

二重回転カッター構造によるシールドの掘進実験

前田建設工業（株） 正会員○野本 康介 正会員 安光 立也 篠原 慶二
 正会員 宮澤 昌弘 正会員 森 芳樹
 （株）前田製作所 宮下 哲 矢沢 次男
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

近年、シールドトンネルは大深度、長距離化の傾向にあり、それに伴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提案されているが、その一つに掘進速度を向上させる方法がある。

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小さな周速度となる。カッター内周側での掘削性能と攪拌性能をあげることが、シールド機の掘進速度を向上させるための一つの方法である。カッターの中央付近の周速度を上げて、掘削性能と攪拌性能を上げるためには、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す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、その掘削性能や操作性能などに関する実験による検討はなされていない。

本研究は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、その掘削特性を検討したものである。

2. 実験の概要

図-1 および図-2 は本実験に用いた二重回転カッター構造の実験機（土圧式）を示したものである。実験機は外カッターの外径 $\phi 800\text{mm}$ 、内カッターの外径 $\phi 400\text{mm}$ （内外比 1:2）であり、模擬地盤は一軸圧縮強度が 1.0N/mm^2 程度の固結した粘性土地盤を想定し、掘進実験を行った。

実験は、内カッターの回転方法などを以下のように変えて計 12 ケースを実施した。

- ・回転方向 （外カッターに対して正回転／反回転）
- ・回転速度 （外カッターに対して 1 倍速／2 倍速／3 倍速）
- ・チャンバー内（空／掘削土砂で充填）

計測項目は、推力と、内カッターおよび外カッターのトルクである。推力には掘削に要する力と、チャンバー内に充填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。チャンバーを空にすれば掘削のみに要する推力およびトルクを抽出できる。一方、チャンバー内を掘削土砂で充填すれば実際の土圧式シールドに近い負荷の状況を確認することができる。



図-1 二重回転カッター構造の実験機

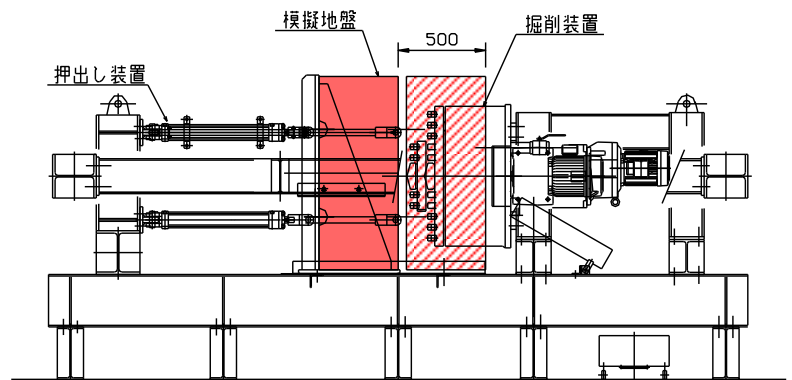


図-2 二重回転カッター構造の実験機による掘進実験の概要

キーワード シールドトンネル, 二重回転カッター構造, 大深度大断面, 長距離高速施工, 工期短縮

連絡先 〒101-0064 東京都千代田区猿樂町 2-8-8 前田建設工業（株）土木事業本部土木技術部 TEL 03-5217-9563

3. 実験結果とその考察

1) 掘削のみの負荷

図-3 は実験状況を、図-4 は掘削後の模擬地盤を示した写真である。チャンバーの下に穴をあけ、掘削土砂がチャンバー内に溜まらないようにして、掘削のみの場合の推力やトルクを測定した。内カッターが外カッターに対して正転で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。その結果、以下のことがわかった。

- ① 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、内カッターの回し方によらずほぼ一定だった
- ③ 全体のトルク（内カッターと外カッターの合計）は、内カッターの回し方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

①内カッターは速く回した方が切り込み量は小さくなるため、トルクが小さくなったと考えられる。反転させた場合には、内外の相対速度が大きくなったため掘削性能が向上したと考えられる。②外カッターは全ケースで一定の回し方をしたのでトルクはほぼ一定だった。③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、全体のトルクに合算した際に内カッターの回し方による違いは埋没した。④推力には、内カッターの回転方法により負荷が低減した効果が表れた。最大で20%程度低減した。

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

チャンバーの下に穴を開けて掘削土砂をチャンバー内に溜め、排土は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されるようにして実験を行った。結果は同様に、従来の単円の場合と比較した。その結果、以下のことがわかった。

- 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

トルクは、前述の掘削のみの場合では顕著には変わらなかったことから、この低減は攪拌による効果と考えられた。すなわち、チャンバー内の掘削土砂が攪拌され、塑性流動性が向上したことによりカッターの回転に要するトルクが低減したものと考えられる。一方、推力は掘削による負荷の低減効果に加え、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り、チャンバー内の圧力が低減したと考えられる。この傾向は、とくに掘進速度が大きいほど顕著だった。図-5に示すように、従来の単円の場合と比べて、最大で推力が35%低減、トルクが20%低減した。

①～⑤に示した性能の向上が見られたことから、掘進速度の向上とそれに伴う工期の短縮が期待される。

4. おわりに

内カッターを速く回すことにより、掘削性能と攪拌性能が向上することがわかった。このことから、掘進速度を向上し、工期を短縮できる可能性があると考えられた。

本実験は2012年より始めて3年目に入るが、現在、実施工に向けて適用性を確認しているところである。



図-3 実験状況



図-4 掘削後の模擬地盤

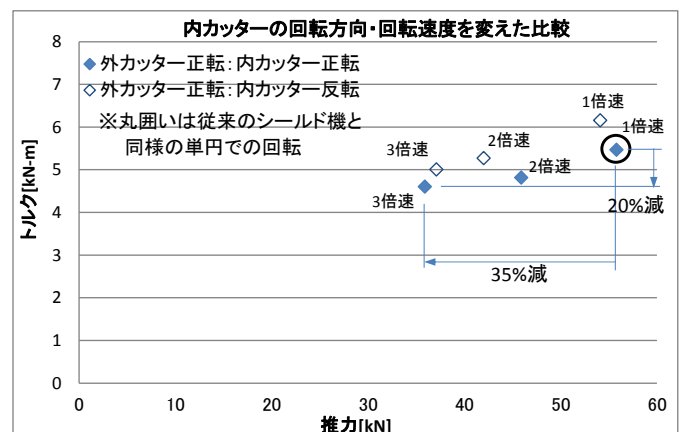


図-5 二重回転カッター構造による負荷の低減