

## Ⅲ-B18 都市部山岳工法トンネルの覆工設計における荷重に関する考察

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○齋藤 貴 小島芳之 新井 泰 野城一栄\*)

ハ°シフィックコンサルタンツ(株) 正会員 松長 剛\*\*)

## 1. はじめに

これまで環境条件や地質条件の厳しい都市部では、標準的な工法として開削工法やシールド工法が適用されることが多かった。しかしながら、経済性や断面選定の自由度、近年の補助工法に関する技術開発の進展等の要因により、都市部においても山岳工法(いわゆる都市 NATM)が適用される事例も増大している。この都市部山岳工法トンネルについては、まだ設計法が確立されておらず、事例ごとに設計が行われているのが現状である。筆者らは、都市部山岳工法トンネルに関する設計・施工実績調査、実験、数値解析等を行い、その設計法の確立を目指している。本報告は、この研究の一環として行っている覆工構造の設計実績調査、数値解析の結果から、設計荷重の考え方について現時点で得られた知見を述べる。

## 2. 覆工構造の設計実績調査

覆工設計法に関する検討として、これまでに施工された都市部山岳工法トンネルの設計・施工に関する実績調査を行った。調査では、適用対象を「立地条件：都市及び都市近郊」、「地質条件：未～低固結の堆積地山」とし、鉄道トンネルを中心に52トンネル・工区についてのデータの収集を行った。

## (1) トンネル構造について

調査の結果、都市部山岳工法では地形・地質条件や周辺環境への配慮から「トンネル構造が荷重(土圧や水圧など)と支持する」という考え方を採用している事例が多く、図-1に示すように全データの3/4程度が構造計算によりRC構造として設計されている。またRC覆工の設計では、シールド・開削トンネルで標準的に実施されている「骨組解析による断面力の算出」→「許容応力度法による応力度照査」という構造計算手法を適用しているものが大部分であった。

## (2) 設計荷重について

次に構造計算において最も支配的な条件といえる設計荷重について、設計実績の調査を行った。その結果、覆工構造設計における設計荷重は表-2に示す3つの考え方に分類され、以下のような割合で採用されている。

## 設計荷重の採用の割合

- I：大部分の都市部山岳工法トンネルで採用されている。
- II：支保による支持が妥当な場合に数例で採用されている。
- III：水路トンネルにおける実績がある。

このように、現状では二次覆工がすべての荷重を支持する考え方が多いが、支保との荷重分担を考慮した実績も少なくない。

表-1 調査データの分類

| 種別(用途) | データ数  |
|--------|-------|
| 鉄道トンネル | 39 事例 |
| 水路トンネル | 10 事例 |
| 道路トンネル | 3 事例  |

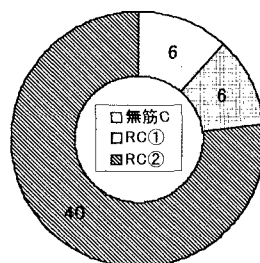


図-1 トンネル構造に関する調査結果

※鉄筋コンクリートを便宜上以下のように分類した。

RC①：経験的な判断で設計されたRC構造

RC②：構造計算により設計されたRC構造

表-2 設計荷重の考え方

|     | 設計荷重の考え方                 | 完成前の荷重 | 完成後の荷重 |
|-----|--------------------------|--------|--------|
| I   | すべての荷重*を覆工が支持            | 覆工     |        |
| II  | すべての荷重*を支保と覆工で支持         | 支保+覆工  |        |
| III | 完成後の増加荷重を覆工、掘削時の荷重を支保が支持 | 支保     | 覆工     |

※すべての荷重には、土圧・上載荷重・覆工自重・水圧・近接施工の影響などがある。

キーワード：都市部山岳工法、構造設計、設計荷重、実績調査、骨組解析

連絡先：\*) 〒185-8540 東京都分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7266 FAX 042-573-7248

\*\*) 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 TEL 03-3344-1903 FAX 03-3344-1906

### 3. 骨組解析による設計荷重に関する検討

#### (1) 検討目的及び解析条件

本研究では、設計上の荷重分担について「掘削に伴う土圧：支保と地山の相互作用で対応」、「完成後の付加荷重：覆工が負担」という考え方の適用に関する検討を進めている（表－2Ⅲの考え方）。そこで、まず、以下のような比較ケースを設定し、設計荷重の影響を検討することとした。

##### 設計荷重に関する比較ケース

完成後の荷重を水圧（防水型トンネルを想定）として設定

ケース①：自重＋土圧＋水圧…これまでの設計例に準拠

ケース②：自重＋水圧 …完成後の荷重のみを負担

既往の設計実績結果を参考に設定した解析条件を表-3、解析モデルを図-2に示す。

#### (2) 解析結果

荷重条件の異なる比較解析の結果（断面力）を図-3に示す。

##### 解析結果（断面力）

- ・水圧を考慮すると、断面力が【アーチ部＜インバート部】となる。
- ・「水圧のみ」になると、構造全体の軸力が低下する。
- ・インバート部の曲げモーメントが増加し、断面耐力<sup>1)</sup>（想定： $f_{cd}=240$ ,  $f_{syd}=3500\text{kgf/cm}^2$ , D25@125複鉄筋）に近づく。

このように水圧を考慮した設計では、水圧によってインバート部における断面力が卓越する。この状況から土圧の分担が支保へ移行すると、インバート部における曲げモーメントが更に増加する。この要因としては、覆工周辺地山に発生する地盤反力の作用範囲の変化が考えられる。比較ケースの反力作用範囲の違いを図-4に示す。これまでの都市部山岳工法トンネルにおける荷重形態を想定した「土圧＋水圧」では、隅角部において地盤反力が発生している。これに対して「水圧のみ」の場合には、アーチ部の比較的広範囲に反力が発生し、構造全体の軸力が低下する。また、インバート部にはほとんど反力が発生しないため隅角部やインバートにおける曲げモーメントがより卓越することとなる。

#### 4. まとめ

都市部山岳工法トンネルの覆工構造設計時の設計荷重について、実績調査と数値解析による検討を行った。

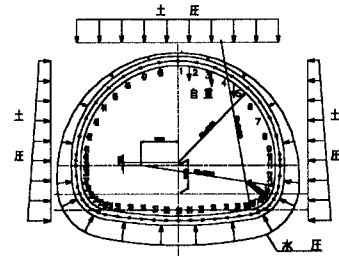
- (1)これまでの都市部山岳工法トンネルでは、支保を仮設部材として想定し、すべての荷重を覆工が支持するという考え方で設計されている事例が多い。しかし、支保との荷重分担を考慮した設計例も数例あった。
- (2)荷重分担の適用を検討した解析の結果、水圧のみを覆工が支持する場合には水圧による影響でインバート部における断面力が卓越することが確認された。

以上の成果や課題をふまえ、今後は支保や覆工の応力測定等の計測実績についても詳細に調査し、覆工に作用する荷重、あるいは支保と覆工の荷重分担などに関する検討を進めていく予定である。また、設計荷重の設定とともに、解析上の構造モデルの設定方法、断面照査の手法についても重要な課題と位置付け、併せて検討を進めているところである。最後に、今回の一連の研究では、各鉄道事業者などから設計・施工に関する技術資料を多数提供していただいている。ご協力していただいた事業者の方々に深甚なる謝意を表します。

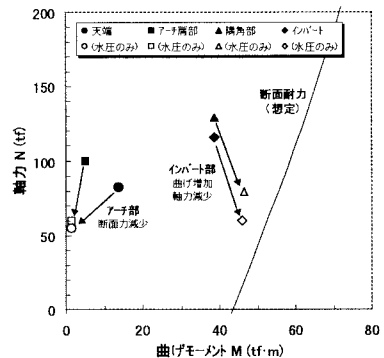
【参考文献】<sup>1)</sup>鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物 鉄道総合技術研究所 丸善 1992.11

表－3 解析条件

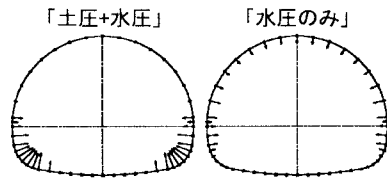
|        |                                                      |
|--------|------------------------------------------------------|
| 覆工構造   | 巻厚：50cm（アーチ・インバートとも）                                 |
| 地盤反力係数 | 5kgf/cm <sup>3</sup>                                 |
| 土圧     | 土荷重高さ：10m<br>単位体積重量：1.8tf/m <sup>3</sup><br>側圧係数：0.5 |
| 水圧     | 天端上5mに水位を設定                                          |



図－2 解析モデル図



図－3 解析結果（断面力）



図－4 地盤反力の作用範囲