III-471　等価体積欠損法の三次元問題への拡張

西松建設㈱　正会員○田中　義晴
熊本大学工学部　正会員　金子　勝比古

１．はじめに

等価体積欠損法（ＥＶＤＭ）[1]は,岩盤中に存在する亀裂をそれと力学的に等価な体積の欠損（ＥＶＤ）に置き換えて，亀裂性岩盤の変形性を評価する方法である。ここでは,この手法を３次元問題に拡張した３次元等価体積欠損法を提案する。

２．三次元等価体積欠損法の理論

ＥＶＤＭでは，次の２つの仮定を設けている。

（Ｉ）個々の亀裂の体積欠損は他の亀裂の存在とは独立に決定される。

（II）複数の亀裂による体積欠損は個々の亀裂の体積欠損の和集合で与えられる。

仮定（Ｉ）に従うと，単一円板開口状亀裂に対するＥＶＤ$\omega_{IJ}{}^{m}$は（１）式で与えられる。

$$\omega_{IJ}{}^{m}=\pi\xi_{IJ}\phi a^{3} \qquad (IJ\neq 44,55,66)$$
$$=\pi\xi_{IJ}\phi a^{3}/c_{3} \qquad (IJ=44,55,66) \qquad (1)$$

ただし，$\xi_{IJ}=\delta_{IJ}-n_I n_J$，$\phi=c_1E/\pi$，$c_1=16(1-\nu^2)/3E$，$c_3=1+\nu$，$a$：亀裂半径，$n_J$：亀裂面の単位法線ベクトル，$E$，$\nu$：弾性体実質部のヤング率およびポアソン比である。ＥＶＤＭの前提にしたがうと，亀裂性岩盤の応力-ひずみ関係は次式のようである。

$$\Delta\varepsilon_I=D_{IJ}\cdot\Delta\sigma_J \qquad (2) \quad , \qquad D_{IJ}=1/E\cdot(\Omega_{IJ}+R_{IJ}) \qquad (3)$$

$$\Omega_{IJ}=1/(1-\omega_{IJ}/V) \qquad (IJ\neq 44,55,66)$$
$$=c_3/(1-\omega_{IJ}/V) \qquad (IJ=44,55,66) \qquad (4)$$

$$R_{IJ}=0 \qquad (I=J)$$
$$=-\nu-1 \qquad (I,J<4 \text{ and } I\neq J)$$
$$=-1 \qquad (\text{others}) \qquad (5)$$

ただし，D_{IJ}：亀裂性材料の有効コンプライアンス，ω_{IJ}は亀裂性材料全体としてのＥＶＤであり，仮定（II）よりそれぞれの亀裂のＥＶＤ$\omega_{IJ}{}^{m}$の和集合として（６）式で与えられる。

$$\omega_{IJ}=\bigcup\omega_{IJ}{}^{m} \qquad (6)$$

３．数値計算法および計算例

２次元問題における単一亀裂のＥＶＤ$\omega_{IJ}{}^{m}$は楕円板形状で表現される。この考えを拡張すると３次元問題におけるＥＶＤ$\omega_{IJ}{}^{m}$は楕円体で表現されることになる。したがって，（１）式をもとに楕円体の各径を定義すれば,３次元問題も２次元問題においても亀裂の空間配置を考慮した解析がなされることになる。しかしながら，一般に岩盤中の亀裂の３次元空間配置は未知な場合が多い。

そこで，ここでは，亀裂の空間配置が一様分布で与えられる場合に問題を限定し,極めて簡単な計算で３次元配向性亀裂を有する岩盤の異方弾性定数を算定する方法を示す。

前述したように，ＥＶＤは体積の欠損として定義されている。したがって，この考えに立つと,（４）式中の$1-\omega_{IJ}/V$は残存体積率として解釈され，（７）式で与えられる。

$$1-\omega_{IJ}=\prod(1-\omega_{IJ}{}^{m}) \qquad (7)$$

したがって，極めて簡単な計算でコンプライアンスの全成分が求められることになる。

数値計算結果の一例として，亀裂方位$\boldsymbol{n}$およびクラック密度Φ（$=\Sigma a^3/V$）と弾性定数C_{IJ}との関係を示すとFig.１～Fig.２の実線のようである。ただし，Fig.１（a）～（c）は，亀裂方位を１方向もしくは２方向に固定した場合のクラック密度と弾性定数の対角成分との関係を示している。すなわち，Fig.１（a）は，すべて，$\boldsymbol{n}=(0,0,1)$であり，（b）および（c）は，$\boldsymbol{n}=(0,0,1)$と$\boldsymbol{n}=(1,0,0)$の亀裂が，１：１および１：２である場合を示している。また，Fig.２はFig.１（a）に対応し，$\Phi=0.2$，$\boldsymbol{n}=(0,\cos\phi,\sin\phi)$，$(-\pi/2\leqq\phi\leqq\pi/2)$とおいた場合を示している。これらの結果は，すべて,弾性体実質部のポアソン比は$\nu=0.25$とおき，弾性定数C_{IJ}はコンプライアンスD_{IJ}の逆行列として求められている。また，図ではすべて弾性定数は弾性体実質部のヤング率Eで正規化して示している。

なお，この問題に関して，亀裂の相互干渉を考慮した厳密な解は見当たらないが，eigenひずみ理論[2]・にNew Consistent Scheme[3]を適用することにより，かなり信頼性の高い解を得ることができる。なお，この解

析は極めて繁雑であるため，ここでは計算結果のみを図中に破線で示しておく。

図より，提案した手法は極めて簡単な計算にもかかわらず，弾性定数の各成分すべてについてかなり良い近似解を与えていることがわかる。なお，ここでは省略したが，楕円板状閉合亀裂についても同様にＥＶＤが定義される。したがって，岩盤のような開口亀裂と閉合亀裂が混在するような問題に対してＥＶＤＭは有力な手法となるものと考えられる。

４．おわりに

三次元等価体積欠損法の理論と数値計算法を示した。提案した手法を用いると，極めて簡単な計算により，亀裂性岩盤の３次元異方弾性定数を評価することが可能となる。

【参考文献】

１）Kaneko.K and Y.Tanaka : Int.Cong.Rock Mechanics,(Aachen),1991
２）村，森：マイクロメカニックス，培風館，1976
３）Yamamoto,K.et al：Sci.Rep.Tohoku Univ.Ser.5,28,1981

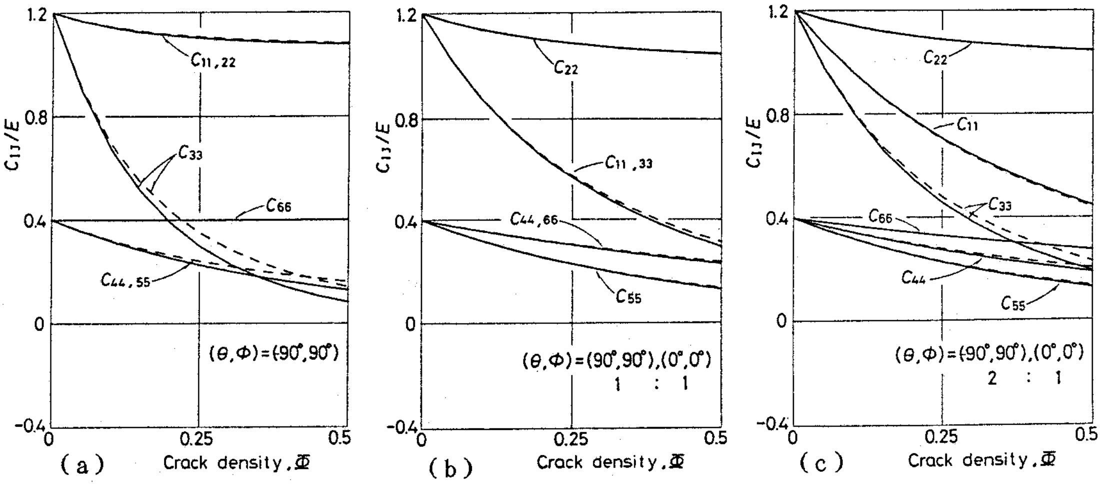

Fig.1　クラック密度Φと弾性定数C_{IJ}の対角成分との関係 ，実線：等価体積欠損法，破線：理論近似解

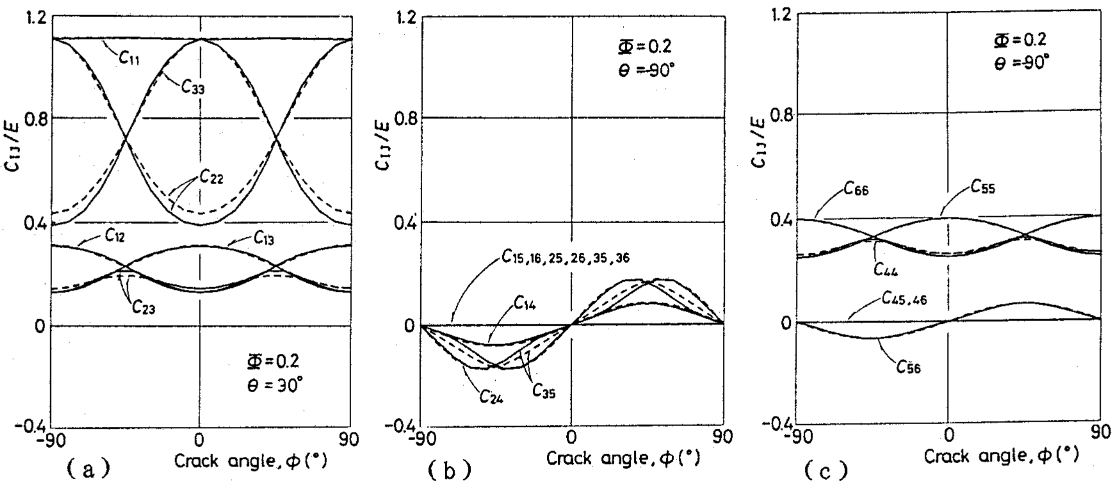

Fig.2　亀裂方位角φと弾性定数C_{IJ}の関係 ，実線：等価体積欠損法，破線：理論近似解