

地下水垂直検層の問題点と定量的把握の手法検討

濱 崎 英 作

はじめに

地すべり変動が地下水によって助長されることはよく知られる所であり、そのため対策工法も地下水排除工が有力な工法となる場合が多い。それゆえ、地すべりに影響を与える地下水流動部を断面的に把握することが重要なアイテムであり、これを知る調査手法の代表的なものとして「地下水垂直検層」がある。地下水垂直検層は建設省土木研究所の渡（1967）によって開発された方法で、孔内水を食塩水の電解質で置き換え、流入してくる地下水による水比抵抗値の増大から地下水の流動区間を知る方法である。また、これを応用する形でベラー等を用いて孔内水を汲み上げて検層を行う方法の「汲み上げ検層」が申（1976）によって提唱され、複数の地下水連絡経路がある場合でも、相対的に圧力水頭の低い経路などが検出できる利点から、近年広く採用されてきている。

今回は、特に従来型の地下水垂直検層の「定量的把握の方法」について考察するべく実験を行い、従来の申（1976）による理論解と今回提案する理論解の比較検討を試みたのでここに報告する。

1. 地下水検層の解析上の問題点

通常実施されている「地下水垂直検層」の解析方法については、次のような問題が内在している。すなわち、

①食塩水投入直後の濃度（比抵抗値）と、流入（初期）地下水の濃度差（比抵抗値のコントラスト）が小さすぎる場合、実際は流動があるにもかかわらず、比抵抗の変化が「ほとんど無い」様なグラフとなる。

②藤原（1970）の提案によって、比抵抗値の増大値から表-1のような「確定～準確定～潜在」の流動層（面）の種別が提案され、事実使用されてきた。しかし投入直後の食塩水濃度と初期地下水濃度はボーリング孔毎にも、また深度毎にも異なるので本来的には比抵抗値の差分（時間毎の比抵抗値－食塩水投入直後の比抵抗値）では流動量の比較ができない。したがって、このような地下水区分はほとんど意味がない。

表-1 流動面（流動層）種別一覧（藤原、1976）

種別	抵抗値増大 (Ω-cm)				増大値の累積傾向	流動面存在の地質的可能性
	30分以内	60分	120分	240分		
確定流動面	10 ³ 以上	還元(真水)	-	-	顕著	あり
準確定流動面	2×10 ² 以上	5×10 ² 以上	10 ³ 以上	-	やや顕著	〃
潜在流動面	10 ² 以上	2×10 ² 以上	3×10 ² 以上	5×10 ² 以上	ややあり	〃

上記の問題を簡単に考えるため、図-1のようなある電解物質が混入している1000リットルの水溶液(①)に満たされた容器を考えよう。

まず最初のケース1では、この容器に溶解している電解物質は10000mgとする。この初期時の比抵抗値は単位容積当りの電解物質質量に反比例することから

$$\rho_0 = 1000 \text{リットル} / 10000 \text{mg} = 0.1$$

とする。これに電解物質が10mg混入する100リットルの水溶液(②)を加えよく攪拌した後、あらためてこの溶液の内から100リットル(③)すくい取る。これはボーリング孔内の初期食塩水がある時間内で流動する水によって希釈される様子とほぼ類似したモデルであることが理解されよう。

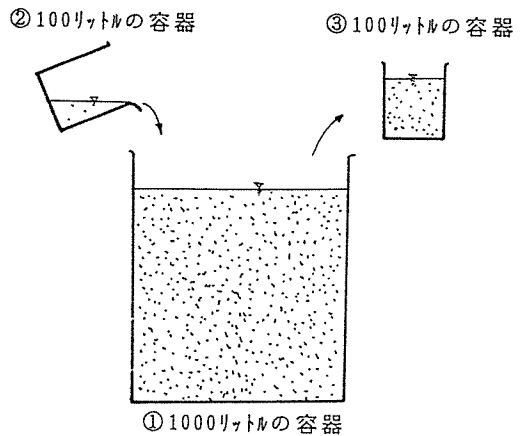


図-1 地下水垂直検層を考察するモデル

②は単位時間に流入する地下水に対応でき上記の考えと同じくすると比抵抗値は

$$\rho_w = 100 \text{リットル} / 10 \text{mg} = 10$$

となり、一方これらを混ぜ合わせたもの③が単位時間後の比抵抗値に対比でき、

$$\rho_1 = 1100 \text{リットル} / 10010 \text{mg} = 1000 \text{リットル} / 9100 \text{mg} = 0.1099$$

となる。

さて、ケース1としてこれらの作業を10回 (ρ_t , $t=1\sim 10$) 繰り返すものとする。

また、同様の作業を条件を変えて他に4ケース程考える。すなわち、ケース2以降についても、以下の如く元の水溶液(①)と加える水溶液(②)の電解物質質量を様々に変化させたものと考え、同様の手順で置換されるものとする。

ケース 1 : ①… 10000mg/1000リットル ②… 10mg/100リットル
 ケース 2 : ①… 10000mg/1000リットル ②… 1mg/100リットル
 ケース 3 : ①… 10000mg/1000リットル ②…100mg/100リットル
 ケース 4 : ①… 5000mg/1000リットル ②…100mg/100リットル
 ケース 5 : ①… 5000mg/1000リットル ②… 50mg/100リットル

以上の結果を整理すると、表-2 のようになる。

表-2 回数毎の水溶液内比抵抗値 (ρ)

条 件	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5
ρ 0	0.1000	0.1000	0.1000	0.2000	0.2000
ρ w	10.0000	100.0000	1.0000	1.0000	2.0000
ρ 0 / ρ w	1 %	0.1 %	10 %	20 %	10 %
ρ 1	0.1099	0.1100	0.1089	0.2157	0.2178
ρ 2	0.1207	0.1210	0.1185	0.2322	0.2370
ρ 3	0.1327	0.1331	0.1288	0.2497	0.2577
ρ 4	0.1457	0.1463	0.1399	0.2679	0.2798
ρ 5	0.1601	0.1610	0.1518	0.2871	0.3036
ρ 6	0.1758	0.1770	0.1645	0.3069	0.3289
ρ 7	0.1930	0.1947	0.1780	0.3276	0.3560
ρ 8	0.2119	0.2141	0.1924	0.3489	0.3847
ρ 9	0.2326	0.2355	0.2076	0.3709	0.4152
ρ 10	0.2553	0.2590	0.2237	0.3934	0.4474

なお、藤原 (1970) によって提案されたデータ整理の方法によれば、各々の比抵抗値の変化を基準値 (ρ 0) から引いたものの ρ t - ρ 0 で図化することになっている。

すなわち、この整理法に従えば表-3 の通りとなる。

表-3 で示されるように、本来は同じ量の水溶液が置換されているにもかかわらず、初期値及び加える水溶液の比抵抗値がそれぞれ異なると各ケースのデータが同じとならない。注目すべき点は ρ 0 / ρ w 比が同じ場合である「ケース 3」と「ケース 5」で、これについては各比抵抗変化率で 2 倍の開きを生じる。このことは、この方法に基づくデータ整理では、同じ流量でありながらも比抵抗値の初期条件が異なると見かけ上は異なるグラフとなることが理解されよう。

表-3 回数毎の差分による水溶液内比抵抗変化

条 件	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5
$\rho 0 / \rho w$	1 %	0.1 %	10 %	20 %	10 %
$\rho 1 / \rho 0$	0.0099	0.0100	0.0089	0.0157	0.0178
$\rho 2 / \rho 0$	0.0207	0.0210	0.0185	0.0322	0.0370
$\rho 3 / \rho 0$	0.0327	0.0331	0.0288	0.0497	0.0577
$\rho 4 / \rho 0$	0.0457	0.0463	0.0399	0.0679	0.0798
$\rho 5 / \rho 0$	0.0601	0.0610	0.0518	0.0871	0.1036
$\rho 6 / \rho 0$	0.0758	0.0770	0.0645	0.1069	0.1289
$\rho 7 / \rho 0$	0.0930	0.0947	0.0780	0.1276	0.1560
$\rho 8 / \rho 0$	0.1119	0.1141	0.0924	0.1489	0.1847
$\rho 9 / \rho 0$	0.1326	0.1355	0.1076	0.1709	0.2152
$\rho 10 / \rho 0$	0.1553	0.1590	0.1237	0.1934	0.2474

2. 解析手法に関する理論展開

では、前項の問題を解消する手段を考えてみる。

申(1976)は、流入地下水による孔内食塩水濃度の変化、上下層からの拡散による一部回復、流入地下水の比抵抗の3点を考慮し、以下のような地下水流入に関する式を導いている。

$$(1 - \rho 0 / \rho) / (1 - \rho 0 / \rho w) = q \cdot (1 - e^{-(1/V)(q+T)t}) / (q+T) \dots\dots\dots \text{式A}$$

ここに

- $\rho 0$: 食塩水投入直後の比抵抗
- ρw : 流入地下水の比抵抗
- ρ : t分(時間)後の孔内水の比抵抗
- q : 地下水流入量
- V : 地下水流動区間における孔内水の体積 (= A × b)
- A : 水柱断面 (= $\pi r w^2$)
- r w : 水柱断面半径
- b : 地下水流動区間長
- t : 経過時間
- T = $2 \cdot D \cdot s / (\delta \cdot V) + 10^3 = 2 \cdot 10^3 \cdot d$

$d = D \cdot s / (\delta \cdot V)$; 拡散速度係数

s : 拡散恒数、溶質と溶媒との組合せによって定まる定数

δ : 拡散層の厚さ

ここで左辺を希釈率 (S) とすると、希釈率 (S) については食塩投入直後では比抵抗が $\rho = \rho_0$ で $S = 0$ 、無限大 (∞) の時間の後には $\rho = \rho_w$ で $S = 1$ となり、時間と希釈率の関係は指数曲線を示す。

この希釈率 (S) について表-2 の比抵抗変化を計算してまとめると表-4 を得る。

表-4 回数毎の水溶液内比抵抗変化 (希釈率: S)

条 件	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5
ρ_0 / ρ_w	1 %	0.1 %	10 %	20 %	10 %
s 1	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
s 2	0.1736	0.1736	0.1736	0.1736	0.1736
s 3	0.2487	0.2487	0.2487	0.2487	0.2487
s 4	0.3170	0.3170	0.3170	0.3170	0.3170
s 5	0.3791	0.3791	0.3791	0.3791	0.3791
s 6	0.4355	0.4355	0.4355	0.4355	0.4355
s 7	0.4868	0.4868	0.4868	0.4868	0.4868
s 8	0.5335	0.5335	0.5335	0.5335	0.5335
s 9	0.5759	0.5759	0.5759	0.5759	0.5759
s 10	0.6145	0.6145	0.6145	0.6145	0.6145

このように、希釈率 (S) の変化は流量 (容器②③の容量) が同じである限り、どのような条件のケースにあっても $\rho_1 \sim \rho_{10}$ まで同じ変化となることが判る。すなわち、比抵抗の初期条件が異なるボーリング孔であっても、希釈率 (S) をもとに検層結果をとりまとめることで流動状況の比較が十分可能となる。

上記は各時間毎の変化の様子をみるのに適するが、これとは別に絶対指標としてボーリング孔内に流入する地下水流量 (q) を得ることができれば最善の解析である。

ところで、式Aでは未知数が T 及び q の 2 つであるため時間変化による ρ が 2 回以上得られれば 2 式を得ることができ、各々の式は非線形であるものの電算を使用することで解を得ることが可能である (プログラム参照)。また、電算を使用しない場合の標準曲線による解の導き方も申 (1976) によって提案されている。

しかし、得られた 2 式の関係次第では解が収束しないこと、および q が微小でない限

り希釈率に対するTの影響度合は実際には小さいこと等から、Tを考慮しないで地下水流量（q）をもとめる式を図-1のモデルにしたがって考察する。

容器①内での電解濃度（m）の時間変化は式(1)のようになる

$$V \cdot \frac{d m}{d t} = q \cdot m_w - q \cdot m \quad \dots\dots(1)$$

ここに

- v : 容器①の水溶液の容積
- q : 容器①に流入、流出する流量（容器②③の容量）
- d t : ある時間 t からの微小な時間変化量
- m : ある時間 t の容器①内の電解濃度（= m (t)）
- m w : 容器②における電解濃度
- d m : 微小時間における容器①内の電解濃度変化

$$\therefore \frac{d m}{d t} = \frac{q}{V} \cdot m_w - \frac{q}{V} \cdot m \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 $m_w \cdot q / V = a$ 、 $q / V = b$ とおくと、

$$\frac{d m}{d t} = a - b \cdot m \quad \dots\dots(3)$$

これは

$$- \frac{1}{b} \left(\frac{1}{m - a/b} \right) \cdot d m = d t \quad \dots\dots(4)$$

積分すると

$$\log (m - a/b) = - b t + C \quad (C \text{ は積分定数}) \quad \dots\dots(5)$$

また、 $t = 0$ のとき、 $m = m_0$ であるので、

$$C = \log (m_0 - m_w)$$

特殊解を導くと、式(6)を得る。

$$\log (m - m_w) - \log (m_0 - m_w) = - q \cdot t / V \quad \dots\dots(6)$$

$$\therefore m = m_w + (m_0 - m_w) \cdot e^{-q \cdot t / V} \quad \dots\dots(7)$$

比抵抗値（ρ）は電解濃度（m）に反比例するので、各々を次のように置き換え q でまとめる。

$$m \longrightarrow 1 / \rho \quad (\rho : \text{ある時間 } t \text{ の容器①内の比抵抗値})$$

$m_0 \rightarrow 1/\rho_0$ (ρ_0 :初期の容器①内の比抵抗値)

$m_w \rightarrow 1/\rho_w$ (ρ_w :容器②内の比抵抗値)

よって以下の式Bを得る。

$$\therefore q = -\frac{V}{t} \cdot \log \left(\frac{\rho_0 \cdot (\rho_w - \rho)}{\rho \cdot (\rho_w - \rho_0)} \right) \quad \dots\dots\dots \text{式B}$$

当式は、式Aの拡散項の $T=0$ としたものに一致しており、電卓でも計算可能なきわめて簡便な式である。

3. 実験による検証

図-2に示すように、塩ビ管(VP40)を用いた実験装置のもとに地下水検層実験を行った。塩ビ管柱の高さは125cmであり、まん中の塩ビ管がボーリング孔に設置した保孔管に当たる。

実験の手順は次の通りである。

- ① 塩ビ管の中に水道水($\rho_w = 8 \sim 9 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$)を満たし、図-2に示すポイントで流入地下水(B.G.)としての比抵抗 ρ_w を単一プルーブの検層器で測定する。
- ② 次に、食塩を計量し水に溶かしたものをまん中の塩ビ管中に投入し速やかに攪拌し、直後に①と同様の位置で比抵抗 ρ_0 を測定する。

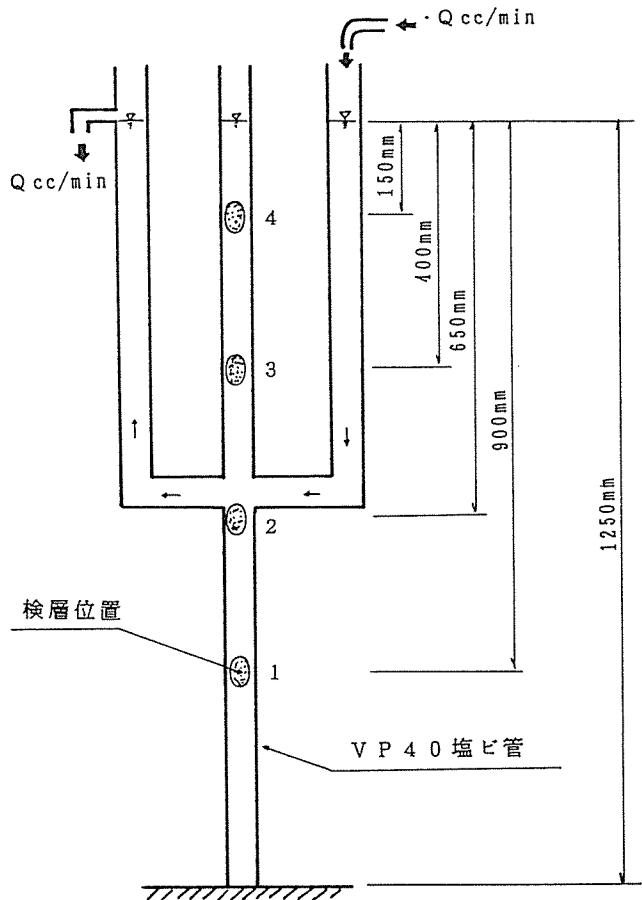


図-2 地下水検層のモデル実験

- ③ ②の直後から右側の塩ビ管投入口から水量を一定にした水道水を送り込み始め、1分刻みで①と同様の位置で経過時間(t)毎の比抵抗 ρ を測定する。
- ④ 以上の手順で食塩量0.5g、1.0g、2.0g、3.0g、流量50~500cc/分で様々に変

化させて実施する。

1例として食塩投入量0.5g、流量53cc/分の場合の計測値を図-3に示す。

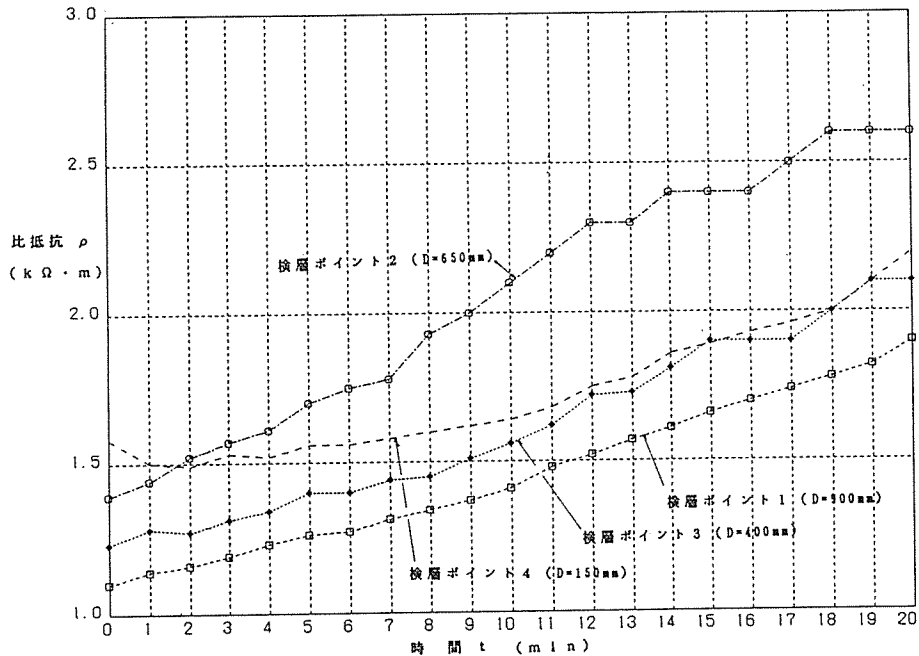


図-3 比抵抗 (ρ) と経過時間 (t) の計測データ
(食塩投入量0.5g、流量53cc/分、 $\rho_w = 8.5 \sim 8.6 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$)

これらの結果から、式A、式Bでもとめた計算流量と実測流量との比較結果を表-5に示す。なお、式Bでは3分後とそれ以上の時間を経たものの2通りについて計算している。表-5から全体に計算流量が実測流量より5割～8割程度で数値的に下回っているが、これはおそらく食塩水が中央の塩ビ管だけでなく、両側（特に図-2の左側）の塩ビ管にも散逸していくためと判断される。しかし、式Aおよび式Bともにオーダー的には問題がなさそうである。

4. ある現場での検証

ある現場での地下水検層の結果を、従来型の検層図と提案式を用いて作成した図（ここでは孔内水位解析図とした）とで比較してみた。図-4が従来型（ $\rho - \rho_0$ 型）の地下水検層図である。一方、図-5が①希釈率 (S)、②申 (1976) の式Aによる計算流量、③今回提案した式Bの計算流量、の3つを用いて図化したものである。なお、式A

表-5 実験による実測流量と計算式毎に求めた流量

投入食塩量 (g)	実測流量 (cc/分)	式 A (cc/分)	式 B (cc/分)	式 B (cc/分)
0.5	53	45.4(3,12)	35.6(3)	50.7(12)
1.0	70	41.6(3,10)	30.6(3)	50.3(10)
1.0	330	194.9(3, 5)	234.6(3)	189.4(5)
1.0	500	187.1(3, 4)	292.8(3)	175.2(4)
2.0	65	28.0(3,14)	4.4(3)	39.6(14)
3.0	70	32.1(3, 9)	20.6(3)	49.9(9)

- * () は、塩分投入後の経過時間(分)で、この時の比抵抗を基に算出したもの。
- * 式A：甲()によって提案された式
- * 式B：今回、提案した流量計算式
- * 計算は深度0.15m、0.40m、0.65m、0.90mの各々の流量の和

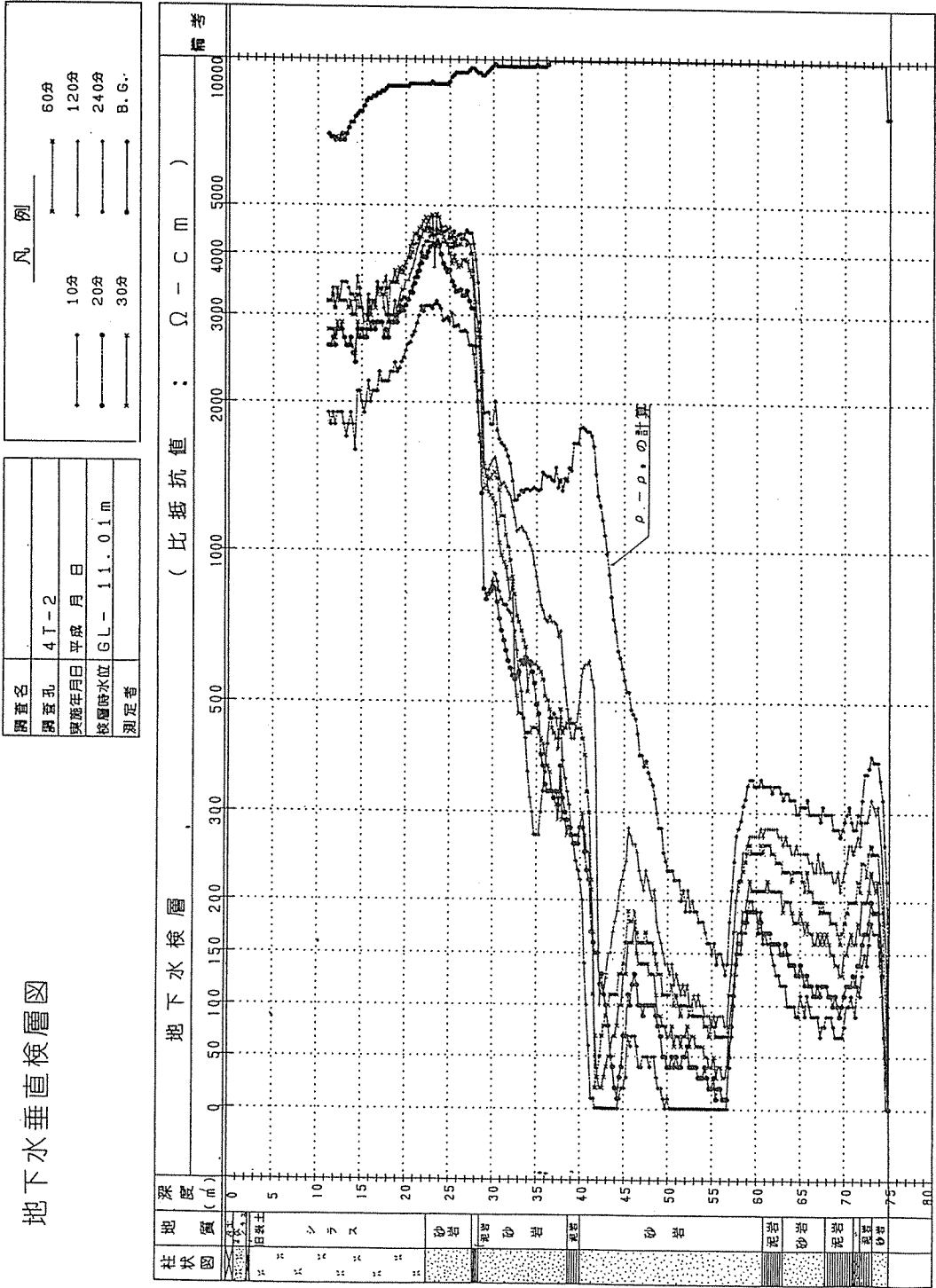
は10、30分後を用い、式Bは10分後を用いて測定間隔(25cm)の塩ビ管内の容積で流量を算出した。

この図から、時間毎の流動の様子はほぼ問題なく希釈率で読み取ることが可能であること、および絶対量としての保孔管内に流入する流量がほぼ希釈率に対応していることが読み取れる。式Aと式Bでは概ね近い値を示すが、やはり拡散係数項のTと比抵抗変化(希釈率変化)の数値によっては計算不能となり結果的に流量を示せないところが出てきてしまった。したがって基本的には計算が簡便な分、式Bで十分と判断される。

5. まとめ、及び今後の課題

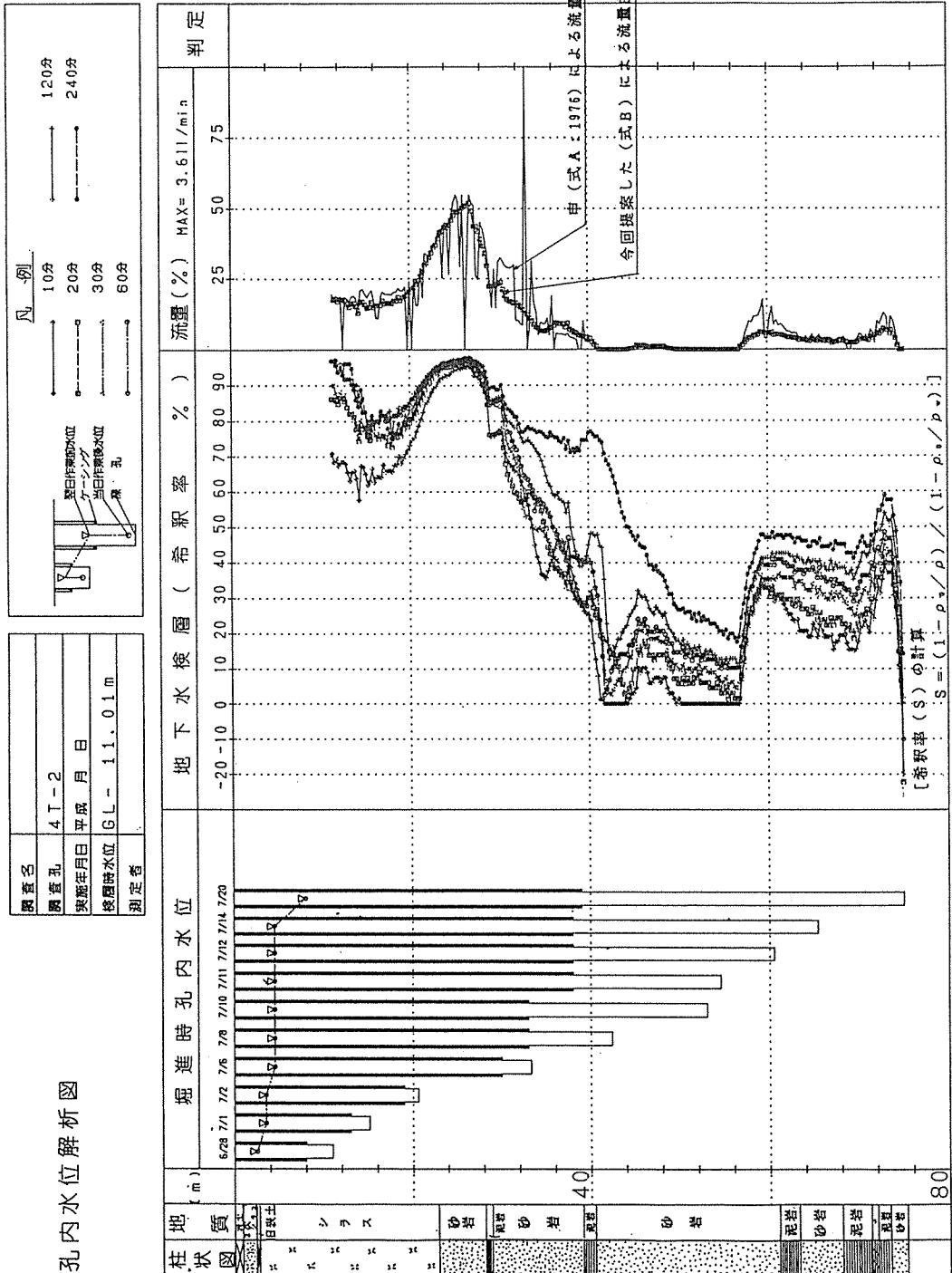
- ・ 基本的には、地下水垂直検層図は希釈率(S)、および式B(もしくは式A)を用いて整理する必要がある。これによって、絶対量としての流量をもとに他のボーリング孔、もしくはボーリング孔の深度別に比較しうるものとなる(ただしストレーナー配置や設置方法が同じでなければならない)。また希釈率(S)をもとに比抵抗の変化の様子が他孔と比較しながら読み取れるものとなる。なお、若干の鉛直流があっても経過時間の短いときの比抵抗値を用いれば流量もそれなりの精度で求めることが可能と考えられる。
- ・ しかしながら、鉛直流の存在の問題の他に、食塩水の比重による沈降の問題等々もあるので、測定された比抵抗値(差分($\rho - \rho_0$)ではない計測値)の生のデータをそのまま使って作図し十分な検討を加えるべきであろう。

地下水垂直検層図



図一4 従来型の地下水垂直検査層

孔内水位解析図



図一5 今回提案した孔内水位解析図

- ・ なお、現実の流量はあくまで塩ビ管内に入ってきた地下水の流量であるが、塩ビ管断面分に相当する帯水地層（流動層）の全ての地下水が塩ビ管内に入っているかどうか不明である（図-6参照）。この点については、今後さらに実験等で確かめていかねばならない課題である。

おわりに

実験にさいして、実験器具の作成、および実験の準備で北振開発㈱の斎藤善道氏、深田純一氏、野村弥氏、当社の原龍一氏に多大な御協力をいただいた。また、東北大学の大槻憲四郎助教授には解析の考え方について御指導をいただいた。ここに深い感謝の意を表します。

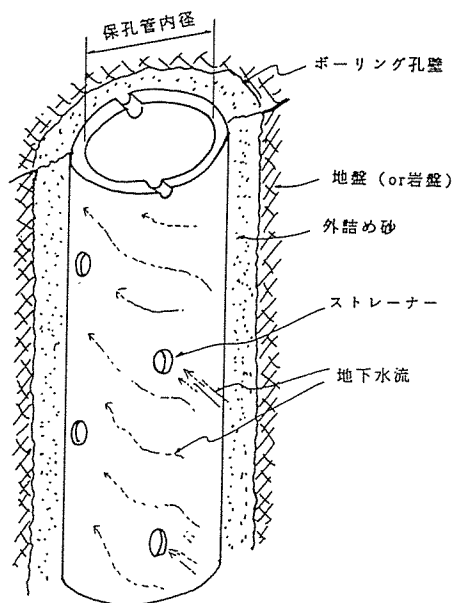


図-6 ボーリング孔廻りの地下水流れの模式図

参考文献

1. 渡 正亮：「地すべり地の地下水とその調査」、全国地すべり対策協議会、1967
2. 申 潤植：「地下水検層について—その(1)問題点と理解論—」、地すべり、Vol.13, No.3、1976、P P16-21
3. 藤原 明敏：「地すべりの解析と防止対策」、理工図書、1979
4. 藤原 明敏：「地すべり調査と解析」、理工図書、1970

(日本工営㈱)

プログラム

```

***** IENSO-4 (Quick Basic) *****
*      地下水検層の原理を確かめる      *
*      1993/6/10                        *
*****

//////////////////////////////////////DECLARE
DECLARE SUB Scale (V, Dt, SSin, T, q, SSout, Da)
DECLARE FUNCTION SS (PO, P1, PW)
DECLARE SUB HCALC (V, Dt, SSin, T, qout, qerr)
DECLARE SUB MAINCALC (V, Dt1, Dt2, S1, S2, T, Q1, Q2, qout, Randa, qerr)
DECLARE SUB QCALC1 (V, Pt2, Pw, P0, t2, Qq2)
CONST P1 = 3.141592653

//////////////////////////////////////DECLARE
CLS

V = 314.      ' 体積 ( P1 * R^2 * L = 3.14 * 2.0 ^ 2 * 25 ) cc (cm^3)
Lm = 1.25      ' 試験区間長

OPEN "RESULT.DAT" FOR OUTPUT AS #1

I = 0 : P = 0
Qave1 = 0 : Qave2 = 0 : Qave3 = 0

DO
  I = I + 1
  PRINT USING "CASE-##" : I
  READ AS
  IF AS = "" THEN EXIT DO

  D = ( I + 3 ) MOD 4
  IF D = 0 THEN
    GOSUB PR1
  END IF

  READ t1 : READ t2 : READ PW : READ P0 : READ Pt1 : READ Pt2

  CALL QCALC1 ( V, Pt1, Pw, P0, t1, Qq1 )
  CALL QCALC1 ( V, Pt2, Pw, P0, t2, Qq2 )

  MS = "(k) ## ## #.## #.## #.## #.##"
  PRINT #1, USING MS : AS : t1 : t2 : P0 : PW : Pt1 : Pt2 :
  MS = " #####.## #####.##"
  PRINT #1, USING MS : Qq1 : Qq2 :

  Dt1 = 60 * t1      : Dt2 = 60 * t2
  S1 = SS(PO, Pt1, PW) : S2 = SS(PO, Pt2, PW)
  CALL MAINCALC(V, Dt1, Dt2, S1, S2, T, Q1, Q2, qout, Randa, qerr)
  Qq3 = qout * 60
  IF qerr = -999 THEN
    PRINT #1, " <<NG>>"
    Qq3 = 0
  ELSE
    PRINT " [[RESULT]]"
    PRINT #1, USING " #.##" " #.##" " #####.##" : T : Randa : Qq3
  END IF

  IF P = 0 THEN
    Qave1 = Qave1 + Qq1
    Qave2 = Qave2 + Qq2
    Qave3 = Qave3 + Qq3
  ELSE
    Qave1 = Qave1 + Qq1
    Qave2 = Qave2 + Qq2
    Qave3 = Qave3 + Qq3
  END IF

  P = 1

  D = I MOD 4
  IF D = 0 THEN
    GOSUB PR2
    PRINT #1, USING " Total Q1 = #####.##cc/min " : Qave1 * Lm :
    PRINT #1, USING " Total Q2 = #####.##cc/min " : Qave2 * Lm :
    PRINT #1, USING " Total Q3 = #####.##cc/min " : Qave3 * Lm
    PRINT #1, ""
    Qave1 = 0
    Qave2 = 0
    Qave3 = 0
    P = 0
  END IF
LOOP

CLOSE #1

END

' << 実験データ >>
'-----CASE----- t1-- t2-- PW----- P0----- Pt1--- Pt2
'          min min KΩ      KΩ      KΩ      KΩ
DATA ".5g-53cc-1.0m" .3 .12 .8.5 .1.58 .1.53 .1.75
DATA ".5g-53cc-.75m" .3 .12 .8.6 .1.39 .1.57 .2.30
DATA ".5g-53cc-.50m" .3 .12 .8.6 .1.23 .1.31 .1.72
DATA ".5g-53cc-.25m" .3 .12 .8.6 .1.10 .1.19 .1.52

```

```

DATA "1g- 70cc-1.0m" .3 .10 .8.8 .1.09 .1.05 .1.16
DATA "1g- 70cc-.75m" .3 .10 .8.7 .0.94 .1.09 .1.51
DATA "1g- 70cc-.50m" .3 .10 .8.8 .0.84 .0.87 .1.15
DATA "1g- 70cc-.25m" .3 .10 .8.7 .0.78 .0.81 .1.00

DATA "1g-330cc-1.0m" .3 .5 .9.1 .1.41 .1.55 .1.71
DATA "1g-330cc-.75m" .3 .5 .8.8 .1.05 .2.6 .2.9
DATA "1g-330cc-.50m" .3 .5 .8.8 .0.83 .1.13 .1.38
DATA "1g-330cc-.25m" .3 .5 .8.8 .0.74 .0.89 .0.98

DATA "1g-500cc-1.0m" .1 .4 .8.6 .1.02 .1.03 .1.31
DATA "1g-500cc-.75m" .1 .4 .8.5 .0.91 .1.43 .1.70
DATA "1g-500cc-.50m" .1 .4 .8.5 .0.82 .0.92 .1.30
DATA "1g-500cc-.25m" .1 .4 .8.5 .0.76 .0.82 .0.94

DATA "2g- 65cc-1.0m" .3 .14 .8.5 .0.85 .0.77 .0.89
DATA "2g- 65cc-.75m" .3 .14 .8.8 .0.65 .0.68 .1.05
DATA "2g- 65cc-.50m" .3 .14 .8.7 .0.57 .0.60 .0.86
DATA "2g- 65cc-.25m" .3 .14 .8.5 .0.54 .0.56 .0.77

DATA "3g- 70cc-1.0m" .3 .9 .8.6 .0.48 .0.40 .0.45
DATA "3g- 70cc-.75m" .3 .9 .8.6 .0.37 .0.40 .0.52
DATA "3g- 70cc-.50m" .3 .9 .8.6 .0.27 .0.30 .0.41
DATA "3g- 70cc-.25m" .3 .9 .8.6 .0.24 .0.28 .0.36

DATA ""

DATA "1g-625cc-1.0m" .3 .9 .8.5 .0.98 .1.20 .1.77
DATA "1g-625cc-.75m" .3 .9 .8.6 .0.90 .3.70 .4.50
DATA "1g-625cc-.50m" .3 .9 .8.5 .0.82 .1.27 .1.90
DATA "1g-625cc-.25m" .3 .9 .8.5 .0.78 .0.88 .1.25

END

'-----PR1-----
PR1:
PRINT #1, ""
PRINT #1, "          3分間      t1 t2 P0  PW  Pt1  Pt2  Q1  Q2  "
PRINT #1, " //      T  Rd      Q3  "
PRINT #1, "          min min      cc/min  cc/min "
PRINT #1, " //          cc/min"
PRINT #1, "-----"
PRINT #1, "-----"
RETURN

'-----PR2-----
PR2:
PRINT #1, "-----"
PRINT #1, "-----"
RETURN

'-----QCALC1-----
SUB QCALC1 ( V, Pt, Pw, P0, t, Qq)
' 式B : 新しい流量計算 (拡散速度係数を無視する)
Z1 = P0 * ( Pw - Pt ) : Z2 = Pt * ( Pw - P0 )
LG = LOG(Z1/Z2)
Qq = -1 * V * LG / t
END SUB

'-----SUB Scale-----
SUB MAINCALC (V, Dt1, Dt2, S1, S2, T, Q1, Q2, qout, Randa, qerr)
' 式A : 申 ( 1 9 7 6 )
PRINT " STEP=";
FLG = 0 : HX = 0
Randa = .0001
LMD = -1
YSTART:
PRINT ">";
IF FLG = 1 THEN
  HX = HX + 1
  IF HX > 5 THEN EXIT SUB
  PRINT " "; HX: " ";
  IF LMD = .0001 THEN
    Randa = .001
  ELSEIF LMD = .001 THEN
    Randa = .01
  ELSEIF LMD = .01 THEN
    Randa = .1
  ELSEIF LMD = .1 THEN
    qerr = -999
    qout = (Q1 + Q2) / 2
    EXIT SUB
  END IF
END IF

'----- (1) -----
PRINT ">";

T = 0: FLG = 0
CALL HCALC(V, Dt1, S1, T, Q1, qerr)
CALL HCALC(V, Dt2, S2, T, Q2, qerr)
Pq00 = Q1 - Q2 ' (+)

T = .01: FLG = 0
CALL HCALC(V, Dt1, S1, T, q11, qerr)
CALL HCALC(V, Dt2, S2, T, q22, qerr)

```

```

Dq11 = q11 - q22 '(+)
DABS = Dq00 + Dq11
IF DABS > 0 AND ABS(Dq11) > ABS(Dq00) THEN
    T = 0
    qerr = -222
    qout = (Q1 + Q2) / 2
    EXIT SUB
END IF

T = .000001: FLG = 0
CALL HCALLC(V, Dt1, S1, T, Q1, qerr)
CALL HCALLC(V, Dt2, S2, T, Q2, qerr)
Dq1 = Q1 - Q2 '(+)

JX = 1
DO
    IF JX >= 12 THEN
        FLG = 1
        EXIT DO
    END IF
    JX = JX + 1
    T = T + 10
    CALL HCALLC(V, Dt1, S1, T, Q1, qerr)
    CALL HCALLC(V, Dt2, S2, T, Q2, qerr)

    Dq2 = Q1 - Q2
    DQ2 = ABS(Dq2)
    IF DQ2 < Randa THEN
        FLG = 2
        EXIT DO
    END IF
    DDIAK = Dq1 + Dq2
    IF DDIAK <= 0 THEN
        T1 = T: T2 = T / 10
        EXIT DO
    END IF
    Dq1 = Dq2
LOOP
q001 = Q1: q002 = Q2

IF FLG = 1 THEN
    LMD = Randa
    GOTO TSTART
END IF
IF FLG = 2 THEN GOTO TEND

----- (2)
JX = 0
T0 = T
T1 = T
T2 = T / 10
PRINT "v":
DO
    JX = JX + 1
    IF JX > 20 THEN
        FLG = 1
        EXIT DO
    END IF
    CALL HCALLC(V, Dt1, S1, T1, q11, qerr)
    CALL HCALLC(V, Dt2, S2, T1, q12, qerr)
    CALL HCALLC(V, Dt1, S1, T2, q21, qerr)
    CALL HCALLC(V, Dt2, S2, T2, q22, qerr)
    RT1 = ABS(q11 - q12)
    IF RT1 < Randa THEN
        T = T1
        EXIT DO
    END IF
    RT2 = ABS(q21 - q22)
    IF RT1 < RT2 THEN
        T2 = (T1 + T2) / 2
    ELSE
        T1 = (T1 + T2) / 2
    END IF
LOOP
IF FLG = 1 THEN
    GOTO S3
END IF
Q1 = q11
Q2 = q12
GOTO TEND

----- (3)
S3:
PRINT "/":
Q1 = q001: Q2 = q002
FLG = 5
JX = 0
T2 = T0 / 10
T1 = T0
DO
    JX = JX + 1
    IF JX > 10 THEN
        FLG = 1
        EXIT DO
    END IF
    AADS = ABS(Q1 - Q2)
    IF AADS < Randa THEN EXIT DO
    tt = (T1 - T2) / 10

```

```

T = T2 - tt
FOR IX = 1 TO 11
    T = T + tt
    CALL HCALLC(V, Dt1, S1, T, Q1, qerr)
    CALL HCALLC(V, Dt2, S2, T, Q2, qerr)
    AADS = ABS(Q1 - Q2)
    IF AADS < Randa THEN EXIT FOR
    IF Q2 >= Q1 THEN
        T1 = T: T2 = T - tt
        EXIT FOR
    END IF
NEXT
LOOP
IF FLG = 1 THEN
    LMD = Randa
    GOTO TSTART
END IF

TEND:
qout = (Q1 + Q2) / 2
PRINT
END SUB

'////////////////////////////////////////////////////////////////// SUB Scale
SUB Scale (V, Dt, SSin, T, qout, qerr)
    qerr = 0
    DIM X(11), Y(11)
    q = 10000
    RMD1 = .0001
    Ds1 = -1: JX = 0

    DO
        JX = JX + 1
        IF JX > 100 THEN
            qerr = -999
            EXIT SUB
        END IF
        q = q * .1
        Q2 = q
        CALL Scale(V, Dt, SSin, T, q, SSout, Ds)
        ZC = Ds + Ds1
        PRINT ZC: INPUT "": PPP
        IF ZC < 0 THEN
            q22 = Q2
            q11 = Q1
        END IF
        IF JX > 10 THEN
            EXIT DO
        END IF
        Q1 = q
        Ds1 = Ds
    LOOP

    Q2 = q22: Q1 = q11
    JX = 0

    DO
        JX = JX + 1
        IF JX > 100 THEN EXIT DO
        dq = (Q1 - Q2) / 10
        q = Q2 - dq
        AADS = ABS(Ds)
        IF AADS < RMD1 THEN EXIT DO
        FOR IX = 1 TO 11
            q = q + dq
            CALL Scale(V, Dt, SSin, T, q, SSout, Ds)
            AADS = ABS(Ds)
            IF AADS < RMD1 THEN EXIT FOR
            IF SSout >= SSin THEN
                Q1 = q: Q2 = q - dq
                EXIT FOR
            END IF
        NEXT
    LOOP

    qout = q
END SUB

'////////////////////////////////////////////////////////////////// SUB Scale
SUB Scale (V, Dt, SSin, T, q, SSout, Ds)
    QT = q + T
    IF QT <= 0 THEN EXIT SUB
    DEXP = EXP(-1 * (1 / V) * QT + Dt)
    SSout = q * (1 - DEXP) / QT
    Ds = SSin - SSout * (0.7 - 1)
END SUB

'////////////////////////////////////////////////////////////////// FUNCTION SS
FUNCTION SS (P0, P1, PW)
    SS = (1 - (P0 / P1)) / (1 - (P0 / PW))
END FUNCTION

```