

III-32 併進工法に於ける覆工設計法（仮設時）の研究

日本鉄道建設公団 正員 鬼頭誠
 日本鉄道建設公団 正員 梶原雄三
 鉄建建設株式会社 正員 高野佳博

1. はじめに

併進工法（直打ちコンクリートライニング工法—ECL工法）は、近年、各企業・各社により研究開発が進み、実施の段階に至っている。しかし、その覆工形態は、対象とするニーズ（覆工径、曲線施工半径等）や土質条件（地山の自立性、地下水压等）により各企業・各社により多種多様である。日本鉄道建設公団に於いては、鉄道トンネルの覆工方法の1パターンとして、

- ① 併進工法による無筋コンクリート（Non-RC）、又は、スチールファイバーコンクリート（SFRC）にて一次覆工を施工し、仮設的に地山を支承する。
- ② 次に、スチールフォームを使用し、鉄筋コンクリート構造（RC）の二次覆工を施工し、二次覆工のみ、又は、一次覆工との合成構造（重ね構造）を以て本体構造物とする。

という方法を検討した。本報告書は、軟弱地盤を対象に上記の工法の仮設時に於けるより経済的な設計法を提案したものである。

2. 設計方法の基本

トンネル覆工の設計計算に於いて、安全性の判定を支配する要因として、

- ① 土圧・水压を決定する設計荷重算定方法 ② 構造モデルに於ける地盤反力の評価方法
- ③ 覆工部材の安全性の評価・確認方法 ④ 覆工材料の強度特性

等が挙げられる。経済的、且つ、安全な設計法の確立とは、上記①～④の向上を意図するものであり、具体的には①、②は発生モーメントの極小化を、③は安全率の1への近似を、④は部材耐力の増加を意味する。

従来のセグメント工法では、セグメント自体が永久構造物である為、その設計荷重は、完成後長期間に渡るトンネルの安全性を考慮して定められている。従って、沖積粘性土のような軟弱地盤に於いてはトンネルの土被りには関わらず全土被荷重により設計することが一般的となっている。又、断面力の算定には慣用計算法を使用し、通常のRC構造物と同様の許容応力度法による応力の算定を行い安全性を照査している。

しかし、併進工法に於ける一次覆工（仮覆工）の役割は、二次覆工（本覆工）が設置されるまでの仮設構造物であり、欧州に於けるECL工法の実績からしても仮覆工に対してまでも永久構造物と同等の設計思想を用いるのは過大な結果をもたらすものと考えられる。そこで、上記①～④をアプローチの手法として併進工法に於ける仮覆工の設計方法を以下に述べる。

3. 荷重条件（土圧の算定）

1) 土質定数

粘性土は、土・水压を分離しないのが通常であるが、設計に用いる土の単位体積重量（ γ ）、内部摩擦角（ ϕ ）、粘着力（ c ）、地盤反力係数（ K ）は、土質調査結果に基づいて定めるものとする。

2) 土圧の算定

設計に用いる土圧は、土被りが1.5D（D:仮覆工外径）未満の浅い場合には全土被荷重とし、1.5D以上の場合には、テルツァーギの緩み荷重及び1.5D相当の土被荷重の大きい方の値を採用する。

軟弱粘性土中を施工したDetroit 下水トンネル（外径3.8m、覆工厚45cm、土被り18m、 $\gamma=2.0\text{t/m}^3$ 、 $\phi=0^\circ$ 、 $C=1\text{t/m}^2$ ）の覆工に作用する土圧の経時的変化を表-1*）に示す。尚、同トンネルは、1930年

12月12日に施工完了し、その後10年間計測を継続した。計測結果によると施工完了当初は、緩み荷重しか作用しなかった。土圧は、その後5年間に渡って増加し、鉛直荷重は安定した。

表-1 作用土圧の経時変化（単位 t/m^2 ）

測定箇所	全土圧 緩み土圧	1930 12/12	1931 10/15	1936 2/7
クラウン Pv	37.0 33.1	31.5 (85%)	29.0 (78%)	36.0 (97%)
スプリング Ph	41.0 37.1	25.5 (62%)	28.0 (68%)	29.0 (71%)
ボトム Pv'	44.5 40.6	32.0 (72%)	31.5 (71%)	45.0 (101%)
側圧係数	Pv/Ph	0.81	0.97	0.81

4. 構造計算手法

断面力を算定する構造計算は、トンネル標準示方書（シールド編）・同解説に示される慣用計算法を原則とするが、土被りが1.5D以上で、緩み荷重にて設計計算する場合は、全土圧に対して図-1に示すバネモデルにてフレーム解析し、断面力を計算する。バネは法・接線方向とし、クラウンより45度を除く範囲に作用させる。フレーム解析に依ると慣用計算法と比較して約10%のモーメント低減となる。

5. 断面の安全性の確認方法

Non-RC構造物の断面の安全性は、通常、縁応力が許容応力度の範囲に収まっていることを以て確認するが、ドイツ等に於いては、断面に引張領域を生じても偏心軸力を以てモーメントが伝達されるという限界状態設計法の思想にて断面の安全性を照査している。即ち、コンクリートの引張強度を無視すれば、許容応力度法では（1）・（2）式を、ドイツ方式限界状態設計法では（3）・（4）式を満足することが、断面の安全性を保証する必要十分となる。

$$N/A + M/Z \leq \sigma_{ca} \quad \dots (1) \quad N/A - M/Z \geq 0 \quad \dots (2)$$

$$e = M/N \leq h/3 \quad \dots (3) \quad N \leq N_a = b \cdot (h - 2e) \cdot K \cdot f_{ck} / (\gamma_b \cdot \gamma_c) \quad \dots (4)$$

N:軸力 M:モーメント A:断面積 Z:断面係数 σ_{ca} :コンクリートの許容応力度

e:荷重の偏心量 h:覆工厚 b:覆工幅 f_{ck} :コンクリートの設計基準強度

K:係数(=0.85) γ_b :部材係数(=1.15) γ_c :材料係数(=1.3)

ここで、簡単の為に $\sigma_{ca} = K \cdot f_{ck} / (\gamma_b \cdot \gamma_c) = f_c$, $M' = M / (f_c \cdot b \cdot h^2)$, $N' = N / (f_c \cdot b \cdot h)$ とし、無次元化した (M', N') に対する（1）・（2）式の許容域を図-2に■にて、（3）・（4）式による許容域の拡大範囲を□にて示す。

6. 覆工材料の検討

プレーンコンクリートの代わりにスチールファイバーコンクリートを使用することにより曲げ強度の改良、靱性の向上が可能である。併進工法では、RC構造は進行を低下させるのでスチールファイバーコンクリートは有効的な手段である。

7. まとめ

併進工法の経済的設計法の確立の為には、更に実施に於ける計測データを検討解析する事が望まれるが、FEM・全周バネモデル等がその一手法と思われる。

〔参考文献：*）チェボタリオフの土質工学（上巻） 石井靖丸訳〕

（ ）内は対全土圧比

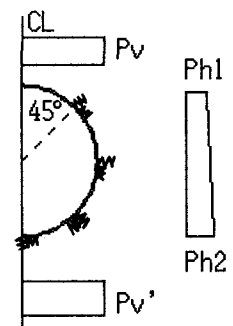


図-1 バネモデル

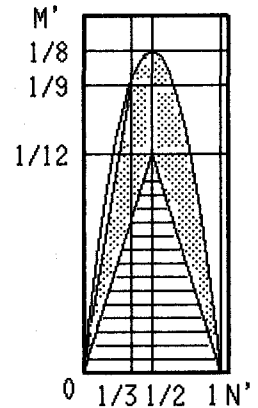


図-2 許容域範囲図