

水産庁 正会員 ○米山 正樹

住宅・都市整備公団

秋草 哲

埼玉大学工学部 正会員

佐藤 邦明

はじめに

近年、地下空間の利用が増加し目的も多様化してきている。特に地下街のように人間の活動が活発な地下空間を対象にすると、水収支を考え湧水の実態を把握することが極めて重要となる。本研究では、地下に円形空間を仮定し、地下空間の水収支と湧水の関係を水と熱を連成して解析した。この解析の妥当性を裏付けるために、建設中の“さいたま新都心”の地下調整池において、湧水(蒸気水・液状水)の現地実測を行った。

1. 解析手法

図1のような地下空間を考える。この地下空間に覆工を通して湧水が起こる。この理論は、Philip and De Vries と De Vries のモデルに基礎をおく。

温度勾配下の水分移動、熱エネルギー保存則はベクトル表示すると次式で与えられる。¹⁾

$$\left\{ \frac{F}{J_v} \right\} \frac{\partial \psi}{\partial t} + \left\{ \frac{G}{C_a} \right\} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\left\{ \frac{D_T}{\lambda} \right\} r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\left\{ \frac{D_v}{D_{vv}} \right\} r \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) \right] \quad \dots\dots (1)$$

$$G = aRH(d\rho_0/dT)/\rho_l$$

$$D_T = D_{T1} + D_{Tv}$$

$$D_v = D_{v1} + D_{vv}$$

$$J_v = \Delta h_v \rho_l \left(\frac{D_{vv}}{D_{atm} v_m \alpha_m} - \frac{\rho_v}{\rho_l} F \right)$$

$$C_a = C'_a + \Delta h_v a \left(\frac{d\rho_0}{dT} \right) RH$$

$$\lambda = \lambda' + \Delta h_v \rho_l D_{Tv}$$

ここに、 T : 温度、 ψ : マトリックスポテンシャル、 F : 比水分容量、 t : 時間、 r : 円筒の中心からの距離、 a : 含空率、 RH : 相対湿度、 ρ_0 : 飽和水蒸気密度、 ρ_l : 液状水の密度、 D_{T1} : 温度液状水拡散係数、 D_{Tv} : 温度水蒸気拡散係数、 $D_{\theta 1}$: 等温液状水拡散係数、 $D_{\theta v}$: 等温水蒸気拡散係数、 Δh_v : 蒸発潜熱、 D_{atm} : 水蒸気拡散係数、 v_m : マスフローファクター、 α_m : 屈曲度、 ρ_v : 水蒸気密度、 C'_a : 体積熱容量、 λ' : 熱伝導率。

この基礎式を離散化し、風上重み付き残差法²⁾を用いて解析を行う。その手順は、図2に従って進める。解析条件として、空間内温度・湿度を一定とし、又覆工内は不飽和と考え、透水係数は含水率の関数とおいた。

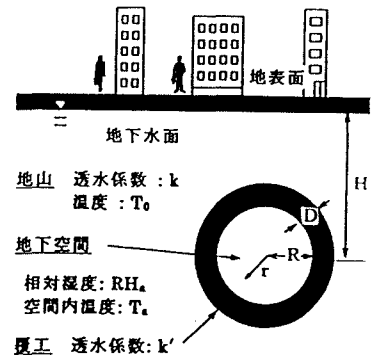


図1 解析モデル

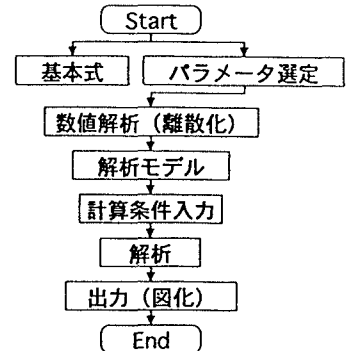


図2 計算フローチャート

キーワード: 地下空間、水収支、吸湿法、湧水

〒338 浦和市中大久保 255 TEL 048(858)3568 FAX 048(855)1378

2. 現地測定方法

湧水量の測定は図3に示すように縦50cm、横50cm、高さ5cmの箱形の測定装置で行った。この装置により液状水の湧水は、空間内から液状のまま湧水したものをビュレットにより測定し、蒸気水は空間内に設置したシリカゲルに吸収させ、重量変化によって測定する。測定データはデータ収納パソコンに記録する。測定地点は図4に示すように幅19.5m、深さ25.1m、奥行き200mの地下空間壁面の6点である。それは蒸気水（健全部）が支配的な地点1, 2, 3, 6と液状水（打継部）が卓越する4, 5である。

3. 実測と解析結果

測定期間は各点約3ヶ月で2地点ごとに測定した。図5, 6はそれぞれ測定地点4における温・湿度及び湧水量の経時変化を示している。図5によると温度は16.0℃で、湿度は幾分減少して78%で安定している。さらに図6から液状水と蒸気水の両方が湧水していることが分かる。ここに示す図は一例であるが、液状水は蒸気水の約10倍の値を示しており、これは他の測定地点でも同様の傾向であった。次に水・熱連成解析による湧水量と温度、深さ、湿度の関係に注目する。図7は、解析値と実測値の深さによる蒸気湧水量変化を示す。測定地点毎にグルーピングでき深さの影響がほとんど現れないことが判る。

4. まとめ

本研究を通して以下のようなことが分かった。

- (1) 液状水、蒸気水の湧水量が本研究で開発された測定方法により現地測定できることが判った。
- (2) 蒸気水での湧水は、ある条件によっては液状水よりも卓越し、液状水と蒸気水の湧水を区別して考える必要があることが、数学モデルと現地実測より実証された。
- (3) 実測によると温度、湿度、深さの変化により、湧水量は幾分増減するがほぼ一定であり、解析によれば覆工の透水係数の変化により湧水量の値が大きく変化することが判った。

参考文献

- 1) 福原輝幸・佐藤邦明：地下空間の換気による覆工の蒸発・乾燥過程と湧水メカニズム、地下空間利用シンポジウム、pp.219-226、1992。
- 2) 福原輝幸・ジョージ・F・ピンダー・佐藤邦明：表面乾燥過程における飽和-不飽和多孔媒体中の熱・水分完全連成移行解析へのアプローチ、土木学会論文集、第423号、pp.111-120、1990。

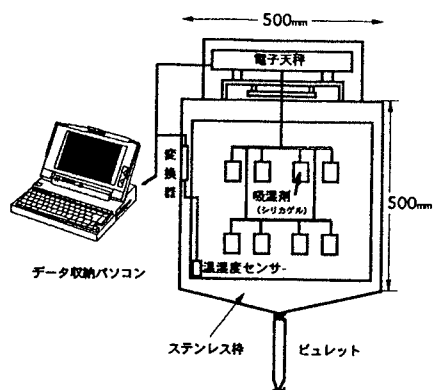


図3 湧水量測定装置

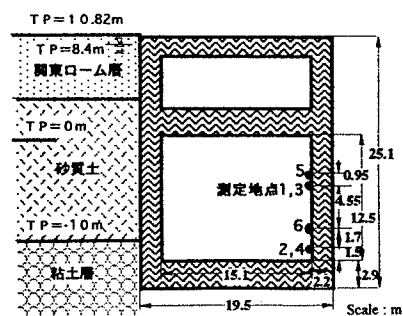


図4 空間周辺の地質と測定地点

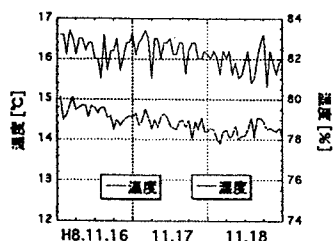


図5 測定地点4における
温度・湿度の経時変化

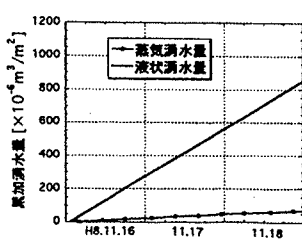


図6 測定地点4における
湧水量の経時変化

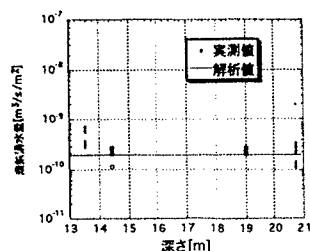


図7 深さによる湧水量の
変化（実測値と解析値）