

硬質地盤における円形トンネルの設計法に関する一考察(その1)

- 接線方向の地盤ばねが断面力に与える影響 -

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 山本 秀樹
 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 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では、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、都市部の中浅深度領域の地下は既に高度に利用されていることから、今後のトンネル建設深度はさらに大深度化の傾向を示すことが予測される。大深度地下の領域では比較的硬質な地盤を対象とすることから、トンネル工法として、シールド工法にかわって併進工法や一次・二次覆工を無筋コンクリート構造とする SENS 工法¹⁾の適用性も高まるものと考えられる。

硬質地盤中のトンネル覆工に無筋コンクリートを適用する場合、その設計には、例えば、トンネル標準示方書²⁾、併進指針³⁾、鉄道標準シールドトンネル編⁴⁾等を参考とすることが考えられるが、これらの基準類は比較的軟弱な地盤を念頭においていること、都市トンネルを無筋コンクリートのみで構築した事例が少ないこと等から、その設計法が明確になっていないのが実状である。

本稿では、以上を踏まえ、硬質地盤中の覆工に無筋コンクリートを適用するトンネルを対象として、地盤ばねの設定について検討を行い、その設定がトンネル覆工の安全性に与える影響について考察することとする。

2. 影響検討条件

接線方向地盤ばねの影響検討は図-1に示すように硬質地盤中の鉄道複線クラスの円形トンネルを対象とした。硬質地盤中ではあるが、低水位の場合に、荷重として危険側と考えられる、土被り1D程度の断面を設定した。接線方向地盤ばねを考慮する場合を CASE1、考慮しない場合を CASE2 と設定した。設計手法としては、図-2に示すように併進指針に基づく方法³⁾を用いた。また、各ケースにおいて、水位が高い場合(以下、高水圧)と水位がトンネル下端より2.65mの位置まで低下した場合(以下、低水位)。覆工コンクリートの設計基準強度は完成時に30N/mm²を想定し、硬化途中として15N/mm²についても接線方向の地盤ばねの影響を検討することとした。表-1に解析ケースを示す。また、表-2に地盤の物性値を示す。なお、地盤反力係数は下式³⁾により定めることとする。

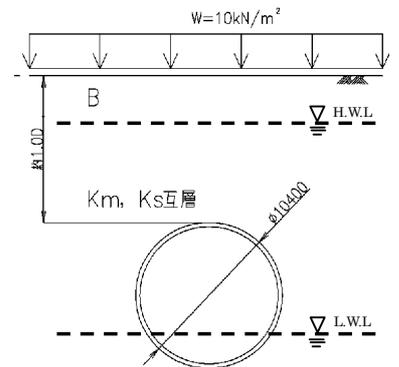


図-1 検討断面の概念図

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

$$K_t = \frac{K_n}{3}$$

ここで、Kn:法線方向ばね値、Kt:接線方向ばね値

E₀:変形係数(kgf/cm²),D₀:覆工外径(cm)

:覆工の変形量=0.1%D₀(cm)

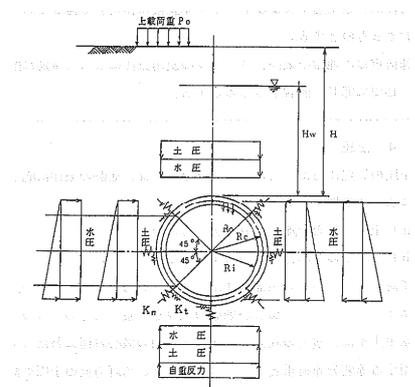


図-2 設計手法³⁾

キーワード 覆工設計, 地盤ばね, 硬質地盤, SENS 工法

連絡先 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 パシフィックコンサルタンツ(株)交通技術本部トンネル部

5. 検討結果

図-2, 図-3 に例として, CASE1-2, CASE2-2, CASE1-4, CASE2-4 の各ケースにおいて発生した曲げモーメント, 軸力と断面耐力線¹⁾との関係を示す. なお, 覆工コンクリートの变形係数による断面力の変化は微小であるため, 耐力線は設計基準強度が 15N/mm², 30kN/mm² の場合の2通り, 断面力は覆工の設計基準強度が 30N/mm² の場合のみを記載している. 高水位を考慮した場合には, 接線方向地盤ばねのあるなしにより, 変化は少ないが, 低水位の場合には曲げが大きくなる傾向がある.

また, 図-4~図-6 には CASE1-4, CASE2-4 の天端, 側壁, 下端の各箇所における結果を抽出した. これによると, 天端, 側壁においては, 接線方向地盤ばねを考慮しない場合に曲げモーメントが増加する傾向となった. 一方, トンネル下端では, 接線方向地盤ばねを考慮しない場合には曲げモーメントが減少する傾向にあることがわかった.

6. おわりに

以上より, 地下水位が高く軸力卓越となるような荷重状態では, 接線方向のばねの影響は非常に小さいが, 地下水位が低くなり, 曲げ卓越状態となると接線方向のばねによる影響が大きくなる. 覆工全体の結果を考えた場合には, 接線方向地盤ばねを考慮しない方が安全側の傾向を示すが, 覆工の断面内の各部位ごとに断面力を抽出して考えた場合には, 必ずしも接線方向地盤ばねを考慮しない方が安全とは言えない. そのため, 骨組み解析等により地盤ばねを考慮して覆工の設計を行う場合には, 各覆工箇所により危険側で検討を行っていないかを考える必要がある. また, 地盤ばねを用いずに, FEM による設計⁵⁾も考えることができる.

表-1 解析ケース

	接線方向地盤ばね	水位	覆工の設計基準強度
CASE1-1	考慮する	高水位	15N/mm ²
CASE1-2			30N/mm ²
CASE1-3		低水位	15N/mm ²
CASE1-4			30N/mm ²
CASE2-1	考慮しない	高水位	15N/mm ²
CASE2-2			30N/mm ²
CASE2-3		低水位	15N/mm ²
CASE2-4			30N/mm ²

表-2 地盤の物性値

地層	γ kN/m ³	c kN/m ²	φ deg	E kN/m ²
B	16	15	0	7,000
Km, Ks	19	110	35	60,000
Km	18	1,500	0	390,000

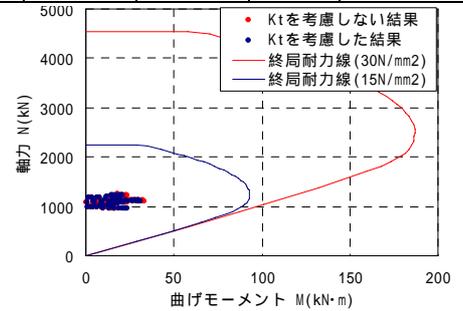


図-2 CASE1-2, CASE2-2 の結果

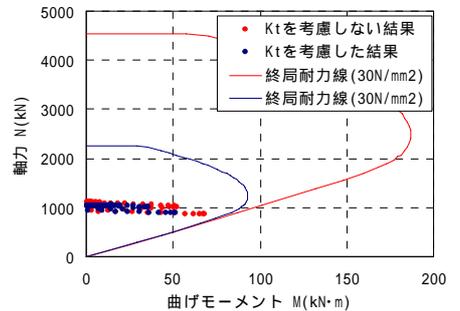


図-3 CASE1-4, CASE2-4 の結果

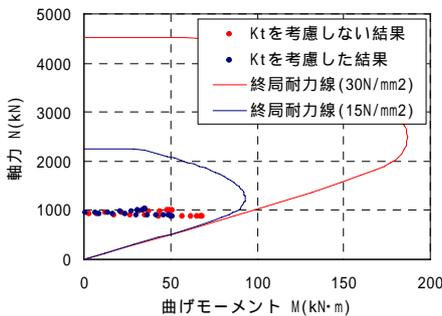


図-4 CASE1-4, CASE2-4 の天端における結果

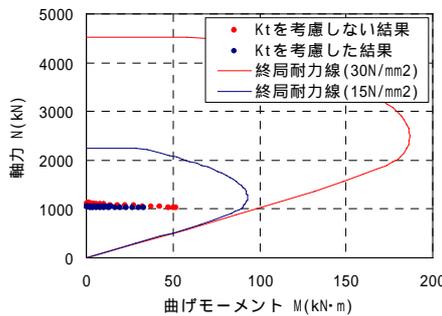


図-5 CASE1-4, CASE2-4 の側壁における結果

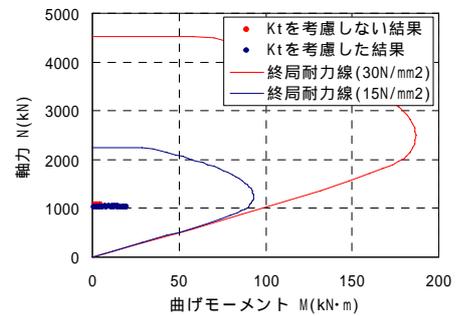


図-6 CASE1-4, CASE2-4 の下端における結果

参考文献

- 1) 例えば, 飯田他: シールドを用いた場所打ち支保(SENS)の耐荷機構に関する研究, トンネルと地下, vol39, 7, pp.515~523, 2008.7.
- 2) 土木学会: トンネル標準示方書, シールド工法・同解説, 2006.7.
- 3) 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.
- 4) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説, シールドトンネル, 2002.12.
- 5) 矢萩, 入江他: 施工過程を考慮したシールドトンネル覆工の応力計算方法, 土木学会論文集, F 部門, 2009.4.