

二重回転カッター構造に関する シールド掘進実験の報告

野本 康介¹・安光 立也²・森 芳樹³・篠原 慶二⁴・小泉 淳⁵

¹正会員 前田建設工業株式会社 土木事業本部 土木技術部 (〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-2)
E-mail:nomoto.k@jcity.maeda.co.jp

²正会員 前田建設工業株式会社 土木事業本部 土木部 (〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-2) E-mail:yasumitsu.t@jcity.maeda.co.jp

³正会員 前田建設工業株式会社 土木事業本部 土木設計部 (〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-2)
E-mail:mori.y@jcity.maeda.co.jp

⁴非会員 前田建設工業株式会社 土木事業本部 土木部 機械グループ (〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-2) E-mail:shinohara.k@jcity.maeda.co.jp

⁵正会員 早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)
E-mail:koizumi@waseda.jp

大断面シールドトンネルの高速施工による工期短縮を実現する方法として、掘進速度を向上するための二重回転カッター構造に関する実験を行った。外カッターが外径φ800mm、内外のカッター比が1:2, 1:3の実験機を製造し、大深度を想定した模擬地盤を掘削した。内カッターを外カッターに対して正転, 反転, また回転速度を1倍速, 2倍速, 3倍速に変化させた。その結果, 内カッターを外カッターより速く回転させることにより攪拌効果が生じ, 掘進時の負荷であるトルクおよび推力値の低減が確認できた。掘進速度が大きいほどこの効果は顕著で, 本実験では最大で, 推力が35%低減, トルクが20%低減した。なお, 内カッターを前出ししたことによる芯抜き効果は, 今回の模擬地盤では顕著ではなかった。

Key Words : shield tunneling machine, center cutter, large diameter, high speed tunnel construction

1. はじめに

近年のシールド工事では、道路などで大断面化が進んでおり、また地上の制約等から大深度や長距離の傾向がある。それにともない高速施工による工期短縮が重要視されている。高速施工にはいくつかの方法があるが、その一つとして掘進速度を上げる方法がある。また、大きな工程遅延につながる掘削土砂の固着等によるトラブルを防止することが重要である。

とくに大断面シールドでは、マシン外径が大きくなるほどカッター外周側の周速度に対して内周側は極端に小さな周速度となり、カッター内周側の掘削効率、攪拌効率が掘進速度に影響する。したがってカッター内周側での掘削性能と攪拌性能を上げることが、シールド機の掘進速度を向上させ、掘進トラブルを防止するための課題となっている。そのためには、カッターを内外の二重構造として内カッターを高速で回転させる方法が有効である。海外ではこのような二重回転カッター構造のシール

ド機の実例がすでにあるが、国内では机上の検討はなされているものの、その掘削性能や攪拌性能に関する実験による検討はなされていない。

筆者らは、2012年から二重回転カッター構造を有するシールド機の模型を作製し、大深度の地盤を想定した掘進実験を行ってきた¹⁾。よって、その結果をここに報告する。

2. 実験装置

(1) 実験装置¹⁾

本実験に用いた二重回転カッターの実験機(土圧式)を図-1および図-2に示す。実験機は掘削装置と押し出し装置で構成されている。掘削装置は外径がφ800mmである。外カッターは中間支持方式、内カッターはセンター



図-1 二重回転カッター構造の実験機
カッター正面 (内外比 1:2)

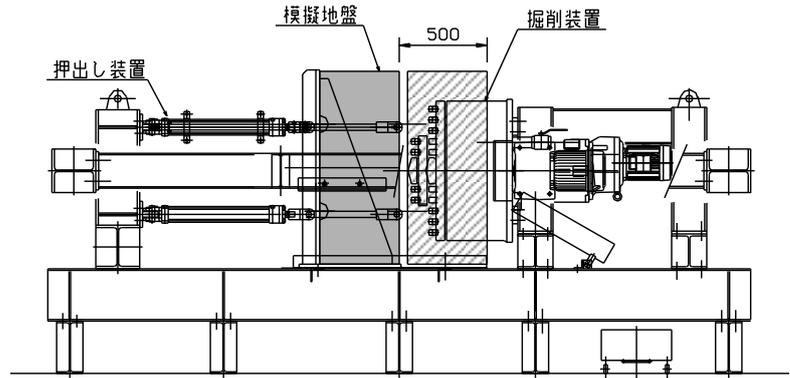


図-2 二重回転カッター構造の実験機 全体



図-3 模擬地盤 (流動化処理土) 左 : 作製状況, 右 : 完成



図-4 針貫入試験による強度確認

シャフト方式とし、別個のモーターで独自に回転を制御できる。掘削装置には推進機構は付いておらず、押し出し装置で模擬地盤を押し出すことで相対的に掘進と同じ状態を作り出す。押し出し装置は圧力を同調した4本のジャッキで模擬地盤の四隅を押している。ジャッキの推進速度は油圧ポンプの回転速度により制御している。ジャッキのストロークは500mmである。

計測する項目は、掘進時の負荷の代表値として推力とトルクとした。推力は押し出し装置のジャッキ圧から算定されるものである。トルクは内カッターと外カッターのモーター負荷を各々計測した。約0.5秒ごとにデータロガーに記録した。

一般的にシールド機の推力には掘削に要する力と、チャンバー内に充満した掘削土砂で地山を押さえる切羽圧が含まれている。また、トルクには掘削に要するトルクと、チャンバー内の掘削土砂を攪拌するためのトルクが含まれている。実験機のチャンバーの下部には蓋がついている。これを開いた状態で実験を行えば、チャンバーの中に掘削土砂が溜まらず、掘削のみに要する推力およびトルクを計測できる。一方、蓋を閉じてチャンバー内を掘削土砂で充満すれば実際の土圧式シールド機に近い負荷の状況を確認することができる。

チャンバー内を掘削土砂で充満した場合の排土は、掘削装置の後方の排土口からチャンバー内の圧力により自然に押し出す方法とした。実際の土圧式シールド機のよ

うな、スクリーコンベアーによる強制的な排土は行わなかった。

(2) 模擬地盤

模擬地盤は大深度の固結した粘性土地盤を想定した。関東の地下で見られる北多摩層等のデータ等を参考にして、一軸圧縮強度は $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 程度と設定した。この値は土とモルタルの間であることから、材料には流動化処理土を選んだ。図-3に作製状況と完成した模擬地盤を示す。大きさは、 $1000\times 1000\times$ 厚さ 400mm とした。

流動化処理土の強度は、打設時に作製したテストピースの一軸圧縮強度試験により確認した。28日ではほぼ

$1.0\text{N}/\text{mm}^2$ であったが、実験をその日に合わせて行うことができなかったため、テストピースをあらかじめ1セット多く作製し、実験期間中にも一軸圧縮試験を行った。流動化処理土の特徴として強度の発現が長期にわたることから、28日を超えても強度が上昇した。たとえば35日目で実験を行った場合の一軸圧縮試験の結果は $1.49\text{N}/\text{mm}^2$ であり、70日目で行った場合は $2.07\text{N}/\text{mm}^2$ であった。毎回厳密に合わせることは困難であった。本報告では原則としてデータを比較をする場合には同時期に実験を行ったもの同士を比べることとした。模擬地盤がテストピースと大きな違いがないことを確かめるため、図-4に示すように、岩盤等で使用される針貫入試験を模擬地盤に対して行った。この方法は細かい値まではわからないが、

何度か繰り返して行った結果、ほぼ $2\text{N}/\text{mm}^2$ となった。よってテストピースによる一軸圧縮試験で得られた結果と大きく乖離していないことが確認できた。

実験を行った際の流動化処理土は、表面は乾いた状態だったものの内部には未反応水を含んでおり、掘削した後の内面はしっとりした手触りだった。これは鋼製の型枠を使用したことで、表面からしか水分が逃げられなくなったためである。型枠を鋼製にすることは流動化処理土を打設するため、水密性と耐荷重性から必要だった。その結果、実験を行った際に未反応水が掘削土砂と混じって塑性流動化され、チャンバー内に加泥材をとくに注入しなくても円滑な排土を行うことができた。なお、表面と内部で針貫入試験の結果に明確な違いは見られないことを確認した。

3. 実験ケースと実験状況

代表的な実験ケースを表-1に示す。

外カッターの回転方法は全ケースとも共通で、0.8回/分の正転とした。内カッターの回転方法は外カッターに対して変化させた。回転方向を正転（外カッターと同方

向）、反転（逆方向）させた場合、および回転速度を外カッターに対して1倍速、2倍速、3倍速にした場合の実験を行った。内カッターは外カッターとの直径比で内外比=1:2と1:3を用意した。内カッターの外径は、外カッターの $\phi 800\text{mm}$ に対して1:2の場合は $1/2$ の $\phi 400\text{mm}$ 、1:3は $1/3$ の $\phi 267\text{mm}$ である。内外カッターを取り外して入れ替えるため、掘進の途中で変えられる構造にはなっていない。

ビットは加工時に精度を確保できることを重視して、図-5に示す大きさで作製した。実験機の外径に合わせてスケールダウンしたビットは用いることはなかった。形状はティースビットを模した。このビットに対して適度な切り込み量になるように掘進速度を設定した。その結果、掘進速度は $5\text{ mm}/\text{分}$ を基本とした。切り込み量は、 $5\text{ mm}/\text{分} \div 0.8\text{ 回}/\text{分} = 6.25\text{ mm}/\text{回}$ である。しかし結果的に、データの特徴を見るためには $15\text{ mm}/\text{分}$ の方が顕著だったことから、そちらのケースを多用した。

実験状況を図-6および図-7に示す。表面近辺を掘進中は模擬地盤の表面が薄板状に剥落する様子が観察されたことから、表層でのデータは避け、 100mm 程度掘り込んだところからデータを採取した。

表-1 代表的な実験ケース

着目点	Case No.	内外比	内カッターの回転方法		チャンパー内の状態	掘進速度	内カッター前出し
			正転, 反転	回転速度			
(1)掘削のみの負荷	A-1	1:2	正転	1倍速	空	15 mm/分	0mm
	A-2			2倍速			
	A-3			3倍速			
	A-4		反転	1倍速			
	A-5			2倍速			
	A-6			3倍速			
B-1~6	1:3	Aと同様の6ケース		空	15 mm/分	0mm	
(2)掘削による負荷とチャンパー内の掘削土砂による負荷	C-1~6	1:2	Aと同様の6ケース		空	5 mm/分	0mm
	D-1~6	1:2	Aと同様の6ケース		充満	5 mm/分	0mm
	E-1~6	1:2	Aと同様の6ケース		充満	15 mm/分	0mm
(3)芯抜き効果	F-1~6*	1:2	Aと同様の6ケース		空	15 mm/分	0mm
	G-1~6	1:2	Aと同様の6ケース		空	15 mm/分	50mm
	H-1~6	1:2	Aと同様の6ケース		空	15 mm/分	100mm

* : A1~6と同じ

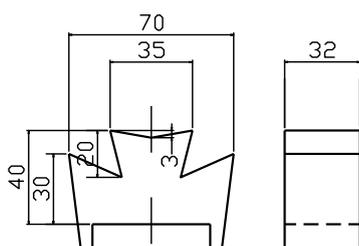


図-5 ビット形状



図-6 模擬地盤の設置



図-7 少し削り込んだところ

4. 実験結果

計測された推力とトルクのデータの平均値をとり、各々のケースでの代表値とした。

内カッターが外カッターに対して正転，1倍速の場合は，従来のシールド機と同様に単円での回転方法となる。ここでは，そのパターンを基準として各ケースとの比較を行った。

(1) 掘削のみの負荷¹⁾

チャンパー下部の蓋を開け，掘削土砂がチャンパー内に溜まらないようにして掘削のみの推力やトルクを測定した (Case No. A, B)。

その結果，以下のことがわかった。

- ①チャンパーを空にしたケースでは，内カッターのトルクは，速く回すほど小さく，反転の方が正転の場合よりも小さくなった
- ②外カッターのトルクは，内カッターの回転方法によらずほぼ一定だった
- ③内外の合計トルクは，内カッターの回転方法によらずほぼ一定だった
- ④推力は，内カッターを速く回すほど小さくなった

a) 内カッターのトルク

回転速度が大きくなると，反比例してカッターの切り込み量が小さくなる。切り込み量 mm/回は，掘進速度 mm/分 ÷ 回転速度 回/分となるからである。掘進速度は一定のため，回転速度を速くすることにより，切り込み量とともに掘削に要するトルクが小さくなったと考えられる。

図-8に内カッターの回転方向（正転，反転），倍速（1倍速，2倍速，3倍速）による内カッターのトルクの比較を示す。内外比1:2よりも内外比1:3が全体的に小さいのは，カッターの面板が小さいこと，取り付けしているビットの本数が少ないことなどの理由による。

表-2に正転と反転の各1倍速の値に対する比率を示す。内外比1:2では2倍速で70%，3倍速で45%程度に低減した。内外比1:3では2倍速で70%，3倍速で60%程度に低減した。単純に切り込み量が2倍速で1/2（50%），3倍速で1/3（33%）に減るのは合致しなかったが，回転数が速いほど負荷が減る傾向は顕著だった。

正転と反転については，内カッターを反転させると，内カッターと外カッターの間の相対速度が大きくなるため，地山が崩れやすくなり掘削負荷が低減したと考えられる。表-3に正転に対する反転のトルクの比を示す。内外比1:2では80%程度，内外比1:3では95%程度に低減した。内カッターと外カッターの間の周長が長い内外比1:2のケースでより顕著に低減効果が見られたことは，相対速度を原因と考える前述の理由と定性的に一致するもので

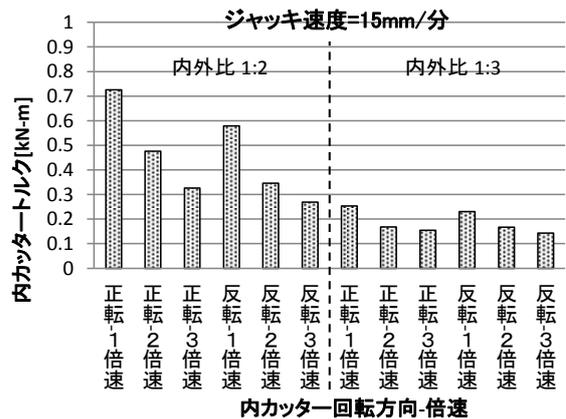


図-8 内カッタートルク (チャンパー空)

表-2 内カッタートルクの1倍速に対する比率

比の取り方	内外比	
	1:2	1:3
正転1倍速/正転1倍速	100%	100%
正転2倍速/ "	66%	66%
正転3倍速/ "	45%	61%
反転1倍速/反転1倍速	100%	100%
反転2倍速/ "	60%	72%
反転3倍速/ "	46%	62%

表-3 内カッタートルクの反転/正転の比率

比の取り方	内外比	
	1:2	1:3
反転1倍速/正転1倍速	80%	91%
反転2倍速/正転2倍速	73%	99%
反転3倍速/正転3倍速	83%	92%

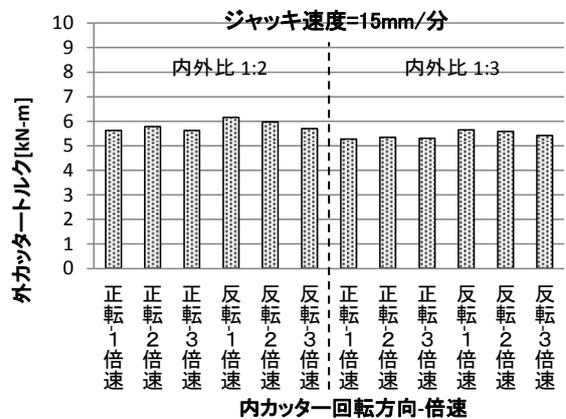


図-9 外カッタートルク (チャンパー空)

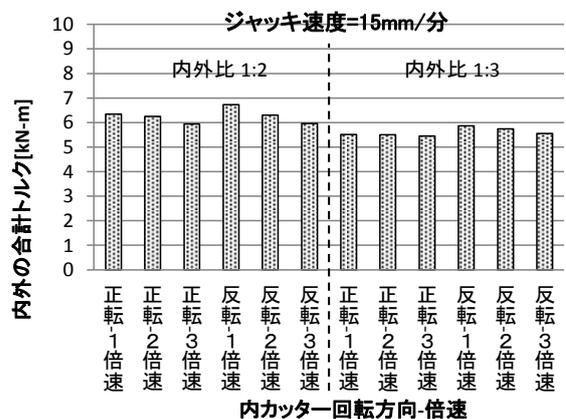


図-10 内外合計トルク (チャンパー空)

ある。

b) 外カッターのトルク

外カッターは全ケースで一定の回転方法をしたため、**図-9**に示すようにトルクはほぼ一定となった。

c) 内外の合計トルク

外カッターのトルクが内カッターのトルクよりもはるかに大きかったため、**図-10**に示すように全体のトルクに合算した際に内カッターの回転方法による違いは埋没した。若干の違いが認められる程度である。内カッターのトルクを示す**図-8**の縦軸が最大1kN-mであるのに対して、外カッターのトルクを示す**図-9**の縦軸は最大で10kN-mであった。すなわち、外カッターは内カッターの約10倍のトルクだった。トルクは（ビットの掘削抵抗×ビットの取り付け半径）をビットの総数について合計したものである。**図-11**に示すように、外カッターはビットの取り付け半径が長く、ビットの抵抗となる模擬地盤の量も多く、ビットの本数も多いため、このような違いが生じたものと考えられる。

d) 推力

回転速度が速いほど、カッターの切り込み量は小さくなる。このことから、掘進に要する推力が小さくなったと考えられる。

図-12、**表-4**に推力の比較を示す。内外比1:2では2倍速で90%程度、3倍速で85%程度に低減した。内外比1:3では2倍速で90%程度、3倍速でも90%程度に低減した。

正転と反転については、反転の方が正転よりも数%のオーダーで大きかったが、顕著な差とは言い難かった。

内外比を変えた場合の推力を比較すると、1:2よりも1:3の方が全体的に値が小さめになった。内カッターが正転1倍速の場合は単円と同じ回転であり、内外比によらず同じ結果となるはずである。しかしながらそのケースを比較すると内外比1:2よりも1:3が小さくなっている。よって、内外比を変えたことによる違いではなく、構造的な違い（たとえばビットの配置など）によるものではないかと推測される。1:2と1:3の推力を単純に比較することは、このデータからは困難である。

e) 掘進の高速化

内カッターの回転方向、回転速度を変えることにより推力が低減されたことから、同じ負荷であればどれだけ掘進が高速化できるかを試算し、定量的に評価した。すなわち、同じ能力のジャッキであればどれだけ高速化できるかという評価になる。なお、トルクは顕著な低減効果がなかったことからここでは対象外とした。

図-13に、内外比1:2のケースで掘進速度を横軸に、推力を縦軸にとったグラフを示す。このときの実験は掘進速度を5, 6, 7, 8, 9, 10, 15 mm/分と細かく変えて行った。その結果、推力は掘進速度に対してほぼ直線的に

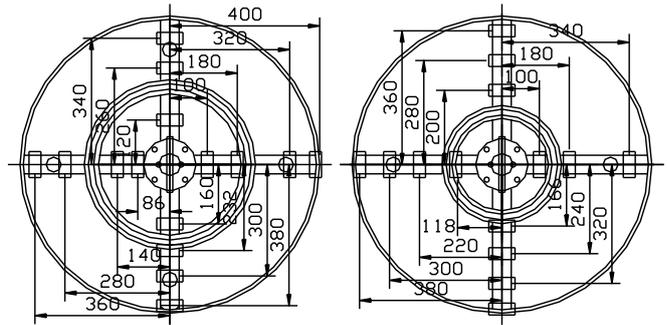


図-11 ビット配置 (左) 内外比1:2 (内6本, 外9本) (右) 内外比1:3 (内2本, 外12本)

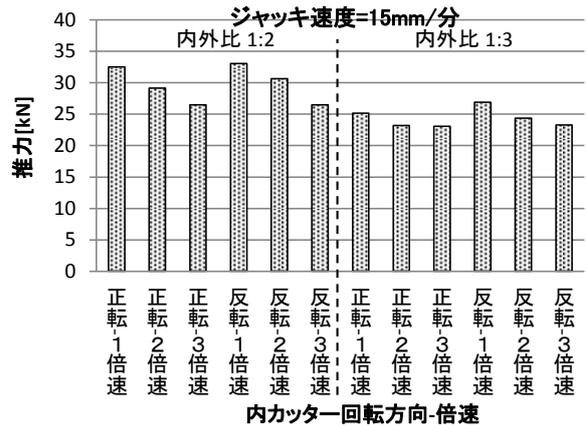


図-12 推力 (チャンバー空)

表-4 推力の1倍速に対する比率

比の取り方	内外比	
	1:2	1:3
正転1倍速/正転1倍速	100%	100%
正転2倍速/ "	87%	92%
正転3倍速/ "	82%	92%
反転1倍速/反転1倍速	100%	100%
反転2倍速/ "	96%	91%
反転3倍速/ "	86%	86%

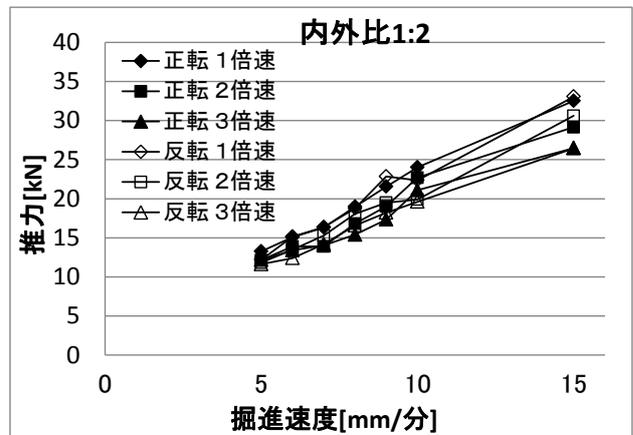


図-13 掘進速度と推力の関係 (チャンバー空)

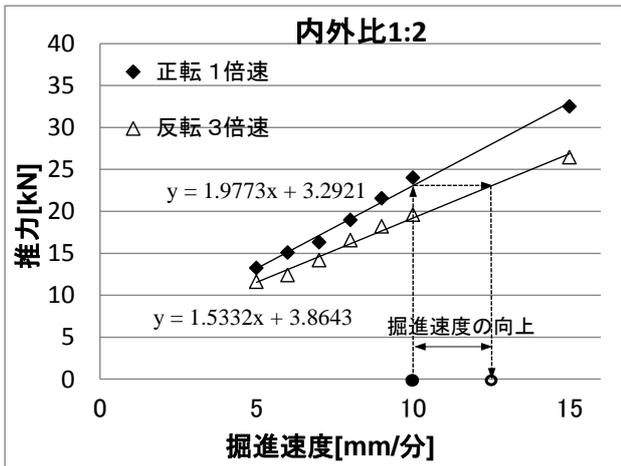


図-14 掘進速度と推力の関係 直線近似

表-5 回転方法による掘進速度の向上率

正転1倍速	推力	反転3倍速	上昇率
5 mm/分	13.2 kN	6.1 mm/分	+22%
10 mm/分	23.1 kN	12.5 mm/分	+25%
15 mm/分	33.0 kN	19.0 mm/分	+26%

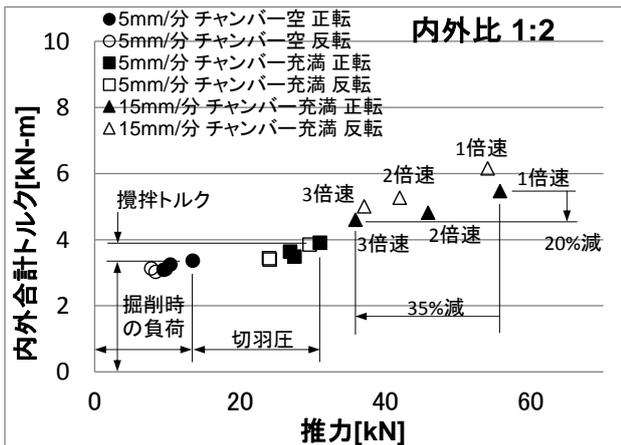


図-15 掘進時の負荷 (チャンバー-充滿, 空)

上昇する関係が見られた。

推力が最も大きかった回転方法が正転1倍速（従来の単円での回転），最も小さかったのが反転3倍速であったことから，両者を比較の対象とした。正転1倍速と反転3倍速の近似直線を図-14に表す。正転1倍速で掘進速度が5 mm/分，10 mm/分，15 mm/分の場合に，同じ負荷で反転3倍速ではどのくらいスピードアップできるかを，この直線の式にもとづき試算した。同図中に10 mm/分のときの求め方を例示した。

結果を表-5に示す。多少ばらつきはあるものの，全体的に20%以上スピードアップできるものと考えられる。

(2) 掘削による負荷とチャンバー内の掘削土砂による負荷¹⁾

チャンバー下部の蓋を閉め，掘削土砂をチャンバー内に溜めて実験を行った（Case No. D, E）。チャンバー内が充滿し，排土口から一定量で排土が行われる安定した状態になったことを確認してから推力やトルクを測定した。

その結果，以下のことがわかった。

⑤チャンバーを充滿したケースでは，トルクも推力も，内カッターを速く回すことで低減した。この傾向は，とくに掘進速度が大きいほど顕著だった。

図-15に内外比1:2で掘進速度5 mm/分と15 mm/分の結果を示す。また，あわせて掘進速度5 mm/分でチャンバーが空の場合（Case No.C）も併記した。チャンバーが空のとき（図中の●○）と比べて充滿している場合（図中の■□）には，推力は切羽圧の分上昇し，トルクは攪拌に要する分上がる。よって右上にシフトした打点の位置になった。

チャンバーが空の場合は内カッターの回転方法ではトルクが大きくは変わらなかったことから打点が横長の群になった（図中の●○）。チャンバーが充滿した場合は打点が右上がりの群になった（図中の■□）。チャンバーが充滿された状態で内カッターを速く回すと，チャンバー内の掘削土砂が攪拌され，塑性流動性が向上する。これによりカッターの回転に対する抵抗（トルク）が低減したものと推測される。推力は(1)のd)で掘削による負荷の低減効果が確認されたのに加え，攪拌されたことで掘削土砂が柔軟になって排土口から押し出されやすくなることから，より低減が表れたと考えられる。

15 mm/分の場合（図中の▲△）は，1倍速>2倍速>3倍速の順番で負荷が低減した。掘進速度が大きいこととともない地山からチャンバー内へ取り込まれる掘削土砂の量が多かったため，回転速度が大きいほど攪拌され，負荷低減の効果があつたものと考えられる。一方，5 mm/分の場合（図中の■□）は，速く回すほど負荷が低減したが，2倍速と3倍速の違いは顕著ではなかった。取り込まれる掘削土砂が少なく，2倍速ですでにチャンバー内が十分に攪拌されていた可能性が考えられる。すなわち，チャンバー内が十分に塑性流動化されるとトルクの低減も頭打ちになり，それ以上速く回しても効果は上がらなくなる，という可能性がある。

また15 mm/分では，内カッターが正転の場合よりも反転の方がトルクが増加した。推力は同程度であった。その原因として，反転の場合は内外のカッターの相対速度が大きくなりチャンバー内の掘削土砂に大きなせん断力

が作用し、トルクの増加につながったものと推測される。5 mm/分では、正転も反転も同程度の負荷となった。上述のようにチャンバー内の掘削土砂が十分に塑性流動化された状態になっていたと考えられることから、せん断力の影響が小さかったと推測される。

低減効果の定量評価の一例として、正転1倍速（従来の単円での回転）に対する低減率を算定した。15 mm/分では、正転3倍速の場合に最大で推力が35%低減、トルクが20%低減した。またこれらの低減が生じた場合に、実験機が要する電力を試算すると、全体で32%の消費電力の低減効果があることがわかった。

なお、内外比1:3の実験も行ったが、特異な結果となった。図-16に結果を示す。すなわち、内カッターの正転と反転で打点群が分離する特徴が表れた。反転させた場合は推力とトルクが両方上がった。一方、正転では推力が反転の場合よりも上がったものの、トルクはチャンバーが空の場合と同程度だった。これは、攪拌に要するトルクがほぼゼロであることを意味しており、内カッターが小さいことを考慮しても理由が考えづらい結果となった。

実験機は内外比1:2を基本として造ったものであるが、1:3もカッターの換装で簡単に実現できると考えていた。しかしながら、実際には攪拌棒の本数や位置等のチャンバー内の構造の違いが生じた。このことから、チャンバー内の掘削土砂の流れを阻害する形になり、このような不規則な現象が起きた可能性が推測される。これを解明するためには、たとえば数値解析によるシミュレーションなどでチャンバー内の掘削土砂の流れを再現する必要がある。今後の課題としたい。

(3) 芯抜き効果

山岳トンネルでは、導坑を先行掘削することで掘削の負荷を低減する、いわゆる芯抜き効果が知られている。芯抜きの原理は、地山の自由面を多くすることで、掘削する際に亀裂を生じやすくさせることである。二重回転カッター構造では、内カッターを前に出すことで芯抜き効果を得られる可能性が考えられた。これを明らかにするために、内カッターを前に突出させた構造とし、実験を行った。結果を前出し0mmの平面のケースと比較した。具体的には図-17～18に示すように、内カッターのセンターシャフトを延伸し、外カッターに対して50mm、100mm前出しした。

芯抜き効果は掘削における負荷低減として知られていることから、(1)と同様の実験方法を採用し、掘削のみの負荷を計測した。その結果、以下のことがわかった。

⑥大深度を模擬した固結地盤に対しては、芯抜き効果は顕著ではなかった

図-19は内カッターのトルクの比較である。全体的に0mmのものよりも前出しを50mm、100mmしたケースの方がトルクが増加した。0mmでは面的な掘削であったのに対して、三次元的な掘削になったことから、地山を崩す量が増えたものとする。ただし、50mmと100mmの大小関係はまちまちであり、0mm<50mm<100mmの順番になるような傾向は見られなかった。

図-20は外カッターのトルクの比較である。0mmのときよりもトルクが若干減る傾向があった。内カッターの

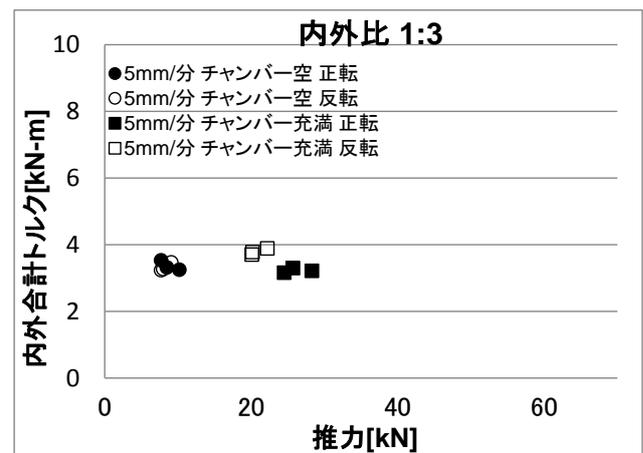


図-16 掘進時の負荷（チャンバー充滿）内外比 1:3

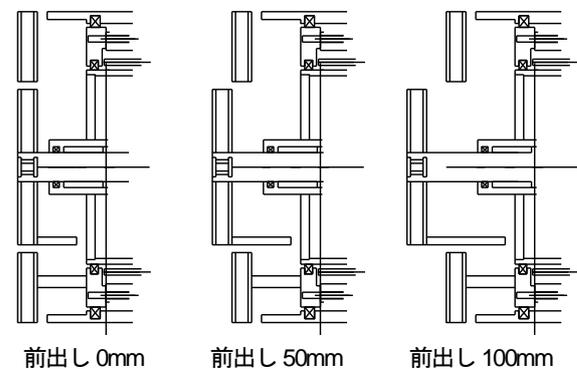


図-17 内カッター前出し (0mm/50mm/100mm)



図-18 内カッター前出し 100mm

トルクが増えた分、外カッターの負担が低減したものと考えられる。50mmと100mmの差は顕著ではなかった。

図-21は内外の合計トルクの比較である。内カッターのトルクは外カッターのトルクに対して1オーダー小さかったため、合算した際に埋没した。

図-22は推力の比較である。各ケースで1倍速>2倍速>3倍速の順番になる傾向は見られた。0mmに対して前出しした場合は、大きい結果と小さい結果が入り混じっており、傾向として明確に把握できるものはなかった。また、その差は顕著ではなかった。

以上を総括すると、本実験では明確な芯抜き効果は確認されなかった。図-23は掘削後の模擬地盤の例である。内カッターを前出しした形状が凹型にきれいに残っており、芯抜きした周囲の自由面が崩れやすくなった様子は観察されなかった。今回のような比較的強度が高い固結地盤では、内カッターを先行しても芯抜き効果は起こりづらかったものと考えられる。砂層などの地盤で、先行した内カッターの周辺が緩んでくるような性状であれば違った結果になった可能性があると考えている。

5. 結論

二重回転カッター構造のシールド機を模した実験機を製作し、回転パターンを変えた一連の実験を行った。その結果、以下のことがわかった。

- ①チャンバーを空にしたケースでは、内カッターのトルクは、速く回すほど小さく、反転の方が正転の場合よりも小さくなった
- ②外カッターのトルクは、内カッターの回転方法によらずほぼ一定だった
- ③内外の合計トルクは、内カッターの回転方法によらずほぼ一定だった
- ④推力は、内カッターを速く回すほど小さくなった
- ⑤チャンバーを充満したケースでは、トルクも推力も、内カッターを速く回すことで低減した



図-23 前出し実験後の模擬地盤

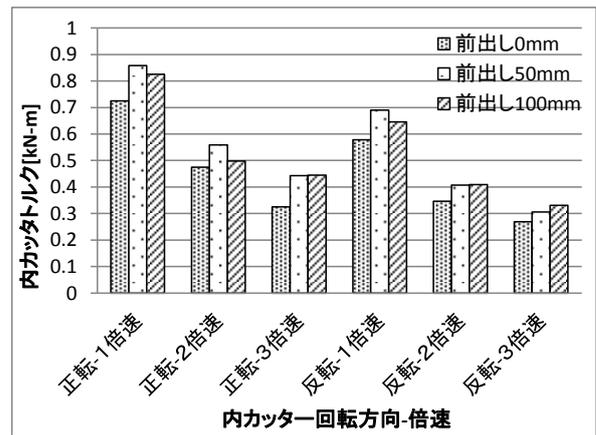


図-19 内カッタートルク

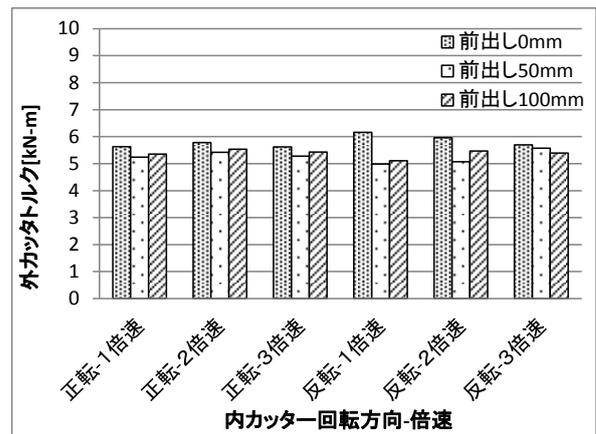


図-20 外カッタートルク

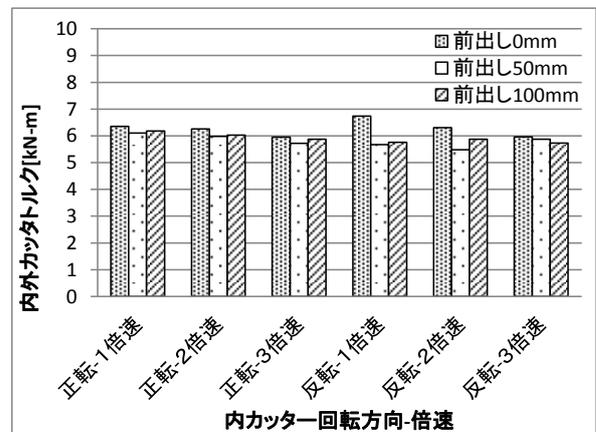


図-21 内外合計トルク

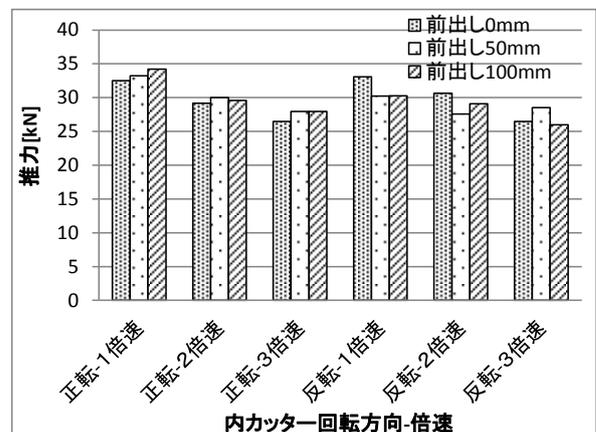


図-22 推力

⑥大深度を模擬した固結地盤に対しては、芯抜き効果は顕著ではなかった

以上のことから、二重回転カッター構造の掘削性能および攪拌性能の向上が確認され、大断面における安定した高速掘進への有効性が期待できることがわかった。

今後は実施工に向けた適用性の確認と、実験結果をもとに負荷を低減する効率的な方法の確立を目指す予定である。

謝辞：本実験に際しては、宮下哲氏、矢沢次男氏をはじめとする株式会社前田製作所のかたがたに多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 野本ら：投稿中，第 69 回土木学会年次学術講演会，2014.

(2014.9.15受付)

EXPERIMENTAL REPORT ABOUT DOUBLE CUTTER SHIELD TUNNELING

Kousuke NOMOTO, Tatsuya YASUMITSU, Yoshiki MORI, Keiji SHINOHARA,
and Atsushi KOIZUMI

This report describes an experiment of using shield machine with double cutters to increase excavation speed and shorten construction period, especially when the machine is applied for excavation of large diameter of shield tunnels. The experiment of excavation has been carried out by using a model of shield tunneling machine with diameter 800m of outer cutter. The diameter of inner cutter is adjusted as 1/2 and 1/3 of the diameter of outer cutter. In the operation, inner cutter is rotated in normal direction and invert direction. Rotation speed is set up as a normal speed, twice and triple of such normal speed respectively. As the result, when inner cutter is rotated faster than outer cutter, it is observed that the load on torque and thrust force during excavation has been reduced due to stirring effect. As the excavation speed becomes faster the effect of load reduction is more significant. In this experiment, it was be able to reduce 35% of thrust force and 20% of torque. In addition, no any remarkable change in core-pulling-effect was found when inner cutter is moving ahead.