

ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第2744号

土木研究所資料

天然ダムの破壊と対策 に関する研究報告書

平成元年2月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

「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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

天然ダムの破壊と対策 に関する研究報告書

砂防研究室 室 長 水 山 高 久
主任研究員 石 川 芳 治
福 本 晃 久

要 旨

豪雨、地震等により大規模な崩壊が発生し、天然ダムが形成され、これが破壊される時大きな災害を引き起こすことがある。このような災害に対応するための基礎的研究として、天然ダムの破壊について基礎的な実験と数値解析による検討を行った。浸透および越流侵食による天然ダムの破壊過程と破壊速度および下流への土砂流出に関する基礎的知見が得られた。さらにこれらの知見をもとに天然ダムの破壊対策のための検討手法をまとめた。

キーワード：天然ダム、大規模崩壊、浸透破壊、越流侵食、災害対策

A Study on Failure of and Countermeasures against Landslide Dams

Sabo Division

Head of Division: Takahisa MIZUYAMA

Senior Researcher: Yoshiharu ISHIKAWA

Akihisa FUKUMOTO

Synopsis

Landslide dams are formed after the occurrence of massive collapses due to heavy rainfall or earthquakes. Big damages may be incurred when these landslide dams are ruined. An experiment and numerical analysis on the destruction of landslide dams were performed as a basic study to cope with this kind of disasters. Basic information concerning the process and velocity in destruction of landslide dams and the sediment discharge into downstream have been obtained. Moreover, on the basis of the information, a method of examination for countermeasures against landslide dams was compiled.

KEY WORDS: Landslide dam, massive collapse, failure due to piping, failure due to overtopping, disaster prevention.

は　じ　め　に

地震、豪雨などによって大規模な崩壊が発生すると、いわゆる天然ダム（landslide dam）を形成することがある。この天然ダムが破壊されると下流に段波が押し寄せ、洪水を引き起こすことがある。また、多量の土砂が短時間に輸送されて急激に河床を上昇させ、大きな土砂災害が発生させる。最近の天然ダム形成の例としては1984年（昭和59年）長野県西部地震による御岳崩れによるものがある¹⁾。また過去に大きな災害を発生させた天然ダムとしては、1889年（明治22年）8月の十津川水害²⁾、1953年（昭和28年）有田川災害³⁾がある。この種の災害は過去においては突発的災害であったかもしれないが、現在では、豪雨や地震直後にヘリコプター等を使用して状況を把握することが可能となり、大型の土木機械によってかなり対策が可能となってきた。それでも大規模崩壊の発生に伴って天然ダムが形成され、これが破壊されることがあれば下流に大きな影響を与えることは確実で、その発生機構、破壊機構を研究し、下流への影響の予測方法を研究することは、天然ダム発生時の対応を検討する上で必要不可欠である。

本研究は中部地方建設局天竜川上流工事事務所の依頼により実施しているもので、昭和61年度は大規模な崩壊の発生原因の一つであり、砂防工事の1つである護岸工事で対応可能な河道湾曲部の溪岸侵食と溪岸崩壊について基礎的な研究と、昭和36年に崩壊した天竜川の大西山の模型による実験を行った⁴⁾。昭和62年度は、崩壊土砂が河道を埋塞し天然ダムを形成する過程と、天然ダムが破壊する過程について基礎的な実験を行った⁵⁾。

本年度は天然ダムの主要な破壊形態である越流による侵食破壊と浸透による崩壊について実験によりその破壊形態を追跡するとともに対策工も検討した。さらに浸透破壊については電子計算機を用いた浸透流解析を行って浸透の進行予測のための資料を得た。さらに本年度は本研究の最終年度に当たるためこれまでの3年間に得られた知見をもとに、天然ダムの破壊による災害対策の検討手法をまとめた。本研究の成果が今後の天然ダムの破壊による災害の対策に役立てば幸いである。

なお、天然ダムについては最近、中部地方建設局河川計画課が内外の事例をとりまとめられており⁶⁾、また米国土木学会（ASCE）からも出版物⁷⁾が出ているので合わせて参考にされることをお勧めする。

目 次

は じ め に

1. 概 要	1
1.1 研究の目的	1
1.2 研究の手法と内容	1
1.3 天然ダムの形成と破壊	1
1.4 天然ダムによる被害と対策事例	15
2. 天然ダムの浸透破壊	18
2.1 解析目的と手法	18
2.2 解析結果と考察	25
2.3 横型実験による浸透破壊対策工検討	38
3. 天然ダムの越流による侵食破壊	46
3.1 実験目的と手法	46
3.2 実験及び解析結果と考察	51
3.3 天然ダムの破壊と下流への影響検討	62
4. 天然ダムの破壊対策	77
4.1 概 要	77
4.2 天然ダムの破壊による災害対策	77
5. まとめと今後の検討課題	90
5.1 まとめ	90
5.2 今後の検討課題	91

巻末資料

1. 有限要素法を用いた非定常流浸透解析 874 ケースの解析条件及び結果一覧表	93
2. 天然ダムの越流による侵食破壊に関する実験結果一覧表	169

1. 概 要

1.1 研究の目的

豪雨、地震等により大規模な崩壊が発生して天然ダムが形成され、これが破壊される時に大きな災害を引き起こすことがある。

本研究は、天然ダムの破壊機構及び破壊に伴う下流への土砂流出機構を明らかにするとともに、天然ダムの破壊による被害を軽減あるいは防止するための対策手法を検討するために行う。

1.2 研究の手法と内容

本研究では主として次の3種類の手法が用いられた。

- ① 既往文献調査：過去の天然ダムの形成、破壊およびそれらに伴う被害の発生と対策の事例収集および整理。
- ② 模 型 実 験：湾曲部の溪岸侵食と溪岸崩壊に関する基礎実験⁴⁾（昭和61年度実施）、天然ダムの形成と破壊に関する基礎実験⁵⁾（昭和62年度実施）、天然ダムの越流による侵食破壊および浸透破壊対策工法の検討（昭和63年度実施）。
- ③ 数 値 解 析：非定常流浸透流解析による天然ダム内での浸潤線の進行過程と下流法面への到達時間の算定（昭和63年度実施）

以上の検討により得られた成果をもとに最終的には、現場での天然ダムの破壊による災害対策の参考とするために、天然ダムの破壊による災害対策の検討手法をまとめた。

1.3 天然ダムの形成と破壊

天然ダムの破壊と対策に関する研究の第1歩は天然ダムの特徴を知ることから始まる。ここでは主として中部地方建設局河川計画課でまとめた「天然ダム調査事例集」⁶⁾と米国土木学会で出版した「Landslide dams」⁷⁾を参考とした。

1.3.1 天然ダムの特徴

(1) 天然ダム形成誘因

天然ダムは山腹の大規模崩壊により形成される場合が多いが、この誘因別の数を図-1.1に示す。天然ダムの形成される誘因としては降雨と地震が大半を占める。

(2) 天然ダムの形成過程

天然ダムは溪流や河道への土砂堆積により生ずるが、この土砂移動の形態別分布を図-1.2に示す。天然ダムの形成過程では地すべり（崩壊も含む）が多く次に土石流によるものが多い。

(3) 堰止めのタイプ

天然ダムの河道堰止めは図-1.3に示すように谷壁（河岸）からの土砂移動によるものが大半で、次に支

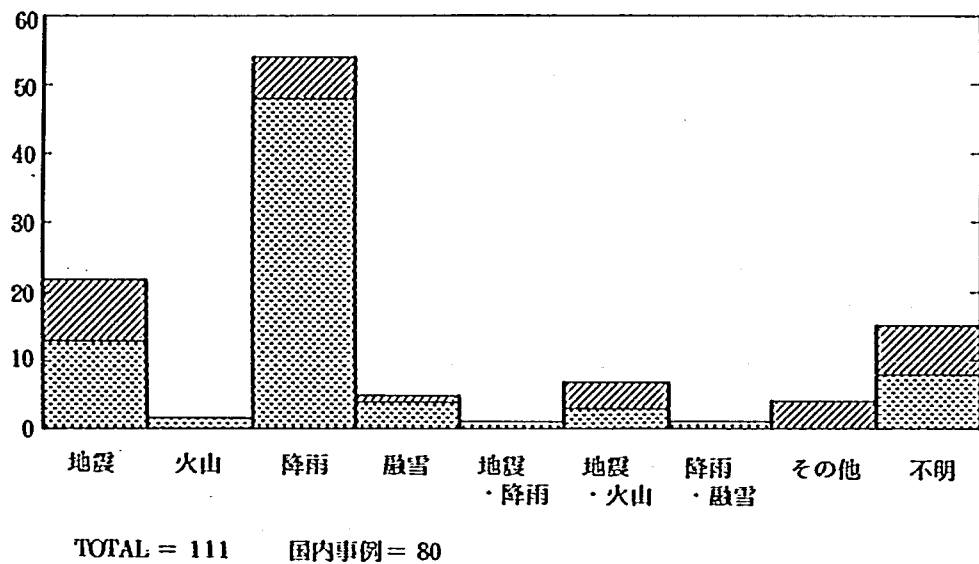


図-1.1 天然ダムの形成誘因

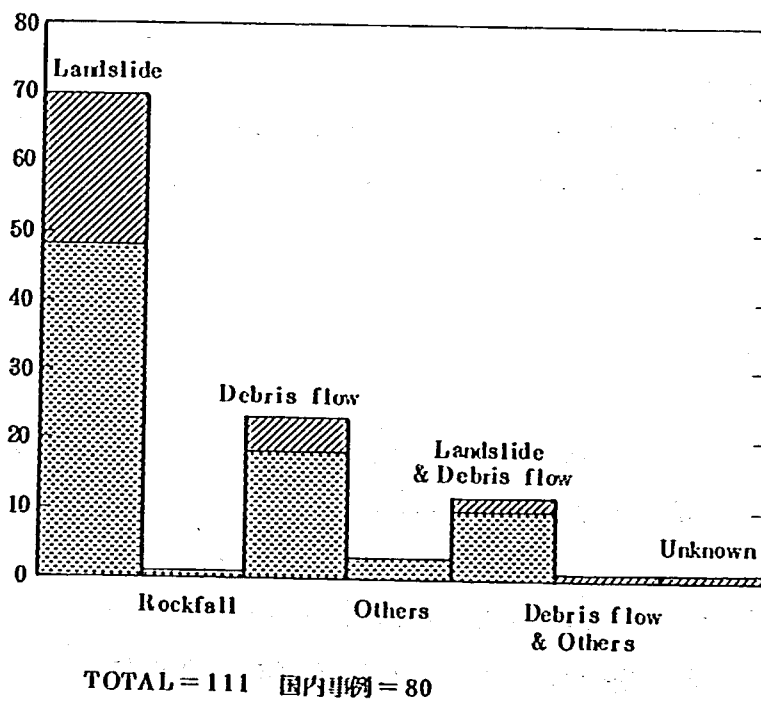


図-1.2 天然ダムの形成過程

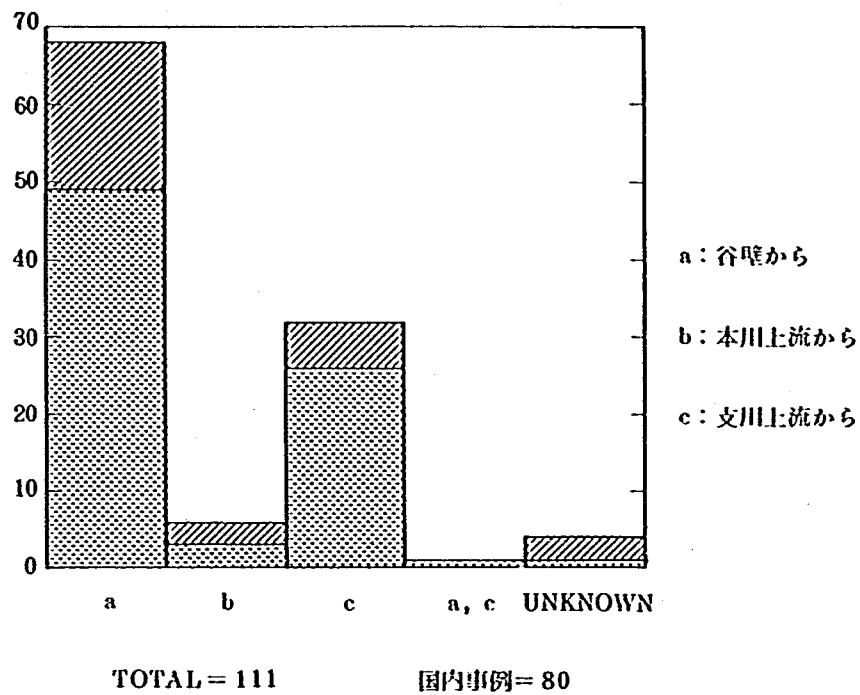


図-1.3 堰止めのタイプ

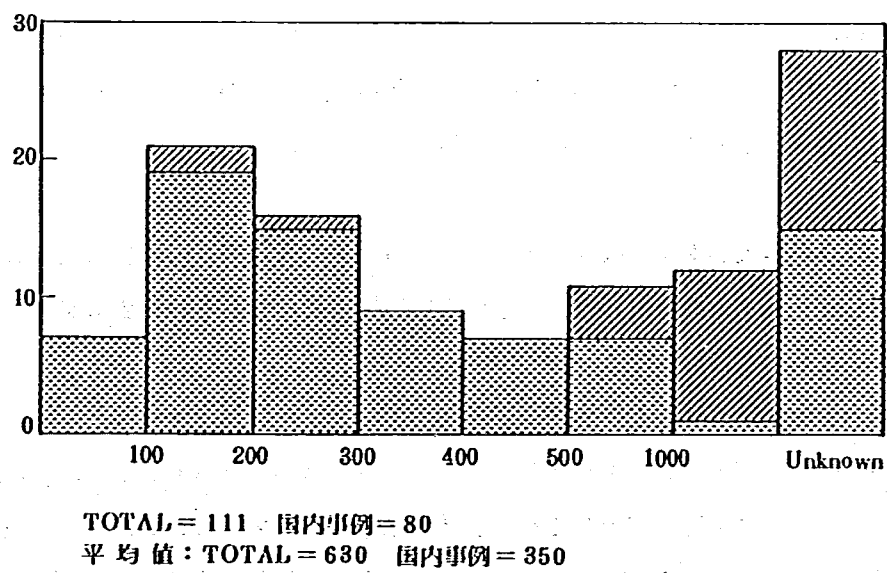


図-1.4 堰止め長

川からの土砂流入によるものが多い。

(4) 堰止め長

天然ダムの堰止め長の分布は図-1.4に示すように広く、平均では630mである。

(5) 堰止め高

天然ダムの高さは図-1.5に示すように80m以下が多く平均では54mであるが、中には200mを越すものもある。

(6) 堰止め幅

天然ダムの堰止め幅は発生地点の地形条件に左右されるが図-1.6に示すように幅の広いものが多く平均では320mである。

(7) 天然ダムの土量

天然ダムの土量を図-1.7に示す。土量の平均値は $8.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ と極めて大きい。

(8) 上流の河床勾配

天然ダムが形成された地点から上流500～1000m区間の河床勾配の分布を図-1.8に示す。河床勾配1/100以上を山地河川と考えると天然ダムは山地河川に多く形成されると言える。

(9) 湛水量

天然ダムによる湛水量の分布を図-1.9に示す。平均で $1.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ と天然ダム本体の土量の約1.6倍にも達する。

(10) 平均流量

天然ダム形成地点における平均流量の分布を図-1.10に示す。なお平均流量は対象河川あるいは近隣の河川に位置する流域面積の近い観測地点について、S48～S57年度の10年間の比流量を流量年表で調べ、この平均値に流域面積を乗じて算出した値を平均流量とした。比流量は堰止めの継続期間に応じて月平均、年、10年間の平均値を採用した。

(11) ピーク流量

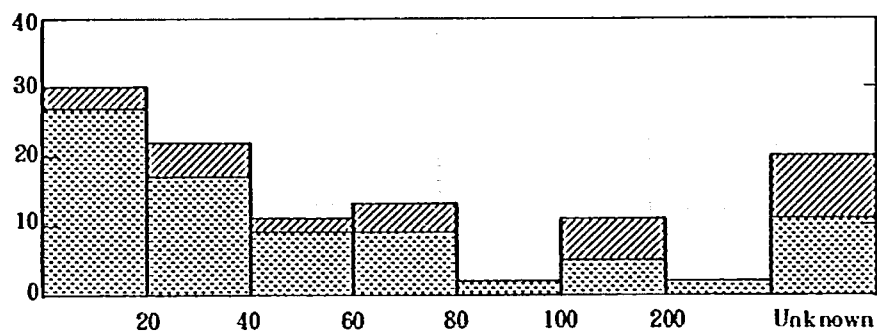
天然ダム形成地点におけるピーク流量の分布を図-1.11に示す。なおピーク流量は建設省河川局治水課(1979)「都道府県別中小河川・小規模河川流域面積比流量図」を用いて、同一都道府県内の流域面積の近い河川の実施流量を調べ、その比流量の値に流域面積を乗じて算出した。

(12) 継続時間(T)

天然ダムの形成時点から天然ダムの破壊に至るまでの時間を、天然ダムの継続時間としてその分布を図-1.12に示す。破壊した天然ダムのうち10日未満という短期間に破壊したものが2/3を占める。また自然のままでも破壊しなかったものも多い。

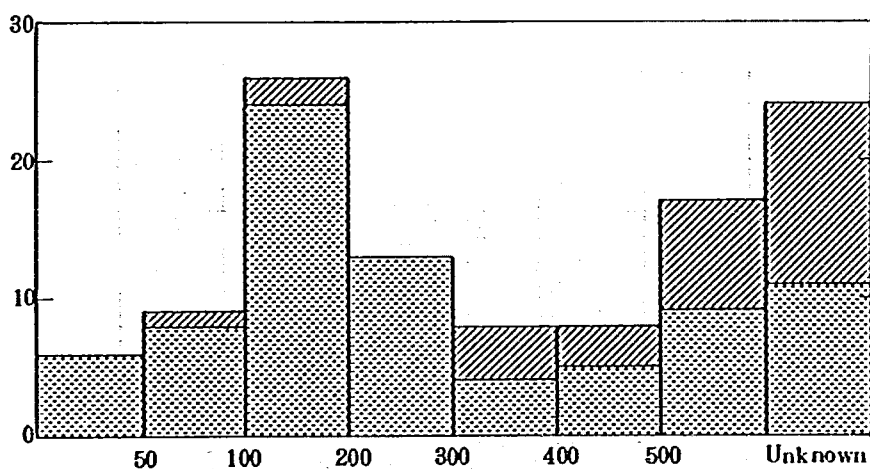
(13) 破壊原因

天然ダムの破壊原因として主として①越流にともなう侵食による破壊(Overtopping)と②天然ダム内部における浸透水により土粒子等が流出してパイプ状の水みちが出来、これが拡大して破壊に至る(Piping)の2つの現象が考えられる。図-1.13には「Landslide dams」⁷⁾による破壊原因の分布を示す。破壊原因が不明のものも多いが、判明しているものではほとんどがOvertoppingによるものであり、Pipingによ



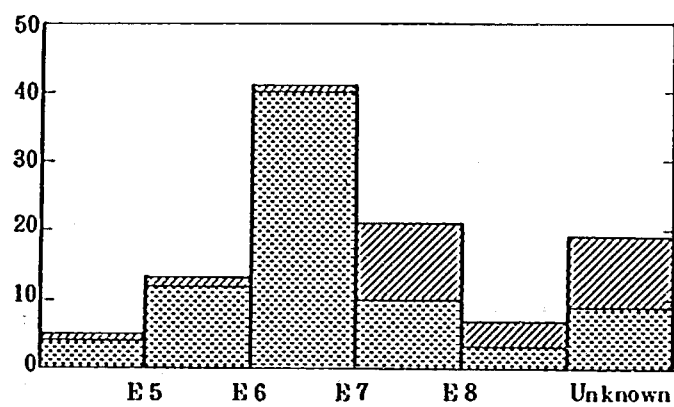
TOTAL = 111 国内事例 = 80
 平均値 : TOTAL = 54 国内事例 = 42

図-1.5 天然ダムの高さ



TOTAL = 111 国内事例 = 80
 平均値 : TOTAL = 320 国内事例 = 260

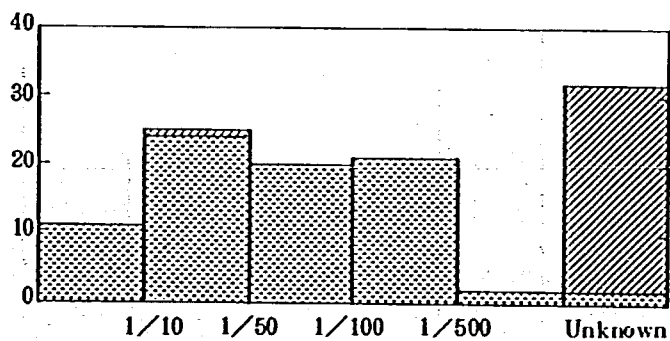
図-1.6 天然ダムの幅



TOTAL = 106 国内事例 = 78

平均値 : TOTAL = 8.6 E7 国内事例 = 3.5 E7

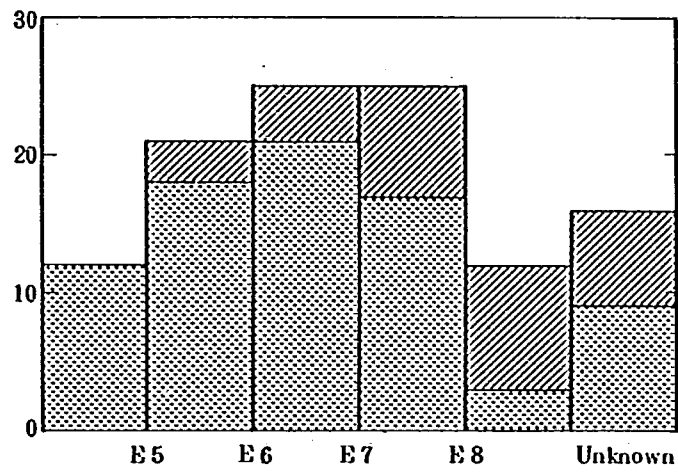
図-1.7 天然ダムの土量



TOTAL = 111 国内事例 = 80

平均値 : TOTAL = 1/22 国内事例 = 1/22

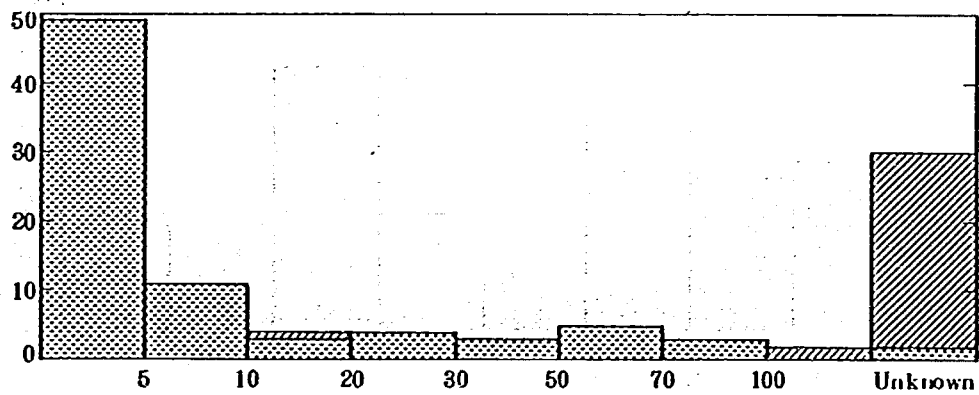
図-1.8 上流の河床勾配



TOTAL = 111 国内事例 = 80

平均値 : TOTAL = 1.4 E8 国内事例 = 1.7 E7

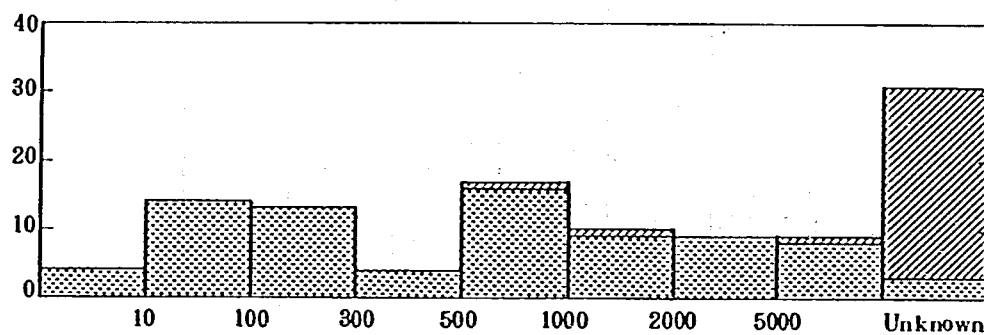
図-1.9 天然ダムによる湛水量



TOTAL = 111 国内事例 = 80

平均値 : TOTAL = 4.3 E1 国内事例 = 1.4 E1

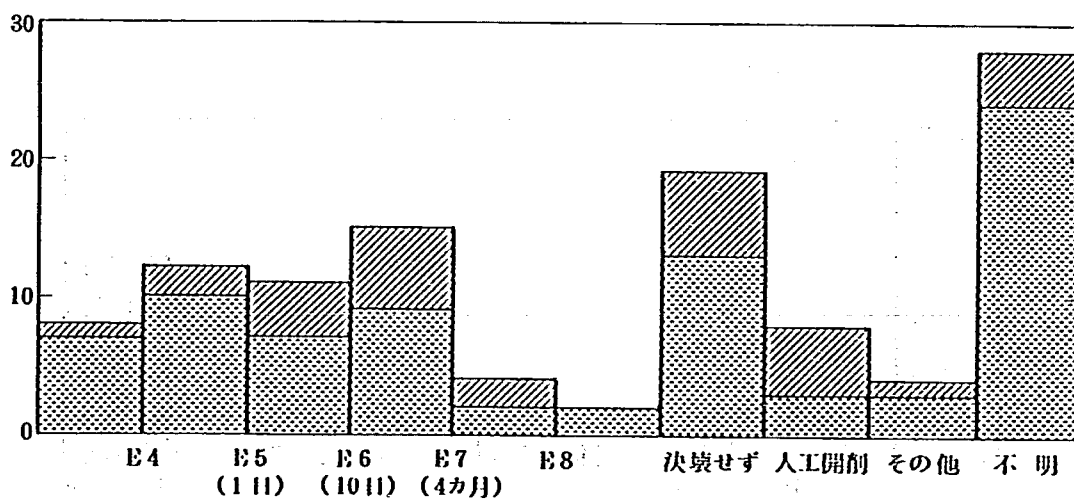
図-1.10 平均流量



TOTAL = 111 国内事例 = 80

平均値: TOTAL = 1.5 E3 国内事例 = 1.4 E3

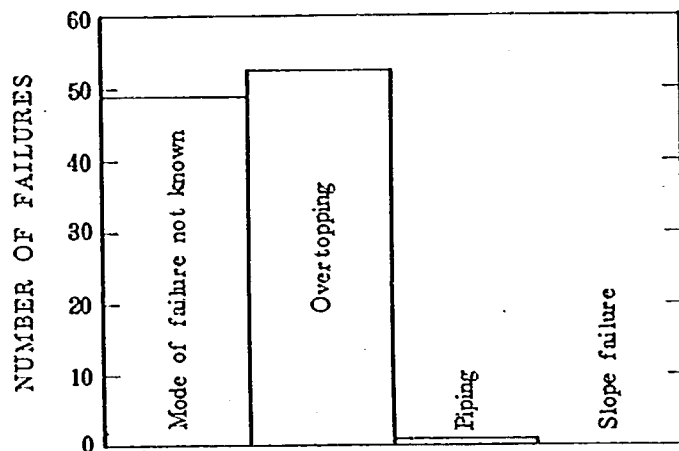
図-1.11 ピーク流量



TOTAL = 111 国内事例 = 80

平均値: TOTAL = 3.6 E7 国内事例 = 4.8 E7

図-1.12 継続時間



Modes of failure of landslide dams, based on 103 failures from the literature and the authors experience.

図-1.13 破壊原因

るものは極めてまれであると言える。

1.3.2 天然ダムの破壊と天然ダムの特徴

天然ダムの破壊にかかわる一般的傾向を知るために過去に発生した天然ダムの特徴と継続時間の関係を分析した結果⁶⁾を以下に示す。

(1) 堰止土量と湛水量 (図-1.14)

堰止土量と湛水量には良い相関があり、堰止土量に対して湛水量の大きい天然ダムは破壊し易い。

(2) Dam Factor (堰止高×湛水量) とピーク流量 (図-1.15)

Dam Factor とは堰止高×湛水量で与えられる値で(天然)ダムが破壊した時に消費されるエネルギーの大小の目安となるもので一般に Dam Factor が同じ場合には天然ダムでは人工のダムに比べて小さな洪水流量を生ずると言われている (from Costa, 1985)。図-1.15 より明瞭な関係ではないが Dam Factor に比べてピーク流量が大きい程早く破壊し易い傾向がある。なお、ピーク流量の代わりに平均流量を用いて整理してもほぼ同様の傾向が見られる。

(3) 堰止長と堰止高 (図-1.16)

堰止高に比して堰止め長が大きい(すなわち高さに比して長い)天然ダムは破壊し難い傾向がある。また堰止長が短い天然ダム程継続時間が小さい(早く破壊されてしまう)傾向がある。

(4) 湛水量 / ピーク流量 (平均流量) (図-1.17, 1.18)

ピーク流量 (平均流量) に比して湛水量が多いと湛水池が満水して Over topping に達するまでに時間がかかりそれだけ天然ダムの継続時間が長くなると推定される。図-1.17, 1.18 に示すようにこの傾向はか

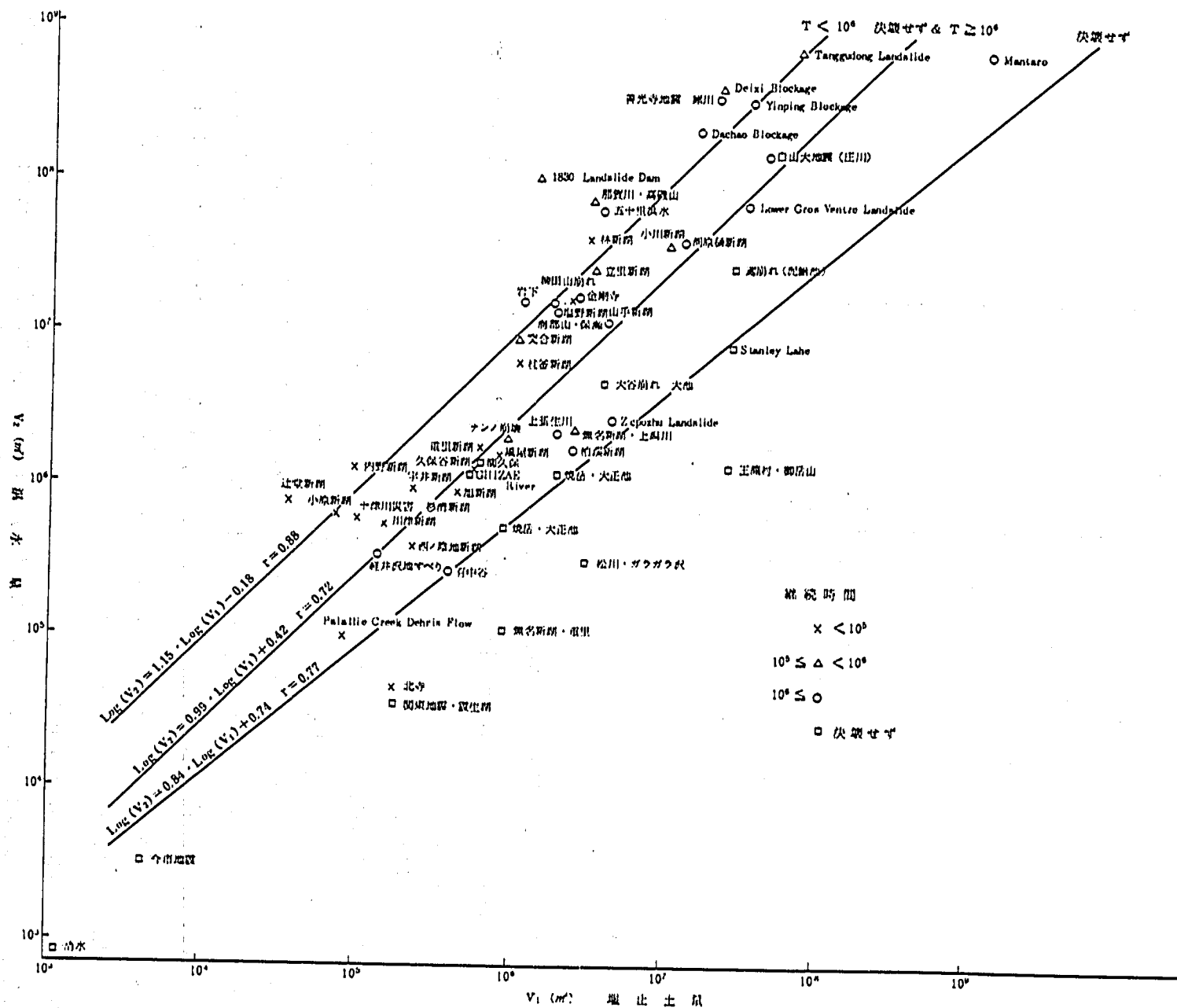
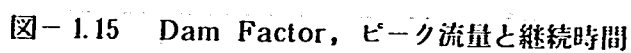


図 - 1.14 堰止土量、湛水量と継続時間



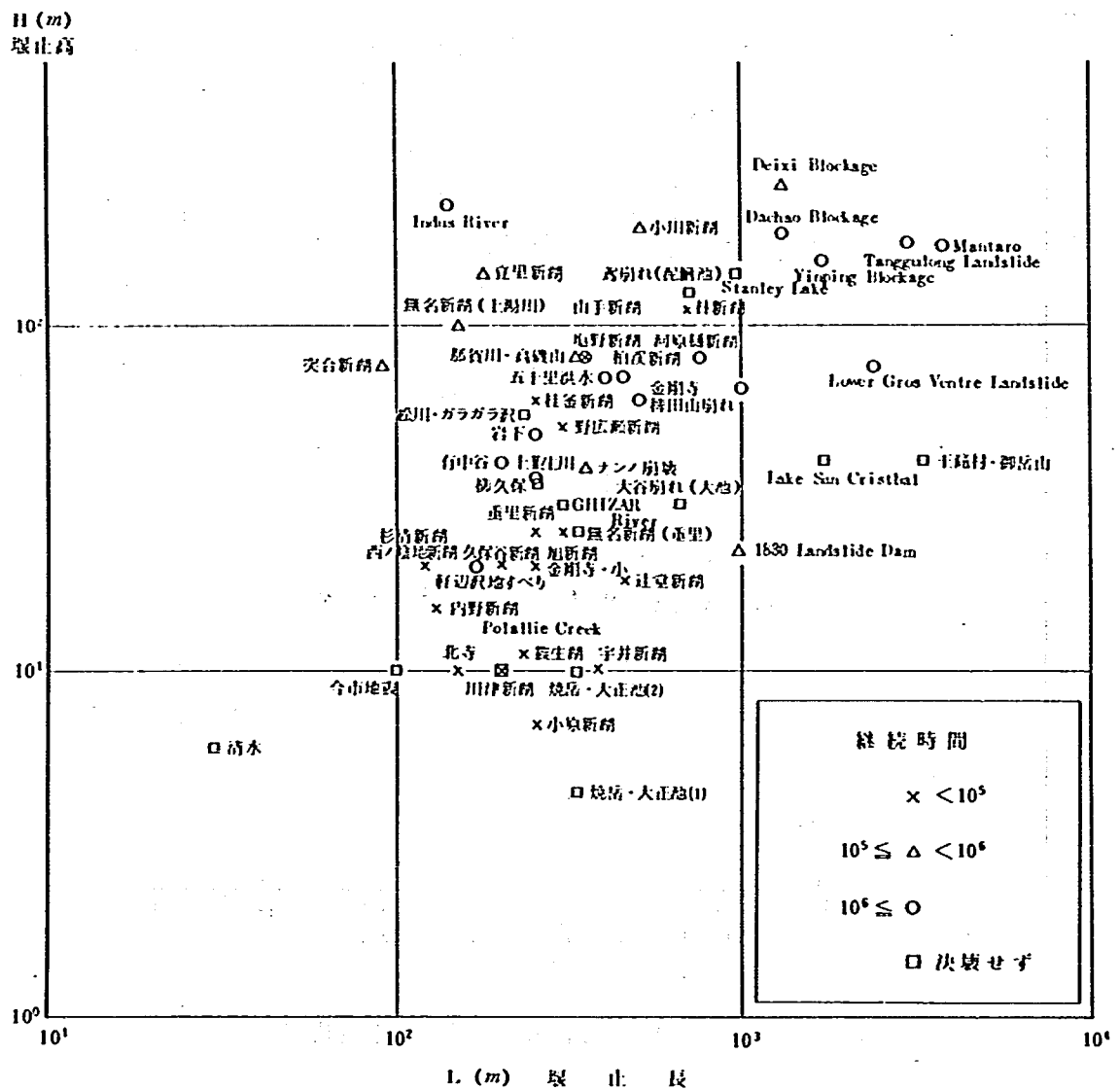


図-1.16 堰止長, 堰止高と継続時間

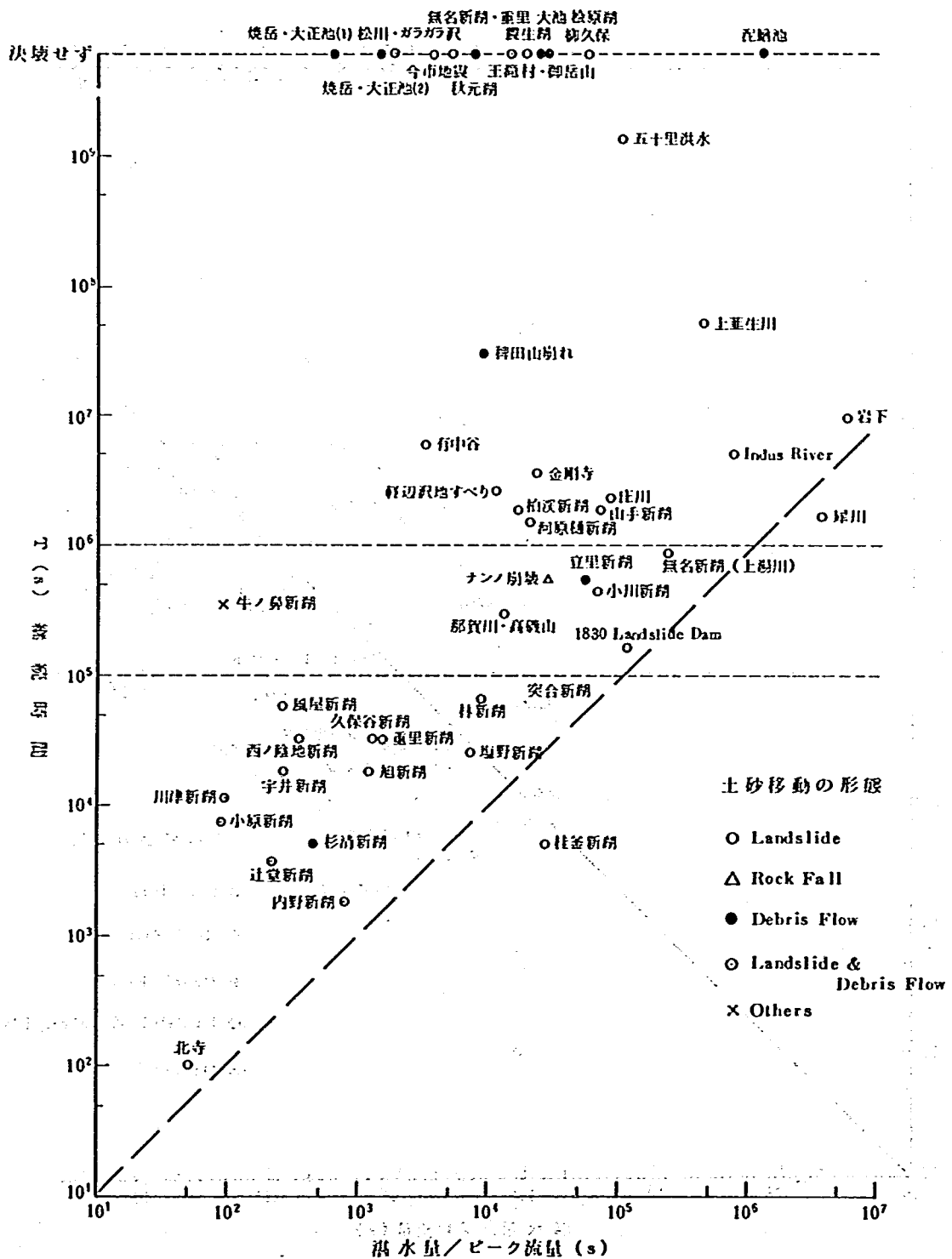
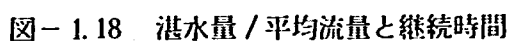


図-1.17 洪水量 / ピーク流量と継続時間



なり明瞭に認められる。

1.3.3 天然ダムの特徴のまとめ

(1) 天然ダムの平均規模

天然ダムの事例調査より平均的な天然ダムの規模等は以下のとおりである。

長さ：630 m

高さ：54 m

幅（ダム軸方向）：320 m

土量： $8.6 \times 10^7 \text{ m}^3$

上流河床勾配：1/22 ($\approx 2.6^\circ$)

湛水量： $1.4 \times 10^8 \text{ m}^3$

平均流量：43 m^3/s

ピーク流量：1500 m^3/s

継続時間：36000000 $\approx$ 1 年（破壊したもの）

破壊原因：Overtopping

(2) 破壊しやすい天然ダムの特徴

1.3.2 より破壊しやすい（継続時間の短い）天然ダムの特徴は以下のとおりである。

- ① 堰止長が短い
- ② 堰止長に比して堰止高が高い
- ③ ピーク（平均）流量に対して湛水量が小さい
- ④ 堰止土量に対して湛水量が大きい。

これらの特徴は次のように説明される。

①は浸透路長が短いので浸潤線が早く下流端に達して天然ダムを不安定化させる。

②は天然ダムの下流側勾配が急で越流による侵食速度が大きい。

③と④は湛水量が相対的に小さく早い時期に越流が始まる。

1.4 天然ダムによる被害と対策事例

天然ダムの破壊により多量の土砂を含んだ洪水が段波状になって下流へ流出し、下流に大きな被害を与えた例を天然ダム上流への洪水による被害とともに表-1.1に示す。このような天然ダムの破壊による下流の被害を防ぐために、天然ダムの破壊を防ぐための積極的な対策が採られた例もいくつかある。表-1.2および表-1.3には外国および国内において採られた天然ダム破壊対策例を示す。

天然ダムの破壊原因は図-1.13に示すように大部分が越流による侵食によるものであるため、天然ダムや近くの地山を人工的に開削したり、トンネルによる放水路を作ることにより安全に上流側の湛水位を下げる試みがなされている。一方、事例で見える限り、天然ダム堤体内のバイピングによる破壊防止を目的とした下流法先への排水ドレーンの設置のような対策は採られていない。これはバイピングによる破壊例がほとんどないと言う事実を考えると妥当な方法と考えられる。

表-1.1 天然ダムによる被災事例

番号	地区名 (天然ダム名)	発生日	国	天然ダムの規模			決壊		堰止めによる被害		ダム決壊による被害		天然ダム被害		備考
				高m	幅m	長m	有無	継続時間	全壊戸数	死者(人)	全壊戸数	死者(人)	原因	対策	
1	庄川(岐阜県)	1586	地震	90	900	500	有	20日	—	300	300	—	越	なし	白山大地震
2	五十里洪水(栃木県)	1683	地震	70	700	400	有	40年	—	—	—	997	越	開削(失敗)	五十里洪水
3	上里生川(高知県)	1788	降雨	36	400	250	有	数年	10	—	—	—	—	なし	上里生川
4	岸川(長野県)	1847	地震	65	650	1000	有	19日	13ヶ村	—	数千戸	100人余	越	なし	善光寺地震
5	肥前池(富山県)	1858	地震	125	620	700	無	—	156ヶ村	140	—	—	—	なし	武蔵野
6	塩野新湖(奈良県)	1889	降雨	80	180	350	有	7時間	6	—	—	—	—	なし	十津川災害
7	辻堂新湖(奈良県)	1889	降雨	18	83	450	有	1時間	6	20	—	—	—	なし	—
8	長殿新湖(奈良県)	1889	降雨	12	230	200	無	—	13	6	—	—	—	なし	—
9	旭新湖(奈良県)	1889	降雨	25	120	300	有	5時間	7	—	—	—	—	なし	—
10	林新湖(奈良県)	1889	降雨	110	150	690	有	17時間	105	49	—	—	水圧	なし	—
11	川津新湖(奈良県)	1889	降雨	10	150	200	有	3時間	55	1	—	—	—	なし	—
12	杉清新湖(奈良県)	1889	降雨	20	110	120	有	数時間	1	—	—	—	—	なし	—
13	五百瀬新湖(奈良県)	1889	降雨	25	180	200	無	—	7	—	—	—	—	なし	—
14	内野新湖(奈良県)	1889	降雨	15	100	130	有	30分	7	8	—	—	—	なし	—
15	山天新湖(奈良県)	1889	降雨	20	150	100	無	—	2	—	—	—	—	なし	—
16	野広瀬新湖(奈良県)	1889	降雨	28	250	500	無	—	7	—	—	—	—	なし	—
17	風屋新湖(奈良県)	1889	降雨	50	180	300	有	16時間	8	—	—	—	—	なし	—
18	野民新湖(奈良県)	1889	降雨	10	130	280	無	—	24	3	—	—	—	なし	—
19	小原新湖(奈良県)	1889	?	7	130	250	有	2時間	15	7	—	—	—	なし	—
20	小川新湖(奈良県)	1889	降雨	190	600	500	有	5115時間	—	—	13	—	水圧	なし	—
21	山手新湖(奈良県)	1889	降雨	80	300	350	有	22日11時頃	2	—	3	—	越	なし	—
22	柏溪新湖(奈良県)	1889	降雨	70	170	450	有	22日10時頃	—	—	3	—	—	なし	—
23	郡賀川・高磯山(徳島県)	1893	降雨	80	250	330	有	3日	165	65	—	—	—	なし	郡賀川・高磯山
24	海部川・保瀬(徳島県)	1892	?	45	300	600	有	1.0×10 ⁴ 秒	4	—	8	47(堰止合)	—	なし	海部川・保瀬
25	半田新沼(福島県)	1901	地震	—	—	—	有	9年?	—	—	30	—	越	なし	半田新沼
26	津田山崩れ(長野県)	1911	降雨	60	250	500	有	4日	50	23	多	—	—	なし	津田山崩れ
27	番匠川・大刈野(大分県)	1913	降雨	80	430	250	無	—	—	5	大水害	—	—	なし	番匠川・大刈野
28	金尾寺(和歌山)	1953	降雨	60	430	500	有	2月5日	—	—	多	—	越	開削	有田川災害
29	北寺(和歌山)	1953	降雨	10	120	150	有	数分間	邸落全滅	98	—	—	越	なし	—
30	姫川・小土山(長野県)	1971	?	—	60	150	無	—	2	—	—	—	—	なし	姫川・小土山
31	西吉野・和田(奈良県)	1982	降雨	15	130	180	無	—	11	—	—	—	—	開削	和田河原砂地すべり
32	上平九地すべり(新潟県)	1970	融雪	—	—	—	無	—	1	—	—	—	—	なし	新潟地すべり
33	赤禿山地すべり(新潟県)	1967	その他	30	150	200	無	—	1	—	—	—	—	なし	—
34	Madison Canyon landslide (USA)	1959	地震	73	500	1,500	無	—	—	26	—	—	—	開削	—
35	Polallie Greek (USA)	1980	降雨	11	—	230	有	12分	—	1	—	—	越	なし	Polallie Greek debris flow
36	Thistle Lake (USA)	1983	前年の降雨?	62	200	600	無	—	25	—	—	—	—	なし	Thistle landslide
37	Ashcroft (Canada)	1880	?	18~25	500	880	有	1.6×10 ⁴ 秒	—	—	—	—	越	開削	1880 landslide dam
38	Saint Alban (Canada)	1894	?	—	—	—	有	—	6	4	—	—	—	なし	Saint Alban
39	Portneuf County (Canada)	1893	融雪	7.5	330	3,400	無	—	5	1	—	—	—	なし	Portneuf County
40	Spences Bridge (Canada)	1905	?	—	—	—	無	—	—	15	—	—	—	なし	Spences Bridge
41	Deixi 1 (中国)	1933	地震	185	400	1,300	有	1.4×10 ⁴ 秒	3ヶ村	—	—	—	越	なし	Deixi EQ Dachao blockage
42	Deixi 2 (中国)	1933	地震	255	400	1,300	有	6.0×10 ⁴ 秒	—	—	1075	—	—	決壊(排水路)	—
43	Tanggudong (中国)	1967	?	175	650	3,000	有	7.8×10 ⁴ 秒	—	—	438	—	越	—	Tanggudong L.S.
44	Rio Santa (Peru)	1970	地震	—	630	3,500	無	—	2村	3,500	—	—	—	開削	—
45	Mantaro (Peru)	1974	?	170	1,000	3,800	有	42日	—	317	—	—	越	なし	Landslide of April 25, 1979
46	Ghizar (Pakistan)	1980	?	30	180	200	無	—	2村	—	—	—	—	なし	R. Ghizar

表-1.2 天然ダムの破壊対策例⁷⁾ (外国)

ダムの位置	対策工法	内 容
Cold - Water 湖 St. Hren Mt	洪水吐	地山 (近接の岩盤) 掘削
Madison Caucion Montana U.S	"	堤体開削 w=75m, Q=280 m ³ /s
Rio. Que maya	"	同 上 (侵食破壊を起こした)
Zeraushan U.S.S.R	"	爆 破
Spirit 湖	トンネル 放水路	右岸側アパート φ=3.4m, L=2.950m

表-1.3 天然ダムの破壊対策例^{3), 6)} (日本)

ダムの位置	対策工法	内 容
長 瀬 湖 (姫 川)	洪水吐	堤体開削 w=30m, H=20m
金 剛 寺 湖 (有田川)	洪水吐	堤体開削 w=8m
亀 の 瀬 (大和川)	(洪水吐)	堤体開削 v=1,870,000 m ³
一 の 宮 (損保川)	仮排水路	堤体開削 v=200,000 m ³ L=120m
西 吉 野 和 田 (丹生川)	"	堤体開削
大 池 (阿倍川)	"	堤体開削
五 十 里 (男鹿川)	"	堤体開削

2. 天然ダムの浸透破壊

2.1 解析目的と手法

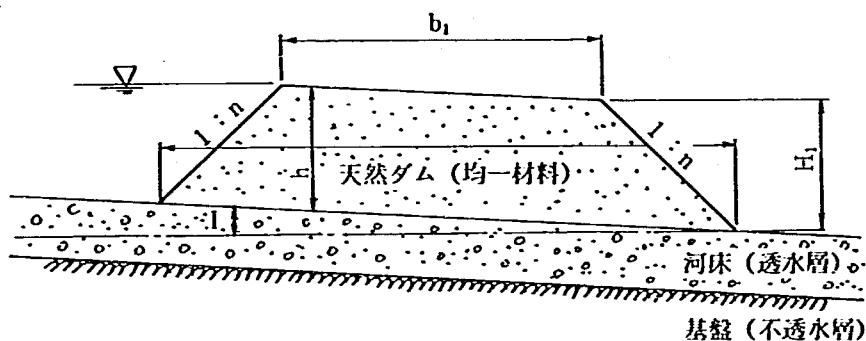
2.1.1 目 的

浸透による Piping 現象の発生とそれに引き続いて起こる天然ダム下流法面の破壊による天然ダムの破壊事例は図－1.13 に示すように極めてまれな現象と言える。しかしながら、天然ダムの長さが短かく透水性の良い細かい材料で構成されている場合には浸透による破壊が起こる場合もありうる。このためこの章では天然ダムの浸透破壊時刻の予想に重要である天然ダム堤体内の浸潤線の進行状況を有限要素法による非定常流浸透解析を行うことにより求めた。解析により得られた結果は、現場で簡単に浸潤線の下流法先への到達時間が相定できるよう図にまとめた。

また浸透破壊を防止するための対策工の検討のために有限要素法による解析を行うとともに室内模型実験も実施した。この実験手法および結果については第2章第3節で述べる。

2.1.2 浸透解析手法

天然ダムの浸透解析を行う際に用いたモデルを図－2.1 に示す。このモデルは、不透水層（基岩）上に河床堆積層等の透水層を有する地盤の上で形成された均一材料からなる天然ダムとし、上流側に貯留水を有する形とした。



図－2.1 天然ダムの検討モデル

また解析における基本的条件としては天然ダムの形成後、直ちに上流側に対象とする貯留水が発生するものとした。また天然ダムの初期条件としては構成材料は不飽和の状態にあるとしたために「非定常流浸透解析手法」を用いた。要素分割は基本的には図－2.2 に示すように設定した結果、要素数は最小220点、最大1292点となった。

次に解析に用いた条件としては第1章第3節に示した既往の天然ダムの規模等を参考にして表－2.1 に示すように諸数値を設定した。ただし、河床の厚さのうち2ケースは貯水位、上下流法勾配とも1ケースのみ

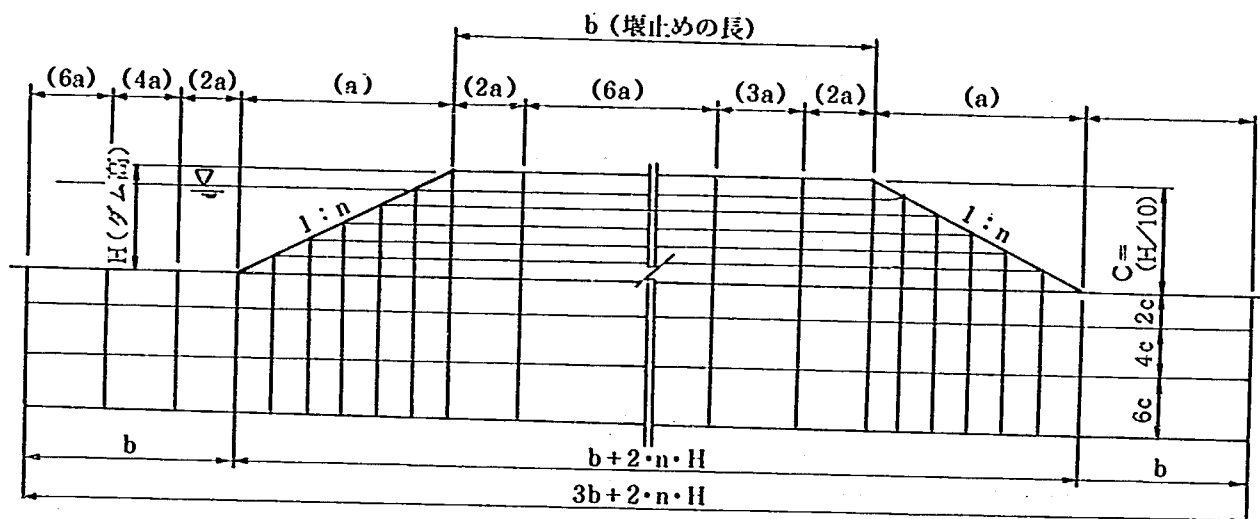


図-2.2 要素分割モデル (基本形)

表-2.1 天然ダムの浸透解析条件一覧

	条 件	同 左 内 訳		
		条 件①	条 件②	条 件③
ダムの高さ (H)	2	20 (m)	60 (m)	—
堰止めの長さ (b)	3	100 (m)	300 (m)	500 (m)
上下流法勾配 (n)	2	1 : 2	1 : 4	—
貯 水 位 (h)	2	$h = H$	$0.7H$	—
ダムの透水係数 (k)	3	10^{-1} (cm/s)	10^{-2} (cm/s)	10^{-3} (cm/s)
		10^{-2} (cm/s)	10^{-4} (cm/s)	10^{-5} (cm/s)
河床の透水係数 (k)	2	10^{-2} (cm/s)	10^{-1} (cm/s)	—
ダムの間隙率 (v_1)	2	0.2	0.15	—
河床の間隙率 (v_2)	1	0.2	—	—
河 床 の 厚 さ (t)	3	0	5 (m)	10 (m)
河 床 勾 配 (I)	2	1/10	1/100	—

透水係数欄の上段は、水平方向 (k_h) 透水係数

下段は、鉛直方向 (k_v) 透水係数

計算することとし、合計 858 ケースの解析を行った。さらに浸透破壊に対する対策工の効果を検討するために表-2.2 に示すような条件により計 16 ケースについて解析を行った。

以上全体での解析ケースは合計 874 ケースである。なお浸透解析結果を大きく左右する天然ダムの構成材

表-2.2 対策工の検討条件一覧

	条 件	同 左 内 訳	
		条 件①	条 件②
ダムの高さ(H)	2	20(m)	60(m)
堰止めの長さ(b)	2	100(m)	300(m)
上下流面法勾配(n)	2	1:2	1:4
貯水位(h)	1	0.7H	—
ドレーンの高さ	2	3.0(m)	5.0(m)
ダムの透水係数(k)	1	$10^{-3}(\text{cm/s})$	—
		$10^{-5}(\text{cm/s})$	—
河床の透水係数(k)	1	$10^{-2}(\text{cm/s})$	—
ダムの間隙率(r_1)	1	0.2	—
河床の間隙率(v_2)	1	0.2	—
河床の厚さ(t)	1	0	—
河床勾配(I)	1	1/10	—

透水係数欄の上段は水平方向(k_h)透水係数, 下段は鉛直方向(k_v)透水係数

料の透水係数は表-2.3~2.7に示す資料を参考にして, 水平方向と鉛直方向の異方性については次に示す近藤の研究結果および表-2.8を参考として条件を設定した。また非定常流浸透解析に必要な天然ダムを構成する地盤の有効間隙率については表-2.9および図-2.3を参考として設定した。

表-2.3 天然ダム土質定数の事例

(出典: 有田川上流崩壊調査報告 昭和31年)

	容積変化 (%)	収 縮 比	採取時の 含 水 量 (%)	透 水 係 数 (cm/sec)	平 常 含 水 量 (%)	真 比 重
白 谷	30.7207	1.2941	66.81	1.04×10^{-2}	39.22	2.07
有 中 谷	20.9868	0.9832	38.12	1.18×10^{-2}	29.48	2.74
高 野 谷	40.0119	1.519	54.31	5.50×10^{-3}	43.98	3.24
天 然 ダ ム	23.2759	1.5618	21.1	3.24×10^{-3}	40.53	3.19
北 寺	15.2745	1.1994	76.5	1.07×10^{-2}	47.61	2.69

表-2.4 土質と透水係数

(出典: テルツァギ・ベック土質力学)

透水係数 cm/sec (対数記法)												
	10 ³	10 ¹	1.0	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
排水性	良			好			わずか		実用的には不透水性			
土の種類	きれいな砂利	きれいな砂、きれいな砂と砂利の混合物	非常に細かい砂、有機質および無機質シルト、砂・シルト・粘土の混合物、水成シル、腐をなした粘土の堆積物など						“不透水性”の土 たとえば風化帯の下の均等な粘土			
			植物と腐化の影響を受けている“不透水性”の土									
土の直接的決定法	その最初の位置で行なう土の直接試験、一過水試験、適切に指示すれば信頼性あり、相当の経験を要す 定水位透水試験、少し経験を要す											
土の間接的決定法	定水位透水試験、信頼性あり、経験を要す			定水位透水試験、信頼性なし、多くの経験を要す				定水位透水試験、かなり信頼性あり、相当の経験を要す			圧密試験の結果を基にして計算、信頼性あり、相当の経験を要す	
	粒度分布から計算、きれいな粘土質力のない砂と砂利だけに適用											

* A. Casagrande および R. E. Fadum (1910) による。

表-2.6 アメリカ統一土質分類法 (ASTM規格 D2487-69 (再確認 1975))

(出典: テルツァギ・ベック土質力学)

主要区分	分類記号	代表的名称	分類基準
粗粒土 75μmふるい通過量が50%より多い	GW	粒度分布の良い砂・砂と粘土	細粒土の比で示すべく分類 75μmふるい通過量 5%以下: GW, GP, GM, GC, SM, SC 75μmふるい通過量 12%以上: GM, GC, SM, SC 75μmふるい通過量 5~12%: N記号による境界分類
	GP	粒度分布の悪い砂・砂と粘土	
	GM	シルト質砂・砂・シルトと粘土	
	GC	粘土質砂・砂・粘土と粘土	
	SW	粒度分布の良い砂・砂質砂	
	SP	粒度分布の悪い砂・砂質砂	
	SM	シルト質砂、砂・シルトと粘土	
	SC	粘土質砂、砂・粘土と粘土	
中粒土 75μmふるい通過量が50%以下	ML	無機質シルト、粘土質、砂質、シルト質または粘土質細砂	液性限界 w_L (%) 塑性指数 PI 図
	CL	塑性が低い、中粒の無機質粘土・砂質粘土、砂質粘土	
	OL	塑性の低い、有機質シルトおよび有機質シルト粘土	
	MH	無機質シルト、砂質粘土または粘土質細砂またはシルト、粘性のあるシルト	
	CH	塑性の高い、無機質粘土・粘土質粘土	
	OH	塑性の中粒の、有機質粘土	
無機質土	PT	石灰、固結その他の無機質土	目と手による判別、ASTM: D 2485 参照

* 75μmふるい通過量に基づく

(注) ふるいの ASTM 基準が一度 1970 年に改訂されている。

表-2.5 土質及び砂礫材料の統一分類と諸性質の関係*

(出典：土地改良事業計画設計基準)

分類記号	土質の分類		間隙比 e	バイビング 抵抗係数	透水係数 k (cm/sec) 透 漏 (平均)	透 水 度	剪 断 強 度			剪 断 強 度 R	圧縮限界の 値 M	同位相 せん断 力 C _u (トン/平方メートル)	剪断材 の割合 (%)	含水量 (%)		液 限 値		基礎地質調査
	Y _{max} (t/m ²)	ω _{max} (%)					c _u (kg/cm ²)	c _{mv} (kg/cm ²)	φ (°)					1.4 kg/cm ³	3.5 kg/cm ³	液 限 値	塑 性 指 数	
GW	>1.91	<13.3	.	高	1 st ~1 st (2.7 st ±1.3 st)	透	.	.	>38	非常に高	非常に高	—	透(透)	<1.4	.	R	.	完全止
GP	>1.76	<12.4	.	高~中	5 st ~1 st (6.4 st ±3.4 st)	透~非常に透	.	.	>36	高	非常に高	—	透(透)	<0.8	.	R	.	完全止
GM	>1.83	<14.5	.	高~中	1 st ~1 st (3 st)	中	.	.	>34	高	非常に高	4	透(中)	<1.2	<3.0	R	.	前面先
GC	>1.81	<14.7	.	非常に高	1 st ~1 st (3 st)	不	.	.	>31	高	非常に高	4	透(不)	<1.2	<2.4	R	.	不変
SW	1.91±0.08	13.3±2.50.37±.	.	高~中	5 st ~5 st (.)	透	0.40±0.04	.	38±1	非常に高	非常に高	—	透(透)	1.4±.	.	R	.	不完全
SP	1.76±0.01	12.4±1.00.50±0.03	低~非常に低	低~非常に低	5 st ~5 st (7.2 st)	透~中	0.23±0.06	.	36±1	高	高~中	—	透(透)	0.8±0.3	.	R~不良	.	不完全
SM	1.83±0.02	14.5±0.40.48±0.02	中~低	中~低	1 st ~5 st (7.5 st ±4.8 st)	中~不	0.52±0.060.20±0.07	34±1	高	高~中	16	透(不)	1.2±0.13.0±0.4	R~不良	.	R~不良	.	不完全
SM-SC	1.91±0.02	12.8±0.50.41±0.02	—	—	(8.0 st ±6.0 st)	—	0.51±0.220.15±0.06	33±3	—	—	3	—	—	1.4±0.32.9±1.0	—	—	—	—
SC	1.84±0.02	14.7±0.40.48±0.01	高	高	1 st ~5 st (3.0 st ±2.0 st)	中	0.76±0.150.11±0.06	31±3	高~中	高~中	7	透(不)	1.2±0.22.4±0.5	R~不良	.	R~不良	.	不変
ML	1.65±0.02	19.2±0.70.63±0.02	低~非常に低	低~非常に低	1 st ~5 st (5.9 st ±2.3 st)	中	0.68±0.100.09±.	32±2	中~低	中~非常に低	7	透(不)	1.5±0.22.6±0.3	不良	.	前面先	.	不変
ML-CL	1.75±0.02	16.8±0.70.54±0.03	—	—	(1.3 st ±0.7 st)	—	0.64±0.170.22±.	32±3	—	—	—	—	—	1.0±0.22.2±0.0	—	—	—	—
CL	1.73±0.02	17.3±0.30.56±0.01	高	高	1 st ~1 st (8.0 st ±3.0 st)	不	0.88±0.100.13±.	28±2	中	中~中	10	透(不)	1.4±0.22.6±0.4	R~不良	.	R~不良	.	不変
OL	.	.	.	中	1 st ~1 st (.)	不	.	.	.	低	中~高	—	否	.	.	不良	.	不変
MH	1.31±0.06	36.3±3.21.15±0.12	中~高	中~高	1 st ~1 st (1.6 st ±1.0 st)	非常に中	0.73±0.300.20±0.01	25±2	低	低~非常に低	—	否	2.0±1.23.8±0.8	不良	.	不良	.	不変
CH	1.50±0.03	25.5±1.20.80±0.04	非常に高	非常に高	1 st ~1 st (5.0 st ±5.0 st)	非常に中	1.04±0.340.11±0.06	19±5	低~中	非常に低	1	透(不)	2.6±1.33.9±1.5	不良	.	不良	.	不変
OH	.	.	.	—	(.)	—	.	.	.	—	—	—	否	.	.	不良	.	不変
Pt	.	.	.	—	(.)	—	.	.	.	基礎地質調査	基礎地質調査	基礎地質調査	基礎地質調査	.	.	基礎地質調査	.	基礎地質調査

(注)：1. 本表は、アメリカ開拓局、アメリカ陸軍土木部、Earth and Earth-Rock Dams 等の資料から作成したものである。数字は剪断強度 90% の平均値を示す。

2. 日本の土と完全に一致しないかもしれないが、現時設計の精度としては十分であろう。

3. . は資料不足を示す。

4. c_u：最速含水比時の値。 c_{mv}：飽和時の値。 透水係数の (1st~1st) は (1×10⁻²~1×10⁻¹) の時である。以下同じ。

* 土質工学会：土質試験法 (第1回改訂版)、(1969)

表-2.7 日本統一土質分類における英字記号の意味

(出典：テルツァギ・ベック土質力学)

記号	意味
G	礫土 (G-soils) または礫 (Gravel)
S	砂土 (S-soils) または砂 (Sand)
F	細粒土 (Fine soils) または細粒分 (Fines)
M	シルト (Mo: スウェーデン語のシルト)
C	粘性土 (Cohesive soils) または粘土 (Clay)
O	有機質土 (Organic soils)
V	火山灰質粘性土 (Volcanic cohesive soils)
Pt	腐植質土 (Highly organic soils) またはPEAT (Peat)
Mk	腐泥 (Muck)
W	粒度の良い (Well-graded)
P	粒度の悪い (Poorly graded)
Pu	均等粒度の (Uniformly graded)
Ps	不均等粒度の (Skip-graded)
L	低液性限界 ($w_L < 50\%$) (Low liquid limit)
H	高液性限界 ($w_L \geq 50\%$) (High liquid limit)
HL	火山灰質粘性土のI型 ($w_L < 80\%$)
HL	火山灰質粘性土のII型 ($w_L \geq 80\%$)
—	・・・
G	砂まじり (with gravel)
[W]	腐泥物 (Wasties)

○土の透水係数の異方性について

(近藤 武 三重大学農学部学術報告No56 (1977))

室内実験において異方性の測定結果 k_h/k_v の値は56測定例から平均値18.6で 10^{-2} となる場合もあった。

表-2.8 土質と透水係数の異方性値

	細粒均質土層	細粒交じり粗粒土層	極めて不規則な土層
土の種類	CL, ML	GC, GM	100
k_h/k_v	9	25	以上

以上の資料により、崩壊、落下時に地山の成 状況が崩れること、落下時の衝撃力があるものの均等厚の積み重ねとならないことから、 $k_h/k_v = 10^2, 10^1$ の2ケースとした。

表-2.9 有効間隙率の値

(出典：水理公式集)

地 層	間隙率(%)	保水率(%)	有効間隙率(%)
沖積れき層	25	10	15
細れき層	35	20	15
砂丘砂層	30～35	10～15	20
泥質粘土層	45～50	30	15～20
洪積れき層	30	10～15	15～20
砂 層	35～40	5～10	30
ローム層	50～70	30～50	20
泥質粘土層	50～70	45～60	5～10

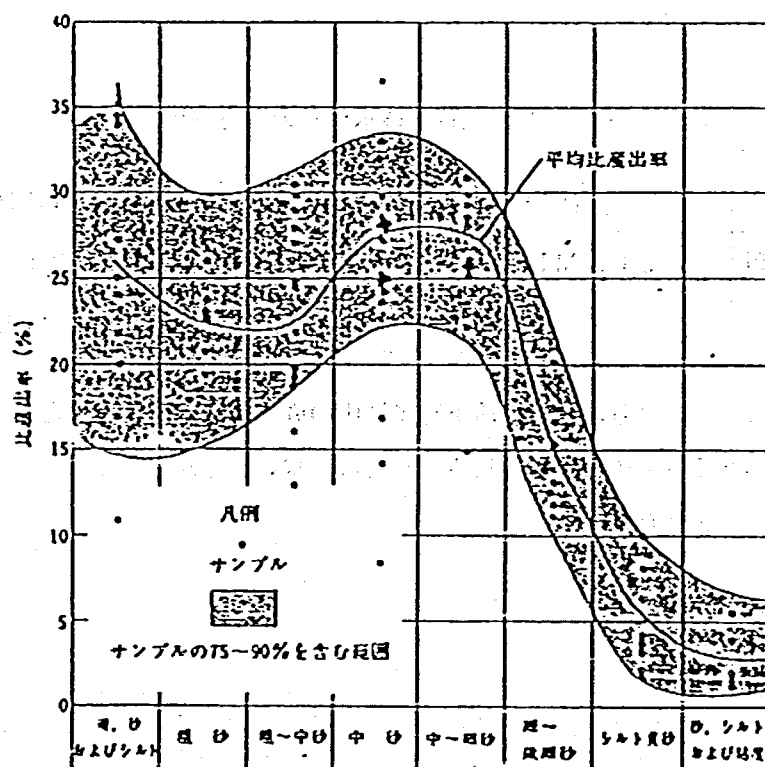


図-2.3 有効間隙率の値

2.2 解析結果

2.2.1 浸潤線の進行過程の追跡

天然ダム堤体内における浸潤線の進行過程について $H = h = 20\text{m}$, $b_1 = 100\text{m}$ の場合を例にとって検討する。

(1) 透水係数の違いによる変化

図-2.4～2.6には天然ダム構成材料の透水係数を ($k_h = 10^{-1}$, $k_v = 10^{-3}$) ($k_h = 10^{-2}$, $k_v = 10^{-4}$), ($k_h = 10^{-3}$, $k_v = 10^{-5}$) cm/s とした時の浸潤線の進行過程を示す。これらの図より透水係数が 10^{-1} に減少すると浸潤線の進行速度もほぼ 10^{-1} 倍となり天然ダムの下流法先に達する時間は約10倍となる。

(2) 河床上の透水性材料の影響

河床上に厚さ 5m , 透水係数 $k = 10^{-1}$, 10^{-2} cm/s の透水性材料がある場合の浸潤線の進行過程を図-2.7, 2.8に示す。図-2.6と比較すると河床上透水性材料の存在することにより, 浸潤線の進行速度は大きくなり下流より先への到達時間も早くなる。

また河床上の透水性材料の厚さ (t) と浸潤線の下流法面への到達時間 (T) の関係を示した図-2.9からも同様のことが言える。

(3) 上流側貯留水位の影響

図-2.10～2.13には天然ダム上流側水位が堰止め高 H と同じ場合と $0.7H$ の場合の浸潤線の進行過程を示す。当然のことではあるが浸潤線の進行速度は堰止め高によるよりも上流側の貯留水位により大きく影響される。

(4) 洗面勾配の変化による影響

天然ダムの上, 下流の法面勾配を $1:2.0$ とした場合と $1:4.0$ とした場合の浸潤線の進行過程を図-2.10～2.13に示す。これらの図より洗勾配が $1:2.0$ から $1:4.0$ と緩くなると天然ダム下流方面へ浸潤線が到達する時間は遅くなる。

(5) 有効間隙率の影響

天然ダム構成材料の有効間隙率を 0.15 と 0.20 とに変えた場合の浸潤線の下流法面への到達時間を図-2.14～2.17に示す。

これらの結果より有効間隙率の到達時間に与える影響は比較的少ないが, 有効間隙率が大きい程到達時間は長くなる傾向がある。

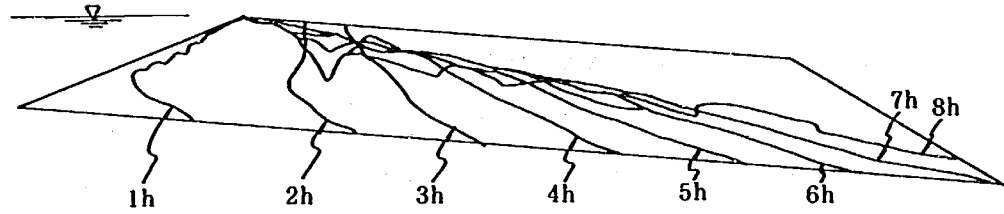
(6) 河床勾配の影響

天然ダムの形成された地点の河床勾配の浸潤線の到達時間に与える影響は図-2.14～2.17に示すように比較的小さいが, 一般的には河床勾配が緩い程到達時間は大きくなる。

(7) 各要因の影響度比較

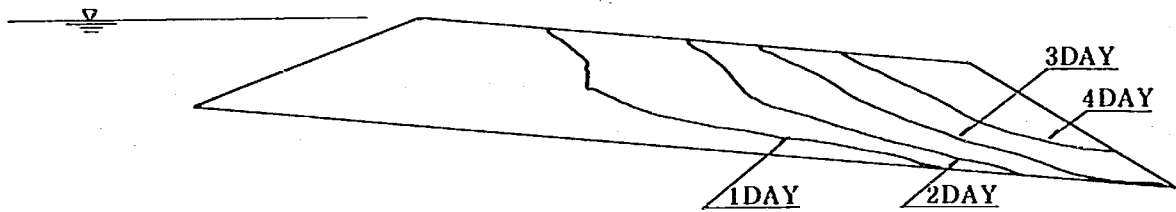
図-2.18～2.21には, 天然ダムの堰止め長と浸潤線の下流法面への到達時間の関係を透水係数, 有効間隙率, 河床勾配の条件を変えて整理した結果を示す。図-2.14～2.17とも比較して見ると到達時間を左右するのは主として①堰止め長, ②透水係数および③貯水位であり, これら以外の条件 (堤高, 有効間隙率, 河床勾配, 上下流の洗勾配) は大きな影響を与えないことが分かる。また到達速度の算定には 図-2.18～

0 50 m



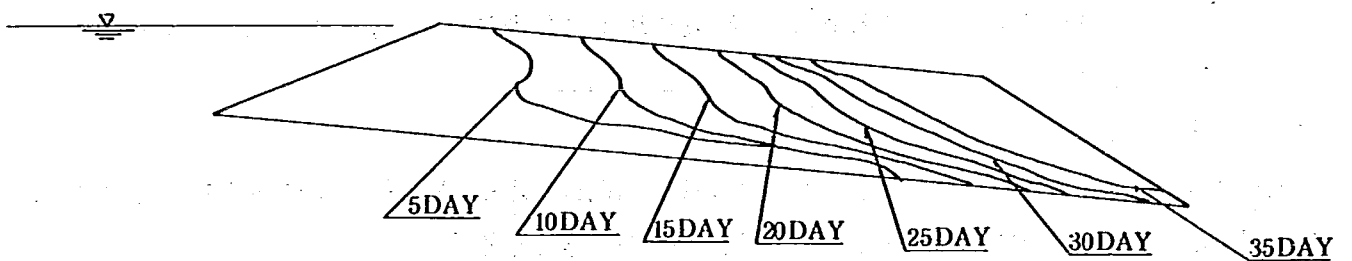
($k_h = 10^{-1}$, $k_v = 10^{-2}$, $l = 1/10$, $r = 0.2$, $H = 20\text{m}$, $L = 100\text{m}$)

図-2.4 浸潤線の進行過程 ($k_h = 10^{-1}$, $k_v = 10^{-2}$)



($k_h = 10^{-2}$, $k_v = 10^{-4}$, $l = 1/10$, $r = 0.2$, $H = 20\text{m}$, $L = 100\text{m}$)

図-2.5 浸潤線の進行過程 ($k_h = 10^{-2}$, $k_v = 10^{-4}$)



($k_h = 10^{-3}$, $k_v = 10^{-5}$, $l = 1/10$, $r = 0.2$, $H = 20\text{m}$, $L = 100\text{m}$)

図-2.6 浸潤線の進行過程 ($k_h = 10^{-3}$, $k_v = 10^{-5}$)

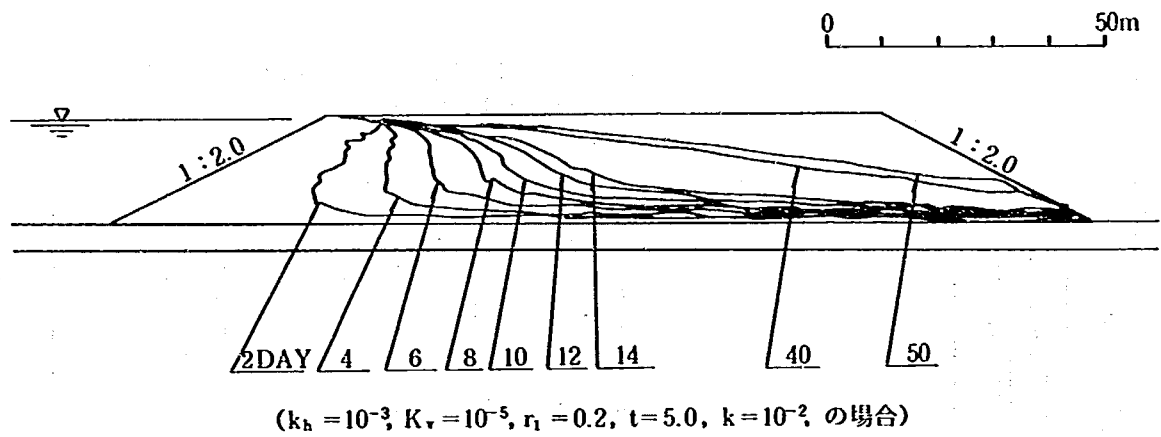


図-2.7 透水地盤上（河床礫）の浸潤経過

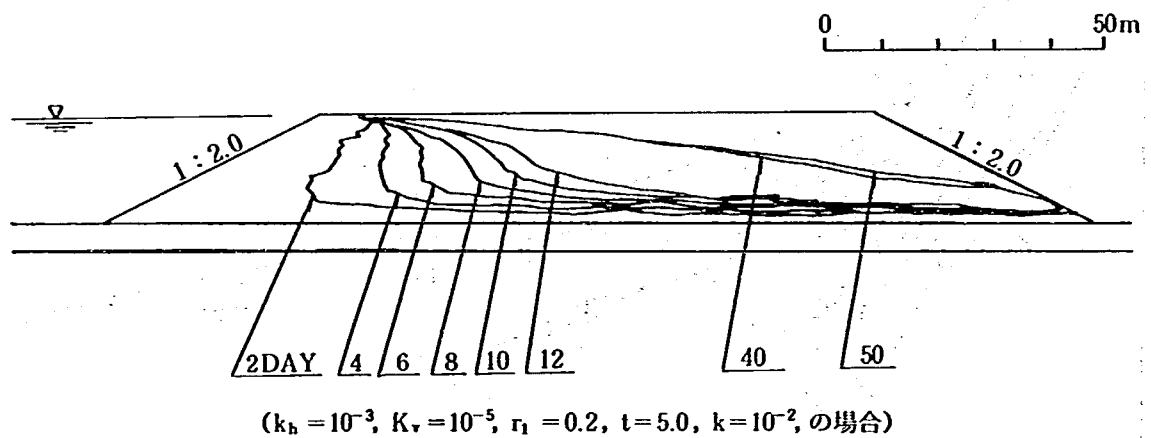


図-2.8 透水地盤上（河床礫）の浸潤経過

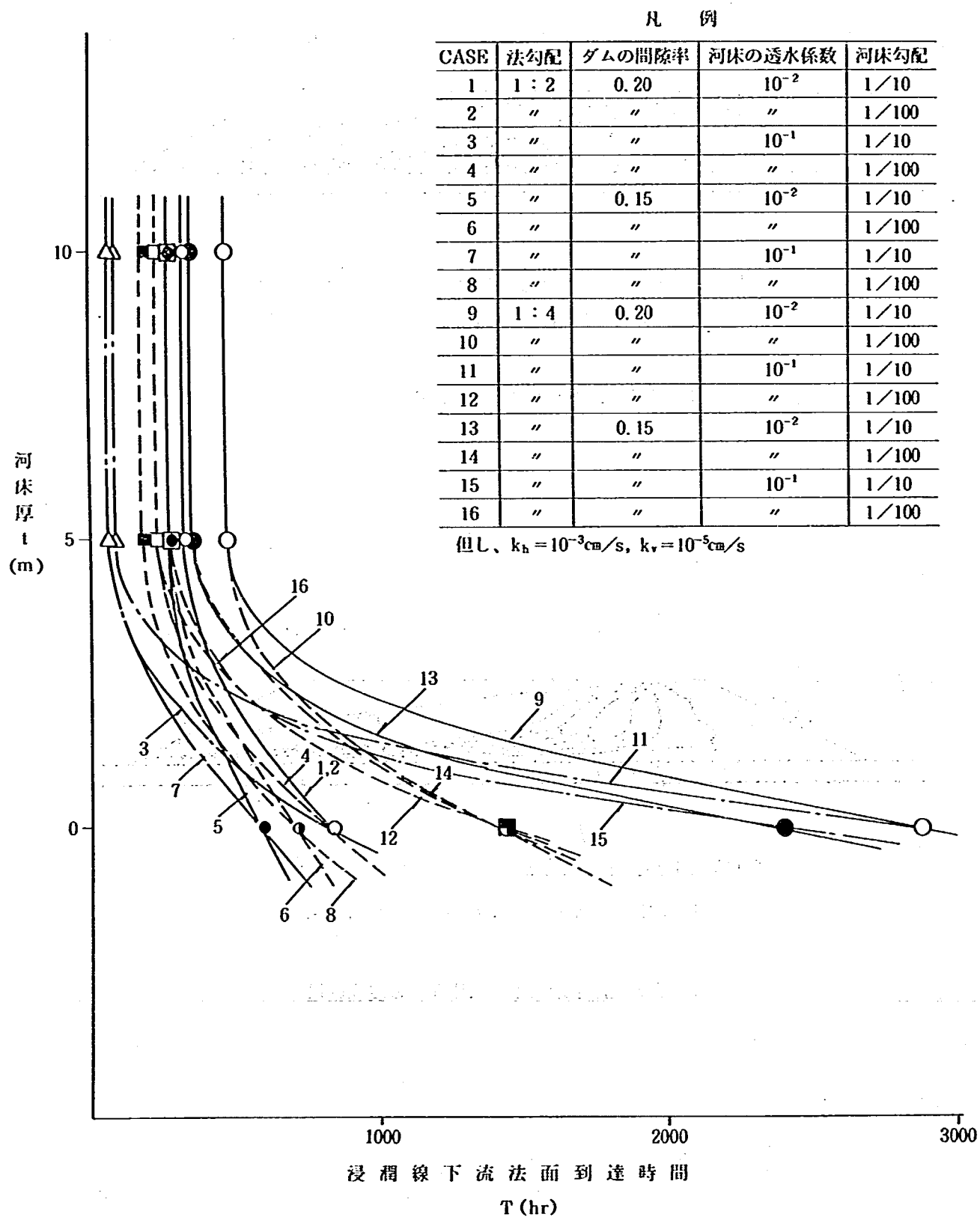


図-2.9 河床厚一到達時間

(法勾配 1 : 2.0 の場合)

($k_h = 10^{-3}$, $k_v = 10^{-5}$, $l = 1/100$, $r = 0.2$, $H = 20\text{m}$, $L = 100\text{m}$)

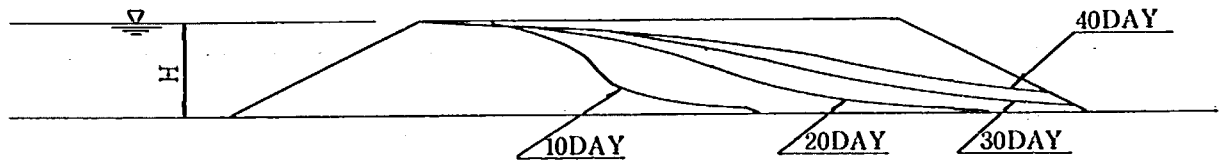


図-2.10 $H/L = 20/100$, 貯水位 = H の浸潤線

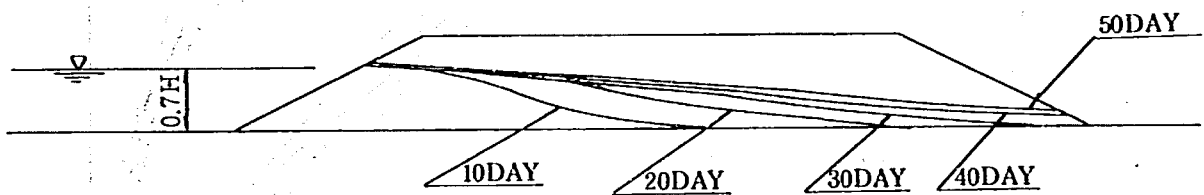


図-2.11 $H/L = 20/100$, 貯水位 = $0.7H$ の浸潤線

(法勾配 1 : 4.0 の場合)

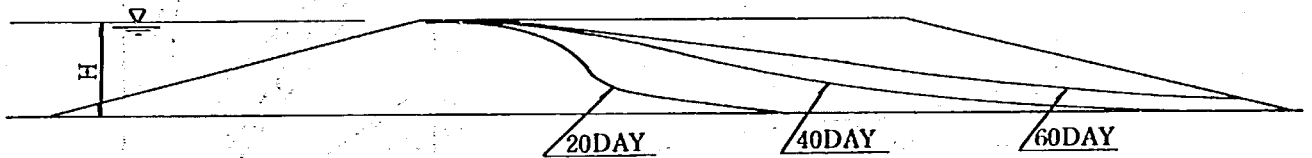


図-2.12 $H/L = 20/100$, 貯水位 = H の場合の浸潤線

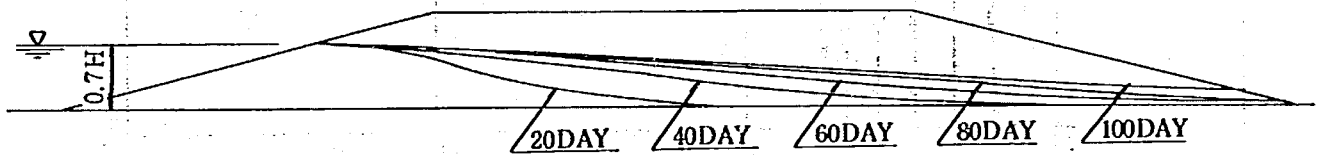


図-2.13 $H/L = 20/100$, 貯水位 = 0.7 の場合の浸潤線

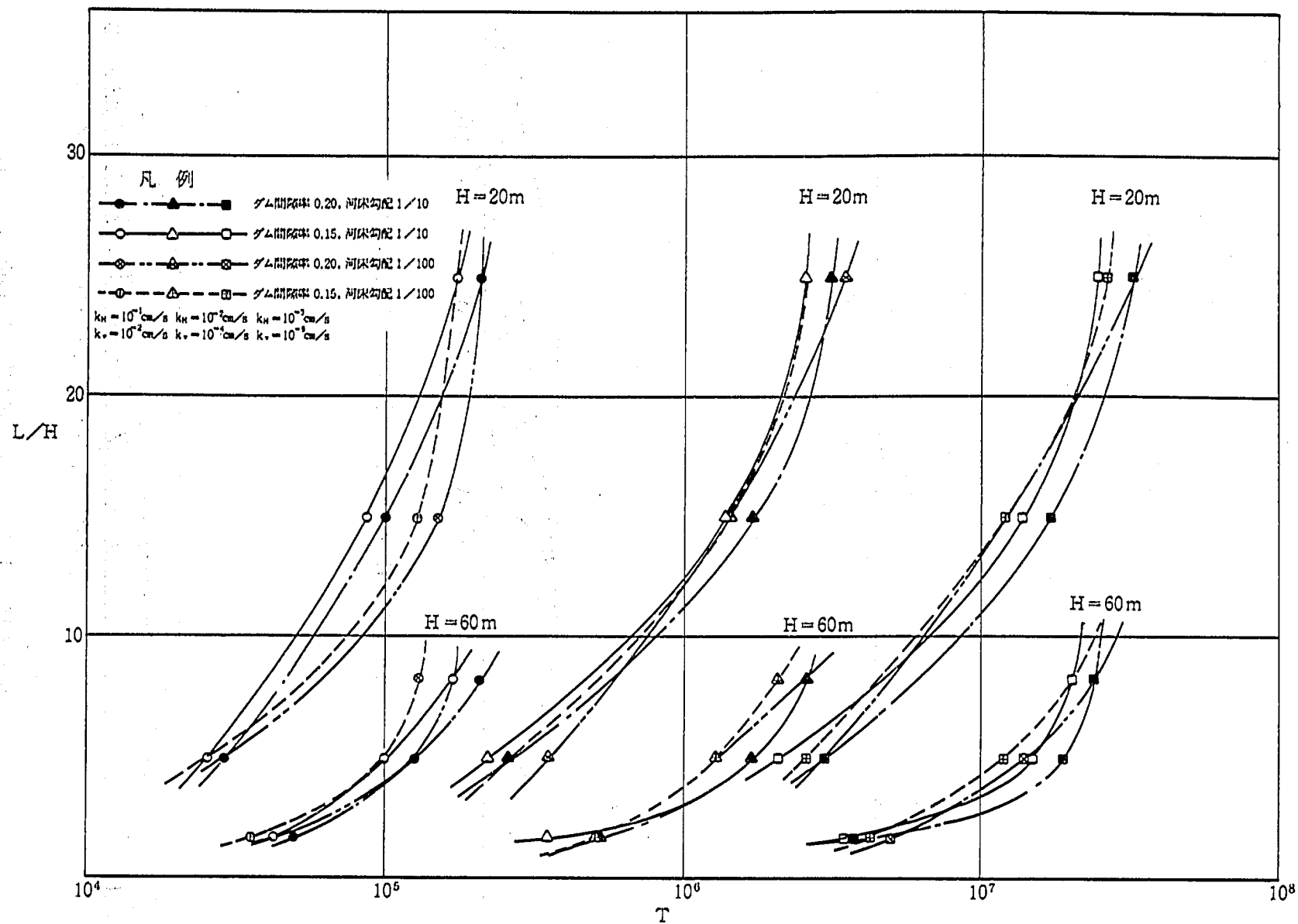


図-2.14 貯水位 $h = H$ の場合の到達時間 (法勾配 1 : 2.0)

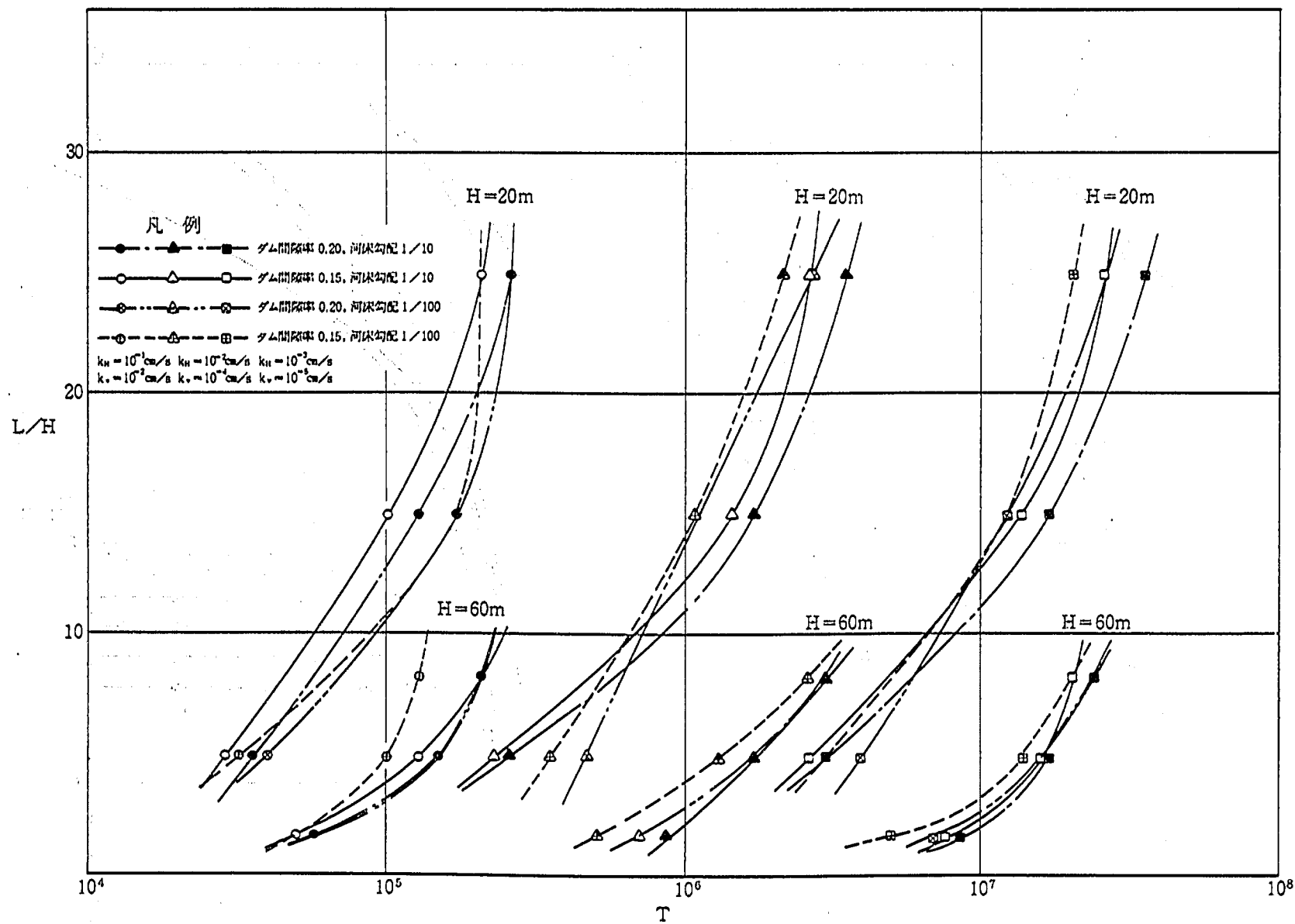


図- 2.15 貯水位 $h = 0.7 H$ の場合の到達時間 (法勾配 1 : 2.0)

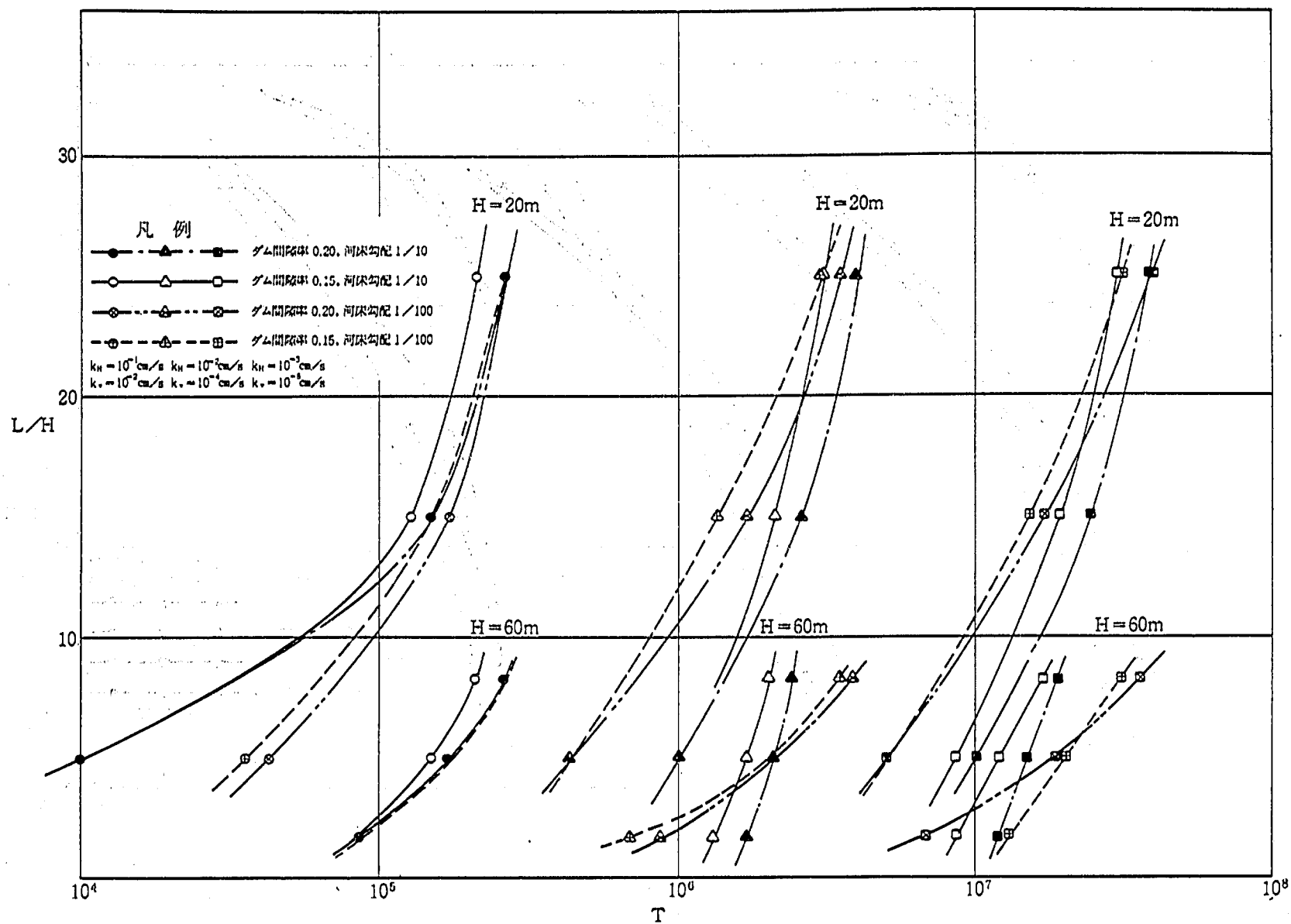


図-2.16 貯水位 $h = H$ の場合の到達時間 (法勾配 1 ; 4.0)

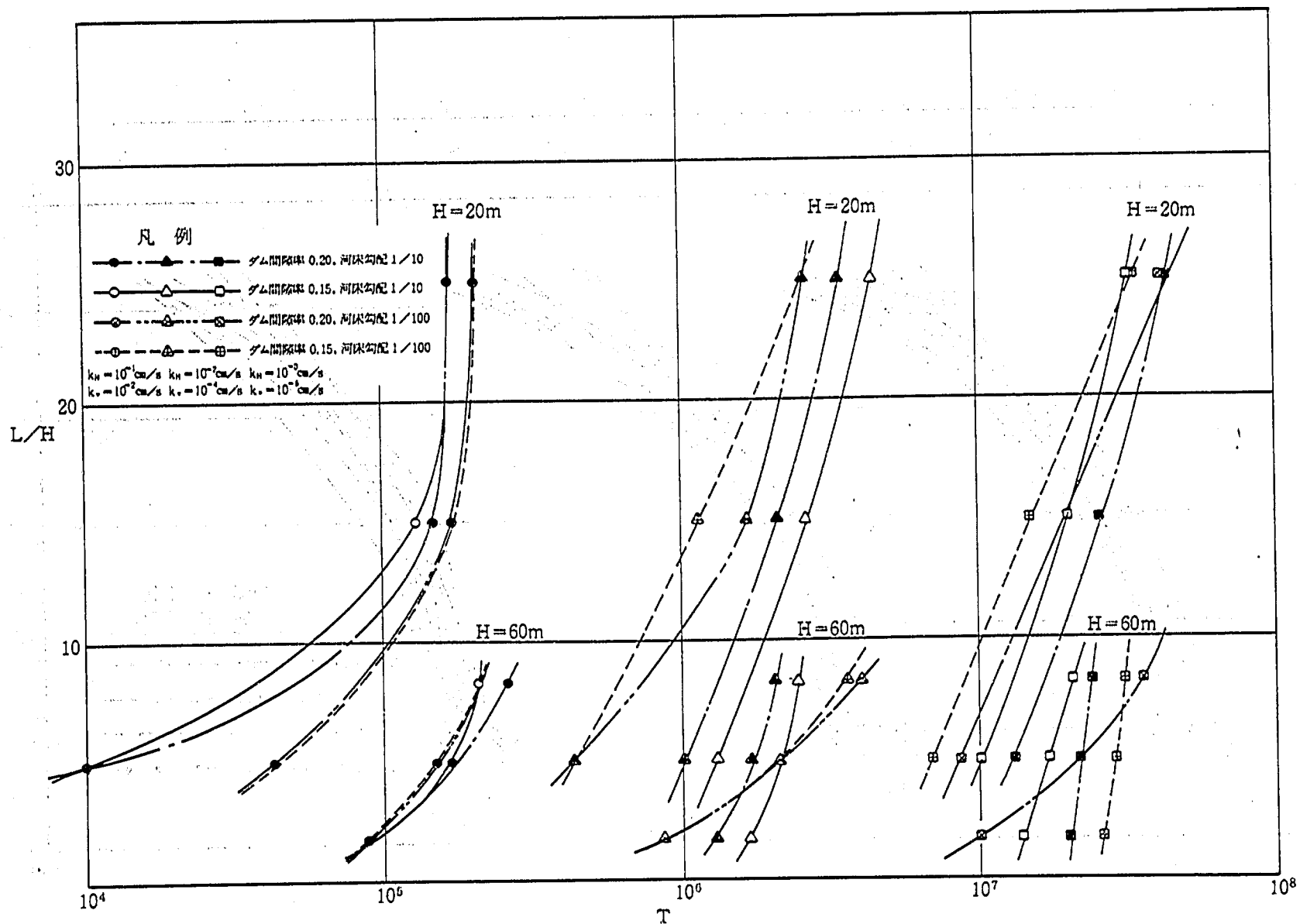


図-2.17 貯水位 $h = 0.7 H$ の場合の到達時間 (法勾配 1 ; 4.0)

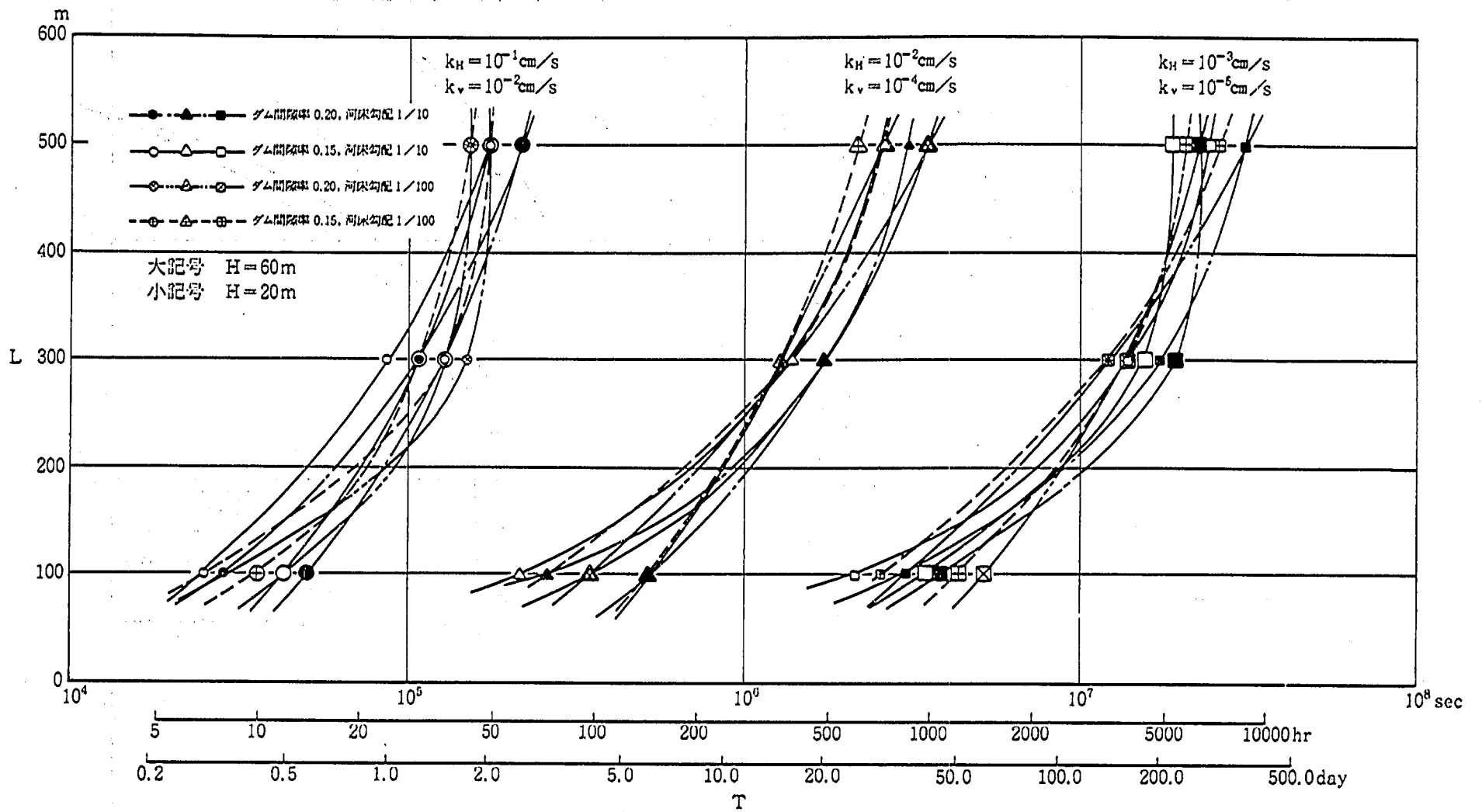


図-2.18 貯水位 $h = H$ の場合の到達時間 (法勾配 1 : 2.0)

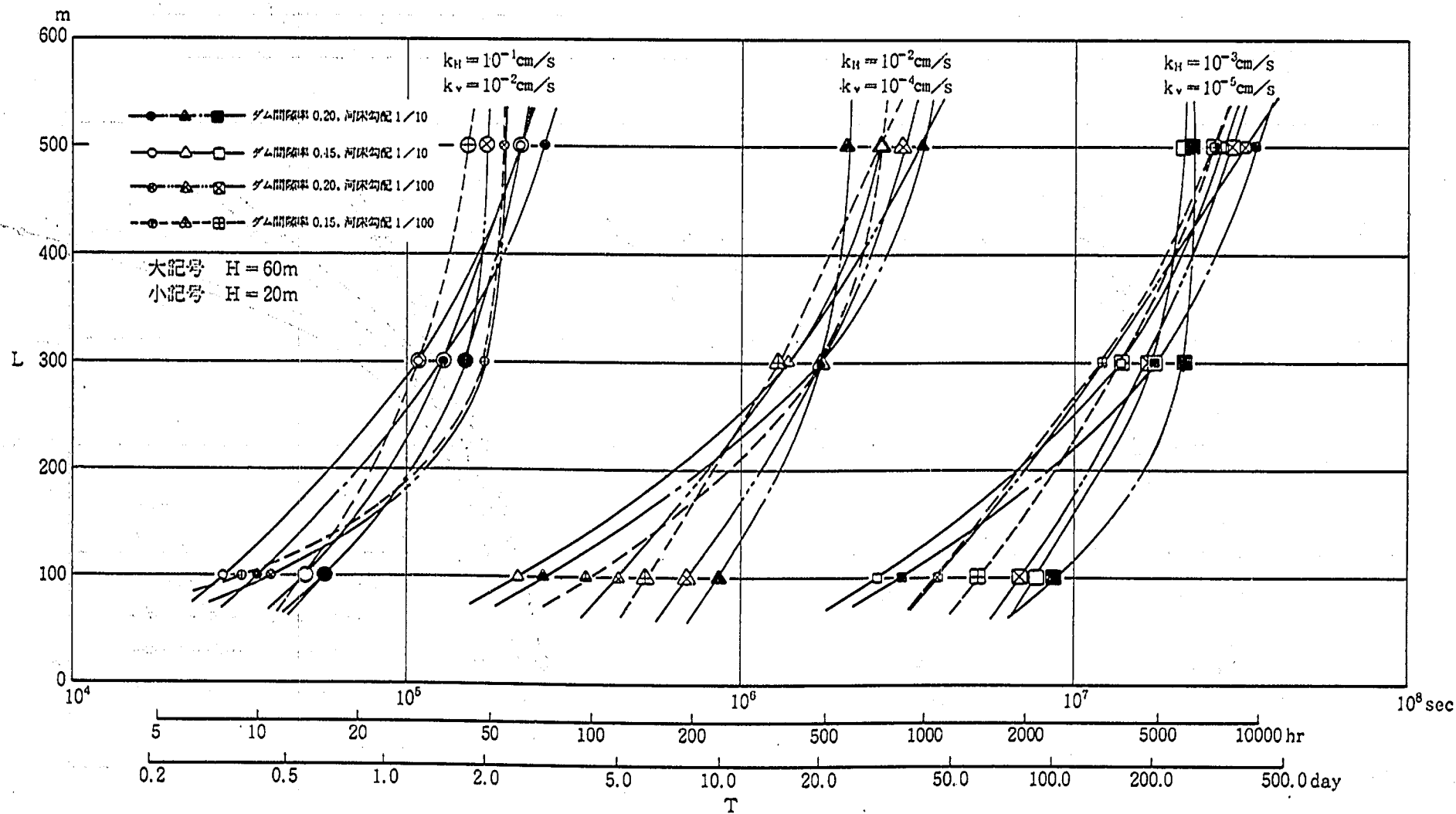


図-2.19 貯水位 $h = 0.7 H$ の場合の到達時間 (法勾配 1 : 2.0)

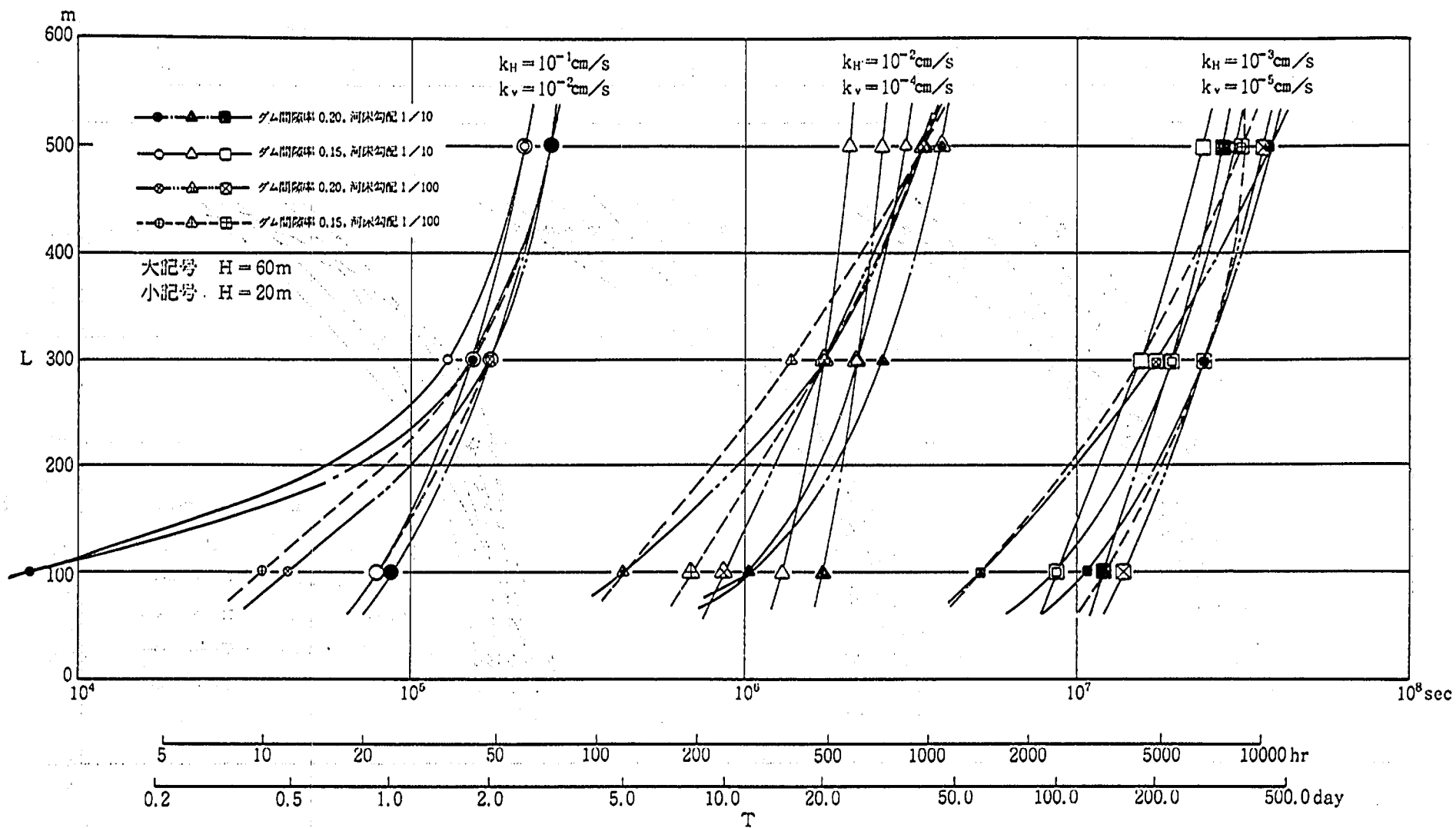


図-2.20 貯水位 $h = H$ の場合の到達時間 (法勾配 1 : 4.0)

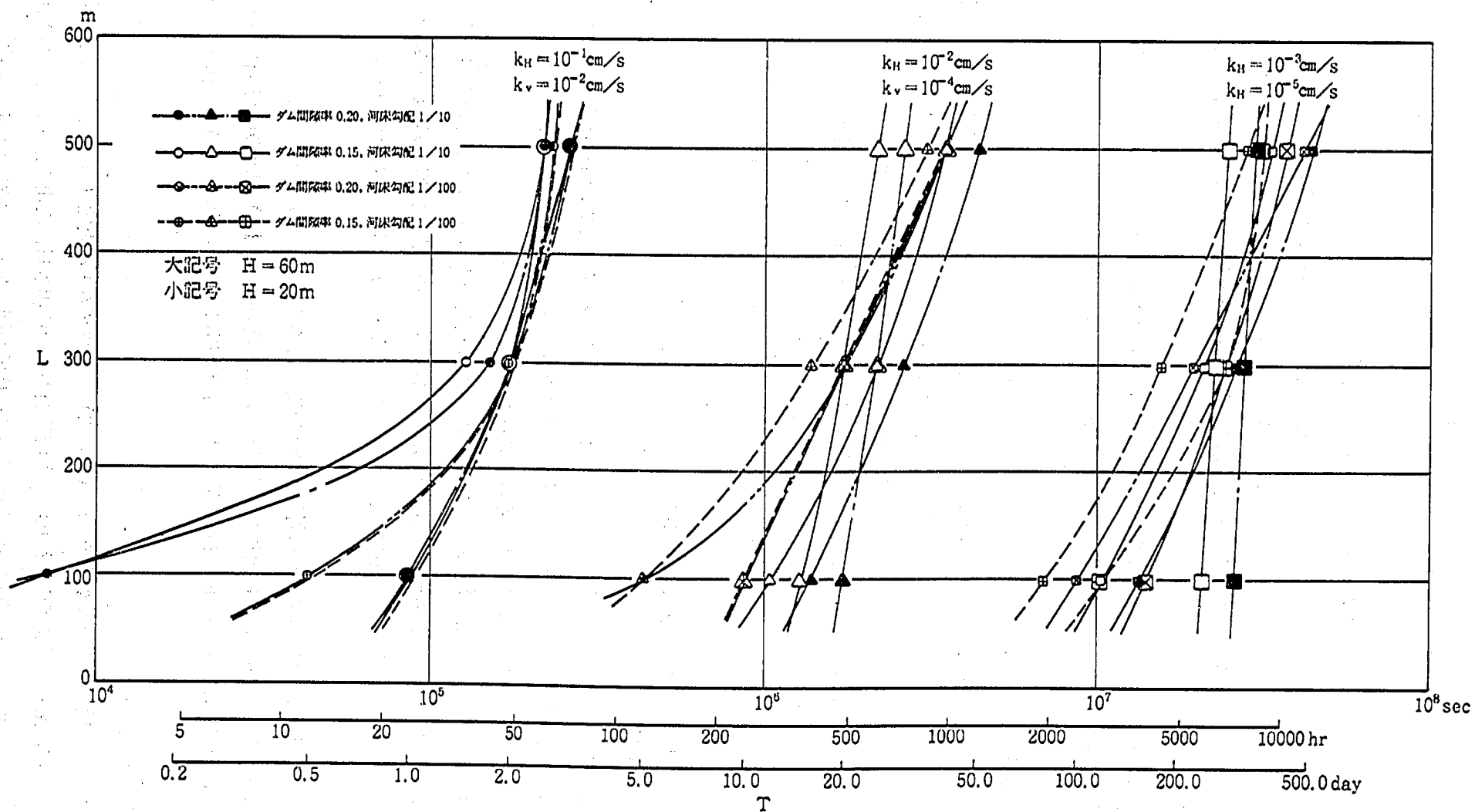


図-2.21 貯水位 $h = 0.7 H$ の場合の到達時間 (法勾配 1 : 4.0)

2.21を用いた方が簡便であり使い易いと判断される。

2.2.2 浸透流の最大流速によるパイピングの危険性の検討

各解析ケース毎の最終状態における浸透流量と最大流速を巻末資料として示す。

浸透流の最大速度 (V_{max}) は $k_h/k_v = 10^{-3}/10^{-5}$ cm/s の材料の場合 $V_{max} = 10^{-1}$ cm/s オーダーを示し、Justin の粒径別限界流速によれば移動可能な粒径 (D) は 0.01mm ($D\ 0.01\text{mm}$ で $V\ 1.02\text{cm/sec}$) 以下であり通常の場合パイピング現象は考えにくい。

したがって天然ダムの破壊の最も危険性の高いのは、流入水量に伴う貯水位の上昇による越水侵食破壊、若しくは浸透水による地盤の剪断抵抗減少による剪断破壊と考えられる。

2.2.3 浸透破壊対策工の効果

天然ダムの浸透破壊を防止するための対策工として下流法先にドレーンを設置する場合を検討した。河床勾配が $1/10$ ，堰止高が 20m ，堰止長が 100m ，透水係数が $k_h = 10^{-3}$ cm/s， $k_v = 10^{-5}$ cm/s，貯水位が $0.7H = 14\text{m}$ の条件で法先ドレーンを設置した場合の浸潤線の進行過程を図-2.22～2.26に示す。法先ドレーンを設けない場合に比べ浸潤線の下流法面到達時間はドレーン高 1.5m で約2倍となることが分かる。ドレーン高あるいは形状を多少変えても浸潤線の到達時間や最終的 (100日目) な浸潤線の形状には大きな変化が見られない。なお、ドレーンの設置による法先での浸透流量と最大流速を比較した結果を表-2.10に示す。

2.3 模型実験による浸透破壊対策工検討

2.3.1 実験目的と手法

浸透にともなうパイピング現象の発生により天然ダムの下流法先の崩壊が始まりこれが天然ダム全体の破壊を引き起こす現象を追跡するとともに、下流法先にドレーン兼押え盛土の効果をもつ大石による盛土を行った場合の浸透破壊防止効果を確認する目的で室内模型実験を行った。

実験には長さ 3m ，幅 10cm ，高さ 35cm で側壁がアクリル板製の水路を用いて、この水路の中に図-2.27に示す形状の天然ダムの模型を製作し、上流の貯水高を 20cm で一定に保ち下流において浸透による流出水量と土砂量を測定した。天然ダムの模型に用いた砂の粒度分布を図-2.28に、またその他の土質常数を表-2.11に示す。

実験ケースは表-2.12に示すように対策工のない場合とある場合の2ケースとした。

対策工は図-2.29に示すように天然ダム模型の下流部に高さ 10cm ，長さ 20cm の砂利 (径 $10 \sim 25\text{mm}$) を盛ったもので、砂利と天然ダムの下流法面の間には吸出防止用に 2.5mm の合成樹脂製の網を敷いた。

2.3.2 実験結果と考察

実験は天然ダム模型上流側の水位を急速 (2分間) に天然ダム上流天端 (水位 20cm) にまで上昇させてその後水位を一定に保って浸潤線の進行状況、下流法面からの流出水量、流出土砂量、および下流法面のパイピングによる破壊進行状況を観察した。浸潤線の進行状況を図-2.30，2.31に示す。浸潤線の進行状況は

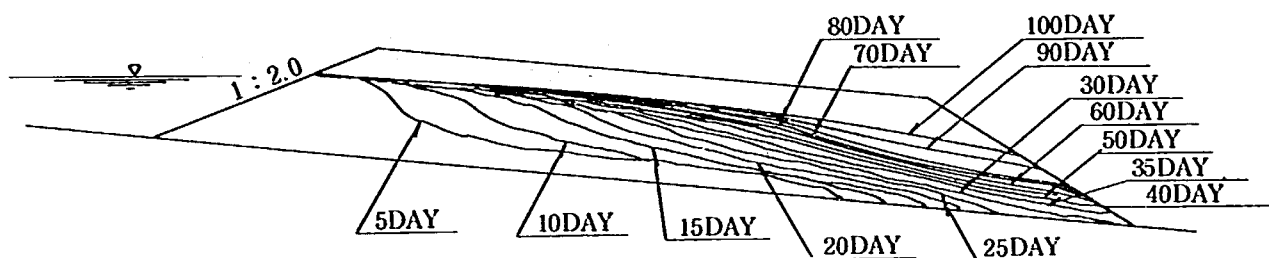


図-2.22 法先ドレーンを設けない場合の浸潤線

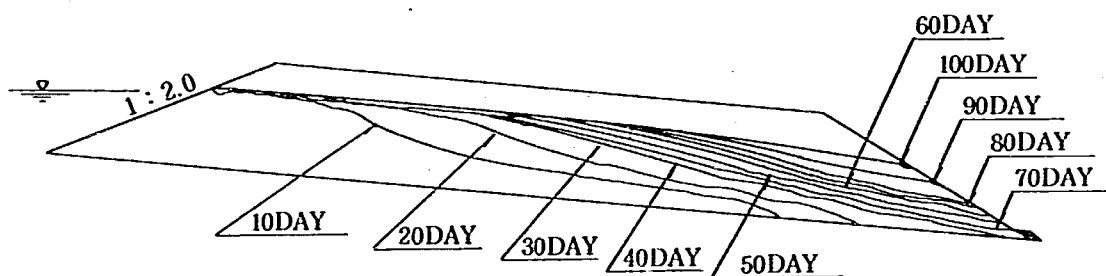


図-2.23 法先ドレーン高 1.5 m の場合の浸潤線

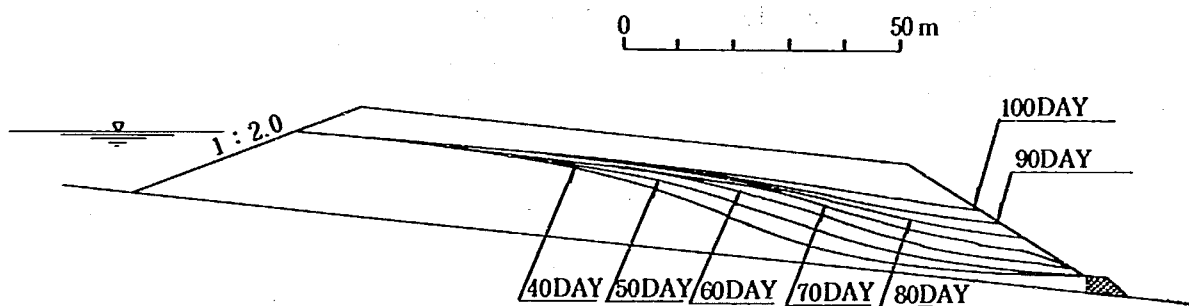


図-2.24 法先ドレーン高さ 3.0 m の場合の浸潤線

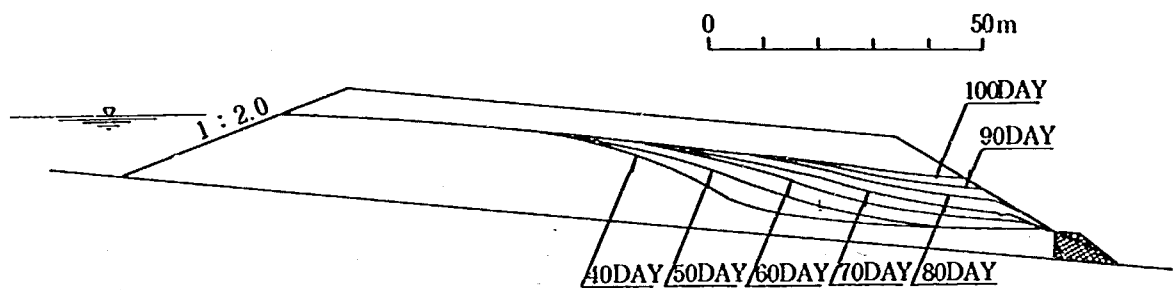


図-2.25 法先ドレーン5.0mの場合の浸潤線

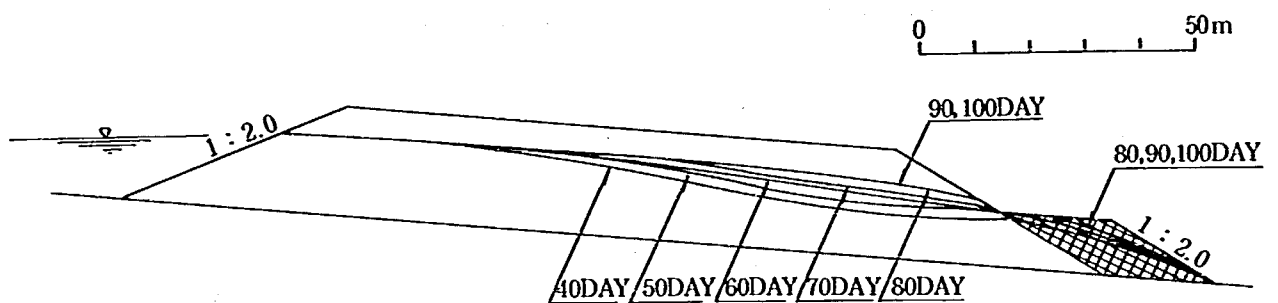


図-2.26 法先ドレーン10mの場合の浸潤線

表-2.10 ドレーン高の違いによる浸透流量と最大流速

ドレーン高	浸透流量 ℓ/min	最大流速 cm/sec	摘 要
なし	4.321×10^{-1}	1.578×10^{-3}	
1.50m	4.835×10^{-1}	1.453×10^{-5}	
3.00m	5.120×10^{-1}	1.440×10^{-5}	
5.00m	5.216×10^{-1}	1.416×10^{-5}	
10.00m	5.349×10^{-1}	1.342×10^{-5}	

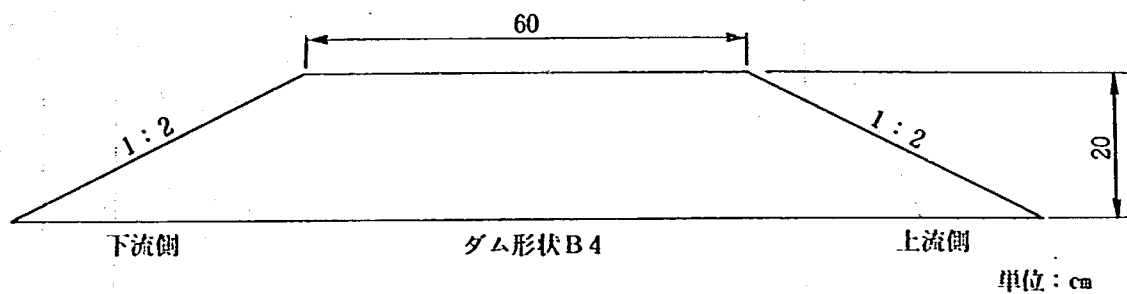


図-2.27 天然ダム模型

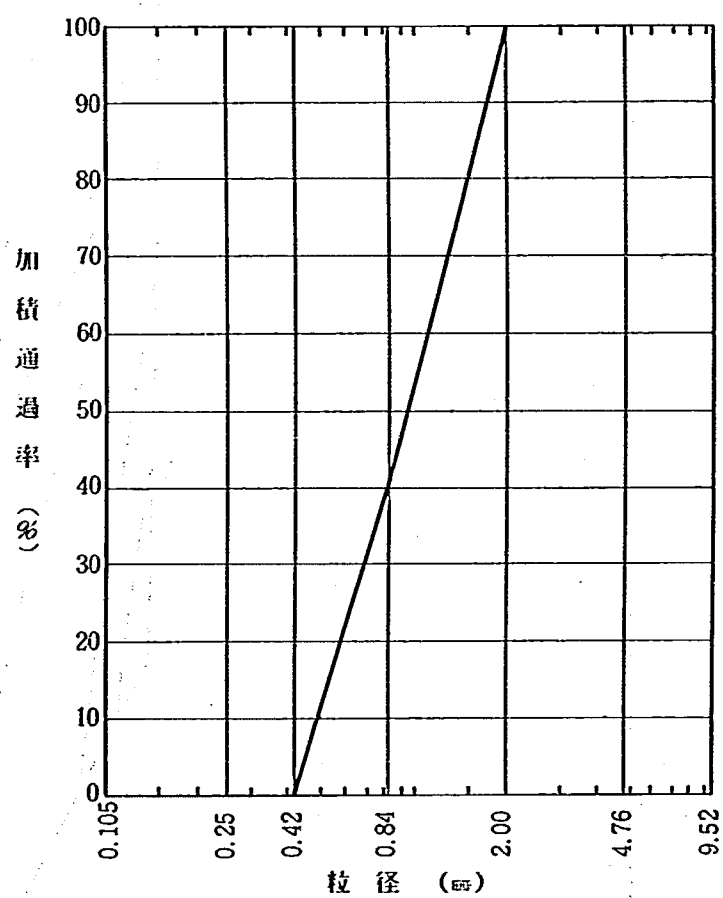


図-2.28 実験に用いた砂の粒径分布

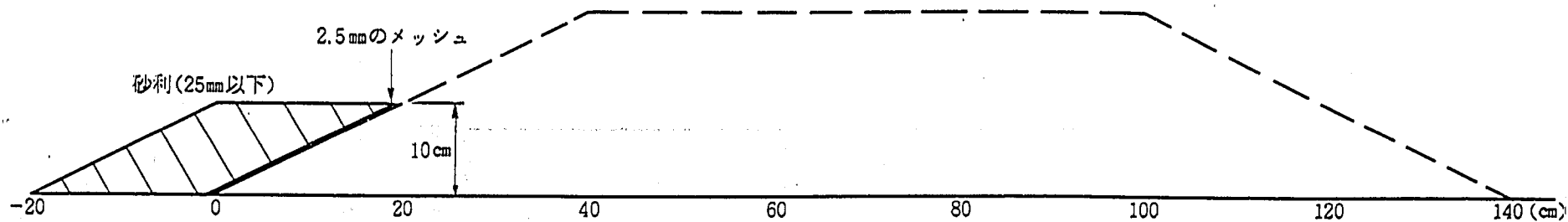


図-2.29 対策工形状

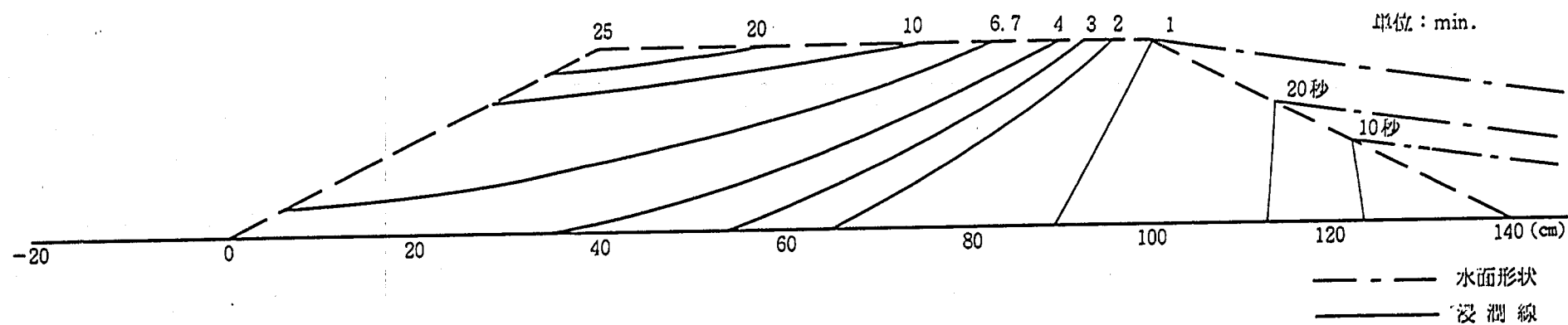


図-2.30 時間と浸透状況 (CASE-1)

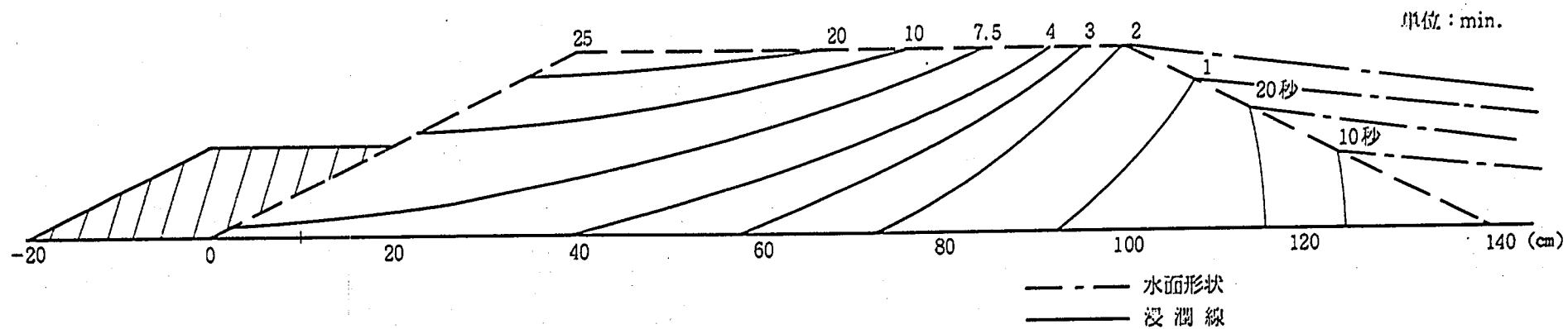


図-2.31 時間と浸透状況 (CASE-2)

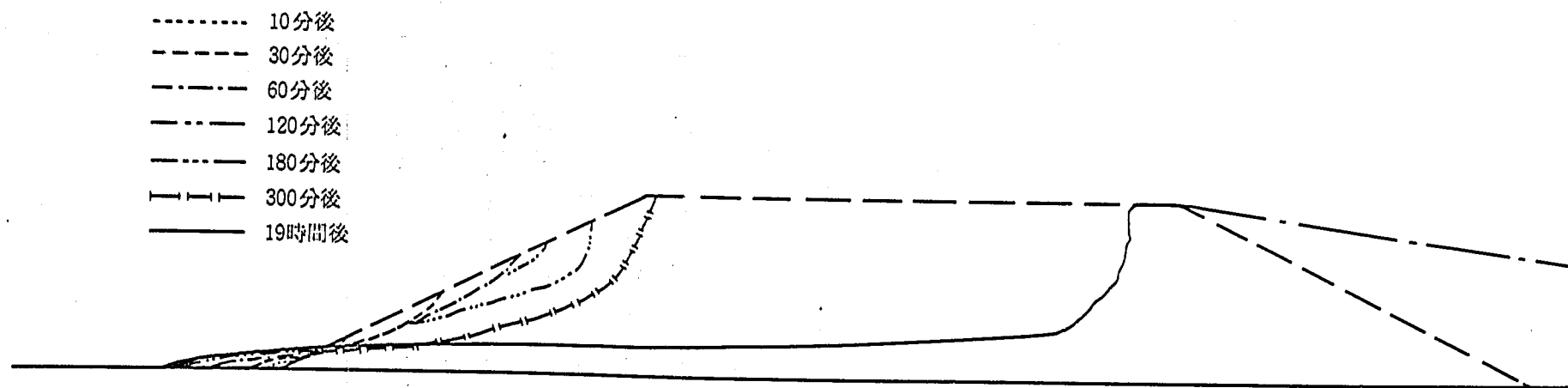


図-2.32 時間と崩壊状況

表- 2.11 実験に用いた砂の土質常数

項 目	値
土粒子の比重	2.549
湿潤密度 (g/cm)	1.638
分 水 比 (%)	3.26
C_n (kg/cm)	0.000
ϕ_n (度)	34.15
透水係数 (cm/s)	1.64×10^{-2}
間 隙 比	0.607

表- 2.12 実験 ケース

ケース	幅 (cm)	材 料	水 位	含水比(%)	備 考
C-1	10	砂	満 水	5.36	対策工なし
C-2	10	砂	満 水	6.06	対策工あり

CASE-1, CASE-2 ともほぼ同様であった。

浸潤線が天然ダムの下流法面に達してからの時間の経過とパイピングによる天然ダムの破壊形状の進行状況を図- 2.32 に示す。

また天然ダム下流法面からの流出水量を表- 2.13 に示す。浸潤線が下流法面へ到達してから19時間位に残っていた土砂は約12秒間で完全に破壊し下流へ流出した。この流出した土砂流の特徴を表- 2.14 に示す。

この実験により次のことが分かった。

- ① 天然ダムの長さがある程度長い場合には、パイピングが発生しても下流法面から徐々に破壊が進行し、短時間のうちに破壊が進むことはない。
- ② 天然ダム下流法面に設置した高さが天然ダムの $\frac{1}{2}$ 程度のドレーン兼押え盛土はパイピングの発生を防止および下流法面の破壊防止に効果があることが判明した。

表-2.13 流出水量

実験ケース	時 間 (分)	水 量 (cc/sec)	備 考
C-1 対策工無し	6.7	115	下流端到達時間
	30	310	
	60	315	
	120	335	
	180	340	
	240	345	
	300	345	
C-2 対策工あり	7.5	118	下流端到達時間
	30	250	
	60	255	
	120	260	
	180	260	
	240	260	
	300	260	

表-2.14 流出土砂濃度 (C-1, 19時間後)

全流出土砂量 (kg/12秒)	絶乾土砂量 (kg/12秒)	水 量 (kg/12秒)	重量土砂濃度 (%)	容積土砂濃度 (%)
11.60	3.60	8.00	31.03	14.87

3. 天然ダムの越流による侵食破壊

3.1 実験目的と手法

天然ダムの越流 (Over topping) による破壊例は図- 1.13に示すように極めて多く、大半のものがこの形態で破壊している。ここでは越流による天然ダムの破壊過程を追跡するとともに、天然ダムの構成材料として砂のみの場合と砂に5%と10%のベントナイトを混合して粘着性の材料とした場合の侵食速度の違いを明らかにし、実際の天然ダムの侵食速度を推定するための基礎的資料を得ることを目的として室内模型実験を行った。

実験に用いた装置は図- 3.1に示すような長さ3 m、幅20cm、高さ35cmの水路であり、水路幅は10cmに仕切って用い、下流端に沈砂池を設けた。天然ダムの模型形状は図- 3.2に示すように高さ20cm、幅10cm、長さ1 mとし、上流法勾配は1 : 1とし下流法勾配は1 : 2と1 : 4に設定した。

天然ダムの模型材料としては図- 3.3に示すような粒度分布を持った砂 ($d_{50} = 1.0 \text{ mm}$) と砂にベントナイトを5%および10%混合した土砂を用いた。実験に用いた3種の土砂の含水率、比重、および強度定数を表- 3.1, 3.2に示す。

表- 3.1 湿潤土砂の含水率 (実測値)

No	湿潤土砂量 (g)	絶乾土砂量 (g)	含水率 (%)	含水比 (%)
1	351.77	292.29	16.9	20.3
2	268.19	224.29	16.4	19.6
3	227.70	189.49	16.7	20.2
平均	—	—	16.7	20.0

表- 3.2 土砂の比重と強度定数

材料	ベントナイト混合率	比重 (g/cm^3)	C_u (kg/cm^2)	ϕ_u (度)
1	0%	2.577	0.000	34.15
2	5%	2.548	0.210	32.82
3	10%	2.501	0.339	30.40

実験は表- 3.3に示す条件のもとに計12ケース実施した。実験の実施手順を図- 3.4に示す。実験中の越流水深は図- 3.2に示す5箇所で行いこれを基に流速を算定した。流出土砂量、流量は水路の下流端で測定した。またビデオカメラ1台を水路側壁方向に設置し、流況を撮影、記録した。

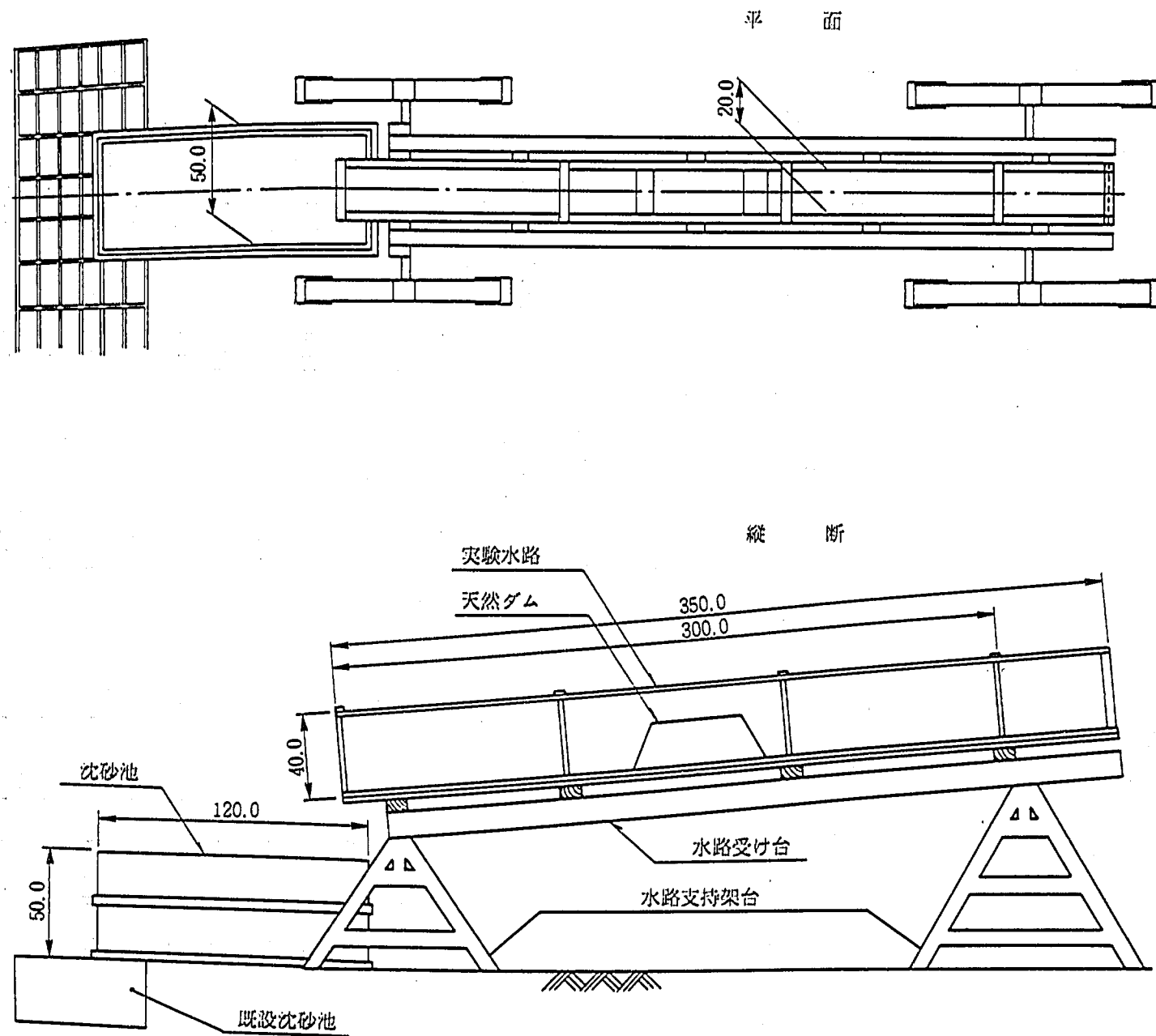


図- 3.1 実験模型概要 (単位: cm)

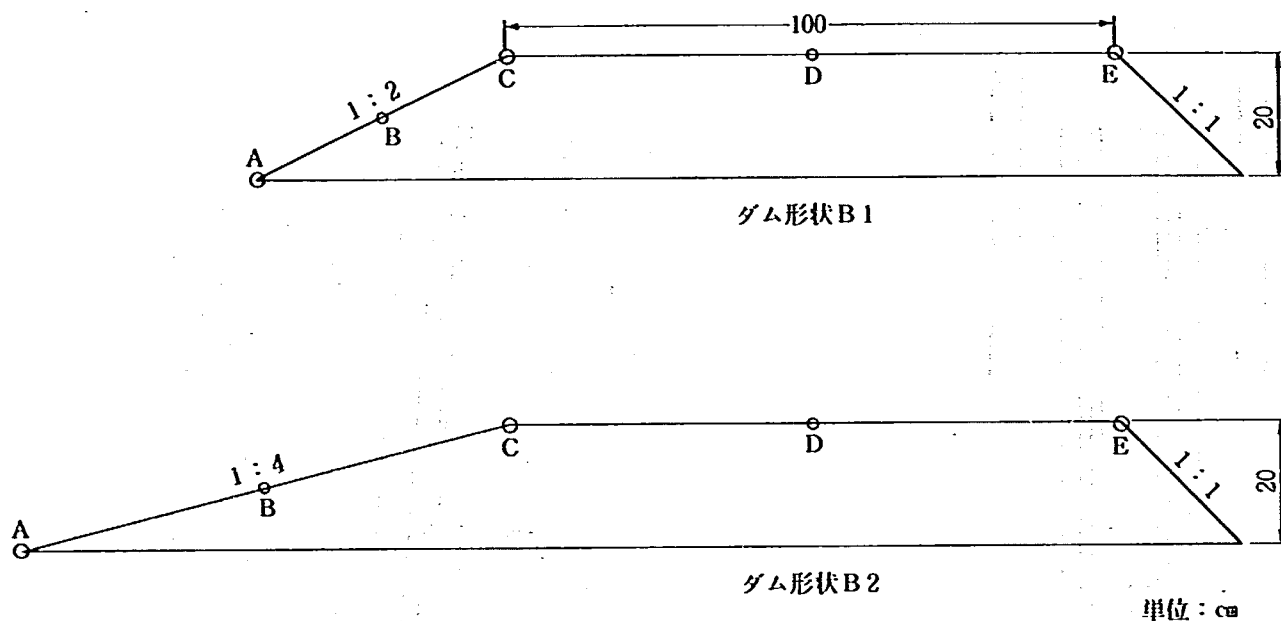


図-3.2 ダム形状

表-3.3 実験ケース一覧表

ケース	ダム形状	水路幅cm	ベントナイト混合率	流量(cc/s)	含水比(%)
C-1	B-2	10	0%	1200	5.81
C-2	B-2	10	0%	600	9.40
C-3	B-1	10	0%	1200	7.80
C-4	B-1	10	0%	600	9.50
C-5	B-2	10	5%	1200	7.18
C-6	B-2	10	5%	600	7.18
C-7	B-1	10	5%	1200	7.18
C-8	B-1	10	5%	600	7.18
C-9	B-2	10	10%	1200	9.92
C-10	B-2	10	10%	600	9.92
C-11	B-1	10	10%	1200	9.92
C-12	B-1	10	10%	600	9.92

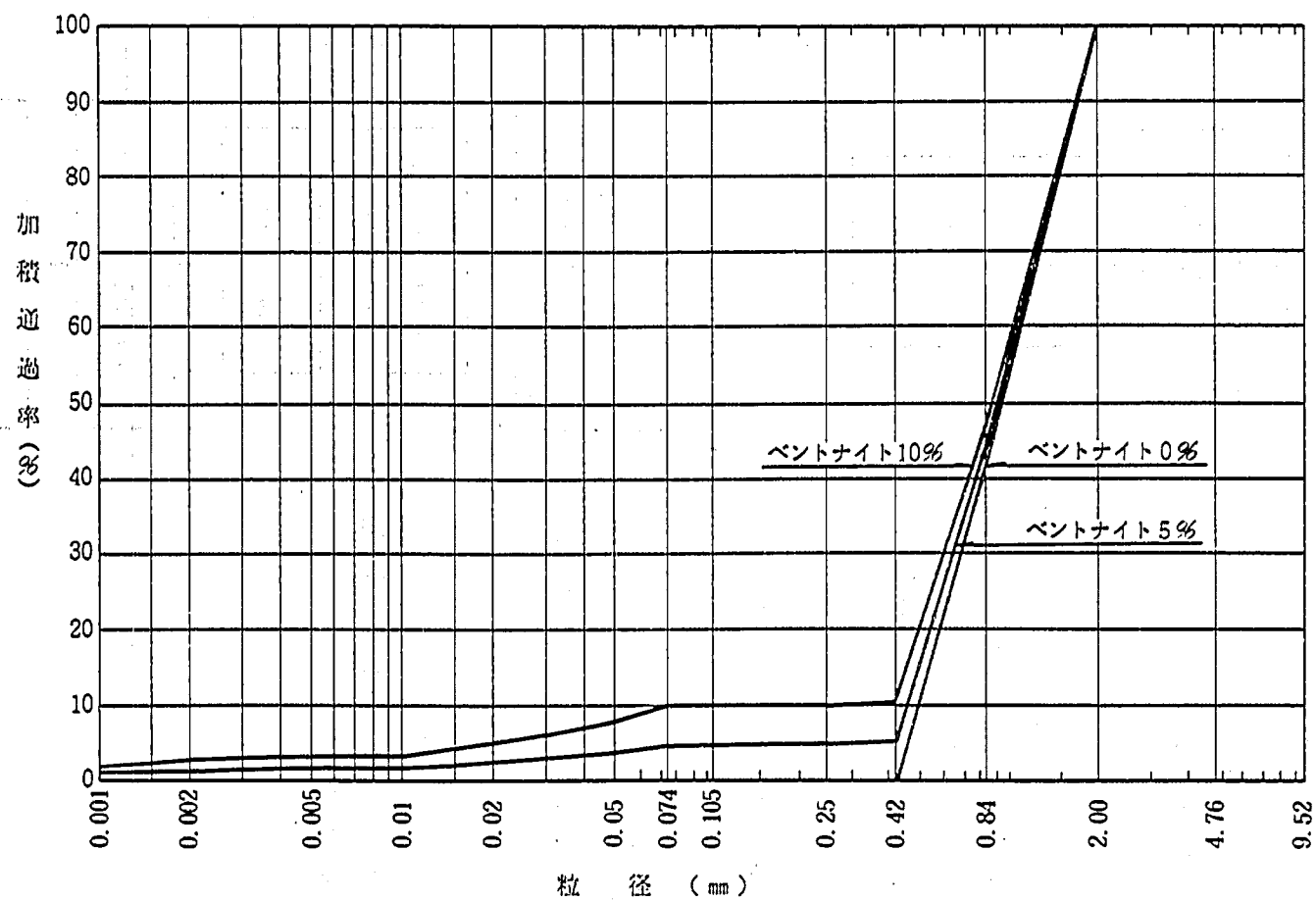


図- 3.3 実験に用いた土砂の粒径分布

実験方法

- ① 水路勾配を設定する
- ② 材料の含水比を測定する
- ③ 天然ダムの整形は4層にわけて木ゴテ等により締め固める
- ④ 水道水又はポンプにより給水を行う
- ⑤ 通水前に染料粉をダム上流に予め散布し、流量の識別を容易にする
- ⑥ 実験は連続的なビデオ撮影、カメラによる状況写真撮影、および流出土砂量、流速の測定を行う
- ⑦ 採取した流出土砂の計量を行う
この時、含水比を測定し流出土砂量（乾燥重量）を求める

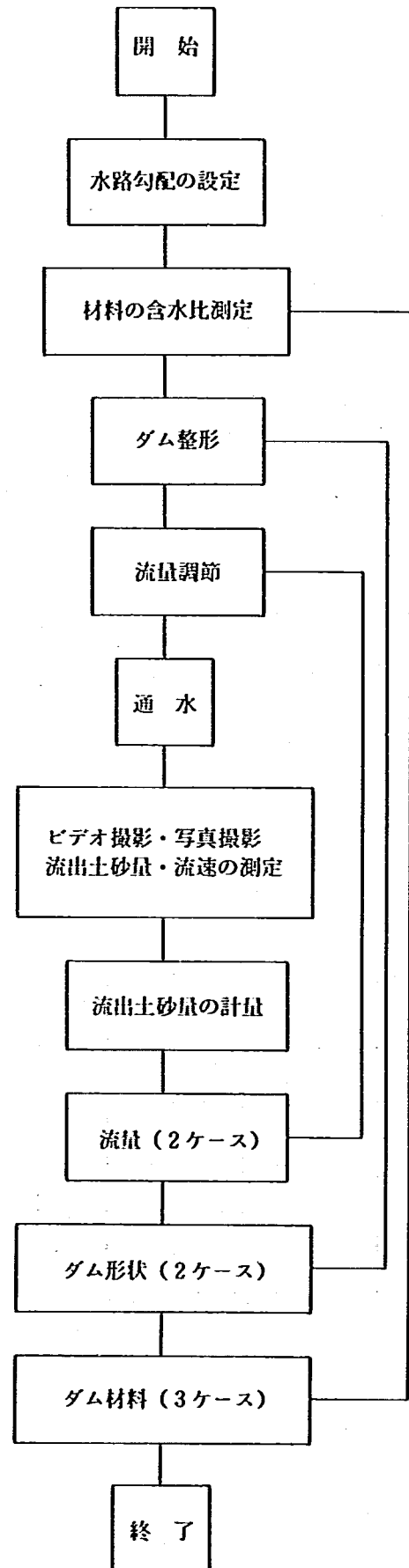


図- 3.4 実験フロー

3.2 実験及び解析結果と考察

3.2.1 越流水による天然ダムの侵食過程

代表的なケースとしてケース1, 5および9の3ケースについて越流水による天然ダムの侵食過程を図-3.5, 3.6, 3.7に示す。実験中の観察より次のことが言える。

- ・砂による実験(C-1~C-4)では、侵食はダム形状および流量に関係なく、ダム下流の天端が上流に向かって時間とともに全面に渡って侵食され、下流法勾配が緩やかになっていき、最終的には水路勾配とはほぼ同じになる。
- ・ベントナイトが混じると、侵食は下流法面が凹状を呈しながら崩壊していき、時間とともに凹状を繰り返しながら上流に向かって侵食されていく。

3.2.2 流速および平均河床勾配

実験中の流速および侵食深の測定結果より次のような傾向が明らかになった。

- ・流速は下流に向かってゆくに従い速度を増し、下流側からダムを崩壊していく。
- ・砂による実験(C-1~C-4)では、最初の1~2分の流速が速いため、ダムが急速に崩壊していき、その後法面勾配が緩やかになるにつれ一定になる。
- ・ベントナイトが混じると、凹状を呈しながら崩壊するため流速も不均一になり、場合によっては水流がまきこみ流速の測定が出来ない時もあった。

3.2.3 流出量と土砂濃度

天然ダム模型の侵食による土砂と水の合計の流出量の時間的変化を図-3.8に示す。

ダム上流に貯水されている水がダム上流の法面が大きく崩壊した時に一気に流れ出るため一時的に増えるがその他の時はほぼ一定の流出量である。

次に流出した土砂流の重量及び容積土砂濃度の時間的変化を図-3.9, 3.10, 3.11に示す。これらの図より次のことがわかる。

- ・砂による実験(C-1~C-4)では、通水1分後くらいにかなりの割合で土砂が流出し、その後時間経過とともに徐々に減少していく。これは崩壊が進むにつれ、ダムの表面積が減るためと法面勾配が緩やかになり流速が遅くなるためだと思われる。
- ・ベントナイト5%混合(C-5~C-8)では、砂の場合と比べると全体的には同じような傾向であるが土砂濃度の減少は砂の場合よりもゆっくりである。
- ・ベントナイト10%混合(C-5~C-8)では、通水1分後くらいでは、ほとんど土砂が流れず、その後はほぼ一定の濃度で土砂が流出する。

これは、ベントナイト量が多いため粘着力が強く通水1分後くらいでは、ほとんど崩壊が起きないためであり、その後の崩壊も通水により表面のベントナイトが徐々に溶けて、粘着力の弱くなった所から徐々に崩壊していくためだと思われる。

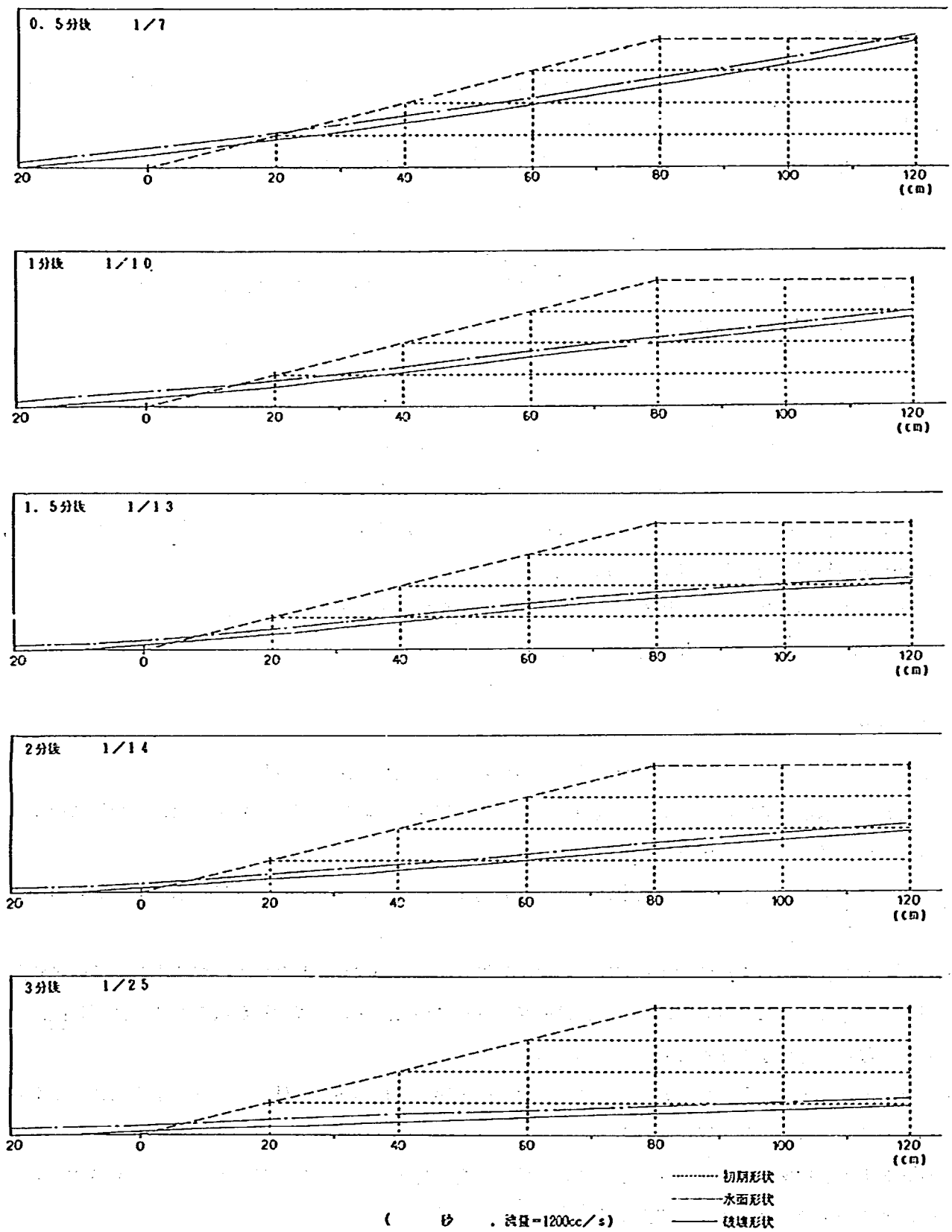


図-3.5 天然ダムの破壊過程 (CASE-1)

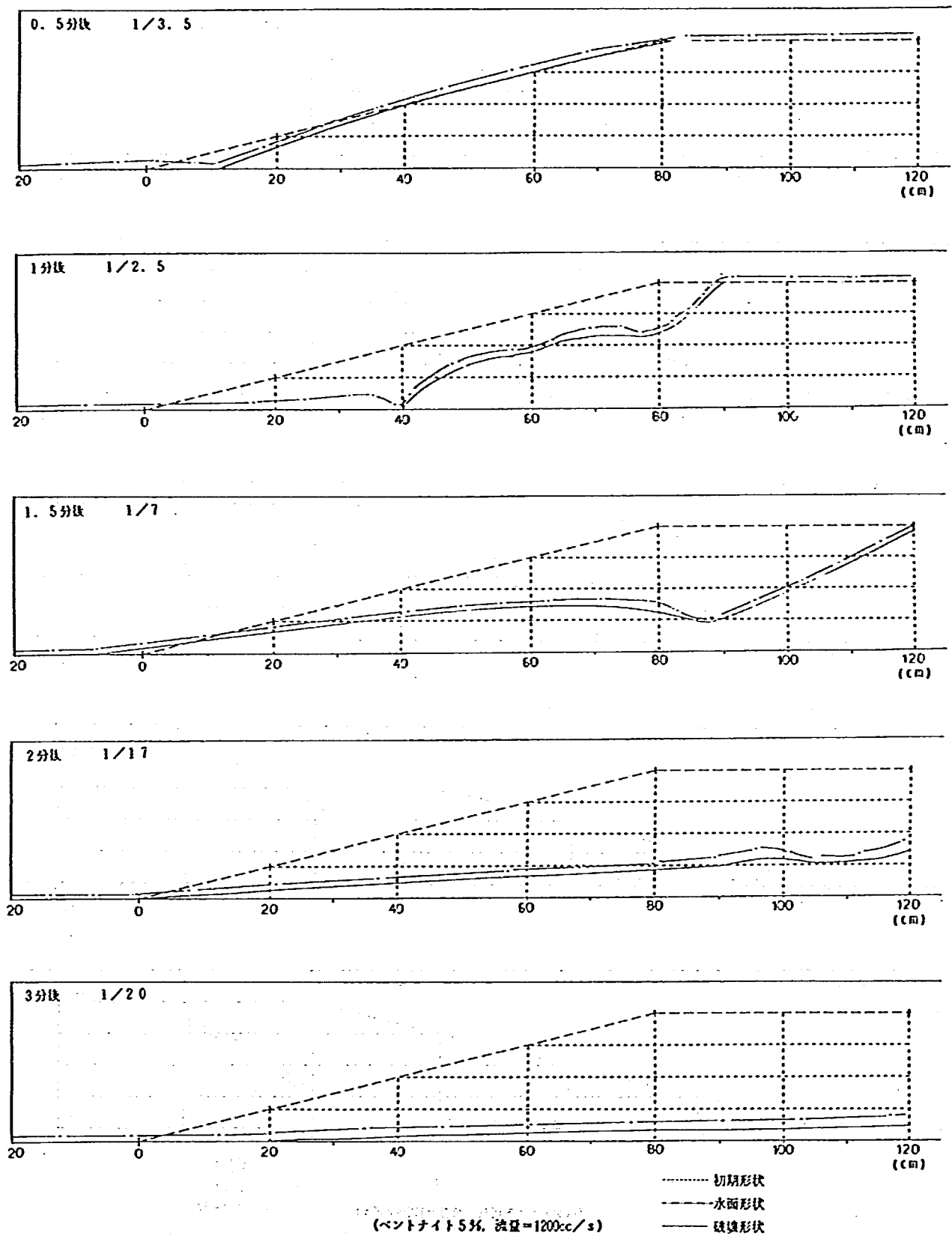


図-3.6 天然ダムの破壊過程 (CASE-5)

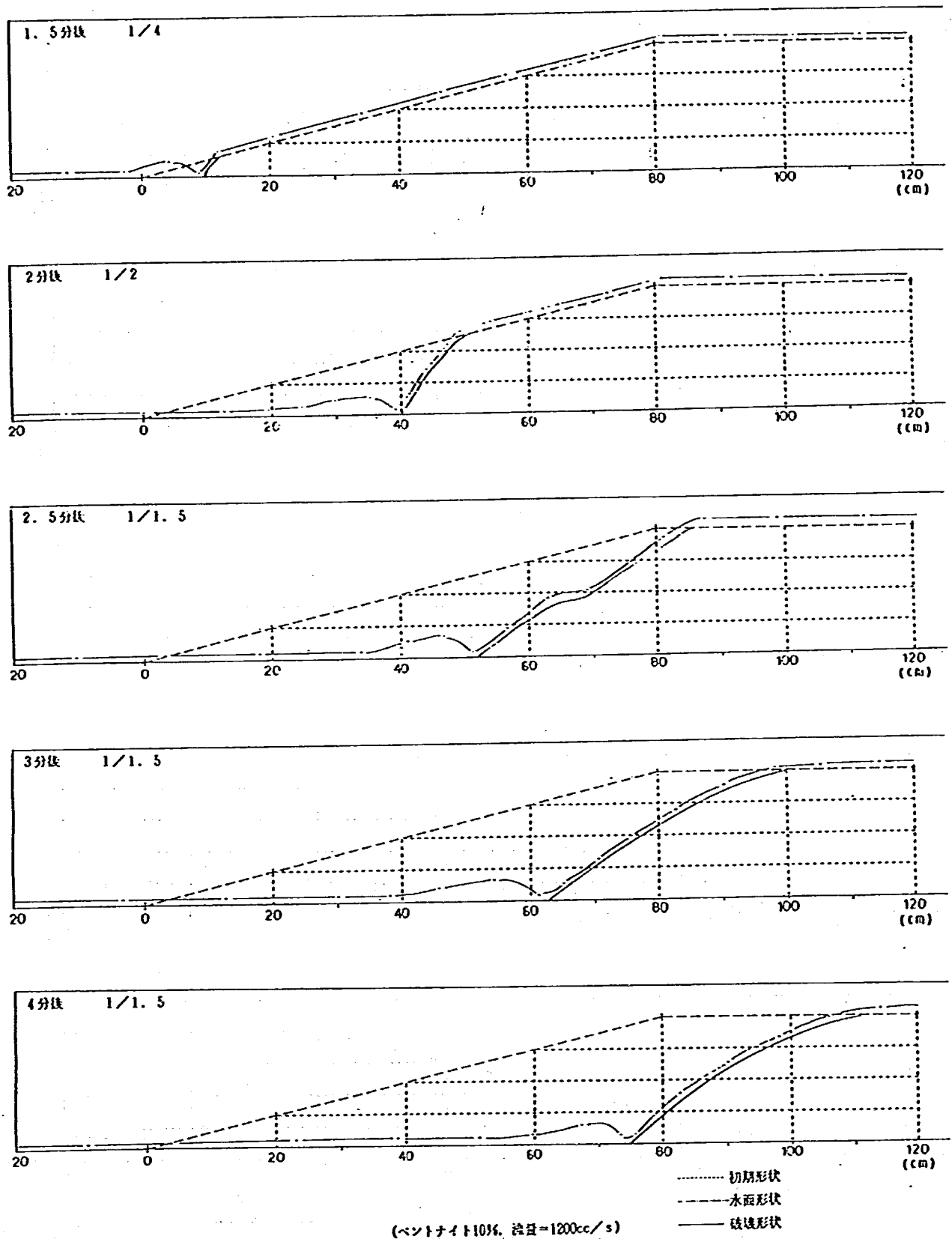


図 3.7(a) 天然ダムの破壊過程 (CASE-9)

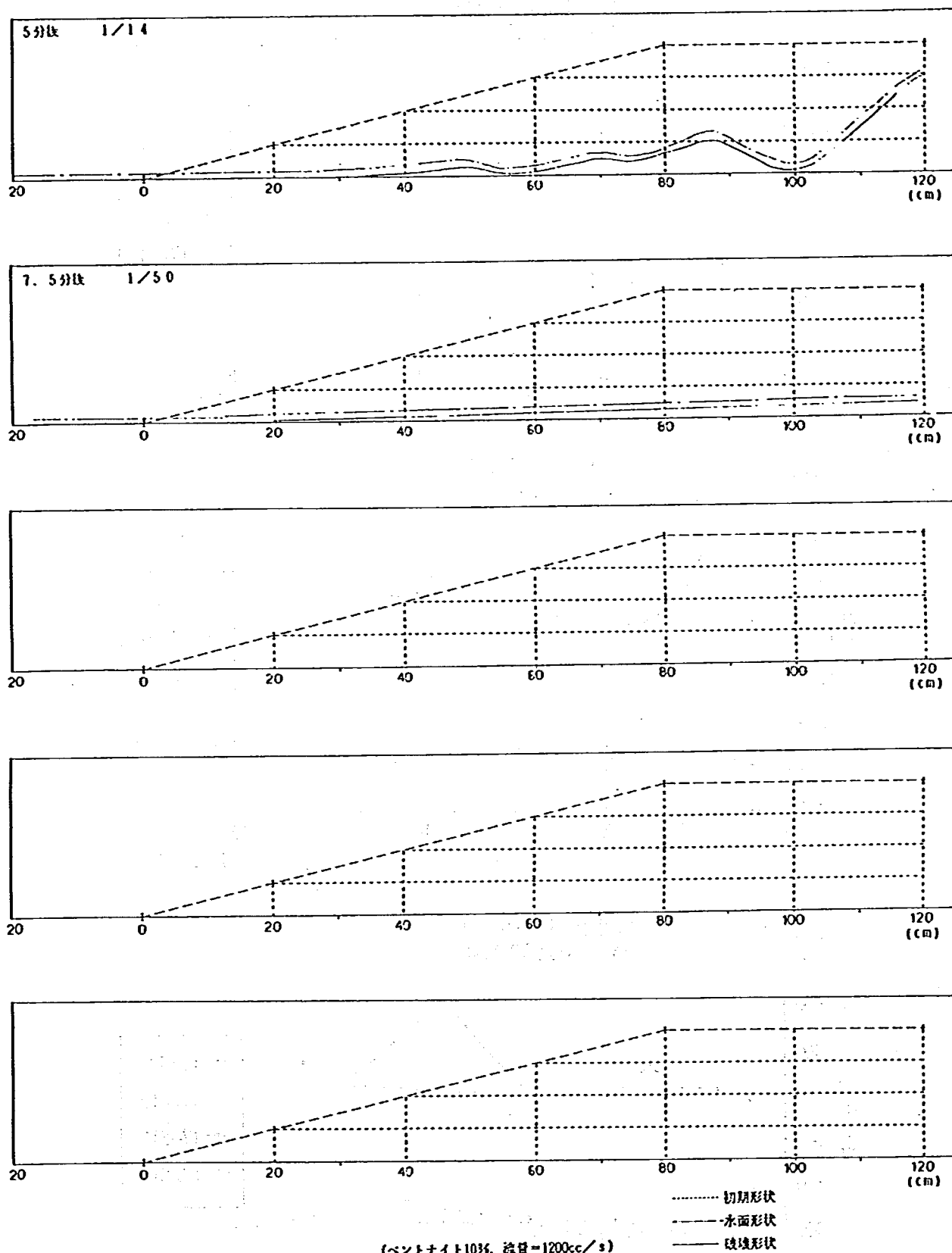


図-3.7(b) 天然ダムの破壊過程 (CASE-9)

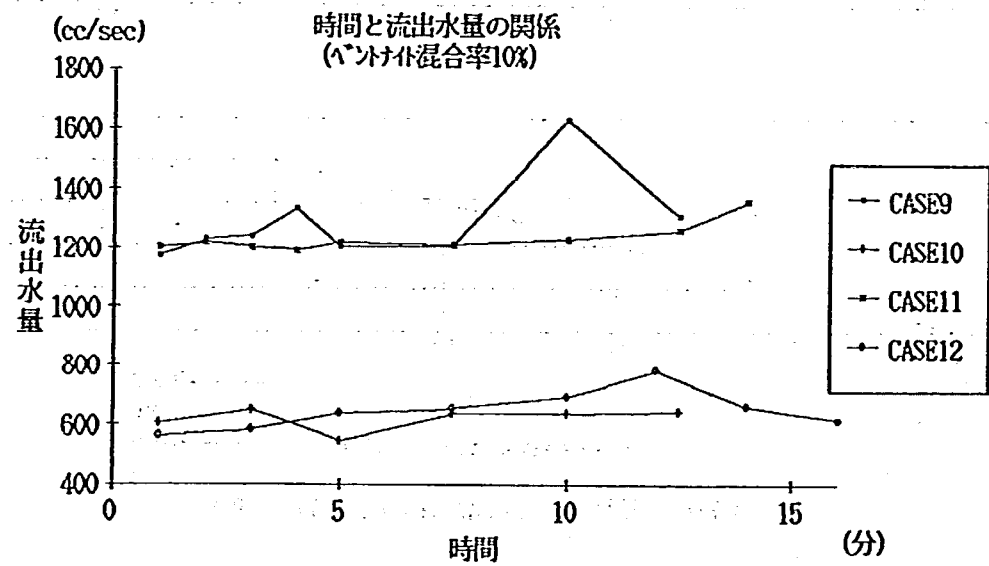
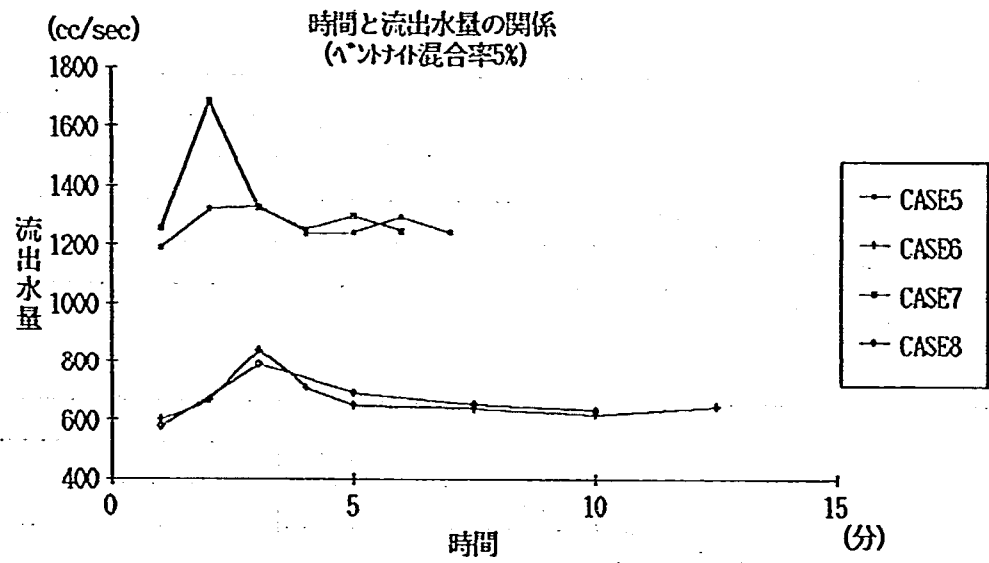
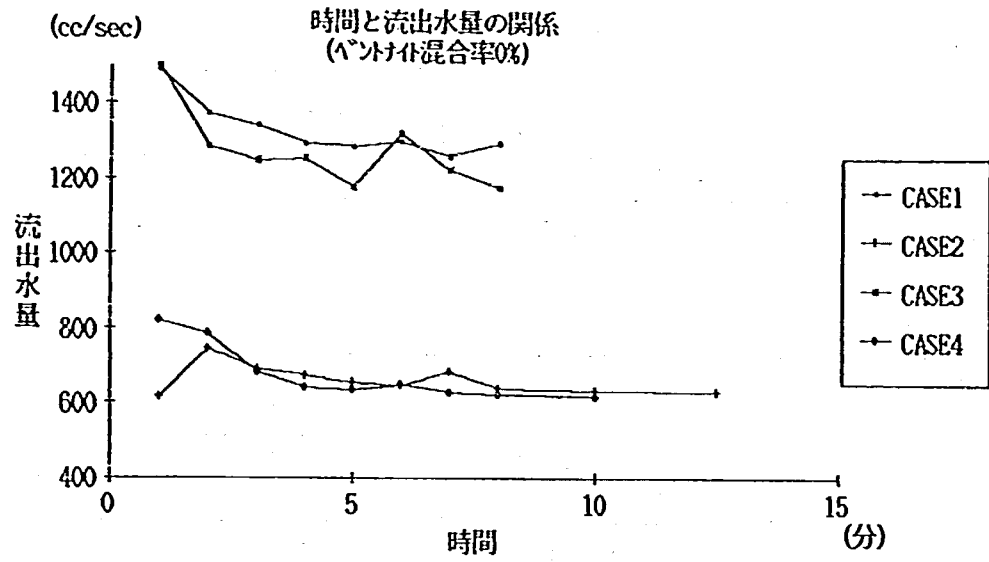


図-3.8 時間と流出水量

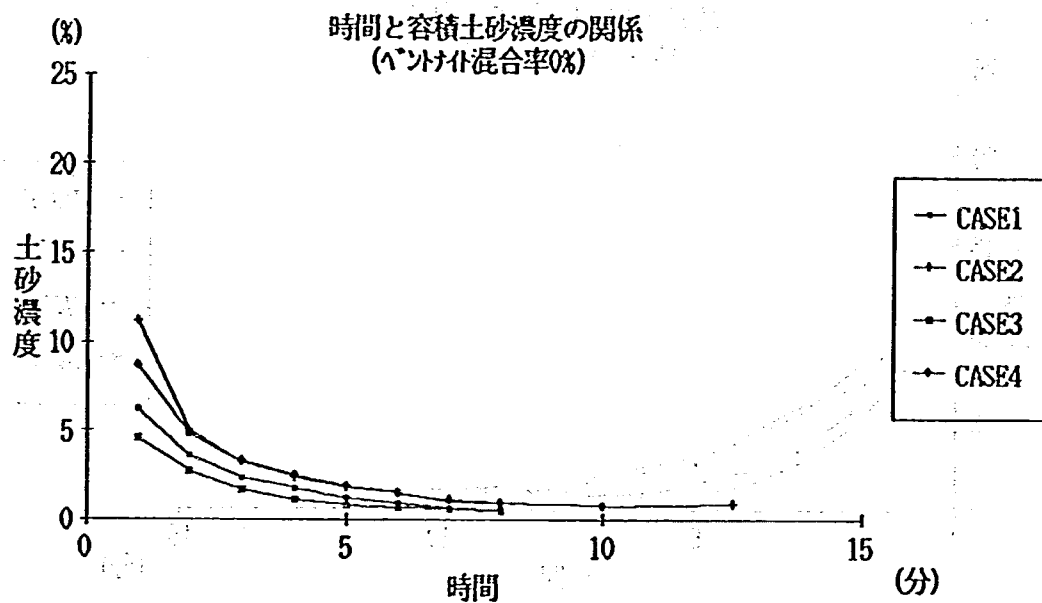
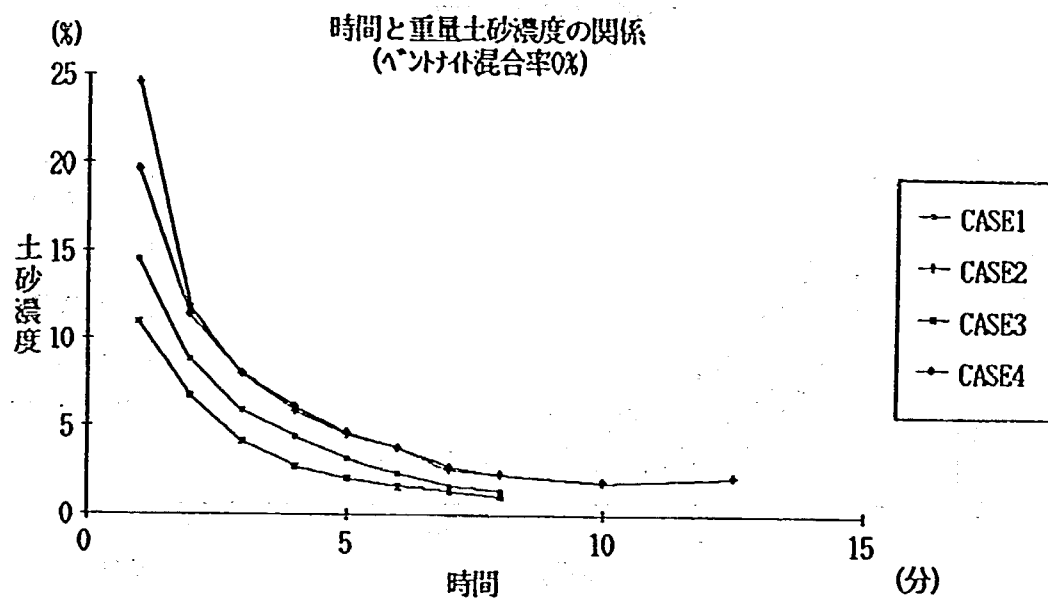


図-3.9 時間と土砂濃度

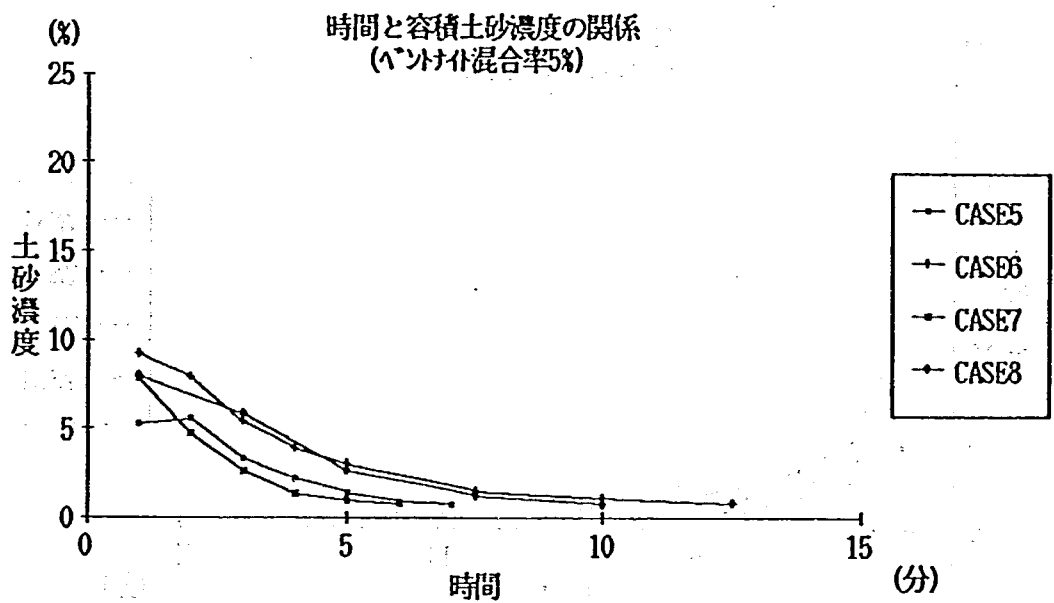
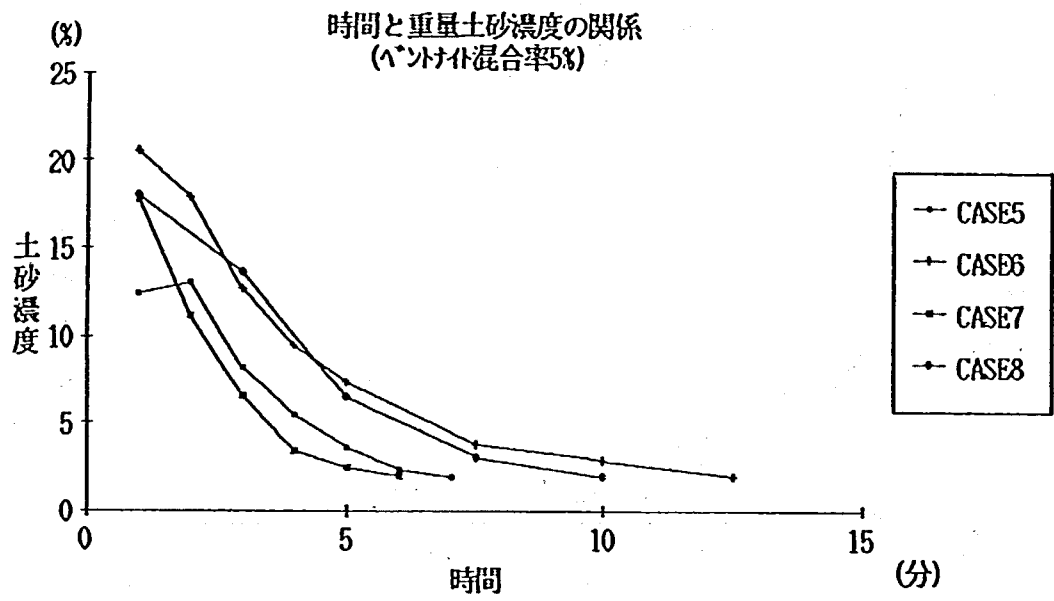


図- 3.10 時間と土砂濃度

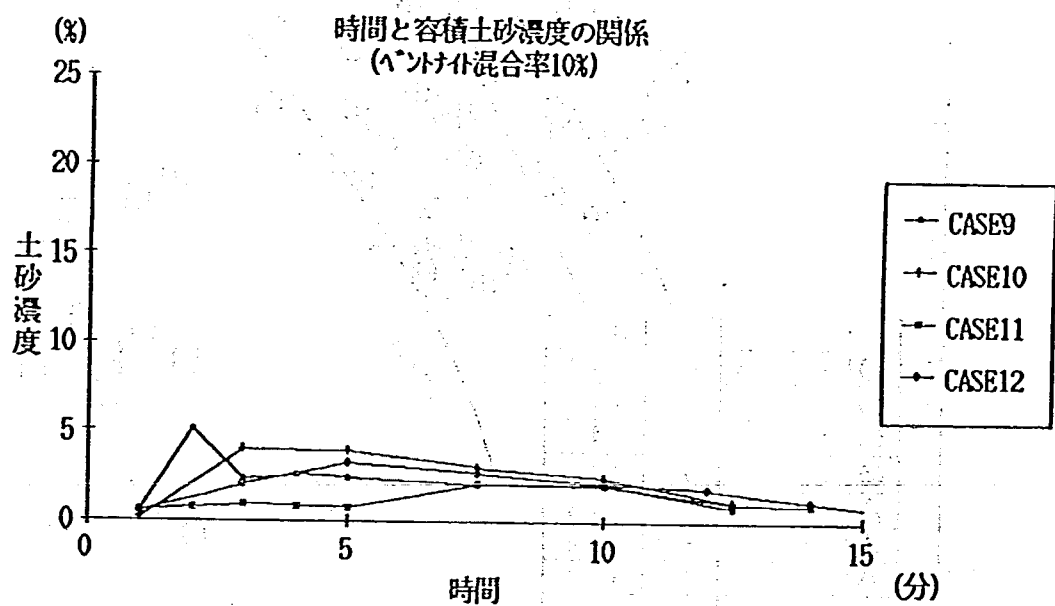
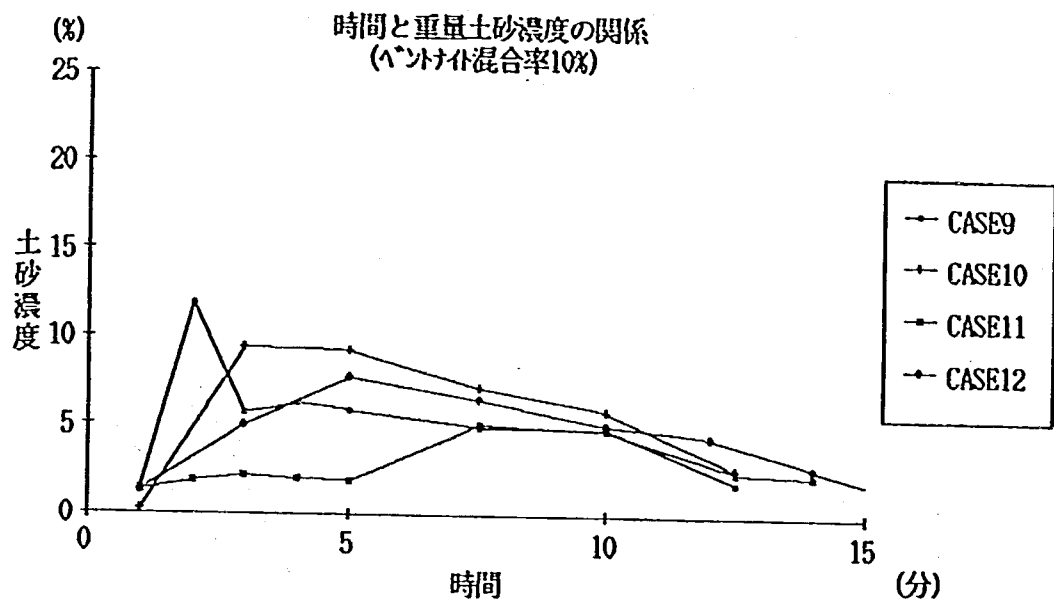


図- 3.11 時間と土砂濃度

3.2.4 流砂量の無次元表示

天然ダムを越流する流れによる流砂量を一般の流砂量公式に用いられている無次元のパラメーターを用いて整理した結果を図-3.12に示す。この図より実験に用いた天然ダムの模型のように急勾配の水路における粘着性材料の侵食においても一般の流砂量公式と同様に

$$\frac{q}{u_* d} = f \left\{ \frac{u_*^2}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right) g d} \right\}$$

の式がほぼ適用できると考えられる。

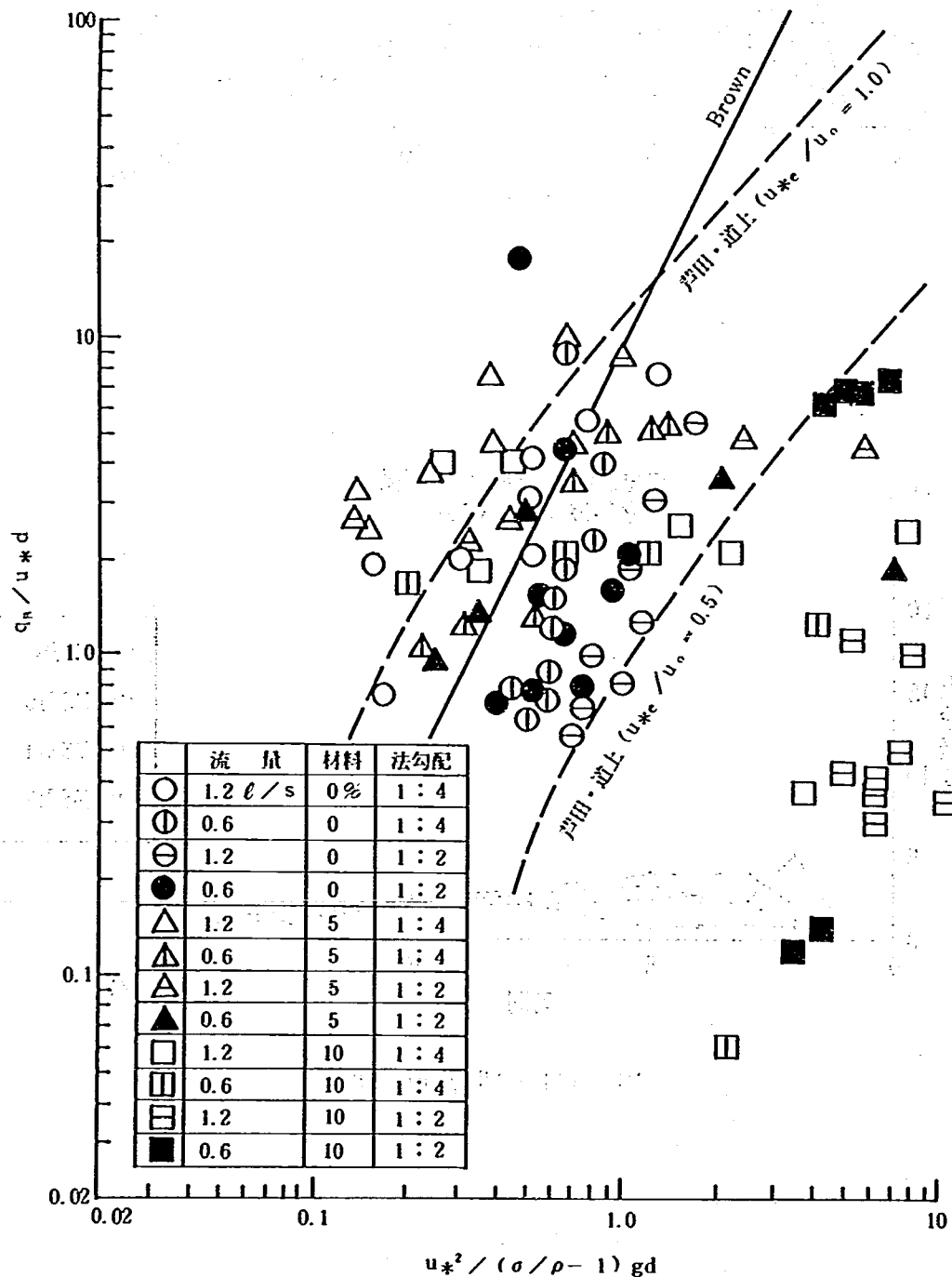


図-3.12 流砂量の実験値と各種公式との関係

ここで、
 q : 単位幅当りの流砂量
 u_* : 摩擦速度
 d : 砂礫の平均粒径
 σ : 砂礫の密度
 ρ : 水の密度

である。

なお、実験から得られた値を芦田、高橋、水山式で用いられているパラメーターで整理した結果を図-3.13に示す。

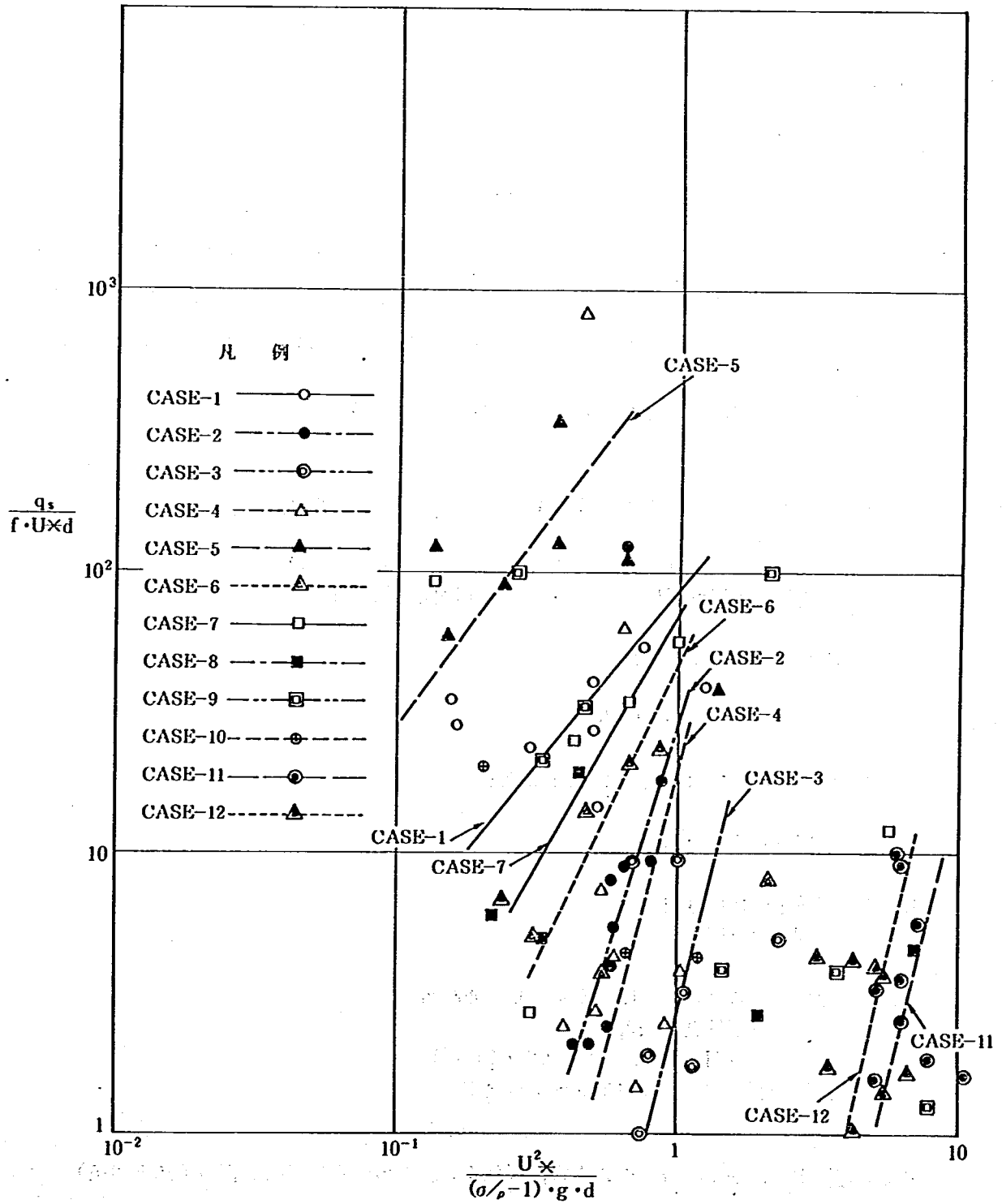


図-3.13 流砂量関係図(水山式)

3.3 天然ダムの破壊で下流への影響検討

天然ダムの越流による破壊事例について今回の実験で得られた知見をもとに再現計算を行い、その適用性を検討した。検討する事例としては天然ダムの発生箇所、規模、破壊過程、破壊時の降雨量や流量等の水文資料、および下流への影響に関する資料ができる限り詳しく入手できることが望ましい。このため比較的資料の整っている昭和28年7月発生の和歌山県有田川筋金剛寺天然ダムの破壊について検討することとした。

有田川、金剛寺天然ダムの形成および破壊過程について既往文献⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾よりまとめたものを表-3.4に示す。

表-3.4 有田川（金剛寺）天然ダムの経過

年月日	時・分	記	事							
S. 28. 7. 17	10. 00	前線豪雨降り始め								
		降雨記録（日雨量）								
	高野山	38. 7	65	65	26	54. 3	14. 5	93. 3	333. 3	444. 1
	八 幡	— 530 —			50	580	14	95	193	302. 0
	7/18 10:00 4,220.0 m ³ /s（岩倉村栗生地点）									
	7. 20	1. 00	天然ダム発生							
			H = 60.0 m V = 5.2 × 10 ⁶ m ³ V _w = 1.7 × 10 ⁷ m ³							
崩壊報告書										
(H = 80.0 m L = 250.0 m V _w = 3.0 × 10 ⁶ m ³)										
砂岩側地山岩盤部に W = 8.0 m の放水路開削開始。EL.										
8. 11		満水（崩壊後23日目）								
9. 23		台風13号来襲。降り始め								
25	7. 00	貯水位は、放水路天端までEL 510.00								
	12. 00	右岸側から越流開始								
	15. 30	堤体全幅に亘り破災 3回に亘り崩壊								
	16. 30	全壊。 残ダム高 H = 5 m L = 400 m (崩壊調査報告書) (H = 90 m V = 2.6 × 10 ⁵ m ³)								
	段波 花園村, 安諦村で5 ~ 7 m発生									

（出典：有田川上流崩壊調査調査報告書、天然ダム調査事例集。二次災害の予知と対策）

(1) 有田川（金剛寺）天然ダムの形状の推定

(1.1) 二次災害の予知と対策³⁾より

(i) (水深)

$$V = 5.2 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad H = 150 \text{ m} \quad (h) = 60 \text{ m}$$

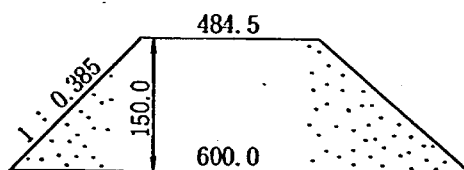
(ii) (底部)

$$W = 600 \text{ m} \quad b' = 600 \text{ m}$$

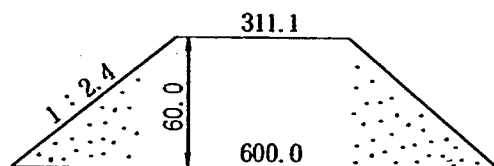
$$V = 1/2 (b' + x) \times h \times W \text{ から}$$

$$x = 484.5 \text{ m}$$

H = 150 m なら



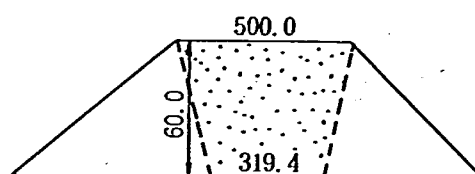
H = 60 m なら



(1.2) 天然ダム調査事例集⁶⁾より

$$V = 2.6 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad H = 60 \text{ m} \quad D = 480 \text{ m} \quad L = 500 \text{ m}$$

H = 60 m として



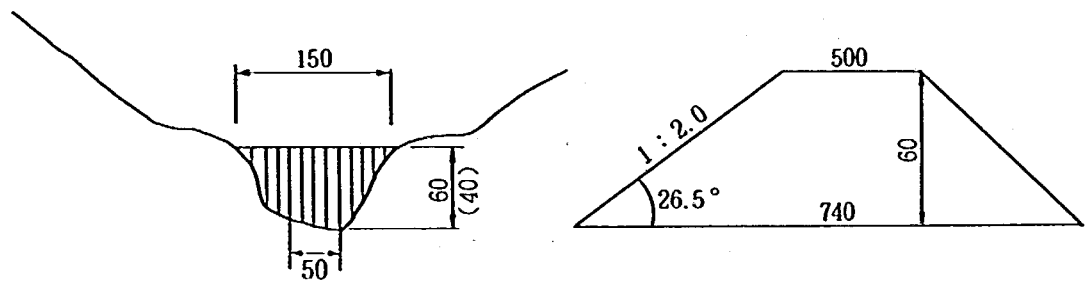
(1.3) 推 計

崩壊した土砂は四万十層砂岩粘版岩互層で

$$D_{\max} = 150 \text{ mm}, \quad D_{50} = 0.1 \text{ mm}$$

$$\phi 37^\circ.30' \sim 53^\circ.00', \quad r = 3.19$$

から水中での安息角を $\theta = 25^\circ \sim 30^\circ$ と推定し、天然ダム調査事例集⁶⁾の横断面から次のように推計する。



なお、図－ 3.14、図－ 3.15に金剛寺天然ダムの崩壊直前の浸潤線形成過程を、昭和32年調査による有田川上流崩壊調査報告書⁹⁾を参考に表示した。

(2) 金剛寺天然ダムの崩壊による下流の影響

金剛寺天然ダムは、表－ 3.4 に示すように天然ダム形成後68日、満水後45日で台風13号による豪雨出水により、放水路開削による貯留水の排水の効果なく越流崩壊した。

この崩壊による下流部への影響を、表－ 3.4 に示す記録を基に、掃流砂計算、及び河床変動計算により検討してみる。

(2.1) 出水状況

表－ 3.4 に示す高野山の日雨量記録より、洪水波形を再現することにした。

時間雨量の記録がないため、洪水の到達時間分だけ降雨のピーク時から流量のピーク時、いわゆる遅れ時間があるものと仮定し、洪水到達時間(T)を土研式を用いて算定した。

$$\begin{aligned} T &= 1.67 \times 10^{-3} (L / \sqrt{s})^{0.7} \quad (\text{自然流域}) \\ &= 1.67 \times 10^{-3} (21 / \sqrt{1/37})^{0.7} \\ &= 6.268 \text{ h} \end{aligned}$$

実績降雨から後方集中型の降雨特性と見られること、及び越水が25日 12:00 から始まっており、その後洪水のピークが発生したと判断出来るから少なくとも、

$$\{ (48.0 + 12.0) - 6.3 \} / 72.0 = 0.75$$

即ち、7割～8割後方集中型と言えよう。

降雨の継続時間は3日間に及んでいるが、その特性が把握されていないので仮想のハイトグラフを次のように考えた。

3日間の日降雨量からみれば、9月25日に降雨のピークがあったと想定せざるを得ない。

しかし、出水記録からみると、9月25日 12:00 ～ 15:00 間に洪水のピークが発生していると考えられるし、これから前述の遅れ時間を差し引くと、9月25日 9:00 頃に降雨のピークがあったと想定できる。

以上の仮定条件から、「応用水文統計学」(森北出版社)に基づきハイトグラフを計算する。

降雨強度を川上式カルボット型とすれば

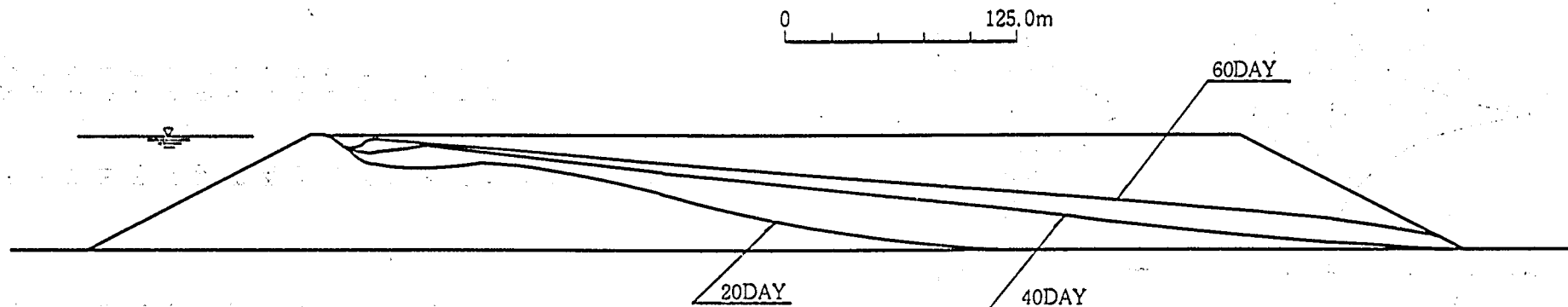


図-3.14 金剛寺ダム崩壊前の浸潤線 ($n = 1 : 2.0$)

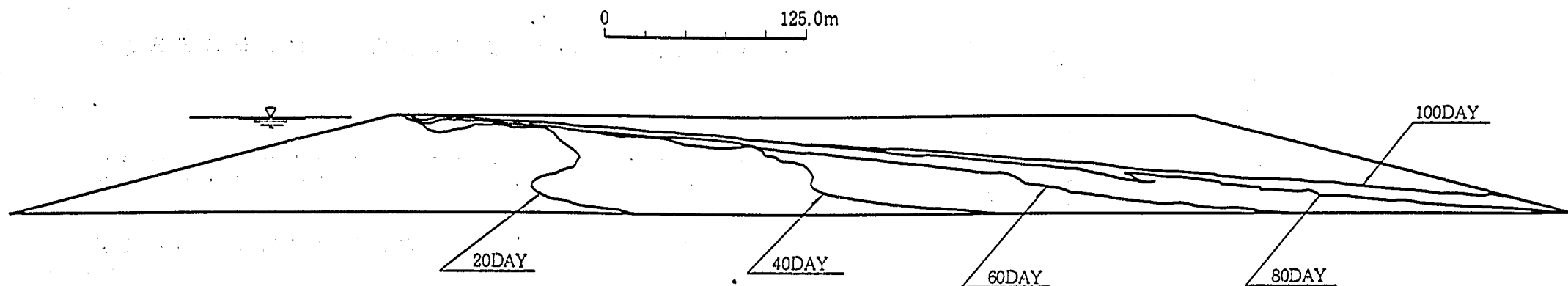
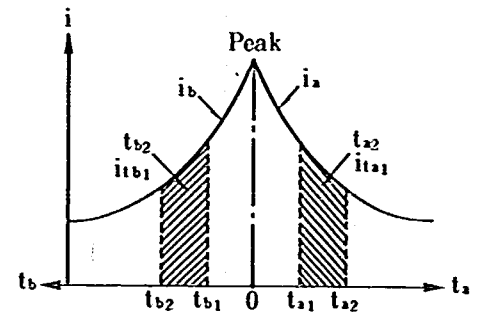


図-3.15 金剛寺ダム崩壊前の浸潤線 ($n = 1 : 4.0$)

$$i_a = \frac{a \cdot b}{(\{ t_a / (1 - r) \} + b)^2}$$



として求められる。

$$i_{t_{a_1}}^{t_{a_1}} = a \cdot b(1-r)^2 \left\{ \frac{1}{t_{a_1} + b(1-r)} - \frac{1}{t_{a_2} + b(1-r)} \right\}$$

として求められる。

1	0.0	25	3.9	49	3.7	73	0.0
2	0.0	26	3.9	50	6.0	74	0.0
3	0.0	27	3.9	51	11.4	75	0.0
4	0.0	28	3.9	52	30.5	76	0.0
5	0.0	29	3.9	53	67.1	77	0.0
6	0.0	30	3.9	54	46.4	78	0.0
7	0.0	31	3.9	55	32.8	79	0.0
8	0.0	32	3.9	56	24.3	80	0.0
9	0.0	33	3.9	57	18.8	81	0.0
10	0.0	34	3.9	58	14.9	82	0.0
11	0.0	35	3.9	59	12.2	83	0.0
12	0.0	36	3.9	60	10.1	84	0.0
13	0.0	37	3.9	61	8.5	85	0.0
14	0.0	38	3.9	62	7.3	86	0.0
15	0.0	39	3.9	63	6.3	87	0.0
16	0.0	40	3.9	64	5.5	88	0.0
17	0.0	41	3.9	65	4.9	89	0.0
18	0.0	42	3.9	66	4.3	90	0.0
19	0.0	43	3.9	67	3.9	91	0.0
20	1.7	44	3.9	68	3.5	92	0.0
21	1.7	45	3.9	69	3.1	93	0.0
22	3.7	46	3.9	70	2.8	94	0.0
23	3.7	47	3.8	71	2.6	95	0.0
24	3.7	48	3.7	72	2.4	96	0.0

- 66 -

表- 3.6 流出量 (昭和 28 年 9/23 ~ 25)

TIME	1	TIME	1
23. 9	5. 7	25. 9	57. 9
23. 10	5. 7	25. 10	58. 7
23. 11	5. 7	25. 11	62. 8
23. 12	5. 7	25. 12	77. 1
23. 13	5. 7	25. 13	138. 7
23. 14	5. 7	25. 14	385. 1
23. 15	5. 7	25. 15	589. 6
23. 16	5. 7	25. 16	586. 2
23. 17	5. 7	25. 17	509. 7
23. 18	5. 7	25. 18	428. 7
23. 19	5. 7	25. 19	359. 6
23. 20	5. 7	25. 20	304. 3
23. 21	5. 7	25. 21	260. 3
23. 22	5. 7	25. 22	225. 0
23. 23	5. 7	25. 23	196. 5
24. 0	5. 7	26. 0	173. 3
24. 1	5. 7	26. 1	154. 1
24. 2	5. 7	26. 2	138. 2
24. 3	5. 7	26. 3	124. 7
24. 4	5. 7	26. 4	113. 3
24. 5	5. 7	26. 5	103. 5
24. 6	5. 7	26. 6	94. 9
24. 7	5. 8	26. 7	87. 4
24. 8	5. 9	26. 8	80. 8
24. 9	6. 2	26. 9	75. 1
24. 10	6. 7	26. 10	66. 6
24. 11	7. 5	26. 11	58. 3
24. 12	8. 5	26. 12	51. 8
24. 13	9. 8	26. 13	46. 5
24. 14	11. 4	26. 14	42. 1
24. 15	13. 4	26. 15	38. 5
24. 16	15. 6	26. 16	35. 4
24. 17	18. 1	26. 17	32. 8
24. 18	20. 9	26. 18	30. 5
24. 19	23. 8	26. 19	28. 6
24. 20	26. 8	26. 20	26. 9
24. 21	30. 0	26. 21	25. 3
24. 22	33. 1	26. 22	24. 0
24. 23	36. 2	26. 23	22. 8
25. 0	39. 2	27. 0	21. 7
25. 1	42. 0	27. 1	20. 8
25. 2	44. 7	27. 2	19. 9
25. 3	47. 3	27. 3	19. 1
25. 4	49. 6	27. 4	18. 4
25. 5	51. 7	27. 5	17. 8
25. 6	53. 7	27. 6	17. 1
25. 7	55. 4	27. 7	16. 6
25. 8	56. 8	27. 8	16. 1

表- 3.7 時間あたり流出量 (ピーク時) (昭和 28 年 9/23 ~ 25)

25. 12	77.	25. 19	360.
	80.		350.
	83.		342.
	96.		331.
	110.		321.
	124.		312.
25. 13	139.	25. 20	304.
	154.		297.
	170.		290.
	217.		282.
	270.		274.
	326.		267.
25. 14	385.	25. 21	260.
	445.		254.
	505.		249.
	528.		242.
	551.		236.
	571.		230.
25. 15	590.	25. 22	225.
	606.		220.
	622.		216.
	611.		210.
	602.		205.
	593.		201.
25. 16	586.	25. 23	197.
	580.		193.
	574.		189.
	555.		185.
	538.		181.
	523.		177.
25. 17	510.	サイダイ	621. 8
	498.		
	488.		
	470.		
	455.		
	441.		
25. 18	429.		
	418.		
	408.		
	394.		
	381.		
	370.		

(2.2) 越流量と侵食土量

金剛寺天然ダムの堰止形状は、図-3.16に示すとおりであり、

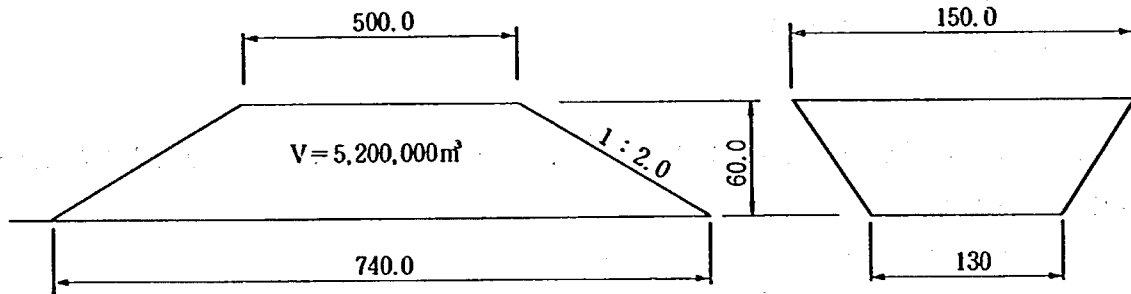


図-3.16 金剛寺天然ダム形状

減水後の残留体積量は、 $V' = 2,600,000 \text{ m}^3$ とされている。

減水時の流入量を $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ （想定ハイドログラフから）と想定し、掃流砂計算（芦田・高橋・水山式）から掃流砂が発生した勾配を求めると、 $I = 1/200$ となり、これが天然ダムの最終形状と想定される。

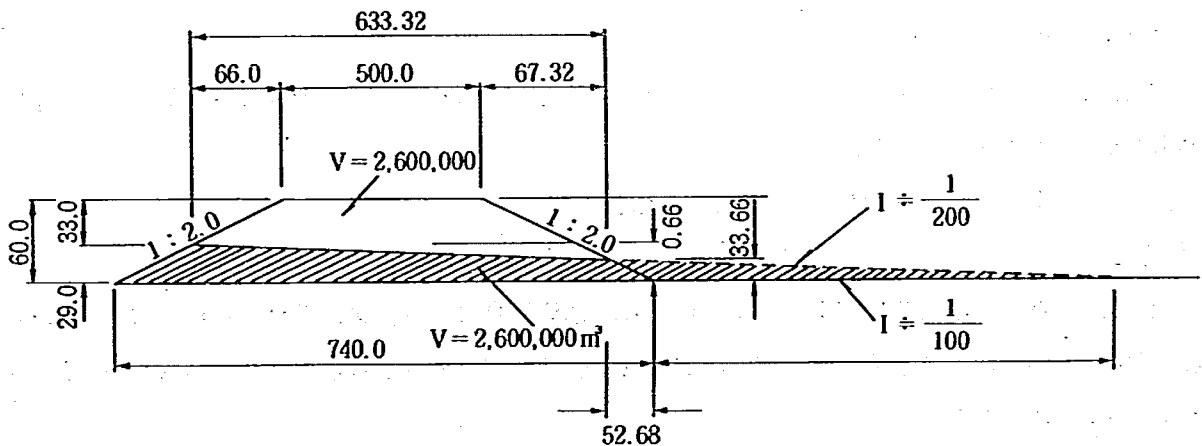


図-3.17 崩壊後の形状①

これは、和歌山県が行った“有田川崩壊調査報告書”による資料に基づくが“二次災害の予知と対策 No. 2”によれば、崩壊残留形状は高さ 5.0 m、延長 400.0 mと記されている。

この形状で残体積量を試算すれば図-3.18のようになる。

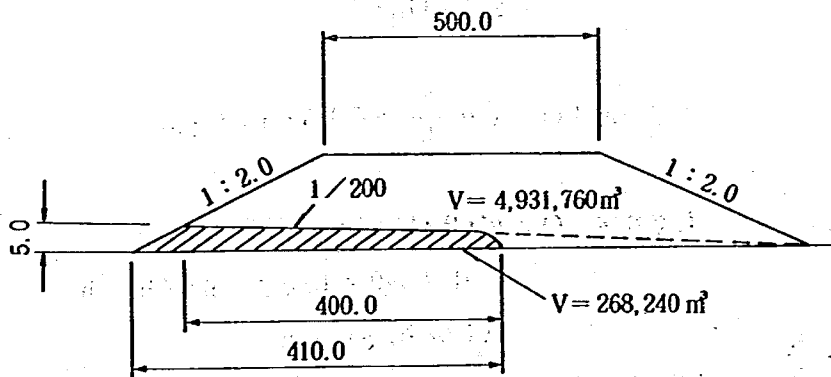


図-3.18 崩壊後の形状②

洪水の継続時間を25日/12:00～26日/06:00と仮定すれば、この間の総流出量 (Q_v) は

$$Q_v \approx 11,100 \times 10^3 \text{ m}^3$$

となり各々のこの間の平均土砂濃度は、

$$\frac{2,600 \times 10^3}{11,100 \times 10^3} \approx 0.23$$

$$\frac{4,931 \times 10^3}{11,100 \times 10^3} \approx 0.44$$

となる。

記録によれば、段波が3回程度発生している現状から、高い土砂濃度であったと推測できるから、形状②について流砂量計算を試みる。

(2.3) 崩壊形状の推移予測

崩壊土砂の掃流計算を行うとき、流量の時間変化に加えエネルギー勾配（河床勾配）の変化を考慮する必要がある。

ここでは、つぎの仮定で考える。

金剛寺天然ダムサイトでの洪水は図-3.19に示すハイドログラフと記録による時間経過から、概ね17時間と推定できる。この時点での流量は $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ であるから、1/2勾配を $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ の越流量が侵食し始めたため、17時間後に $100 \text{ m}^3/\text{s}$ で掃流砂量0となる1/200勾配に収束したと考えてよい。

(2.4) 天然ダム越流量の考え方

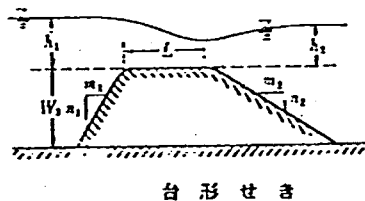
発生した天然ダムは、その形状から広頂堰（台形堰）と考えられるから、形成後～崩壊～土砂流出完了までの間の水理条件の変化に応じ、

完全越流 → 潜り堰 → 完全越流

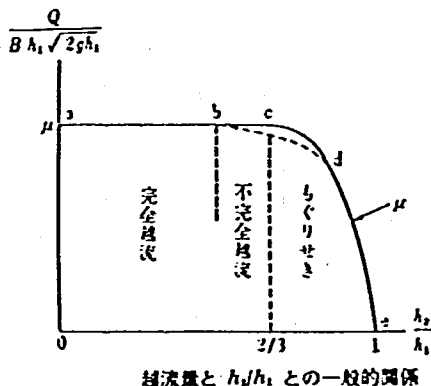
の形態をとる。

すなわち、天然ダム崩壊前は完全越流状態にあり、越流侵食により次第に潜り堰状態となり洪水 peak を迎え、天然ダムの崩壊と洪水流量から或る時間（或る崩壊形状）では潜り堰となり、崩壊が更に進んだ段階では再び完全越流となる。

したがって、天然ダムの堰止長（L）が非常に長いことから、本間の式（長方形断面 $h_1/L < 1/2$ ）を用いて、



$$\begin{aligned} \text{完全越流 } Q &= \mu \cdot B \cdot h_1 \sqrt{2g h_1} \\ &= 0.35 \times 1.40 \times h_1 \sqrt{2 \times 9.8 \times h_1} \\ &= 216.93 h_1^{3/2} \end{aligned}$$



$$\text{不完全越流 } Q = \left(\alpha \frac{h_2}{h_1} + \beta \right) B \cdot h_1 \sqrt{2g h_1}$$

$$\begin{aligned} \text{もぐり堰 } Q &= \mu' \cdot B \cdot h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \\ &= 0.91 \times 140 \times h_2 \sqrt{2 \times 9.8(h_1 - h_2)} \\ &= 564.02 h_2 \sqrt{h_1 - h_2} \end{aligned}$$

境界条件は $h_2/h_1 = 2/3$

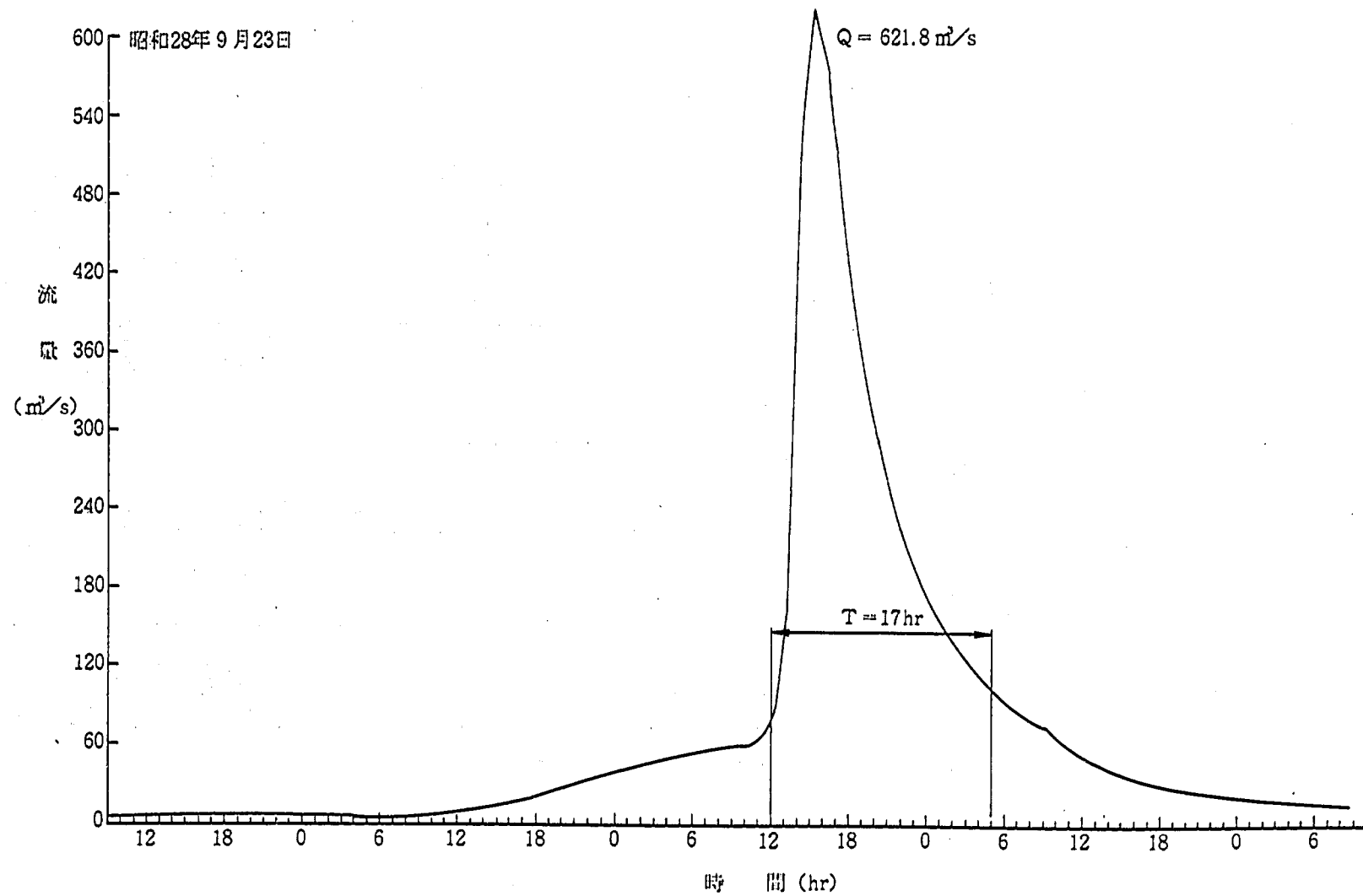


図-3.19 ハイダログラフ

エネルギー勾配 (le) は, manning 公式から

$$le = \frac{Q^2 \cdot n^2}{H^{10/3} \cdot B^2}$$

と置けるから, 1/2 ~ 1/200 までの勾配変化を17時間の Hydrograph から得られる流量により毎時の(le)を求める。

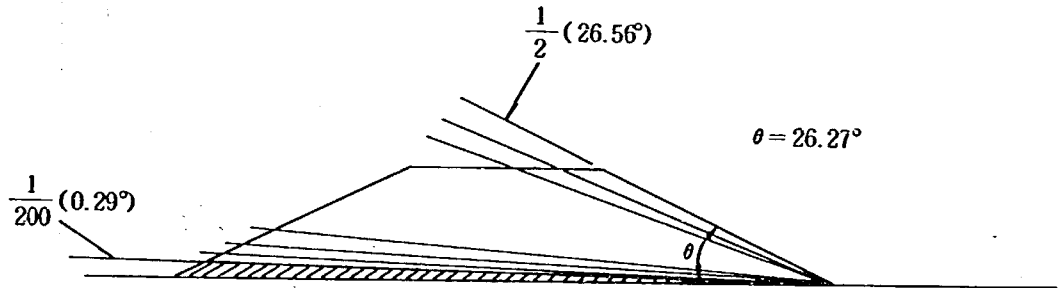


図- 3.20 崩壊形状概念図

表- 3.8 毎時崩壊形状 (le)

日 時	時間当流出量 (m³)	同 左 比 率	角 度	勾 配	ダム高 (m)
25日 12時	43,746	0.008	0.17	1/ 2.0	60.0
13	582,840	0.108	2.44	1/ 2.2	60.0
14	1,394,460	0.259	7.89	1/ 3.0	60.0
15	1,756,440	0.326	14.75	1/ 4.8	60.0
16	1,612,620	0.299	21.04	1/ 10.3	60.0
17	(7,282,306) 1,329,120	0.234	22.26	1/ 13.3	60.0
18	(5,059,598) 1,058,940	0.186	23.24	1/ 17.2	38.6
19	(3,490,470) 835,020	0.146	24.00	1/ 22.3	30.5
20	(2,380,950) 656,280	0.115	24.61	1/ 29.3	23.7
21	(1,579,027) 398,700	0.090	25.08	1/ 38.6	18.3
22	(1,072,013) 398,700	0.070	25.45	1/ 51.4	13.9
23	(687,746) 303,840	0.053	25.72	1/ 67.8	10.6
24	(392,332) 229,320	0.040	25.93	1/ 90.2	8.1
26日 1	(260,640) 166,140	0.029	26.09	1/120.6	6.1
2	(172,283) 113,220	0.020	26.19	1/152.8	4.8
3	(103,837) 68,400	0.012	26.25	1/181.9	4.1
4	(48,668) 30,240	0.005	26.28	1/200	3.7(5.0)
Σ	(22,529,825) 11,092,866				

次に天然ダム越流形態別越流深 (H) を求める。

表- 3.9 越流形態別越流深及び越流量

日	時	流入量 (m ³ /s)	流入水深 (h _i)	越流水深 (h _c)	判 定
25日	12 時	12.15	0.05 (m)	— (m)	完 全
	13	161.90	0.64	—	〃
	14	387.35	0.98	—	〃
	15	487.90	1.12	—	〃
	16	447.95	1.07	—	〃
	17	2,022.86	12.55	3.01	〃
	18	1,405.44	10.61	2.36	〃
	19	969.58	8.80	1.84	〃
	20	661.36	7.41	1.43	〃
	21	438.62	5.93	1.09	〃
	22	297.78	4.84	0.84	〃
	23	191.04	3.64	0.62	〃
	24	108.98	2.76	0.43	〃
26日	1	72.40	2.19	0.33	〃
	2	47.86	1.43	0.25	〃
	3	28.84	0.78	0.18	〃
	4	13.52	0.43	0.11	〃

(2.5) 掃流砂計算及び河床変動計算

下流部への流出土砂の影響は、不等流計算と流砂量計算とを組合せた河道断面間の平均的変動値とした一次元解析法に検討する。

$$\Delta Z = Z_{t+1} - Z_t = \frac{Q_{B1} - Q_{B2}}{B \cdot \Delta x (1 - \lambda)} \Delta t$$

但し、 ΔZ : Δt 間内の河床変動量、 Z : 河床高

$Q_{B1} - Q_{B2}$: 上、下流断面の通過流砂量

B : 河床変動計算区間幅員、 Δx : 区間距離

λ : 河床砂 (流出土砂) の空隙率

流砂量公式は土砂供給区間 (天然ダム地点) の勾配が急なため、次式を用いる。

Brown 式

$$Q_B = 10 \cdot \{ U_*^2 / \{ (\sigma / \rho - 1) \cdot g \cdot d \} \}^2 \times U_* \times d \times B \times T$$

ここで、 U_* : 摩擦速度 (m/s)

$\sigma / \rho : 2.65$

g : 重力加速度 (m/s)

λ : 空隙率 0.40

B : 水面幅

d : 粒 径

河床変動計算は、金剛寺天然ダム下流 40 km まで次の計算条件で行う。

計 算 区 間	金剛寺ダム下流 40 km
河 床 高	1/25,000 地形図から作成
区 間 距 離	500 m
断 面 特 性	1/25,000 地形図から作成 (別紙)
流 出 土 砂 粒 径	有田川崩壊調査報告書 $d_{60} = 0.25 \text{ mm}$
流 出 土 砂 空 隙 率	$\lambda = 0.4$
計 算 時 間	$\Delta t = 30 \text{ 分間}$

計算結果を図-3.21に示す。

既往文献 (和歌山県有田川上流崩壊調査報告書および二次災害の予知と対策等) に記述されている事項について、計算結果との比較検討を行った。比較した事項は、天然ダムの流出 (侵食) 土砂量、下流河道の河床変動量、水位であり、それぞれの値を表-3.10に示す。

表-3.10(a) 天然ダムの流出 (侵食) 土砂量

(m³)

日 時	流 入 量	文 献		計 算 結 果	
		流出土砂量	残留土砂量	流出土砂量	残留土砂量
25 日 17 時	2,022.86 m ³ /sec	—	—	766,164	4,441,836
26 日 4 時	* 13.52 m ³ /sec	4,940,000	260,000	4,117,232	1,090,768

* 最終流量時、また、流入量は天然ダム上流の貯留水を考慮した値。

表-3.10(b) 河床変動量

地 区	文 献	計算結果
田 尻	+4~5 m	+1.44 m
北 寺	+8~10 m	+5.09 m

表-3.10(c) 水 位

地 区	文 献	計算結果
八 幡 村	2~3 m	4.59 m
安 諦 村	5~7 m	4.82 m

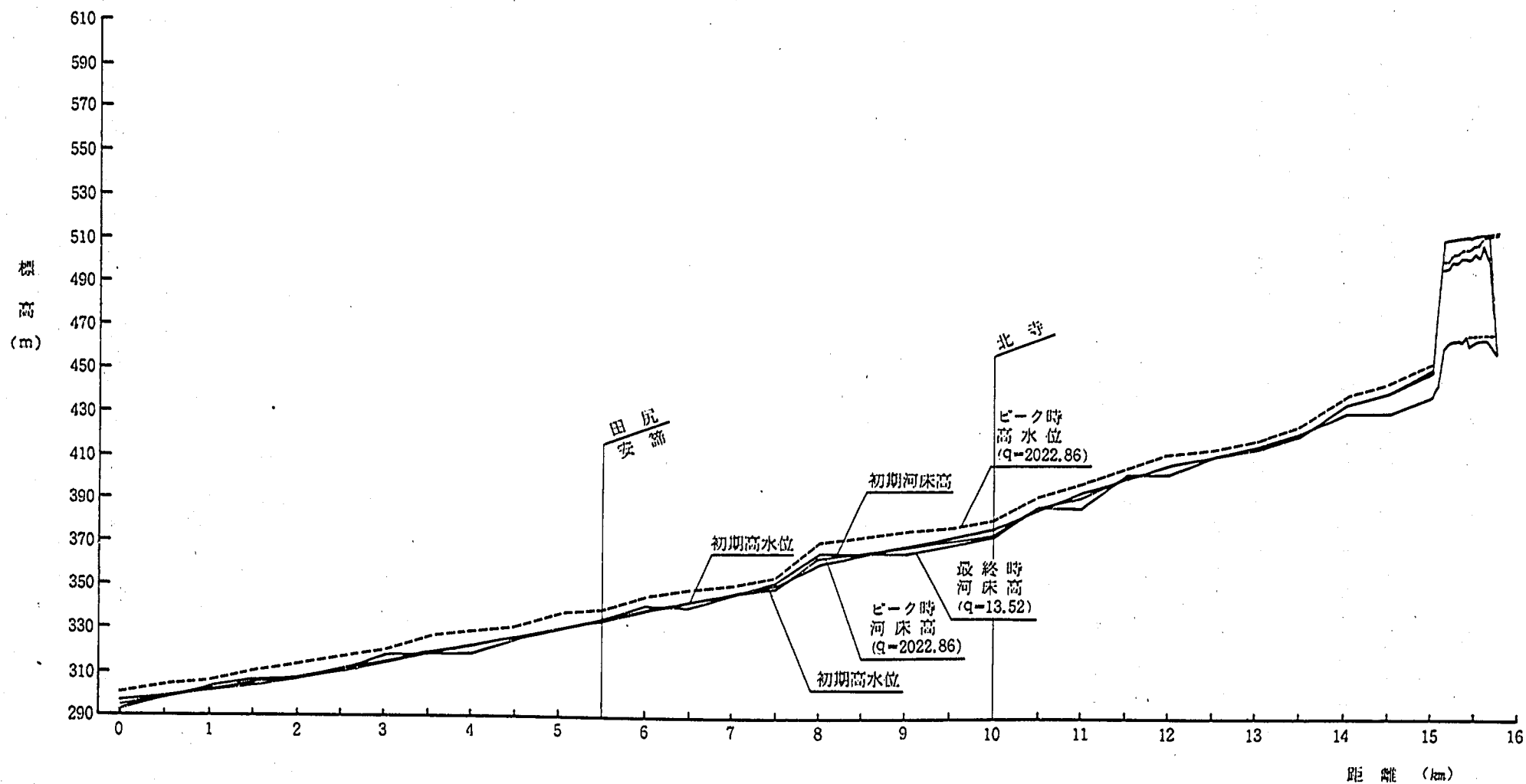


図- 3.21 有田川河床変動計算結果

表- 3.10より、流出土砂量、河床変動量、水深の計算結果は文献からの実際の数値より相対的に小さい値を示している。

河床変動量については、実際の数値よりも計算結果が低い値を示しているが、下流河道の断面特性を $S = 1:25,000$ の地形図等から作成しており、実際の河道状況の再現がかなり困難であったことも理由のひとつと考えられる。

水位については、記録に残っている安諦地区は、有田川が 180° 近く湾曲していることから、この計算結果を基に下記の式を用いて湾曲部の水位を求めると、

$$\Delta h = bv^2 / gr_c = 1.43 \text{ m}$$

$$\Delta h = v^2 / g \cdot \{ 2.303 (\log R_2 - \log R_1) \} = 1.48 \text{ m}$$

から、水位は 6.25 ~ 6.30 m の範囲となり記録の値にはほぼ合致する。

4. 天然ダムの破壊対策

4.1 概 要

豪雨、地震等により山腹や溪岸に大規模な崩壊が発生し、これによる崩土が溪流や河道を閉塞することにより、天然ダム（Landslide Dam）が形成される。このような天然ダムの形成および破壊により過去に世界各地で多くの人命、財産が失われてきている（表-1.1）。これら天然ダムに起因する災害は大きく次の三種類に分類できる。

- ① 大規模崩壊による崩土の移動と天然ダムの形成自体による災害……崩土の移動経路や天然ダムの形成場所に存在していた人家や人命への直接的な被害。
- ② 天然ダム形成後の上流への湛水に起因する浸水や洪水による被害。
- ③ 天然ダムの破壊により発生する多量の土砂や流水の下流への移動に伴う下流の河道付近の堆砂や洪水による被害。

以上の3種類の被害のうち、①の災害は現状では天然ダム発生前の対策か避難を行う以外にない。これについてはむしろ大規模崩壊の予知と発生防止に属する事項であり、以下では論じない。②と③は天然ダムの上流と下流の対策として位置づけられ、両者には天然ダムの貯水位を安全に下げるという共通する対策もある反面、天然ダムが破壊すれば下流は危険になるが上流は安全になるという相反する面もある。ここでは、主として天然ダムの破壊による下流での被害防止について述べる。

4.2 天然ダムの破壊による災害対策

天然ダムの破壊により生ずる災害の軽減あるいは防止のための対策の全体的な流れを図-4.1に示す。以下、このフローに従って各段階での調査項目、検討事項および対策について述べる。

(1) 天然ダム形成後の概略調査

天然ダムが形成されたならば直ちに現地踏査、ヘリコプターからの観察等により概略調査を行い、警戒、避難、対策の検討資料を得る。天然ダムの概略調査では以下の項目について調査する。

- ① 天然ダムの形成位置
- ② 天然ダムの形成日時
- ③ 天然ダムの規模、形状（高さ、長さ、幅、土量）
- ④ 天然ダムの上流側湛水池（現在の水位、水位上昇速度、現在の湛水量、浸水範囲、最高湛水位、最大湛水量）
- ⑤ 天然ダムへの流入量と流出量（現在の流入量、現在の流出量）
- ⑥ 天然ダムの越流（越流の有無、川幅、流量、侵食状況）
- ⑦ 天然ダム内部への浸透（下流法先での湧水流量）
- ⑧ 天然ダムの構成材料（土質、概略の粒径分布）

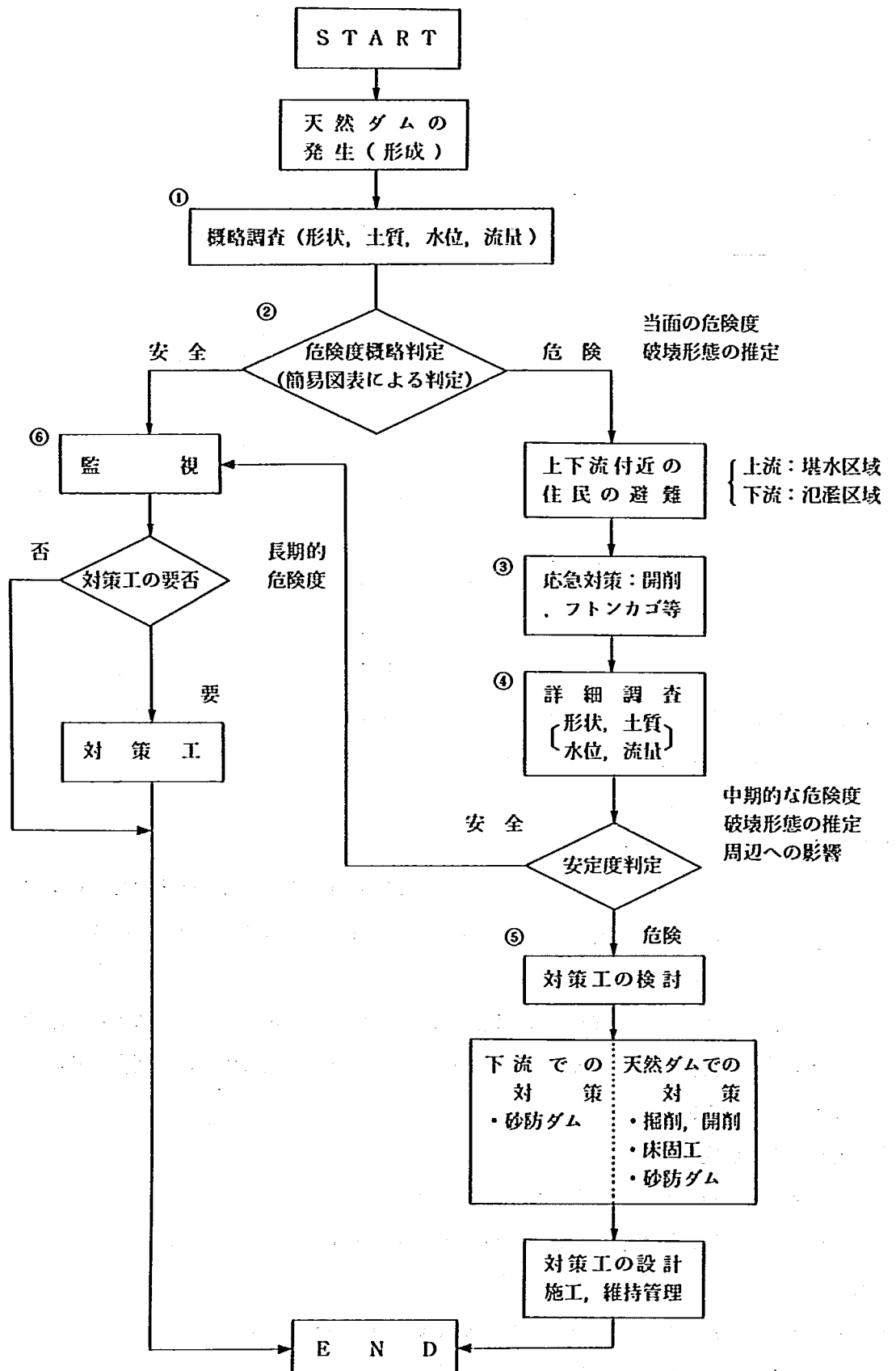


図-4.1 天然ダムの安定度検討と対策フロー

(2) 危険度概略判定

概略調査結果を見て、早急に天然ダムによる災害危険度を判定する。

- ① 天然ダム上流域の湛水に伴う被害予想区域の設定……天然ダムへの流入量と流出量を想定して、流入量＞流出量の場合には湛水位が上昇するので水位の上昇速度を概算するとともに上流での最高湛水位を天然ダムの高さから想定し、湛水区域を設定する。湛水区域内は水没の危険性があるので必要に応じて住民の避難を行う。
- ② 天然ダムの破壊の危険性の検討……天然ダムの主な破壊形態には①越流による侵食破壊と②浸透によるパイピング現象の発生に伴う破壊がある。

概略判定の段階では、まず①の越流の危険性があるか否かの判定を行う。これは天然ダムの湛水量と流入量、流出量を比較したり、水位の変化を測定することにより、越流に至る日時と流量を想定する。越流が生じる場合には図－3.12で示すような流砂量公式を用いて天然ダムの土砂侵食を想定して、下流への土砂を含む洪水流量を想定し、下流域の地形を考慮して被害を受ける範囲を推定する。

浸透によるパイピング現象の発生の危険性については概略調査により天然ダム構成材料や河床の構成材料の透水係数を推定した上で図－2.14～2.21を用いて浸潤線の天然ダム下流法面への到達時間を推定するとともに、養分資料の1を用いて浸透水の最大流速を想定して、天然ダムの構成材料の粒径と比較することによりパイピングによる破壊の危険性を検討する。破壊が予想される場合には破壊形状と湛水量を考慮して洪水流量を推定して下流での被害区域を推定する。

以上の検討により上流、下流に被害が生じる危険性がある場合には関係住民を避難させると同時に次に述べる応急対策を実施する。また当面危険性がないと判断されれば天然ダムや湛水位の変化を監視する計器を設置して監視を行い詳細な調査を実施して長期的な危険度を判定し、必要ならば対策工を実施する。

(3) 天然ダムによる災害防止のための応急対策

(3.1) 天然ダム上流に対する災害防止

天然ダム上流への湛水による被害が予想される場合には早急に湛水位を下げる必要がある。このためには開削による排水対策が一般的である。また、流入量が少ない場合にはポンプやサイフォンを用いた排水も検討の対象となる。開削による対策の詳細については、次の下流対策と共通する部分が多いので、そこで述べる。この他にも天然ダム土砂の掘削による完全除去があるが、小規模なものに限られる。

(3.2) 天然ダム下流に対する災害防止

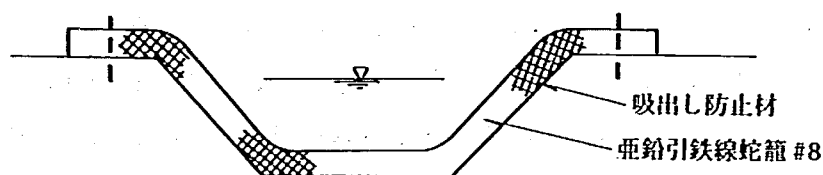
天然ダムの破壊による下流への被害を防止するためには一般に天然ダムの破壊防止を行う。天然ダムの破壊防止には前述したように越流によるものと浸透によるものがある。またこの他には下流に砂防ダム等の防災ダムを建設して土砂流による災害を軽減する方法もある。

① 越流による破壊防止

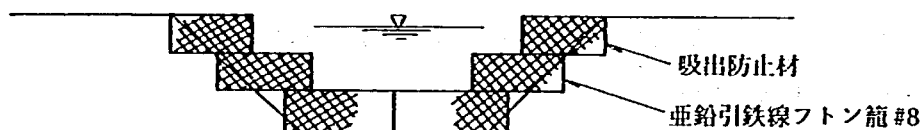
越流による天然ダムの破壊防止としては上流の湛水位を下げて越流を起こさせない方法と適当な流路を作って安全に越流させる方法がある。湛水位の上昇を防止したり水位を下ればこれによって上流湛水による被害も軽減できる。これは開削によるものとポンプやサイフォンによる排水があるが洪水時の流量等が大きい場合には開削によらざるを得ない場合が多い。安全に越流させるために開削を行う場合には重機の搬入や

トラフカビリティを検討する。また開削した水路が河床や河岸侵食により急速に破壊しないような対策を講じる必要がある。このような侵食対策の上から、天然ダム本体でなく近くの地山を掘削して排水路やトンネルを設置する場合もある。

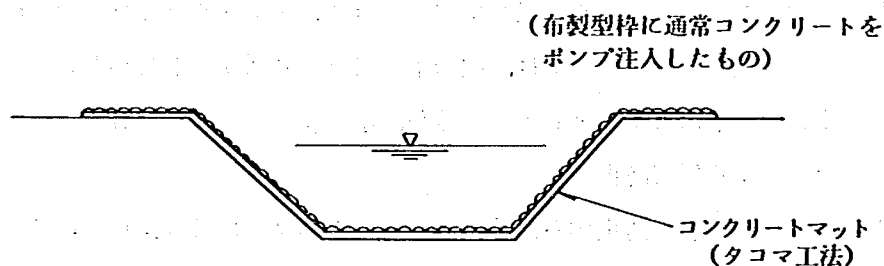
水路の侵食対策としては、河床や河岸を侵食防止材料で覆ったり適当な間隔に床固工や帯工を配置する。従って、建設材料としては施工性が良く、地盤の悪い所でも施工できるよう屈とう性を持った材料を選ぶ必要があり、これらの点から蛇籠工、フトン籠工、コンクリートマット、鋼製組立ダム等が用いられている。これらの模式図等を図－4.2～4.4および表－4.1に示す。



図－4.2 蛇籠工



図－4.3 フトン籠工



図－4.4 コンクリートマットⅠ

② 浸透による破壊防止

浸透による天然ダムの破壊防止のためには、(a)天然ダム内あるいは上流に遮水壁を設けて浸潤面をできるだけ低くして浸透水量を小さくし、天然ダム内の最大流速を低下させてパイピングを防止する。(b)天然ダムの下流法先に排水ドレーンを設置し、浸透水を安全に下流に排水する。なお、この場合排水ドレーンには押

(a) 堤体内に遮水ゾーンを設ける場合

(b) 堤体下流法先に排水ドレーン設ける場合。

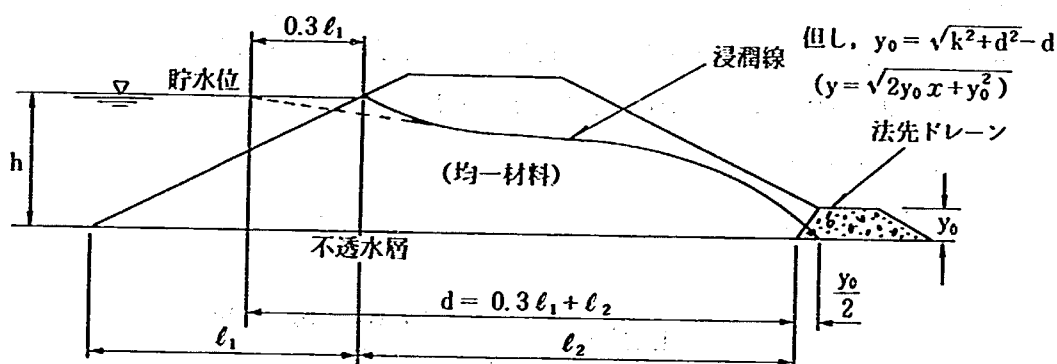


図-4.6 法先ドレーンの設定

また、河床材料によっては、河床構成材が水平ドレーンとしての効果が期待できる場合も考えられ、そのような場合には図-4.8のような浸潤線形成が想定出来る。

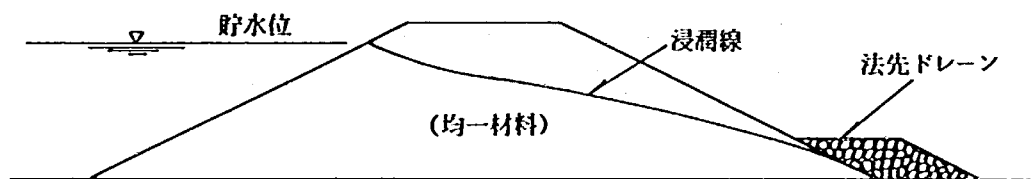


図-4.7 法先ドレーンの設置

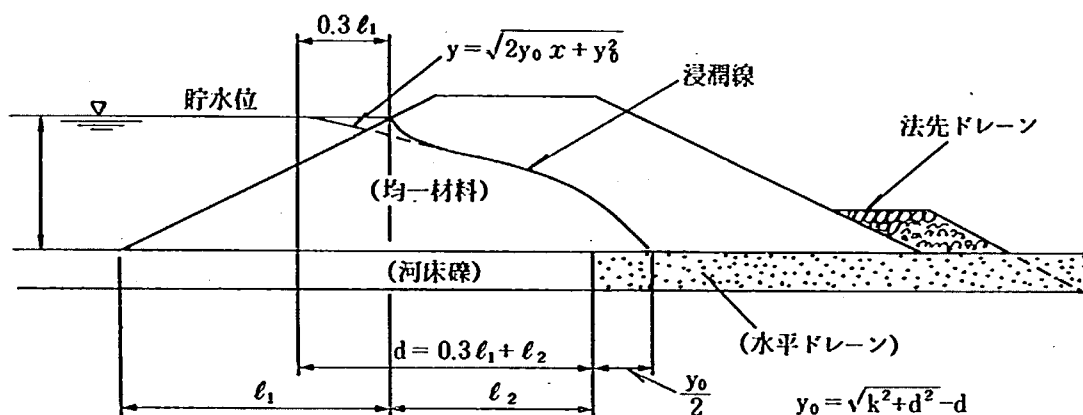


図-4.8 河床材料がドレーンとして機能する場合

法先ドレーンの計画方法を以下に述べる。

ドレーンの設計は均一型フィルダムの設計要領に従い浸潤線を求める方法に準じて行う。

均一フィルダムの浸潤線の基本放物線は図-4.9に示すとおり

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2}$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

である。

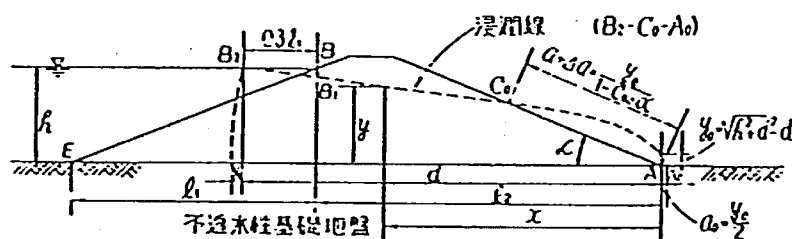


図-4.9 浸潤線の基本放物線

しかし、下流法面を浸潤線がきらないように修正する必要がある、図-4.9で示すC₀点をC点まで低下させた浸潤線形は図-4.10で表される。

今、天然ダムが形成された場合、新たに築造するフィルタイプダムのようにドレーンを堤体内に図-4.11に示すような形で設置することは掘削断面が大きくなり、かなり危険性を伴うので図-4.12に示す形状のド

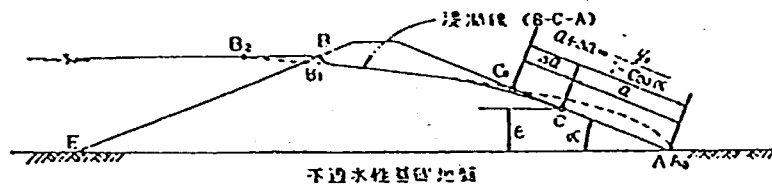


図-4.10 浸潤線の修正

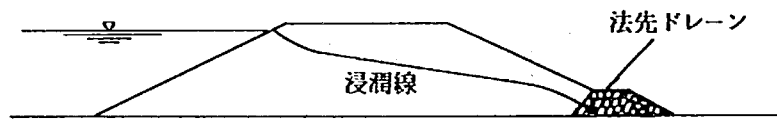


図-4.11 均一型ダムの法先ドレーン

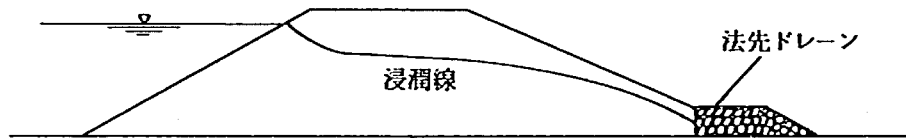


図-4.12 天然ダム法先ドレーン

レーンを設置する方が良い。

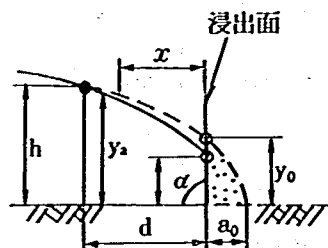
図-4.12の形状について検討すると、

下流法勾配 1 : 2.0

高さ/長さ (H/b) : 60/100, 20/100

の2ケースについて行う。

浸潤線の浸出面形状が $\alpha = 90^\circ$ となるので図-4.13で修正を行えば、表-4.2, 図-4.14, 4.15のようになる。



$$a = \frac{3}{4} y_0 = \frac{3}{4} (\sqrt{h^2 + d^2} - d) \quad (\alpha = 90^\circ) \quad (b)$$

図-4.13 浸出面の勾配が 90° の場合

表-4.2 ドレーン必要高

H / b	ℓ_1	ℓ_2	α	y_0	a
60 / 100	120.0	220.0	256.0	6.94	5.20
20 / 100	40.0	40.0	160.0	1.25	1.00

但し、上表の記号については、図-4.9を参照

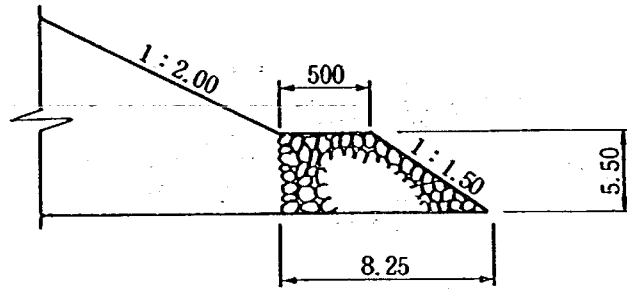


図-4.14 ドレーン形状

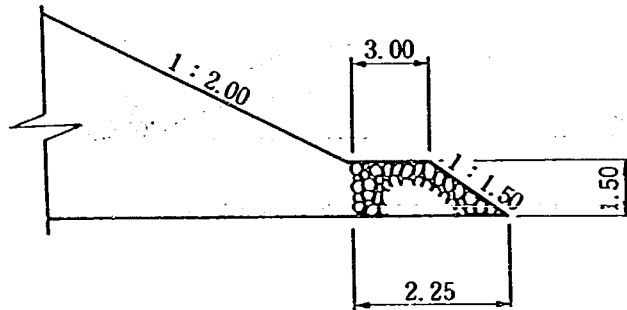


図-4.15 ドレーン形状

これまでに述べてきたような天然ダムの形成された位置における対策の代表的な工法とそれらの特徴を表-4.3に示す。

表-4.3 ダム位置での対応策

工 法	施 工 性	経 済 性	耐 久 性	資 材 及 機 材 の 調 達 度	適 応 性
鋼矢板 遮水壁	仮設大 難	高 価	大	やや難	安定対策
グラウチング 遮水壁	仮設大 難	高 価	大	容 易	同上
法先排水 ドレーン	仮設小 容 易	廉 価	大	容 易	安定対策 応急対策
排水工 堤体開削	仮設小 容 易	廉 価	中	容 易	応急対策
堤外開削	仮設中 やや難	高 価	中	やや難	安定対策
トンネル	仮設大 難	極高価	大 (永久)	難	同上
ポンプ排水	仮設小 容 易	廉 価	—	やや難	応急対策

③ 下流での砂防ダム等による対策

天然ダム自体の破壊が防止できない場合には下流に適切な大きさ、数の砂防ダム等の防災ダムを設置して破壊により発生する土砂を捕捉したり調整して、下流への被害を軽減あるいは防止する方法も考えられる。このように下流での対策においても応急対策では施工性が良く、短期間に施工できる鋼製組立ダム等が用いられる場合が多い。これらの下流部での対策の特徴を表－4.4に示す。

表－4.4 下流部での対応策

工 法	施 工 性	経 済 性	耐 久 性	資 材 及 機 材 の 調 達 度	適 応 性
ダム工 コンクリート	仮設大 容 易	高 価	大	容 易	安定対策
鋼 製 枠	仮設小 容 易	廉 価	中	やや難 (受注生産)	安定対策 応急対策

以上①～③の対策をダム位置での対策とダム下流での対策に分類して一般的な施工性、経済性等を比較したものを表－4.3、4.4に示す。

これまでに述べた概略調査～天然ダムの安定度の概略判定～応急対策上の検討に至る詳細な流れを図－4.16に示す。

(4) 詳細調査

応急対策後、その安全性の確保のため、天然ダムの形状、地質、貯水位、流入量及び周辺の地形・地質について、概略調査よりも精度の高い測量、サンプリング、現位置調査、流出解析等を行い、これらの調査、解析結果を基に、模型実験、浸透流解析、洪水氾濫シミュレーション等により天然ダムの危険度、破壊の形態、周辺上下流への影響度について検討し、対策工の要否、工法の実体化を図る。

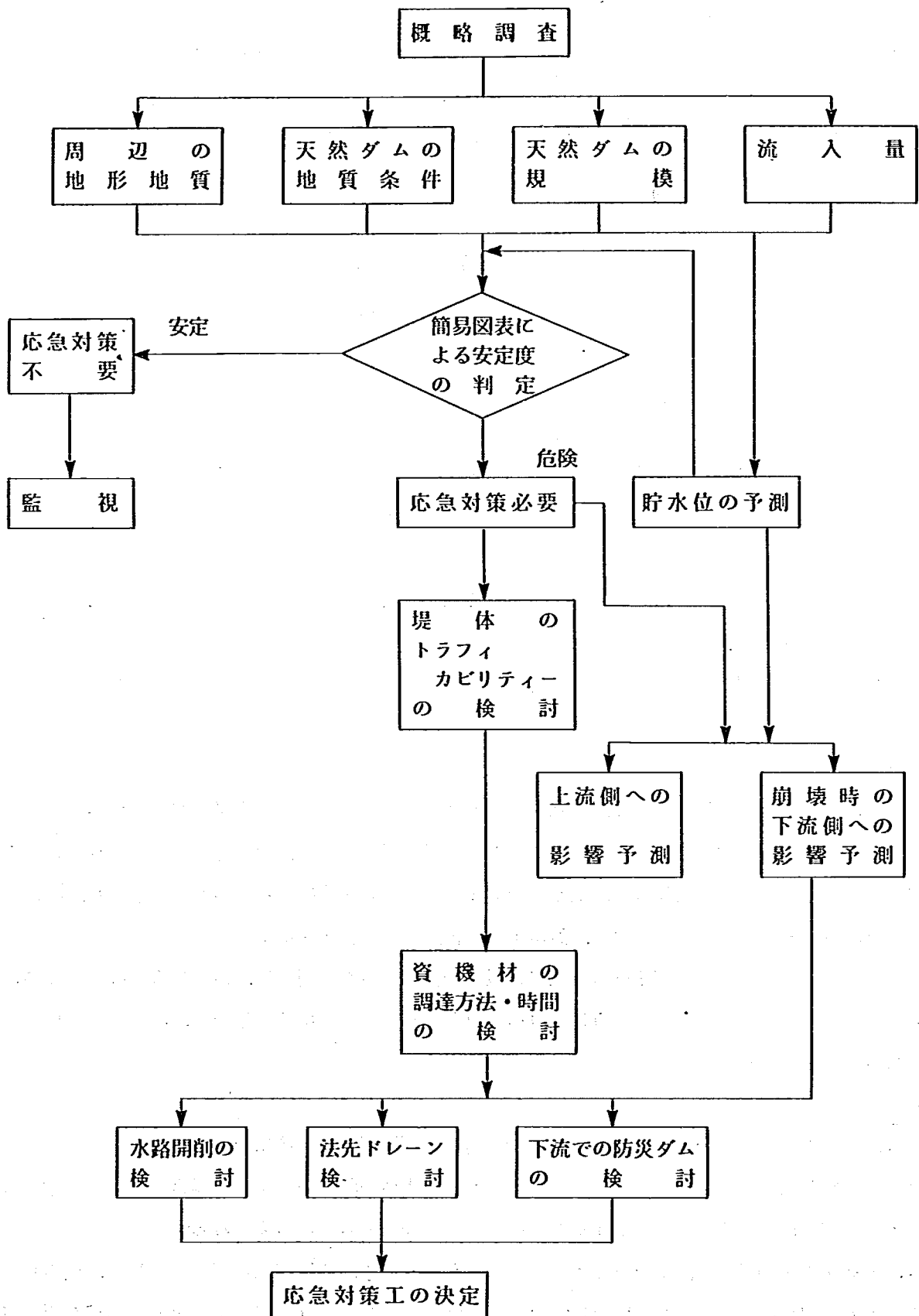
なお、天然ダムの安定性の検討方法は基本的には概略調査で述べたと同様に、越流による破壊と浸透によるパイピング現象の発生に分けて詳細調査により得られたデータをもとに流砂量公式、河床変動解析、および浸透流解析を実施して行う。

(5) 対策工の検討

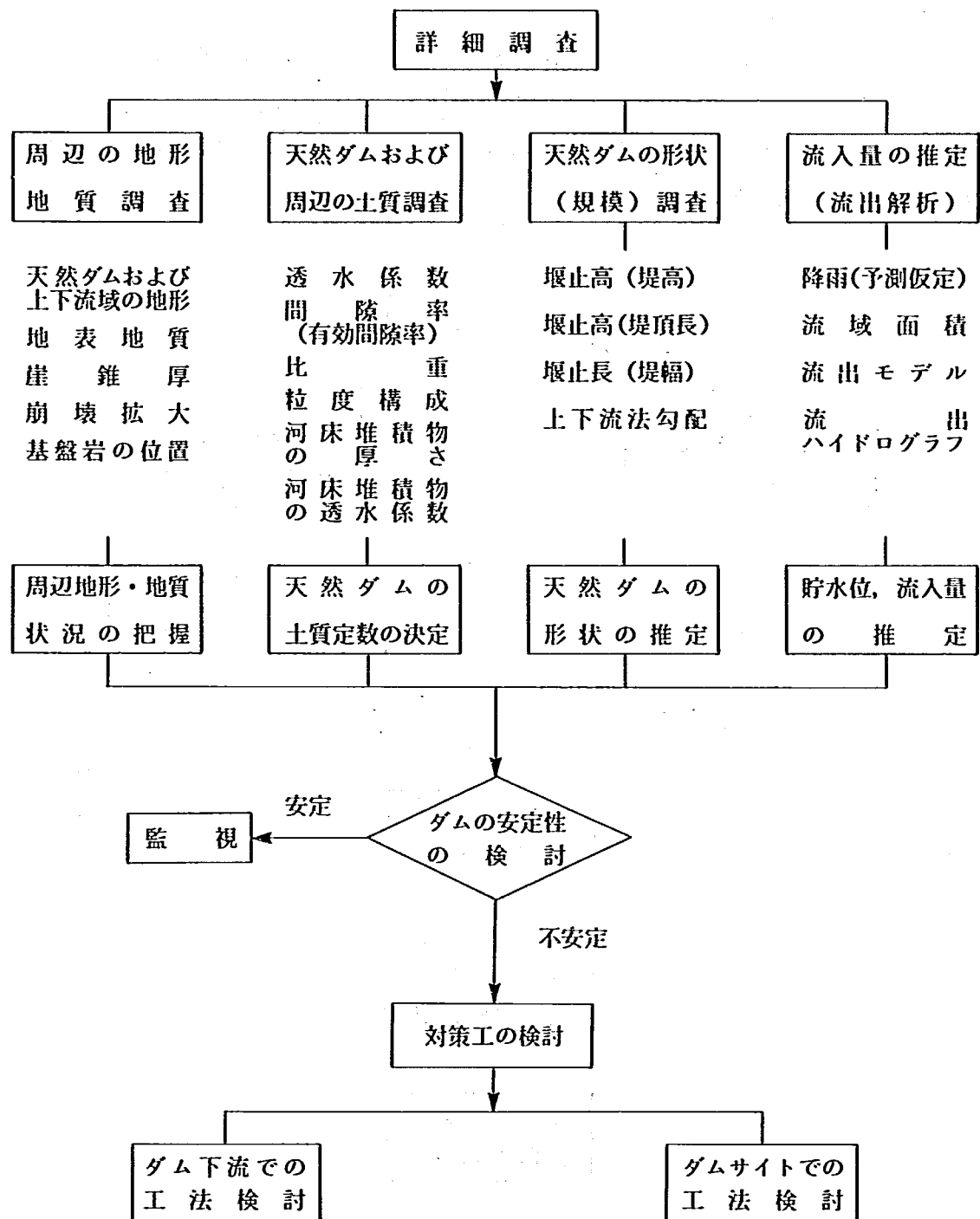
対策工は、応急対策工の場合と同様にダム位置での対策と下流部での対策に分けられる。

天然ダムにおける対策は、その規模の大小により天然ダム本体の開削撤去を図る場合と堤体の安定化若しくは、直下流部で流出破壊土砂の下流流出抑制、貯溜調整を図る場合とが考えられる。

前者は、天然ダムが小規模で、トラフィカビリティが確保でき、機械掘削が可能で、且つ、或る程度下流砂防施設等で予期される異常気象、または不可抗力の事故による崩壊流出土砂の調節抑制が可能な場合に適用される。しかしこのような例は少なく一般的には天然ダムの開削、遮水壁の設置、排水工の施工（バイパストンネルを含む法先ドレーン）等により堤体の安定化を図る場合が多い。具体的な検討方法は応急対策工の検討とほぼ同様であるが、より詳細なデータが用いられ、施工期間もより長くとれるのでこのような点に



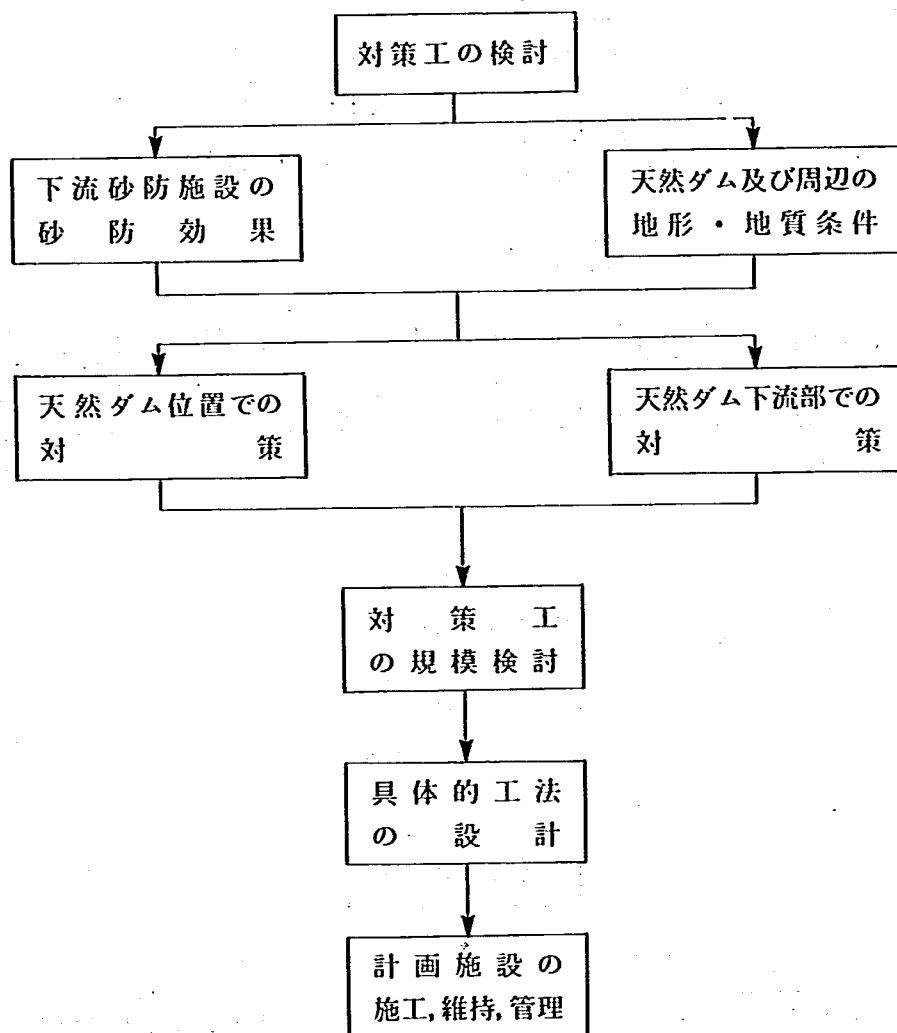
図－4.16 概略調査から応急対策までの流れ



図－ 4.17 詳細調査から対策工の選定までの流れ

留意して対策工を選定する。

下流部での対策工は天然ダムおよび周辺の地質が脆弱で天然ダムの安定性が確保できない場合に用いられる。この場合、堤体の崩壊による流出土砂をダムサイト直下流または下流域で砂防ダム等により貯溜抑制調節を図るかまたは低ダム若しくは床固工等により、河床勾配を緩和して流出土砂の掃流力の減退を図り下流への土砂流出を減少させようとするものである。



図－4.18 対策工の検討から施設の施工、維持、管理までの流れ

(6) 監視

概略調査あるいは詳細調査により当面あるいは中期的に見ても、天然ダムの崩壊あるいは上流域での湛水による被害の発生の危険性がない場合は、その後の出水等により越流水による侵食破壊、上流湛水域の水位上昇、下流法面でのパイピング現象の発生等が起きないか監視を行い、長期的な安全性が確認されるまで監視を続ける。

監視の方法としては目視や測量によるものの他に現地にテレビカメラ、水位計、雨量計、浸透量測定用流量計、堤体の地盤変位を測定するための歪計等を設置し、これらにより観測を行うのが一般的である。

5. まとめと今後の検討課題

5.1 まとめ

(1) 既往文献調査により天然ダムの特徴についてまとめた。

① 天然ダムの平均規模等

長さ：630 m, 高さ：54 m, 幅（ダム軸方向）：320 m, 土量： $8.6 \times 10^7 \text{ m}^3$,
上流河床勾配：1/22 ($\approx 2.6^\circ$), 湛水量： $1.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, 平均流量：43 m^3/s ,
ピーク流量：1,500 m^3/s , 破壊までの継続時間＝1年
破壊原因：越流（Overtopping）

② 破壊し易い（継続時間の短い）天然ダムの特徴

- (a) 堰止め長が短い
- (b) 堰止め長に比して堰止め高が高い
- (c) ピーク（平均）流量に対して湛水容量が小さい
- (d) 堰止土量に対して湛水量が大きい

③ 天然ダム破壊対策事例

既往の対策事例の大部分が安全に上流側の湛水位を下げるための開削であるが、中にはトンネルによる排水例もある。天然ダム下流法先への排水ドレーンの設置例は文献では見当らなかった。

(2) 天然ダムの浸透破壊

天然ダムの浸透に伴うパイピング現象の発生による破壊を簡便に推定するために有限要素法による非定常流浸透解析を行って種々の条件において天然ダム内の浸潤線の進行過程を追跡した。これより、浸潤線が天然ダムの下流法先へ達する時間を推定するのに便利のように図－2.14～2.21を作成した。

浸潤線の天然ダムの下流法先への到達時間を左右する主な条件は、①堰止め長、②透水係数、③貯水位であり、これら以外（堤高、有効間隙率、河床勾配、上下流法勾配）は大きな影響を与えないことが分かった。

また、浸透流の最大速度を検討した結果、湛水位の高さ20m、堰止め長100m程度の天然ダムで構成材料の水平方向透水係数が 10^{-3} cm/s 程度のものは堤体の下流法面に浸潤線が現れてもパイピング現象は起こらず、浸透による破壊は起こらないと判断された。

浸透破壊対策上に関する模型実験を行った結果、下流法先への粗い材料（巨石等）による天然ダム高の1/2程度の高さまでの盛土は法先の浸透破壊防止に効果があることが分かった。

(3) 天然ダムの越流による侵食破壊

室内模型実験により天然ダムの越流による侵食破壊の形態と流砂量を検討した結果、非粘着性材料（砂のみ）の場合は天然ダム上面から徐々に侵食され、粘着性材料の場合（砂＋5% or 10%のベントナイト）では下流法面に沿って急勾配で侵食され、侵食面が上流側に進行することが分かった。また侵食時の流砂量はこれまで通常の河川を対象とした流砂量公式による数値とほぼ同一であることが分かった。

以上の検討結果をもとに越流による天然ダムの破壊に伴う土砂を含んだ洪水の発生を、昭和28年の有田川災害の金剛寺天然ダムを例にとり再現を試みた。天然ダムの形状や実際の洪水の地形等不明な点も多いが、概略の再現ができ、今後の天然ダムの破壊による下流の被災区域の推定に役立てることができると思われる。

(4) 天然ダムの破壊対策

天然ダムが形成された場合の上流及び下流における災害の防止軽減を目的とした対策のフローを作成し、天然ダムの調査手法、危険度の判定手法、危険区域の設定手法および対策工の選定手法についてまとめた。

5.2 今後の検討課題

天然ダムによる災害の防止・軽減を目的として天然ダムの特徴をまとめるとともに、天然ダムの破壊形態である浸透破壊と越流による破壊について検討を行い、その発生予測手法と天然ダム破壊時の下流への影響予測を行った。また、浸透破壊についてはその対策工について模型実験を行った。以上の知見をもとに天然ダムの破壊による災害対策の考え方、検討手法をまとめた。しかしながら未だ不明な点も多く、今後検討すべき課題としては次のものがある。

- ① 天然ダム下流法先へ浸潤線が達した場合においても、天然ダムは直ちに危険になるわけではない。天然ダムの材料を考慮してパイピングの発生による破壊の危険性を判定する手法を明らかにする。
- ② 天然ダムが越流により破壊される場合の流出土砂量と下流への影響の精度の良い推定法を得る。
- ③ 天然ダムが浸透により破壊される場合の破壊形状とそれに伴う段波の発生及び下流への影響の精度の良い推定法を得る。
- ④ 施工性が良く、安全で経済的な天然ダムの破壊対策工法の開発を行う。
- ⑤ 天然ダムの内部構造と形成材料の土質定数（透水係数、平均粒径、粘着力、内部摩擦角等）の簡便な調査法を開発する。

参 考 文 献

- 1) 北沢秋司：長野県西部地震における河道埋塞等の事例，二次災害の予知と対策№ 1，(社)全国防災協会，pp.33～62，1986
- 2) 芦田和男：河道埋塞に関する事例研究—1889年（明治22年）十津川水害について—，二次災害の予知と対策№ 2，(社)全国防災協会，pp.37～45，1987
- 3) 武居有恒：昭和28年有田川災害，二次災害の予知と対策，№ 2，(社)全国防災協会，pp.47～71，1987
- 4) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室：湾曲部の溪岸侵食と溪岸崩壊に関する基礎実験報告書，土木研究所資料第2433号，昭和62年2月
- 5) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室：天然ダムの形成と破壊に関する基礎的実験報告書，土木研究所資料第2606号，昭和63年2月
- 6) 中部地方建設局河川計画課：天然ダム調査事例集，昭和62年2月
- 7) Landslide dams : Processes, risk and mitigation, Edited by R.L. Schuster, Geotechnical Special Publication № 3, ASCE, 1986
- 8) 和歌山県土木部砂防利水課：有田川上流崩壊調査報告書 1956
- 9) 和歌山県土木部砂防利水課：有田川上流流出土砂量調査書 1957
- 10) 石原藤次郎・高瀬信忠：有田川水文調査報告書 1957
- 11) 和歌山県土木部砂防利水課：有田川下流洪水氾濫図

卷 末 資 料

1. 有限要素法を用いた非定常流浸透解析874
ケースの解析条件及び結果一覧表

{ 法勾配 1:2 表1.1~1.36
{ 法勾配 1:4 表1.37~1.72

表-1.1 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	20/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	8	1.23×10	4.76×10^{-1}	1
						5	8	2.01×10	5.15×10^{-1}	289
						10	8	2.21×10	6.38×10^{-1}	577
					1/100	0	8	1.11×10	4.65×10^{-1}	73
						5	10	1.95×10	4.71×10^{-1}	361
						10	10	2.00×10	4.78×10^{-1}	649
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	8	1.60×10	4.19×10^{-1}	290
						10	8	2.03×10	4.64×10^{-1}	578
					1/100	0	—	—	—	
						5	9	6.64×10	5.39×10^{-1}	362
						10	9	8.66×10	6.06×10^{-1}	650
			0.15	10^{-2}	1/10	0	7	2.41×10	5.19×10^{-1}	2
						5	8	2.56×10	5.36×10^{-1}	291
						10	8	2.97×10	8.52×10^{-1}	579
					1/100	0	7	1.20×10	4.81×10^{-1}	74
						5	8	1.96×10	5.01×10^{-1}	363
						10	9	2.55×10	6.03×10^{-1}	651
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	7	1.10×10^2	5.67×10^{-1}	292
						10	8	1.26×10^2	5.79×10^{-1}	580
					1/100	0	—	—	—	
						5	8	6.73×10	6.02×10^{-1}	364
						10	8	8.86×10	7.57×10^{-1}	652

表-1.2 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_s \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	20/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	10	1.87×10	7.21×10^{-1}	7
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	11	5.45	4.63×10^{-1}	79
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	8	1.25×10	4.57×10^{-1}	8
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	9	8.19	4.03×10^{-1}	80
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.3 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m) 0	(hr) 72	(l/min) 2.89×10^{-1}	(cm/sec) 2.24×10^{-2}	3
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	20/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	5	144	4.02	3.39×10^{-2}	293
						10	144	7.29	4.49×10^{-2}	581
						0	96	2.72	1.62×10^{-2}	75
					1/100	5	96	5.21	3.92×10^{-2}	365
						10	96	5.39	4.31×10^{-2}	653
						0	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	5	24	4.51×10	1.57×10^{-1}	294
						10	24	8.82×10	2.51×10^{-1}	582
						0	—	—	—	
					1/100	5	48	3.47×10	1.02×10^{-1}	366
						10	48	6.41×10	1.25×10^{-1}	654
						0	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	60	4.74×10^{-1}	3.04×10^{-2}	4
						5	120	4.92	5.62×10^{-2}	295
						10	144	7.85	6.13×10^{-2}	583
					1/100	0	72	1.75	3.14×10^{-2}	76
						5	72	3.93	5.44×10^{-2}	367
						10	72	4.18	5.70×10^{-2}	655
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	24	6.87×10	1.69×10^{-1}	296
						10	24	8.93×10	2.77×10^{-1}	584
					1/100	0	—	—	—	
						5	48	3.53×10	1.03×10^{-1}	368
						10	48	6.48×10	1.26×10^{-1}	656

表-1.4 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	20/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	72	2.39×10^{-1}	1.77×10^{-2}	9
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	120	1.48	1.11×10^{-2}	81
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	60	3.39×10^{-1}	2.38×10^{-3}	10
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	96	1.38	2.07×10^{-2}	82
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.5 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_b \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	20/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	840	1.16	2.13×10^{-3}	5
						5	336	2.32	6.72×10^{-3}	297
						10	336	4.42	8.50×10^{-3}	585
					1/100	0	840	1.95	1.26×10^{-3}	77
						5	336	2.91	9.41×10^{-3}	369
						10	336	4.74	1.06×10^{-2}	657
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	—
						5	72	4.90	1.38×10^{-1}	298
						10	72	9.26	1.67×10^{-1}	586
					1/100	0	—	—	—	—
						5	240	3.37	1.03×10^{-1}	370
						10	240	6.31	1.28×10^{-1}	658
			0.15	10^{-2}	1/10	0	600	1.41	3.00×10^{-3}	6
						5	288	2.44	7.04×10^{-3}	299
						10	288	4.71	8.56×10^{-3}	587
					1/100	0	720	1.33	1.67×10^{-3}	78
						5	288	1.96	9.39×10^{-3}	371
						10	288	2.91	1.07×10^{-2}	659
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	—
						5	72	4.91	1.39×10^{-1}	300
						10	72	9.27	1.68×10^{-1}	588
					1/100	0	—	—	—	—
						5	192	3.37	1.03×10^{-1}	372
						10	192	6.31	1.28×10^{-1}	660

表 - 1.6 浸 透 流 解 析 結 果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_a \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	20/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	840	6.74×10^{-3}	1.70×10^{-3}	11
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	1.080	1.26×10^{-1}	1.04×10^{-3}	83
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	720	1.06×10^{-1}	2.38×10^{-3}	12
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	840	1.01×10^{-1}	1.31×10^{-3}	84
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.7 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量 流	最 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	20/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	30	1.89×10	3.08×10^{-1}	13
						5	30	2.20×10	3.85×10^{-1}	301
						10	30	2.23×10	3.90×10^{-1}	589
					1/100	0	42	1.41×10	2.70×10^{-1}	85
						5	42	2.69×10	3.15×10^{-1}	373
						10	42	2.72×10	3.24×10^{-1}	661
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	30	6.27×10	4.41×10^{-1}	302
						10	30	6.43×10	4.71×10^{-1}	590
					1/100	0	—	—	—	
						5	36	5.10×10	3.69×10^{-1}	374
						10	36	5.21×10	3.84×10^{-1}	662
			0.15	10^{-2}	1/10	0	24	9.03	4.37×10^{-1}	14
						5	30	3.88×10	5.12×10^{-1}	303
						10	30	3.91×10	5.17×10^{-1}	591
					1/100	0	36	2.36×10	6.05×10^{-1}	86
						5	42	2.48×10	6.11×10^{-1}	375
						10	42	2.97×10	6.98×10^{-1}	663
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	36	1.26×10^2	4.69×10^{-1}	304
						10	36	1.45×10^2	4.87×10^{-1}	592
					1/100	0	—	—	—	
						5	36	7.91×10	4.99×10^{-1}	376
						10	42	9.32×10	6.73×10^{-1}	664

表 - 1.8 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-1}$ $k_v 10^{-2}$	20/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	36	1.20×10	3.90×10^{-1}	19
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	48	4.47	3.43×10^{-1}	91
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	30	2.18×10	4.99×10^{-1}	20
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	48	1.54×10	4.21×10^{-1}	92
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.9 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	20/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	480	2.91	1.41×10^{-2}	15
						5	480	3.21	2.37×10^{-2}	305
						10	480	6.74	3.49×10^{-2}	593
					1/100	0	384	8.84×10^{-1}	9.08×10^{-3}	87
						5	384	2.87	1.03×10^{-2}	377
						10	384	3.19	2.11×10^{-2}	665
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	1.92×10	1.14×10^{-1}	306
						10	96	2.37×10	2.03×10^{-1}	594
					1/100	0	—	—	—	
						5	120	1.54×10	1.01×10^{-1}	378
						10	120	2.02×10	1.98×10^{-1}	666
			0.15	10^{-2}	1/10	0	384	3.03	1.93×10^{-2}	16
						5	480	3.56	2.79×10^{-2}	307
						10	480	7.01	3.63×10^{-2}	595
					1/100	0	384	1.66	1.51×10^{-2}	88
						5	384	3.49	2.67×10^{-2}	379
						10	384	3.57	3.38×10^{-2}	667
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	1.97×10	1.11×10^{-1}	308
						10	96	2.44×10	2.00×10^{-1}	596
					1/100	0	—	—	—	
						5	120	1.63×10	1.05×10^{-1}	380
						10	120	2.18×10	1.93×10^{-1}	668

表-1.10 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	20/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	480	2.57×10^{-1}	1.26×10^{-2}	21
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	288	1.07	9.39×10^{-3}	93
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	384	3.59×10^{-1}	1.70×10^{-2}	22
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	288	2.06	1.58×10^{-2}	94
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.11 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 流速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-3}$ $k_v 10^{-5}$	20/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	4,800	1.43	2.76×10^{-3}	17
						5	4,800	2.54	6.89×10^{-3}	309
						10	4,800	4.67	8.74×10^{-3}	597
					1/100	0	3,360	2.01	1.19×10^{-3}	89
						5	3,360	3.03	1.27×10^{-3}	381
						10	3,360	4.89	1.35×10^{-3}	669
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	4,800	5.21	1.63×10^{-1}	310
						10	4,800	9.58	1.84×10^{-1}	598
					1/100	0	—	—	—	
						5	3,360	3.89	1.21×10^{-1}	382
						10	3,360	6.42	1.49×10^{-1}	670
			0.15	10^{-2}	1/10	0	3,840	2.75	3.56×10^{-3}	18
						5	3,840	3.52	6.73×10^{-3}	311
						10	3,840	4.34	8.92×10^{-3}	599
					1/100	0	3,360	2.56	1.85×10^{-3}	90
						5	3,360	3.08	2.09×10^{-3}	383
						10	3,360	4.12	2.83×10^{-3}	671
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	4,800	5.29	1.57×10^{-1}	312
						10	4,800	7.36	1.81×10^{-1}	600
					1/100	0	—	—	—	
						5	3,360	3.51	1.24×10^{-1}	384
						10	3,360	6.48	1.43×10^{-1}	672

表-1.12 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	20/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	4,800	7.49×10^{-1}	1.95×10^{-3}	23
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	3,360	1.87×10^{-1}	1.29×10^{-3}	95
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	3,840	1.59×10^{-1}	2.54×10^{-3}	24
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	3,360	1.33×10^{-1}	1.71×10^{-3}	96
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.13 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	25
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	20/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	60	1.07×10	3.30×10^{-1}	313
						5	60	2.61×10	4.02×10^{-1}	601
						10	60	2.85×10	4.79×10^{-1}	97
					1/100	0	48	1.05×10	2.52×10^{-1}	385
						5	60	2.39×10	2.98×10^{-1}	673
						10	60	2.41×10	3.11×10^{-1}	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	314
						5	60	6.12×10	4.29×10^{-1}	602
						10	60	6.56×10	4.67×10^{-1}	
					1/100	0	—	—	—	386
						5	72	4.97×10	3.84×10^{-1}	674
						10	72	5.38×10	4.09×10^{-1}	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	48	1.94×10	5.89×10^{-1}	26
						5	60	2.71×10	4.70×10^{-1}	315
						10	60	3.01×10	4.32×10^{-1}	603
					1/100	0	48	1.27×10	3.68×10^{-1}	98
						5	60	2.49×10	5.43×10^{-1}	387
						10	72	2.87×10	5.78×10^{-1}	675
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	316
						5	48	1.12×10^2	4.72×10^{-1}	604
						10	60	1.34×10^2	4.96×10^{-1}	
					1/100	0	—	—	—	388
						5	60	7.97×10	4.80×10^{-1}	676
						10	60	9.93×10	6.54×10^{-1}	

表 - 1.14 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_b \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	20/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	72	2.44×10	3.96×10^{-1}	31
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	48	9.07	3.51×10^{-1}	103
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	60	3.07×10	5.03×10^{-1}	32
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	36	9.18	4.92×10^{-1}	104
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.15 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 流速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	20/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	840	7.14×10^{-1}	1.30×10^{-2}	27
						5	840	7.56×10^{-1}	1.41×10^{-2}	317
						10	840	7.94×10^{-1}	1.53×10^{-2}	605
					1/100	0	960	6.27×10^{-1}	1.12×10^{-2}	99
						5	960	6.39×10^{-1}	1.24×10^{-2}	389
						10	960	6.51×10^{-1}	1.37×10^{-2}	677
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	360	8.49×10^{-1}	1.57×10^{-2}	318
						10	360	8.61×10^{-1}	1.63×10^{-2}	606
					1/100	0	—	—	—	
						5	360	7.57×10^{-1}	1.31×10^{-2}	390
						10	360	7.71×10^{-1}	1.43×10^{-2}	678
			0.15	10^{-2}	1/10	0	720	8.76×10^{-1}	1.76×10^{-2}	28
						5	840	9.06×10^{-1}	1.87×10^{-2}	319
						10	840	9.43×10^{-1}	1.99×10^{-2}	607
					1/100	0	720	7.84×10^{-1}	1.58×10^{-2}	100
						5	960	7.99×10^{-1}	1.66×10^{-2}	391
						10	960	8.17×10^{-1}	1.85×10^{-2}	679
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	360	9.97×10^{-1}	2.04×10^{-2}	320
						10	360	1.05	2.18×10^{-2}	608
					1/100	0	—	—	—	
						5	360	9.03×10^{-1}	1.78×10^{-2}	392
						10	360	9.18×10^{-1}	1.94×10^{-2}	680

表-1.16 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	20/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	960	7.07×10^{-1}	1.18×10^{-2}	33
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	960	6.15×10^{-1}	9.93×10^{-3}	105
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	720	5.61×10^{-1}	1.60×10^{-2}	34
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	720	4.63×10^{-1}	1.21×10^{-2}	106
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.17 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 大 流速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_a \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	20/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	8,640	1.79	3.14×10^{-3}	29
						5	8,640	2.92	7.21×10^{-3}	321
						10	8,640	5.02	9.14×10^{-3}	609
					1/100	0	9,120	1.62	1.94×10^{-3}	101
						5	9,120	2.74	5.97×10^{-3}	393
						10	9,120	4.89	7.89×10^{-3}	681
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	8,640	5.61	1.93×10^{-1}	322
						10	8,640	9.96	2.16×10^{-1}	610
					1/100	0	—	—	—	
						5	9,120	4.44	1.48×10^{-1}	394
						10	9,120	6.76	1.77×10^{-1}	682
			0.15	10^{-2}	1/10	0	6,720	3.01	3.96×10^{-3}	30
						5	6,720	4.22	8.05×10^{-3}	323
						10	6,720	6.32	9.87×10^{-3}	611
					1/100	0	7,200	2.89	2.72×10^{-3}	102
						5	7,200	4.07	6.74×10^{-3}	395
						10	7,200	6.14	8.56×10^{-3}	683
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	6,720	6.77	2.07×10^{-1}	324
						10	6,720	1.13×10	2.25×10^{-1}	612
					1/100	0	—	—	—	
						5	7,200	5.34	1.59×10^{-1}	396
						10	7,200	7.68	1.86×10^{-1}	684

表-1.18 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_b \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	20/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	9,600	9.28×10^{-1}	1.77×10^{-3}	35
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	7,200	8.89×10^{-1}	1.14×10^{-3}	107
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	7,680	1.23	1.52×10^{-3}	36
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	5,760	1.04	1.02×10^{-3}	108
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.19 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	14	1.70×10	5.71×10^{-1}	145
						5	14	2.05×10	5.82×10^{-1}	433
						10	14	2.31×10	6.74×10^{-1}	721
					1/100	0	12	1.68×10	5.38×10^{-1}	217
						5	14	1.91×10	5.71×10^{-1}	505
						10	14	2.27×10	6.52×10^{-1}	793
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	12	1.14×10^2	8.34×10^{-1}	434
						10	12	1.36×10^2	8.75×10^{-1}	722
					1/100	0	—	—	—	
						5	14	1.13×10^2	8.12×10^{-1}	506
						10	14	1.27×10^2	8.61×10^{-1}	794
			0.15	10^{-2}	1/10	0	12	2.96×10	6.88×10^{-1}	146
						5	14	3.24×10	6.96×10^{-1}	435
						10	14	3.37×10	7.01×10^{-1}	723
					1/100	0	10	2.04×10	5.49×10^{-1}	218
						5	12	2.41×10	5.81×10^{-1}	507
						10	12	2.54×10	5.92×10^{-1}	795
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	12	1.37×10^2	8.61×10^{-1}	436
						10	12	1.58×10^2	8.97×10^{-1}	724
					1/100	0	—	—	—	
						5	12	1.24×10^2	8.42×10^{-1}	508
						10	12	1.43×10^2	8.77×10^{-1}	796

表-1.20 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m) 0	(hr) 16	(l/min) 1.39×10	(cm/sec) 4.46×10^{-1}	151
$k_h 10^{-1}$ $k_v 10^{-2}$	60/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	16	1.29×10	4.13×10^{-1}	223
				10^{-1}	1/100	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	—	—	—	
					1/10	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	14	2.27×10	6.17×10^{-1}	152
				10^{-1}	1/100	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	14	1.74×10	4.82×10^{-1}	224
					1/10	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	—	—	—	
				10^{-1}	1/100	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	—	—	—	

表 - 1.21 浸 透 流 解 析 結 果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	60/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	144	1.58×10	3.80×10^{-2}	147
						5	144	1.98×10	4.09×10^{-2}	437
						10	144	2.17×10	4.13×10^{-2}	725
					1/100	0	144	9.55	1.58×10^{-2}	219
						5	144	1.18×10	1.83×10^{-2}	509
						10	144	1.29×10	1.87×10^{-2}	797
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	48	5.37×10	1.68×10^{-1}	438
						10	48	8.02×10	1.74×10^{-1}	726
					1/100	0	—	—	—	
						5	48	4.12×10	1.08×10^{-1}	510
						10	48	7.19×10	1.29×10^{-1}	798
			0.15	10^{-2}	1/10	0	96	1.60×10	4.70×10^{-2}	148
						5	144	2.04×10	5.12×10^{-2}	439
						10	144	2.36×10	5.34×10^{-2}	727
					1/100	0	144	1.17×10	1.67×10^{-2}	220
						5	144	1.24×10	2.01×10^{-2}	511
						10	144	1.39×10	2.13×10^{-2}	799
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	48	5.54×10	1.75×10^{-1}	440
						10	48	8.28×10	1.82×10^{-1}	728
					1/100	0	—	—	—	
						5	48	4.65×10	1.14×10^{-1}	512
						10	48	7.81×10	1.37×10^{-1}	800

表-1.22 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	60/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	240	7.56	2.45×10^{-2}	153
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	192	3.60	1.35×10^{-2}	225
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	240	1.01×10	3.17×10^{-2}	154
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	144	7.24	1.43×10^{-2}	226
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.23 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	60/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	1.080	2.37	2.91×10^{-3}	149
						5	1.080	3.46	7.04×10^{-3}	441
						10	1.080	5.72	9.01×10^{-3}	729
					1/100	0	1.440	2.02	2.06×10^{-3}	221
						5	1.440	3.14	6.47×10^{-3}	513
						10	1.440	5.29	8.41×10^{-2}	801
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	960	4.86	5.47×10^{-1}	442
						10	960	6.21	5.89×10^{-1}	730
					1/100	0	—	—	—	
						5	1,200	4.64	3.21×10^{-1}	514
						10	1,200	6.01	3.33×10^{-1}	802
			0.15	10^{-2}	1/10	0	960	3.55	4.01×10^{-3}	150
						5	1.080	4.12	7.44×10^{-3}	443
						10	1.080	6.37	1.02×10^{-2}	731
					1/100	0	1,200	3.19	3.29×10^{-3}	222
						5	1,440	3.98	6.81×10^{-3}	515
						10	1,440	6.04	9.77×10^{-3}	803
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	960	5.04	5.49×10^{-1}	444
						10	960	6.59	5.99×10^{-1}	732
					1/100	0	—	—	—	
						5	1,200	4.81	3.34×10^{-1}	516
						10	1,200	6.23	3.49×10^{-1}	804

表-1.24 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	60/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	2,400	9.38×10^{-1}	2.04×10^{-3}	155
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	1,920	8.77×10^{-1}	1.97×10^{-3}	227
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	2,160	1.13	3.28×10^{-3}	156
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	1,440	1.01	2.77×10^{-3}	228
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.25 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 大 流速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	36	2.31×10	6.24×10^{-1}	157
						5	36	2.64×10	6.37×10^{-1}	445
						10	36	2.82×10	6.99×10^{-1}	733
					1/100	0	36	2.15×10	5.91×10^{-1}	229
						5	36	2.48×10	6.16×10^{-1}	517
						10	36	2.67×10	6.58×10^{-1}	805
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	30	1.33×10	8.56×10^{-1}	446
						10	30	1.56×10	8.92×10^{-1}	734
					1/100	0	—	—	—	
						5	36	1.29×10	8.34×10^{-1}	518
						10	36	1.51×10	8.71×10^{-1}	806
			0.15	10^{-2}	1/10	0	30	3.57×10	7.03×10^{-1}	158
						5	36	3.88×10	7.12×10^{-1}	447
						10	36	3.94×10	7.19×10^{-1}	735
					1/100	0	30	2.91×10	6.41×10^{-1}	230
						5	36	3.03×10	6.52×10^{-1}	519
						10	36	3.19×10	6.63×10^{-1}	807
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	30	1.58×10^2	8.77×10^{-1}	448
						10	30	1.65×10^2	9.03×10^{-1}	736
					1/100	0	—	—	—	
						5	36	1.52×10	8.51×10^{-1}	520
						10	36	1.57×10	8.88×10^{-1}	808

表-1.26 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	42	2.04×10	5.93×10^{-1}	163
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	42	1.96×10	5.51×10^{-1}	235
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	36	3.09×10	6.10×10^{-1}	164
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	30	2.87×10	5.93×10^{-1}	236
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.27 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 大 流速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	60/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	480	5.87	1.87×10^{-2}	159
						5	480	6.11	2.71×10^{-2}	449
						10	480	7.49	3.84×10^{-2}	737
					1/100	0	360	2.28	1.21×10^{-2}	231
						5	360	3.94	2.24×10^{-2}	521
						10	360	5.51	3.34×10^{-2}	809
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	4.64×10	2.31×10^{-1}	450
						10	96	4.93×10	2.93×10^{-1}	738
					1/100	0	—	—	—	
						5	120	3.79×10	2.02×10^{-1}	522
						10	120	3.85×10	2.75×10^{-1}	810
			0.15	10^{-2}	1/10	0	480	6.99	2.31×10^{-2}	160
						5	480	7.37	2.86×10^{-2}	451
						10	480	8.14	3.98×10^{-2}	739
					1/100	0	360	5.94	2.04×10^{-2}	232
						5	360	6.12	2.52×10^{-2}	523
						10	360	7.63	3.61×10^{-2}	811
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	4.72×10	2.47×10^{-1}	452
						10	96	4.97×10	3.02×10^{-1}	740
					1/100	0	—	—	—	
						5	120	3.84×10	2.19×10^{-1}	524
						10	120	3.91×10	2.83×10^{-1}	812

表-1.28 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	60/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	480	3.17	1.42×10^{-2}	165
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	480	2.02	1.16×10^{-2}	237
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	480	5.41	2.07×10^{-2}	166
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	360	4.29	1.49×10^{-2}	238
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.29 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	60/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	3.360	2.61	3.02×10^{-3}	161
						5	3.360	3.79	7.61×10^{-3}	453
						10	3.360	5.93	9.54×10^{-3}	741
					1/100	0	3.840	2.32	2.24×10^{-3}	233
						5	3.840	3.58	7.03×10^{-3}	525
						10	3.840	5.87	8.99×10^{-3}	813
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	3.360	4.94	5.58×10^{-1}	454
						10	3.360	6.65	6.07×10^{-1}	742
					1/100	0	—	—	—	
						5	3.840	4.58	3.11×10^{-1}	526
						10	3.840	6.32	3.45×10^{-1}	814
			0.15	10^{-2}	1/10	0	2,400	3.74	4.19×10^{-3}	162
						5	2,400	4.71	7.81×10^{-3}	455
						10	2,400	6.59	1.18×10^{-3}	743
					1/100	0	3,360	3.33	3.42×10^{-3}	234
						5	3,360	4.49	7.46×10^{-3}	527
						10	3,360	6.07	9.86×10^{-3}	815
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	2,400	5.87	5.96×10^{-1}	456
						10	2,400	7.23	6.28×10^{-1}	744
					1/100	0	—	—	—	
						5	3,360	5.47	3.82×10^{-1}	528
						10	3,360	6.46	3.97×10^{-1}	816

表-1.30 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	60/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	3,360	9.71×10^{-1}	2.22×10^{-3}	167
						5				
						10				
					1/100	0	4,320	9.02×10^{-1}	2.01×10^{-3}	239
						5				
						10				
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5				
						10				
					1/100	0	—	—	—	
						5				
						10				
			0.15	10^{-2}	1/10	0	2,400	1.52	3.55×10^{-3}	168
						5				
						10				
					1/100	0	3,840	1.23	2.87×10^{-3}	240
						5				
						10				
				10^{-1}	1/10	0				
						5				
						10				
					1/100	0				
						5				
						10				

表-1.31 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	60	3.18×10	7.31×10^{-1}	169
						5	60	3.45×10	7.48×10^{-1}	457
						10	60	3.64×10	8.02×10^{-1}	745
					1/100	0	36	2.98×10	6.99×10^{-1}	241
						5	60	3.28×10	7.15×10^{-1}	529
						10	60	3.46×10	7.77×10^{-1}	817
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	60	1.51×10^2	9.36×10^{-1}	458
						10	60	1.74×10^2	9.72×10^{-1}	746
					1/100	0	—	—	—	
						5	72	1.46×10^2	9.12×10^{-1}	530
						10	72	1.68×10^2	9.51×10^{-1}	818
			0.15	10^{-2}	1/10	0	48	4.37×10	8.09×10^{-1}	170
						5	60	4.56×10	8.23×10^{-1}	459
						10	60	4.73×10	8.28×10^{-1}	747
					1/100	0	36	4.18×10	7.32×10^{-1}	242
						5	48	4.26×10	7.51×10^{-1}	531
						10	60	4.51×10	7.69×10^{-1}	819
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	48	1.73×10^2	9.58×10^{-1}	460
						10	60	1.84×10^2	9.81×10^{-1}	748
					1/100	0	—	—	—	
						5	60	1.66×10^2	9.36×10^{-1}	532
						10	60	1.72×10^2	9.57×10^{-1}	820

表 - 1.32 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	60	3.02×10	7.04×10^{-1}	175
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	36	2.65×10	6.67×10^{-1}	247
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	60	4.16×10	7.74×10^{-1}	176
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	36	4.01×10	7.01×10^{-1}	248
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.33 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	60/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	720	9.12×10^{-1}	1.76×10^{-2}	171
						5	840	9.54×10^{-1}	1.89×10^{-2}	461
						10	840	9.93×10^{-1}	2.17×10^{-2}	749
					1/100	0	720	8.19×10^{-1}	1.54×10^{-2}	243
						5	960	8.41×10^{-1}	1.67×10^{-2}	533
						10	960	8.57×10^{-1}	1.98×10^{-2}	821
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	360	1.17	2.02×10^{-2}	462
						10	360	1.31	2.29×10^{-2}	250
					1/100	0	—	—	—	
						5	360	9.61×10^{-1}	1.72×10^{-2}	534
						10	360	9.79×10^{-1}	1.88×10^{-2}	822
			0.15	10^{-2}	1/10	0	720	9.82×10^{-1}	2.17×10^{-2}	172
						5	840	1.19	2.32×10^{-2}	463
						10	840	1.34	2.61×10^{-2}	751
					1/100	0	720	8.91×10^{-1}	1.57×10^{-2}	244
						5	960	9.08×10^{-1}	1.98×10^{-2}	535
						10	960	9.27×10^{-1}	2.21×10^{-2}	823
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	360	1.24	2.44×10^{-2}	464
						10	360	1.39	2.69×10^{-2}	752
					1/100	0	—	—	—	
						5	360	1.07	2.01×10^{-2}	536
						10	360	1.14	2.26×10^{-2}	824

表 - 1.34 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	60/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	720	8.86×10^{-1}	1.53×10^{-2}	177
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	840	7.92×10^{-1}	1.32×10^{-2}	249
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	720	9.17×10^{-1}	2.02×10^{-2}	178
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	720	8.24×10^{-1}	1.37×10^{-2}	250
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.35 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	60/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	5,280	1.98	3.52×10^{-3}	173
						5	5,280	3.07	7.63×10^{-3}	465
						10	5,280	5.21	9.81×10^{-3}	753
					1/100	0	6,720	1.76	2.28×10^{-3}	245
						5	6,720	2.89	6.34×10^{-3}	537
						10	6,720	5.05	8.62×10^{-3}	825
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	5,280	5.73	2.29×10^{-1}	466
						10	5,280	1.07×10	2.46×10^{-1}	754
					1/100	0	—	—	—	
						5	6,720	4.57	1.77×10^{-1}	538
						10	6,720	7.92	2.09×10^{-1}	826
			0.15	10^{-2}	1/10	0	4,320	3.25	4.27×10^{-3}	174
						5	4,320	4.53	8.49×10^{-3}	467
						10	4,320	6.59	1.05×10^{-2}	755
					1/100	0	5,760	3.11	3.10×10^{-3}	246
						5	5,760	4.38	7.11×10^{-3}	539
						10	5,760	6.37	9.37×10^{-3}	827
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	4,320	6.82	2.44×10^{-1}	468
						10	4,320	1.21×10	2.60×10^{-1}	756
					1/100	0	—	—	—	
						5	5,760	5.49	1.89×10^{-1}	540
						10	5,760	8.85	2.21×10^{-1}	828

表-1.36 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_s 10^{-3}$ $k_v 10^{-5}$	60/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	6,240	1.02	2.08×10^{-3}	179
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	8,160	9.86×10^{-1}	1.45×10^{-3}	251
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	4,800	1.47	1.92×10^{-3}	80
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	7,200	1.30	1.43×10^{-3}	252
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.37 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	20/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	2	1.27×10	2.59×10^{-1}	37
						5	2	1.58×10	3.27×10^{-1}	325
						10	2	1.73×10	3.58×10^{-1}	613
					1/100	0	12	1.01×10	2.46×10^{-1}	109
						5	12	1.24×10	3.01×10^{-1}	397
						10	12	1.52×10	3.31×10^{-1}	685
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	2	1.71×10	4.29×10^{-1}	326
						10	2	1.91×10	4.67×10^{-1}	614
					1/100	0	—	—	—	
						5	12	1.53×10	3.98×10^{-1}	398
						10	12	1.81×10	4.16×10^{-1}	686
			0.15	10^{-2}	1/10	0	2	2.03×10	5.77×10^{-1}	38
						5	4	2.41×10	6.41×10^{-1}	327
						10	4	2.67×10	6.82×10^{-1}	615
					1/100	0	10	1.90×10	5.99×10^{-1}	110
						5	12	2.11×10	6.63×10^{-1}	399
						10	12	2.43×10	7.13×10^{-1}	687
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	2	2.56×10	7.00×10^{-1}	328
						10	4	2.93×10	7.43×10^{-1}	616
					1/100	0	—	—	—	
						5	12	2.24×10	7.49×10^{-1}	400
						10	12	2.69×10	7.68×10^{-1}	688

表 - 1.38 浸 透 流 解 析 結 果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-1}$ $k_v 10^{-2}$	20/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	2	1.01×10	2.05×10^{-1}	43
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	12	9.73	1.97×10^{-1}	115
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	2	1.87×10	4.16×10^{-1}	44
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	12	1.54×10	4.29×10^{-1}	116
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.39 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	20/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	288	2.04×10^{-1}	1.01×10^{-2}	39
						5	384	3.65×10^{-1}	1.53×10^{-2}	329
						10	384	5.47×10^{-1}	2.37×10^{-2}	617
					1/100	0	120	4.79×10^{-1}	1.11×10^{-2}	111
						5	120	5.81×10^{-1}	2.51×10^{-2}	401
						10	120	7.03×10^{-1}	2.85×10^{-2}	689
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	48	3.37×10	1.44×10^{-1}	330
						10	48	7.62×10	2.45×10^{-1}	618
					1/100	0	—	—	—	
						5	54	2.41×10	1.07×10^{-1}	402
						10	54	5.77×10	1.36×10^{-1}	690
			0.15	10^{-2}	1/10	0	288	3.29×10^{-1}	1.05×10^{-2}	40
						5	288	4.14×10^{-1}	1.74×10^{-2}	331
						10	288	6.10×10^{-1}	2.61×10^{-2}	619
					1/100	0	120	8.53×10^{-1}	1.13×10^{-2}	112
						5	120	9.89×10^{-1}	2.79×10^{-2}	403
						10	120	1.27	3.01×10^{-2}	691
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	48	4.99×10	1.58×10^{-1}	332
						10	48	8.31×10	2.66×10^{-1}	620
					1/100	0	—	—	—	
						5	54	3.78×10	1.12×10^{-1}	404
						10	54	6.74×10	1.42×10^{-1}	692

表 - 1.40 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	20/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	384	1.86×10^{-1}	1.01×10^{-2}	45
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	120	2.74×10^{-1}	1.07×10^{-2}	117
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	288	2.87×10^{-1}	1.02×10^{-2}	46
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	120	7.49×10^{-1}	1.09×10^{-2}	118
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.41 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	20/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	2,880	1.55×10^{-1}	2.04×10^{-3}	41
						5	480	2.98×10^{-1}	5.66×10^{-3}	333
						10	480	4.76×10^{-1}	7.21×10^{-3}	621
					1/100	0	1,440	2.24×10^{-1}	2.17×10^{-3}	113
						5	480	3.12×10^{-1}	6.41×10^{-3}	405
						10	480	5.04×10^{-1}	8.91×10^{-3}	693
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	1.29	2.45×10^{-1}	334
						10	96	5.74	2.66×10^{-1}	622
					1/100	0	—	—	—	
						5	288	1.03	2.17×10^{-1}	406
						10	288	3.51	2.47×10^{-1}	694
			0.15	10^{-2}	1/10	0	2,400	1.89×10^{-1}	2.98×10^{-3}	42
						5	360	3.27×10^{-1}	5.88×10^{-3}	335
						10	360	4.94×10^{-1}	7.43×10^{-3}	623
					1/100	0	1,440	2.56×10^{-1}	3.03×10^{-3}	114
						5	360	3.63×10^{-1}	6.12×10^{-3}	407
						10	360	5.54×10^{-1}	7.69×10^{-3}	695
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	1.35	2.12×10^{-1}	336
						10	96	5.81	2.73×10^{-1}	624
					1/100	0	—	—	—	
						5	240	9.87×10^{-1}	1.96×10^{-1}	408
						10	240	2.59	2.23×10^{-1}	696

表-1.42 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-3}$ $k_v 10^{-5}$	20/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	3,840	1.34×10^{-1}	1.86×10^{-3}	47
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	2,400	1.96×10^{-1}	1.93×10^{-3}	119
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	2,880	1.62×10^{-1}	2.09×10^{-3}	48
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	1,920	2.07×10^{-1}	2.18×10^{-3}	120
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.43 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 流速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	20/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	42	1.92×10	3.24×10^{-1}	49
						5	42	2.27×10	3.87×10^{-1}	337
						10	42	2.46×10	3.98×10^{-1}	625
					1/100	0	48	1.53×10	3.11×10^{-1}	121
						5	48	1.78×10	3.65×10^{-1}	409
						10	48	1.94×10	3.76×10^{-1}	697
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	42	6.25×10	4.91×10^{-1}	338
						10	42	6.48×10	5.02×10^{-1}	626
					1/100	0	—	—	—	
						5	48	4.61×10	4.57×10^{-1}	410
						10	48	4.80×10	4.64×10^{-1}	698
			0.15	10^{-2}	1/10	0	36	2.61×10	6.21×10^{-1}	50
						5	42	2.92×10	7.03×10^{-1}	339
						10	42	3.17×10	7.47×10^{-1}	627
					1/100	0	42	2.47×10	6.43×10^{-1}	122
						5	48	2.66×10	7.21×10^{-1}	411
						10	48	2.84×10	7.74×10^{-1}	699
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	42	7.12×10^2	7.57×10^{-1}	340
						10	42	7.36×10^2	8.03×10^{-1}	628
					1/100	0	—	—	—	
						5	48	5.72×10	8.06×10^{-1}	412
						10	48	5.95×10	8.29×10^{-1}	700

表 - 1.44 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-1}$ $k_v 10^{-2}$	20/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	42	1.68×10	2.76×10^{-1}	55
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	48	1.31×10	2.63×10^{-1}	127
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	42	2.39×10	4.63×10^{-1}	56
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	48	2.07×10	4.41×10^{-1}	128
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.45 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	20/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	720	3.03	1.57×10^{-2}	51
						5	720	3.39	2.49×10^{-2}	341
						10	720	6.81	3.61×10^{-2}	629
					1/100	0	480	1.07	1.01×10^{-2}	123
						5	480	2.94	1.81×10^{-2}	413
						10	480	3.27	2.94×10^{-2}	701
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	1.98×10	1.28×10^{-1}	342
						10	96	2.41×10	2.27×10^{-1}	630
					1/100	0	—	—	—	
						5	120	1.59×10	1.09×10^{-1}	414
						10	120	2.17×10	2.07×10^{-1}	702
			0.15	10^{-2}	1/10	0	600	3.15	2.18×10^{-2}	52
						5	720	3.81	2.91×10^{-2}	343
						10	720	7.09	3.74×10^{-2}	631
					1/100	0	384	1.86	1.67×10^{-2}	124
						5	480	3.57	2.78×10^{-2}	415
						10	480	3.62	3.42×10^{-2}	703
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	2.04×10	1.34×10^{-1}	344
						10	96	2.52×10	2.32×10^{-1}	632
					1/100	0	—	—	—	
						5	120	1.68×10	1.17×10^{-1}	416
						10	120	2.35×10	2.08×10^{-1}	704

表 - 1.46 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	20/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	720	1.81	1.32×10^{-2}	57
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	480	9.82×10^{-1}	1.00×10^{-2}	129
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	600	1.94	1.83×10^{-2}	58
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	384	8.31×10^{-1}	1.41×10^{-2}	130
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.47 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-3}$	20/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	6,720	1.54	2.87×10^{-3}	53
						5	6,720	2.67	6.94×10^{-3}	345
						10	6,720	4.78	8.91×10^{-3}	633
					1/100	0	4,800	2.24	1.58×10^{-3}	125
						5	4,800	3.32	1.66×10^{-3}	417
						10	4,800	4.92	1.74×10^{-3}	705
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	6,720	5.38	1.72×10^{-1}	346
						10	6,720	9.74	1.91×10^{-1}	634
					1/100	0	—	—	—	
						5	4,800	3.96	1.32×10^{-1}	418
						10	4,800	6.81	1.56×10^{-1}	706
			0.15	10^{-2}	1/10	0	5,280	2.82	3.68×10^{-1}	54
						5	5,280	3.63	6.84×10^{-3}	347
						10	5,280	4.38	9.04×10^{-3}	635
					1/100	0	4,320	2.67	1.92×10^{-3}	126
						5	4,320	3.19	2.18×10^{-3}	419
						10	4,320	4.18	2.34×10^{-3}	707
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	5,280	5.38	1.63×10^{-1}	348
						10	5,280	7.54	1.88×10^{-1}	636
					1/100	0	—	—	—	
						5	4,320	3.67	1.38×10^{-1}	420
						10	4,320	6.69	1.51×10^{-1}	708

表-1.48 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	20/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	7,200	8.37×10^{-1}	2.10×10^{-3}	59
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	4,800	2.03×10^{-1}	1.52×10^{-3}	131
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	5,760	1.94×10^{-1}	2.74×10^{-3}	60
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	3,360	1.57×10^{-1}	1.92×10^{-3}	132
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.49 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m) 0	(hr) 72	(l/min) 1.88×10	(cm/sec) 3.47×10^{-1}	61
$k_a, 10^{-1}$ $k_v, 10^{-2}$	20/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	5	72	2.73×10	4.23×10^{-1}	349
						10	72	2.94×10	4.94×10^{-1}	637
						0	72	1.23×10	2.63×10^{-1}	133
					1/100	5	72	2.49×10	3.02×10^{-1}	421
						10	72	2.62×10	3.21×10^{-1}	709
						0	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	5	72	6.38×10	4.37×10^{-1}	350
						10	72	6.77×10	4.81×10^{-1}	638
						0	—	—	—	
					1/100	5	72	5.09×10	3.97×10^{-1}	422
						10	72	5.47×10	4.12×10^{-1}	710
						0	60	2.05×10	6.13×10^{-1}	62
			0.15	10^{-2}	1/10	5	72	2.82×10	4.81×10^{-1}	351
						10	72	3.14×10	4.93×10^{-1}	639
						0	72	1.41×10	3.74×10^{-1}	134
					1/100	5	72	2.56×10	5.51×10^{-1}	423
						10	72	2.95×10	5.87×10^{-1}	711
						0	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	5	60	1.21×10^2	4.83×10^{-1}	352
						10	72	1.41×10^2	5.01×10^{-1}	640
						0	—	—	—	
					1/100	5	72	8.03×10	4.91×10^{-1}	424
						10	72	1.01×10^2	6.61×10^{-1}	712
						0	—	—	—	

表-1.50 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	20/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	72	1.73×10	3.21×10^{-1}	67
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	72	1.11×10	2.47×10^{-1}	139
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	60	1.93×10	5.89×10^{-1}	68
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	72	1.21×10	3.44×10^{-1}	140
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.51 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	20/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	1,080	7.38×10^{-1}	1.47×10^{-2}	63
						5	1,080	7.79×10^{-1}	1.56×10^{-2}	353
						10	1,080	8.12×10^{-1}	1.68×10^{-2}	641
					1/100	0	960	6.47×10^{-1}	1.32×10^{-2}	135
						5	960	6.59×10^{-1}	1.41×10^{-2}	425
						10	960	6.73×10^{-1}	1.58×10^{-2}	713
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	1,080	8.57×10^{-1}	1.69×10^{-2}	354
						10	1,080	8.77×10^{-1}	1.71×10^{-2}	642
					1/100	0	—	—	—	
						5	960	7.69×10^{-1}	1.45×10^{-2}	426
						10	960	7.81×10^{-1}	1.54×10^{-2}	714
			0.15	10^{-2}	1/10	0	840	8.96×10^{-1}	1.91×10^{-2}	64
						5	960	9.18×10^{-1}	1.99×10^{-2}	355
						10	960	9.57×10^{-1}	2.11×10^{-2}	643
					1/100	0	840	7.94×10^{-1}	1.73×10^{-2}	136
						5	960	8.06×10^{-1}	1.82×10^{-2}	427
						10	960	8.24×10^{-1}	1.94×10^{-2}	715
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	960	1.01	2.21×10^{-2}	356
						10	960	1.18	2.32×10^{-2}	644
					1/100	0	—	—	—	
						5	960	9.21×10^{-1}	1.82×10^{-2}	428
						10	960	9.31×10^{-1}	2.03×10^{-2}	716

表 - 1.52 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	20/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	1,200	6.94×10^{-1}	1.21×10^{-2}	69
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	960	6.26×10^{-1}	1.13×10^{-2}	141
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	960	8.75×10^{-1}	1.86×10^{-2}	70
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	960	7.68×10^{-1}	1.61×10^{-2}	142
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.53 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	20/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	10.560	1.83	2.93×10^{-3}	65
						5	10.560	3.01	7.02×10^{-3}	357
						10	10.560	5.24	9.03×10^{-3}	645
					1/100	0	10.560	1.74	1.64×10^{-3}	137
						5	10.560	2.92	1.73×10^{-3}	429
						10	10.560	5.01	1.83×10^{-3}	717
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	10.560	5.73	1.85×10^{-1}	358
						10	10.560	9.98	2.03×10^{-1}	646
					1/100	0	—	—	—	
						5	10.560	4.58	1.44×10^{-1}	430
						10	10.560	6.91	1.66×10^{-1}	718
			0.15	10^{-2}	1/10	0	8.160	3.12	3.77×10^{-3}	66
						5	8.640	4.34	6.92×10^{-3}	359
						10	8.640	6.51	9.16×10^{-3}	647
					1/100	0	8.640	2.97	2.01×10^{-3}	138
						5	8.640	4.15	2.30×10^{-3}	431
						10	8.640	6.21	2.46×10^{-3}	719
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	8.160	6.83	1.71×10^{-1}	360
						10	8.640	1.21×10	1.97×10^{-1}	648
					1/100	0	—	—	—	
						5	8.640	5.47	1.47×10^{-1}	432
						10	8.640	7.62	1.58×10^{-1}	720

表-1.54 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	20/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	12.000	1.07	2.24×10^{-3}	71
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	11.520	4.51×10^{-1}	1.71×10^{-3}	143
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	9.120	4.12×10^{-1}	2.97×10^{-3}	72
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	8.640	3.88×10^{-1}	2.18×10^{-3}	144
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.55 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	24	9.43	5.55×10^{-1}	181
						5	24	1.81×10	5.74×10^{-1}	469
						10	24	2.04×10	6.63×10^{-1}	757
					1/100	0	24	8.21	5.21×10^{-1}	253
						5	24	1.24×10	5.53×10^{-1}	541
						10	24	1.93×10	6.46×10^{-1}	829
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	22	1.02×10^2	8.19×10^{-1}	470
						10	22	1.11×10^2	8.57×10^{-1}	758
					1/100	0	—	—	—	
						5	24	9.87×10	8.03×10^{-1}	542
						10	24	1.04×10^2	8.41×10^{-1}	830
			0.15	10^{-2}	1/10	0	22	1.03×10	6.74×10^{-1}	182
						5	24	2.17×10	6.83×10^{-1}	471
						10	24	2.24×10	6.98×10^{-1}	759
					1/100	0	22	9.86	5.23×10^{-1}	254
						5	24	2.04×10	5.57×10^{-1}	543
						10	24	2.18×10	5.81×10^{-1}	831
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	22	1.13×10^2	8.27×10^{-1}	472
						10	22	1.24×10^2	8.65×10^{-1}	760
					1/100	0	—	—	—	
						5	24	1.04×10^2	8.11×10^{-1}	544
						10	24	1.12×10^2	8.47×10^{-1}	832

表 - 1.56 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	24	8.67	4.23×10^{-1}	187
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	24	7.42	3.98×10^{-1}	259
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	24	9.23	5.81×10^{-1}	188
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	24	8.840	4.29×10^{-1}	260
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.57 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 大 流速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	60/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	480	1.37×10	2.54×10^{-2}	183
						5	480	1.58×10	3.17×10^{-2}	473
						10	480	1.88×10	3.34×10^{-2}	761
					1/100	0	240	2.99	1.17×10^{-2}	255
						5	480	1.02×10	1.62×10^{-2}	545
						10	480	1.15×10	1.67×10^{-2}	833
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	240	4.79×10	1.48×10^{-1}	474
						10	240	7.68×10	1.56×10^{-1}	762
					1/100	0	—	—	—	
						5	240	3.97×10	1.01×10^{-1}	546
						10	240	6.33×10	1.21×10^{-1}	834
			0.15	10^{-2}	1/10	0	360	1.43×10	4.52×10^{-2}	184
						5	480	1.62×10	4.99×10^{-2}	475
						10	480	1.91×10	5.14×10^{-2}	763
					1/100	0	192	1.01×10	1.53×10^{-2}	256
						5	480	1.19×10	1.95×10^{-2}	547
						10	480	1.28×10	2.01×10^{-2}	835
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	240	4.93×10	1.43×10^{-1}	476
						10	240	7.88×10	1.57×10^{-1}	764
					1/100	0	—	—	—	
						5	240	4.02×10	1.06×10^{-1}	548
						10	240	6.54×10	1.21×10^{-1}	836

表-1.58 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	60/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	480	6.41	1.98×10^{-2}	189
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	240	2.37	1.01×10^{-2}	261
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	360	9.27	2.98×10^{-2}	190
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	240	6.31	1.21×10^{-2}	262
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.59 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_b \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	60/100	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	3,360	1.45	2.10×10^{-3}	185
						5	3,360	3.01	6.74×10^{-3}	477
						10	3,360	5.17	8.65×10^{-3}	765
					1/100	0	3,360	1.20	1.94×10^{-3}	257
						5	3,360	2.81	6.03×10^{-3}	549
						10	3,360	4.90	7.98×10^{-3}	837
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	1,920	4.32	5.21×10^{-1}	478
						10	1,920	5.67	5.77×10^{-1}	766
					1/100	0	—	—	—	
						5	2,400	4.14	3.04×10^{-1}	550
						10	2,400	5.43	3.17×10^{-1}	838
			0.15	10^{-2}	1/10	0	2,400	2.63	3.82×10^{-3}	186
						5	3,360	3.84	7.13×10^{-3}	479
						10	3,360	5.57	9.46×10^{-2}	767
					1/100	0	3,360	2.21	2.26×10^{-3}	258
						5	3,360	3.51	6.27×10^{-3}	551
						10	3,360	5.13	8.75×10^{-3}	839
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	1,920	4.55	5.32×10^{-1}	480
						10	1,920	5.89	5.81×10^{-1}	768
					1/100	0	—	—	—	
						5	2,400	4.22	3.27×10^{-1}	552
						10	2,400	5.60	3.41×10^{-1}	840

表 - 1.60 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	60/100	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	3,360	7.41×10^{-1}	1.97×10^{-3}	191
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	3,360	7.23×10^{-1}	1.89×10^{-3}	263
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	2,400	8.76×10^{-1}	2.80×10^{-3}	192
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	2,880	8.54×10^{-1}	2.54×10^{-3}	274
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.61 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	48	2.47×10	6.39×10^{-1}	193
						5	48	2.78×10	6.45×10^{-1}	481
						10	48	2.91×10	7.04×10^{-1}	769
					1/100	0	48	2.26×10	6.07×10^{-1}	265
						5	48	2.61×10	6.23×10^{-1}	553
						10	48	2.78×10	6.69×10^{-1}	841
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	42	1.42×10^2	8.64×10^{-1}	482
						10	42	1.66×10^2	8.99×10^{-1}	770
					1/100	0	—	—	—	
						5	48	1.37×10^2	8.41×10^{-1}	554
						10	48	1.62×10^2	8.76×10^{-1}	842
			0.15	10^{-2}	1/10	0	42	3.66×10	7.15×10^{-1}	194
						5	48	3.95×10	7.21×10^{-1}	483
						10	48	4.03×10	7.29×10^{-1}	771
					1/100	0	48	3.02×10	6.49×10^{-1}	266
						5	48	3.11×10	6.56×10^{-1}	555
						10	48	3.27×10	6.69×10^{-1}	843
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	42	1.66×10^2	8.85×10^{-1}	484
						10	42	1.74×10^2	9.12×10^{-1}	772
					1/100	0	—	—	—	
						5	48	1.59×10^2	8.62×10^{-1}	556
						10	48	1.67×10^2	8.94×10^{-1}	344

表-1.62 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	48	2.13×10	6.11×10^{-1}	199
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	48	2.04×10	5.87×10^{-1}	271
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	48	3.15×10	6.74×10^{-1}	200
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	48	2.96×10	6.23×10^{-1}	272
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.63 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	60/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	480	5.94	1.93×10^{-2}	195
						5	480	6.20	2.79×10^{-2}	485
						10	480	7.57	3.91×10^{-2}	773
					1/100	0	480	2.36	1.28×10^{-2}	267
						5	480	4.02	2.33×10^{-2}	557
						10	480	5.59	3.42×10^{-2}	845
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	4.73×10	2.36×10^{-1}	486
						10	96	4.99×10	2.98×10^{-1}	774
					1/100	0	—	—	—	
						5	120	3.83×10	2.11×10^{-2}	558
						10	120	3.91×10	2.81×10^{-2}	846
			0.15	10^{-2}	1/10	0	360	7.05	2.38×10^{-2}	196
						5	480	7.46	2.94×10^{-2}	487
						10	480	8.22	4.05×10^{-2}	775
					1/100	0	480	6.03	2.12×10^{-2}	268
						5	480	6.18	2.59×10^{-2}	559
						10	480	7.75	3.69×10^{-2}	847
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	96	4.84×10	2.54×10^{-1}	488
						10	96	5.08×10	3.11×10^{-1}	776
					1/100	0	—	—	—	
						5	120	3.91×10	2.27×10^{-1}	560
						10	120	3.99×10	2.92×10^{-1}	848

表 - 1.64 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-2}$ $k_v \cdot 10^{-4}$	60/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	480	3.27	1.54×10^{-2}	201
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	480	2.13	1.19×10^{-2}	273
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	360	5.87	2.15×10^{-2}	202
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	480	4.96	1.74×10^{-2}	274
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.65 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 流 面 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m) 0	(hr) 3,360	(l/min) 2.74	(cm/sec) 3.14×10^{-3}	
$k_h 10^{-3}$ $k_v 10^{-3}$	60/300	H	0.20	10^{-2}	1/10	5	3,360	3.91	7.72×10^{-3}	489
						10	3,360	6.07	9.61×10^{-3}	777
						0	2,880	2.41	2.31×10^{-3}	269
					1/100	5	3,360	3.71	7.15×10^{-3}	561
						10	3,360	5.93	9.17×10^{-3}	849
						0	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	5	3,360	5.01	5.69×10^{-1}	490
						10	3,360	6.72	6.21×10^{-1}	778
						0	—	—	—	
					1/100	5	3,360	4.69	3.24×10^{-1}	562
						10	3,360	6.41	3.58×10^{-1}	850
						0	2,400	3.81	4.24×10^{-3}	198
			0.15	10^{-2}	1/10	5	2,400	4.79	7.93×10^{-3}	491
						10	2,400	6.67	1.24×10^{-2}	779
						0	2,880	3.41	3.53×10^{-3}	270
					1/100	5	3,360	4.55	7.58×10^{-3}	563
						10	3,360	6.97	9.98×10^{-3}	851
						0	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	5	2,400	5.99	6.01×10^{-1}	492
						10	2,400	7.34	6.39×10^{-1}	780
						0	—	—	—	
					1/100	5	3,360	5.61	3.93×10^{-1}	564
						10	3,360	6.58	4.05×10^{-1}	852
						0	—	—	—	

表 - 1.66 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	60/300	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	4.320	1.14	2.56×10^{-3}	203
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	3.840	1.03	2.02×10^{-3}	275
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	4.320	2.11	3.67×10^{-3}	204
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	2.880	2.02	2.94×10^{-3}	276
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.67 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	72	3.31×10	7.39×10^{-1}	205
						5	72	3.57×10	7.56×10^{-1}	493
						10	72	3.80×10	8.21×10^{-1}	781
					1/100	0	72	3.05×10	7.21×10^{-1}	277
						5	72	3.41×10	7.28×10^{-1}	565
						10	72	3.57×10	7.86×10^{-1}	853
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	72	1.62×10^2	9.45×10^{-1}	494
						10	72	1.83×10^2	9.81×10^{-1}	782
					1/100	0	—	—	—	
						5	72	1.58×10^2	9.25×10^{-1}	566
						10	72	1.79×10^2	9.64×10^{-1}	854
			0.15	10^{-2}	1/10	0	60	4.49×10	8.17×10^{-1}	206
						5	72	4.67×10	8.36×10^{-1}	495
						10	72	4.84×10	8.41×10^{-1}	783
					1/100	0	72	4.29×10	7.43×10^{-1}	278
						5	72	4.38×10	7.62×10^{-1}	567
						10	72	4.62×10	7.81×10^{-1}	855
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	72	1.81×10^2	9.69×10^{-1}	496
						10	72	1.92×10^2	9.92×10^{-1}	784
					1/100	0	—	—	—	
						5	72	1.74×10^2	9.48×10^{-1}	568
						10	72	1.79×10^2	9.67×10^{-1}	856

表-1.68 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 流 大 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m) 0	(hr) 72	(l/min) 3.14×10	(cm/sec) 7.11×10^{-1}	211
$k_h \cdot 10^{-1}$ $k_v \cdot 10^{-2}$	60/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	72	2.84×10	6.92×10^{-1}	283
				10^{-1}	1/100	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	—	—	—	
					1/10	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	60	4.29×10	7.92×10^{-1}	212
				10^{-1}	1/100	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	72	4.12×10	7.15×10^{-1}	284
					1/10	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	—	—	—	
				10^{-1}	1/100	5	—	—	—	
						10	—	—	—	
						0	—	—	—	

表-1.69 浸透流・解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 流 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m) 0	(hr) 960	(l/min) 9.32×10^{-1}	(cm/sec) 1.87×10^{-2}	207
$k_s \cdot 10^{-2}$ $k_r \cdot 10^{-4}$	60/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	5	1,080	9.67×10^{-1}	1.93×10^{-2}	497
						10	1,080	1.01	2.38×10^{-2}	785
						0	1,080	8.31×10^{-1}	1.65×10^{-2}	279
					1/100	5	1,080	8.54×10^{-1}	1.74×10^{-2}	569
						10	1,080	8.69×10^{-1}	2.07×10^{-2}	857
						0	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	5	360	1.28	2.14×10^{-2}	498
						10	360	1.45	2.41×10^{-2}	786
						0	—	—	—	
					1/100	5	360	9.74×10^{-1}	1.85×10^{-2}	570
						10	360	9.91×10^{-1}	1.99×10^{-2}	858
						0	960	9.94×10^{-1}	2.28×10^{-2}	208
			0.15	10^{-2}	1/10	5	1,080	1.29	2.47×10^{-2}	499
						10	1,080	1.46	2.75×10^{-2}	787
						0	960	9.04×10^{-1}	1.68×10^{-2}	280
					1/100	5	1,080	9.19×10^{-1}	2.13×10^{-2}	571
						10	1,080	9.39×10^{-1}	2.34×10^{-2}	859
						0	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	5	360	1.37	2.56×10^{-2}	500
						10	360	1.52	2.77×10^{-2}	788
						0	—	—	—	
					1/100	5	360	1.19	2.14×10^{-2}	572
						10	360	1.26	2.38×10^{-2}	860
						0	—	—	—	

表-1.70 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 大 流速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h 10^{-2}$ $k_v 10^{-4}$	60/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	960	9.01×10^{-1}	1.74×10^{-2}	213
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	1,080	8.02×10^{-1}	1.52×10^{-2}	285
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	960	9.32×10^{-1}	2.10×10^{-2}	214
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	1,080	8.89×10^{-1}	1.57×10^{-2}	286
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表-1.71 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河床 勾配	河床の 厚さ	浸潤線 到達時間	浸出 流量	最 大 流速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-5}$	60/500	H	0.20	10^{-2}	1/10	0	4,320	2.06	3.64×10^{-3}	209
						5	4,320	3.18	7.75×10^{-3}	501
						10	4,320	5.39	9.93×10^{-3}	789
					1/100	0	10,080	1.87	2.41×10^{-3}	281
						5	10,080	2.99	6.46×10^{-3}	573
						10	10,080	5.16	8.81×10^{-3}	861
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	4,320	5.85	2.41×10^{-1}	502
						10	4,320	1.10×10	2.53×10^{-1}	790
					1/100	0	—	—	—	
						5	10,080	4.69	1.85×10^{-1}	574
						10	10,080	8.04	2.17×10^{-1}	862
			0.15	10^{-2}	1/10	0	3,360	3.37	4.35×10^{-3}	210
						5	4,320	4.65	8.61×10^{-3}	503
						10	4,320	6.73	1.10×10^{-2}	791
					1/100	0	8,640	3.32	3.24×10^{-3}	282
						5	8,640	4.58	7.23×10^{-3}	575
						10	8,640	6.49	9.48×10^{-3}	863
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	4,320	6.95	2.56×10^{-1}	504
						10	4,320	1.27×10	2.71×10^{-1}	792
					1/100	0	—	—	—	
						5	8,640	5.61	1.99×10^{-1}	576
						10	8,640	8.97	2.32×10^{-1}	864

表-1.72 浸透流解析結果 (対策工無しの場合)

ダムの 透水係数	ダム高/ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 床 勾 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 大 流 速	CASE NO.
(cm/sec)				(cm/sec)		(m)	(hr)	(l/min)	(cm/sec)	
$k_h \cdot 10^{-3}$ $k_v \cdot 10^{-3}$	60/500	0.7H	0.20	10^{-2}	1/10	0	7,200	1.14	2.21×10^{-3}	215
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	10,080	1.01	1.61×10^{-3}	287
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
			0.15	10^{-2}	1/10	0	5,760	1.58	2.01×10^{-3}	216
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	8,640	1.42	1.54×10^{-3}	288
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
				10^{-1}	1/10	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	
					1/100	0	—	—	—	
						5	—	—	—	
						10	—	—	—	

表 - 1.73 浸透流解析結果 (対策工有りの場合) 法勾配 $n = 1:4$

ダムの 透水係数	ダム高／ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 流	大 速	CASE NO.
ドレーン高 3.0m											
(cm/sec)	20／100	0.7H	0.2	10 ⁻²	1/10	0	(hr) 3,840	(l/min) 1.57×10 ⁻¹	(cm/sec) 1.98×10 ⁻³		
	20／300						7,200	9.56×10 ⁻¹	2.23×10 ⁻³		
	60／100						3,360	7.65×10 ⁻¹	2.02×10 ⁻³		
	60／300						4,320	9.87×10 ⁻¹	2.35×10 ⁻³		
ドレーン高 5.0m											
(cm/sec)	20／100	0.7H	0.2	10 ⁻²	1/10	0	(hr) 3,840	(l/min) 1.61×10 ⁻¹	(cm/sec) 1.92×10 ⁻³		
	20／300						7,200	9.97×10 ⁻¹	2.18×10 ⁻³		
	60／100						3,360	7.88×10 ⁻¹	1.99×10 ⁻³		
	60／300						4,320	1.01	2.31×10 ⁻³		

表 - 1.74 浸透流解析結果 (対策工有りの場合) 法勾配 $n = 1:2$

ダムの 透水係数	ダム高／ 堰止め長	貯水位	ダムの 間隙率	河床の 透水係数	河 勾 床 配	河床の 厚 さ	浸潤線 到達時間	浸 出 面 量	最 流	大 速	CASE NO.
ドレーン高 3.0m											
(cm/sec)	20／100	0.7H	0.2	10 ⁻²	1/10	0	(hr) 840	(l/min) 7.29×10 ⁻¹	(cm/sec) 1.82×10 ⁻³		
	20／300						4,800	9.43×10 ⁻¹	2.04×10 ⁻³		
	60／100						1,080	1.58	2.28×10 ⁻³		
	60／300						3,360	1.84	2.46×10 ⁻³		
ドレーン高 5.0m											
(cm/sec)	20／100	0.7H	0.2	10 ⁻²	1/10	0	(hr) 840	(l/min) 7.32×10 ⁻¹	(cm/sec) 1.59×10 ⁻³		
	20／300						4,800	9.56×10 ⁻¹	2.01×10 ⁻³		
	60／100						1,080	1.67	2.22×10 ⁻³		
	60／300						3,360	1.95	2.39×10 ⁻³		

2. 天然ダムの越流による侵食破壊に関する
実験結果一覧表

CASE 1～CASE12

CASE - 1

時間 (分後)	流量 (cm^3/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 ($\text{cm}/\text{s} \times 10^{-1}$)	勾配	摩擦速度 U_* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d_{50} (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{q_s}{(U_* - U_{*c}) \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	1.488	82.7	10.5	6.19	98.176	1/10	13.28	1.80	0.90	8.214	1.268	0.206	39.875
2	1.370	91.3	13.5	3.58	50.834	1/14	10.25	1.50	"	5.510	0.755	0.101	54.559
3	1.335	74.2	17.0	2.35	32.208	1/25	8.40	1.80	"	4.260	0.507	0.103	41.362
4	1.289	71.6	17.5	1.74	22.895	1/25	8.40	1.80	"	3.028	0.507	0.110	27.531
5	1.281	64.1	17.5	1.23	15.910	1/27	8.52	2.00	"	2.075	0.522	0.141	14.715
6	1.296	61.7		0.91	12.029	1/50	6.42	2.10	"	2.082	0.296	0.087	23.929
7	1.257	57.1		0.62	7.761	1/100	4.64	2.20	"	1.858	0.155	0.053	35.066
8	1.290	56.1		0.53	6.985	1/100	4.75	2.30	"	1.634	0.162	0.057	28.665

CASE - 2

時間 (分後)	流量 (cm/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 (cm/s × 10 ⁻¹)	勾配	摩擦速度 U* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d ₅₀ (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{q_s}{(s/\rho - 1) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	615	100.0	7.5	11.18	77.610	1/6.7	9.52	0.62	0.90	9.058	0.652	0.073	124.084
2	742	66.7	10.0	5.00	39.193	1/9	10.99	1.11	"	3.962	0.868	0.217	18.260
3	686	60.0	12.0	3.20	22.507	1/10	10.57	1.14	"	2.366	0.803	0.248	9.540
4	670	60.0	12.5	2.35	15.910	1/12	9.56	1.12	"	1.849	0.657	0.203	9.109
5	653	60.0	14.0	1.79	12.029	1/13	9.06	1.09	"	1.475	0.590	0.182	8.106
6	644	54.5	14.5	1.50	9.701	1/13	8.98	1.07	"	1.200	0.580	0.217	5.531
7	677	54.5	14.5	1.00	6.985	1/15	9.00	1.24	"	0.862	0.582	0.218	3.956
8	638	46.2	15.0	0.88	5.821	1/17	8.92	1.38	"	0.725	0.572	0.298	2.433
10	632	42.9	16.5	0.70	4.657	1/21	8.28	1.47		0.625	0.493	0.298	2.097
12.5	628	37.5		0.85	5.433	1/27	7.79	1.67		0.775	0.436	0.345	2.246

CASE - 3

時間 (分後)	流量 (cm/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 (cm/s $\times 10^{-1}$)	勾配	摩擦速度 U_* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d_{50} (mm)	$\frac{q_b}{U_* \cdot d}$	$\frac{q_b}{(U_* \cdot d) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_b}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	1.496	81.8	13.0	4.56	74.10	1/8	14.97	1.83	0.90	5.30	1.611	0.268	9.887
2	1.282	66.7	15.0	2.71	35.70	1/11	13.08	1.92	"	3.03	1.230	0.308	4.923
3	1.246	63.2	16.0	1.65	20.95	1/13	12.19	1.97	"	1.91	1.068	0.298	3.205
4	1.253	60.0	15.5	1.08	13.97	1/13	12.55	2.09	"	1.236	1.132	0.350	1.767
5	1.175	60.0	17.0	0.80	9.31	1/17	10.63	1.96	"	0.974	0.812	0.251	1.939
6	1.318	52.2	17.0	0.63	8.54	1/17.5	11.88	2.52	"	0.80	1.015	0.414	9.644
7	1.221	50.0	17.5	0.53	6.21	1/23	10.20	2.44	"	0.676	0.748	0.333	1.105
8	1.171	52.2		0.41	4.67	1/23	9.77	2.24	"	0.58	0.686	0.280	9.456

CASE - 4

時間 (分後)	流量 (cm/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 (cm/s $\times 10^{-1}$)	勾配	摩擦速度 U_* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d_{50} (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{u_*'}{(v/p-1) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	819	200.0	11.0	8.64	77.610	1/6.7	8.02	0.41	0.90	10.752	0.462	0.013	827.099
2	783	100.0	13.0	4.75	39.193	1/8.5	9.48	0.78	"	4.954	0.646	0.072	63.801
3	677	46.2	15.0	3.24	22.507	1/10	12.00	1.47	"	2.084	1.035	0.540	3.859
4	640	40.0	16.0	2.45	15.910	1/12.5	11.20	1.60	"	1.578	0.902	0.627	2.517
5	634	54.5	17.0	1.84	12.029	1/15	8.71	1.16	"	1.535	0.545	0.204	7.522
6	647	50.0	17.5	1.50	9.701	1/15	9.18	1.29	"	1.174	0.606	0.270	4.349
7	626	40.0	17.5	1.08	6.985	1/15	10.13	1.57	"	0.766	0.738	0.513	1.493
8	620	46.2	17.5	0.90	5.821	1/18	8.54	1.34	"	0.757	0.524	0.273	2.774
10	615	40.0	18.0	0.72	4.657	1/27	7.48	1.54		0.691	0.402	0.280	2.471

CASE - 5

時間 (分後)	流量 (cm^3/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 ($\text{cm}/\text{s} \times 10^{-1}$)	勾配	摩擦速度 U_* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d_{50} (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{q_s}{(10/3-1) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	1.191	149.8	8.0	5.26	65.934	1/2.5	17.71	0.80	0.87	4.279	2.376	0.112	38.208
2	1.323	88.8	10.0	5.55	77.708	1/17	9.27	1.49	"	9.635	0.651	0.087	110.751
3	1.330	133.6	16.0	3.36	46.311	1/20	7.00	1.00	"	7.604	0.371	0.022	345.656
4	1.241	103.7	17.0	2.19	27.865	1/24	7.00	1.20	"	4.576	0.371	0.036	127.098
5	1.243	77.8	18.0	1.42	18.053	1/50	5.60	1.60	"	3.705	0.238	0.041	90.377
6	1.297	72.2		0.93	12.166	1/100	4.20	1.80	"	3.330	0.134	0.027	123.315
7	1.243	62.2		0.75	9.419	1/100	4.43	2.00	"	2.444	0.149	0.041	59.607

CASE - 6

時間 (分後)	流量 (cm^3/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 ($\text{cm}^3/\text{s} \times 10^{-1}$)	勾配	摩擦速度 U_* (cm/s)	水深 (cm)	粒徑 d_{50} (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{u_*'}{(u_*' + 1) \cdot U_* \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	301	33.8	3.0	9.17	60.832	1/5	13.21	0.89	0.87	5.293	1.322	1.222	4.332
2	666	44.9	10.0	7.87	56.907	1/9	12.69	1.48	"	5.154	1.220	0.639	8.066
3	839	64.9	12.0	5.38	47.488	1/11	10.72	1.29	"	5.092	0.871	0.218	23.357
4	709	64.8	13.5	3.91	29.042	1/12	9.43	1.09	"	3.540	0.674	0.169	20.946
5	648	50.0	16.0	2.99	20.016	1/20	7.98	1.30	"	2.883	0.482	0.204	14.133
7.5	639	40.0	17.0	1.50	9.812	1/22	8.44	1.60	"	1.336	0.540	0.356	3.754
10	618	36.4	18.0	1.12	7.064	1/40	6.45	1.70	"	1.259	0.315	0.251	5.015
12.5	647	40.5		0.76	5.102	1/50	5.60	1.60	"	1.047	0.238	0.153	6.845

CASE - 7

時間 (分後)	流量 (cm/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 (cm/s $\times 10^{-1}$)	勾配	摩擦速度 U_* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d_{50} (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{U_*^3}{(s/\rho - 1) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	1.258	127.0	18.0	7.80	106.358	1/1.3	27.32	0.99	0.87	4.475	5.655	0.370	7.311
2	1.685	84.8	15.0	4.69	82.810	1/15	11.40	1.99	"	8.349	0.985	0.145	57.583
3	1.328	74.1	17.0	2.67	36.499	1/20	9.37	1.79	"	4.477	0.665	0.128	34.979
4	1.253	66.1	17.5	1.36	17.268	1/33	7.51	1.90	"	2.643	0.427	0.103	25.659
5	1.299	62.0	18.0	0.98	12.951	1/50	6.42	2.10	"	2.319	0.312	0.858	2.702
6	1.247	69.3		0.77	9.812	1/100	4.20	1.80	"	2.685	0.134	0.029	92.596

CASE - 8

時間 (分後)	流量 (cm/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 (cm/s $\times 10^{-1}$)	勾配	摩擦速度 U_* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d_{50} (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{U_*^3}{(s/\rho - 1) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	577	41.6	6.0	7.93	49.843	1/1.5	30.14	1.39	0.87	1.901	6.883	4.119	0.200
3	789	39.8	15.0	5.81	48.666	1/7.5	16.08	1.98	"	3.479	1.959	1.306	2.664
5	692	57.8	17.0	2.62	18.446	1/20	7.67	1.20	"	2.764	0.446	0.141	19.605
7.5	651	36.2	18.5	1.22	7.849	1/40	6.64	1.80	"	1.359	0.334	0.269	5.051
10	632	39.5		0.75	4.710	1/50	5.60	1.60	"	0.967	0.238	0.161	6.005

CASE - 9

時間 (分後)	流量 (cm/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 (cm/s $\times 10^{-1}$)	勾配	摩擦速度 U_* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d_{50} (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{U_*^3}{f \cdot (s - 1) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	1.174	61.9	0.0	0.57	6.797	1/4	21.58	1.90	0.85	0.36	3.725	0.972	3.812
2	1.229	62.2	0.0	5.11	66.373	1/2	31.15	1.98	"	2.507	7.761	2.006	1.250
3	1.240	311.8	10.0	2.37	29.988	1/1.5	16.17	0.40	"	2.182	2.091	0.022	99.174
4	1.335		18.0	2.57	35.186	1/1.5		—	"				
5	1.205	46.6	16.0	2.41	29.588	1/14	13.46	2.59	"	2.586	1.449	0.667	3.877
7.5	1.208	71.4	18.0	2.03	24.790	1/50	5.76	1.69	"	5.603	0.265	0.052	97.371
10	1.630	54.6	18.5	2.03	33.587	1/50	7.66	2.99	"	5.159	0.469	0.157	32.857
12.5	1.309	62.4		0.76	9.996	1/100	6.42	2.10	"	1.832	0.330	0.085	21.550

C A S E - 10

時 間 (分 後)	流 量 (cm^3/s)	流 速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 ($\text{cm}/\text{s} \times 10^{-1}$)	勾 配	摩擦速度 U_* (cm/s)	水深 (cm)	粒徑 d_{50} (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{U_*^3}{(s/\rho - 1) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	603	54.9	0.0	0.10	0.800	1/4	16.42	1.10	0.85	0.06	2.156	0.716	8.005
3	649	25.2	2.5	3.97	26.789	1/4	25.14	2.58	"	1.254	5.055	7.962	1.575
5	545	55.0	9.5	3.89	21.991	1/6.5	12.22	0.99	"	2.117	1.194	0.395	5.360
7.5	638		12.5	2.97	19.592	1/16		—	"				
10	639	37.8	17.0	2.42	15.994	1/20	9.10	1.69	"	2.068	0.662	0.464	4.456
12.5	647	49.9		1.09	7.197	1/50	5.05	1.30	"	1.677	0.204	0.082	20.447

CASE-11

時間 (分後)	流量 (cm/s)	流速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 (cm/s×10 ⁻¹)	勾配	摩擦速度 U* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d ₅₀ (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{q_s}{(v_* - v_{*c}) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	1.203	75.3	0.0	0.56	6.797	1/2	28.00	1.60	0.85	0.287	6.270	1.106	2.582
2	1.218	76.3	0.0	0.76	9.196	1/2	28.00	1.60	"	0.386	6.270	1.077	3.588
3	1.202	70.9	2.5	0.89	10.796	1/1.25	36.51	1.70	"	0.348	10.66	2.121	1.640
4	1.192	119.4	4.0	0.80	9.596	1/1.25	28.00	1.00	"	0.403	6.270	0.440	9.163
5	1.221	135.9	7.5	0.76	9.196	1/1.4	25.10	0.90	"	0.431	5.039	0.273	1.579
7.5	1.213	121.9		2.10	25.990	1/1	31.30	1.00	"	0.977	7.835	0.527	1.854
10	1.231	123.7		1.96	24.790	1/1.5	25.56	1.00	"	1.141	5.225	0.342	3.336
12.5	1.260	90.5		1.01	12.795	1/1.5	30.14	1.39		0.499	7.265	0.887	5.631
					12.395								

C A S E - 1 2

時 間 (分後)	流 量 (cm/s)	流 速 (cm/s)	侵食深 (cm)	土砂濃度 (%)	流出土砂量 (cm/s×10 ⁻¹)	勾 配	摩擦速度 U* (cm/s)	水深 (cm)	粒径 d ₅₀ (mm)	$\frac{q_s}{U_* \cdot d}$	$\frac{q_s}{(s/\sigma-1) \cdot g \cdot d}$	f	$\frac{q_s}{f \cdot U_* \cdot d}$
1	562	62.4	0.0	0.51	2.799	1/2	21.00	0.90	0.85	0.157	3.527	0.906	1.731
3	583	53.3	10.0	2.05	12.395	1/2	23.11	1.09	"	0.631	4.271	1.503	4.198
5	640		18.0	3.23	21.192	1/3.5		—	"				
7.5	656	38.8		2.68	17.993	1/4	28.78	1.69	"	0.736	6.625	4.402	1.671
10	695	53.7	17.5	2.08	14.794	1/50	25.14	1.29	"	0.692	5.055	1.753	3.949
12	785	56.3		1.80	14.394	1/50	26.10	1.39	"	0.649	5.448	1.719	3.774
14	663	47.5		1.11	7.597	1/50	26.19	1.40	"	0.341	5.486	2.432	1.403
16	618	56.3		0.44	2.799	1/50	23.22	1.10	"	0.142	4.312	1.361	1.042

天然ダムの破壊と対策に
関する研究報告書

ISSN0 3 8 6 - 5 8 7 8
土木研究所資料 第2744号
平成元年 2 月 (1989年)

建設省土木研究所 砂防研究室

木山高久、石川芳治
福本晃久

要 旨

豪雨、地震等により大規模な崩壊が発生し、天然ダムが形成されこれが破壊される時、大きな災害を引き起こすことがある。このような災害に対応するための基礎的研究として、天然ダムの破壊について基礎的な実験と解析を行い、天然ダムの破壊過程、破壊速度、下流への土砂流出に関する知見を得た。これらの知見をもとに「天然ダムの破壊による災害対策のための検討手法」をまとめた。

キーワード：天然ダム、大規模崩壊、災害対策

郵便はがき

郵便切手
は
つ
て
下
さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

砂防部砂防研究室

御中

No. _____

Na _____

配布先氏名
配布先住所



土木研究所資料第2744号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名 印

土木研究所資料第2744号

