

土 木 研 究 所 資 料

砂礫層の基礎処理方法に関する 浸透流解析的検討

平成元年12月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

「Copyright © (1990) 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

砂礫層の基礎処理方法に関する 浸透流解析的検討

フィルダム研究室 室長 松本 徳久
研究員 山口 嘉一

要 旨

近年の我が国における良好なダムサイトの減少に伴い、今後は砂礫礫基礎土でのダムの建設が増加することが予想される。そこで今回は、砂礫を基礎に持つ忠別ダムを土質コア型のロックフィルダムとして建設した場合を想定して、基礎処理方法の設計を目指した水理学的かつ基礎的な検討を行った。

キーワード：砂礫基礎、ロックフィルダム、連続地中壁、グランピング

A Study on Seepage Control for Sand and Gravel Foundation with Seepage Analysis

Norihisa MATSUMOTO
Chief, Fill Type Dam Division

Yoshikazu YAMAGUCHI
Research Engineer, Fill Type Dam Division

Synopsis:

Recently, in Japan, most of good sites for dam construction have been already developed. In the future we have to construct dams, particularly fill dams, even on sand and gravel foundations. Chubetu Dam site is mainly composed of alluvial deposits. Rock-fill type dam with impervious core is assumed to be constructed on this site, we fundamentally study seepage control methods for this dam site with seepage analysis.

Keywords: sand and gravel foundation, rock-fill type dam, underground diaphragm, grouting

目 次

1. 目 的	1
2. 土質ブランケットによる浸透流制御	2
2.1 理論解による検討	2
2.1.1 漏水計算定式の誘導	2
2.1.2 解析条件	3
2.1.3 解析結果	5
2.2 FEM解析による検討	6
2.2.1 概 説	6
2.2.2 解析条件	6
2.2.3 解析結果	10
3. 土質ブランケットと連続地中壁による浸透流制御	17
3.1 概 説	17
3.2 解析条件	17
3.3 解析結果	19
4. ま と め	22
謝 辞	23
参考文献	24
付 図	

1. 目 的

近年の我が国における良好なダムサイトの減少に伴い、今後は砂礫基礎上でのダムの建設が増加する可能性がある。今回は一例として、砂礫層を基礎に持つ忠別ダム（北海道開発局）を土質コア型のロックフィルダムとして建設するとした場合の浸透流制御方法について検討した。本報告では土質ブランケット案を主に水理学的検討を行っているが、この他に連続地中壁やグラウチングによる浸透流制御も有力な選択肢のひとつである¹⁾。

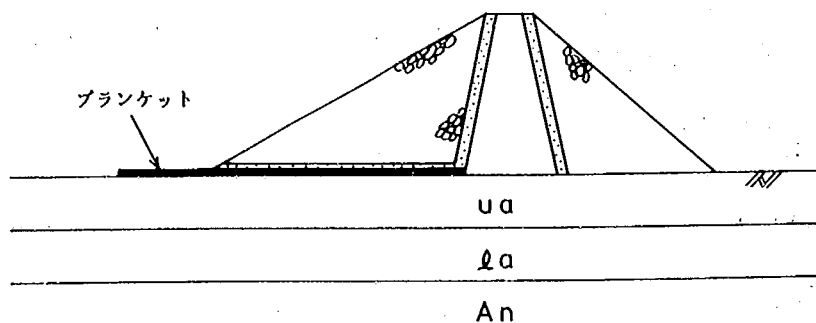
具体的な検討項目は以下の通りである。

a) 土質ブランケットによる浸透流制御（図－1.1 (a)参照）

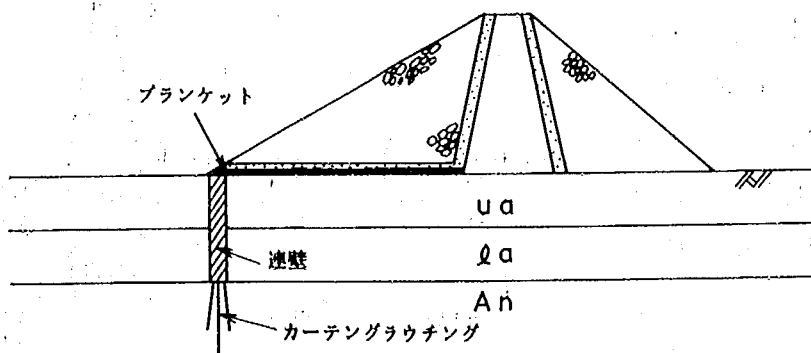
本案は浸透路長を長くすることにより基礎に発生する動水勾配を小さくし、浸透流量と流速を許容値以下に減じようとするものである。

b) 土質ブランケットと連続地中壁による浸透流制御（図－1.1 (b)参照）

本案は a) 案に連続地中壁を加えることにより、止水性を更に高めるものである。なお、地中壁を堤体荷重のほとんど作用しない上流端に配置することにより、地中壁の変形や応力集中の問題を回避できる。



(a) 土質ブランケットによる浸透流制御



(b) 土質ブランケットと連壁による浸透流制御

ua : 上部河床堆積層
la : 下部河床堆積層
An : 輝石安山岩類

図－1.1 基礎処理法(案)

2. 土質ブランケットによる浸透流制御

2.1 理論解による検討

2.1.1 漏水量算定式の誘導

フィルダムの浸透流制御方法として土質ブランケットを採用する場合に、その長さの効果を判定するために Bennett²⁾ が求めた漏水量算定式がよく利用されている。しかし、Bennett により求められた漏水量算定式は、フィルダムの基礎が単一の透水層により構成されている場合に適用できるもので、忠別ダムの基礎のように複数層（砂礫層2層と基盤岩としての安山岩盤の計3層がある。）で構成されている場合にはそのまま適用することができない。そこでここでは、Bennett の漏水量算定式を水平多層地盤に拡張することを試みる。

まず、Bennett により求められた単位幅当り漏水量 q_{f0} 算定式は次式に示す通りである（図-2.1 参照）。

$$q_{f0}(L) = \frac{k_f \cdot z_f \cdot h_0}{L_e + L_d} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$L_e = \frac{1}{a} \tanh(aL) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$a = \sqrt{\frac{k_b}{z_b \cdot k_f \cdot z_f}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 k_f 、 z_f は基礎地盤の透水係数と厚さ、 k_b 、 z_b 、 L はブランケットの透水係数、厚さおよび長さを示す。また、 L_d はコア敷幅で、 h_0 はダム湛水に伴い発生するダム上下流の水位差である。

一方、図-2.2 に示すように水平多層地盤においては、土質ブランケットが採用されたダムの湛水に伴う基礎浸透流がほぼ

水平であることを考慮して、式(1)~(3)中の k_f に次式で求まる多層地盤の平均水平方向透水係数を代

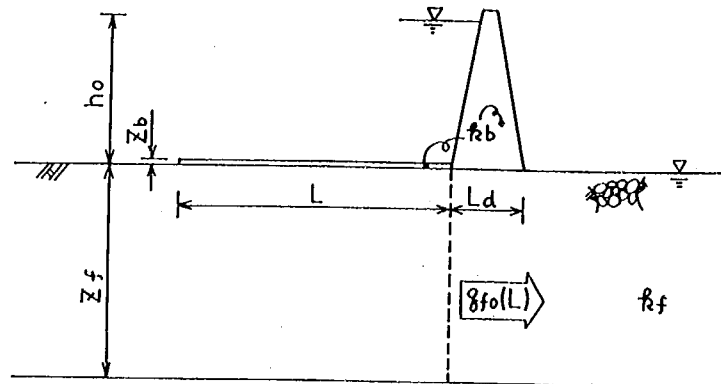


図-2.1 単層地盤における土質ブランケット

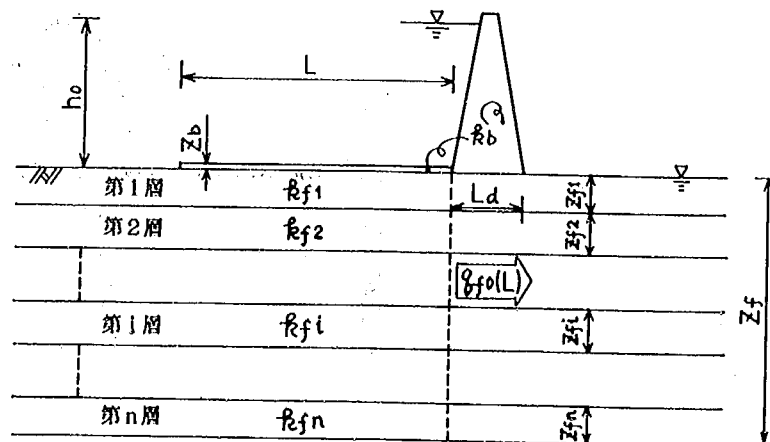


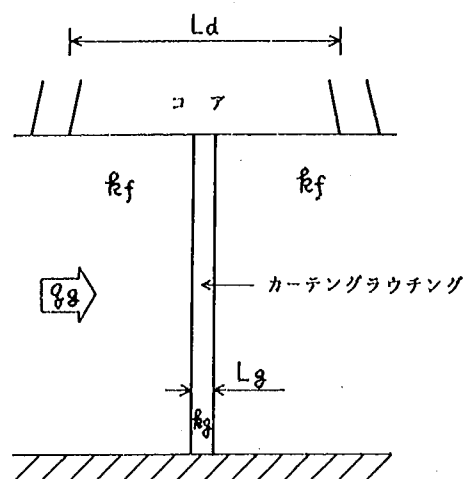
図-2.2 水平多層地盤における土質ブランケット

入ることにより水平多層地盤における漏水量算定式を得ることができる。

$$k_f = \frac{\sum_{i=1}^n k_{fi} \cdot z_{fi}}{\sum_{i=1}^n z_{fi}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{fi} \cdot z_{fi}}{z_f} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 n は基礎地盤の層数である。また、 k_{fi} 、 z_{fi} は第 i 層の透水係数と厚さである。

ところで、現在のところ我が国におけるダム基礎の浸透流制御法としては、グラウチングが最も一般的な手法として採用されている。そこで、仮に一般に実施されている程度のグラウチングによる透水性の改善が忠別ダムにおいて実現された場合に、どの程度の漏水量となるのかを算定しておくことは採用した他の工法の評価に大いに役立つ。そこで、基礎地盤中の浸透流がコア幅内では水平だと仮定して、グラウチング（ただし、カーテングラウチングのみ）を浸透流制御法として採用した場合の単位幅当りの漏水量 q_g を次式により算定する（図－2.3 参照）。



図－2.3 グ라우チングを施工した場合の漏水量算定モデル

$$q_g = \frac{k_f \cdot k_g \cdot h_0 \cdot z_f}{k_f \cdot L_g + k_g (L_d - L_g)} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 k_g 、 L_g はカーテングラウチング区間の透水係数と幅を示す。

なお、ダム基礎が水平多層地盤である場合は、式(5)中の k_f に式(4)を代入すればよい。

2.1.2 解析条件

忠別ダムの浸透流制御方法として土質ブランケットを採用した場合の漏水量低減効果を前項で求めた理論解により検討する。

解析に用いるモデルおよび入力物性値を図－2.4に、また、解析条件を表－2.1に示す。

堤体のうちモデルとして考慮したのは、漏水量算定の精度に与える影響の大きいコアのみで、その寸法は委員会資料¹⁾によった。コアおよびブランケットの透水係数として採用した 1×10^{-5} 、 1×10^{-6} cm/s という値は、従来のフィルダムコアの設計値と照らし合せてみると適当な値だといえる。また、ブランケットの厚さとして採用している 3、5 m という値は、土質ブランケットを浸透流制御工法として採用したダムの実施例（図－2.5 参照）および忠別ダムの堤高を考え合わせると逸脱した値ではない。

基礎のうち砂礫層については、上下層とも河床中央部付近の最大厚を採用して各々 15 m、25 m とした。上下砂礫層の透水係数としては、委員会資料¹⁾に示されている通り揚水試験結果を重視して決定された 6×10^{-3} 、 6×10^{-4} cm/s を採用した。ただし、この点について当研究室では、事務所の透水試

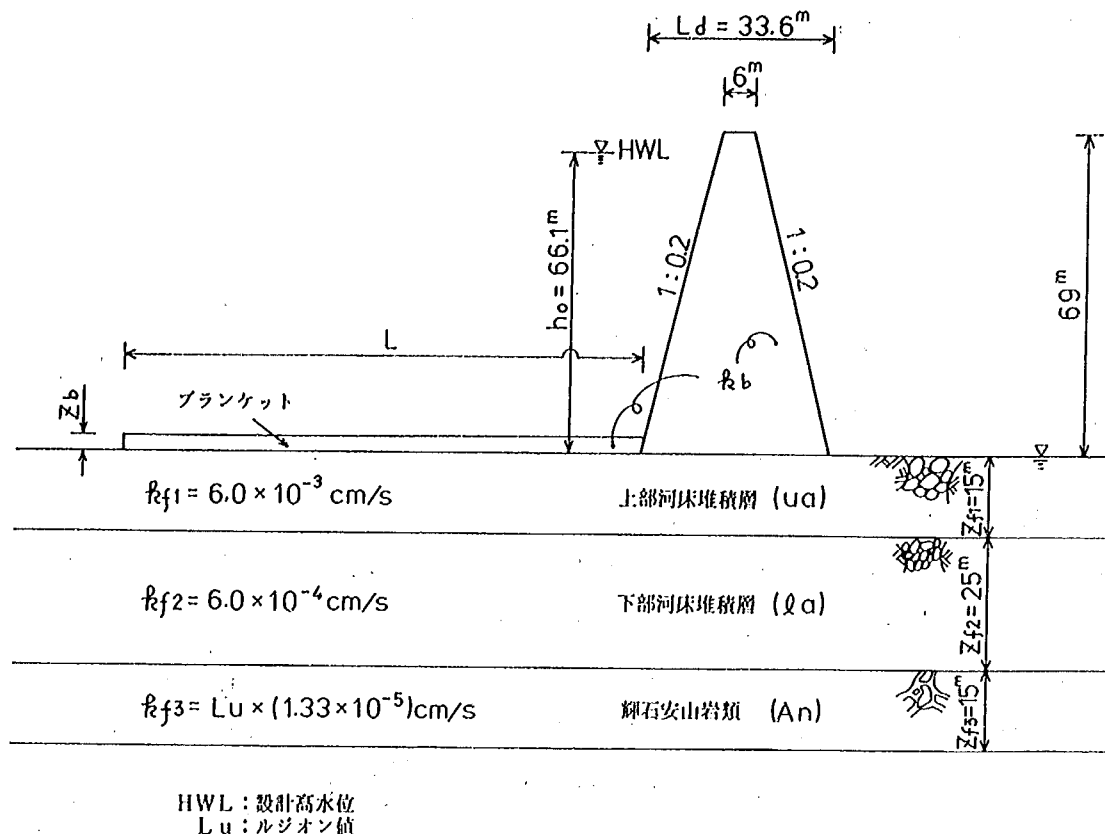
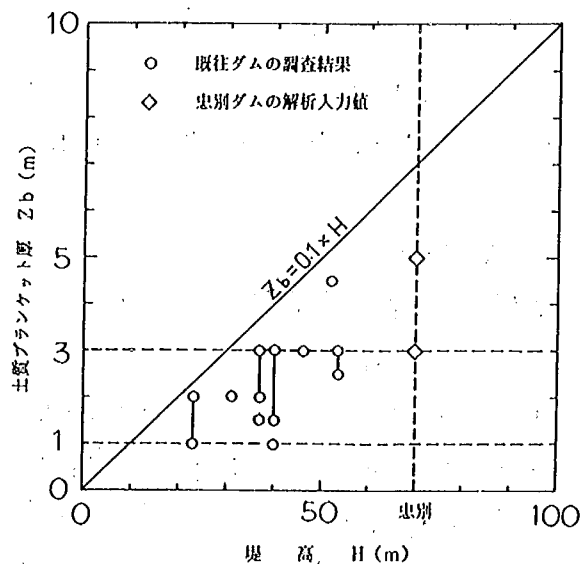


図-2.4 解析モデル概要

表-2.1 解析条件

	ケース No.	k_b (cm/s)	z_b (m)	k_{f3} (cm/s)
Anと場 をみ合 不な 透し 水た	1-1	1×10^{-5}	3	0
	1-2	1×10^{-6}	3	0
	1-3	1×10^{-5}	5	0
	1-4	1×10^{-6}	5	0
Anを場 の考合 透慮 水し 性た	2-1	1×10^{-5}	5	1.33×10^{-5}
	2-2	1×10^{-5}	5	1.33×10^{-4}
	2-3	1×10^{-5}	5	1.33×10^{-3}
	2-4	1×10^{-5}	5	1.33×10^{-2}

$$1 \text{ Lu} = 1.33 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$



注) 既往ダムの調査は参考文献3) によった。

図-2.5 堤高と土質ブランクット厚

験の報告書にある調査結果を総合的に検討したが、設計値としては上記の値が適当であると再確認した。基盤岩である安山岩の透水性は概して小さいが、ルジオンマップをみると砂礫層が

比較的厚い部分で 15 m 程度の深度に渡って $10 L_u$ 程度の透水性を有する部分がある。そこで、安山岩の厚さは 15 m として、その透水性を 1, 10, 100, 1000 L_u ($1 L_u = 1.33 \times 10^{-5}$ cm/s) と変えて解析を行うこととした。なお、100, 1000 L_u という大きい透水性についても検討を行うことにしたのは以下のような理由による。安山岩のような亀裂性岩盤においてルジオンテストを実施すると、試験孔周

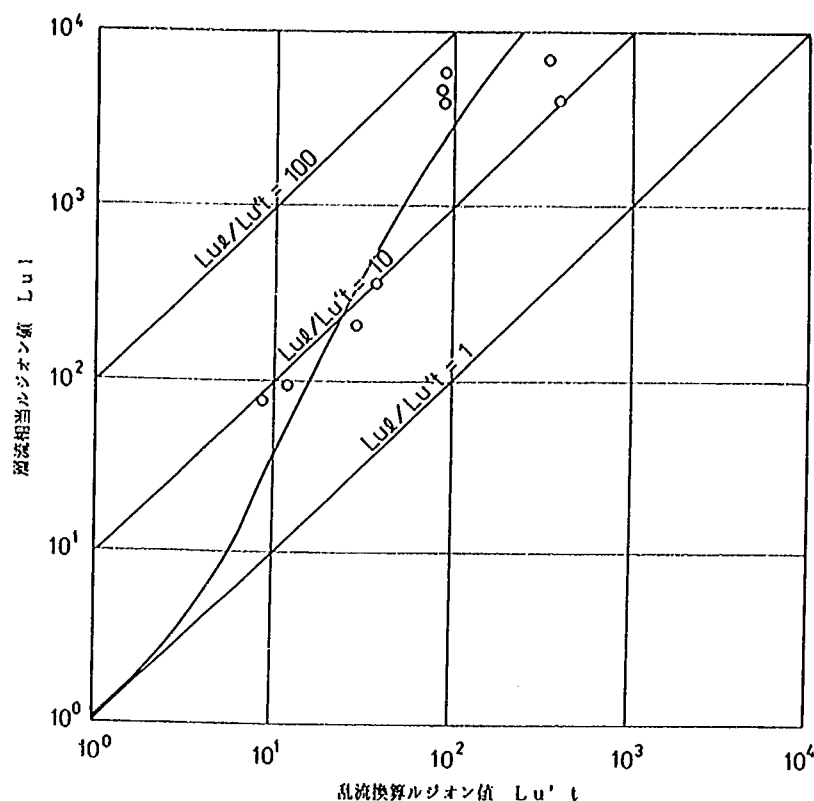
辺に大きな動水勾配が発生するため試験結果に乱流の影響を受け、 $1L_u = 1.33 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ という変換を行うと、ダム湛水時の基礎浸透流を支配する透水性を過小評価する可能性がある⁴⁾と判断したためである(図-2.6 参照)。

2.1.3 解析結果

2.1.2で示した条件下において実施した漏水量算定解析結果をケースごとにまとめたものを図-2.7, 8に示す。なお、図-2.7中にはグラウチングによる透水性の改善が可能であった場合の漏水量も示してある。これらの図面から以下のことがいえる。

- ① 安山岩類が不透水だとした場合、土質ブランケット長 L が200 m ($L/h_0 \approx 3$) 程度までの漏水量低減効果はかなり大きい、その以上 L が長くなるとその効果は小さくなる。
- ② ブランケット長を漏水量低減効果がある程度小さくなる場所 ($L=200 \text{ m}$ 程度) まで延長することによりカーテングラウチング $5L_u$ 改良相当の漏水量低減が可能である。

特に、施工の難しさ、面倒さということもあろうが現在考えられているロックフィルダム(案)の標準断面¹⁾に従うとロック敷いっぱいにブランケットを施工することにより上記の事が達成できることを付言しておきたい。



L_u は高粘性流体を用いた試験より求めた層流状態が達成された場合のルジオン値である。
 L_u' は一般に言うところのルジオン値である。

図-2.6 ルジオンテストにおける乱流の影響

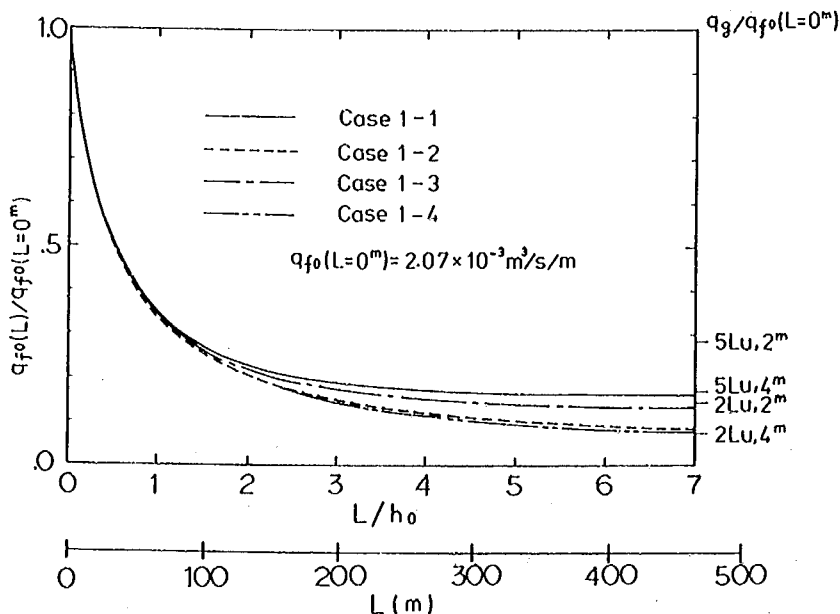


図-2.7 漏水量低減効果 (Case 1 シリーズ)

③ 安山岩類の透水性を考慮した場合、漏水量低減効果、つまり $q_{f0}(L)/q_{f0}(L=0\text{ m})$ の L の増加に伴う減少程度は、不透水と考えた場合とほとんど変わらない。

④ 漏水量の絶対値についても安山岩類の透水性が $100 L_u$ 以下であれば、岩盤を不透水とみなした場合と大きな差がないことがわかる。

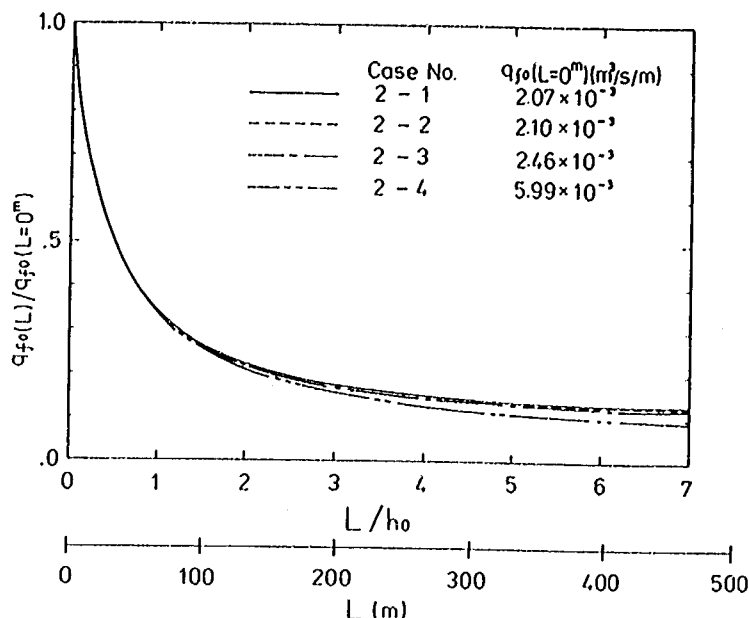


図-2.8 漏水量低減効果 (Case 2 シリーズ)

2.2 FEM 解析による検討

2.2.1 概 説

FEM (浸透流) 解析による検討は、前節における土質ブランケットを浸透流制御法として採用した場合の漏水量算定式の理論解の精度を確認するとともに、有限要素内に発生する流速あるいは動水勾配値をもとに砂礫層の内部侵食あるいは浸出面でのパイピングの発生の有無の検討を行う。

2.2.2 解析条件

浸透流解析用モデルの有限要素分割を図-2.9に示す。また、各領域の飽和時透水係数の一覧を表-2.2に示す。不飽和浸透が発生するコアについては図-2.10に示す不飽和特性⁵⁾を考えた。

上下流方向のモデルの大きさは、上下流端の堤体付近の浸透流況に与える影響がさほど大きくない程度ということ considering して決定した。上部河床堆積層 (ua)、下部河床堆積層 (la) および上部安山岩 (An_1) の厚さは、2.1と同様で、15 m、25 m および 15 m とした。さらに、FEM 解析においては、 An_1 の下にはほぼ不透水とみなせる ($1 L_u$) 下部安山岩 (An_2) を考え、その厚さはモデル地盤の全厚が堤高 (70 m) の約 2 倍となるように決定した。また、土質ブランケットの厚さは安全側の設計として 5 m を採用した。

コアおよび土質ブランケットの透水係数には、安全側の設計として $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ を、ua, la のそれには、2.1と同様、 6.0×10^{-3} , $6.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ を採用した。解析ケースとしては、水平多層地盤に土質ブランケットを施工した場合の漏水量算定式の精度をチェックするためにブランケット長 L の 0, 100, 200, 300 m の 4 種類と An_1 の透水性の 1, 10, 100, 1000 L_u の 4 種類を組み合わせる 16 ケース (Case No. 1~16) を行った。Bennett の理論解のチェックを行うために、la, An_1 の透水性を $1 L_u$ とした解析 (Case No. 17~20) も行った。さらに、基準となる漏水量を決定するために図-2.11に示す範囲でグラウチングによる浸透流制御を実施した際の解析 (Case No. 21~24) も実施した。

凡 例

	コア (C)		上部河床堆積層 (ua)
	ブランケット I (BI)		下部河床堆積層 (la)
	ブランケット II (BII)		上部安山岩 (An1)
	ブランケット III (BIII)		下部安山岩 (An2)

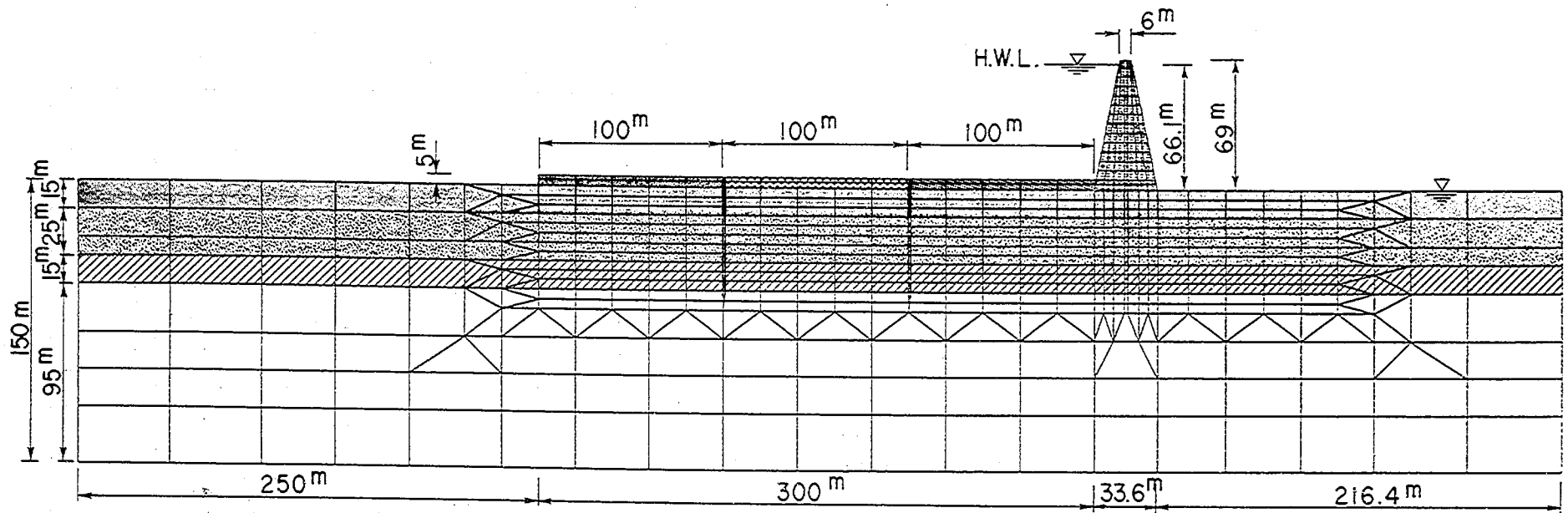


図-2.9 FEMモデルの有限要素分割

表-2.2 透水係数一覧

Case No.	C	BI	BII	BIII	ua	La	An1	An2	BG	CG	備 考	
1	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	—	—	L= 0m	Lu(An1) = 1
2	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	—	—	L=100m	
3	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	—	—	L=200m	
4	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	—	—	L=300m	
5	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-4}	1.33×10^{-5}	—	—	L= 0m	Lu(An1) = 10
6	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-4}	1.33×10^{-5}	—	—	L=100m	
7	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-4}	1.33×10^{-5}	—	—	L=200m	
8	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-4}	1.33×10^{-5}	—	—	L=300m	
9	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-3}	1.33×10^{-5}	—	—	L= 0m	Lu(An1) = 100
10	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-3}	1.33×10^{-5}	—	—	L=100m	
11	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-3}	1.33×10^{-5}	—	—	L=200m	
12	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-3}	1.33×10^{-5}	—	—	L=300m	
13	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-2}	1.33×10^{-5}	—	—	L= 0m	Lu(An1) = 1000
14	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-2}	1.33×10^{-5}	—	—	L=100m	
15	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-2}	1.33×10^{-5}	—	—	L=200m	
16	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-2}	1.33×10^{-5}	—	—	L=300m	
17	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	—	—	L= 0m	Bennett の 理論解の チェック
18	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	—	—	L=100m	
19	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	—	—	L=200m	
20	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	6×10^{-3}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	—	—	L=300m	
21	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-4}	6.65×10^{-5}	Lu(An1)=1	グラウチング による効果
22	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-4}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-4}	6.65×10^{-5}	= 10	
23	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-1}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-3}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-4}	6.65×10^{-5}	= 100	
24	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	6×10^{-3}	6×10^{-4}	1.33×10^{-2}	1.33×10^{-5}	1.33×10^{-4}	6.65×10^{-5}	= 1000	

注) 1) 透水係数の単位はcm/s。

2) $1 \text{ Lu} = 1.33 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。

3) Lはブラケット長。

なお、ブランケットグラウチングの幅、深さ、透水性は、コア敷全面の 33.6 m, 10 m, $10 L_u$ で、カーチンググラウチングのそれらは、2 m, 地表面から An_2 までの 55 m, $5 L_u$ である。

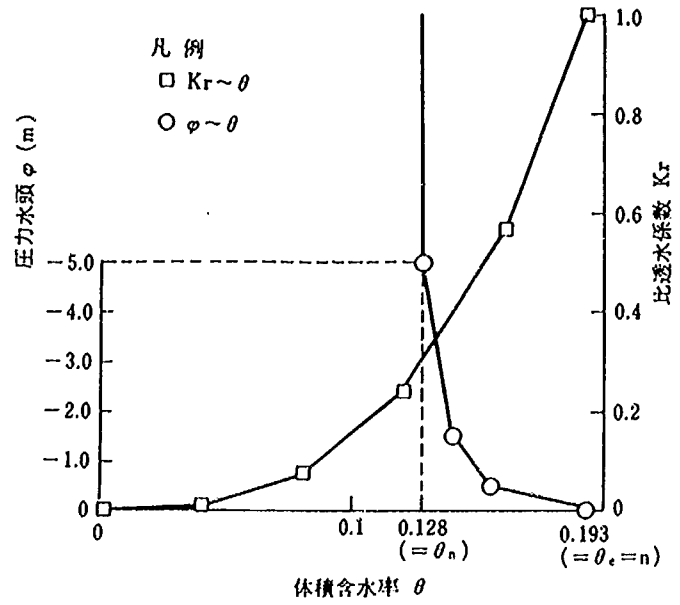


図-2.10 コアの飽和特性⁵⁾

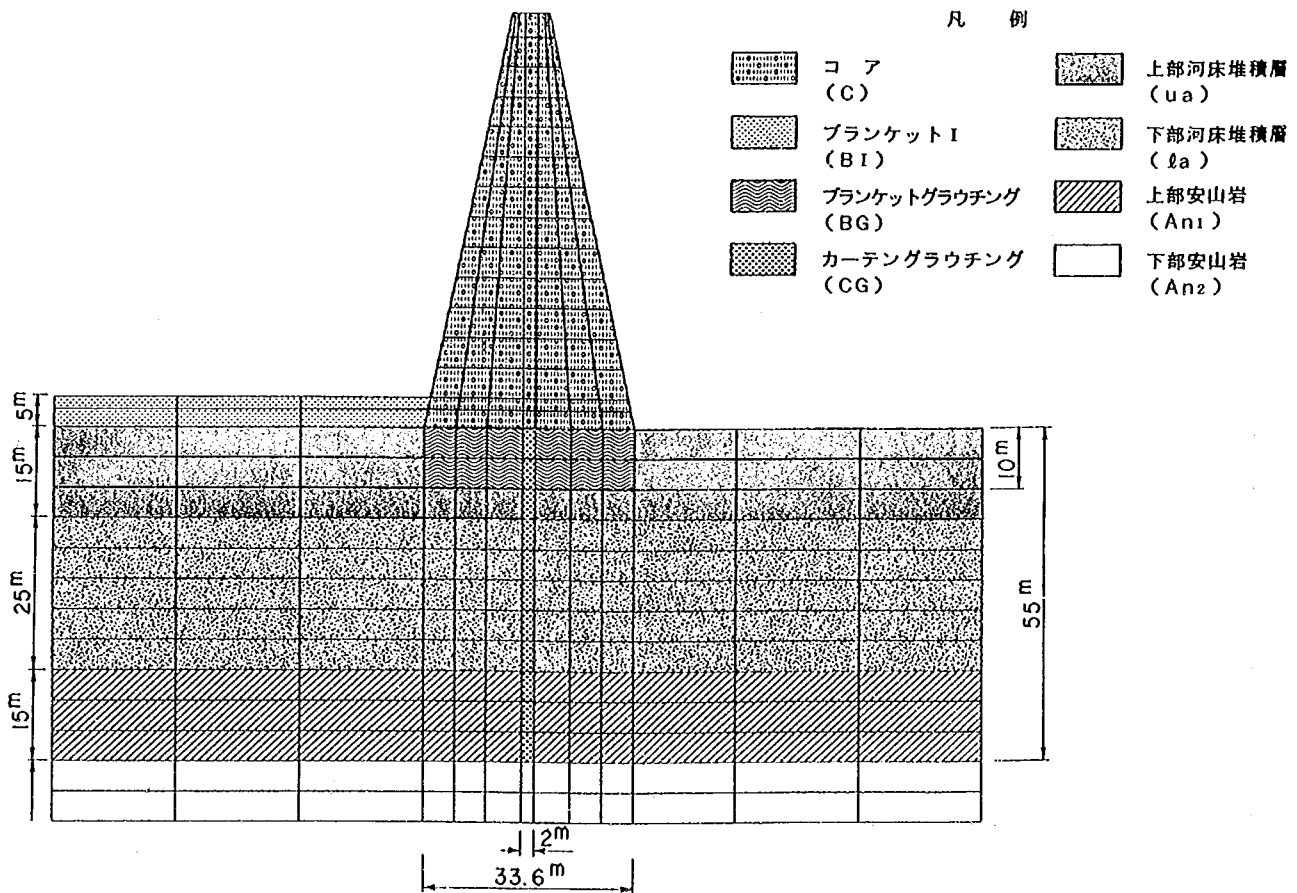


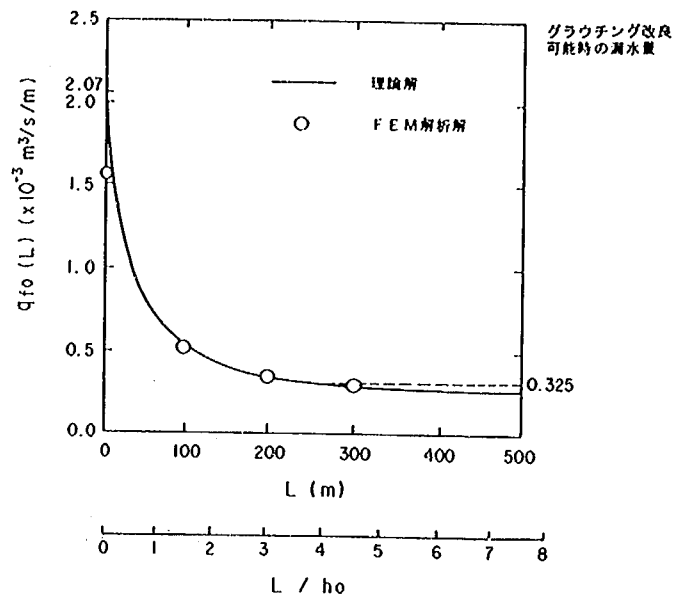
図-2.11 グ라우チング範囲

2.2.3 解析結果

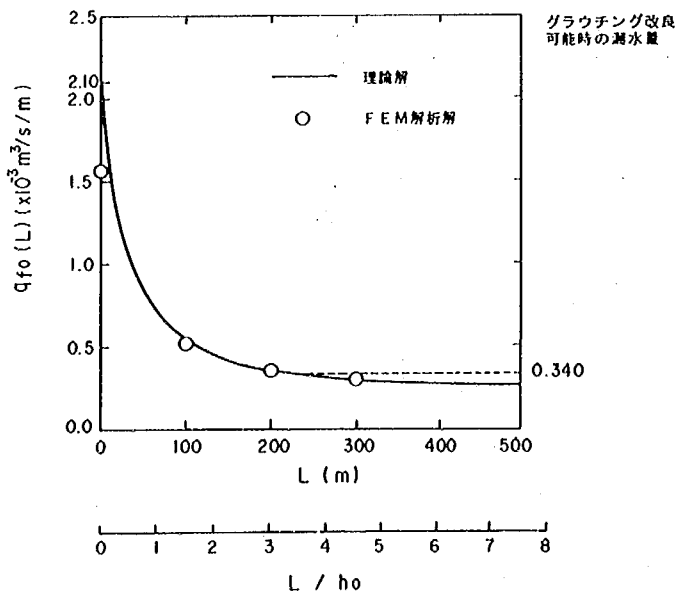
(1) 漏水量

浸透流解析の結果得られた単位幅漏水量 q_{f0} とプランケット長 L の関係を An_1 の透水性ごとにまとめて図-2.12に理論解とともに示す。なお、図中にはグラウチングによる浸透流制御を実施した場合の漏水量も示してある。これらの図面から以下のことがわかる。

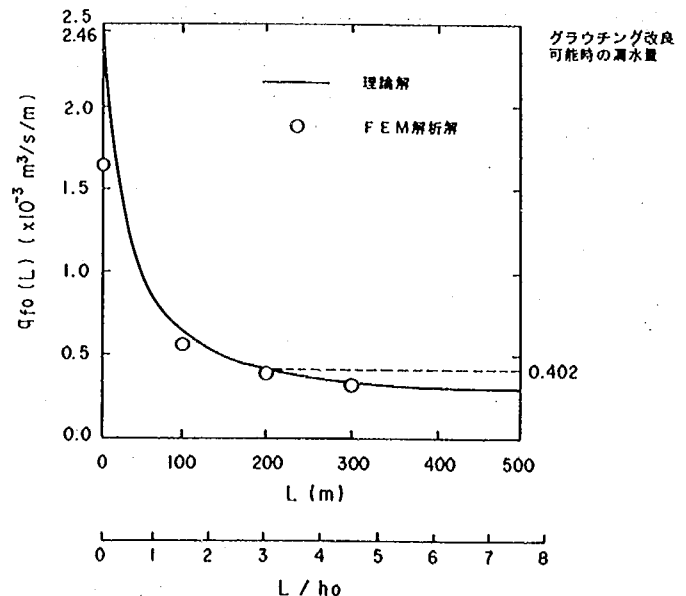
- ① An_1 の透水性が $100 L_u$ 以下のケースにおいては、 $L=0$ m のケースで q_{f0} の FEM 解析解が理論解より数割小さい値を示しているが、それ以外の値の L では両者はほぼ一致している。これは、漏水量の理論解を求める際、基礎地盤中の浸透流が水平で、土質プランケット（コア部も含む）上下流端を通る地下の鉛直面におけるポテンシャルが上下流水位に一致すると仮定しているため、プランケットより上流側の地表面からプランケットの上流端を通る地下の鉛直面までとコアの下流端を通る地下の鉛直面からコアより下流側の地表面までの水頭損失を考慮できないことに起因している。つまり、浸透路長の過小評価に原因があり、その影響は L が小さいほど大きいということである。このことは、Bennett の理論解と FEM 解析解の間にもいえることである。



(a) $L_u (An_1) = 1$ の場合

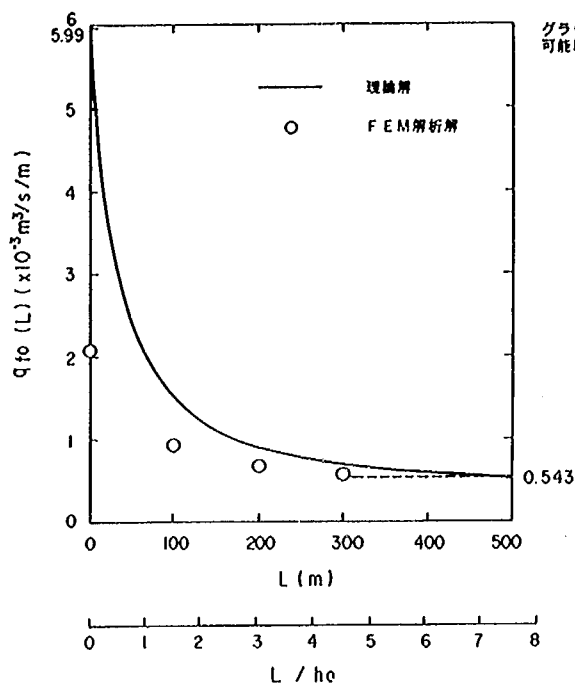


(b) $L_u (An_1) = 10$ の場合

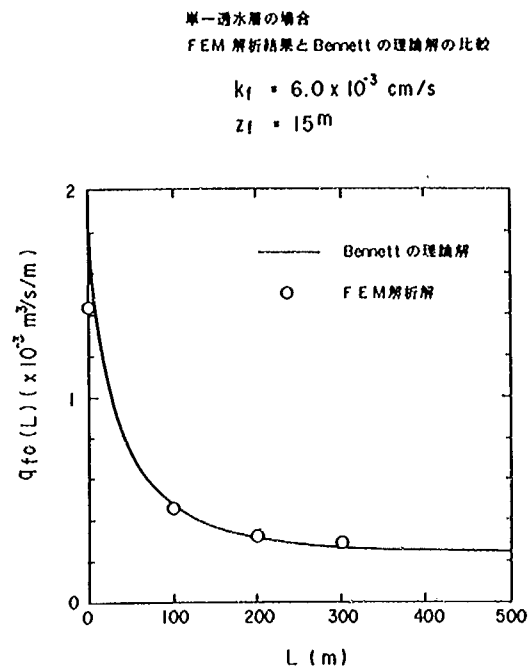


(c) $L_u (An_1) = 100$ の場合

図-2.12 q_{f0} と L の関係



(d) $L_u(An_1) = 1000$ の場合



(e) Bennett の理論解のチェック

図- 2.12 q_{10} と L の関係

② An_1 の透水性が $1000 L_u$ のケースになると、 $L=0$ m 以外のケースでも q_{10} の FEM 解析解が理論解よりも小さくなり、 $L=0$ m での両者の差はかなり大きくなっている。この原因は、 An_1 の透水性が $1000 L_u$ となると直上層の $1a$ よりも透水性が 1 オーダ以上大きくなってしまふことにある。つまり、 An_1 からの漏水量が全漏水に占める割合が高くなってきたにもかかわらず①で示した水頭損失の影響がより An_1 に大きく作用したものと考えられる。例えば、 $1a$ が An_1 に対してブランケットの作用をしたものと考えればよい。

③ q_{10} の FEM 解析解と理論解には①、②に記した関係があるが、 L の q_{10} の低減に与える効果は、FEM 解析結果でも理論解析結果とほぼ同様で、 $L=200$ m 程度でその限界に近づいてきている。

④ また、 $L=200 \sim 300$ m でグラウチングと同程度の漏水量の低減を達成できる。これも理論解による検討とほぼ同等の結果である。

(2) 限界流速・限界動水勾配

ここでは FEM 解析結果より、ダム湛水により発生する基礎浸透流による両砂礫層の内部侵食（限界流速による）と下流浸出部における ua のパイピング（限界動水勾配による）の検討を行う。なお、検討対象の要素は図- 2.13 に示す通りである。このうち、 ua の内部侵食は要素 No. 1, 2, 3, 4 の流速で、 $1a$ の内部侵食は要素 No. 6, 7, 8 の流速で、 ua のパイピングは要素 No. 4, 5 の動水勾配で検討した。要素に発生する実流速と動水勾配の最大値 $v_{\max}$, $i_{\max}$ と土質ブランケット長 L との関係を図- 2.14, 15, 16 に示す。実流速を求める際に必要な ua , $1a$ の間隙比 e (or 間隙率 n)

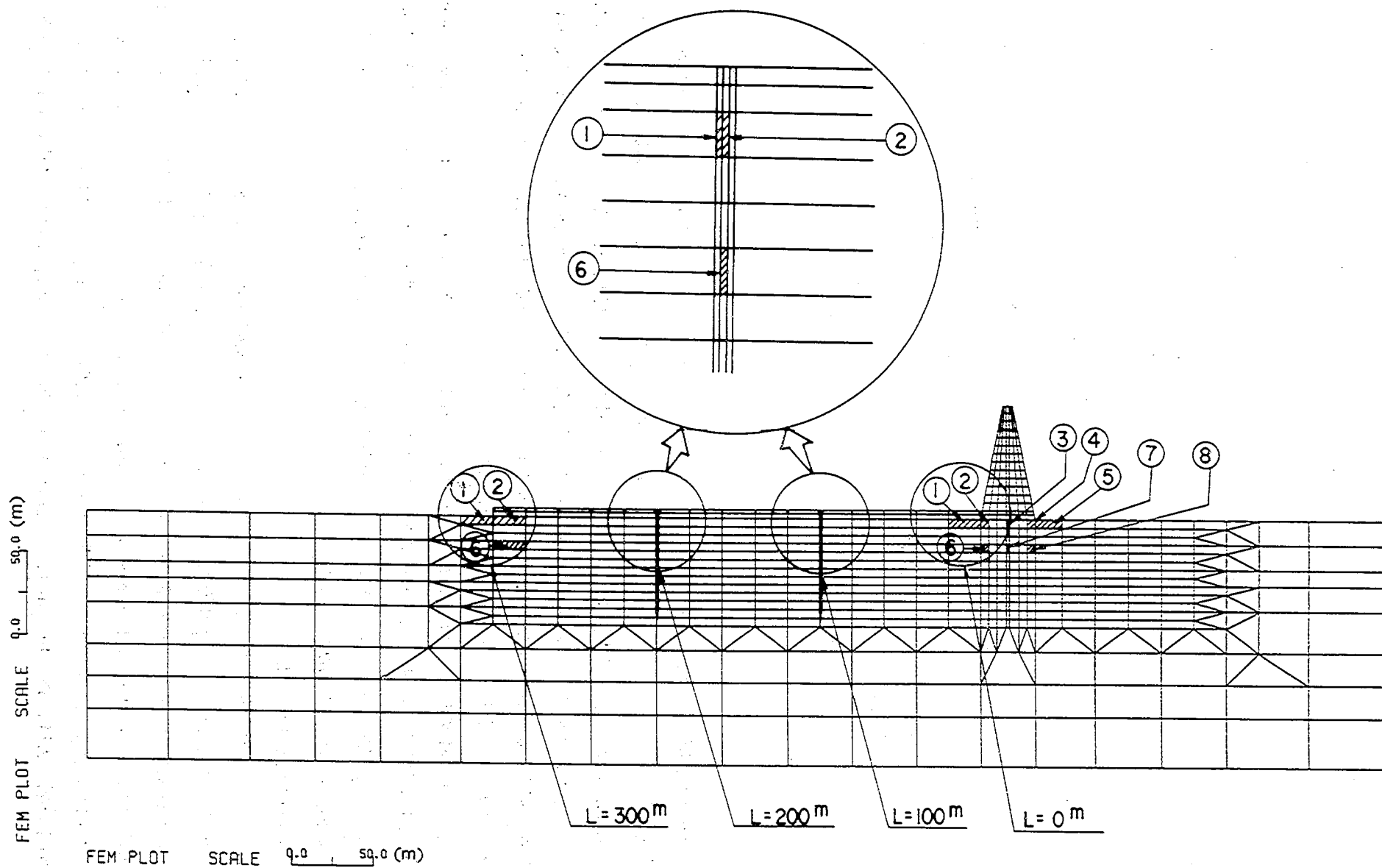


図-2.13 内部侵食, パイピング検討要素

には、忠別ダム建設事業所の報告書⁶⁾を参考にそれぞれ0.328 (0.275), 0.275 (0.216)を採用した。

まず、実流速による内部侵食についての検討を行う。多くの研究者が提案している砂あるいは砂質土の限界実流速 v_c と対象粒子径 d の関係をまとめたものを図-2.17に示す。いま、 u_a , i_a ともシルト分以下の細粒分を1~2%⁶⁾しか含有していないことも考慮して、対象土粒子径として砂の最小粒径である0.074 mmと両層の10%粒径⁶⁾ 1.49 mm, 0.83 mmを採用すると、それぞれの限界実流速は、約0.01 cm/s, 約4 cm/s, 約1.5 cm/sと図-2.17より読み取れる。なお、 v_c と d の関係式としては、Peter⁸⁾, Koslova⁹⁾ ($d/D=0.1$, $D:d$ を保護する粒子の径), 大野ら¹⁰⁾の提案式を基本に考えた。これらの v_c と図-2.14~16に示した v_{rmax} を比較すると、0.074 mmを d とみ

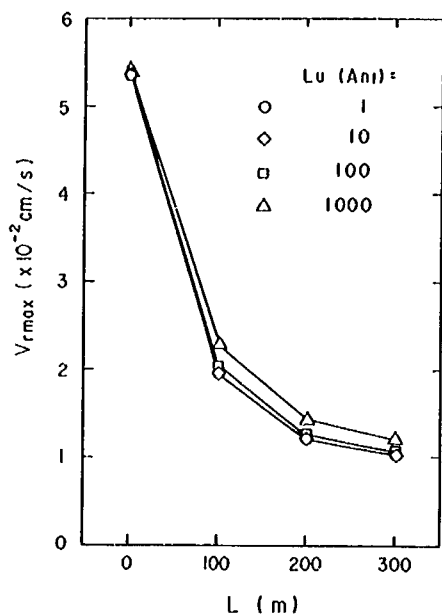


図-2.14 u_a の最大実流速

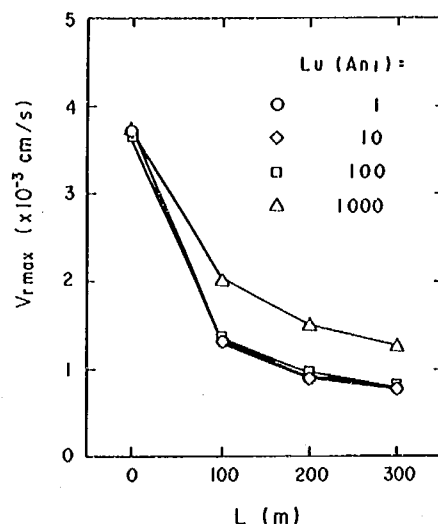


図-2.15 i_a の最大実流速

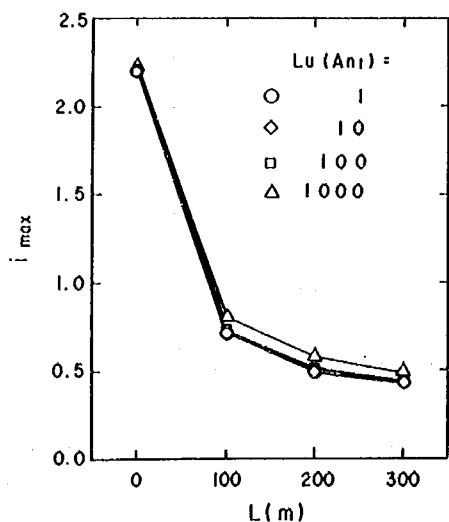


図-2.16 浸出部の最大動水勾配

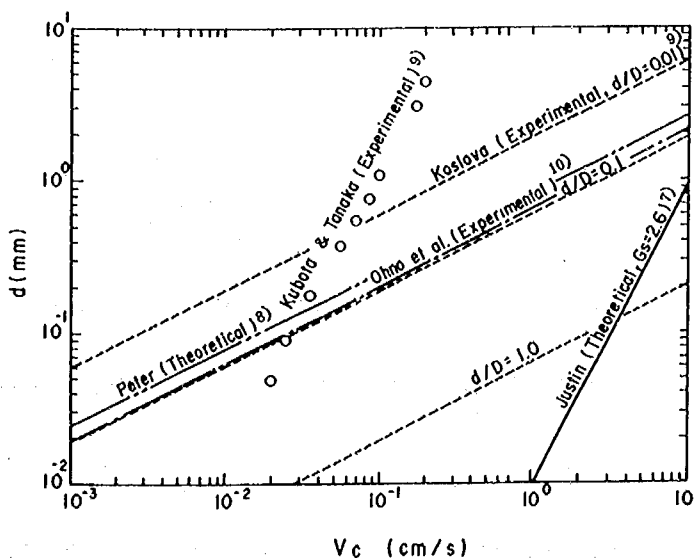


図-2.17 砂あるいは砂質土の限界実流速

なすとuaにおいては v_{rmax} が v_c を越える場合もあるが、10%粒径を d とみなすと忠別ダム基礎の浸透流による内部侵食には十分な安全率があることがわかる。0.074 mmがua, laの2%粒径程度であることを考慮すると土質ブランケットのみの浸透流制御により基礎の内部侵食を防げると判断できよう。

上記では、uaとlaの個別の内部侵食に対する安全性について検討したが、次に両層の境界部での侵食について検討する。境界部の侵食についてはBrauns¹¹⁾の研究がある。彼の提案した侵食安定条件は図-2.18に示す通りである。いま、uaをフィルタ材、laをベース材とみなして忠別ダム砂礫層の境界部の侵食について検討すると、uaとlaの粒度分布に大きな差がない⁶⁾こともあり“安定”と判定できる。

J. Braunsの層状地盤の安定性の検討			
1)	$\kappa \leq 3$	-----	安定
2)	$3 < \kappa < 10$	-----	$F_{rofl} \geq 0.60$
3)	$\kappa \geq 10$	-----	$F_{rofl} = 0.65 \sim 0.70$
なお、			
$\kappa = n_F d_{15F} / d_{85B}$			
$v_{Forl} = F_{rofl} n_F \sqrt{(\gamma_s' d_{50B} / \rho_w)}$			
ここに、			
v_{Forl}	:	限界実流速、	
F_{rofl}	:	限界フルード数、	
n_F	:	フィルタ材の間隙率、	
d_{15F}	:	フィルタ材の15%粒径、	
d_{85B}	:	ベース材の85%粒径、	
d_{50B}	:	ベース材の50%粒径、	
γ_s'	:	ベース材の水中重量、	
ρ_w	:	水の密度。	

図-2.18 J. Braunsの層状地盤の安定性検討

下流浸出部のuaの限界動水勾配 i_{cr} をTerzaghi¹²⁾の提案した次式により検討する。

$$i_{cr} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \dots \dots \dots (6)$$

いま、ua, laの比重 G_s は、それぞれ2.710と2.705である⁶⁾。これらの値を式(6)に代入して i_{cr} を求めると、それぞれ1.29, 1.34となり、土質ブランケット長を100 m以上に採ればパイピングに

対しては安全だということがわかる（図-2.16 参照）。

以上より、土質ブランケット長を 100 m 以上設置することにより、忠別ダムの砂礫層の内部侵食・パイピングを十分防ぐことができることが判明した。

一方、土質ブランケットのような粘性土のパイピングについての研究結果をまとめたもの（透水係数と限界動水勾配の関係図）を図-2.19 に示す。いま、仮に、湛水に伴う水頭増加量 66.1 m が全て土

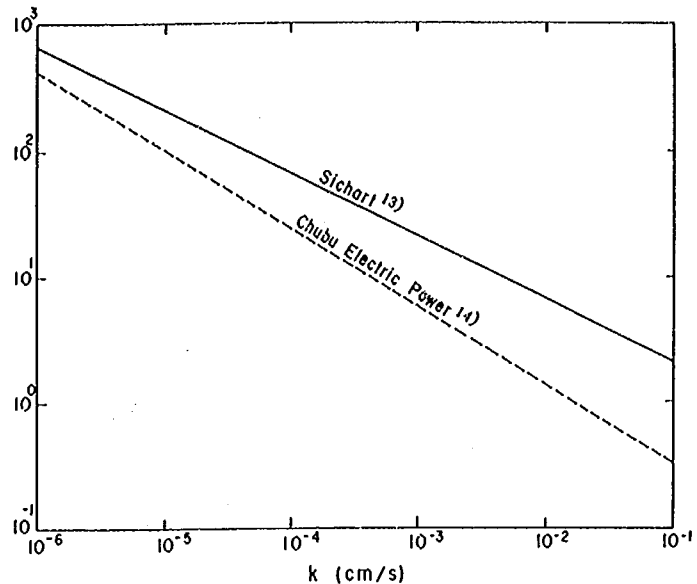


図-2.19 透水係数と限界動水勾配の関係

質ブランケット厚 5 m の間で損失したとしても発生する動水勾配は 13.2 である。土質ブランケットの透水係数が 1.0×10^{-5} cm/s であることを考慮したうえで図-2.19を見ると、13.2 とう動水勾配は限界動水勾配よりも 1 オード程度小さい値であることがわかる。実際には、66.1 m の水頭損失がブランケット部で発生することがないうえ、ブランケットの透水係数がもう少し小さいことを考え合わせると、土質ブランケットのパイピングについても十分安全であると判定できる。さらに、図-2.20 と 2.21 に我が国の主なフィルダムのコア材料の粒度分布例とフィルタ則を示す。いま、ua をフィルタと、コア材（＝ブランケット材）をフィルタで保護される材料とみなしてフィルタ則の検討を行った。その結果、ua の粒度には実際はかなりのバラツキもあるが、報告書⁶⁾の粒度試験結果に着目する限りにおいては、ua とコア材の間にフィルタ則が成立することが判明した。よっ

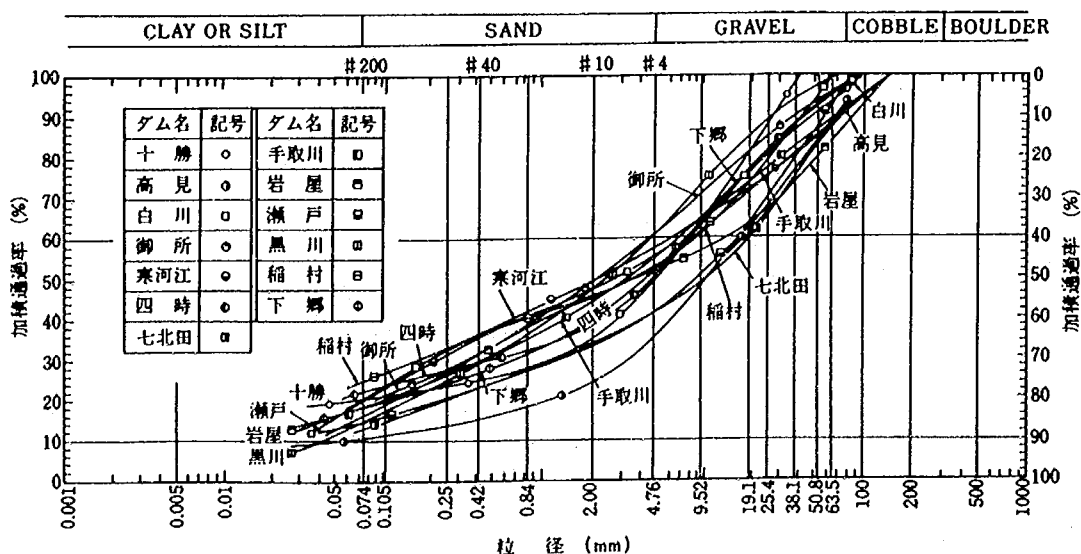


図-2.20 コア材の粒度分布例¹⁵⁾

- a. $\frac{\text{フィルター材料の15\%粒径}^*}{\text{フィルターで保護される材料の15\%粒径}^*} > 5$
- b. $\frac{\text{フィルター材料の15\%粒径}^*}{\text{フィルターで保護される材料の85\%粒径}^*} < 5$
- c. フィルター材料の粒度曲線は、保護される材料の粒度曲線とはほぼ平行であることが望ましい。
- d. フィルターで保護される材料が粗粒材料を含む場合は、その材料の粒径25mm以下の部分について、a および b を適用する。
- e. フィルター材料は粘着性のないもので、200 番ふるいを通過する細粒分含有量は、原則として5%以下とするのがよい。

図- 2.21 フィルタ則¹⁶⁾

て、築堤時の基礎の不等沈下によりブランケット部に亀裂が生じたとしても、ブランケット材の流亡は防げることがわかる。

(3) 総合評価

土質ブランケットを200m程度以上施工することにより($L_u(A_{n1})=1000$ のケースは除く)グラウチングが仮に首尾よく達成されたときとほぼ同等の漏水量低減効果が得られ、さらに基礎浸透流による砂礫層の内部侵食やパイピングに対しても安定であることが判明した。

また、今回はブランケット厚を一定としての検討である。しかし、Bennett²⁾も指摘している通り、ブランケットは堤体に近いほどその効果が大きいので、実際の設計にあたって、堤体の近くほどブランケットを厚くすることも一考に値する。例えば、堤体近くは厚さを5mにしておき、上流端付近では施工管理の精度も考慮して1~3mにし、その間を漸変させるというのも一つの策である。

3. 土質ブランケットと連続地中壁による浸透流制御

3.1 概説

ここでは前章で述べた土質ブランケットとその上流端に連続地中壁を施工することにより浸透流制御を実施した場合の効果の判定を行うことを目的とする。なお、具体的な検討項目は、

- ① 連続地中壁は上部河床堆積層にのみ設置すれば十分なのか、あるいは下部河床堆積層にまで設置しなければならないのか、
- ② さらに、安山岩部に対してグラウチングを施工する必要があるのか、である。

3.2 解析条件

今回の解析では、土質ブランケット長 L が100 mと200 mの場合を対象にし、その上流端に連続地中壁を施工した場合の効果についての検討を行う。連続地中壁およびその下のカーテングラウチングの設置位置を図-3.1に、各領域の飽和時透水係数の一覧を表-3.1に示す。

連続地中壁の幅と透水係数は、忠別ダムの試験施工¹⁷⁾や只見ダム等の実施あるいは計画例¹⁸⁾を参考に80 cm、 1.0×10^{-7} cm/sとした。カーテングラウチングを施工する場合は、 An_1 のみに幅2 m、仕上がり $5L_0$ で施工するものとした。

なお、連壁の施工深度あるいはカーテングラウチングの施工の有無については、① ua のみに連壁

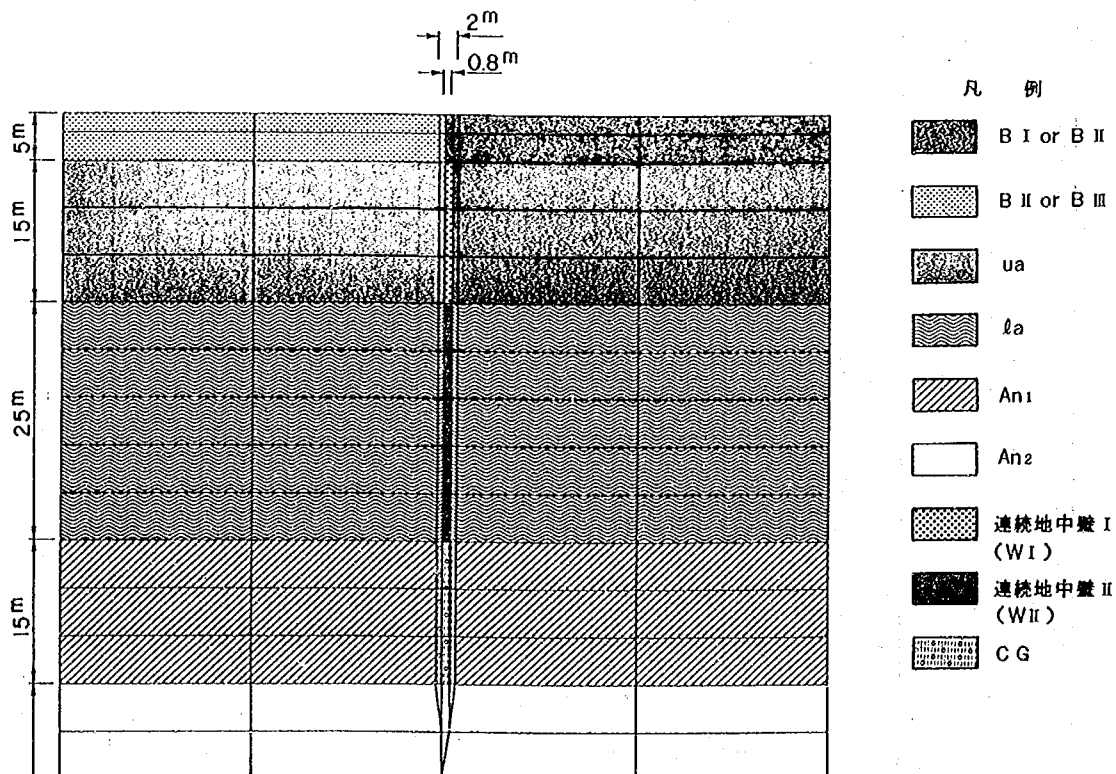


図-3.1 連続地中壁周辺の領域区分

表-3.1 透水係數一覽

[illegible]

注) 1) 透水係数の単位はcm/s。

2) $1 \text{ Lu} = 1.33 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$.

3) L はブラケット長。

を施工した場合、② 1aまで連壁を施工した場合、③ さらに、その下の An_1 にグラウチングを施工した場合、の3種類の場合を想定した。

3.3 解析結果

(1) 漏水量

連壁の設置深さの違いあるいは An_1 に対するグラウチングの有無による漏水量の差を図-3.2に示す。これらの図面から以下のことがいえる。

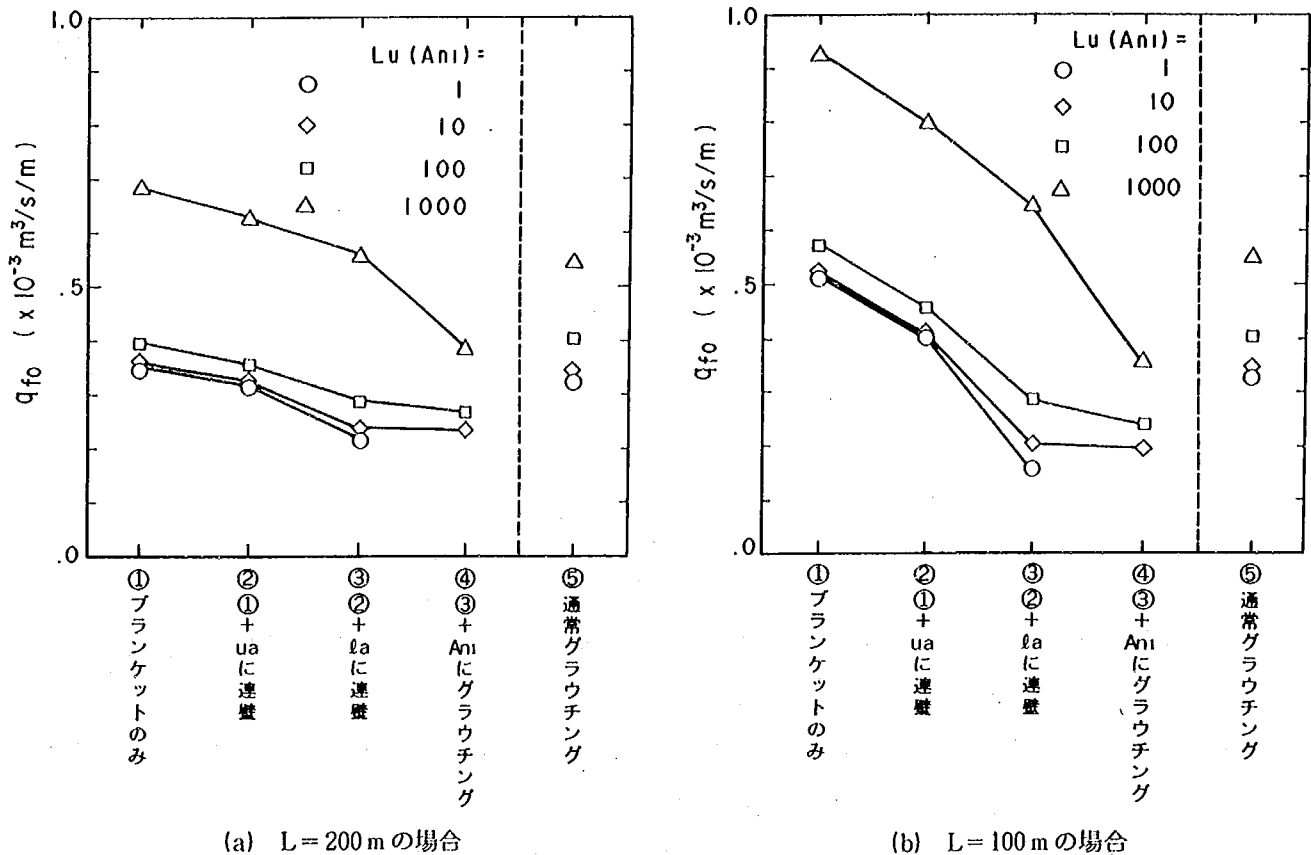


図-3.2 漏水量

- ① 連壁設置による漏水量の低減効果は、 $L=200 \text{ m}$ の場合よりも 100 m の場合の方が大きい。
- ② An_1 にグラウチングを施工した場合の漏水量低減効果は、 An_1 のルジオン値が 1000 の時以外はほとんどない。
- ③ $L=200 \text{ m}$ の場合は ua に連壁を施工するだけで、 $L=100 \text{ m}$ の場合は砂礫層全体に連壁を施工することで、グラウチング（2章参照）と同等かそれ以上の漏水量低減効果がある。

(2) 内部侵食

土質ブランケット 100 m の施工のみで下流浸出部のパイピングの発生の恐れがないことが2章において既に判明しているので、ここでは連壁周辺の流れに伴う内部侵食についてのみ検討する。内部侵食を検討する要素は図-3.3に示す通りである。各領域の最大流速（ ua 、 $1a$ については実流

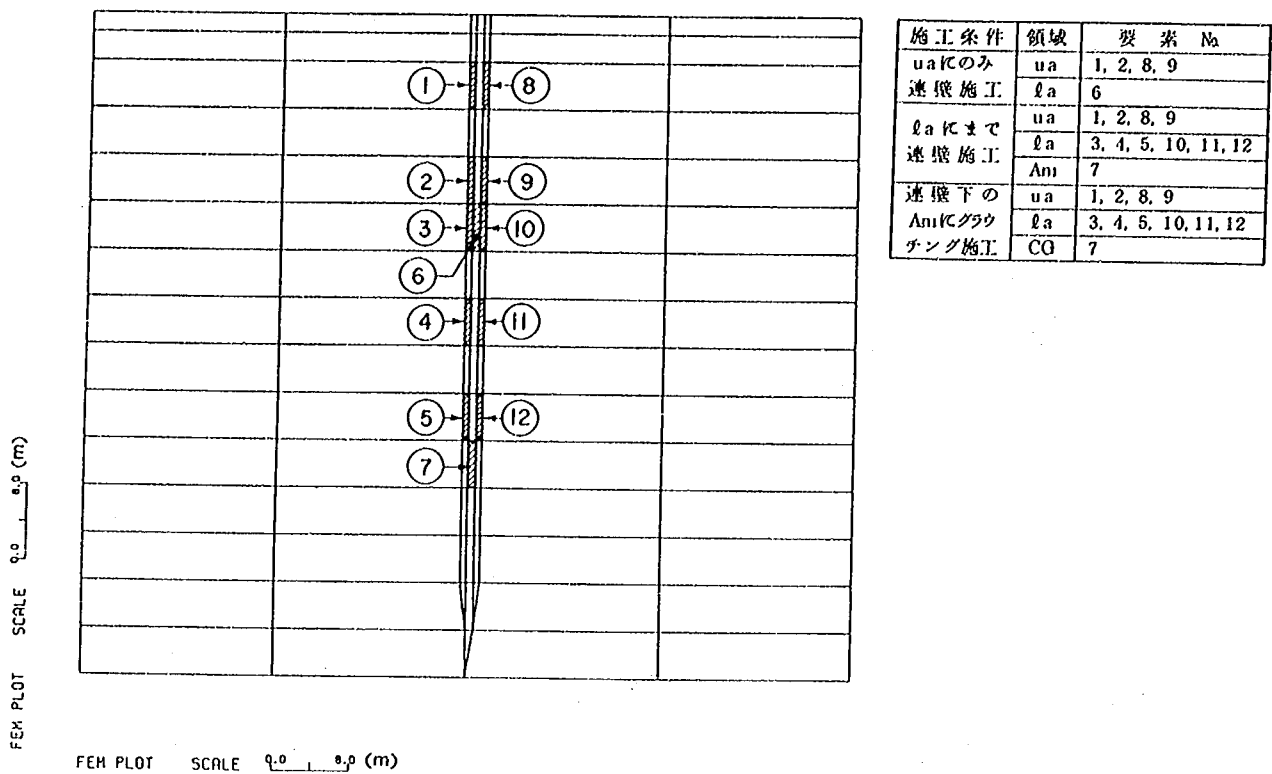


図- 3.3 内部侵食検討要素

速とした)を表- 3.2にまとめた。この表から以下のことがいえる。

- ① 両砂礫層の10%粒径に着目する限り、ここで候補に挙げたいかなる浸透流制御を実施しても浸透流に伴う内部侵食は発生しないといえる。
- ② uaのみに連壁を施工した場合に比べて、laまで連壁を施工した場合には連壁周りの砂礫層に発生する最大実流速は1オーダ程度小さくなる。
- ③ 連壁下のAniグラウチングを施工することによる連壁周辺砂礫中の浸透流速低減の効果は②ほど大きくはない。

表-3.2 最大流速一覧

Case No.	最大流速 (cm/s)			
	ua	la	Ani	CG
25	1.05×10^{-2}	1.23×10^{-2}	—	—
26	1.05×10^{-2}	1.23×10^{-2}	—	—
27	1.08×10^{-2}	1.26×10^{-2}	—	—
28	1.25×10^{-2}	1.42×10^{-2}	—	—
29	8.26×10^{-4}	1.31×10^{-3}	2.67×10^{-4}	—
30	7.77×10^{-4}	3.27×10^{-3}	8.05×10^{-4}	—
31	1.08×10^{-3}	2.43×10^{-3}	1.21×10^{-3}	—
32	1.52×10^{-3}	2.20×10^{-3}	2.99×10^{-3}	—
33	7.05×10^{-4}	2.77×10^{-3}	—	6.43×10^{-4}
34	7.70×10^{-4}	2.64×10^{-3}	—	7.35×10^{-4}
35	8.75×10^{-4}	4.60×10^{-3}	—	1.53×10^{-4}
36	1.82×10^{-2}	2.13×10^{-2}	—	—
37	1.82×10^{-2}	2.13×10^{-2}	—	—
38	1.83×10^{-2}	2.13×10^{-2}	—	—
39	1.91×10^{-2}	2.17×10^{-2}	—	—
40	1.14×10^{-3}	1.81×10^{-3}	3.74×10^{-4}	—
41	1.12×10^{-3}	4.72×10^{-3}	1.16×10^{-3}	—
42	1.59×10^{-3}	3.60×10^{-3}	1.79×10^{-3}	—
43	2.09×10^{-3}	3.01×10^{-3}	4.12×10^{-3}	—
44	1.01×10^{-3}	3.97×10^{-3}	—	9.21×10^{-4}
45	1.10×10^{-3}	3.77×10^{-3}	—	1.05×10^{-3}
46	1.10×10^{-3}	5.70×10^{-3}	—	1.90×10^{-3}

注) ua, laについては実流速, Ani, CGについては見掛け流速を記した。

(3) 総合評価

土質ブランケット長Lが200mの場合はuaに連壁を施工することで、L=100mの場合は砂礫層全体に連壁を施工することで、通常のグラウチングと同等かそれ以上の漏水量低減効果がある。さらに、これらの浸透流制御法の採用により内部侵食の発生は十分防げることが判明した。ただし、L=200mの場合のla部の連壁やその下のカーテングラウチングの施工も連壁周りの浸透流速の低減には大いに役立つ。

4. ま と め

今回の検討内容および結果をまとめると以下の通りである。

(一 般 論)

- ① 水平多層地盤に土質ブランケットによる浸透流制御を実施した場合の漏水量予測式を求めた。
- ② FEMによる浸透流解析により①の漏水量予測式の精度を検討したところ、非常に精度が良いことが判明した。ただし、土質ブランケット長が極端に短い場合や下部にいくに従い基礎地盤の透水性がほぼ小さくなっていく傾向にない場合には、①の予測式では漏水量を大きめに予測してしまう恐れがある。

(忠別ダム)

- ③ 土質ブランケットを200 m程度以上施工することにより ($L_u (An_1) = 1000$ のケースは除く) グラウチングが仮に首尾良く達成されたときとほぼ同等の漏水量低減効果が得られ、さらに基礎浸透流による内部侵食やパイピングに対しても安定であることが判明した。

また、今回はブランケット厚を一定としての検討である。しかし、Bennett²⁾ も指摘している通り、ブランケットは堤体に近いほどその効果が大きいので、実際の設計にあたっては、堤体の近くほどブランケットを厚くすることも一考に値する。例えば、堤体近くは厚さを5 mにしておき、上流端付近では施工管理の精度も考慮して1~3 mにし、その間を漸変させるというのも一つの策である。

- ④ 土質ブランケット長Lが200 mの場合はuaに連壁を施工するだけで、L=100 mの場合は砂礫層全体に連壁を施工することで、通常のグラウチングが仮に首尾良く達成されたときと同等かそれ以上の漏水量低減効果がある。また、これらの浸透流制御法の採用により内部侵食の発生は十分防げることが判明した。ただし、L=200 mの場合のla部の連壁やその下のカーテングラウチングの施工も連壁周りの浸透流速の低減には大いに役立つ。

ただし、以上の結論は、忠別ダムの砂礫基礎処理方法についての浸透流解析の立場からの検討であり、ブランケットや地中壁の施工性および工費の検討は含まれていない。よって、工法の比較にあたっては、総合的検討が必要であることを付記しておく。また、浸透流解析に用いた物性値は、現在までの調査結果を踏まえた最善のものであると考えるが、設計にあたっては自然の地盤に存在するばらつきについても配慮が必要である。

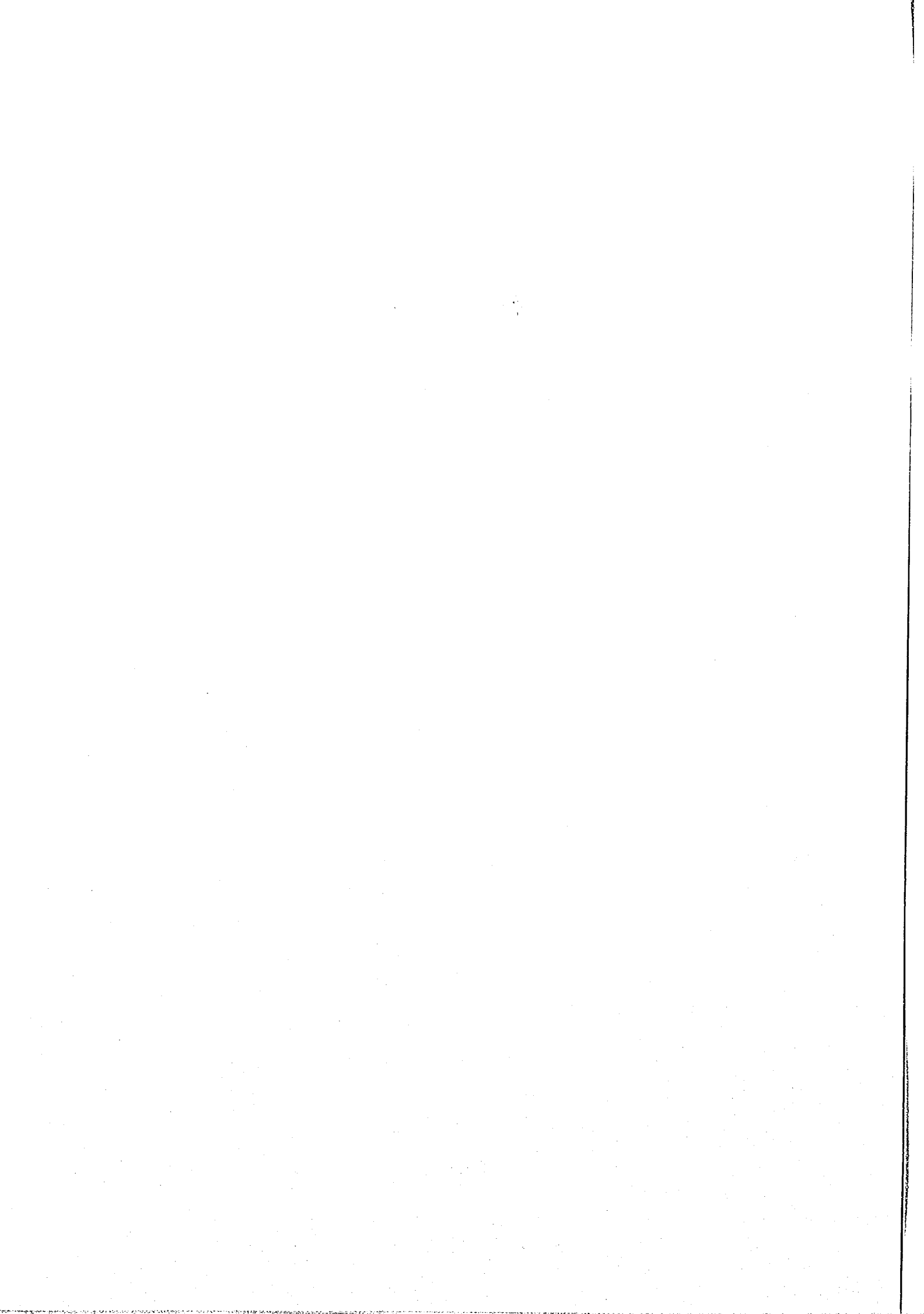
謝 辞

本研究を遂行するにあたり、北海道開発局旭川開発建設部忠別ダム建設事業所および(財)ダム技術センターの関係各位には資料の提供を始め種々の御協力を賜った。末筆ながら記して感謝の意を表します。

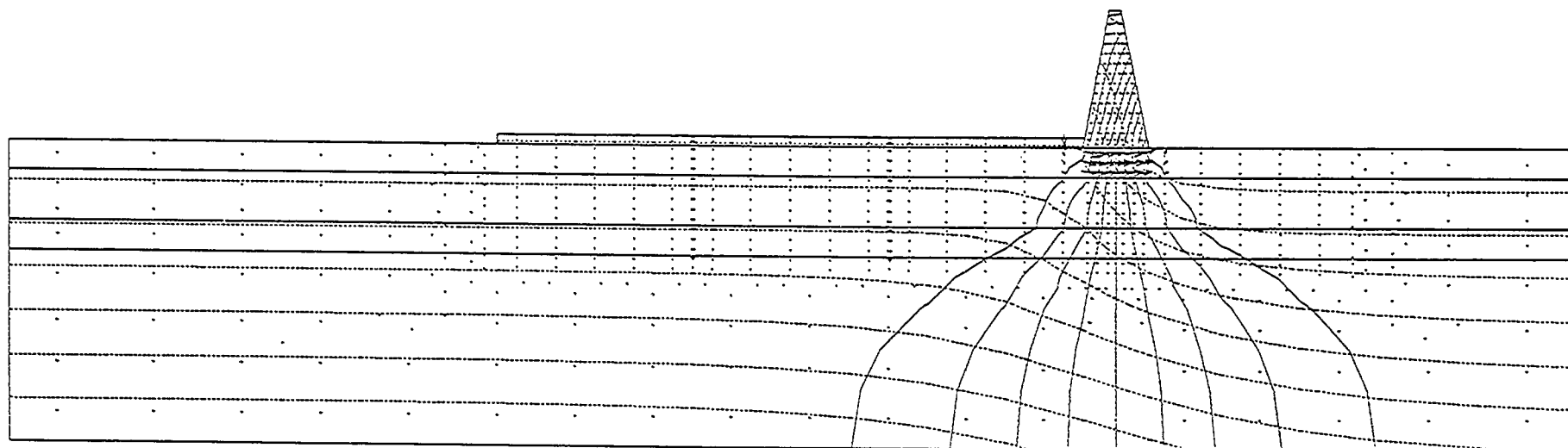
参 考 文 献

- 1) 忠別ダム建設事業所：忠別ダム型式検討について，ダム技術検討委員会資料，1988年10月。
- 2) Bennett, P.T. : The effect of blankets on seepage through pervious foundation, Proceedings of ASCE, Nov. 1952.
- 3) 建設省：フィルダムの細部技術に関する研究，第42回建設省技術研究会河川部門指定課題論文集，pp. 41～43，1988年10月，
- 4) 山口嘉一・波市秀雄・松本徳久：高透水性岩盤に対する透水試験，建設省土木研究所報告，第180-1号，1989年12月。
- 5) 松本徳久・山口嘉一・弘末文紀：ルジオンテストの各種境界条件下での精度と結果の解釈，建設省土木研究所資料，第2518号，p. 93，1987年11月。
- 6) 忠別ダム建設事業所：昭和62年度忠別ダム砂礫層強度試験（抄出）。
- 7) Justin, J.D. : Earth Dam Projects, Tohn wiley & sons, 1932.
- 8) Peter, P : Estimating the changes caused by hydraulic loading of soils in dam foundations, 13th Congress of ICOLD, Q.49, pp. 291～295, 1979.
- 9) 建設省九州地方建設局企画部・(財)国土開発技術研究センター：九州地方の火山岩地域におけるダムの止水調査法および止水工法，p. 67，1980年3月。
- 10) 大野睦雄・山崎弥ら：砂のパイピング特性に関する実験的研究（第2報），第19回土質工学研究発表会講演集，pp. 1335～1336，1984年6月。
- 11) Brauns, J. : Erosionsverhalten geschichteten Bodens bei horizontaler Durchstromung, Wasserwirtschaft, No. 75, pp. 448～453, Oct. 1985.
- 12) Terzaghi, K. : Effect of minor geologic details on the safety of dams, Amer. Inst. Min. and Met. Engrs. Tech. Publ., 215, pp. 31～44, 1929.
- 13) J. タロブル（進藤一夫訳）：岩盤力学，森北出版，p. 279，1970。
- 14) 朝倉喜美男・長谷川英明：土質材料のパイピングに対する抵抗性とフィルターの有効性について，中部電力(株)総合技術研究所研究報告書，1970年7月。
- 15) 建設省河川局監修：多目的ダムの建設（昭和62年度版），第3巻，p. 365，1987年9月。
- 16) (社)日本大ダム会議：第2次改訂ダム設計基準，p. 88，1978年8月。
- 17) 岸信久・出蔵論・鈴木健治：忠別ダムのソフトコンクリートによる連続地中壁の試験施工，ダム技術，Vol. 5, No. 1, pp. 49～64，1987年3月。
- 18) (財)ダム技術センター：ダム砂礫基礎技術検討委員会兄見ダム分科会最終報告書，1986年3月。

付 図



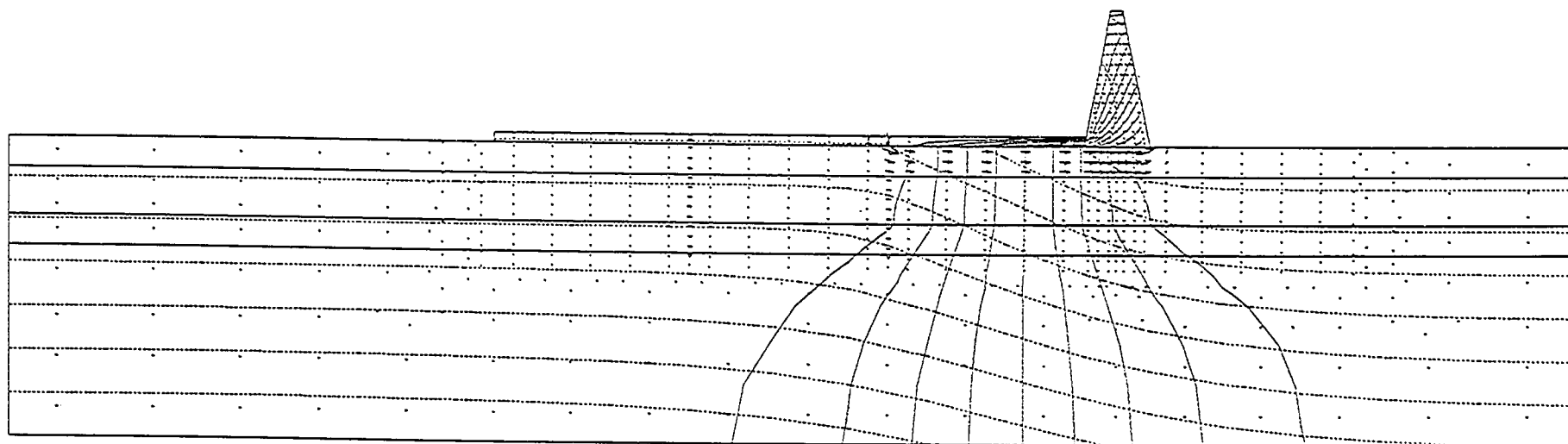
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00053
0.0 50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00053
0.0 50.0

Case - 1

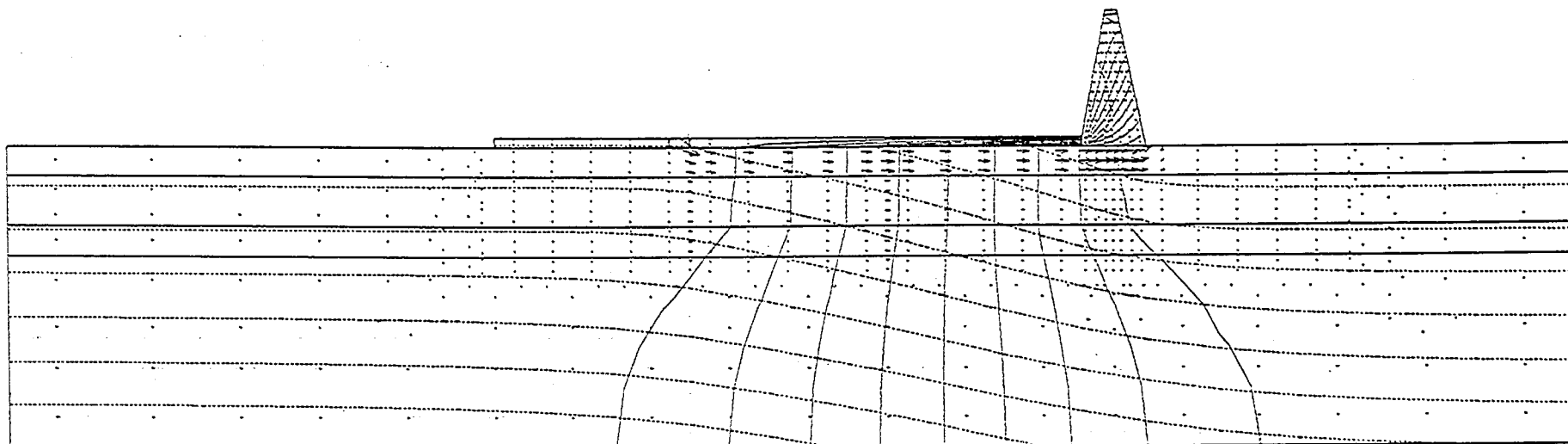
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00027
0.0 50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00027
0.0 50.0

Case - 2

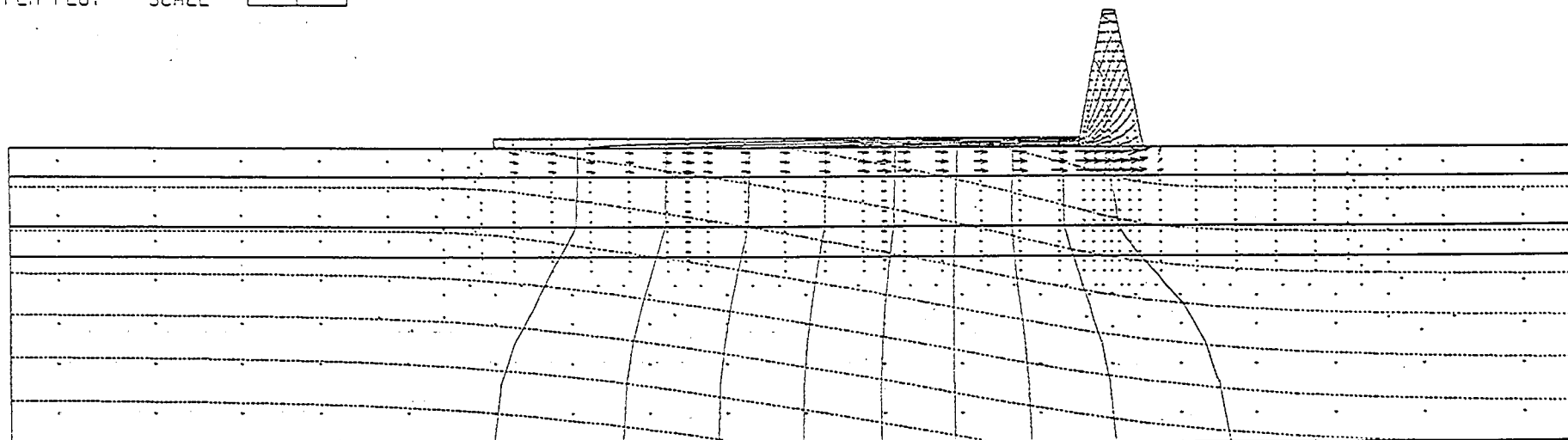
CURRENT SCALE 0.0 0.00014
FEM PLOT 0.0 50.0



Case - 3

CURRENT SCALE 0.0 0.00014
FEM PLOT 0.0 50.0

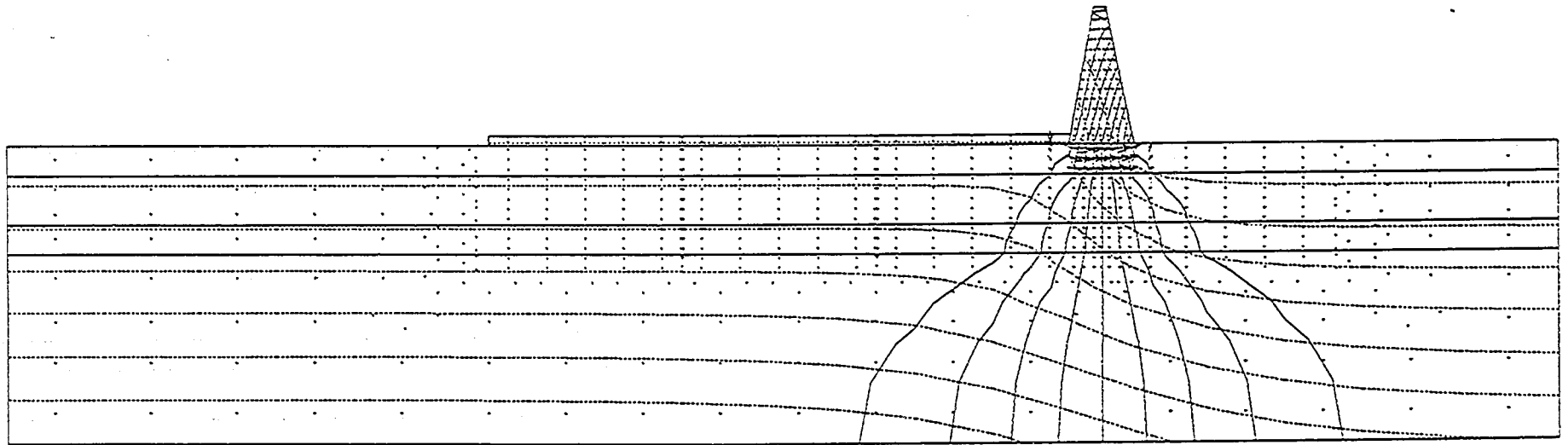
CURRENT SCALE 0.0 0.00010
FEM PLOT 0.0 50.0



Case - 4

CURRENT SCALE 0.0 0.00010
FEM PLOT 0.0 50.0

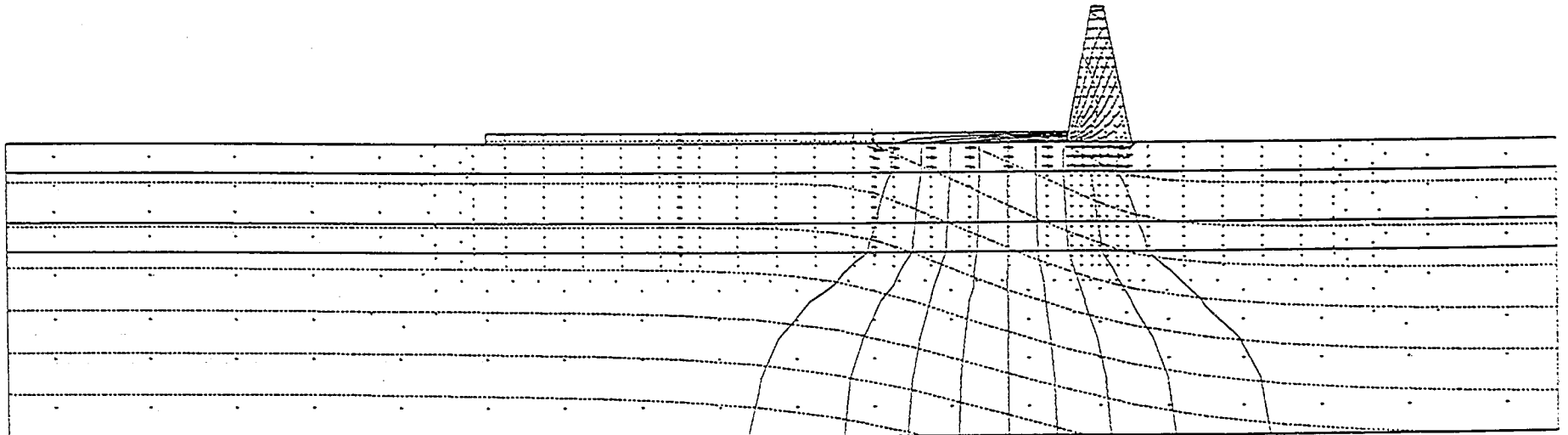
CURRENT SCALE 0.0 0.00053
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case-5

CURRENT SCALE 0.0 0.00053
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

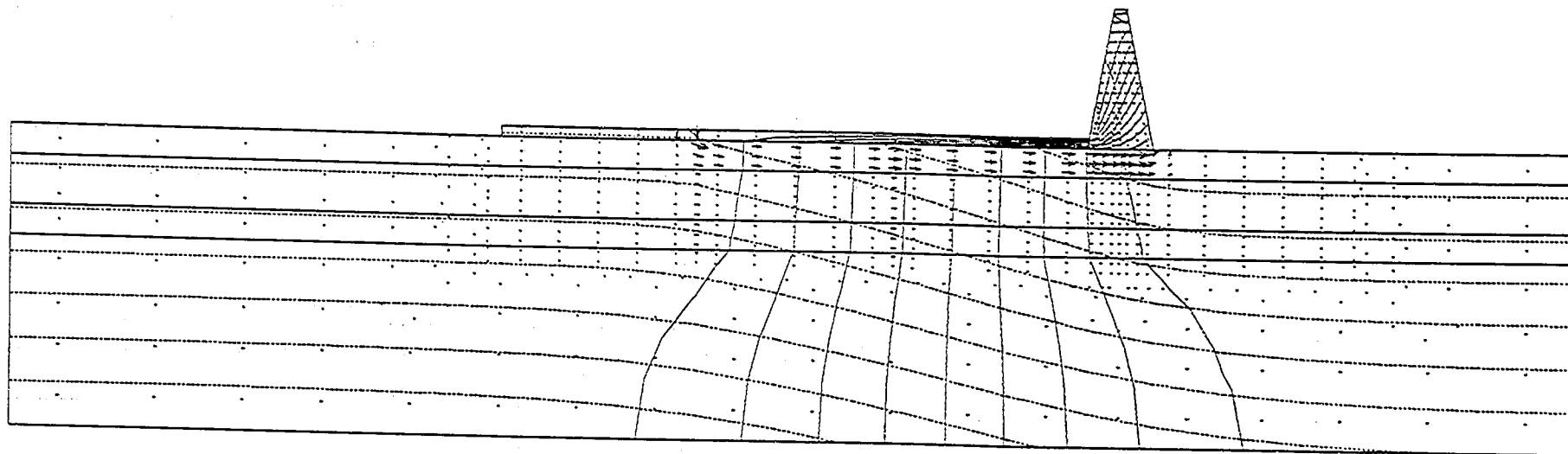
CURRENT SCALE 0.0 0.00027
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case-6

CURRENT SCALE 0.0 0.00027
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

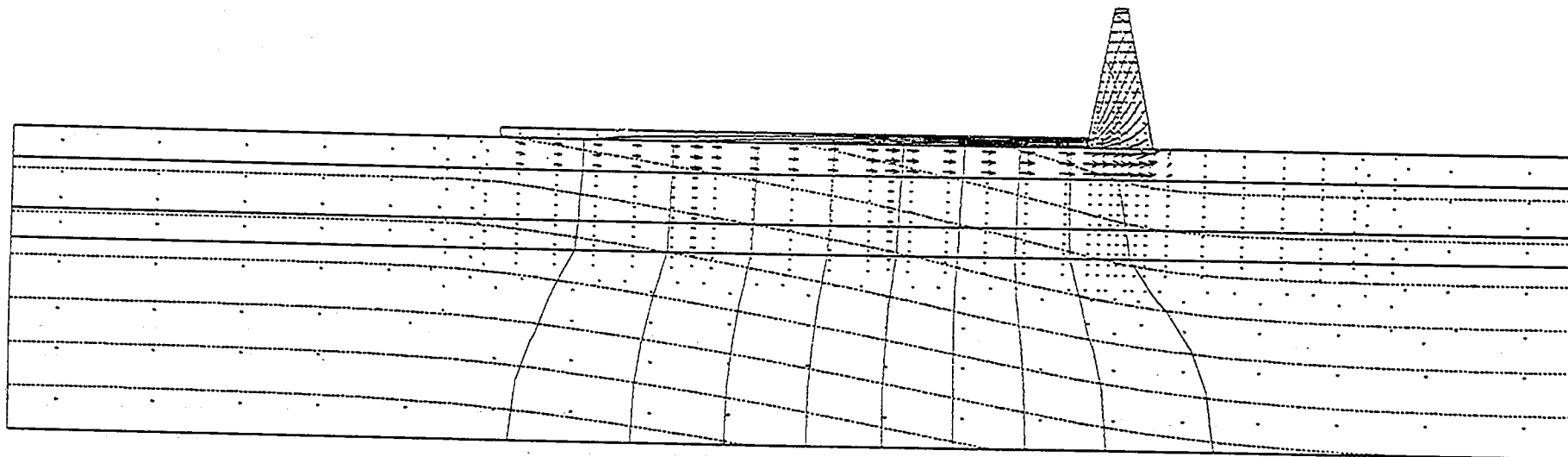
CURRENT SCALE 0.0 0.00014
FEM PLOT 0.0 50.0



CURRENT SCALE 0.0 0.00014
FEM PLOT 0.0 50.0

Case-7

CURRENT SCALE 0.0 0.00010
FEM PLOT 0.0 50.0



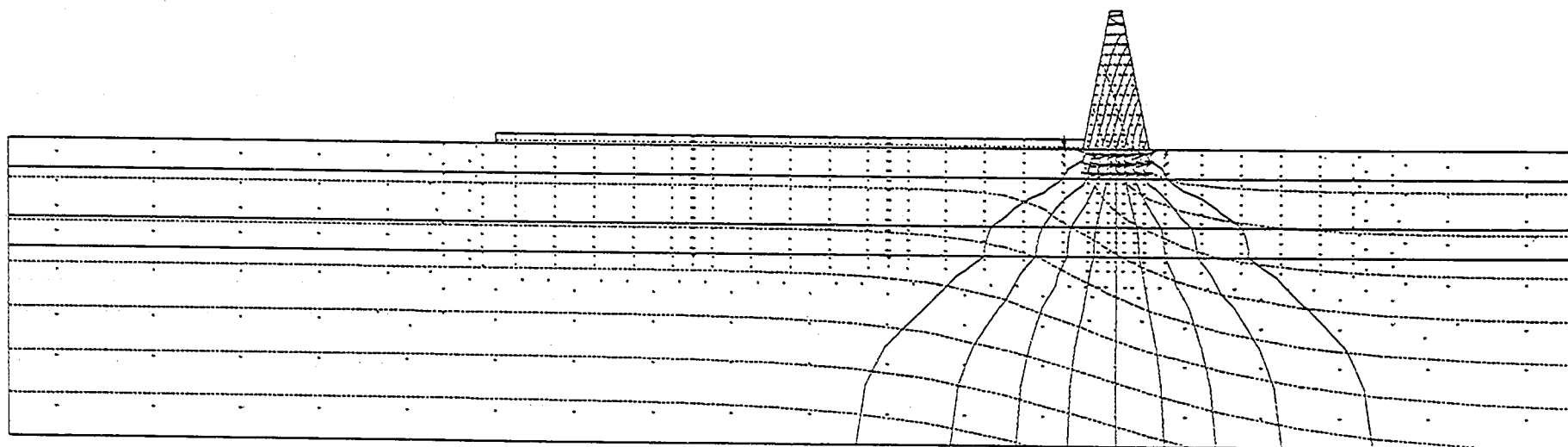
CURRENT SCALE 0.0 0.00010
FEM PLOT 0.0 50.0

Case-8

CURRENT
FEM PLOT

SCALE
SCALE

0.0 0.00053
0.0 50.0



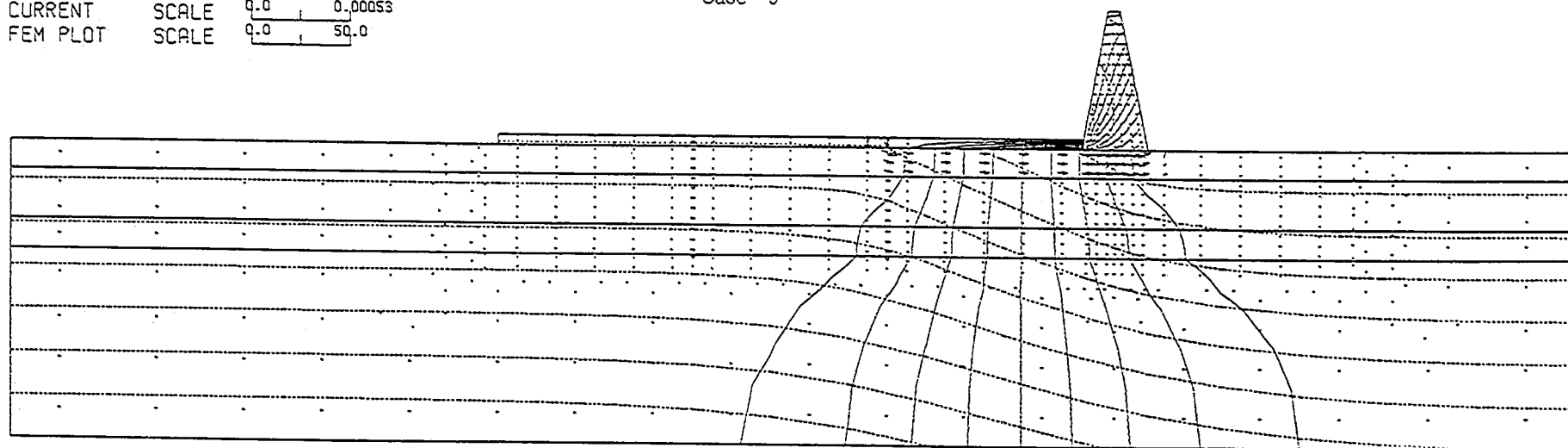
CURRENT SCALE 0.0 0.00053
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

Case-9

CURRENT
FEM PLOT

SCALE
SCALE

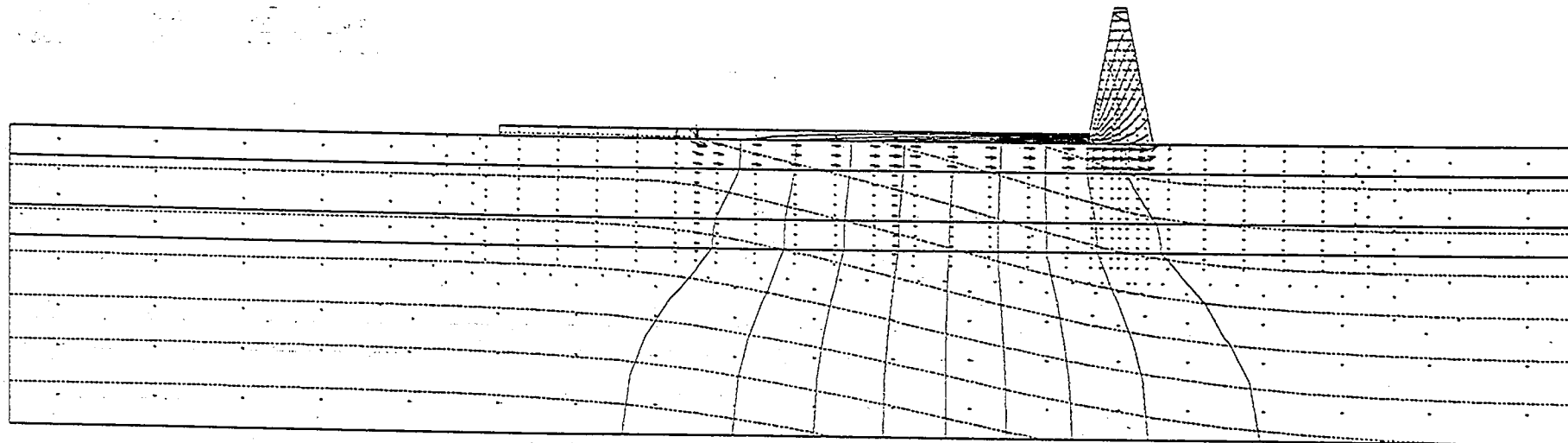
0.0 0.00028
0.0 50.0



CURRENT SCALE 0.0 0.00028
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

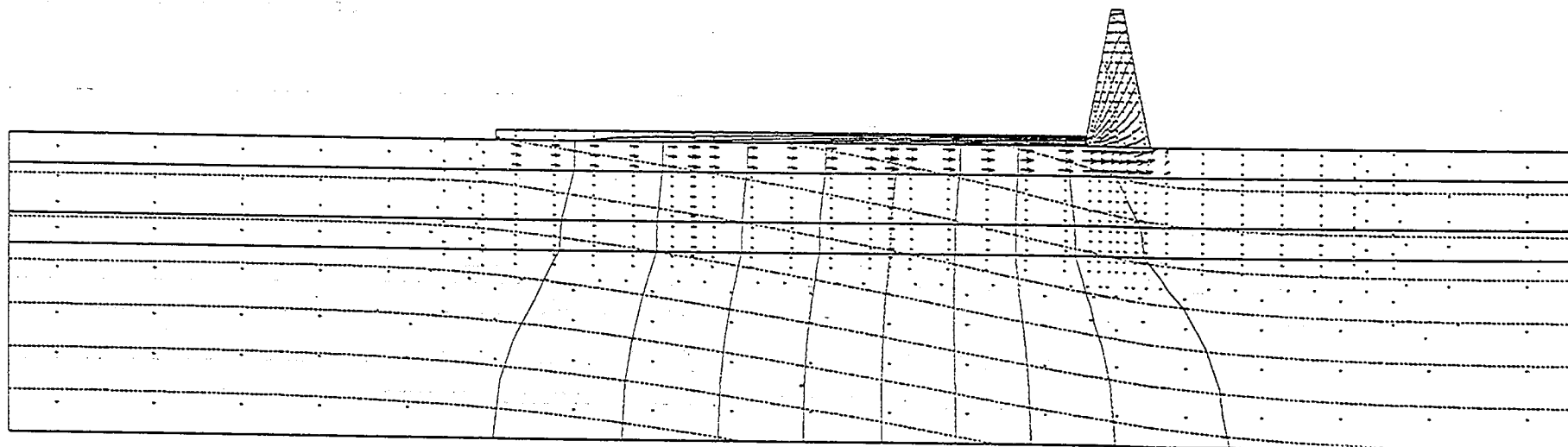
Case-10

CURRENT SCALE 0.0 0.00015
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case - 11

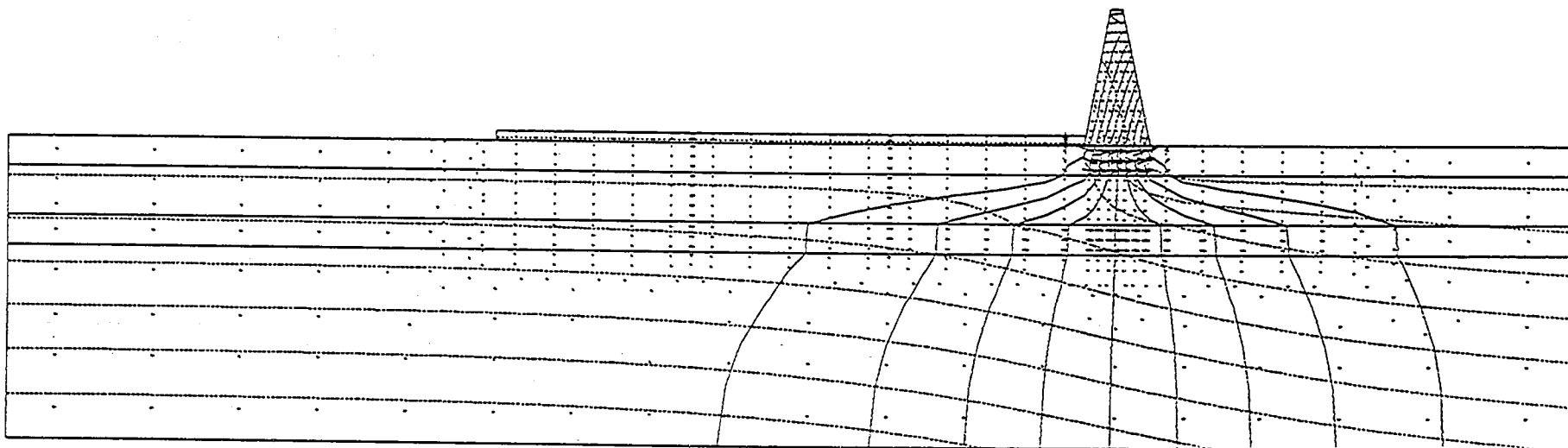
CURRENT SCALE 0.0 0.00010
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case - 12

CURRENT SCALE 0.0 0.00010
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

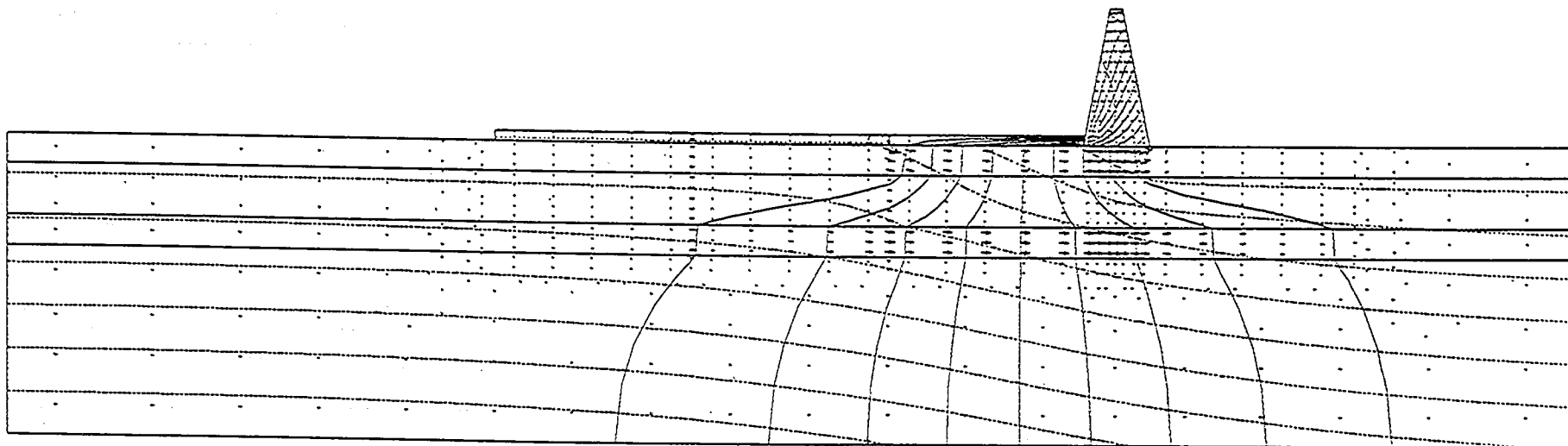
CURRENT SCALE 0.0 0.00053
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case - 13

CURRENT SCALE 0.0 0.00053
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

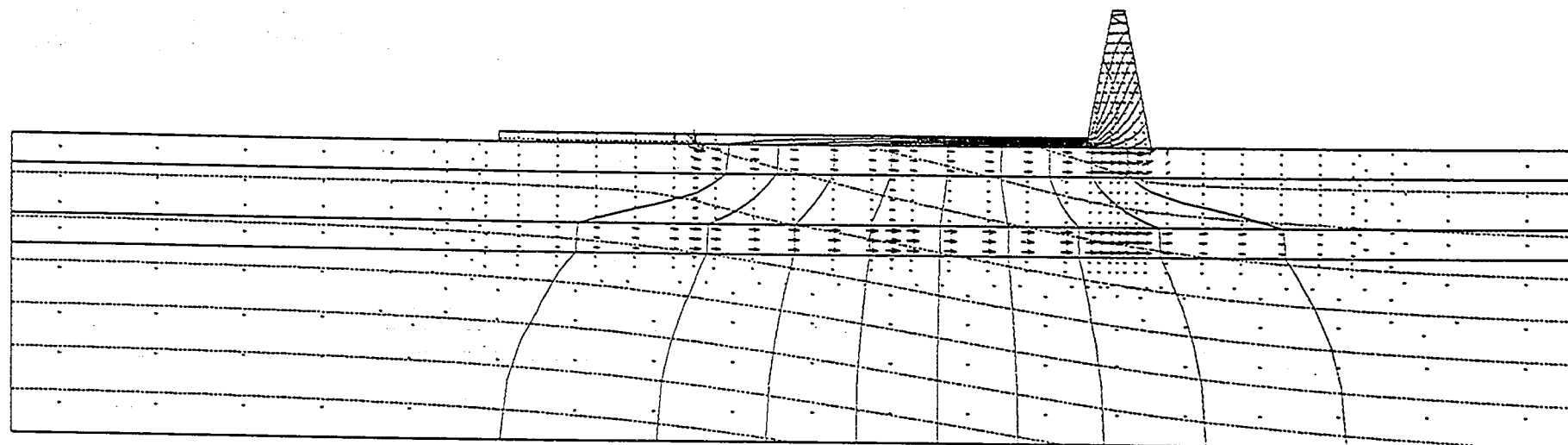
CURRENT SCALE 0.0 0.00032
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case - 14

CURRENT SCALE 0.0 0.00032
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

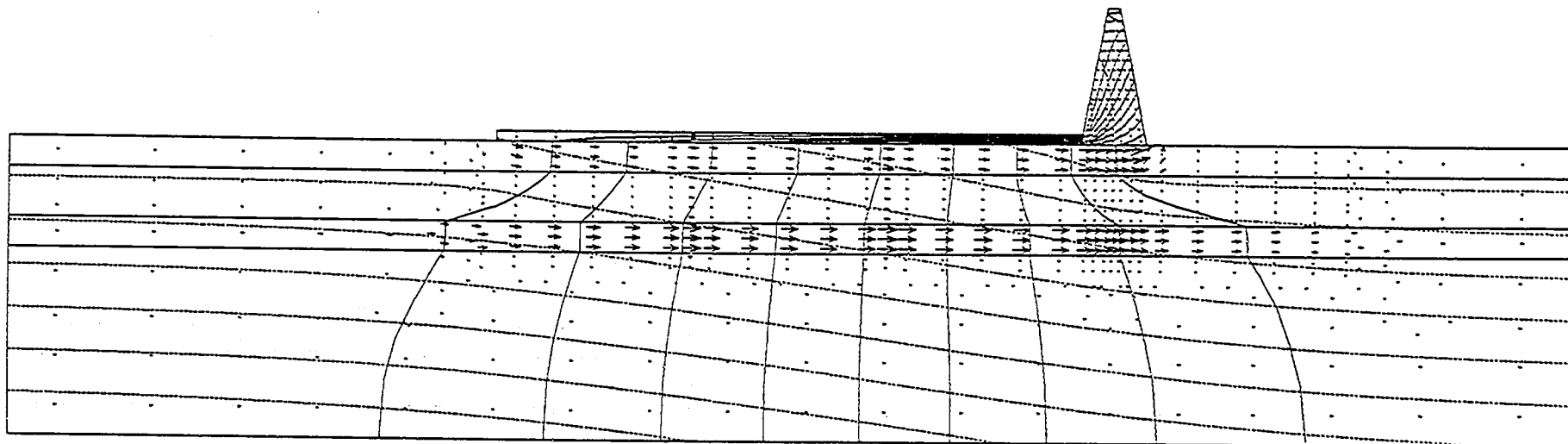
CURRENT SCALE 0.0 0.00020
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



CURRENT SCALE 0.0 0.00020
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

Case-15

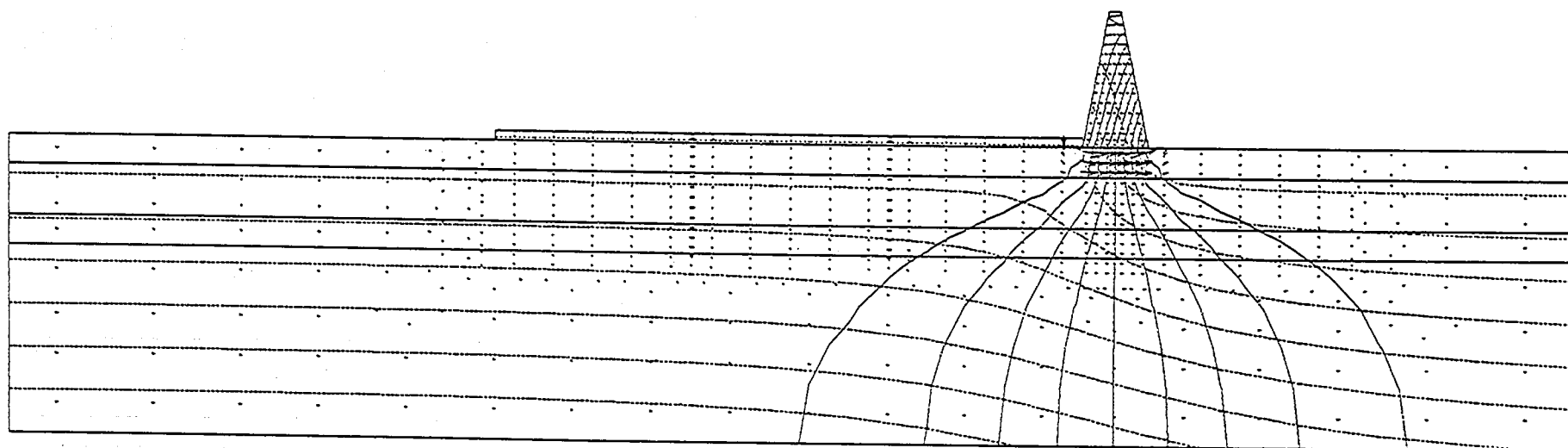
CURRENT SCALE 0.0 0.00012
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



CURRENT SCALE 0.0 0.00012
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

Case-16

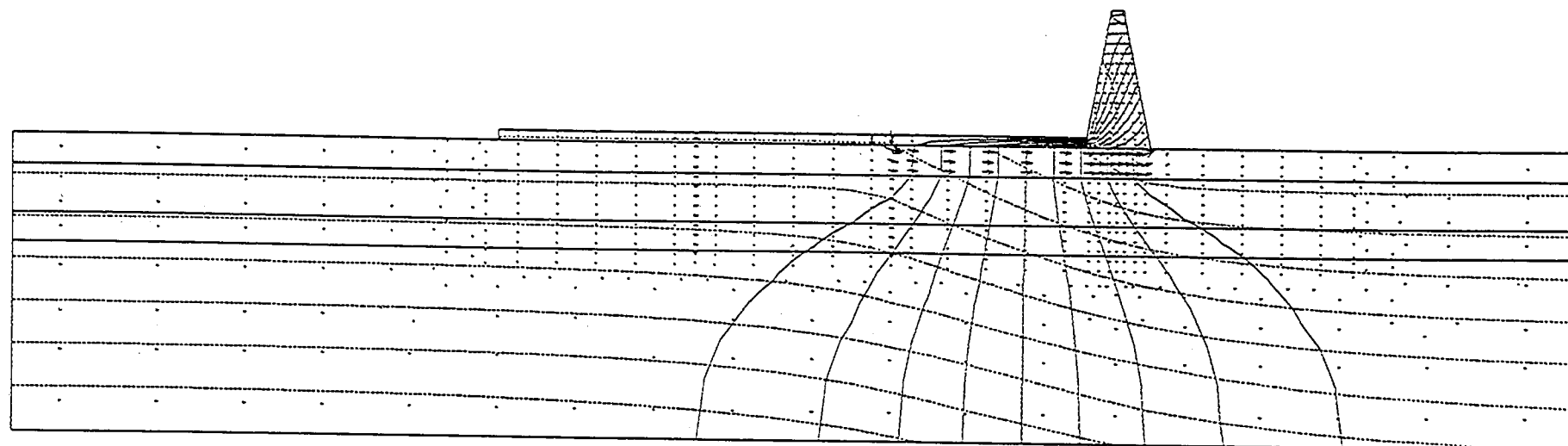
CURRENT FEM PLOT
SCALE
0.0 0.00052
50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE
0.0 0.00052
50.0

Case-17

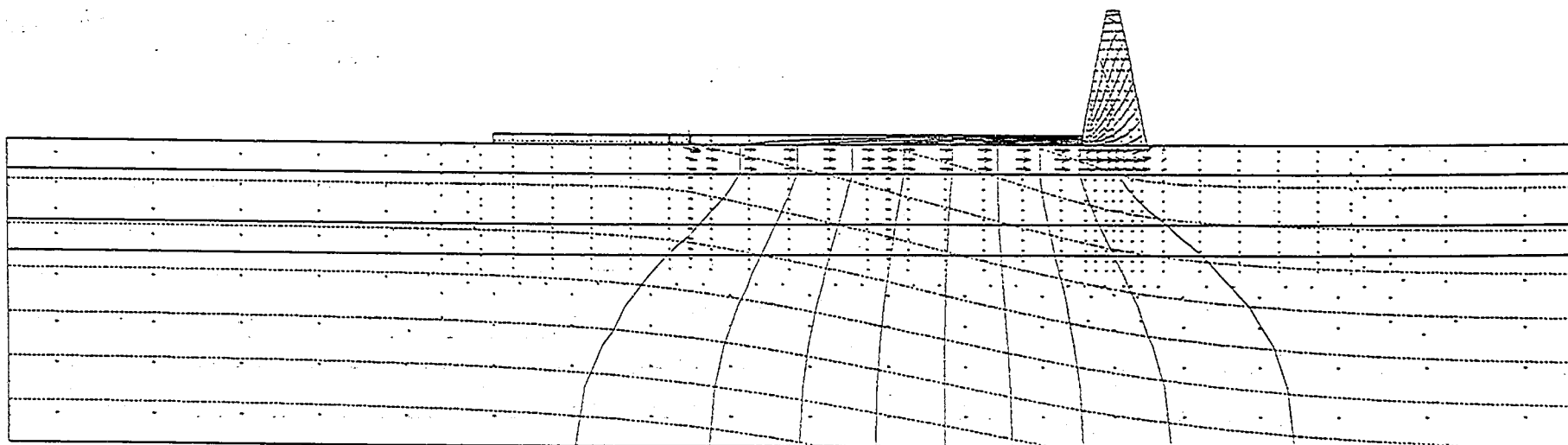
CURRENT FEM PLOT
SCALE
0.0 0.00025
50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE
0.0 0.00025
50.0

Case-18

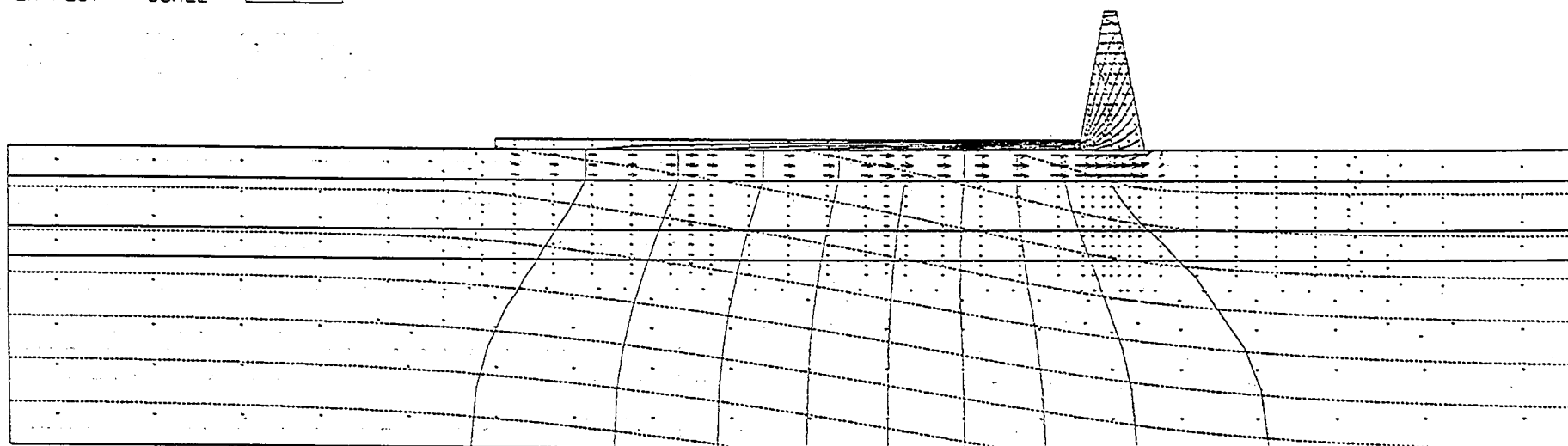
CURRENT SCALE 0.0 0.00013
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case - 19

CURRENT SCALE 0.0 0.00013
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

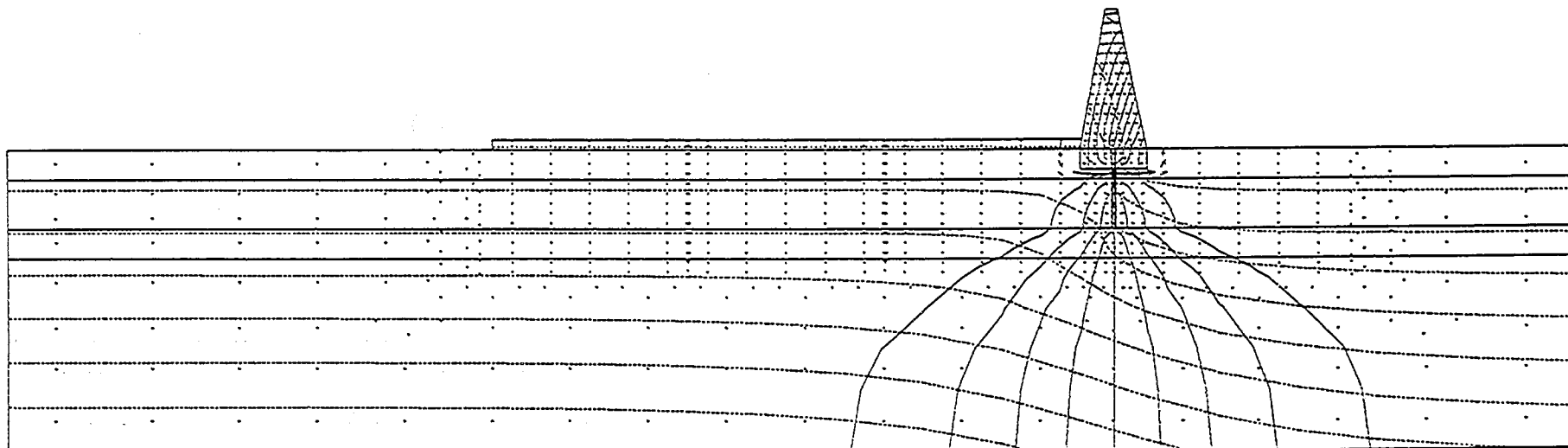
CURRENT SCALE 0.0 0.000100
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case - 20

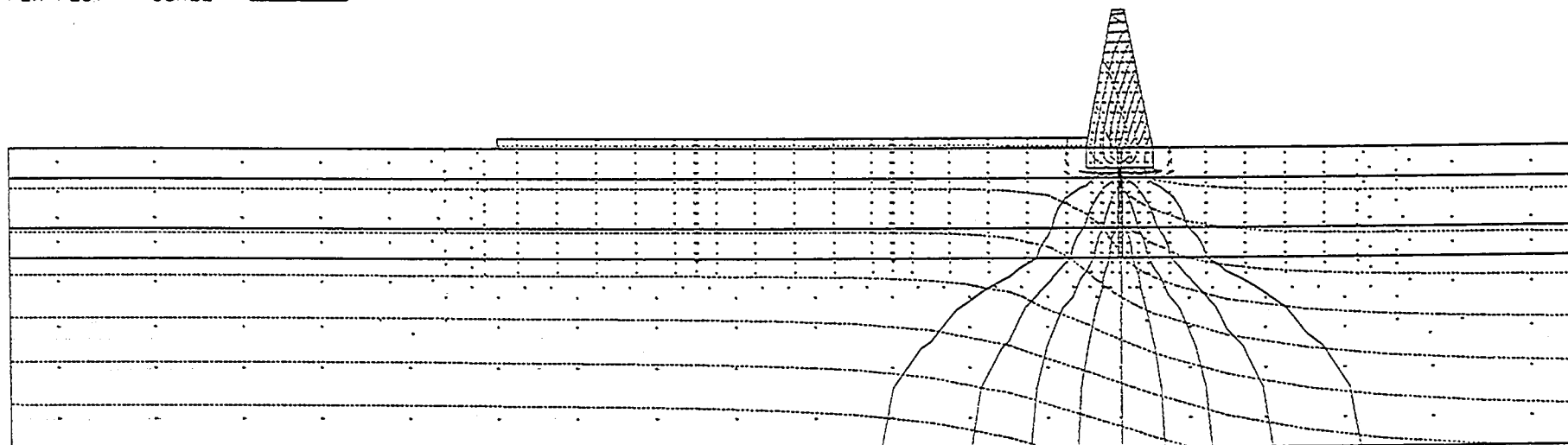
CURRENT SCALE 0.0 0.000100
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

CURRENT FEM PLOT
SCALE 0.0 0.00017
SCALE 0.0 50.0



Case-21

CURRENT FEM PLOT
SCALE 0.0 0.00017
SCALE 0.0 50.0

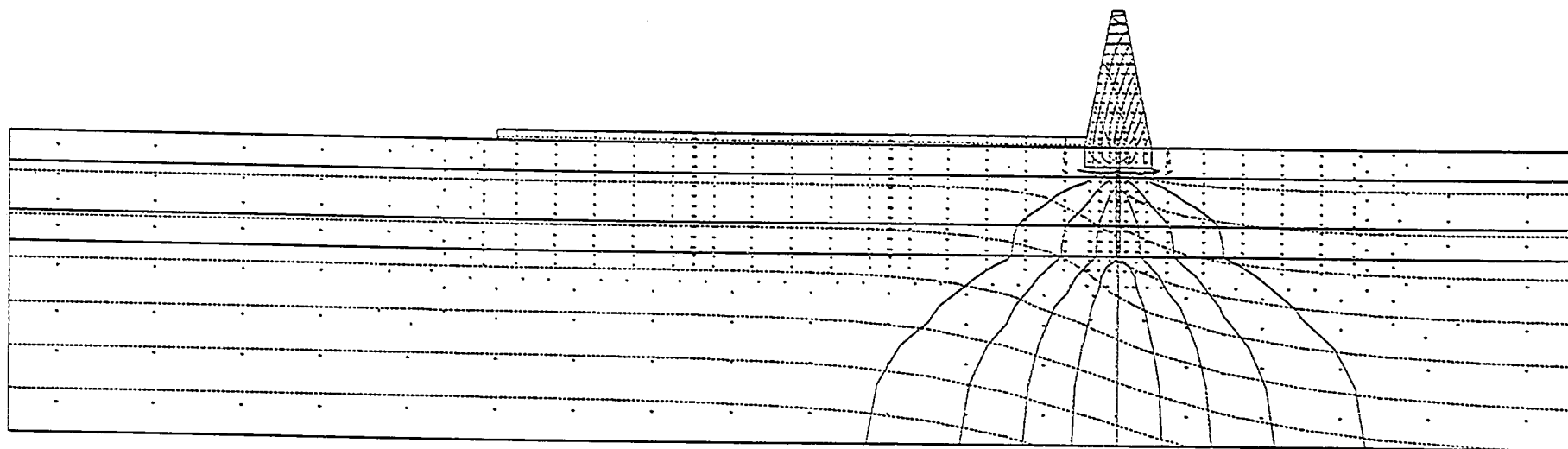


Case-22

CURRENT
FEM PLOT

SCALE

0.0 0.00017
0.0 50.0



CURRENT
FEM PLOT

SCALE

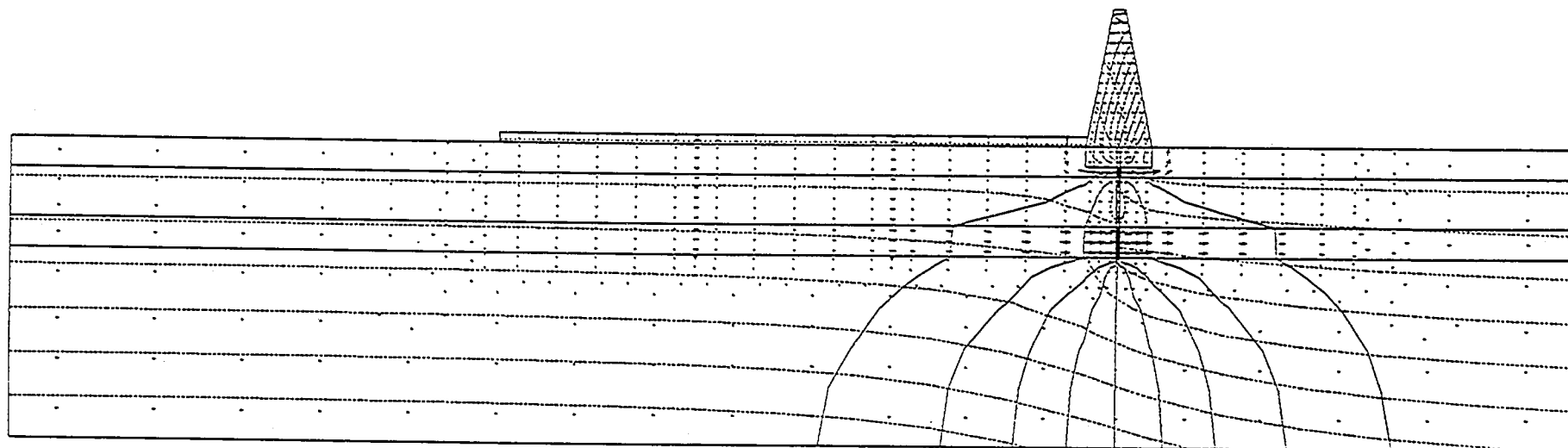
0.0 0.00017
0.0 50.0

Case-23

CURRENT
FEM PLOT

SCALE

0.0 0.00016
0.0 50.0



CURRENT
FEM PLOT

SCALE

0.0 0.00016
0.0 50.0

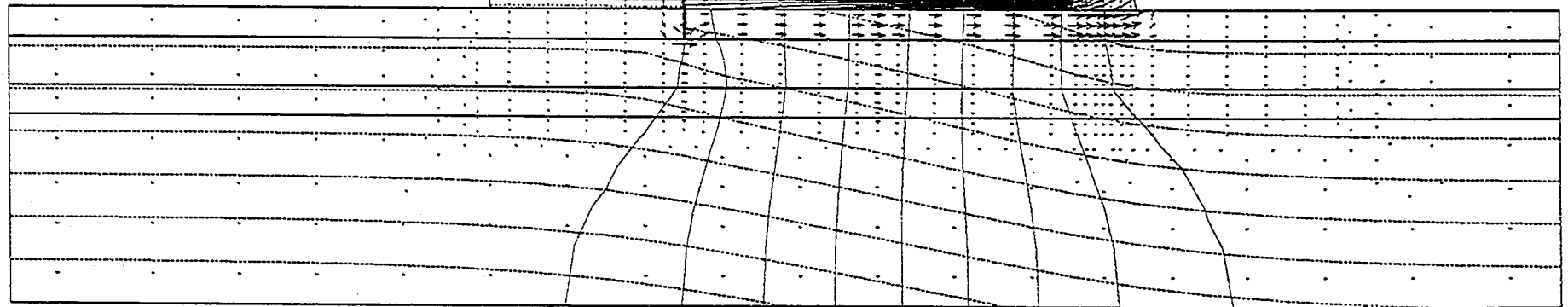
Case-24

CURRENT
FEM PLOT

SCALE
SCALE

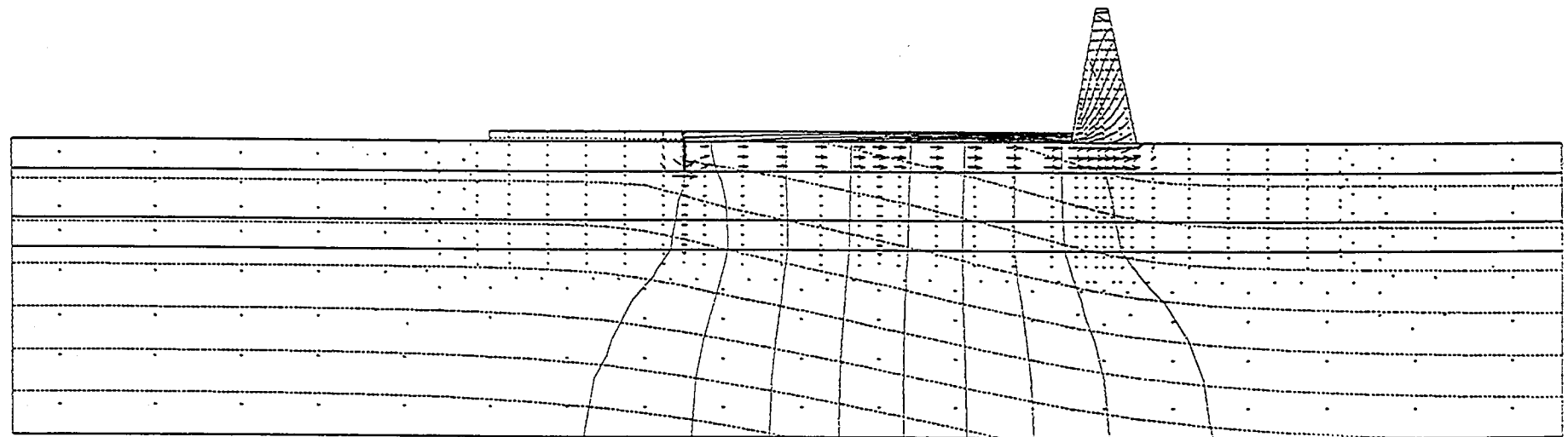
CURRENT
FEM PLOT

SCALE
SCALE



CURRENT SCALE 0.0 0.00011
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

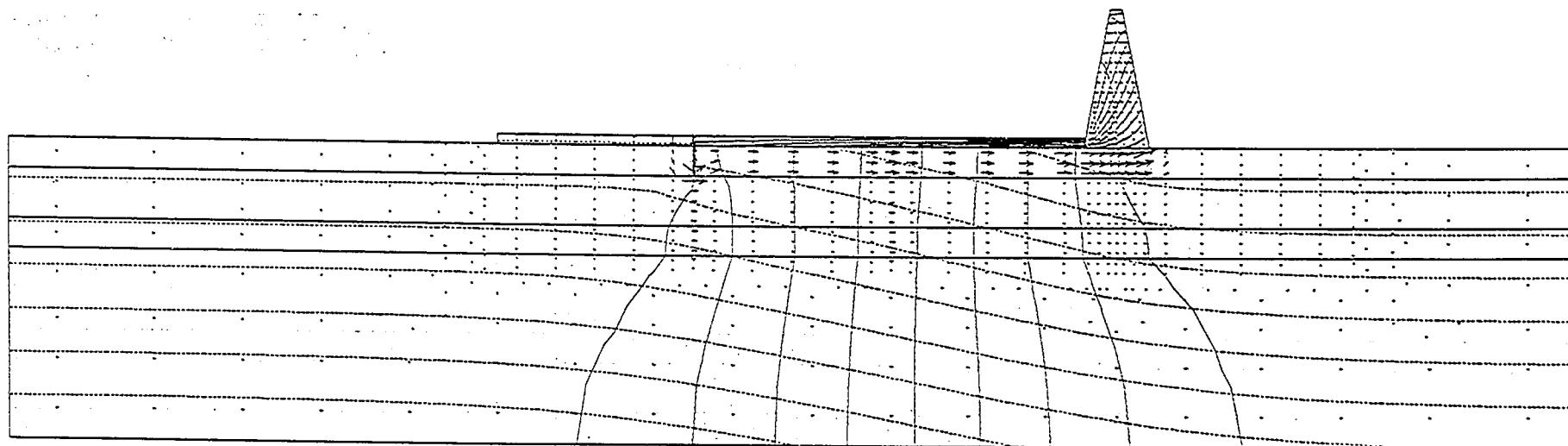
Case - 25



CURRENT SCALE 0.0 0.00011
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

Case - 26

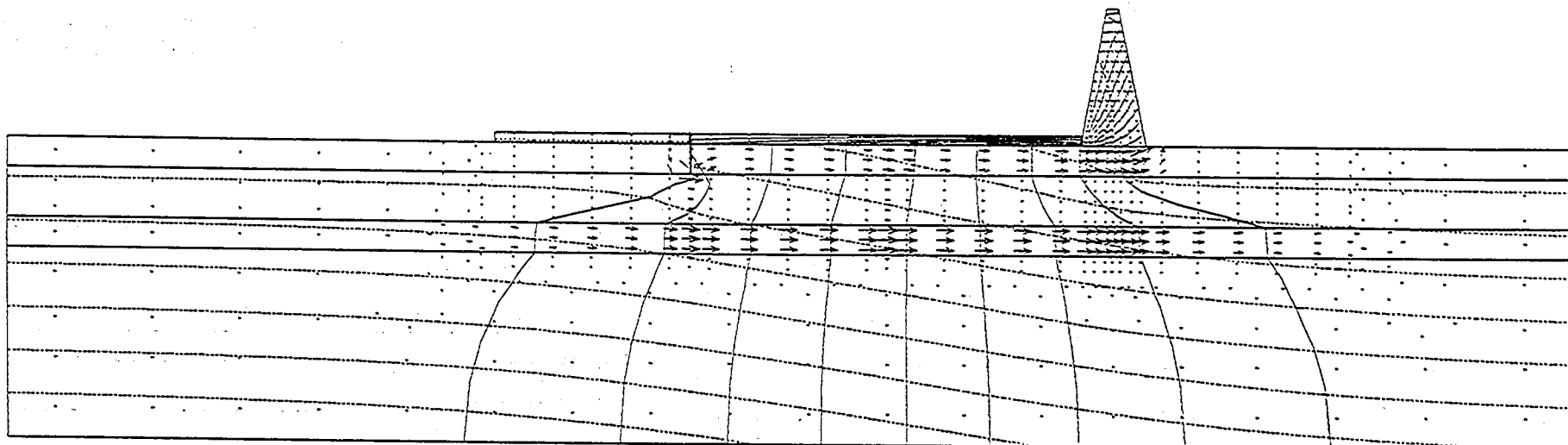
CURRENT FEM PLOT
 SCALE SCALE
 0.0 0.0
 50.0 50.0



Case -27

CURRENT FEM PLOT
 SCALE SCALE
 0.0 0.00011
 50.0 50.0

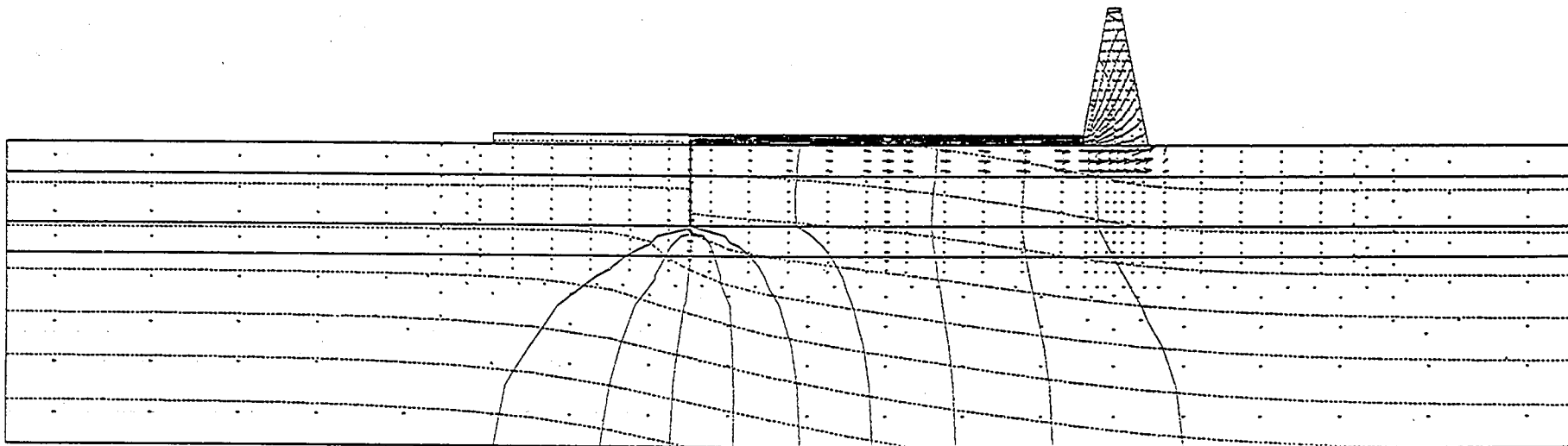
CURRENT FEM PLOT
 SCALE SCALE
 0.0 0.0
 50.0 50.0



Case -28

CURRENT FEM PLOT
 SCALE SCALE
 0.0 0.00013
 50.0 50.0

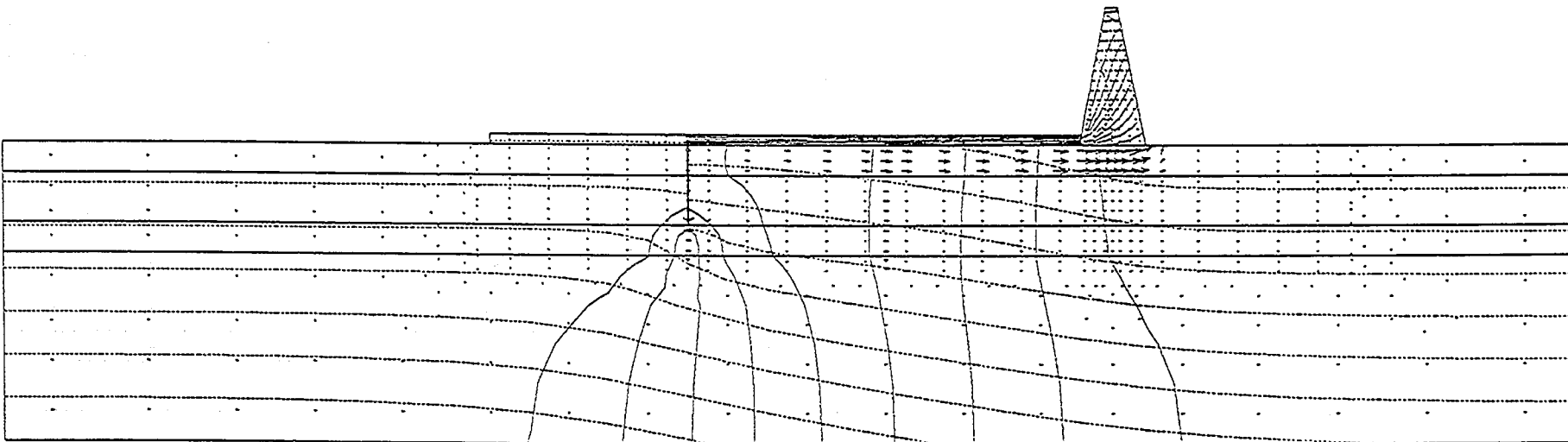
CURRENT SCALE 0.0 0.000074
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case -29

CURRENT SCALE 0.0 0.000074
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

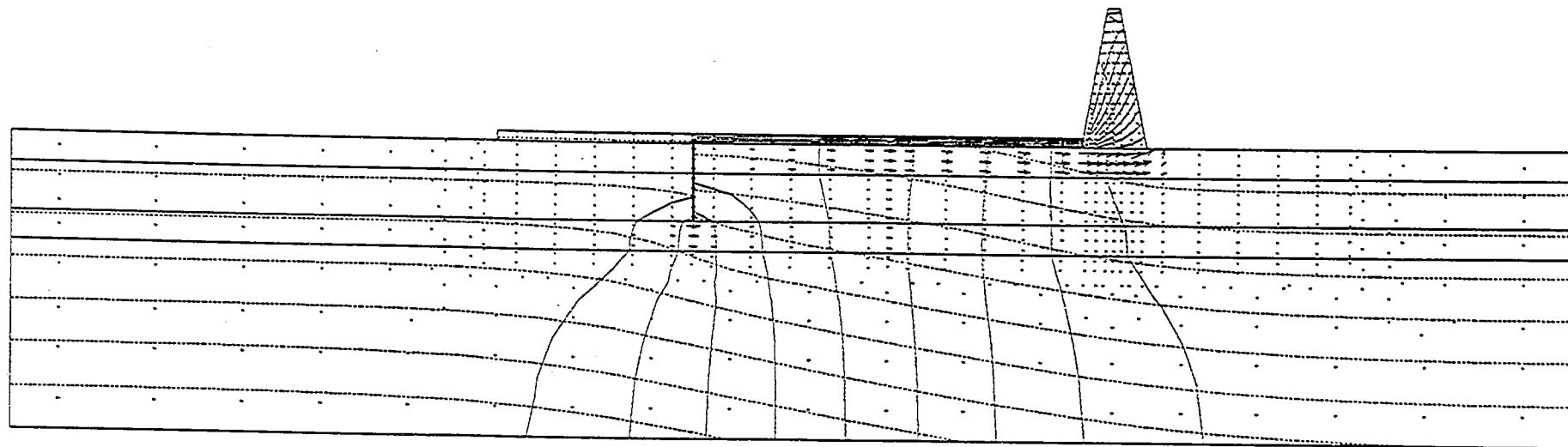
CURRENT SCALE 0.0 0.000081
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case -30

CURRENT SCALE 0.0 0.000081
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

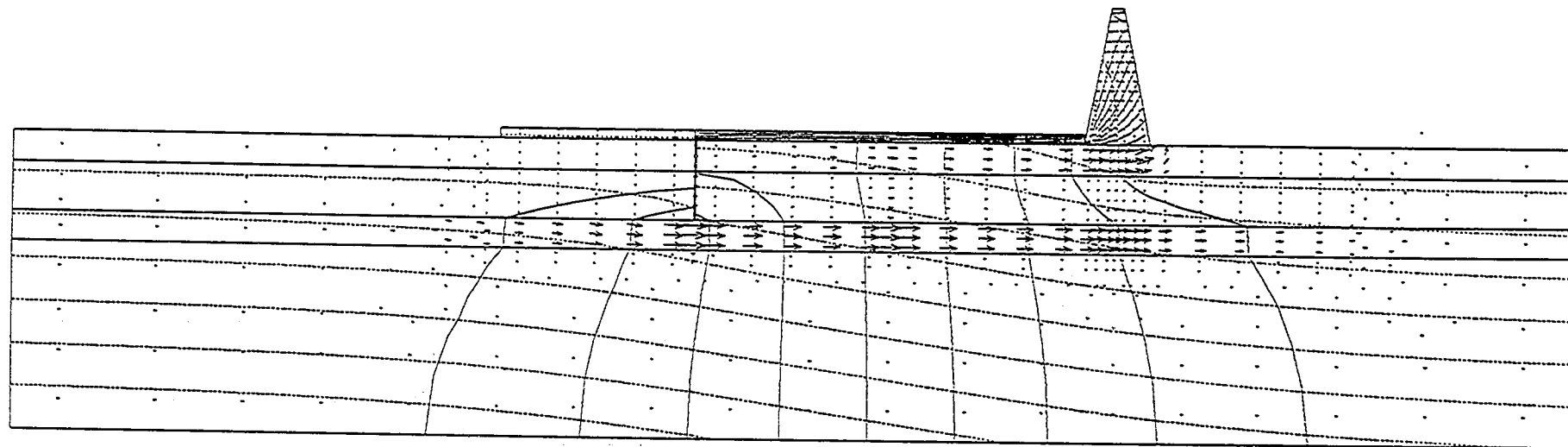
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.0
50.0 50.0
0.000091



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.0
50.0 50.0
0.000091

Case-31

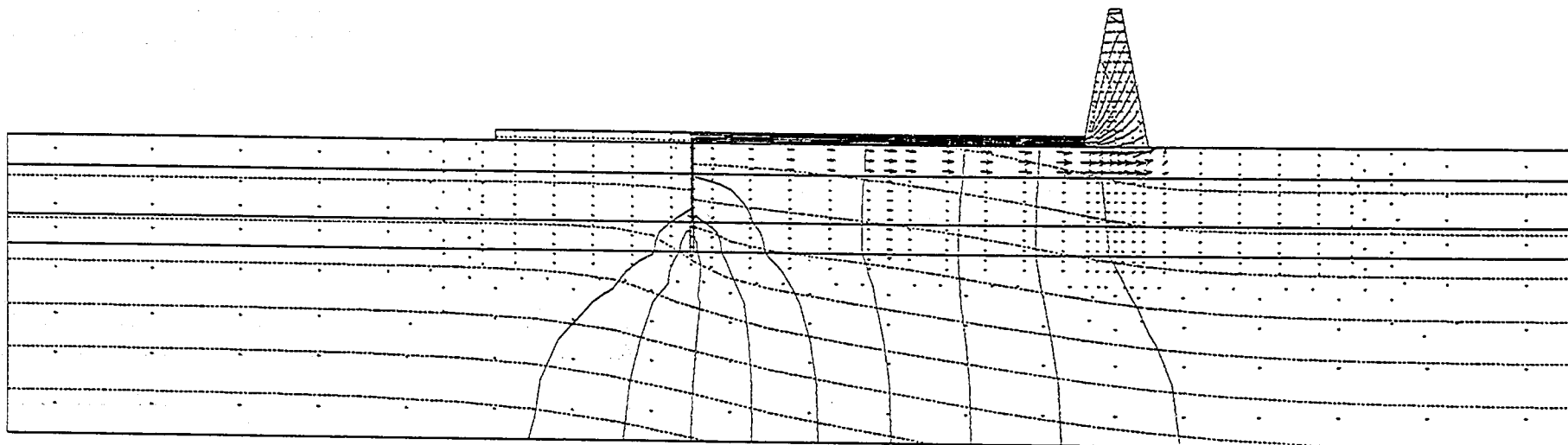
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.0
50.0 50.0
0.00012



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.0
50.0 50.0
0.00012

Case-32

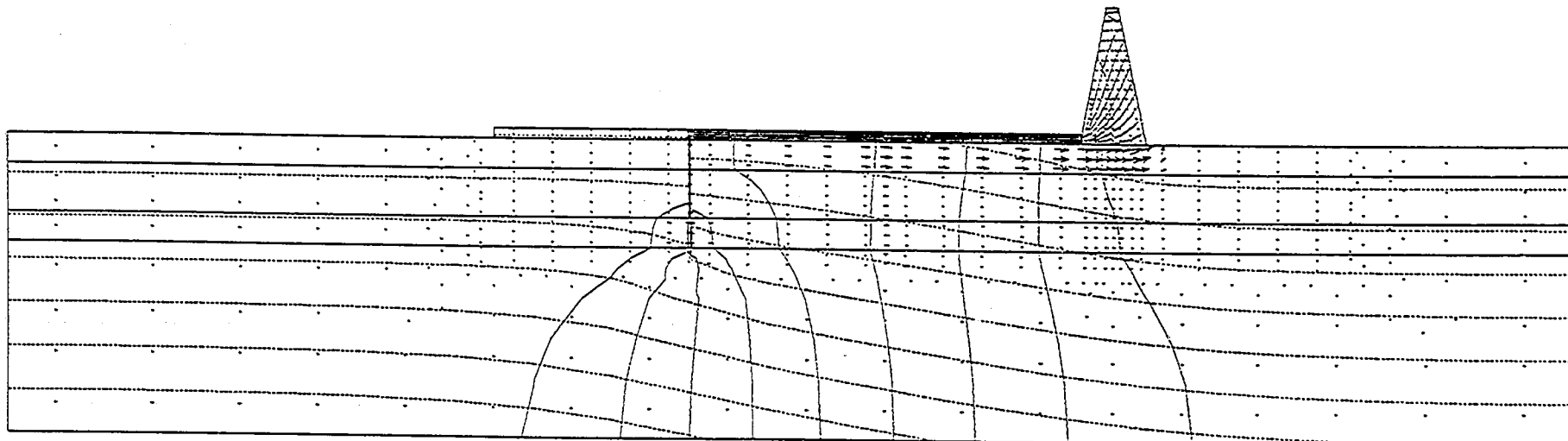
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.0 0.000080 50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.0 0.000080 50.0

Case-33

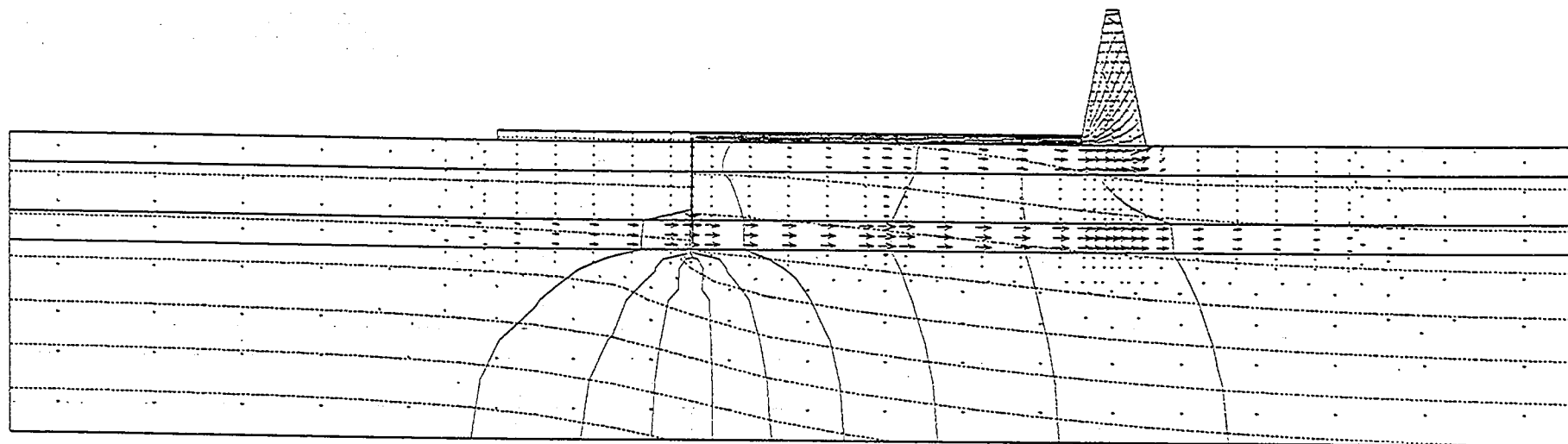
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.0 0.000084 50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.0 0.000084 50.0

Case-34

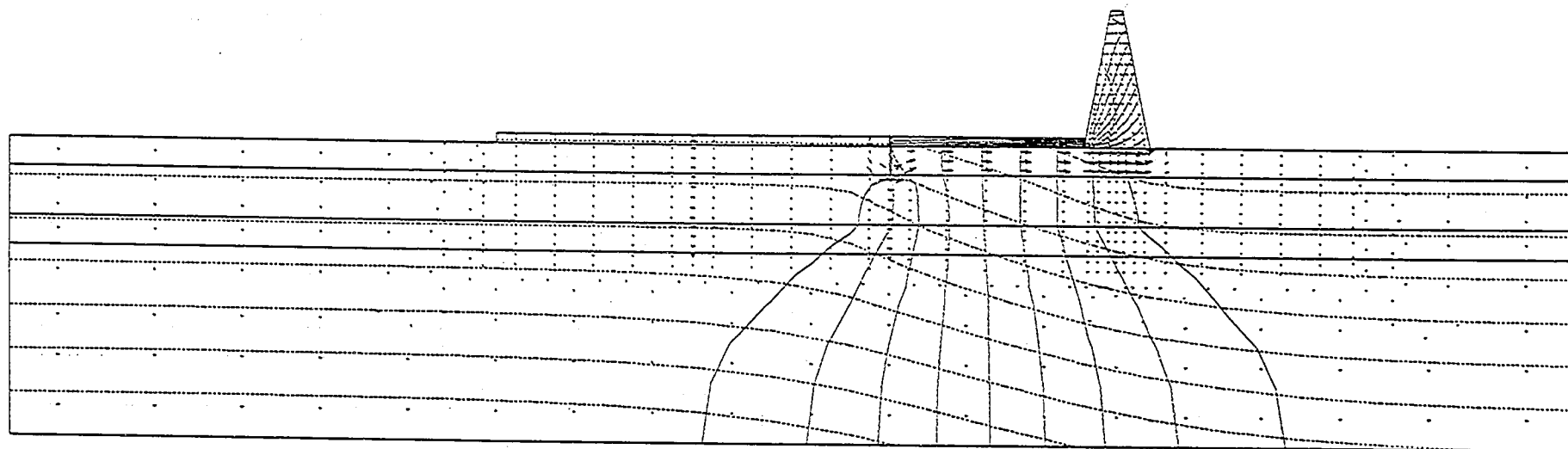
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.000082
0.0 50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.000082
0.0 50.0

Case-35

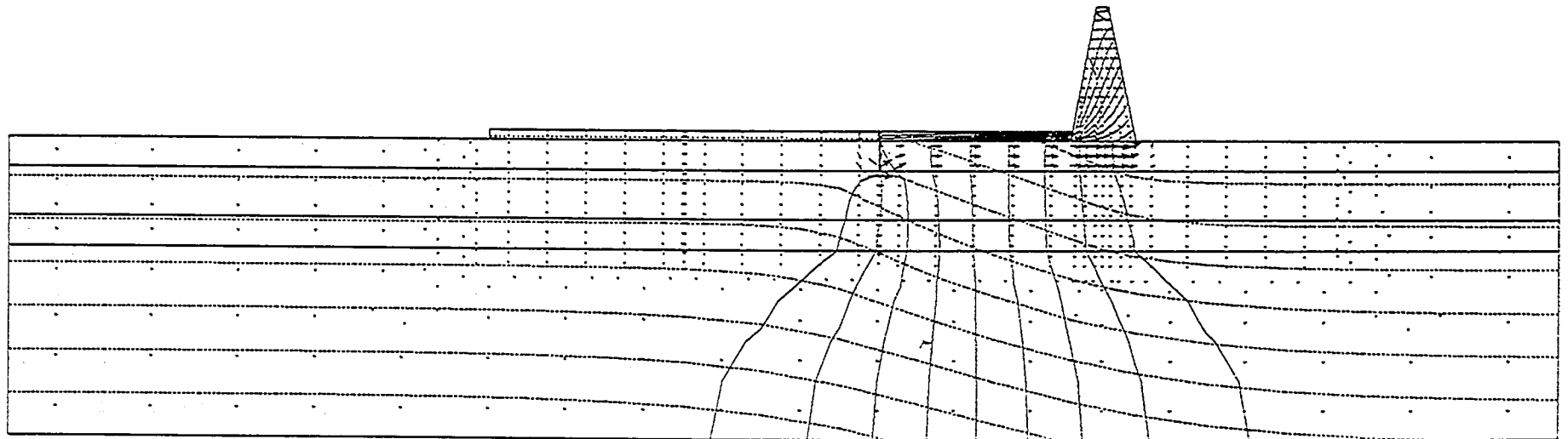
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00018
0.0 50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00018
0.0 50.0

Case-36

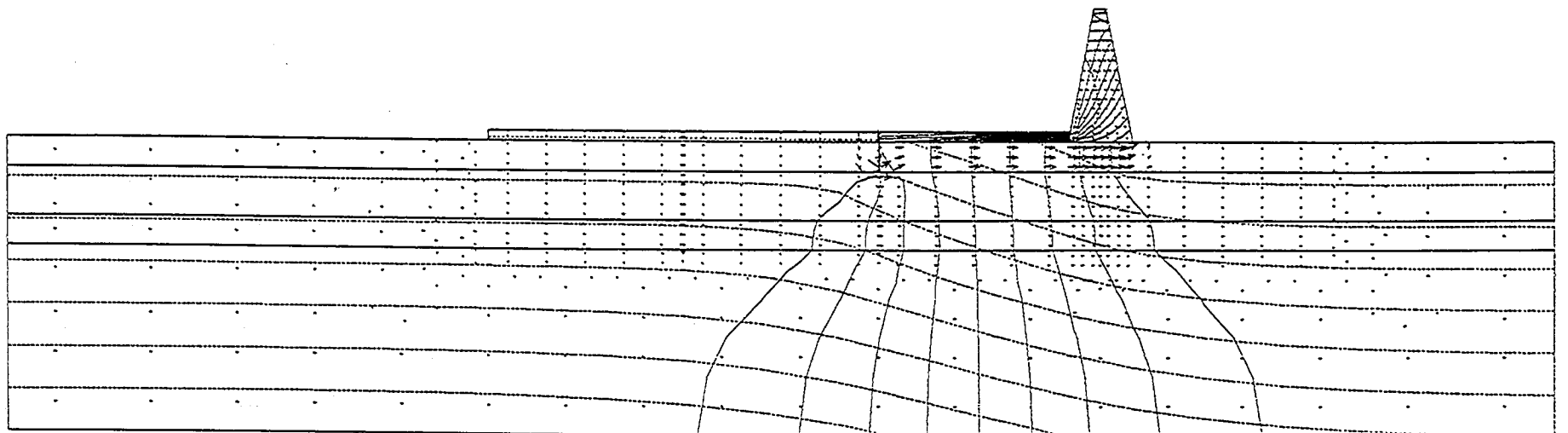
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00018
0.0 50.0



Case-37

CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00018
0.0 50.0

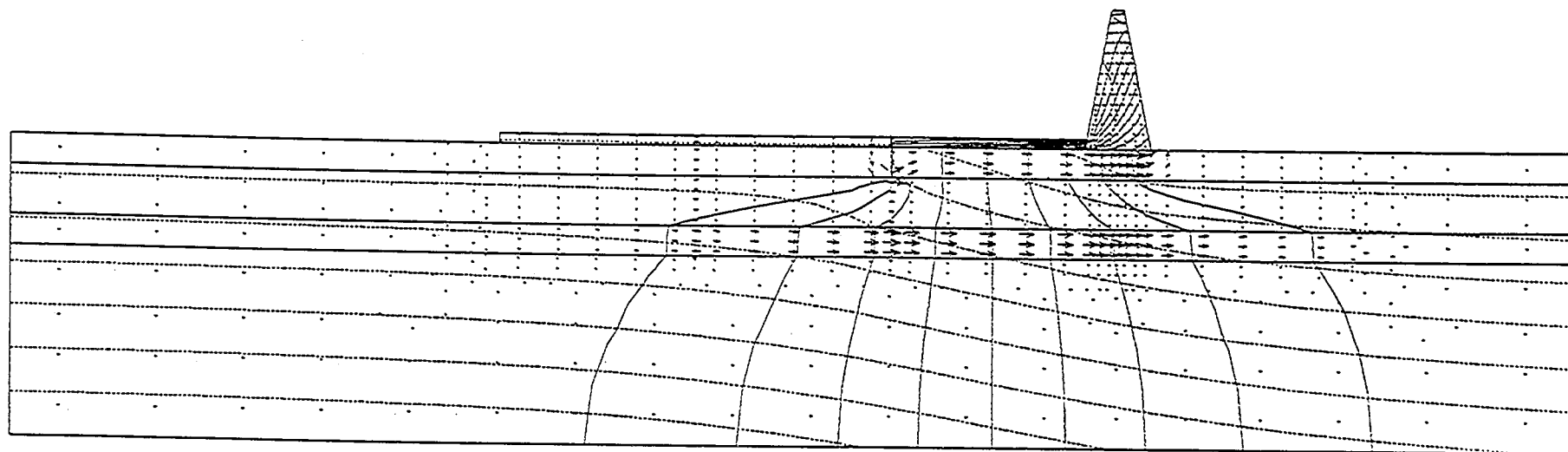
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00018
0.0 50.0



Case-38

CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.00018
0.0 50.0

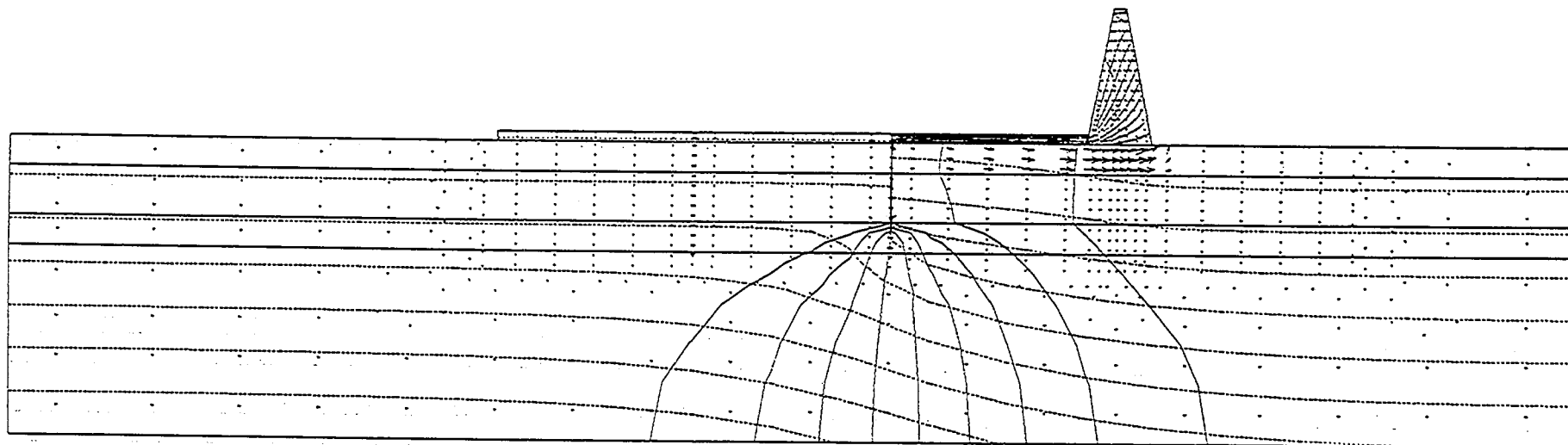
CURRENT FEM PLOT
SCALE
SCALE
0.00001
0.5
0.0
0.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE
SCALE
0.0 0.00019
0.0 50.0

Case-39

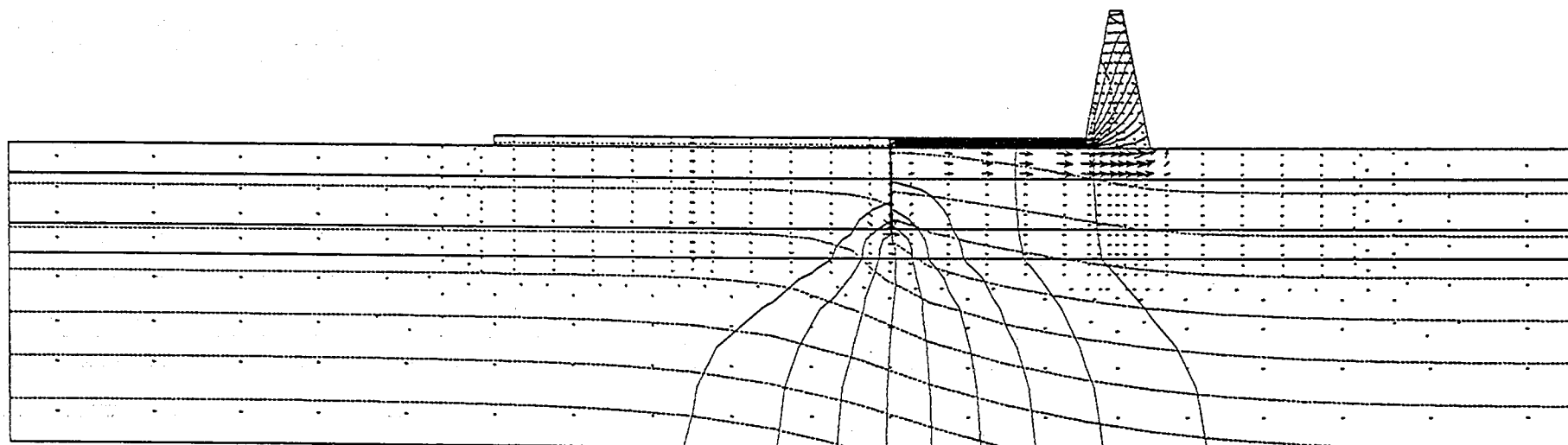
CURRENT FEM PLOT
SCALE
SCALE
0.000055
0.5
0.0
0.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE
SCALE
0.0 0.000055
0.0 50.0

Case-40

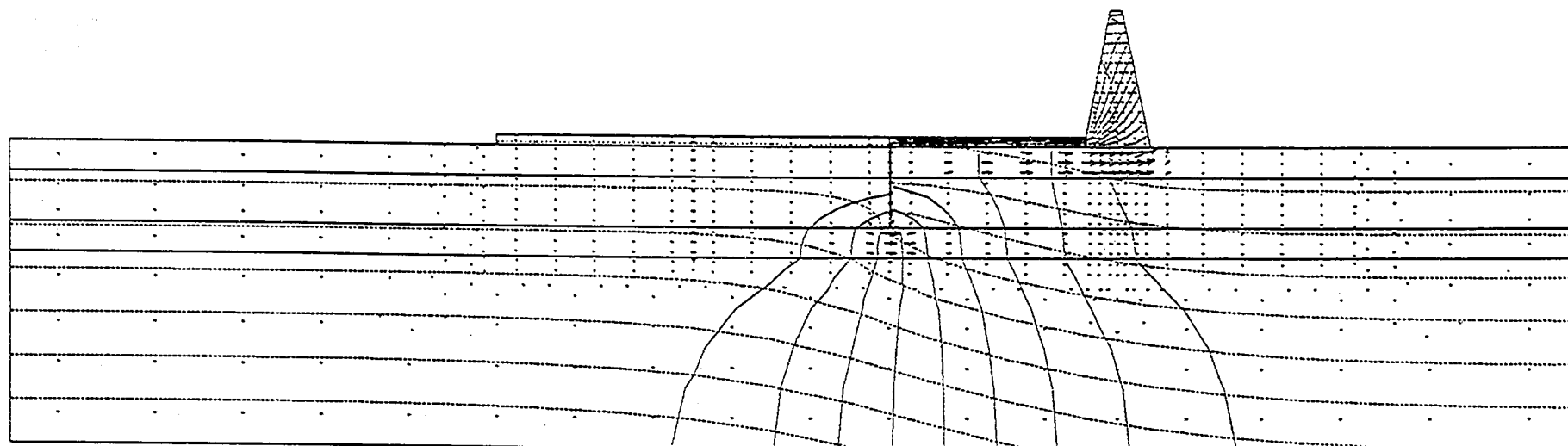
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.000070
50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.000070
50.0

Case - 41

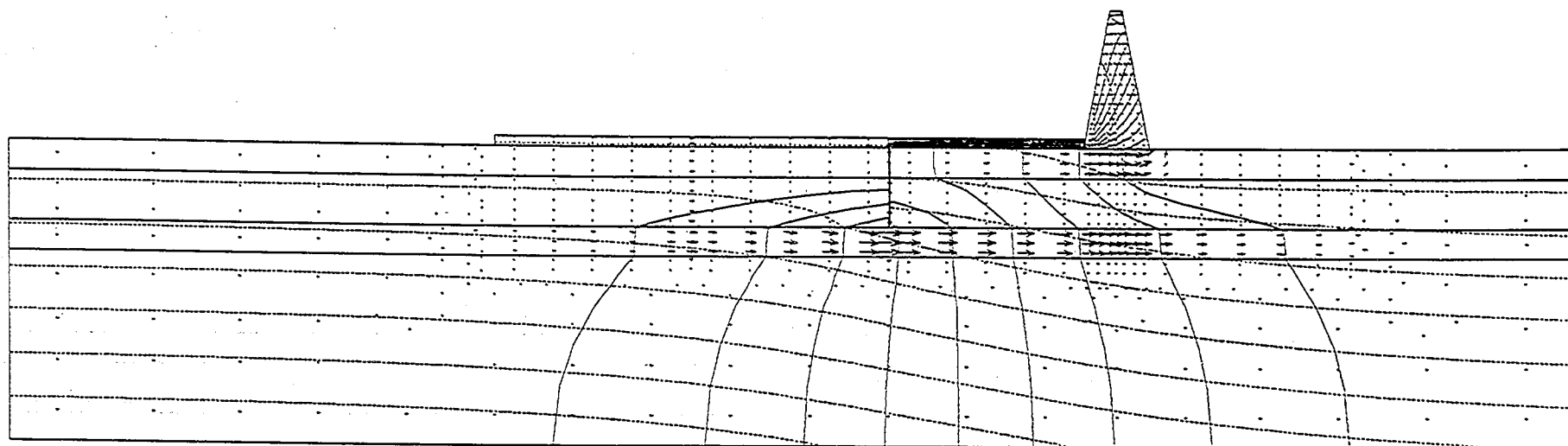
CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.000090
50.0



CURRENT FEM PLOT
SCALE SCALE
0.0 0.000090
50.0

Case - 42

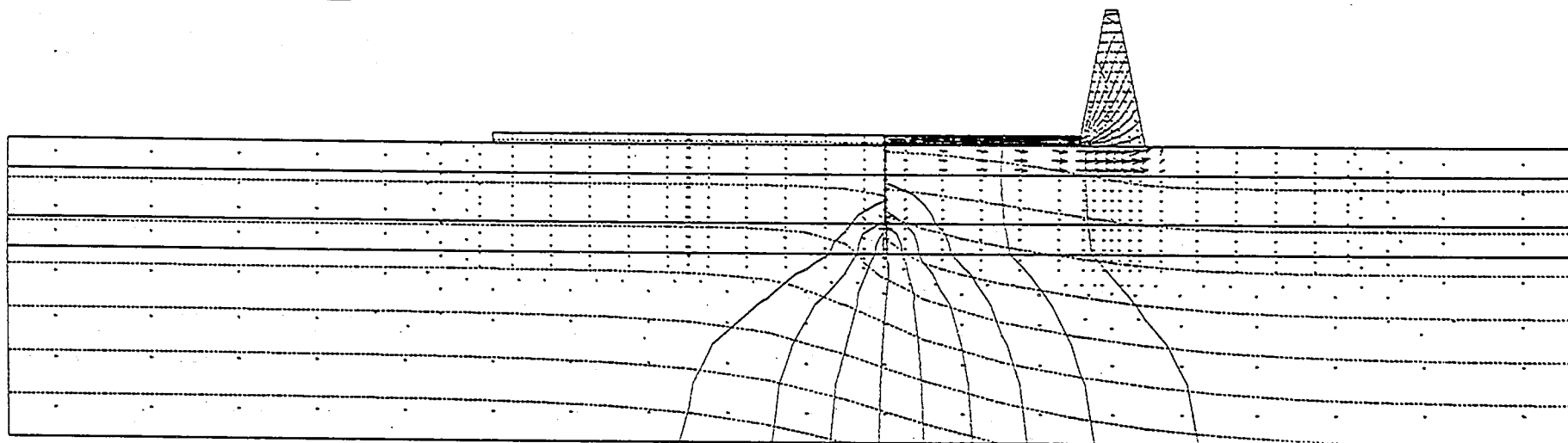
CURRENT SCALE 0.0 0.000016
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0



Case - 43

CURRENT SCALE 0.0 0.00016
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

CURRENT SCALE 0.0 0.000067
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

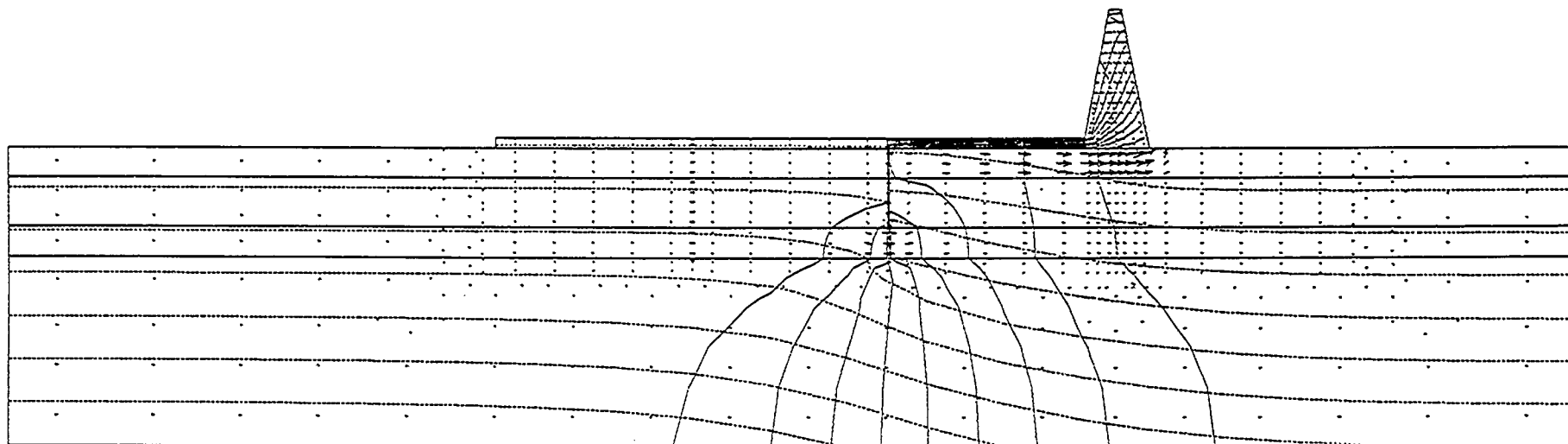


Case - 44

CURRENT SCALE 0.0 0.000067
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

0.000076
0.50
0.0
SCALE
SCALE

CURRENT
FEM PLOT

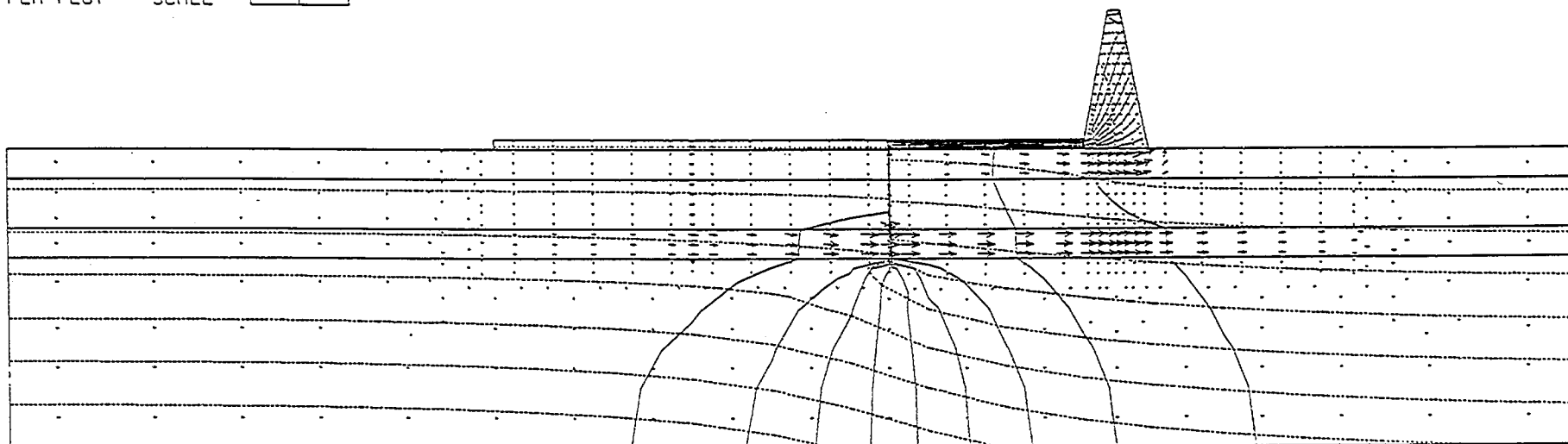


Case -45

CURRENT SCALE 0.0 0.000076
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

0.000076
0.50
0.0
SCALE
SCALE

CURRENT
FEM PLOT



Case -46

CURRENT SCALE 0.0 0.000076
FEM PLOT SCALE 0.0 50.0

砂礫層の基礎処理方法に関する
浸透流解析的検討

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2817号
平成元年12月(1989)

松本徳久・山口嘉一

要旨

近年の我が国における良好なダムサイトの減少に伴い、今後は砂礫基礎上でのダムの建設が増加することが予想される。そこで今回は、砂礫を基礎に持つ忠別ダムを土質コア型のロックフィルダムとして建設した場合を想定して、基礎処理方法の設計を目指した水理学的かつ基礎的な検討を行った。

キーワード：砂礫基礎，ロックフィルダム，連続地中壁，グラウチング



郵便はがき

切手をは
て下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

ダム部フィルダム研究室

御中

No. 16

No. 16

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2817 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印