

土木研究所資料

貯水位変動に伴う地下水浸透と 地すべり斜面の安定度に対する検討

昭和62年7月

建設省 土木研究所
砂防部 地すべり研究室

Copyright ©1987 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。

貯水位変動に伴う地下水浸透と 地すべり斜面の安定度に対する検討

砂防部 地すべり研究室 室 長 中 村 浩 之

部外研究員 土 屋 智

要旨

ダム貯水池周辺山腹地域における貯水位変動に起因する地すべりの調査および解析手法の確立のための基礎資料を得る目的で模型斜面を用いた浸透流実験とその結果、飽和-不飽和浸透流解析とその解析事例、水没斜面での安定計算の他、浸透流解析の際に必要な地すべり斜面内の透水係数を得るための現場透水試験法等についてとりまとめたものである。

キーワード：地すべり，地下水，浸透流解析，ダム貯水池，現場透水試験

ま え が き

最近、水需給の逼迫から必ずしも良好とはいえない地質条件のところでのダム建設、あるいは計画がなされるようになってきた関係上、その発生個所の予知、地すべり危険度の推定、防止対策は非常に重要であり、地すべり解析手法の確立が急がれていることは改めて述べるまでもない。このようなダム貯水池周辺での地すべりでは通常湛水面が広範囲にわたることから、すべての地域での十分な地下構造を把握するための地質調査は不可能に近く、航空写真判読、地表踏査等を実施した後地すべり地を推定し、そこでの地質調査から得られる結果をもとに斜面の安定度を検討し対策を実施しているのが実情である。

本報告はダム貯水池周辺において、対象とすべき地すべりが定められた場合、これを調査及び解析する手法の確立のための基礎資料として、①模型斜面を用いた浸透実験とその結果、②飽和－不飽和浸透流解析とその解析事例、③水没時での安定計算法、④現場透水試験についての4項目についてとりまとめたものである。

今回の結果がダム周辺地すべりでの調査・研究の一助となれば幸いと考える次第である。なお、巻末には土木研究所資料第2283号「ダム貯水池周辺地すべり斜面における非定常浸透流解析」での浸透流解析プログラムおよびこのプログラムと組み合わせることで貯水位降下時での地下水面高に対応した安定解析が行なえるプログラムの両者のリストを掲げてある。また、浸透流実験と本報告のとりまとめに関しては地すべり研究室久保田研究員の多大な援助を頂いた。ここに、深謝の意を表します。

昭和62年 7 月

建設省 土木研究所 砂防部

地すべり研究室

室 長 中 村 浩 之

部外研究員 土 屋 智

目 次

1. 模型斜面を用いた浸透実験とその結果.....	1
1 - 1. 実験目的.....	1
1 - 2. 実験装置.....	1
1 - 3. 実験方法及び実験材料	3
1 - 4. 実験結果.....	5
2. 飽和・不飽和浸透流解析とその解析事例	14
2 - 1. 基礎式と解析条件	14
2 - 2. 有限要素法による定式化	15
2 - 3. 不飽和透水係数, 体積含水率, 圧力水頭の関係	22
2 - 4. 解析事例.....	25
3. 水没時での安定解析	35
3 - 1. 安定計算式	35
3 - 2. 安定解析事例	37
4. 現場透水試験	42
4 - 1. はじめに.....	42
4 - 2. 透水試験の種類と方法	42
4 - 3. 原位置透水試験	47
5. ま と め	48
参 考 文 献	49
巻末プログラムリスト	50

1. 模型斜面を用いた浸透実験とその結果

1-1 実験目的

ダム貯水池周辺地域での地すべりでは、その発生に関し貯水位の上・下が極めて重要な因子であり、主たる発生原因として貯水位上昇時では地すべり下部ブロックが水没することによる抵抗力の減少が、また下降時では貯水位下降に伴って発生する残留間隙水圧が相当すると考えられている¹⁾。

今回の実験は貯水位変動時での上記のような地すべりの発生機構を解明する目的で、実験水槽内に円筒形のすべり面を作成し、貯水槽の水位を変動させることにより作成されたモデル斜面内における地下水の浸透状態と盛土斜面の形状変化を実験的に把握するために実施したものである。

1-2 実験装置

実験で用いた装置は建設省土木研究所地すべり模型実験施設内の地すべり滑落試験装置で長さ150cm、深さ80cm、幅80cmの土槽と長さ20cm、深さ80cm、幅20cmの貯水槽とを有するものである。この土槽内に図-1に示すような半径100cm、幅80cmの鉄板製の円筒形すべり面を作成し、すべり面が上・下端で50cmの比高をもつよう固定台(図-2)に設置した。

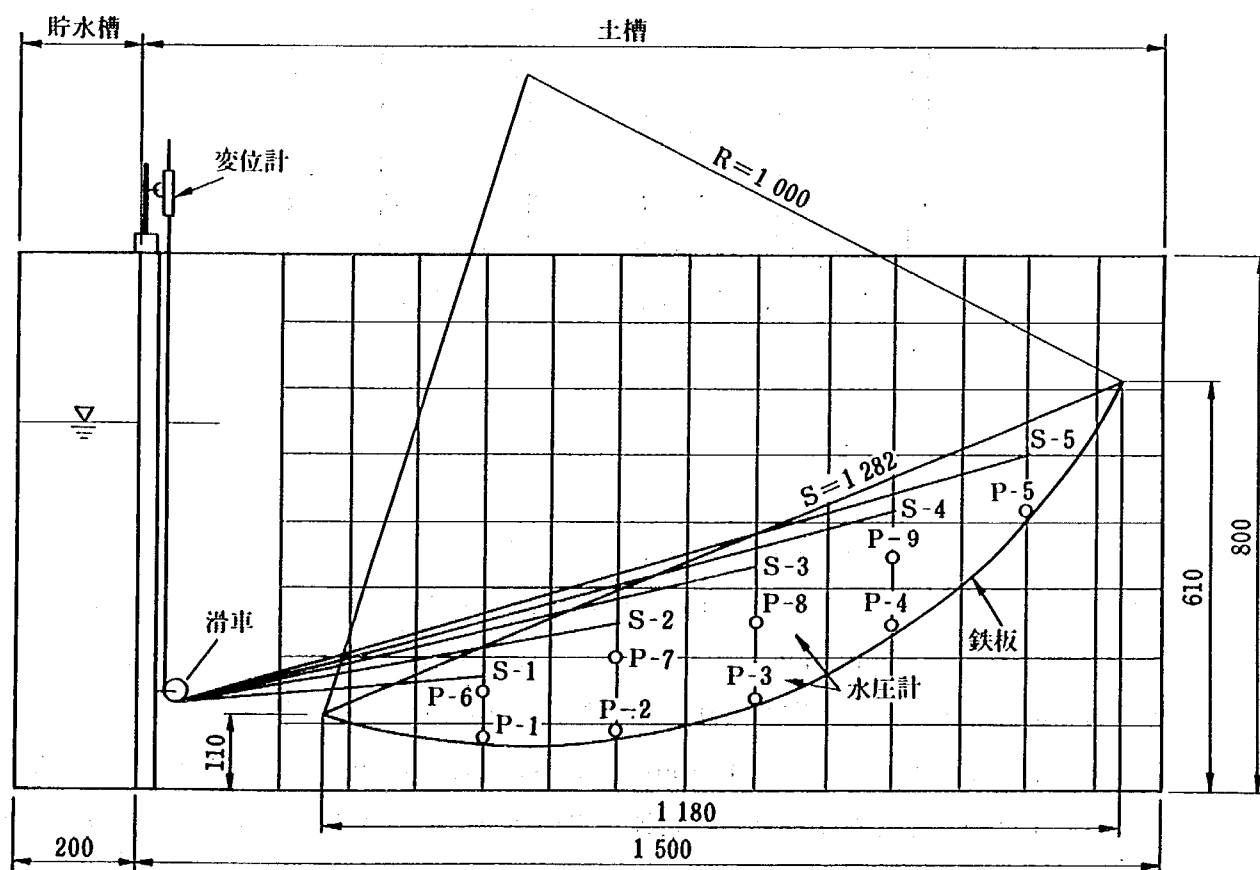


図-1 実験装置概要

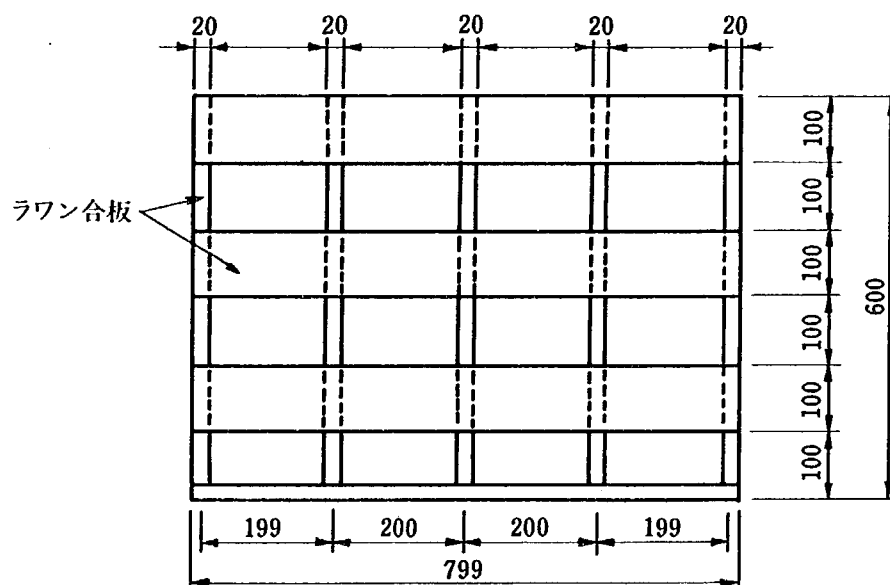
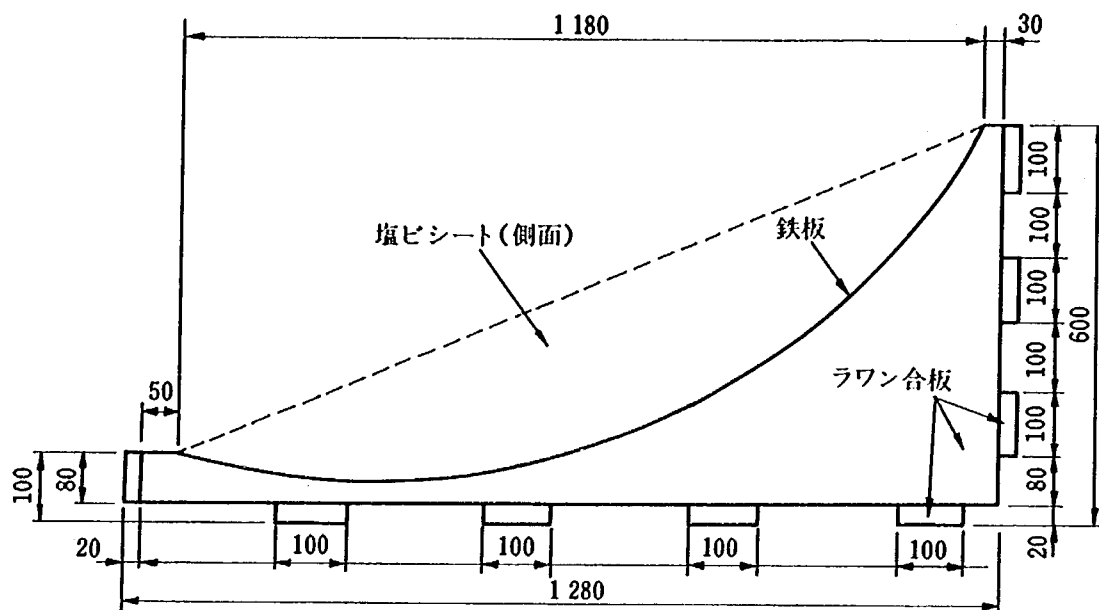


図 - 2 すべり固定台概要

なお、設置段階での実験斜面の傾斜は水平に対し 23° である。実験ではすべり面上に斜面法尻から 20 cm 間隔に 5 ケ所、すべり面上部（斜面内部）に 4 ケ所の計 9 ケ所に高精度間隙水圧計（ $\phi 12$ mm，最大容量 0.1 kgf/cm^2 ，仕様詳細は表 - 1 参照）を設置するとともに斜面表面には地表部変位を測定するため間隙水圧計の設置位置と同様な間隔で固定点を設け，ここでの変位を滑車経路で変位計（最大容量 100 mm，最小読み $1/100$ mm，仕様詳細は表 - 2 参照）に伝えた。測定は両者ともデジタル測定器を用い経時にその変化を記録するという方法で行なった。

表-1 間隙水圧計校正係数

計器No	製造番号	校正係数(初期) ($\times 10^{-2}$ mm)
100	586	8.512
101	588	8.632
102	587	8.961
103	591	8.825
104	593	8.642
105	585	8.726
106	589	8.384
107	592	8.512
108	590	8.207
109	584	8.256
仕 様		
型 名: P310A-01		
定格容量: 0.1 kg/cm ²		
出力電圧: 30 mVFS		
非直線性: 0.5 %FS		
再現性: 0.2 %FS		
温度特性: 0.05 %FS / $^{\circ}$ C		

表-2 変位計校正係数

計器No	製造番号	校正係数 ($\times 10^{-2}$ mm)
110	YB 2717	3.040
111	YB 2728	3.162
112	YB 2730	3.145
113	YB 2734	3.515
114	YB 2739	3.144
仕 様		
型 式 名: DT-100A		
測定範囲: 1.5 mV/V		
定格出力: 0.1 kg/cm ²		
非直線性: 0.5 %RO		
ヒステリシス: 0.5 %RO		
温度補償範囲: -10 $\sim$ +50 $^{\circ}$ C		
0点温度影響: ± 0.05 %RO/ $^{\circ}$ C		
出力温度影響: ± 0.05 %RO/ $^{\circ}$ C		

1-3 実験方法および実験材料

実験では砂を用い、盛土・斜面成形時での不均一性による影響がないよう10 cm厚に入念に金ゴテで押える程度に成形するよう留意した。また、すべり面は実験の繰り返しによる摩擦係数の変化と浸水によるすべり面の物性変化を防ぐ目的で耐水性の硬質塩ビシートで全面を覆い土槽側壁(強化ガラス製)と斜面の砂との間には端面摩擦を防ぐ目的で同上シートを貼り直接砂が側壁に触れないようにしてある。なお、予備実験の結果から土槽が水平(図-1に示す斜面傾斜が23 $^{\circ}$ の時)の場合では、貯水位の昇降時での有効なすべりが確認されなかったため、土槽全体を傾斜させ(この時斜面傾斜は30 $^{\circ}$)実験を行うこととした。

表-3は斜面成形時でのサンプルから得られた砂の透水係数、密度、強度定数、摩擦係数について示したものである。表-3において砂の透水係数は定水位法から、強度定数については三軸圧縮試験より求めたものである。また、砂とすべり面に貼った硬質塩ビシートとの摩擦係数については図-3に示すように直径7.3 cmの円筒(アルミ製)に試料(砂)を充填し、シートを傾斜させ円筒がすべり出す直前での抵抗力(τ)と垂直力(σ)を求め、自重を変化させて繰り返し行ない、得られた τ , σ の関係から求めたものである。水浸状態でも間隙水圧が発生しないよう注意しながら同様の方法で求めたが、風乾状態での結果とはほぼ同じであった。

実験で用いた砂の粒径分布は図-5に示すとおりであるが、 $D_{60} = 0.15 \text{ mm}$ 、 $D_{30} = 0.1 \text{ mm}$ 、 $D_{10} = 0.075 \text{ mm}$ であり、微粒砂に分類されるものである。

表-3 砂の諸定数

透 水 係 数	$K = 3.44 \times 10^{-3}$	cm/s
湿 潤 単 位 重 量	$\gamma = 1.55$	tf/m ³
飽 和 単 位 重 量	$\gamma_{\text{sat}} = 1.79$	tf/m ³
強 度 定 数	$\phi = 35$	($^{\circ}$)
	$C = 0.005$	(kgf/cm ²)
摩 擦 係 数	$\phi = 24$	($^{\circ}$)
	$C = 0.002$	(kgf/cm ²)

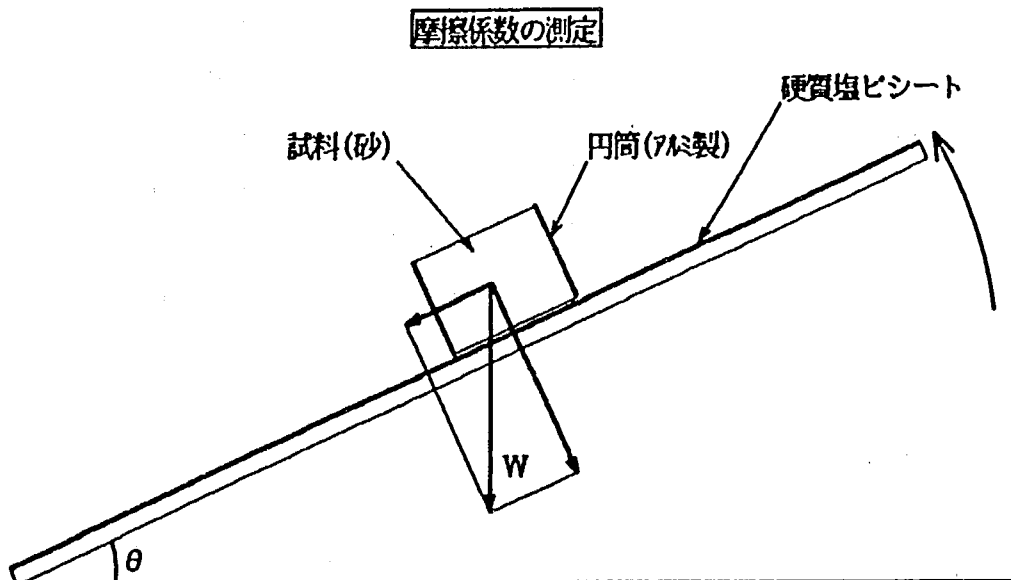


図-3 摩擦係数の測定

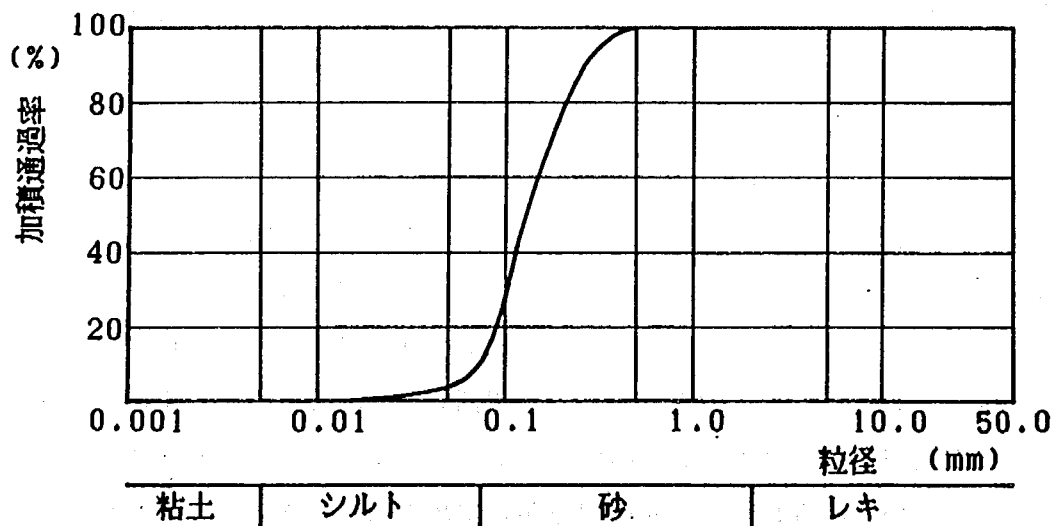


図-4 砂の粒径分布

1-4 実験結果

1-4-1 間隙水圧及び浸潤面

図-5 は貯水位上昇時での斜面内間隙水圧（圧力水頭）の変化を示したもので図中太い実線は貯水位を示し、貯水位の上昇速度は $\Delta H = 2 \text{ cm/分}$ と $\Delta H = 5 \text{ cm/分}$ の両条件の場合を示したものである。図-5 より、 $\Delta H = 2 \text{ cm/分}$ および $\Delta H = 5 \text{ cm/分}$ とともに斜面内間隙水圧の時間に対する変化（図中の直線の勾配）は斜面上部（P-8, P-4, P-9, P-5）

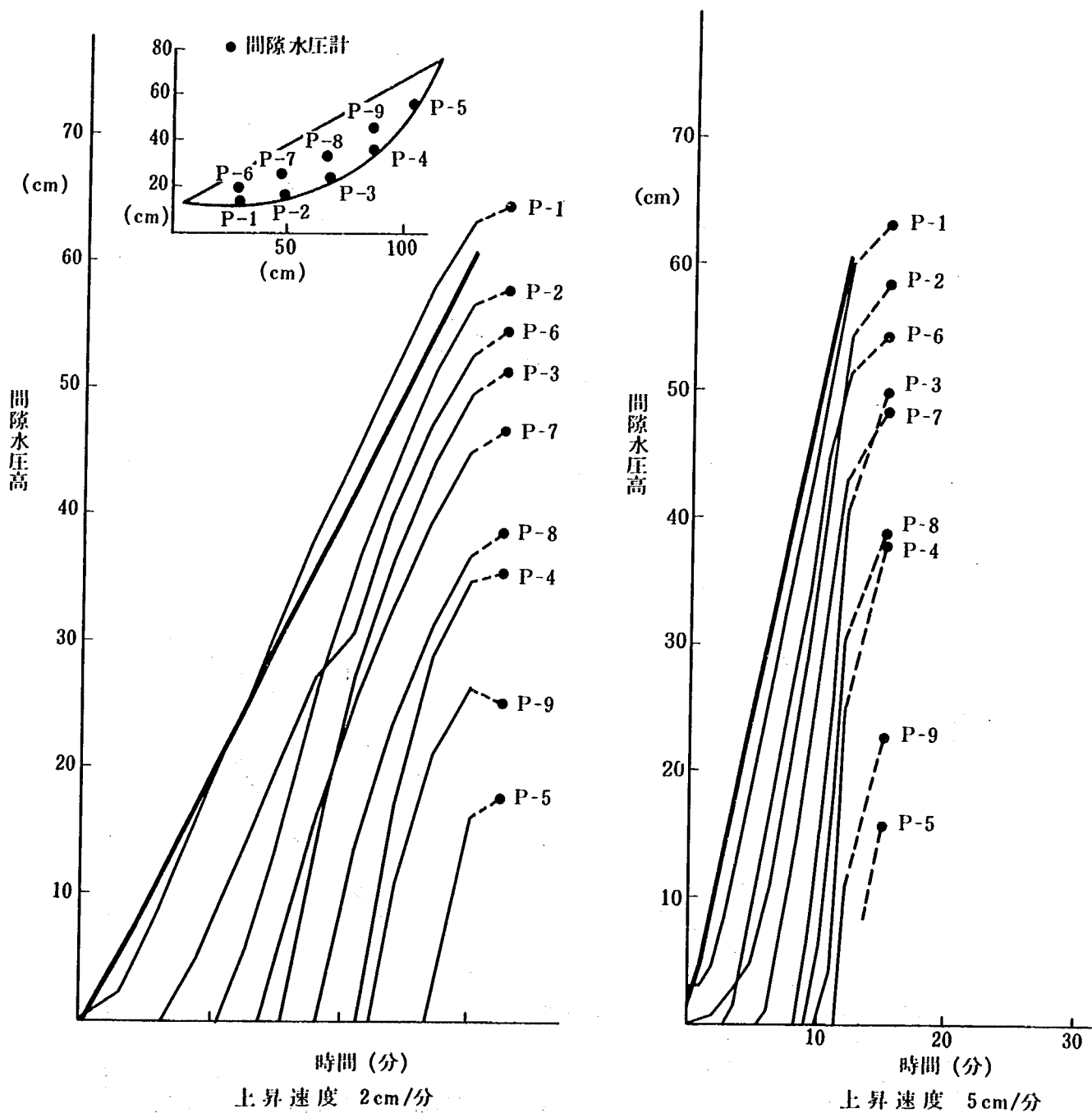


図-5 貯水位上昇時での間隙水圧の変化

ほど大きく、またその平均勾配は貯水位に比べ大きくなる傾向がみられる。これは斜面上部ほど貯水位と斜面内の浸透水との水頭差が貯水位の上昇に従って大きくなり、その結果水没した斜面下部に比べ貯水池側から斜面に向う流れが激しくなることを現わしている。また、図中黒点は約24時間放置後の測定結果であるが、斜面下部のP-1では貯水位高よりも約3 cm 程度高い間隙水圧を感知しており、貯水位全変動60cm に対し約5 %ほど大きな値を示す。

図-6 は貯水位上昇時においてP-1～P-5 までのすべり面に設置した間隙水圧計が貯

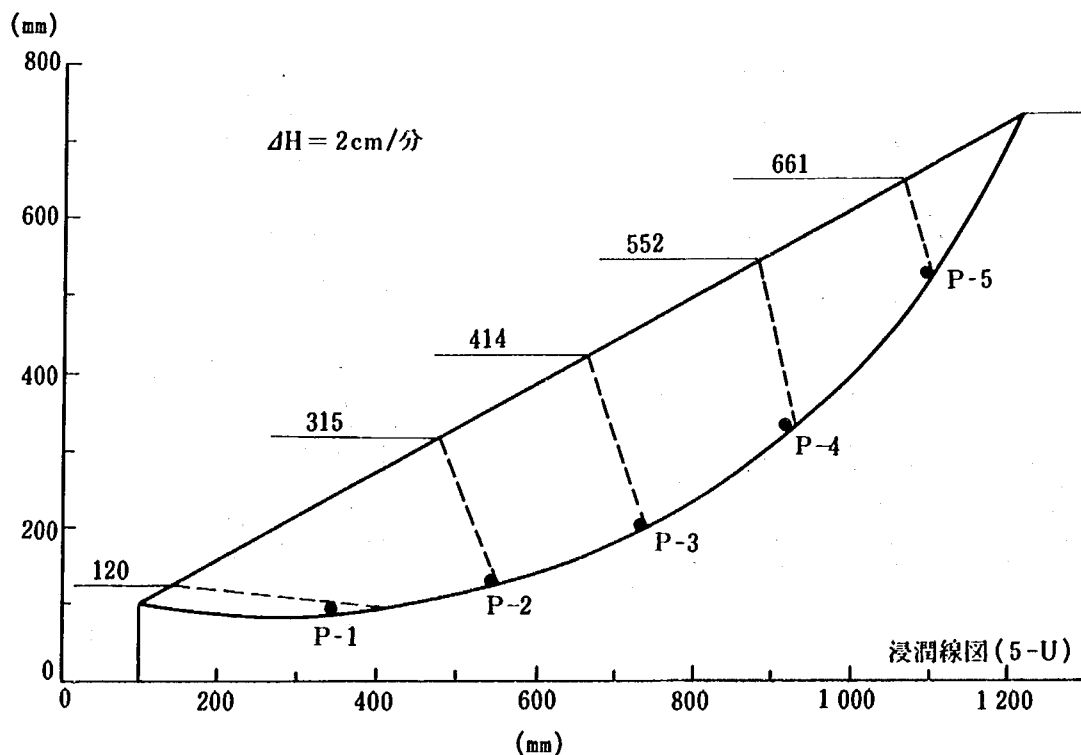
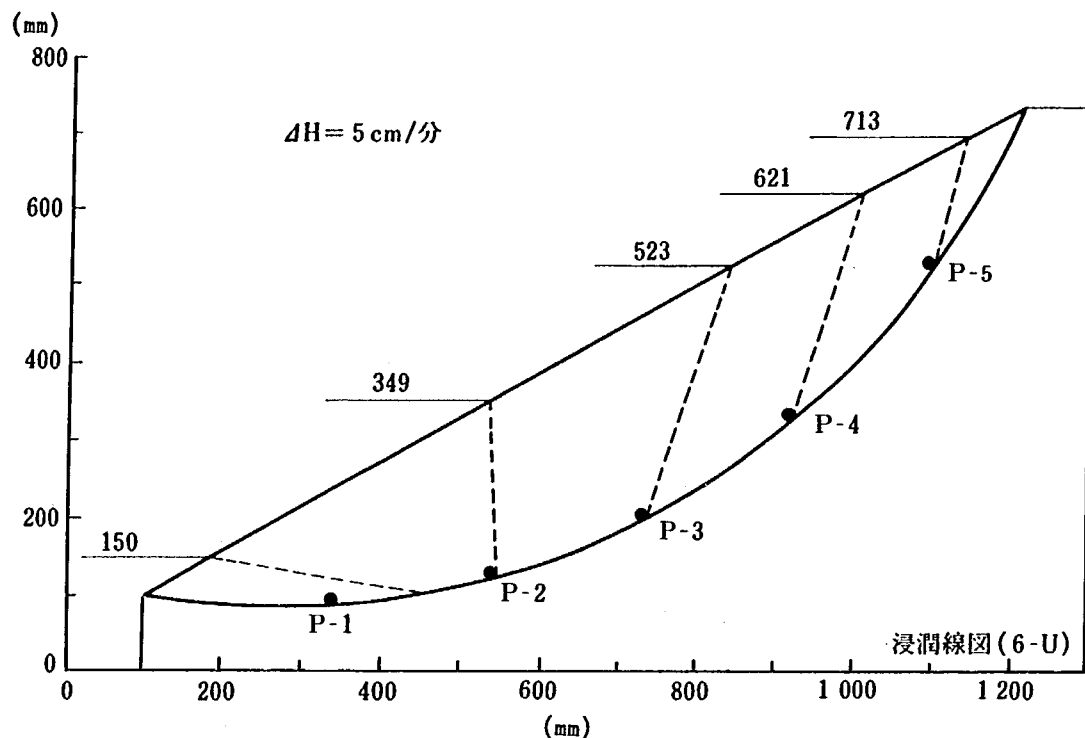


図-6 貯水位上昇時での推定浸潤線図

水位の上昇とともに最初に水圧を感知した時の貯水位から浸潤面の推定を行った結果を示したものである。得られた間隙水圧から圧力水頭 = 0 となる点を斜面内に求め、それらの点を連続させれば浸潤面が得られることになるが、貯水位上昇時では順次斜面下部から飽和状態となるため、測定値が少なく浸潤面を定めることは困難であった。

図-7 は貯水位上昇の後、上述したように約 24 時間放置した後、下降速度 $\Delta H = 2 \text{ cm/分}$ 5 cm/分 で貯水位を下降させた場合の結果を示している。これより $\Delta H = 2 \text{ cm/分}$ 5 cm/分 の両場合とも斜面内の間隙水圧は貯水位の下降に追従した挙動を示し、各測定点の平均下降速度は貯水位のそれとほぼ同じである。貯水位降下直前では斜面水面高と貯水位高とがほぼ

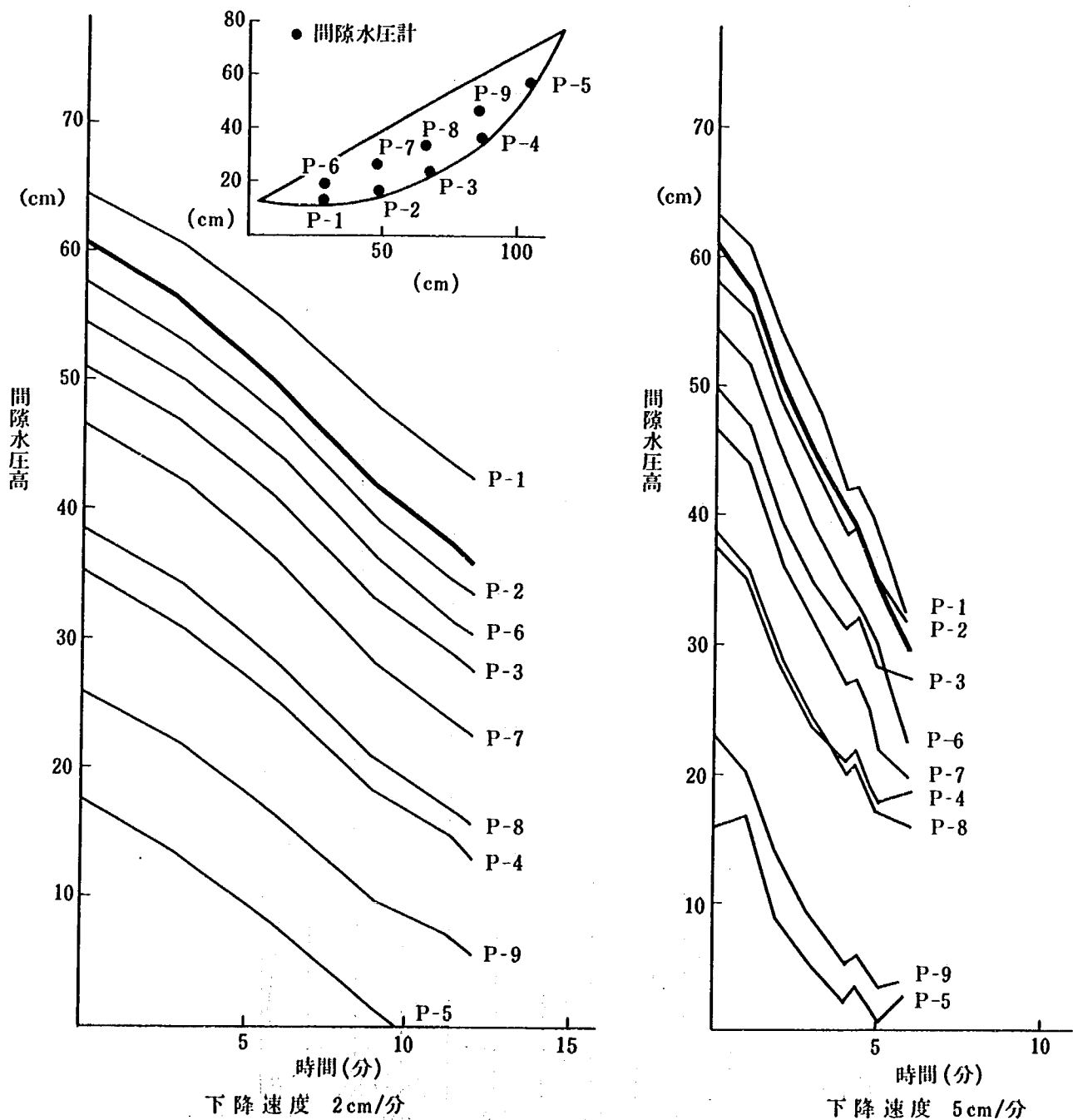


図-7 貯水位下降時での間隙水圧の変化

等しいこと、また斜面内各測定点での間隙水圧が貯水位の下降に追従することから、下降時の斜面の水面は貯水位にほぼ等しい形状で降下していることがうかがえる。

図-8は間隙水圧から降下時での浸潤面の推移を示したもので、図中実線がP-1~P-5

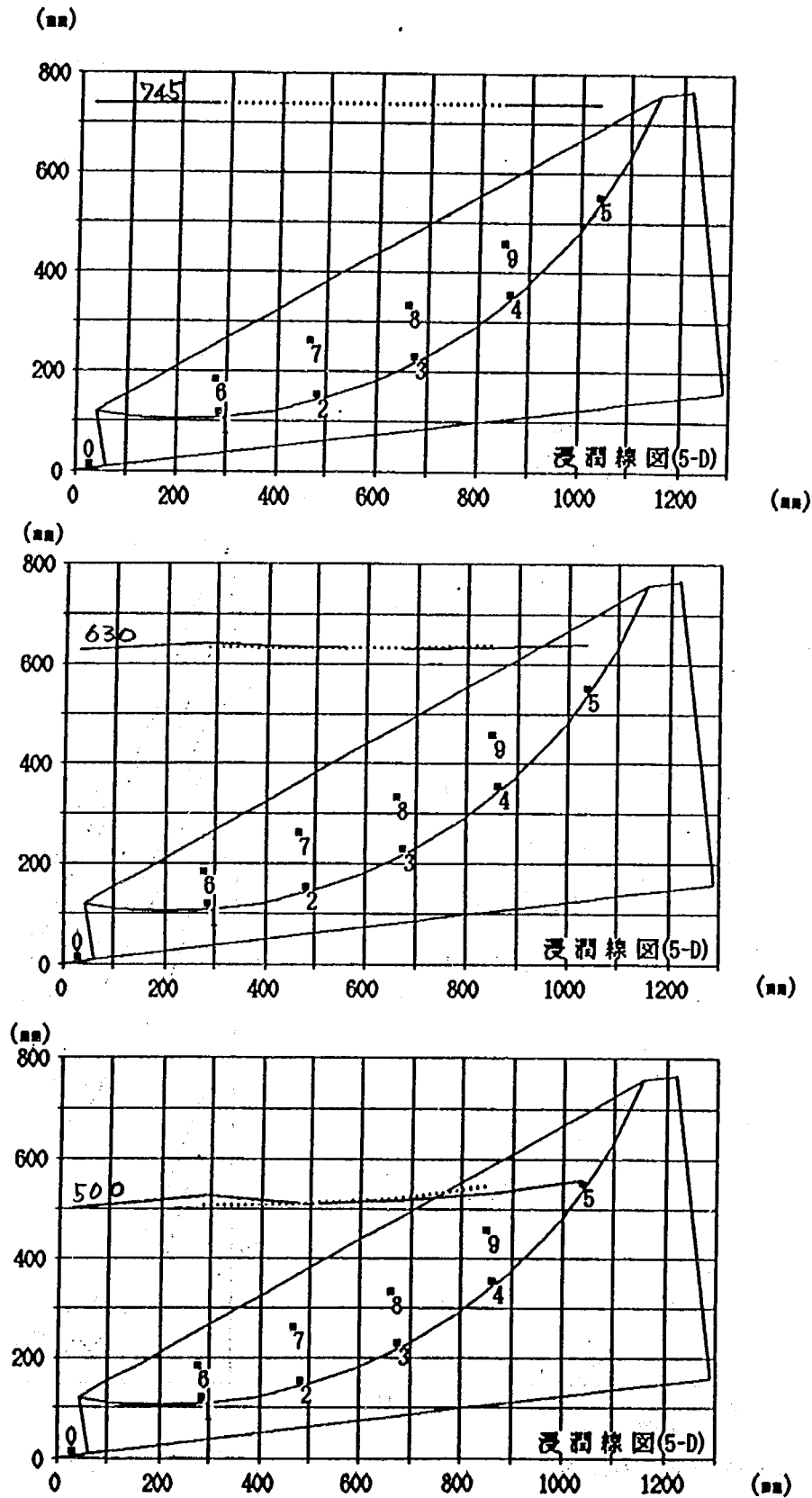


図-8(1) 貯水位下降時での推定浸潤線図 $\Delta H = 2 \text{ cm/分}$

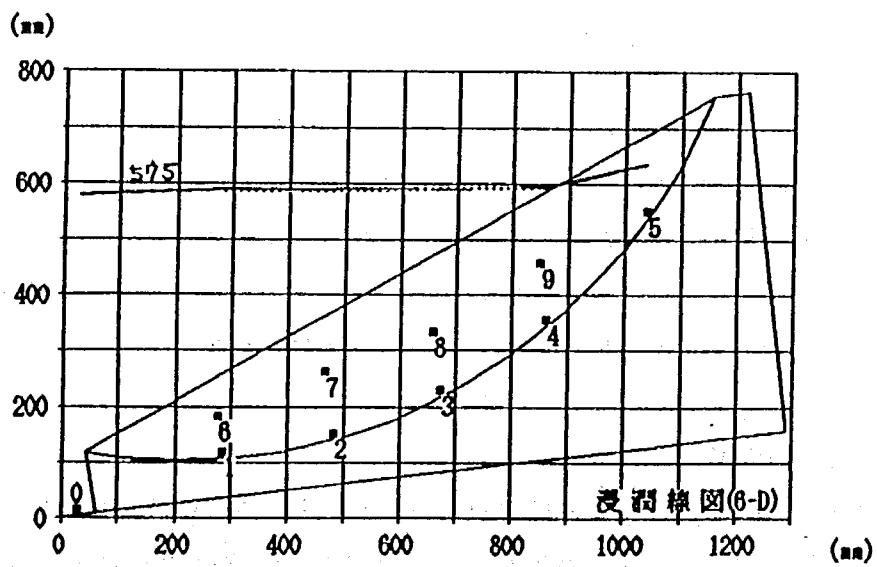
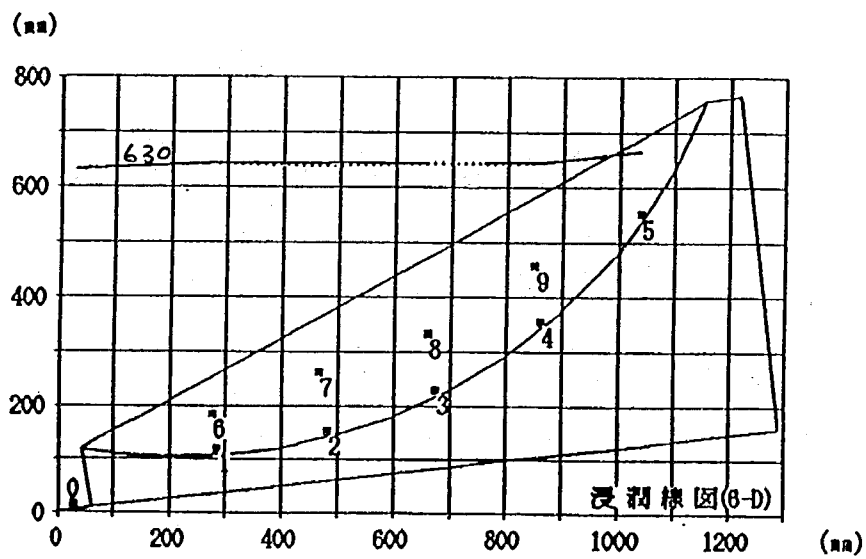
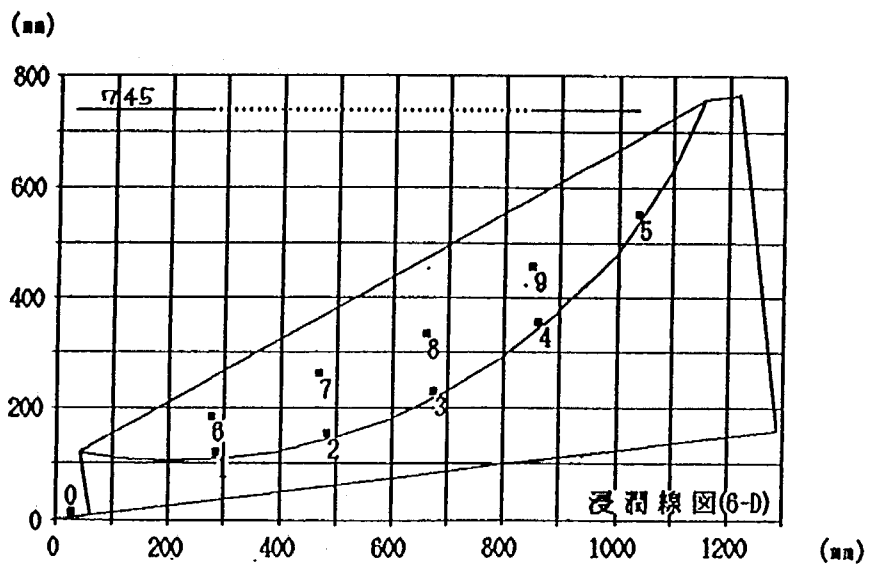


図-8(2) 貯水位下降時での推定浸潤線図 $\Delta H = 5 \text{ cm/分}$

による浸潤面，また破線がP-6～P-9までの間隙水圧計により得られた浸潤面をあらわしている。これより，盛土斜面中心部に設置した間隙水圧計から得られる浸潤面とすべり面に設置した間隙水圧計とから得られる浸潤面とはほとんど同一の高さであることから，図-7から推定したように，斜面内の浸潤面は貯水位にはほぼ平行に近い形状で降下している様子が読みとれる。

図-9は貯水位の上昇，下降を連続的に取扱ったもので，貯水位の上昇，下降速度はいず

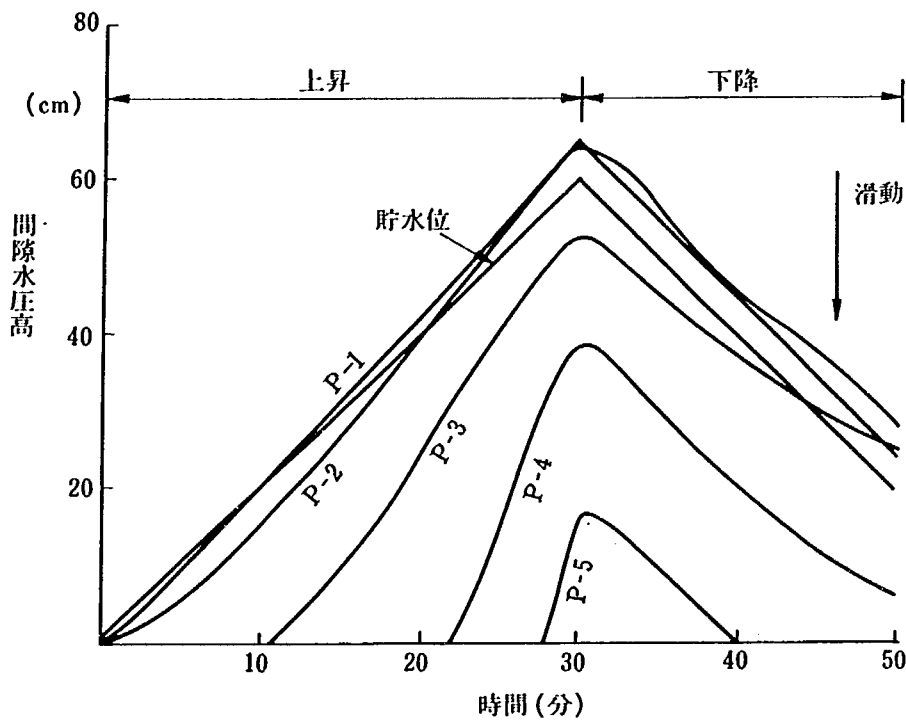


図-9 貯水位昇降時での間隙水圧の変化

れも 2 cm/分である。結果はP-1～P-5までのすべり面に設置した間隙水圧計によるものを示している。この結果から，貯水位上昇時では先に示した図-5，図-6での $\Delta H = 2$ cm/分の場合と実験条件が同一であることから，これらの結果と基本的には同じであるが，貯水位が下降する30分経過後の2～3分の間は図-7，図-8の下降速度 2 cm/分の場合に比べ間隙水圧の変化は貯水位変化に追従せず，図の結果は全体的にゆるやかなピークを示している。

1-4-2 斜面の変形

今回の実験において貯水位上昇時ではすべり面に沿っての回転すべりは発生しなかったが，下降時では実験斜面全体がすべり面に沿って 2～3 cm 移動する回転すべりを生じており， $\Delta H = 2$ cm/分の場合では貯水高 52 cm，また $\Delta H = 5$ cm/分の時には $\Delta H = 58$ cm でそれぞれ回転すべりを生じている（図-11参照）。図-12は貯水位の上昇，下降を連続的に取扱った

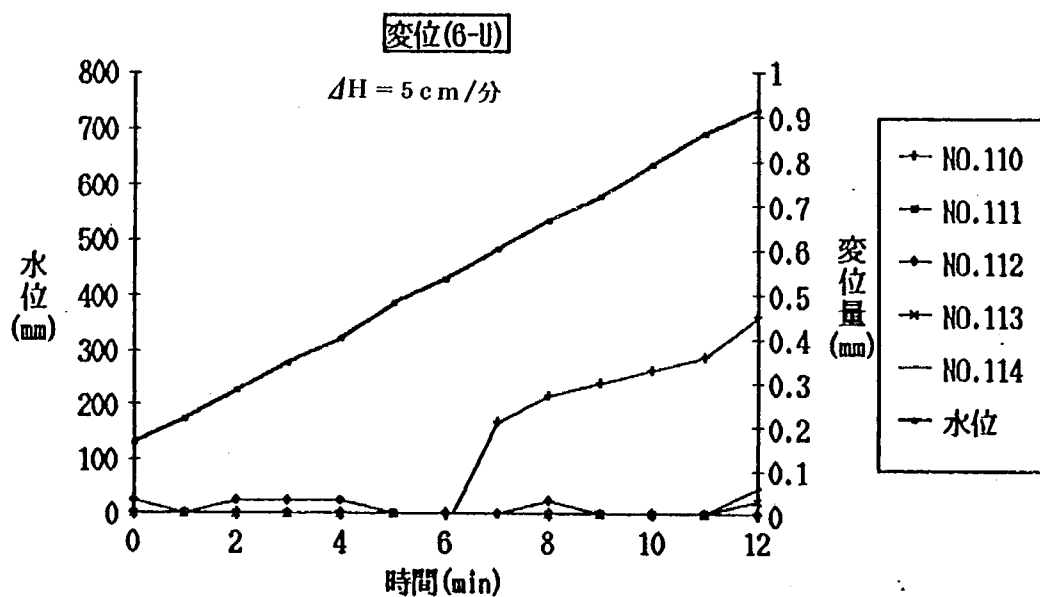
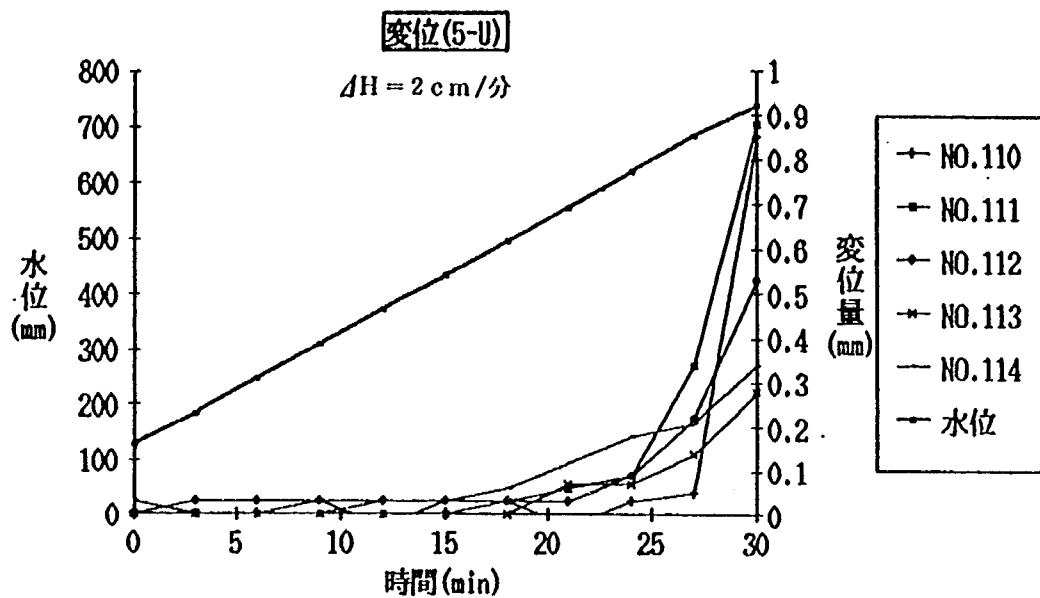


図-10 貯水位上昇時での斜面変形

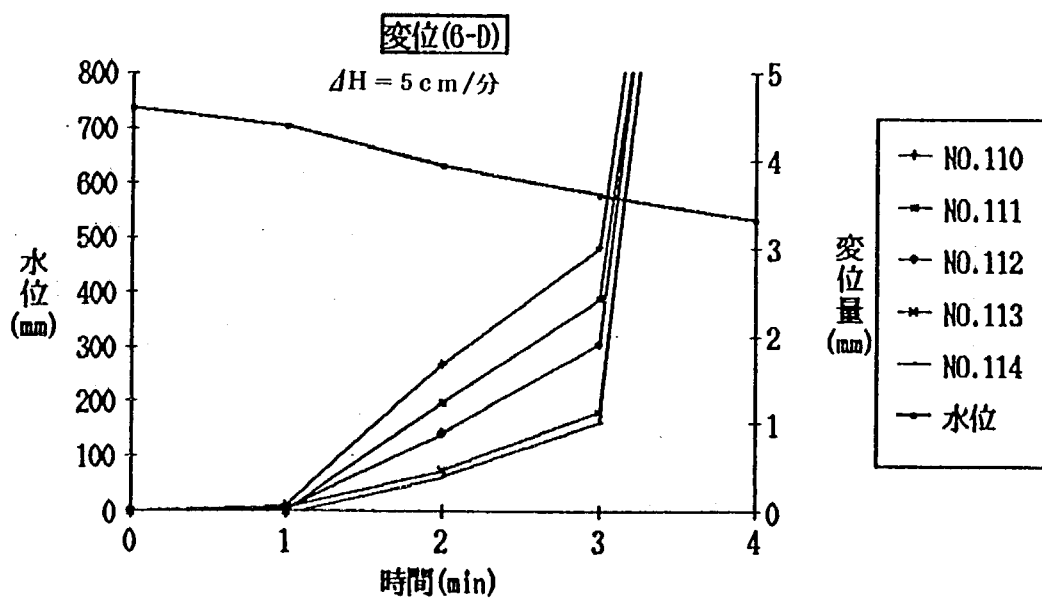
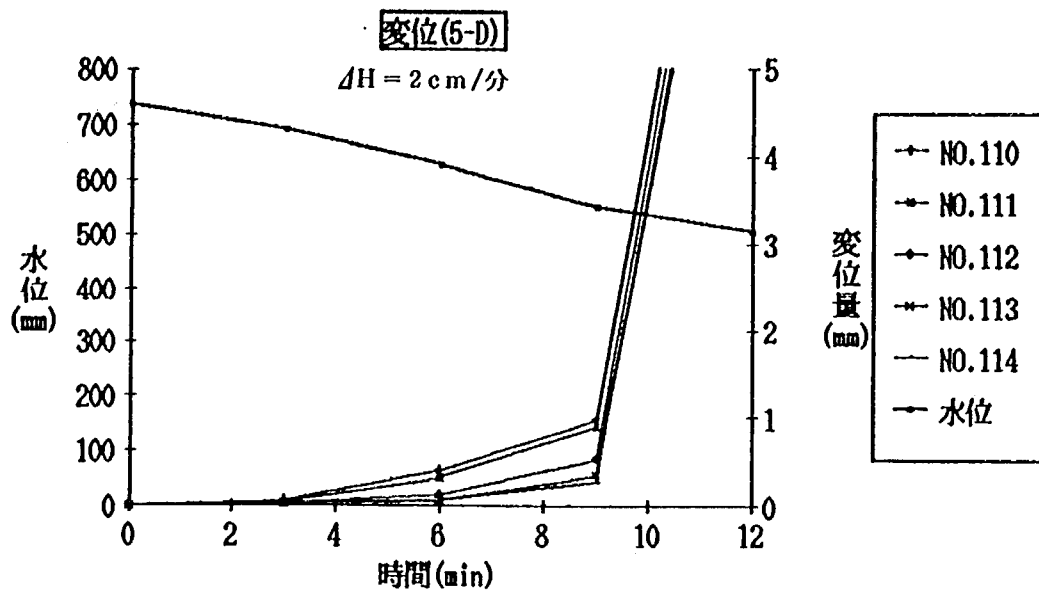


図 - 11 貯水位下降時での斜面変形

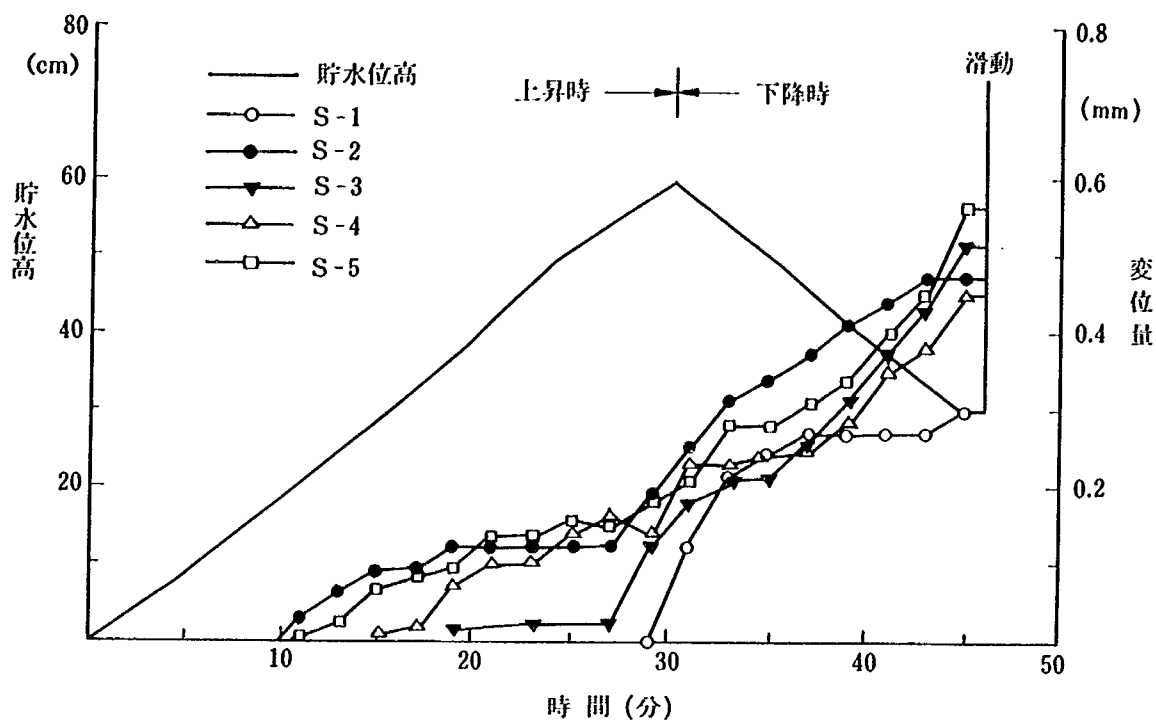


図-12 貯水位昇降時での変位

図-9の場合での地表面部の測定結果を示したものである。この結果から、時間経過30分までの貯水位上昇時では各測定点での最大変位量は約0.2 mm程度であるが、その後の下降時には全体的に変位量は増大し、下降開始後15分で回転すべりを生じている。

一般的に間隙を浸透する水が土あるいは砂に及ぼす影響には土粒子に直接作用し土塊の安定を左右する浸透水圧と間隙水圧の他、サクシヨンの差により生ずる土中水分の移動による吸水膨張、圧密収縮などがあげられる²⁾。今回の実験では貯水位の上昇後放置したところ、水没中の斜面は全体的に3～5 mm程度膨張することが確認された。また図-10, 11, 12に示すように下降中での変位量は上昇中に比べ倍程度大きくなるが、これは排水に伴う斜面の圧密収縮、あるいは斜面表面部での浸透水圧に起因する小規模なすべりに影響されたものである。実験では貯水位降下中に貯水面近傍で数mm程度の厚さを有する局所的なすべりが貯水位に引きつられるよう発生した。

2. 飽和・不飽和浸透流解析とその解析事例

ダム貯水池水没斜面での地すべりの発生に関しては、貯水位の上・下が極めて重要であり、³⁾ 貯水位上昇時では地すべり末端での浮力あるいは間隙水圧の増加がそこでのすべり抵抗力を減少させることが斜面を不安定化させること、また貯水位の下降時では貯水位の急速低下が地すべり斜面内に残留間隙水圧を発生させること等が主たる発生原因と考えられている。したがって、貯水位変動に起因する地すべりを対象とすれば、貯水池から地すべり斜面内へ侵入する地下水、または斜面から貯水池に排出される地下水の定量的評価手法の確立が強く望まれることになる。

今回、実験で用いた砂は微粒砂に分類され、予め斜面内に浸潤面が存在する場合とそうでない場合とでは貯水位上昇時での浸潤面の形成が若干異なること、また下降時では浸潤面が通過した後では間隙水圧計が負圧を感知するといった不飽和流動に起因する特徴がみられた。したがってここでは、飽和・不飽和浸透流解析を行い、実験から得られた前章での間隙水圧測定結果との対比検討を行う。

2-1 基礎式と解析条件

一様不飽和の場合でのリチャーズ⁴⁾の毛管ポテンシャル理論から出発する。

x 方向、z 方向での流速を U_x 、 U_z 、体積含水率を θ とすれば連続の方程式は

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} + \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 k を透水係数とし、体積含水率 θ もしくは毛管ポテンシャル h_p の関数で表わされるものとすれば、ダルシー則から

$$U_x = k(\theta) \frac{\partial h}{\partial x}, \quad U_z = k(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 h は全水頭で $h = \phi + z$ 、すなわち圧力水頭（毛管ポテンシャル水頭） ϕ と位置水頭 z との和で定義される。 $k(\theta)$ は不飽和透水係数と呼ばれ、含水率または圧力水頭により著しく変化する。(1)、(2)式から

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right] = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(3)$$

(3)式が不飽和浸透流の一般式であり、リチャーズのポテンシャル方程式と呼ばれるものである。(3)式は ϕ と θ の2つの独立変数があるので、次に示すように ϕ のみの独立変数となる方程式に変換する必要がある。 $\theta = \theta(\phi)$ であることを考慮すれば、⁵⁾

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\phi) \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} + 1 \right) \right] = \frac{d\theta}{d\phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = C(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 C は比水分容量と呼ばれ、 $C(\phi) = d\theta/d\phi$ である。

(4)式における $\theta \sim k(\phi)$ 、 $\phi \sim \theta$ の関係をモデル表示すれば、図-13に示すとおりである。

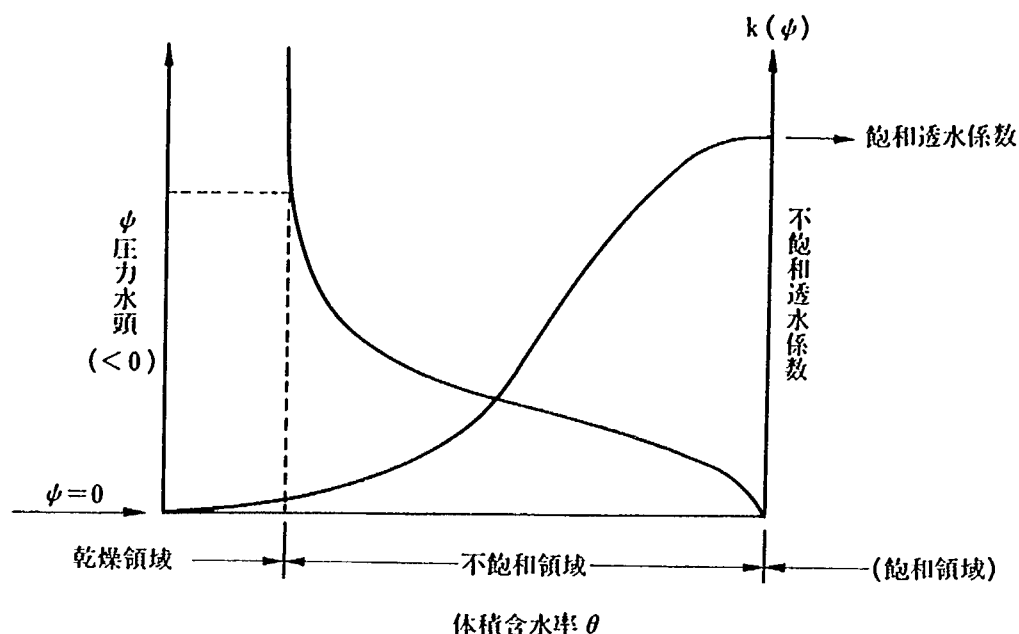


図- 13 圧力水頭と体積含水率および不飽和透水係数

図- 13 から明らかなであるが、 $\psi = 0$ (自由地下水面) で体積含水率は有効間隙率にほぼ等しく比水分容量 $C \doteq 0$ 、また不飽和透水係数値は最大値である飽和透水係数となる関係を有する。

また、ここで用いる境界条件、初期条件は次のように定めた。

(a) 初期条件 $\phi(x, z, 0) = P_0(x, z)$

($P_0(x, z)$: x, z 座標での圧力水頭)

(b) 境界条件 水頭が既知である斜面表面境界

$$\phi(x, z, t) = P_1(x, z, t)$$

解析では $P_0(x, z)$ は初期平衡状態を想定して与えるものとし、各節点では初期水位からの距離を不飽和領域では負とし飽和領域では正とする。各時間階での $P_1(x, z, t)$ については予め与えられた貯水位の時間変動関係から、各時での地表面節点での静水圧を既知として計算することとした。

2-2 有限要素法による定式化

(変分方程式)

領域からの出入りを Q とすれば、任意の $\delta\phi$ に対し、 Ω 領域内で次式が成り立つ。

$$\int_{\Omega} \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} - Q + C \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} \right) \delta\phi \cdot dU = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、グリーン・ストークスの定理^{6),7)}

$$\delta \phi \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (U_x \cdot \delta \phi) + U_x \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\delta \phi) \\ + \frac{\partial}{\partial z} (U_z \cdot \delta \phi) + U_z \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\delta \phi) \dots\dots\dots (6a)$$

$$\int_{\Omega} \left[\frac{\partial}{\partial x} (U_x \cdot \delta \phi) + \frac{\partial}{\partial z} (U_z \cdot \delta \phi) \right] dU = \int_{\Gamma} U_n \cdot \delta \phi \cdot d_s \dots\dots\dots (6b)$$

を用いれば,

$$\int_{\Omega} \left\{ - \left[U_x \cdot \frac{\partial}{\partial x} (\delta \phi) + U_z \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\delta \phi) \right] + \left(C \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} - Q \right) \delta \phi \right\} \cdot dU \\ + \int_{\Gamma} U_n \cdot \delta \phi \cdot d_s = 0 \dots\dots\dots (7)$$

$\therefore$ (Ω = 領域内部, Γ = 領域内部, $C = C(\phi)$)

一方, $U_x = -k \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x}$, $U_z = - \left(k \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z} + k \right)$, $k = k(\phi)$ であるから, これらを(7)式に代入すれば,

$$\int_{\Omega} \left\{ \left[k \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (\delta \phi) + k \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z} \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\delta \phi) \right] + k \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\delta \phi) \right. \\ \left. + \left(C \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} - Q \right) \delta \phi \right\} \cdot dU + \int_{\Gamma} U_n \cdot \delta \phi \cdot d_s = 0 \dots\dots\dots (8)$$

(8)式が圧力水頭 ϕ に関する変分方程式である。

(変分方程式の離散化)

圧力水頭 h_p およびその変分 $\delta \phi$ を有限個の既知関数の線形結合として次のように近似する。すなわち,

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \sum_{j=1}^m \phi_j \cdot N_j \\ \delta \phi &= \sum_{i=1}^m \delta \phi_i \cdot N_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

ここに N_i は形状関数⁸⁾ で座標のみによる関数, ϕ_i と $\delta \phi_i$ とは時間のみによる関数である。
(9)式を(8)式に代入すれば, 任意の $\delta \phi_i$ に対し次式が満足されねばならない。

$$\delta \phi_i \left\{ \int_{\Omega} \left[\left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot k \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x} \cdot \phi_j + \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot k \cdot \frac{\partial N_j}{\partial z} \cdot \phi_j \right) \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot k + N_i \left(C \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} - Q \right) \right] dU + \int_{\Gamma} N_i \cdot U_n \cdot d_s \right\} = 0 \dots\dots\dots (10)$$

(10)式が任意の $\delta \phi_i$ ($i = 1, 2, 3 \dots$) に対し成立するためには ϕ_j ($j = 1, 2, \dots$) が次の連立方程式を満足しなければならない。

$$\sum_j K_{ij} \cdot \phi_j + B_i - Q_i + q_i + E_i = 0 \dots\dots\dots (11)$$

ここに

$$K_{ij} = \int_{\Omega} \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot k \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot k \cdot \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) dU \quad \dots\dots\dots (12a)$$

$$B_i = \int_{\Omega} \left(\frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot k \right) dU \quad \dots\dots\dots (12b)$$

$$Q_i = \int_{\Omega} N_i \cdot Q \cdot dU \quad \dots\dots\dots (12c)$$

$$q_i = \int_{\Gamma} N_i \cdot U_n \cdot d_s \quad \dots\dots\dots (12d)$$

$$E_i = \int_{\Omega} N_i \cdot C \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} \cdot dU \quad \dots\dots\dots (12e)$$

次に時間微分について考える。すなわち (10) 式で h_j が時間のみによる関数であることを思い起せば (12e) 式は

$$E_i = \sum_j \left[\int_{\Omega} (N_i \cdot C \cdot N_j) dU \right] \cdot \frac{d\phi_j}{dt}$$

となるが、解の安定性を考慮すれば

$$E_i = C_i \cdot \frac{d\phi_i}{dt} \quad (C_i = \int_{\Omega} N_i \cdot C \cdot dU) \quad \dots\dots\dots (12f)$$

とするほうが実用的である。(11) 式から (12) 式によって (8) 式が離散化されたことになる。

(要素行列)

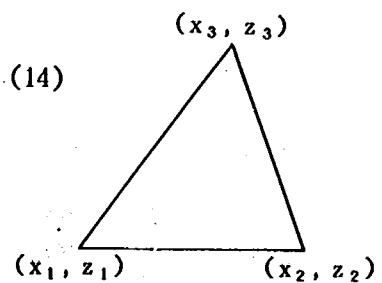
次に具体的に (12) 式を要素行列で表現する。ここで取扱う要素形状は 3 角形とすれば、形状関数 N_i ($i = 1, 2, 3$) は

$$\left. \begin{aligned} N_1(x, z) &= (a_1 + b_1 x + c_1 z) / 2A \\ N_2(x, z) &= (a_2 + b_2 x + c_2 z) / 2A \\ N_3(x, z) &= (a_3 + b_3 x + c_3 z) / 2A \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (13)$$

とおくことができる。(13) 式から、各々の微分項は

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial N_1}{\partial x} &= b_1 / 2A, \quad \frac{\partial N_2}{\partial x} = b_2 / 2A, \quad \frac{\partial N_3}{\partial x} = b_3 / 2A \\ \frac{\partial N_1}{\partial z} &= c_1 / 2A, \quad \frac{\partial N_2}{\partial z} = c_2 / 2A, \quad \frac{\partial N_3}{\partial z} = c_3 / 2A \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (14)$$

であり、ここで



$$\left. \begin{aligned} a_1 &= (x_2 z_3 - x_3 z_2), \quad b_1 = (z_2 - z_3), \quad c_1 = (x_3 - x_2) \\ a_2 &= (x_3 z_1 - x_1 z_3), \quad b_2 = (z_3 - z_2), \quad c_2 = (x_1 - x_3) \\ a_3 &= (x_1 z_2 - x_2 z_1), \quad b_3 = (z_1 - z_2), \quad c_3 = (x_2 - x_1) \\ d &= (x_1 \cdot b_1 + x_2 b_2 + x_3 b_3) / 2 \quad (\text{三角形面積}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

① K_{ij} 行列

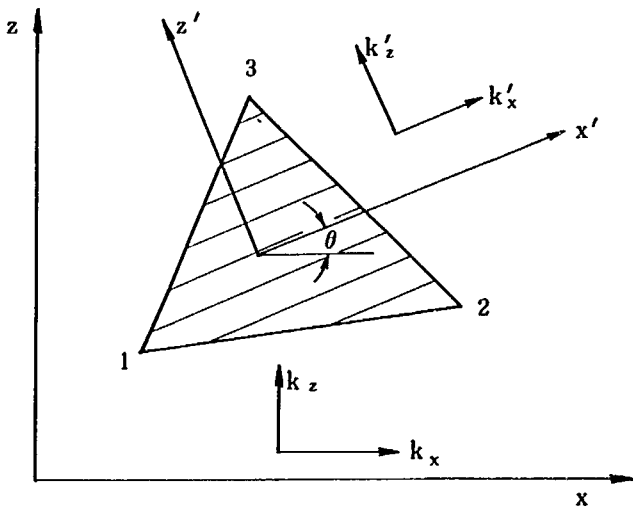
(12a) 式において x, z 方向での透水係数 k_x, k_z が要素内で一定であるとすれば,

$$[K_{ij}] = \left(k_x \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x} + k_z \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) \cdot d \quad (i, j = 1, 2, 3)$$

(14) 式を用いれば

$$[K_{ij}] = \frac{1}{4 \cdot d} \left\{ k_x \begin{bmatrix} b_1 b_1 & b_1 b_2 & b_1 b_3 \\ b_2 b_1 & b_2 b_2 & b_2 b_3 \\ b_3 b_1 & b_3 b_2 & b_3 b_3 \end{bmatrix} + k_z \begin{bmatrix} c_1 c_1 & c_1 c_2 & c_1 c_3 \\ c_2 c_1 & c_2 c_2 & c_2 c_3 \\ c_3 c_1 & c_3 c_2 & c_3 c_3 \end{bmatrix} \right\} \dots\dots (16)$$

(16) 式は要素内における座標軸 x, z が透水係数 k_x, k_z の方向に一致する場合のみに対し成立する。もし要素内において一致しないような異方性を有する場合は次のように変換される。



$$N_1(x', z') = (a_1 + b_1 x' + c_1 z') / 2 d$$

$$N_2(x', z') = (a_2 + b_2 x' + c_2 z') / 2 d$$

$$N_3(x', z') = (a_3 + b_3 x' + c_3 z') / 2 d$$

(θ : 傾斜角)

$N_1(x', z'), N_2(x', z'), N_3(x', z')$ を先と同様 x, z で微分すれば

$$\frac{\partial N_1}{\partial x} = \frac{\partial N_1}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial x} = (b_1 \cos \theta + c_1 \sin \theta) / 2 d$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial x} = \frac{\partial N_2}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial x} = (b_2 \cos \theta + c_2 \sin \theta) / 2 d$$

$$\frac{\partial N_3}{\partial x} = \frac{\partial N_3}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} + \frac{\partial N_3}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial x} = (b_3 \cos \theta + c_3 \sin \theta) / 2 d$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_1}{\partial z} &= \frac{\partial N_1}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial z} + \frac{\partial N_1}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial z} = (-b_1 \sin \theta + c_1 \cos \theta) / 2 \Delta \\ \frac{\partial N_2}{\partial z} &= \frac{\partial N_2}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial z} + \frac{\partial N_2}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial z} = (-b_2 \sin \theta + c_2 \cos \theta) / 2 \Delta \\ \frac{\partial N_3}{\partial z} &= \frac{\partial N_3}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial z} + \frac{\partial N_3}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial z} = (-b_3 \sin \theta + c_3 \cos \theta) / 2 \Delta\end{aligned}$$

$$\left(\begin{array}{l} x = \cos \theta x' + \sin \theta y' \\ y = -\sin \theta x' + \cos \theta y' \end{array} \right)$$

これより〔 K_{ij} 〕行列は

$$[K_{ij}] = \frac{1}{4 \cdot \Delta} \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (17)$$

ただし

$$\begin{aligned}K_{11} &= (k_x' \cos^2 \theta + k_z' \sin^2 \theta) b_1 \cdot b_2 + 2(k_x' \cos \theta \sin \theta - k_z' \cos \theta \sin \theta) b_1 c_1 \\ &\quad + (k_x' \sin^2 \theta + k_z' \cos^2 \theta) c_1 c_2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{12} &= (k_x' \cos^2 \theta + k_z' \sin^2 \theta) b_1 b_2 + (k_x' \cos \theta \sin \theta + k_z' \cos \theta \sin \theta) (b_1 c_2 + c_1 b_2) \\ &\quad + (k_x' \sin^2 \theta + k_z' \cos^2 \theta) c_1 c_2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{13} &= (k_x' \cos^2 \theta + k_z' \sin^2 \theta) b_1 b_3 + (k_x' \cos \theta \sin \theta + k_z' \cos \theta \sin \theta) (b_1 c_3 + c_1 b_3) \\ &\quad + (k_x' \sin^2 \theta + k_z' \cos^2 \theta) c_1 c_3\end{aligned}$$

$$K_{21} = K_{12}$$

$$\begin{aligned}K_{22} &= (k_x' \cos^2 \theta + k_z' \sin^2 \theta) b_2 b_2 + 2(k_x' \cos \theta \sin \theta - k_z' \cos \theta \sin \theta) b_2 c_2 \\ &\quad + (k_x' \sin^2 \theta + k_z' \cos^2 \theta) c_2 c_2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{23} &= (k_x' \cos^2 \theta + k_z' \sin^2 \theta) b_2 b_3 + (k_x' \cos \theta \sin \theta + k_z' \cos \theta \sin \theta) (b_2 c_3 + c_2 b_3) \\ &\quad + (k_x' \cos^2 \theta + k_z' \cos^2 \theta) c_2 c_3\end{aligned}$$

$$K_{31} = K_{13}$$

$$K_{32} = K_{23}$$

$$\begin{aligned}K_{33} &= (k_x' \cos^2 \theta + k_z' \sin^2 \theta) b_3 c_3 + 2(k_x' \cos \theta \sin \theta - k_z' \cos \theta \sin \theta) b_3 c_3 \\ &\quad + (k_x' \sin^2 \theta + k_z' \cos^2 \theta) c_3 c_3\end{aligned}$$

(k_x' , k_z' は異方性軸方向での値である。)

② B_i 行列

異方性がなければ

$$\begin{aligned} [B_i] &= k_z \cdot \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot A \quad (i = 1, 2, 3) \\ &= \frac{1}{2} k_z \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \quad \text{or} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} k_z c_1 \quad \dots\dots\dots \text{要素節点 1 の時} \\ \frac{1}{2} k_z c_2 \quad \quad \quad \text{"} \quad 2 \quad \text{"} \\ \frac{1}{2} k_z c_3 \quad \quad \quad \text{"} \quad 3 \quad \text{"} \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

異方性があれば

$$\begin{aligned} k_{x'} \frac{\partial N_i}{\partial x'} &= k_{x'} \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial x'} + \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial x'} \right) \\ &= k_{x'} \left(\cos \theta \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x} + \sin \theta \cdot \frac{\partial N_i}{\partial z} \right) \\ k_{z'} \frac{\partial N_i}{\partial z'} &= k_{z'} \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial z'} + \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial z'} \right) \\ &= k_{z'} \left(-\sin \theta \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x} + \cos \theta \cdot \frac{\partial N_i}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

の関係があり、かつ

$$k_z \cdot \frac{\partial N_i}{\partial z} = k_{z'} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x'} \cdot \sin \theta + k_{z'} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial z'} \cdot \cos \theta$$

の関係が成立することから、

$$k_z \cdot \frac{\partial N_i}{\partial z} = (k_{x'} - k_{z'}) \sin \theta \cos \theta \frac{\partial N_i}{\partial x} + (k_{x'} \sin^2 \theta + k_{z'} \cos^2 \theta) \frac{\partial N_i}{\partial z}$$

となる。したがって

$$[B_i] = \frac{1}{2} \left\{ (k_{x'} - k_{z'}) \sin \theta \cos \theta \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} + (k_{x'} \sin^2 \theta + k_{z'} \cos^2 \theta) \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \right\} \quad \dots (19)$$

③ Q_i 行列

Q_i 行列は

$$\int_{\Omega} \dot{N}_i \cdot \dot{Q} \cdot dU = \frac{1}{3} \cdot Q \cdot \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \cdot A \quad \dots\dots\dots (20)$$

面積分公式より

$$\int_{\Omega} L_1^1 L_2^0 L_3^0 dU = \frac{1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1}{(1+0+0+2) \ 1} \cdot 2 \cdot A = \frac{2}{6} \cdot A = \frac{1}{3} \cdot A$$

(20) 式において Q はその値が正ならば湧水，負ならば排水であり，各節点で与えるものとする。ただし，時間変化は評価されていないので一定として取扱われる。

④ q_i 行列

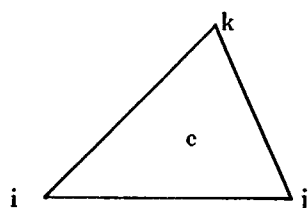
q_i は境界を除いた内部では各要素での水の出入が連続を保ち打ち消されることから境界部のみの評価となる。

$$\{q_i\} = \frac{1}{2} (\ell \cdot U_n) \quad \dots\dots\dots (21)$$

ここに， ℓ は辺の長さ， U_n は境界に直角方向での流速であり，不透水境界では $U_n = 0$ となる。

⑤ C_i 行列

C_i 行列は比水分容量 C の分布を線形と仮定し，三角形要素の各節点での平均値を用いる。すなわち



$$C = C_i N_i + C_j N_j + C_k N_k \quad (C_i, C_j, C_k \text{ は要素各節点での比水分容量})$$

これより，

$$\begin{aligned} C_i &= \int_{\Omega} C N_i dU = \int C_i N_i \cdot N_i dU + \int C_j N_j \cdot N_i dU + \int C_k N_k \cdot N_i dU \\ &= (2 C_i + C_j + C_k) / 12 \cdot A \end{aligned}$$

ここで，

$$\int C_i N_i \cdot N_i dU = C_i \int (N_i)^2 dU = \frac{2}{12} C_i \cdot A = \frac{1}{6} C_i \cdot A$$

$$\int C_j N_j \cdot N_i dU = C_j \int (N_j \cdot N_i) dU = \frac{1}{12} C_j \cdot A$$

$$\int C_k N_k \cdot N_i dU = C_k \int (N_k \cdot N_i) dU = \frac{1}{12} C_k \cdot A$$

の関係を用いれば

$$\{C_i\} = \left\{ \begin{array}{l} (2 C_i + C_j + C_k) \\ (C_i + 2 C_j + C_k) \\ (C_i + C_j + 2 C_k) \end{array} \right\} \times A / 12 \quad \dots\dots\dots (22)$$

以上，(16) ～ (22) 式で (12) 式の各項目が計算されることになる。

(非定常時の解法)

(11) 式，(12) 式をマトリクス表示し次式のように変形すれば，

$$\{K\}\{\phi\} + \{C\} \frac{d}{dt} \{\phi\} = \{Q\} - \{B\} - \{q\} \quad \dots\dots\dots (23)$$

(23) 式は任意のある時間に対し成立するつり合い式である。したがって、時間微分項に対し適当な時間間隔 Δt で差分化する必要がある。k をある時間ステップとすれば

$$\Delta t = t^{k+1} - t^k$$

ここで、 $d\phi/dt$ に対し中央差分を用い、(23) 式が $\left(k + \frac{1}{2}\right)$ の時点で成立するとし、

$$\{\phi\}_{k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} (\{\phi\}_k + \{\phi\}_{k+1})$$

$$\frac{d}{dt} \{\phi\} = \frac{1}{\Delta t} (\{\phi\}_{k+1} - \{\phi\}_k)$$

とおけば、(23) 式は

$$\begin{aligned} & \left(\{K\}_{k+\frac{1}{2}} + \frac{2}{\Delta t} \{C\}_{k+\frac{1}{2}} \right) \{\phi\}_{k+\frac{1}{2}} \\ & = 2 (\{Q\}_{k+\frac{1}{2}} - \{B\}_{k+\frac{1}{2}} - \{q\}_{k+\frac{1}{2}}) - \left(\{K\}_{k+\frac{1}{2}} - \frac{2}{\Delta t} \{C\}_{k+\frac{1}{2}} \right) \{\phi\}_k \quad \dots (24) \end{aligned}$$

(24) 式から $\{\phi\}_k$ が与えられていれば次の時間階の $\{\phi\}_{k+1}$ が求められることがわかる。ただし、(24) 式での係数は $\{\phi\}_{k+\frac{1}{2}}$ の値を下式より定めるものとする。

$$\{\phi\}_{k+\frac{1}{2}} = \{\phi\}_k + \frac{1}{2} (\{\phi\}_k - \{\phi\}_{k-1})$$

また、 $\{K\}$ 、 $\{B\}$ 、 $\{C\}$ 、 $\{q\}$ 、 $\{Q\}$ は h の関数となっているため、各時間スラップ内で収束計算を必要とする。その時は、

$$\{\phi\}_{k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} (\{\phi\}_k + \{\phi\}_{k+1})$$

$$|\{\phi\}_{k+\frac{1}{2}} - \{\phi\}_{k+1}| < \varepsilon$$

を用い、収束の判定 (ε は許容誤差) を行う。

2-3 不飽和透水係数、体積含水率、圧力水頭の関係

2-1 で述べたように飽和、不飽和浸透流解析では初期解析条件以外に次の物理定数が必要である。

- ① 不飽和透水係数 (K) と体積含水率 (θ) の関係
- ② 比水分容量 ($C(\theta)$) を求めるため、体積含水率 (θ) と圧力水頭 (ϕ) の関係 (水分保持曲線)。

これらの不飽和土の浸透特性は解析対象土の固有の値であり、室内実験あるいは原位置試験で測定すべき物理量である。しかし、従来の多くの浸透流解析では飽和領域を対象としていたた

め、不飽和領域に対するこれら物理定数の計測法についてはまだ確固たる手法が確立されていない。また、これらの物理定数の測定結果の集積も極めて少ない。ここでは西垣⁹⁾によって整理・吟味された検討結果をもとに上記での不飽和浸透特性を他の浸透に関する物理特性より推定する方法について示す。

S_e を有効飽和度とすれば

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_{sat} - \theta_r} \dots\dots\dots (25)$$

(25) 式中、 θ_r は最小含水量、 θ_{sat} は飽和体積含水率であり、これらは不飽和状態での圧力水頭 ϕ と図-14 に示すような関係下にある。

$$\left. \begin{array}{ll} \theta = \theta_r \text{ において} & \phi \rightarrow \phi_{min} \\ \theta = \theta_{sat} & \phi = \phi_{cr} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (26)$$

ϕ_{cr} は限界毛管水頭である。 ϕ_{cr} 、 θ_{sat} 、 θ_r の求め方について以下に述べる。

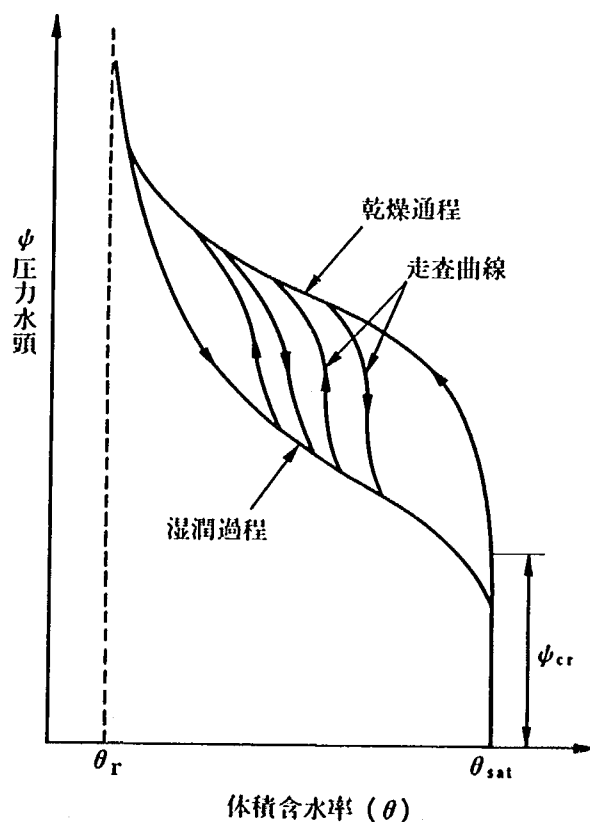


図-14 体積含水率と圧力水頭におけるヒステリシス

(限界毛管水頭 ϕ_{cr})

ϕ_{cr} は自由水面上に土柱を立て、十分長い時間湿润させると土柱内での圧力水頭が平衡状態に達し、その時の自由水面から飽和領域までの限界高さとして定義される。一般的には粒子の細い

物質で構成される場合ほど大きく、粗粒子ほど小さい。実測例によれば、微粒砂、細粒砂で 20 ～ 30 cm，ローム質であれば 60 ～ 100 cm 程度の値を示す。

(飽和体積含水率 θ_{sat})

θ_{sat} の値は本来、土の間隙率と等しい値を用いるべきではあるが、現地での地盤を解析対象とすれば、有効間隙率にほぼ等しくとるのが普通である。

(最小含水量 θ_r)

残留含水率とも呼ばれるが、簡単には気乾状態での体積含水率のことであり、測定例によれば、ガラスビーズで 0.033，火山砂で 0.050 といった値があるが、ほとんどは θ_{sat} の 1/5 ～ 1/10 の値を示すことが多い。

また、(25) 式における S_e と圧力水頭との関係を

$$S_e = \left(\frac{\phi_{cr}}{\phi} \right)^\lambda \quad \dots\dots\dots (26)$$

で仮定するとすれば、(25)，(26) 式より

$$\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_{sat} - \theta_r} \right) = \left(\frac{\phi_{cr}}{\phi} \right)^\lambda$$

$$\therefore \phi = \phi_{cr} \cdot \left(\frac{\theta_{sat} - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{\frac{1}{\lambda}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

(27) 式における未知数はよって λ のみである。 λ の値は粘性土～砂質土により 0.2 ～ 10 となり、一概に土の種類だけでは決定しがたい値であるが、砂質土であれば $\lambda = 2 \sim 4$ の範囲で室内での測定結果を十分シミュレートすることが可能である。(27) 式から ϕ_{cr} ， θ_{cr} ， θ_r ， θ_{sat} が求まれば、図-13 における圧力水頭 ϕ ，体積含水率 θ の関係を定めることができる。

また、不飽和透水係数と体積含水率との関係には次式に示す Irmay 型^{10), 11)}の式を用いるとすれば

$$k_r = \frac{k}{k_{sat}} = \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_{sat} - \theta_r} \right)^n \quad \dots\dots\dots (28)$$

ここに、 k_r ：相対不飽和透水係数， k_{sat} ：飽和透水係数である。 θ_{sat} ， θ_r については前述の方法により定められ、 k_{sat} の値は室内透水試験あるいは現地揚水試験の結果から得られる。 n に関しては 3.5 あるいは 3 との理論的な裏付け (Irmay) もあるが、粘性土で 3 ～ 10 砂質土で 2.5 ～ 4 の値をとる。

以上、(27)，(28) 式を用いることにより不飽和透水係数，体積含水率，圧力水頭，それぞれの関係が定められる。

2-4 解析事例

ここでは解析事例として、1章で示した実験に対して本解析の適用を試み、次いで現地斜面を用いた解析結果に示す。

2-4-1 実験結果との比較検討

不飽和透水係数-体積含水率、圧力水頭-体積含水率の関係、すなわち(27)式、(28)式における諸定数については文献¹²⁾等による数値を参考に $\theta_r = 0.015$, $\theta_{sat} = 0.25$, $\phi_{cr} = 15$ cm, $k_{sat} = 3.44 \times 10^{-3}$ cm/s (室内定水位透水試験結果), $\lambda = 3$, $n = 3$ とし、排水過程と湿潤過程で生ずるヒステリシスについてはこれを考慮せず一価関数として取扱うこととした。図-15に解析で用いたこれらの不飽和浸透特性について示す。

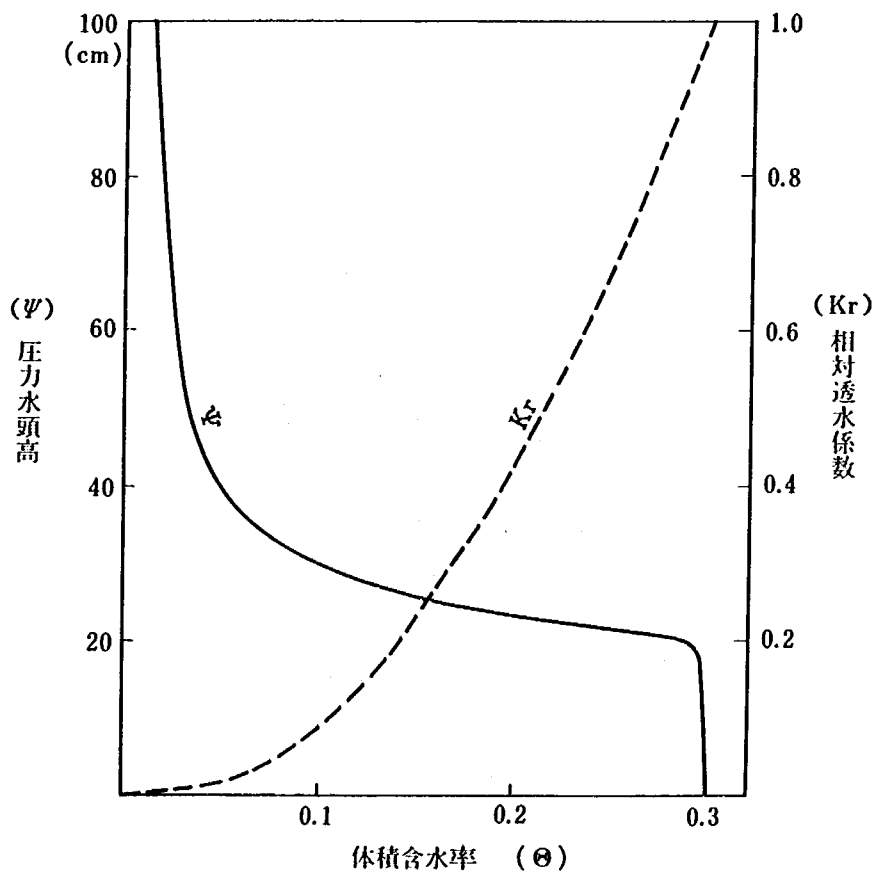


図-15 不飽和浸透特性の関係

図-16, 図-17は貯水位上昇時、下降時での実験結果と数値解とを比較したもので、前者が貯水位上昇速度 1 cm/分、後者は下降速度 1 cm/分の条件での結果を示したものである。飽和-不飽和浸透流解析では上述したように解析領域内での初期圧力水頭が与えられねばならない。今回の解析に用いた初期条件は斜面内圧力水頭が初期平衡状態を満足するものとして与えているため、実験条件がこの状態に近づくほど両者の結果は一致することになる。図

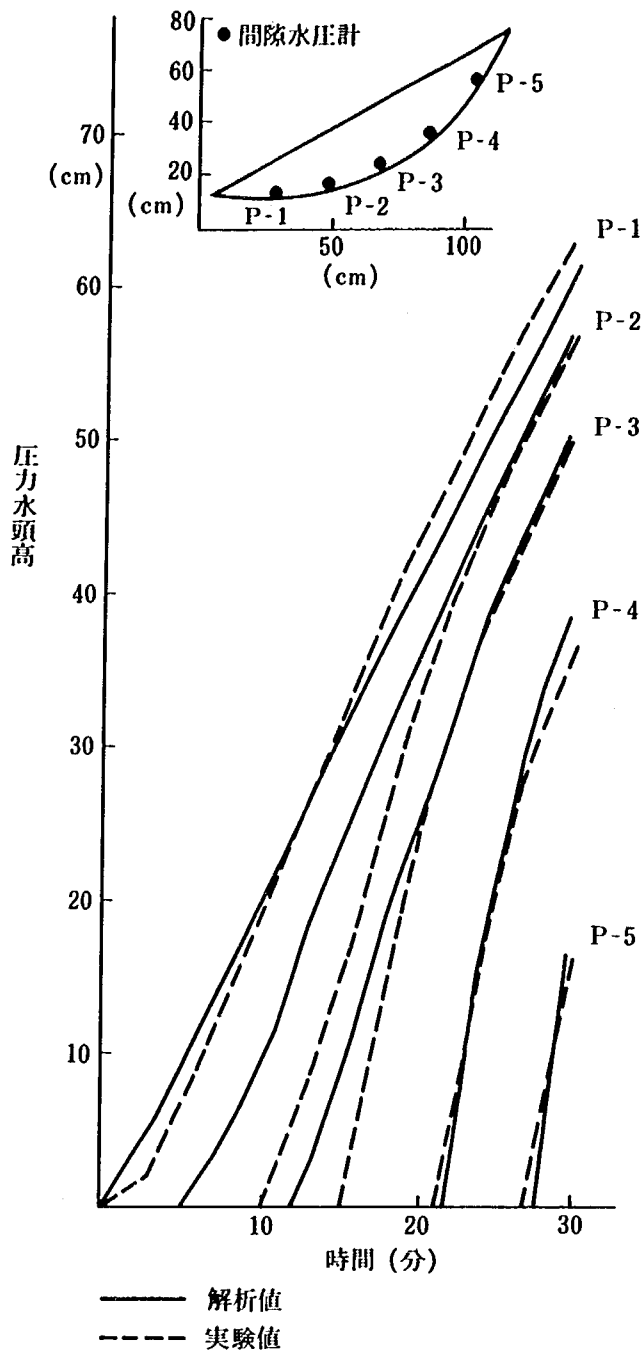


図-16 数値解と実験値の比較（上昇時）

図-16において貯水位上昇時では17～18分後から実験結果と数値解とが良好な一致をみせるのに対し、それ以前においてP-2, P-3の間隙水圧が数値解に比し小さめの数値となる結果は初期条件の相違が現われたものと判断される。また、図-17ではP-1のみを除けば実験値と解析値とはほぼ良好な一致をみせる。

図-18, 図-19は貯水位の上昇・下降速度が1 cm/分の条件において各時間階で圧力水頭=0なる点を求め、これを斜面内水面高として図示したものである。図-10での上昇時の

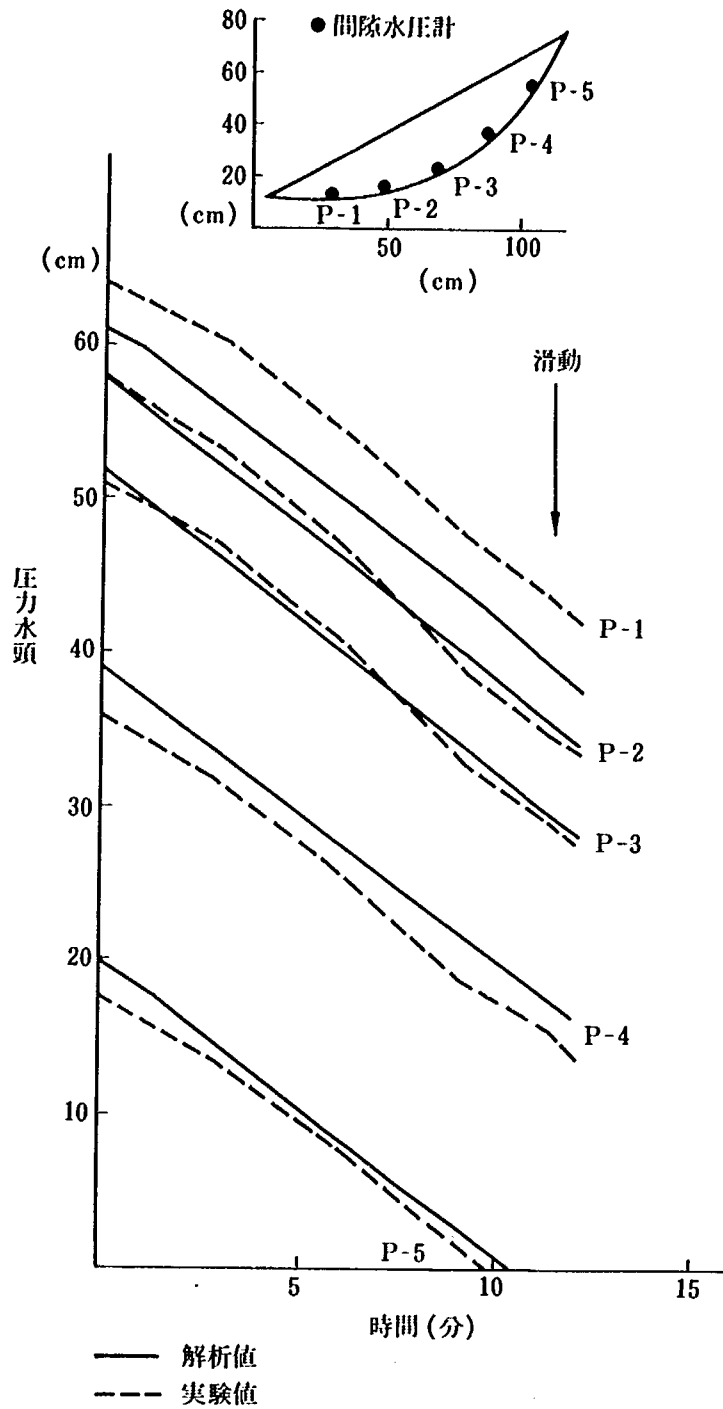


図-17 数値解と実験値の比較(下降時)

場合をみれば、25分以降貯水位の上昇に対し斜面内水面は引き上げられるように逆勾配となり、この状態を貯水位高65cmまで維持するが、貯水位高70cm近くでは領域が狭くなるためか、貯水位 $\neq$ 地下水面高なる結果を示す。一方、図-19にみるように下降時では25分までは貯水位高 $\neq$ 地下水面高であり、30分後(貯水位高40cm)からすべり面付近での水面高のほうが貯水側の水面高に比べ高くなり、最終時の60分では地表面とすべり面での地

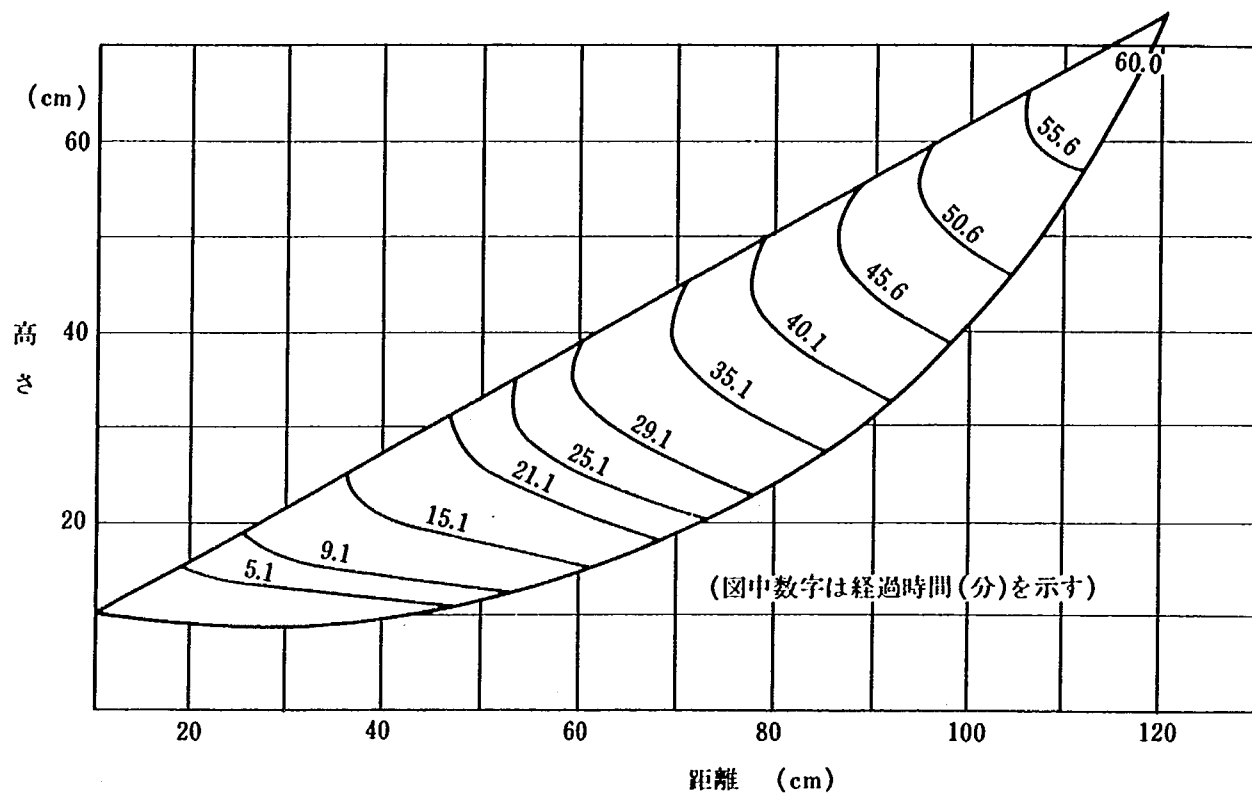


図-18 貯水位上昇時における水面高の経時変化

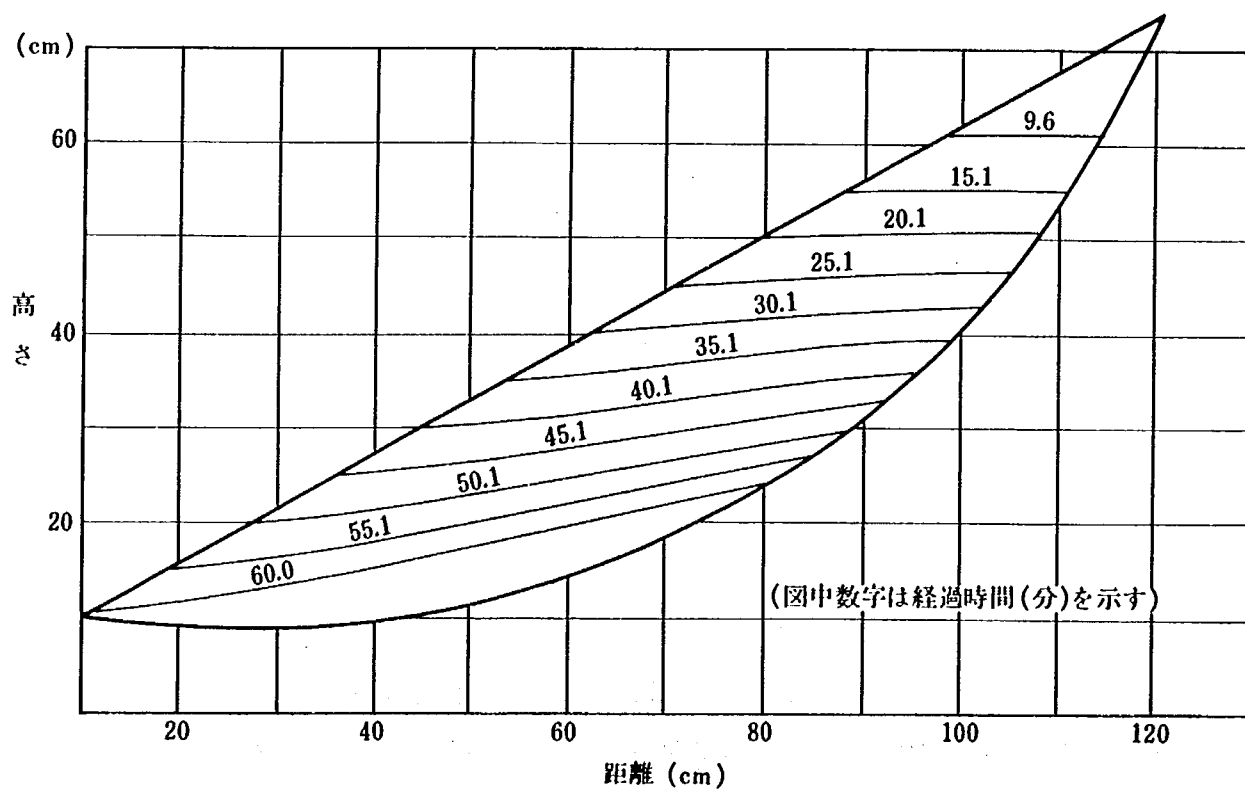


図-19 貯水位下降時における水面高の経時変化

下水面高の差は後者のほうが約 13 cm 程度高くなる結果を示す。

図-20, 図-21 は図-18, 図-19 での条件におけるフローネットを示している。貯水位上昇時では図-20 にみるように斜面内水面の勾配が急となる場合, 等ポテンシャル線は垂直な直線とはならず, 貯水位高あるいは斜面内地下水面からの静水圧≒間隙水圧とする慣用的取扱いに対し異なった間隙水圧分布を与えていることが理解されよう。貯水位下降時では上昇時に比べ等圧力線は水平に近く, これと直交する等ポテンシャル線も垂直に近いことがわかる。

2-4-2 モデル斜面における解析例

飽和-不飽和浸透流解析によるもう一つの解析事例として現地モデル斜面を用いた結果について示す。図-22 は解析の際に用いた斜面の不飽和浸透特性を表わしているが, この関係は文献¹³⁾からの引用である。解析では, 初期貯水位を $W \cdot H = 54.0$ m とし, この貯水位

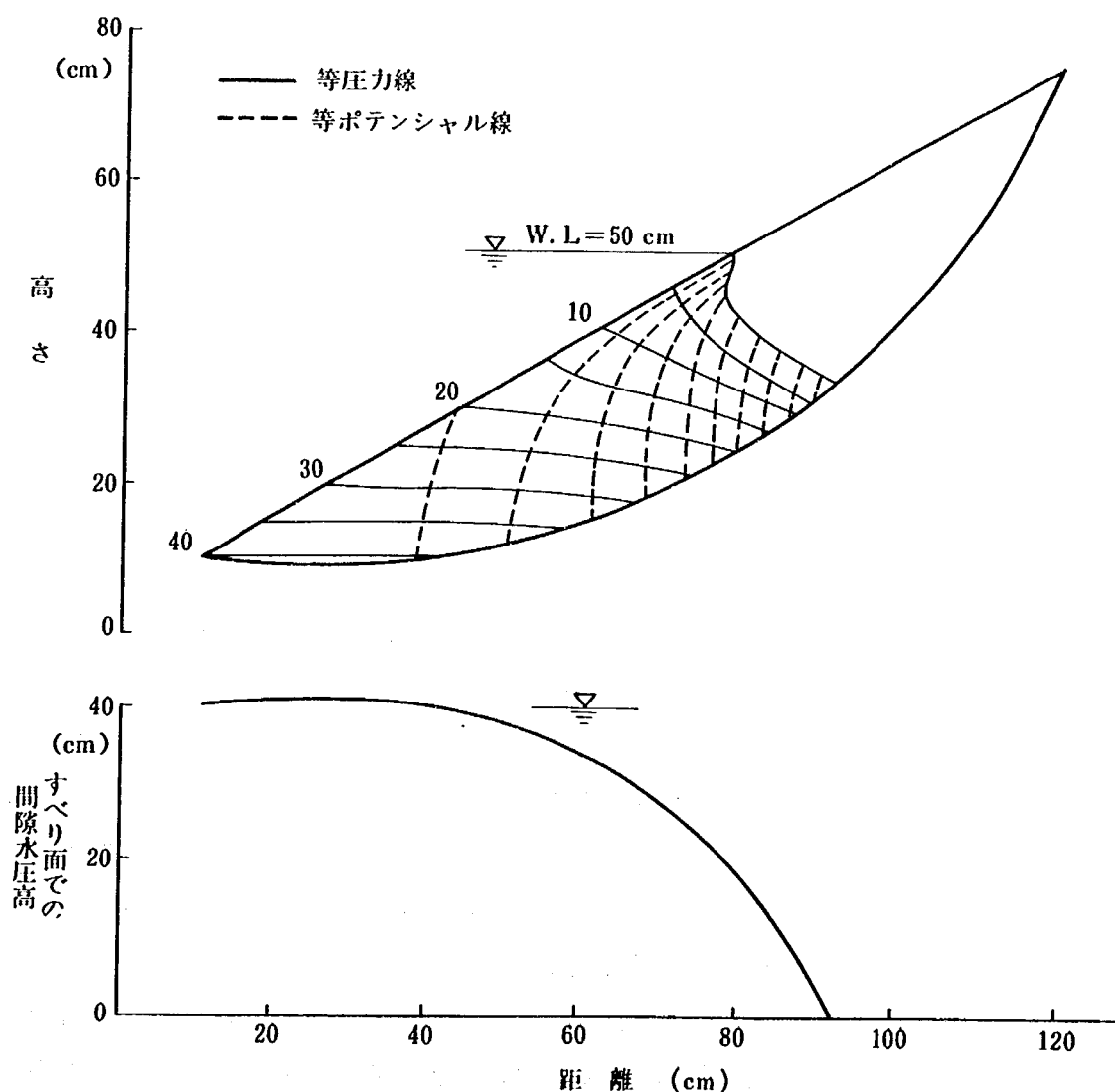


図-20 フローネットとすべり面の間隙水圧分布(貯水位上昇時)

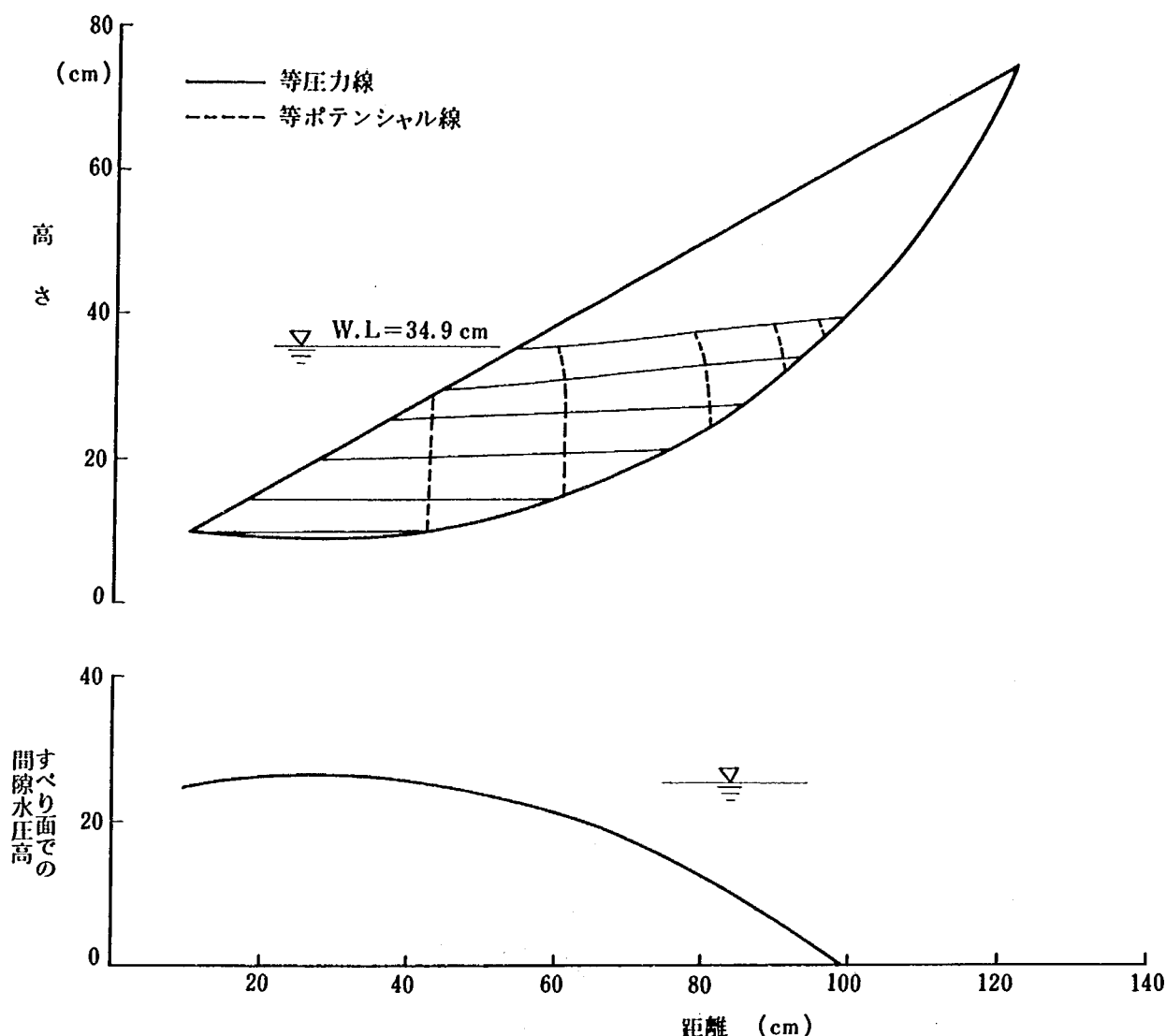


図-21 フローネットとすべり面の間隙水圧分布（貯水位下降時）

高から $W \cdot H = 28.5$ m まで下降速度 $\Delta H = 2$ m/日, $\Delta H = 1$ m/日の2条件を取り扱った。また, 初期条件は前述したように初期平衡状態を想定し, 全節点に対し（初期貯水高—節点標高）で与え, 外水位と接する地表面部の節点では予め与えられた貯水位の時間変動関係から各時間階における貯水位以下の静水圧を既知として計算を実行した。図-23は要素分割数を表わしており, 要素総数 = 120, 節点総数 = 143 で一部三角形要素を使用している。

図-24, 図-25 はそれぞれ貯水位下降速度 ΔH が 1 m/日, 2 m/日の条件での計算結果を示したもので, 図中での数字は経過日数である。これらの比較から, $\Delta H = 2$ m/日, $\Delta H = 1$ m/日とも斜面表面部での地下水面高の下降はそれほど変わらないが, 斜面内部では $\Delta H = 2$ m/日のほうが地下水面高は高くなり, 残留する地下水が多くなることを示している。

なお, 解析では領域底部の節点（1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, 51, 56, 61,

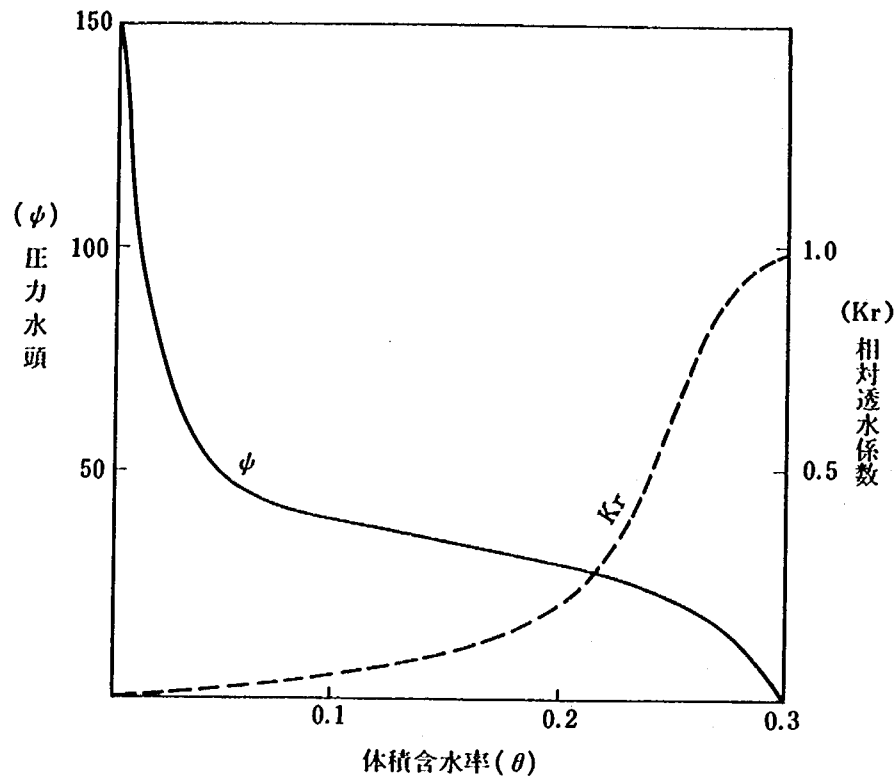


図-22 モデル斜面における不飽和浸透特性

66, 71, 81, 86, 92, 97, 103, 108, 114, 119, 124, 129, 134, 139, 140, 141, 142, 143) を不透水境界として取り扱っている。

以上、ここでは実験斜面、あるいは現地モデル斜面に対し飽和・不飽和浸透流の適用を試みダム貯水位変動に伴う地下水面の非定常変動の予測手法とその結果について述べた。解析結果についてみると今回用いた飽和-不飽和浸透流解析は図-15, 図-22 のように排水-浸水過程で生ずる不飽和特性のヒステリシスを考慮しなくても図-17~19, あるいは図-24, 25 に示されるような満足すべき結果が得られる。本解析手法は初期条件に入力すべき水頭分布を任意に与えることはできないといった厳密性¹⁴⁾を有するものの、飽和浸透流解析のようにメッシュの切り直し¹⁵⁾を行う必要はなく、地下水面の位置は圧力水頭=0となる点を連ねればよいことになり、解析上極めて有利な方法と考えられる。

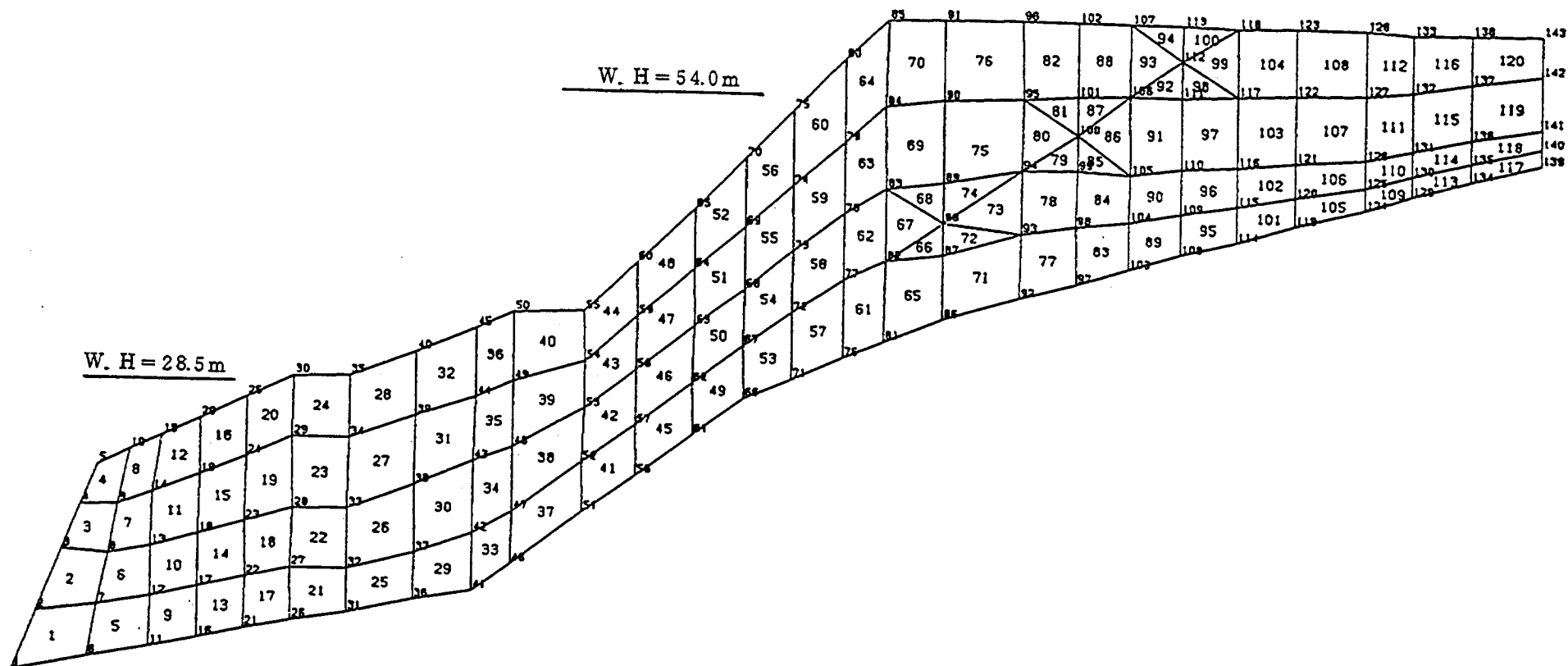


图-23 要素分割图

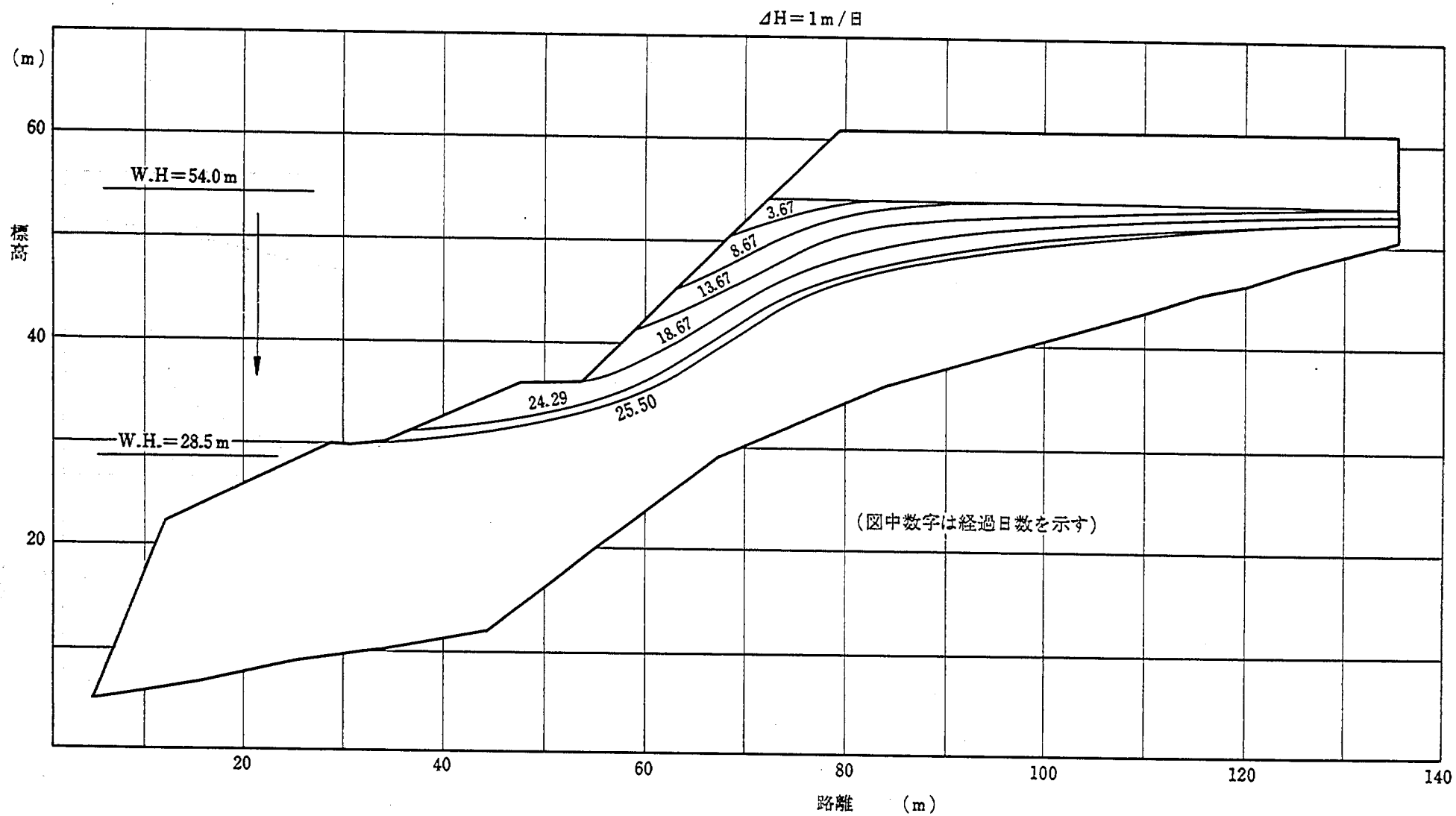


図 - 24 モデル斜面における貯水位下降時での地下水面高の変化

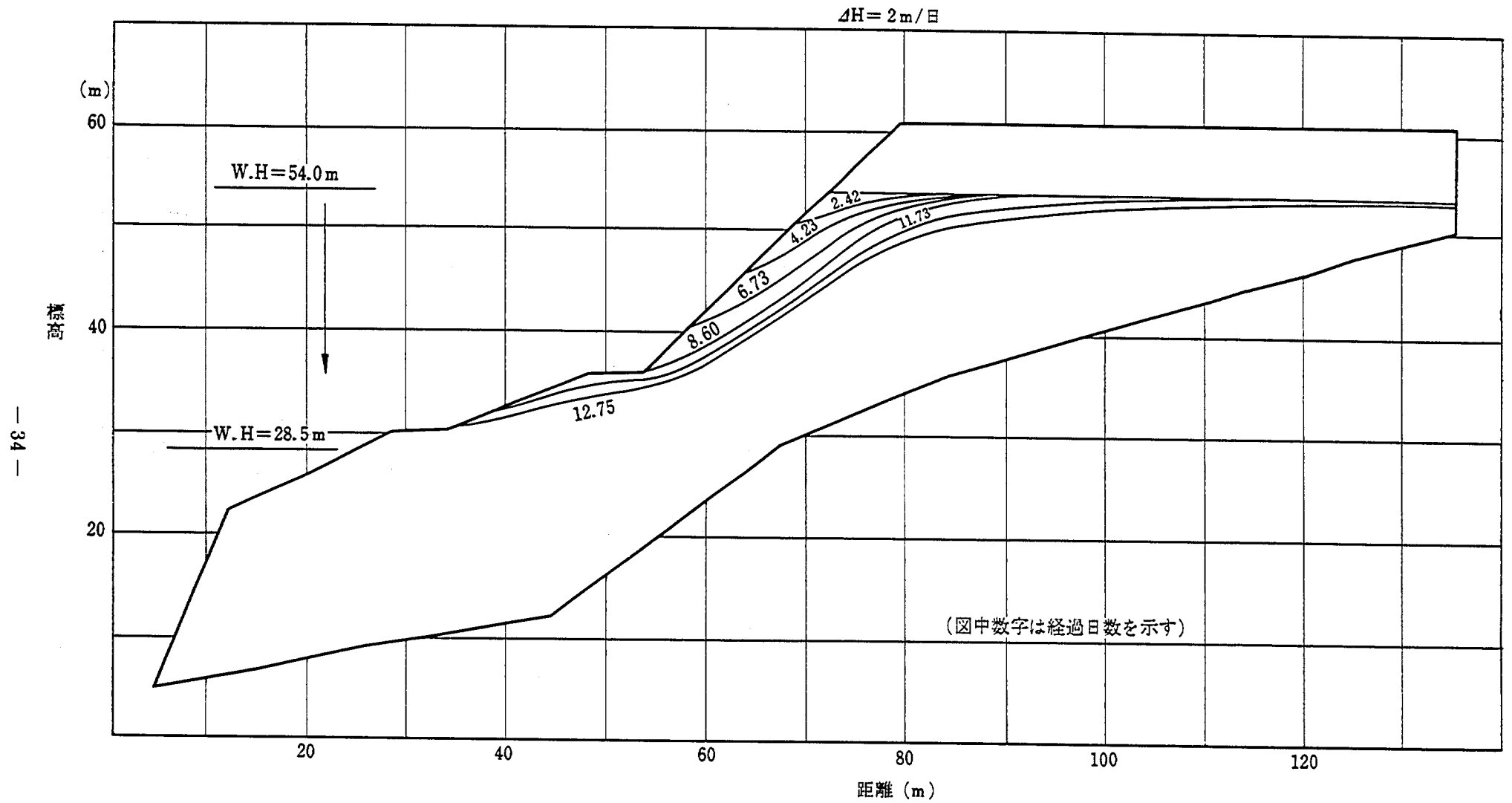


図-25 モデル斜面における貯水位下降時での地下水面高の変化

3. 水没時での安定解析

水没中の斜面での安定解析において常に問題となるのは間隙水圧の評価と土塊の評価の仕方である。通常これら水没斜面における有効物体力を求める方法には定常浸透時を想定して、

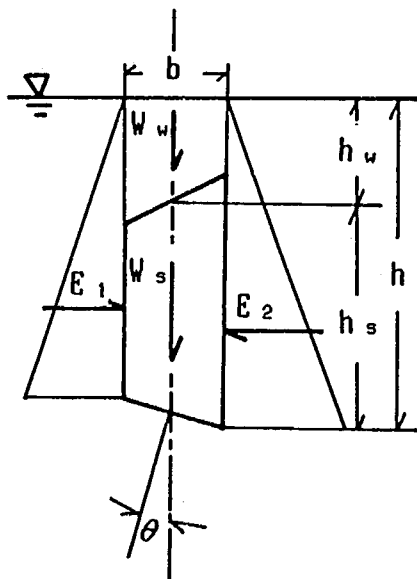
① 有効重量と浸透力のベクトル和

② 土の全重量と全間隙水圧のベクトル和

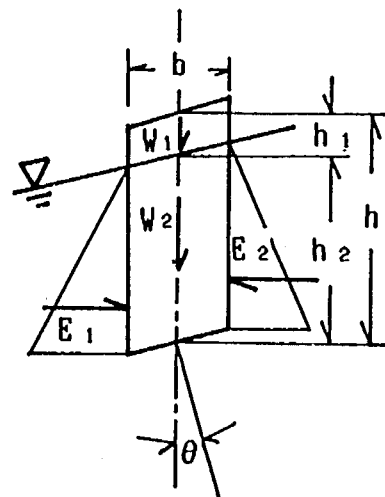
の考え方があり、斜面安定の問題ではこれらの考え方にの相違によって土重量と間隙水圧のとり方が異なってくる。実際の斜面では①の場合の有効重量+浸透力のベクトル和を考慮する方法を採用するケースは、分割法を用いる場合、各々のスライスでの浸透力の作用方向とその位置を定めねばならず、一般に利用されることは極めて希である。したがって②の方法を用いることになるが、今回示した飽和-不飽和浸透流解析では解析領域内にすべり面を与え、スライス垂直線とすべり面との交点を節点として設ければすべり面での間隙水圧はすべり面節点の圧力水頭を用いることができ、取扱いが簡単となる。

3-1 安定計算式

安定計算では間隙水圧と土塊の全重量を評価する方法を用いるが、考慮すべき荷重を自重、静水圧、間隙水圧とし、自重は浸潤線（地下水面）以上で湿潤重量、以下は飽和重量を用いるものとする。ただし、静水圧はスライス上部の水圧のみならず、スライス側面に作用する水圧をも考慮する。以下、安定計算の具体的方法について示すが、計算手法そのものはフィルダムの安定計算方法¹⁶⁾と同一である。



(a) (完全水没時)



(b) (部分水没時)

図-26 スライスに作用する荷重

図-26を参考に

(完全水没時)

$$N = (\omega_s + \omega_w) \cos \theta + (E_1 - E_2) \cdot \sin \theta$$

$$= (r_{sat} \cdot h_s + r_w \cdot h_w) b \cdot \cos \theta + (E_1 - E_2) \cdot \sin \theta \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$T = (\omega_s + \omega_w) \sin \theta - (E_1 - E_2) \cos \theta$$

$$= (r_{sat} \cdot h_s + r_w \cdot h_w) b \cdot \cos \theta - (E_1 - E_2) \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$U = u \cdot \ell = (u_1 + u_2) \cdot b / 2 \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (31)$$

(部分水没時)

(29)式, (30)式において $r_{sat} \rightarrow r_{wet}$, $r_w \rightarrow r_{sat}$, $h_s = h_1$, $h_w = h_2$ とする。図-26(b)に従い

$$N = (r_{wet} \cdot h_1 + r_{sat} \cdot h_2) \cdot b \cdot \cos \theta + (E_1 - E_2) \cdot \sin \theta \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$T = (r_{wet} \cdot h_1 + r_{sat} \cdot h_2) \cdot b \cdot \sin \theta - (E_1 - E_2) \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (33)$$

ただし, (31)式における u_1, u_2 は飽和・不飽和浸透流解析から得られたすべり面節点での圧力水頭を用いるものとする。

安定計算手法についてはすべり面が円弧の場合であればビショップ法, 非円弧すべりであればセンプ法の適用が望ましいが, スライス側面に作用する水圧を考慮しなければならないことから, これの組み込みが容易な簡便分割法を用いるものとした。すなわち, 安全率は

$$F = \Sigma (C' \ell + (N - U) \cdot \tan \phi') / \Sigma T \quad \dots\dots\dots (34)$$

ここに,

F : 安全率

N, T, U : 各スライスのすべり面に作用する法線方向力, 同接線方向力, 同間隙水圧

C', ϕ' : 土質定数 (粘着力, 内部摩擦角)

ℓ : すべり面長

また,

ω_s, ω_w : スライス土塊重, スライス上部にかかる静水荷重

r_{sat}, r_{wet}, r_w : 土塊の飽和重量, 湿潤重量, 水の単位重量

(29)~(34)式における法線方向力N, 接線方向力Tに対し, E_1, E_2 のスライス側壁に作用する水圧を評価することは, $E_1 - E_2 > 0$ の場合または $E_1 - E_2 < 0$ であるかにより(34)式の安全率が増大するか, 減少するかにならず影響する。すなわち, 地下水面の勾配がすべり面側に傾くほど $E_1 - E_2$ は大となり安定側に寄与することになるが, すべり面の勾配が負となれば $E_1 - E_2 < 0$ となる場合が生じ, この時にはTは増大するがNは減少しこの場合には不安定側に影響することになる。

3-2 安定解析事例

3-2-1 実験斜面における安定解析結果

2-4-1での解析で得られた結果等を参考に安定解析を実施した。計算に用いた諸定数は $r_{wet} = 1.55 \text{ t/m}^3$, $r_{sat} = 1.79 \text{ t/m}^3$, $C' = 0.05 \text{ t/m}^2$, $\phi' = 24^\circ$ (表-3 参照) である。

図-27に貯水位の上昇, 下降速度がそれぞれ 2 cm/分, 1 cm/分 の場合と斜面内水面高を貯水位高に等しく仮定した場合での安定解析結果を示す。この結果から, 貯水位上昇時では上昇速度 2 cm/分, 1 cm/分 とともに上昇開始後若干安全率は減少するがその後急激に増大し, 貯水位 57 cm 付近で最大値を示した後再度安全率は減少し, 貯水位高 70 cm では安全率が 1.3 ~ 1.4 となる結果を示す。また, 斜面内水面高を貯水位に等しく仮定した場合では貯水位高 = 30 cm で最小安全率 ($F = 0.98$) を示した後, 貯水位の上昇とともに安全率は増大し貯水位 70

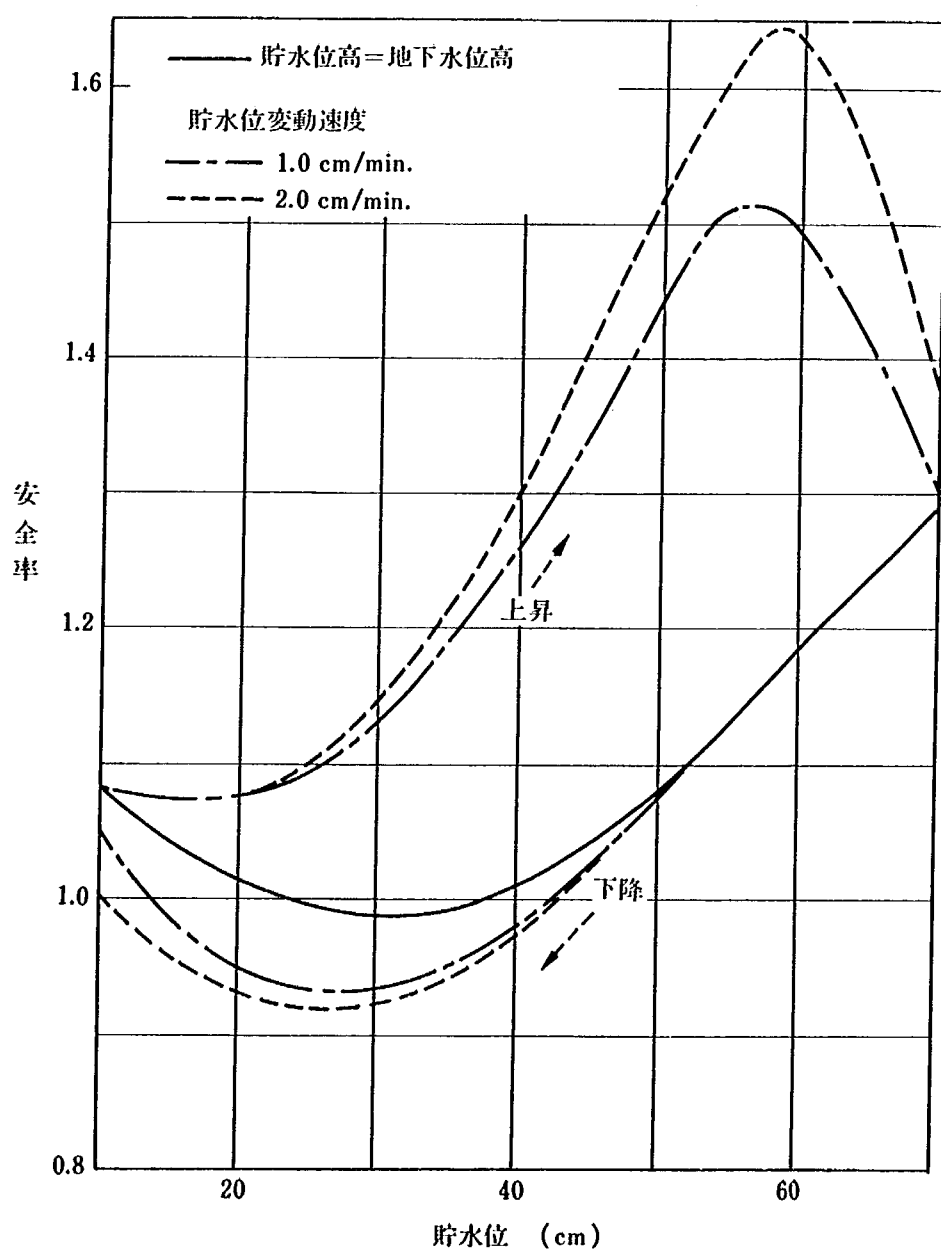


図-27 貯水変動に対する安全率の変化

cm では安全率 1.29なる結果を示す。一方、貯水位を降下させた場合安全率は貯水位70 cm における初期安全率 1.28から貯水位降下とともに減少し貯水位 28 cm 付近で最小値 0.96 ~ 0.97となるが、その後増大し、安全率は 1.0 以上まで回復する。今回の実験では貯水位降下速度 2 cm/分の時、貯水位高 = 38 cm で回転すべりを生じているが、その時点での安全率は 0.98を示している。また、斜面内水面高が貯水位に等しい場合には貯水位の上昇、下降による貯水位と安全率の関係は図-27に示すように差異がなく同一関係を示す。貯水位下降時において貯水位高 52 cm までは貯水位の下降速度による差異が生じていないのは図-19に示したように斜面内水面高が貯水位高に追従しほぼ同一のレベルで降下していることに起因するものである。

以上での実験結果に対する安定計算結果から、貯水位上昇時のみならず下降時においても最小安全率となる貯水位が存在することになりいわゆる "危険湛水位 (critical pool level)"¹⁷⁾ の概念を結果的に裏付けることとなった。このことは、例えばすべり面形が地すべり末端部において押え盛土的役割を果たすようなすべり方向に対し逆傾斜を呈する場合を想定すれば、スライス側壁に作用する水圧差がすべりを助長する方向に働きこれが安全率を低下させることから説明されるところである。したがって、上記のようなすべり面を有する場合、初期湛水時においては土塊の末端部のみが水没することにより地すべりが発生する場合があります。

3-2-2 モデル斜面での安定解析

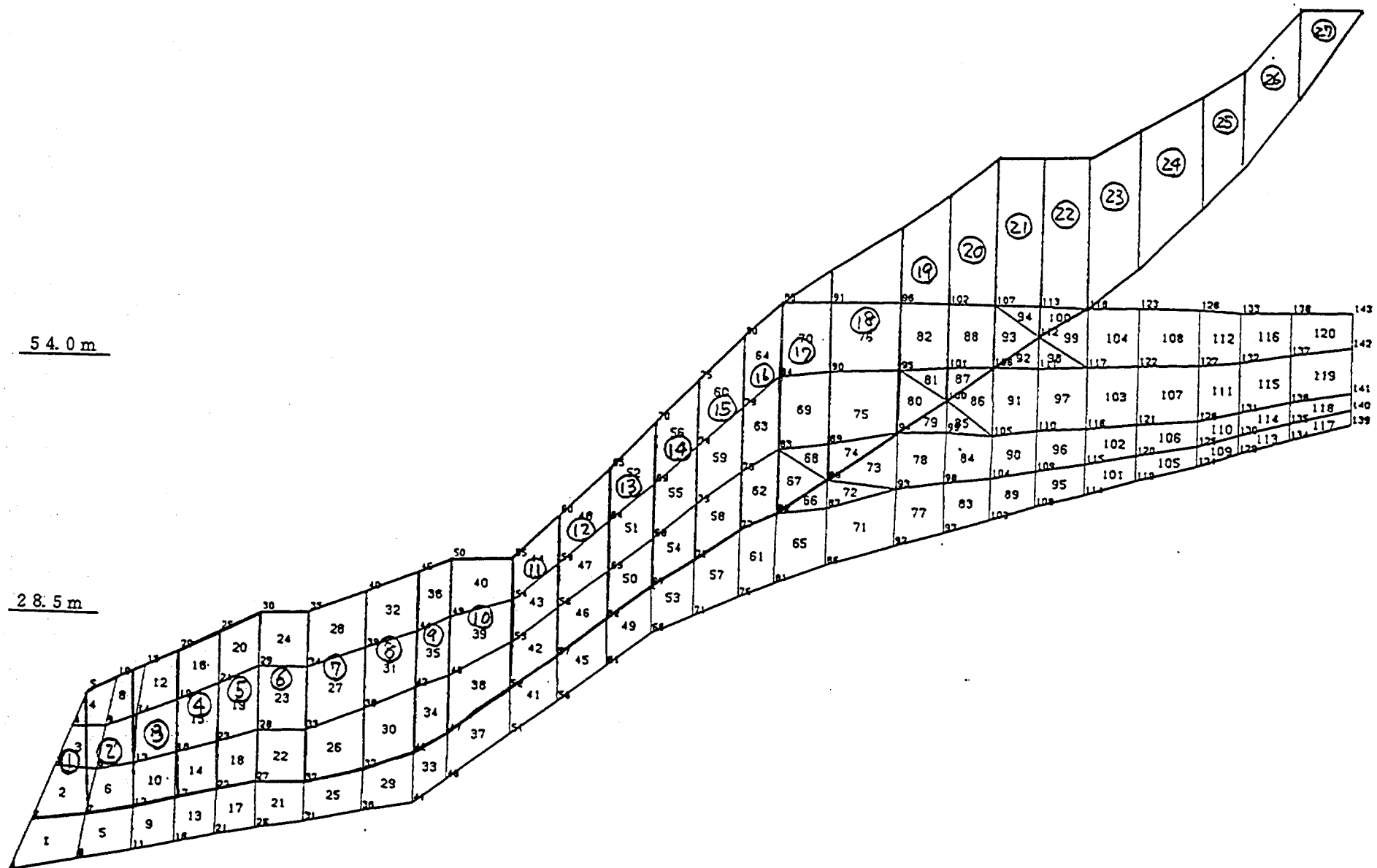


図-28 スライス分割図

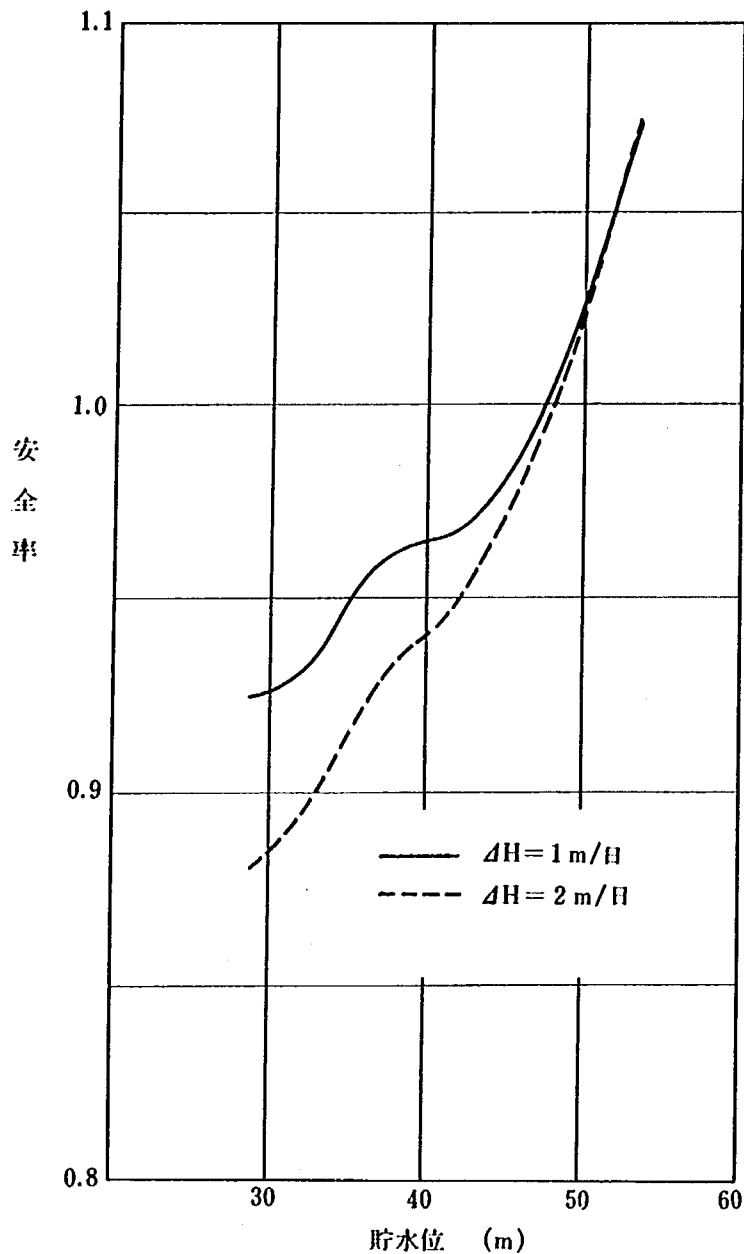


図-29 モデル斜面における貯水位変動と安全率の関係

図-29は図-24, 25でのモデル斜面から得られた地下水面高の変化, すべり面での間隙水圧の変動結果をもとに安定解析を行い, 貯水位下降時(54.0mから28.5mまで下降)での安全率と貯水位の関係を示したものである。なお, この解析に用いた土質定数は $C' = 2.0 \text{ t/m}^2$, $\tan \phi' = 0.497$, $\gamma_{\text{wet}} = 1.7 \text{ t/m}^3$, $\gamma_{\text{sat}} = 1.95 \text{ t/m}^3$ であり, 解析に用いたスライス分割図は図-28に示すとおりである。図-29より, 貯水位下降速度 $\Delta H = 1 \text{ m/日}$, あるいは $\Delta H = 2 \text{ m/日}$ のいずれの場合でも貯水位の降下にもない安全率は減少し, 貯水位が28.5mで最小安全率を示す。貯水位37m~40m付近において一時安全率の低下が純るのは, この付近では浸透流解析における領域が狭くなり, 仮定した不透水層の位置がすべり面に近づき, 貯水位降下が地下水面の降下に顕著に影響することに起因すると判断される。最後に, 図-27での

実験斜面における安定解析結果および図-29による現地モデル斜面を対象とした安定解析から貯水位の変動速度が地すべり斜面の安定あるいは不安定化に対し与える影響は小さなものではなく、実際に貯水位一時間の変動関係を与え、この影響度合を定量的に把握しておくことが重要であることが理解されよう。

4. 現場透水試験

ダム貯水池周辺における地すべり斜面の安定度と貯水位の昇・降との関係を定量的に評価するには地すべりの土質強度（粘着力，内部摩擦角）とともに浸透流解析における透水係数，有効間隙率といった数値の評価が重要となってくる。飽和－不飽和浸透流解析における不飽和浸透特性の把握のための現位置試験法は未だ開発されておらず，今後の調査・研究を待つこととなろうが，ここでは飽和－不飽和浸透流および飽和浸透流にとっても最も基本的，かつ重要なパラメータである飽和透水係数を取りあげ，これの現位置透水試験とその解析上での問題点等について述べる。

4-1 はじめに

原位置透水試験は地すべり防止工のうちで特に地下水排除に関与する集水井工，排水ボーリング工等を計画立案する際に必要な移動土塊の透水係数を定めるために実施される。この試験法には揚水試験（多孔式透水試験）と単孔式原位置透水試験とがあり，後者は試験自体が比較的安価であり，他の地質調査と共に実施できることもあり，用いられる回数が多いが，単孔式透水試験より得られる透水係数と揚水試験より得られる値とを比較すると単孔式試験の結果は1オーダーほど小さい透水係数になっていることが多い¹⁸⁾。その理由として，単孔式試験の際での地下水流れとしては地層の堆積に平行な水平方向よりもむしろ鉛直方向の成分が卓越するためとの説明がなされている。しかしこの説明も十分に説得力のもつものではなく，この種の原位置試験で移動する地下水の流れが極めて局所的であり，高々チューブ近傍の2～3mの範囲に限られるため¹⁹⁾，地すべりで対象とする地下水流動の規模との間の相違点のほうが現実的な説明と思われる。また，現場透水試験では具体的作業遂行上の問題として表-4にあげるような解決しにくい状態も種々生ずる²⁰⁾。

単孔式透水試験は上述したような問題点を含むものの1点で深さ方向各点の透水係数が計測できる利点に加え，安価な試験であり，また地下水の変動解析に必要な平面的計測が可能であるといった特徴をもつことから地下水解析の精度を向上させるうえで欠くことのできない原位置試験となっている。また，単孔式透水試験といっても数種類のものがあり，各々の現場の状況に応じその適否と最も合理的な解析手法を用い，妥当な透水係数値を得るといった努力は非常に大切である。

4-2 現場透水試験の種類と方法

一般に透水試験と呼ばれるものは表-5にあげられるように，室内法，現場法に区分され中でも最も信頼性の高いものは揚水井と多点の観測孔による揚水法であるが，上述の理由から簡易法である単独のボーリング孔を利用する方法について述べる。

単独のボーリング孔での透水試験は孔内水位の時間的変化を計測する非定常法と孔内水位を一定に保ち流入量から透水係数を求める定常法とに大別される。このうち非定常法（回復法，

表-4 ボーリング孔を利用した現場透水試験の問題点

方 法		作業上解決しにくい現象	結 果	評 価
試験孔作成	泥水掘り	孔壁に浸透したベントナイトを完全に洗浄出来ない。	孔内流入の阻止	透水係数の過少評価
		水洗いすると孔壁を崩し、孔底にスライムが沈澱する。	試験区間の挟さく	
	清水掘り	地下水中では孔壁の自立が保てない。 (特に砂質土、礫質土)	試験孔の崩壊	
		孔底にスライムが沈澱する。	試験区間の挟さく	
水位低下	ポンプ揚水	地上部からの揚水は5m位までが限度。	水位低下が望めない	測定困難
		単独孔のためサクショホースの挿入、引揚げに制約がある。	正確な測定が困難	
	ベイラー 汲み揚げ	汲み揚げスピードが水位上昇に追い付かない場合がある。	水位測定不能	
		汲み揚げ時にバキュームがかかり、孔底にボーリングが生ずる。	試験区間の閉そく	

表-5 土の透水性の試験方法

室内法	間接法	- 粒度分布による方法 - 圧密試験による方法(粘性土)
	直接法	- 定水位法 - 変水位法
現場法	簡易法	- ボーリング孔を利用する方法 - 試験池を利用する方法
	流速実測法	- トレーサー法 (RI, 電解物質, 色素, etc.) - 流速測定器機による方法
	揚水法	- 平衡法(定常状態) - 非平衡法(非定常状態)

(土質工学会編 土質調査法による)

注水法を含む)には、オーガー法、ピエゾメータ法、チューブ法があり、定常法(定水位法)にはパッカー法、チューブ法があげられるが、地すべり地においてボーリング孔を利用した透水試験となると、ほとんどはピエゾメータ法、あるいはパッカー法に限定される。以下、これら2種類の現場透水試験について述べる。²¹⁾

表-6 単孔式透水試験の種類

単孔式 透水 試験	非定常法 (回復法) (注水法)	オーガー法 —— ピエゾメーター法 —— チューブ法
	定常法 (定水位法)	パッカー法 —— チューブ法

4-2-1 ピエゾメーター法

ピエゾメーター法は図-30に示すように、鋼管(ケーシングパイプ)を地中に打設して管内の水位を急低下させその水位の回復を経時的に計測して透水係数を測定する方法である。この方法は管の先端に孔隙を設ける場合ピエゾメーター法、先端に孔隙が無い場合はチューブ法と呼ばれている。

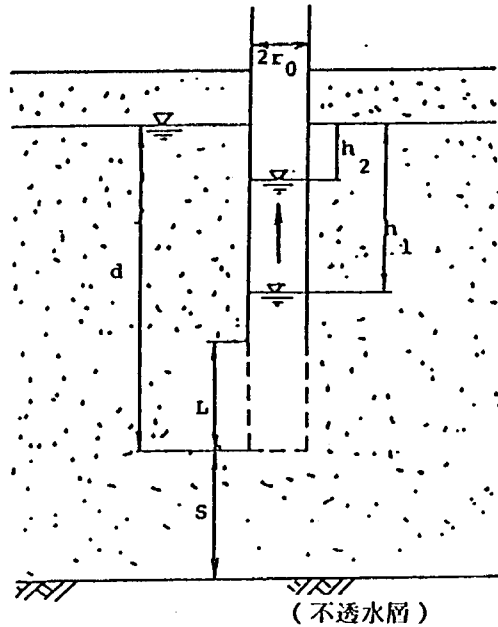


図-30 ピエゾメーター法

ピエゾメーター法に対する解析式もいくつかあげられるが、比較的誤差の少ないといわれている²²⁾LuthinとKirkhamの方法、Hvorslevの方法について以下に示す。

(1) LuthinとKirkhamの方法

解析式は

$$k = \frac{\pi r_0^2}{C_L(t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} \dots\dots\dots (35)$$

(35) 式中の h_1 , h_2 , r_0 は図-30に示す値であり, t_2 , t_1 はそれぞれ h_2 , h_1 の水位を示

す時間を表わす。C_L の値は形状係数で図-30 に示す d, s, r, L に依存する値で表-7, 表-8 での値を参考とする。

表-7 ピエゾメーター法の形状係数 (C_L/r₀)

L/r ₀	(d-L)/r ₀	S/r ₀ 底部が不透水層							S/r ₀ 底部が高透水層						
		∞	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0	∞	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0
0	20	5.6	5.5	5.3	5.0	4.4	3.6	0	5.6	5.6	5.8	6.3	7.4	10.2	—
	16	5.6	5.5	5.3	5.0	4.4	3.6	0	5.6	5.6	5.8	6.4	7.5	10.3	—
	12	5.6	5.5	5.4	5.1	4.5	3.7	0	5.6	5.7	5.9	6.5	7.6	10.4	—
	8	5.7	5.6	5.5	5.2	4.6	3.8	0	5.7	5.7	5.9	6.6	7.7	10.5	—
	4	5.8	5.7	5.6	5.4	4.8	3.9	0	5.8	5.8	6.0	6.7	7.9	10.7	—
0.5	20	8.7	8.6	8.3	7.7	7.0	6.2	4.8	8.7	8.9	9.4	10.3	12.2	15.2	—
	16	8.8	8.7	8.4	7.8	7.0	6.2	4.8	8.8	9.0	9.4	10.3	12.2	15.2	—
	12	8.9	8.8	8.5	8.0	7.1	6.3	4.8	8.9	9.1	9.5	10.4	12.2	15.3	—
	8	9.0	9.0	8.7	8.2	7.2	6.4	4.9	9.0	9.3	9.6	10.5	12.3	15.3	—
	4	9.5	9.4	9.0	8.6	7.5	6.5	5.0	9.5	9.6	9.8	10.6	12.4	15.4	—
1.0	20	10.6	10.4	10.0	9.3	8.4	7.6	6.3	10.6	11.0	11.6	12.8	14.9	19.0	—
	16	10.7	10.5	10.1	9.4	8.5	7.7	6.4	10.7	11.0	11.6	12.8	14.9	19.0	—
	12	10.8	10.6	10.2	9.5	8.6	7.8	6.5	10.8	11.1	11.7	12.8	14.9	19.0	—
	8	11.0	10.9	10.5	9.8	8.9	8.0	6.7	11.0	11.2	11.8	12.9	14.9	19.0	—
	4	11.5	11.4	11.2	10.5	9.7	8.8	7.3	11.5	11.6	12.1	13.1	15.0	19.0	—
2.0	20	13.8	13.5	12.8	11.9	10.9	10.1	9.1	13.8	14.1	15.0	16.5	19.0	23.0	—
	16	13.9	13.6	13.0	12.1	11.0	10.2	9.2	13.9	14.3	15.1	16.6	19.1	23.1	—
	12	14.0	13.7	13.2	12.3	11.2	10.4	9.4	14.0	14.4	15.2	16.7	19.2	23.2	—
	8	14.3	14.1	13.6	12.7	11.5	10.7	9.6	14.3	14.8	15.5	17.0	19.4	23.3	—
	4	15.0	14.9	14.5	13.7	12.6	11.7	10.5	15.0	15.4	16.0	17.6	20.1	23.8	—
4.0	20	18.6	18.0	17.3	16.3	15.3	14.6	13.6	18.6	19.8	20.8	22.7	25.5	29.9	—
	16	19.0	18.4	17.6	16.6	15.6	14.8	13.8	19.0	20.0	20.9	22.8	25.6	29.9	—
	12	19.4	18.8	18.0	17.1	16.0	15.1	14.1	19.4	20.3	21.2	23.0	25.8	30.0	—
	8	19.8	19.4	18.7	17.6	16.4	15.5	14.5	19.8	20.6	21.4	23.3	26.0	30.2	—
	4	21.0	20.5	20.0	19.1	17.8	17.0	15.8	21.0	21.5	22.2	24.1	26.8	31.5	—
8.0	20	26.9	25.0	25.5	24.0	23.0	22.2	21.4	26.9	29.6	30.6	32.9	36.1	40.6	—
	16	27.4	26.3	25.8	24.4	23.4	22.7	21.9	27.4	29.8	30.8	33.1	36.2	40.7	—
	12	28.3	27.2	26.4	25.1	24.1	23.4	22.6	28.3	30.0	31.0	33.3	36.4	40.8	—
	8	29.1	28.2	27.4	26.1	25.1	24.4	23.4	29.1	30.3	31.2	33.8	36.9	41.0	—
	4	30.8	30.2	29.6	28.0	26.9	25.7	24.5	30.8	31.5	32.8	35.0	38.4	43.0	—

表-8 先端が半球状の場合の形状係数 (C_L/r₀)

d/r ₀	S/r ₀ 底部が不透水層							S/r ₀ 底部が高透水層						
	∞	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0	∞	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0
20	8.9	8.8	8.6	8.1	7.5	7.0	5.9	8.9	9.4	9.8	10.7	11.2	14.2	—
16	9.0	8.9	8.7	8.2	7.6	7.1	6.0	9.0	9.5	9.9	10.7	11.2	14.3	—
12	9.1	9.0	8.8	8.3	7.7	7.2	6.1	9.1	9.6	10.0	10.8	11.3	14.3	—
8	9.2	9.1	8.9	8.5	7.9	7.4	6.2	9.2	9.3	10.1	10.8	11.3	14.3	—
4	9.5	9.5	9.5	9.3	8.5	7.9	6.3	9.3	10.2	10.4	11.1	12.4	14.4	—

(2) Hvorslev の方法

$$k = \frac{r_0^2}{2L(t_2 - t_1)} \cdot \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \cdot \sin^{-1}\left(\frac{L}{2r_0}\right) \dots\dots\dots (36)$$

(36) 式での $\sin^{-1}(x)$ は, $x > 4$ で $\sin^{-1}(x) \div \ln(2x)$ と見なせることから $L/r_0 > 8$ の条件では

$$k = \frac{r_0^2}{2L(t_2 - t_1)} \cdot \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \cdot \ln\left(\frac{L}{r_0}\right) \dots\dots\dots (37)$$

で近似される。(37) 式は帯水層が無限の広がりと深さをもつものと仮定して導びかれた

ものであり、図-30での孔隙の底部からの流入量は考慮していない。

また、被圧帯水層におけるヒエゾメータ法の解析式が Hvorslev によって示されている。

$$k = \frac{\pi r_0^2 \ln(2L/r_0)}{2\pi L(t_2 - t_1)} \cdot \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \dots\dots\dots (38)$$

4-2-2 パッカー法

パッカー法はパッカーを用いなくとも定常状態での注水試験であればパッカー法と呼ばれる。すなわち、ピエゾメータ法が非定常法であることに対応しての試験である。試験方法は図-31のようにボーリング孔内の定区間に一定圧 (H_p) を作用させ、定常になった状態 (流入量に変化しなくなった状態) で流入量 Q を測定し次式より透水係数を求める方法である。

$$k = \frac{Q}{2\pi \cdot H_p \cdot L} \cdot \sin^{-1}\left(\frac{L}{2r_0}\right) \left(\frac{L}{r_0} < 8 \text{ の場合}\right) \dots\dots\dots (39)$$

$$k = \frac{Q}{2\pi \cdot H_p \cdot L} \cdot \ln \frac{L}{r_0} \quad \left(\frac{L}{r_0} \geq 8 \text{ の場合}\right) \dots\dots\dots (40)$$

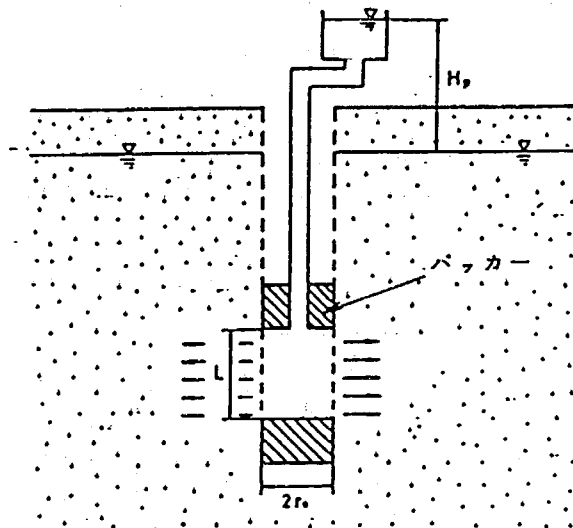


図-31 パッカー法

(39), (40) 式は帯水層が無限の広がりと深さをもつものと仮定して導びかれた式である。また、注水によって自由水面が上昇する現象も考慮していないが、(39), (40) 式によって得られる透水係数値は数値解析²³⁾による結果とも良く一致し有効な式であることが示されている。

4-3 原位置透水試験

前項までの考察にもとづき、現場での透水試験を実施するに当たっての手順について示す。

(1) 孔内水位が存在しない場合

ボーリング孔を利用したピエゾメータ法、チューブ法のいずれも孔内水位が存在する場合での原位置試験法である。したがって、ボーリング孔内水位が存在しない区間では注水によるパッカー法の適用が考えられる。

本法の適用は通常の地すべり調査では $r_0 = 3.3 \text{ cm}$, $L > 50 \text{ cm}$ と考えられるから $L/r_0 \geq 8$ の条件となり、次式を用いることになる。

$$k = \frac{Q}{2\pi \cdot H_p \cdot L} \cdot \ln \frac{L}{r_0}$$

例えば、試験区間長 $L = 100 \text{ cm}$, ボーリング半径 $r_0 = 3.3 \text{ cm}$ であり、試験区間最上部の位置に注入による水面が形成され、その時点の流入量が $Q = 5 \text{ l/分} (= 83.3 \text{ cm}^3/\text{sec})$ を示し、形成された水面高の位置が地表から $G.L. = -500 \text{ cm}$ であったとすれば、

$$k = \frac{83.3}{2 \times \pi \times 500 \times 100} \times \ln \frac{100}{3.3} = 9.05 \times 10^{-4} (\text{cm/s})$$

で与えられることになる。

(2) 孔内水位が存在する場合

ピエゾメータ法あるいはパッカー法のいずれも適用可能であるが、ピエゾメータ法による解析例を取扱う。この場合、試験対象区間での地下水が被圧が不圧かによって解析に用いる式が異なることに注意しなければならない。

(不圧状態)

Luthin と Kirkham の方法を用いれば

$$k = \frac{\pi r_0}{C_L (t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (L/r_0 \geq 8)$$

Hvorslev の方法を用いれば

$$k = \frac{r_0}{2L (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \cdot \ln \left(\frac{L}{r_0} \right)$$

(被圧状態)

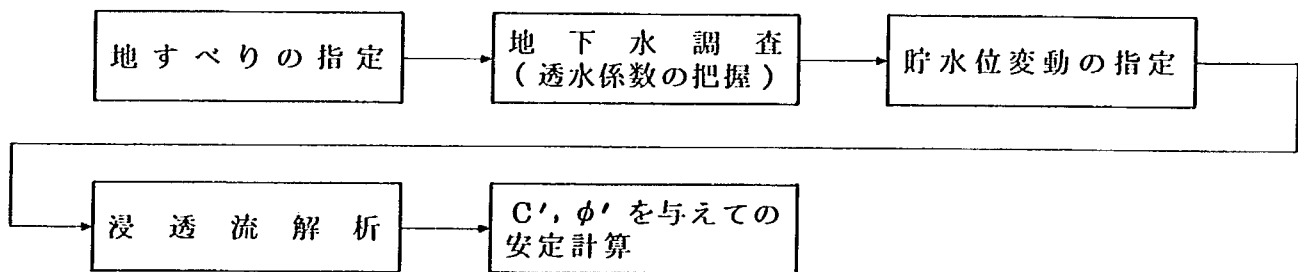
この場合は Hvorslev の方法を用いる

$$k = \frac{\pi r_0 \ln (2L/r_0)}{2\pi L (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

なお、両者とも試験区間長 L は一般には 1 m 程度が望ましい。掘削にはベントナイトを使用せず、清水掘りとし試験開始前に孔壁洗浄を行うことが必要である。孔内崩壊が激しい区間では試験区間を 50 cm 程度と短くすることも考えられる。

5. ま と め

今回の報告は第1章で模型斜面を用いた浸透実験とその結果、第2章で飽和－不飽和浸透流解析とその解析を適用した事例結果について、第3章ではすべり面が予め与えられた場合での安定解析について述べ、第4章では浸透流解析の際の重要なパラメータである透水係数を定める原位置透水試験の方法及びその解析手法についてとりまとめたものである。このなかで、今回解析に用いた飽和－不飽和浸透流解析は実験結果と良好に一致すること、また、現地モデル斜面に対しても不飽和浸透特性を把握することができれば貯水位変動に対する地すべり斜面内の地下水変動をシミュレートすることが可能であることが示された。次に、実験斜面における安定解析結果から貯水位の上昇のみならず下降時においても最小安全率となる危険水位が存在し、特に上昇時にはすべり末端部が水没するだけで地すべりを発生させる危険性があることを示した。しかしながら、実験斜面だけでなく、モデル斜面として取扱った現地に対する適用となると飽和－不飽和浸透流解析では初期条件での制約、不飽和浸透特性の把握といった点で明らかにされねばならない問題も多い。安定解析では、スライスに作用する水圧を静定とするか不静定とするかで安全率は異なるといった報告もある²⁴⁾。しかしながら、上記のような問題を有するものの本報告の内容は



といった流れで貯水位の変動が地すべりの安定度を与える影響の定量的検討を可能にするものである。今後の現地斜面のデータの蓄積にともない、上述したような問題点の1つ1つが解決されてゆくことで、より一層正確に現地条件を考慮した解析が実施されることとなろう。この意味で現地で発生する地すべり現象が定量的に説明されるよう上記問題点等を考慮しつつ解析を進めることが大切である。

参 考 文 献

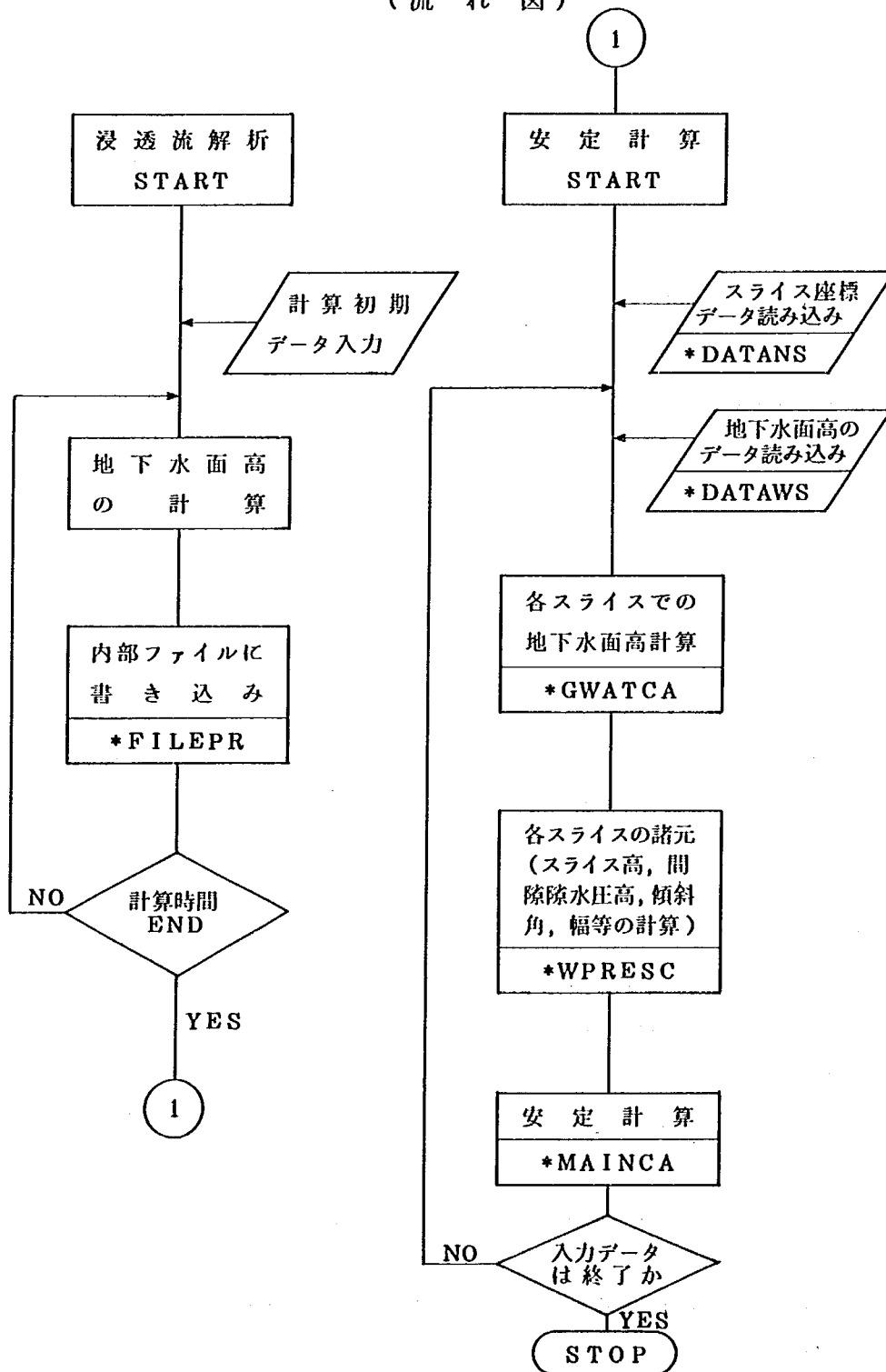
- 1) 中村浩之, 土屋智: 貯水池周辺地すべり斜面での浸透流解析と安定計算, 土木技術資料, 28-9, 1986
- 2) 久保田敬一, 河野伊一郎, 宇野尚雄: 透水-設計のアプローチ, 鹿島出版会, 1976, pp 78
- 3) 中村浩之: ダム管理研修テキスト(貯水池の管理), 全国建設研修センター, 1980
- 4) 土壌物理研究会: 土の物理学, 森北出版, 1979, pp 240~241
- 5) カークビー: 新しい水文学, 朝倉書店, 1983, pp 165~167
- 6) 例えば, 駒田広也: 飽和-不飽和土中の非定常浸透流解析, 電力中央研究所報告, No 377015, 1978
- 7) 矢川元基: 流れと熱伝導の有限要素法入門, 培風館, 昭和 58 年, pp 185~187
- 8) 例えば, 川原睦人: 有限要素法流体解析, 日科技連, 1985, pp 46
- 9) 西垣誠: 飽和-不飽和領域内の土中水の浸透特性に関する 2, 3 の考察, 土質土学会論文報告集, Vol 23, No 3, 1983
- 10) 同上
- 11) S. Irmay: On the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils Transaction, American Geophysical Union, Volume 35, Number 3, 1954
- 12) 河野伊一郎, 西垣誠: 不飽和砂質土の浸透特性に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第 307 号, 1981
- 13) 矢田部龍一, 榎明潔, 八木則男: 降雨浸透を考慮した斜面安定解析法の検討, 地すべり, 第 22 巻, 第 4 号, 1986
- 14) 同上 6)
- 15) 川本眺万, 駒田広也: 有限要素法による浸透解析の 2, 3 の適用例, 土と基礎, 19-1, 1971
- 16) 北条紘次, 原田譲二: 改訂ダム設計基準によるフィルダムの安定計算法, 土木技術資料, 14-4, 1972
- 17) R. Jappelli, A. Musso: Slope Response to Reservoir Water Level Fluctuations, S. M. F. E. 10th Int. Conf., 1981
- 18) 西垣誠: 単孔式原位置透水試験法の整理(その 1), 地下水と井戸ポンプ, 28 巻, 2 号, 1986
- 19) 赤井浩一: 地下水調査のための原位置試験の解析における諸問題, 京大防災研究所年報, 第 18 号 B, 1975
- 20) 井戸和秋: 現場透水試験法の改良について, 地下水と井戸ポンプ, 26 巻, 6 号, 1984
- 21) 同上 18)
- 22) 西垣誠: 単孔式原位置透水試験法の整理(その 2), 地下水と井戸ポンプ, 28 巻, 3 号, 1986
- 23) 同上 18), 22)
- 24) 山上拓男, 植田康宏: 水中にある斜面の安定解析に関する考察, 土と基礎, Vol 30, No 12, pp 19~25, 1982

<浸透流解析プログラムと安定計算プログラム>

飽和領域のみを対象とした浸透流解析プログラムについては土木研究所資料第2283号に示した通りであるが、同プログラムに一部追加し、安定計算に必要な地下水結果が安定計算プログラムに受け渡せるようサブルーチンを追加したのでここに再掲する。なお、プログラムにおけるTHIRDCサブルーチンの一部を改良し、より合理的に地下水面高が求められるように変更した。

以下に計算フロー安定解析プログラムにおける入力についての説明事項を示す。

(流れ図)



入力データ

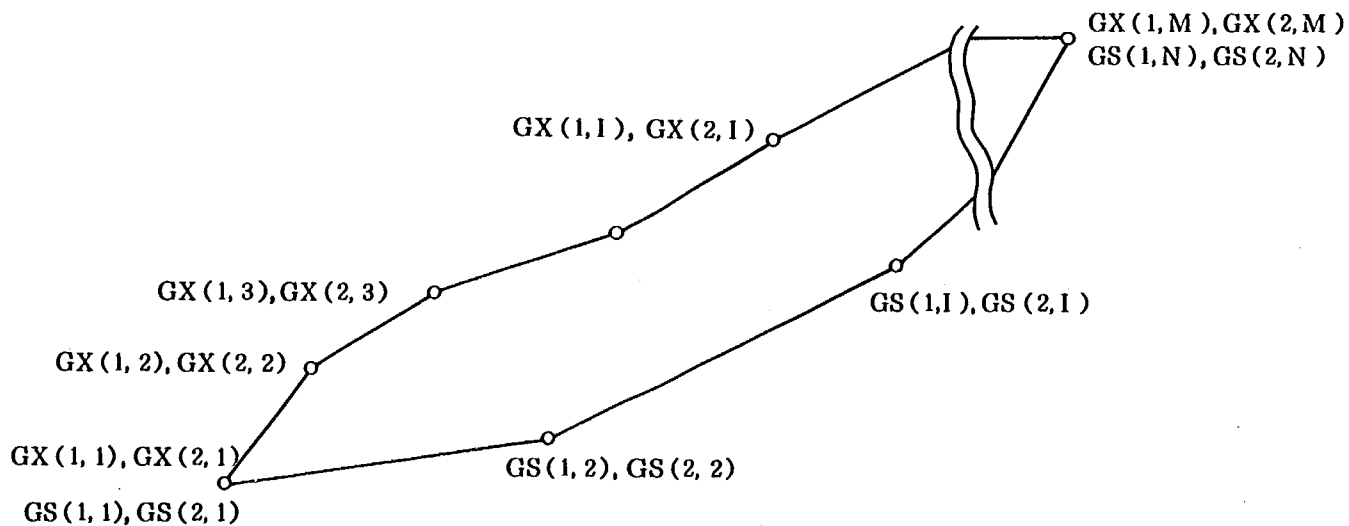
(浸透流解析プログラム)

DNAME	(A 8)	入力データの名称
M	(I 3)	地表座標の数
GX(1,I)	(8F 8.3)	地表 x 座標 (I = 1, M)
GX(2,I)	(8F 8.3)	地表 y 座標 (I = 1, M)
N	(I 3)	不透水層の座標数
GS(1,I)	(8F 8.3)	不透水層の x 座標 (I = 1, N)
GS(2,I)	(8F 8.3)	不透水層の y 座標 (I = 1, N)
DX, DY, DT, TSC, TEM (5F 8.3)		

DX (x 方向分割幅), DY (y 方向分割幅), DT (計算単位時間),
TSC (貯水位降下時間), TEM (計算終了時間)

TX, TY, BN, HO, HE (5F 9.5)

TX (x 方向透水係数), TY (y 方向透水係数), BN (有効間隙率),
HO (最底貯水位高), HE (最高貯水位高)



浸透流解析プログラム

S-1321-1 OFORT77 (V04-1B)

87-03-16 19:42:24

PAGE 1

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX,MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(1)
 .SOURCE=EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMDBG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX.0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOIXOVR.NOAGCHK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
1		C *****	00000010
2		C ** UNSTEADY GROUND WATER ANALYSIS **	00000020
3		C ** 'X'-'Y' GROUND WATER FLOW **	00000030
4		C ** LANDSLIDE DIV. 1986/8/05 **	00000040
5		C *****	00000050
6		C	00000060
7	00001	PROGRAM MAIN	00000070
8	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100).HB(200)	00000080
9	00003	COMMON/WDATA/RS(200,100).RM(200,100).DB(200,100)	00000090
10	00004	COMMON/KDATA/KS(200).KE(200).GD(200).GU(200)	00000100
11	00005	COMMON/GDATA/GX(2,30).WX(2,30).GS(2,30)	00000110
12	00006	COMMON/FDATA/XFAI(200,100).QFAI(200)	00000120
13	00007	DIMENSION HCHEK(2)	00000121
14		C	00000130
15	00008	CALL DATAIN(DX,DY,DT,TX,TY,BN,H0,HE,TSC,TEM,DH2,RX,RY)	00000140
16	00009	CALL GRIDNO(DX,DY,MI,H0,HE,X0,IC)	00000150
17	00010	CALL GWRITE(MI)	00000160
18		C INITIAL DATA SET	00000170
19	00011	DO 10 I=1,MI	00000180
20	00012	HB(I)=HE	00000190
21	00013	DO 10 J=KS(I).KE(I)	00000200
22	00014	HA(I,J)=HB(I)	00000210
23	00015	10 CONTINUE	00000220
24	00016	IB=IC	00000230
25	00017	X0=X0+DX*(IC-1)	00000240
26	00018	XZ=X0	00000250
27	00019	MM=MI	00000260
28	00020	HH=H0	00000261
29	00021	H0=HE	00000270
30	00022	KC=0	00000280
31	00023	MODEC=0	00000281
32	00024	TOTALS=0.	00000282
33	00025	DFTIME=0.	00000283
34	00026	HCHEK(1)=H0	00000284
35	00027	HCHEK(2)=H0	00000285
36		C	00000286
37	00028	DO 20 I=1,MM	00000287
38	00029	IF(HH.GT.GU(I)) GO TO 20	00000288
39	00030	HL=HH	00000289
40	00031	IF(HH.LT.GD(I)) HL=GD(I)	00000290
41	00032	TOTALS=TOTALS+(GU(I)-HL)*DX	00000291
42	00033	20 CONTINUE	00000292
43		C	00000293
44		C MAIN CAL.ROOP	00000294
45		C	00000300
46	00034	CALL FILEPR(PEP,IC,MI,DFTIME,X0,H0,XZ,DX,KC,TX,DH2,MODEC)	00000301
47	00035	100 CONTINUE	00000310
48		C	00000320
49	00036	DFTIME=DFTIME+DT	00000330

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
50	00037	IF (DFTIME.GT.TSC) DH2=0.	
51	00038	H0=H0+DH2	00000340
52	00039	IZ=IC	00000350
53	00040	CALL HBDATA(IC,IZ,MM,DX,XO,H0)	00000360
54	00041	IC=IZ	00000370
55	00042	CALL REGION(IC,IB,DY,MI,MM,H0)	00000380
56	00043	CALL DATSET(IB,IC,MI,H0)	00000390
57	00044	CALL WATFRE(IC,MI,DX,DY,XO,XZ,IB)	00000400
58	00045	CALL RELAX(CRX,RY,DX,DY,IC,MI,IB,IX,TY)	00000410
59	00046	CALL VEXFAI(H0,IB,IC,DX,MI)	00000420
60	00047	CALL QUEFAI(DX,DY,DT,BN,H0,IX,MI,IB,H0,HCHEK)	00000430
61	00048	CALL THIRDC(IB,IC,MI,DY)	00000440
62	00049	CALL SEEPAG(IC,MI,IB,DX,XZ)	00000450
63	00050	CALL RESCAL(PER,HH,IC,MI,IB,DFTIME,H0,XO,TOTALS,DX)	00000460
64	00051	CALL FILEPR(PER,IC,MI,DFTIME,XO,H0,XZ,DX,KC,IX,DH2,MODEC)	00000470
65	00052	HCHEK(1)=HCHEK(2)	00000481
66	00053	HCHEK(2)=HB(MI)	00000482
67		C	00000483
68	00054	IF (DFTIME.LT.TEM) GO TO 100	00000490
69		C MAIN CAL. ROOP END	00000500
70	00055	CALL FILEPR(PER,IC,MI,DFTIME,XO,H0,XZ,DX,KC,IX,DH2,MODEC)	00000510
71		C	00000511
72	00056	STOP	00000520
73	00057	END	00000530
			00000540

*PROGRAM SIZE 2172(00087C) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 57. PROGRAM NAME = MAIN. NOT USED CORE = 192K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX,MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(I)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMDBG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXOVR.NOAGOCK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
74		C	
75		C..... SUBROUTINE HBDATA WRITE	00000550
76		C	00000560
77	00001	SUBROUTINE RESCAL(TOTA,HL,IC,MI,IA,DTI,HO,XO,TOTALS,DX)	00000570
78	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00000580
79	00003	COMMON/KDATA/KS(200),KE(200),GD(200),GU(200)	00000590
80	00004	DIMENSION IP(200)	00000600
81		C	00000610
82	00005	TOTALP=0.	00000620
83	00006	DO 30 I=1,MI	00000621
84	00007	IF(HL.GT.GU(I)) GO TO 30	00000622
85	00008	GDI=HL	00000623
86	00009	IF(HL.LT.GD(I)) GDI=GD(I)	00000624
87	00010	HBI=HB(I)	00000625
88	00011	IF(I.LT.IC) HBI=GU(I)	00000626
89	00012	TOTALP=TOTALP+(HBI-GDI)*DX	00000627
90	00013	30 CONTINUE	00000628
91		C	00000629
92	00014	TOTA=TOTALP/TOTALS*100.	00000630
93		C	00000631
94	00015	WRITE(6,600) IC,MI,IA,DTI,HO,XO	00000632
95	00016	DO 200 I=IC,MI,15	00000633
96	00017	ISU=I-1	00000640
97	00018	DO 210 L=1,15	00000650
98	00019	IP(L)=ISU+L	00000660
99	00020	210 CONTINUE	00000670
100	00021	WRITE(6,900) (IP(L),L=1,15)	00000680
101	00022	IS=IP(1)	00000690
102	00023	IE=IP(15)	00000700
103	00024	WRITE(6,910) (HB(L),L=IS,IE)	00000710
104	00025	200 CONTINUE	00000720
105	00026	WRITE(6,650) TOTA	00000730
106		C	00000731
107	00027	600 FORMAT(1H,/, ' IC=',I4.2X,'MI=',I4.2X,'KAI=',I4.2X,'TIME=',F8.3	00000740
108		*,2X,'HO=',F8.3,2X,'XO=',F8.3)	00000750
109	00028	900 FORMAT(1H,/, ' NO=',4X,15I8)	00000760
110	00029	910 FORMAT(1H, 'HB=',5X,15F8.3)	00000770
111	00030	650 FORMAT(1H,10X,'----- TOTAL X =',F8.3,'-----')	00000780
112		C	00000781
113	00031	RETURN	00000790
114	00032	END	00000800
			00000810

*PROGRAM SIZE 2424(000978) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 32. PROGRAM NAME = RESCAL. NOT USED CORE = 200K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(1)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMDBG.INLINE(CERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXOVR.NOAGCHK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
115		C	
116		C.....WATER SURFACE AND GRID CAL	00000820
117		C	00000830
118	00001	SUBROUTINE WATFRE(IC,MI,DX,DY,X0,XA,IA)	00000840
119	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00000850
120	00003	COMMON/WDATA/RS(200,100),RM(200,100),DB(200,100)	00000860
121	00004	COMMON/KDATA/KS(200),KE(200),GD(200),GU(200)	00000870
122		C	00000880
123	00005	XS=X0	00000890
124	00006	IO=IC	00000900
125	00007	IF (IA.GT.IC) IO=IA	00000910
126	00008	IF (IA.GT.IC) XS=XA	00000920
127	00009	DO 10 I=1,MI	00000930
128	00010	IS=KS(I)	00000940
129	00011	IE=KE(I)	00000950
130	00012	IF (I.GE.IO) GO TO 90	00000960
131	00013	DO 22 J=IS,IE	00000970
132	00014	RM(I,J)=1.	00000980
133	00015	RS(I,J)=1.	00000990
134	00016	22 CONTINUE	00001000
135	00017	GO TO 10	00001010
136	00018	90 DO 20 J=IS,IE	00001020
137	00019	DC=GD(I)+DY*(J-KS(I)+1)	00001030
138	00020	HBIO=HB(I)	00001040
139	00021	IF (DC.LE.HBIO) RM(I,J)=1.	00001050
140	00022	IF (DC.GT.HBIO) RM(I,J)=(DY-(DC-HBIO))/DY	00001060
141	00023	IF (I.EQ.MI) RS(I,J)=1.	00001070
142	00024	IF (I.EQ.MI) GO TO 20	00001080
143	00025	IF (J.GT.KE(I+1)) GO TO 35	00001090
144	00026	IF (J.GT.KE(I-1)) GO TO 30	00001100
145	00027	RS(I,J)=1.	00001110
146	00028	DB(I,J)=DC-DY	00001120
147	00029	GO TO 20	00001130
148	00030	35 AO=(HB(I+1)-HBIO)/DX	00001140
149	00031	IF (AO.EQ.0.) GO TO 15	00001150
150	00032	BO=HBIO -AO*XS	00001160
151	00033	RSIJ=((DC-DY-BO)/AO-XS)/DX	00001170
152	00034	15 IF (AO.EQ.0.) RSIJ=1.	00001180
153	00035	IF (ABS(RSIJ).GT.1.) RSIJ=1.	00001190
154	00036	RS(I,J)=RSIJ	00001200
155	00037	DB(I,J)=DC-DY	00001210
156	00038	GO TO 20	00001220
157		C	00001230
158	00039	30 AO=(HBIO-HB(I-1))/DX	00001240
159	00040	IF (AO.EQ.0.) GO TO 25	00001250
160	00041	BO=HBIO -AO*XS	00001260
161	00042	RSIJ=(XS-(DC-DY-BO)/AO)/DX	00001270
162	00043	25 IF (AO.EQ.0.) RSIJ=1.	00001280
163	00044	IF (ABS(RSIJ).GT.1.) RSIJ=1.	00001290
			00001300

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
164	00045	IF (I.EQ.IC)	RSIJ=1.
165	00046	RS(I,J)=RSIJ	00001310
166	00047	DB(I,J)=DC-DY	00001320
167	00048	20 CONTINUE	00001330
168	00049	XS=XS+DX	00001340
169	00050	10 CONTINUE	00001350
170	00051	RETURN	00001360
171	00052	END	00001370
			00001380

*PROGRAM SIZE 1920(000780) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 52. PROGRAM NAME = WATFRE. NOT USED CORE = 196K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX.MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(I)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMDBG.INLINECERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX.0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXOVR.NOAGOCKH.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
172		C	
173		C.....SUBROUTINE RELAXATION	00001390
174		C	00001400
175	00001	SUBROUTINE RELAXA(RX,RY,DX,DY,IC,MI,IA,IX,TY)	00001410
176	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100).HB(200)	00001420
177	00003	COMMON/WDATA/RS(200,100).RM(200,100).DB(200,100)	00001430
178	00004	COMMON/KDATA/KS(200).KE(200).GD(200).GU(200)	00001440
179		C	00001450
180	00005	JCHECK=0	00001460
181	00006	DO 15 IT=1,30	00001470
182	00007	DO 10 I=2,MI	00001480
183	00008	IS =KS(I)	00001490
184	00009	IE =KE(I)	00001500
185	00010	IF (I.LE.IC.OR.I.LE.IA) IE=KE(I)-1	00001510
186	00011	IF (I.LE.IC.AND.KE(I).GT.KE(I-1)) IE=KE(I-1)-1	00001520
187	00012	IF (I.LE.IA.AND.KE(I).GT.KE(I-1)) IE=KE(I-1)-1	00001530
188	00013	IF (IS.GT.IE) GO TO 10	00001540
189		C	00001550
190	00014	DO 20 J=IS,IE	00001560
191	00015	JCK=0	00001570
192	00016	K=1	00001580
193	00017	IF (I.LE.IC) JCK=1	00001590
194	00018	IF (I.LE.IA) JCK=1	00001600
195	00019	IF (RM(I,J).EQ.1..AND.RS(I,J).EQ.1.) JCK=1	00001610
196	00020	IF (JCK.EQ.1) GO TO 100	00001620
197	00021		00001630
198	00022	IF (J.LE.KE(I+1)) K=2	00001640
199	00023	IF (J.LE.KE(I-1)) K=1	00001650
200	00024	IF (I.EQ.MI.AND.J.LT.KE(I)) K=1	00001660
201		C	00001670
202	00025	100 GO TO (50,51).K	00001680
203	00026	50 CALL RELAX1(IC,IE,I,J,MI,RX,RY,HAIJ)	00001690
204	00027	GO TO 60	00001700
205	00028	51 CALL RELAX2(I,J,DX,DY,HAIJ,MI,IX,TY)	00001710
206	00029	60 HA(I,J)=HA(I,J)+1.8*(HAIJ-HA(I,J))	00001720
207	00030	IF (ABS(HAIJ-HA(I,J)).GT..0001) JCCK=1	00001730
208	00031	20 CONTINUE	00001740
209	00032	10 CONTINUE	00001750
210	00033	IF (JCCK.EQ.0) GO TO 99	00001760
211	00034	15 CONTINUE	00001770
212	00035	99 CONTINUE	00001780
213	00036	RETURN	00001790
214	00037	END	00001800
			00001810

*PROGRAM SIZE 1704(0006A8) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 37. PROGRAM NAME = RELAXA. NOT USED CORE = 200K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX,MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(I)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMBOLG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX.0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXOVR.NOAGOCK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
215		C	
216		C.....SUBROUTINE RELAXATION FIXED REGION OF FREE WATER	00001820
217		C	00001830
218	00001	SUBROUTINE RELAX1(IC,IE,I,J,MI,RX,RY,HAIJ)	00001840
219	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100).HB(200)	00001850
220	00003	COMMON/KDATA/KS(200).KE(200).GD(200).GU(200)	00001860
221		C	00001870
222	00004	IF (J.EQ.KS(I).AND.J.EQ.KS(I+1)) K=1	00001880
223	00005	IF (J.EQ.KS(I).AND.J.LT.KS(I+1)) K=2	00001890
224	00006	IF (J.GT.KS(I).AND.J.LT.KS(I+1)) K=3	00001900
225	00007	IF (J.GT.KS(I).AND.J.GE.KS(I+1)) K=4	00001910
226	00008	IF (I.EQ.MI) K=5	00001920
227		C	00001930
228	00009	FW=HA(I-1,J)	00001940
229	00010	IF (J.GT.KE(I-1)) FW=HA(I+1,J)	00001950
230	00011	FN=HA(I ,J+1)	00001960
231	00012	IF (I.GT.IC.AND.J.EQ.IE) FN=HB(I)	00001970
232	00013	GO TO (20,21,22,23,24).K	00001980
233	00014	20 FS=FN	00001990
234	00015	FE=HA(I+1,J)	00002000
235	00016	GO TO 50	00002010
236	00017	21 FS=FN	00002020
237	00018	FE=FW	00002030
238	00019	GO TO 50	00002040
239	00020	22 FS=HA(I ,J-1)	00002050
240	00021	FE=FW	00002060
241	00022	GO TO 50	00002070
242	00023	23 FS=HA(I ,J-1)	00002080
243	00024	FE=HA(I+1,J)	00002090
244	00025	GO TO 50	00002100
245	00026	24 IF (J.EQ.IE) FS=FN	00002110
246	00027	IF (J.EQ.IE) GO TO 29	00002120
247	00028	IF (J.EQ.KS(I)) FS=HA(I,J+1)	00002130
248	00029	IF (J.EQ.KS(I)) GO TO 29	00002140
249	00030	FS=HA(I ,J-1)	00002150
250	00031	29 FE=FW	00002160
251	00032	50 CONTINUE	00002170
252	00033	HAIJ=RX*(FE+FW)+RY*(FN+FS)	00002180
253	00034	RETURN	00002190
254	00035	END	00002200
			00002210

*PROGRAM SIZE 1408(000580) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 35. PROGRAM NAME = RELAX1. NOT USED CORE = 204K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX.MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(1)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMOBG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODDCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NODCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX.0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXOVR.NOAGOCK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
255		C	00002220
256		C.....SUBROUTINE RELAXATION RISE OF FREE WATER IC>I	00002230
257		C	00002240
258	00001	SUBROUTINE RELAX2(I,J,DX,DY,HAIJ,MI,TX,TY)	00002250
259	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100).HB(200)	00002260
260	00003	COMMON/WDATA/RS(200,100).RM(200,100).DB(200,100)	00002270
261	00004	COMMON/KDATA/KS(200).KE(200).GD(200).GU(200)	00002280
262		C	00002290
263	00005	RM0=(DY*DY*TX*RM(I,J)+DX*DX*TY*RS(I,J))	00002300
264		* (1.+RS(I,J))*(1.+RM(I,J))	00002310
265	00006	RM1=DY*DY*TX*RM(I,J)*(1.+RM(I,J))	00002320
266	00007	RM2=DY*DY*TX*RS(I,J)*RM(I,J)*(1.+RM(I,J))	00002330
267	00008	RM3=DX*DX*TY*RS(I,J)*(1.+RS(I,J))	00002340
268	00009	RM4=DX*DX*TY*RS(I,J)*RM(I,J)*(1.+RS(I,J))	00002350
269	00010	FS=HA(I,J-1)	00002360
270	00011	FN=HB(I)	00002370
271	00012	FW=HA(I-1,J)	00002380
272	00013	FE=HA(I+1,J)	00002390
273		C	00002400
274	00014	IF (I.EQ.MI) FE=FW	00002410
275	00015	IF (RM(I,J).EQ.1.) FN=HA(I,J+1)	00002420
276	00016	IF (J.EQ.KS(I)) FS=FN	00002430
277	00017	IF (I.EQ.MI) GO TO 25	00002440
278	00018	IF (J.GT.KE(I+1)) FE=DB(I,J)	00002450
279	00019	IF (J.GT.KE(I-1)) FW=DB(I,J)	00002460
280	00020	25 CONTINUE	00002470
281		C	00002480
282	00021	HAIJ=RM1*FE+RM2*FW	00002490
283	00022	IF (KE(I-1).LT.KE(I))	00002500
284		* HAIJ=RM1*FW+RM2*FE	00002510
285	00023	HAIJ=(HAIJ+RM3*FN+RM4*FS)/RM0	00002520
286		C	00002530
287	00024	RETURN	00002540
288	00025	END	00002550

*PROGRAM SIZE 1424(000590) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 25. PROGRAM NAME = RELAX2. NOT USED CORE = 204K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX,MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(1)
 .SOURCE,EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMD8G.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX.0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXCVR.NOAGOCK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
289		C	
290		C.....SUBROUTINE HBDATA SET IC<IZ	00002560
291		C	00002570
292	00001	SUBROUTINE HBDATA(IC,IA,MM,DX,XO,H0)	00002580
293	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00002590
294	00003	COMMON/KDATA/KS(200),KE(200),GD(200),GU(200)	00002600
295		C	00002610
296	00004	IA=0	00002620
297	00005	DO 10 I=2,MM	00002630
298	00006	IF (H0.GT.GU(I-1).AND.H0.LE.GU(I)) IA=I	00002640
299	00007	IF (IA.NE.0) GO TO 22	00002650
300	00008	10 CONTINUE	00002660
301	00009	22 IF (IA.EQ.0) IA=2	00002670
302	00010	XO=XO+DX*(IA-IC)	00002680
303	00011	IF (IA.GE.IC) GO TO 11	00002690
304	00012	DO 30 I=IA,IC	00002700
305	00013	HB(I)=GU(I)	00002710
306	00014	IF (GU(I).GT.GU(I-1)) HB(I)=GU(I-1)	00002720
307	00015	30 CONTINUE	00002730
308	00016	HB(IA)=H0	00002740
309	00017	GO TO 20	00002750
310	00018	11 DO 12 I=IC,IA	00002760
311	00019	HB(I)=H0	00002770
312	00020	12 CONTINUE	00002780
313	00021	20 CONTINUE	00002790
314		C	00002800
315	00022	RETURN	00002810
316	00023	END	00002820
			00002830

*PROGRAM SIZE 1012(0003F4) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 23. PROGRAM NAME = HBDATA. NOT USED CORE = 204K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(I)
 ,SOURCE,EBCDIK,OBJECT,NOMAP,NOXREF,NODECK,NOLIST,ALC,ERSTMT,NOMEMBER,FIXED,NOCOUNT,NOTERM,NODLINE
 ,NOTEST,NOSYMDBG,INLINECERCHK),NOPROD,NODOCHK,NOISCHEDULE,NOMCHECK,OPLIST,PAUSE,NOSUBCHK,NOBREAK
 ,ANS66,NODIVOPT,NONUM,CODE(N),NOANSCHK,NOOCHECK,IAP(NODIAG,SPACE(MAX,0010K))
 ,NOGO,NOARGCHK,EXMOVE,NODXR,NOFIXOVR,NOAGOCK,RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
317		C	
318		C..... SUBROUTINE SEEPAGE POINT AND SEEPAGE DATASET	00002840
319		C	00002850
320	00001	SUBROUTINE SEEPAG(IC,MI,IA,DX,XA)	00002860
321	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00002870
322	00003	COMMON/KDATA/KS(200),KE(200),GD(200),GU(200)	00002880
323		C	00002890
324	00004	IB=IA	00002900
325	00005	J=MI	00002910
326	00006	IZ=0	00002920
327		C	00002930
328	00007	DO 10 I=IC,MI	00002940
329	00008	IF ((HB(J).GT.GU(J-1)).AND.(HB(J).LE.GU(J))) IZ=J	00002950
330	00009	IF (IZ.NE.0) GO TO 15	00002960
331	00010	J=J-1	00002970
332	00011	10 CONTINUE	00002980
333	00012	15 IF (IB.GE.IZ) IA=IZ	00002990
334	00013	IF (IA.LE.IC) IA=IC	00003000
335	00014	IF (IA.LE.IC.AND.KE(IC).EQ.2) IA=IC+1	00003010
336	00015	IF (IC.EQ.IA) GO TO 30	00003020
337	00016	DO 20 I=IC+1,IA	00003030
338	00017	HB(I)=GU(I)	00003040
339	00018	IF (GU(I).GT.GU(I-1)) HB(I)=GU(I-1)	00003050
340	00019	20 CONTINUE	00003060
341	00020	30 CONTINUE	00003070
342	00021	XA=XA+DX*(IA-IB)	00003080
343		C	00003090
344	00022	RETURN	00003100
345	00023	END	00003110
			00003120

*PROGRAM SIZE 1024(000400) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 23, PROGRAM NAME = SEEPAG, NOT USED CORE = 204K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(I)
 .SOURCE,EBSDIK,OBJECT,NOMAP,NOXREF,NODECK,NOLIST,ALC,ERSTMT,NOMEMBER,FIXED,NOCOUNT,NOTERM,NODLINE
 .NOTEST,NOSYMDBG,INLINE(ERCHK),NOPROD,NODOCHK,NOISCHEDULE,NOMCHECK,OPLIST,PAUSE,NOSUBCHK,NOBREAK
 .ANS66,NODIYOPT,NONUM.CODE(N),NOANSCHK,NOCHECK,IAP(NODIAG,SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO,NOARGCHK,EXMOVE,NODXR,NOFIXOVR,NOAGOCK,RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
346		C	00003130
347		C.....SUBROUTINE GROUND WATER VELOCITY XFAI(I,J)	00003140
348		C	00003150
349	00001	SUBROUTINE VEXFAI(HO,IA,IC,DX,MI)	00003160
350	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00003170
351	00003	COMMON/WDATA/RS(200,100),RM(200,100),DB(200,100)	00003180
352	00004	COMMON/KDATA/KS(200),KE(200),GD(200),GU(200)	00003190
353	00005	COMMON/FDATA/XFAI(200,100),QFAI(200)	00003200
354		C	00003210
355	00006	DO 95 I=1,200	00003220
356	00007	DO 95 J=1,100	00003230
357	00008	95 XFAI(I,J)=0.	00003240
358		C	00003250
359	00009	DO 10 I=IC,MI	00003260
360	00010	NS=KS(I)	00003270
361	00011	IE=KE(I)	00003280
362	00012	IF (KS(I) .LT. KS(I+1)) NS=KS(I+1)	00003290
363		C IF (I.EQ.MI) GO TO 10	00003300
364	00013	DO 20 J=NS,IE	00003310
365	00014	IF (I.EQ.MI) GO TO 11	00003320
366	00015	IF (I.GE.IC.AND.J.GT.KE(I+1)) GO TO 40	00003321
367	00016	IF (I.GE.IA.AND.J.GT.KE(I-1)) GO TO 30	00003330
368	00017	HA21=HA(I+1,J)	00003340
369	00018	HA01=HA(I-1,J)	00003350
370	00019	XFAI(I,J)=-HA21-HA01/(2.*DX)	00003360
371	00020	IF (I.NE.IC.OR.I.NE.IA) GO TO 20	00003370
372	00021	HA01=HA(I,J)	00003380
373	00022	11 IF (I.EQ.MI) HA21=HA(I,J)	00003381
374	00023	IF (I.EQ.MI) HA01=HA(I-1,J)	00003382
375	00024	XFAI(I,J)=-HA21-HA01/(2.*DX)	00003390
376	00025	20 CONTINUE	00003400
377	00026	IF (I.LT.IA) GO TO 10	00003410
378	00027	XFAI(I,IE+1)=-HB(I+1)-HB(I-1)/(2.*DX)	00003420
379	00028	IF (I.EQ.IA)	00003430
380		* XFAI(I,IE+1)=-HB(I+1)-HB(I-1)/(2.*DX)	00003440
381	00029	IF (I.EQ.MI)	00003451
382		* XFAI(I,IE+1)=-HB(I-1)-HB(I-1)/(2.*DX)	00003452
383	00030	GO TO 10	00003453
384	00031	30 NS=KE(I-1)+1	00003460
385	00032	IE=KE(I)	00003470
386	00033	DO 35 J=NS,IE	00003480
387	00034	DUMY=HA(I,J)+CHA(I+1,J)-HA(I,J)*RS(I,J)	00003490
388	00035	XFAI(I,J)=-DUMY-DB(I,J)/(2.*DX*RS(I,J))	00003500
389	00036	35 CONTINUE	00003510
390	00037	XFAI(I,IE+1)=-HB(I+1)-HB(I-1)/(2.*DX)	00003520
391	00038	GO TO 10	00003530
392	00039	40 NS=KE(I+1)+1	00003540
393	00040	IE=KE(I)	00003550
394	00041	DO 45 J=NS,IE	00003560

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
395	00042	DUMY=HA(I,J)-(HA(I,J)-HA(I-1,J))*RS(I,J)	00003570
396	00043	XFAI(I,J)=-(DB(I,J)-DUMY)/(2.*DX*RS(I,J))	00003580
397	00044	45 CONTINUE	00003590
398	00045	XFAI(I,IE+1)=-(HB(I+1)-HB(I-1))/(2.*DX)	00003600
399	00046	IF(I.EQ.IC) XFAI(I,IE+1)=-(H0-DB(IC,IE))/(RS(IC,IE)*DX)	00003610
400	00047	10 CONTINUE	00003620
401		C	00003630
402	00048	RETURN	00003640
403	00049	END	00003650

*PROGRAM SIZE 2780(000ADC) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 49, PROGRAM NAME = VEXFAI. NOT USED CORE = 188K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(I)
 .SOURCE,EBCDIK,OBJECT,NOMAP,NOXREF,NODECK,NOLIST,ALC,ERSTMT,NOMEMBER,FIXED,NOCOUNT,NOTERM,NODLINE
 .NOTEST,NOSYMBOLG,INLINE(ERCHK),NOPROD,NODOCHK,NOISCHEDULE,NOMCHECK,OPLIST,PAUSE,NOSUBCHK,NOBREAK
 .ANS66,NODIVOPT,NONUM,CODE(N),NDANSCHK,NOCHECK,IAP(NODIAG,SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO,NOARGCHK,EXMOVE,NODXR,NOFIXOVR,NOAGCHK,RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
404		C	
405		C.....SUBROUTINE GROUND WATER QUE	00003660
406		C	00003670
407	00001	SUBROUTINE QUEFAI(DX,DY,DT,BN,H0,TX,MI,IC,IA,HCHK)	00003680
408	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00003690
409	00003	COMMON/WDATA/RS(200,100),RM(200,100),DB(200,100)	00003700
410	00004	COMMON/KDATA/KS(200),KE(200),GD(200),GU(200)	00003710
411	00005	COMMON/FDATA/XFAI(200,100),QFAI(200)	00003720
412	00006	DIMENSION HH(200),HCHK(2)	00003730
413		C	00003731
414	00007	DO 10 I=IC,MI	00003740
415	00008	QFAI(I)=0.	00003750
416	00009	IS=KS(I)	00003760
417	00010	IE=KE(I)	00003770
418	00011	IF (KS(I).LT.KS(I+1)) IS=KS(I+1)	00003780
419	00012	IF (IE.LE.IS) GO TO 30	00003790
420	00013	IF (I.EQ.MI) GO TO 10	00003800
421	00014	IEN=IE-1	00003810
422	00015	IF(I.LT.IA) IEN=IE	00003820
423	00016	DO 20 J=IS,IEN	00003830
424	00017	QFAI(I)=QFAI(I)+(XFAI(I,J+1)+XFAI(I,J))/2.*RM(I,J)*DY	00003840
425	00018	20 CONTINUE	00003850
426	00019	IF (I.LT.IA) GO TO 10	00003860
427	00020	30 DFF=RM(I,IE)*DY	00003870
428	00021	QFAI(I)=QFAI(I)+DFF*(XFAI(I,IE+1)+XFAI(I,IE))/2.	00003880
429	00022	10 CONTINUE	00003890
430		C	00003900
431	00023	DO 60 I=IC,MI	00003901
432	00024	IF (I.EQ.IC) GO TO 63	00003910
433	00025	IF (I.EQ.MI) GO TO 64	00003920
434	00026	HH(I)=HB(I)+DT*TX*24.*36. / (2.*DX*BN)*(QFAI(I-1)-QFAI(I+1))	00003930
435	00027	GO TO 60	00003940
436	00028	63 HH(I)=HB(I)+DT*TX*24.*36. / (DX*BN)*(QFAI(I)-QFAI(I+1))	00003950
437	00029	GO TO 60	00003960
438	00030	64 HH(I)=HB(I)+DT*TX*24.*36. / (DX*BN)*(2.*QFAI(I-1))	00003970
439	00031	60 CONTINUE	00003980
440		C	00003990
441	00032	HHC=2.*HCHK(2)-HCHK(1)	00004001
442	00033	HHD= HH(MI-1)	00004002
443	00034	IF (HHC.LT.HH(MI)) HH(MI)=(HHC+HHD)/2.	00004003
444		C	00004004
445	00035	DO 70 I=IC,MI	00004005
446	00036	IF (HH(I).LT.H0) GO TO 70	00004006
447	00037	IF (HH(I).LE.HB(I)) HB(I)=HH(I)	00004007
448	00038	70 CONTINUE	00004008
449	00039	HB(IC)=H0	00004009
450		C	00004010
451	00040	RETURN	00004011
452	00041	END	00004020
			00004030

S-1321-1 OFORT77 (V04-18) QUEFAI

87-03-16 19:42:27

PAGE 14

*PROGRAM SIZE 2768(000AD0). BYTES. SOURCE STATEMENTS = 41. PROGRAM NAME = QUEFAI. NOT USED CORE = 196K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(I)
 .SOURCE,EBCDIK,OBJECT,NOMAP,NOXREF,NODECK,NOLIST,ALC,ERSTMT,NOMEMBER,FIXED,NOCOUNT,NOTERM,NODLINE
 .NOTEST,NOSYMDBG,INLINE(ERCHK),NOPROD,NODOCHK,NOISCHEDULE,NOMCHECK,OPLIST,PAUSE,NOSUBCHK,NOBREAK
 .ANS66,NODIVOPT,NONUM,COE(N),NOANSCHK,NOCHECK,IAP(NODIAG,SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO,NOARGCHK,EXMOVE,NODXR,NOFIXOVR,NOAGOCK,RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
453		C	
454		C.....SUBROUTINE DATA-INPUT	00004040
455		C	00004050
456	00001	SUBROUTINE DATAIN(DX,DY,DT,TX,TY,BN,HO,HE,TSC,TEM,DH2,RX,RY)	00004060
457	00002	COMMON/GDATA/GX(2,30),WX(2,30),GS(2,30)	00004070
458	00003	CHARACTER*8 DNAME	00004080
459		C	00004090
460	00004	READ(11,105) DNAME	00004100
461	00005	READ(11,100) M	00004110
462	00006	READ(11,110) (GX(1,I),I=1,M)	00004120
463	00007	READ(11,110) (GX(2,I),I=1,M)	00004130
464	00008	READ(11,100) N	00004140
465	00009	READ(11,110) (GS(1,I),I=1,N)	00004150
466	00010	READ(11,110) (GS(2,I),I=1,N)	00004160
467	00011	READ(11,200) DX,DY,DT,TSC,TEM	00004170
468	00012	READ(11,210) TX,TY,BN,HO,HE	00004180
469	00013	DH2=-(HE-H0)/TSC=DT	00004190
470	00014	DHD=-(HE-H0)/TSC	00004200
471	00015	RX=(TX*DY*DY)/(2.*(TX*DY*DY+TY*DX*DX))	00004210
472	00016	RY=(TY*DX*DX)/(2.*(TX*DY*DY+TY*DX*DX))	00004220
473		C INITIAL DATA WRITE	00004230
474	00017	WRITE(6,500) DNAME	00004240
475	00018	WRITE(6,600)	00004250
476	00019	WRITE(6,610)	00004260
477	00020	WRITE(6,620) DX,DY,DT,TSC,TEM	00004270
478	00021	WRITE(6,630)	00004280
479	00022	WRITE(6,640) TX,TY,BN,HO,HE	00004290
480	00023	WRITE(6,650)	00004300
481	00024	WRITE(6,660) RX,RY,DHD	00004310
482		C	00004320
483	00025	105 FORMAT(A8)	00004330
484	00026	100 FORMAT(I3)	00004340
485	00027	110 FORMAT(8F8.3)	00004350
486	00028	200 FORMAT(5F8.3)	00004360
487	00029	210 FORMAT(5F9.5)	00004370
488	00030	500 FORMAT(1H , ' *****' ,/,	00004380
489		*, ' ++ DATA NAME ',A8,6X,'++',/,	00004390
490		*, ' *****')	00004400
491	00031	600 FORMAT(1H ,/,4X,'*****',5X,'INITIAL',5X,'DATA',5X,'*****' /)	00004410
492	00032	610 FORMAT(1H ,4X,'DX(M)',4X,'DY(M)',4X,'DT(M)',4X,'UP.TIME(DAY)',	00004420
493		*,6X,'END.TIME(DAY)')	00004430
494	00033	620 FORMAT(1H ,1X,3F9.4,4X,F7.3,10X,F7.3//)	00004440
495	00034	630 FORMAT(1H ,4X,'KX(CMS)',3X,'KY(CMS)',3X,'BN(*)',6X,'INI.HO(M)',	00004450
496		*,7X,'END.HE(M)')	00004460
497	00035	640 FORMAT(1H ,2(4X,F7.5),3X,F6.4,6X,F7.3,9X,F7.3//)	00004470
498	00036	650 FORMAT(1H ,4X,'RELAXA.PAR.(RX)',5X,'RELAXA.PAR.(RY)',5X,	00004480
499		*,WATER.LEVEL.S(M/DAY)')	00004490
500	00037	660 FORMAT(1H ,6X,F6.4,14X,F6.4,14X,F8.3)	00004500
501		C	00004510
			00004520

S-1321-1 OFORT77 (V04-1B) DATAIN SOURCE LISTING 87-03-16 19:42:28 PAGE 16

CARD ISN SOURCE STATEMENT

502 00038 RETURN
503 00039 END

00004530
00004540

*PROGRAM SIZE 2460(00099C) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 39. PROGRAM NAME = DATAIN. NOT USED CORE = 204K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX,MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(1)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NOOLINE
 .NOTEST.NOSYMBOLG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOOCHECK.IAPCNODIAG.SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NOOXR.NOFIXOVR.NOAGOCK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
504		C	
505		C..... SUBROUTINE COORDINATE AND GRID WRITE	00004550
506		C	00004560
507	00001	SUBROUTINE GWRITE(MI)	00004570
508	00002	COMMON/GDATA/GX(2,30).WX(2,30).GS(2,30)	00004580
509	00003	COMMON/KDATA/KS(200).KE(200).GD(200).GU(200)	00004590
510		C	00004600
511	00004	WRITE(6,510)	00004610
512	00005	WRITE(6,520) (GX(1,I),I=1,30)	00004620
513	00006	WRITE(6,530) (GX(2,I),I=1,30)	00004630
514	00007	WRITE(6,540)	00004640
515	00008	WRITE(6,520) (GS(1,I),I=1,30)	00004650
516	00009	WRITE(6,530) (GS(2,I),I=1,30)	00004660
517	00010	WRITE(6,550)	00004670
518	00011	WRITE(6,600)	00004680
519	00012	WRITE(6,610) (GD(I),I=1,MI)	00004690
520	00013	WRITE(6,620) (GU(I),I=1,MI)	00004700
521	00014	WRITE(6,700)	00004710
522	00015	WRITE(6,710) (KS(I),I=1,MI)	00004720
523	00016	WRITE(6,720) (KE(I),I=1,MI)	00004730
524	00017	WRITE(6,500)	00004740
525		C	00004750
526	00018	500 FORMAT(1H1)	00004760
527	00019	510 FORMAT(1H ///.'***** GROUND SURFACE COORDINATE *****'//)	00004770
528	00020	520 FORMAT(1H .'X='.10F8.3)	00004780
529	00021	530 FORMAT(1H .'Y='.10F8.3)	00004790
530	00022	540 FORMAT(1H .'***** IMPERVIOUS BED COORDINATE *****'//)	00004800
531	00023	550 FORMAT(///)	00004810
532	00024	600 FORMAT(1H .'***** GRID UP AND DOWN ELEVATION *****'//)	00004820
533	00025	610 FORMAT(1H .'GD='.10F8.3)	00004830
534	00026	620 FORMAT(1H .'GU='.10F8.3)	00004840
535	00027	700 FORMAT(1H .'***** START-NO AND END-NO *****'//)	00004850
536	00028	710 FORMAT(1H .'KS='.10I8)	00004860
537	00029	720 FORMAT(1H .'KE='.10I8)	00004870
538		C	00004880
539	00030	RETURN	00004890
540	00031	END	00004900
			00004910

*PROGRAM SIZE 1852(00073C) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 31. PROGRAM NAME = GWRITE. NOT USED CORE = 204K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX,MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(1)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMDBG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NODOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX.0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXOVR.NOAGOCK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
541		C	
542		C.....SUBROUTINE KEISAN HANI REGION	00004920
543		C	00004930
544	00001	SUBROUTINE REGION(IC,IA,DY,MI,MM,HO)	00004940
545	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00004950
546	00003	COMMON/KDATA/KS(200),KE(200),GD(200),GU(200)	00004960
547		C	00004970
548	00004	DO 10 I=2,MM	00004980
549	00005	IF (GD(I).GT.HB(I)) GO TO 15	00004990
550	00006	IS=KS(I)	00005000
551	00007	DO 20 J=IS,100	00005010
552	00008	DUMI=HB(I)	00005020
553	00009	IF (I.LT.IC)	00005030
554	00010	IF (I.EQ.IC)	00005040
555	00011	DUNI=DUMI-(GD(I)+DY*(J-IS))	00005050
556	00012	IF (ABS(DUNI).LT..001)	00005060
557	00013	IF (DUNI) 11,12,20	00005070
558	00014	11 KE(I)=J-1	00005080
559	00015	GO TO 13	00005090
560	00016	12 KE(I)=J	00005100
561	00017	IF (I.GE.IA.AND.IC.LE.IA)	00005110
562	00018	IF (I.GE.IC.AND.IC.GE.IA)	00005120
563	00019	GO TO 13	00005130
564	00020	20 CONTINUE	00005140
565	00021	13 IF (KS(I).GT.KE(I)) GO TO 15	00005150
566	00022	10 CONTINUE	00005160
567	00023	15 MI=I-1	00005170
568	00024	KE(IC)=KE(IC-1)	00005180
569	00025	DO 95 I=MI+1,MM	00005190
570	00026	95 HB(I)=0.	00005200
571		C	00005210
572	00027	RETURN	00005220
573	00028	END	00005230
			00005240

*PROGRAM SIZE 1268(0004F4) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 28. PROGRAM NAME = REGION. NOT USED CORE = 204K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(I)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMD8G.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXOVR.NOAGOCK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
574		C	
575		C.....SUBROUTINE RESERVOIR WATER DATA SET	00005250
576		C	00005260
577	00001	SUBROUTINE DATSET(IA,IC,MI,H0)	00005270
578	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00005280
579	00003	COMMON/KDATA/KS(200),KE(200),GD(200),GU(200)	00005290
580		C	00005300
581	00004	DO 13 I=IC+1,MI	00005310
582	00005	IS=KS(I)	00005320
583	00006	IE=KE(I)	00005330
584	00007	DO 13 J=IS,IE	00005340
585	00008	HA(I,J)=HB(I)	00005350
586	00009	13 CONTINUE	00005360
587	00010	DO 30 I=1,IC	00005370
588	00011	IS=KS(I)	00005380
589	00012	IE=KE(I)	00005390
590	00013	HB(I)=H0	00005400
591	00014	38 DO 35 J=IS,IE	00005410
592	00015	IF(I.EQ.1)	00005420
593	00016	IF(J.GE.KE(I-1))	GO TO 33 00005430
594	00017	IF(HA(I,J).NE.0.)	GO TO 33 00005440
595	00018	HA(I,J)=HB(I)	GO TO 35 00005450
596	00019	GO TO 35	00005460
597	00020	33 HA(I,J)=H0	00005470
598	00021	IF(I.EQ.1)	GO TO 35 00005480
599	00022	KK=KE(I-1)	00005490
600	00023	HA(I,KK)=H0	00005500
601	00024	35 CONTINUE	00005510
602	00025	30 CONTINUE	00005520
603	00026	IF (H0.LT.GU(1)) HA(1,1)=H0	00005530
604	00027	IF (IA.GT.IC) HA(IA,KE(IA))=HB(IA-1)	00005540
605		C	00005550
606	00028	RETURN	00005560
607	00029	END	00005570
			00005580

*PROGRAM SIZE 1224(0004C8) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 29. PROGRAM NAME = DATSET. NOT USED CORE = 204K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX,MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(I)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYMDBG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOCHECK.IAP(NDDIAG.SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NDDXR.NOFIXOVR.NOAGOCK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
608		C	
609		C..... SUBROUTINE 3RDCIRV CORRECT	00005590
610		C	00005600
611	00001	SUBROUTINE THIRDC(IA,IS,IE,DY)	00005610
612	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100).HB(200)	00005620
613	00003	COMMON/KDATA/KS(200).KE(200).GD(200).GU(200)	00005630
614	00004	DIMENSION HC(200).HD(200)	00005640
615		C	00005650
616	00005	DO 15 KAISU=1.5	00005660
617	00006	DO 10 I=IS,IE-1	00005670
618	00007	HC(I)=(HB(I+1)+HB(I))/2.	00005680
619	00008	10 CONTINUE	00005690
620	00009	DO 20 I=IS,IE-2	00005700
621	00010	HD(I)=(HC(I+1)+HC(I))/2.	00005710
622	00011	20 CONTINUE	00005720
623	00012	DO 30 I=IS+1,IE-1	00005730
624	00013	HB(I)=HD(I-1)	00005740
625	00014	30 CONTINUE	00005750
626	00015	15 CONTINUE	00005760
627	00016	DO 40 I=IA+1,IE	00005770
628	00017	DCK0=GD(I)	00005780
629	00018	DCK1=GD(I)+DY	00005790
630	00019	HHB0=HB(I)	00005800
631	00020	IF ((HHB0.GE.DCK0).AND.(HHB0.LT.DCK1)) GO TO 50	00005810
632	00021	40 CONTINUE	00005820
633	00022	I =I-1	00005830
634	00023	50 IM=I	00005840
635	00024	IF (IM.GE.IE) GO TO 65	00005850
636	00025	DO 60 I=IM+1,IE	00005860
637	00026	HB(I)=0.	00005870
638	00027	60 CONTINUE	00005880
639	00028	65 IE=IM	00005890
640		C	00005900
641	00029	RETURN	00005910
642	00030	END	00005920
			00005930

*PROGRAM SIZE 3136(000C40) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 30. PROGRAM NAME = THIRDC. NOT USED CORE = 200K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX,MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(I)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYDBG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXOVR.NOAGCHK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
643		C	
644		C.....SUBROUTINE GRIDNODE	00005940
645		C	00005950
646	00001	SUBROUTINE GRIDNO(DX,DY,MI,HO,HE,XO,IC)	00005960
647	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00005970
648	00003	COMMON/KDATA/KS(200),KE(200),GD(200),GU(200)	00005980
649	00004	COMMON/GDATA/GX(2,30),WX(2,30),GS(2,30)	00005990
650	00005	DIMENSION HD(200)	00006000
651		C	00006010
652	00006	X0=0.	00006020
653	00007	DO 10 I=1,30	00006030
654	00008	CD=GX(1,I+1)-GX(1,I)	00006040
655	00009	IF (CD) 11,11,12	00006050
656	00010	11 IF (HO.GE.GX(2,I).AND.HO.LT.GX(2,I+1)) X0=GX(1,I)	00006060
657	00011	IF (X0.NE.0.) GO TO 15	00006070
658	00012	GO TO 10	00006080
659	00013	12 AO=(GX(2,I+1)-GX(2,I))/(GX(1,I+1)-GX(1,I))	00006090
660	00014	BO=GX(2,I)-AO*GX(1,I)	00006100
661	00015	IF (HO.GE.GX(2,I).AND.HO.LT.GX(2,I+1)) X0=(HO-BO)/AO	00006110
662	00016	IF (X0.NE.0.) GO TO 15	00006120
663	00017	10 CONTINUE	00006130
664	00018	15 CONTINUE	00006140
665	00019	X9=X0	00006150
666	00020	DO 14 I=1,100	00006160
667	00021	X9=X9-DX	00006170
668	00022	IF (X9.GE.GX(1,1)) GO TO 14	00006180
669	00023	X0=X9+DX	00006190
670	00024	GO TO 13	00006200
671	00025	14 CONTINUE	00006210
672	00026	13 CONTINUE	00006220
673	00027	IF (GX(1,2).EQ.GX(1,1)) GO TO 18	00006230
674	00028	A1=(GX(2, 2)-GX(2,1))/(GX(1, 2)-GX(1,1))	00006240
675	00029	B1=GX(2,1)-A1*GX(1,1)	00006250
676	00030	A2=(GS(2, 2)-GS(2,1))/(GS(1, 2)-GS(1,1))	00006260
677	00031	B2=GS(2,1)-A2*GS(1,1)	00006270
678	00032	17 Y1=(A1*X0+B1)-(A2*X0+B2)	00006280
679	00033	IF (Y1.GE.OY.AND.Y1.GT.0.) GO TO 18	00006290
680	00034	X0=X0+DX	00006300
681	00035	GO TO 17	00006310
682	00036	18 XX=X0	00006320
683	00037	J =0	00006331
684	00038	DO 30 I=1,30	00006340
685	00039	CD=GS(1,I+1)-GS(1,I)	00006350
686	00040	IF (CD) 31,31,32	00006360
687	00041	31 J =J+1	00006370
688	00042	IF (CD.LT.0.) GO TO 40	00006380
689	00043	HD(J)=GS(2,I)	00006390
690	00044	GO TO 30	00006400
691	00045	32 AO=(GS(2,I+1)-GS(2,I))/(GS(1,I+1)-GS(1,I))	00006410
			00006420

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
692	00046	B0=GS(2.I)-A0*GS(1.I)	
693	00047	35 IF (XX.LE.GS(1.I).OR.XX.GT.GS(1.I+1)) GO TO 30	00006430
694	00048	J=J+1	00006440
695	00049	HD(J)=A0*XX+B0	00006450
696	00050	XX=XX+DX	00006460
697	00051	IF (HD(J)+DY.GE.HE) GO TO 40	00006470
698	00052	GO TO 35	00006480
699	00053	30 CONTINUE	00006490
700	00054	40 MI=J-1	00006500
701	00055	DO 50 I=1.MI	00006510
702	00056	DO 55 J=1.100	00006520
703	00057	HZ=HE-DY*(J-1)	00006530
704	00058	HC=ABS(HD(I)-HZ)	00006540
705	00059	Y0=DY/2.	00006550
706	00060	IF (HC.GT.Y0) GO TO 55	00006560
707	00061	IF (I .EQ.1) NN=J	00006570
708	00062	KS(I)=NN-J+1	00006580
709	00063	GD(I)=HZ	00006590
710	00064	GO TO 50	00006600
711	00065	55 CONTINUE	00006610
712	00066	50 CONTINUE	00006620
713	00067	XX=X0	00006630
714	00068	J =0	00006640
715	00069	DO 60 I=1.30	00006650
716	00070	CD=GX(1.I+1)-GX(1.I)	00006660
717	00071	IF (CD) 61.61.62	00006670
718	00072	61 J =J+1	00006680
719	00073	IF (C0.LT.0.) GO TO 70	00006690
720	00074	HD(J)=GX(1.I)	00006700
721	00075	GO TO 60	00006710
722	00076	62 A0=(GX(2.I+1)-GX(2.I))/(GX(1.I+1)-GX(1.I))	00006720
723	00077	B0=GX(2.I)-A0*GX(1.I)	00006730
724	00078	65 IF (XX.LE.GX(1.I).OR.XX.GT.GX(1.I+1)) GO TO 60	00006740
725	00079	J=J+1	00006750
726	00080	HD(J)=A0*XX+B0	00006760
727	00081	XX=XX+DX	00006770
728	00082	IF (HD(J).GE.HE) HD(J)=HE	00006780
729	00083	IF (J.EQ.MI) GO TO 70	00006790
730	00084	GO TO 65	00006800
731	00085	60 CONTINUE	00006810
732	00086	70 CONTINUE	00006820
733	00087	IC=0	00006830
734	00088	DO 80 I=1.MI	00006840
735	00089	NS=KS(I)	00006850
736	00090	NO=0	00006860
737	00091	IF (I.EQ.1) GO TO 82	00006870
738	00092	IF (HD(I-1).EQ.HE) HD(I)=HE	00006880
739	00093	82 DO 85 J=NS.100	00006890
740	00094	NO=NO+1	00006900
741	00095	GU(I)=GD(I)+DY*(NO-1)	00006910
742	00096	KE(I)=J	00006920
743	00097	IF (I.EQ.1.AND.NS.EQ.KE(I)) GO TO 85	00006930
744	00098	IF ((IC.EQ.0).AND.(GU(I).GE.HE)) IC=I	00006940
745	00099	HC=ABS(GU(I)-HD(I))	00006950
746	00100	Y0=DY/2.	00006960
747	00101	IF (HC.LE.Y0) GO TO 80	00006970
			00006980

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
748	00102	85 CONTINUE	
749	00103	80 CONTINUE	00006990
750	00104	XO=XO-DX	00007000
751		C	00007001
752	00105	RETURN	00007010
753	00106	END	00007020
			00007030

*PROGRAM SIZE 3988(000F94) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 106. PROGRAM NAME = GRIDNO. NOT USED CORE = 184K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(I)
 .SOURCE,EBCDIK.OBJECT,NOMAP,NOXREF,NODECK,NOLIST,ALC,ERSTMT,NOMEMBER,FIXED,NOCOUNT,NOTERM,NODLINE
 .NOTEST,NOSYMDBG,INLINE(ERCHK),NOPROD,NODOCHK,NOISCHEDULE,NOMCHECK,OPLIST,PAUSE,NOSUBCHK,NOBREAK
 .ANS66,NODIVOPT,NUM.CODE(N),NOANSCHK,NOCHECK,IAP(NODIAG,SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO,NOARGCHK,EXMOVE,NODXR,NOFIXOVR,NOAGCHK,RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
754		C	
755		C..... SUBROUTINE DATA FILE OUTPUT	00007040
756		C	00007050
757	00001	SUBROUTINE FILEPR(PER,IC,MI,DF,XO,HO,XA,DX,KS,TX,DH,MODEC)	00007060
758	00002	COMMON/HDATA/HA(200,100),HB(200)	00007070
759	00003	DIMENSION XX(200)	00007080
760	00004	IF (DF.EQ.0.) GO TO 20	00007090
761	00005	KS=KS+1	00007091
762	00006	IF(KS.EQ.10) KS=0	00007100
763	00007	IF(KS.NE.0) GO TO 999	00007110
764		C	00007120
765	00008	XS=XO+(1-IC)*DX	00007130
766	00009	20 DO 10 I=1,MI	00007140
767	00010	XX(I)=XS	00007150
768	00011	XS=XS+DX	00007160
769	00012	10 CONTINUE	00007170
770		C	00007180
771	00013	WRITE(10,500) MI,DF,XA,XX(MI),XO,HO,TX,DH,MODEC,PER	00007190
772	00014	WRITE(10,510) (XX(I),I=1,MI)	00007200
773	00015	WRITE(10,510) (HB(I),I=1,MI)	00007210
774		C	00007220
775	00016	500 FORMAT(I5,5F8.3,F8.5,F8.3,I2,F8.3)	00007230
776	00017	510 FORMAT(8F8.3)	00007240
777	00018	999 RETURN	00007250
778	00019	END	00007260
			00007270

*PROGRAM SIZE 2016(0007E0) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 19, PROGRAM NAME = FILEPR, NOT USED CORE = 204K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*PROGRAM UNITS = 17, NO DIAGNOSTICS GENERATED

入力データ

(安定計算プログラム)

FNAME (A 8) 入力データの名称
 N (I 3) 地表, すべり面座標数

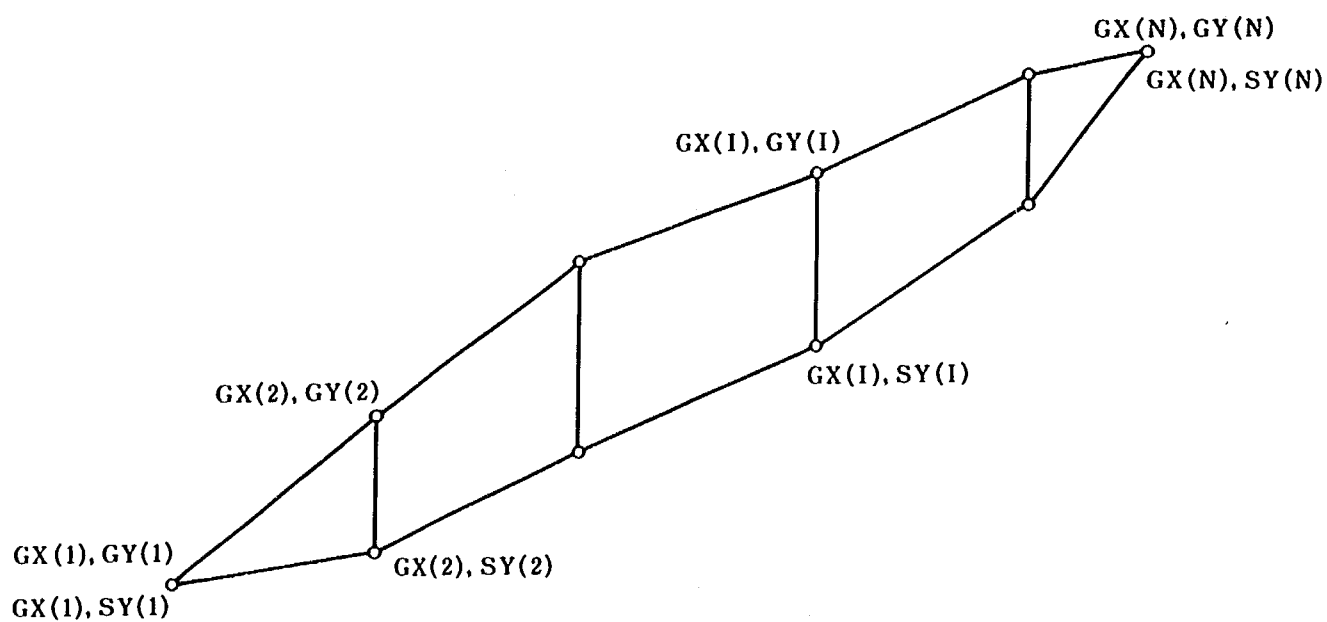
CO, FA, RA (3F 10.3)

CO (粘着力 C'), FA ($\tan \phi'$, ϕ' 内部摩擦角), RA (湿潤単体重量)

GX(I) (7F 10.3) 地表の x 座標 (I = 1, N)

GY(I) (7F 10.3) 地表の y 座標 (I = 1, N)

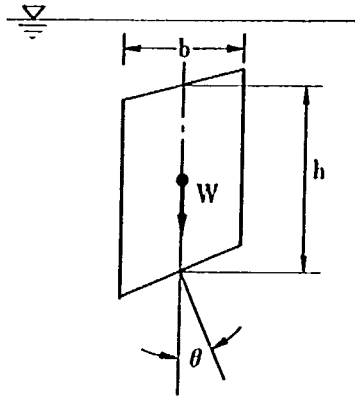
SY(I) (7F 10.3) すべり面の y 座標 (I = 1, N)



(安定計算法)

安定計算法における自重，間隙水圧高の取扱いは次に示すとおりである。なお，本プログラムは簡便法を用いている。

$$F = (C' \ell + (N - U) \tan \phi')$$

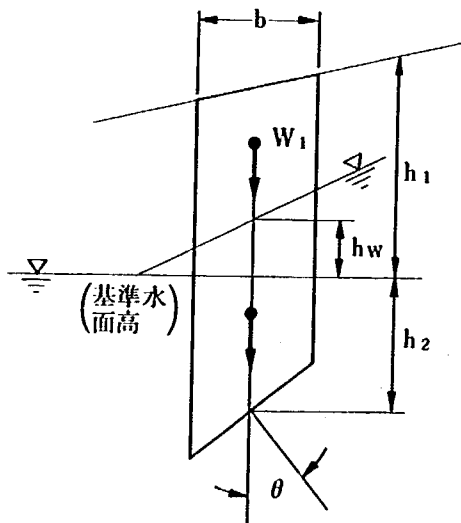


(水没スライス)

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \theta \\ &= r_{\text{sub}} \cdot h \cdot b \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= W \cdot \sin \theta \\ &= r_{\text{sub}} \cdot h \cdot b \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

$$U = 0$$



(部分水没スライス)

$$\begin{aligned} N &= W \cdot \cos \theta \\ &= (W_1 + W_2) \cdot \cos \theta \\ &= r_{\text{sub}} \cdot h_2 \cdot b \cdot \cos \theta + r_t \cdot h_1 \cdot b \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= (W_1 + W_2) \cdot \sin \theta \\ &= r_{\text{sub}} \cdot h_2 \cdot b \cdot \sin \theta + r_t \cdot h_1 \cdot b \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

$$U = u \ell = h_w \cdot b \cdot \sec \theta$$

ここに， r_{sub} ：水中単体重量， r_t ：浸潤単体重量であり，厳密には両者を使い分けなければならないが，本プログラムでは便宜上 $r_{\text{sub}} \doteq r_t$ として取扱っている。

安定計算プログラム

S-1321-1 OFORT77 (V04-1B)

87-03-16 19:11:13

PAGE 1

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(1)
 ,SOURCE,EBCDIK,OBJECT,NOMAP,NOXREF,NODECK,NOLIST,ALC,ERSTMT,NOMEMBER,FIXED,NOCOUNT,NOTERM,NODLINE
 ,NOTEST,NOSYDBG,INLINE(ERCHK),NOPROD,NODOCHK,NOISCHEDULE,NOMCHECK,OPLIST,PAUSE,NOSUBCHK,NOBREAK
 ,ANS66,NODIVOPT,NONUM.CODECN),NOANSCHK,NOCHECK,IAP(NODIAG,SPACE(MAX,0010K))
 ,NOGO,NOARGCHK,EXMOVE,NODXR,NOFIXDVR,NOAGCHK,RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
1		C *****
2		C ** STABILITY ANALYSIS **
3		C ** 'SIMPLIFIED FELLENIUS METHOD' **
4		C ** 1986/07/15 **
5		C *****
6		C
7	00001	PROGRAM MAINPR
8	00002	COMMON/GDATA/GX(100),GY(100),SY(100)
9	00003	COMMON/SDATA/H1(100),H2(100),HS(100),B0(100),TH(100),
10		*WK(100),WS(100),HK(100)
11	00004	DIMENSION XX(100),HH(100)
12	00005	CHARACTER*8 FNAME
13		C
14	00006	KAISU=0
15	00007	TA=0.
16	00008	IEND=0
17	00009	CALL DATANS(NG,CO,FA,RA,FNAME)
18	00010	999 CALL DATAWS(XX,HH,MI,DFTIME,XA,XB,XC,H0,TX,DH,MODEC,PER,IEND)
19	00011	IF(IEND.EQ.1) GO TO 888
20	00012	CALL GWATCA(MODEC,XX,HH,MI,NG,I1,I2,I3,I4,XA,XB,XC,XD,H0)
21	00013	CALL WPRESC(MODEC,DFTIME,I1,I2,I3,I4,NG,XA,XB,XC,XD)
22	00014	CALL MAINCA(MODEC,TA,NG,CO,FA,RA,FNAME,DFTIME,H0,TX,DH,PER)
23	00015	WRITE(6,100) XA,I1
24	00016	WRITE(6,110) XB,I2
25	00017	WRITE(6,120) XC,I3
26	00018	WRITE(6,130) XD,I4
27	00019	100 FORMAT(1H ,///.10X,'PEEPAG POINT X(M)=' ,F8.3,5X,'SLICE.NO= ',I4)
28	00020	110 FORMAT(1H , / ,.10X,'G.WATER FIN X(M)=' ,F8.3,5X,'SLICE.NO= ',I4)
29	00021	120 FORMAT(1H , / ,.10X,'RESERVOIR H X(M)=' ,F8.3,5X,'SLICE.NO= ',I4)
30	00022	130 FORMAT(1H , / ,.10X,'RESERVOIR FIN X(M)=' ,F8.3,5X,'SLICE.NO= ',I4)
31	00023	KAISU=KAISU+1
32		C
33	00024	IF (KAISU.LT.100) GO TO 999
34		C
35	00025	888 STOP
36	00026	END

*PROGRAM SIZE 2096(000830) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 26. PROGRAM NAME = MAINPR. NOT USED CORE = 221K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX,MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(I)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYDBG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NODFIXOVR.NOAGOCK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
37		C
38		C..... SUBROUTINE GWATER.LEVEL CAL.
39		C
40	00001	SUBROUTINE GWATCA(MC,XX,HH,MI,NG,I1,I2,I3,I4,XA,XB,XC,XD,H0)
41	00002	COMMON/GDATA/GX(100),GY(100),SY(100)
42	00003	COMMON/SDATA/H1(100),H2(100),HS(100),BO(100),TH(100).
43		*WK(100),WS(100),HK(100)
44	00004	DIMENSION XX(100),HH(100)
45		C
46	00005	DO 5 I=1,100
47	00006	H1(I)=0.
48	00007	H2(I)=0.
49	00008	5 CONTINUE
50		C
51	00009	IF(XA.LT.GX(1)) GO TO 888
52		C
53	00010	DO 10 I=1,NG-1
54	00011	IF (XA.GE.GX(I).AND.XA.LT.GX(I+1)) GO TO 11
55	00012	10 CONTINUE
56	00013	11 I=I+1
57		C
58	00014	XDUM=0.
59	00015	J =0
60	00016	DO 12 I=I1,NG-1
61	00017	A2=(SY(I+1)-SY(I))/(GX(I+1)-GX(I))
62	00018	B2=SY(I)-A2*GX(I)
63	00019	13 J=J+1
64	00020	IF (J.GE.MI) GO TO 19
65	00021	A1=(HH(J+1)-HH(J))/(XX(J+1)-XX(J))
66	00022	B1=HH(J)-A1*XX(J)
67	00023	IF (A1.EQ.0..AND.A2.EQ.0.) GO TO 13
68	00024	X9=(B2-B1)/(A1-A2)
69	00025	Y9=A1*X9+B1
70	00026	IF ((Y9.GE.SY(I).AND.Y9.LT.SY(I+1)).
71		* AND.(X9.GE.XX(J).AND.X9.LT.XX(J+1))) XDUM=X9
72	00027	IF (XDUM.NE.0.) GO TO 62
73	00028	IF (J.LT.MI) GO TO 13
74	00029	19 J=0
75	00030	12 CONTINUE
76		C
77	00031	A1=(HH(MI)-HH(MI-1))/(XX(MI)-XX(MI-1))
78	00032	B1=HH(MI)-A1*XX(MI)
79	00033	DO 60 I=1,NG-1
80	00034	A2=(SY(I+1)-SY(I))/(GX(I+1)-GX(I))
81	00035	B2=SY(I)-A2*GX(I)
82	00036	IF (A1.EQ.0..AND.A2.EQ.0.) GO TO 60
83	00037	X8=(B2-B1)/(A1-A2)
84	00038	IF(X8.GE.GX(I).AND.X8.LT.GX(I+1)) XDUM=X8
85	00039	IF(XDUM.NE.0.) GO TO 62

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
86	00040	60 CONTINUE
87		C
88	00041	62 XB=XDUM
89	00042	HH(MI+1)=A1*GX(I)+B1
90	00043	HH(MI+2)=A1*XDUM+B1
91	00044	XX(MI+1)=GX(I)
92	00045	XX(MI+2)=XDUM
93	00046	MI=MI+2
94		C
95	00047	DO 15 I=I1,NG-1
96	00048	IF (XB.GE.GX(I)).AND.XB.LT.GX(I+1)) GO TO 16
97	00049	15 CONTINUE
98	00050	16 IF(I.NE.NG) I2=I
99		C
100	00051	IF(I1.GT.I2) I1=0
101	00052	IF(I1.EQ.0) I2=0
102	00053	IF(I1.EQ.0) GO TO 888
103		C
104	00054	J=I1
105	00055	20 DO 20 I=1,MI-1
106	00056	IF(GX(J).LT.XX(I).OR.GX(J).GE.XX(I+1)) GO TO 20
107	00057	A1=(HH(I+1)-HH(I))/(XX(I+1)-XX(I))
108	00058	B1=HH(I)-A1*XX(I)
109	00059	H9=A1*GX(J)+B1
110	00060	20 CONTINUE
111	00061	H2(J)=H9
112	00062	J=J+1
113	00063	IF (J.LE.I2) GO TO 23
114		C
115	00064	IF (MC.NE.0) GO TO 99
116		C
117	00065	XDUM=0.
118	00066	DO 35 I=1,NG-1
119	00067	A2=(GY(I+1)-GY(I))/(GX(I+1)-GX(I))
120	00068	IF (A2.EQ.0.) GO TO 35
121	00069	B2=GY(I)-A2*GX(I)
122	00070	DX=(H0-B2)/A2
123	00071	IF (DX.GE.GX(I).AND.DX.LT.GX(I+1)) XDUM=DX
124	00072	IF (XDUM.NE.0.) GO TO 36
125	00073	35 CONTINUE
126	00074	36 IF (XDUM.NE.0.) XC=XDUM
127		C
128	00075	DO 30 I=1,NG-1
129	00076	IF (XC.GE.GX(I).AND.XC.LT.GX(I+1)) GO TO 32
130	00077	30 CONTINUE
131	00078	32 I3=I+1
132		C
133	00079	DO 40 I=1,NG-1
134	00080	A2=(SY(I+1)-SY(I))/(GX(I+1)-GX(I))
135	00081	IF (A2.EQ.0.) GO TO 40
136	00082	B2=SY(I)-A2*GX(I)
137	00083	XD=(H0-B2)/A2
138	00084	IF (XD.GE.GX(I).AND.XD.LT.GX(I+1)) GO TO 42
139	00085	40 CONTINUE
140	00086	42 I4=I
141		C

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
142	00087	DO 50 I=1.I4
143	00088	H1(I)=H0
144	00089	50 CONTINUE
145		C
146	00090	IF (MC.EQ.0) GO TO 999
147	00091	99 DO 80 I=I1.I2
148	00092	H1(I)=H2(I)
149	00093	80 CONTINUE
150	00094	XC=XA
151	00095	XD=XB
152	00096	XA=0.
153	00097	XB=0.
154	00098	888 I3=I1
155	00099	I4=I2
156		C
157	00100	999 RETURN
158	00101	END

*PROGRAM SIZE 3804(000EDC) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 101. PROGRAM NAME = GWATCA. NOT USED CORE = 196K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(C0),LEVEL(I)
 .SOURCE,EBCDIK,OBJECT,NOMAP,NOXREF,NODECK,NOLIST,ALC,ERSTMT,NOMEMBER,FIXED,NOCOUNT,NOTERM,NODLINE
 .NOTEST,NOSYMBOLG,INLINE(ERCHK),NOPROD,NODOCHK,NOISCHEDULE,NOMCHECK,OPLIST,PAUSE,NOSUBCHK,NOBREAK
 .ANS66,NODIVOPT,NONUM.CODE(N),NOANSCHK,NOOCHK,IAP(NODIAG,SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO,NOARGCHK,EXMOVE,NODXR,NOFIXOVR,NOAGCHK,RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
159		C
160		C..... SUBROUTINE SLICE DATA READ
161		C
162	00001	SUBROUTINE DATANS(N,CO,FA,RA,FNAME)
163	00002	COMMON/GDATA/GX(100),GY(100),SY(100)
164	00003	CHARACTER*8 FNAME
165		C
166	00004	DO 15 I=1,100
167	00005	GX(I)=0.
168	00006	GY(I)=0.
169	00007	SY(I)=0.
170	00008	15 CONTINUE
171		C
172	00009	READ(10,100) FNAME
173	00010	READ(10,110) N
174	00011	READ(10,115) CO,FA,RA
175	00012	READ(10,120) (GX(I),I=1,N)
176	00013	READ(10,120) (GY(I),I=1,N)
177	00014	READ(10,120) (SY(I),I=1,N)
178		C
179	00015	100 FORMAT(A8)
180	00016	110 FORMAT(I3)
181	00017	115 FORMAT(3F10.3)
182	00018	120 FORMAT(7F10.3)
183		C
184	00019	RETURN
185	00020	END

*PROGRAM SIZE 1128(000468) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 20. PROGRAM NAME = DATANS. NOT USED CORE = 221K BYT

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN).OPTIMIZE(2).SIZE(MAX.MAX).LINECOUNT(60).AUTODBL(NONE).FLAG(0).LEVEL(I)
 .SOURCE.EBCDIK.OBJECT.NOMAP.NOXREF.NODECK.NOLIST.ALC.ERSTMT.NOMEMBER.FIXED.NOCOUNT.NOTERM.NODLINE
 .NOTEST.NOSYDBG.INLINE(ERCHK).NOPROD.NODOCHK.NOISCHEDULE.NOMCHECK.OPLIST.PAUSE.NOSUBCHK.NOBREAK
 .ANS66.NODIVOPT.NONUM.CODE(N).NOANSCHK.NOCHECK.IAP(NODIAG.SPACE(MAX.0010K))
 .NOGO.NOARGCHK.EXMOVE.NODXR.NOFIXOVR.NOAGDOCHK.RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
186		C
187		C..... SUBROUTINE WATER.LEVEL DATA READ
188		C
189	00001	SUBROUTINE DATAWS(XX,HH,MI,DF,XA,XB,XC,H0,TX,DH,MODEC,PER,IEND)
190	00002	DIMENSION XX(100),HH(100)
191		C
192	00003	DO 10 I=1,100
193	00004	XX(I)=0.
194	00005	HH(I)=0.
195	00006	10 CONTINUE
196		C
197	00007	READ(11,100,END=999) MI,DF,XA,XB,XC,H0,TX,DH,MODEC,PER
198	00008	READ(11,120) (XX(I),I=1,MI)
199	00009	READ(11,120) (HH(I),I=1,MI)
200		C
201	00010	100 FORMAT(15,7F8.0,12,F8.0)
202	00011	120 FORMAT(8F8.0)
203		C
204	00012	DO 20 I=1,100
205	00013	IF(I.GT.MI.AND.MODEC.EQ.1) XX(I)=XX(I-1)+(XX(MI)-XX(MI-1))
206	00014	IF(I.GT.MI.AND.MODEC.EQ.1) HH(I)=HH(I-1)
207	00015	20 CONTINUE
208		C
209	00016	RETURN
210	00017	999 IEND=1
211	00018	RETURN
212	00019	END

*PROGRAM SIZE 1468(0005BC) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 19. PROGRAM NAME = DATAWS. NOT USED CORE = 221K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(I)
 -SOURCE,EBCDIK.OBJECT,NOMAP,NOXREF,NODECK,NOLIST,ALC,ERSTMT,NOMEMBER,FIXED,NOCOUNT,NOTERM,NOOLINE
 -NOTEST,NOSYMDBG,INLINE(ERCHK),NOPROD,NODOCHK,NOISCHEDULE,NOMCHECK,OPLIST,PAUSE,NOSUBCHK,NOBREAK
 -ANS66,NODIVOPT,NONUM.CODE(N),NOANSCHK,NOCHECK,IAP(NODIAG,SPACE(MAX,0010K))
 -NOGO,NOARGCHK,EXMOVE,NODXR,NOFIXOVR,NOAGCHK,RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
213		C
214		C..... SUBROUTINE WATER PRESSURE IN SLICE
215		C
216	00001	SUBROUTINE WPRESC(MC,DF,I1,I2,I3,I4,NG,XA,XB,XC,XD)
217	00002	COMMON/GDATA/GX(100),GY(100),SY(100)
218	00003	COMMON/SDATA/H1(100),H2(100),HS(100),B0(100),TH(100),
219		*WK(100),WS(100),HK(100)
220		C
221	00004	DO 5 I=1,100
222	00005	HS(I)=0.
223	00006	B0(I)=0.
224	00007	TH(I)=0.
225	00008	WS(I)=0.
226	00009	WK(I)=0.
227	00010	S HK(I)=0.
228		C
229	00011	DO 10 I=1,NG-1
230	00012	B0(I)=GX(I+1)-GX(I)
231	00013	TH(I)=ATAN((SY(I+1)-SY(I))/(GX(I+1)-GX(I)))
232	00014	HS(I)=GY(I)-SY(I)
233	00015	10 CONTINUE
234		C
235	00016	IF(I1.EQ.0.OR.I2.EQ.0) GO TO 888
236		C
237		C XA AREA
238	00017	AS1=(GY(I1)-H2(I1))*(GX(I1)-XA)/2.
239		C XB AREA
240	00018	AS2=(H2(I2)-SY(I2))*(XB-GX(I2))/2.
241		C XC AREA
242	00019	AS3=(GY(I3)-H1(I3))*(GX(I3)-XC)/2.
243		C XD AREA
244	00020	AS4=(H1(I4)-SY(I4))*(XD-GX(I4))/2.
245		C
246	00021	IF (AS1.LT.0.) AS1=0.
247	00022	IF (AS2.LT.0.) AS2=0.
248	00023	IF (AS3.LT.0.) AS3=0.
249	00024	IF (AS4.LT.0.) AS4=0.
250	00025	IF (MC.NE. 0) AS1=0.
251	00026	IF (MC.NE. 0) AS2=0.
252		C
253	00027	DO 20 I=1,I4-1
254	00028	IF (I.LT.I3-1)
255		* WS(I)=(GY(I+1)+GY(I))/2.-(SY(I+1)+SY(I))/2.*B0(I)
256	00029	IF (I.EQ.I3-1)
257		* WS(I)=(GY(I+1)+GY(I))/2.-(SY(I+1)+SY(I))/2.*B0(I)-AS3
258	00030	IF (I.GT.I3-1)
259		* WS(I)=(H1(I+1)+H1(I))/2.-(SY(I+1)+SY(I))/2.*B0(I)
260	00031	20 CONTINUE
261	00032	WS(I4)=AS4

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
262	00033	IF (MC.NE.0) GO TO 999
263	00034	IF (DF.EQ.0.) GO TO 999
264		C
265	00035	WK(I3-1)=AS3
266	00036	IF(I1.EQ.I3) WK(I3-1)=AS3-AS1
267	00037	DO 30 I=I3.I2-1
268	00038	WK(I)=(GY(I+1)+GY(I))/2.-(SY(I+1)+SY(I))/2.)*B0(I)-WS(I)
269	00039	IF (I.EQ.I1-1)
270		* WK(I)=(GY(I+1)+GY(I))/2.-(SY(I+1)+SY(I))/2.)*B0(I)-WS(I)
271	00040	IF (I.GT.I1-1)
272		* WK(I)=(H2(I+1)+H2(I))/2.-(SY(I+1)+SY(I))/2.)*B0(I)-WS(I)
273	00041	30 CONTINUE
274	00042	WK(I2)=AS2
275	00043	IF (I2.EQ.I4) WK(I2)=AS2-WS(I4)
276		C
277	00044	DO 40 I=I3.I2
278	00045	IF(I1.GT.I4) GO TO 45
279	00046	IF(I.LT.I1) HK(I)=GY(I)-H1(I)
280	00047	IF(I.GE.I1.AND.I.LE.I4) HK(I)=H2(I)-H1(I)
281	00048	IF(I.GT.I4) HK(I)=H2(I)-SY(I)
282	00049	GO TO 42
283	00050	45 IF(I.LT.I4) HK(I)=GY(I)-H1(I)
284	00051	IF(I.GE.I4.AND.I.LE.I1) HK(I)=GY(I)-SY(I)
285	00052	IF(I.GT.I1) HK(I)=H2(I)-SY(I)
286	00053	42 IF (HK(I).LT.0.) HK(I)=0.
287	00054	40 CONTINUE
288	00055	999 B0(NG)=0.
289	00056	HS(NG)=0.
290	00057	TH(NG)=0.
291		C
292	00058	888 RETURN
293	00059	END

*PROGRAM SIZE 2720(000AA0) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 59. PROGRAM NAME = WPRESC. NOT USED CORE = 196K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*EFFECTIVE OPTIONS: NAME(MAIN),OPTIMIZE(2),SIZE(MAX,MAX),LINECOUNT(60),AUTODBL(NONE),FLAG(0),LEVEL(I)
 .SOURCE,EBCDIK.OBJECT,NOMAP,NOXREF,NODECK,NOLIST,ALC,ERSTMT,NOMEMBER,FIXED,NOCOUNT,NOTERM,NODLINE
 .NOTEST,NOSYMDBG,INLINE(ERCHK),NOPROD,NODOCHK,NOISCHEDULE,NOMCHECK,OPLIST,PAUSE,NOSUBCHK,NOBREAK
 .ANS66,NODIVOPT,NONUM.CODE(N),NOANSCHK,NOCHECK,IAP(NODIAG,SPACE(MAX,0010K))
 .NOGO,NOARGCHK,EXMOVE,NODXR,NOFIXOVR,NOAGCHK,RUNOPT

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
294		C
295		C..... SUBROUTINE STAB.CALC
296		C
297	00001	SUBROUTINE MAINCA(MODE,TA,NG,CO,FA,RA,FNAME,DF,H0,TX,DH,PER)
298	00002	COMMON/GDATA/GX(100),GY(100),SY(100)
299	00003	COMMON/SDATA/H1(100),H2(100),HS(100),B0(100),TH(100),
300		*WK(100),WS(100),HK(100)
301	00004	CHARACTER*8 FNAME
302		C
303	00005	WRITE(6,500) FNAME,DF,H0,TX,DH
304	00006	WRITE(6,510) FA,CO,RA
305	00007	WRITE(6,520)
306	00008	500 FORMAT(1H1,/,5X,'DATA NAME= ',A8,5X,'TIME (DAY)=' ,F8.3,
307		*5X,'RES.WATER.L(M)=' ,F8.3,5X,'PERME.COEFC(M/S)=' ,F7.5,5X,
308		*'DEL.H(M/DAY)=' ,F8.3//)
309	00009	510 FORMAT(1H ,10X,'TAN FA(*)=' ,F8.3,' C(T/M-2)=' ,F8.3,
310		*' GAMMAT(T/M-3)=' ,F8.3//)
311	00010	520 FORMAT(1H ,2X,3HNO.,2X,8HSLICE HS,3X,8HSLICE HH,
312		*3X,7HSLICE B,2X,8HSLICE TH,
313		*4X,6HWEIGHT,1X,9HWEIGHT(W)
314		* ,3X,7HNDRMAL.,3X,7HTANGEN.,4X,6HPORE.W,2X,8HS.LENGTH,
315		* ,2X,8HFACTOR.F/)
316	00011	PN=0.
317	00012	PT=0.
318	00013	PU=0.
319	00014	UL=0.
320	00015	TKU=0.
321	00016	IF(DF.LE.0.) TA=0.
322		C
323	00017	DO 10 I=1,NG-1
324	00018	IF (DF.LE.0.AND.MODE.EQ.0) TA=TA+WS(I)
325	00019	IF (DF.LE.0.AND.MODE.EQ.1) TA=TA+(HS(I)+HS(I))/2.*B0(I)
326	00020	TKU=TKU+WS(I)+WK(I)
327	00021	WR=(HS(I)+HS(I+1))/2.*B0(I)*RA
328	00022	WD=1.*WS(I)
329	00023	WT=WR-WD
330	00024	D1=(WT)*COS(TH(I))
331	00025	PN=PN+D1
332	00026	D2=(WT)*SIN(TH(I))
333	00027	PT=PT+D2
334	00028	D3=WK(I)/COS(TH(I))
335	00029	PU=PU+D3
336	00030	UD=B0(I)/COS(TH(I))
337	00031	UL=UL+UD
338	00032	IF(PT.EQ.0.) FS=0.
339	00033	IF(PT.NE.0.) FS=((PN-PU)*FA+CO*UL)/PT
340	00034	THG=TH(I)*180./3.141592654
341		C
342	00035	WRITE(6,100) I,HS(I+1),HK(I+1),B0(I),THG,WT,WD,D1,D2,D3,UD,FS

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT
343	00036	10 CONTINUE
344		C
345	00037	IF (DF.LE.0.AND.MODE.LE.0) TKU=TA
346	00038	IF (TA.NE.0) TKA=TKU/TA*100.
347	00039	IF (TA.LE.0) TKA=0.
348	00040	WRITE(6,200) PN,PT,PU,FS,TKA
349	00041	100 FORMAT(1H .I5.11F10.3)
350	00042	200 FORMAT(1H ./.2X.'SIGMA.N='.F10.3.2X.'SIGMA.T='.F10.3.2X.'SIGMA.U='
351		*.F10.3.2X.'FACTOR OF SAFETY (FS)='.F8.3.2X.'MUE(X)='.F8.3)
352		C
353	00043	RETURN
354	00044	END

貯水位変動に伴う地下水浸透と
地すべり斜面の安定度に対する
検討

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2503号
昭和62年7月(1987)
中村浩之, 土屋 智

キーワード: 地すべり, 地下水, 浸透流解析, ダム貯水池, 現場透水試験

要 旨 ダム貯水池周辺山腹地域における貯水位変動に起因する地すべりの調査および解析手法の確立のための基礎資料を得る目的で模型斜面を用いた浸透流実験とその結果, 飽和-不飽和浸透流解析とその解析事例, 水没斜面での安定計算の他, 浸透流解析の際に必要な地すべり斜面内の透水係数を得るための現場透水試験法等についてとりまとめたものである。



郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所
地すべり研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2503号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印