

(株) 熊谷組技術研究所 正員 秦 昌樹

正員 ○ 関口 龍一

橋本公作

1. はじめに

泥水加圧シールド工事において、スチールセグメントがシールドテール部を抜けたときにスキンプレートの大変形が発生し、テールバックンと変形したスキンプレートの間ギャキに泥水が入り工事に支障をきたした施工例が報告されている。そこで従来工法では考えられなかった泥水圧に対するスキンプレートの変形挙動を定量的に把握することが必要である。この報文は6種類の標準セグメントを使用し、水圧による加圧実験を行ってスキンプレートの圧屈圧力を求め、また理論解析として弾性理論と有限要素法(非線形)による計算を行い、実験結果との比較検討を行ったものである。

2. 実験方法

図-1にセグメント加圧実験装置を示す。水圧ポンプは圧力の微調整ができる電動式とし、また漏水防止対策として治具A, B, Cの相互間及びセグメントと治具の間にシール材を使用した。実験に使用したセグメントの諸元を表-1に示す。図-2はスキンプレート上のダイヤルゲージの取り付け箇所を示したものである。圧力段階は 0.2 kg/cm^2 ピッチとし、最大 6 kg/cm^2 まで加圧した。圧力の検出は歪ゲージタイプの圧力変換器を使用し、デジタル型の歪測定装置で値を読み取った。

3. 実験結果

スキンプレート中央における各板厚ごとの変位量と圧力との関係を図-3, 図-4に示す。いまライズ量(図-5参照)に相当する変位を発生せしめた圧力を圧屈圧力とし(図-3, 図-4からそれらの圧力を読み取った値を表-2に示す。これらの結果から変位量 $\delta = 2\% \sim 6\%$ で圧屈が始まりわずかな圧力の増加($\delta \approx 0.3 \text{ kg/cm}^2$)で変位量が $\delta = 15\% \sim 25\%$ になり、それ以後の圧力に対する変位量の増加度は少なく、スキンプレートが塑性膜応力状態になったことを示しているものと思われる。

つぎに板厚と圧屈圧力との関係を調べる。スキンプレート厚 3.2mm と 4.0mm の圧屈圧力の差は 0.8 kg/cm^2 ($R=1675\text{mm}$), 1.2 kg/cm^2 ($R=1275\text{mm}$)であるのに対し、 4.0mm と 4.5mm の圧屈圧力の差は 0.5 kg/cm^2 ($R=1675\text{mm}$), 0.2 kg/cm^2 ($R=1275\text{mm}$)となっている。主桁半径と圧屈圧力との関係は表-2に示されるように相関関係をつかむことができなかった。

4. 理論解析

4.1 弾性理論による方法

(1) 面圧を受ける部分円筒の圧屈

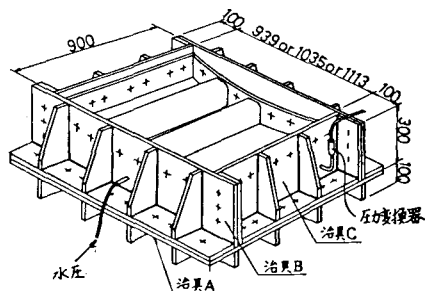


図-1 加圧実験装置

主桁外径	主桁高	主桁厚	セグメント幅	セグメント厚	セグメント厚
2550mm	100mm	12mm	900mm	320mm	3.2mm
					4.0mm
					4.5mm
3350mm	125mm	12mm	900mm	351mm	3.0mm
					4.0mm
					4.5mm

表-1 セグメント諸元

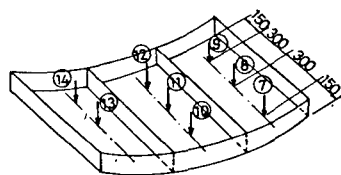


図-2 ダイヤルゲージ取り付け位置

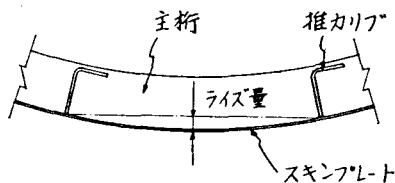


図-5 ライズ量

曲線辺自由，直線辺固定としたときの挫屈圧力 P_{cr} は式①によって求めることができる。

$$P_{cr} = \frac{E \cdot t^3 (\pi^2 / \theta^2 - 1)}{12 r^2 (1 - \nu^2)} \quad \text{----- ①}$$

ここに E : ヤング率 (kg/cm^2) , t : 板厚 (cm)
 r : スキンプレート中立円半径 (cm)
 ν : ポアソン比, 2θ : 開角 (rad.)

(2) 曲率の小さい曲り材の挫屈

$$P_{cr} = \frac{384}{5} \cdot \frac{E \cdot I \cdot a}{l^4} \cdot u \quad \text{----- ②} \quad u = 1 + \sqrt{\frac{4}{27} \cdot \frac{(1-m)^3}{m^2}}$$

ここに I : 断面2次モーメント (cm^4)
 A : 断面積 (cm^2)
 a : ライズ量 (cm)
 $m = \frac{4 \cdot I}{A \cdot a^2}$

これらの式1, 2に実験に使用したセグメントの諸数値を代入し P_{cr} を計算した結果を表-2に示す。

4.2 有限要素法による解析

ここではスキンプレートを薄肉シェルとし，主桁，継手板，推力リブを3次元梁と考えて計算した。なお解析にあたっては予め求めておいた母材の応力-歪曲線を用いて歪り増加に伴うヤング率の変化を考慮した非線形解析で行った。表-2に示した挫屈圧力はライズ量に相当する変位量を示した圧力である。図-6, 図-7は有限要素法による解析結果と実験結果とを比較した圧力-変位量曲線である。

5. あとがき

本研究結果から次の事項を知ることができた。

- (1) 実験結果と有限要素法の解析結果から得られた圧力-変位量曲線は良く似た傾向を示し，とくに挫屈圧力の差は10%~30%以内に入っている。
- (2) 実験結果及び有限要素法の解析結果から得られた挫屈圧力は弾性理論の解析結果より小さい。
- (3) 挫屈が始まってから終了するまでにスキンプレート中央部はおおよそ15%~25%の変位量を示し，しかもその間の圧力の増加は少ない。(Δ $p \approx 0.3 \text{ kg/cm}^2$)

以上のことから，泥水圧 1 kg/cm^2 以上を必要とする泥水加圧シールド工事において本実験で使用したセグメントの推力リブ間隔(320%, 350%)のもとではスキンプレート厚 $t = 3.2\%$ 以下にすることは挫屈の可能性がひじょうに高いものと思われる。また上述したように有限要素法による非線形解析の挫屈圧力が実験結果と良く一致し計算結果に信頼性がもてることから推力リブピッチヤスキンプレート厚をパラメータとして有限要素法により作用圧力に対する適正なセグメント形状を求めることが今後の課題となるであろう。

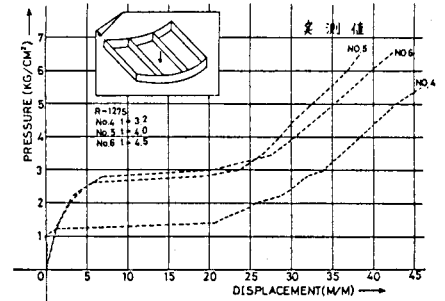


図-3 圧力-変位量曲線 ($R=1275\%$)

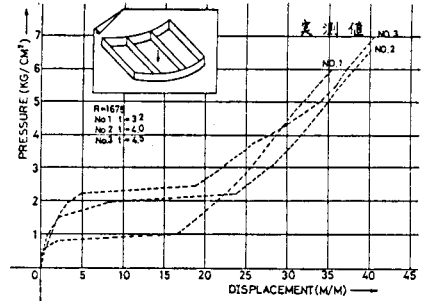


図-4 圧力-変位量曲線 ($R=1675\%$)

セグメント	ライズ量	スパン厚さ	挫屈圧力			
			実験結果	有限要素法	弾性理論	式②
1275%	10%	3.2%	1.2%	1.6%	3.9%	5.0%
		4.0%	2.4%	2.4%	7.6%	6.4%
		4.5%	2.6%	2.5%	10.8%	7.3%
1675%	9%	3.2%	1.0%	1.1%	2.5%	2.9%
		4.0%	1.8%	1.7%	4.8%	3.4%
		4.5%	2.3%	1.8%	6.3%	3.9%

表-2 挫屈圧力の比較

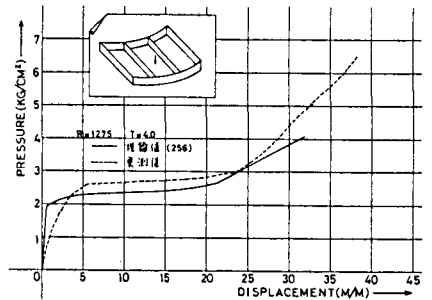


図-6 理論値と実験結果の比較 ($R=1275\%$, $t=4.0$)

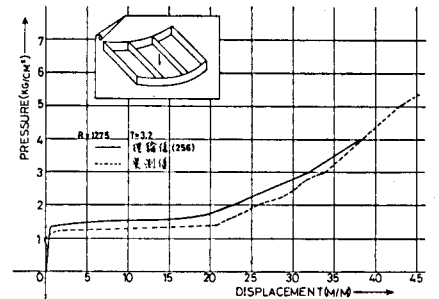


図-7 理論値と実験結果の比較 ($R=1275\%$, $t=3.2$)