

砂礫地盤中のシールドトンネルの作用荷重に関する研究

(株)ニュージェック 正会員 藤井 邦男
(元建設省土木研究所交流研究員)
建設省土木研究所 正会員 真下 英人
建設省土木研究所 正会員 石村 利明

1. はじめに

現在のシールドトンネルの覆工の一般的な設計方法は、設計荷重を設定し、構造計算を行ってセグメントの材質・断面寸法を決定する方法である。トンネルに作用する荷重は、理論的に把握することが困難であるが、これまでの知見および現場計測から得るものは多く、特に現場計測結果は作用土圧の評価を行う上で非常に重要となる。本報告は、トンネルに作用する土圧を評価する資料の一つとして砂礫地盤中での単設のシールドトンネル施工時に実施された現場計測結果をもとに骨組み解析を行い、砂礫地盤中のシールドトンネルに作用する荷重について検討したものである。また、セグメント組立時での連続した計測によりセグメント自重の影響の程度を把握し、設計時のセグメントの自重の取り扱いについて検討を行った。

2. 計測トンネルの概要

現場計測されたトンネルは外径4750mmの共同溝である。RC平板形セグメントによる一次覆工の2断面(断面A・断面B)に計測断面を設け、各種の計測を行った。計測項目は土圧、水圧、円周方向鉄筋応力である。なお、計測の初期値は組立開始直前である。

図-1は計測断面に最も近傍した位置のボーリングデータをもとにトンネル位置と土質の状況を示したものである。土質はトンネル上部、掘削部ともに平均N値が40以上の洪積砂礫層が主体であり、透水係数が $1.0 \sim 4.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 程度と透水性が良い状態である。一次覆工のセグメントの諸元は表-1に示したとおりである。

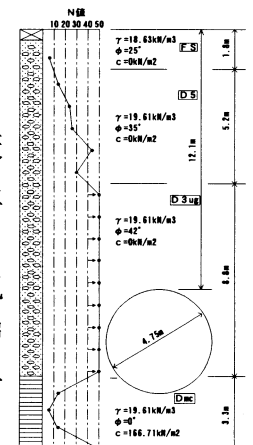


図-1 土質状況

3. 土圧計および水圧計による作用土圧

図-2は計測開始から3ヶ月後のほぼ安定したと考えられる最終的な土圧計および水圧計の計測値を示したものである。図より土圧(ここでの土圧とは、水圧を含めた値をいう。)は、80~170 kN/m²程度となっている。この土圧の値は水圧計の値から判断すると地下水位がトンネル天端から上約9mに位置することから、この静水圧が作用していると考えられ、トンネルには水圧のみが作用し、土圧は作用していないものと判断できる。

表-1 セグメントの諸元	
外径(mm)	4750
内径(mm)	4300
厚さ(mm)	225
幅(mm)	1200
単位長重量(kN/m)	5.74(縦断方向単位長さ)
分割数	6
組み方	2リング千鳥

4. 覆工断面力から推定される作用土圧

計測データが収束したと考えられる計測開始後3ヶ月時点における鉄筋計の計測値から求めた断面力(曲げモーメント)と土圧などの荷重等をパラメータとした解析より算定した断面力の比較を行い、シールドトンネルに作用する土圧を検討した。

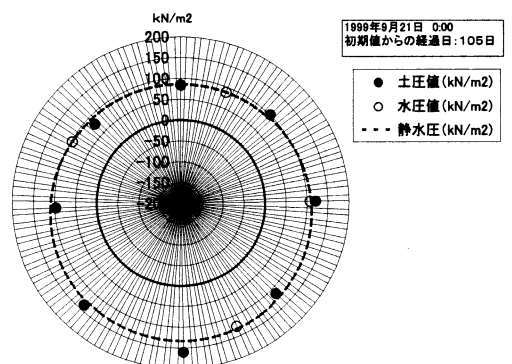


図-2 土圧計・水圧計の断面分布図

(1) 解析方法

断面力の算定にあたっては、2リング梁ばねモデル(部分地盤ばね)を使用した。ただし、解析に用いる荷重系は基本的には従来の慣用計算法での荷重系とした。解析に用いたパラメータを表-2に示す。なお、安定時の解析では外荷重(土圧・水圧)に自重を加え同一の地盤ばねで支持させる設定を基本とした。

キーワード：シールドトンネル、作用荷重、現場計測、砂礫地盤、覆工設計

連絡先：〒542-0082 大阪市中央区島之内1-20-19 (株)ニュージェック TEL:06-6245-4901 FAX:06-6245-5413
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 建設省土木研究所 TEL:0298-64-4689 FAX:0298-64-0178

(2) 解析結果および考察

1) テール内における自重の影響(自重解析)

セグメント組立直後の鉄筋計の計測値から求めた断面力と解析より得られた断面力の断面分布図を図-3に示す。図には参考として設計時に慣用計算法で求められた自重による曲げモーメントの値も示している。図より局所的な値は除けば概ね計測断面力は解析断面力より小さく、近似させるためには地盤反力係数 $k=100\text{kN/mm}^3$ 以上の値を設定する必要がある。これより、従来の設計法である慣用計算法において考慮していた自重による設計断面力を低減できる可能性があると言える。

2) 地盤反力・側方土圧係数および荷重条件の検討(安定時の解析)

図-4は計測開始後3ヶ月時点の鉄筋計の計測値から求めた断面力(コンクリートの乾燥収縮を考慮した補正值)と概ね計測断面力に近似する場合の解析断面力の断面分布を示したものである。設計時にはセグメント外径の2倍(=9.5m)の土圧(側方土圧係数 $\lambda=0.45$ 、地盤反力係数 $k=50\text{kN/mm}^3$)

を採用しセグメント仕様を決定しているが、解析からは水圧のみ(地盤反力係数 $k=50\text{kN/mm}^3$)が作用している結果となった。これは、前述した土圧計および水圧計による計測値とも一致している。

3) 自重の取り扱いの検討

図-5は計測断面力と①自重を地盤ばね支持する場合(基本設定)の解析において、前述の近似ケース(地盤反力係数 $k=50\text{kN/mm}^3$ 、水圧のみ)の断面力と②底部地盤反力を考慮した場合の解析および③自重のみの解析結果(従来の慣用計算法では自重による

図-5 計測断面力と自重の取り扱いによる解析断面力の断面分布図
変形に伴う地盤反力は考慮していないことに対応させ、地盤反力係数 $k=1\text{kN/mm}^3$ と十分に小さい値に設定した。)に外荷重(水圧のみ)の解析結果を重ね合わせる方法により算定した断面力の断面分布を示したものである。②底部地盤反力を考慮した場合は①地盤ばね支持(基本設定)近似ケースの場合の約2~3倍、同様に③自重のみの解析結果に外荷重(水圧のみ)の解析結果を重ね合わせた場合は約3~4倍の曲げモーメントを算出する結果となっている。よって、現場計測結果から得られた実現象を評価できるセグメント自重の取り扱い方法については、本検討のように梁ばねモデルを使用し、地盤ばねにより支持させる解析モデルが一つの方法であると考えられる。

以上より、今回対象とした硬質な砂礫地盤中においては、現在設計時に採用されている荷重よりも実際に作用している荷重は小さく、また、セグメント自重については地盤ばねにより支持させる解析モデルを適用することによりセグメント設計の合理化が図れる可能性があることが明らかとなった。

表-2 解析に用いたパラメータ

鉛直土圧・水圧	全土被り土圧, ゆるみ土圧, 水圧のみ
水平土圧・水圧 (側方土圧係数: λ)	$\lambda = 0.35, 0.45, 0.55$
地盤反力 (地盤反力係数: k)	$k = 1, 10, 100 (\text{kN/mm}^3)$ (自重解析) $k = 10, 30, 50 (\text{kN/mm}^3)$ (安定時の解析)
セグメント継ぎ手の 回転ばね定数	$k_\theta = 6.7 \sim 323.6 (\text{MN} \cdot \text{m/Rad})$ (計算値)
リング継ぎ手の せん断ばね定数	$k_s = 1.96 \times 10^3 (\text{MN/m})$ (実験値)
セグメントの弾性係数	$32.36 (\text{kN/mm}^2)$ (設計値)

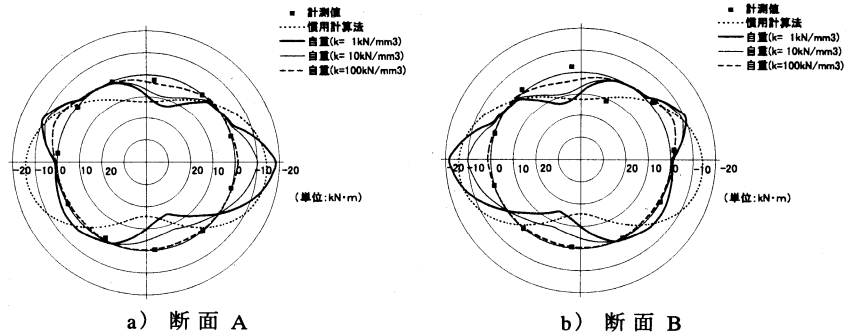


図-3 自重の影響に関する計測断面力と解析断面力の断面分布図

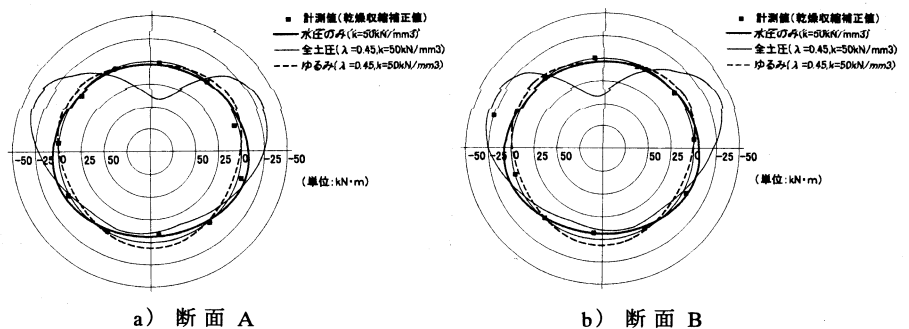


図-4 計測断面力に近似する解析断面力の断面分布図

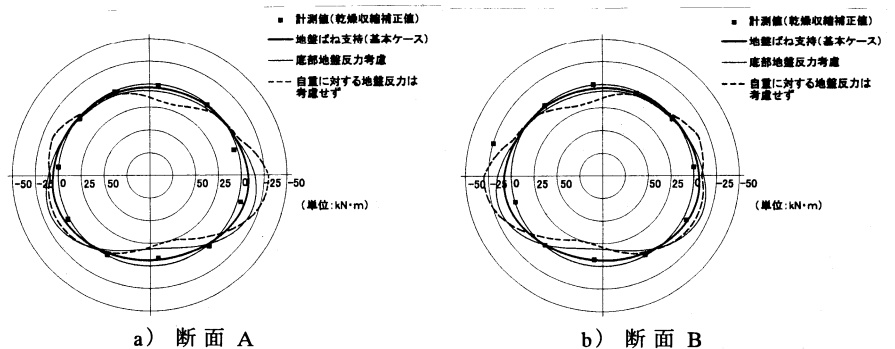


図-5 計測断面力と自重の取り扱いによる解析断面力の断面分布図