

福岡層群における泥土圧シールドの施工

生田 靖¹・八木 芳行²・山本 浩之³・名倉 浩⁴

¹株式会社間組 九州支店 箱崎シールド作業所 (〒812-0051 福岡市東区箱崎ふ頭1-3-1)

E-mail:yikuta@hazama.co.jp

²正会員 同上 関東土木支店 勝どき出張所 (〒104-0054 東京都中央区勝どき4-7-19月島ビル1F)

³正会員 同上 土木事業本部 土木設計部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5)

⁴正会員 同上 土木事業本部 技術第一部 (同上)

箱崎9号幹線築造工事は、博多湾に隣接した地域において延長1.28km、セグメント外径 $\phi=4.05\text{m}$ 、仕上がり内径 $\phi=3.25\text{m}$ の下水道雨水管渠を構築する工事であり、土かぶり約17mの深度を泥土圧シールド工法で施工している。シールドは当初、古第三紀福岡層群の頁岩、砂岩、礫岩が水平に堆積する地層において、全線にわたり頁岩層を主体とした層を通過するものと想定されていたが、追加ボーリングと切羽の目視観察の結果、それら3つの層がN80° E/20° S傾向の同斜構造を呈していることが判明した。

また、頁岩区間においては、掘削土の適正な塑性流動化が得られず面板およびチャンバーの閉塞、推力とカッタートルクの増大による掘進速度の大幅低下、スクリーコンベアからの地下水の噴発が頻発し、施工性の悪化を招いた。

本工事では、追加地質調査を反映した地質縦断面図の見直し、頁岩が適正に塑性流動化しない原因分析、および、施工性改善対策を検討したのでここに報告する。

Key Words : Fukuoka Group, Paleogene, shale, squeezing rocks, penetration rate

1. はじめに

平成11年6月29日に福岡市を襲った豪雨は、日最大時間降雨量79.5mmという福岡市観測史上最大の降雨を記録し、市街地広域における浸水被害をもたらした。

これらを踏まえ、福岡市では今後同程度の豪雨が発生した場合でも浸水被害を最小限にとどめることを目的とした「雨水整備Doプラン」を策定し、雨に強いまちづくりを行なっている。雨水整備Doプランは、従来から進められている5年確率(52.2mm/hr)の降雨に対する整備水準を、10年確率(59.1mm/hr)の降雨に対応可能なものにレベルアップし、前述の集中豪雨により重大な浸水被害が発生した地区を対象に、速やかに雨水管渠を整備しようとする事業である。

本報では、その事業の一環として東区箱崎地区の浸水被害軽減を目的として計画された、箱崎9号幹線築造工事について報告する。

施工位置を図-1に示す。

2. 概要

(1) 工事概要

箱崎9号幹線築造工事は、東区箱崎地区の雨水を博多湾に放流するための延長L=1282.1m、セグメント外径 $\phi=4.05\text{m}$ 、仕上がり内径 $\phi=3.25\text{m}$ のシールド工事(泥土圧シールド工法)である。土かぶりは約17mであり、掘削

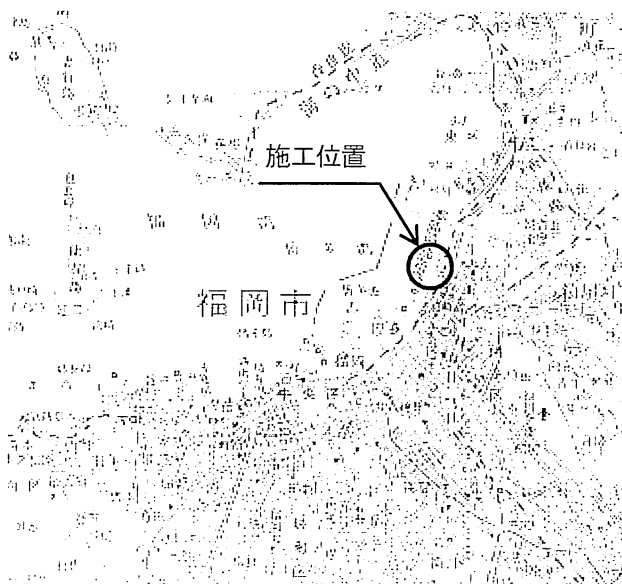


図-1 施工位置図

対象の地盤は古第三紀福岡層群の頁岩、砂岩、礫岩からなる未風化岩層である。シールドは最下流の人孔部から発進し、R=50m、30m×2箇所、18mの4箇所の急曲線施工を経て、最上流の人孔部に到達させる（図-2参照）。路線上部には福岡都市高速1号線、J R貨物線、国道3号線などの重要構造物を背負っている。

工事名称：箱崎9号幹線築造工事

発注者：福岡市道路下水道局

施工場所：福岡市東区箱崎3,4,5,6丁目、箱崎ふ頭1,2,5丁目地内

工期：平成22年12月15日～平成25年3月15日

内容：泥土圧シールド工法 L=1 282.1m

二次覆工仕上がり内径 $\phi=3.25\text{m}$

発進立坑（柱列式地下連続壁）

到達立坑（ライナープレート式立坑）

特殊人孔 2基

(2) 地形、地質状況

本工事箇所を含む福岡平野の北部地域の地形は、御笠川、宇美川、多々良川などの河川が博多湾に注ぐ河口の海岸平野を形成し、箱崎ふ頭一帯は埋土地域である。また、博多湾の沿岸低地では、風による運搬作用と堆積作用による砂丘が一部発達しており、貝塚、箱崎周辺では国道3号線とJ R鹿児島本線の間に以前は砂丘地帯が形成され、松林が南北に存在していたと考えられる。この砂丘の標高はTP+3～4m程度でそのほとんどが埋立地であると考えられる。

福岡市の地質は、福岡市北部一帯の基盤を形成している古第三紀福岡層群の砂岩、頁岩、礫岩と、南部一帯の基盤を形成している花崗岩類からなり、これらは断層も含めて不整合に接している。この基盤層の上部には、第四紀更新世の洪積層が分布し、下層より金武礫層、博多粘土層、荒江層と分布し、更に上部に第四紀完新世の沖積層である中洲層が分布している。

本工事箇所の地質は、上位より現世（埋土、盛土）、

完新世（沖積層：粘性土、砂質土）、更新世（洪積層：粘性土、礫質土）および基盤岩の古第三紀福岡層群頁岩、砂岩、礫岩などから構成されている。

シールド通過部の地質は、基盤岩の古第三紀福岡層群頁岩（砂質頁岩を含む）を主体とした砂岩、礫岩などから構成され、地質調査報告書によると、シールド通過の主体となる頁岩の一軸圧縮強度は10MPa程度、一部出現が想定された砂岩は33MPa程度とされた。通過岩盤の透水係数は $k=1\times 10^{-6}\sim 10^{-8}\text{m/s}$ 程度と透水性が悪く、切羽の湧水はほとんどないことが想定されていた。

(3) シールド機

a) シールド工法

当工事は、泥土圧シールド工法を採用した。シールド機寸法は、外径が $\phi 4.19\text{m}$ 、機長が6.39mである。中折れ角左右 11.7° の中折れ装置を装備し最小18mの急曲線施工を可能とした。シールド機の構造図を図-3に示す。

b) カッターヘッド

カッターヘッドは中間支持方式とし、硬質岩の大割れによるチャンバーやスクリュコンベアの閉塞を抑制するために面板形（開口率37%）として大塊の取り込み制限を行なった。さらに、スクリュコンベアを $\phi 370\text{mm}$ の岩石まで排出できるリボンスクリュー式とし閉塞抑制対策を行なった。摺動距離が長い最外周部の磨耗抑制対策として、セミドーム型のカッターヘッド形状とした。

c) カッタービット

カッタービットは、ティースビットと強化先行ビット（先行量30mm）を基本装備とするが、硬質岩の遭遇に備え、強化先行ビットをローラーカッターに交換できる仕様とした。交換するカッターはカッターヘッドにボルト固定し、チャンバー内側に引き抜ける構造とした。これにより、チャンバー内でのビット交換作業を行なうことができる。また、急曲線区間に硬質岩盤が出現するとコピーカッター式の余掘り装置が変形する可能性があったため、コピーカッター2基に加え、油圧ジャッキで出し

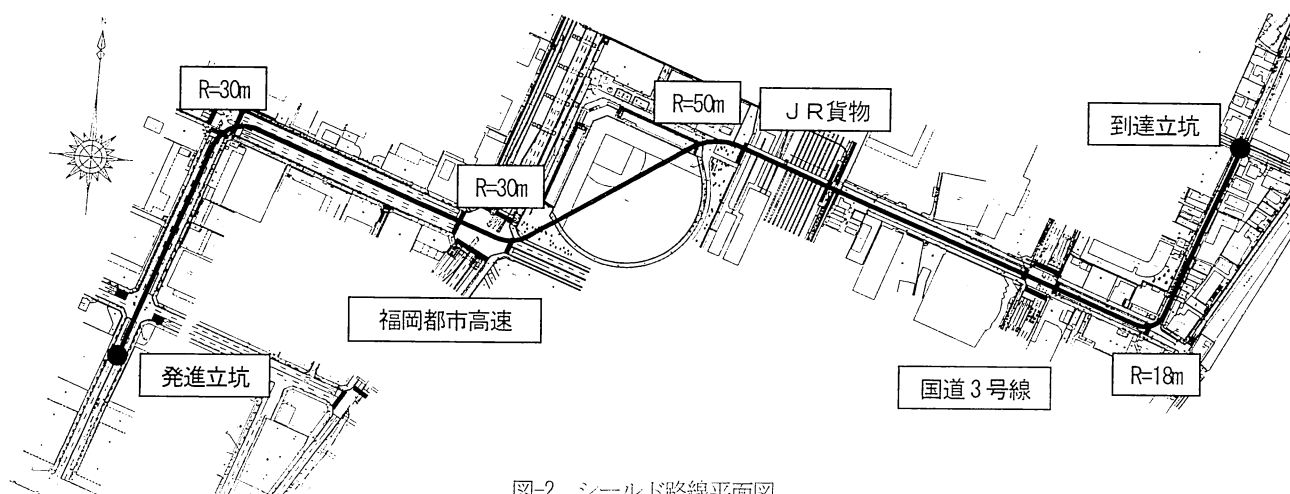


図-2 シールド路線平面図

入れできる（出代100mm）ローラーカッター式のオーバークッター装置を1基装備した。

3. 掘削対象の地質、湧水状況

当工事の地質は、既往の地質調査により上位よりTP-10m付近まで完新世粘性土～砂質土、TP-10m付近に更新世砂礫層が分布し、それ以深より基盤岩である古第三紀福岡層群の頁岩、砂岩、礫岩がほぼ水平に互層状態で分布することが予想されていた。これにより、当工事の掘削基面TP-13～17m（≒GL-17～21m）との関係より、層厚2～7mでほぼ水平に堆積する頁岩層を掘削する計画であった。

しかしながら、シールド掘削を開始すると、頁岩単一層を掘削していると考えていた箇所で、硬質の砂岩、礫岩が頻繁に排出された。この現象を解明するために、ビット交換の際、切羽を目視観察した結果、当地区の福岡層群の地質構造は、N80°E20°S傾向の同斜構造を呈することが判明した。このことは、掘削進行に対して偽傾斜

で5～20°程度の受け盤もしくは流れ盤構造を呈するものであり、進行に伴い頁岩、砂岩、礫岩が互層状に出現し変化に富む切羽となる。

また、事前の地質調査では、通過岩盤の湧水はほとんどないことが想定されていたが、常時150～200l/min程度（最大600l/min）の湧水が常時切羽から発生していた。これは、傾斜した岩盤の断面が上位の更新世砂礫層（帯水層）と接し、砂岩、礫岩層（透水層）や地質境界を通じて被圧された地下水が供給されやすい状態にあったものと考えられる。湧水の塩分濃度は3％程度あり海水と同等であることから、湧水は近接する博多湾が供給源であることが推定された。塩分を含んだ地下水は海岸線から約2km離れた到達立坑部でも確認された。

このように、シールド発進前の想定と異なる地質状況が判明したため、掘進を継続しつつシールド路線上に追加ボーリングを5本行い、そこで確認できた地層境界に切羽で測定した地層の傾斜を踏まえて地質縦断面図を見直した。切羽の地質状況を写真-1に、見直した地質縦断面図を図-4に示す。

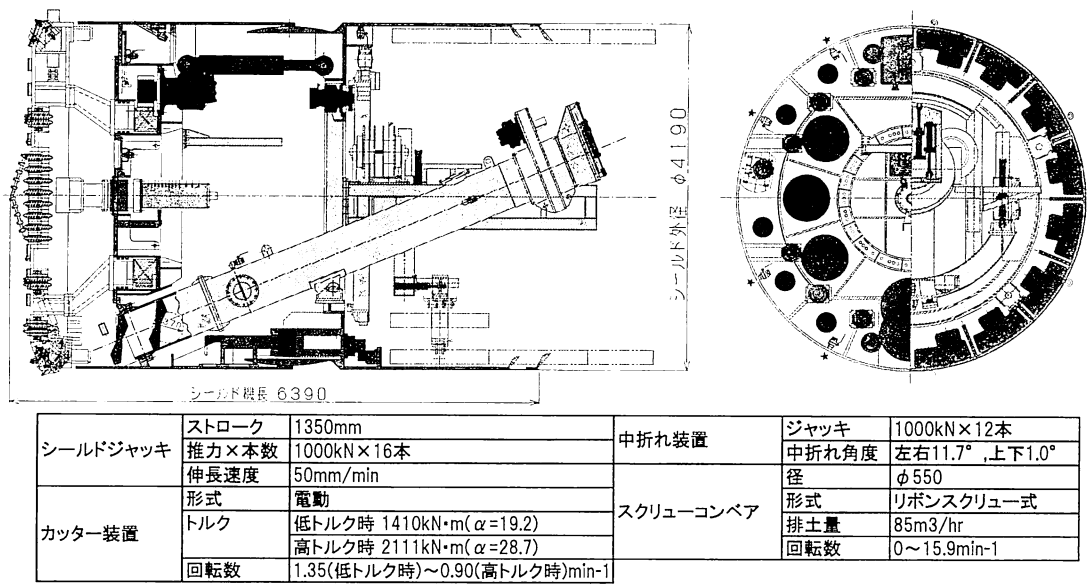


図-3 シールド機

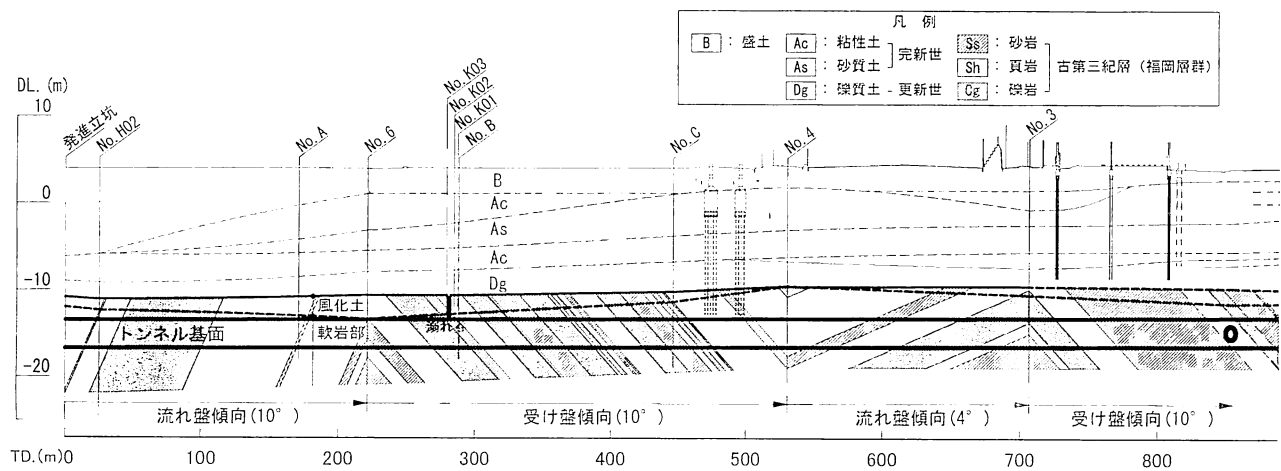


図-4 見直した地質縦断面図

4. 掘進状況

(1) シールドジャッキ推力上昇とローリング発生

シールドジャッキの装備推力16 000kNに対し14 000kN以上（装備推力の約88%）まで推力が上昇した。大きな推力はセグメントの破損を招くため12 000kNを上限値として掘進管理を行なった。また、頻繁にローリングが発生した。これは、見直した地質縦断図にあるように頻繁に出現する硬質な砂岩、礫岩層の切削抵抗が主要因と考えられた。

(2) 頁岩の付着および閉塞の発生

切削された頁岩がチャンバーで泥ねい化して吸水膨張を起こし、これが切羽圧で圧密脱水され再固結することによりローラーカッターの回転不良が発生した。また、面板のスリットおよびチャンバーの閉塞現象が確認され、それに伴うカッタートルク（1 300kN・mまで上昇）、シールドジャッキ推力の上昇トラブルが生じた。ローラーカッターは回転せず、岩盤を破碎することが不可能となり、偏磨耗も懸念されたため、回転不良が確認された時点で強化先行ビットに交換し、その後の使用を断念した。

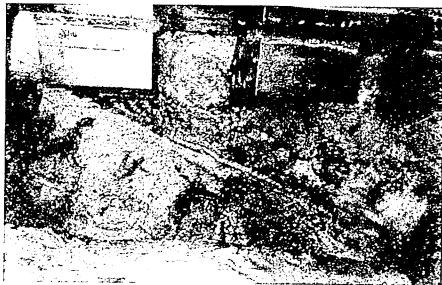


写真-1 切羽の地質状況（発進坑口から 320m 付近）



写真-2 頁岩の再固結状況



写真-3 面板スリットの閉塞状況

このような状況において、掘進速度は当初想定より大幅に低下し、平均で5mm/min程度で推移した。頁岩の再固結状況、面板スリットの閉塞状況を写真-2, 3に示す。

(3) 塑性流動化不良

当工事の添加材は、強い粘性をもつ土砂の付着防止に効果がある界面活性剤を発泡した気泡を主に使用し、地質変化に応じ高分子系を使用する計画とした。しかし、実施工では気泡の界面活性効果が発揮されず、切削片と地下水が十分に混合せずに分離した状態で機内に排出された。そのため、スクリーコンベアから地下水噴発が頻発したり、前述のように頁岩が面板やチャンバーに付着してしまうなど施工性が大幅に悪化した。これは、切羽が岩盤で空隙がないため気泡が地盤に浸透しないまま湧水に希釈されてしまうためと推定され、添加材の配合や注入量を見直す必要が生じた。

(4) 閉塞した頁岩の除去による施工性の悪化

閉塞した頁岩片は面板およびチャンバーに非常に強固に付着しているため、その除去は人力ハツリ作業が必要となった。しかし、狭所におけるハツリ作業の危険性、掘進停止による工程の遅れが生じることから、安全性が高く効率的な閉塞解除方法を検討する必要が生じた。

上述した施工性が悪化している原因と考えられる頁岩、砂岩および礫岩の地質特性を調べるため、次章以降に記す各種室内試験を実施し、現象を解明するとともに施工性改善対策を実施した。

5. 各種室内試験結果

(1) 試験項目

試験項目一覧表を表-1に示す。頁岩は切削されると泥ねい化しやすく、閉塞という特殊な現象が発生していることから、膨張性粘土鉱物の含有量や性質を特定する試験、一方、砂岩、礫岩は想定以上の強度を有するものと推定されたことから、強度試験を主体に実施した。

表-1 試験項目一覧表

試験項目		頁岩	砂岩	礫岩
膨張性試験	(1) スレーキング試験	○	○	—
	(2) X線回折	○	○	—
	(3) スメクタイトの定量試験	○	—	—
	(4) 吸水膨張圧試験	○	—	—
	(5) 吸水膨張率試験	○	—	—
粘性試験	(6) 高分子材使用	○	—	—
	(7) 気泡材使用	○	—	—
強度試験	(8) 一軸圧縮試験	○	○	—
	(9) 点載荷試験	○	○	○

(2) スレーキング試験結果

試験方法は、JGSの試験法（JGS 2124-2006 岩石のスレーキング試験）に準拠した。また、実施した試料は未風化の頁岩2，砂岩2，風化した頁岩1の合計5検体で実施した。

その結果、未風化の砂岩，風化した頁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検体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検体はスレーキング指数4を示し，浸水後直ちに試料の崩壊が始まり，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。この現象はスメクタイトが含まれる場合，交換性陽イオン組成はCaを多く含むタイプであるものと推定された¹⁾。

また，未風化の頁岩について，試験前後の供試体の質量を測定してスレーキングによる吸水量（吸水含水比）を求めた結果，吸水率は最大116％程度を示すことが明らかとなった。

(3) X線回折結果

スレーキング試験結果より，吸水膨張性粘土鉱物（スメクタイト）を含有する可能性が高いことが推測されたことから，X線回折²⁾（不定方位，定方位，エチレングリコール処理）により頁岩，砂岩のスメクタイトの有無を分析した。X線回折結果を表-2に示す。

表-2より，頁岩（特に未風化）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。また，砂岩については，わずかな量のスメクタイトが確認された。なお，表-2に示す組成鉱物のうち，スメクタイトと沸石類は熱水変質などにより生成される変質鉱物である。

(4) スメクタイトの定量試験結果

X線回折の強度は，鉱物の含有量と相関関係があることから，目的とする鉱物の回折線を選んで鉱物の定量を行うことができる。今回の試験では，第一段階として，鉱物の同定を目的としてX線回折により鉱物種を求めた。

その結果，全ての試料にスメクタイトの含有が確認さ

れたことから，粉末X線回折によるスメクタイトの定量を行った。試験方法は，鉄道技術研究報告³⁾に準拠した。スメクタイトの定量試験結果を図-5に示す。

図-5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（低含有量のもの）に相当する程度であり，通常の岩石では高含有に属することが明らかになった。

(5) 吸水膨張圧試験結果

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（膨張）による圧力を測定した。

試験方法は，JGS2121-1998「岩石の吸水膨張試験方法」に準拠し，吸水による体積変化（変位）を完全に拘束し圧力を測定した。吸水膨張圧試験結果を図-6に示す。

図-6に示す結果より，未風化の頁岩は海水で498kN/m²，水道水で733kN/m²程度の吸水による膨張圧を示すことが確認された。既往の研究⁴⁾で示されているスメクタイトを含むベントナイト原石の膨張圧試験結果では，膨張圧は1 100～1 300kN/m²程度あり，今回の頁岩はその50％に近い数値を示すことが確認された。また，膨張圧の経時変化については，水道水は16時間で収束するのに対し，海水は1時間で収束するような膨張曲線を示し，水道水よりも早期に膨張性が発現する特徴を有した。

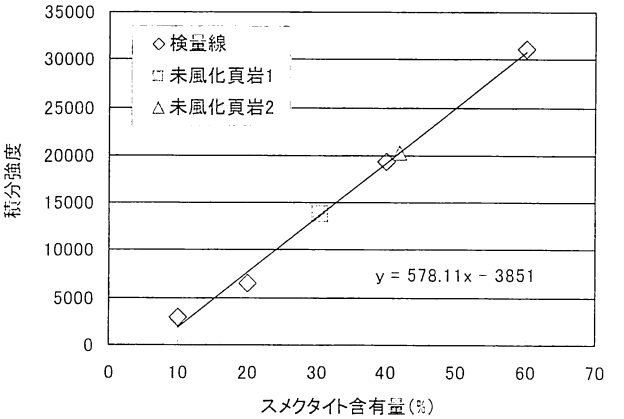


図-5 スメクタイトの定量試験結果

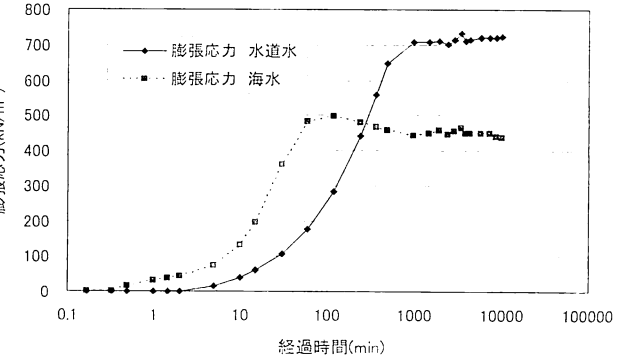


図-6 吸水膨張圧試験結果

表-2 X線回折結果（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

Fl：長石類

Mi：雲母粘土鉱物

Ch：緑泥石

Sm：スメクタイト

Ze：沸石類

Oth：その他

(6) 吸水膨張率試験結果

未風化の頁岩において、さらに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（膨張）による膨張率を測定した。

試験方法は、JGS2121-1998「岩石の吸水膨張試験方法」に準拠し、吸水による膨張量変化（変位）を測定した（図-7参照）。図-8より、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。実施工で切削した土砂がチャンバー内に取り込まれる時間を想定した場合、5分から10分程度の時間であるものと考えられる。そこで、仮にチャンバー内に取り込まれる時間を10分とした場合、水道水では2%ほどであるのに対し、海水では14%と急激な膨張の反応があることがわかる。

一般的には古第三紀層は強度が高く、山岳トンネル掘削で膨張性が発現する事例は少ないが、シールドはカッタービットによる切削で岩石が細片化されるため、これが大量湧水（海水）と混合したことにより、泥ねい化し膨張性が促進されたものと考えられる。

(7) 粘性試験結果

さらに頁岩の特性を検証するため、円筒形粘度計（ピコテスター）を使用して粘性試験を行った。この試験の

目的は、掘削土砂を塑性流動化し排出しやすくするために、頁岩に対する添加材（高分子と気泡）の影響を把握することであり、混合水は水道水と海水で比較した。具体的には、実際のチャンバー内を想定し1リング当たりの配合比で各材料を手動で攪拌後、円筒形粘度計で粘性抵抗（ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ）の測定と混合状況を目視観察した。粘性試験結果を表-3, 4に示す。

表-3より、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、高分子材による塑性流動化の効果が期待できない結果となった。特に海水において、高分子希釈量が0.8%の状態の場合、湧水量にかかわらず凝集（フロック）化により測定不可となり、泥水のスラリー分がすぐにフロック状に固結化することが確認された⁵⁾（写真-4参照）。

表-4より、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一部を除き概ね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、ほとんどのケースが分離した上層の泡のみを攪拌する状態となった（写真-4参照）。

以上より、特に海水の場合、添加材に気泡を使用すると混在せず分離、沈降化現象が発生し、高分子と同様に塑性流動化が困難であるものと推定された。

表-3 粘性試験（高分子材）結果

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 ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	目視 観察	粘性抵抗 ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)
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・沈降化。×：凝集（フロック）化

表-4 粘性試験（気泡材）結果

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 ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	目視 観察	粘性抵抗 ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)
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・沈降化。×：凝集（フロック）化

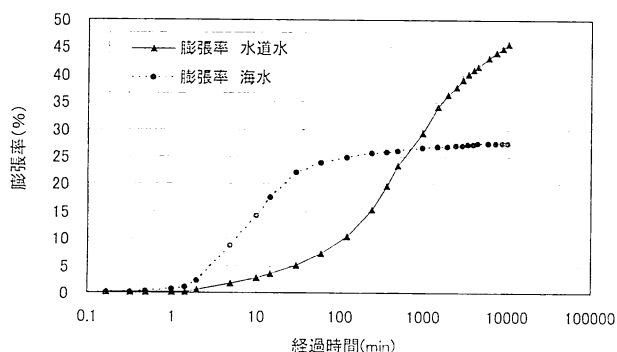
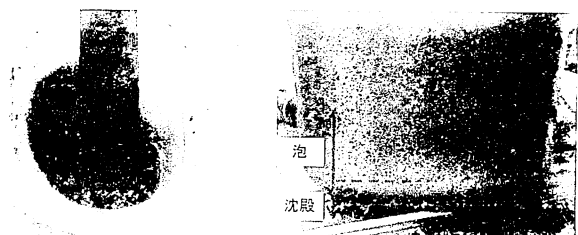


図-7 吸水膨張率試験結果



凝集（フロック）化
による固結現象

混在せず分離・沈降化
による現象

写真-4 頁岩、海水、添加材の攪拌状況

8) 強度試験結果

強度試験は、第一段階として一軸圧縮強度（ q_u ）と点
載荷強さ（ I_s ）との強度比を得るために、一軸圧縮強度
用の供試体が成型できる岩塊試料を選定し、その試料に
より、一軸圧縮強度と点載荷強さの強度比を求めた
（表-5参照）。これにより、砂岩で強度比は $q_u/I_s=$
158.64、頁岩で36.00という結果が得られた。点載荷強さ
より得られた換算一軸圧縮強度結果を表-6に示す。

表-6より砂岩は $q_u=113.16\sim326.80\text{MPa}$ 、礫岩（強度比
は砂岩と同等とした）は $q_u=161.81\sim348.48\text{MPa}$ 、頁岩は
 $q_u=9.54\sim37.44\text{MPa}$ を示し、頁岩はほぼ施工前の想定通り
なのに対し、砂岩、礫岩は非常に硬質な岩石であること
が判明した。このように非常に硬質な砂岩、礫岩と、軟
質な頁岩が短期間に入れ替わり出現することが、対策を
一本化できず、本工事の施工性悪化の一因となっている
ことが想定される。

6. 原位置添加材注入試験結果

添加材の標準的な配合や注入量では適正に塑性流動化
しなかったため、実施工において高分子材と気泡材それ
ぞれについて、配合、注入率を変化させ、掘進速度、カ
ッタートルク、シールドジャッキ推力および排土性状を
比較した。高分子系は希釈が9～10%の時に掘進速度、
排土性状にやや改善が見られたが、掘進の進捗に伴いチ
ャンバー等への頁岩の付着が増大し、カッタートルクの
上昇によるマシン停止に陥ってしまう。気泡材は希釈
3%の時に掘進速度、シールドジャッキ推力、排土性状
にやや改善が見られた。両者に共通することは、添加材
の効果は、切羽における3つの岩種（頁岩、砂岩および
礫岩）の出現割合、湧水量により大きく変化することが
判明した。したがって、本工事のように切羽の岩種、湧
水量がめまぐるしく変化する状況では、良好な掘進状況

が得られてもその効果が長続きせず、抜本的解決方法を
得ることは困難であった。

7. シールド機の改造

(1) 強化先行ビットの嵩上げ

ローラーカッターが頁岩の付着により回転不能になっ
たため、強化先行ビットに交換した。その際、頁岩の付
着対策として、先行切込み量を増し頁岩をできるだけ大
きな塊に切り崩すことが有利と考え、強化先行ビットを
40mm嵩上げし、ティースビットに対する先行量を30mm
から70mmに増加した。これにより、ビット交換前に
3mm/minまで低下した掘進スピードが、継続性はないが
最高30mm/minにまで達することがあった。

(2) バルクヘッドへのエアブロー設備の設置

チャンバー中央のカッターヘッド支持脚内部に頁岩が多
く堆積し、カッター回転抵抗、土砂の取り込み阻害とな
っていることが判明したため、バルクヘッドにもエア
注入バルブを3箇所新設した（図-8参照）。カッター
ルクの上昇や推力上昇など閉塞の兆候が見られたら直ちに
エアブロー（0.7MPa）を行ない、閉塞塊を崩壊させ土
砂の取り込みを促進させることができた。エアブロー
により、人力ハツリ作業の頻度が大幅に低減したため、
狭所作業の危険と工程ロスの低減に繋がった。

(3) 面板改造による開口率の向上

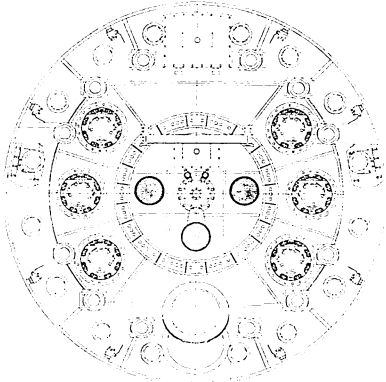
面板形のカッターヘッドはチャンバー前方が面板で保護
されているため土砂の取り込み圧力がチャンバーに伝達
し難い。この圧力不足が土砂の取り込み阻害となりチャ
ンバー閉塞の一因となっているものと考え、コピーカッ
ターの油圧配管、添加材注入配管などがある箇所を除き、

表-5 一軸圧縮強度と点載荷強さとの強度比

試料	一軸圧縮強度			点載荷強さ			強度比 q_u/I_s
	No	q_u (MPa)	平均 (MPa)	No	I_s (MPa)	平均 (MPa)	
砂岩	1	166.66	268.63	1	2.71	1.69	158.64
	2	334.90		2	1.76		
	3	304.34		3	0.61		
頁岩	1	9.54	9.54	1	0.25	0.27	36.00
				2	0.28		

表-6 換算一軸圧縮強度測定結果

試料	砂岩				礫岩		頁岩			
	No	1	2	3	4	1	2	1	2	3
I_s (MPa)	1.69	0.71	0.81	2.06	2.20	1.02	0.27	1.04	0.39	
換算 q_u (MPa)	268.63	113.16	128.50	326.80	348.48	161.81	9.54	37.44	14.16	
平均値 q_u (MPa)	209.27				255.15		20.38			



エア注入バルブ：○

図-8 バルクヘッドエア注入バルブ設置位置図

面板を撤去し開口率を37%から46%に向上した（図-9参照）。なお、面板改造の時点で一次覆工は約50%の進捗であったが、それまでの排土の観察により岩盤の大割れはないものと考え面板改造に踏み切った。改造前は20リングに1回程度閉塞解除作業を行っていたが、面板改造後は平均30リングに1回となり2/3の頻度に低減し、工程ロスの低減に寄与した。

8. まとめ

地盤想定精度を向上させ、トンネル設置位置、計画深度およびトンネル築造工法の選定など、基本計画に反映することは重要である。近年、弾性波探査、電気探査および音響トモグラフィ探査など、非破壊で地盤を面的に可視化できる物理探査技術が進展している。しかし、これらは未固結地山と岩盤の境界のように地盤の硬さが著しく異なる境界面を探査する場合には非常に有効な技術であるが、本工事のように岩盤内の互層は特定困難と

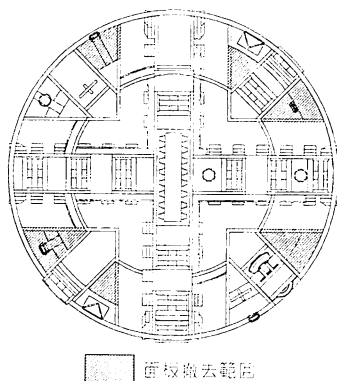


図-9 面板撤去範囲図

いわれている。したがって、地盤想定精度向上のためには、通常200m毎程度のボーリング調査を、岩盤シールドでは調査頻度を上げ、地盤の傾斜、互層が疑われる場合には、局部的に数m間隔で調査を行ない地層の走向、傾斜を把握することが有効と考える。

古第三紀の頁岩のような岩石自体の強度が大きい岩盤は、山岳トンネルの場合では盤ぶくれなどを起こすことは稀である。しかし今回のように、シールド機により破碎され細片化すると、吸水膨張性が発現し施工上のトラブルに発展する場合がある。今後、同様の地質におけるシールド施工の参考になれば幸いである。

謝辞：X線回折など各種室内試験を実施するに当たり、（株）ジェイアール総研エンジニアリング石田良二氏には貴重なご助言と多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 石田良二，西川総明：スメクタイトを含む軟岩の諸性質(1)―交換性陽イオンと吸水特性―，粘土科学，Vol.32，pp.97-107，1992。
- 2) （社）地盤工学会編：岩の調査と試験，1989。
- 3) 桜井孝，立松英信，水野清：膨張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。
- 4) 石田良二：スメクタイトを含む軟岩の諸性質および劣化に関する基礎的研究，前田建設技術研究所報，vol.35-6，1995。
- 5) 日本粘土学会：URL（<http://www.soc.nii.ac.jp/cssj2>）「粘土基礎講座Ⅰ，23章 2-5 節ベントナイトの特性とその応用」より

(2012.9.3 受付)

SHIELD TUNNEL CONSTRUCTION IN SQUEEZING ROCKS OF FUKUOKA GROUP

Yasushi IKUTA, Yoshiyuki YAGI, Hiroyuki YAMAMOTO and Hiroshi NAGURA

HAKOZAKI NO.9 Line Tunnel (L=1.28km, $\phi=3.25\text{m}$) has been constructed the sewerage rain water pipe at about 17m underground by the mud pressure shield tunneling method. It was planned that we dug it at first in the stratum accumulates horizontally. The geology consists of shale, sandstone and conglomerate (Fukuoka Group of Pleogene). The geology mainly composed of shale. But, became clear that the geology are presenting the obliqueness structure of N80° E/20° as a result of observation

There has occurred many phenomena in section of the shale, such as much spout of groundwater, blocking up of the inner part of the chamber by do not the proper plasticity flow of digging soil, decline of the digging speed by increase in torque of the cutter and the driving force. As a result, it caused construction-related aggravation.

The review a figure of geological feature vertical section by reflection an additional investigation, the diagnosis of do not the proper plasticity flow, the examination of construction-related improvement measures. Therefore we report here.