

コンピュータを利用した電気回路網モデル
～成層地盤における浸透流解析への適用～

東急建設(株) 正会員 ○馬場 一秋

1. はじめに

土木工学において電気的シミュレーション手法はいくつかの分野に用いられている。特にDarcyの法則とOhmの法則の類似性を利用し、浸透流解析では数々の研究が行われていた。その多くは実際に金属や電気伝導紙に電気を流す実験的な方法であった。今回提案する方法は電気回路網をコンピュータ内に構築し、数値計算により解を求めるものである。現在数値計算ではFEM(有限要素法)が主流となっているが、この方法はFEMと比較すると以下の長所がある。

- ①要素分割の必要がなくデータ作成が短時間で済む。
- ②マトリクスの作成、演算の必要がなくプログラミングが容易。

この方法を成層地盤における浸透流解析への適用性について検討を行い、更に他の分野への応用について提案するものである。

2. モデルの考え方

この電気回路網モデルは図1に示すような 0.5Ω の抵抗を4本持つ電気伝導体ユニットにより正方形の格子を組み、この交点をランダムに切断したものである。その結果、図2に示すような不規則な電気回路網が作成される。浸透流が通過する土の間隙部分の不規則性、連結性を表現するモデルとなる。切断されずに残った交点の比率が「間隙率」に相当することになる。計算はこれに1Vの電圧を作用させた状態を考える。各交点における電圧は、Kirchhoffの定理により近接する交点の電圧の平均値となる。この性質を利用し、各層を通過する電流が定常状態に達するまで収束計算を行う。電流値が浸透流量にあたるわけである。尚、交点数は 50×50 とした。

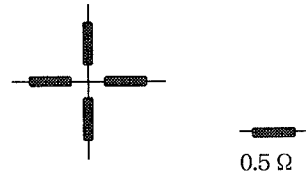


図1 電気伝導体ユニット

3. 間隙率と電流値の関係

$N \times N$ のモデルの場合、交点の切断数を n とすると間隙率 p は以下ようになる。

$$p = (N^2 - n) / N^2 \quad \dots (1)$$

p には臨界値 p_c があり、2次元の場合には

$$p_c = 0.59 \pm 0.01 \quad \dots (2)$$

であることが知られている¹⁾。すなわち、切断をランダム

に行った場合、間隙率が p_c 以下になると電流を通すことが不可能な状態となる。今回は、 $p_c = 0.58$ とすると図3に示す両対数軸上で $(p - p_c)$ と I/I_0 の関係がほぼ直線となり、(3)式を得た。

$$I/I_0 = \text{Const.} (p - 0.58)^{1.346} \quad \dots (3)$$

ここに、 I : 電流値、 I_0 : 切断が無い場合の電流値である。

この電気回路網は3次元への拡張も可能であり、その結果は以下になる²⁾。

$$I/I_0 = \text{Const.} (p - 0.32)^{1.725} \quad \dots (4)$$

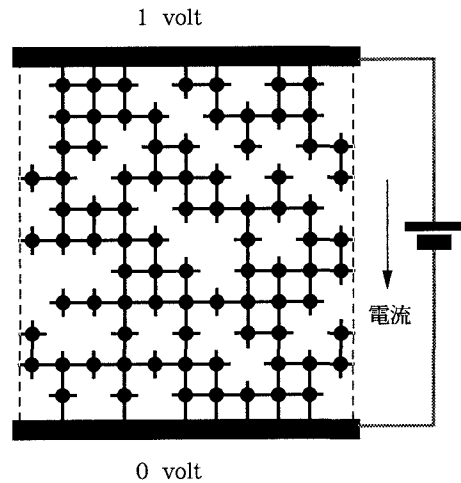


図2 電気回路網モデル

4. 成層地盤浸透への適用

成層地盤における浸透流解析への適用の可能性を以下のように検討した。簡略化のため2層地盤で考えている。

- ①成層状態を間隙率の差で評価し、間隙率の異なる2個の電気回路網を考える。間隙率をP1、P2とする。
- ②それぞれの抵抗値R1、R2を計算する。
- ③2個の電気回路網を直列に結合した場合の合成抵抗値RRを計算する。
- ④RRとR1 + R2を比較する。

この結果を表1に示す。No6のみRRとR1 + R2の差が大きいが、これは切断がランダムでなく2つの電気回路網の結合部のみをほとんど切断し、残りの部分は切断を行わないものである。切断をランダムに行った1～5では、

$$RR \approx R1 + R2 \quad \dots (5)$$

が成立することが確認され、この方法は成層地盤への適用も可能であると考えられる。

5. モデルの応用

電気回路網モデルを利用し、浸透流解析に関して間隙率と浸透流量の関係および成層地盤への適用性について検討した。既に述べたように、このモデルはFEMと比較して優れた点があるが、収束計算のための計算時間、不飽和領域の考慮、応力や熱との連成問題への拡張など課題は多い。しかしコンピュータのCPU性能の向上から計算時間の問題は近いうち解消し、抵抗値

を操作することで不飽和領域の考慮も可能となると思われる。今回は、交点の切断をランダムに行ったが規則性を持たせることで岩盤の節理などへの対応も期待できる。更に、この方法は浸透問題以外にも熱伝導、粘性、拡散など形式的に類似する問題に応用が可能と考えられる。また、すでに「破壊に至るまでの応力-ひずみ曲線の理論」³⁾や「地盤内応力の分布」⁴⁾の問題にほぼ同じ考え方による研究が行われている（実験的な物を含む）。諸兄のご指導、ご批判を仰ぎ、様々な問題への適用を検討したいと考えている。

【参考文献】

- 1) B.J.Last and D.J.Thouless : *Phys. Rev. Lett.* 27 : 1791 (1971)
- 2) K.Onizuka : *J. Phys. Soc. Japan* 39 : 527 (1975)
- 3) 弓削善夫：不均一材料への新しいアプローチ、農業土木学会誌 49 : 135 (1981)
- 4) 坂田、榎戸：電氣的シミュレーション手法を用いた地盤応力分布解析、第28回土質工学研究発表会：1501 (1993)

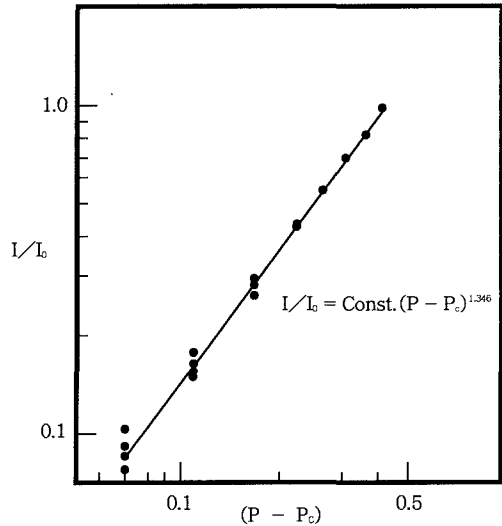


図3 間隙率と電流値

表1 2層地盤の抵抗値

No	P1	P2	R1	R2	R1+R2	RR
1	0.9	1.0	1.528	1.0	2.528	2.539
2	0.8	1.0	2.248	1.0	3.248	3.254
3	0.7	1.0	3.939	1.0	4.939	4.893
4	0.9	0.7	1.524	4.609	6.113	6.070
5	0.8	0.7	2.278	3.757	6.035	6.243
6	0.99	0.99	1.196	1.195	2.391	4.338

* 1～5まで切断はランダム 6はランダムではない
P：間隙率 R：抵抗値