

## 大断面泥土圧シールドにおけるチャンバー内可視化技術

大林・大豊・東急JV	正会員	○松原 健太
首都高速道路公団		櫻井 裕一
首都高速道路公団	正会員	猪瀬 研一
(株)大林組	正会員	北山 篤

## 1. はじめに

首都高速中央環状新宿線の SJ51 工区～SJ53 工区(外回り)トンネル工事では、大断面泥土圧シールド(掘削外径 12.02m)におけるチャンバー内土砂の塑性流動状態を評価・把握することを目的として、チャンバー内可視化技術を導入した<sup>1)</sup>。本稿では、当技術の概要と現場での適用結果について報告する。

## 2. チャンバー内可視化技術の概要

泥土圧シールドの切羽の安定において必要不可欠である「塑性流動化」とは、ある外力によって土砂に生ずる「ずり応力」がある値を超えると「ずり速度」が発生し流動する状態である。ここに、「ずり応力」とは掘削土に流動(ずりひずみ)を起こさせる単位面積あたりの力であり、「ずり速度」とは「ずりひずみ」の単位時間あたりの変化を表すひずみ速度である。チャンバー内の土砂が塑性流動状態にあるならば、「ずり応力」が生じる際に「ずり速度」が発生しているものと考えられる。そこで、チャンバー内の土砂の状態を「流速」と「ずり速度」に着目すると、図-1 に示すように、適切な流速とずり速度が得られている場合が塑性流動化している状態といえる。

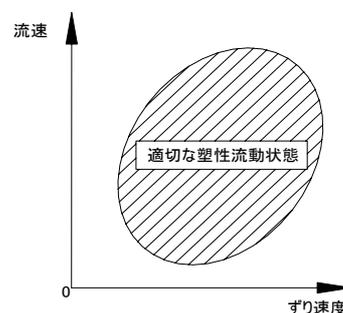


図-1 土砂の流速と  
ずり速度の関係

今回開発・導入した「チャンバー内可視化技術」は、シールドのチャンバー内をモデル化した土砂流動解析を行い、流速とずり速度をシミュレーションして、チャンバー内の土砂の塑性流動状態を評価するものである。

## 3. シミュレーション精度の検証

本技術の開発・導入にあたっては、今回開発した電動回転式の計測装置「フラッパー」(写真-1)をバルクヘッド外周部に装備し、トルク変動値を計測する。シミュレーション精度の検証は、計測したフラッパーのトルク変動値と、現場での掘進条件を入力したシミュレーション結果から得られたトルク変動値を比較することによって行った。その結果を図-2 に示す。



写真-1 電動回転式フラッパー

両者の変動モードと値は概ね一致しており、シミュレーション精度の妥当性を確認することができた。

## 4. チャンバー内の可視化

今回、掘進中のフラッパートルクの変動値をもとに、チャンバー内の状態をシミュレーションしてみた。なお、その時の掘進状況から推察すると、排土状況が良好で切羽圧が安定していたことから、チャンバー内の土砂は塑性流動化していたと思われる。シミュレーション結果を以下に示す。図-3,4 は、カッターヘッド近傍 ( $z=1.7\text{m}$ 、 $z$ :バルクヘッドからの距離)、バルクヘッド近傍 ( $z=0.45\text{m}$ ) の 2 断面において、流速分布とずり速度分布を示したものである。

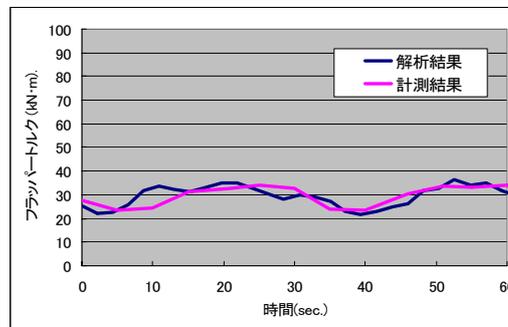


図-2 フラッパートルクの比較結果

キーワード 大断面トンネル、泥土圧シールド、フラッパー、塑性流動性、ずり速度、流速

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 土木技術本部技術第二部 TEL03-5769-1318

シミュレーションの結果、横断方向で見ると、流速及びずり速度の分布は一様でなく、外周側やアジテータ周辺で分布の相違がみられている。また、縦断方向で見ると、カッターヘッド付近からバルクヘッドに近づくに連れて、流速とずり速度の分布が変化している傾向がみられた。

図-5は、縦軸に流速（m/sec）、横軸にずり速度（1/sec）の対数をとって、任意の点における流速とずり速度をプロットしたもので、 $z=1.7\text{m}$ と $0.45\text{m}$ の断面における分布状況を示している。また、横断方向の領域を、①アジテータ領域（ $0\sim 1/3R$ 、 $R$ : シールド半径）、②カッター支持部（ $1/3R\sim 2/3R$ ）、③外周部（ $2/3R\sim 1R$ ）に大別して、流速とずり速度の関係をプロットしている。

アジテータ領域およびカッター外周部においては、バルクヘッドに近づくに連れてグラフの中央へと推移している。これはアジテータや固定翼の効果により塑性流動状態に近づいていくためと想定される。一方、カッター支持部については、他の箇所と比べてグラフの左側に位置し、土砂の流速がカッターの回転速度と概ね同じ（約 $0.15\text{m/sec}$ ）であるもののずり速度が低くなっていることから、土砂がカッター支持部の回転とともに剛体移動し、他の箇所と比べて塑性流動化が進みにくい箇所と想定される。このようにシミュレーションにおいてはチャンバー内に塑性流動化されにくい箇所もみられたが、シミュレーションの対象とした掘進時は排土状況が良好で切羽の安定が図れていたことから、本解析結果はチャンバー内の土砂が適切に塑性流動化している場合をシミュレーションした一例と位置付けることができると思われる。

## 5. おわりに

今回開発・導入したチャンバー内可視化技術は、実施工においてシミュレーション精度の妥当性が検証でき、チャンバー内の土砂の状態を評価することができた。今後、様々な土質条件及び掘進条件を対象としてシミュレーション精度を検証しチャンバー内の土砂の状態を評価していく予定である。

本技術により、掘削土砂の塑性流動状態を反映した適切な掘進管理を行うとともに、シミュレーションを利用して大口径の円形断面だけでなく、小・中口径や、円形断面以外の泥土圧シールドの最適な設計・計画に寄与する技術としての確立を目指す。

## 参考文献

- 1) 井澤ほか：大断面泥土圧シールドにおけるチャンバー内可視化技術、土木学会第59回年次学術講演会 6-023 2004.9

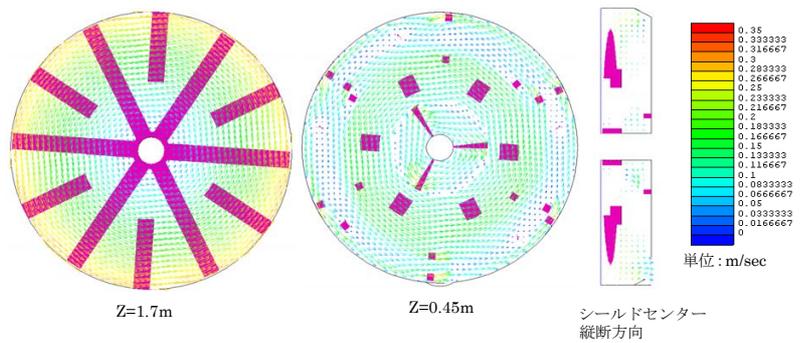


図-3 チャンバー内流速分布図

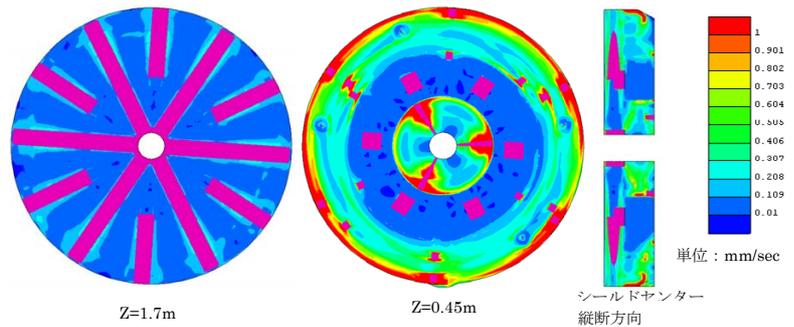


図-4 チャンバー内ずり速度分布図

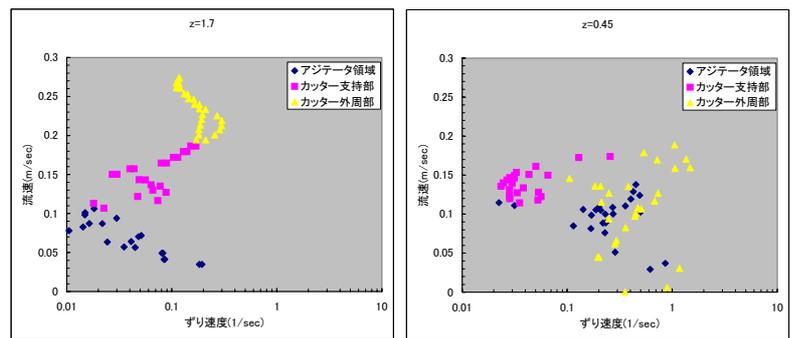


図-5 各断面における流速とずり速度の関係