

【パネルディスカッション】

トンネル・地下空洞における岩盤の緩みとは？

神戸大学 桜井春輔

1. まえがき

岩盤の緩みとは、一般的には潜在的あるいは新たに発生したクラックが開口することによって生ずる状態と考えることができよう。要因別に考えると、発破によって生ずるもの、あるいは掘削に伴う応力の再配分によって生ずるもの等、多々あろう。しかし、その発生のメカニズム、また、発生領域の広がりなどを正確に評価し、予測あるいは検証することは容易ではない。

トンネル・地下空洞の設計において、岩盤の緩みは考慮しなければならない最も重要な要素の一つである。特に覆工の設計においては、緩み土圧（荷重）の考え方が一般的であり、その大きさを見積ることが重要である。その場合、当然のことながら緩み領域の大きさを正しく予測しなければならない。緩み領域を求める方法としては解析的アプローチが考えられ、トンネル・地下空洞の設計時にFEM等による緩み領域の推定がしばしば試みられるが、塑性領域と緩み領域の区別が明確にされないこともしばしばある。時にはそれは単に用語の問題であるから、呼び名をどちらかに統一した方がよいと言う議論も耳にする。しかし、塑性領域は力学的に明確に定義されているにも拘らず、緩み領域は力学的定義はいまいで両者を統一的用語で呼ぶにはいささか抵抗がある。

一方、設計時における岩盤の力学的挙動の予測の妥当性を検証するために、最近は施工中に現場計測を行うことが一般的になってきた。しかし、緩み領域を計測によって明らかにすることは容易でない。たとえば、弾性波を用いたり、あるいは、ボアホールテレビによってクラックの開口的様子を調べたりするが、未だ緩み領域を評価するための決定的な計測方法はないようである。

以上述べたように岩盤の緩みについては、その定義すらあいまいであり、したがって、その予測手法および計測方法には一般的に認められた方法がないのが現状であろう。このような状況のもとで、本シンポジウムにおいてトンネル・地下空洞周辺岩盤の緩みについて、研究者および技術者の意見交換を目的としてパネルディスカッションを企画した。ぜひ忌たんのない活発な討議を期待したい。

2. 緩み土圧（荷重）

緩み土圧は、トンネル周辺に生ずる緩み領域の土（岩）塊がトンネル覆工に作用することにより発生するものと考えられる。緩み土圧については、現在でもTerzaghi(1946)¹⁾の提案するものが一般的であり、その基本的な考え方は、図-1に示すように、acdbの土（岩）塊がトンネルの方向に動くことにより覆工に土圧が発生するとしている。したがって、緩み土圧を求める場合、緩み高さ H_p を推定することが重要な問題となる。Terzaghiはこれを岩盤分類と対応づけて与えている。Terzaghiの緩み土圧は、緩みが生じることを前提とした在来工法（矢板工法）の鋼製支保工に作用する土圧の推定として長年採用されてきた。また、シールドトンネルにおいても、トンネル標準示方書シールド編によれば、土被りが浅い場合（土被りがトンネル外径より小さい場合）には、土被り圧に相当する荷重がすべて覆工に作用するとし、また、土被りが深い場合はTerzaghiの緩み土圧を採用するものとしている。

一方、地山を緩ませないように施工する山岳トンネルにおいては、緩み土圧の考え方はない。最近では都市部の未固結地山においても山岳トンネル工法がしばしば採用されるようになってきた。そして、当然、シールドトンネルと接合する場合も生ずる。その場合、山岳トンネルとシールドトンネルでは覆工に作用する土圧の考え方が異なるため、接合部において覆工の厚さが大きく異なるという不合理も生ずる。

なお、土被りの浅い山岳トンネル（NATM）の覆工に作用する土圧の算定に、Terzaghiの緩み土圧を用いる場合があるが、これも現場計測の結果等から問題が多いように思われる。²⁾

3. 緩みと塑性

岩盤の緩みの解析をFEM解析によって行う場合、緩み領域の c および ϕ 、あるいは E および ν を周辺の岩盤より低下あるいは変化させて計算を行うのが一般的である。この計算方法によると緩みの解析も、塑性解析あるいは非線形弾性解析と同じになる。緩みは重力の作用によって岩盤内のクラックが開いて生じると考えるならば、実際にはトンネル上方に発生するはずである。しかし、上に述べたFEM解析では一般に側壁に緩みが発生することになり、解析と実際とが一致しないように思われる。緩みの解析は塑性解析とは異なるべきであるように思えるが³⁾、いかがなものであろう。

4. 発破による緩み

トンネル・地下空洞の緩みは発破に起因する場合が多いことは容易に予想される。しかし、発破による緩みを予め推定することは容易ではない。これは、現場計測によってデータを集積して初めて、明らかになるものであろう。発破による緩みの解析方法及び計測方法としてはどのような方法が妥当であろうか。

5. 大規模地下空洞周辺岩盤の緩み

大規模地下空洞の場合、周辺岩盤に発生する緩みの考え方はトンネル周辺の緩みの考え方と同じでよいものであろうか。また、キープロックの緩み、初期応力、地下水の影響等はどのように考えればよいのであろうか。

6. むすび

ここで述べたように、トンネル・地下空洞において岩盤の緩み領域を推定することは、それらの設計において非常に重要であるにも拘らず、未だ解決されていない多くの問題を含んでいる。それらはすべて岩盤力学の基本的事項に関係するものであり今後の研究の進展が期待される。

参考文献

- 1) Terzaghi, K. :Rock defects and loads on tunnel supports, Rock Tunnelling with steel supports. Editors R.V. Proctor and T.White, Published by Commercial Shearing and Stamping Co. Youngstown, 1946, pp.15-99.
- 2) 桜井春輔, 清水則一, 金沢寛, 梶原誠, 地表面掘削による既設トンネルの変形挙動, 第8回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 1990, pp.243-248.
- 3) Sakurai, S., Finite element analysis of discontinuous geological materials in association with field observations, Numerical Methods in Geomechanics, Innsbruck, 1988, pp.2029-2034.

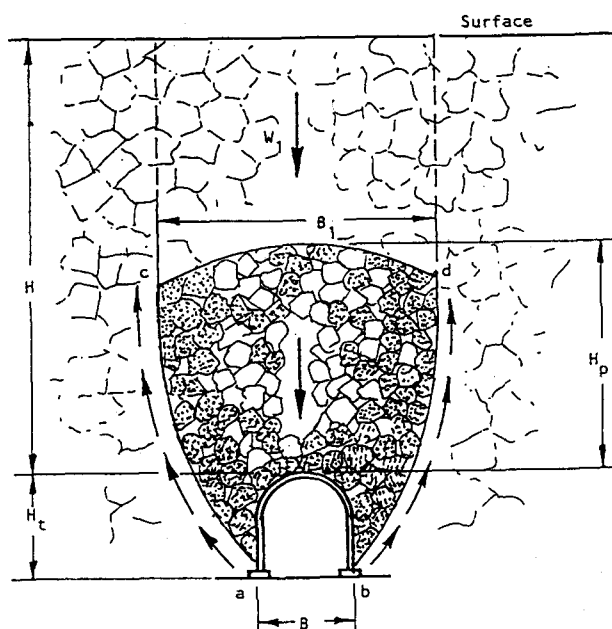


図-1 Terzaghiの緩み土圧