

低強度泥岩地山の掘削

西松建設株式会社 九州支社 新幹線久山西出張所
 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 長崎鉄道建設所
 西松建設株式会社 九州支社 新幹線久山西出張所
 西松建設株式会社 土木設計部

正会員 ○松寄 史明
 正会員 後藤裕太郎
 正会員 永田謙一郎
 正会員 鈴木 健

1. 目的

「九州新幹線（西九州）、久山トンネル（西）他」工事（以下、本工事と称す）は、九州新幹線西九州ルート内の長崎県諫早市～長崎県長崎市間の久山トンネル（延長 $L=4,990\text{m}$ ）の西側工区（延長 $L=2,440\text{m}$ ）である。

本工事は、工事起点側の仮設備ヤードから、斜路 $L=157\text{m}$ を掘削し、武雄温泉起点 $51\text{km}130\text{m}$ 付近で本坑に到達し、長崎方に向かって本坑掘削を開始した。主たる地山は、古第三紀の砂岩泥岩互層である。

本坑掘削を開始したところ、武雄温泉起点 $51\text{km}145\text{m}$ 付近から、当初設計で想定されていなかった脆弱な泥岩が出現し、大きな初期変位速度が計測された。そのため、掘削を一時停止し、この脆弱な泥岩の性状を調査するとともに、類似地山の実績を参考に支保パターンの見直しを行った。地質調査の結果、脆弱な泥岩の一軸圧縮強度は、 0.4MPa （地山強度比：0.3）と低強度であったこと、および類似地山の掘削時の支保パターンは、特 S パターンであったことから、当該部の支保パターンは特 S パターンとし、切羽近傍で断面閉合しながら掘削した。本報告は、支保パターンを特 S パターンに変更した経緯について報告する。

2. 脆弱な泥岩の出現

斜路と本坑接続部である武雄温泉起点 $51\text{km}130\text{m}$ 付近の当初設計の支保パターンは、I N-2（鋼製支保工 H125 上半のみ、吹付けコンクリート $t=125\text{mm}$ ）であった。本坑掘削を行っていたところ、武雄温泉起点 $51\text{km}145\text{m}$ 付近から、図-1 に示すような泥岩が切羽全面に出現した。この断面付近の坑内変位は、内空変位が天端沈下の 2 倍程度出現し、かつ初期変位速度が最大 50mm/日 計測された。そこで、斜路本坑接続部の区間は、増しロックボルト等の補強を行うとともに、トンネル掘削を武雄温泉起点 $51\text{km}170\text{m}$ にて一時中止し、この泥岩主体の砂岩泥岩互層の性状の確認および今後の支保パターンについて検討を行うこととした。

泥岩の性状を確認するため、まず切羽からコアを採取し、一軸圧縮強度試験を実施した結果、一軸圧縮強度は、 0.4MPa であり、土被りおよび別途調査した単位体積重量を考慮すると、地山強度比 G_n は 0.3 であることが判明した。「山岳トンネル設計施工標準・同解説」¹⁾によれば、地山強度比 G_n が 0.5 未満である場合の地山分類は、特 S となっている。また、この泥岩に対して浸水崩壊度試験を実施したところ、図-2 の通り、判定は 4 となった。

このことから、初期変位速度が大きく発生した原因は、泥岩の強度が小さい、膨潤性がある、および支保内圧不足によるものと考察した。



図-1 51km158m の切羽観察



図-2 浸水崩壊度試験（判定 4）

キーワード 泥岩、地山強度比、切羽近傍での断面閉合、支保パターン

連絡先 〒105-6301 東京都港区虎ノ門1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10階 西松建設株式会社 土木設計部 TEL 03-3502-7637

3. 支保パターンの検討

今後の掘削時の支保パターンを設定するため、本トンネルで出現した低強度の泥岩地山と同様な施工事例を調査した結果、九州新幹線西九州ルート「俵坂トンネル（西）他」工区が類似した地山を掘削²⁾したことが分かった。「俵坂トンネル（西）他」工区では、本工事と同じく「古第三紀の泥岩」を掘削したこと、トンネル内空変位は、側方からの変位が顕著であったこと等、内空変位の傾向も類似していた。このトンネルの支保パターンは、インバートストラット付きの「特Sパターン（鋼製支保工 H200、吹付けコンクリート $t=250\text{mm}$ ）」であり、切羽からの閉合距離は $6\text{m} \sim 10\text{m}$ として掘削を行っていた。

以上より、本工事の当該部の支保パターンは、前述した地質調査結果および類似事例を考慮して、特Sパターン（図-3、鋼製支保工 H200、吹付けコンクリート $t=200\text{mm}$ ）を採用することとした。掘削サイクルは、上半 $2\text{m} \rightarrow$ 下半 $2\text{m} \rightarrow$ 一次インバート 2m （切羽からの閉合距離 6m ）とし、切羽近傍で断面閉合しながら掘削を行うこととした。トンネル掘削時の変形余裕量は、「俵坂トンネル（西）他」工区の実績を考慮して、沈下 75mm 、内空変位 150mm とした。なお、当初設計と特Sパターンの支保内圧を算定、比較したところ、表-1の通り、特Sパターンの支保内圧は、当初設計の支保パターンに比べて、1.9倍であることが分かった。

4. 特Sパターンによる掘削実績

掘削再開直後となる武雄温泉起点 $51\text{km}171\text{m}$ 断面位置の上半の内空変位計測結果を図-4に示す。計測結果を確認すると、上半の内空変位が卓越するものの、切羽離れ 15m 程度で収束したことが確認できた。この時の最大変位量は 100mm 程度であり、変形余裕量以下で収束した。

5. まとめ

当初設計で想定されていなかった低強度な泥岩が出現したものの、掘削を一時休止し、地山の評価および類似事例調査を行って、適切な支保パターンを選定したことで、トンネル掘削時のトンネルの変状や大変形を発生させることなく掘削を行うことができた。

6. 参考文献

- 1)：(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構、「山岳トンネル設計施工標準・同解説」，2008年4月
- 2)：井浦他，側方からの押出しが顕著な泥岩地山を早期閉合で掘削，トンネルと地下，2014年3月

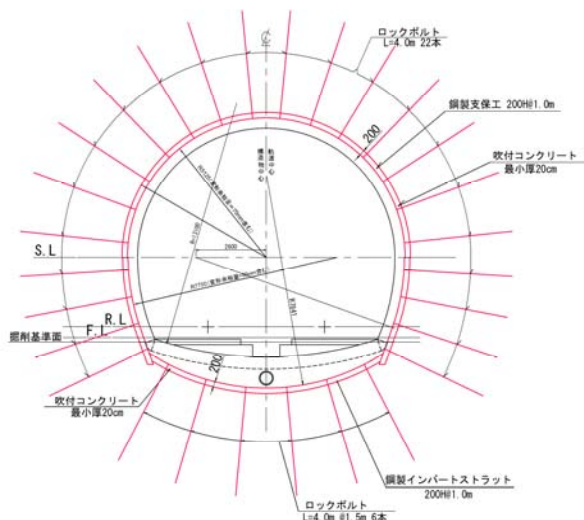


図-3 特S 支保パターン図

表-1 支保内圧比較

項目	当初設計 I N-2	変更 特S
【吹付けコンクリート】		
一軸圧縮強度 $\sigma_{ca}(\text{N/mm}^2)$	18	18
吹付け厚 $t(\text{mm})$	125	200
合計吹付け厚さ (mm)	125	200
掘削半径 $a(\text{mm})$	5,075	5,250
吹付け支保圧 $P_{ic}(\text{N/mm}^2)$	0.44	0.67
$P_{ic}=0.5 \cdot \sigma_{ca} \cdot (1 - ((a-t)^2/a^2))$		
【ロックボルト】		
引抜耐力 $T(\text{N})$	170,000	170,000
上半ロックボルト本数(本)	10	28
合計ロックボルト本数	10	28
周方向打設間隔 $t_b(\text{mm})$	2,700	1,150
軸方向打設間隔 $e(\text{mm})$	1,200	1,000
ロックボルト支保圧 $P_b(\text{N/mm}^2)$	0.05	0.15
$P_{ib}=T/(t_b \cdot e)$		
【鋼製支保工】		
使用サイズ	H-125	H-200
降伏強度 $\sigma_{sy}(\text{N/mm}^2)$	245	245
断面積 $A_{s0}(\text{mm}^2)$	3,000	6,353
建込間隔 $S(\text{mm})$	1,200	1,000
軸方向1m当りの断面積 $A_{ss}(\text{mm}^2)$	2,500	6,353
鋼製支保工支保圧 $P_s(\text{N/mm}^2)$	0.10	0.30
$P_{is}=\sigma_{sy} \cdot A_{ss}/(S \cdot a)$		
支保圧 $P(\text{N/mm}^2) = P_{ic} + P_{ib} + P_{is}$	0.59	1.12
支保圧の比率 (I N-2を1とする)	1.0	1.9

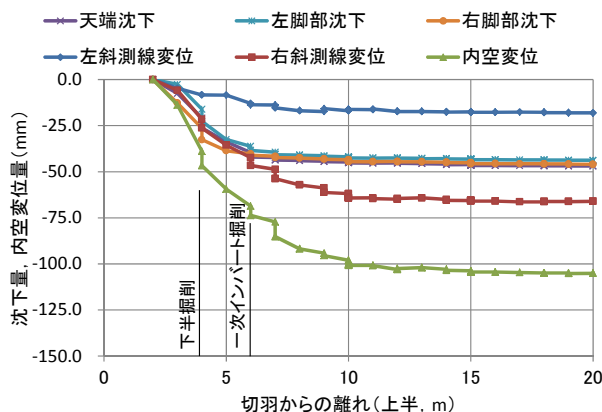


図-4 51km171m 変位記録（経距変位図）