

無筋コンクリート円形トンネルの設計法に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○田作 祐輔
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 岡嶋 正樹
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 清水 幸範

1. はじめに

一般に、都市部におけるトンネルの建設には、工事費の縮減、工期の短縮、周辺環境へ与える影響の抑制等の観点からシールド工法を適用することが多い。しかしながら、今後の地下開発を考えると都市部の地下の中浅深度の領域はすでに満杯の状態にあることから、トンネルの建設深度はさらなる大土被り化の傾向を示すことは想像に難なく、またこれらの領域には洪積世の硬質地盤が堆積していると予測できる。このような場合には、シールド工法にかわって、併進工法や一次覆工と二次覆工の両者を無筋コンクリート構造とする SENS 工法の適用性が高まるものと考えられる。

円形トンネル覆工に無筋コンクリートを適用する場合の設計は一般的に併進指針が考えられる。また、東北新幹線での施工および計測結果より、一次覆工の乾燥収縮および一次覆工に作用する浮力の影響を考慮した荷重モデル(耐荷機構モデル)が飯田により提案されている。

以上を踏まえて、無筋コンクリート円形トンネルを対象として、併進指針モデル、耐荷機構モデルおよび FEM 解析により乾燥収縮を表現した場合の荷重モデルを用いて発生断面力を算出し、これらの手法が無筋コンクリート円形トンネルの覆工の安全性に与える影響を考察することとする。

2. 検討手法

併進指針に基づく手法は、図-2 に示すようにシールドトンネルの設計荷重体系と同様に土圧、水圧および自重の荷重を考慮した荷重モデルにより構造計算を行うものである。

耐荷機構モデルに基づく手法は、残留打設圧、自重、水圧を設計荷重として考え、覆工が乾燥収縮等により大きく収縮し、その収縮量が地盤の変位量よりも大きくなった場合には、その収縮量により、トンネル下半で有効土圧が減少し、水圧のみが作用するものである。しかしながら、下半部の有効土圧減少範囲を事前の設計段階で適切に設定することは困難であるため、有効土圧の減少範囲を $90^\circ \sim 180^\circ$ として図-3 に示す荷重モデルにより構造計算をおこなうものとしている。

さらに、本稿では、上記の 2 手法に加え、FEM 解析を用いて、 $200\mu\text{m}$ の乾燥収縮を考慮した場合と考慮していない場合の荷重を算出し、構造計算を行い、各手法の断面力の比較を行った。

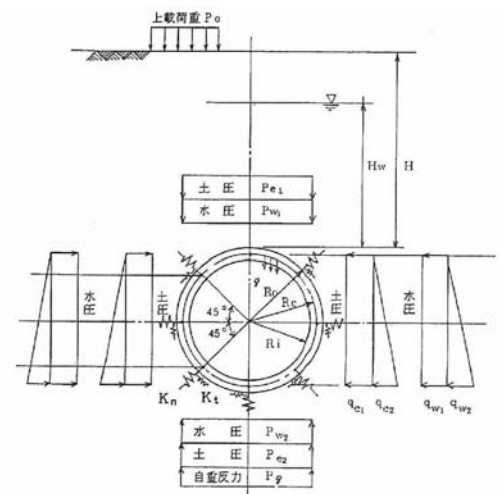


図-1 荷重図(併進指針モデル)

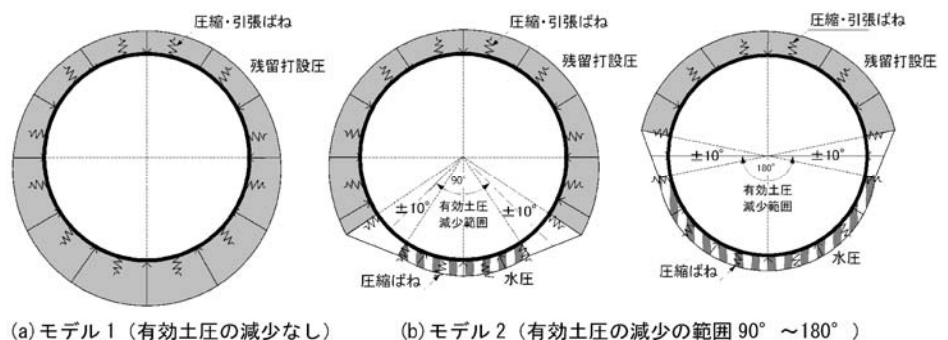


図-2 荷重図(耐荷機構モデル)

キーワード 覆工設計, 設計手法, 乾燥収縮, 円形トンネル, 無筋コンクリート

連絡先

〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2 丁目 7 番 1 号小田急第一生命ビル 17F TEL 03-9944-1794

3．検討条件

本稿では図-3 に示すような断面を対象として検討を行った．また，地盤の物性値は図-4 に示す通りとした．地盤反力係数 k は併進指針をもとに以下の式に手設定した．

$$K_n = \frac{1}{12} E_0 \cdot D_0^{-\frac{1}{4}} \cdot \delta^{-\frac{1}{2}}$$
$$K_t = \frac{K_n}{3}$$

ここで， K_n :法線方向ばね値， K_t :接線方向ばね値
 E_0 :変形係数(kgf/cm²)， D_0 :覆工外径(cm)
 δ :覆工の変形量=0.1%D₀(cm)

耐荷機構モデルにおける残留打設圧は，残留打設圧=コンクリートの打設圧×残留率であり，本稿における打設圧を全土被り荷重，残留率を参考文献 2)により 87%と設定した．

発生断面力は参考文献 1)に示されているように終局限界状態で安全性を検討する．

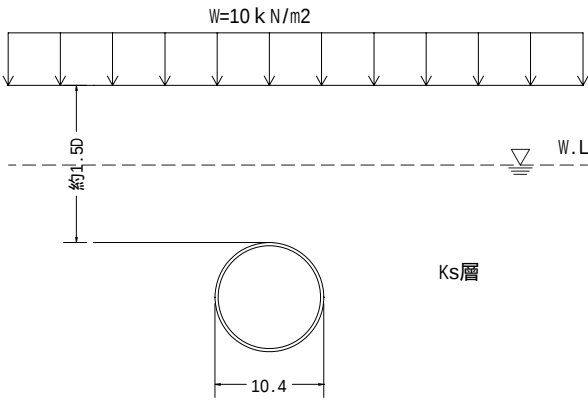


図-3 検討断面の概念図

地層	γ kN/m ³	c kN/m ²	ϕ deg	E kN/m ²	K_n kN/m ³	K_t kN/m ³
Ks	19.5	50	42	100,000	143,900	48,000

図-4 地盤の物性値

4．検討結果

図-5 に限界状態の耐力線および併進指針，耐荷機構モデルにより算出した断面力を示す．また，図-6 には発生断面力部分を拡大し，乾燥収縮を表現した FEM 解析による結果を示す．図-5 より，併進指針による発生断面力は耐荷機構モデルよりも断面力が大きくなっている．また，耐荷機構モデルにおける手法については，180°の有効土圧減少時には曲げモーメントが大きくなっているが，その他についてはその半以下の曲げモーメントとなった．FEM 解析の結果は乾燥収縮を考慮した場合の方がより断面力が小さくなる傾向が見られる．併進指針モデルおよび耐荷機構モデルはともに十分な安全率を確保できているが，耐荷機構モデルの方が，実地盤に近い条件である FEM 解析に近い結果であり，より合理的な設計手法となっている．

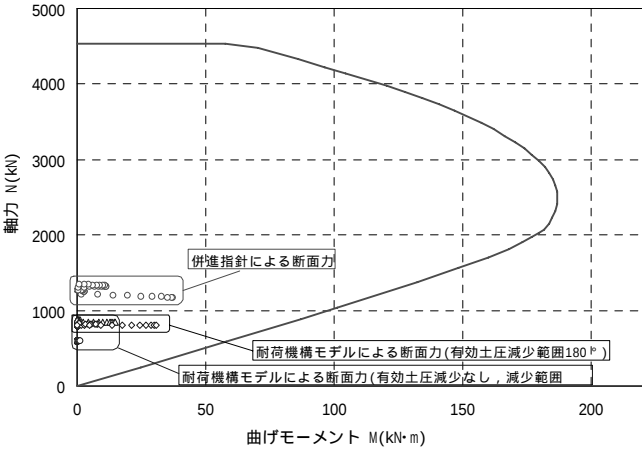


図-5 検討結果

5．おわりに

耐荷機構モデルを用いることで，安全率を確保しつつより合理的な設計を行うことが出来るが，乾燥収縮量や有効土圧の減少範囲が不明瞭である．そこで，今後公表されている事例をもとに，より詳細に検討を行っていきたいと考えている．

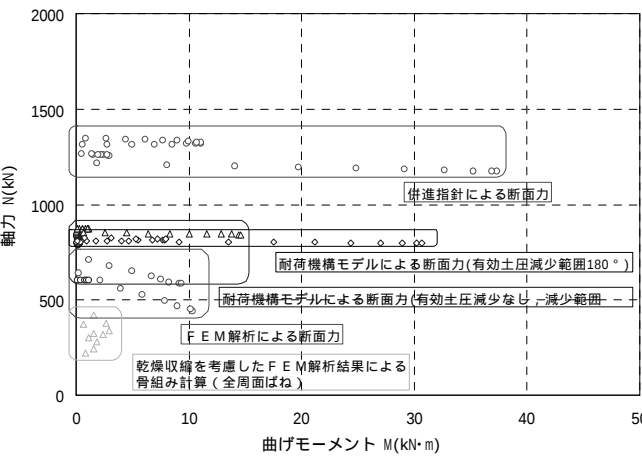


図-6 検討結果

参考文献

1) 日本鉄道建設公団：併進工法設計施工指針(案)，(都市トンネル編)，1992.4.
2) 飯田廣臣：含水未固結地山におけるシールドを用いた場所打ち支保システムに関する研究，2008.2