

清水建設(株) 土木技術部
岡

正員 岡田 滋
同 高崎 英邦

1. はじめに 静岡県藤枝市と島田市間に、国道一号線のバイパス工事の一部として建設中の谷稲葉トンネルは、建設途中から膨張性地圧に遭遇し、施工は困難を極めた。トンネルは、土被り20~50mの比較的なだらかな丘陵地帯に位置し、岩盤は新第三紀中新世の大井川層の砂岩/泥岩の互層である。施工において各種の補助工法が検討、実施されたが結局ロックボルトを一断面7本打設する補助工法(以後A工法)により導坑を掘進した。またシステムロックボルト・吹付け工法を併用したNATM工法(以後B工法)を試験実施した。(図-1) 本報告は、上記トンネルで実施した調査・計測のうち内空変位及び岩盤のゆるみについて述べ、有限要素法を用いて行った解析との対比など若干の考察を加えたものである。

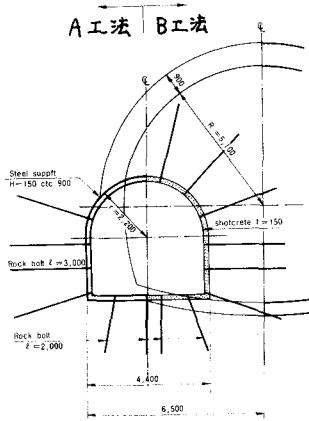


図-1 A工法とB工法

2. 調査・計測結果 実施した調査・計測の主な内容を表-1に示す。本トンネルの岩盤において、砂岩の間にある泥岩が無数の鏡肌を有し、岩盤のマスとしての強度を低下させている。この様な岩のため強度試験用供試体の成形が不可能であったので、点荷荷非整形圧裂引張試験を行い、プロトジャコノフの式から一軸強度を推定した。その結果一軸強度の平均値が約5kg/cm²であった。

表-1 計測内容

項 目	目 的	検 査 手 法
1. ロックボルト引張試験	品質管理	センターボルトジャッキ
2. ロックボルト軸力	ロックボルトの軸力 トンネル周辺ゆるみ	メカニカルファン(4点、 $\ell=3\text{ m}$)
3. 岩石試験	物理・化学特性	密着第三軸圧縮試験、歪速度0.0046%/sec 一軸圧縮試験、非整形試験 浸水割壊度: X線診断: CEC他
4. 弾性波試験	トンネル周辺ゆるみ	トンネル内に鋼線、火薬20gr 受信点間隔2m(HS-J型) ハンダーサイスモグラフPS-5
5. 内空断面相対変位	内空断面相対変位	コンバーゼンシメーター($\times 10^{-5}$)
6. 岩盤内相対変位	岩盤内相対変位	エクステンションメーター(4点、 $\ell=3\text{ m}$)
7. 支保工応力	支保工応力	歪ゲージ式

計測の結果のうち内空変位の経日変化を図-2に示す。また岩盤内変位測定とロックボルト軸力測定及び弾性波試験結果から岩盤のゆるみはA工法で2~3m、B工法ではほとんど生じていなかった。これらの結果からトンネル内空断面縮小、岩盤のゆるみに対してシステムロックボルト・吹付け工法が非常に有効性を持っている事がわかった。

3. 解析 3-1 解析モデル及び手法 解析する断面における土被りを45mとし、2次元平面歪問題として扱う。解析領域としては導坑径の約5倍として20mの範囲をとった。支保のモデルとしては、ロックボルトを棒要素、鋼製支保工を梁要素とした。吹付けモルタルは、薄肉構造であるから曲げに対してほとんど抵抗しないと考える棒要素とした。

地盤は、応力~歪関係をbi-linearの弾塑性体として計算した。この場合降伏条件としてMohr-Coulombの降伏条件式を用いる。すなわち

$$\tau_{cr} = C \cos \phi + \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \sin \phi \quad (C: \text{粘着力}, \phi: \text{内部摩擦角})$$

$$T_{max} \geq \tau_{cr} ; \text{plastic zone}, T_{max} < \tau_{cr} \text{ elastic zone}$$

3-2 岩盤解析定数 岩盤のマスとしての挙動は強度の低い泥岩によって支配されると考えられる。岩石試験の結果から、泥岩の岩盤解析定数とし

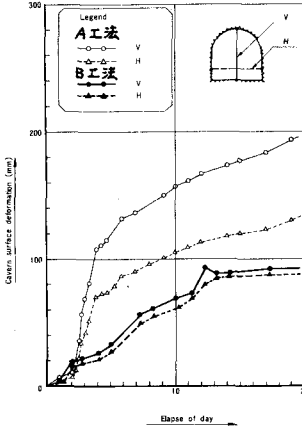


図-2 内空変位の経日変化

7. $E = 2800 \text{ kg/cm}^2$, $C = 2 \text{ kg/cm}^2$, $\mu = 0.2$ が求まった。ここに E は弾性係数である。解析したのは、無普請の場合、H支保工の場合、及びA工法、B工法の4ケースである。

3-3 解析結果 図-3にそれぞれのケースにおける内空変位を示す。また図-4にはそれぞれのケースにおける塑性領域の大きさが図示されている。計算結果から、内空変位、塑性領域どちらも 無普請>H支保工のみ>A工法>B工法 の順で小さくなっており、ロックボルトや吹付け工法が空洞変位を抑えるのに非常に効果がある事がわかる。しかしA工法とB工法の計算結果には大きな差が認められない。

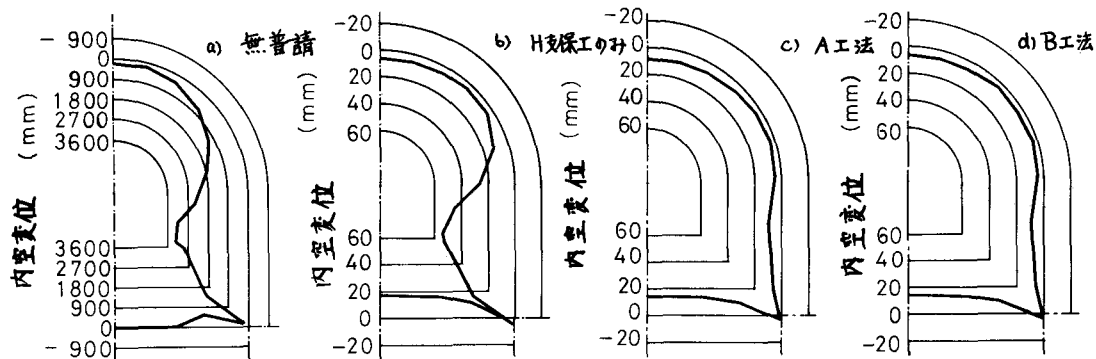


図-3 内空変位(計算結果)

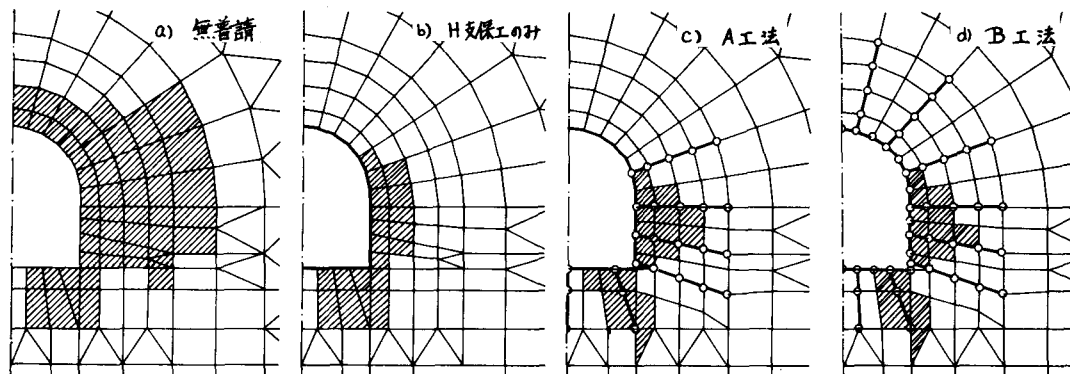


図-4 塑性領域(計算結果)

4. 考察 解析から、ロックボルトや吹付け工法が非常に効果がある事がわかったが実測結果と対比した場合、次の点で解析が実測を十分説明していない。

① 実測ではA工法、B工法において内空変位、塑性領域とも差が明瞭であるのに対して、解析においては両者にはほとんど差がない事。

② A工法、B工法とも内空変位の計算値の方が実測値よりもかなり小さい事。

これらの原因として考えられるのは、岩盤定数の評価の問題及び支保工、特にロックボルトのモデル化の問題である。支保工のモデル化として本解析においては、ロックボルトとそれに接する地盤要素が同じ変位を示す様なモデル化がされているが、計測結果から両者の間にはかなりの差がある事が測定されている。また吹付けもルタルのない場合には、時間とともに岩盤強度が低下すると考えられるが本解析においては、無普請の場合、H支保工の場合、A工法の場合について岩盤強度低下が考慮されていないなどで、これらについては現在検討を進めている。

5. おわりに 試験工事及び調査・計測にあたっては、建設省中部地方建設局静岡国道工事事務所の方々はじめ多くの方々に御世話になった。ここに感謝の意を表します。