

トンネル工法ごとに異なる設計手法

トンネル工法は、トンネルを築造しようとする地山の種類や築造深度(土被り)によって様々に使い分けられています。鉄道では、山岳工法、シールド工法、開削工法の適用が多く、その設計手法も工法ごとに異なっています。

厳密な意味でのトンネルの設計は、路線計画から始まって、計画線に沿って行われる各種調査、工法選定、掘削段階における影響の検討、トンネル本体に関する検討、施工管理計画、施工結果を考慮した供用開始後の維持管理計画に至るまでの一連の流れを辿ります。ここでは、それらの多岐にわたる検討項目のうち、一般的に設計として認知されている、掘削段階における影響の検討とトンネル本体に関する検討について説明します。

掘削段階における影響の検討

トンネルは地盤中で施工されるため、設計では、まず掘削作業における安全性の確保と周辺環境の保全について検討されます。この際の決定事項や検討手法は、トンネル工法ごとに異なります(表1)。

同表の決定事項の中には「対策工」という言葉が全工法に共通してあります。これは、施工の可能性や周辺環境の保全について検討した結果、何らかの対策が必要であると考えられる場合に行う措置の

ことで、監視・計測から補助工法の施工に至るまで、さまざまなメニューがあります。設計では、この措置の規模によってトンネルの築造コストの大小が決まってしまうことや、掘削段階における施工の良し悪しがトンネル本体の仕上がり大きく影響すること等を十分認識しておく必要があります。

トンネル本体に関する検討

設計では、掘削段階における影響の検討に続き、トンネル本体としての構造安定と供用開始後の使用性向上を目的とした検討が行われます。

岩盤のような硬い地盤に適用される山岳部山岳工法は、地山自身の強度と一次支保(鋼製支保工、吹付けコンクリート、ロックボルト)の強度でトンネルを安定させるという工法で、トンネル本体は非構造部材とみなします。具体的には、地山の状態を評価・分類し、その分類に応じてあらかじめ設定してある標準パターンを選定して設計を進めます。これに対して、都市部の比較的柔らかい地山に適用されることが多い都市部山岳工法やシールド工法、開削工法では、トンネル本体は荷重を負担する構造部材とみなし、設計では表1に示すような何らかの数値解析手法を適用します。この場合、解析モデルの設定方法が議論になりますが、

トンネルはその周囲を地盤に囲まれるため、フレーム解析の場合、トンネル本体と地盤との応力のやりとり(部材と地盤との相互作用)をうまくモデル化する必要があります。以前は、部材の変形とそれに伴って発生する地盤反力を定型的な形状に置換えて表現していましたが、計算機の性能が向上した現在では、地盤をばね、部材をフレームで表現するスタイルを基本とし、複雑な形状を有する場合においても対応できるようになっています。

トンネルの設計の課題と今後の展開

トンネルは縦断方向に同じ断面形状を有する線状構造物であるため、多くの場合、設計は平面ひずみ状態を前提として横断方向(輪切り)断面で行われています。しかし、実際は縦断方向に地形、地山条件、地下水の状態は変化しており、これらがトンネルの安定に及ぼす影響も小さくないことから、このような三次元的問題をうまく実務設計に取り込んでいく必要があります。なお、これらの諸問題を数値解析手法によって検討する場合は三次元解析の適用が有効ですが、計算量が膨大になることに加え、解析結果の解釈が複雑になることから、これらの知見を簡便な設計手法にフィードバックすることも含めて更なる検討が必要です。また、設計に用いる荷重の妥当性については様々な見解があることから、今後は、現場計測項目、計測手法の標準化を図ることによって多くのデータを蓄積し、現行設計法の改善、修正はもとより、将来の設計・施工、維持管理のための資料として役立てていく姿勢が求められています。

(構造物技術研究部 トンネル
小西 真治)

表1 トンネル工法ごとの設計手法の特徴

トンネル工法の種類	山岳工法		シールド工法	開削工法	
	山岳部	都市部			
代表的な適用地山	岩盤地山	未固結地山	軟弱地盤	地山によらない	
設計内容	掘削段階における影響の検討	掘削段階における影響の検討	掘削段階における影響の検討	掘削段階における影響の検討	
	検討目的	切羽の安定 安全性の確保 周辺環境の保全	切羽の安定 安全性の確保 周辺環境の保全	切羽の安定 安全性の確保 周辺環境の保全	
	決定事項	一次支保パターン 掘削順序、対策工	一次支保パターン 掘削順序、対策工	切羽圧、裏込注入圧 対策工	土留め剛性、切梁ピッチ、 根入長、掘削順序、対策工
	検討手法	地山分類基準による 標準パターンの適用	類似設計手法 数値解析手法(FEM等)	数値解析手法(FEM等)	数値解析手法(弾塑性法、 FEM等)
トンネル本体に関する検討	検討目的	構造安定・使用性向上	←	←	
	決定事項	二次覆工厚等	二次覆工厚等	セグメント(一次覆工)厚 セグメント構造 継手構造、二次覆工厚等	部材(側壁、上・下床版、 中床版、中柱)構造、形状 寸法等
	役割	非構造部材(化粧巻き)	荷重を負担する構造部材	←	←
	検討手法	地山分類基準による 標準パターンの適用	類似設計手法 数値解析手法(フレーム 解析、FEM等)	数値解析手法(フレーム 解析等)	数値解析手法(フレーム 解析等)
設計荷重	トンネルは、地山のアーチ 効果と一次支保によって 安定するため、二次覆工に 荷重は考慮しない	土圧・水圧 上載荷重	土圧・水圧 上載荷重 施工時荷重	土圧・水圧 上載荷重	

※記事に関するお問合わせ先
構造物技術研究部(トンネル)
NTT: 042-573-7266
J R: 053-7266