

現場計測に基づくシールドトンネルの施工時荷重の一考察

(独)土木研究所 正会員 ○石村 利明、森本 智、角湯 克典

1. はじめに

大深度下などの良好な地盤に建設されるシールドトンネルに作用する荷重は、土圧よりも水圧が卓越するため、従来の土水圧などの外力だけを対象にした設計ではセグメントが薄肉になる傾向がある。一方で、シールド掘進・セグメント組立て時にジャッキ推力や裏込め注入圧などの施工時荷重が一時的に作用することとなり、薄肉構造となった場合には、セグメントの欠け、ひび割れ等が発生する可能性が高くなるため、施工時荷重を評価した合理的なセグメント設計を行うことが必要である。しかし、これら施工時荷重の影響を考慮した設計法は確立されていないのが現状である。そこで、本稿では、現場計測結果に基づいた多リングはりばねモデルを用いた解析により施工時荷重がセグメントに発生する断面力に与える影響について検討したので結果を報告する。

2. 現場計測による施工時荷重の評価

洪積粘性土(土丹)を通過するシールドトンネルのセグメントに設置した土圧計および鉄筋応力計等から得られる現場計測結果に基づいて、計測リングのセグメント組立て時から後方10リングの掘進までを対象にセグメントに発生する断面力を時系列に整理した。分析を実施したシールドトンネルの諸元を表-1に、トンネル位置と地盤条件を図-1に示す。また、シールドと計測リングの位置関係を図-2に示すとおりである。

図-3にセグメント組立て時から後方10リング掘進までのセグメントに発生する断面力の変化を示す。図には、各リング掘進に伴ってセグメント組立て、シールド掘進前後の断面力の増分を整理し、各施工時における影響を把握した。図より、セグメントの断面力は、セグメント組立て時から徐々に増加し4~5リング掘進時で最大となり、その後ある一定値に収束する傾向を示す。また、セグメント組立て前後の断面力は、計測リング組立てよりも1~2リング後方の組立て時の変化の方が大きい。これより、新規に組み立てるセグメントは、隣接するリングの断面力に影響を与えていることが考えられる。その大きさはセグメント自重やリングの組立て精度や変形状況等に応じて発生する断面力が考えられる。掘進前後の断面力は、1~4リング程度後方のリング掘進時まで増減が見られる。図-2に示した計測セグメントとシールドとの位置関係から、325Rを基準とすると、主として1リング後方の掘進時にテール圧(テールシール反力・テールグリス圧)やジャッキ推力等が、2リング後方の掘進時に裏込め注入圧等が作用している。このことから、これらの掘進時の断面力の変化は、計測リングがテール部を通過することや裏込め注入圧が大きく影響していると考えられる。

表-1 トンネルの諸元

シールド外径(mm)	6360
シールド形式	泥水加圧式
土被りH(m)	34.4
土被り比H/D	5.5
地下水位(m)	30.3
(トンネル頂部より)	
トンネル上部の主な地質	洪積粘性土
掘削部の主な地質	洪積粘性土
セグメントの種類	平板型RCセグメント
セグメント外径D(mm)	6200
セグメント内径d(mm)	5700
セグメント厚さ(mm)	250
セグメント幅(mm)	1300
セグメント分割数	6分割
セグメントの組み方	2リング千鳥組み
継手形式(セグメント継手)	突合わせ継手
継手形式(リング継手)	ピン継手

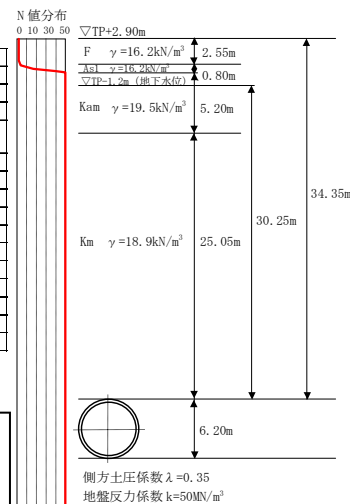
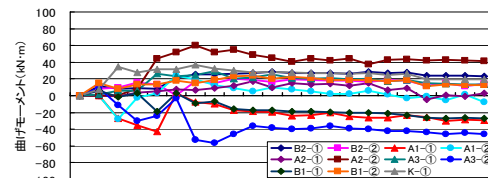
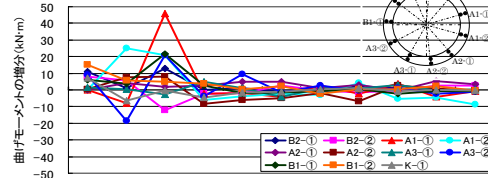


図-2 シールドと計測リングの位置関係

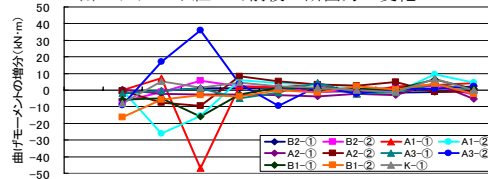
図-1 トンネル位置と地盤条件



(a)掘進に伴う断面力の変化



(b)セグメント組立て前後の断面力の変化



(c)シールド掘進前後の断面力の変化

図-3 トンネル掘進に伴う断面力の変化

キーワード シールドトンネル、現場計測、施工時荷重、はりばねモデル

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所 TEL 029-879-6791

3. マリングはりばねモデルによる施工時荷重の評価

本解析は、シールド掘進に伴ってセグメント覆工に一時的に作用する施工時荷重がセグメントに発生する断面力にどの程度の影響を与えるかを把握することを目的とした。解析モデルは、図-4に示すはりばねモデルを用いた骨組み構造モデルを基本とし、施工時荷重の影響が小さくなると考えられる10リングまでをモデル化した。検討にあたっては、図-5に示すようにセグメント自重、テール圧（テールブラシ圧、テールグリス圧）および裏込め注入圧の各施工時荷重に相当する荷重を現場計測の土圧計で得られた値を該当する解析リングに作用させるとともに、各施工時荷重を単独で作用させ、隣接するリングに発生する断面力の大きさを把握したうえで、各施工時荷重が隣接リングに与える影響を加味したセグメントの断面力について検討した。

また、各リングの地盤反力ばねの値は、セグメントの拘束状態を考慮し、表-2に示す考え方にに基づき設定した。なお、4リング目以降の地盤反力ばねは、裏込め材料の硬化過程を考慮した値を用いることとし、テールボイド部の裏込め注入材の変形係数を考慮した2次元FEM解析によって算出した値を用いた。

各施工時荷重を該当リングに載荷した場合、および施工時荷重が隣接リングに与える影響を加味した断面力の変化の一例を図-6に示す。各施工時荷重による影響は、リング継手の添接効果による曲げモーメントが伝達されることにより、断面力の大きさは異なるものの、載荷リング以外の断面力へ影響を与えており、前述の現場計測結果と同様の傾向を表していることがわかる。

次に、施工時荷重が作用する1リング、2リング、3リング、および短期的な安定時として9リングの各リングの断面力について、隣接リングに与える影響を加味した断面力等と計測値との比較を図-7に示す。これより、各リングの断面力は、全体リングに同時に荷重を載荷した場合に比べて、施工時荷重による隣接リング

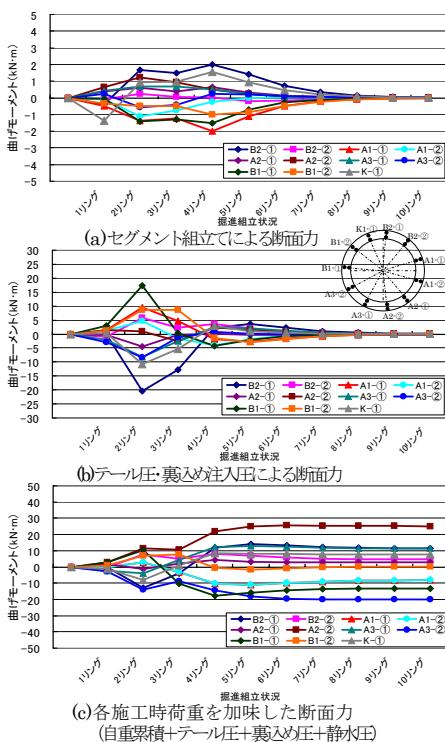


図-6 各施工時荷重による発生断面力

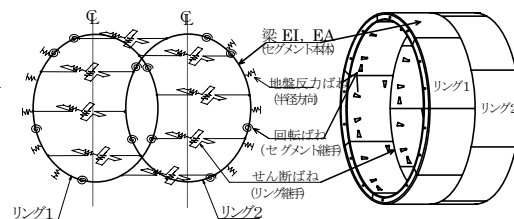


図-4 骨組み構造解析モデル

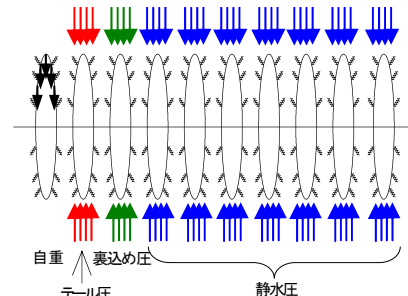


図-5 10リングはりばねモデルと載荷重

表-2 各リングの地盤反力ばね値の設定

着目 リング	施工時荷 重	地盤反力 (ばね 値) (MN/m)	状態・地盤反力係数の設定の考え方
1リング 目	自重・組立	0	シールドテール内にある。基本的な隣接セグメントのリング継手による拘束、推進ジャッキによる拘束等が考えられるが、前者はリング継手母で評価されていると考えられるので、地盤反力は考えない。
2リング 目	テール圧	5	シールドテール内にある。テールブラシ、テールグリス田より拘束されている。これまでの実験結果を参考に、5MN/mを設定する。
3リング 目	裏込め注 入圧	0	シールドテールを抜けて、地盤側へ出た状態。裏込め注入材を所定の圧力で注入した状態。裏込め注入材は注入後1時間程度内であり、まだ硬化していないため地盤反力は考えない。
4リング 目～ 10リング 目	静水圧	75～108 の範囲で 変化	地盤側へ出た状態。トンネル周辺は裏込め材料を介して地盤反力を伝達する。各リングともに、注入後の時間に応じた裏込め注入材の強度が異なるため、裏込め注入材の硬化程度を考慮した地盤反力ばねの設定を行う。

に与える影響を加味した断面力のほうが、最大を示す一部の箇所では整合していないものの、全体的な分布形状は近似していることがわかる。以上より、各リングに発生する断面力の評価を行う場合には、隣接リング相互の影響を考慮することが必要であることがわかった。

4. まとめと今後の課題

各リングに発生する断面力は、各施工時荷重による隣接リング相互の影響を加味した評価を行うことが必要であることがわかった。今後は、地盤反力ばねの影響、隣接リング相互の断面力をどのように加味するか

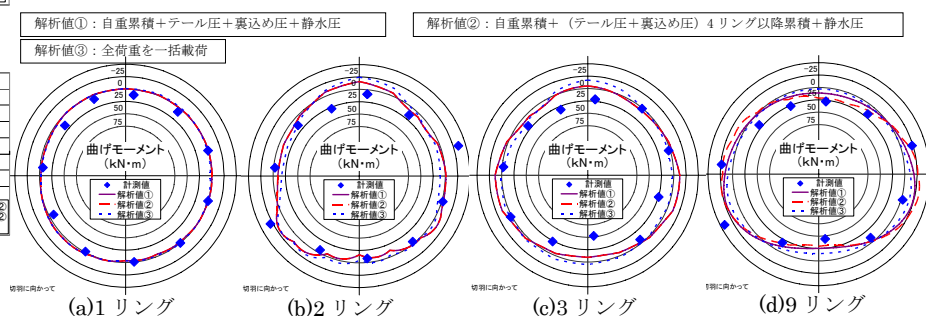


図-7 各リングに発生する断面力の比較