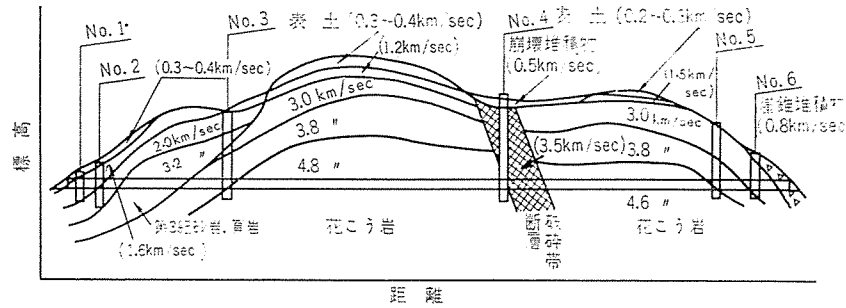


(c) 地質縦断面図の作成：調査結果はこれを総合して縮尺 1/1 000~1/5 000 の地質縦断面図を作成するとよい（解説 図 4 参照）。なお、坑口付近や土かぶりの浅い区間などでは縮尺 1/100~1/500 の地質断面図を作成するのが望ましい。



地質	第3紀風化岩		第3紀砂岩・頁岩		風化花こう岩		花こう岩		断層	花こう岩		風化花こう岩		崖
	D	D	D	A	A	A	A	A		A	A	F		
弾性波速度 km/sec	1.6	2.0	3.2	3.8	4.8	3.5	4.6	3.8	1.5	0.8				
湧水			B			☆							☆	
地山分類	6	4	3~4		2	6	3	4	6	7				

解説 図 4 トンネル地質縦断面図(例)

第 3 編 設 計

第 1 章 通 則

第 24 条 設計の基本

トンネルは、調査結果にもとづいて使用目的に適合し、安全と経済性が得られるよう、その線形、勾配、内空断面、支保工、覆工、裏込め、等を設計しなければならない。

【解 説】 トンネルは、調査結果にもとづいて道路、鉄道、水路、等それぞれの使用目的を満足するよう、安全かつ経済的に設計しなければならない。

トンネルの線形、勾配、内空断面および覆工については、トンネルの設計として、従来から不可欠のものであるが、さらに覆工の設計に密接な関連があり、かつ施工の安全上からも重視すべき支保工と、トンネルの耐久性に影響の大きい覆工背面への注入および注意を怠りやすい付属設備についても、設計すべきものの範囲にふくめることとした。

第 25 条 設計の変更

責任技術者は、工事施工中、当初の設計が現場の条件に適合しないことを認めるときは、遅滞なく設計の変更を行わなければならない。

【解 説】 トンネル工事における当初の設計は、当然、地質、湧水その他、第 2 編 に述べられている各種調査の結果にもとづいて行なわれねばならないが、トンネル工事の特性として、調査結果は、設計や施工にとっては、ある程度の幅を有するのが通例であり、また、ときとして、事前には予測し得ない状況に遭遇することもあるため、現場の条件が設計と適合しない事態を生ずることが多い。

これらの場合には、条件の変化に対応するよう、すみやかに設計の変更を行わなければならない。

第2章 トンネルの線形，勾配および内空断面の設計

第26条 トンネルの線形

(1) トンネルの線形の設計にあたっては、できるだけ直線または大半径の曲線を用い、坑口および経過地点の地質が良好なところを選定し、かつ施工上の便宜も考慮しなければならない。

(2) トンネルを2本以上併設し、または他の構造物、等に接近してトンネルを設置するにあたっては、相互間の影響について、特に注意しなければならない。

【解説】(1) について トンネルの線形は、使用目的および施工の面から、できる限り直線とする。やむを得ず曲線を入れる場合でも、比較的大きな半径を採用しなければならない。

道路および鉄道トンネルでは、トンネル内の曲線半径は、トンネル外の路線の規格より、できるだけ高い規格を用いるのが望ましい。

トンネルの路線は、第23条 解説 (b) の項目を考慮して経過地点の地質が良好で、湧水や断層の少ないと推定されるところに選定する。特に、坑口および土かぶりの小さなところでは、トンネルに偏圧、等が作用することが多いので、地質、等の詳細な調査にもとづいて、万全を期さなければならない。また、トンネルの線形は、坑口の位置および横坑、斜坑、立て坑が必要なときは、それらの位置、工専用設備の配置、等、施工上の便宜も考慮して定める必要がある。

(2) について 2本以上のトンネルを隣接して設置する場合、または他の構造物などに接近してトンネルを掘さくする場合には、トンネルの断面形状、寸法および施工法、施工時期、相手の構造物、等に対する影響について十分検討したうえで、相互の間隔を定める必要がある。

併設トンネルの中心間隔については、地山が完全弾性体と考えられる場合には掘さく幅の2倍、粘土、等の軟弱な地山では5倍とすれば、静的には相互にほとんど影響がなく、また、発破による動的な影響については地質、薬量、距離、相手の構造物の強度、等多くの要素があり、一般的な結論は出しにくい。硬岩の場合は、発破の影響によって決まることが多いので、特に斉発させる薬量（総薬量ではない）等からも検討する必要がある（日本鉄道技術協会：双設ずい道の離隔距離に関する研究報告書、昭和34、35、36年 参照）。

したがって、併設トンネルの離隔距離の決定にあたっては、地質、断面形状、施工法、等、多くの要因があるので、個々の条件を十分検討のうえ、定めなければならない。

トンネルに接近して構造物などがある場合にも、トンネル掘さくによる地表の変化、基礎の沈下、振動および湧水量の変化、等の影響について、あらかじめ検討しておかなければならない。

なお、名神高速道路、東名高速道路では、併設トンネルの中心間隔を30m（掘さく幅の約3倍）として同時掘進し、国鉄では単線トンネルの場合20mを標準離隔距離としている。

第27条 トンネルの勾配

(1) 道路、鉄道、等のトンネルでは、湧水の自然流下による排水をさまたげない限り、できるだけゆるい勾配を採用しなければならない。

湧水を自然流下させるには、少なくとも0.3%程度の勾配を設けるものとする。

(2) 水路トンネルでは、通水量、通水断面積、流速、等の相互関係を考慮して、勾配を設計しなければならない。

【解説】(1) について 道路、鉄道、等のトンネルの勾配は、つとめてゆるいものとするのが原則である。トンネル完成後の漏水を良好なコンクリート造の排水溝などによって自然流下させるには、通常0.1%以上の勾配があればよいが、施工中の湧水を素掘りの側溝などで自然流下させるためには、湧水が少ない場合でも0.3%、相当多い場合では0.5%程度の勾配が必要である。また、施工中のずり出しや材料運搬などのためには、急勾配は能率の低下をきたし、2%程度以上の勾配ではその影響が大きい。道路トンネルでは、通行車両の排気ガスを極力少なくする点から、特に上り勾配は、つとめてゆるくする必要がある。

結局、道路、鉄道、等のトンネルの勾配は、水底トンネル、等の特殊な場合をのぞいて、一般には0.3~2%の間の勾配で、使用の目的、延長、施工中の排水、等を考えて、できるだけゆるい勾配を採用することが望ましい。

(2) について 水路トンネルの勾配は、目的に応じた通水量、通水断面積、流速、等より定める。勾配を急にすれば、流速が早くなって、通水断面積が小さくなるので、一見経済上有利であると思われるが、水頭損失の増大と施工の困難をきたすので、必ずしも有利ではない。したがって、水路トンネルにおいては、数種の勾配について、それぞれ対

応する断面を考え、これらを比較検討して勾配を定めるのが通例である。

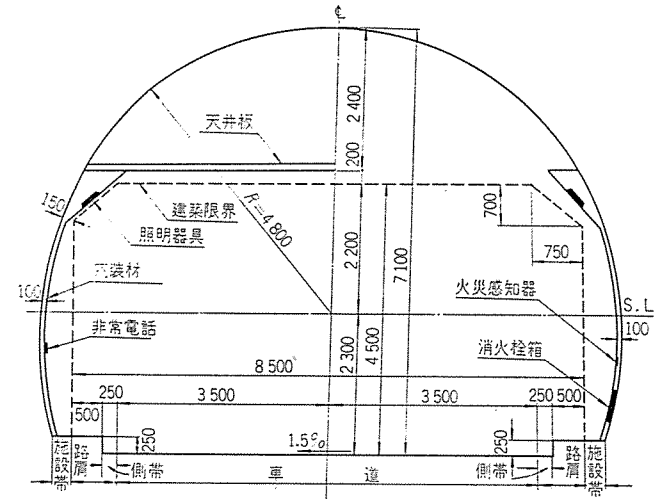
第 28 条 トンネルの内空断面

トンネルの内空断面は、用途に応じて所要の建築限界、断面積および必要な余裕を包含し、土圧および施工法を考慮して、その大きさと形を定めなければならない。

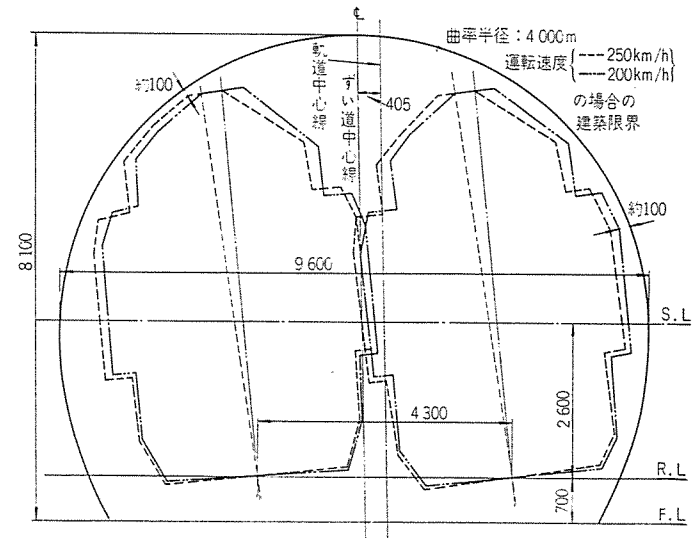
【解 説】 道路、鉄道、等のトンネルでは、その建築限界および必要な余裕を包含し、水路トンネルにあつては、通水量から定まる所定の内空断面積を有しなければならない。道路および鉄道トンネルの建築限界に対する必要な余裕をとった断面の一例を示せば 解説図 5 (a), (b) のとおりである。その他、必要に応じて換気、排水、等のための断面をも包含させる。

トンネル断面は、土圧に対して経済的に対応しうるものがよく、通常、三心あるいは五心円からなる馬てい形が用いられるが、地質が良好な所では側壁部を鉛直にすることもある。また、地質が特に不良なところでは、インパートを付して閉合断面とするほか、円形等の断面を考える必要がある。

断面が大きくなると土圧も大きくなって、地質不良の場合、等には施工が著しく困難となる。したがって、鉄道トンネルの場合を例にとれば、地質の不良な場合、複線型断面にかえて単線型断面のトンネル2本を併設して、断面を小さいものとするほうが、施工も容易で経済的な場合もあるので、計画に際しては地質その他の条件を考え、比較検討のうえ決定しなければならない。また、著しく小さい断面は、施工能率の低下や作業環境の劣下をきたしやすく、また、非常時の対策がとりにくいので、普通の場合には幅員、高さとも2m程度以上とすることが望ましい。また、上下水道トンネル、等では、将来の使用量増大を見越して、断面に余裕を見込んで計画しておくことが有利な場合もある。



(a) 道路 トンネル



(b) 鉄道 トンネル

解説 図 5 トンネルの内空断面の例

第 3 章 荷 重

第 29 条 通 則

トンネルの覆工または支保工にかかる荷重として、土圧、水圧、地震その他を、一般に認められている資料をもとにして、考慮しなければならない。

【解 説】 トンネルの覆工または支保工にかかる荷重の大きさやその作用状態は、今日ではまだ十分に明らかにされていないのが実情である。今後これらの点の研究が大いに進められなければならないが、当面は、施工の実績や実験研究結果、等のうちから信頼するに足ると認められる資料をもととするよう示したものである。

荷重としては、外側からかかる土圧が主であるが、水路トンネル、特に圧力トンネルにおいては、内側から作用する水圧（静および動水圧）を考慮しておかねばならない。なお坑口付近については、地震の影響を考慮しなければならない。

第 30 条 土 圧

支保工や覆工に作用する土圧の大きさは、地質、トンネル断面の大きさ、施工法、覆工の時期および施工中の地山の性状、等を考慮して、責任技術者がこれを判定しなければならない。この場合、特別の場合をのぞき、土圧があると推定されるときは、支保工に作用する土荷重として表 1 の値を用いてもよい。

表 1 支保工に作用する土荷重の高さ

内 空 断 面 の 幅 (m)	土圧があると推定される場合 (m)	土圧が大きいと推定される場合 (m)
2	1.0	2.0
5	2.5	5.0
10	3.0	6.0

注：この表は、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。

【解 説】 トンネルに作用する土圧の様相はきわめて多様であって、定量的にはもちろん、定性的にも確かめられていない面が多い。岩石の割れ目や風化の状態、断層破砕の程度、地層の走向傾斜、地下水の状態、等は千差万別であり、また、トンネルの断面の大きさ、全断面掘さくか、部分掘さくか、または機械掘さくか、等の掘さく方式の差、掘さく後の時間の経過、等によって、土圧は変化するものである。さらにトンネルの覆工または支保工が、この土圧をどのように支持するかについても定説がなく、このためトンネル覆工または支保工に作用する土圧の大きさを定めるにあたっては、個々のトンネルについて責任技術者の判断に待つよりほかに方法がない。

土圧の実情を可能な限りこまかく判定し、これに対処する支保工、覆工、裏込め注入を選ぶことは、トンネル工事を経済的に行なうために必要なことであるが、実際に生ずる土圧を正確に予測することは困難なことであり、また、施工の安全を保つうえから相当の余裕を見込む必要がある。

掘さくによる地山のゆるみは一般に時間の経過とともに進行し、荷重の増加となる。これらの様相は、地質や施工法、等によって著しい差異があるが、特に、膨張性土圧、等が作用する場合は、覆工に作用する土荷重は、支保工に作用するものより、相当大きいものと考えておかねばならない。

掘さく直後、支保工を十分きかせて地山を支え、覆工をなるべく早い時期に、しかも地山に密着するように施工し、さらに覆工背面の空げきに、十分裏込め注入をすれば地山のゆるみによる土圧を軽減し、かつ覆工の一部に強い集中荷重として作用しがちな土圧を、望ましい等分布荷重に近づけることができる。

したがって、できるだけ早い時期に覆工を施工するのが望ましいが、経済性、地質条件、施工速度、等を考慮した結果、掘さくと覆工とを分離させる、いわゆる分離方式を用いる場合には、掘さく後覆工を施工するまでの間に増加する荷重を考慮して支保工を選ぶ必要がある。また、機械掘さくを採用した場合の土荷重は、現在のところ実績も少なく、定量的な把握は困難であるが、地山のゆるみが少ないと考えられること、支保工と地山の密着状態が良好なこと、断面が円形またはこれに近い、等の有利な条件があるため、地質によっては土圧の大きさを、いくぶん割り引いて考えてもさしつかえないと思われる。

以上のような諸点および第 23 条の地質調査結果を考慮して、責任技術者がこれを判断するよう定めたものである。

表 1 は通常遭遇するトンネルで、普通の状態と思われる範囲を示したものである。従来土圧の求め方については、テルツァギの示したもの（解説 表 12 参照）をはじめ多くの研究が発表されているが、一般には、数値の幅が大きいとか計算のための仮定条件から適用範囲に限られること、等からそのまま適用することが困難なものが多い。

土荷重の高さを求めるには、崩壊時の崩壊高さが一つの目安となると思われるが、トン

解説 表 12 テルツァギの支保工に作用する土荷重の表

岩盤の状態	土荷重の高さ (m)	摘要
1. 堅硬で侵されていないもの	0	はだ落ちや山はねのある場合は軽易な支保工を要する。
2. 堅硬で層状または片岩状のもの	0~0.5 B	軽易な支保工を用いる。荷重は場所ごとに不規則に変化する。
3. 大塊状で普通程度の節理のあるもの	0~0.25 B	
4. 普通程度に塊状で割れ目のあるもの	0.25 B~0.35 (B+H _L)	側圧はない。
5. はなはだしく小塊で割れ目の多いもの	(0.35~1.10) (B+H _L)	側圧は小さいかまたはない。
6. 完全に破碎されているが、化学的には侵されていないもの	1.10 (B+H _L)	相当の側圧。漏水によりトンネル下部が軟弱となるときは支保工下部に通し土台をするか、円形支保工とする必要がある。
7. 徐々に押し出してくるもの (中程度のかぶり)	(1.10~2.10) (B+H _L)	大きな側圧、インバートストラットが必要で、円形支保工が推奨される。
8. 徐々に押し出してくるもの (大きなかぶり)	(2.10~4.50) (B+H _L)	
9. 膨張性の地質	(B+H _L) の値にかかわらず 80 以上	円形支保工を要する。激しい場合は可縮支保工を用いる。

注：1) この表は土かぶり 1.5 (B+H_L) 以上の場合の鋼アーチ支保工天端に作用する土荷重の高さを示す。

B はトンネル掘さく断面の幅 (m)

H_L はトンネル掘さく断面の高さ (m)

2) この表は、トンネル天端が地下水位以下にあるものとする。ただし、永久的に地下水位以上にある場合は、4ないし6の各号の値は50%減じてよい。

3) 1946年出版の Rock Tunneling with Steel Supports 所載、Karl Terzaghi 著、Introduction to Tunnel Geology による。

ネルの崩壊高さは時間の経過とともに進行するので工事中のトンネルにおける崩壊直後の崩壊高さを調査することはきわめて困難である。表1の値は、各種のトンネルの施工中において実際に目撃された崩壊直後の崩壊高さや地山のきれつの調査をもととし(解説 表13 参照)、通常用いられている支保工の耐荷力、等を参照して求めたもので、岩石の比重を2.7程度として面積あたり垂直荷重に換算できる。

トンネルの地質が岩石できわめて堅硬な場合は、全く土圧がないか、あっても岩片の少

解説 表 13 国鉄新幹線静岡幹線工事局管内におけるトンネル崩壊高さの調査例

	トンネル名	発生年月日 (昭和)	崩壊の高さ (m)	崩壊の延長 (m)	支保工		地質	土かぶり (m)
					種類	建込み間隔 (m)		
支保工建込み前の崩壊	泉越	36. 8. 29	6	5	H-150	0.80	凝灰角礫岩	330
	興津	36. 10. 28	3	3	H-150	0.75	泥岩	20
	蒲原(東)	36. 12. 29	1	1	H-150	1.20	砂礫凝灰岩	150
	蒲原(西)	37. 8. 30	3	2	H-200	0.90	蒲原礫層	16
	石部	37. 12. 26	3	4	H-150	1.20	玄武岩	25
	石部	38. 2. 20	2	3	H-150	1.20	玄武岩	20
支保工建込み後の崩壊	丹那(西)	36. 2. 5	不明	7	50 kg 古レール	1.20	凝灰岩	230
	函南	36. 6. 29	3	8	50 kg 古レール	0.60	凹坑	坑口
	興津	36. 8. 23	4	10	H-150	0.75	軟弱砂岩	坑口
	清見寺	36. 11. 29	2	5	H-150	0.75	軟弱砂岩	坑口
	第1高尾山	37. 2. 12	3	12	H-150	1.20	泥岩砂岩	180
	切山	37. 3. 9	—	41	H-150	0.60	頁岩砂岩	0~10
	興津	37. 4. 4	不明	24	H-150	0.75	泥岩	100
	丹那(西)	37. 5. 14	不明	17	H-200	0.90	火山荒砂	300
	蒲原(東)	37. 7. 19	2	4	H-150	0.75	蒲原礫層	80
	第2高尾山	37. 8. 26	—	16	H-150	0.70	頁岩砂岩	1.5~15
興津	38. 1. 7	3	7	H-150	1.20	軟弱砂岩	200	

しのゆるみや浮石程度の荷重の場合もある。また、地質が著しく不良で、かつ湧水もあって土砂が流動の状態にある場合や、膨張性の土圧を生ずる場合、等では著しく強い土圧が現われることもある。このようなきわめて良好な場合、きわめて悪い場合の両極端を除いた通常の範囲内では、表1に示すような、二つの段階程度の土圧を考えればよいこととした。これは多くの問題はあるが、つとめて具体的な表現を用いたいというこの示方書の趣旨にそって提案したものである。

一般の岩石トンネルでは、水平方向の土圧はきわめて少ないので、支保工、覆工は、この表1の値の垂直荷重に耐えうればおおむね安全であって、特に側圧を考慮しなくてよい。しかし、通常のトンネルの支保工や覆工は、水平方向の圧力に対しては弱いものであ



るので、地質地層状況から水平方向の土圧があると推定される場合は、別途に注意を払う必要がある。

第 31 条 偏 圧

地形、地質、その他からトンネルに対して大きい偏圧が働くおそれのある場合は、偏圧の状態と、これに対抗するための処置について、特に考慮を払わなければならない。

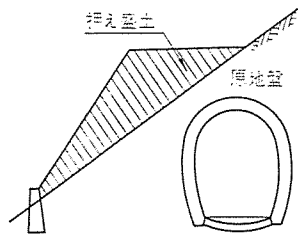
【解 説】 一般の場合でもトンネルの荷重は、支保工、覆工に対して対称かつ一様に働くとは限らないのであるが、特にトンネル上部の土かぶりが少なく、しかも地形が急な傾斜を有する場合や、地層がトンネル断面に対して傾斜している場合や、地質が均一でない場合、等では土圧、等がトンネルに対して左右対称でなく、著しくかたよって働く場合が多い。また、地質が特殊な粘土で膨張性の土圧が働く場合、等では、その押し方が支保工、覆工の全周に対して均等ではないので、より多く押す方からの偏圧となって作用することになる。

過去においても、偏圧がトンネルの変状や工事中の崩壊事故、等の原因となっていることが多い。

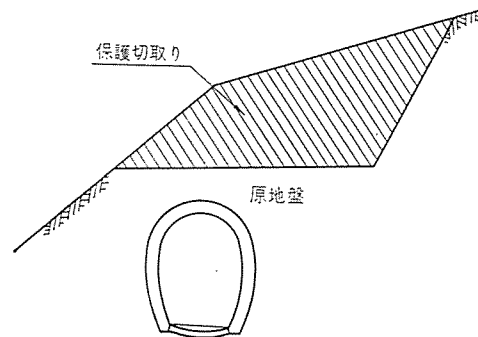
一般に、トンネルの支保工、覆工は、左右対称の荷重に対して有効な形状に設計されているもので、偏圧に対しては危険を生ずることが多いから、それにいかに対処するかは十分に注意しなければならない。

荷重があたかも偏圧であると思われるなかには、たとえば、支保工脚部の地耐力不足による沈下のため一見、偏圧現象を生じていることもあるので注意しなければならない。

特に、地形の傾斜した、土かぶりの少ない坑口付近では、大きな偏圧をうけることが多いの



解説 図 6 押え盛土



解説 図 7 保護切取り

で、必要に応じ、押え盛土、保護切取り、抱きコンクリート、等の処置を考えなければならない(解説 図 6, 解説 図 7, 解説 図 25 (a), (b) 参照)。

第 4 章 巻厚線および支払線

第 32 条 巻 厚 線

(1) 設計にあたっては、覆工として強度上必要な厚さおよび施工法、等を考慮して、設計巻厚線を示すものとする。

この線より内側には、鋼アーチ支保工の鋼材は入ってもよいが、木材、等は入れてはならない。

また、地山の部分的な突出は、これが堅硬でかつ将来とも覆工に悪影響をおよぼすおそれのない場合に限り、設計巻厚線内に入ることを認めてよい。

(2) 必要ある場合は、最小巻厚線を示すものとする。この線より内側には、鋼アーチ支保工や地山、等を入れてはならない。

【解 説】 (1) について 設計巻厚線は、トンネル設計上最も重要なものの一つであって、その決定法については第 3 編 第 6 章 で述べている。

ここで定義された趣旨から見て、設計巻厚線の内側には木材、等(鋼アーチ支保工の木製内ばりや矢板、等)、覆工の強度を害するようなものが入ってはならない。

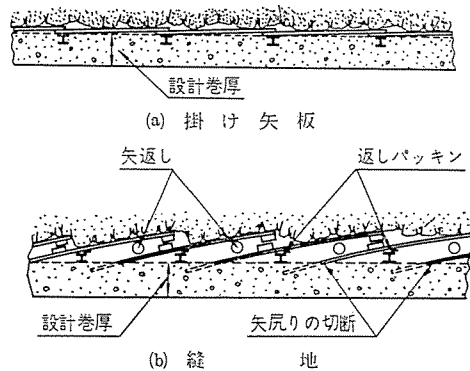
したがって、掘さく線を定めたり、支保工を設計する場合には、覆工の設計巻厚の確保を考慮して、あらかじめ、次のような点に十分考慮を払わなければならない。

鋼アーチ支保工を用いる場合、掘さくにあたり、矢板を掛け矢板で施工するか、縫地で施工するかによって、支保工を設計巻厚線内に入れるか、線外とするかが違ってくる。すなわち、縫地の場合は、どんなに矢尻りを短く切断することを励行しても、なお、矢板が支保工鋼材の外側より内側に入ることを避けられない。したがって、縫地による場合は、鋼材内面は、通常設計巻厚線の外側に定めなければならない。

掛け矢板の場合は、支保工鋼材は設計巻厚線内に入れるのが通常である。この場合、支保工の木製内ばりは、覆工施工前に取りはずさなければならない。従来、木製内ばりをコンクリート中に埋込むことを許した例も多いが、覆工の強さを著しく害するおそれがあるので、木製内ばりをはずすことが危険と判断される場合は、これにかわる鋼材、等を用い

て木製のものを取りはずさなければならない(解説 図 8, 解説 図 19 参照)。さらに実際の施工にあたっては、いずれの場合にも、支保工は、建込み誤差や土圧による変形量に対する余裕を見込んで、設計巻厚が確保できるように設計しなければならない。ただし、堅硬な地山の部分的な突出は、しいて当り取りを行えば、かえって地山を荒し、荷重の増大をきたしたり、余掘り量が著しく増加して不経済となったりする場合もありうるので、条件つきで設計巻厚線内に入ることを認めている。この許容量については、トンネルの使用目的や岩石の堅硬さ、等によっても異なるので、工事にあたっては、あらかじめ決めなければならないが、一般には、10 cm 程度または設計巻厚の 1/3 程度とされている。

(2) について 最小巻厚線は、たとえば、コンクリート覆工内面と鋼アーチ支保工の内面との間の距離(鋼アーチ支保工のかぶり)が少なすぎて、押抜きせん断、等による悪影響を生ずる恐れのあるときに、これを防ぐため示す必要がある。その寸法は、通常 10 cm 以上、または埋め込まれる鋼材の幅以上として最小巻厚線を定めなければならない。



解説 図 8 矢板の施工法別の設計巻厚線と鋼アーチ支保工の関係

第 33 条 支 払 線

巻厚線のほかに、必要ある場合は、掘さくおよび覆工の支払線を定めるものとする。

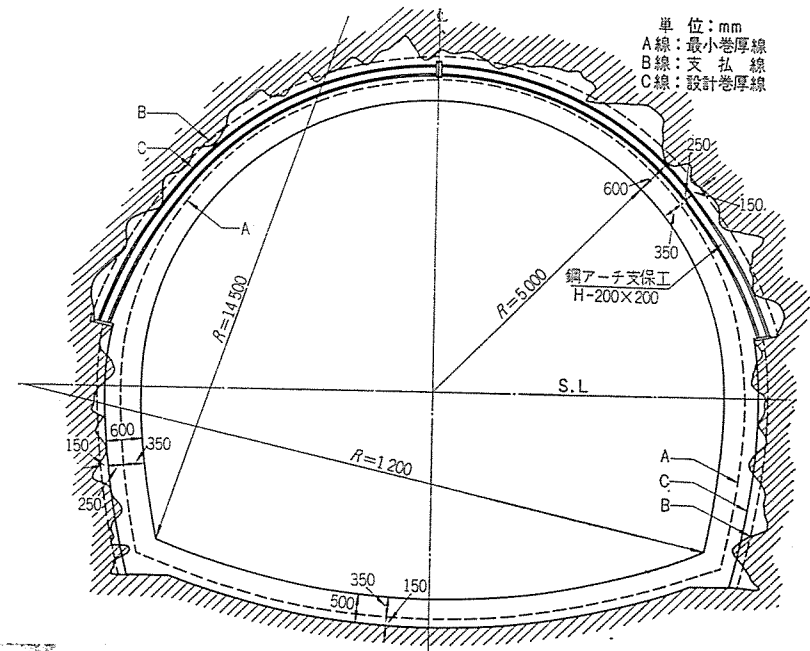
【解 説】 トンネル工事の請負契約、等のため必要のある場合は、設計図上に支払線(ペイライン)を表示するよう定めた。

トンネル工事の実際の掘さく量は、覆工の設計巻厚の確保を考えて支保工や矢板を入れ

るため当然、設計巻厚線外に必要な量と、さらにその外側に施工上やむを得ず生ずる量とが見込まなければならない。また、覆工コンクリートの実際の施工量も、設計巻厚線外に生じた空間に入る量に加えられたものである。

設計図上に支払線を明示する方法は、設計巻厚数量と上記の余分な量を見込んだ単価とをもととする方法、等よりも、より工事の実情に即した妥当な工事費の算出ができ、その積算や工事の請負契約、等のうえで、一歩前進であると考えられるのでこの条項を加えた。

支払線の設定にあたっては、実際の施工数量に近いものを表わすよう、多くの施工実例を参照する等して、つとめて実情に適合するものとしなければならない。解説 図 9 はトンネルの支払線を示した一例である(図中の設計巻厚線は、掛け矢板を用いて施工する場合に対応するものである)。



(単位 mm)
A線:最小巻厚線
B線:支 払 線
C線:設 計 巻 厚 線
解説 図 9 支 払 線

第5章 支保工の設計

第1節 通 則

第34条 支保工の選定

(1) 支保工は、地質、トンネル断面の大きさ、掘さく方式、覆工方法、等を考慮して、作業上の安全と経済性が得られるように慎重に設計しなければならない。

(2) 特に岩質が良好で安全な場合は、支保工を省略しうることもあるが、このように見える場合でも、はだ落ちなどの危険防止を考慮して、つとめて適当な支保工、ロックボルト、吹付け工、等を設計するものとする。

【解説】(1) について 支保工は、作業上の安全をはかるためにも重要なものである。したがって、地質、トンネル断面の大きさ、掘さく方式、覆工の方法、作業員の技能、等を総合して考えたうえ、経済的なものを選ばなければならない。

支保工としては、鋼アーチ支保工が一般に使用されているが、ロックボルトやコンクリート吹付け工、等による方法もあるので、地質、その他の条件に応じて、その目的が達せられるように設計することが望ましい。

(2) について 岩質が良好に見える場合でも、掘さく後の時間の経過による地山のゆるみや、発破の震動、等によってはだ落ちなどを生じやすいので、軽度の支保工またはロックボルトやコンクリート吹付け工を施すことが望ましいのである。

ここにいう適当な支保工とは、鋼アーチ支保工では第38条 表2の「第34条(2)に規定する場合」の程度のものをいう。

第2節 鋼アーチ支保工

第35条 鋼アーチ支保工の設計の基本

(1) 鋼アーチ支保工は、掘さく作業に伴い、または掘さく後なるべく早く建込みができ、覆工完了までの間、荷重を安全に支えるものでなければならない。

(2) 鋼アーチ支保工は、必要な強度と建込み間隔を有し、沈下、変

状、転倒、ねじれ、等を起こさないように設計しなければならない。

【解説】(1) について トンネル掘さくに伴う支保工に対する荷重は、掘さく後の時間の経過とともに増大することが多いので、掘さく後すみやかに建込みのできる支保工としなければならない。なお、いったん建て込んだ鋼アーチ支保工を撤去することは、掘さくによりゆるんだ地山をうけている支保工を一挙にはずすことになり、非常に危険であるので、安全の見地から鋼アーチ支保工はコンクリート覆工中に埋め込むことを原則とする。また、コンクリート覆工中に埋め込まれた鋼アーチ支保工は、覆工後も覆工コンクリートとともに地山を支持すると考えられる。

鋼アーチ支保工は、多くの点で木製支柱式支保工、等に比べて特長を有するが、鋼アーチ支保工といえども過信は危険であって、その特性を發揮し、安全を確保するためには十分の注意を怠ってはならない。

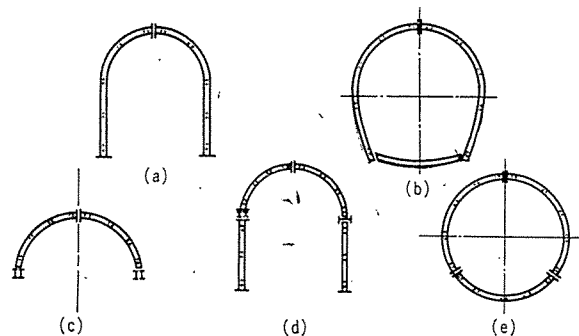
ここにいう鋼アーチ支保工には、導坑支保工を含まないが、導坑用の鋼アーチ支保工も、第2節 鋼アーチ支保工 の各条に準じて設計しなければならない。

(2) について 鋼アーチ支保工は、第3章に述べた荷重に耐えて、変状を起こさない強度と、建込み間隔を持つことが基本であるが、特に次の諸点に注意しなければならない。(a) 地質が弱く地耐力に不安のある場合には、その状況により皿板やウォールプレートを敷き、または根固めのコンクリート等を施工して、沈下、変形を起こさないようにすること。(b) やらずによりトンネル軸方向の力で転倒しないようにすること。(c) つなぎを十分とって、ねじれ、等を起こさないようにすること。

第36条 鋼アーチ支保工の形状寸法

鋼アーチ支保工は、地質および施工法との関連を考慮して、その形状や寸法を決定しなければならない。また継手が少なく、かつ想定される外力その他の諸条件に対して有利な形を有し、施工上の便宜を備えたものでなければならない。

【解説】鋼アーチ支保工には、解説 図10に示すような種々の形状のものがある。採用する形状や寸法は、地質による荷重の大きさおよび性質、施工法、等の関連を考慮してこれを決定しなければならない。なお、荷重による変形および製作や建込み、等の施工誤差に対する余裕も考えておかなければならない。

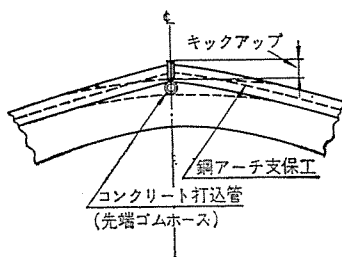


解説 図 10 鋼アーチ支保工の各種の形状

1) 継手が少なくについて 継手は、支保工の弱点となるので、できるだけ少ないのが望ましい。解説 表 14 は、昭和 35 年、国鉄静岡幹線工事局において行なったトンネル幅約 10 m の上部半断面用 2 部材支保工と 4 部材支保工の強度の比較試験の結果である。

これによると、2 部材支保工は、対称荷重、偏荷重のいずれの場合も 4 部材支保工に比し、約 2 倍の強度を示している。

2) 施工上の便宜について たとえば、コンクリートポンプを使用して薄い覆工を施工する場合は、コンクリート打込み管のそう入に支障を与えないよう、支保工のクラウンの部分に解説 図 11 のようにキックアップをつけて設計する必要がある。また、部材の曲げ加工の便宜を考えると、その両端に多少の直線部を設けることが経済的である。ただし、直線部をあまり長くすると、支保工の弱点となるので避けなければならない。



解説 図 11 キックアップ

解説 表 14 2 部材支保工と 4 部材支保工の強度比較

部材数	略 図	支保工材古レールの本数と種類	重 さ (kg/組)	対称荷重 総破壊荷重 (t)	偏荷重 破壊荷重 (t)
2 部材		アーチ 1-50	663	48(100%)	28(100%)
4 部材		アーチ 1-50 ポスト 1-50	683	—	15(54%)
		アーチ 1-50 ポスト 2-30	685	48(100%)	14(50%)
		アーチ 2-30 ポスト 2-50	1017	29(60%)	17(61%)

注：支保工の重さは、古50kgレール=46.4kg/m、古30kgレール=27.7kg/mとして計算した。

第 37 条 鋼アーチ支保工の材質

(1) 鋼アーチ支保工には、伸び率が大きく、かつ曲げや溶接、等の加工性の良好な鋼材を用いるのがよい。

(2) 曲げ加工は、特別の場合を除き冷間加工により、正確に行なわなければならない。また、溶接、穴あけ、等に当たっては、素材の材質を害してはならない。

【解 説】(1) について 鋼アーチ支保工に用いる鋼材は、大きな荷重がかかって大きな変形があっても折損しにくく、また、冷間で相当急な円弧に曲げ加工するものである点からも、伸び率の大きい、どちらかといえば、あまり硬くないものが望まれる。

溶接については、支保工としての使用上の特性から見て、通常、特に嚴重な示方によらなくてもよいと考えられるが、あまり溶接困難な材質のものは、継手その他の溶接加工に

不便であり、また随時の溶接補強が効かないなどの不利も生ずる。

これらの点や経済上の考慮も含んで、現状では最も広く市販されている JIS G 3101 に規定された SS 41 程度の鋼材が適当である。特に、必要ある場合は、検討のうえ、より高い強度の鋼材や、より溶接性のよい鋼材を使用することも考えられる。

鋼アーチ支保工用として、主として経済上の理由から、鉄道用レールや軽便レール、等の中古品が用いられることもあるが、これらの古レールは強度は大きいですが、材質が硬く、もろく、伸びも少ないうえ、曲げや溶接の加工性もよくないので、加工中や使用中に急に折れることがある。したがって、使用にあたっては腐食や摩耗の著しいもの、きずや割れのあるもの等は用いないものとし、また、外見上の欠陥は見あたらなくても、すでに疲労に達していたり、かくれた欠点のある場合も多いので注意を要する。

(2) について 支保工材料にきずがあった場合、熱間加工よりも冷間加工の方がその発見が容易であり、さらに熱間加工は、その熱管理も困難であるから、冷間加工を原則としたものである。また、加工にあたっては、断面の変形、ねじれ、等が生じないように注意しなければならない。

なお、冷間加工の場合の最小半径の標準を 解説 表 15 に示す。

解説 表 15 H 形鋼の冷間加工による最小曲率半径

H 形鋼の寸法	単位重量 (kg/m)	最小曲率半径 (mm)
H-100 × 100	17	1 300
H-125 × 125	24	1 600
H-150 × 150	32	2 500
H-175 × 175	40	3 500
H-200 × 200	50	4 500
H-250 × 250	72	5 500

第 38 条 鋼アーチ支保工の断面と建込み間隔

(1) 鋼アーチ支保工用鋼材の断面は、荷重、覆工の厚さ、支保工の最小かぶり、施工法、等を考慮して、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、等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。この場合、第 30 条 表 1 に示す土荷重を用いたときは、表 2 の値を用いてもよい。

表 2 鋼アーチ支保工の断面と建込み間隔

地圧の 大きさ 種類 内空 断面 の幅	第 34 条 (2) に定め 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)
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)	1.2	H-250×250 (72 kg/m)	1.0

注：この表は、幅 5 m については全断面、幅 10 m については上半断面用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。

【解説】(1) について 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、等を考慮して、適当なものを選ばなければならない。

なお、鋼アーチ支保工には、トンネルの軸に直角な方向に外力がかかるのが普通であるが、トンネル軸方向に外力がかかることもしばしばあるので、部材断面としては、横軸に対する断面係数（トンネルの軸に直角な方向の外力に対する抵抗性）が大きいただけでは不十分で、縦軸に対する断面係数（トンネル軸方向の外力に対する抵抗性）も、できるだけ大きいのが望ましい。

もちろん、バックリング、ねじれ、等に対する抵抗性もできるだけ大きいのが望ましく、フランジの薄いものは、局部的荷重による変形を起こしやすいので注意を要する。

なお、H 形鋼材には、フランジ厚さの一定なパラレル H 形断面と、フランジ厚さにテーパのあるテーパ H 形断面がある。

また、可縮坑わく鋼は、膨張性の地質に適していると考えられる。さらに縦横の断面係数の等しい鋼管を支保工用材として用いた例もある。

(2) について 鋼アーチ支保工の建込み間隔は、土圧の大きさに対応するよう変更されねばならない。従来、第 34 条 (2) に定めるような地質のとき、180 cm 程度とした例もあるが、このように広げると、はだ落ちでもあったときは、支保工の鋼材に異状がなくて矢板が折れてしまうというようなことがあるので、安全の見地から鋼アーチ支保工を建

で込む以上、その間隔は 120 cm 以下を標準とし、最大でも 150 cm としたのである。

また、その最小間隔は、覆工コンクリートが支保工の周囲に十分ゆきわたることができるかどうかにより決定されるが、矢板を縫地で施工する場合、等では、間隔を 60 cm 程度以下にすると施工が困難となるので注意を要する。

〔3〕について 表 2 の基礎となったのは、国鉄札幌工事局、静岡幹線工事局および建設省土木研究所において行なった各種鋼アーチ支保工の載荷破壊試験であって、試験結果の要約は、解説 表 16 に示すとおりである。

解説 表 16 破壊土荷重の高さ

内空断面の幅 (m)	種 別	単位重量 (kg/m)	破壊土荷重 の高さ (m)	記 事
5	H-100×100	17	3.5	
	H-125×125	24	6.0	
	H-150×150	32	9.0	
10	H-150×150	32	3.5	
	H-200×200	50	6.5	
	H-250×250	72	11.0	
	テーバ付H-175×175	47	6.0	
	パイプ216.3/5.8 (中詰なし)	30	3.5	
パイプ216.3/8 (中詰なし)	41	6.5		

注：この表は、支保工1基の破壊荷重を、トンネル延長1m当りの土荷重の高さで表わしたものである。

第 39 条 く さ び

鋼アーチ支保工のアーチ作用に必要な支保工と地山との間のくさびは、設計として明示し、確実に作用するようにしなければならない。

【解 説】 鋼アーチ支保工を組み立てるとき、地山と支保工との間のくさびの打込みによって、支保工に土圧を伝達し、地山のゆるむのを防ぎ、荷重の増大するのを防止するものである。

また、くさびは、トンネルの支保工のアーチ作用を確保するのに不可欠のものであるから、クラウンとスプリングには必ずこれを入れるほか、円周部についても中心角 30° について 1 個以上、支保工材にそって 120 cm 程度以下の間隔でこれを入れるのを標準とし、

確実に締めうるようにしておかなければならない。

また、支保工材と地山との間隔の広いときは、サンドルを組むようにし、丸太坊主を立てて、くさびにかえるようなことは危険である。

解説 表 17 は、くさびの締め方および使用位置が支保工の強度におよぼす影響についての実験例(土木学会論文集第 88 号「トンネルの鋼アーチ支保工に関する研究」参照)である。

解説 表 17 くさびの締め方、使用位置と支保工の強度比較 (%)

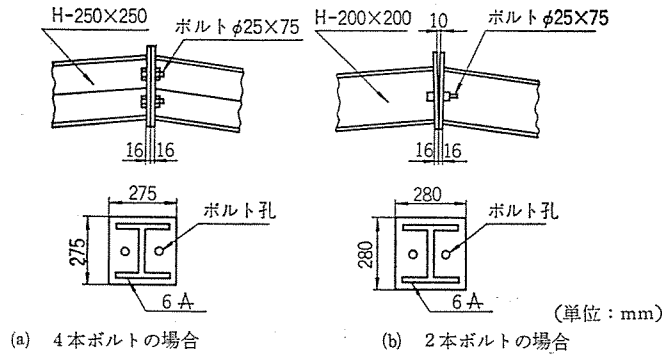
くさびの位置			
くさびの締め方			
くさびの十分きいている支保工	100	80	60
くさびのゆるい支保工	90	70	50
くさびのきいていない支保工	60	50	40

すなわち、十分きいているくさびがアーチ部に 9 カ所ある鋼アーチ支保工の強度に比較し、くさびがゆるむにしたがい、強度は 90~60 % となり、また、くさびが 5 カ所になると 80~50 % くさびが 2 カ所になると 60~40 % となり、くさびの締め方および使用位置が支保工の強度におよぼす影響は、非常に大きいことを示している。

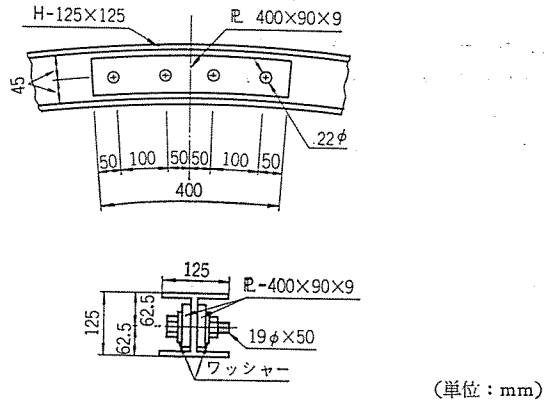
第 40 条 鋼アーチ支保工の継手

鋼アーチ支保工の部材相互の継手は、つなぎ板、継目板およびボルト、等により、構造上の作用に適し、かつ強固に連結するよう設計しなければならない。

【解 説】 解説 図 12 (a), (b) は、アーチクラウン部のつなぎ板の設計例を示したものであり、解説 図 13 は、継目板の設計例を示したものである。



解説 図 12 アーチクラウン部のつなぎ板

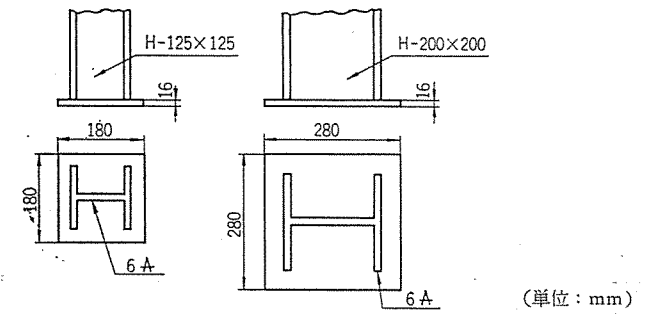


解説 図 13 継目板

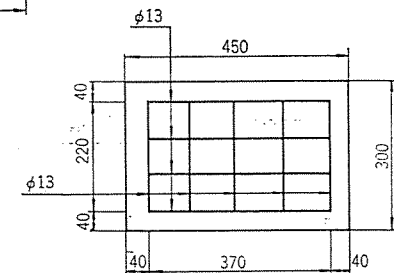
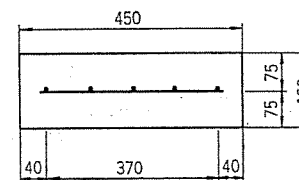
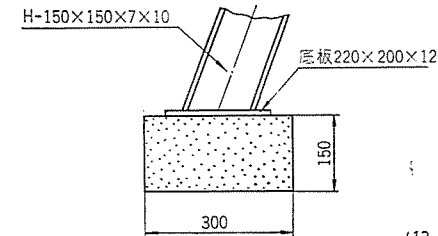
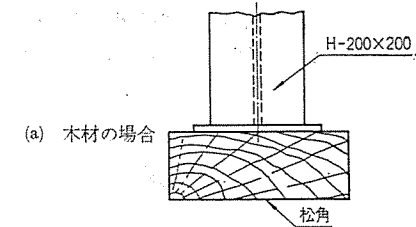
第 41 条 底板および皿板

鋼アーチ支保工は、荷重による沈下を防止するため、部材下端に底板を取り付け、必要に応じ皿板を用いるなどして、十分な支持力を持つようにしなければならない。

【解説】 解説 図 14 は底板の設計例を示したものである。解説 図 15 は、皿板に木材または鉄筋コンクリートを用いた例である。



解説 図 14 底 板



(b) 鉄筋コンクリートブロックの場合

解説 図 15 皿 板

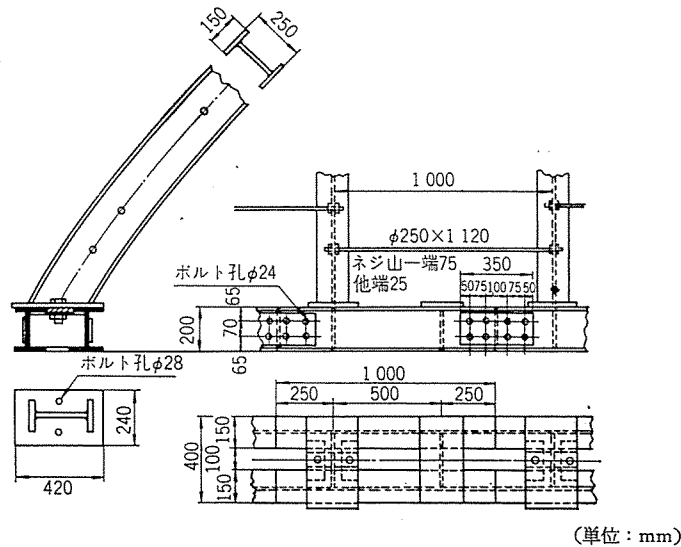
(単位: mm)

第 42 条 ウォールプレートおよび根固めコンクリート

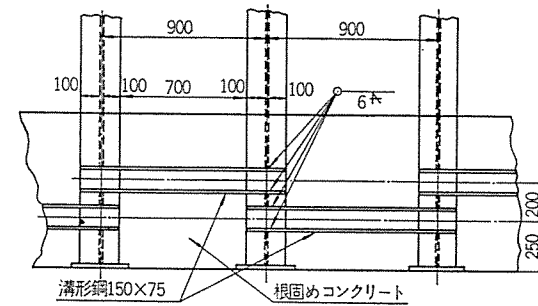
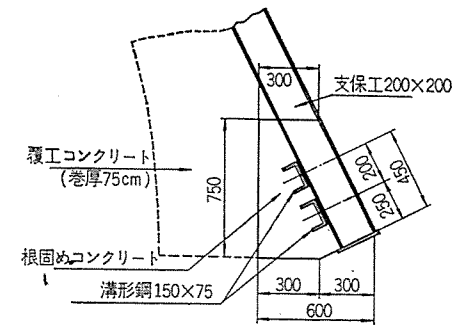
鋼アーチ支保工は、必要に応じウォールプレートまたは根固めコンクリートを用いるなどして各支保工の一体化をはかり、荷重による不等沈下を防止するとともに、十分な支持力を持つようにしなければならない。

【解説】 鋼アーチ支保工にかかる荷重が大きく、支保工脚部の地耐力が不足する場合には、必要に応じてウォールプレートまたは根固めコンクリートを用いるとよい。これらは荷重による沈下を防止するとともに支保工を一体化し、支保工の支持力を増大させるために非常に有効な方法である（解説 図 16、図 17 参照）。

また、荷重による沈下を防止する方法として脚部に鋼製シートパイルを敷く方法がある（解説 図 18 参照）。なお、木製矢板を重ね合わせて敷くことは、矢板が折損して沈下防止の役に立たぬことが多いので避けるべきである。

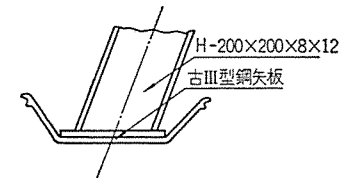


解説 図 16 ウォールプレート（関門国道トンネル海底部における例）



(単位：mm)

解説 図 17 根固めコンクリートの例



(単位：mm)

解説 図 18 鋼製シートパイルの使用例

第43条 つなぎ

鋼アーチ支保工相互間は、つなぎボルト、内ばり、等によって強固に連結しなければならない。

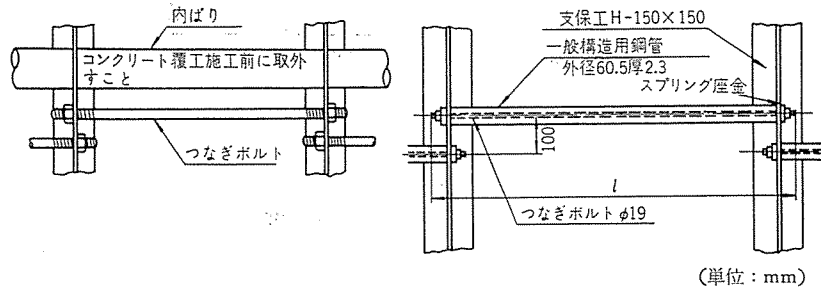
【解説】 つなぎは、トンネル軸方向に作用する外力に対し、支保工相互の結合をはかるためのものである。

つなぎボルトは、引張りに対して十分働くよう、内ばりは建込み初期（支保工建込み区間の両端）におけるトンネル軸方向の外力、および発破の振動などに耐えられるよう設計しなければならない。

つなぎは、クラウンとスプリングには必ずこれを入れるほか、支保工材にそって120 cm以下の間隔でこれを入れるのが望ましい。

解説 図 19 (a), (b) および 解説 表 18 は、つなぎボルト、内ばりの設計例を示したものである。

第32条 解説で述べたように木製内ばりは、覆工施工前に取りはずさなければならない



(a) 木製内ばりの場合 (b) 鋼管内ばりの場合

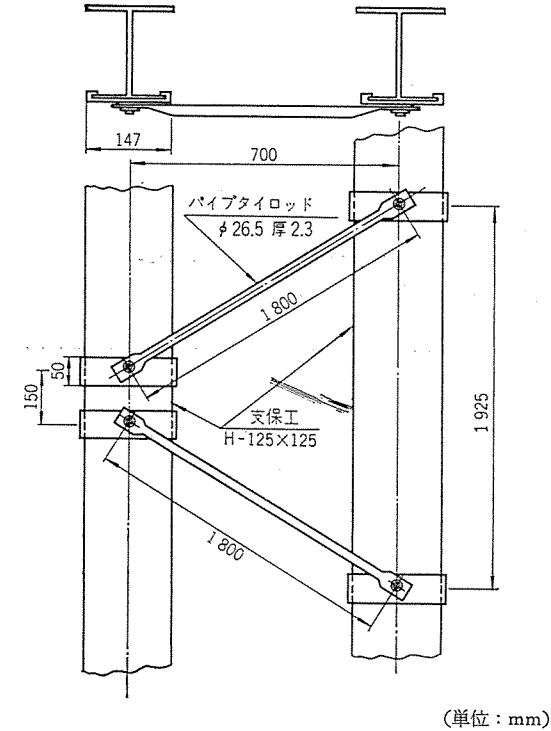
解説 図 19 つなぎボルト、内ばり

解説 表 18 つなぎボルト、内ばり

支保工の大きさ	種別	つなぎボルト径 (mm)	内ばり丸太末口径 (cm)
H-150×150		16 ~ 22	9
H-200×200		19 ~ 25	12

が、木製内ばりをはずすことが危険と判断される場合などには、鋼材を用いて設計することが望ましい。

また、必要に応じて斜材によるつなぎを用いる方法もある。解説 図 20 は、その設計例を示したものである。



解説 図 20 斜材によるつなぎ

第44条 矢板

鋼アーチ支保工の外周には、周囲の岩石、土砂をおさえるため、地質、その他の条件に応じて、矢板、矢木、鉄矢板、ライナープレート、等を設計しなければならない。

【解説】普通、矢板の厚さは、3～4.5 cm 程度であり、矢木は、末口 9～12 cm の丸太を用いる。

鉄矢板を用いる場合は、裏込め注入を行なう便宜を、あらかじめ考えて設計しておく必要がある。

なお、縫地の場合は、覆工コンクリートを支保工鋼材の周囲に行きわたらせるために、矢板または矢木の矢尻りの切断を必ず行なわなければならない。このためには、矢返しを設計しておかないと、矢尻りを切ることができないから注意を要する。

また、荷重のかかったときの矢板の折れを防ぐため、または矢尻りを切断したときの矢板のゆるみを防ぐためには、返しパッキンを設計しておくことが必要である（解説 図 8 参照）。

最近、強圧をうける場合や、導坑矢板のように転用可能な場合、等にコルゲート鉄矢板、等が用いられた例もある。

ライナープレートは、いろいろの特長があるが、わが国では、今まであまり用いられていないので、今後大いに研究をすすめる必要がある。

第 45 条 や ら ず

鋼アーチ支保工施工区間が短小な場合、または縦方向に荷重のかかるおそれのある場合は、やらず、等により転倒防止をはからなければならない。

【解説】底設導坑から切り上がった最初のうち、または前後の地山の地質がよい場合などで、鋼アーチ支保工の連続建込み基数が少ない場所、坑口付近および地質が悪くて偏圧のかかるところ、等では支保工は縦方向に荷重をうけることになるので、必ずやらず、等を設計する必要がある。

鋼アーチ支保工を過信して、上記のような当然必要と思われるところに、やらず、等を設計しない例もあるので、特に注意する必要がある。

第 3 節 ロックボルト

第 46 条 通 則

ロックボルトの採用にあたっては、使用目的、使用地点の地質、施工法および経済性を考慮し、適切な計画をたてなければならない。

【解説】ロックボルトは、鉱山や地下発電所、等で使用され、支保工としてすぐれたものであることが実証されているが、わが国では、トンネルの支保工としては試験的な実施例を除いて、あまり用いられていない。

しかし、ロックボルトは、鋼アーチ支保工や支柱式支保工のようにトンネルの内側から地山を支持する支保工とは異なり、地山それ自身の持つ強度を利用して地山を支持するものであるから、トンネル内の空間を広くとれること、使用材料が比較的少なくすむこと、トンネルの断面形状の変化に対して適応性が大きいこと、覆工を行なう場合、覆工の弱点となるような材料を含まないことなど、多くの特徴を持っており、ロックボルトをうまく利用することによってトンネルの強度および経済性を高めることができる。

ロックボルトは、地山がある程度自立性のあるものであれば、適当なアンカーの種類、施工法を選択することによって、広い範囲の地質に使用することができる。

ロックボルトが地山を支持する機構については、必ずしも明らかにされていないが、(a) つりさげ作用、(b) 補強作用、(c) はり形成作用の三つが考えられている。(a) のつりさげ作用とは、トンネル掘さくによってゆるんで脱落しそうな岩塊をゆるんでいない深部の地山に結びつけて支持する作用で、(b) の補強作用とは、ゆるんだ岩塊相互をロックボルトにより補強し、全体として一体な構造体として作用する殻をトンネル周囲に形成する作用で、(c) のはり形成作用とは、層状の地層の各層間をロックボルトで結び、締め付けることによって、各層間に作用する摩擦力を増大させて、はりとしての耐荷力を増大させる作用である。

ロックボルトの配置、等を決める方法には、掘さく後の地山状態を見てロックボルトの配置をそのときの状況に応じてランダムに決める、いわゆるランダムボルティングの方法と、あらかじめボルトの埋込み深さ、配置を決めておいて、そのとおりに施工するいわゆるパターンボルティングの二方法がある。掘さくの状況のみをみて適宜ボルト位置を決定するランダムボルティングのほうが、一見合理的、経済的に思われるが、地山内部のきれつの状況を判断するのはむずかしく、掘さく面の外見からボルト位置を判断するのは危険である。

トンネルにおけるロックボルトの使用目的は、つりさげ作用を期待する浮石の脱落防止から、主としてトンネルのアーチ部分または全周の掘さくによりゆるんだ地山を補強し、全体として一体な殻として作用する構造体を地山につくりあげてを期待する本格的な地山アーチ形成までいろいろあり、前者の場合は、ランダムボルティングでもよいが、後者の場合は、あらかじめ決められた配置で組織的にロックボルトを施工するパターンボルティングによる必要がある。地質状況が変化した場合は、配置を全体として変えるようにし、ボルトの中間点などにおいては、はだ落ちしそうな部分が局部的にみられるような場合は、補助的にボルトを追加するか、つなぎ材、等でこれを防止しなければならない。

この示方書では、アーチ部を有する普通の形状のトンネルにロックボルトを適用する場

合について取り扱う。

第 47 条 ロックボルトの材質および形状

ロックボルトは、棒鋼または異形棒鋼から製作するものとし、材質、強度、形状寸法は、それぞれの棒鋼の JIS 規格に適合するものでなければならない。

【解説】ロックボルトは、一般の構造用材料と同じく、信頼性のある規格品を用いなければならない。ロックボルトは、引張材として作用されるから、引張強度の大きなものでなければならないが、同時に地山の急激な崩落を防止するため、伸び率の大きいものであることが必要である。わが国においては、ロックボルトの使用実績が少なく、ロックボルトに関する規格はつくられていないが、American Mining Congress が、炭鉱のロックボルトの規格として使用しているものを示すと 解説 表 19 のとおりである。

解説 表 19 ロックボルトの材質の規格別

規格項目 ボルトの種類	機 械 的 性 質			化 学 成 分	
	引張強度 (最小)	降 伏 点 (最小)	伸 び (最 小) 標点間隔 20 cm	磷 (最大)	硫黄 (最大)
普通強度ボルト	60 000 psi (42 kg/mm ²)	30 000 psi (21 kg/mm ²)	17 %	0.040 %	0.050 %
高張力ボルト	80 000 psi (56 kg/mm ²)	40 000 psi (28 kg/mm ²)	12 %		

普通に使用されるロックボルトの太さは、エクспанション型のアンカーを用いる場合で 16~22 mm、ウェッジ型で 22~25 mm である。ロックボルトは、径の大きなものを少なく用いるよりも径の小さなものを数多く用いたほうが有効と考えられる。

第 48 条 ロックボルトのアンカー形式

ロックボルトのアンカーは地質状況、施工方法、使用目的、等を考慮し十分な定着の得られるものでなければならない。使用にあたっては、現場付近において使用場所と同様の地質条件の場所を選び、引抜き試験を行ない、アンカー強度の確認を行なうのがよい。

【解説】ロックボルトのアンカーには、非常に多くの種類があり、使用地点の地質状況、施工方法、永久的なものであるか、または覆工を施工するまでの間の一時的なものであるか、等の使用目的を考慮して慎重に選択しなければならない。ロックボルトのアンカーを大別すると下記のようになる。

- (a) ウェッジ型
- (b) エクспанション型
- (c) 接着型

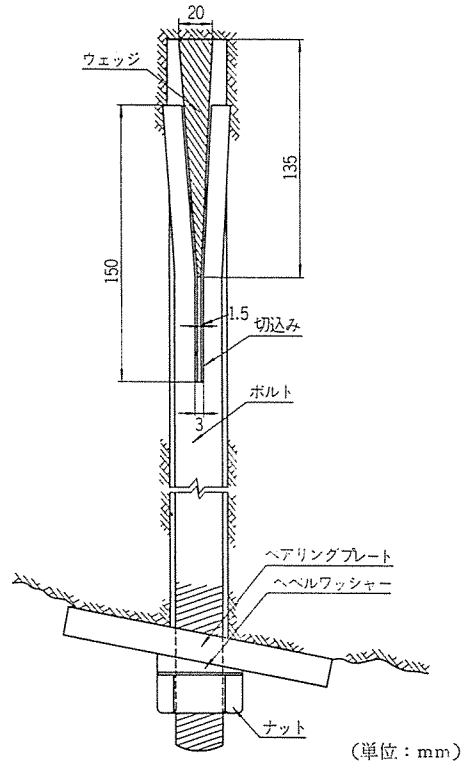
ウェッジ型は、ボルトの一端に切込みを設け、これにくさびをそう入したものをボルト孔にそう入して、ストーパー、等を用いてボルトを強打し、孔底とくさびを用いて切込みを押し広げて定着する方式のものである。切込みの長さは、通常 15 cm 程度のものが用いられる。この形式では、正確な深さにボルト孔をせん孔することが必要である。解説 図 21 は、ウェッジ型アンカーの一例である。

エクспанション型は、内側にテーバーを有する 1 個または 2 個からなるシェルとそれに適合するテーバー付きのプラグとからなり、ボルトを引張ることによって、プラグをシェル内に入り込ませシェルを押し広げて定着するものである。したがって、ボルト孔の長さは、ボルトより長ければ特に問題とならないが、孔径は正確でなければならない。解説 図 22 は、エクспанション型の一例である。

接着型は、接着剤、等を用いて、ボルトをボルト孔に定着させるもので、セメント、石膏、等の無機材料を用いたものと、ポリエステル系樹脂、エポキシ樹脂、等の有機材料を用いたものがある。接着型のもは、ウェッジ型、エクспанション型、等、機械的なアンカーが不適当のような比較的軟弱な地質にも適用できる。接着型では、機械的な方式のもののように、ボルトそう入後ただちに締付けを行なうことはできないが、定着部の岩

解説 表 20 アンカー定着力試験の例

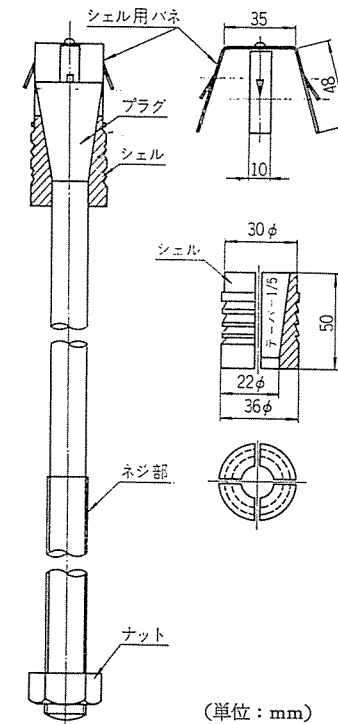
アンカー の形式	地 質		ア ン カ ー				備 考
	岩石名	圧縮強度 (kg/cm ²)	せん孔径 (mm)	ボルト長 (cm)	ボルト径 (mm)	引抜き荷重 (t)	
エク ス パ ン シ ヨ ン 型 (シ ェ ル の 径 36 mm)	流紋岩	3 340	40	187	22	12~19	ボルトの伸び大となったため 19 t で中止 (38 mm の一文字ビットでせん孔)。
	安山岩	2 560	〃	78	〃	9 以上	試料岩石が 9 t で破壊。ダイヤモンドコアビットでせん孔。
	大理石	760	〃	85	〃	11	ダイヤモンドコアビットでせん孔。
	凝灰岩	590	〃	87	〃	8	〃



解説 図 21 ウェッジ型ロックボルト

石に局所的な大きな応力を発生させないこと、アンカー部のすべりが少ないこと、等の特徴がある。接着型のロックボルトでは、ボルト全長にわたって接着する場合と、孔底から定着に必要な長さだけを接着する場合とがある。ボルト全長にわたって接着する場合は、締付けは行なわないのが普通である。

ロックボルトの能力を十分に発揮させるためには、地質に適合した十分な強度のアンカーを用いることが重要であるが、アンカーの強度は地質により変化するので、選定したアンカーが地質に適合し十分な強度を有するか否かを、現地において引抜き試験を実施して確認するのがよい。解説表 20 は、国鉄鉄道技術研究所で行なった地質とアンカーの強度との関係の試験の結果である。



解説 図 22 エクспанション型ロックボルト

第 49 条 ロックボルトのそう入間隔および長さ

ロックボルトの長さは、そう入間隔の 2 倍以上を標準とし、そう入間隔は、つとめて最大 1.5 m をこえないようにするものとする。ただし、浮石止めや他の支保工の補助として用いる場合を除く。

【解 説】 ロックボルトのそう入間隔、長さの決め方には、一般に認められた標準的な方法というものがなく、在来の経験、実績により行なわれているのが現状である。ロックボルトのそう入間隔、長さを決める際には、地山の強度、割れ目の間隔、方向、トンネルの寸法、使用の目的、等を考慮しなければならない。










トンネル断面の寸法より長いロックボルトは、途中で継手、等設けなければそう入することができないから、通常の場合、ロックボルトの長さの最大は、トンネル断面の寸法により制限される。

掘さくによりゆるんだ地山を補強して、一体として働く構造体の形成を期待する場合には、必ずしもロックボルトをゆるんでいない地山まで到達させる必要はない。T. A. Langの実験によれば、ロックボルトで供試体を締め付け、供試体内に様な圧縮帯を形成させるためにはロックボルトの長さは、そう入間隔の2倍以上を必要とする。この値は、過去の実績ともほぼ一致し、一応の標準と考えることができよう。

ロックボルトのそう入間隔を決める場合は、地山の割れ目の間隔が大きな要素となることが考えられる。同じT. A. Langの碎石を用いた実験によれば、碎石を締め付けて版をつかった場合、ベアリングプレート間の純間隔が碎石の平均径の3倍以下なら、その版は安定であった。したがって、トンネルの場合のように、岩塊相互がかみあっている場合は、平均割れ目間隔の3倍程度の間隔でロックボルトをそう入すれば一応安全なものと考えられる。最大そう入間隔を1.5mとしたのは、現在普通に使用されているロックボルトの耐荷能力や 解説表21に示す実績をもとにした一応のめやすである。

ロックボルトにつりさげ作用を期待する場合には、その長さは、掘さくによりゆるんでいない地山に到達するまでの長さが必要である。

解説表21 ロックボルトの施工例

使用箇所	ボルト設置期間(m)	ボルト長さ(m)	ボルト径(mm)	孔径(mm)	アンカー(mm)	ベアリングプレート(mm)	ボルトの長さ(設置間隔の比)	断面(m)	地質
安取 毒 発 電 所 付 道	1.0	2.5	22	38	ウェッジ型 20×100	100×100×5	2.5		花崗岩
安取 毒 発 電 所 余水吐	1.0~1.25	2.0~2.75	25	38	ウェッジ型 20×100	200×200×28	2.0~2.2		花崗岩
大津 噴 発 電 所 地下発電所アネ部	1.5	3.0	22	45	エキスパンション型	200×200×9	2.0		花崗岩
山陽新幹線 山形 新 幹 線 山形 新 幹 線	1.25	2.0	22	38	エキスパンション型	150×150×9	1.6		流紋岩
山陽新幹線 相生 トンネル	1.25	2.0	22	38	エキスパンション型	150×150×9	1.6		流紋岩
新 清 水 トンネル	1.0	2.0	22	38	エキスパンション型	200×200×6 (皿型)	2.0		花崗閃緑岩 石英閃緑岩
笹子 換 気 用 トンネル	1.2	2.0	22	38	エキスパンション型 樹脂系接着型	200×200×9	1.7		花崗閃緑岩
三 菱 金 属 三 坑	1.0	0.5~1.8	15	33~34	エキスパンション型	150×150×6	0.5~1.8		各種の岩質
三 井 金 属 三 坑	0.8	1.5	19	25~30	ウェッジ型 15×130	70×70×9	1.9		片麻岩
赤 銅 山 銅 山 銅 山	0.75	1.5	19	38	エキスパンション型	200×200×6	2.0		石英斑岩
松原 発 電 所 半地下発電所側壁	1.0	1.8	22	38	ウェッジ型 20×130	150×150×9	1.8	立て坑 	輝石安山岩 火山角礫岩
下谷 発 電 所 地下発電所ドームおよび側壁	1.0	2.0, 4.0	25	46	エキスパンション型	80×80×3.2	2.0, 4.0		輝石安山岩 安山岩
茶川 炭 坑 ダム 貯池側壁	1.0	3.0	22	38	ウェッジ型20×100	100×100×5	3.0	高さ 幅 15×32	花崗岩
貯池側壁	1.0	5.0	22	50~60	モルタル	150×150×10	5.0		斑岩

第 50 条 はだ落ち防止

ロックボルトとロックボルトの間の地山がはだ落ちするおそれのある場合には、山形鋼、溝形鋼、等によりロックボルト間を結合したり、鉄網を張るなどして、はだ落ちを防止しなければならない。

【解 説】 ロックボルトとロックボルトの間の地山のはだ落ちは、危険であるばかりでなく、大きな崩壊の原因ともなるので、これを防止しなければならない。ロックボルト間のはだ落ちを防止するためには、一般に大きな力は必要としない場合が多く、鉄網程度のもので十分なことが多い。鉄網を用いた場合、鉄網の継手は、15 cm 程度重ね合わせるようにし、ベアリングプレートおよびナットの上に別のプレートとナットを用いて取り付けるのが望ましい。

第 51 条 ベアリング プレート

使用するベアリングプレートは、十分な大きさおよび厚さを有するものでなければならない。また、ロックボルトとベアリングプレートが直角とまらない場合は、ベベルワッシャー等を用いて、ベアリングプレートとナットの間に関げきができないようにしなければならない。

【解 説】 ロックボルトに導入された力は、ベアリングプレートを介して地山に伝達され、アンカー部とベアリングプレート間の地山に圧縮力を作用させる。したがって、ベアリングプレートの大きさは、ロックボルトの力を、地山の支圧強度を越えないような大きさにするだけの十分な面積を持つものでなければならない。通常ベアリングプレートとしては、厚さ 10 mm 程度で、一辺の大きさが 15~20 cm の正方形または三角形が用いられるが、半球の特殊なワッシャーと組み合わせた円形のものも用いられる。ベアリングプレートのみでは必要な支持面積が得られない場合は、山形鋼、溝形鋼、等を用いてボルト間を継ぎ合わせることもある。

一般に、掘さくされた岩盤面とロックボルトとは、直角にならないことが多く、ベアリングプレートとナットとは平行にならない。このような場合は、ベベルワッシャーや、半球状ワッシャー等を用いてベアリングプレートとナットとの間に関げきができないようにして、ベアリングプレート全面で荷重を支持するようにする。

第 52 条 ロックボルトの保護

ロックボルトに吹付けコンクリートを併用して覆工にかえる場合は、アンカーのゆるみ、腐食の防止、等を考慮してグラウト、等を行なわなければならない。

【解説】 ロックボルトのアンカーは、時間の経過とともにゆるみ、また、長年の間には腐食のためにその機能を果たし得なくなるので、グラウト等を行ない、これを防止しなければならない。普通、ロックボルトのグラウトには、アルミニウム粉末を添加したセメントミルクが注入されることが多い。上向きボルトへの注入にあたっては、グラウトにより排出される空気の処置を考えておく必要があり、ビニールパイプ等をボルトにそえてそう入しておいて排出する方法や、ボルト中央に空気排出用の小孔を設けた特殊なボルトを用いる方法、等が使用される。注入圧力は、グラウトの注入に必要な最小限の圧力とすべく過度に圧力を上げることが、グラウトが地山の間げきにまわった場合に間げきを押し広げるように作用して、地山の崩壊を招くことがあるので避けなければならない。普通グラウトの水セメント比は、0.38～0.44 程度のものが用いられる。

接着型のロックボルトで、ロックボルト全長にわたって接着した場合には、腐食、等に対する配慮がいらぬのが普通である。

第 4 節 吹付けコンクリート

第 53 条 通 則

(1) 吹付けコンクリートの設計は、その使用目的、使用法、等を十分考慮して行なわなければならない。

(2) この示方書に示すもののほかは、土木学会制定「コンクリート標準示方書」によるものとする。

【解説】 (1) について 吹付けコンクリート工法とは、圧さく空気によってコンクリート材料を吹き付ける施工法をいい、吹付けコンクリート工法によって得られたコンクリートを吹付けコンクリート（またはショットクリート）という。

吹付けコンクリート工法には、水以外の材料を水（急結剤などを含むことがある）と別々に圧さく空気で送り、ノズルで合流させる乾式工法と全部の材料をミキサで練り混ぜたのち、圧さく空気でノズルへ送る湿式工法とがある。

わが国では、従来、コンクリート構造物の漏水箇所や劣化箇所の修繕、のり面保護、等の目的でモルタル吹付けが湿式工法で施工されているが、トンネル建設工事では、作業上の困難性もあり、急結剤を混和したコンクリート吹付けを乾式工法で施工しているのがほとんどであるので、この示方書では乾式工法について示すこととする。

吹付けコンクリートは、本質的には、普通コンクリートと同じであるが、圧さく空気で吹き付ける施工法による点異なっている。このような施工法によるコンクリートは、型わくなしで、きわめて薄いものから相当な厚さまで自由に施工でき、地山に密着させうる特性をもっているため、トンネル工事にとって大きな利用価値がある。

掘さく直後の岩盤に密着した薄いコンクリートは、地山表面岩石と協同して、それより奥の地山をゆるめないよう支持し、地山のクラックの発達をさまたげるとともに、風化防止にも有効であると考えられる。

なお、吹付けコンクリートは、単独で利用されるだけでなく、鉄網、鉄筋、鋼アーチ支保工、ロックボルトその他、各種材料とともに使われる。

このように吹付けコンクリートは広い範囲の地質に対して支保工として利用できるものであり、鋼アーチ支保工と併用して膨張性地質に対して利用した例もある。

また、自由に吹付け厚さを増加することが可能であるので、地質が堅硬な場合、支保工として吹き付けたもののうえに、さらに吹き付けて所要の厚さとし、そのまま永久覆工として利用することもできる。

(2) について 吹付けコンクリートは、コンクリートの一種であり、施工法に吹付け工法を用いる点異なるのみである。この示方書では、吹付け工法が一般のコンクリートと異なる点についてのみ示すこととし、ここで示していない事項については、土木学会制定「コンクリート標準示方書」によるものとした。

第 54 条 吹付けコンクリートの材料

(1) 急結剤は、所要の急結性をもつものを選び、品質が劣化しないよう、保管に注意しなければならない。

(2) 骨材は、大小粒が適度に混合しているものを使用しなければならない。

(3) 細骨材は、ホースの閉そくを生じないよう、また粉じんの発生が少なくなるよう、表面水を適度に保たなければならない。

【解説】 (1) について 吹付けコンクリートの施工にあたっては、作業能率を高

め、付着したコンクリートが自重により、はげ落ちるのを少なくするために、付着したコンクリートの凝結を促進する必要がある。また、支保工として必要な強度を早く得るため、および発破の振動に耐えるため、付着したコンクリートの硬化を促進する必要がある。したがって、吹付けコンクリートでは急結剤を使用するのが通例である。

急結剤として必要な条件は、コンクリートの凝結硬化を促進すること、最終強度の低下が少ないこと、付着性がすぐれていること、鋼材を使用する場合は鋼材を腐食させないこと、薬剤の吸湿性が小さく保存性がよいこと、使用上の安全性が確保されていること、等である。

一般に急結剤の添加量は、セメント重量の約3~5%といわれているが、添加量がある限度を越えると凝結時間が必ずしも短縮されないばかりか長期強度を著しく低下させ、コンクリートに悪影響を与える結果となることもある。

また、急結剤は一般に吸湿性のものが多く、粉末のまま添加するときは、吸湿すると取扱い上難点を生ずるので保管に注意する必要がある。

どのような種類の急結剤をどの程度添加すべきかについては、吹き付ける対象物、使用材料、使用目的、等により相違してくるので一定の標準を示すことはできないが、急結剤は高価なものであるため、他現場の実績、実験室での実験結果、等を参考にのみならず、使用現場でも試験を行ない、最も適した急結剤を使用することが望ましい。

なお、所要の強度に達するまでの時間は、使用セメントの種類、セメントの新鮮度、水セメント比、気温、等により変化するが、吹付けコンクリートでは急結剤を使用するので、一般には新鮮な普通ポルトランドセメントを使用している。

(2) について 強度および密度の大きい吹付けコンクリートをつくるためには、粒度の適当な骨材を用いることが大切である。

一般には、比較的細粒の細骨材を多くし、粗骨材を少なくすれば、はね返りも少なく、表面の平滑な吹付けコンクリートが得られるが、あまり細粒の細骨材を多く用いると、セメントペーストの所要量が多くなり、不経済となるばかりでなく、できたコンクリートの品質にも悪影響をおよぼすこととなる。なお、できるだけ大きい最大粒径の粗骨材を使用することが望ましいが、あまり大きいものを用いると、ホースの閉そくを招いたり、はね返りを多くすることにもなる。

また、最大粒径の大きいものを使用するとしても、使用する吹付け機械の公称最大粒径よりも一段階小さいものを使用するほうが実際的である。

解説 表 22 は、わが国における吹付けコンクリートの施工例である。

吹き付けられた粗骨材は、モルタルに衝突し、ある深さモルタルに突入して、はじめてそこにとどまりうるものであるから、粒径の大きいものはモルタル層が厚くならないと付着することができない。したがって、厚さの薄い吹付けでは、モルタルを吹き付けること

が多く、また、吹付け厚の大きい場合も第1層の吹付けには、モルタルを吹き付け、その後粒径の大きい粗骨材を使用して吹き付けることが望ましい。

吹付けコンクリートは、施工に際し、はね返りを生ずる。はね返りは材料別にみると粗骨材、セメントの順で少なくなり、吹付け作業の始めが多く付着コンクリートの厚さが増すにしたがって少なくなる。

はね返り量は、吹付け方向、吹付け圧、コンクリートの配合、使用材料、吹付け面の形状、等により影響をうけるが、約10~30%程度で条件によっては50%を越えることもあるので注意を要する。

(3) について 細骨材の表面水は一般に4~6%程度が適当とされており、これよりあまり乾燥していると摩擦で静電気が発生したり、また、粉じんの発生も多くなり、7%程度を越えると、吹付け機の内部に付着したり、ホースを閉そくさせたりすることが多い。

第55条 吹付けコンクリートの最小吹付け厚

(1) 吹付けコンクリートの最小吹付け厚は、トンネルの幅、地質、吹付けコンクリートの使用目的、等を考慮して定めなければならない。

(2) 最小吹付け厚をいたずらに増加するよりも、つとめて金網や鋼アーチ支保工、等で補強するのがよい。

【解説】(1) について 支保工または覆工として必要な吹付け厚については、施工実績も少なく、また吹付けコンクリートがどのように地山と協同して地圧に対抗するのか実測的にも理論的にもデータが欠けているので、熟練した技術者の経験によって吹付け厚を決めている現状である。

参考までに外国の一例をあげると、吹付け厚について 解説 表 23 のように定めている。

吹付け作業は地山の割れ目、大きなへこみへまず吹き付けし、できるだけ表面を平滑に仕上げるのを原則としているので、最小厚は少なくとも2cm程度は必要となる。

なお、吹付けコンクリートは、施工後の変状状態に応じ、さらに吹き増しすることは可能であるので、このことを念頭において当初の吹付け厚をきめることが望ましい。

(2) について 吹付け作業は、地山の割れ目、大きなへこみへまず吹き付けし、できるだけ表面を平滑に仕上げるのを原則としているので、最小厚は少なくとも2cm程度となる。また、地山の状態から特に大きな耐力を必要とする場合でも、吹付けコンクリー

トを 20 cm 以上吹き付けることは、不経済となることが多く、他の補強材を用いて 20 cm 以下にするのが望ましい。

解説 表 22 吹付けコンクリートの施工例

トンネル名称	トンネル 内空幅 (m)	吹付 け厚 (cm)	骨材 最大 粒径 (mm)	配 合						着工 年月
				セメ ント (kg)	水 (kg)	W/C (%)	S/A (%)	砂 (kg)	砂 利 (kg)	
七色発電所搬入路道路トンネル	4.90	15	20	330	132	40	47	900	1030	39.4
青函トンネル (鉄道)	5.00	10	20	300	120	40	60	1273	787	40.2
青函トンネル (鉄道)	5.60	10	20	300	120	40	60	1238	826	40.5
東平発電所 圧力2号トンネル	2.30	10	20	450	194	43	50	782	782	40.5
東大地震(研)観測トンネル	2.20	8 10	20	300	135	45	60	1201	816	41.10
東電地中線ケーブルダクトシールドトンネル	1.52	10 15	25	350	158	45	55	990	835	42.2
花立トンネル (鉄道)	4.76	10	15	460	207	45	62	1036	639	42.3
奥只見発電所道路トンネル	6.50	10	20	350	158	45	60	1090	750	42.4
長野発電所石徹集水路トンネル	3.20	10 15	25	350	158	45	55	980	850	42.4
頸城トンネル (鉄道)	8.54	15	15	350	100	40	40	1236	943	42.8
矢立トンネル (鉄道)	4.70	15		350	157	45	55	1060	868	43.6
新登川トンネル(鉄道)	4.76	20	25	340	136	40	60	1205	778	43.9

注：吹付け厚は、各現場の呼称による。

解説 表 23 最小吹付け厚

地盤および岩盤の状態	最小吹付け厚
ややぜい弱な岩盤	2 cm
やや破壊しやすい岩盤	3 cm
破壊しやすい岩盤	5 cm
非常に破壊しやすい岩盤	7 cm, 金網併用
膨張性の岩盤 (Druckhaft)	15 cm, 鋼製支保工と金網併用

注：オーストリア・ザルツブルグ・タウエルン電力会社建設部「トンネルおよび立て坑工事契約の一般的技術条件」より抜粋。

第6章 覆工の設計

第56条 通 則

覆工はトンネルの目的に適合し、ながく安全な使用に耐えるものでなければならない。

【解 説】 トンネルの覆工は、道路、鉄道または水路、等の使用の目的、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、ながく土圧、等の荷重に耐え、きれつ、変形、崩壊、等を起こさないもので、漏水、等による侵食や強度の減少、等のない耐久なもので行なければならない。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。

地質が堅硬で風化のおそれがなく、使用上支障のない場合は、覆工を省略して無巻きとしたり、ロックボルトによるはく落防止を行ったり、またはモルタルやコンクリート吹付け、等の被覆を行ったりして覆工にかえることもあるが、これらの場合でも、十分な安定性と耐久性を考える必要がある。

第57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うる材料である。

コンクリートの品質、材料、配合、等については、無筋コンクリートおよび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、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ポルトランドセメントを用いることもある。フライアッシュなど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、減水剤、等の混和材料は、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。

覆工に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、掘さくした岩石を現場付近で破碎して、砕石または砕砂を製造し、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、等を検討し、付近に産出する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、型わくの取りはずし時期、等を考えて決めなければならないが、特別の場合を除き、設計基準強度は160~200 kg/cm²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、等の配合設計は、上記の強度のほかコンクリートの施工法、特に人力で打ち込むか、コンクリートポンプ、等の機械を使用するかで大いに異なるものである。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、等のコンクリートに害をおよぼす成分が考えられるときには、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応力も働くので、坑口とか、特に地質の悪いところでは、鉄筋コンクリートとすることもある。

その他の覆工材料としては、れんが、石またはコンクリートプレキャストブロックによる畳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または鉄製のセグメントやライナープレート、等も用いられる。ときには施工法とも関連して、これらの覆工材料のうち同種または異種のものを用いて内外複層の覆工としたり、タイル

等を用いて内装を行ったりすることもあり、トンネルの使用目的や施工法、等を考えて検討のうえ設計しなければならない。

第58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、急激な彎曲や隅角、凹凸をさけたものとしなければならない。

(2) 地質が良好な場合は、アーチと鉛直またはやや彎曲した側壁を組み合わせ、不良の場合はインバートを設け、さらに土圧が強大な場合は円形断面とするのがよい。

(3) 外力が偏圧となる場合は、これに対抗するため、抱きコンクリートを設けるなど、特別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28条に述べるような内空断面を包含し、道路、鉄道トンネル、等では建築限界のほか適当な余裕を見込んだ形状で、しかも土圧、等の荷重に有効に耐えう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、等を考えて、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、あまり多くの形状を用いることは、型わくの転用、等の施工上の便宜や、完成後の維持管理、等のうえで不便であるから、相当程度の外的条件の変化に応じうるものを選ばなければならない。

掘さく断面を小さくすることだけを考慮して、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。一心円、三心円、五心円、等の多心円または直線を組み合わ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、等が接続点で互いに共通な切線を持つよう接続することが望ましい。急激な彎曲や隅角があると、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、長すぎる直線部は、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、または地質の良否による

設計や施工法の変更に応じたいような形の覆工は避けなければならない。

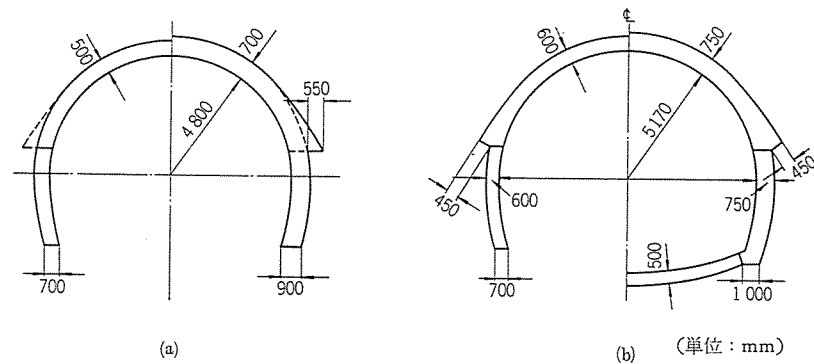
覆工の形状は、換気、照明、等の付属設備の設計との関連をよく考えておく必要がある。また、作業坑や連絡坑、等との接続部分は、必要によっては普通の部分と異なった、より補強された形状としなければならない。また、覆工に待避所、電気設備、等の凹部をつくる場合は、できるだけ地質良好な箇所を選び、細部構造（たとえば、待避所正面の壁体）といえども最小のコンクリート厚さを15 cm以上とするなどして、覆工全体の強さを害さないような配慮が必要である。

覆工側壁基部または逆巻施工の場合のアーチ基部、等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、荷重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。解説 図 23 は、それらの一、二の例である。特に、掘さく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させ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、側圧による押し出し等に対しても、十分対抗しうよう、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、坑奥と異なって地形、地層の地質、外界の気象条件、等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、等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、等を入れるよう設計しておくのがよい。

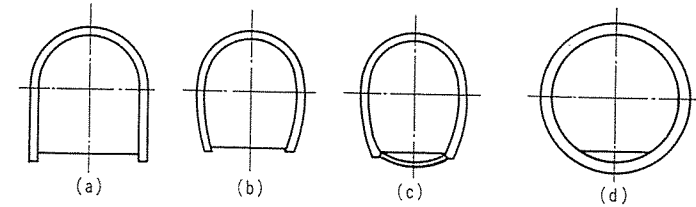
覆工断面に生ずるコンクリートの打継目は、できるだけ少ないのがよいが、施工上あらかじめ予想される打継目には、必要によりほぞやさし筋、等による補強を考慮するのがよ



解説 図 23 覆工側壁基部およびアーチ基部の形状

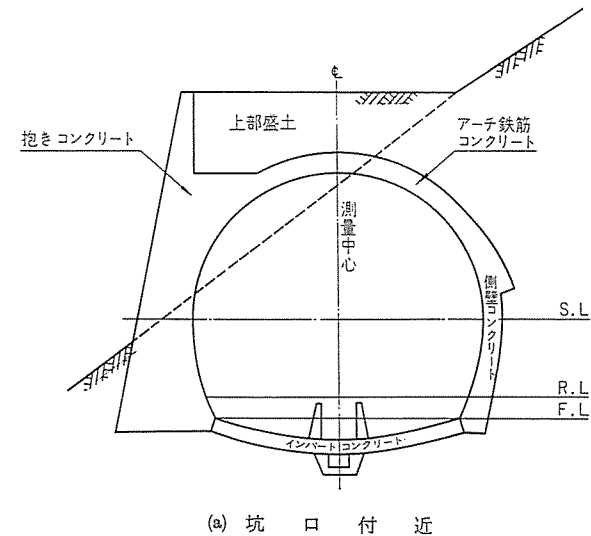
い。

(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 24 (a)~(d) の順となる。

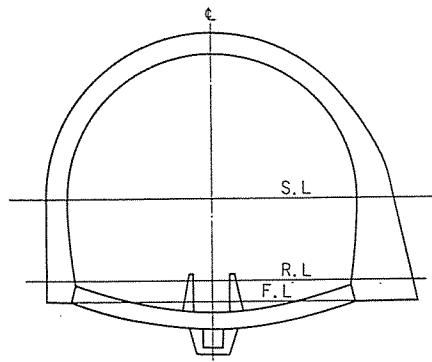


解説 図 24 地質によるトンネルの形状

(3) について 偏圧をうけるおそれのある場合は、設計巻厚の増加、等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き、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、等では抱きコンクリートを設ける、等の対策を講じなければならない(解説 図 25 参照)。



(a) 坑 口 付 近



(b) 坑奥の変土圧区間

解説 図 25 抱きコンクリートの施工例

第 59 条 覆工の設計巻厚

(1) 覆工の設計巻厚は、トンネルの幅のほか、地質、水圧、覆工材料、施工法、等を考慮して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巻厚は、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巻厚

内空断面の幅 (m)	コンクリート覆工の設計巻厚 (cm)
2	20 ~ 30
5	30 ~ 50
10	40 ~ 70

(3) 地質が悪い場合、土かぶり小さい場合、偏圧がある場合、等では、覆工の設計巻厚をいたずらに増加するよりも、むしろ第 7 章に定め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のがよい。

【解説】(1) について 覆工の設計巻厚は、第 32 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。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、等で明らかでない点が多く、まだ合理的な覆工の設計法は確立されていない。最近多くの分野で行なわれた研究、実験、実測データにより鋼アーチ支保工を用いたトンネルの覆工の考え方が提唱されており、これを大別すると次のようである。

(a) 土圧を永久構造物として支持しているのは、主として鋼アーチ支保工であって、覆工コンクリートは補助的構造物であるといった考え方

(b) 土圧に対して、鋼アーチ支保工と覆工コンクリートとは、それぞれ荷重を分担し、別個に荷重を支持するといった考え方

(c) 土圧に対して、鋼アーチ支保工と覆工コンクリートとは、合成作用をするといった考え方

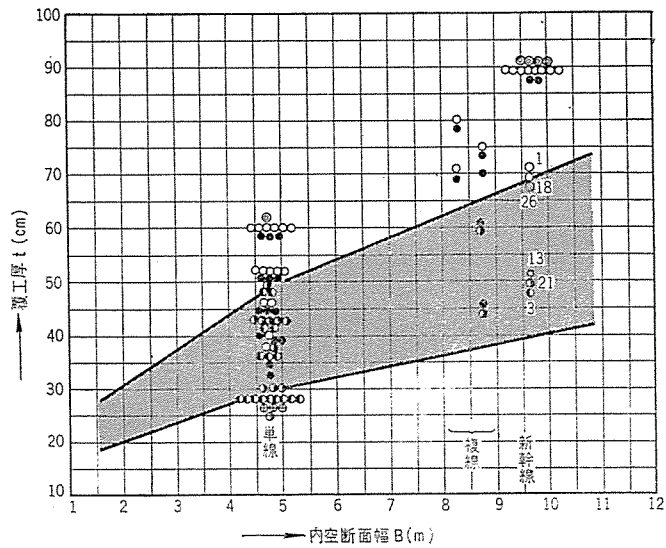
これらの考え方は、いずれも鋼アーチ支保工を永久構造物と考え、覆工設計には鋼アーチ支保工の強度を加味して行なうよう提起しているものである。しかしながら、荷重の大きさ、覆工の働き方は、地質、施工条件、等により大きく差異が起こりうるものである。

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 26 および 解説 図 27 に示すような全国のトンネル施工実例を参考にして、特別地質が不良な場合や、トンネル坑口付近の場合、等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、掘さくにあた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) の標準示方書においては、支保工の種類により標準の厚さを 解説 図 28 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、偏圧がある場合、等で、これに対抗すべく巻厚を増加することは、トンネル掘さく断面が大きくなって、かえって土圧の増加をきたすこととなり、また、引張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。したがって、ここにいうように、覆工厚さの増加よりも裏込め注入を完全に行なって受動土圧を増し、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ほうが有効な処置といえる。

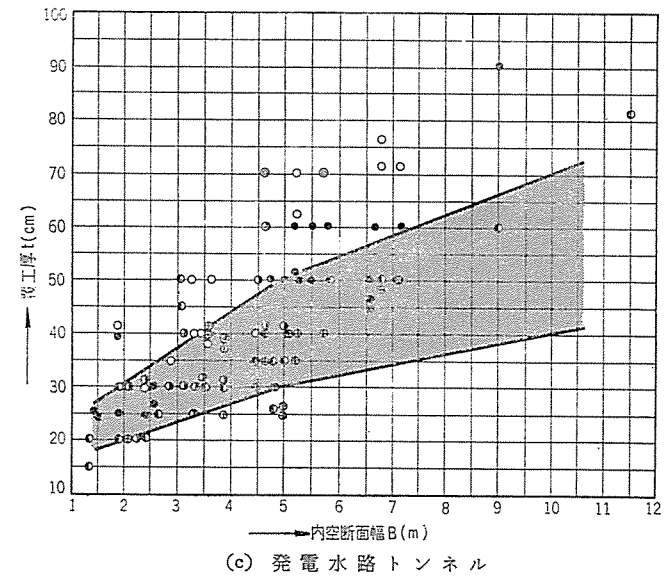
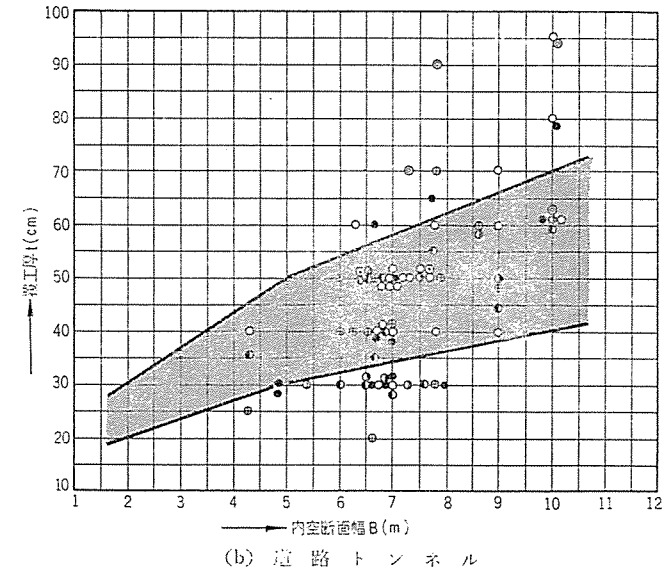


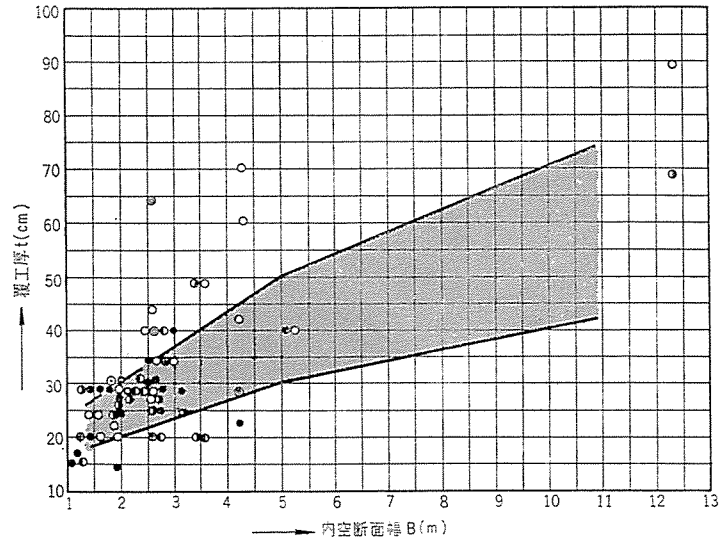
注

- (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59条表3の数値の範囲を示す。
- (4) 図上の点のうち縫地て施工されたものは、資料提供者の公称巻厚をそのままプロットしたものであって解説図8で示された設計巻厚とは必ずしも一致していない。
- (5) 凡例 ⊕ 無欠の堅岩

- 成層またはきれつがあるが大塊状をなす堅岩
- 風化軟岩、粘土層または砂質粘土層
- ⊙ 小塊状をなす堅岩
- ◎ 膨張性変質岩または膨張性粘土層
- 変質していない破砕岩、砂層または砂礫層

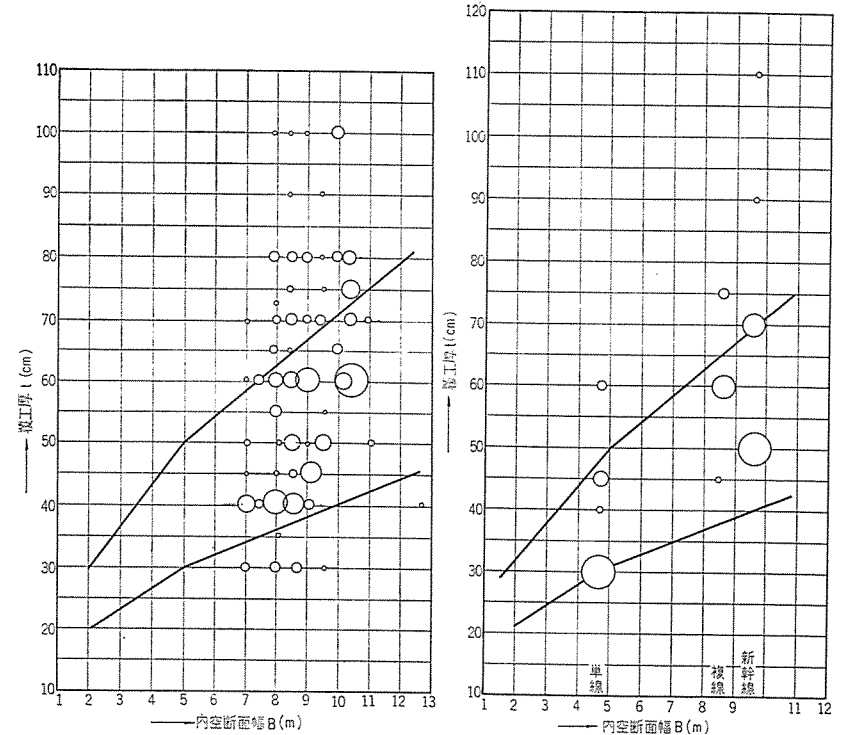
(a) 鉄道トンネル





(d) 用排水路トンネル

解説 図 26 トンネル覆工の設計厚さの実施例

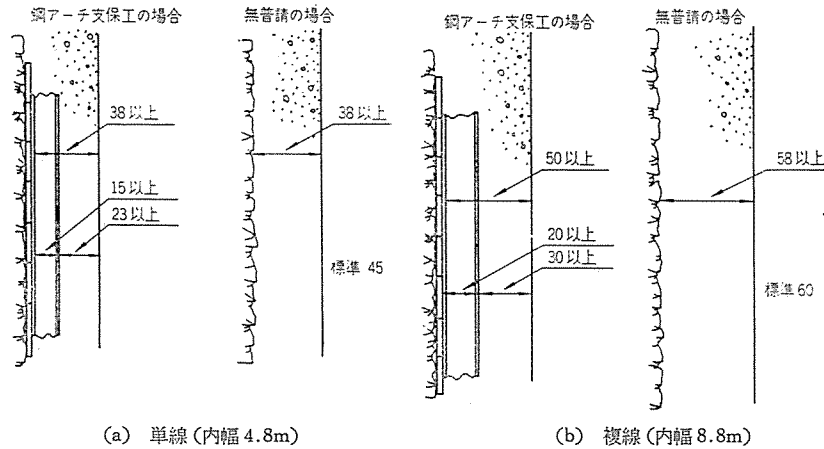


(a) 道路トンネル

(b) 鉄道トンネル

- 注：(1) 円の面積は施工延長に比例する。
 (2) 図上の範囲は第59条表3の数値の範囲を示す。
 (3) 道路トンネルは建設省，鉄道トンネルは国鉄の昭和35年～43年の調査資料による。

解説 図 27 内空断面幅と覆工の設計巻厚別施工延長実績



解説 図 28 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示方書 (1962年) による)

第 60 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、あらかじめ覆工に水抜き管を埋込むよう、設計しておかなければならない。

【解説】 覆工背部に湧水がたん水すると、強大な地下水圧が覆工に作用することとなり、強度上この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。掘さく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 65 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、たいてい湧水がないように見えるところでも、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、等にあらかじめ十分な口径を有する水抜き管を適当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、等では施工中は水抜き管を設けるが、覆工完成後閉そくしたり、または特殊なバルブを設けた例もある。

第 7 章 裏込め注入

第 61 条 注入の計画

アーチ背部と地山との間には、空げきが生ずるので、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、等では、モルタルその他による注入を、あらかじめ計画しておかなければならない。

【解説】 覆工、特にアーチクラウン部と地山との間には、どんなに注意深く施工しても、空げき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、等では、地山と覆工の密着はさまざまにわたって相対的空げき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の注入によって、地山と覆工背部の間の空げきをできるだけん充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。

地山と覆工背部の空げきをてん充することは、掘さくの影響をうけた地山において、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。地質により膨張性または流動性の土圧を起こす場合にも、地山と覆工背部をすかせたり、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選んで、十分な裏込め注入を行なうことのほうが有効である。

注入を効果的に行なうためには、できるだけ早く行なうほうが望ましいので、あらかじめこれを工事計画や設計の中に含めて、当初から十分考慮を払っておく必要があり、場合によっては、第 59 条 にいう巻厚の設計とも総合的に考えるのが得策である。

ここに述べた覆工背部の空げきをてん充のための注入のほかにも、地山や岩盤の固結強化、水みちの閉そく等のために、直接、覆工裏の地山の中に注入を行なうこともある。

第 62 条 注入の設計

注入の設計にあたっては、十分空げきがかん充されるよう、注入の材料および配合、注入孔の構造および配列、等を定めなければならない。

【解説】 注入は、注入材料、使用機械、注入圧力、等により方式が異なるので、空げ

きや背後の地山の状態、注入の施工条件、等に応じた適切なものを選定し、あらかじめこれに対する所要の設計を行なっておく必要がある。

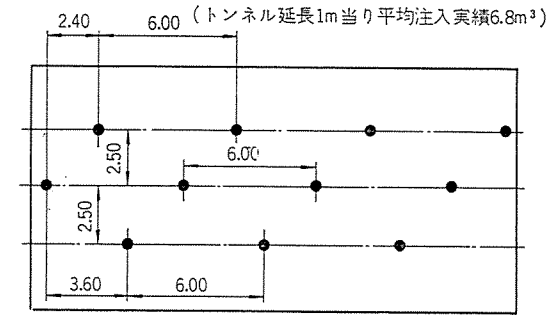
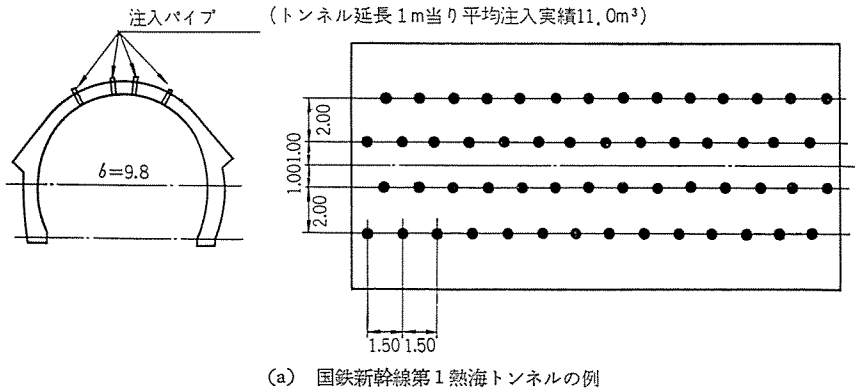
注入材料としては、乾燥砂や豆砂利、等を用いることもあるが、一般にはモルタルが用いられる。モルタルは、注入作業時の分離、特に固形物の沈殿が少なく、また注入後の体積収縮ができるだけ少ないものがよく、このため、配合材料の中に各種の混和材料を加えて、モルタルの性質の改善が試みられている。覆工背部への注入材料の強度は、コンクリートと同等の強さは不要であって、注入後の状態で 10 kg/cm^2 程度が期待しうればよいと思われる。

このような観点から、単純なセメントペーストまたはモルタルにかえて、フライアッシュや陶土、酸性白土、等を用いてセメントの節減をはかり、あるいはAE剤を混入して流動性を増加させたりした例も多いが、40~70%の空気量を含ませたセメントペーストも注入材料として使用されている。

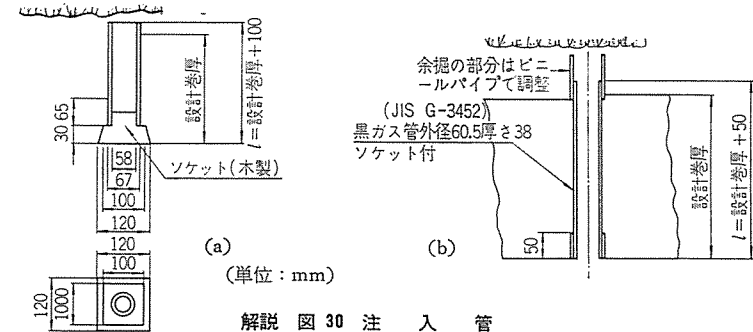
注入管は、覆工完成後にさく岩機でせん孔して設置することもあるが、掘さく作業時に地山や支保工、特に矢板などの状態を確認しておき、覆工コンクリートの打設のとき、あらかじめ埋め込んでおくことが注入の効果を上げるのに有効で作業の能率もよい。この際、注入管の位置、間隔および配列のいかん等によって、注入量、ひいては注入の効果に差異を生ずるものである。

また、注入管は注入確認用の穴としても必要であるから、将来注入を行なう穴のほかできるだけ多く設けておくのがぞましい。また、注入の効果をあげるためには、1回だけでなく、2回以上にわたって注入を繰り返すことも有効である。

解説 図 29, 解説 図 30 は、注入管の配置例および構造例を示したものである。



(b) 国鉄新幹線由比トンネルの例
解説 図 29 注入管の配置



第 8 章 その他の設計

第 63 条 坑 門

- (1) 坑門は、坑口を防護し、変位、沈下、等を起こさないよう、また、美観も考慮して設計しなければならない。
- (2) 坑門は、土留壁に準じて設計するものとする。
- (3) 坑門の位置は、背後の地形、地質、基礎の支持力、接続する土留壁との関係、等を考慮して、適切な位置を選定しなければならない。

【解説】(1) について 坑門は、地表斜面の落石、崩壊、なだれおよび出水、等から坑口部を守るためのもので、坑門自体が変位沈下、等を起こさず、力学的に安定したものであるとともに、外観についても考慮を払う必要がある。

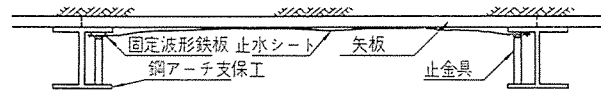
(2) について 坑門に作用する外力は、一般にトンネル軸方向の土圧であり、土留壁として設計する。

(3) について 坑門位置の選定にあたっては、背後の地形、地質、基礎の支持力、等を精査しなければならない。一般に、坑門の位置を山腹に深く切り込むことは、坑門背後および坑門に接続する斜面の安定をやぶり、崩壊をひき起こし、著しく工事を困難にし、また、将来とも維持に苦勞することが多いから得策ではない。

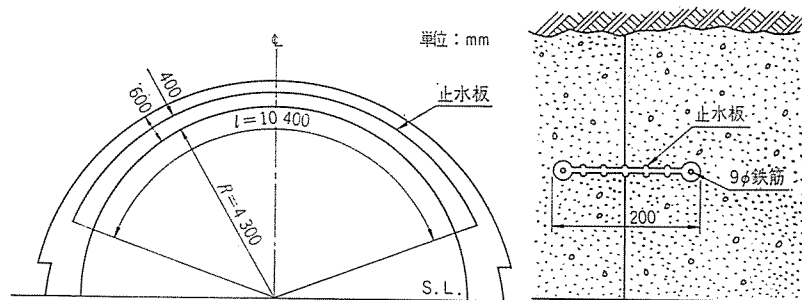
第 64 条 防 水 工

トンネル内の漏水を防ぐためには、適当な防水工を設計しなければならない。

【解説】 トンネルの覆工、特にアーチ部からの漏水は、冬期の凍結による保守の困難、耐久性の低下、電気設備に対する悪影響、等、また通行者に不快感を与えることにもなるので、できるだけ防がなければならない。特に、施工継目が弱点となって漏水するこ



解説 図 31 止水シートの実施例



解説 図 32 止水板の実施例

とが多いので、施工時において、一見漏水のないところでも、適当な止水板を埋め込むなどの設計を行なうことが望ましい。また、湧水のあるところでは、必要に応じ止水シートを設ける。

第 65 条 排 水 工

(1) トンネルの湧水は、停滞を生ずることなく排出しうよう、適当な排水工を設計しなければならない。

(2) 下水溝は、通水のため必要な断面と、勾配を有しなければならない。また、土砂の堆積などに対しても余裕のある通水能力を保ち、かつ清掃、点検、等の便宜も考慮した設計としなければならない。

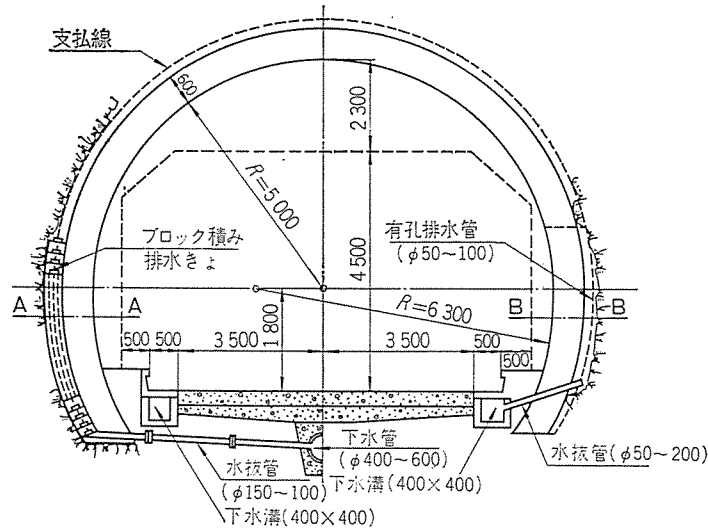
(3) トンネル内への湧水処理には、防水工のみでなく、湧水を覆工背部から排出しうよう、あらかじめ排水管を設けるのがよい。

【解説】(1) について トンネルの湧水は、止水しようと試みると、その水圧が外力として加わってくるものである。したがって、すみやかに排水させるのが原則であって、停滞を生じることなく排出しうよう適当な排水工を設計しなければならない。

(2) について 路面、道床、等の排水のための下水溝は、必要な断面積と、少なくとも0.1%以上の勾配を有し、湧水または洗淨水を十分流下しうものとしなければならない。

また、長期の間には、土砂が堆積して断面が不足したり、閉そくしたりする例が多いから、断面を余裕あるものとし、また、ときどき清掃、点検、等も行なえるようにマンホールその他を設計しなければならない。

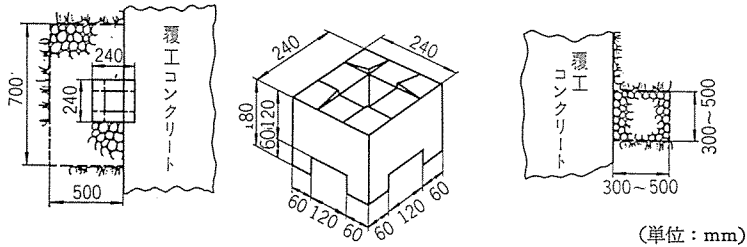
(3) について トンネル内の湧水処理は、覆工コンクリート打設後、その表面から漏水するようになってから処置するのでは遅きに失するので、つとめて、掘さく時からそのつど処理するように工夫すべきである。したがって、覆工打設前にあらかじめ覆工背部から下水溝または路面下の下水管に集められるよう、排水管を設計しておくことが必要である(解説 図 33 参照)。これらの排水工は、コンクリート施工時にコンクリートの流入によってつぶされぬよう、また覆工背部の土砂が水とともに流失しないような設計としなければならない。しかし、以上のような配慮にもかかわらず覆工コンクリート表面からの漏水を避けられない場合があるから、特に道路トンネル等では漏水かくしのための内面仕上げ、等を考慮しておくことも必要である。



A-A 断面

排水用ブロック

B-B 断面



解説 図 33 排水工の一例

第 66 条 付属設備

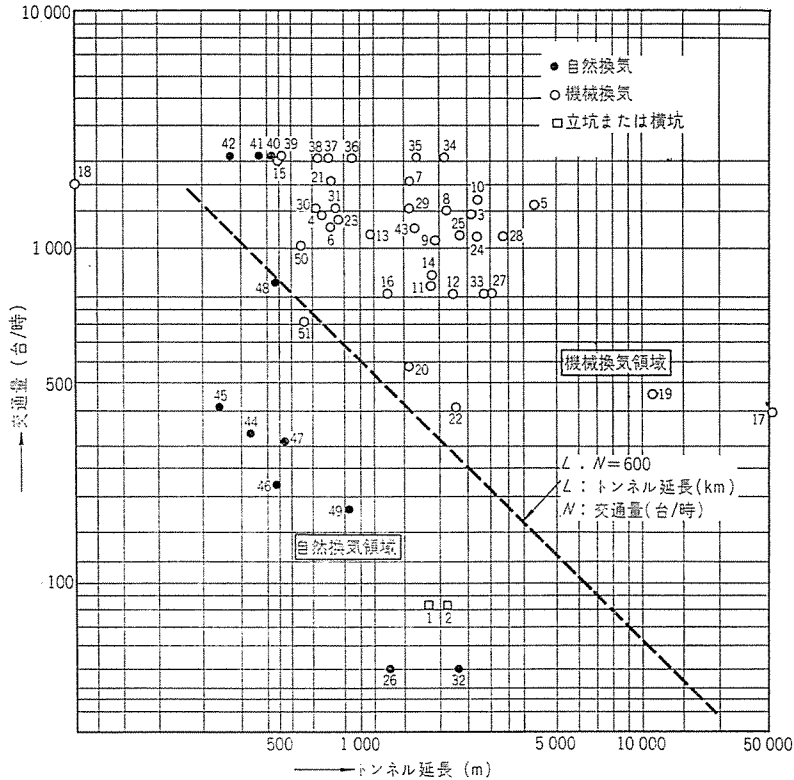
トンネルは、その使用目的および維持管理の便を考慮して、必要に応じ換気、照明、および防災の設備、待避所、等を設計しなければならない。

【解 説】 道路トンネルでは、延長、交通量、等に応じて、換気、照明設備を設けな

ればならない。解説 図 34 は、道路トンネルの延長、交通量と換気の関係を示したもので、一般に図中の限界線より上に位置するトンネルでは、機械換気について検討する必要がある。また、現在、機械換気設備が不要の場合でも、将来交通量が増加した場合のことを考慮し、将来設置する換気設備を想定して、十分な余裕を持たせた設計をしなければならない。

道路トンネルの照明は、煤煙に対する透過率、まぶしさを考慮して蛍光灯またはナトリウム灯が用いられることが多い。緩和照明は、トンネルの長さ、野外輝度、設計速度、等を考慮して設計するが、トンネル延長が短く、屋間における見え方が良好な場合には省略することがある。トンネルの換気量は、許容 CO 濃度、または許容透過率より定まるが、この許容透過率は照明状況により大幅な影響をうけるので、換気と照明とのかね合いを考慮する必要がある。道路トンネルでは延長、交通量、等により、必要に応じトンネル内の防災設備として、通報、警報および消火設備、等を設けなければならない。そのほか、場合により待避および騒音防止についても考慮しなければならない。

鉄道トンネルでは、保守要員の待避、保線材料の置場のための待避所、保守作業のためのトンネル照明、等を設計しておかなければならない。



- | | | |
|--------------------------|-------------------|--------------|
| 1 ブラックウォールトンネル | 18 スコット サークル トンネル | 35 都夫良野 トンネル |
| 2 ローゼリーストンネル | 19 モンブラン トンネル | 36 宇 利 トンネル |
| 3 ホランドトンネル | 20 テームズ トンネル | 37 清見寺 トンネル |
| 4 バッテリーストリート地下自動車道 | 21 バタリーパーク アンダーパス | 38 蒲 原 トンネル |
| 5 マーシートトンネル | 22 バニハール トンネル | 39 奥 津 トンネル |
| 6 フロードウェイトンネル(オークランド) | 23 魚見山 トンネル | 40 薩 埴 トンネル |
| 7 ホジーチューフ | 24 西栗子 トンネル | 41 三ヶ日 トンネル |
| 8 リンカントンネル | 25 東栗子 トンネル | 42 袖 師 トンネル |
| 9 タインスミッドタウントンネル | 26 三 國 トンネル | 43 小 仏 トンネル |
| 10 プルックリンバタリートンネル | 27 笹 子 トンネル | 44 トモロ トンネル |
| 11 デトロイトウインザートンネル | 28 関 門 トンネル | 45 熱 川 トンネル |
| 12 アンハースェルトトンネル | 29 天王山 トンネル | 46 多 米 トンネル |
| 13 マーストンネル | 30 梶 原 トンネル | 47 長 府 トンネル |
| 14 リバティトンネル | 31 新宇津谷 トンネル | 48 東長崎 トンネル |
| 15 フロードウェイトンネル(サンフランシスコ) | 32 仙 人 トンネル | 49 中 谷 トンネル |
| 16 ワオナトンネル | 33 六 甲 トンネル | 50 奥 田 トンネル |
| 17 英仏海峡トンネル(計画) | 34 日本坂 トンネル | 51 日 見 トンネル |

解説 図 34 道路トンネルの延長、交通量と換気

第 4 編 施 工

第 1 章 通 則

第 67 条 施 工 計 画

施工に先だち、工事の規模、工期、地質、等に適応した掘さく方式、覆工等の施工法、工所用機械および工事設備、等の計画をたてなければならない。

【解 説】 設計されたトンネルの断面、延長、定められた工期にもとづき、まず、そのトンネルの地質条件に応じた最も安全で経済的な施工方式を定め、これにより工程計画をたてる。この場合、必要により、立て坑、斜坑または横坑の計画をする。

このようにして工程計画がたてられると、坑内外に配置する工所用機械の性能、台数を定め、圧さく空気の消費量、使用電力の受配計画をたてるとともに、工所用諸材料の時期別使用量からその需給計画、等を定め、これらにもとづいて工所用諸設備の全体計画をたてなければならない(解説 図 35 参照)。

第 68 条 施 工 中 の 調 査

施工中は、地質、自然現象、等に注意し、安全な施工ができるよう常に必要な調査を行なわなければならない。

【解 説】 トンネル工事の特殊性として、着工前に行なった地質、自然現象、等の調査は、施工した結果と必ずしも一致するものではない。

したがって、施工中も地質その他の調査を常に行ない、設計条件と対照し、以後の施工の指針とする。地質その他変化が予想される箇所では、地質調査坑、長坑せん孔、水平ボーリング、等を実施すべきである。

掘さく後、なるべく早い時期に地質を観察し、支保工、覆工、等トンネル断面の変状に注意し、これらの結果を記録しておかなければならない。土圧の測定、支保工にかかってくる応力の測定など、最近トンネル工事に適合した方法があるので、これらの測定もあわせ行なうことは、施工中の調査として有効適切なものである。このほか、湧水の質、量、坑