

トンネル標準示方書改訂に際して

坂 本 貞 雄*

はじめに

さきに土木学会は、各界の要望にこたえて昭和 36 年トンネル工学委員会を発足せしめ、昭和 39 年、トンネル標準示方書を制定した。

引き続き昭和 40 年 10 月、土木学会トンネル工学委員会に土庄調査小委員会(委員長 村山朔郎)、工事实態調査小委員会(委員長 住友 彰)、鋼アーチ支保工の強度に関する研究委員会(委員長 坂本貞雄)を設けてトンネル技術の研究を進めてきたが、さらに昭和 42 年 5 月、昭和 44 年を目標として、示方書改訂のために、調査小委員会(委員長 丸安隆和)、設計小委員会(委員長 伊吹山四郎)、施工小委員会(前委員長 故粕谷逸男、委員長 足立貞彦)、文献小委員会(委員長 斎藤 徹)、土庄小委員会(委員長 村山朔郎)ならびに示方書改訂小委員会(委員長 坂本貞雄)を設置して、各委員会で慎重な検討・審議を重ねた結果、今回の改訂標準示方書が得られたのである。

改訂標準示方書の構成は、前回と同様、総則、調査、設計、施工の 4 編であり、この示方書は、通常の出山トンネルについて一般の標準を示すものであることを明らかにし、新技術については意欲的に盛り込むとともに、新しいデータに基づいて修正を行なった。なお、適用の少ないものについては削除した。

調査、設計、施工の各編の主な改訂点は次の通りである。

1. 調査編

ここでいう調査とは、工事着手前に行なう調査をさし、工事施工中に行なう調査は施工編に入れた。

トンネルの調査特に地質調査は、計画の初期の段階から施工の段階まで、同一、あるいは類似した手法の調査を漸次精度をあげながら反復実施し、またいろいろの調査方法をこれらの段階に応じて適宜組み合わせ、当面

する調査の段階に見合った精度・内容のものにしてゆくことが一般に行なわれている。したがって、観察・測定点の数は調査の進行とともに漸次補足・増加され、調査の範囲・内容も広域概括的なものから狭域で設計・施工のための具体的な数値へと漸次変化する。

示方書として調査の方法を整理するには、手法別にまとめる方法と、工事の計画から施工への流れに対応する調査の段階別にまとめる方法とがある。

前示方書は、手法別にまとめる方法によってつくられていたが、今回の改訂示方書では多少の重複を顧みず、調査をその流れにしたがって「概略調査」と「精密調査」の 2 段階にわけ、その各段階別に適合した調査の手法・精度などを記述し、目的に適した精度の効果的な調査が実現できるようにつとめた。このように、改訂示方書はその形式を異にするので、両者を構成する条文を対照させて示すと付表-1 の通りになる。内容の骨子には、それほど著しい変更はないが、解説は前示方書にとられず、新たに起草された。以下に主要な改訂点について述べる。

付表-1 調査編における改訂示方書と前示方書の各項の対照

改訂示方書		前示方書
第2章 概略調査 (第5条 ~第8条)	第5条 地形および地質調査	第6条 地形調査 第7条 地質調査の一部
	第6条 気象調査	
	第7条 その他の調査	第11条 気象および環境調査
	第8条 概略調査結果のまとめ	
第3章 精密調査 (第9条 ~第23条)	第9条 精密地質調査	第7条 地質調査
	第10条 地質踏査	
	第11条 弾性波探査	第8条 物理探査
	第12条 電気探査	
	第14条 ボーリング孔内試験	第10条 特殊な調査または試験
	第15条 岩石等の試料試験	
	第18条 調査孔掘削	
第23条 精密調査結果のまとめ		

第2章に示す概略調査とは、いくつかの比較路線を含む計画路線について検討し、トンネルのおかれていた自然および人為的な環境の概略を明らかにし、路線比較・概略設計および精密調査立案の基礎資料を得ることを目的とした調査である。したがって、計画トンネル路線と

* 正会員 工博 土木学会トンネル工学委員会示方書改訂小委員会委員長、(株)大林組常務取締役 土木本部技術部長

その取付け部分・比較路線など、単にトンネルばかりでなく、幾分広い範囲を含んでいる。第3章に示す精密調査とは、トンネル路線の選定から着工までの調査で、実施設計・施工計画・積算などに必要な基礎資料を得ることを目的とし、調査は選定されたトンネルおよびこれと関係する周辺地に限られる。精密調査の精密とは、概略に対する意味であって、精密な予知という意味ではない。

第2章概略調査では、まず第5条に「地形および地質調査」を示した。トンネル通過地付近の地形は、トンネル施工の難易・取付け部の安定および施工時の仮設に関係あるほか、路線全体の価値に影響を与える。この調査は概略調査の際にはほぼ完了しておかなければならないが、その多くの部分は予備的な地質推定と関連し、地質予察の一手段となっている。このため地形調査は概略調査における地質調査と同等-体のもので一括し、またその手段としては、前示方書における地形図の判読を主とする手法から、空中写真の判読というすでに一般化した手法に転換した。地質図の精度についても、精密調査の場合とともに、一般に用いるべき基図の縮尺という形で解説の中でその精度を定めた。

第7条「その他の調査」は、第6条「気象調査」とともに前示方書では「気象および環境調査」に一括して示されていたが、概略調査段階における物件・制約の調査を分離して内容を明確にした。

第3章「精密調査」においては、前示方書の「地質調査」の中から、物理探査、ボーリングなどいろいろな地質調査方法全般の目標と総合の方向を示した第9条「精密地質調査」の項と、狭義の地質調査である第10条「地質踏査」の項とを分離した。また調査方法の選択に便利るように、どのような対象に対しては、どんな調査方法が有効であるかを示す「表-3 調査対象と地質調査法」を付した。

前示方書の「特殊な調査または試験」はこれを分割して第14条「ボーリング孔内試験」に属するもの（物理検層、透水試験など）と第15条「岩石等の試料試験」にし、さらに第18条「調査孔掘削」を追加した。これは地質状態をできるだけ物理量として表わし、設計と対応したいとする努力の現われであると同時に、岩質の支配を強く受けるトンネル掘進機の利用が徐々に増大しつつある事態や、最終的な確実な調査手段として調査坑の掘削が見直されている現状に対応して、試料による岩石試験や観察・試験のための調査坑の掘削を推進するためである。

改訂示方書では、また「概略調査」および「精密調査」の終わったときに調査の成果を取りまとめることを定めたが、精密調査の結果は将来設計・施工に結びつけた

いので、特に問題の多い地質関係の調査結果については、地山の分類・路線選定や設計・施工にあたって特に指摘すべき事項の抽出および地質縦断面図の作成を実施するようにした。このうち地山の分類は最も重要で、直接設計に関連するものであるが、岩の物理的性質や風化・割れ目などに着目した分類法や岩の時代的・岩石的区分と弾性波伝播速度とを強調した分類などがあって、いずれも一長一短があり、その選択はまだ決定的でない。解説には試みに分類の一例をあげて、調査結果を設計・施工に結びつける手がかりとした。また、ボーリング結果や地質縦断面図の記載様式についても、推薦すべき一例を示した。

2. 設計編

設計編の構成は、前示方書と同じく、8つの章から成り立っている。

内容を概括的にいうと「支保工の設計」の章に「ロックボルト」および「吹付けコンクリート」の節を新設したが、これらについては、施工編を参照されたい。また「鋼アーチ支保工の断面と建込み間隔」について研究実績に基づいて改訂し、「覆工設計厚」に最近の事例を加えた。

なお、適用の少なくなった木製支柱式支保工の節を削除した。

設計編の第1章「通則」第24条「設計の基本」の条文中で、安全と経済性を強調した。トンネルの設計にあたって、安全性と経済性を図ることは当然のことであり、前示方書でも解説の中にうたわれていたが、今回特に強調して本条文に明記し、その基本態度を明らかにしたのである。

第2章の「トンネルの線形、勾配および内空断面の設計」においては、併設トンネルの離隔距離の実例を示し、内空断面については、所要の建築限界、断面積を包含するのみでなく、施工誤差、必要設備などに対する余裕を考慮しておかねばならないこととし、実例として、道路および鉄道トンネルの内空断面の例を示した。

第3章の「荷重」については、その後の土圧測定、崩壊例調査、などを検討した結果、前示方書の表-1支保工に作用する土荷重の高さの数値を変更する必要は認められなかったもので、そのままとした。

ただし、前示方書の文章が、あたかも支保工と覆工とで、作用する土圧が異なっていて、別途に取り扱うような誤解をあたえるおそれがあったので、これを一本として、いずれも責任技術者が判断しなければならないことを明らかにした。そして、特別の場合を除き、支保工に作用する土荷重として、表-1を用いてもよいというこ

とが、わかりやすいようにした。

なお、第 30 条解説に掘削と覆工とを分離させる分離方式においては、掘削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り、また機械掘削（トンネルボーリングマシン）を採用した場合の土荷重について定量的には明らかでないが、土圧の大きさをいくぶん割り引いてもさしつかえないであろうとの見解を示した。

これらは、将来盛んに用いられるようになるであろう新しい施工方式に対する土荷重の考え方を示しておいたものである。

第 31 条の「偏圧」については、前示方書より詳説し、坑口付近の偏圧に対処するための押え盛土および保護切取りの図を加えた。

第 4 章の「巻厚線および支払線」においては、通常の場合の山岳トンネルの場合の最小巻厚線、支払線および設計巻厚線を図示し、参考資料とした。

第 5 章の「支保工の設計」においては、適用の少なくなった木製支柱式支保工の節を削除し、ロックボルトおよび吹付けコンクリートの節を新設した。第 37 条の「鋼アーチ支保工の材質」については、前示方書では SS 41 が適当であることを明記してあったが、最近の鋼材の材質の進歩等も考え、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であれば良いとして、SS 41 と明記することを避けた。特に必要のある場合は、検討のうえ、より高級な鋼材や、より溶接性のよい鋼材を使用することも考えられるようにした。

また、曲げ加工に冷間加工によるべきこととし、H 形鋼の寸法と最小曲率半径の標準を表示した。

第 38 条の「鋼アーチ支保工の断面と建込み間隔」については、その後の鋼アーチ支保工の実験成果を取り入れ、土圧があると推定される場合の内空断面の幅 10 m の場合の H-200×200 の間隔 1.0 m を 1.2 m に変更した。

これは、前示方書の後に行なわれた実験により、H-200×200 の破壊土荷重の高さが、6.5 m であることが確かめられたからである。

なお、参考として、テーパー付 H-175×175、パイプ支保工についての実験結果も示した。

以上の変更により、通常の場合の支保工の建込み間隔の数値が、きれいに揃った形となった。

支保工の脚部の支持方法としては、第 41 条に「底板および皿板」、第 42 条に「ウォールプレートおよび根固めコンクリート」と、2 ヵ条に分け、特にこの点に注意を払うべきことを強調するとともに、根固めコンクリートおよび鋼製シートパイルの使用例を図示した。

第 43 条の「つなぎ」には、つなぎボルトの内側ナツ

トを図より除き、最近使われている鋼管内ばりおよび斜材によるつなぎを図示し、木製内ばりをはずすことが危険と判断される場合には、鋼材を用いて設計すべきことを示した。

第 3 節には新たに「ロックボルト」の項を設けた。ロックボルトは、わが国においては、今までのところ使用例が少ないが、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するものであり、作業空間を広くとれ、また鋼アーチ支保工にくらべて鋼材の使用量ははるかに少なく、覆工をそこなうことが少ないなど、多くの特長をもっており、今後の活用が望まれるので、設計編に詳説することとした。

その内容としては、第 46 条「通則」、第 47 条「ロックボルトの材質および形状」、第 48 条「ロックボルトのアンカー形式」、第 49 条「ロックボルトの挿入間隔および長さ」、第 50 条「はだ落ち防止」、第 51 条「ベアリングプレート」および第 52 条「ロックボルトの保護」の 7 ヵ条よりなり、ロックボルトの設計に必要な大要の事項、試験結果、実施例および解説図を示した。

第 4 節には、新たに「吹付けコンクリート」の項を設けた。吹付けコンクリートは、従来コンクリート構造物の漏水箇所や劣化箇所の修繕、のり面防護などに多く使用されてきているが、最近トンネルにおいても支保工、覆工として使用されるようになりつつあり、今後ますます多くなるものと予想される。そこで少しでもより良い設計・施工が行なわれるようあえて改訂示方書の中に吹付けコンクリートに関する条項を入れたものである。

しかしながら、吹付けコンクリートについては解明されていない事項が非常に多いため、改訂示方書においてもきわめて大ざっぱな条項しかもりこむことができなかったが、不満足な点については、今後の研究・実績による改訂にまちたい。吹付けコンクリートの設計としては一般のコンクリートの場合と同じように材料、吹付け厚のほか、強度、配合に関する条項も必要となるのであるが、トンネルでは支保工、覆工に作用する外力が必ずしも十分把握されておらず、また吹付けコンクリートがどのようにして外力に抵抗するかが必ずしも十分解明されていないこと、したがって、吹付けコンクリートに対して必要とする強度を明示することができないこと、また、所要強度が解明されたとしても、吹付けコンクリートが一般のコンクリートと同じように W/C と強度の関係が成り立つのかどうか現段階ではつかめていないこと、そのほか S/A と使用水量の関係等配合の決定に影響する各因子の相互関係が十分つかめていないことなどのため、強度、配合等に関する条項は設けることができなかった。

第 54 条「吹付けコンクリートの材料」については、吹付けコンクリートの場合に 0.15~0.3 mm, および 2.5~10 mm の骨材がはね返りを少なくする面から特に重要であるとされ、細粗骨材の粒度がそれぞれ土木学会コンクリート標準示方書の標準に合格していても、混合物に往々この部分の骨材が欠けていることがあるので、このようなギャップ グレーディングの生じないよう、骨材の粒度を調整することが重要であるとされている。

第 55 条「吹付けコンクリートの最小吹付け厚」については、「平均吹付け厚」と「最小吹付け厚」とが考えられるが、従来各現場での呼称がそのいずれであるかが必ずしも明確でなかった。

トンネルで吹付けコンクリートを使用する場合は局部的であっても薄いところがあると応力集中をおこしたり、そこがもとになって破壊されてゆく危険性もあるため、どの 1ヵ所も考えている厚さ以上あるようにしておくことが必要であると考えられるので、最小吹付け厚を規定することとした。

第 6 章「覆工の設計」において、第 58 条の「覆工の形状」の中、覆工側壁基部または逆巻施工の場合のアーチ基部等で前示方書では十分な地盤支持力が得られるようにとのみ記述していたが、改訂示方書ではそのための形状を明らかにする目的で、それらの 1, 2 例を図示して理解に便ならしめた。

第 59 条の「覆工の設計巻厚」については、前示方書では昭和 35 年までの資料に基づくものであったが、改訂示方書では道路および鉄道トンネルの昭和 43 年までの資料を加え、再度検討を試み、結果としては前回の設計巻厚の範囲のままで良いことが確認された。

第 7 章「裏込め注入」では、最近の注入管の実施例の図を挿入した。

また第 8 章「その他の設計」、第 64 条の「防水工」では、最近使用されている止水シートおよび止水板を例示した。

第 65 条の「排水工」において、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、などへの考慮を付け加えた。

第 66 条の「付属施設」で、道路トンネルの換気基準に、最新の事例を加え、その結果、自然換気領域の境界線を $L \times N = 600$, ただし L : トンネル延長 (km), N : 交通量 (台/時) に改めた。なお、鈴鹿トンネルの火災事故に鑑み、必要に応じ、防災の設備、待避所などを設計しておくべきことを加えた。

3. 施 工 編

施工編は、改訂示方書では 11 の章から成り立って

る。改訂示方書と前示方書の構成の主な相違点は付表—2 の通りである。

付表—2 施工編における改訂示方書と前示方書の対照

改 訂 示 方 書	前 示 方 書
第 4 章 掘 削	第 4 章 掘 削
第 5 章 爆 破	
第 6 章 ずり処理	
削 除	第 10 章 坑門および排水工

第 2 章「保安」第 72 条の「換気」においては、衛生的で安全な作業環境をつくるため、換気は今後ますます重要性を増すものと考えられるので、できるだけ詳しく解説することとした。主な点は次の通りである。

換気設備を計画・設計するときに参考となる「爆薬およびディーゼル機関から排出される有害ガス発生量」のおおよその値(表—24)を新たに加えるとともに、これら有害ガスの希釈に必要な風量の計算式を後ガスの場合とディーゼル機関の場合とについてその一例を示した。

次に有害ガス、可燃性ガスの許容限界濃度について労働省、通産省の値は危険の有無から決めた値であることを明確にするとともに、ACGIH の値は労働者が毎日繰り返しその中におかれても身体に悪い影響を受けない値を示すものであり、換気設備を設計するにあたっては ACGIH の値をもとにして考えることが望ましいことを追加した。

第 74 条の「公害防止等」においては、最近公害が社会問題となることが多く、また公害対策基本法など法律・政令などが定められ、公害防止は施工にあたって当然考慮に入れるべき事項となったので、この条項を新たに設け、トンネルの施工で公害の原因となりそうな事項、その対策、公害防止関係の法律政令の名称などをあげ解説した。

第 3 章「測量」においては、トンネル工事における測量の重要性を強調する意味で第 75 条「通則」を設け、その精神を明確にした。

前示方書「掘削」の章を改訂示方書では付表—2 のような第 4 章「掘削」、第 5 章「爆破」、第 6 章「ずり処理」の 3 つの章に分けて、トンネル工事において重要なこれらのことがらを章として独立させた。さらに第 5 章「爆破」には第 81 条「爆破計画」、第 6 章「ずり処理」には第 86 条「ずり処理計画」、第 87 条「ずり積み作業」の条項を新しく加えた。

第 80 条の「余掘り」においては、前示方書では解説で、設計巻厚線より外側に施工上当然必要な掘削量と、さらにその外側にやむを得ず生じてくるものを「余掘り」としていたが、この表現では後者のみが余掘りであると誤解されやすいので、設計巻厚線より外側に生ずる掘削量はすべて「余掘り」とすることを明らかにし、解説に入れた。

第8章「支保工」においては、設計編に対応し、第1節「鋼アーチ支保工」、第2節「ロックボルト」、第3節「吹付けコンクリート」とし、「木製支柱式支保工」は設計編では除いたが施工編では残した。

第93条の「鋼アーチ支保工」(5)(6)項は設計との関連で新たに設けたものである。なお解説には設計巻厚外の木材であっても安全な範囲においてコンクリート打設時に取りはずすことが望ましいこと、および矢板類は危険のない範囲においてすき間をあけてかけることが望ましいことを述べている。

第103条「吹付け作業」(2)の項は吹付け作業の基本的事項について規定したものである。すなわち、吹付け作業にあたっては、はね返りができるだけ少なくなるようにすることはもちろんであるが、そればかりではなく、「す」の入らない密実なコンクリートが得られるようにすることが重要である。

(3)項は、ノズルの方向とノズルと吹付け面との距離について規定したものであるが、ノズルの方向を吹付け面に直角にするようにしたのは、良質なコンクリートを得るためにきわめて重要なことであり、直角以外の角度で吹付けるとはね返りも多くなり、また、すでに付着しているコンクリートをはげ落とすことにもなる。

第104条「鉄網、鉄筋および鋼アーチ支保工、等を用いた場合の処置」のうち、補強材として鉄網、鉄筋を用いる場合、その背後に大きな空間があると、鉄網や鉄筋にコンクリートが付着し、吹付け面を閉そくし、背後に

空間を残す原因となるので、トンネル掘削面にモルタルなどを吹付けて吹付け面をできるだけ平滑にし、鉄網、鉄筋を2~3cm程度の離れで取付けるようにする必要がある。

また、補強材として鋼アーチ支保工を用いる場合は、吹付け角度が吹付け面に対して斜めになり、はね返りが多く作業も困難であるため、支保工背面と地山との間に空けきが生じやすいので、必要に応じ裏込注入を行なって地山との密着を図るべきである。

第9章「型わく」では型わくを第110条「移動式型わく」と第111条「組立式型わく」に大別し、それぞれについて条項をまとめて述べることにした。

第113条の「型わくの取りはずし」は、前示方書「取りはずし」(1)と同じである。解説に前示方書では、型わくを取りはずす時期を数値をあげて説明してあったが、このような数値をあげておくことにより、それに拘束され、型わくの取りはずし時期を失すおそれもあるので、今回の改訂にあたっては、これらの数値は解説からはずした。

第10章「覆工」第116条の「配合」は、トンネル工事の特色としてその施工にあたっては、設計に示された条件を満足する範囲内で余掘りにもできるだけゆきわたるようなワーカビリティを有するコンクリートの配合を決めることがきわめて重要であるので、本条を設けた。

(1970.2.16・受付)

トンネル標準示方書解説

内 容

第1編 総 則

第2編 調 査

第1章 通則/第2章 概略調査/第3章 精密調査

第3編 設 計

第1章 通則/第2章 トンネルの線形、勾配および内空断面の設計/第3章 荷重/第4章 巻厚線および支払線/第5章 支保工の設計/第1節 通則/第2節 鋼アーチ支保工/第3節 ロックボルト/第4節 吹付けコンクリート/第6章 覆工の設計/第7章 裏込め注入/第8章 その他の設計

第4編 施 工

第1章 通則/第2章 保安/第3章 測量/第4章 掘さく/第5章 爆破/第6章 ずり処理/第7章 坑内運搬/第8章 支保工/第1節 鋼アーチ支保工/第2節 ロックボルト/第3節 吹付けコンクリート/第4節 木製支柱式支保工/第9章 型わく/第10章 覆工/第11章 裏込め注入

体 裁：A5判 160 ページ 定 価：800 円 会員特価：700 円 送 料：70 円

トンネル工学シリーズ ■ 第5回 トンネル工学シンポジウム

内 容：六甲トンネルの碎破帯突破について/トンネルの掘さくに伴う地表沈下測定例について/牧の原地すべり地区のトンネル施工について/紅葉山線・新登川トンネルの蛇紋岩区間の施工法と膨張土圧の測定結果について/京葉線・多摩川河底沈埋トンネルについて/大阪地下鉄の沈埋管工事一堂島川と道頓堀川の施工例について/近鉄難波線の大型機械化シールドの施工例について

体 裁：B5判 124 ページ 定 価：1000 円 会員特価：900 円 送 料：100 円