

電力中央研究所 正 員 ○小早川博亮

東北大学 正 員 京谷 孝史

名古屋大学 正 員 林 良嗣

3. GISと連結した浸透・物質移動の連成解析の概要

地理情報システム（GIS）とは、地図・統計あるいは調査上の大量の情報をデータベース内に一元的に管理し、図形処理・画像処理といった機能を通じて、これらの情報の検索・分析・表示等の作業を効率的に行うことを目的とした計算機システムである。本解析システムは、上記のGISと、応力変形・浸透・物質移動の連成解析コードの2つを主な構成要素としている。

図1にその概念図を示す。

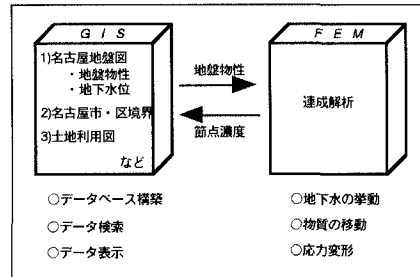


図1 システムの概念図

次に、本研究での解析システムの手順をフローによって図2に示す。

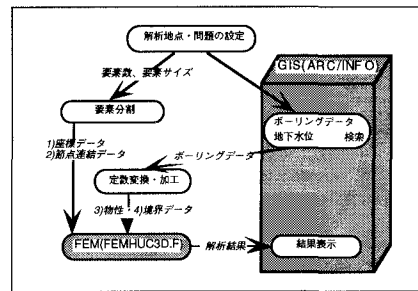


図2 システムのフロー

GISを利用することの利点は3つある。1つはその情報管理・検索能力により、解析の入力に関する作業に費やしてきた労力を省くことが可能となることである。2つ目はその表示能力により、直観的・経時的に結果を把握することが可能となり、そして可視化された結果を基にその検討も容易にできることである。3つ目は将来的に社会的な環境評価基準が明らかにされれば、

1. はじめに

本研究では地盤環境の汚染状況を精度よく再現・評価するために、地下水挙動を応力変形・物質輸送と連成させた場の問題として解くための連成解析コードを作成する。これに、データ構築に要する多大な労力と時間を大幅に省くため、地形・地盤データといった情報を簡易に検索できるとともに、地下水流動等の解析結果の表示が可能な既存の地理情報システム（Geographical Information System:GIS、以下GIS）を組み合わせた、解析システムの構築を行う。さらに現在GIS上での地盤情報が利用可能な名古屋地区の地盤を対象に、その地下水流動、およびそれに伴う有害物質の移流・分散挙動の解析を試みる。

2. 応力・浸透・物質移動場における支配方程式

汚染物質の運動は水とほぼ同じとする。つまり、応力と水、すなわち固・液二相の混合体としての運動を考え、その液相中に物質の移行を考慮する。以下にその支配方程式を示す。

（移流分散式）

$$\{n + (1-n)K_d\rho_s\} \frac{\partial c}{\partial t} - \frac{\mathbf{k}}{\rho_w g} (\nabla \mathbf{h}) \cdot (\nabla c) - \nabla \cdot \{ \mathbf{D}(\nabla c) \} = 0 \quad (1)$$

（浸透式）

$$\left\{ tr \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} - \frac{1}{3K_s} tr \left(\mathbf{E} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) \right\} + \left\{ \frac{1-n}{3K_s} + \frac{1}{K_w} - \frac{1}{(3K_s)^2} tr(\mathbf{E}\mathbf{I}) \right\} \frac{\partial h}{\partial t} - \nabla \cdot \left\{ \frac{\mathbf{k}}{\rho_w g} (\nabla h) \right\} = 0 \quad (2)$$

（力のつり合い式）

$$\nabla \cdot (\mathbf{E}\mathbf{e}) + \nabla \cdot \left(\mathbf{E} \frac{p}{3K_s} \mathbf{I} \right) - \nabla p + \mathbf{b} = 0 \quad (3)$$

ここで、 n は間隙率、 ρ_s 、 ρ_w は固層と液層の密度、 K_s 、 K_w は各層の体積弾性係数、 K_d は分配係数、 $\mathbf{k}$ 、 $\mathbf{D}$ はそれぞれ透水係数テンソル、分散係数テンソル、 g は重力加速度成分、 $\mathbf{E}$ は弾性係数テンソル、 $\mathbf{e}$ は全ひずみ、 h は水頭ポテンシャル、 c は、汚染物質の濃度、 $\mathbf{I}$ は2階の単位テンソル、 p は間隙水圧、 $\mathbf{b}$ は体積力を表す。(1),(2),(3)式をガラーキン有限要素法により離散化する。そしてθ法によって時間差分化して解析を行った。

その基準と解析結果を結びつけ、GISで分析を行うことも可能なことである。

本研究では、以上のような利点を持ったGISのひとつであるARC/INFOを利用する。そこに名古屋の地盤情報がデータベース化された名古屋地盤図⁽¹⁾を利用しそこから必要な情報を検索し、入力データとする。

4. 解析例

本章では作成した解析コードの基本的な適用例について述べる。汚染物質については揮発性有機塩素化合物であるトリクロロエチレン（TCEs）を想定した。

解析例として砂質層と粘土質層の2つの物性の地盤での解析を行い、比較、考察する。有限要素分割図と境界条件を図3に示す。

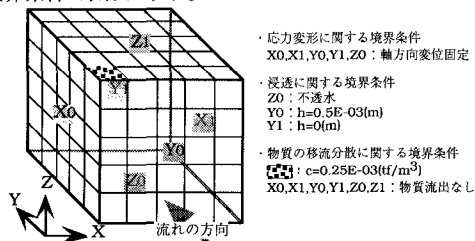


図3 要素分割図と境界条件

図に示したような水頭境界では領域内のY軸正方向に $36.7E-04(m/day)$ の流速が生じていることになる。

地盤物性を、表1に示す。粘土質層の透水係数は砂質層に比べてかなり小さいため、分散係数も小さい値になっている。解析には時間ステップ幅を0.5日とし、中心差分法 ($\theta=0.5$) を用いた。

解析によって得られた1日後、5日後の濃度分布図を、砂質層は図4(a),(b)、粘土質層は図5(a),(b)に示す。

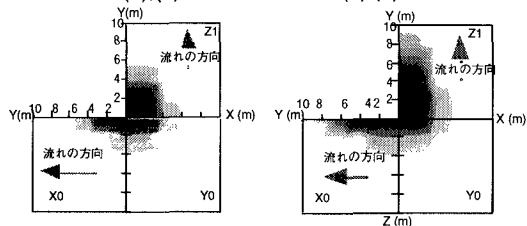


図4(a) 砂質層の濃度分布図（1日後）

図4(b) 砂質層の濃度分布図（5日後）

表1 地盤物性表

地盤物性	単位	粘土質層	砂質層
密度	(t/m^3)	1.65	1.80
体積弾性係数	(t/m^2)	$1.0E+30$	$1.0E+30$
分散係数	(m^2/day)	$0.195E-04$	$0.367E-02$
変形係数	(t/m^2)	$0.896E+03$	$1.329E+04$
透水係数	(m/day)	0.389	73.4
分配係数	(m^3/t)	$0.338E-01$	$0.338E-01$
ポアソン比		0.45	0.3
間隙率		0.511	0.483

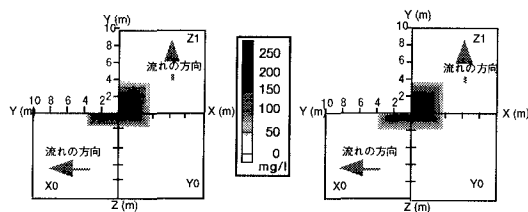


図5(a) 粘土質層の濃度分布図（1日後）

図5(b) 粘土質層の濃度分布図（5日後）

地下水流がY軸正方向に生じているため、有害物質はX軸方向よりもY軸方向に日増しに広がっていくのがよくわかる。しかし、図4(a)を見るとX軸とZ軸が45度をなす方向への広がり具合はY軸とZ軸とのそれよりもかなり大きい。これは分散能係数において縦分散能係数と横分散能係数の違いを考慮しなかったと考えられる。仮に考慮したとすれば、X軸とZ軸が45度をなす方向だけでなくX軸方向への広がり自体が小さくなると考えられる。この傾向は本解析では5日後には見られなくなる。

図4(a),(b)と図5(a),(b)をみると砂質層においては5日間でかなり広がってゆくが、粘土質層ではほとんど広がっていない。これは、やはり透水係数の違いが如実に表れており、粘土質層中では地下水による有害物質の輸送がほとんどないことを表している。

5. おわりに

本研究ではGISと連結した応力変形・浸透・物質移動の連成解析の概念を示し、その3次元の解析コードを作成した。そのシステムを粘土質層と砂質層の地盤について適用し比較・考察した。

本研究では、最終的に解析結果をGISにフィードバックし表示させるのみに止まった。しかし、本来のGISの能力は結果を表示するだけでなく、その土地の属性（例えば土地利用等）との関連を分析することによって生かされ、さらに効率的な地盤汚染対策ができるものと考えられる。今後は、その方面での更なる研究が必要とされる。

参考文献

- (1) 土質工学会中部支部：最新名古屋地盤図、名古屋地盤図出版会、1988
- (2) Khin Sanda, Omar Osman, Takashi Kyoya, and Yoshitsugu Hayashi: Integrated System for Ground Water Pollution Analysis, 環境システム研究, vol23, pp.180-190, 1995