

【解説】木製支柱式支保工を使用する場合は、従来その形状などを作業員の自由とした例が多いが、安全の見地から好ましくないので、これらを標準図に明示することとしたのである。

なお標準図には切掛け掘削とともに支保工建込み順序図を示すことが望ましい。

第6章 覆工の設計

第45条 総則

覆工はトンネルの目的に適合し、永く安全な使用に耐えるものでなければならぬ。

地質が堅硬で風化の恐れがなく、使用上支障のない場合は、覆工を省略したり、またはショットクリートなどによって覆工にかえることができる。

【解説】トンネルの覆工は、道路、鉄道あるいは水路などの使用の目的、使用の条件に適合した設計を行なわなければならない。

また長く土圧などの荷重に耐え、きれつ、変形、崩壊などを起さないもので、漏水などによる侵蝕や強度の減少などのない耐久的なものでなければならぬ。一般にトンネル覆工は、トンネルの使用開始後にこれを改修することは非常に困難であるので、将来改修の要のないよう十分な考慮を払わなければならない。

特殊な場合として地質が良好な場合などでは、覆工を省略して無巻としたり、ルーフボルトによるはく落防止工のみを行なったり、あるいはモルタルやコンクリート吹付け工などの軽易な被覆を行なったりして覆工を簡易化し得ることが述べられているが、これらの場合でも十分な安全性と耐久性を考える必要がある。

第46条 覆工に用いる材料

覆工に用いる材料は、トンネルの使用目的に適合したものを選定しなければならない。

【解説】覆工の材料としては、今日では現場打ちの無筋コンクリートを用いるのが普通であって、十分な管理を行なって施工された無筋コンクリートは、ほとんどの場合においてトンネル覆工用として満足し得る材料である。

コンクリートの品質、材料、配合などについては、無筋コンクリート、鉄筋コンクリー

ト標準示方書によらなければならない。

覆工用コンクリートに用いるセメントは、普通ポルトランドセメントを用いるのが通常である。長期にわたって安定であること、収縮きれつを防ぐなどの目的から、高炉セメントや中庸熟セメントを用いることもある。フライアッシュなどの混和材料を普通ポルトランドセメントに混入することも同様の目的を達しあわせてコンクリートのワーカビリティーを増加し、経済性も得られるものである。また信用あるAE剤、分散剤などの混和材料は、覆工コンクリートの品質改良のため大いに用いるべきである。

特別に早期の強度を要する場合には、早強ポルトランドセメントを用いることがある。

覆工用いるコンクリート用骨材は、良質で特に耐久性の点ですぐれたものを用いるよう注意しなければならない。またトンネル工事のコンクリート数量は相当大量となるのが通常であるので、セメント量の少なくてすむよう粒度、その他の管理にも十分配慮しなければならない。トンネル工事においては、掘削した岩石を現場付近で破碎して、碎石あるいは碎砂を製造しコンクリート用に用いることもしばしばあるが、この場合は岩石の種類、特に骨材としての性質、製造設備や規模、生産計画などを検討し、付近に産出する天然産の骨材の入手の条件とよく比較のうえ、計画を決定する必要がある。

覆工用コンクリートの強度は、地質、土圧、支保工の種類、巻厚、型わくの取外し時期などを考えて決めなければならないが、特別の場合を除き、28日強度を $160\sim200\text{ kg/cm}^2$ の間程度に選ばれることが多い。

単位セメント量、水セメント比およびスランプなどの配合設計は、上記の強度のほかコンクリートの施工法、特に人力で打込むか、コンクリートポンプなどの機械を使用するかで大いに異なるものであるので、覆工コンクリートの配合設計を定める際は、実際に密実なコンクリートが得られるよう施工法と関連して検討しなければならない。また、コンクリートの耐久性の点からも考慮する必要があり、特に湧水に塩分や硫酸分などのコンクリートに害をおよぼす成分が考えられる時には、特別の方策を講じなければならない。

覆工には圧縮応力のみでなく、曲げモーメントによる曲げ引張り応力も働くので、これに対抗するため設計巻厚を増加したり、コンクリート強度を増したりするが、より確実に効果をあげるには補強用の鉄筋を入れたり、鉄筋コンクリートの設計施工法による本格的な鉄筋コンクリートとすることが推奨される。また、きれつの防止をはかる場合や、坑口部で不等沈下や変状に対処するためにも鉄筋を用いることがすすめられる。

その他の覆工材料としては、レンガ、石またはコンクリートプレキャストブロックによる積築工も用いられることがあり、また特殊な場合には鉄筋コンクリート製あるいは鉄製のセグメントやライナープレートなども用いられる。時には施工法とも関連して、これらの覆工材料のうち同種あるいは異種のものを用いて内外複層の覆工としたり、タイルなどを用いて内装を行なったりすることもあり、トンネルの使用目的や施工法などを考

て検討のうえ設計しなければならない。

第 47 条 覆工の形状

(1) 覆工の形状は、所要の内空断面を包含して、土圧に経済的に対抗するもので、アーチとして軸力が無理なく伝達され、曲げモーメントが極力少なくなるよう、急激なわん曲や隅角、凹凸をかけたものとしなければならない。

(2) 地質が良好な場合は、アーチと垂直な側壁を組合せ、不良となるにしたがい、側壁を曲げて馬てい形とし、さらにインバートを設け、いっそう土圧が強大な場合は円形断面とするのが望ましい。

(3) 外力が偏圧となる場合は、これに対抗するため、抱きコンクリート、その他の特殊な考慮を払わなければならない。

【解説】(1)について 山岳トンネルの覆工はアーチ型とするのが普通であって、第 22 条に述べるような内空断面を包含し、道路、鉄道トンネルなどでは建築限界のはかに適当な余裕を見込んだ形状で、しかも土圧などの荷重に有効に耐え得るものでなければならない。

したがって、そのトンネルの地質、荷重条件、施工法などを考えて、検討しなければならないが、同一のトンネルや同一路線内の工事であまり多くの種類の形状を用いることは、型わくの転用などの施工上の便宜や完成後の維持管理などのうえでは不便であるから、相当程度の外的条件の変化に応じ得るものを選ばなければならない。

掘削断面を小さくすることだけ考えて、反面土圧に対抗するのに不利な形を用いることは、巻厚の増加をきたしたり、施工を困難にしたりして結局得策でない場合が多い。1 心円、3 心あるいは5 心円などの多心円、あるいは直線を組合せてアーチ型を設計する場合、アーチとして無理のないなめらかな形にするためには、円、弧、直線などが接続点でたがいに共通な切線を持つよう接続することが望ましい。急激なわん曲や隅角があると、アーチ軸力が偏心して曲げモーメントが大きくなり、また長過ぎる直線部は、この部分にかかる土圧による曲げモーメントが大きくなるので、ともに避けるのがよい。

また支保工の設計や施工法との関連も覆工の形状を選ぶための条件となるものであって、曲げ加工が容易にできない鋼アーチ支保工を必要とするような覆工の形状や、多少の不良地質に遭遇するとすぐ断面の変更を要するようなもの、あるいは地質の良否による設計や施工法の変更に応じがたいような形の覆工は避けなければならない。

覆工の形状は換気、照明などの付属設備の設計ともよく関連を考えておく必要がある。

また作業坑や連絡坑などとの接続部分は、必要によっては普通の部分と異なったより補強された形状としなければならない。また覆工に待避所、電気設備などの凹部を作る場合は、できるだけ地質良好な箇所を選び、なお細部構造（たとえば待避所正面の壁体）といえども最小のコンクリート厚さを15cm以上とするなどして、覆工全体の強さを害しないような配慮が必要である。

覆工側壁基部あるいは逆巻施工の場合のアーチ基部などは、十分な地盤の支持力が得られるような底面積を有し、また基礎反力が健全な地山に十分伝達されるような形状としなければならない。特に、掘削の作業方法との関連も考えて、地山をゆるめることが施工上避けられないような部分が永久的な基礎地盤とならないよう、また側圧による押出しなどに対しても十分対抗し得るよう根入れの深さ、形状を設計しなければならない。

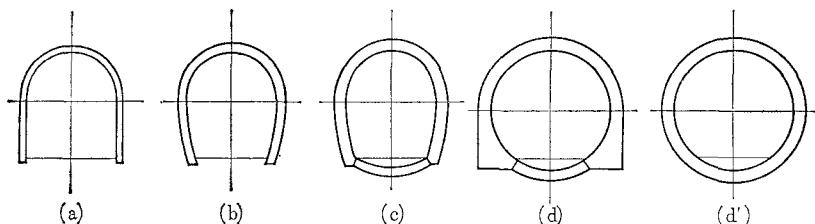
坑口付近は、坑奥と異なって地表の地形、表層の地質、外界の気象条件などに影響されることが多いから、あらかじめこれらに対する十分な対応を考えた設計を行なわなければならない。

相互に隣接する覆工コンクリートの間の継目は、特別の場合を除いて目地などを入れた伸縮継目を考えなくてよいが、コンクリートの収縮によりすき間を生じ、ここから漏水を見ることが多いから、あらかじめ止水板などを入れるよう設計しておくのがよい。

覆工断面に生ずるコンクリートの打継目はなるべく少ないのでよいが、設計上あらかじめ予想される打継目には、必要によりホゾや鉄筋の挿し筋などによる補強を設計するのがよい。

(2)について 地質による覆工の形状の変化を図示すると、地質が不良となるにしたがい 解説 図 47 (a)～(d)(d') の順となる。

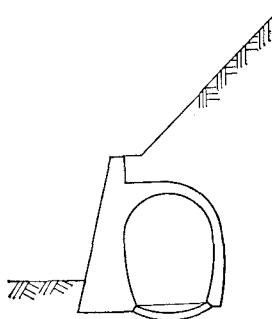
解説 図 47 地質によるトンネルの形状



(3)について 偏圧を受ける恐れのある場合は、設計卷厚の増加など覆工の強さを増す方策を考えるとともに、受動土圧が有効に働く基礎の支持力も十分であって全体として左右の均衡が保てるよう、インバートを設けるなどして覆工をより円に近い閉合断面とし、坑口部などでは抱きコンクリートを設けるなどの対策を講じなければならない（解説

図 48 参照)。

解説 図 48 抱きコンクリート



第 48 条 覆工の設計の厚さ

- (1) 覆工の設計の厚さは、トンネルの幅のほか、地質、水圧、覆工材料、施工法などを考慮してこれを定めなければならない。
- (2) 鋼アーチ支保工を用いたコンクリート覆工の設計の厚さは、特別の場合を除き、表-3 の値を標準として用いてよい。

表-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

- (3) 地質が悪い場合、土かぶりが小さい場合、偏圧がある場合などでは、覆工の設計の厚さをいたずらに増加するよりも、むしろ第7章に規定する裏込め注入を十分に行なうか、またはコンクリートを鉄筋により補強することが望ましい。

【解説】(1)について 覆工の設計の厚さは、第26条 にあるように覆工として強度上必要な厚さでなければならないが、現状では外力としての荷重、特に土圧の状態や

覆工の力学的な働き方などで明らかでない点が多い。したがって、より合理的な設計のためには、今後トンネル工学のあらゆる分野に関して、定性的、定量的な研究に待たねばならない。

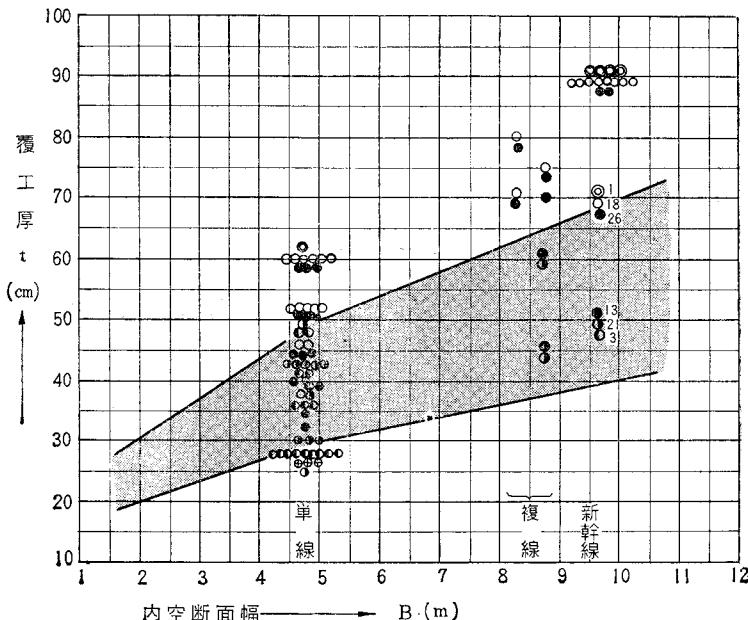
(2)について 表-3は解説図49および解説図50に示すような全国トンネルの施工実例（昭和31～35年の労働省調査資料による）をもととして、特別地質が不良な場合やトンネル坑口付近の場合などの特例的なものを除いた通常の山岳トンネルにおける範囲を示したものである。

この表は掘削に当って鋼アーチ支保工を用いた場合について考えているので、木製支保工を用いる場合は、多少厚目に考えて設計するのが普通である。1962年アメリカ鉄道技術協会（AREA）の標準仕方書においては、支保工の種類により標準の厚さを解説図51のように示している。

(3)について 地質が悪い場合、土かぶりが少ない場合、偏圧のある場合などで、これに対抗すべく巻厚を増加することはトンネル掘削断面が大きくなつて、かえつて土圧の増加をきたすこととなり、また引張り強度の弱い無筋コンクリートで厚さを増して曲げ破壊を防ごうと試みることには限度がある。したがつて、ここにいうように、覆工厚さの増加よりも裏込め注入を行なつて受動土圧を増し曲げモーメントを減じたり、覆工材料として鉄筋コンクリートを用いて曲げ強さを増すことの方が有効な処置といえる。いたずらに巻厚を増加することは、剛度と自重は増加するが、きれつが入るのを防止することには役立たない。また地震や基礎地盤の沈下などに対しては、むしろ危険と考えられる。

解説 図 49 トンネル覆工の設計厚さの実施例

(a) 鉄道トンネル



注 (1) 昭和31年～35年の労働省調査資料より、トンネル幅(B)、巻厚(t)、地質の関係を求めたもの。

(2) 図上の点および数字は件数を示す。ただしトンネル延長については考慮されていない。

(3) 図上の範囲は第48条表-3の数値の範囲を示す。

(4) 凡 例 \oplus 無欠の堅岩

● 成層またはきれつがあるが大塊状となす堅岩

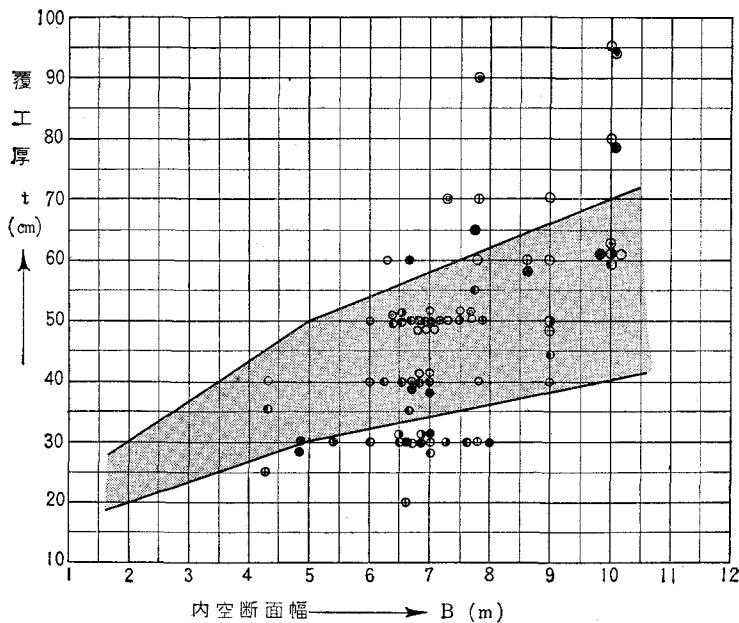
● 小塊状となす堅岩

● 変質していない破碎岩または砂層、砂礫層

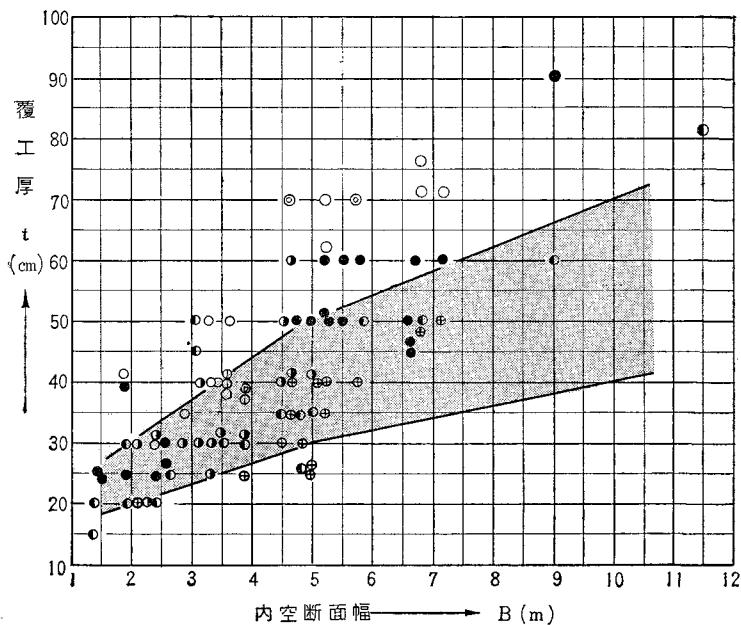
○ 風化軟岩または粘土層、砂質粘土層

◎ 膨張性変質岩または膨張性粘土層

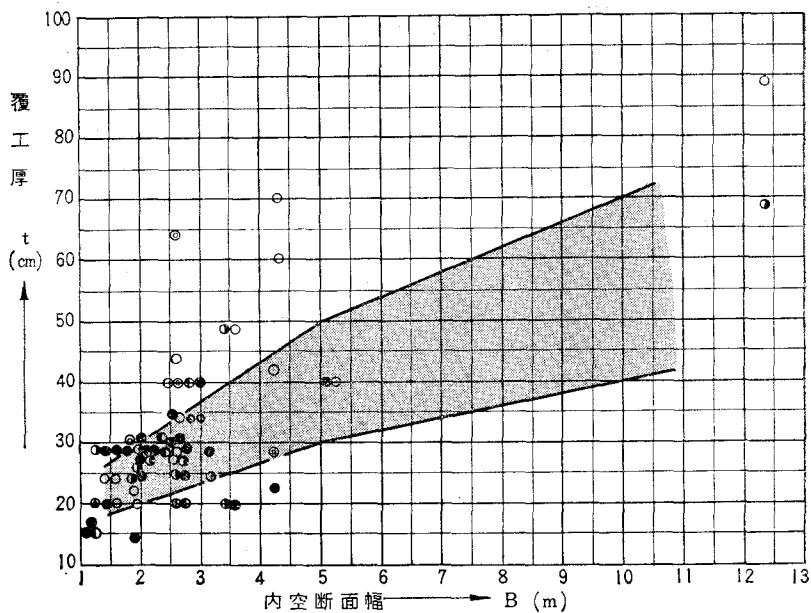
(b) 道路トンネル



(e) 発電水路トンネル



(d) 用排水路トンネル

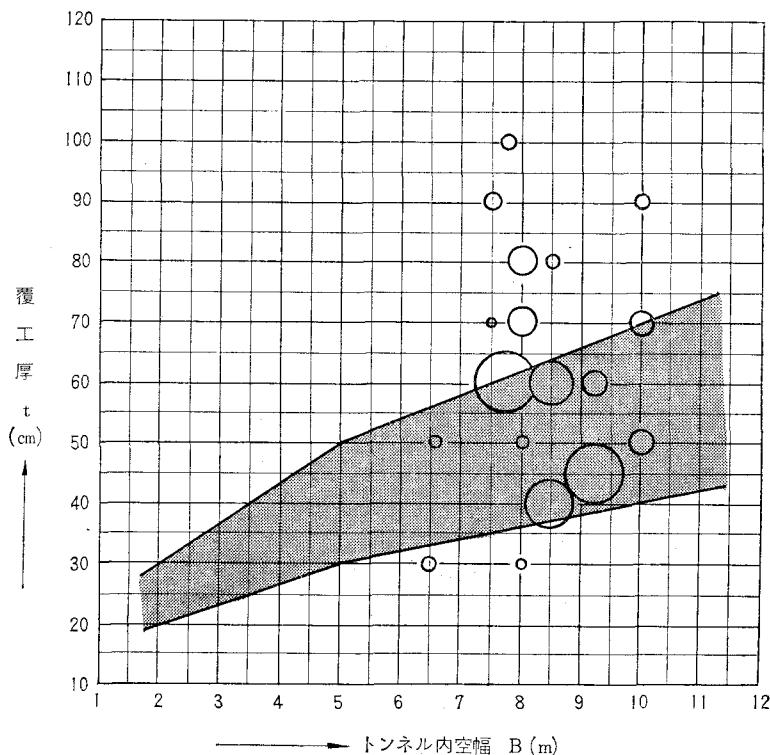


解説 図 50 トンネル幅と覆工設計厚さの施工延長別実施例

注 (1) 円の面積は施工延長に比例する。

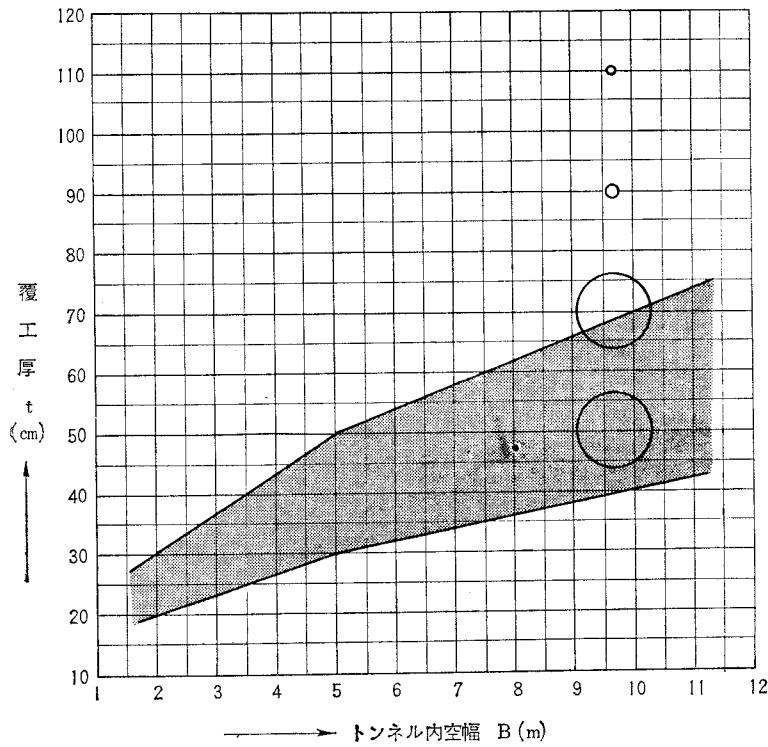
(2) 図上の範囲は第 48 条 表-3 の数値の範囲を示す。

(a) 道路トンネル



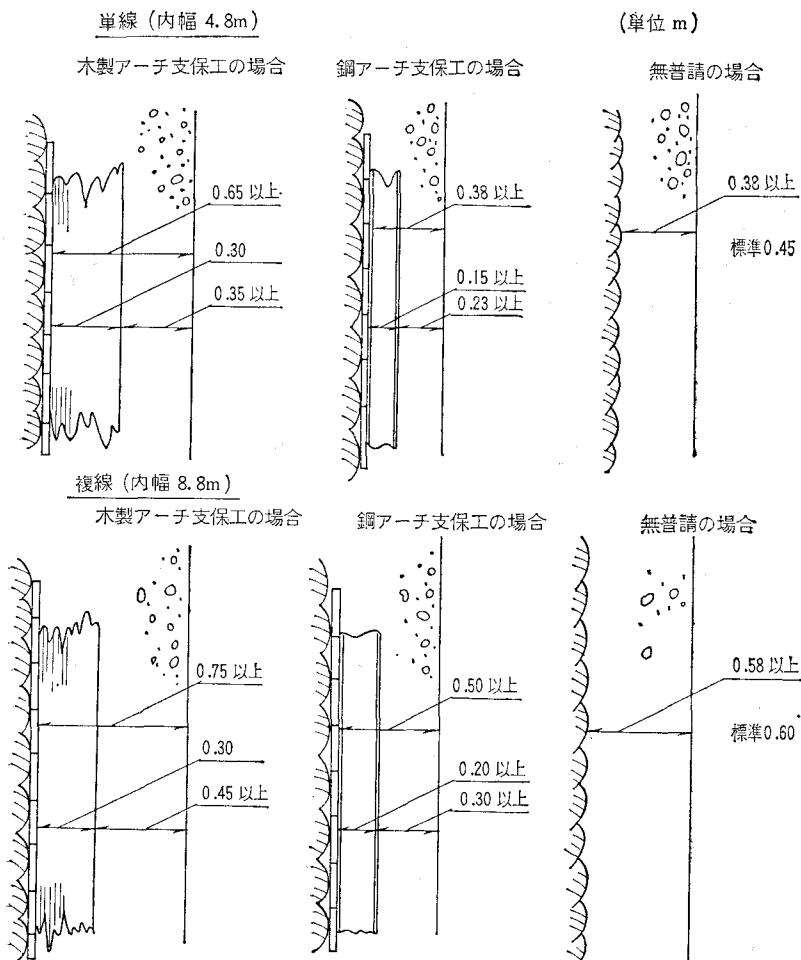
備考：建設省、昭和 30 年～35 年調査資料による。

(b) 鉄道トンネル（国鉄新幹線）



解説 図 51 鉄道トンネルのコンクリート覆工の厚さ

アメリカ鉄道技術協会標準仕方書(1962年)による



第49条 水抜き管

湧水のある場合、覆工に水圧がかからないようにするためには、覆工に水抜き管を埋込むよう、あらかじめこれを設計しておかなければならない。

【解説】 覆工背面に湧水が湛水すると、強大な地下水圧が覆工に作用することとなり、強度上好ましくないばかりでなく、望ましくない箇所からの漏水を生ずることとなる。掘削施工時に湧水のある箇所では、これに対する処置として 第54条に述べるような排水工を設計するのであるが、覆工施工前にはたいして湧水がないように見える所でも、覆工後の水位の復元により漏水を生じてくることが多いので、覆工には側壁下部などにあらかじめ十分な口径を有する水抜き管を適當な間隔に入れるよう設計しなければならない。

トンネルの内側から水圧の働く圧力トンネルの場合などでは、施工中は水抜き管を設けるが、覆工完成後閉塞したり、あるいは特殊なバルブを設けた例もある。

第7章 覆工背面への注入

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。

【解説】 覆工、特にアーチ上部と地山の間は、どんなに注意深く施工しても空隙を生ずるのが常態と考えなければならない。特に、支保工に縫地や掛け矢板による矢板工を施した場合などでは、地山と覆工の密着はさまたげられて相当の空隙となっているもので、そのままでは主働土圧を均等に分布させることや、受働土圧を有効に働かせることなどが十分には期待できない。

したがって、トンネルはすべてモルタルその他による注入によって、地山と覆工背面の間の空隙をできるだけ充填しておくことが望ましいが、地質が良好な場合これを省略しているのが現状である。

地山と覆工背面の空隙を充填することは、掘削の影響を受けた地山において、ゆるみが長期にわたって表面から内部へ進行し、荷重の増加となるのを防ぐうえにも効果がある。地質により膨張性あるいは流動性の土圧をおこす場合にも、地山と覆工背面をすかせたり、緩衝材をはさんだりするより、むしろ地質に悪い影響を与えないような注入材料と工法を