

III-293 トンネル周辺地山の拘束効果を考慮したシールドトンネルの縦断方向の検討について

日本鉄道建設公団 ○正会員 内海稔郎

関西国際空港(株) 正会員 堀地紀行

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 水谷 進

1. はじめに

急速な都市開発の進む地域に建設されるシールドトンネルにおいては、トンネル、開削構造物といった重要構造物との近接施工をよきなくされる。このような場合のシールドトンネルの設計においては、横断面方向のみならず縦断方向の偏圧による影響についても考慮を必要とする。縦断方向の検討は、シールドトンネルを剛性一様なはりとした弾性床上的のはりモデルにより行うのが一般的であるが、その際、縦断方向の剛性率の評価に問題が残される。この点については、すでにいくつかの実験報告ならびに解析手法の提案が行われている。本報告は、こうした一連の研究成果をふまえ、地山による抵抗要素として軸直角方向の地盤バネの他にトンネル外周の拘束効果を地山のせん断抵抗による回転バネとして評価したモデルを提示し、あわせて数値計算を行ったので、その結果について報告したい。

2. 解析モデル

トンネル外周に地山のせん断抵抗として地盤バネを設け、以下の方法によりトンネルの曲げ変形を拘束する回転バネとして、弾性床上的のはりモデルに組み入れた。

図-1に示すようにトンネルの回転に伴う外周のせん断バネによる拘束モーメントは、セグメント幅を ℓ として、中空円形断面のはりにおいて中立軸の位置を近似的に図心軸と一致させると仮定すれば、

拘束モーメント M_s は、

$$M_s = 2 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \tau_x \cdot r \cdot d\beta \cdot y \cdot \ell \quad (1)$$

ここに、 $\tau_x = k_s \cdot \delta_x = k_s \cdot \theta \cdot r \sin \beta$

これより、

$$M_s = \pi \cdot k_s \cdot \theta \cdot r^3 \cdot \ell \quad (2)$$

ここで回転バネ定数 K_θ は、

$$K_\theta = \frac{M_s}{\theta} = \pi \cdot k_s \cdot r^3 \cdot \ell \quad (3)$$

図-2には、(3)式で与えられる回転バネを軸直角方向バネと共に弾性床上的のはりに組み入れたモデルを示す。なお、シールドトンネルの等価曲げ剛性 $(EI)_{eq}$ は、

$(EI)_{eq} = \alpha \cdot (EI)$ 、ここに、 α ：等価剛性率

EI ：セグメント高を肉厚とした中空円形断面の曲げ剛性として考える。

3. 計算例と結果

i) 計算条件

シールドトンネルの軸直角方向より、集中荷重($P=1000t$)が作用した場合について等価剛性率を変数として、トンネルの応力、変形を計算した。なお、地盤バネは、洪積地盤を想定し、次の値とした。

軸直角方向地盤反力係数 $k_n=5.0\text{kg/cm}^2$

3) せん断地盤反力係数 $k_s=\frac{1}{5}k_n=2.0\text{kg/cm}^2$

また、トンネル外径 D およびセグメント高 t は、

① $D=12.66\text{m}$, $t=0.55\text{m}$ (鉄道複線断面) ② $D=8.00\text{m}$, $t=0.35\text{m}$, (鉄道単線断面) ③ $D=4.50\text{m}$, $t=0.20\text{m}$ (電力・通信)の3ケースとし、いずれもRC平板型セグメント、2次覆工なしとした。

ii) 計算結果

図-3、図-4より、 $D=8.00\text{m}$ の回転バネの挿入効果としては、変位量・曲げモーメントともに7%程

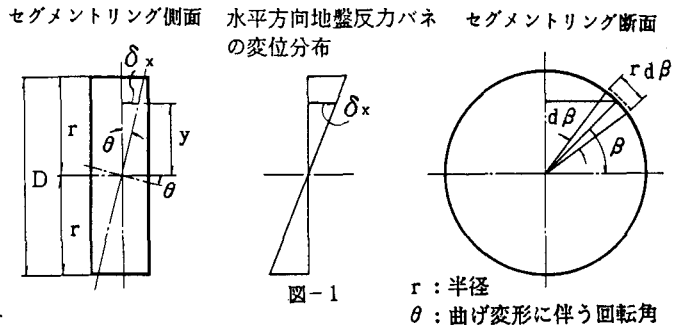


図-1

r : 半径
 θ : 曲げ変形に伴う回転角

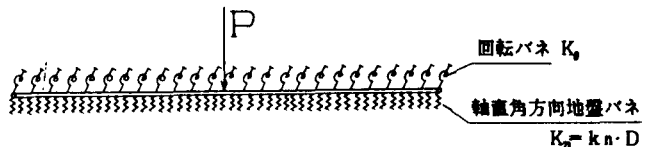


図-2

度減少すると算出されたが、いま、図-3で同一変位量 $\delta_{\max}=1.5\text{mm}$ の場合に注目すると、回転バネありでは、等価剛性率 α が0.165 となり、回転バネなしでは、 $\alpha=0.220$ として与えられる。つまり、地山の拘束によって変位が小さくなり、見かけ上曲げ剛性率が増加したことになる。さらに図-4より縦断方向の曲げモーメントについては、回転バネありで1790 t・m、なしの場合では、2075 t・m となり、曲げモーメントにおいて16%程度の増分をもって算出される。ここで、地中内においてトンネルの変位が抑制されたことにより、トンネルの剛性が大きくなったと評価することは、トンネル縦断方向の応力を過大に算定し、結果的に不経済な設計を行う可能性が生じる。図-5の回転バネありの等価剛性率 α_A と回転バネなしの等価剛性率 α_B との関係は、 $D=12.66\text{m}$ における $\alpha_A=0.20$ に対して α_B は、0.30 となり、同様に $D=8.00\text{m}$ については、 $\alpha_B=0.26$ 、 $D=4.50\text{m}$ においては、 $\alpha_B=0.25$ となり、外径の増大とともにより一層顕著なものとして現れる。

4. まとめ

シールドトンネルの縦断方向の検討においては、シールドトンネルを剛性一様な弾性床土のはりとして取り扱うが、こうした場合の等価剛性率の算定手法は、あくまで明り組みされたシールドトンネルの力学条件より求められる。実際の設計検討にあたっては、こうして求められた等価剛性率を地山拘束を考慮して剛性率の割増しを行うケースと、明り組みの剛性率をそのまま適用するといったケースが見うけられる。剛性率の割増しを行った場合、変位量は抑制されるが、大きな断面力が発生する。一方、明り組みの剛性率をそのまま適用した場合には、変位量に問題を生じるといった結果にしばしば遭遇する。本報告では、硬質地盤を対象に等価剛性率としては、明り組みの剛性率を用い、周辺地山の拘束効果を回転バネとして評価した結果、周辺地山の拘束による変位量の低下と断面力の減少を表現できた。

今後は、計測を予定している実際のトンネルとの対応を計り、検討をさらに進めたいと考えている。

最後に、適切な助言をいただいたパシフィックコンサルタンツ(株)の中村兵次氏に謝意を表します。

(参考文献)

- 1) シールドトンネル縦断方向の現場載荷試験とその考察
西野健三、吉田和夫、小泉 淳（土木学会論文誌No.376）
- 2) シールドトンネルの耐震解析手法に関する提案
志波由紀夫 他（第41回年講I 533）
- 3) 建造物設計標準解説（昭61年3月、日本国有鉄道）
基礎構造物・抗土圧構造物

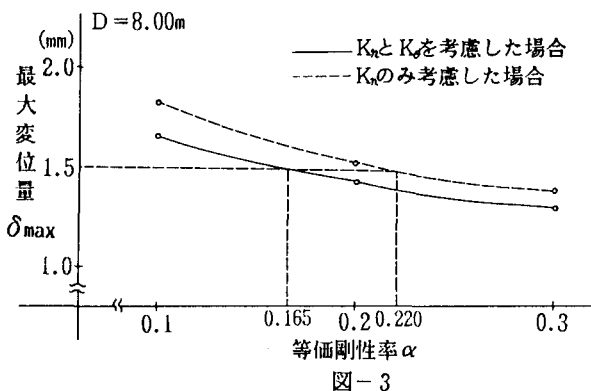


図-3

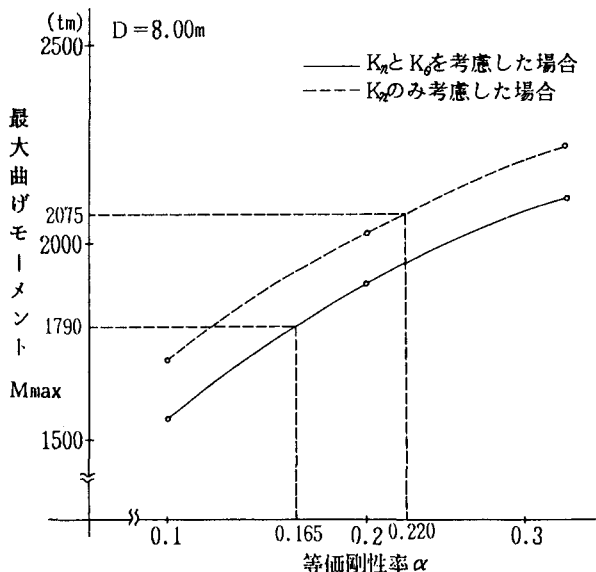


図-4

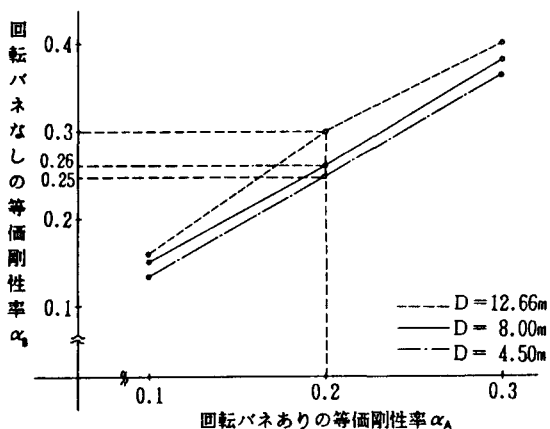


図-5