

トンネルの標準示方書(設計編)利用のために

解説

坂本貞雄*

1. まえがき

トンネル工学については、まだ解明されていない問題が非常に多いことは皆様ご承知のとおりである。土木学会でもこの問題を取りあげ、昭和36年12月にトンネル工学委員会が設置され、昭和39年3月にトンネル標準示方書が制定され、さらに昭和39年8月には示方書の解説が刊行されるに至った。

この示方書は、通常 mountain tunnel に対する一般の原則を示したものであるが、この示方書の精神をよく理解して適用すれば、トンネルを安全かつ経済的に作ることができると信ずる。

2. 設計編作成の方針

設計編作成の方針のうち、おもな点はつぎのとおりである。

従来のトンネル工事は、主として木製支柱式支保工をもって一時的に地山を押え、覆工を施す際順次この木製支保工をはずしてゆくもので、いわば名人芸に依存するものであった。したがって、一般工事に比し事故発生率が高く、危険な工事とされていたことは遺憾なことであった。

最近、トンネル工事に大型機械を使用するの工期短縮の要望とあいまって、鋼アーチ支保工の有利なことが一般に認識され、広く使用されるようになった。したがって、

① 覆工の設計に密接な関連があり、かつ施工の安全からも重視すべき支保工を、トンネルの設計に含めた。

特に鋼アーチ支保工の設計は詳細に規定した。従来トンネル工事では、覆工背面と地山の間は、空げきを残さないよう施工することは当然であるとされ、したがって覆工の厚さは、地山よりの受働土圧を期待するとの仮定により算定されることが多いのであるが、現実の問題として、覆工に先立ち、また覆工と同時に、アーチ覆工の上部の裏側まで、受働土圧で期待できるまで十分に良質な岩石で填充することは施工上不可能である。したがって

* 正会員 工博 KK大林組東京支店土木本部取締役技術部長

て、トンネルの覆工背面の空げきをなくしトンネルの変状を防ぐためには、覆工施工後、裏込注入を行なう以外に有効な方法はない。したがって、

② 覆工の設計に密接な関連があり、かつトンネルの耐久性からも重視すべき覆工背面への注入を、トンネルの設計に含めた。

③ 現在の技術段階において、トンネルに作用する土圧を正確に予想することは困難である。したがってトンネルに作用する土圧は、掘削にともない使用する鋼アーチ支保工の形状、寸法、建込み間隔とともに、責任技術者の判断によることにした。しかし、表-1 土荷重の高さ、表-2 鋼アーチ支保工の量を示したのは、これらにはまだ多くの問題があるにしても、具体的な表現を用いるべきであるとの委員会の方針によったものである。

3. 設計編の概要

(1) 設計編の目次

設計編は8章にわけ、第18条より55条までの37条にてなりたっており、つぎのとおりである。

第1章 総則	第18, 19条
第2章 トンネルの線形、勾配、内空断面の設計	第20~22条
第3章 荷重	第23~25条
第4章 巻厚線、支払線	第26, 27条
第5章 支保工の設計	第28~44条
第6章 覆工の設計	第45~49条
第7章 覆工背面への注入	第50, 51条
第8章 その他の設計	第52~55条

以上の中より主な条文を抜すいし、説明を加えらるとつぎのとおりである。

(2) 第1章 総則の第18条 設計の基本について

「トンネルは使用目的に適合するよう、その線形、勾配、内空断面ならびに荷重に十分耐える支保工、覆工、裏込めなどを設計しなければならない」

この条文は設計編作成の方針の中で述べたことを、設計の方針としてとりあげたものである。

(3) 第3章 荷重の第24条 土圧について

「(1) 支保工に作用する土圧の大きさは、地質、施工法などを考慮して、責任技術者がこれを判定しなければならない。

特別の場合を除き、土圧があると推定される場合は、土荷重として表一1の値を用いてもよい。

表一1 土荷重の高さ

内空断面の幅	土圧があると推定される場合	土圧が大きいと推定される場合
2 m	1.0 m	2.0 m
5 m	2.5 m	5.0 m
10 m	3.0 m	6.0 m

注：本表は幅 5 m については全断面、幅 10 m については上半断面の施工例から推定したものである。

(2) 覆工に作用する土圧の大きさは、支保工にかかる土圧などにより、責任技術者がこれを判定しなければならない」

この条文は設計編の主要な条文の一つで、土圧の大きさは経験豊かな責任技術者の判定によらなければならないと規定しながら、あえて表一1の値を示したことである。表一1の値は解説にも詳述されているように、一応各種トンネルの施工中における実際に目撃された崩壊の高さをもとにしたものである。この崩壊の高さは、案内小さい値とも考えられるが、われわれが見る一般の崩壊の高さは、第1回の崩壊が起こってから相当時間を経過したものが多く、当初第1回目での崩壊の高さは案内小さいものである。また、崩壊しないと思われる地帯でも、崩壊が起これば表一1の値は崩壊すると考えるべきである。

覆工に作用する土圧の大きさは、もちろん支保工に作用するものより相当大きいと考えるべきである。

(4) 第5章 支保工の設計、第2節 鋼アーチ支保工の第33条 支保工の断面と建込み間隔について

(1) 鋼アーチ支保工用鋼材の断面は、覆工の厚さ、コンクリートの最小かぶり、施工法などを考えて、適当なものを選ばなければならない。

また、単独に用いた場合でも十分な剛性を有し、バックリング、ねじれおよび局部的荷重による変形などを起こしにくいものでなければならない。

(2) 鋼アーチ支保工の建込みの間隔は、120 cm 以下を標準とし、最大でも 150 cm 以下としなければならない。

(3) 鋼アーチ支保工の形状、寸法および建込み間隔は、責任技術者がこれを定めなければならない。

第24条 表一1に示す土荷重を用いた場合は、表一2

表一2 鋼アーチ支保工の量

地圧の大きさ 種別	28条(2)に規定する場合		土圧があると推定される場合		土圧が大きいと推定される場合		
	形状寸法	間隔(m)	形状寸法	間隔(m)	形状寸法	間隔(m)	
内空断面の幅	5 m	H-100×100 (17 kg/m)	1.5	H-125×125 (24 kg/m)	1.2	H-150×150 (32 kg/m)	1.0
	10 m	H-150×150 (32 kg/m)	1.5	H-200×200 (50 kg/m)	1.0	H-250×250 (72 kg/m)	1.0

注：本表は、幅 5 m については全断面、幅 10 m については上半断面面の鋼アーチ支保工の試験結果をもとに、安全率を約 2 として定めたものである。

の値を用いてもよい」

表一2の形状寸法は、在来用いられてきたものと比較すると、相当大きい値とも考えられ、またテルザキー教授の提案した計算方法より求めた形状寸法と比較しても相当大きい値となっているが、鋼アーチ支保工の載荷破壊試験の結果をもとにしきめたものである。第24条の表一1の土荷重を考慮したときは、表一2の値は決して大きすぎるものでない。したがって、鋼アーチ支保工の強度を過信することではなく、逆にくさびを十分にきかせてこそ、表一2の強度が期待できるものであることに留意し、施工に十分気をつけるべきである。

(5) 第6章 覆工の設計の第48条 覆工の設計の厚さ

「鋼アーチ支保工を用いたコンクリート覆工の設計の

表一3 コンクリート覆工の設計の厚さ

内空断面の幅	コンクリート覆工の設計の厚さ
2 m	20~30 cm
5 m	30~50 cm
10 m	40~70 cm

厚さは、特別の場合を除き表一3の値を標準として用いてよい」

覆工の厚さについては、合理的な設計のためには今後の研究にまたねばならない状態で、従来のものにくらべ漸次薄くなる傾向にある。表一3は、全国のトンネルの施工实例をもとにして、通常 mountain tunnel における範囲を示したものであり、この値は在来用いられてきたものと比較すると、いくぶん小さい値をとってある。

覆工の強度は、覆工厚さの増加よりも覆工背面への注入を十分にすることの方が有効な処置といえる。

(6) 第7章 覆工背面への注入の第50条 注入の計画

「アーチ背面と地山との間には空隙を生ずるので、地質の悪い場合、かぶりの薄い場合、および水圧のかかる場合などでは、モルタルその他による注入をあらかじめ計画する必要がある」

注入の必要なことは、さきに述べたとおりである。従来、特に地質の悪い場合のみ計画されている状況であるが、地質の良い悪いにかかわらず、覆工を設計する以上は注入を行なうのが望ましいのであって、少なくとも地質が良好で第28条(2)に規定する場合のみ省略することとした。

したがって、普通の地質の場合でもあらかじめ覆工背面への注入を設計の中を含めて、覆工厚の設計と総合的に考えるべきである。

4. 設計に関する私見

(1) 土 圧

a) トンネルに作用する土荷重は、むずかしい問題で今後さらに研究されることが望ましい。

b) トンネルを掘削した場合のトンネル上部のゆるみは、地質が悪くない場合でも、また相当慎重な施工法を用いても案外大きいもので、トンネル幅の3～4倍程度の土かぶりまでのうちでは、地表にまでもおよぶ場合があるものと思われる。

(2) 鋼アーチ支保工

示方書では、フランジ厚の一定な平行H型断面をとりあげたが、このほかフランジ厚さにテーパのあるH型断面がある。また支保工材としては、坑わく鋼、鋼管などもある。

鋼アーチ支保工は曲げて使用するものであり、またスムーズに曲がらないものの強度は非常に弱いものであるから、スムーズに曲げやすいことも重要なことがらである。

曲げやすさを含めて考えると、内空断面の幅10mの

場合 H-250×250(72 kg/m) よりも、H-200×200 で同程度の重さのものの方が有利とも考えられる。

いずれにしても鋼アーチ支保工の断面は、材質とともにさらに研究が進められることが望ましい。

(3) 覆工の設計

覆工の設計は地質が特に悪い場合を除き、一定の厚さとするのが望ましく、覆工背面への注入が十分に行なわれるのであれば、覆工厚は40～50cm程度でも十分であると思われる。地質の悪い場合は、仰拱を設計して覆工を補強し、覆工背面への注入のほか、さらに地山固結の注入をして土圧の軽減をはかることが望ましく、覆工厚のみを厚くすることは得策ではない。

(4) 覆工背面への注入

覆工背面への注入は、地質が特に良好な場合を除き全面的に行なうべきで、前述の覆工で述べたように、覆工厚は覆工背面への注入を考慮して、従来用いたものより相当うすくすべきである。

5. あとがき

ぜひトンネル標準示方書を、解説とともに読んでいただきたい。そしてその序で藤井松太郎委員長が述べられているように、本示方書制定を契機としてトンネル技術の研究が活発となり、近い将来に本示方書が改訂の要にせまられることは委員一同の念願してやまないところである。

なにとぞ皆様方のきたんないご意見をいただき、より良いトンネルを、より安全に、しかも安価に作りあげることのできるよう、より良い示方書を作りあげたいものである。

トンネル標準示方書および解説発売中

◀ トンネル標準示方書 ▶

内 容：第1編 総則 第2編 調査 第3編 設計 第4編 施工
体 裁：A5判 9ポ1段組 30 ページ
定 価：100 円 送料：20 円

◀ トンネル標準示方書解説 ▶

内 容：上記示方書に逐次解説を加えた。
体 裁：A5判 条文9ポ1段組 解説8ポ1段組 128 ページ
定 価：一般：600 円 会員：500 円 送料：50 円
申 込 先：振替東京 16828番・TEL 東京 351-5138