

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
同 学生員 山崎 武則

1. はしかり

従来、圧カトンネルのライニングには、施工上の理由などから、しばしばインバートの部分の空間の広い馬蹄形断面が使用されてきたが、強度的には円形断面に比し弱くなるという懸念がある。それは側壁とインバートにおける半径の拡大、およびそれらの交点の角の影響が原因になっていると考えられるが、いまだ明確でない点が多い。こういった事実をかんがみ、理論解析の結果と実験値を比較しながら、側壁とインバートの部分の半径の違いがライニングの破壊強度におよぼす影響について考察を加えていく。

2. 実験の方法

トンネルライニングの模型の材料にはモルタルを用い、実験は下記の(A)、(B)の二種類を行った。又模型断面は右図に示すような二種類の断面を用いた。

実験(A) モルタルの配合は

$$W/C = 53\%, S/C = 2$$

$$W/C = 38\%, S/C = 1$$

の二種類を用いた。

実験(B) 配合は $W/C = 53\%, S/C = 2$ のものを用いた。

載荷は、ビニール袋を介して水圧をかける方法を採用した、さらに(A)では模型外面は内圧に抵抗するように振動詰め砂を配し、内外面にストレーンゲージを貼って各荷重における歪と破壊時内圧を測定し、(B)では模型外面は大気にさらし破壊時内圧のみを測定した。

3. 理論応力の算出

解析にあたっては、断面を線材と仮定し、最小エネルギーの原理を用いた。適用するに際しては、断面の剪断力の影響を無視し、外力としては相対内圧 $P = p - K \cdot \delta$ を用いた。ここで p は内圧、 $K \cdot \delta$ は砂による反力、 K は砂の地盤係数、 δ はモルタルの半径方向の変位量を表わす。計算結果によると断面の最大曲げモーメント点である隅角部の M_1, N_1 値は断面1、2についてそれぞれ、 $M_1 = 78.8P, N_1 = 29.4P$; $M_2 = 123.9P, N_2 = 29.1P$ であった。

4. 実験結果

次頁に示す図は、測定した歪から求めた断面各点の曲げモーメントと最小エネルギーの原理から算出した曲げモーメントの比較図である。更にモルタルの諸強度とライニングの破壊時内圧とをまとめた表を次頁に示す。表において $\sigma_c, \sigma_t, \sigma_b$ はそれぞれ試験体と同じ条件にある供試体の圧縮、引張、曲げ強度であり、また σ_c, σ_b による理論破壊時内圧は、 $\sigma = N/A \pm (M/I) \cdot y$ なる式に諸数値を代入して求めたものである。

5. 実験結果に対する考察

① 右の図について理論値と実験値を比較すると理論値の方が大なる傾向を示す。これはモルタルの歪が小さすぎたために、ストレインメーターによる測定値の精度に問題があったことが原因になっていると考えられ、この点については今後の実験で検討していきたい。

② 下表からわかるように、側壁とインバートの部分の半径が大きくなると破壊強度は小さくなる傾向にある。つまり施工面からインバート部分の内空断面を拡げれば、これに応じて破壊時内圧が小さくなることを示している。これは同一内圧下に於いて断面2の最大曲げモーメントが断面1に比し大きい値を与えることから理論的にも明らかである。また表のB/A、C/A欄から、破壊時内圧についての理論値と実験値の比に対する断面の形状的影響はほとんど認められない。

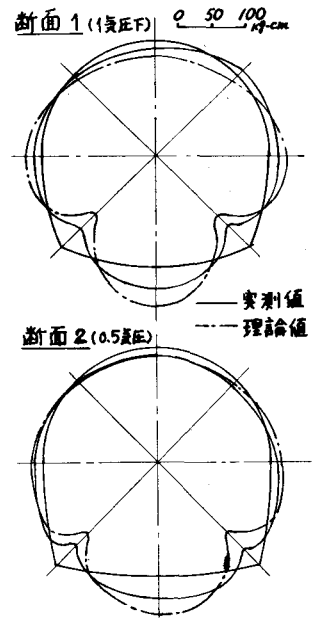
③ 破壊時内圧の推定にあたっては、引張強度 σ_k を基準にすれば安全側であることが、表のB/A欄より示唆される。かりに断面1、2を半径27.5cmの円形断面とみなし厚肉円筒理論を用い、モルタルの引張強度を20 kg/cm²とすれば、破壊時内圧は1.98 kg/cm²となる。従って馬蹄形断面は円形断面に比し強度が著しく低下するために断面設計にあたっては、種々の点から慎重に検討されねばならないと考える。

④ 隅角部分の応力集中を考えると、破壊時内圧は理論値よりも小さくなるものと思われ、表からわかるよう

に材料の引張強度を基準にした場合、理論値は実験値より小さくでている。これはライニングの破壊が曲げ破壊的な性質をもっているためで、かりに曲げ強度を基準にすると、理論値と実験値の比はC/A欄より1.5~2.5になる。そしてこれが応力集中的な要素を含んでいるものと考えられるが、本実験に於ては推論の域を出ない。

6. おおひ

今後、この種の実験を続けていくことにより、本実験における問題点や取扱えなかつたこと、とくに隅角部に適当な半径の内弧を挿入した場合の破壊時内圧へおよぼす影響を明らかにしていきたいと思っている。



強度 実験 の種類	σ_c kg/cm ²	σ_k kg/cm ²	σ_b kg/cm ²	E_c 10 ⁵ kg/cm ²	破壊時 内圧 A	σ_k による 理論 破壊圧 B	σ_b による 理論 破壊圧 C	B/A	C/A
断面1	337	24.2	62.2	1.92	1.40	0.98	2.51	0.70	1.79
	445	26.5	65.0	2.41	1.40	1.07	2.62	0.76	1.87
	281	21.6	70.1	2.39	1.12	0.87	2.83	0.78	2.53
	338	24.2	58.7	2.05	0.99	0.98	2.37	0.99	2.39
断面2	294	25.0	50.2	1.88	0.90	0.66	1.33	0.73	1.48
	493	23.0	78.7	2.40	0.88	0.61	2.09	0.69	2.38
	351	20.9	52.9	2.23	0.86	0.56	1.40	0.65	1.63
	310	26.2	73.2	2.24	0.63	0.69	1.94	1.10	3.08