

# 鉄道シールドトンネルにおけるセグメント設計用回転ばね定数の評価に関する一考察

長岡技術科学大学 学生員 ○大都 亮, 正会員 杉本光隆  
 日本シビックコンサルタント株式会社 正会員 小林靖典, 正会員 団 昭博, 正会員 斉藤正幸

## 1. はじめに

大都市部では、社会基盤整備の一環として大都市と地方都市を結ぶ通勤路線が計画され、現在も整備が進められている。しかし、大都市部では既設構造物が輻輳しているために大規模開削による築造が阻害され、現在では、シールド工法により建設されることが一般的となっている。鉄道シールドトンネルにおけるセグメントの設計手法は、これまでに蓄積された現場計測結果を反映し、梁ばねモデルを基本として標準化が図られ<sup>1)</sup>、現在では、この設計手法に拠り行われている。この設計手法では、継手の回転ばね定数の算定に軸力の影響を考慮している。

一方、これまでに実施された現場計測事例<sup>2)</sup>をみると、セグメントの作用荷重のうち水圧に関しては設計値と同程度であるのに対し、土圧に関しては、自立性の高い地盤になるほど設計値と比較して大幅に小さな値が得られる傾向にあることが報告されている。

これらのことから、本報告は、鉄道シールドセグメントの標準的な構造解析手法である、梁ばねモデルに用いるセグメント継手回転ばね定数に注目し、試解析を踏まえてその評価方法について考察を加えたものである。

## 2. 解析条件

### (1)解析条件

鉄道シールドセグメントの設計手法に関する文献<sup>3)</sup>に準拠して、図1に示す2種類の断面に対して表1に示すトンネル規模を用いて検討を行うこととした。なお、解析手法としては、セグメント継手およびリング継手を表現できる2リング梁ばねモデルを、また、トンネルと地盤の相互作用については全周ばねモデルを採用した。

### (2)解析ケース

セグメント継手の回転ばね定数 $k_{\theta}$ の算定方法は、通常、設計土圧および水圧から軸力を概略で算定し、これとセグメント継手構造から算出している。しかし、既往の現場計測事例<sup>2)</sup>を考慮して、セグメント作用土圧が設計土圧より過小に評価することによる解析結果に与える影響を把握するために、回転ばね定数の算定に用いる設計土圧の有効率を $\alpha$ と定義して表2に示すとおり解析ケースを設定した。なお、構造解析に用いる土圧については、各ケースともに設計土圧を用いている。

表1 セグメント構造緒元<sup>3)</sup>

トンネル規模	単線	複線
分割数	6+k	10+k
セグメント外径(mm)	6,900	10,000
セグメント厚さ(mm)	250	400
セグメント幅(mm)	1,000	1,000

表2 解析ケース

トンネル規模	検討地盤	$k_{\theta}$ 算定時の設計鉛直土圧有効率 $\alpha$ (%)
単線	互層	0,25,50,75,100
	砂質	0,25,50,75,100
複線	互層	0,25,50,75,100
	砂質	0,25,50,75,100

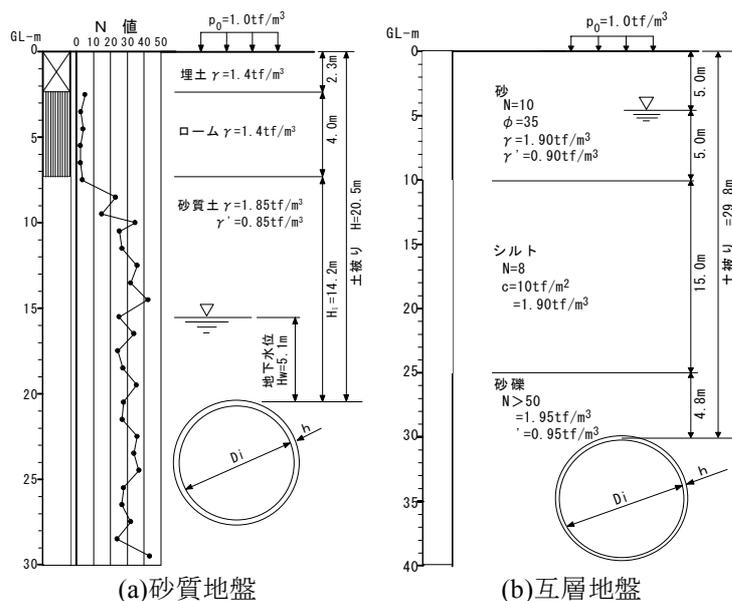


図1 検討断面<sup>3)</sup>

keywords : 鉄道シールドトンネル, セグメント, 設計, 梁ばねモデル, 回転ばね定数

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 長岡技術科学大学 環境・建設系 TEL 0258-46-6000 FAX 0258-47-9600

3. 結果および考察

(1)土圧の評価が回転ばね定数に与える影響

回転ばね定数  $k_{\theta}$  算定時の設計土圧有効率  $\alpha$  と回転ばね定数比  $\beta$ （設計土圧により算定した  $k_{\theta-d}$  と  $\alpha$  を考慮した場合の  $k_{\theta}$  との比）の関係を図2に示す。

これより、単線および複線断面ともに、 $\alpha$ の減少にともなって回転ばね定数比も減少する傾向を示し、その減少量は互層地盤で25%程度、砂質地盤で40%程度と砂質地盤の方が影響を受けていることがわかる。これは、図1をみてもわかるように砂質地盤と互層地盤で地下水位が大きく異なるため、設計荷重に占める水圧の割合が異なることによる影響と考えられる。

このことから、実施工における作用荷重が設計土圧を下回った場合には、セグメント継手回転ばね定数は設計値ほど期待できないことになるため、設計において継手曲げ剛性を過大に評価していることになると考えられる。

(2)土圧の評価が曲げモーメントに与える影響

回転ばね定数  $k_{\theta}$  算定時の設計土圧有効率  $\alpha$  と最大曲げモーメント比  $M_{max}/M_{max-d}$ （設計土圧により算定した  $M_{max-d}$  と  $\alpha$  を考慮した場合の  $M_{max}$  との比）の関係を図3に示す。

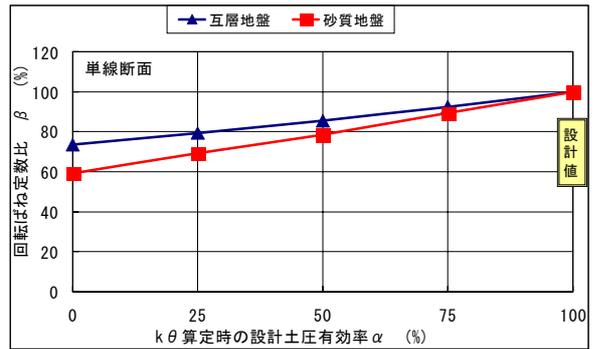
これより、単線および複線断面ともに  $\alpha$ の減少にともなって  $M_{max}/M_{max-d}$  は増加する傾向を示しているが、その増加量は互層地盤で正曲げおよび負曲げともに3%程度、砂質土で5~7%程度となっており、いずれも砂質地盤のほうが増加の割合は顕著である。この理由として、本検討では土と水を分離して設計荷重を評価しているが、先述のとおり砂質地盤に比べて互層地盤では高地下水位の条件であるため、軸力の卓越する状態となっているのに対し、砂質地盤では低水位の条件であるため曲げモーメントの卓越する条件となっていることに起因しているものと考えられる。

4. まとめ

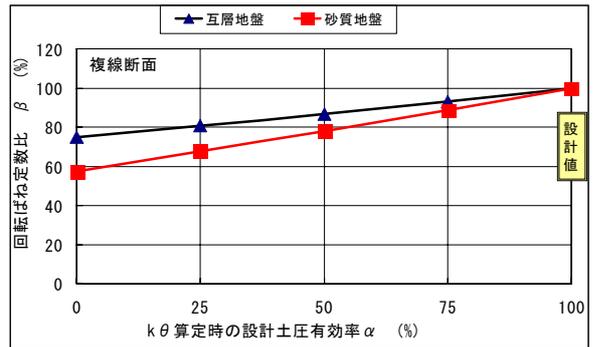
既往の計測事例を踏まえ、本検討ではこの作用土圧の評価が曲げモーメントに及ぼす影響を定量的に把握する試みを行った。この結果、回転ばね定数の算定に用いる土圧を設計土圧より小さく評価することによって、曲げモーメントは増加し、特に低水位条件ではその影響が顕著であることがわかった。このことから、地盤強度の高い条件で鉄道シールドセグメントの設計を実施する場合には、特に低水位条件において回転ばねの算定に用いる土圧の扱いを設計値よりも小さく評価するといった注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル, 鉄道総合技術研究所, 1997. 7.
- 2) 例えば, 藤井, 真下, 石村: 砂礫地盤中のシールドトンネルの作用荷重, トンネル工学研究論文・報告集第10巻, 2000. 11.
- 3) シールドトンネル設計標準に関する手引き, 鉄道総合技術研究所, 2001. 3.

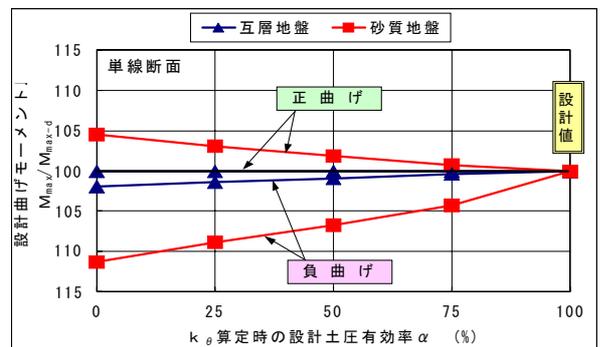


(a)単線断面

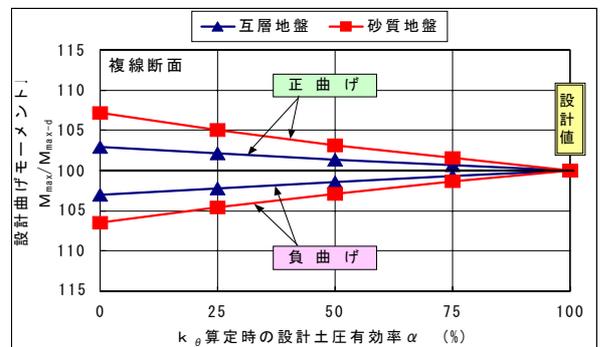


(b)複線断面

図2  $k_{\theta}$ 算定時の設計土圧有効率と回転ばね定数比の関係



(a)単線断面



(b)複線断面

図3  $k_{\theta}$ 算定時の設計土圧有効率と最大曲げモーメント比の関係