

トンネル 特集

長距離施工に適した3Dカッタシールドの開発

— 段形状掘削カッタヘッドの開発 —

深井政和

近年、大都市部におけるシールド工事は、用地の確保が困難になってきている。地下構造物の輻輳化、密集化などに伴うシールドの大深度化により中間立坑の構築が難しく、また立坑構築の費用が増加しているために、現在、さまざまな長距離施工技術、ビット交換技術があり、実績も多くなってきた。本報文では、シールドの地山掘削機構から見直し、複雑な機構や精緻な技術を必要としない構造で長距離施工対応シールドの研究を報告する。

キーワード：トンネル、シールド工事、3Dカッタ、段形状掘削、自由面

1. はじめに

近年、大都市部におけるシールド工事は、用地の確保が困難になってきている。また地下構造物の輻輳化、密集化などに伴うシールドの大深度化により、中間立坑の構築が難しくなっている。そこで、立坑の数を減らすためにシールド工事延長が長距離化しており、様々な長距離施工技術、ビット交換技術に対する検討、技術開発が進められ、実績も報告されている。

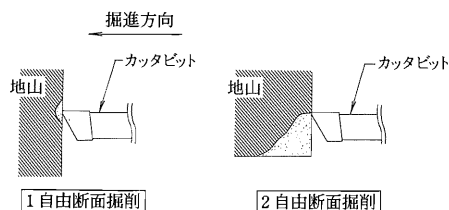
筆者らは、1自由面掘削より2自由面掘削の方がより少ないエネルギーで掘削を行えることに着目しシールド掘削機構に2自由面掘削を適用することで、従来よりも掘削負荷を小さくでき、長距離施工に適したシールドが可能になると考え、カッタビットを段形状に配置した「3Dカッタシールド」を考案した。

本報文では2自由面掘削の効果を確認するために行った実験および考察を報告する。

2. 3Dカッタ（段形状掘削）の概要

図—1に自由面数の違いによる掘削状況を示す。

1自由面掘削ではカッタビットが接する部位を掘り



図—1 自由面の違いによる掘削状況

起こす掘削形態になる、2自由面掘削ではカッタビットが掘削する面からもう一方の自由面に向かってせん断破壊による掘削形態になる。

愛媛大学でのローラビットの掘削実験¹⁾、岩盤の穿孔技術、海外のアンダカット式TBM、発破におけるベンチカット掘削や芯抜き効果などから、1自由面掘削より2自由面掘削の方がより少ないエネルギーで掘削を行えることが明らかである。

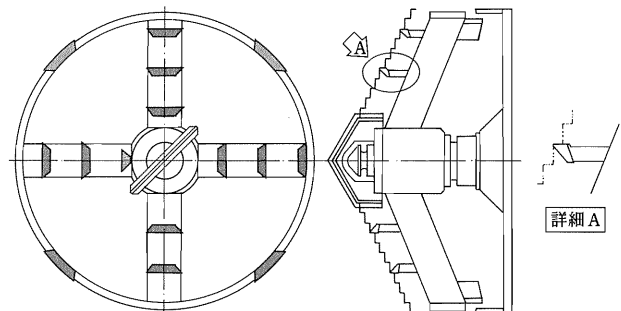
2自由面掘削をシールドで行うためには、

- ① 「最初から中心に他の方法で穴をあけておき、その部分を起点にそれより外周に位置するカッタビットを徐々に後退して取付けたカッタヘッドで掘削を行う（2工程掘削）」、
- ② 「カッタヘッドの一部分を先行掘削させてその部分を起点に他のカッタビットを徐々に後退して取付けたカッタヘッドで掘削を行う」、

が考えられる。

実機適用例では後者を採用した（図—2）。さらに2自由面掘削とならない先行掘削箇所は最も掘削摺動距離の小さいカッタヘッドの中央部とした。

このとき一般的なシールドの掘削面が平面であるこ



図—2 3Dカッタビット配置図（実機適用例）

とに対し、2自由面掘削では掘削面は段形状となり立体的であることから本シールドを「3Dカッタシールド」とした。

3. 実験の概要

2自由面掘削が掘削負荷低減に有利なこと、2自由面掘削に適したビット形状を追求することを実験の目的とする。一般的なシールドの掘削形態は、ティースビットによる1自由面の掘削である。このティースビットでの掘削を2自由面に適用した場合の掘削負荷を求める。またティースビットによる掘削は、かんなで切削するように地山を削り取る掘削となる。2自由面掘削では図-1に示すとおり自由面から自由面に向かってせん断破壊を生じさせながら掘削することで掘削負荷を低減させることが可能なビット形状を追求する。

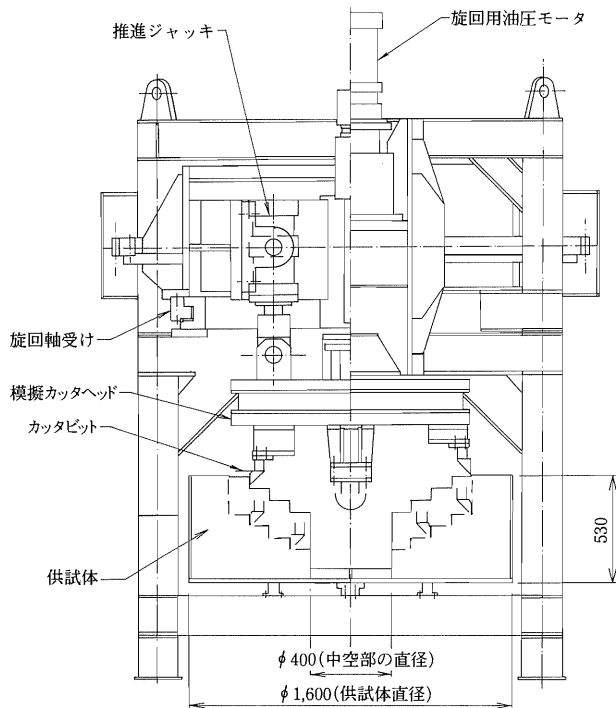


図-3 実験装置

図-3に実験装置を示す。油圧駆動の模擬カッタヘッドに一般的なシールドのティースビット（以下、ティースビット）、2自由面掘削用の円錐形状のビット（以下、円錐ビット）を取付け、それぞれ供試体の掘削を行う。供試体はモルタル、改良土の2種類、ビット形状は7種類で行った。測定対象はカッタヘッド回転モータ油圧、推進ジャッキ油圧、推進ジャッキストローク、時間、掘削片の状態別質量とした。

(1) 実験条件

表-1に実験条件を示す。ここでは実験(a),(b),

(c)を紹介する。

表-1 実験条件および結果

番号	(a)	(b)	(c)
掘削自由面数	1	2	2
ビット種類	ティース	ティース	円錐
ビット数	4	4	4
カッタ回転速度 (min ⁻¹)	2.1	2.1	2.0
推進速度 (mm/min)	17.9	19.6	18.0
貫入量 (mm)	8.5	9.3	9.0
掘削トルク (kN・m)	117	91	42
推力 (kN)	28	27	17

(2) 供試体

供試体は、図-3に示すとおり中空の供試体を作製した。供試体は以下のとおりである。

- ・寸法：外径φ1,600 mm，内径φ400 mm
- ・一軸圧縮強度：3.6 N/mm²（平均値）

(3) ビット

図-4にビット形状を示す。ティースビットは、すくい角10度、逃げ角20度。円錐ビットは先端の角度45度の円錐形状とした。材質は共にS45Cとした。ビット配置は、最外周掘削直径をφ1,200 mmとし、ビット数4個の1パスとした。段形状掘削の配置も同様とし1段の段差を57 mmとした。

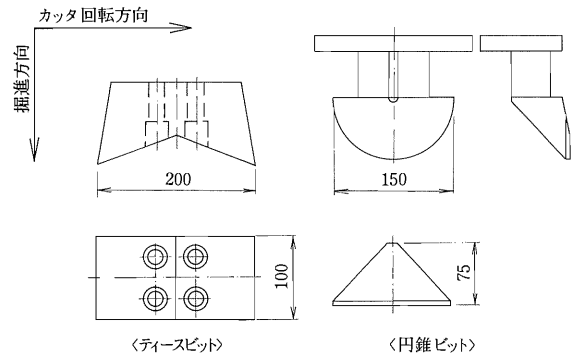


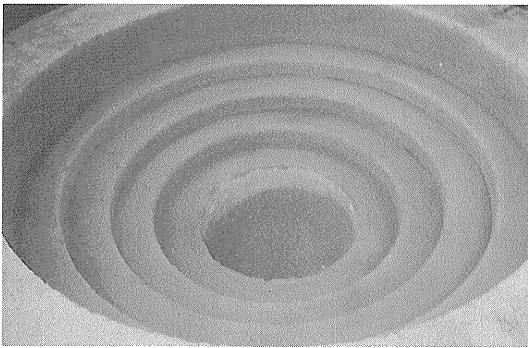
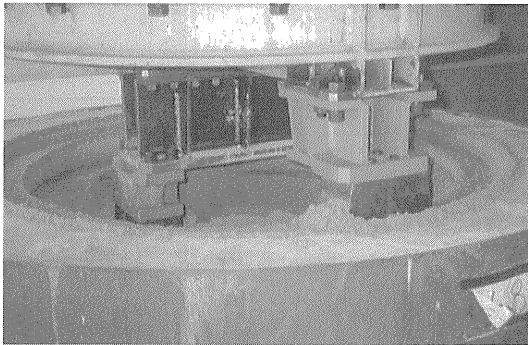
図-4 ビット形状

4. 実験結果

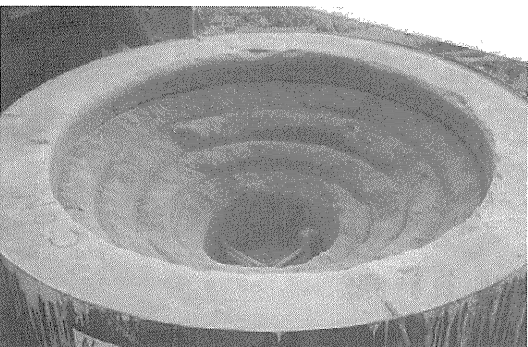
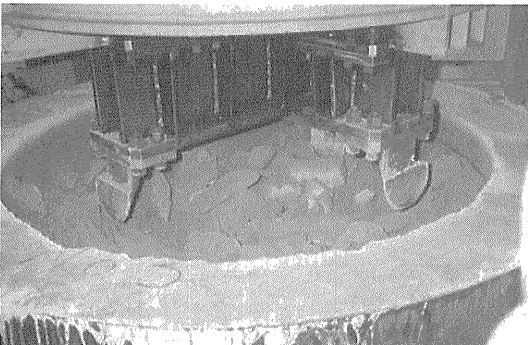
表-1に実験(a),(b),(c)の掘削トルク、推力を示す。本結果は、所定ストローク間に掘削トルク、推力の計測した平均値を記載している。

実験(a),(b)では供試体はほとんど土砂状に切削され、掘削面はビット軌跡ごとに平面となっている(写真-1)。

実験(c)では、掘削片は土砂状と大きく割れた大片状のものになる。その掘削形態は、円錐ビットが供試体へ所定量貫入する間は土砂状で掘削され、所定量貫入後に、大片状にせん断破壊される。再び土砂状で



写真一 実験(b)の掘削状況(上)と掘削面(下)



写真二 実験(c)の掘削後状態(上)と掘削面(下)

の掘削を繰り返す。掘削面の状況は凸凹した階段状部分(所定量貫入前)あるいは傾斜状部分(所定量貫入後のせん断破壊部)から成る(写真一2)。

5. 考 察

(1) 掘削負荷

ティースビットでの掘削の場合、2自由面掘削は1

自由面掘削と比較して、トルクはほぼ同等、推力は約80%となる(実験(a)と(b)の比較)。また、実験(a)と実験(c)の比較では、トルクは約60%、推力は約40%となる(表一)。このことから、2自由面掘削を採用する場合にはトルク、推力が低減されシールド装備の軽減が期待できる。また同じ掘削トルクと比較した場合、掘進速度の向上が期待でき、カットビットの摩耗量が低減され長距離施工に適していると考えられる。

(2) 掘削土

実験(a),(b)ではほとんど土砂状に掘削される。実験(c)では土砂状、大片状各々の割合は質量比で土砂状が40%~50%、大片状(こぶし大程度以上の大きさ)が50%~60%に掘削される。したがって泥水式シールドに適用した場合に掘削される土砂のうち、一般土砂として処分できる大片状の割合が多くなり、産業廃棄物処理量の低減が期待できる。

6. おわりに

3Dカッターシールドはカッターヘッド構造とカッタービットの工夫による上述の掘削トルク、貫入量、推力等への効果を可能とする提案である。複雑な機構や精緻な技術を必要としないことも特徴の一つである。現在まだ実機での検証がなされていないため、早期に実績を得ることが課題である。本研究は株式会社大林組、日立建機株式会社の共同研究である。ご指導、ご協力をしていただいた関係各位に、この場をお借りして深く感謝の意を表します。

JCMIA

《参考文献》

- 1) 室 達郎, 土屋 清, 河野幸一, 若林優輔: ディスクカッタービットによるモルタル端面の定常掘削特性に関する実験的考察, 土木学会論文集, No.687/Ⅲ-56, pp.37-47, 2001.9
- 2) 山下健司, 守屋洋一, 近藤由也, 土屋 清, 深井政和: 2自由面掘削シールドの切削性能実験, 第57回土木学会年次学術講演会, 2002.9

【筆者紹介】

深井 政和(ふかい まさかず)
日立建機株式会社
環境システム事業部
システム開発部
技師

