

超硬合金を使用したシールドマシン用ビット のリユースに関する研究開発

平成24年7月27日

株 式 会 社 丸 和 技 研
大 成 建 設 株 式 会 社
有 明 工 業 高 等 専 門 学 校

目 次

1.研究期間および研究メンバー

2.研究の背景

3.目的

4.研究成果

5.今後の予定

1. 研究期間および研究メンバー

○研究期間

研究会 平成21年9月～平成22年3月
プロジェクト 平成22年7月～平成24年3月

○研究メンバー

・研究代表者

株式会社丸和技研 代表取締役 嘉屋 文隆

・共同研究メンバー

株式会社丸和技研 課 長 佐々木 誠

大成建設株式会社 室 長 森田 泰司

課 長 高倉 克彦

有明工業高等専門学校 准教授 岩本 達也

（研究会：福岡県工業技術センター機械電子研究所）

2.研究の背景

シールド工法とは

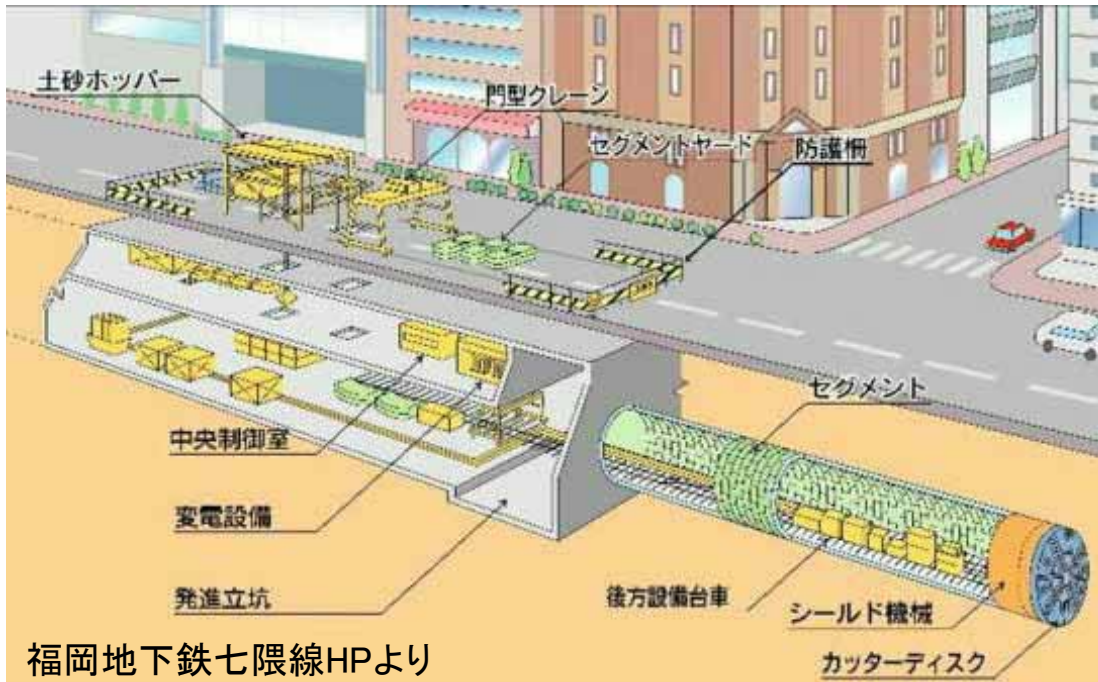
シールドマシンで地盤を掘り進み、その後方でコンクリート製や鋼製のブロック（セグメント）を円形に組立てながら、トンネルを造る工法。

ビット：約350個



(秋田中央道路HPより)

シールドマシン(Φ12.4m)



シールド工法概略図



福岡地下鉄七隈線HPより

シールドトンネル坑内

使用済ビットの状態

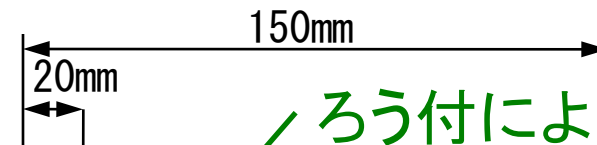
ビット重量: 約10kg (内超硬: 約3kg)

シャンク材: 鋼材

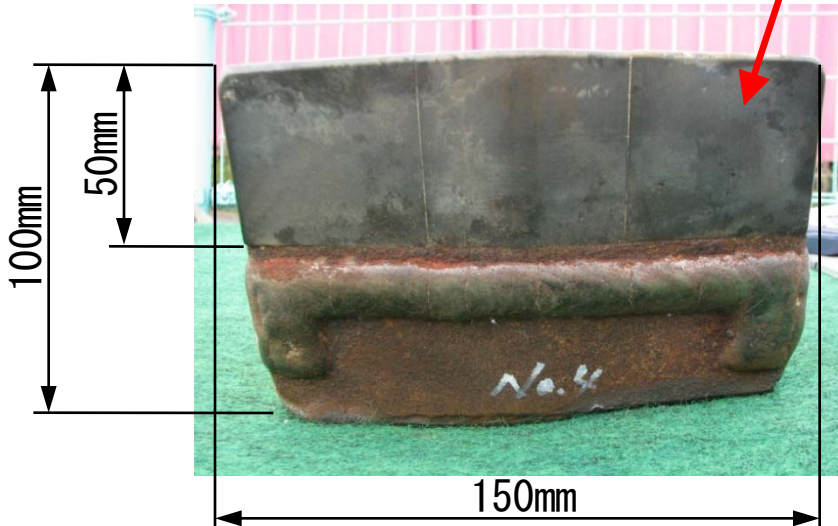
(SS400, S25C, SKC24など)

超硬チップ

タングステンカーバイト (WC) 90%
コバルト (Co) 10%

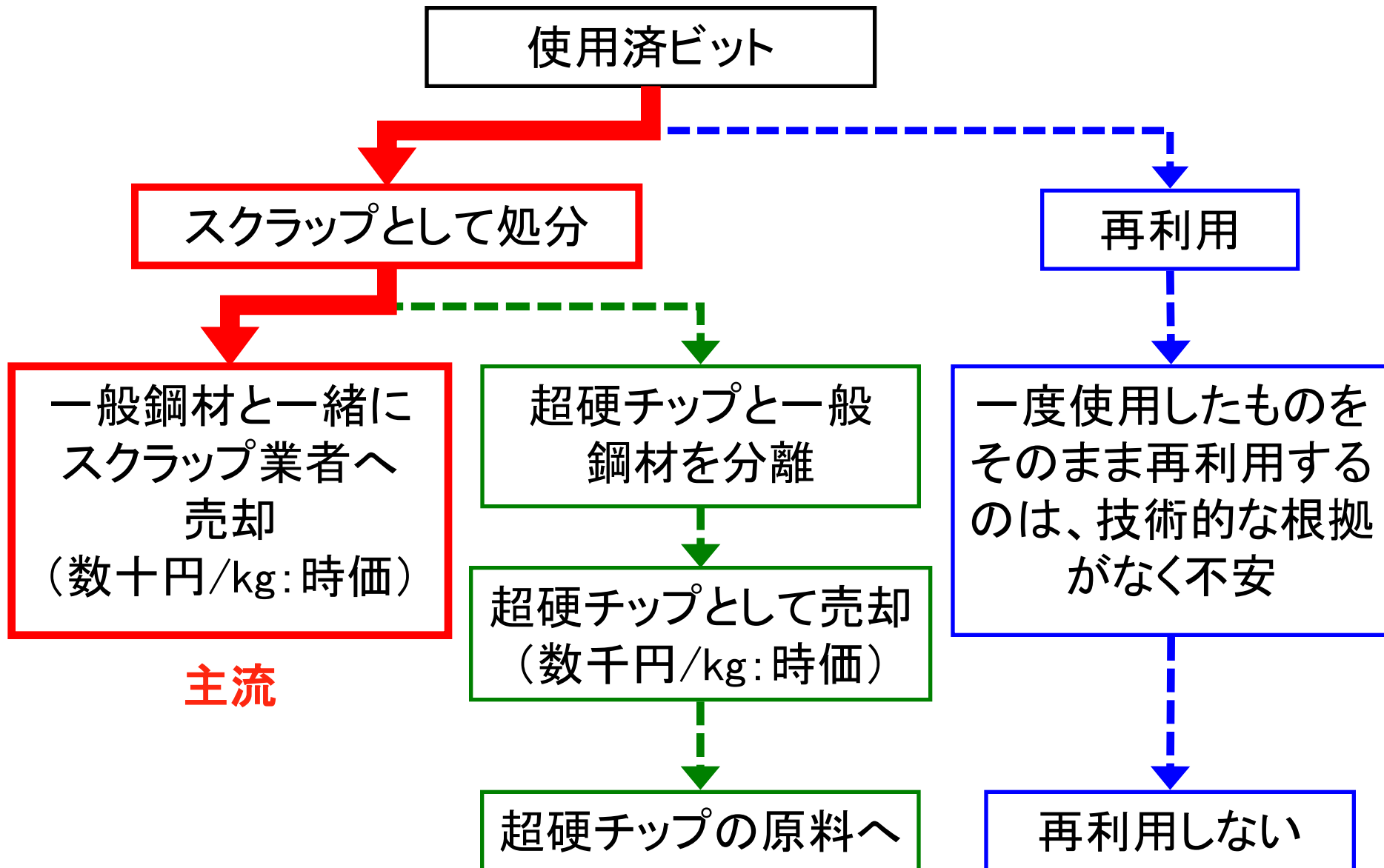


ろう付による接合



目視では十分再利用可能な状態

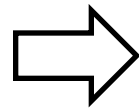
使用済みビットの処理実態



3. 研究目的

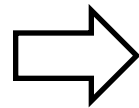
トンネル掘削工事に使用したシールドマシンのビットを再利用するために、

◆技術的根拠の立証



- ビットの性能評価
- 診断方法の確立

◆実用化



ビット循環システムの構築

を研究目的としました。

4.研究成果

主な研究内容

4.1 リユースビット性能評価

- (1) ビット載荷実験とFEM解析
- (2) 超硬・ろう付の疲労試験

4.2 診断方法の確立

- (1) 超音波探傷によるろう付面の診断

4.3 循環システムの構築

- (1) 使用済みビット回収方法
- (2) 実機による実証実験
- (3) 事業フロー

4.1 リユースビット性能評価

(1) ビット 載荷実験とFEM解析

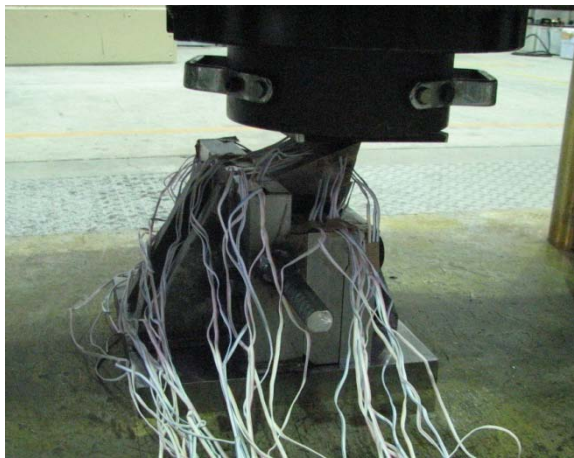
ビット载荷実験概要



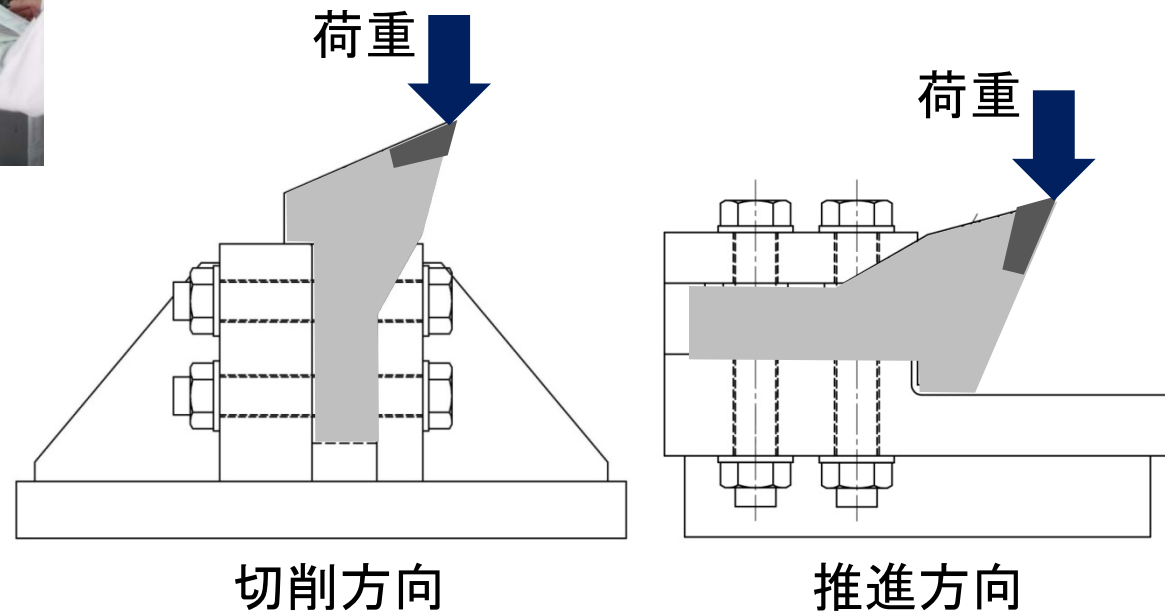
- ビットが破壊する荷重の測定
- 破壊時の状態の確認
- 破壊に至るひずみの測定



応力状態の確認
FEM(数値解析)との比較



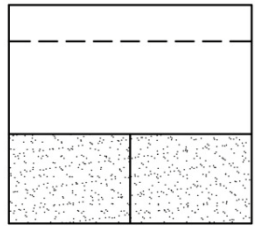
载荷実験状況写真



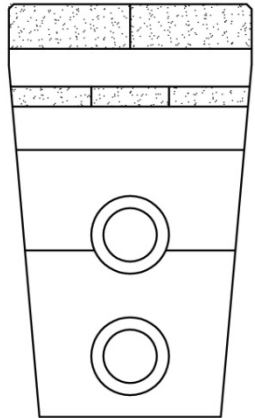
载荷実験供試体図

ビット 載荷実験後の破壊状態

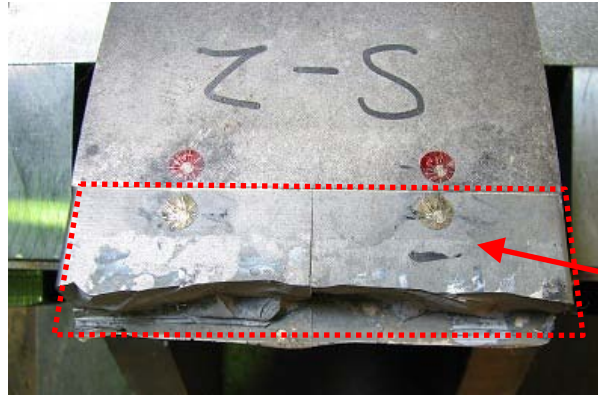
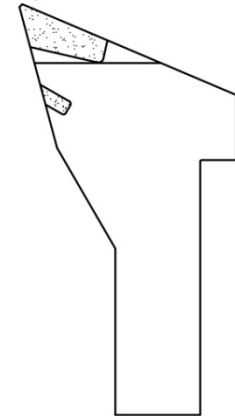
最大荷重: 463kN



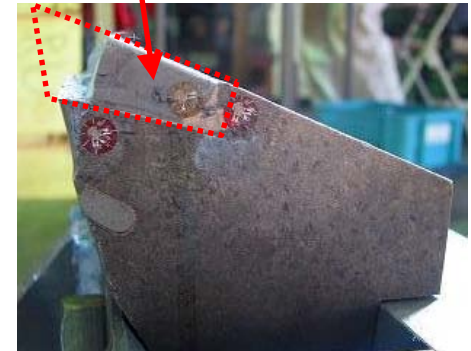
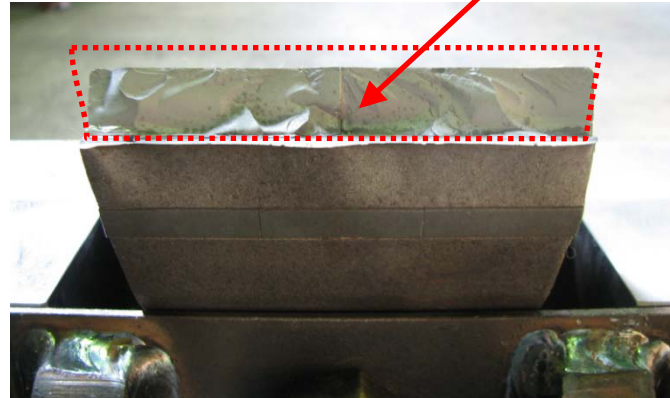
荷重



切削方向



超硬チップ



ビット破壊荷重比較

	切削方向	推進方向
未使用ビット	394kN(1.00)	629kN(1.00)
1回使用ビット	463kN(1.18)	497kN(0.79)
2回使用ビット	416kN(1.06)	552kN(0.88)

・()内の数値は、未使用ビットとの比率を表す。

載荷実験の結果より、今回2回使用したビットも、未使用ビットとほぼ同等の強度であった。

ビットの掘削距離

	掘削距離	累積距離
1回使用ビット	1.3km	—
2回使用ビット	1.4km	2.7km

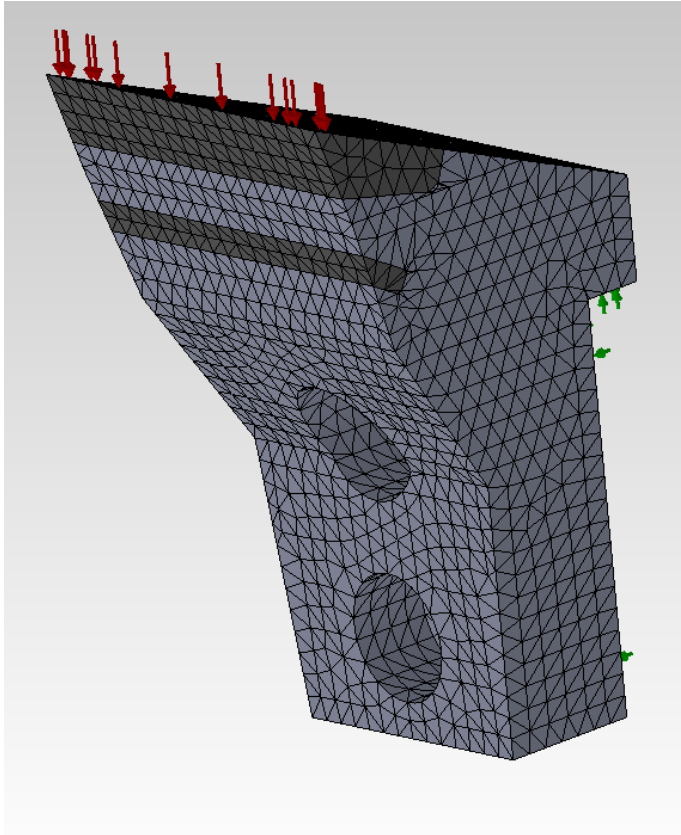
FEM解析の概要

解析条件

解析ソフト	COSMOSWorks
解析タイプ	線形静的解析
解析モデル	3次元モデル

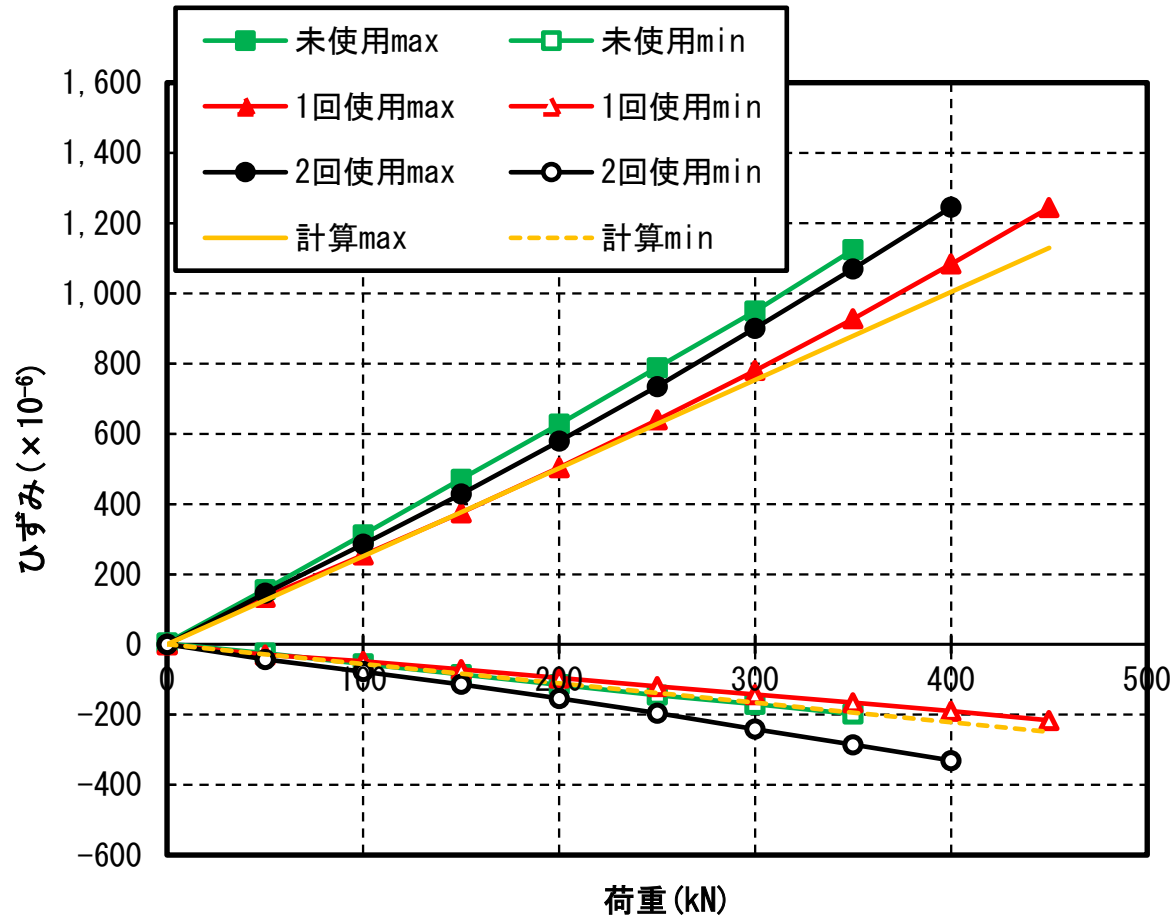
解析データ諸元

	単位	シャンク材	超硬チップ
		SKC24	E5
弾性係数	N/mm ²	2.1×10^5	5.6×10^5
ポアソン比	—	0.28	0.22
質量密度	Kg/m ³	7,800	14,400

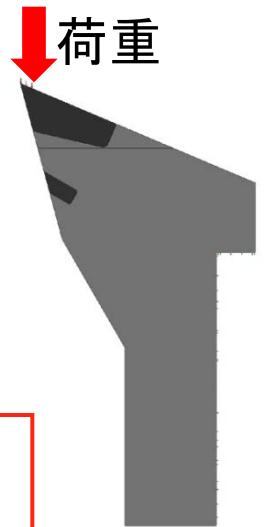
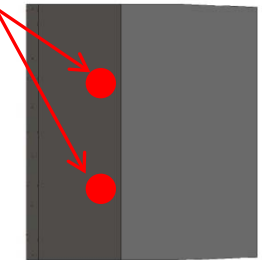


FEMモデル図

ビット载荷実験とFEM解析との比較



ひずみ
測定点



荷重-ひずみ関係がほぼ同等であることから、

- ・2回使用ビットの物性に顕著な変化は認められない。
- ・FEM解析によって、荷重-ひずみ関係をほぼ再現できる可能性が高い。

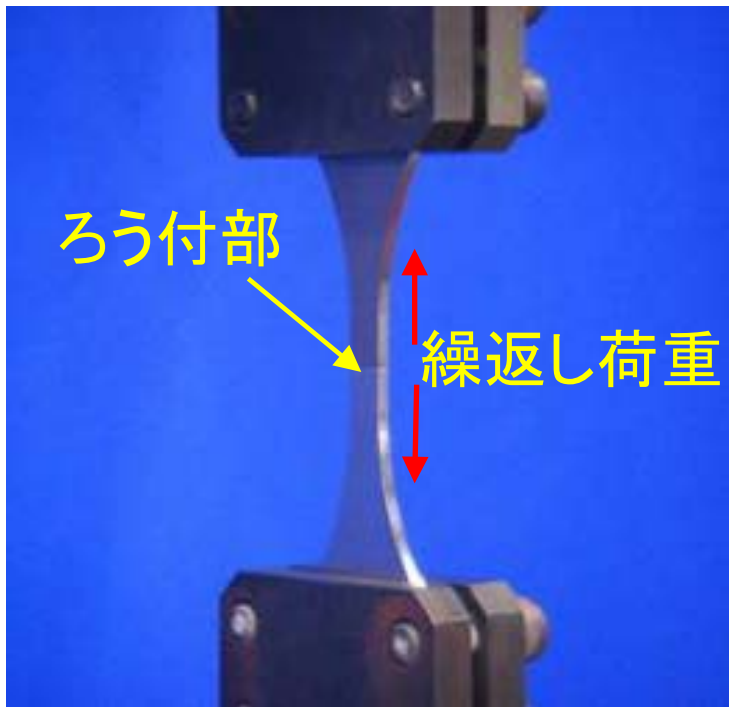
(2) 超硬・ろう付の疲労試験：概要

ビットが地盤を掘っていくとき

- ・ビットに作用する荷重 → 繰返し荷重
- ・ビットの安全性の指標 → 疲労強度

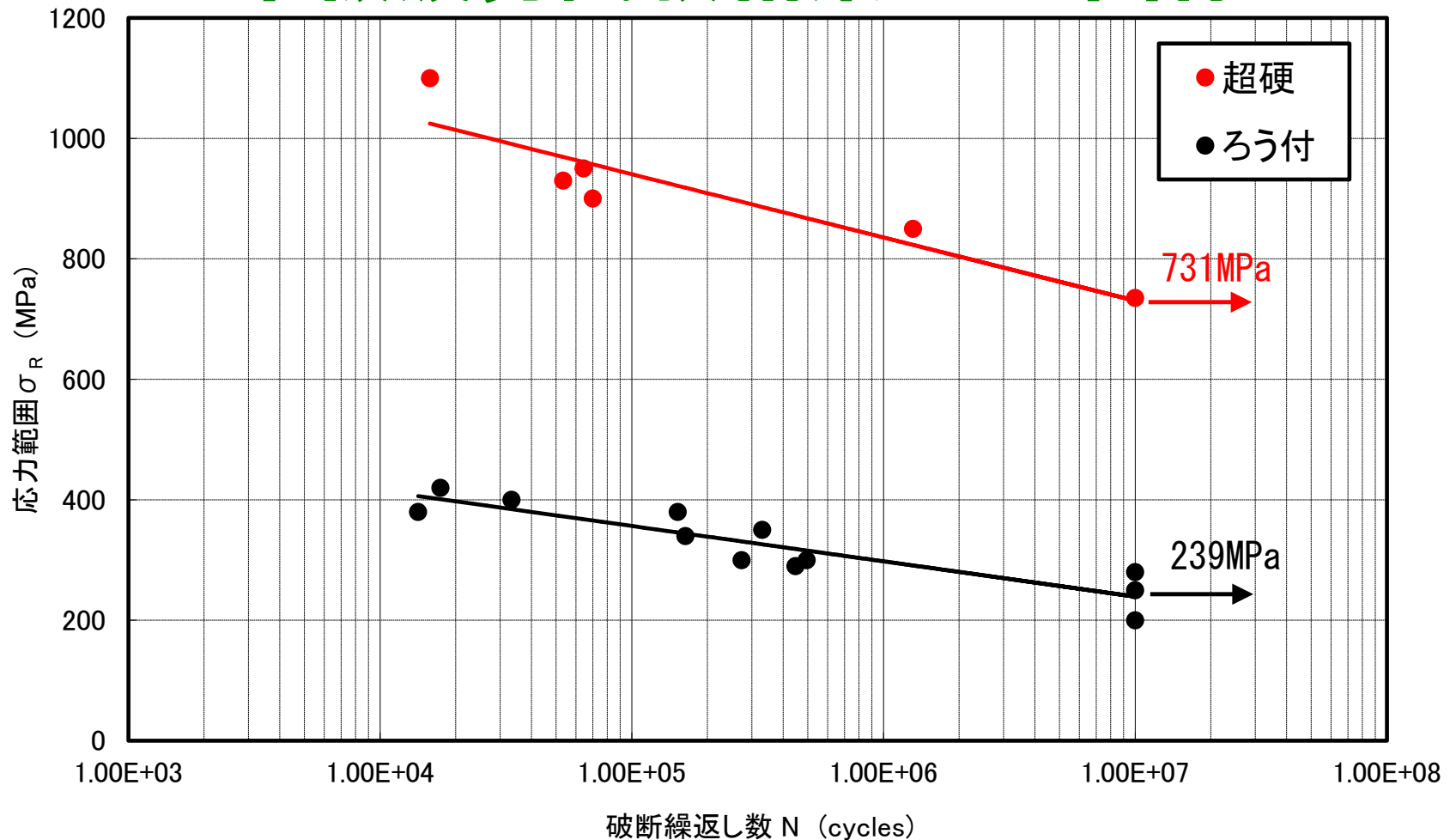
試験要領

試験温度	室温
制御方式	荷重制御
試験波形	サイン波
試験速度	20Hz
応力比	0.1
未破断設定回数	1×10^7 回
試験停止条件	破断もしくは 未破断回数到達



疲労試験状況写真

平板疲労試験結果：S-N曲線



掘進対象土層の一軸圧縮強度が3.2MPaの場合（泥岩相当）、
想定されるビットの発生応力は

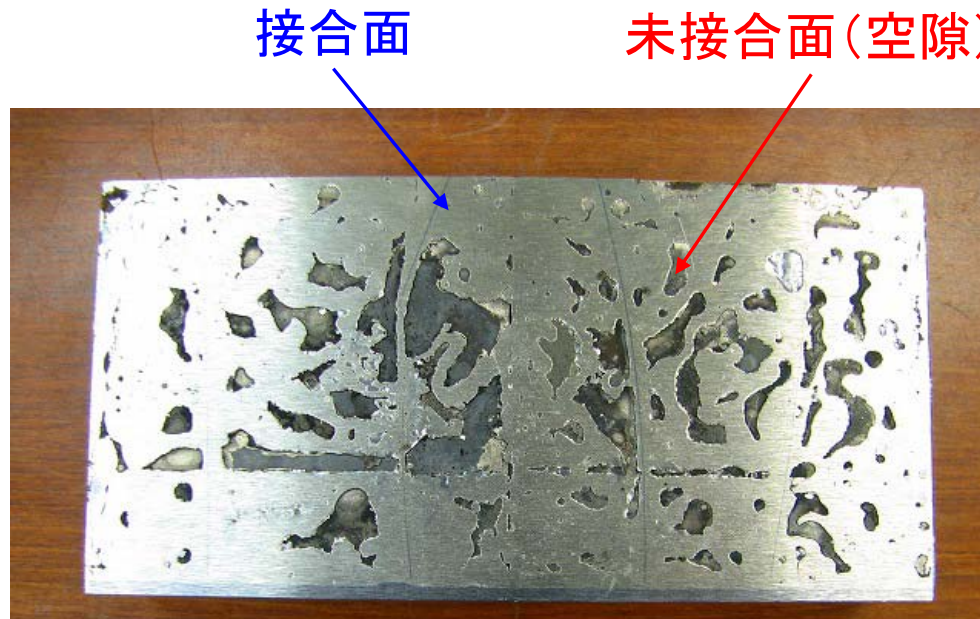
超硬：10MPa程度、ろう付部：5MPa程度
である。よって、上図より、疲労に対する安全率が高い。

4.2 診断方法の確立

ろう付の概要

ろう付とは

金属を接合する方法の一種で、接合する部材（母材）よりも融点の低い合金（ろう）を溶かして、一種の接着剤として接合する方法。



ろう付状況写真

ビットにおけるろう付部の重要性

- ・超硬チップとシャンク材はろう付によって接合。
- ・地盤を掘削していくのは超硬チップ。



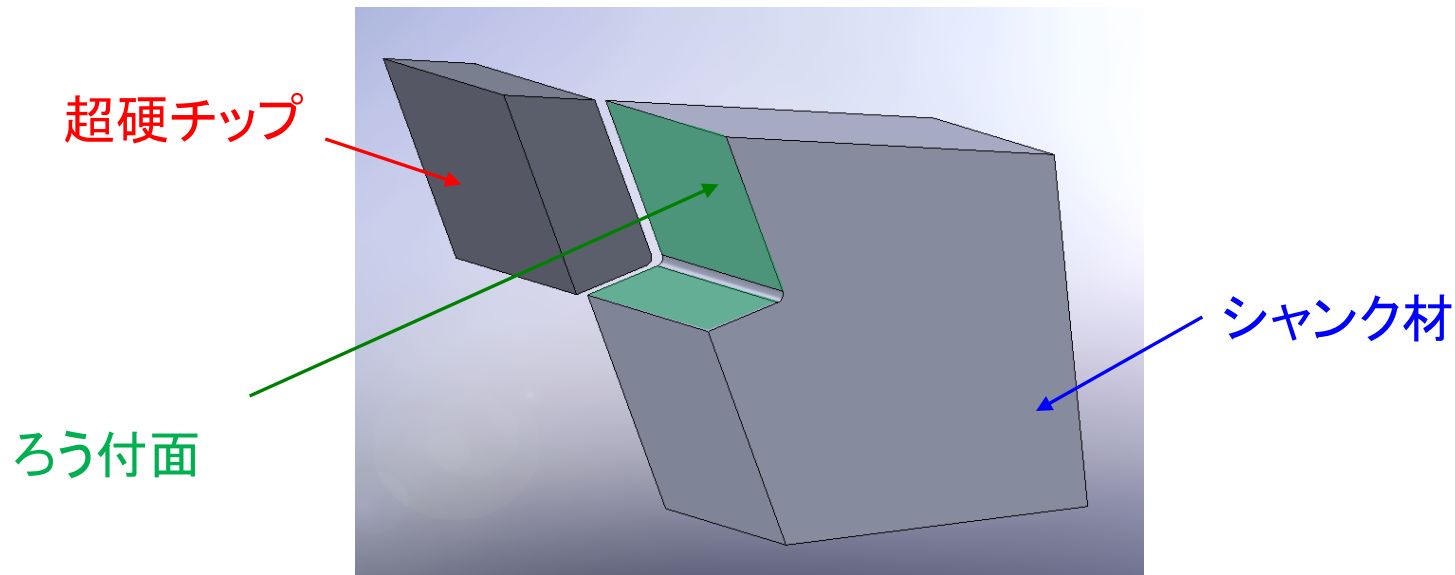
超硬チップの接合強度の見積もりはビットの性能評価に不可欠



非破壊検査によってろう付部の接合比率(接合面積／ろう付面積)を評価

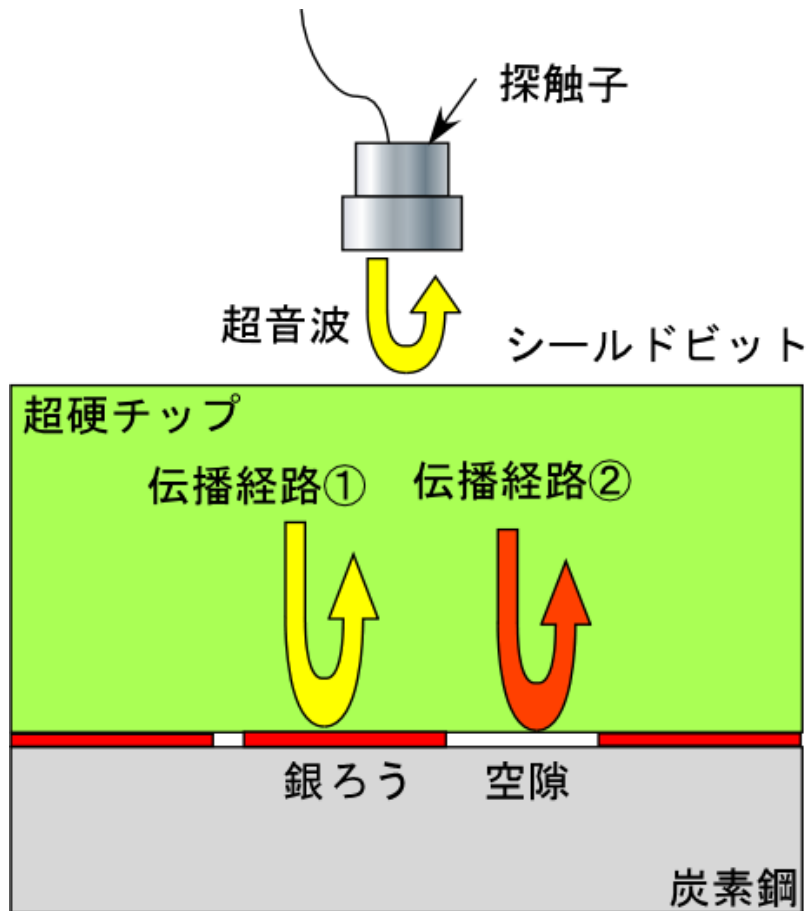


ろう付部の接合比率を用いて、接合強度と疲労強度とを比較・検討し、
ろう付部の強度を保証



ろう付概要図

超音波探傷測定原理

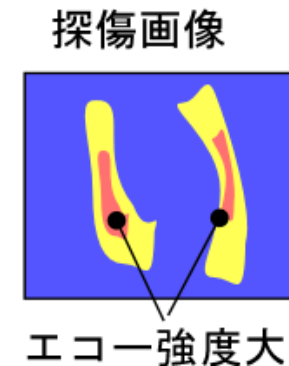
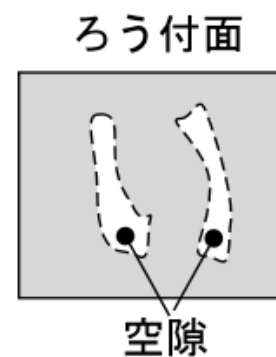


伝播経路①
超硬チップと銀ろうとの
境界で反射

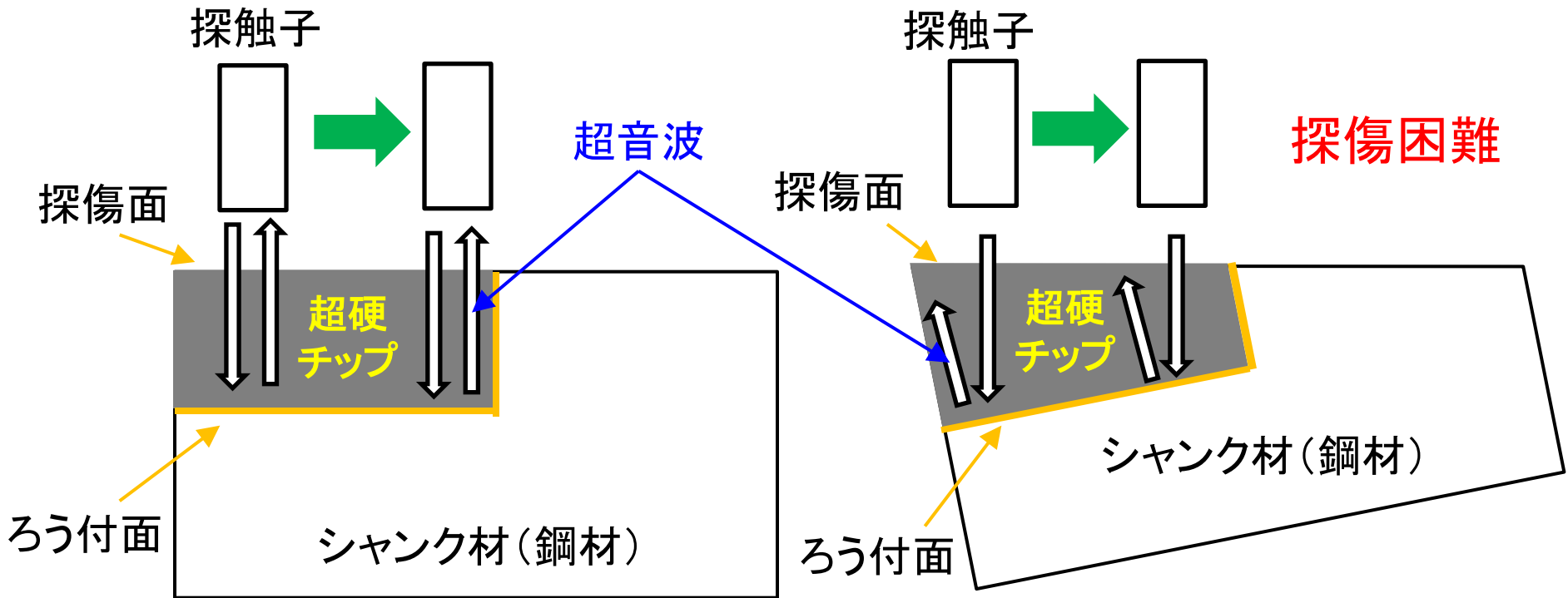
反射強度
小

伝播経路②
超硬チップと空気との
境界で反射

反射強度
大

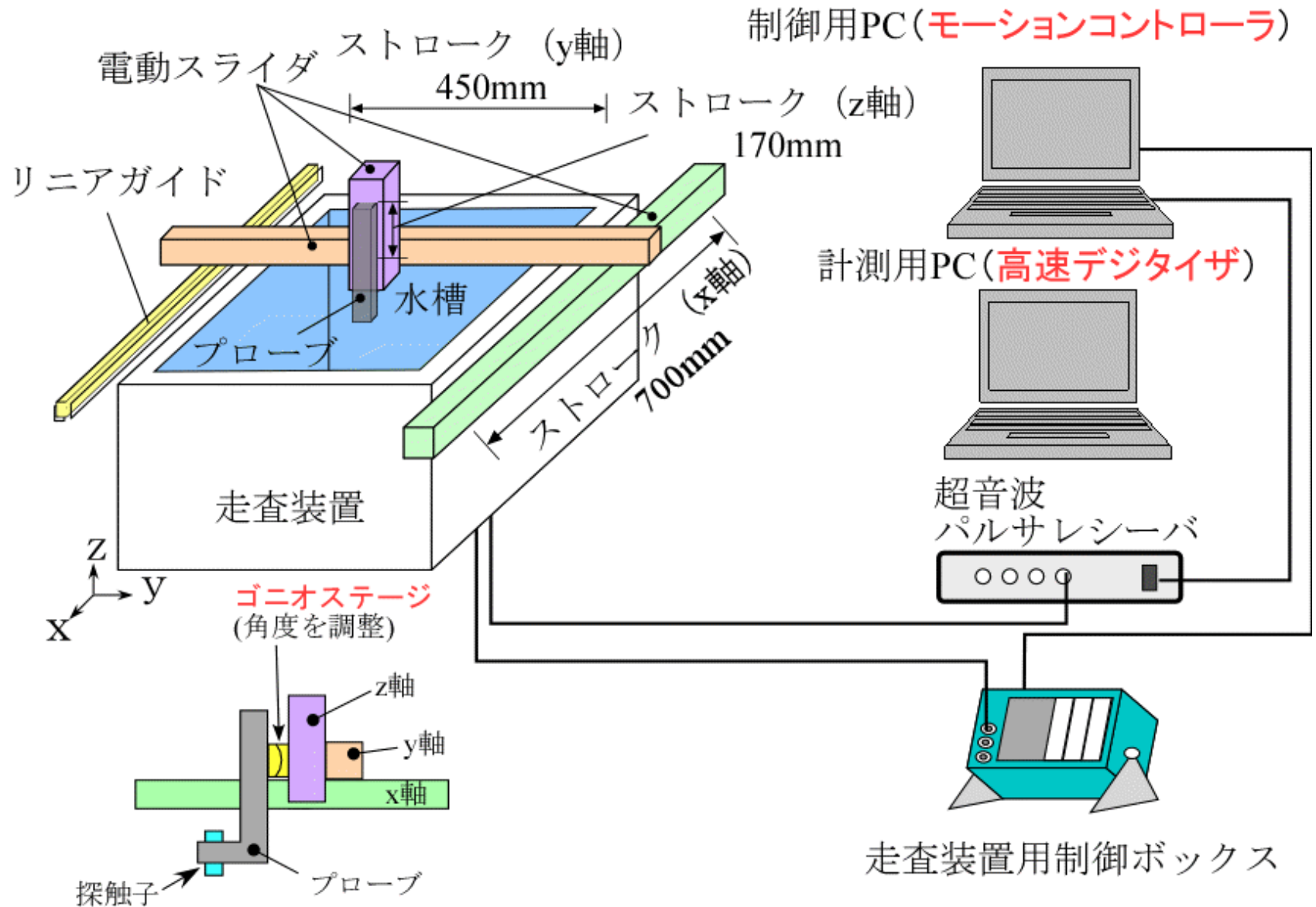


超音波探傷の課題

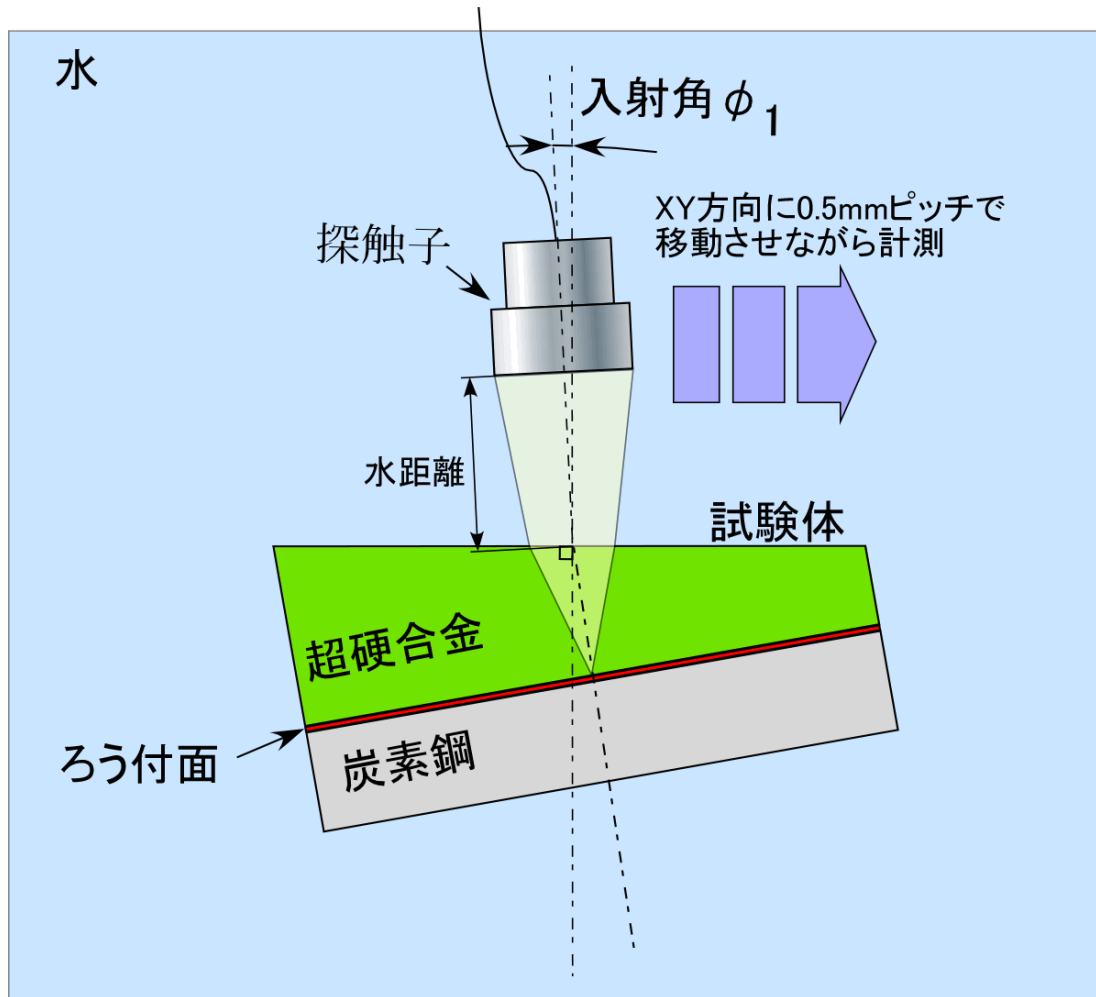


探傷面とろう付面が平行でない場合、
ろう付面で反射した超音波は受信困難

超音波探傷装置概略



実験方法



測定方法: 水浸法

探触子: 水浸用点集束探触子

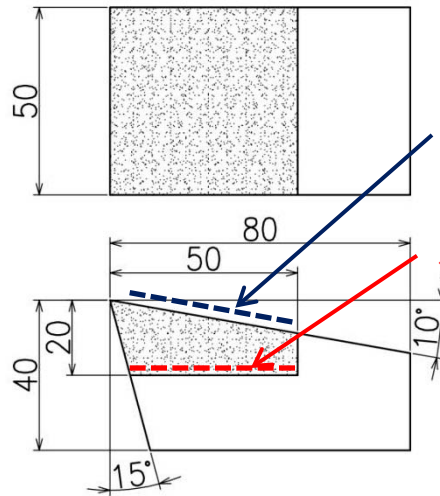
集束距離の違う2つの探触子を使用した。

測定ピッチ: 0.5mm

実験結果

$\theta_1=10^\circ$ (最大厚さ20mm、最小厚さ12mm)

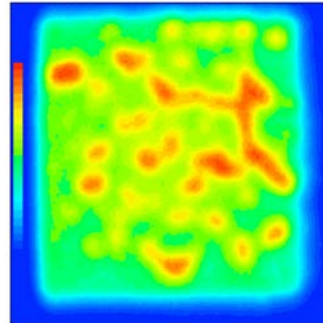
探触子性能の比較



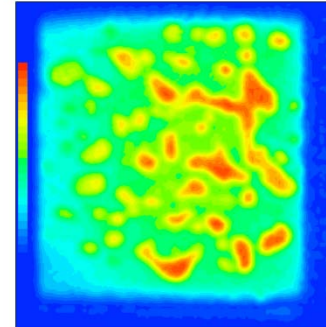
探傷面

ろう付面

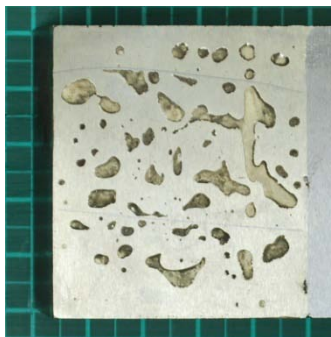
探触子-1



探触子-2(高性能化)



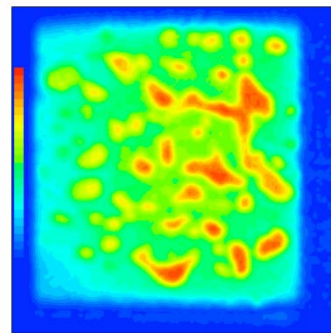
断面写真



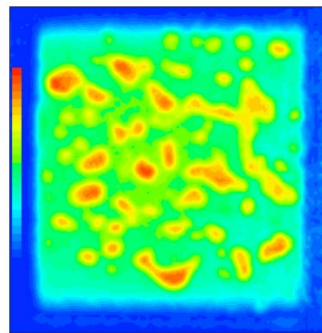
厚 ← → 薄

補正の有無

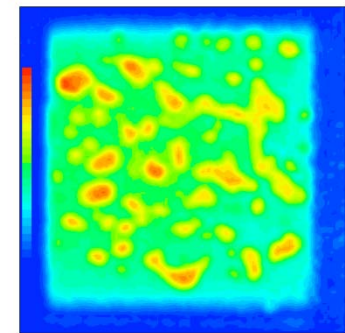
補正なし



補正方法①



補正方法②



補正をかけると、薄い領域から厚い領域まで、空隙の形状・位置がほぼ一致

4.3 循環システムの構築

(1) 使用済みビットの回収実施

シールドマシン到達状況



解体・搬送状況



切断状況



切断後のビット

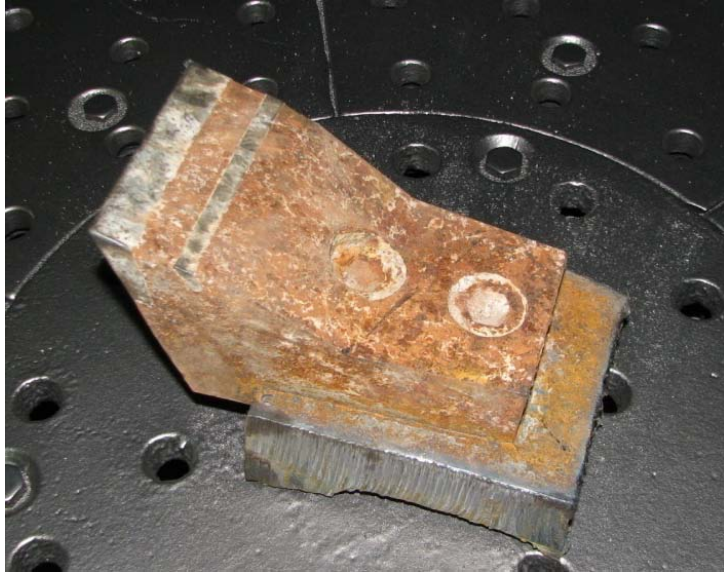


荷姿

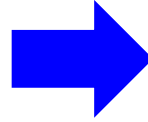


搬送状況

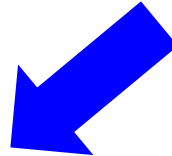
使用済みビット手入れ状況



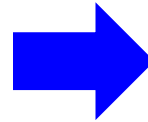
ショットブラスト前



ショットブラスト後



ボルトの取り外し



再利用可能な状態

ビット回収状況

工事名	ビットタイプ	ビット数 (個):A	回収数 (個)	再利用数 (個):B	再利用率 (B)/(A)
S工事	ティースビット	224	224	115	51%
M工事	ティースビット	76	40	18	24%
	その他ビット	96	42	0	0%
O工事	ティースビット	42	42	0	0%
	その他ビット	40	40	0	0%

ビット数 : シールドマシンに搭載されていたビット数

回収数 : 実際に回収したビット数

再利用数 : 選別で再利用可と判断したビット数

各工事の状況によっては、ビットを全数回収することはできず、また、再利用できる割合もまちまちである。

(2) 実機による実証実験

リユースビット実証実験工事

工事名	工事概要	状況・結果
[受託工事]府中3・4・7号線と京王線との立体交差化工事(土木)その2の2 事業主体:東京都建設局 発注者:京王電鉄(株)	・鉄道横断道路のアンダーパス工事 ・縦横約3mの函体(全長67m)を5本掘進 ・主要土層は砂礫(N値20～50、巨礫あり)	・リユースビットを2個搭載 ・想定外の巨礫層があり正規ビット・リユースビット共に、大きな損傷を受けた
大井有明付近連系管路新設工事 発注者:東京電力(株)	・海底横断管路新設工事 ・直径約4mのトンネルを1400m掘進 ・主要土層は泥岩(N値>50)	・リユースビットを6個搭載 ・正規ビットと遜色なく使用できた
MU工事	・共同溝トンネルの分岐立坑構築工事(上向きシールド工法) ・直径約3mのトンネルを7カ所(約30m)掘進 ・主要土層は砂礫と粘性土の互層(最大N値>50)	・リユースビットを12個搭載 ・8月掘進工事開始予定

大井有明付近連系管路新設工事概要

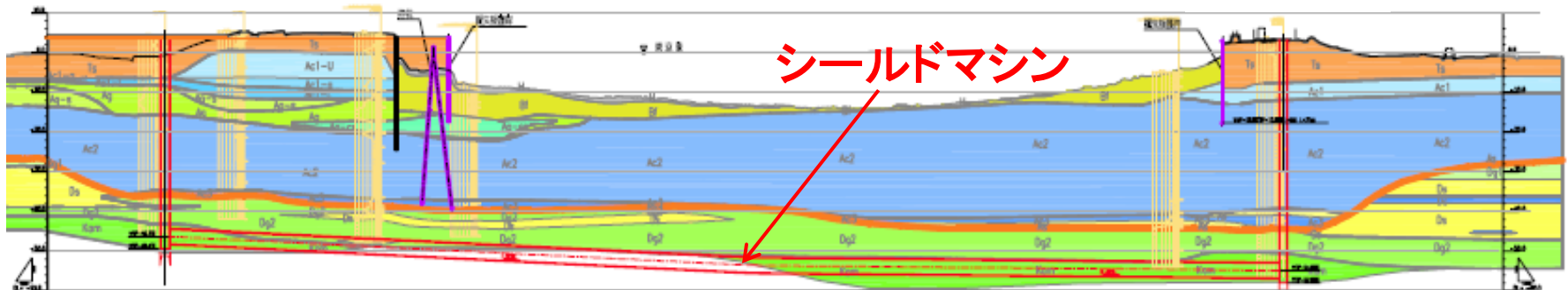
- ・海底横断管路新設工事
- ・直径約4mのトンネルを1400m掘進
- ・主要土層は泥岩(N値>50)



発進立坑

位置図

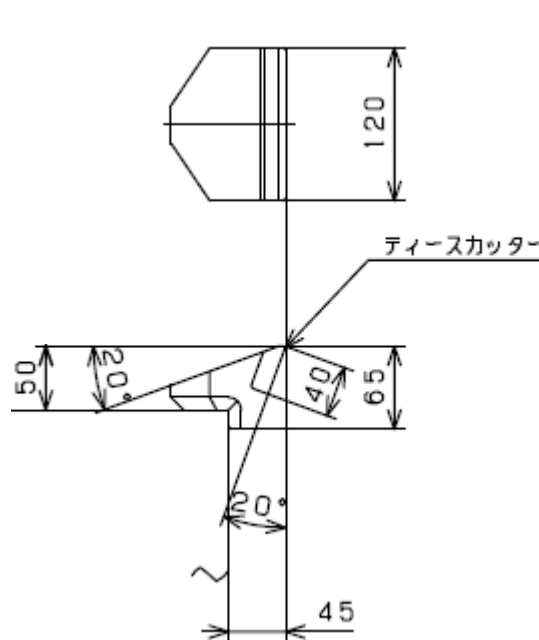
到達立坑



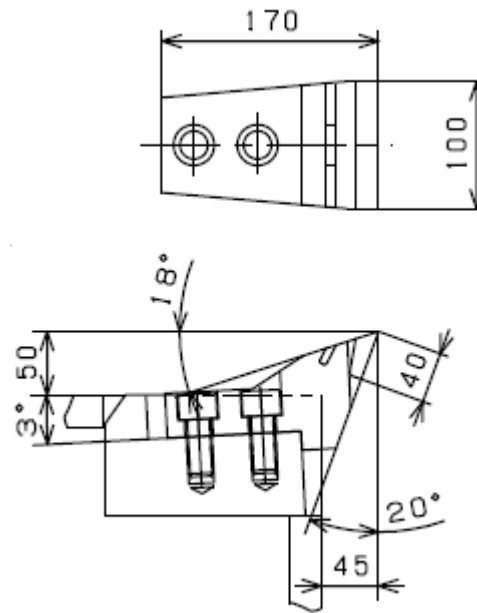
断面図

リユースビット搭載計画

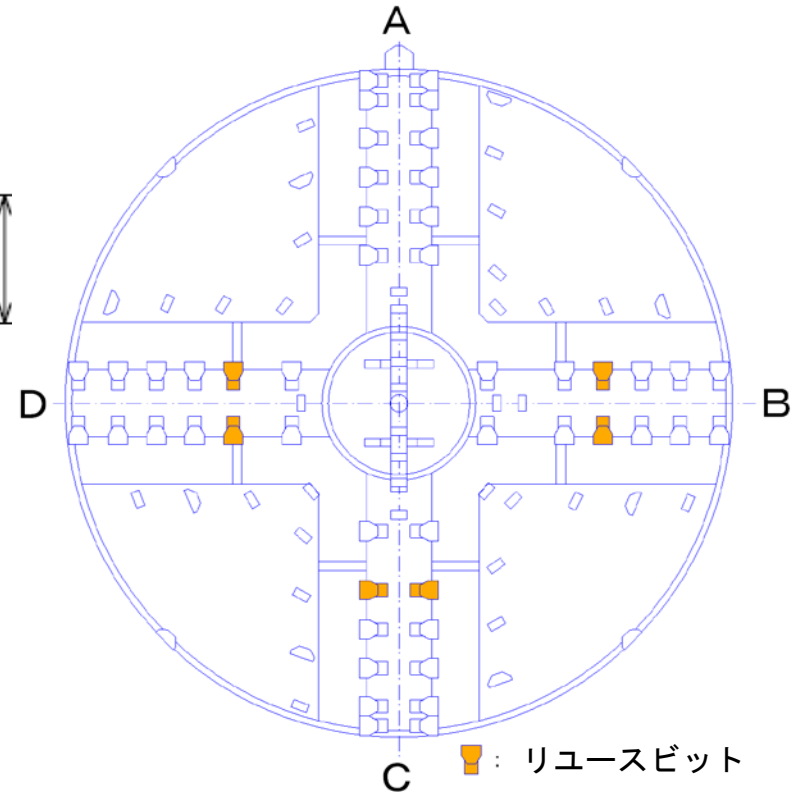
- リユースビットは正規ビットの代替として配置。
- ビットを取り付けるスポークに切削加工を施してリユースビットを搭載。
- リユースビットの健全性診査フローに則った診断書を作成し、発注者の了承を取得。



正規ビット

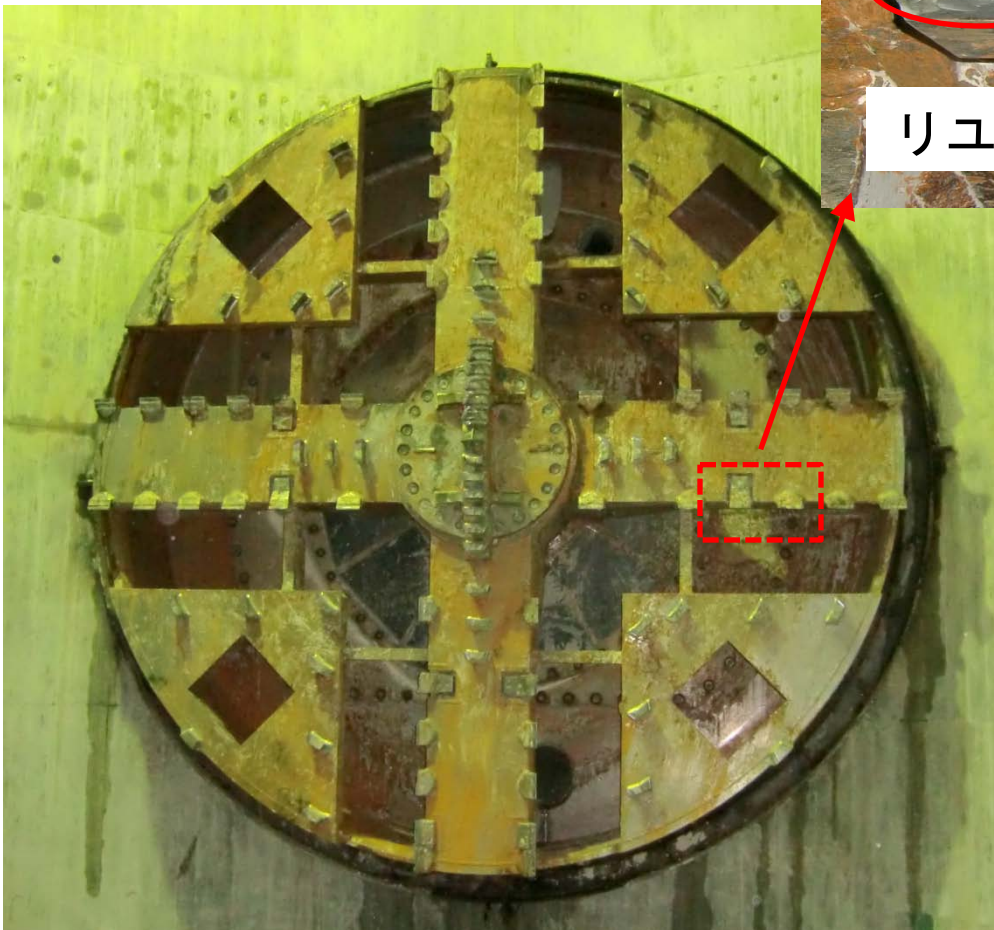
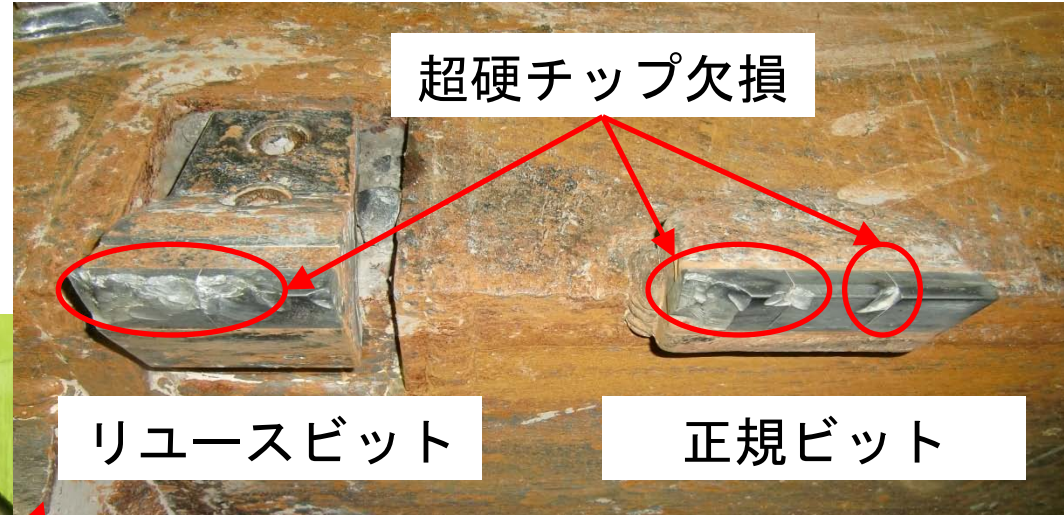


リユースビット



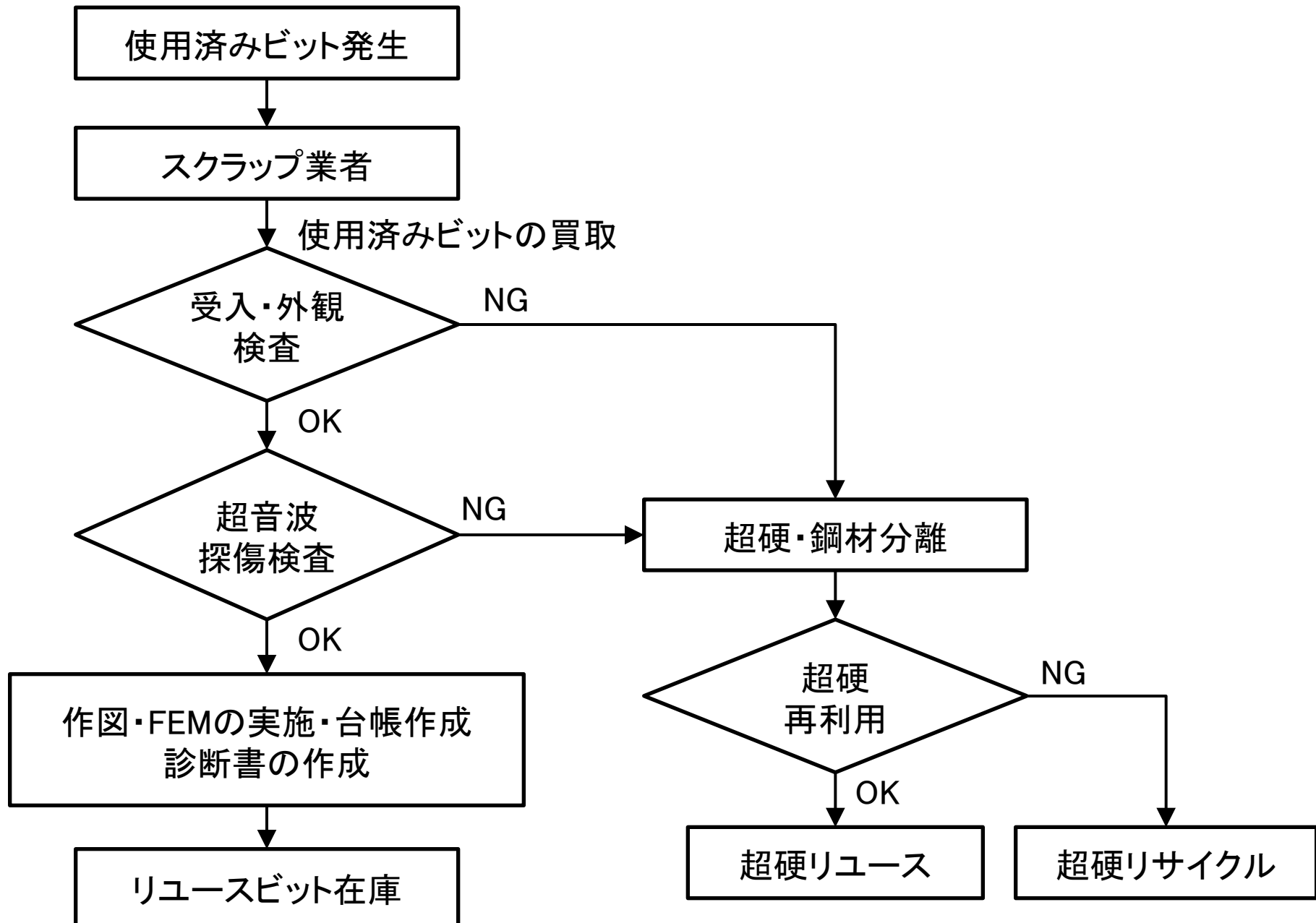
リユースビット配置

大井有明付近連系管路新設工事完了後状況



リユースビットは正規ビット
とそんなに使用できた
と考えられる。

(3) 事業フロー



5.今後の予定

- 当面は大成建設の工事において、循環システムを構築。
- ビット、超硬を回収するために、スクラップ業者への営業活動。
- 在庫管理方法の確立、データベースの作成。
- 超音波探傷検査技術の移管。
(有明高専→丸和技研→丸和エコエンジニアリング)
- 超硬のリユース、リサイクル方法の検討。

最後に

- 「リユースビット」は、大成建設と丸和技研の登録商標です。
- 「使用済みカッタービットの健全度評価方法」と「ビット検査方法」は特許出願中です。
- 本事業は、丸和技研が新会社を設立して行っていきます。
新会社名：株式会社丸和エコエンジニアリング

ご清聴ありがとうございました。