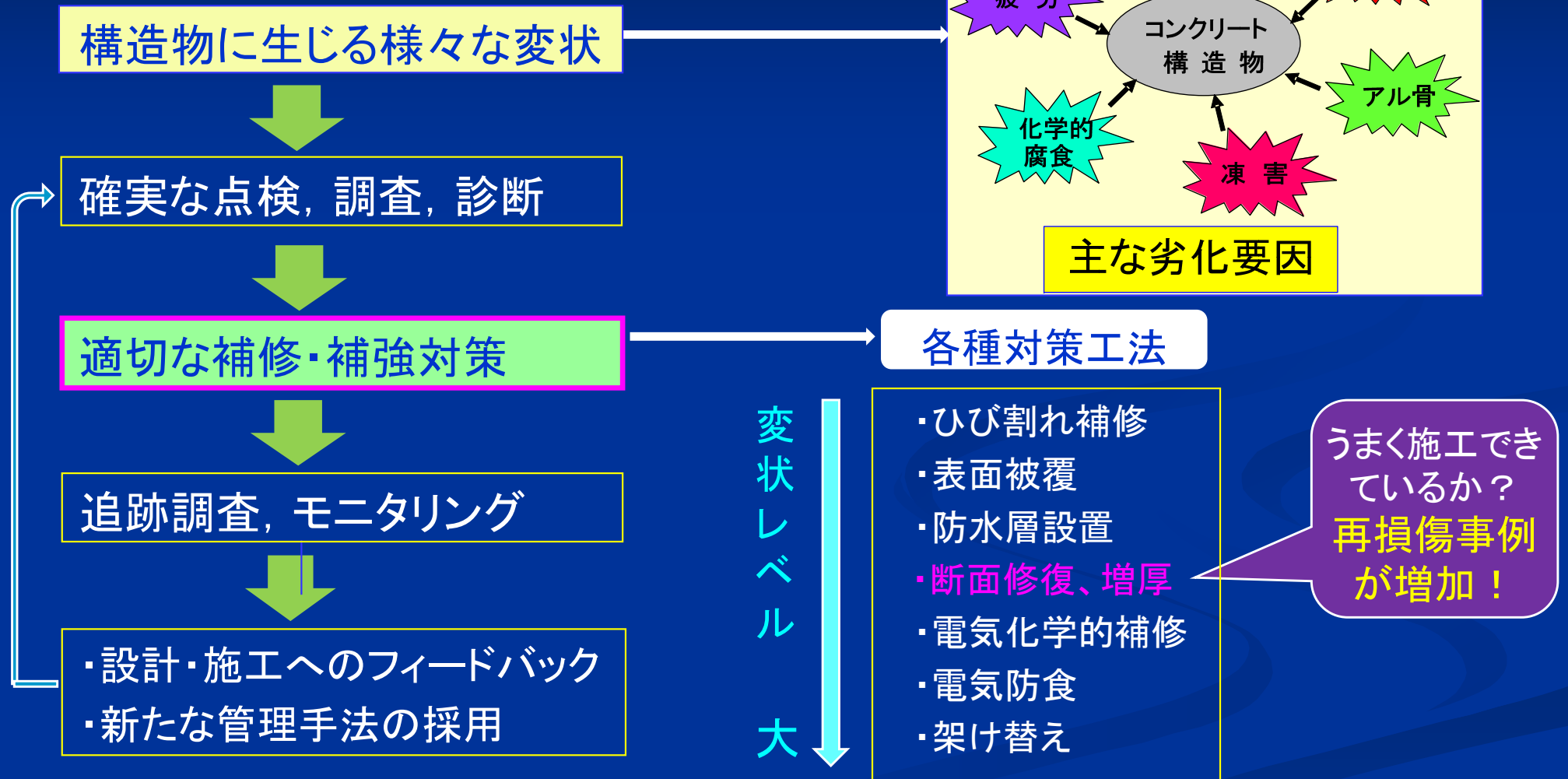


凍害



対策実施上のポイント

コンクリート構造物の維持管理

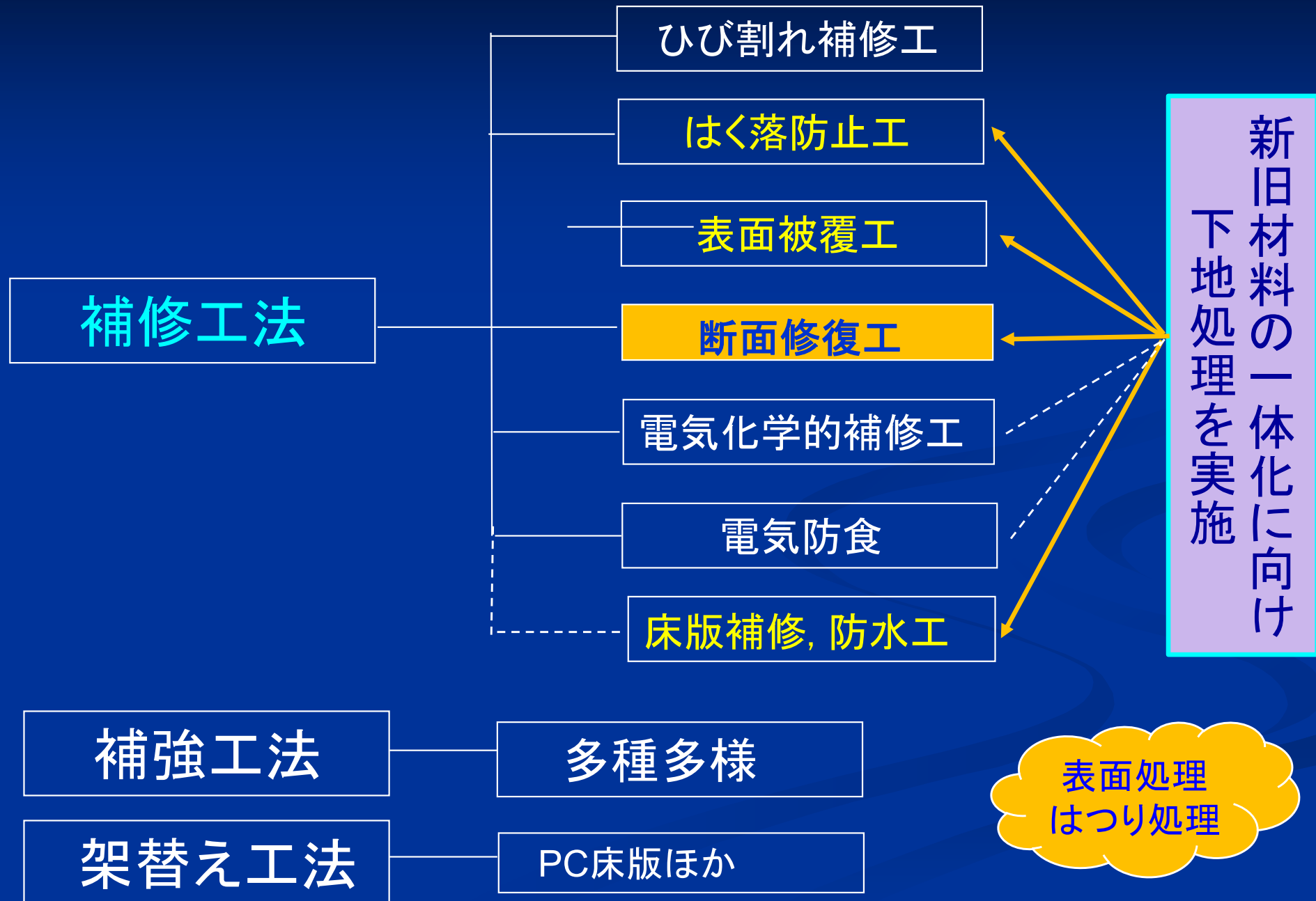


適切な対策



耐久性、安全性(第三者被害防止)、経済性に優れる
変状の実態と供用環境を十分考慮した設計、施工

コンクリート構造物に対する各種補修工法



コンクリート構造物に生じる主な変状とその発生原因

どんな変状が生じ、その原因となっているのは？

変状(劣化・損傷)

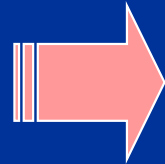
- 鉄筋腐食, 破断
- ひび割れ
- 断面欠損
(はく落, 土砂化)
- PC鋼材破断

初期欠陥, 経年劣化は除く

水の侵入

変状の発生原因

- 塩害
- 凍害
- アルカリ骨材反応(ASR)
- 疲労(RC床版)
- 中性化



複合した劣化が増加している

- 塩害で生じたひび割れからASRが進展
- 疲労損傷した床版のひび割れから塩害が進展

断面修復による対策が効果を発揮するには？

変状の発生原因

● 主な原因は水や塩化物イオン

- 塩害 — 凍結防止剤(寒冷地)、飛来塩分(海浜沿岸)
- 凍害 — 水の凍結融解(寒冷地)
- ASR — 反応性骨材の存在と水の供給
- 疲労 — RC床版の疲労寿命は防水できない(水が浸入する)と **1/15** 以下

効果的な対策は発生原因や変状を確実に取り除くことが第一

● 水や塩化物は主にひび割れから内部に浸入する！

(初期欠陥、乾燥収縮、交通荷重、補修方法や施工品質等の影響もある)



ひび割れや再損傷を生じない工法の選択が重要

- 変状部を確実に除去し原状に回復できること
- 水を遮断する防水対策、排水設備の設置も重要

構造物の耐久性、
安全性に直結

断面修復における変状の除去方法 ― どの方法が良いか？

断面修復ではコンクリートのはつり処理が行われる

はつり処理とは？ --- 下地処理の一部

- コンクリート構造物に生じた変状(劣化, 損傷)を**確実に**取り除く
- 時には, **健全で強固**なコンクリートの除去も求められる
- 新しく打継ぐコンクリートと密着した**一体化**が求められる



変状の除去, 打継ぎに向けた下地処理の目的で
断面修復, 床版増厚, 耐震補強対策等で行われる



我が国で採用されているのは

ウォータージェット(WJ)工法 OR ブレーカ工法

どちらの工法
が良いか？

2. ウォータージェット(WJ)工法とブレーカ工法

2. 1 WJ工法(ロボット)

コンクリートのはつり&表面処理



WJ工法の施工作业イメージ(RC床版)

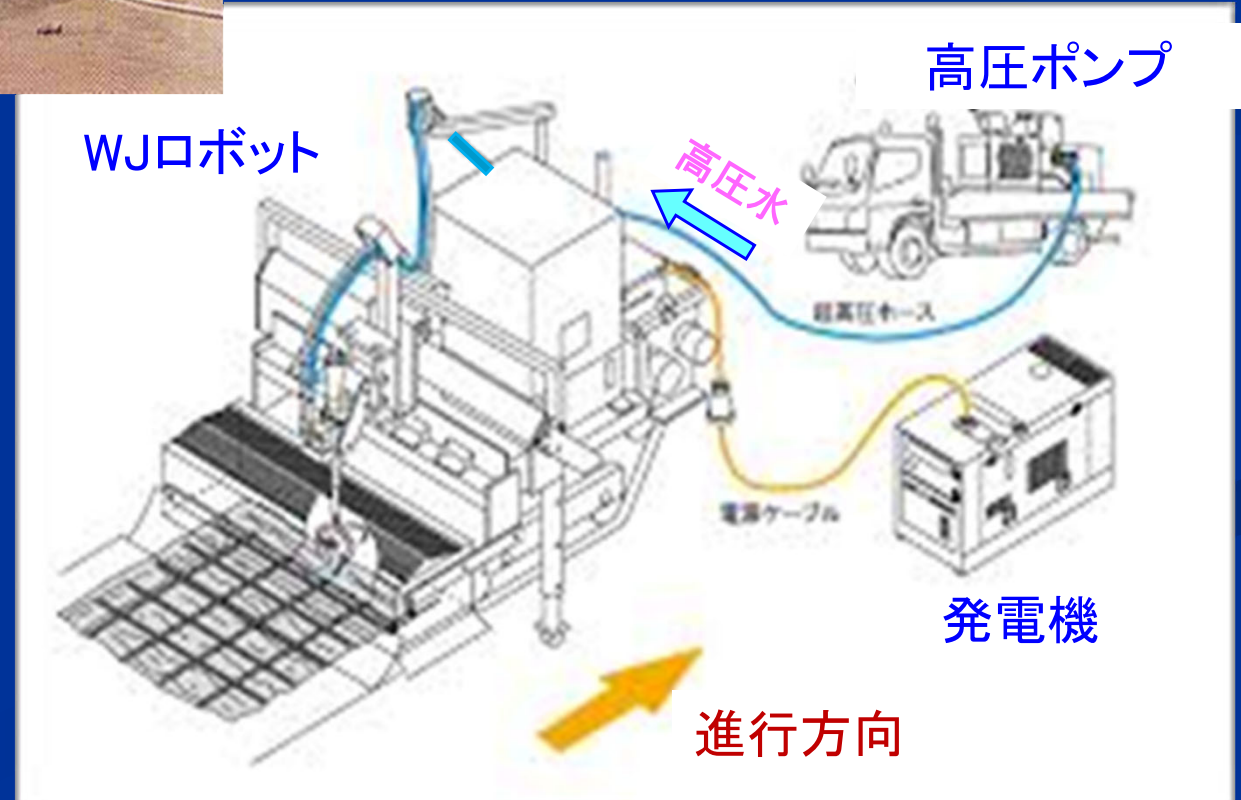


WJ動画

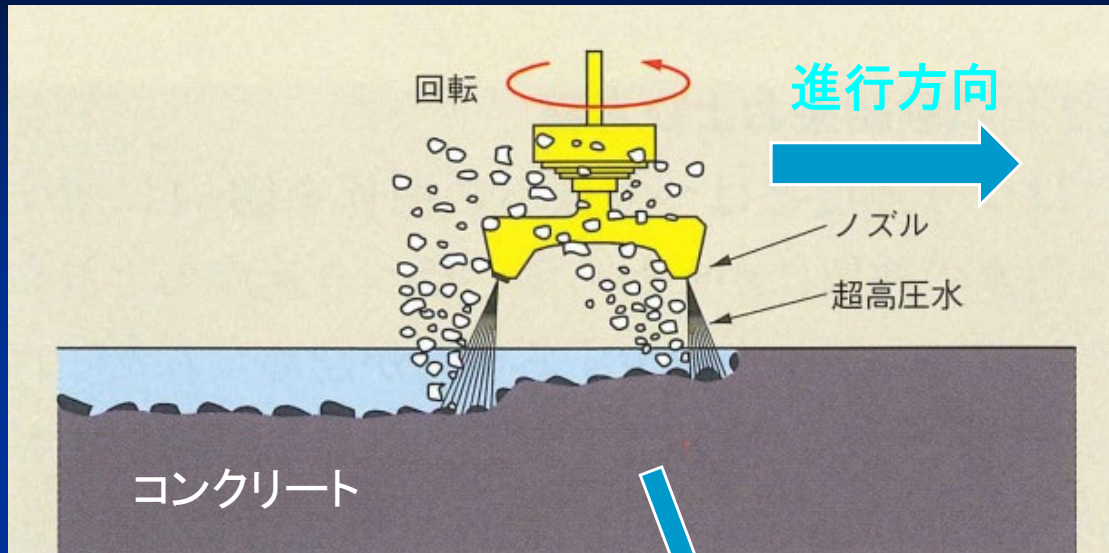
後進しながらの施工

ロボットによる床版はつり処理
(スウェーデン)

⇒ プログラミングによる
機械化施工

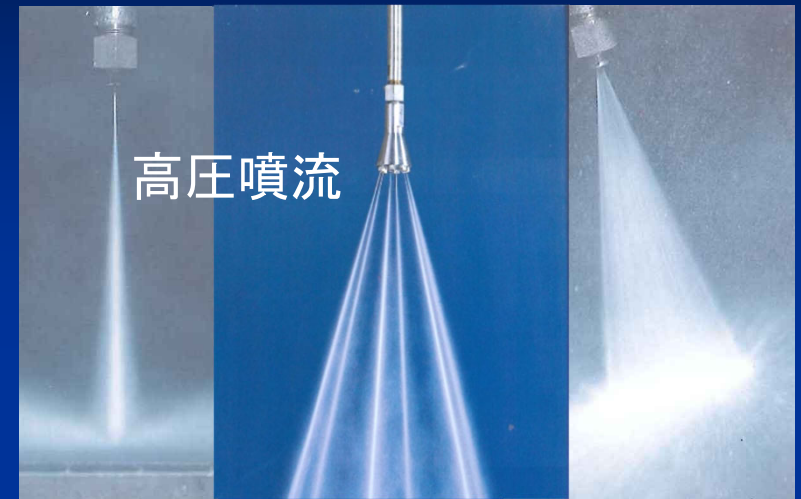


WJノズル操作による破砕方法の違い



ノズルの動き方

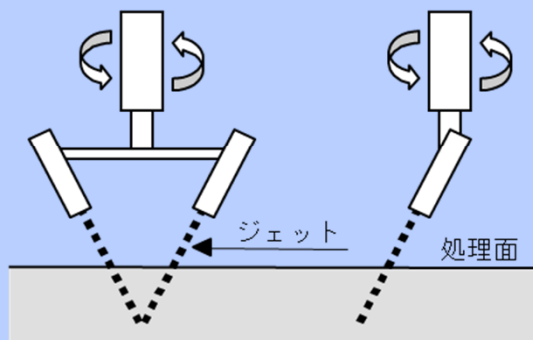
各種のノズル



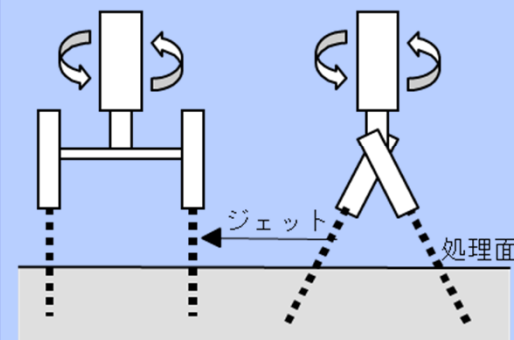
ガーネット等を混入すると鋼材切断も可能



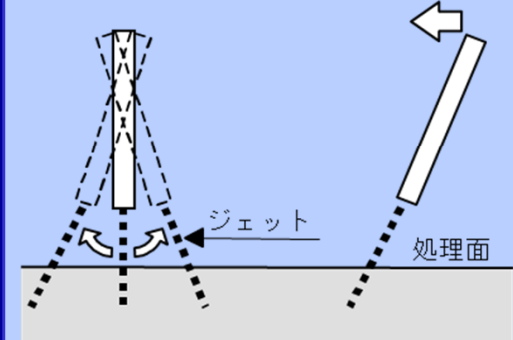
衝突噴流



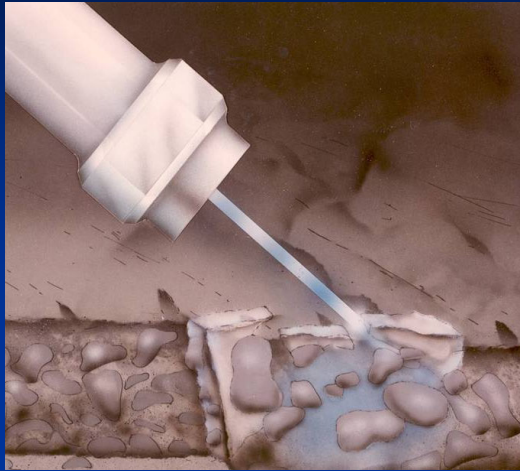
旋回



揺動



WJ工法の歴史



ノズル先端からの噴流
(超高圧水)



はつり工事

中国、前漢の文人の漢書「枚乗伝」
“**雨垂れ石を穿つ**” — WJのコンセプト

18世紀にはベルヌーイによる実質的な研究が始められた

19世紀より高圧水の利用についての研究が本格化した
ソ連の石炭採鉱、米国の木材切断など

1947年: 米空軍機 B-24 のレーダードームにすり鉢状のくぼみが多数発見された

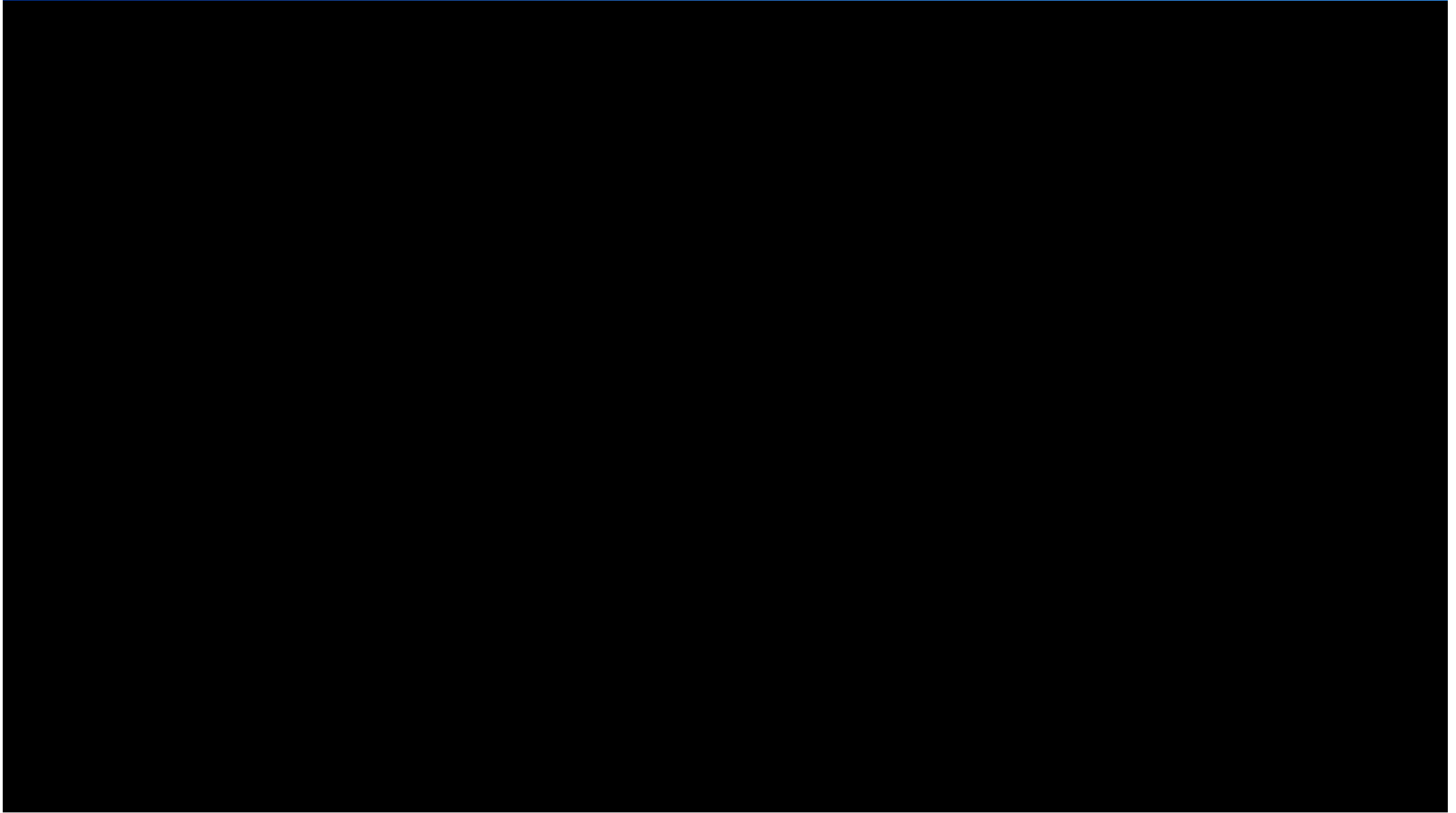
- 水滴の衝突によるもの
- 高速の水滴が岩や金属を切削、切断出来る可能性
- 清掃、洗浄、切断、加工、掘削、破碎(はつり等)に発展

1970年～小樽駅の岩盤破碎、奈川渡ダムの破碎帯処理、地盤改良、地下連壁の切断解体などで利用された

1980年代より、スウェーデンでコンクリートのはつり処理に利用された

WJロボットを用いた床版上面のはつり処理

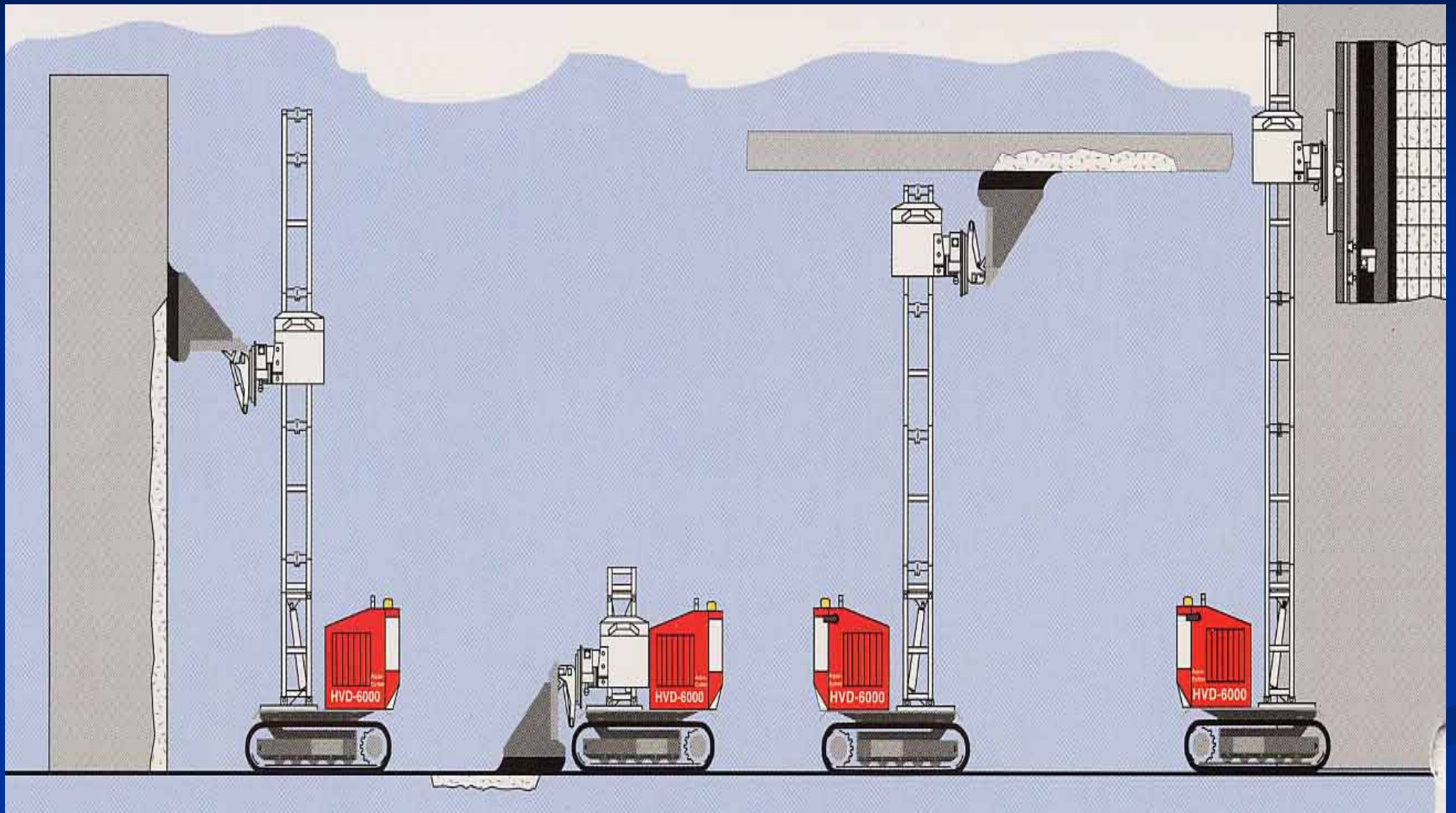
解説動画



CONJET社提供 (3分)



WJによる施工のパターン



壁面

床版

天井

橋脚

2. 1 WJ工法(ハンドガン)

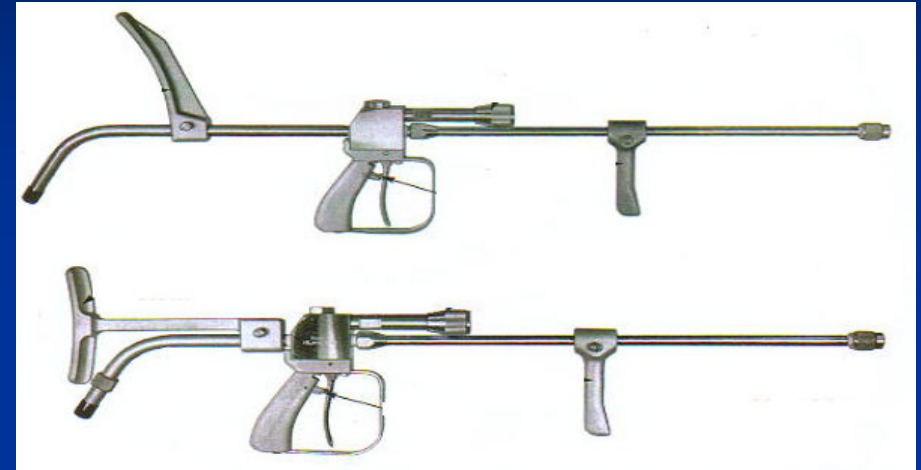
細部のはつりおよび表面処理 ⇒ 人力施工

ハンドガンでの実施状況

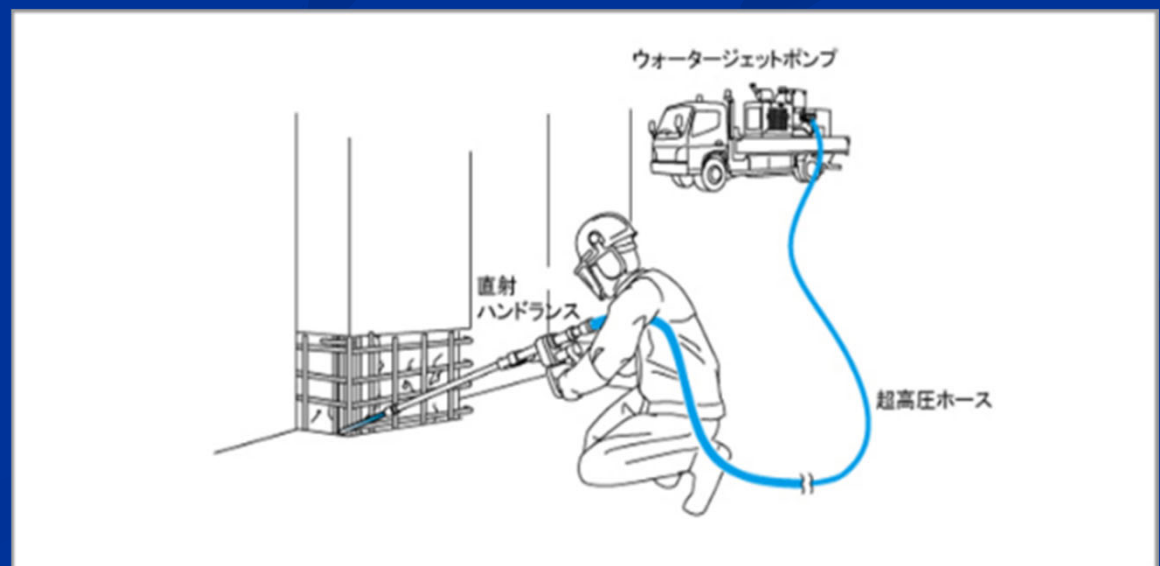


動画

ハンドガンの例



ハンドガンでの施工模式図



2. 2 ブレーカ工法

荒ばつり



コンクリート
中の鉄筋を叩
く可能性あり

動画

調整ばつり

⇒人力施工



20～40kg

コンクリートブレーカ



2～10kg

チッピングハンマー，電動ピック

ブレーカ工法の歴史

ブレーカ(40kg級)



1951年にGHQ(連合国最高司令官総司令部)により手持ち式動力工具であるハンドブレーカが輸入されたのが最初の使用

米軍貸与の重さ 45kg 程度

主に基礎, 土間, 舗装の撤去, 焼けビルの解体等でのはつり作業に使用された

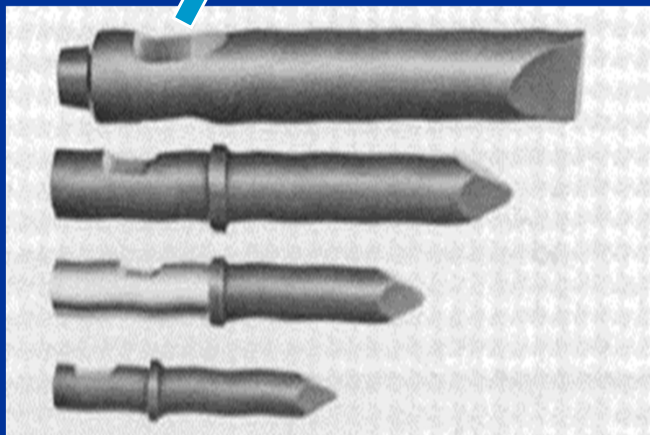
1968年に騒音規正法が制定されたのを機に解体の新工法・新機械の開発が進む

1970年には「コンクリート構造物の解体工法」が発刊された

高度成長期の研究の多くは重機に搭載した大型ブレーカの開発, 改良が主であった



ハンドブレーカに関する研究はあまり多くない



先端部のチゼルロッド

3. 海外におけるWJ工法の適用事例

スイス、ドイツ
(2019.7)

藤野団長



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

2019

欧州土木構造物 補修・補強調査 報告書



令和2年3月

道路橋補修・補強 i ーギルド研究会

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ザンヌ校 (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. 視察橋梁等

- 3.1 ローザンヌ近郊橋梁
- 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
- あとがき

調査メンバー (24名)

	氏名	所属		氏名	所属
団長	藤野 陽三	横浜国立大学	コンクリートG	山本 泰造	西日本高速道路
副団長	谷倉 泉	施工技術総合研究所		西村 一博	三井住友建設
幹事	上阪 康雄	コサカ設計・アソシエーツ		田中 秀明	奈良建設
	佐藤 貢一	奈良建設		近藤 大智	アースシフト
	金氏 眞	東亜グラウト工業		東谷 英明	みぞぐち事業
	梶尾 聡	太平洋セメント		湯浅 香織	三井住友建設
調査・防水G	有泉 亮	中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京	鋼橋G	石川 誠	川田工業
	小森 徹	中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋		美藤 友郎	エイト日本技術開発
	米本 雅紀	計測リサーチコンサルタント		塩田 恵市	川田工業
	根本 雄一郎	フタミ 統括事業部		高木 信治	エイト日本技術開発
	小川 登	ガイアート		山内 誉史	エム・エム ブリッジ
	白井 悠	NIPPO		田中 伸尚	宮地エンジニアリング

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 ⇒ ズイーゲン

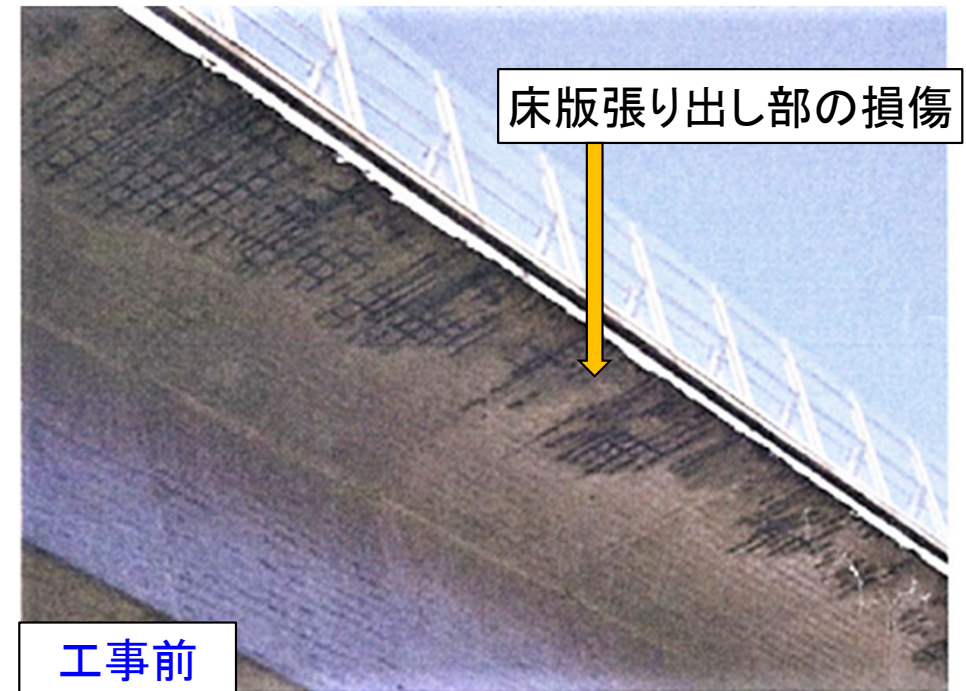
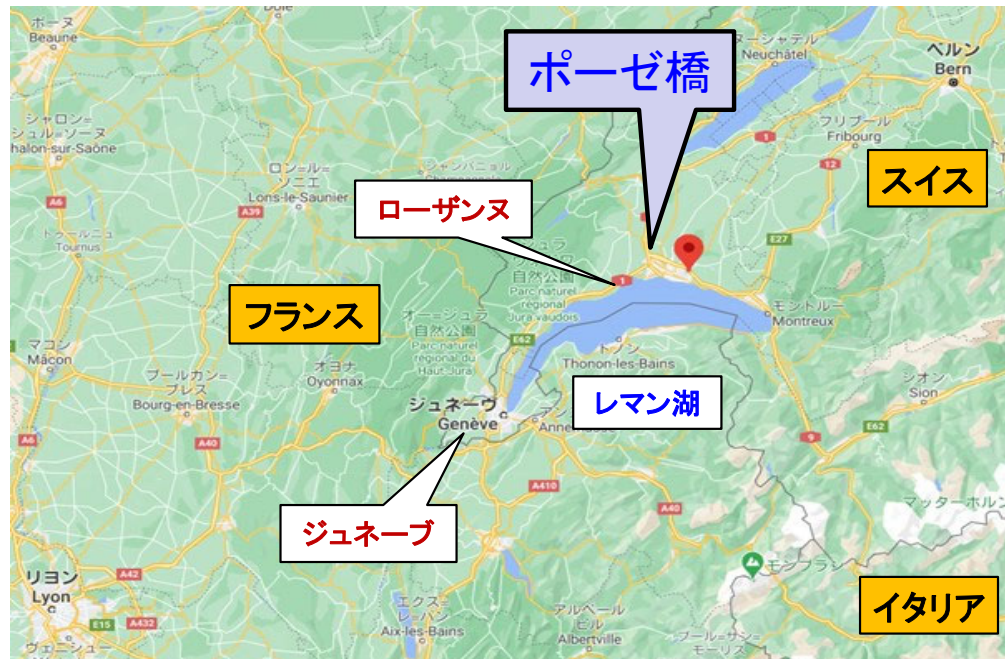
7/17(水) ズイーゲン ⇒ デュッセルドルフ → ベルリン

7/20(土) ベルリン → ウィーン → 羽田 (7/21着)



視察橋梁(PC箱桁橋)

POSE橋:ローザンヌ



コンクリート床版上面の損傷状態



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



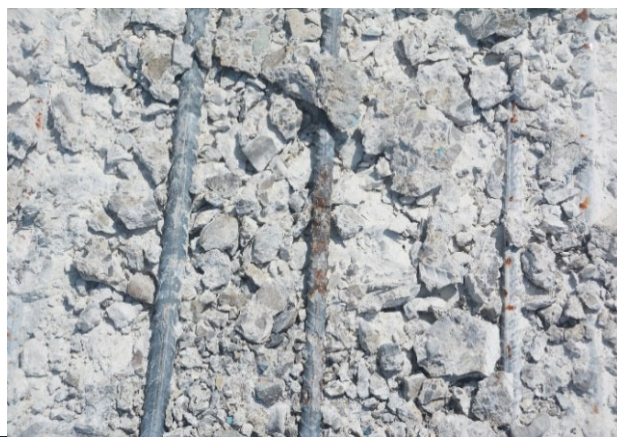
舗装：As-3層で厚い(10~15cm)



床版張出し部下面の損傷



床版上面の土砂化



マクロセル腐食

すべてWJによってはつり処理を行ってから断面修復を行う

WJロボットによる床版張り出し部のはつり処理



中央分離帯側（壁高欄打ち換え）



中央分離帯と反対側（張り出し部拡幅）



WJによるはつり処理面

- 清浄で有害なひび割れが生じない
- コンクリート打継ぎ部の付着が良好

コンクリート床版の補修・補強事例



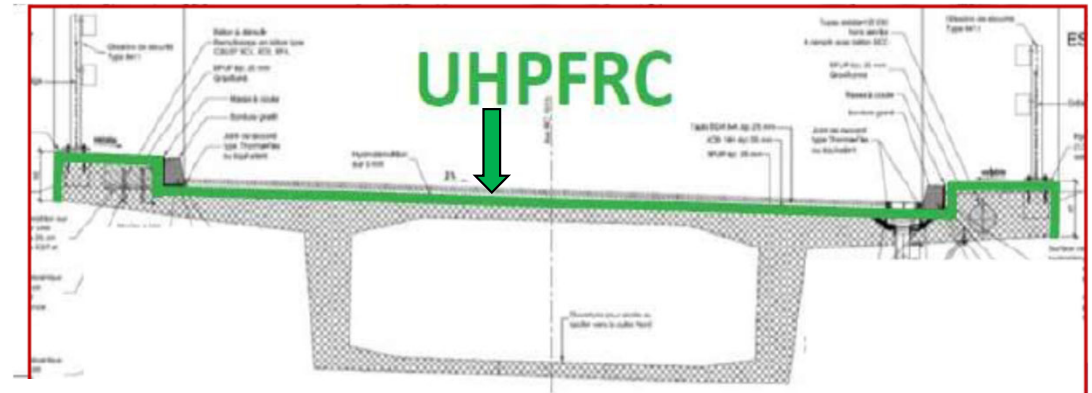
カドレックス(Cudrex)高架橋(橋長450m)

補強前



床版表層の補修・補強(2016)

(床版と路肩、高欄全体を被覆し防水)

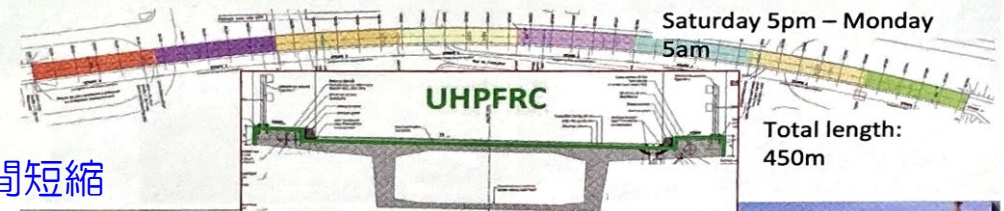


8工区(450m)を36時間で仕上げる緊急施工

Enhancement of the Cudrex Viaduct (2016)

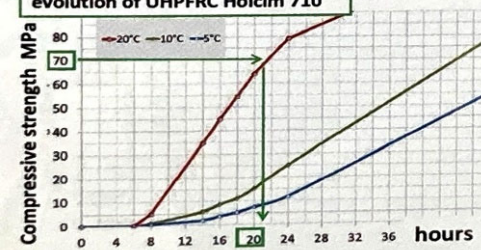
Concept: accelerated intervention in 8 work phases of 36 hours

Saturday 5pm – Monday
5am

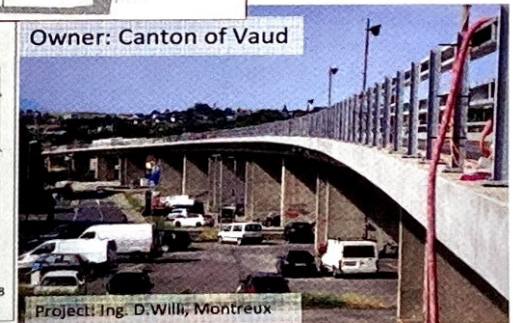


時間短縮

Temperature dependent strength
evolution of UHPFRC Holcim 710



Owner: Canton of Vaud



Project: Ing. D. Willi, Montreux

路面補修の施工状況

-土曜PM5~月曜AM5(36hr)-

(舗装撤去およびWJによる路面のはつり処理後に実施)



打設と敷き均し、表面仕上げ

WJによる路面の仕上げが施工の品質確保に有効

- WJロボットによる迅速施工
- 損傷の確実な除去、清浄な打ち継ぎ面を確保

補修対策後

Enhancement of the Cudrex Viaduct (2016)

Concept: **accelerated** intervention: bridge in service during the week



Costs : UHPFRC works **28'000 JPY per m² bridge deck surface** + further works (piers, bearings, dilation joints) = about **20%** of hypothetical replacement project

Pavement removed before hydrodemolition
(WJ施工前に舗装は撤去されている)



ゴールデンゲート橋での施工事例【米国】



橋脚変状部のWJはつり施工 (断面修復工法の適用)

2002.11



2015.10

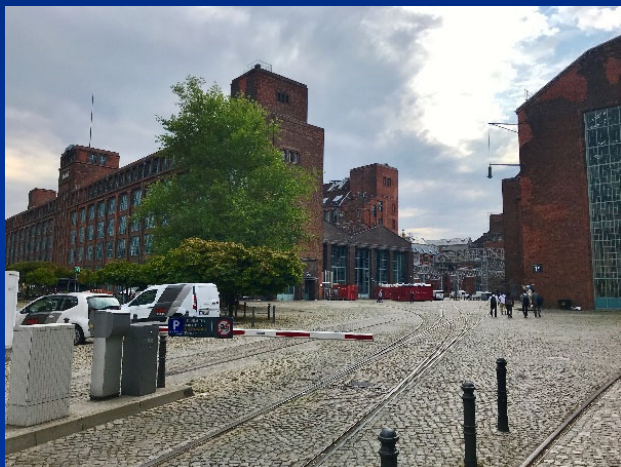


ブレーカ使用後の課題【スウェーデン】



はつり処理についてCONJET社と意見交換

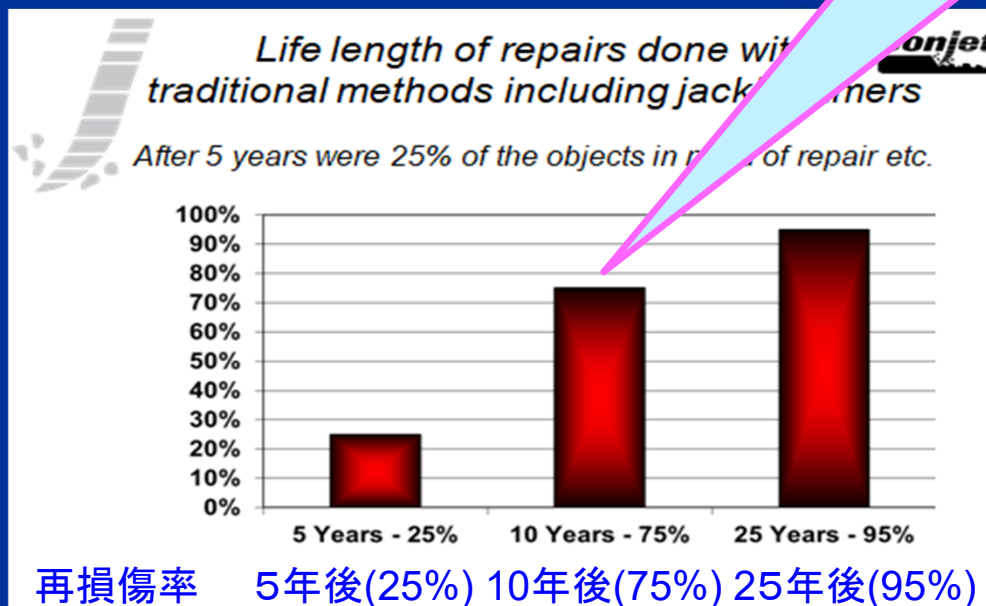
ベルリン工科大学



ニルソン副社長(CONJET社)



ブレーカを用いると
10年後には75%の割合
で再損傷を生じている



ブレーカ施工箇所の追跡調査 結果

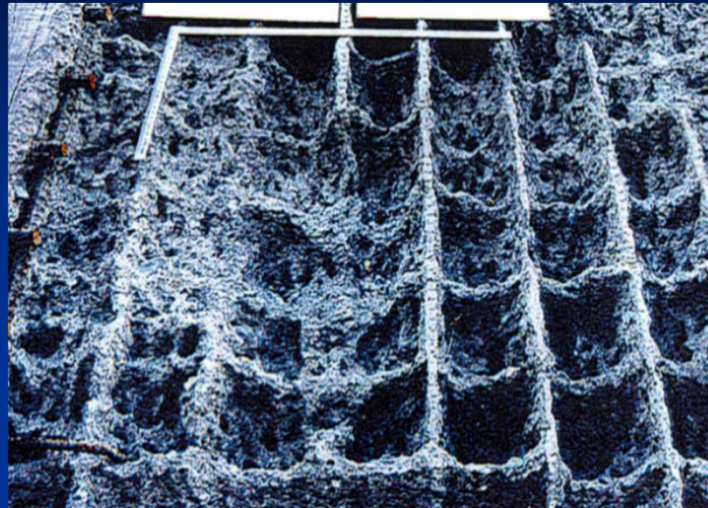
WJによるはつり処理方法の工夫(性能評価試験)



粗悪な施工事例
(鉄筋下のコンクリート
が残存した壺掘り)



WJを真上から投射
しただけ



実構造物では,

- 鉄筋に沿ったひび割れが多い
- 鉄筋背面に塩化物や水が貯留
- 腐食が進展しやすくなる



鉄筋背面のコンクリートは必ず除去！

施工総研で実施中



様々なパラメータを調整して制御する

- 水量, 水圧
- ノズルのスタンドオフ(距離), 移動速度
- 移動ステップ(距離)

良好な施工事例
(鉄筋下に空間が確保
され仕上がりも平坦)



WJを斜めから投射



- 
- 鉄筋背面まで平坦で清浄
 - 鉄筋とコンクリートは非接触
 - 低強度(脆弱)部は深く除去



打継ぎに適した処理面！

残留塩化物の効率的で確実な除去 (WJ工法の適用)



WJロボット

施工総研: はつり装置
の性能評価試験

(NEXCO試験法: JHS423-1)



変状部および劣化因子の除去



鉄筋をガス切断

低強度部分も確実に除去出来たか？

鉄筋背面まで平坦にはつれたか？

スウェーデン

“Bridge Code 88”

(橋梁の維持、補修及び補強基準)
に従ってはつり性能評価試験を実施

- 縦横の複数断面をレーザー測定して性能評価している
- ブレーカではほぼ不可能



WJ工法とブレーカ工法の比較

		WJ工法		ブレーカ工法
		ロボット	ハンドガン	
適用範囲		・はつり処理 ・表面処理	・表面処理 (細部のはつり処理)	・はつり処理
駆動源	超高圧発生装置	・ディーゼルエンジン (高圧ポンプ, 電動)	・ディーゼルエンジン (高圧ポンプ, 電動)	・ディーゼルエンジン (空圧, 油圧)
	はつり装置(※1)	・電動	・電動, 空圧	・空圧
操作		・ロボット(シーケンサでプログラム, 操作)	・人力	・人力
性能評価, 資格試験		・NEXCOでは性能評価や資格認定が必要 ・施工総研が実施	・特になし ・JACON主催での講習会がある	・特になし
安全講習		・JACON(※2)で年に一回実施 (※3)	・JACONで年に数回実施(※4)	・所属会社で適宜実施
コスト(中長期的な効果)		○ (◎)	△ (◎)	◎ (×)
普及状態		・徐々に普及している (NEXCOでは一般的)	・徐々に普及している	・一般的に普及

※1:ノズルの把持・移動装置

※2:日本ウォータージェット施工協会

※3:「WJ施工技術・安全シンポジウム」

※4:「WJ作業に関する安全講習会」

4. ブレーカ工法の弊害

ブレーカ工法の採用により再損傷を生じる原因推定

① ひび割れの発生と鉄筋損傷— 脆弱な打継ぎとなる

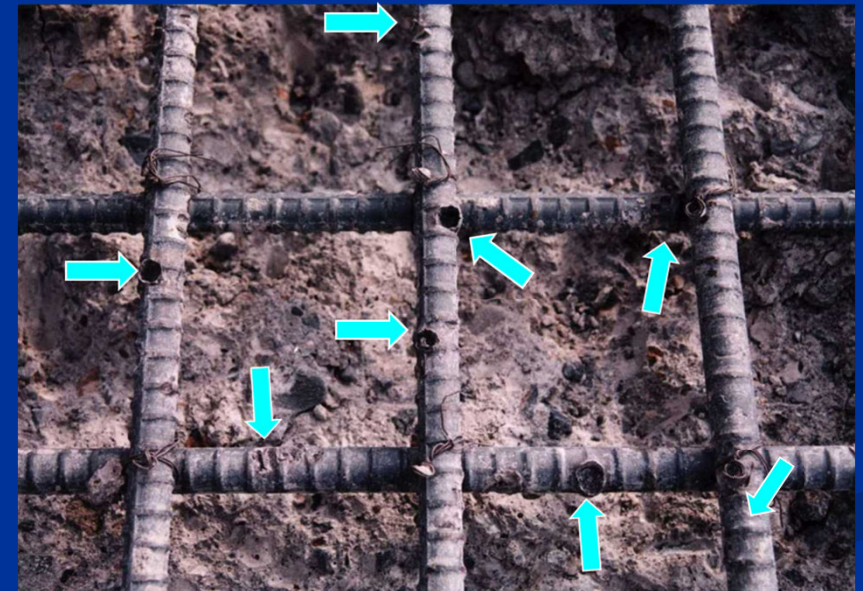
- 打継ぎ部の付着力が低い ($\approx 0.5 \sim 1.0 \text{ N/mm}^2$)

ブレーカによる打撃の影響

下地処理の問題

鉄筋損傷

ひび割れ



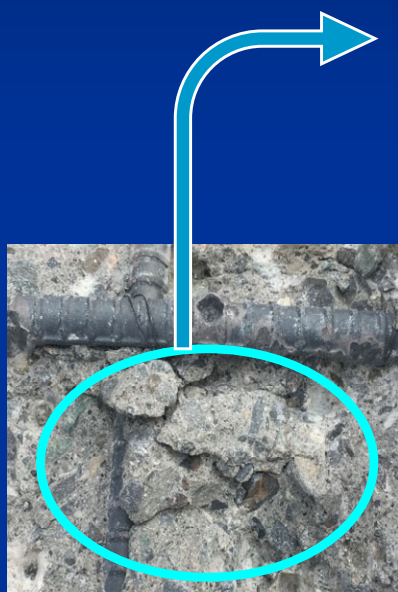
→ : 鉄筋損傷箇所

(常にこのような数の損傷が生じているわけでは無いが発生はしている)

[戻る](#)

各種ハンドブレーカ等により生じた表層付近のひび割れ

断面で見らる
ヘアクラック



手持ち式工具	紫外線画像	二値化画像
コンクリート ブレーカ (15 KG)		
コンクリート ブレーカ (21 KG)		
コンクリート ブレーカ (30 KG)		
電動ハンマー (16 KG)		

打ち継ぎ部には
好ましくない

蛍光樹脂含浸後
ブラックライト照射

海外の事例

(スウェーデン王立工科大学 & CONJETより)

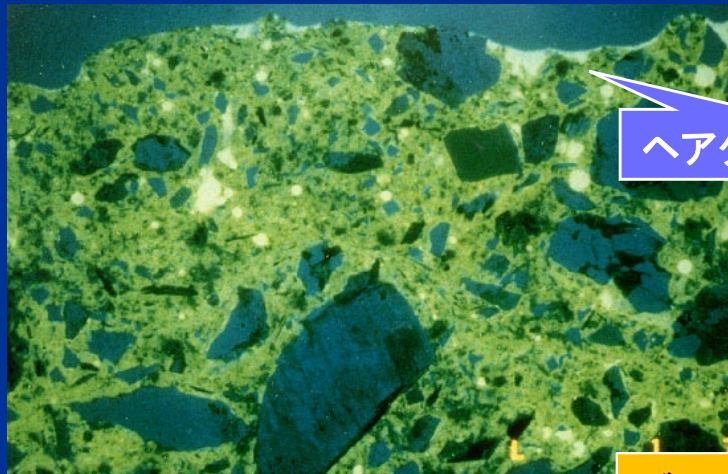
Hydrodemolition versus jackhammers

Advantages versus disadvantages



Creates no micro cracks

WJ工法



ヘアクラックなし

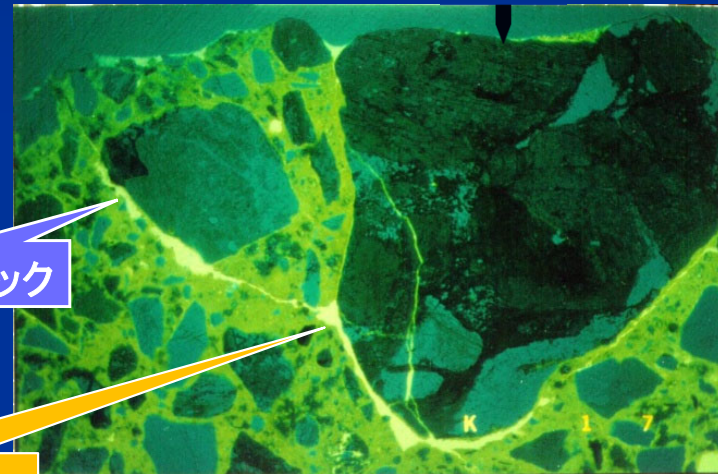
ヘアクラック

ブレイカでは多数の
ひび割れを生じる

- 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

ブレイカ工法



- 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

ブレーカ工法の採用により再損傷を生じる原因推定

② 鉄筋の打撃に伴うコンクリートとの付着切れの発生



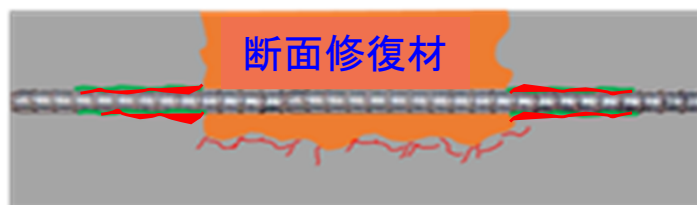
ブレーカ工法の採用により再損傷を生じる原因推定

断面修復境界部のひび割れ発生の影響

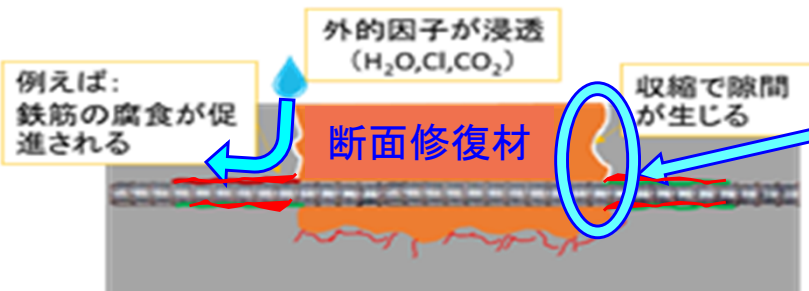
鉄筋の付着切れに伴う再損傷のメカニズム



①ブレーカ打撃による鉄筋付着切れの発生



②断面修復材による補修

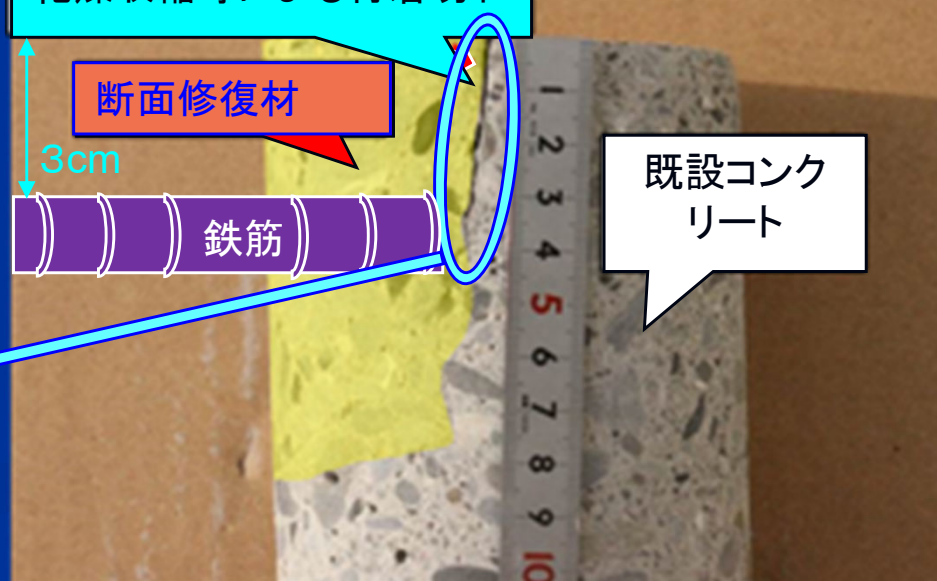


③ひび割れから鉄筋沿いに劣化因子の浸入

鉄筋打撃の問題

- 境界部にひび割れが発生
- ひび割れから劣化因子(塩分や水)が侵入
- 鉄筋に沿ってさらに内部に劣化因子が侵入
- 腐食膨張による再劣化の促進

乾燥収縮等による付着切れ



ブレーカ工法の採用により再損傷を生じる原因推定

③ 施工後に粉塵が残留し表面が汚れる — 脆弱な打継ぎとなる

- 変状部やはつり部の形状が複雑で清掃が難しい
- 雨後はスライムが付着し除去が困難
- 樹脂を塗布しても水や粉塵の影響で付着は期待薄

下地処理の問題

粉塵, はつりガラの残留



泥分の堆積, 固着(降雨後)



打ち継ぎ部には
好ましくない

ブレーカ工法の採用により再損傷を生じる原因推定

④ はつり不足 — 劣化因子や変状が残留

劣化因子の残留による再損傷事例



補修後



残留塩分の影響

変状の除去が困難



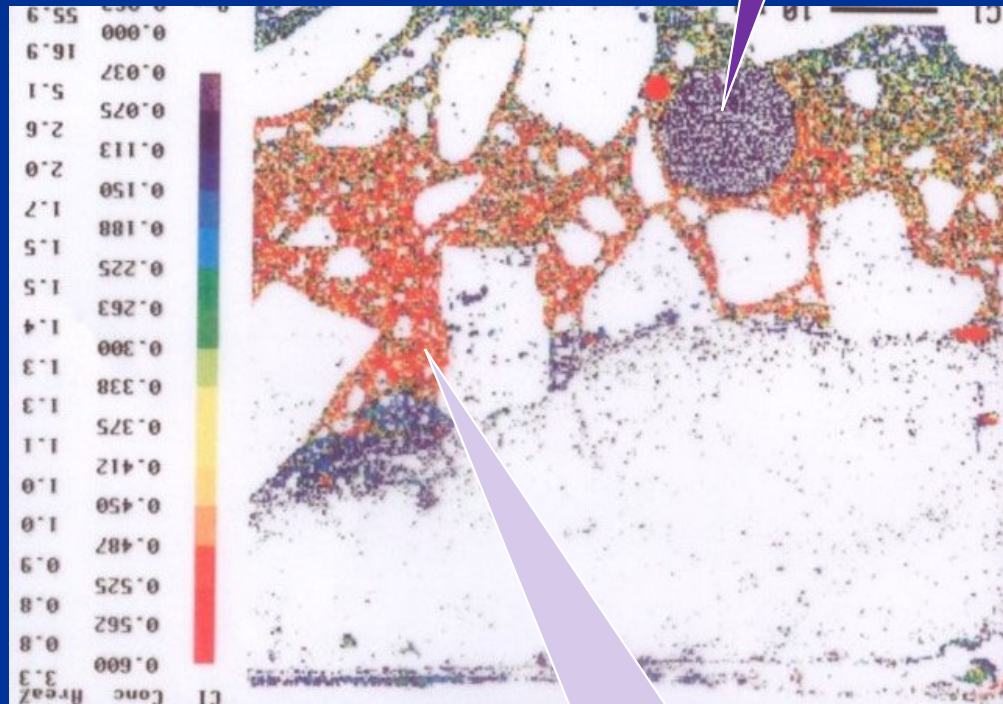
塩化物の除去が不十分！

- 鋼材腐食再発に伴うひび割れ発生
 - ひび割れから雨水等の劣化因子が浸入
 - 補修箇所では再劣化が始まる
 - 樹脂を塗布しても効果は限定的
- (複雑形状部や変状部での含侵が困難)

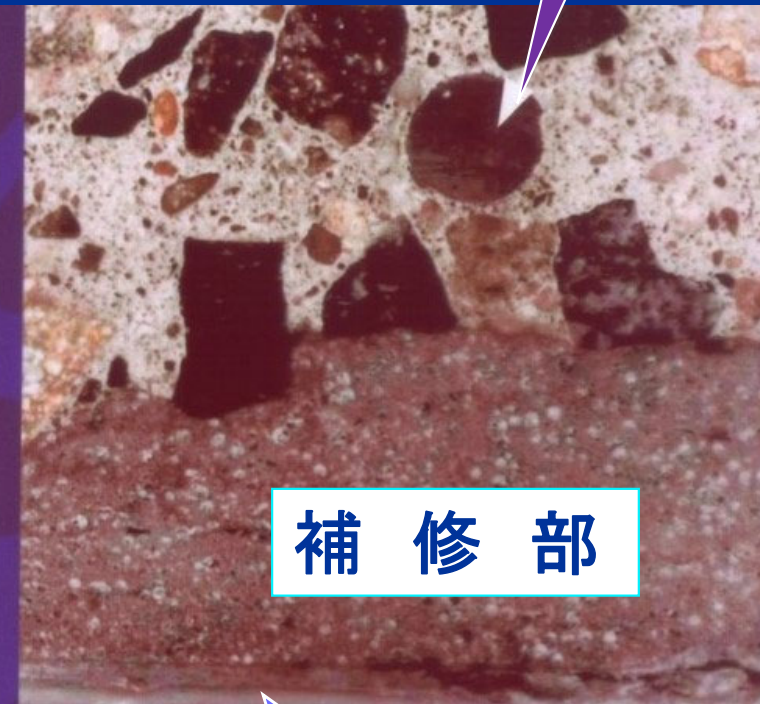
断面修復後，早期に再損傷を生じる原因の推定

鉄筋周辺部に塩分が残留 → 鉄筋背面の高濃度部まではつり取る事が重要

EPMA分析
(電子線マイクロアナライザ)



塩化物
(再損傷の原因)



断面修復後，早期に再損傷を生じる原因推定

⑥その他

(1) 施工面

- 交通規制時間の制約 — 施工時間の確保が不十分
- 冬季，夏季の施工 — 不十分な養生環境

(2) 供用環境

- 過酷な交通量 — 損傷が早まる
- 過積載車両の通行 — 大きな変形，ダメージの蓄積
- 寒冷地 — 凍結防止剤の散布
- 海浜地域 — 飛来塩分の影響

(3) 維持管理面

- 排水機能，防水機能の損失 — 雨水や劣化因子の侵入

断面修復工法適用上の要点

① コンクリート表面のひび割れや内部の劣化因子を取り除く

- 著しい変状の原因は水や塩化物イオンの浸透が主
 - 塩害 ー凍結防止剤、飛来塩分の浸入に伴う鋼材の腐食とひび割れ
 - 凍害 ー水の浸透に伴う凍結融解作用(寒冷地)によるひび割れ
 - ASR ーアルカリ反応性骨材とアルカリ水との反応(膨張)によるひび割れ
 - 疲労 ーRC床版上部の土砂化部分(舗装面のポットホールや噴出泥でわかる)

② ヘアクラックや粉塵の無い清浄な表面にコンクリートを打継ぐ

- 新旧コンクリートの付着力の確保が耐久性を左右する！
すなわち、劣化・損傷部が綺麗に除去された表面への打継ぎが鍵となる



はつり処理方法の影響が大きい！

耐久性の確保
再損傷の防止

断面修復に必要不可欠なはつり処理

コンクリート構造物のはつり処理とは？

構造物の外科手術

- コンクリートに生じた変状部を除去する下地処理
- 塩分を含む強固なコンクリート部の除去も求められる
- 打継ぐコンクリートとの一体化に適した清浄な面の確保が非常に重要

断面修復，床版増厚，耐震補強工法等において，変状の除去，打継ぎに向けた下地処理の目的で用いられるもの

我が国ではウォータージェット(WJ)工法 および ブレーカ工法 が用いられている

果たしてこれで大丈夫か？

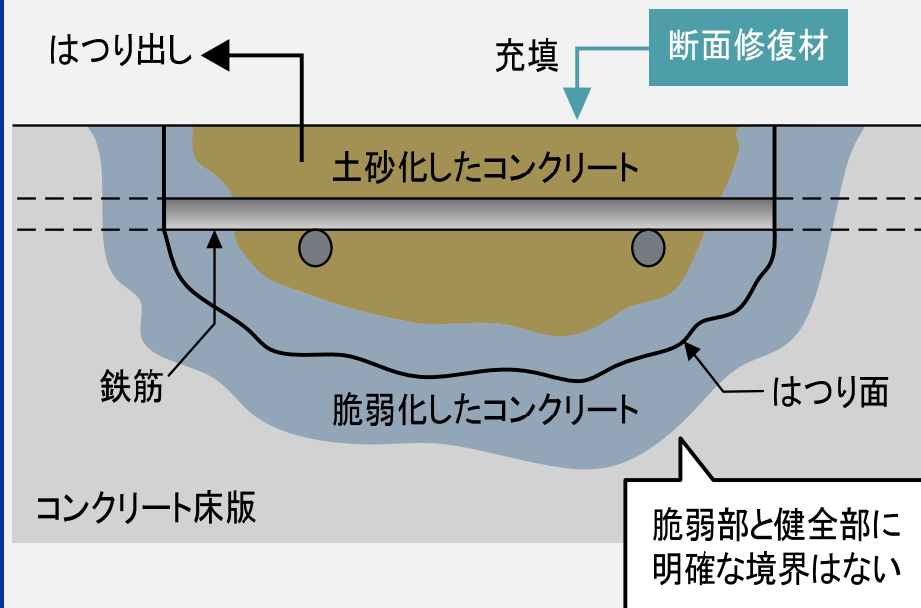
メディアからの指摘

● 再劣化が生む負の連鎖 — 補修後の悪夢

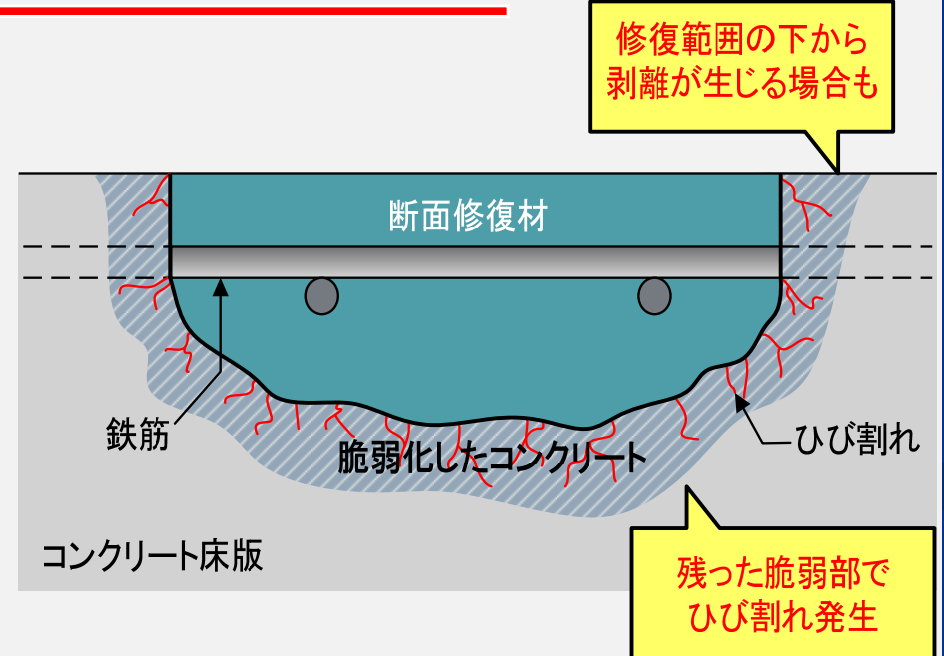
- 想定外の再劣化が、自治体の予算不足に追い討ちをかける
- 場当たりの工法選択やいい加減な施工では、補修のトラブルは防げない
- 補修時に劣化が進行する要因を取り除けなかったことで再劣化に多額の費用

断面修復部の再損傷

[土砂化した床版の断面修復]



[残った脆弱部で劣化が進行]



ブレーカ工法を用いた補修が困難と予想されるケース

- 施工面積、作業効率、施工姿勢(上向き)、複雑な損傷形状、鋼材損傷など



はつり処理に関する現状と解決すべき課題

● 現状

- 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利用されているブレーカ工法については再損傷等の問題はあまり指摘されておらず研究論文も極めて少ない

● 解決すべき課題



はつり処理に用いられるブレーカ工法とWJ工法について、打継ぎを行う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

- 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



どうやって内部を知るか？ ➡ X線CT法の適用

5. 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



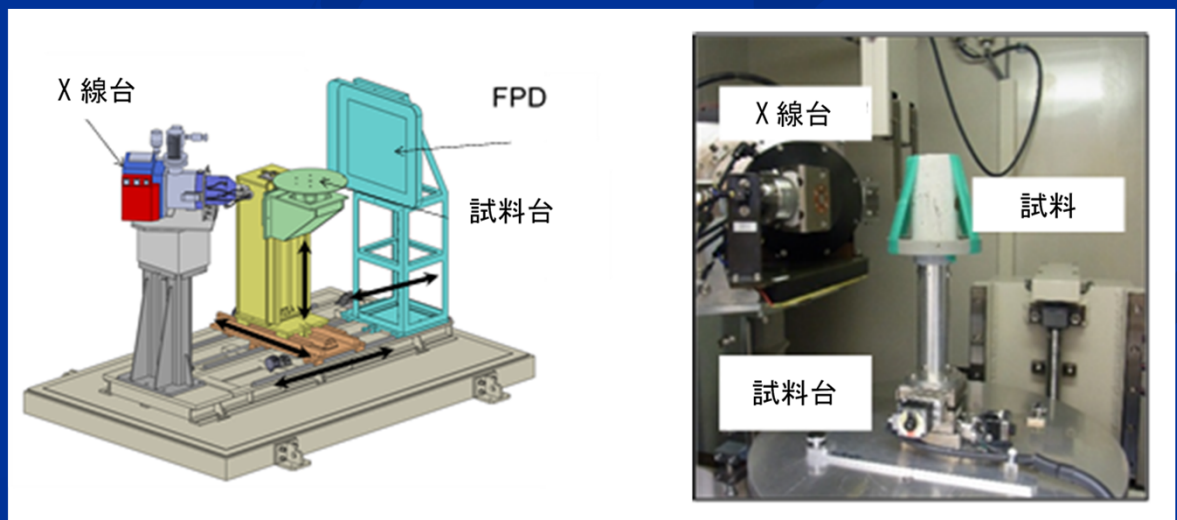
(熊本大学所有: 東芝製)

ブレーカを用いることで
どのような損傷が
生じているか?

マイクロフォーカスX線CT装置の仕様

X線写真の視野	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 μ 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 μ 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



F P D : X線測定センサー

戻る

分析に向けた供試体の作成

● コンクリートのはつり処理

ブレーカ工法によるはつり処理

種別 : 10kg級
はつり深さ : 2 cm



処理面



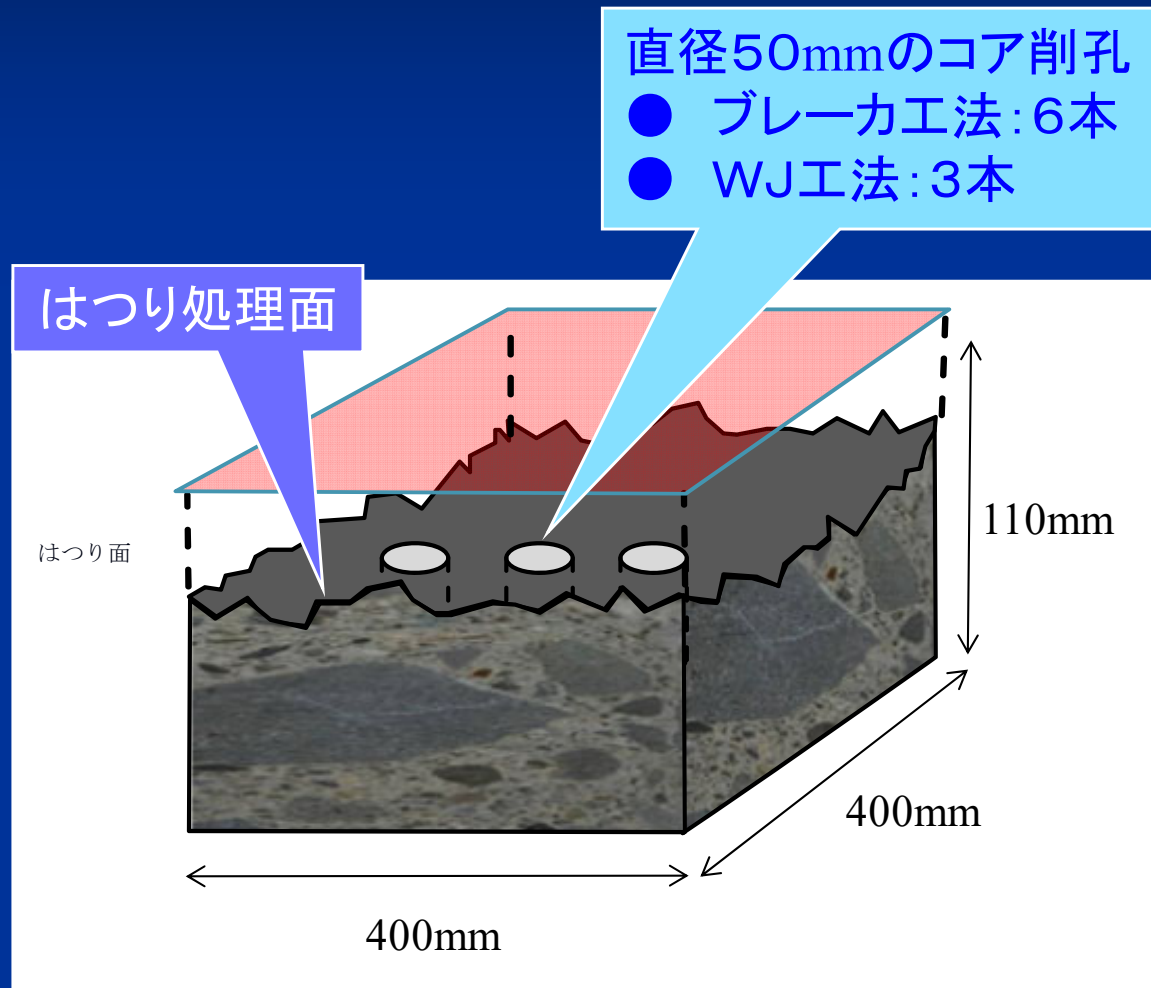
WJ工法によるはつり処理

水圧 : 180 MPa,
水量 : 20 L/min
はつり深さ 10 cm



はつり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

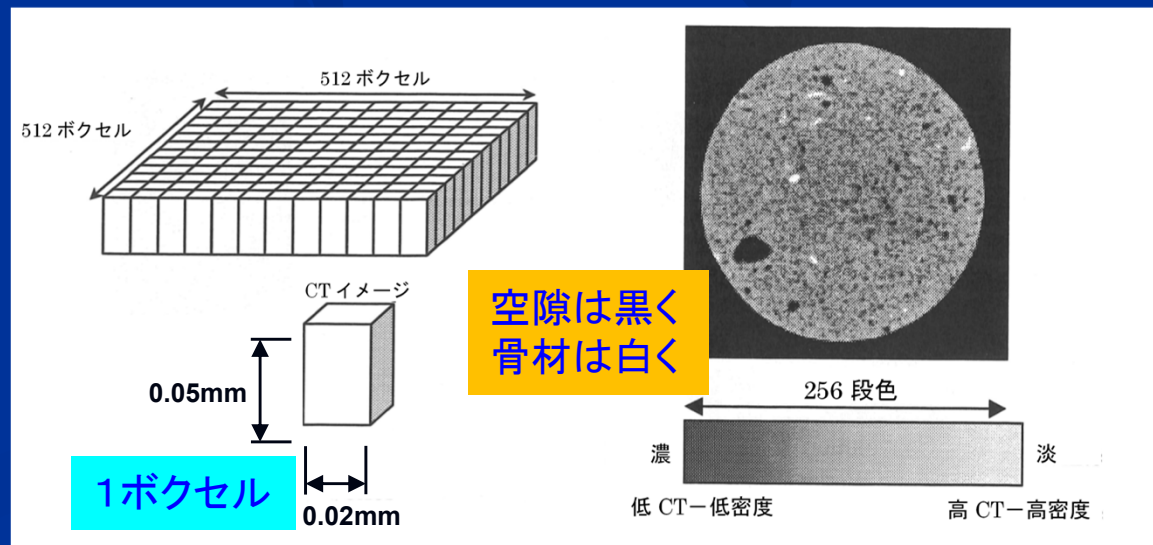
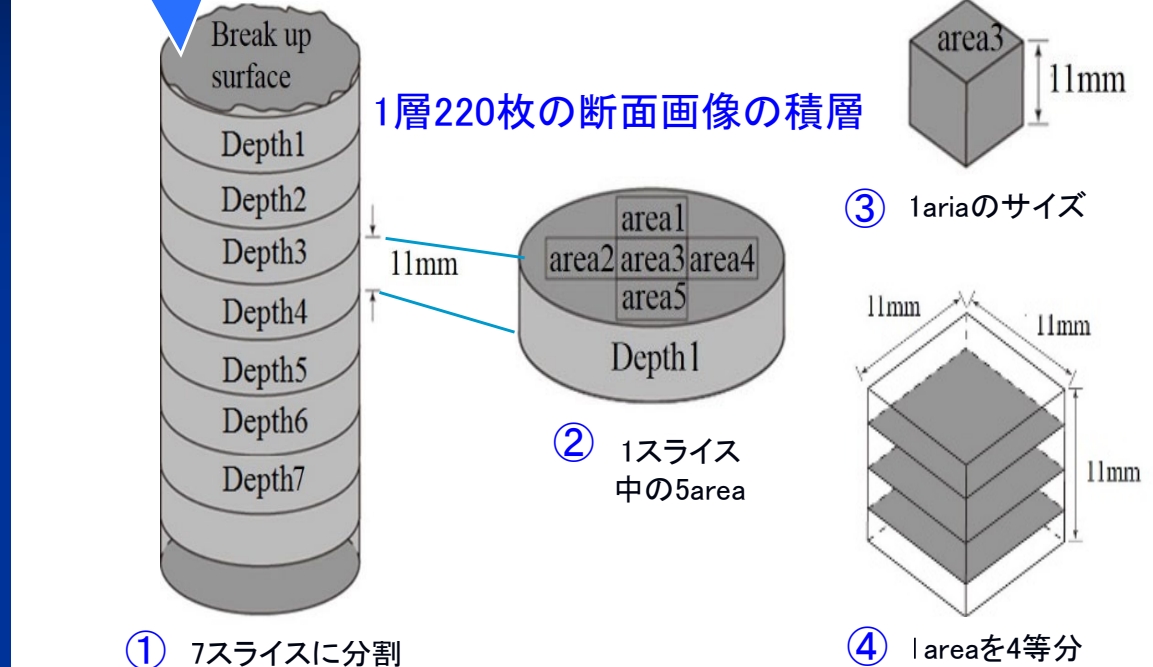
供試体と画像分析(X線CT)

● 画像分析手順

- ① $\Phi 5\text{cm}$, 高さ 11cm の供試体を, 深さ方向にDepth 1~Depth 10 に分割 (そのうちのDepth 7までを分析対象)
- ② 各スライスを, 5つの area(1~5) に分割
- ③ 各 area は1辺 11mm の立方体で, それぞれ220枚の断面画像(スライス厚 0.05mm)で構成される
- ④ 各 areaから3枚の断面画像を代表として抽出し, それぞれボクセル単位で空隙領域(しきい値で判定)を求める
- ⑤ 各 area毎の空隙の分布を求め, Depth 毎に傾向を把握する

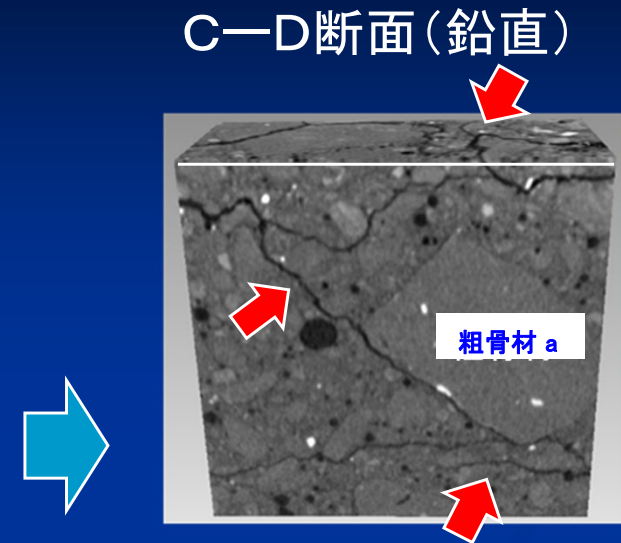
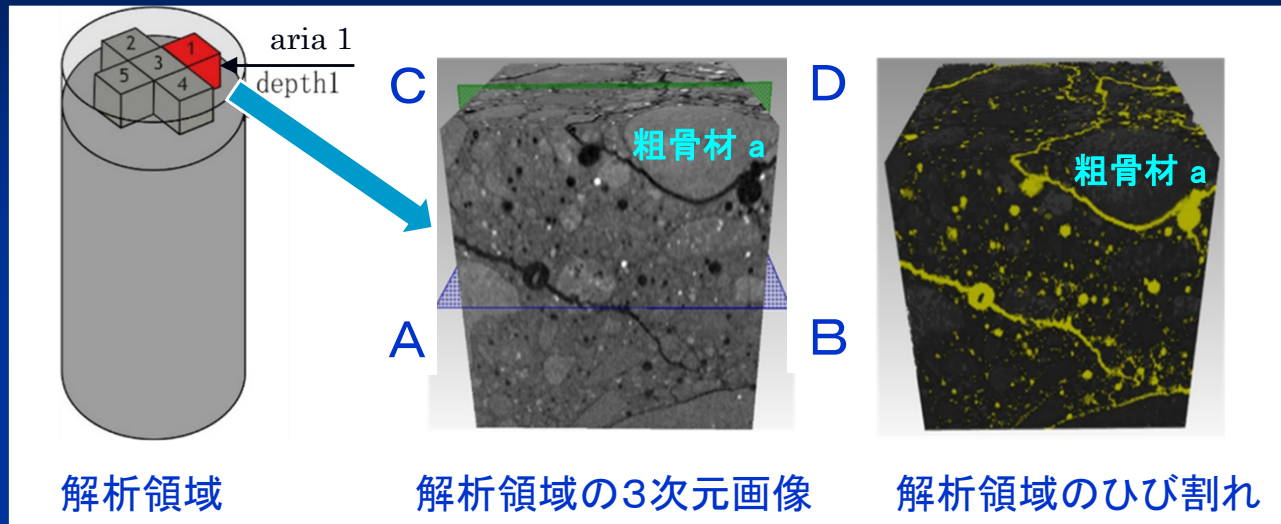
はつり処理面

はつり供試体の分割とエリアの定義

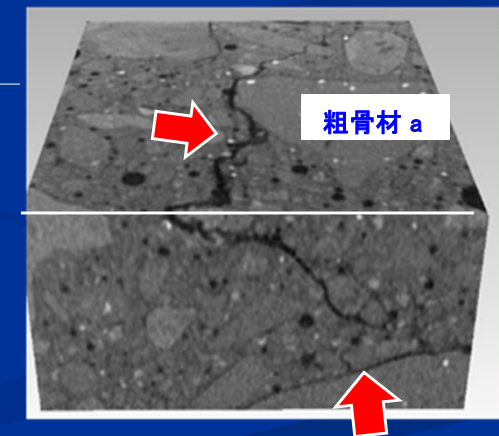


ブレーカ工法が粗骨材周辺に及ぼす影響

● 粗骨材周りの空隙の存在

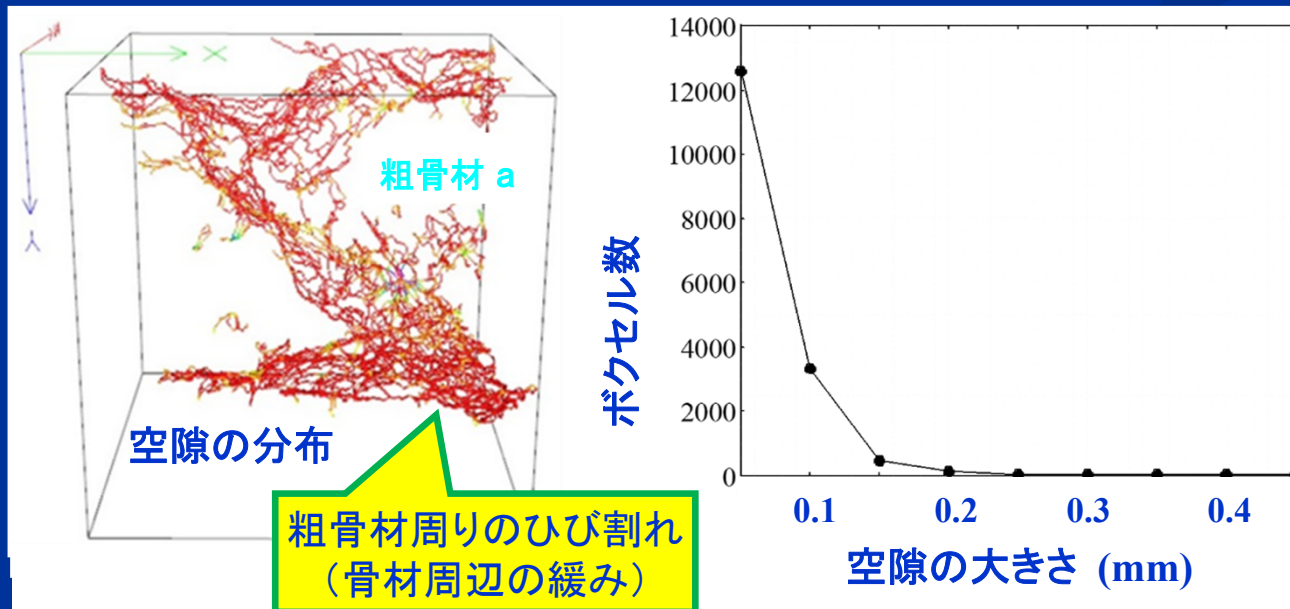


A-B断面(水平)



↑ : ひび割れの多い領域

● area 1 のX線CT分析結果



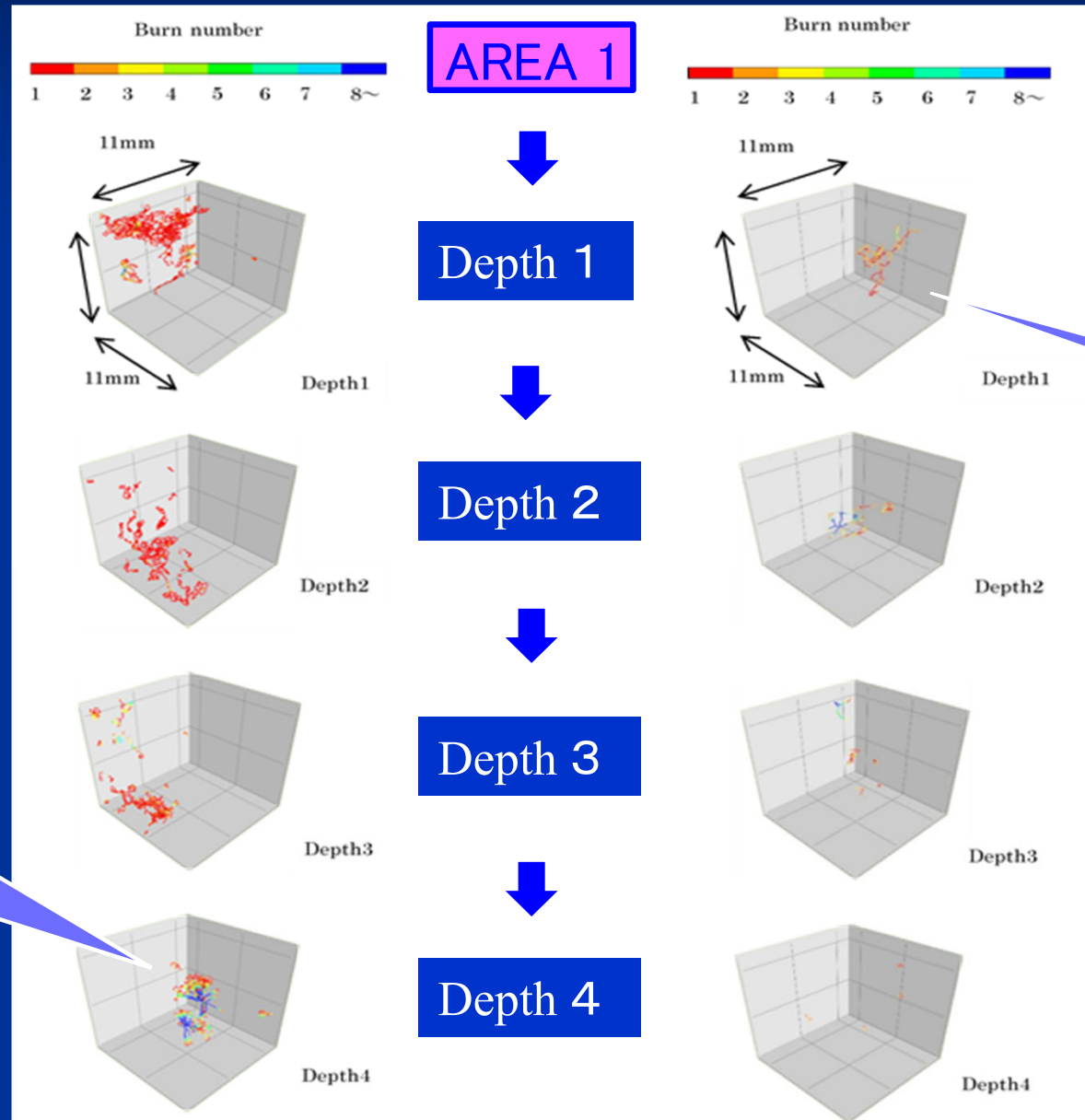
粗骨材周りのひび割れ
(骨材周辺の緩み)

ブレーカ工法とWJ工法の解析結果の比較

● 深さ方向の空隙の分布 (AREA1の立方体の斜め上方からの俯瞰)

ブレーカ工法
(BR1)

WJ工法
(WJ1)

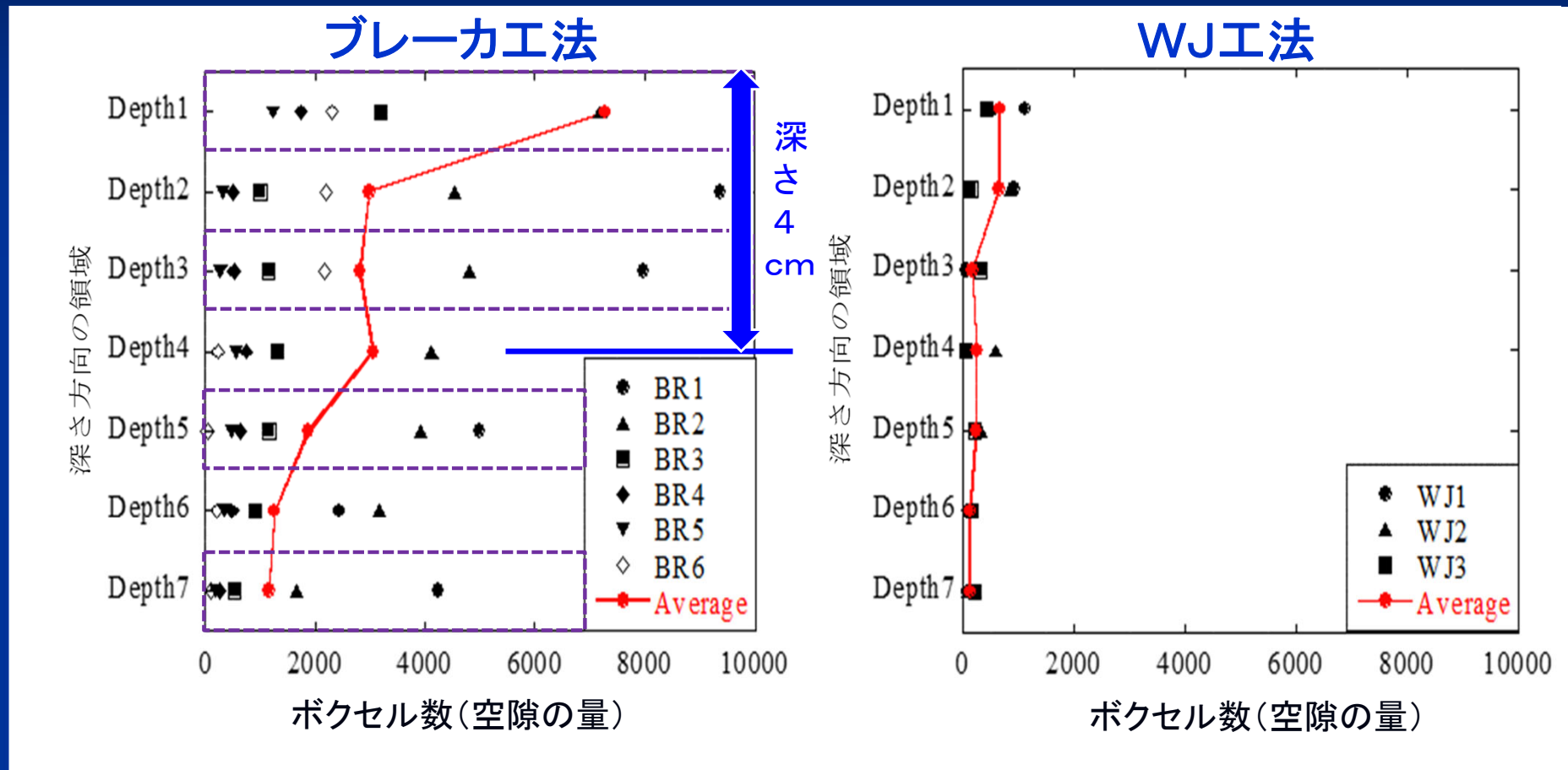


微細な空隙が
僅かに存在

ひび割れ損傷
はDepth4まで
の深さで発生

ブレーカ工法とWJ工法の解析結果の比較

● はつり処理した各供試体の微小空隙の分布

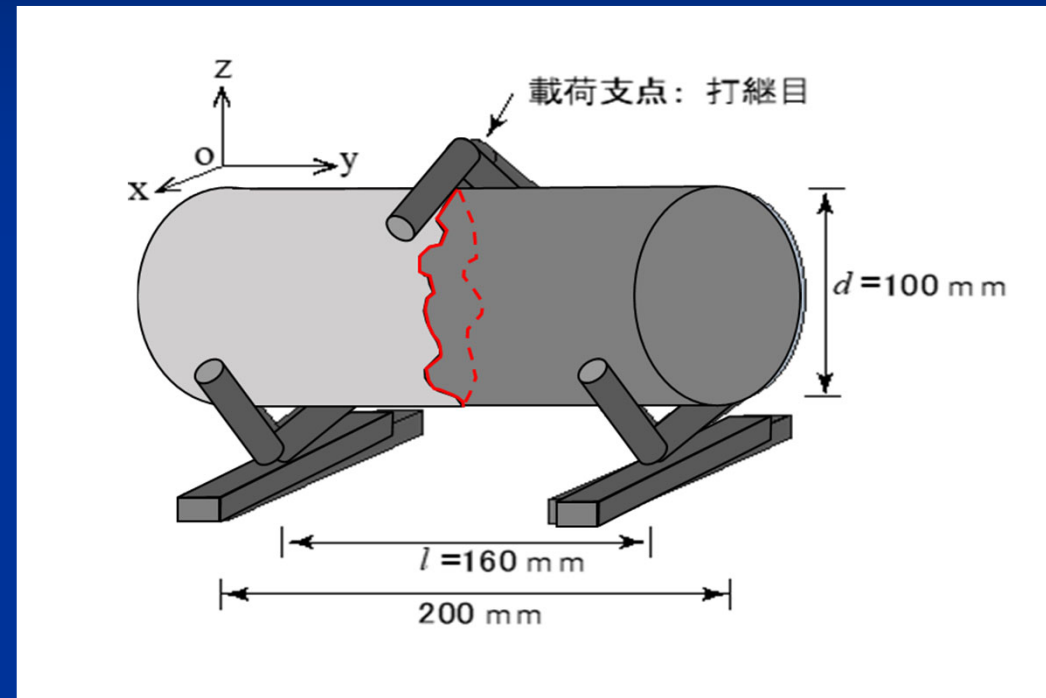


➢ ひび割れ損傷は深さ4cmにまで及ぶ
➢ 表層に多くの空隙(ヘアクラック)を生じる

➢ ひび割れ損傷はほとんど生じない

打継ぎ目の曲げ強度試験（はつり処理の影響評価）

● コンクリート打継ぎ部の曲げ強度試験（円柱コア）



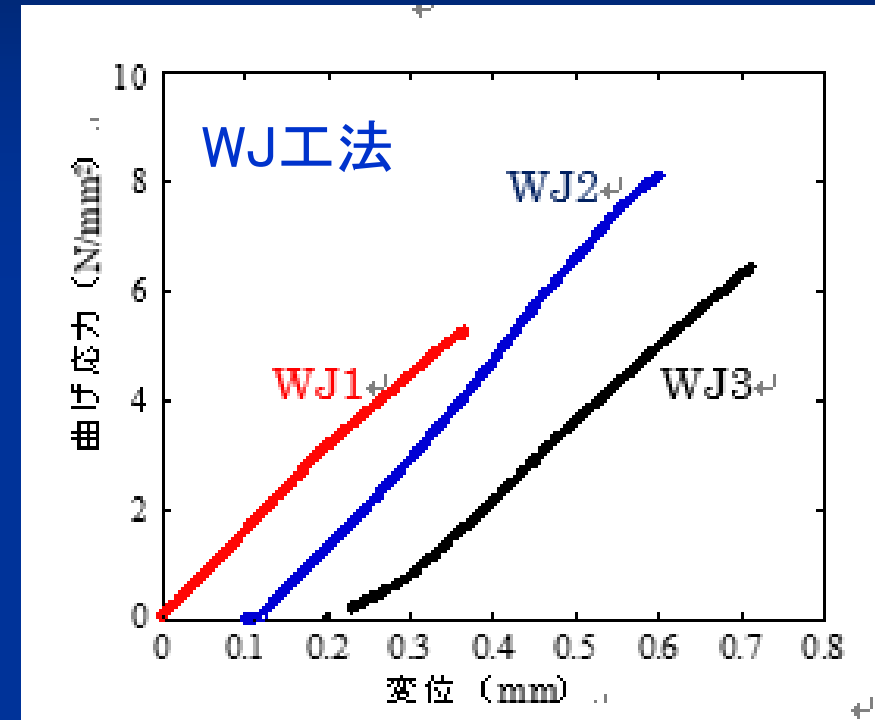
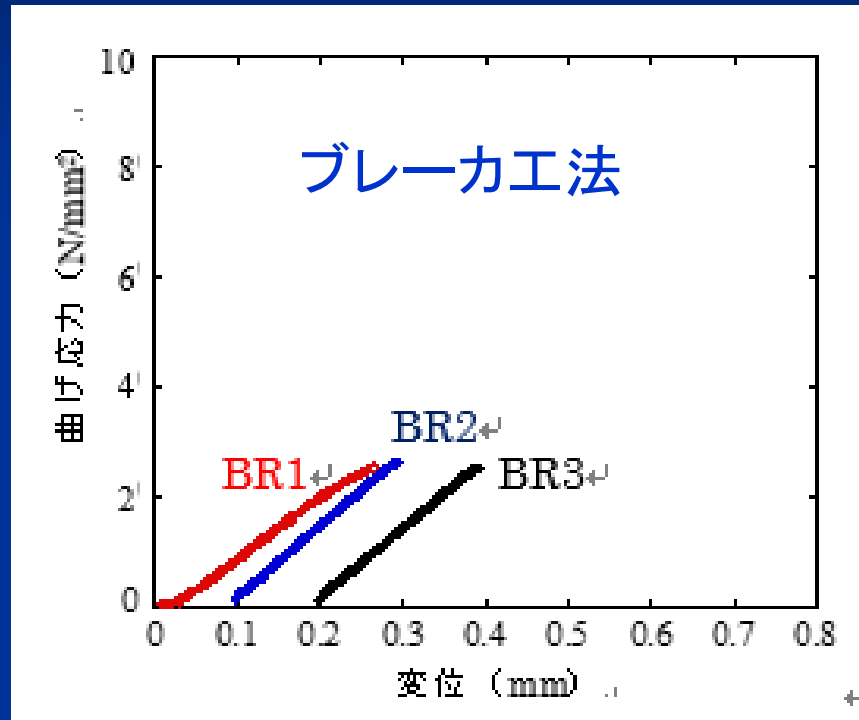
理論式

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

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

円柱コア打継ぎ目の曲げ付着強度試験

● 各円柱コアの曲げ試験結果(曲げ付着強度—変位曲線)

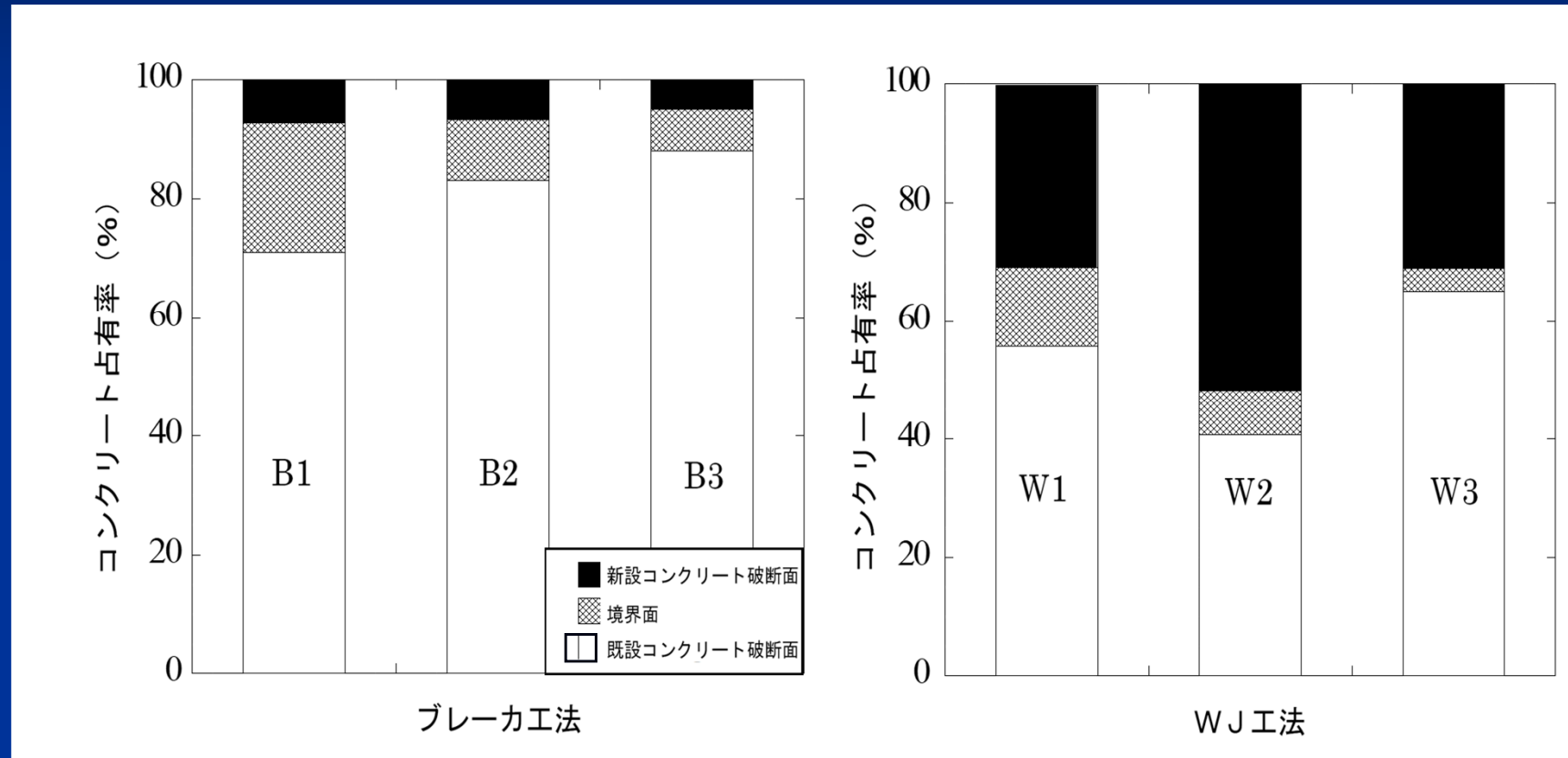


円柱コア打継ぎ目の曲げ付着強度試験結果

- 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

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新旧コンクリート占有面積の割合

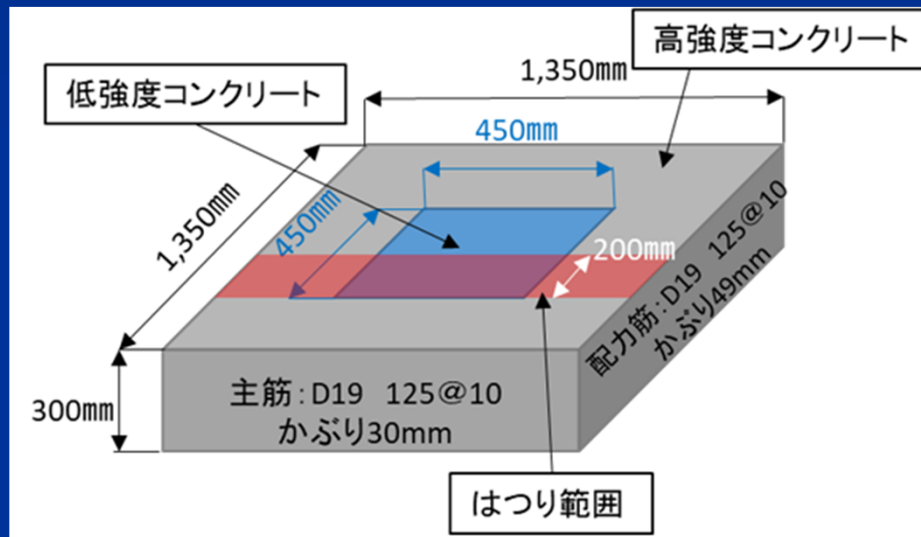


破断位置

- 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: 新設と既設部がほぼ拮抗

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

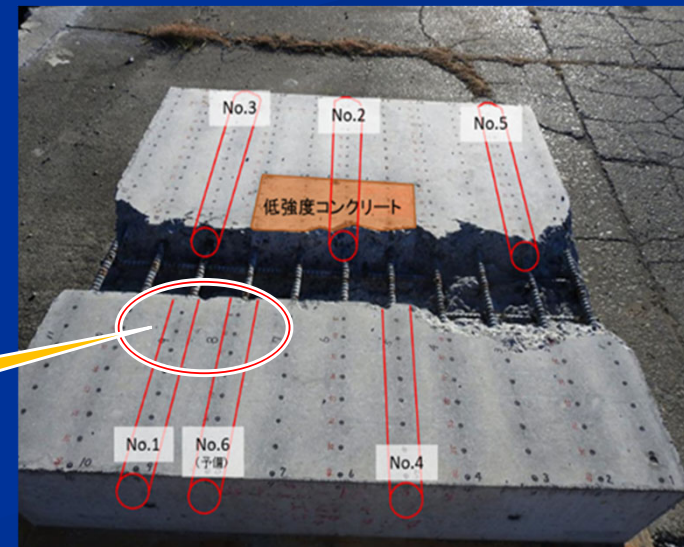
着目箇所



ブレーカばつり



ブレーカ: 質量20kg
(東空販売製 TCB-200)



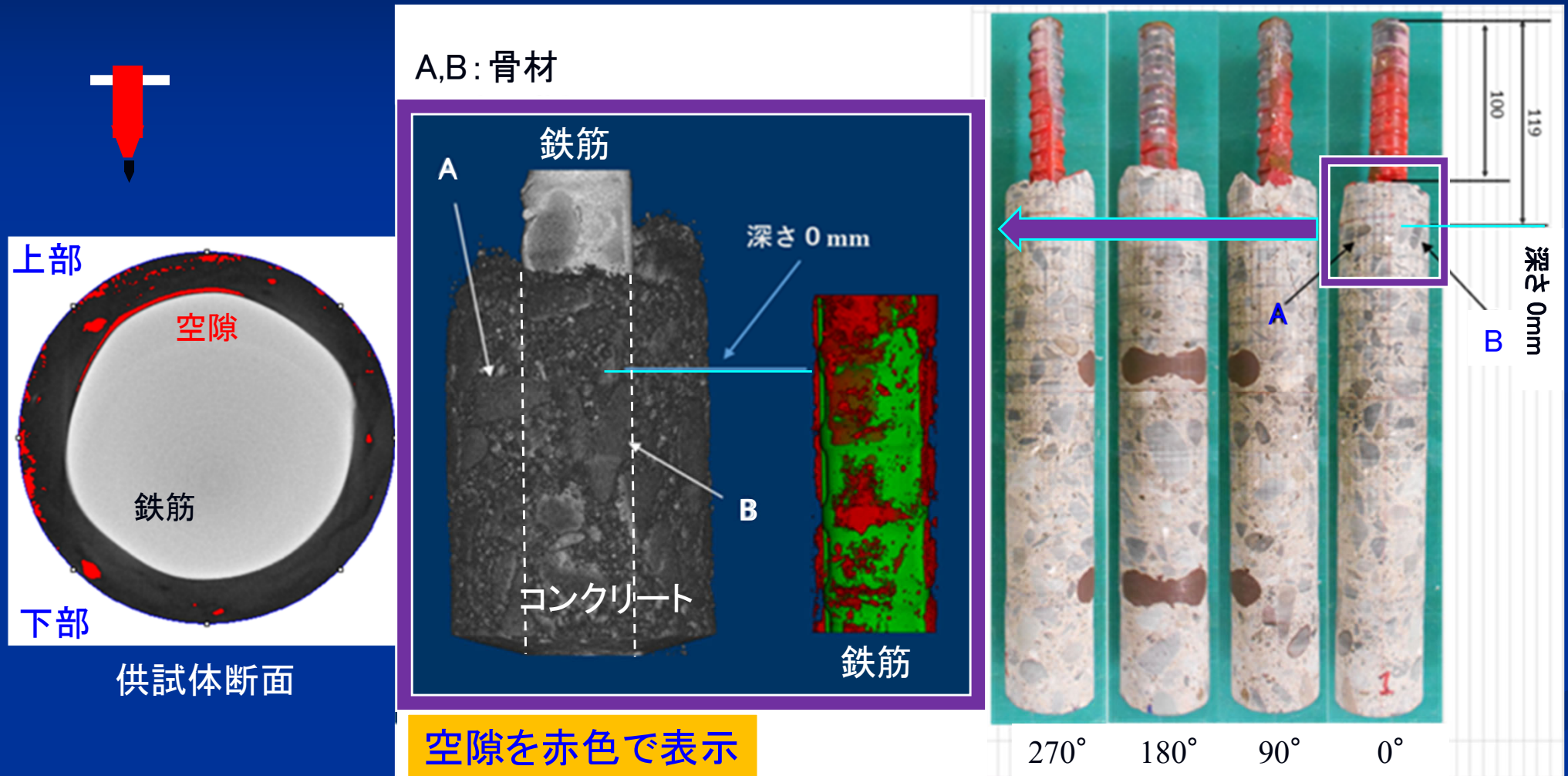
供試体の採取位置



供試体
(ϕ 50mm)

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表示例

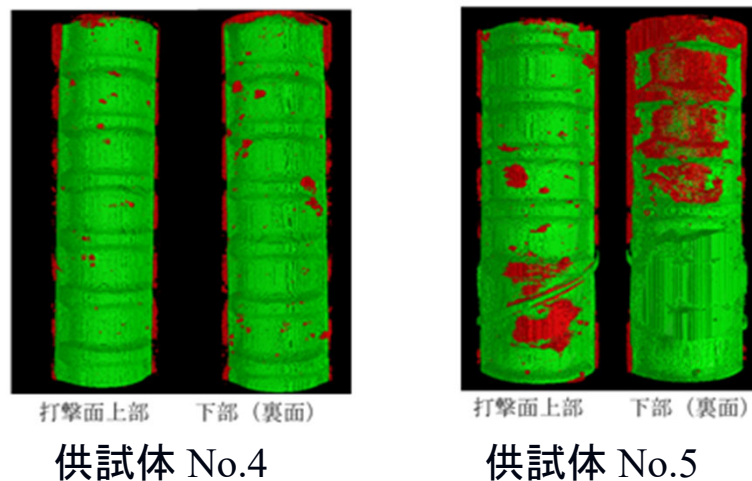
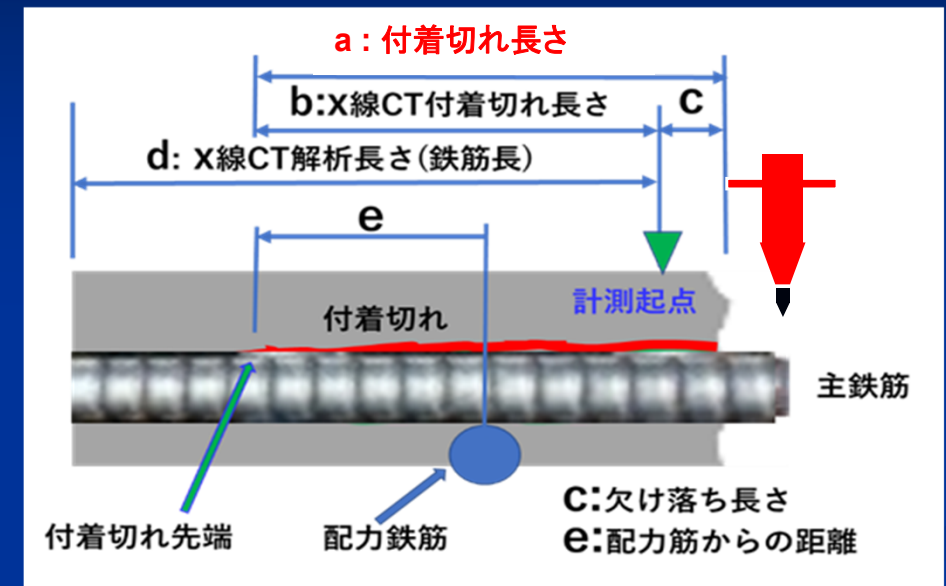
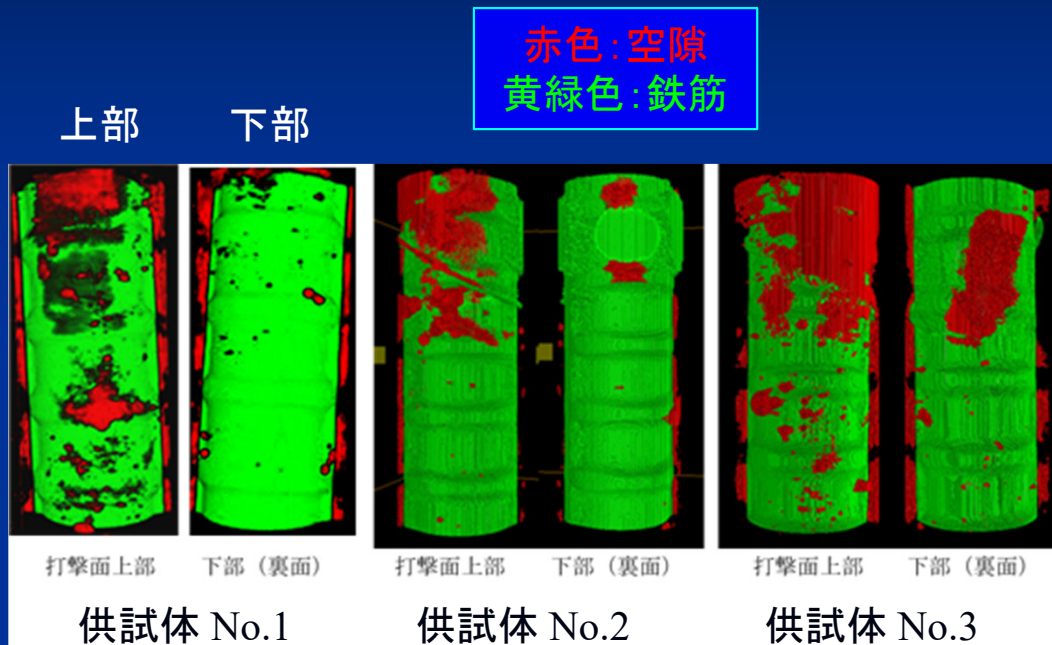


供試体 No.1 のX線CT画像

4方向からの撮影写真

X線CT 分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析画像



供試体 番号	分析長さ (鉄筋長) d	欠け落ち 長さ	X線CT法による測定結果 a=b+c		
		c	b	e	b+c
No.1	50	22	46	—	68
No.2	62	40	23	19	63
No.3	56	10	28	—	38
No.4	79	68	0	—	68
No.5	76	24	38	-16	62

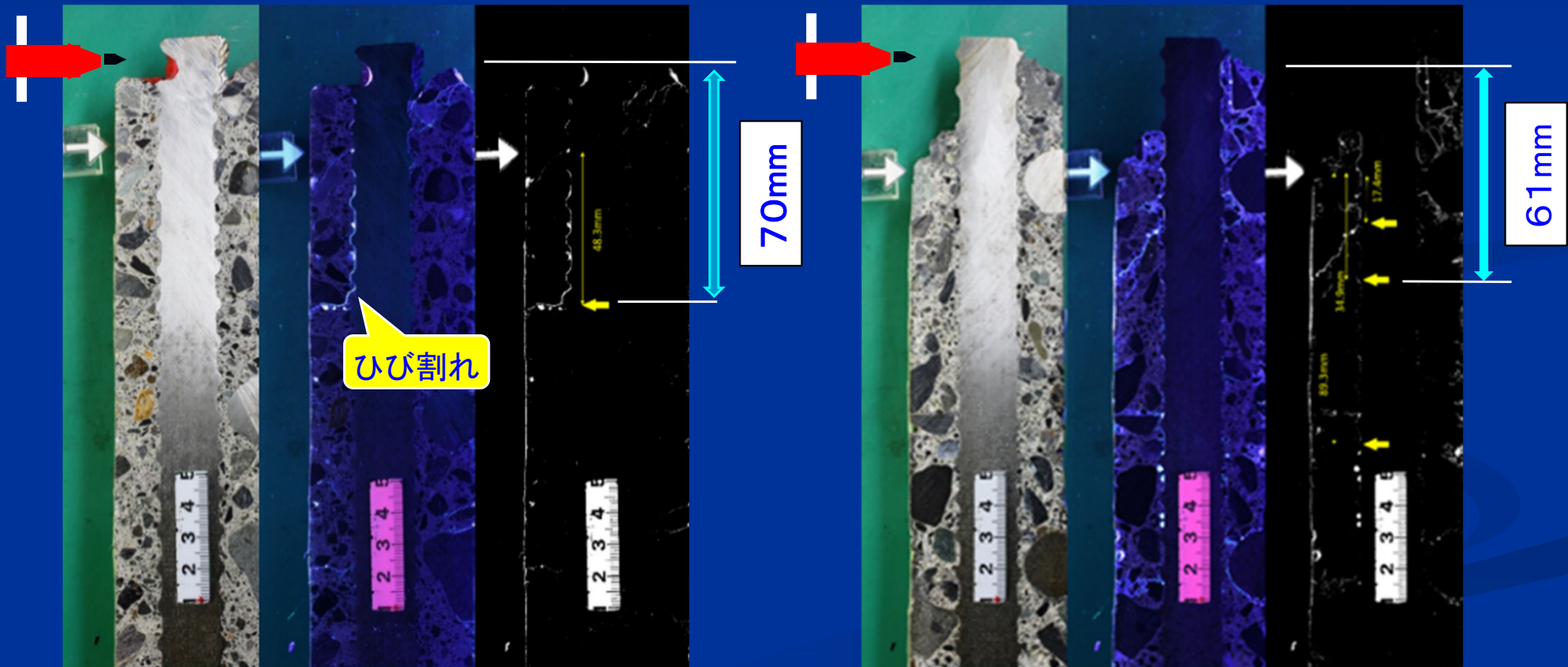
蛍光エポキシ樹脂含浸法による目視調査

● 付着切れ調査結果

蛍光エポキシ樹脂を1時間真空脱泡で含浸させ、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)



はく離深さは70mm以下

鉄筋の付着切れ調査結果のまとめ

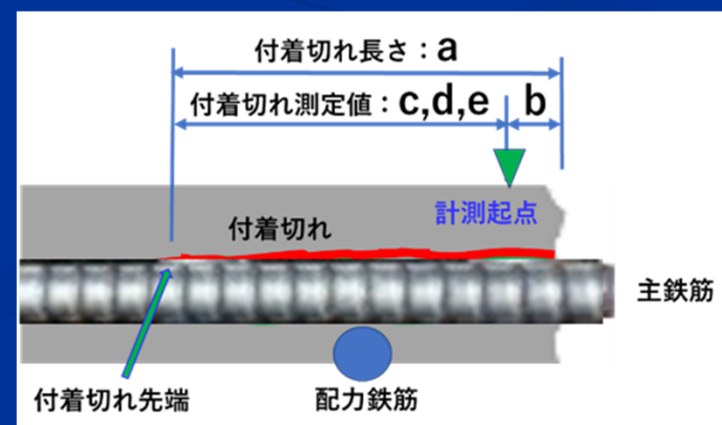
● 各種方法による鉄筋の付着切れ長さ調査結果一覧

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

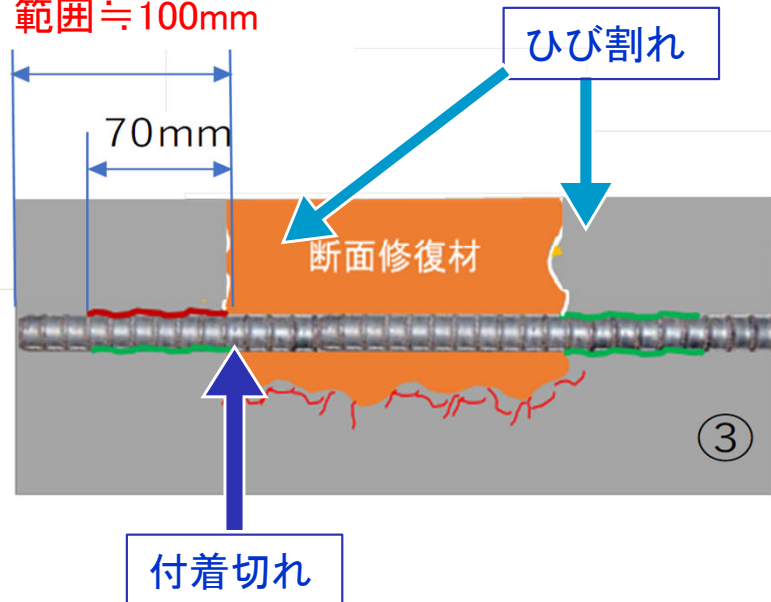


はつり処理方法の提案

● RC床版: ブレーカ工法とWJ工法を併用する場合



WJによるはつり処理
範囲≒100mm



ブレーカ処理部

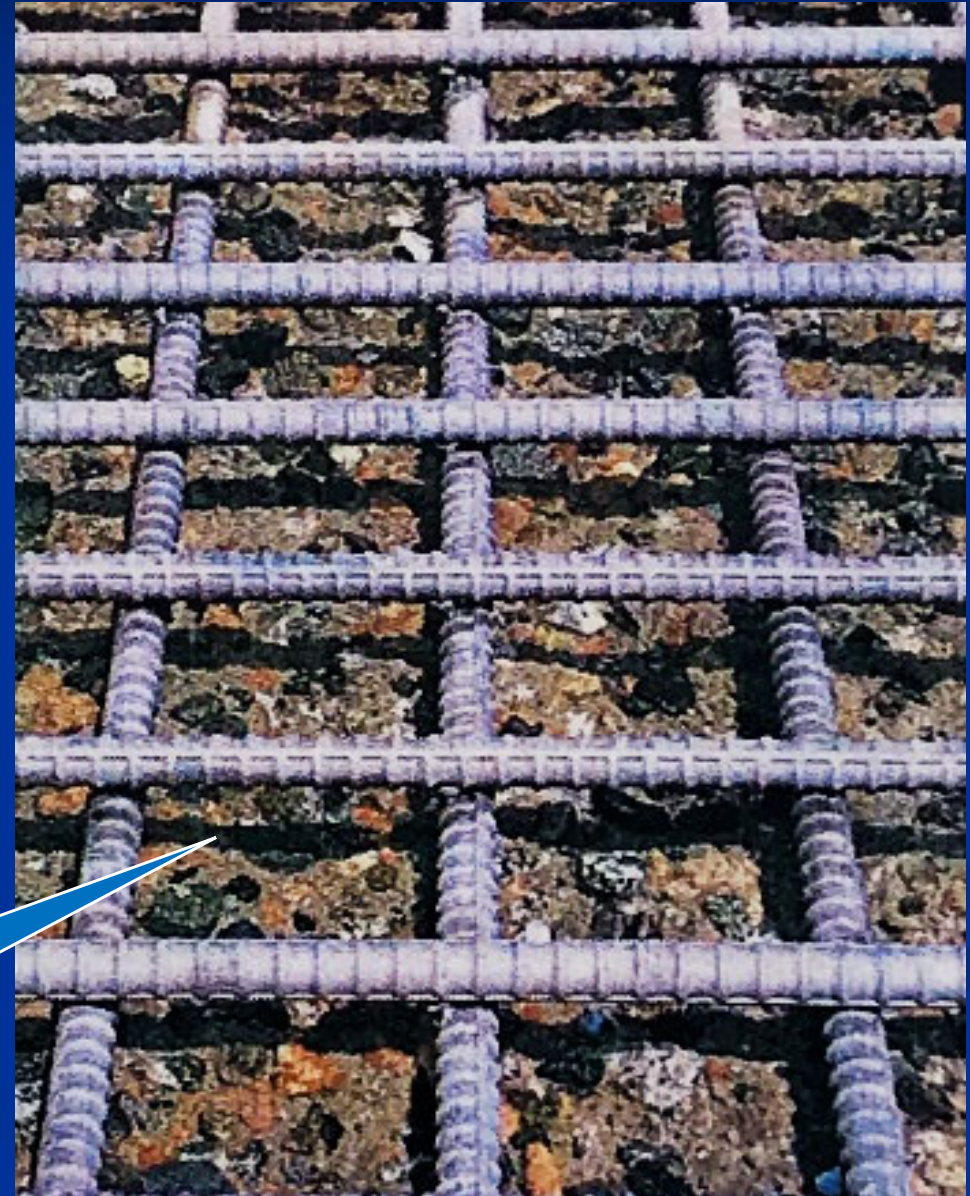
はつり端部から
100mmはつり取る

参考 — WJ工法による清浄なはつり処理面の確保

RC床版の鉄筋背面までの理想的なはつり処理



断面修復部の再損傷の予防
(鉄筋に絡めて一体化)



6. まとめ — コンクリート構造物の断面修復について

(1) 断面修復等における打継ぎ部の下地処理について

● 明らかにになったブレーカ工法の問題

- はつり面近傍の浅い領域(深さ10～20mm)に多数の微細なひび割れが生じる
 - ひび割れが発生する最大深さは約40mmにまで達する
 - 鉄筋がブレーカで打撃される事により、コンクリートと付着切れを生じる
 - その奥行は、はつり処理した端部から鉄筋沿いに最大で約70mmに達する
 - これらのひび割れ発生や付着切れの影響により、補修部では再劣化が懸念される
- ブレーカ工法は耐久性の確保が不十分で、打継ぎ部の下地処理として問題が残る

● 明らかにになったWJ工法の利点

- はつり処理面にひび割れが発生せず清浄な打継ぎ面を確保できる
 - 打継ぎ面の曲げ付着強度はブレーカを用いた場合の2倍以上となる
- 打継ぎ部の下地処理にはWJ工法が適している(欧米での評価と同)

● WJ工法に関する今後のテーマ

- コスト縮減, 騒音対策, 排水処理, 安全管理

(2) 断面修復(打継ぎ)部の耐久性の確保に向けて

● ひび割れ(ヘアクラック等)が生じている変状部を確実に除去する

- WJ工法により、塩化物イオン等が残存する鉄筋背面まではつり処理を行う
- ブレーカを用いた場合は、その端部から鉄筋沿いに10cmほどWJ処理を行う
- 打継ぎ面は必要十分なはつり深さと平坦性で仕上げ、清浄性を確保する

6. まとめーコンクリート構造物の維持管理に向けて

社会的背景

- ◎ 橋梁などの大量の社会インフラにおける変状(劣化・損傷)の増加
- ◎ 変状部のはつり処理とコンクリートの打継ぎによる断面修復工事の増加
- ◎ 少子高齢化、技術者不足、維持管理予算の確保

技術的課題(断面修復)

- ◎ 我が国における変状部のはつり処理は、ブレーカ工法、WJ工法が代表的
- ◎ ブレーカ工法は経済的、汎用的であるが、はつり面の健全性、清浄性に問題あり
- ◎ WJ工法はコストが若干高いが、はつり面が健全で耐久性の確保に有効

現状と将来

- ◎ 大量のインフラ構造物の劣化・損傷が進み、人や予算が不足しがち
- ◎ コンクリート構造物の耐久性、安全性の維持が難しくなりつつある



再損傷の発生を防止し、効果的な対策の実施が不可欠



- はつり処理を伴う工事においては信頼性の高い技術の実現を目指す事が重要
- 小規模な対策を繰り返さずに大規模対策で対応する事や放置する手段もある

参考 — WJ工法の特長と打継部への影響要因

WJ工法の特長

打継部への影響要因

1. 構造物に優しい工法である

- ◎ 鉄筋やコンクリートを傷めない
- ◎ 脆弱な変状部のみ除去できる
- ◎ 健全な処理面で高い付着と耐久性を確保

2. コスト削減が図れる

- ◎ 機械化、ロボット化による省力化・省人化が作業効率の向上、労働力の削減に寄与
- ◎ 天候の影響が少なく工期短縮に有効

3. 環境に優しい

- ◎ 低振動→ ブレーカより小
- ◎ 低騒音→ ブレーカより小、防音装置
- ◎ 無粉塵→ 処理水ごとバキューム、洗浄
- ◎ 処理水→ 無公害

- ◎ コンクリート中のマイクロクラックの有無
- ◎ 表面の清浄性
- ◎ 表面のレイトンスの有無
- ◎ 表面の湿潤状態
- ◎ 表面の粗度
- ◎ 境界面の鉄筋の影響
- ◎ 付着を高めるエージェント
- ◎ コンクリ打設中の振動
- ◎ 締固めの良否
- ◎ 養生方法
- ◎ 経過時間

新旧コンクリートを打継ぐ一体化では付着強度の確保が最も重要

ご静聴ありがとうございました



ファブリキウス橋 (Ponte Fabricio: ローマ)



ローマに完全な形で残る唯一の古代橋(BC62)

— スパン 2 @ 27.4 m (1890年に全面補修) —