

3次元飽和不飽和浸透流解析 プログラムTAGSACの概要

1990年12月

今 井 久

柳 澤 孝 一

動力炉・核燃料開発事業団 中部事業所

岐阜県土岐市泉町定林寺園戸959-31

TEL 0572-54-1271 FAX 0572-54-8940

3次元飽和不飽和浸透流解析プログラムTAGSACの概要

今井 久

柳澤 孝一

要 旨

動力炉・核燃料開発事業団は広域地下水流動に関する調査・評価手法及び調査機器の開発のために岐阜県東濃地域を対象に広域地下水流動調査研究を行っている。その研究の一環として、①10km×10km×深さ1,000mを解析対象領域にした広域地下水流動調査研究、②300m×300m×深さ300mを解析対象領域とした立坑掘削に伴う水理学的影響調査研究、③20m×20m深さ50mを解析対象領域とした立坑掘削に伴う水理学的ゆるみ領域の調査解析研究を実施している。

本報告では、こうした調査研究に地下水流動解析コードとして使用している有限要素法3次元非定常飽和不飽和地下水浸透流解析プログラムTAGSACコードについて、①導入理由、②解析研究事例、③使用する支配方程式と不飽和状態でのその取扱いと計算の流れ、④問題点と今後の課題、⑤TAGSACプログラムソースについて述べ、後にそのソースと入力データセットの内容について報告する。

OVERVIEWS OF GROUNDWATER FLOW ANALYSIS CODE:TAGSAC

H.IMAI and K.YANAGIZAWA

ABSTRACT

In order to develop the methodology and equipment for hydrogeological investigation, a study on regional groundwater flow has been carried out by PNC (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) around the Tono area located in the southeast of Gifu prefecture, central Japan.

Within this study, three kinds of analytical study concerning the three dimensional groundwater flow are being carried out;

- 1)Regional groundwater flow analysis in the area of 10 kilometers square with 1000 meter depth.
- 2)Local groundwater flow analysis around the experimental shaft to examine the effect of shaft excavation in the area of 300 meters square with 300 meter depth.
- 3)Also effect analysis on the groundwater flow considering the relaxation of rock mass due to the shaft excavation in the restricted small area of 20 meters with 50 meters depth.

According to the above study of groundwater flow analysis, the properties of developing analytical code of TAGSAC (Three Dimensional Analysis of Groundwater Flow, Saitama University Code) using FEM method under saturated or unsaturated condition are presented by following fivefold;

- 1)The utility background of TAGSAC
- 2)The analysis examples by TAGSAC
- 3)The governing equation used in TAGSAC and the handling of the equation in unsaturated condition
- 4)The problems and improving plan for TAGSAC
- 5)The programme source of TAGSAC

目 次

1. はじめに (なぜ3次元飽和不飽和浸透流解析なのか)	1
2. TAGSACコードによる解析研究事例	2
3. TAGSACコードの概要	3
3.1 非定常飽和-不飽和浸透流の基礎式	3
3.2 不飽和状態での浸透特性	4
3.3 計算の流れ	5
4. 問題点と今後の課題	6
5. 謝 辞	6
6. 参考文献	7
7. 付 録	8
・TAGSACソース	9
・TAGSAC入力データセット	27

1. はじめに (なぜ3次元飽和不飽和浸透流解析なのか)

地下水流動解析に要求される項目は大きく分けると、入力情報として反映させる項目と地下水流動解析より得たい出力情報項目に分けられる。入力項目としては、①対象領域の形状、②水理定数の分布・異方性、③境界条件、④涵養量、出力項目としては、⑤任意点の流速や流入量、⑥任意点の地下水位、⑦任意点の圧力とポテンシャルなどが上げられる。

始めに①、②、③、④の入力項目に対しての地下水解析法の適用性を検討する。

①の広域という場合は鉛直方向のスケールも関係し、広域3次元領域としての広領域を意味する。従って、3次元的な領域を対象にできる解析手法であることが必要である。この意味から既存の研究を概観すると、二重空隙モデルは2次元の理論しか提案されておらず現段階では使用できない。これに対し、多孔質のモデル、割れ目系モデル、岩塊モデルに関する3次元差分法、準3次元と準3次元多層の有限要素法解析は比較的適用しやすい。

②の水理定数の分布や異方性を考慮できうる点については、まず有限要素法が有利と考えられる。また、この点を水理モデルについて考えると、多孔質モデルと二重空隙モデルが適用するもので、割れ目系モデル岩塊モデルは適用性が低くなる。また、次元の面を考えると、3次元解析が最も適するものであり、準3次元や準3次元多層解析は理論の性質上、応用性が低くなる。従って、多孔質モデルに関する3次元有限要素法解析が②に対して適するものといえる。

③、④については境界条件の考慮である。これについて、水理モデルの制約はないが、有限要素法が最も適用しやすい。次元の面で考えると、3次元が最適であり、準3次元と準3次元多層は準一様流の仮定を用いているため、鉛直方向の圧力分布や空洞内の圧力などは考慮することが難しい。また、④の地下水涵養量を考えると、これを地表面で考慮するためには飽和-不飽和領域を導入した解析法であることが必要である。従って、③、④を総合的に考慮すると、飽和-不飽和領域を対象とした多孔質モデルと割れ目系モデルの3次元有限要素法解析が有力になる。

次に、⑤、⑥、⑦の出力項目を検討すると、やはり3次元領域を考慮できることが必要である。この点でいえば、多孔質モデルの3次元、準3次元、準3次元多層および割れ目系モデルの3次元と準3次元多層解析は、⑤の任意点の流速と流量、⑦の任意点の圧力とポテンシャルの算出に限界がある。また、割れ目系の3次元解析について

てもやや適用性が低くなり、岩塊モデルに関する3次元解析は⑥の算出に難点がある。従って、消去法で範囲を狭めると多孔質モデルの3次元解析法ということになる。

以上、①～⑦の各項目について、既往の研究レベルとの関係を検討してきた。その結果、現状では「多孔質モデルによる飽和－不飽和の3次元有限要素法解析」による解析法が最も有効であることがわかる。

また、立坑開削や、地下空洞を考慮した場合、開削モデルの場合は3次元収束流であるため2次元解析に比べて構造物周辺の流速が大きくなる。また、これに伴い3次元解析の湧水量は2次元のそれに比べてかなり大きくなるが、水面低下量は3次元解析の方が小さくなる。地下空洞モデルの場合、空洞長さが短く深いものほど2次元解析との差が大きくなって地下水流動の3次元性が強くなる。すなわち、3次元性が強い条件下では空洞湧水量は3次元のそれが2次元解析結果より大きく、地下水面は3次元解析結果がかなり小さくなる。つまり、3次元構造物周辺の地下水流動については、3次元解析と2次元解析の間には大きな差があり、実際の岩盤の水理地質構造の3次元性も考えると可能な限り3次元解析による地下水流動解析が必要となる。

我々は、地層処分研究開発における地下水調査研究の一環として岐阜県、東濃鉾山を中心とし、10km×10km×深さ1,000mを調査解析対象領域とした広域地下水流動調査研究、300m×300m×深さ300mを調査解析対象領域とした立坑掘削に伴う水理学的影響調査研究、20m×20m×深さ50mを調査解析対象領域とした立坑掘削に伴う水理学的ゆるみ領域の調査研究等を実施しており、これらの調査研究における地下水流動解析に有限要素法3次元不飽和－飽和浸透流解析プログラムであるTAGSAC(Three dimensional Analysis of Groundwater Flow, Saitama University Code, 埼玉大学工学部、渡辺邦夫助教授開発)を導入した。

2. TAGSACコードによる解析研究事例

今までに行われた渡辺らのTAGSACによる解析には降雨に伴う浅層山地斜面小流域における地下水流出応答解析やダム周囲の中深層における岩盤浸透流解析がある。特に山地斜面での地下水流出応答では、愛知県犬山試験流域での雷雨に伴う降雨流出応答の現地に於ける計測と流域斜面のモデル化とそのモデルでの地下水流動解析を行い、実測値と解析値との対比および実斜面のモデル化の降雨流出応答、地下水流動に与える影響について検討している^{4) 5) 6)}。また、室内の土槽斜面モデルによる人工降雨流

出応答実験および実験を数値解析でシミュレーションを行い、その対比と透水不均質場での地下水流れの特性について検討を行っている^{7) 8) 9)}。これらの解析研究により実際の地下水流れ、浸透現象をTAGSACによる数値解析である程度シミュレーションしうることが示されている。以上研究例は浅層の未固結な層を対象としているが、このような多孔質媒体としての取扱いは岩盤にも適用しうると考えた。

その試みとして、東濃鉦山周辺の約7 km×7 km、層厚 300mの広域な基盤花崗岩、第三紀層の岩盤内の地下水流動シミュレーションを実施している¹⁰⁾。また同じく東濃鉦山周辺における水流域内における気象観測データ、河川流量観測データを用いた岩盤上部を含む表層部の地下水流動シミュレーションを実施し¹¹⁾、実測値と数値シミュレーションの対比により、TAGSACコードの未固結、固結を問わない多孔質媒体地下水流動解析の適用妥当性の確認を行っている。

また、現在行われている立坑掘削影響試験の水理学的影響予測解析もTAGSACコードで実施し、その3次元解析の有効性を確認している¹²⁾。

3. TAGSACコードの概要

このプログラムは、地下水流動媒体を多孔質体と考え、非定常飽和-不飽和浸透流の基礎式をガラーキン法を用いた有限要素法で解き、地下水の流れの数値計算によるシミュレーションを行うものである。

3.1 非定常飽和-不飽和浸透流の基礎式

TAGSACで用いている地中の浸透流を支配する基礎式は、Darcyの法則を不飽和領域まで拡張した運動方程式と連続の式を組み合わせたりチャード、クリュート¹⁾による一般的なもので(1)式に示す。ここで透水係数は直交異方性を考慮しており、透水係数 K_i の $i = 1 \sim 3$ 方向それぞれ独立に設定できる。ここで比水分容量 $C(\theta)$ 、相対透水係数 $\gamma(\theta)$ 、比貯留率 S_s の取扱いについては次の不飽和状態での浸透特性ということで説明するが、これら不飽和特性値は含水状態により非線形に変化する。

$$\left\{ C(\theta) + \alpha S_s \right\} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ K_i \cdot \gamma(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right\} + q \quad (1)$$

ϕ : 全水頭 (total head) Z : 位置水頭 (potential head)

$\phi = Z + \Psi$ Ψ : 圧力水頭 (pressure head)

$C(\theta)$: 比水分容量 (specific moisture contents)

S_s : 比貯留率 (specific storage) α : 1 (飽和領域内), 0 (不飽和領域内)

K_i : 透水係数 (hydraulic conductivity)

$\gamma(\theta)$: 相対透水係数 (relative permeability) ($0 \leq \gamma \leq 1$)

θ : 飽和度 (saturation) ($0 \leq \theta \leq 1$) q : 発生活消失率 (sink source term)

X_i : 直交座標系 ($i=1, 2, 3$) (orthogonal coordinate) t : 時間 (time)

上記(1)式は従来から提示されている²⁾有限要素法を用いた離散化と、時間項に関して差分化 (TAGSACでは中央差分) することで、次ステップの各節点での全水頭 ϕ_{k+1} を未知数とする連立一次方程式に帰着する。

3.2 不飽和状態での浸透特性

不飽和状態では、岩盤や土の含水状態により浸透特性が異なってくる。不飽和浸透特性値としては式(1)が示すように負の圧力水頭 Ψ (サクション圧) 比水分容量 $C(\theta)$ 、不飽和透水係数 $K_i \cdot r(\theta)$ がある。TAGSACでは岩盤や土の含水状態は飽和度 θ で取り扱う。計算にはあらかじめ $\theta - \Psi$ と $\theta - r(\theta)$ の関係をそれぞれ特性曲線 (折線) として与えておく。図-1は一例として θ , Ψ , $r(\theta)$ の関係を示している。初期条件として与えられる全水頭値 ϕ_1 に対して式(2)の関係により圧力水頭

$$\Psi = \phi - Z \quad (2)$$

Ψ_1 が与えられ、 $\theta - \Psi$ 関係より図-1破線で示すように Ψ_1 に対する θ_1 が決まり、さらに $\theta - r(\theta)$ 関係から θ_1 に対する相対透水性 r_1 が決まる。そして不飽和透水係数は透水係数 K_i と相対透水性 r_1 の積 $K_i \cdot r_1$ として与えられる。

比水分容量 $C(\theta)$ は圧力水頭 Ψ に対する体積含水率 $W (=n\theta, n$: 間隙率) として定義され、次式(3)で表される。

$$C(\theta) = \frac{\partial W}{\partial \Psi} = \frac{\partial n\theta}{\partial \Psi} = n \frac{\partial \theta}{\partial \Psi} + \theta \frac{\partial n}{\partial \Psi} \quad (3)$$

不飽和状態では圧力変化による間隙変化率は無視しうるほど小さいと考え、 $C(\theta)$ は式(3)第一項の値、つまり図-1に示す圧力水頭 Ψ の増分に対する飽和度 θ の変化と

間隙率の積 $n \frac{\partial \theta}{\partial \Psi}$ で与えられる。飽和状態では飽和度一定 ($\theta=1.0$) であり、

(3)式第二項のみとなる。つまり、圧力水頭 Ψ の変化による岩盤や土の間隙率 n の変化の割合すなわち比貯留係数 $S_s = \frac{\partial n}{\partial \Psi}$ が $C(\theta)$ の代わりにはいる。 S_s は岩盤や土の特性値として一定値をあらかじめ与えておく。

3.3 計算の流れ

図-2にTAGSACでの計算の大まかなフローを示す。①モデルの要素分別形状、境界条件、初期条件等を設定し入力、②与えられた初期条件 ϕ_1 (初期全水頭) に対し1.2で示した順序で不飽和透水係数などの浸透特性値を算定し、③各要素ごとに数値積分を実施し、係数マトリクスを計算する。有限要素形状としては6面体アイソパラメトリック8節点要素と20節点要素が指定できる。(ここで数値積分は有限要素法で一般的に使われるGAUSSの数値積分³⁾を使用している。)④各要素ごとの係数マトリクスを全体マトリクスに編成し、さらに境界条件等を反映させた係数の変更を行い、⑤次ステップの全水頭 ϕ_2 を未知数とする連立一次方程式を組立、⑥これを解くことにより次ステップの全水頭分布を得る。⑦またこの全水頭 ϕ_2 を基に、流速、圧力水頭等も算定できる。さらにこの全水頭 ϕ_2 を基に次ステップの浸透特性値を算定するという一連の繰り返しで非定常の計算を進めている。また、非定常計算で、前タイムステップとの解(全水頭値)が異常に大きく変化する場合はステップを短く取り直し、再計算するよう

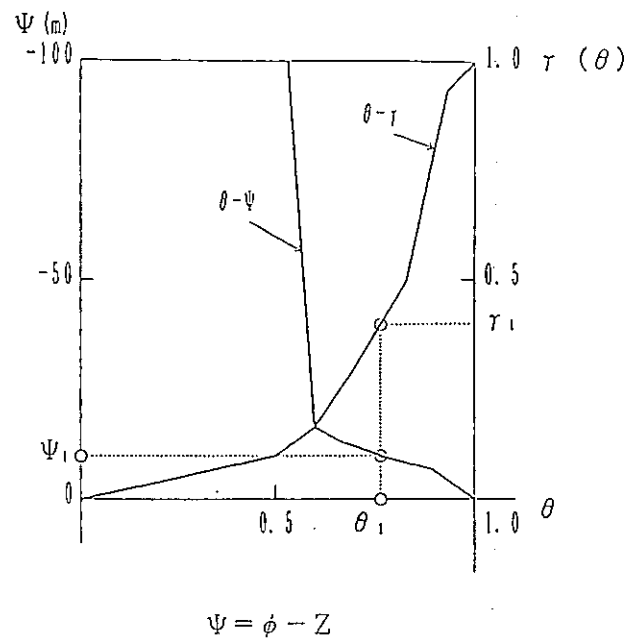


図-1 飽和度 θ , 相対透水性 $r(\theta)$, 圧力水頭 Ψ - 関係図

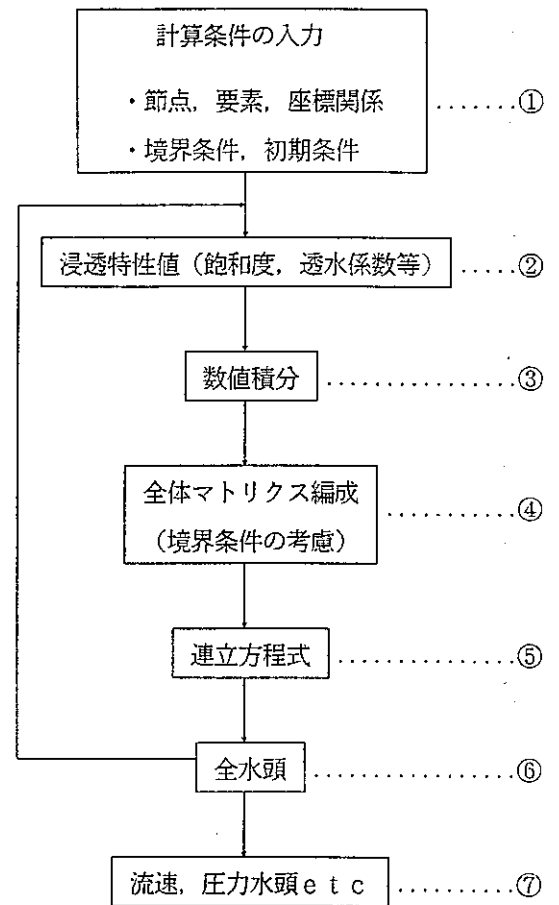


図-2 TAGSACでの計算のフロー

プログラムしている。

4. 問題点と今後の課題

今後地下水流動解析でTAGSACを使用していく上での問題点と今後の課題について述べておく。問題の第1として今まで埼玉大学では教育的見地等によりTAGSACのプログラム内容を理解しユーザーにより計算がなされていた。このため、解析モデルの内容や条件をユーザーにより逐次修正して使用されていた。従って現状のTAGSACではあらゆる条件を単に入力するデータのみで表現することはできず、ユーザーはそれぞれプログラムの内容を理解し必要に応じ修正して使用しなければならない。

第2にTAGSACで使用されている連立一次方程式の解法は通常の高スの消去用による。このため計算時間、計算機上のメモリ数においてモデル規模（例えば総節点数）の限界が今後想定されるモデル規模を下回る可能性が大きい。

第3に3次元の有限要素法による数値解析であるため要素分割や計算結果の図化処理にかなりの労力を用し、解析モデル作成から計算結果図化出力までの一貫した作業を限られた労力、時間で消化し得ない。

以上3点が現状での問題点として上げられる。この3点に対処し、必要な地下水流動解析をTAGSACで実施していくため、上記問題点を受けた今後の課題として

- ① 大型疎行列よりなる連立方程式に対し、計算時間が短くかつ必要メモリの少ない解法の開発、導入
- ② 要素分割、計算結果等の図化処理、支援システムの開発、導入
- ③ TAGSACユーザーは入力データ作成だけで解析可能となるようなTAGSACプログラムの修正

以上3つの課題を上げておく。特に①の課題については早急に対応する必要があるため現在プログラムの開発中である。

5. 謝 辞

本報告書作成に当たって御指導及び、有益な助言をしていただいた埼玉大学工学部 渡辺邦夫助教授に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 例えば八播 敏夫：土壌の物理，東京大学出版会，1975
- 2) 例えば大西 有三，西垣 誠：有限要素法による飽和一不飽和領域の三次元浸透浸透解析，第12回土質工学会講演習pp.153～156，1977
- 3) 例えばZienkiewicz, O. C. 著 吉識 雅夫，山田 嘉昭，監訳：基礎工学におけるマトリクス有限要素法，倍風館，1975
- 4) 渡辺 邦夫：山地小流域の地下水流出解析による流れ場の特性評価，応用地質，Vol.27, No.4 pp.40～50，1986
- 5) Watanabe Kunio : Analysis of Three-Dimensional Groundwater Flow in the Near-surface Layer of a Small Watershed, Journal of Hydrology, 102, pp.287～300, 1988
- 6) 渡辺 邦夫，山中 和雄：一般的な山地小流域における地下水流出の3次元浸透解析と問題点，第30回水理講演会論文集，pp.391～396，1986
- 7) 渡辺 邦夫，今井 久：水みちを持つ斜面内の非定常地下水流れの性質，応用地質 Vol.25, No.1, pp.1～9, 1984
- 8) 今井 久，渡辺 邦夫：斜面の地下水流出に与える水みちの影響に関する基礎研究，第29回水理講演会論文集，pp.221～226，1986
- 9) 渡辺 邦夫，今井 久：斜面上の局所崩壊部周辺の地下水流れ特性に関する基礎研究，応用地質 Vol.26, No.1 pp.1～9, 1985
- 10) 渡辺 邦夫，藍沢 稔幸，柳澤 孝一：岩盤浸透流の3次元解析の考え方と多孔体モデルによる広域解析例，第45回土木学会年次学術講演会概要集 pp816～817, 1990
- 11) 渡辺 邦夫，丸山 正，柳澤 孝一，斉藤 章：3次元地下水解析による山地流出現象の研究，第45回土木学会年次学術講演会概要集，pp214～215, 1990
- 12) 柳澤 孝一，渡辺 邦夫，今井 久，大澤 英昭：立坑掘削の地下水流動影響予測解析，第23回岩盤力学に関するシンポジウム論文集（投稿中）

付 録

- ・TAGSACソース
- ・TAGSAC入力データセット

```

C #***** : ***** 1989.09.26 TAGSUC.FORT(TONOP1) **
C # "TAGSUC" FOR GROUNDWATER ANALYSIS
C # TAGSUC
C # T A G S A C
C *****

```

```

C (TONOP1)
C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

```

```

C
C     PARAMETER (NPO=1000)
C     PARAMETER (NEL= 700)
C     PARAMETER (NBC= 220)
C     PARAMETER (NSF= 200)
C     COMMON/A1/NE,NP,NB,NS,DT,DT1
C     COMMON/A2/TX(NPO),TY(NPO),TZ(NPO)
C     COMMON/A3/LBO(NBC),BOU(NBC)
C     COMMON/A5/NDM(NEL,8)
C     COMMON/A6/PKXO(NPO),PKYO(NPO),PKZO(NPO)
C     COMMON/A7/F(NPO)
C     COMMON/B1/NQ,NSS,SSS
C     COMMON/B2/B(15),THO(15),PP(15),GAO(15)
C     COMMON/B3/POR(NEL)
C     COMMON/C1/PPH(NPO),PH(NPO)
C     COMMON/C2/A(NPO),PKX(NPO),PKY(NPO),PKZ(NPO)
C     COMMON/D1/G1(10),G2(10),G3(10),H1(10),H2(10),H3(10)
C     COMMON/D2/X(8),Y(8),Z(8)
C     COMMON/D3/DOGZ(8),DOHE(8),DOTH(8)
C     COMMON/E1/FJAC(3,3)
C     COMMON/F1/ADJ(3,3)
C     COMMON/G1/OME(8)
C     COMMON/H1/EM(8,8),BM(8,8)
C     COMMON/H2/ATOT(NPO,NPO),BTOT(NPO,NPO)
C     COMMON/I1/VX(NEL),VY(NEL),VZ(NEL)
C     COMMON/Q1/RS(NPO)
C     COMMON/Q2/NRA(NSF),AR(NSF),NRE
C     DIMENSION NANS(NPO),PH1(NPO)

```

```

C EPS=1.0D-26
C NNNO=1

```

```

C CALL INPUT1
C CALL INPUT2
C CALL INIT
C CALL GAUS(N1,N2,N3)
C CALL RAIN
C     UWF=1.0
C     DT2=0.0

```

```

C /-----/
C /
C / #      NNNO      TIME INCREMENT      1989.9.22 (FRI.)
C / #      NNNO      ##   DT      ## NNNO*DT      = TOTAL TIME
C /   1>>  8( 8)      10 DAYS      80 DAYS      ( 80 DAYS)
C /   9>> 13( 5)      30 DAYS      150 DAYS      ( 230 DAYS)
C /  14>> 20( 7)      60 DAYS      420 DAYS      ( 650 DAYS)
C /  21>> 29( 9)      90 DAYS      810 DAYS      4 YEARS (1460 DAYS)
C /  30>> 41(12)      1/2 YEAR      6 YEARS      10 YEARS
C /  42>> 53(12)      2/3 YEAR      8 YEARS      18 YEARS
C /  54>> 65(12)      1 YEAR      12 YEARS     30 YEARS
C /  66>> 75(10)      2 YEARS      20 YEARS     50 YEARS
C --( 76)----( 75)----- (50 YEARS) --/

```

```

C
C     1 DT1 = 1 YEAR* 365 DAY* 24 HOUR* 60 MINUTE* 60 SEC
C       DT=DT1/365.0*10.0
C     IF (NNNO.GE. 9) DT=DT1/12.0
C     IF (NNNO.GE.14) DT=DT1/6.0
C     IF (NNNO.GE.21) DT=DT1/4.0
C     IF (NNNO.GE.30) DT=DT1/2.0
C     IF (NNNO.GE.42) DT=DT1/1.5
C     IF (NNNO.GE.54) DT=DT1

```

```

      IF (NNNO.GE.66) DT=DT1*2.0
C
C ----- MAIN COMPUTIN' -----
C
12 CALL UNSAT (NNNO)
      IF (NNNO.EQ.1) GOTO 11
      CALL SUBO (N1,N2,N3)
      CALL BOU1
      CALL DLINS2 (NANS,NSTOP,EPS)
C
      DO 22 I=1,NRE
      DO 22 J=1,4
      II=NRA (I)
      IIF=NDM (II,J)
      IF (F (IIF).GT.TZ (IIF)) THEN
        F (IIF)=TZ (IIF)
      END IF
22 CONTINUE
C
      IF (F (754).GT.TZ (754)) THEN
        F (754)=TZ (754)
      END IF
C
      IF (UWF) 51,52,53
C
52 DO 2 I=1,NP
    2 PH1 (I)=F (I)
C
      DO 3 I=1,NP
      PPP=ABS (PH (I)-PH1 (I))
      IF (PPP.GT.20.0) THEN
        DT=DT/5.0
        UWF=-1.0
        DT2=DT2+DT
        WRITE (6,4) NNNO,I,PH (I),PH1 (I),PPP
4      FORMAT (/2I6,3F8.2,' ***** PPP IS MORE THAN 20 METER *****')
        GOTO 12
      END IF
3 CONTINUE
      GO TO 53
C
51 DT=DT*4.0
      UWF=1.0
      GO TO 12
C
53      UWF=0.0
      DT2=DT2+DT
      DT3=DT2/60.0/60.0/24.0
C
      DO 6 I=1,NP
6      PH (I)=F (I)
C
      -- OUTPUT SELECT -- 10:OUTPUT OR 20:CONTINUE
      DO 7 I=1,NP
7      IF (PH (I).GT.350.0) GOTO 10
      WRITE (6,8) NNNO,DT,DT3
      WRITE (6,88) PH (230),PH (510),PH (777),PH (954)
88      FORMAT (1H ,2X,' 230',F7.2,2X,' 510',F7.2,2X,' 777',F7.2,
        $2X,' 954',F7.2/)
C
      IF (NNNO.EQ. 1) GO TO 10
      IF (NNNO.EQ. 8) GO TO 10
      IF (NNNO.EQ.13) GO TO 10
      IF (NNNO.EQ.20) GO TO 10
      IF (NNNO.EQ.29) GO TO 10
      IF (NNNO.EQ.41) GO TO 10
      IF (NNNO.EQ.45) GO TO 10

```

```

IF (NNNO.EQ.50) GO TO 10
IF (NNNO.EQ.53) GO TO 10
IF (NNNO.EQ.60) GO TO 10
IF (NNNO.EQ.65) GO TO 10
IF (NNNO.EQ.70) GO TO 10
IF (NNNO.EQ.75) GO TO 10
IF (NNNO.EQ.81) GO TO 10
GO TO 20
C
-----
10 WRITE (6,8) NNNO,DT,DT3
c WRITE (7,8) NNNO,DT,DT3
8 FORMAT (1H1 , 'NNNO= ',I5, ' ** DT= ',E12.6, ' ** DT3= ',F9.1)
CALL VELO
CALL OUTPUT
C
-----
20 IF (NNNO .GE.41 ) THEN
CALL UNS2 (NNNO)
GO TO 11
END IF
C
DO 9 I=1,NP
9 IF (PH(I).GT.350.0) GOTO 11
C
NNNO=NNNO+1
GOTO 1
11 STOP
END
C
#####
C
=====SUBROUTINE INPUT1=====
C
SUBROUTINE INPUT1
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
PARAMETER (NPO=1000)
PARAMETER (NEL= 700)
PARAMETER (NBC= 220)
COMMON/A1/NE, NP, NB, NS, DT, DT1
COMMON/A2/TX (NPO), TY (NPO), TZ (NPO)
COMMON/A3/LBO (NBC), BOU (NBC)
COMMON/A5/NDM (NEL, 8)
COMMON/A6/PKXO (NPO), PKYO (NPO), PKZO (NPO)
DIMENSION PER (10), IK (10), NEP (10, 400), ND (8)
DIMENSION LOOSE (20)
c DIMENSION P (NPO), PER (10), IK (10), NEP (10, 400), ND (8)
C
-----
READ (5,101) DT1
101 FORMAT (F10.0)
READ (5,102) NE, NP, NB, NS
102 FORMAT (4I10)
C
-----
DO 103 L=1,NE
READ (5,104) N, (ND (J), J=1, 8)
104 FORMAT (9I5)
NDM (L, 1)=ND (8)
NDM (L, 2)=ND (5)
NDM (L, 3)=ND (6)
NDM (L, 4)=ND (7)
NDM (L, 5)=ND (4)
NDM (L, 6)=ND (1)
NDM (L, 7)=ND (2)
NDM (L, 8)=ND (3)
103 CONTINUE
C
DO 105 J=1,NP

```

```

      READ(5,106) M,A1,A2,A3
106  FORMAT(I4,3F10.0)
      TX(J)=(A1-4300.5)
      TY(J)=(A2-3400.5)
      TZ(J)=A3
105  CONTINUE
C    ----- B.C.:LBO(J)=B.C.GRID POINT: BOU(J)=B.C.VALUE (M)
      DO 107 J=1,NB
107  READ(5,108) LBO(J),BOU(J)
108  FORMAT(I4,F10.0)
C    ----- PERM.:IPER = NUMBER OF ALL K LAYERS
      READ(5,109) IPER
109  FORMAT(I5)
C                                     :PER(I) = K(CM/S) :IK(I) = NO. OF THE K ELEM.
C                                     :NEP(I,J) = ELEM. NO. OF THE K
      DO 10 I=1,IPER
      READ(5,110) PER(I)
110  FORMAT(F10.0)
      READ(5,111) IK(I)
111  FORMAT(I5)
      READ(5,112) (NEP(I,J),J=1,IK(I))
112  FORMAT(10I5)
      10  CONTINUE
C
      read(5,111) ILS
      read(5,112) (LOOSE(I),I=1,ILS)
C
      DO 500 I=1,IPER
      DO 500 J=1,IK(I)
      DO 500 K= 1,NE
      IF (K.EQ.NEP(I,J)) THEN
      PKXO(K)=1.0D-2*PER(I)
      PKYO(K)=1.0D-2*PER(I)
      PKZO(K)=1.0D-2*PER(I)*0.5
      END IF
500  CONTINUE
C
      DO 50 I=1,ILS
      I1=LOOSE(I)
      PKXO(I1)=PKXO(I1)*10.0
      PKYO(I1)=PKYO(I1)*10.0
      PKZO(I1)=PKZO(I1)*10.0
50  CONTINUE
C
      DO 510 K=1,NE
      IF( PKXO(K).LT.0.0 ) THEN
      WRITE(6,520) K
520  FORMAT( ' PERMEABILITY INPUT MISS NO.',I5)
      GOTO 530
      END IF
510  CONTINUE
C
530  RETURN
      END
C
C    #####
C
C    ===== SUBROUTINE INPUT2 =====
C
C    SUBROUTINE INPUT2
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      PARAMETER (NEL= 700)
      COMMON/A1/NE,NP,NB,NS,DT,DT1
      COMMON/B1/NQ,NSS,SSS
      COMMON/B2/B(15),THO(15),PP(15),GAO(15)

```



```

COMMON/B3/POR(NEL)
DIMENSION IM(200)
C
READ(5,111) NQ,NSS,SSS
111 FORMAT(2I5,F10.0)
READ(5,100) IPM,PORA,PORB
100 FORMAT(I5,2F10.0)
READ(5,101) (IM(I),I=1,IPM)
101 FORMAT(10I5)
C
===== POR-A = IPM : POR-B = NE-IPM
DO 10 I=1,NE
DO 20 J=1,IPM
II=IM(J)
IF(I.EQ.II) GOTO 30
20 CONTINUE
POR(I)=PORB
GOTO 10
30 POR(I)=PORA
10 CONTINUE
C
NOQ=NQ+1
NOS=NSS+1
READ(5,112) (B(K),K=1,NOQ)
READ(5,112) (THO(K),K=1,NOQ)
READ(5,112) (GAO(K),K=1,NOS)
READ(5,112) (PP(K),K=1,NOS)
112 FORMAT(9F8.0)
C
RETURN
END
C
#####
C
===== SUBROUTINE INIT =====
C
SUBROUTINE INIT
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
PARAMETER (NPO=1000)
PARAMETER (NEL= 700)
PARAMETER (NBC= 220)
COMMON/A1/NE,NP,NB,NS,DT,DT1
COMMON/A2/TX(NPO),TY(NPO),TZ(NPO)
COMMON/A3/LBO(NBC),BOU(NBC)
COMMON/A5/NDM(NEL,8)
COMMON/A6/PKXO(NPO),PKYO(NPO),PKZO(NPO)
COMMON/C1/PPH(NPO),PH(NPO)
COMMON/B1/NQ,NSS,SSS
COMMON/B3/POR(NEL)
COMMON/B2/B(15),THO(15),PP(15),GAO(15)
C
READ(5,200) (PH(I),I=1,NP)
200 FORMAT(5(5X,F8.0))
C
DO 260 I=1,NP
IF(PH(I).EQ.0.0) THEN
WRITE(6,250) I,PH(I)
250 FORMAT(' INIT.PH.SETTING MISS ; NO. ',I5,' PH= ',F10.3)
END IF
260 CONTINUE
C
----
DO 401 K=1,NB
II=LBO(K)
PH(II)=BOU(K)
401 CONTINUE
C

```

```

C ===== I =====
C
  WRITE(6,104)
104 FORMAT(1H1//5X,'##### INITIAL AND BOUNDARY CONDITION #####'//)
C
  WRITE(6,105)NE,NP,NB,NS
105 FORMAT(1H /5X,' NE=',I4,' NP=',I4,' NB=',I4,' NS=',I4//)
  WRITE(6,106)DT1
106 FORMAT(1H //5X,'STANDARD TIME INCREMENT(DT1)= ',F8.3,'YEARS'//)
  DT1=DT1*365.0*86400.0
C
  WRITE(6,107)
107 FORMAT(1H /5X,'PARAMETER FOR SAT.-UNSAT FLOW'//)
  WRITE(6,108) NQ,NSS,SSS
108 FORMAT(1H ,5X,'NQ=',I3,4X,'NSS=',I3,4X,'SSS=',F10.8)
  WRITE(6,112)
112 FORMAT(1H //5X,'APPROXIMATION OF PERM.FUNCT.'//)
  WRITE(6,113)
113 FORMAT(1H ,5X,'MOIST.RATIO -- PERMEABILITY'//)
  NOQ=NQ+1
  NOS=NSS+1
  DO 114 K=1,NOQ
114 WRITE(6,115)K,THO(K),B(K)
115 FORMAT(1H ,5X,I2,2X,'MOIST=',F8.3,5X,'PERM=',E10.4)
  WRITE(6,116)
116 FORMAT(1H /,5X,'MOIST.RATIO -- CAPILARLY PRESS.'//)
  DO 117 K=1,NOS
117 WRITE(6,118)K,GAO(K),PP(K)
118 FORMAT(1H ,5X,I2,2X,'MOIST=',F8.3,5X,'CAP. PRESS.=',F10.4)
C
  WRITE(6,109)
109 FORMAT(1H1 //5X,'PERMEABILITY (IN X,Y AND Z DIRECTION) ('//)
  DO 110 J=1,NE
110 WRITE(6,111) J,PKXO(J),PKYO(J),PKZO(J)
111 FORMAT(I8,3E15.2)
C
  WRITE(6,122)
122 FORMAT(1H1 //5X,'BOUNDARY CONDITION (POINT NO. & POTENTIAL()'//)
  WRITE(6,123) (LBO(I),BOU(I),I=1,NB)
123 FORMAT(10(I4,F6.1))
C
  WRITE(6,125)
125 FORMAT(1H1 //,5X,'INITIAL POTENTIAL (POINT NO. & POTENTIAL()'//)
  WRITE(6,126) (J,PH(J),J=1,NP)
126 FORMAT(10(I4,F6.1))
C
  WRITE(6,510)
510 FORMAT(1H1 //,5X,'POR'//)
  WRITE(6,500) (I,POR(I),I=1,NE)
500 FORMAT(10(I4,F6.2))
C ----- WRITE DATA SET
C
c1111 WRITE(7,1111)
c1111 FORMAT(' INITIAL POTENTIAL ')
C
c1110 WRITE(7,1110) (PH(J),J=1,NP)
c1110 FORMAT(10F8.3)
C
  RETURN
  END
C
C #####
C
C ===== SUBROUTINE GAUS =====
C
SUBROUTINE GAUS(N1,N2,N3)
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

```

COMMON/D1/G1(10),G2(10),G3(10),H1(10),H2(10),H3(10)

N1=4
N2=4
N3=4
IF(N1.EQ.4) GO TO 11

G1(1)=0.774596669241483D0
H1(1)=0.5555555555555556D0
G1(2)=0.0
H1(2)=0.8888888888888889D0
G1(3)=-G1(1)
H1(3)=H1(1)
G2(1)=G1(1)
G3(1)=G1(1)
G2(2)=G1(2)
G3(2)=G1(2)
G2(3)=G1(3)
G3(3)=G1(3)
H2(1)=H1(1)
H3(1)=H1(1)
H2(2)=H1(2)
H3(2)=H1(2)
H2(3)=H1(3)
H3(3)=H1(3)

GO TO 1
11 G1(1)=0.861136311594053D0
H1(1)=0.347854845137454D0
G1(2)=0.339981043584856D0
H1(2)=0.652145154862546D0
G1(3)=-G1(1)
G1(4)=-G1(2)
H1(3)=H1(1)
H1(4)=H1(2)
DO 110 I=1,4
G2(I)=G1(I)
G3(I)=G1(I)
H2(I)=H1(I)
H3(I)=H1(I)
110 CONTINUE
1 RETURN
END

#####

===== SUBROUTINE RAIN =====

SUBROUTINE RAIN

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
PARAMETER (NPO=1000)
PARAMETER (NEL= 700)
PARAMETER (NSF= 200)
COMMON/A1/NE,NP,NB,NS,DT,DT1
COMMON/A2/TX(NPO),TY(NPO),TZ(NPO)
COMMON/A5/NDM(NEL,8)
COMMON/Q1/RS(NPO)
COMMON/Q2/NRA(NSF),AR(NSF),NRE
DIMENSION NRA2(NSF)
DIMENSION NPTU(50)

----- GIVING RAIN DATA ----- R = (/) RI = (/)
101 READ(5,101) R
FORMAT(F5.0)
101 READ(5,102) NRE

```

102 FORMAT (I5)
    READ (5,104) (NRA(I), I=1, NRE)
104 FORMAT (10I5)
    RI=R/1000.0/86400.0
C      -----
    READ (5,201) RC
201 FORMAT (F5.0)
    READ (5,202) NRE2
202 FORMAT (I5)
    READ (5,204) (NRA2(I), I=1, NRE2)
204 FORMAT (10I5)
    RCI=RC/1000.0/86400.0
C
C      ----- PUMPING DATA -----
C      TUNQ -- Q OF PUMPING
C      NTUN -- NO. OF TUNNEL POINTS
C      READ (5,50) TUNQ
C      NPTU -- POINT NO. OF TUNNEL
C      50 FORMAT (F5.0)
C      READ (5,51) NTUN
C      51 FORMAT (I5)
C      READ (5,52) (NPTU(I), I=1, NTUN)
C      52 FORMAT (10I5)
C      TUNP=-(TUNQ/86400.0)/NTUN
C
C      CALL AREA
C
C      DO 105 I=1, NP
105 RS(I)=0.0
C
C      DO 106 I=1, NRE
    II=NRA(I)
    DO 208 K=1, NRE2
    IF (II.EQ.NRA2(K)) GOTO 209
208 CONTINUE
C
C      DO 107 J=1, 4
    IIF=NDM(II, J)
    RS(IIF)=RS(IIF)+AR(I)/4.0*RI
107 CONTINUE
    GOTO 106
C
C      DO 210 J=1, 4
    IIF=NDM(II, J)
    RS(IIF)=RS(IIF)+AR(I)/4.0*RCI
210 CONTINUE
106 CONTINUE
C
C      DO 53 I=1, NTUN
C      II=NPTU(I)
C      RS(II)=TUNP
C      53 CONTINUE
C
C      WRITE (6,20) R, RC
20 FORMAT (1H1 //, 5X, 'RAIN ( UPPER ) ', 2X, F10.5, ' ( //, 2X,
+      'RAIN ( LOWER ) ', 2X, F10.5, ' ( //)
    WRITE (6,10)
10 FORMAT (1H //, 5X, 'GIVING RAIN ELEMENT NUMBER, AND ITS AREA ( //)
    DO 108 I=1, NRE
    WRITE (6,109) NRA(I), AR(I)
109 FORMAT (1H , 5X, I4, 5X, F15.2)
108 CONTINUE
C
C      WRITE (6,1)
1 FORMAT (1H //, 5X, 'RAIN OF EACH GRID POINT ( //)
    WRITE (6,230) (I, RS(I), I=1, NP)
230 FORMAT (5(I5, E9.2))
C
C      WRITE (6,54)

```

```

C 54 FORMAT(1H //,5X,'PUMPING POINT NUMBER, AND ITS FLOW RATE (
C      +'/)
C      DO 55 I=1,NTUN
C      II=NPTU(I)
C      WRITE(6,56) NPTU(I),RS(II)
C 56 FORMAT(1H ,5X,I4,5X,F15.2)
C 55 CONTINUE
C      RETURN
C      END

```

```

C      #####

```

```

C      ===== SUBROUTINE AREA =====

```

```

C      SUBROUTINE AREA

```

```

C      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C      PARAMETER (NPO=1000)
C      PARAMETER (NEL= 700)
C      PARAMETER (NSF= 200)
C      COMMON/A2/TX(NPO),TY(NPO),TZ(NPO)
C      COMMON/A5/NDM(NEL,8)
C      COMMON/Q2/NRA(NSF),AR(NSF),NRE
C      DIMENSION A1(8),A2(8),A3(8),BL(8)

```

```

C      DO 100 I=1,NRE
C      II=NRA(I)

```

```

C      DO 110 K=1,4
C      KK=K+4
C      IK=NDM(II, KK)
C      A1(K)=TX(IK)
C      A2(K)=TY(IK)
C      A3(K)=TZ(IK)

```

```

C 110 CONTINUE

```

```

C      DO 120 K=1,4
C      KK=K+1
C      IF(K.EQ.4) KK=1
C      BL(K)=SQRT((A1(KK)-A1(K))**2+(A2(KK)-A2(K))**2+(A3(KK)-A3(K))**2)
C      BB=SQRT((A1(2)-A1(4))**2+(A2(2)-A2(4))**2+(A3(2)-A3(4))**2)
C 120 CONTINUE

```

```

C      C1=(BL(1)+BL(4)+BB)/2.0
C      C2=(BL(2)+BL(3)+BB)/2.0
C      D1=SQRT(C1*(C1-BL(1))*(C1-BL(4))*(C1-BB))
C      D2=SQRT(C2*(C2-BL(2))*(C2-BL(3))*(C2-BB))
C      AR(I)=D1+D2

```

```

C 100 CONTINUE

```

```

C      RETURN
C      END

```

```

C      #####

```

```

C      ===== SUBROUTINE UNSAT =====

```

```

C      SUBROUTINE UNSAT (NNNO)

```

```

C      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C      PARAMETER (NPO=1000)
C      PARAMETER (NEL= 700)
C      COMMON/A1/NE,NP,NB,NS,DT,DT1
C      COMMON/A5/NDM(NEL,8)
C      COMMON/A6/PKXO(NPO),PKYO(NPO),PKZO(NPO)
C      COMMON/B1/NQ,NSS,SSS

```

```

COMMON/B3/POR(NEL)
COMMON/B2/B(15),THO(15),PP(15),GAO(15)
COMMON/C1/PPH(NPO),PH(NPO)
COMMON/C2/A(NPO),PKX(NPO),PKY(NPO),PKZ(NPO)
COMMON/A2/TX(NPO),TY(NPO),TZ(NPO)
DIMENSION POK(NPO)

```

C

```

DO 101 J=1,NP
PPH(J)=PH(J)-TZ(J)
POK(J)=PPH(J)
IF(POK(J).GT.0.0) POK(J)=0.0

```

101 CONTINUE

C

```

DO 102 I=1,NE
APPH=0.0
DO 103 J=1,8
KK=NDM(I,J)
APPH=APPH+POK(KK)

```

103 CONTINUE

```

APPH=APPH/8.0
IF(APPH.GE.0.0) GO TO 104
KDAM=1
DO 105 K=1,NSS
IF(APPH.GE.PP(K)) KDAM=K

```

105 CONTINUE

```

KDAN=KDAM
KK1=KDAM+1
TH=GAO(KDAM)+(GAO(KK1)-GAO(KDAM))/(PP(KK1)-PP(KDAM))
+ *(APPH-PP(KDAM))
IF(TH.GE.0.999) GO TO 104
KDAM=1
DO 106 K=2,NQ
IF(TH.GE.TH0(K)) KDAM=K

```

106 CONTINUE

```

KK2=KDAM+1
GAM=B(KDAM)+(B(KK2)-B(KDAM))/(TH0(KK2)-TH0(KDAM))*
+ (TH-TH0(KDAM))
A(I)=(GAO(KK1)-GAO(KDAN))/(PP(KK1)-PP(KDAN))*POR(I)
GO TO 107

```

104 GAM=1.0

A(I)=SSS

107 PKX(I)=PKXO(I)*GAM

PKY(I)=PKYO(I)*GAM

PKZ(I)=PKZO(I)*GAM

102 CONTINUE

```

IF(NNNO.EQ. 1) GO TO 10
IF(NNNO.EQ. 9) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.14) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.21) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.30) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.41) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.45) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.50) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.53) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.60) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.65) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.70) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.75) GO TO 10
IF(NNNO.EQ.81) GO TO 10
GO TO 1

```

10 CALL UNS2 (NNNO)

1 RETURN

END

C

C

C

#####


```

DO 1200 L=1,NE
C
DO 1300 I=1,8
DO 1400 J=1,8
EM(I,J)=0.0
BM(I,J)=0.0
1400 CONTINUE
1300 CONTINUE
C
DO 1500 I=1,8
K1=NDM(L,I)
X(I)=TX(K1)
Y(I)=TY(K1)
Z(I)=TZ(K1)
1500 CONTINUE
C
DO 1600 K1=1,N1
DO 1700 K2=1,N2
DO 1800 K3=1,N3
GZAI=G1(K1)
EHTA=G2(K2)
THET=G3(K3)
HG=H1(K1)
HE=H2(K2)
HT=H3(K3)
C
CALL SUB1 (GZAI,EHTA,THET)
CALL SUB2
CALL SUB3
CALL SUB4 (GZAI,EHTA,THET)
CALL SUB5 (DETJ)
C
C
DO 1900 I=1,8
DO 2000 J=1,8
C
CALL SUB6 (I,J,T,DETJ,L)
C
EM(I,J)=EM(I,J)+T*HG*HE*HT*DETJ
TT=OME(J)*OME(I)*A(L)
BM(I,J)=BM(I,J)+TT*HG*HE*HT*DETJ
C
2000 CONTINUE
1900 CONTINUE
1800 CONTINUE
1700 CONTINUE
1600 CONTINUE
C
C
DO 2100 I=1,8
DO 2200 J=1,8
KI=NDM(L,I)
KJ=NDM(L,J)
ATOT(KI,KJ)=ATOT(KI,KJ)+EM(I,J)
BTOT(KI,KJ)=BTOT(KI,KJ)+BM(I,J)
2200 CONTINUE
2100 CONTINUE
C
1200 CONTINUE
C
DO 2300 I=1,NP
F(I)=0.0
2300 CONTINUE
DO 2400 I=1,NP
DO 2500 J=1,NP
2500 F(I)=F(I)+BTOT(I,J)*PH(J)/DT-ATOT(I,J)/2.0*PH(J)

```


2400 CONTINUE

C
C

DO 2600 I=1,NP
DO 2700 J=1,NP

2700 ATOT(I,J)=ATOT(I,J)*0.5+BTOT(I,J)/DT

2600 CONTINUE

C

RETURN
END

C

#####

C

C

===== SUBROUTINE SUB1(GZAI,EHTA,THET) =====

C

C

SUBROUTINE SUB1(G,E,T)

C

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON/D3/DOGZ(8),DOHE(8),DOTH(8)

C

DOGZ(1)=(1+E)*(1+T)/8.0
DOHE(1)=(1+G)*(1+T)/8.0
DOTH(1)=(1+G)*(1+E)/8.0

C

DOGZ(2)=(1-E)*(1+T)/8.0
DOHE(2)=- (1+G)*(1+T)/8.0
DOTH(2)=(1+G)*(1-E)/8.0

C

DOGZ(3)=- (1-E)*(1+T)/8.0
DOHE(3)=- (1-G)*(1+T)/8.0
DOTH(3)=(1-G)*(1-E)/8.0

C

DOGZ(4)=- (1+E)*(1+T)/8.0
DOHE(4)=(1-G)*(1+T)/8.0
DOTH(4)=(1-G)*(1+E)/8.0

C

DOGZ(5)=(1+E)*(1-T)/8.0
DOHE(5)=(1+G)*(1-T)/8.0
DOTH(5)=- (1+G)*(1+E)/8.0

C

DOGZ(6)=(1-E)*(1-T)/8.0
DOHE(6)=- (1+G)*(1-T)/8.0
DOTH(6)=- (1+G)*(1-E)/8.0

C

DOGZ(7)=- (1-E)*(1-T)/8.0
DOHE(7)=- (1-G)*(1-T)/8.0
DOTH(7)=- (1-G)*(1-E)/8.0

C

DOGZ(8)=- (1+E)*(1-T)/8.0
DOHE(8)=(1-G)*(1-T)/8.0
DOTH(8)=- (1-G)*(1+E)/8.0

C

RETURN
END

C

#####

C

C

===== SUBROUTINE SUB2 =====

C

C

SUBROUTINE SUB2

C

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON/D2/X(8),Y(8),Z(8)
COMMON/D3/DOGZ(8),DOHE(8),DOTH(8)
COMMON/E1/FJAC(3,3)

C

```
DO 1000 I=1,3
DO 1100 J=1,3
FJAC(I,J)=0.0
1100 CONTINUE
1000 CONTINUE
```

```
C
DO 1300 I=1,8
```

```
C
FJAC(1,1)=FJAC(1,1)+X(I)*DOGZ(I)
FJAC(1,2)=FJAC(1,2)+Y(I)*DOGZ(I)
FJAC(1,3)=FJAC(1,3)+Z(I)*DOGZ(I)
FJAC(2,1)=FJAC(2,1)+X(I)*DOHE(I)
FJAC(2,2)=FJAC(2,2)+Y(I)*DOHE(I)
FJAC(2,3)=FJAC(2,3)+Z(I)*DOHE(I)
FJAC(3,1)=FJAC(3,1)+X(I)*DOTH(I)
FJAC(3,2)=FJAC(3,2)+Y(I)*DOTH(I)
FJAC(3,3)=FJAC(3,3)+Z(I)*DOTH(I)
```

```
C
1300 CONTINUE
```

```
C
RETURN
END
```

```
C
C
C #####
```

```
C
C ===== SUBROUTINE SUB3 =====
```

```
C
SUBROUTINE SUB3
```

```
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON/E1/FJAC(3,3)
COMMON/F1/ADJ(3,3)
```

```
C
ADJ(1,1)= FJAC(2,2)*FJAC(3,3)-FJAC(3,2)*FJAC(2,3)
ADJ(1,2)=- (FJAC(1,2)*FJAC(3,3)-FJAC(3,2)*FJAC(1,3))
ADJ(1,3)= FJAC(1,2)*FJAC(2,3)-FJAC(2,2)*FJAC(1,3)
ADJ(2,1)=- (FJAC(2,1)*FJAC(3,3)-FJAC(3,1)*FJAC(2,3))
ADJ(2,2)= FJAC(1,1)*FJAC(3,3)-FJAC(3,1)*FJAC(1,3)
ADJ(2,3)=- (FJAC(1,1)*FJAC(2,3)-FJAC(2,1)*FJAC(1,3))
ADJ(3,1)= FJAC(2,1)*FJAC(3,2)-FJAC(3,1)*FJAC(2,2)
ADJ(3,2)=- (FJAC(1,1)*FJAC(3,2)-FJAC(3,1)*FJAC(1,2))
ADJ(3,3)= FJAC(1,1)*FJAC(2,2)-FJAC(2,1)*FJAC(1,2)
```

```
C
RETURN
END
```

```
C
C
C #####
```

```
C
C ===== SUBROUTINE SUB4(GZAI,EHTA,THET) =====
```

```
C
SUBROUTINE SUB4(G,E,T)
```

```
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON/G1/OME(8)
```

```
C
OME(1)=(1+G)*(1+E)*(1+T)/8.0
OME(2)=(1+G)*(1-E)*(1+T)/8.0
OME(3)=(1-G)*(1-E)*(1+T)/8.0
OME(4)=(1-G)*(1+E)*(1+T)/8.0
OME(5)=(1+G)*(1+E)*(1-T)/8.0
OME(6)=(1+G)*(1-E)*(1-T)/8.0
OME(7)=(1-G)*(1-E)*(1-T)/8.0
OME(8)=(1-G)*(1+E)*(1-T)/8.0
```

```
C
RETURN
END
```

```

C
C      #####
C
C      ===== SUBROUTINE SUB5 (DETJ) =====
C
C      SUBROUTINE SUB5 (DETJ)
C
C      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C      COMMON/E1/FJAC (3,3)
C
C      X1=FJAC (1,1) *FJAC (2,2) *FJAC (3,3)
C      X2=FJAC (1,2) *FJAC (2,3) *FJAC (3,1)
C      X3=FJAC (2,1) *FJAC (3,2) *FJAC (1,3)
C      X4=FJAC (1,3) *FJAC (2,2) *FJAC (3,1)
C      X5=FJAC (1,1) *FJAC (2,3) *FJAC (3,2)
C      X6=FJAC (3,3) *FJAC (1,2) *FJAC (2,1)
C
C      DETJ=(X1+X2+X3) - (X4+X5+X6)
C      RETURN
C      END
C
C      #####
C
C      ===== SUBROUTINE SUB6 =====
C
C      SUBROUTINE SUB6 (I, J, T, DETJ, L)
C
C      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C      PARAMETER (NPO=1000)
C      COMMON/C2/A (NPO), PKX (NPO), PKY (NPO), PKZ (NPO)
C      COMMON/F1/ADJ (3,3)
C      COMMON/D3/DOGZ (8), DOHE (8), DOTH (8)
C
C      D1=(ADJ (1,1) *DOGZ (I) +ADJ (1,2) *DOHE (I) +ADJ (1,3) *DOTH (I) ) /DETJ
C      D2=(ADJ (1,1) *DOGZ (J) +ADJ (1,2) *DOHE (J) +ADJ (1,3) *DOTH (J) ) /DETJ
C      E1=(ADJ (2,1) *DOGZ (I) +ADJ (2,2) *DOHE (I) +ADJ (2,3) *DOTH (I) ) /DETJ
C      E2=(ADJ (2,1) *DOGZ (J) +ADJ (2,2) *DOHE (J) +ADJ (2,3) *DOTH (J) ) /DETJ
C      F1=(ADJ (3,1) *DOGZ (I) +ADJ (3,2) *DOHE (I) +ADJ (3,3) *DOTH (I) ) /DETJ
C      F2=(ADJ (3,1) *DOGZ (J) +ADJ (3,2) *DOHE (J) +ADJ (3,3) *DOTH (J) ) /DETJ
C
C      T=D1 *D2 *PKX (L) +E1 *E2 *PKY (L) +F1 *F2 *PKZ (L)
C      RETURN
C      END
C
C      #####
C
C      ===== SUBROUTINE BOU1 =====
C
C      SUBROUTINE BOU1
C
C      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C      PARAMETER (NPO=1000)
C      PARAMETER (NEL= 700)
C      PARAMETER (NBC= 220)
C      COMMON/A1/NE, NP, NB, NS, DT, DT1
C      COMMON/A3/LBO (NBC), BOU (NBC)
C      COMMON/A7/F (NPO)
C      COMMON/Q1/RS (NPO)
C      COMMON/H2/ATOT (NPO, NPO), BTOT (NPO, NPO)
C
C      DO 100 NN=1, NP
C      F (NN) =F (NN) +RS (NN)
C 100 CONTINUE
C
C      IF (NB.EQ.0) GO TO 200
C      DO 110 I=1, NB

```

```

      KSO=LBO(I)
      DO 120 J=1,NP
120   ATOT(KSO,J)=0.0
      ATOT(KSO,KSO)=1.0
      F(KSO)=BOU(I)
110   CONTINUE
C
200   RETURN
      END
C
C      #####
C      ===== SUBROUTINE DLINS2 =====
C
SUBROUTINE DLINS2(NANS,NSTOP,EPS)
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      PARAMETER (NPO=1000)
      COMMON/A7/F(NPO)
      COMMON/H2/ATOT(NPO,NPO),BTOT(NPO,NPO)
      COMMON/A1/NE,NP,NB,NS,DT,DT1
      DIMENSION NANS(NPO)
C
      N1=1000
      ZERO=0.0D0
      ONE=1.0D0
      CONST=0.01D0
      IF(NP) 600,600,100
100   IF(NP-N1) 110,110,600
110   IF(EPS) 120,130,130
120   EPS=1.0D-16
130   CONTINUE
      NSTOP=1
      NM=NP-1
      EPSS=EPS*CONST
C
      DO 350 K=1,NP
C
      AMAX=ZERO
      DO 200 I=K,NP
      AX=ATOT(I,K)
      IF(DABS(AMAX).GE.DABS(AX)) GO TO 200
      IROW=I
      AMAX=AX
200   CONTINUE
      IF(DABS(AMAX).LE.EPS) GO TO 500
      IF(K.EQ.NP) GO TO 350
C
      NANS(K)=IROW
      IF(NANS(K).EQ.K) GO TO 300
      ATOT(IROW,K)=ATOT(K,K)
      ATOT(K,K)=AMAX
300   CONTINUE
      PIVOT=-ONE/AMAX
      K1=K+1
      DO 320 J=K1,NP
      T=ATOT(IROW,J)*PIVOT
      ATOT(IROW,J)=ATOT(K,J)
      ATOT(K,J)=-T
      DO 310 I=K1,NP
      ATOT(I,J)=ATOT(I,J)+T*ATOT(I,K)
310   CONTINUE
320   CONTINUE
C
      T=F(IROW)*PIVOT
      F(IROW)=F(K)

```

```

      F(K)=-T
      IF(DABS(T)-EPSS) 350,350,330
330  CONTINUE
      DO 340 I=K1,NP
      F(I)=F(I)+T*ATOT(I,K)
340  CONTINUE
350  CONTINUE
      NANS(NP)=NP
C
      F(NP)=F(NP)/ATOT(NP,NP)
      IF(NP.EQ.1) GO TO 999
      DO 410 J=1,NM
      JJ=NP-J+1
      JJJ=JJ-1
      T=-F(JJ)
      DO 400 I=1,JJJ
      F(I)=F(I)+T*ATOT(I,JJ)
400  CONTINUE
410  CONTINUE
      GO TO 999
C
500  CONTINUE
      NSTOP=2
      WRITE(6,1001) AMAX,EPS,K
      GO TO 999
C
600  CONTINUE
      NSTOP=3
      WRITE(6,1002) NP,N1
      GO TO 999
C
1001 FORMAT(1H0,'(SUBR,DLINS2) MATRIX IS NEARLY SINGULAR.',5X,
1'THE PIVOT',E10.4,' IS LESS THAN OR EQUAL TO EPS ',E10.4,'.',
2/ 15X,'(' ,I4,'-TH ELIMINATING PROCESS)')
1002 FORMAT(1H0,'(SUBR.DLINS2) N=',I4,' ,N1=',I4,' ,N MUST BE POSITIVE
1 AND LES THAN OR EQUAL TO N1.'/15X,'RETURN WITH NO CALCULATION.')
C
999  RETURN
      END
C
C #####
C
C ===== SUBROUTINE VELO =====
C
SUBROUTINE VELO
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      PARAMETER (NPO=1000)
      PARAMETER (NEL= 700)
      COMMON/A1/NE,NP,NB,NS,DT,DT1
      COMMON/A2/TX(NPO),TY(NPO),TZ(NPO)
      COMMON/A5/NDM(NEL,8)
      COMMON/C1/PPH(NPO),PH(NPO)
      COMMON/C2/A(NPO),PKX(NPO),PKY(NPO),PKZ(NPO)
      COMMON/D2/X(8),Y(8),Z(8)
      COMMON/D3/DOGZ(8),DOHE(8),DOTH(8)
      COMMON/E1/FJAC(3,3)
      COMMON/F1/ADJ(3,3)
      COMMON/I1/VX(NEL),VY(NEL),VZ(NEL)
      DIMENSION PG(NEL),PE(NEL),PT(NEL),P(NPO)
C
      DO 10 I=1,NE
      PG(I)=0.0
      PE(I)=0.0
      PT(I)=0.0
10  CONTINUE

```

```

C
DO 100 I=1,NE
G=0.0
E=0.0
T=0.0
C
DO 120 K=1,8
K1=NDM(I,K)
X(K)=TX(K1)
Y(K)=TY(K1)
Z(K)=TZ(K1)
P(K)=PH(K1)
120 CONTINUE
C
CALL SUB1(G,E,T)
C
DO 110 K=1,8
PG(I)=PG(I)+DOGZ(K)*P(K)
PE(I)=PE(I)+DOHE(K)*P(K)
PT(I)=PT(I)+DOTH(K)*P(K)
110 CONTINUE
C
CALL SUB2
CALL SUB3
CALL SUB5(DETJ)
C
DD=(ADJ(1,1)*PG(I)+ADJ(1,2)*PE(I)+ADJ(1,3)*PT(I))/DETJ
EE=(ADJ(2,1)*PG(I)+ADJ(2,2)*PE(I)+ADJ(2,3)*PT(I))/DETJ
FF=(ADJ(3,1)*PG(I)+ADJ(3,2)*PE(I)+ADJ(3,3)*PT(I))/DETJ
C
VX(I)=-PKX(I)*DD
VY(I)=-PKY(I)*EE
VZ(I)=-PKZ(I)*FF
100 CONTINUE
C
RETURN
END
C
#####
C
===== SUBROUTINE OUTPUT =====
C
SUBROUTINE OUTPUT
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
PARAMETER (NPO=1000,NEL=700)
COMMON/A1/NE,NP,NB,NS,DT,DT1
COMMON/C1/PPH(NPO),PH(NPO)
COMMON/I1/VX(NEL),VY(NEL),VZ(NEL)
C -----
c WRITE(7,110) (PH(J),J=1,NP)
c 110 FORMAT(10F8.3)
C -----
WRITE(6,200)
200 FORMAT(1H //5X,'POTENTIAL ('//)
WRITE(6,210) (J,PH(J),J=1,NP)
210 FORMAT(5(I5,F7.2))
C
WRITE(6,220)
220 FORMAT(1H1 //5X,'VELOCITY ('//)
DO 130 J=1,NE
130 WRITE(6,240) J,VX(J),VY(J),VZ(J)
240 FORMAT(1H ,5X,I4,' VX=',E11.4,' VY=',E11.4,' VZ=',E11.4)
C
RETURN
END

```

1.0 DT:基本タイムステップ(年)

NE:要素数, NP:節点数, NB:境界節点数, NS:浸出節点数
 679 977 60 118

要素番号	ND(1~8)							
1	2	1	13	14	142	141	153	154
2	3	2	14	15	143	142	154	155
3	4	3	15	16	144	143	155	156
4	5	4	16	17	145	144	156	157
5	6	5	17	18	146	145	157	158
6	7	6	18	19	147	146	158	159
7	8	7	19	20	148	147	159	160
8	9	8	20	21	149	148	160	161
9	10	9	21	22	150	149	161	162
10	11	10	22	23	151	150	162	163
669	882	881	894	895	954	953	963	964
670	883	882	895	896	955	954	964	965
671	887	886	899	900	957	956	966	967
672	888	887	900	901	958	957	967	968
673	891	890	903	904	960	959	969	970
674	892	891	904	905	961	960	970	971
675	893	892	905	906	962	961	971	972
676	894	893	906	907	963	962	972	973
677	895	894	907	908	964	963	973	974
678	900	899	912	913	967	966	975	976
679	901	900	913	914	968	967	976	977

要素番号—節点番号対応

1~NE

節点番号	X-座標	Y-座標	Z-座標
1	500.00	500.00	-30.00
2	1180.00	565.00	-30.00
3	1450.00	590.00	-30.00
4	2080.00	650.00	-30.00
5	2480.00	690.00	-30.00
6	2750.00	715.00	-30.00
7	3080.00	745.00	-30.00
8	3450.00	800.00	-30.00
9	4300.00	900.00	-30.00
10	4880.00	950.00	-30.00
966	5790.00	5130.00	300.00
967	6720.00	4810.00	300.00
968	7410.00	4550.00	300.00
969	150.00	5500.00	300.00
970	1600.00	6200.00	300.00
971	2500.00	6600.00	300.00
972	3350.00	6540.00	300.00
973	4300.00	6480.00	300.00
974	4650.00	6450.00	300.00
975	6050.00	5750.00	300.00
976	6980.00	5290.00	300.00
977	7600.00	4980.00	300.00

節点番号—座標

1-NP

境界節点番号	境界節点全水頭値
1	145.00
2	145.00
3	145.00
4	145.00
5	145.00

608	609	610	611	612	613	614	615	616	617
618	619	620	621	622	623	624	625	626	627
628	629	630	631	632	633	634	635	636	637
638	639	640	641	642	643	644	645	646	647
648	649	650	651	652	653	654	655		

1.0E-6

26	該当要素数				透水係数 (cm/s)				
479	480	481	482	486	502	503	511	512	522
523	524	525	526	534	535	536	537	538	546
547	548	549	550	477	478				

該当要素番号

1.0E-7

75	該当要素数				透水係数 (cm/s)				
483	484	485	487	488	489	490	491	492	493
494	495	496	497	498	499	500	501	504	505
506	507	508	509	510	513	514	515	516	517
518	519	520	521	527	528	529	530	531	532
533	539	540	541	542	543	544	545	551	552
553	554	555	556	557	558	559	560	561	562
563	564	565	566	567	568	569	570	571	572
573	574	575	576	577					

該当要素番号

1.0E-6

159	該当要素数				透水係数 (cm/s)				
364	365	366	367	368	375	376	377	378	379
387	388	389	390	391	392	393	394	395	396
397	398	402	403	404	405	406	407	408	416
417	418	419	420	428	429	430	431	432	439
440	441	442	443	444	450	451	452	453	454
455	456	457	458	459	460	461	462	463	464
465	466	467	468	469	470	471	472	473	474
475	476	245	246	247	248	249	256	257	258
259	260	268	269	270	271	272	273	274	275
276	277	278	279	283	284	285	286	287	288
289	297	298	299	300	301	309	310	311	312
313	320	321	322	323	324	325	331	332	333
334	335	336	337	338	339	340	341	342	343
344	345	346	347	348	349	350	351	352	353
354	355	356	357	128	129	130	139	140	141
151	152	153	158	159	160	168	169	170	

該当要素番号

1.0E-7

317	該当要素数				透水係数 (cm/s)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	131	132	133
134	135	136	137	138	142	143	144	145	146
147	148	149	150	154	155	156	157	161	162
163	164	165	166	167	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185
186	187	188	189	190	191	192	193	194	195
196	197	198	199	200	201	202	203	204	205
206	207	208	209	210	211	212	213	214	215
216	217	218	219	220	221	222	223	224	225
226	227	228	229	230	231	232	233	234	235
236	237	238	239	240	241	242	243	244	250
251	252	253	254	255	261	262	263	264	265
266	267	280	281	282	290	291	292	293	294
295	296	302	303	304	305	306	307	308	314

該当要素番号

315	316	317	318	319	326	327	328	329	330
358	359	360	361	362	363	369	370	371	372
373	374	380	381	382	383	384	385	386	399
400	401	409	410	411	412	413	414	415	421
422	423	424	425	426	427	433	434	435	436
437	438	445	446	447	448	449			
12									
473	474	475	476	574	575	576	577	652	653
654	655								

要素番号



率②該当要素数	間隙率②	間隙率①							
24	0.2	0.06							
656 657 658 659 660 661 662 663 664 665									
666 667 668 669 670 671 672 673 674 675									
676 677 678 679									

間隙②該当要素番号

0.0	0.1	0.3	0.5	0.98	1.0	折点飽和度			
0.0	0.5	0.7	0.8	0.95	1.0	折点相對透水性			
0.0	0.5	0.6	0.65	0.74	0.80	0.850	0.94	0.96	折点飽和度
0.97	0.98	0.98004							$\theta - \Psi$ 關係
-1000.0	-300.0	-20.0	-12.5	-8.5	-6.5	-5.5	-4.0	-3.0	折点負圧 (サクション) 水頭 (m)
-2.0	-0.4	0.0							

要素番号	初期全水頭値				
1 145.000	2 145.000	3 145.000	4 145.000	5 145.000	
6 145.000	7 145.000	8 145.000	9 145.000	10 145.000	
11 145.000	12 145.000	13 150.000	14 150.000	15 150.000	
16 150.000	17 150.000	18 150.000	19 150.000	20 150.000	
956 282.000	957 282.000	958 282.000	959 282.000	960 282.000	
961 282.000	962 282.000	963 282.000	964 282.000	965 282.000	
966 282.000	967 282.000	968 282.000	969 284.000	970 284.000	
971 284.000	972 284.000	973 284.000	974 284.000	975 284.000	
976 284.000	977 284.000				

初期全水頭値

1 ~ NP

0.9 — 降雨強度①

119	降雨強度①要素数									
358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	
368	375	379	386	387	394	404	416	477	478	
479	480	481	482	483	484	485	489	491	492	
495	496	497	498	501	506	510	517	529	541	
553	578	579	580	581	582	583	584	585	587	
588	589	590	592	596	597	598	599	601	602	
605	606	607	608	609	610	612	613	620	621	
624	630	631	632	635	636	637	638	639	640	
641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	
651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	
661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	
671	672	673	674	675	676	677	678	679		

降雨強度①要素番号

0.2 — 降雨強度②

41	降雨強度②要素数									
358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	
368	375	379	386	387	394	404	416	477	478	
479	480	481	482	483	484	485	489	491	492	
495	496	497	498	501	506	510	517	529	541	
553										

降雨強度②要素番号