

京都大学大学院 学生会員 ○橋本知尚 内海知彦
京都大学大学院 正会員 建山和由

1.はじめに

シールド工法は現代の土木技術を代表するトンネル構築工法であるが、今だ残されている問題点も多く、とりわけ密な礫地盤は、粘土、砂地盤等比べてカッタービットの磨耗、カッターチャンバーの閉塞等の問題が発生しやすい。現在のところカッタービットの材質強化および交換性能向上、カッタートルクの増大といった機械的・材料学的な対策を行っているが、本研究では、より土質力学的な観点から礫地盤が掘削しにくい原因について考え、それに基づいて礫地盤に対して有効なシールド掘進機の前面形状について提案する。

2.礫地盤が掘削しにくい原因に関する仮説

密な地盤を掘削する、すなわちせん断変形を与えるとき、正のダイレイタンスによりその体積は増加しようとするが、この地盤が受けている土かぶり圧がカッタービットによるせん断力に比べて非常に大きい場合、体積増加ができず、従ってせん断変形をすることが困難となる（図1参照）。また、密な粒子がせん断変形を起こす場合、せん断面に沿って粒子が移動するためには他の粒子の上を乗り越えなければならないが、粒径が大きいほど乗り越える距離が長くなる（粒径効果）（図2参照）。

上述の2つの要因により礫地盤の掘削が困難であるという仮説に基づくと、シールド機体内部に正のダイレイタンスによる体積増加を許す、言い換えると機体内部に効果的に礫を取り込むことでシールド掘進機の掘進性能を向上させることができると考えられる。

そこでより効果的な掘削土の取り込みが可能だと考えられる先掘型シールド掘進機前面形状について提案し、2次元シールド模型実験を行った。

3.2次元シールド模型実験概要

実験装置全体図を図3に示す。土槽内部には直径の異なる2種類のアルミ棒（5mm, 3mm）をそれぞれ密に積み上げて2種類の地盤を作成した。また、図4に示すように2次元シールド掘進機模型については頂角を5通り、スリット幅及び位置を3通り変化させた。実験方法は、手回し式ハンドルを一定の早さで回すことによってロッドを伸長させて地盤中に2次元シールド掘進機模型を押し進め、その時の掘進抵抗力及び掘進距離を計測した。

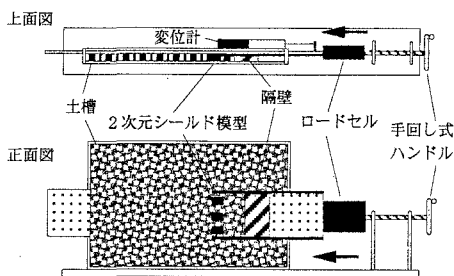


図3 実験装置全体図

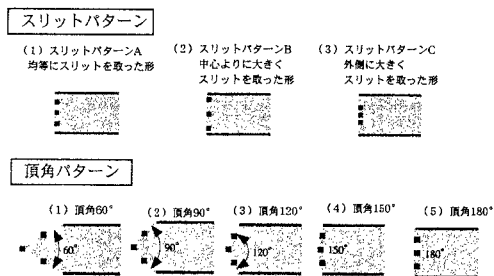


図4 2次元シールド掘進機模型の前面形状

4.実験結果及び考察

実験によって得た掘進抵抗力と掘進距離の関係の一例を図5に示す。本実験では、掘削土の取り込み性能を評価する指標として、各実験パターンごとに全掘進抵抗力を平均したもの（総平均抵抗力）、および全掘進抵抗力のうち最も大きい値3つを平均したもの（ピーク平均抵抗力）を考えた。閉塞状態とは掘進中に極めて大きな掘進抵抗力を示す状態に他ならないから、ピーク平均抵抗力は閉塞の起こりやすさを表した指標であるといえる。以下に実験結果についての考察を述べる。

<スリット比とピーク平均抵抗力の比較>

地盤粒径（アルミ棒の直径）と掘進方向から見た最大スリット幅との比をスリット比と名づけ、スリット比とピーク平均抵抗力の関係を図6に示す。図6よりスリット比が増加するに従いピーク平均抵抗力が増加していることが分かる。これはスリット比が大きいほど閉塞が起きやすい為であると考えられる。

<前面形状による掘進抵抗力の比較>

各前面形状における総平均抵抗力およびピーク平均抵抗力を図7に示す。この図より頂角の増加に伴う総平均抵抗力の増加量は小さいが、ピーク平均抵抗力は顕著に増加していることが分かる。つまり閉塞部分以外では掘進抵抗力の増加は小さく、掘進方向の抵抗力は前面形状に関係なくほぼ一定であると考えられる。

また、頂角 120° 以上と 90° 以下では掘進抵抗力が大きく異なるが、頂角 90° 以下においては掘進方向の地盤の掘削以外に、切羽面上部からの土砂流入の効果が大きく現れたためと考えられる。実際に、頂角 60° と 90° において掘進実験後の地盤表面を観察すると、土槽中心部付近の地盤表面が5 cm近く沈下することがあった。また、スリットパターンAは、B、Cよりも掘進抵抗力が大きいという結果が出たが、BとCには明確な違いは観察されなかった。

5.おわりに

今後、先掘形状については掘削土の取り込み性能のみならず、落盤の危険性などを評価しうる指標をも導入して、頂角 $120^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の間で最適な頂角を求めることが重要な課題の1つである。またスリットについては、切羽面がシールド掘進機前面に及ぼす応力の分布について解析を行い、土圧の大きい箇所にスリットを設け、逆に土圧の小さい箇所にカッタービットを配置するといった工夫をすれば、さらなる掘削土の取り込み性能向上、カッタービットの摩耗低減が可能であると考えられる。

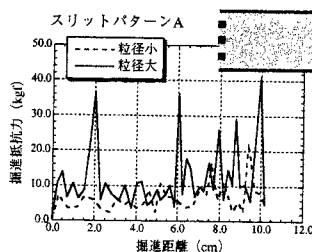


図5 掘進距離-掘進抵抗カグラフ（頂角 180° ）

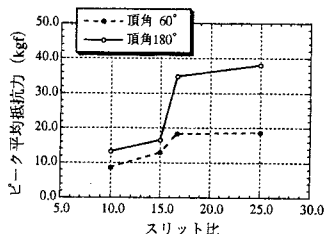


図6 スリット比とピーク平均抵抗力の比較

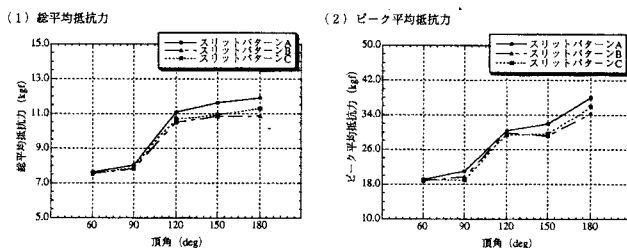


図7 前面形状による掘進抵抗力の比較