

III-250 亀裂性岩盤の孔内載荷二面破碎法による地山応力測定

セラタ ジオメカニックス 正員 世良田 章正
日本国土開発株式会社 正員 菊地 慎二

はじめに

岩盤物性の原位置試験用に2種類の孔内載荷試験装置(PおよびSプローブ)を開発して、各種の岩盤に適用してきた。Pプローブは、多点の孔壁貫入ピストンを有し、その載荷荷重-貫入変位から岩盤物性(PROPERTY)を得ようとするものである。Sプローブは、ラバーマンブレンを介して孔壁に載荷する通常の孔内載荷と似ているが、孔径の変化量を多方向の成分で得るところに特徴があり、その載荷圧-孔径変化量の関係から地山応力(STRESS)を推定しようとするものである。ここでは、Sプローブによる既往の実験結果から得られる地山の挙動特性と亀裂性岩盤に対する地山応力の測定について述べるものである。

Sプローブを用いる二面破碎法による地山応力測定と実在岩盤の載荷挙動特性

この手法は、水圧破碎法による地山応力の推定手法をさらに発展させ、亀裂面の発生の検知を、孔壁変位を直接測定することで達成しようとしたものである。水圧破碎においては、対象とする破碎面は一つであるが、Sプローブを用いて孔壁載荷を行うと二つの破碎面が発生する。これは、弾性体の理論からも予想される事であるが、現場の岩盤物性は、必ずしも理想的な挙動を示さない場合も多い。それらのうち、今までに行ってきたものからは、次に示す三つの特徴的な場合がある事が判明した。

- 1) 亀裂性岩盤: プローブの載荷により、既存の亀裂空間が圧縮閉合されて密実となり大きな塑性変形を起こす。計測される孔径変化は、潜在あるいは顕在亀裂の状態によって大きな影響を受け理想的弾塑性体とは程遠い挙動を示す。
- 2) 塑性流動岩盤: いかに載荷応力を増大しても、亀裂面を発生させることができず、デスト孔の直径はその載荷応力に比例して全ての方向に均一に増大する。従って二面破碎を起こす事は不可能である。
- 3) 初期せん断力による自然亀裂発生: 初期せん断力が存在し、最大主応力 P_0 が最小主応力 Q_0 の3倍以上の場合、第一亀裂は孔の掘削と同時に自然発生するため、Sプローブによる載荷は第二亀裂を起こすのみである。

上記の場合については、各々に有効な対応策が開発されてきた。今回はそのうち亀裂性岩盤における二面破碎法の適用方法について以下に説明する。

二面破碎用Sプローブ

二面破碎に用いるSプローブは高圧(70MPa)載荷を可能とするプラスチックラバーマンブレンで構成される円筒状のもので、8個の孔径変化測定センサーを装着し、載荷圧(p)と孔径変化(D)の関係を±1ミクロンの精度で計測し、REAL TIMEに解析表示するものである。

亀裂性岩盤におけるデータ分析

各種の現場測定の結果をみると、理想的弾塑性体を示す場合は少ない。通常の岩盤はSプローブの高圧孔壁載荷によって顕著な塑性変形を起こし、岩盤内の既存亀裂の閉合圧縮が起こる。更に加圧を続けると、閉合圧縮の過程と共に多数の亀裂破碎が同時発生する。この二次的に発生する亀裂は既存の亀裂に大きく左右されるが、最大及び最小の主応力方向に集中している。そのため一回の単調増加の載荷による応力履歴で理想的な二面破碎の発生を最初から期待する事はできない。

そこで図-1に示すような無数の自然の亀裂を有する孔壁周辺に対して、まずその孔径変位(D)が弾性的挙動を示すまで、Sプローブ載荷による繰返載荷によって孔壁岩盤の密実化を行う。この繰返載荷過程において多数の二次破碎が主として P_0 及び Q_0 の方向に人工的に導入される。このようにして作られた疑似弾性状態においては、Sプローブの載荷圧が低く、孔壁が圧縮されている場合のみにその孔径変形が弾性挙動を示す。

しかし、その載荷圧を増大させると、孔壁の接線応力 σ_θ は圧縮応力状態から引張状態に移行するが、その移行点において多数の亀裂の顕在化が突然発生し、この時点で孔径変位と載荷圧の関係は弾性挙動から離脱する。

2つの弾性挙動離脱点

この弾性離脱現象は、載荷圧を増大していくと、図-2に示すように孔壁周縁応力は最初圧縮状態であったものが全周にわたって圧縮応力が減少し、まず最小の圧縮力が作用している最大主応力（ P_0 ）方向に第一破砕面が形成されることにより、 P_0 方向に直交する孔径の変化に現れる（図-1のcrack direction 1）。この弾性離脱点の載荷圧が $p = p^{E_1}$ （図-2参照）として測定される。更に載荷圧が増大すると、周縁圧縮応力は減少し、亀裂の存在のために引張力領域には入ることは無く、 P_0 方向を中心として周縁圧縮力ゼロの状態が拡がり、ついに最大圧縮力が作用していた最小主応力（ Q_0 ）直交方向の応力もゼロになり第二破砕面（crack direction 2）が発生して、 Q_0 直交方向の孔径変位にも弾性離脱が見られるのである。この時の載荷圧は、 $p = p^{E_2}$ となる。

亀裂岩に対する計測方法

亀裂性岩盤における二面破砕法による地山応力の測定法は次のようになる。

- 1）試験孔壁周辺の亀裂の閉合と密実化；孔内載荷を繰り返す事により試験孔の孔径変化が弾性挙動を示すようになるまで試験孔周辺の岩体の閉合と密実化を図る。
- 2）人工破砕面の導入形成；密実化の過程において、載荷圧を増大させていくことによって、既存の亀裂系とは別に、先述した二つの破砕面を P_0 と Q_0 の主応力方向に形成導入する。
- 3）孔径変化ROSSET；破砕導入後、孔径変化ROSSETを描くと、正常な場合には楕円形を形成する。その楕円形の主軸方向にSプロブの孔径センサーの方向を合致させる。
- 4）2つの弾性挙動離脱点；その主軸方向における2つの離脱点を各々 p^{E_1} 及び p^{E_2} として求める。
- 5）特異計測点の回避；亀裂が大きいなどの原因により、不規則な孔径変化形状を示すような特異な場合は、上述した方法で満足な結果が得られない事がある。この場合は計測点の位置を約1mずらして行くと良好な結果が得られることが多い。
- 6）地山応力の算定； p^{E_1} 及び p^{E_2} の測定値から二面破砕の弾性理論に基づいて、地山応力の最大最小主応力 P_0 および Q_0 を次式で求める。

$$P_0 = (p^{E_1} + 3p^{E_2}) / 8 \quad ; \quad Q_0 = (3p^{E_1} + p^{E_2}) / 8$$

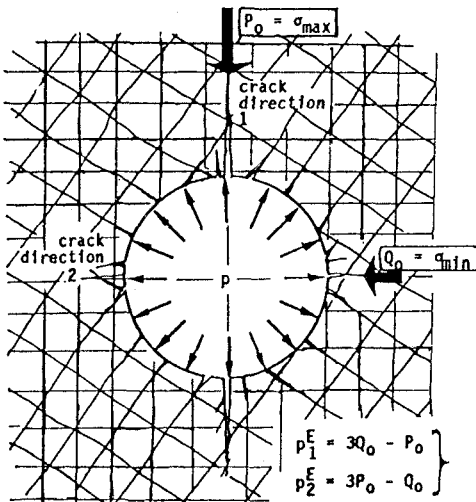


図1. 二面破砕法による亀裂性岩盤内の応力測定に於けるS-プロブの旧亀裂圧密と新亀裂導入の相乗効果

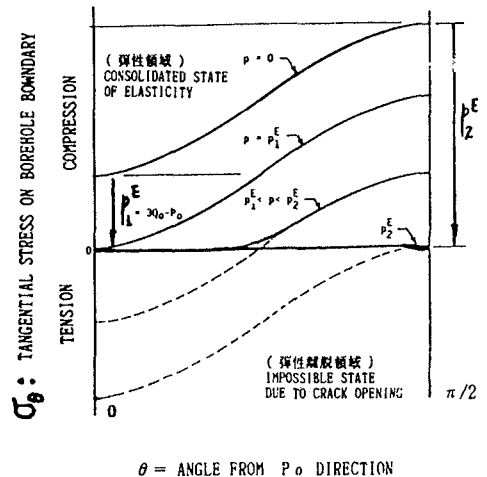


図2. 二面破砕法による亀裂性岩盤内の応力測定に於ける弾性離脱現象