

I-12 セグメントリングの耐荷機構について

早稲田大学 理工部 正員 村上博智
早稲田大学 大学院 〇学生員 小泉 淳
早稲田大学 大学院 学生員 会田 暁生

1 まえがき

土木学会と下水道協会の協力のもとで、昨年11月シールド工専用標準セグメントが制定された。しかし、セグメントリングの耐荷機構については、まだ明確であるとはいえない。筆者らは制定された標準セグメントの一例を用いて、剛性一様リングを考えたいわゆる慣用設計法による断面力・変形と、以下に述べるような筆者らの方法⁽¹⁾によるそれとの比較を行い、その結果を考察した。

2. 構造系・荷重系のモデル化

- セグメントリングはトンネル横断面内において、曲げ剛性一様なセグメントが曲げモーメントに対する回転バネ⁽²⁾によって継がれて構成されていると考える。
- 上記セグメントリングを、回転バネをもつ円弧骨組部材で構成されるリングにモデル化する。
- セグメントリングとトンネル周辺の地盤との連成作用は、トンネル断面の半径方向及び接線方向に対して半径方向変位が地盤に向う区間のみ、Winklerの仮定が成り立つものと考えて、これを構造系の変位として評価する。
- 変形は弾性微小変形とする。

3. 解析方法

解析はマトリックス法を用いる。解析に用いる構造系・荷重系の大概は図Ⅰに示す。セグメントの自重による変形に対しては、抵抗土圧を期待するのには無理があるので、数値計算は下記のように2つの場合に分けて行い、合成することによって所定の断面力・変形を求める。

STEP 1 自重以外の荷重による断面力・変形 任意節点での地盤反力係数 $k_u = k_v = k$

STEP 2 自重による断面力・変形 任意節点での地盤反力係数 $k_u = k_v = 0$

解析は半径方向及び接線方向のバネのない状態よりスタートし、それらのバネの存在位置が確定するまで繰り返す。又、回転バネ定数 k_θ 、及び地盤反力係数 $k_u = k_v = k$ は、実情に応じて以下のように変化させる。

$$k_\theta = 10^0, 10^3, 10^5, 5 \times 10^5, 10^6, 5 \times 10^6, 10^7, 5 \times 10^7, 10^9, \infty \quad [\text{kg} \cdot \text{cm} / \text{rad}]$$

$$k = 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 \quad [\text{kg} / \text{cm}^3]$$

尚、解析に用いたセグメントは、シールド工専用標準スチールセグメント、No. 57 (外径 3.80 m)、又、地盤条件は粘性土、土被り比 $H/D_0 = 3.0$ 、側方土圧係数 $\lambda = 0.7$ である。

計算は東大大型計算機センターの HITAC 8800 によった。

4. 解析結果及び考察

解析結果は、図Ⅱ～図Ⅴに示すとうりである。

- 剛性一様リング ($k_\theta = \infty$) の場合、慣用計算法による曲げモーメント分布と異なる曲げモーメント分布となるが、最大曲げモーメント及びその位置での軸力は、ほぼ同じものとなっている。(図Ⅲ-イ・図Ⅲ-イ)
- 回転バネ定数が大きくなると (剛性一様リング状態に近づく) 曲げモーメントは大きくなり、変形は逆に小さくなる。このことは想像される通りであるが、現実使用されているセグメントの継手の回転バネ定数は $10^6 \sim 10^7 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{rad}$ 程度と考えられるので、地盤によっては従来行なわれているような応力の検討の

他に、変形に対する検討もなされなければならないと考えられる。(図 IV-1・図 V)

iii) 地盤反力係数が比較的大きい場合には、断面力・変形に及ぼす継手剛性の影響はあまり顕著ではない。一方地盤反力係数が比較的小さい場合には、継手剛性が小さいと大きな変形が生じ、変形の面からの規制が考慮されねばならないように考えられる。従ってシールドトンネルを構築する地盤が良い場合にはヒンジ系リングを、又悪い時には継手剛性の高いリングをそれぞれ設計することが合理的であるように考えられる。(図 IV-1)

図 IV-1)

iv) 現実に使用されているセグメント継手の回転バネ定数は、前述の如く $10^6 \sim 10^7 \text{ kg/cm}^2$ 程度と想像されるので、現在行なわれている剛性一様リングとしての設計法は、強度的にみて、充分な安全性をもっているようである。(図 V)

v) 地盤条件の悪い場合に、ヒンジ系リングに近くなると変形が大きくなるばかりでなく、その変形が主として継手自身の回転によるので、リングが不安定な状態に近づく可能性があるようである。(図 II-1, 図 II-2)

5. あとがき

今回は標準化されたセグメントの一例について検討を行ったわけであるが、これによって傾向的には上に述べたような結果が得られた。しかしここではトンネル断面方向のみに注目したので、リングを千鳥組する場合にはトンネル軸方向の剛性も考慮する必要がある。一方、継手構造と継手回転バネ定数との関係を数量的に評価する必要があり、これらは今後の課題として検討中である。

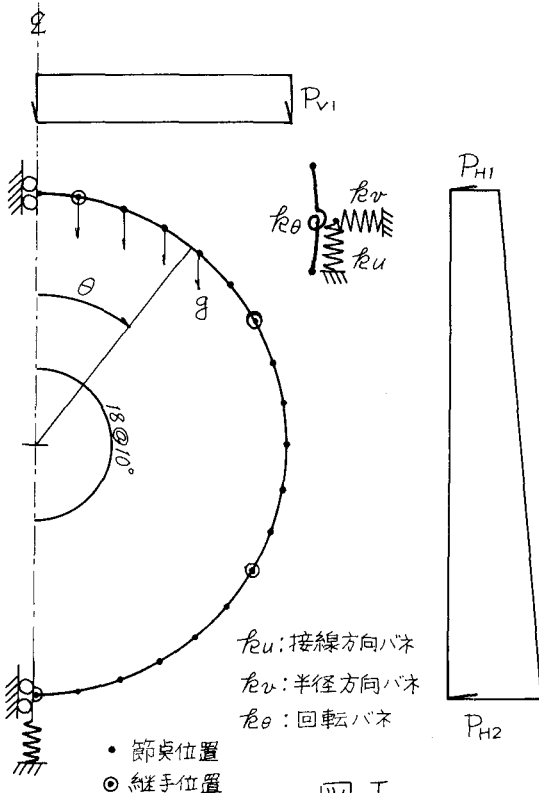
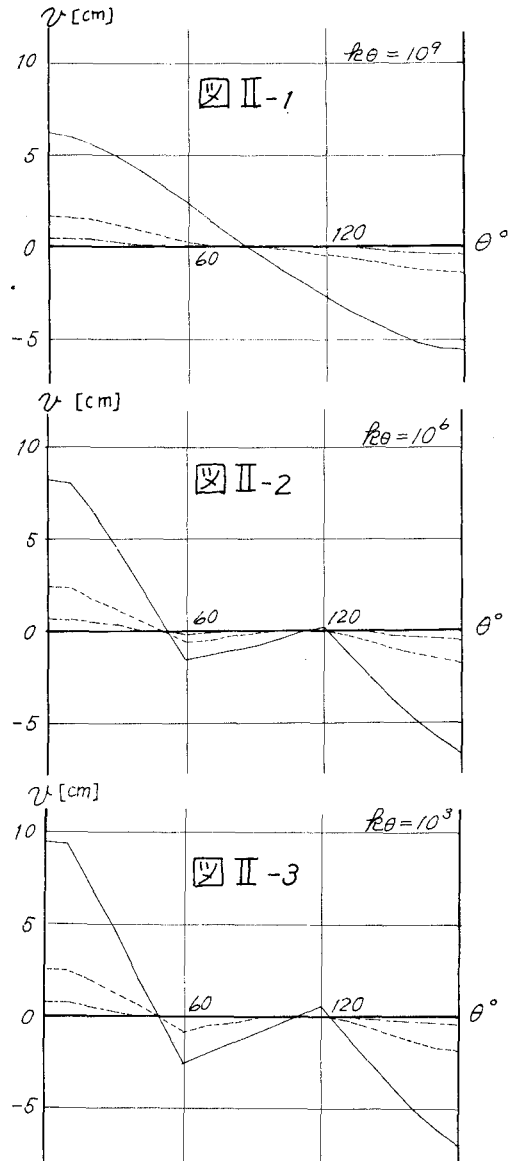
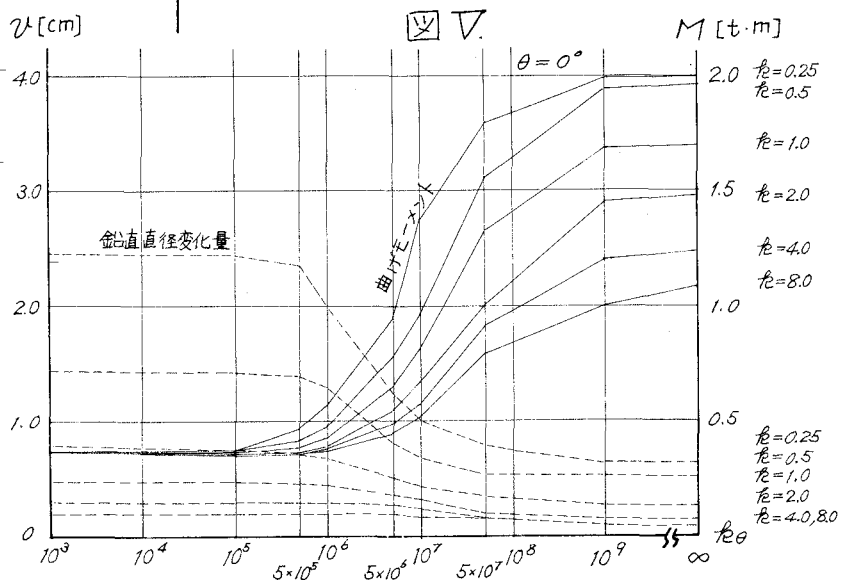
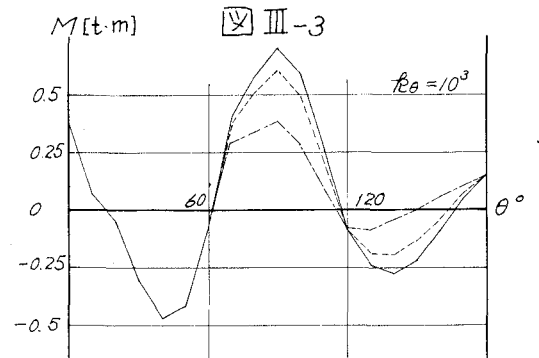
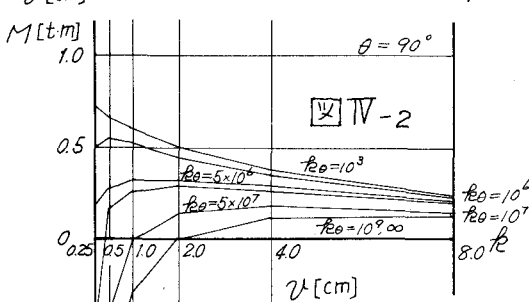
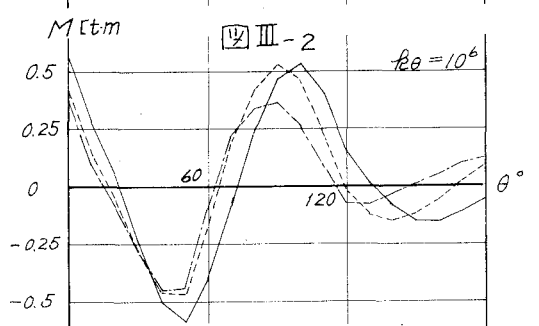
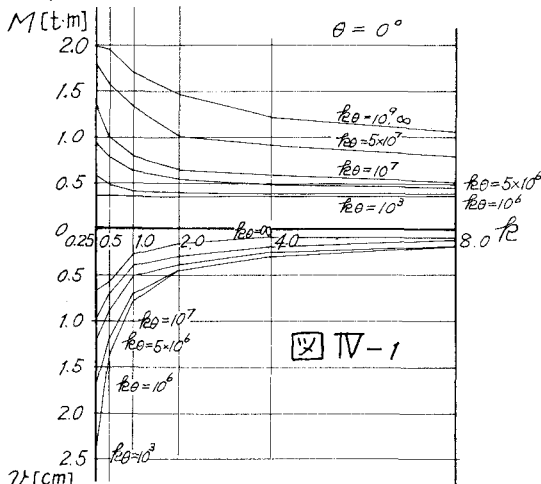
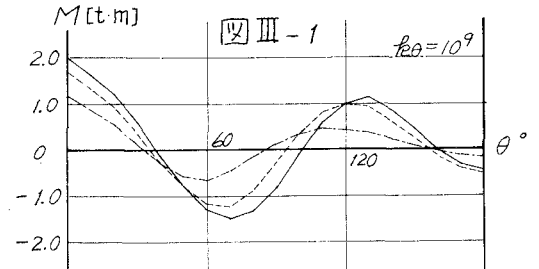
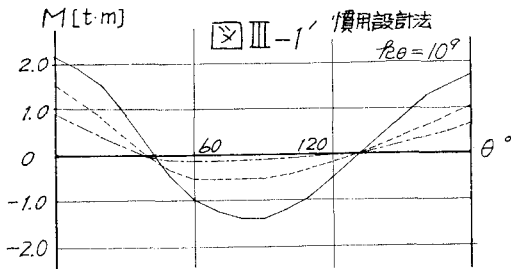


図 I





注
(1) 詳細は、「セグメントリングの面荷機構について」第28回学術講演会 I-83
「同上」第29回学術講演会 I-83
(2) 回転バネ定数は、それを無限大とすることにより剛性一様リング状態を、 ∞ に近づけることによりヒンジ系リングを評価できる。詳細は、注(1)を参照