

シールドマシンにおけるビット再利用技術の開発 ～強度検査～

株式会社丸和技研

正会員○佐々木 誠

嘉屋 文隆

大成建設株式会社

正会員 森田 泰司

正会員 高倉 克彦

有明工業高等専門学校

正会員 岩本 達也

1. はじめに

シールド工法に用いられるシールドマシンにおいて、使用済みビットを再利用するにあたり、再利用する工事に必要となる性能が、そのビットに備わっていることを明確にするための、使用済みビットの健全性を診断する技術を開発した。本編では使用済みビットの強度検査について報告する。

2. 強度検査の方法

図-1 にビットの概略図、図-2 に強度検査方法を示す。図-1 より、ビットは刃先部の超硬チップと、母材である鋼材とをろう付によって接合した工具である。地盤切削時に超硬チップで受けた力は、ろう付面を介して母材に伝わるが、ろう付強度は超硬チップ、母材に比べて強度が低いことから、ろう付強度をビット強度とした。また、使用済みビットは繰返し荷重を受け、疲労が蓄積されることから、ろう付強度の中でも疲労強度をビット強度とし、疲労強度を求めるためにろう付の疲労試験を行った。

一方、ビットに作用する荷重は、地盤を切削するために必要な力であり、地盤強度に相当すると考えられる。そこで、ビットに作用する荷重とろう付部に発生する応力の関係を求めるために、载荷実験および FEM による弾性解析を行い、再利用対象工事の地盤強度とろう付部の強度を間接的に比較することとした。

3. 疲労試験

ろう付部の疲労強度を把握するために、疲労試験を実施した。疲労試験に先立つ静的引張試験の結果は 539MPa となった。疲労試験では、20Hz サイン波を引張側片振りの荷重制御にて载荷した。「鋼道路橋の疲労設計指針」(日本道路協会)では、繰返し回数 2×10^6 回における応力を基本としていることから、ここでは未破断設定回数を 1×10^7 回として試験を行い、繰返し回数 1×10^7 回における疲労強度を、ろう付部の疲労強度として用いることとした。図-3 に S-N 線図を示す。ろう付の繰返し回数 1×10^7 回における疲労強度は 239MPa となり、引張強度 539MPa の約 44% となっている。

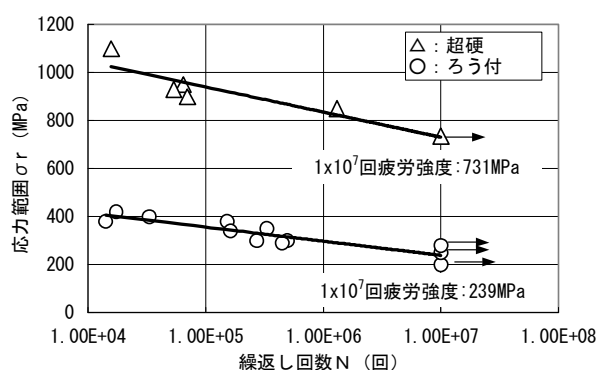


図-3 S-N 線図

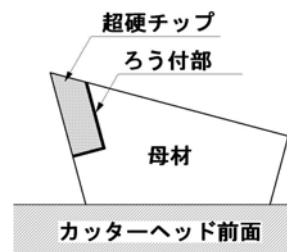


図-1 ビット概要図

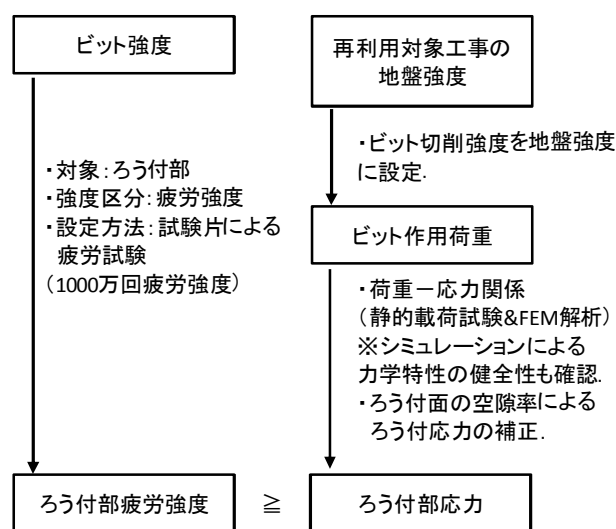


図-2 強度検査方法

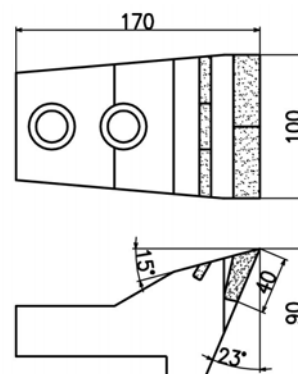


図-4 静的载荷供試体

キーワード カッタービット, 再利用, 健全性, ろう付, 疲労強度

連絡先 〒822-0003 福岡県直方市大字上頓野 4965-1 株式会社丸和技研 技術営業グループ TEL0949-26-6733

4. ビット載荷試験

図-4 に示す使用済みビットの静的荷重載荷試験を行い、最大荷重、破壊形態およびろう付部付近のひずみの測定を行った。その一例を以下に示す。荷重方向は、カッタービットの切削方向（主分力方向）とシールドマシンの掘進方向（背分力方向）とした。最大荷重と破壊形態は、切削方向については、463kN で超硬チップ内に破壊が発生

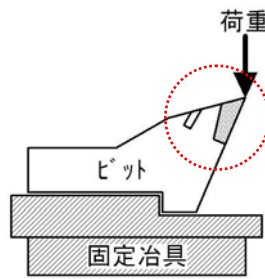


図-5 荷重図
(掘進方向)



図-6 破壊時状況（掘進方向荷重）

し、掘進方向については、497kN で超硬チップ全体が外れて破壊した。掘進方向の荷重図を図-5 に、破壊時の状況写真（図-5 の破線部拡大）を図-6 に示す。また、外れた超硬チップのろう付面を図-7 に示す。黄線で囲った内側がろう付の空隙箇所を示す。空隙部の面積を CAD 上で読み取り、ろう付面積に対する空隙面積を除いた面積の比率（以下、実ろう付面積比と呼ぶ）を求めた結果、掘進方向の実ろう付面積比は 89% となった。

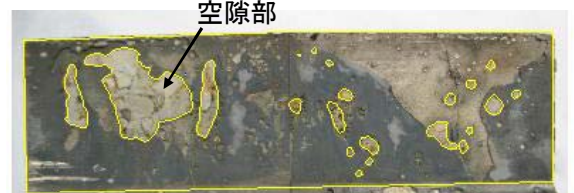


図-7 ろう付面内の空隙箇所（掘進方向）

5. FEM解析と計測値の比較

前記の載荷試験に用いたビットについて、FEM による弾性解析を行い、荷重－ひずみ関係を求めた。解析モデル図を図-8 に、解析条件を

表-1 解析条件

項目	単位	母材	超硬チップ*
		SKC24	E5
弾性係数	N/mm ²	210,000	560,000
ポアソン比	—	0.28	0.22
密度	kg/m ³	7,800	14,400

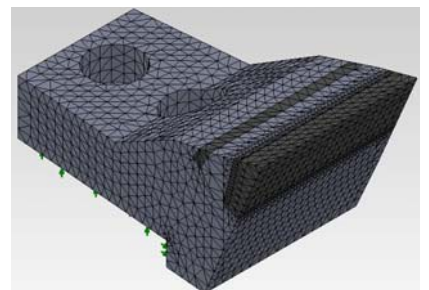


図-8 解析モデル図

表-1 に示す。代表的な計測点における実験値と解析値の荷重－ひずみ関係を図-9 に示す。この図より、解析値は実験値を良好な精度で再現していると考えられる。そこで、以降、載荷試験時の各部の応力状態を FEM 解析値によって考察する。前記載荷試験と同様、荷重方向は掘進方向について考察を行う。破壊荷重である 497kN 時のろう付面の垂直応力値を図-10 に示す。ろう付背面の最大引張応力は 607MPa となり、ろう付引張強度の平均値 539MPa よりも大きくなっている。さらに、ろう付面の空隙がろう付面に一様に分布すると仮定すると、実ろう付面積比が 89% であることから、ろう付背面の最大引張応力換算値は 682MPa ($=607\text{MPa}/0.89$) となる。また、ろう付面の応力が疲労強度の 239MPa に達する時の荷重を求めると、174kN ($=497\text{kN} \times (239\text{MPa}/682\text{MPa})$) となり、前記試験体のビットに作用可能な最大荷重とする。

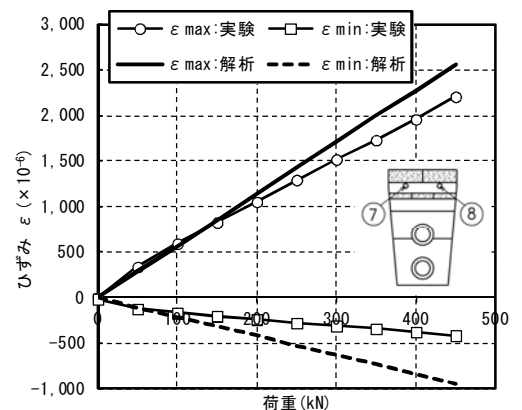


図-9 掘進方向荷重－ひずみ関係
(⑦⑧平均値)

仮に実ろう付面積比が 50% の場合、ビットに作用可能な最大荷重を求めると 98kN ($=174\text{kN} \times (50\%/89\%)$) となる。ここで、再利用対象工事の地盤強度を 5N/mm² (土丹相当) とし、ビット幅 100mm、ビットと地盤の接触幅を 10mm とすると、作用荷重は 5kN ($=5\text{N/mm}^2 \times 100\text{mm} \times 10\text{mm}$) となり、実ろう付面積比が 50% とした場合でも、ビットの持つ安全率 F_s は $F_s = 98\text{kN}/5\text{kN} = 19$ となる。

6. まとめ

回収したビットの事例を用いて強度検査の説明を行ったが、再利用対象工事の地盤が土丹相当としても、使用済みビットの安全率は非常に大きくなっている。これは、ビットにおける超硬チップが、耐摩耗の観点から設計されていることによるものと考えられる。

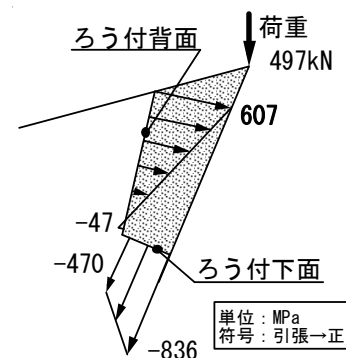


図-10 ろう付部応力分布
(掘進方向)