

III-206

BEMと特性曲線法のカップリングによる弾塑性解析

熊本大学工学部

尾原 祐三

東急建設㈱(熊本大学大学院) 青木 俊朗

熊本大学工学部

菅原 勝彦

1. 緒言 境界要素法(BEM)は無限地盤の弾性応力解析に有力な方法であり、一方、特性曲線法は剛塑性体の力学挙動を簡便に解析することができ、これらは、多くの問題に適用されてきている。本論文では、精度のよい弾塑性解を得るために、両者の方法を結合した新しい弾塑性解析法を提案する。

2. 解析方法の概要 等方均質の岩盤中に空洞を掘削するときの境界値問題は受働形式の塑性問題となる。このとき、空洞壁面は、図1(a)に示すように弾性壁面 Γ_1 と塑性壁面 Γ_2 とから構成される。塑性壁面 Γ_2 と弾塑性境界 Γ_3 に囲まれた領域が塑性域であり、その他は無限遠まで続く弾性域となる。

塑性域は等方塑性理論に従って解析される。すなわち、塑性ポテンシャルは応力空間の降伏条件に等しく、塑性ひずみ増分は降伏曲面に垂直であり、応力と塑性ひずみ増分の主軸は一致するものとする。また、応力は平衡方程式と降伏条件式により規定され、これらに特性曲線法を適用すると、塑性域の応力と変位は Γ_2 の表面力を初期値として、すべり線に沿う差分形式で解析される。

一方、弾性域はBEMによって解析される。このため、弾塑性境界 Γ_3 と弾性壁面 Γ_1 上に境界要素を配す。いま、境界面 $\Gamma_1 + \Gamma_3$ の表面力 $\{p\}$ とすると、弾性域の挙動は図1(b)と(c)の解を重ね合わせて求められる。(b)は初期応力場にある無限弾性体であり、 $\Gamma_1 + \Gamma_3$ 上には、初期応力と等価な表面力 $\{p_0\}$ が作用している。(c)は空洞開削による変化を表現し、無限遠は無応力であり、 $\Gamma_1 + \Gamma_3$ 上には $\{-p_0 + p\}$ の表面力が作用する。両者を加えると、無限遠に初期応力が作用し、境界上に $\{p\}$ の表面力が作用する。すなわち、(a)の弾性域の解が得られる。

弾性壁面 Γ_1 上の表面力は既知であり、弾塑性境界 Γ_3 上の表面力は塑性域の解析から得られ、領域間での表面力の連続性がみとめられる。弾塑性境界 Γ_3 では、表面力および変位の連続性に加えて、 Γ_3 上の弾性応力が降伏条件をみたし、かつ、弾性域内部の応力が降伏条件以下であるという条件が成立しなければならない。この条件をみたすように、弾塑性境界 Γ_3 は壁面から少しずつ遠ざかり、改良・修正される。

3. 解析例 岩盤内に掘削される空洞が直径20mの円形のとき、単設および双設空洞について解析を実施した。このときの岩盤物性を示すと表1のようである。本解析では、塑性解析に用いる降伏条件と弾性境界の降伏条件を別々に与えることができ、両降伏条件には同じモールクーロンの条件を用いている。

初期応力状態が地山強度比(被り重量圧/1軸圧縮強度)1.16の場合、側圧係数1.0および0.5の解析例を、図2および図3に示す。空洞周辺の着色部が塑性域である。側圧係数が大きいと、塑性域は空洞周辺の全領域に存在するが、小さくなると上下盤で塑性域は発生しなくなる。双設空洞では、塑性域にはほとんど差違はないが、空洞に挟まれたピラー一部の壁面変形は、他の場所のそれに比較すると著しい。

単設空洞と双設空洞の解析結果から、側壁塑性領域の幅と側圧係数および地山強度比の関係をまとめると図4のようである。地山強度比の増大とともに拡大する塑性域の奥行きは、単設空洞に比べて、双設空洞のほうが大きい。とくに、ピラー一部の塑性域の拡大は著しく、地山強度比4.0程度で、ピラー全体の塑性化が起これと予想される。また、双設空洞の場合、側圧係数の影響が少ないことに注目される。

4. 結言 BEMと特性曲線法を結合した新しい弾塑性解析法を提案し、2、3の解析例を示した。この結果、提案した解析法を用いると塑性域の拡がりや変形を精度よく求められることを明らかにした。

表1 解析に用いた物性値

弾性 :	ヤング率	$10 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
	ポアソン比	0.20
弾性境界の降伏判定に用いる降伏条件		
	粘着力 c_p :	20 kg/cm^2
	内部摩擦角	40度
塑性解析に用いる降伏条件		
	粘着力 c_T :	20 kg/cm^2
	内部摩擦角	40度

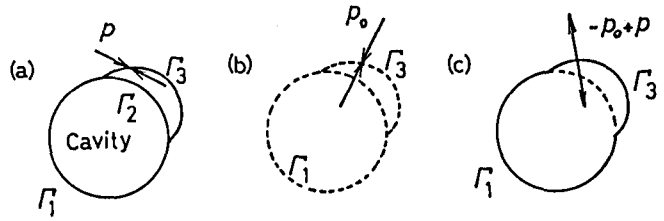


図1 解析領域の分割と境界

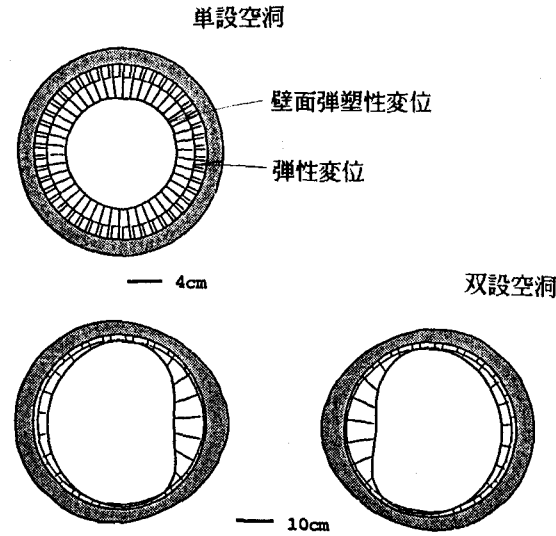
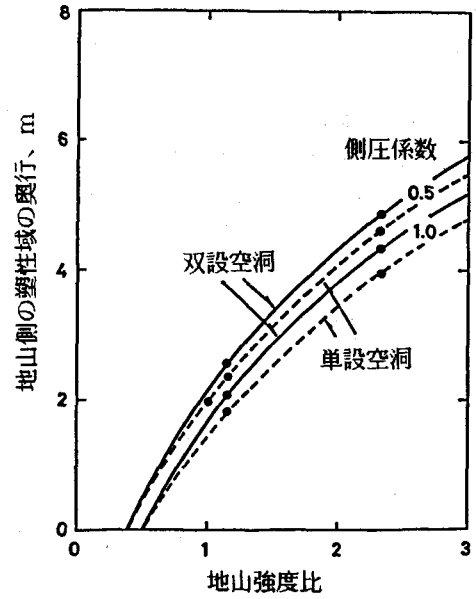


図2 地山強度比1.16、側圧係数1.0の解析結果

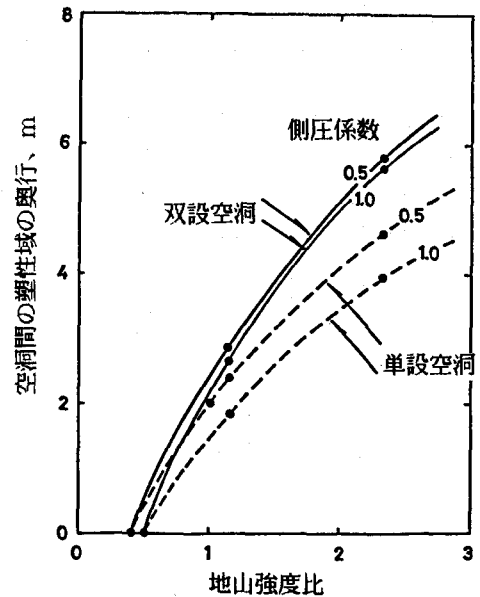


図4 双設円形空洞の塑性域

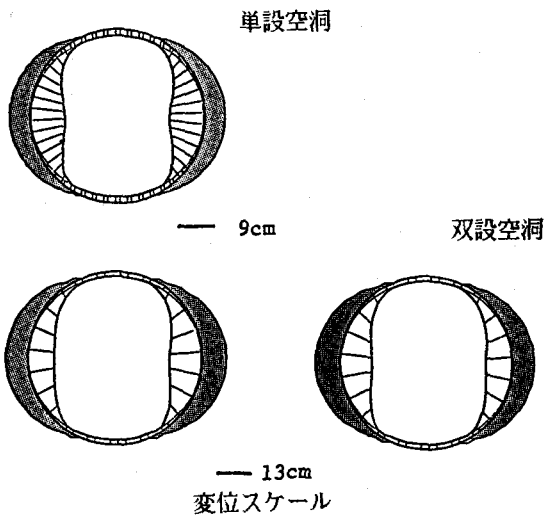


図3 地山強度比1.16、側圧係数0.5の解析結果