

シールド切羽可視化システムの構築と実現場への適用 (その3：ビットの応答加速度に関する実験的研究)

(株)奥村組 ○正会員 木下 茂樹 (株)奥村組 松田 顕伍

(株)奥村組 正会員 犬飼 貴 (株)奥村組 正会員 今泉 和俊

1. はじめに

シールド工事の長距離化に伴い、掘進中に地盤変化に遭遇する事例が増えている。そこで、地盤変化を的確に把握して掘進管理に反映させるために、シールド面板に設置した加速度センサの計測値を利用した地盤評価手法を開発し、実現場での有効性を検証している¹⁾。本技術は、シールドの径・種類に関わらず切羽の土質を面的に評価できる切羽可視化システムの構築を目的としている。本文では、異なる地盤の掘削においてビットに発生する応答加速度の違いを把握するために、要素試験装置を考案・製作し検証した結果について報告する。

2. 切羽可視化システム

切羽可視化システム¹⁾は、密閉型シールド工法の掘削機構であるカッタービットに加速度センサを埋込み、カッターの回転とシールド機の掘進により地盤をビットが切削する時に発生する加速度から地盤の構成を判定するもので、現在(H29/04)までに6現場に導入し、さらに5現場で導入準備を行っている。導入した現場では、掘進リング毎に切羽で計測した加速度の違いと、土質縦断面図およびボーリングデータを比較して、土質の変化や地盤構成を判定している。今回、地盤判定の精度を向上させることを目的として、シールド掘進前に施工する立坑の掘削残土や、周辺の掘削現場などから採取した土を用いて、あらかじめ土質ごとのビット応答加速度を調べる実験装置を製作し、要素試験を行った。

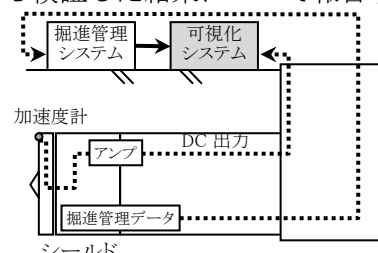


図-1 切羽可視化システムの概要

3. 応答加速度実験装置の概要

実験装置は、シールドの掘進とカッターの回転を模擬的に再現したうえで、ビットにより地盤を掘削させる構造とした。実験装置の概要を写真-1と表-1に示す。ここで、上下方向の押しつけ速度(z方向)はシールドジャッキの伸長速度(シールド掘進速度)に、横方向の水平移動速度(x方向)はシールドカッターの回転速度に該当する(写真-2)。また、実工事のシールドマシンの性能、規模に応じた実験ができるように、z方向は20～50mm/min、x方向は150～300mm/sに可変速とした。

なお、模擬地盤は $\phi 30 \times \phi 30 \times L150$ cmの鋼製土層とし、土層による拘束の影響に配慮して、ビット高さの3倍の深さを確保している。

4. 応答加速度測定実験

シールドのカッタービットにおける応答加速度は、土質の違いに加えて、シールド掘進速度、カッター回転速度およびビットの形状によって変化することが施工実績から確認されている。それらを定量的に把握することを目的に、実験は土質、カッター回転速度、ビット形状をそれぞれ変えた実験計画を立案し、実施した。

また、土質に関しては、締固めの程度により湿潤密度を変化させた供試体を作成し、加速度を計測した。なお、カッタービットについては、実物の先行ビットを2種類を用いて、礫地盤に有利な強化型先行ビット

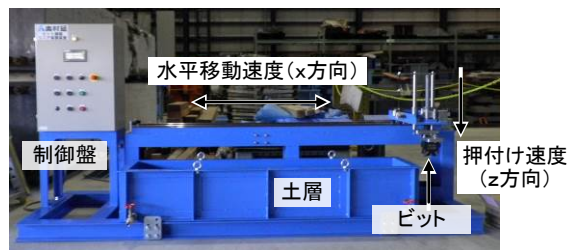


写真-1 応答加速度実験装置

表-1 実験装置の概要

ビット振動リニア実験装置			
水平速度 X軸方向	低速	150	mm/s
	中速	225	
	高速	300	
鉛直速度 Z軸方向	低速	20	mm/min.
	中速	35	
	高速	50	
土槽		0.135	m ³
ハイスピード振動分析装置			
データロギングシステム：WAVE LOGGER PRO NR-600			
表示値	最低値：0 gal		
	最大値：4,000 gal		
サンプリング周期：1.0 μs、サンプリング数：60,000			
加速度計(圧電型検出器)			
電源		21～24V	
		定電流 0.5～10mA	
最大加速度		4,000 gal	



写真-2 カッターの方向

キーワード シールドトンネル, 切羽, 可視化, 応答加速度

連絡先

〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 (株)奥村組 東日本支社 土木技術部 TEL 03-5427-8356

(ビット 1, 図-2), シルト質のある砂質土や粘性土地盤に使用される先行ビット (ビット 2, 図-3) で応答加速速度の差異を確認した。

表-2 実験ケース

条件	遅(低)	中	速(高)
x方向速度(mm/s)	150	225	300
z方向速度(mm/min)	20	35	50
土質	粘土	砂	RC40
湿潤密度(kN/m ³)	15~17	17~19	19~21

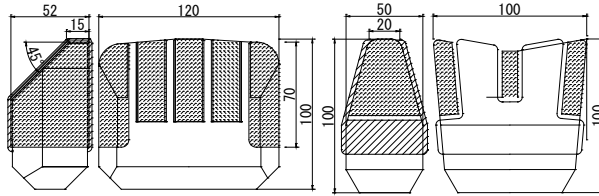


図-2 強化型(ビット 1) 図-3 先行(ビット 2) 写真-3 計測状況

5. 実験結果

(1) 土質の違いに関する検証

図-4 は, 粘土, 砂, RC40 (礫地盤を模擬) の違いによる応答加速度を整理したものである。縦軸に応答加速度 (x 方向平均), 横軸に土質を表示している。ビットの違いによらず, 粘土, 砂に比べて RC40 の応答加速度が大きくなる傾向である。また, 粘土と砂は, 応答加速度の平均値の評価では大きな差異は表われなかった。

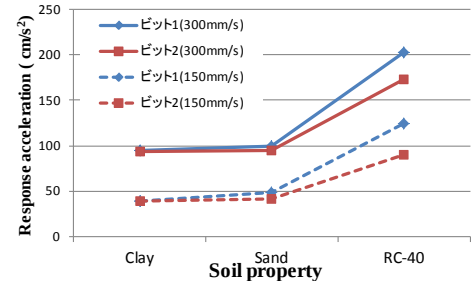


図-4 土質の違いによる加速度変化

(2) 水平移動速度 (x 軸速度) の違いに関する検証

図-5~7 は, 水平移動速度の違い (150~300mm/s) による応答加速度の変化を, 縦軸に応答加速度 (平均), 横軸に水平移動速度で整理したものである。すべての条件で, 水平移動速度が速くなるにつれて応答加速度が大きくなることが確認された。図-5 は, 粘土における結果であり, x 方向は z 方向に対して約 2 倍の応答加速度を示している。この傾向は図-6 の砂でも同様の結果であった。一方, 図-7 の RC40 の結果では, ビット形状による応答加速度の違いは顕著に表れているが, 粘土や砂と異なり x 方向, z 方向の加速度に大きな違いが出ていない。

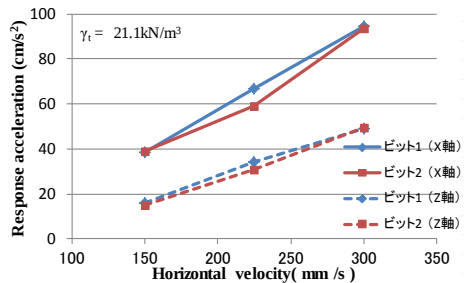


図-5 水平移動速度～加速度 (粘土)

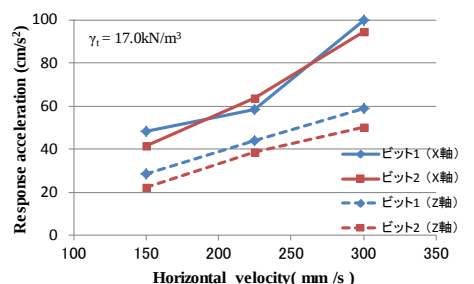


図-6 水平移動速度～加速度 (砂)

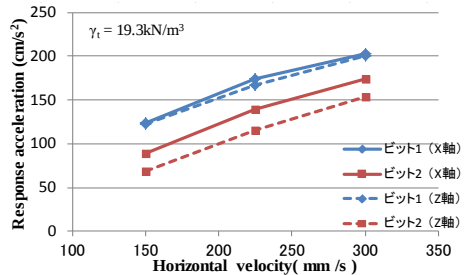


図-7 水平移動速度～加速度 (RC40)

(3) フーリエスペクトルによる「粘土と砂の違い」に関する再検証

粘土と砂について, 計測した応答加速度 (z 方向) のフーリエスペクトルを図-8, 9 に示す。砂のフーリエスペクトルにおいて卓越周波数が顕著にみられることから, 粘土と砂の差異を見出す手段として有効であると考えられる。

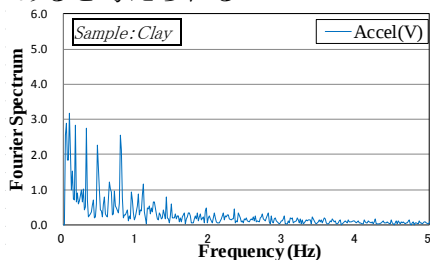


図-8 フーリエスペクトル (粘土)

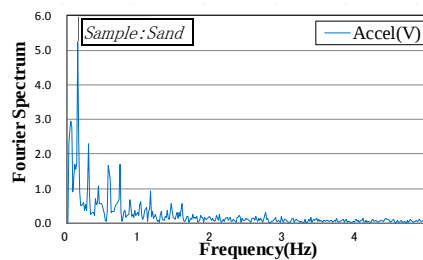


図-9 フーリエスペクトル (砂)

6. まとめ

実験結果から以下の考察を得た。

- 1) 土質による応答加速度の違いは, RC40 では顕著に大きくなるが, 砂と粘土は大きく変わらない
- 2) 水平移動速度は, カッター摺動速度 (直径×回転速度) でシールドマシンごとに決まる。移動速度～加速度曲線が, 各土質で直線的となり加速度の大きさに違いが出ることから, 土質判別には有効なデータとなる
- 3) 粘土と砂の差異は, 応答加速度におけるフーリエスペクトルの卓越周波数から判断できる

今後, シールドマシンの切羽における応答加速度計測結果を含めて, 詳細な研究を続ける予定としている。

参考文献

- 1) 外木場, 木下ら: シールド切羽可視化システムの構築と実現場への適用 (その1) (その2), 第 69 回土木学会年講