

(71) 上半中壁分割工法における地山挙動

前田建設工業株式会社	技術研究所	正会員	関 順一
同	上	正会員	岡田 正之
同	上	正会員	○井上 博之
同	上	正会員	三輪 俊彦

1. まえがき

近年、道路トンネルにおいては、建築限界に対して円形断面よりも掘削断面積を小さくできる偏平断面が多くなる傾向がある。しかし、偏平断面のトンネルでは、円形断面よりもトンネル天端部付近の地山安定や地表沈下が特に問題となりやすいと考えられる。

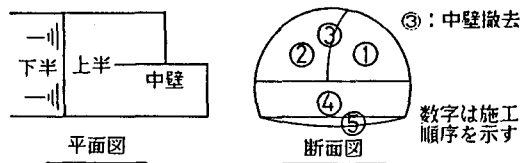
偏平トンネルをNATMで掘削する場合の掘削工法としては、上部半断面工法、多段ベンチ工法、中壁分割工法、側壁導坑先進工法などがあり、対象となる地山の地質条件や地上条件、施工条件を検討した上で、掘削工法が決定される。

当社では、自立性の悪い地山における偏平大断面の掘削工法として上半中壁分割工法を採用して良好な結果を得ている。上半中壁分割工法とは、図-1に示すように、上部半断面を左右に二分割して、分割断面の中壁部にも吹付コンクリート、鋼製支保工などの支保を施しながら交互に掘削し、掘進状況に応じて中壁部の支保工を撤去して上部半断面のアーチを完成させ、その後に下半断面を掘削してトンネル全断面を完成させる工法である。

この上半中壁分割工法は、以下に示すように、安全性、施工性の面で多くの利点を有している。

- ① 地山の安定が最も問題となる上部半断面を縦に二分割して、一回の掘削幅を小さくすることで切羽の自立性が向上する。
- ② 上半の片側を先進させることにより、地質状態の把握ができ、湧水区間においては、水抜き坑として機能する。
- ③ 上部半断面を左右同時併進でき、かつ切羽の縦幅を比較的大きく確保できるので、大型重機の使用が可能となり、上半リングカット工法などよりロックボルトを早期に打設でき、かつ施工性も良い。
- ④ 上部半断面工法や下半までの中壁分割工法への変更など、掘削工法の変更が容易である。

本文は、上半中壁分割工法における切羽の自立性および地表沈下、天端沈下などの地山挙動について、比較検討したものである。



2. 切羽の自立性

図-1 上半中壁分割工法

切羽の自立性が悪い場合には、鉄筋、鉄矢木等による先受工やリングカット、鏡への吹付けコンクリート等の鏡安定対策が行われている。不良地山では、リングカット工法が一般に採用されているが、核が障害となって切羽でロックボルトが打設できないなど支保の施工時期が遅れるためトンネルの変形が大きくなる。リングカットを行わずに切羽の自立性を向上させ、より安全に掘削するには、一掘削長を短くするとともに掘削幅を狭くする方が有利であることは、経験上明らかである。Laufferは、掘削長と掘削幅のうち短い方を自立支持幅として自立時間と自立支持幅にもとづく岩盤分類(図-2)を提案している。ここでは、掘削幅に注目して、同じ掘削長であれば自立時間は掘削幅に依存する、掘削幅=自立支持幅と仮定して、この岩盤分類によって自立時間を考察する。

岩盤分類C（非常に割れ目有）からD（不安定）の境界の地山では、たとえば掘削幅が10 mから5 mと半分になると、自立時間が2時間から6時間と3倍になることがわかる。

掘削幅を小さくする工法としては、多段ベンチ工法、中壁分割工法が考えられる。しかし、多段ベンチ工法では、断面がより偏平となり、地山安定性および施工性が悪い。中壁分割工法では、縦幅を大きく確保できるので、作業空間が大きくなり作業効率が良いと考えられる。上半中壁分割工法は、中壁分割工法よりも、掘削回数が少ない、切羽後方の作業空間が広く確保できるなど、施工性の点でさらに有利である。

3. 地山挙動からみた掘削工法の比較

偏平トンネルに多段ベンチ工法、上半中壁分割工法、中壁分割工法を採用した場合の地山挙動を調べるためにFEM解析を行った。軟弱地山（ $E=500\text{kg/cm}^2$ ， $C=0.5\text{kg/cm}^2$ ， $\phi=35^\circ$ ）での偏平大断面トンネルを想定して解析した。各工法の各掘削段階での天端沈下，地表沈下の変化図（図-4）および相对比较結果（表-1）から、天端沈下，地表沈下とも中壁分割工法，上半中壁分割工法

，多段ベンチ工法の順で大きくなることがわかる。多段ベンチ工法は上半中壁分割工法に比べ上半掘削段階では約40%，全断面掘削段階では約10%多い。中壁分割工法は、全断面掘削段階で約10%少ない。多段ベンチ工法では、第1段階の掘削で全沈下量の約80%が生じるが、上半中壁分割工法では、中壁を撤去する前の沈下量は全沈下量の約30%であり、中壁撤去時に全沈下量の約90%に達する。これは、中壁の沈下抑制効果を示すものであり、中壁の撤去には十分に注意する必要があるといえる。

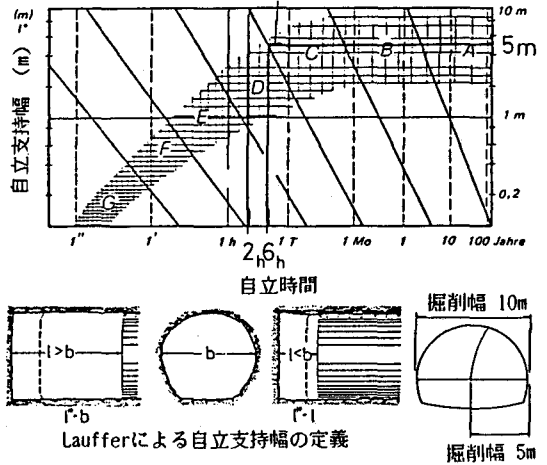


図-2 Laufferの自立時間と自立支持幅に基づく岩盤分類

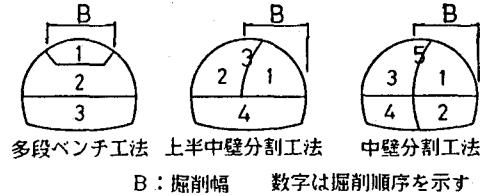


図-3 各工法の掘削断面の状況

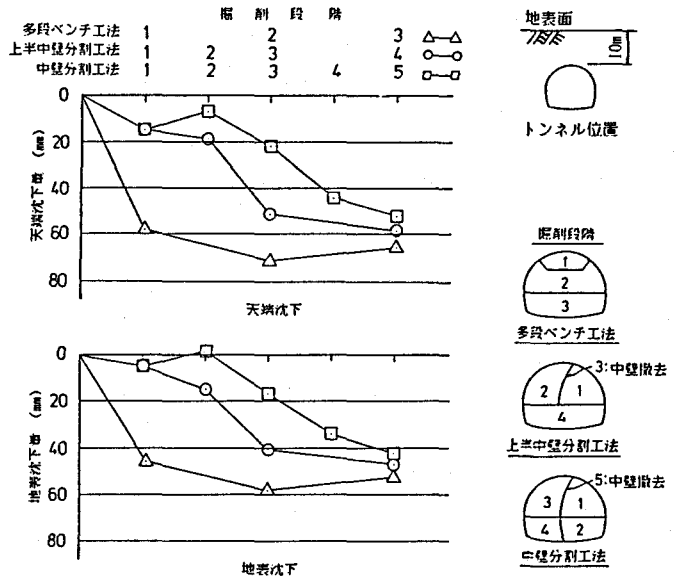


図-4 各工法の各掘削段階での天端沈下，地表沈下の変化図

中壁分割工法では、片側掘削完了時に全沈下量の約40%が生じ、中壁撤去前（反対側下半掘削完了時）で約80%が生じる。中壁撤去による沈下の増加は全沈下量の約20%であり、上半中壁分割工法にくらべ小さい。これは、中壁撤去前にトンネル断面を吹付けコンクリートで閉合し、シェルを形成してしまうためと思われる。

表-1 各工法での天端沈下量，地表沈下量の相対比較表

工 法		多段ベンチ工法	上半中壁分割工法	中壁分割工法
天端	沈下	1.39	1.00	—
	掘削時	1.13	1.00	0.90
地表	沈下	1.41	1.00	—
	掘削時	1.11	1.00	0.90

4. 上半中壁分割工法の適用例

上半中壁分割工法は、建設省静岡バイパス丸子トンネルと宮ヶ瀬ダム青山トンネルなどで採用された。丸子トンネルでは、偏圧の恐れがあった坑口部において斜面の安定を図る目的で採用された¹⁾。ここでは、青山トンネルにおける地山挙動について報告する。

4-1 トンネルの概要

青山トンネルは、全長403mの2車線道路トンネルであり、坑口より約60m区間は、掘削幅が坑口部で約15.2m、坑口より60m地点で約9.5mと順次狭くなる変断面の偏平大断面区間である。図-5に、坑口部の標準断面図を示す。トンネル位置の地質は火山角礫岩、火山礫凝灰岩であり、トンネルに対し左肩から右下にかけて約20°の傾斜を示し、亀裂が非常に発達していた。地層が傾斜しているため偏圧が生じる可能性があること、坑口部の安定が懸念されたことにより上半中壁工法が採用された。掘削は、右側を先行させ、10～15mの距離を保ちながら左右切羽を併進した。中壁は、左側切羽掘削時に同時に撤去した。

4-2 トンネル変断面部の地山挙動

上半掘削終了後の変形は、天端沈下が8～10mm程度、内空変位が1～4mm程度の小さい値で収束した。先行している右断面の天端では左側切羽が近づくにつれ、それまで生じていた沈下が徐々に減少した。そして、左側切羽の掘削と中壁撤去により再び沈下は増加した(図-6)。天端沈下は切羽が10m程度離れると収束した。右断面の水平変位では、左側切羽接近に伴う変形量の変化は

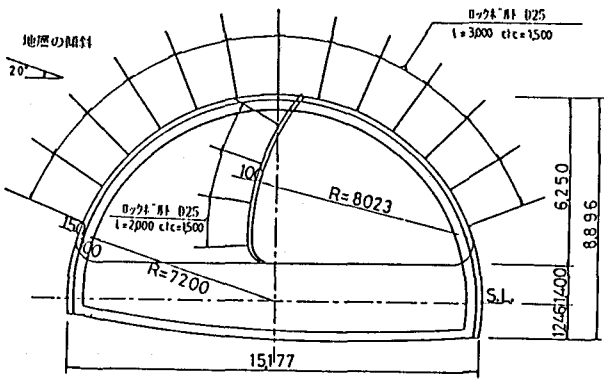


図-5 坑口部標準断面図

明確には見られず、左側の掘削は、右断面の天端付近だけにしか影響を及ぼさなかったと考えられる。左側切羽通過後の左右の断面での天端沈下の増加に違いは見られなかった。

このトンネルについてのFEM解析による天端沈下と内空変位の結果を図-7に示す。左側断面掘削及び中壁撤去時に右断面の天端沈下が大きく増加する、内空変位は天端沈下に比べ小さいなど、ほぼ実測結果と同様の傾向が得られた。上半右側施工時の吹付けコンクリート軸応力は、中壁部が最も大きく、次に上半アーチ脚部であった。アーチ肩部の軸応力は小さかった。中壁では、ほぼ均一に応力が生じていた。左側掘削及び中壁を撤去すると、上半アーチ脚部の軸応力は約2倍になったが、天端部付近ではほぼ零になった。下半を掘削しても軸応力の値、分布にはほとんど変化はなかった。ロックボルトには、小さい軸力しか生ぜず、また掘削段階の進展に伴う軸力の変化もほとんどなかった。中壁部の吹付けコンクリートが荷重に対抗し、

地山変形を抑制していたことがわかった。

5. まとめ

トンネル断面の形状と大きさ、および地山の自立性、許容沈下量などの選定条件に対する各種の掘削工法の適用性は概略、表-2のようになると考える。

FEM結果や実測結果に示したように、上半中壁分割工法は、地山の自立性、許容沈下量の見地からは中壁分割工法と多段ベンチカット工法の間に位置付けられる工法である。工期の面からみると、掘削断面を大きくでき大型重機の使用が可能ことから、掘削サイクルの短縮が図れ、中壁分割工法よりは優れている。また、地山条件等によっては、地山変形、掘削サイクルの点でリングカット工法と同等以上と考えられる。

当工法は、偏平トンネルだけでなく、坑口付近の崖錐部や偏圧地帯でも既に採用されており、このような条件下でも十分に適用性はあると考える。

参考文献

1) 小野薫, 亀沢勝治, 坂本勝昭; 偏平大断面道路トンネルの施工, トンネルと地下, Vol.17, No.10, 1986, pp27~33

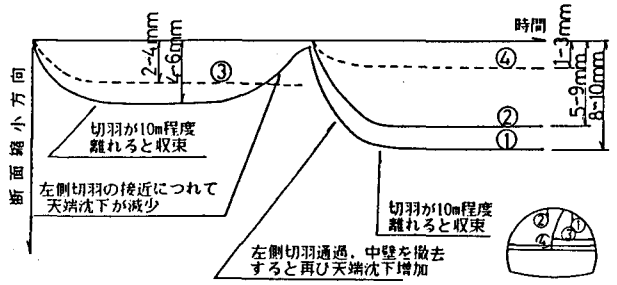


図-6 青山トンネルの天端沈下, 内空変位の経時変化の模式図

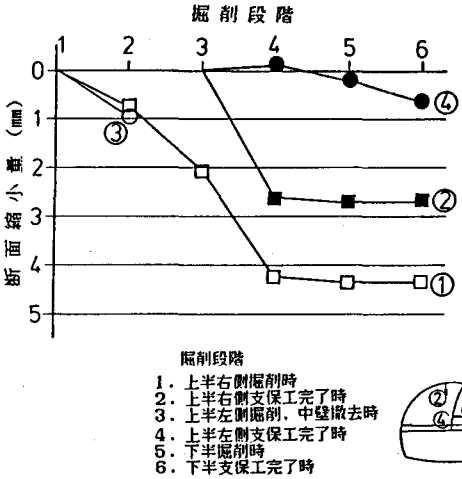


図-7 FEMによる青山トンネルの天端沈下, 内空変位

表-2 軟弱地山でのトンネル掘削工法選定の主な条件と各掘削工法の適用性

掘削工法	リングカット工法	多段ベンチ工法	上半中壁分割工法	中壁分割工法	サイロット工法
主な選定条件					
トンネル断面の形状	円形		偏平		
トンネル断面の大きさ	大断面 (50~100m ²)			特別大断面 (100m ² 以上)	
地山の自立性	やや悪い	—	悪い	—	非常に悪い
許容沈下量	大きい	—	中程度	—	小さい
工期	—	中程度	—	—	長い
備考	垂直荷重の大きさに注意を要す 上半脚部付近の地耐力不足に注意 水平荷重の大きさに注意を要す 中壁、サイロット隔壁撤去時には注意を要す				

(71) GROUND'S DEFORMATION BEHAVIOR UNDER CONSTRUCTION
USING THE UPPER HALF VERTICAL SUBDIVISION METHOD

By Jun'ichi SEKI, MAEDA CONSTRUCTION CO., LTD

Masayuki OKADA do.

Hiroyuki INOUE do.

Toshihiko MIWA do.

Synopsis

This tunnelling method is considered to be one of the most useful methods for the extremely flat tunnel section. In this method, the upper half is vertically subdivided into two sections using the center diaphragm of shotcrete, steel-ribs and rock bolts. In tunnelling, the stand-up time at face is most important and it is dependent on an excavated length and span. In this method, the stand-up capacity is improved because one excavated span is narrower than in bench cut methods. Deformation in this method is smaller than in multi-bench cut method and larger than in two cell cross-section method. But this method is better than other method in the term of workability, because right and left section can be alternately excavated using the larger machines.