

埼玉大学 正員 佐藤 邦明 (株)熊谷組 正員 伊藤 洋
 (株)熊谷組 正員○西山 勝栄 (株)熊谷組 正員 森 清就

1. はじめに

岩盤地下空洞は、地下発電所、エネルギー地下備蓄、放射性廃棄物処分などの多方面に利用されようとしており、岩盤地下水に関する研究も活発に行われつつある。空洞周辺地下水流れや湧水の二次元的取扱いについては従来までかなり研究が進んでおり、岩盤地下水固有の取扱いもなされている。しかし、空洞周辺流れの三次元流としての性質や定量評価は実験も解析も容易でないことも加ってほとんどなされていないのが現状である。実際の地下空洞に係る地下水は二次元流として取扱っても支障のないことも多いが、空洞があまり長くなくかつ浅いときには空洞端部に三次元特有の影響が現われてくる。

本論では、このように観点から空洞周辺の不圧地下水の三次元的性質を明らかにし、量的評価を行うことを目的に三次元地下水の数値解析を試みる。得られた成果は、空洞に係る不圧地下水の二次元・三次元取扱い上の論拠を与えると思うのでここに報告する。

2. 解析モデル

岩盤地山は等方・均一であるとし、解析モデルを図-1のように設定する。空洞は幅 B 、高さ H_c ($H_c/B = 1.5$)、長さ L とした時 $L/B = 3, 6, 9$ の3種とする。境界条件は地山遠方 ℓ で境界水位・水頭 $H_o = \text{const.}$ とし、空洞下方深さ D に不透水境界をもつとする。解析条件は表-1のように、空洞長さ L 以外の諸条件を一定にして、これを $L/B = 3, 6, 9$ と変えて行う。今回の解析に用いた三次元有限要素法は既存プログラムSIGNAS (総合地盤解析システム) により、要素数1769、節点数2268で六面体要素を用いる。

数値解析内容は、①空洞周辺の水位・水頭の三次元分布と流速ベクトルの三次元水理構造、②境界と空洞規模の違いによる湧水量の変化と湧水量の成分解析が中心となる。

3. 結果と考察

三次元流れの解析結果をもとに流れの性質および湧水量について考えてみるが、水位・水頭分布、流速と湧水量を分けて述べる。

(1) 水位・水頭形状と流速分布

表-1に基づいて空洞周辺の三次元、および二次元解析を進める。ここで言う二次元解析とは空洞中央断面で切った帯水層におけるものである。両者について代表的な結果を提示し検討を加えることにする。

まず、図-2は地下水位分布・ピエゾ水頭と流速ベクトル分布を併せて示したものである。これによると水頭は空洞に向かって低下し、それに伴って等水頭線の間隔が密となり流速が集中していることがわかる。また、空洞壁面における浸出点は、奥行方向 (図中の $y > 0$) に向かって高くなり、空洞端部では空洞上端に現れており、端部で収束流の影響が強いことを示唆している。一方、自由表面形状は、三次元解析による方が高くなっている。

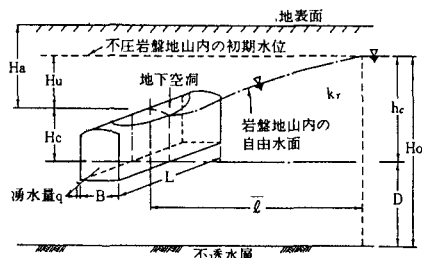


図-1 解析モデル

表-1 解析条件

解析ケース	空洞水平長さ L (m)	境界条件・パラメータ
Run-1	0.15	$B = 0.05\text{m}$, $H_c = 0.075\text{m}$ $r = 0.025\text{m}$
Run-2	0.30	$H_o = 0.54\text{m}$, $h_c = 0.24\text{m}$ $D = 0.30\text{m}$, $\ell = 1.05\text{m}$
Run-3	0.45	$kr = 0.102 \times 10^{-2} \text{m/s}$

(2) 湧水量とその三次元成分

ここでは三次元流の湧水構造に注目し、空洞壁面から流入する流量分布について考える。

図-3は、作図的に空洞壁面に垂直な方向の流速ベクトル成分の分布を $1/4$ 空洞モデル上に示したものである。同図はいうまでもなく、同時に湧水量成分を示しているものとみなせる。浸出面は空洞天端付近に現れ、空洞中央で最も低くたれた状態になり空洞端部に近づくに従って高くなっている。空洞端部では空洞上部に現れている。また、空洞側面流量成分(後述図-4) q_b, q_d および空洞底面での湧水量 q_a は、端部でいずれも急激に大きくなっており、三次元収束流の影響が顕著に現れている。また、図中一点鎖線で示した二次元解析結果と三次元のそれを比較すると、空洞中央では二次元のそれの方がやや小さくなっているが、空洞端部ではかなり差が大きくなっており、三次元流との違いがはっきりと知れる。

つぎに、空洞湧水量が空洞規模によってどう変わるかと同時に三次元構造の影響がどの程度になるかについて吟味するため、空洞湧水成分を図-4上のように4つの部分に分け、横軸に $L/2l$ を縦軸に無次元湧水量 $q/k_r A$ をとった関係を図-4に示す。ここで、 $L/2l = 1$ の場合は空洞の長さ L と空洞長手方向の影響圏距離 $2l$ が等しいことを表しているため、空洞を断面で切った流れはすべて二次元流となる。図中の実線で示してある無次元総湧水量 q_t^* は、 $L/2l$ の増加に伴ってしだいに減少する。 $L/2l = 0.071$ の場合の q_t^* は、二次元でのそれ($L/2l = 1$)に比べて約4倍の値となっている。つぎに各湧水量成分に着目すると、空洞底面湧水量 q_a^* は q_t^* に比べてやや大きいが、減少傾向は q_t^* のそれに類似している。側面からの湧水 q_b^* は、 $L/2l = 0.14$ 付近で急激に減少するがその前後における変化は小さい。これは、主に空洞壁面における浸出面の移動、変化に起因しているものと判断され、不圧地下水の場合は顕著になる事がわかった。 q_c^* は空洞端面におけるそれを示しているが、それは $L/2l$ によってほとんど変化していない。 $L/2l = 1$ の場合は $q_c^* = 0$ となるから、 q_c^* は $L/2l = 1$ 近傍で急減するものと考えられる。また、 q_c^* は $L/2l > 0.15$ になると q_t^* を上回っていることも認められる。空洞上半曲面からの湧水 q_d^* は、上述したような浸出面の変化の影響をうけるが、 q_b^* に見られたような急激な変化はなく、 $L/2l$ の増加に従ってなだらかに減少している。

以上、湧水量の空間的成分を分離して空洞三次元構造における不圧地下水流の性質を検討したが、三次元効果が顕著に現れることがわかった。

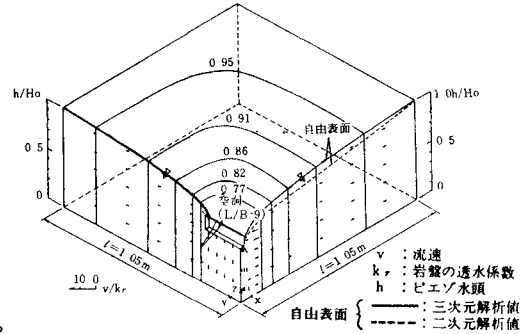


図-2 流況およびピエゾ水頭 h/H_0 分布

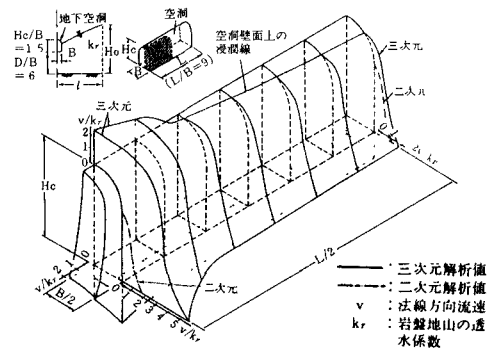


図-3 空洞壁面垂直流入
流速ベクトルの三次元分布

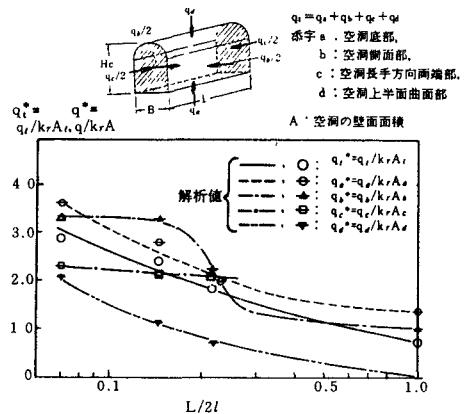


図-4 $q_t/k_r A_t, q_t/k_r A$ と $L/2l$ の関係