

第19回 東京外環トンネル施工等検討委員会

シールド工事の掘進方法について

令和元年 6月13日

関東地方整備局 東京外かく環状国道事務所
東日本高速道路株式会社関東支社 東京外環工事事務所
中日本高速道路株式会社東京支社 東京工事事務所

1.はじめに

第18回本委員会において、北多摩層以外の本線シールドの掘進については、地質状況に応じて掘進時に使用する添加材や圧力を調整し、安全な掘進方法を確認しながら掘進することを確認した。

東名側本線シールドは平成31年1月より東名JCT外の掘進を進めている。一方、大泉側本線シールドは平成31年1月に発進しており、現在工事ヤード内において後続設備を整備しながら掘進している。また、今後、各JCT部でランプシールドの掘進も控えている。今後の北多摩層以外の本格的な掘進に向けて、掘進時に使用する添加材の調整など安全・安心な掘進方法を確認していく必要がある。

本報告は、第18回委員会以降に実施した掘進時に使用する添加材の室内試験の結果と今後の掘進計画について報告するものである。

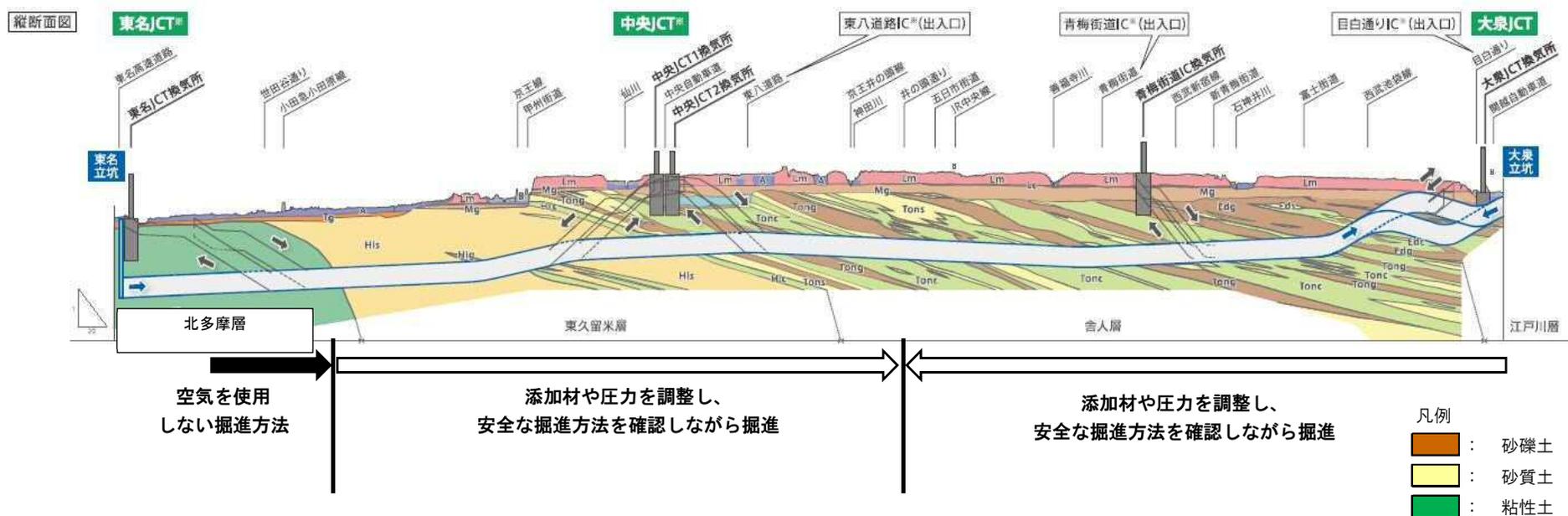


図1 地質縦断面図と今後の掘進方法

2. 添加材 室内試験計画

(1) 目的

掘進時に使用する各添加材について掘削対象土層に対し良好な流動性が確保できるか確認することを目的とする。使用する添加材は、気泡（起泡剤+水+空気）と起泡剤溶液（起泡剤+水 発泡なし）であり、起泡剤には気泡径を小さくするなど製品開発された起泡剤を使用する。改良された起泡剤は流動性や止水性が向上するとともに破泡しにくくなるといった効果が期待できる。気泡が破泡しにくくなると、破泡する前に掘削土とともにトンネル坑内へ取り込みやすくなり、地上への漏気が抑制できると考えられる。以降、改良された起泡剤を使用した気泡を改良気泡と呼ぶ。

(2) 確認方法

掘削対象土層の模擬土を使用した室内試験により、流動性の確認を行う。

(3) 模擬土

既往ボーリングデータより粒度構成を決定し、購入土によって作成する。

表 1 模擬土粒度構成

No.	試料名	粒度構成	No.	試料名	粒度構成
①	砂礫土 (含水比 4.0%)	礫分： 75.3%	②	砂質土 (含水比 11.0%)	礫分： 0.4%
		砂分： 20.0%			砂分： 92.2%
		シルト粘土分： 4.7%			シルト粘土分： 7.4%

No.	試料名	粒度構成
③	粘性土 (含水比 37.0%)	礫分： 0.1%
		砂分： 14.3%
		シルト粘土分： 85.6%

(4) 試験項目

以下に流動性等を確認するための試験項目を示す。

表 2 試験項目

項目
スランプ測定
テーブルフロー測定
気泡破泡測定
目視・触手による性状確認(参考)



図 2 試験体混練状況



図 3 砂礫土と起泡剤溶液（起泡剤+水 発泡なし）混練状況

(5) 試験器具

以下の試験器具を用いて土砂の性状を確認する。

1) スランプ測定 JIS A 1101

ポンプ圧送時の土砂の性状は塑性流動性を持ちスランプコーンを引き抜いた際に、お椀型の性状を有するのが好ましいといわれている。



図 4 スランプ試験器具

2) テーブルフロー JIS R 5201

テーブルの中央にフローコーンを置き土砂を詰めた後、15秒間に15回落下運動を行う。土砂が最も広がった部分の長さ、この方向に直角な部分の長さの平均値をmm単位で測定する。



図 5 テーブルフロー試験器具

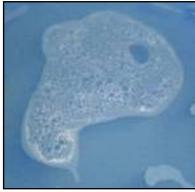
3) 気泡破泡測定

500ccのメスシリンダーを用いて発泡した起泡剤が経時においてどのくらい液化するか測定する。500ccのメスシリンダー容器いっぱい起泡剤を充填する。(約700cc)上部をサランラップ等でパッキングする。経時によって下部に液化した起泡剤希釈液量を測定する。

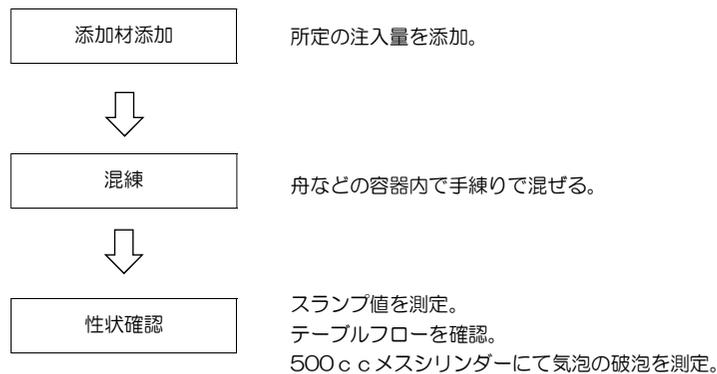
(6) 添加材

下記で、各添加材の性状を確認する。

表 3 添加材仕様一覧

添加材	改良気泡 (起泡剤 (改良) +水+空気)	起泡剤溶液 (起泡剤 (改良) +水 発泡なし)
外観	淡黄色液体 	淡黄色液体 
成分	アルキルエーテル硫酸 エステル塩	アルキルエーテル硫酸 エステル塩
比重	0.98~1.02 (25℃)	0.98~1.02 (25℃)
pH	6.0~8.0 (1%液)	6.0~8.0 (1%液)
特徴	単一材料の起泡剤で粘性土から砂礫層まで適応可能な材料。 滞水層や高水圧層等、水分が多い地層にも対応できる。	粘性無し。

(7) 試験の流れ



(8) 添加材配合

表 4 添加材配合一覧

1) 砂礫土

試験番号	添加材	添加材配合 (1m ³)		
		起泡剤 (改良)	発泡倍率	水
①-1	改良気泡 (起泡剤 (改良) +水+空気)	50 L	20 倍	950 L
①-2	起泡剤溶液 (起泡剤 (改良) +水 発泡なし)	50 L	-	950 L

2) 砂質土

試験番号	添加材	添加材配合 (1m ³)		
		起泡剤 (改良)	発泡倍率	水
②-1	改良気泡 (起泡剤 (改良) +水+空気)	4 L	10 倍	996 L
②-2	起泡剤溶液 (起泡剤 (改良) +水 発泡なし)	4 L	-	996 L

3) 粘性土

試験番号	添加材	添加材配合 (1m ³)		
		起泡剤 (改良)	発泡倍率	水
③-1	改良気泡 (起泡剤 (改良) +水+空気)	4 L	10 倍	996 L
③-2	起泡剤溶液 (起泡剤 (改良) +水 発泡なし)	4 L	-	996 L

3. 試験結果

3-1 流動性結果（スランプ、テーブルフロー試験結果）

<結果>

- 改良気泡（起泡剤（改良）+水+空気） 注入率や濃度を調整することによりすべての対象土に対し良好な流動性を確認。
- 起泡剤溶液（起泡剤（改良）+水 発泡なし） 砂礫土、砂質土では良好な流動性を確認できなかった。粘性土では注入率や濃度を調整することにより良好な流動性を確認。

表 5 流動性試験結果

添加材の種類	砂礫土 (舎人層・江戸川層)			砂質土 (東久留米層)			粘性土 (北多摩層)		
	改良気泡 起泡剤（発泡）	注入率	20%		注入率	15%		注入率	30%
スランプ		1.5cm	スランプ		13.0cm	スランプ		9.0cm	
テーブルフロー		105mm	テーブルフロー		106mm	テーブルフロー		132mm	
確認結果		スランプ、テーブルフローともに良好であった。			確認結果	スランプ、テーブルフローともに良好であった。		確認結果	スランプ、テーブルフローともに良好であった。
起泡剤溶液 起泡剤（発泡無）	注入率	5%		注入率	5%		注入率	10%	
	スランプ	測定不能		スランプ	23.0cm		スランプ	13.5cm	
	テーブルフロー	146cm		テーブルフロー	171mm		テーブルフロー	140mm	
	確認結果	スランプ試験において材料が分離し崩壊した。		確認結果	スランプ、テーブルフローとも流動性が高すぎる結果となった。		確認結果	スランプ、テーブルフローともに良好であった。	

3-2 起泡剤溶液（起泡剤（改良）+水 発泡なし）での注入率を変化させた試験結果

<結果>

- 砂礫土層 注入率をどのように変えても良好な流動性が確認できなかった。
- 砂質土層 注入率をどのように変えても良好な流動性が確認できなかった。
- 粘性土層 注入率5%、10%で良好な流動性が確認できた。

表 6 起泡剤溶液（起泡剤（改良）+水 発泡なし）で注入率を変化させた試験結果

1) 砂礫土

試験番号	添加材	注入率	スランプ (cm)
①-4 (5)	起泡剤（発泡無）	5%	 測定不能
①-4 (10)	起泡剤（発泡無）	10%	 測定不能
①-4 (15)	起泡剤（発泡無）	15%	 測定不能
①-4 (20)	起泡剤（発泡無）	20%	 測定不能

2) 砂質土

試験番号	添加材	注入率	スランプ (cm)
②-4 (5)	起泡剤（発泡無）	5%	 23.0 cm
②-4 (10)	起泡剤（発泡無）	10%	 21.0 cm

3) 粘性土

試験番号	添加材	注入率	スランプ (cm)
③-4 (5)	起泡剤（発泡無）	5%	 7.0 cm
③-4 (10)	起泡剤（発泡無）	10%	 13.5 cm
③-4 (15)	起泡剤（発泡無）	15%	 19.0 cm
③-4 (30)	起泡剤（発泡無）	30%	 25.0 cm

3-3 気泡破泡測定の結果

従来気泡（起泡剤+水+空気）と比較し改良気泡（起泡剤（改良）+水+空気）は破泡するまでの時間が長く、また、濃度5%の改良気泡（起泡剤（改良）+水+空気）は、濃度0.4%の改良気泡（起泡剤（改良）+水+空気）よりも破泡するまでの時間が長いことを確認した。濃い濃度で作成された改良気泡（起泡剤（改良）+水+空気）の方がより破泡しにくいことを確認した。



図6 気泡作成状況



図7 気泡破泡測定状況

(左から改良気泡（濃度0.4%）、改良気泡（濃度5%）、従来気泡（濃度3%）

表7 気泡破泡測定の結果

気泡	従来気泡 濃度 3% 発泡倍率 8倍		改良気泡 濃度 0.4% 発泡倍率 10倍		改良気泡 濃度 5% 発泡倍率 20倍	
	液化量(ml)	破泡率(%)	液化量(ml)	破泡率(%)	液化量(ml)	破泡率(%)
経時(分後)						
0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
10	47	47	0	0	0	0
20	75	88	15	21	0	0
30	80	94	20	29	0	0
40	85	100	35	50	0	0
50	85	100	45	64	0	0
60	85	100	60	86	15	43
120	85	100	70	100	30	86
泡の細かさ	荒い (従来起泡剤)		細かい (改良起泡剤)			
濃度			薄い		濃い	
破泡の度合	破泡しやすい		破泡しにくい			

表8 起泡剤比較（従来気泡と改良気泡）

	従来気泡	改良気泡
流下直後		
気泡径	0.2~2.0 mm	0.05~1.0 mm
粘性	低	高
土粒子の分離抵抗性	低	高
透水係数	$10^{-2} \sim 10^{-4}$ cm/sec	$10^{-3} \sim 10^{-5}$ cm/sec
止水性	低	高

4. 土質毎の気泡破泡確認試験

(1) 目的

第18回本委員会において、非常に硬い粘性土層である北多摩層は掘削面の水量が少ないことから掘進時に使用する気泡の水分が奪われ破泡しやすいことを確認した。今後の砂層や砂礫層の掘進に向け、土質毎の気泡混合土の破泡の程度を確認することを目的とする。



(2) 試験方法

重量と湿潤密度を測定した各資料に気泡（起泡剤（改良）+水+空気）を添加し、混合攪伴して気泡混合土を作成する。その後、容器に消泡した空気が土に残らないよう突固める。この重量を測定し、比重から気泡混合土の破泡率を求める。破泡率の算出方法を図10に示す。

- ※「気泡混合土中の気泡が全く破泡しない場合の比重（破泡率0%）」
 ～ 「すべて破泡した場合の比重（破泡率100%）」

- ① 破泡前体積 (m³) = 1 + 加水量% × 10 / 1000 + 気泡注入率 × 10 / 1000
- ② 総重量 (t) = 資料土の湿潤密度 + 加水量% × 10 / 1000 + 気泡注入率 × 10 / 発泡倍率 / 1000
- ③ 破泡前比重 = 総重量 / 破泡前体積
- ④ 完全破泡比重 = 総重量 / (1 + 実加水量 × 10 / 1000)
- ⑤ 破泡率 = 100 - (完全破泡比重 - 測定結果の比重) / (完全破泡比重 - 破泡前比重) × 100

図8 気泡混合土破泡確認試験概要

(3) 試験結果

表9に示す試験結果より、砂層・砂礫層では粘性土の土丹層よりも破泡しにくいことが分かった。

表9 気泡混合土破泡確認試験結果

地層	土質	添加量	破泡率	混練性状・スランプ		
北多摩層	土丹 細粒分: 93.0% 砂分: 7.0% 礫分: 0.0%	起泡剤(改良) 加水量14% 3.0%濃度 8倍発泡 30%添加	49%		 3.8cm	混練と共に消泡していくことが目視確認できた。砂質系と比べ、混合土の流動性が低くなりやすい。加水が少ないとさらに泡が消えやすい。
東久留米層	砂質土 細粒分: 11.4% 砂分: 87.5% 礫分: 1.1%	起泡剤(改良) 加水量0% 3.0%濃度 8倍発泡 20%添加	-39%		 5.5cm	混練するとホイップクリームのような良好な流動性が得られる。気泡が土中に多く残存している感じがわかる。
舎人層	砂混り粘性土 細粒分18.9% 砂分: 31.5% 礫分: 49.6%	起泡剤(改良) 加水量10% 3.0%濃度 8倍発泡 30%添加	-4%		 14.8cm	東久留米層と同じような状況であるが、起泡剤や加水量が多めになっており、流動性が若干高い結果となった。

※破泡率がマイナスとなるのは、攪伴・混練時に空気を取り込むことで生じた再発泡現象によるものであり、気泡混合時に破泡しにくいと考えられる。

5. まとめ

室内試験の結果、砂層・砂礫層では添加材を調整することにより、安全かつ地上への漏気を抑制し掘進できると考えられる。また、安心を確保するため、大泉JCT工事ヤード内において、既存ボーリング孔等をモニタリングし、掘進時に使用する添加材や圧力を調整しながら漏気を抑制する掘進方法について確認していく。