半固結の堆積物における水平応力の推定

Estimation of subsurface horizontal stress for semi- or half-consolidated sediments

鈴木　清史[1]
Kiyofumi Suzuki[1]

[1] 石油公団ＴＲＣ
[1] JNOC, TRC

掘削や地下構造物の建設，あるいは断層面での垂直応力の計算など，水平応力が必要になる場面は多いが，水平応力の直接測定は困難がつきまとう。したがって，何らかの理論的・実験的な水平応力の推定・評価方法が必要になる。石油公団では，断層面でのシール能力を評価するソフトウェア Faultap を開発してきた。その一環として，鉛直応力（最大圧縮応力）から水平応力（最小圧縮応力）を求める関係式を構築したので，報告する。

土質力学では，水平方向はお互いに堆積物が押しあうため，一次元圧密されつつ応力が生じると考えられ，鉛直方向応力（sv）誘発される周方向の応力（sh）に sh=k0*sv の関係があるとされる。この式は，鉛直応力と水平応力をそれぞれ縦軸と横軸にとったとき，原点を通る直線となり，鉛直応力と水平応力が常に一定の比率を保つ。しかし，圧密に伴って内部摩擦角が変化することから堆積盆において“定数”であるか疑わしい。本研究では，上載荷重や堆積物種の関数であることを以下の手順で示し，水平応力を求める地下応力変数 Ks を提案する。

Caquot（1934）が粒状体（粒子集合体）の内部摩擦角を，粒子間の微小領域における摩擦角を結びつけて説明した方法と同様に，“等方状態で粒子の接平面が一様に各方位に分散している”堆積物の粒子間の接平面の法線は，ステレオ半球に投影すると半球をまんべんなく覆うことができる。この半球上の微小領域はある範囲の角度の接平面の集合を示すが，鉛直軸を z 軸としたとき xy 平面（水平面）上の y 軸との伏角αと，鉛直面と yz 平面がなす角βを用いて，αおよびβから微小角ｄα，ｄβだけ回転した範囲の微小領域Ａの面積 SA は，SA=r^2*cos βｄα ｄβとして表すことが出来る。この微小領域 A に働く単位面積当たりの垂直圧力 P の z 軸方向の成分が鉛直応力に等しいので，sv=pi()*r^2*P，接平面の垂直圧力 P と粒子間まさつ角 qm を用いると，微小領域 A におけるせん断力 R は，R=SA*P*tan(qm)となる。ここで Caquot の考察を拡張し，せん断力は粒子同士の接点においてのみ働くとすると，せん断力は微小領域 A に含まれる粒子接点の接触面積を Sc として，R=Sc*P*tan(qm)と表せるので，x 軸方向の水平応力は，sh= Sc*P*tan(qm)/2 となる。微小領域 A に含まれる粒子接点の数は孔隙率との相関があるので，接触面積 Sc を単位体積あたりの接触面積 ScV で置き換えると，sh = C*ScV* tan(qm)/2*sV 書き表すことができ，これより地下応力変数 Ks は，Ks = C* ScV*tan(qm)/2, 0＜qm＜pi/2 となる。ただし，このままでは粒子間まさつ角 qm や単位体積あたりの粒子間の接触面積 ScV の関係が不明で実際の適応に不都合であるので，堆積物の孔隙率（F）を用いて，以下の手順でより一般的な式にした。堆積物の孔隙率（F）は，(孔隙体積/全体積）なので，堆積物ごとに決定される定数 x を用いて，孔隙面積率 S%（任意の断面における孔隙の占有面積率）は，孔隙率を用いて S%=c(F)^x と表せる(c:定数)。この同じ任意の断面で観察される粒子の占有面積率は(1-s%)である。この任意の断面における粒子の占有面積率 S%inv,(=1-S%)と上述の ScV は，ScV が単位体積あたりの粒子間の接触面積であるので,ScV=k*S%inv の関係をもつ(k:定数)。ここで任意の断面で観察される粒子の占有面積率 S%inv が，(1-F)^y と相関をもつならば，孔隙率 F と上載荷重（sv）の間の圧密の関係式，F=F0-Cc:Log(sV/Sv0)を用いて，ScV=CN(S%inv)=CN(1-F)^y=CN{1- F0+Cc:Log(sV/Sv0)}と書き改められる。ただし，CN は比例定数である。これから Ks=CG*tan(qm)*{1-F0+Cc:Log(sV/Sv0)}^y が得られる。ただし，CG は粒径や粒子の形態で決定される係数である。応力によって堆積物の粒子間のまさつ角 qm は微妙に変化するが，堆積物の鉱物粒子が弾性的な挙動する範囲では qm の変化は無視できるとすると，さらに整理して Ks={Ks0+Ck*Log((sV/Sv0))^y となる。ただし，Ks0=(1-F){CG*tan(qm)}^(1/y), Ck=Cc{CG*tan(qm)}^(1/y)が得られる。この式に，地下深部では堆積物は十分に圧密・圧縮され，もはや粒子間のすべりでは密になれないという仮定と，表層では静止土圧係数 K0 と(Ks0) ^(1/y)が等しいという仮定を付け加えると，堆積物の孔隙率と孔隙断面率から得られる y，砂泥比，砂層と泥層の静止土圧係数から地下応力変数 Ks を求められる。発表ではこの計算式の妥当性と，これによって説明できる付加体中の構造について述べることにする。

引用文献

Caquot, A., 1934: Equilibre des massifs a frottement interne. Stabilite des terres pulverulents et coherentes, Gauthier-Villas, Paris (in Konish, J.,1975).

Konish, J., 1975, A microscopic study on shear mechanism of granular materials, Discussion, Soil and Foundations, 15, No. 1, 98-102.