

岩盤地下水取水システムの取水量に関する基礎検討

清水建設(株) 鈴木 誠・百田博宣・山田俊子・長谷川誠
九州大学工学部 神野健二

1. はじめに

近年は長期的な小雨傾向で、異常小雨の発生は異常多雨のそれをはるかに上回っている¹⁾。そのため、1994年の列島渇水のような渇水が頻発傾向にあり、渇水対策として渇水ダムや海水淡水化プラントなどの必要性が取り上げられている。本研究では、気象変動影響を受け難い未利用な岩盤地下水を活用する構想「岩盤地下水取水システム」に関して、取水原理および取水性能についての基礎的な検討を行った。

2. 岩盤地下水取水システム²⁾の概要

本研究で考えている岩盤地下水取水システムは、図-1に示すように地表より所定の深度まで到達するための立坑、多数の集水孔を設置するための集水トンネルで構成し、井戸の役目をする多数の集水孔で岩盤地下水を効率的に取水するものである。湧水した岩盤地下水は集水孔から集水トンネル最深部の立坑底部まで自然流下する構造になっており、揚水装置で揚水して利用できる。

また、本システムは、揚水量の調節により立坑内の水位を調節できることを特徴としている。このため、集水孔と周辺地下水との水頭差を制御することができ、湧水量の制御と地下水環境への影響(周辺地下水位等)を緩和することなど各種の取水運転が可能となる。

ここでは、本システムの取水性能に関して、深度や集水孔配置等の各種構造寸法が取水量に与える影響と取水量の推定について、解析的に検討する。

3. 取水量に関する解析的検討

(1) Muskatの理論³⁾による各種構造寸法の影響検討

本システムは主に集水孔に湧水が生じる。湧水量に影響を与える集水孔の構造パラメータは、径、深度、孔間隔であり、図-2のモデルを考える。一孔当たりの湧水量 Q は、Muskatの理論³⁾が利用でき、集水孔が単設の場合と一定間隔で無限列に設置された場合については、次式で表現される。

$$Q = \frac{2\pi k(h_1 - h_2)}{\ln(2d/r)} \quad (1)$$

$$Q = \frac{2\pi k(h_1 - h_2)}{(2\pi d/A) + \ln(A/2\pi r)}, \quad \left(\frac{r}{A} \ll 1, \frac{2d}{A} > 1\right) \quad (2)$$

上式を用いて、集水孔径 r の影響を算出した結果を図-3に示す。ここでは、集水孔は大気圧で水面低下はないとし、 $h_1 - h_2 = d$ とした。また、透水係数は $k = 5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ と仮定した。 r の増大で Q は対数的に増加するが、 r の拡大による湧水量の増加効果は比較的に小さい。特に、この傾向は無限列孔の場合が強い。

次に、深度 d と集水孔間隔 A の影響を算出し、図-4に示

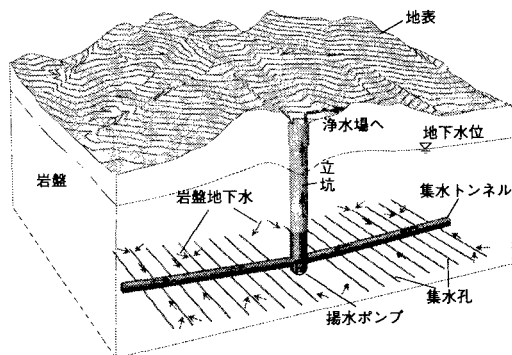


図-1 岩盤地下水取水システム概念図

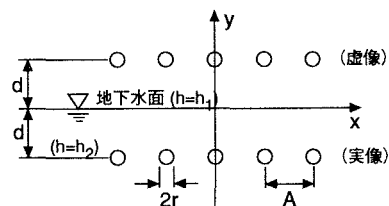


図-2 集水孔の縦断面のモデル化

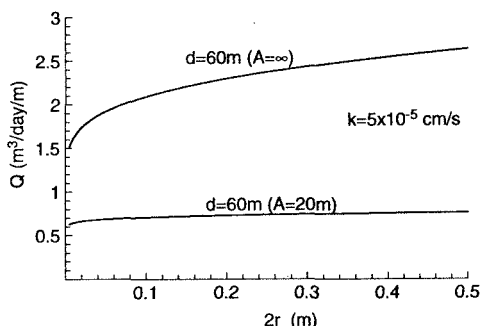


図-3 集水孔径 $2r$ と湧水量 Q の関係

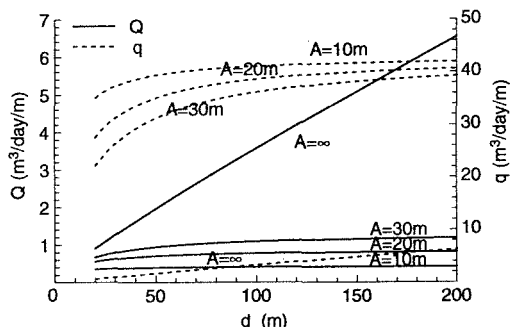


図-4 水頭 d と湧水量 Q, q の関係

す。ここで、 q は1000m区間当りの湧水量である。これより、 A が大きいとき、 d の増加に伴って Q は対数的に増加する。また、 A が小さければ Q は小さいが、逆に q は増加することがわかる。したがって、 q を増加させるには建設コストおよび割れ目系の分布状況等も勘案して、 A と d を決める必要がある。

(2) 三次元FEM解析⁴⁾による取水量の推定

水平集水孔が一定間隔に設置されている条件を設定すると、トンネルおよび集水孔等の構造から、湧水量の推定には三次元解析が必要となる。ここでは、集水孔の一ピッチ分を切り出した図-5の三次元解析モデルを設定する。取水性能の第一段階として、地下水面を固定し、集水孔の影響の検討のために集水孔の有無や方向で表-1に示す解析ケースを設定する。

深度 d を横軸に、集水孔長さ L を考慮した集水トンネル1000m当りの湧水量 Q_{total} を図-6に示す。なお、解析ではトンネルを大気圧としているため、 Q_{total} は最大取水能力を示している。実線は集水孔がない場合を対象に、水面が水平で等価半径2.548mの条件で、集水トンネル湧水量を式(1)で求めたものである。case-aに対する各ケースの湧水量の比を表-2に示す。また、case-dの集水孔部の湧水量の分布状況を図-7に示す。これらの図表より、以下の結論が得られる。

- ① 集水孔の設置で、湧水量が大幅に増加しており、本システムの構造の妥当性を示している。
- ② 集水孔先端部が三次元効果で湧水量が集中する状況が得られ、この状況は式(2)では評価できない。

4. おわりに

本研究では、岩盤取水システムの基本的な検討を行った。今後は、立坑水位の制御による地下水環境への影響等を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 平成9年版 水資源白書、国土庁長官官房水資源部編、pp.22-27.
- 2) たとえば、日経産業新聞、1997.8.7.
- 3) Muskat, M.: The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media, McGRAW-HILL, 1937.
- 4) 百田・楠本: 多孔質地山の地下空洞を対象とした三次元地下水解析, 第29回水理講演会論文集, pp.739-744, 1985.2.

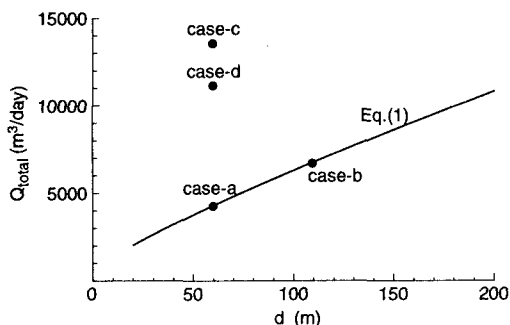


図-6 深度 d と湧水量 Q_{total} の関係

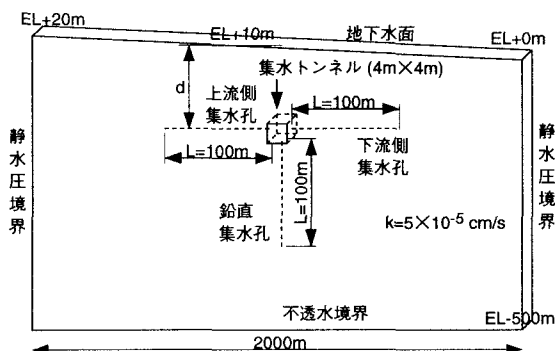


図-5 集水孔1ピッチ幅の三次元有限要素モデル

表-1 解析ケース

Case	d (m)	集水孔 [長さ:L(m), 間隔:A(m)]		
		上流側	下流側	鉛直
case-a	60	—	—	—
case-b	110	—	—	—
case-c	60	L=100 A=20	L=100 A=20	—
case-d	60	L=100 A=20	—	L=100 A=20

表-2 相対湧水量 Q_r

Case	$Q_r (Q_{total}/Q_{a, total})$		
	トンネル部	集水孔部	合計
case-a	1.000	—	1.000
case-b	1.567	—	1.567
case-c	0.277	2.920	3.197
case-d	0.367	2.237	2.604

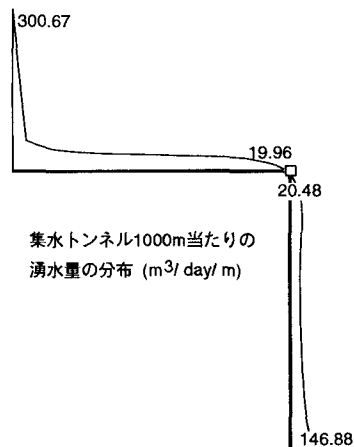


図-7 集水孔における湧水量分布 (case-d)