

国鉄・構造物設計事務所 正会員 山崎幹男
 〃 東京第一工務局 〃 山口良雄
 〃 構造物設計事務所 〃 河田博之

まえがき

セグメントの設計法について現在までに研究が進められてきた経緯を調べると、論点が概ね次の二点に絞られる。第一に、設計荷重及び地盤の反力の設定をいかにするか、第二に、プレハブ覆工であるセグメントの継手を構造力学上、どのようにモデル化しうるかという二点である。この二つの要素は、個々の設計法ではそれぞれ適当に結合して適用されている。そこで今回、それ等の設計法の相対的位置関係を知るため、以下に示すように、国内における設計法、例えば土木学会編のトンネル標準示方書「シールド編」及び国鉄における「シールドトンネルの設計施工指針(案)」等と諸外国における設計法を先ず紹介し、しかるのちに具体的な荷重条件(鉛直土圧は同一とした)のもとに、10種の設計法について断面力の比較検討を行い、考察を試みた次第である。

1. 各種設計法の紹介

表-1及び図-1は、各種設計法の概要を示したものである。諸外国における設計法については、文献から整理したが、必ずしも細部にわたって明確な記述がなく、中でも自重や地盤の反力、等の取扱い及び解析手法について不明確な点が多い。したがって、多少、筆者等の判断による査定が入っている。(参考文献参照)

表-1

項 各種設計法	リング構造	地盤の反力		
		水平 方向	半径 方向	鉛直 方向
① Varga法	完全 剛性 一様 リング	○		
② Schulze-D法			○	
③ Morgan法			○	
④ Bodrov法			○	
⑤ 慣用計算法		○		
⑥ 国鉄指針(案)法	剛性一様リング (θ と α を考慮)	○		
⑦ 山本(1)法	多ヒンジリング		○	
⑧ ソ連邦法				○
⑨ 山本(2)法	弾性ヒンジ部有リング (θ と α を考慮)	○		
⑩ 新しい設計法	回転バネとせん断 バネを有するリング	○		

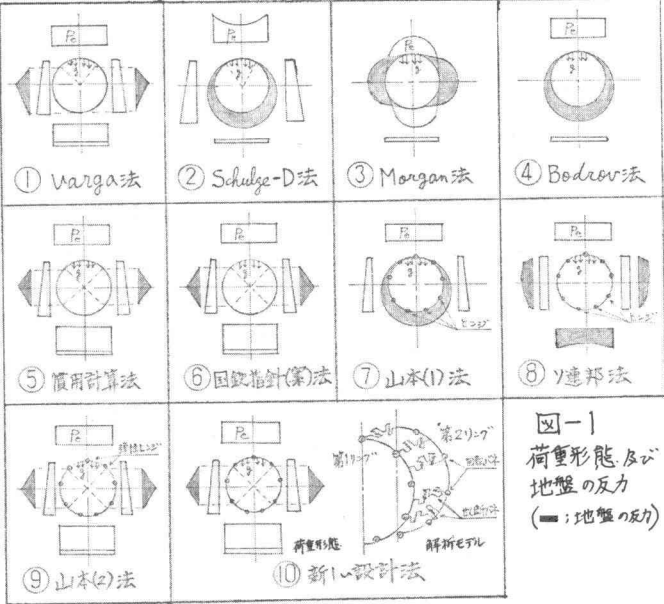


図-1
荷重形態、及び
地盤の反力
(=; 地盤の反力)

2. 比較を行うための設計条件

(1)セグメント---複線鉄道用平板形RCセグメント(ピン・ホゾ継手)
 10分割(Kセグメント中心角約4°), リング継手(ピン)ピッチ10°,
 セグメントリング軸心半径 $R_c=5.75m$, セグメント厚 $h=50cm$
 セグメント幅 $B=1.0m$, 鉄筋コンクリートの単位体積重量 $\gamma_c=2.5t/m^3$
 コンクリートのヤング係数 $E_c=3.5 \times 10^6 t/m^2$
 (図-2, 表-2, 表-3 参照)

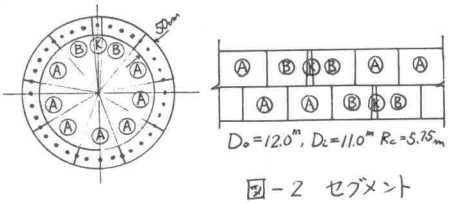


図-2 セグメント

表-2 セグメント

セグメント モダル条件	沈積層用 セグメント	沖積層用 セグメント	記 事
曲げ剛性の有効率 η	1.0	1.0	①～⑤ 法に適用
曲げモーメントの割増し 率 ζ	0.2	0.5	⑥ 法に適用 沈積層用と沖積 層用で継手 形式が異なる
曲げモーメントの割増し 率 ζ	0.6	0.5	⑥、⑨ 法に適用
回転バネ定数 k_r	0	0	①～⑤ 法に適用
回転バネ定数 k_r^*	4000 cm/rad	10000 cm/rad	⑨ 法に適用 (弾性ヒンジ定数)
せん断バネ定数 k_{sN}	1600 cm/rad	5000 cm/rad	⑩ 法に適用 ($k_{sN} = \frac{k_r}{\zeta}$ より算出)
せん断バネ定数 k_{sN}	$k_{sN} = 10^9 \text{ g/cm}$	$k_{sN} = 10^8 \text{ g/cm}$	⑩ 法に適用 k_{sN} : 橋梁方向 k_{sN} : 半径方向

表-3 荷重条件

荷重条件	沈積層	沖積層	記 事
鉛直土圧	30 $\frac{t}{m^2}$	30 $\frac{t}{m^2}$	すべてに適用 (土圧込み)
側方土圧係数	0.5	0.7	①、②、③、④、⑨ 法に適用
水平地盤係数	3000 $\frac{t}{m^2}$	0 $\frac{t}{m^2}$ 100 $\frac{t}{m^2}$	⑤、⑥、⑦、⑧、⑩ 法に適用 ②、③、④、⑨ 法に適用
土の変形係数	8000 $\frac{t}{m^2}$	300 $\frac{t}{m^2}$	① 法に適用
土の単位体積重量	2.0 $\frac{t}{m^3}$	1.6 $\frac{t}{m^3}$	すべてに適用

3. 計算結果と考察 (図-3, 図-4 参照)

① 計算法によって、設計曲げモーメントに大きな差があり、特殊な地盤の反力のみを仮定する Bodrov 法では、大きな曲げモーメントが算出され、セグメントリングを多ヒンジリングと仮定する計算法では、曲げモーメントがほとんど算出されず、軸力のみを受ける構造物となる。② 慣用計算法や国鉄指針 (案) 法 (ζ と η を考慮) は、上記の中間的な値を与える。③ 一般には、沖積層におけるモーメントの方が大きく算出されるが、中には逆の傾向を示すものもある。④ 回転バネとせん断バネを有するリングとしての設計法 (久保・結城の方法を発展させたもので、リング継手をせん断バネと評価した) は、剛性一様リングから多ヒンジリングまで評価でき、かつ他の方法では算定できないリング継手の応力を計算することができる。

あとがき

以上、各種設計法の比較を試みた結果の概要である。側方土圧係数や水平地盤係数などの設計に左右する土の重要な諸数値について、諸外国の計算法には、具体的な記述がないので国内での計算法に準じて査定した。算定された設計値は、多ヒンジリング法から Bodrov 法まで大きな相違を示している。どの計算法が合理的かは一概にいえないが、セグメント継手とリング継手をバネで評価しうる設計法は、セグメントの実情を説明するには好都合である。

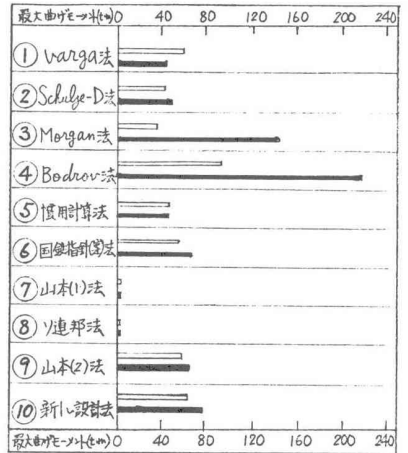


図-3 最大曲げモーメント (正) □ 沈積層 ■ 沖積層

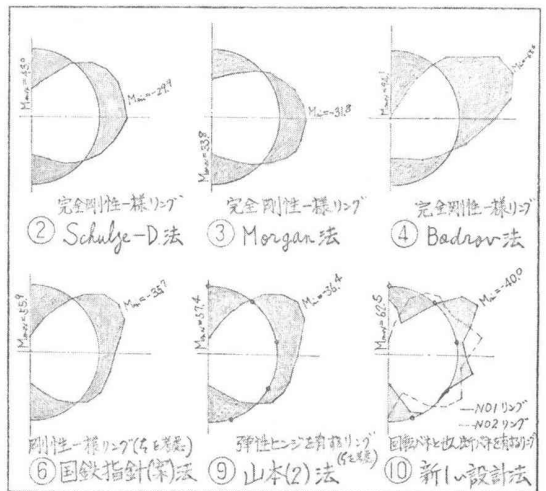


図-4 曲げモーメント (沈積層)

参考文献

- 1) 山本他; セグメントの設計について, 第3回トンネルシンポジウム, 1966年
- 2) 島田隆夫; トンネル工学, 鹿島出版会
- 3) Heing Schulze und Heing Duddack; Spannungen in schillvorgetriebenen Tunneln, Beton und Stahlbetonbau, August 1964年
- 4) Rolf Windel; Spannungstheorie zweiter Ordnung für den teilweise gefüllten Kreisring, Die Bautechnik 8/1966
- 5) H.D.Morgan; A contribution to the Analysis of Stress in a Circular Tunnel, Geotechnique, 1966年
- 6) 山本他; 多ヒンジ系セグメントリングの設計計算法, 土木学会論文集オ150
- 7) 山本・久保田; 弾性ヒンジセグメントの計算例と応用, トンネルと地下, 1976年
- 8) 久保・結城; ミニロードセグメントの応力に対する継手剛性の影響, 土木学会論文集 NA150, 1968年