

ISSN 0386-5875

土木研究所資料 第2269号

土木研究所資料

集水ボーリング工による地下水低下の解析

昭和60年12月

建設省土木研究所
砂防部地すべり研究室

Copyright © (1985) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

集水ボーリング工による地下水低下の解析

地すべり研究室長 中村 浩之

研究員 久保田 哲也

要旨

地すべり対策工として重要な集水ボーリング（水平ボーリング）の地すべり地内での配置を考える場合、現場の透水係数や地下水位に応じた計画を検討せねばならないが、現在その明確な指針があるとは言い難い。したがって、従来から経験的に決定されて来た集水ボーリングの配置計画に対してさらに合理的な指針を得る目的で、地下水低下のモデル斜面による数値解析を実行し、概略的な配置計画の指針案を示した。

キーワード：地すべり，地下水，ボーリング，災害復旧，災害対策，排水工，集水工

ま え が き

地すべり対策工として我国で最も頻繁に用いられている集水ボーリング工（水平ボーリング）の地すべり地内での配置を考える際、どのような透水係数の土質でどのような地下水位があれば、どう配置するのかといった基本的な事項に対して現在も明確な指針があるとは言い難い。従来から、集水ボーリングの本数および配置間隔等は経験的に決定されて来たが、これら配置計画の合理的な、できれば定量的な設計が可能となれば、地すべり対策を進めるうえで、多大な経費の節約と、排水工設計の確実さが保証されることとなる。

このような見地から集水ボーリングの合理的設計に供する為の地下水解析法として従来の二次元解析における解析解による方法や差分解析法そして三次元の有限要素解析法等を検討したが、本文では、集水ボーリング配置計画指針の見通しを得る為、斜面の実状により良く合致する三次元有限要素解析法を用いて検討を行った。しかしながら、このような数値解析も現状では万能ではなく、自然斜面の複雑さ及び地下水分布の多様さを十分に表現し得るとは言い難い。従って、検討対象を自由地下水面を持つ不圧地下水に限り、大旨定性的な結論のみを追求することにより集水ボーリング配置の概略的設計指針を得るにとどめることとした。

いずれにしても、本文で述べる内容が、すべての現場に当てはまるとは考えられないが、これからの集水ボーリング施工計画に少しでも役立つものであると信じている。

なお、本文の三次元解析の実施に御尽力いただいた国際航業(株)地質調査事業部の畠山氏に厚く感謝いたします。

昭和 60 年 12 月

地すべり研究室長 中 村 浩 之
研究員 久保田 哲 也

目 次

1. 地下水低下解析法	1
1.1 解析法による分類	1
1.1.1 解析解を用いる方法	1
1.1.2 差分法・有限要素法・境界要素法	4
1.2 解析対象による分類	5
1.2.1 飽和浸透解析	5
1.2.2 飽和－不飽和浸透解析	5
2. 三次元地下水低下解析	7
2.1 理論と解析モデル・解析ケース	7
2.2 解析結果	13
2.2.1 透水係数による差	15
2.2.2 排水孔数 N による差	31
2.2.3 配置による差	38
2.2.4 孔長による差	38
2.2.5 上流水位 H による差	38
2.2.6 不透水面深 h_2 による差	42
2.2.7 飽和－不飽和浸透解析と飽和浸透解析の差	42
2.3 二次元解析との比較	44
3. 結 論	51
4. あとがき	53
参考文献	54
巻末資料	55
最大浸透流速表	57
代表解析例一覧	59

1. 地下水低下解析法

集水ボーリングによる地下水低下を取り扱う為には、当然時間的に地下水位や流量の変化する非定常解析でなければならず、従ってここで述べる地下水低下解析法も非定常解析法のみである。この非定常解析法にもいろいろな手法があるので、本章ではそれらを概観することから始める。

1.1 解析法による分類

解析法による分類としては、主として解析解によるものと数値解によるものとがあるが前者は厳密解もしくは、それに近い近似解によるもので、後者は、差分法、有限要素法、境界要素法によるものである。

1.1.1 解析解を用いる方法

厳密解もしくはその近似解を用いる方法であるが、三次元解析で浸透流の基本式である Richards のポテンシャル方程式から解析解を求めるのは一般に不可能であるばかりでなく、二次元解析でもサクションを考慮せねばならない不飽和浸透解析においては不可能である。従って、この手法は主に二次元の飽和浸透解析のみに適用されている。

まず基本式を示すと以下の様になる。

質量保存則すなわち流体の連続方程式は、

$$\operatorname{div}(\rho \vec{v}) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

これに体積含水率を考慮して浸透流の基本式である Richards の方程式

$$\operatorname{div}(\rho \vec{v}) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho \theta) = 0 \quad (2)$$

を得る。

ここで、 ρ : 水の密度、 $\vec{v}$: 流速ベクトル、 t : 時間、 θ : 土の単位体積に含まれる水の体積で定義される体積含水率。(2)式の左辺第一項は流速によってある流れの領域に流入・流出する質量の差を表わし、第二項は、その質量差によって生じるその領域における質量の時間的变化を表わす。

$$\operatorname{div}(\rho \vec{v}) \equiv \vec{\nabla} \cdot \rho \vec{v} = \frac{\partial}{\partial x} \rho u + \frac{\partial}{\partial y} \rho v + \frac{\partial}{\partial z} \rho w \quad (3)$$

u, v, w : それぞれ x 方向、 y 方向、 z 方向への浸透流速である。本文では x 方向を斜面の縦断方向、 y を斜面の横断方向、 z を鉛直方向とする。

(2)式に Darcy 則

$$\vec{v} = K(\theta) \vec{\nabla} h \quad (4)$$

$$h = \phi + \eta \quad (5)$$

を代入すれば、次の Richards のポテンシャル方程式を得る。

$$\operatorname{div} \rho K(\theta) \vec{\nabla} h = \frac{\partial}{\partial t} (\rho \theta) \quad (6)$$

ここに、 $K(\theta)$ ：2階の透水係数テンソル、 h ：全水頭、 ϕ ：圧力水頭、 η ：位置水頭。(4)式は次の様にも書ける。

$$u = K_x(\theta) \frac{\partial h}{\partial x}, \quad v = K_y(\theta) \frac{\partial h}{\partial y}, \quad w = K_z(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} \quad (7)$$

上式で K_x 、 K_y 、 K_z はそれぞれ x 、 y 、 z 方向の透水係数。

ここで、 ρ は空間的・時間的に不変と仮定できるので、

$$\operatorname{div} K(\theta) \vec{\nabla} h = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (8)$$

これが、浸透流の基本式である。

二次元断面を取り扱う場合は、(8)式は次のように書き直せる。

すなわち、

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ K_x(\theta) \frac{\partial h}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K_z(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} \right\} = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (9)$$

このような式に基づき、等角写像等の手法を用いて解析解を得るのが、ここで言う解析解を用いる方法である。

しかし、実際には(9)式でさえも解析解を求めるのは極めて難しく、Schilfgaard¹⁾、長堀²⁾、Maasland³⁾を始めとするほとんどの場合は、浸透流がある特別なひとつの方向へ卓越するような一次元浸透問題を取り扱っている。この場合(9)式は、さらに簡単となり、次式となる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ K(\theta) \frac{\partial h}{\partial x} \right\} \quad (10)$$

今、図 1.1 で不透水面より地下水面までの全体を考え、Dupit - Forchheimer の仮定* より

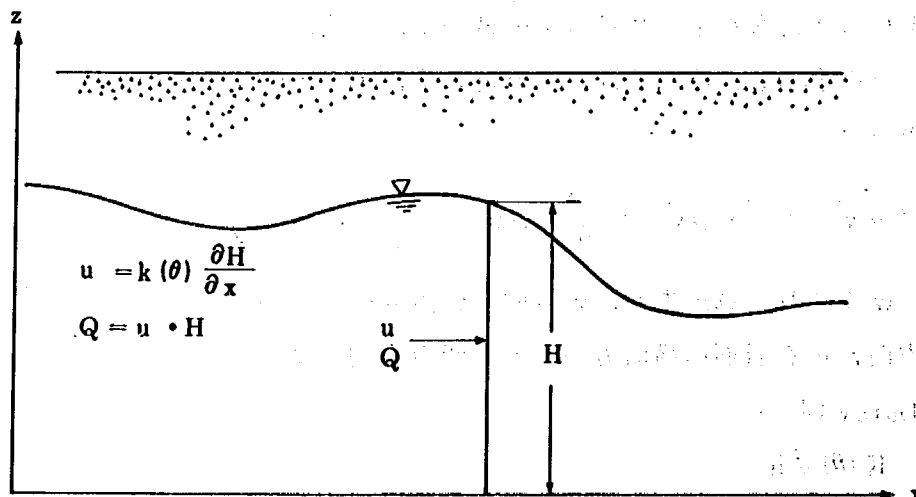


図 1.1 一次元浸透の説明図

$$\int_0^H \frac{\partial \theta}{\partial t} dz = \int_0^H \frac{\partial}{\partial x} \left\{ K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} \right\} dz \quad (11)$$

θ も $K(\theta)$ も H も z とは無関係なので,

$$\text{左辺} = \frac{\partial}{\partial t} \int_0^H \theta dz = \frac{\partial}{\partial t} (H \cdot \theta)$$

$$\begin{aligned} \text{右辺} &= \frac{\partial}{\partial x} \int_0^H K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} dz \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left\{ K(\theta) H \frac{\partial H}{\partial x} \right\} \end{aligned}$$

($\because \frac{\partial h}{\partial x} \approx \frac{\partial H}{\partial x}$, Dupuit-Forchheimer の仮定*)

$$\therefore \frac{\partial}{\partial t} (H \cdot \theta) = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ K(\theta) H \frac{\partial H}{\partial x} \right\} \quad (12)$$

(12式を求積的に解いて得られるのが, ここで述べている解析解を用いる方法である。

しかし, (12式は Dupuit-Forchheimer の仮定上に成立するもので水面勾配の大きなものは適用できず, 暗渠周辺での縮流を考えた Moody の修正⁴⁾が必要となる。これは, 等価不透水層深を採用したものである。また, 式(12は, この他に, 均質な土質でしかも, ダルシー則が成立するような自由地下水に対する飽和浸透流であるという前提で導かれている。

本節では, 最も合理的で実用性があるとされている Schilfgaard¹⁾ 式のみに触れることとする。この式は, (12式を, 境界条件として地下水面を $t=0$ で図 1.2 のような 4 次放物線に近似し, 暗渠 (ドレイン, 以下こう呼ぶ。) 上では地下水面はドレイン以上の高さにならないといった仮定を採用した上で解いたものである。それによると, 飽和解析であるから, $\theta = f$ (有効間隙率) となるから,

$$H = \frac{2f s^2 H_0 - 9A^2 k (\hat{d} + H_0) \cdot \hat{d} \cdot t}{9A^2 k (\hat{d} + H_0) \cdot t + 2f s^2} \quad (13)$$

$$A = \sqrt{1 - \left(\frac{\hat{d}}{\hat{d} + H_0} \right)^2} \quad (14)$$

ここで, f : 有効間隙率, s : ドレイン間隔, H_0 : 初期 ($t=0$) の地下水位, k : 透水係数, $\hat{d}$: Moody による等価不透水層深 (不透水層からドレインまでの高さ d を修正したもの。), H : ドレイン間におけるドレインより上の地下水面高。

* Dupuit-Forchheimer の仮定

1. 地下水面に沿う流速は水面勾配に比例する。従って, $u = K(\theta) \frac{\partial h}{\partial x} \div K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x}$ 。
2. 流れの場のどこにおいても流れは平行で, かつ水面の頂点から最低点まで流れは等流的である。

m: 排水ボーリングの本数

$$Z = \frac{16H}{3m^2s^2}x^2 - \frac{16H}{3m^4s^4}x^4$$

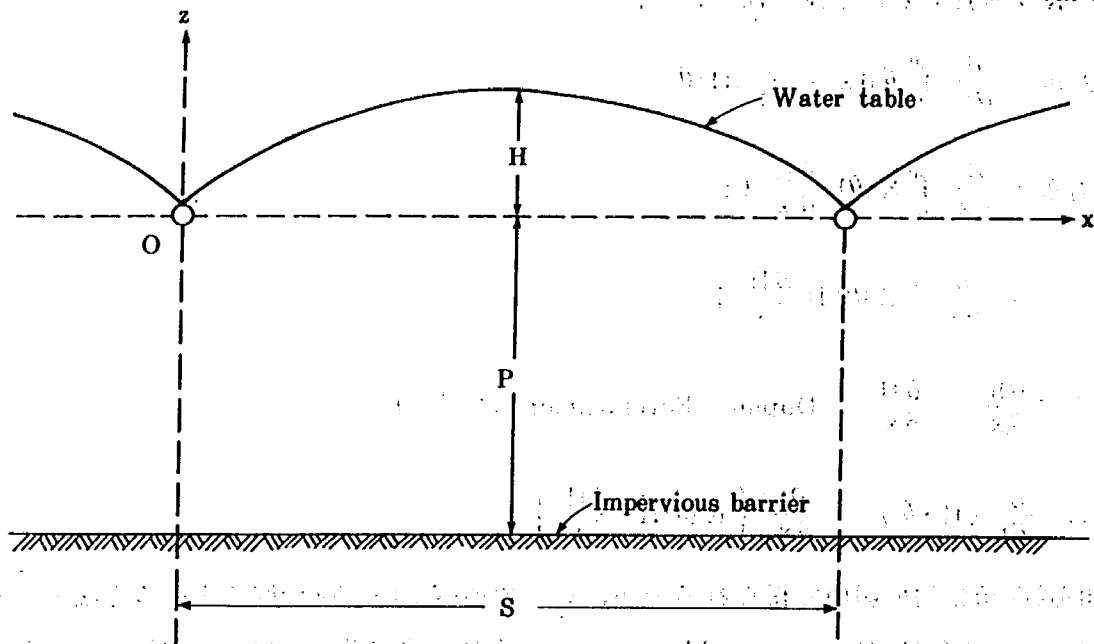


図 1.2 Schilfgaard 式の水面形

$$\hat{d} = d / \left(1 + \frac{d}{S} \left(\frac{S}{\pi} \ln \frac{d}{R} - 3.55 + 1.6 \frac{d}{S} - 2 \left(\frac{d}{S} \right)^2 \right) \right), \quad (0 \leq \frac{d}{S} \leq 0.3) \quad (15)$$

$$\hat{d} = S / \left(\frac{8}{\pi} \left(\ln \left(\frac{S}{R} \right) - 1.15 \right) \right), \quad (0.3 < \frac{d}{S}) \quad (16)$$

ここで、Rは排水孔の半径。

確かに(13)式は非定常計算もできるので二次元断面には応用性があるものの、ひとつには、排水孔周辺では $t = 0$ の時から $H = 0$ であると言った非現実的なことになるし、斜面における流れは主旨、外部から流入があるのでこの式のような地下水排水のみしか表わせないものでは十分でない。これ以外の解析解を用いる手法では、Toksöz⁶⁾のように地表からの定常降雨を考えたものもあるが、排水孔周辺において最初から地下水面がゼロであるという事実には変わらない。このことは、地すべり地における排水を考える場合、致命的である。というのは、地すべり地内では、水田におけるかんがい排水とは異なっており、ドレンを入れた初期における水位変化や流量も排水孔の効果を考える上で重要であるからである。

1.1.2 差分法・有限要素法・境界要素法。

差分法(FDM)と有限要素法(FEM)そして境界要素法(BEM)は数値解析手法として極めて近い関係にあって、電算機の長足な進歩に乗じて発展してきたものと言える。基本式はすべて、1.1.1で述べたRichardsの方程式(2)式であるが、これを、それぞれ特有の離散化過程を経て計算に供するものである。

1) 差分法～Finite Difference Method

差分法はここで述べる三つの数値解析法の中では最も長い歴史を持ち、現在でも広く用いられている。この手法は、解析領域を差分格子で分割し、格子点における微分を差分格子間の差分商で近似するもので、離散化は格子点上で行なわれる。通常、解が安定な陰解法（後退差分）を用いる。

2) 有限要素法～Finite Element Method

この方法は、解析領域を三角形や四角形もしくは六面体要素などに分割し、領域内の微分方程式を変分原理によって積分方程式に変換する方法や重み付残差法によって得られた関係式について要素節点上の値で要素内部の値を補間するもので、離散化は節点上にておこなわれる。この方法は、要素分割に対する自由度が大きく、問題によって密な分割や粗な分割も容易に選択でき、汎用性のある方法である。

3) 境界要素法～Boundary Element Method

これは、前述の二つの手法とは異なり、領域内の微分方程式をグリーンの定理等を用いて境界上の積分方程式に変換し、境界要素上で離散化する。これが、境界要素法と呼ばれるゆえんであるが、FEM同様に支配偏微分方程式を代数方程式に帰着させて解くというものである。

この手法は、最近急速に発展したものの今だ研究段階にあるものであるから、早急に実用には適さないと思われる。

従って、ここでは汎用性が高く計算例の多いFEMを用いるものとした。

1.2 解析対象による分類

1.2.1 飽和浸透解析

解析する領域を地下水で飽和している領域に限るもので、自由水面を持つ浸透流の解析として古くから用いられている。飽和解析では、必要な土質定数が、浸透係数 k と有効間隙率 f のみで良く、実用に供する際に便利である。しかし一方で、降雨の浸透を扱う場合など土のサクションが問題となるケースでは、不飽和領域も考えねばならない。また、通常地すべり地等の浸透流を考える場合では、不飽和領域は必ず存在し、排水流量の減少や排水時間の増加に影響する。正の間隙水圧を生じ、地すべりの移動と直接関係を持つのは飽和領域のみであっても、排水時間や排水流量の評価に影響が及ぶのは問題がある。しかし、次に述べる不飽和浸透特性把握の困難さと比較すれば、一定オーダの精度が保てる以上、飽和浸透解析は非常に有用な手段と考え得る。

1.2.2 飽和－不飽和解析

先に述べた飽和解析の欠点をカバーするために近年不飽和浸透流も取り扱った飽和－不飽和解析が進歩して来たが、これは、基本支配方程式である(2)式より導びかれる（次章で述べるような）飽和領域と不飽和領域を分けた方程式を解くものである。極めて合理性が高い解

析法であるが、土の不飽和特性すなわち、不飽和透水係数や体積含水率と圧力水頭（サクション）の関係、そして体積含水率と不飽和透水係数の関係等（図 2.2 参照）が既知でない場合は解析不可能である。

いずれにしても、飽和—不飽和解析は地下水位上昇時や降雨の浸透など地下水で飽和されていない土層に水が浸透する場合にのみ重要であり、ここで述べているような地下水低下のケースでは、複雑な不飽和特性を調べる煩雑さのデメリットが大きくそれほど実用的でない。

2. 三次元地下水低下解析

前章で種々の解析法につき検討してきたが、最も合理性および汎用性が高くかつ実用的なものとして挙げられるのが、有限要素法 (FEM) であると思われる。また、地すべり斜面は水田などとは異なり不透水層深が縦断方向に変化し、また地表面も勾配を持つ。さらに集水ボーリングも複数配置されるのが普通であり、これに斜面上方よりの地下水供給が存在する。従って、こういった場合の排水流量や地下水低下量を求めるには三次元解析を実行せねばならない。

故に、ここでは三次元 FEM 解析を実行したので、その内容について次に述べる。

2.1 理論と解析モデル・解析ケース

解析理論は前章で述べた基本式より導びかれる。

まず、体積含水率は土の間隙率 n と飽和度 S_w の積である。すなわち、

$$\theta = nS_w \quad (0 \leq S_w \leq 1) \quad (17)$$

よって、(17) 式を (6) 式に代入し、

$$\text{div } \rho K(\theta) \vec{\nabla} h = \frac{\partial}{\partial t} (\rho n S_w) \quad (18)$$

を得る。ところで、図 2.1 に見られる様に θ は圧力水頭 ϕ の関数であることが知られており、

$$K(\theta) = K(\theta(\phi)) = K(\phi) \quad (19)$$

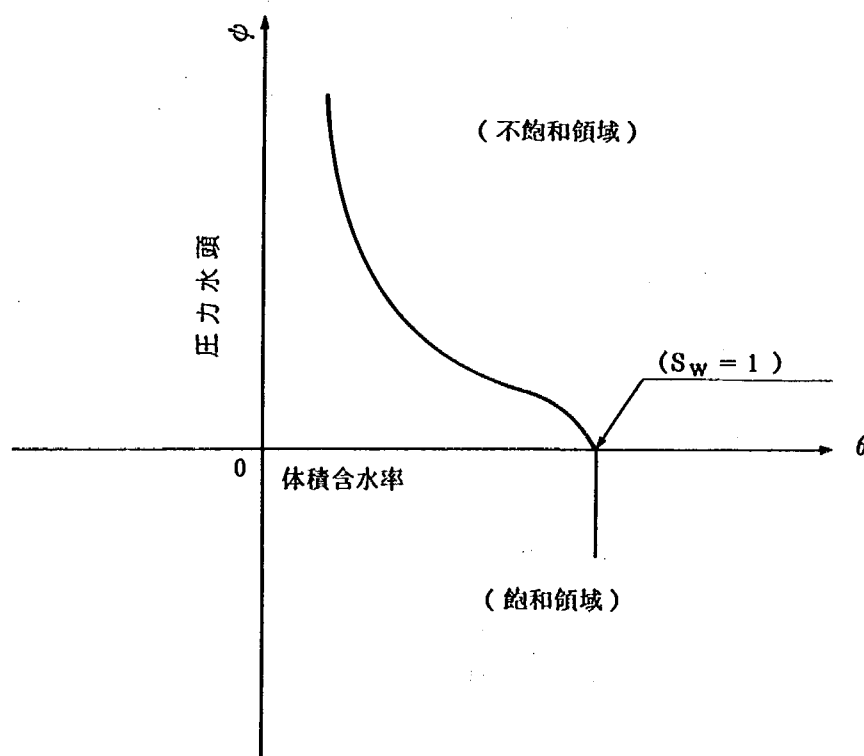


図 2.1 θ と ϕ の関係

が成立する。

(18)式に(5)式と(19)式を代入することにより、

$$\operatorname{div} \rho K(\phi) \vec{\nabla}(\phi + \eta) = \frac{\partial}{\partial t} (\rho n S_w) \quad (20)$$

赤井ら⁶⁾は上式を ϕ に注目して整理し、

$$\operatorname{div} \rho K(\phi) \vec{\nabla}(\phi + \eta) = \frac{d}{d\phi} (\rho n S_w) \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (21)$$

さらに、

$$\frac{d}{d\phi} (\rho n S_w) \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = \left[n S_w \frac{d\rho}{d\phi} + \rho S_w \frac{dn}{d\phi} + \rho n \frac{dS_w}{d\phi} \right] \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (22)$$

とし、水の圧縮性を無視すると $\frac{d\rho}{d\phi} = 0$ 、さらに ρ は解析領域内では一定だとできるので、

$$\operatorname{div} K(\phi) \vec{\nabla}(\phi + \eta) = \left\{ S_w \frac{dn}{d\phi} + n \frac{dS_w}{d\phi} \right\} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (23)$$

を得た。

飽和領域では、図 2.1 より

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\theta}{d\phi} &= C(\phi) = 0 \\ S_w &= 1 \quad \left(\frac{dS_w}{d\phi} = 0 \right) \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

不飽和領域では、

$$\left. \begin{aligned} \theta &= f_{unc.}(\phi) \\ \frac{dn}{d\phi} &= 0 \quad (n = \text{const.}) \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

であるから、

飽和領域において(23)式は次の様になる。

$$\operatorname{div} K(\phi) \vec{\nabla}(\phi + \eta) = \frac{dn}{d\phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = S_s \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (26)$$

不飽和領域においては、(23)、(25)、(17)式より、

$$\begin{aligned} \operatorname{div} K(\phi) \vec{\nabla}(\phi + \eta) &= n \frac{dS_w}{d\phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} \\ &= \frac{d}{d\phi} (n S_w) \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} \\ &= \frac{d\theta}{d\phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} \end{aligned} \quad (27)$$

(26)式、(27)式を統一して表わすと、

$$\operatorname{div} K(\phi) \vec{\nabla}(\phi + \eta) = (c(\phi) + \alpha S_s) \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (28)$$

ここで、 $c(\phi) = d\theta/d\phi$: 比水分容量 $S_s = dn/d\phi$: 比貯留係数、 α : 定数 ($\alpha = 0$: 不飽和領域、 $\alpha = 1$: 飽和領域) である。 $c(\phi)$ は、圧力水頭の増加に対する体積含水率の変化の割合を表わしている。従って、飽和領域では、 $c(\phi) = 0$ となって、 S_s は有効間隙率に準じた概念のものであるから、

$$\operatorname{div} K(\phi) \vec{\nabla}(\phi + \eta) = f \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (29)$$

となる。 f : 有効間隙率。

ここでは、1.2 で述べた理由により飽和浸透解析を主として行うものであるが、検証の意味で、図 2.2 に示すような飽和浸透に極めて近い不飽和特性を持つ飽和-不飽和浸透解析も一部実施した (表 2.1)。

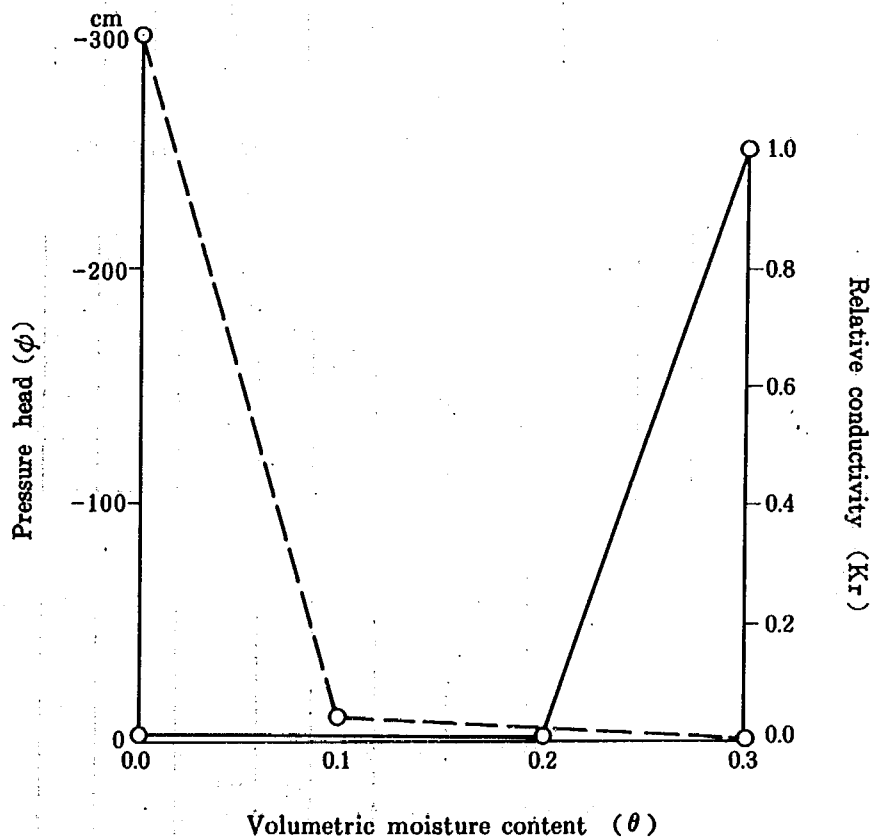


図 2.2 不飽和特性のモデル

解析モデルは図 2.3 と図 2.4 に示す様なドレインを扇型と平行に配置したものである。

計算ケースは表 2.1 に示すように、ドレイン本数は扇型配置で 1 本～5 本、平行配置で 3 本とし、透水係数 k は $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ とした他、不透水層面深や上流地下水位、ドレインの長

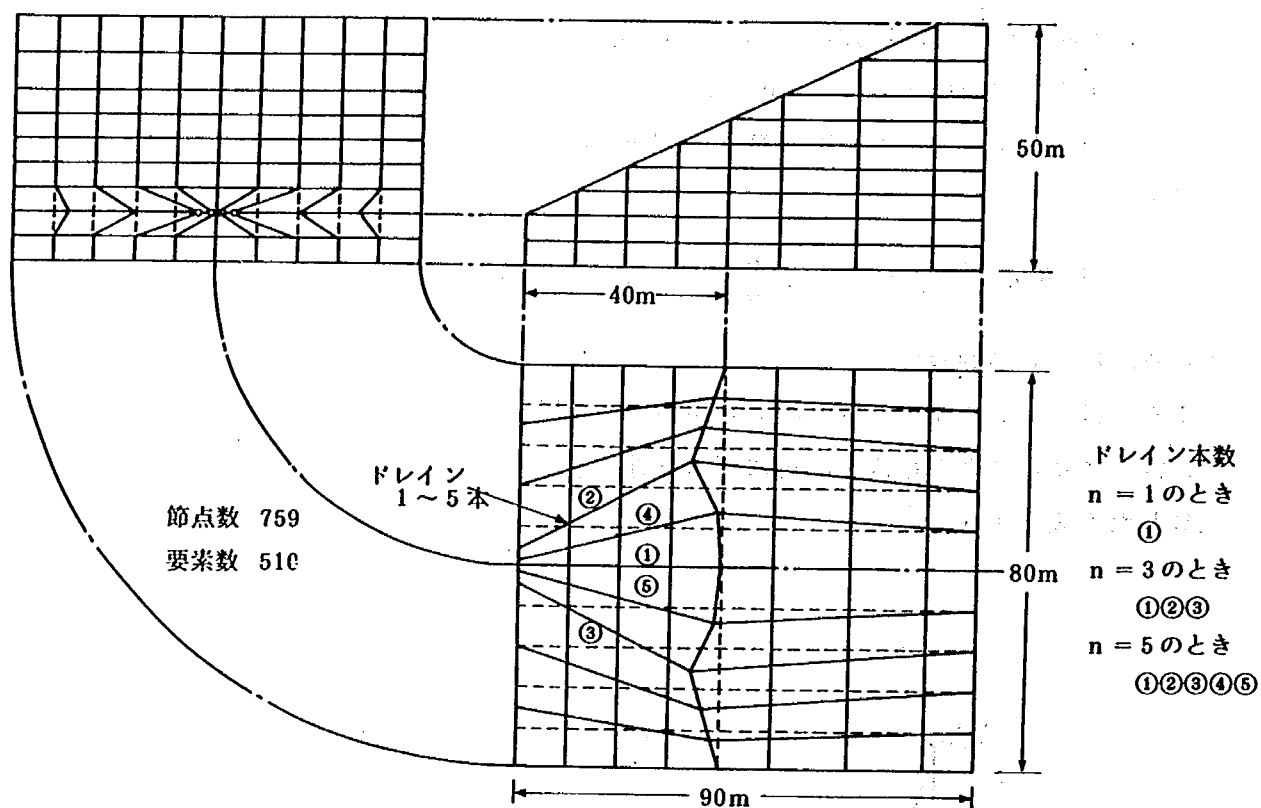


図 2.3 三次元モデル図（扇型配置，不透水面深 10m）

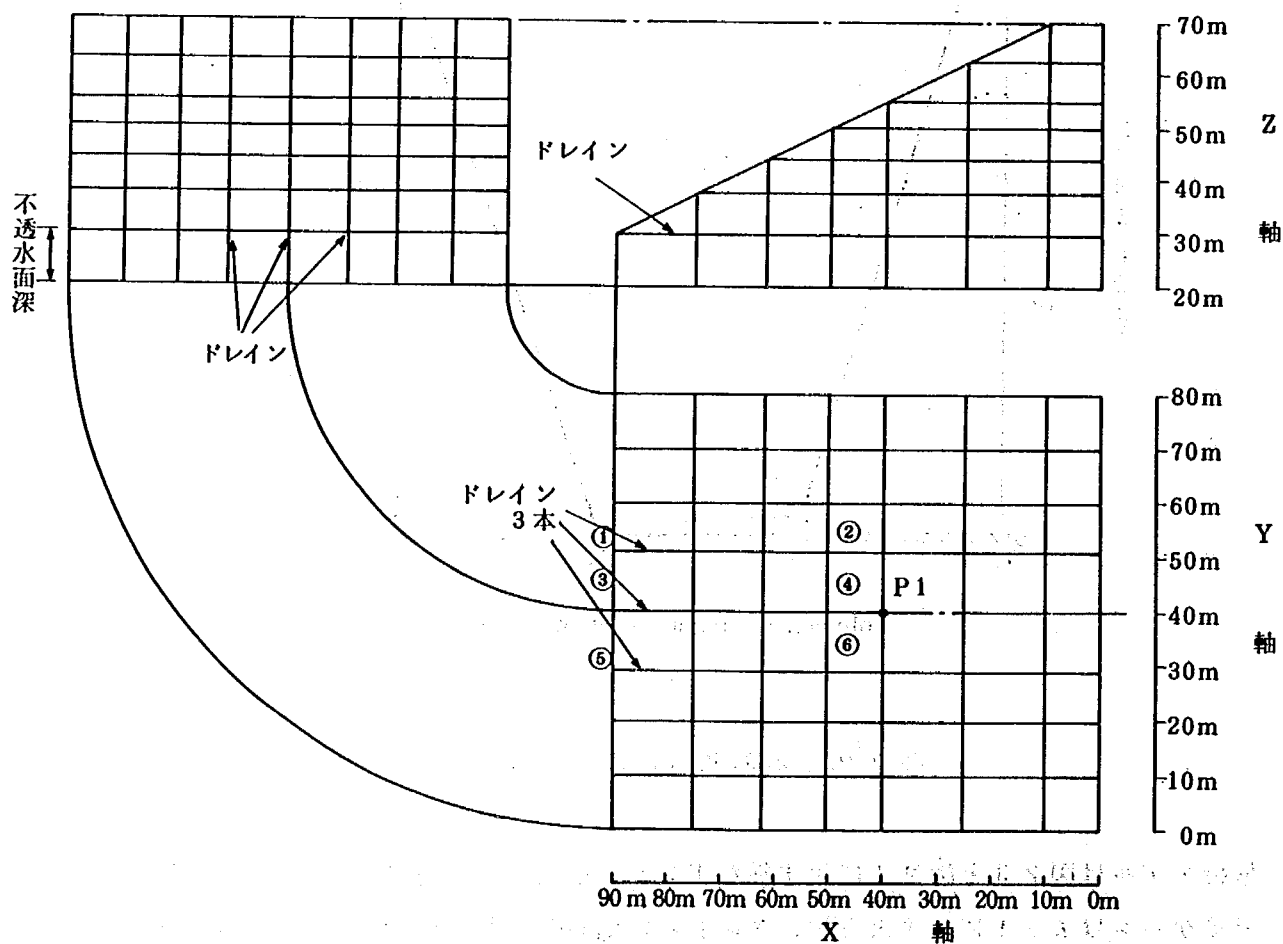


図 2.4 三次元モデル図（平行配置，不透水面深 10m の場合）

表 2.1 三次元飽和・不飽和浸透解析計算ケース (その1)

ケース No	透 水 係 数	ドレイン の 本 数	配 置	孔 長	h_1 上流水位	h_2 不透水面深	解析・ タイプ
1	10^{-4} cm/sec	3	平 行	40 m	50 m	30 m	A
2			扇 型				
3	10^{-2} cm/sec	3	平 行	40 m	30 m	10 m	B
4					40 m	20 m	
5					50 m	30 m	
6	10^{-2} cm/sec	3	扇 型	40 m	40 m	20 m	
7					50 m	30 m	
8	10^{-3} cm/sec	3	平 行	40 m	30 m	10 m	
9					40 m	20 m	
10					50 m	30 m	
11				50 m	30 m	10 m	
12					40 m	20 m	
13					50 m	30 m	
14	10^{-3} cm/sec	3	扇 型	40 m	40 m	20 m	
15					50 m	30 m	
16				50 m	40 m	20 m	
17					50 m	30 m	
18	10^{-4} cm/sec	3	平 行	40 m	30 m	10 m	
19					40 m	20 m	
20					50 m	30 m	
21	10^{-4} cm/sec	3	扇 型	40 m	40 m	20 m	
22					50 m	30 m	
23	10^{-2} cm/sec	1	扇 型	40 m	40 m	10 m	
24		3	"	"	"	"	
25		5	"	"	"	"	
26		1	"	"	30 m	"	
27		3	"	"	"	"	
28		5	"	"	"	"	
29		1	"	"	20 m	"	
30		3	"	"	"	"	
31		5	"	"	"	"	
32	10^{-3} cm/sec	1	"	"	40 m	"	
33		3	"	"	"	"	

* 解析タイプ; A = 飽和・不飽和解析

B = 飽和解析

表 2.1 三次元飽和・不飽和浸透解析計算ケース (その2)

ケース No	透 水 係 数	ドレイン の 本 数	配 置	孔 長	h_1 上 流 水 位	h_2 不 透 水 面 深	解 析 ・ タ イ プ
34	10^{-3} cm/sec	5	扇 型	40 m	40 m	10 m	B
35		1	"	"	30 m	"	
36		3	"	"	"	"	
37		5	"	"	"	"	
38		1	"	"	20 m	"	
39		3	"	"	"	"	
40		5	"	"	"	"	
41	10^{-2} cm/sec	1	"	"	40 m	"	
42		3	"	"	"	"	
43		5	"	"	"	"	
44		1	"	"	30 m	"	
45		3	"	"	"	"	
46		5	"	"	"	"	
47		1	"	"	20 m	"	
48		3	"	"	"	"	
49		5	"	"	"	"	
5-1		3	平 行	"	40 m	30 m	
5-2		"	"	"	70 m	"	
10-1	10^{-3} cm/sec	"	"	"	40 m	"	
10-2		"	"	"	70 m	"	
20-1	10^{-4} cm/sec	"	"	"	40 m	"	
20-2		"	"	"	70 m	"	

さ等を変化させて計算を行った。

解析に用いた透水材料モデルの特性は、

k (透水係数)

f (有効間隙率)

10^{-2} cm/sec = 8.64 m/day

0.30

10^{-3} " = 8.64×10^{-1}

0.25

10^{-4} " = 8.64×10^{-2}

0.20

とし、解析条件は次のとおりとする。

初期時間きざみ 0.1 day

初期条件 上下流端を固定し、定常解析結果を初期水位とする。

拘束条件

上流側 拘束全水頭 = h_1

下流側 拘束全水頭 = h_2

排水ドレインでは定水頭境界

その他では不透水境界

ただし、集水ドレインでの拘束条件については山上ら⁷⁾のように圧力水頭をゼロとはせず、下流水位を拘束条件とした。山上ら⁷⁾は、立方体モデルで、排水孔の横方向に流れが生じるように水位差を与えており、下流側の水位は時間とともに変化する。従って、今回とは拘束条件がかなり異なっているので、同じ条件は使わず、ドレインの拘束条件として図 2.5、図 2.6 に示す下流水位 h_2 を採用した。

時間積分は後退差分である。

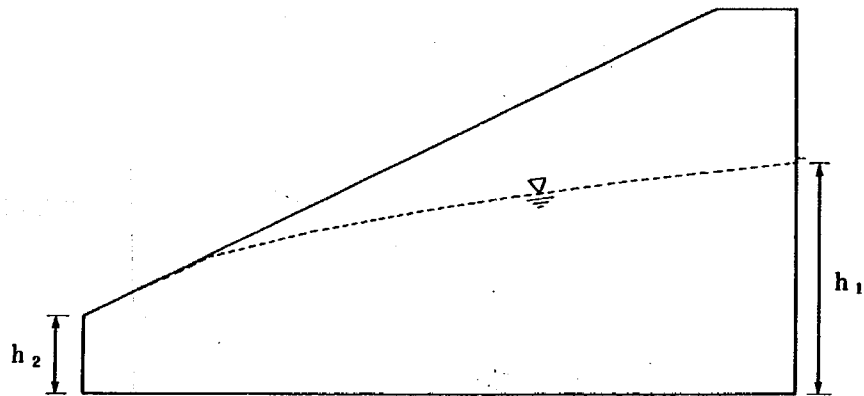


図 2.5 定常解析結果（初期水位，断面図）

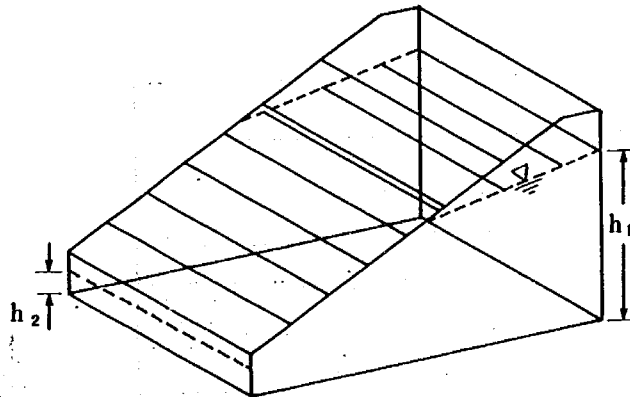
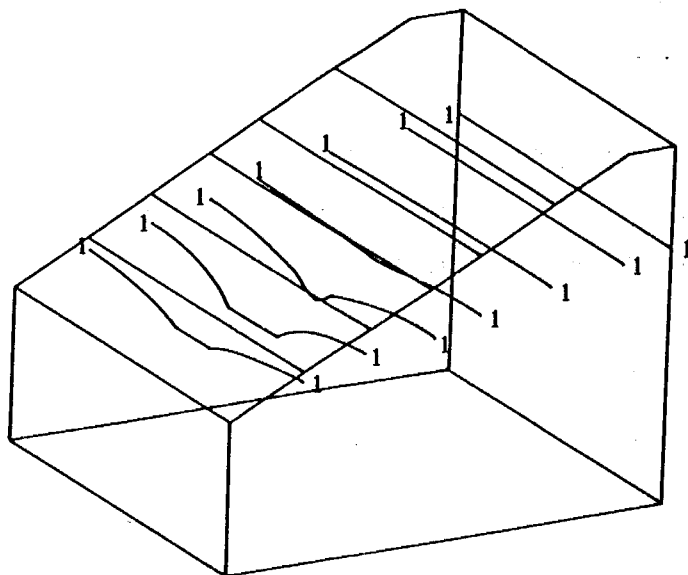
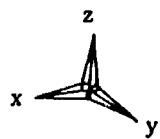


図 2.6 拘束水頭

2.2 解析結果

解析結果は図 2.7 に例示してあるが、このような水位低下の特性をドレインからの排水量ならびに最大地下水低下深の経時変化に着目して整理する。ただし、この場合の排水量とは強制排水ではなく自然排水によるものである。

排水量は、排水孔を節点近似している為、図 2.8 に示す流量 Q_i ($i = 1 \cdots 4$) を用いて次式で

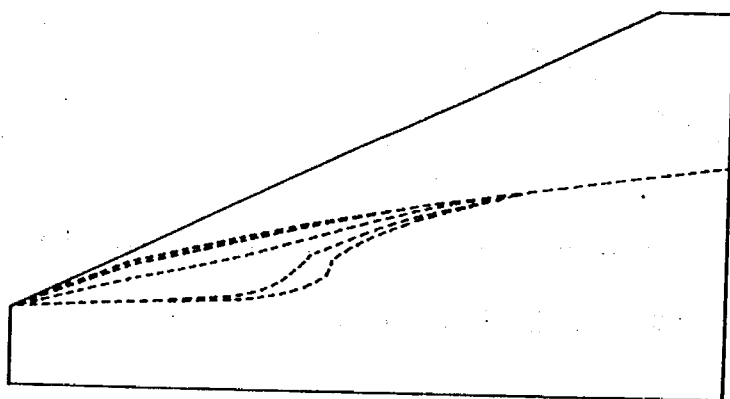
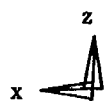


(a)

鳥かん図

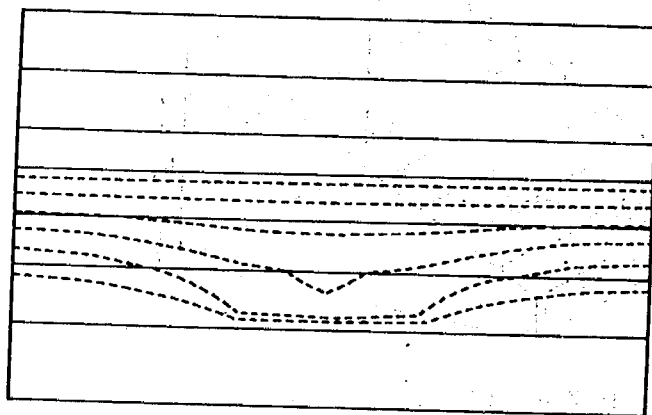
z 軸まわり 60°

y 軸まわり 20°



(b)

縦断面図



(c)

横断面図

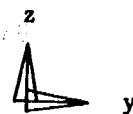


図 2.7 地下水位図の例

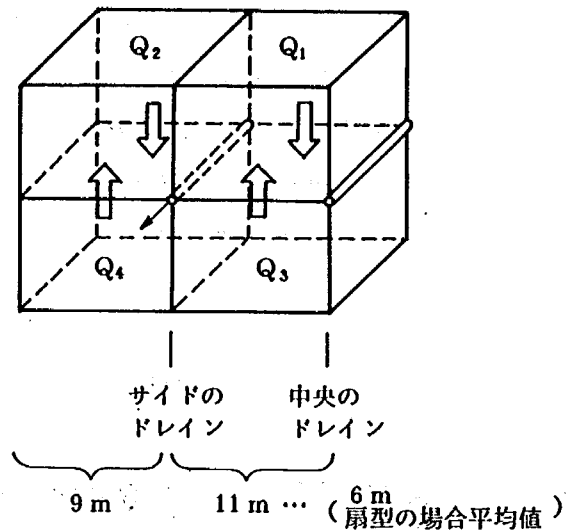


図 2.8 流出量の考え方

計算した。

$$Q_c = \left(\sum_{x=\ell}^{90} Q_1 + \sum_{x=\ell}^{90} Q_3 \right) \times 2 \div \left(\frac{22\text{m}}{1\text{m}} \right) \quad (\text{m}^3/\text{day})$$

$$(\times 2 \div \frac{12\text{m}}{1\text{m}}, \text{扇型の場合})$$

$$Q_s = \left(\sum_{x=\ell}^{90} \sum_{i=1}^4 Q_i \right) \div \left(\frac{20\text{m}}{1\text{m}} \right) \quad (\text{m}^3/\text{day})$$

ここで、 Q_c ；中央のドレイン排水量， Q_s ；サイドのドレイン排水量， l ；ドレイン先端の x 座標，90 や 22 および 20 m 等の数字は解析モデルの長さならびにドレイン出口でのドレイン間隔である。

最大低下深は図 2.7 (b) 示す縦断図より，初期定常解析水位からの当該解析時間における最大低下箇所の水位を測定し，それと初期水位との差を低下深とした。

2.2.1 透水係数による差

扇型の配置で孔長 40m 不透水面深 10m であるケース 23～49 を整理した図 2.9～図 2.11 によれば，最大地下水低下深は，透水係数 k の大なものほど大で，しかも早い時間に低下する。このことは，図 2.12 中の (b)～(i) 図を見て，他の条件は同じの透水係数のみ異なるケースを比較することによっても分る。すなわち，ケースの 3 とケース 8 と 18 を比較したり，あるいは，ケースの 6 とケース 14 およびケース 21 を比較することなどによって検討できるのである。

また，排水量（出水量）の透水係数による差は，上述した低下深の場合と同様に図 2.13 ならびに図 2.14 中の (b)～(i) 図を比較する（例えば，ケース 3 とケース 8 とケース 18 そして，ケース 6 とケース 14 ならびにケース 21 を比較する。）ことにより， k が大とな

ると排水量もケタ違いに大となることが分る。ちなみに大旨次の様な傾向がある。また、流量の時間変化は k が小さくなるにつれて小さくなる。

$k = 10^{-2}$ cm/sec でドレイン 1本当たり, 10^2 m³/day オーダー (孔長 40 m)

$k = 10^{-3}$ cm/sec で, 10^1 m³/day オーダー

$k = 10^{-2}$ cm/sec で, 10^0 m³/day オーダー

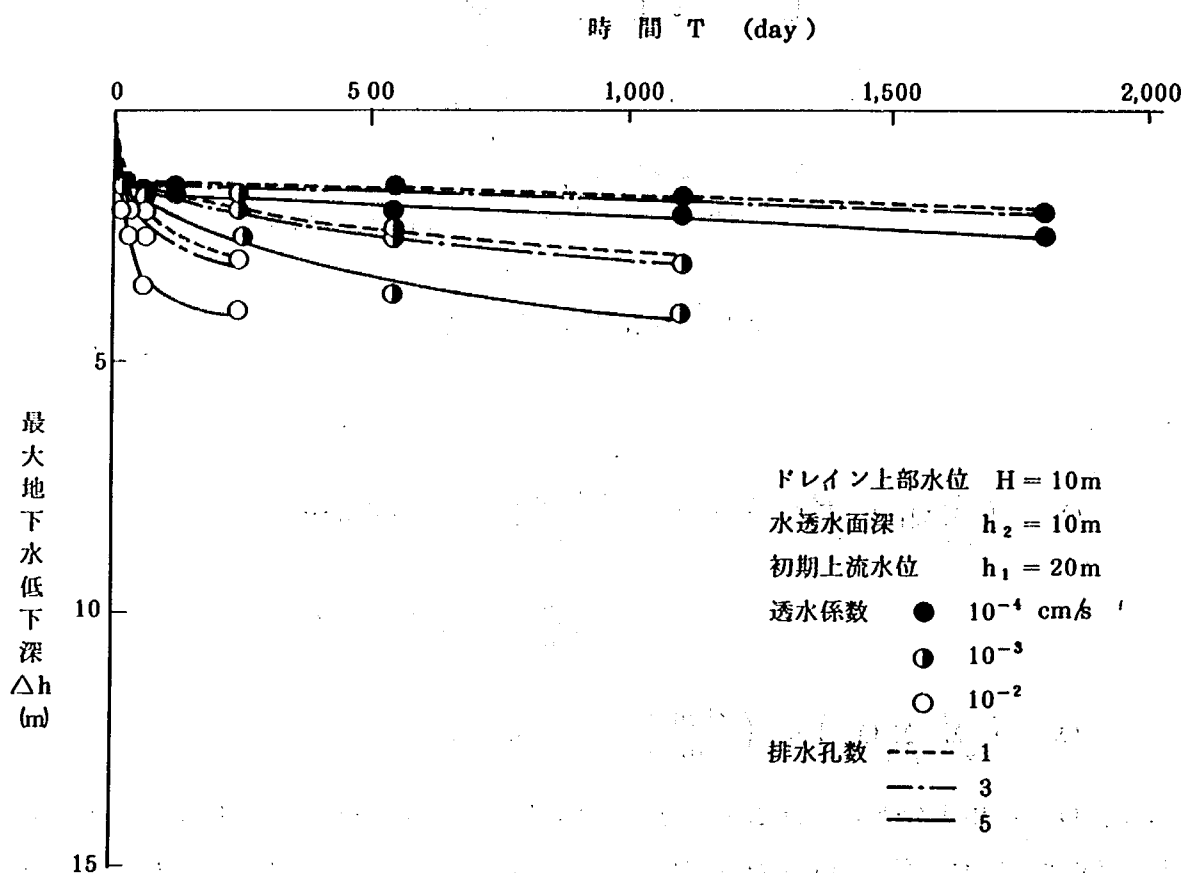


図 2.9 透水係数, 排水孔数, 最大低下深と時間の関係 ($h_1 = 20\text{m}$)

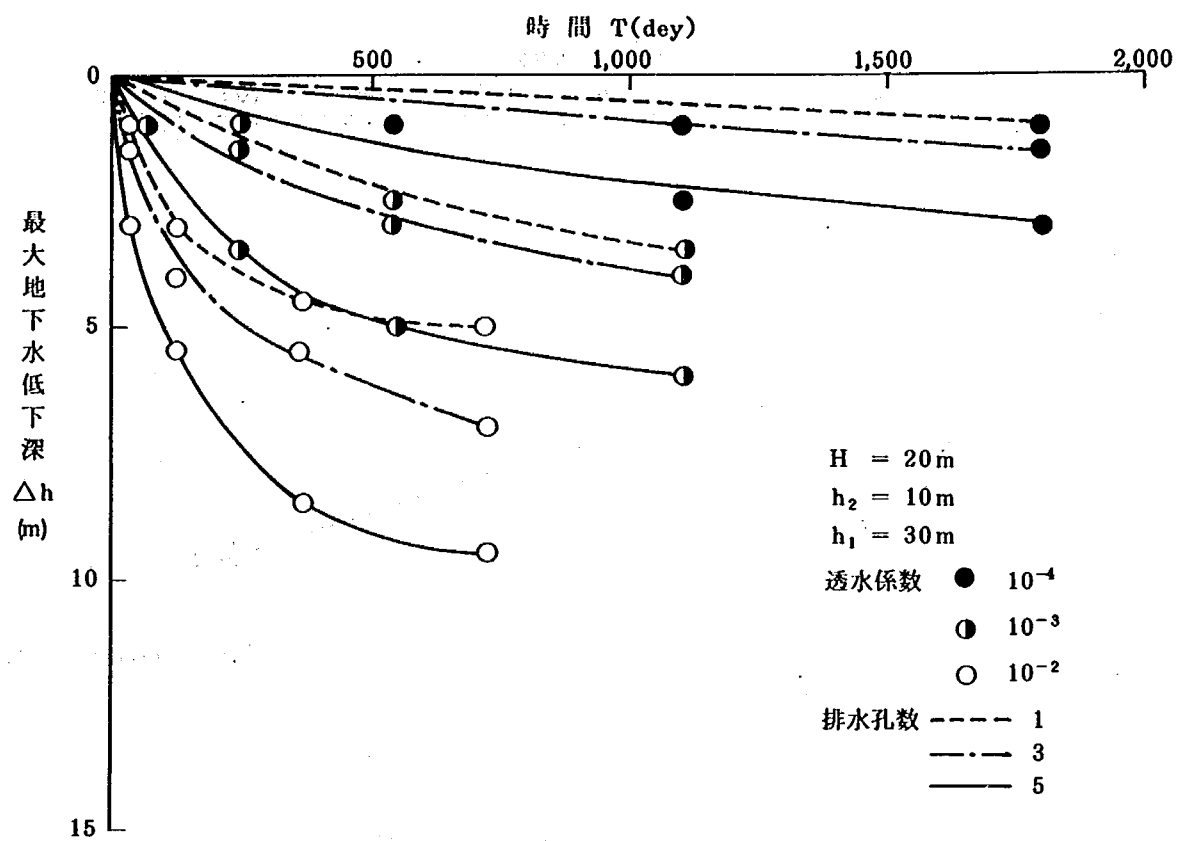


図2.10 透水係数，排水孔数，最大低下深と時間の関係 ($h_1 = 30 \text{ m}$)

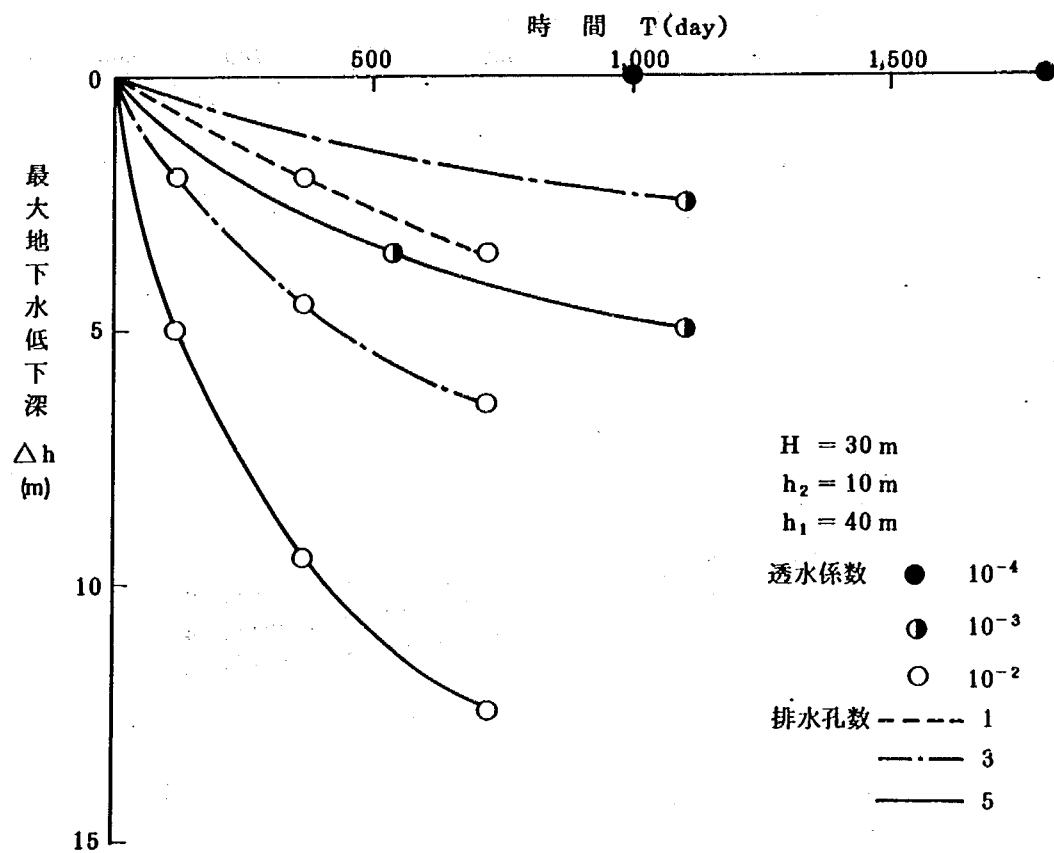
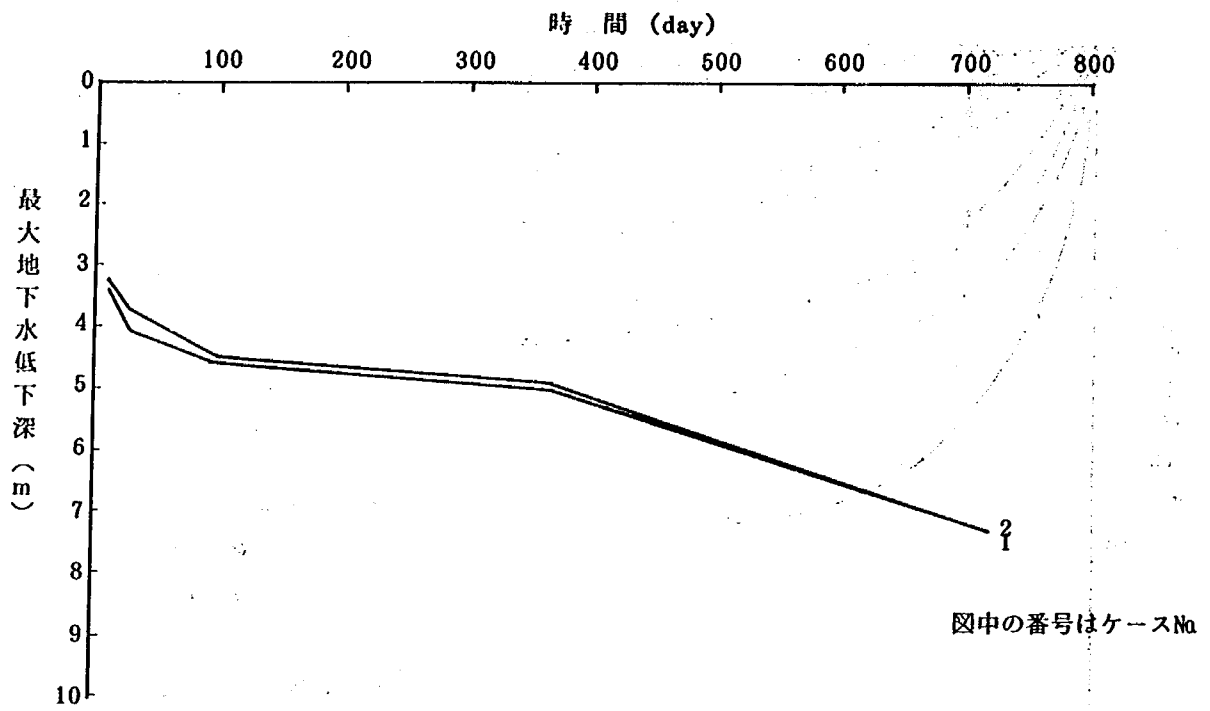
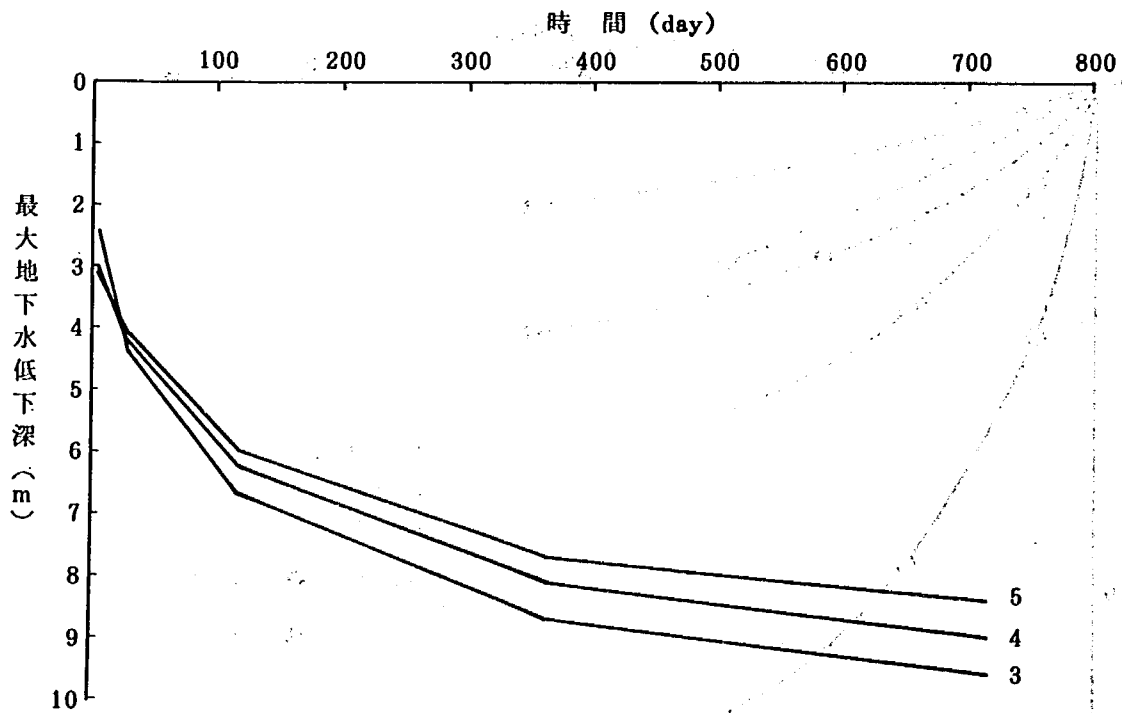


図 2.11 透水係数，排水孔数，最大低下深と時間の関係 ($h_1 = 40 \text{ m}$)

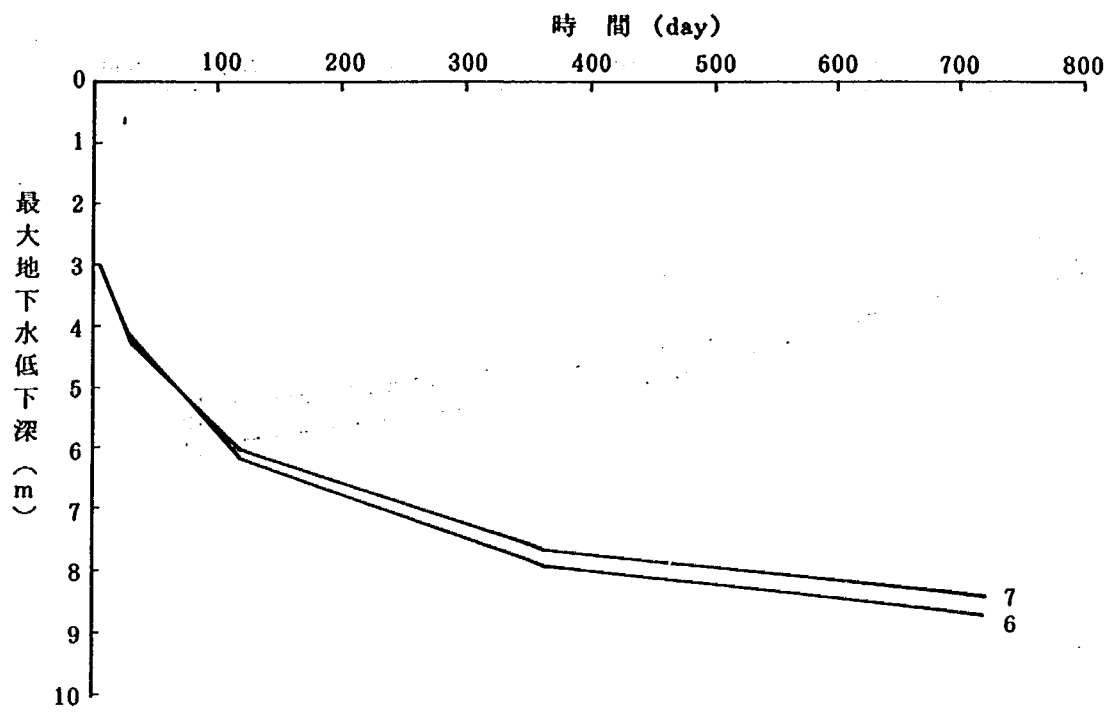


(a) ケースNo 1, 2 飽和-不飽和解析

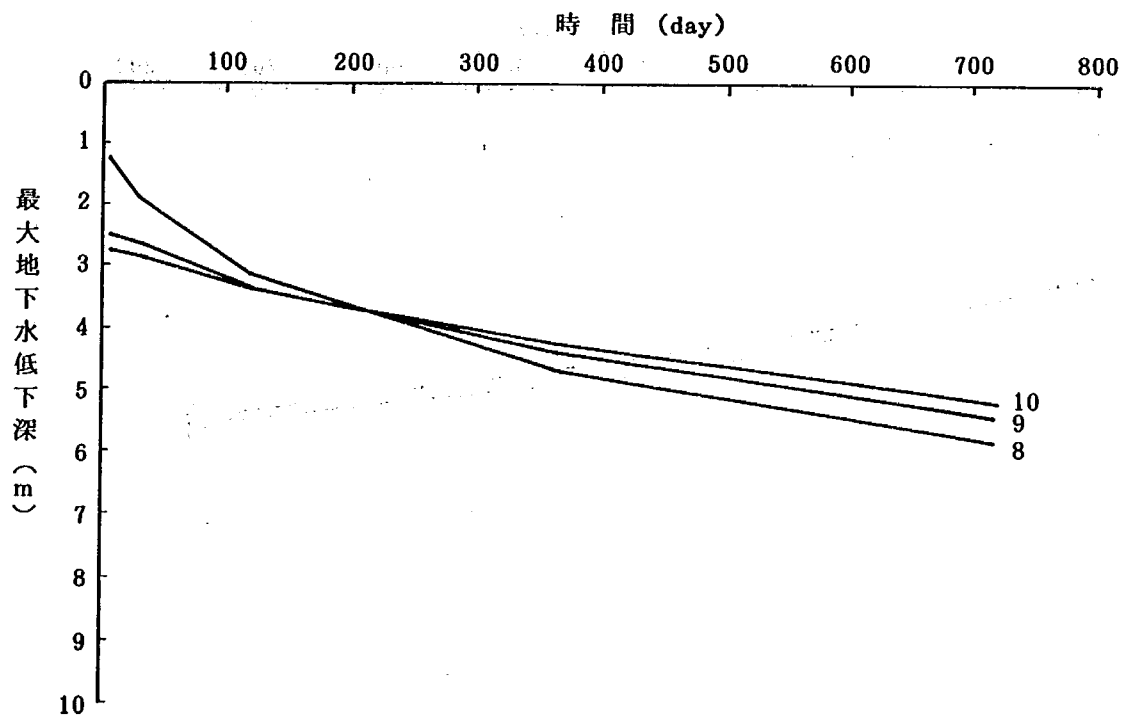


(b) ケースNo 3 ~ 5

図 2.12 最大地下水低下深と時間の関係(ただし排水孔は3本)

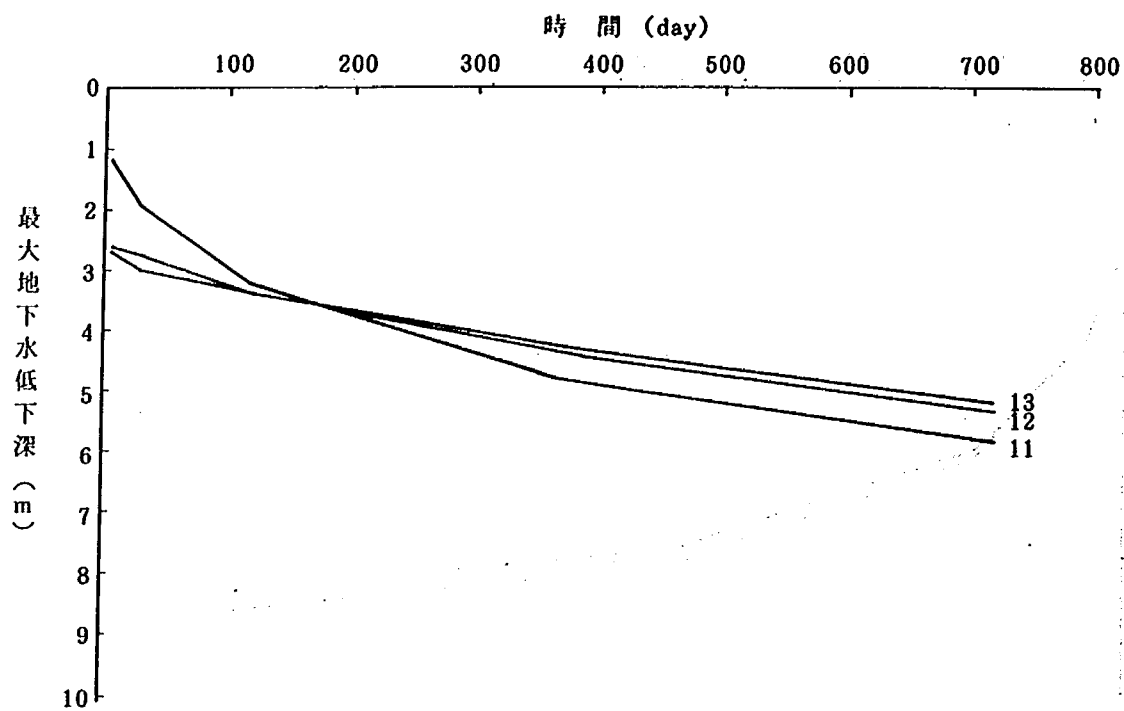


(c) ケースNo 6, 7

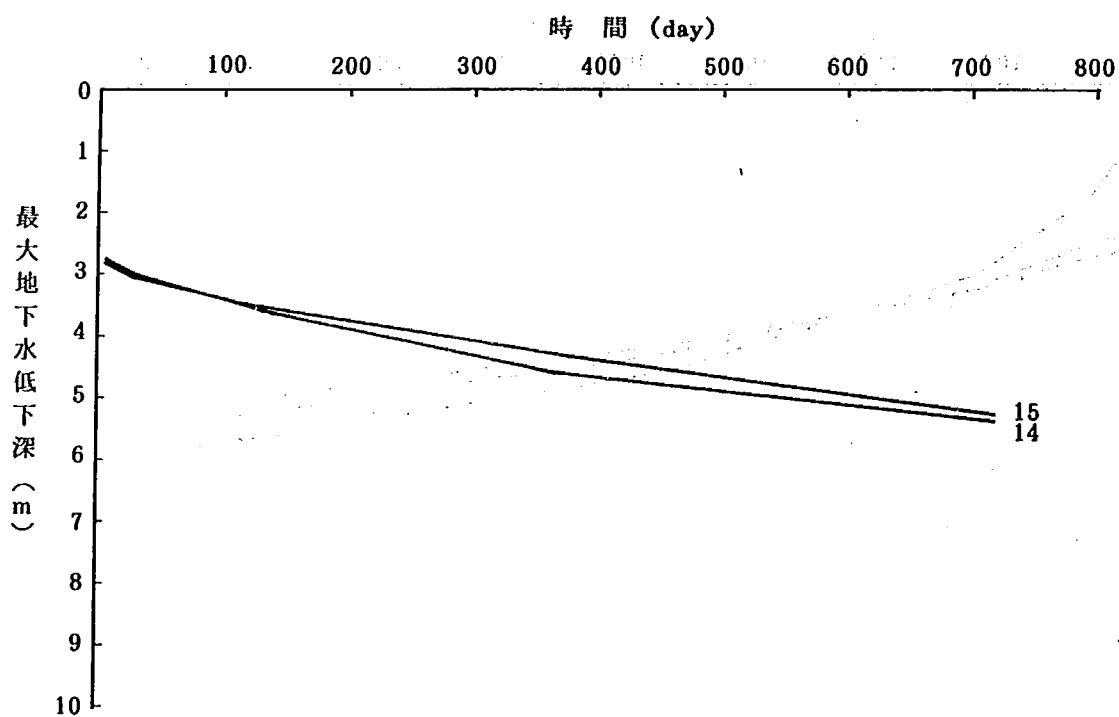


(d) ケースNo 8 ~ 10

図 2.12 最大地下水低下深と時間の関係 (ただし排水孔は 3 本)

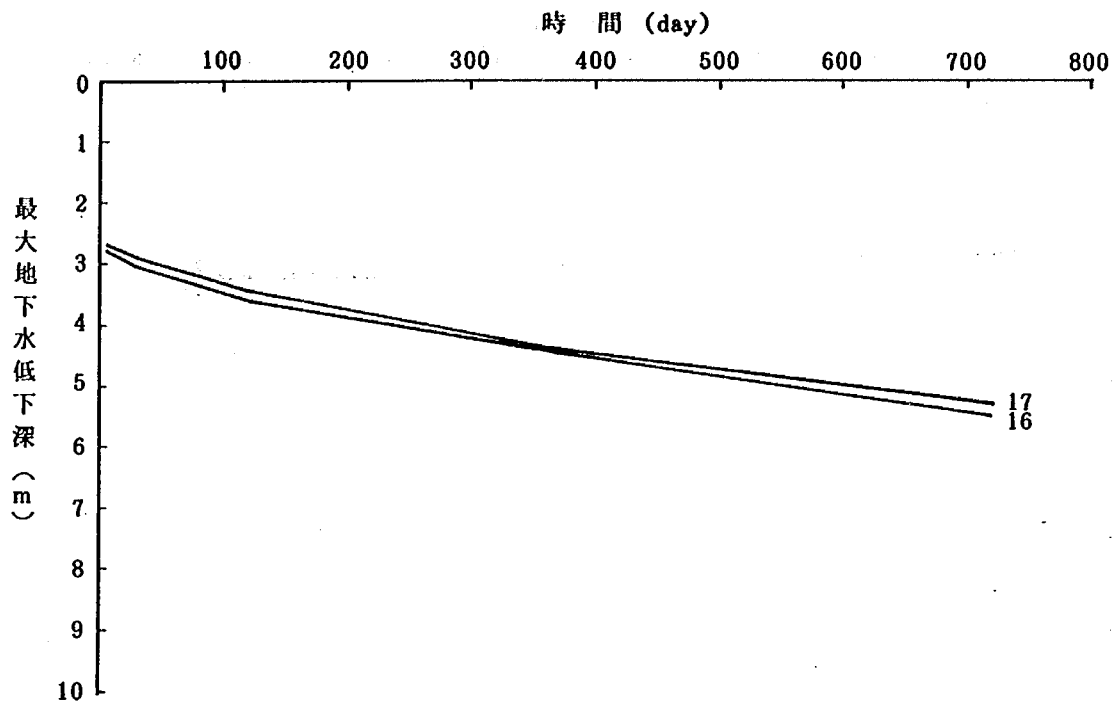


(e) ケース No 11 ~ 13

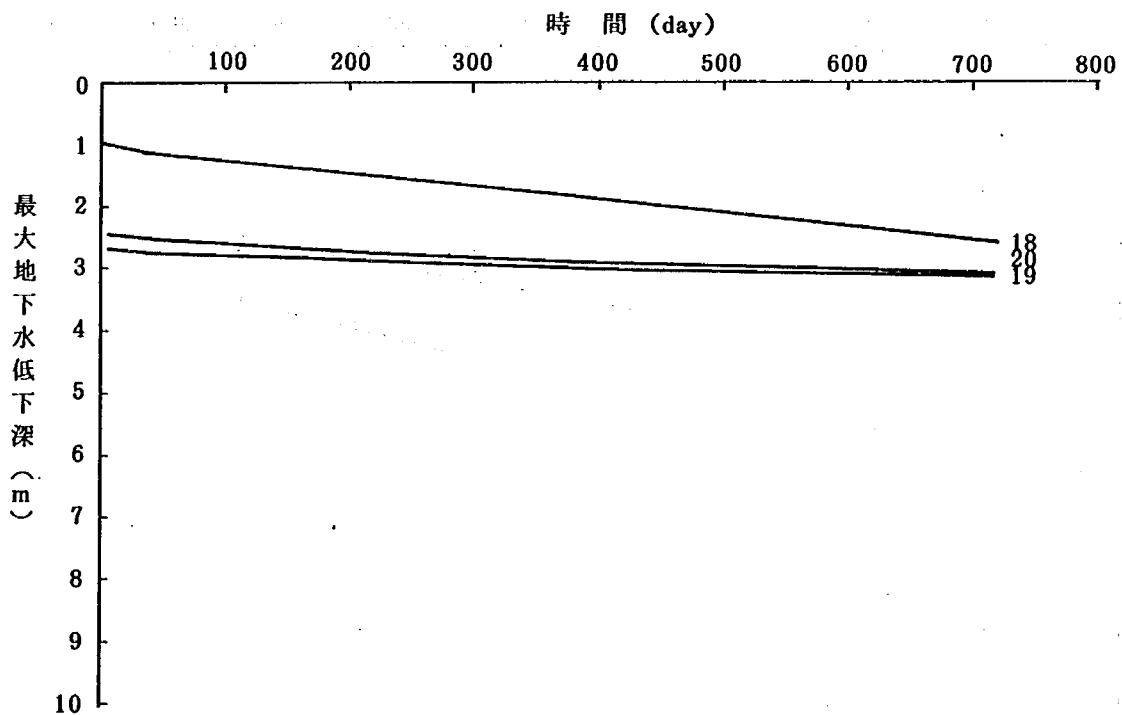


(f) ケース No 14, 15

図 2.12 最大地下水低下深と時間の関係 (ただし排水孔は3本)

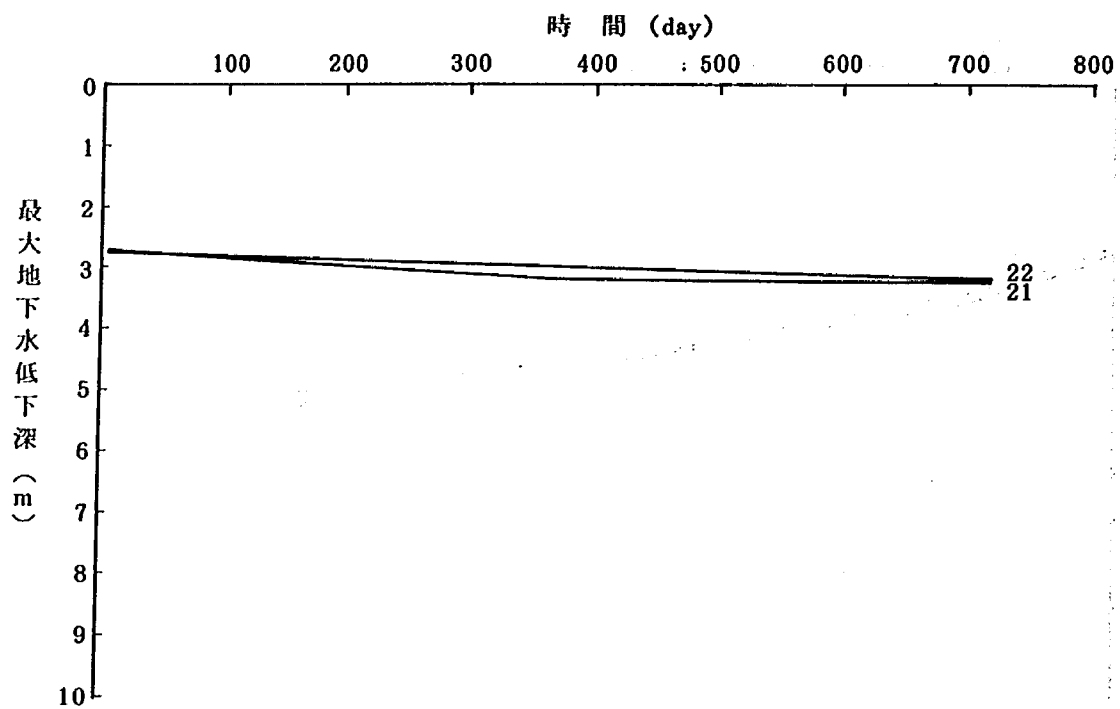


(g) ケース No 16, 17



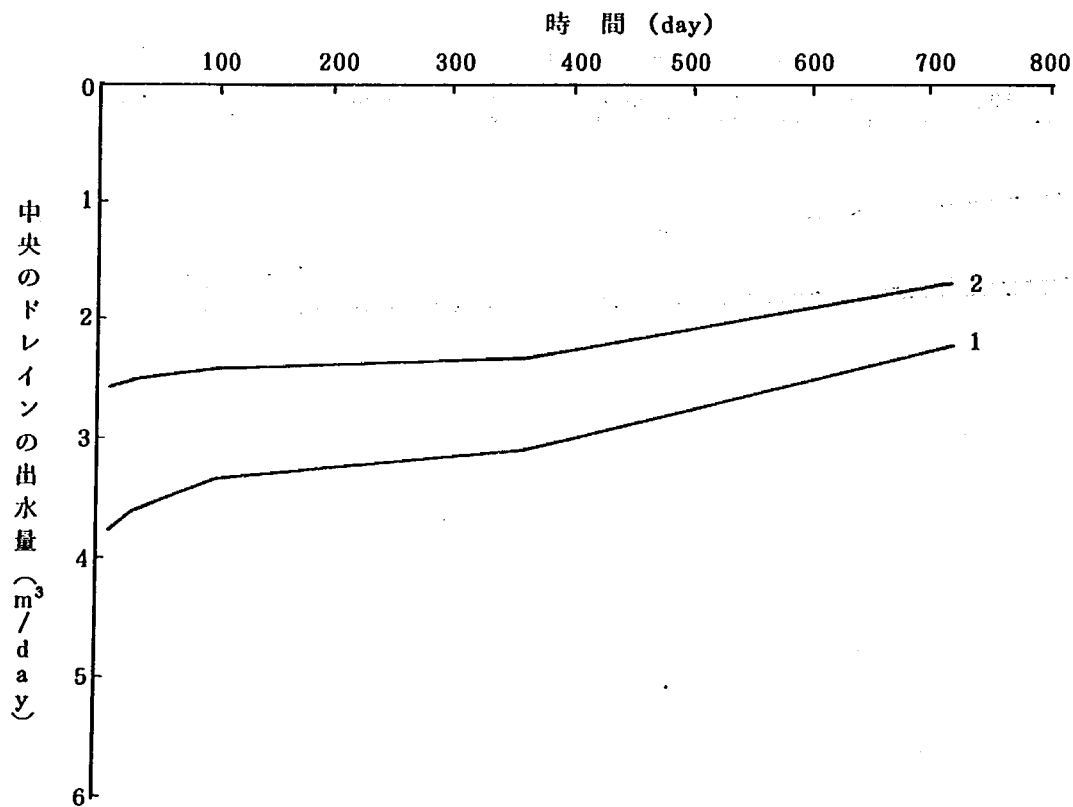
(h) ケース No 18 ~ 20

図 2.12 最大地下水低下深と時間の関係 (ただし排水孔は 3 本)



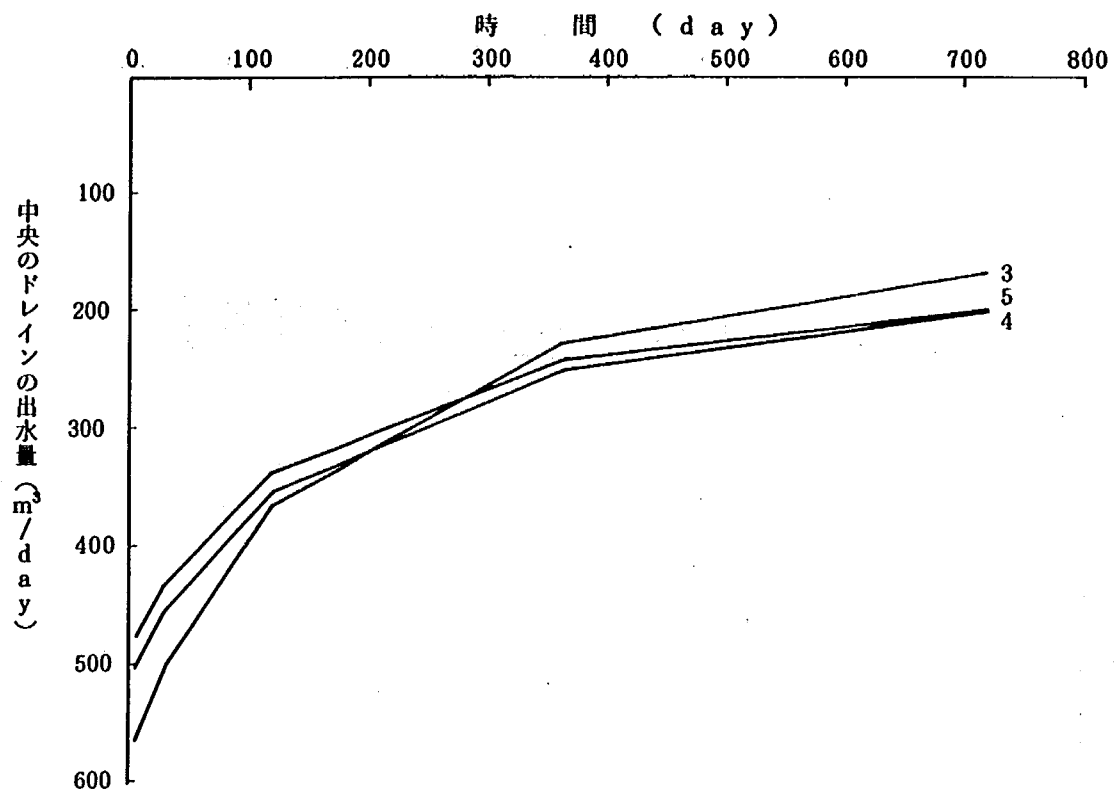
(i) ケースNo 21～22

図 2.12 最大地下水低下深と時間の関係 (ただし排水孔は3本)

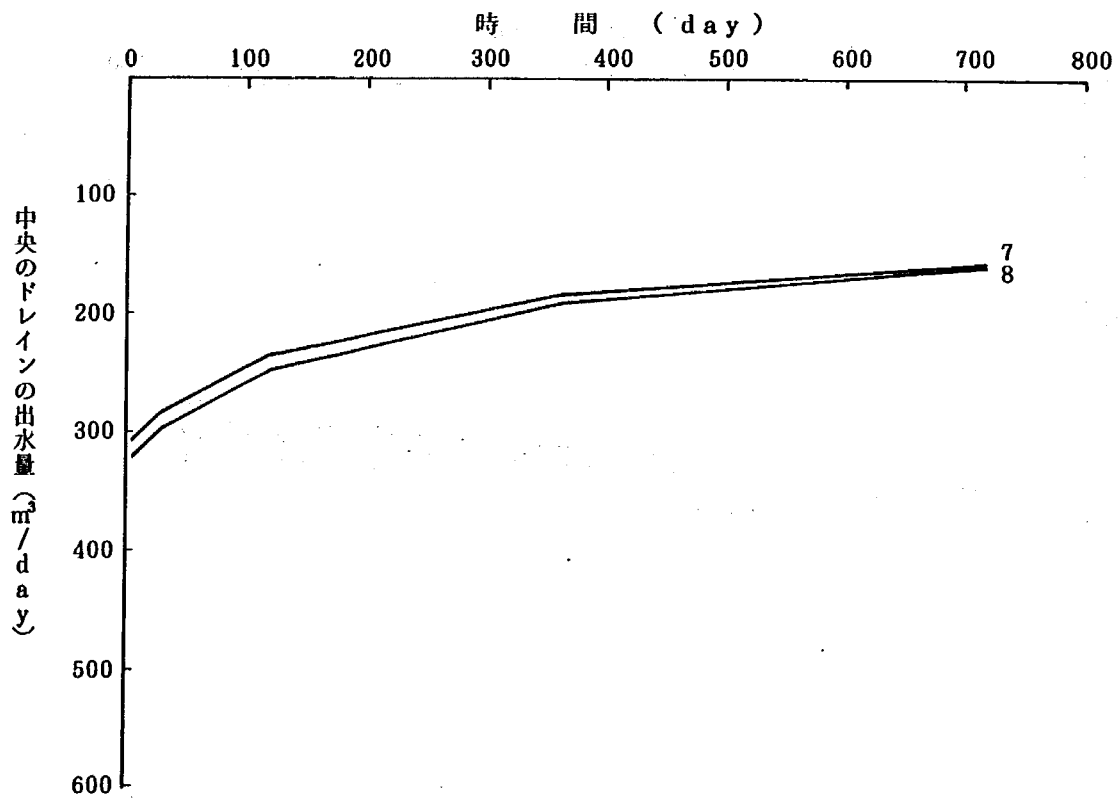


(a) ケースNo 1, 2 飽和-不飽和解析

図 2.13 中央の排水ドレインの排水量 (m³/day) と時間との関係

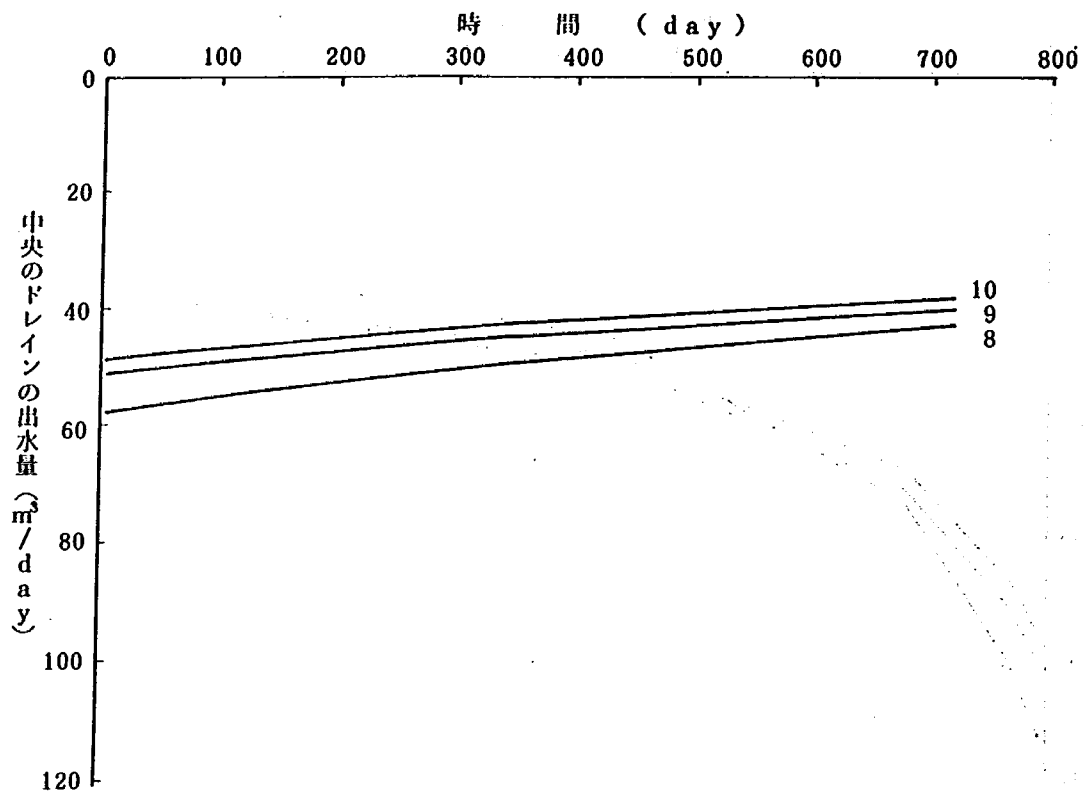


(b) ケース No 3 ~ 5

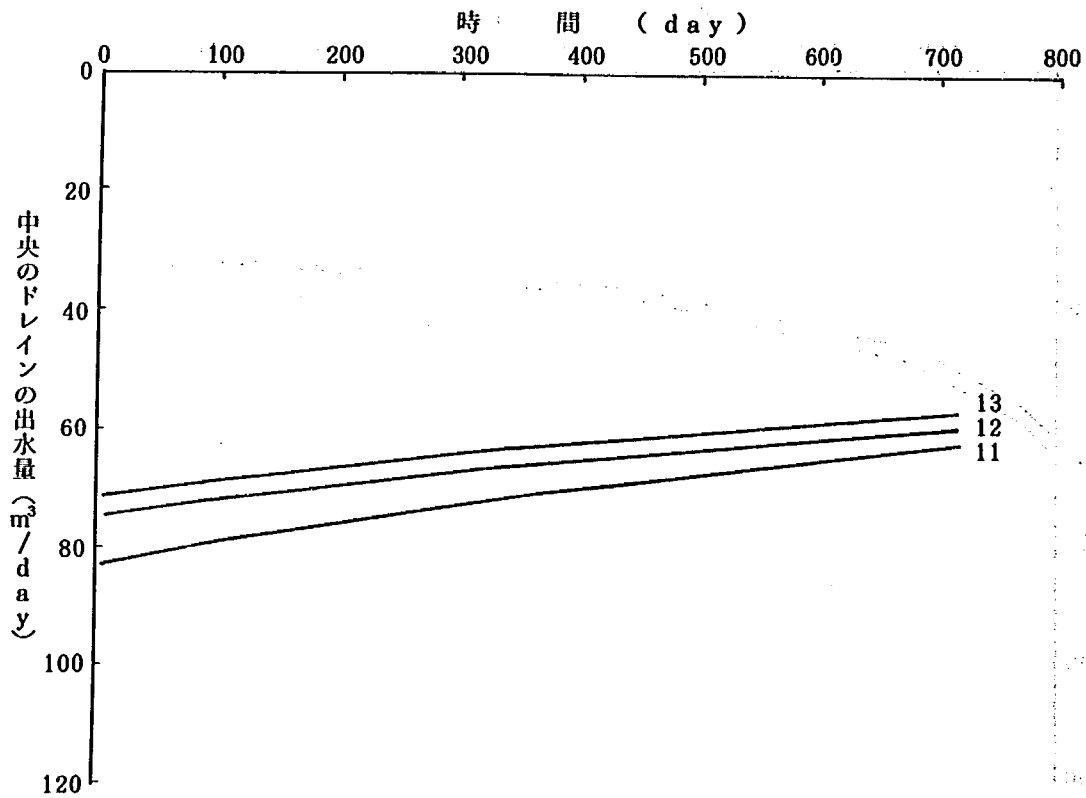


(c) ケース No 6, 7

図 3.13 中央の排水ドレインの出水量 (m³/day) と時間との関係

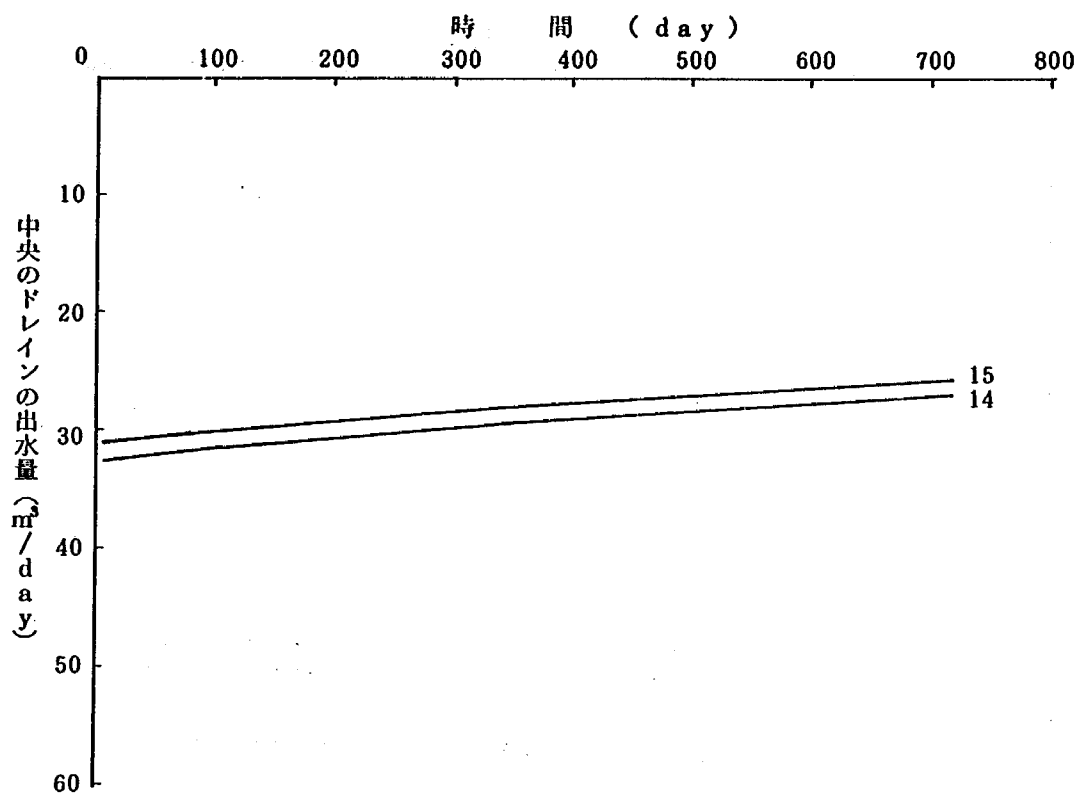


(d) ケース No 8 ~ 10

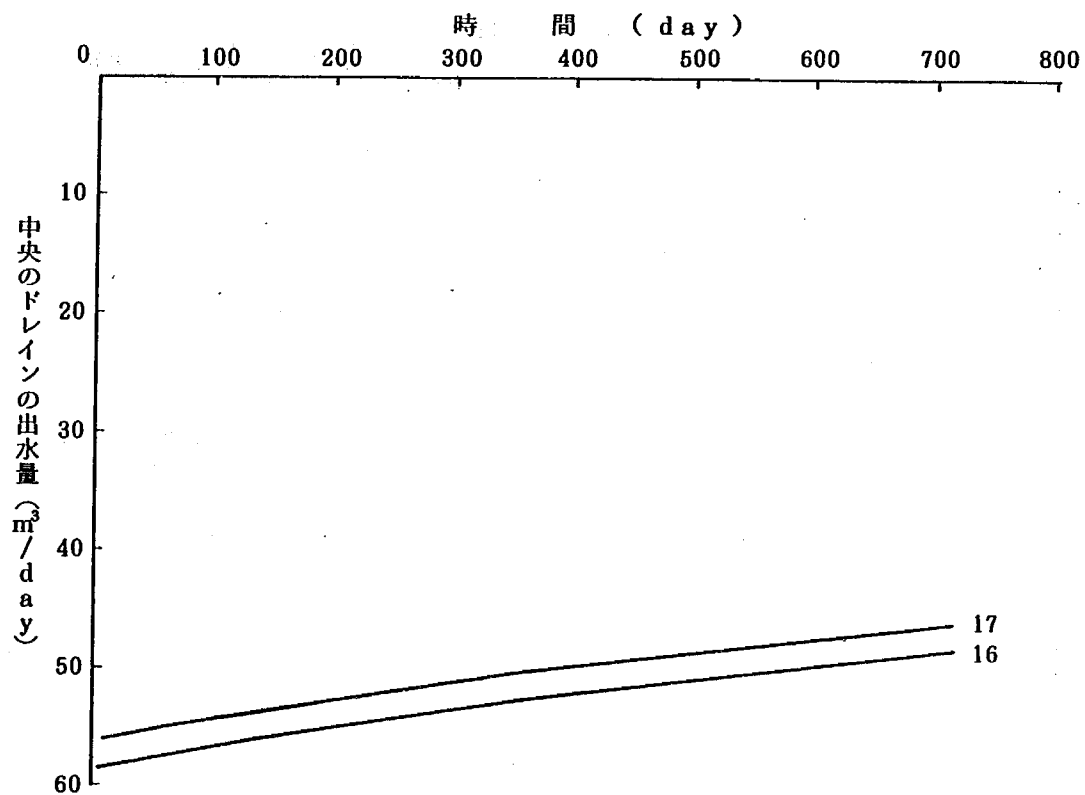


(e) ケース No 11 ~ 13

図 2.13 中央の排水ドレインの出水量 (m³/day) と時間との関係

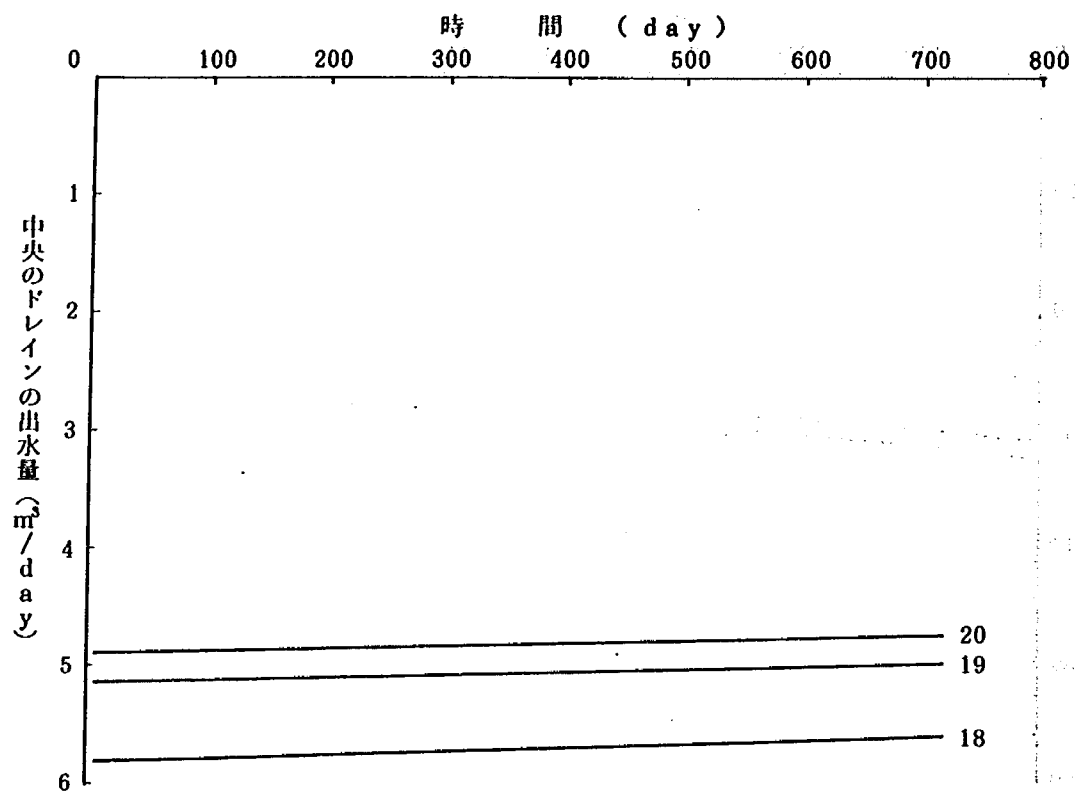


(f) ケース No 14, 15

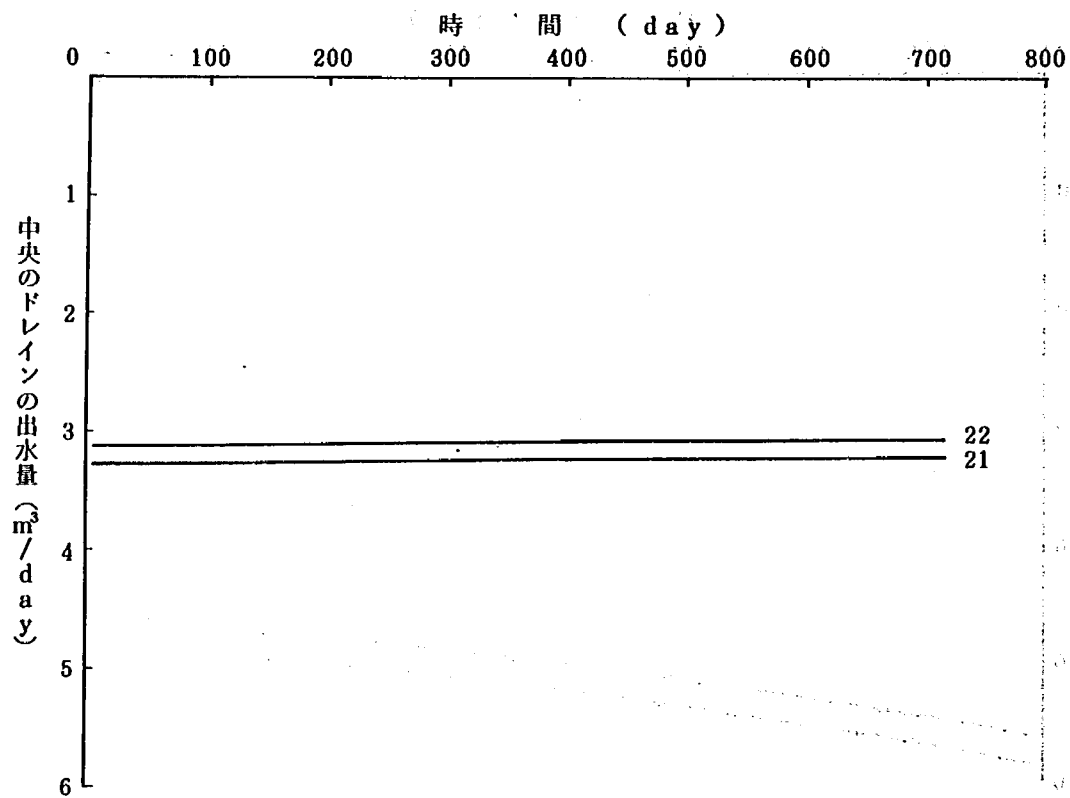


(g) ケース No 16, 17

図 2.13 中央の排水ドレインの出水量 (m³/day) と時間との関係

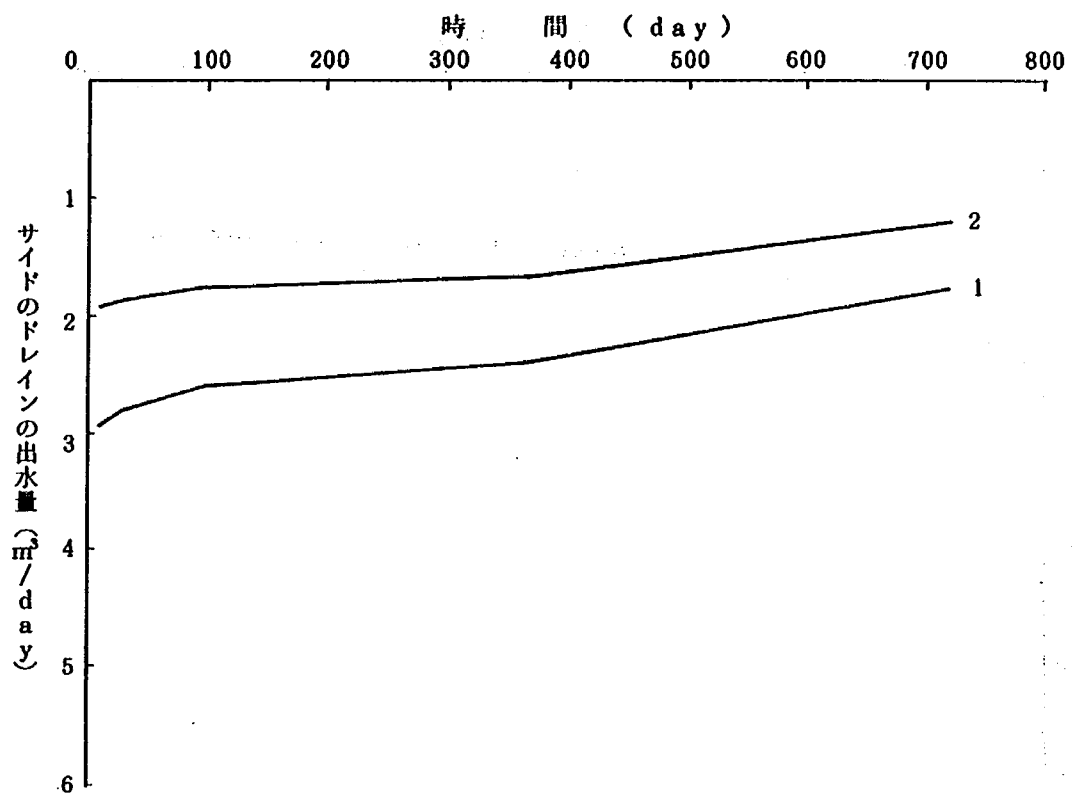


(h) ケース No 18~20

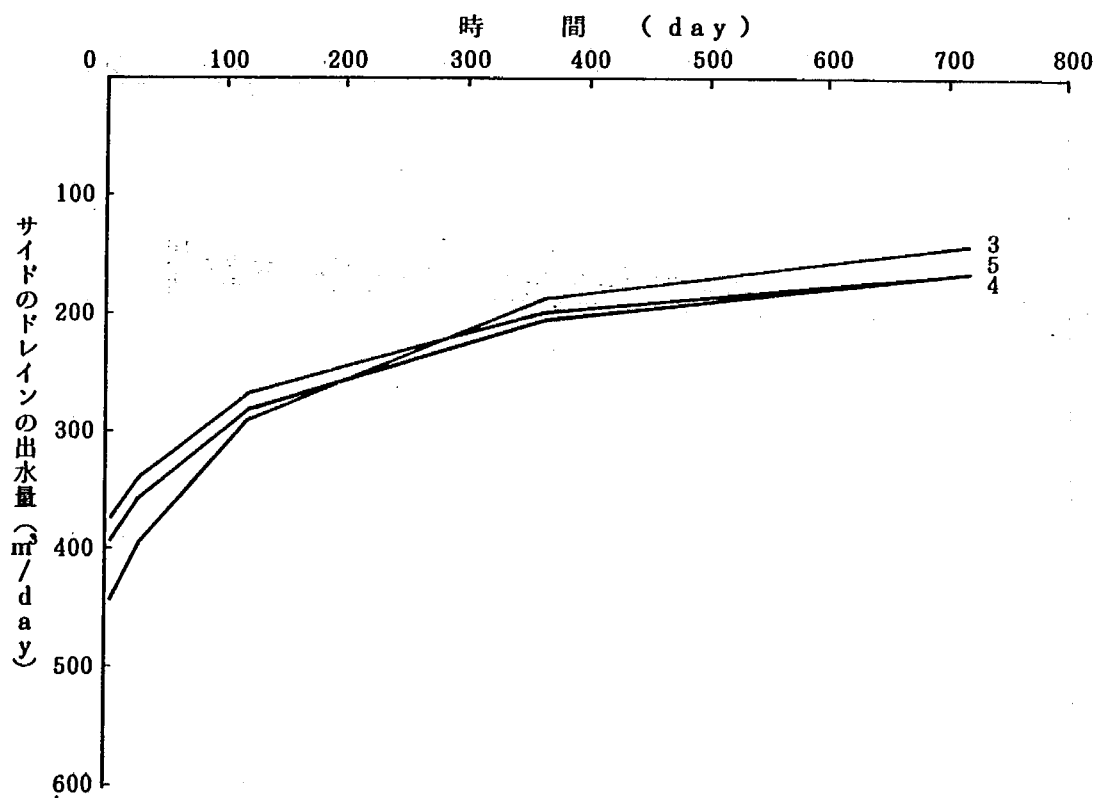


(i) ケース No 21, 22

図 2.13 中央の排水ドレインの出水量 (m^3/day) と時間との関係

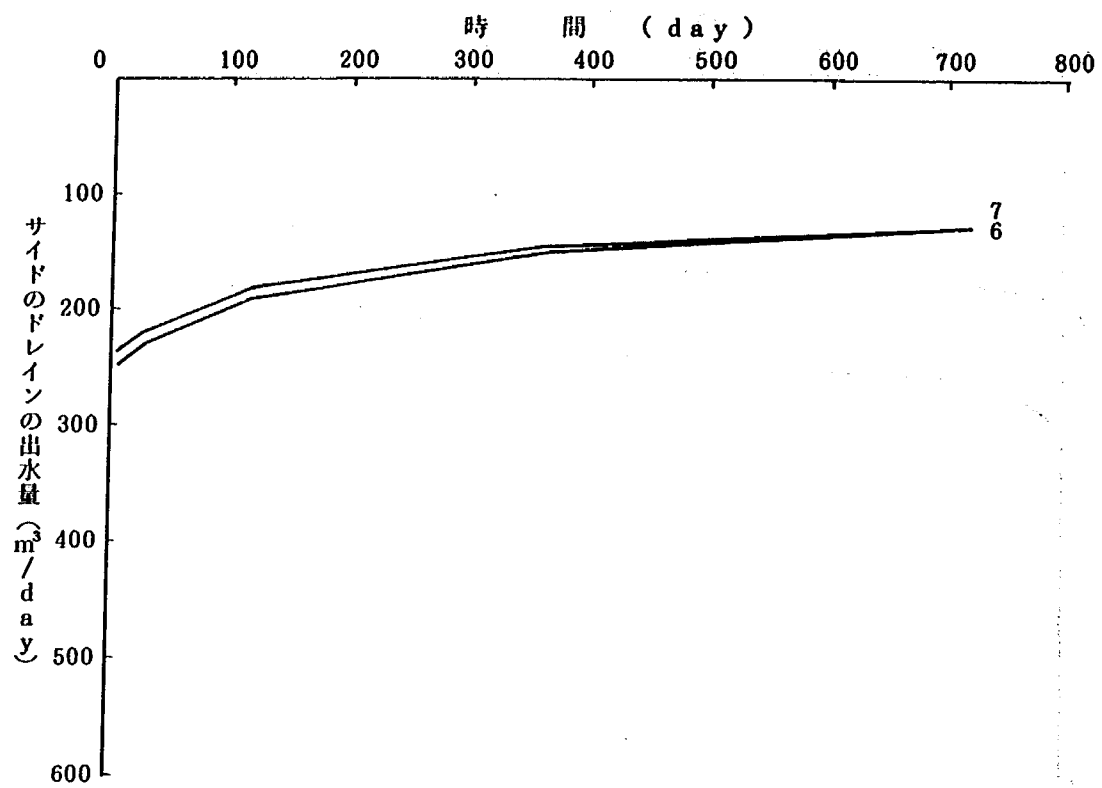


(a) ケース No 1, 2 飽和-不飽和解析

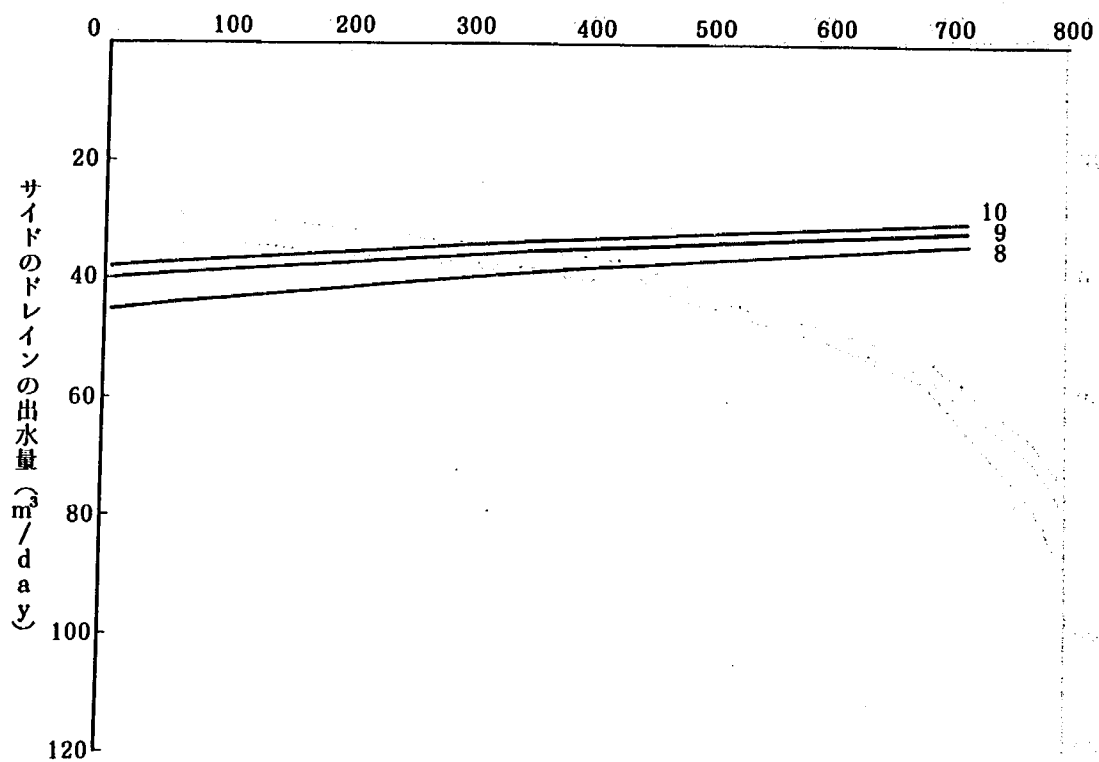


(b) ケース No 3 ~ 5

図 2.14 サイドドレン (両側のそれぞれ 1 本当りの) 出水量 (m³/day) と時間の関係

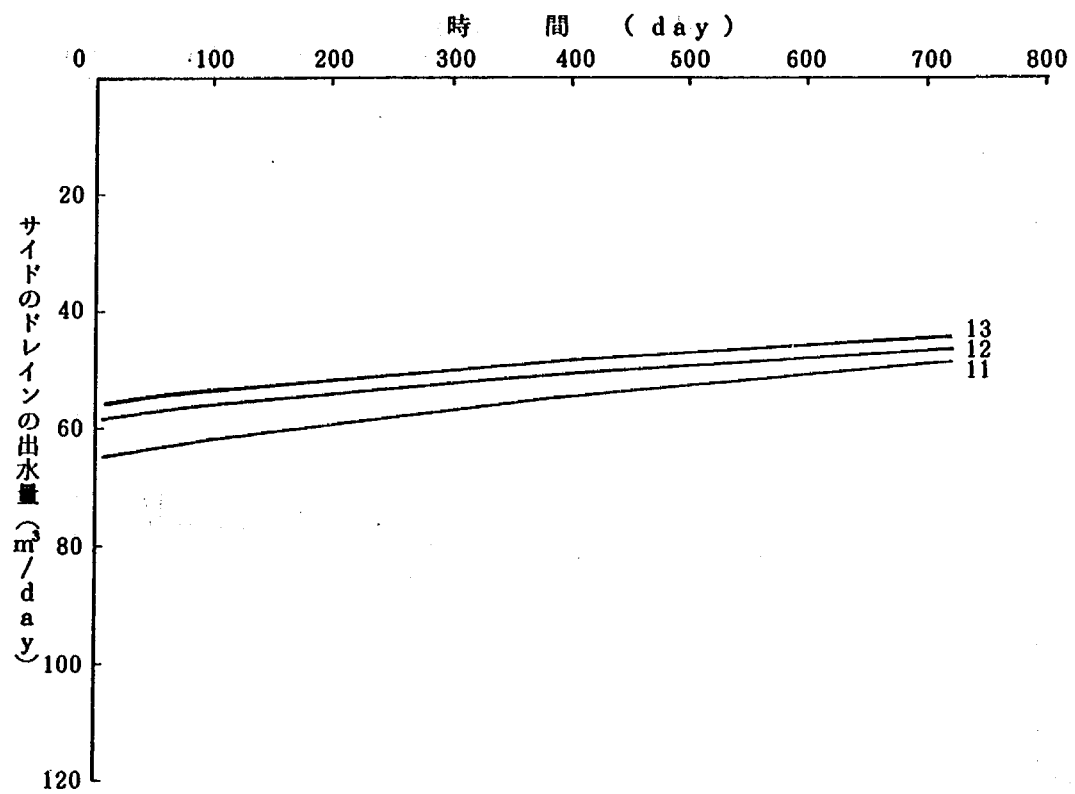


(c) ケースNo 6, 7

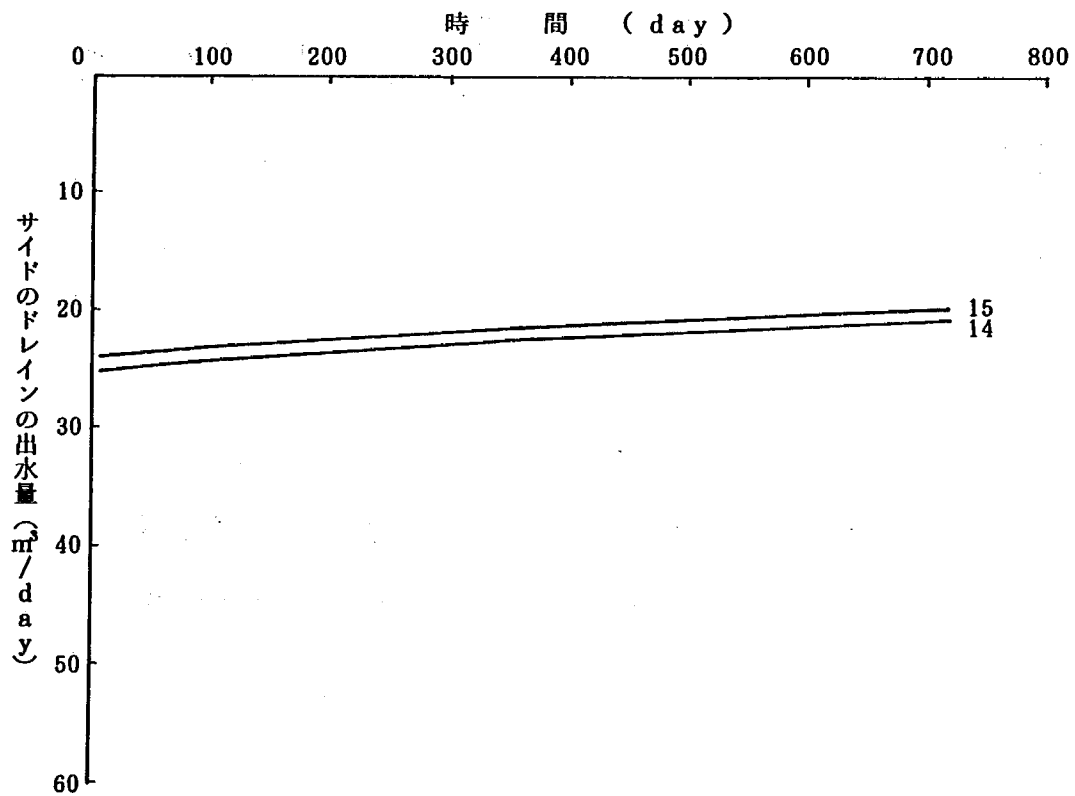


(d) ケースNo 8 ~ 10

図 2.14 サイドドレン (両側のそれぞれ1本当りの) 出水量 (m³/day) と時間の関係

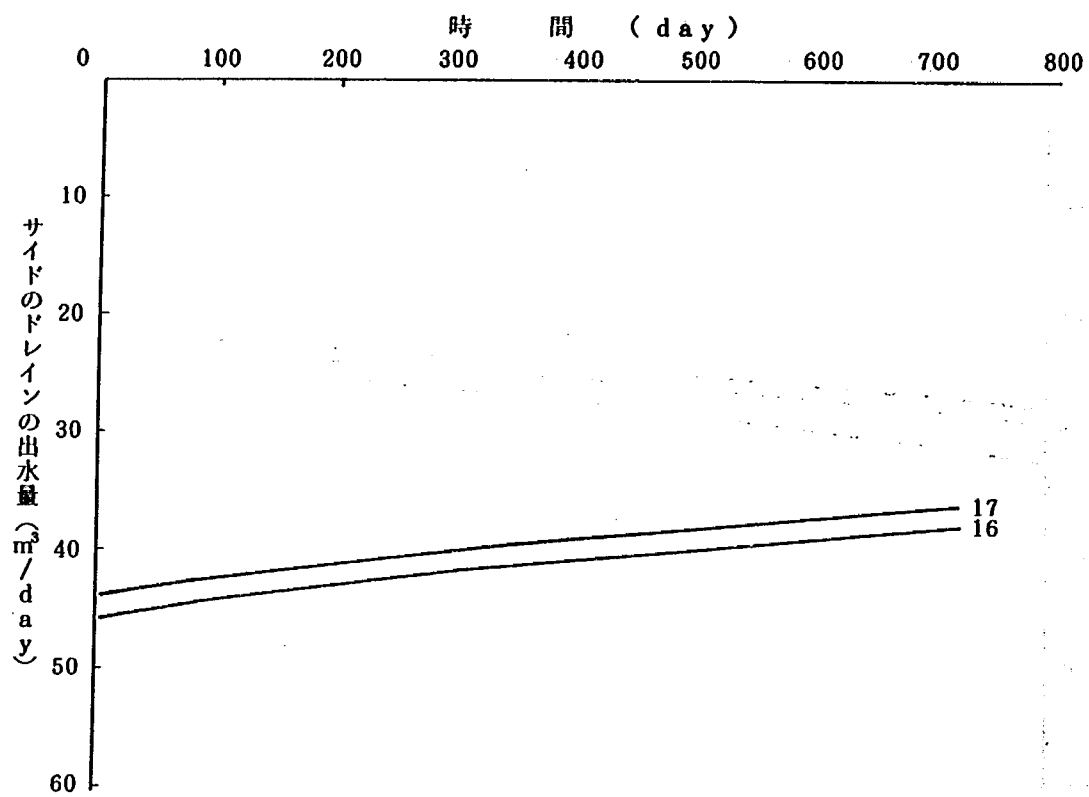


(e) ケースNo 11 ~ 13

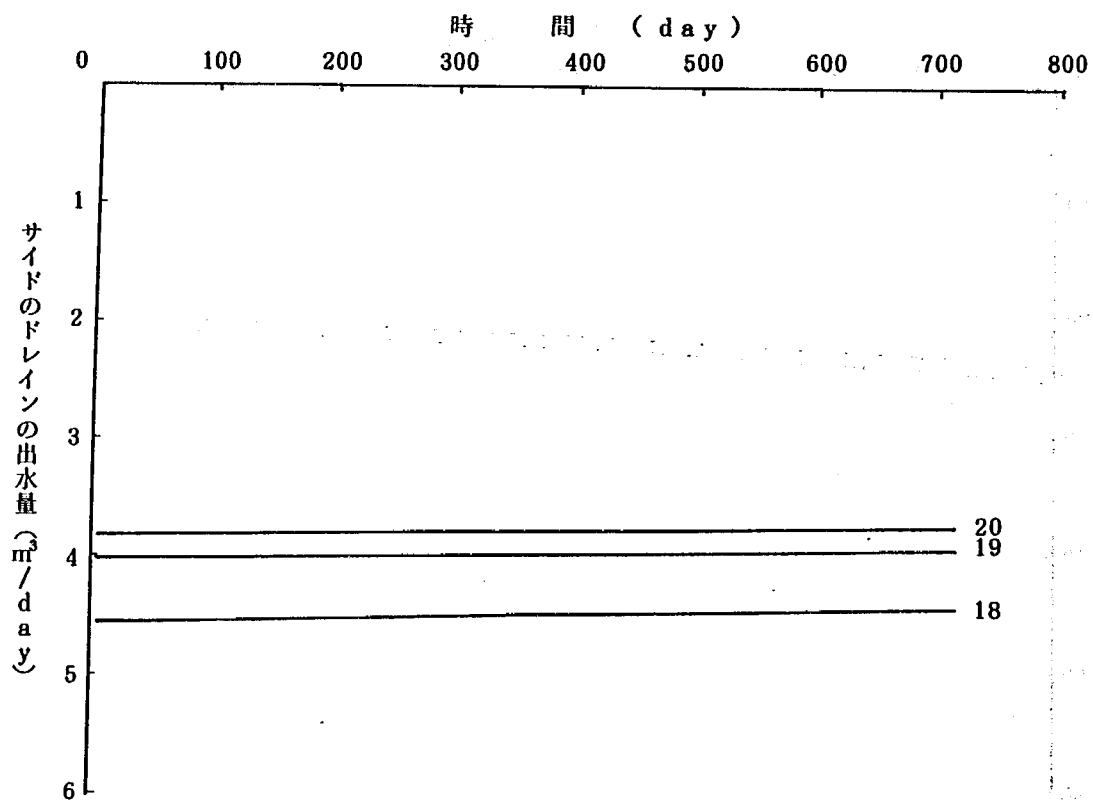


(f) ケースNo 14, 15

図 2.14 サイドドレン (両側のそれぞれ 1 本当りの) 出水量 (m³/day) と時間の関係

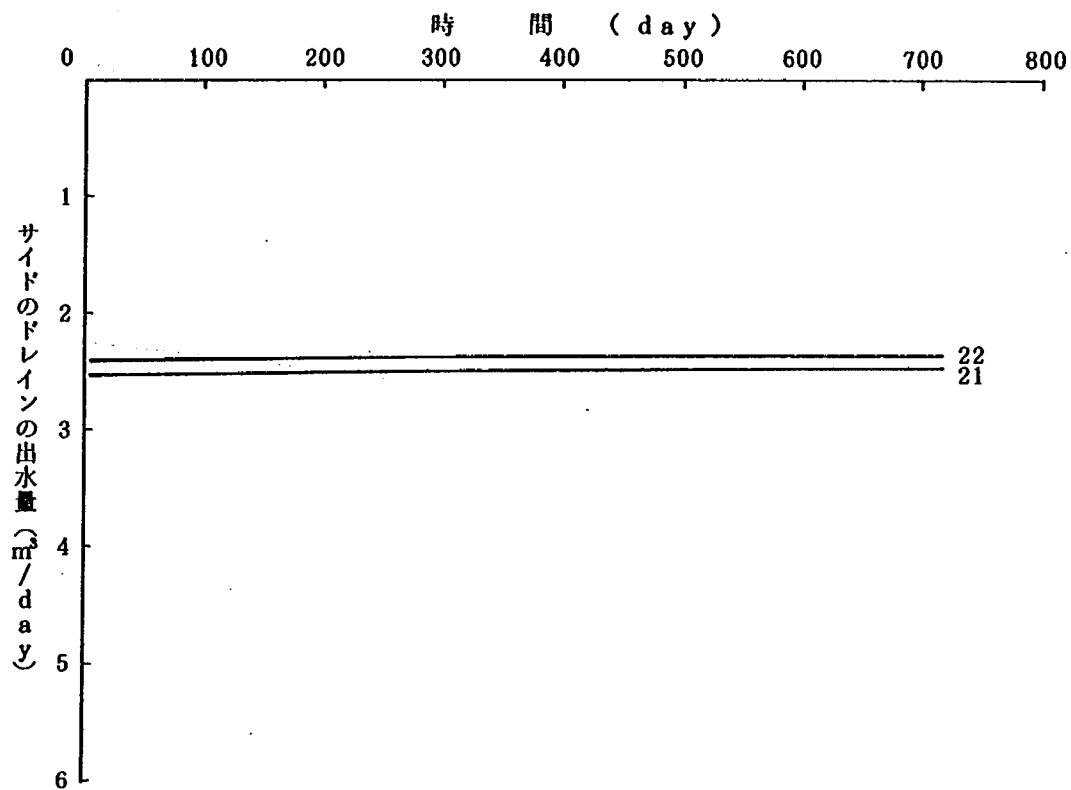


(g) ケースNo 16, 17



(h) ケースNo 18～20

図 2. 14 サイドドレン (両側のそれぞれ 1 本当りの) 出水量 (m³/day) と時間の関係



(i) ケースNo 21, 22

図 2.14 サイドドレン(両側のそれぞれ1本当りの)出水量(m^3/day)と時間の関係

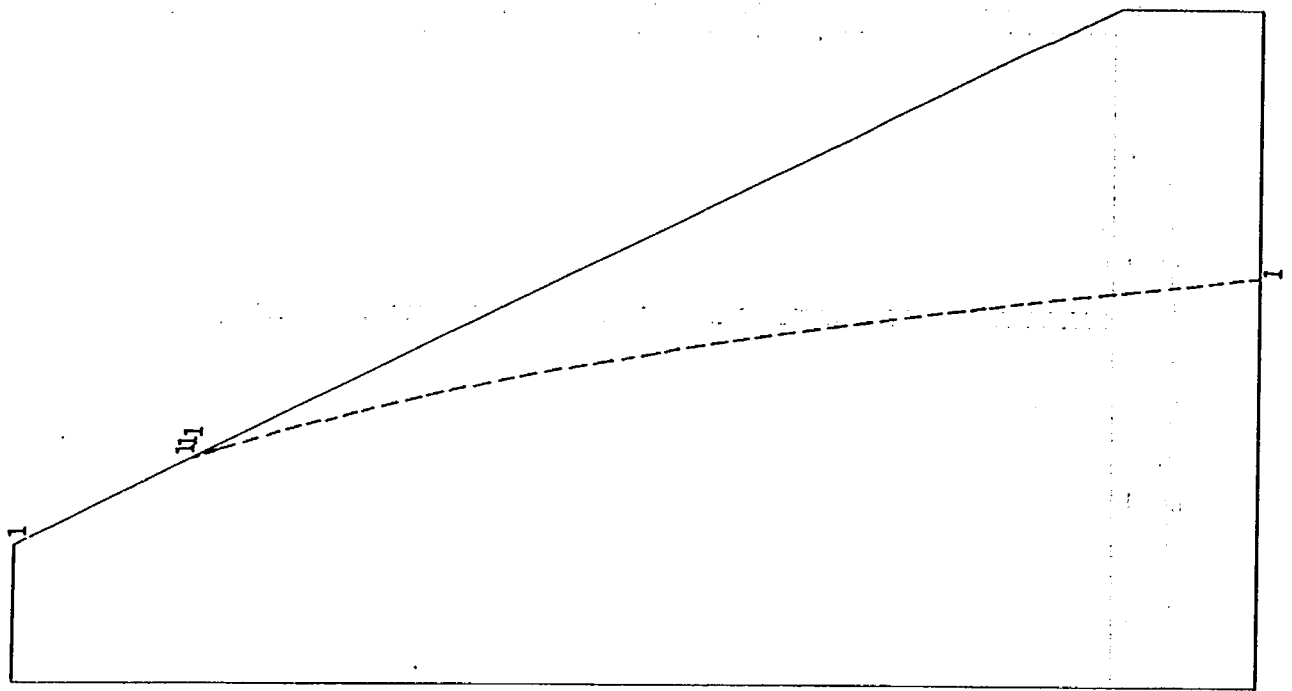
2.2.2 排水孔数Nによる差

排水孔の数による地下水低下特性の変化は、図 2.15～図 2.18 に示すようになる。図 2.15 は経過時間ゼロすなわち集水ボーリング施工前のモデル斜面における定常浸透である。また、図 2.16～2.18 は、同じ経過時間における、 $N = 1 \sim 5$ 本の地下水低下特性を表わしており、代表としてケースの 35～37 を取りあげた。

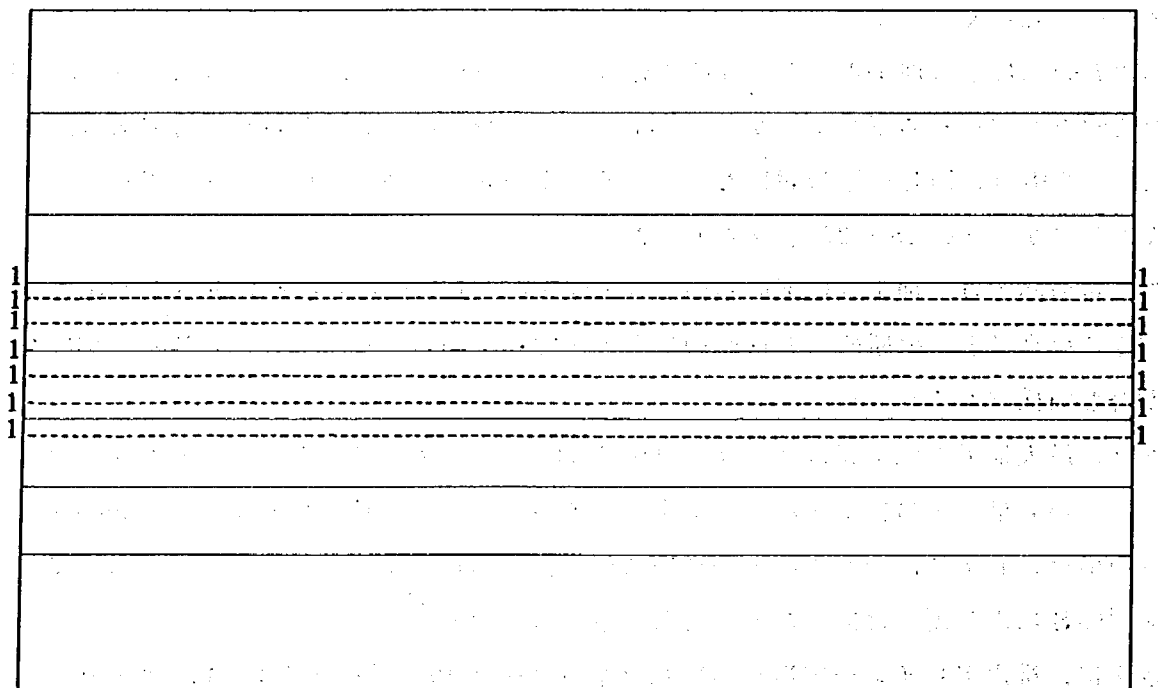
これらの図より、地下水低下の範囲は、 N の多い、すなわちドレイン間隔 S が小であるとも言える場合ほど、縦断的にも横断的にも大となっている。このことは、残りの解析ケースの場合も同様である。

また、最大地下水低下深は図 2.9 より図 2.11 までで分かるように、排水孔数が多いほど大きく、しかも早くその低下深に達するようである。ただし、透水係数 k が 10^{-4} cm/sec 以下と小さい場合、および、初期水位 h_1 の低い時には、本数 N による差(すなわち、ここではドレイン間隔 S による差)は無くなることも示唆されている。⁸⁾

さらに、排水ドレイン一本当りの排水出水量は図 2.19 に見られるように、オーダー的にはそれほど差はないものの、特にドレイン設置後の経過時間の短い時は排水孔数 N の差が顕著となる。 $N = 1$ と 3 では、ほとんど差が見られない一方、 $N = 5$ のものは、他の場合よりもかなり大となる。このことは、サイドのドレインにも言えるはずであるから、 $N = 5$ 本の時は総体的にドレイン設置直後の排水量が大きくなる。おそらく、 $N = 5$ の時は他の時とくらべ

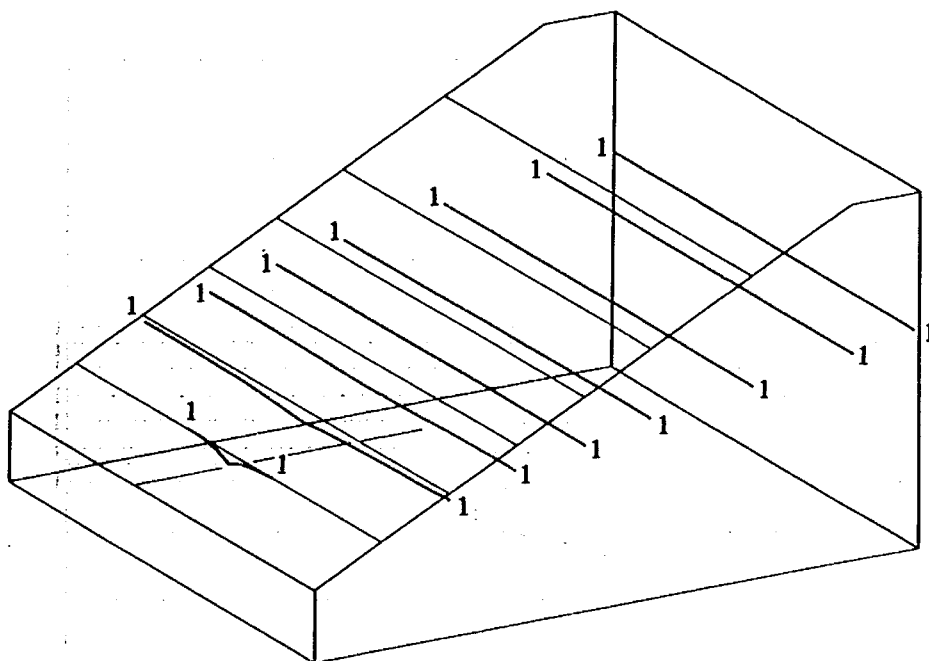


(a) 縦断図



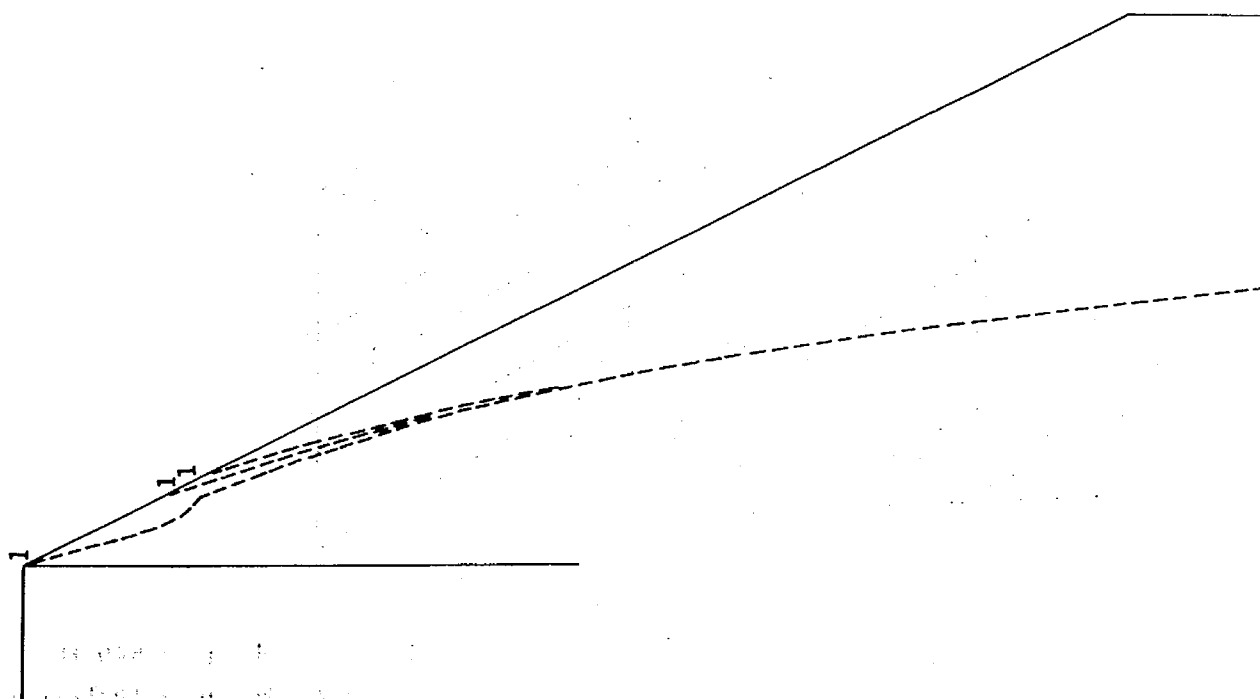
(b) 横断図

図 2.15 三次元解析における初期定常解析結果 ($h_1 = 30 \text{ m}$, $h_2 = 10 \text{ m}$, $k = 10^{-3}$)



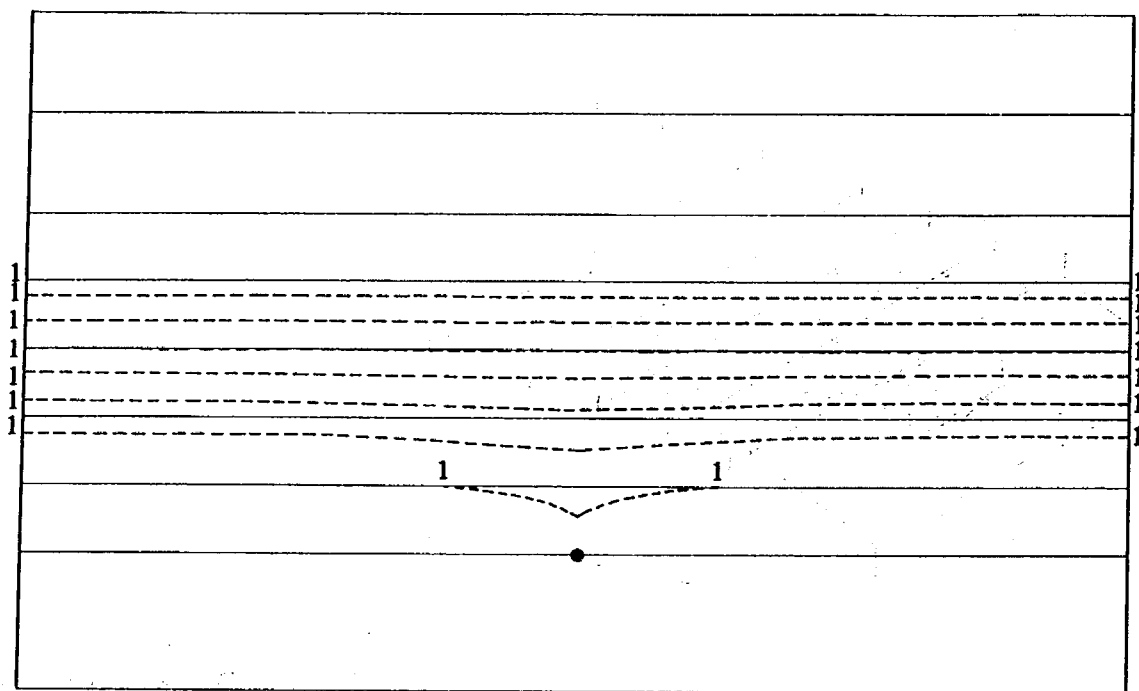
時 間 $t = 540$ 日
 透 水 係 数 $k = 10^{-3}$ cm/s
 上流初期水位 $H = 30$ m
 有効間隙率 $n = 0.25$

(a) 鳥 かん 図



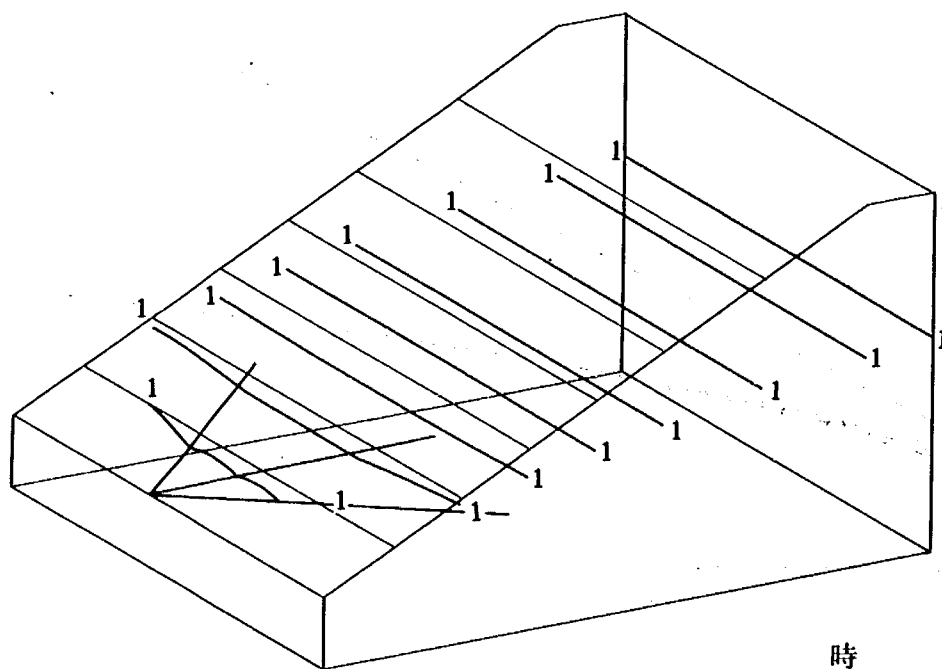
(b) 縦 断 図

図 2.16 排水ドレイン数 1 本の時の三次元地下水低下



(c) 横断図

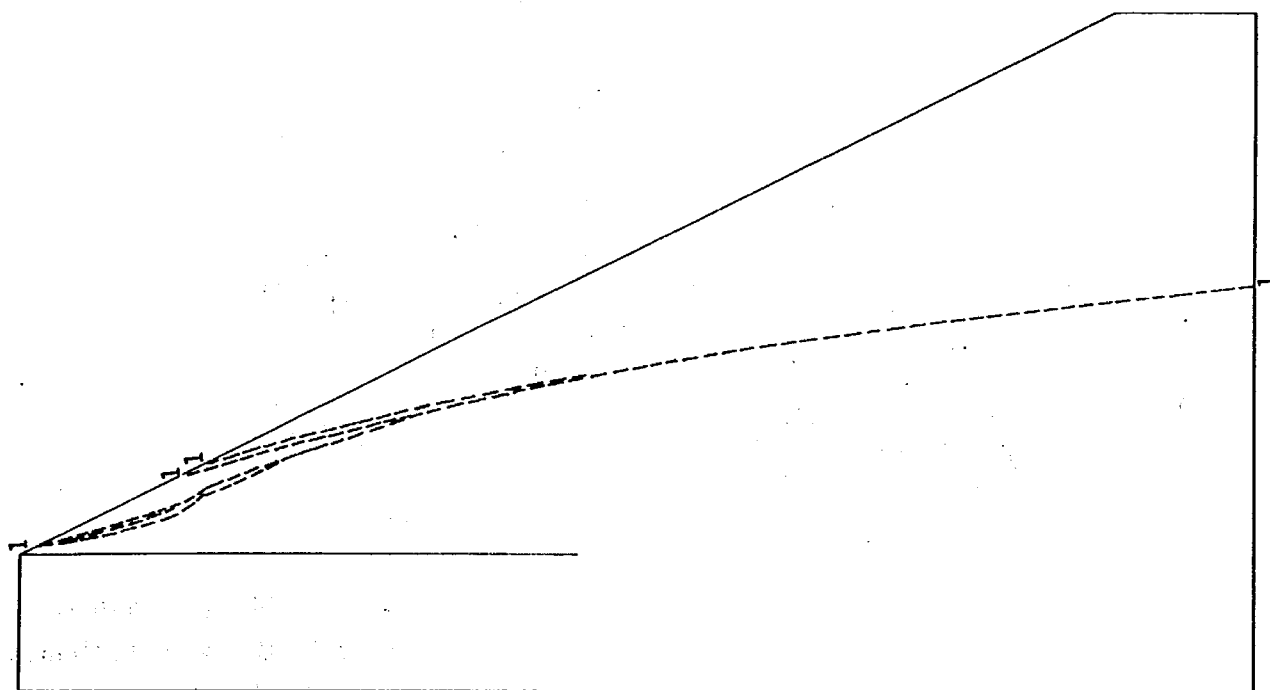
図 2.16 排水ドレイン数 1 本の時の三次元地下水低下



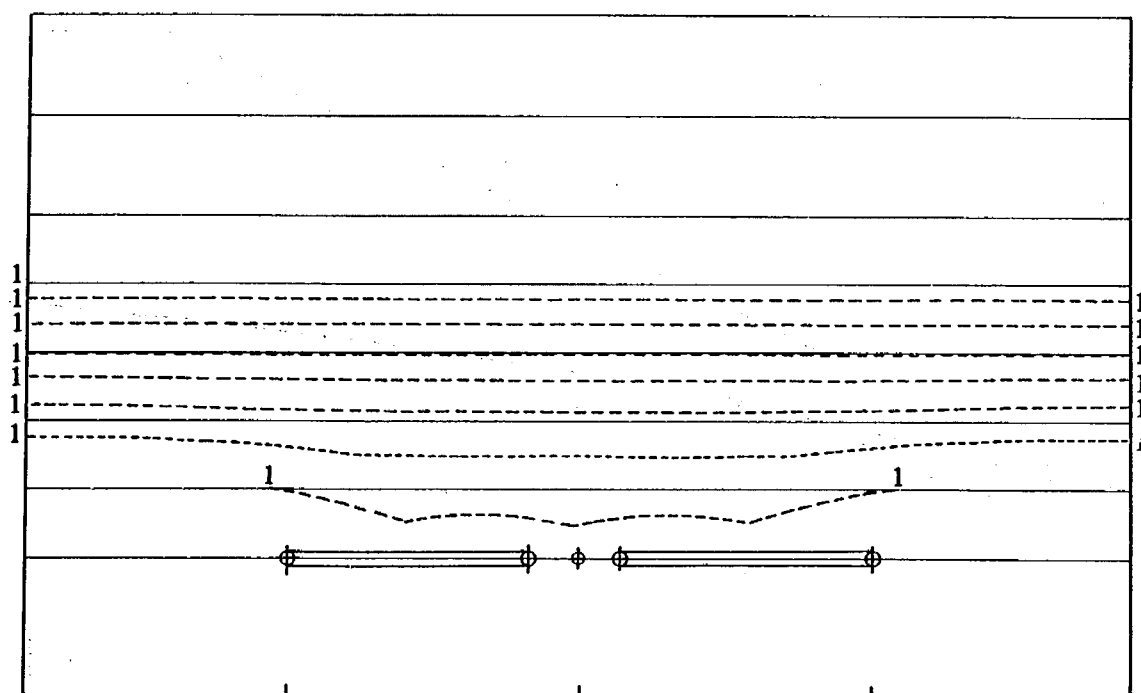
時 間 $t = 540$ 日
 透 水 係 数 $k = 10^{-3} \text{ cm/s}$
 上流初期水位 $H = 30 \text{ m}$
 有効間隙率 $n = 0.25$

(a) 鳥 か ん 図

図 2.17 排水ドレイン数 3 本の時の三次元地下水低下

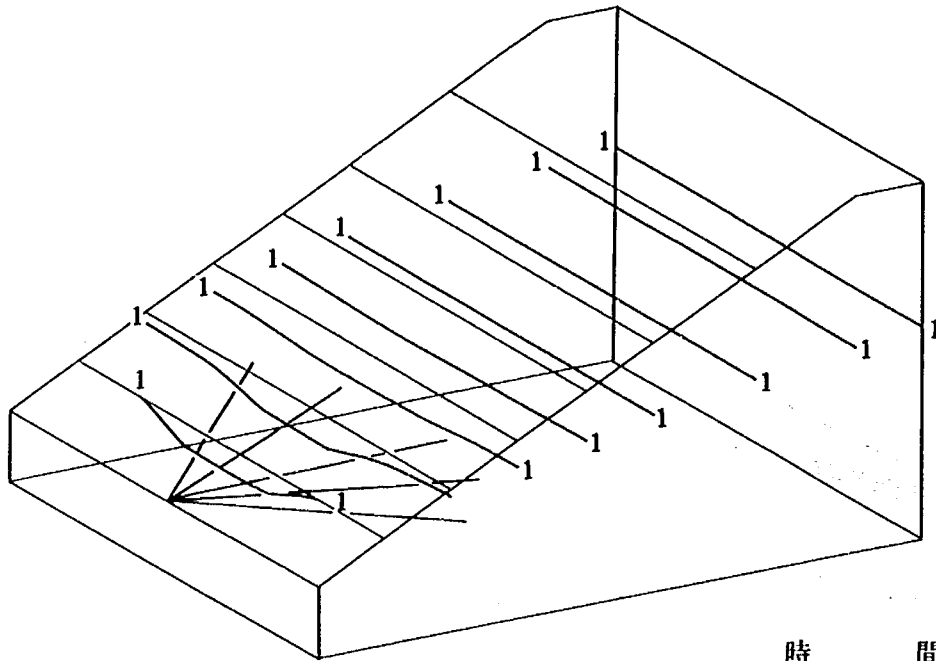


(b) 縦断図



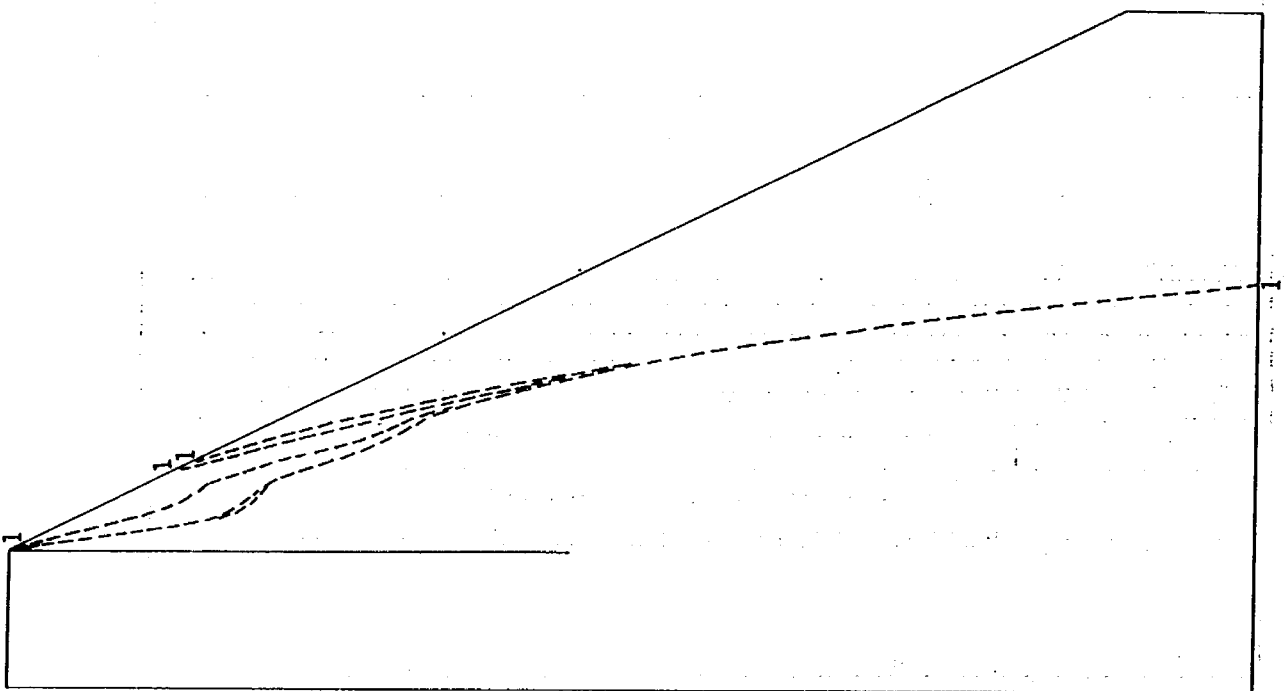
(c) 横断図

図 2. 17 排水ドレイン数 3 本の時の三次元地下水低下



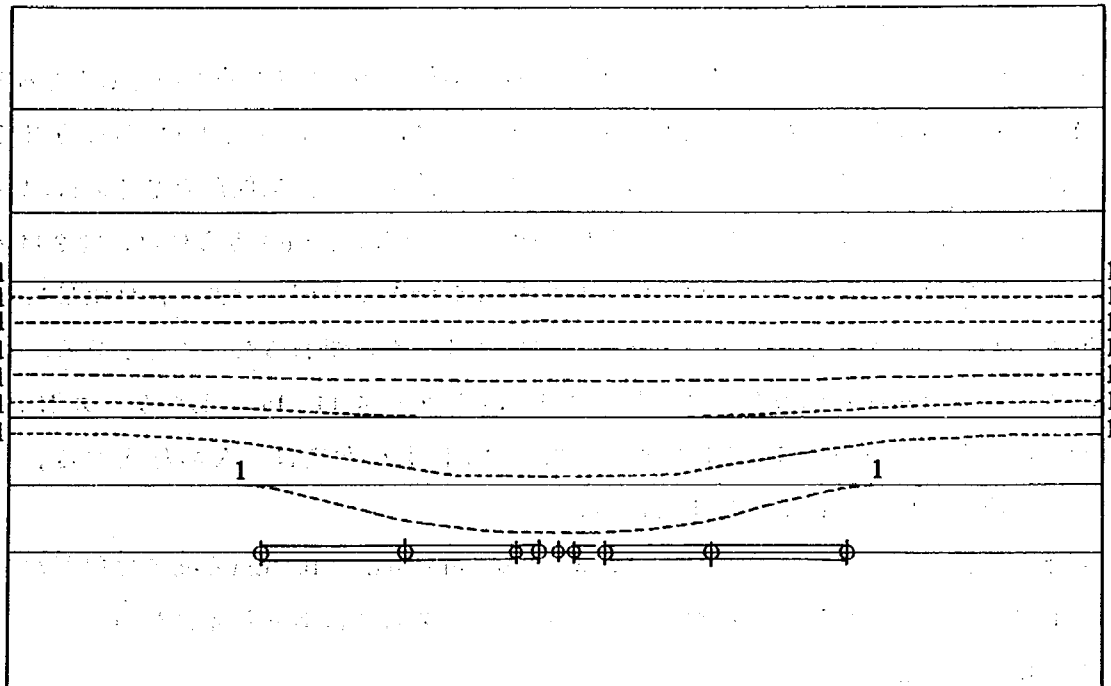
時 間 $t = 540$ 日
 透 水 係 数 $k = 10^{-3} \text{ cm/s}$
 上流初期水位 $H = 30 \text{ m}$
 有効間隙率 $n = 0.25$

(a) 鳥 か ん 図



(b) 縦 断 図

図 2.18 排水ドレイン数 5 本の時の三次元地下水低下



(c) 横断図

図 2.18 排水ドレイン数 5 本の時の三次元地下水低下

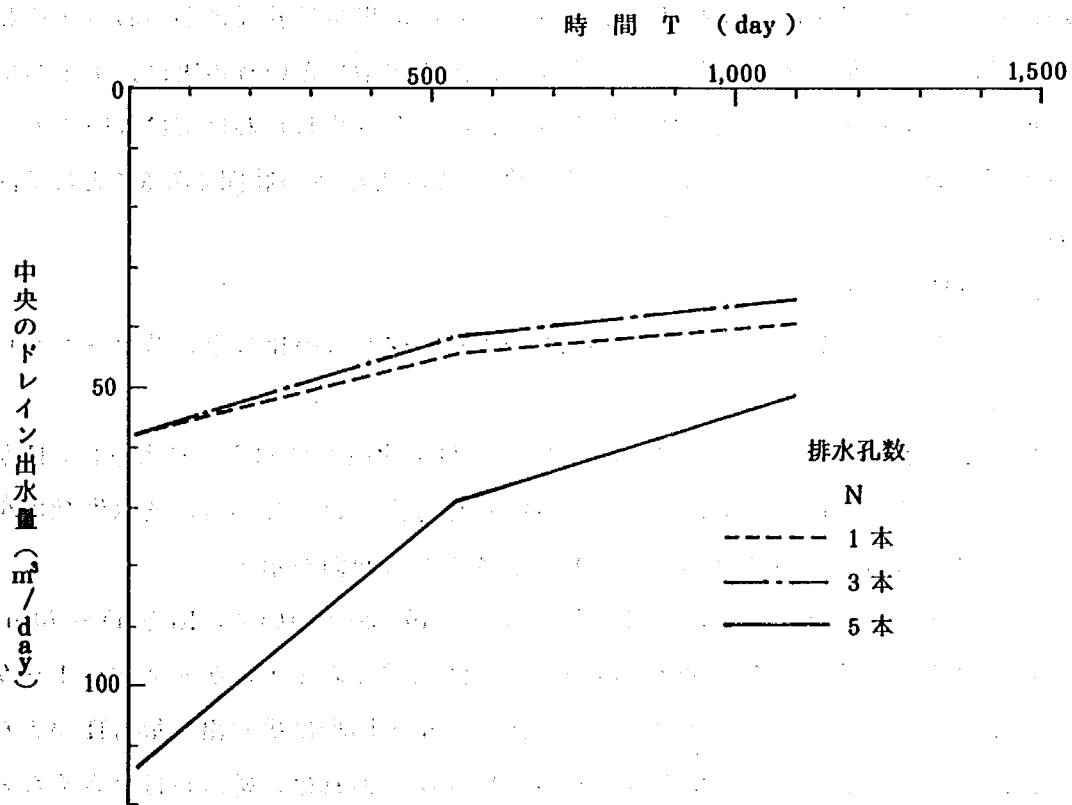


図 2.19 中央ドレインの排水量と時間および排水孔数 N との関係

て図 2. 16 ～図 2. 18 で見られるごとく縦断的ならびに横断的動水勾配が大きくなるので、このような結果となるのであろうと考えられる。

2. 2. 3 配置による差（扇型先端のドレイン間隔と平行型のドレイン間隔を等しくとる場合。）

扇型配置（図 2. 3）と平行配置（図 2. 4）との差は、図 2. 13～図 2. 14 から検討できる。例えば、ケース 4 ならびに 5 とケースの 6, 7 を比較すれば、条件が異なるのは配置のみである。従って、図 2. 12 の (b) と (c) または図 2. 13 の (b) と (c) さらには、図 2. 14 の (b) (c) を比較すれば、最大低下深は、配置に関係なくほとんど同一であり、排水量については、多少平行型の方が大きくなるが、オーダー的にはほとんど変わらないことが分る。この比較を、透水係数の異なる他のケース（ケース 9, 10 とケース 14, 15 そしてケース 12, 13 とケース 16, 17 そして、ケース 19, 20 とケース 21, 22）にも行なえば、次の様となる。

○最大地下水低下深は配置によらない。

○排水流量（ドレイン 1 本当たり）は、 $k = 10^{-2} \text{ cm/sec}$ と 10^{-4} cm/sec では扇型が少なく、 $k = 10^{-3} \text{ cm/sec}$ ではその逆となる。しかし、オーダー的にはあまり差はない。

2. 2. 4 孔長による差

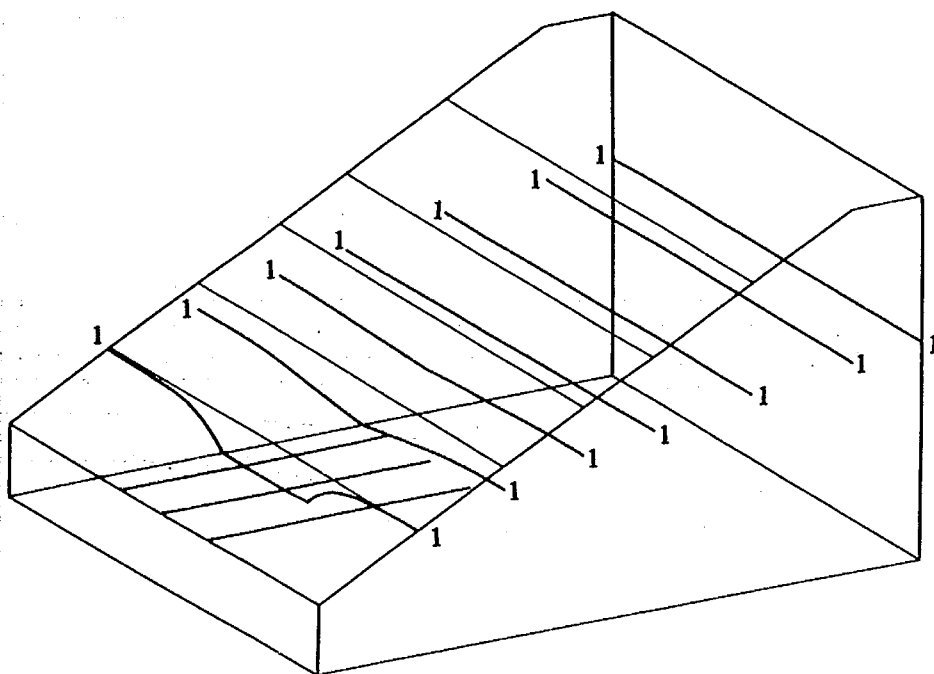
ここで解析したのは、孔長 40～50m のわずか 10m の差であるが、次の様なことが分った。ケース 8, 9, 10 ならびにケース 11, 12, 13, そして、ケース 14, 15 とケース 16, 17 を比較すれば、図 2. 12～図 2. 14 の (d) (e) (f) (g) の様になり、最大地下水低下深については、孔長による差はほとんどないものの排水流量については、孔長の長いものほど大きくなっている。ところが後述する表 2. 3 (b) を見れば、単位長さ当りの流出量は孔長にかかわらずそれほど変化しないのが分る。従って、孔長が大きくなれば流量が増すという事実は、主として単に集水量が増す結果であって、孔長の増減により流れの場が変化したわけではないことを示す。（図 2. 20～図 2. 21 に例示）。ただし、孔長の変化は 10m と小さい範囲であることには注意すべきである。

2. 2. 5 上流水位 H による差

排水ドレイン上の水位 H による差を見る為に、図 2. 9～2. 11 の比較と、数ケースを用いた比較計算を行う。

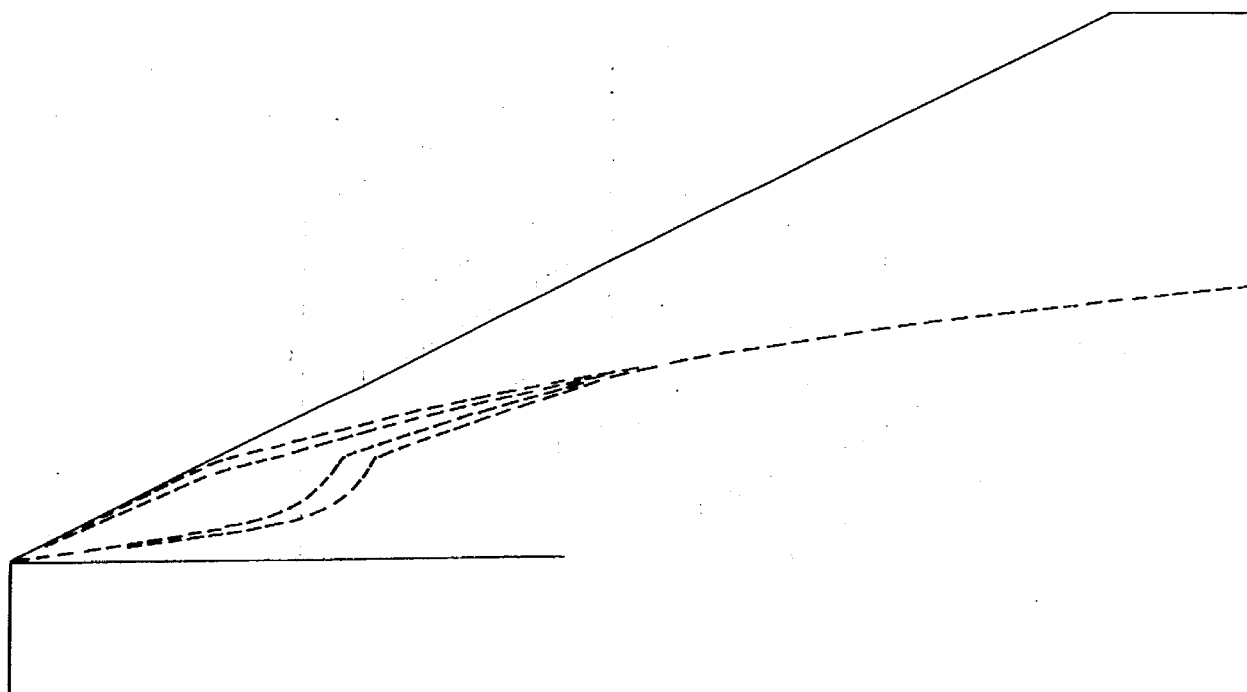
まず、最大地下水低下深については、図 2. 9～2. 11 を比較して明らかなように、H が高い程、最大地下水低下深 Δh も大で、かつその時間変化も大きい。しかし、透水係数の小さな 10^{-4} cm/sec の場合は、逆に H が大きい程 Δh は小さくなる傾向を示す。

次に、排水量は、中央ドレインに着目しケース 5, 10, 20 について、 h_1 を 40～70m すなわち排水孔上の地下水位 H を 10～40m の範囲で検討する為、表 2. 1 のケース 5-1～ケース 20-2 を計算した。その結果は図 2. 22 に示したが、 Δh と同様に排水出水量も H が大なほど大となる傾向がある。しかし、 Δh とは異なり、 k が小であれば、排水量は小さくなるのみである。従って、 k が小さくなると排水量が小さいので、上流水位が高くとも最大低下深が小となる。また、図 2. 22 からは、透水係数 k の値によってオーダー的に相当排水量が変わるの



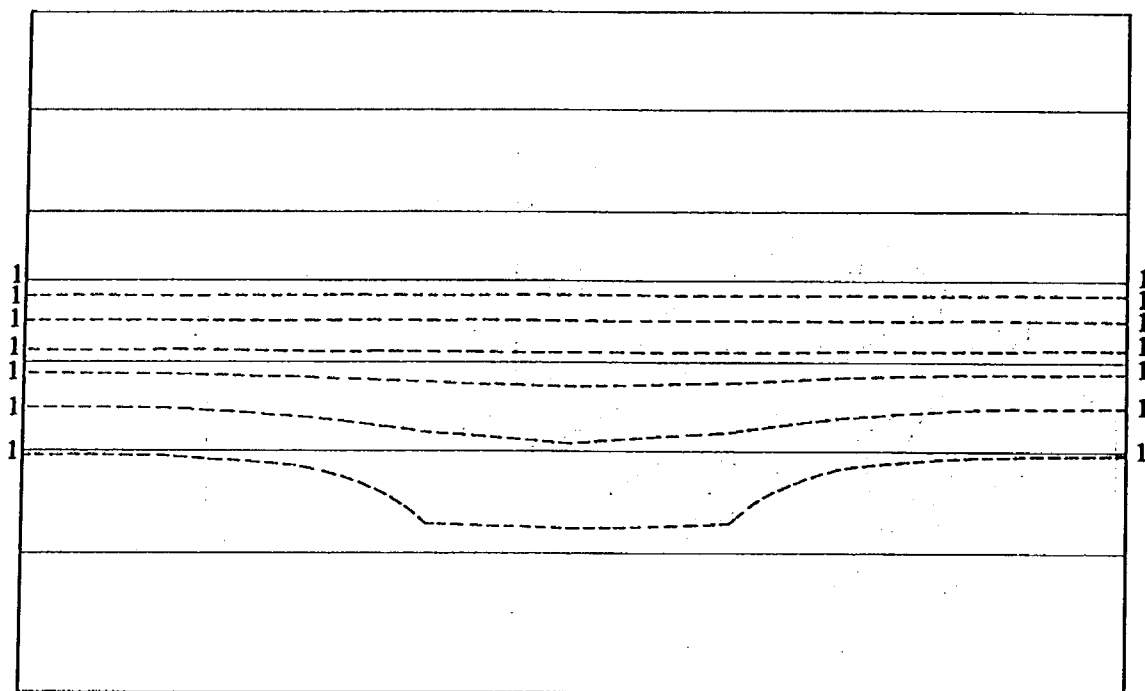
経過時間 720 日

(a) 鳥 かん 図



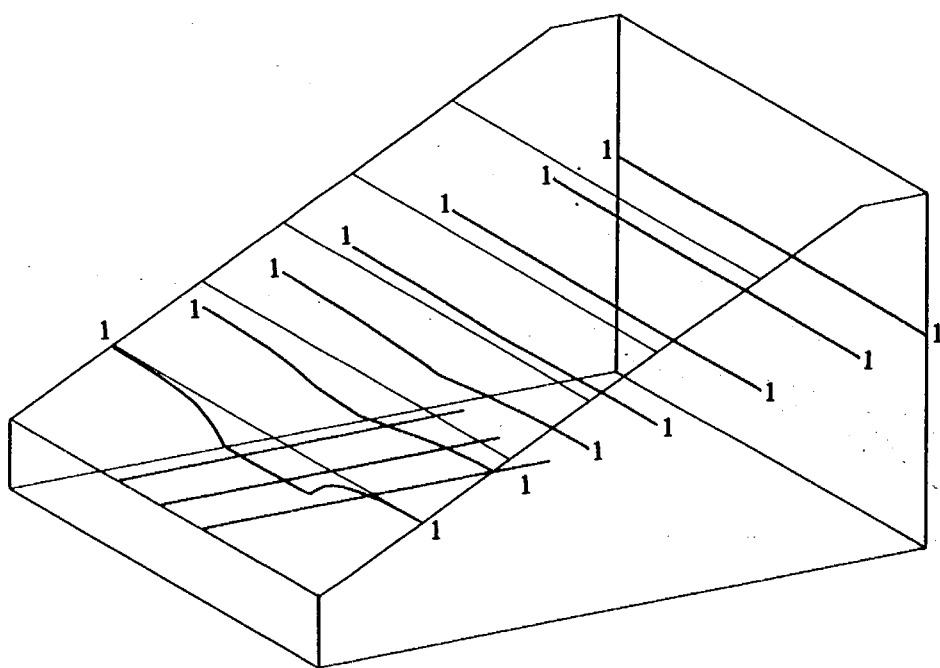
(b) 縦 断 図

図 2. 20 排水ドレインの孔長と浸透流 (ケース 8)



(c) 横断図

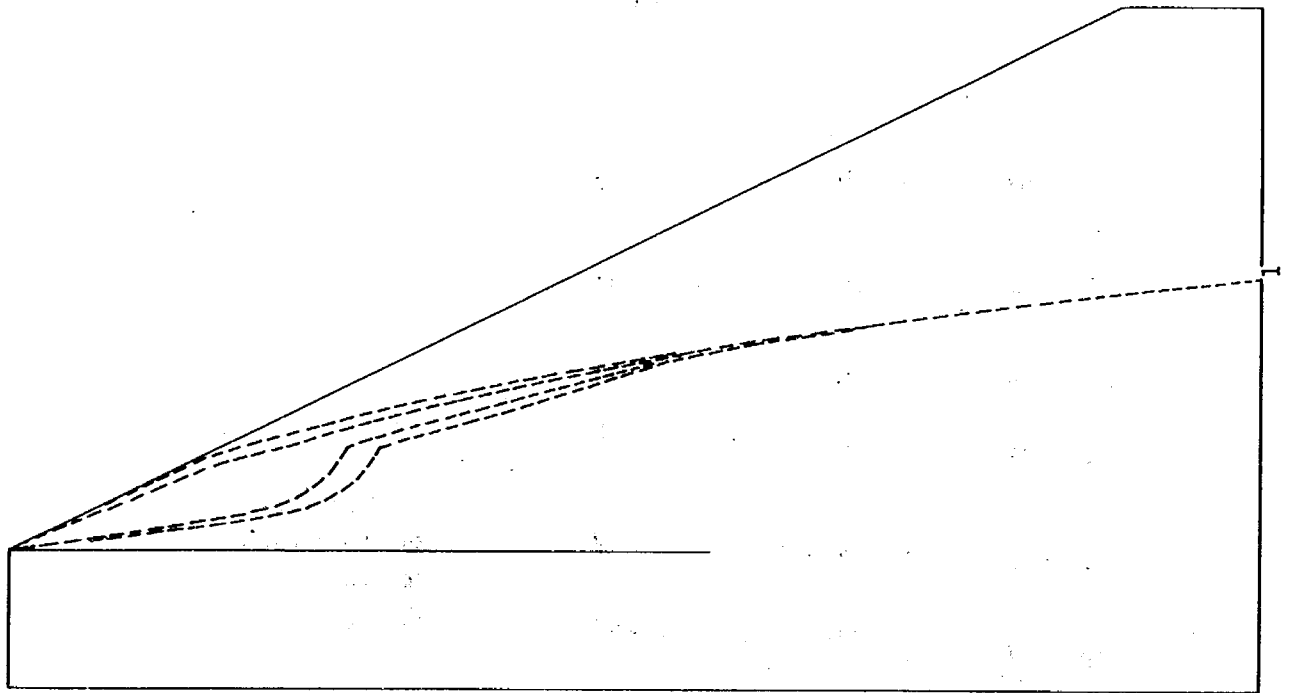
図 2.20 排水ドレインの孔長と浸透流 (ケース 8)



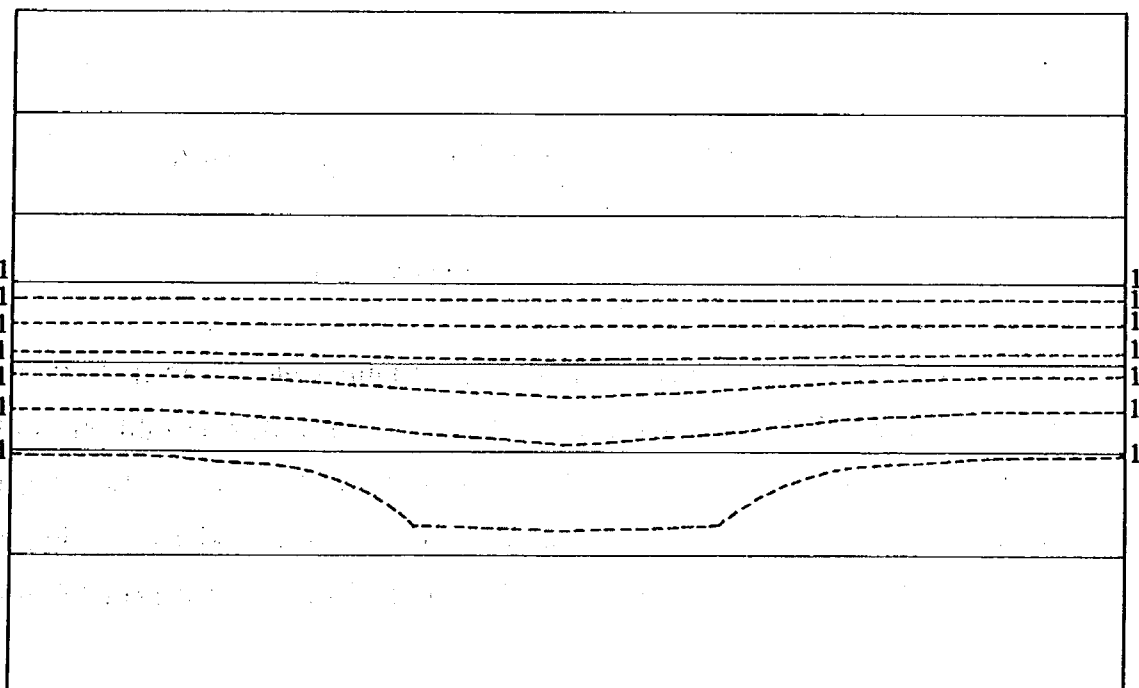
(a) 鳥かん図

経過時間 720日

図 2.21 排水ドレインの孔長と浸透流 (ケース 11)



(b) 縦断図



(c) 横断図

(a) 400mm 図 2.21 排水ドレインの孔長と浸透流 (ケース 11)

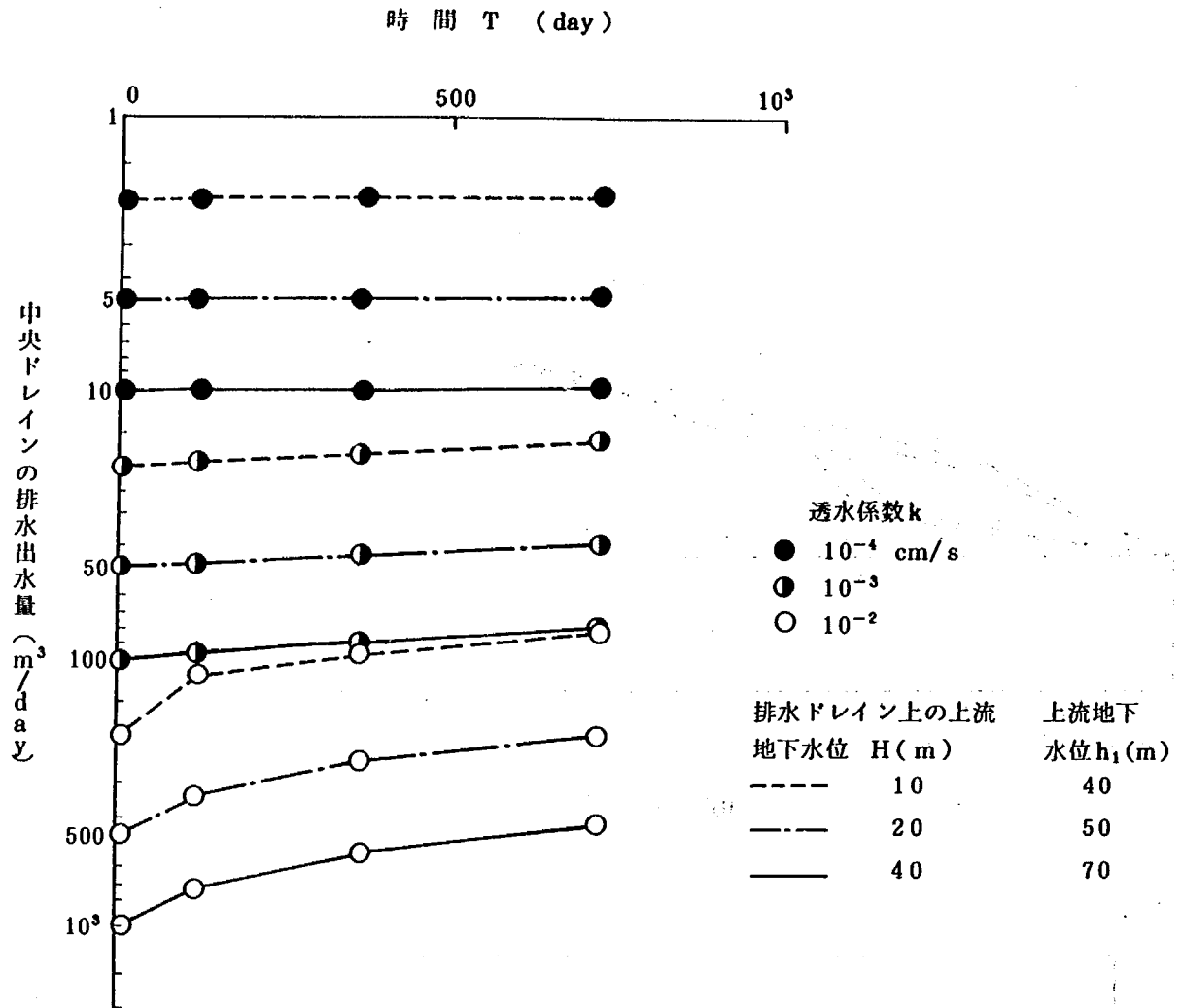


図 2.22 上流地下水位 h_1 の差による中央ドレイン排水量の変化

で、その変化に比較すれば H による変動は小さいと考えられる。

2.2.6 不透水面深 h_2 による差

排水ドレインより不透水面深までの深さ h_2 （二次元Schilfgaard式では d ）による、最大低下深と排水排水量の変化を検討する。この為には、図 2.12, 図 2.13の(b)~(i)の各ケース、すなわち、各図の曲線の比較をすれば良い。これらの図によれば、どの場合にも（ $h_2 = 10 \sim 30\text{m}$ の範囲では）ほとんど差がないことが分る。従って、通常に考えられる地すべりのすべり面（一般的に不透水面）の深さを考えれば、不透水面深による差は無視できるものと思われる。

2.2.7 飽和-不飽和浸透解析と飽和浸透解析の差

今回は、2.1節で述べたような理由から飽和浸透解析を行なったが、飽和-不飽和浸透解析との差を検討し問題点を洗い出す。これには、図 2.12~図 2.14における、ケース1とケース20の比較、およびケース2とケース22の比較を行う。つまり、図 2.12~図 2.14の(a)

表 2. 2 最大地下水低下深 Δh

時間 ケース	5	10	30	60	100	120	240	365	540	720	1100	(day) 1800
CASE- 1		3.25	3.75		4.50			4.90		7.25		
CASE- 2		3.40	4.10		4.60			5.00		7.25		
CASE- 3	2.40		4.40			6.70		8.70		9.60		
CASE- 4	3.00		4.25			6.25		8.10		9.00		
CASE- 5	3.10		4.10			6.00		7.70		8.40		
CASE- 6	3.00		4.15			6.20		7.95		8.70		
CASE- 7	3.05		4.25			6.05		7.70		8.40		
CASE- 8	1.25		1.90			3.15		4.70		5.85		
CASE- 9	2.50		2.65			3.35		4.40		5.35		
CASE-10	2.75		2.85			3.40		4.25		5.20		
CASE-11	1.20		1.95			3.25		4.80		5.85		
CASE-12	2.60		2.75			3.40		4.35		5.35		
CASE-13	2.70		3.00			3.40		4.25		5.20		
CASE-14	2.75		3.00			3.55		4.60		5.40		
CASE-15	2.80		3.05			3.50		4.30		5.30		
CASE-16	2.80		3.05			3.60		4.45		5.50		
CASE-17	2.70		2.90			3.45		4.40		5.30		
CASE-18	1.00		1.10			1.30		1.80		2.60		
CASE-19	2.45		2.50			2.65		2.90		3.10		
CASE-20	2.70		2.75			2.80		3.00		3.15		
CASE-21	2.80		2.82			2.85		3.00		3.20		
CASE-22	2.75		2.80			2.90		3.20		3.25		
CASE-23								2.0		3.5		
CASE-24						2.0		4.5		6.5		
CASE-25						5.0		9.5		12.5		
CASE-26			1.0			3.0		4.5		5.0		
CASE-27			1.5			4.0		5.5		7.0		
CASE-28			3.0			5.5		8.5		9.5		
CASE-29	1.5	1.5	2.0	2.0			3.0					
CASE-30	1.5	1.5	2.0	2.5			3.0					
CASE-31	1.5	2.0	2.5	3.5			4.0					
CASE-32											0	
CASE-33											2.5	
CASE-34									3.5		5.0	
CASE-35							1.0		2.5		3.5	
CASE-36							1.5		3.5		4.0	
CASE-37				1.0			3.5		5.0		6.0	

表 2.2 最大地下水低下深 Δh (つづき)

時間 ケース	5	10	30	60	100	120	240	365	540	720	1100	1800
CASE-38		1.5		1.5			1.7		2.3		3.0	
CASE-39		1.5		1.5			2.0		2.5		3.0	
CASE-40		1.5		1.7			2.5		3.7		4.0	
CASE-41												0
CASE-42												0
CASE-43												0
CASE-44												1.0
CASE-45											1.0	1.5
CASE-46									1.0		2.5	3.0
CASE-48			1.5			1.5			1.5		1.7	2.0
CASE-49			1.5			1.7			2.0		2.0	2.5

図と(h)図, (i)図の比較をすれば, 次のことが分る。ただし, 不飽和浸透特性は, 前掲図 2.2 のように極めて飽和浸透に近いものとした。

まず, 最大地下水低下深は, 飽和-不飽和浸透解析(解析タイプA)の方が大きく, 経時挙動も激しい。

ドレイン排水量については, 中央ドレインもサイドのものも共に解析タイプAの方が小さい。しかし, 経時挙動については激しい。そして, 排水流量のオーダーに関しては一致している。

上記の結果は, 飽和-不飽和解析において, 地下水の一部が不飽和領域に存在することによって飽和水位(地下水面)低下が大となり, 流量も不飽和浸透が生じて小さくなるからであると思われる。

いずれにしても, 解析タイプの別により排水流量のオーダーが変わらないことは注目できる。

以上 2.2 で述べた結果より, 集水ボーリングの施工に伴う地下水低下挙動の概要を把握できるものとするが, それについては後述の結論に整理する。また, 表 2.3 ~ 表 2.4 に計算結果を整理した。

2.3 二次元解析との比較

ここでは, 先に述べた二次元のSchilfgaarde 式ならびに, 二次元 FEM 解析の結果と三次元解析の結果を比較検討し地下水低下計算時の参考としたい。

ここで実施した二次浸透解析は, 表 2.5 にあるように $k = 10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ で上流水位 $H = 20 \text{ m}$ と 40 m , 不透水深 10 m のものと, $k = 10^{-2} \text{ cm/sec}$ かつ $H = 40 \text{ m}$, $h_2 = 30 \text{ m}$ の FEM 解析である。前者は Schilfgaarde 式で計算したもので, 図 2.23 にその結果を示す。それによれば, 平均

表 2.3 中央のドレインの流出量

(a) 一本当りの流出量

(単位は m^3/day)

時間(day) ケース	5	10	30	100	120	365	720	1,100
CASE- 1		3.774	3.624	3.343		3.099	2.221	
CASE- 2		2.564	2.513	2.421		2.332	1.695	
CASE- 3	566.205		503.675		366.684	228.672	17.865	
CASE- 4	502.825		456.130		355.628	252.511	21.053	
CASE- 5	478.160		433.748		338.550	243.574	19.150	
CASE- 6	322.105		298.303		246.852	190.743	19.393	
CASE- 7	307.140		284.435		235.600	183.984	16.927	
CASE- 8	57.988		57.214		54.679	48.958	2.577	
CASE- 9	51.318		50.731		48.823	44.569	9.876	
CASE-10	48.801		48.243		46.428	42.383	7.927	
CASE-11	83.139		82.070		78.540	70.521	1.543	
CASE-12	74.706		73.904		71.278	65.385	8.860	
CASE-13	71.426		70.660		68.150	62.520	6.300	
CASE-14	32.737		32.439		31.467	29.299	6.903	
CASE-15	31.216		30.932		30.004	27.937	5.662	
CASE-16	58.534		58.023		56.333	52.527	8.307	
CASE-17	56.174		55.666		53.989	50.212	6.035	
CASE-18	5.813		5.805		5.777	5.702	5.598	
CASE-19	5.143		5.137		5.115	5.058	4.980	
CASE-20	4.891		4.885		4.864	4.810	4.736	
CASE-21	3.279		3.276		3.265	3.236	3.197	
CASE-22	3.127		3.124		3.113	3.086	3.048	
CASE- 5-1	198.6				140.2	100.1	81.1	
CASE- 5-2	1,024.1				722.1	517.5	422.2	
CASE-10-1	20.1				19.2	17.6	15.7	
CASE-10-2	104.5				99.4	90.6	81.0	
CASE-20-1	2.031				2.020	1.998	1.967	
CASE-20-2	10.5				10.4	10.3	10.1	
CASE-35		57.9				T=540 44.0		38.9
CASE-36		57.8				41.1		35.1
CASE-37		110.4				69.1		51.3

(b) 単位長さ当りの流出量

(m³/day/m)

時間(day) ケース	5	10	30	100	120	365	720	1,000
CASE- 8	1.4497		1.4304		1.3670	1.2240	1.0644	
CASE- 9	1.2830		1.2683		1.2206	1.1142	0.9969	
CASE-10	1.2200		1.2061		1.1607	1.0596	0.9482	
CASE-11	1.6628		1.6414		1.5708	1.4104	1.2309	
CASE-12	1.4941		1.4781		1.4256	1.3077	1.1772	
CASE-13	1.4285		1.4132		1.3630	1.2504	1.1260	
CASE-14	0.8184		0.8110		0.7867	0.7325	0.6726	
CASE-15	0.7804		0.7733		0.7501	0.6984	0.6416	
CASE-16	1.1707		1.1605		1.1267	1.0505	0.9661	
CASE-17	1.1235		1.1133		1.0798	1.0042	0.9207	

表 2.4 サイドのドレンの流出量

(単位はm³/day)

時間(day) ケース	5	10	30	100	120	365	720
CASE- 1		2.938	2.813	2.594		2.403	1.772
CASE- 2		1.929	1.871	1.768		1.678	1.211
CASE- 3	444.036		395.740		291.751	187.975	141.114
CASE- 4	393.360		358.154		282.710	205.771	166.221
CASE- 5	374.347		340.393		268.989	198.424	164.559
CASE- 6	248.771		229.681		190.900	151.109	128.522
CASE- 7	236.896		218.704		181.984	145.800	126.740
CASE- 8	45.476		44.871		42.900	8.492	33.630
CASE- 9	40.187		39.732		38.264	5.023	31.488
CASE-10	38.196		37.764		36.368	3.286	29.932
CASE-11	65.013		64.183		61.452	5.309	48.504
CASE-12	58.347		57.732		55.728	1.276	46.402
CASE-13	55.759		55.172		53.257	9.005	44.361
CASE-14	25.314		25.066		24.271	2.551	20.722
CASE-15	24.106		23.869		23.112	1.474	19.736
CASE-16	45.722		45.313		43.983	1.048	37.869
CASE-17	43.845		43.445		42.138	9.256	36.140
CASE-18	4.559		4.553		4.530	4.472	4.391
CASE-19	4.027		4.022		4.006	3.962	3.902
CASE-20	3.828		3.823		3.807	3.765	3.708
CASE-21	2.536		2.533		2.524	2.500	2.468
CASE-22	2.415		2.413		2.404	2.381	2.350

表 2.5 二次元浸透解析計算ケース

ケースNo	透水係数	排水孔数	配 置	孔 長	H 上流水位	h_2 不透水面深	解析・ タイプ
2D-1	10^{-2}	複 数 間隔 10m	平 行	—	20 m	10m	B-1
2	"	"	"	—	40	"	"
3	10^{-3}	"	"	—	20	"	"
4	"	"	"	—	40	"	"
5	10^{-4}	"	"	—	20	"	"
6	"	"	"	—	40	"	"
2D-7	10^{-2}	3	"	—	40	30	B-2
8	"	5	"	—	40	"	"

• A : 飽和—不飽和解析, B : 飽和解析 (B-1, Schilfgaarde 式, B-2 FEM)

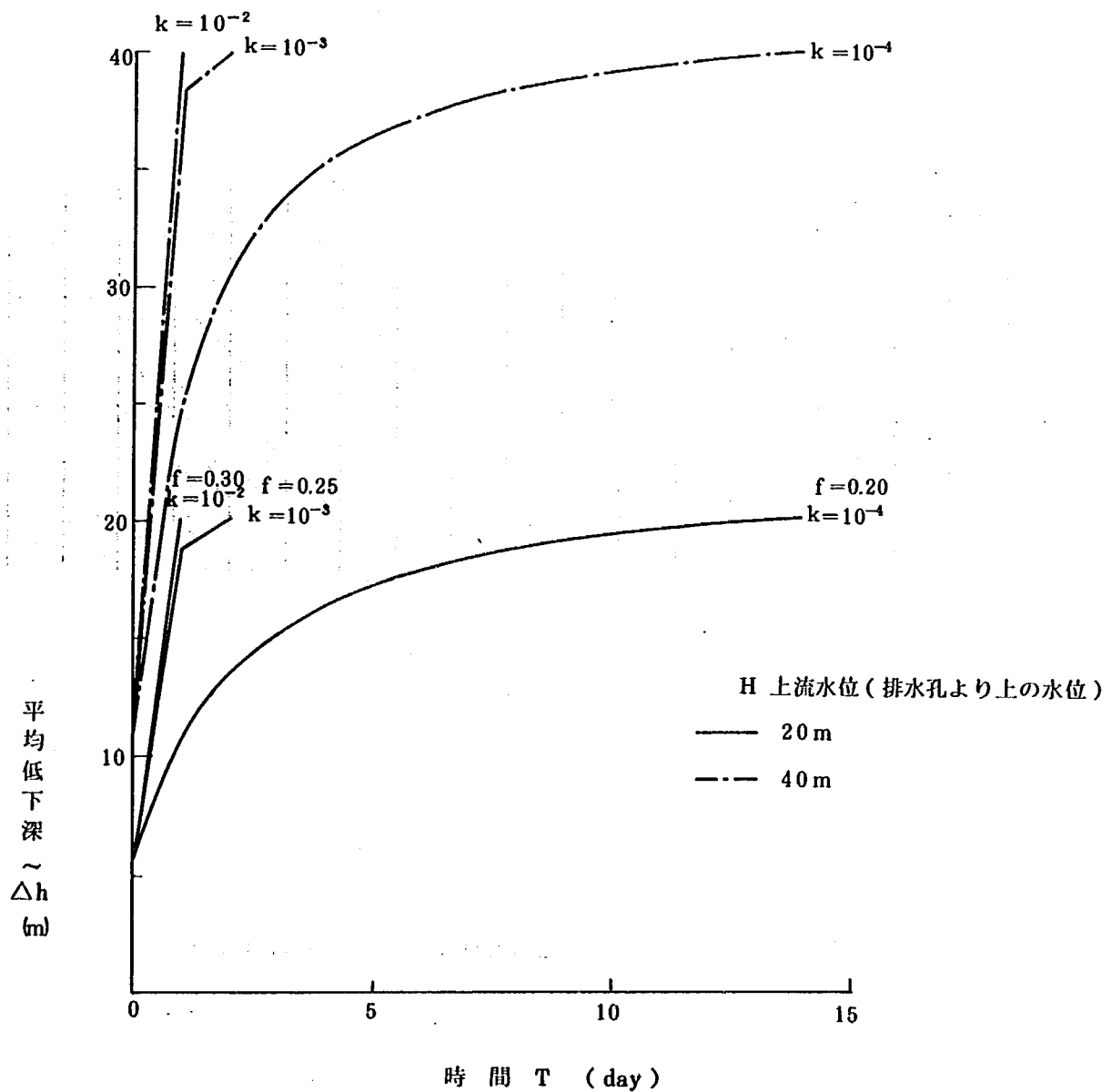


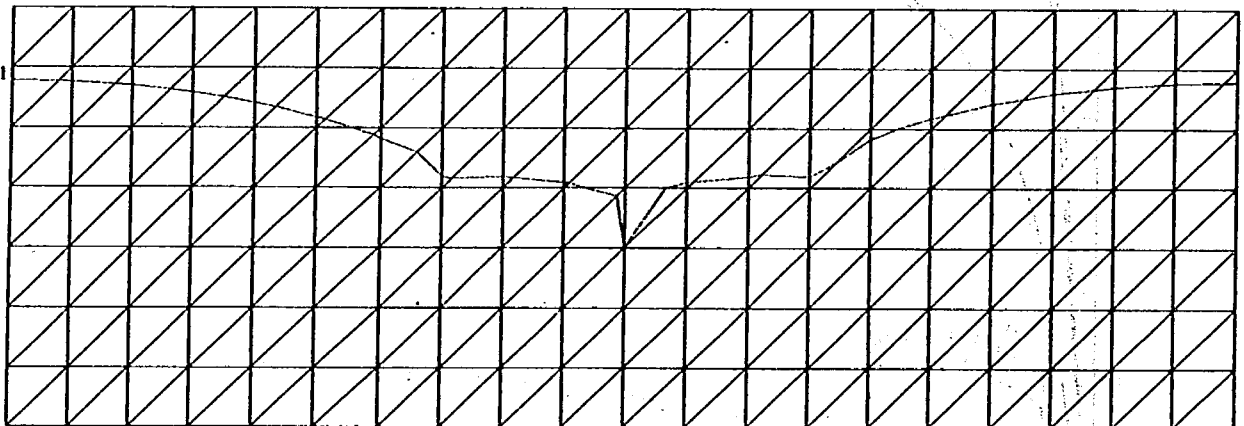
図 2.23 地下水低下深と時間の関係 (二次元Schilfgaarde 式による計算)

低下深（この計算では最大低下深は経過時間 0 より H に等しいので、この平均深 Δh を三次元 FEM 解析の最大地下水低下深 Δh に対応させる。）は、三次元に比較して極めて短時間に増大して、最大 15 日以内に排水孔の高さに地下水面が達することになる。このことは、前述したように、斜面上流等の外部からの地下水流入が考慮できない為である。

同様なことは、FEM 二次元飽和解析（横断方向へ二次元、図 2.24～2.25）にも認められる。従って、定量的な比較は、ほとんど意味をもたないので定性的な比較をこれら二次元 FEM と三次元 FEM の間に行うこととする。

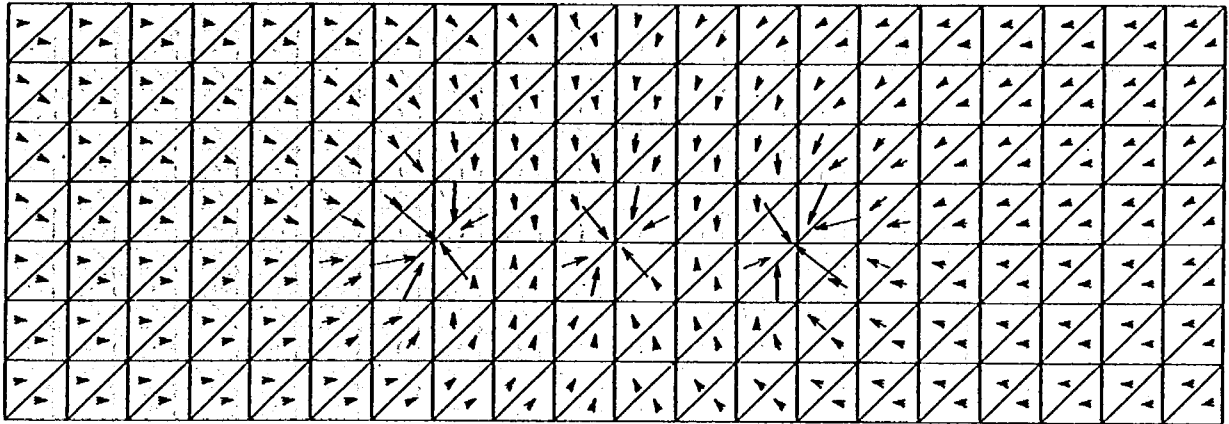
図 2.17 (c)，図 2.18 (c) と図 2.24，図 2.25 を比較すれば三次元解析の水面が、二次元解析のものより滑らかで、動水勾配もゆるく思われる。ただし、FEM 要素の分割方法ならびに拘束水位位置が異なるので注意を要するであろう。

いずれにしても三次元解析と二次元解析の比較においては、水面形状にもその経時挙動にも類似点は少なく、三次元解析の有用さが証明できたと思われる。



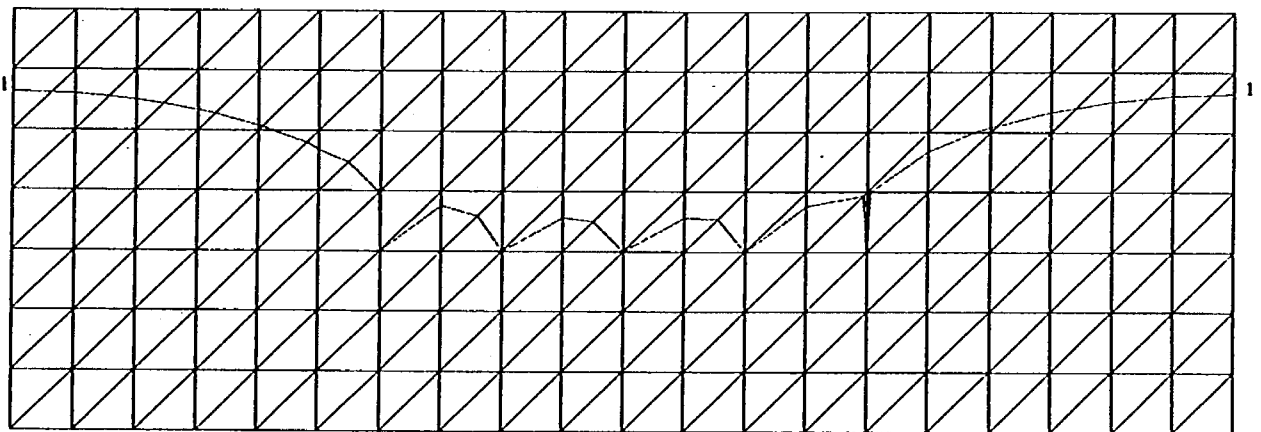
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.76E1

図 2.24 時間 $T = 30$ ，二次元 FEM 浸透結果（孔数 3 本）



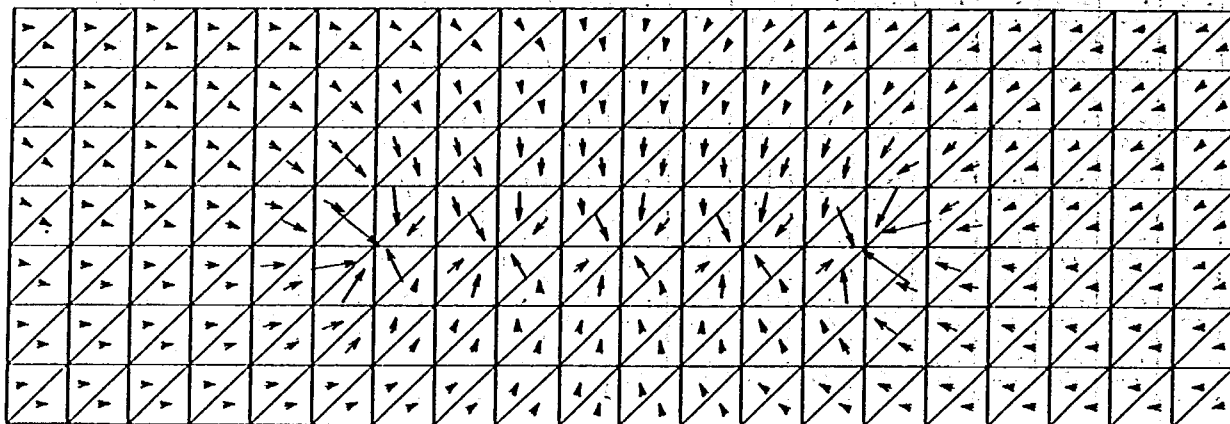
STEP NO. 2
 SEEPAGE
 TIME 3.00E1
 MAX. FLOW 1.43E1

図 2. 24 時間 $T = 30$, 流速ベクトル図



STEP NO. 2
 SEEPAGE
 TIME 3.00E1
 MAX. HEAD 5.59E1

図 2. 25 時間 $T = 30$, 二次元FEM 浸透結果 (孔数 5 本)



STEP NO. 2
 SEEPAGE
 TIME 3.00E1
 MAX. FLOW 1.33E1

図 2. 25 時間 $T = 30$, 流速ベクトル図

3. 結 論

ここで、地下水浸透解析を行なった目的は集水ボーリング工すなわち排水ドレインの配置設計に関する概略的指針を得ることにあったわけであるが、本章では、それらをまとめる試みをした。

まず、地下水集水ボーリングの効果を評価するに際し最も重要なのは地下水位低下の程度であるので、それらについて述べる。

- (1) 地下水低下の範囲はドレインの本数が多い程大となるが、その効果は当然ドレインの及ぶ範囲に限られる。
- (2) 最大地下水低下深も本数の多い方が大きくなる。
- (3) 透水係数の大きなものは最大低下深も大きくなる。
- (4) 扇型配置と平行型配置によって最大低下深は変わらない。
- (5) 孔長による最大低下深の差は見られない。
- (6) 排水ドレイン上の水位 H によって最大低下深は次のようとなる。
 - $k = 10^{-2}$ および 10^{-3} cm/sec の場合…… H が高い程、最大低下深 Δh 大。
 - $k = 10^{-4}$ cm/sec の場合…… H が高い程、最大低下深 Δh 小。
- (7) 不透水面深 h_2 による差は、 Δh に影響しない。

次に、排水ドレイン1本当りの排水流量も重要であるので、それらについて整理する。

- (8) ドレイン数 N が大となれば排水量も増すが $N=1$ と 3 では目立った差はない。ただし、 $N=5$ では、排水量も増加するが、動水勾配も増すので浸透破壊や、間隙水圧バランスの崩れによる地すべり土塊の部分的な滑動発生に注意を要する可能性がある。
- (9) 透水係数によって、大旨次のようなオーダで変化が見られる。2.2.1より、排水流量は、ドレイン1本の単位長さ当り
 - $k = 10^{-2}$ cm/sec で 約 10^3 m³/day・m
 - $k = 10^{-3}$ cm/sec で 10^0 m³/day・m
 - $k = 10^{-4}$ cm/sec で 10^{-1} m³/day・m
- (10) 配置により流出流量はオーダ的に変わらない。
- (11) 孔長により流量は変化するが、単位長さ当りの流量は同じである。
- (12) 排水ドレイン上の水位 H が大きくなると排水流量は大きくなるが、オーダ的に(9)の単位長さ当り流量が成立する。
- (13) 不透水面深 h_2 によって流量の差は認められない。

さらに、これらを総括して次の様な指針が考えられる。

- (a) 排水ドレインの配置は扇型あるいは平行型のいずれでも良いので、施工性や地形によりどちらかを選ぶ。
- (b) ドレインの配置本数や配置密度は、上述(9)を参考に透水係数および孔長と計画排水量により

決定するか、または、透水係数と孔長および地下水位より以下の様に決める。

○ 計画排水量より決める場合

(9)より透水係数 k 別の単位排水流量を計算し、それに孔長を乗じ、計画排水量と合うように本数を決める。

○ 地下水位より決める場合

(9)の値を参考に、 $k = 10^{-2} \text{ cm/s}$ と 10^{-3} cm/s の場合は水位の高いものほど本数は少なめとし、 $k = 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 以下の時は、水位の高いものほど本数を増すようにする。

これらの指針案は、あくまで定性的かつ概略的なものであり、本文に出て来る数字はすべてオーダー的に成立するものと考えるべきである。従って、ここで述べた結果を現場に適用する際には十分な考察が必要となる。

また、巻末資料に、各ケースの最大浸透流速表と代表的な計算ケースの解析結果図を付すので参考とされたい。

4. あ と が き

地すべり対策は多くの場合が地下水対策であり、集水ボーリング工は、その意味で地すべり対策工上重要な位置を占めている。しかし、その施工頻度に反してその配置設計の指針等は確立していないのが現在の段階である。従って、この資料では、ひとつの試みとして集水ボーリング孔の配置指針を目標として、個々の現場よりむしろ総括的な目で考える為に数値解析を駆使してモデル解析を実行した。その結果は本文中に詳述したが、普遍的に適用し得る特性を結論として整理した。本文で用いたモデル斜面は、個々の地すべり斜面とは、およそかけ離れたものかも知れないけれども、ここでは、どの現場にでも言える事実のみを検討した。従って、個別の現場に当てはめる際にはやはり現場に合致するよう経験的にアレンジせねばならない。この点が、この解析の大きな短所とも言えるし、逆に柔軟性といった点で長所とも考えられる。

参 考 文 献

- 1) Jan. Von Schilfgaard ; Design of tile drainage for falling water tables, Proc. ASCE , IR 2, 1963.
- 2) 長堀金造, 高橋強, 天谷孝夫 ; 非定常状態における暗キヨの排水特性, 農業土木学会論文集 第60号, pp 1~6, 1975.
- 3) Dirk E.L. Maasland ; Falling water table between tile drains , Proc. ASCE, IR 2, 1967.
- 4) William T. Moody ; Nonlinear differential equation of drain spacing, Proc. ASCE, IR 2 1966, pp 1~9
- 5) S. Toksöz and D. Kirkham ; Steady drainage of layered soils : I, Theory, Proc. ASCE, IR 1 1971, pp 1~18.
- 6) 赤井浩一, 大西有三, 西垣誠 ; 有限要素法による飽和 - 不飽和浸透流の解析, 土木学会論文報告集, 第264号, 1977年 pp 87~96.
- 7) 山上拓男, 田内裕人 ; 三次元飽和不飽和浸透解析手法に基づく集水ボーリングの効果の検討, 第39回 土木学会 年次学術講演会講演概要集 (第3部) 1984 (昭和59年), pp 697~698.
- 8) 中村浩之, 久保田哲也 ; 排水ボーリングによる地下水低下の一解析法について, 第24回 地すべり学会研究発表概要集, 1985, pp 106~107.

卷 末 資 料

1. 各解析ケース毎の最大浸透流速 (cm/day) 表
2. 代表的解析結果図一覧

球 質 未 滿

度 (yib) (no) 最 高 數 量 大 小 (D) 每 日 一 次 用 藥 谷

質 一 圖 景 部 落 難 以 分 式

巻末資料 1 各解析ケース毎の最大浸透流速 (単位 cm/day)

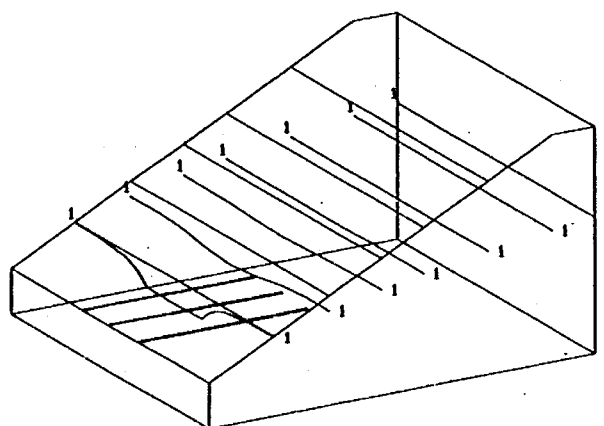
ケース \ 時間(日)	5	10	30	60	100	120	240	365	540	720	1100	1800
CASE - 1		9.58	9.56		9.50			9.26		7.99		
CASE - 2		9.52	9.50		9.44			9.20		7.75		
CASE - 3	1200.0		1110.0			912.0		805.0		743.0		
CASE - 4	1110.0		1020.0			847.0		774.0		725.0		
CASE - 5	1070.0		988.0			820.0		758.0		713.0		
CASE - 6	1100.0		1020.0			852.0		761.0		717.0		
CASE - 7	1060.0		985.0			825.0		745.0		704.0		
CASE - 8	122.0		121.0			117.0		109.0		99.5		
CASE - 9	113.0		111.0			108.0		100.0		92.1		
CASE - 10	109.0		108.0			104.0		97.0		89.1		
CASE - 11	146.0		145.0			140.0		130.0		119.0		
CASE - 12	137.0		136.0			132.0		122.0		112.0		
CASE - 13	134.0		132.0			128.0		119.0		109.0		
CASE - 14	112.0		111.0			108.0		100.0		92.3		
CASE - 15	108.0		107.0			104.0		96.8		89.3		
CASE - 16	137.0		135.0			131.0		123.0		113.0		
CASE - 17	133.0		132.0			128.0		119.0		109.0		
CASE - 18	12.2		12.2			12.2		2.1		1.9		
CASE - 19	11.3		11.3			11.2		1.1		1.0		
CASE - 20	10.9		10.9			10.8		0.7		0.6		
CASE - 21	11.2		11.2			11.2		1.1		0.9		
CASE - 22	10.8		10.8			10.8		0.7		0.6		
CASE - 23	1753.0		1600.0			1410.0		1270.0		1770.0		
CASE - 24	2210.0		2010.0			1710.0		1440.0		1260.0		
CASE - 25	2740.0		2310.0			1690.0		1350.0		1190.0		

ケース \ 時間(日)	5	10	30	60	100	120	240	365	540	720	1100	1800
CASE - 26	1130.0		1030.0			913.0		820.0		759.0		
CASE - 27	1420.0		1300.0			1100.0		933.0		818.0		
CASE - 28	1770.0		1490.0			1090.0		874.0		778.0		
CASE - 29	515.0	503.0	470.0	442.0			389.0					
CASE - 30	641.0	627.0	585.0	544.0								
CASE - 31	803.0	772.0	677.0	587.0			431.0					
CASE - 32		179.0		173.0			160.0		149.0		139.0	
CASE - 33		225.0		219.0			202.0		185.0		168.0	
CASE - 34		283.0		269.0			232.0		197.0		164.0	
CASE - 35		116.0		112.0			104.0		6.5		90.3	
CASE - 36		145.0		141.0			130.0		119.0		109.0	
CASE - 37		183.0		174.0			150.0		127.0		106.0	
CASE - 38		52.6		51.0			47.2		43.9		41.1	
CASE - 39		65.3		63.5			58.7		53.9		49.0	
CASE - 40		83.0		78.9			68.2		57.7		48.3	
CASE - 41			18.0			17.8			17.2		16.7	16.1
CASE - 42			22.6			22.4			21.8		21.0	20.3
CASE - 43			28.5			28.2			26.7		25.1	23.4
CASE - 44			11.6			11.5			11.2		10.8	10.4
CASE - 45			14.6			14.5			14.0		13.6	13.1
CASE - 46			18.4			18.2			17.3		16.2	15.2
CASE - 47			5.28			5.24			5.07		4.90	4.73
CASE - 48			6.55			6.51			6.32		6.11	5.90
CASE - 49			8.35			8.25			7.83		7.36	6.88

巻末資料 2 代表的解析結果図一覧 (透水係数 $k = 10^{-3} \text{ cm/s}$, 本数 $N = 3$ 本)

凡 例

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10⁻³ H1=30.0 H2=10.0 N=3
ケース番号 透水係数 上流水位 下流水位 排水孔数
(cm/sec) (m) (m) (本)

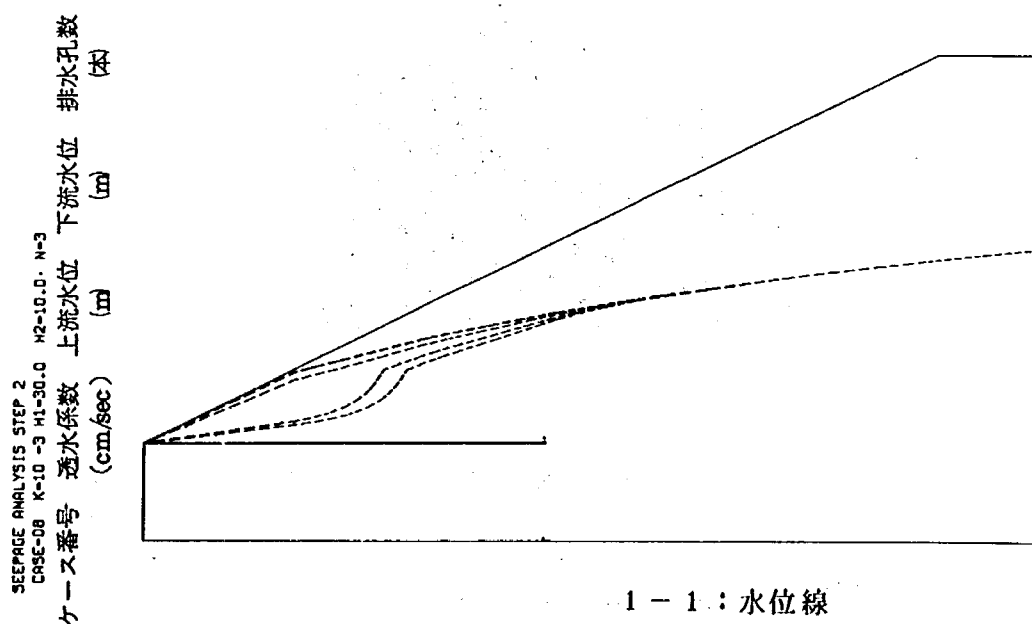


1-1: 水位線

STEP NO. 2
SEEPAGE
経過時間 TIME 7.20E2 (day)
最大水位 MAX. HEAD 3.00E3 (cm)
E 2 = $\times 10^2$
E 3 = $\times 10^3$

(a) 鳥 かん 図

00'00S / 1 (Z) 00'00S / 1 (Y) 00'00S / 1 (X) : 3703S *M03D

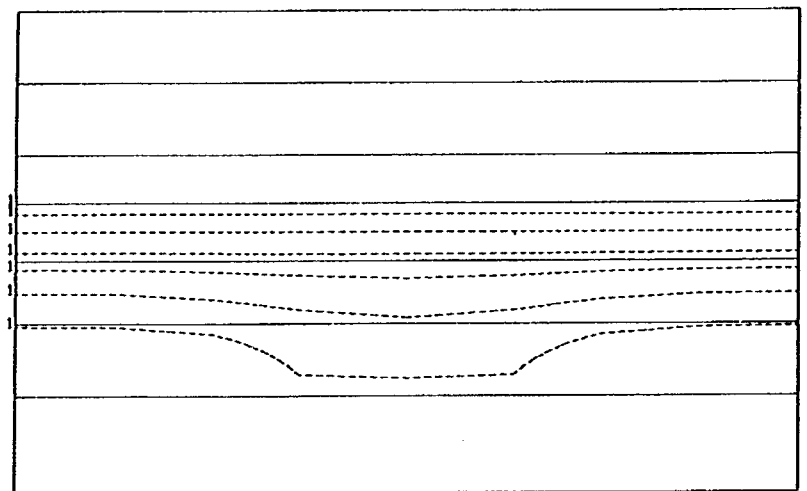


1-1: 水位線

(b) 縦 断 図

STEP NO. 2
SEEPAGE
経過時間 TIME 7.20E2 (day)
最大水位 MAX. HEAD 3.00E3 (cm/day)

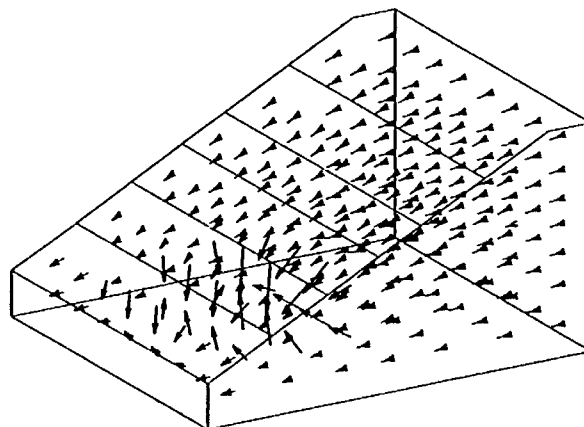
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3
ケース番号 透水係数 上流水位 下流水位 排水孔数
(cm/sec) (m) (m) (本)



1 - 1 : 水位線

STEP NO. 2
SEEPAGE
経過時間 TIME 7.20E2 (day)
最大水位 MAX. HEAD 3.00E3 (cm) (c) 横断図

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3
ケース番号 透水係数 上流水位 下流水位 排水孔数
(cm/sec) (m) (m) (本)



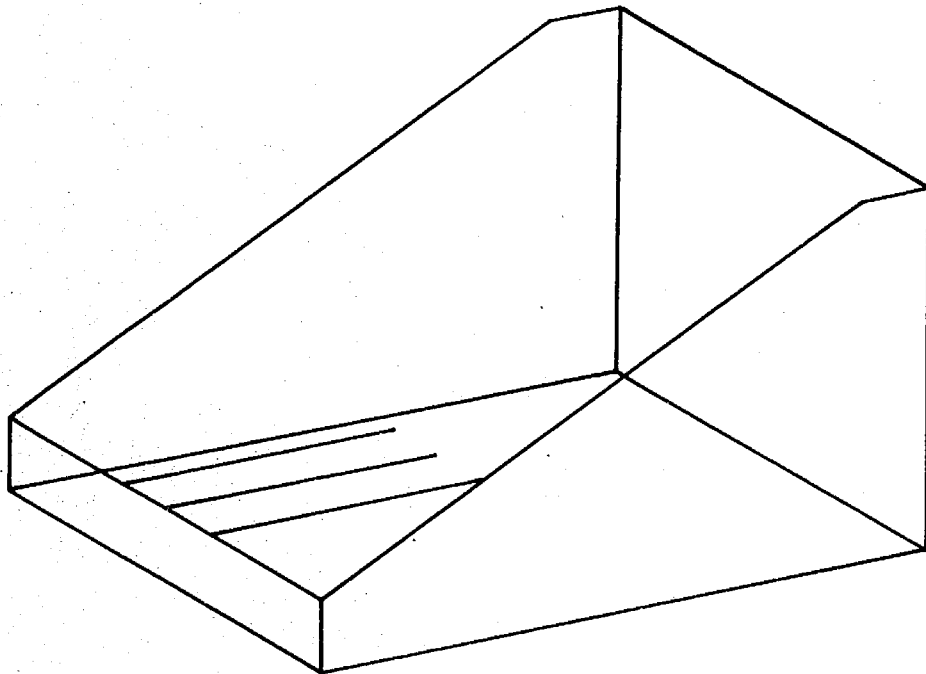
← 流速ベクトル

STEP NO. 2
SEEPAGE
経過時間 TIME 1.20E2 (day)
最大水位 MAX. FLOW 1.17E2 (cm) (d) 流速ベクトル図

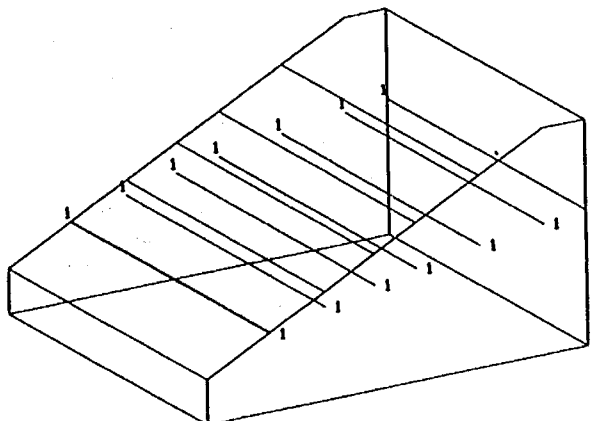
FLOW SCALE : 2.34E2

CASE 8 ($k=10^{-3}$, $H_1=30.0$, $H_2=10.0$, $N=3$, 排水孔長 40 m)

CASE - 8 のモデル図

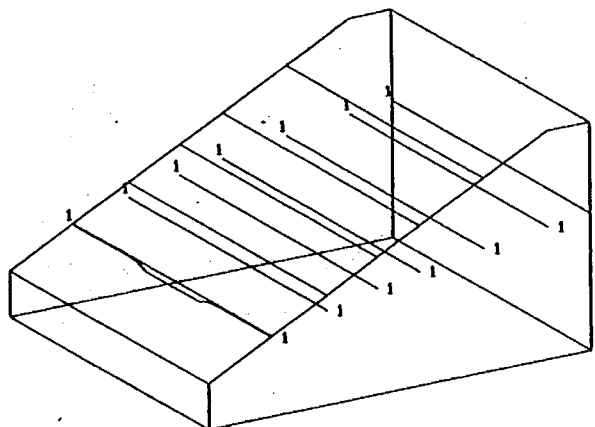


SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



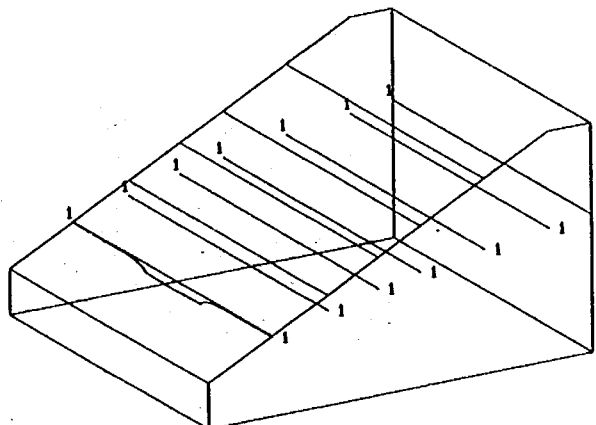
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



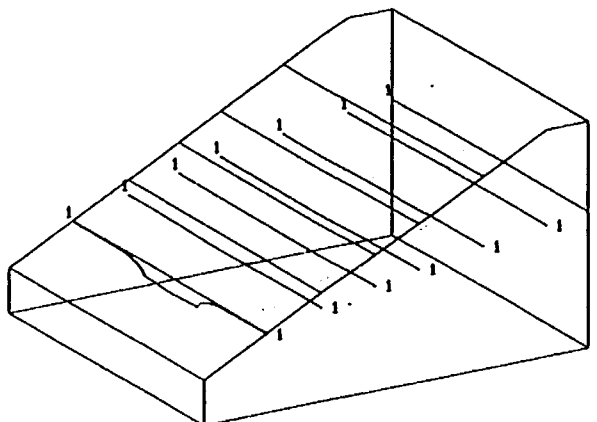
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



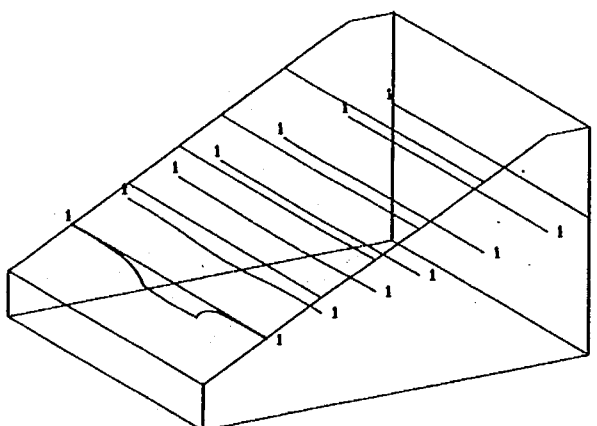
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



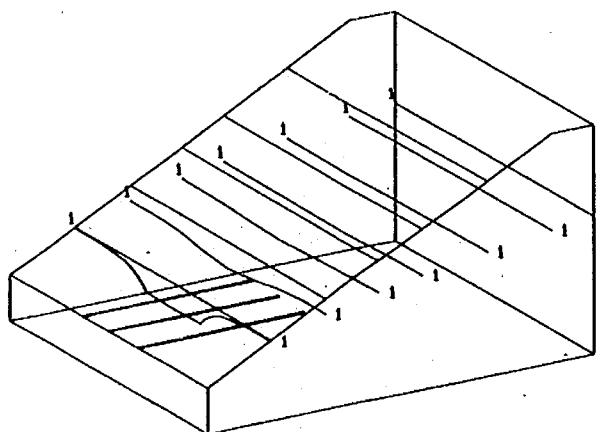
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



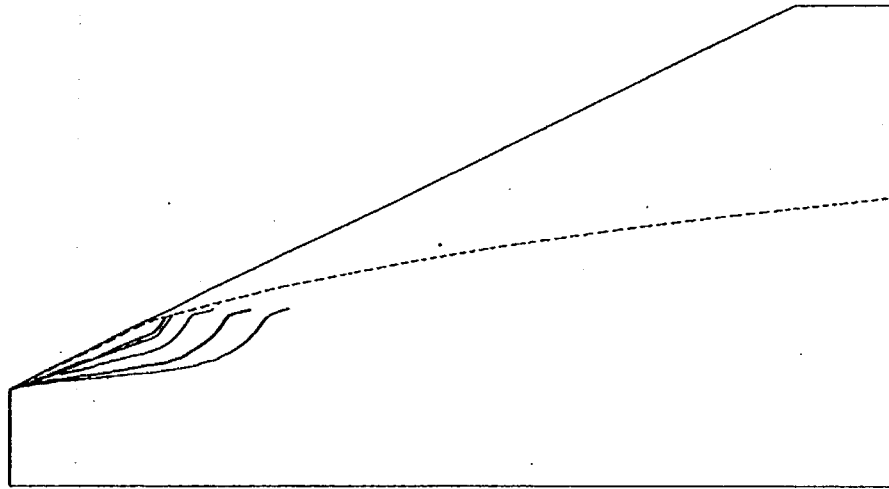
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



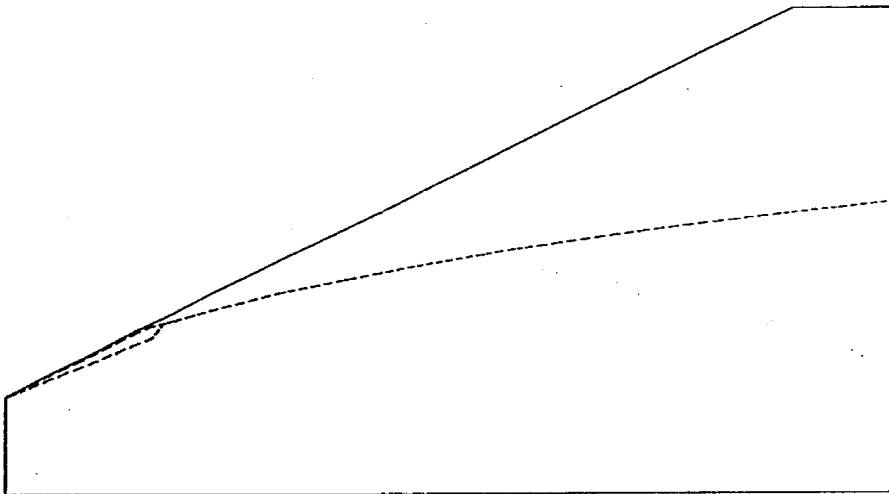
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



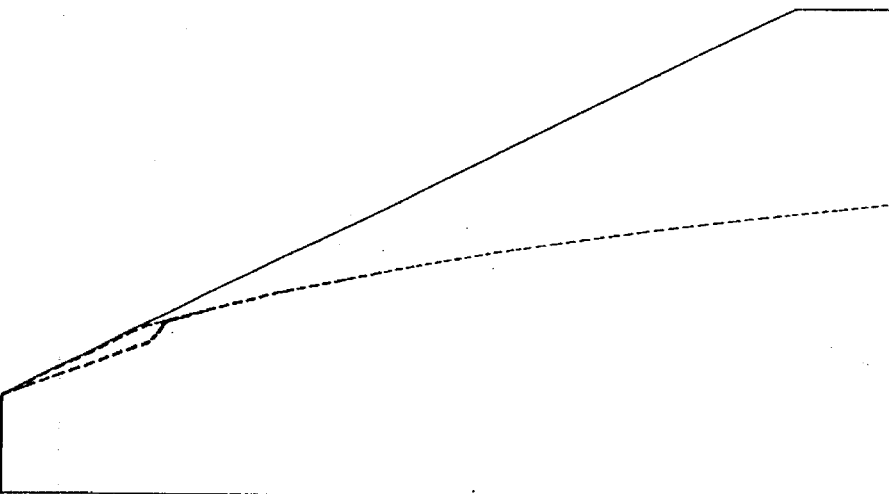
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



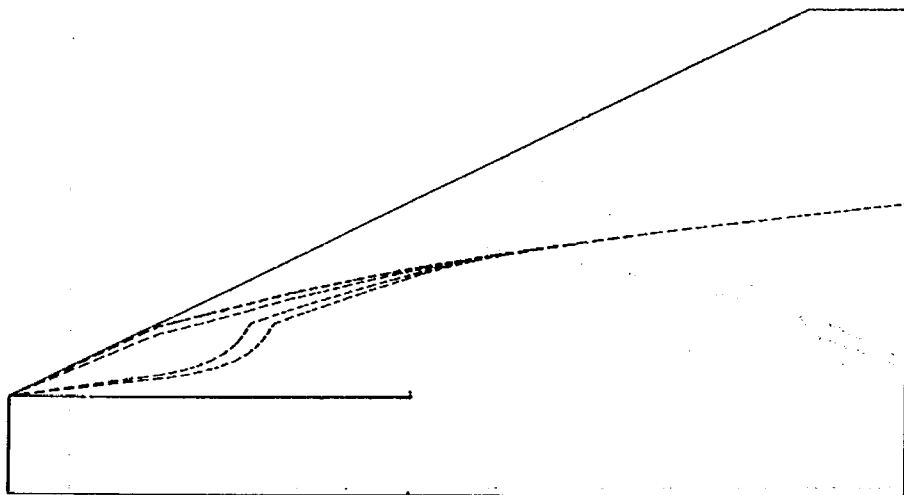
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



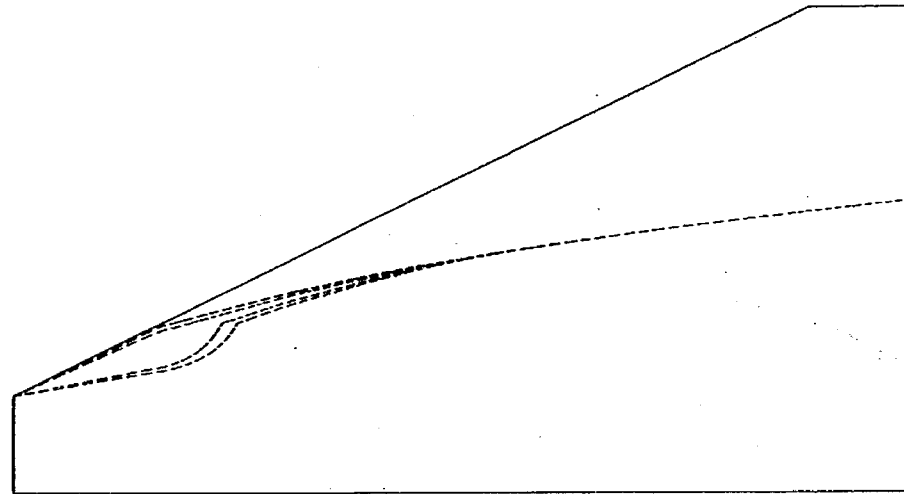
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



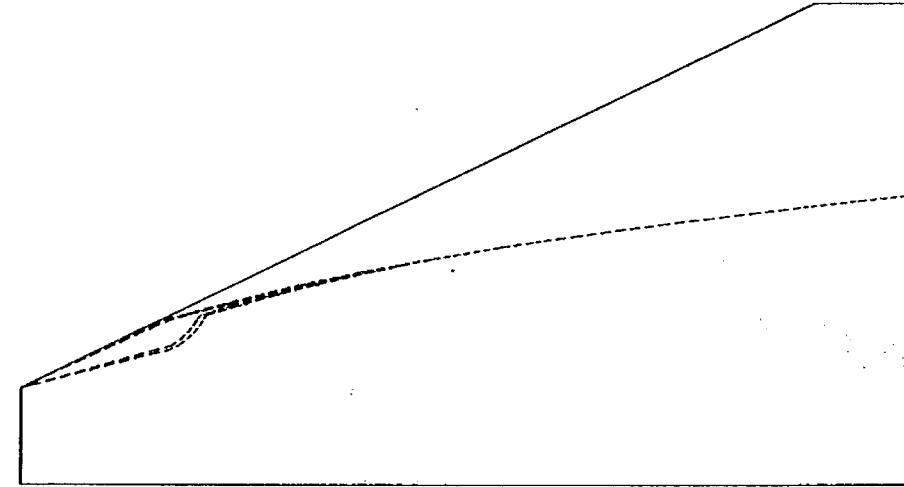
STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 7.20E3
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 3.65E3
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



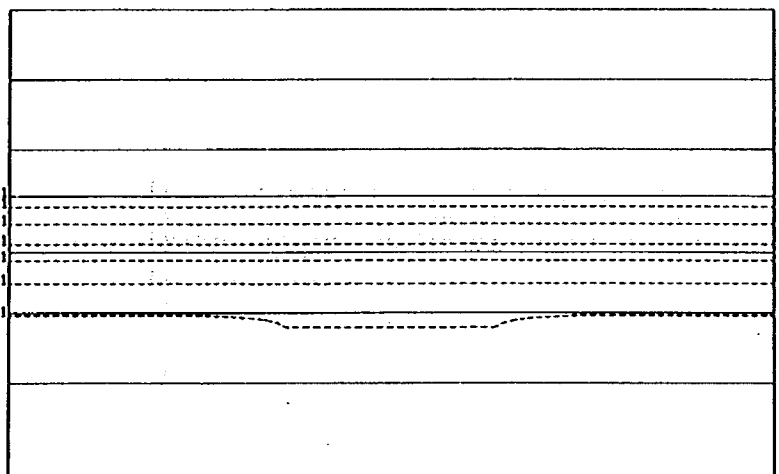
STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 1.20E3
MAX. HEAD 3.00E3

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

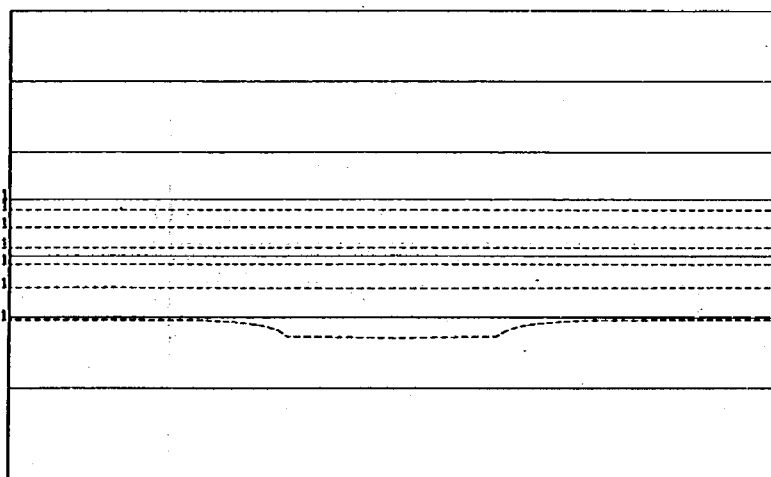
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE SCALE 1 (X) 1 / 100.00 (Y) 1 / 100.00 (Z) 1 / 100.00

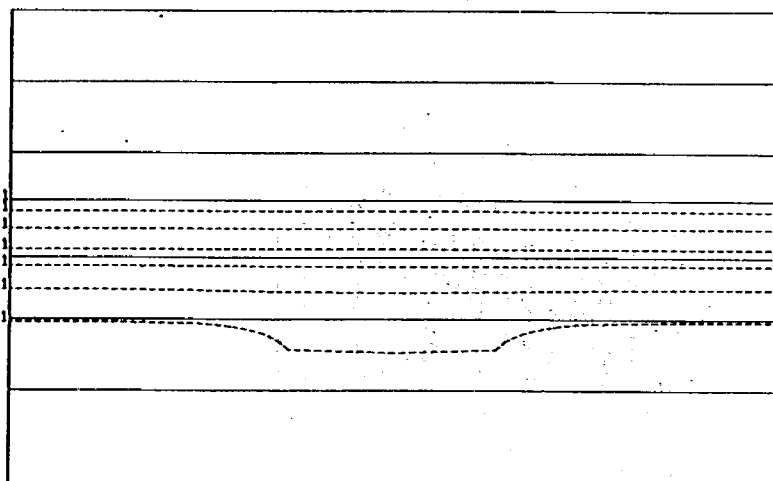
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE SCALE 1 (X) 1 / 100.00 (Y) 1 / 100.00 (Z) 1 / 100.00

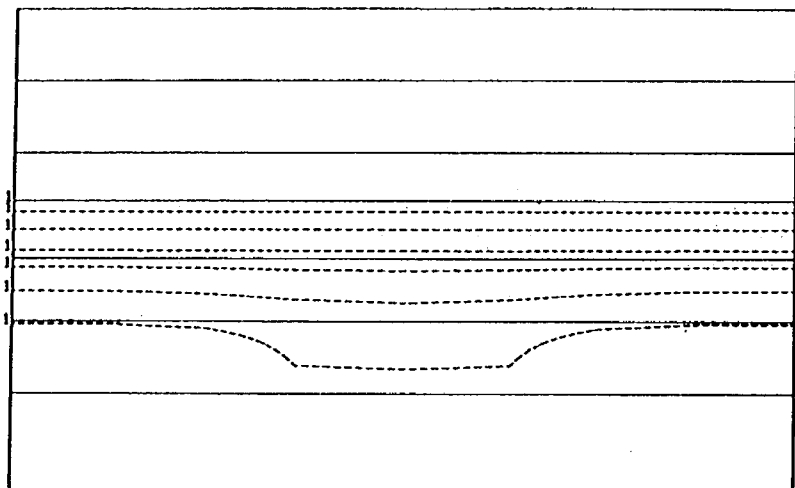
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE SCALE 1 (X) 1 / 100.00 (Y) 1 / 100.00 (Z) 1 / 100.00

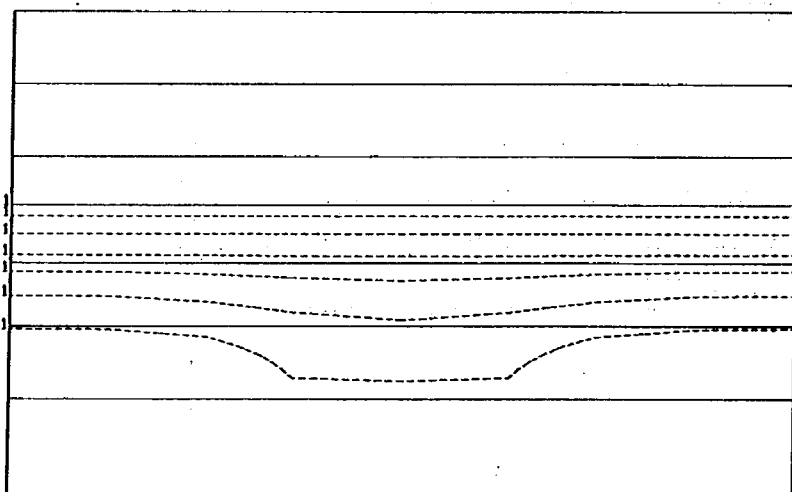
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 3.00E3

SCALE: 1 (X) 1 / (Y) 1 / (Z) 1 / (W) 1

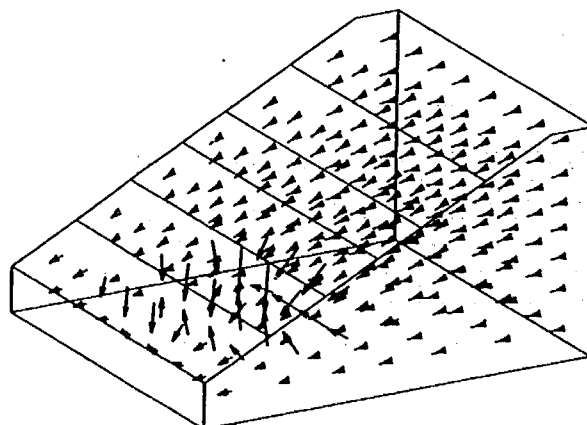
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 3.00E3

SCALE: 1 (X) 1 / (Y) 1 / (Z) 1 / (W) 1

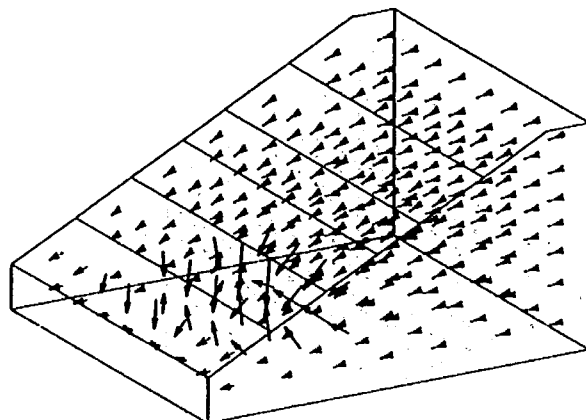
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. FLOW 1.22E2

SCALE: 2.44E2

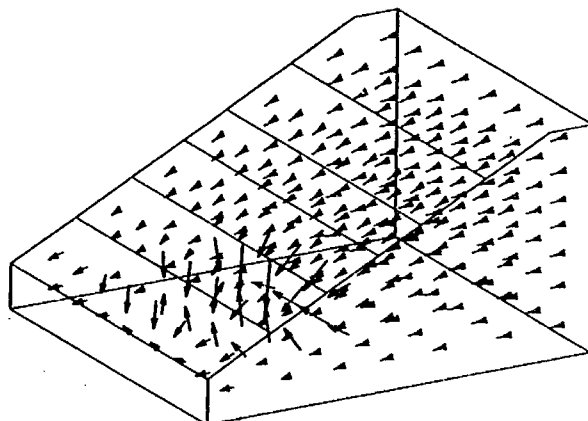
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. FLOW 1.21E2

FLOW SCALE : 2.45E2

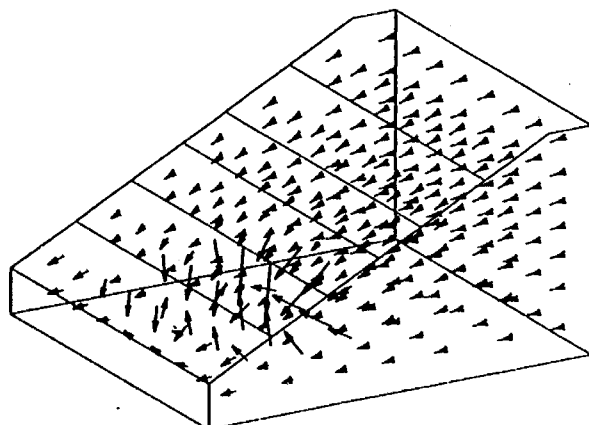
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. FLOW 1.17E2

FLOW SCALE : 2.34E2

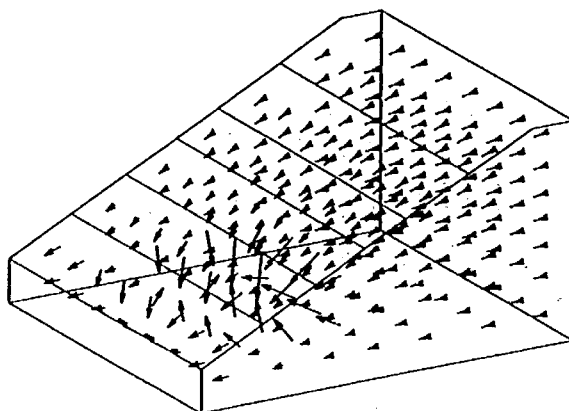
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. FLOW 1.09E2

FLOW SCALE : 2.17E2

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-08 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3

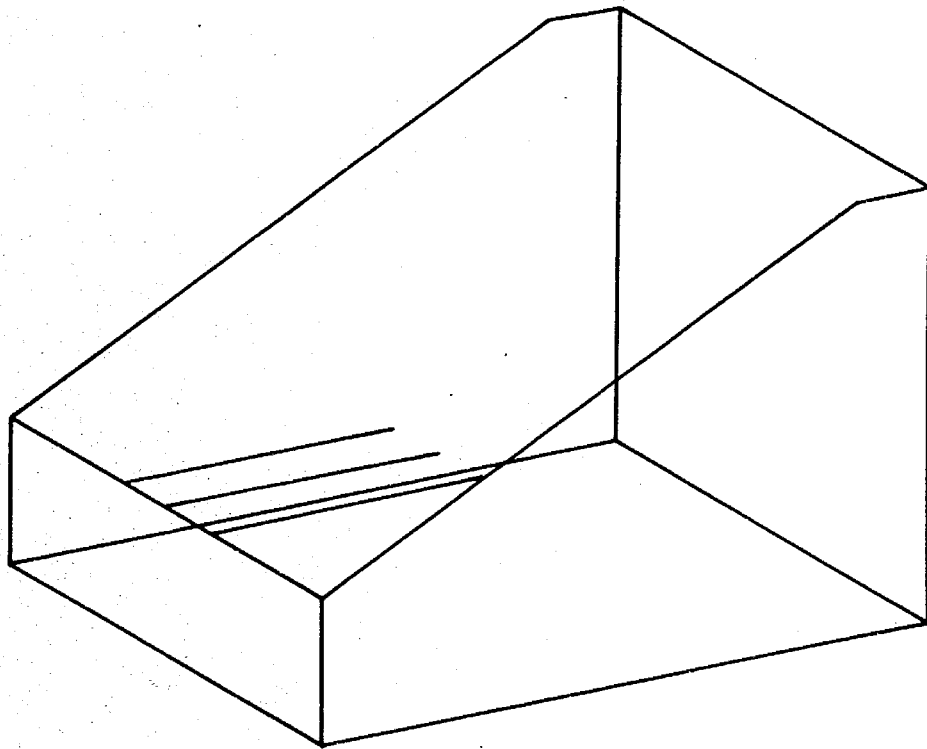


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. FLOW 9.95E1

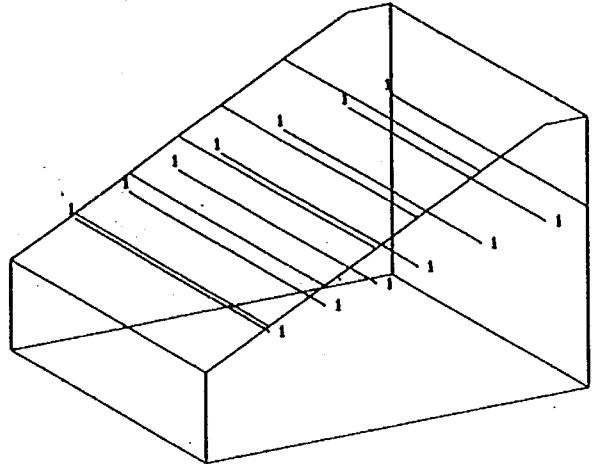
FLOW SCALE: 1.99E2

CASE 9 ($k=10^{-3}$, $H_1=40.0$, $H_2=20.0$, $N=3$, 孔長 40 m)

CASE - 9 のモデル図

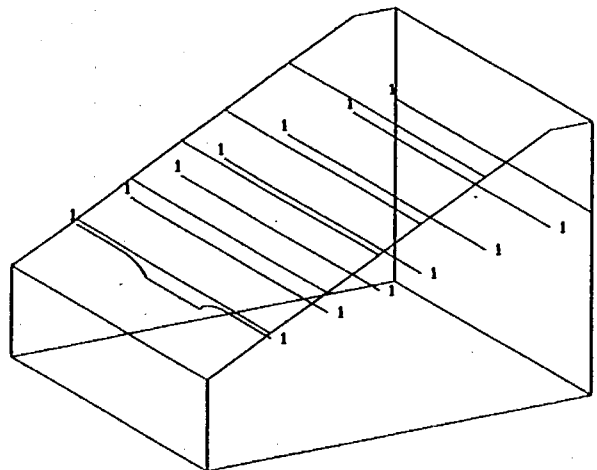


SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



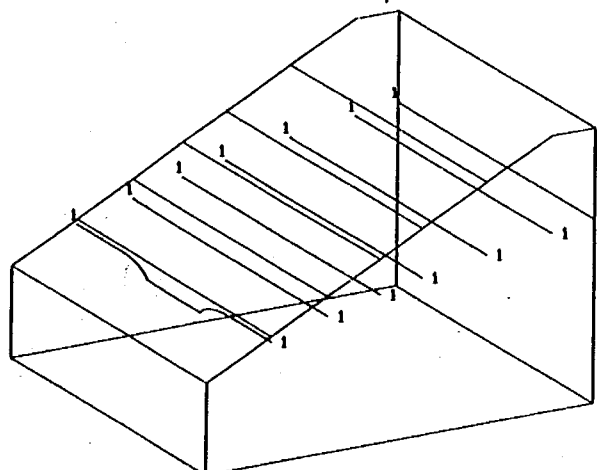
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



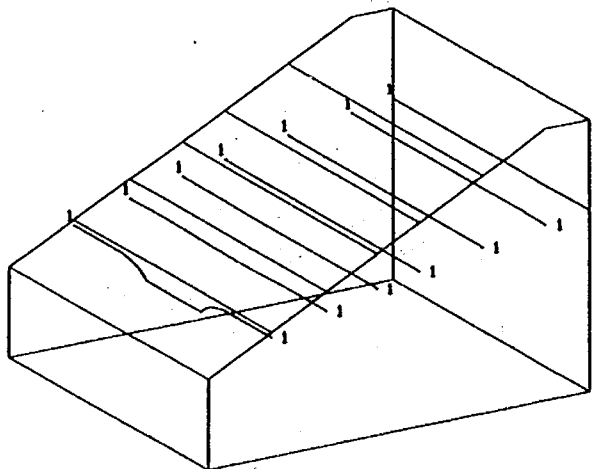
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



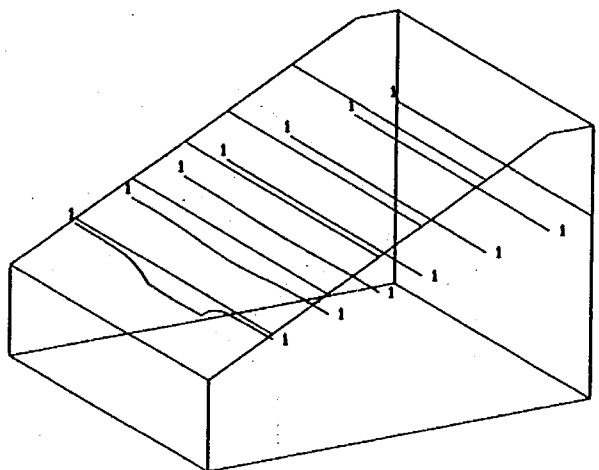
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



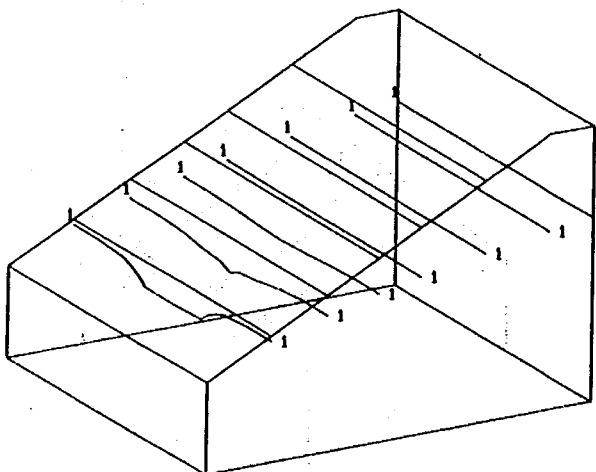
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



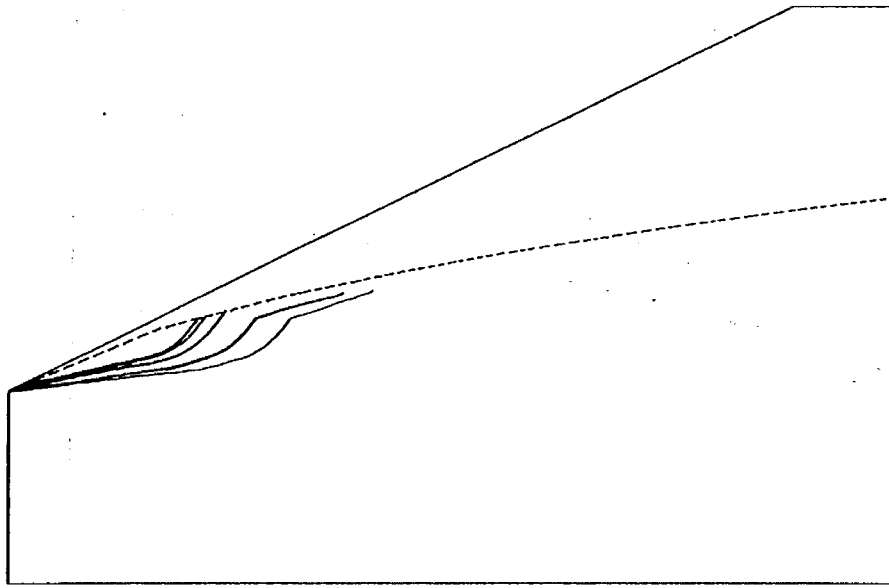
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



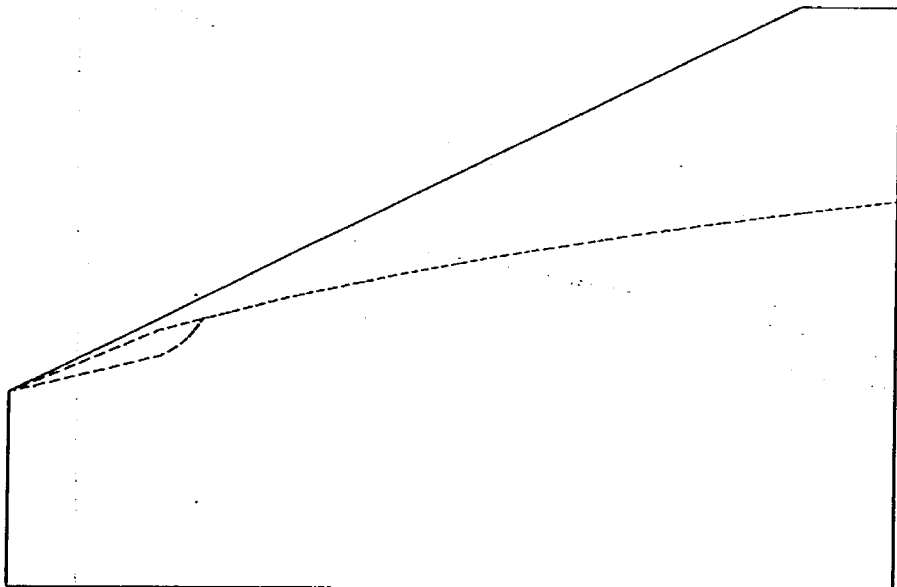
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



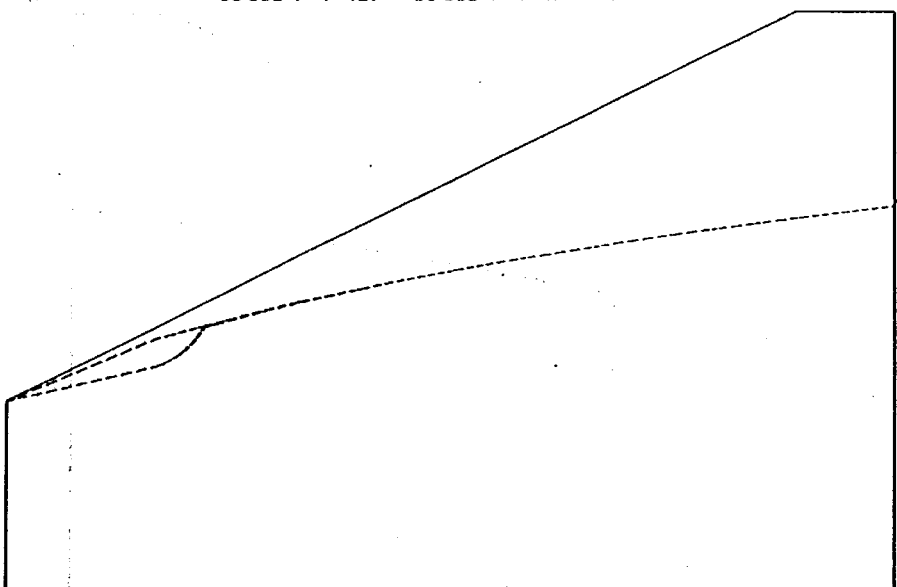
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



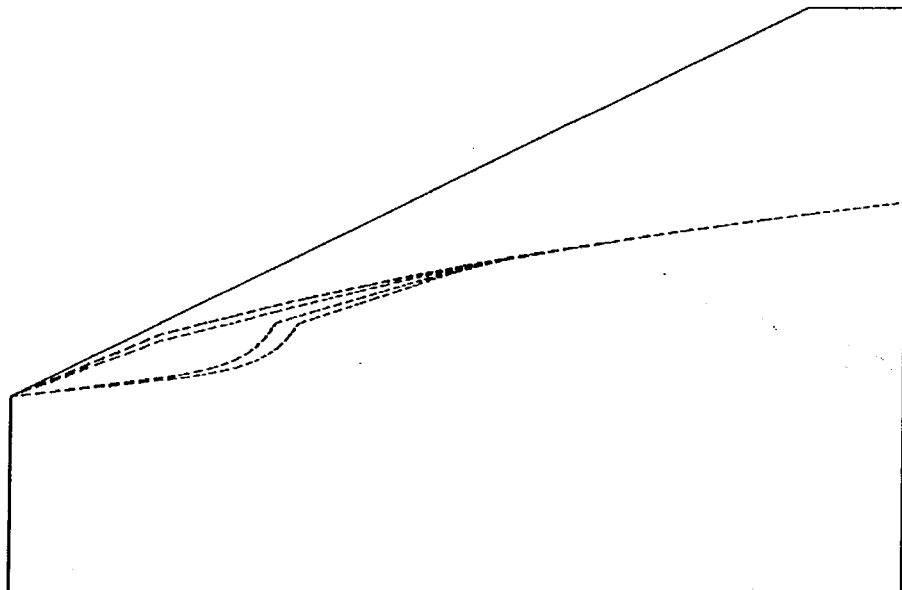
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



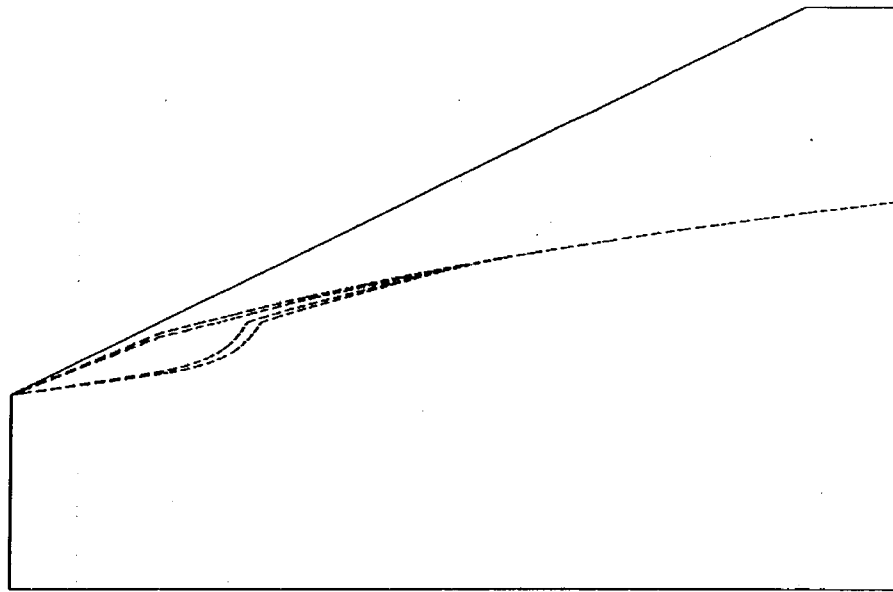
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



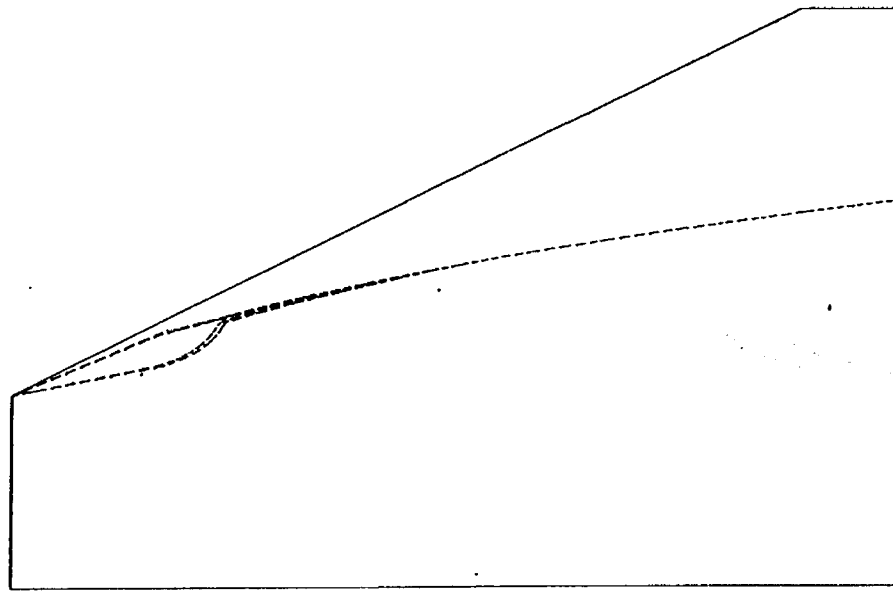
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



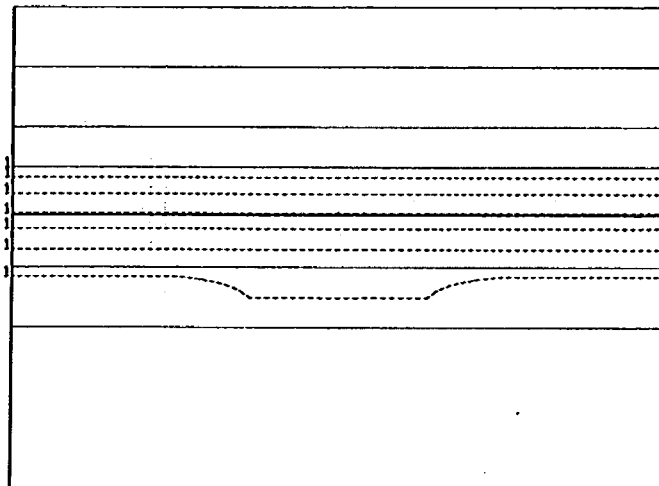
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

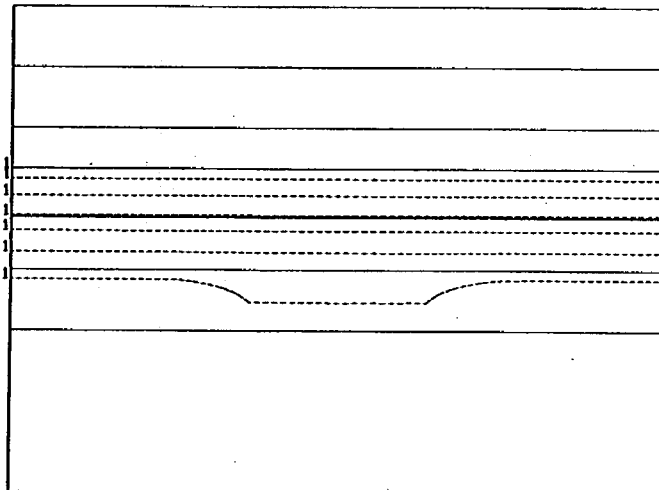
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



SEEP. SCALE: 1 (0.1 / 0.0) (0.1 / 0.0) (0.1 / 0.0)

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 4.00E3

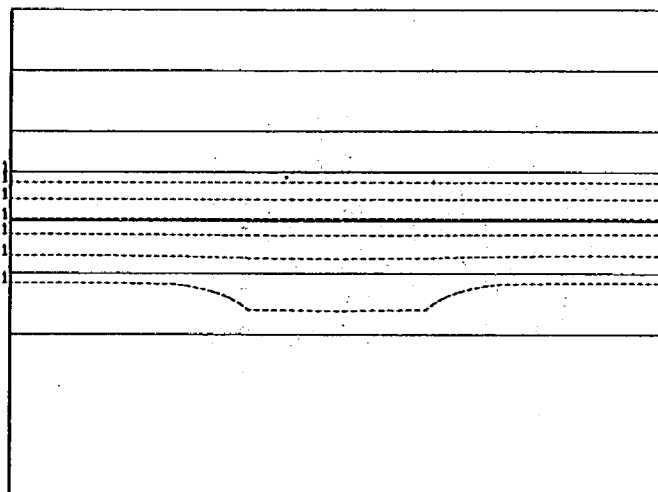
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



SEEP. SCALE: 1 (0.1 / 0.0) (0.1 / 0.0) (0.1 / 0.0)

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 4.00E3

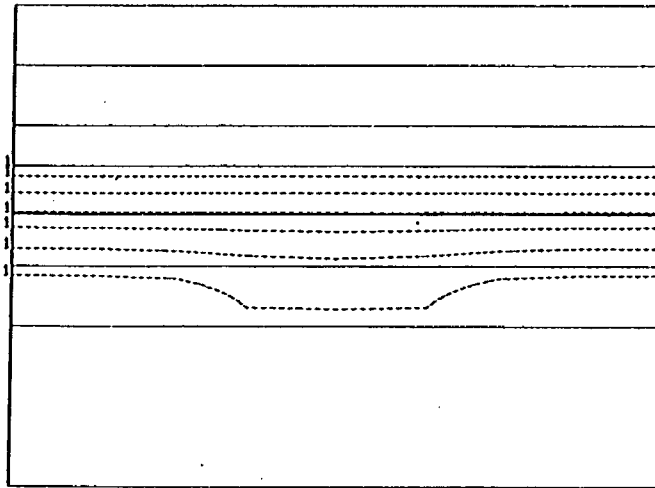
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



SEEP. SCALE: 1 (0.1 / 0.0) (0.1 / 0.0) (0.1 / 0.0)

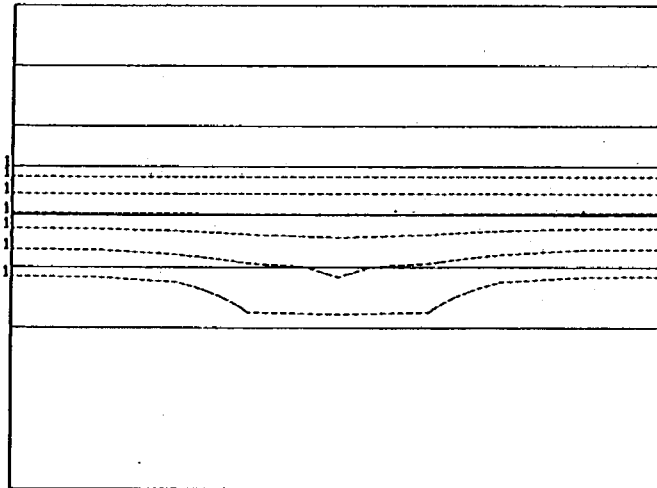
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



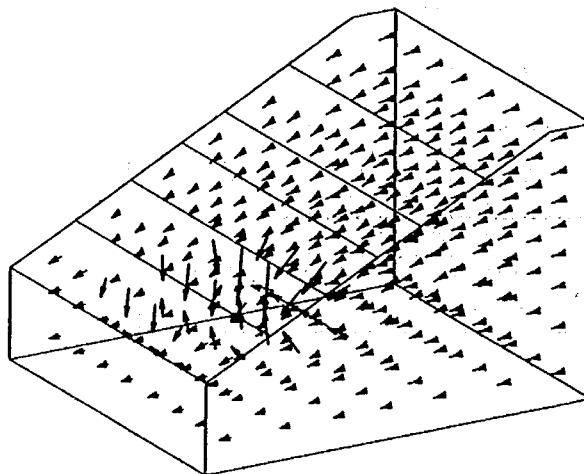
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



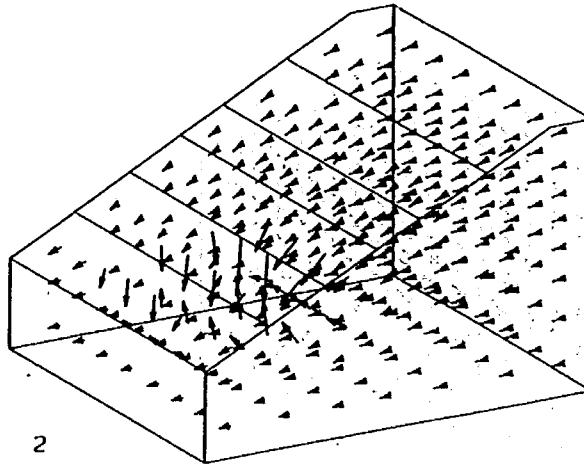
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. FLOW 1.13E2

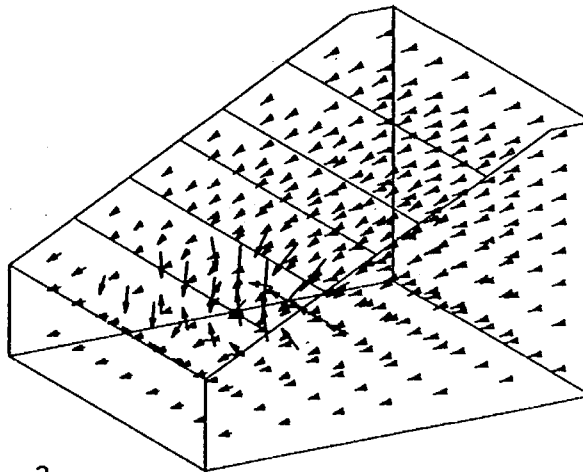
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. FLOW 1.11E2

FLOW SCALE : 2.23E2

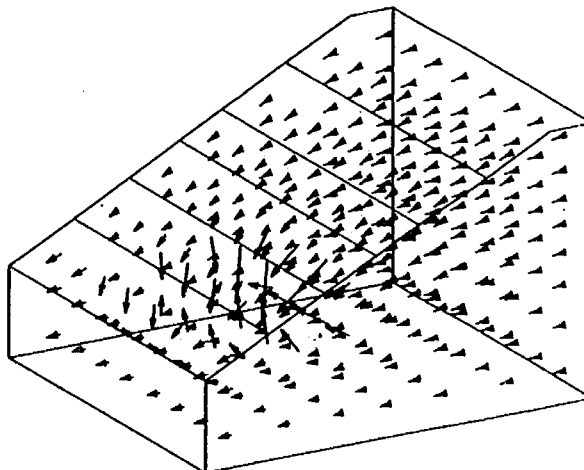
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. FLOW 1.08E2

FLOW SCALE : 2.16E2

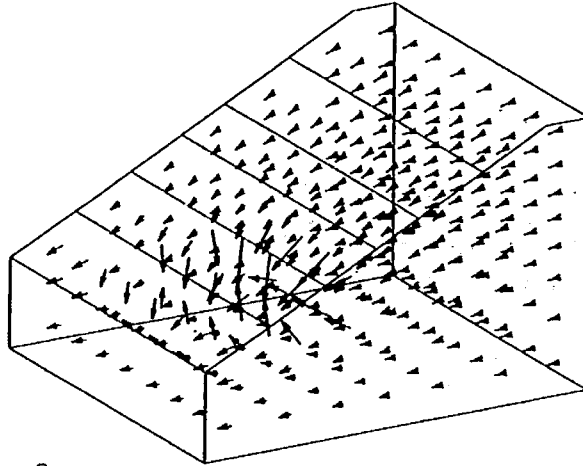
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. FLOW 1.00E2

FLOW SCALE : 2.01E2

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-09 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3

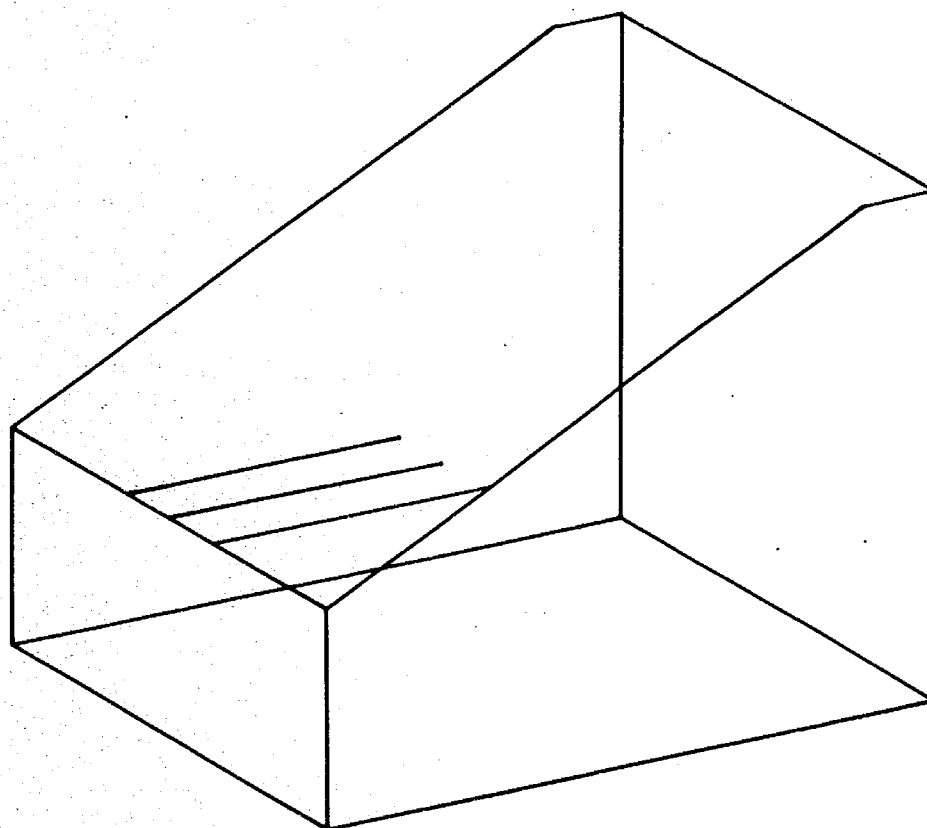


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. FLOW 9.21E1

FLOW SCALE : 1.84E2

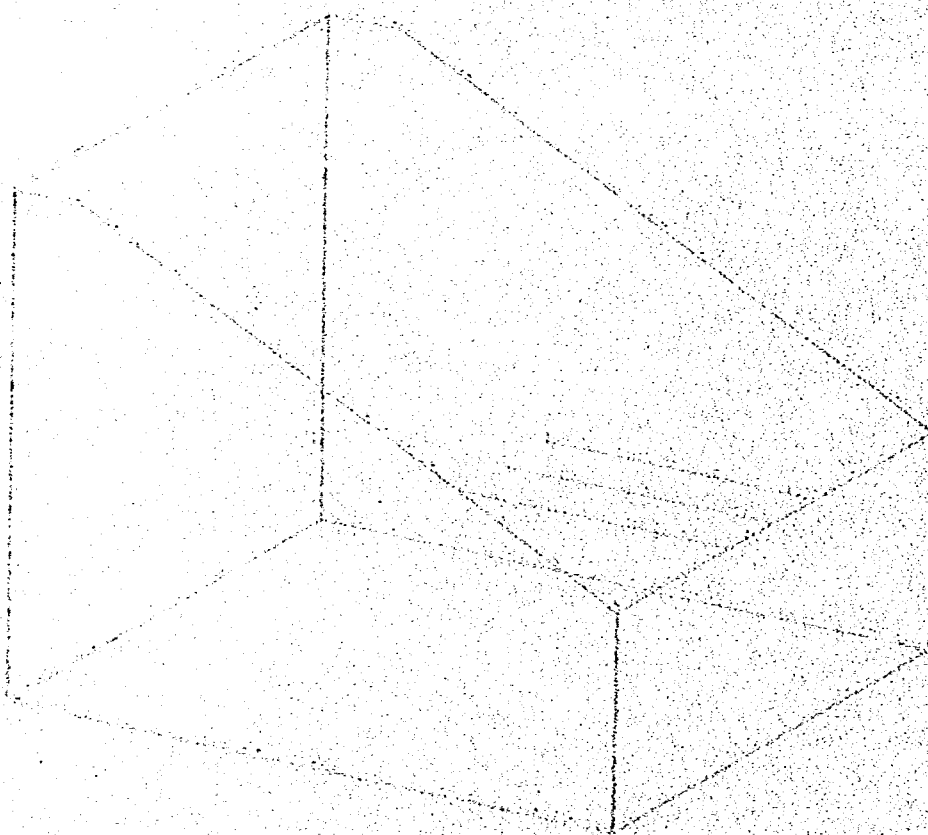
CASE 10 ($k=10^{-3}$, $H_1=50.0$, $H_2=30.0$, $N=3$, 孔長 40 m)

CASE - 10 のモデル図

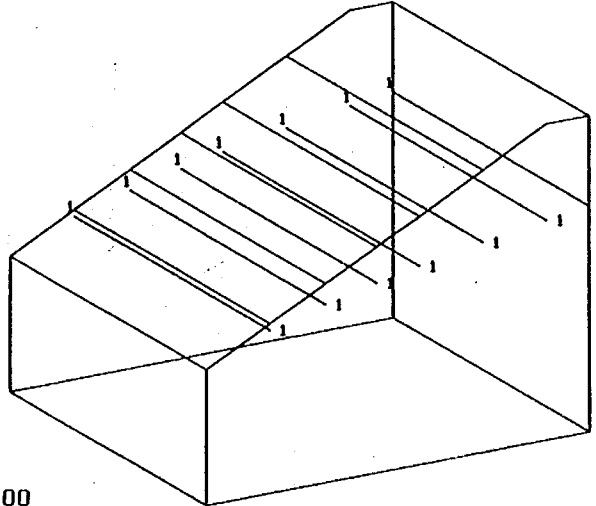


CASE 10 (K-40) H-800 H-1000 H-1000 H-1000

CASE 10 (K-40) H-800 H-1000 H-1000 H-1000

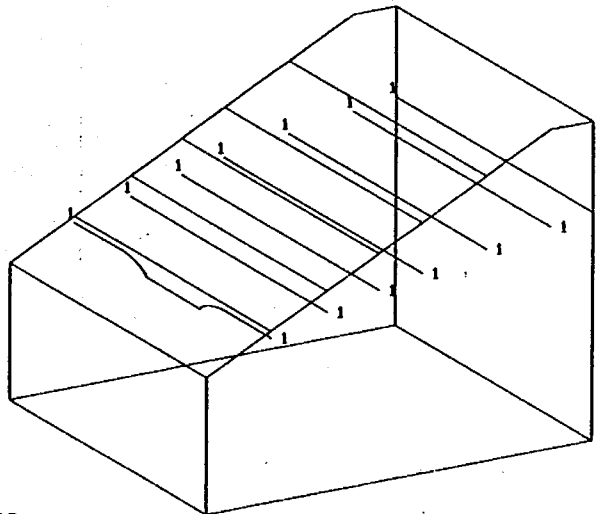


SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



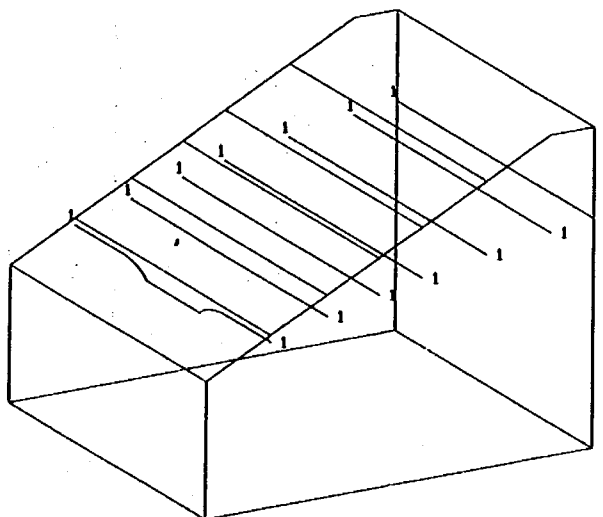
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



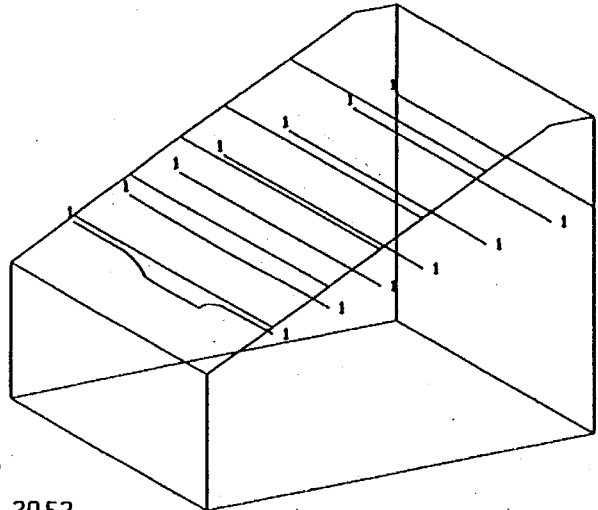
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



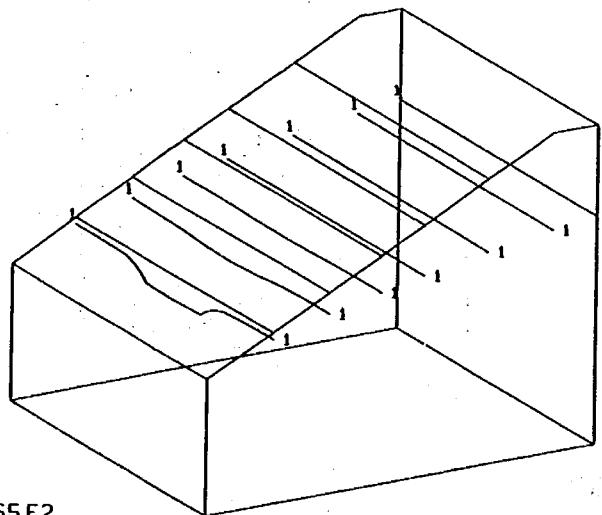
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



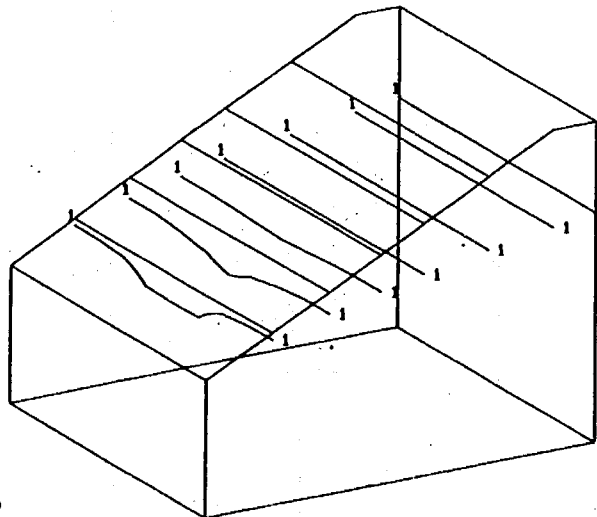
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



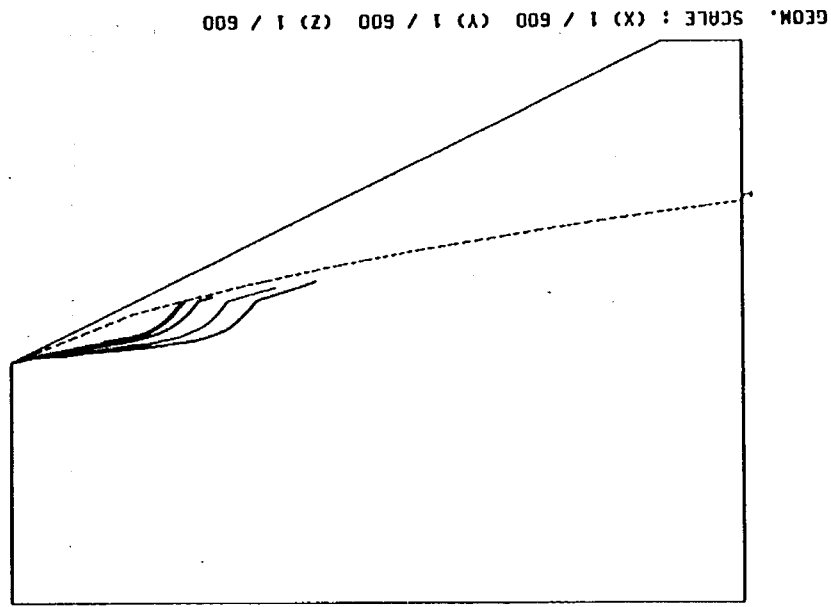
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



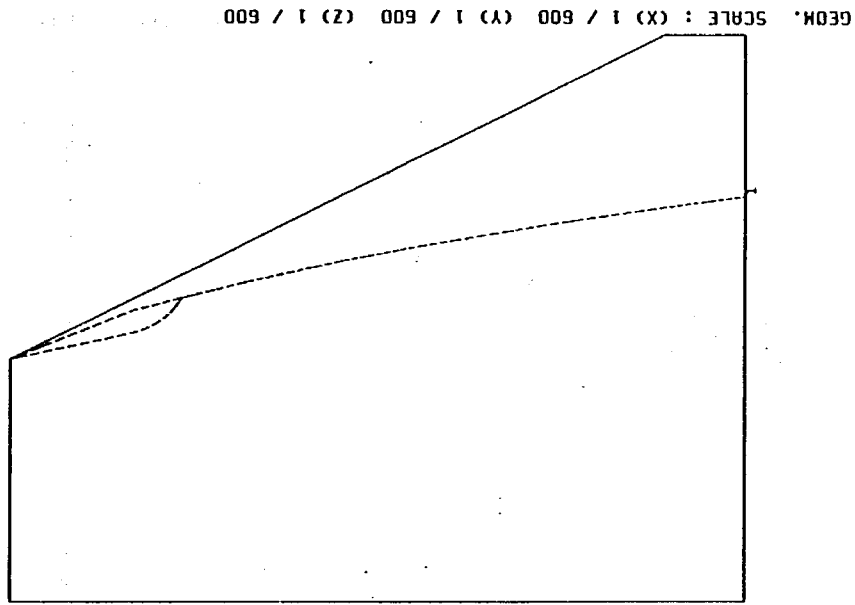
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



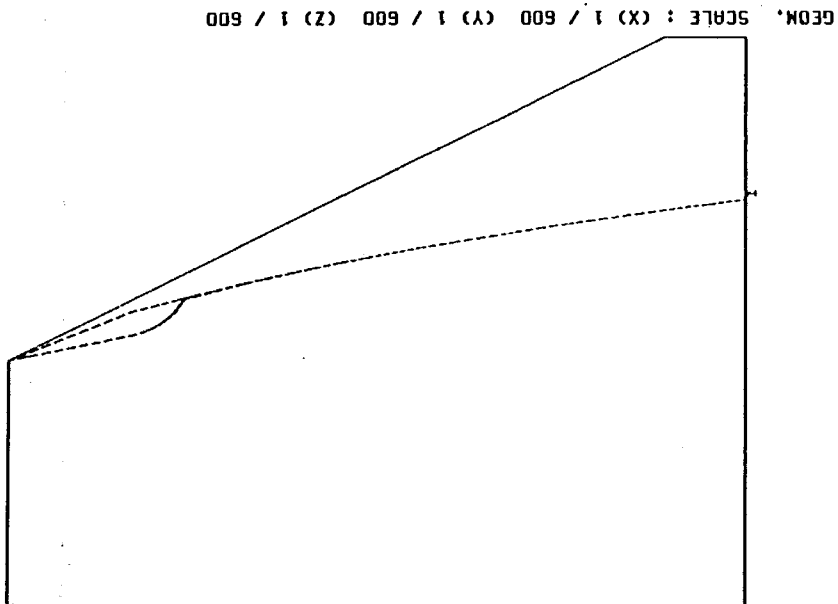
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



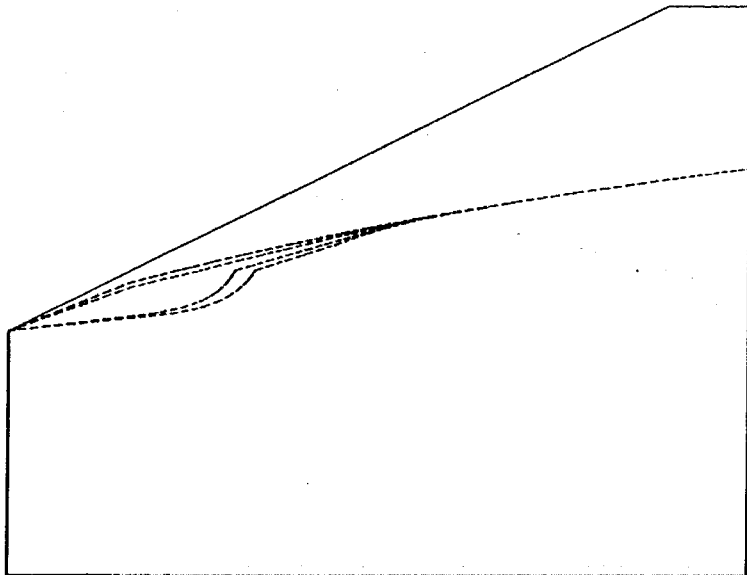
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



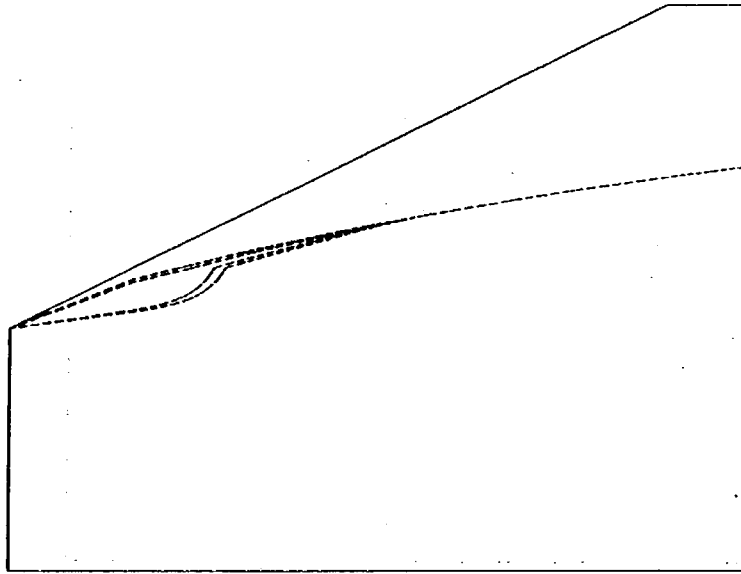
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K-10 -3 H1-50.0 H2-30.0 N=3



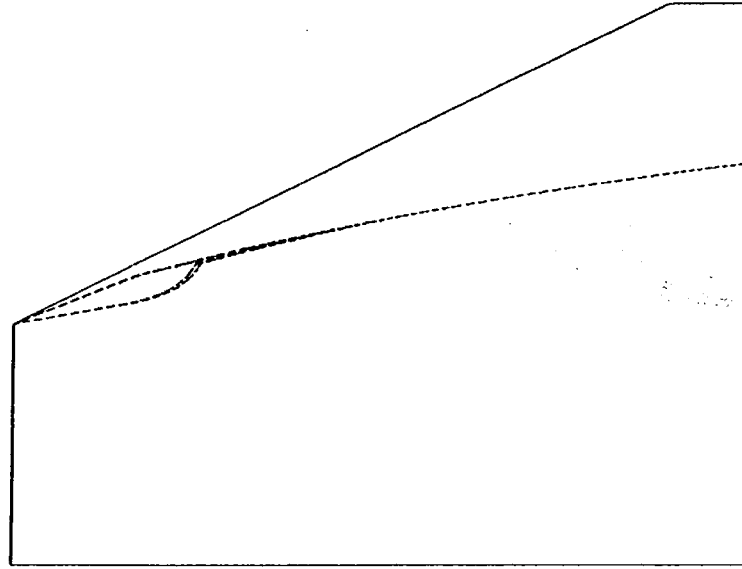
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K-10 -3 H1-50.0 H2-30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E3
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K-10 -3 H1-50.0 H2-30.0 N=3



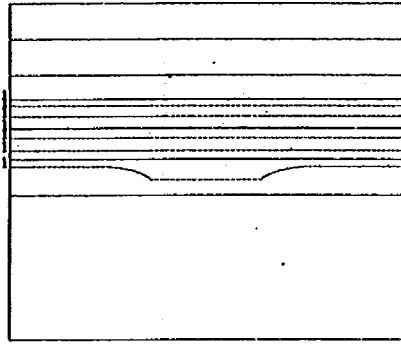
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E3
MAX. HEAD 5.00E3

GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

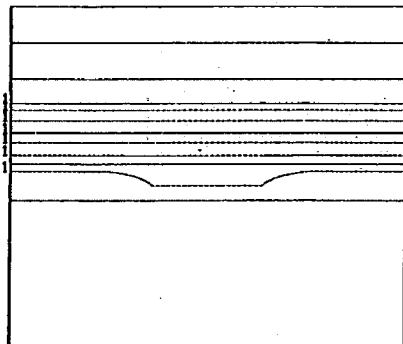
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



DATA: SCALE: (1) 1 / 1000.00 (1) 1 / 1000.00 (1) 1 / 1000.00

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 5.00E3

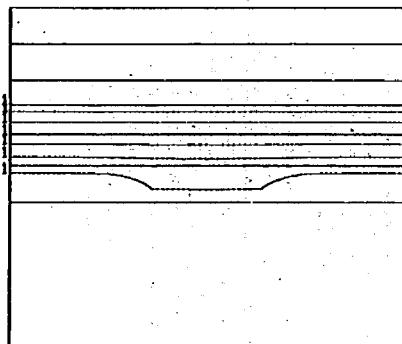
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



DATA: SCALE: (1) 1 / 1000.00 (1) 1 / 1000.00 (1) 1 / 1000.00

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.00E3

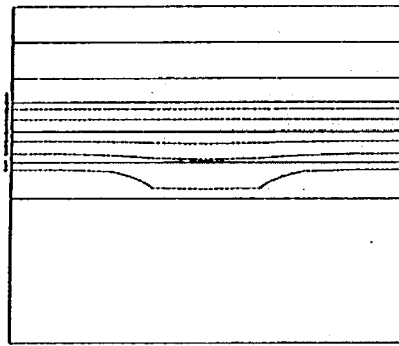
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



DATA: SCALE: (1) 1 / 1000.00 (1) 1 / 1000.00 (1) 1 / 1000.00

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

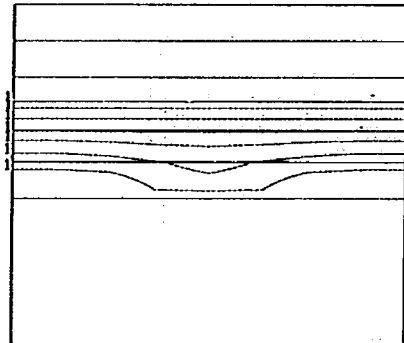
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 5.00E3

HEAD SCALE: 1.00E3 / 1.00E3 (X 1 / 1.00E3) (Y 1 / 1.00E3) (Z 1 / 1.00E3)

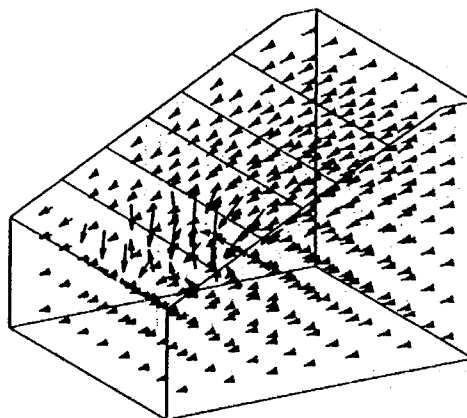
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

HEAD SCALE: 1.00E3 / 1.00E3 (X 1 / 1.00E3) (Y 1 / 1.00E3) (Z 1 / 1.00E3)

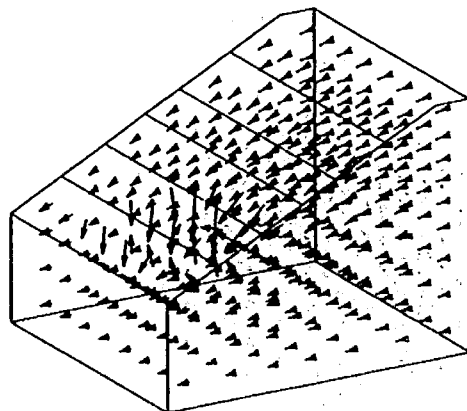
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. FLOW 1.09E2

FLOW SCALE: 2.17E2

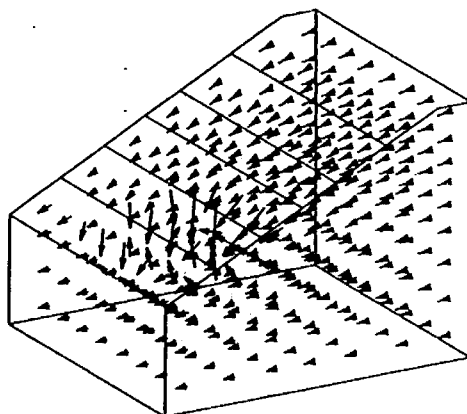
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. FLOW 1.08E2

FLOW SCALE : 2.15E2

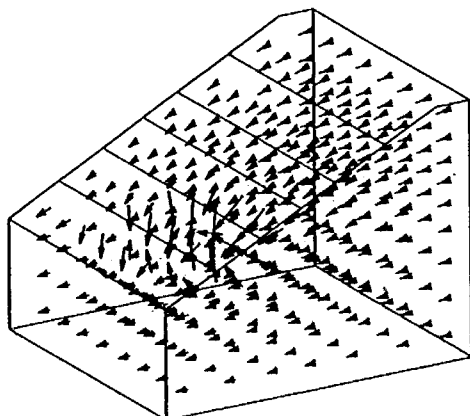
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. FLOW 1.04E2

FLOW SCALE : 2.05E2

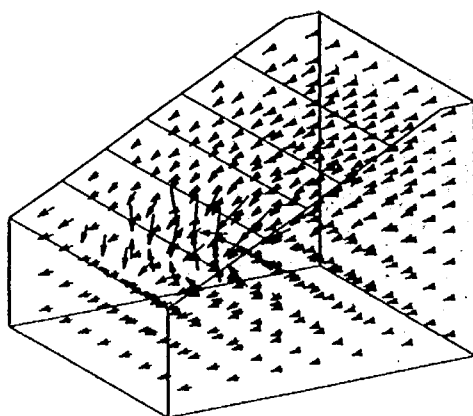
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. FLOW 9.70E1

FLOW SCALE : 1.94E2

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-10 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3

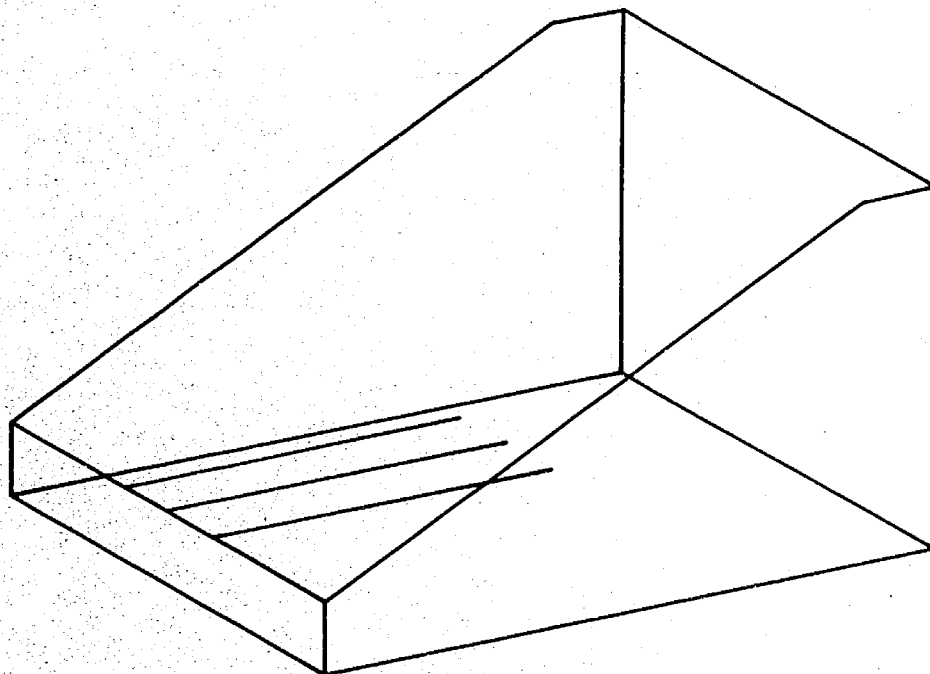


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. FLOW 8.91E1

FLOW SCALE : 1.70E2

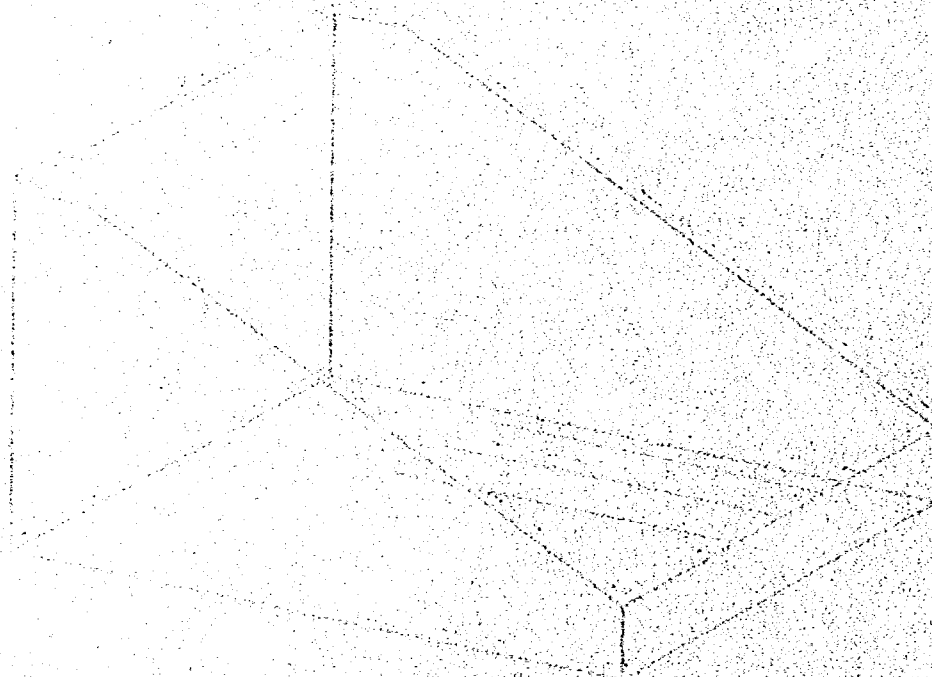
CASE 11 ($k=10^{-3}$, $H_1=30.0$, $H_2=10.0$, $N=3$, 孔長 50 m)

CASE - 11 のモデル図

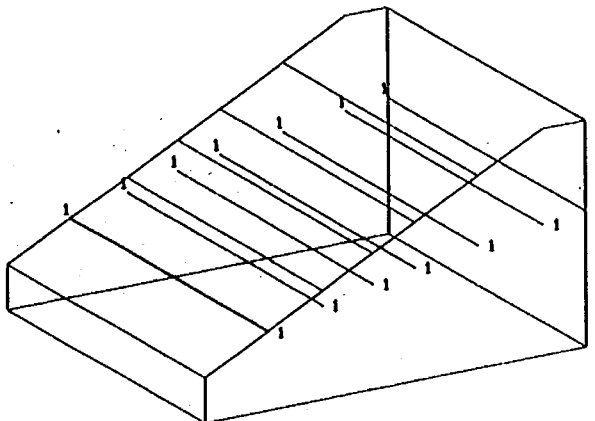


CHUỖ ĐÓNG VÀ CHỮ CHỮ ĐÓNG

19-00000-002-AD

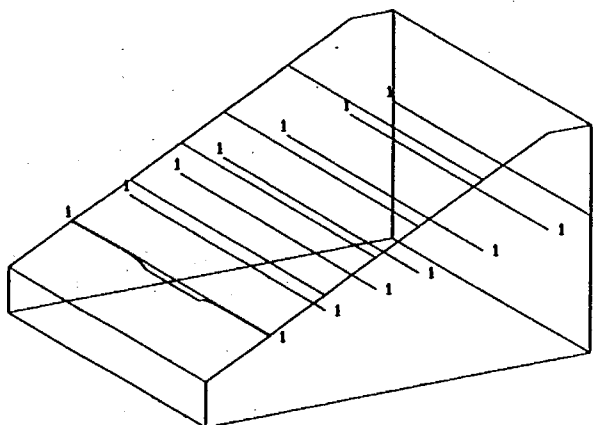


SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



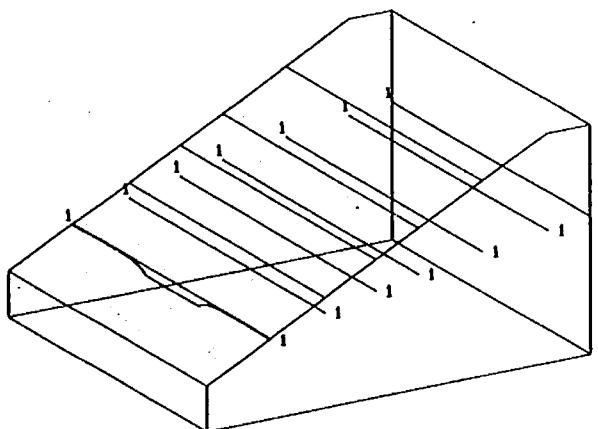
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



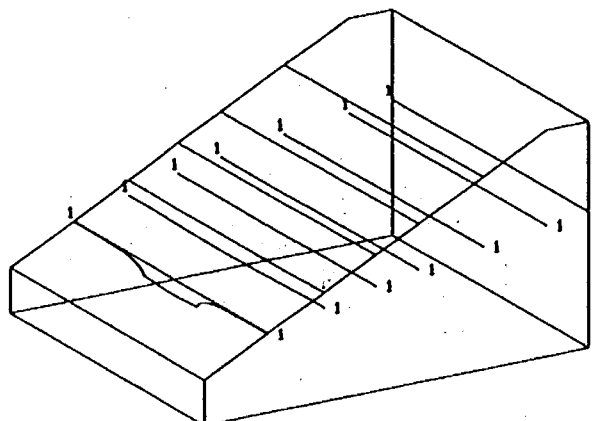
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



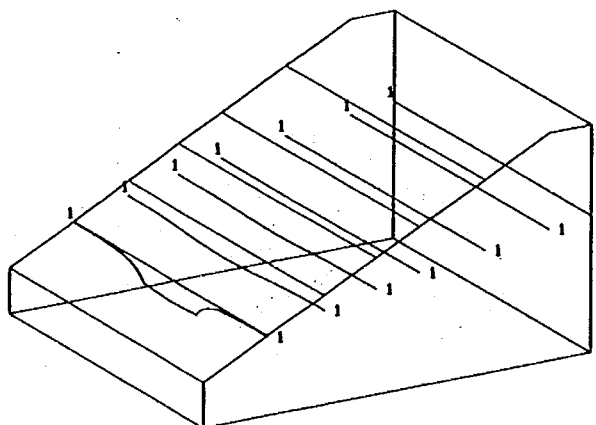
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



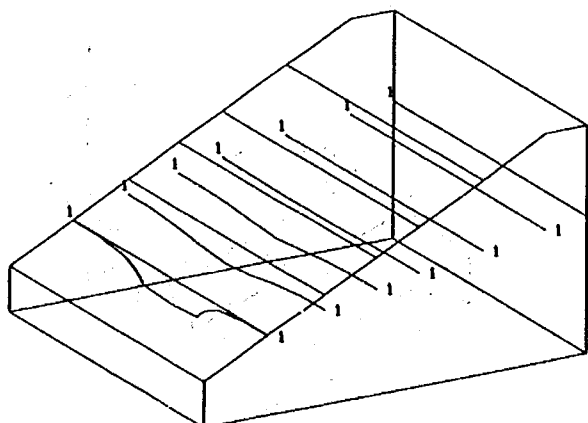
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



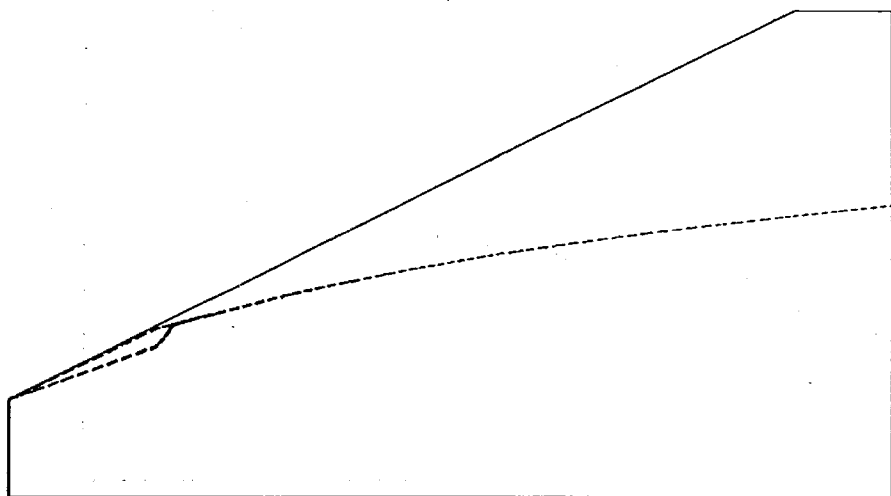
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 3.00E3

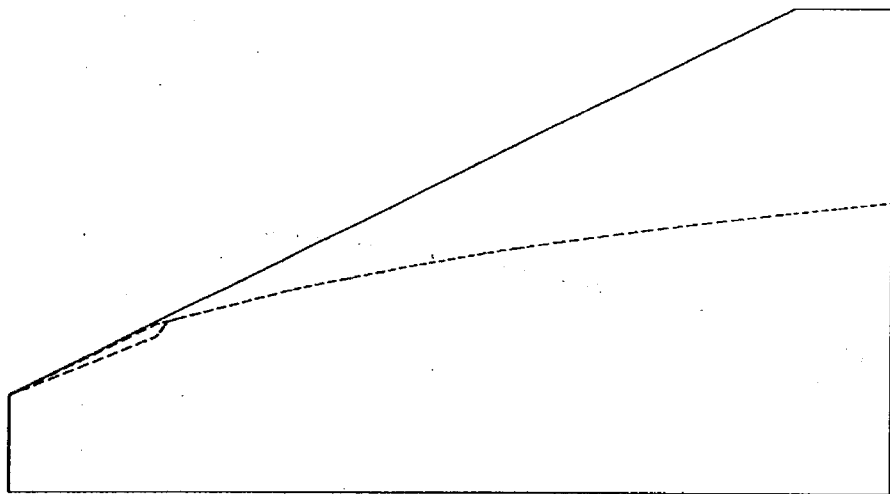
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 3.00E1
MAX. HEAD 3.00E3

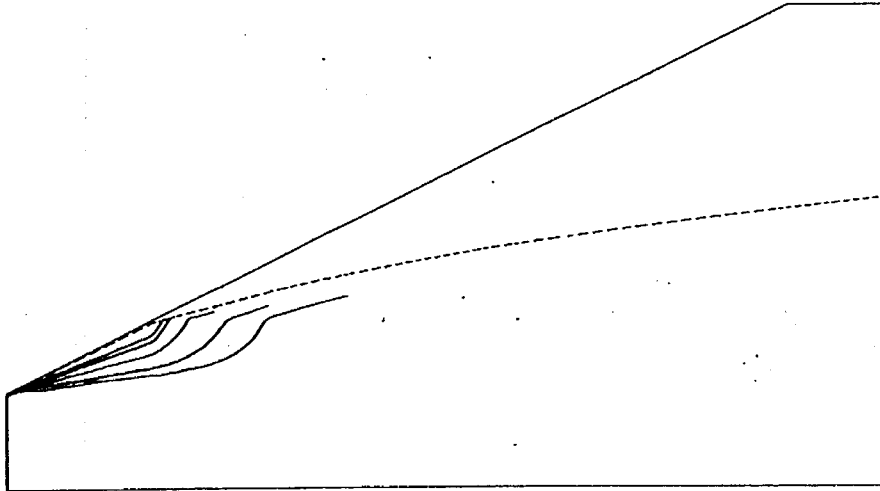
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 5.00
MAX. HEAD 3.00E3

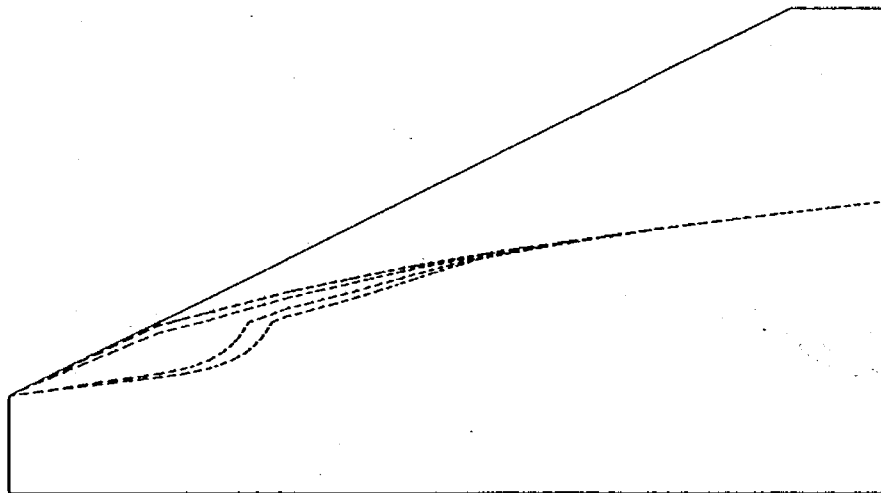
SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

STEP NO. 1
SEEPAGE TIME 0.00
MAX. HEAD 3.00E3

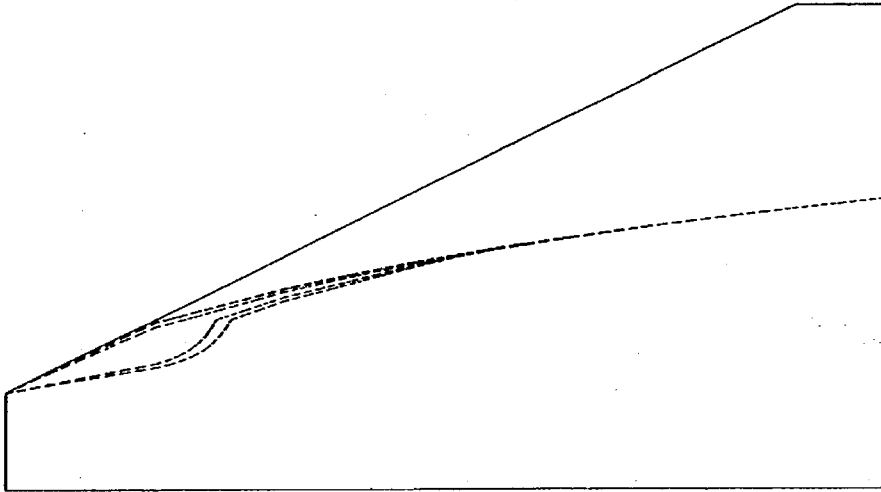
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 7-20E2
MAX. HEAD 3.00E3

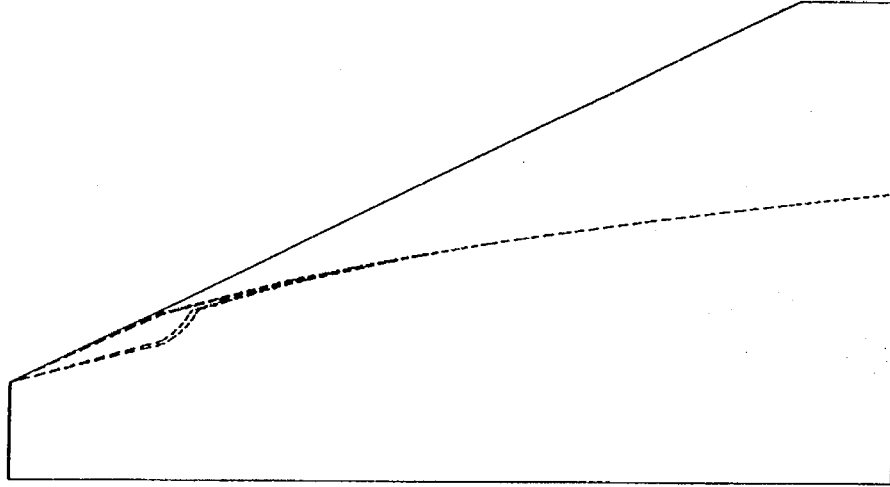
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 3-65E2
MAX. HEAD 3.00E3

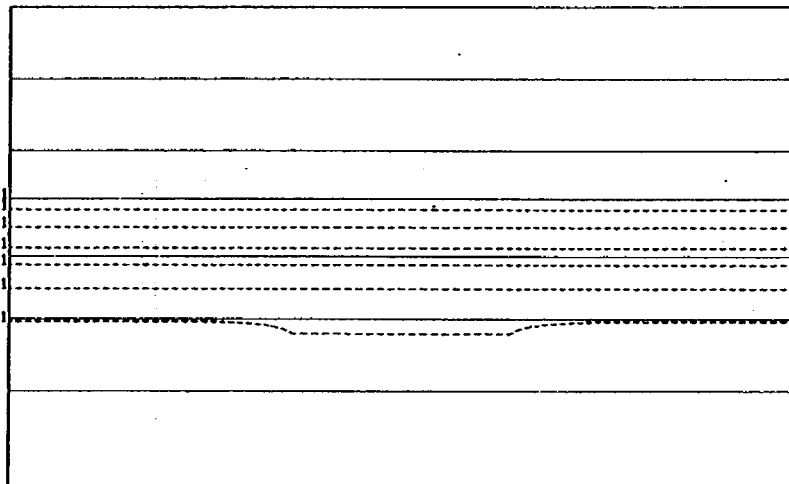
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

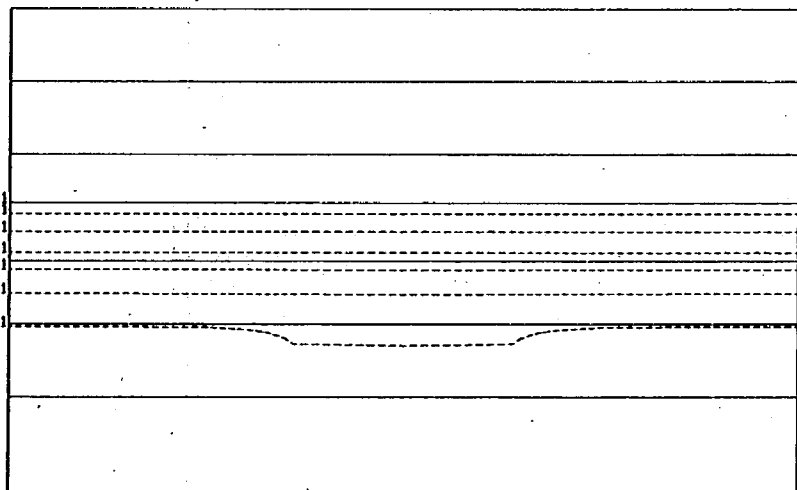
STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 1-20E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



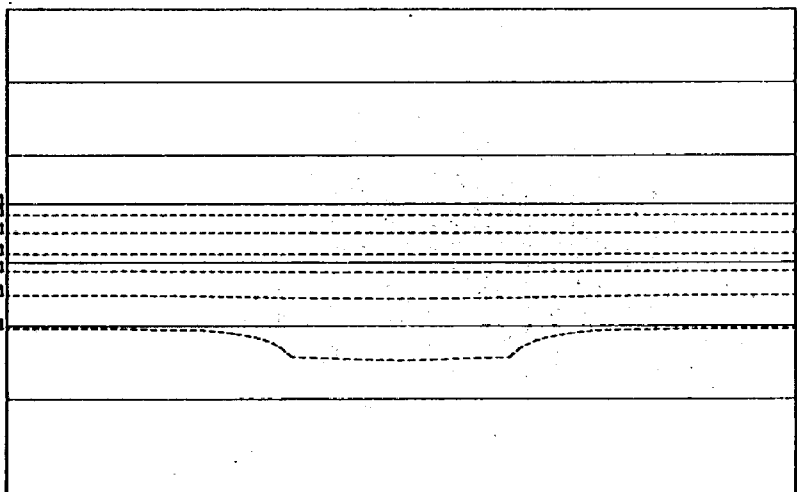
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



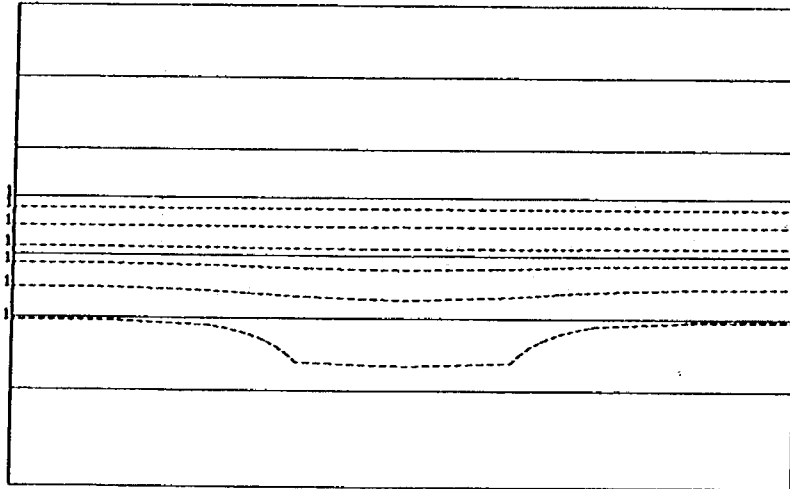
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



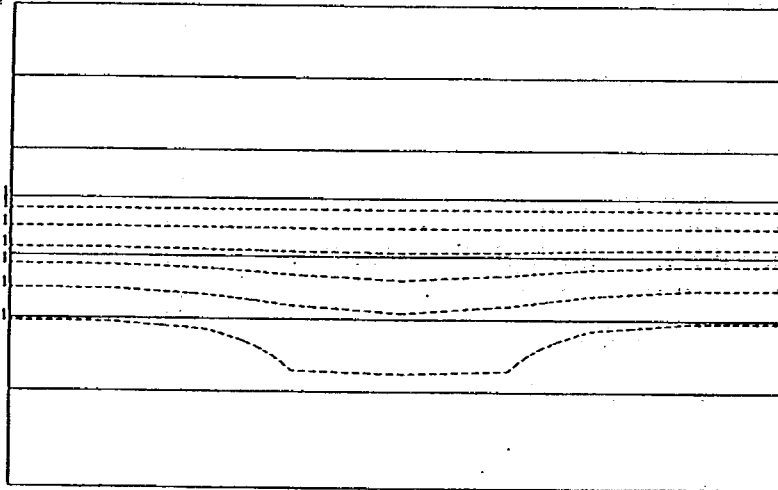
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



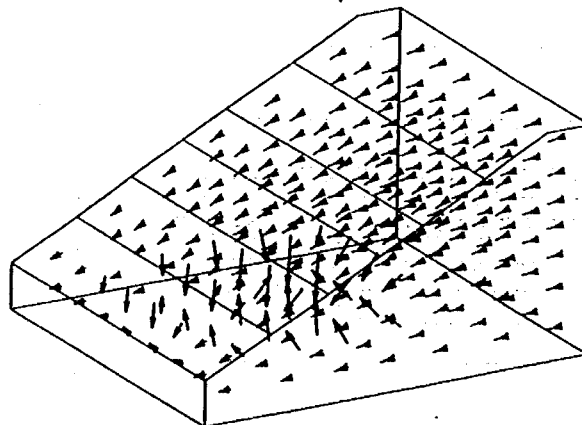
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



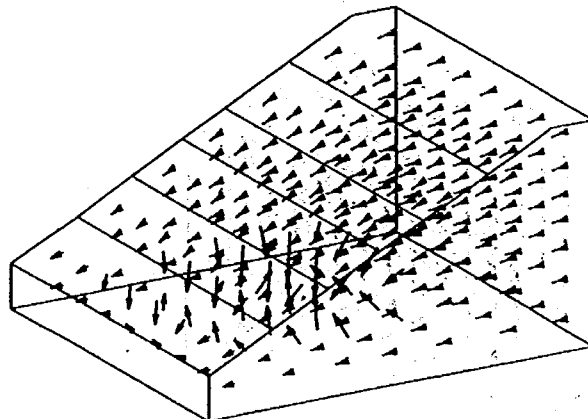
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 3.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. FLOW 1.46E2

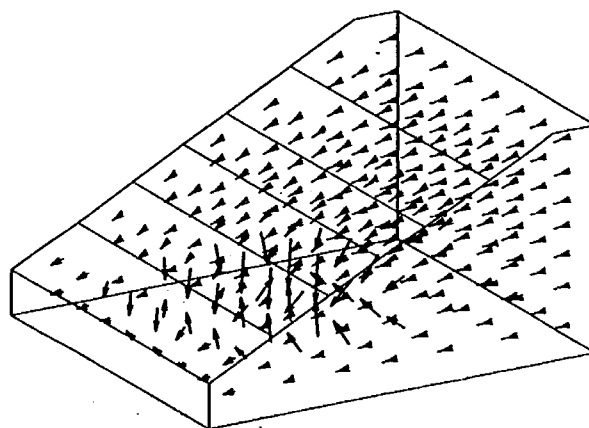
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. FLOW 1.45E2

FLOW SCALE : 2.00E2

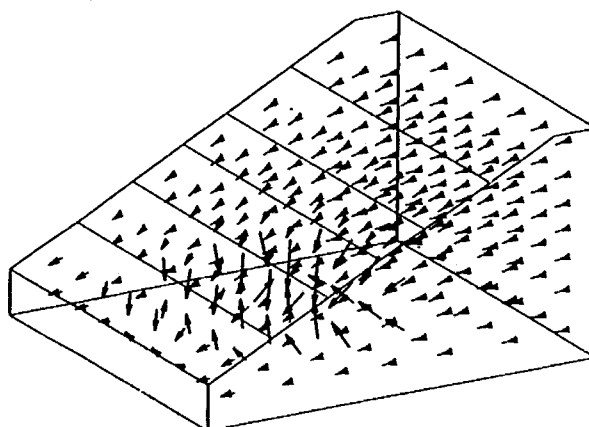
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. FLOW 1.40E2

FLOW SCALE : 2.00E2

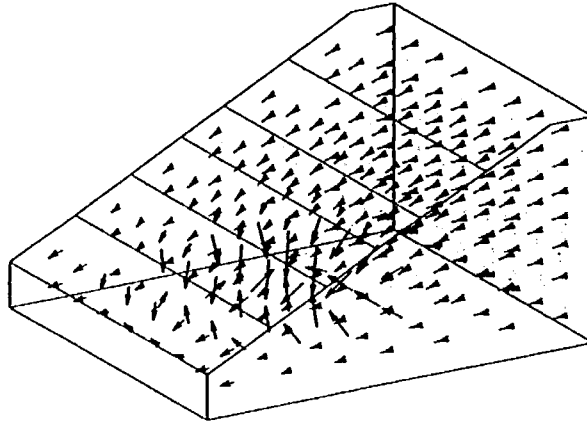
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. FLOW 1.30E2

FLOW SCALE : 2.00E2

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-11 K=10 -3 H1=30.0 H2=10.0 N=3 L=50

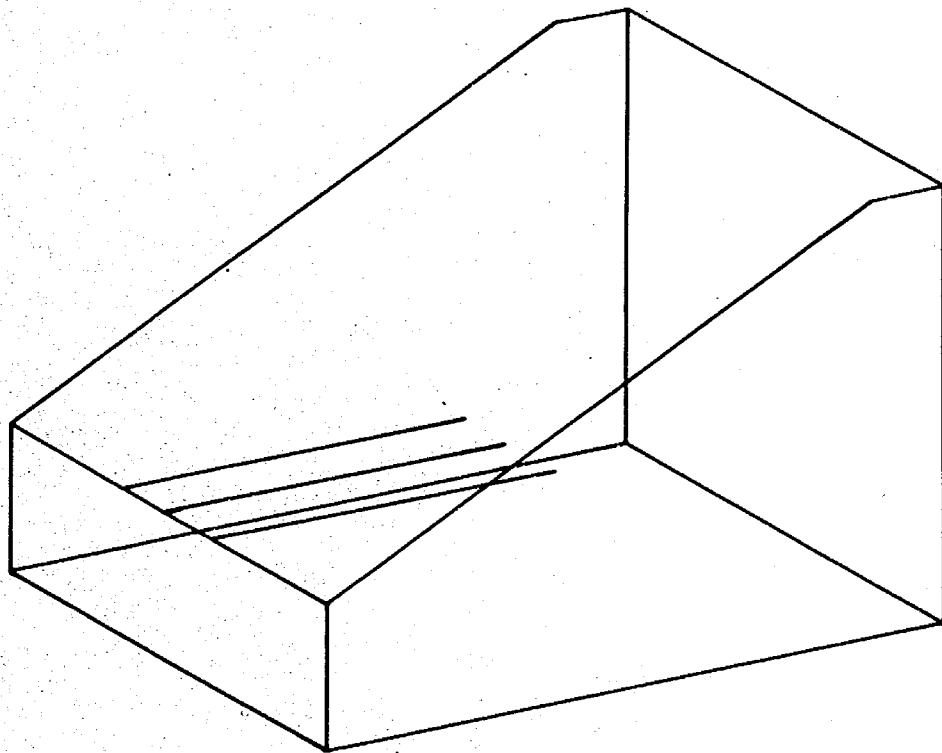


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. FLOW 1.19E2

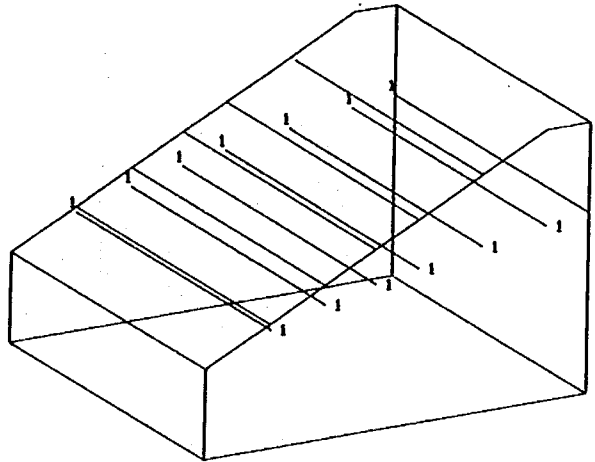
FLOW SCALE : 2.37E2

CASE 12 ($k=10^{-3}$, $H_1=40.0$, $H_2=20.0$, $N=3$, 孔長 50 m)

CASE - 12 のモデル図

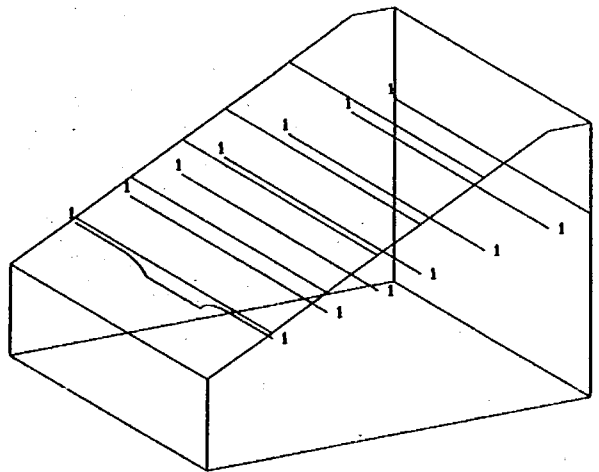


SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



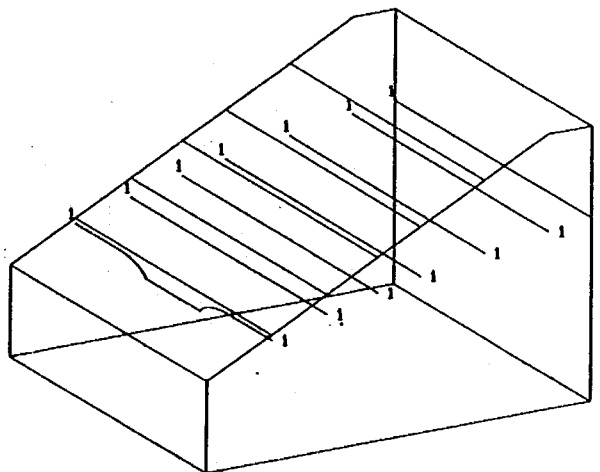
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



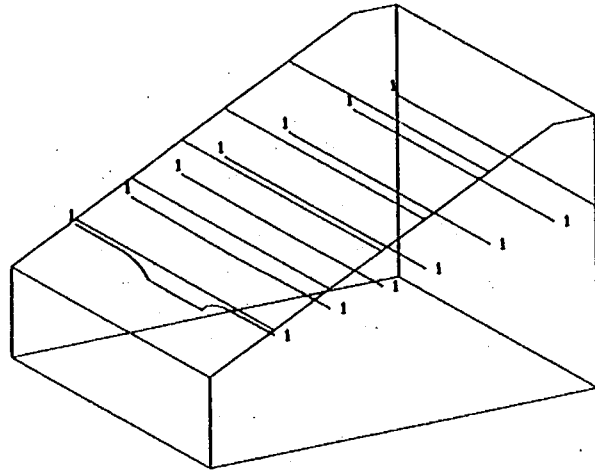
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



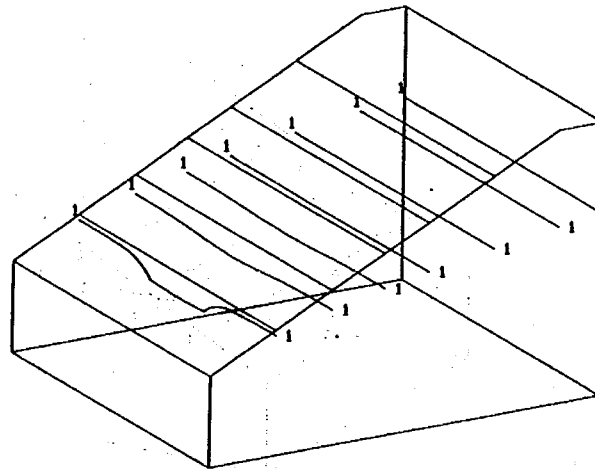
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



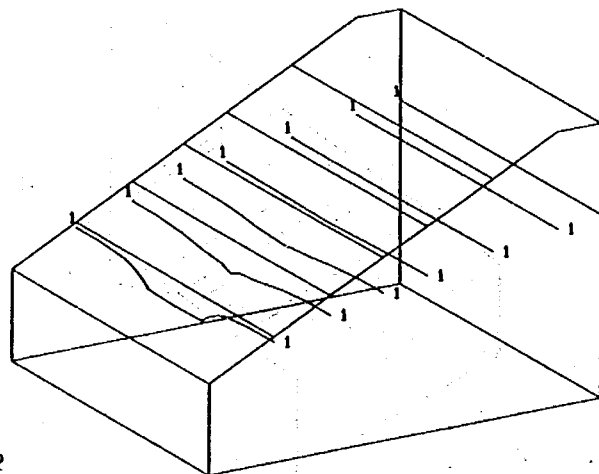
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



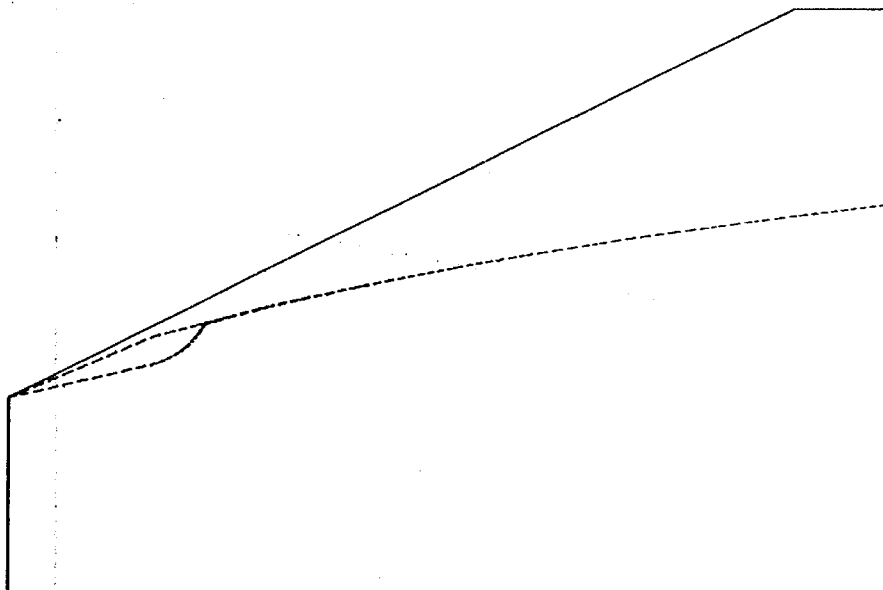
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



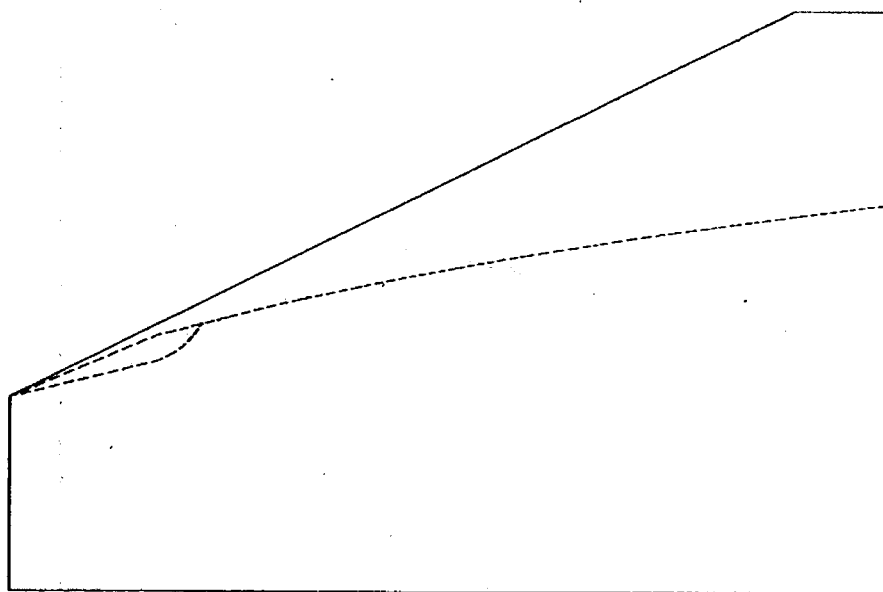
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



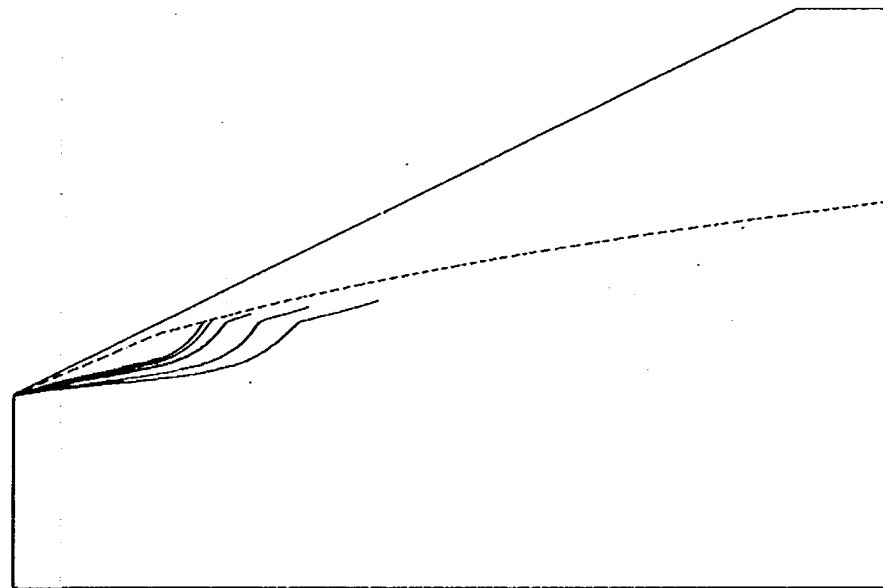
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



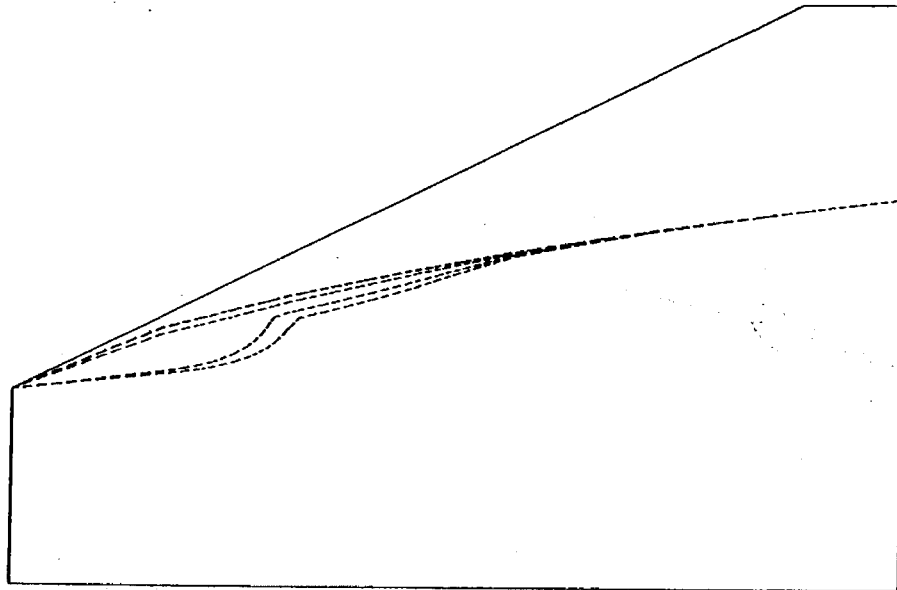
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



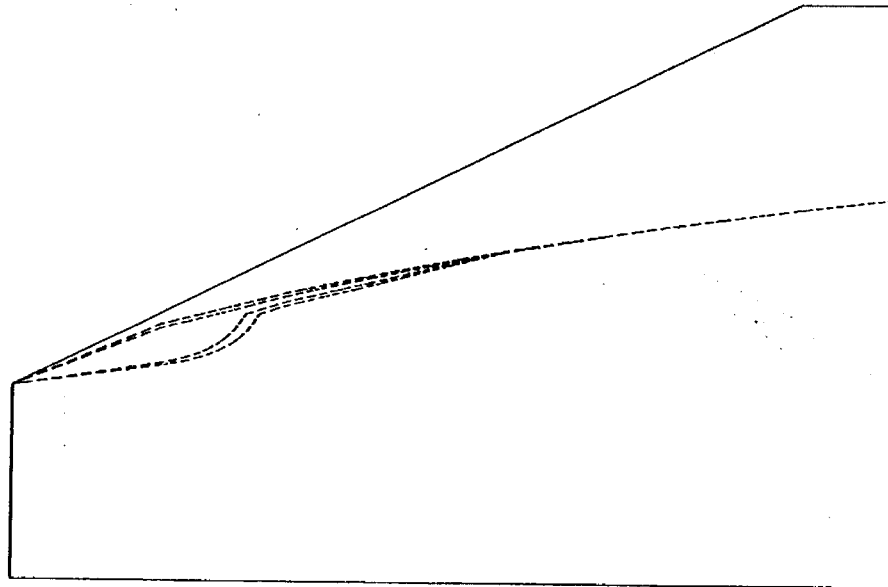
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



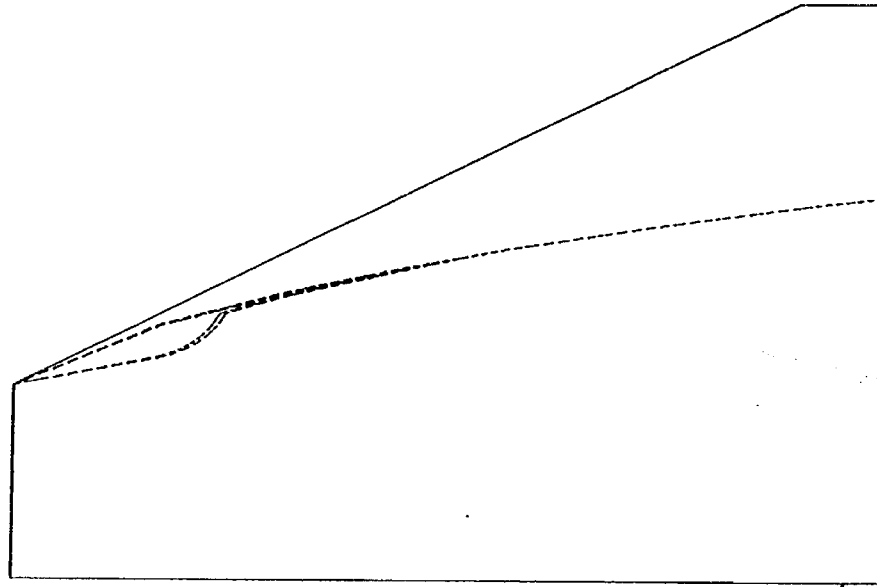
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



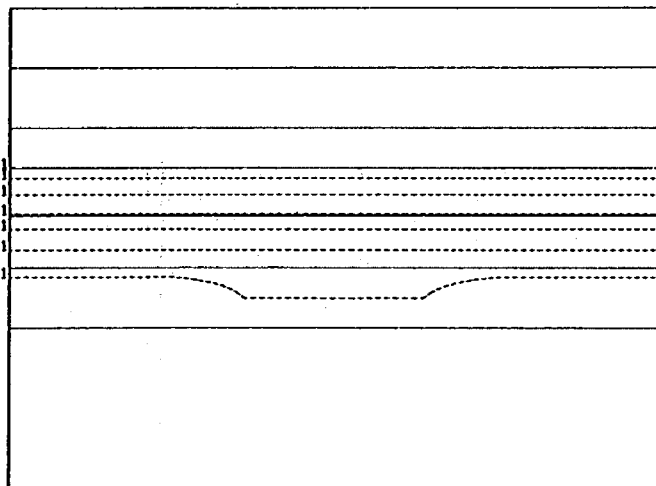
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

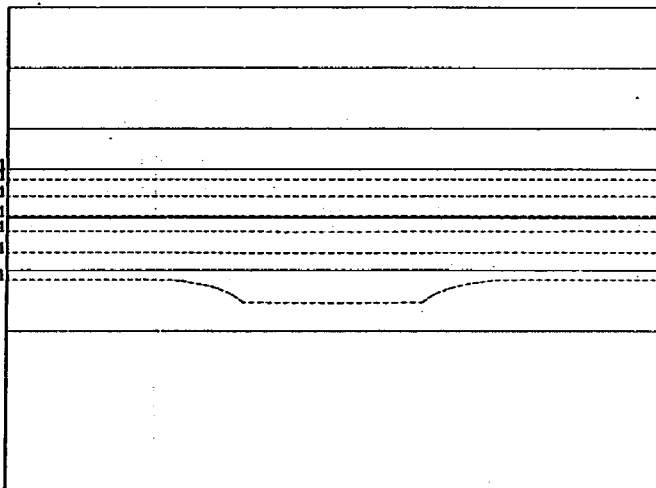
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 4.00E3

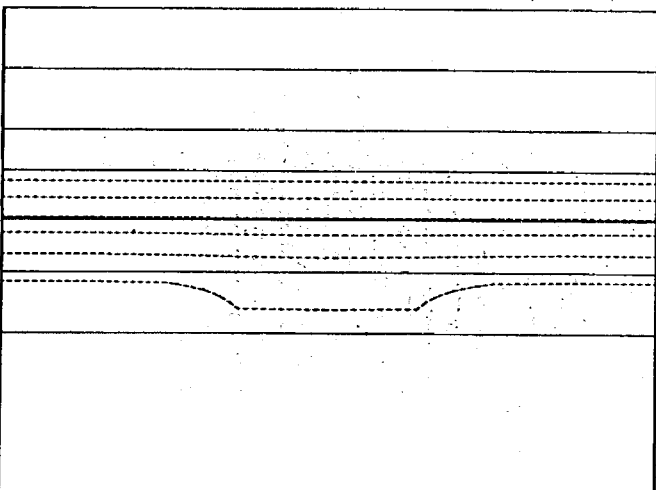
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 4.00E3

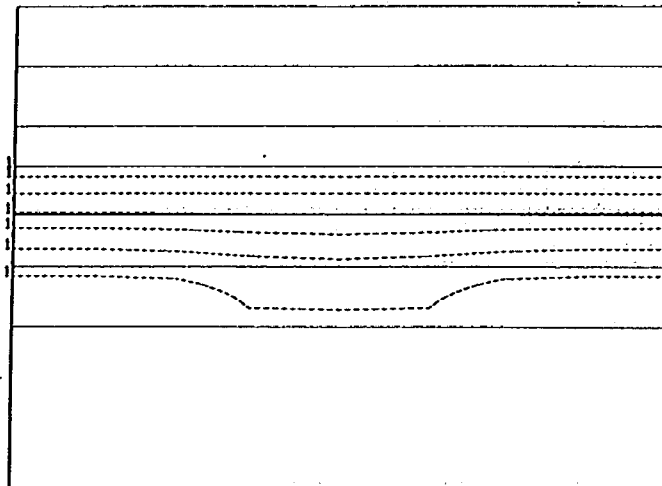
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

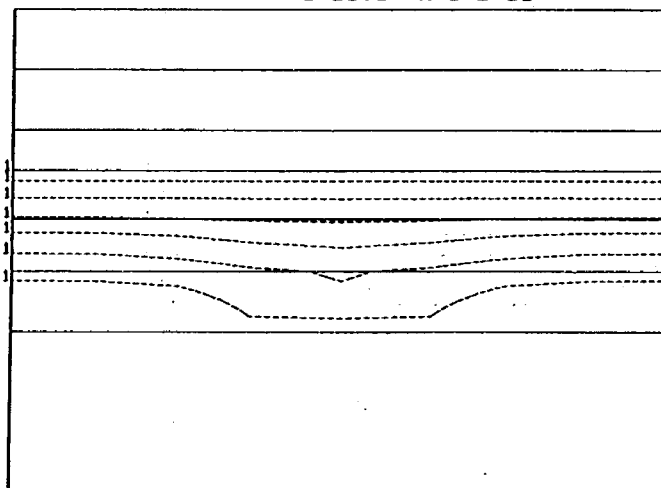
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65 E2
MAX. HEAD 4.00 E3

SCALE: 1 (D) 1 / 100 (Y) 1 / 100 (Z) 1 / 100

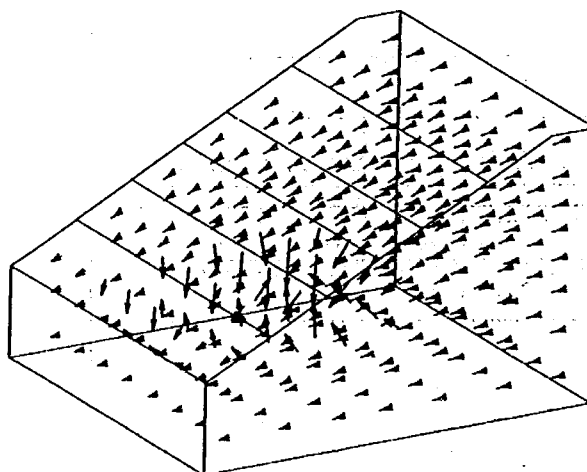
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20 E2
MAX. HEAD 4.00 E3

SCALE: 1 (D) 1 / 100 (Y) 1 / 100 (Z) 1 / 100

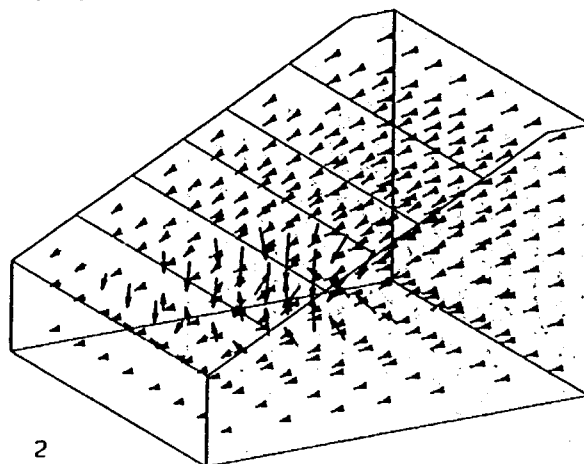
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. FLOW 1.37 E2

FLOW SCALE: 2.76 E2

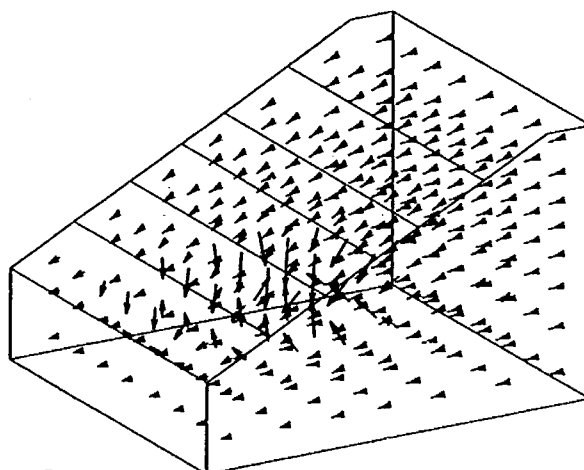
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. FLOW 1.36E2

FLOW SCALE : 2.72E2

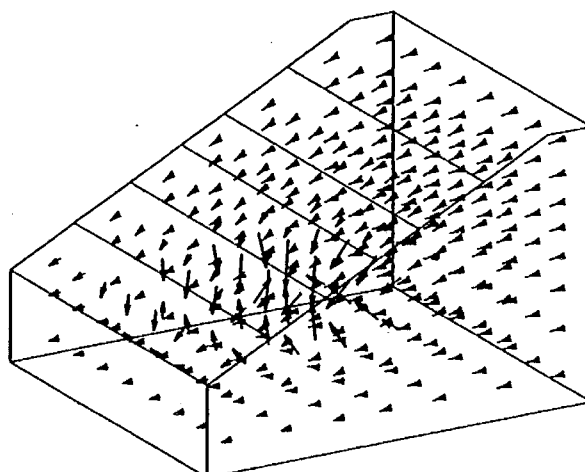
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. FLOW 1.32E2

FLOW SCALE : 2.63E2

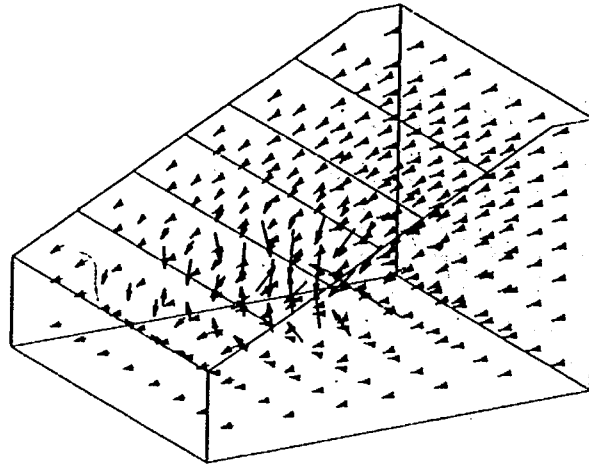
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. FLOW 1.22E2

FLOW SCALE : 2.44E2

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-12 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3 L=50

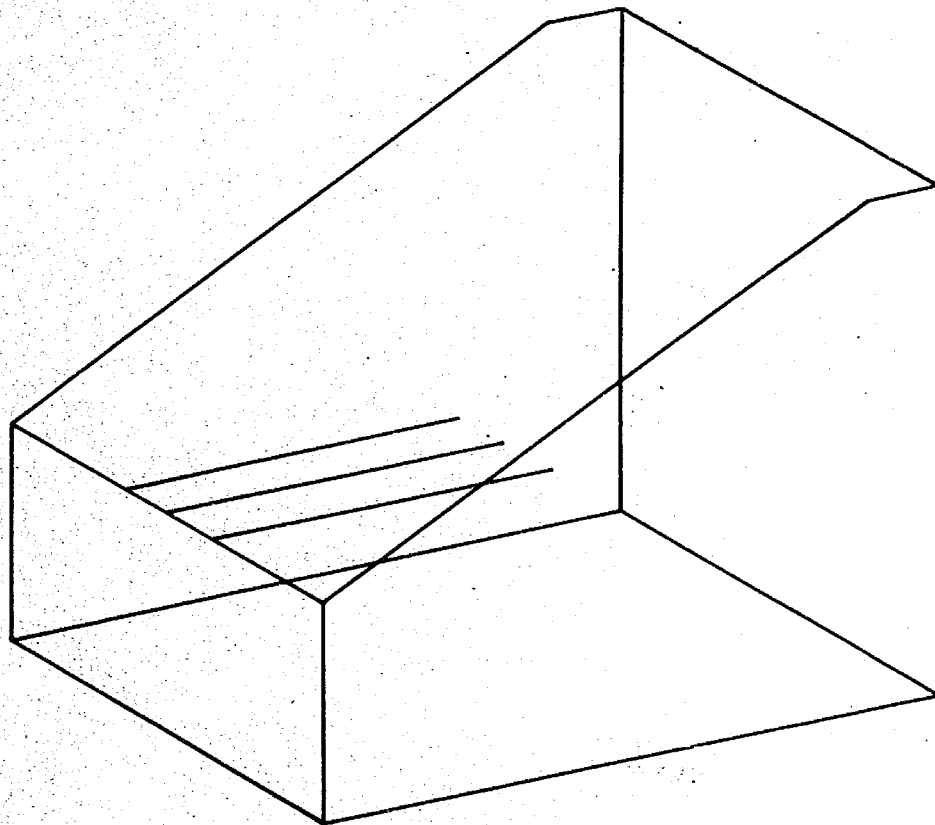


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. FLOW 1.12E2

FLOW SCALE : 2.24E2

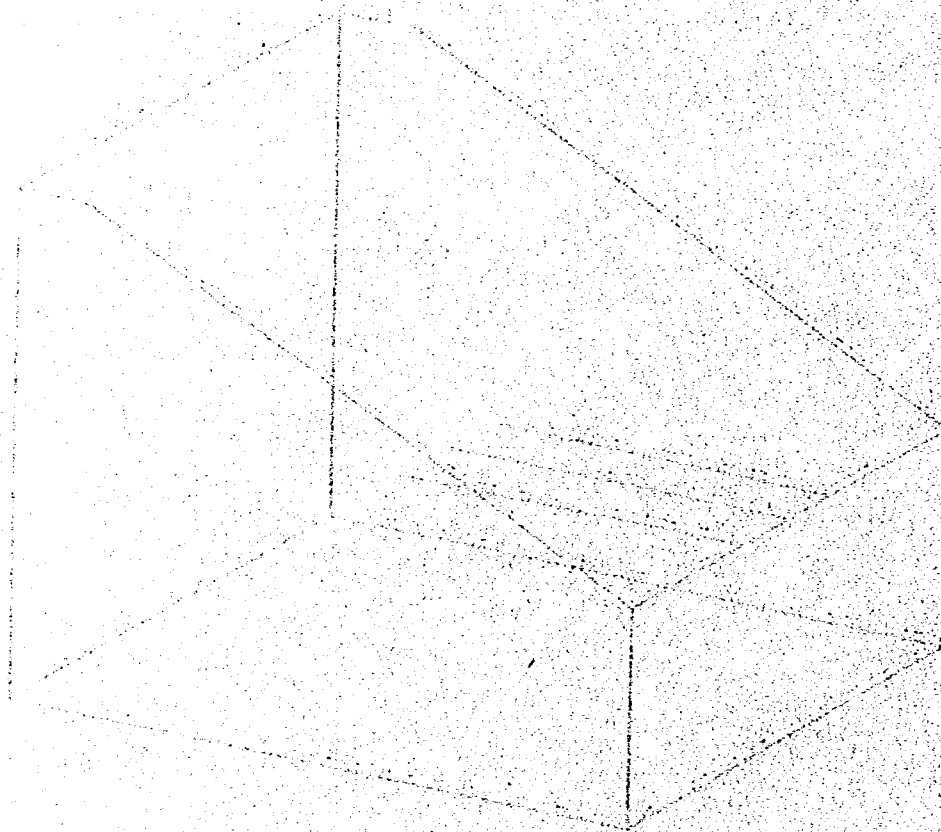
CASE 13 ($k=10^{-3}$, $H_1=50.0$, $H_2=30.0$, $N=3$, 孔長 50 m)

CASE - 13 のモデル図



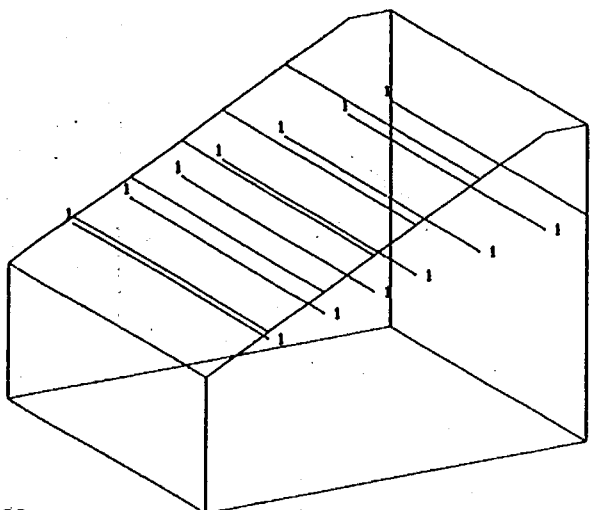
CASE 13 (K-10, H-100, F-100, M-10, S-10, W-10)

Figure 13



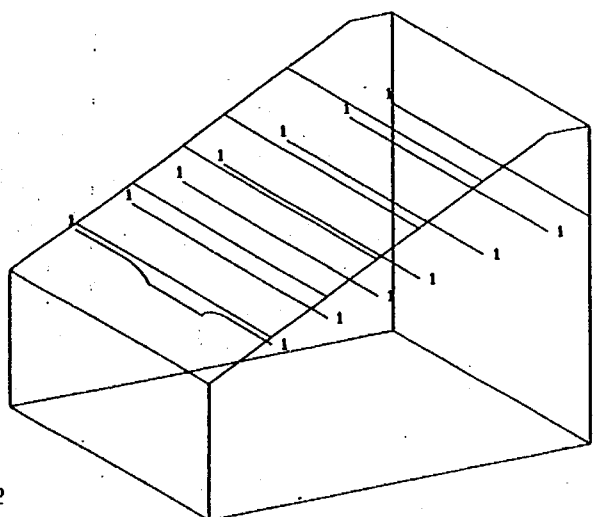
13

SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



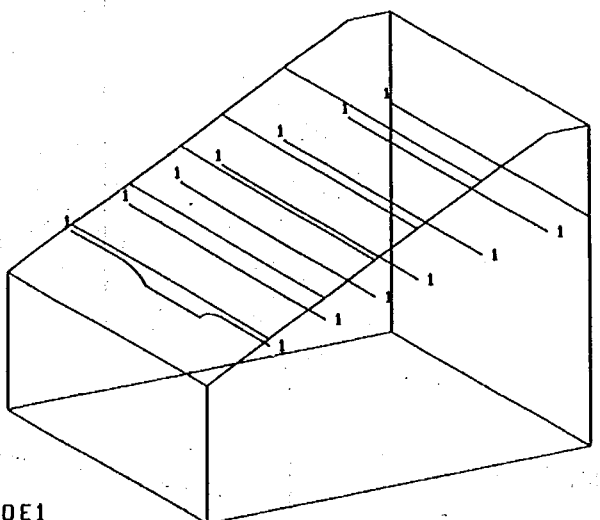
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



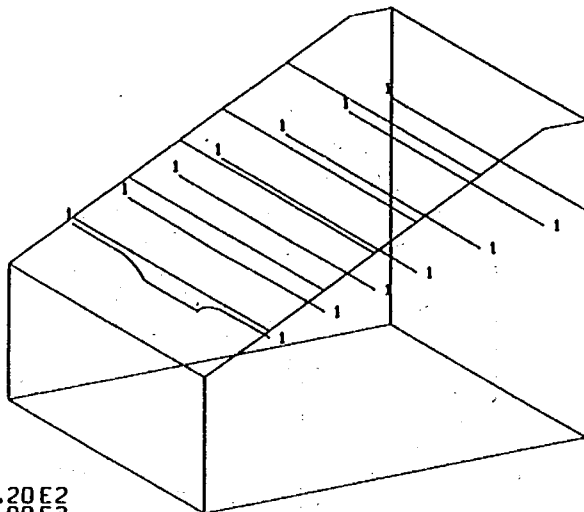
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



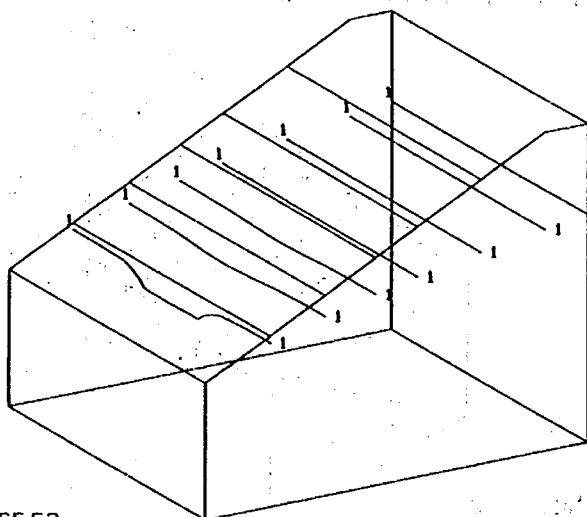
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



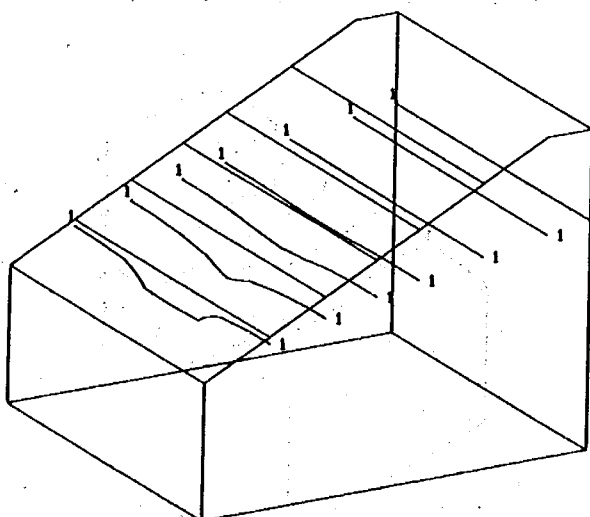
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



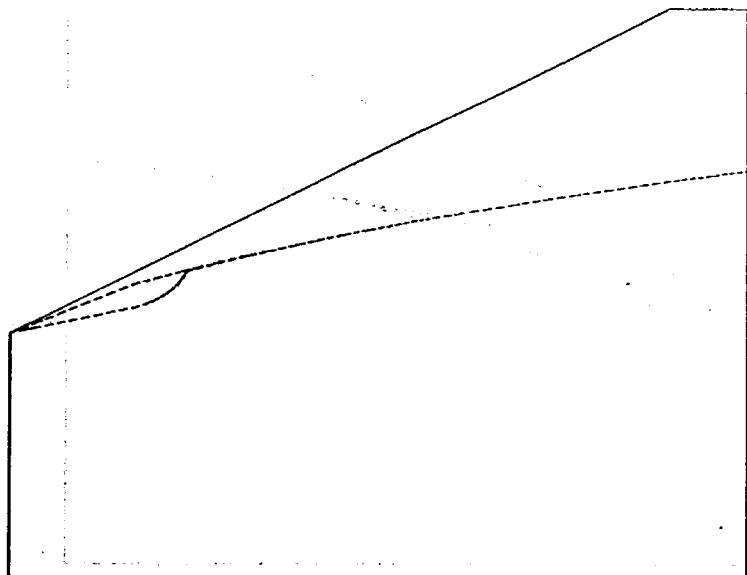
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

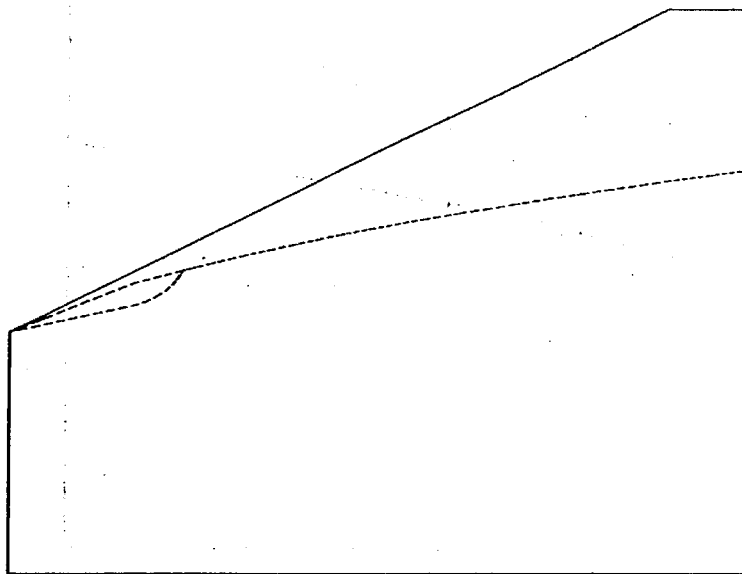
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K-10 -3 H1-50.0 H2-30.0 N-3 L-50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.00E3

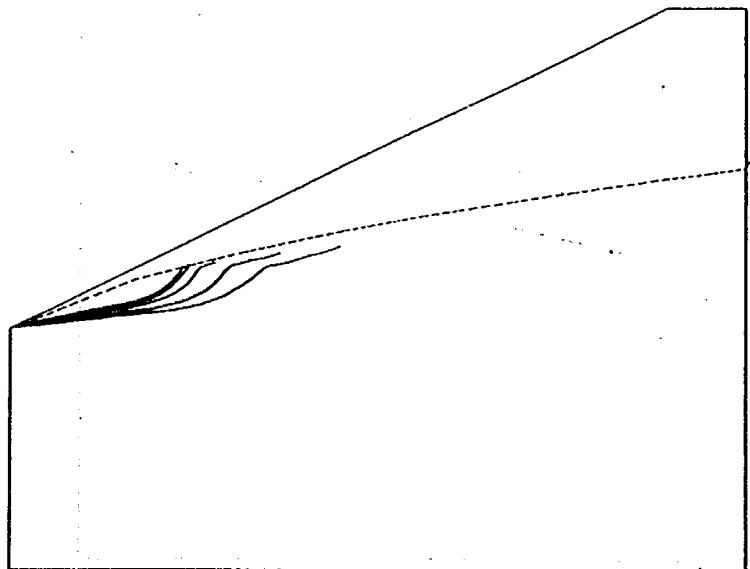
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K-10 -3 H1-50.0 H2-30.0 N-3 L-50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 5.00
MAX. HEAD 5.00E3

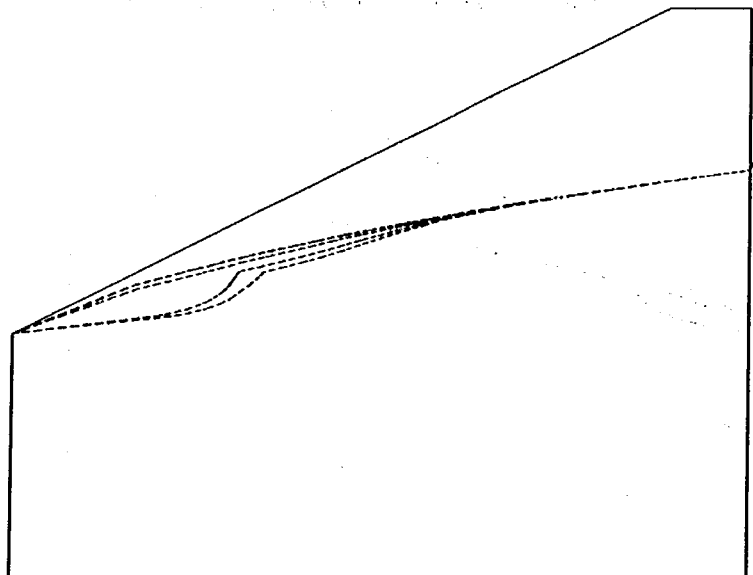
SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-13 K-10 -3 H1-50.0 H2-30.0 N-3 L-50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

STEP NO. 1
SEEPAGE TIME 0.00
MAX. HEAD 5.00E3

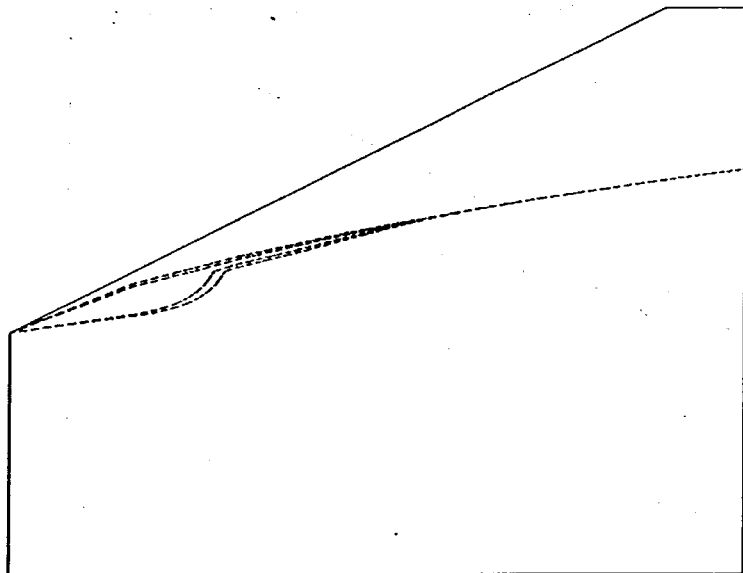
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 500 (Y) 1 / 500 (Z) 1 / 500

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 2.20E3
MAX. HEAD 5.00E3

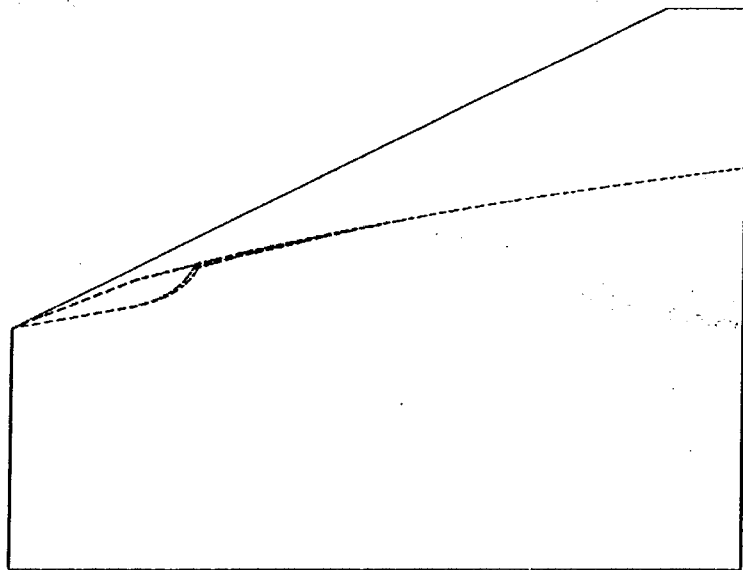
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 500 (Y) 1 / 500 (Z) 1 / 500

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 3.65E2
MAX. HEAD 5.00E3

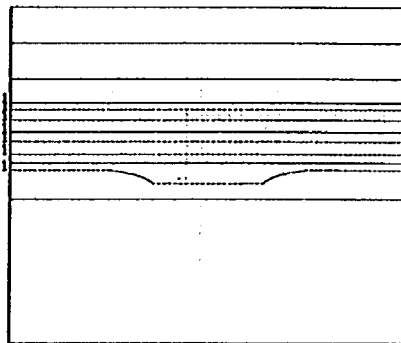
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



GEOM. SCALE : (X) 1 / 500 (Y) 1 / 500 (Z) 1 / 500

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 1.20E3
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50

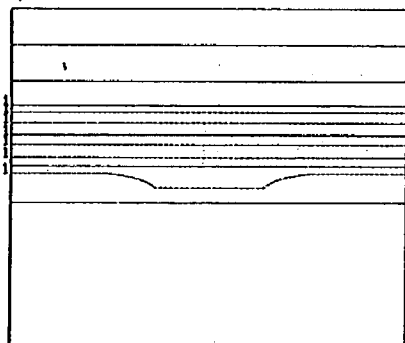


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 5.00E3



SEEPAGE SCALE: 1 TO 1 / 1000.00 (Y) 1 / 1000.00 (Z) 1 / 1000.00

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50

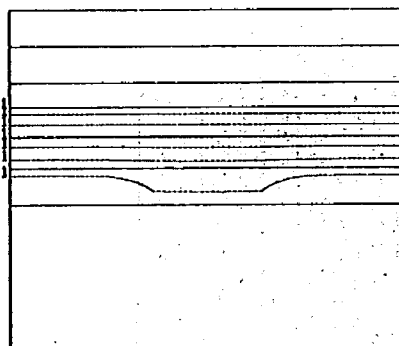


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.00E3



SEEPAGE SCALE: 1 TO 1 / 1000.00 (Y) 1 / 1000.00 (Z) 1 / 1000.00

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50

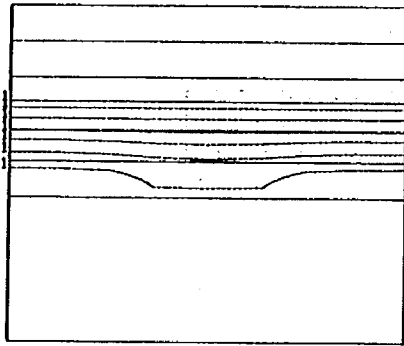


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 5.00E3



SEEPAGE SCALE: 1 TO 1 / 1000.00 (Y) 1 / 1000.00 (Z) 1 / 1000.00

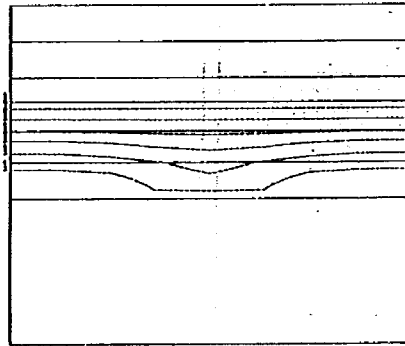
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 5.00E3

STEP. SCALE 1 (D 1 / 100000 (D 1 / 100000 (D 1 / 100000

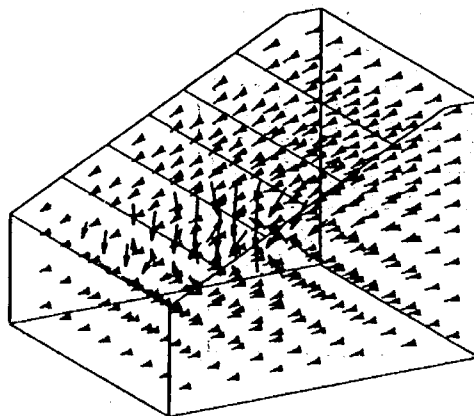
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

STEP. SCALE 1 (D 1 / 100000 (D 1 / 100000 (D 1 / 100000

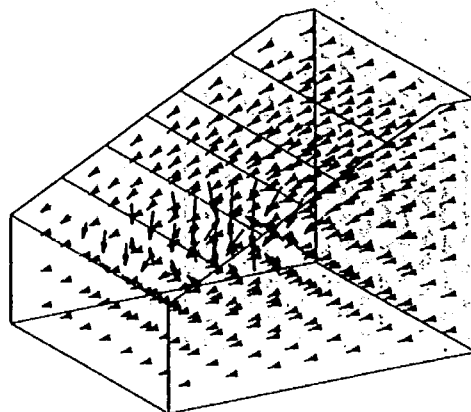
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. FLOW 1.34E2

FLOW SCALE 2.57E2

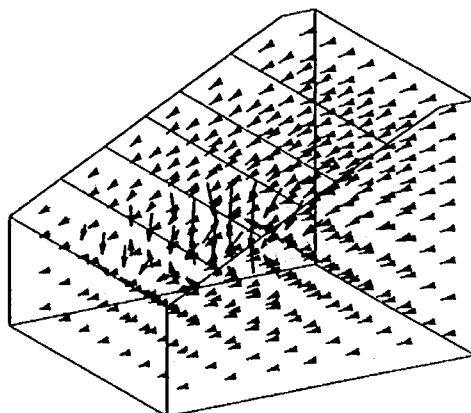
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. FLOW 1.32E2

FLOW SCALE : 2.66E2

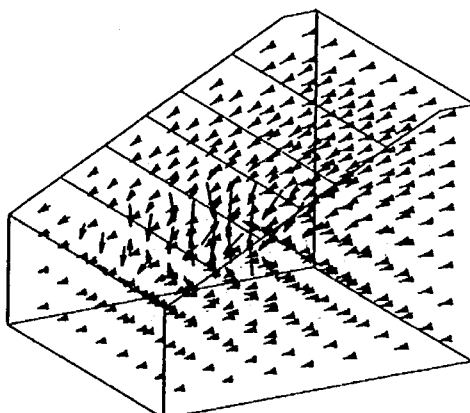
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. FLOW 1.28E2

FLOW SCALE : 2.66E2

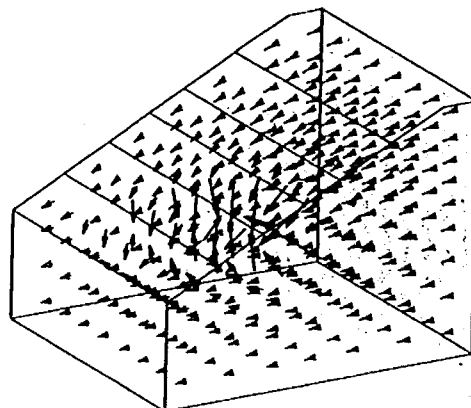
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.66E2
MAX. FLOW 1.19E2

FLOW SCALE : 2.30E2

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-13 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3 L=50

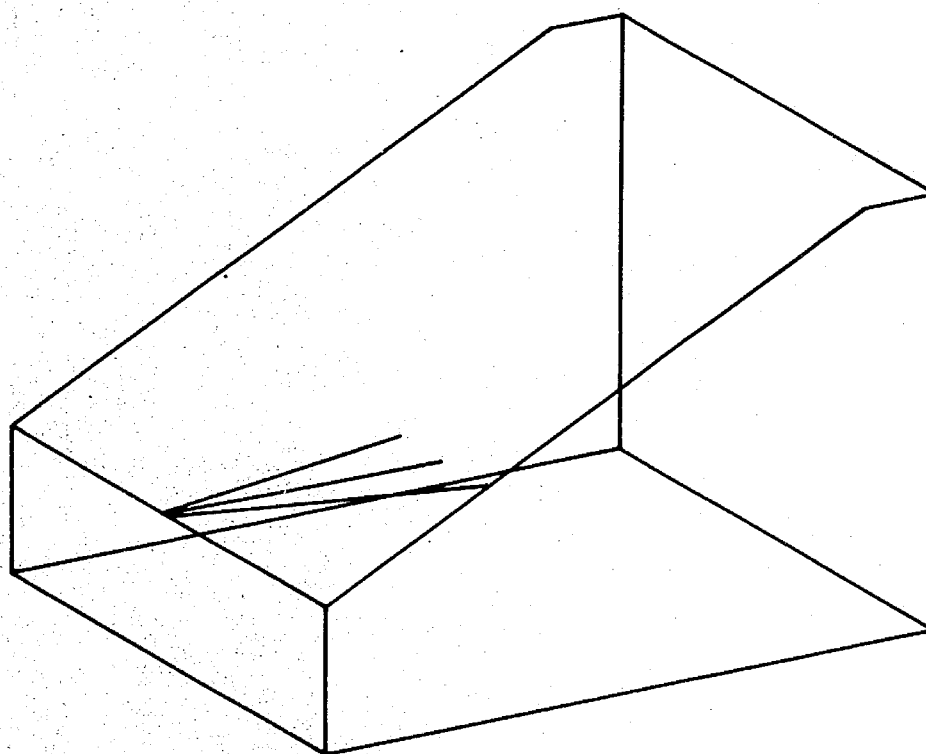


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. FLOW 1.09E2

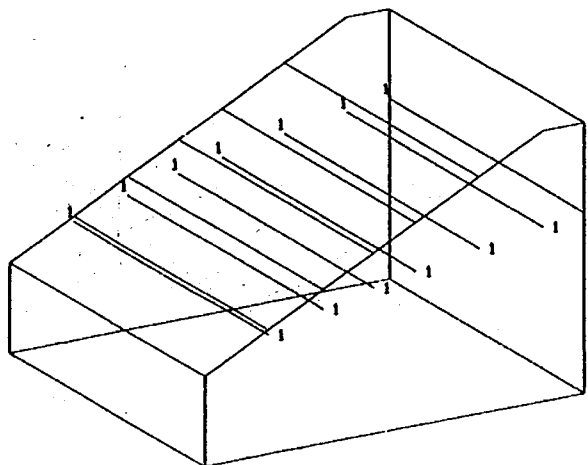
FLOW SCALE : 2.18E2

CASE 14 ($k=10^{-3}$, $H_1=40.0$, $H_2=20.0$, $N=3$, 孔長 40 m, 扇型)

CASE - 14 のモデル図

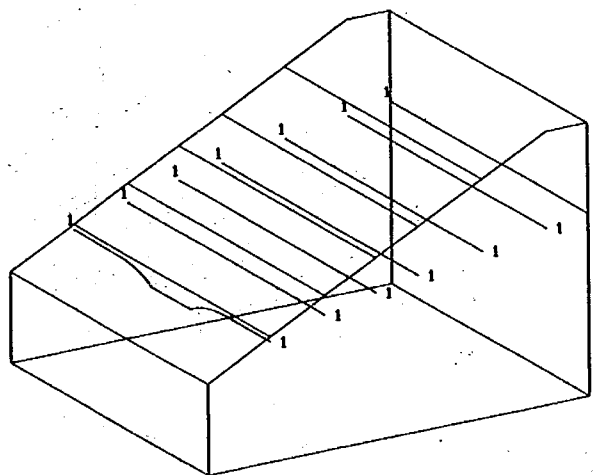


SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



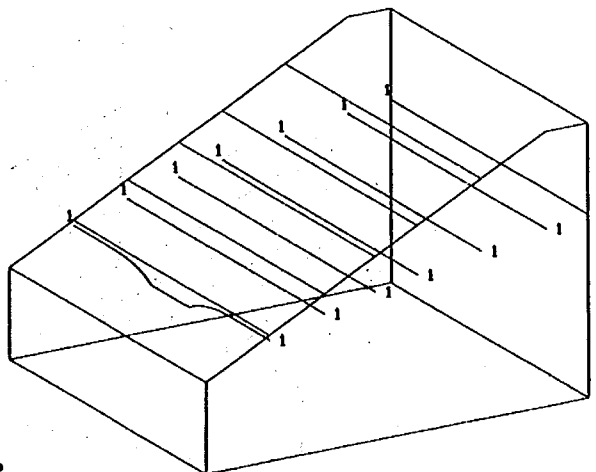
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



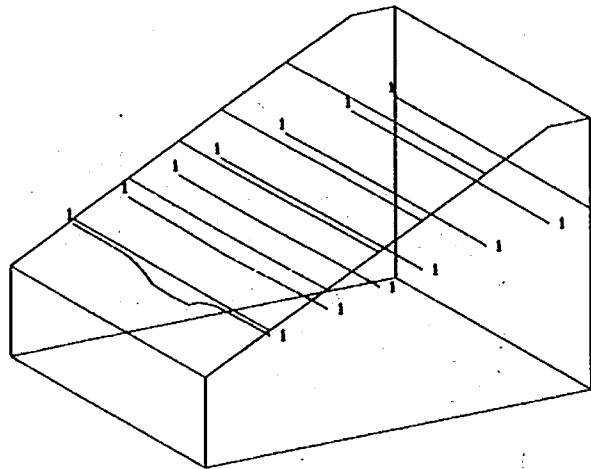
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



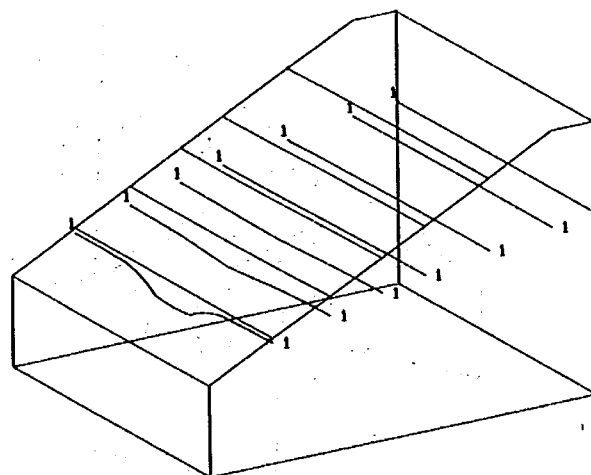
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



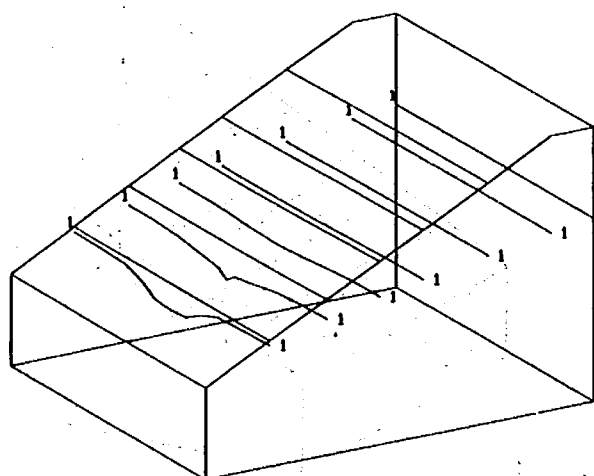
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



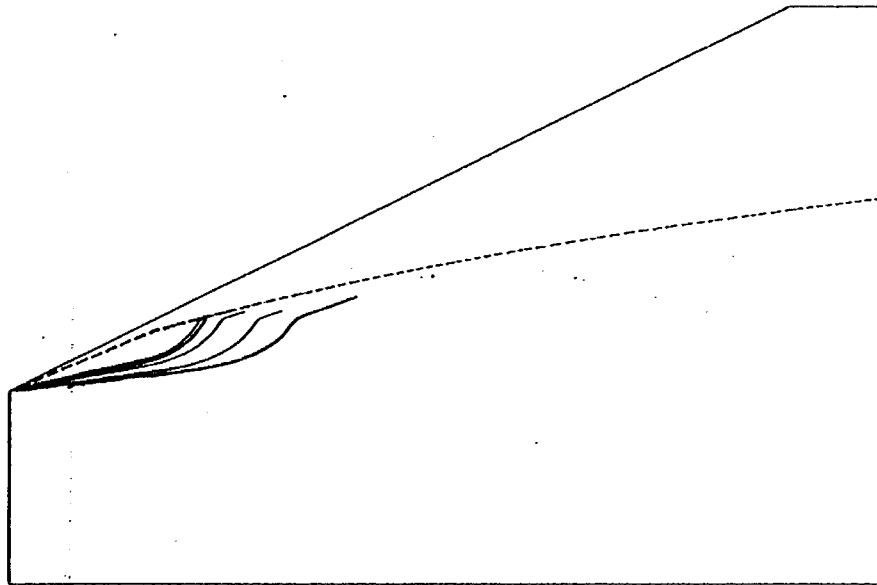
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



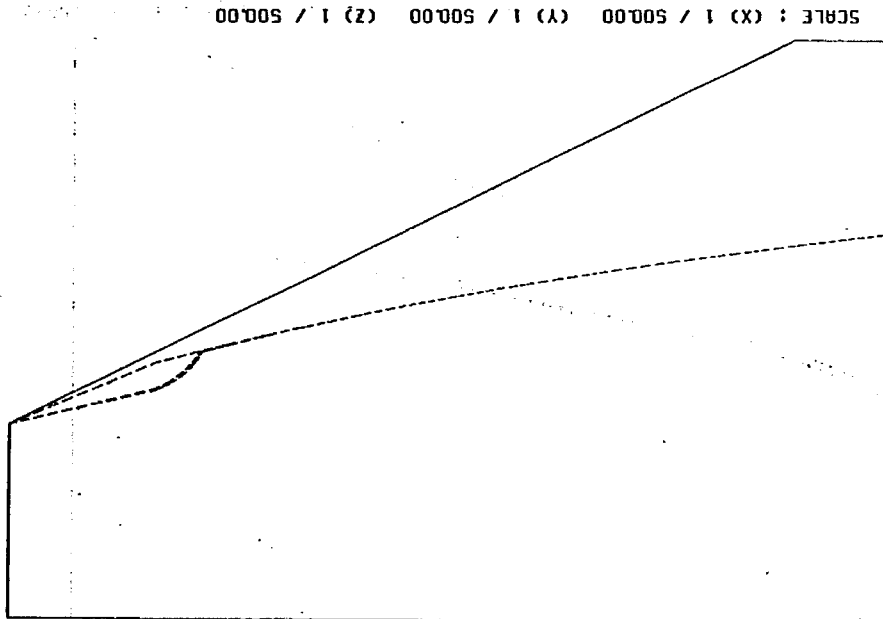
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-14 K-10 -3 H1-40.0 H2-20.0 N-3



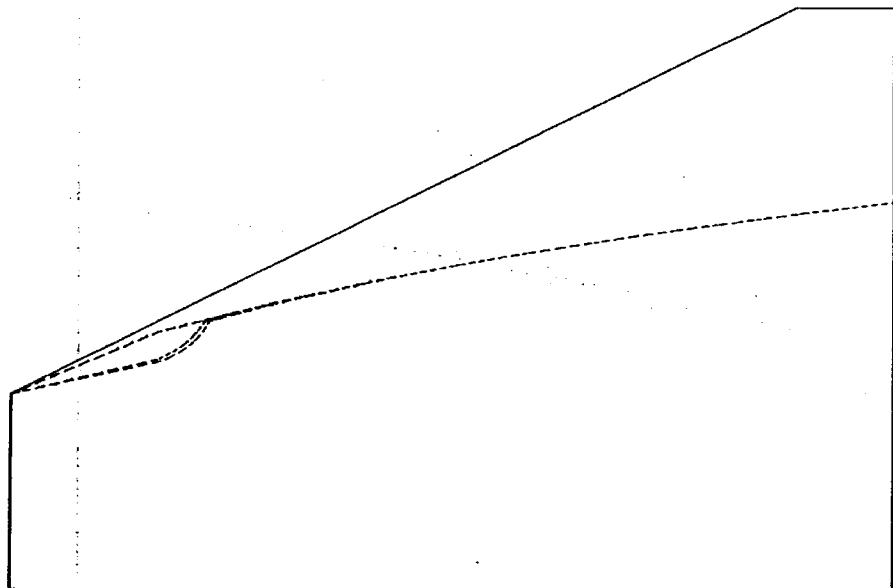
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K-10 -3 H1-40.0 H2-20.0 N-3



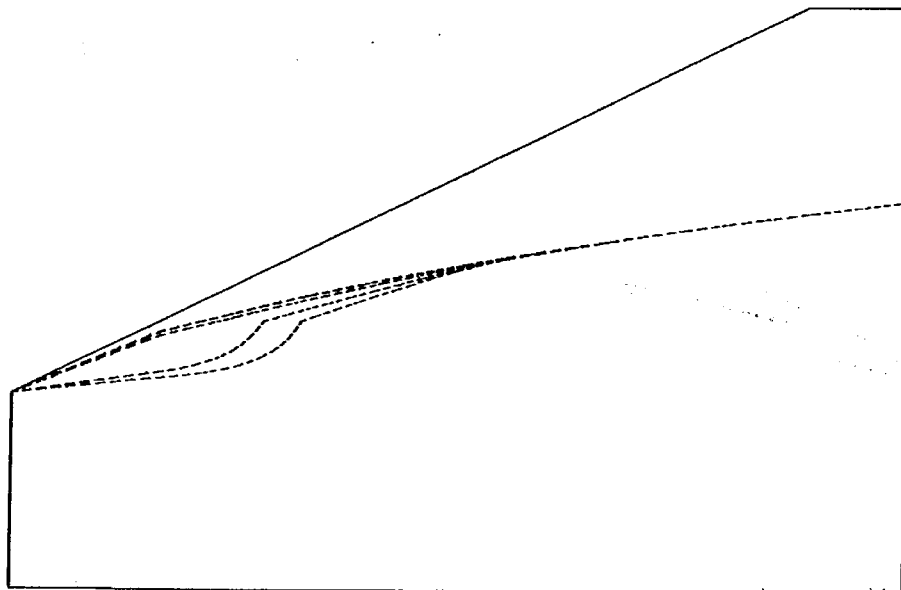
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K-10 -3 H1-40.0 H2-20.0 N-3



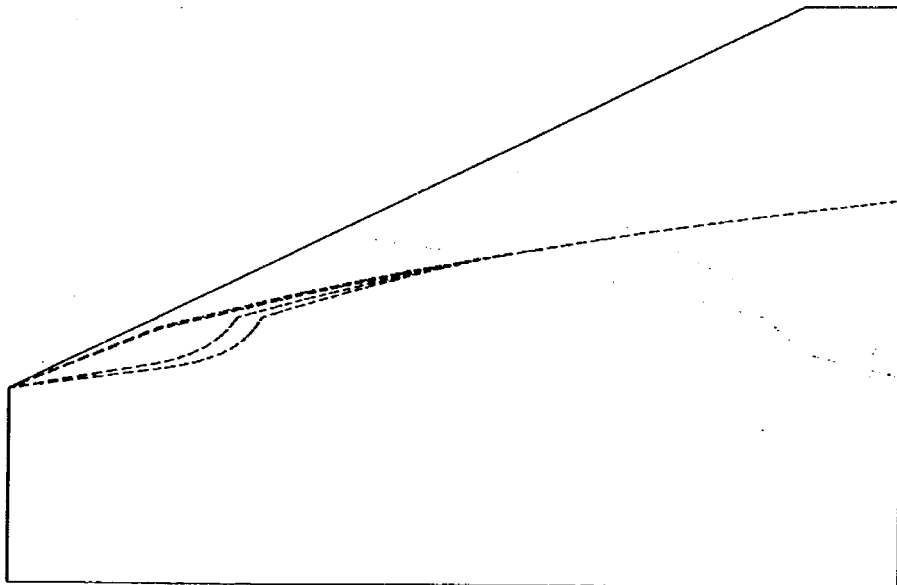
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K-10 -3 H1-40.0 H2-20.0 N-3



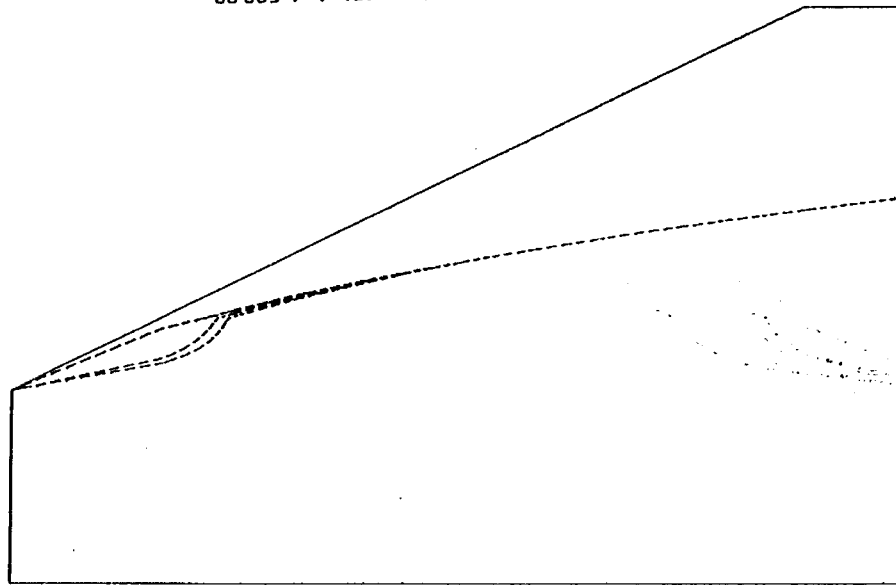
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K-10 -3 H1-40.0 H2-20.0 N-3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K-10 -3 H1-40.0 H2-20.0 N-3



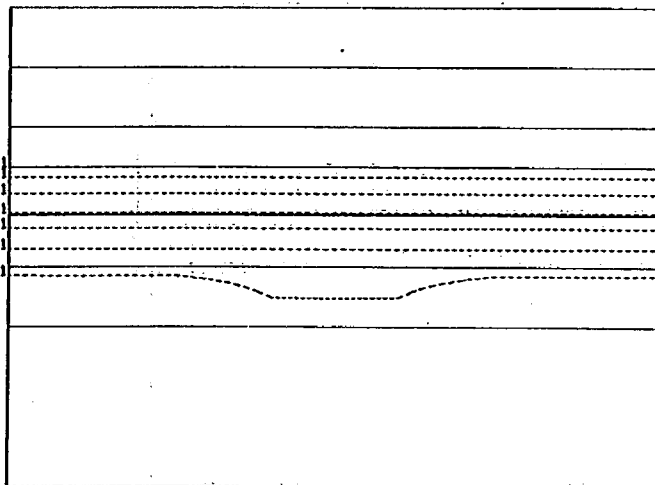
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E3
MAX. HEAD 4.00E3

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

GEOM. SCALE : (X) 1 / 500.00 (Y) 1 / 500.00 (Z) 1 / 500.00

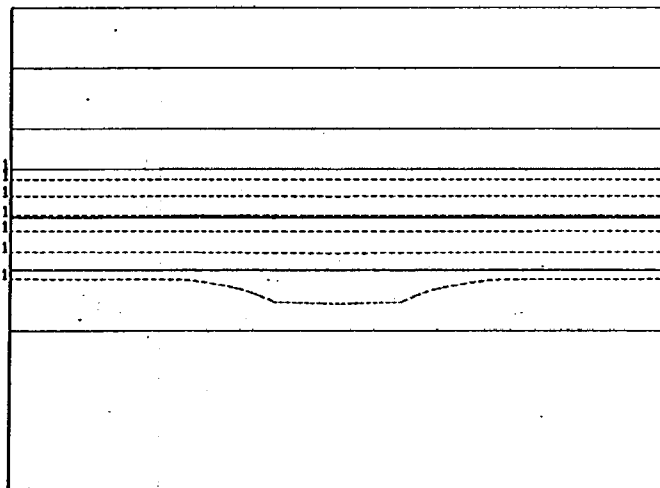
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE SCALE: 1 (12) 1 / 1000 (17) 1 / 1000 (23) 1 / 1000

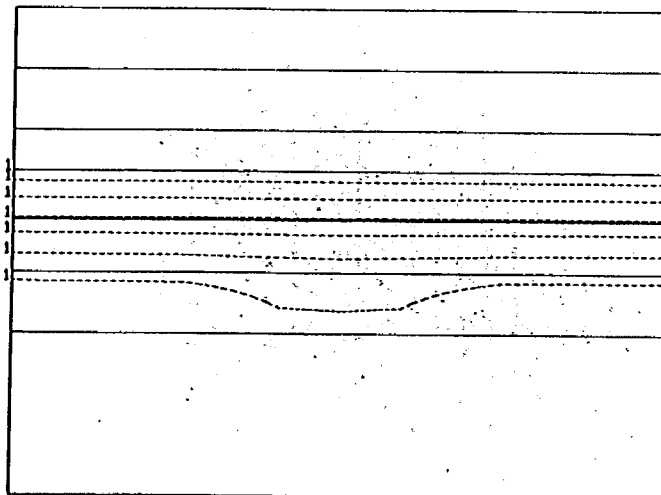
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE SCALE: 1 (12) 1 / 1000 (17) 1 / 1000 (23) 1 / 1000

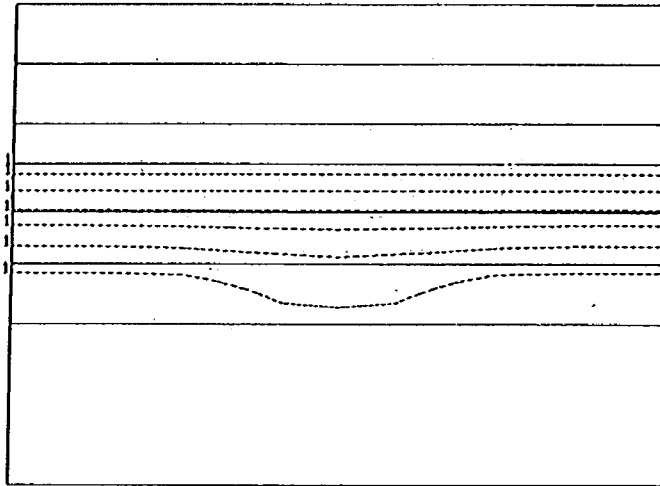
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

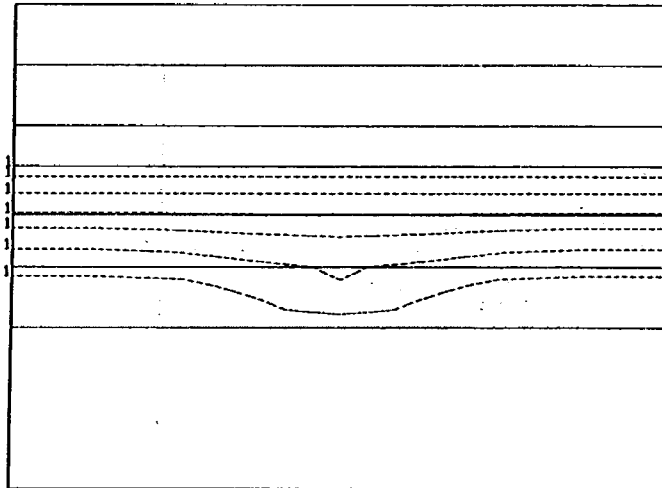
SEEPAGE SCALE: 1 (12) 1 / 1000 (17) 1 / 1000 (23) 1 / 1000

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



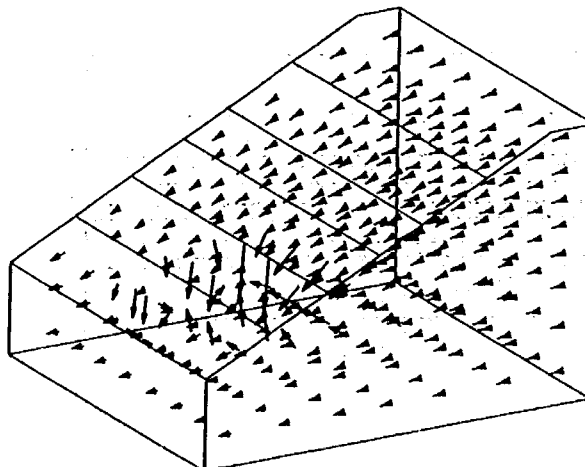
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



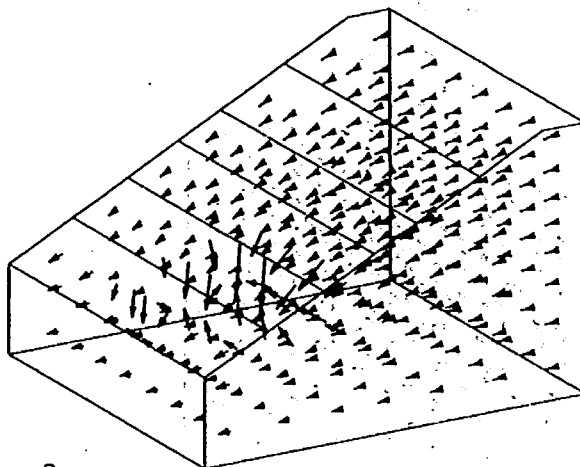
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 4.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. FLOW 1.12E2

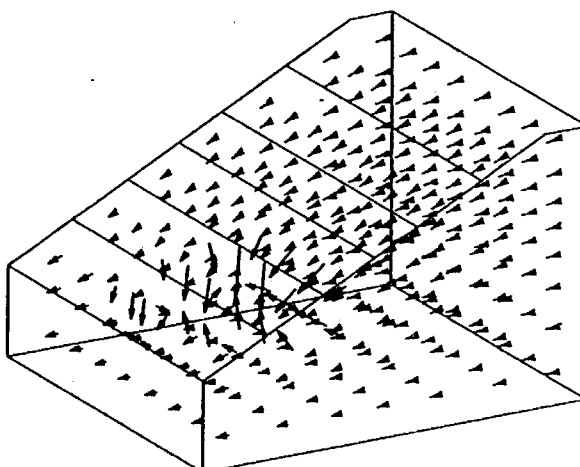
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. FLOW 1.11E2

FLOW SCALE : 2.22E2

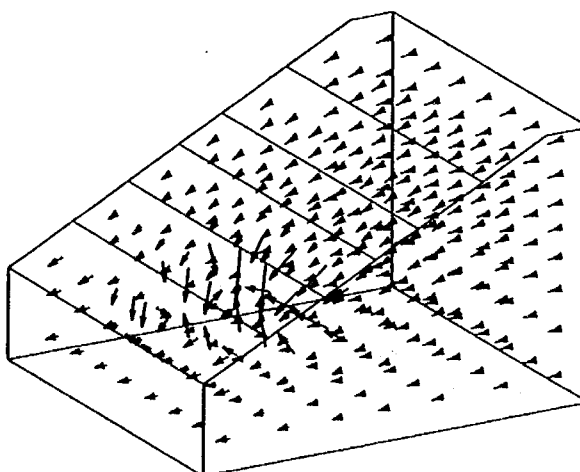
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. FLOW 1.08E2

FLOW SCALE : 2.16E2

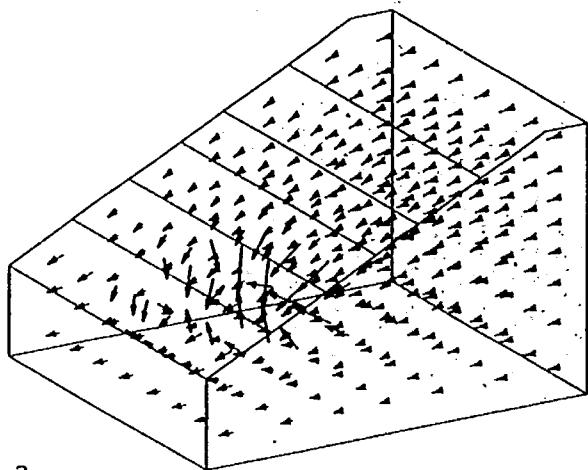
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. FLOW 1.00E2

FLOW SCALE : 2.00E2

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-14 K=10 -3 H1=40.0 H2=20.0 N=3

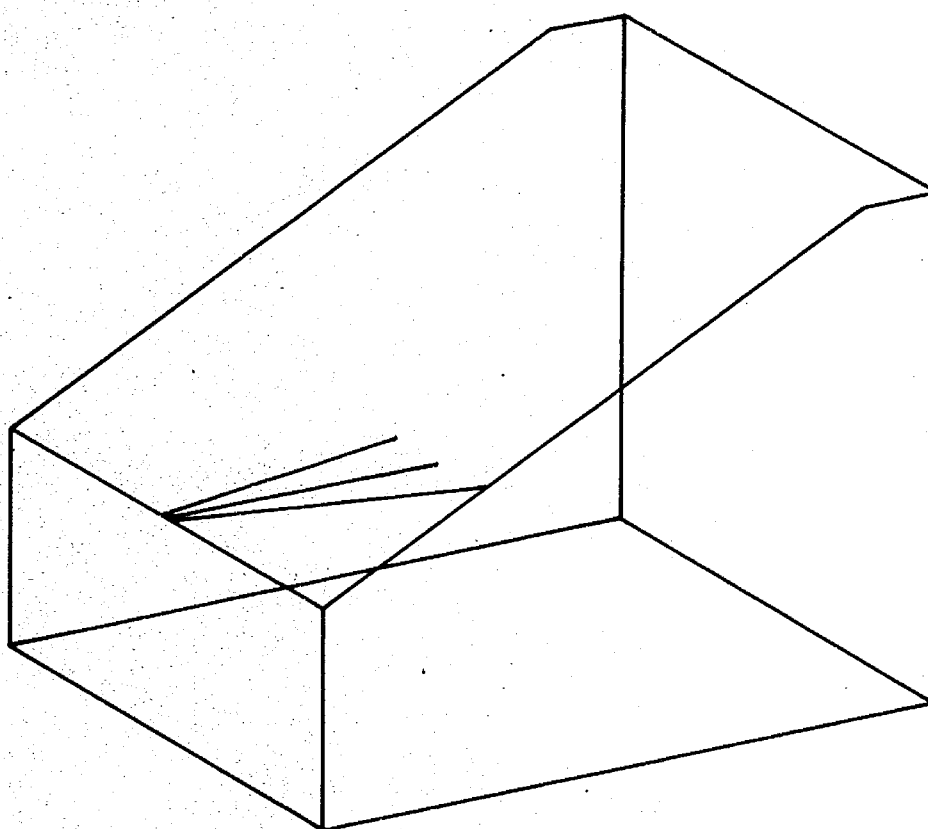


STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. FLOW 9.23E1

FLOW SCALE: 1.06E2

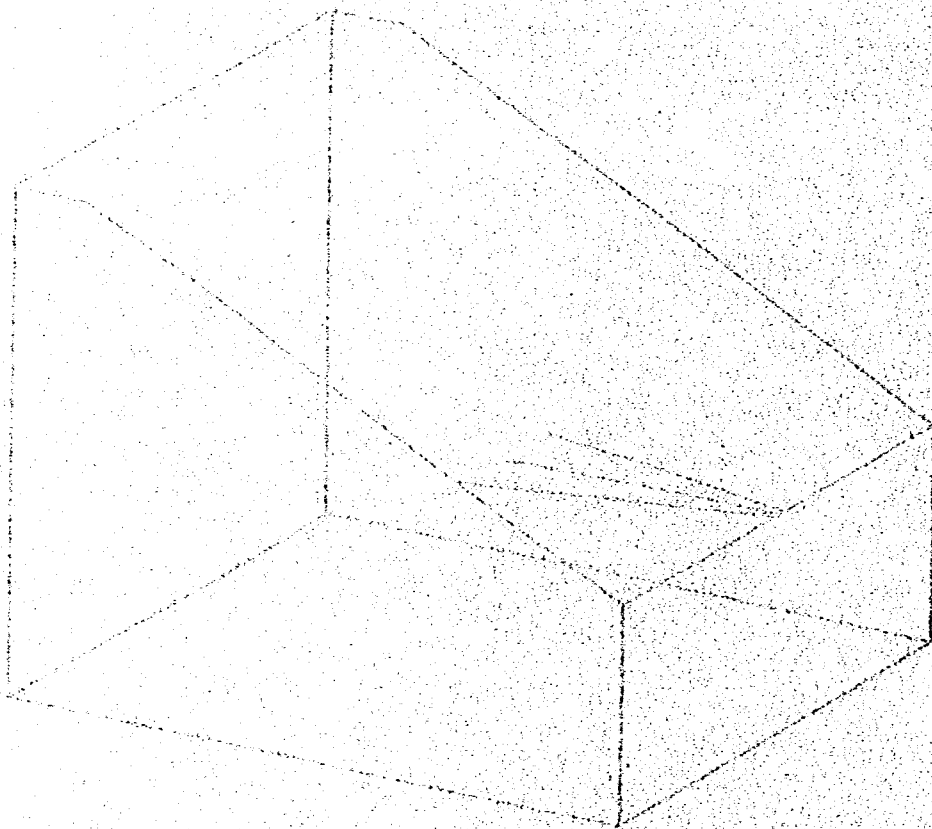
CASE 15 ($\kappa=10^{-3}$, $H_1=50.0$, $H_2=30.0$, $N=3$, 孔長 40 m, 扇型)

CASE - 15 のモデル図

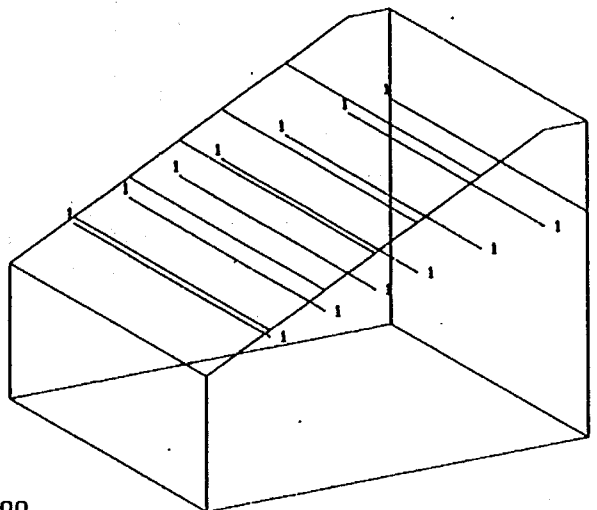


CASE 12 (K=10, H=800, W=300, M=3, 250, 10, 10, 10)

CASE 12 (K=10, H=800, W=300, M=3, 250, 10, 10, 10)

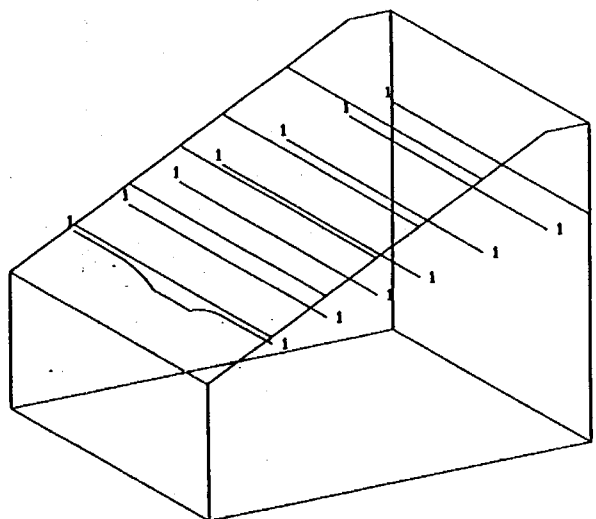


SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



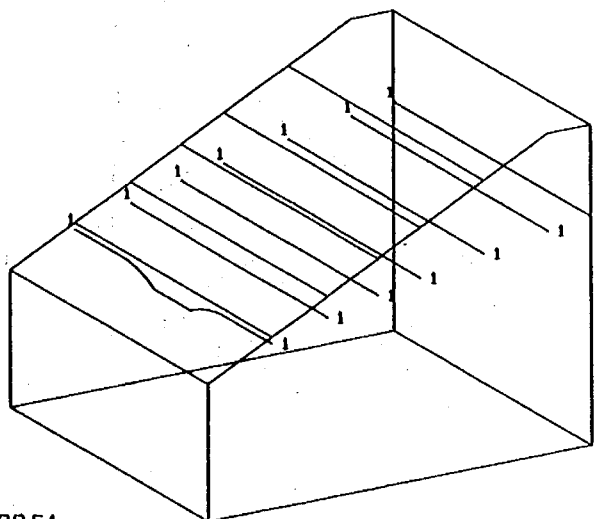
STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



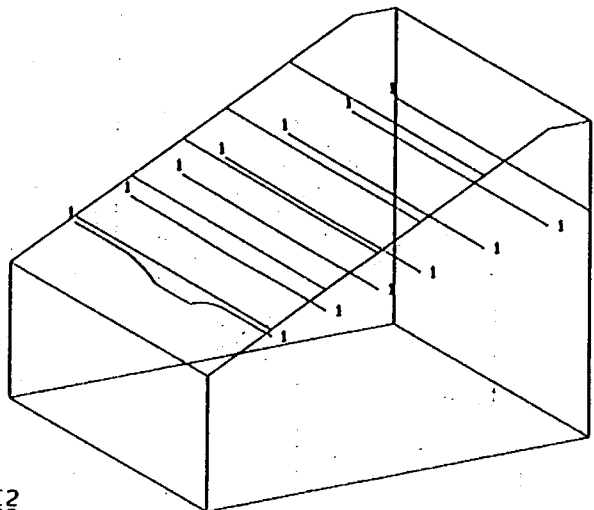
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



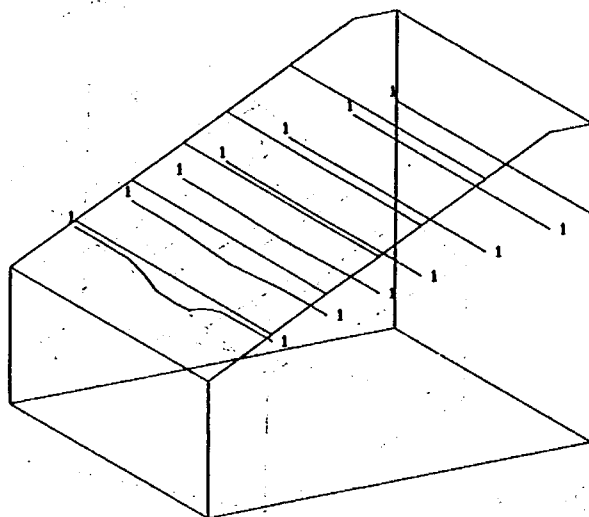
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



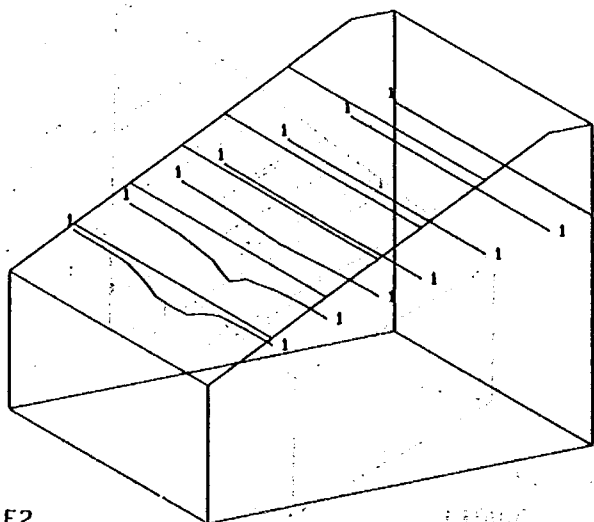
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



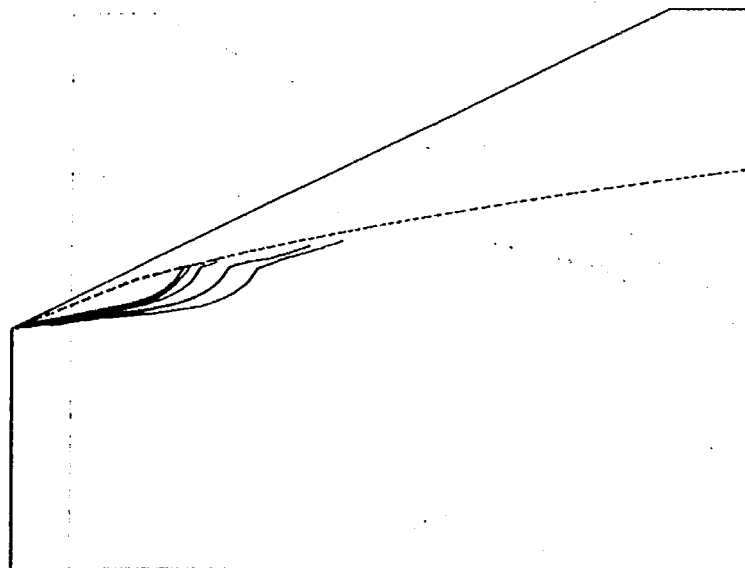
STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 5.00E3

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

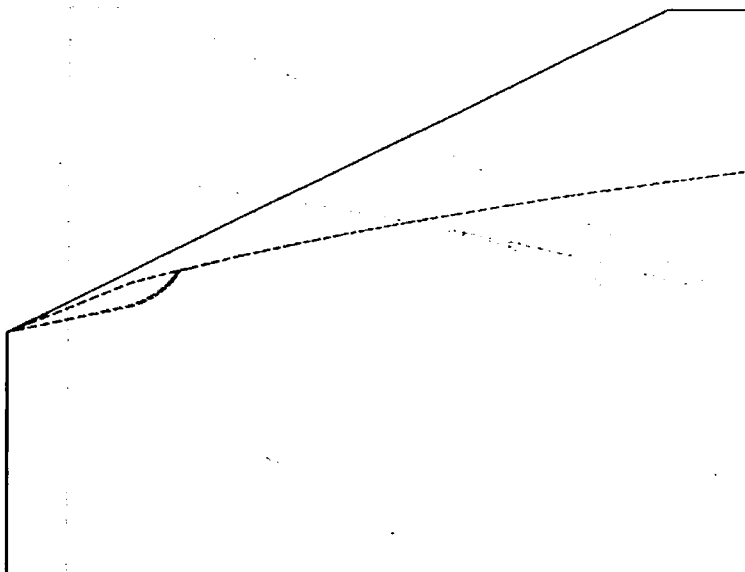
SEEPAGE ANALYSIS STEP 1
CASE-15 K-10 -3 H1-50.0 H2-30.0 N-3



GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

STEP NO. 1
SEEPAGE
TIME 0.00
MAX. HEAD 5.00E3

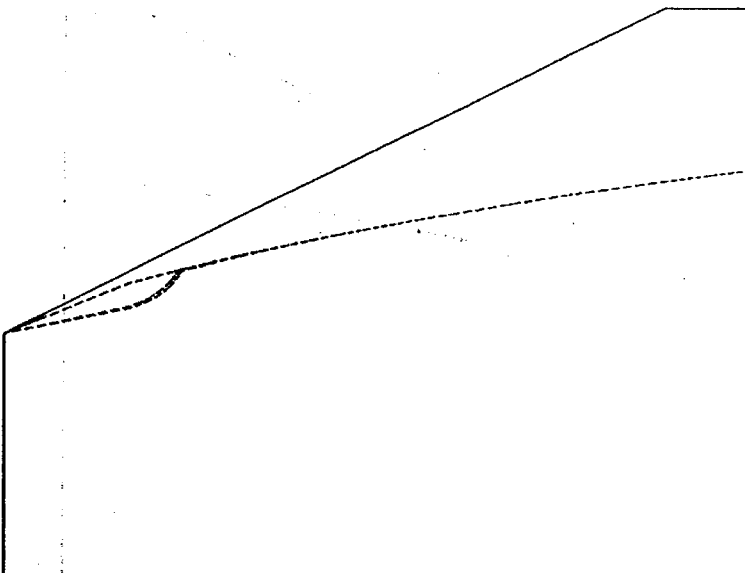
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K-10 -3 H1-50.0 H2-30.0 N-3



GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 5.00E3

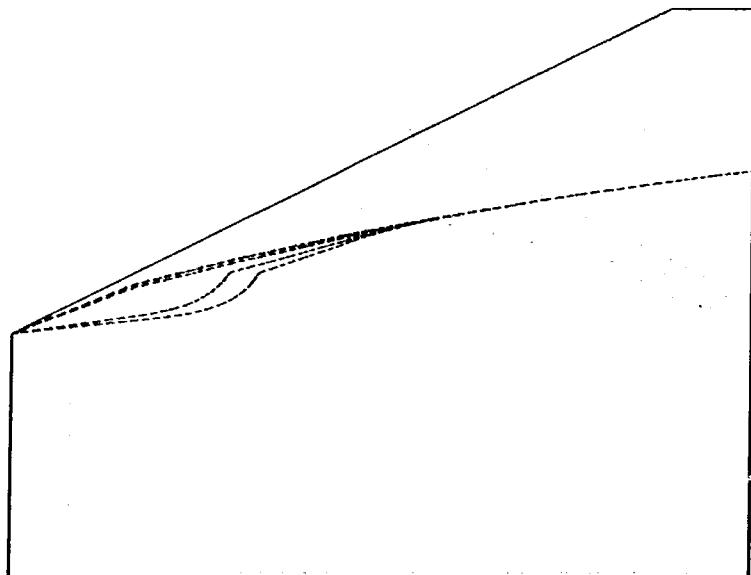
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K-10 -3 H1-50.0 H2-30.0 N-3



GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.00E3

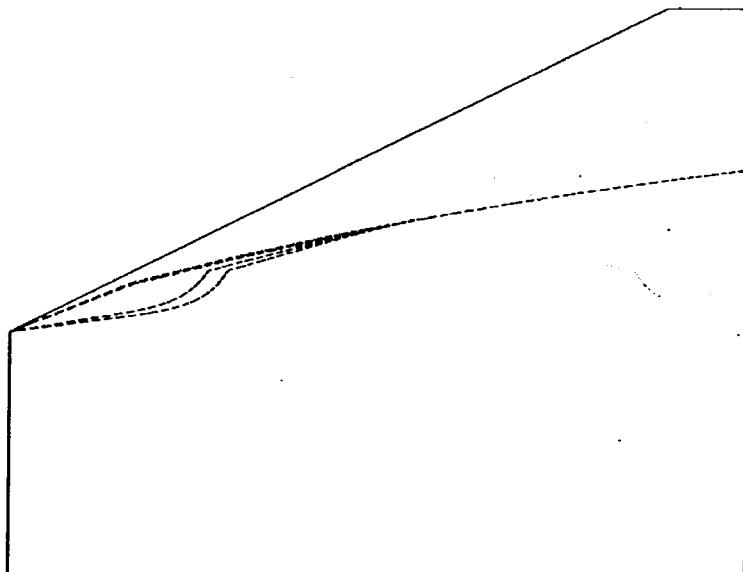
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 2.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

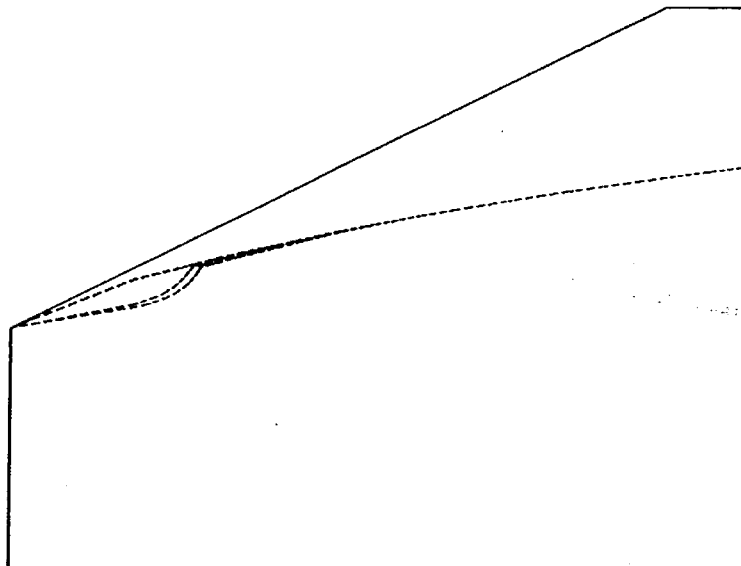
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 3.65E2
MAX. HEAD 5.00E3

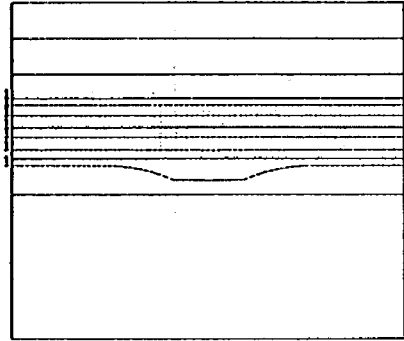
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



GEOM. SCALE : (X) 1 / 600 (Y) 1 / 600 (Z) 1 / 600

STEP NO. 2
SEEPAGE TIME 1.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

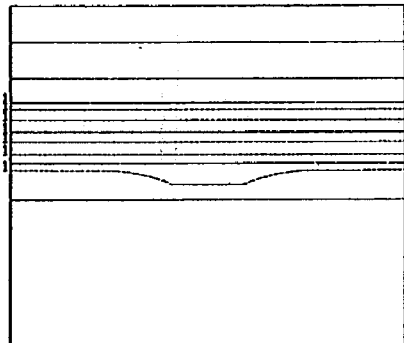
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. HEAD 5.00E3

SCALE: 1 (X) 1 / 1000.00 (Y) 1 / 1000.00 (Z) 1 / 1000.00

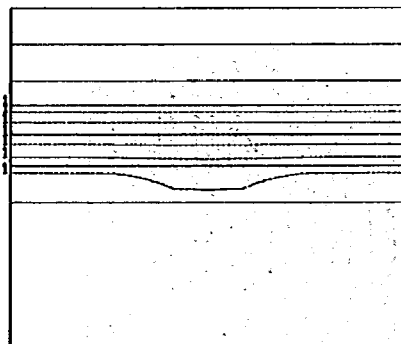
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. HEAD 5.00E3

SCALE: 1 (X) 1 / 1000.00 (Y) 1 / 1000.00 (Z) 1 / 1000.00

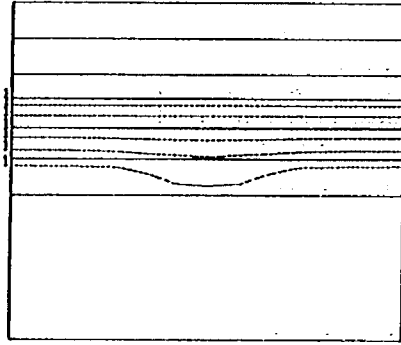
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

SCALE: 1 (X) 1 / 1000.00 (Y) 1 / 1000.00 (Z) 1 / 1000.00

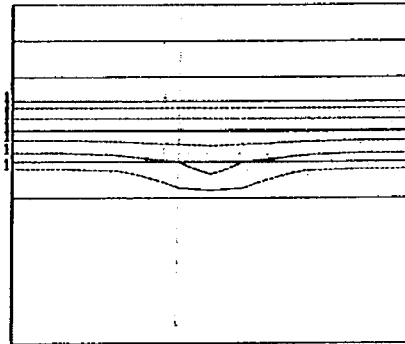
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. HEAD 5.00E3

SCALE: 1.00E1 / 1.00E0 (1.00E1 / 1.00E0)

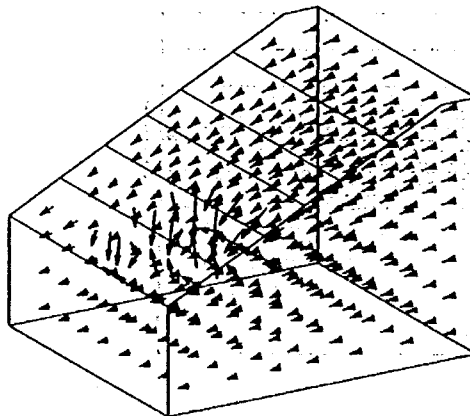
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. HEAD 5.00E3

SCALE: 1.00E1 / 1.00E0 (1.00E1 / 1.00E0)

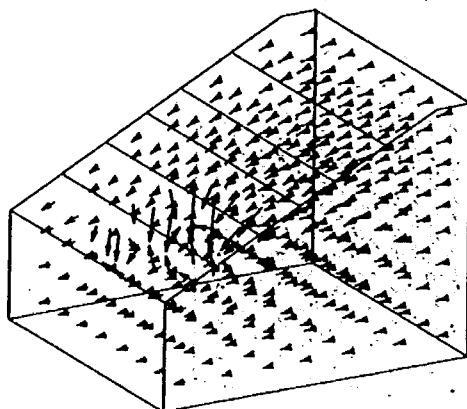
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 5.00
MAX. FLOW 1.08E2

FLOW SCALE: 2.16E2

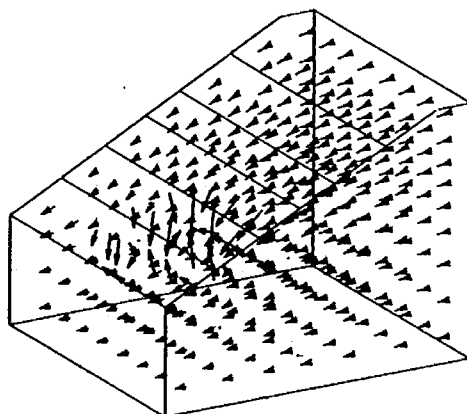
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.00E1
MAX. FLOW 1.07E2

FLOW SCALE : 2.14E2

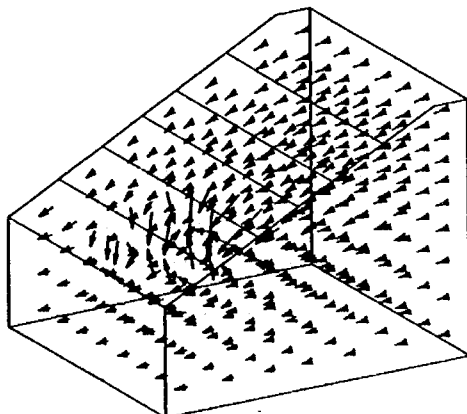
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 1.20E2
MAX. FLOW 1.04E2

FLOW SCALE : 2.08E2

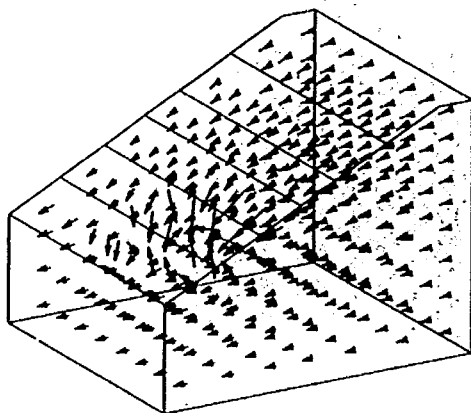
SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 3.65E2
MAX. FLOW 9.68E1

FLOW SCALE : 1.54E2

SEEPAGE ANALYSIS STEP 2
CASE-15 K=10 -3 H1=50.0 H2=30.0 N=3



STEP NO. 2
SEEPAGE
TIME 7.20E2
MAX. FLOW 8.93E1

FLOW SCALE : 1.79E2

集水ボーリング工による
地下水低下の解析

ISSN 0386-5875
土木研究所資料第 2269 号
昭和 60 年 12 月 (1985)
中村浩之・久保田哲也

キーワード：地すべり，地下水，ボーリング，災害復旧，災害対策
排水工，集水工

要 旨

地すべり対策工として重要な集水ボーリング（水平ボーリング）の地すべり地内での配置を考える場合，現場の透水係数や地下水位に応じた計画を検討せねばならないが，現在その明確な指針があるとは言い難い。したがって，従来から経験的に決定されて来た集水ボーリングの配置計画に対してさらに合理的な指針を得る目的で，地下水低下のモデル斜面による数値解析を実行し，概略的な配置計画の指針案を示した。



郵便はがき

□□□-□□

四十円切手
をはって下
さい

建設省土木研究所
地すべり研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2269号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印