

12. 負のすくい角を持つビットによる コンクリート切削実験

大豊建設㈱：*小林 隆治，富沢 勉
金井 和彦

1. はじめに

近年、都市部の地下は、道路、鉄道、ガス、上下水道、電力・通信施設などの、インフラストラクチャーが過密化し、シールドトンネルの大深度、長距離化が進んでいる。このような地下空間の有効利用を目的として、偏心多軸（DPLEX）シールドを開発し実用化した。この掘削機構は、従来の単軸シールドとは異なった切削運動を行うため、負のすくい角を持った全方向切削型カッタービット（クロスルーフビット）を採用している。

今般、下水道工事において、地中障害物撤去の必要性から偏心多軸円形（DPLEX）シールド（写真-1）が採用された。この到達部は、シールドで直接切削できる高強度コンクリート（NOMST）壁であり、この壁を切削して到達する。

従来から負のすくい角を持ったカッタービットは切削性能に課題があると言われている、このビットによるコンクリート壁の切削性能、耐摩耗性の実験を行い実機との検証を行った。

2. 偏心多軸シールドの掘削機構

偏心多軸シールドの掘削機構は、図-1のように回転軸中心より偏心させて、カッターフレームを軸支持し、その前面にカッタービットを固定している。

各回転軸を同一方向に回転させると、カッターフレームが平行リンク運動を行うため、カッタービットにより地山を掘削する。この掘削軌跡はカッターとほぼ相似形の断面を掘削できる。

3. カッタービット

実験に使用したビットは、実工事に使用したものと同様に図-2、写真-2に示す。

このクロスルーフビットは、図-2の平面図の通り頂部に超硬チップを十文字に埋め込んだ形状である。超硬チップはE5を使用した。

ビット幅は150mm、ビット先端角160度の負のすくい角を持ったカッタービットである。



写真-1

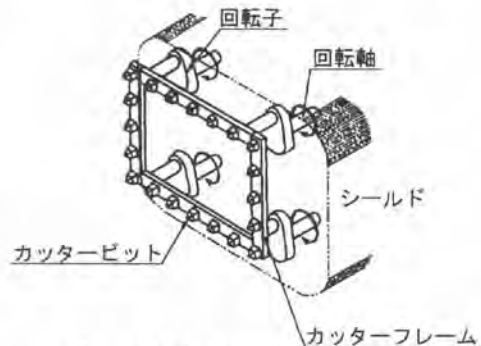


図-1 偏心多軸シールドの掘削機構

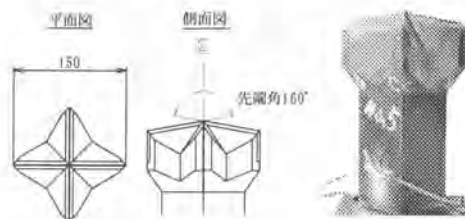


図-2 ビット図

写真-2

切削に対するすくい角の関係は、図-3すくい角図に示す。(a)は正のすくい角を持つティースピットで、すくい面に対して垂直の切削力は外側に向かうため刃先が欠けやすくなるが、(b)の負のすくい角を持つクロスループビットでは、切削力が母材側に入るので、機械的強度が増し刃先が欠けにくくなる。

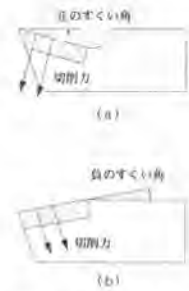


図-3すくい角図

クロスループビットの切削軌跡は、図-4に示す。いま(i)の0度から右方向に切削すると、(ii)45度、(iii)90度(iv)135度(v)180度の切削軌跡である。

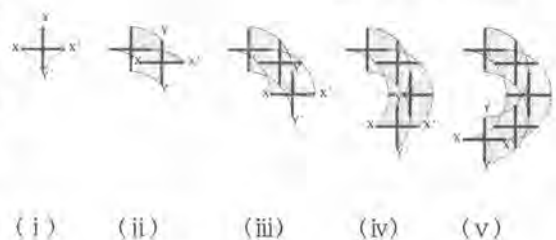


図-4切削軌跡図

このように偏心多軸シールドのカッタービット切削軌跡はビットの回転角度に関係なく全ての位置において、ビット頂部に十字に埋め込んだ超硬チップのX-X'軸、Y-Y'軸は、水平、垂直を維持したまま切削する。

4. コンクリート供試体

本実験に使用したコンクリート供試体は、

設計基準強度 9 N/mm^2 (CASE 1)、 24 N/mm^2 (CASE 2)、 40 N/mm^2 (CASE 3)、 80 N/mm^2 (CASE 4)の、各種供試体を製作して使用した。表-1にコンクリート供試体強度結果一覧を示す。

表-1 供試体強度結果一覧

供試体種類	設計基準強度 N/mm^2	圧縮強度 N/mm^2	細骨材	粗骨材	水セメント比 W/C %	セメント量 kg/m^3
Case 1	9	11.9	陸砂	天然軽量	65	269
Case 2	24	28.7	陸砂	普通碎石	52	313
Case 3	40	44.1	陸砂	石灰碎石	40	378
Case 4	80	89.2	陸砂	石灰碎石	25	640

5. 実験装置

実験装置は図-5に示す。反力架台上に、実験機をセットし、後方に推進ジャッキ、前方には供試体をそれぞれ固定して、実験機前面にクロスループビットをボルトで固定した。この実験機をジャッキで押し、カッターを回転させて供試体の切削をした。実験機の仕様は、カッタートルク $1.336\text{ tf}\cdot\text{m}$ 、ジャッキ推力 30 tf 、推進速度 $1\sim 40\text{ mm/min}$ 、回転数 $4\sim 8\text{ rpm}$ 、カッター支持軸は4軸である。

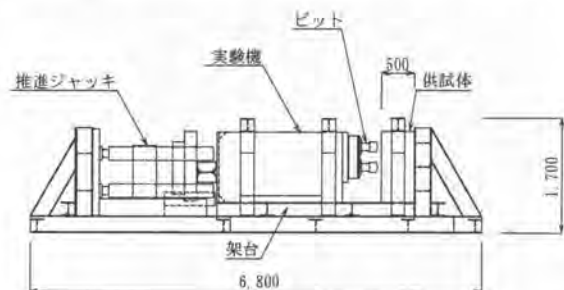


図-5実験装置

6. 実験概要

本実験は、コンクリート供試体としてCase 1~4を使用した。供試体の幅は 50 cm で、片面 20 cm を表裏両面掘削して1回の実験とした。カッターの回転数は $4\sim 8\text{ rpm}$ 、推進速度を $2\sim 40\text{ mm/min}$ とする事により、カッタービットの切込量を変化させ、その時のカッタートルク・推力および

推進速度を測定した。またビットの摩耗量を40 cm掘削ごとに計測し、摩耗係数を算出した。

カッタービットは1本、2本、および4本で、複数のビット間隔は30 cmとした。

図-6に軌跡図を示す。(a)はビット1本の軌跡図、(b)はビット2本による軌跡図、(c)はビット4本による軌跡図であり、複数ビットにおいては、隣り合ったビットがそれぞれラップするように配置した。

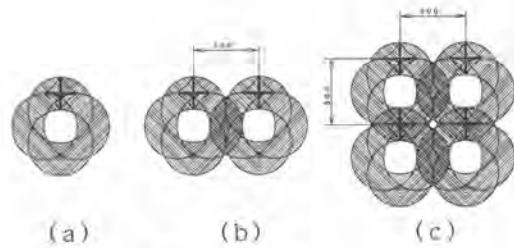


図-6 軌跡図

7. 切削状況

4本ビットにおける切削状況を写真-3に示す。使用したコンクリート供試体はCase 4で、推進速度を2 mm/min、カッター回転数6 rpmである。また実際の作業状態に近づけるため供試体には水を掛けて実験を行った。

写真-4、5、6に切りくずと推進速度の関係を示す。コンクリート供試体はCase 4、カッター回転数6 rpmで掘削した。それぞれの推進速度は4~12 mm/minである。

これより推進速度が小さいと、切りくずが小さく砕いたような切削となり、推進速度を大きくすると、厚みと幅が大きく裂断形となるのがわかる。



写真-3 切削状況



写真-4

写真-5

写真-6

8. 実験結果

コンクリート供試体Case 4 (NOMST壁想定)、使用ビット1本、推進速度4 mm/min に制御して実験を行った。

1) 切削性能

図-7はカッタートルクグラフである。この時のカッタートルクは0.4 tf・mで、単位幅切削力は1.8 tf/mである。

トルク値の変動は、ビットの側面抵抗、切削ずりによる排土抵抗、および供試体とビット面での接触抵抗と考えられる。

図-8はジャッキ推力グラフである。この時のジャッキ推力は2.2 tfで、単位幅推力は1.5 tf/mである。

複ビットにおける切削性能は、ビットの本数には比例せず、隣り合ったビットのラップによる影響で低減効果が現れている。

以上の実験結果から実工事に採用されるシールドのNOMST壁切削性能を検証する。

シールド外径φ3.48m、カッター回転半径0.25m、推進速度1mm/min、クロスループビット54本、の条件で算出すると、必要トルク1.5tf・m、必要推力7.3tfである。

算出値に対して装備トルク2.7tf・m、

装備推力1200tfであり十分な切削性能を確認できた。

各種供試体Case1～4の切削性能一覧を表-2に示す。

2) 耐摩耗性能

ビット摩耗量は、Case4については初期摩耗量が大きく、摺動距離が1700mまでは摩耗係数が0.35mm/km、その後3000mでは0.1

mm/kmであった。クロスループビットによる高強度コンクリート壁切削の摩耗係数は、平均で0.24mm/kmであり、一般的なティースビットの摩耗係数(0.1～0.3mm/km)と同等であることが確認できた。

また、普通砕石コンクリート切削時の摩耗係数は、0.46mm/kmであった。

9. おわりに

負のすくい角を持つカッタービットでは切削性能に課題があると言われていたが、本実験によって切削抵抗が非常に小さく、長距離・高速掘削のできる切削性能と耐摩耗性能の確認ができた。今後は中硬岩地山の掘削を課題として研究開発を行う所存である。

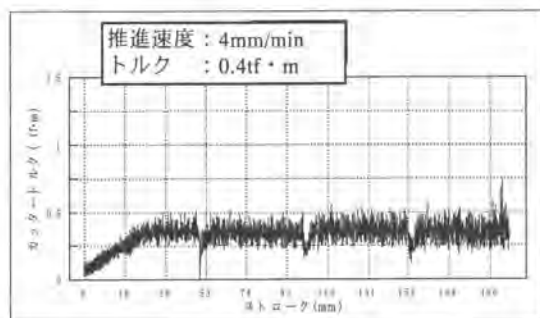


図-7カッタートルクグラフ

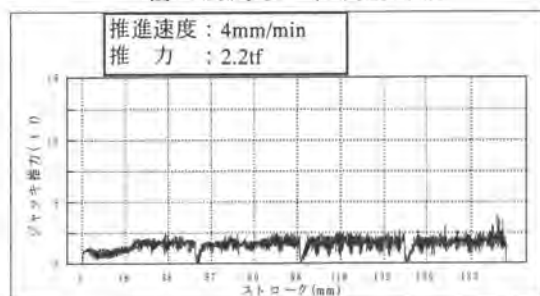


図-8ジャッキ推力グラフ

表-2 平均切削性能結果一覧

供試体種類	ビット本数	カッタートルク (tf・m)	ジャッキ推力 (tf)	推進速度 (mm/min)	1本当切削力 (tf/本)	1本当推力 (tf/本)
Case1	1	0.3	0.9	2.1	2.1	0.9
Case2	1	0.2	0.3	8.0	1.3	0.3
Case3	1	0.2	0.5	4.0	1.7	0.5
Case4	1	0.4	2.2	4.8	2.6	2.2
Case4	2	0.5	3.5	2.8	1.8	1.7
Case4	4	0.6	5.3	2.1	1.0	1.3