

泥土圧シールドによる風化花崗岩の掘進と土質特性

安藤ハザマ 正会員 ○粥川幸司, 名倉浩, 秦浩司

福岡県那珂県土整備事務所 土井拓郎

安藤ハザマ・大豊・環境施設特定建設工事共同企業体 荒東伸一

1. はじめに

高尾川床上浸水対策特別緊急事業は、二級河川御笠川水系高尾川において、近年、床上浸水被害が頻発しているため、平成26年8月に発生した浸水被害の再度防止防除を目標にした事業であり、平成27年度より着手した。高尾川地下河川工事は、高尾川地下に外径 ϕ 6.14mの泥土圧シールドで、延長1,034mの地下河川トンネルを築造するものである。本工事は、連続する急曲線(R=16m~60m, 27箇所)、河川直下での低土被り(H/D=2以下、最小土被り9.27m)とともに、掘進対象地盤が風化花崗岩であることが特徴である。

工事は、カッタービットの摩耗、カッタートルクの上昇、掘進速度低下で困難を極め、2回のビット交換を経て、2020年3月15日に到達できた。ここでは、トルク上昇の要因の一つとして、切羽で切削された風化花崗岩(以下、切削土と称す)の土質特性が考えられ、切削土、ならびに添加材を混練りした泥土に対する室内試験を実施することとした。

2. シールド掘進と風化花崗岩の状況

図-1に路線の土質縦断図を示す。掘進対象地盤は、概ねN値50~300(換算値)を示すDH級の風化花崗岩で、土質調査情報では「風化が著しく、まさ化し、粗粒砂状を呈するとともに、石英粒のみ硬質で有色鉱物はほとんど変質しており、指圧で潰せる程度」とされている。2回目のビット交換時に撮影した切羽の状況を写真-1に示すが、実際はハンマー強打で表面のみが崩れ、チッパー等で破碎するとボロボロと崩れるものの、硬質で表面にはノミ跡が残る状況であり、硬質な風化花崗岩が主な地山であった。また、応力解放していない地山深層部は硬く、機械掘削を行う時にはリッパー等が必要となる程度の強度を有すると思われた。さらに、掘削断面で一様ではなく、部分的に想定以上に硬い個所もあり、これにより切削抵抗が増大したものと考えられた。

工事においては、初期掘進終了間際の157R付近(約60m)までは想定通りの掘進ができたものの、それ以降、トルク上昇、掘進速度低下を生じた。これについては、ビットの先端では切削土にまだ十分に添加材が行き渡らず粉体の状態あり、これが推力を受け圧縮、固結することでせん断抵抗が増加することが考えられた(図-2, 写真-2)。そこで、このような状況の切削土、泥土の土質特性を確認する室内試験を実施することとした。

3. 切削土、泥土の性状確認

3.1 分散剤添加による分散確認

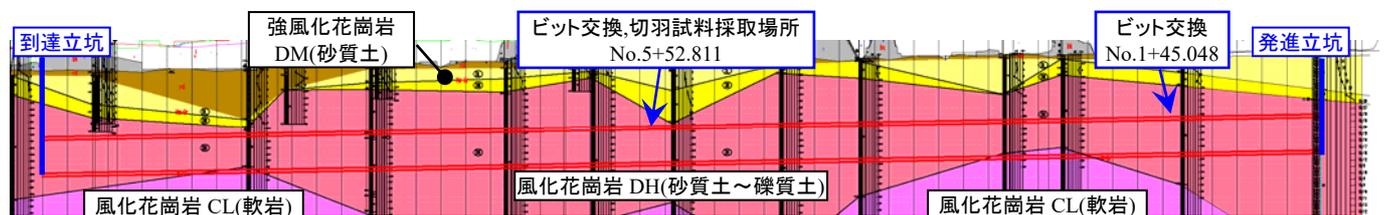


図-1 土質縦断図

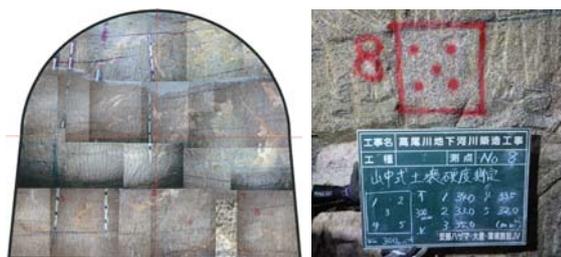


写真-1 切羽状況(No.5+52.811)

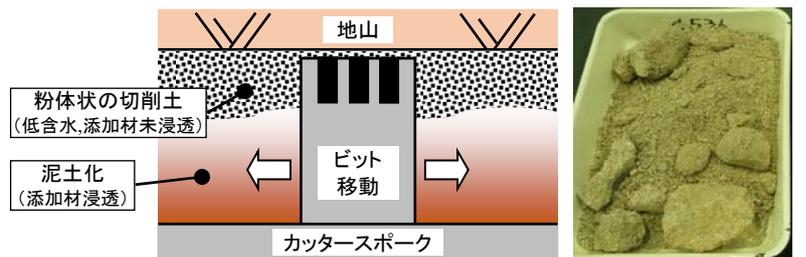


図-2 ビット先端での状況(想定)



写真-2 切削土

キーワード: 高尾川, 泥土圧シールド, 風化花崗岩, せん断強度, 添加材, 分散剤

連絡先: 〒160-0004 東京都港区赤坂 6-1-20 (株)安藤・間 建設本部 TEL03-6234-3671

最初に、切削土や泥土で土粒子の凝集による固結化、粘性化が考えられた。そこで、切削土(写真-2)、泥土(現場配合の3%濃度ベントナイト溶液を添加率50%で添加)に対して、その成分分析とともに、工事で使用している分散剤を含む市販の分散剤を添加し、沈降状況を観察する試験を行った。方法は、ガラス製メスシリンダーに切削土、泥土を入れ、分散剤をメーカー推奨量で添加し、蒸留水を加えてフィルムで蓋をして上下振とう、均一化し、2~3時間静置するものである(写真-3)。

その結果、切削土で一部の土粒子が沈降、凝集する傾向が見られたものの、泥土を含め土粒子の凝集はほぼなく、また、成分分析により粘性を発するような成分を含まないことも確認した。

3.2 切削土、泥土のせん断抵抗

切削土や泥土が圧縮された状態でのせん断抵抗を検討するために、三軸試験を実施することとした。試験では、切羽でフィッシュテールから注入される添加材が適切に浸透した場合と、浸透が不足した場合の相違も確認することとした。試料には、2回目のビット交換時(No.5+52.811地点)に切羽で採取した切削土を用い、これを粉砕、粒度調整した(図-3)。試料の種類は次のとおりである。

A: 切削土・・・ビットで切削された直後の土の含水比を自然含水比(15%程度)に調整した試料。不飽和。

B: 飽和切削土・・・Aを飽和させた試料。

C: 泥土・・・Aに現場配合の添加材を添加した試料。

C1: 泥土・・・Cに対して添加材が不足した試料。不飽和。

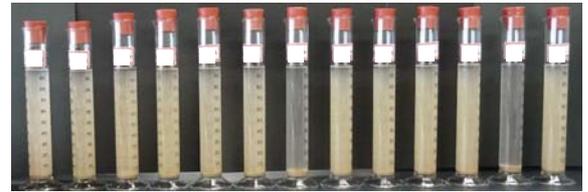
C2: 泥土・・・Cを強制的に通水飽和させた試料。

表-1に試験結果を、図-4にMohrの破壊包絡線を示す。飽和度の少ないA, C, ならびに添加材の少ないC1は内部摩擦角を有したが、B, C2は内部摩擦角を有しなかった。これらは、飽和度が100%か否かの相違で、B, C2では、載荷荷重が間隙水に作用し、土粒子の有効応力の増加が少なくなるものと想定された。このことは、切削土に十分な水分や添加材がない場合、推力による土粒子の有効応力が増加して圧縮、固結し、そのかみ合わせでせん断抵抗を発生すると言えた。一方で、水分や添加材が十分にあれば、土粒子の有効応力の増加は少なく、水分がない場合よりもせん断抵抗の増加が少なくなるものと考えられた。

4. おわりに

今回、風化花崗岩を対象としたシールド掘進において、トルクの上昇、掘進速度の低下を生じ、その要因の一つを明らかにするために、切削土、泥土の土質特性に対する室内試験を実施した。その結果、切削土、泥土には凝集や粘性の発生はないものの、切羽で切削された直後で添加材や水分の供給が少ないと土粒子のかみ合わせでせん断抵抗が増大する可能性があることがわかった。そのため、今回のような含水比の小さい岩盤、硬質土の泥土圧シールドにおいては、ビット高さが高い場合には特に、添加材がビット先端まで浸透するよう、注入孔を切羽に近づける等の配慮、工夫が必要であると考えられた。また、今回は試験等を行えなかったが、密閉かつ加圧された空間でのダイレイタンシーによる切削土のせん断抵抗の増大も可能性としてあるものと想定され、今後の課題と考えている。

本報が今後の同種のシールド工事の参考となれば幸いである。



(a) 切削土



(b) 泥土

写真-3 分散状況

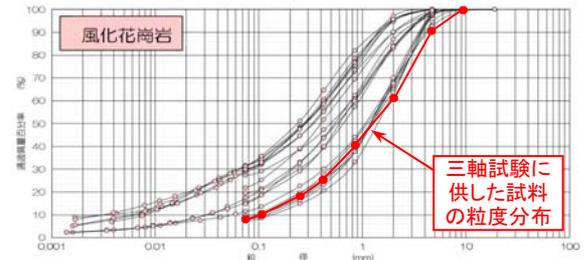


図-3 風化花崗岩の粒度分布

表-1 切削土、泥土の三軸試験一覧

試験ケース	A		B		C		C1		C2	
	切削土	切削土の含水比調整	切削土	切削土の含水比調整	泥土(切削土+添加材)	泥土(切削土+添加材)	泥土(切削土+添加材)	泥土(切削土+添加材)	泥土(切削土+添加材)	泥土(切削土+添加材)
目標含水比	%	15	30	—	—	—	—	—	—	—
添加材添加量	体積%	—	—	—	50	25	50	—	—	—
試料作成方法	—	締固め	水中落下通水飽和	締固め	水中落下通水飽和	締固め	水中落下通水飽和	締固め	水中落下通水飽和	水中落下通水飽和
試料の状態	—	不飽和	飽和	飽和	飽和	不飽和	飽和	不飽和	飽和	飽和
試験方法	—	UU	UU	UU	UU	UU	UU	UU	UU	UU
土粒子密度 ρ_s	g/cm ³	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627
湿潤密度 ρ_i	g/cm ³	1.926	1.933	2.034	1.981	2.054	1.981	2.054	1.981	2.054
乾燥密度 ρ_d	g/cm ³	1.673	1.674	1.666	1.675	1.667	1.675	1.667	1.675	1.667
間隙比	e	0.57	0.57	0.58	0.57	0.58	0.57	0.58	0.57	0.58
含水比	w	15.1	23.0	22.1	18.2	23.3	18.2	23.3	18.2	23.3
飽和度	S _v	63	100	96	81	100	81	100	81	100
粘着力	c _u	kN/m ²	25.08	98.36	35.75	2.68	74.95	2.68	74.95	2.68
内部摩擦角	ϕ_u	度	32.1	2.6	29.4	34.9	12.3	34.9	12.3	12.3

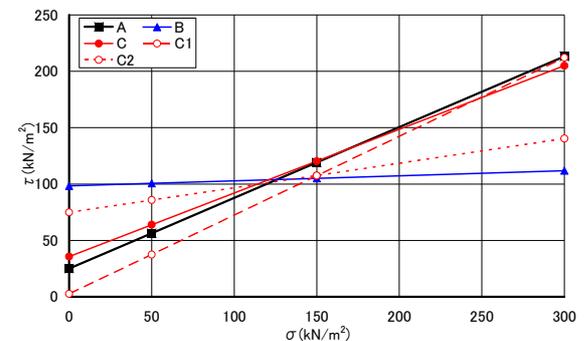


図-4 Mohrの破壊包絡線