

土 木 研 究 所 資 料

重力式コンクリートダムにおける
マットの設計方法についての考察

1989年9月

建設省土木研究所
ダム部ダム構造研究室

Copyright ©1989 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。

重力式コンクリートダムにおける マットの設計方法についての考察

ダム部 ダム構造研究室 永 山 功
渡 辺 和 夫
小 林 政 登

要旨

現行の設計基準によって、重力式コンクリートダムの構造設計を行う場合、その設計要件の一つとして堤体の滑動に対して所要の安全率を確保することが必要である。

従来、ダム基礎岩盤のせん断強度が小さい場合、所要のせん断摩擦安全率を得るには、転倒の条件から定まるダムの基本三角形の上流側にフィレットを設けて垂直力とせん断面の長さの増大を図るのが一般的であった。しかし、近年、基礎岩盤の地質条件が良好でないダムサイトが増え、フィレットによる対応が困難な場合が生じてきており、その結果フィレットに代ってダム堤体の下流側にマットを設けることにより、所要のせん断面の長さを確保するような設計例が見られるようになってきた。本報文は、重力式コンクリートダムの下流堤趾に設けるマットの設計方法について、検討した結果をとりまとめたものである。

キーワード：重力式コンクリートダム，マット，せん断摩擦安全率，局所せん断摩擦安全率

目 次

1. まえがき	1
2. 解析条件と荷重条件	3
2.1 検討項目	3
2.2 解析モデルと解析条件	3
2.3 応力解析にあたっての予備的検討	4
3. 解析結果と考察	7
3.1 基礎岩盤の弾性係数が堤体から基礎岩盤へ伝達される応力分布に及ぼす影響	7
3.2 マットの長さが堤体から基礎岩盤へ伝達される応力の分布に及ぼす影響	7
3.3 マットの厚さが堤体から基礎岩盤へ伝達される応力の分布に及ぼす影響	17
3.4 マットの長さでせん断摩擦安全率，局所せん断摩擦安全率	19
3.5 堤体応力	26
4. ま と め	31

1. ま え が き

重力式コンクリートダム の 構造設計を行う場合、予想される荷重状態に対して次の条件を満足する必要がある。

- 1) 堤体の上流面に鉛直方向の引張力を生じないこと。
- 2) 堤体中に生ずる応力が許容応力度を超えないこと。
- 3) 堤体がせん断力による滑動に対して安全であること。

1) の条件は、ダム堤体に作用する荷重の合力が、堤体の任意の水平断面における核を通るように設計することを意味するもので、これはミドルサードの条件とも呼ばれ、ダム堤体が転倒に対して安全な構造であることを要求するものである。一般に、1) の条件を満足するように設計された重力式コンクリートダム の断面形状を基本三角形と呼んでいる。

2) の条件は、ダム堤体に作用する荷重によって、堤体が圧縮または引張破壊を生じない構造であることを規定したものであるが、一般に重力式コンクリートダム に発生する応力は十分小さいことから、堤高が150 m以下のダムではこの条件はほとんど問題とはならない。

3) の条件は、堤体と基礎岩盤の接触面および基礎岩盤内の弱面がダム堤体に作用する荷重によって生じるせん断力に対して十分なせん断抵抗力を有するものであることを規定したものであって、次のHennyの式で計算した安全率が4以上の値を有するように設計することになっている。

$$N_s = \frac{\tau_0 \ell + fV}{H} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 N_s : せん断摩擦安全率

τ_0, f : せん断面のせん断強度、内部摩擦係数

ℓ : せん断面の長さ

V : 単位幅あたりのせん断面に作用する垂直力（揚圧力の影響を含む）

H : 単位幅あたりのせん断面に作用するせん断力

近年、社会的要請から、従来のダムサイトに比較して地質条件の劣るサイトにもダムを建設するケースも多くなってきている。このようなダムサイトの岩盤は、基本三角形断面に対して要求される所要のせん断強度よりも小さなせん断強度しか有しない場合が多い。このような場合には、Hennyの安全率を確保するために、基本三角形の上流側にフィレットを設ける設計方法が採用されている。しかし、地質条件がさらに厳しくなりフィレットで充分な対応ができないと判断される場合、基本三角形の下流側にマットを設ける設計が行われるようになってきている。

さて、基本三角形で与えられる堤体がせん断力による滑動に対して所要の安全率を有しない場合、Hennyの式に従えば、せん断面に作用する垂直力 V を増加させるか、またはせん断面の長さ ℓ を増加させることが必要である。

フィレットに期待する効果は、上述の垂直力 V とせん断面の長さ ℓ の増大である。またフィレットを設けることにより、堤体の底面沿いの局所せん断摩擦安全率の分布も均一化することが知られ

ている。したがって、フィレットの設計法は、平均せん断摩擦安全率と局所せん断摩擦安全率の両者を向上させる合理的な設計法であるといえる。

ここで、局所せん断摩擦安全率は次式で与えられ、(1)式を単位長さあたりの式として表現したものである。

$$n_s = \frac{\tau_0 + f \sigma}{\tau} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 n_s : 局所せん断摩擦安全率

σ : せん断面に作用する垂直応力（間隙水圧の影響を含む）

τ : せん断面に作用するせん断応力

一方、マットに期待する効果は、主としてせん断面の長さ l を長くすることにより所要のせん断摩擦安全率を確保することである。しかし、Hennyの式におけるせん断摩擦安全率 4 を確保するために、マットによって所要のせん断面の長さを得るというのは、いかにも便宜的な方法のように思われる。すなわち、Hennyの式による所要のせん断摩擦安全率を確保しても、マット部に十分な荷重の伝達が行われているのでなければ、実質的なマットの効果は期待できないはずである。また、せん断力による滑動は逐次破壊によって生じると考えられるから、せん断力による滑動に対する安定性に関しては、せん断面全体の平均的な安全率を示すせん断摩擦安全率よりもせん断面沿いの任意の点における破壊に対する安全率を示す局所せん断摩擦安全率の方がより実質的な意味をもっていると考えられる。

重力式コンクリートダム の設計理論によれば、基本三角形堤体の底面沿いのせん断応力の大きさはその下流端で最大となり、また局所せん断摩擦安全率もそこで最小となる。したがってマットの構造は、単に所要のせん断摩擦安全率を確保するだけでなく、これを基本三角形の下流端に設けることにより、下流端付近の岩盤に伝達される荷重の分散を図り、また下流端付近の局所せん断摩擦安全率を向上するような構造でなければならない。

本報告書は、マットの合理的な設計法を確立するために、有限要素法を用いた応力解析によりマットの構造的な特性について検討した結果をとりまとめたものである。

2. 解析条件と荷重条件

2.1 検討項目

本解析においては下記の項目について検討を加えた。

- 1) 基礎岩盤の変形性が堤体の基本三角形およびマットの基礎となる岩盤の応力分布に与える影響。
- 2) マットの長さおよび厚さが堤体の基本三角形およびマットの基礎となる岩盤の応力分布に与える影響。
- 3) マットの長さおよび厚さが堤体の基本三角形およびマット内の応力分布に与える影響。

また、これらの結果に基づいて、マットの有効長さおよび必要厚さについても検討を加えた。

2.2 解析モデルと解析条件

本解析は、二次元有限要素法を用いた弾性解析によって行った。マットの構造特性を検討するための解析モデルは、図-1に示すような形状とした。解析条件としては、堤高 h の基本三角形に対して、マットの高さ H 、長さ L およびコンクリートの弾性係数 E_c に対する岩盤の弾性係数 E_R の比率を種々に変化させた解析ケースを設定した。

表-1、表-2に解析ケースと荷重条件を示す。また、図-2に要素分割図の一例を示す。

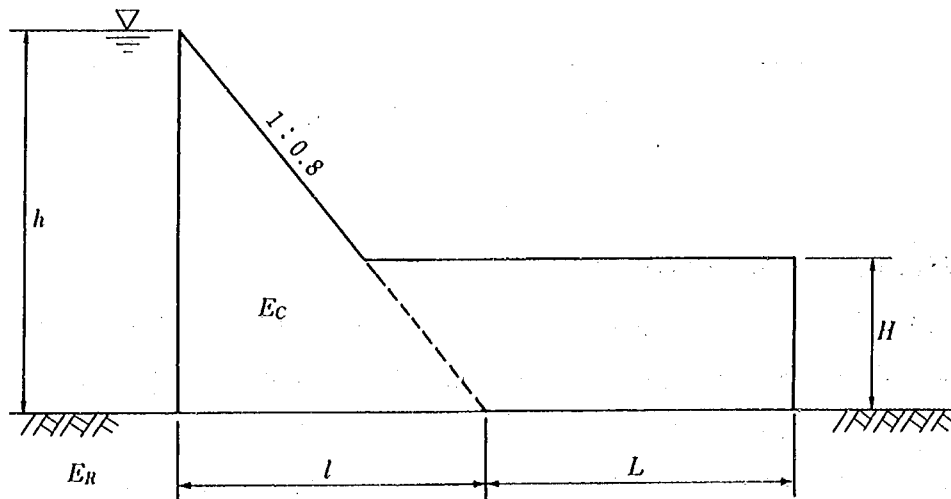


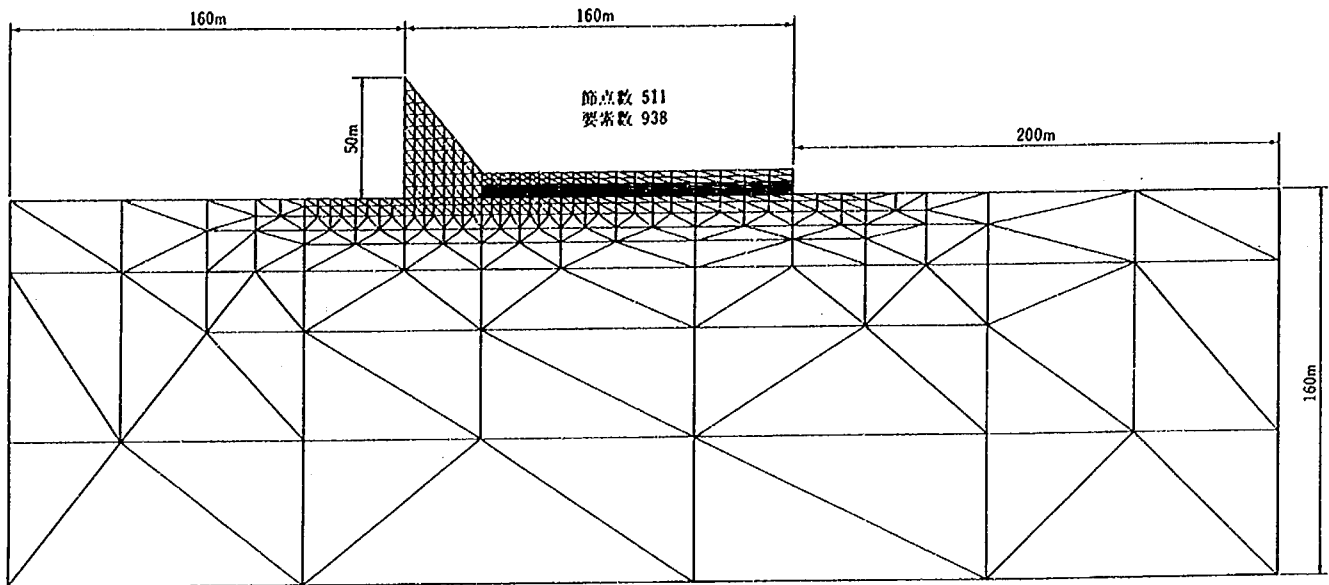
図-1 解析モデル

表-1 解析ケース

堤 高	h
基本三角形の底面長	ℓ
マットの長さ L	$0, 0.5, 1, 2, 3 \ell$
マットの厚さ H	$0.1, 0.2, 0.4 h$
コンクリートの弾性係数	E_c
岩盤の弾性係数 E_R	$0.025, 0.05, 0.1, 1.0 E_c$

表一 2 荷 重 条 件

静 水 圧	水深： h 水の単位体積重量： γ_w
堤 体 自 重	コンクリートの単位体積重量： $\gamma_c = 2.3 \gamma_w$
揚 圧 力	堤体上流端の揚圧力係数： $1/3$ 堤体下流端の揚圧力： 0 間隙水圧として考慮

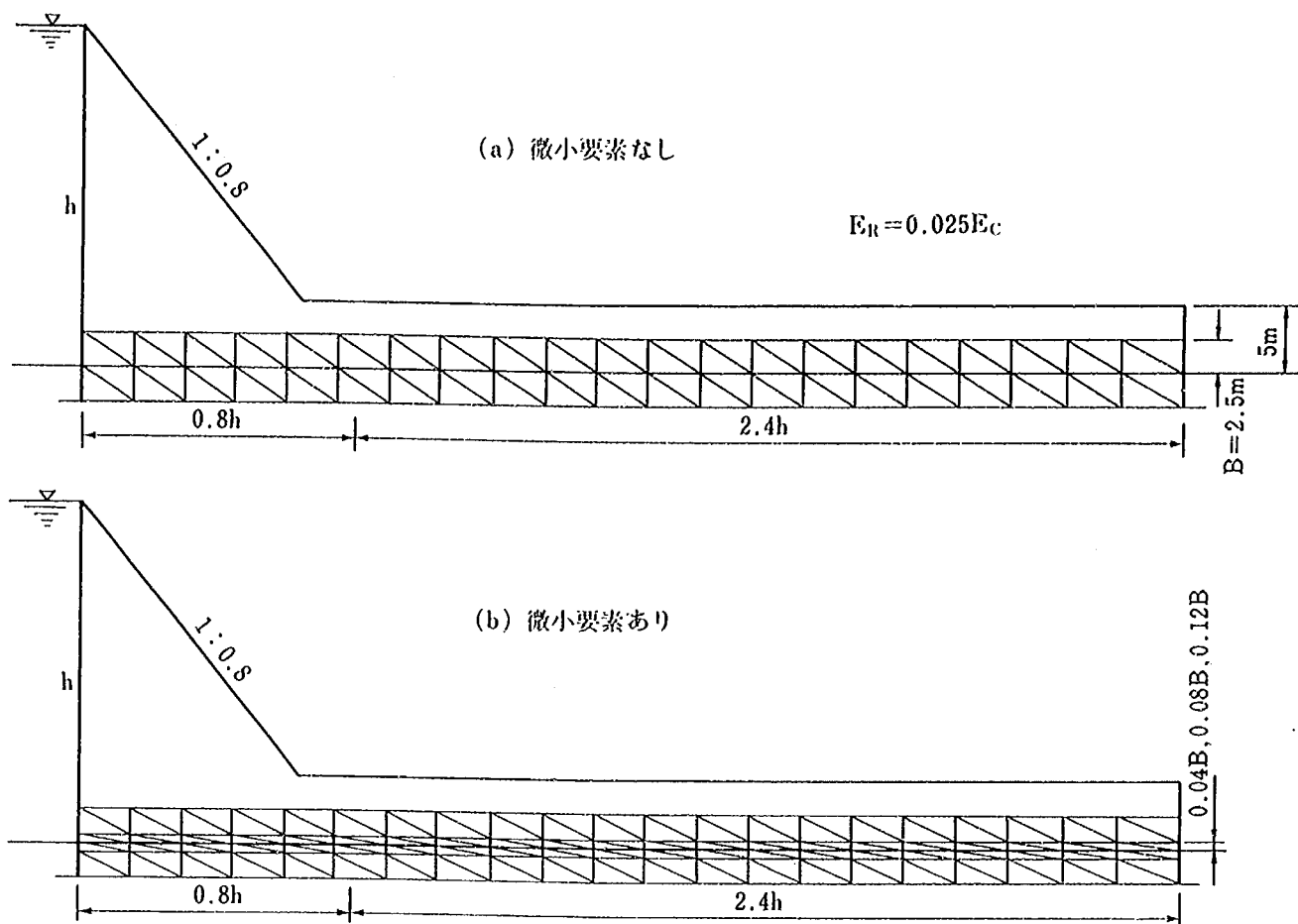


図一 2 要素分割の例

2.3 応力解析にあたっての予備的検討

マットの構造特性を正確に把握するためには、マットを含むダム堤体内の応力分布およびダム堤体と基礎岩盤内の接触部分付近の応力分布を精度よく解析する必要がある。このうち、ダム堤体と基礎岩盤の接触部においては、ダム堤体と基礎岩盤の弾性係数の違いから、主応力の大きさが不連続となり、ダム堤体と基礎岩盤の接触面における堤体側の応力と基礎岩盤側の応力をそれぞれ別々に評価する必要がある。そこで本解析では、ダム堤体と基礎岩盤の接触面付近に図一 3 に示すような薄い微小要素を挿入し、解析の便を図ることとした。しかしマットが必要となるような岩盤は、一般的に弾性係数が小さいことから、このような微小要素を用いた解析を行うと、解析の精度が低下することが考えられる。このため、このような微小要素を用いた場合、解析の精度にどのような影響が生じるかを事前に検討しておくこととした。

予備的検討の解析ケースとしては、図一 3 に示す堤高 h が 50 m でマットの長さ L が $2.4 h$ の場合とし、静水圧のみを作用させて解析を行った。また、微小要素の厚さは $0.04 B$ 、 $0.08 B$ 、 $0.12 B$ とした。ここに、 B はマット部における一般的な要素の厚さである。（図一 3 参照）。



図－3 着岩面沿いの微小要素分割の方法

図－4 に、堤体側の微小要素の堤体側の節点と岩盤側の微小要素の岩盤側の節点におけるせん断応力 τ の分布を示す。堤体側のせん断応力の分布、岩盤側のせん断応力の分布は、微小要素の厚さが $0.04B$, $0.08B$, $0.12B$ のいずれの場合もほとんど同様であり、応力の違いは現われていない。したがって、堤体と岩盤の接触部に微小要素を設けることは、特に問題がないと考えられる。なお、入力した水平方向外力（静水圧）の合計と計算値の合計を比較した結果、入力値に対して微小要素がない時が 73 % で、微小要素の厚さが $0.04B$, $0.08B$, $0.12B$ の時、各々 76 %, 88 %, 83 % であり、微小要素を用いた方が、解析精度が向上する結果となった。以上の予備的検討の結果、応力の分布状態および解析精度から判断して、本解析には着岩面沿いに $0.08B$ の微小要素を設けて行った。

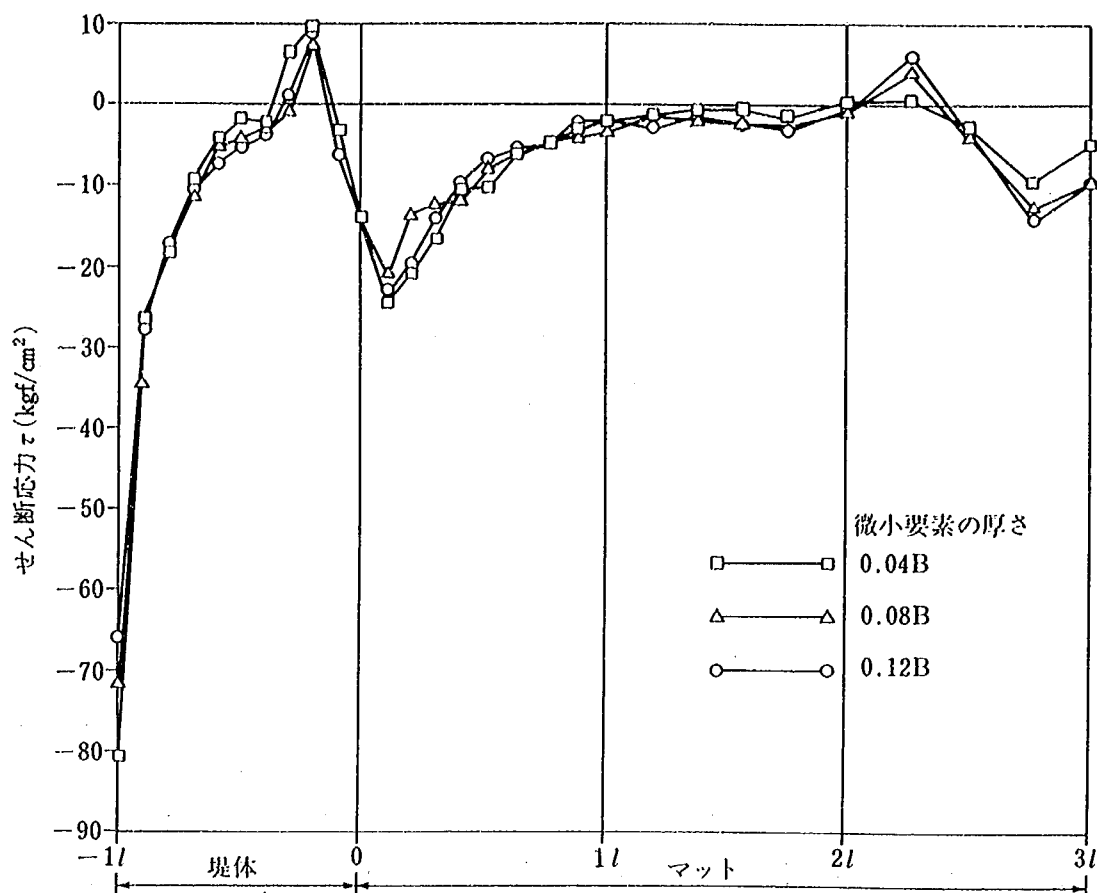


図-4(a) 着岩面沿いの計算せん断応力の分布（堤体側応力）

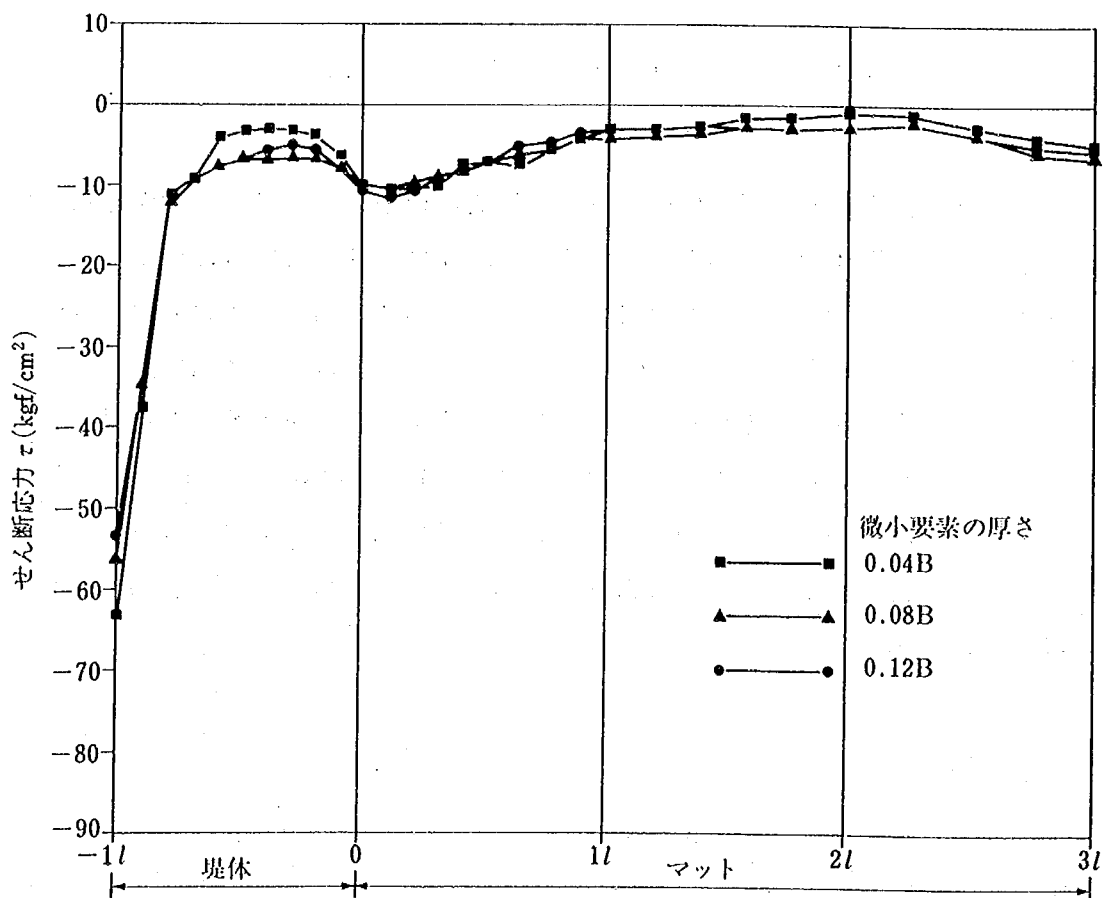


図-4(b) 着岩面沿いの計算せん断応力の分布（岩盤側応力）

3. 解析結果と考察

3.1 基礎岩盤の弾性係数が堤体から基礎岩盤へ伝達される応力分布に及ぼす影響

ここでは、まず、ダム堤体の形状と弾性係数を一定として、基礎岩盤の弾性係数を種々に変化させた場合に対して、堤体の基本三角形およびマットから基礎岩盤へ伝達される応力の分布について検討した。検討のケースは、基礎岩盤の弾性係数 E_R の大きさを $0.025 E_C$, $0.1 E_C$, $1.0 E_C$ とした場合とした。ここに、 E_C はダム堤体の弾性係数である。荷重条件は、マットによって水圧荷重がどのように伝達されるかをみるため、堤体上流面に作用する静水圧のみを考え、堤体自重は考慮していないものとした。

図一5に、基礎岩盤の弾性係数 E_R をパラメータとして、ダムの直下の岩盤における垂直応力 σ とせん断応力 τ の分布を示す。なお、ここでは応力を $\gamma_w h$ で除し、無次元化して表現してある。図より、基礎岩盤の弾性係数 E_R が小さいほど、基本三角形の下流端付近における応力集中の緩和とマット部への応力伝達が図られていることがわかる。この傾向は、マットの厚さと長さによらず同様に認められる。図一6はマットの長さ L が 1ℓ 、厚さ H が $0.1 h$ の場合について、基礎岩盤の弾性係数 E_R と基本三角形の下流端付近の最大垂直応力および最大せん断応力の関係を示したものである。この図からも弾性係数 E_R が小さい方が最大応力が小さくなっていることがわかる。次に、着岩面におけるせん断力の伝達状況をみるため、上流端から任意の点までの間に作用するせん断力の全せん断力に対する割合を図一7に示した。ここで、全せん断力 S は全水圧の大きさ $0.5 \gamma_w h^2$ に等しい値である。図より、基礎岩盤の弾性係数 E_R が小さいほどマットへのせん断力の伝達効果が現われていることがわかる。

以上、図一4から図一7の解析結果にみられるように、基礎岩盤の弾性係数 E_R が小さいほど基本三角形下流端部における応力集中が緩和され、またマットへの応力の伝達が効果的であることがわかる。

3.2 マットの長さが堤体から基礎岩盤へ伝達される応力の分布に及ぼす影響

次に、ダム堤体の弾性係数、基礎岩盤の弾性係数、マットの厚さを一定として、マットの長さ L を種々に変化させた場合に対して、堤体の基本三角形およびマットから基礎岩盤へ伝達される応力の分布について検討した。検討のケースは、マットを設けない場合、マットの長さを 0.5ℓ , 1ℓ , 2ℓ , 3ℓ とした場合とした。ここに、 ℓ は基本三角形の底面の長さである。荷重条件は3.1の場合と同様に、マットによって水圧荷重がどのように伝達されるのかをみるため、堤体上流面に作用する静水圧のみを考え、堤体自重は考慮しないものとした。

図一8は、マットの長さ L をパラメータとし、ダムの直下の岩盤における垂直応力 σ とせん断応力 τ の分布を示したものである。図より、わずかなマットを設けることによって基本三角形底面に作用するせん断応力が低下し、基本三角形下流端付近の応力集中が緩和されることがわかる。しかし、マットの長さ L を長くしても、その効果はあまり変化していない。

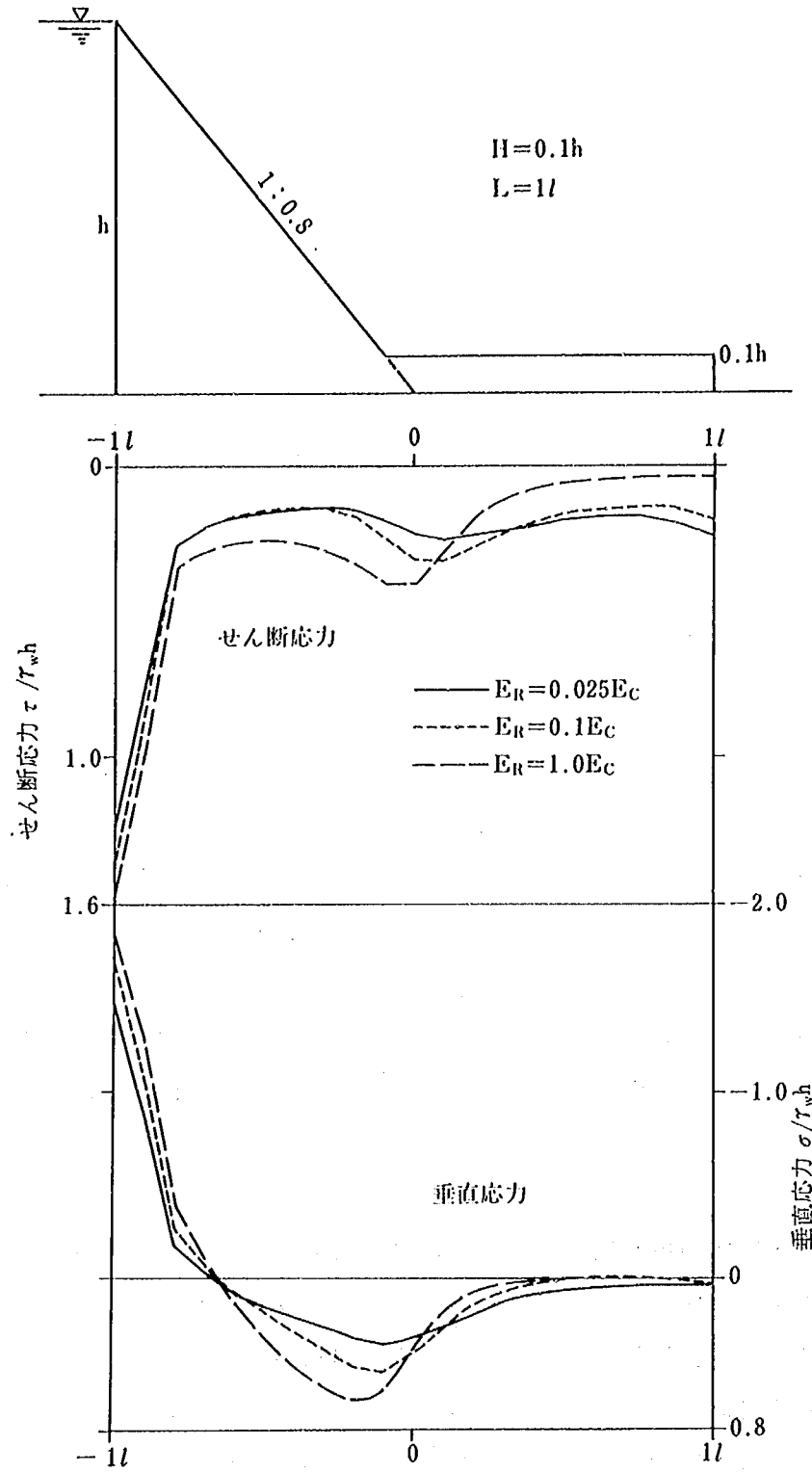
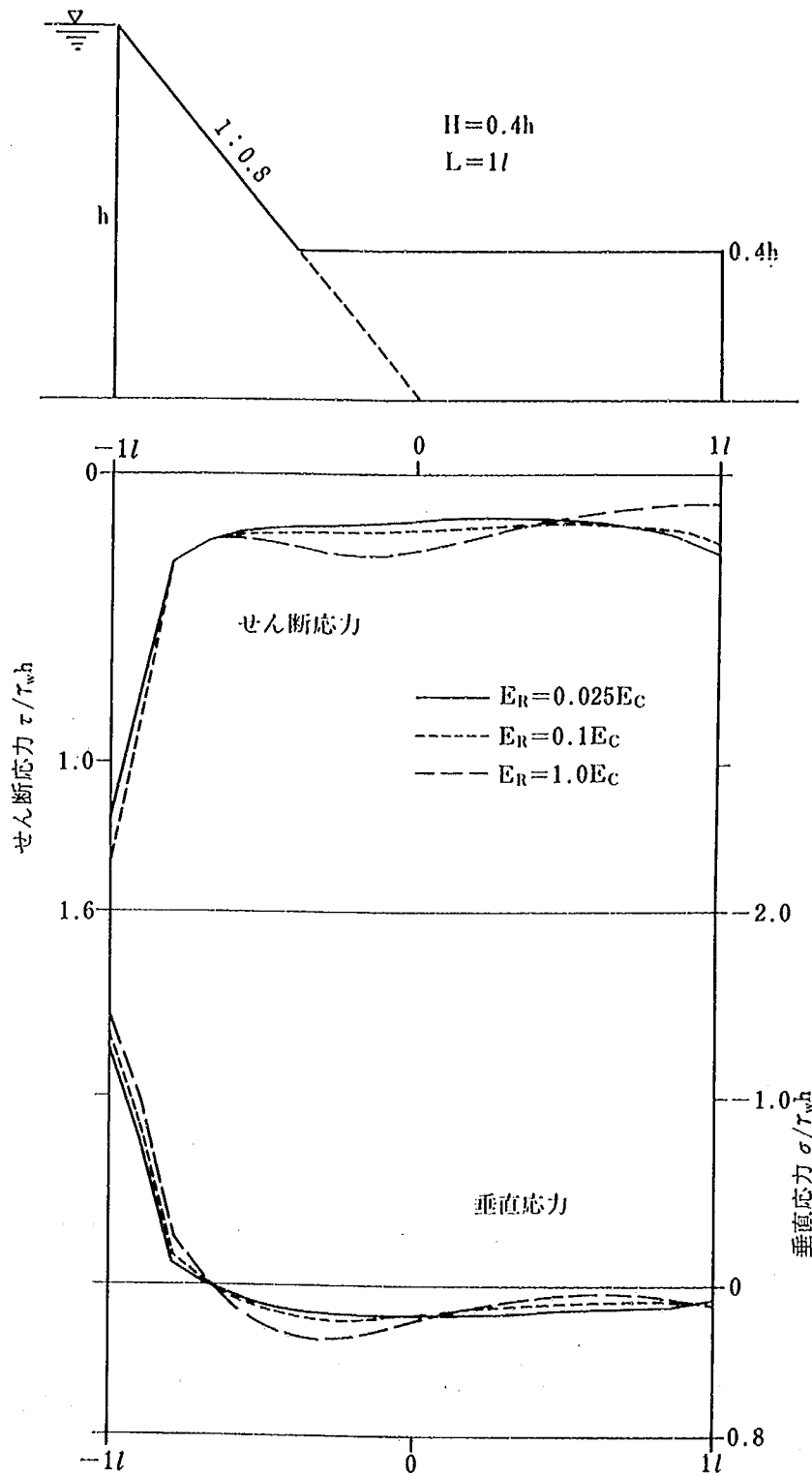


図-5(a) 基礎岩盤の弾性係数がダム直下の岩盤の
応力分布に及ぼす影響



図一 5(b) 基礎岩盤の弾性係数がダム直下の岩盤の
応力分布に及ぼす影響

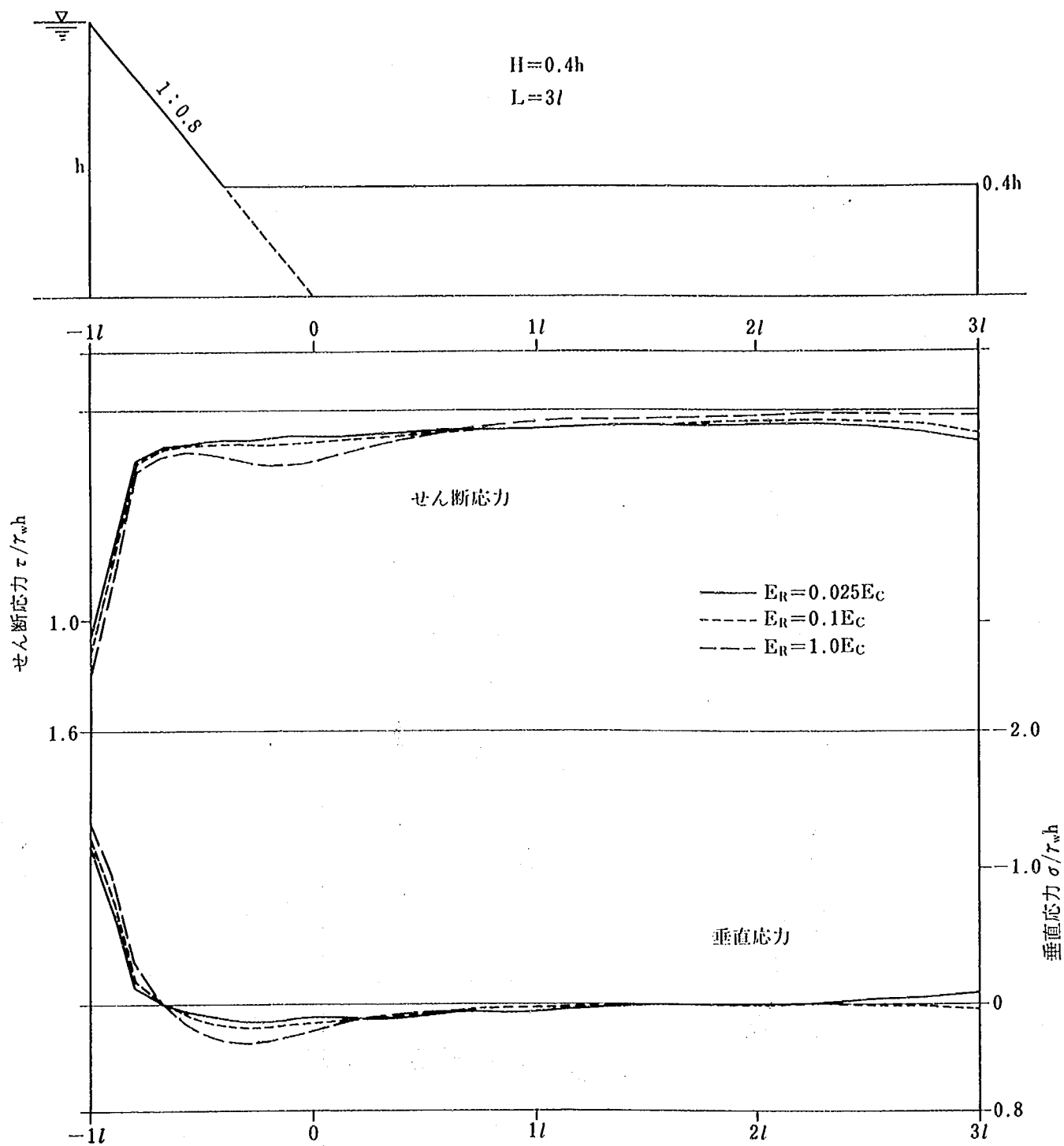
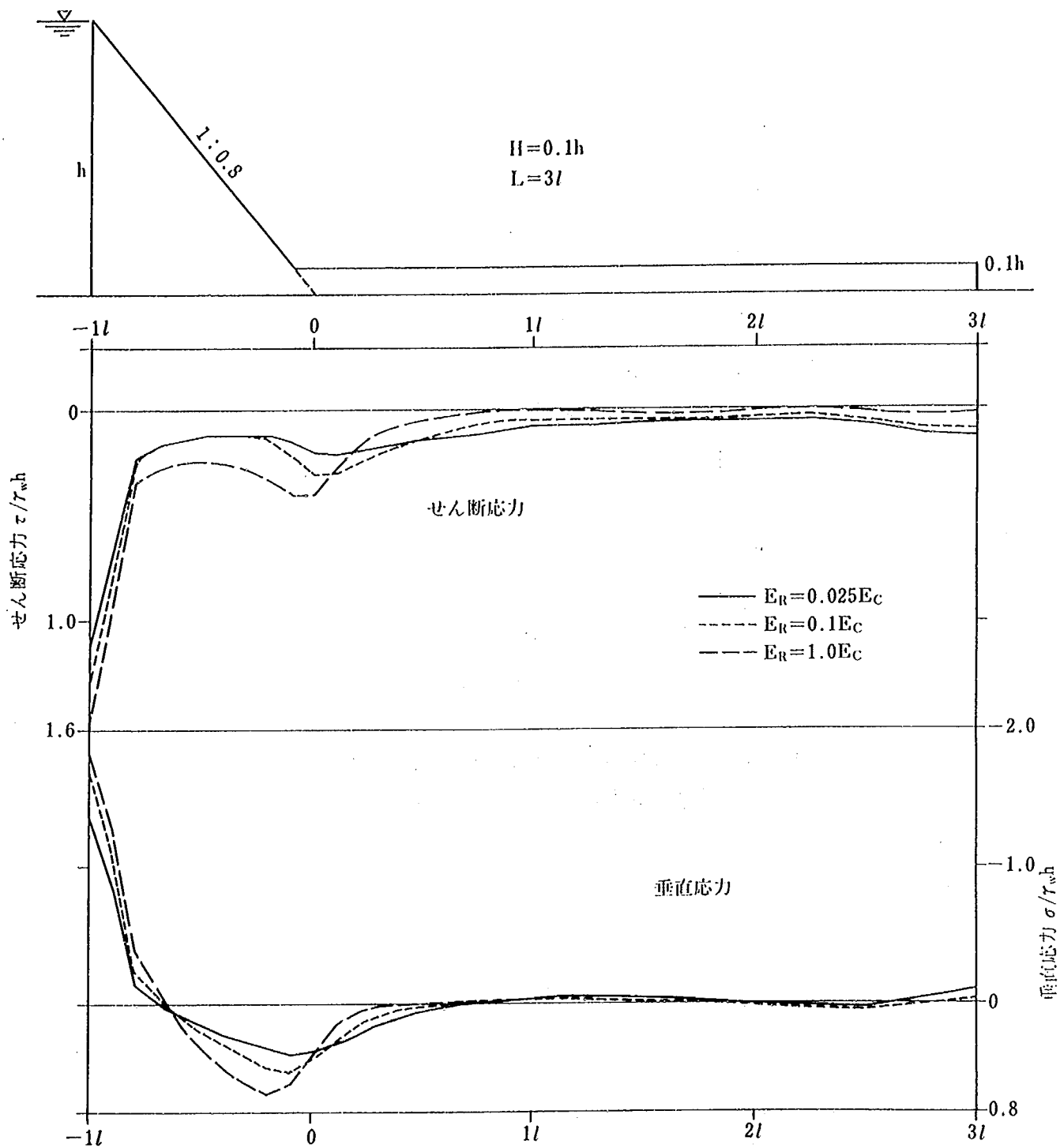
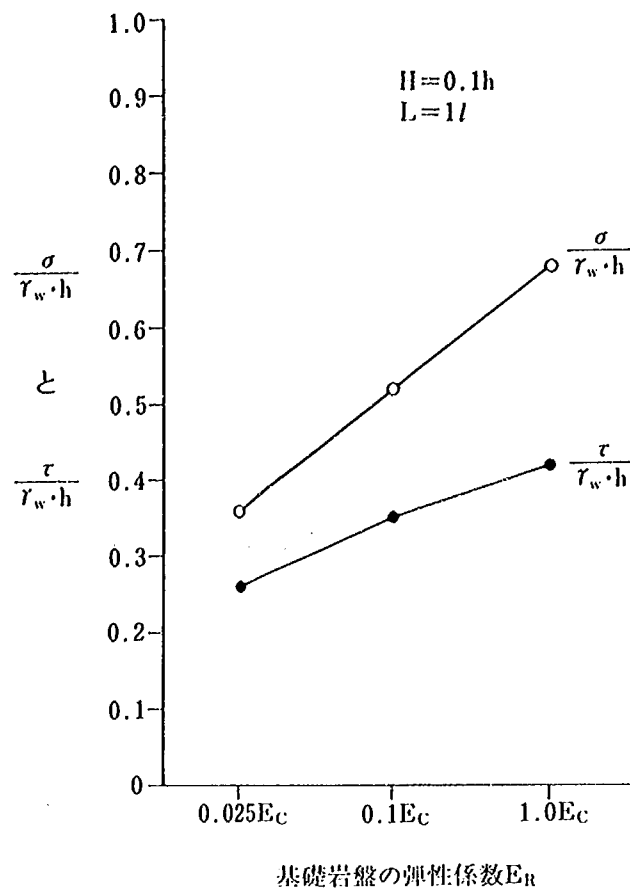


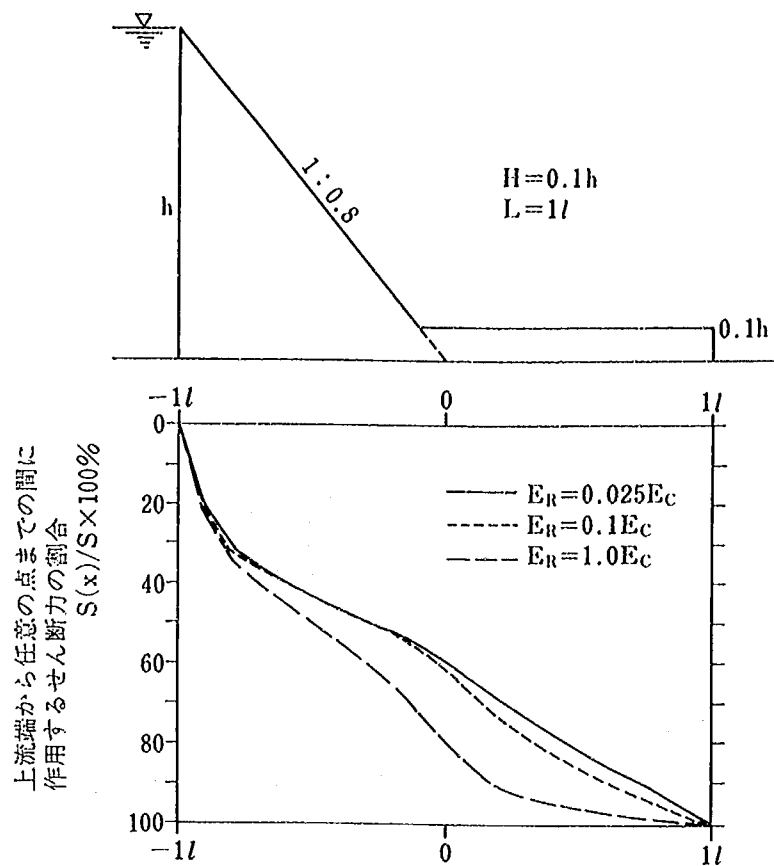
図-5(c) 基礎岩盤の弾性係数がダム直下の岩盤の応力分布に及ぼす影響



図一 5(d) 基礎岩盤の弾性係数がダム直下の岩盤の応力分布に及ぼす影響

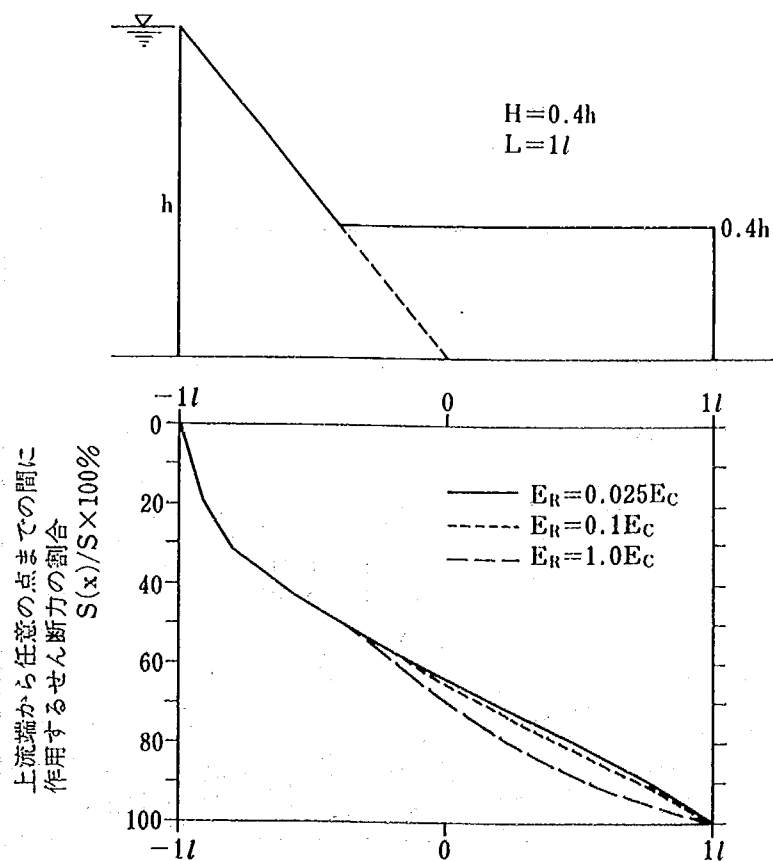


図一 6 基礎岩盤の弾性係数が基本三角形下流端付近の
 岩盤の最大応力に及ぼす影響



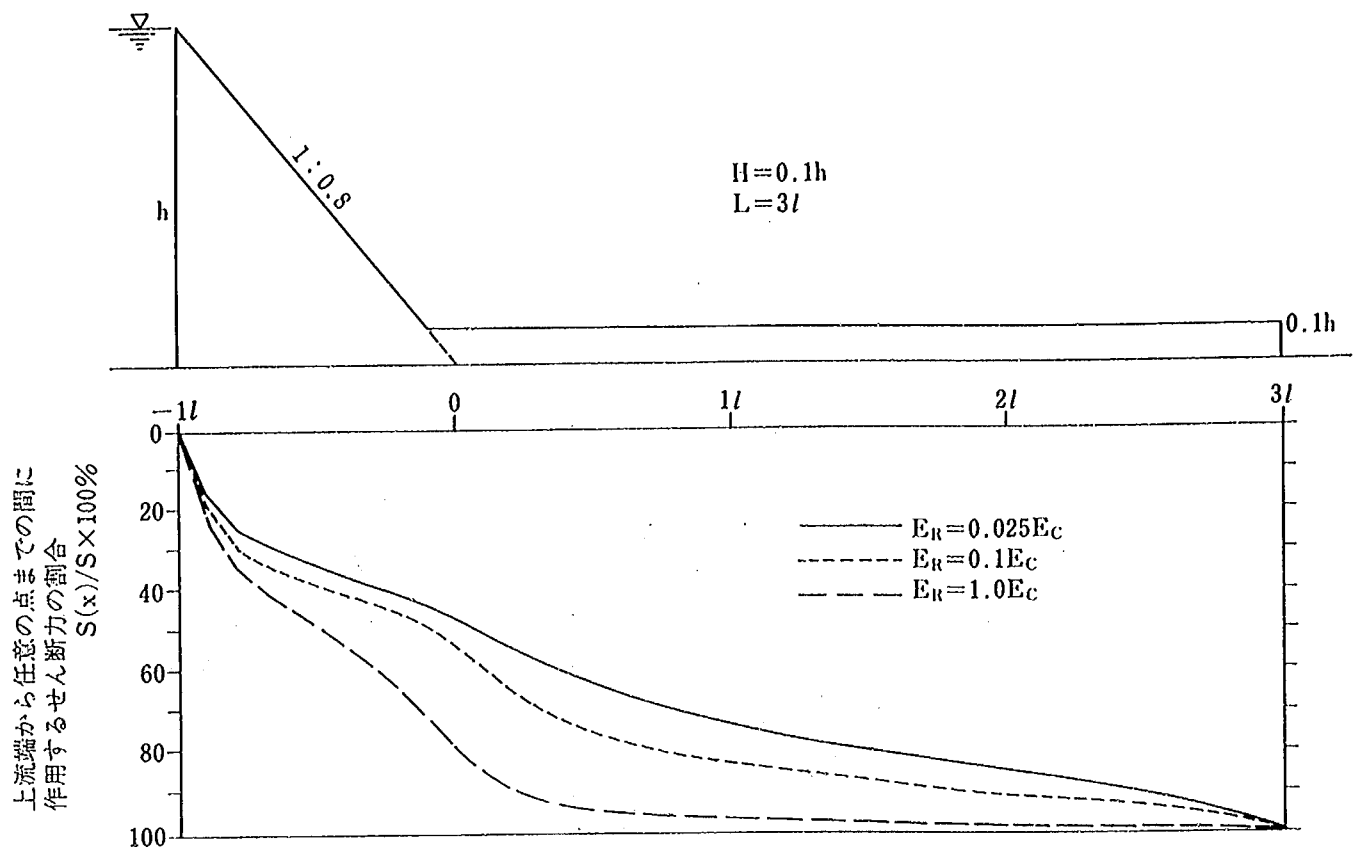
図一 7(a)

基礎岩盤の弾性係数と着岩面
におけるせん断力の伝達状況

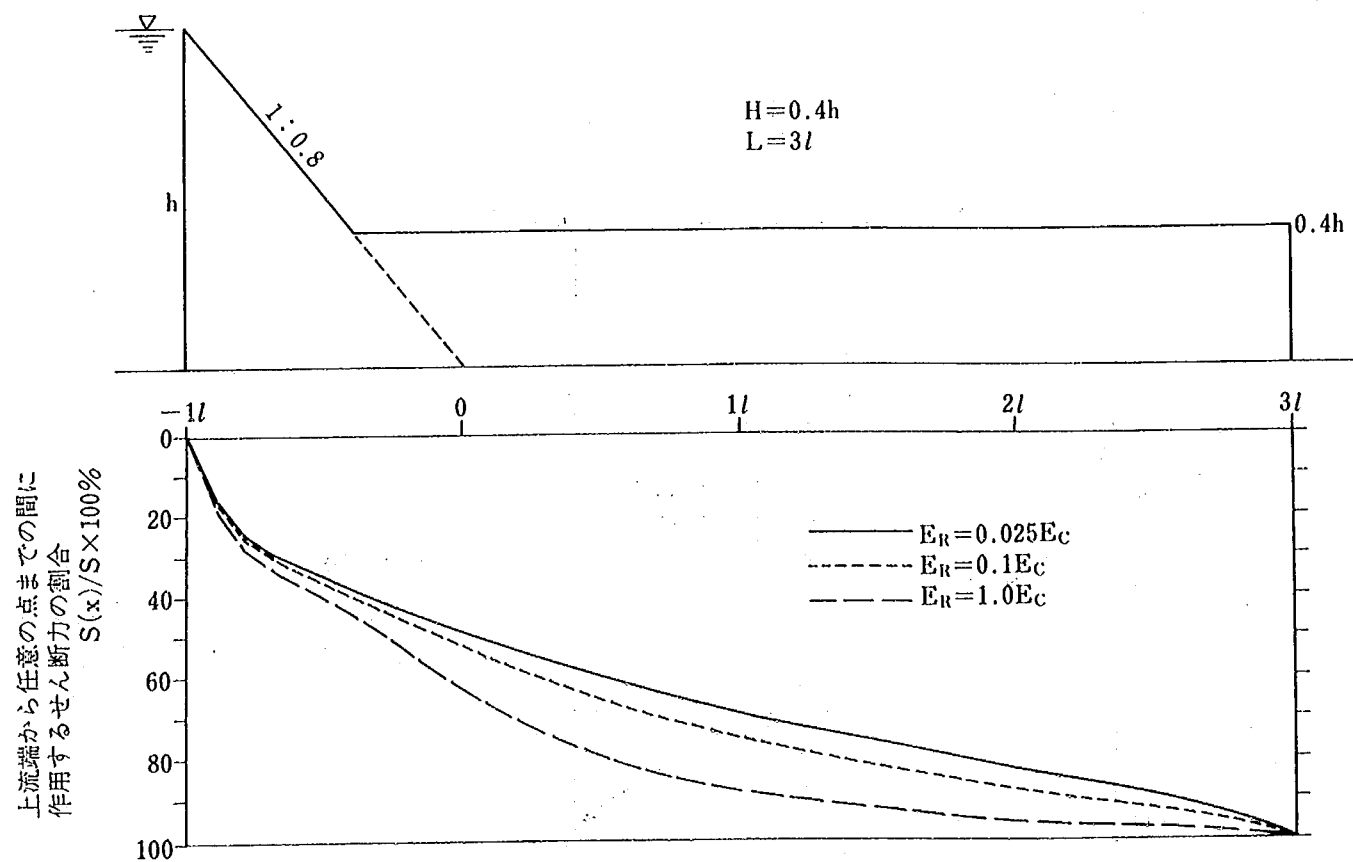


図一 7(b)

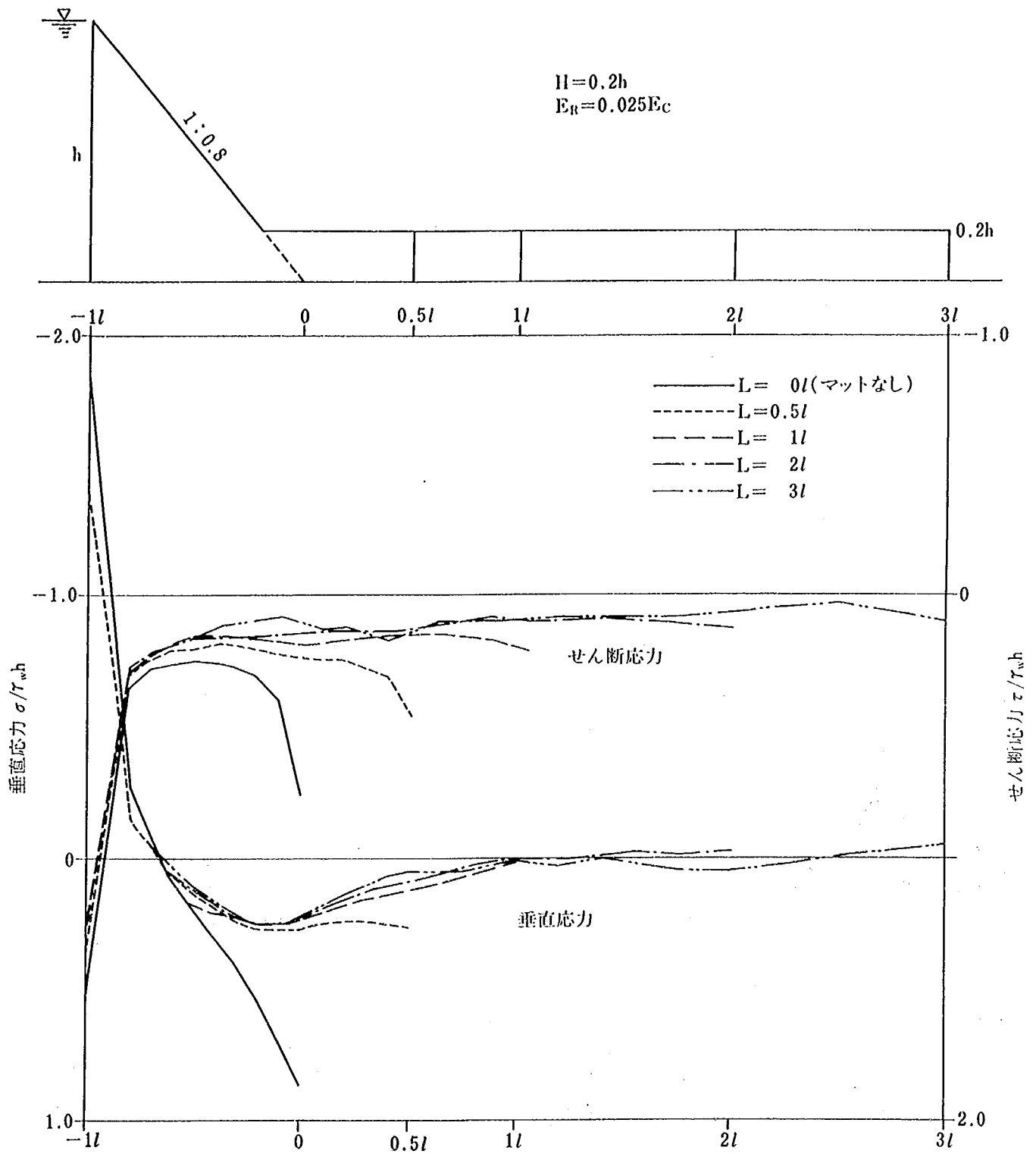
基礎岩盤の弾性係数と着岩面
におけるせん断力の伝達状況



図一 7(c) 基礎岩盤の弾性係数と着岩面におけるせん断力の伝達状況



図一 7(d) 基礎岩盤の弾性係数と着岩面におけるせん断力の伝達状況



図一 8 マットの長さがダムの直下の岩盤の応力分布に及ぼす影響

図-9は、マットの長さ L をパラメータとし、マットの長さに着岩面におけるせん断力の伝達状況についてみたものである。図-9からもわずかなマットを設けることによって基本三角形の底面に作用するせん断力は低下することがわかる。しかし、マットの長さ L を長くしても、基本三角形の底面に作用するせん断力の大きさはあまり変化しないことがわかる。この状況をさらにわかりやすく示すため、マットの底面で受けもつせん断力の全せん断力に対する割合をマットの長さ L をパラメータとして示したものが図-10である。図からマットに伝達されるせん断力の大きさは、岩盤の弾性係数 E_R を $0.025E_C$ と $0.1E_C$ としたいずれの場合も、マットの長さが 0.5ℓ 程度の範囲では概ねマットの長さに応じて増加していくが、マットの長さ L を 1ℓ 以上としてもその効果は極めて小さいことがわかる。

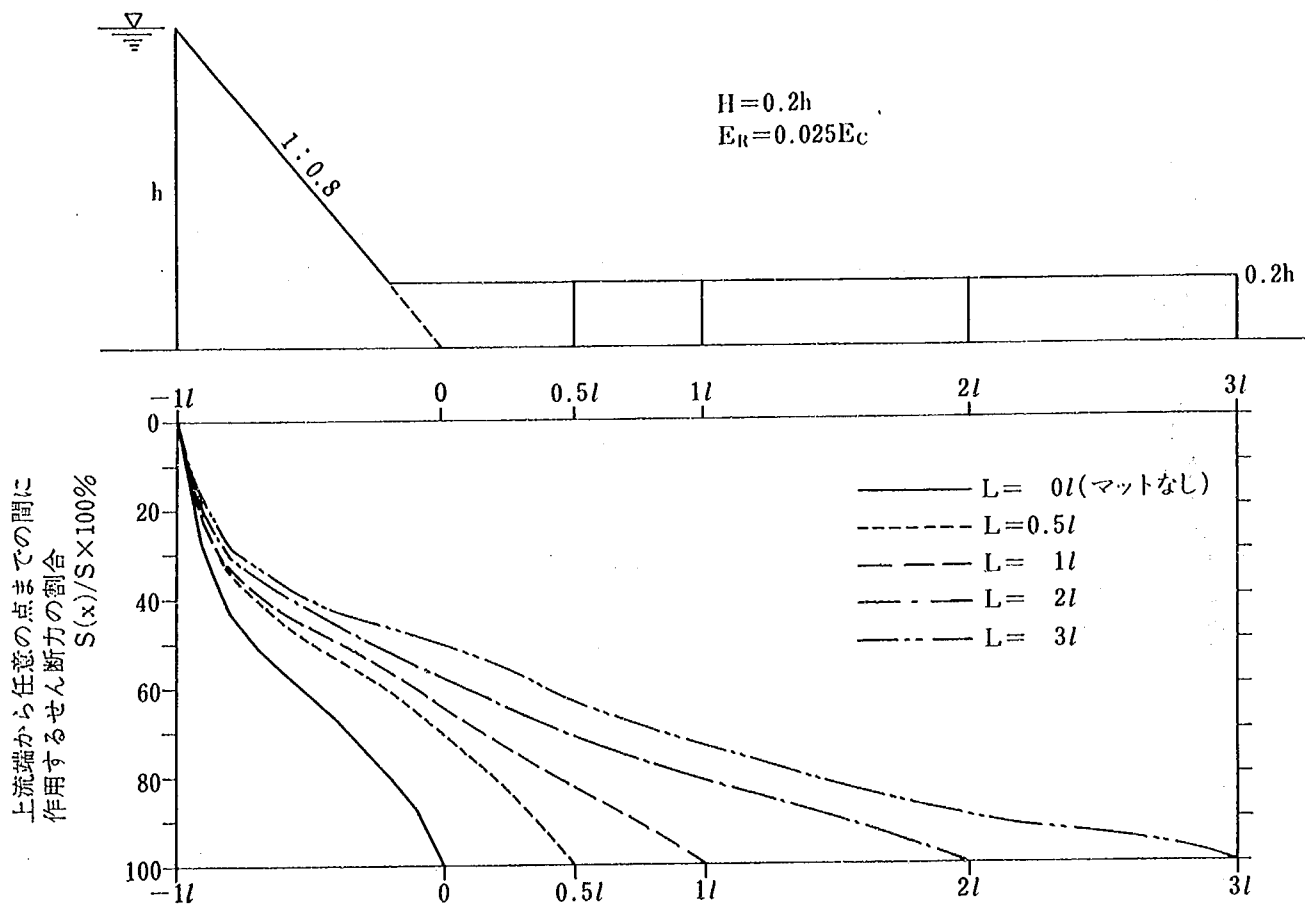
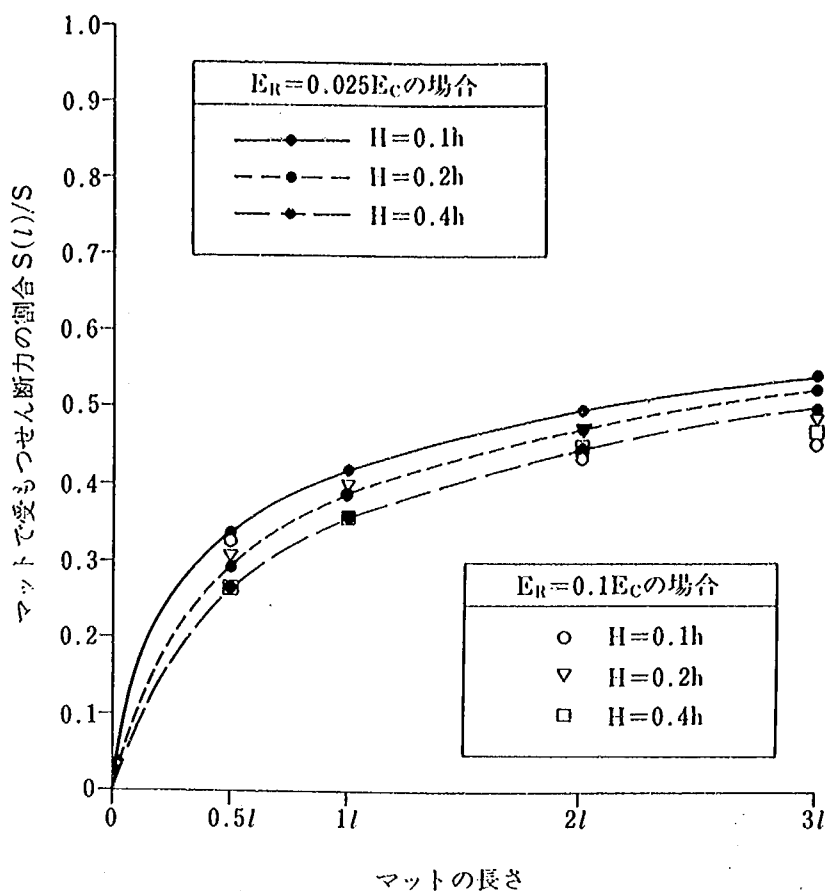


図-9 マットの長さに着岩面におけるせん断力の伝達状況



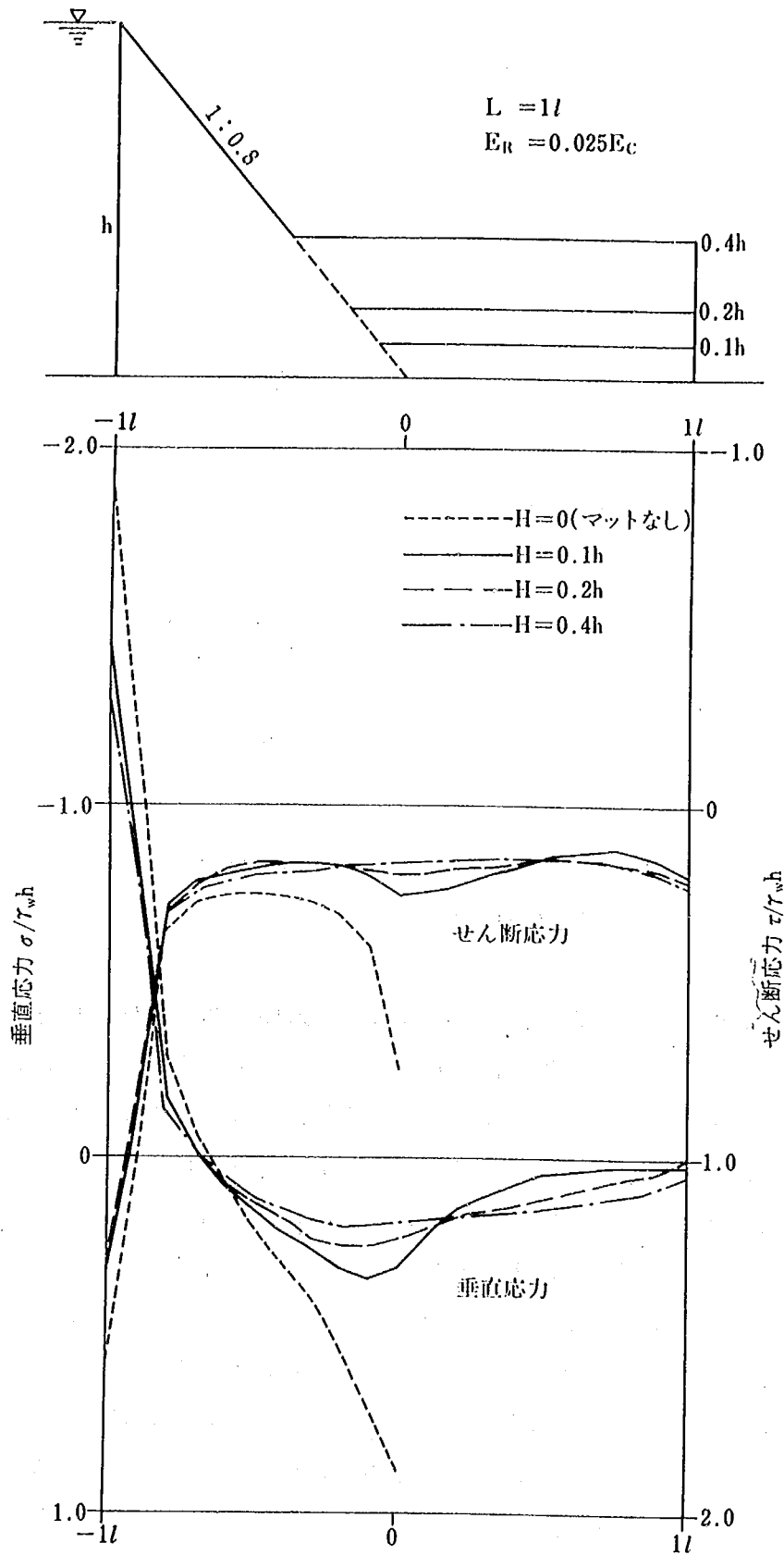
図一 10 マットの長さ と マットの底面に作用するせん断力の関係

3.3 マットの厚さが堤体から基礎岩盤へ伝達される応力の分布に及ぼす影響

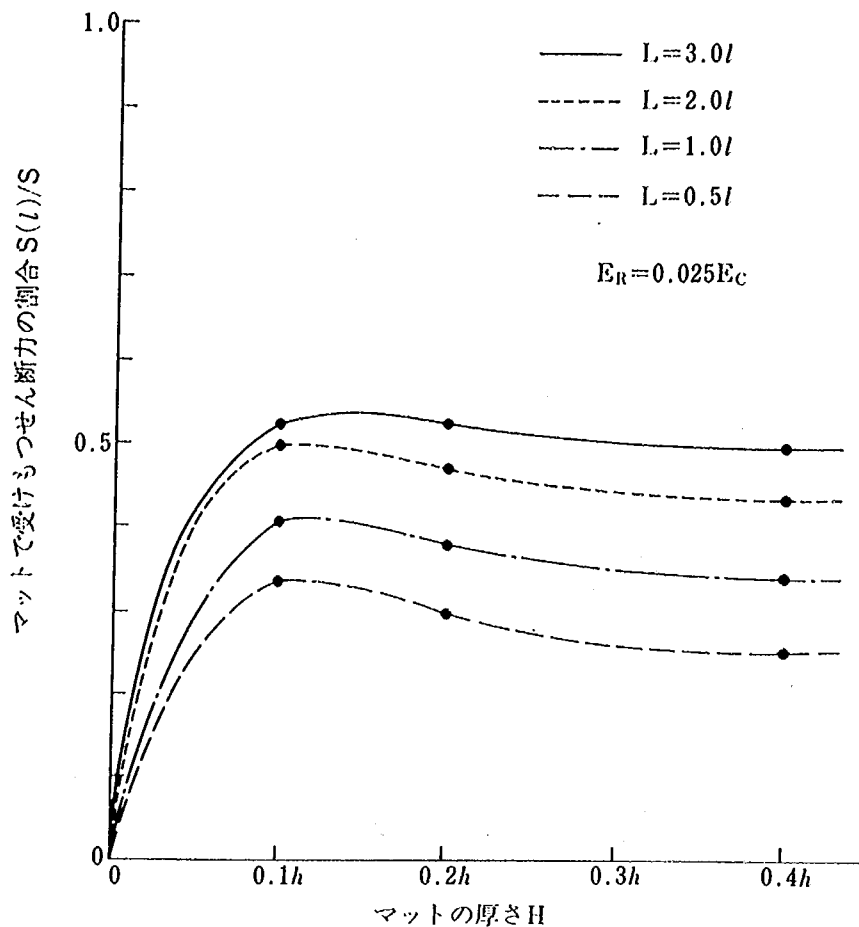
次に、ダム堤体の弾性係数、基礎岩盤の弾性係数、マットの長さを一定として、マットの厚さを種々に変化させた場合に対して、堤体の基本三角形およびマットから基礎岩盤へ伝達される応力の分布について検討した。検討のケースは、マットを設けない場合、マットの厚さ H を $0.1h$ 、 $0.2h$ 、 $0.4h$ とした場合とした。ここに、 h は堤高である。荷重条件は先の 3.1、3.2 の場合と同様に、マットによって水圧荷重がどのように伝達されるのかを見るために、堤体上流面に作用する静水圧のみを考え、堤体自重は考慮しないものとした。

図一 11 は、マットの厚さ H をパラメータとして、ダムの直下の岩盤における垂直応力 σ とせん断応力 τ の分布を示したものである。図より、基本三角形の下流端付近の応力集中は、マットを設けることによって低下しており、マットの厚さ H が大きいほどその効果が大きいことがわかる。

図一 12 は、マットの厚さ H をパラメータとして、マットの底面で受けもつせん断力の全せん断力に対する割合を示したものである。ここで、マットの効果をマットに伝達されるせん断力の大きさとすれば、マットの厚さ H が $0.1h$ の時に他に比較して大きな効果が現われている。ただし、図一 11 をみると、マットの厚さ H が $0.1h$ の時にみられる効果は、マットの厚さが十分に



図一 11: マットの厚さがダムの直下の岩盤の応力分布に及ぼす影響



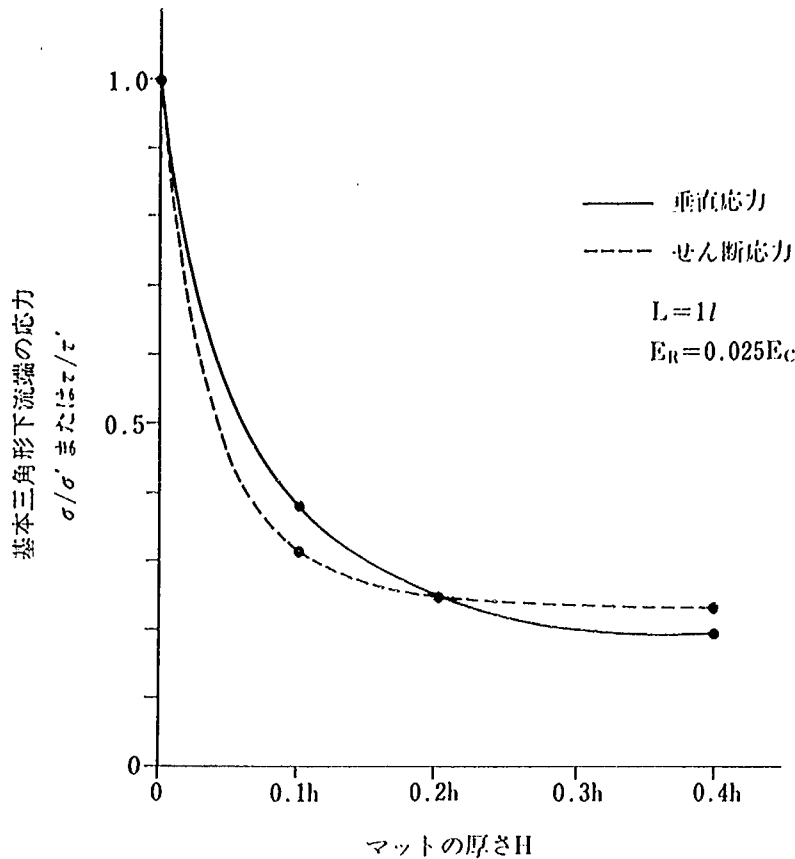
図一 12 マットの厚さとマットの底面に作用するせん断力の関係

ないことによって基本三角形下流端付近に生じる応力集中によるものであることがわかり、この場合、マットへのせん断力の伝達が実質的に最も大きくなっているとはいいがたい。なお、マットへのせん断力の伝達を考える限り、マットの厚さ H を $0.1h$ 以上としてもその効果はほとんど変わらないといえる。

図一 13 は、マットの厚さ H が基本三角形の下流端の応力集中に及ぼす影響を、マットがない場合（基本三角形断面）の下流端応力（直応力 σ' とせん断力応力 τ' ）との比で示したものである。マットの厚さ H を厚くすることによって下流端の応力集中の緩和が図られているが、マットの厚さ H を $0.1h$ 程度以上に厚くしてもその効果はそれほど大きくないことがわかる。

3.4 マットの長さでせん断摩擦安全率、局所せん断摩擦安全率

コンクリートダムがせん断力による滑動に対して安全であるためには、せん断摩擦安全率が所要の値を有することが必要であるが、このせん断摩擦安全率の不足を補うためにフィレットやマットを設ける場合には、単に所要のせん断摩擦安全率を確保するだけでなく、堤体の底面沿いの局所せん断摩擦安全率の分布についてもあわせて検討し、局所せん断摩擦安全率をできる限り大きく設計することが望ましい。したがって、マットの形状は局所せん断摩擦安全率 n_s の分布も考慮して決定しなければならないといえる。



図一 13 マットの厚さが基本三角形の下流端の応力に及ぼす影響

図一 14 は、マットの厚さ H を $0.1h$ と $0.2h$ とし、マットの長さ L を 0 、 0.5ℓ 、 1ℓ 、 2ℓ とした場合において（ここに h は堤高、 ℓ は基本三角形の底面の長さである）、ダム堤体直下の岩盤における垂直応力 σ 、せん断応力 τ の分布と、せん断摩擦安全率 $N_s = 4$ を確保するのに必要なせん断強度に対してその時の局所せん断摩擦安全率の分布を示したものである。なお、ここでは荷重として堤体上流面に作用する静水圧、堤体自重、間隙水圧として作用する揚圧力を考慮した。また、岩盤の内部摩擦係数は $f = 0.5774$ として解析している。図より、局所せん断摩擦安全率が最も問題となるのは、基本三角形断面ではその下流端、マットの厚さ H が $0.1h$ の場合にはマットの長さ L が 0.5ℓ ではマットの先端部、 1ℓ と 2ℓ では基本三角形下流端付近のマット部、マットの厚さ H が $0.2h$ の場合はいずれもマットの先端部となっている。これは、基本三角形の下流端およびマットの先端における応力の集中によるものである。

次に図一 15 は、せん断応力 τ と垂直応力 σ の分布から局所せん断摩擦安全率 $n_s = 2$ またはせん断摩擦安全率 $N_s = 4$ を得るために必要な基礎岩盤のせん断強度 τ_0 の分布について示したものである。

なお、各々の必要せん断強度 τ_0 の大きさは、前述の(1)、(2)式より次式によって求められる。

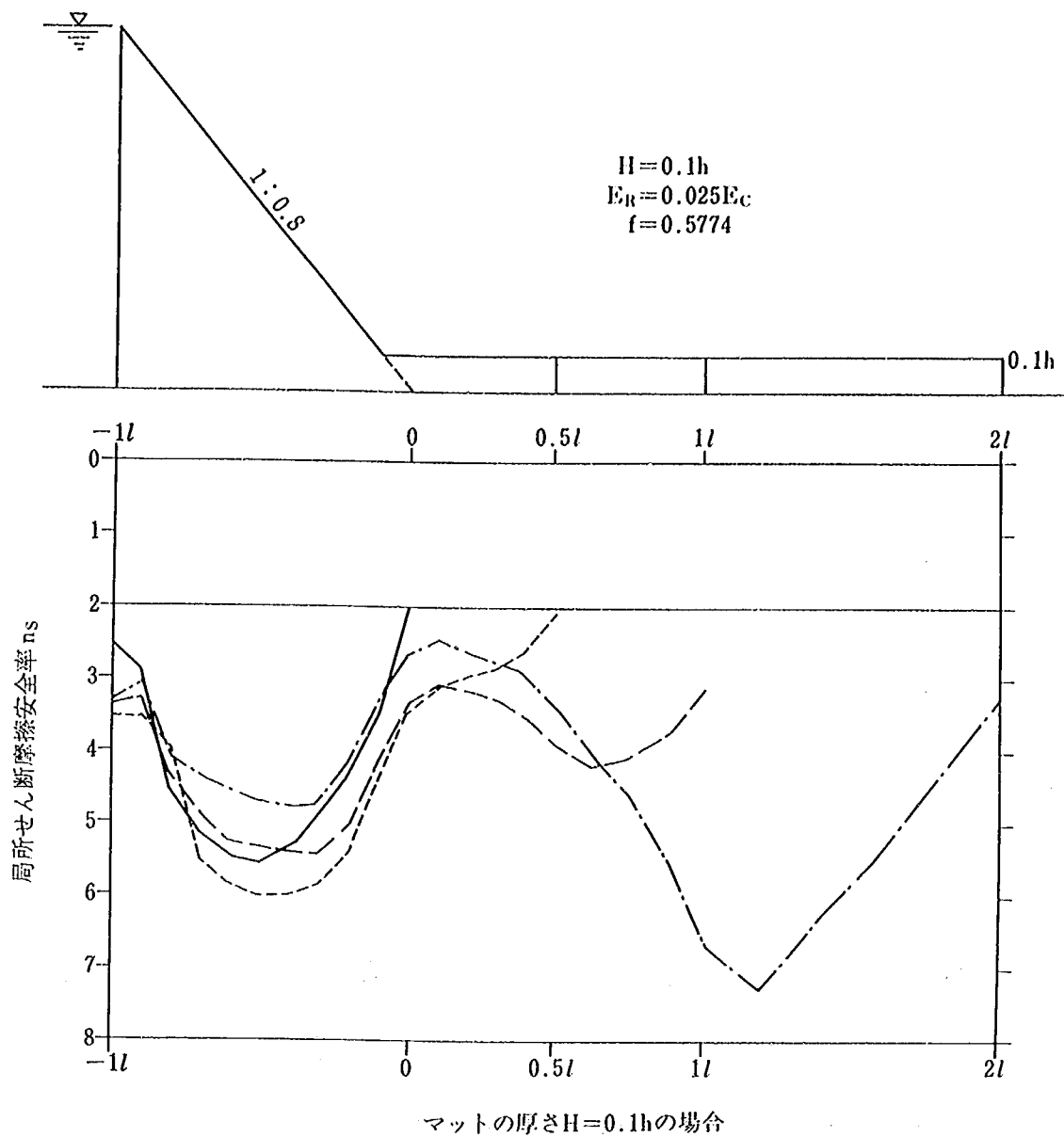


図-14(a) マットの長さで局所せん断摩擦安全率の分布

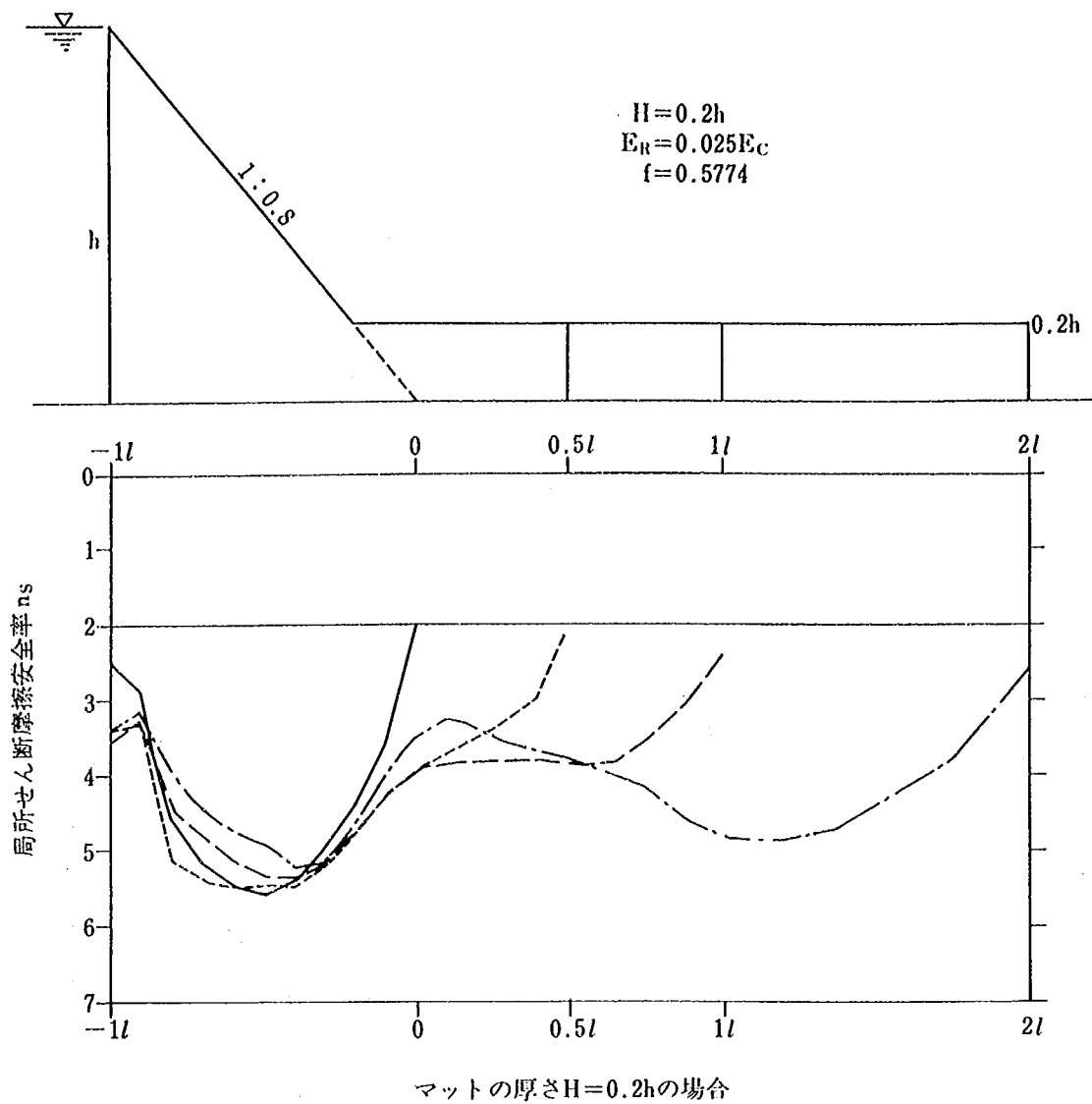
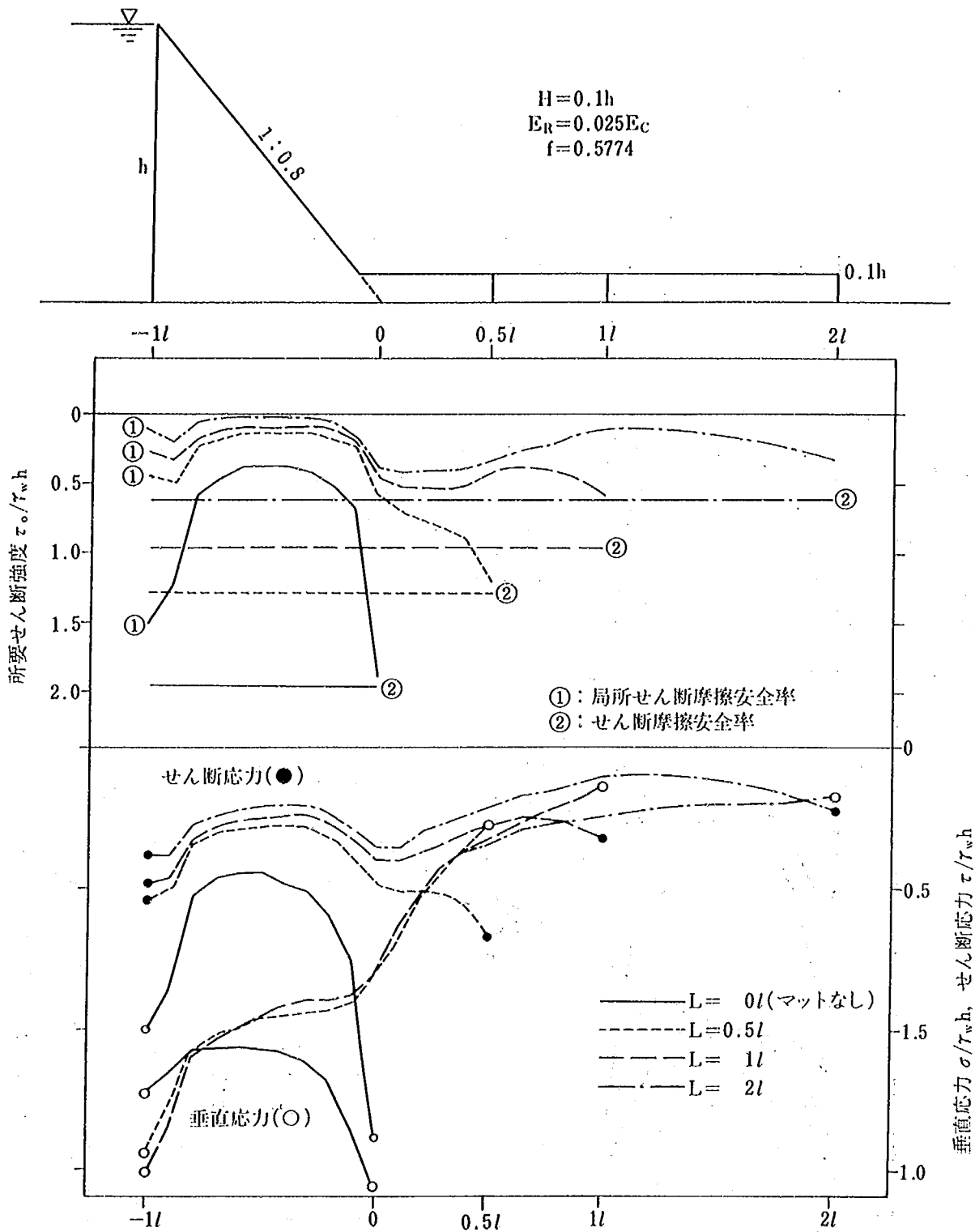
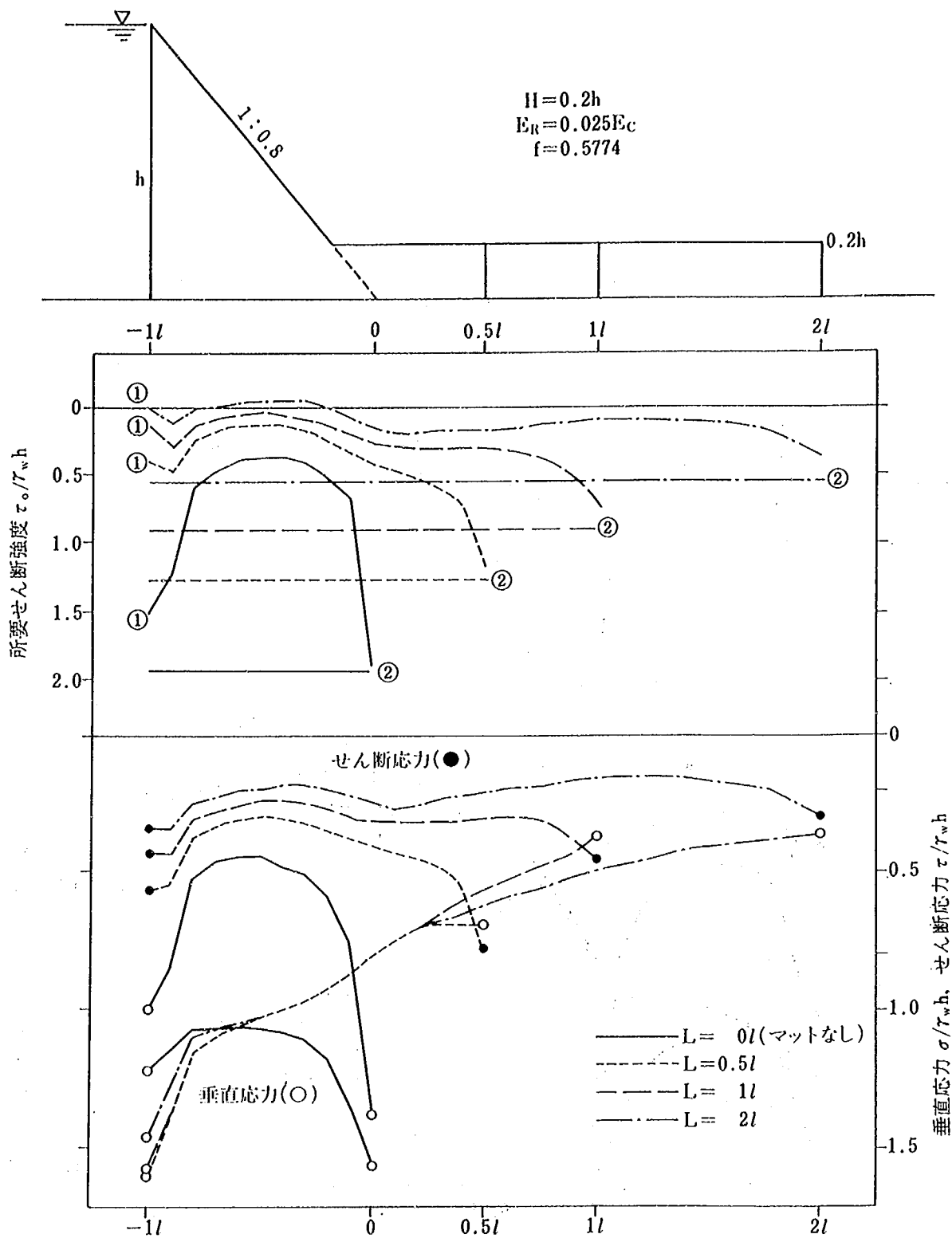


図-14(b) マットの長さで局所せん断摩擦安全率の分布



マットの厚さ $H=0.1h$ の場合

図-16(a) マットの長さと所要せん断強度との関係



マットの厚さ $H=0.2h$ の場合

図-15(b) マットの長さ と 所要せん断強度 と の 関係

① 局所せん断摩擦安全率 ($n_s = 2$) を得るために必要なせん断強度

$$\tau_0 = n_s \tau - f (\sigma - u) \quad \dots\dots\dots (3)$$

② せん断摩擦安全率 ($N_s = 4$) を得るために必要なせん断強度

$$\tau_0 = \frac{N_s H - f (V - U)}{\ell} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに, f : せん断面における内部摩擦係数

u : 間隙水圧

V, H : 単位幅あたりのせん断面に作用する垂直力, せん断力

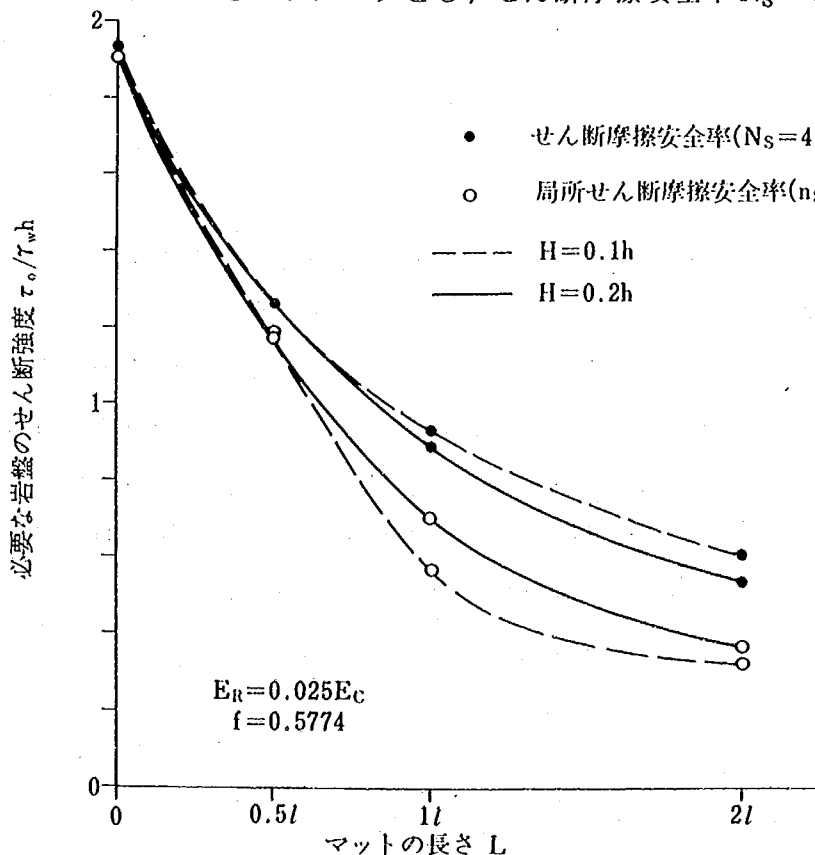
U : 間隙水圧の合力

ℓ : せん断面の長さ

である。なお、図中のせん断強度は $\tau_w h$ で除して無次元化して表現している。

図一15より、明らかなように、式(4)で求まるせん断摩擦安全率4を確保するための基礎岩盤の所要せん断強度は、マットを設けることによって大きく低下している。また、式(3)で求まる局所せん断摩擦安全率2を確保するための所要せん断強度もマットを設けることによって大きく低下している。特に、この傾向は基本三角形の直下の岩盤において著しいことがわかる。なお、基本三角形の下流端付近およびマットの先端部では、応力集中によって他の部分よりも大きなせん断強度が必要になっていることがわかる。

図一16は、マットの長さ L をパラメータとし、せん断摩擦安全率 $N_s = 4$ とマットの先端部の



図一16 マットの長さ と 所定のせん断摩擦安全率を満すに必要な岩盤のせん断強度

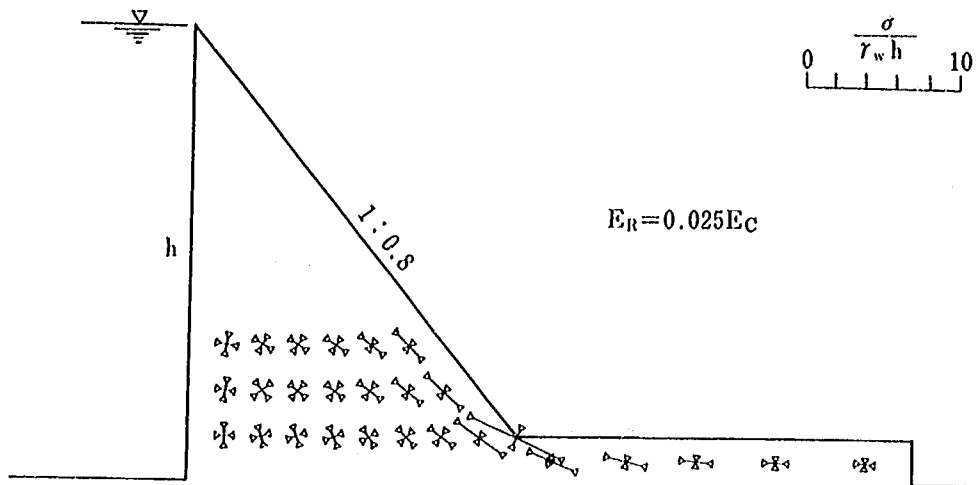
局所せん断摩擦安全率 $n_s = 2$ を確保するために必要な岩盤のせん断強度の関係を、内部摩擦係数 $f = 0.5774$ としてマットの厚さ H が $0.1h$ と $0.2h$ の場合について示したものである。図より、マットの長さが短い場合には、せん断摩擦安全率 $N_s = 4$ とマットの先端部の局所せん断摩擦安全率 $n_s = 2$ とはよい対応関係を示しているといえる。しかし、マットの長さが長い場合には、マットの先端部において局所せん断摩擦安全率 $n_s = 2$ を得るために必要なせん断強度はせん断摩擦安全率 $N_s = 4$ を得るために必要なせん断強度よりも小さくなっており、また、この傾向はマットの厚さが薄い方が顕著になっている。このような結果は、3.2 と 3.3 で述べたようにマットの長さ L が長い場合やマットの厚さ H が薄い場合には、マットの先端まで荷重が十分に伝達されず、その結果マットの基礎岩盤に対して要求されるせん断強度が小さくなったものと考えられる。したがって、マットの設計においては、単に局所せん断摩擦安全率 n_s の分布を評価するだけでは不十分であり、マットへの荷重の伝達状況についても合わせて評価する必要があるといえる。

3.5 堤体応力

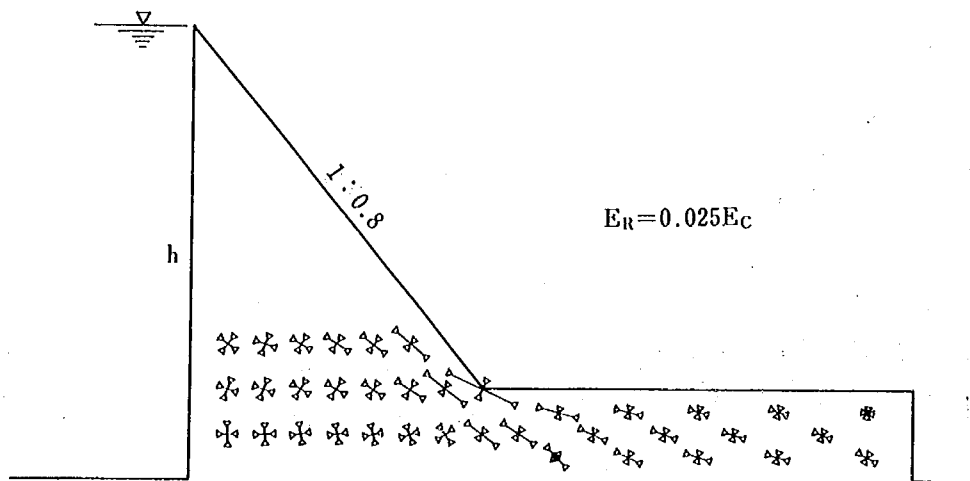
重力式コンクリートダムでは、一般に堤体応力が問題となることはないが、マットを設ける場合においてもこの点についての確認が必要である。

図一17に、マットを設けた場合の堤体内の主応力図を示す。最大圧縮応力は、基本三角形断面の下流堤趾付近に発生しているが、マットがない場合と比較して問題となるほどの大きさではない。また、マットを設けることによって基本三角形の下流堤趾部の圧縮応力が、マット部に伝達されることがわかる。また、基本三角形の堤趾部付近の最大圧縮応力はマットの厚さ H が厚いほど小さくなっている。しかし、マットの長さ L を長くしてもその応力状態はほとんど変化していないことがわかる。

図一18に、マットを設けた場合の堤体内に生じる第二主応力（引張側の主応力）のコンターを示す。基本三角形の下流端にマットを設けることによって、基本三角形の下流端底面とマットの底面にかかなり大きな引張応力が発生することがわかる。この引張応力の発生は、基本三角形下流端付近に伝達される荷重によって、基本三角形とマットの接合部付近に曲げ変形が生じることによって起因している。このため、引張応力を減じるには、マットの厚さ H を厚くして、その曲げ剛性を高めることが必要である。図一18に示したように、マットの厚さ H が $0.1h$ の時に比較して $0.2h$ とした場合の方が引張応力の発生が小さくなっている。

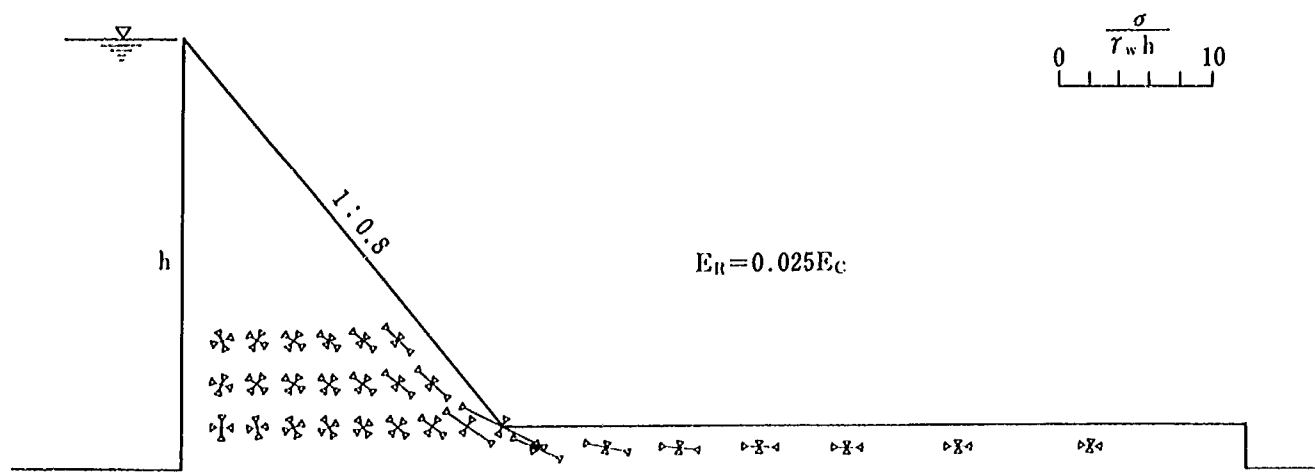


マットの厚さ $H = 0.1 h$, 長さ $L = 1 \ell$ の場合

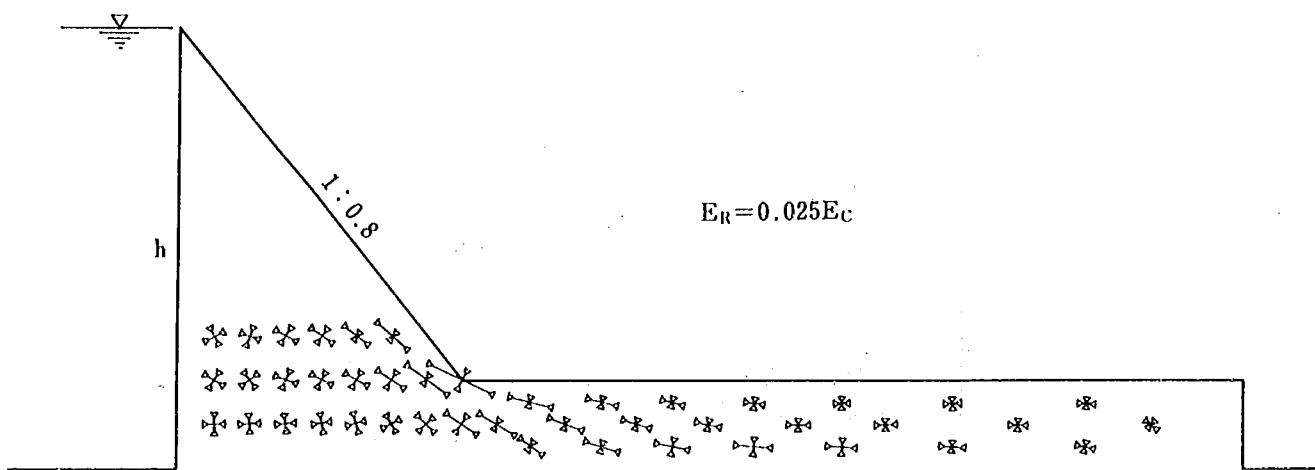


マットの厚さ $H = 0.2 h$; 長さ $L = 1 \ell$ の場合

図-17 (a) 堤体内部の主応力の大きさ



マットの厚さ $H = 0.1 h$, 長さ $L = 2 \ell$ の場合



マットの厚さ $H = 0.2 h$, 長さ $L = 2 \ell$ の場合

図-17(b) 堤体内部の主応力の大きさ

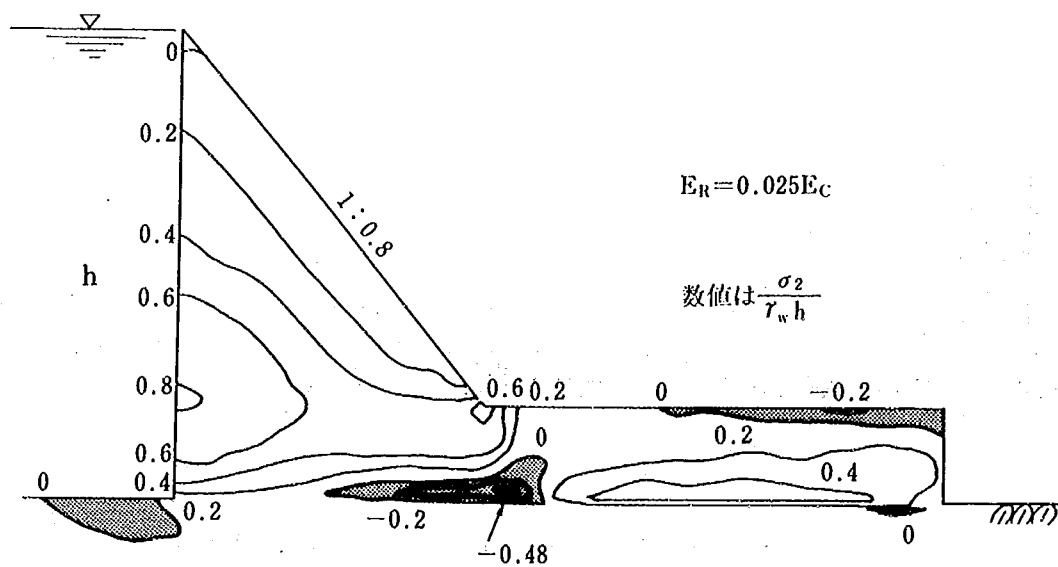
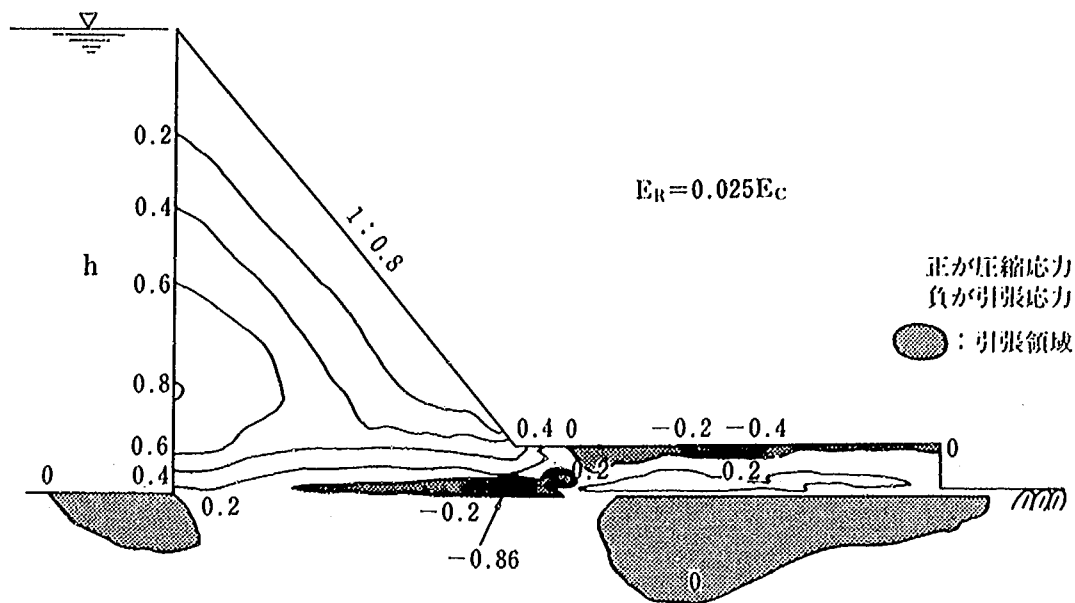
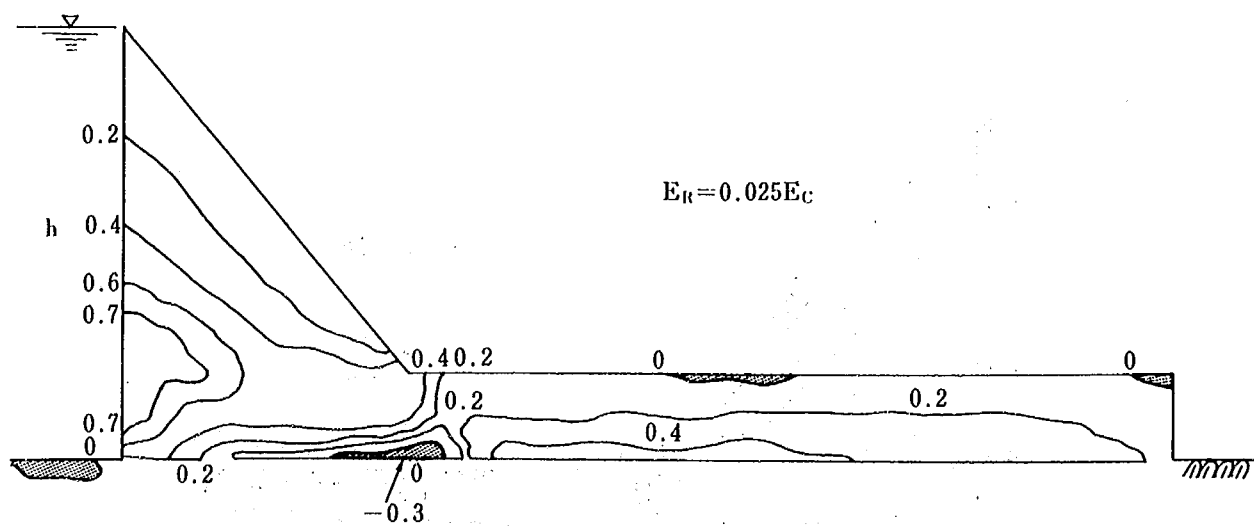
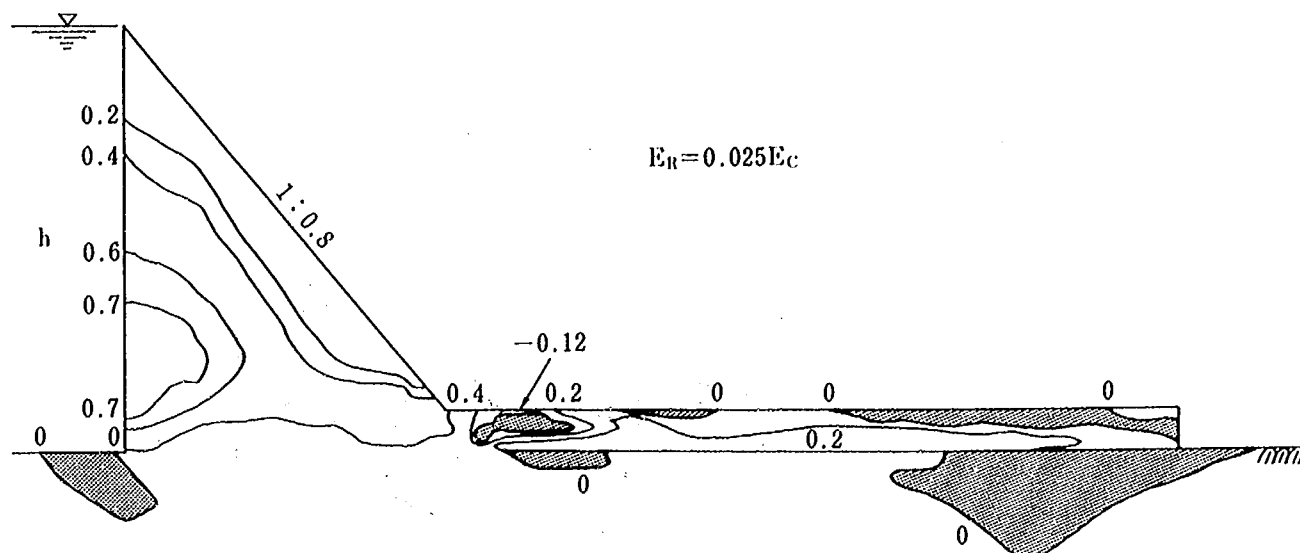


図-18(a) 堤体内部における第二主応力（引張側主応力）の分布



図一 18 (b) 堤体内部における第二主応力（引張側主応力）の分布

4. ま と め

本報文では、基礎岩盤のせん断強度の不足を補い、重力式コンクリートダムのせん断力による滑動に対する安全性を確保するために、重力式コンクリートダムの基本三角形の下流端にマットを設ける場合の設計方法について検討を加えた。以下、本解析結果より得られた成果について整理すると次のとおりである。

- ① マットへの応力の伝達は、基礎岩盤の弾性係数が小さいほど大きい。また、基本三角形の下流端の応力集中も、基礎岩盤の弾性係数が小さいほど緩和する。したがって、マットの効果は、基礎岩盤の弾性係数が小さいほど大きくなり、マットの設計はそのような岩盤に対して適している。なお、このようなマットの特性から、マットの設計にあたって基礎岩盤の弾性係数の設計値を小さく採ることは、必ずしも安全側の設計とならないので注意を要する。
- ② マットへの荷重の伝達からみた場合、効果的なマットの長さは、基本三角形の底面の長さの1倍程度までであり、それ以上マットの長さを長くしても、マットの効果はあまり期待できない。したがって、それ以上の長さを有するマットを採用する場合には、単に所要のせん断摩擦安全率を確保するだけでなく、マットへの荷重の伝達について詳細な検討が必要である。
- ③ マットへの荷重の伝達を考えると、最小限必要となるマットの厚さは、堤高の10%程度であるといえる。しかし、基本三角形の下流端における応力状態（応力の集中、引張応力の発生など）を考えると、効果的なマットの厚さとしては、堤高の20%程度あることが望ましい。
- ④ マットの厚さが薄い場合には、マットへの荷重伝達が十分行われなため、マット部の局所せん断摩擦安全率は見かけ上大きくなる。マットの厚さが厚くなると、マットへの荷重伝達が十分に行われるようになるため、マット部の局所せん断摩擦安全率は小さくなる。したがって、マットの局所せん断摩擦安全率の検討をする場合には、単にその値を評価するだけではなく、荷重の伝達状態も十分配慮しながら、局所せん断摩擦安全率を評価しなければならない。

なお、以上の解析結果はマットが2次元解析によって設計できることを前提として述べてきた。しかし、マットの設計ではこのような条件が満足されないことがある。すなわち、特定のブロックのみをマットとして設計する場合などである。このような場合、基礎岩盤内への荷重の伝達は3次元であるから、実際の基礎岩盤の剛性は、2次元状態を仮定したときの基礎岩盤の剛性よりも高くなる。①で述べたように、マットへの応力の伝達は基礎岩盤の弾性係数が小さいほど大きいから、このような場合、2次元解析の仮定は設計上危険となる。マットの設計にあたっては、この点にも注意が必要である。

現行の設計基準では、コンクリートダムのせん断力による滑動に対する安全性は、Hennyの式によるせん断摩擦安全率 N_s によって評価することになっている。通常の断面を有する重力式コンクリートダムでは、Hennyの式によるせん断摩擦安全率 $N_s=4$ と局所せん断摩擦安全率 $n_s=2$ には対応関係がある。したがってせん断摩擦安全率 N_s による設計は合理性をもっている。しかし、マット

の設計においては，このような関係については必ずしも明らかでなく，マットの設計方法もいまだ十分に体系化されていないのが現状である。

このため，マットを有する重力式コンクリートダム設計にあたっては，本解析結果で述べた事項も考慮した合理的な設計が望まれる。

重力式コンクリートダムに
おけるマットの設計方法に
ついての考察

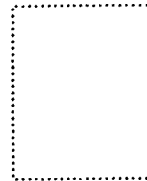
ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2799号
平成元年 9月 (1989)

キーワード：重力式コンクリートダム、マット、せん断摩擦安全率、
局所せん断摩擦安全率

要 旨

現行の設計基準によって、重力式コンクリートダムの構造設計を行う場合、その設計要件の一つとして堤体の滑動に対して所要の安全率を確保することが必要である。
従来、ダム基礎岩盤のせん断強度が小さい場合、所要のせん断摩擦安全率を得るには、転倒の条件から定まるダムの基本三角形の上流側にフィレットを設けて垂直力とせん断面の長さの増大を図るのが一般的であった。しかし、近年、基礎岩盤の地質条件が良好でないダムサイトが増え、フィレットによる対応が困難な場合が生じてきており、その結果フィレットに代ってダム堤体の下流側にマットを設けることにより、所要のせん断面の長さを確保するような設計例が見られるようになってきた。本報文は、重力式コンクリートダムの下流堤趾に設けるマットの設計方法について、検討した結果をとりまとめたものである。

郵便はがき



3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
ダム構造研究室
御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2799号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印