福岡層群頁岩を対象とした泥土圧シールドの施工

安藤ハザマ　正会員○山本浩之，正会員　八木芳行，生田靖

１．目的

福岡市発注の箱崎 9 号幹線築造工事は，延長 L=1,282.1m の下水道（仕上り内径φ=3,250mm）を構築する工事であり，地表面下約 17m を泥土圧シールド工法で施工している．本工事では，古第三紀層福岡層群頁岩主体に掘削する計画であったが，切削された頁岩が，大量の湧水（海水）および添加材（高分子材，気泡材）と混合されることにより塑性流動化が得られず，面板およびチャンバーの閉塞，スクリューコンベアからの地下水の噴発等が頻発し掘進速度が大幅低下した（**写真-1** 参照）．

そこで今回，施工性を低下させている主な原因と考えられる頁岩の地質特性について各種試験を実施し，適正に塑性流動化しない主な原因が判明したのでここに報告する．

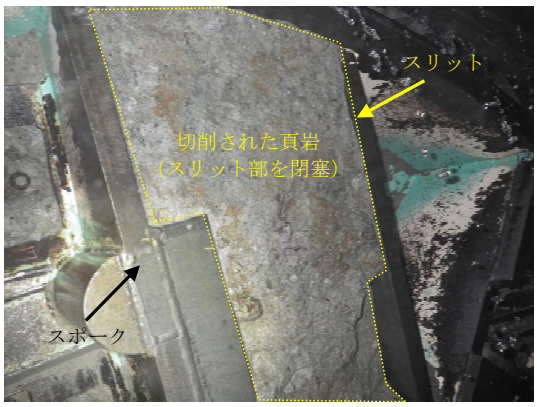

写真-1　頁岩のチャンバー内の閉塞状況

２．各種試験の概要と結果

施工対象であるの頁岩は，掘削土砂の目視観察により，破砕されると泥寧化しやすく閉塞という特殊な現象が発生していることから，膨張性粘土鉱物の有無，含有量および性質を特定するため，スレーキング試験，X線回折，スメクタイトの定量試験，吸水膨張率・膨張圧試験，粘性試験を実施した．

以下に，各種試験概要と結果を示す．

2-1. スレーキング試験結果

風化した頁岩 1，未風化の頁岩 2，砂岩 2 の合計 5 試料で実施した．その結果，風化した頁岩，未風化の砂岩ではスレーキング性は認められなかったが，未風化の頁岩は 2 試料ともスレーキングによる劣化を示した．さらに，そのうちの 1 試料はスレーキング指数 4 を示し，浸水直後より試料が崩れはじめ，1～2 時間でほぼ完全に砂～泥状化する“崩壊型のスレーキング性”を有していることが判明した．

2-2. X 線回折結果（**表-1** 参照）

X 線回折（不定方位，定方位，エチレングリコール処理）により頁岩，砂岩の吸水膨張性粘土鉱物（スメクタイト）の有無を分析した．**表-1** より，頁岩において多量のスメクタイトを含有することが判明した．

表-1　X 線回析結果（組成鉱物一覧表）

試料名		組成鉱物						
		Qz	Fl	Mi	Ch	Sm	Ze	Oth
頁岩	風化	◎	○	▼	－	○	△	－
	未風化 1	◎	△	－	△	◎	○	－
	未風化 2	○	△	－	△	◎	○	－
砂岩	未風化	◎	○	▼	△	▼	▼	－

相対的な量の目安
◎：多い
○：中位
△：少ない
▼：僅か

凡　例

Qz：石英	Sm：スメクタイト
Fl：長石類	Ze：沸石類
Mi：雲母粘土鉱物	oth：その他
Ch：緑泥石	

2-3. スメクタイトの定量結果（**図-2** 参照）

試験方法は鉄道技術研究報告 [1]に準拠し，粉末 X 線回折によるスメクタイトの定量を行った．**図-2** より，未風化の頁岩のスメクタイト含有量は，30～42%を示し，これはベントナイト原石（スメクタイト含有量が少ないもの）に相当する程度であり，通常の岩石では高含有量に属することが判明した．

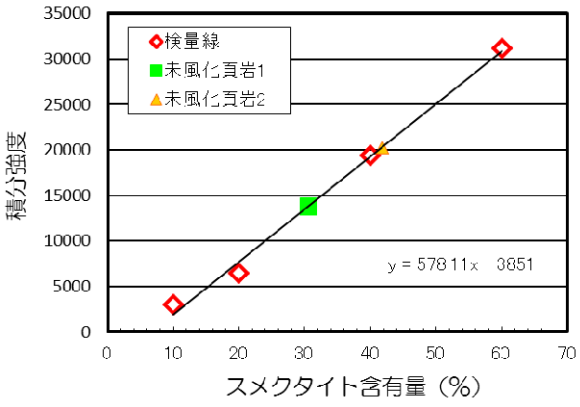

図-2　スメクタイトの定量試験結果

キーワード　泥土圧シールド，福岡層群，膨張性粘土鉱物，掘進速度

連絡先　〒107-0052　東京都港区赤坂 6-1-20　TEL：03-6234-3670　FAX：03-6234-3704

2-4. 吸水膨張圧・膨張率試験結果（図-3 参照）

未風化の頁岩は，スメクタイトを多量に含むことが確認されたことから，チャンバー内の固結・閉塞の原因と考えられる吸水（水道水，海水）による体積変化（膨潤）による膨張応力および膨張率を測定した．

図-3 に示す試験結果より，膨張応力については，未風化の頁岩は海水で 498kN/m^2、水道水で 733kN/m^2 程度の吸水による膨張応力を示すことが確認された．また膨張率については，未風化の頁岩は海水で 27%，水道水で 40%以上の吸水膨張率を示すことが確認された．特に海水の場合，水道水と比較して膨張率は小さいものの、60 分程度でほぼピークに達しており，急激に反応することが示された．このことは，実際のチャンバー内に取りこまれた時間を想定し 10 分とした場合，水道水では約 2%であるのに対し，海水では 14%と急激な膨張の反応があることが判明した．

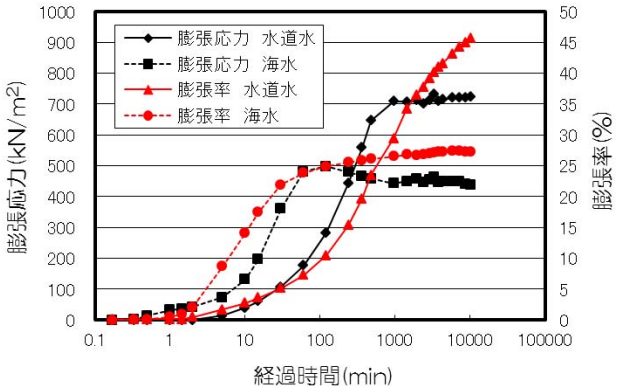

図-3 吸水膨張圧・膨張率試験結果

2-5. 粘性試験結果（表-2，3 参照）

チャンバー内に掘削土砂を塑性流動化し，排出しやすくするために添加している添加材（高分子と気泡）の頁岩への影響を把握するため，円筒形粘度計（ビスコテスター）を使用して粘性試験を行った．

表-2 に示す試験結果（高分子材）では，海水（一部水道水）は，多くの状態で“混在せず分離・沈降化”もしくは“凝集（フロック）化”し，塑性流動化の効果が期待できない結果となった．次に，表-3 に示す試験結果（気泡材）では，水道水は攪拌すると気泡材による泡が多く発生し，その泡の中で頁岩の土砂がうまく絡み合い塑性流動化が確認された．これに対し海水は，攪拌したことにより泡は発生するが，頁岩が混在せず分離・沈降化し，分離した上層の泡のみを攪拌する状態となり，高分子材と同様に，塑性流動化の効果が期待できない結果となった．

3．まとめ

本工事において，施工性を低下させている原因を把握することを目的に，古第三紀福岡層群の頁岩に対して各種試験を実施した．その結果，施工対象となる古第三紀層福岡層群頁岩は，膨張性粘土鉱物を多量に含み，さらに短時間に 20～40%程度体積膨張する特性があり，これが主なチャンバー内の閉塞などの原因と推定された．また大量の湧水（海水）が，添加材注入効果を低下させ“凝集（フロック）化”や“混在せず分離・沈殿化”による粘土化や再固結化を助長させ，チャンバーのスリット部やスクリューコンベアの刃先などに切削された頁岩が付着し，排出しにくい状態としていることが推定された．

参考文献 1)桜井他：膨潤性粘土鉱物の簡易定量法の研究，鉄道技術研究報告，No.1312（施設編第 574 号），1986.

表-2 粘性試験結果（高分子材）

No	湧水量 (l/min)	高分子希釈量 (%)	測定結果			
			水道水		海水	
			目視観察	粘性抵抗 (mPa･s)	目視観察	粘性抵抗 (mPa･s)
①	200	0.4	○	2,000	△	400
②		0.6	○	1,000	○	750
③		0.8	△	400	×	2,500
④	300	0.4	○	1,200	△	150
⑤		0.6	○	1,500	△	220
⑥		0.8	○	1,000	×	1,250
⑦	500	0.4	×	測定不可	×	測定不可
⑧		0.6	×	測定不可	×	測定不可
⑨		0.8	×	測定不可	×	測定不可

○：塑性流動化，△：混在せず分離・沈殿化，×：凝集(フロック)化

表-3 粘性試験結果（気泡材）

No	湧水量 (l/min)	気泡注入量 (%)	測定結果			
			水道水		海水	
			目視観察	粘性抵抗 (mPa･s)	目視観察	粘性抵抗 (mPa･s)
①	200	10	○	2,400	△	1,100
②		20	--	---	△	1,900
③		30	○	2,700	○	2,700
④	300	10	△	2,000	△	1,400
⑤		20	--	---	△	1,600
⑥		30	○	2,500	○	2,300
⑦	500	10	△	1,900	△	1,500
⑧		20	--	---	△	1,900
⑨		30	○	2,400	△	2,000

○：塑性流動化，△：混在せず分離・沈殿化，×：凝集(フロック)化