

豊田高専 正員 桜井 孝昌
 東京大学 正員 西野 文雄

まえがき 岩盤に埋め込まれている水圧鉄管が外圧を受ける場合、その鉄管は岩盤壁面に拘束されつつ変形する。このような力学モデルを本報告では接触問題と定義する。この種の接触問題を解析する場合、あらかじめ接触位置を定め、それに対応するつり合い径路を求めることによってこの問題を解く手法を検討した。

解析方法 計算は有限要素法を用い、全荷重—全節点変位に基づく有限変位解析により行った。図-1に円環の接触問題をモデル化した場合の解析手法の概念を示した。等分布外力 q を受ける円環が外壁と接触しつつ変形する形状を図中の $1/4$ 円 θ で示したように仮定した。円環の中心角が $0 \sim \theta$ の範囲は接触していない部分であり、他の部分は外壁と接触している部分とし、そこでは円周方向以外は変位できないように拘束した。非接触部分の領域 θ を変化させてそれぞれの場合のつり合い径路を求めると、図-1に示す曲線群が求まる。これらの曲線群を外挿することによって得られる包絡線が接触問題を解いたつり合い径路となる。与えた拘束条件のもとで求めたつり合い点が、接触問題の解となっているかどうかの判定は、

(1) 変形後の円環上の点から中心点までの距離は半径の大きさ以下である。

(2) 拘束点の反力は円環の中心方向を向いている。
 の2つの条件で行うことができる。接触開始角度(図-1の θ)を真の値より大きくした場合は(1)が満足されず、 θ をそれより小さくした場合は(2)が満足されない。

解析結果 図-2に $1/4$ 円環で一端固定、他端は半径方向にのみ変形できる境界条件を持つ円環モデルを示す。38個に分割した円環の諸元は図のとうりで等分布外力を受けている。この種の問題は別の手法でも解析されている。図-2に示す円環では中心角が 18.7° より 90° まで外壁と接触しているとした。円環の 18.7° および 20.7° の半径上には円環の中心点でヒンジとなっている剛性の高い要素(Rigid Element)を挿入した。これは、その点で円環の半径方向反力を求めるのに板の面内力で求めると比較的精度よく求まるためである。図-3は $1/4$ 円環の接触開始点の位置を 15° (①)、 18.7° (②)、および 22.5° (③)とした場合の計算結果である。円環の頂点の半径方向変位を板厚で割った値を横軸にとり、分布荷重 q を長い円筒の座圧荷重 q_{cr} (この例では 5.77 ton/m^2)で割った値、接触開始点と円の中心とを結ぶ要素の面内力 S_x および接触開始点から角度が 18.7° 小さい点の外向半径方向変位を板厚で割った W/t を縦軸にとった。これら①、②、③の変形状態が荷重の最大値の生じる位置で接触判定条件(1)、(2)を満足しているかどうか検討した。その結果、②が座圧荷重の近傍で接触条件をほぼ満足していることがわかった。このときの q/q_{cr} は45.1である。

図-4は図-5に示す $1/4$ 円筒シェルの接触問題を円環の解法と同様の手法で解析した結果である。円筒の諸

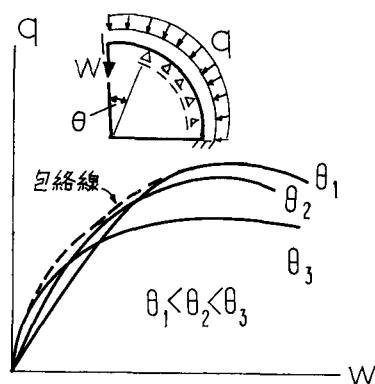


図-1 変位拘束した円環モデルのつり合い径路

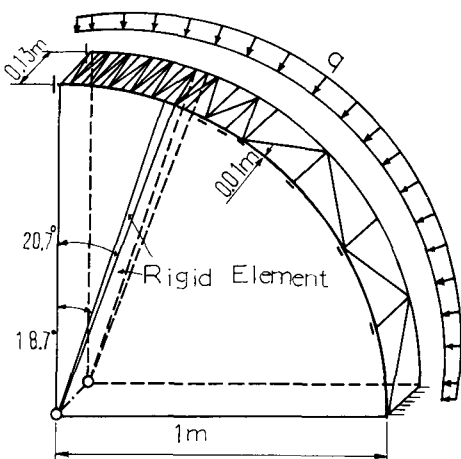


図-2 $1/4$ 円環モデル

元は図-5に示す通りであり、境界条件は1/4円筒の2辺を固定(図中のfix部分)とし他の2辺は半径方向のみ変位可能とした。分割要素は3角形要素を用い、78要素に分割した。接触開始点の中心角が 18.7° (①)と 22.5° (②)について行った。図-4の横軸には円筒頂点の中心方向変位 w/t を取り、縦軸には荷重 q/q_{cr} 、接触開始点から 3.7° 小さい点の半径方向変位 $\bar{w}_a/t$ および円筒最前面から軸方向に $0.67m$ 離れた断面上の同じ位置の変位 $\bar{w}_b/t$ をとった。なお、この円筒モデルに対しては接触の判定を接触判定条件(1)のみで行った。①の場合は座屈荷重 q/q_{cr} が54.6となる点で① $\bar{w}_a$ と① $\bar{w}_b$ が共に負であり、① $\bar{w}_b$ は座屈後も負の方向に増加しているのど、接触開始角度はもう少し大きくなる。②の場合は座屈荷重が $q/q_{cr}=52.8$ となる点で② $\bar{w}_a$ が正となるため、接触開始角度はもう少し小さくなる。従ってこの兩者より、接触条件を満足する座屈荷重は52.8から54.6の間にあることが推定できる。なお、この兩者の荷重の差は $(54.6-52.8)/52.8=3.4\%$ とわずかである。図-5は①の座屈時の変形状態を示したものである。

計算に当ってK.K.コルバックの岡田寛氏の協力を得た。記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 櫻井孝昌, 西野茂雄「固有値解析と併用したシェル
の有限変位問題の一数值解析」土木学会36回年次講演会 I-33
1981.11
2) 小畑誠, 佐藤前次, 西野茂雄「外圧を受ける水圧鉄管の力学的挙動」土木学会37回年次講演会 I-174 1982.10

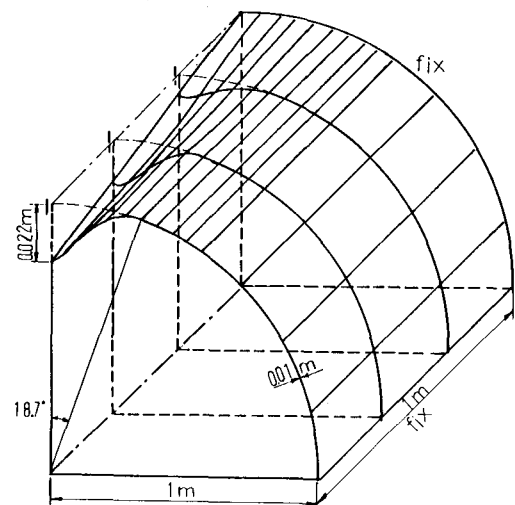


図-5 円筒シェルの接触座屈変形形状

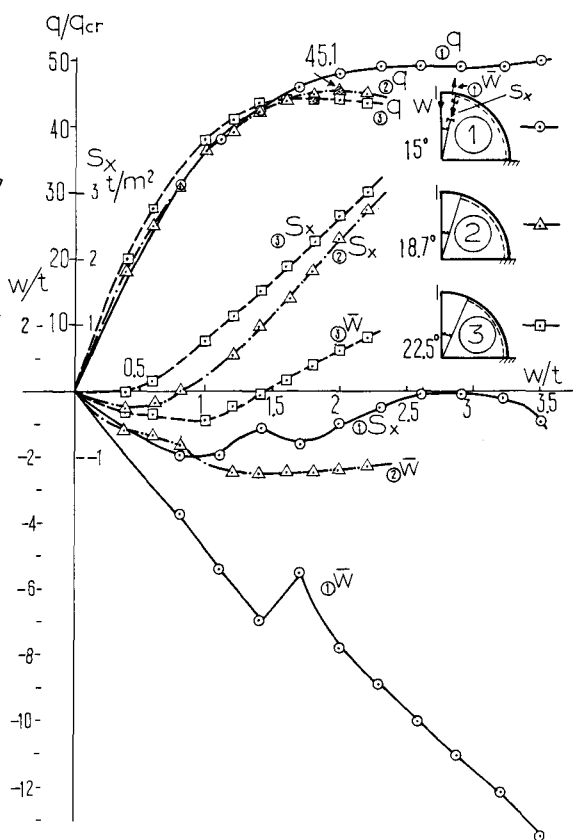


図-3 円環モデルの解析結果

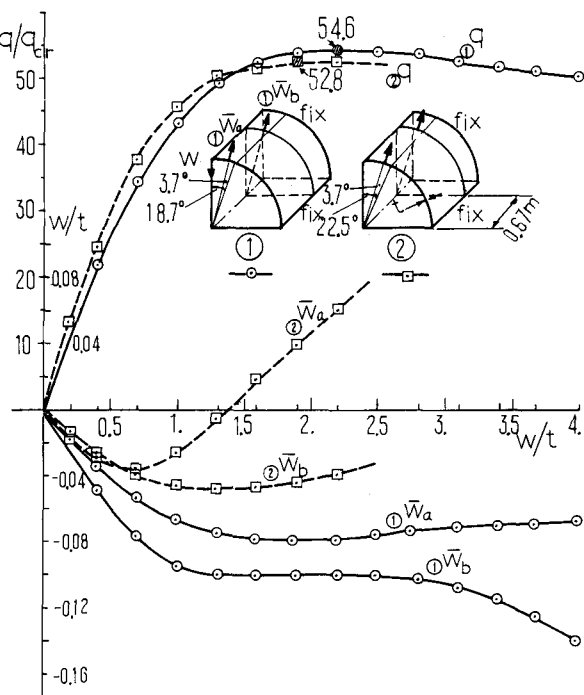


図-4 円筒シェルの解析結果