

明星大学 土木工学科・正○ 孤島 法夫
〃 〃 正 安井 利文

まえがき： 限られた国土を有効に利用するため条件の悪い地山に大断面トンネルを掘削する施工例は今後ますます増大し、大きな耐力を有するトンネル支保工が要求されるようになるであろう。現在、大荷重用トンネル支保工としては中詰めモルタル鋼パイプ支保工を用いているが、狭いトンネル現場での使用を考慮し数ピースの単位部材をフランジ部のボルトにより接合し組み立てた構造として使用している。この方法を積極的に取り入れさらに軽く強度の大きな単位部材を多数ボルト接合した多部材型トンネル支保工が提案された。多部材型トンネル支保工の場合にはボルト継手の存在が構造に如何なる影響を及ぼすかは、シールドトンネルにおける多部材型セグメントの挙動から類推するのみであり、その詳細は不明といわねばならない。多部材型トンネル支保工の継手が支保工変形および応力分布等に及ぼす影響を調査するため、トンネル支保工に通常作用すると考えられる代表的な荷重を選定し、これによる載荷試験が行われた。

本報告は各荷重を受ける多部材型トンネル支保工の弾性範囲内応力と変形をマトリックス構造解析により求めまとめたものであり、多部材型トンネル支保工の載荷試験に先立ち予備的な資料と与えることができた。

計算方法： ボルト接合により組み立てた多部材型円形トンネル支保工が各荷重を受ける場合についてマトリックス構造解析法による数値計算を行なった。支保工のボルト継手は曲げに抵抗できるが一般的に剛継手とはいえない難く、多少のヒンジ性は避けられない。継手にヒンジ性も考慮して構造解析を行なうため、多部材型円形支保工の継手を曲げに抵抗できる弾性ヒンジで置き換えた。この場合、継手部に曲げモーメントが作用すれば軸力の如何にかかわらず一定な曲げにヒンジ定数に従って部材は剛体的に回転するため変形の状態は実際の継手と多少異なるが、部材力の計算には大きな問題がないと考えた。例として両端に弾性ヒンジと有する真直な棒(図-1)の剛性マトリックスを式(1)に示す。また多部材型円形支保工の構造解析モデルの一部を図-2に示す。

(断面積 $A = 57.0 \text{ cm}^2$
弾性ヒンジ定数 $k = 574.9 \text{ t-m/rad}$
断面2次モーメント $I = 2189.4 \text{ cm}^4$
ヤング率 $E = 1600000 \text{ kg/cm}^2$)

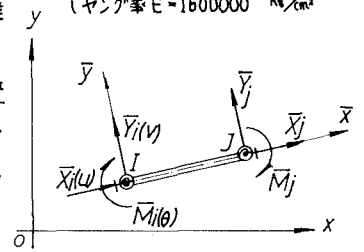


図-1

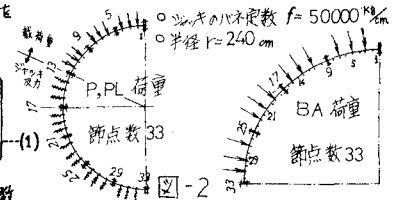


図-2

$$(K) = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{pmatrix}, (K_{11}) = \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{a}{ac-b} & \frac{-b}{ac-b} \\ 0 & \frac{-b}{ac-b} & \frac{c}{ac-b} \end{pmatrix}, (K_{12}) = \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-a}{ac-b} & \frac{b}{ac-b} \\ 0 & \frac{b}{ac-b} & \frac{-c}{ac-b} \end{pmatrix}, (K_{21}) = \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{a}{ac-b} & \frac{b}{ac-b} \\ 0 & \frac{-b}{ac-b} & \frac{c}{ac-b} \end{pmatrix}, (K_{22}) = \begin{pmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-a}{ac-b} & \frac{b}{ac-b} \\ 0 & \frac{b}{ac-b} & \frac{-c}{ac-b} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ただし $a = \frac{2}{3} \frac{L}{EI}$, $b = \frac{L}{2EI}$, $c = \frac{L}{3EI}$. ここで A は断面積, E はヤング率, I は断面2次モーメント, L は部材長, k はバネ定数

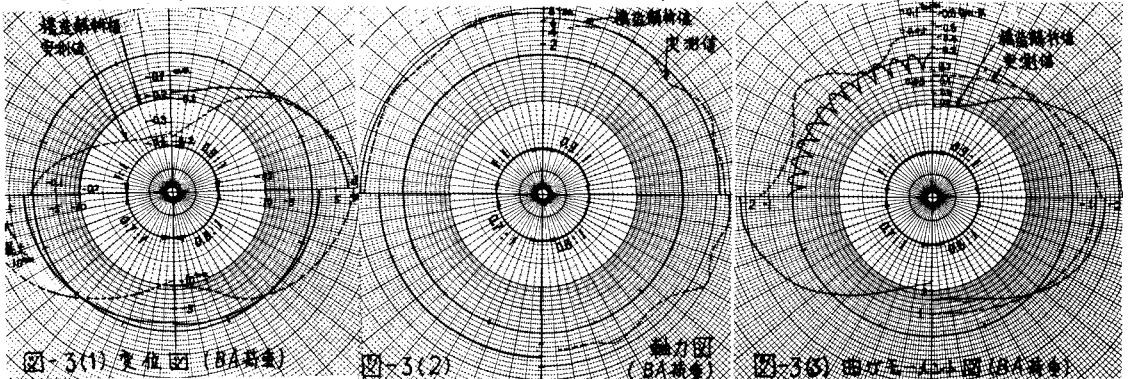
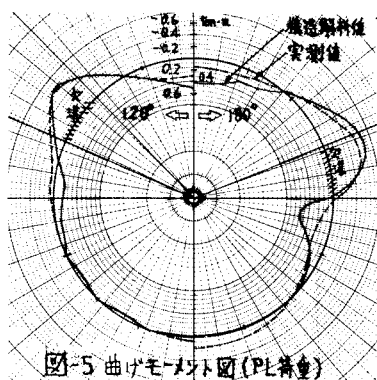
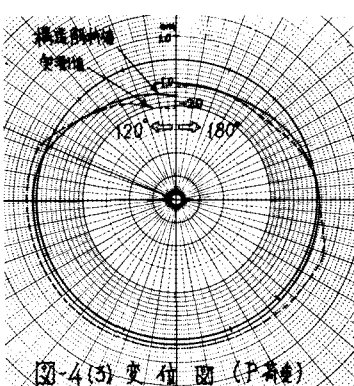
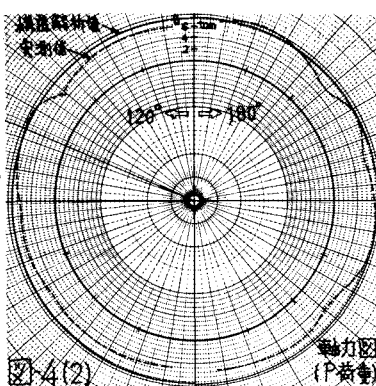
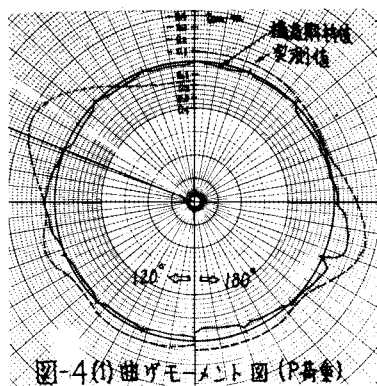


図-3(1) 変位図 (BA 荷重)

図-3(2)

弾力図 (BA 荷重)

図-3(3) 曲げモーメント図 (BA 荷重)



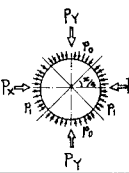
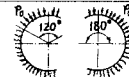
荷重の種類		荷重条件 ($P_0 = 1 \text{ ton}$)	1ton当りの 最大軸力(N)	1ton当りの 最大曲げモーメント(N・cm)	1ton当りの 最大応力(N/cm^2)	1ton当りの 最小応力(N/cm^2)	該当 図番号
BA	$R_x : R_y$ 1 : 1		7.64	0.029	-120.7	-139.4	図-3
	0.9 : 1		7.12	0.854	283.5	-515.5	
	0.8 : 1		6.66	1.601	638.2	-848.5	
	0.7 : 1		6.26	2.260	1031.4	-1142.6	
P	120°		7.59	0.143	-67.6	-198.5	図-4
	180°		7.64	0.100	-88.3	-179.7	
PL	120°		6.81	0.579	145.3	-384.5	図-5
	180°		7.40	0.702	275.5	-450.9	

表 - 1

計算例：表-1に示す2軸方向荷重、偏荷重、偏荷重でブロッキングの欠落した各場合について、多部材型円形支保工の断面力と変位を計算し、その結果の一部を図-3（BA-荷重の場合）、図-4（偏荷重の場合）、図-5（偏荷重でブロッキングが欠落した場合）に示した。荷重の大きさは、BA-荷重の場合には、垂直方向中心角90°の範囲の荷重 $P_0 \leq 1 \text{ ton}$ とし、偏荷重およびブロッキング欠落荷重は全て1tonの集中荷重を中心角7.5°間隔で作用させた。以上、各種の荷重による多部材型円形支保工の最大軸力、最大曲げモーメント、最大、最小応力の値を表-1に示した。また、部材の断面積 $A=57.0 \text{ cm}^2$ 、断面2次モーメント $I=2189 \text{ cm}^4$ 、断面係数 $W=218.9 \text{ cm}^3$ 、ヤング率 $E=60.000 \text{ kg/cm}^2$ 、継手部の弾性ヒンジ定数 $k=574 \text{ t・m/rad}$ 、 5740 t・m/rad 、偏荷重および欠落部を有する偏荷重の地盤のバネ定数は 50.000 kg/cm とした。

結論：多数の単位部材をフランジのボルト継手により組み立ててなる多部材型円形支保工の挙動を調査するため実施された載荷試験に対して、予備的な資料と与えるため行なった計算結果と実測値とを比較した結果、両者に相当の差が存在するのは事実であるが、数値計算結果は多部材型円形支保工の断面力をほぼ説明できるものである。数値計算の要素モデルは、軸力の如何にかかわらず一定のヒンジ定数であり、しかも継手が実際に開口する時の作用曲げモーメントより小さな曲げモーメントでも開口するという矛盾を含んでいるため、精度を良くするには、要素モデルの改良が必要である。

なお、本数値計算は東京大学大型電子計算センターのHITAC-8700を使用したことを記す。

参考文献 (1)；ダクトリル鋼鉄製パイプ支保工の実用化に関する試験研究報告書・社団法人日本トンネル技術協会

(2)；弾性ヒンジセグメントの計算例と応用・山本純・久保田尚子・トンネルと地下 Vol.7 no.3 p184~193