

京都大学 正員 富 昭治郎

京都大学 学生員 ○西原 晃

京都大学 学生員 菊谷 敬三

1. まえがき

孔内載荷試験は原位置地盤の変形特性を測定する方法として、その経済性、便利さ等から広く使用される傾向にある。孔内載荷試験は岩盤に適用するに際し、解決されてはいない更はいくつか残されているが、その一つに岩盤内に存在するひびわれの問題がある。着目するはモルタルと石こうを用いてモデル岩盤を製作し孔内載荷試験を実施したが、その結果、ひびわれの存在は理想的な岩盤においては孔内載荷試験の結果はあまりよく岩盤の変形特性を反映しているが、孔壁が陥没しさらにひびわれが生じた場合、変形係数の測定値にかなり大きな低下がみられた¹⁾。したがって実際の岩盤のようにひびわれを数多く含む材料においては、ひびわれの存在は孔内載荷試験の結果に大きな影響を与える要因となる。本文ではこのようひびわれの影響に関して、岩盤内のひびわれ状態を表わすいくつかの基本的パラメータを選定し、それぞれについて有限要素法を用いて検討を行った。

2. 有限要素法による解析結果と考察

今回の有限要素法による解析は、4型プロシメーターを使用したモデル実験¹⁾を対象として行ったもので、モデルは直径58 cmの円筒形の岩盤の中心に直径6 cmの孔を明け、外周を薄く鋼製の層で拘束したものである。材料定数として岩盤の弾性係数 $E_0 = 4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比0.3、鋼製の層は $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比0.3を与えている。なお解析は岩盤を均質材料、平面ひずみ状態にあるものとした。図-1はひびわれがない岩盤内の稜線方向ひずみ ϵ_θ の半径方向の分布を表わしたもので、有限要素法解析結果と岩盤を半無限弾性体と仮定して弾性理論から得られた結果を示している。両結果ともよく一致しており、外周の鋼層の拘束によって岩盤内の応力、ひずみ状態が半無限弾性体とほとんど同様になっていることがわかる。このとき応力、ひずみは孔の中心からの距離の二乗に反比例して減少する。なお同図中にはモデル実験で測定されたひずみも示す。

図-2および図-3はそれぞれひびわれのある岩盤内の応力およびひずみ状態の一例を示したものである。内孔に内圧が作用する場合、周方向には引張応力、半径方向には圧縮応力が発生するが、ひびわれによって岩盤内の応力およびひずみ状態は大きく影響をうけ、とくに内孔周辺での引張応力の減少が著しい。また図-2においては、ひびわれの先端に引張応力の集中がみられる。

今回のように平面問題として取り扱う場合、岩盤内のひびわれ状態を表わす基本的パラメータとして、ひびわれの本数、長さ、幅、位置(ひびわれ相互の位置関係も含む)、そして方向が考えられる。図-4はひびわれの本数による弾性係数の低減を示したものである。同図の縦軸は、岩盤自体の弾性係数 E_0 に対する、ひびわれのあるモデルの内圧に伴う孔壁の変位から

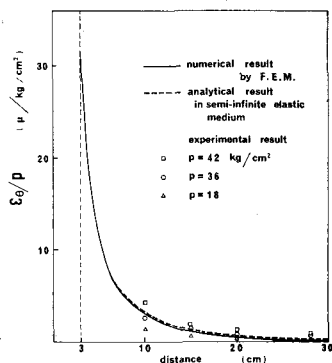


図-1 岩盤内のひずみ分布

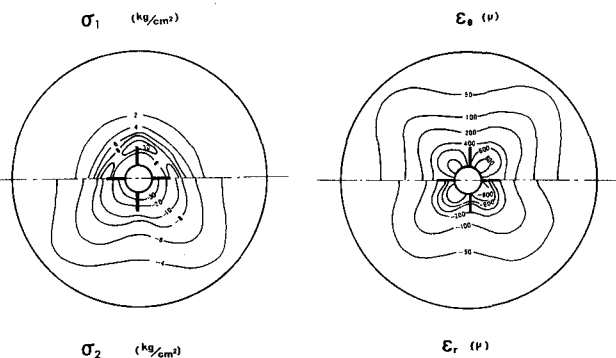


図-2 等応力線

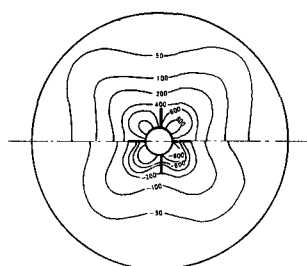


図-3 等ひずみ線

算出される弾性係数 E_c の比を示している。この場合、 E_c が孔内載荷試験によって測定される岩盤の変形係数に相当する。図-4によれば、ひびわれ長を一定とした場合、ひびわれ本数が増えるにしたがって、 E_c がかなり割合で低下し、さらにひびわれ本数と弾性係数の減少の間には直線性がみられる。

図-5はひびわれの長さの影響も不手ものである、同図によればひびわれが長くなるにつれて弾性係数は低下するが、ひびわれがある程度以上長くすれば長さによる影響はほとんどなくなるということが知られる。図-1に示されるように岩盤内の応力、ひずみ状態は孔から離れるにしたがって指数関数的に減少するので、孔壁の変位に影響する領域は、孔のすぐ周辺、せいぜい孔の径の数倍程度までの領域であろうと推測される。したがってこの領域を超えてひびわれが伸びている場合には、ひびわれの長さによる影響はほとんどないのであろう。

孔壁に半径方向のひびわれが存在する場合、弾性係数の測定値はかなり影響をうけるが、たとえば接線方向にひびわれがある場合にはその影響はほとんどない。先に述べたように、円孔に内圧が作用する場合接線方向に引張りを受けるため、半径方向のひびわれは広がるが、反対に半径方向は圧縮を受けるので、接線方向に入っているひびわれは閉じ、このひびわれによる影響は半径方向のひびわれに比べてかなり小さい。内部の応力、ひずみ状態もひびわれがない場合とあまりかわらず、ひびわれが孔壁のすぐ近くにある場合でも弾性係数の低下はわずかパーセントにすぎず、このようはひびわれの影響は無視しても差支えない。半径方向のひびわれがある場合でも、ひびわれが孔壁に達してはいなければ、その影響はかなり小さくなる。しかしながらその位置が孔壁に近い場合、ひびわれと孔壁の間で応力集中が生じ降伏しやすくなるので、加える圧力によってひびわれが孔壁に達し、測定に影響してくるものと予想される。ひびわれが孔壁から十分に離れている場合にはその影響は考えなくてもよい。

ひびわれ相互の位置関係によっても影響を受ける。図-6は2本のひびわれがある場合を想定し、2本のひびわれの間の角度を変化させたときの弾性係数の低下を示したものである。2本のひびわれの間の角度が大きくなるにつれて弾性係数が一様に低下することがわかる。岩盤が異方性である場合にはよくにひびわれの位置は重要なパラメータとなる。ひびわれの幅に関しては、ゴムテ

ューブで加圧する形式の孔内載荷試験装置の場合、ひびわれにテューブがよく込むための、孔壁での変位測定はゴムテューブの付着判定に着目し影響が現れるが、この影響は試験装置の改良等である程度回避される。

以上のように、孔内載荷試験によって得られる変形特性は孔の周りのごく狭い領域の変形特性を示しているにすぎず、その領域にひびわれが存在する場合にはその影響を十分受ける。今回の解析によれば、ひびわれを特徴づけるいくつかのパラメータのうち、弾性係数の測定値に与える影響を与えるものは孔壁にあるひびわれの本数、長さ、そしてひびわれの位置である。このうちひびわれの長さに関しては、実岩盤においては通常十分に長いと考えられるので、重要なパラメータはひびわれ本数と位置の2つであり、何らかの方法で孔壁に存在するひびわれ本数と位置が観察できればひびわれによる弾性係数の低下をある程度評価できるように思われる。

参考文献

- 1) 畠・各本・西原；孔内載荷試験による岩盤の変形および破壊機構に関する研究，第12回岩盤力学に関するシンポジウム，1979

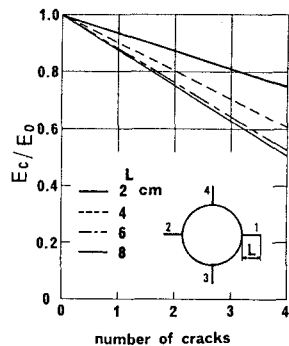


図-4 ひびわれ本数の影響

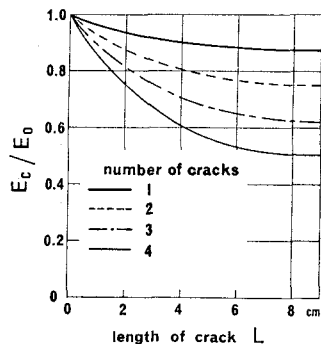


図-5 ひびわれ長さの影響

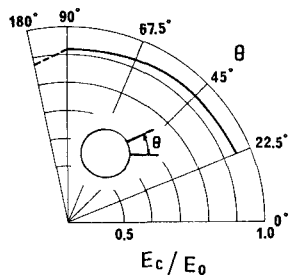


図-6 ひびわれ位置の影響