

Ⅲ-B 288

流れのある地盤中での薬注凝固体の形状推定の試み…均質地盤の場合

東邦地水(株) 会員 大橋賢司、茨城大学工学部 会員 野北舜介、会員 桑原祐史

1. はじめに

薬注工事には、二百年の歴史の中で多くの技術が開発導入され工事の信頼性が高められて来たが、対象地盤の多様性から現在でも経験に頼る部分が多い。ここでは、薬注凝固体の形状を推定する単純な方法の可能性を検討する。

2. 基本的な考え方

伏流水が地盤中を一定流速 u_c で流れているとき、地盤中の一点に容積速度 m で薬液を注入するものとする。現象を単純化して、(1) 流速 u_c の流れの中に容積速度 m の湧き出し点があり、(2) 流体は粘性を持たず、かつ非圧縮性である、すなわち完全流体とする。完全流体では、速度ポテンシャル線(速度ポテンシャルの一定)と流線(流れ関数 Ψ 一定)は直交する。流れ関数はスカラー量だから、伏流水と湧き出し流の合流点の流れ関数 Ψ は、伏流水の流れ関数 Ψ_1 と湧き出し流の流れ関数 Ψ_2 の和となる。よって、 Ψ_1 と Ψ_2 が既知であれば、すべての場所の定常流の流線を決めることができる。^{1) 2)}

薬液注入の場合には、操作中に薬液の浸透領域は拡大し続け厳密には定常流ではないが、本報では、これを定常流とみなして流線を求め、時間経過とともに流線を伸ばしていく方法を採用する。

3. 薬注領域の拡大速度(伏流水がない場合)

地盤中の一点に容積速度 m で注入された薬液がすべての方向に均等に流れるとすると、薬注領域は球形を保ちながら拡大する。領域の最外殻の拡大速度 u は、次のようにして求める。

中心から最外殻までの距離(半径)を r とすれば、球の表面積は $4\pi r^2$ である。湧き出し容積速度は m であるから、地盤の間げき比を ε とすると(1) が成り立ち、(2) を導くことができる。一方、領域の半径 r と注入時間 t の関係は、(3) で表される。(2) を(3) に代入し、積分範囲を $0 \sim r$ および $0 \sim t$ として積分すると、(5) が得られる。そこで、(5) を(3) に代入して、領域拡大速度 u を時間 t の関数(6) として表す。

いま、薬注点を通る任意の $x-y$ 平面を考え、半径 r の外殻上の一点 N の極座標を (r, θ) とすると、領域拡大速度の x, y 方向の成分は、それぞれ(7) と(8) である。

4. 合成流の速度

x 軸の正方向から負方向に一定流速 u_c の伏流水があるとすると、伏流水と薬液の拡大流との合成流の x, y 方向の速度はそれぞれ(9) と(10) で表される。

表一 数 式

$$m/\varepsilon = 4\pi r^2 u \cdots (1) \quad u = m/4\pi r^2 \varepsilon \cdots (2) \quad dr = u \cdot dt \cdots (3) \quad r^2 \cdot dr = m \cdot dt / 4\pi \varepsilon \cdots (4)$$

$$r = \sqrt[3]{3mt/4\pi\varepsilon} \cdots (5) \quad u = \sqrt[3]{m/36\pi\varepsilon} \cdot \sqrt[3]{1/t} \cdots (6) \quad u_x = u \cdot \cos\theta \cdots (7) \quad u_y = u \cdot \sin\theta \cdots (8)$$

$$dx/dt = u_x(t) - u_c/\varepsilon \cdots (9) \quad dy/dt = u_y(t) \cdots (10) \quad \Delta x = (u_x(t_m) - u_c/\varepsilon) \cdot \Delta t \cdots (11)$$

$$\Delta y = u_y(t_m) \cdot \Delta t \cdots (12) \quad x_2 = x_1 + \Delta x \cdots (13) \quad y_2 = y_1 + \Delta t \cdots (14)$$

5. 流線の計算手順

[手順A] 注入点から各方向に流れる薬液の流線を Δt 時間ごとに逐次計算する。点 (x_1, y_1) での薬液単独流が x 軸正方向に対してなす角を θ とすれば、流れに乗った薬液の Δt 後の移動距離は、(11) と(12) で与えられる。ここで、 t_m は、時刻 t_1 と時刻 $(t_1 + \Delta t)$ の平均時刻である。従って、 Δt 後の薬液の座標 (x_2, y_2) は、(13) と(14) で知ることができる。[手順A終了] 手順Aを繰り返してつぎつぎに流線を辿ることが可能である。

6. 計算例

薬液注入量 m を固定し、伏流水流速を変えて流線を計算した結果を図1と2に示す。伏流水流速が速くなると薬注領域(流線の包絡線)は伏流水流の方向に長くなることが示されている。ここで、注入点から薬注領域の最上流方向への長さを a とし、最下流方向への長さを b とするとき、長さの比 (b/a) は伏流水流速に影響されて変わる。(図-3)

7. 実験による検証

ベニヤ合板で図4のような実験装置を製作した。砂地盤内に一樣な流れを作り出すため砂層と水層の2層に分けた。この2層の境界を99箇所の細孔を開けた板で仕切り水が細孔を通して下部の水層に均等に落ちる様にし、砂層内の

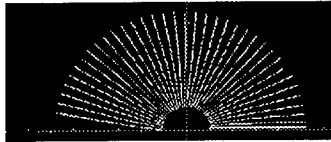


図-1 薬液の流線（その1）

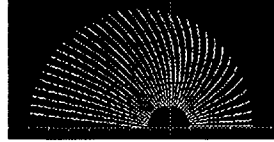


図-2 薬液の流線（その2）

伏流水速度
（その1）
0.2cm/min
（その2）
2cm/min
伏流水は右から左へ

間隙水の流れを一樣にした。薬液の注入方式を1ショットとし、あらかじめA液とB液を混ぜ合わせて1台のポンプで注入した。注入管には外径1.8 cm の塩ビ管を使用し、均等な薬液の注入をはかるために径3 mm の注入孔を同一円周上に8箇所開けた。この注入管を注入孔が砂層深さ10 cm 程度になるように垂直に（間隙水流に平行に）挿入し薬液を注入した。

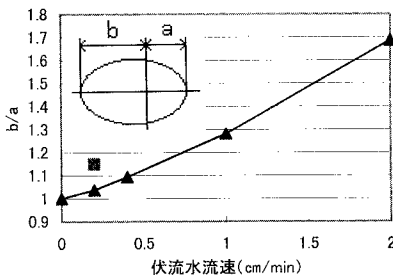


図-3 形状に対する伏流水の影響

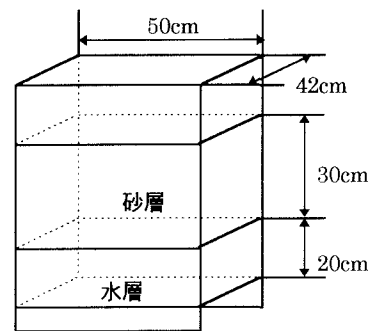


図-4 薬注実験装置

表-1に従い、薬液注入操作を行った。

〔実験結果〕形成された凝固体の形状は、(a) 伏流水がない場合、やや偏平な球状体Pが得られた。これは、は、円周にそって8個の細孔をもつ外径1.8cmの注入管を用いたため、注入管の半径方向に広がった球状体

が出来上がったものと考えられる。一方、(b) 伏流水がある場合には、流れ方向にやや長めの球状体Qが得られた。ここで、球状体Pの短軸の半分をpとし、球状体Qの長軸の長さをqとすれば、球状体Qでの注入点から最下流端までの距離 b は、つぎの関係式(15)を満たすと考えられる。

$$b > q - p \quad (15)$$

$b \approx q - p$ と考えて、 (b/p) を図-3の上に■印で表示した。

〔実験結果の考察〕図-3に■印で表示した実測点は、流線追跡法での予測線(▲印)から大きなズレを生じた。この原因の一つは、注入操作の終了したのち薬液の固化が完結するまでに薬注領域全体が下流に押し流され^{3) 4)} たためと考えられる。

8. おわりに

注入点から薬液の流線を辿って凝固体形状を推定する方法（流線追跡法）の可能性を調べた。その結果、薬液の凝固時間を適正に選ばなければ、推定した形状は実際の形状と異なることが分かった。

参考文献

- (1) J.F.Douglas : Solution of Problems in Fluid Mechanics, Pitman Publishing Co., 1975.
- (2) 日野幹雄:流体力学、朝倉書店、1992
- (3) R.H.Karol : Chemical Grouting 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., 1990
- (4) 日本材料学会土質安定材料委員会 : 薬液注入工法一指針と解説、鹿島出版会、1968