

ひびわれ性基盤、斜層基盤の応力伝播の特性およびアーチダムの 基盤の滑り破壊安全率の分布に関する考察

電力中央研究所 技術研究所

林 正夫

概要

岩盤には ひびわれが発達していたり、断層を有していたりする場合があり、そのような岩盤をダムのアバットメントと見なくてはならないことも多いので、等方等質論との対比において、これらの基盤内の応力伝播の特性を検討してから、近似的に等方等質と考える場合には、アーチダムの基盤はすべりに対して安全率がどのように分布しているかを推定することも試みた。I, II, III部に分けて報告されている。

I. ひびわれ性基盤の応力伝播の特性

要旨

ひびわれ性基盤は、従来の連続体の力学より脱却して応力、変形を論ずることが望ましい場合がある。筆者はその1つの試みとして、ひびわれ区間Cと載荷中Tについて比率 $\frac{C}{T}$ をひびわれ係数と名付け、この係数をパラメータとして、ひびわれ性基盤の応力、変形を推定する1つの力学的模型を提案してみた。この提案は、筆者によって行われたサイコロ積みおよび積層性基盤に施す応力凍結光弾性実験の興味ある結果の考察にもとづいている。

1. ひびわれ性基盤の工学上の重要性

ひびわれが発達している連続体の力学はもはやあてはまらないのではないかと疑問が起るが、他に代るべき力学がないのでやむなく等方等質の弾性体という連続体の力学を借用してすごしてきたように思われる。こゝでは一つの試みとしてひびわれ体の応力伝播を考えた上、便利な一つの模型を提案してみた。ひびわれ面のせん断抵抗を無視する場合をまづうべ、ひびわれ面のせん断抵抗を考慮に入れる場合をその後で述べてある。未だ考えの足りない要素も気になるが、諸賢の参考になれば幸いである。

2. ひびわれの多い場合に、特にダムの基礎などで、コンソリデーショングラフによって、われ目を充分に填充してセノリレックを強固なものにすると共に、設計や工法の考え方を等方等質の場合に準じてせよとするのが、技術の唯一の立場として尊重されて来たように思われるが、この工法の不確実なことが心配になったり、このような工法をできるだけ端折って済ませられぬかという欲求があった考え方をもちたりすると、やはりひびわれ性基盤そのものに直面した力学が欲しくなる(ひびわれていたら水が浅いという心配は、別途にカーテングラフや遮水壁の問題として処理できよう)

3. ひびわれしているということも力学的な言葉に翻訳しえらうということになるかを考えて見ると、ひびわれ面ではその面に垂直な方向の引張り応力が伝達されぬ。ひびわれ面は凸凹していることもあるので、ある程度のせん断応力までは伝え得るかもしれないが、等方等質の場合に較べれば、と

水にも限度がありそう。この2つの条件でいじられた素子を境界させることができるように思われる。
 3. よしてこれらの素子が綿密に組合さっているであろう。

4. いじわれの程度をどのように表わしたらよいだろうか。これには地質工学的には、ある規模以上のいじわれを Schmidt net におよびて密度や方向を論じたり、地表面あるいは封鎖模範図で、ある規模以上のいじわれが単位長さ当たりいくつあるかを観察して密度をしるべし方法と。

地質物理学の人達がよく使う。いわゆる弾性縦波の伝わりみかけの速さが、岩盤の場合に、岩石コアの場合の何%におちていることから、この速度低下率をいじわれの程度をあらわす尺度として使えないかという考え方の大別して2つにわかれていようと思われる。

筆者は構造物との関係でいじわれを考えてみようという立場をとっているので、絶対的ないじわれの規模よりむしろ構造物の規模との対応にわたる相対的ないじわれの規模をあらわすつぎのようないじわれ係数を提案してみたい。

$$\text{いじわれ係数} : \frac{C}{T}$$

このCは、いじわれ区間の平均長さであり言葉をかえれば実質部分の平均的な大きさである。Tは基盤の表面の載荷中である。

このいじわれ係数は工学的にどのような意味を持っているかを説明するため一つの例を挙げてみよう。すなわち、あるいじわれ区間のところにかかり小さな載荷中の構造物をつくる場合には、事実上、いじわれを考えなくて等方等質の基盤に近似できることもあろうし、同じいじわれ区間のところでも非常に大きな載荷中の構造物をつくる場合は、相対的には小さな粒状の素子の集合として基盤を考えなくてはならぬ。故に $\frac{C}{T}$ で、構造物との対応で論ずる都合がよいように思う。

区間C自体のきめ方は、十分に判断の要素が入ることにはなっていない。なおをなれば、どの程度より細かいいじわれは無視するべきかきめ手がないように思われるからである。

写真1 多はいわれ性基盤

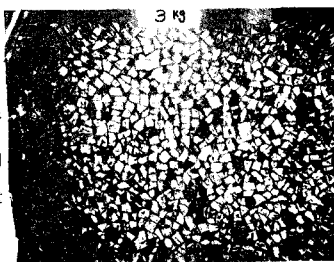


写真2 サイコロ積み ($C/T=0.25$)

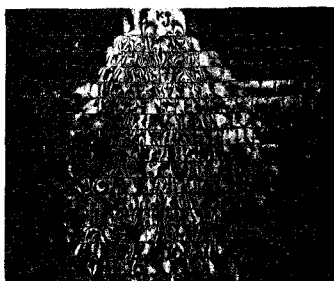


図1

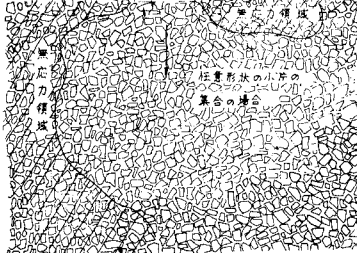


図2

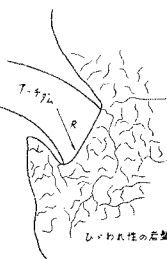
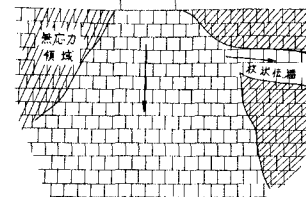


図3 いじわれ性の基盤

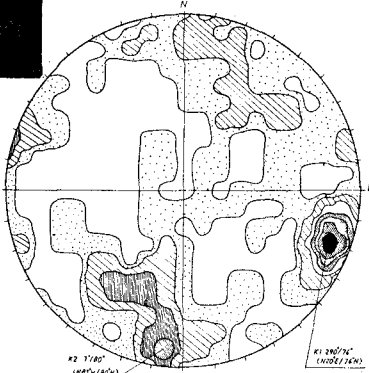


図4 Density diagram の一例 (井上)

5 従来のとり扱いかた

ひびわれ性の基盤の応力伝播についての論文は見つけ得るが、たが粒状体については Fröhlich の応力集中係数 σ_z がいささか似た問題について考えていこう。

$$\sigma_z = \frac{2q}{\pi} \int_{\rho_1}^{\rho_2} \cos^{2n-1} \theta \, d\theta$$

と、 $2=3$ とすると等方等質の場合となり、 2 を変えて $2=6$ とすると砂質体の応力伝播特性を大づかみに把握できることが認められるようである。 2 の物理的意義は、はっきりしていないようである。ひびわれがこゝで考へられているのは、ひびわれ体であり、あまり細かい粒子の集合ではなからう。ゴムサイコロに、しきと積みあげた基盤についての表面変位に関する君島等の興味ある実験がある⁽³⁾。

6 応力凍結光弾性実験法による応力伝播特性の考察

写真1のような任意形状の場合はあまり複雑になるのでサイコロ状のつみかさねて模擬し、ひびわれ区画 C で載荷中 T について $\frac{C}{T} = 0.125, 0.25, 0.50, \infty$ の4種について光弾性等色線写真も撮影した。

一辺 C は 5, 10, 20 mm で T はすべて 40 mm である。Interlock の状態もナガハ 14 ケースについておこなった結果も集めてみる。

1) ひびわれ性基盤では、ひびわれ面のみかけのせん断抵抗のちがひによって差はあるが、等方等質性基盤とくらべて応力伝播の様子はいささしくことなり、載荷面直下にだけ応力が伝播し、横の領域は無応力にちみい。したがってひびわれ性基盤に Boussinesq 公式を適用する場合には注意を要する。

2) 等方等質の基盤では若干の引張り領域が発生することもあるようだが、ひびわれ性基盤ではそのような引張り領域よりはむしろ、ひびわれ区画の突端部分に不規則な集中荷重が作用して突端部分のみ引張りを生じ、これにより高応力領域では突端部分に圧縮に近い応力状態がでるかもしれない。

3) ひびわれ性基盤の表面変位量は Boussinesq 公式によれば過小評価にあることは一目見ておきうからである。右の E をひびわれ体の表面以下よりとめる花壁のみかけの E⁽²⁾ とする。写真のようちん応力伝播を考へて入ると説明できるかもしれない。

4) 比較的緊密に接続している領域では応力が板状に伝播する。

5) 載荷中によって応力伝播領域がまづきめられてしまうので、表面変位量も減らして上部構造との悪影響を軽減したり、基盤内部の応力をより広く分散して局所的な破壊の心配をへらすには、ひびわれ性基盤では、フーチイングが有効のように思われる。

6) 積層性基盤の場合には、外力も層に平行と直角の成分に分け、前者は軸力、後者は重ねばりの荷重と考えることによつて、積層基盤の応力、変形を論じる手がかりがえられようと思われる。

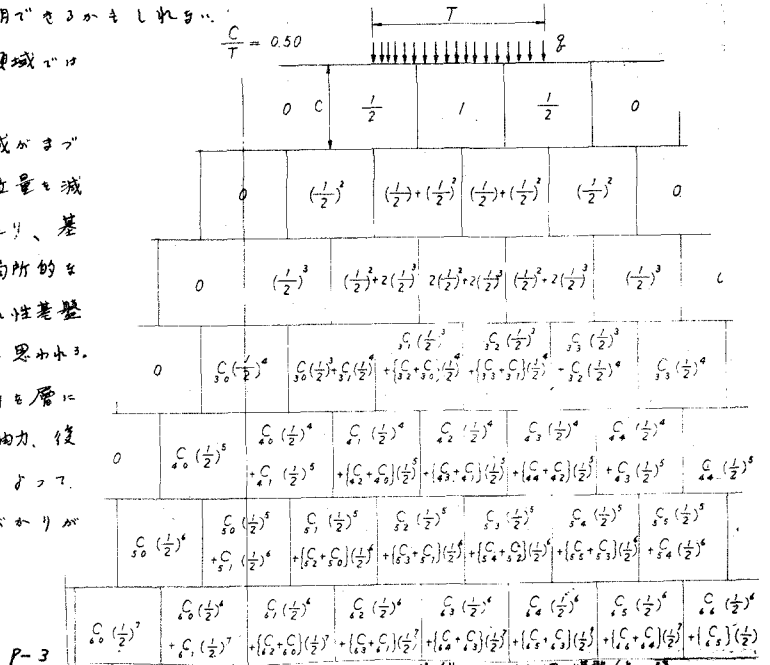


図 5 ひびわれ性基盤の応力伝播状態(その1)

6 ひびわれ性基盤の応力伝播模型(その1) : ひびわれ面のせん断抵抗を無視した場合。

図5に(メ)のように、表面荷重 q は T と C の相対的大小に応じて基盤の才1段に力が分散する。このとき、 T に関係しない素片には応力がつたからといって無応力領域に含まれることはまず、素片は統計的には均等に *interlock* されていって考えようから上段の力は下段で等分されるものと考えた。順次下段にむかってこの等分伝の原則を適用していくと鉛直応力の等応力線図は $\frac{C}{T}$ が小さい程 載荷面下に集中する。Frolich の σ 表示によっても、筆者の $\frac{C}{T}$ 表示によっても集中化傾向がしめされるが、 σ 表示が早々と実験係数 λ のいかに比べ、 $\frac{C}{T}$ による物理的意味が明瞭な利点があるように思われる。この $\frac{C}{T}$ 模型は 3次元の場合は載頭錐体、2次元の場合は梯形の応力伝播領域を生じることになる。 $\frac{C}{T}$ の値がいかに応力分布のつがいは図7,8に示してある。

7 ひびわれ性基盤の応力伝播模型(その2) : ひびわれ面のせん断抵抗を考慮した場合

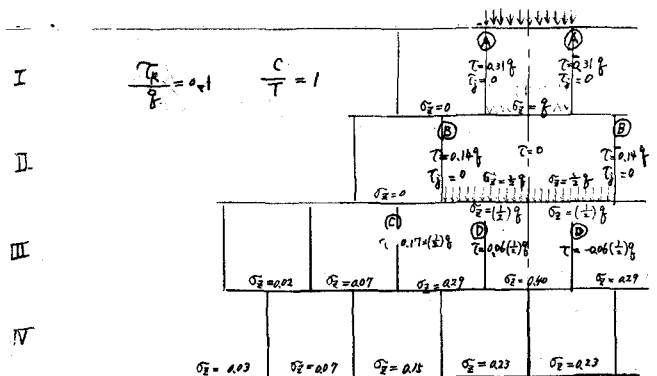
ひびわれ面の破壊条件と弾性応力条件を組合せてひびわれ性基盤の応力伝播を考えてみよう。この場合、ひびわれ面の破壊条件は 滑り破壊とする。何と云へば^{圧縮}載荷面近傍では引張り破壊はあふかわない。図6において q が作用すると連続体の場合は弾性論によって④面の中央ではせん断応力では $0.31q$ となるが ひびわれ面のせん断抵抗 T_R がこのより小さくと局部的にすべり、例として $T_R=0.1q$ ととりあげると、④面はすべり q は直下にだけ伝わりⅠ段の下面では平均応力は q となる。再びⅡ以下の半無限版の表面荷重がこの q であるとして、連続体として③面の σ をもとめると $0.14q$ となり、依然として $T_R=0.1q$ より大きいので③面はすべりものと考えると、才Ⅱ段下面の鉛直応力 σ_z の平均は $\frac{1}{2}q$ となる。ついでⅢ以下の半無限版に $\frac{1}{2}q$ の表面荷重が連続体に作用するとして②面中央の σ をもとめると $0.1q$ ^{以下}となり、やうとⅢ段のひびわれ面はせん断応力を伝達できる： になりⅢ段以下の部分の鉛直応力はⅢ段上面に $\frac{1}{2}q$ が図6のように分布したとして連続体として鉛直応力を求めよ。

図9,10に、より複雑な場合の一例として $\frac{C}{T}=0.25$, $\frac{T_R}{q}=0, 0.1, 0.2, 0.5$, 大の場合が比較されている。

8. むすび 連続体の力より脱却して、ひびわれ体の力学的なように考えていくことができたが、~~はたして~~ 試案を提示してみた。構造物基礎とひびわれ現象との相対比を考慮に入れて応力伝播を考えたこと、ひびわれ面のせん断抵抗の程度に応じて 応力伝播がどのように変わるかを考える力学模型を 破壊条件と連続体の力学を組合せて提案してみた。近似ではあるが ひびわれ体のメカニズムを考えると役に立つべきである。今後 実験盤での実験研究に進むのはもちろん(次回)

図6

ひびわれ性基盤の応力伝播模型(その2)



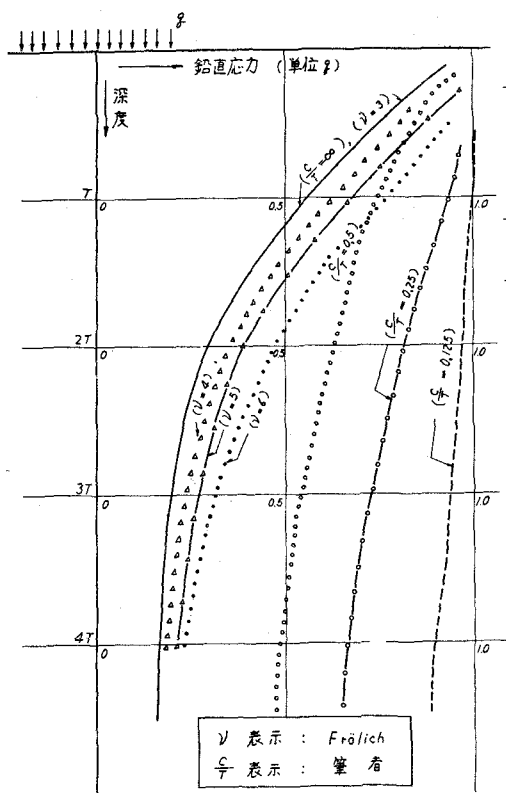


図7 鉛直応力 - 深度の比較 (V表示, %表示)
(模型 401)

鉛直応力の分布	ひびわれの程度
—	$\frac{C}{T} = \infty$ (等方弾性)
.....	$\frac{C}{T} = 0.5$
—○—	$\frac{C}{T} = 0.25$
—x—x—	$\frac{C}{T} = 0.125$

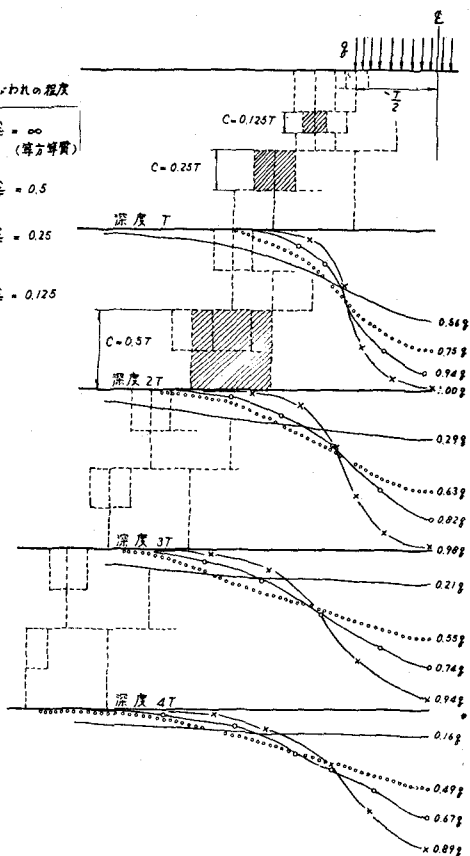


図8 鉛直応力とひびわれ係数の関係
(模型 401)

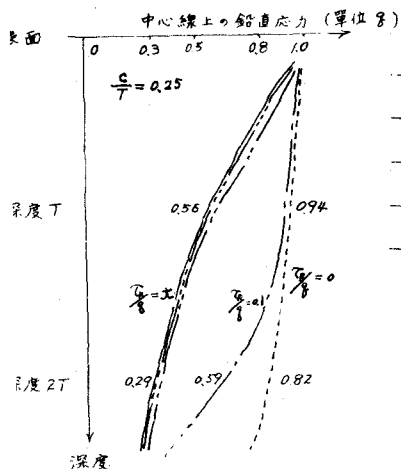


図9 鉛直応力とひびわれ面のせん断抵抗の関係
(模型 402)

$\frac{\tau_R}{\sigma} = 0$	(ひびわれ面のせん断抵抗のない場合)
$\frac{\tau_R}{\sigma} = 0.1$	
$\frac{\tau_R}{\sigma} = 0.2$	
$\frac{\tau_R}{\sigma} = 0.5$	
$\frac{\tau_R}{\sigma} = \infty$	(等方弾性)

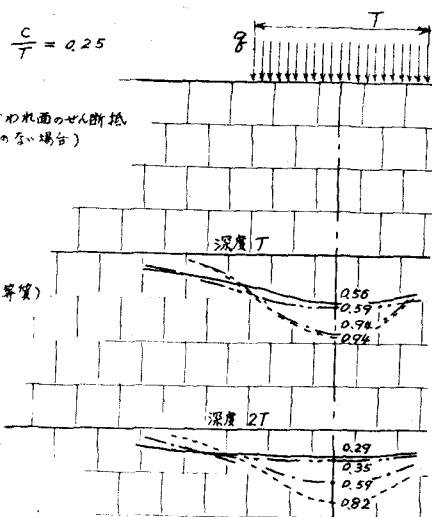


図10 鉛直応力とひびわれ面のせん断抵抗の関係 (模型 402)

II 斜層基盤の応力伝播の特性

要旨 従来、具体的に解答されていなかったようなので、斜めの軟かい層を含む基盤の内の応力伝播の特性を、応力凍結法によって光弾性実験で、27 ケースを検討し、算方算質論、二層基盤の従来の理論との比較をしてみた。アーチダムのアバットメントを構成している岩盤に、断層を含むものに基本的なデータとして応用できるように図化した。

1 斜層基盤の工学上の問題点

構造物の基盤が算方算質と考え得ない場合によく出会う。たとえば水平な層状、斜めの層状、不規則に荒達したやわわれなことで、その抵抗性をもって置かないと上部構造の安全な設計ができぬことがある。アーチダムのアバットメントの安定をいさる目的でやってみたことだが、軟弱地盤の似たような問題にも参考にできよう。

断層の存在が構造力学上、どのように問題となるかを考えて見ると、1) 断層面を以てせん断抵抗が十分に存在するかどうか 2) 断層が可撓性のために、ダムに悪影響を与えるような異常な変形をおこさないかどうか 3) 断層そのものは粘土化していて透水性はすくなくとも、その周辺は破砕されていることが多く、したがって含水量が増し、邊透水压により断層面近傍で強度が低下し剥離の心配はないか 4) 透水速度が早くなり、部分的に欠損し、それが全体的な基盤の不安定の原因とならないか、などが考えられる。これらの問題の中の1)についての若干の知識を得ようとした。

斜層については従来の解答は見あたらなかった。荷重と層が直交する場合は半無限体についての *Burmister*, *Schiffman*, 半無限版についての石原研而氏などのすぐれた研究がある。実用問題では軟弱地帯の沖積層の土質基盤が多かったので従来の研究が水平層の問題に著しくかたよっていたものと思われる。岩盤基盤では造山作用による斜層の問題が非常に多くあるが、その数理的解答は個々に厄介なので、光弾性実験がこの場合は非常に役に立った。

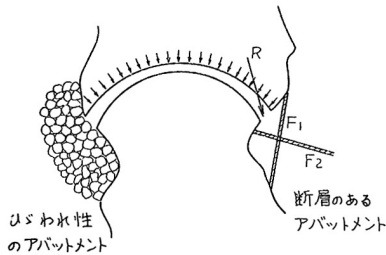


図1 アーチダムのアバットメントの耐荷力の低下の要因

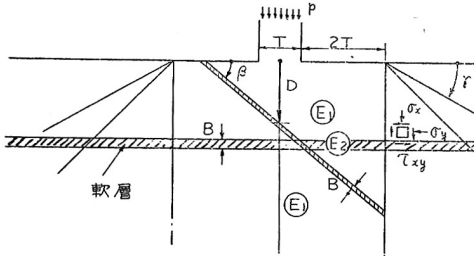


図2 記号

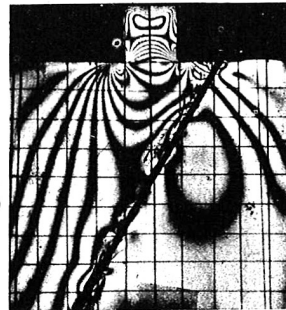


図3



図4 $\beta=0^\circ$ $a/r=1.0$ $b/r=2.0$



図5 $\beta=30^\circ$ $a/r=0.2$ $b/r=0.5$

$T = 10\text{ mm}$
 $\beta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$
 $B = 1\text{ mm}, 2\text{ mm}$
 $D = 5\text{ mm}, 10\text{ mm}, 20\text{ mm}, 40\text{ mm}$
 $E_1 = 165\text{ kg/cm}^2$ (125°C)
 $E_2 = 17\text{ kg/cm}^2$ (125°C)

2. 断層の実態と模型上の表現について この断面に押む材料はまわりの材質よりも弾性係数が小さい場合をとり扱っている。断層材料は粘土質、砂礫性粘土、砂質、破碎された岩 あるいはこれらがまざり合った状態で その変形係数も $10 \sim 10,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 、一方岩盤の方も $10,000 \sim 150,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ のオーダーに分布するようである。実験では $E_1/E_2 \approx 10$ の場合を行った。E₁はエポキシ系樹脂アラルグイト樹脂型B型で $165 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ (125°C , 曲げ), E₂はゴムで $17 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ (125°C 引張り)であった。

断層面と岩質との接触状態は、いくつかのケースが考えられよう。(表1)

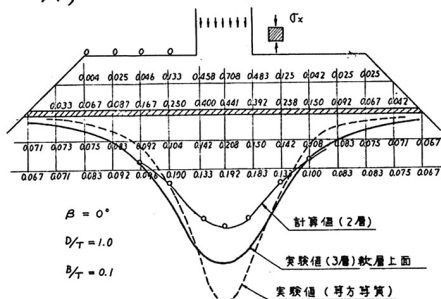
接触面の力学的状態

接触面への垂直力	接触面へのせん断応力	接触面の法線方向変位	接触面の接線方向変位
伝達	伝達	連続	連続
圧縮応力のみ伝達 (引張りは伝達されない)	伝達されない		不連続

水平戸のときには接触面でせん断抵抗が少なくせん断応力が伝達されなくして全体として安定を保つことができるが、斜戸基盤ではこのようなときには接触面に沿ってすべり出すことになり実用的意味はうすくなるので実験では応力、変位が連続的に伝達される状態をとり扱った(接触面で滑りした)

実験は半無限版でなく 図2のような有限版について行なった。その理由はアバットメントの下流側に半無限を寸法の岩盤のマッスが健全な形で存在しない場合が多いこと、アバットメントを構成している岩盤が堅硬な一枚岩であることは望みがなくさまざまなわれめが存在するために、表面からの力は載荷面直下の限られた領域にだけ作用する特性を見の必ずしやけにない場合が多いこと、有限版の方が光弾性実験の精度があがることなどのために有限版について実験をした。

断層の規模、方向、位置は実験は多種多様であるが 実験では 図2の数字によって β , D/T , B/T , γ の4つをパラメーターとして 27種の比較検討をした。



二層、三層、等方等質の応力分布の特性比較 (σ_x, τ_{xy})

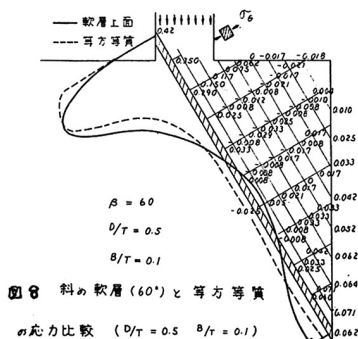


図8 斜め軟層 (60°) と等方等質の応力比較 ($D/T = 0.5$ $B/T = 0.1$)

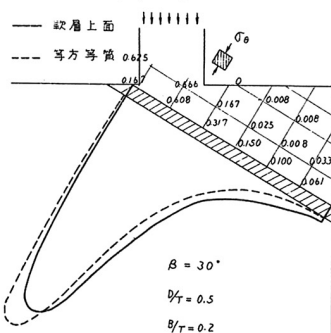


図7 斜め軟層 (30°) と等方等質の応力比較 ($D/T = 0.5$ $B/T = 0.2$)

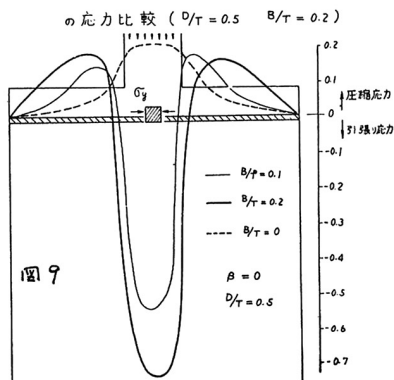


図9



$\beta = 30^\circ$ $D/T = 0.5$ $B/T = 0.2$

3. 軟層沿いの応力分布の特性 (等方等質の場合との対比)

1) 軟層面への垂直応力の平均化作用 (図6, 7) まづもっとも考えやすい水平戸 ($\beta=0^\circ$) の場合の垂直応力 σ_x は等方等質の場合よりは最大値が小さくなり平均化される傾向がある。2戸構造としての石原氏の水平戸の計算とここの実験値をくらべると3戸と1戸の実験値の方が2戸としての計算値よりも平均化の割合は小さい。等方等質の場合ともグラフで較べてある。等方等質のときの最大値に対する軟層のある場合の最大値の割合は、実験の範囲では70~85%となった。斜めの度合いが大きくなるにつれ ($\beta \rightarrow \pi$)、最大応力の等方等質の場合よりの低下は顕著でなくなり平均化作用はうすれていく。軟層より載荷側ではいささしく軟層の影響を受けるが、反対側では軟層がクッションの役目を果し、みだれのすくなく応力状態を呈している。

2) 軟層面への垂直圧縮応力の減少領域の発生 斜めの度合いが大きくなるに局部的に軟層面への垂直圧縮応力 σ_y がいささしく小さくなり、場合によってはわずかの引張り応力になる領域が発生する ($\beta=0^\circ, 30^\circ$ では発生せず $\beta=60^\circ$ で発生する)。このような領域では等方等質として σ_y を推定すると過大評価になる。(図8)

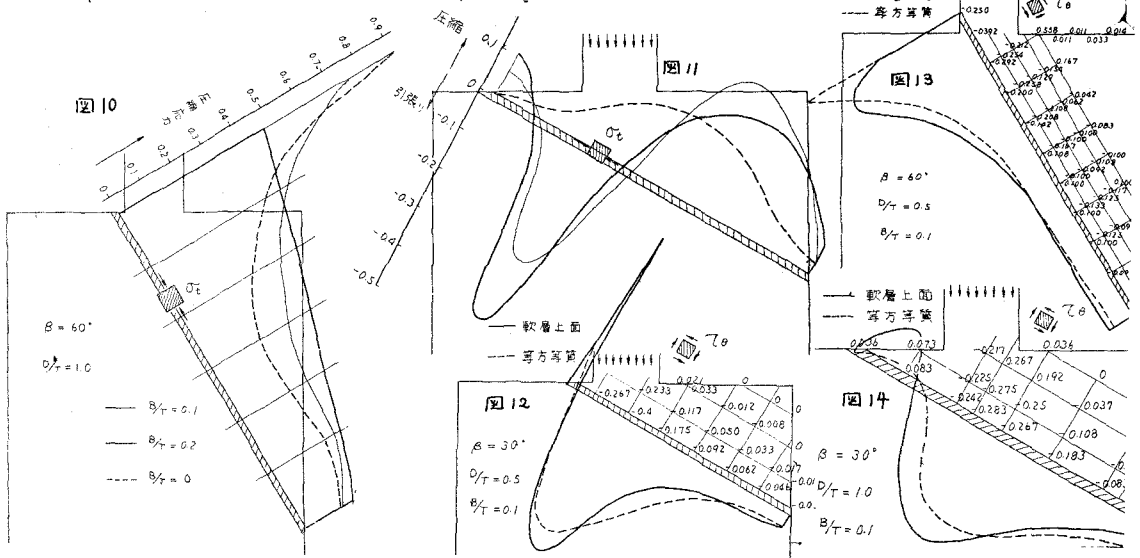
3) 軟層面に沿う方向の引張り応力の発生 (図9, 11)

この現象は斜めの度合いが小さい程 (水平戸に近い程) 顕著にあられる。水平軟層の場合は、かなりの引張り応力が発生する。等方等質の計算ではこの応力成分は常に圧縮であるが、軟層が存在すると弾性変形のはたつきをもつため、上部の硬層が Beam Action を呈し、その下縁に引張り応力が発生するものとして理解できよう。 $\beta=30^\circ$ の斜め軟層では似たような傾向がみとめられるが $\beta=60^\circ$ の急傾斜の軟層では σ_x に引張り応力はあられず、等方等質 (図10) として取扱っても大差はないようである。

4) 軟層面沿いのせん断応力の分布

軟層面沿いのせん断応力 τ_0 は、載荷面の近く近しいところのとき等方等質の場合と大差はないように思われる。(図12, 13, 14)

以上、軟層面への垂直応力の平均化作用、軟層面への垂直圧縮応力の減少領域の発生、軟層面に沿う方向の引張り応力の発生、軟層面沿いのせん断応力の分布なども概観したが、数値についてはごく一部分しか記載しなかったので、電研の報告書を参照されたい。



Ⅲ アーチダムの基盤の滑り破壊安全率の分布に關する考察 (要処理領域の一推定方法)

概要 アーチダムの基盤を構造力学的に見た場合には、どの深さまで処理しなければならないかという疑問について、一つの量的な解釈方法を提案してみた。しかしここでは、等方等質といふ近似的な仮定にもとづき、基盤内部の各点、各方向のすべり破壊安全率の分布状態を、光弾性実験でもとめた応力分布にもとづいて、推定したにとどまり、疑問はなほ多い。

ここでは、岩盤のせん断強度、摩擦係数、表面に作用する最大圧縮応力、ダム下流側の基盤の地形、この4つをパラメーターとして導入し、滑り破壊安全率の分布図をもとめてみた。

1. アーチダムの基盤の滑り破壊に対する安定性の検討方式について

とくに顕著な断層や分離面のあるときは、これらの弱い面沿いのすべり安定性を slip line 方式でしるべのが妥当なときが多いと思われるが、たゞ全体に、地質的に脆弱であるとか、ひびわれが多いとか、アーチダムからの力に抵抗すべき岩盤マスの容積が足りないとかの心配のあるときには、大別して slip line (circle, plane) による巨視的な滑動安定をもとめる方式と、こゝでのべる基盤内部の各点各方向の滑り安定より要処理領域を推定する方式とに分れるように思ふ。

筆者は当初は、slip line 方式で検討してみたが、この方式は1つの slip line 沿ひともその線素の位置がちがうと、非常に安定度がちがうので、この方式で平均安全率を line についてもとめてみても、基盤の要処理領域を適確に把握にいく欠点があるといへば可い。こゝの疑問に達着したので、むしろ要処理領域、進行性破壊領域、非進行性破壊領域について、より明確なイメージを与えると思われた基盤内部の各点各方向のすべり破壊安全率を検討してみた。

しかし破壊がある断面全体の平均強度が材料の強度あるいはそれに関連する定数値に達したときにはじめて全体の安定がやぶれるように発生するといふ論議もさかんであるが、要処理領域の考察には后所論の方が便利なるように考へるわけである。

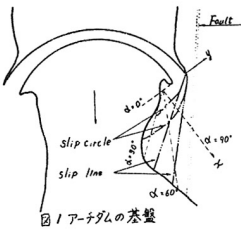


図1 アーチダムの基盤

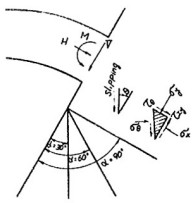


図3 応力成分の正の方向

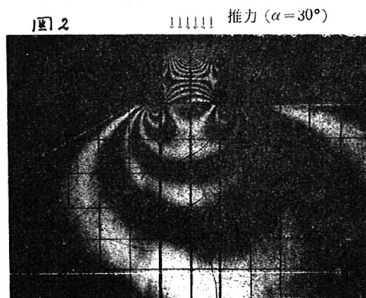


図2 111111 推力 ($\alpha = 30^\circ$)

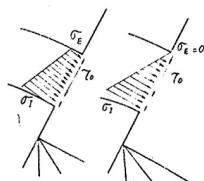


図5 基盤表面の応力成分

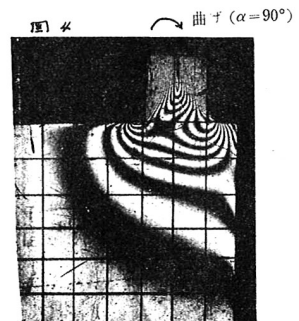


図4

図6 ←せん断力 ($\alpha = 90^\circ$)



2 滑り破壊安全率 岩盤の破壊条件は 引張りによって最大引張り応力 σ_0 、せん断 σ_I 、圧縮 σ_{II} に因りてはつぎに定義するように すべり破壊条件にもづいて考えることができよう。各点各方向のすべり破壊安全率 $S(x, y, \theta, u, \tau_R, \sigma_I, f)$ は

$$S(x, y, \theta, u, \tau_R, \sigma_I, f) = \frac{\tau_R + f \{ \sigma_0(x, y, \theta) - u(x, y, \theta) \}}{\sigma_I(x, y, \theta)} = \frac{\tau_R}{\sigma_I} + f \left\{ \frac{\sigma_0}{\sigma_I} - \frac{u}{\sigma_I} \right\}$$

この τ_R は岩盤のせん断強度、 f は内部摩擦係数、 u は場圧力、 σ_0 はすべりを考へる面の直応力、 σ_I はおなじくせん断応力、 σ_{II} は表面の加圧の最大値とする。

是は岩盤マッスのせん断強度のみかけの値で 岩石コアの値、いづれの場合、含水度などの間数と考へられるが実際の数値は実証例がきわめて少ない。 f についても同様である。ロック シヤーテストがあちこちでいづれにきつてはつきりして来よう。

3. 非半無限限への表面部分荷重 (推力、曲げモーメント およびせん断力) による内部応力分布の光弾性応力解析

従来半無限を金科玉条としてきた感があるが、アーケダムのアバットメントなどでは非半無限と考へて実情に適合させた場合が多い。図3のように非半無限と考へる二次元光弾性実験で、 $\alpha=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ のそれぞれについて、推力、曲げモーメント、せん断力が個々に作用した場合のすなわち基準応力分布をこれらの12ケースについてとも図5のよう一つの critical condition の応力分布を算出した。二、三の興味ある点も応力分布について記しておく。1) 推力荷重による鉛直応力は $\alpha=0^\circ$ では急激に減つて行くが、 $\alpha=90^\circ$ の半無限限では 3T の深さでも 約40% の応力が残存する。2) 曲げモーメント荷重の直下は 引張り線の方にせん断変形を生じる 3) せん断荷重では肩が切れるにつれ 表面の水平応力の引張り側の値が増大する点に注目される。組合せ荷重状態での主応力についてみると 半無限では深さ2.5T で $0.17 \sigma_I$ 、 $\alpha=30^\circ$ で $0.19 \sigma_I$ 、 $\alpha=60^\circ$ で $0.23 \sigma_I$ 、 $\alpha=90^\circ$ で $0.32 \sigma_I$ となった。非半無限の影響は この実験のような場合には無視できるといふに思われた。

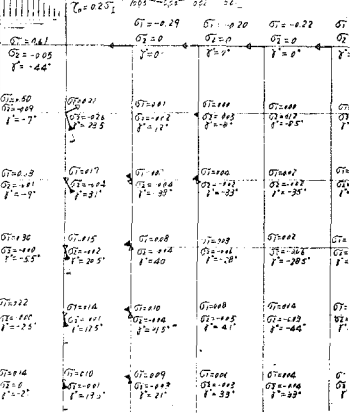
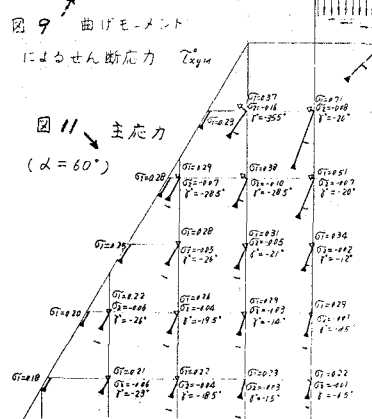
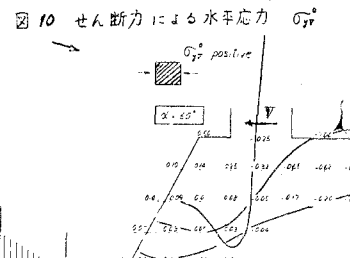
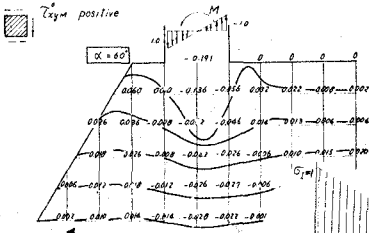
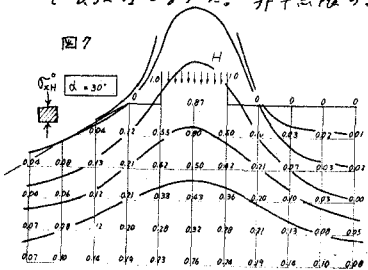


図8 推力による鉛直応力 σ_{xx}

図9 曲げモーメントによるせん断応力 τ_{xy}

図11 主応力 ($\alpha=60^\circ$)

図10 せん断力による水平応力 σ_{yy}

4. すべり破壊安全率の分布

基本荷重状態での応力分布がもたらされるので、任意の組合せ荷重での状態が検討でき、こゝではアーチダムアバウトメントにともなう (Critical Condition) である図12のような表面荷重状態での S の分布を $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$, $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$, $\frac{T_R}{T_0} = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0$, $f = 0, 1$, $u=0$ についてすべての組合せについて求めた結果の一例をあげ説明しておく。詳細は電機、技術研究所報告 土木 62003号, 1962年9月の「アーチダムの基盤の滑り破壊安全率の分布に関する考察」を参照されたい。図12によつて考察してみよう。($\frac{T_R}{T_0} = 0.5$, $f = 1$ の場合)

- 1) $\alpha = 0^\circ$ から $\alpha = 90^\circ$ と α が変化するとつれて S が5以下の点を含む領域が次第に深く、かつ下流側表面にも近づいていくことが判る。
- 2) ある点でも、 θ の方向によつて、すべり安全率の大小はさまざまであり、 S の小さい方向を結んでいくと、いわゆるすべり面に傾きカーブが得られる。よわい面がこの方向に近づく場合には設計、施工上充分の注意がいることになる。
- 3) zoneⅡに考えられた場合には、安全率5以下の領域に注意する必要がある。その S の値がいくつであつてもよいから、設計にあつて基準化しておく必要がある。
- 4) この様子を、便利な安全率分布図ができても、? といふのは、主として T_R, f によるべき数値であらう。黒田、一ツ瀬、川俣さんのダムサイトでおこなつた on site test のデータが豊富にあることを望むと共に、いゝわかれ体とよつコア強度の相関についての基本的研究が欲しいものである。

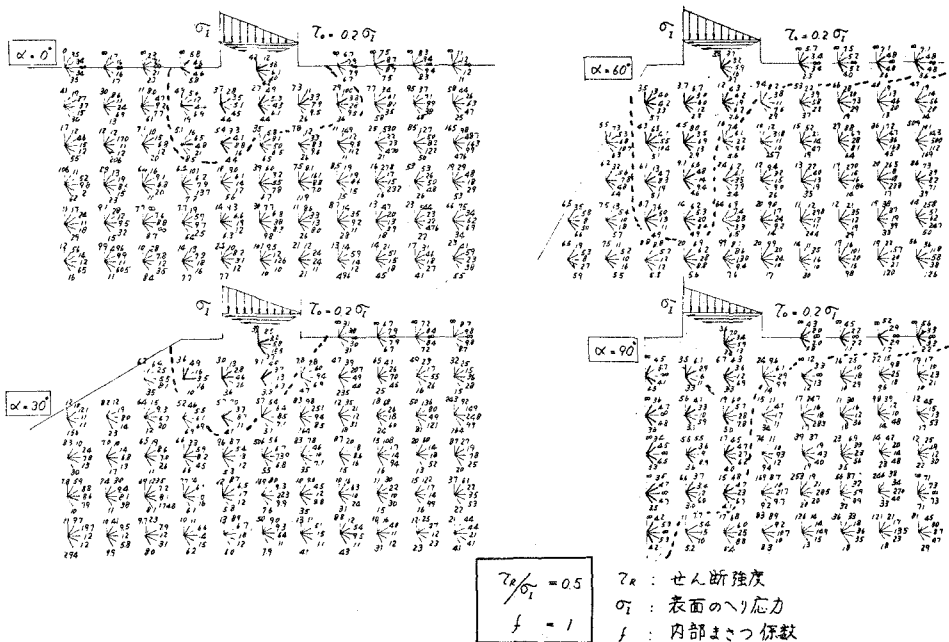


図 12 アーチダムの基盤内部の各点、各方向のすべり安全率 S の一例