

「コンクリート打継ぎにおける下地処理の重要性」 — WJ工法とブレーカ工法を比較して —



(一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所
谷倉 泉

1. コンクリート構造物に生じる各種変状(劣化, 損傷)

- 発生している各種の変状
- 維持管理の流れと対策工法
- 断面修復工法に関する重要な留意点

2. コンクリート構造物のはつり処理

- WJ工法とブレーカ工法
- 欧州におけるWJの利用状況
- ブレーカ工法の問題

3. X線CT法の適用によるはつり処理工法の評価

- ブレーカの使用で発生する損傷の実態
- ブレーカ工法とWJ工法の比較

4. ブレーカによるはつり処理に関する解析的評価

- 個別要素法(DEM)による数値解析

参考資料－1 WJ工法によるはつり処理と断面修復事例

1. コンクリート構造物に生じる各種の変状

RC桁



PC桁

鋼材腐食とはく落



PC鋼材の破断



再損傷と撤去(更新)

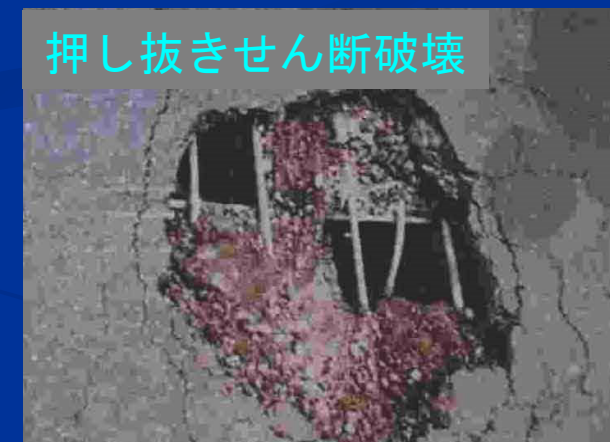
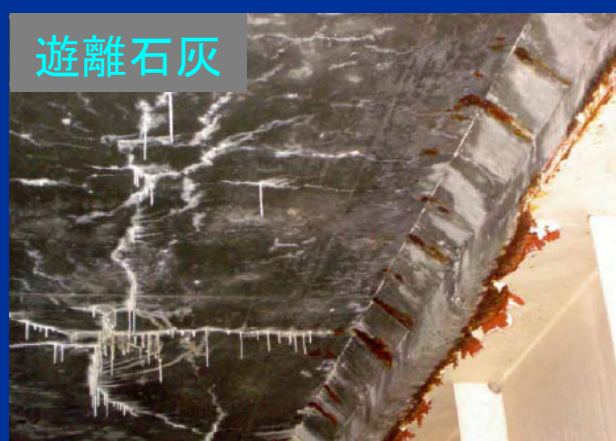


付着物



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(土砂化)
- 下面のはく落、押し抜きせん断破壊に至る

橋台, 橋脚

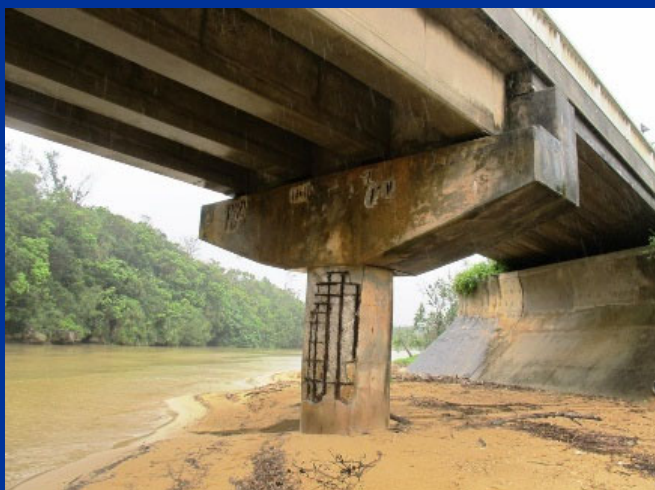
塩害



ASR



凍害

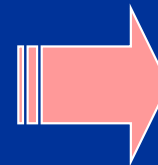


付着切れ

主な変状の発生要因

発生要因

- 塩害
 - ・凍結防止剤, 飛来塩分の浸透
- 凍害
 - ・寒冷地でのコンクリートの凍結融解
- アルカリ骨材反応(ASR)
 - ・アルカリ反応性骨材の存在
 - ・アルカリ水溶液との反応による膨張
- 疲労
 - ・車両輪荷重の繰返し載荷
 - ・防水層の効果で寿命は100倍延びる
- 中性化
 - ・CO₂との反応でコンクリートが中性化
- 化学的腐食
- 施工不良



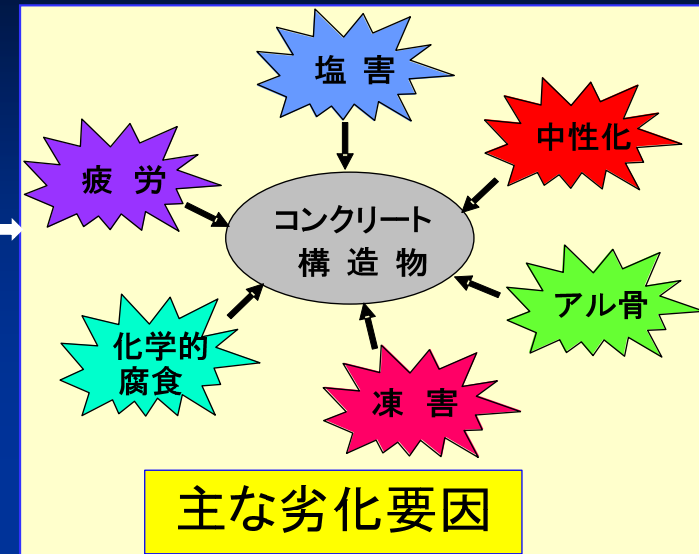
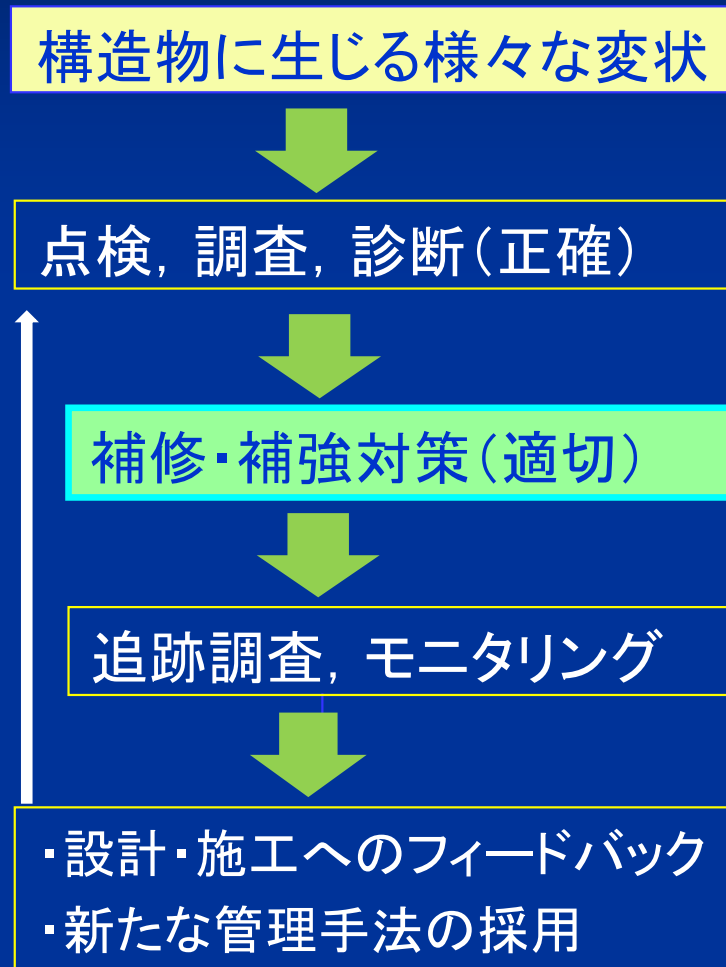
変状(劣化・損傷)

- ひび割れ
 - ・遊離石灰
- 浮き, 剥離, 剥落
 - ・第三者被害の恐れ
- 土砂化(RC床版)
 - ・舗装のポットホール
- 鉄筋腐食, 破断
- PC鋼材破断

多くは水の影響が大！
複合化した変状も増加

維持管理の流れ

実施フロー(PDCA)



各種の対策

- ・ひび割れ補修
- ・表面被覆
- ・防水層設置
- ・断面修復
- ・電気化学的補修
- ・電気防食
- ・架け替え

うまく施工でき
ているか？
再損傷事例
が増加！

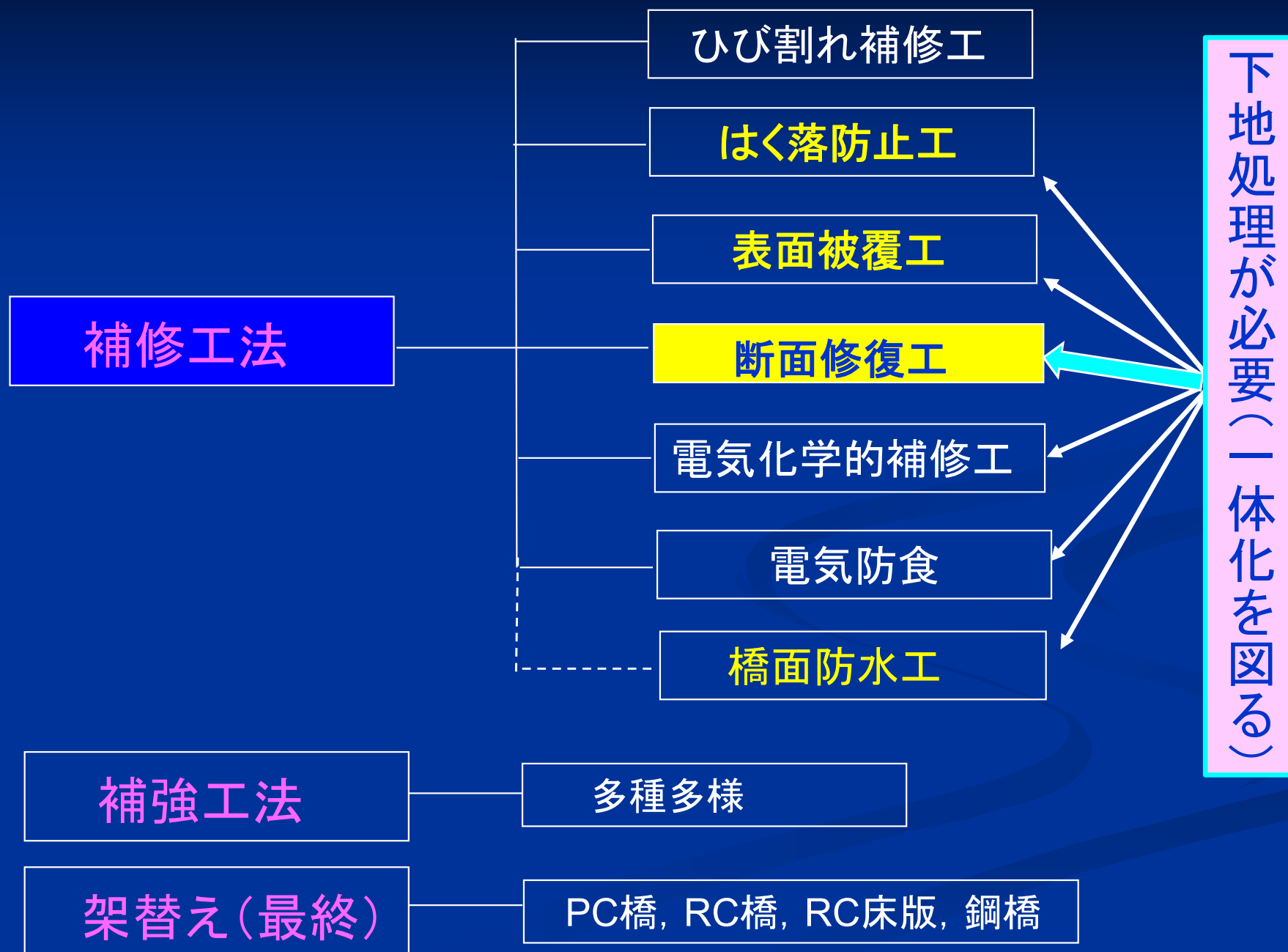
変状
レベル

大

適切な対策とは？

➤ 耐久性や安全性が確保され、経済性に優れる
(変状の実態と供用環境を十分考慮した補修設計・施工)

構造物の変状に対する各種対策工法

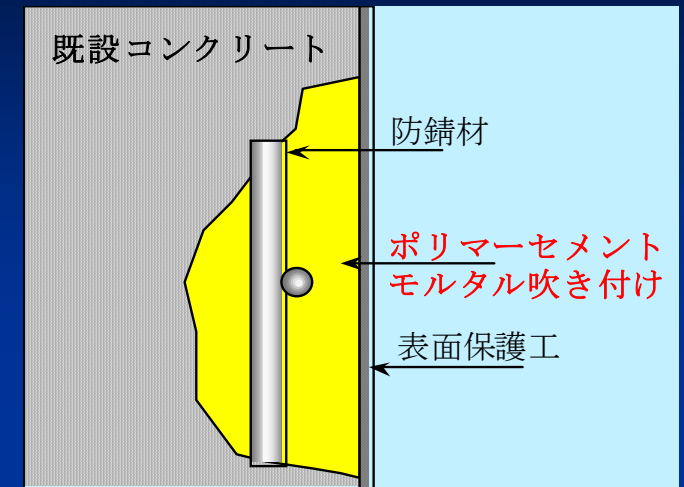


断面修復工法適用上のポイント

- 変状を全て除去し新しい材料を吹付ける or 流し込む
- 鉄筋背面まではつり処理を行って鉄筋と一体化させる
- 再劣化を生じさせない施工条件確保(気温、時間、養生)
- 各種変状原因の除去(防水、排水、漏水、被覆対策)



下地および鉄筋と一体化させて耐久性を確保！

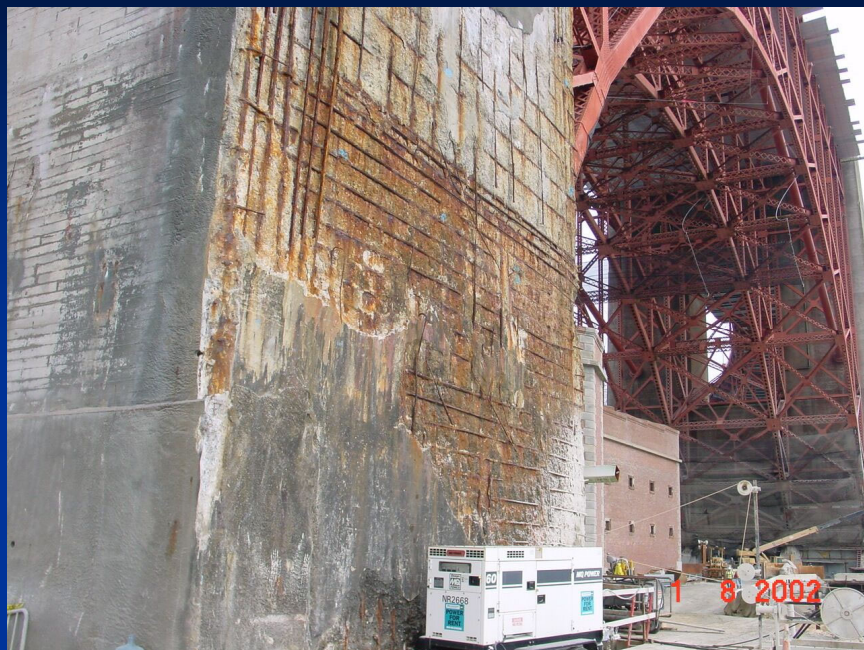


WJによるはつり処理

➡ 吹付けによる断面修復(施工事例はかなり多い)

ゴールデンゲート橋での施工事例

Golden Gate bridge



断面修復でのはつり施工

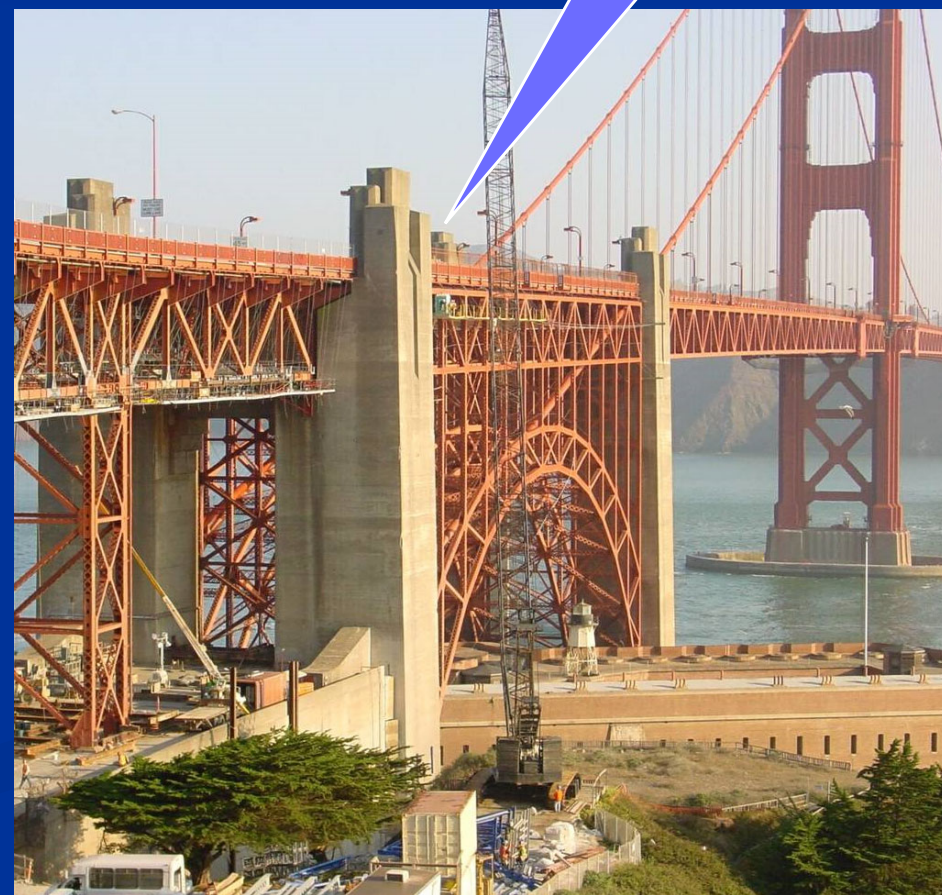
2002.11

2015.10

10年以上経過
しても健全



WJロボット



断面修復工法の要点

① コンクリート表面や内部の劣化因子を取り除く

再損傷の防止

- 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床版上部の土砂化と舗装のポットホール

(RC床版の疲労寿命は防水できれば **100 倍**以上となる)

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の向上につながる！



はつり処理方法が及ぼす影響が大きい！

どんな手法が良いか

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

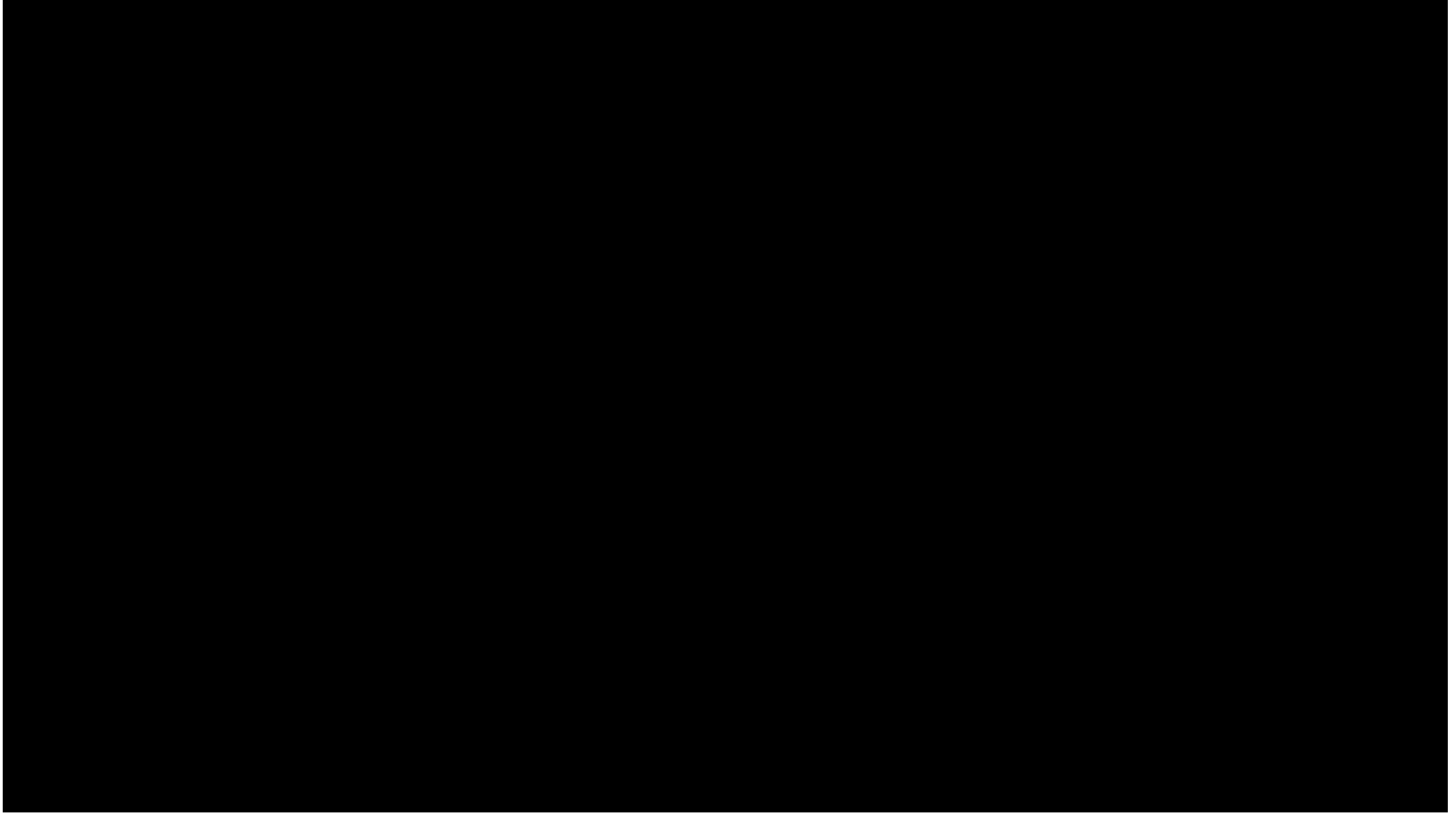
- コンクリートに生じた**変状部を除去**する下地処理
- 塩分を含む強固なコンクリート部の除去も求められる
- 打継ぐコンクリートとの**一体化に適した清浄な面**の確保が非常に重要

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？

WJロボットを用いた床版上面のはつり処理



CONJET社HPより (3分)



WJロボットを用いたコンクリートのはつり処理



AQUAJET社HPより (2分)

2. コンクリート構造物のはつり処理

ウォータージェットはつり装置



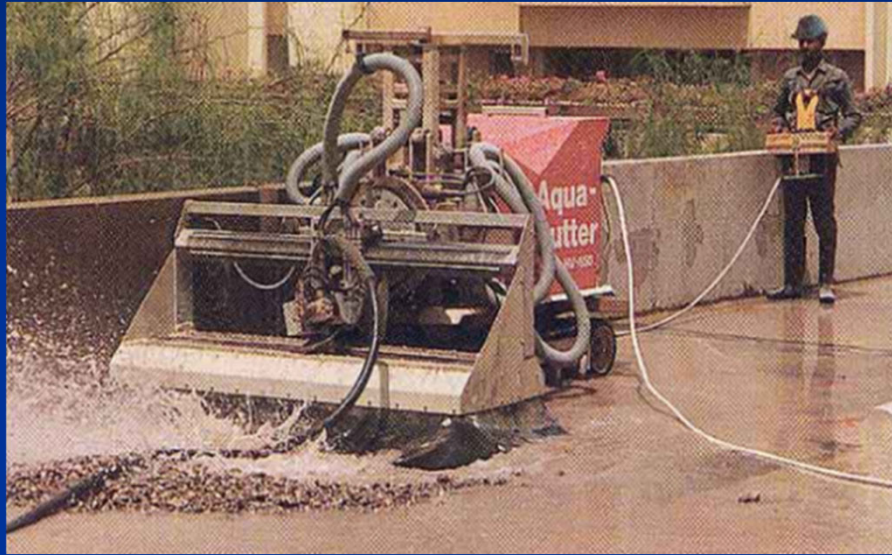
CONJET社HPより

[戻る](#)

WJ工法とブレーカ工法によるはつり処理

WJ工法

- はつり装置(ロボット)を用いた自動制御

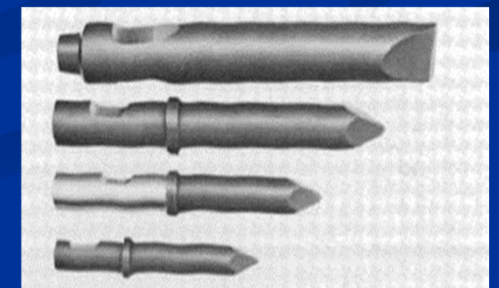


- ハンドガンを用いた人力施工



ブレーカ工法

- 人力施工



ブレーカ工法の歴史



ブレーカ(10,20,30kg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

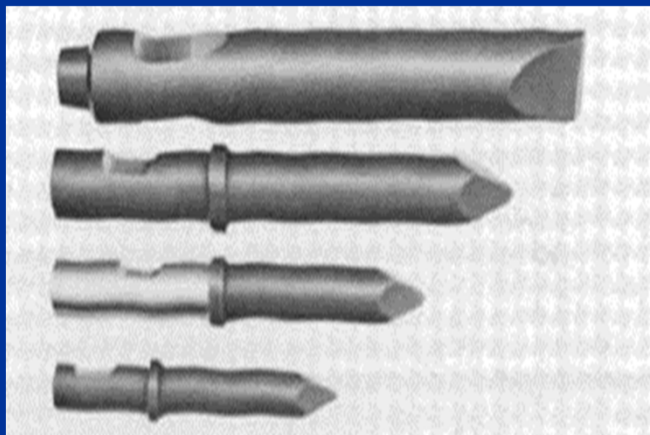
米軍貸与の重さ45kg程度

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

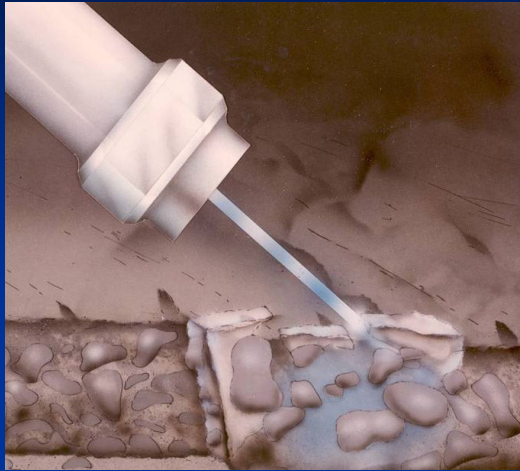
1970年には「コンクリート構造物の解体工法」が発刊された

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

WJ工法の歴史



ノズル先端からの噴流
(超高压水)



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世紀より高压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

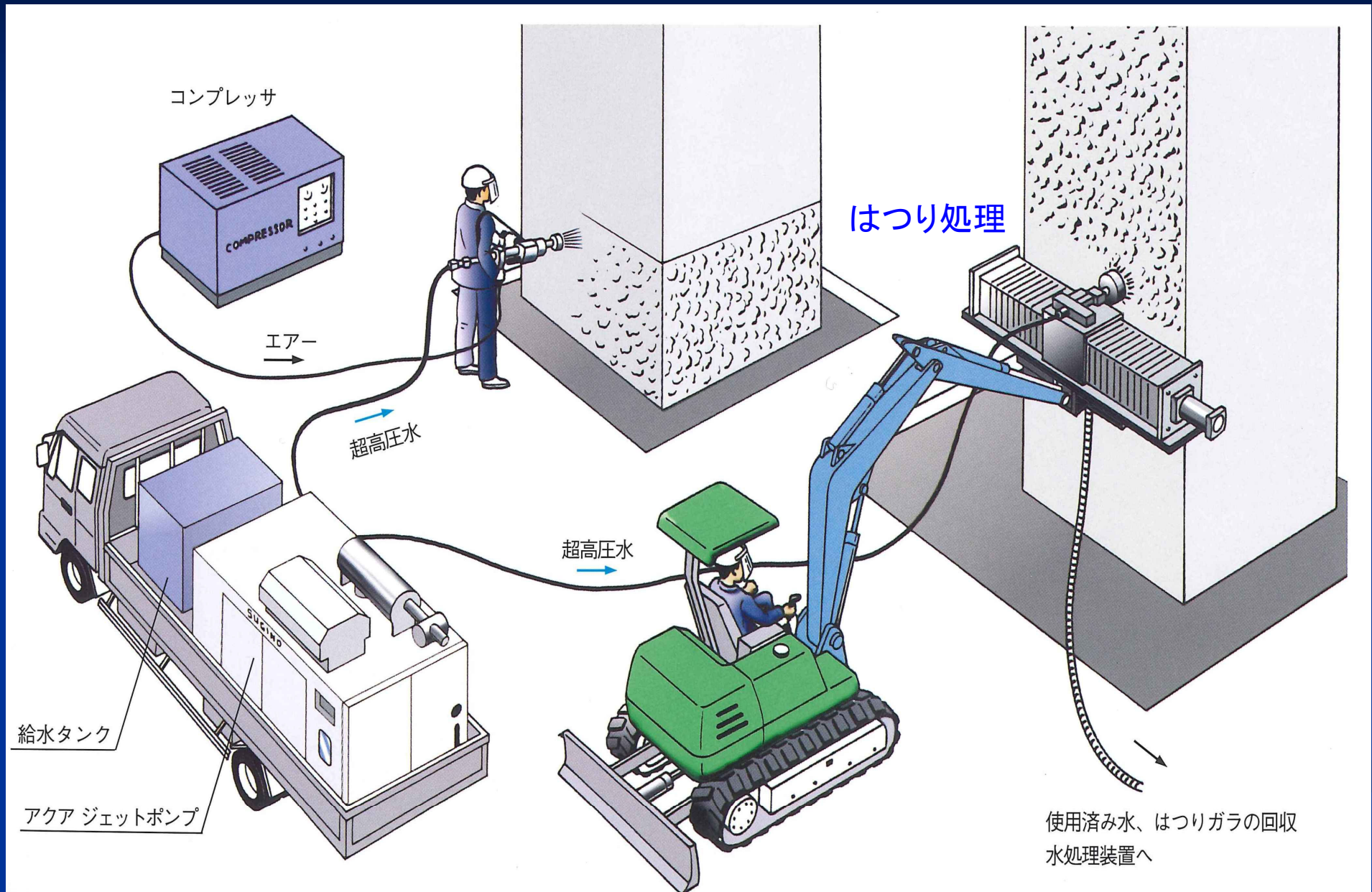
— 高速の水滴が岩や金属を切削，切断出来る可能性

— 清掃，洗浄，切断，加工，掘削，破碎，医療に発展

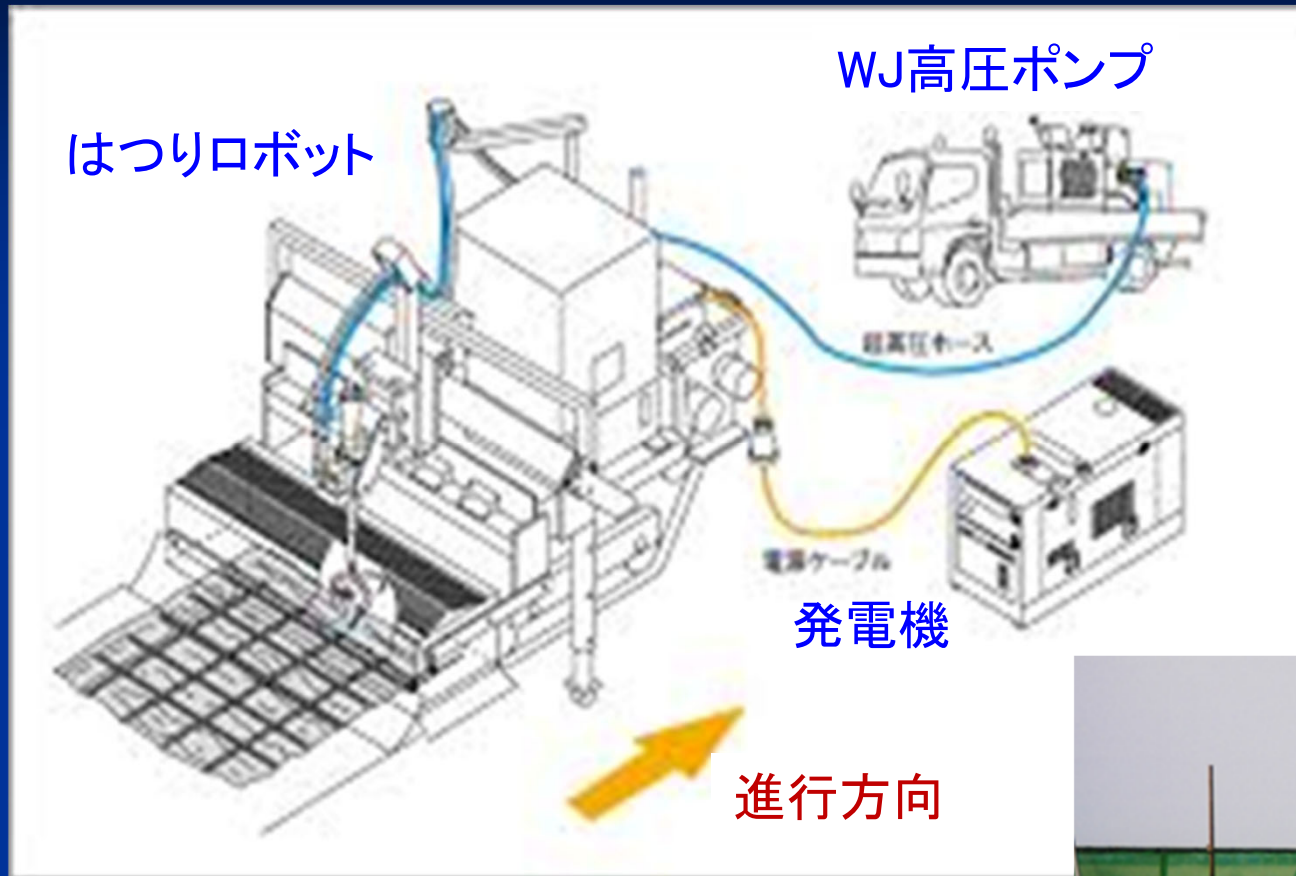
1970年～小樽駅の岩盤破碎，奈川渡ダムの破碎帯処理，地盤改良，地下連壁の切断解体などで利用された

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

ウォータージェット工法の施工イメージ(橋脚の例)



ウォータージェット工法の施工イメージ(RC床版)

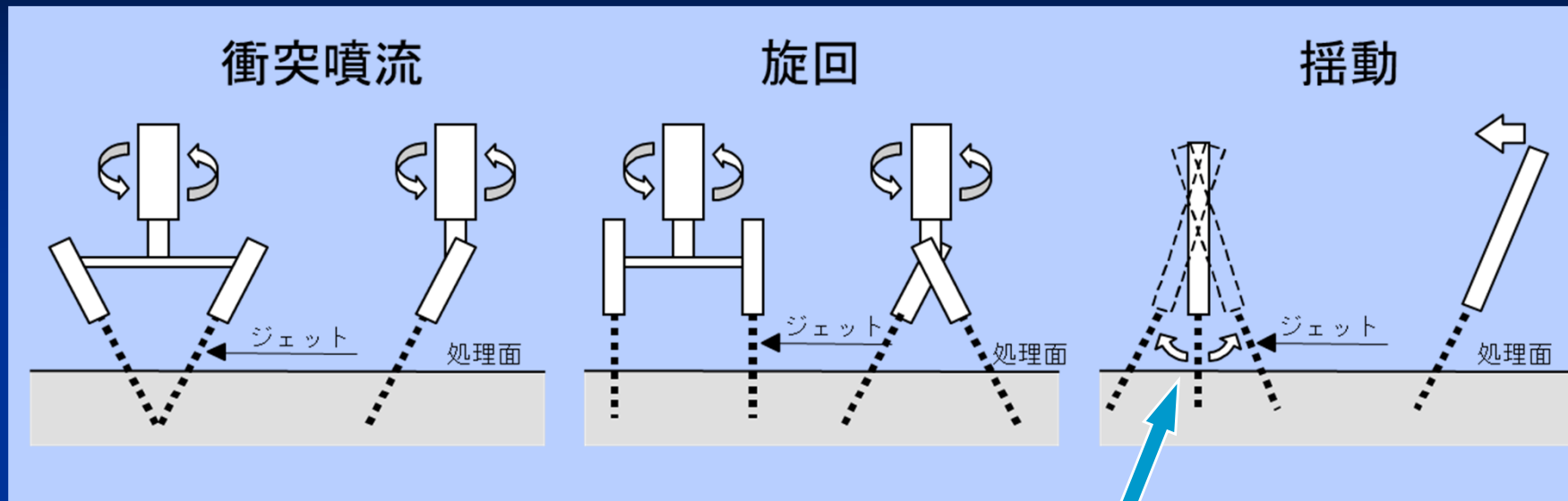


ロボットによるはつり状況

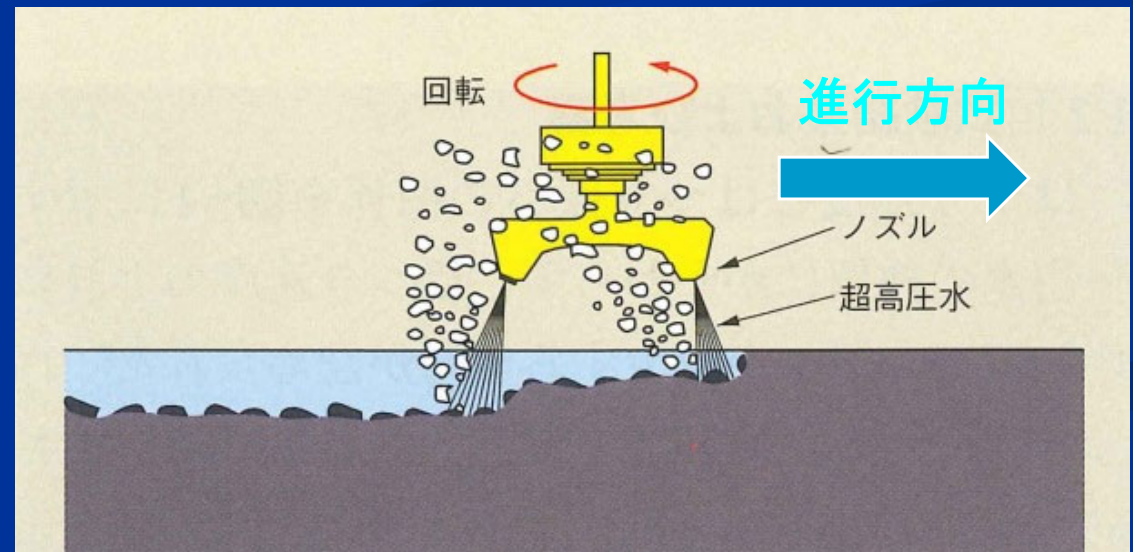
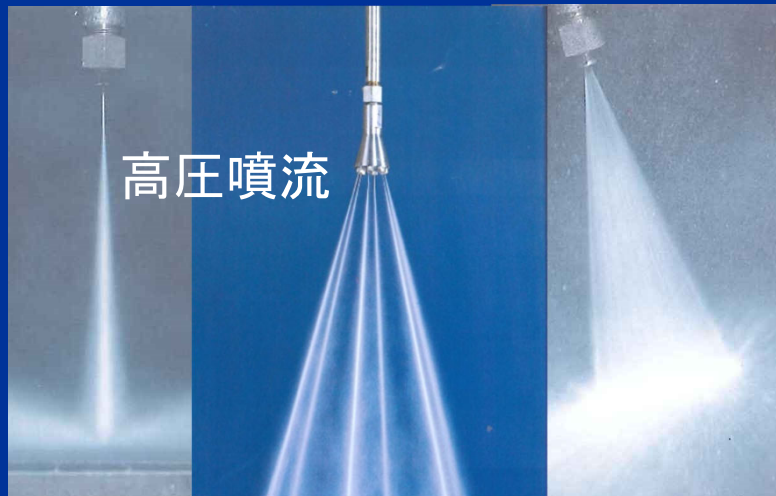
後進しながらのはつり処理



WJノズル操作による破砕方法の違い



各種のノズル



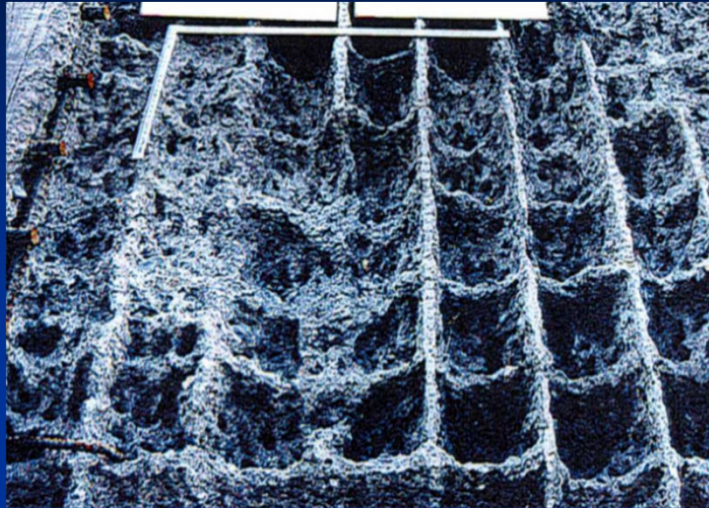
ガーネット等を混入すると鋼材切断も可能

JACON資料より

WJ工法(はつりロボット)によるはつり方法の工夫

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)



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！



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, 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)



施工総研:はつり装置の
性能評価試験結果
(試験法:JHS423-1)



- 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 ！

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 プログラミング)	・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	・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」

欧州におけるWJの利用状況

2019 欧州調査(スイス, ドイツ)

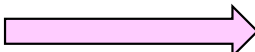
目的

- 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
- 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: 

橋梁視察

- 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

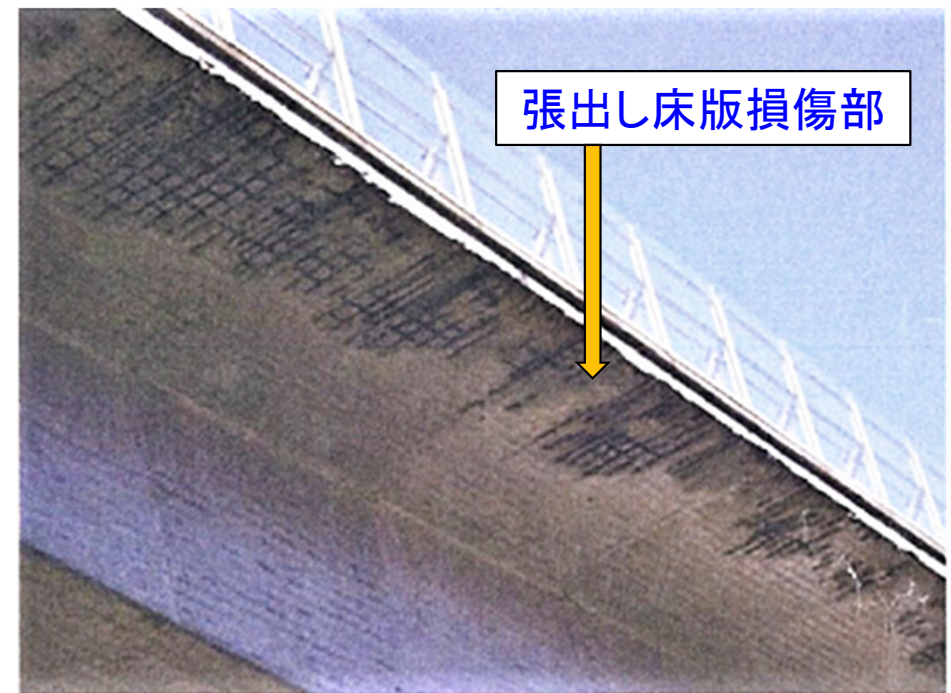
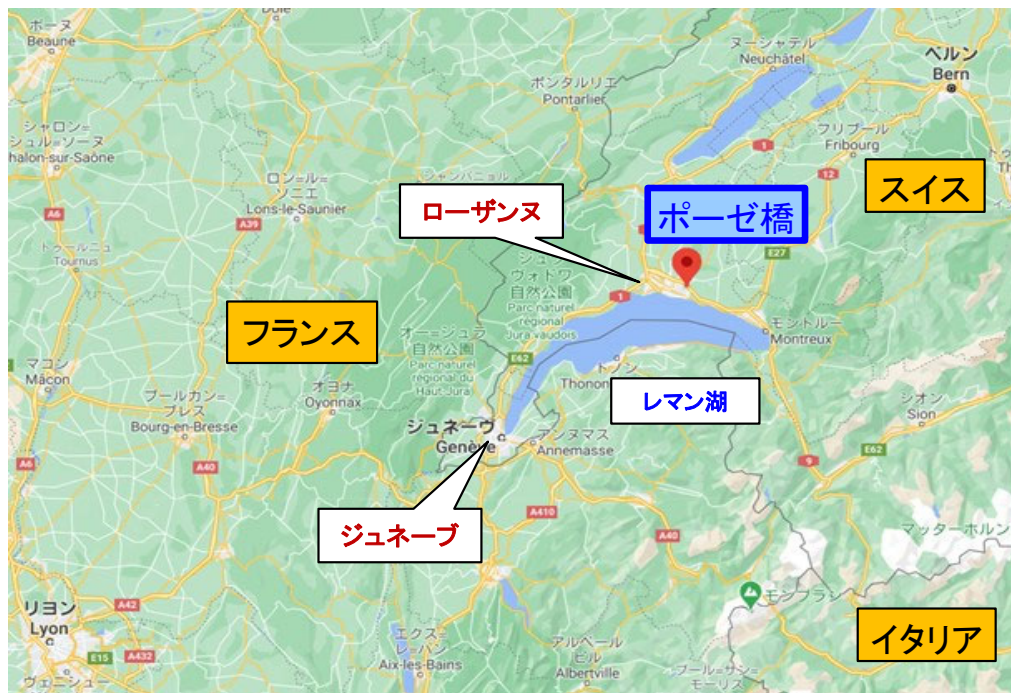


藤野団長

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

PC箱桁橋の補修・補強 (ポーゼ Paudeze橋: 橋長422m)



コンクリート床版の補修・補強

床版の損傷状況

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



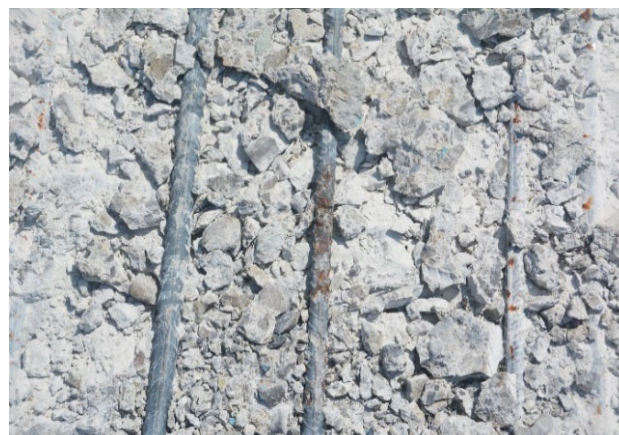
床版張出し部下面の変状



舗装：As-3層で厚い



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
(FALCH社)



コンパクトで汎用的

床版上面のUHPFRCによる補修・補強

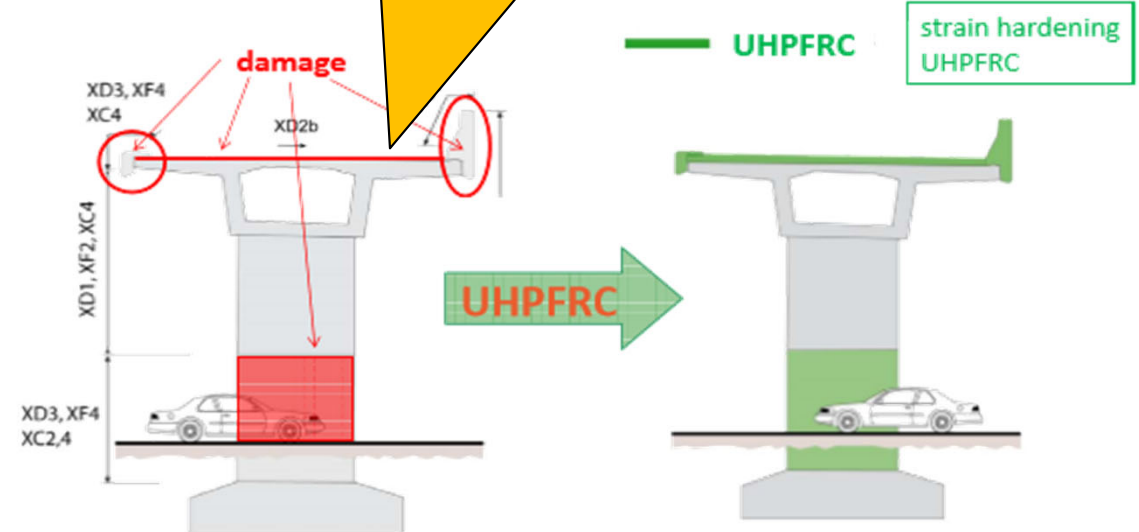
損傷部はWJではつり処理

既設構造物の補修・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）

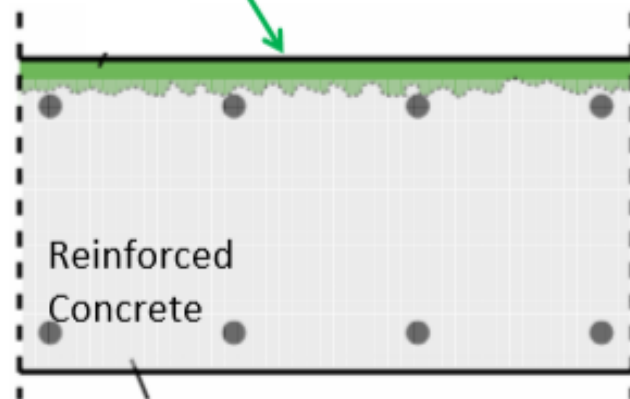
巻立て、増厚、断面修復



床板補修・補強断面

UHPFRC for waterproofing

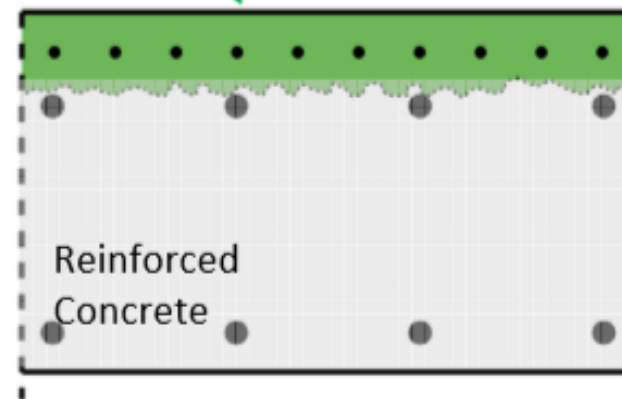
$t_u = 25$ to 35mm



<防水層も兼ねて耐水性UP>
無筋で25～35mm厚

R-UHPFRC for strengthening

($t_u = 40$ to 100mm) + steel rebars



<強度UP (R-UHPFRC)>
鉄筋を入れて40～100mm厚

ブレーカによるはつり処理後の課題【スウェーデン】

CONJET社とはつり処理について意見交換

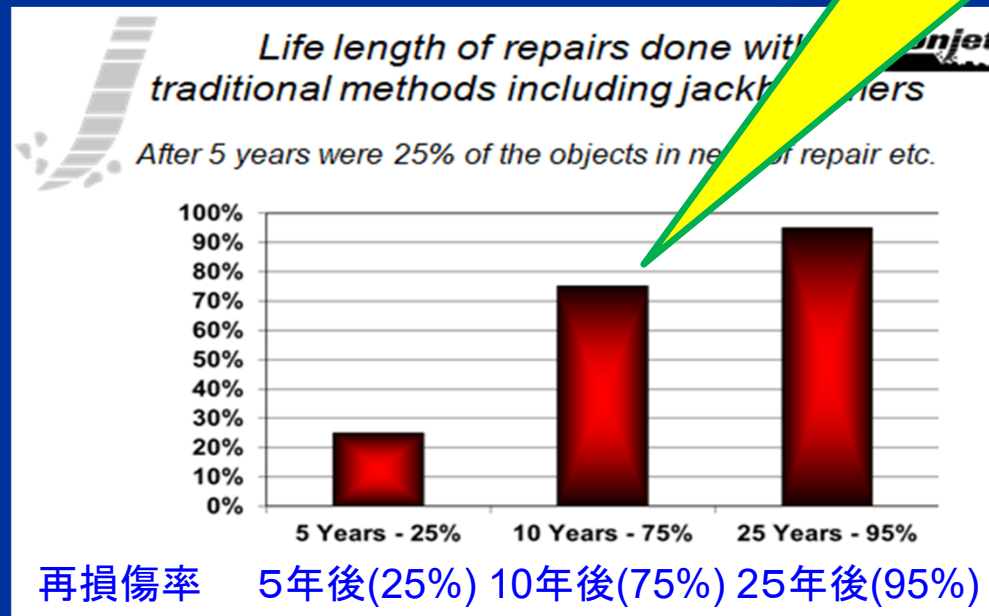
ベルリン工科大学



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
で再損傷を生じた



ブレーカ施工箇所の追跡調査 結果

ブレーカ工法採用により早期に再損傷を生じる原因推定

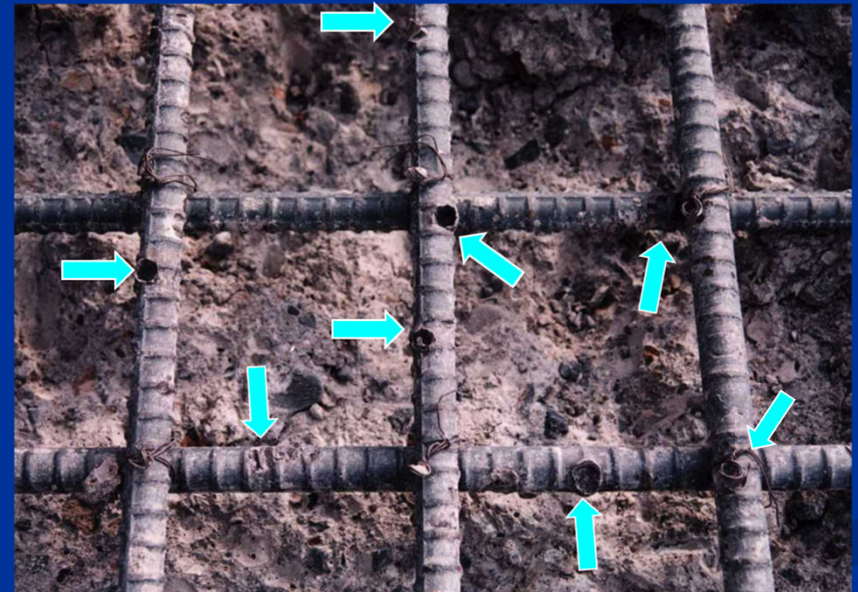
下地処理の問題

① ひび割れ，鉄筋損傷の発生により打継部が脆弱となる

ブレーカによる打撃の影響

鉄筋損傷

ひび割れ



→ 鉄筋損傷

ブレーカ工法採用により早期に再損傷を生じる原因推定

② 施工後の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

粉塵，はつりガラの残留



泥分の堆積，固着（降雨後）

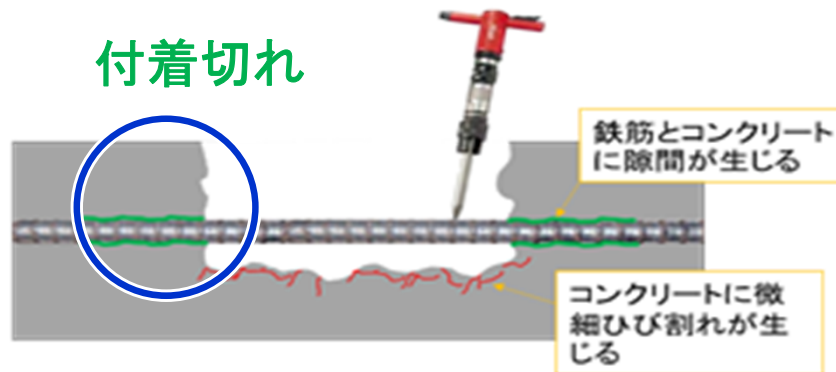


ブレード工法採用により早期に再損傷を生じる原因推定

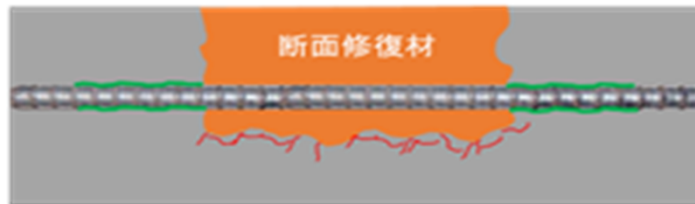
③ 鉄筋の打撃に伴う付着切れの発生

鉄筋の付着切れに伴う再損傷のメカニズム

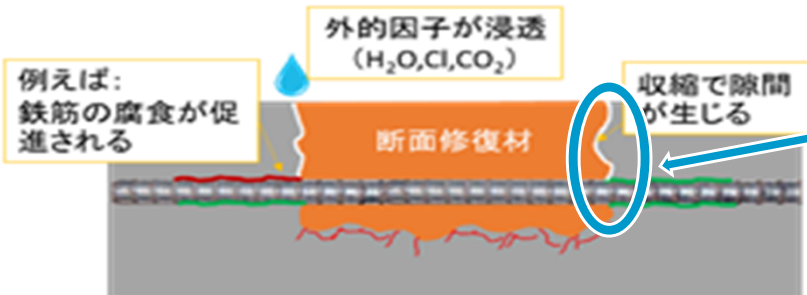
付着切れ



① ブレードによるひび割れ発生



② 断面修復材による補修



③ ひび割れからの劣化因子の浸入

補修箇所の
耐久性の低下

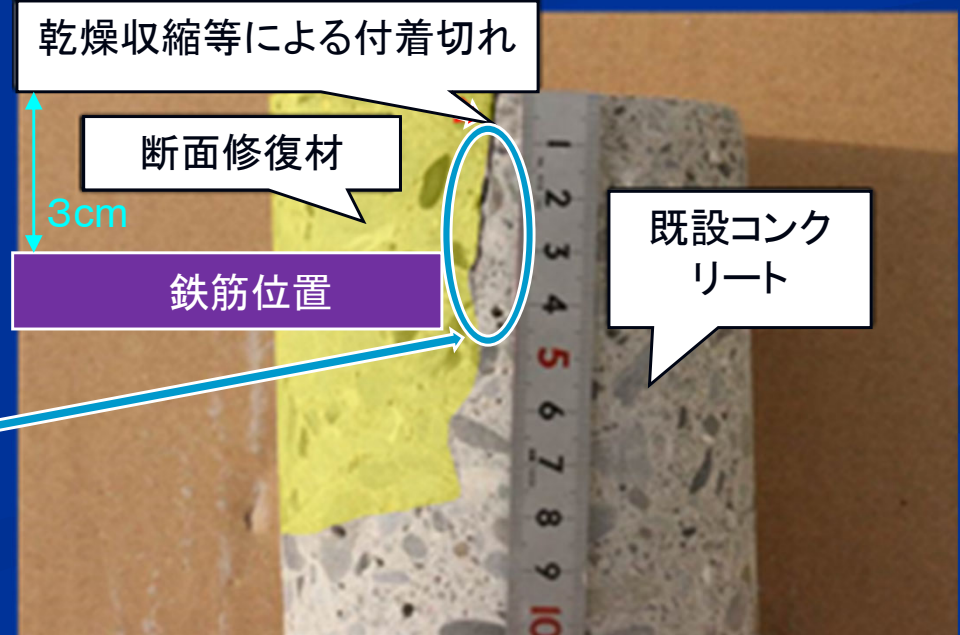
修復材と母材界面の
付着切れが再損傷促進

乾燥収縮等による付着切れ

断面修復材

鉄筋位置

既設コン
クリート



ブレーカ工法採用により早期に再損傷を生じる原因推定

④ はつり不足一劣化因子の残留

再損傷事例



塩害による主桁の損傷部



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



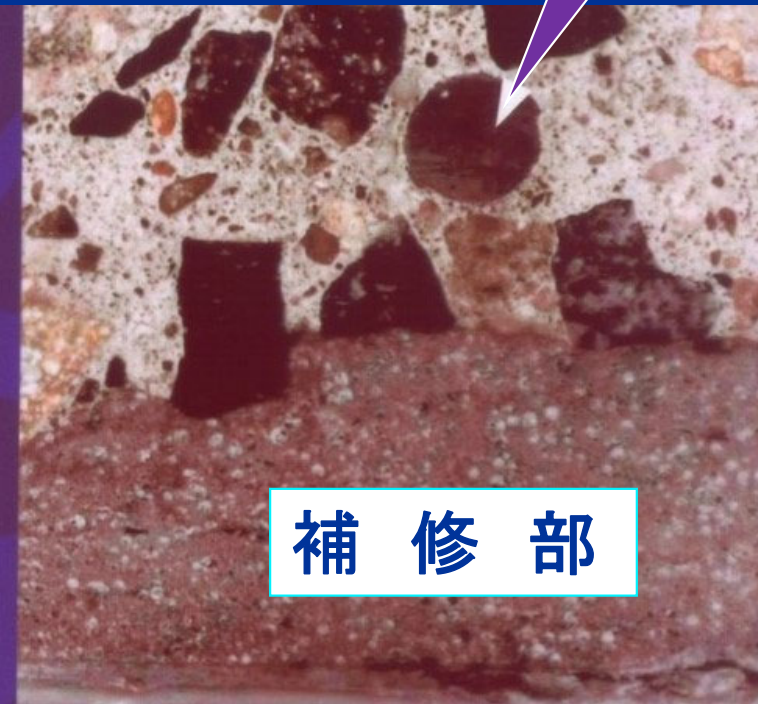
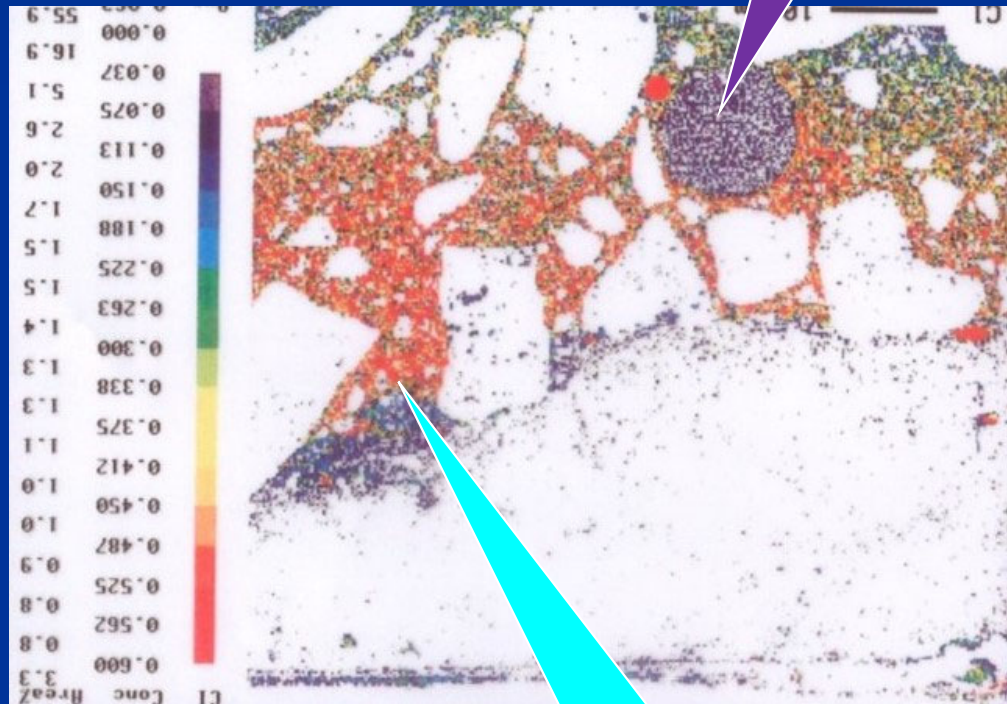
架け替えを
余儀なくされる

断面修復後，早期に再損傷を生じる原因の推定

鉄筋周辺部の残留塩分の影響 → 鉄筋背面まではずり取る事が重要

EPMA分析

(電子線マイクロアナライザ)



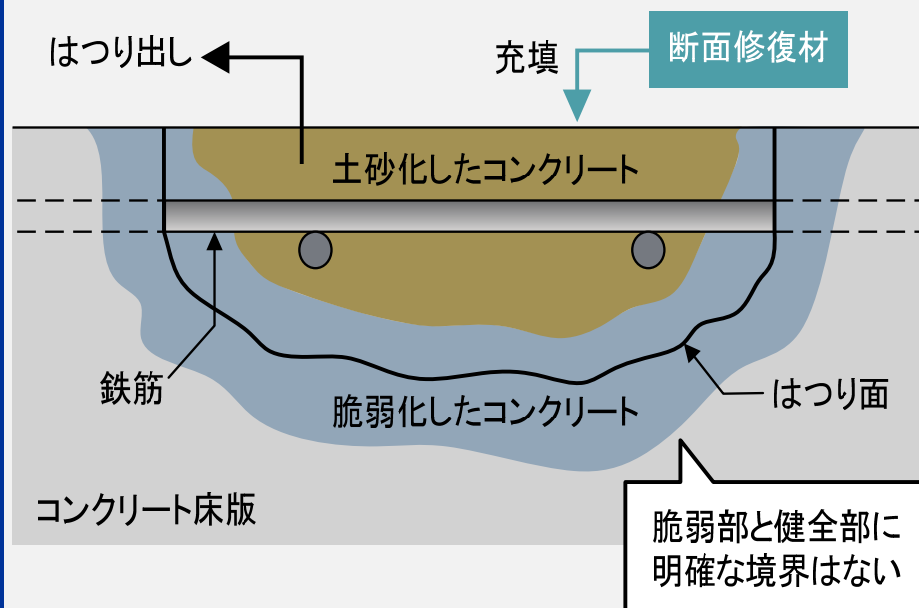
メディアからの指摘

● 再劣化が生む負の連鎖 — 補修後の悪夢

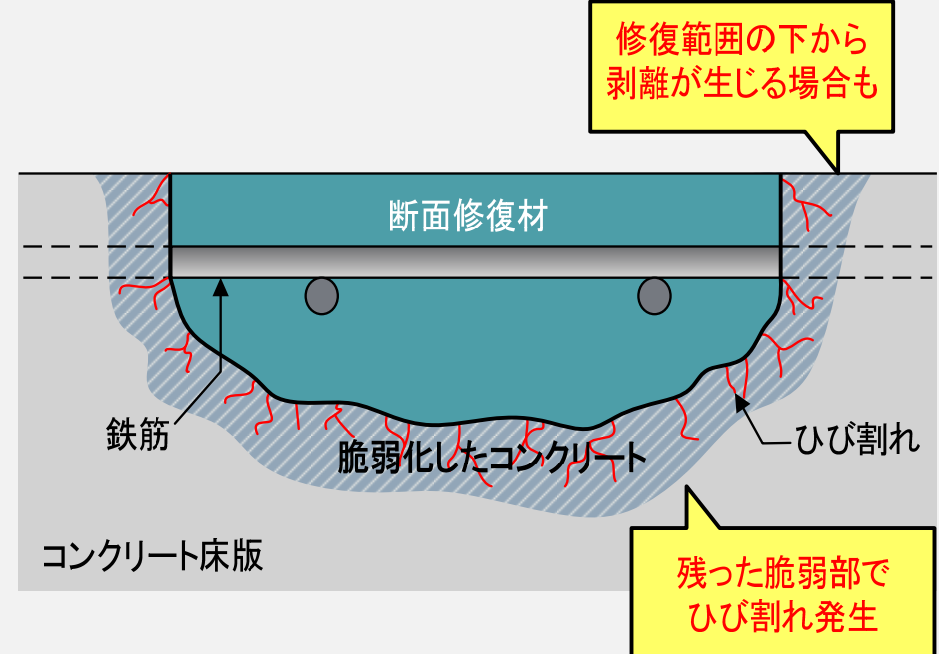
- 想定外の再劣化が、自治体の予算不足に追い討ちをかける
- 場当たりの工法選択やいい加減な施工では、補修のトラブルは防げない
- 補修時に劣化が進行する要因を取り除けなかったことで再劣化に多額の費用

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]



はつり処理に関する現状と解決すべき課題

- 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



どうやって内部を知るか？ ➡ X線CT法の適用

3. 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



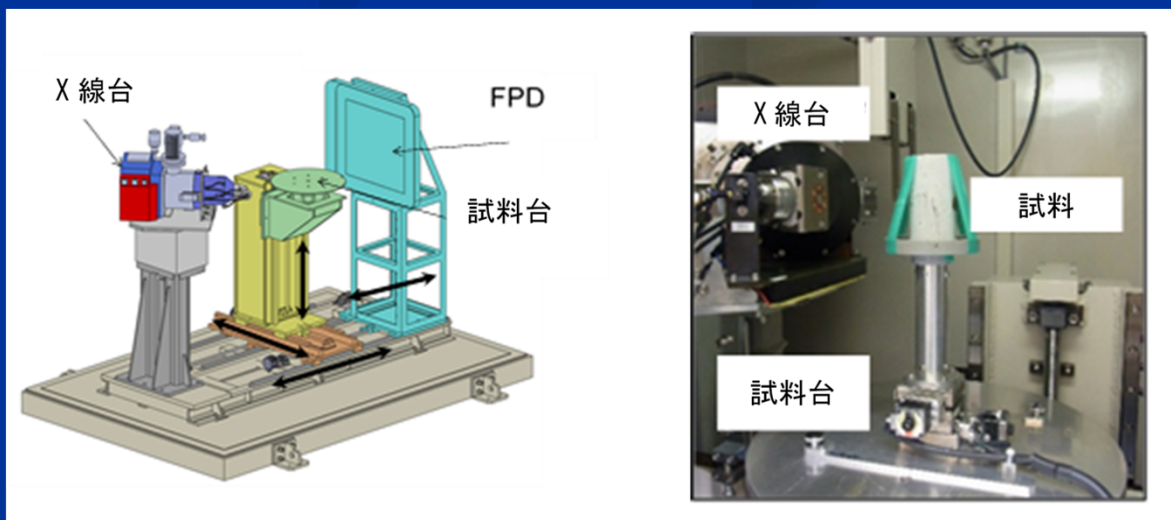
(熊本大学所有: 東芝製)

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



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

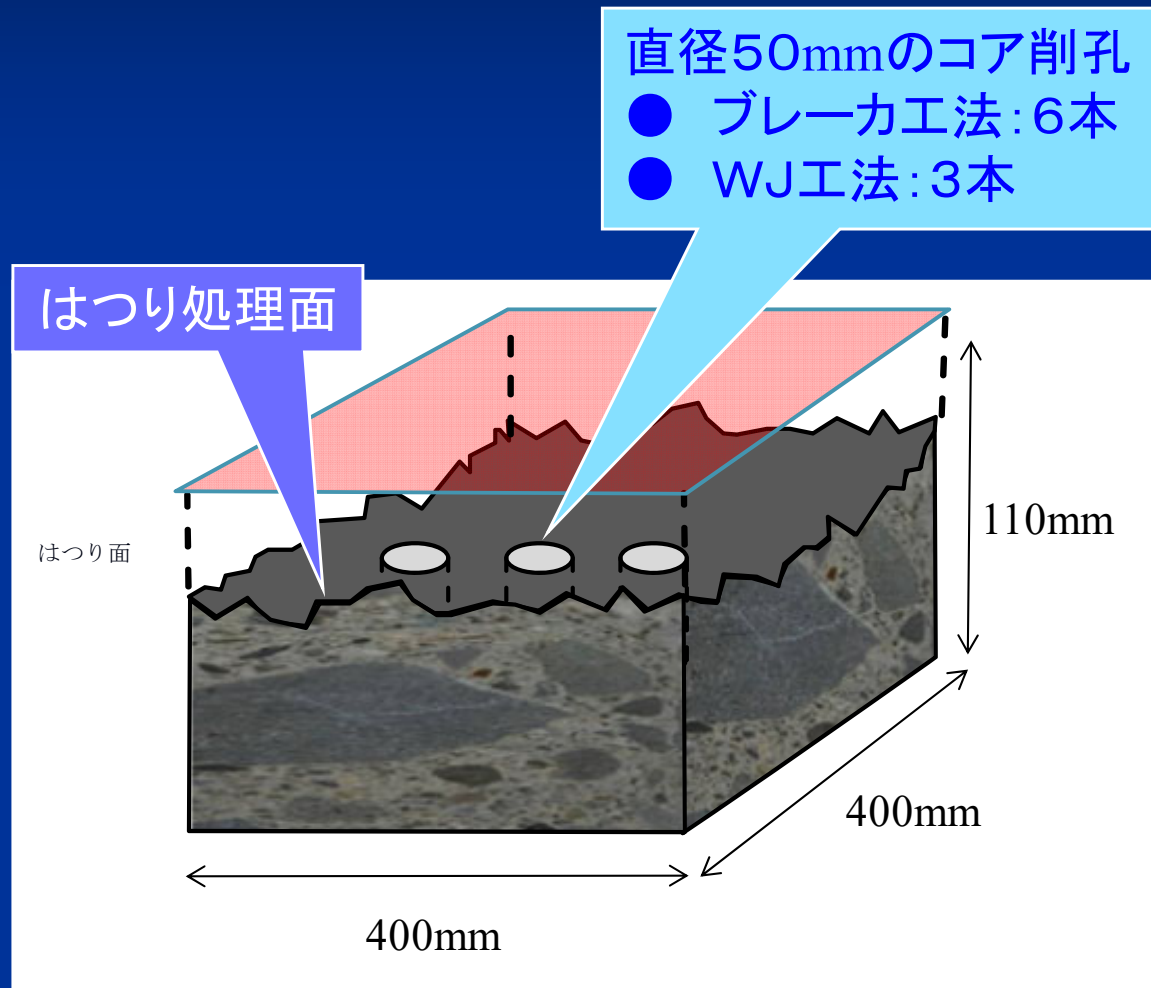


処理面



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

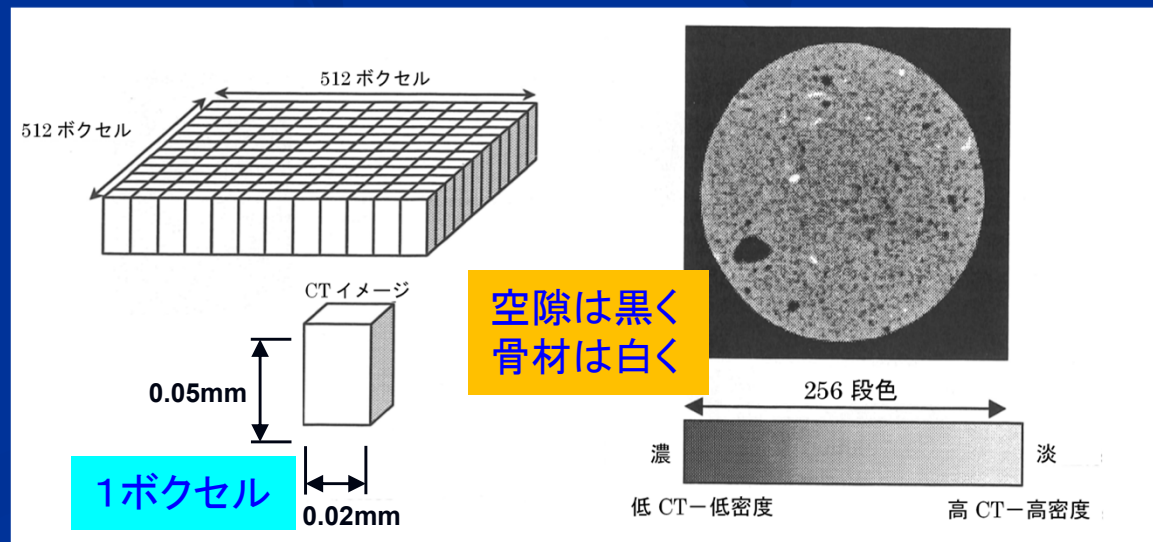
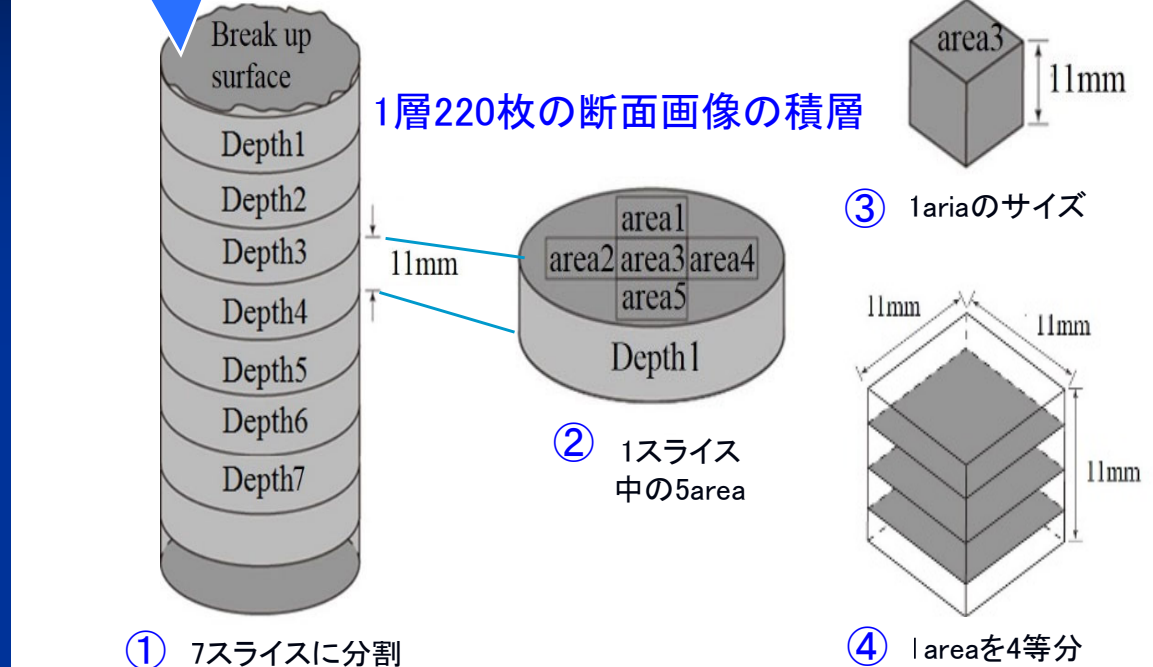
供試体と画像解析

● 画像解析手順

- 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

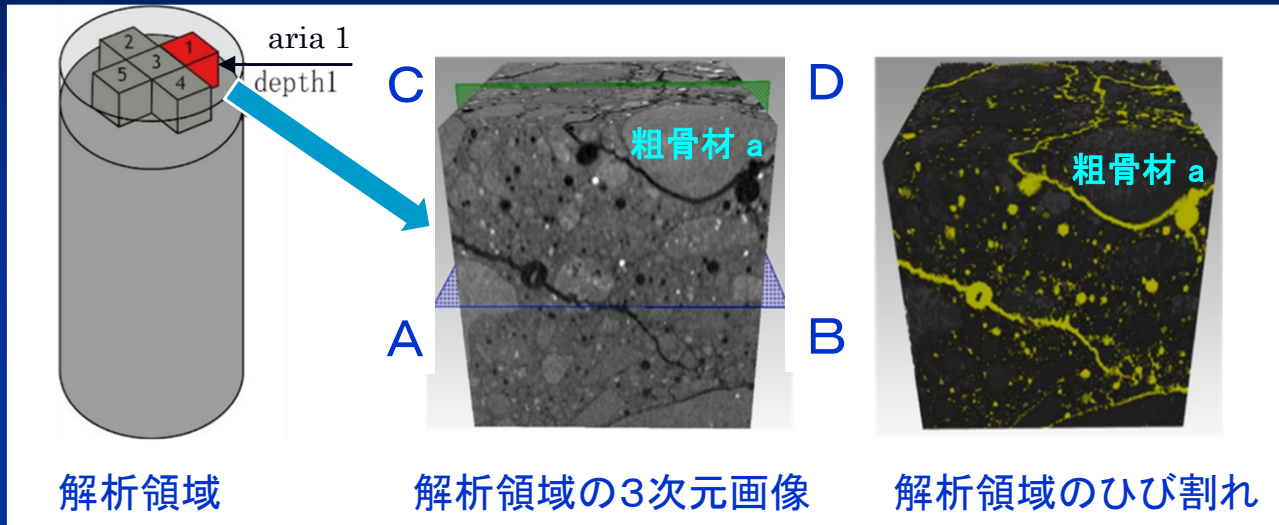
はつり処理面

はつり供試体の分割とエリアの定義

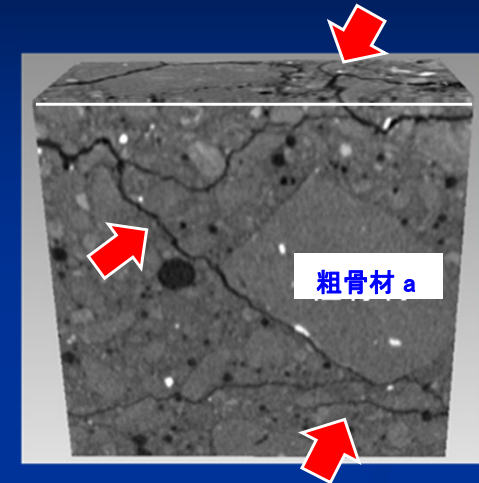


ブレーカ工法が粗骨材周辺に及ぼす影響

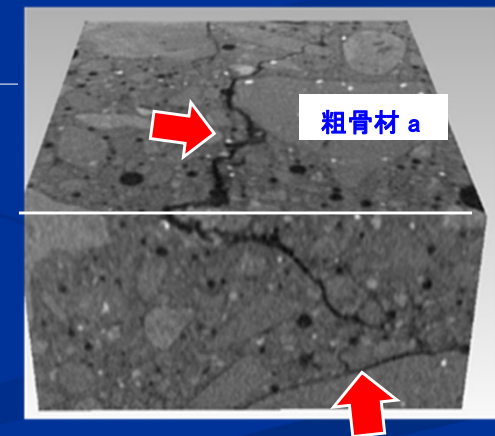
● 粗骨材周りの空隙の存在



C—D断面(鉛直)

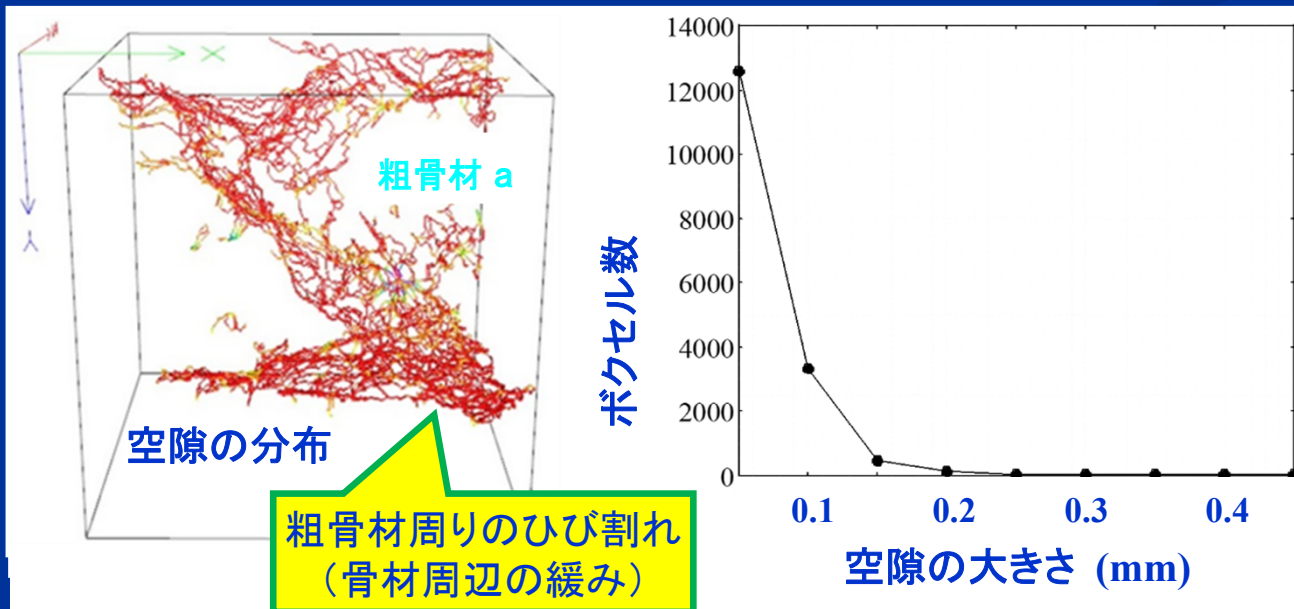


A—B断面(水平)



↑ ひび割れの多い領域

● area 1 のX線CT解析結果

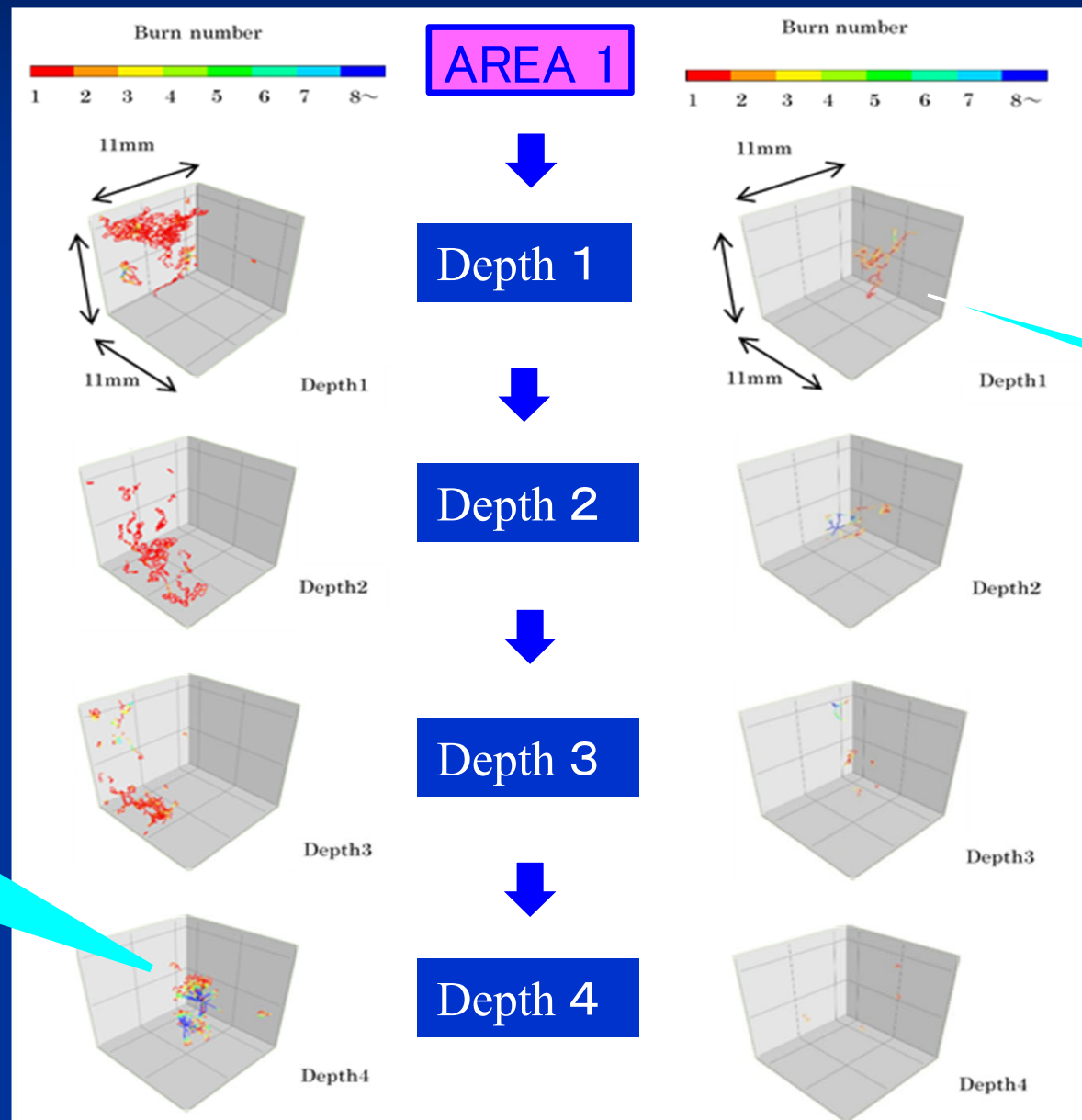


ブレーカ工法とWJ工法の解析結果の比較

● 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)

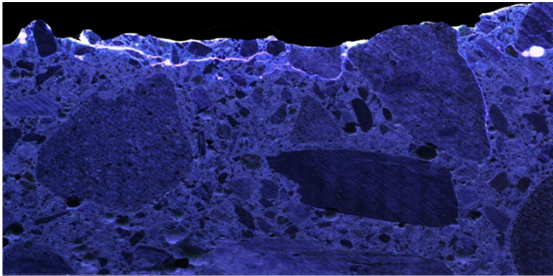
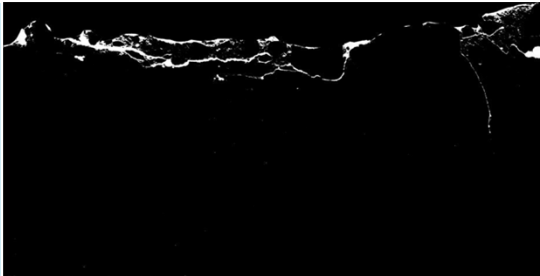
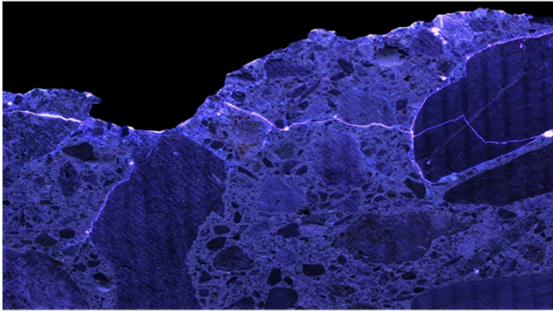
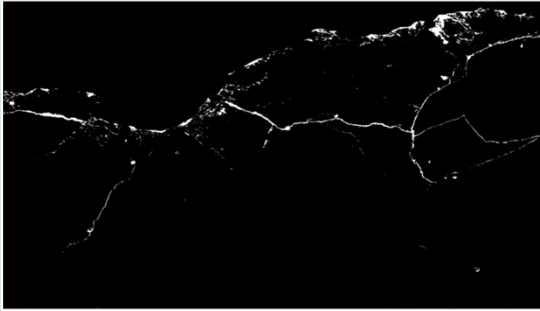
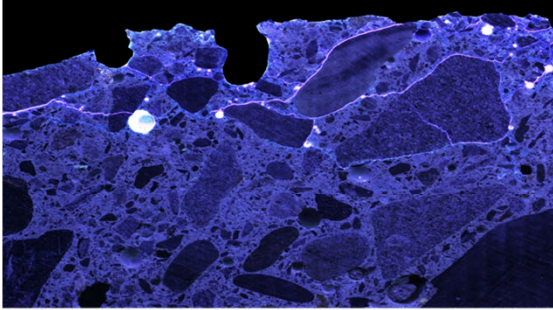
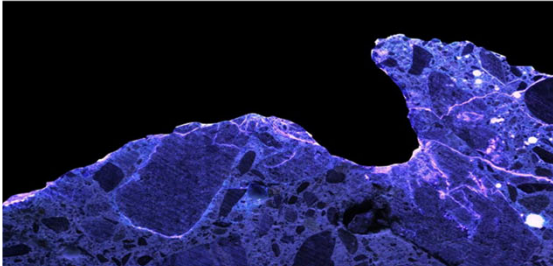
WJ工法
(WJ1)



ひび割れ損傷
はDepth4まで
の深さで発生

微細な空隙が
僅かに存在

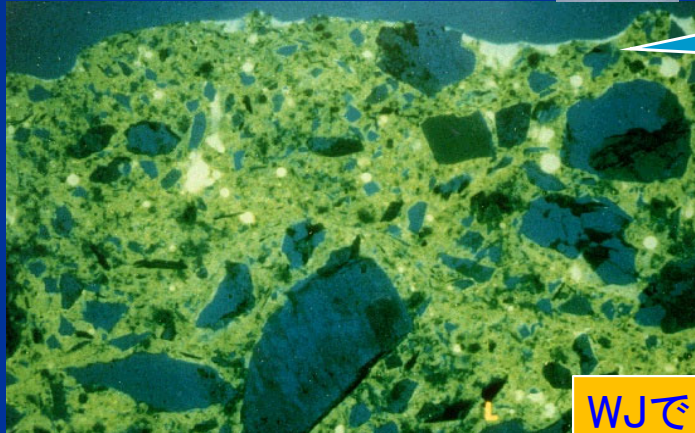
各種ハンドブレーカにより生じたはつり処理面のひび割れ

手持式工具	紫外線画像	二値化画像	
コンクリート ブレーカ 重量約 15kg			➤ 表層に多数のマイクロクラック ➤ 粗骨材周辺にも多い ➤ 最大深さ4～5cm
コンクリート ブレーカ 重量約 20kg			
コンクリート ブレーカ 重量約 30kg			
電動ハンマー 重量約 15kg			

Hydrodemolition versus jackhammers (Advantages versus disadvantages)

➤ WJ工法

- Creates no micro cracks



ヘアクラック
なし

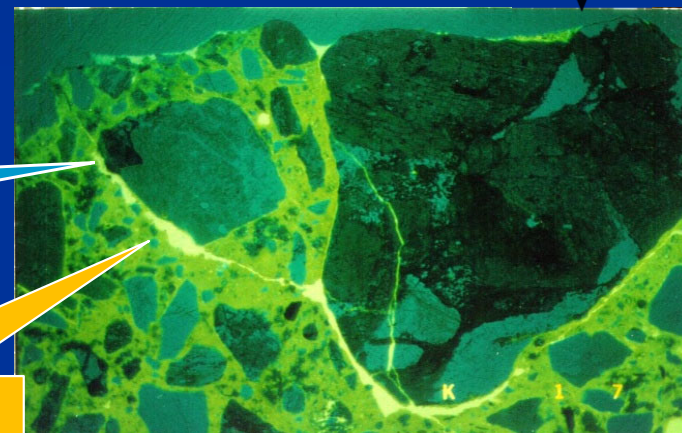
ヘアクラック

WJでは問題ないが、
ブレーカでは多数
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

➤ ブレーカ工法

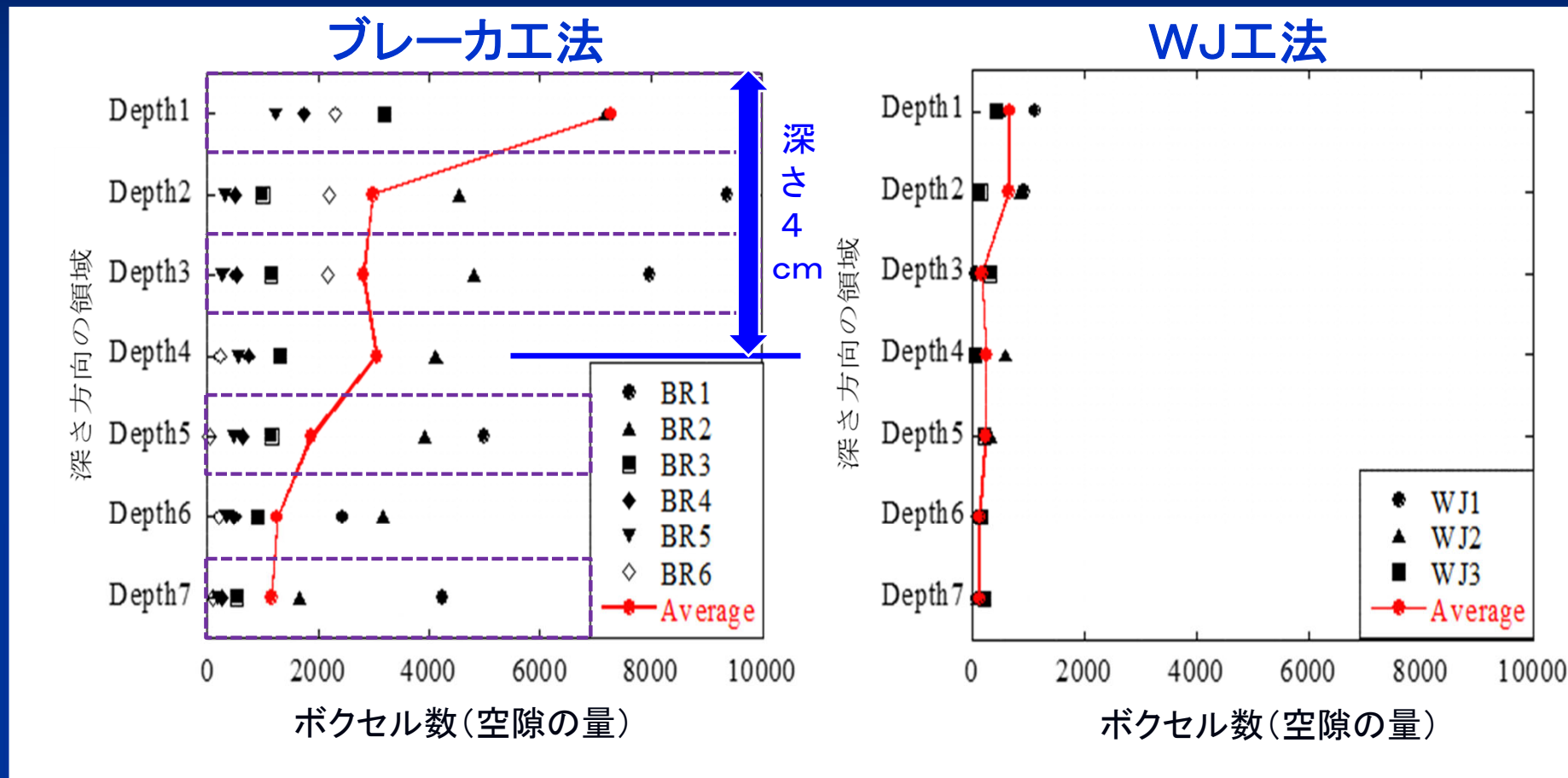
- Creates micro cracks



- 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

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

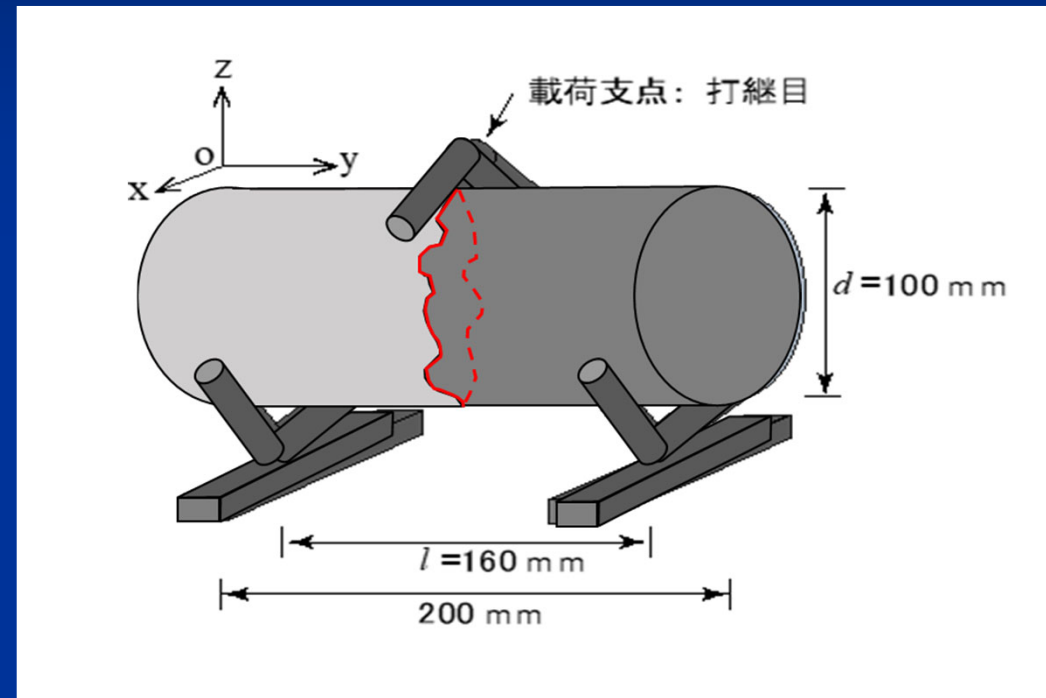


➢ ひび割れ損傷は深さ4cmにまで及ぶ
➢ 表層に多くの空隙(ヘアクラック)を生じる

➢ 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）



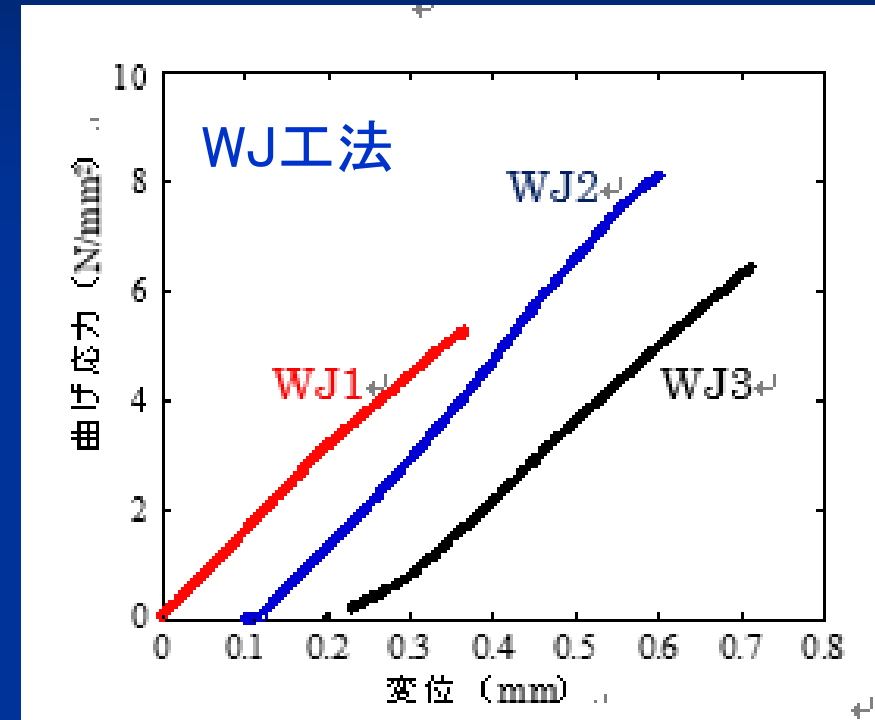
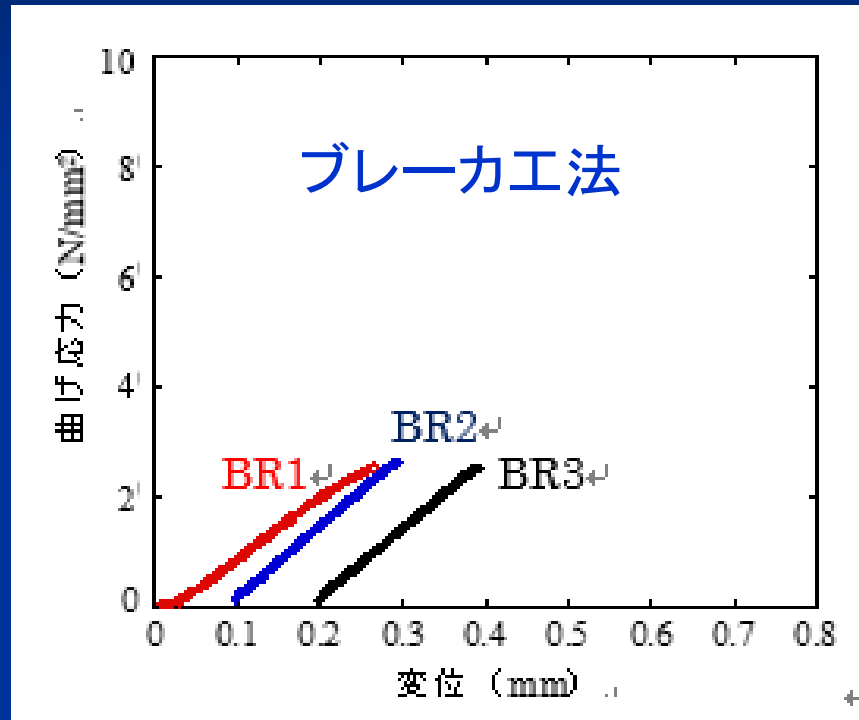
理論式

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

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

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)

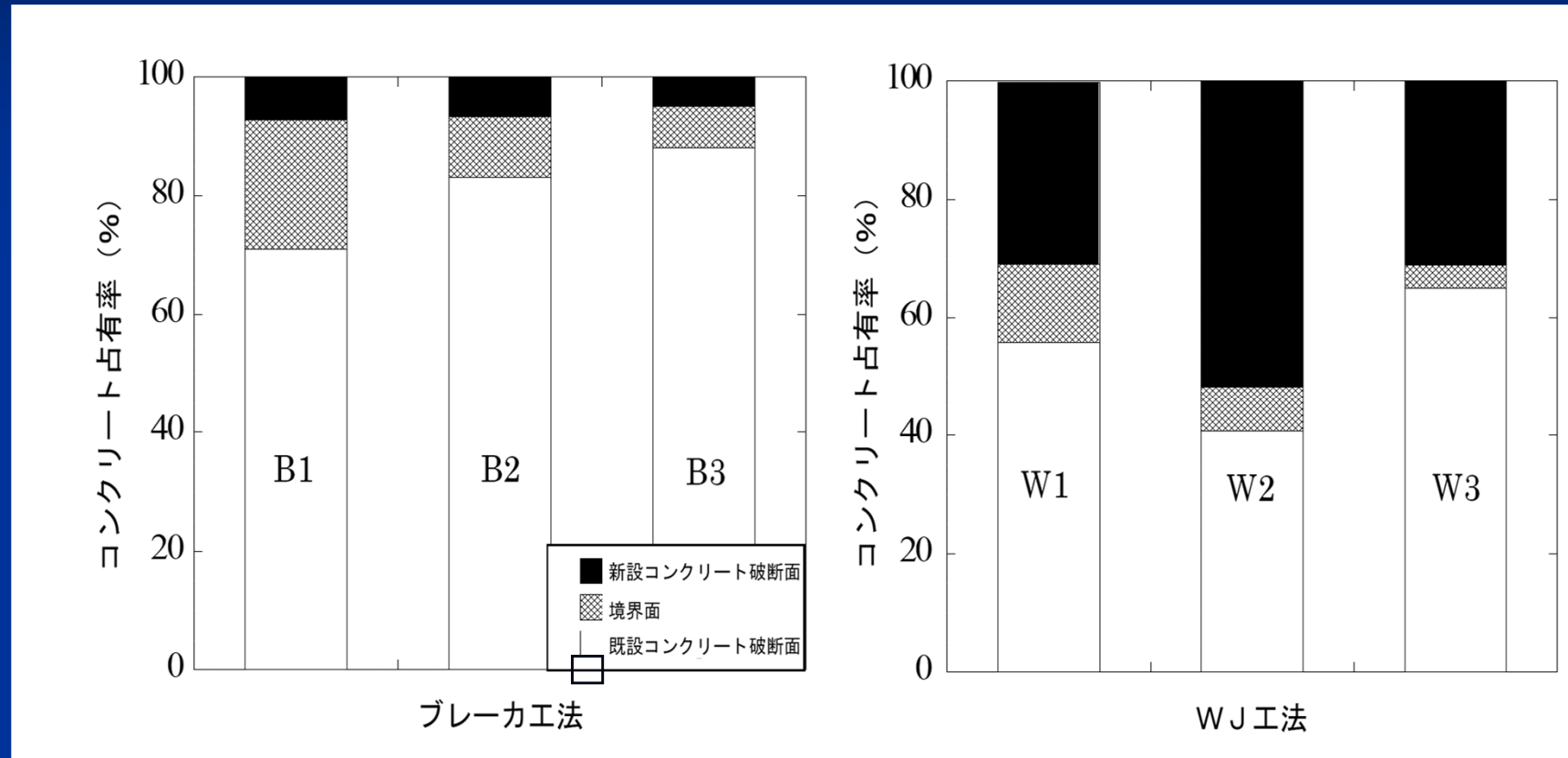


円柱コア打継ぎ目の曲げ付着強度試験結果

- 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

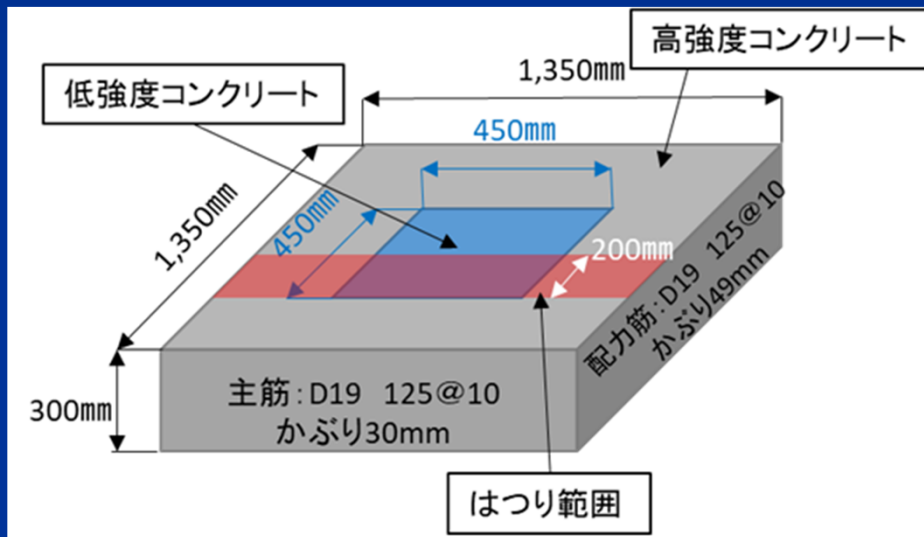


破断位置

- 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

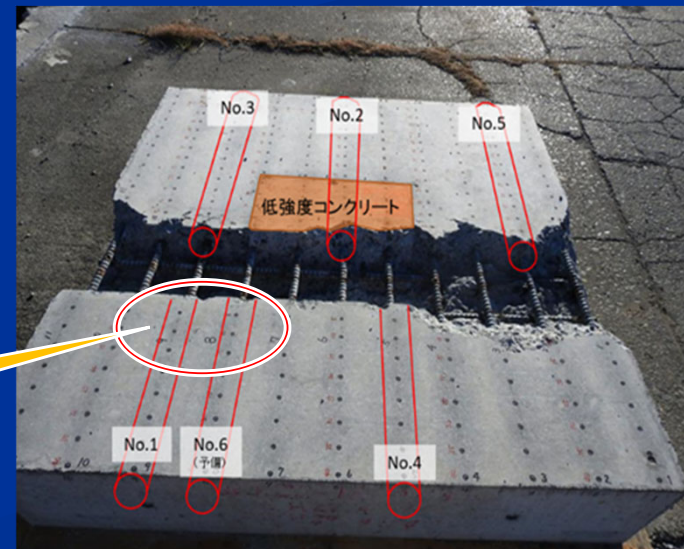
着目箇所



ブレーカばつり



ブレーカ: 質量20kg
(東空販売製 TCB-200)



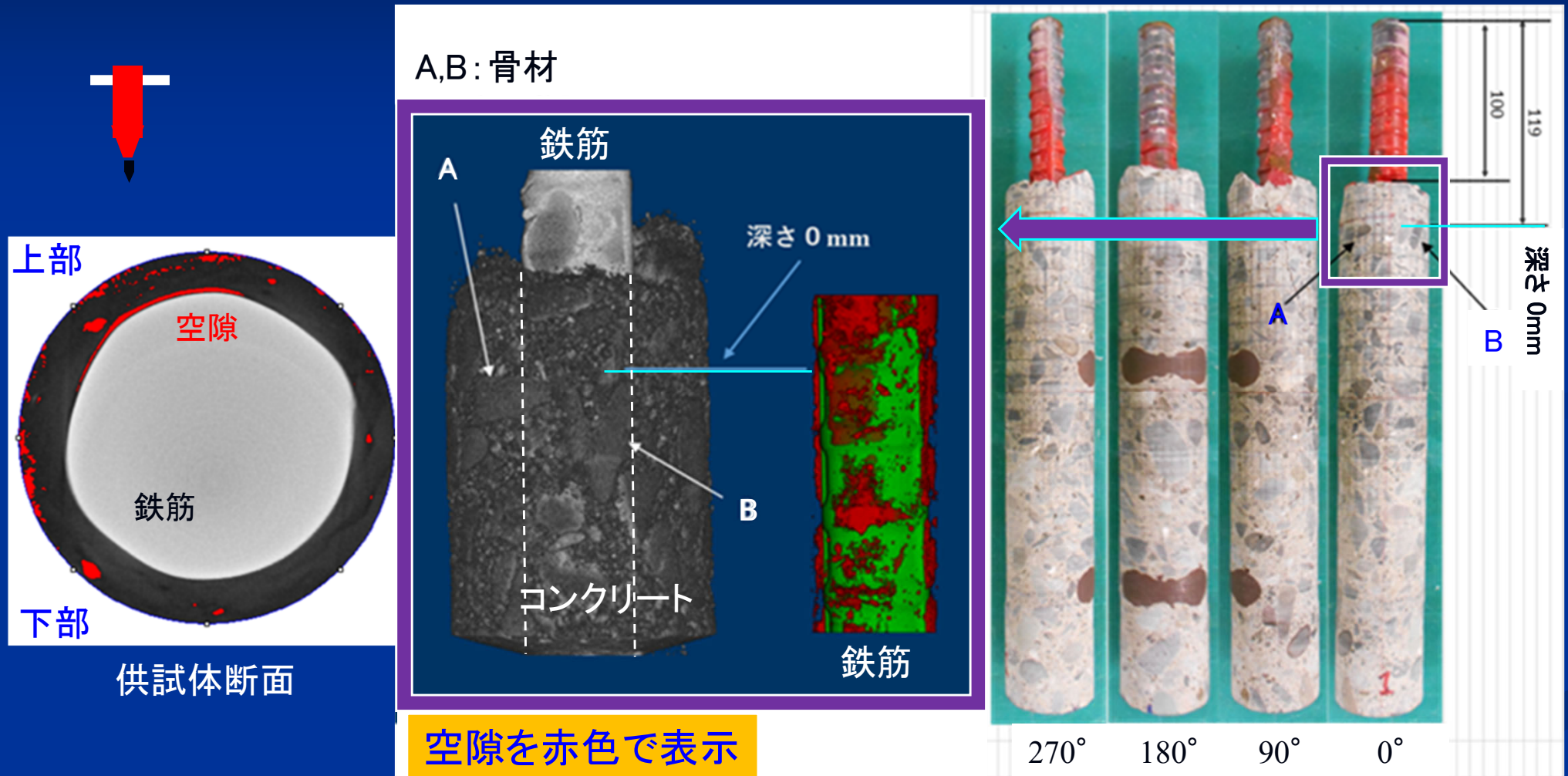
供試体の採取位置



供試体
(ϕ 50mm)

X線CT解析による鉄筋の付着切れ評価

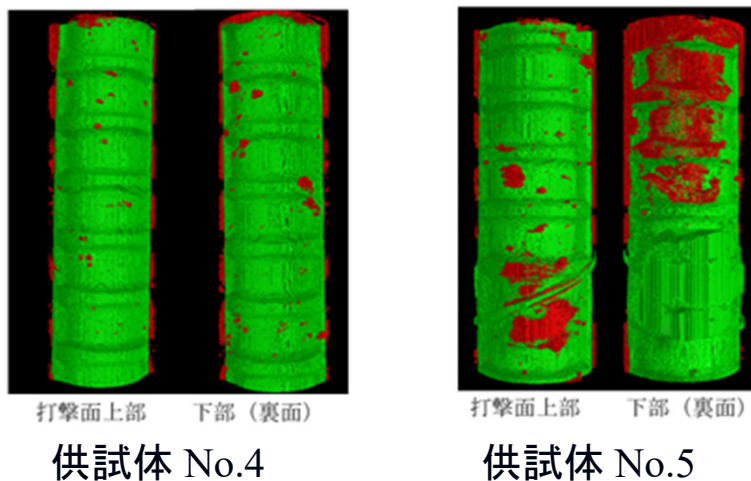
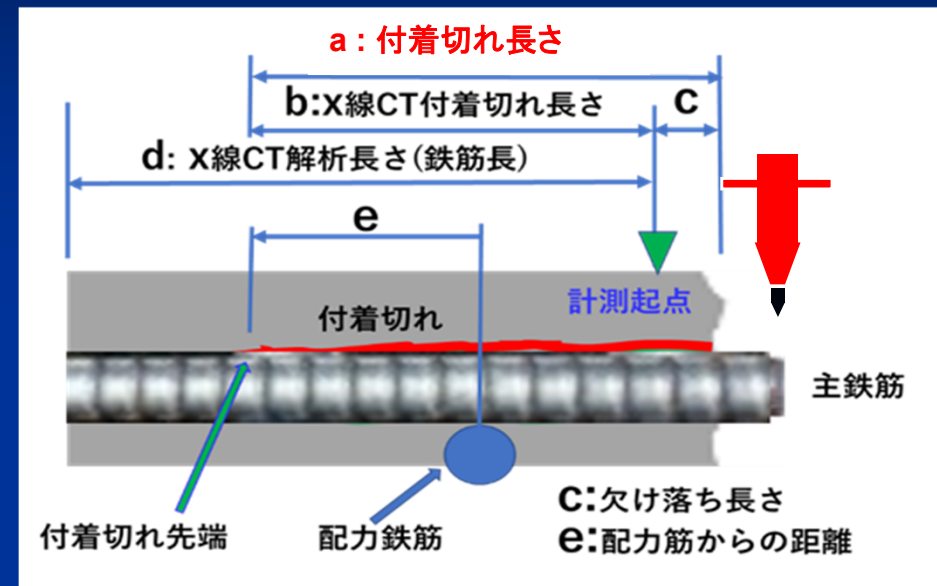
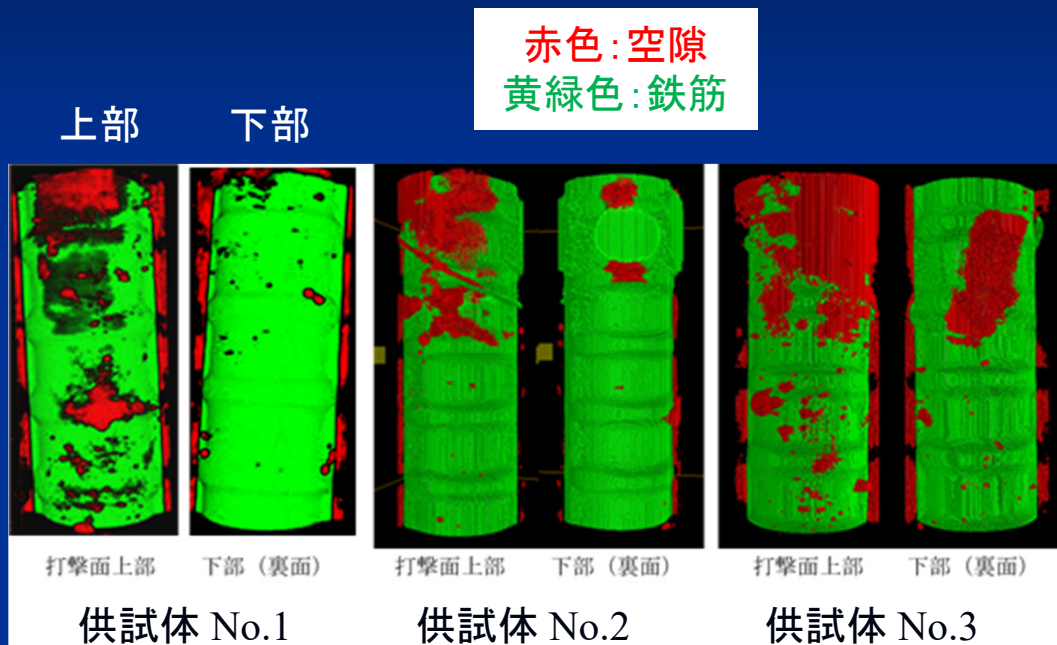
● 鉄筋とコンクリートの付着切れの表示例



供試体 No.1 のX線CT画像

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



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

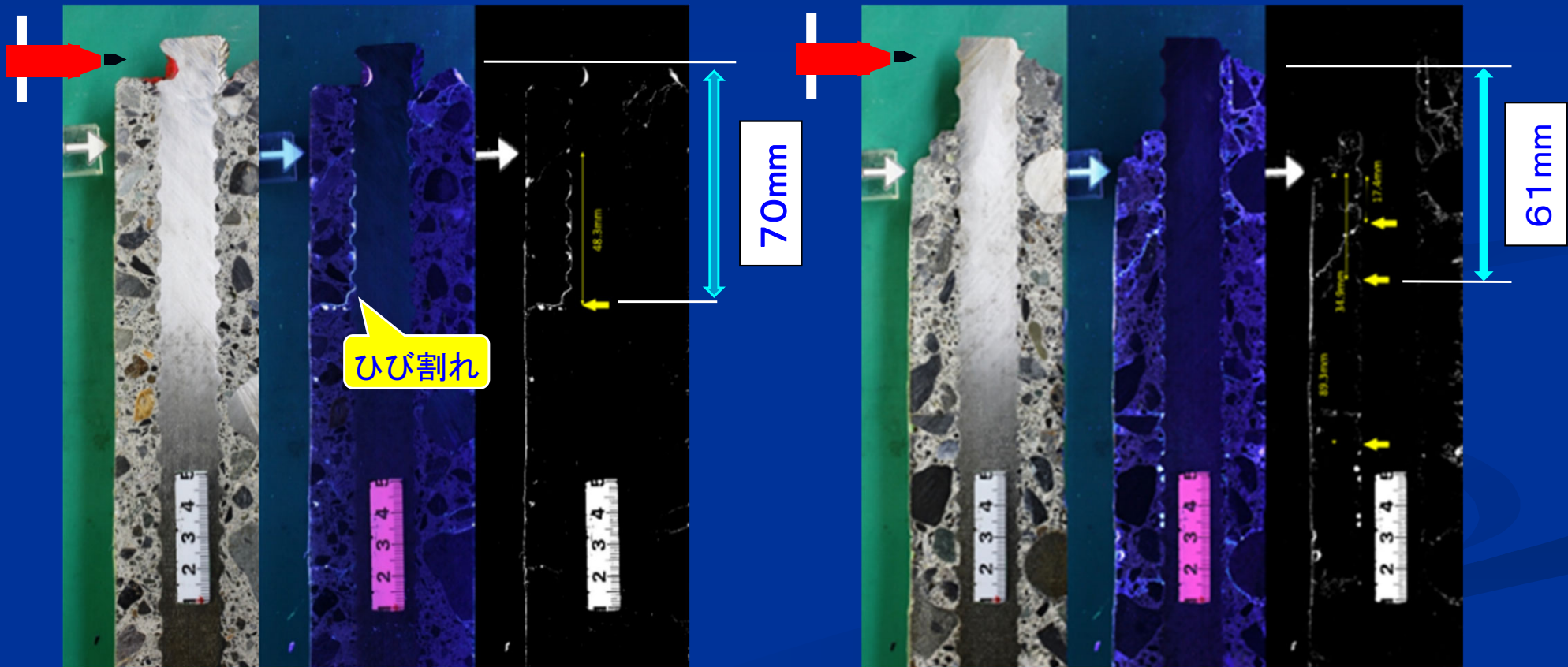
蛍光エポキシ樹脂含浸法による目視調査

● 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

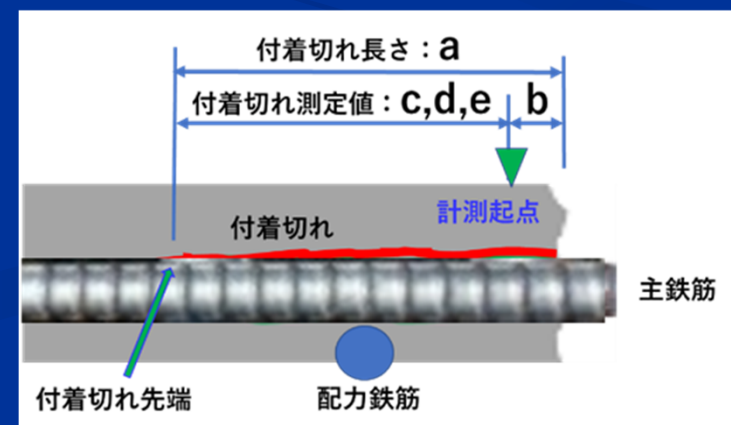
● 各種方法による鉄筋の付着切れ長さ調査結果一覧

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

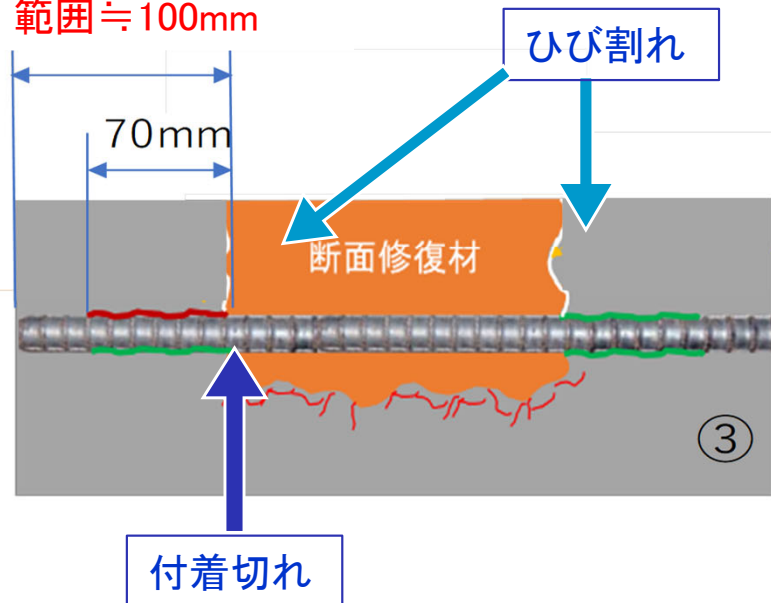


はつり処理方法の提案

● 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

まとめ

(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(欧米での評価と同様)

● WJ工法の課題

- 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

4. ブレーカによるはつり処理に関する解析的評価

我が国におけるはつり処理

- ◎ ブレーカ工法は、多くの現場で使用されている
- ◎ 現状では打継ぎ目の付着効果よりも経済性や汎用性が重視される？



施工後の短期間で再損傷を生じる事例の増加
使用禁止できなければ、うまく使う必要がある



解析の目的

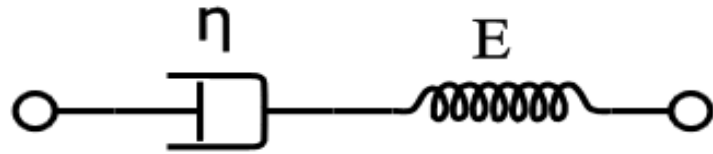
コンクリート構造物に与える影響を評価する

- 効率的なはつり方法があるのか？
- コンクリート構造物を傷めないはつりが可能か？

解析的検討(パラメータ)

- ◎ ブレーカ先端のチゼルの形状
- ◎ はつりの深さ, 速度(周波数), 角度
- ◎ コンクリートの弾性係数, 強度

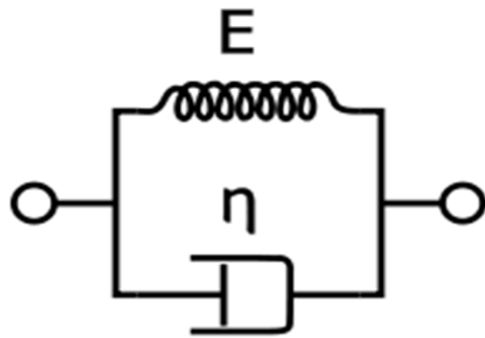
粘弾性体のモデル



粘弾性のマックスウェルモデル

外力に対して応答の速いばね (E) と
応答の遅いダッシュポット (η) を直列
に並べたもの

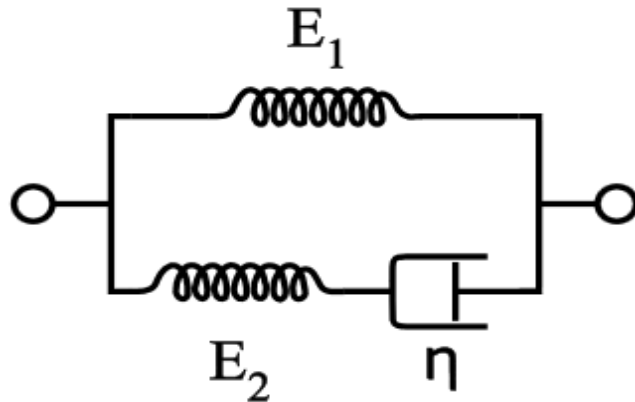
粘弾性体の応力緩和を表現する



ケルビン・フォークトモデル

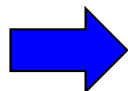
ばねとダッシュポットを並列に並べた
ものとして表される

粘弾性体のクリープを表現する



標準線形固体 (SLS) モデル

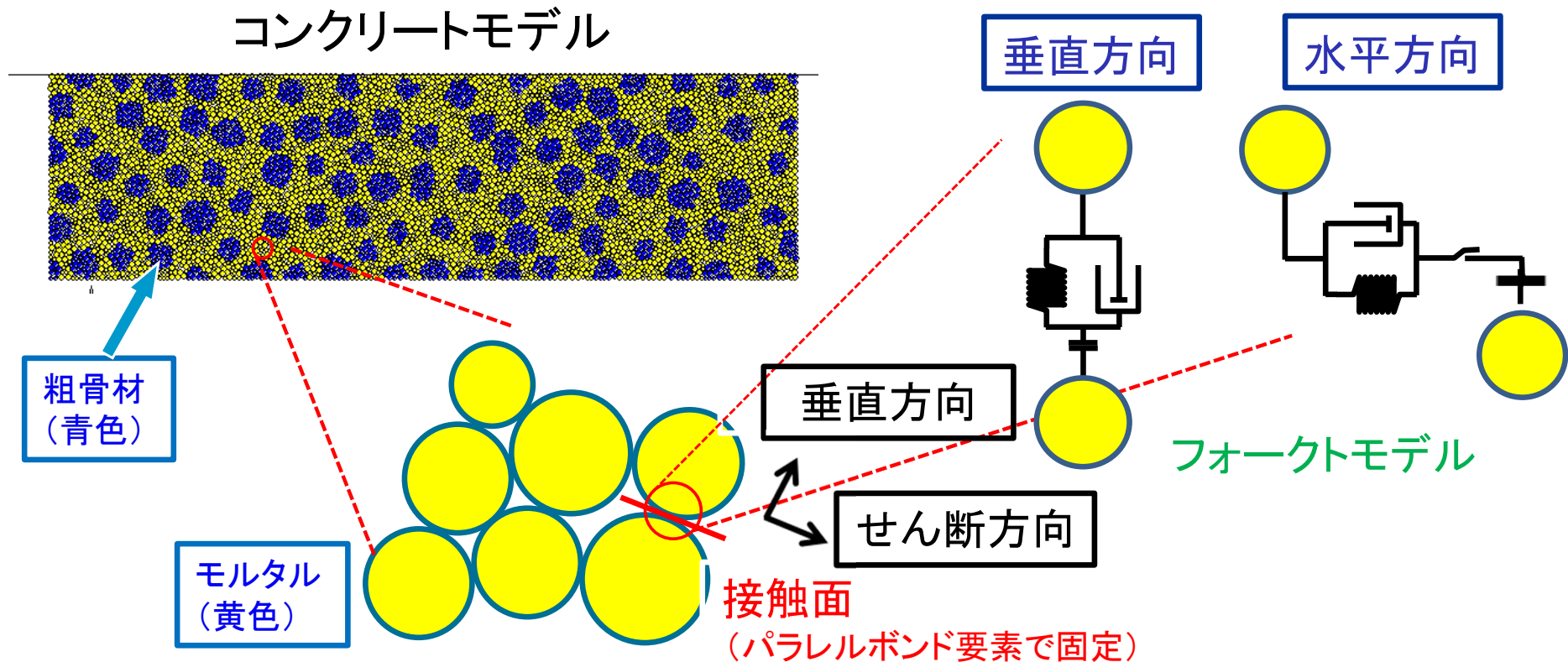
上記2つのモデルの組み合わせ
応力緩和とクリープの両方を表現する



打撃により破砕，飛散する解析には向かない

個別要素法 (DEM) による数値解析

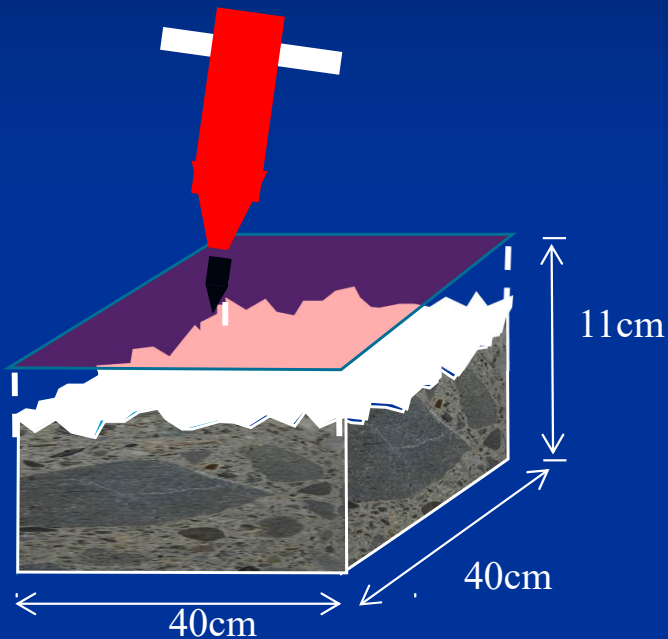
ブレーカによるはつり対象モデル (幅40cm, 厚さ11cm)



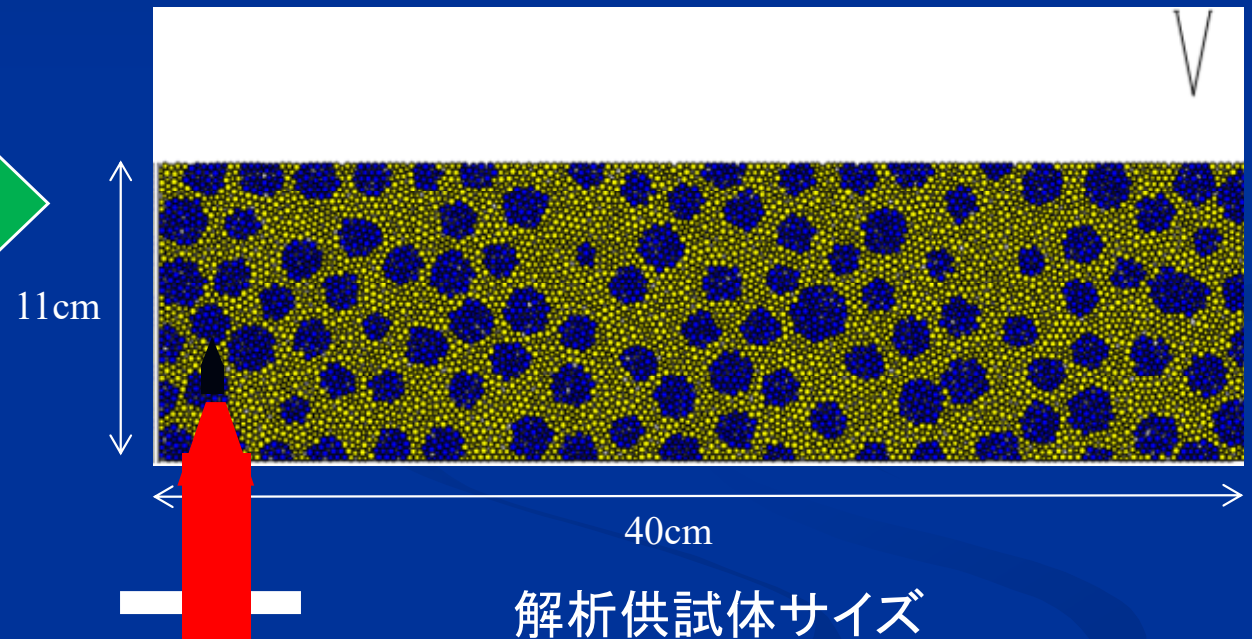
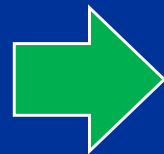
各要素を剛体と仮定し、接触状態にある要素間に作用する接触力をフォークトモデルにより計算し、その結果得られた運動方程式を時間積分することにより、個々の要素の運動を追跡して解析する

個別要素法による数値解析

解析モデル



実験での供試体サイズ
40cm × 40cm × 11cm



解析供試体サイズ
40cm × 11cm (2次元)

壊れたものが重力で落ちるように、供試体を反転させる
(重力の方向とクラックの発生は直接関係が無い)

解析結果—損傷に及ぼす影響

チゼル先端の形状

Type A
 $d = 0 \text{ mm}$



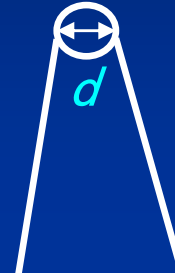
Type B
 $d = 2 \text{ mm}$



Type C
 $d = 4 \text{ mm}$



Type D
 $d = 8 \text{ mm}$



損傷が少ないケース

●先端が尖っている

●はつり深さが浅い

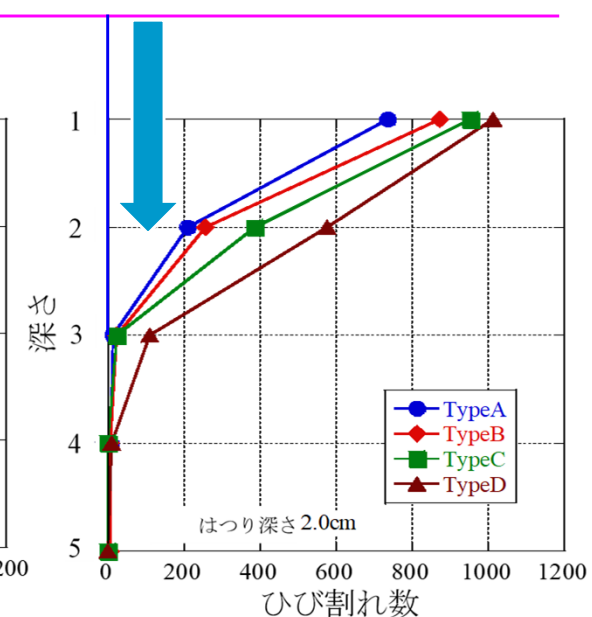
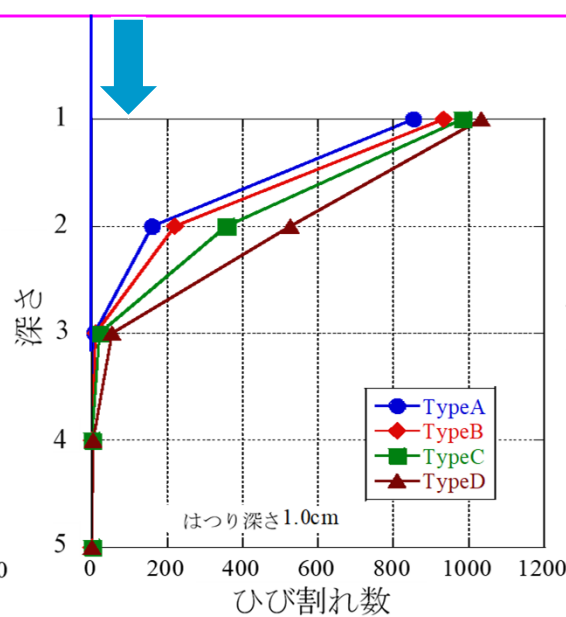
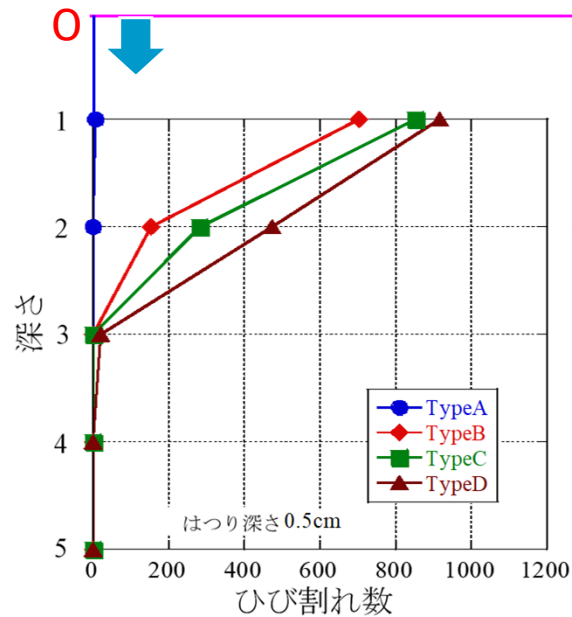
はつり深さと先端形状の関係

はつり深さ

0.5 cm

1 cm

2 cm



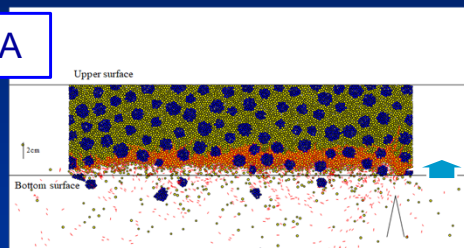
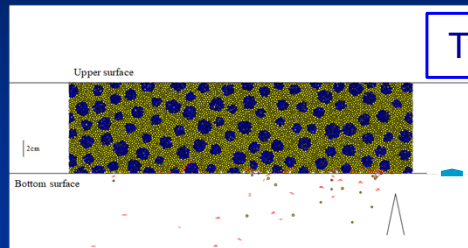
解析結果—損傷に及ぼす影響

1 回のはつり深さ

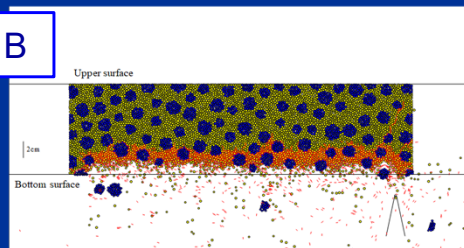
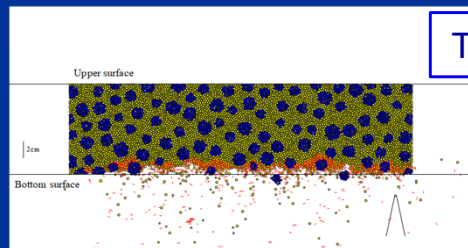
5mm を1回

20mm を1回

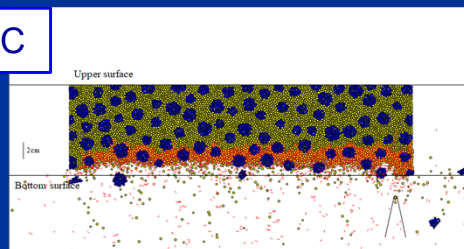
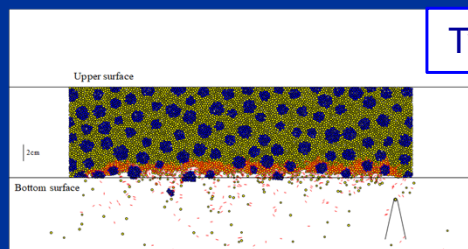
Type A



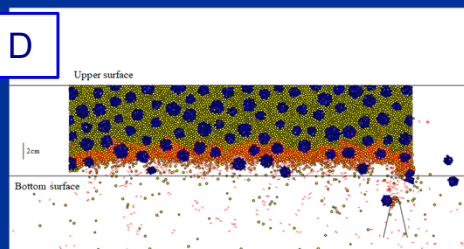
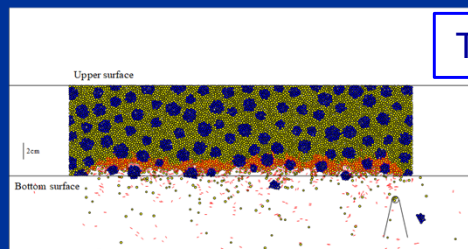
Type B



Type C



Type D



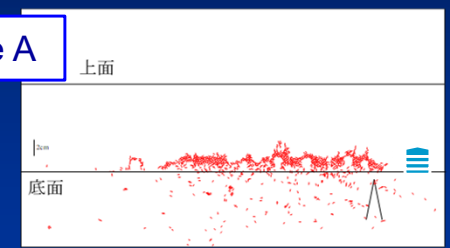
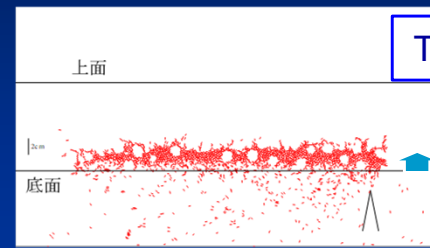
損傷が少ないケース
●先端が尖っている

20mmのはつり回数

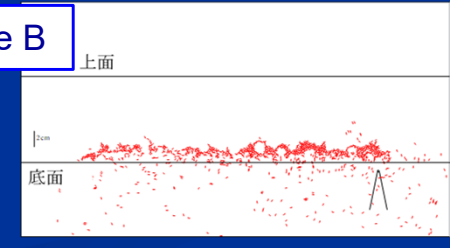
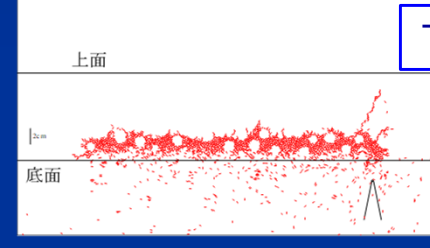
20mmを1回

5mm を4回

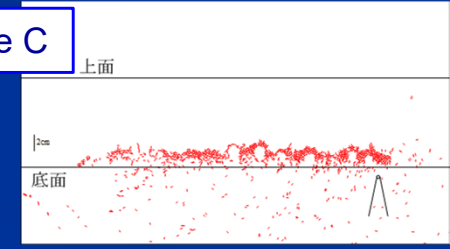
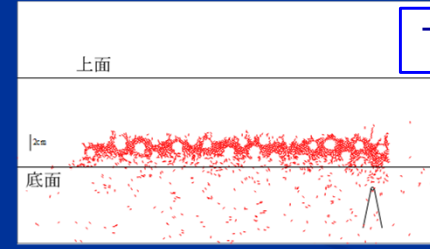
Type A



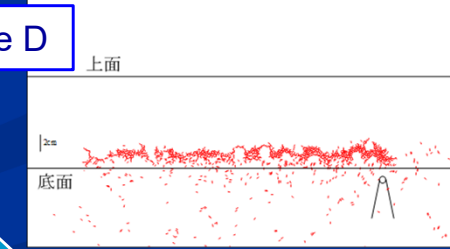
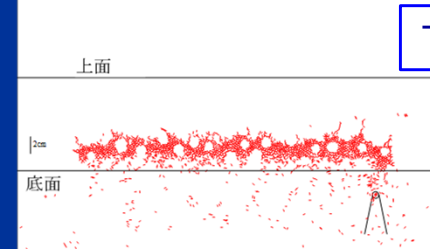
Type B



Type C



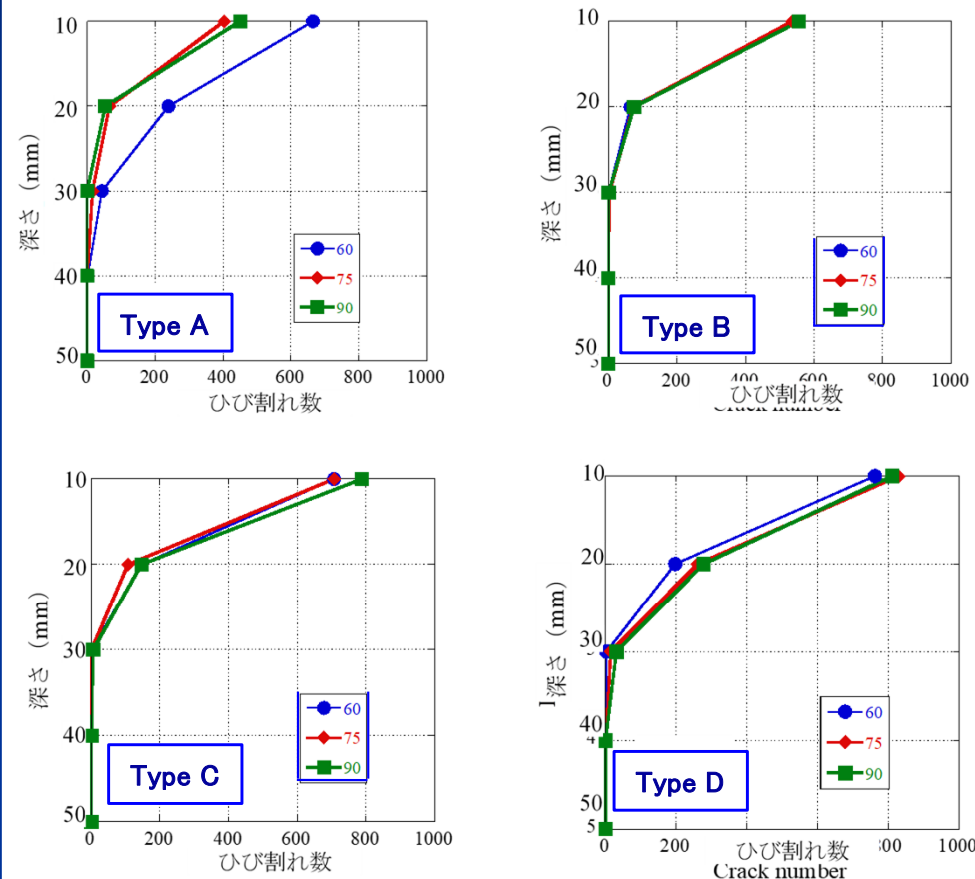
Type D



損傷が少ないケース
●はつり深さが浅い

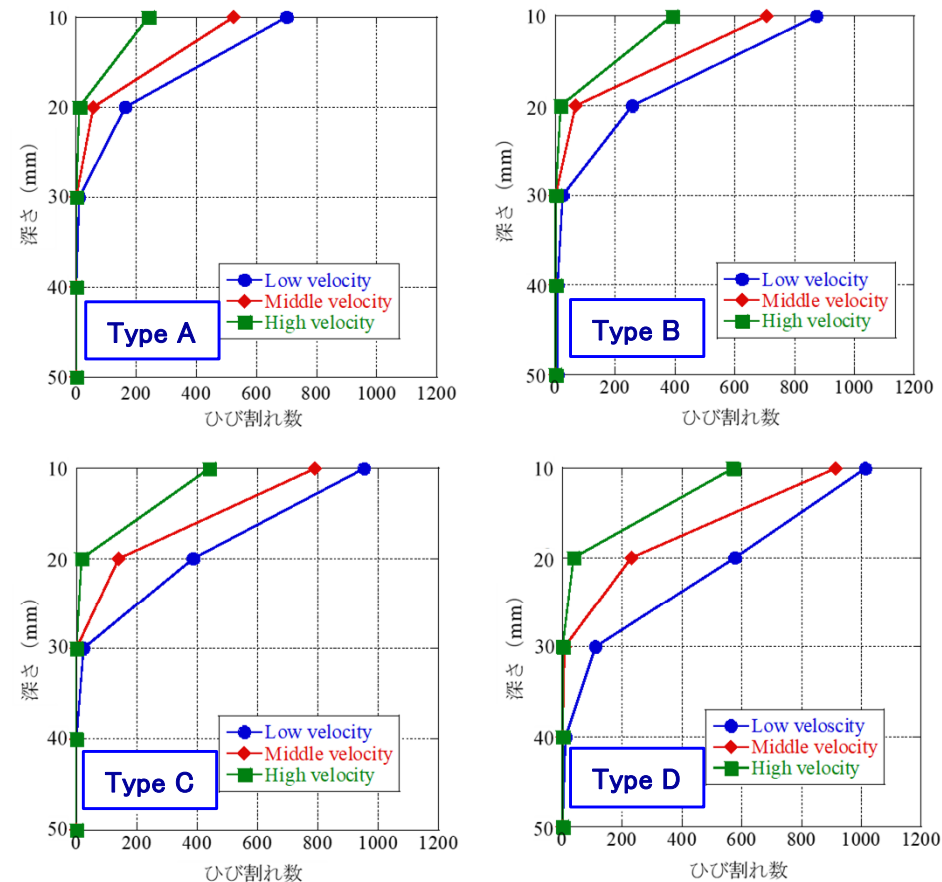
解析結果—損傷に及ぼす影響

はつり角度(90, 75, 60度)



損傷が少ないケース
● 角度の影響は少ない

はつり速度(低, 中, 高)



損傷が少ないケース
● はつり速度が早い

まとめ

止む無くブレーカを用いる場合 — 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より *1)

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

ジャーナル誌への投稿論文

*1) 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.

はつり処理のあり方について

はつり処理の目的

- ◎ コンクリート構造物の耐荷力や耐久性等の機能回復に向けた前処理
- ◎ 清浄で健全なコンクリート面に新しい材料を打継ぐ



- 変状部およびその周辺の必要部分を全て取り除く
- ヘアクラックや粉塵等の再損傷要因を残さない

ブレード工法を止むなく使用すると仮定した場合の留意点

- ◎ ブレード工法では処理面より約4cmの深さにまで微細ひび割れを生じる
- ◎ ブレードで打撃された鉄筋が、約7cmの付着切れを生じる可能性がある



コンクリート変状部のはつり処理案

- 1) WJ工法を基本として、ブレード工法も併用
- 2) ブレード工法はかぶり深さ近くまで、その後の仕上げはWJ工法で行う
- 3) 両工法ともに、処理面を汚さずに清浄に仕上げる

ブレーカ工法を用いる場合はつり処理

損傷の発生を低減するための実施工への提言

(1) ブレーカ先端(チゼル)の形状と速度

- チゼルの先端が尖っていること
- チゼル先端の移動速度が速いブレーカが好ましい

(2) ブレーカの操作方法

- 1層あたりのはつり深さを浅くして複数層ではつり作業とする
- 鉄筋を打撃しないように配慮する
- はつり角度の影響は気にしなくて良い

(3) 現場におけるはつり処理に関して

- ① 床版等の劣化部では版を打ち抜かないように注意する
- ② 配筋されている鉄筋間の中間をはつる
- ③ 狭隘部や複雑な配筋場所では鋼材を損傷しないよう慎重に作業する
- ④ 体勢の維持が困難な側方や上方に向けての作業では操作に注意する



構造物をなるべく傷めないために

- ブレーカ工法はコンクリートを破砕する工法であることを十分認識しておく
- その認識を工事関係者が共有して施工に当たる

ご静聴ありがとうございました



参考資料-1 WJ工法によるはつり処理と断面修復事例

RCホロースラブでの断面修復の施工事例：沖縄

海岸近くのRCホロースラブ
下面（支承近傍）の損傷



塩害に伴う剥離，剥落の状況



ウォータージェット(WJ)工法によるはつり処理

鉄筋背面に2－3cmの隙間を設ける

- ➡ 吹付けコンクリートの付着確保
- ➡ 鉄筋と一体化した断面の実現

WJロボットによるはつり処理
(ステージング上を走行)



WJロボットによるはつり処理後の状況



鉄筋背面に空間が十分
確保されている



ショットクリートによる吹付け施工



ノズル
(ドライ)



吹付け施工の前後の状況



● 鉄筋背面まで変状部を除去

鉄筋と絡めて断面修復することで
吹付けモルタルの落下防止を図り、
安全性および耐久性を確保

● 一時吹付け完了

この後、表面仕上げ



断面修復(WJ+吹付け)10年後の状況

過酷な環境下で施工後
約10年経過しても変状
の再発はない



内在塩分が除去されていれば
今後も10～20年は大丈夫！

引続き路面の防水, 排水によ
る塩分の浸入防止に留意して
おく事が重要



参考資料-2 国土交通省選定 2024年度 推奨技術

NETIS登録された新技術より

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年度の有用な新技術～

令和6年5月9日
大臣官房技術調査課

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

参考資料-3 リンスドルフ橋の発破解体の状況 (2分)

PCプレキャスト単純桁9連 橋長:175.0m



建設事務所HPより

[戻る](#)

参考資料-4 レールスバッハ(Ralsbach)橋の発破解体 (2分)

5径間連続PC橋(2室箱桁) 橋長:175.0m



建設事務所HPより

[戻る](#)