

トンネルの設計

住友 彰*

1. はじめに

トンネルの定義としてははっきりしたものはないが、一般的には地中に一つの目的をもって築造される構造物をさすものとしておこう。本文で取り上げようとしている内容は、でき上がったトンネルそのものではなく、つくり上げられる道筋に関したことであり、取扱いの便宜上、次のように分けてみた。

- ① 山トンネル
- ② 都市トンネル

① は、施工の方からいえば、rock tunnelling とか、earth tunnelling といわれているもののうち、爆破によって掘削し、そのあとを支保工でおさえていくものである。山トンネルではないが、青函トンネルとか関門トンネルは、この部類に入ることになる。

② は、たいていの場合、沖積・洪積層の土砂層の中をとるもので、地下鉄とか、現在工事中の東京地下駅のような大規模な地下構築物をさしている。そのほか、沈埋工法で水面下を横断するトンネルもある。

構造物の設計という言葉で、まず頭に浮んでくることは、でき上がったあと、その構造物が分担する外力を定めることから始め、具体的に構造物の寸法を定めていく一通りの作業がある。

その点から見れば、②の部類に属するトンネルは①といささか内容を異にしている。筆者は都市トンネルに接する機会をもたなかったので、この方面の専門家からとんでもないことをいいたず不逞者とお叱りを受けるかも知れないが、②に属するトンネルは山トンネルとはかなり様子が違っており、上に述べたいわゆる設計の手順にあてはまる、素直な構造物ではないかと考える。回りくどい方がいい方をしたが、設計で大きい役割をする外力が比較的にはっきりしている。

上にも述べたように、筆者は②の部類のトンネルについて述べる資格がないので、本文ではいわゆる山トンネルで、設計が施工との間にどのような関連をもっていか、どんなところで迷っているかについて述べることにする。

2. トンネルが他の構造物の設計と違う点

端的に言えば、他の構造物はそれが完成したのち設計どおり、あるいはそれに近い外力と内力との関係をもっている。土工に縁の深い擁壁とか基礎工の中には、多少違ったものがあるにしても、大多数は施工の段階で、設計条件を乱すようなものを排除した状態で構造物を構築できるし、また施工している。

ところが、地盤の中をくりぬき、トンネルをつくっていく場合には、いささか趣きが違ってくる。設計の中で大きい要素である外力の大部分は、トンネルの場合これから掘ろうとする行為がはねかえって、外力という形になるものなのである。いい変えと、でき上がってしまえば地盤の中に抱き込まれてしまう構造物をつくるのであるから、そのつくり方の上手・下手により、あるいは相手の地盤の状況次第で、トンネルが受ける外的条件が違ったものになるということである。同じ大きさのものを同じ岩盤の中につくった場合でも、施工のやり方、たとえば、せん孔の数、方向、深さ、火薬の種類、量、爆破の方法などにより、違った周辺応力を生ずることになる。

このあたりに、応力解析を基礎として丹念に物の大きさを定めていくことを建て前とした設計の原則に背を向けるような因子が、トンネルにはひそんでいることがわかるであろう。

ことにわが国の場合、一つのトンネルでも地質の変化が著しいことも加わり、つかみにくい外力に一々応待しておれず、他の構造物の設計では大切に取扱っている外力が、トンネルの設計の場合に無視とまでにはいかないとしても、片隅に押しやられた扱いをされていることにもなっているのである。

ほかから見るといかにも頼りない話であろう。同じトンネルでも、先に述べた②の種類では、相手が土であることから土圧理論が取り入れられるとともに、トンネル構造物も弾性構造体としての取扱いができるようにつくりうるので、山トンネルのような曖昧さがない。

山トンネルで外力をつかみにくくしている点を具体的にならべると、次のようなものがある。

* 正会員 (株)住友道路研究所 代表取締役

(1) 支持条件

トンネル構造物と地盤との接触状態の不確かさがあげられる。岩石トンネルの場合、施工の順序から見ると、土圧はまず掘削に伴って生じ、必要に応じて直後に建て込む支保工で支えられる。これらの力は、いわゆるブッキングポイントと称し、支保工と地山との間に挿入するくさびの締固めにより、支保工に伝えられることになる。同じ支保工にしても、施工の安全管理から単に肌落ちを防ぐために用いられているものもある。

このくさびの締固めは仕様書にもやかましく規定されているが、次々と掘削していく発破の震動によって変化することは避けがたい。

(2) 覆工

この支保工をコンクリートで固める覆工作業が行なわれるが、この中に設計のよりどころをくずすような問題をかかえている。いままで支保工で支えられていた荷重が、覆工コンクリートにどのように移り、分担されるかは、地質の状態・支持条件によってまちまちであり、現在のところ国鉄・建設省の各研究所で、模型実験等によりその協同作用の解明に取り組んでいるが、まだ結論を得るところにまでは進んでいない。

具体的に例をあげると次のようなことがある。

第一に、アーチの肩から下の部分では、矢板の隙間からコンクリートがはみ出し、覆工が数多くの点で地盤に支持され有利な条件となる反面、アーチの天端付近では施工上どうしても設計厚を確保することがむずかしく、空隙を残した不利な形となる。

第二に、支保工を規定の位置に正しく建込むことができない。どうひいき目に見ても、アーチ覆工を設計どおりに仕上げることはできない。

第三に、われわれが施工する山トンネルのアーチコンクリートは、ほとんど無筋コンクリートである。したがって、引張りによって亀裂を生ずるかも知れない構造物を、弾性理論で内部応力を求めようとする事自体に無理がある。

以上のような条件を頭におくと、トンネル構造物を力学的に解明しようとする事を、あきらめるしかないということになる。理論解析が非常に進歩しているいまの時代に、まことに頼りない話であるが、構造物そのものの成りたち、外力を定めることの困難さをかかえている以上は致し方がない。

巻厚を定める場合に、Thumb rule とか、その他いろいろな経験式も出ているが、それらは一応めやすをたてる方便として用いられ、過去の類似のトンネルの断面を参考に定めているのが実情である。

上に述べたことを煎じつめると、山トンネルの場合はそれがつくり上げられる過程の中で、外力を不確定なものとする要因があまりにも多いこと、また、でき上がった構造物そのものが、理論的に解明していく際に必要な条件を具備していないということである。

いやしくも工学の一部門で近代科学の仲間入りをしている以上、いつまでも、いいわけをならべるだけではましていいだろうか、ということは、だれしも気になることである。これを解きほぐしていくには、次の二つのことが考えられる。

第一の方法は、回りくどく、また、果たして目的地に到達するものかどうか疑問であるが、現在われわれが数多くのトンネルを施工している中で、辛抱強く設計条件を見つけ出していくことである。トンネル構造物に影響を与えている地山のゆるみ範囲を、地質とか施工法その他の要因別に外力を示す数値に結びつける測定を重ねていくことである。

また、支保工とか、完成した覆工に生じている内力の測定値を整理していくうちに、トンネル構造物が受ける外力と内力との関係を求められるだろう、ということである。

いままでも、こうした試みはかなり多く行なわれてきているが、まだまとまったところには至っていない。複雑な要素がからみあう中から、法則めいたものを見つけようというのであるから、もともと無理なことかも知れない。

しかし、こうした問題が解けないからといって、先に進まないわけにはいかない。むしろ、われわれの頭を支配していることは、いかに能率よく、速く、しかも安全にトンネルをつくっていくかについて力をすりへらしているのであり、そのあたりにトンネルが施工技術といわれている所以もあるわけである。

第二の方法は、むしろ施工法の研究を積極的にすすめることにより、設計諸元をいままでの曖昧なものから解放していくことができないか、ということである。

すなわち、外力を不明確なものとしている在来の掘削方法を改め、いたずらに岩盤をかき乱さない方法に切り替えることである。たとえば、トンネルボーリングマシンとかロードヘッダーのように平滑な面に切り取り、岩盤の周辺応力で外力との均衡を取りうるようにすることも一つの道である。

また、岩盤を掘削したのちに生ずるゆるみ荷重は、時間とともに変化することが知られている。掘削面をすみやかに防護することにより、構造物が受ける荷重を小さくすることができる。覆工にしても従来の不均等な厚さで、しかもかなり部厚いコンクリートを打設していたものを、掘削方式ともあわせコンクリートの填充方法を改

良することにより、薄くても均一なものにできるのではないか。あるいは、強度が高く均質なプレハブによる覆工がないものか。

これらは、すべて施工法の研究から出発し、無理のない合理的な構造物をつくり上げようとする点に目標をおく進み方である。第一の方法、すなわち従来の施工方式ではどうにもならなかったトンネルの設計を、より合理的なものに一步近づけるには、こうでもするしかないのではないか、ということである。

いいかえると、rock tunnelling の場合に施工法をいまのままにして、外力だの巻厚を議論することは大して意味がなく、施工法のほうから設計の合理化に向かって進んでいくべきものであるということである。このあたりにトンネルの設計なるものが施工と切り離せないことが理解されるであろう。

3. 設計と設計書

現在、大多数のトンネルは公共事業の枠の中でつくられている。したがって、企業者は国の機関、地方公共団体、あるいは公社・公団等に限定されている。その場合、いわゆる設計書なるものが作成され、請負契約が締結され、トンネル工事が施工される順序となっている。

ご承知のように、公共事業では、国費の支出を伴うので会計検査の対象となる。金の支出の内容についての検査を受けるため、契約の骨子となる設計書は、関係者の手で細心の注意をもって作成されていることは、いうまでもなく、検査の際には、この設計書が中心になってくる。

一方、請負業者の側から見れば、この設計書の内容が請負金額を支配し、仕事を進めていく大切なよりどころとなっている。ところがこの設計書なるものの内容は、添付設計図にその断面（巻厚とか支保工とか）が示されているほか、施工法が直接・間接に規定されている場合が多い。

一般の構造物のように、設計図は完成した構造物の寸法・材料・数量等を示すものであるのに対して、施工過程を規制するようなものが設計書の中に示されているところにトンネルの特殊な点があるといえよう。

企業者によっては、そこまで規制していないところもあるようであるが、上部半断面工法であるとか、底設導坑先進上部半断面工法あるいは側壁導坑方式というように示している場合が多い。このような工事契約の仕組み

からすれば、施工を担当する請負業者としては損をしないように、示されたとおりの工事を施工することに努力するのが、せいぜいのところであろう。

とすれば、定められた枠の中で得られる施工の合理化というものには、およそ限度があるということになる。

くどいほど述べたことであるが、トンネルの設計を合理化する方法としては、施工の面から近づいていくしかない。ところが、施工業者にしてみれば、与えられた設計に従い、勝手にわかった従来のやり方で能率よく、損をしない範囲で、施工上の工夫をしていくのが普通である。

請負業者が企業努力によって工事費の節減をもたらした場合、企業者がただちに吸い上げてしまうようなことをしなければよいのであるが、会計検査が悪いというのではなく、内容を具体的に説明しにくい場合が多いため、往々にしてそれを生かす方向にいていないのが実情である。

昔は企業者が直轄工事ももち、施工技術の開発をもっぱら分担し、新しい施工技術を生み出すのに貢献してきたのであるが、現在では関係者のよほどの努力がなければ、そうしたことは望み薄になっている。

こうした開発に要する費用を企業者が肩替わりすることができれば一番よいのであるが、せめて請負業者が巨費を投じて開発した新しい技術を、企業者といわず業界といわず、お互いに高く評価するような気風をつくり出すことが、できないものであろうか。

トンネルの施工技術のように熟練技術者と、巨額の設備投資を必要とするものについては、競争も度を過ぎしては技術の開発を望むべくもない。営々辛苦のあげく開発したものを、一、二年もたたないうちに他にお株をもっていかれるようでは、真剣に取組むものが阿呆で、要領よくあとからかすめ取ろうという、いわゆるエコノミックアニマル族がはびこるばかりである。

適当な例ではないかもしれないが、沈埋トンネルが次々と計画されると聞けば、猫も杓子も首を突っ込んで狂奔するようなことが続く限り、落ちついて一つのこと深く根をおろした施工技術は生れてこないだろうし、いつまで経っても立派な設計の土台も望めないと考えるのは筆者の弱気だけだろうか。

冒頭にも述べたように、トンネルの工事量がいよいよ増加している時期であるだけに、しっかりした設計の基礎が欲しいし、そのためには、その先達となる施工技術が、しっかりと根をおろすことのできる土壌と養分が望まれてならない。

トンネル標準示方書解説 シールド工法指針

A 5判 144 ページ 800 円 会員特価 700 円 (120 円)

A 5判 138 ページ 800 円 会員特価 700 円 (120 円)