

III-443

境界要素・特性曲線結合法による多数空洞問題の弾塑性解析

東急建設㈱土木技術部 正会員 青木俊朗
 東急建設㈱土木技術部 正会員 藤川富夫
 熊本大学工学部 正会員 菅原勝彦

1. 緒言

地下空洞の設計に際しては、空洞掘削に伴う空洞まわりの応力変化や変形の適確な予測が重要となる。このために、既に有限要素法に代表される種々の弾塑性数値解析法が提案されている。しかし、従来の解析法では、多数空洞問題に対して、莫大な計算容量と計算時間を要することから、充分満足のいく解が得られていないのが現状である。そこで、著者らは、多数空洞問題に対しても容易に高精度の弾塑性解の得られる新しい弾塑性解析法（境界要素・特性曲線結合法¹⁾）を開発した。本報告では、本解析法の概要を述べるとともに、これを10連空洞問題に適用し、連設空洞の弾塑性挙動について分析した結果を報告する。

2. 解析方法の概要

岩盤中に空洞が掘削されるとき、図1に示すように、空洞壁面は弾性壁面 Γ_1 と塑性壁面 Γ_2 （全壁面が塑性化するとき $\Gamma_1 = 0$ ）とから構成され、岩盤内には初期応力と岩盤強度とに相応した塑性域（ Γ_2 と弾塑性境界 Γ_3 に囲まれた領域）が発生し、そのまわりは無限まで続く弾性域となる。このような空洞まわりの弾塑性問題を本解析法では、解析領域を弾性域と塑性域とに分けて取扱う。

塑性域の応力は塑性平衡方程式で規定され、特性曲線法によって解析される。また、塑性域の変形については、関連流れ則を仮定し、特性曲線法によって解析される。一方、弾性域は境界要素法により解析する。このため弾性壁面 Γ_1 と弾塑性境界 Γ_3 上に境界要素を配す。

ところで、弾塑性境界 Γ_3 では、表面力の連続、変位の連続に加え、 Γ_3 の弾性域側の応力状態が、丁度、降伏条件を満たし、かつ、 Γ_3 を除く弾性域の応力が降伏条件以下でなくてはならない。この条件を満足するような弾塑性境界 Γ_3 は壁面から少しづつ遠ざかるように改良・修正され、逐次解析により決定される。詳細については文献¹⁾を参照されたい。

3. 解析モデルおよび解析結果

図2に示すように、幅 $H_x = 18\text{ m}$ 、高さ $H_y = 22\text{ m}$ の馬蹄型空洞を水平に50 m間隔に10個配置した連設空洞問題を解析した。したがって、空洞間のピラーの最小幅は32 mである。本解析では、岩盤をモールクーロンの降伏基準に従う完全弾塑性体と仮定し、図2中に付記した物性値を用いた。また、1つの空洞は88個の境界要素で模した。

解析は2つの初期応力状態（Ⅰ）および（Ⅱ）について行なった。すなわち、（Ⅰ）は初期応力が静水圧 $\sigma_1 = \sigma_3 = 55\text{ kgf/cm}^2$ の場合であり、（Ⅱ）は鉛直方向初期応力が（Ⅰ）の

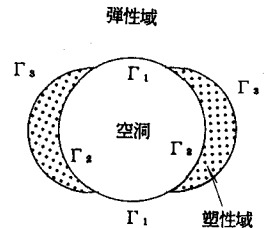
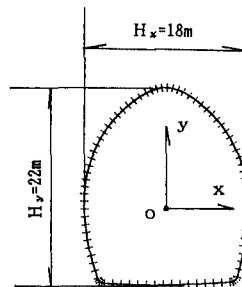


図1 領域分割



ヤング率 $E = 50000\text{ kgf/cm}^2$
 ポアソン比 $\nu = 0.25$
 粘着力 $c = 5\text{ kgf/cm}^2$
 内部摩擦角 $\phi = 55^\circ$
 （一軸圧縮強度 $S_c = 32\text{ kgf/cm}^2$ ）

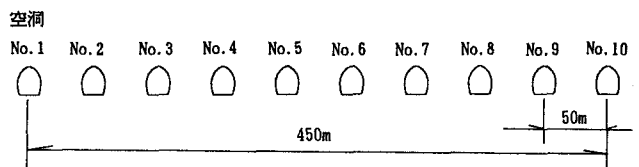


図2 解析モデル

それと同値であるが、主応力がx軸から45°傾き、主応力比 σ_3 / σ_1 が0.5の場合である。それぞれの解析結果を図3および図4に示す。両図中の色塗りの部分が塑性域である。また、壁面変位の弾塑性解および完全弾性解はそれぞれ太実線および細実線で示し、変位スケールを無次元表示している。なお、図中の(c)には比較のために単一空洞の解析結果を示している。

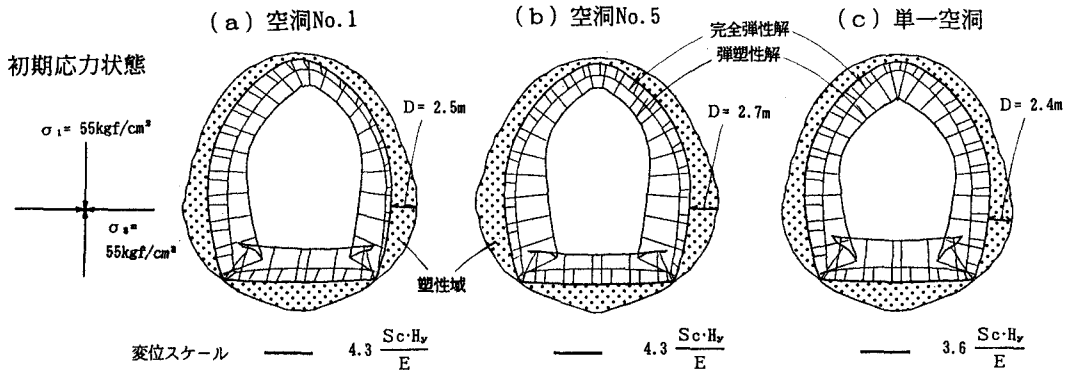


図3 初期応力状態 (I) における10連空洞の弾塑性挙動

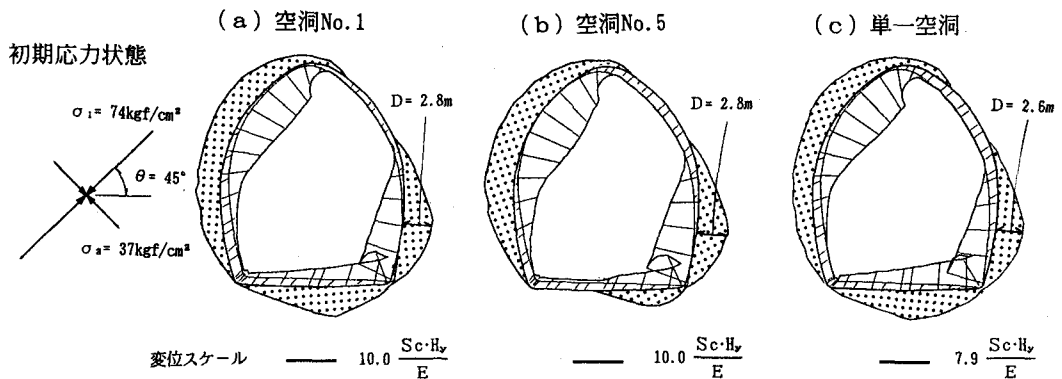


図4 初期応力状態 (II) における10連空洞の弾塑性挙動

初期応力状態 (I) の場合、空洞壁面全体が塑性化するが、(II) の場合、右肩部と床部の一部は塑性化していない。しかし、床部を除く塑性域の最大奥行きDに着目すると、(I) と (II) の差はわずかである。また、空洞の相互干渉による塑性域の最大奥行きDの増加 ΔD は、単一空洞におけるDの10%程度である。つぎに、連設空洞の壁面変形に関しては、弾性変形は空洞No. によって異なるが、弾塑性変形は空洞No. による差異が小さいことに注目される。また、空洞の相互干渉による壁面変形の増加がどちらのケースも20%程度であるのに対して、初期応力状態の違いによる壁面変形量の違いは2倍以上となっている。これは、初期応力評価の重要性を示唆している。

4. 結言

境界要素法と特性曲線法を結合させた弾塑性解析法を10連空洞問題に適用し、その弾塑性挙動を具体的に分析するとともに、多数空洞問題に対する本解析法の有効性を示した。

参考文献

- 1) 菅原勝彦ほか：2軸応力下の空洞まわりの弾塑性解析、境界要素・特性曲線法による岩盤空洞の弾塑性解析（第1報）、日本鉱業会誌、104巻、1203号、pp.261~266、(1988)