

CS-69 コンパートメント・モデルによる地下空間の適正化解析

開発土木コンサルタント 小泉昌一
 埼玉大学大学院 学生員 ○米山正樹
 埼玉大学工学部 正 員 佐藤邦明

1、はじめに

地下空間利用と開発に係わる環境といえ、いろいろなものが含まれてくる。水分（湿気）、温度、対流（空気流れ）はその中の基本環境要素であり、空調・換気はそれらを制御する手段である。これらは、空間の中の基本環境を平常時に健全に保つという役割のみならず、災害（火災）時にも、重要な機能を担う。

そこで、本研究では基本環境要素（地下空間の水）の収支を通して、複数の空間の常時の換気に要する運転経費を最小にするという側面から、換気、除湿量の最適化をコンパートメントモデルと線形計画法の手法を用いて決定し、その実際への応用を試みたものである。

2、解析方法

空間内の水収支の支配要素は湧水・漏水、及び蒸発・凝結であるが、これは同時に熱収支にも関与する。さらに換気や発生水分も考慮に入れなければならない。本研究では、図-1に示すコンパートメントモデルに注目した。それぞれの空間における単位滞留時間当たりの水蒸気量の保存式は次のようになる。

$$\frac{dS_i}{dt} = \frac{h_{i0}V_i}{t_{pi}} + (h_{IN} - Q_i)u_i - h_{OUT}v_i + (m_v A_i + D_i) - h_{i+1}(u_i - v_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

ここに、 $S_i = h_i V_i$ 、 h ：絶対湿度（ kg/m^3 ）、 V ：空間容積（ m^3 ）、 Q ：除湿量（ kg/m^3 ）、 u ：吸入換気量（ m^3/s ）、 v ：排出換気量（ m^3/s ）、 t_p ：滞留時間（ s ）。また、添字0は初期条件、添字*i*は空間*i*、添字IN及びOUTは地下空間への流入・流出を意味する。なお本モデルでは、覆工を透過した液状湧水のみ排出され、新たな蒸発発生源とはならず、空間への流入出空気は計画温度に調節されているものとする。連続の関係は、

$$\sum_{i=1}^n u_i = \sum_{i=1}^n v_i \quad (2)$$

となる。ここで換気・除湿にかかる総換気経費 Z は、

$$Z = \sum_{i=1}^n C_i u_i \quad (u_1, u_2, \dots, u_n \geq 0) \quad (3)$$

と表せられ、これを最小にすることが目的である。ここに、 C ：単位時間・単位換気量あたりの除湿・換気コストである。

式（1）、（2）において設定湿度、発生水蒸気量などは以下の諸条件が得られる。これらは、人間が快適に過ごせるような環境を作るための条件で以下のようにと置く。

設定湿度 r_{ci} ：制御上限（相対）湿度 $r_{ci} \geq$ 空間の湿度 r_i

発生水蒸気量 G_i ：
$$\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{(Q_i - h_{IN})u_i}{h_s} + r_{OUT}v_i \right\} \geq \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{h_s}$$

経済的設計換気量 u_{i0} ： $u_i \leq u_{i0}$

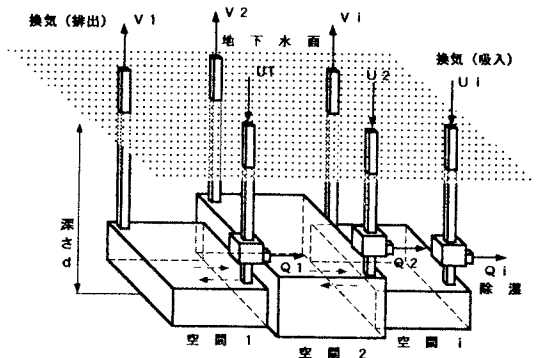


図1 空間換気システムの構成

表1 空間環境計算条件（外気）

外気	温度	相対湿度	飽和水蒸気圧
	27℃	73%	3567Pa

$$\text{必要換気量 } W : \sum_{i=1}^n U_i \geq W$$

ここに、 r ：相対湿度、 G ：発生水蒸気量（kg/s）、 W ：必要換気量（ m^3/s ）である。

式（1）、（2）及び制約式から、式（3）を最小にする空間の最適な換気（吸入）量 $u_1, u_2, \dots, u_n$ を求めればよい。

3. 解析条件

以上に述べた理論の応用例を示す。今回は単純化するため2空間で構成される地下複合空間とした。解析には、表1～3¹⁾、²⁾の値を用いた。

表2 空間環境計算条件（室内）

室内	設定温度	飽和水蒸気圧
	25℃	3168Pa

表3 空間規模と収容人員

空間	幅 W (m)	高さ H (m)	奥行 L (m)	床面積 (m ²)	収容人員 (人)	用途	地盤接触壁面 A (m ²)	容積 V (m ³)
1	50	7	200	10000	2000	駅	22500	70000
2	100	5	200	20000	5000	地下街	42000	100000

4. 結果

計算結果を図式的に表すと図2、3が得られる。図2では $u_1 \geq v_1$ の場合、つまり空間1から空間2へ空気の流れがあるときの制約式により制約領域が表されている。最適解は $Z = 67.705$ となり、このとき $(u_1, u_2) = (38.89, 19.21)$ となる。図3は $u_1 \leq v_1$ の場合、つまり空間2から空間1へと空気の流れがあるときの制約領域を表したもので、この結果、 $Z = 78.835$ となり、このとき $(u_1, u_2) = (16.43, 41.47)$ となる。この2者を比較し除湿・換気コストを最小にする最適換気量は $(u_1, u_2) = (38.89, 19.21)$ (m^3/s) となることが判る。

5. まとめ

本研究では、水収支という観点から常時の換気に要する操業経費を最小にする2空間の換気除湿量をコンパートメントモデルと線形計画法の手法によって決定した。その結果、次のような事が明らかになった。

（1）地下空間の操業、運用にあたって換気は不可欠であり、その運転経費は空間の形状、規模、深度、用途によって合理的に決定する必要がある。

（2）実際の換気の運転経費を適正に決める一つの手法として、コンパートメントモデルが有効であり、水、熱、空気といった目標環境物理量の収支式と線形計画法の併用で最適化し得る。

今後は、より実用的なものにするために、対象となる空間の使用目的、空間規模、形状などに合わせたパラメータの確立が求められる。今回は温度レベルがほぼ恒常的で、かつ準静的な場合を扱ったが、熱と水のカップリング現象としての換気量の最適化をする必要がある。

参考文献

- 1) 国立天文台編：理科年表 1996, pp.199, 207, 481 丸善
- 2) 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学会便覧Ⅱ巻, pp.Ⅱ/44-47, オーム社, 1987

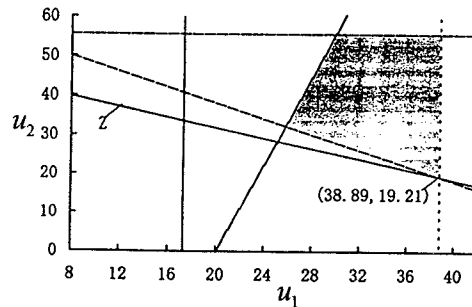


図2 最適湿度制御図式計算例（1）

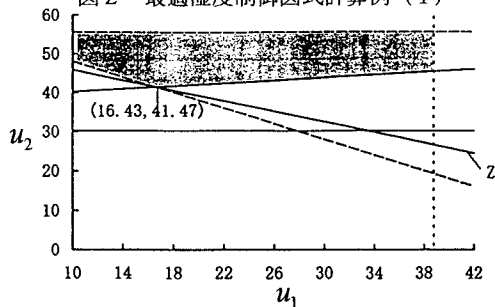


図3 最適湿度制御図式計算例（2）