

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3422号
003

土 木 研 究 所 資 料

フィルダムの挙動解析（その3） —土圧, 間隙水圧—

平成8年3月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright © (1996) 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。

フィルダムの挙動解析 (その3) —土圧, 間隙水圧—

フィルダム研究室 室 長 中 村 昭
研 究 員 小 嶋 光 博
前 室 長 藤 澤 侃 彦^{*)}
前主任研究員 安 田 成 夫^{**)}
前 研 究 員 伊 藤 基 博^{***)}

要 旨

本報告は、建設省所管のフィルダムに設置された計測計器のうち、土圧計および間隙水圧計によって計測された値を収集し、堤体盛立期間、初期湛水期間における計測値の変動傾向について整理・解析を実施したものである。

土圧は、鉛直全土圧とFEM解析値との比較を行い、その解析精度について検討した。また、盛り立てに伴う堤体内の主応力比の変化傾向を把握した。湛水期間においては、堤体内部のゾーン毎に、土圧の異なる変動傾向が確認された。

間隙水圧は、盛立期間および初期湛水期間中最高水位時のコア内部の分布状況について整理した。結果として、要因別に間隙水圧分布型の分類等がなされた。

キーワード：ロックフィルダム、計測計器、実測挙動、土圧、間隙水圧

^{*)} 現 土木研究所ダム部長

^{**)} 現 土木研究所企画部企画課長

^{***)} 現 東北地方建設局三春ダム工事事務所調査設計第一課調査係長

ANALYSES OF BEHAVIORS OF FILLDAMS (PART 3)

—— Earth Pressure, Pore Water Pressure ——

Akira NAKAMURA

Head, Fill-type dam division

Mitsuhiro KOJIMA

Research engineer, ditto

Tadahiko FUJISAWA

Director, Dam department

Nario YASUDA

Head, Planning division

and

Motohiro ITOH

Chief official, Tohoku regional construction bureau

Synopsis

The report describes the inclination of the observed data of earth pressure cells and pore water pressure meter installed in embankment dams during the banking and the first filling of the reservoir.

The vertical total earth pressure was compared with analytical values of F.E.M. and investigated concerning the accuracy of the measurement. The change of the principal stress ratio of dam body during the banking was also examined. The different trend of the alteration of earth pressure was recognized at each zone of dam body.

The pore water pressure was arranged for the pressure distribution inside the core zone during the banking and at the highest reservoir water level of the first filling. As a result, the shape of pore water pressure distribution was classified based on influential factors.

Keywords : embankment dams, instrumentation, observation of behavior,
earth pressure, pore water pressure

ま え が き

ロックフィルダムの設計では、室内あるいは現位置試験によって得られた結果に基づいて堤体および基礎の解析を行い、さらには設計条件を満足するように施工を実施している。したがって、堤体および基礎の挙動を計測し、設計値・設計手法の適合性を評価し、設計の高度化を図ることは重要なことである。

また、フィルダムの挙動計測は、堤体盛立期間における施工管理、湛水期間における安全管理の両面において必要不可欠な項目となっている。そのため、フィルダムの挙動計測に関する調査（松本ら 1984）によると、全てのフィルダムにおいて何らかの挙動計測がなされている。しかし、その計測結果は、個々のダムの工事誌や試験湛水記録には示されているものの、系統だててとりまとめられたものは少ない（松本ら 1976, 最新フィルダム工学 1981）。

そこで、計測計器の適切な配置方法および頻度を含めた計測方法の最適化を目的として本調査解析を実施している（松本ら 1991, 中村ら 1994）。

本報告は、挙動計測項目のうち、フィルダム堤体内部における土圧、間隙水圧の計測値を収集し、盛立期間、初期湛水期間における計測値の変動傾向について整理し、解析を行ったものである。

目 次

まえがき

1 土 圧	1
1.1 概 要	1
1.2 盛立期間における土圧の変化	2
1.2.1 鉛直全土圧	2
1.2.2 変形係数	3
1.2.3 主応力	4
1.2.4 鉛直有効土圧	5
1.2.5 内部摩擦角	6
1.3 湛水期間における土圧の変化	7
1.4 まとめ	9
2 間隙水圧	33
2.1 概 要	33
2.2 盛立期間における間隙水圧の変化	34
2.2.1 間隙水圧発生率	34
2.2.2 間隙水圧発生率の要因	35
2.2.3 分布形状	36
2.3 湛水期間における間隙水圧の変化	38
2.3.1 最大値値の時間的遅れ	38
2.3.2 分布形状	38
2.4 まとめ	39
3 結 論	81
謝 辞	82
参考文献	83
付 図	84

1 土 圧

1.1 概 要

ロックフィルダムの盛立材料は、応力-ひずみ関係において非線形的な性質を持ち、材料の変形特性や堤体形状・谷形状が相互に影響しあい、複雑な挙動を示す。そのため、静的応力解析である築堤解析では堤体材料のヤング率(E)やポアソン比(ν)といった弾性係数が応力レベルに応じて変化する非線形係数モデルを用いたFEM解析を行う。このモデルに使われる応力-ひずみ関係、ポアソン比-ひずみ関係のパラメータは、一般的に室内試験によって求められている。しかし、室内における三軸圧縮試験は、平面応力状態であり、実際には平面ひずみ状態である原位置の応力-ひずみ関係を再現しているとは言い難い。また、室内試験によって求められる材料の変形特性と盛立期間の堤体の変形特性との関連性については、実測例をもとに検討(原田ら(1977)、笹川ら(1982))されてはいるが、明確ではない。

本章では、表-1-1に示す建設省所管ダムのうち、F、L、M、O、R、T、V、Wの8ダムについて、盛立期間の鉛直土圧、鉛直ひずみの実測値を整理し、築堤解析へのフィードバック手法を検討する。

また、湛水期間では変形・浸透量といったダムの挙動計測による安全管理が明確になっているが、盛立期間では施工法によるプロセス管理が中心となっている。すなわち、密度・透水係数の管理はなされているが、ダムの挙動を計測して管理する手法はあまり用いられていない。(一例として、Penman(1986)は施工中の水平変位の計測が施工管理やすべりの予告に結びつけられる可能性を示している。)そこで、盛立期間の挙動計測による安全管理手法の検討も併せて行うものとする。

一方、湛水期間における土圧計測は、特に湛水初期の応力の過度な集中あるいは低減、ゾーン間の応力値の不連続などを監視することでダムの安全管理に資するほかに、湛水解析の精度を向上させるためのバックデータを提供する。よって、ゾーン別の湛水による土圧の変化についても検討を加える。

1.2 盛立期間における土圧の変化

1.2.1 鉛直全土圧

図-1.1にVダムの盛立標高とコアゾーンの鉛直全土圧との経時変化を示し、図-1.2に盛立高とコアゾーン底部の鉛直全土圧との関係を示す。同一盛立標高では土圧が低減しているが、盛り立ての進行に伴って鉛直全土圧が増加している。その鉛直全土圧の値は、盛立高の低い期間において土柱重量($\gamma \cdot H$)とほぼ同じ値を示しているが、盛り立ての進行に伴って上に凸の曲線を呈し、土柱重量に比較して小さな値となる。盛立完了時におけるコアゾーンの鉛直全土圧の値は、土柱重量の80%程度となる。この現象は三角形の分布荷重下の弾性理論解により説明される。ここでは、図-1.3に示すモデルを用いたFEM解析を行い、均一材料で盛り立てた場合の堤体内部の鉛直土圧の分布を求めてみた。表-1.2に解析に用いた物理的特性値を示す。

図-1.4に横断面中心線上の深さ方向の鉛直全土圧分布状況を示し、図-1.5に堤敷部の鉛直全土圧分布状況を示す。深さ方向の分布では、深さ位置に関わらず、 $\sigma_v \approx 0.8 \cdot \gamma \cdot H$ の関係にある。堤敷部の分布では、堤敷を1/3に分割した中央部(ダム高の高い部分)において土柱重量より小さな値を示し、それ以外の両側1/3の部分では土柱重量より大きな値を示す。

表-1.3、図-1.6に中央コア型ロックフィルダムにおいて計測された鉛直全土圧の発生率と土柱重量の関係を示す。鉛直全土圧発生率とは計測された鉛直全土圧(σ_v)を土柱重量($\gamma \cdot H$)で除し、%表示した値を指す。コアゾーンで計測された鉛直全土圧発生率はおおむね40~90%を示し、ロックゾーンで90~100%程度、フィルタゾーンでは120~170%程度を示している。フィルタゾーンに比べ、コアゾーンやロックゾーンの計測値は概して低めであることが認められる。この計測値が低めとなる原因として、土圧計設置時の設置ミス、土圧計自体の機械的あるいは電氣的誤差等も挙げられるが、その大部分は「アーチ作用」によるものとする。これは、コア材には粘着性があるために、コア材に加わるべき荷重の一部がコアゾーンを上下流側からはさむフィルタゾーンに伝達するという作用で、この荷重が受け持たれた位置より下のコアゾーンの土圧が、土被りから想定される値よりも小さくなるというものである。この現象は、コアゾーンの幅が薄い場合に生じやすいといわれる (Nonveiller et al. 1961)。また、コアゾーンの幅が厚くても、狭い谷につくられるダムでは、兩岸アバットが前述のフィルタゾーンと同様の働きをして、ダム軸方向のアーチ作用が生じることがある。一般的にフィルタ材の粒度分布は配合がよいために、コア材に比べ、盛立施工において締め固まりやすく、アーチ作用を受けやすい傾向にある。

以上の理由により、盛立完了時におけるコアゾーンの鉛直全土圧は、同一標高のフィルタゾーン、ロックゾーンよりも小さくなる傾向にあると考えられる。図-1.7にEL. 350mの同一標高に設置されたコアゾーンおよびフィルタゾーンの鉛直全土圧と盛立高の関係を示す。盛立高25m付近までは、コアゾーン、フィルタゾーンとも鉛直全土圧がほぼ同じ値($\sigma_v \approx 2.1 \cdot H$)を示すが、盛立高が25mを超えると両者に違いが生じるようになる。つまり、コアゾーンの鉛直全土圧は土柱重量より小さくなり、反対にフィルタゾーンの鉛直全土圧はそのコアゾーンの減少分を受け持つかのように増加している。最終的に盛立完了時のコアゾーンとフィルタゾーンの鉛直全土圧のほぼ中間値が土柱重量の値となることから、コアゾーンの減少分がフィルタゾーンで受け持たれた現象であると考えられる。

ただし、均一材料で盛り立てた場合のFEM解析結果によると、図-1.4に示されるように、横断面中心線上（コアゾーン中心線上）の応力分布は、高さ方向の位置にかかわらず土柱重量の約80%であり、フィルタゾーンへのコア材の自重の伝達を考えなくてもコアゾーンの土柱重量に対する土圧発生割合が約20%低くなっている。このように、FEM解析値と実測値が合致しない理由は、図-1.4の解析モデルが堤体内部を均一な弾性係数としていることによると考えられる。中央コア型ロックフィルダムのフィルタゾーンの弾性係数は前述の理由により、コアゾーン、ロックゾーンより大きくなる傾向にある。したがって、この点を考慮し、ゾーン別に弾性係数を変えたFEM解析を実施すれば、計算値と実測値は一致してくると考えられる。

図-1.8にVダムの土圧計測位置と同じEL. 350mに設置されたゾーン間沈下計の計測結果を示す。図中の盛立標高EL. 353m, EL. 376m, EL. 404mは、図-1.7の盛立高H=3m, 26m, 55mに対応する。

盛立標高が高くなるにつれ、フィルタゾーン、ロックゾーンに比較してコアゾーンが相対的に沈下していく傾向が理解される。また、盛立標高が低いうちはフィルタゾーンとロックゾーンの沈下量の差は認められないが、盛り立てが進行するにつれ、ロックゾーンも相対的な沈下を示すようになる。なお、図-1.8中のEL. 376mは、図-1.7のコアゾーンとフィルタゾーンの鉛直土圧の増加傾向が変化する盛立標高である。

したがって、フィルタゾーンの鉛直全土圧の増加傾向は、コアゾーンからのアーチ作用の影響もさることながらロックゾーンからもある程度の影響を受けていると考えられる。

1.2.2 変形係数

鉛直全土圧とその土圧計と同位置に設置した層別沈下計によって計測される鉛直ひずみとの関係より変形係数の算出を試みた。鉛直ひずみは層別沈下計設置時の測点区間長(L)でその測点区間の圧縮量(dL)を除し、%表示した値を指す。なお、土圧計と層別沈下計の設置位置が同じで、変形係数が求めることができたのはおもにコアゾーンである。

図-1.9に鉛直ひずみと盛立高の関係を示す。鉛直ひずみは盛立高の関係で表すことができ、(1.1)式により求まる。

$$\varepsilon_v = \frac{dL}{L} \cdot 100 = 0.1 \cdot H \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

ここに、

ε_v : 鉛直ひずみ (%)

L : 層別沈下計設置時の測点区間長 (m)

dL : 層別沈下計設置時からの測点区間の圧縮量 (m)

H : 盛立高 (m)

ただし、(1.1)式の関係は最終盛立高の1/2程度の50mまでであり、それ以上の盛立高になると、鉛直ひずみの増加は少なくなり、収束する傾向を示す。

図-1.10に鉛直ひずみと鉛直全土圧の関係を示すが、ほぼ直線関係にある。この関係式の傾きを変形係数(D)とすると、図-1.10の場合では $D \approx 230 \text{ kgf/cd}$ 程度である。表-1.4にこの変形係数を示す。コア材については、概ね $D \approx 150 \sim 450 \text{ kgf/cd}$ といえる。

Ladd(1977)は土の変形係数が応力レベルで変化することを報告している。日本では変形係数の表現方法として原田ら(1977)が(1・2)式を導いた。

$$D = A \cdot \sigma'^B \dots\dots\dots (1\cdot2)$$

ここに、

D : 変形係数 (kgf/cm)

σ' : 堤体の鉛直有効応力 (kgf/cm)

A, B : 材料によって求まる定数

下小鳥ダムの例ではコア材で $D = 218.6 \cdot \sigma'^{0.312}$ (≥ 175) , ロック材で $D = 190 \cdot \sigma'^{0.131}$ (≥ 175) で表現されている。

今回の鉛直ひずみと鉛直全土圧の関係も、ダムによっては一定値を示す事例もあるが、ほとんどの場合、盛り立てが進行するにつれ、変形係数は大きな値となっていく。

1.2.3 主応力

最大主応力(σ_1)と最小主応力(σ_3)は、堤体の安全性の評価に用いられる他、築堤解析の精度向上を図る上で重要な計測値の一つである。主応力は土圧計から直接計測されるのではなく、図-1・11に示すように、三面土圧計(または五面土圧計)により計測された垂直土圧を(1・3)式に代入して求められる。

$$\begin{cases} \sigma_1 \\ \sigma_3 \end{cases} = \frac{1}{2} (\sigma_a + \sigma_c) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_a - \sigma_c)^2 + (\sigma_a + \sigma_c - 2\sigma_b)^2} \dots\dots\dots (1\cdot3)$$

ここに、

σ_1 : 最大主応力

σ_3 : 最小主応力

(1) 主応力比

さて、盛立過程を通じて主応力比の変化は、原田ら(1977)や笹川ら(1982)が実測挙動をもとに一定であると指摘している。

$$K = \sigma_3 / \sigma_1 = \text{const.} \dots\dots\dots (1\cdot4)$$

ここに、

K : 主応力比

そこで、盛り立てに伴う主応力比の変化を図-1・12に示す。コアゾーンの応力状態は、おおまかに、①主応力比が一定で推移するタイプ(Rダム低標高部、Vダム低標高部)、②上載荷重の増加に伴って主応力比が増加するタイプ(Tダム、Lダム低標高部)、③上載荷重の増加に伴って主応力比が減少するタイプ(Fダム低標高部、Vダム中標高部)の3タイプに分けることができる。つまり、個々のダム、あるいは同じダムでも土圧の計測位置によって主応力比が一定であったり、増加したり、減少したりする場合がある。なお、フィルタゾーン、ロックゾーンについては、データが少なく、データがとれていてもその計測精度に問題があるなどの理由により今回の調査からは省いた。

松田ら(1989)はロックゾーンでは主応力がほぼ一定で推移しているとし、その理由はロック材がコア材に比べ変形しにくいことと、ゾーン幅が広く他ゾーンの影響を受けにくいためと述べている。また、築堤解析を実施し、各ゾーンの変形係数が一様ないし暫変しているときは主応力比が一定に近い応力経路をとるが、急変しているときは主応力比が一定にならないと報告している。

さて、側方変位のない、いわゆる静止土圧状態では Jaky(1948)が主応力比を理論的に求めている。

$$K_0 = \sigma_3 / \sigma_1 = 1 - \sin \phi \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

ここに、

K_0 : 主応力比 (静止土圧係数)

ϕ : 内部摩擦角 (° ; 室内試験によって得られた値)

(1.5) 式より K_0 の値を求めて、実測された主応力比 (K) と比較したものを表-1.5 に示す。 K は K_0 値を越えて変化していることと、実際の盛立作業で側方変位が全くないということは考えにくいことから、実ダムの盛立期間中においては、その内部が側方変位のない静止土圧状態である時と側方変位を生じる主動土圧状態である時の両方が存在すると考えられる。

(2) ポアソン比

主応力比とポアソン比の関係は (1.6) , (1.7) 式で表される。

$$K = \nu / (1 - \nu) \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

$$\nu = K / (1 + K) \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

ここに、

ν : ポアソン比

ポアソン比は前述の主応力比と同様な傾向を示すものであり、 $\nu = 0.5$ であれば完全弾性体の挙動を呈していることを示す。表-1.5 に主応力比から求まるポアソン比を示し、図-1.13 にポアソン比の実測値を示す。ポアソン比は盛立完了時には 0.3 ~ 0.4 の値を示すことが認められる。

1.2.4 鉛直有効土圧

前項では全応力表示の応力値であったが、本項においては間隙水圧を考慮した有効応力により整理した。ここでは V, W ダムの実測例について記述する。

図-1.14 に盛立標高、鉛直土圧、間隙水圧の経時変化を示す。盛立休止期間における鉛直全土圧の減少は、間隙水圧の消散のためであることが認められる。

図-1.15 に盛立高と鉛直土圧、間隙水圧の関係を示す。盛立高との関係を見ると鉛直有効土圧は (1.8) 式で表される。

$$\sigma'_v = 0.31 \cdot \gamma_t \cdot H \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

ここに、

σ'_v : 鉛直有効土圧 (tf/m²)

γ_t : コア材の湿潤単位体積重量 (tf/m³)

H : 盛立高 (m)

表-1.6に鉛直有効土圧発生率を示し、図-1.16に鉛直全土圧発生率と鉛直有効土圧発生率の関係を示す。コアゾーン低標高部の鉛直有効土圧発生率は、鉛直全土圧発生率の0～-20%の範囲に分布している。また、コアゾーン中標高部の鉛直有効土圧発生率は、鉛直全土圧発生率の-20%以下の範囲に概ね分布している。ただし、鉛直全土圧発生率が高くなるにつれ、差は小さくなる傾向を示す。

図-1.17に鉛直ひずみと鉛直有効土圧の関係を示す。鉛直全土圧との関係では変形係数 $D \approx 350 \text{ kgf/cd}$ であるが、鉛直有効土圧との関係では $D \approx 170 \text{ kgf/cd}$ と鉛直全土圧の約1/2になった。

図-1.18に最小主応力と主応力比、図-1.19に最小主応力とポアソン比の関係を示す。有効土圧によって求めることで主応力比(K')は盛立初期で0.9→0.6、盛立末期で0.7→0.55程度となり、ポアソン比(ν')もそれぞれ0.48→0.38、0.42→0.36程度と小さな値となった。表-1.5に主応力比とポアソン比を示す。全土圧と同様に、実測された K' は K_0 値を越えて変化している。

1.2.5 内部摩擦角

主応力によりモールの円が得られ、原点を通り円に接する直線がX軸となす内部摩擦角(ϕ_0)は(1.9)式によって求められる。(図-1.20参照)

$$\phi_0 = \arcsin[(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)] \quad \dots\dots\dots (1.9)$$

ここに、

ϕ_0 : 内部摩擦角 (°)

σ_1 : 最大主応力

σ_3 : 最小主応力

なお、 ϕ_0 については全土圧および有効土圧による値を求め、それぞれ ϕ_0 、 ϕ_0' として表示する。

図-1.21に盛立高と ϕ_0 、 ϕ_0' の関係について示し、図-1.22に最小主応力と ϕ_0 、 ϕ_0' の関係を示す。コアゾーンについては ϕ_0' が盛立初期において設計値を超える期間もあるが、盛立完了に近づくにつれて一定値に落ち着き、設計値を下回るようになる。このことは内部摩擦角の拘束圧依存性に他ならず、Mohr-Coulombの破壊基準が上に凸の曲線を呈していることが同様の傾向を示している。また、 ϕ_0' は ϕ_0 よりも大きな値を示す。

フィルタゾーンについては同一標高に設置された上流側(FEP-2)と下流側(FEP-3)についての ϕ_0' を示す。上流側では設計値に比べて常に大きな値を示すが、下流側では盛立高が10～55mの期間で設計値より小さい値を示している。また、上・下流側の値の変化傾向は相反しており、上流側の値が小さくなるにつれ、上流側の値が大きくなる傾向を示す。

1.3 湛水期間における土圧の変化

湛水に伴う堤体の自重および外荷重の変化として、①上流側ロックゾーンに作用する浮力、②コアゾーンに作用する貯水圧、③コアゾーンの浸透流が考えられる。浸透流解析や湛水解析を行う際は、湛水前の各応力を初期値とし、これらの応力変化を節点外力として等価に置換して計算を行うが、これらのうち、透水ゾーンの浮力については、その値を評価するうえで湛水後の土圧計測が有力な手がかりとなる。

浮力による有効土圧の減少は、(1・10)式により表すことができる。

$$\sigma'_{v3} = a \cdot \sigma'_{v2} \quad (0 < a < 1) \quad \dots\dots\dots (1\cdot10)$$

ここに、

σ'_{v3} : 湛水後の鉛直有効土圧

σ'_{v2} : 湛水前の鉛直有効土圧

a : 定数

この定数(a)について、L、Tダムを例に記述する。

図-1・23に湛水に伴う上流側ロックゾーンの換算水圧と鉛直土圧、間隙水圧の関係を示す。換算水圧とは、任意の位置に設置された計器に対し、貯水圧が100%作用したと考えた場合の理論値である。有効土圧および全土圧の増減傾向の違いが明瞭に現れている。

ここで、土圧計が示す値には複数の要素が含まれていることに注意が必要である。つまり、①土粒子（ロック材）の重量、②間隙水の重量、③貯水池水の重量および④湛水に伴い生じる浮力（一方向）であり、厳密には「土圧」とは異なるものであるが、本編では便宜上土圧計が指すこれら全てを含めた値を「全土圧」、間隙水圧計が指すこのうち②と③の和に相当する値を「間隙水圧」、全土圧から間隙水圧を差し引いた①と④の和に相当する値を「有効土圧」として述べている（図-1・24参照）。

全土圧は湛水に伴って透水ゾーンの空隙部が貯水池からの浸透水で満たされるため、飽和重量を計測することになり、更に、貯水位が土圧計直上の上流法面標高を越えてからは、その水深分が単純に全土圧に付加される。一方、有効土圧は貯水位の上昇に伴い堤体に浮力が加わるためその値が減少するが、貯水位が土圧計直上の上流法面標高を越えて完全に水没した場合、それ以上浮力は増加しないことから一定値となる傾向を示す。

LダムのE-4の場合、完全飽和状態になった時点の鉛直全土圧は $\sigma_{v3}=7.4\text{kgf/cd}$ で、これはこの位置の飽和時の土被り圧（ $\gamma_{\text{sat}} \cdot H = 2.1 \times 35 = 7.35\text{kgf/cd}$ ）に一致する。また、鉛直有効土圧は $\sigma'_{v3}=4.0\text{kgf/cd}$ で、湛水前の値 $\sigma'_{v2}=6.5\text{kgf/cd}$ からの減少割合は62%であるから、 $a=0.62$ ということになる。TダムのE-3では $\sigma'_{v2}=8.4\text{kgf/cd}$ から $\sigma'_{v3}=5.8\text{kgf/cd}$ に、また、E-4では $\sigma'_{v2}=4.9\text{kgf/cd}$ から $\sigma'_{v3}=3.1\text{kgf/cd}$ に減少しており、それぞれ、 $a=0.69, 0.61$ と示される。

いま、aについては理論的に(1・11)式が成立する。

$$a = \frac{\gamma_3}{\gamma_2} = \frac{\gamma_{\text{sub}}}{\gamma_t} = \frac{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w}{\gamma_t} \quad \dots\dots\dots (1\cdot11)$$

ここに、

γ_2 : 湛水前の土質材料の(湿潤)単位体積重量

γ_3 : 湛水後の土質材料の(水中)単位体積重量

γ_1 : 土質材料の湿潤単位体積重量

γ_{sub} : 土質材料の水中単位体積重量

γ_{sat} : 土質材料の飽和単位体積重量

γ_w : 水の単位体積重量 (=1.00tf/m³)

湛水期間中において γ_1 と γ_{sat} は圧密の促進に伴い変化する。いま、 γ_1 と γ_{sat} は飽和度と間隙比の関数として (1・12) , (1・13) 式で表される。

$$\gamma_1 = \frac{G_s + \frac{S_r}{100} \cdot e}{1 + e} \cdot \gamma_w \quad \dots\dots\dots (1 \cdot 12)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \cdot \gamma_w \quad (S_r = 100\%) \quad \dots\dots\dots (1 \cdot 13)$$

ここに、

G_s : 土粒子の比重

S_r : 飽和度

e : 間隙比

これらから a は (1・14) 式で表すこともできる。

$$a = \frac{G_s - 1}{G_s + \frac{S_r}{100} \cdot e} \quad \dots\dots\dots (1 \cdot 14)$$

ここで、 S_r は湛水前の計測値 (固定) であるから、圧密の促進に伴って変化するのは間隙比 (e) のみである。湛水前の γ_1 および湛水後の γ_{sat} について実測値を求めると、LダムのE-4がそれぞれ、1.8tf/m³、2.1tf/m³、TダムのE-4が1.84tf/m³、2.13tf/m³であるから、両方とも $a \approx 0.61$ となり理論式が成立している。

TダムのE-3のように、理論式に比較して a が大きくなるということは、間隙比 (e) が湛水前より小さくなったことを表している。これは、時間の経過とともに締め固まり、このような差となって現れたものと考えられる。したがって、ロックゾーンの浮力の評価に関しては、 γ_1 、 γ_{sat} のみならず、 e の変化についても考慮する必要があると思われる。

図-1・25にRダムのコアゾーンにおける鉛直土圧の経時変化を示す。ロックゾーンと比較して、全土圧、間隙水圧は貯水位の影響が小さいため、有効土圧の変化も小さい。全般的な傾向としてはロックゾーンと同様の増減傾向を示すが、間隙水圧の値は換算水圧に比べて相当低い値で推移し、かつ、水位を下降しても過剰な間隙水圧が残留する。有効土圧は水位の上昇過程と下降過程で等しくなっている。その結果、全土圧も間隙水圧と同様の傾向を示すことになるが、これはコア材とロック材の透水係数の違いからくるものであり、水位の上昇、下降の速さにより明らかな違いが現れるものと考えられる。よって、厳密には不透水ゾーンの解析にあたっては時間的なパラメータについても検討されるべきであると考えられる。

1.4 まとめ

- ① 盛立完了時の鉛直全土圧は、コアゾーンで土柱重量の40～90%、ロックゾーンで90～100%、フィルタゾーンで120～170%程度の値を示す。
- ② コアゾーン、ロックゾーンの鉛直全土圧の値は、弾性理論解で概ね説明される。
- ③ フィルタゾーンの鉛直全土圧の過大な値は、コアゾーン、ロックゾーンとの圧密量（沈下量）の違いとコア材の粘着性によって生じるアーチ作用によるものと思われる。
- ④ 鉛直ひずみと盛立高の関係は、最終盛立高の1/2程度までは次式で表される。

$$\varepsilon_v = 0.1 \cdot H$$

- ⑤ コア材の盛立期間の鉛直ひずみと鉛直全土圧より求まる変形係数は $D = 150 \sim 450 \text{ kgf/cm}$ 程度を示す。
- ⑥ 主応力比は盛立過程を通じて3タイプに区分された。
- ⑦ 主応力比より求まるポアソン比は、盛立完了時には0.3～0.4の値を示す。
- ⑧ 有効鉛直土圧と盛立高の関係は次式で表される。

$$\sigma'_v = 0.31 \cdot \gamma_t \cdot H$$

- ⑨ ポアソン比は、有効土圧で表すことにより、盛立末期において0.42→0.36と減少する。
- ⑩ コアゾーン低標高部の鉛直有効土圧発生率は鉛直全土圧発生率の0～-20%の値を示す。
- ⑪ コアゾーン中標高部の鉛直有効土圧発生率は鉛直全土圧発生率の-20%以下の値を示す。ただし、鉛直全土圧発生率が高くなるにつれて差は小さくなる。
- ⑫ コアゾーンの内部摩擦角は盛立初期において設計値を超える期間もあるが、盛立完了に近づくにつれて一定値に落ち着き、設計値を下回るようになる。
- ⑬ 湛水によって上流側ロックゾーンは浮力を受け、鉛直有効土圧は60%程度に減少した。この値は理論値とほぼ等しい。

表-1.1 ダム諸元

No.	ダム名	管理者or発注者	ダム形式			天端標高 EL. (m)	ダム高 H (m)	堤頂長 L (m)	堤体積 V (千m³)	盛立開始 年 月	盛立完了 年 月	試験湛水 開始年月	最高水位 年 月	計測項目		
			CC	IC	CF									土圧core	土圧rock	間隙水圧
1	A	東北地方建設局			○	323.0	53.0	345.0	411.3	'50. 5	'53. 6	'53.12	'54. 4			
2	B	秋田県			○	255.0	66.5	215.0	482.0	'60. 6	'62. 6	'63. 2	'63. 5			○
3	C	北海道開発局	○			814.0	86.5	440.0	3,874.6	'72. 5	'74. 8	'74.11	'75. 6			○
4	D	宮城県	○			64.0	43.0	256.5	550.8	'73. 8	'75. 8	'76. 2	'76.11			○
5	E	水資源開発公団		○		428.0	127.5	366.0	5,780.0	'74. 8	'75.11	'76. 3	'76.11			○
6	F	神奈川県		○		325.0	95.0	587.7	5,816.0	'76. 3	'77.12	'78. 2	'78.11	○		○
7	G	富山県		○		110.0	45.0	224.0	224.0	'75. 8	'77. 7	'78. 4	'78.12			○
8	H	北陸地方建設局	○			469.0	153.0	420.0	10,102.0	'77. 4	'78.10	'79. 6	'80. 3			○
9	I	水資源開発公団	○			136.0	83.0	420.0	3,000.0	'75. 8	'77. 1	'77. 4	'77. 7			○
10	J	滋賀県	○			263.5	56.0	192.8	980.0	'76. 8	'78.11	'80. 2	'80. 5			
11	K	宮城県	○			280.0	76.0	310.0	2,200.0	'74. 9	'79. 6	'79.11	'80.12			○
12	L	東北地方建設局	○			344.0	66.0	348.2	2,233.0	'74. 9	'78.10	'79.11	'80.12	○	○	○
13	M	東北地方建設局	○			186.5	52.5	210.0	980.0	'78. 9	'80. 6	'80.11	'81. 3		○	○
14	N	山形県	○			270.0	50.0	265.5	689.4	'79. 5	'80.10	'82. 1	'82. 4			○
15	O	長野県	○			1,070.0	60.0	180.0	952.0	'80. 5	'81. 8	'82. 1	'82.10	○		○
16	P	宮城県	○			254.0	73.0	420.0	2,606.0	'79. 9	'83. 7	'83.10	'84. 5			○
17	Q	北海道開発局	○			343.0	84.3	443.0	3,658.0	'78. 8	'82. 8	'84. 3	'84.12			○
18	R	栃木県	○			412.0	62.2	260.0	1,240.0	'81. 8	'83. 8	'84.11	'85. 4	○		○
19	S	埼玉県	○			316.5	83.5	250.0	1,600.0	'81. 8	'84. 7	'84.10	'85. 6			○
20	T	山梨県	○			808.0	88.0	320.0	3,010.0	'81. 9	'84. 8	'84.10	'86. 5	○	○	○
21	U	静岡県	○			156.0	64.0	323.0	1,084.0	'84.11	'86.11	'88.10	'89. 4	○		○
22	V	東北地方建設局	○			405.0	112.0	510.0	10,350.0	'82. 6	'87. 9	'89.10	'90. 5	○	○	○
23	W	東北地方建設局	○			308.0	90.0	565.0	5,201.0	'85. 6	'88. 9	'89.10	'90. 4	○		○
24	X	秋田県	○			198.0	62.0	380.0	1,625.7	'87. 8	'89.12	'90.10	'91. 3			○
25	Y	山口県	○			151.5	89.5	275.0	2,723.0	'86. 9	'88.11	'89.10	'91. 4	○	○	○
26	Z	北陸地方建設局	○			439.5	119.5	419.5	6,900.0	'87. 6	'90.12	'91. 9	'91.12	○	○	○
27	a	北海道	○			229.0	120.0	435.0	4,961.8	'80. 6	'82. 9	'83. 2	'83. 6	○		○
28	b	青森県	○			288.0	70.0	366.0	2,695.0	'82. 4	'86. 8	'87.10	'88. 4			○

CC：中央コア型 IC：傾斜コア型 CF：表面遮水壁型

表-1.2 FEM解析モデル入力物性値

		単位体積重量 γ (tf/m ³)	ポアソン比 ν	変形係数 D (kgf/cm ²)
堤体	遮水部	2.0	0.35	10,000~100,000 ^{*1}
	その他	2.0	0.35	10,000
基礎岩盤		—	0.35	10,000 ^{*2} ~40,000 ^{*3}

*1: コンクリート遮水壁を想定

*2: 砂礫基礎を想定

*3: 硬岩基礎を想定

表-1.4 変形係数

計器設置位置	ダム名	変形係数 D (kgf/cm ²)
コアゾーン 低標高部	F	550
	L	150~300
ロックゾーン 低標高部	L	80~300
コアゾーン 中標高部	L	350
	O	450
	V	150~400
	W	350

表-1.5 主応力比とポアソン比

計器設置位置	ダム名	内部摩擦角 ϕ ^{*1}	静止土圧係数 K_0	全土圧から求めた値		有効土圧から求めた値	
				K	ν	K'	ν'
コアゾーン 低標高部	F	35.0°	0.426	—	—	0.40~0.67	0.29~0.40
	L	36.0°	0.412	0.5	0.333	0.25~0.43	0.20~0.30
	M	33.0°	0.455	—	—	0.40~0.67	0.29~0.40
	R	30.0°	0.500	0.5	0.333	0.50~0.67	0.33~0.40
	T	35.0°	0.426	0.5	0.333	0.33~0.67	0.25~0.40
	W	35.0°	0.426	0.7	0.412	—	—
コアゾーン 中標高部	T	35.0°	0.426	0.7	0.412	—	—
	V	25.0°	0.577	0.9	0.474	0.60~0.80	0.38~0.44
コアゾーン 高標高部	V	25.0°	0.577	0.6	0.375	—	—
フィルタゾーン 高標高部	V	40.0°	0.357	0.5	0.333	—	—
ロックゾーン 低標高部	L	40.0°	0.357	—	—	0.25~0.50	0.20~0.33
	T	36.6°	0.404	0.3	0.231	—	—
		40.0°	0.357	0.5	0.333	—	—

*1: 設計値

表-1.3(a) 鉛直全土圧発生率 (1/2)

計測位置	ダム名	計器番号	盛立高 H (m)	単位体積重量 γ_t (tf/m ³)	土柱重量 $\sigma = \gamma_t \cdot H$	鉛直全土圧 σ_v (kgf/cm ²)	鉛直全土圧発生率 σ_v / σ
コア ゾーン 低標高部	F	1	81.0	2.0	16.2	14.0	0.86
	L	1	66.0	2.1	13.9	(5.9)	(0.42)
	O	1	59.0	2.0	11.8	10.4	0.88
	R	1	60.0	1.8	10.8	12.5	1.16
	T	1	70.0	1.8	12.6	11.0	0.87
	V	BEP-1	110.0	1.9	20.9	10.9	0.52
	"	BEP-2	"	"	"	16.3	0.78
	"	BEP-3	"	"	"	15.0	0.72
	W	No 5+ 5 U	86.0	2.1	18.1	10.30	0.57
	"	" C	89.0	"	18.9	8.43	0.45
	"	" D	85.0	"	17.9	14.04	0.78
	"	No 6+ 0 U	86.0	"	18.1	12.47	0.69
	"	" C	89.0	"	18.9	13.08	0.69
	"	" D	85.0	"	17.9	11.22	0.63
	"	No 6+15 U	86.0	"	18.1	11.84	0.65
	"	" C	89.0	"	18.9	11.91	0.63
	"	" D	85.0	"	17.9	10.82	0.60
	"	No 7+10 U	86.0	"	18.1	9.93	0.55
	"	" C	89.0	"	18.9	7.84	0.41
	"	" D	85.0	"	17.9	10.97	0.61
	"	No13+10 U	76.0	"	16.0	—	—
	"	" C	77.0	"	16.2	10.94	0.68
	"	" D	76.0	"	16.0	10.80	0.68
	"	No13+15 U	76.0	"	16.0	—	—
	"	" C	77.0	"	16.2	5.95	0.37
	"	" D	76.0	"	16.0	8.67	0.54
	"	No14+ 0 U	75.8	"	15.9	7.53	0.47
	"	" C	76.8	"	16.1	8.09	0.50
	"	" D	75.8	"	15.9	9.51	0.60
	"	No14+ 5 U	74.3	"	15.6	—	—
	"	" C	75.3	"	15.8	11.26	0.71
	"	" D	74.3	"	15.6	9.52	0.61
	"	No19+ 5 U	38.1	"	8.0	4.37	0.55
	"	" C	"	"	"	4.74	0.59
	"	" D	"	"	"	5.80	0.73
	"	No19+10 U	35.9	"	7.54	3.55	0.47
	"	" C	"	"	"	4.04	0.54
	"	" D	"	"	"	2.83	0.38
	"	No19+15 U	35.3	"	7.41	2.87	0.39
	"	" C	"	"	"	4.28	0.58
	"	" D	"	"	"	3.19	0.43
	Y	S-2	81.5	2.17	17.7	10.28	0.59
	Z	E-5	118.5	2.4	28.4	22.8	0.80
	"	E-8	"	"	"	20.8	0.73
	"	E-11	"	"	"	19.0	0.67
	"	E-36	98.5	"	23.6	15.5	0.66
	"	E-39	"	"	"	21.3	0.90

表-1.3(b) 鉛直全土圧発生率 (2/2)

計測位置	ダム名	計器番号	盛立高 H (m)	単位体積重量 γ_t (tf/m ³)	土柱重量 $\sigma = \gamma_t \cdot H$	鉛直全土圧 σ_v (kgf/cm ²)	鉛直全土圧発生率 σ_v / σ
コア ゾーン 中標高部	L	6	36.0	2.1	8.0	5.5	0.69
	T	2	41.0	1.8	7.4	3.7	0.50
	V	CEP-2	80.0	1.9	15.2	12.0	0.79
	"	CEP-5	50.0	1.9	9.5	7.5	0.79
	W	C-4	60.0	2.1	12.6	7.43	0.59
	"	C-5	59.0	2.1	12.4	9.57	0.77
	Y	S-1	50.5	2.17	11.0	7.49	0.68
	"	SC-1	"	"	"	10.79	0.98
	"	SC-2	"	"	"	8.40	0.76
	"	SC-3	"	"	"	11.51	1.05
	"	SC-4	48.5	"	10.5	10.23	0.97
	"	SC-11	32.5	"	7.05	9.41	1.33
	Z	E-20	104.5	2.4	25.1	20.6	0.82
	"	E-27	74.5	"	17.9	(12.0)	(0.67)
	"	E-32	44.5	"	10.7	5.7	0.53
フィルタ ゾーン	V	FEP-3	80.0	2.1	16.8	27.0	1.61
	"	FEP-4	80.0	2.1	16.8	29.0	1.73
	"	FEP-6	50.0	2.1	10.5	15.0	1.43
	"	FEP-7	50.0	2.1	10.5	14.0	1.33
	W	F-1	56.0	2.4	13.4	13.0	0.97
	"	F-2	54.0	2.4	13.0	15.0	1.15
	Y	SF-5	46.5	2.1	9.7	10.29	1.06
	"	SF-6	45.5	"	9.6	11.70	1.21
	"	SF-21	33.5	"	7.0	7.33	1.05
	"	SF-31	32.5	"	6.8	8.00	1.18
	Z	E-19	97.0	2.5	24.3	(30.0)	(1.23)
	"	E-21	94.0	"	23.5	(30.0)	(1.28)
	"	E-26	70.0	"	17.5	25.8	1.47
	"	E-28	67.0	"	16.8	34.0	2.02
	"	E-31	42.0	2.5	10.5	(15.0)	(1.43)
	"	E-33	40.0	"	10.0	(14.6)	(1.46)
	"	E-38	92.0	"	23.0	32.9	1.43
	"	E-40	89.0	"	22.3	29.0	1.30
ロック ゾーン	L	2	49.0	1.9	9.3	5.2	0.56
	"	3	49.0	"	"	3.9	0.42
	"	4	35.0	"	7.0	6.9	0.99
	"	5	35.0	1.9	7.0	6.3	0.90
	M	FEP-12	27.0	1.8	4.9	5.2	1.06
	"	FEP-15	26.0	1.8	4.7	4.3	0.91
	T	3	50.0	1.8	9.0	8.0	0.89
	Z	E-17	87.0	2.3	20.0	19.0	0.95
	"	E-23	80.0	"	18.4	12.0	0.65
	"	E-25	60.0	"	13.8	9.4	0.68
	"	E-29	54.0	"	12.4	12.2	0.98
	"	E-30	32.0	"	7.4	6.7	0.91
	"	E-34	28.0	"	6.4	9.2	1.44

表-1.6(a) 鉛直有効土圧発生率 (1/2)

計測位置	ダム名	計器番号	盛立高 H (m)	単位体積重量 γ_t (tf/m ³)	土柱重量 σ $= \gamma_t \cdot H$	鉛直全土圧 σ_v (kgf/cm ²)	間隙水圧 U (kgf/cm ²)	鉛直有効土圧 σ'_v (kgf/cm ²)	鉛直有効 土圧発生率 σ'_v / σ
コア ゾーン 低標高部	L	1	66.0	2.1	13.9	(5.9)	1.07	(4.83)	(0.35)
	V	BEP-1	110.0	1.9	20.9	10.9	2.66	8.24	0.39
	"	BEP-2	"	"	"	16.3	5.07	11.23	0.54
	"	BEP-3	"	"	"	15.0	2.79	12.21	0.58
	W	No 5+ 5 U	86.0	2.1	18.1	10.30	1.42	8.88	0.49
	"	" C	89.0	"	18.9	8.43	0.64	7.79	0.41
	"	" D	85.0	"	17.9	14.04	0.49	13.55	0.76
	"	No 6+ 0 U	86.0	"	18.1	12.47	1.09	11.38	0.63
	"	" C	89.0	"	18.9	13.08	1.30	11.78	0.62
	"	" D	85.0	"	17.9	11.22	0.65	10.57	0.59
	"	No 6+15 U	86.0	"	18.1	11.84	0.94	10.90	0.60
	"	" C	89.0	"	18.9	11.91	1.26	10.65	0.56
	"	" D	85.0	"	17.9	10.82	0.45	10.37	0.58
	"	No 7+10 U	86.0	"	18.1	9.93	0.53	9.40	0.52
	"	" C	89.0	"	18.9	7.84	2.16	5.68	0.30
	"	" D	85.0	"	17.9	10.97	0.65	10.32	0.58
	"	No13+10 U	76.0	"	16.0	—	—	—	—
	"	" C	77.0	"	16.2	10.94	1.75	9.19	0.57
	"	" D	76.0	"	16.0	10.80	1.45	9.35	0.58
	"	No13+15 U	76.0	"	16.0	—	—	—	—
	"	" C	77.0	"	16.2	5.95	1.82	4.13	0.25
	"	" D	76.0	"	16.0	8.67	1.50	7.17	0.45
	"	No14+ 0 U	75.8	"	15.9	7.53	—	—	—
	"	" C	76.8	"	16.1	8.09	2.18	5.91	0.37
	"	" D	75.8	"	15.9	9.51	1.30	8.21	0.52
	"	No14+ 5 U	74.3	"	15.6	—	—	—	—
	"	" C	75.3	"	15.8	11.26	1.39	9.87	0.62
	"	" D	74.3	"	15.6	9.52	1.03	8.49	0.54
	"	No19+ 5 U	38.1	"	8.0	4.37	0.36	4.01	0.50
	"	" C	"	"	"	4.74	0.82	3.92	0.49
	"	" D	"	"	"	5.80	0.27	5.53	0.69
	"	No19+10 U	35.9	"	7.54	3.55	0.42	3.13	0.41
	"	" C	"	"	"	4.04	0.90	3.14	0.42
	"	" D	"	"	"	2.83	0.44	2.39	0.32
	"	No19+15 U	35.3	"	7.41	2.87	0.28	2.59	0.35
	"	" C	"	"	"	4.28	0.83	3.45	0.47
	"	" D	"	"	"	3.19	0.32	2.87	0.39
Y	S-2		81.5	2.17	17.7	10.28	3.0	7.28	0.41
Z	E-5		118.5	2.4	28.4	22.8	5.1	17.7	0.62
"	E-8		"	"	"	20.8	6.0	14.8	0.52
"	E-11		"	"	"	19.0	4.7	14.3	0.50
"	E-36		98.5	"	23.6	15.5	2.2	13.3	0.56
"	E-39		"	"	"	21.3	2.5	18.8	0.80

表-1.6(b) 鉛直有効土圧発生率 (2/2)

計測位置	ダム名	計器番号	盛立高 H (m)	単位体積重量 γ_v (tf/m ³)	土柱重量 σ = $\gamma_v \cdot H$	鉛直全土圧 σ_v (kgf/cm ²)	間隙水圧 U (kgf/cm ²)	鉛直有効土圧 σ'_v (kgf/cm ²)	鉛直有効 土圧発生率 σ'_v / σ
中標高部 コア ゾーン	L	6	36.0	2.1	8.0	5.5	1.66	3.84	0.48
	V	CEP-2	80.0	1.9	15.2	12.0	7.38	4.62	0.30
	"	CEP-5	50.0	1.9	9.5	7.5	3.89	3.61	0.38
	W	C-4	60.0	2.1	12.6	7.43	2.43	5.0	0.40
	"	C-5	59.0	2.1	12.4	9.57	2.01	7.56	0.61
	Y	S-1	50.5	2.17	11.0	7.49	1.8	5.69	0.52
	"	SC-1	"	"	"	10.79	1.49	9.3	0.85
	"	SC-2	"	"	"	8.40	1.8	6.6	0.60
	"	SC-3	"	"	"	11.51	1.3	10.21	0.93
	"	SC-4	48.5	"	10.5	10.23	1.3	8.93	0.85
	"	SC-11	32.5	"	7.05	9.41	0.17	9.24	1.31
	Z	E-20	104.5	2.4	25.1	20.6	9.6	11.0	0.44
	"	E-27	74.5	"	17.9	(12.0)	6.3	(5.7)	(0.32)
	"	E-32	44.5	"	10.7	5.7	(3.0)	(2.7)	(0.25)

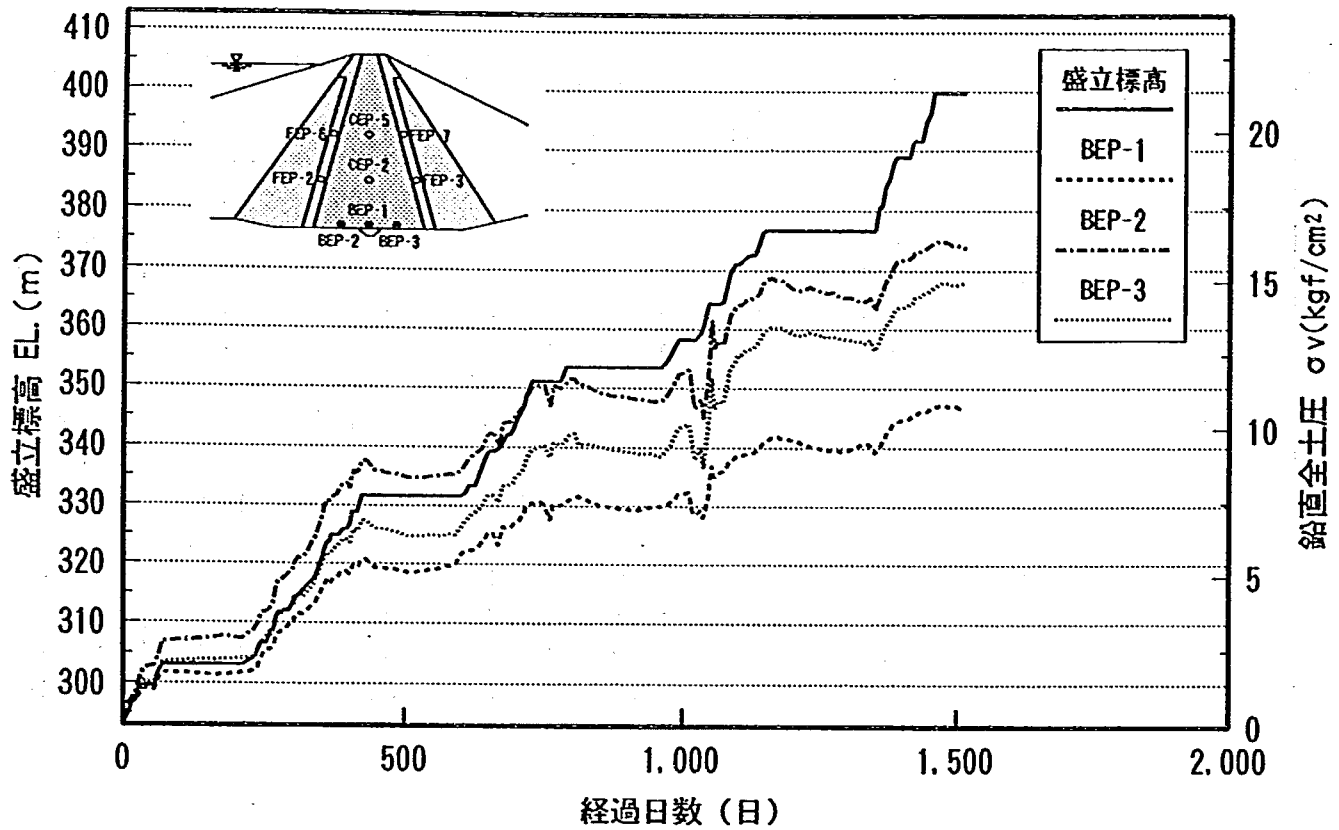


図-1.1 盛立標高と鉛直全土圧 (Vダム)

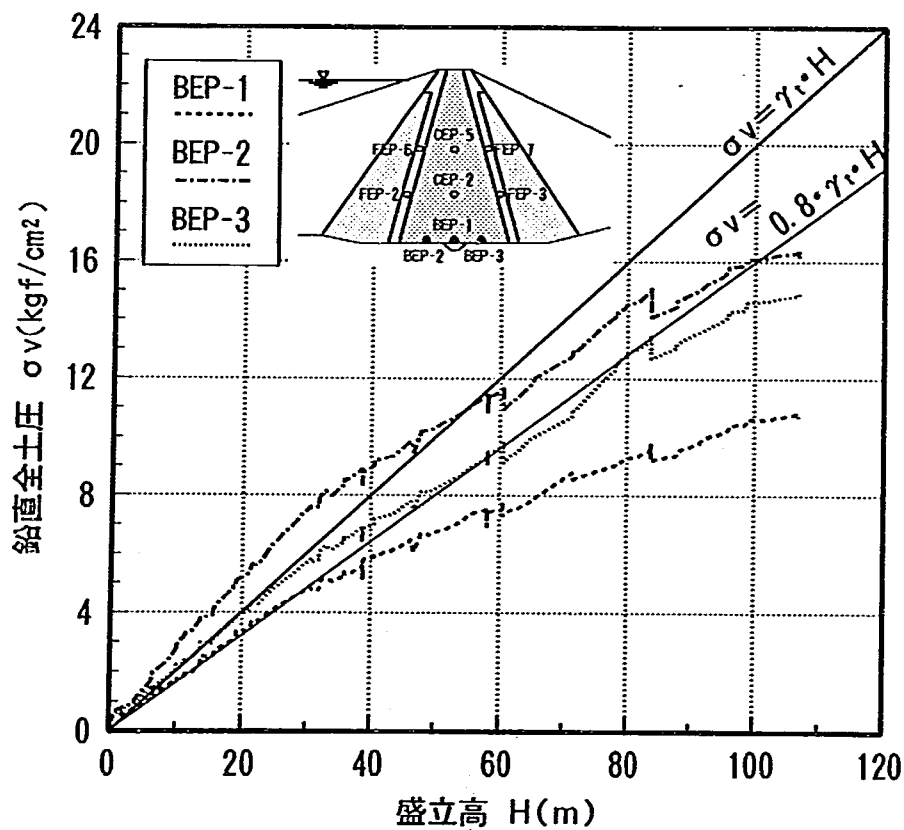


図-1.2 盛立高と鉛直全土圧 (Vダム)

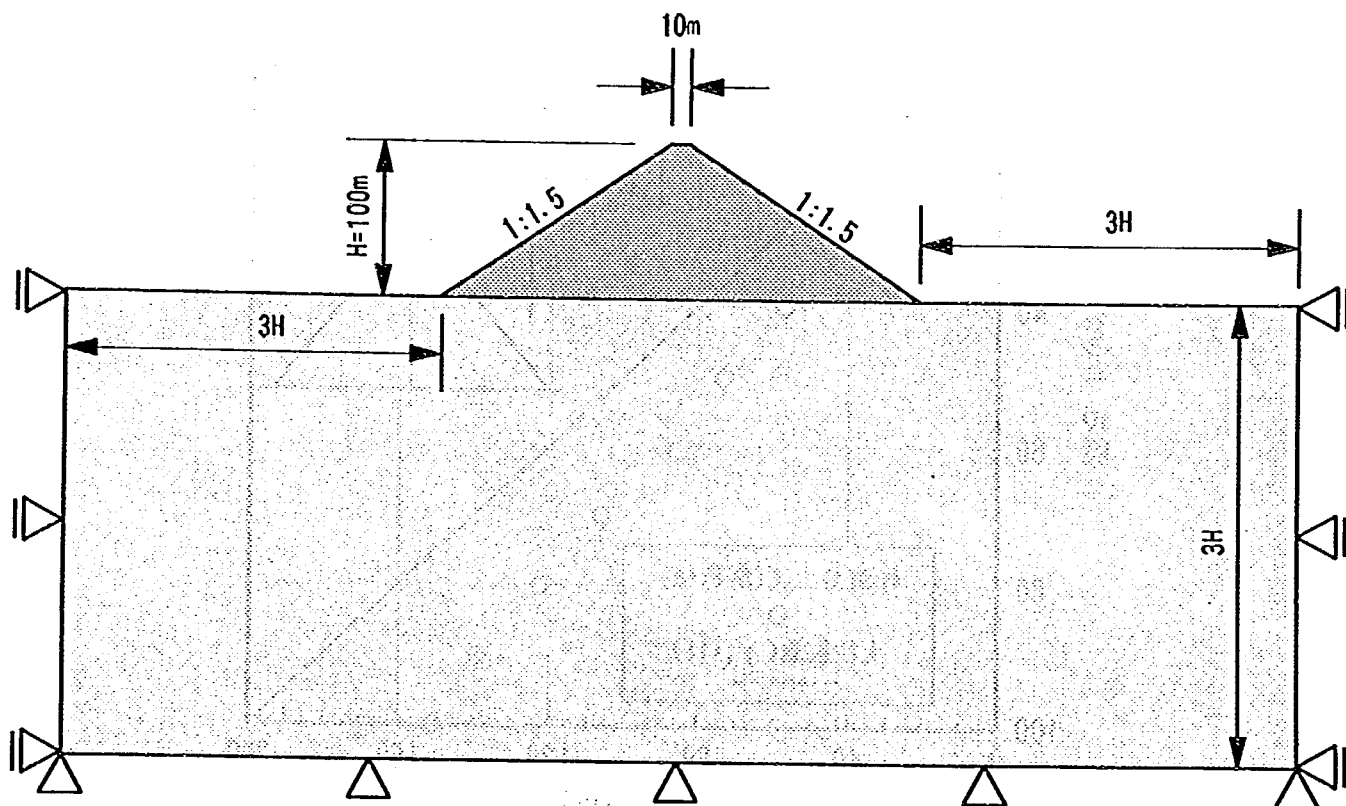


図-1・3(a) FEM解析モデル (全体)

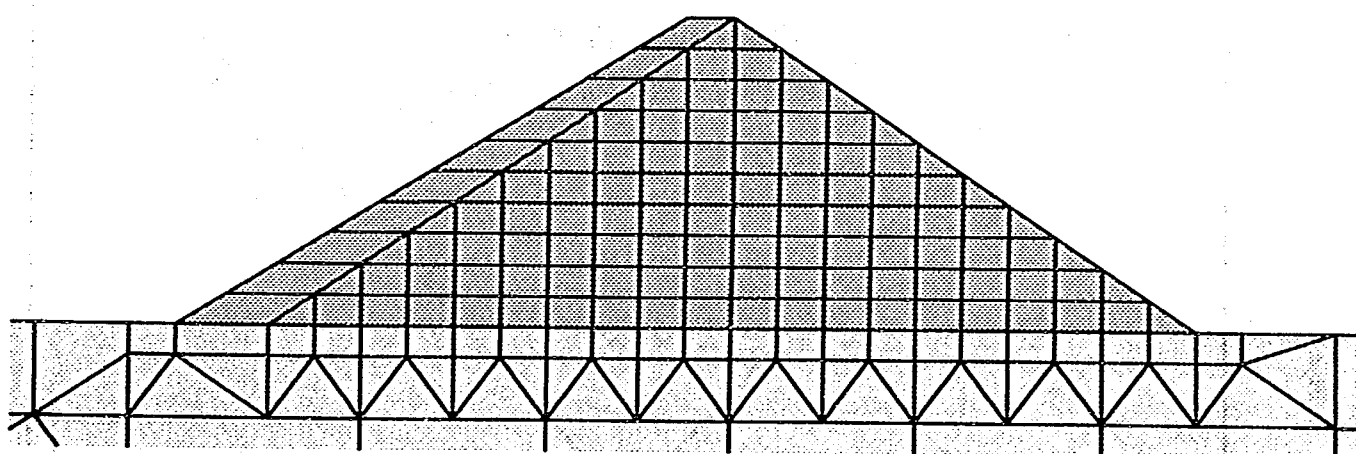


図-1・3(b) FEM解析モデル (堤体部)

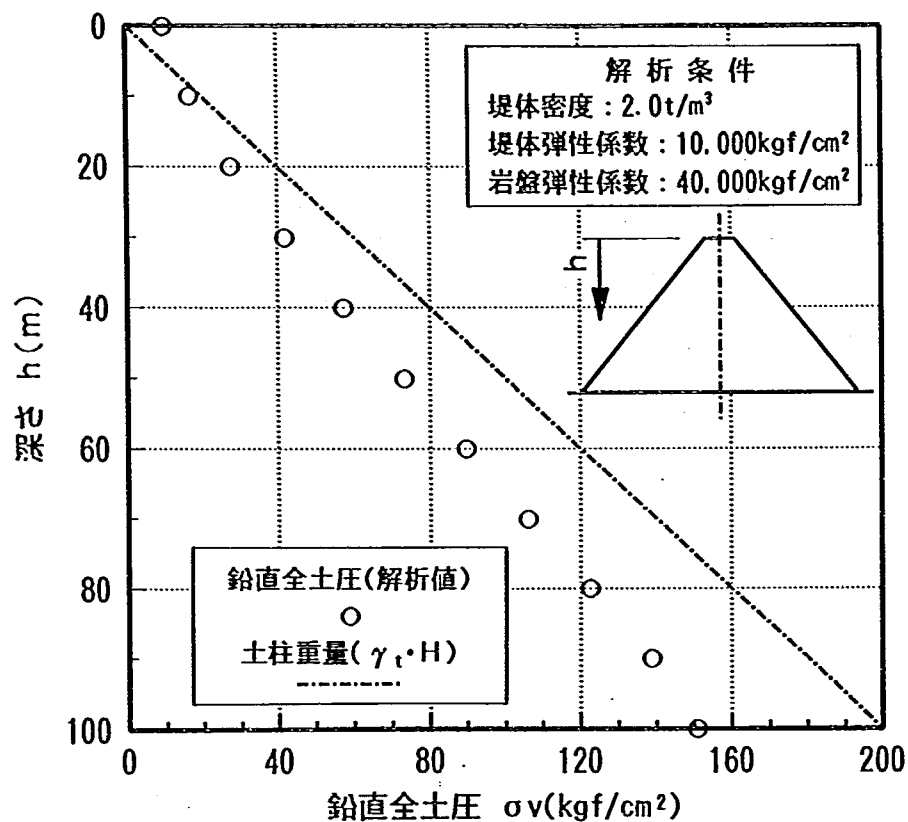


図-1.4 横断面中心線上の鉛直全土圧と土柱重量

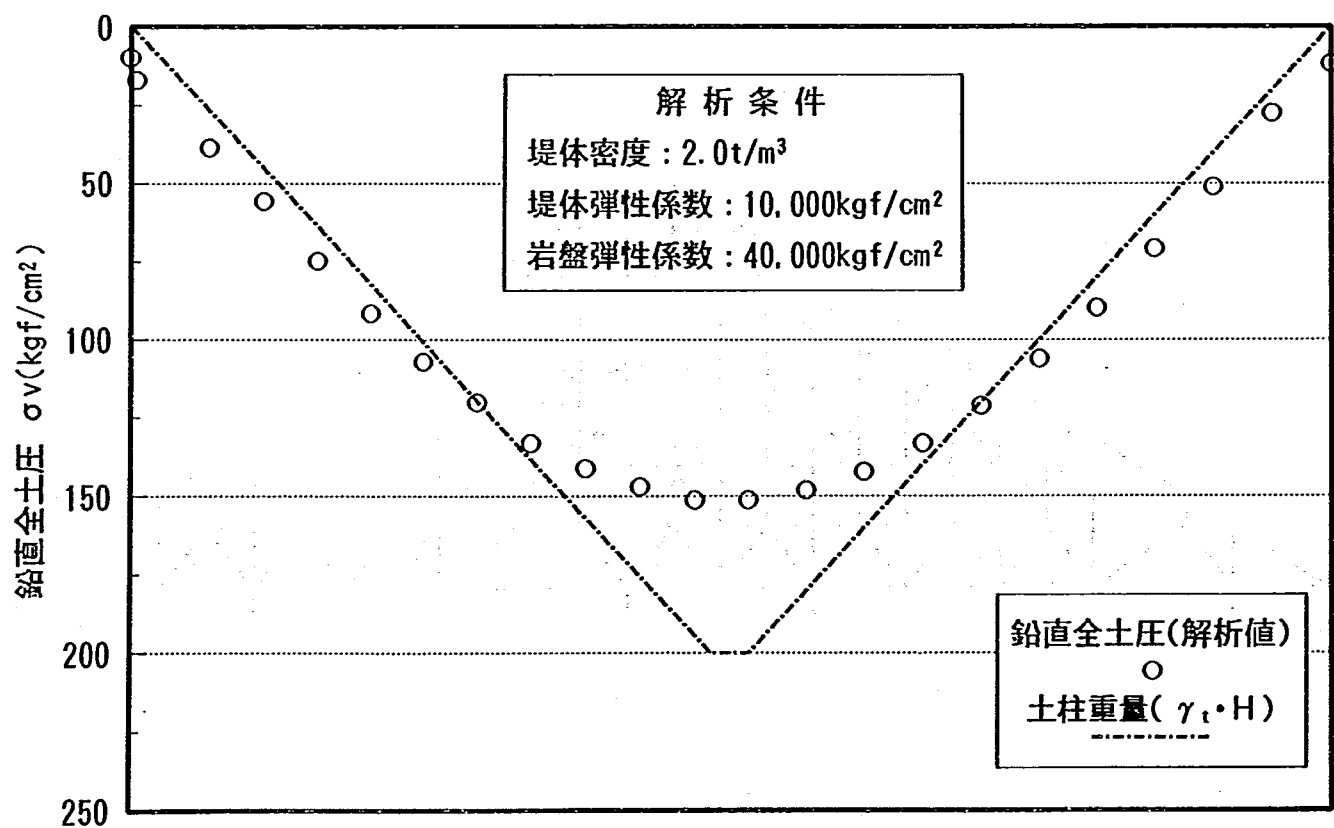
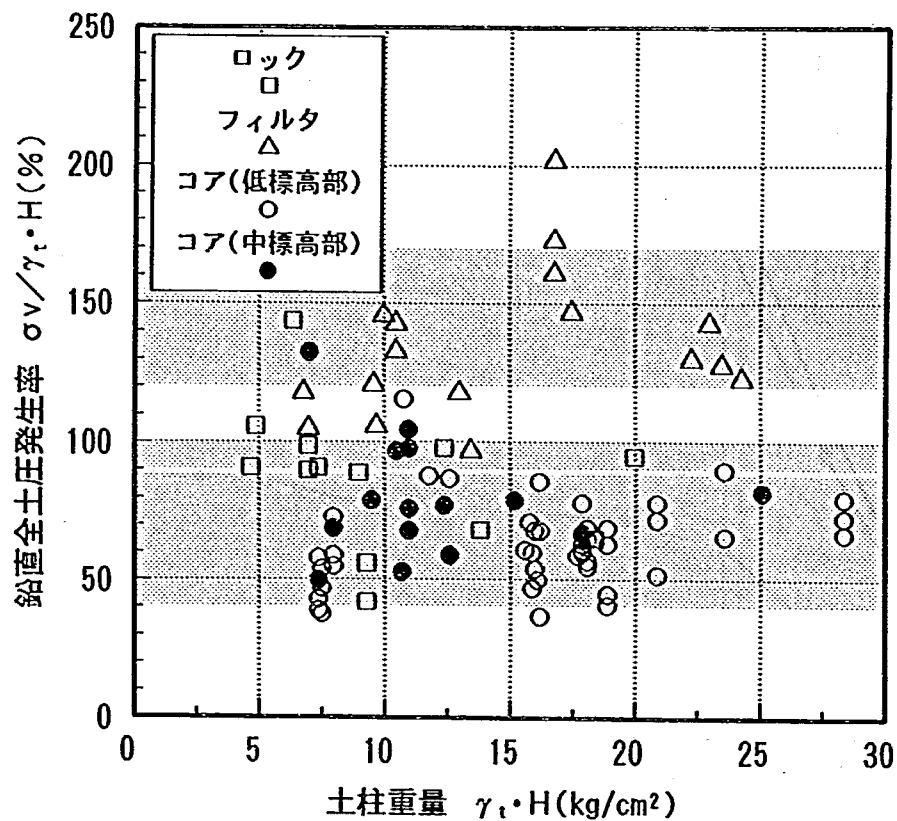
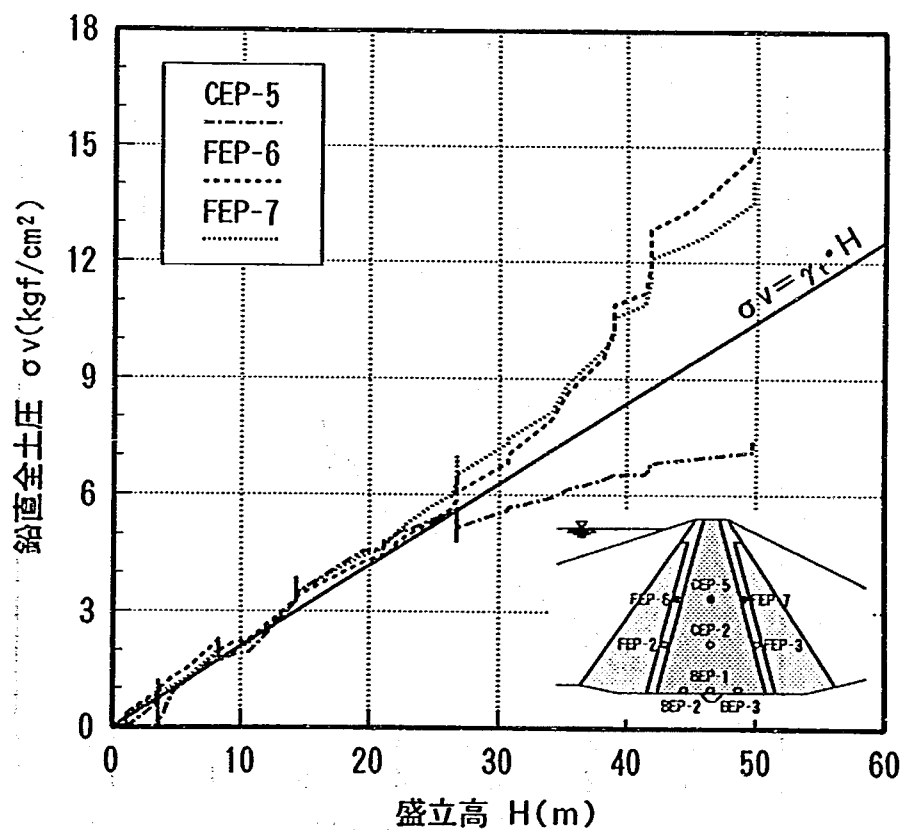


図-1.5 堤敷部の鉛直全土圧と土柱重量



図一・6 土柱重量と鉛直全土圧発生率



図一・7 盛立高と鉛直全土圧 (Vダム, EL. 350m)

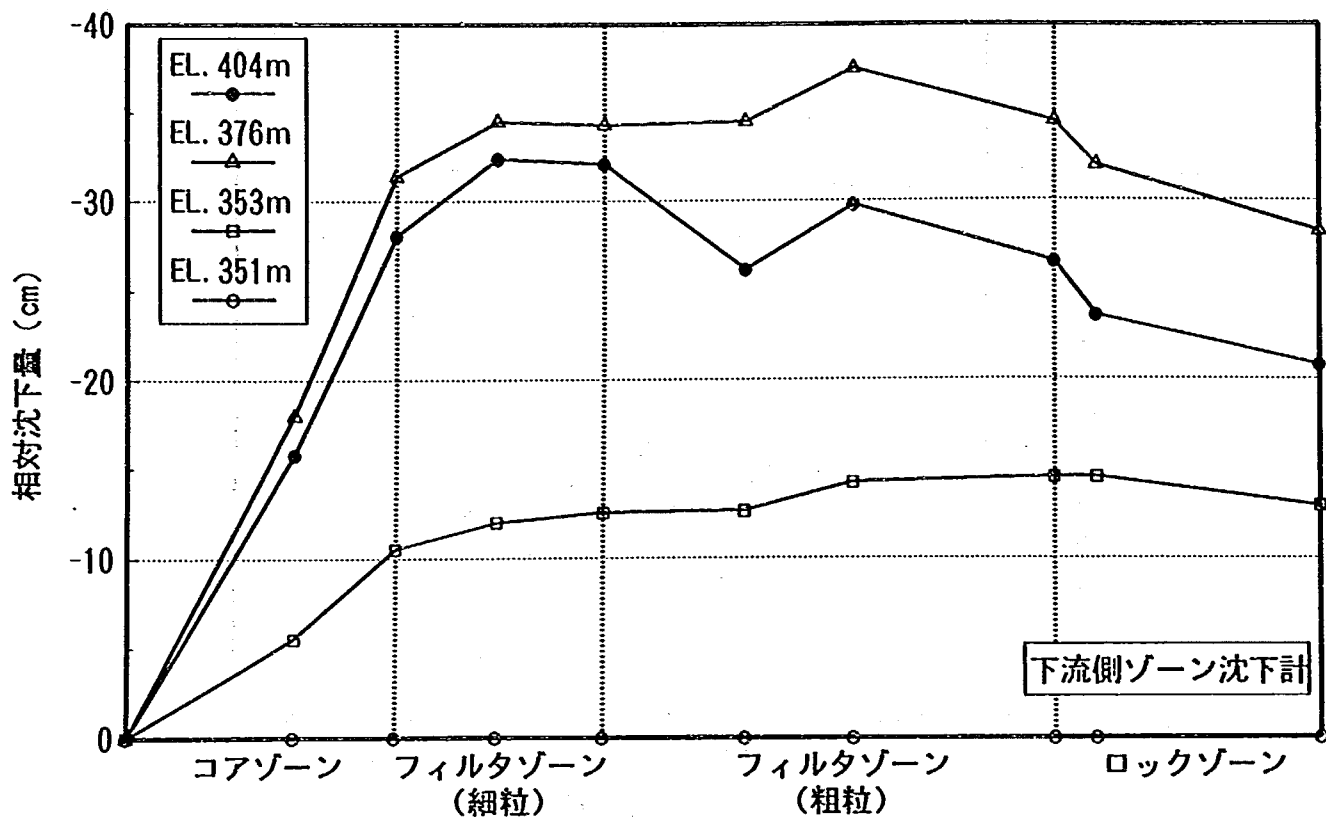


図-1.8 ソーン間の相対沈下量

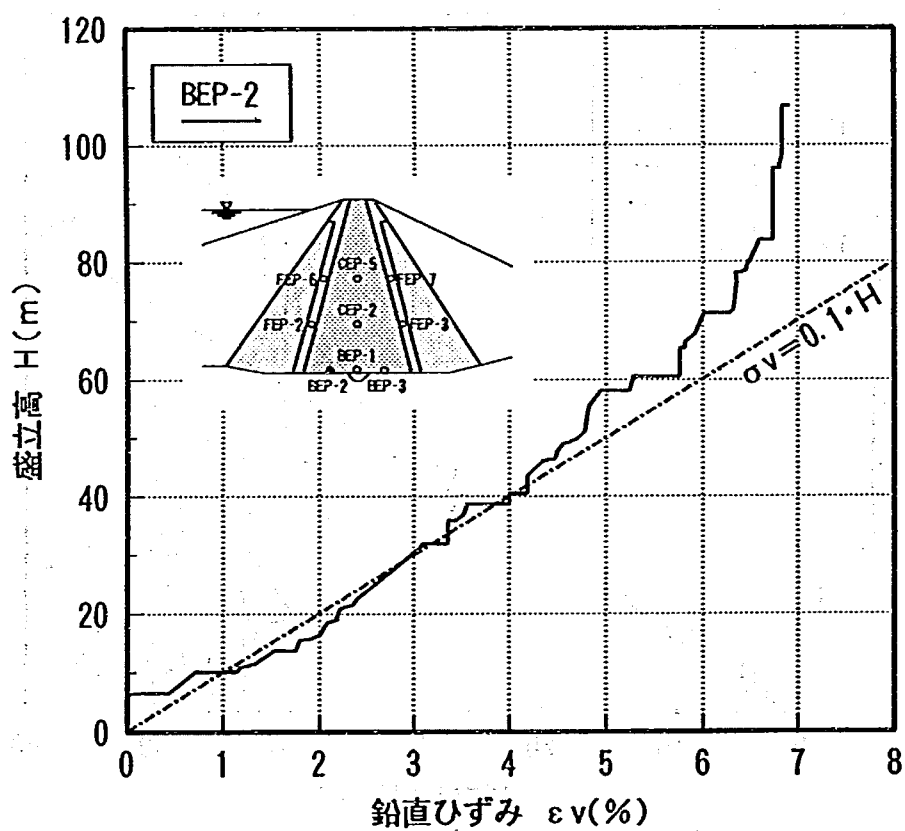
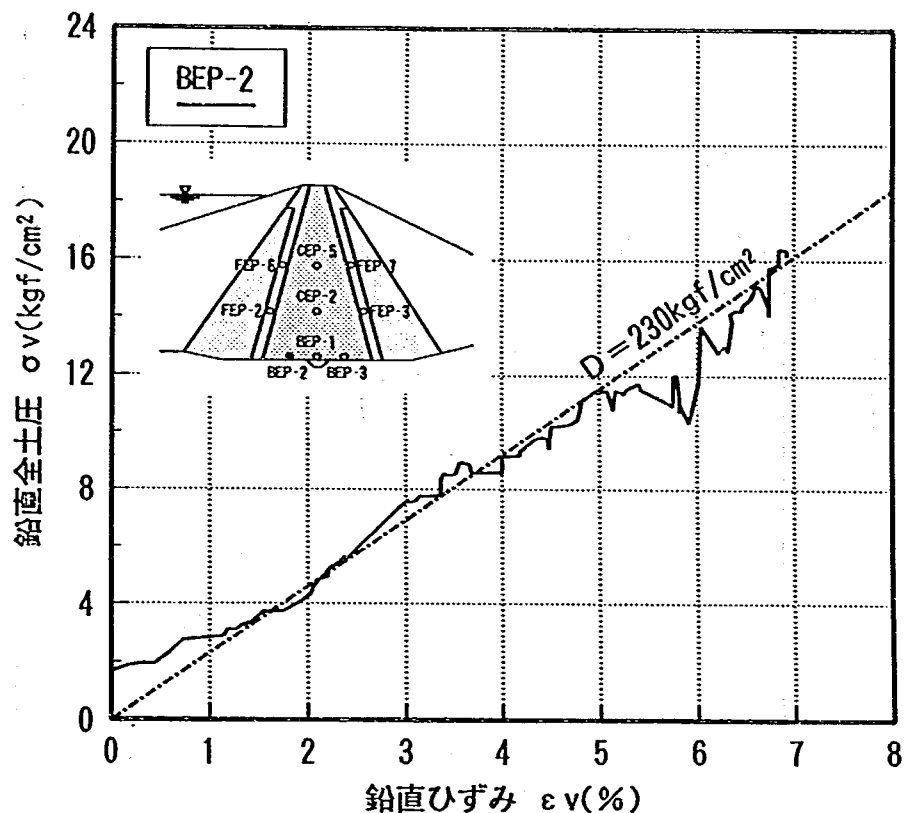
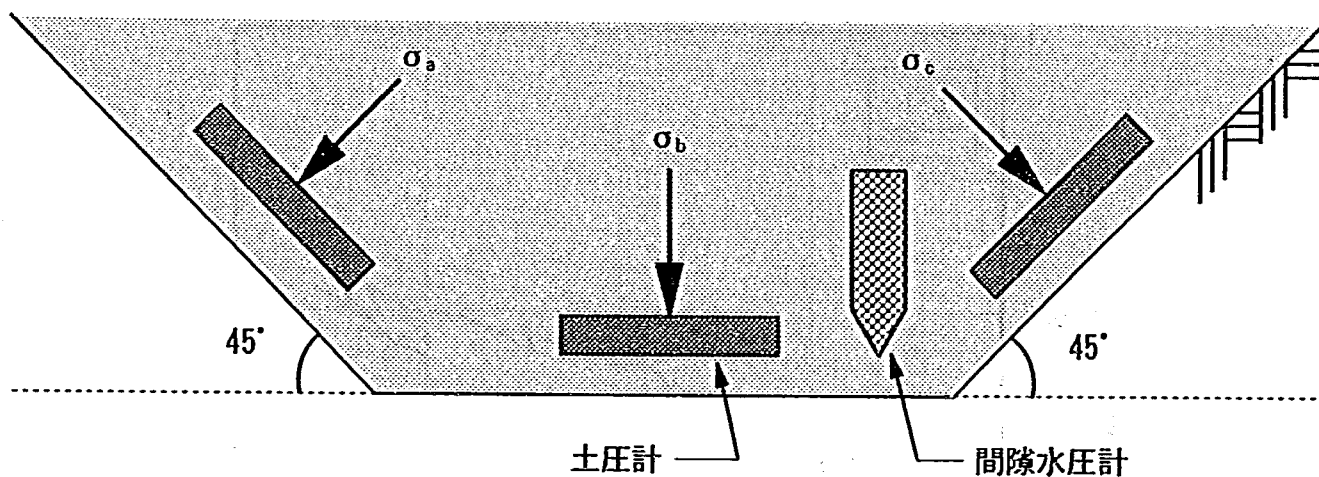


図-1.9 鉛直ひずみと盛立高 (Vダム)



図一・10 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Vダム)



$\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c$: 各土圧計が示す応力値

水平応力 : $\sigma_h = (\sigma_a + \sigma_c) - \sigma_b$

垂直応力 : $\sigma_v = \sigma_b$

主 応 力 : $\sigma_3^1 = \frac{\sigma_a + \sigma_c}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_a - \sigma_c)^2 + (\sigma_a + \sigma_c - 2\sigma_b)^2}$

図一・11 三面土圧計により求まる応力

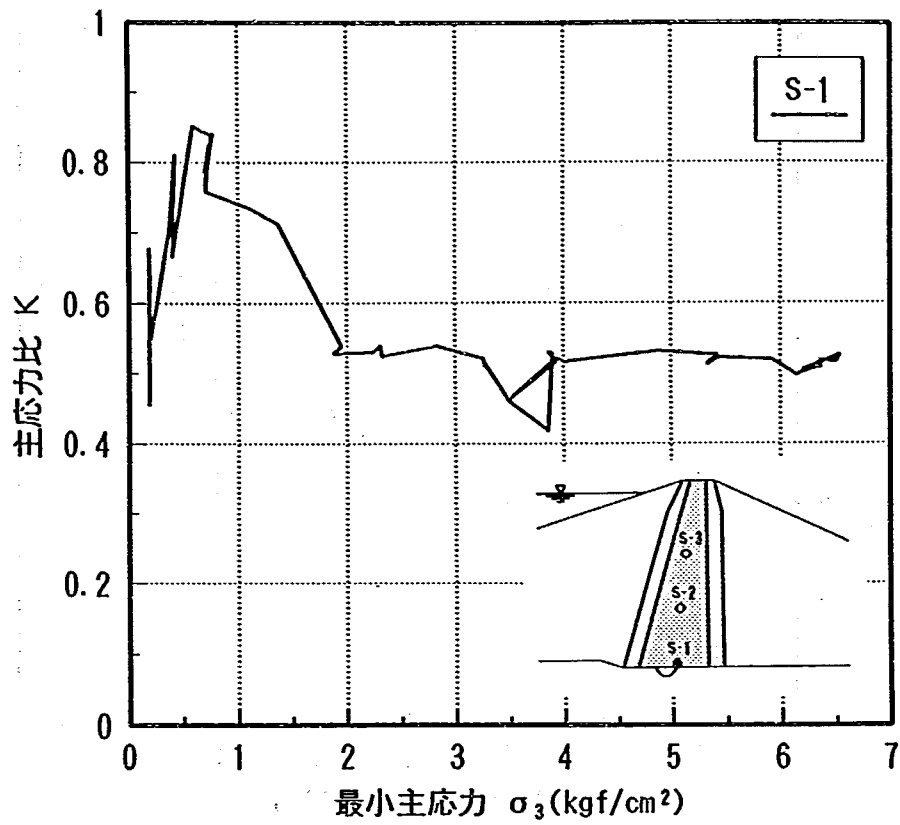


図-1・12(a) 最小主応力と主応力比 (Rダム)

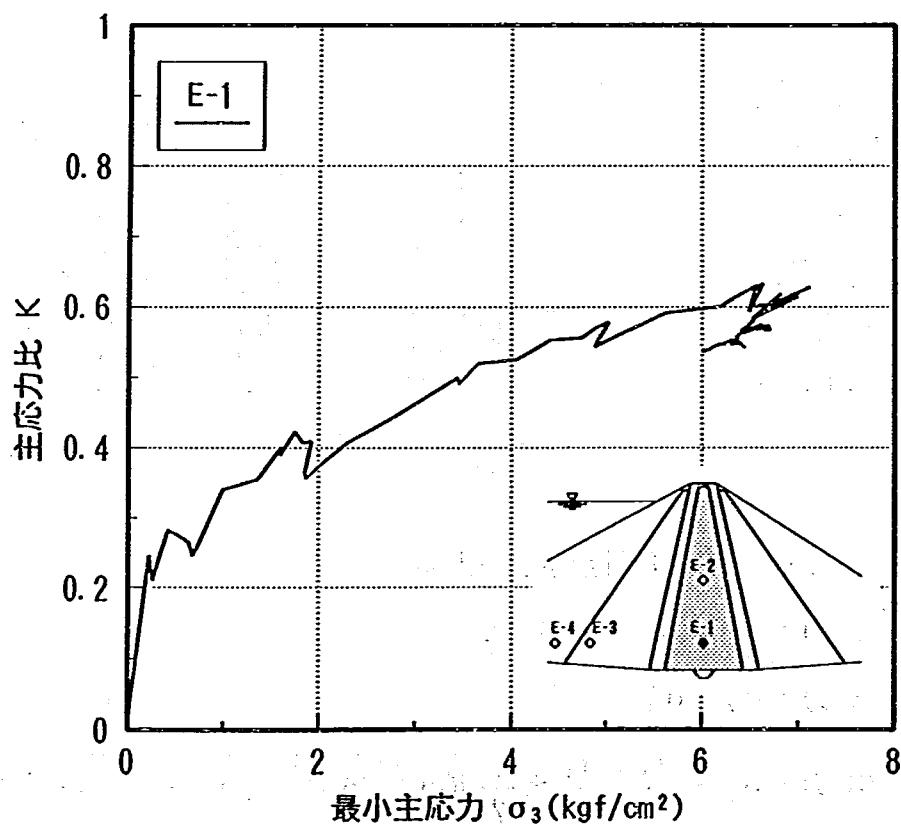


図-1・12(b) 最小主応力と主応力比 (Tダム)

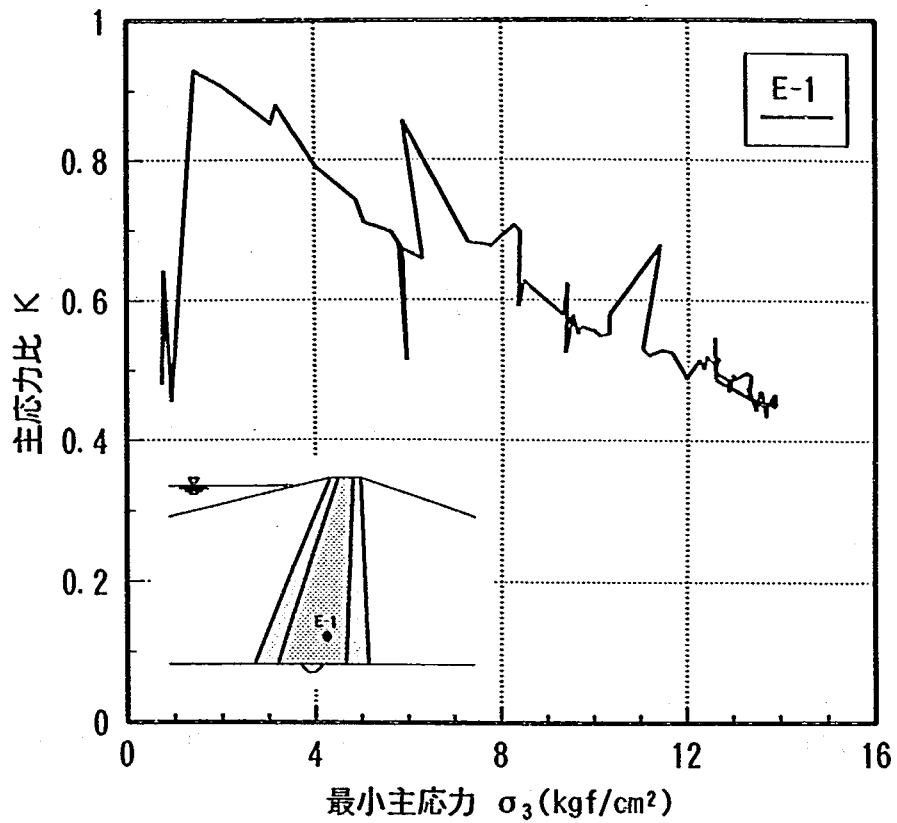


図-1・12(c) 最小主応力と主応力比 (Fダム)

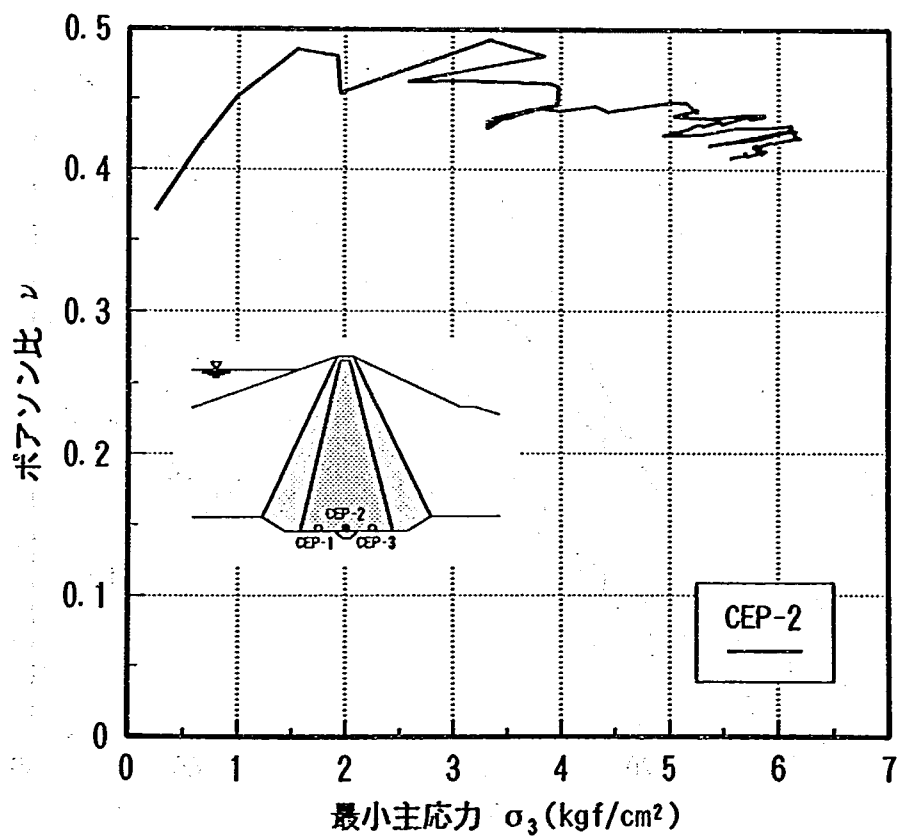


図-1・13 最小主応力とポアソン比 (Wダム)

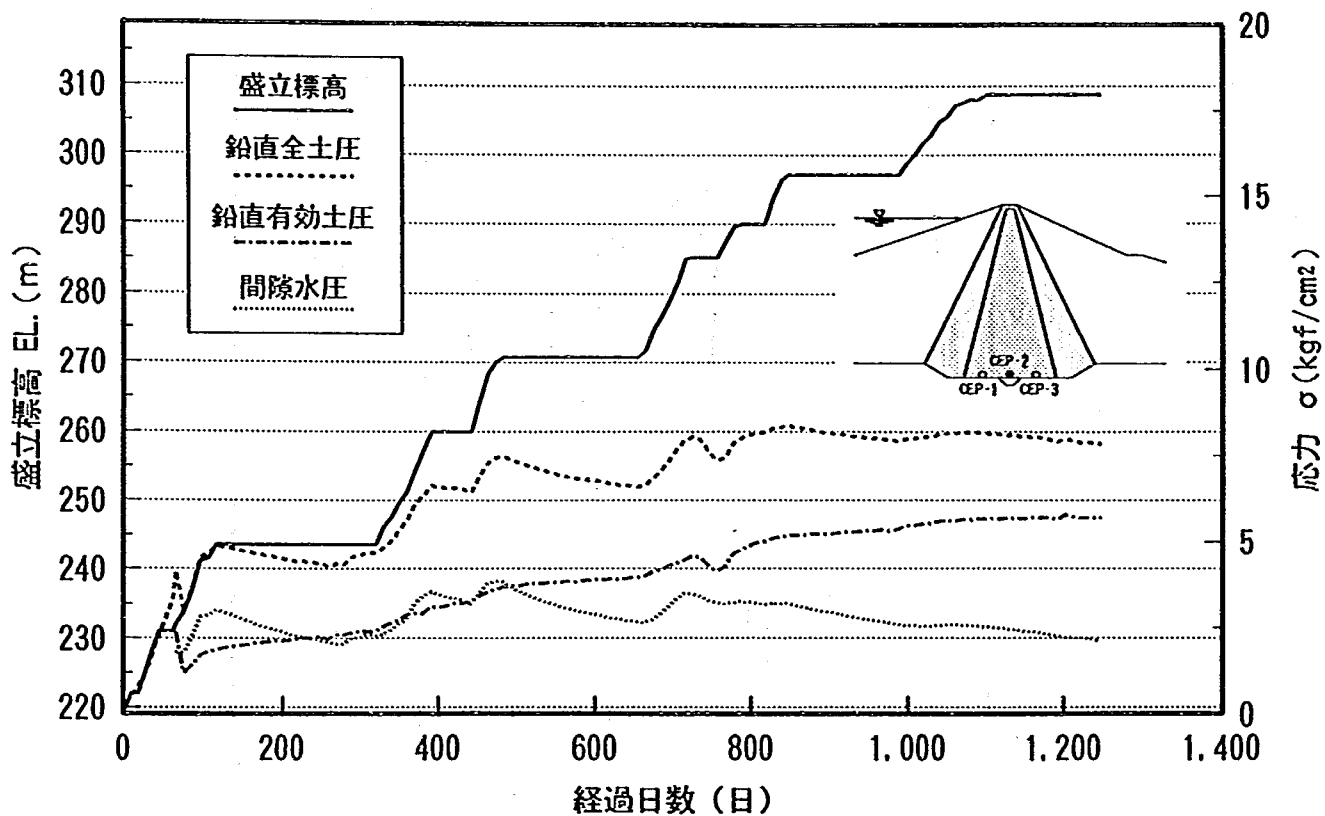


図-1.14 盛立標高と鉛直有効土圧 (Wダム)

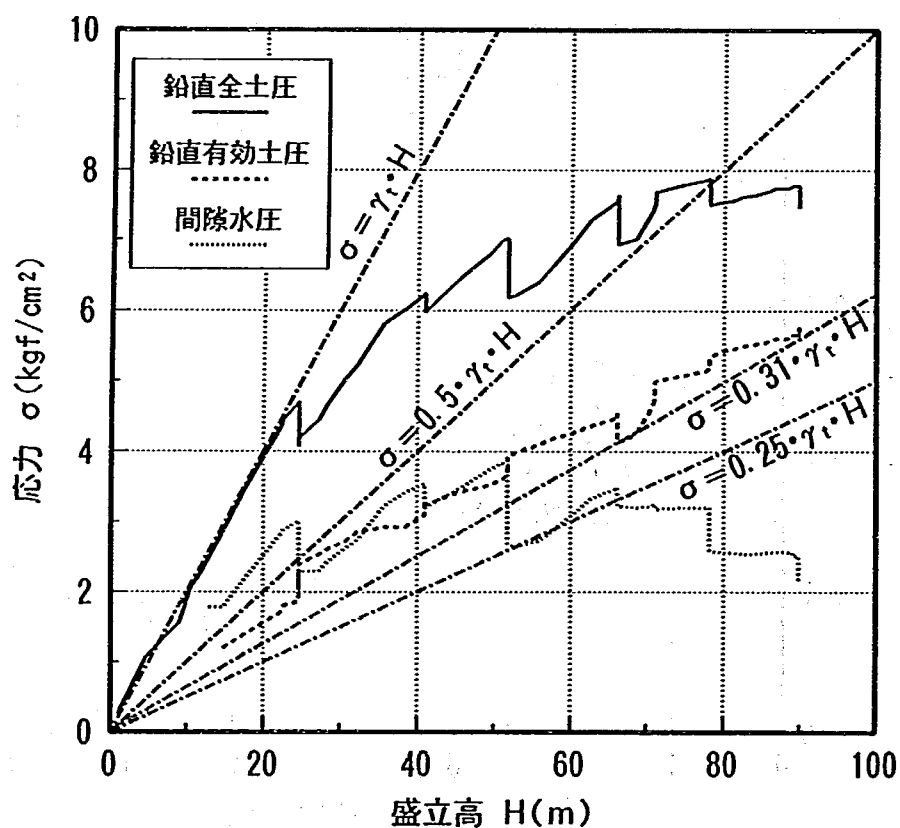


図-1.15 盛立高と鉛直有効土圧 (Wダム)

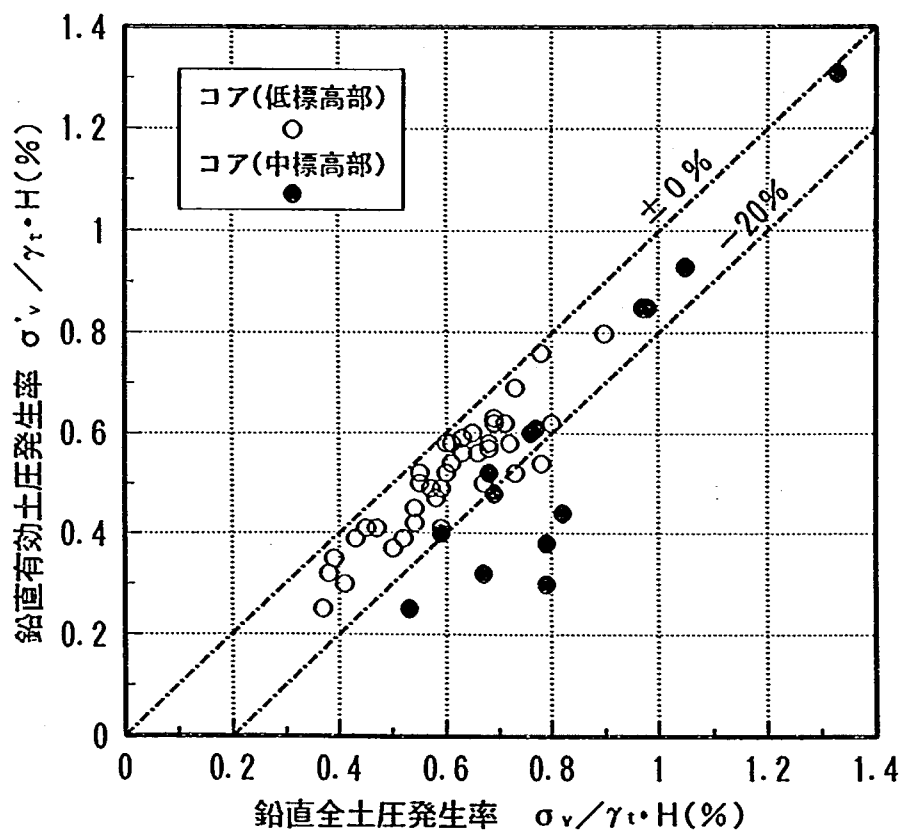


図-1.16 鉛直全土圧発生率と鉛直有効土圧発生率

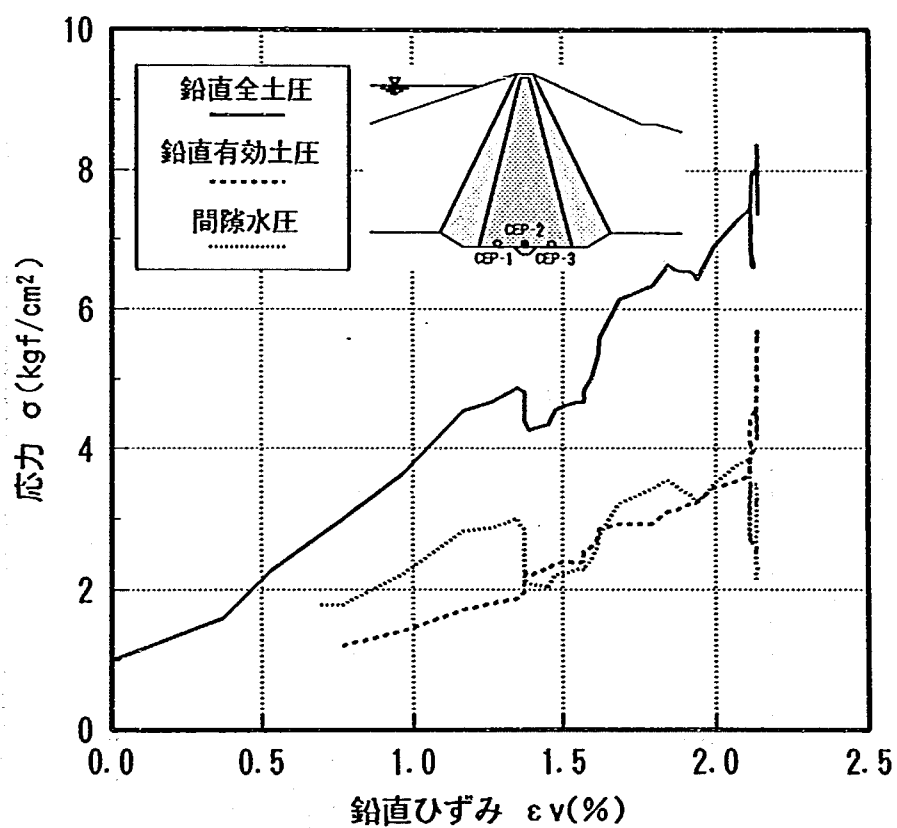


図-1.17 鉛直ひずみと鉛直有効土圧 (Wダム)

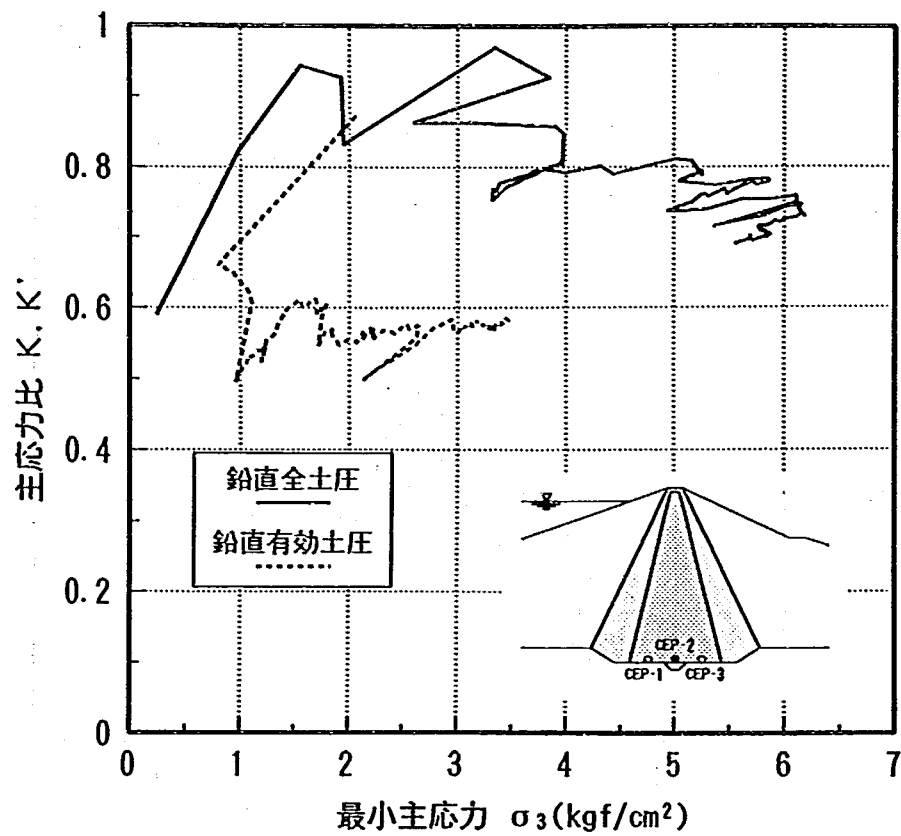


図-1.18 最小主応力と主応力比 (Wダム)

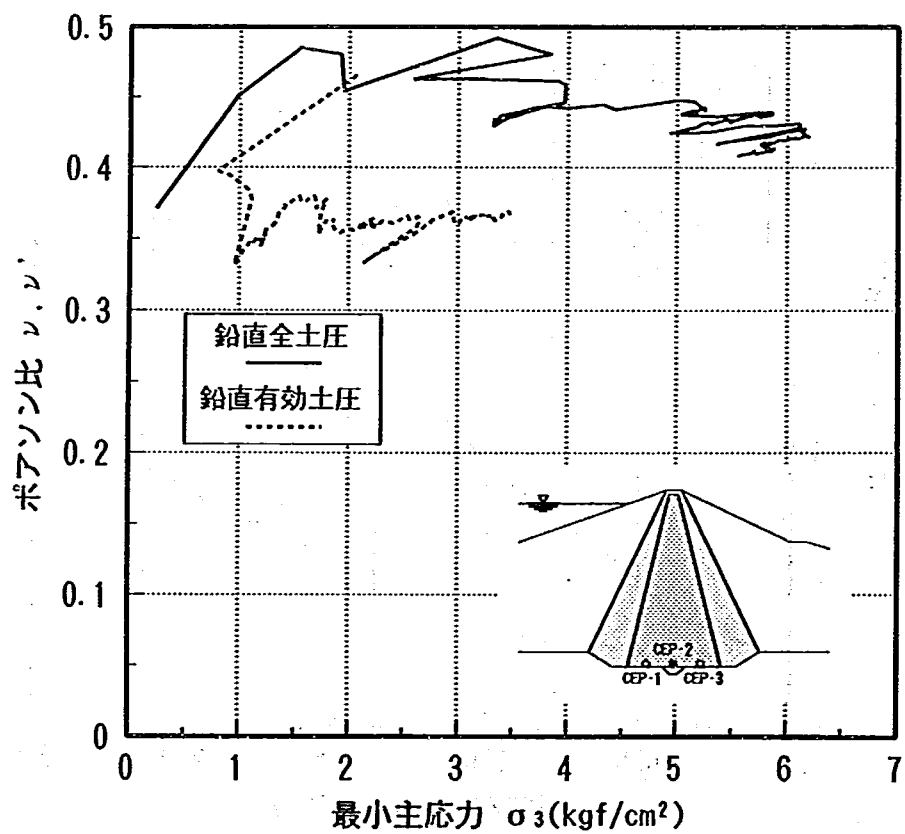
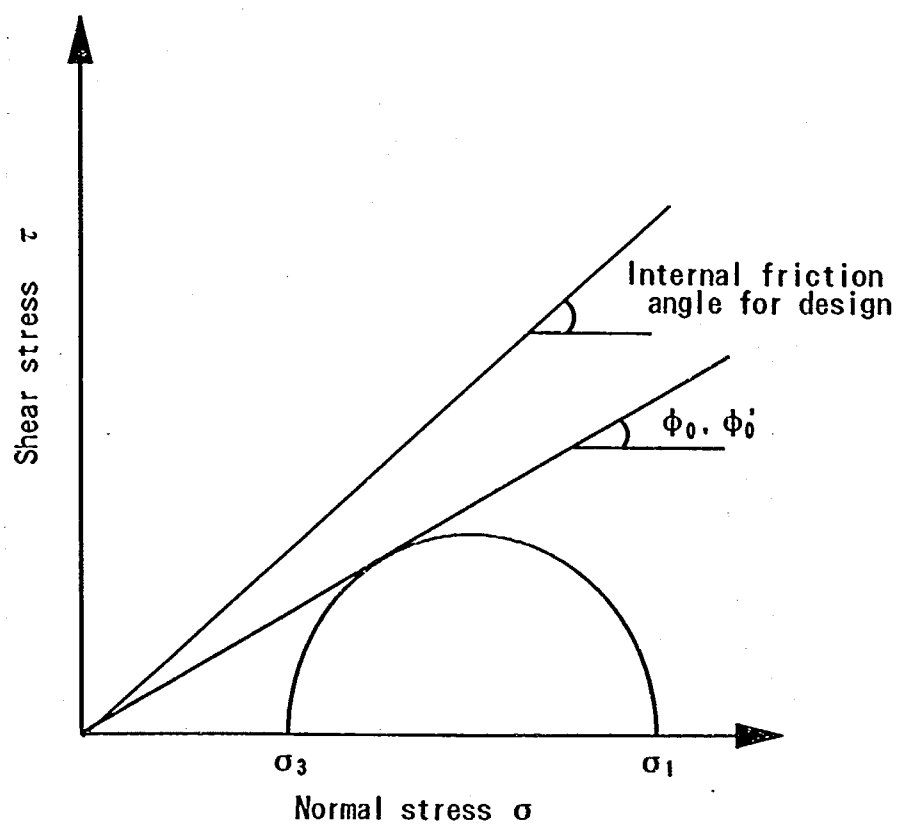


図-1.19 最小主応力とポアソン比 (Wダム)



図一・20 盛立過程におけるモールの応力円

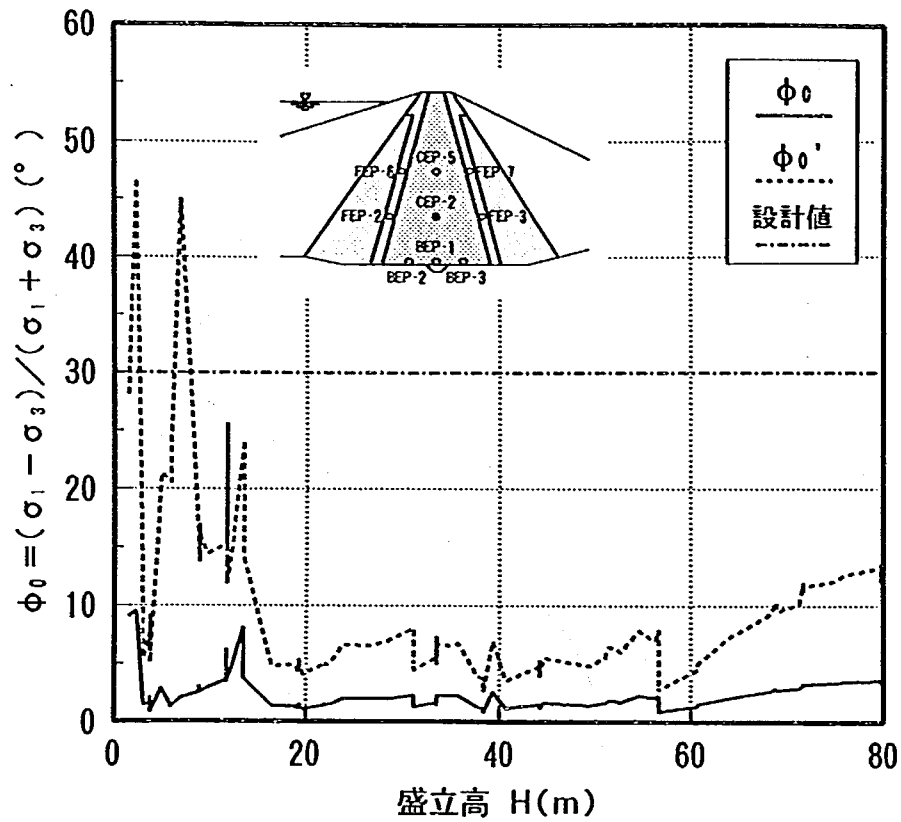


図-1.21(a) 盛立高と内部摩擦角 (Vダム, EL. 320m, コアゾーン)

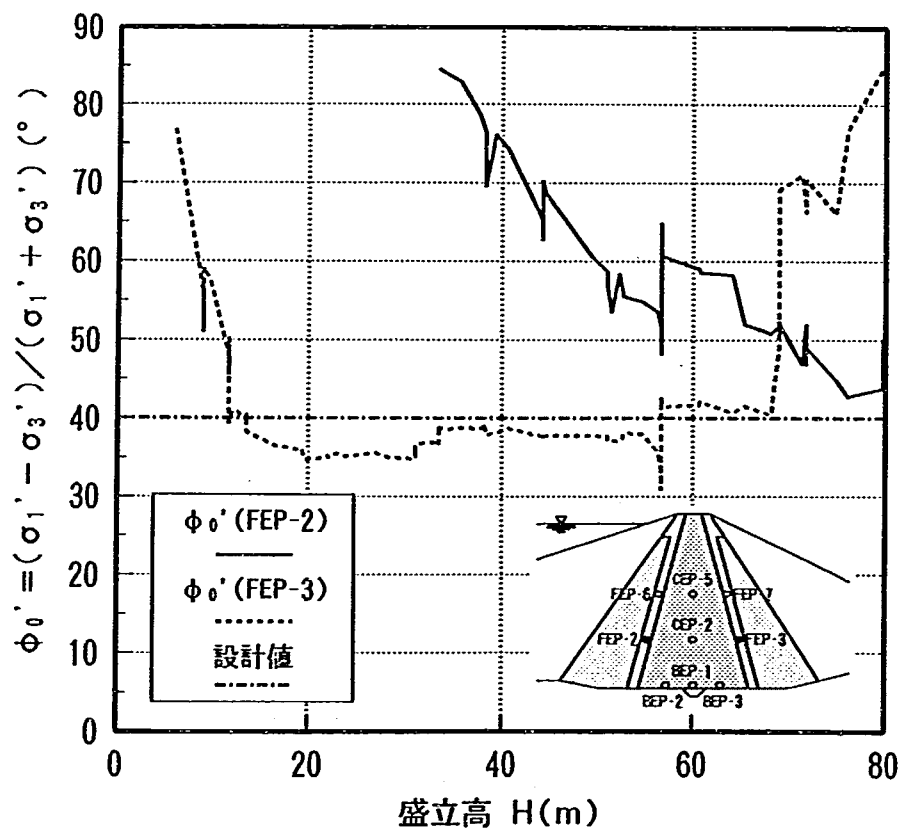
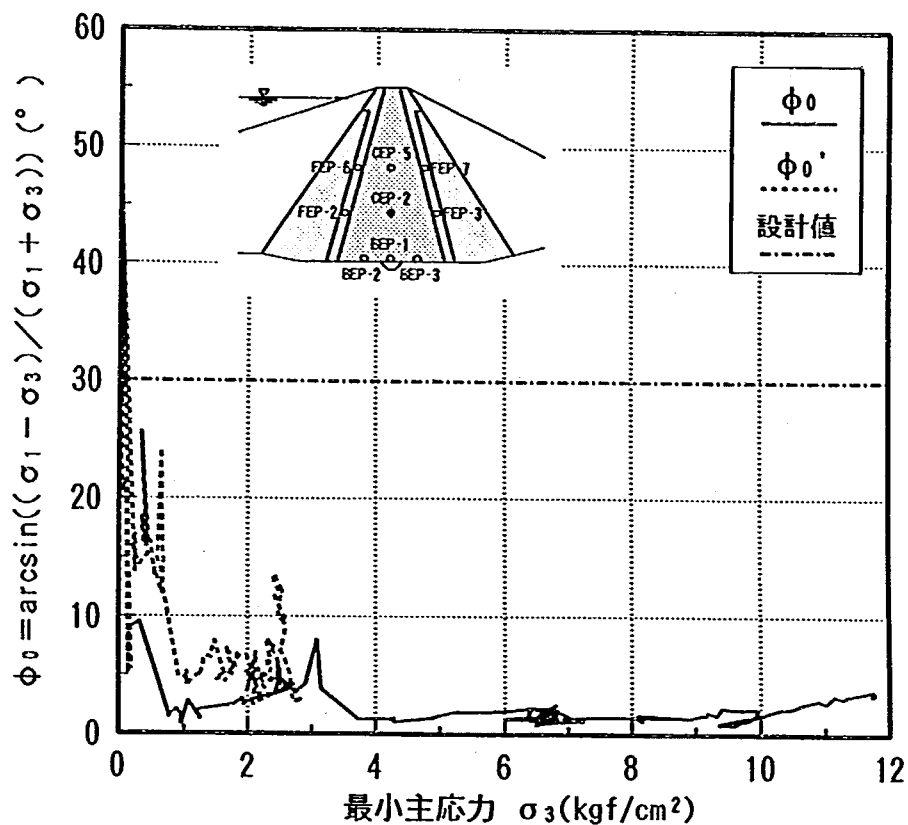
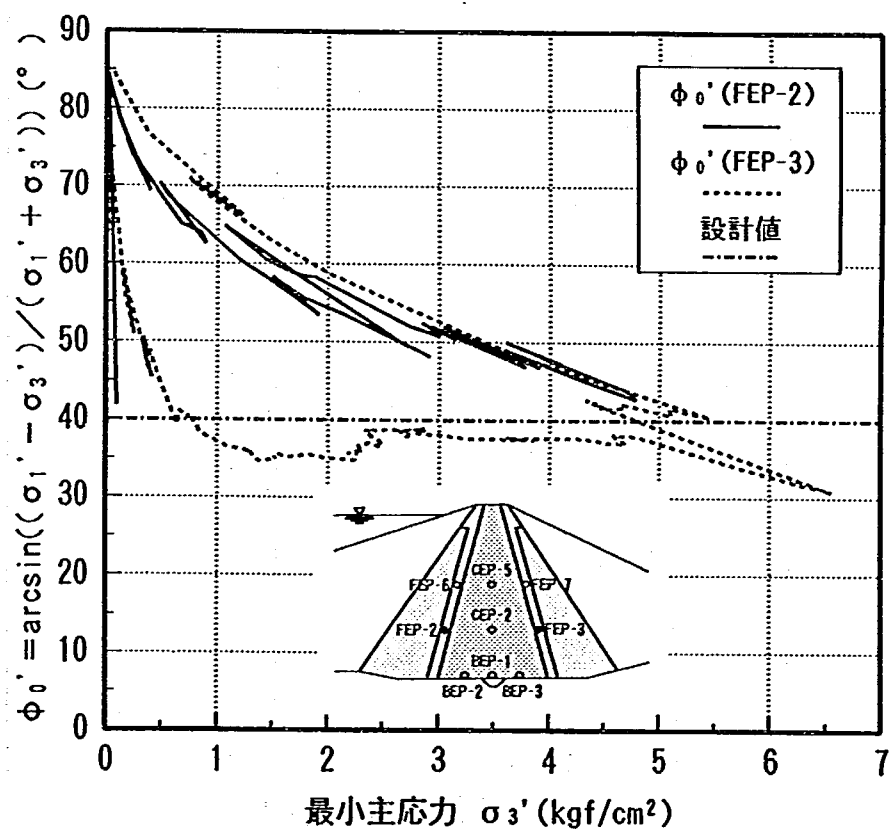


図-1.21(b) 盛立高と内部摩擦角 (Vダム, EL. 320m, フィルタゾーン)



図一・22(a) 最小主応力と内部摩擦角 (Vダム, EL. 320m, コアゾーン)



図一・22(b) 最小主応力と内部摩擦角 (Vダム, EL. 320m, フィルタゾーン)

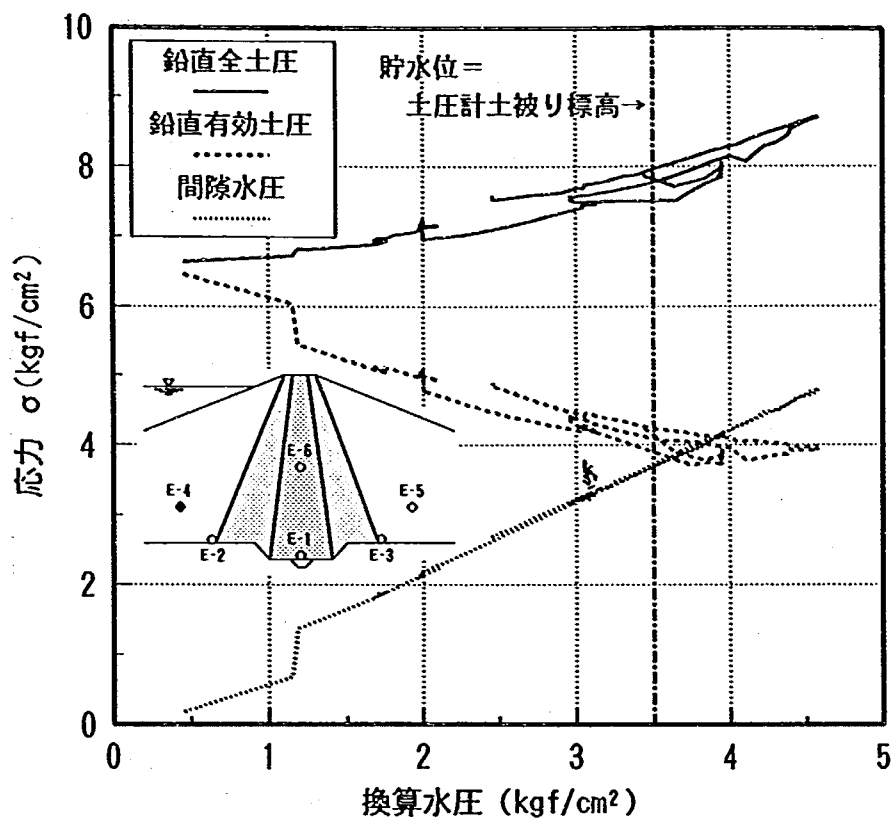


図-1.23(a) 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Lダム)

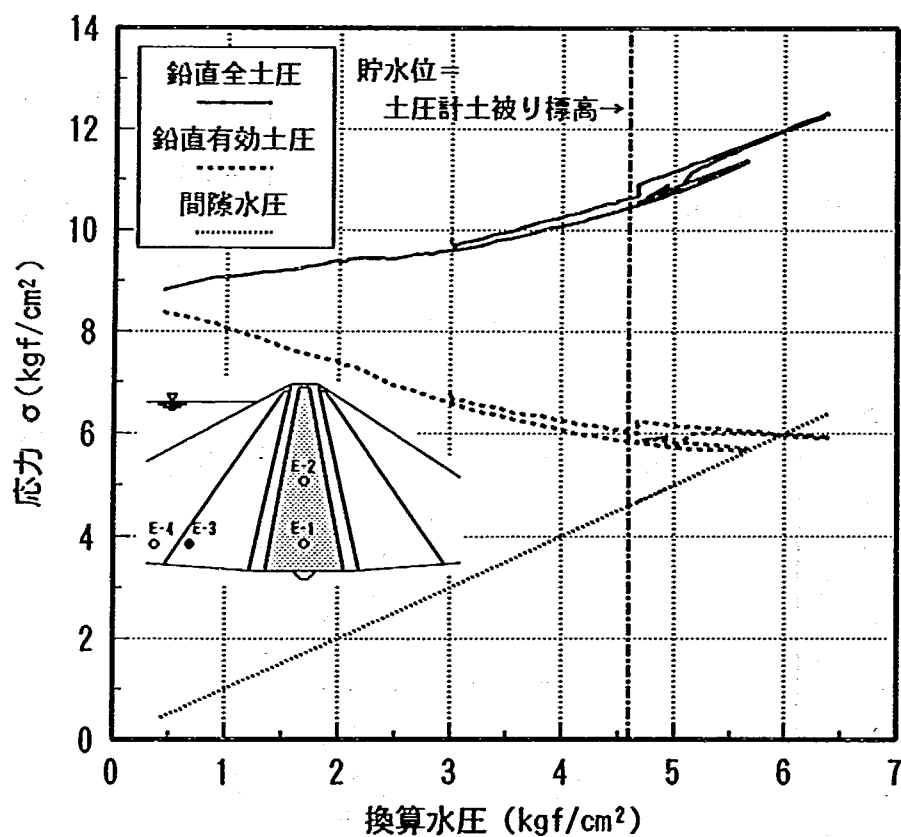


図-1.23(b) 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Tダム)

貯水位が土圧計直上の法面標高を

越えるまで

越えてから

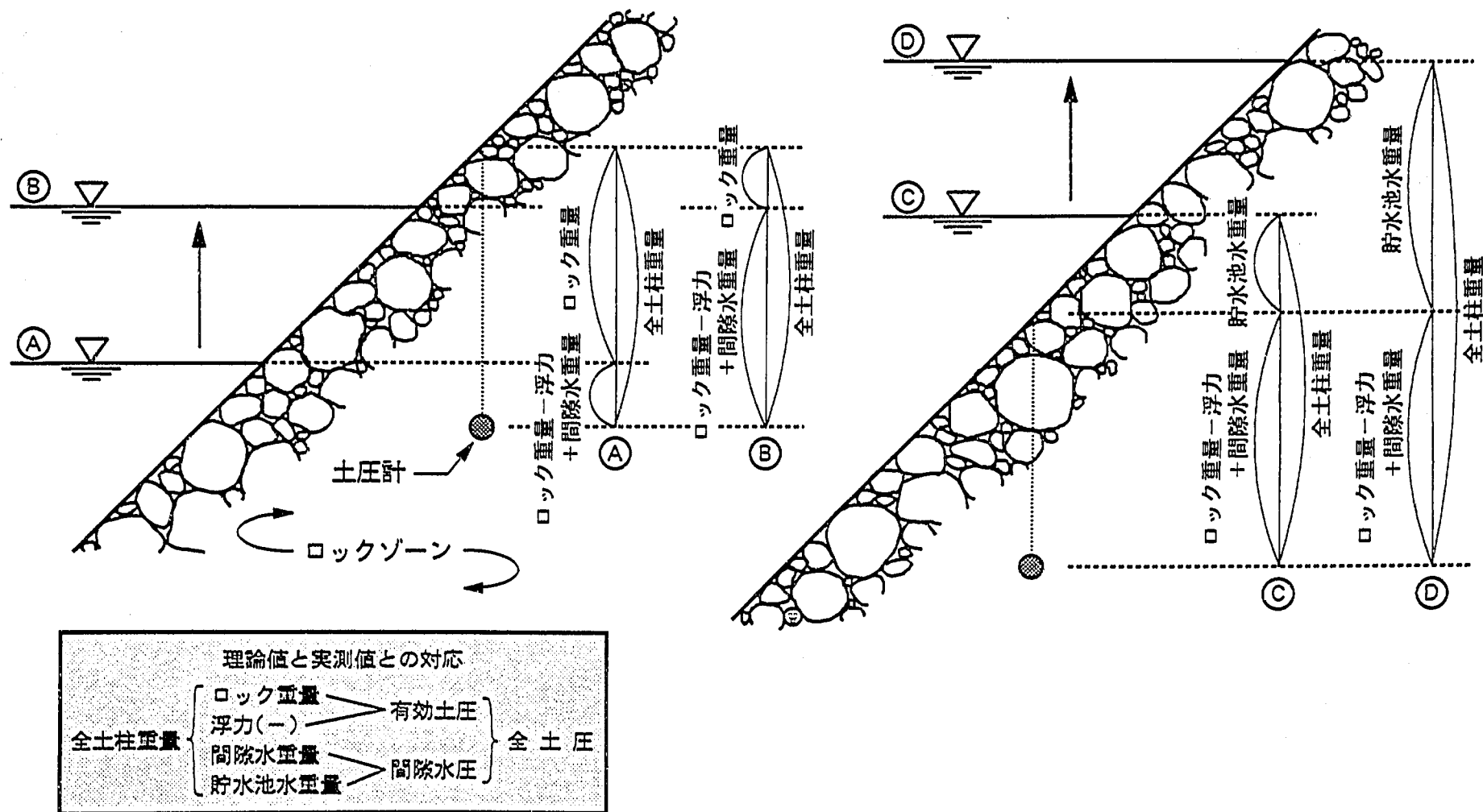
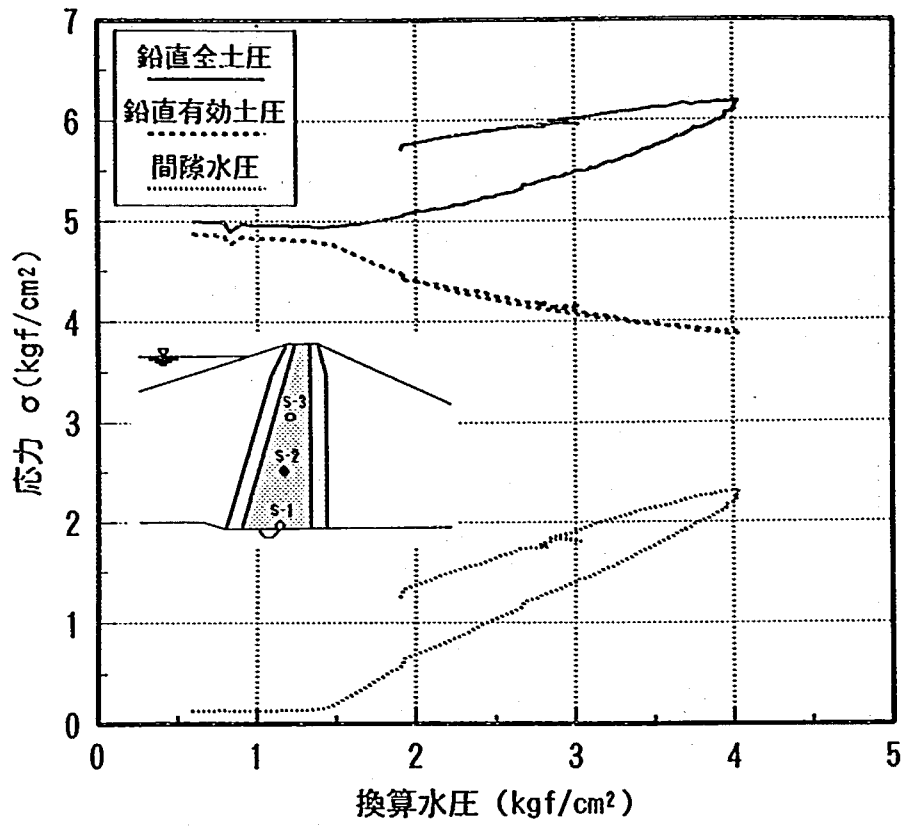


図-1.24 ロックゾーンで計測される全土圧の要素



図一・25 換算水圧と鉛直土圧，間隙水圧 (Rダム)

2 間隙水圧

2.1 概 要

不透水性の湿潤状態の土質材料を盛り立てると材料の内部に間隙水圧が発生する。この間隙水圧の増加に伴い、材料の有効応力が減少し、せん断強度が低下する。また、湛水期間における水位低下時には、間隙水圧の消散によって逆に有効応力が増加し、沈下が促進される。間隙水圧の計測はこの現象を数値的にとらえ、安全性の評価と沈下予測を行ううえで重要であることから、ほとんどのフィルダムで計測が行われている。

フィルダムの遮水ゾーンの間隙水圧に関する報告としては、Sherard(1963)が米国内務省開拓局の例を中心に B/H (B :コアゾーンの敷幅, H :ダム高), 盛立速度, 土質特性との関連について述べている。また, Hunter(1970)は Blowering Dam の例より, 最適含水比よりも+側(湿潤側)では大きな間隙水圧が発生し, -側(乾燥側)では小さな間隙水圧しか発生しなかったと述べている。日本においては, 野田(1966)が本沢ダムの遮水ゾーンと上流側透水ゾーンの貯水位変動による間隙水圧の変動傾向の違いについて報告している。

本章では, 表-1.1に示す建設省所管ダムのうち, 19ダムについて, 盛立期間, 初期湛水期間における間隙水圧の実測値を整理する。

盛立期間においては間隙水圧の発生要因について, また, 湛水期間においては等水圧分布の変化についてそれぞれ検討する。

2.2 盛立期間における間隙水圧の変化

2.2.1 間隙水圧発生率

図-2.1に盛り立てに伴う間隙水圧の発生状況の経時変化を示す。図-2.1(a)は中標高部の間隙水圧の発生状況である。盛り立ての進行に伴い、盛立高に追従するように間隙水圧が増加し、盛り立ての休止期間では間隙水圧が消散していくのが理解される。図-2.1(b)は低標高部での発生状況である。これは盛り立ての進行に伴う間隙水圧の増加がほとんどないダムの例であるが、低標高部の間隙水圧は、中標高部に比較して土柱重量に対する発生割合が低い傾向にある。

図-2.2に盛り立てに伴う間隙水圧の分布の変化を示す。間隙水圧はコアゾーンの中央部で最大となり、フィルタゾーンとの境界部で0となるような球根状の分布形状を示す。この傾向は盛立開始時から完了時まで続いている。間隙水圧が最大となる位置は各ダムによって異なるが、次の2つに大別される。1つは、図-2.2(a)のように盛立高の中標高部で最大となるタイプであり、もう1つは、図-2.2(b)のように低標高部で最大となるタイプである。このように、ダムによって違いが現れるのは、施工含水比、材料の性質、盛立速度、コアゾーンの厚さ等が、複雑に絡み合っていることが理由であると考えられる。

「多目的ダムの建設」によれば、ダム完成後の間隙水圧の推定方法には次の3つの方法がある。

① 三軸圧縮試験による方法

② Hilf(1948)の式による方法 (圧密試験による方法)

③ 土柱重量による方法

①、②の方法は、室内試験を行い、その結果から発生する間隙水圧を予測するもので、含水比と全応力の関数により表現される。ただし、盛立速度、コアゾーンの厚さ等の条件は考慮されない。

より簡便な方法が(2.1)式に示す③の方法である。

$$U = k \cdot \gamma_t \cdot H \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、

U : 間隙水圧 (kgf/cm²)

k : 係数

γ_t : 土質材料の湿潤単位体積重量 (kgf/cm³)

H : 土柱高さ (cm)

しかし、係数(k)の決定法についてはあいまいとなっており、目安として0.5~0.8とすれば実用上問題とならないとされる。つまり、間隙水圧は土柱重量の50~80%程度発生するということである。

図-2.3に盛立高と間隙水圧の関係を示す。盛立初期(盛立高が5 m程度まで)において土柱重量の100%程度を示すが、盛り立てが進行するにつれて土柱重量に対する間隙水圧の割合は減少し、盛立完了時には50%程度になっている。

つまり、間隙水圧は(2.2)式に示すように、盛立高が高くなるにつれて増加率が小さくなる放物線で表される。

$$U = \gamma_t \cdot H - \frac{b}{100} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、

b : 定数

図-2.3の例では $b=0.65$ であった。

図-2.4に鉛直全土圧と間隙水圧の関係を示す。鉛直全土圧と間隙水圧との比は、盛り立ての進行に伴い、ほぼ一定の関係で推移していくことが理解される。

表-2.1に盛立完了時における間隙水圧発生率を示し、図-2.5に鉛直全土圧発生率と間隙水圧発生率の関係を示す。鉛直全土圧発生率、間隙水圧発生率とは計測された鉛直全土圧(σ_v)、間隙水圧(U)をそれぞれ土柱重量($\gamma \cdot H$)で除し、%表示した値を指す。データは計測位置により低標高部と中標高部の2つに区分して表した。コアゾーンの低標高部における間隙水圧発生率は、鉛直全土圧発生率の30%以下である。また、コアゾーンの中標高部における間隙水圧発生率は、鉛直全土圧発生率の50%程度を示すデータと、鉛直全土圧発生率に係わらず間隙水圧発生率が0.2程度のデータとに区分される。

図-2.6に鉛直有効土圧発生率と間隙水圧発生率の関係を示す。鉛直有効土圧発生率とは鉛直有効土圧(σ'_v)を土柱重量で除し、%表示した値を指す。コアゾーンの低標高部における間隙水圧発生率は、鉛直有効土圧発生率の50%以下である。また、コアゾーンの中標高部における間隙水圧発生率は、鉛直有効土圧発生率が大きくなるにつれて小さくなる傾向を示す。

2.2.2 間隙水圧発生率の要因

盛立期間中の間隙水圧の大きさは施工含水比に最も大きく影響され、消散の速度はコアゾーンの厚さと透水係数の影響が大きいといわれている。本項では、 B/H 、-200#含有率(0.074mm以下)、施工含水比、施工含水比と最適含水比(W_{opt})との差の4つの項目に着目し、それぞれと間隙水圧発生率の関係について考察した。なお、間隙水圧発生率はコアゾーンの中心線付近の低標高部での計測値について、盛立期間中における最大間隙水圧発生率(以降、最大発生率)、盛立完了時の間隙水圧発生率(以降、完了時発生率)および消散率で表わした。消散率とは最大発生率に対する完了時発生率の減少割合を指す。盛立期間における最大発生率、完了時発生率について他機関所管のダムとともに表-2.2に示す。

図-2.7に B/H と間隙水圧発生率の関係を示す。 B/H と最大発生率の関係は認められないが、完了時発生率、消散率との関係では、 B/H が小さいほど完了時発生率は小さく、消散率は大きくなる傾向が認められる。

図-2.8に-200#含有率と間隙水圧発生率の関係を示す。最大発生率との関係は認められないが、完了時発生率、消散率との関係では、-200#含有率が小さいほど(細粒分が少ないほど)完了時発生率は小さく、消散率は大きくなる傾向が認められる。

図-2.9に施工含水比と間隙水圧発生率の関係を示す。最大発生率との関係は認められないが、完了時発生率、消散率との関係では、施工含水比が小さいほど完了時発生率は小さく、消散率は大きくなる傾向が認められる。ただし、いずれも W_{opt} より乾燥側で施工している場合には、このような傾向にはなく、むしろ逆の傾向にある。

図-2.10に施工含水比と W_{opt} との差と間隙水圧発生率の関係を示す。これは前述の3項目とは異なり、

最大発生率との関係が認められ、逆に、完了時発生率、消散率との相関性は低い。つまり、施工含水比が W_{opt} より + 側になるほど最大発生率は大きくなる傾向が認められる。

以上のことから、最大発生率は施工含水比と W_{opt} との差の影響を受け、完了時発生率、消散率は B/H 、 $-200\#$ 含有率、施工含水比の影響を受けることが認められた。

2.2.3 分布形状

前項における検討はコアゾーンの中心線付近の低標高部に設置された間隙水圧計の値に着目したものである。しかし、間隙水圧はコアゾーン内で球根状の分布を示し、位置（標高）によって発生率が異なるため、発生率、消散率を論じるには、発生位置を考慮せずにその最大値に着目するのが良いと考えた。

図-2・11に盛立完了時（または湛水開始時）の間隙水圧分布図を示し、表-2・3に盛立完了時の間隙水圧分布形状と諸条件を示す。間隙水圧の計測時期は基本的に盛立完了時としたが、データの整理状態などにより、湛水開始時のものもある。

図-2・12に盛立完了時最大間隙水圧とダム高の関係を示す。データは、積雪のために冬季盛立休止期間のあるダムとないダムに区分した。盛立休止期間中における間隙水圧の消散が影響するのではないかと考えたからである。ダム高が大きくなるにつれ、盛立完了時最大間隙水圧が大きくなる傾向が認められる。図中の一点鎖線は、 $U_{max}=0.5 \cdot \gamma_r \cdot H$ の線である。冬季盛立休止期間のないダムはこの線以下に分布している。この線より上に分布するダムのうち、Pダムは湛水開始以前に上流仮締切と堤体コアゾーンの間にダム高の約40%の溜水があった。また、H、I、X、Zダムは地山湧水が顕著なダムで、H、Q、Zダムはコア数をコンクリートで置換した割合が大きいダムである。この6ダムは上記の理由により、他ダムより大きな間隙水圧が生じたと思われる。

図-2・13に盛立完了時最大間隙水圧とその発生位置の関係を示す。盛立完了時最大間隙水圧はダム高の影響を少なくするために、また、発生位置は高さ方向の割合で表すためにそれぞれダム高で除した。さらに、各ダムをコアゾーンの中心線付近における高さ方向の間隙水圧分布形状により、一山形、双山形、直線形に分類した。なお、直線形の盛立完了時最大間隙水圧発生位置は最低標高部の間隙水圧計設置位置としている。図中の（○、△、□）は冬季盛立休止期間あり、（●、■）は冬季盛立休止期間なしのダムである。前述の6ダムを除いても明瞭な傾向は見られない。

図-2・14に間隙水圧分布形状と盛立完了時最大間隙水圧の関係を示すが、相関性は認められない。

図-2・15～2・20に盛立完了時最大間隙水圧と諸条件の関係を示す。諸条件とは、ダム高、 B/H 、盛立速度、 $-200\#$ 含有率、施工含水比、施工含水比と W_{opt} との差の6項目である。図中の破線はおおむねの分布傾向を示した線である。いずれの関係も前述の6ダムを含めると相関性は低いだが、これらを除くと相関性が高くなる。すなわち、ダム高、盛立速度、施工含水比、施工含水比と W_{opt} との差の4項目で、それぞれ数値が大きくなるにつれ、盛立完了時最大間隙水圧が大きくなる傾向が認められる。

図-2・21～2・26に盛立完了時最大間隙水圧発生位置と諸条件の関係を示す。諸条件とは前述の6項目である。いずれの関係も相関性は低いだが、ピークを持たない直線形の4ダムと高標高部にピークを持つ双山形の2ダムを除くと、 $-200\#$ 含有率との間に明瞭な傾向が認められる。すなわち、 $-200\#$ 含有率が大きくなる

につれ、盛立完了時最大間隙水圧発生位置が高標高部になる。その他の項目についてはこれらの6ダムを除いても明瞭な相関性は認められない。

2.3 湛水期間における間隙水圧の変化

2.3.1 最大値の時間的遅れ

図-2・27に初期湛水期間のコアゾーンにおける間隙水圧の経時変化を示す。この例は、間隙水圧の最大値が明瞭に認められる例である。最大値は最高水位時から4日遅れて現れていることが認められる。

図-2・28に間隙水圧計測断面の全計測値について、最大値を示す日の最高水位時からの遅れ日数を示す。中標高部では遅れ日数が少ないが、高標高部あるいは低標高部下流側などの位置では遅れが5日以上に及ぶ。これは、盛立完了時の間隙水圧分布形状と関係がある。中標高部の遅れ日数が少ない位置は、盛立完了時に高い間隙水圧を示す位置であり、遅れ日数が多い位置は間隙水圧の低い（概ね 3kgf/cm^2 以下）位置である。また、遅れ日数間における間隙水圧の上昇値は中標高部では $0.01\sim 0.02\text{kgf/cm}^2$ 程度の値であるが、高標高部や低標高部下流側ではそれよりもやや大きな値となり、14～22日の遅れが生じた位置では 0.12kgf/cm^2 の差が生じた。

2.3.2 分布形状

図-2・11に湛水開始時（または盛立完了時）と初期湛水期間中最高水位時（以降、最高水位時）の間隙水圧分布図を示す。いくつかのダムでは、最高水位時においても盛立期間中の残留間隙水圧の影響が残っている。

表-2・4に高標高部、低標高部における間隙水圧発生率を示す。コアゾーンの中心線付近における高さ方向の間隙水圧分布形状により直線形と曲線形に分類することができる。曲線形は盛立期間中の残留間隙水圧の影響が初期湛水期間にまで及んでいるダムであるといえる。

湛水によってコアゾーンの中心線付近の間隙水圧は、貯水位に追従するようになる。ただし、完全にこのようになるまでの時間はそのコアゾーンの幅および透水係数によって異なり、Sherard(1963)によれば、湛水開始から4年後でも盛立期間中の残留間隙水圧が残っていることがあるといわれる。

2.4 まとめ

- ① 間隙水圧はコアゾーン中央部で最大となり、フィルタゾーンとの境界部で0となるような球根状の分布形状を示す。
- ② 間隙水圧が盛立高の中標高部で最大となるタイプと低標高部で最大となるタイプとに大別される。
- ③ 間隙水圧は盛立初期（盛立高が5 m程度まで）は土柱重量と同程度の値を示す。
- ④ 間隙水圧は盛り立ての進行に伴い増加するが、消散するため、土柱重量と比較した増加率は小さくなり、盛立高との関係は次式の放物線で表される。

$$U = \gamma_v \cdot H - \frac{b}{100} \cdot \gamma_v \cdot H^2$$

- ⑤ 鉛直全土圧と間隙水圧との比は、盛り立て進行に伴い、ほぼ一定の関係で推移する。
- ⑥ コアゾーンの低標高部における間隙水圧発生率は、鉛直全土圧発生率の30%以下である。
- ⑦ コアゾーンの低標高部における間隙水圧発生率は、鉛直有効土圧発生率の50%以下である。
- ⑧ コアゾーンの中標高部における間隙水圧発生率は、鉛直有効土圧発生率が大きくなるにつれて小さくなる。
- ⑨ 最大発生率は施工含水比と W_{opt} との差が大きい（+側）ほど大きな値を示す。
- ⑩ 完了時発生率は、 B/H 、-200#含有率、施工含水比が小さいほど小さな値を示す。
- ⑪ 消散率は、 B/H 、-200#含有率、施工含水比が小さいほど大きな値を示す。
- ⑫ 盛立完了時最大間隙水圧は、 $0.5 \cdot \gamma_v \cdot H$ 以下となる。
- ⑬ 盛立完了時最大間隙水圧は、ダム高、盛立速度、施工含水比、施工含水比と W_{opt} との差が大きいほど大きな値を示す。
- ⑭ 盛立完了時最大間隙水圧発生位置は、-200#含有率が大きくなるにつれ、高標高部になる。
- ⑮ コアゾーンの中心線付近における高さ方向の間隙水圧分布形状により、一山形、双山形、直線形に分類できる。しかし、その形成要因は明確ではない。
- ⑯ 初期湛水期間において間隙水圧計が最大値を示す日は、最高水位時から数日遅れる。その遅れ日数は盛立完了時の間隙水圧が大きい位置ほど少ない。
- ⑰ 盛立期間中の残留間隙水圧の影響は、最高水位時においても半数以上のダムにおいて認められる。

表-2.1(a) 間隙水圧発生率 (1/2)

計測位置	ダム名	計器番号	盛立高 H (m)	単位体積重量 γ_t (tf/m ³)	土柱重量 σ = $\gamma_t \cdot H$	鉛直全土圧 σ_v (kgf/cm ²)	鉛直有効土圧 σ'_v (kgf/cm ²)	間隙水圧 U (kgf/cm ²)	間隙水圧 発生率 U / σ
コア ゾーン 低標高部	L	1	66.0	2.1	13.9	(5.9)	(4.83)	1.07	0.08
	V	BEP-1	110.0	1.9	20.9	10.9	8.24	2.66	0.13
	"	BEP-2	"	"	"	16.3	11.23	5.07	0.24
	"	BEP-3	"	"	"	15.0	12.21	2.79	0.13
	W	No 5+ 5 U	86.0	2.1	18.1	10.30	8.88	1.42	0.08
	"	" C	89.0	"	18.9	8.43	7.79	0.64	0.03
	"	" D	85.0	"	17.9	14.04	13.55	0.49	0.03
	"	No 6+ 0 U	86.0	"	18.1	12.47	11.38	1.09	0.06
	"	" C	89.0	"	18.9	13.08	11.78	1.30	0.07
	"	" D	85.0	"	17.9	11.22	10.57	0.65	0.03
	"	No 6+15 U	86.0	"	18.1	11.84	10.90	0.94	0.05
	"	" C	89.0	"	18.9	11.91	10.65	1.26	0.07
	"	" D	85.0	"	17.9	10.82	10.37	0.45	0.03
	"	No 7+10 U	86.0	"	18.1	9.93	9.40	0.53	0.03
	"	" C	89.0	"	18.9	7.84	5.68	2.16	0.11
	"	" D	85.0	"	17.9	10.97	10.32	0.65	0.04
	"	No13+10 U	76.0	"	16.0	—	—	—	—
	"	" C	77.0	"	16.2	10.94	9.19	1.75	0.11
	"	" D	76.0	"	16.0	10.80	9.35	1.45	0.09
	"	No13+15 U	76.0	"	16.0	—	—	—	—
	"	" C	77.0	"	16.2	5.95	4.13	1.82	0.11
	"	" D	76.0	"	16.0	8.67	7.17	1.50	0.09
	"	No14+ 0 U	75.8	"	15.9	7.53	—	—	—
	"	" C	76.8	"	16.1	8.09	5.91	2.18	0.14
	"	" D	75.8	"	15.9	9.51	8.21	1.30	0.08
	"	No14+ 5 U	74.3	"	15.6	—	—	—	—
	"	" C	75.3	"	15.8	11.26	9.87	1.39	0.09
	"	" D	74.3	"	15.6	9.52	8.49	1.03	0.07
	"	No19+ 5 U	38.1	"	8.0	4.37	4.01	0.36	0.05
	"	" C	"	"	"	4.74	3.92	0.82	0.10
	"	" D	"	"	"	5.80	5.53	0.27	0.03
	"	No19+10 U	35.9	"	7.54	3.55	3.13	0.42	0.06
	"	" C	"	"	"	4.04	3.14	0.90	0.12
	"	" D	"	"	"	2.83	2.39	0.44	0.06
	"	No19+15 U	35.3	"	7.41	2.87	2.59	0.28	0.04
	"	" C	"	"	"	4.28	3.45	0.83	0.11
	"	" D	"	"	"	3.19	2.87	0.32	0.04
Y	S-2		81.5	2.17	17.7	10.28	7.28	3.0	0.17
Z	E-5		118.5	2.4	28.4	22.8	17.7	5.1	0.18
"	E-8		"	"	"	20.8	14.8	6.0	0.21
"	E-11		"	"	"	19.0	14.3	4.7	0.17
"	E-36		98.5	"	23.6	15.5	13.3	2.2	0.09
"	E-39		"	"	"	21.3	18.8	2.5	0.11

表-2.1(b) 間隙水圧発生率 (2/2)

計測位置	ダム名	計器番号	盛立高 H (m)	単位体積重量 γ_t (tf/m ³)	土柱重量 σ = $\gamma_t \cdot H$	鉛直全土圧 σ_v (kgf/cm ²)	鉛直有効土圧 σ'_v (kgf/cm ²)	間隙水圧 U (kgf/cm ²)	間隙水圧 発生率 U / σ
中標高部 コア ゾーン	L	6	36.0	2.1	8.0	5.5	3.84	1.66	0.21
	V	CEP-2	80.0	1.9	15.2	12.0	4.62	7.38	0.49
	"	CEP-5	50.0	1.9	9.5	7.5	3.61	3.89	0.41
	W	C-4	60.0	2.1	12.6	7.43	5.0	2.43	0.19
	"	C-5	59.0	2.1	12.4	9.57	7.56	2.01	0.16
	Y	S-1	50.5	2.17	11.0	7.49	5.69	1.8	0.16
	"	SC-1	"	"	"	10.79	9.3	1.49	0.14
	"	SC-2	"	"	"	8.40	6.6	1.8	0.16
	"	SC-3	"	"	"	11.51	10.21	1.3	0.12
	"	SC-4	48.5	"	10.5	10.23	8.93	1.3	0.12
	"	SC-11	32.5	"	7.05	9.41	9.24	0.17	0.02
	Z	E-20	104.5	2.4	25.1	20.6	11.0	9.6	0.38
	"	E-27	74.5	"	17.9	(12.0)	(5.7)	6.3	0.35
	"	E-32	44.5	"	10.7	5.7	(2.7)	(3.0)	(0.28)

表-2.2 盛立期間におけるコアゾーン低標高部の間隙水圧発生率*1

No.	ダム名	B/H ^{*2}	-200# 含有率 (%)	含水比(%)		間隙水圧発生率(%) ^{*3}	
				施工含水比	最適含水比 との差	最大値	盛立完了時
1	御母衣	0.42	8	12.0	-0.1	77	8
2	魚梁瀬	0.55	17	12.0	-0.7	100	20
3	九頭竜	0.36	21	15.8	+3.0	90	45
4	水 窪	0.27	15	12.5	+0.9	80	25
5	荻 田	0.47	50	30.0	+5.0	100	30
6	東 郷	0.50	50	32.0	+5.0	160 ^{*4}	90 ^{*4}
7	本 沢	0.69	20	20.3	-1.7	25	16
8	喜撰山	0.54	—	13.9	+1.2	—	—
9	Hyttejuvet	0.28	35	8.5	+0.7	100	23
10	Cougar	0.34	15	23.7	+0.6	40	24
11	Netzahualcoyotl	0.42	72	23.0	+7.0	45	18
12	Serre Poncon	0.46	8	13.8	—	88	17
13	Borga	0.50	—	—	+5.0	120	10
14	Anderson Ranch	1.50	34	12.5	-0.5	90	46
15	Tooma	1.55	35	17.9	±0	100	20
16	Green Mountain	2.50	20	8.4	-0.5	65	52
17	Granby	2.70	26	9.6	-0.4	60	33
18	Quebradona	2.30	30	25.5	+2.5	—	40
19	Troneras	3.00	70	29.0	+2.5	75	50
20	Miraflores	3.60	43	21.6	+2.0	62	53
21	Otter Brook	3.00	45	10.7	-0.6	82	53
22	Gepatsch	0.20	—	—	—	100	20
23	Blowering	0.92	—	—	±0	100	—
24	Fresno	7.00	—	12.3	-0.2	—	—
25	Usk ^{*5}	7.00	—	11.0	+1.0	75	35
26	Penang ^{*5}	5.00	—	—	—	90	20
27	下小島	0.42	11	15.8	+3.0	78	13
28	新 冠	0.44	20	14.2	—	100	40
29	南 原	0.49	22	13.8	+1.8	120	7
30	岩 屋	0.33	20	17~20.5	+3.0	98	5~30
31	手取川	0.32	18	14.2	+1.7	130	30
32	漆 沢	0.45	36	27	+2.0	—	—
33	白 川	0.47	19.9	9.9	+0.7	36	22
34	奈良井	0.60	18.8	11.6	+1.8	105	15
35	十 勝	0.56	15.0	12.4	+1.4	90	40
36	寺 山	0.47	21.3	20	+1.8	—	—
37	有 間	0.47	23.5	16.2	+1.4	100	20
38	寒河江	0.47	20.5	19.2	+2.3	102	24
39	七ヶ宿	0.50	15.0	13.0	+1.3	(70)	11
40	山 瀬	0.49	21.0	18.0	+1.9	115	30
41	末武川	0.44	20.9	16.5	+1.0	(100)	17
42	三国川	0.45	18.7	14.6	+1.4	88	21
43	高 瀬	0.53	16	10.0	+2.5	120	15

*1: 参考文献3)の表8-11に加筆

*2: B/H=不透水ゾーンの敷幅/ダム高

*3: 間隙水圧発生率=間隙水圧/土柱重量

*4: 土柱高さに対する値

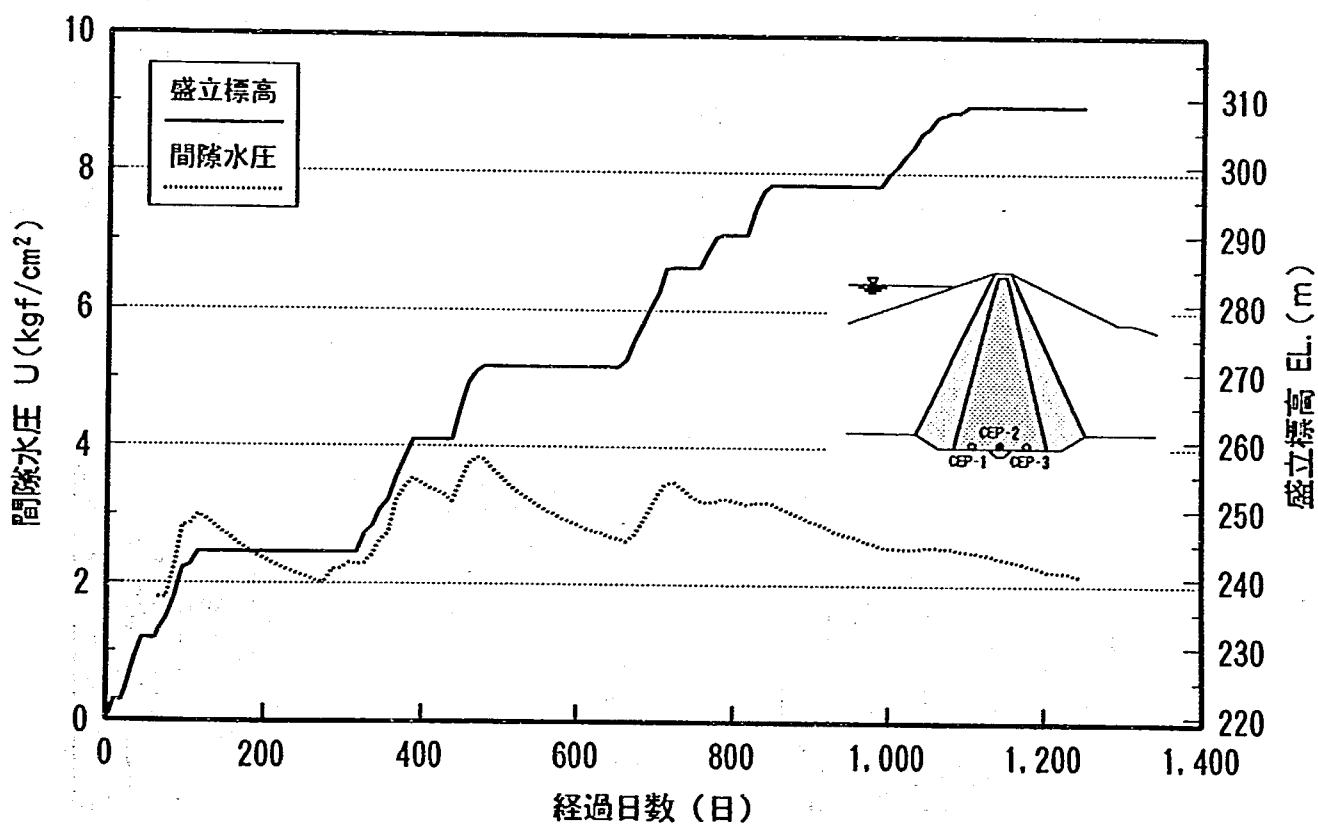
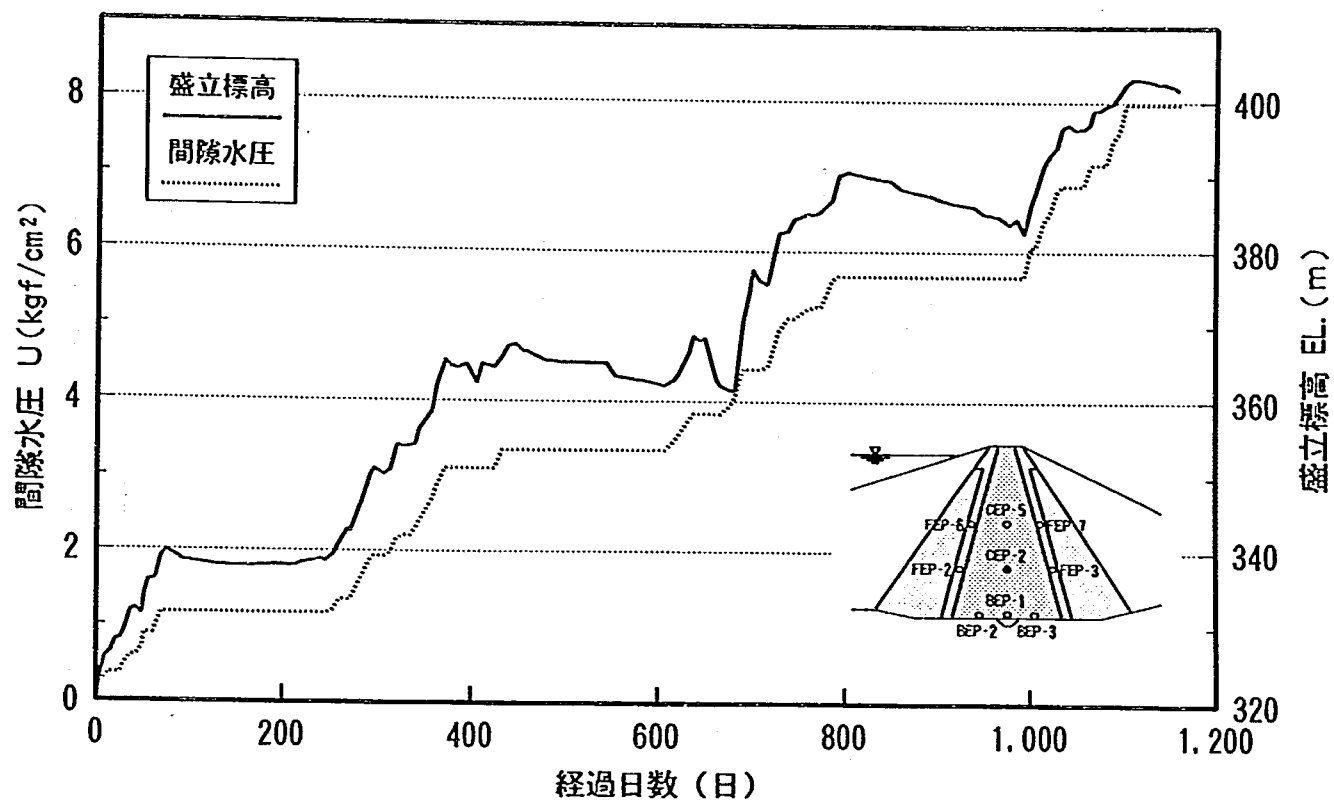
*5: 水平ドレーン

表-2.3 盛立完了時の間隙水圧分布形状と諸条件

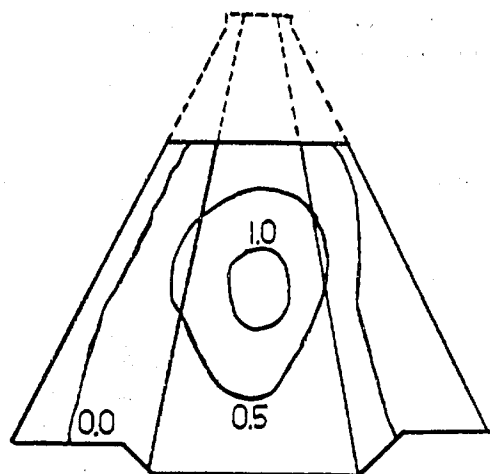
ダム名	ダム高 H (m)	B/H	-200# 含有率 (%)	施工 含水比 (%)	W _{opt} との差 (%)	盛立速度 (m/日)	盛立完了 時の最大 間隙水圧 U _{max} (kgf/cm ²)	最大 間隙水圧 発生位置 h/H (%)	間隙水圧 分布形状	液性限界 W _L (%)	塑性限界 W _P (%)	塑性指数 I _P (%)	分布図の 盛立完了 日から日数 (日)
D	38.5	0.56	18.8	23~35	+1.7	0.058	(1.4)	(12)	直線形	54~73	—	20~36	210
F	95.0	0.41	14.6	13.9	+0.8	0.147	3.1	18	一山形	52.2	37.1	15.1	—
H	153.0	0.32	18	14.2	+1.7	0.265	9.1	13	〃	—	—	—	—
I	83.0	0.57	31~35	15	+1.5	0.156	3.6	37	〃	36.6	24.6	12.0	60
L	66.0	0.47	19.9	9.9	+0.7	0.044	1.7	41	双山形	3~29	15~17	12~14	—
M	52.5	0.46	21.0	18.7	+1.7	0.079	2.2	21	〃	48	28	20	150
O	60.0	0.60	18.8	11.6	+1.8	0.129	1.6	17	直線形	40~60	20~40	10~20	—
P	73.0	0.52	18.1	19.0	+1.2	0.052	5.2	13	一山形	80~90	44~48	34~46	300
Q	84.3	0.56	(15)	(12.4)	(+1.4)	0.055	7.0	7	直線形	40.8	20.8	20.0	420
S	83.5	0.47	23.5	16.2	+1.4	0.078	2.7	27	一山形	34.0	24.7	9.3	—
U	64.0	0.55	28.1	19.6	+0.3	0.088	1.1	5	直線形	53.4	28.2	25.2	700
V	112.0	0.47	20.5	19.2	+2.3	0.059	5.1	18	一山形	52.9	25.5	27.4	700
W	90.0	0.50	15.0	13.0	+1.3	0.074	2.7	33	〃	46	27	19	—
X	62.0	0.46	21.0	18.0	+1.9	0.076	3.5	13	〃	—	—	18	—
Y	89.5	0.44	20.9	16.5	+1.0	0.148	(2.8)	(10)	直線形	36.1	20.2	15.9	—
Z	119.5	0.45	18.7	14.6	+1.4	0.093	8.2	13	一山形	37.8	26.1	11.7	—
a	120.0	0.39	15.5	11.3	+0.82	0.149	5.0	13	双山形	35	21	13~16	—
b	70.0	0.56	24.0	(24.5)	(+1.5)	0.061	3.6	27	一山形	70~90	38~49	33~41	—

表-2.4 初期湛水期間における間隙水圧発生割合

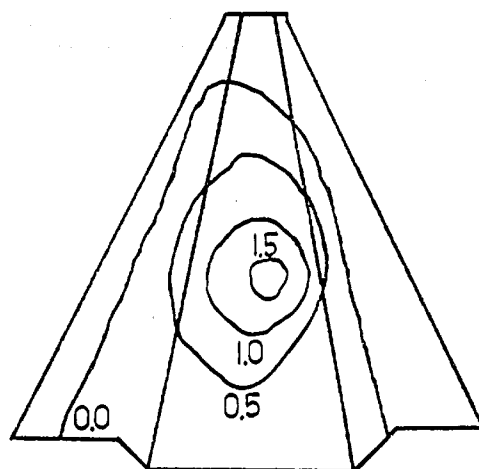
ダム名	間隙水圧発生割合 (%)		間隙水圧 分布形状	最大間隙水圧 発生位置 h/H (%)
	高標高部	低標高部		
C	88	71	直線形	—
D	100 ~ 26 ~ 100		曲線形	14
H	95	55	曲線形	19
I	(100)	43	曲線形	31
L	77	30	曲線形	22
M	(100)	62	直線形	—
O	60	46	直線形	—
P	(100)	72	曲線形	16
Q	64	116	直線形	—
S	76	42	曲線形	15
U	23	45	直線形	—
V	67	88	曲線形	10
W	66	33	曲線形	13
X	80	46	曲線形	12
Y	65	55	直線形	—
Z	78	106	曲線形	13
a	34	55	直線形	—
b	(100)	37	曲線形	33
平 均	76	61	(18ダム)	—
(直線形)	(62)	(64)	(7ダム)	—
(曲線形)	(85)	(59)	(11ダム)	18



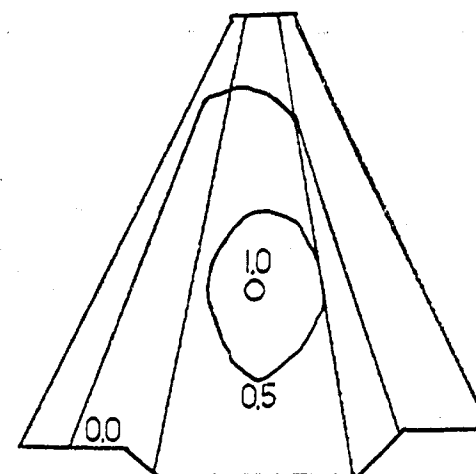
盛立中間期



盛立期間中最大値



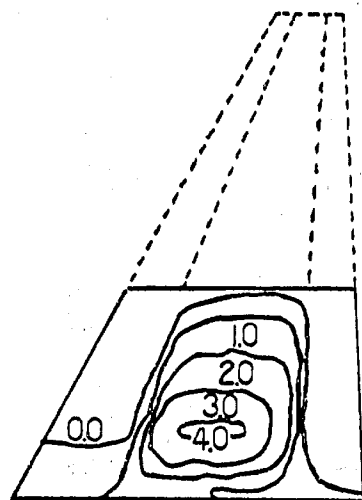
盛立完了時



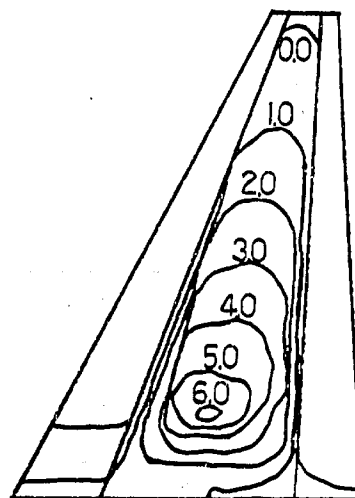
(単位: kgf/cm²)

図-2.2(a) 間隙水圧分布の推移 (Lダム)

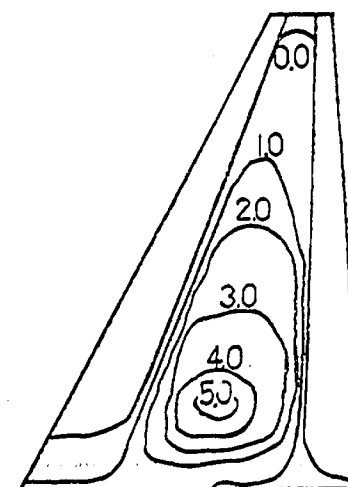
盛立中間期



盛立期間中最大値



盛立完了時



(単位: kgf/cm²)

図-2.2(b) 間隙水圧分布の推移 (Fダム)

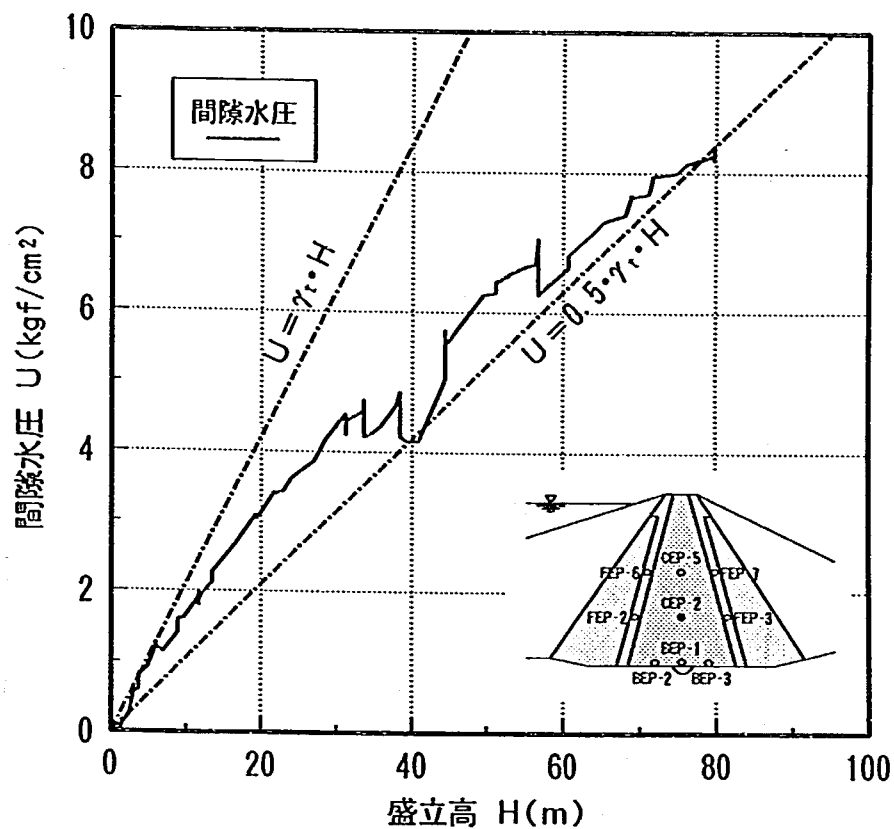


図-2.3 盛立高と間隙水圧 (Vダム)

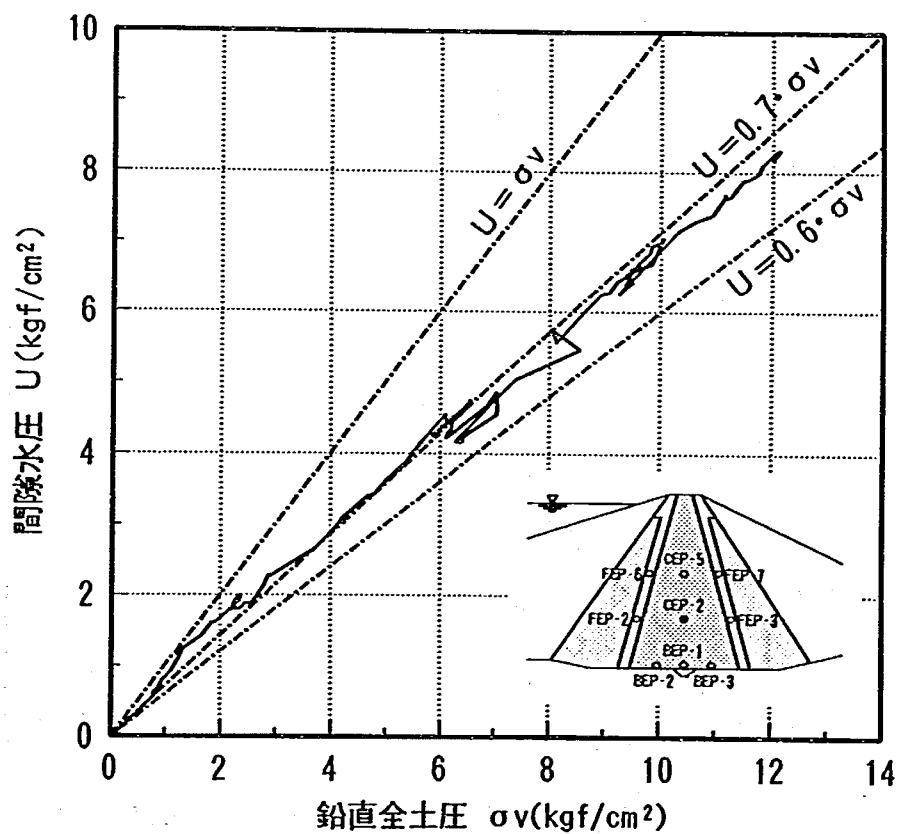


図-2.4 鉛直全土圧と間隙水圧 (Vダム)

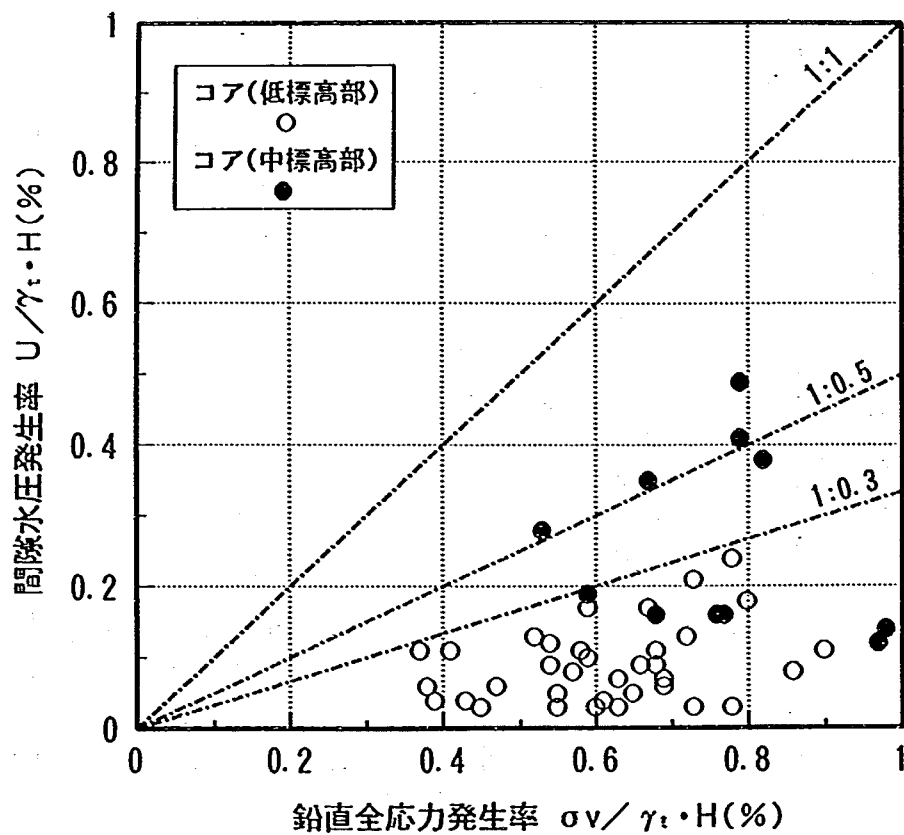


図-2.5 鉛直全土圧発生率と間隙水圧発生率

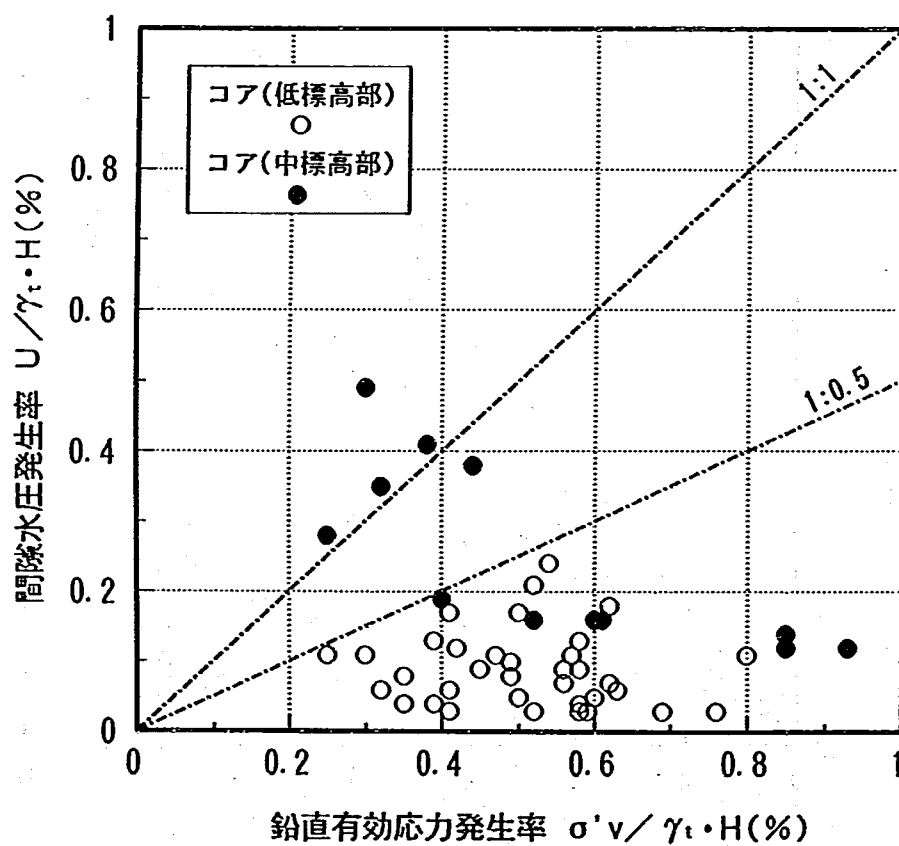


図-2.6 鉛直有効土圧発生率と間隙水圧発生率

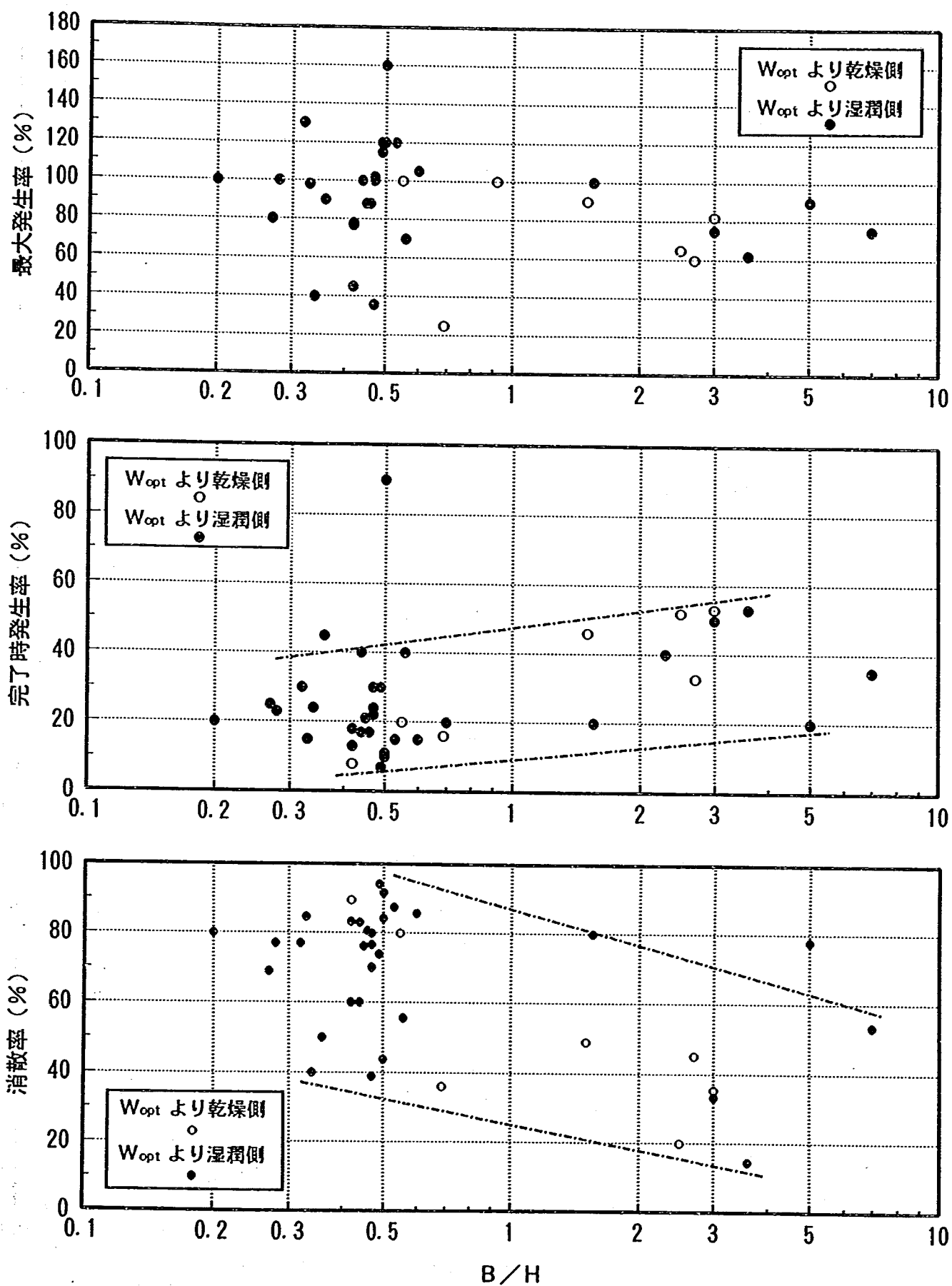


図-2・7 B/H と間隙水圧発生率

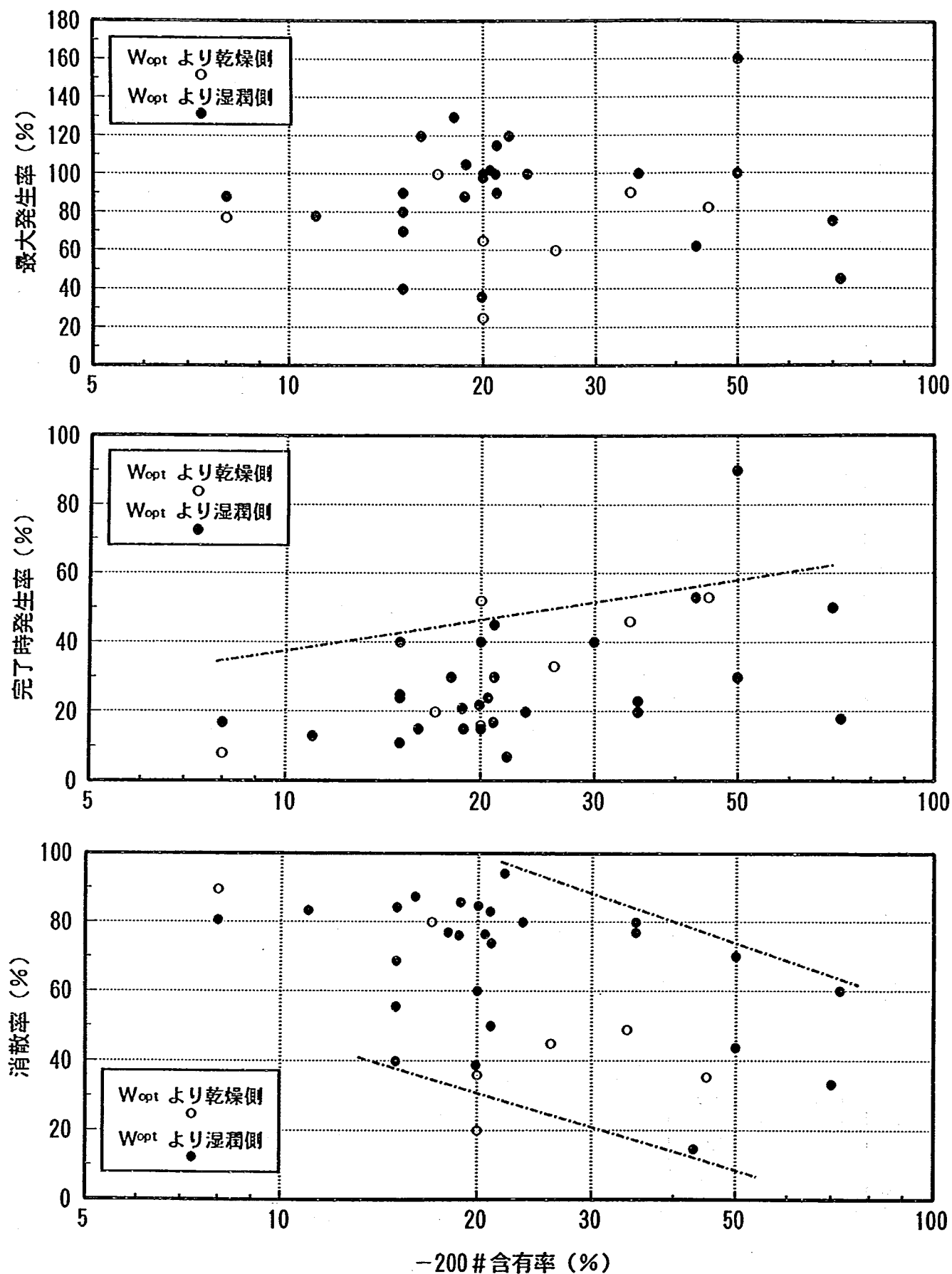


図-2.8 -200# 含有率と間隙水圧発生率

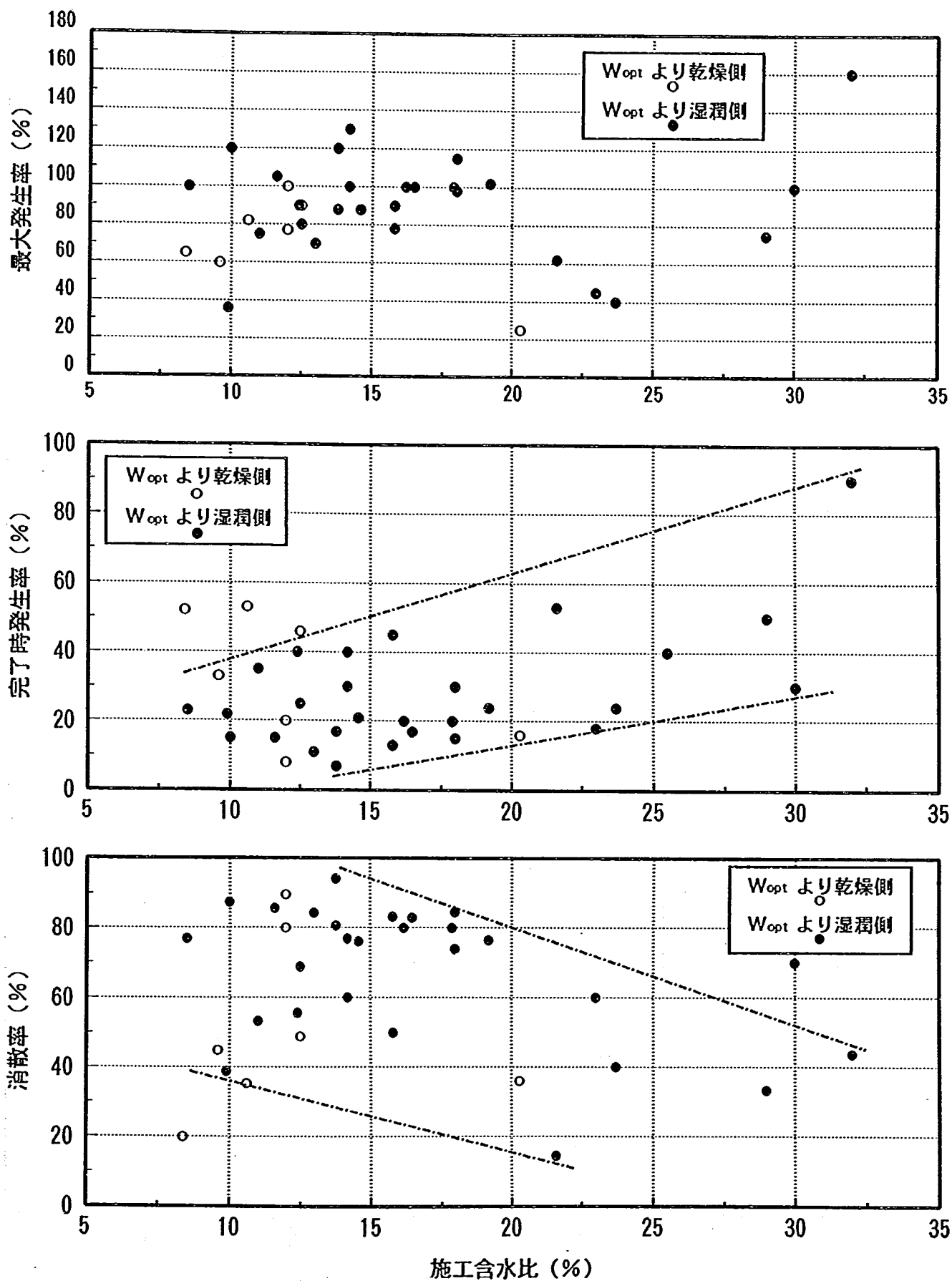


図-2.9 施工含水比と間隙水圧発生率

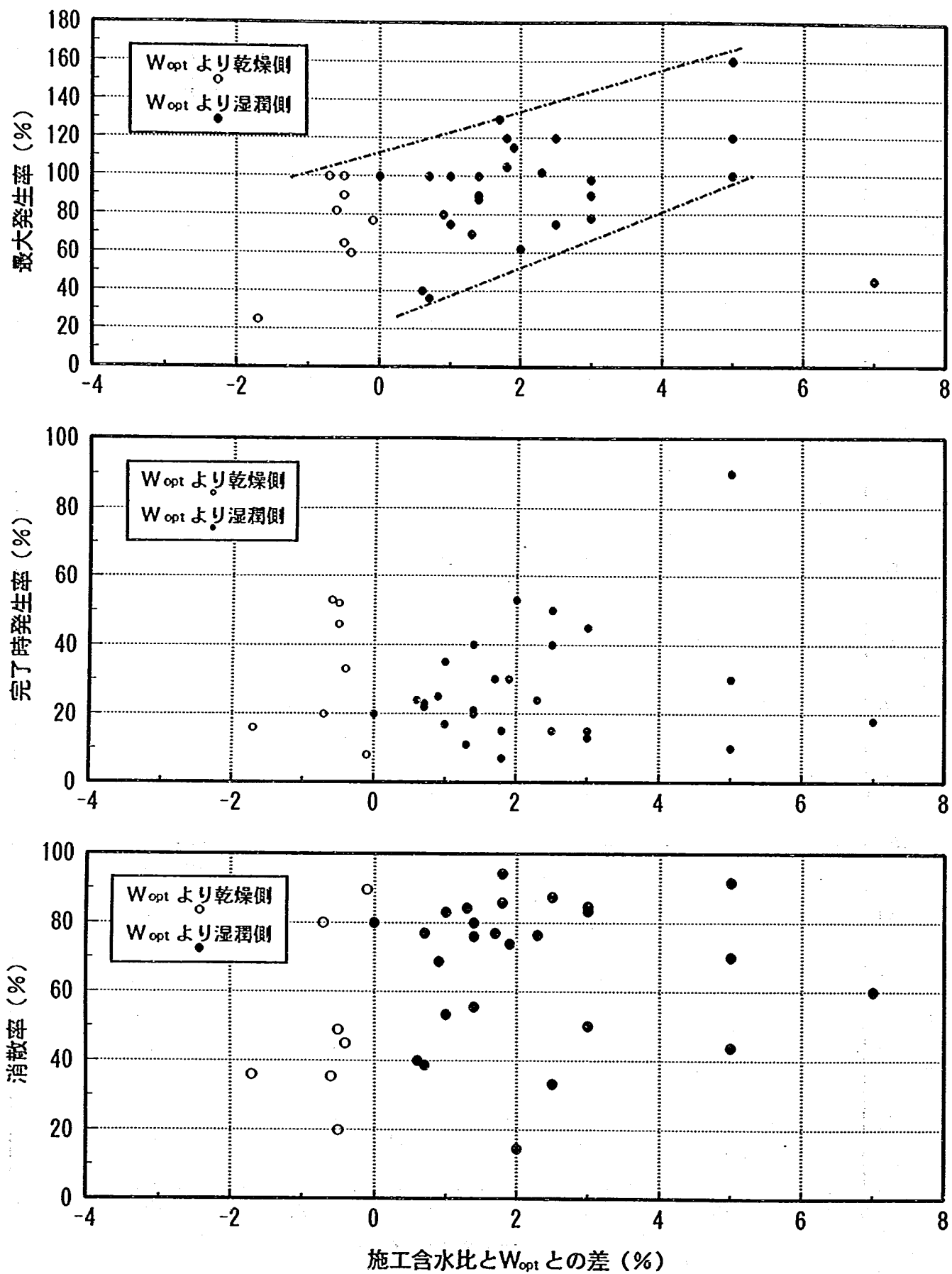


図-2・10 施工含水比と W_{opt} との差と間隙水圧発生率

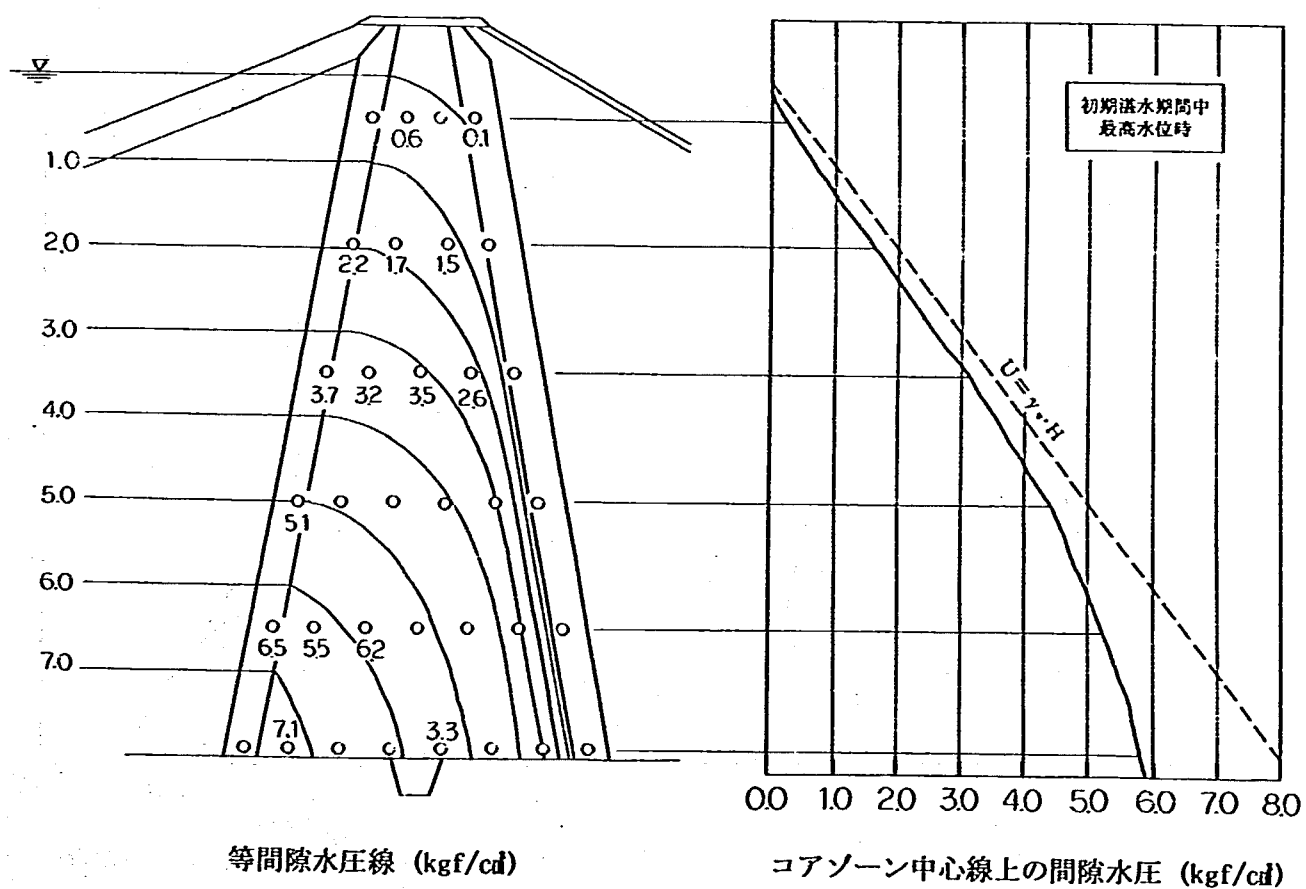


図-2.11(a) 間隙水圧分布 (Cダム)

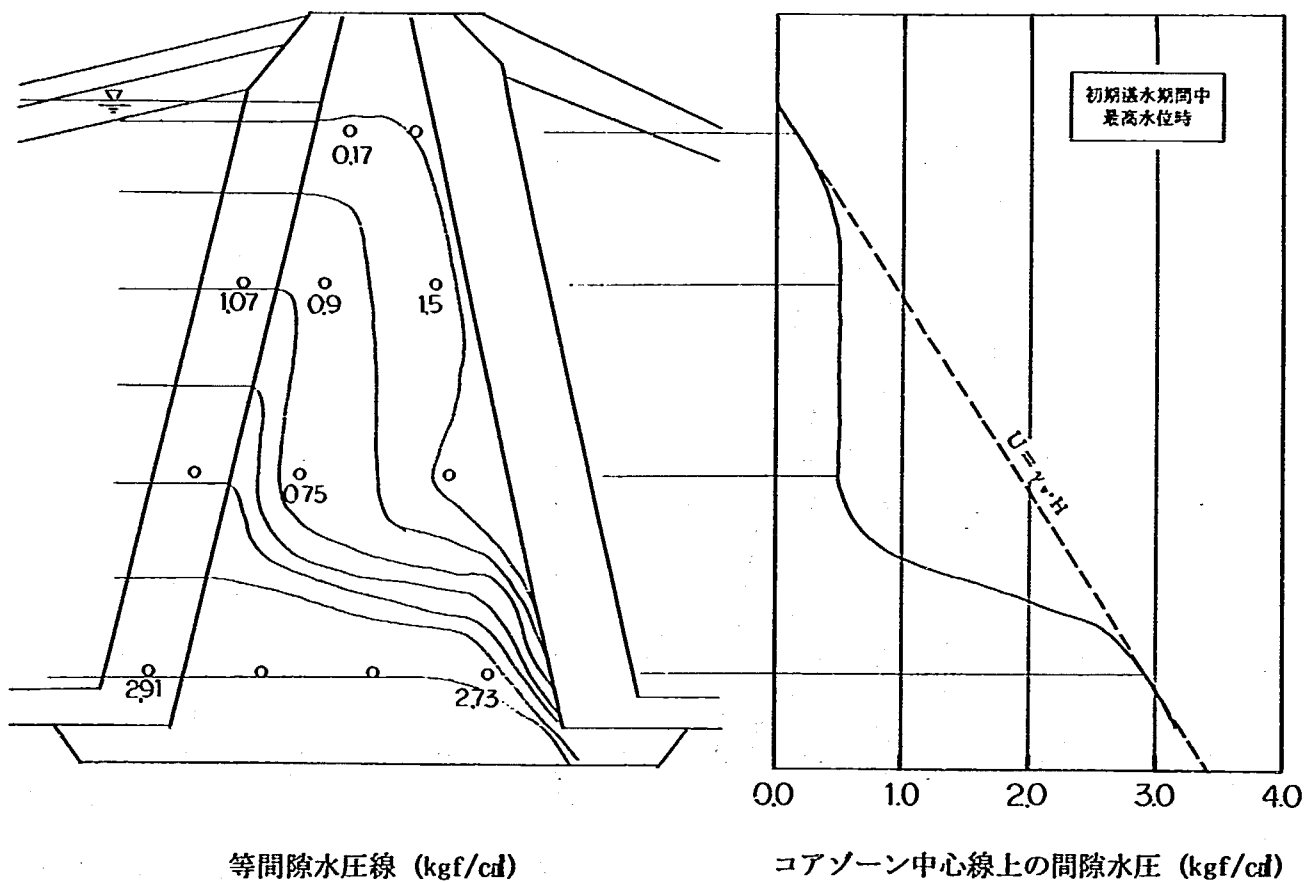
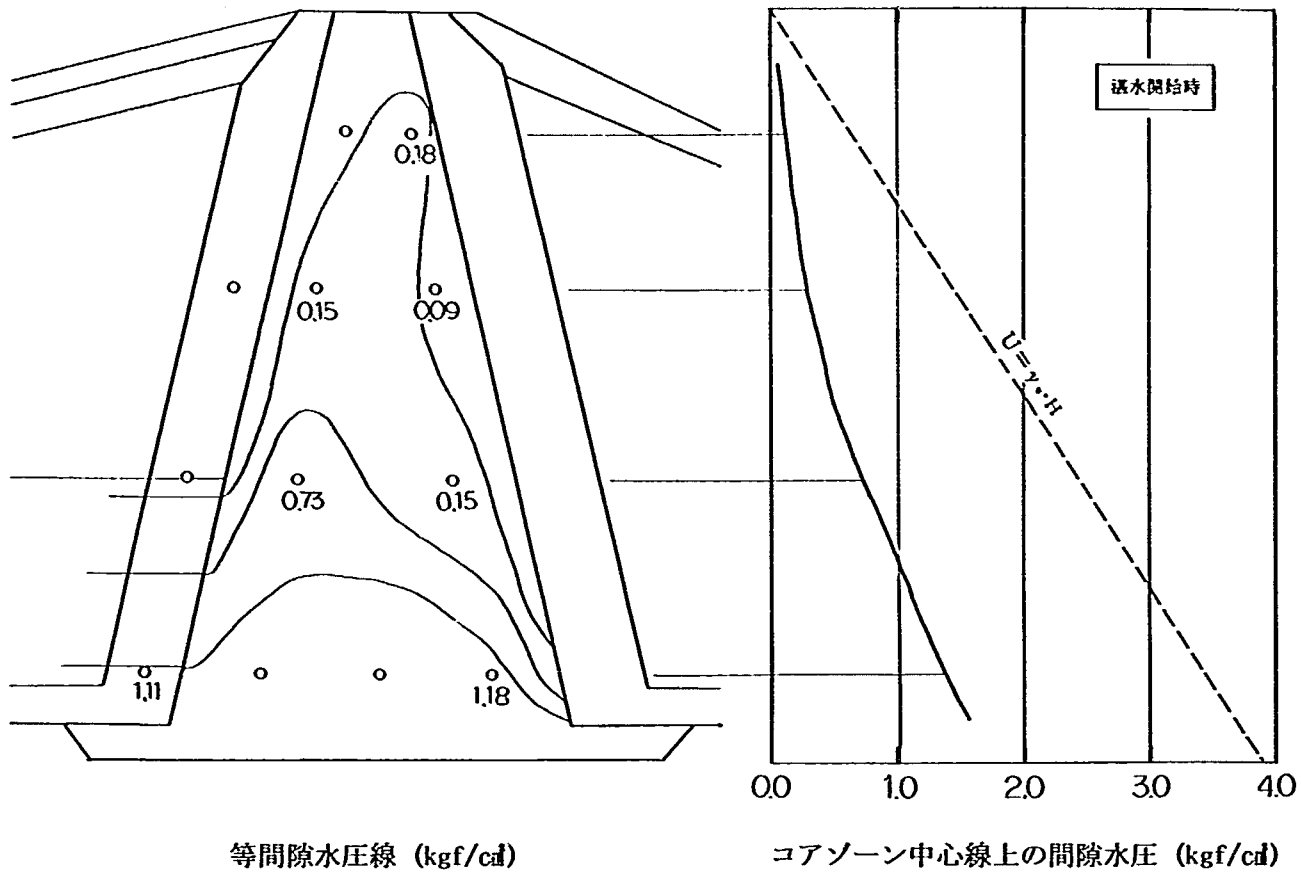


図-2・11(b) 間隙水圧分布 (Dダム)

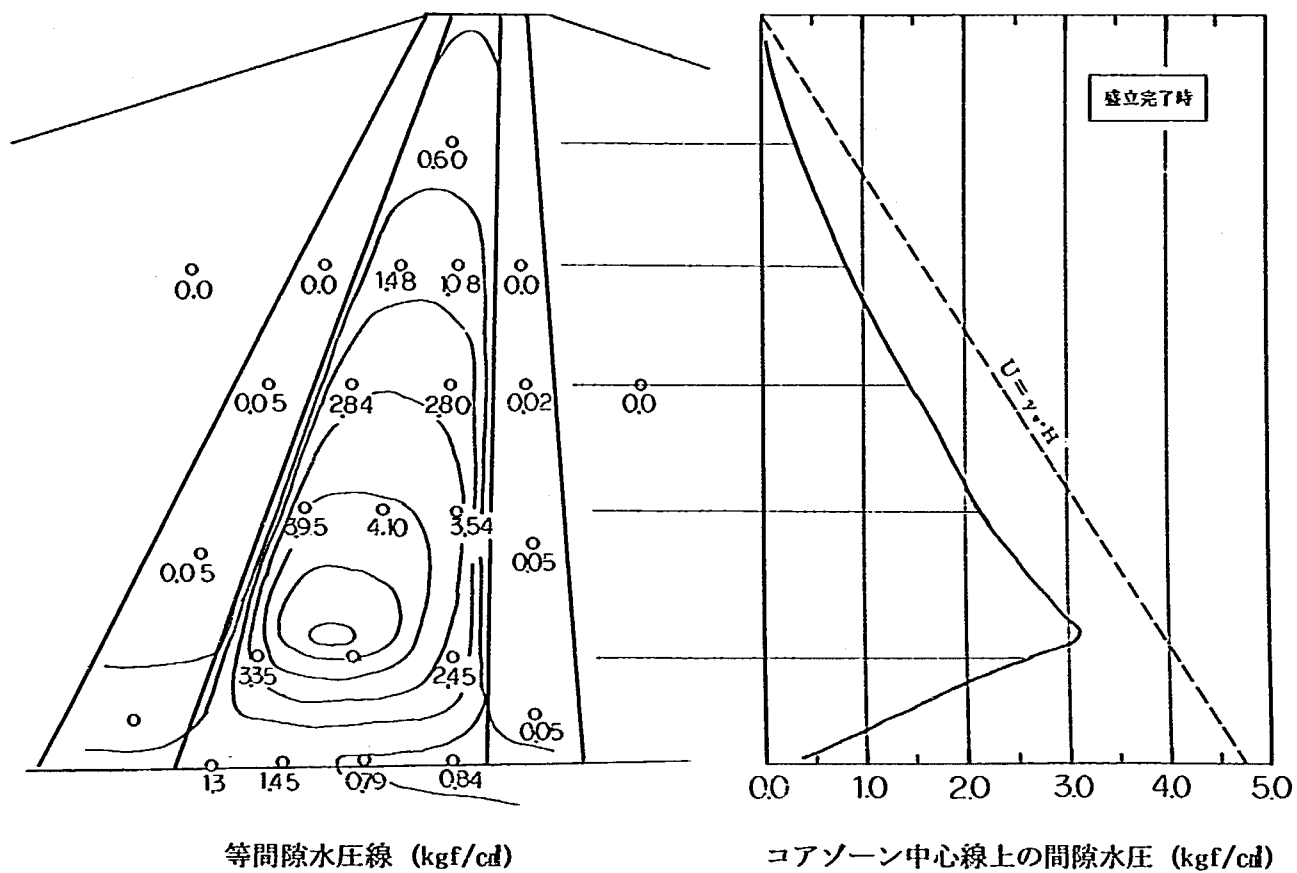


図-2-11(c) 間隙水圧分布 (Fダム)

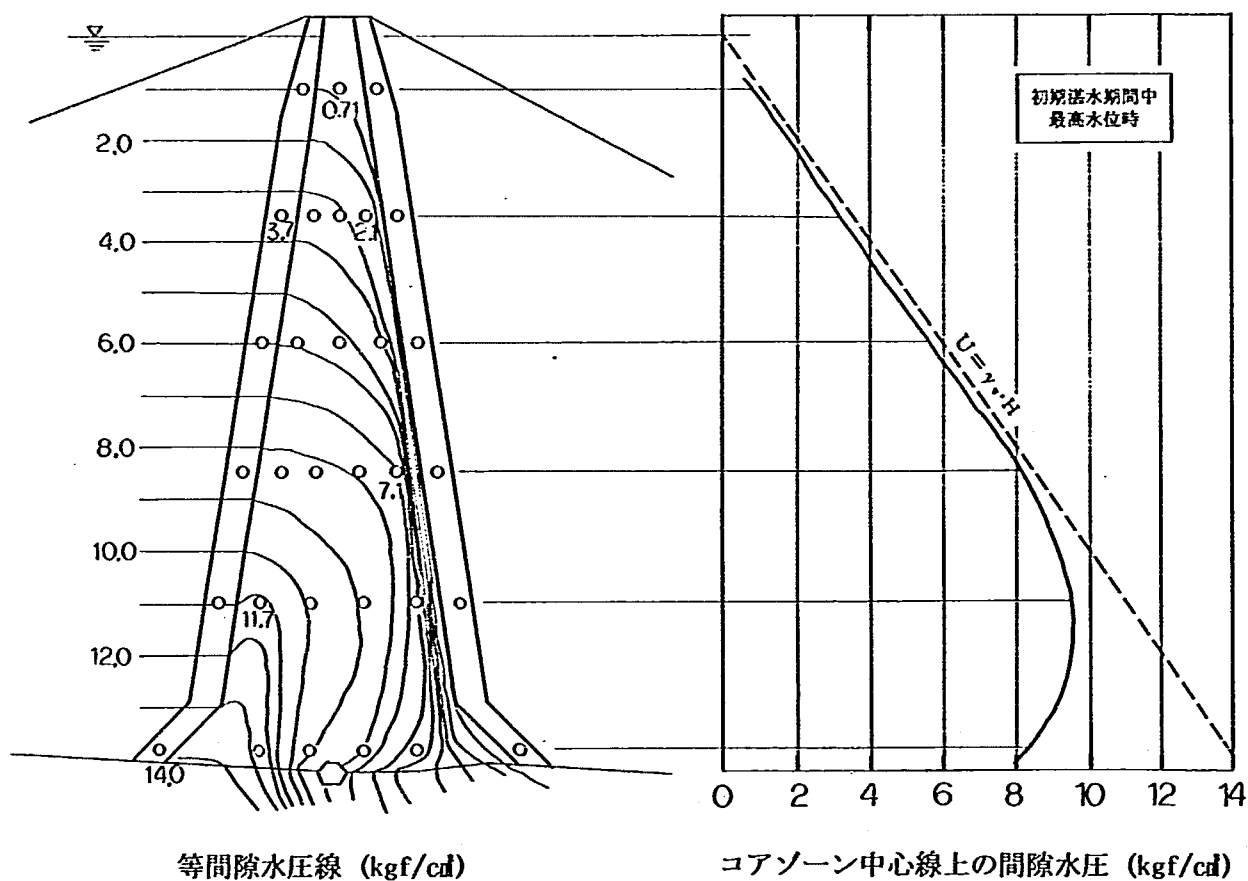
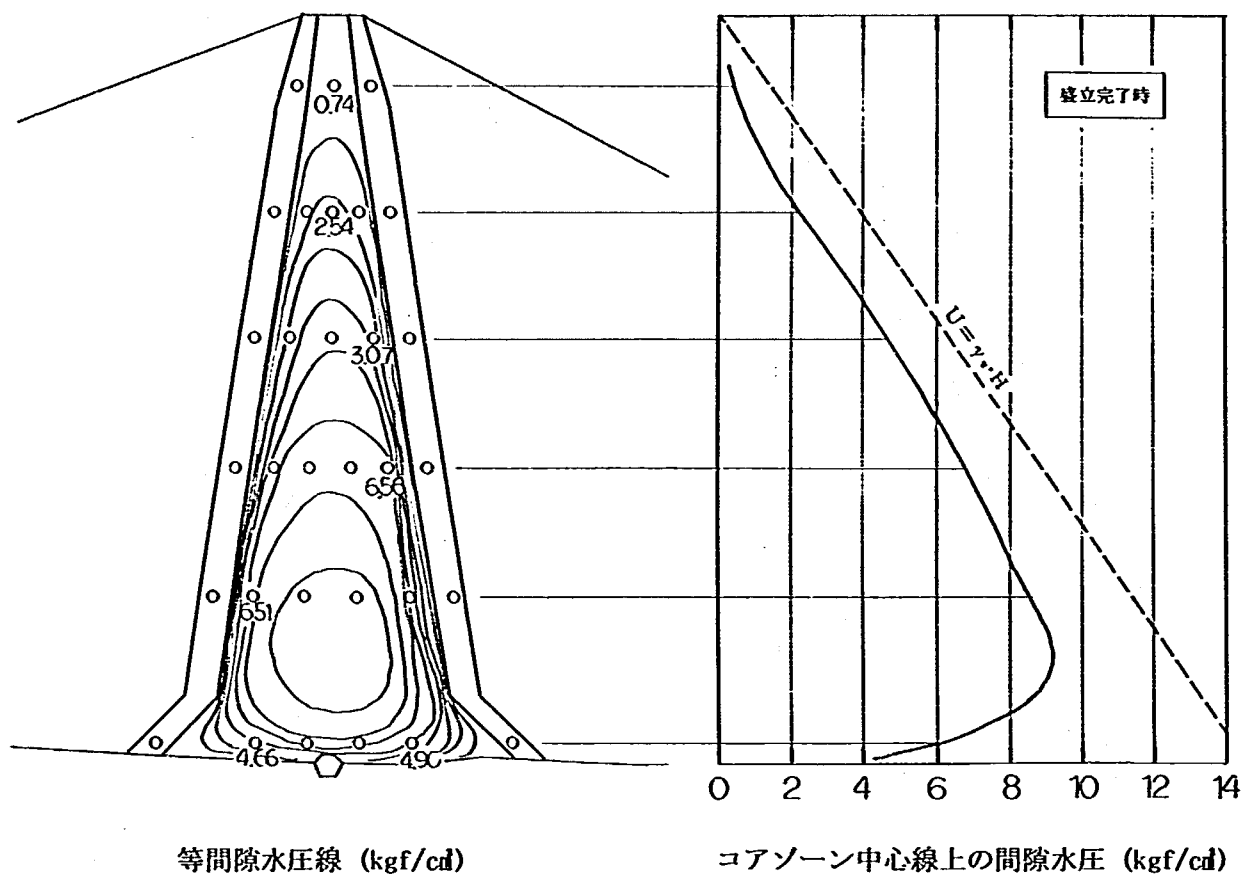


図-2・11(d) 間隙水圧分布 (Hダム)

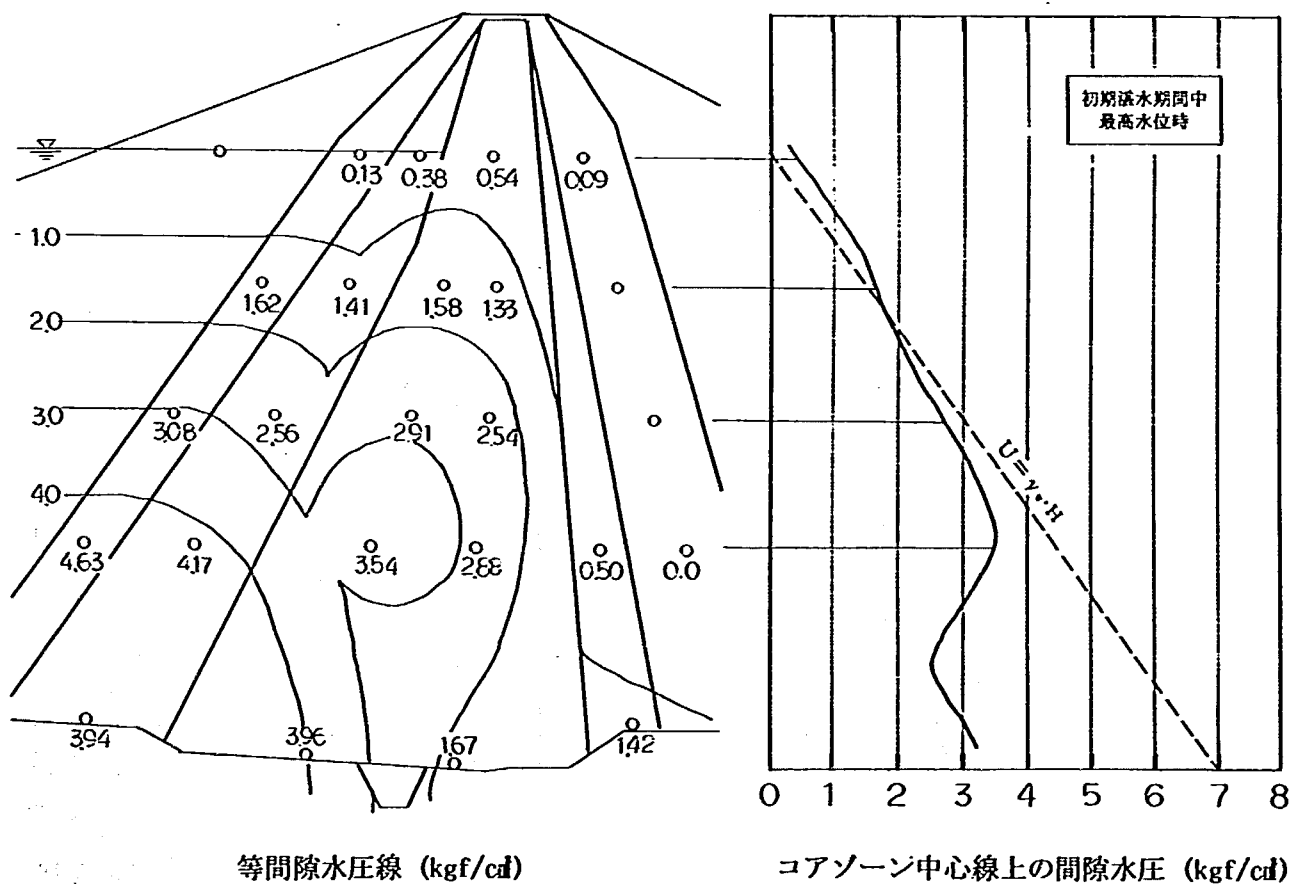
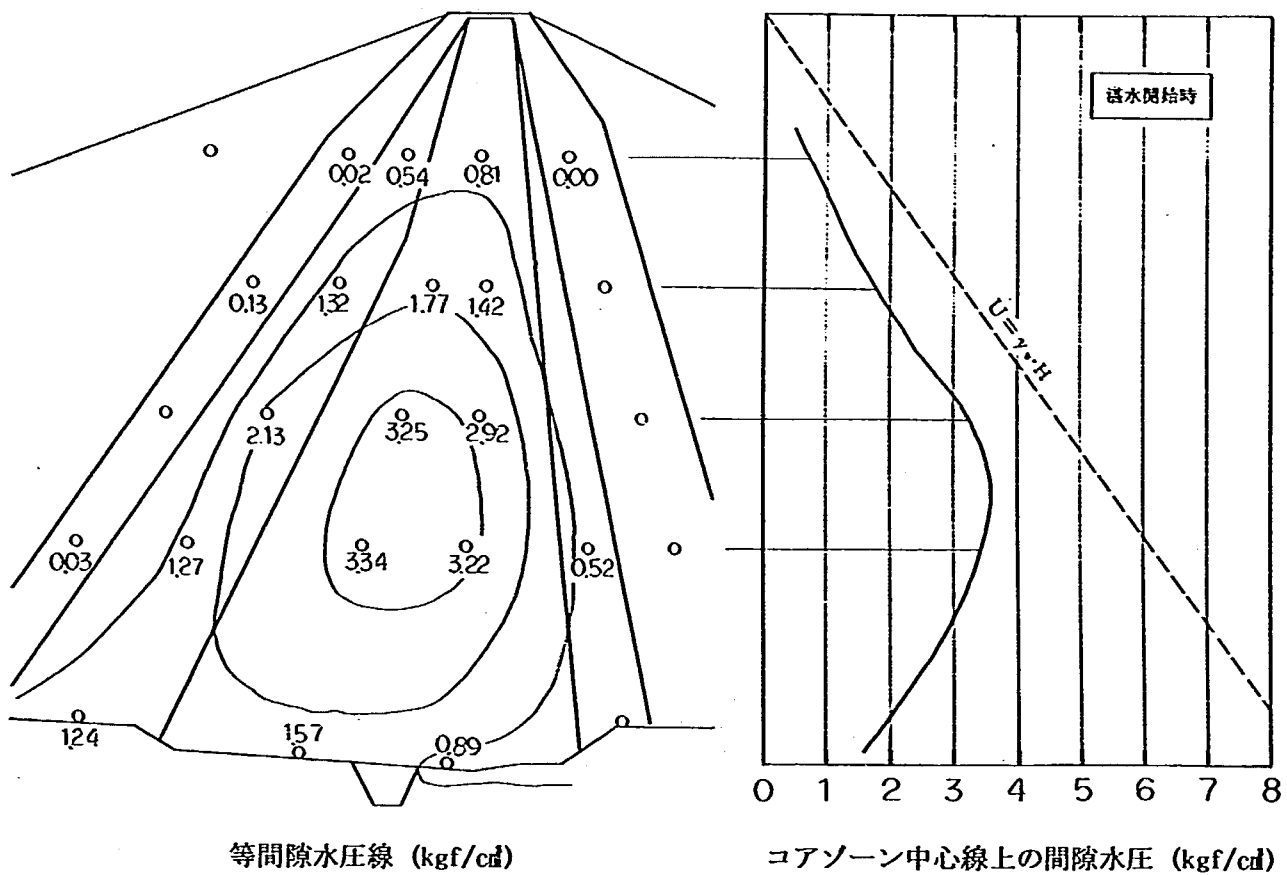


図-2-11(α) 間隙水圧分布 (1ダム)

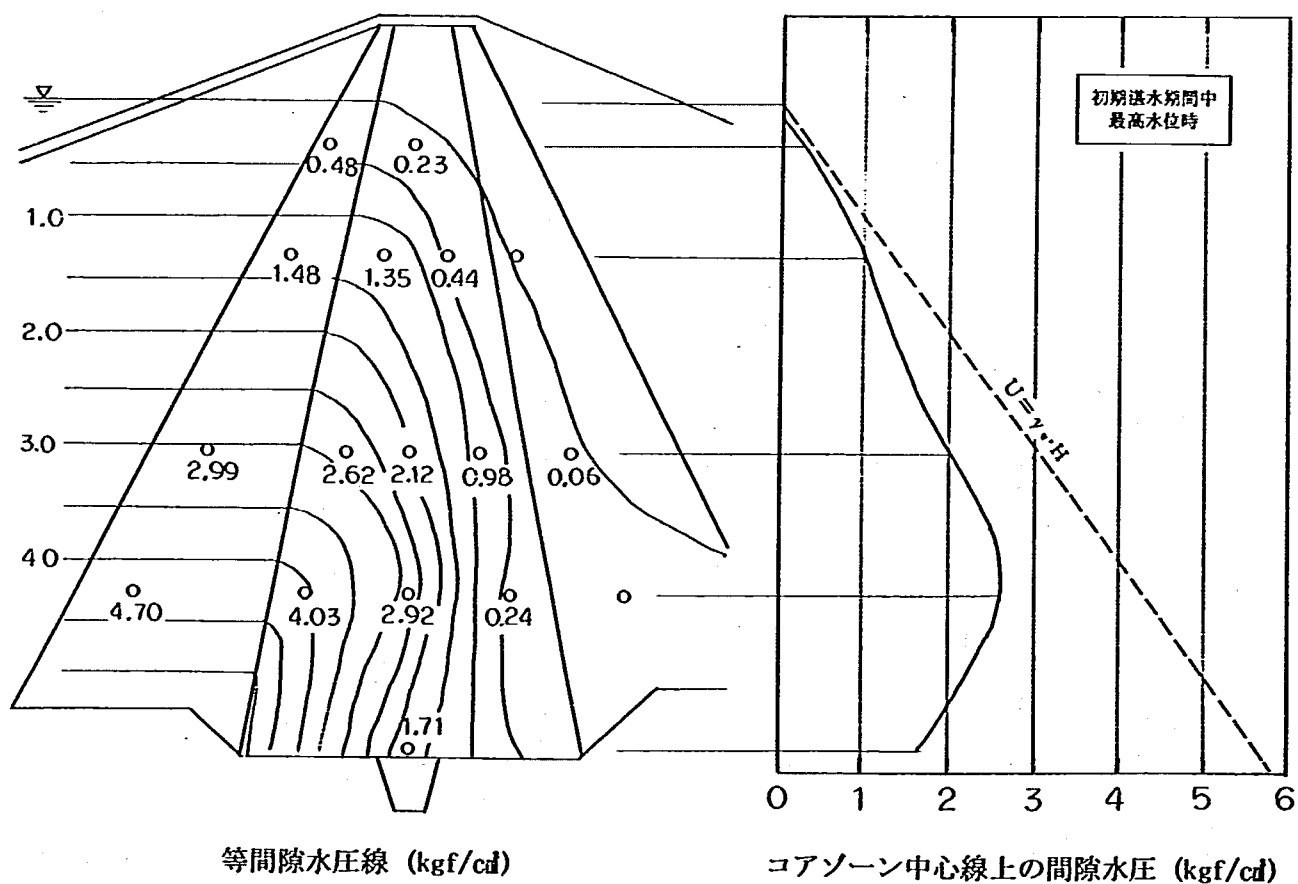
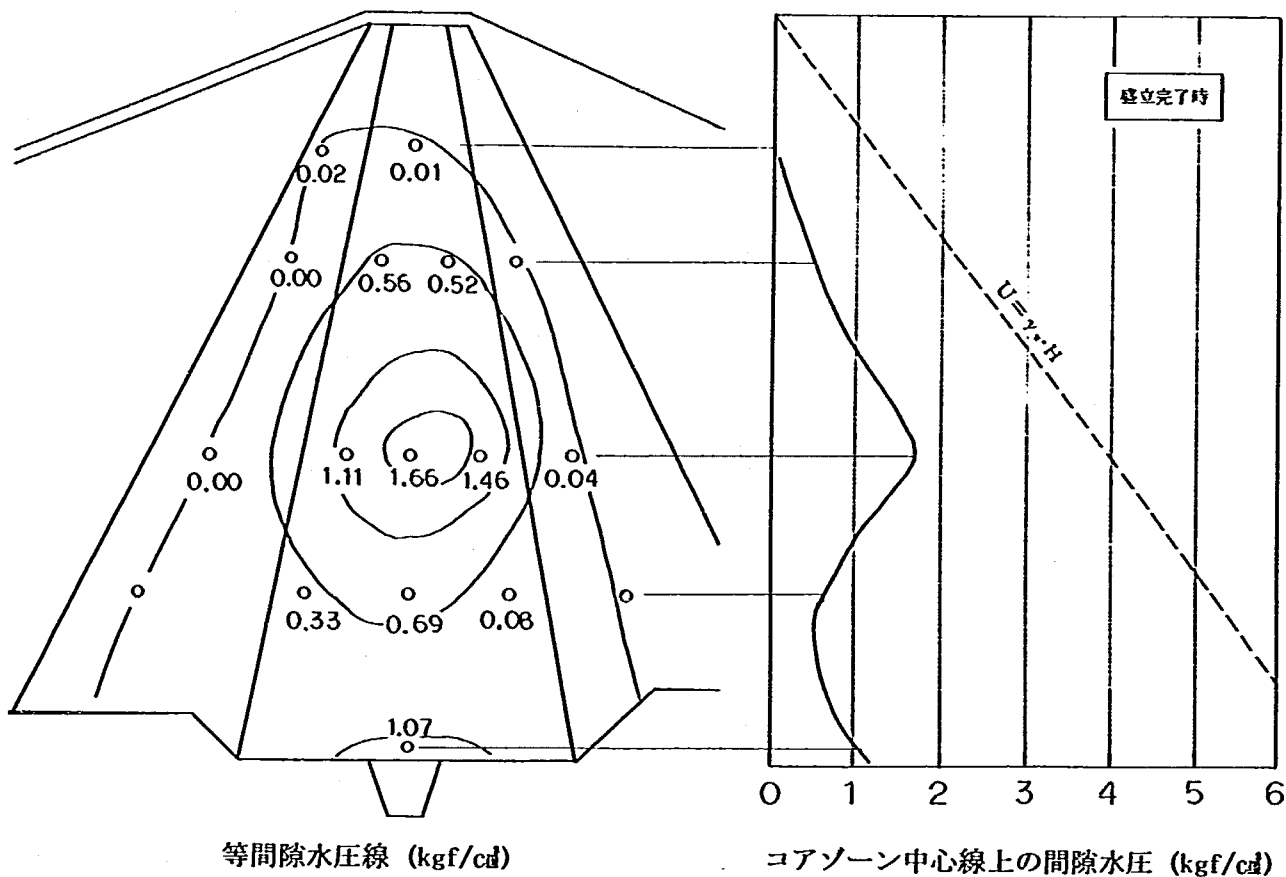
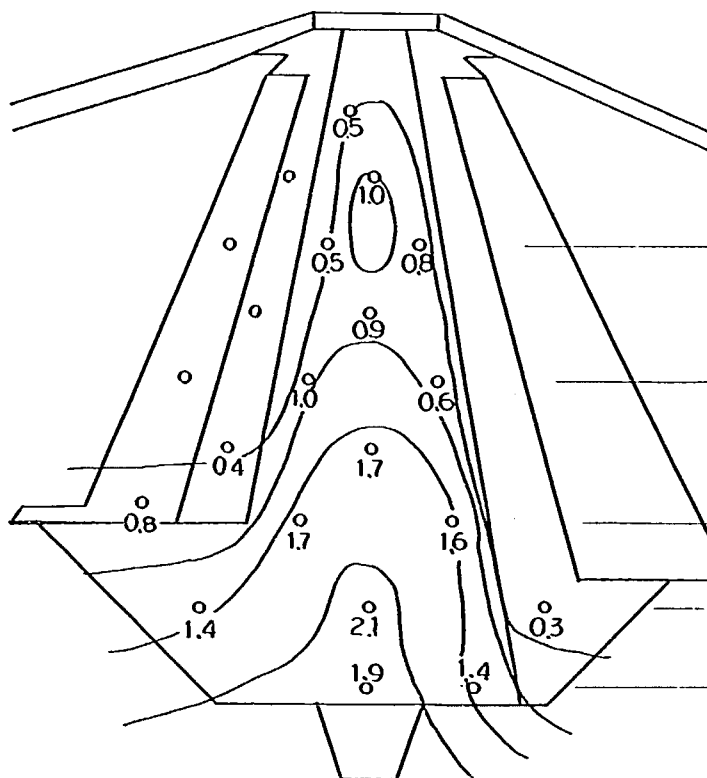
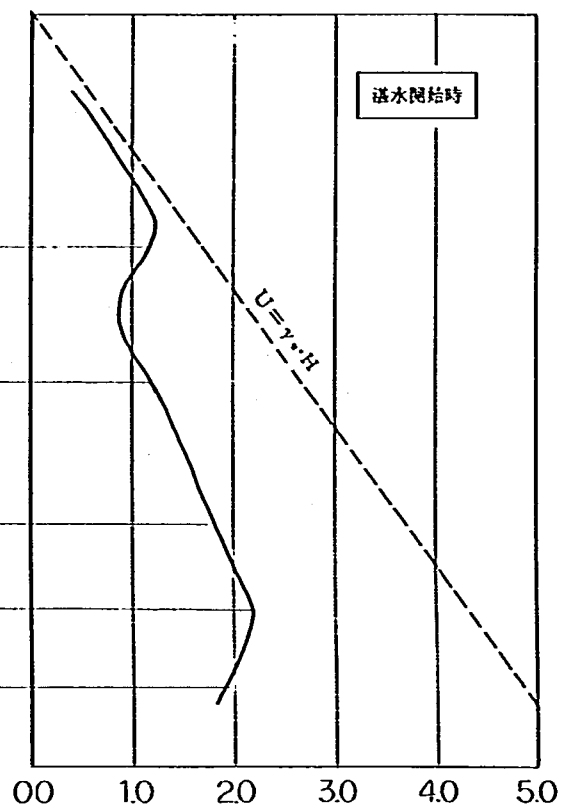


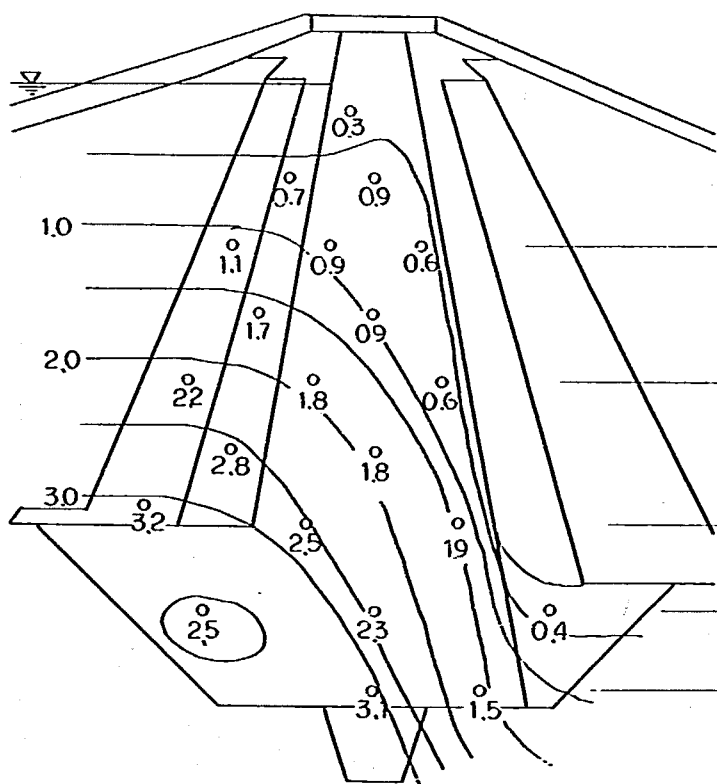
図-2-11(f) 間隙水圧分布 (Lダム)



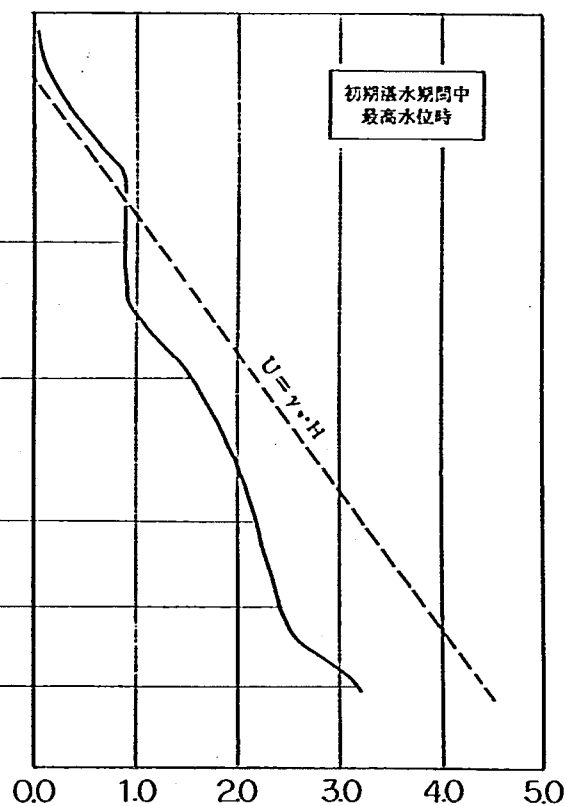
等間隙水圧線 (kgf/cm²)



コアゾーン中心線上の間隙水圧 (kgf/cm²)



等間隙水圧線 (kgf/cm²)



コアゾーン中心線上の間隙水圧 (kgf/cm²)

図-2・11(g) 間隙水圧分布 (Mダム)

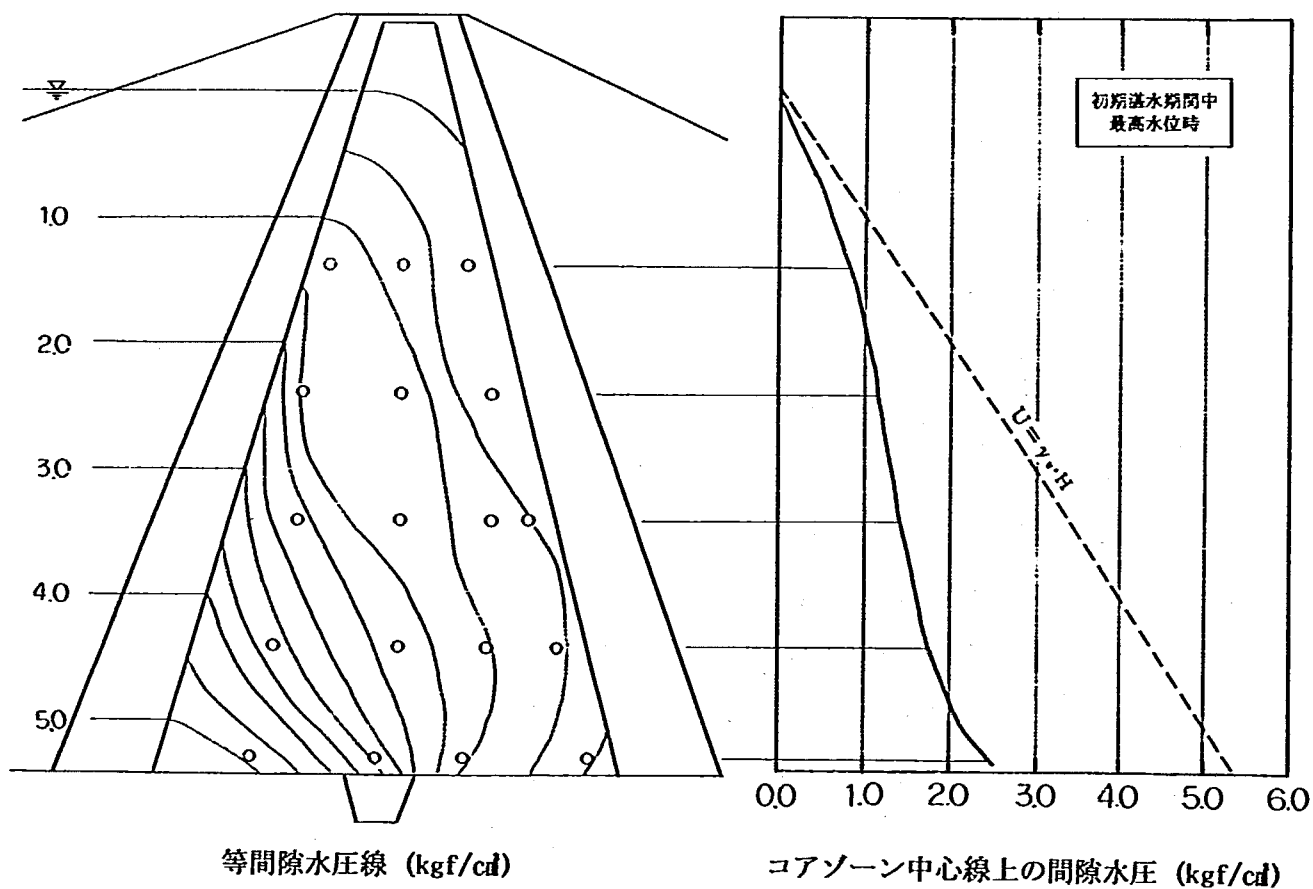
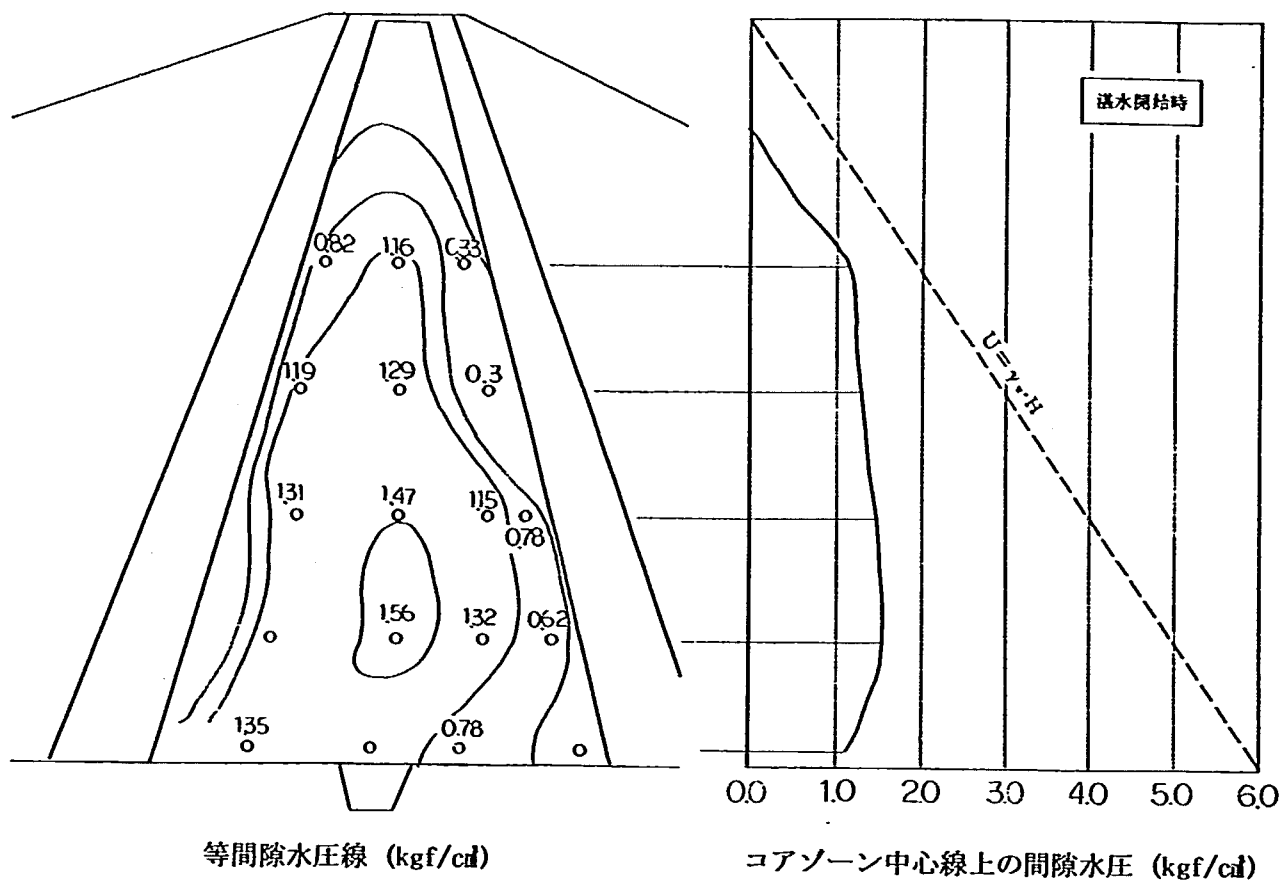


図-2.11(h) 間隙水圧分布 (Oダム)

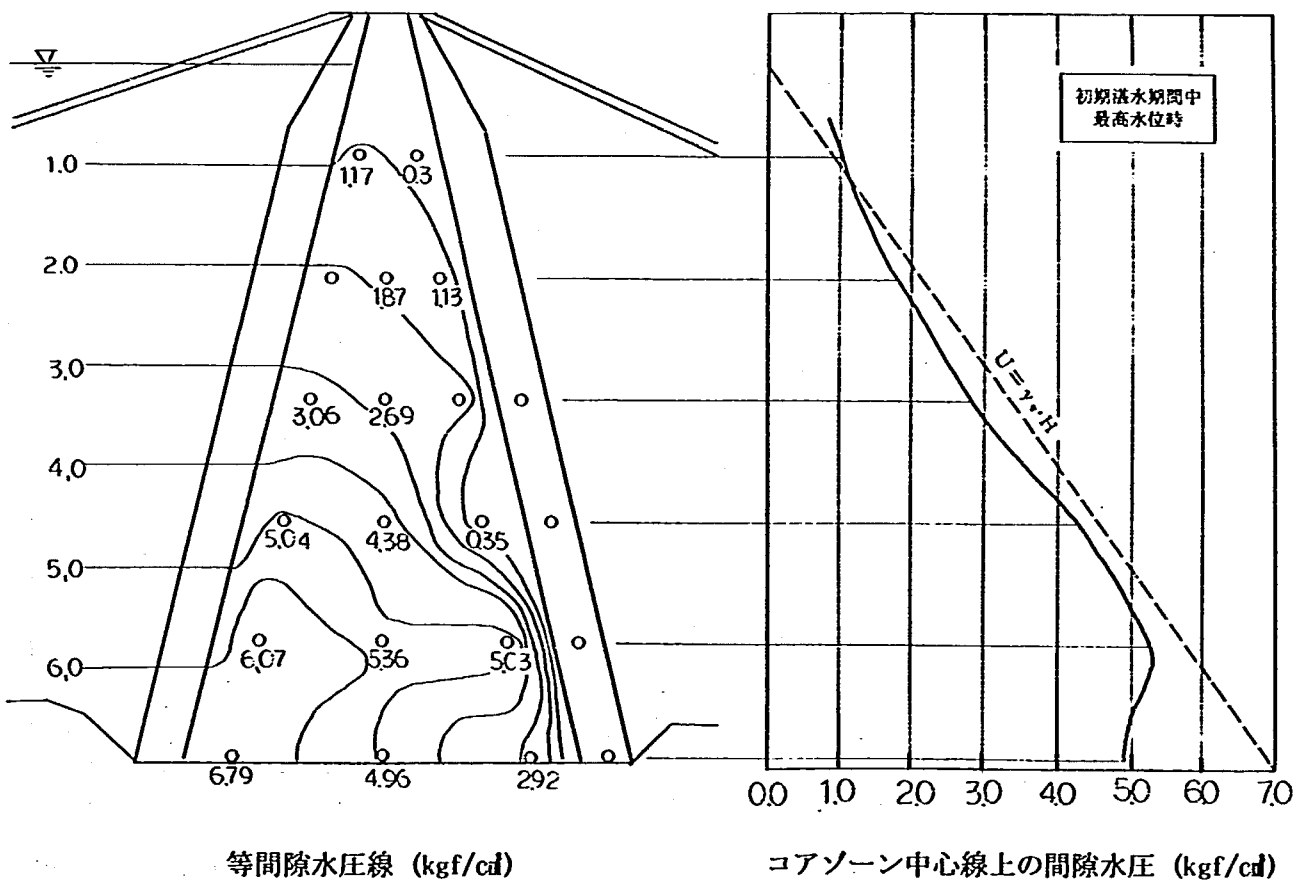
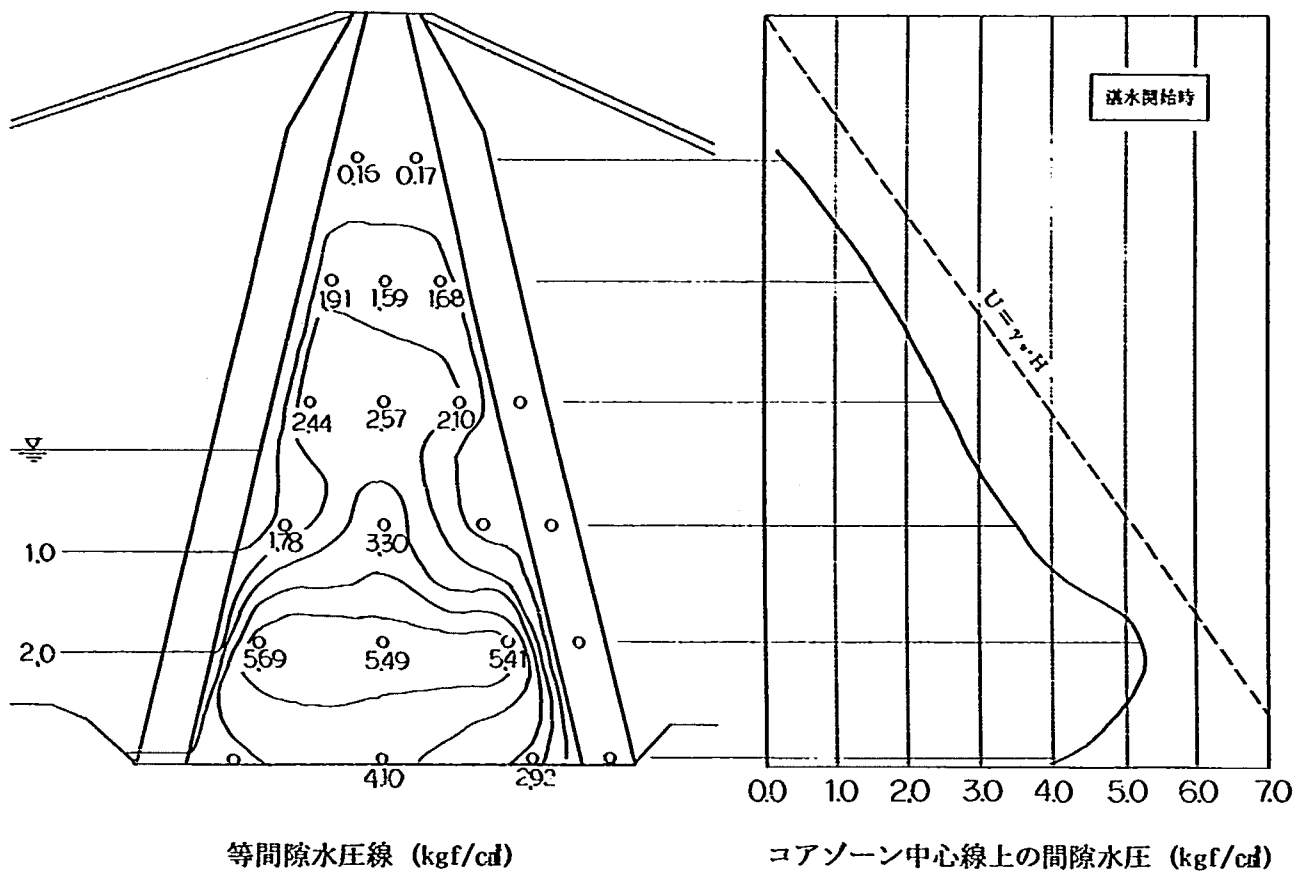


図-2-11(i) 間隙水圧分布 (Pダム)

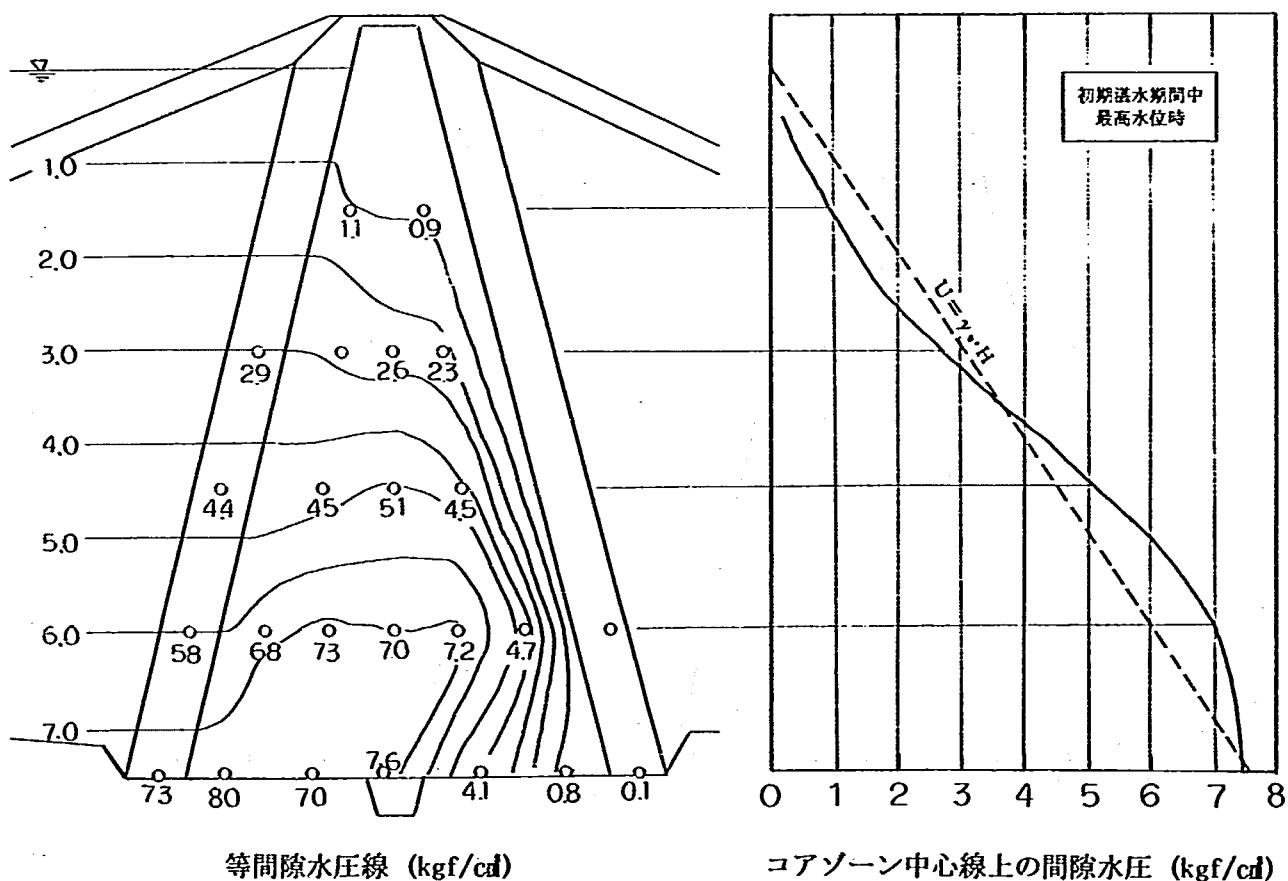
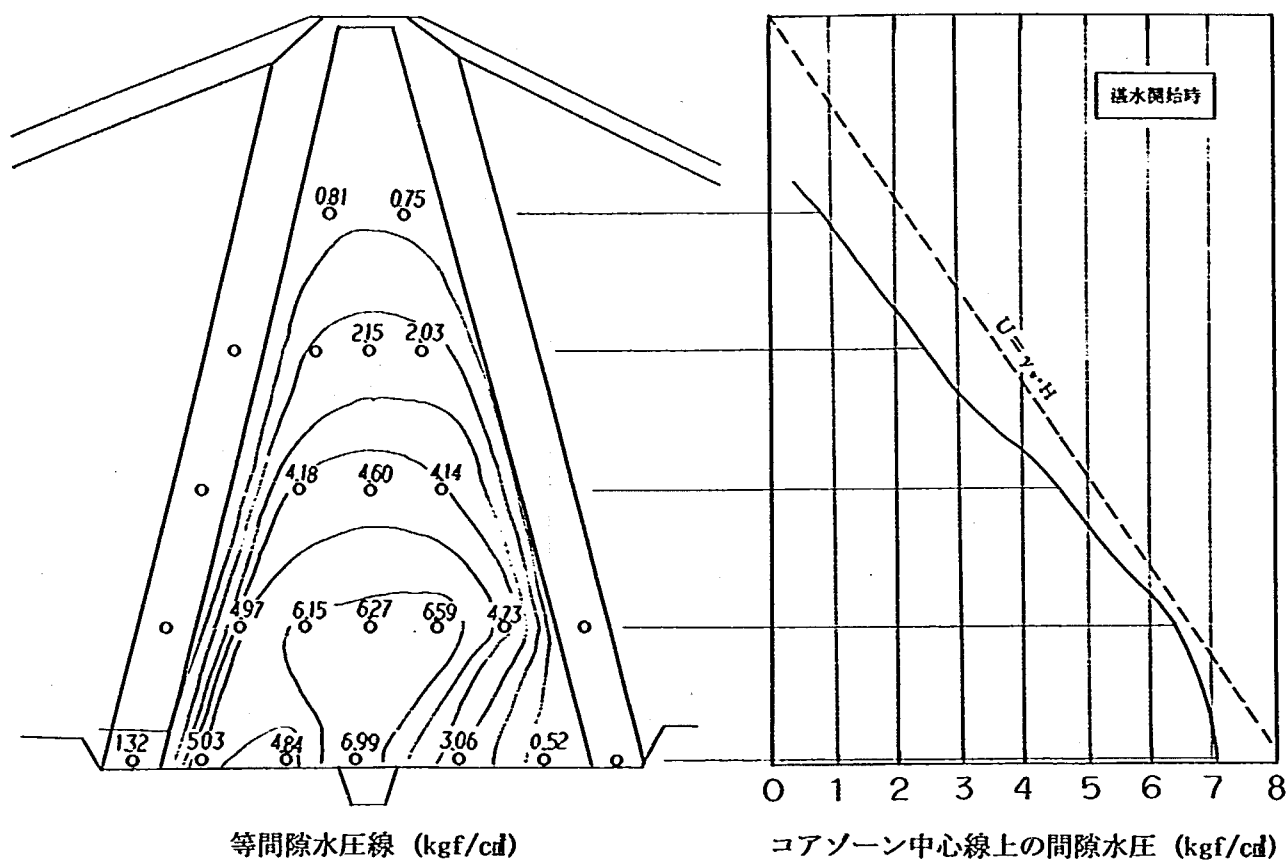


図-2-11(j) 間隙水圧分布 (Qダム)

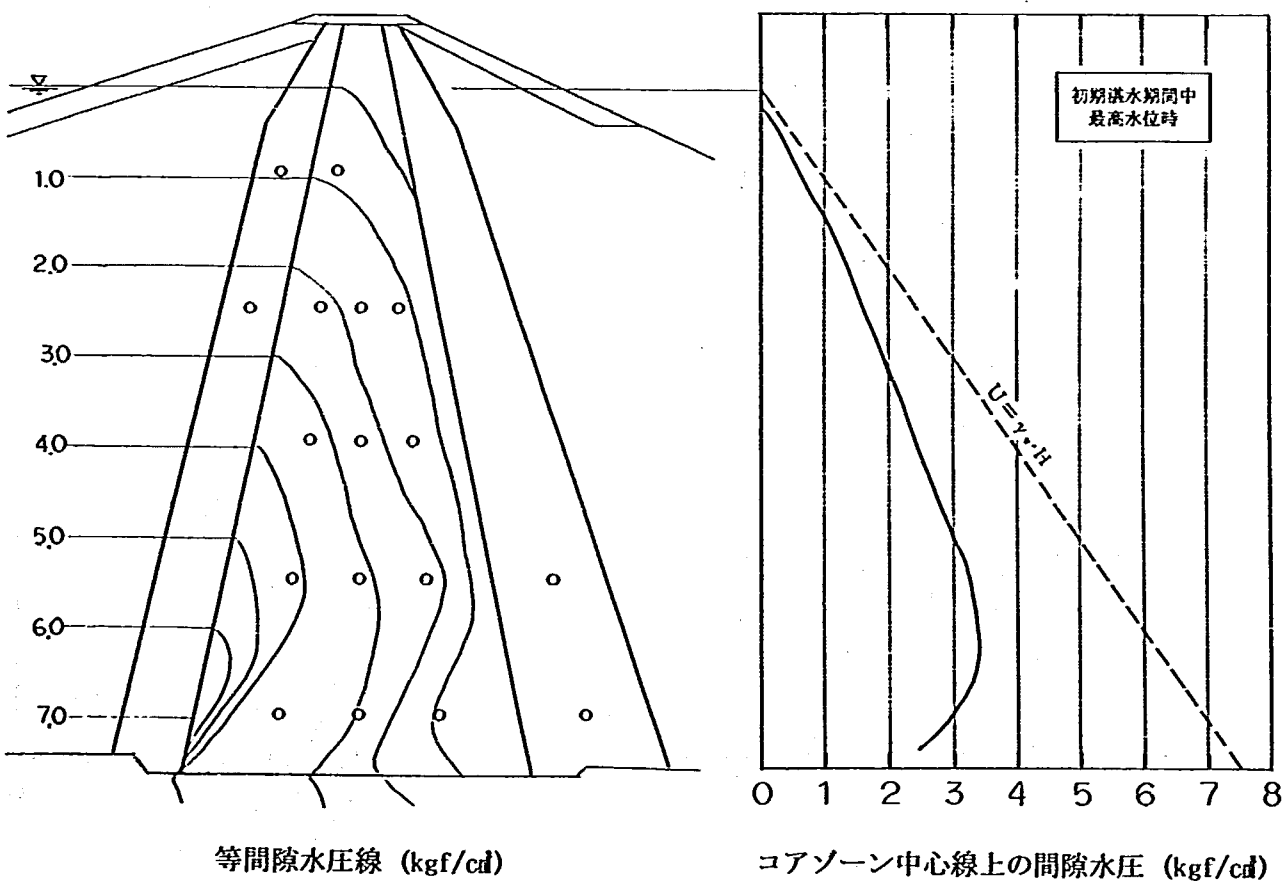
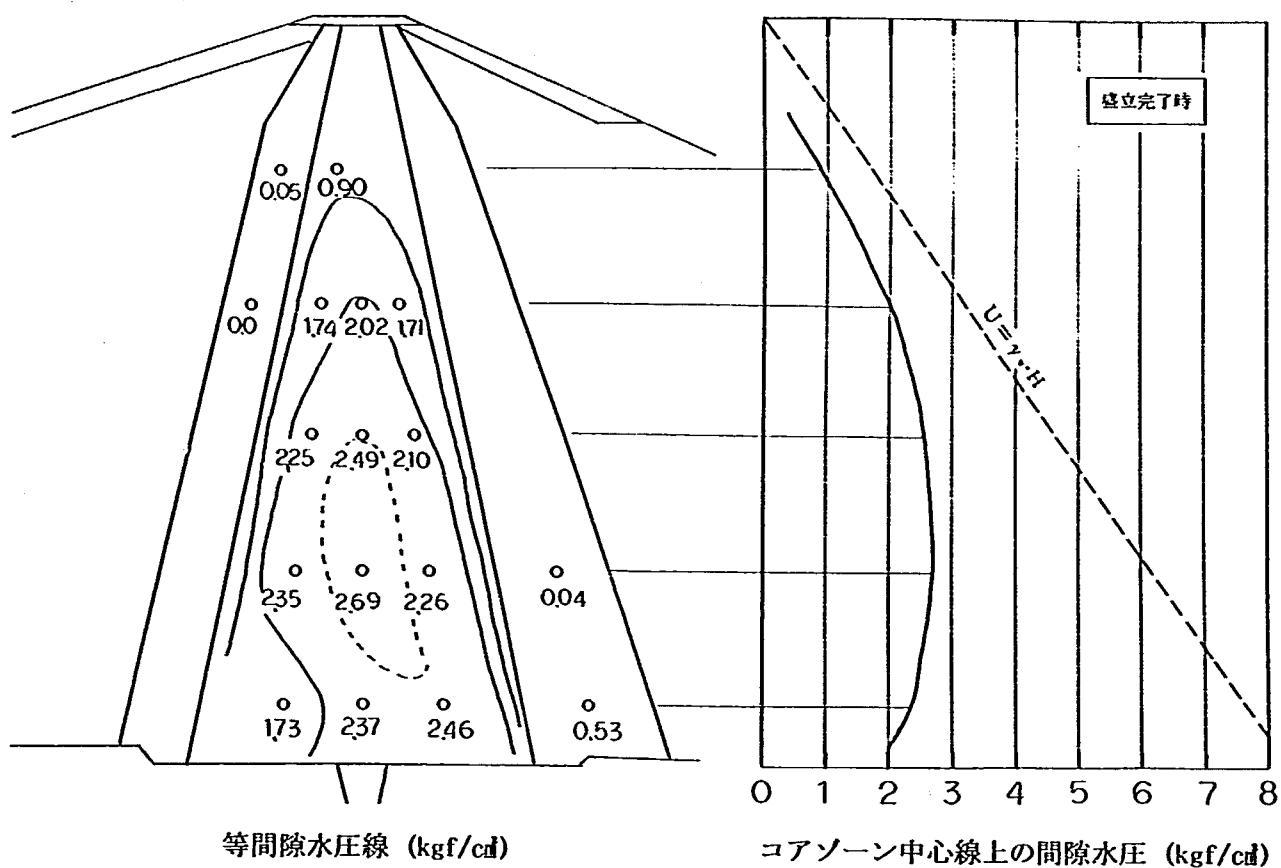


図-2.11(k) 間隙水圧分布 (Sダム)

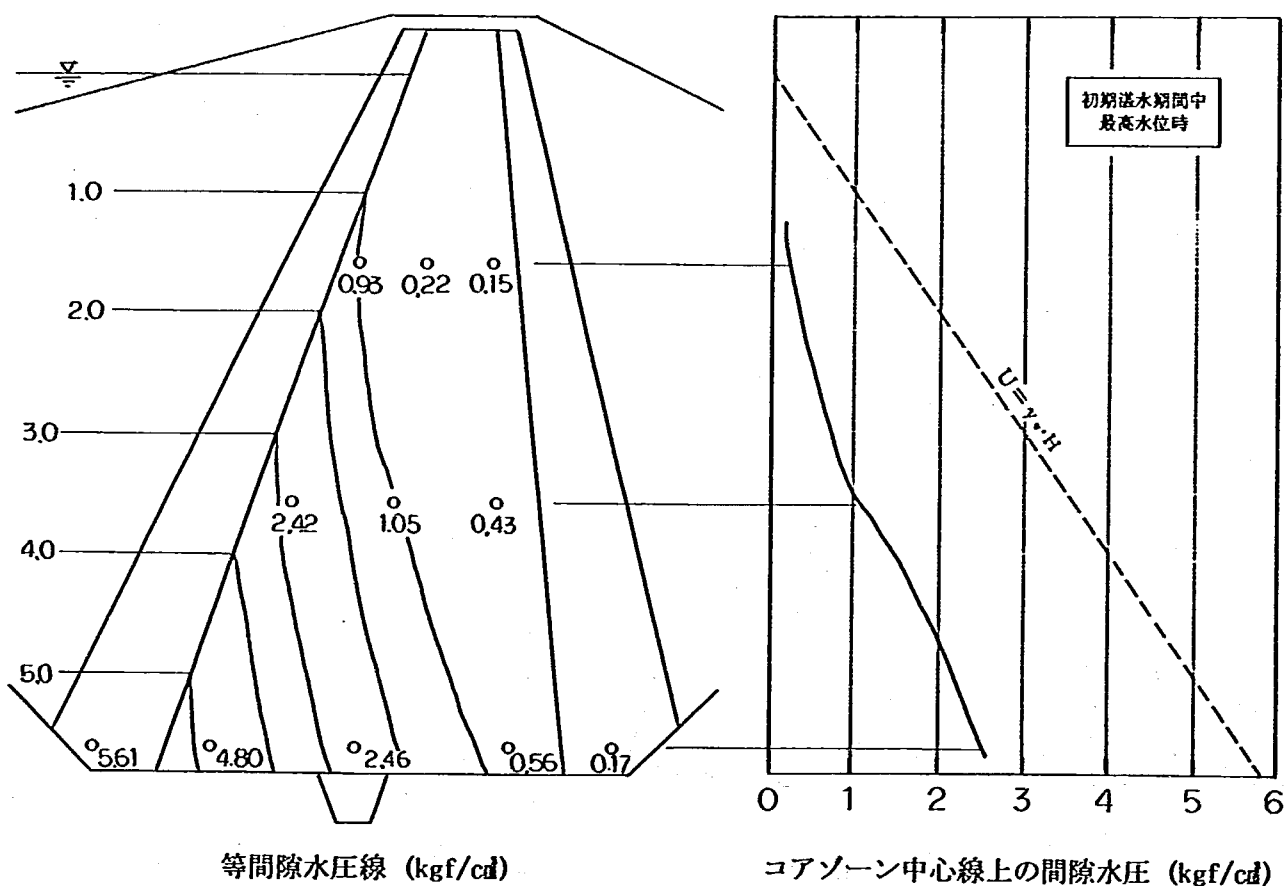
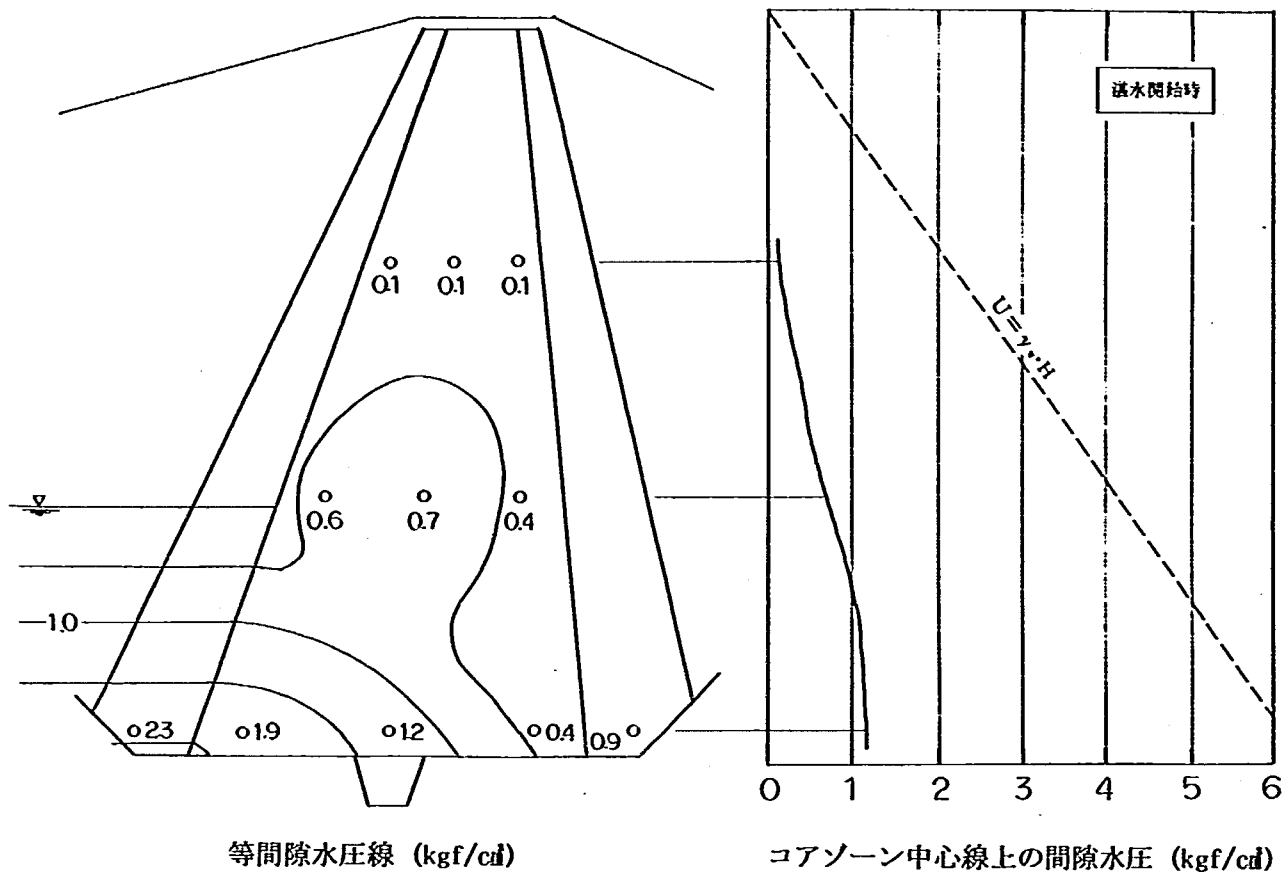


図-2-11(I) 間隙水圧分布 (Uダム)

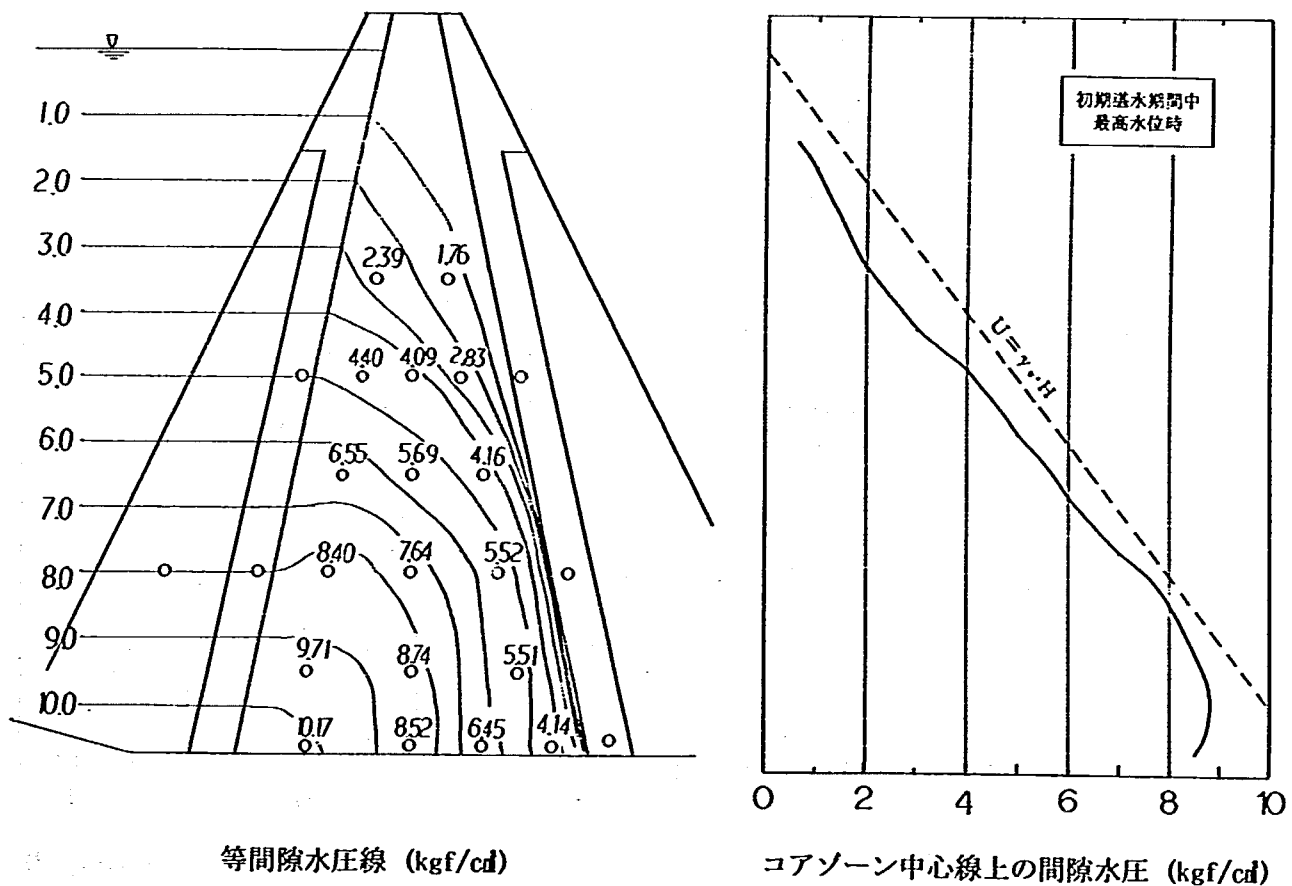
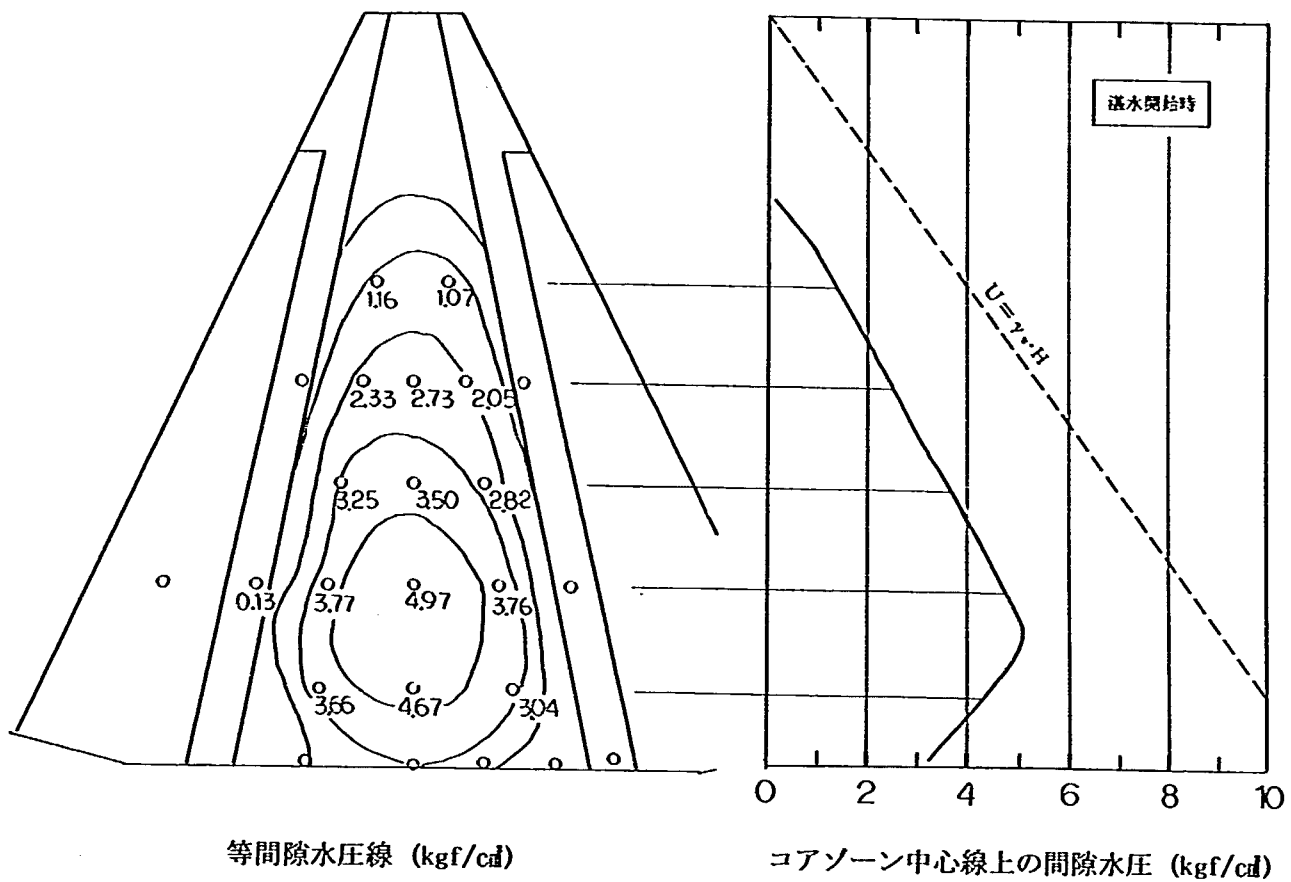


図-2.11(ア) 間隙水圧分布 (Vダム)

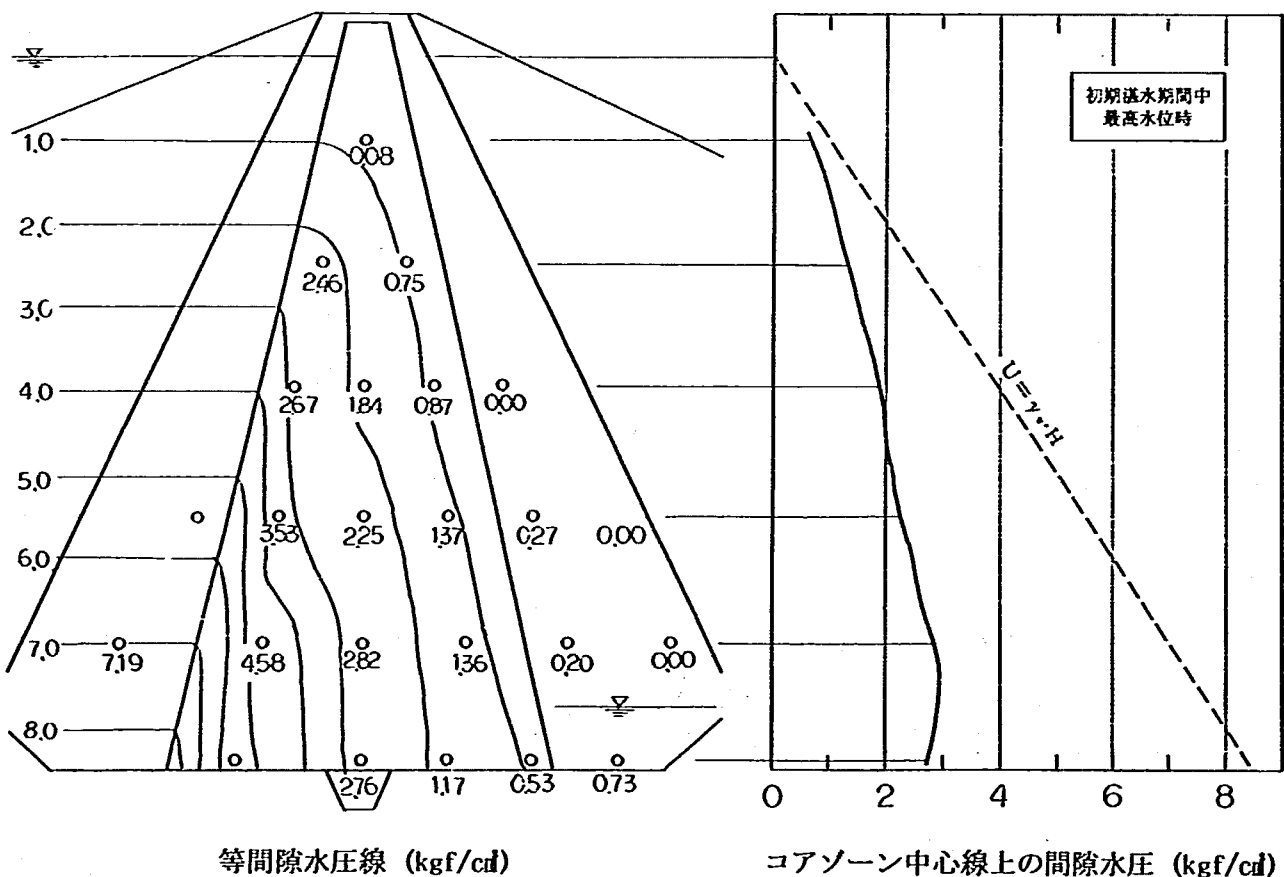
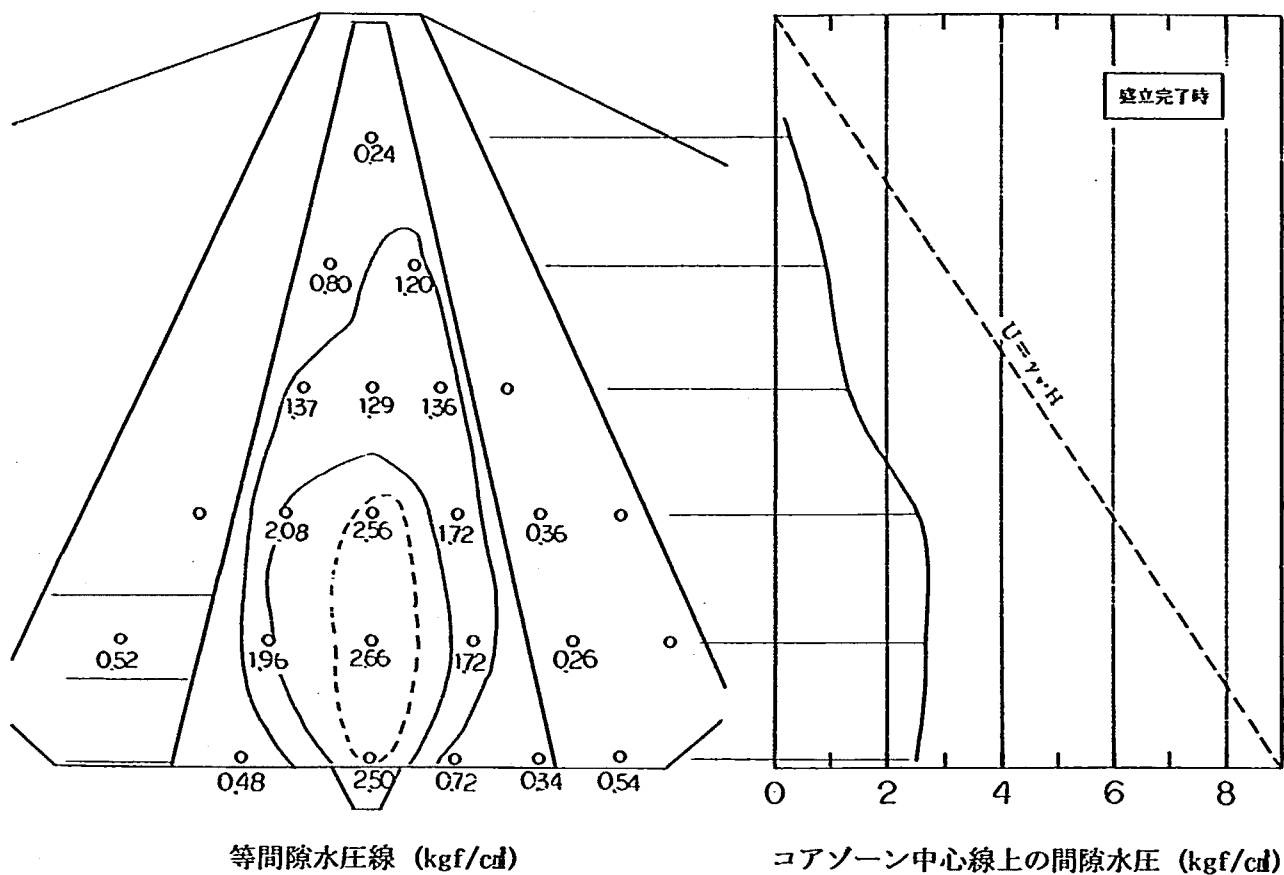


図-2.11(n) 間隙水圧分布 (Wダム)

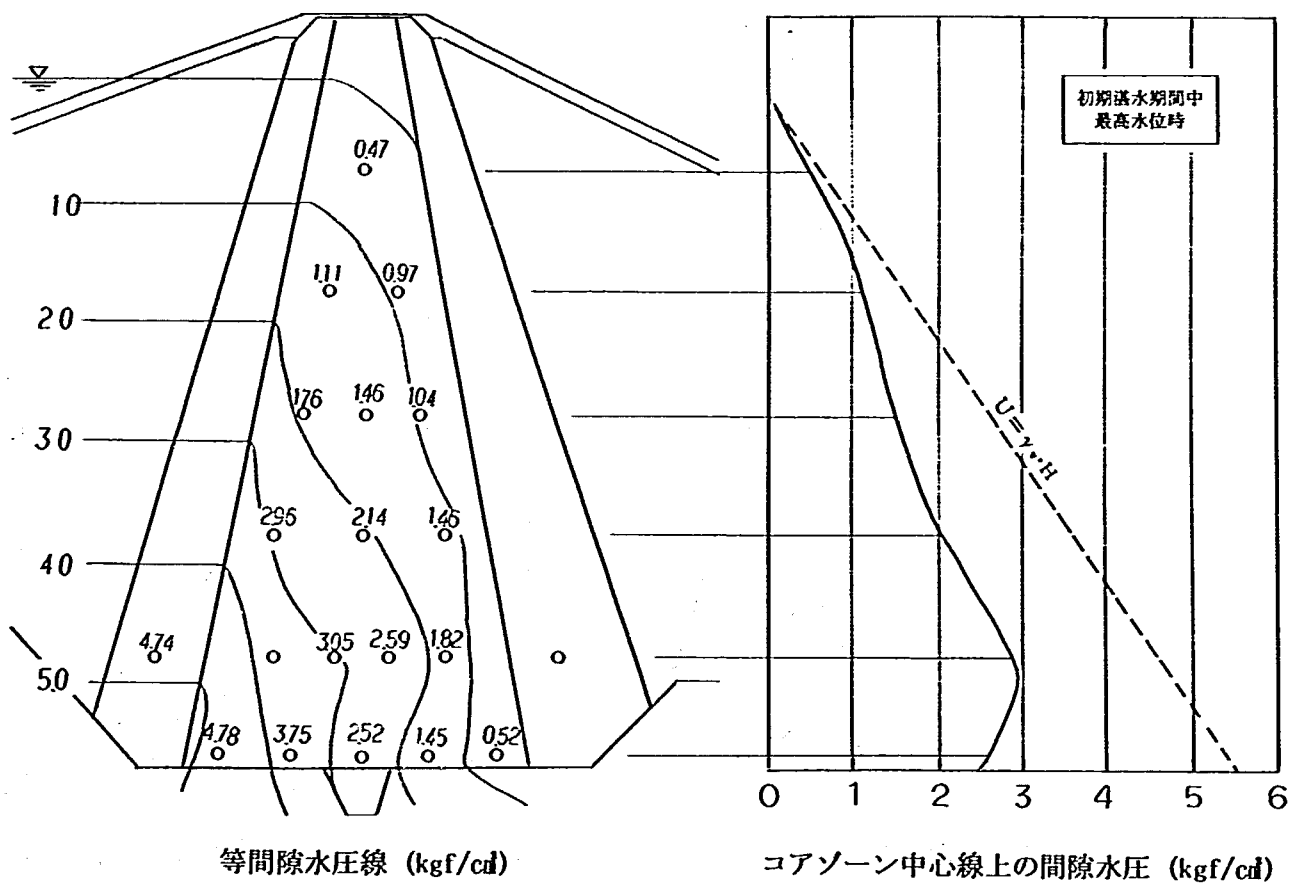
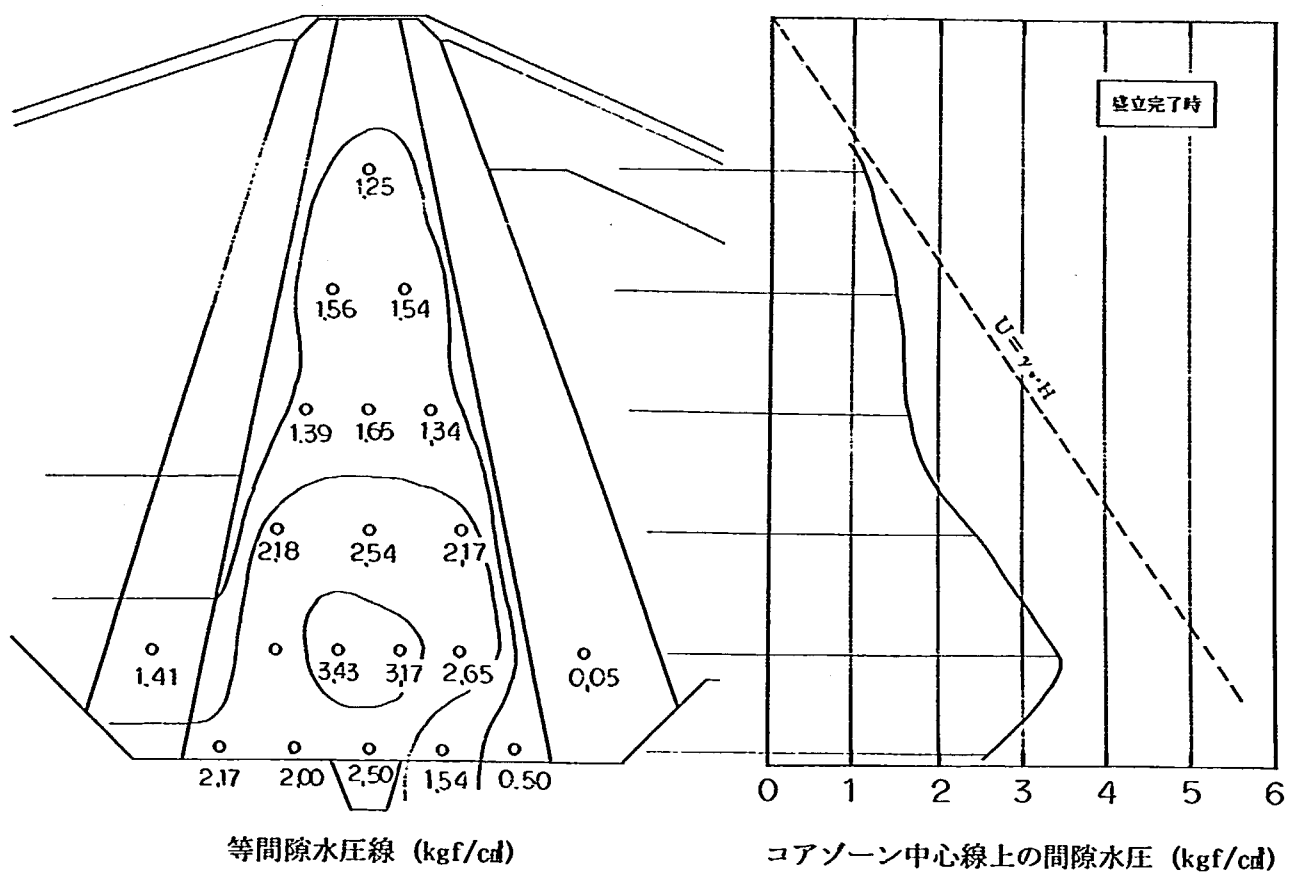


図-2.11(α) 間隙水圧分布 (Xダム)

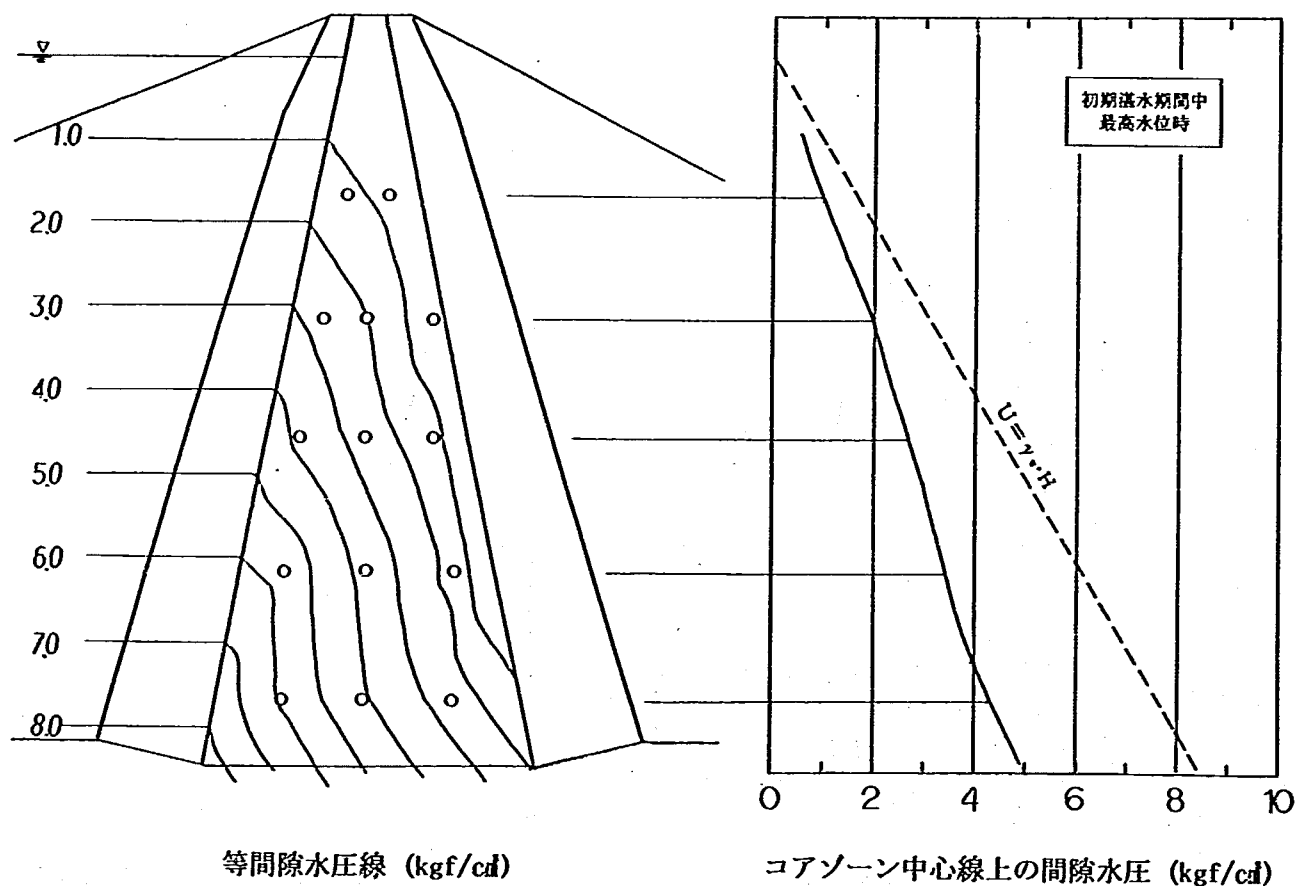
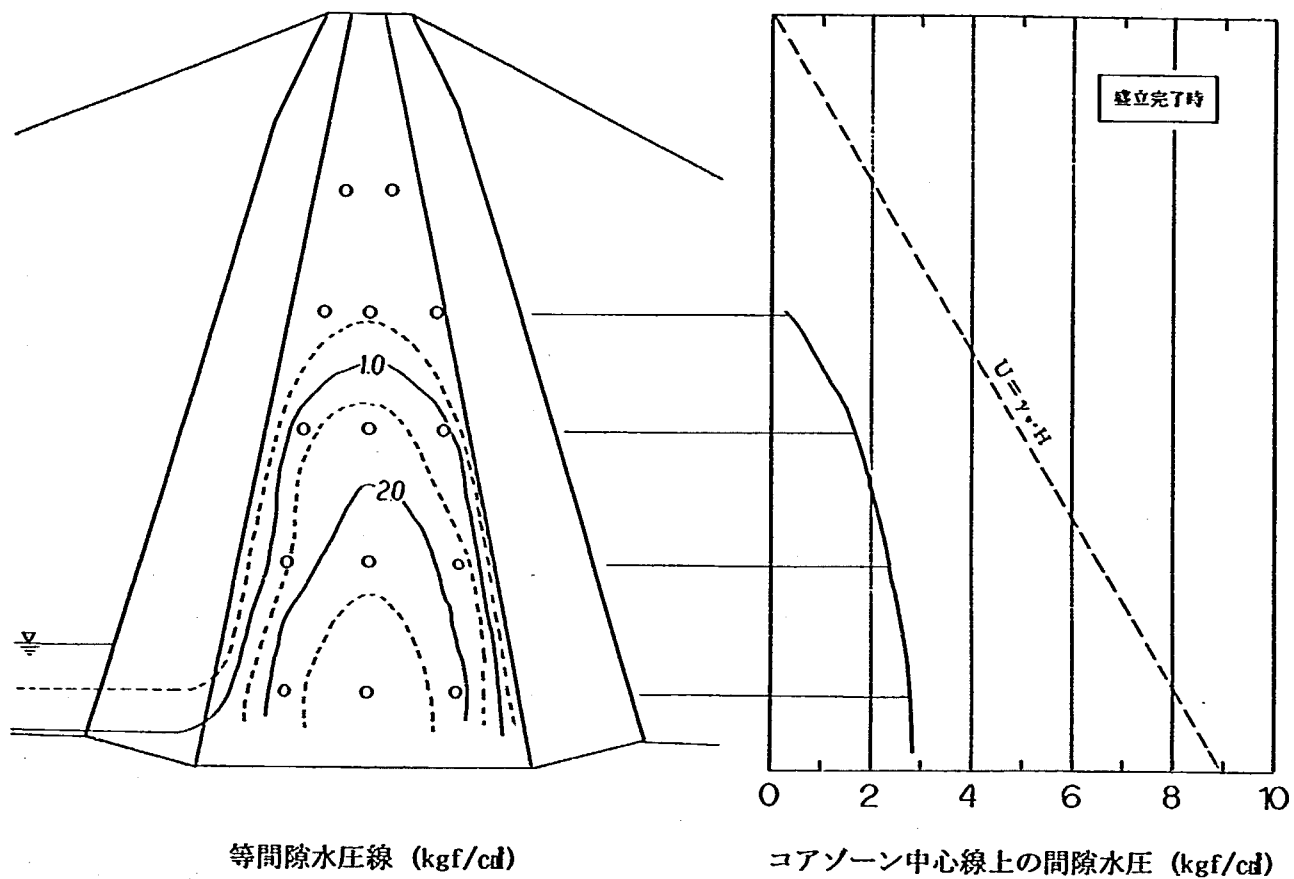


図-2・11(p) 間隙水圧分布 (Yダム)

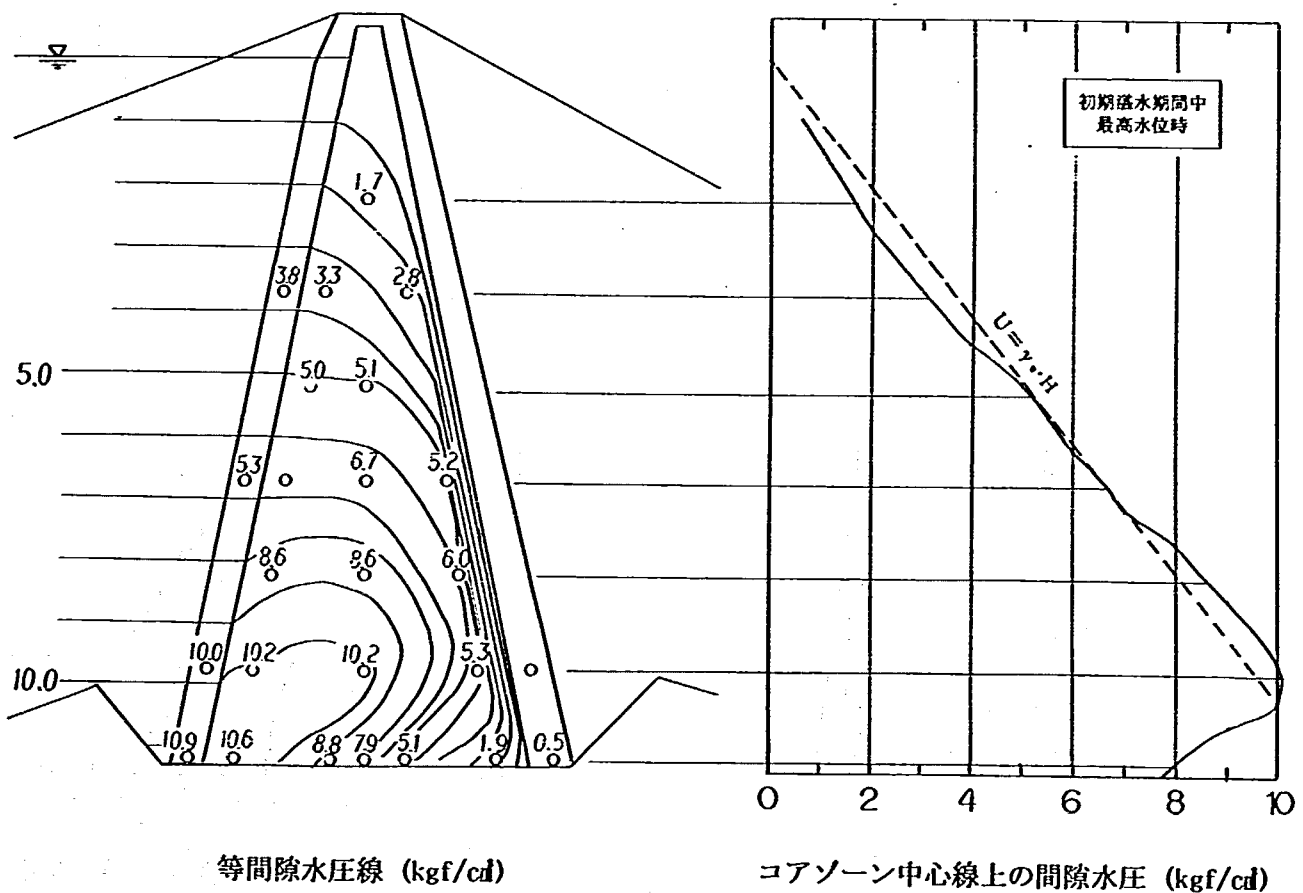
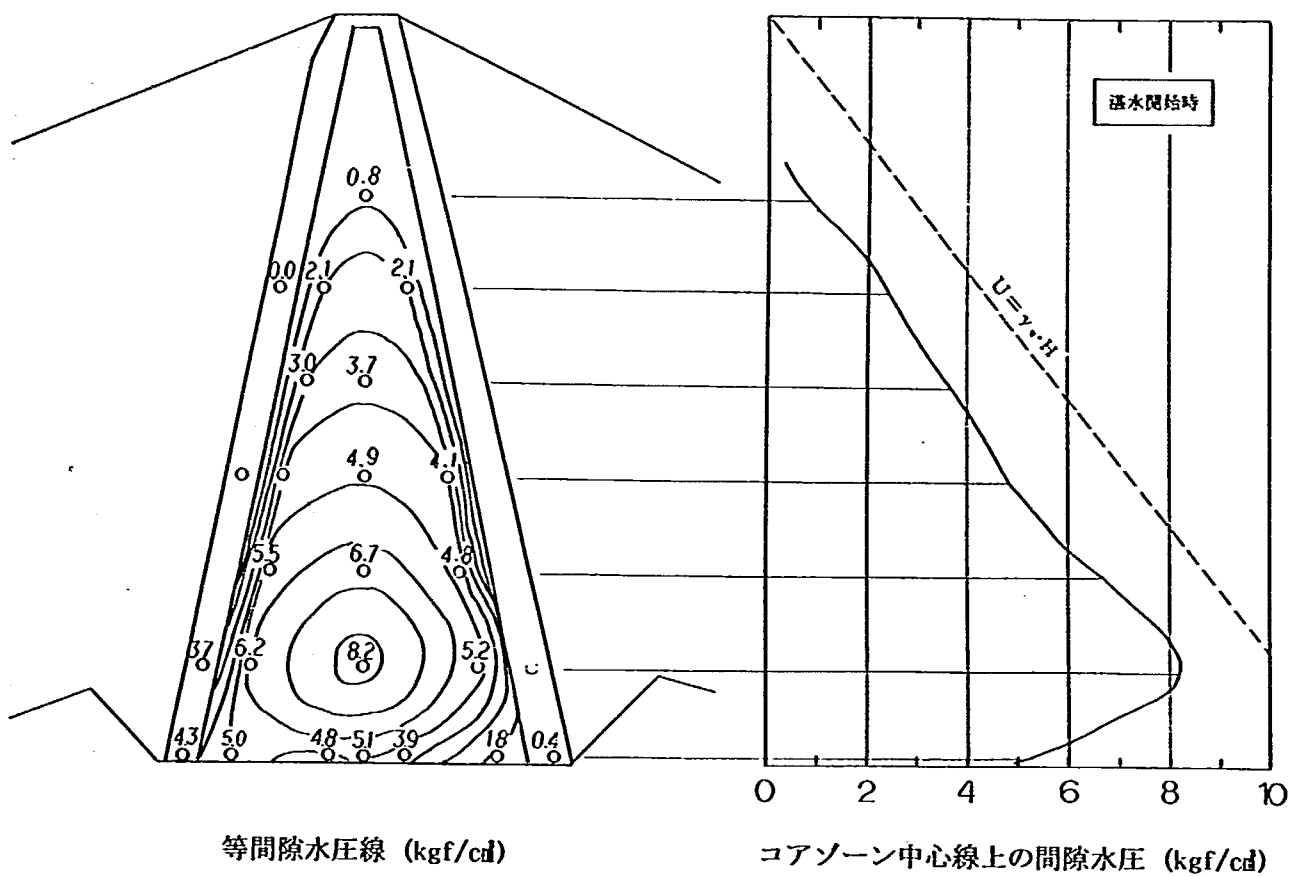
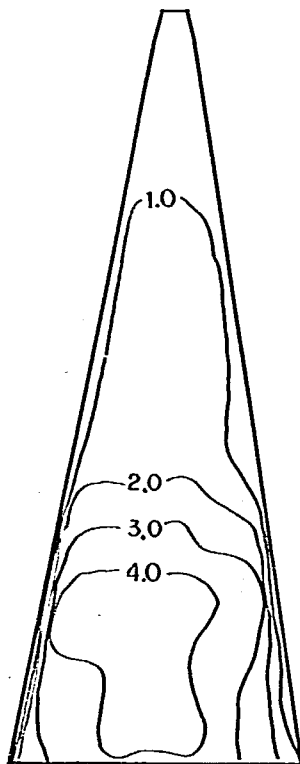
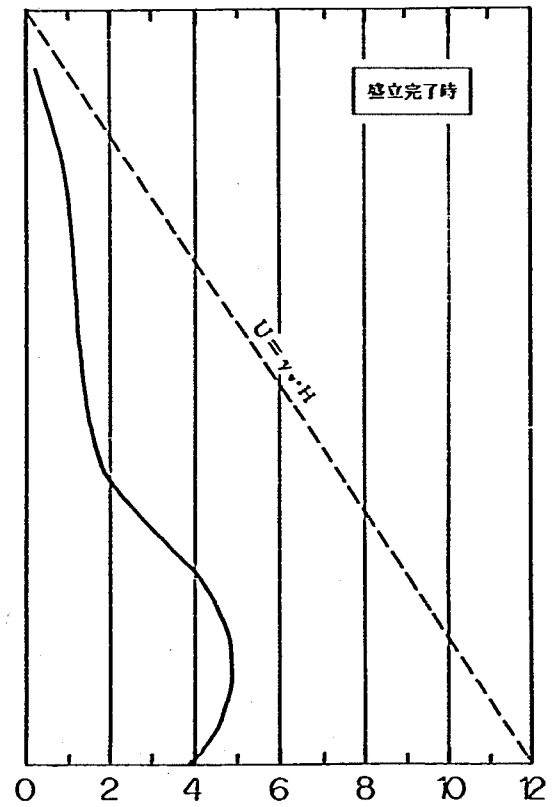


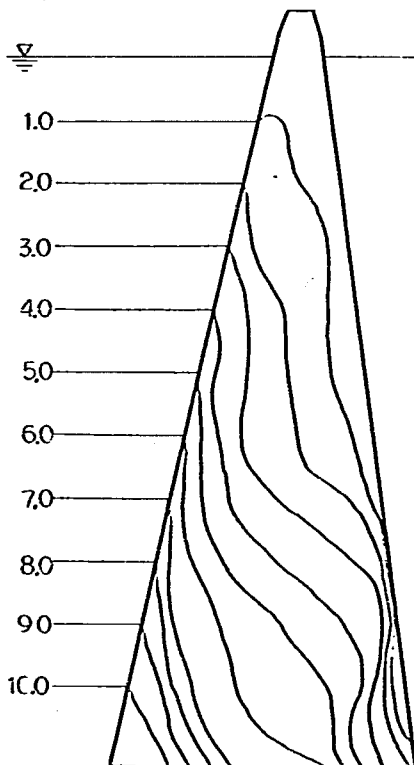
図-2.11(q) 間隙水圧分布 (Zダム)



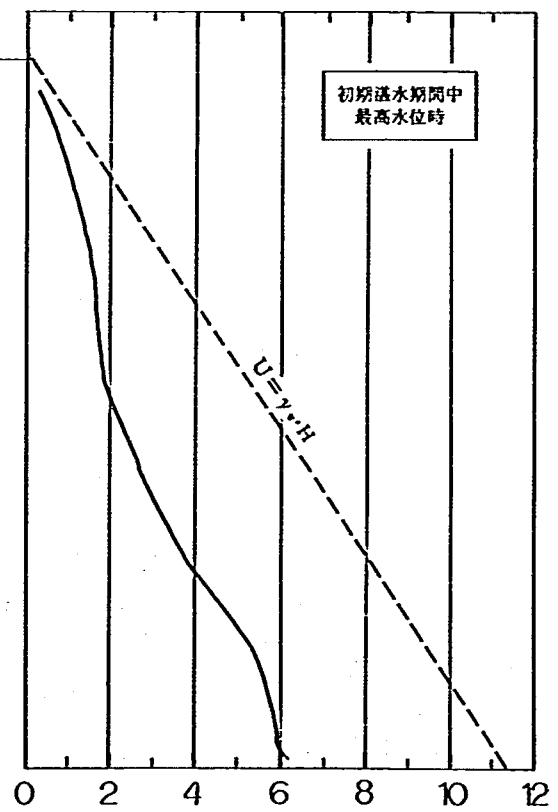
等間隙水圧線 (kgf/cm²)



コアゾーン中心線上の間隙水圧 (kgf/cm²)



等間隙水圧線 (kgf/cm²)



コアゾーン中心線上の間隙水圧 (kgf/cm²)

図-2・11(r) 間隙水圧分布 (a ダム)

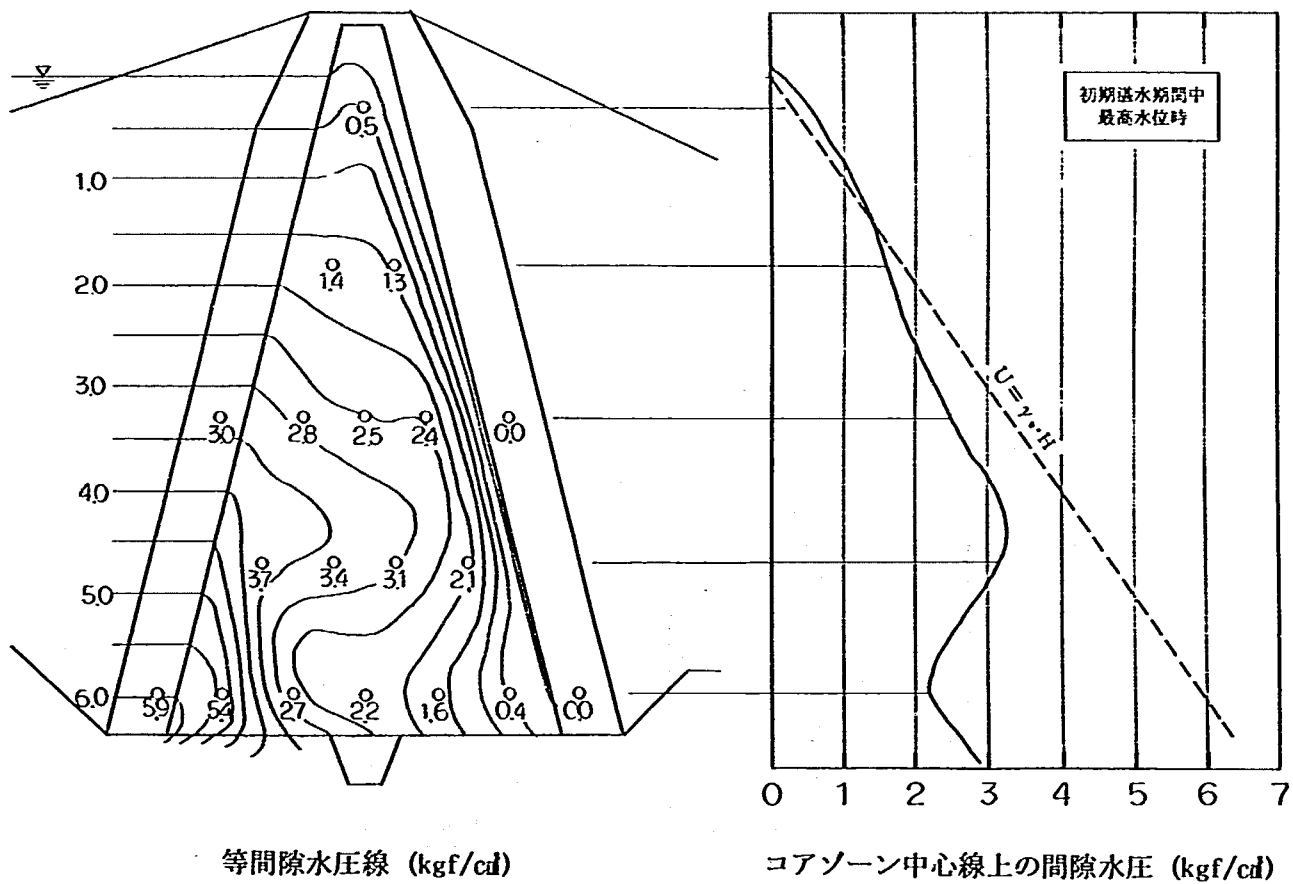
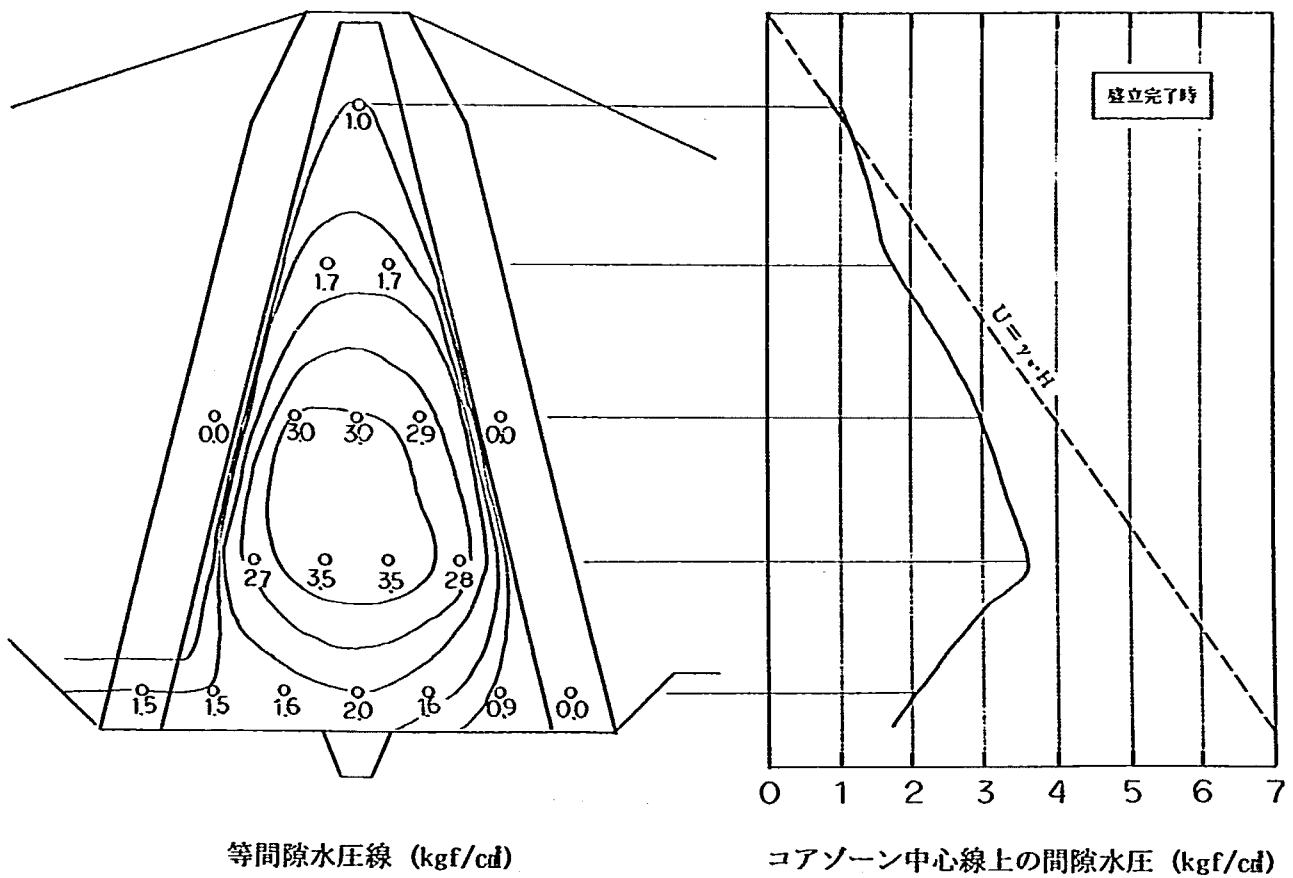


図-2・11(s) 間隙水圧分布 (bダム)

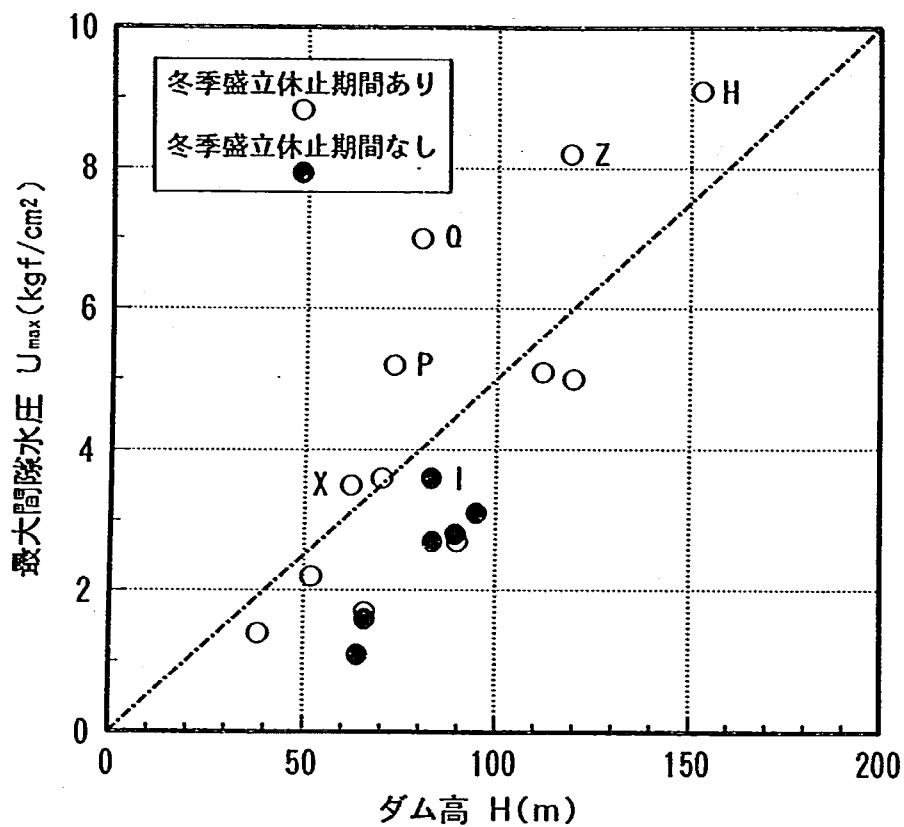


図-2.12 ダム高と盛立完了時最大間隙水圧

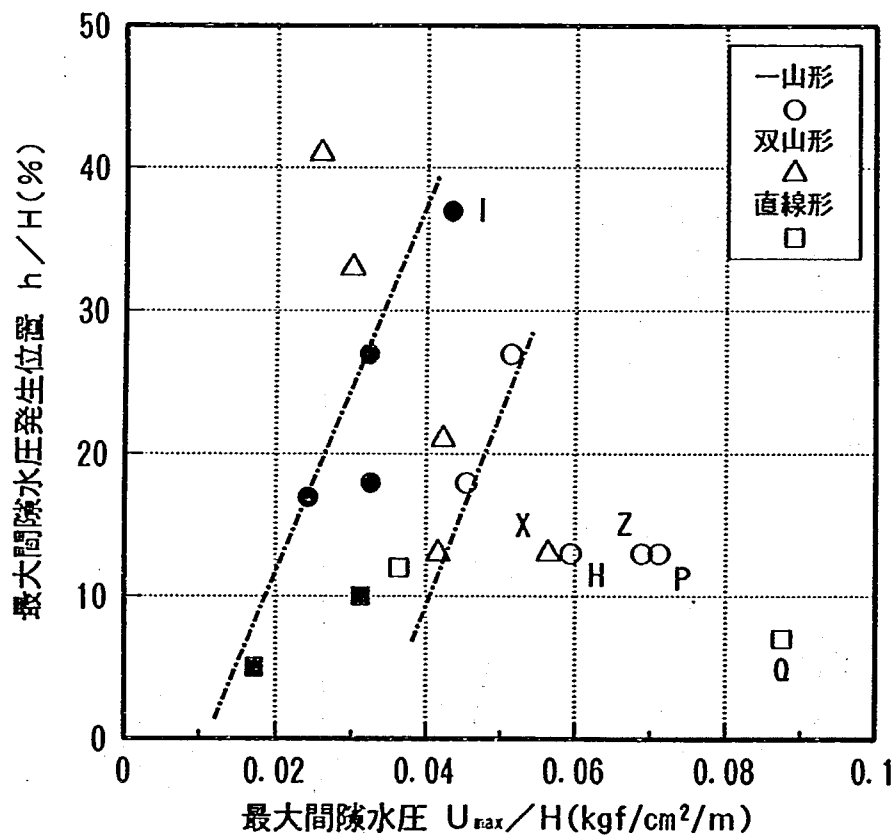


図-2.13 盛立完了時最大間隙水圧とその発生位置

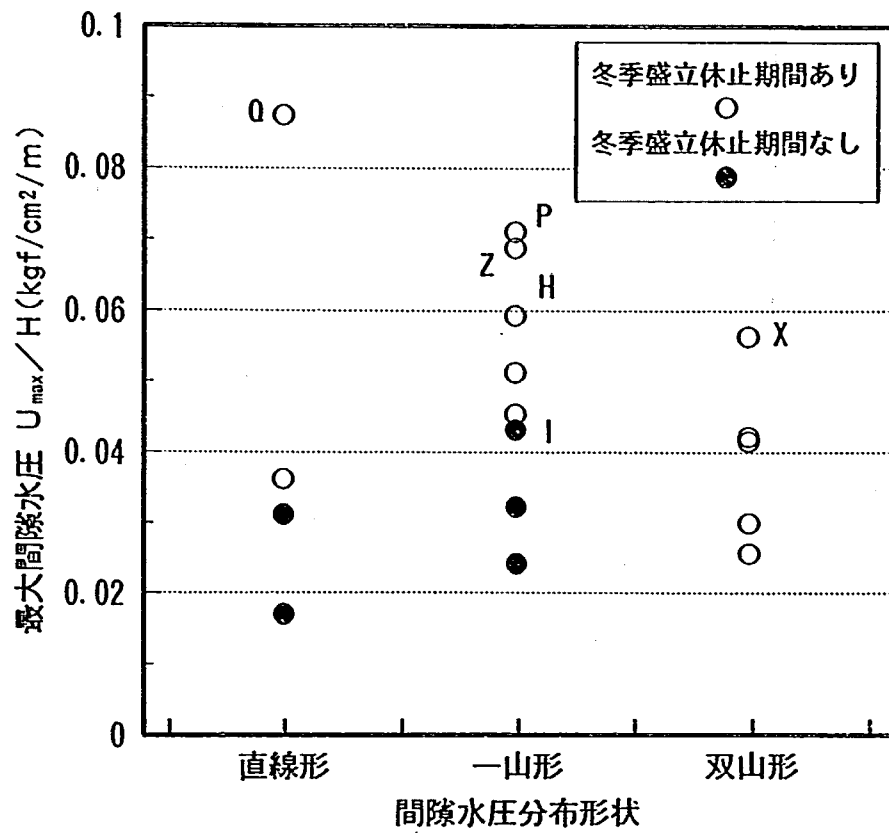


図-2-14 間隙水圧分布形状と盛立完了時最大間隙水圧

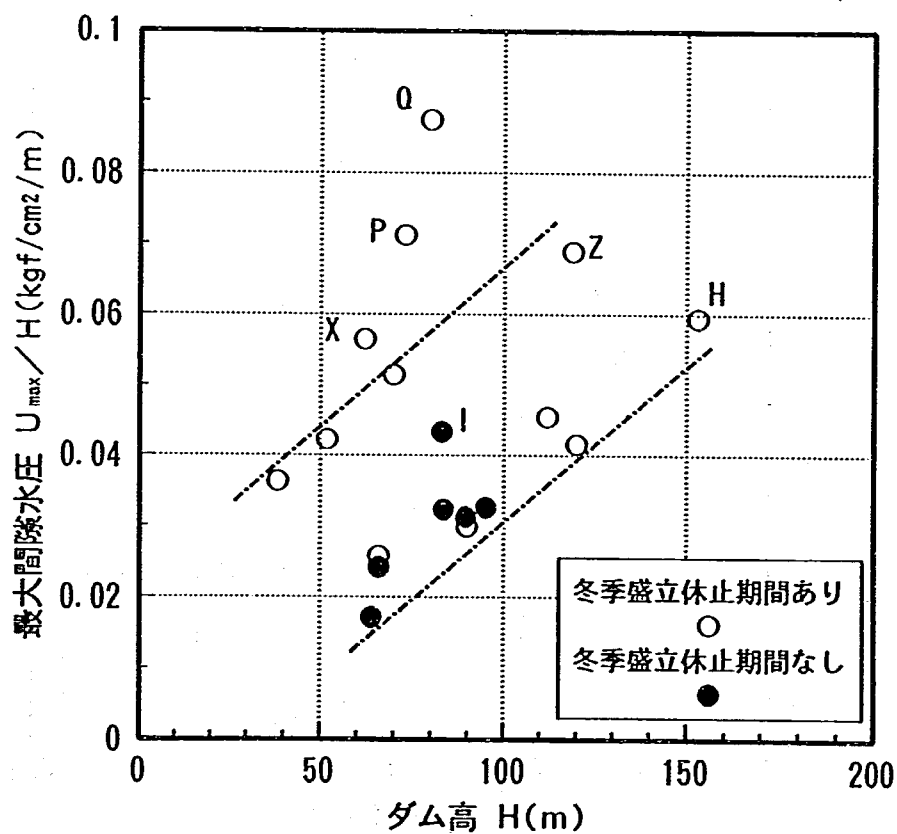


図-2-15 ダム高と盛立完了時最大間隙水圧

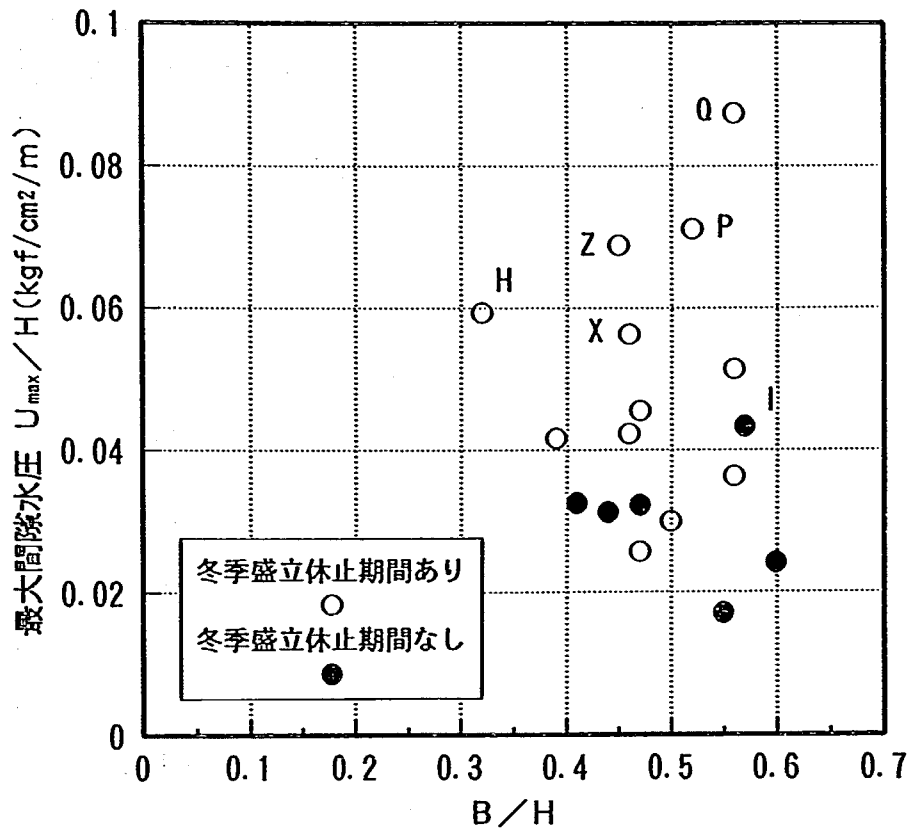


図-2-16 B/Hと盛立完了時最大間隙水圧

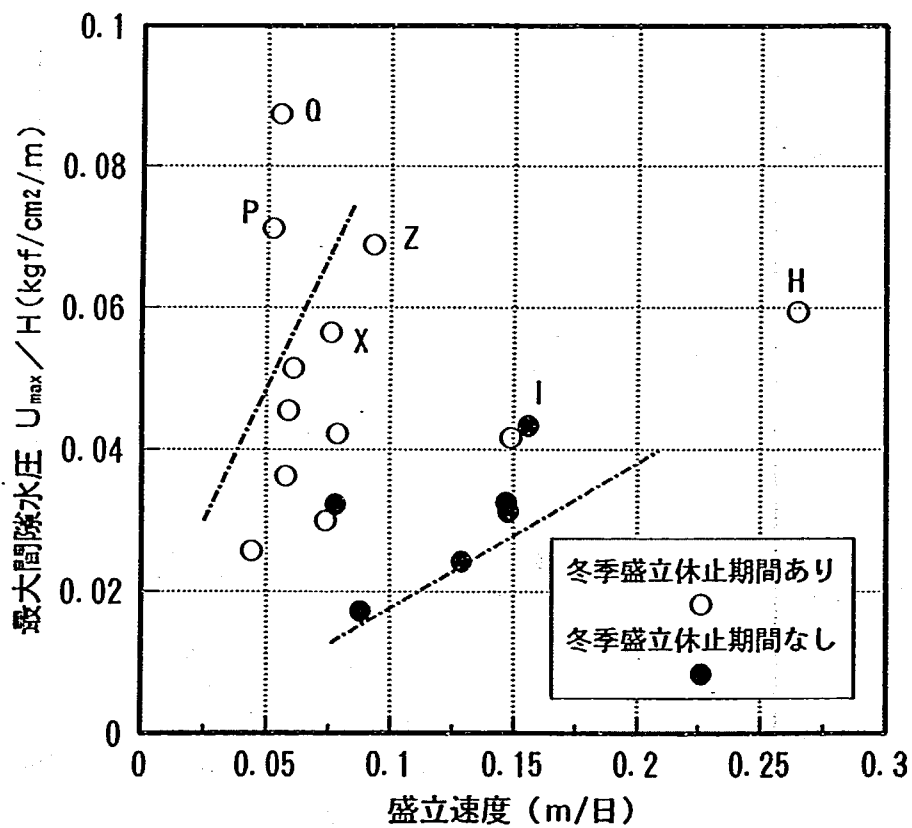


図-2-17 盛立速度と盛立完了時最大間隙水圧

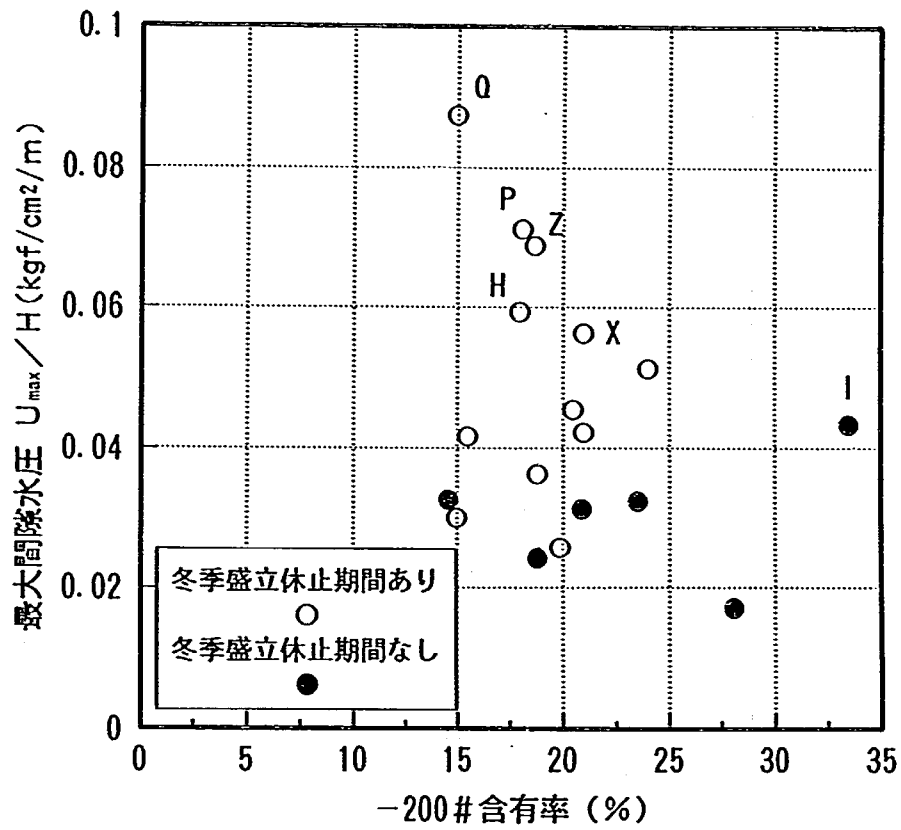


図-2・18 -200# 含有率と盛立完了時最大間隙水圧

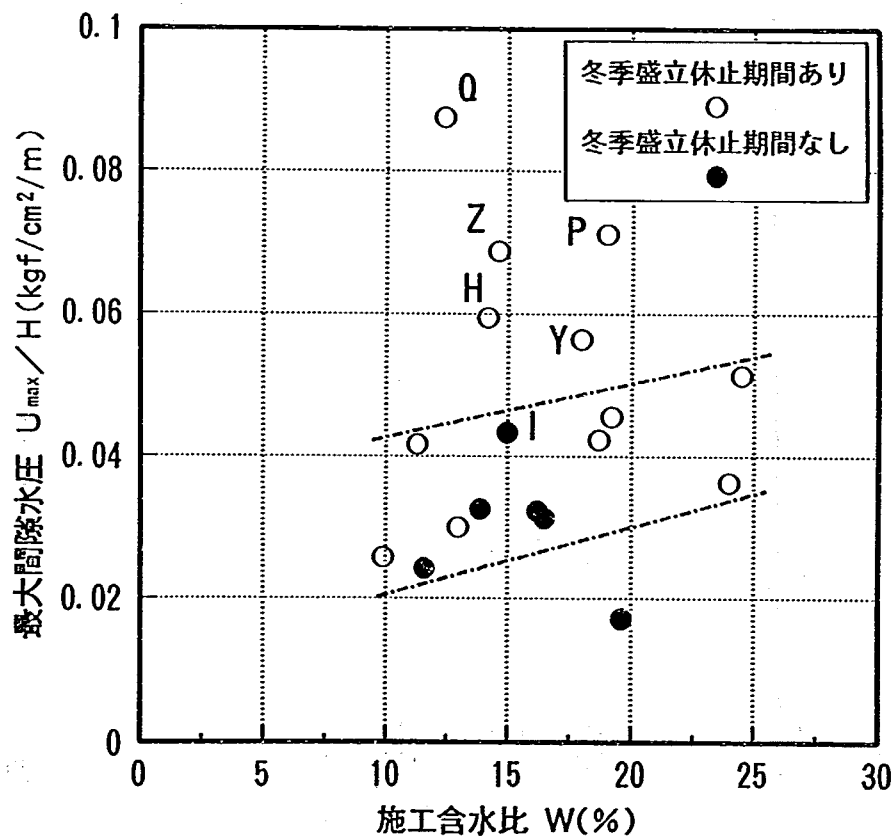


図-2・19 施工含水比と盛立完了時最大間隙水圧

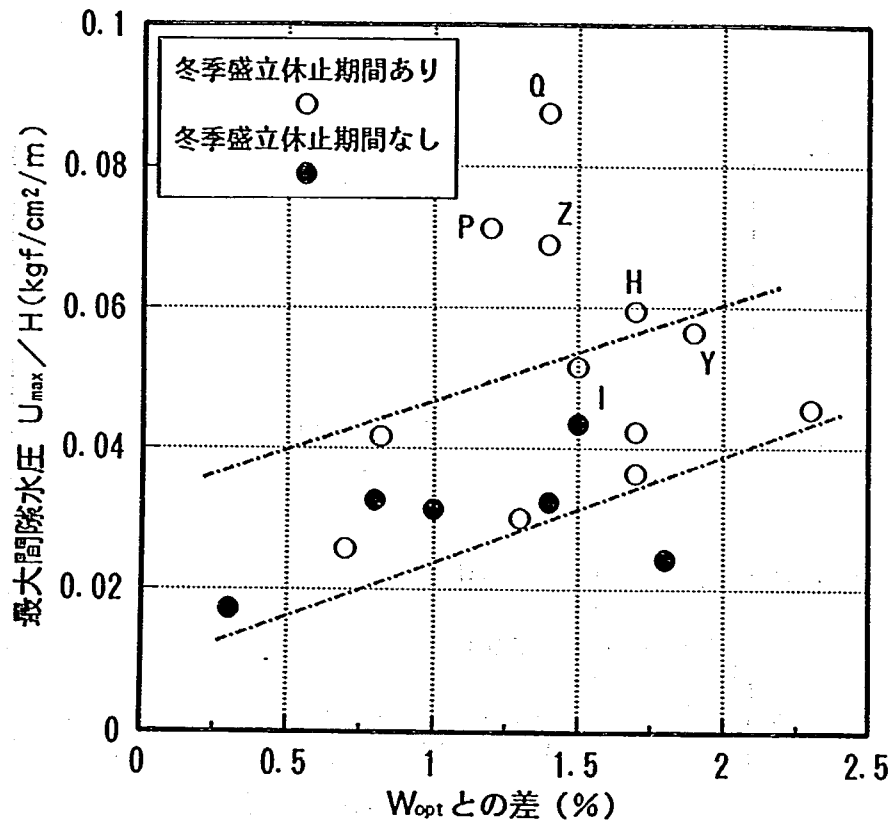


図-2-20 施工含水比と W_{opt} との差と盛立完了時最大間隙水圧

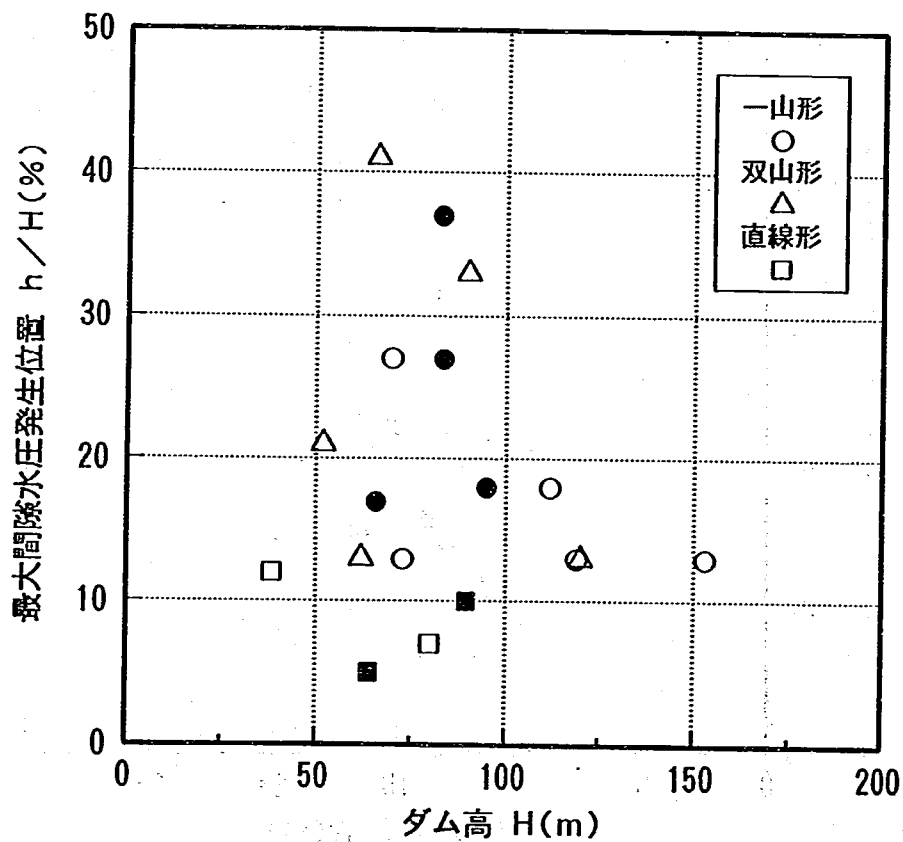


図-2-21 ダム高と盛立完了時最大間隙水圧発生位置

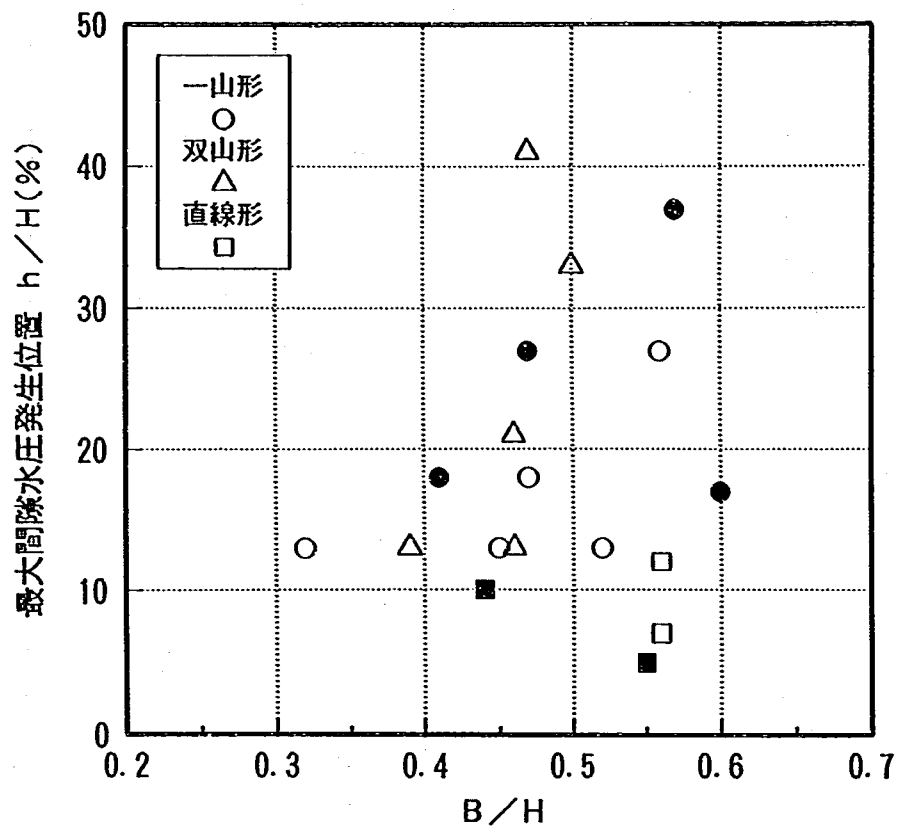


図-2・22 B/H と盛立完了時最大間隙水压発生位置

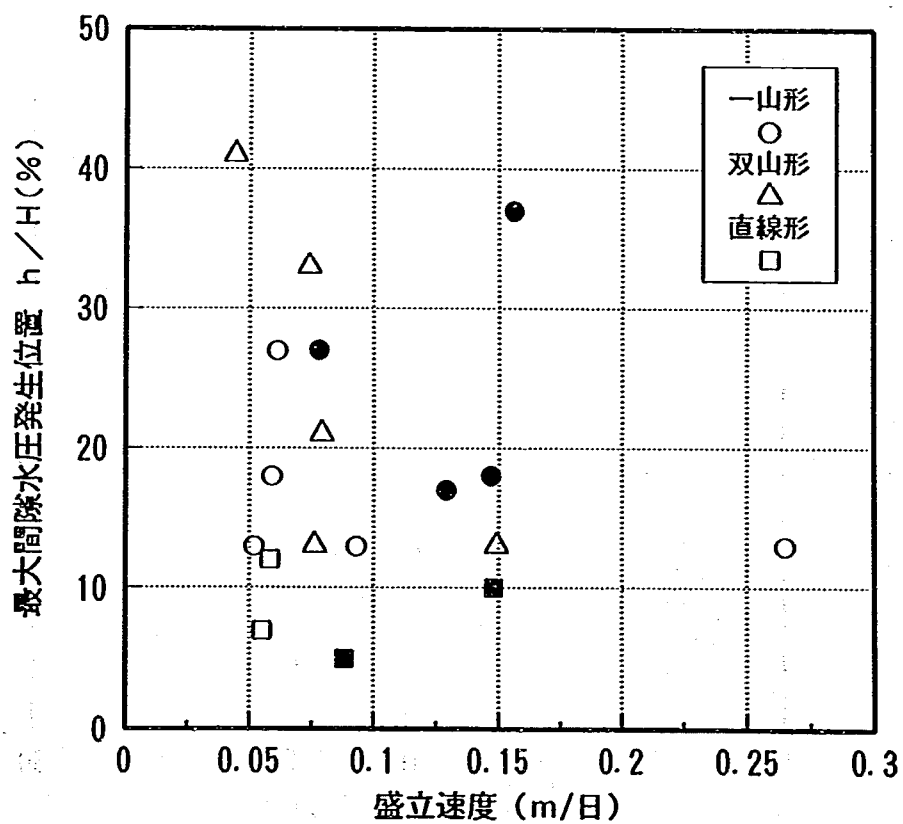


図-2・23 盛立速度と盛立完了時最大間隙水压発生位置

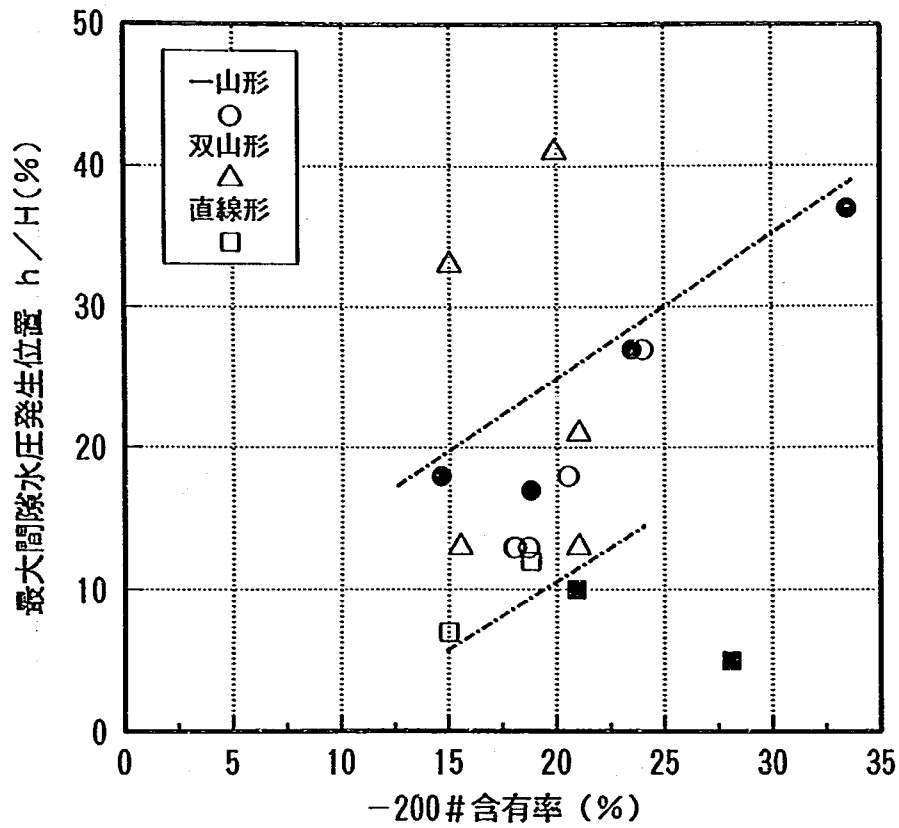


図-2・24 -200# 含有率と盛立完了時最大間隙水压発生位置

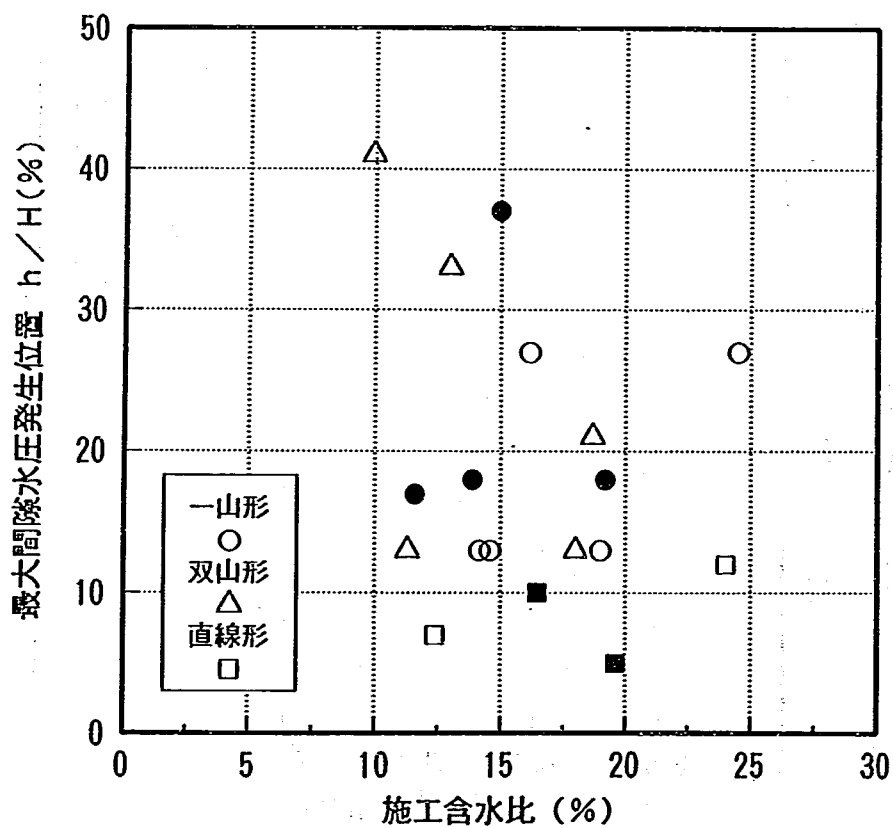


図-2・25 施工含水比と盛立完了時最大間隙水压発生位置

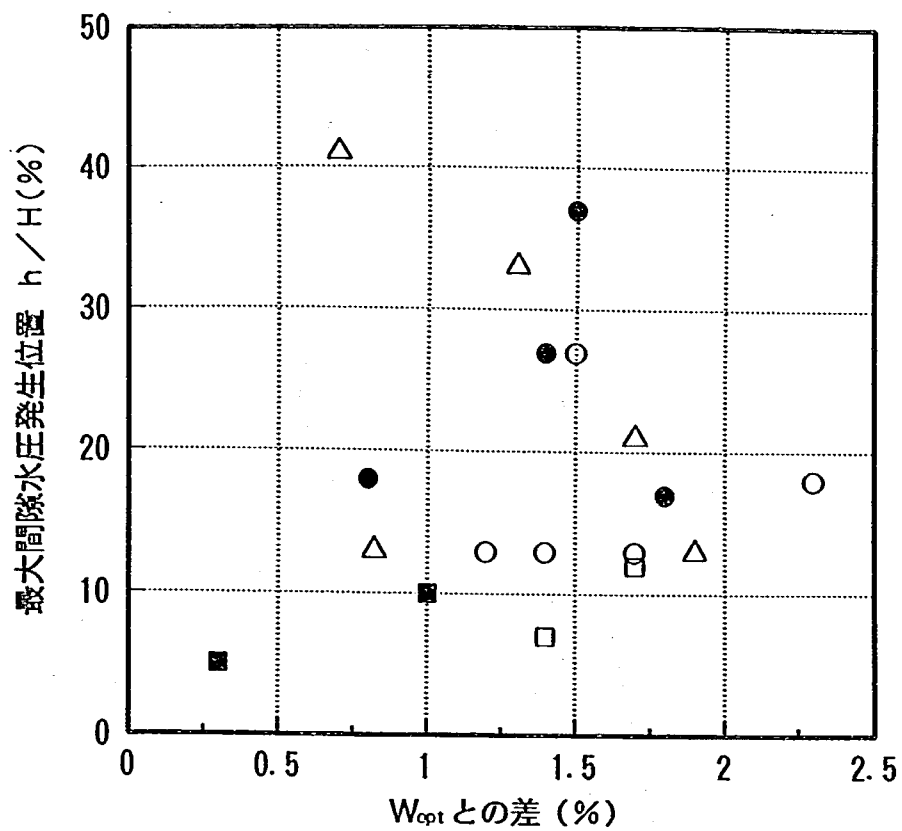


図-2・26 施工含水比と W_{opt} との差と盛立完了時最大間隙水圧発生位置

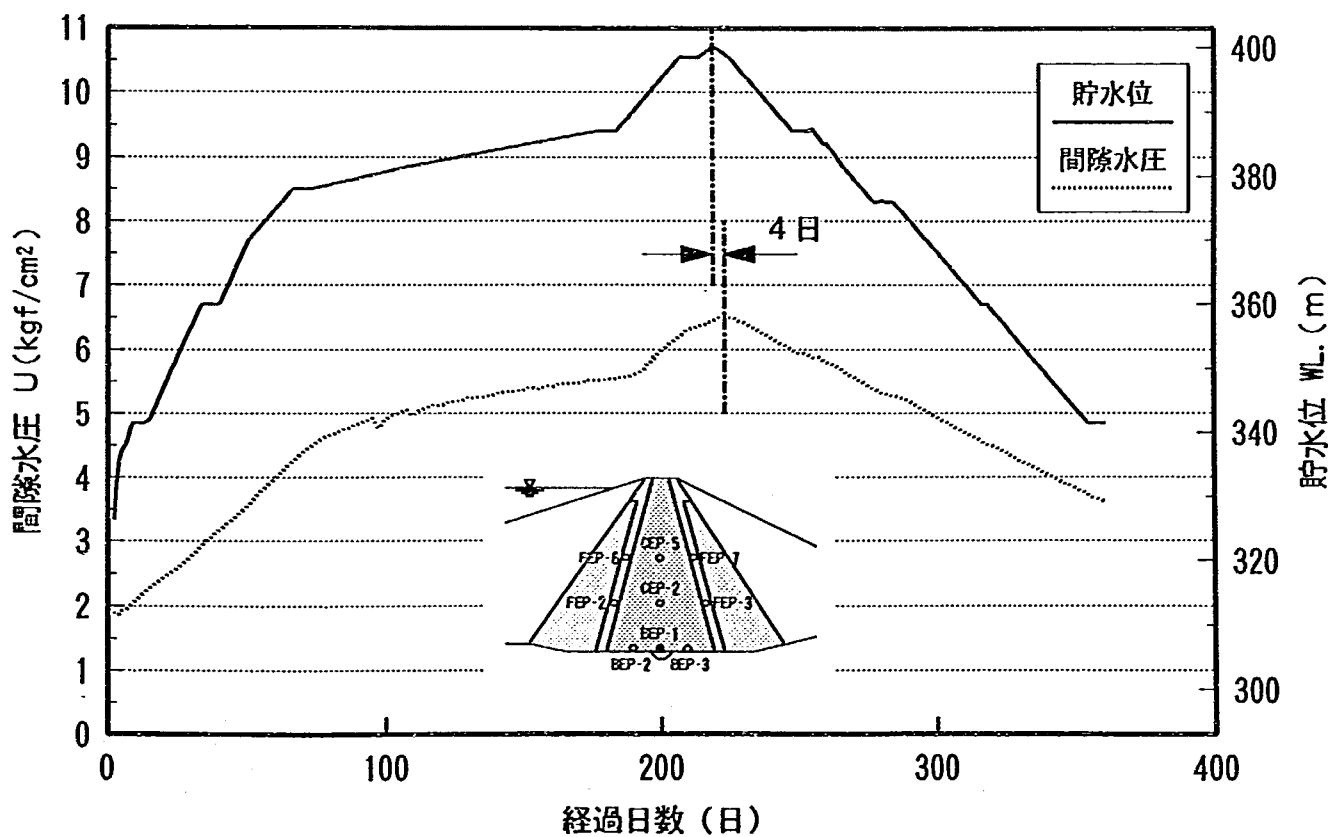
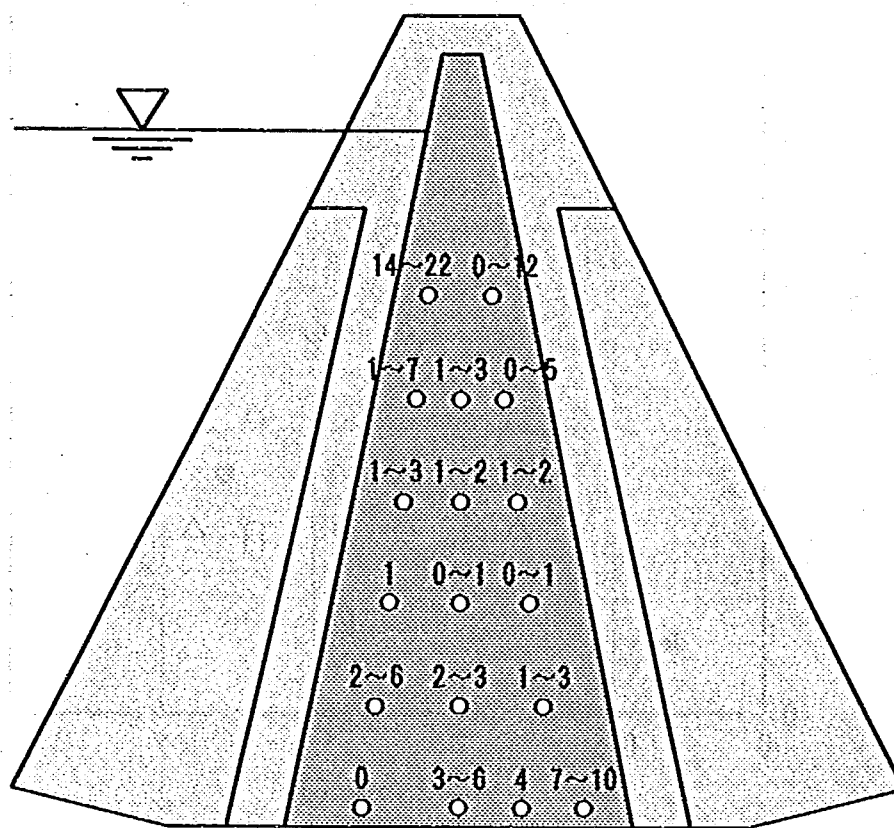


図-2・27 間隙水圧の経時変化 (Vダム)



図一2・28 最大値を示す日の最高水位時からの遅れ日数

3 結 論

本検討により、フィルダム堤体内の土圧、間隙水圧の計測値、およびその変化傾向について明らかになったことを以下に示す。

土圧についてはその計測値の示す意味について理解できた。つまり、堤体底部における鉛直全土圧の分布状況が弾性理論解で説明できること。また、フィルタゾーンにおける応力集中は、コアゾーンのアーチ作用による影響およびロックゾーンとの不等沈下による影響が大きいと思われること等である。ただし、フィルタゾーンへの応力集中は堤体の安全管理上問題となる事項であり、土圧の計測のみでなくひずみ量の計測も行い、解析の高精度化が必要である。また、応力集中の生じないような施工方法の開発も必要と考えられる。

盛立期間中における間隙水圧の大きさについては、コアゾーンの形状(B/H)、 $-200\#$ 含有率、施工含水比との関係で整理した。つまり、最大間隙水圧発生率は施工含水比が W_{opt} より大きい(湿潤側)ほど大きな値となる。消散率は、 B/H 、 $-200\#$ 含有率、施工含水比が小さいほど大きな値を示すこと、また、盛立完了時最大間隙水圧発生位置は $-200\#$ 含有率が大きくなるにつれ、高標高部になる傾向が認められた。

将来建設されるゾーン型ロックフィルダムの盛立期間における土圧、間隙水圧を予測するための基礎的な資料が得られた。今後はここで得られた土圧、間隙水圧の傾向を基本とする堤体の応力変形解析を実施していく予定である。

また、「フィルダムの挙動解析(その1)、(その2)」と合わせて主要な挙動計測項目を網羅したとりまとめができたので、計測計器の適切な配置方法および計測頻度を含めた計測方法の最適化について検討していく予定である。

謝 辞

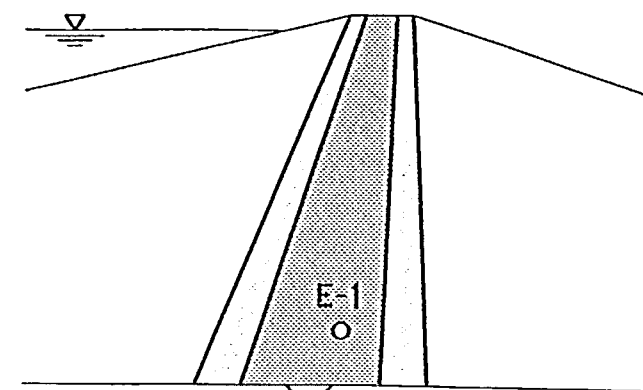
本資料をとりまとめるにあたり、当研究室部外研究員松田潤一郎氏（現 清水建設）の整理された資料を参考にさせていただき、資料の編集作業では当研究室大久保雅彦氏（現 中国地方建設局）の多大なご協力を得ました。また、各ダムの担当の方々には貴重な計測データを収集および提出していただいたことをここに記し、深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

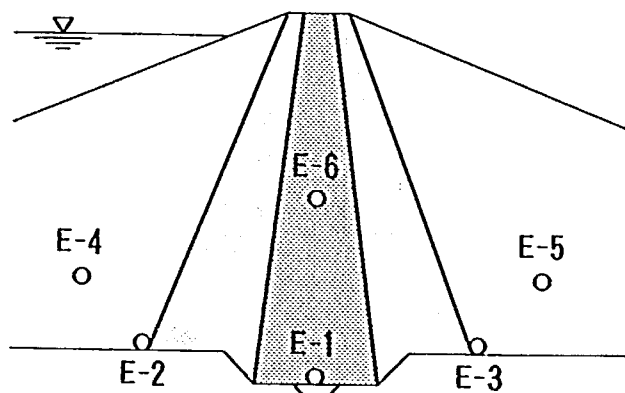
- 1) 松本徳久, 尾芦直人, 池田 隆: 「フィルダムの挙動計測に関する調査」, 建設省土木研究所資料, 第2070号, 1984. 3.
- 2) 松本徳久, 北村康夫: 「湛水に伴うフィルダムの挙動と安全管理」, 建設省土木研究所資料, 第1173号, 1976. 9.
- 3) (社)発電水力協会: 最新フィルダム工学, 1981.
- 4) 松本徳久, 安田成夫, 伊藤基博: 「フィルダムの挙動解析 (その1) - 天端部最大断面の外部変位 -」, 建設省土木研究所資料, 第3001号, 1991. 3.
- 5) 中村 昭, 安田成夫, 小嶋光博, 藤澤侃彦, 伊藤基博: 「フィルダムの挙動解析 (その2) - 変位, 浸透 -」, 建設省土木研究所資料, 第3255号, 1994. 3.
- 6) 原田次夫, 松井家孝: 「ロックフィルダムの築造中および湛水後の挙動」, 土と基礎, Vol. 25, No. 5, 1977. 5.
- 7) 笹川栄志, 松本徳久, 尾芦直人: 「ロックフィルダムにおける漏水量」, 変形, 温度の実測及び解析, 大ダム, No. 100, 1982. 6.
- 8) Penman, A.D.M. : "On the embankment dam", Geotechnique 36, No.3. pp.303-348. 1986.
- 9) Nonveiller, E. and P. Agnosti : "Stresses and Deformation in Cores of Rock-fill Dams", 5th ICSMFE, 1961.
- 10) Ladd, C.C. : "Stress-Deformation and strength Characteristics", 9th ICSMFE, pp.421-494, 1977.
- 11) 松田潤一郎, 松本徳久, 安田成夫: 「盛立時におけるフィルダムの変形特性について」, 第23回土質工学研究発表会, pp. 167-168, 1989.
- 12) Jaky, J. : "Pressure in Soils", Proc. 2nd Intern. SMFEI, pp.103-109, 1948.
- 13) Sherard, J.L. : "Earth and Earth-Rock Dams", John Willey and Sons Inc., 1963.
- 14) Hunter, J.R. : "Behaviour Blowering Dam Embankment", 10th ICOLD, Q.38, R-15, Montreal, 1970.
- 15) 野田和郎: 「水位変動の急激なフィルタイプダムにおける間隙圧の測定」, 土木学会誌 6, 1966. 6.
- 16) 建設省河川局監修: 多目的ダムの建設 昭和62年度版 設計編 I, 1987. 9.
- 17) Hilf, J.W. : "Estimating Construction Pore Pressure in Rolled Earth Dams", Proceedings, 2nd International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng. Vol.3. 1948.

付 図

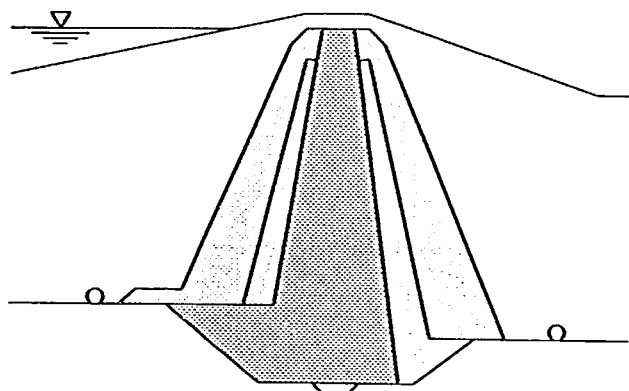
土圧計測位置	図- 0
盛立期間における鉛直全土圧 (Fダム)	図- 1 ~ 5
盛立期間における鉛直全土圧 (Lダム)	図- 6 ~ 29
盛立期間における鉛直全土圧 (Mダム)	図- 30 ~ 31
盛立期間における鉛直全土圧 (Oダム)	図- 32 ~ 37
盛立期間における鉛直全土圧 (Rダム)	図- 38 ~ 42
盛立期間における鉛直全土圧 (Tダム)	図- 43 ~ 64
盛立期間における鉛直全土圧 (Vダム)	図- 65 ~ 94
盛立期間における鉛直全土圧 (Wダム)	図- 95 ~ 109
盛立期間における鉛直有効土圧 (Lダム)	図- 110 ~ 111
盛立期間における鉛直有効土圧 (Vダム)	図- 112 ~ 122
盛立期間における鉛直有効土圧 (Wダム)	図- 123 ~ 130
初期湛水期間における鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化	図- 131 ~ 154
換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧	図- 155 ~ 176



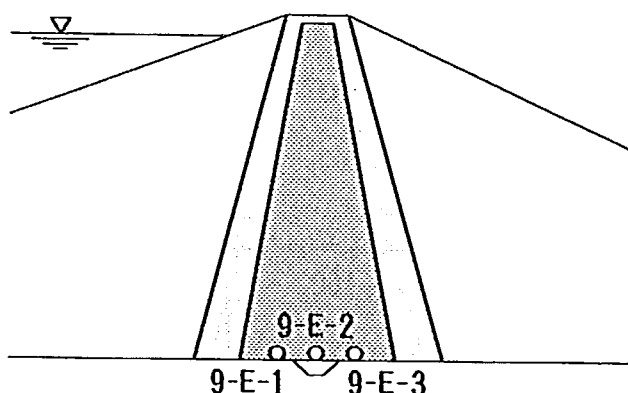
Fダム



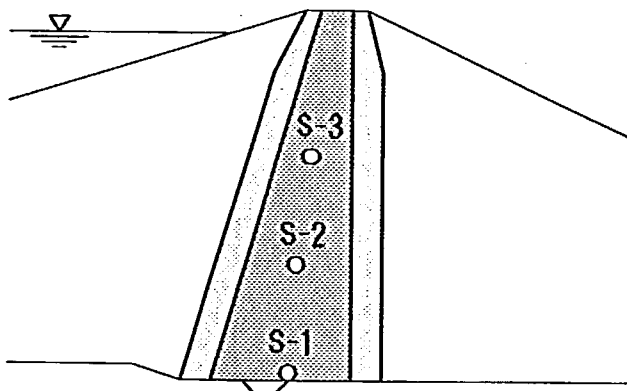
Lダム



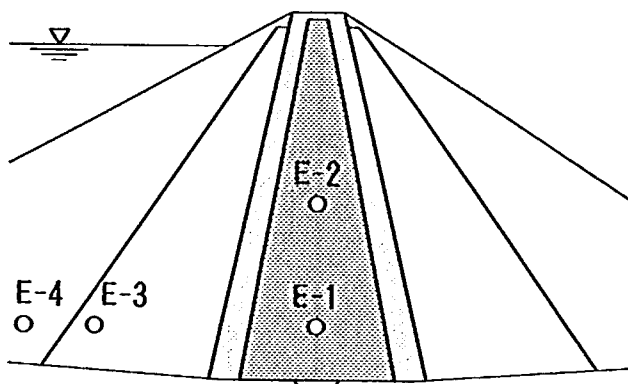
Mダム



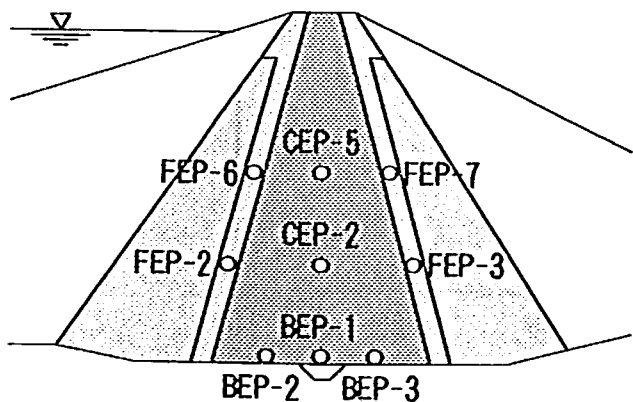
Oダム



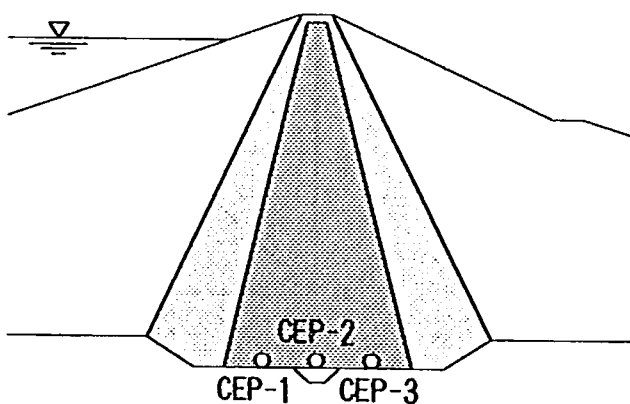
Rダム



Tダム



Vダム



Wダム

図-0 土圧計測位置

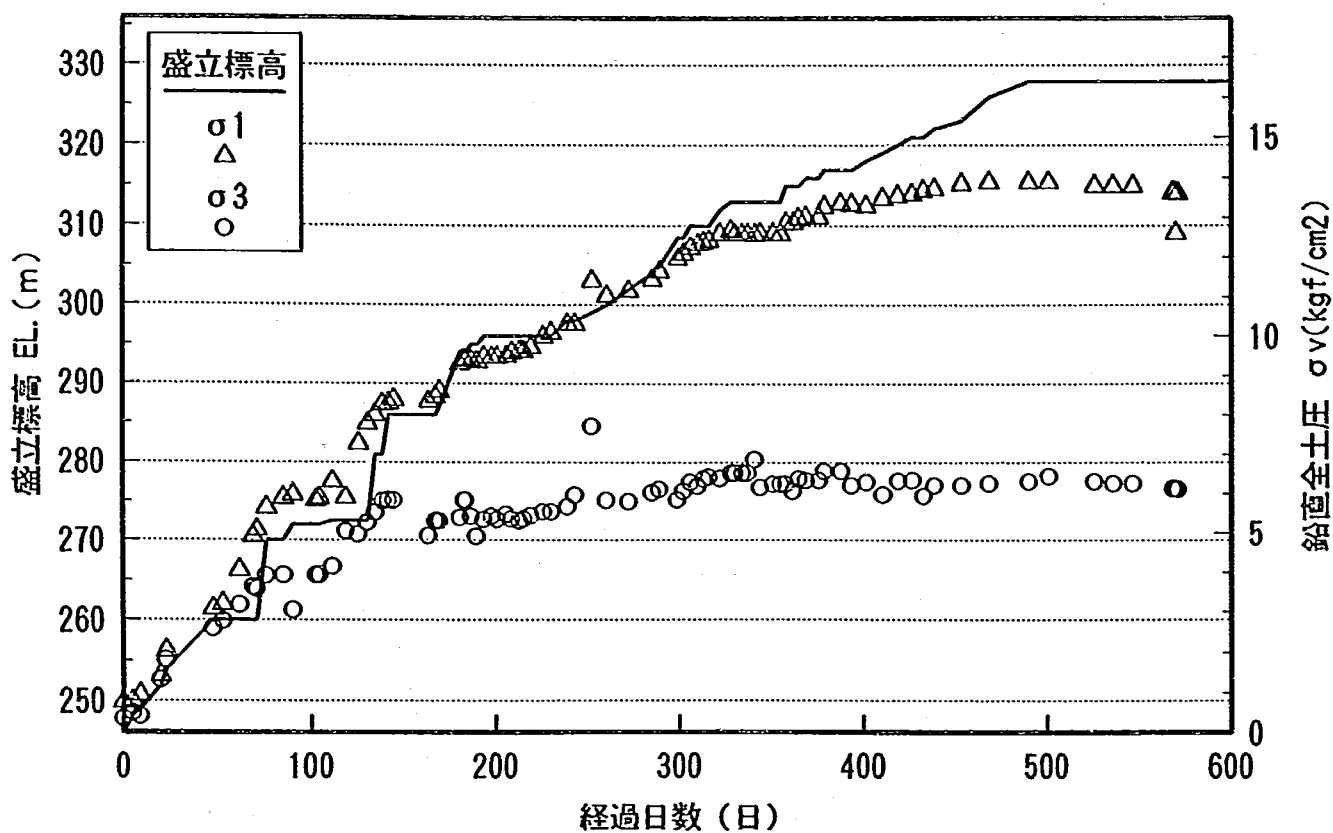


図-1 盛立標高と鉛直全土圧 (Fダム)

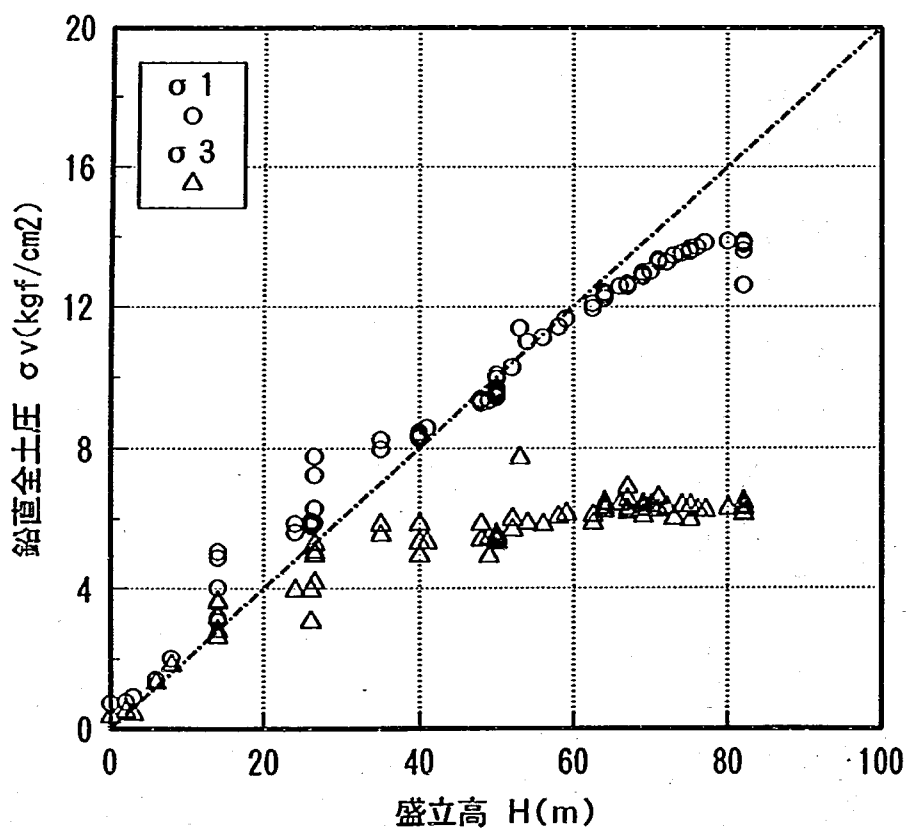


図-2 盛立高と鉛直全土圧 (Fダム)

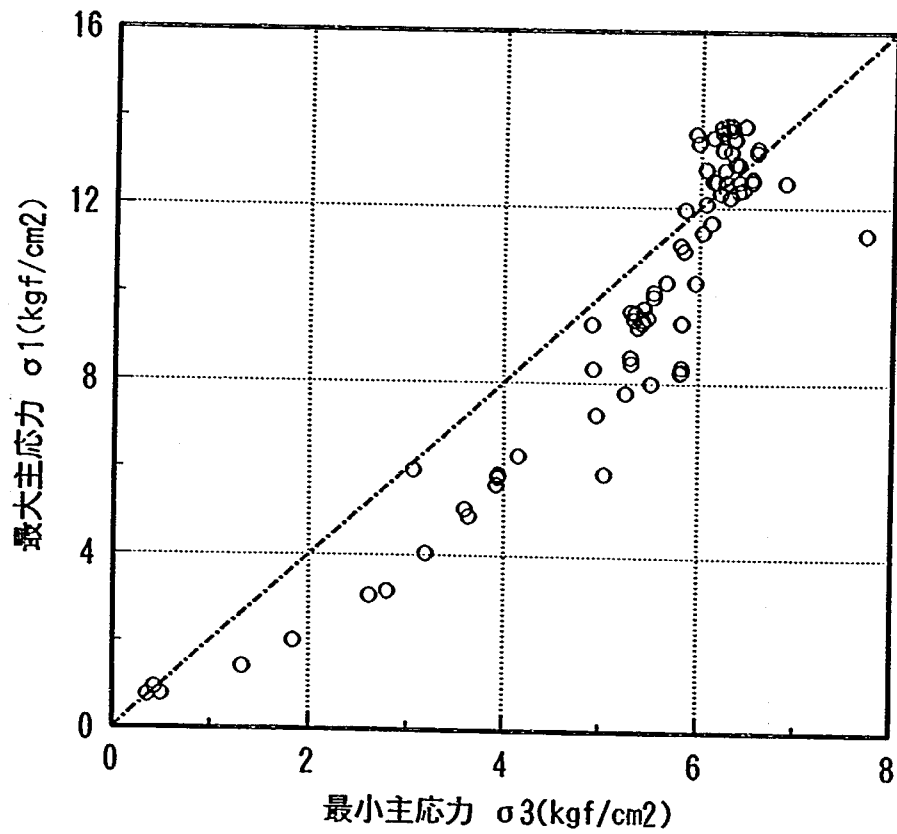


図-3 最小主応力と最大主応力 (Fダム)

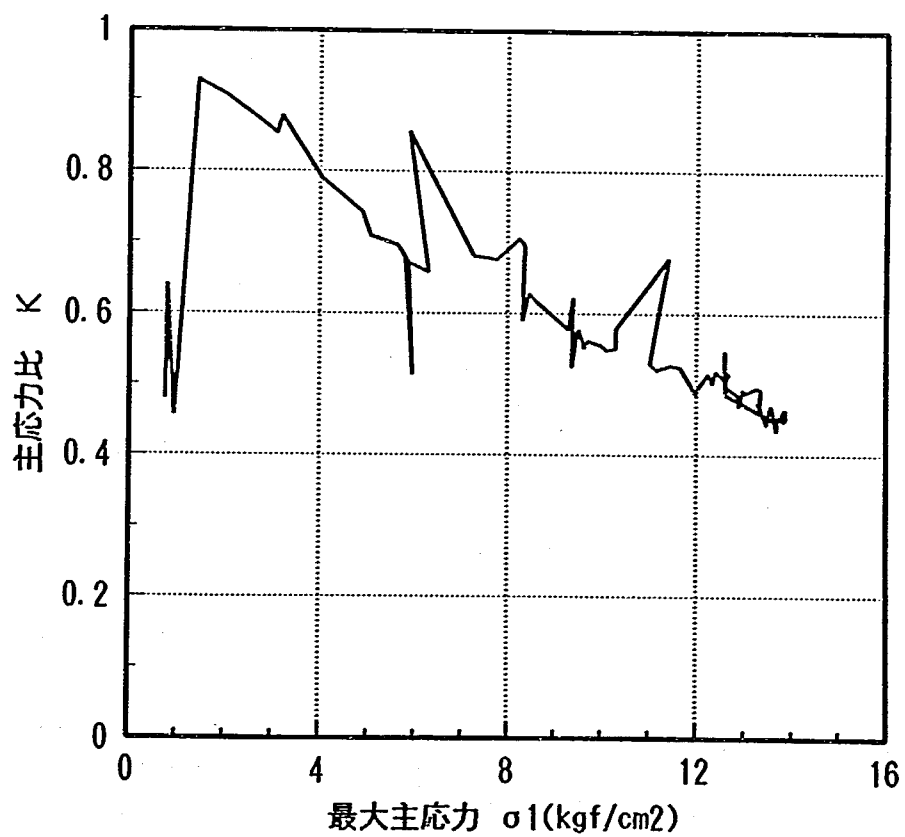


図-4 最大主応力と主応力比 (Fダム)

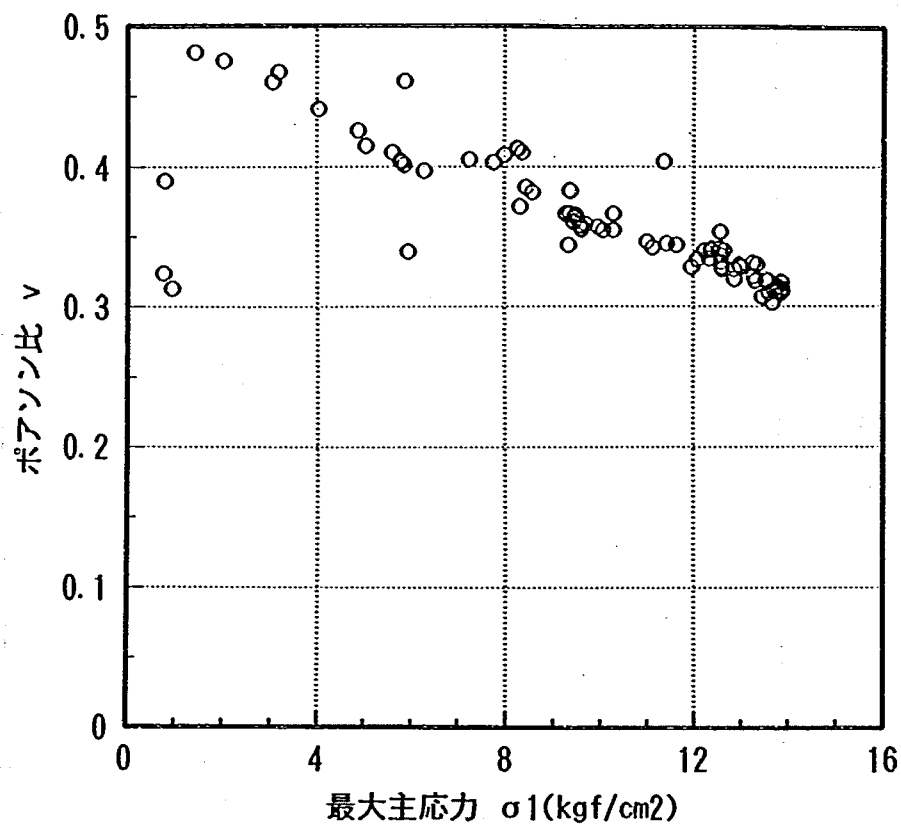


図-5 最大主応力とポアソン比 (Fダム)

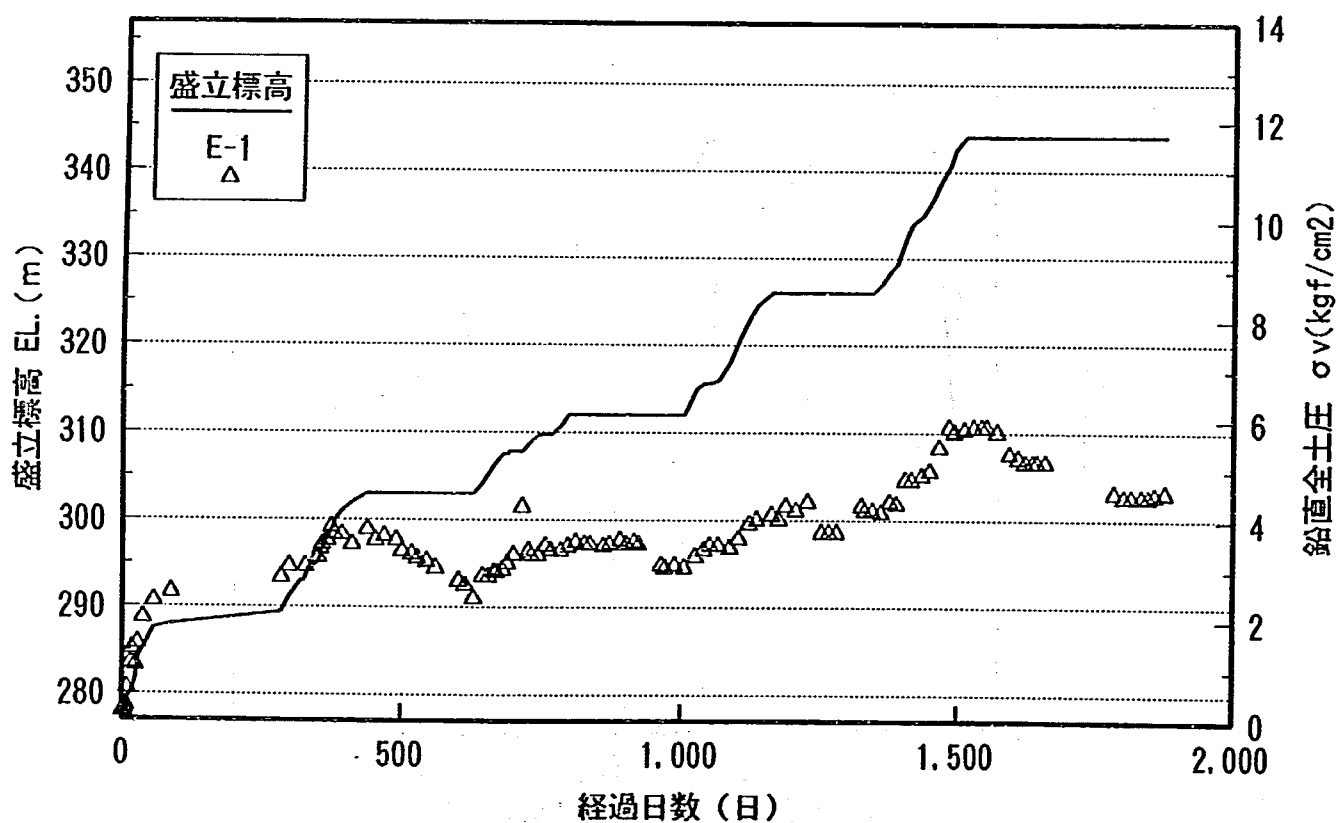


図-6 盛立標高と鉛直全土圧 (Lダム; E-1)

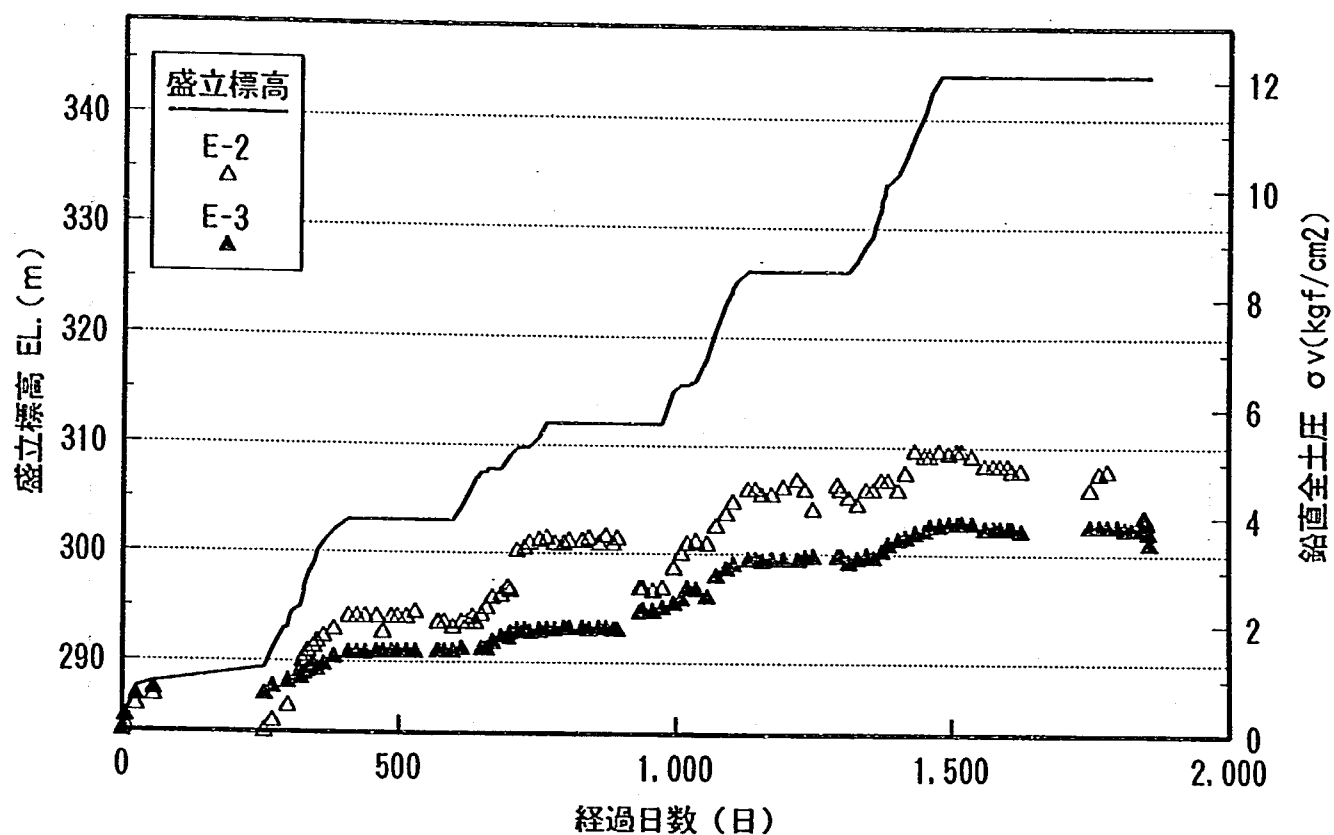


図-7 盛立標高と鉛直全土圧 (Lダム ; E-2, E-3)

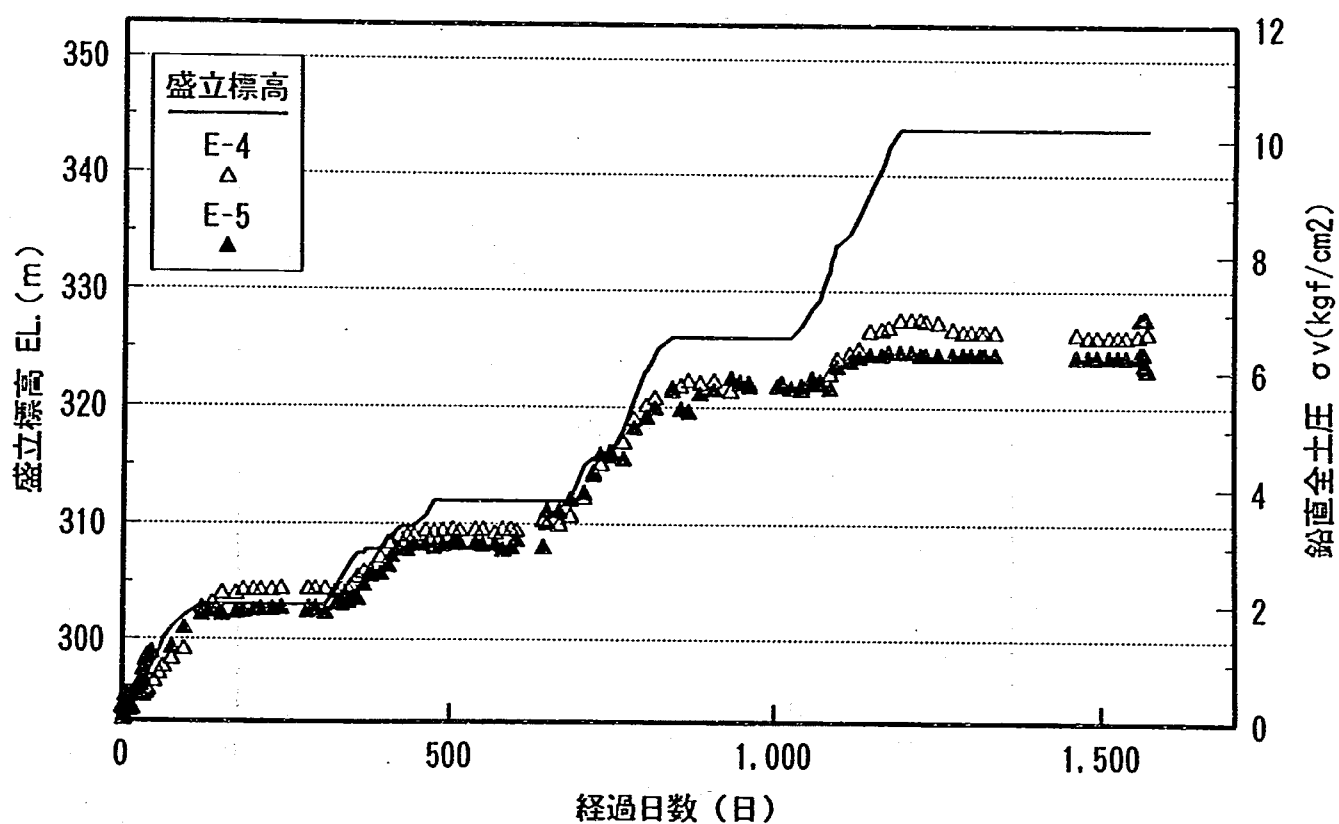


図-8 盛立標高と鉛直全土圧 (Lダム ; E-4, E-5)

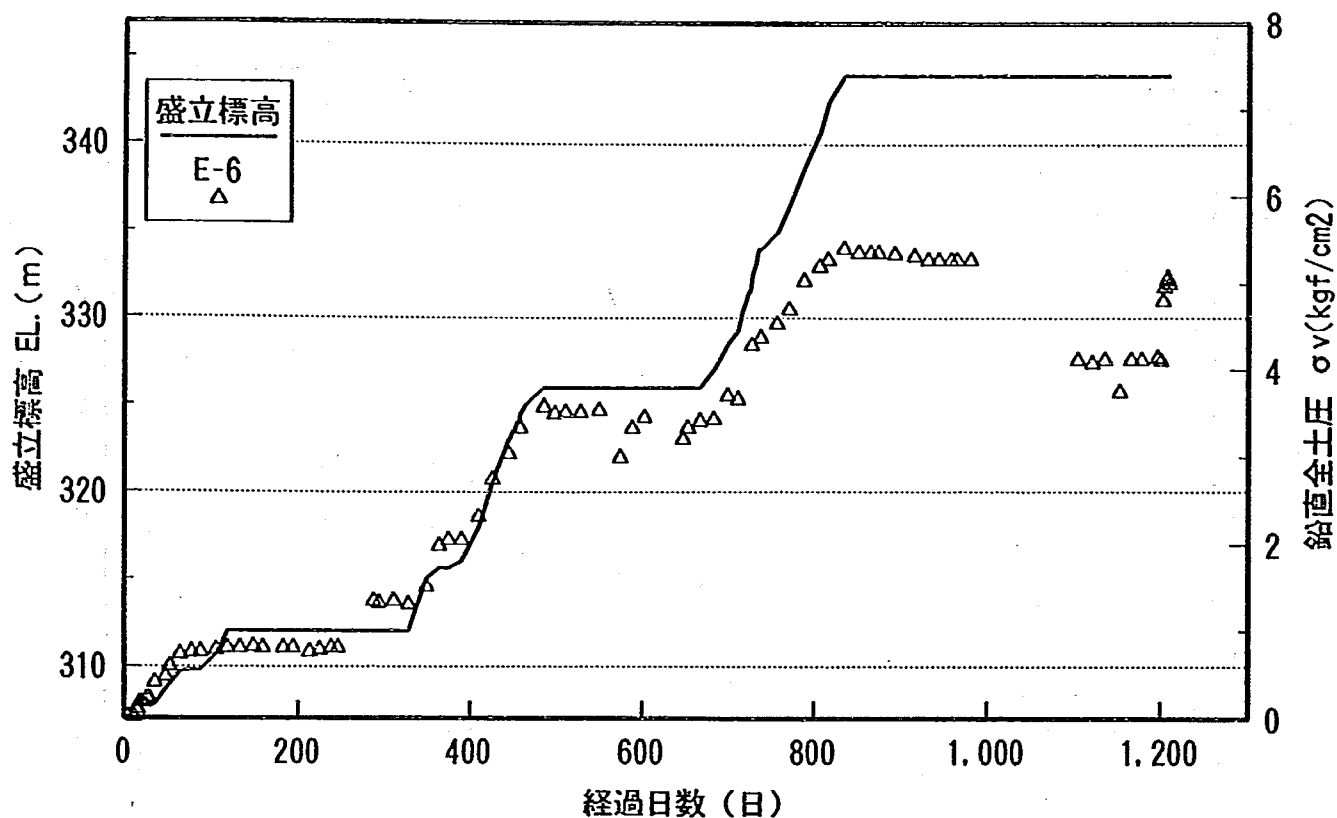


図-9 盛立標高と鉛直全土圧 (Lダム ; E-6)

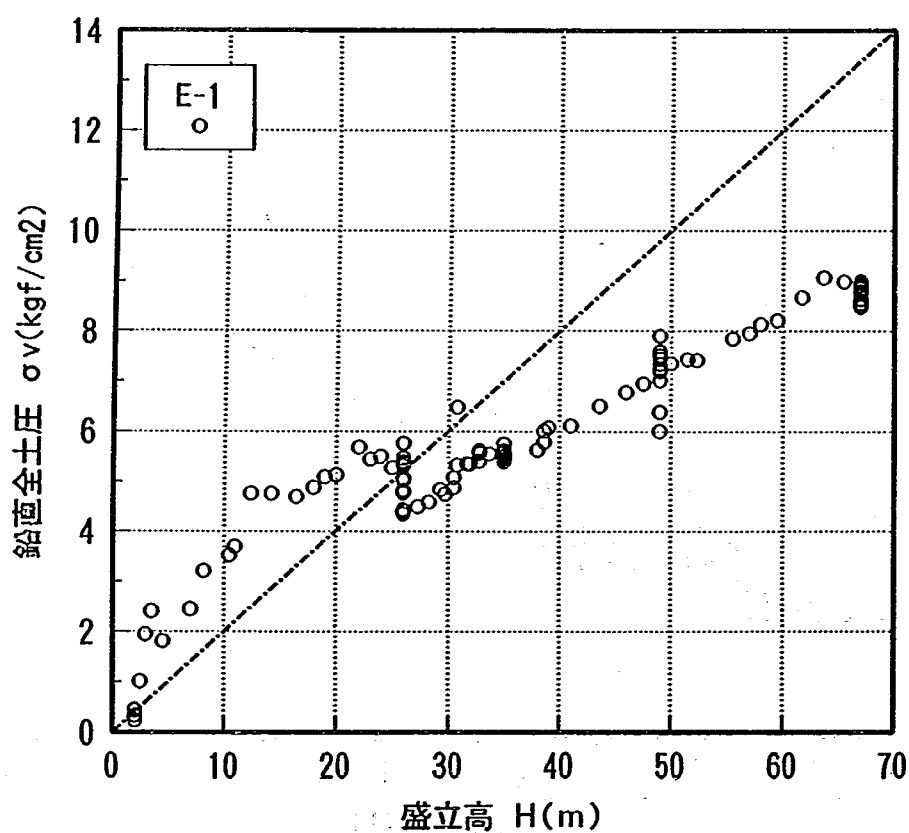


図-10 盛立高と鉛直全土圧 (Lダム ; E-1)

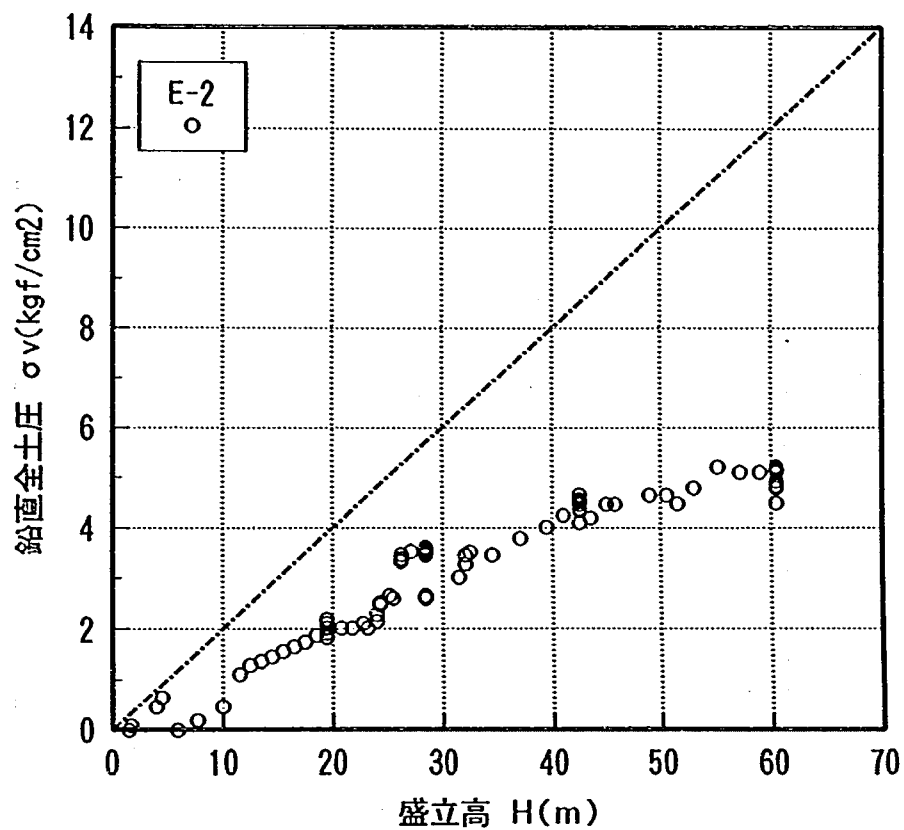


図-11 盛立高と鉛直全土圧 (Lダム ; E-2)

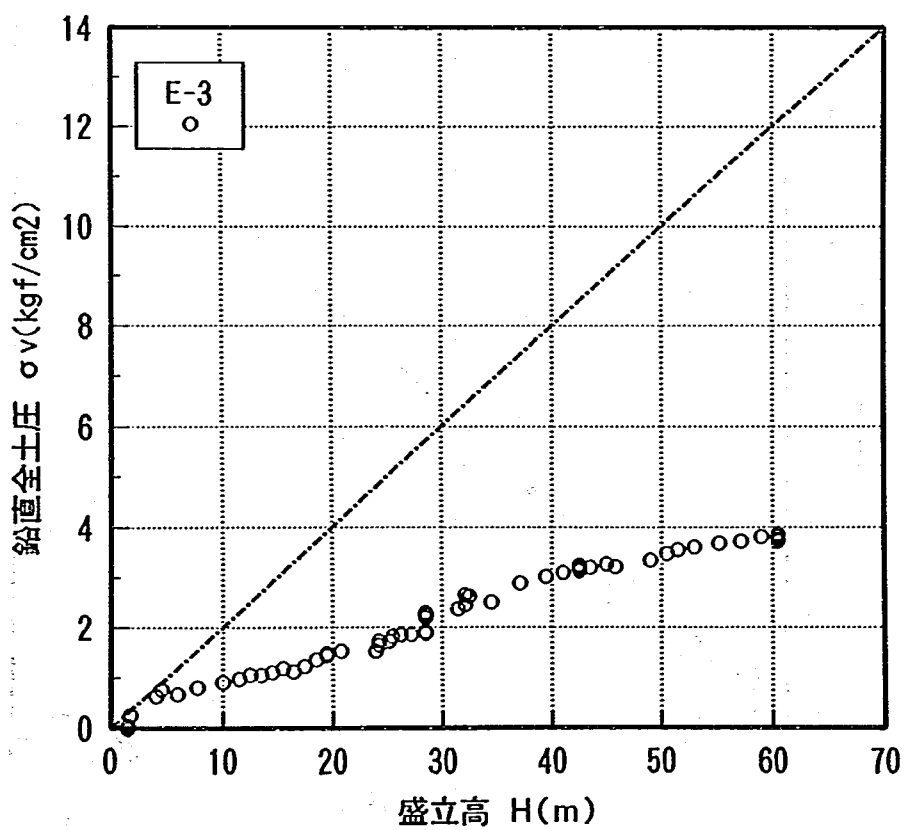


図-12 盛立高と鉛直全土圧 (Lダム ; E-3)

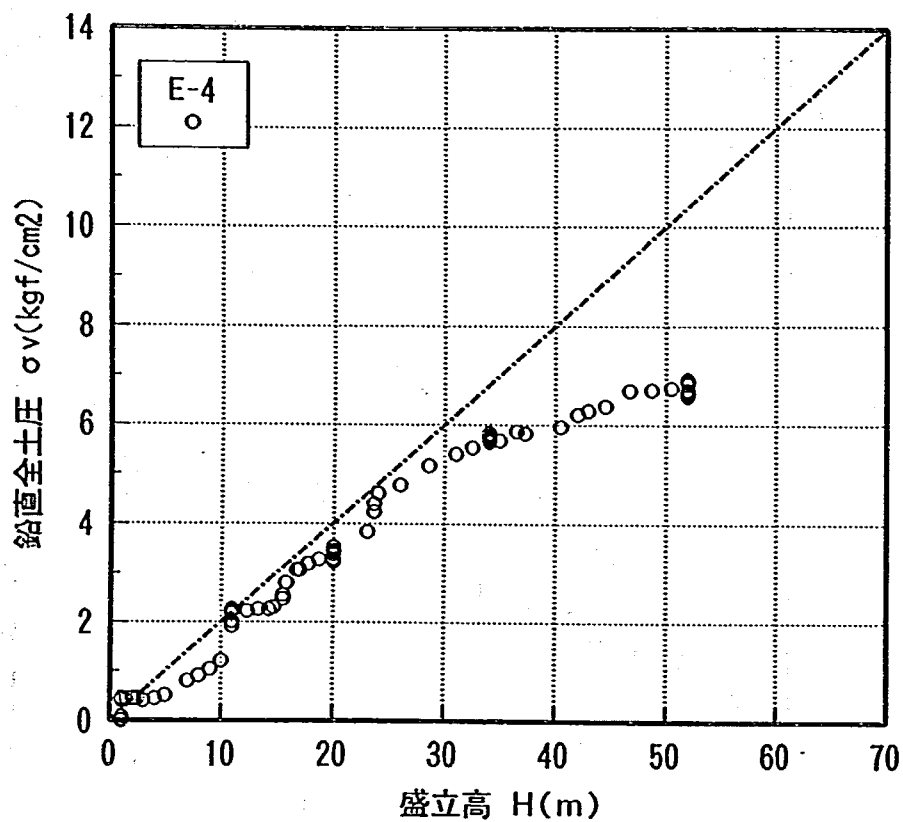


図-13 盛立高と鉛直全土圧 (Lダム; E-4)

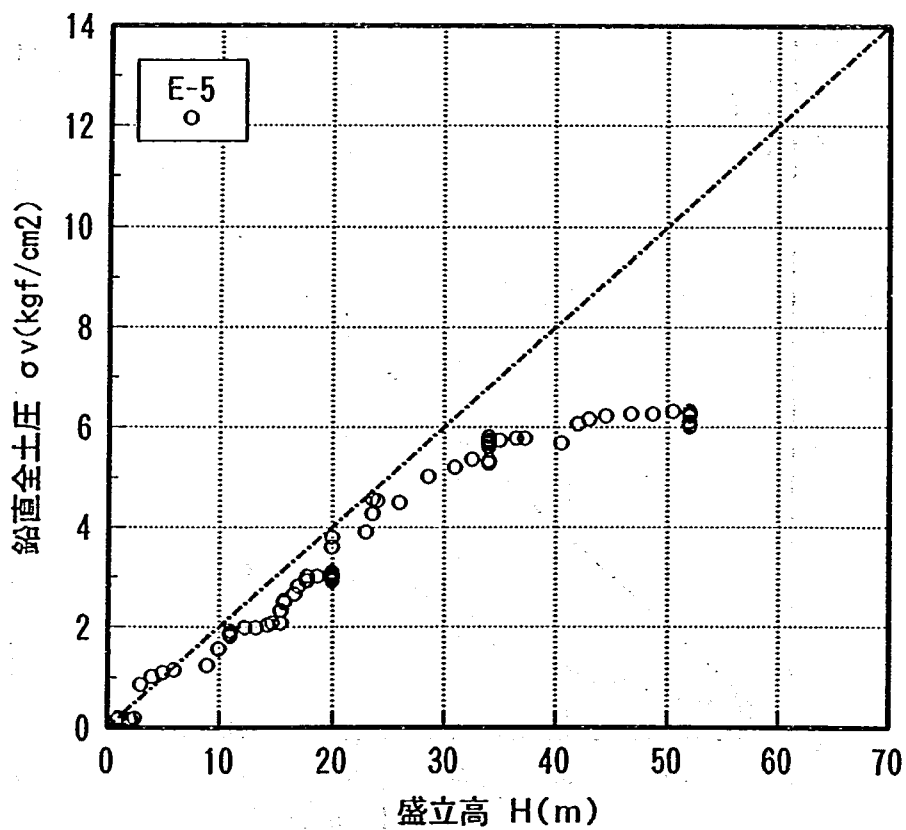


図-14 盛立高と鉛直全土圧 (Lダム; E-5)

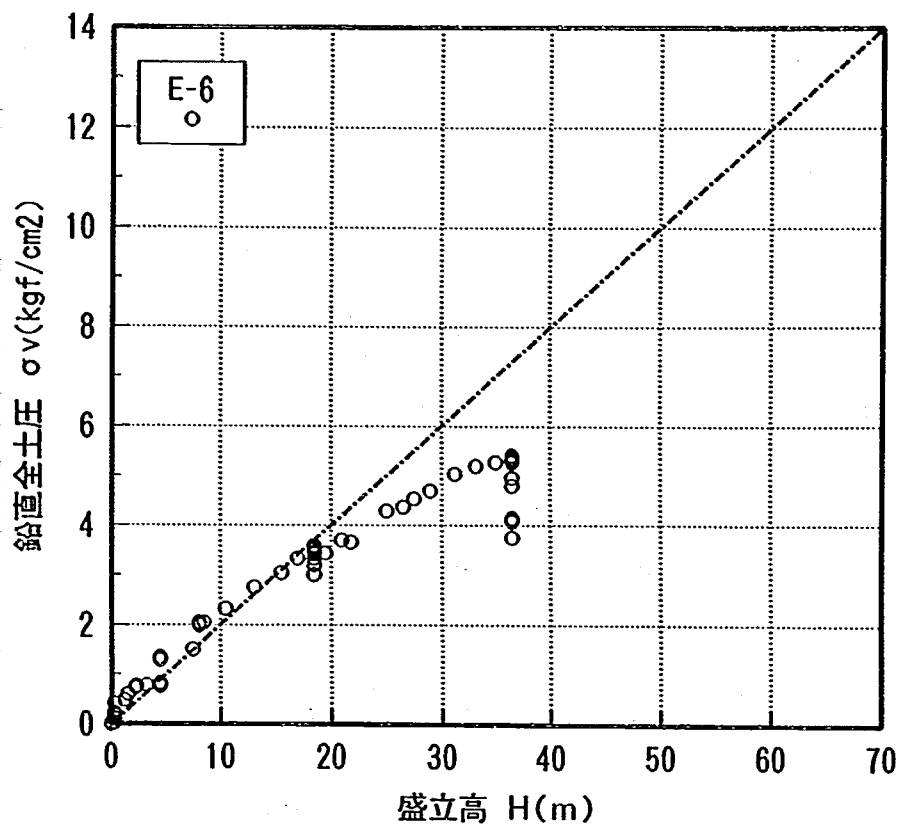


図-15 盛立高と鉛直全土圧 (Lダム ; E-6)

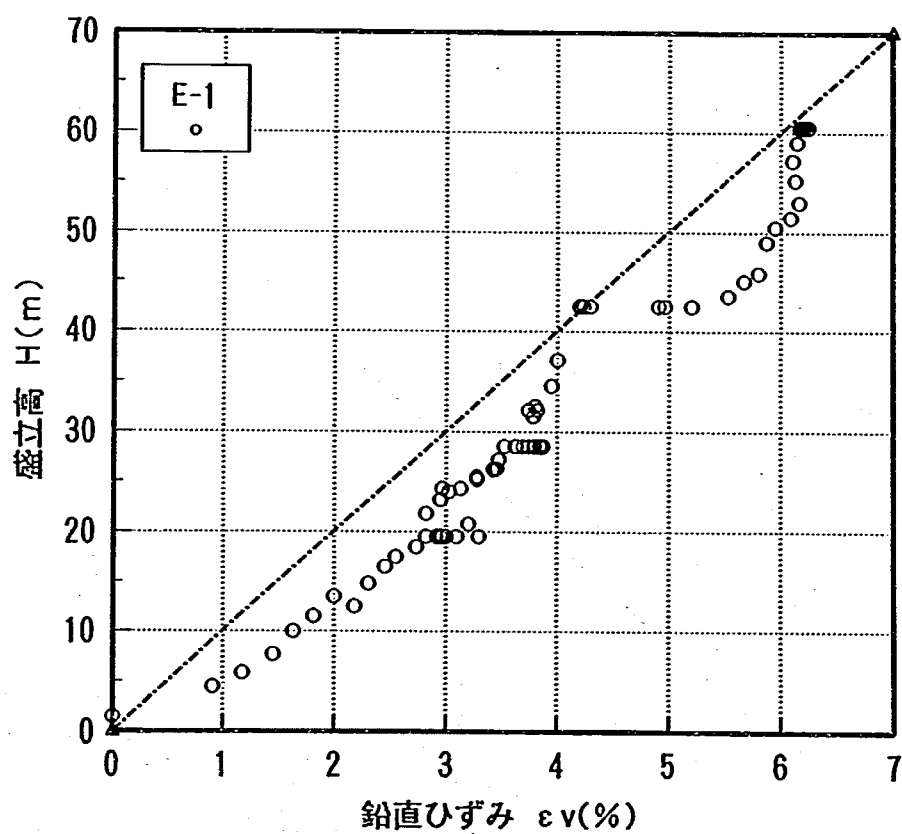


図-16 鉛直ひずみと盛立高 (Lダム ; E-1)

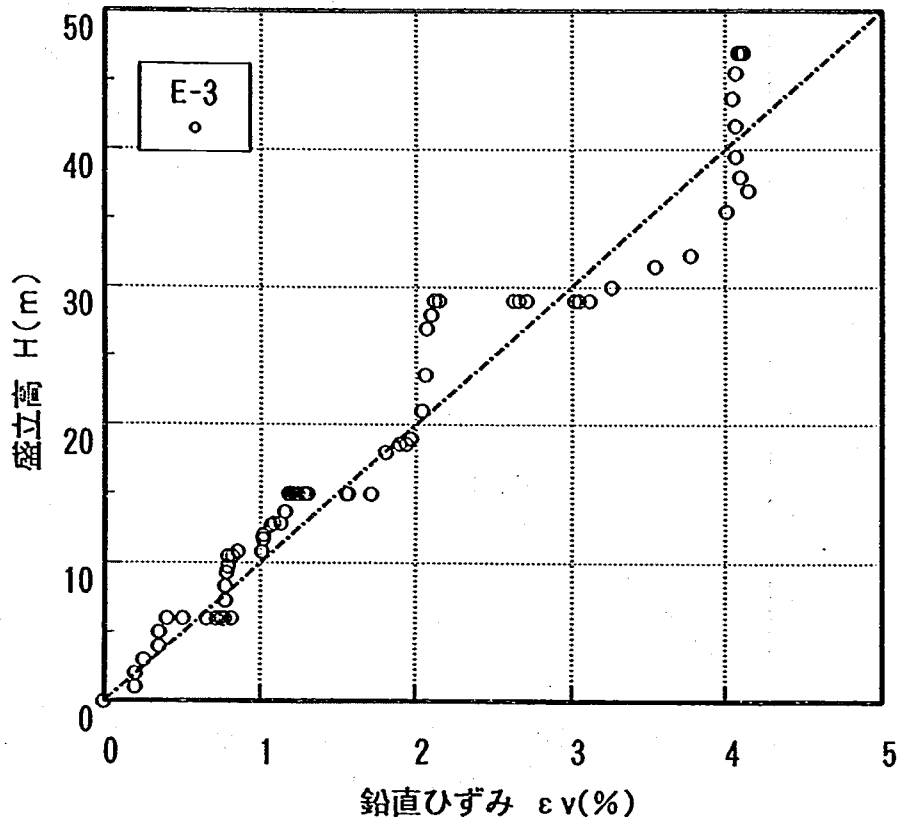


図-17 鉛直ひずみと盛立高 (Lダム; E-3)

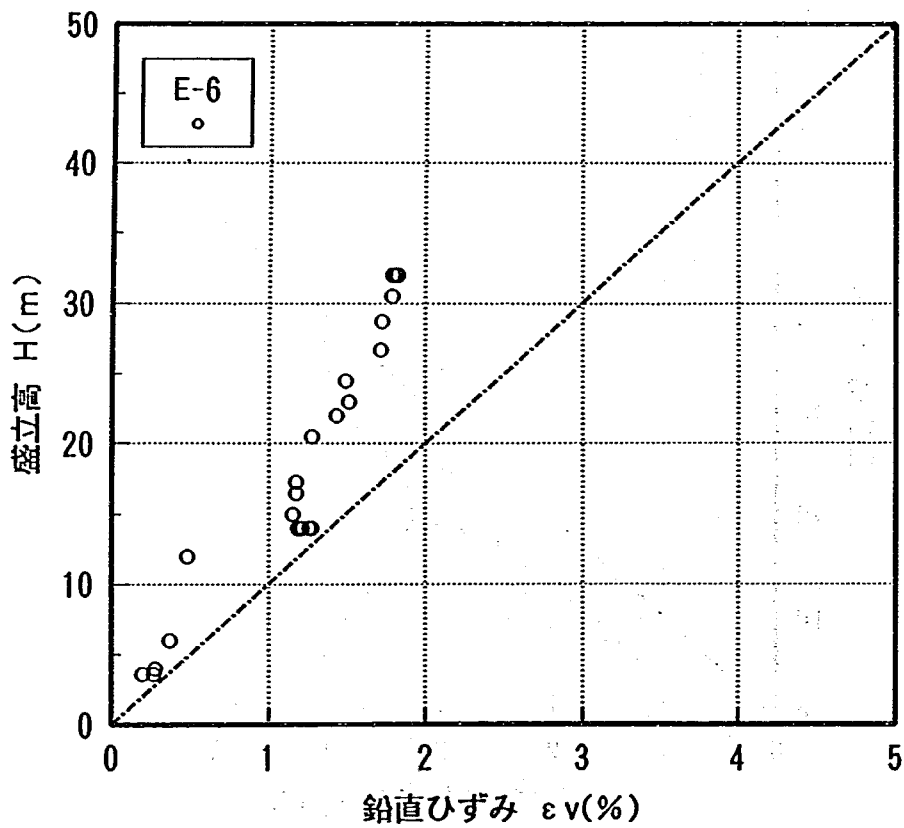


図-18 鉛直ひずみと盛立高 (Lダム; E-6)

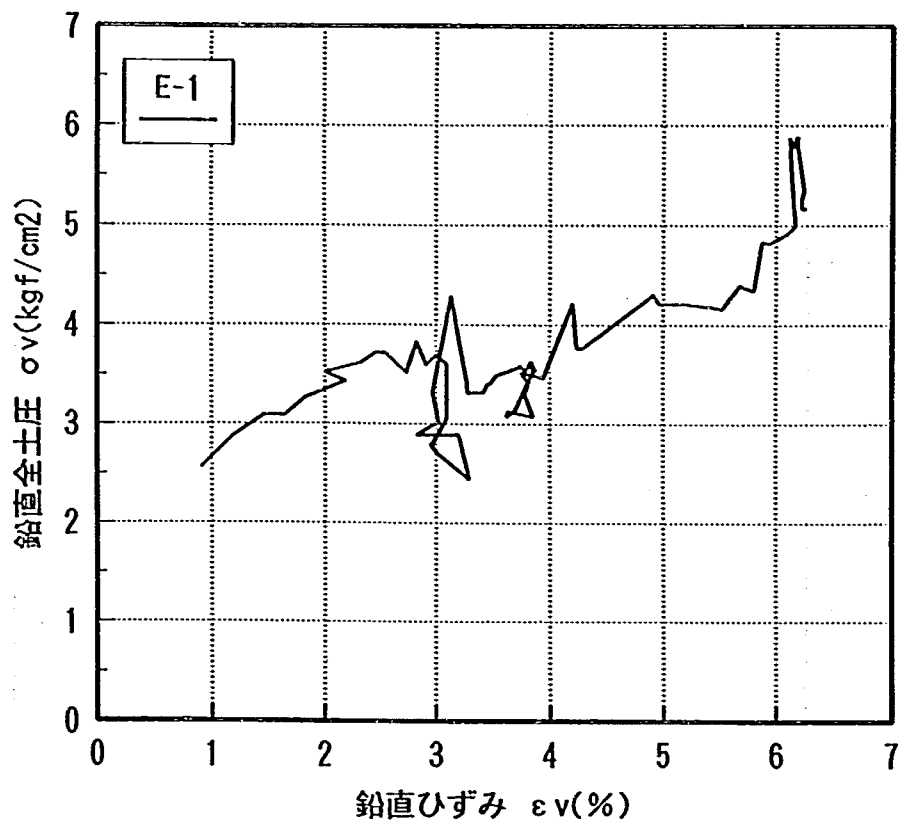


図-19 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Lダム; E-1)

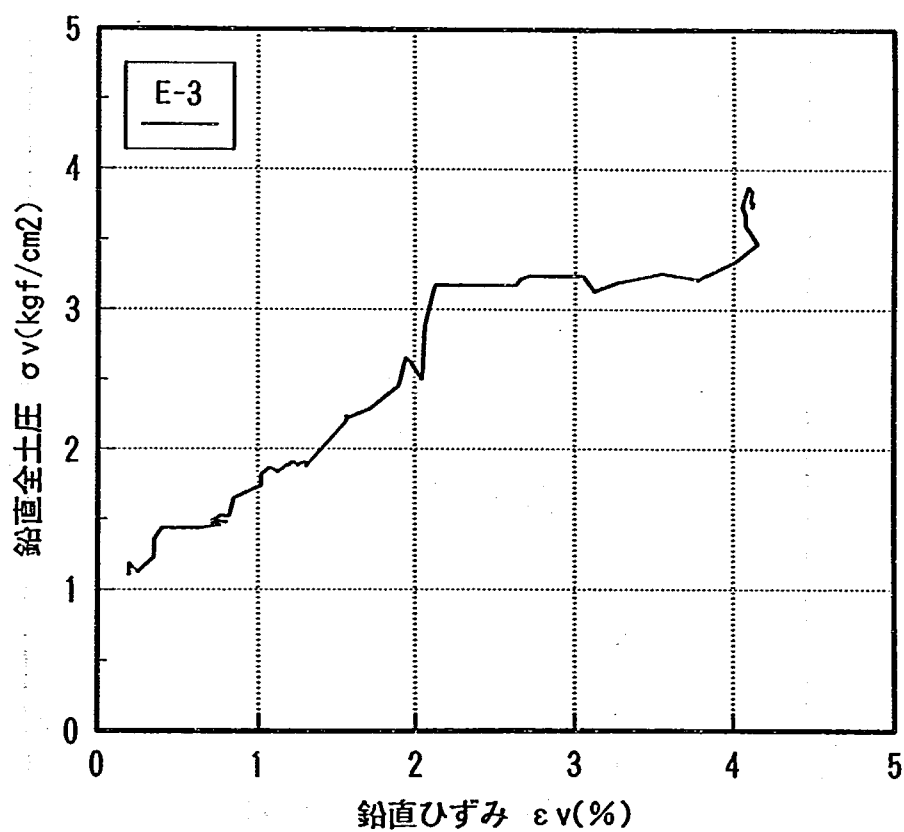


図-20 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Lダム; E-3)

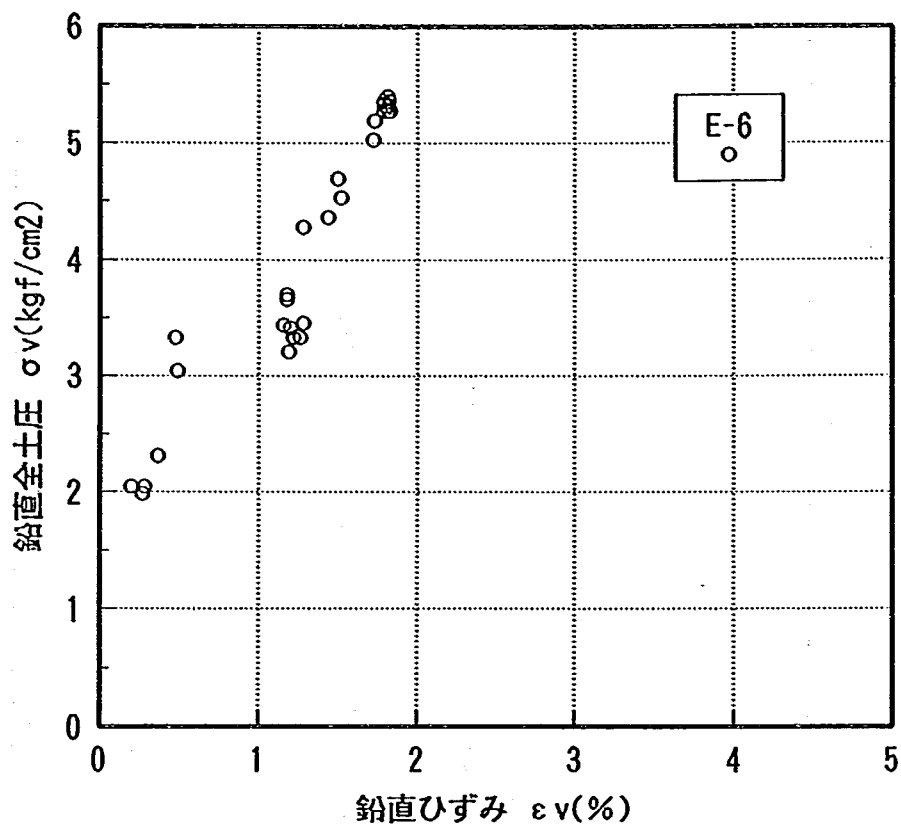


図-21 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Lダム ; E-6)

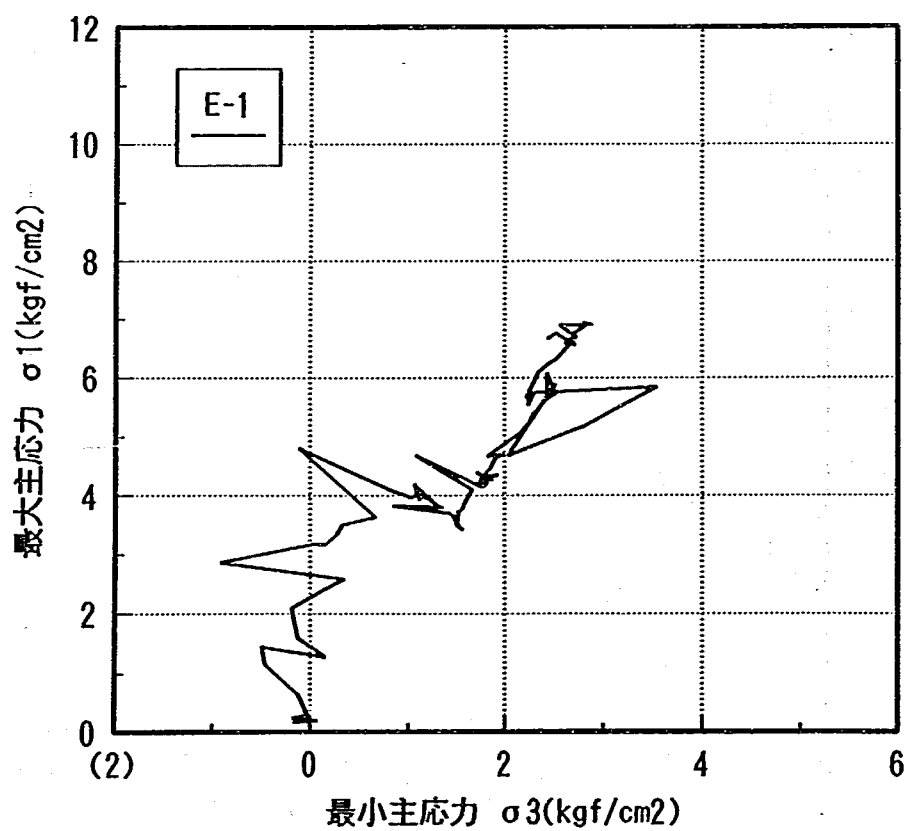


図-22 最小主応力と最大主応力 (Lダム ; E-1)

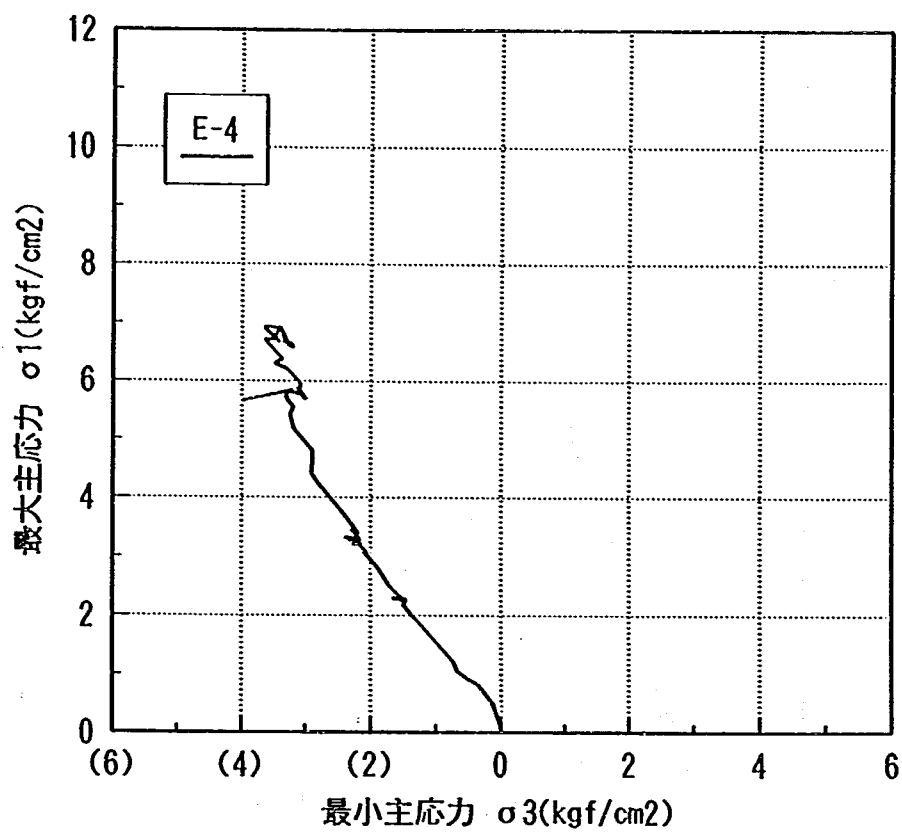


図-23 最小主応力と最大主応力 (Lダム ; E-4)

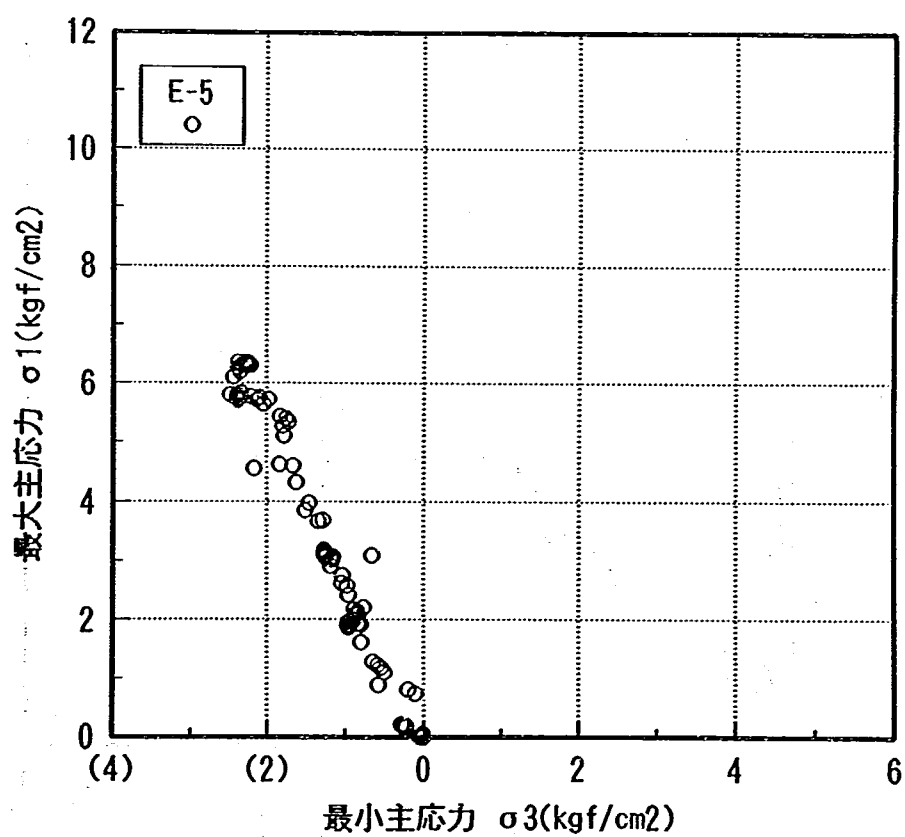


図-24 最小主応力と最大主応力 (Lダム ; E-5)

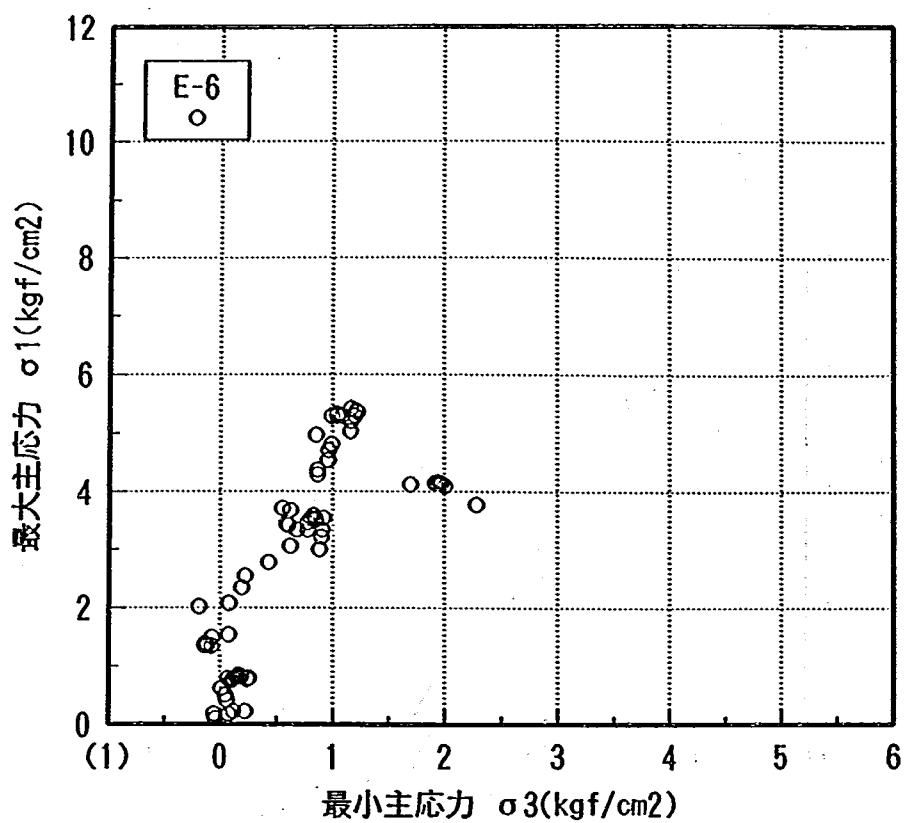


図-25 最小主応力と最大主応力 (Lダム; E-6)

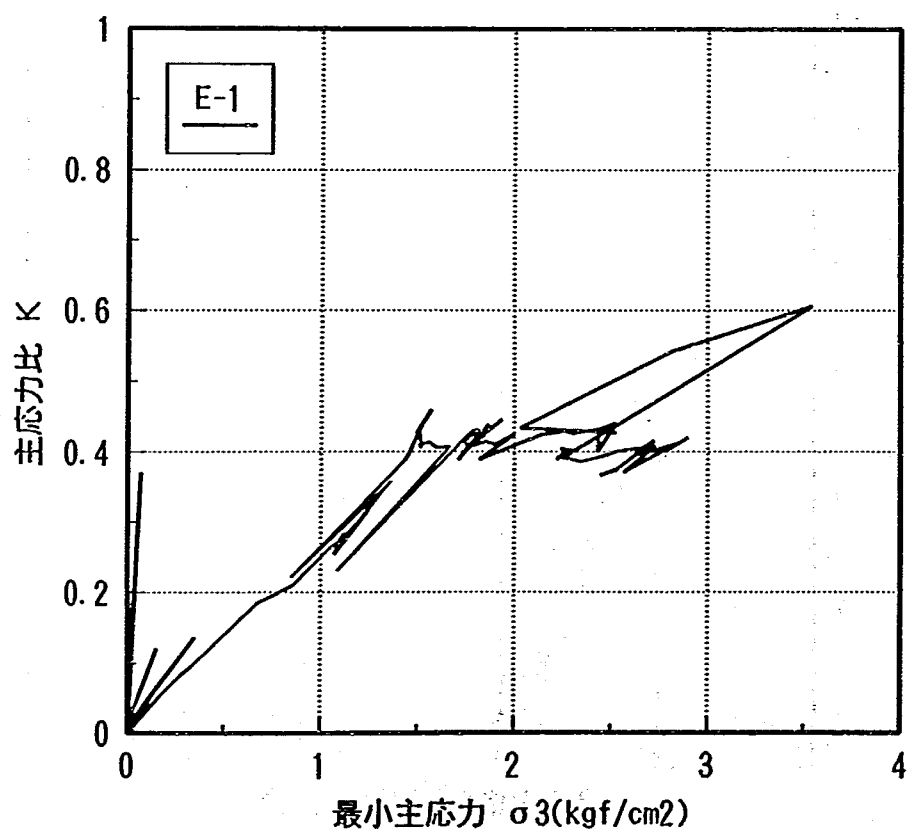


図-26 最小主応力と主応力比 (Lダム; E-1)

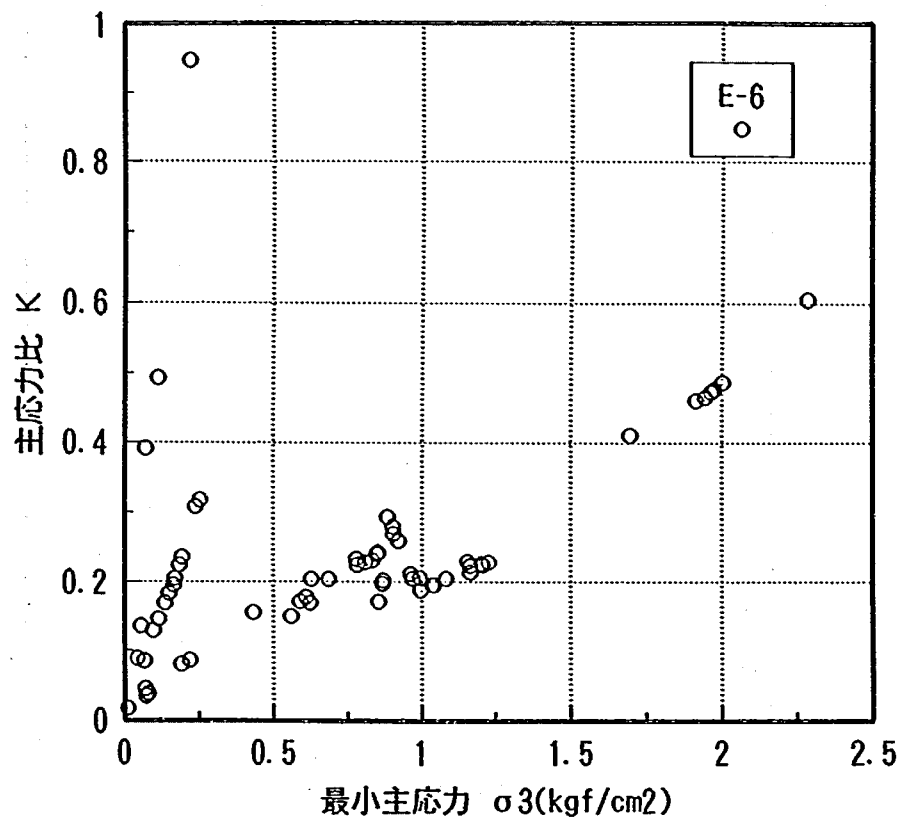


図-27 最小主応力と主応力比 (Lダム ; E-6)

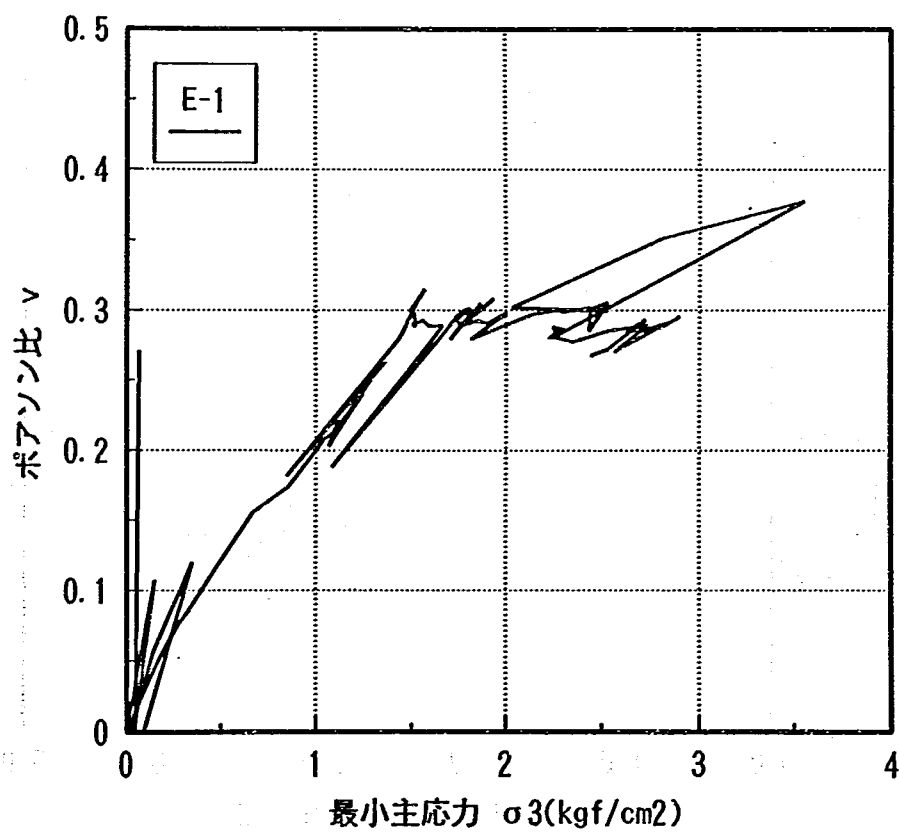


図-28 最小主応力とポアソン比 (Lダム ; E-1)

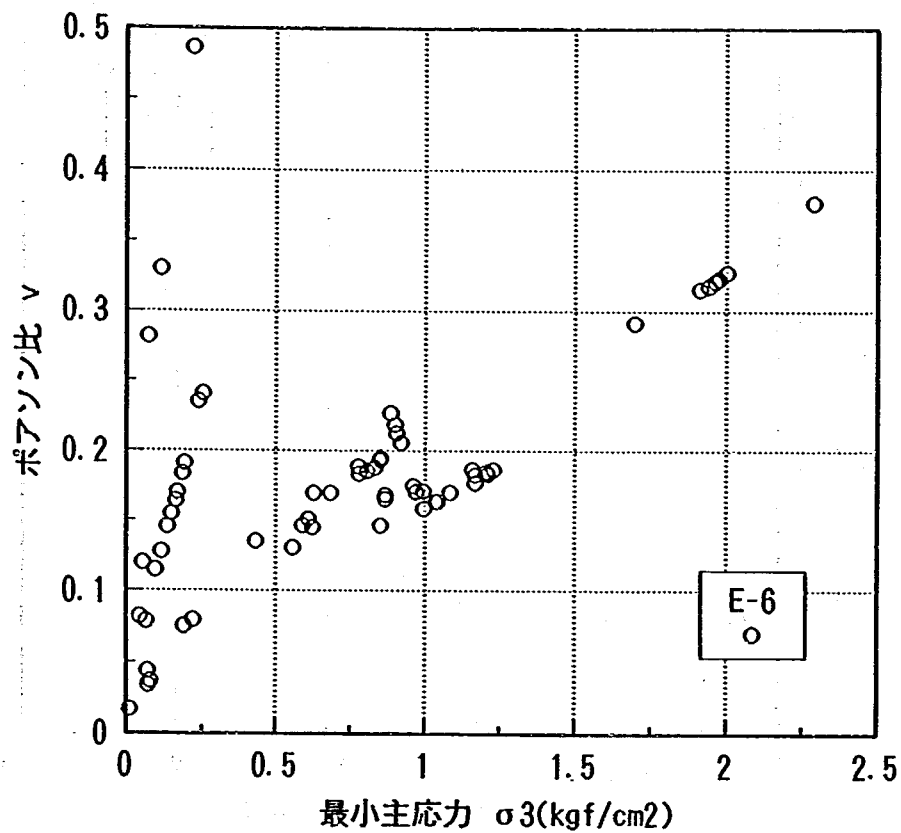


図-29 最小主応力とポアソン比 (Lダム; E-6)

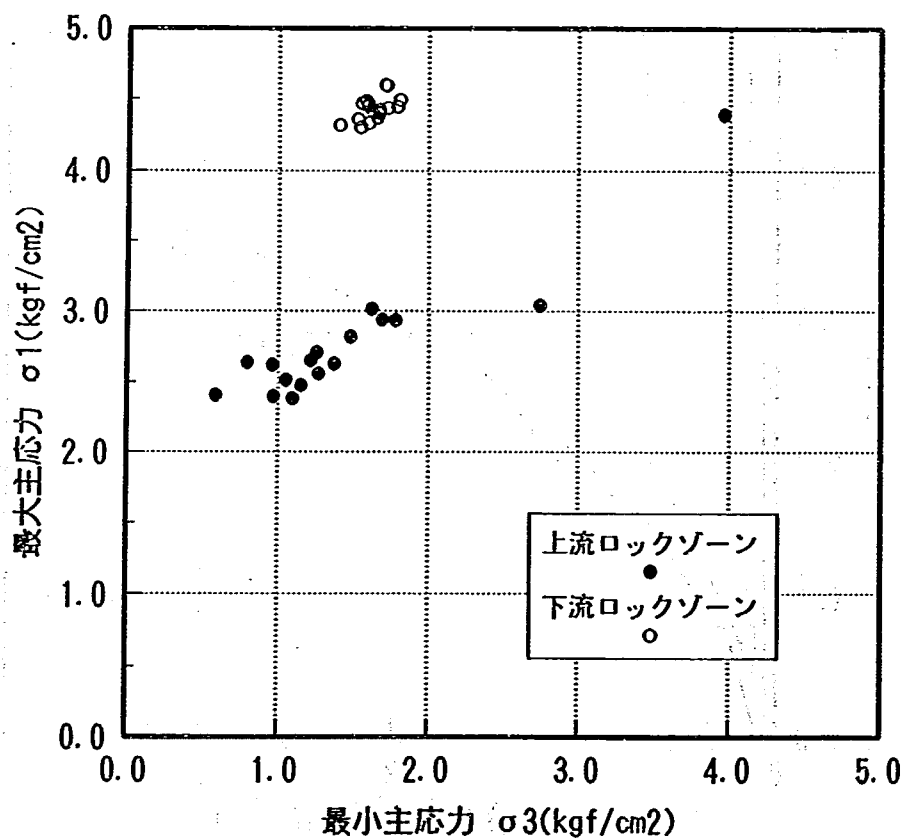


図-30 最小主応力と最大主応力 (Mダム)

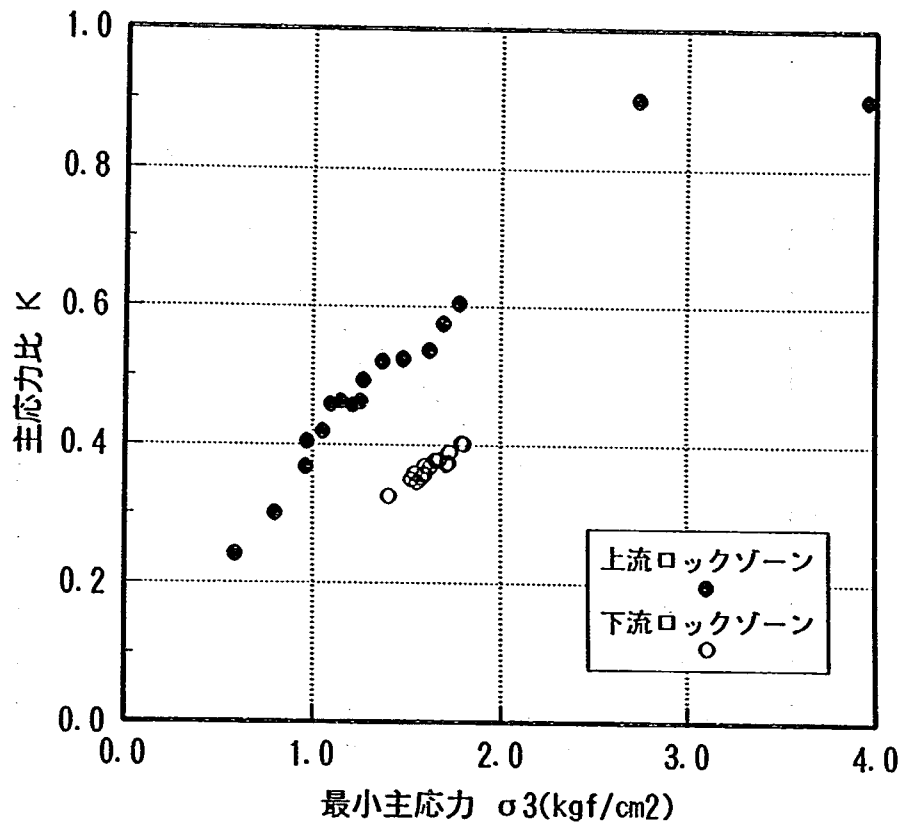


図-31 最小主応力と主応力比 (Mダム)

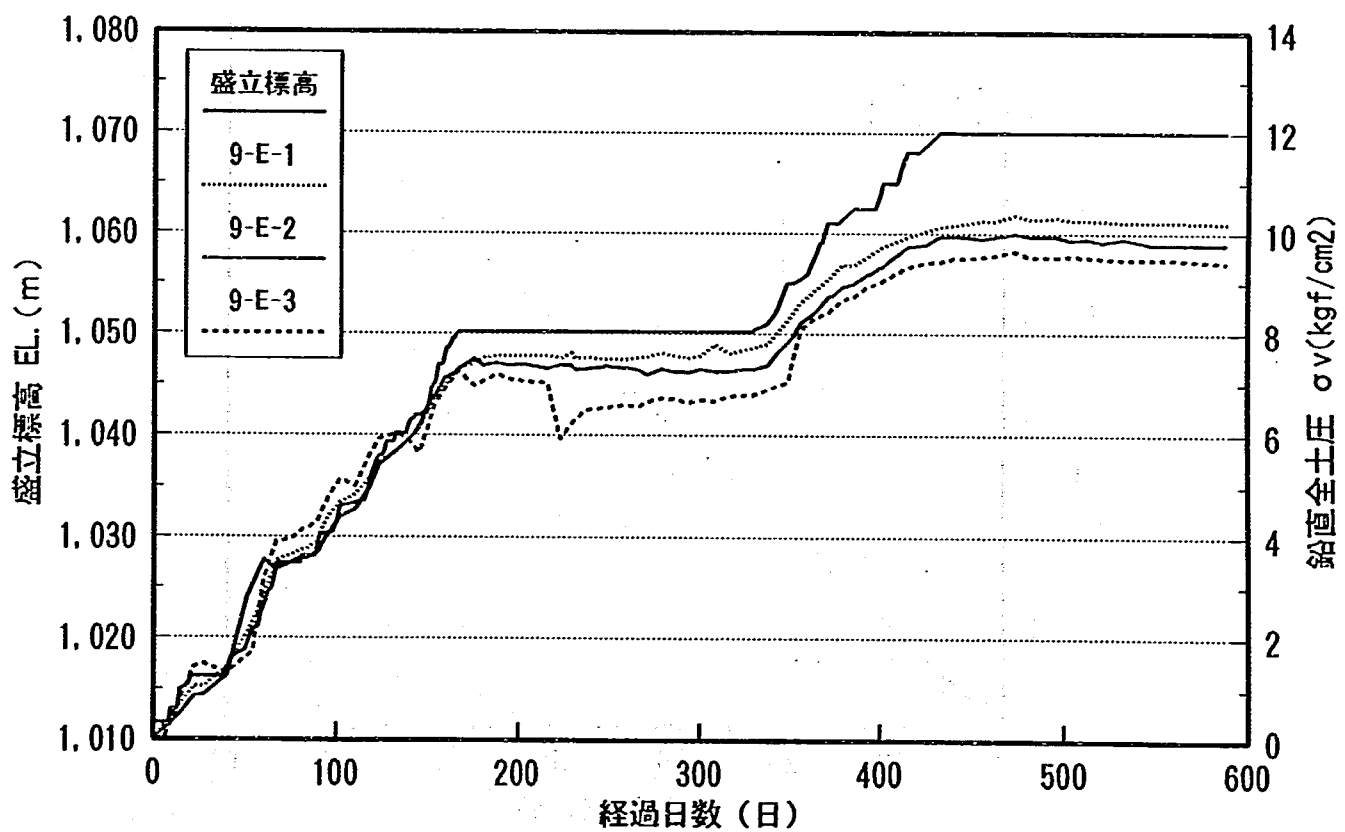


図-32 盛立標高と鉛直全土圧 (Oダム ; 9-E-1, 9-E-2, 9-E-3)

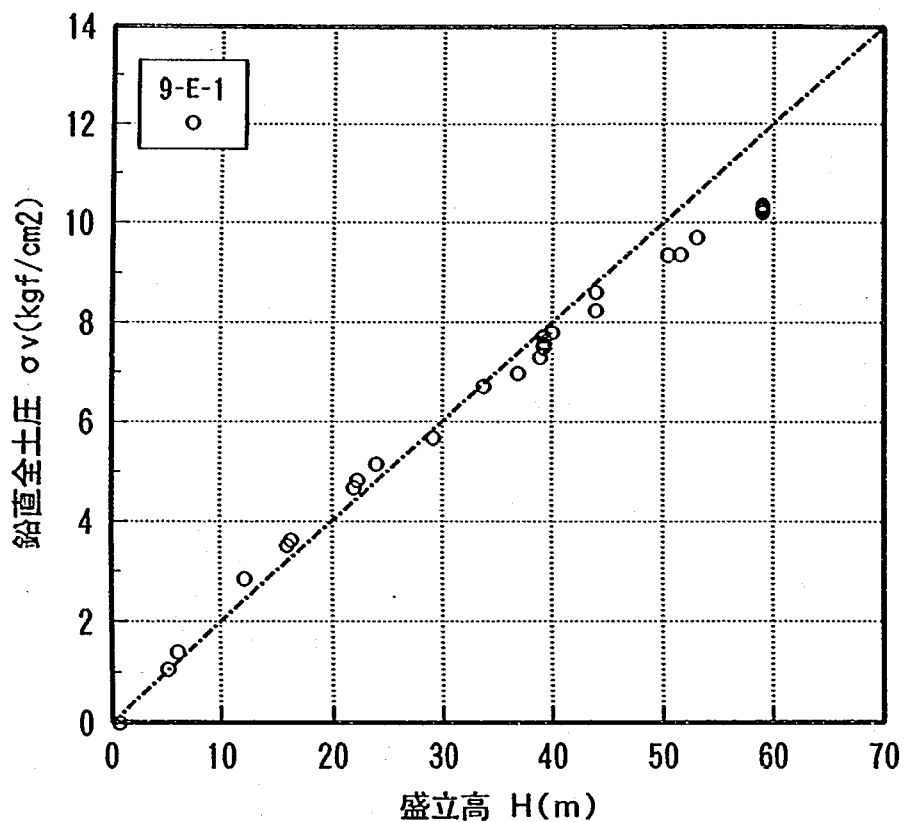


図-33 盛立高と鉛直全土圧 (Oダム ; 9-E-1)

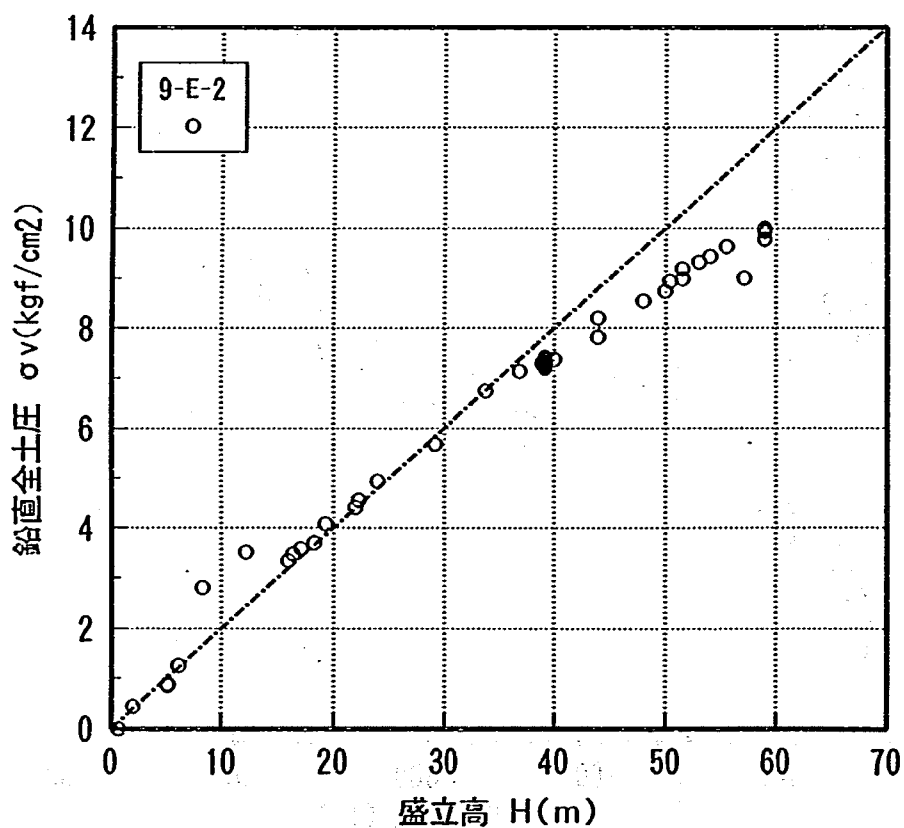


図-34 盛立高と鉛直全土圧 (Oダム ; 9-E-2)

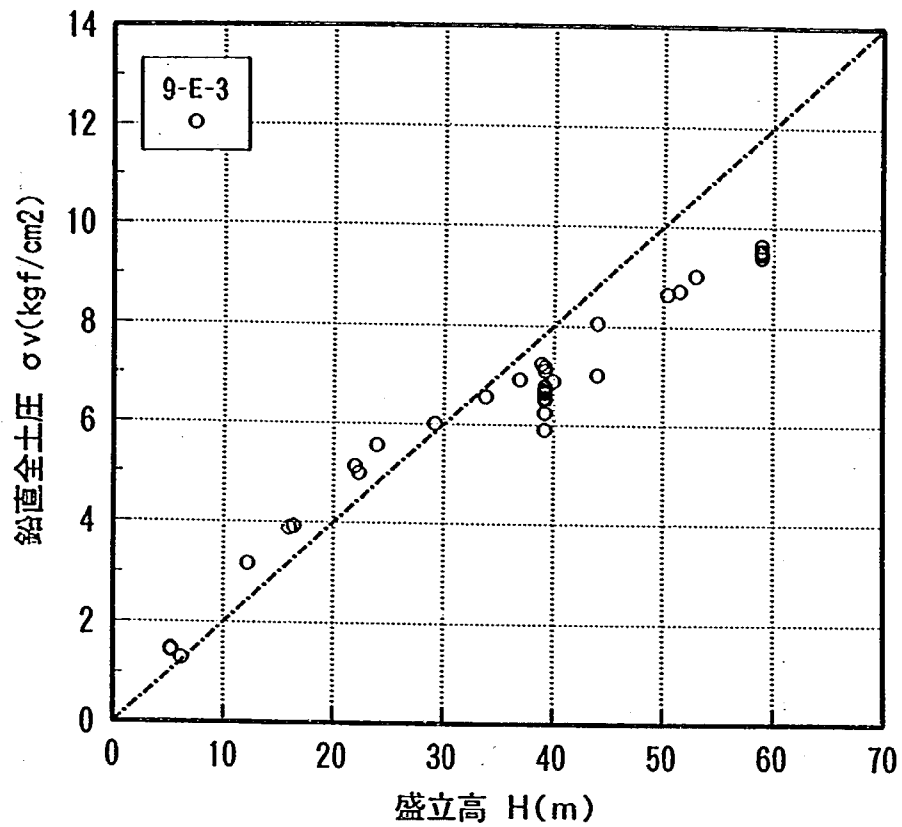


図-35 盛立高と鉛直全土圧 (Oダム ; 9-E-3)

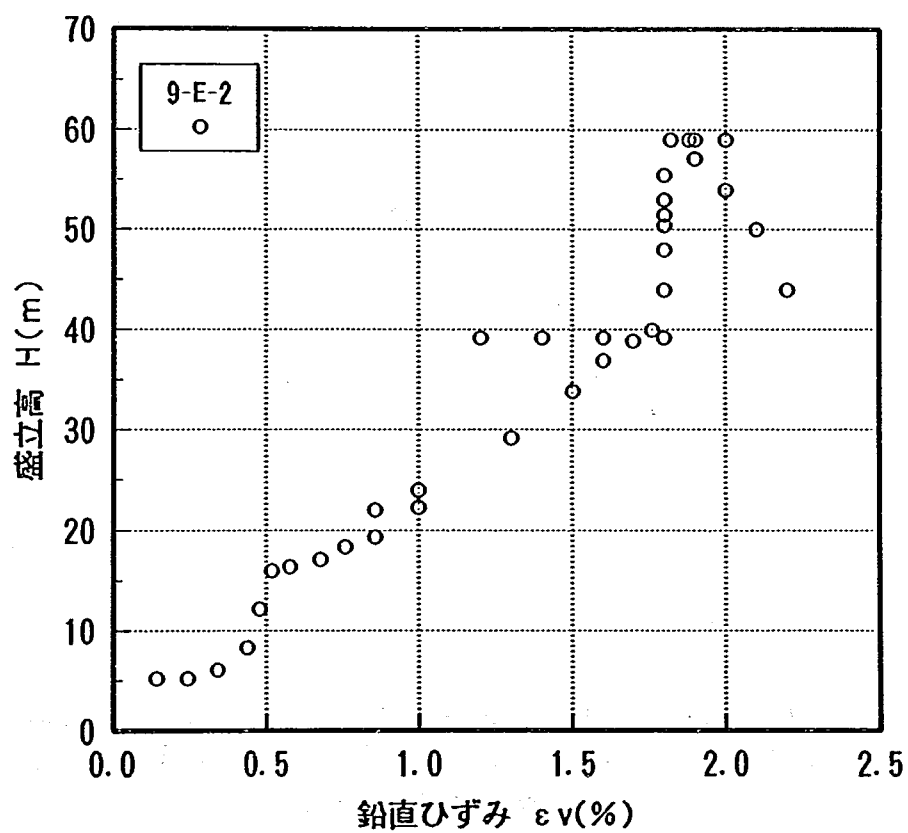


図-36 鉛直ひずみと盛立高 (Oダム ; 9-E-2)

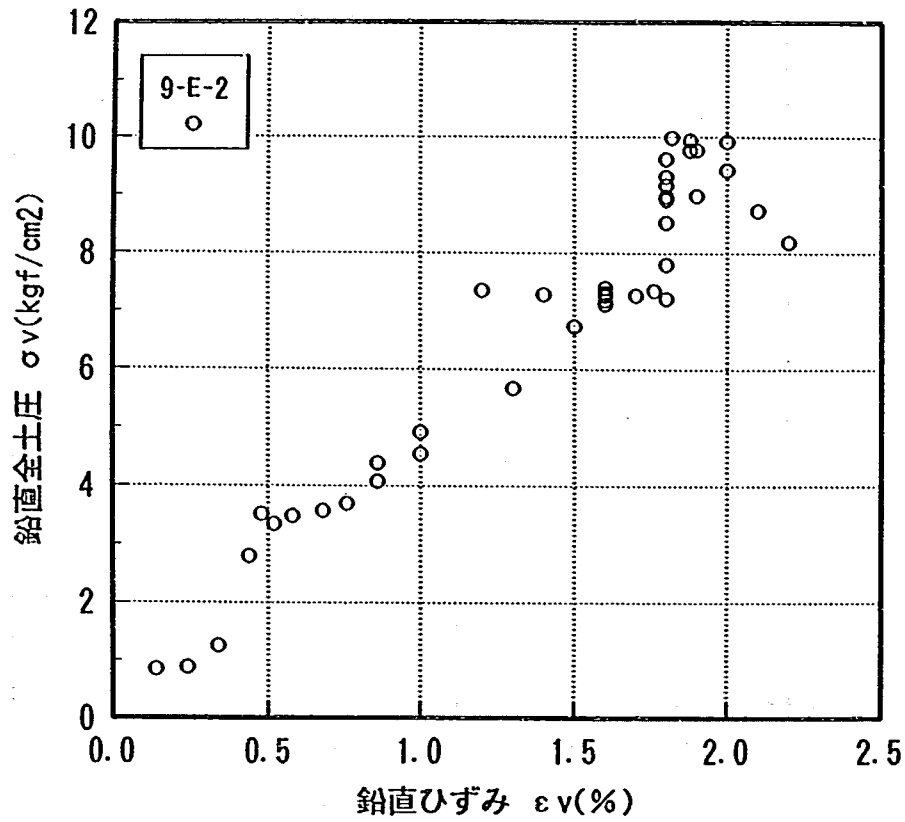


図-37 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Oダム; 9-E-2)

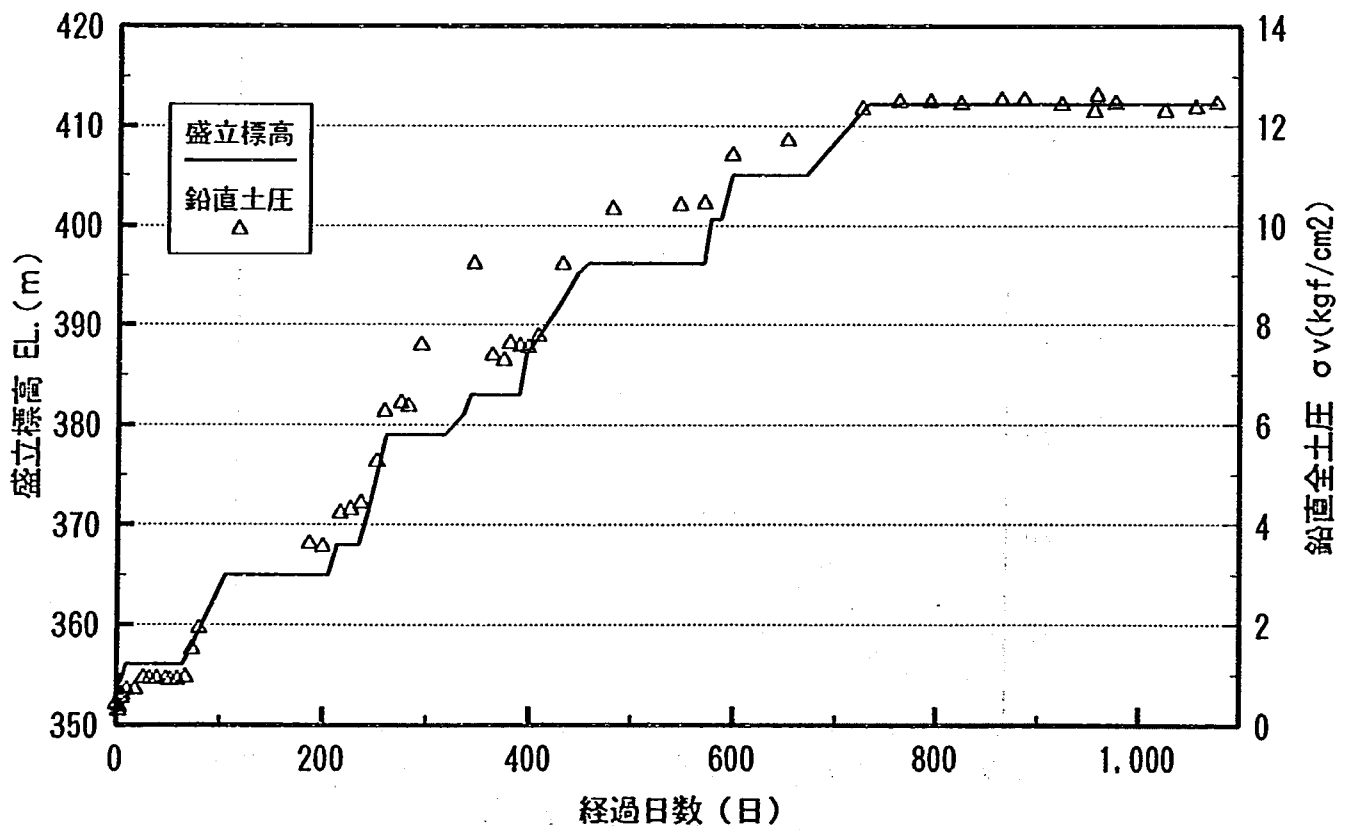


図-38 盛立標高と鉛直全土圧 (Rダム; S-1)

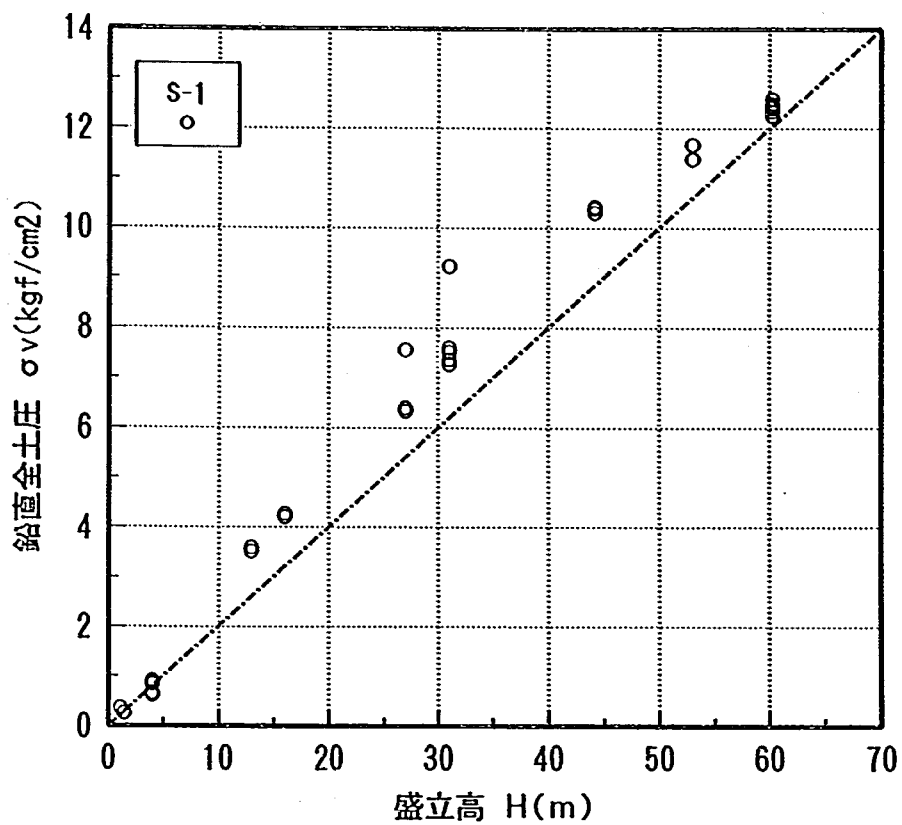


図-39 盛立高と鉛直全土圧 (Rダム ; S-1)

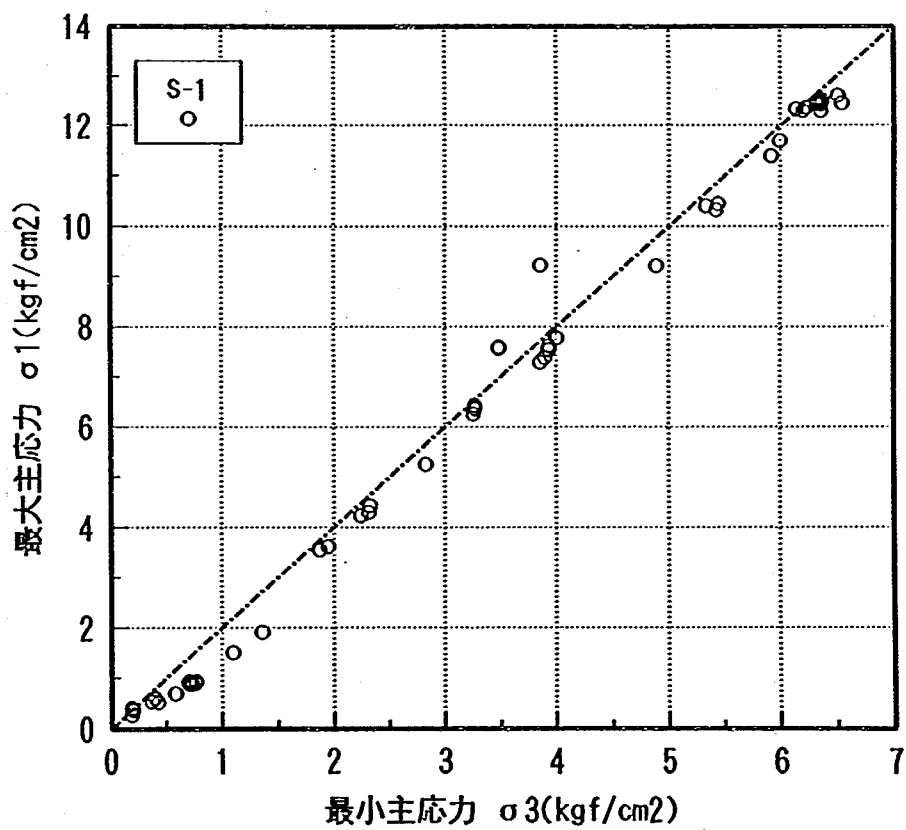


図-40 最小主応力と最大主応力 (Rダム ; S-1)

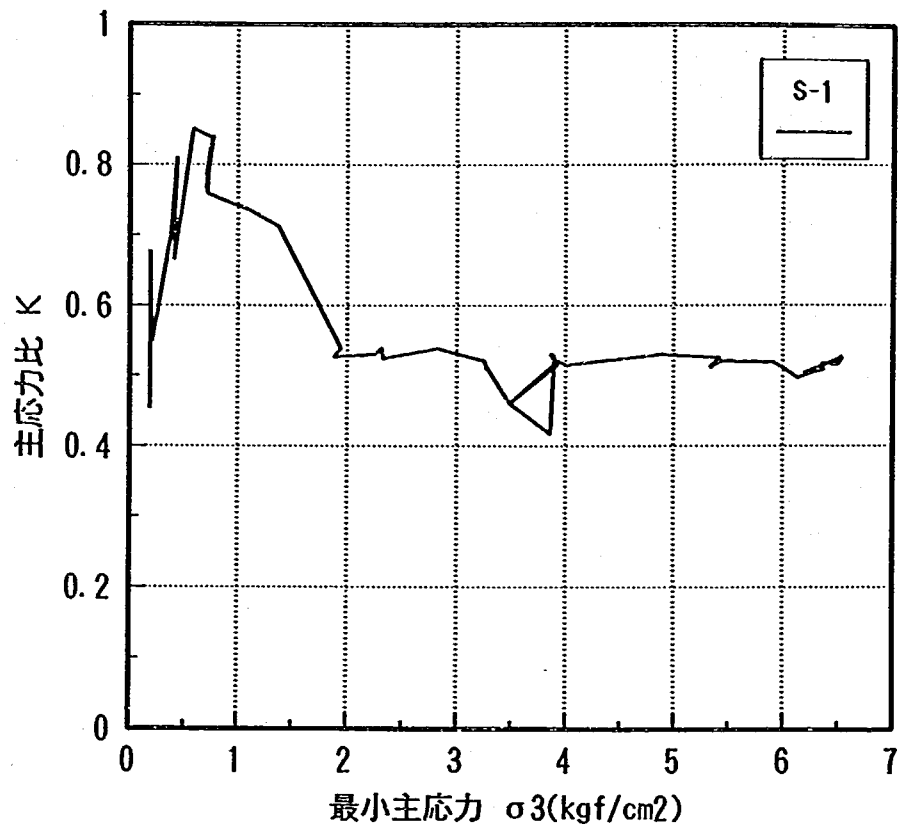


図-41 最小主応力と主応力比 (Rダム ; S-1)

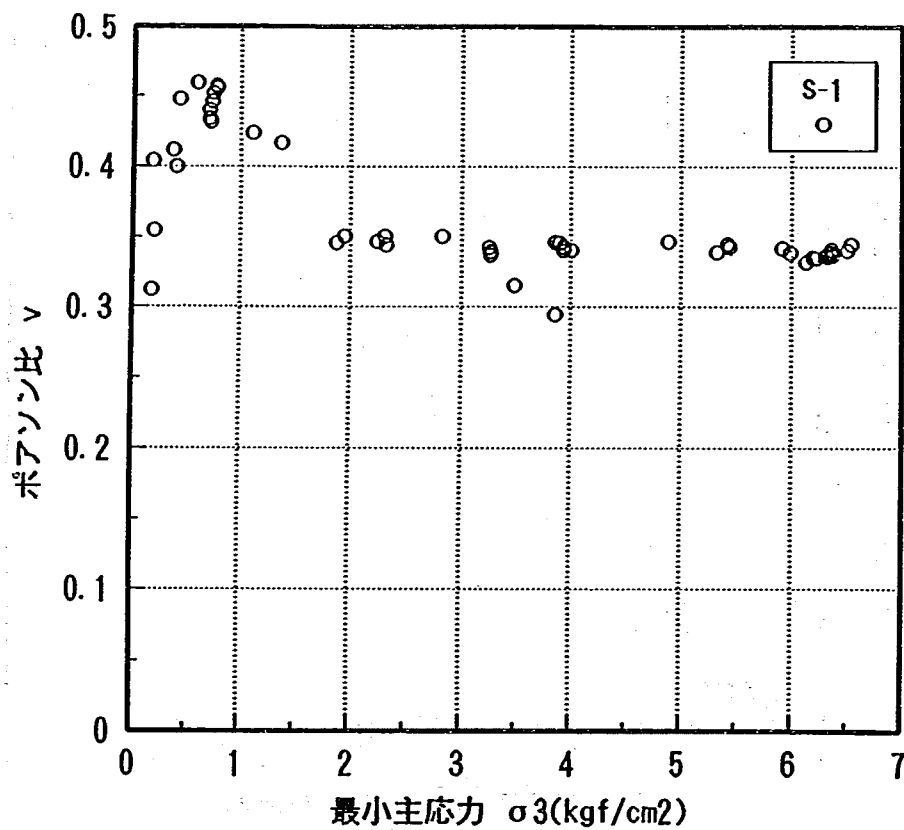


図-42 最小主応力とポアソン比 (Rダム ; S-1)

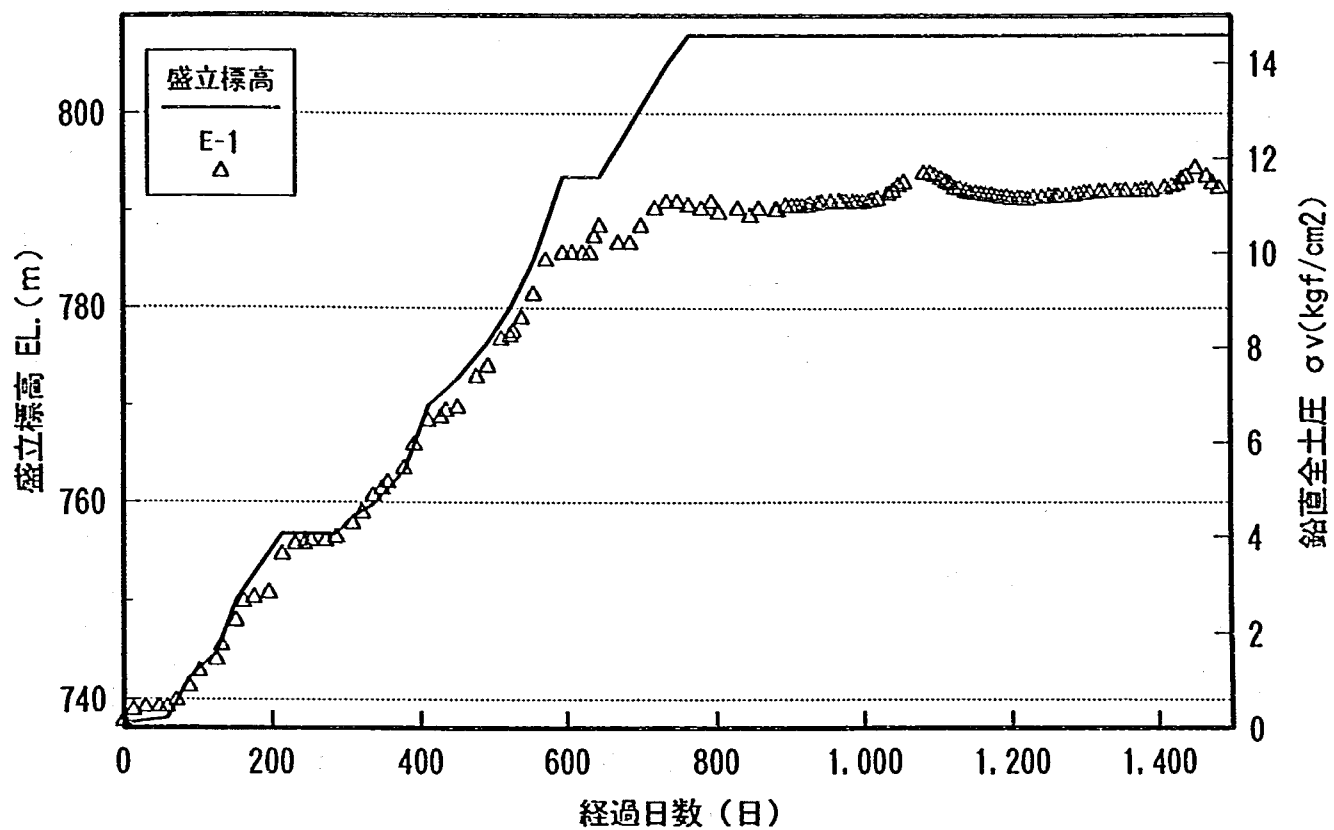


図-43 盛立標高と鉛直全土圧 (Tダム; E-1)

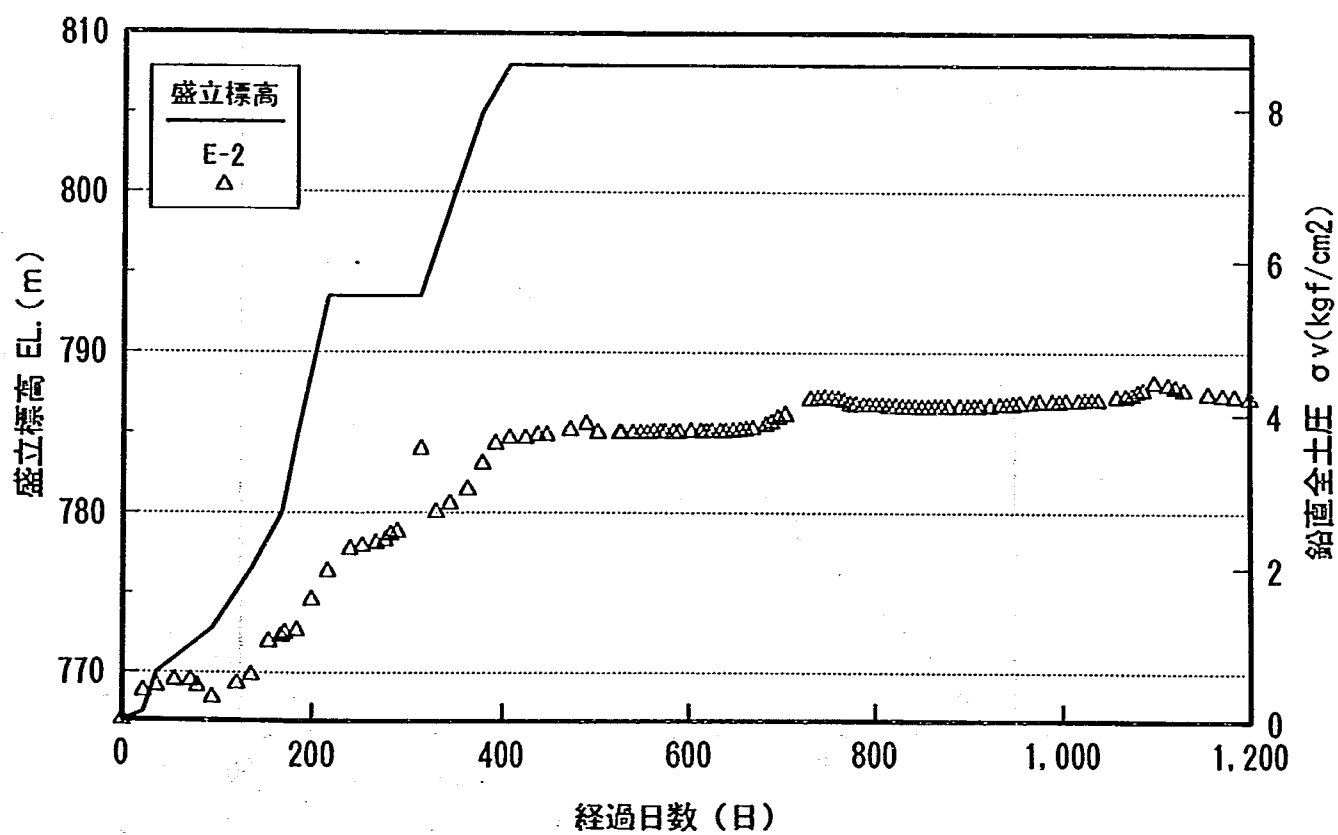


図-44 盛立標高と鉛直全土圧 (Tダム; E-2)

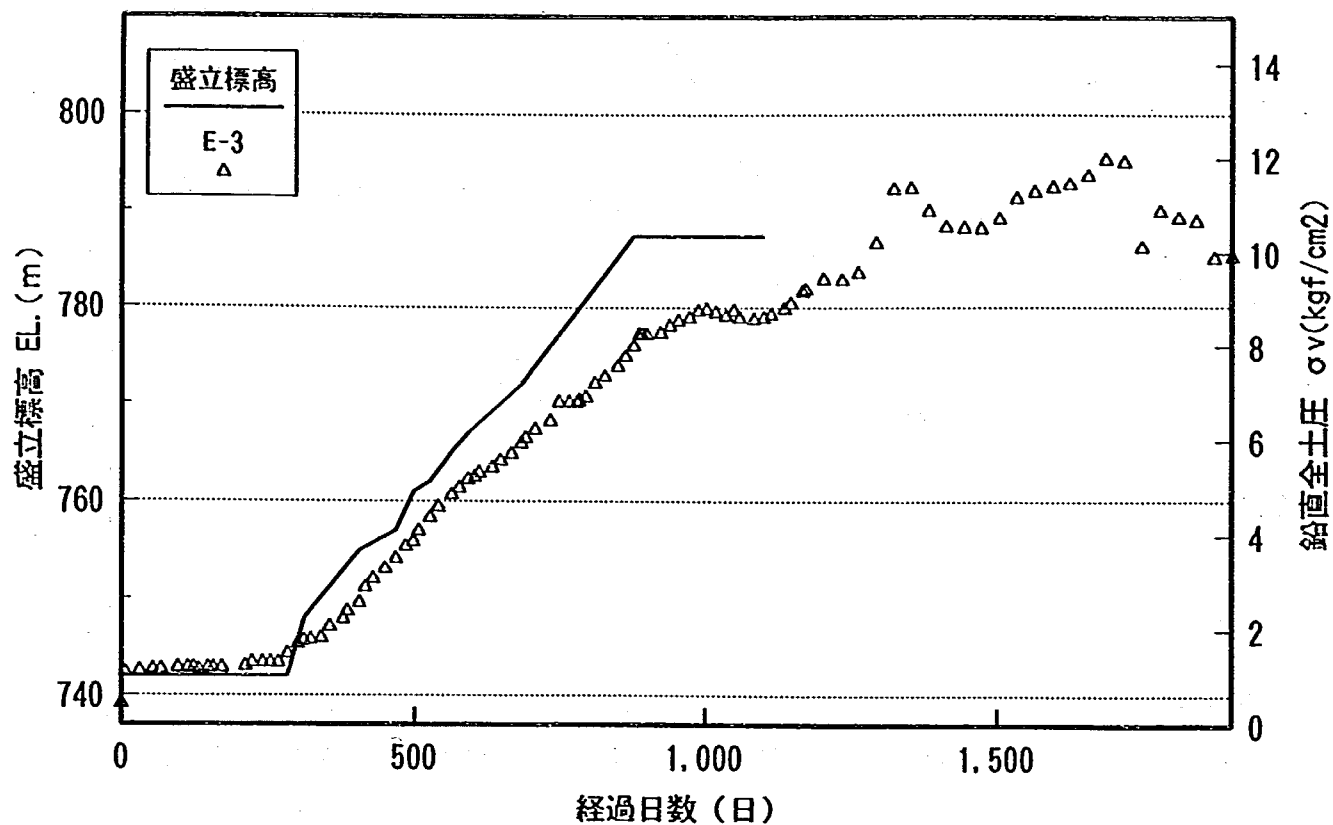


図-45 盛立標高と鉛直全土圧 (Tダム; E-3)

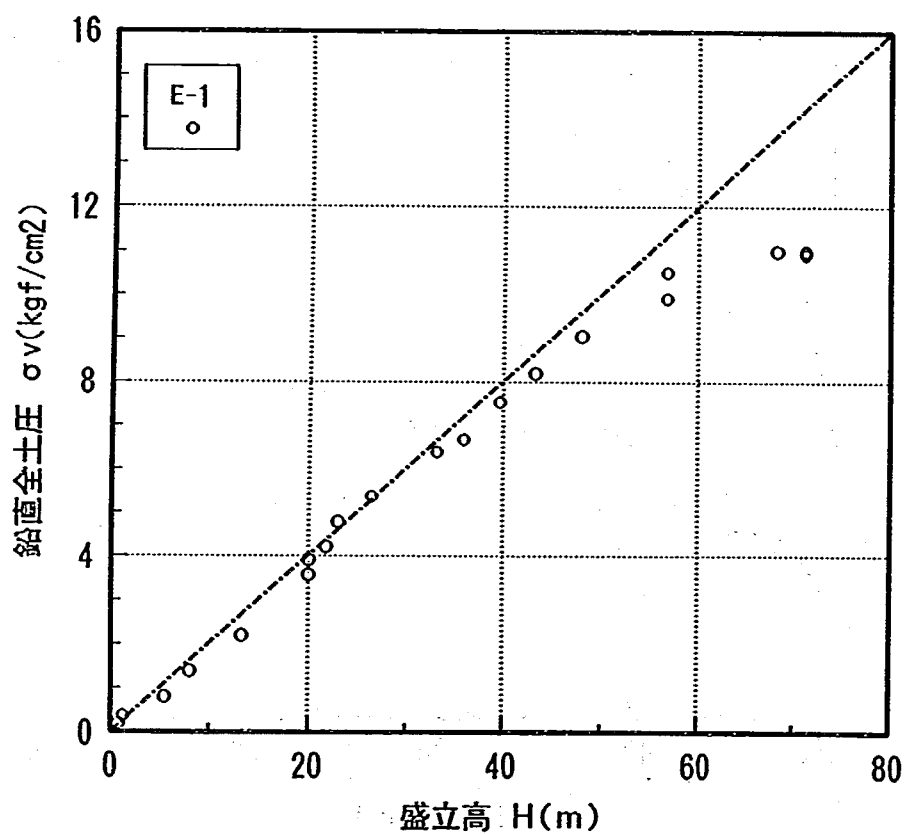


図-46 盛立高と鉛直全土圧 (Tダム; E-1)

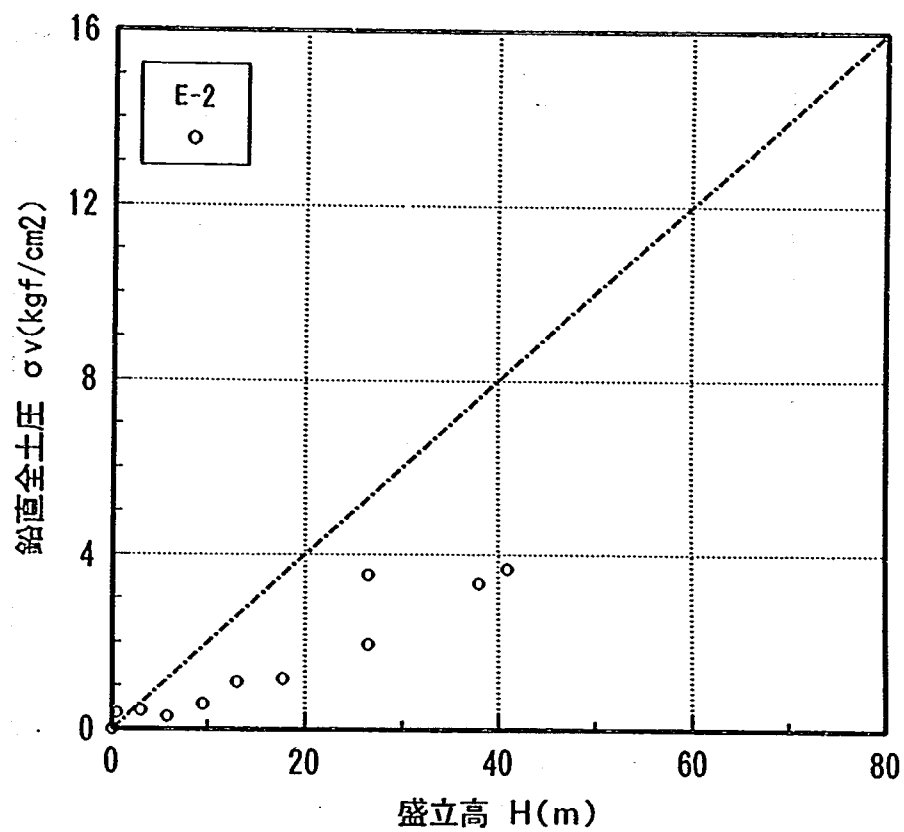


図-47 盛立高と鉛直全土圧 (Tダム ; E-2)

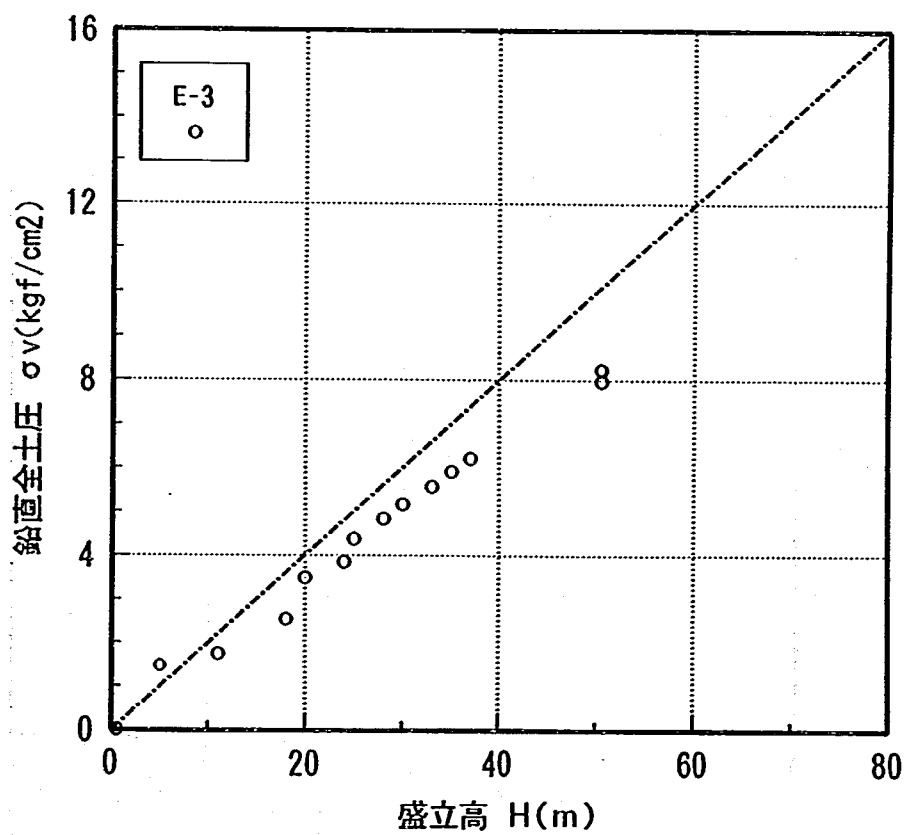


図-48 盛立高と鉛直全土圧 (Tダム ; E-3)

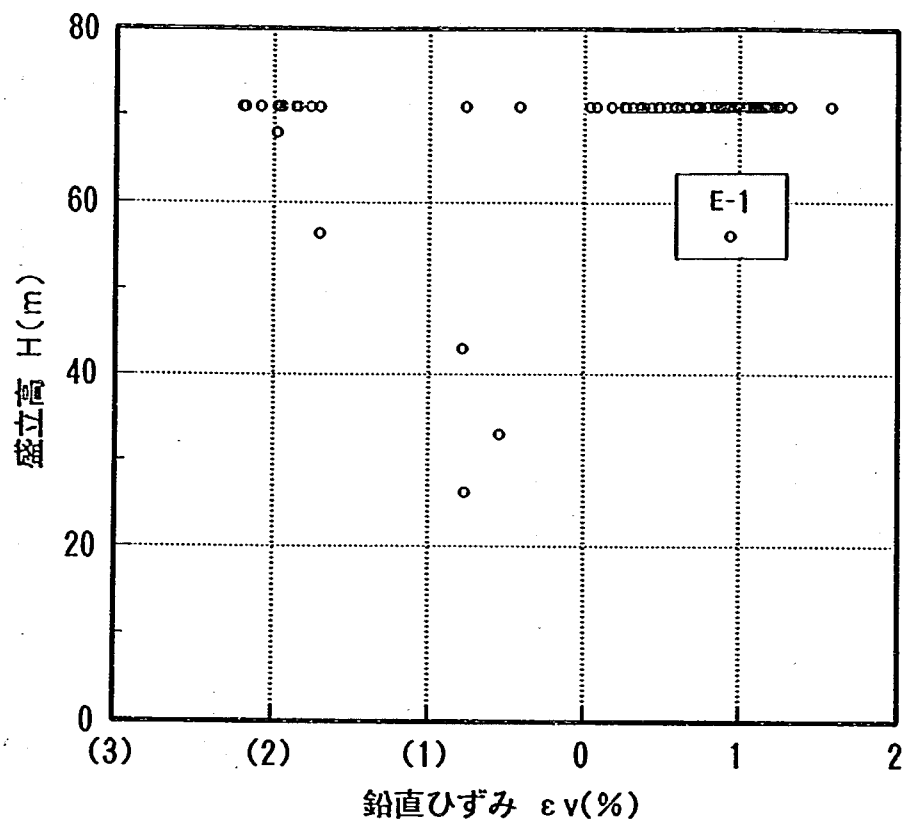


図-49 鉛直ひずみと盛立高 (Tダム ; E-1)

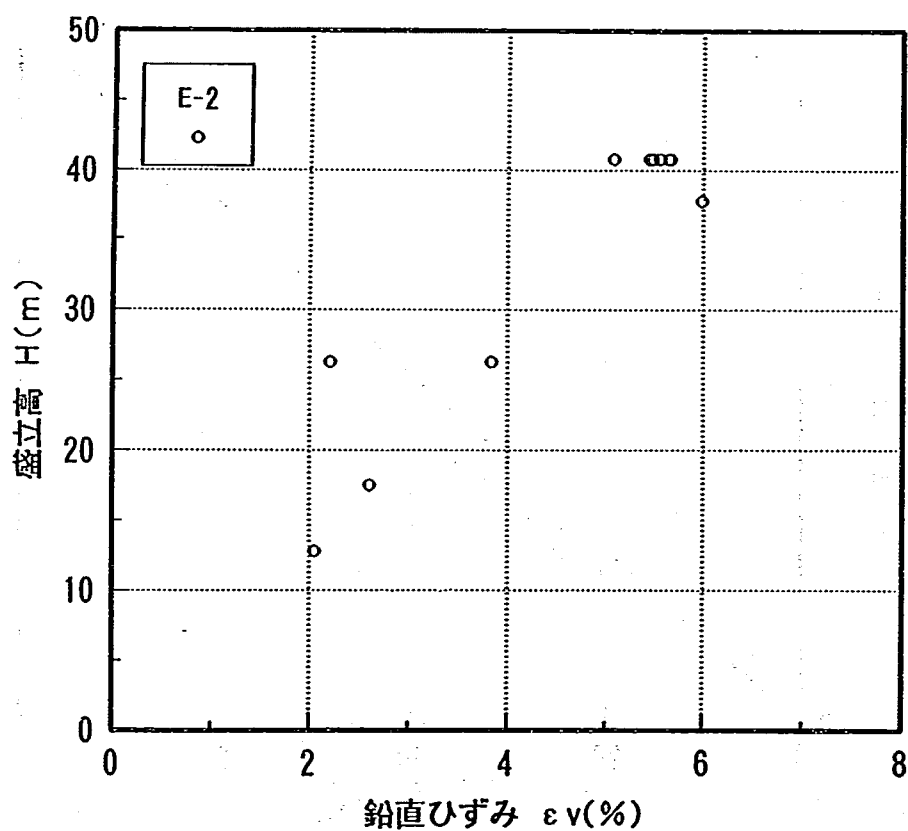


図-50 鉛直ひずみと盛立高 (Tダム ; E-2)

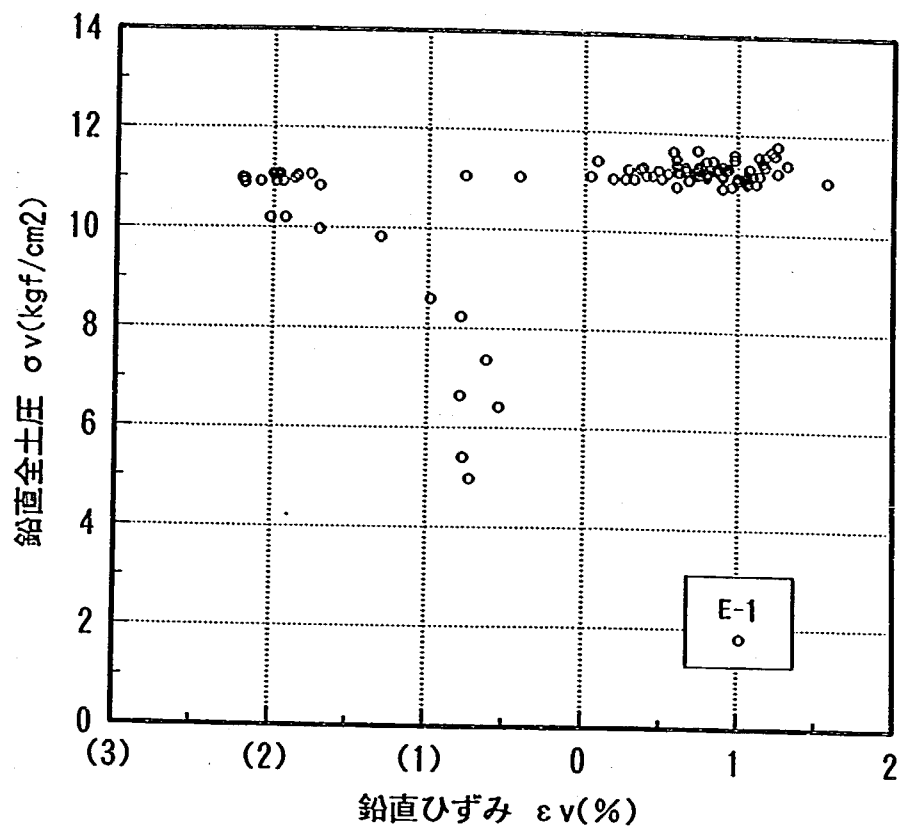


図-51 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Tダム; E-1)

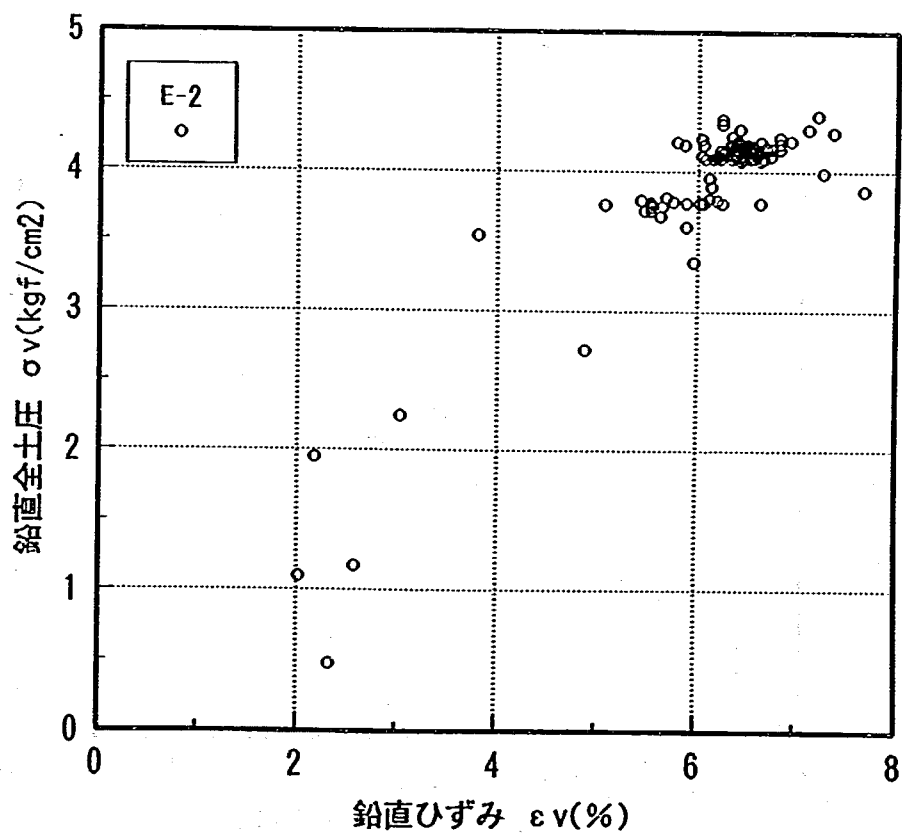


図-52 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Tダム; E-2)

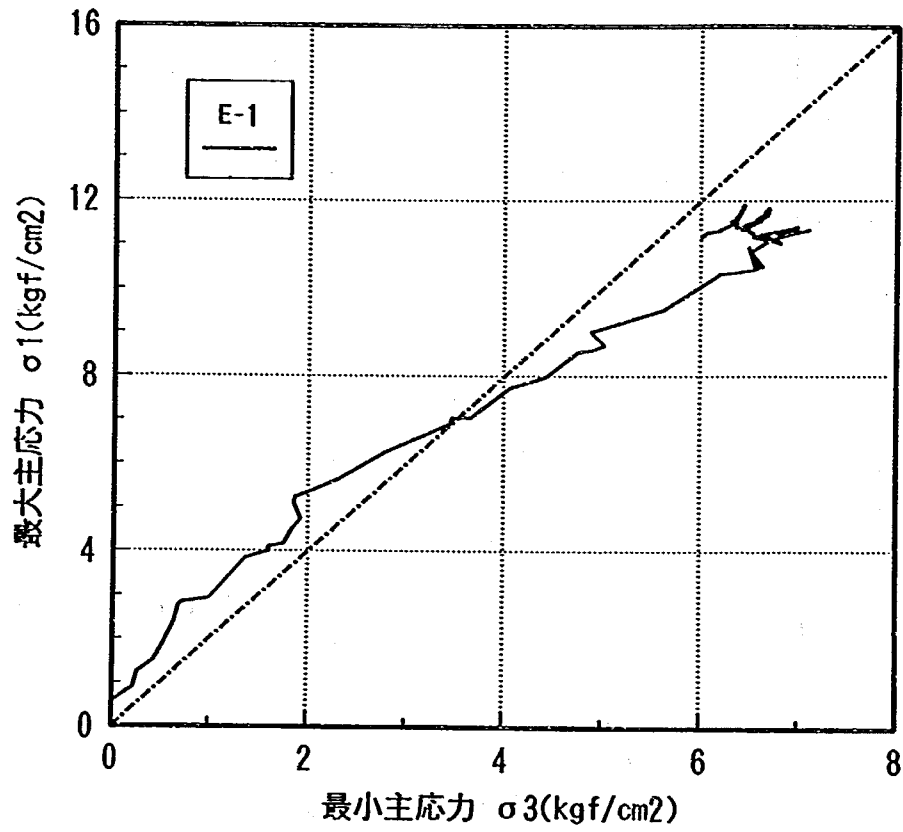


図-53 最小主応力と最大主応力 (Tダム ; E-1)

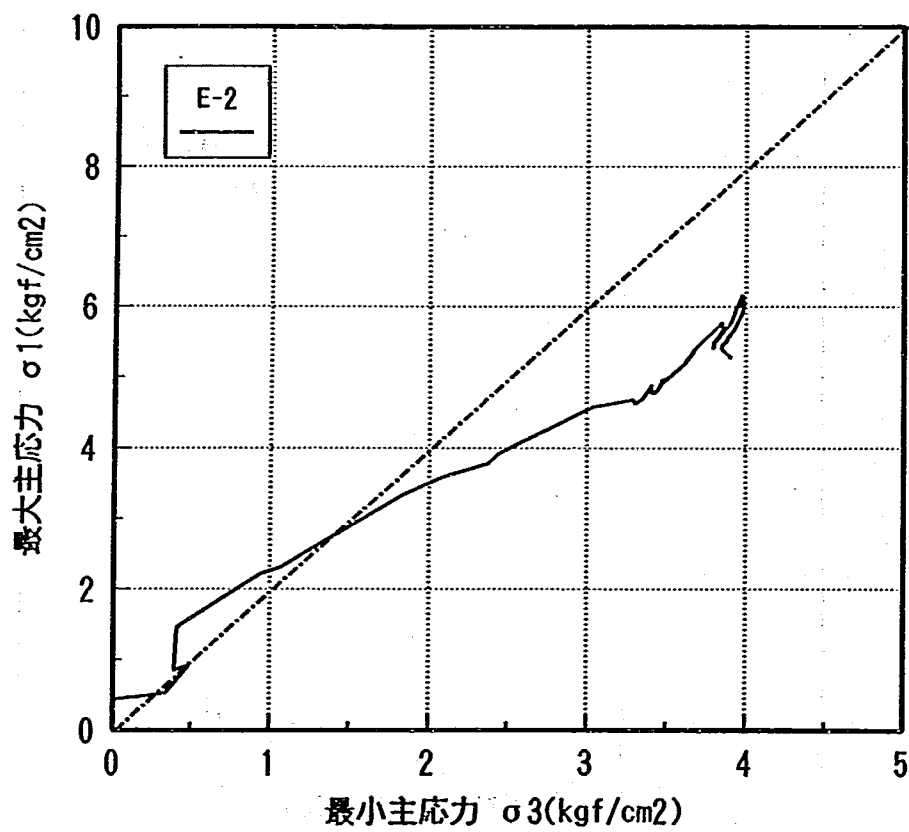


図-54 最小主応力と最大主応力 (Tダム ; E-2)

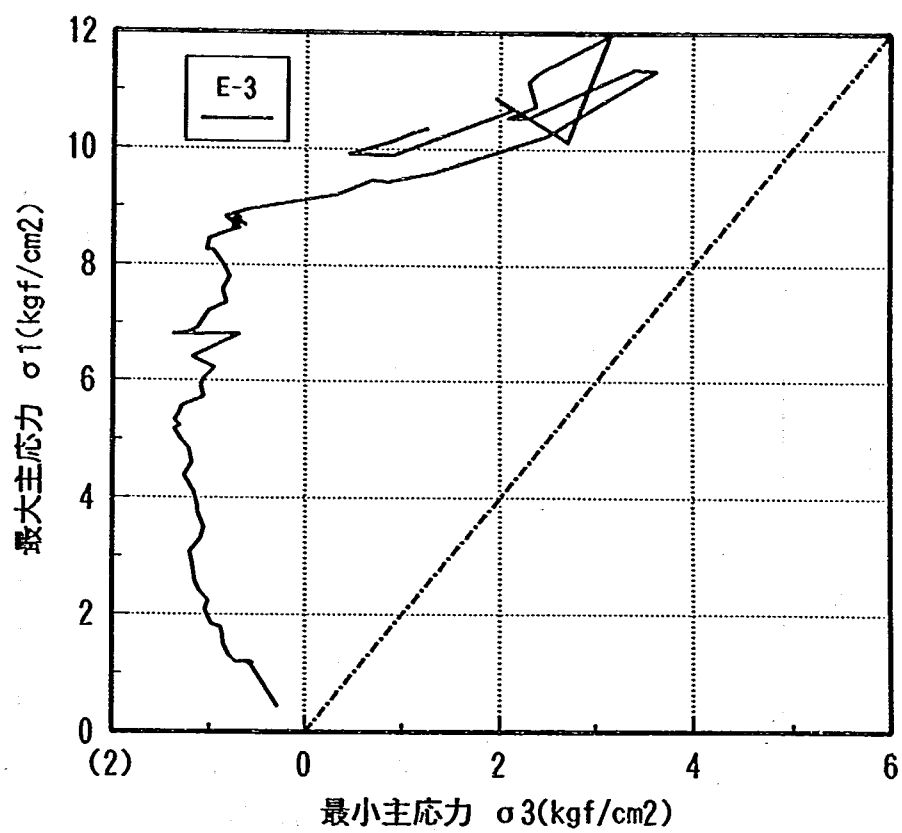


図-55 最小主応力と最大主応力 (Tダム ; E-3)

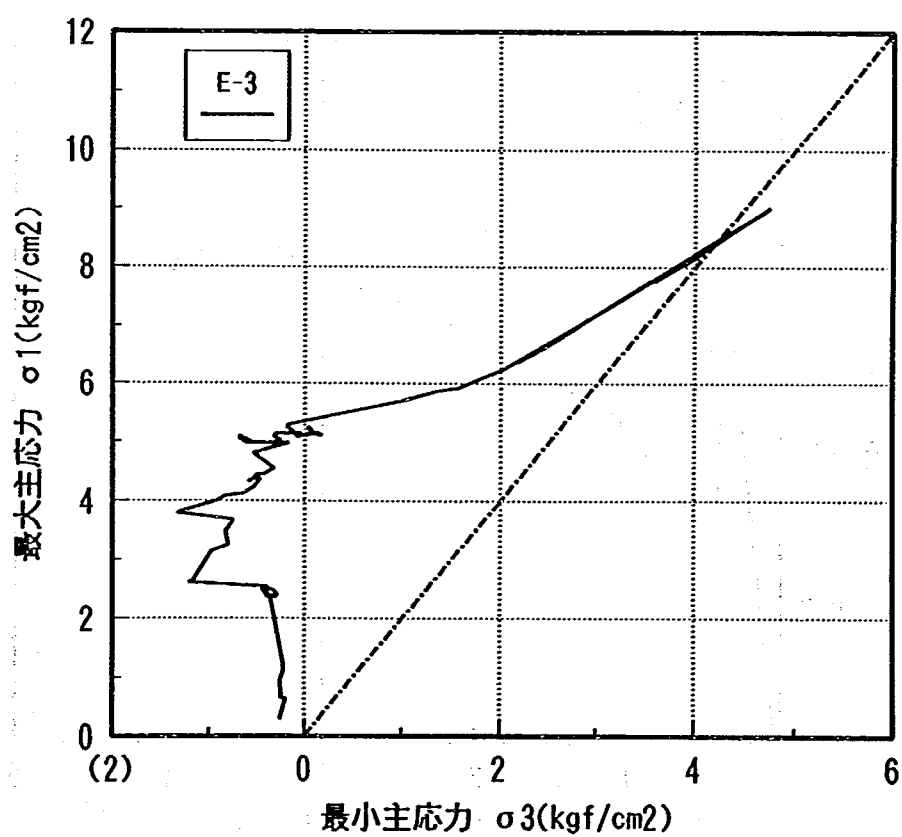


図-56 最小主応力と最大主応力 (Tダム ; E-4)

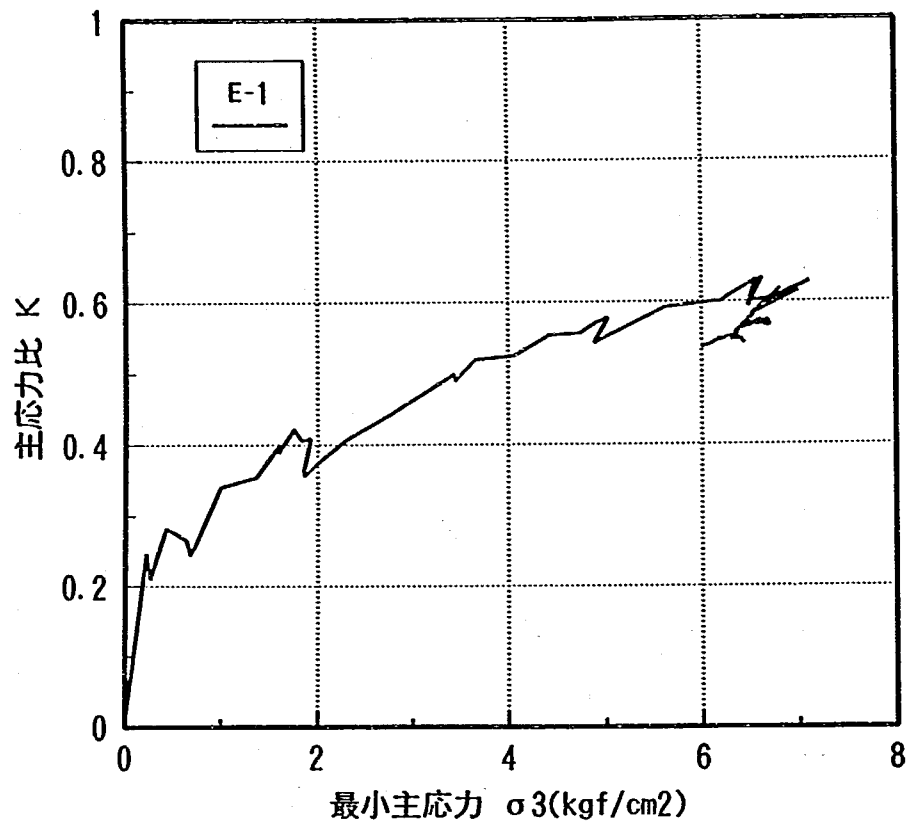


図-57 最小主応力と主応力比 (Tダム ; E-1)

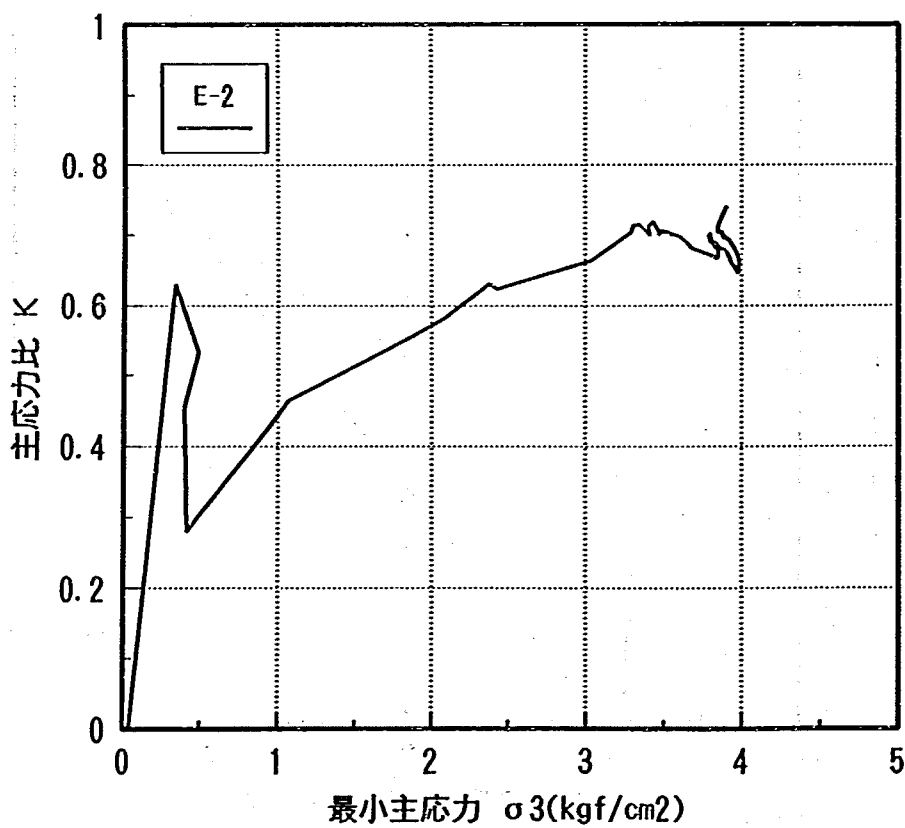


図-58 最小主応力と主応力比 (Tダム ; E-2)

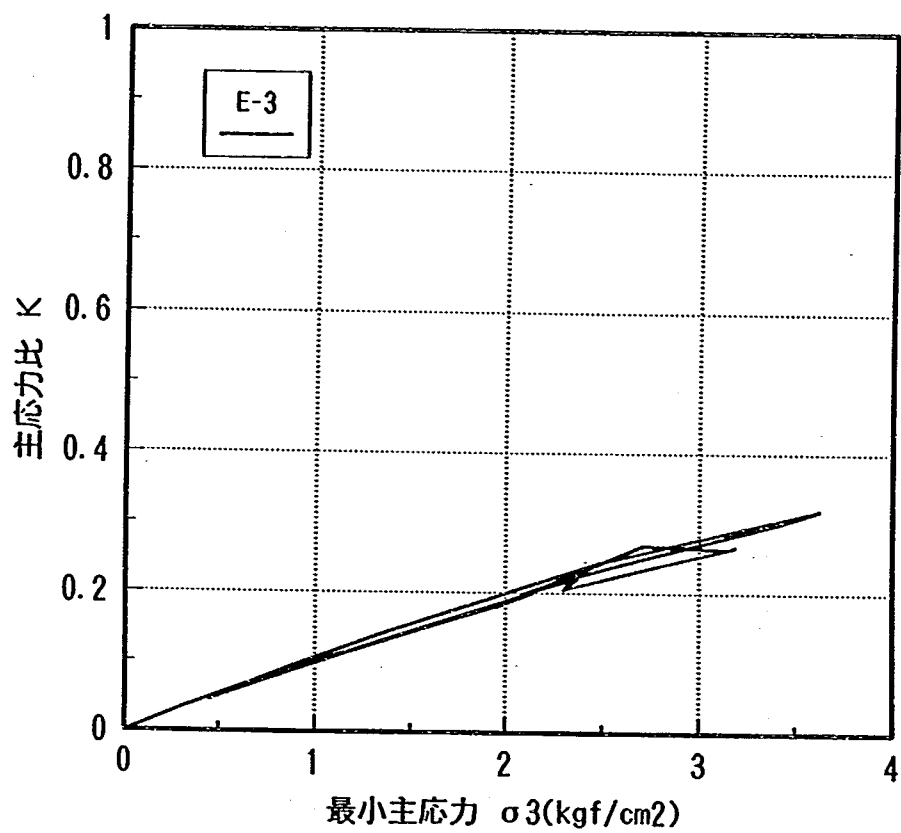


図-59 最小主応力と主応力比 (Tダム ; E-3)

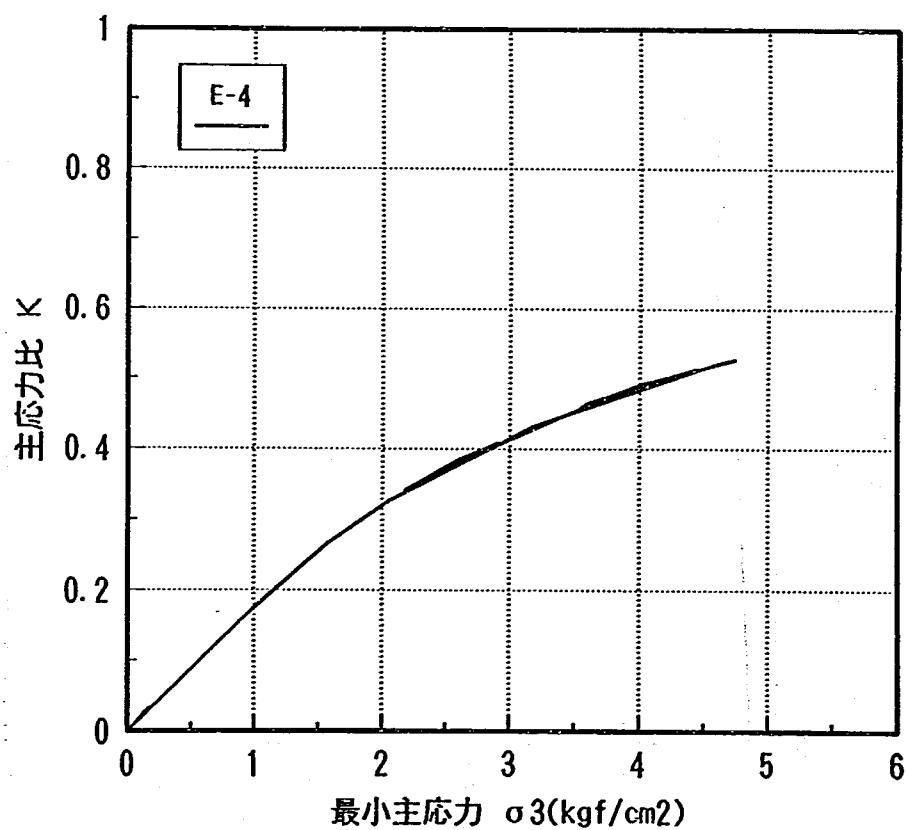


図-60 最小主応力と主応力比 (Tダム ; E-4)

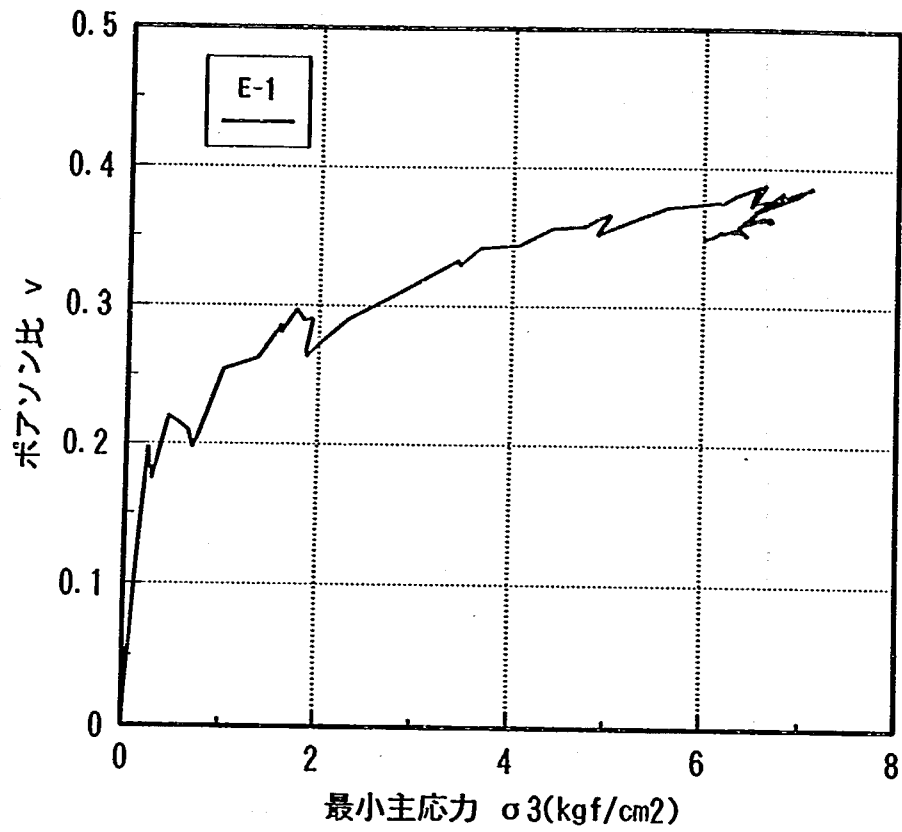


図-61 最小主応力とポアソン比 (Tダム; E-1)

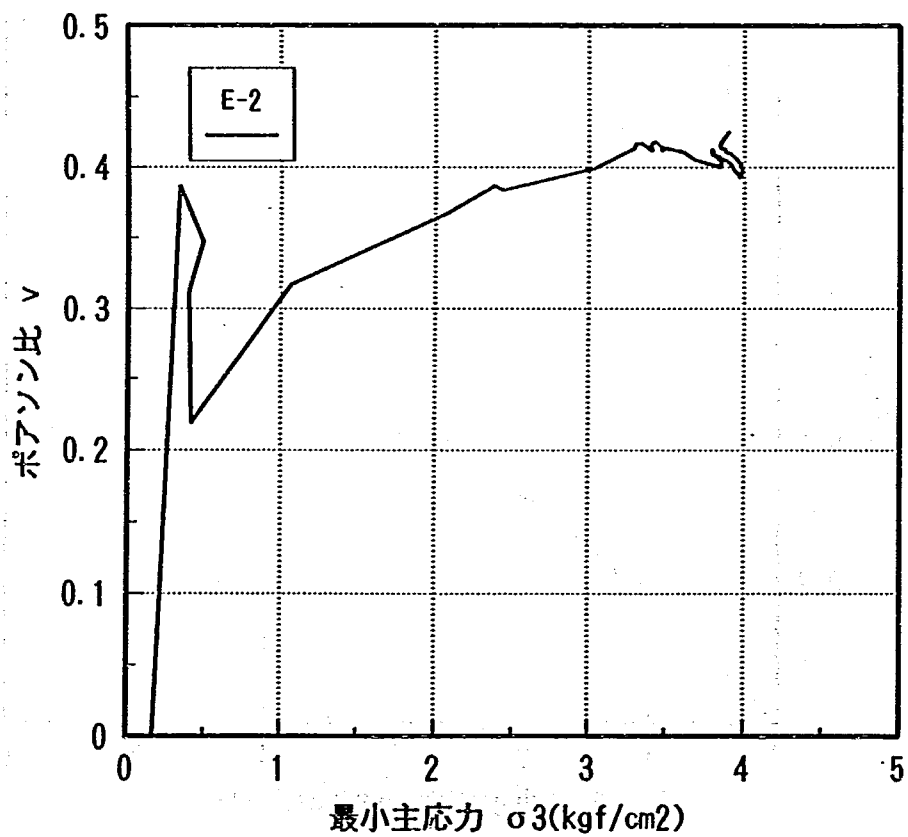


図-62 最小主応力とポアソン比 (Tダム; E-2)

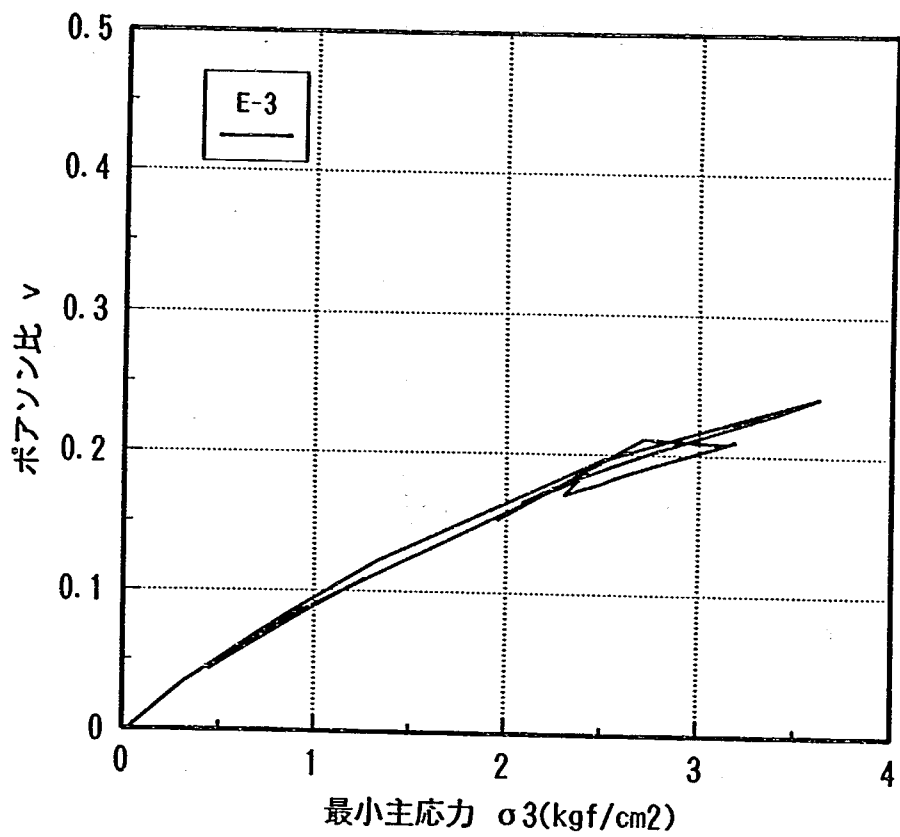


図-63 最小主応力とポアソン比 (Tダム ; E-3)

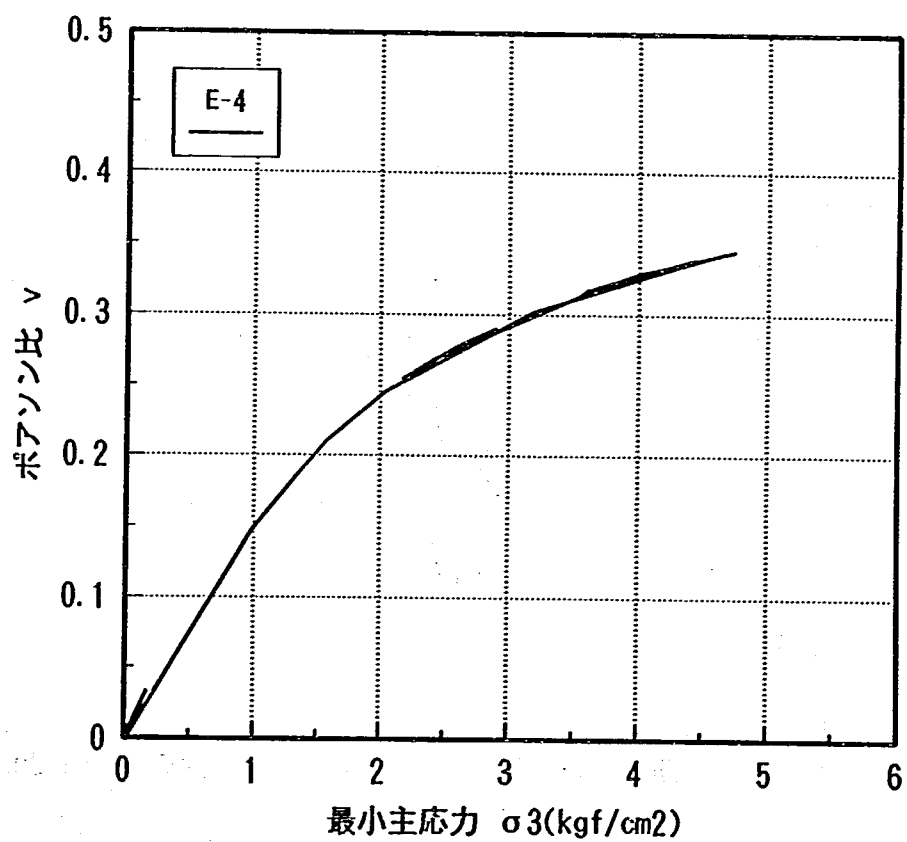


図-64 最小主応力とポアソン比 (Tダム ; E-4)

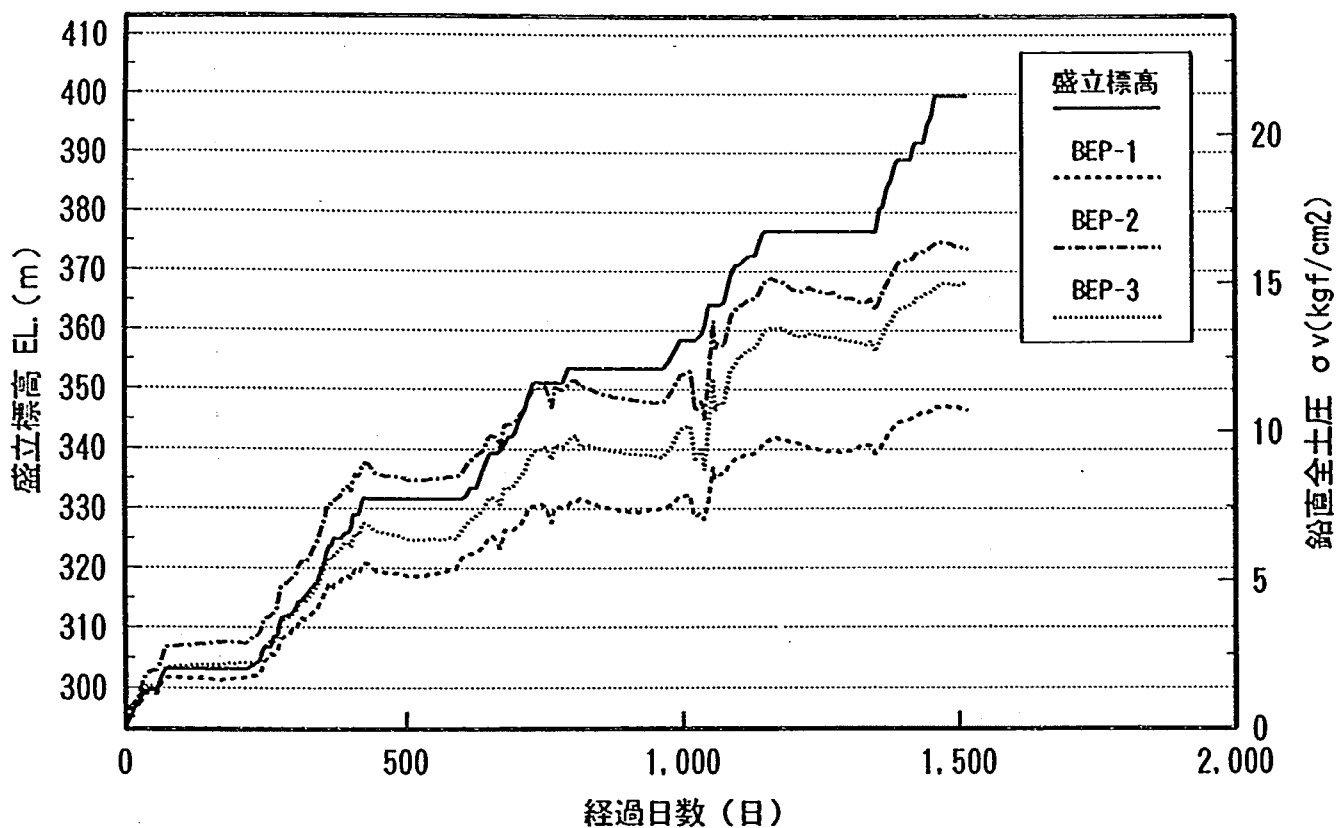


図-65 盛立標高と鉛直全土圧 (Vダム ; BEP-1, BEP-2, BEP-3)

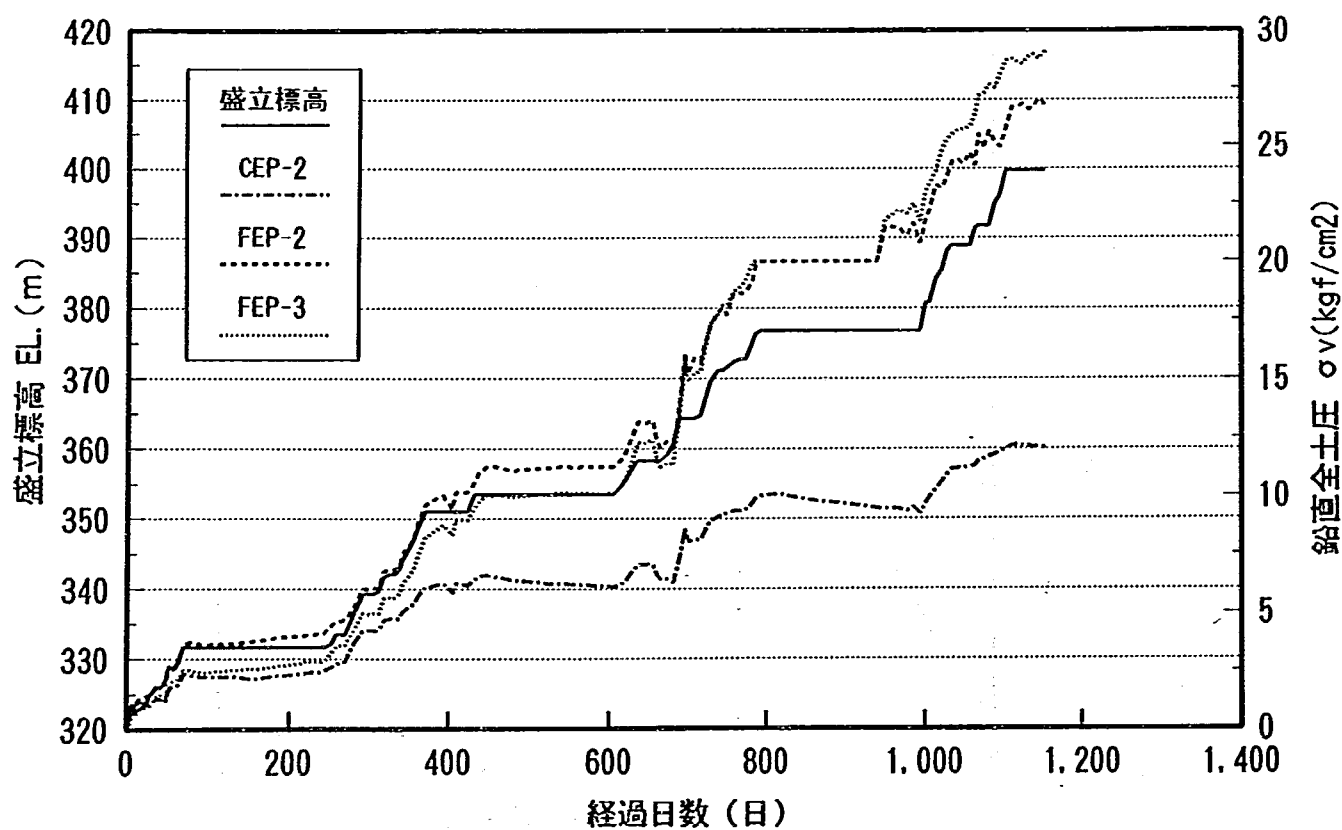


図-66 盛立標高と鉛直全土圧 (Vダム ; CEP-2, FEP-2, FEP-3)

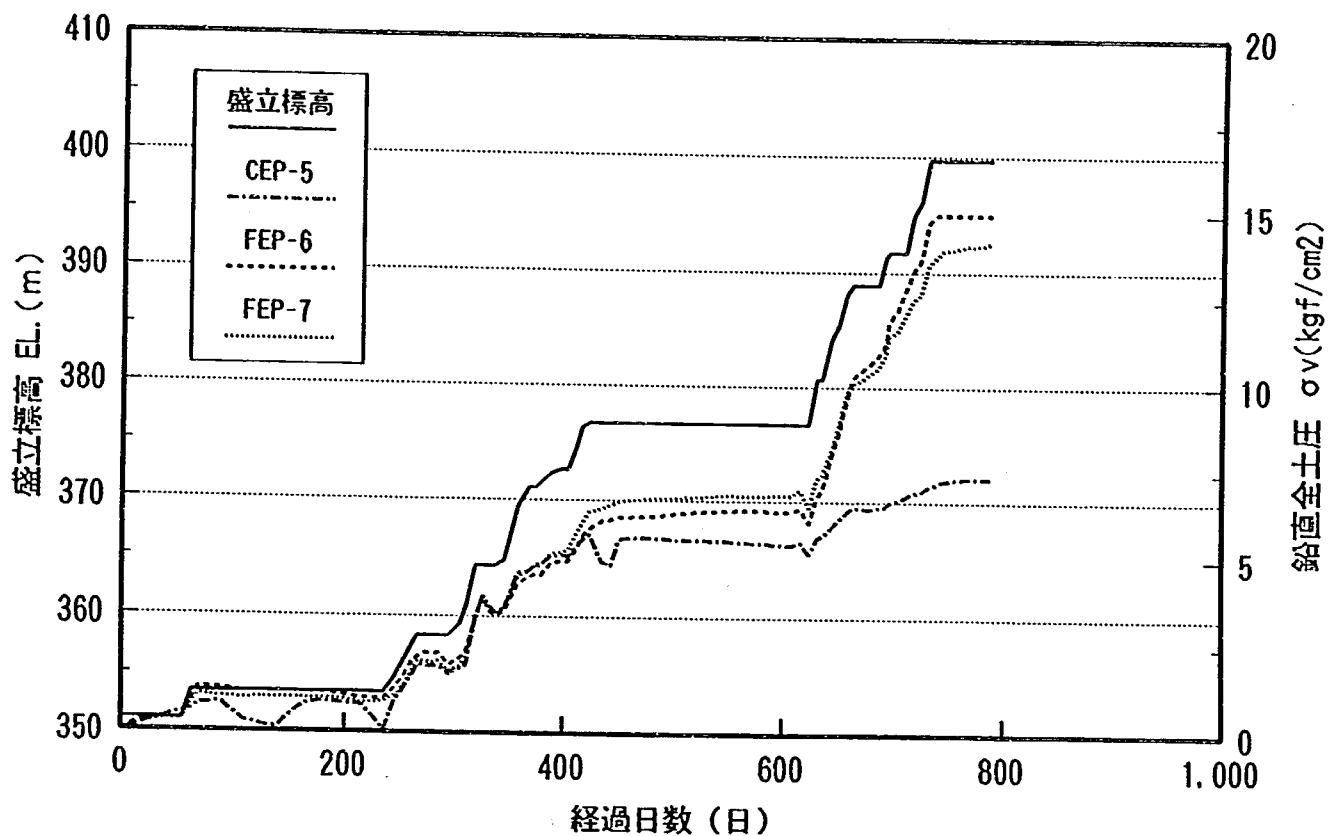


図-67 盛立標高と鉛直全土圧 (Vダム ; CEP-5, FEP-6, FEP-7)

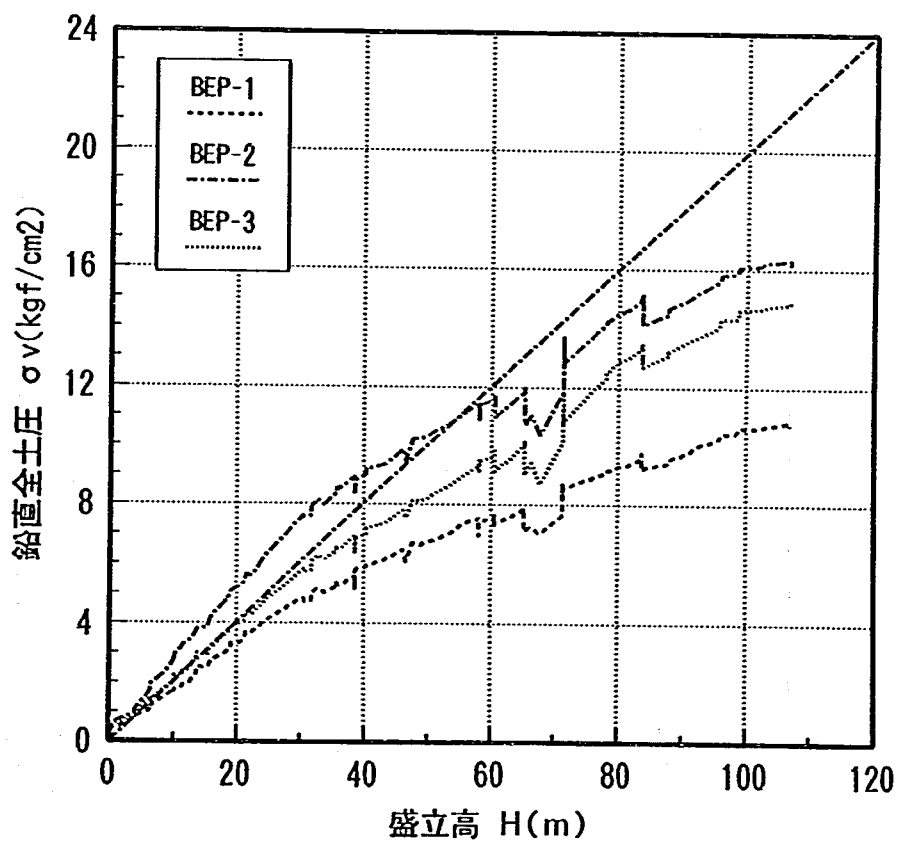


図-68 盛立高と鉛直全土圧 (Vダム ; BEP-1, BEP-2, BEP-3)

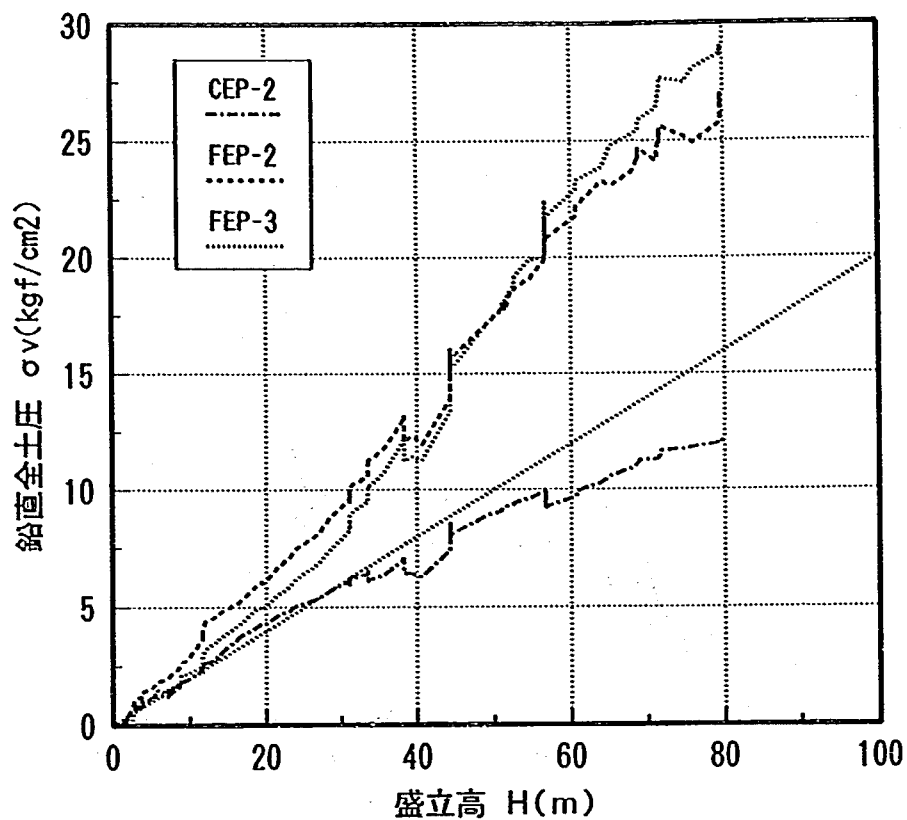


図-69 盛立高と鉛直全土圧 (Vダム ; CEP-2, FEP-2, FEP-3)

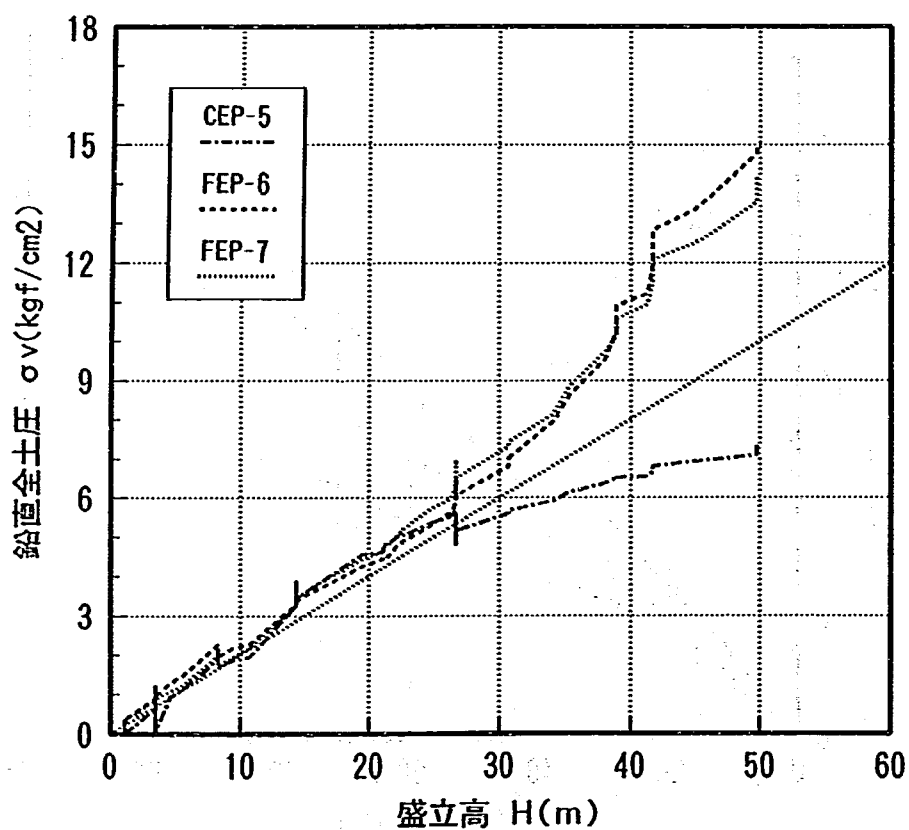


図-70 盛立高と鉛直全土圧 (Vダム ; CEP-5, FEP-6, FEP-7)

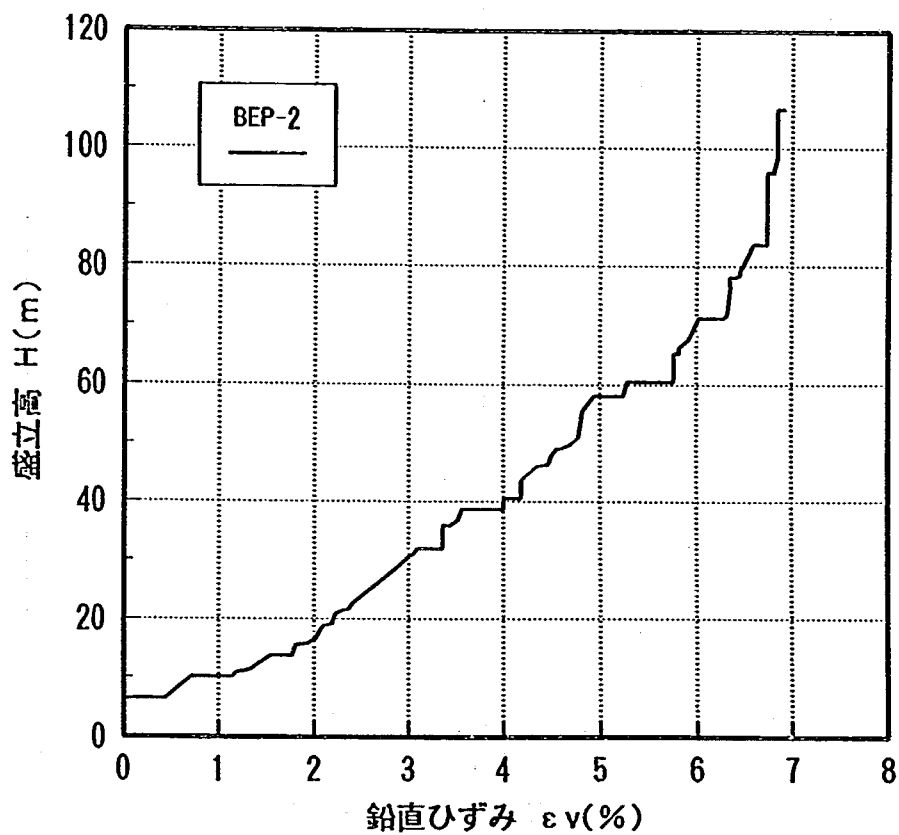


図-71 鉛直ひずみと盛立高 (Vダム ; BEP-2)

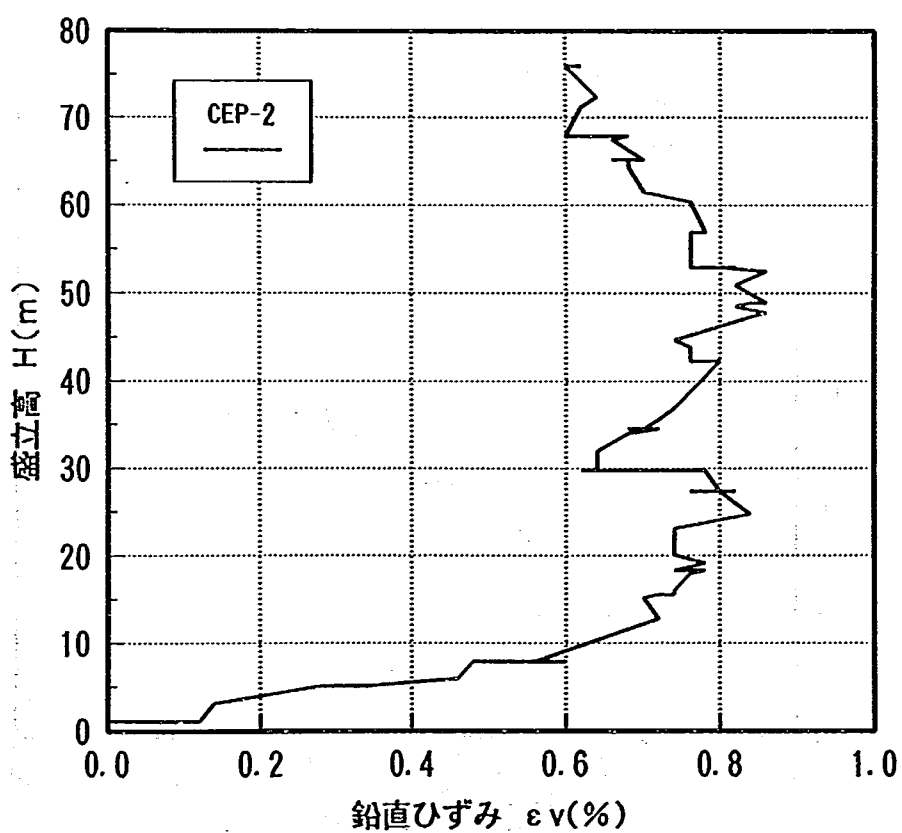


図-72 鉛直ひずみと盛立高 (Vダム ; CEP-2)

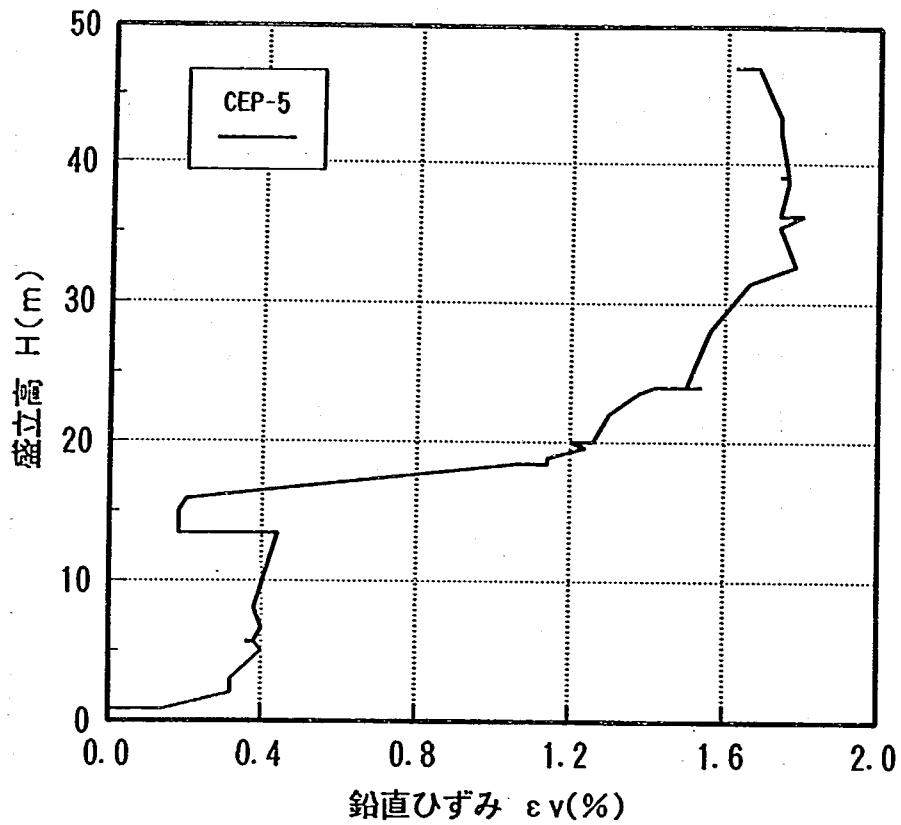


図-73 鉛直ひずみと盛立高 (Vダム ; CEP-5)

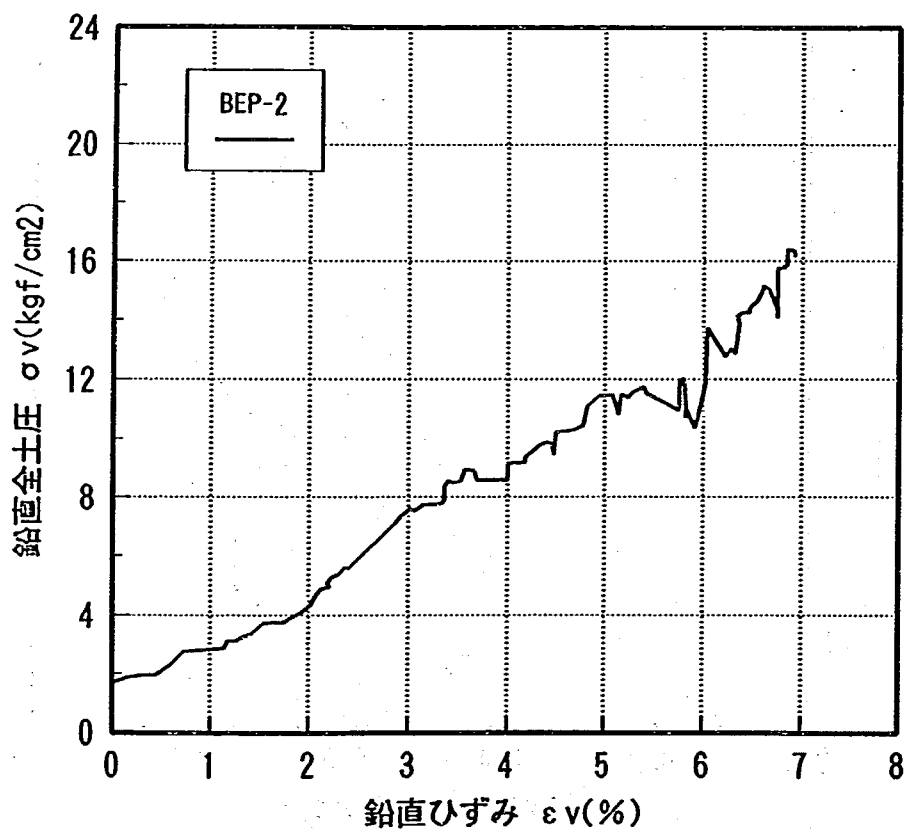


図-74 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Vダム ; BEP-2)

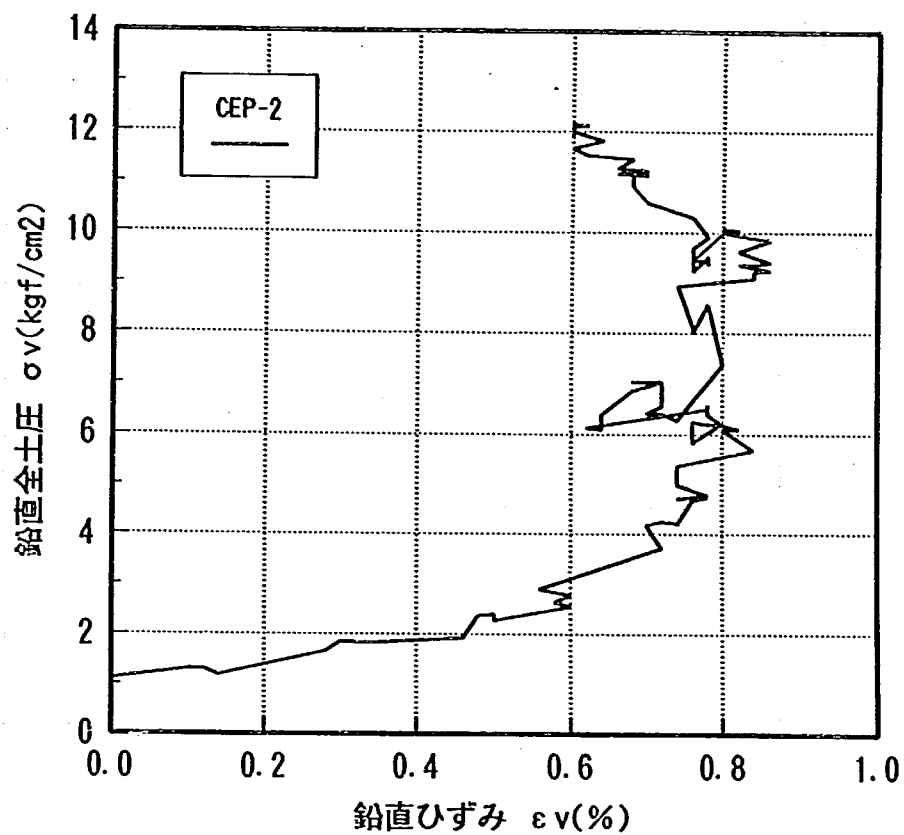


図-75 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Vダム ; CEP-2)

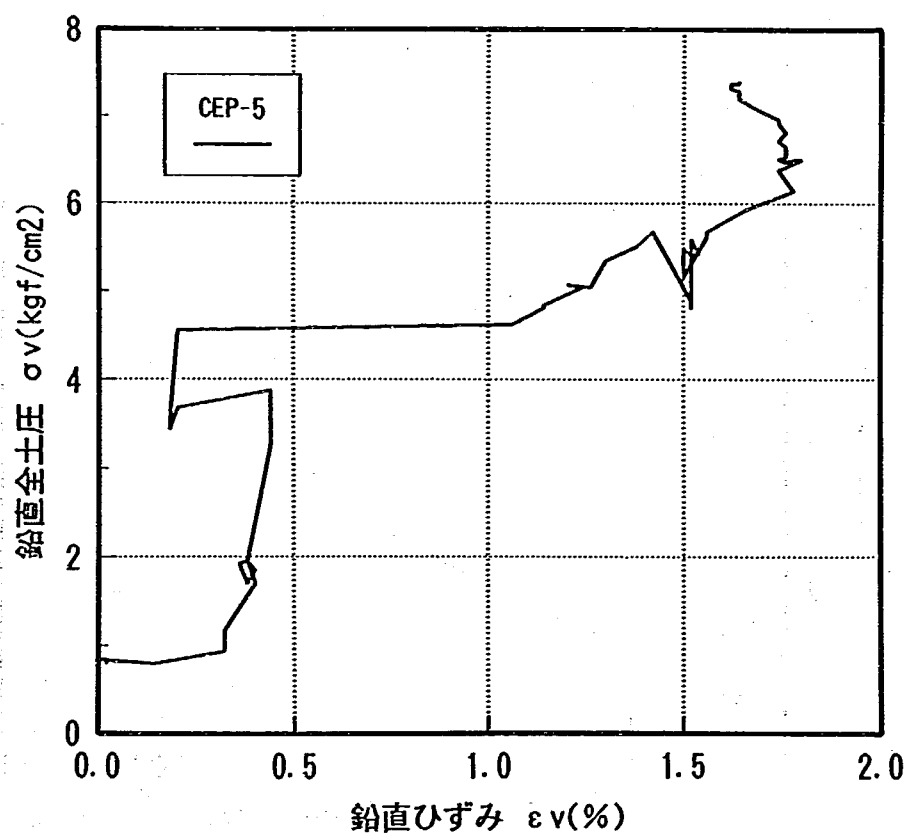


図-76 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Vダム ; CEP-5)

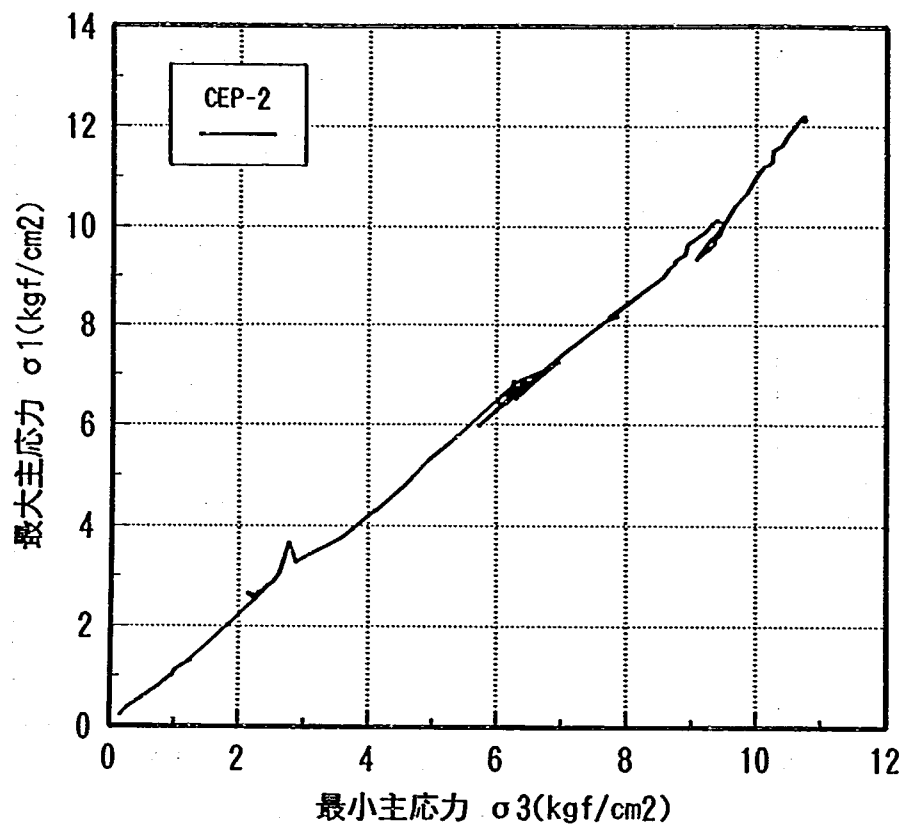


図-77 最小主応力と最大主応力 (Vダム ; CEP-2)

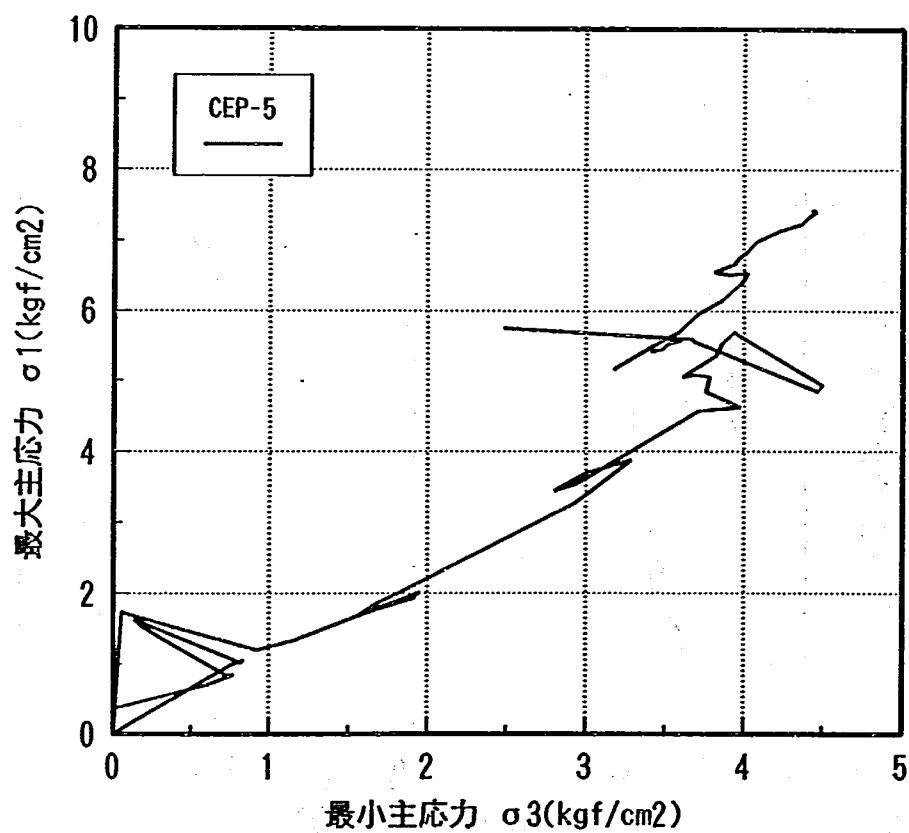


図-78 最小主応力と最大主応力 (Vダム ; CEP-5)

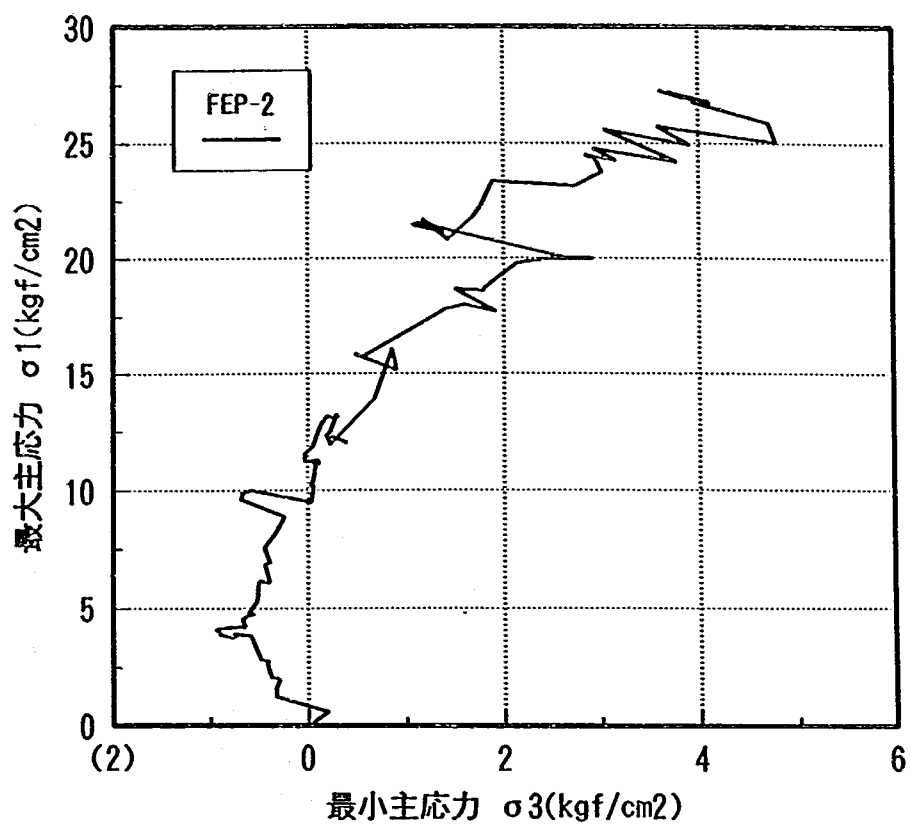


図-79 最小主応力と最大主応力 (Vダム ; FEP-2)

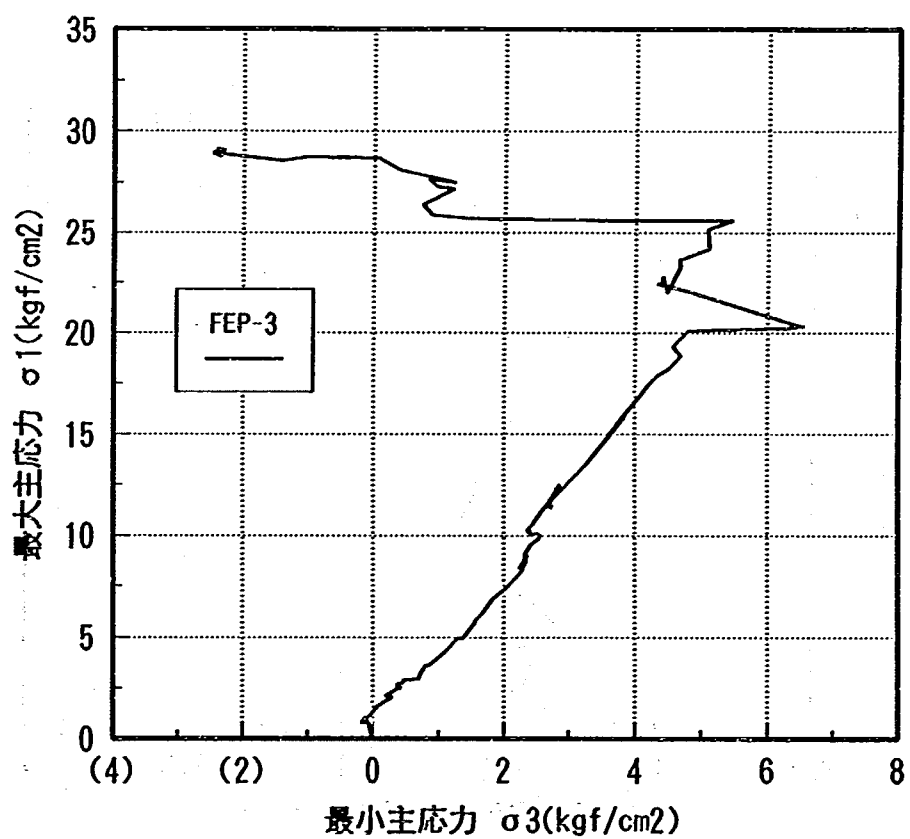


図-80 最小主応力と最大主応力 (Vダム ; FEP-3)

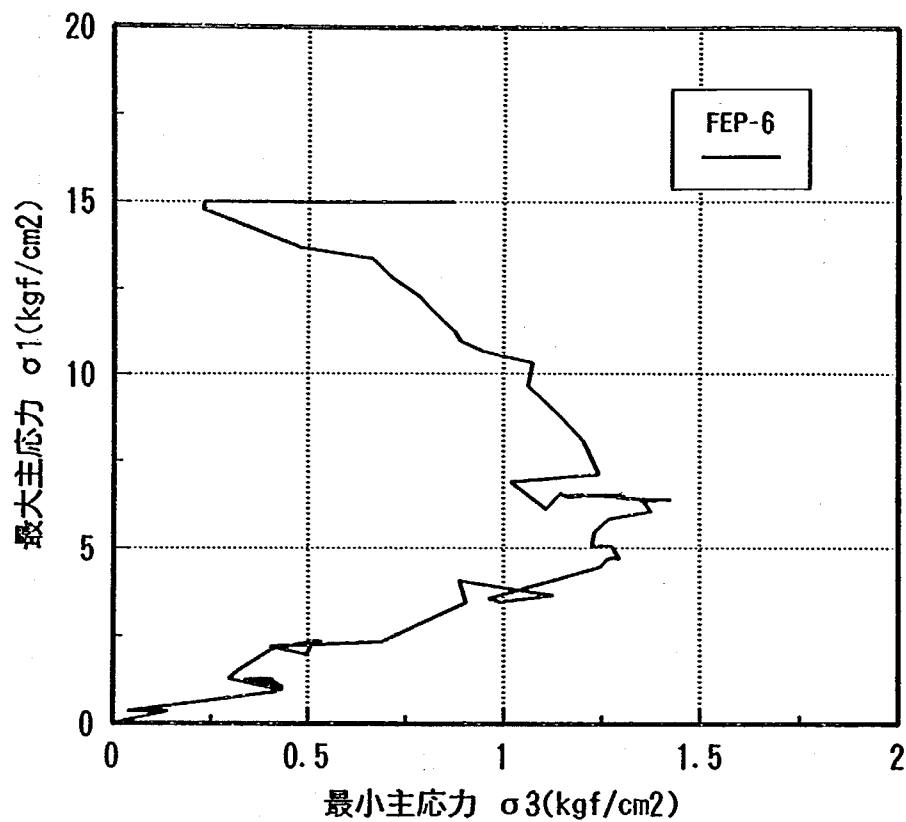


図-81 最小主応力と最大主応力 (Vダム ; FEP-6)

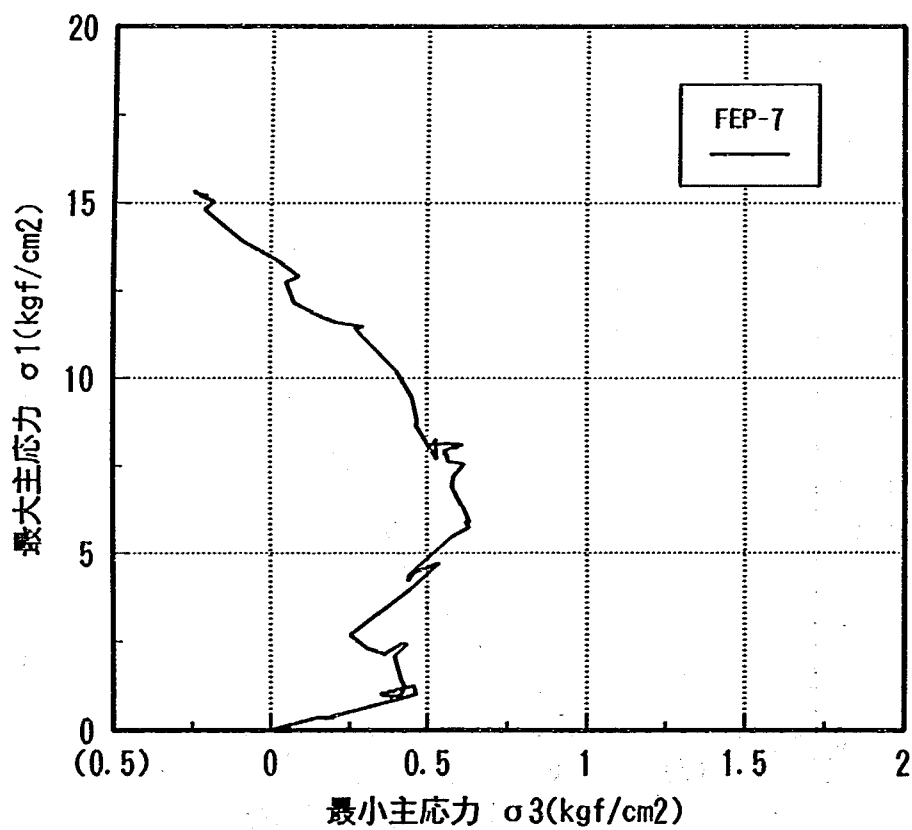


図-82 最小主応力と最大主応力 (Vダム ; FEP-7)

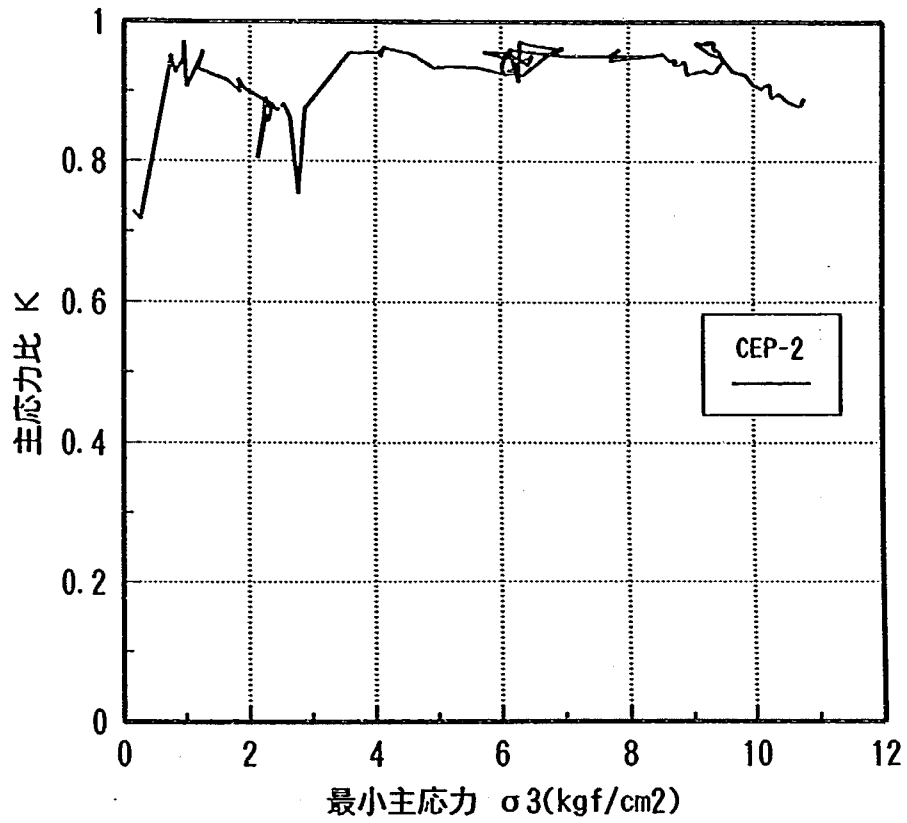


図-83 最小主応力と主応力比 (Vダム ; CEP-2)

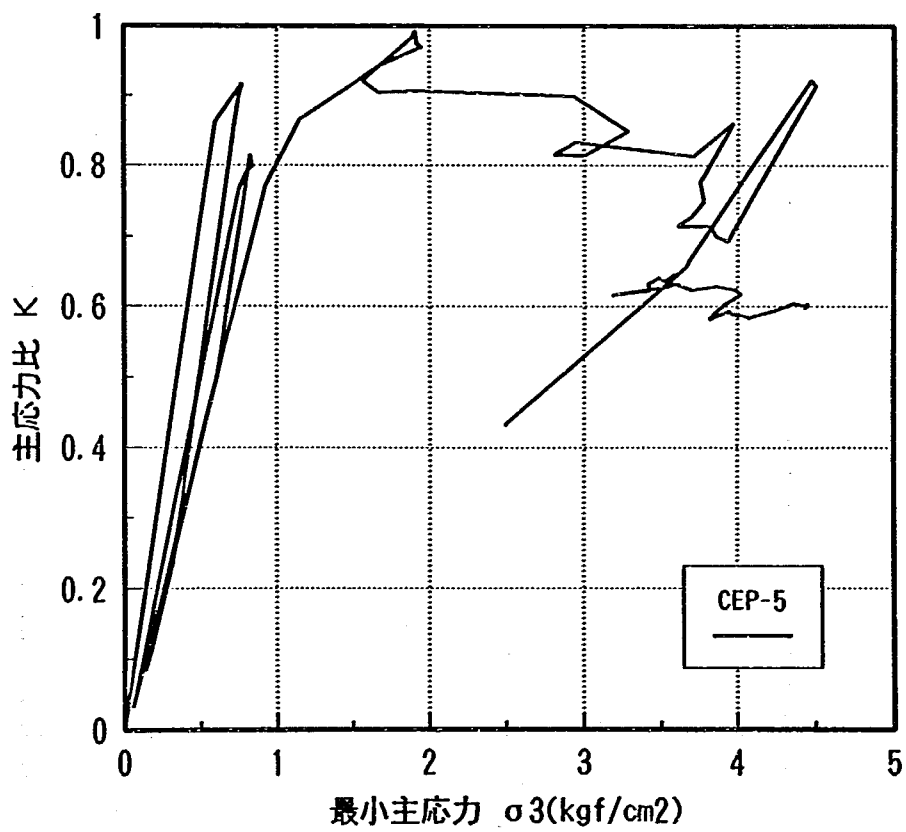


図-84 最小主応力と主応力比 (Vダム ; CEP-5)

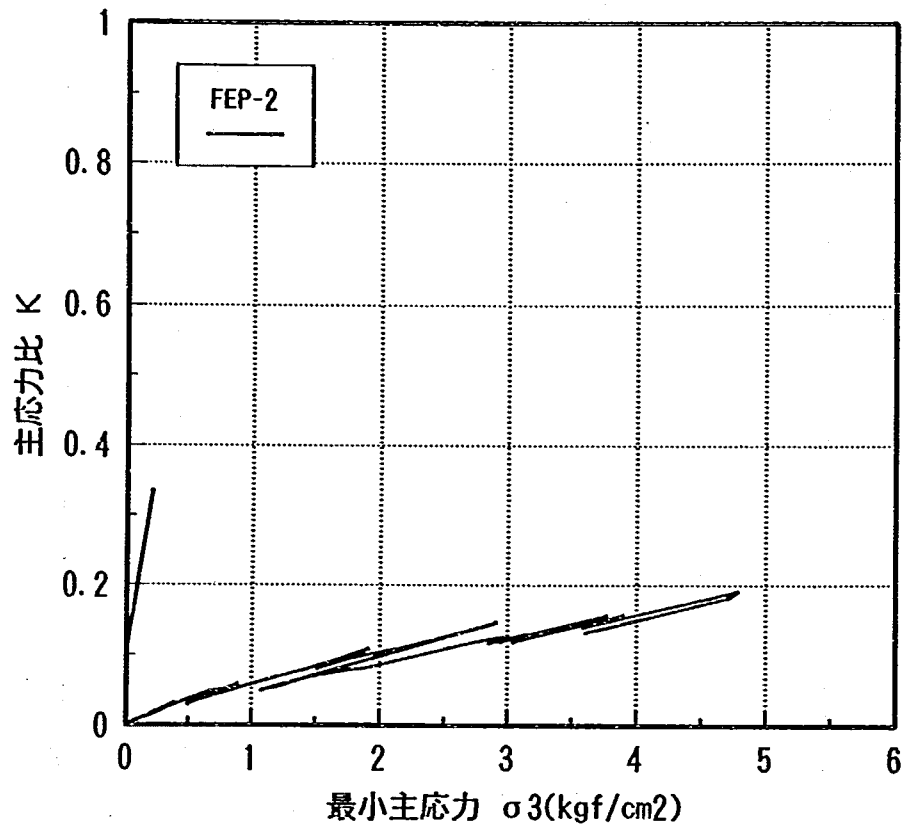


図-85 最小主応力と主応力比 (Vダム ; FEP-2)

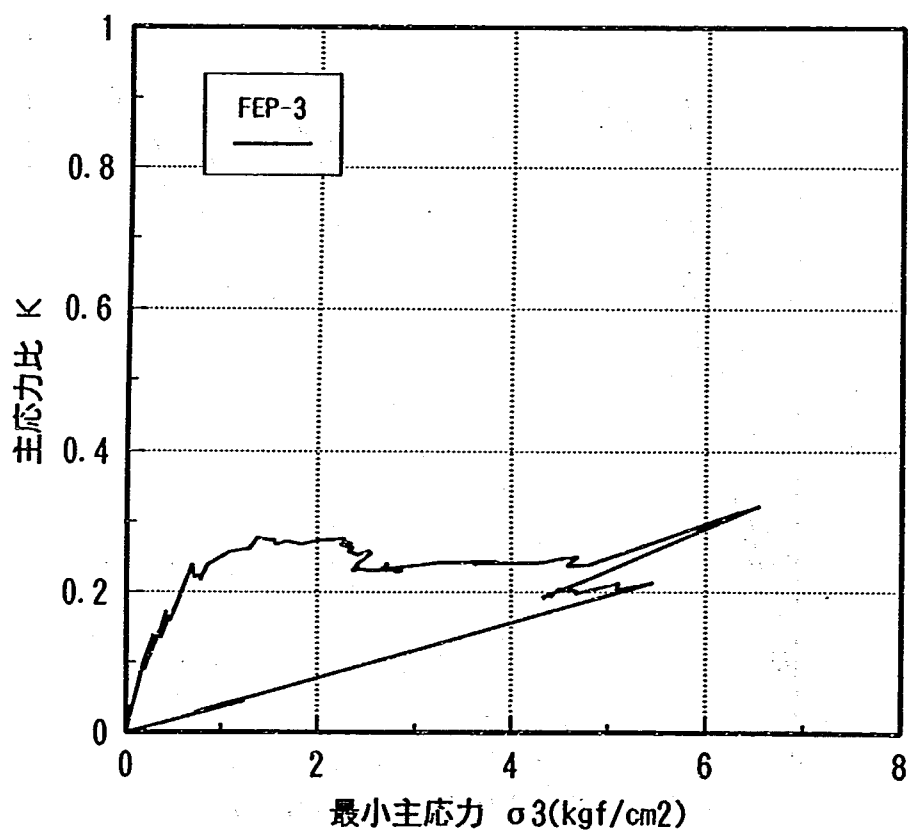


図-86 最小主応力と主応力比 (Vダム ; FEP-3)

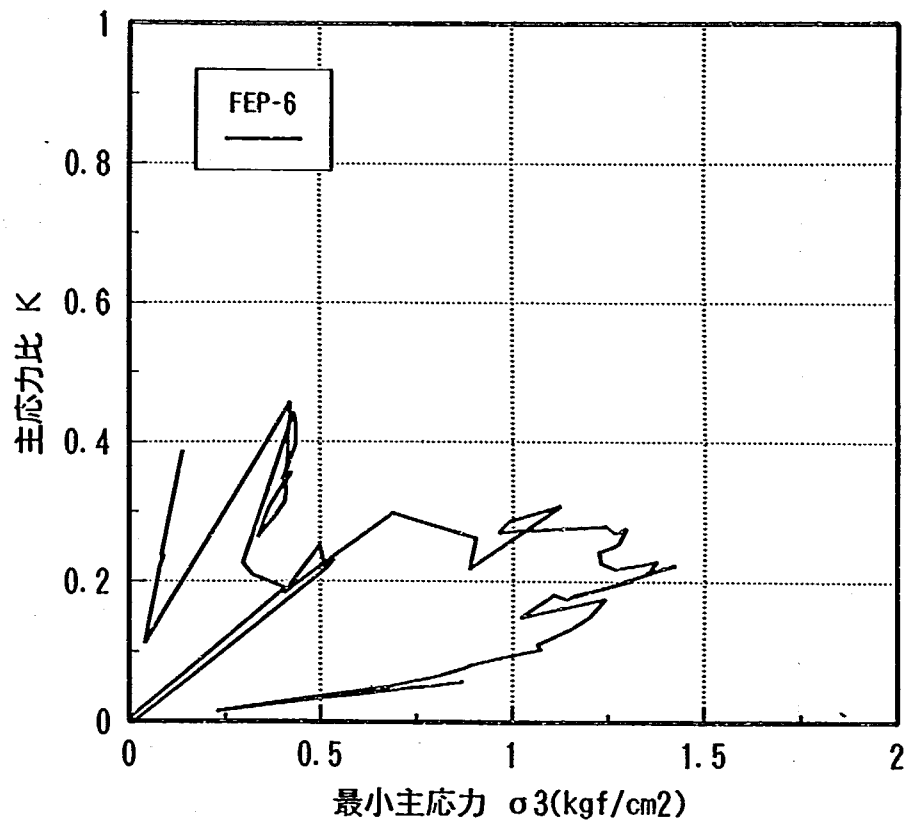


図-87 最小主応力と主応力比 (Vダム ; FEP-6)

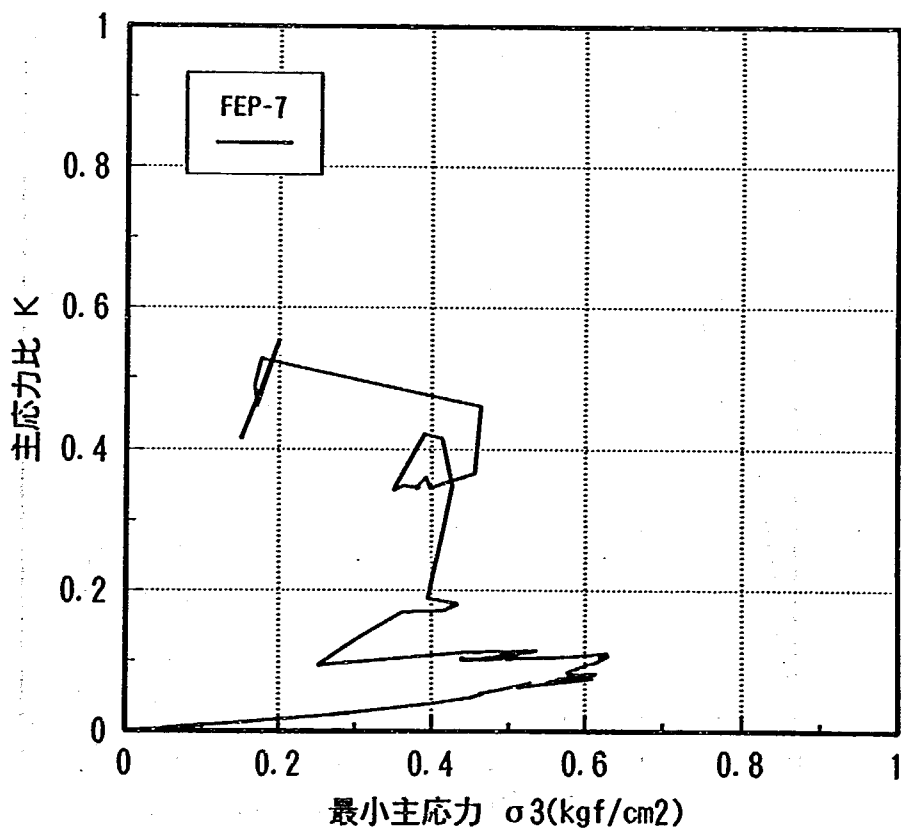


図-88 最小主応力と主応力比 (Vダム ; FEP-7)

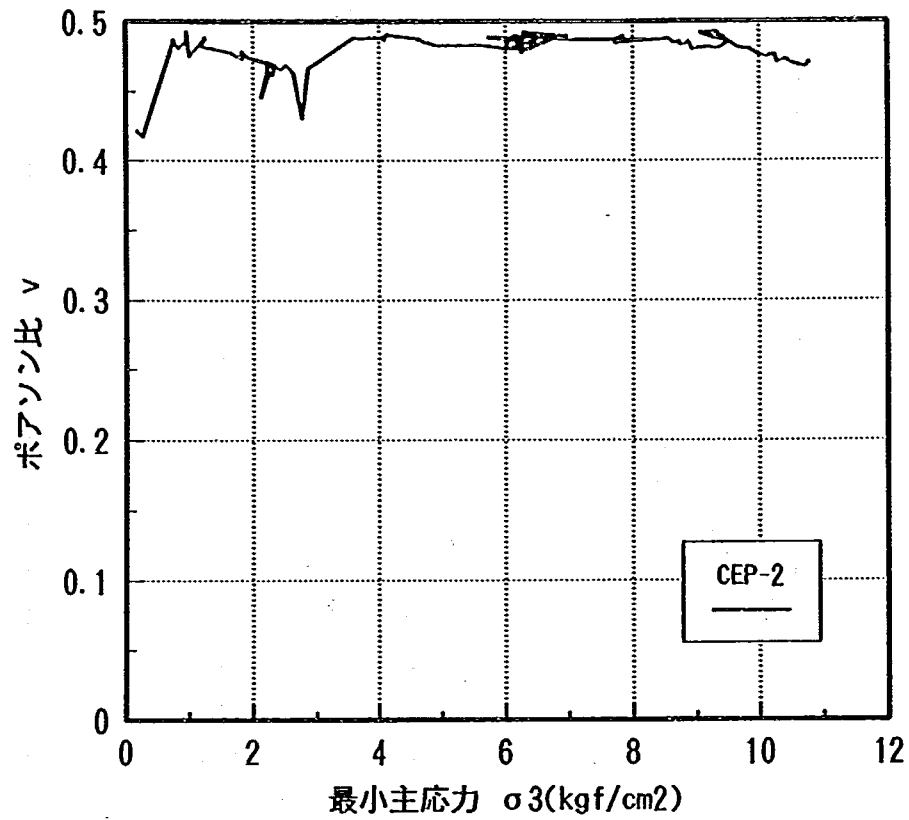


図-89 最小主応力とポアソン比 (Vダム ; CEP-2)

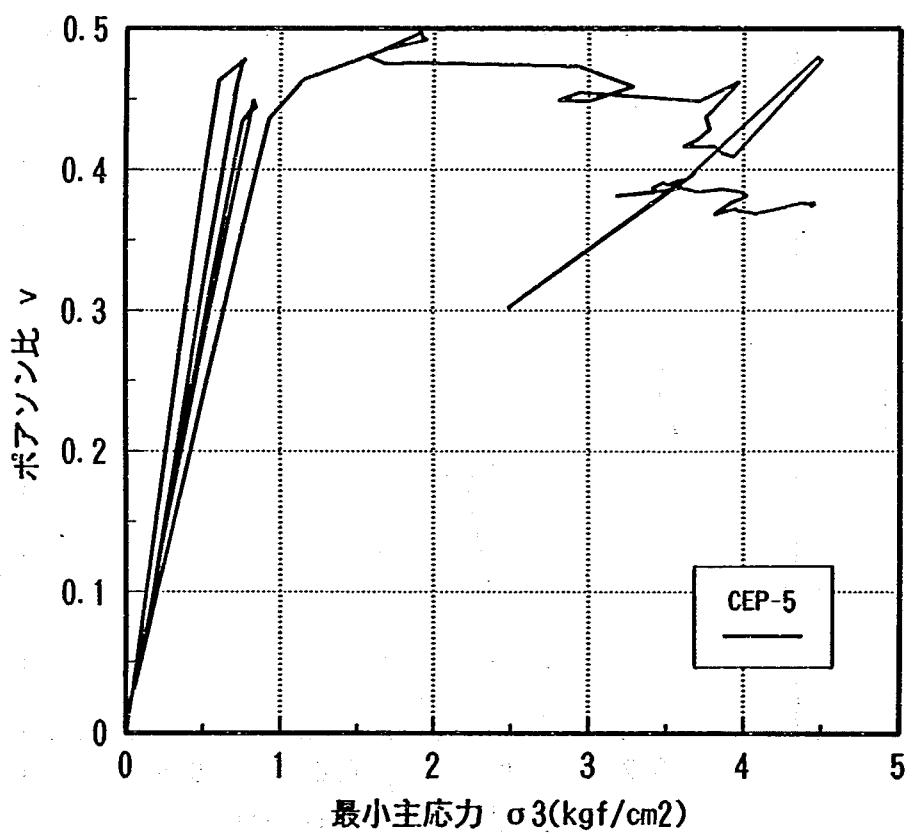


図-90 最小主応力とポアソン比 (Vダム ; CEP-5)

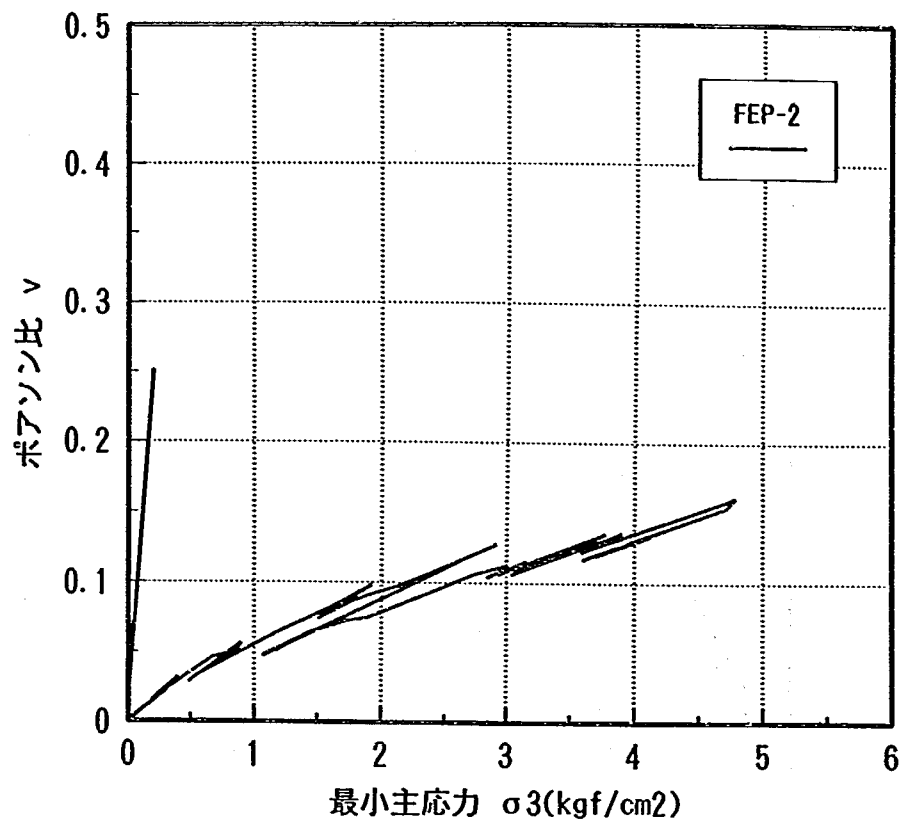


図-91 最小主応力とポアソン比 (Vダム; FEP-2)

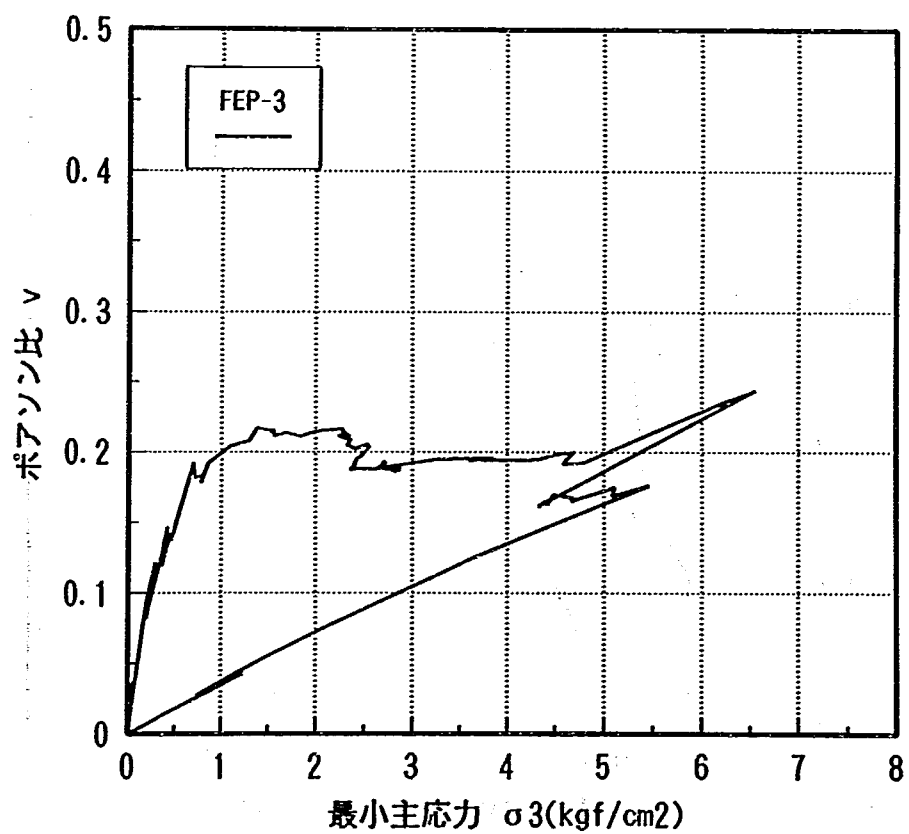


図-92 最小主応力とポアソン比 (Vダム; FEP-3)

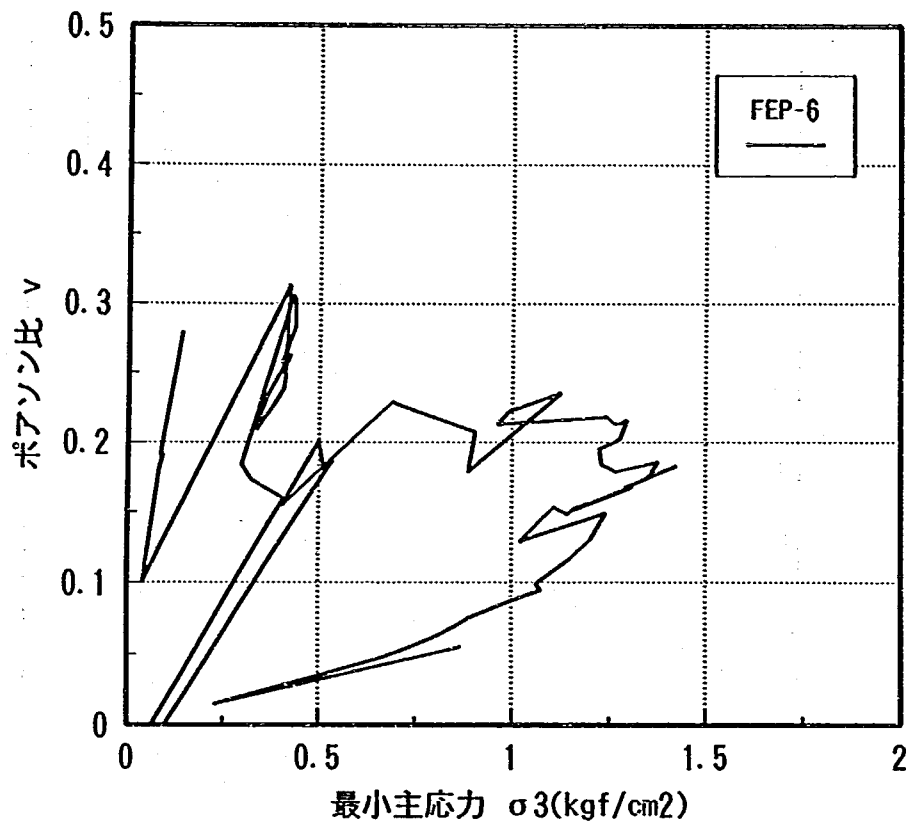


図-93 最小主応力とポアソン比 (Vダム ; FEP-6)

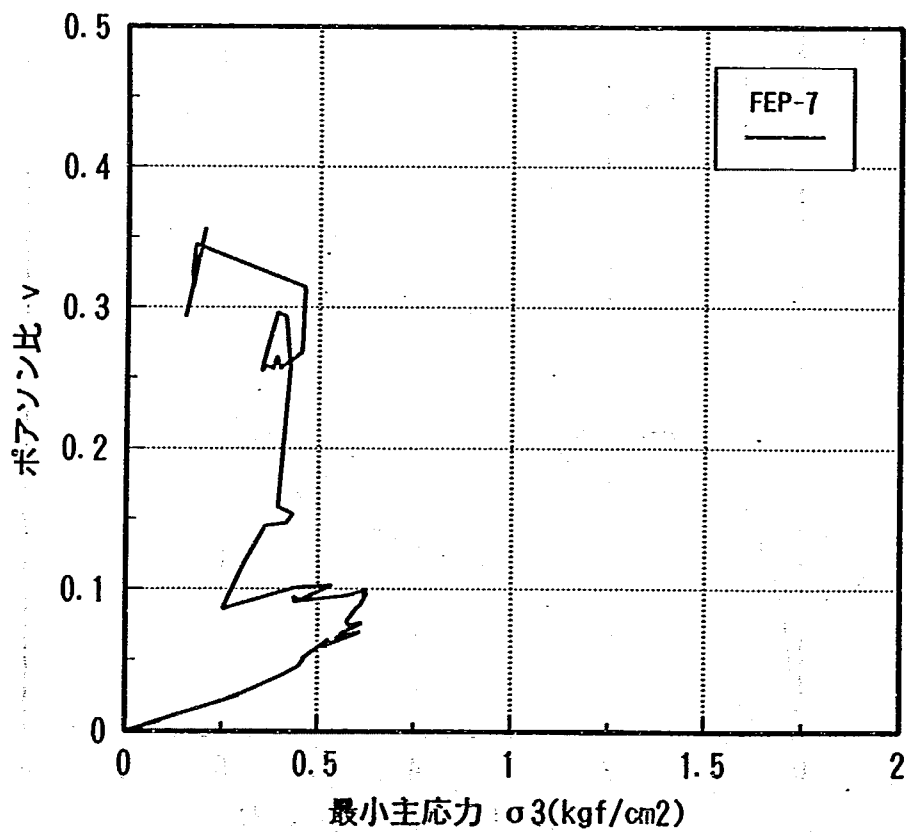


図-94 最小主応力とポアソン比 (Vダム ; FEP-7)

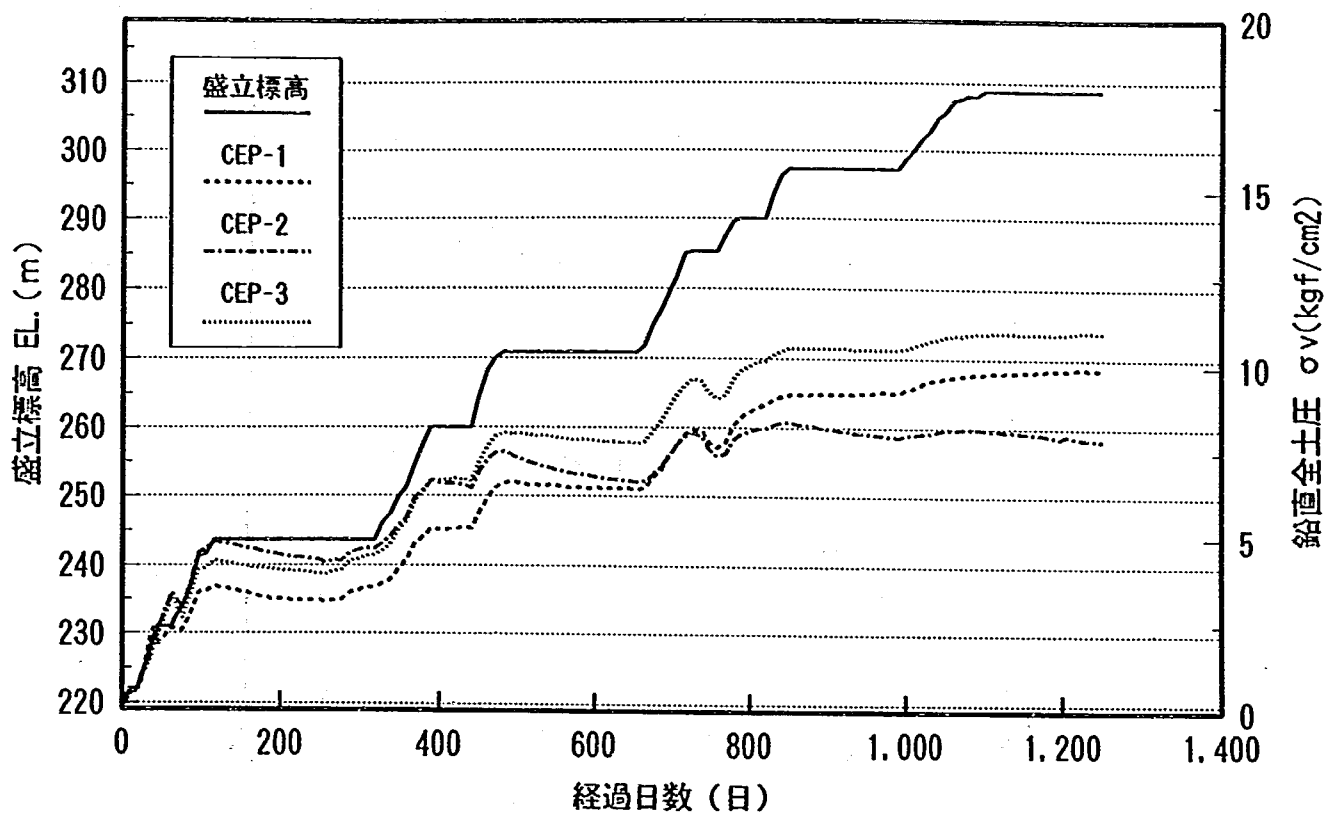


図-95 盛立標高と鉛直全土圧 (Wダム ; CEP-1, CEP-2, CEP-3)

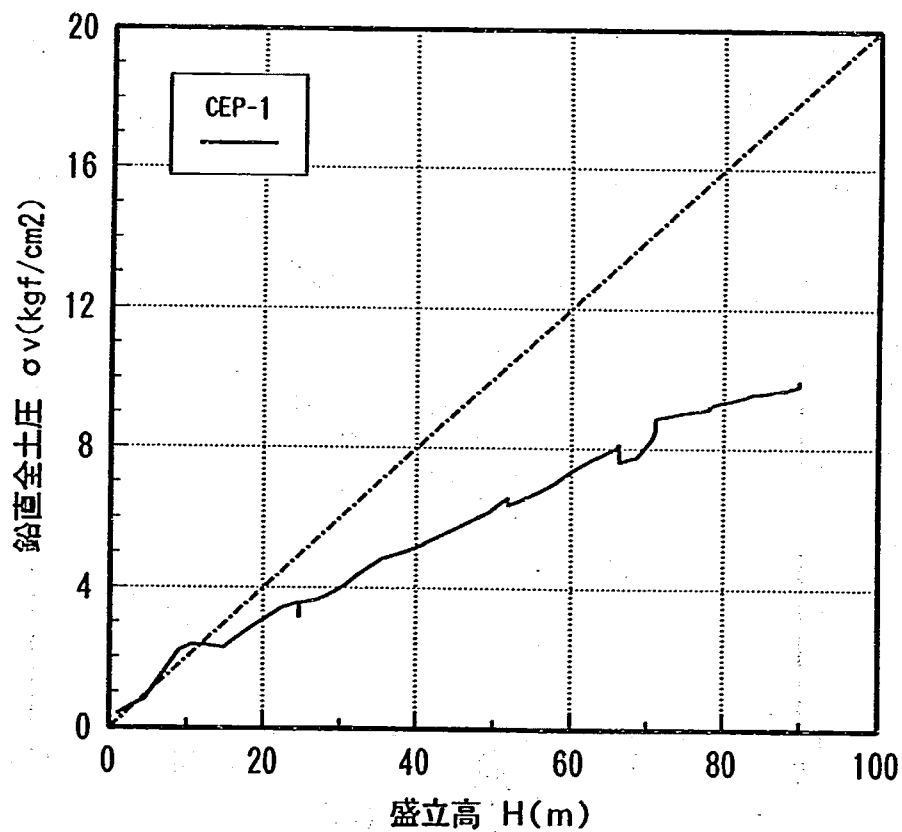


図-96 盛立高と鉛直全土圧 (Wダム ; CEP-1)

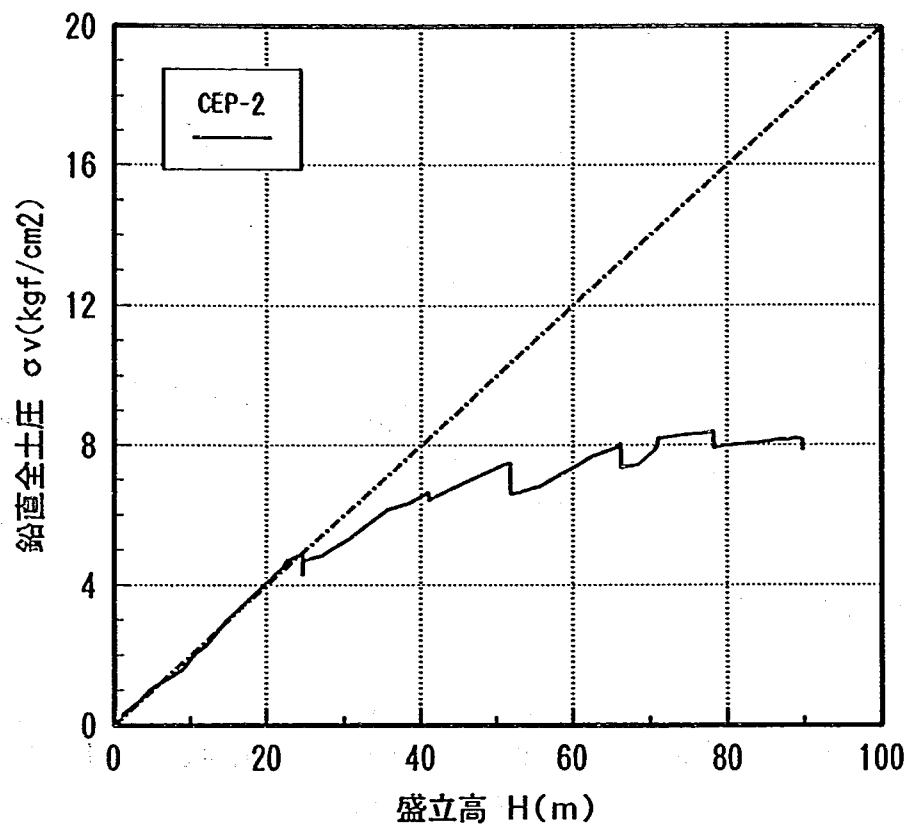


図-97 盛立高と鉛直全土圧 (Wダム ; CEP-2)

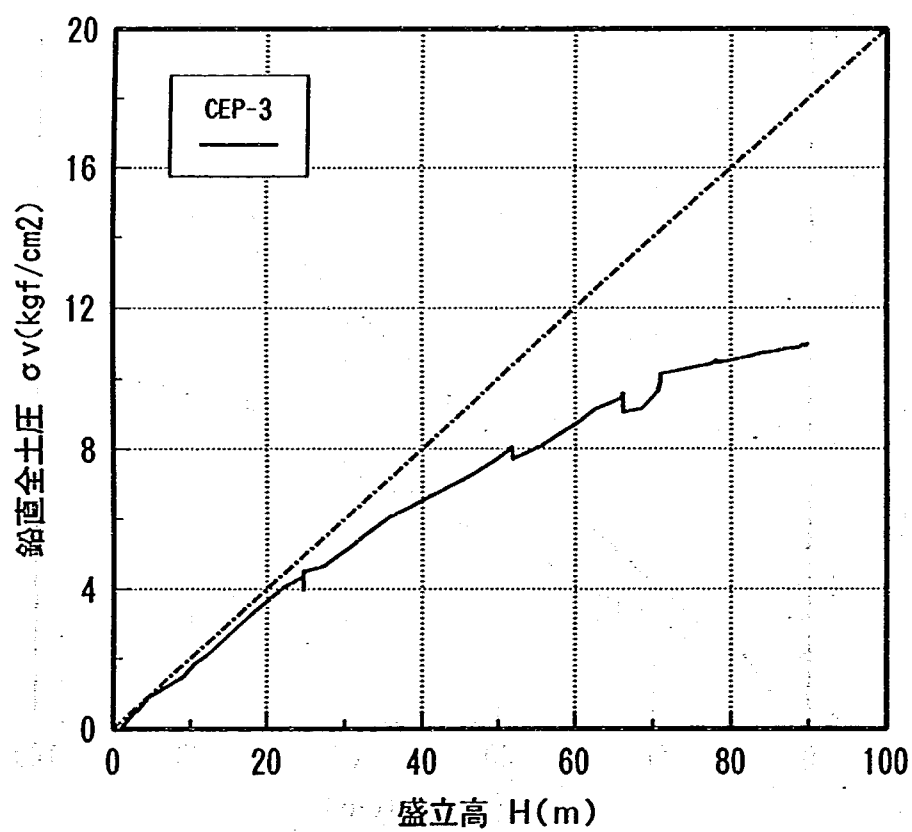


図-98 盛立高と鉛直全土圧 (Wダム ; CEP-3)

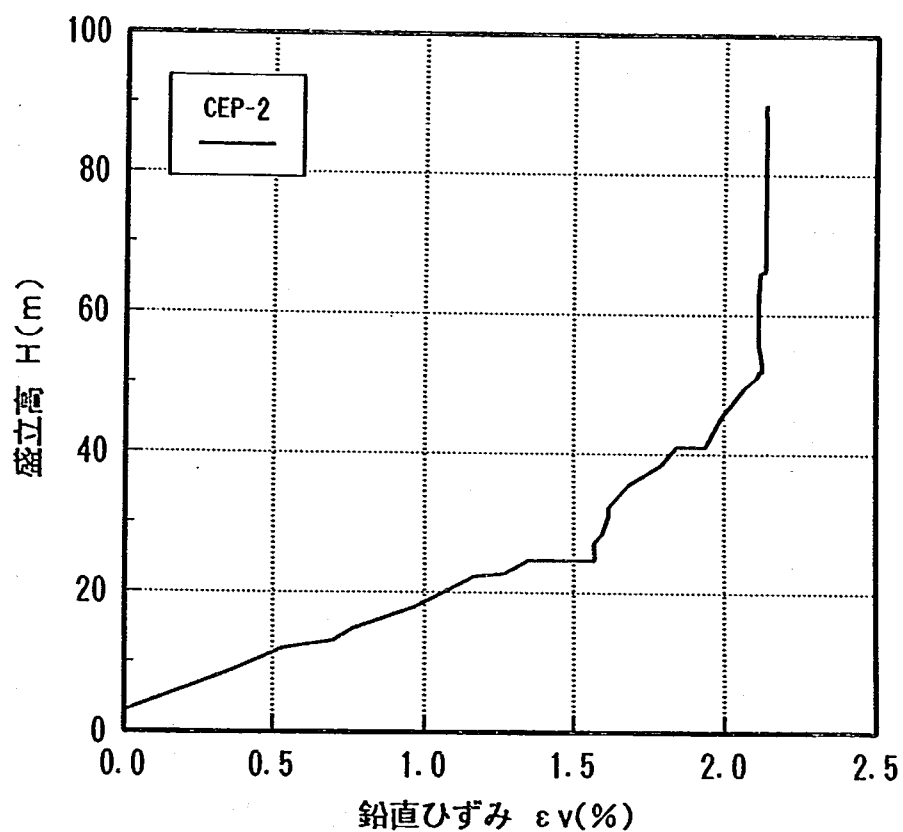


図-99 鉛直ひずみと盛立高 (Wダム ; CEP-2)

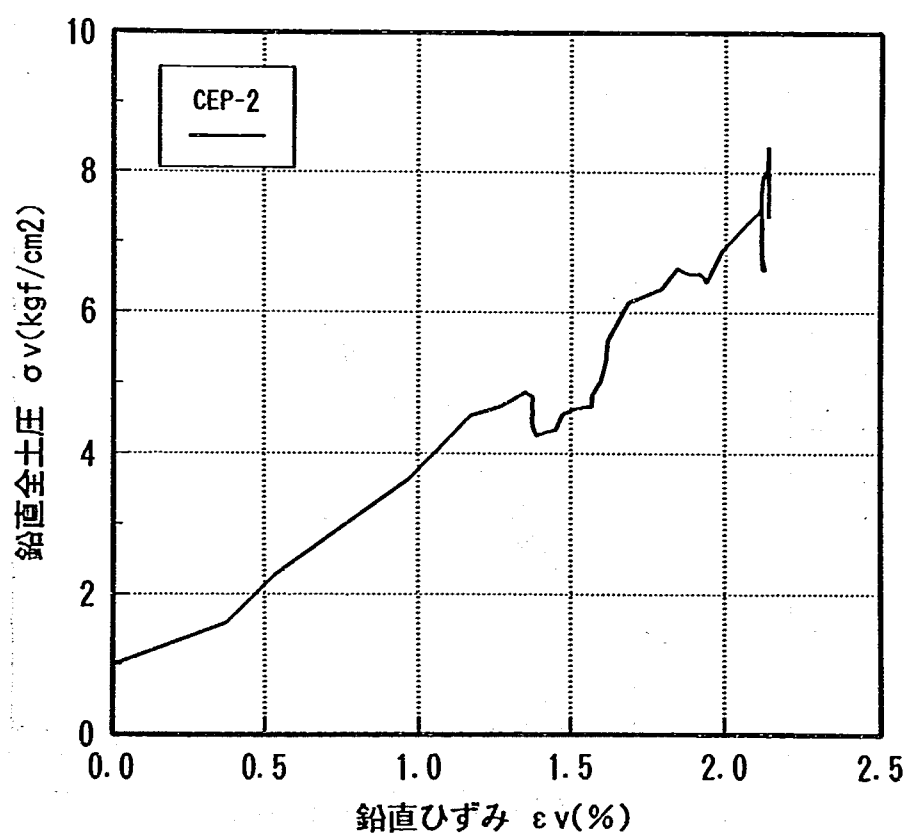


図-100 鉛直ひずみと鉛直全土圧 (Wダム ; CEP-2)

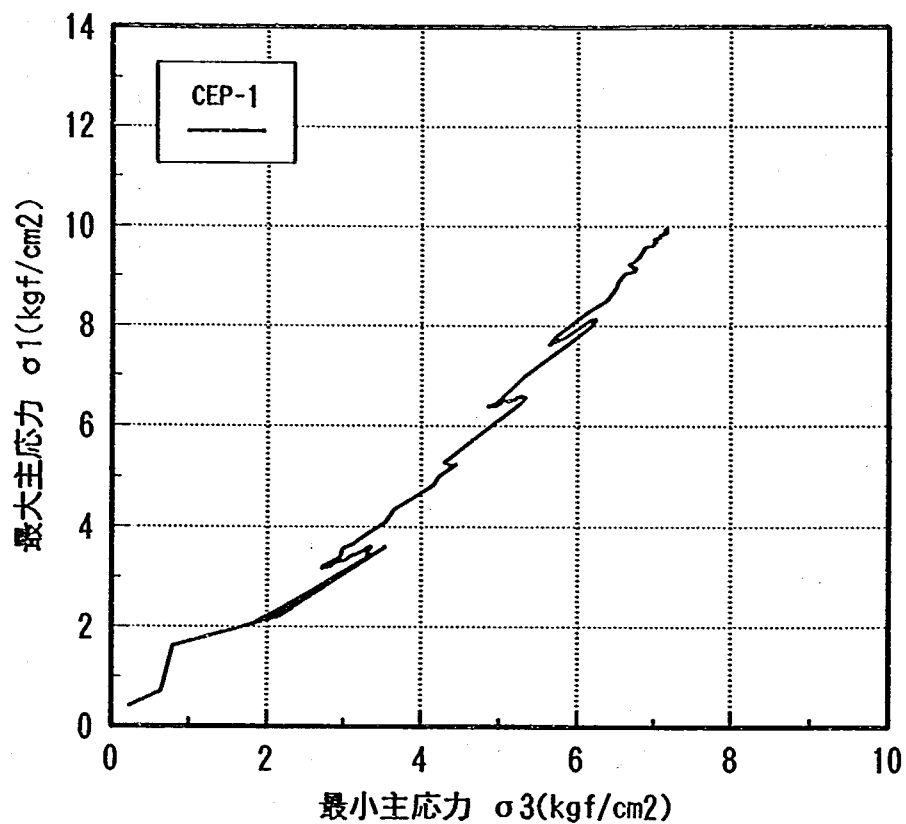


図-101 最小主応力と最大主応力 (Wダム ; CEP-1)

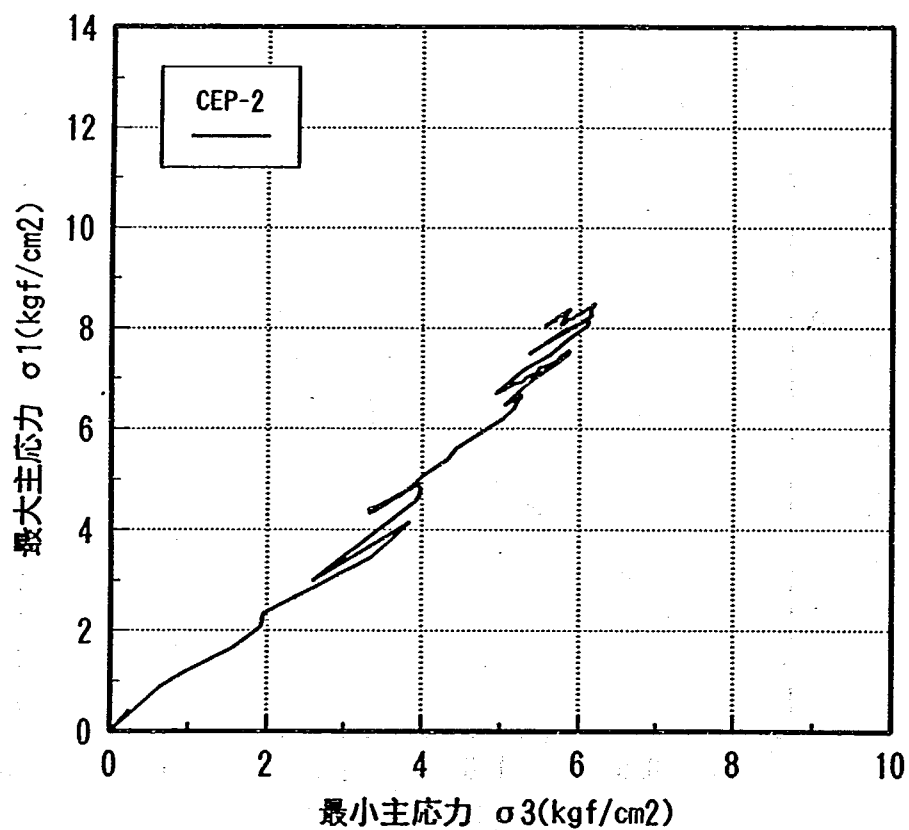


図-102 最小主応力と最大主応力 (Wダム ; CEP-2)

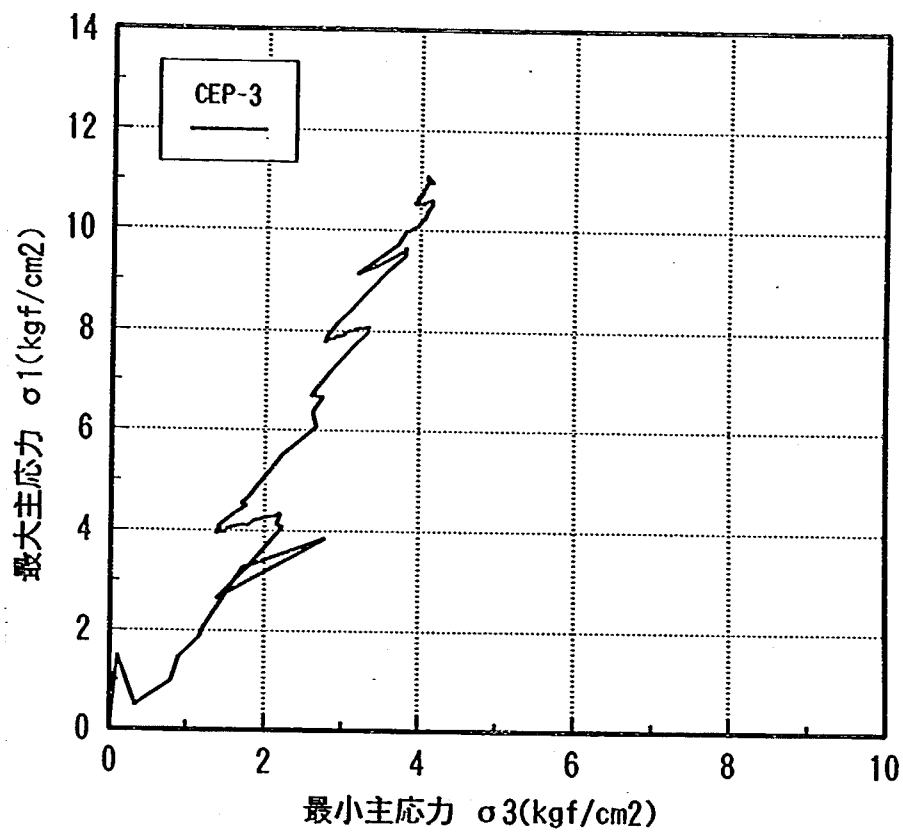


図-103 最小主応力と最大主応力 (Wダム ; CEP-3)

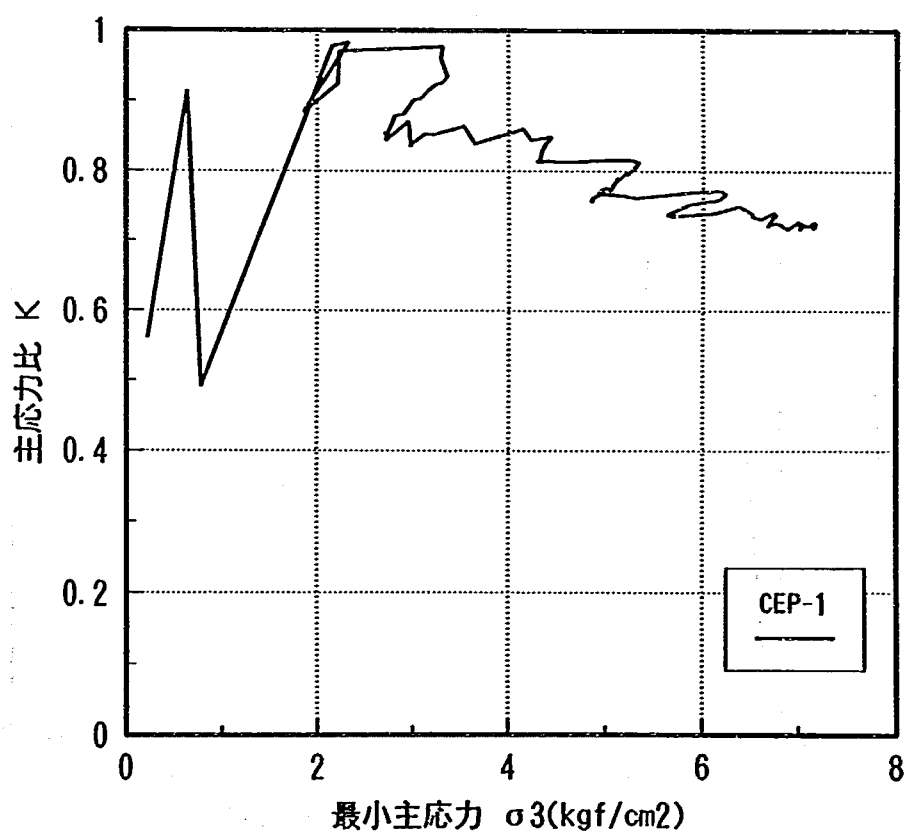


図-104 最小主応力と主応力比 (Wダム ; CEP-1)

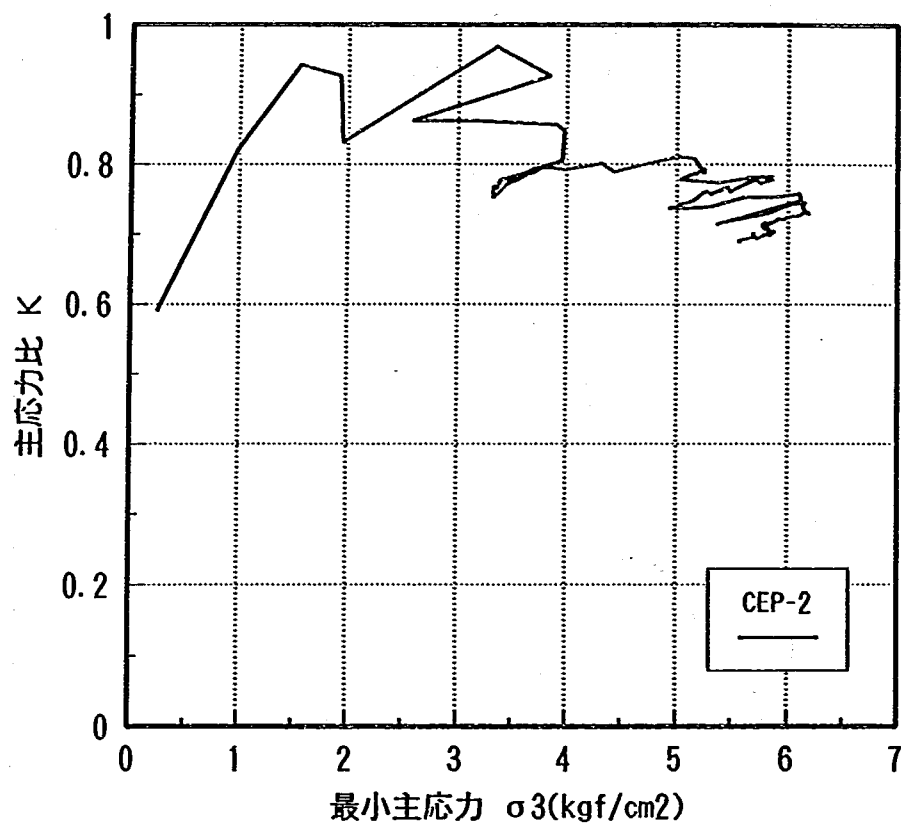


図-105 最小主応力と主応力比 (Wダム ; CEP-2)

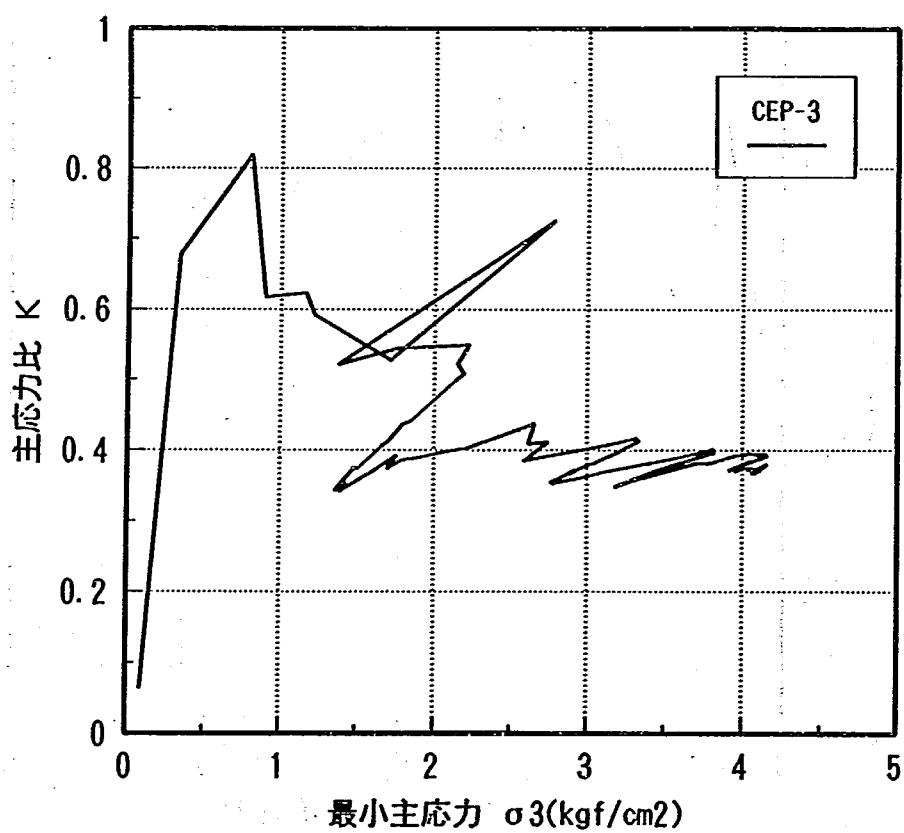


図-106 最小主応力と主応力比 (Wダム ; CEP-3)

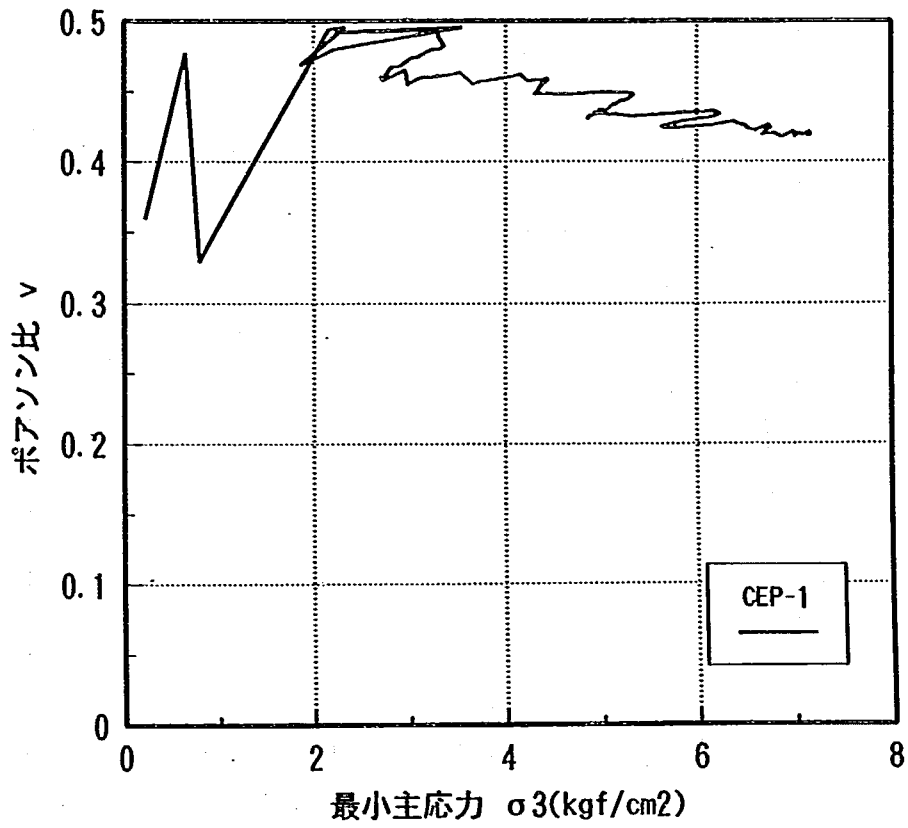


図-107 最小主応力とポアソン比 (Wダム ; CEP-1)

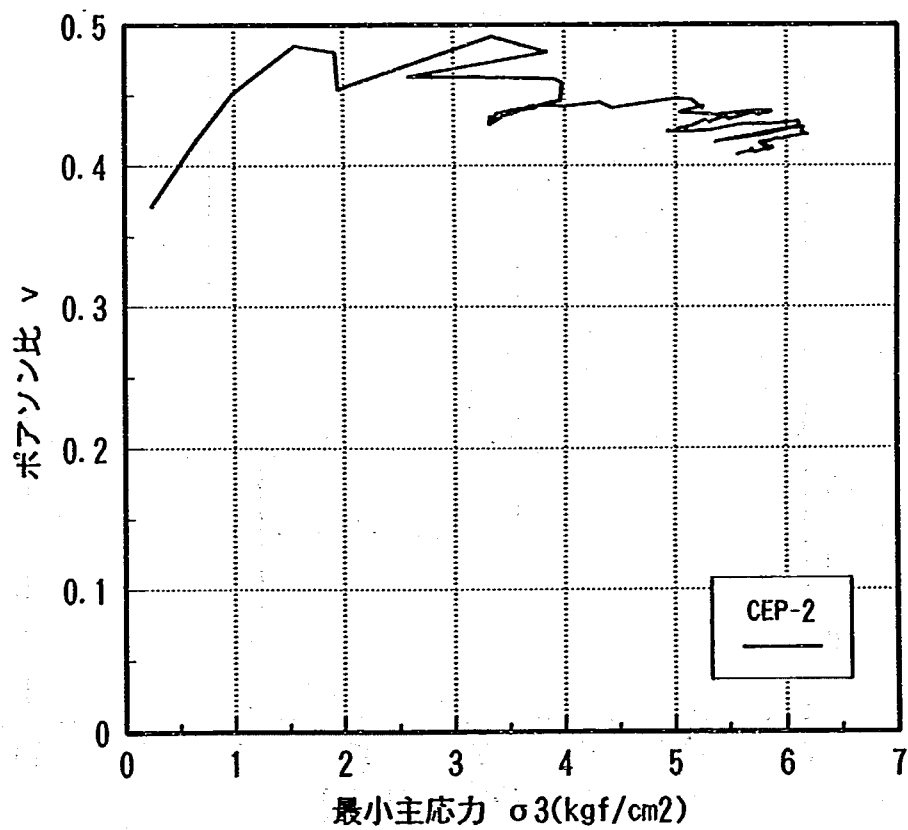


図-108 最小主応力とポアソン比 (Wダム ; CEP-2)

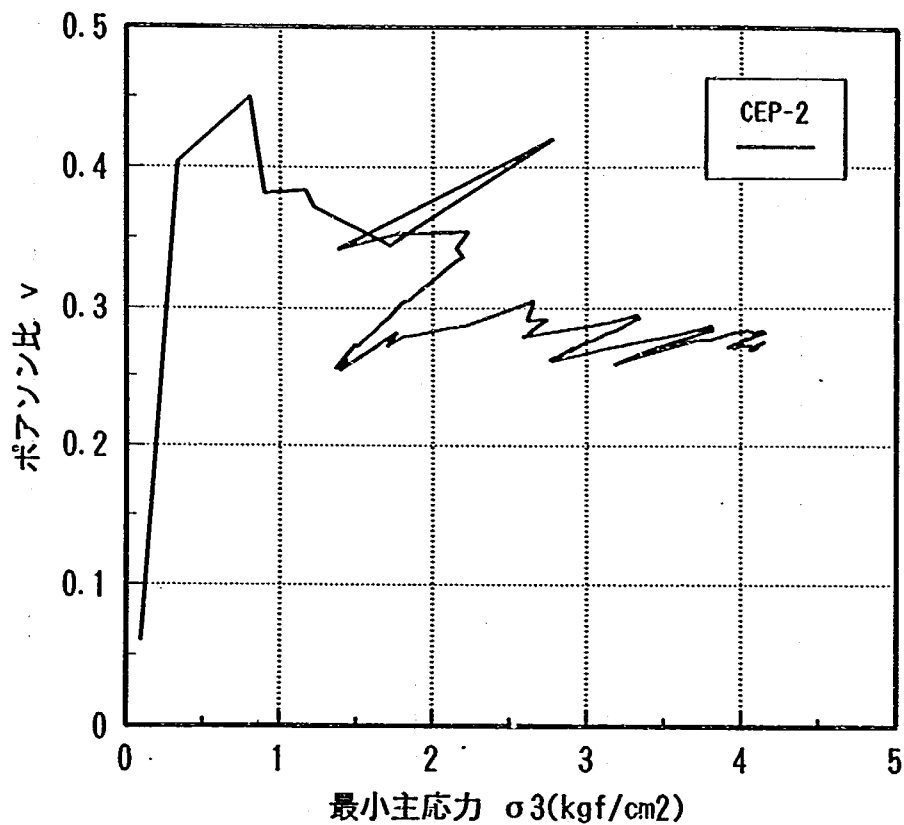


図-109 最小主応力とポアソン比 (Wダム ; CEP-3)

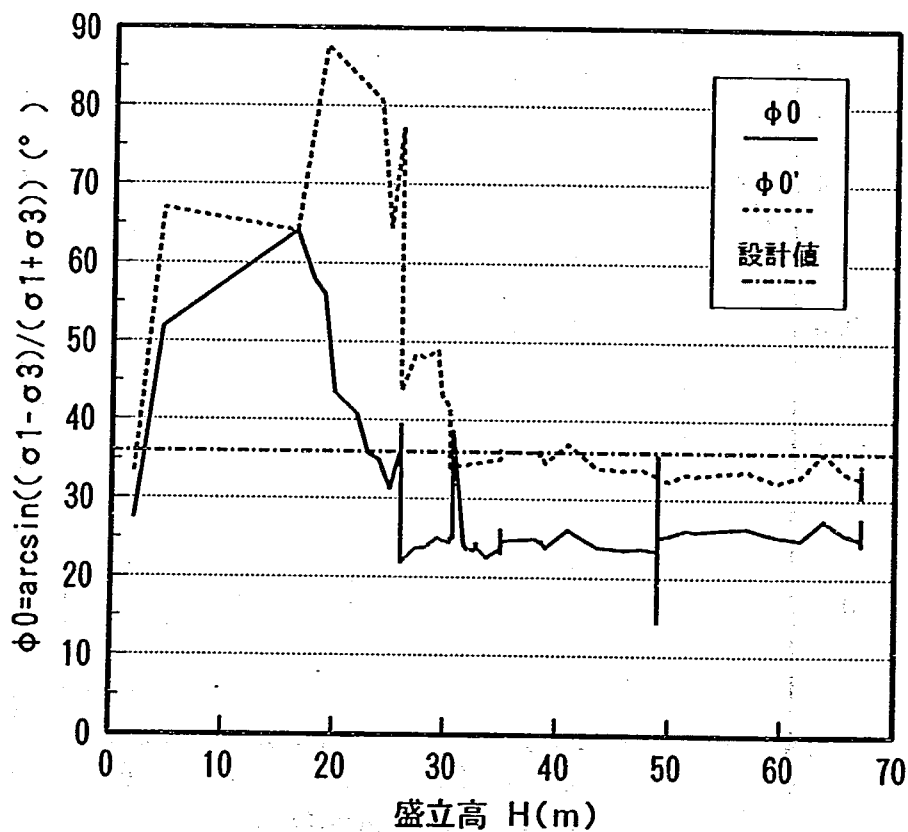


図-110 盛立高と内部摩擦角 (Lダム ; E-1)

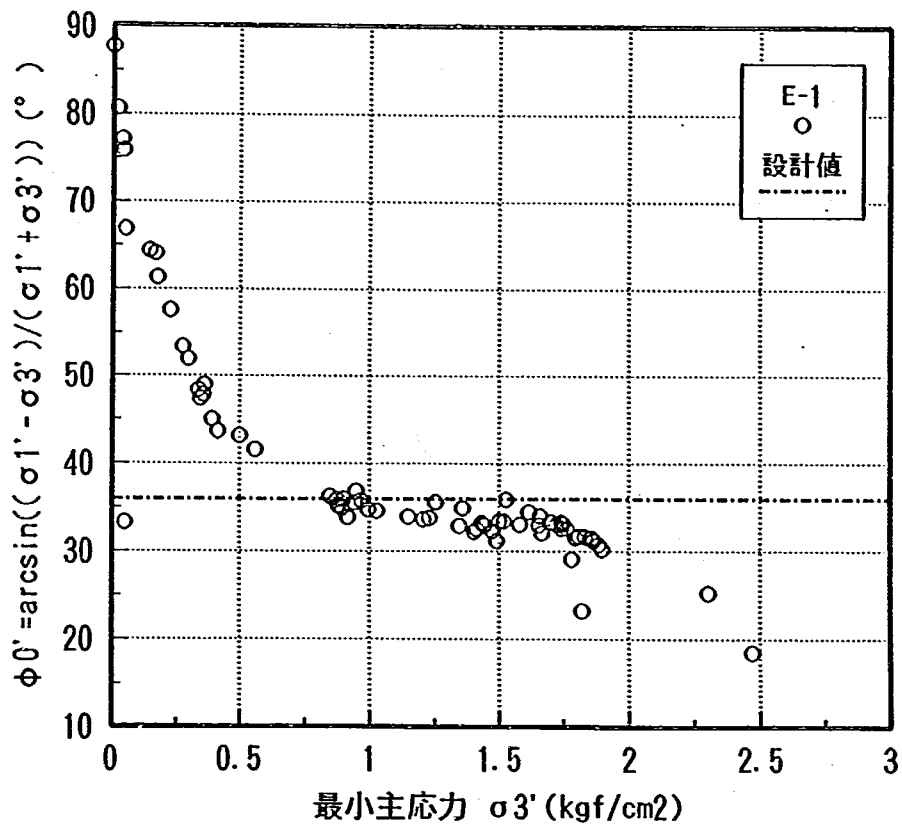


図-111 最小主応力と内部摩擦角 (Lダム ; E-1)

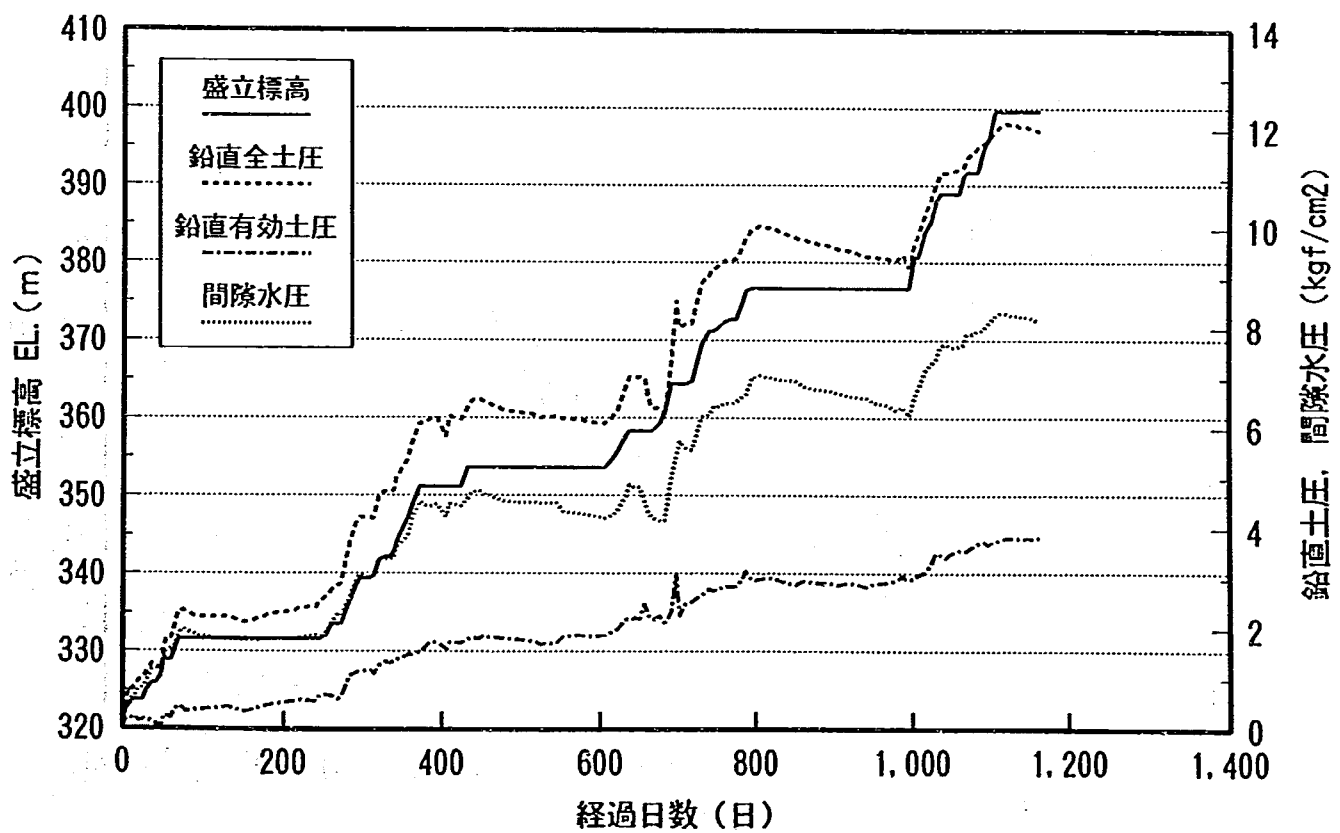


図-112 盛立標高と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム ; CEP-2)

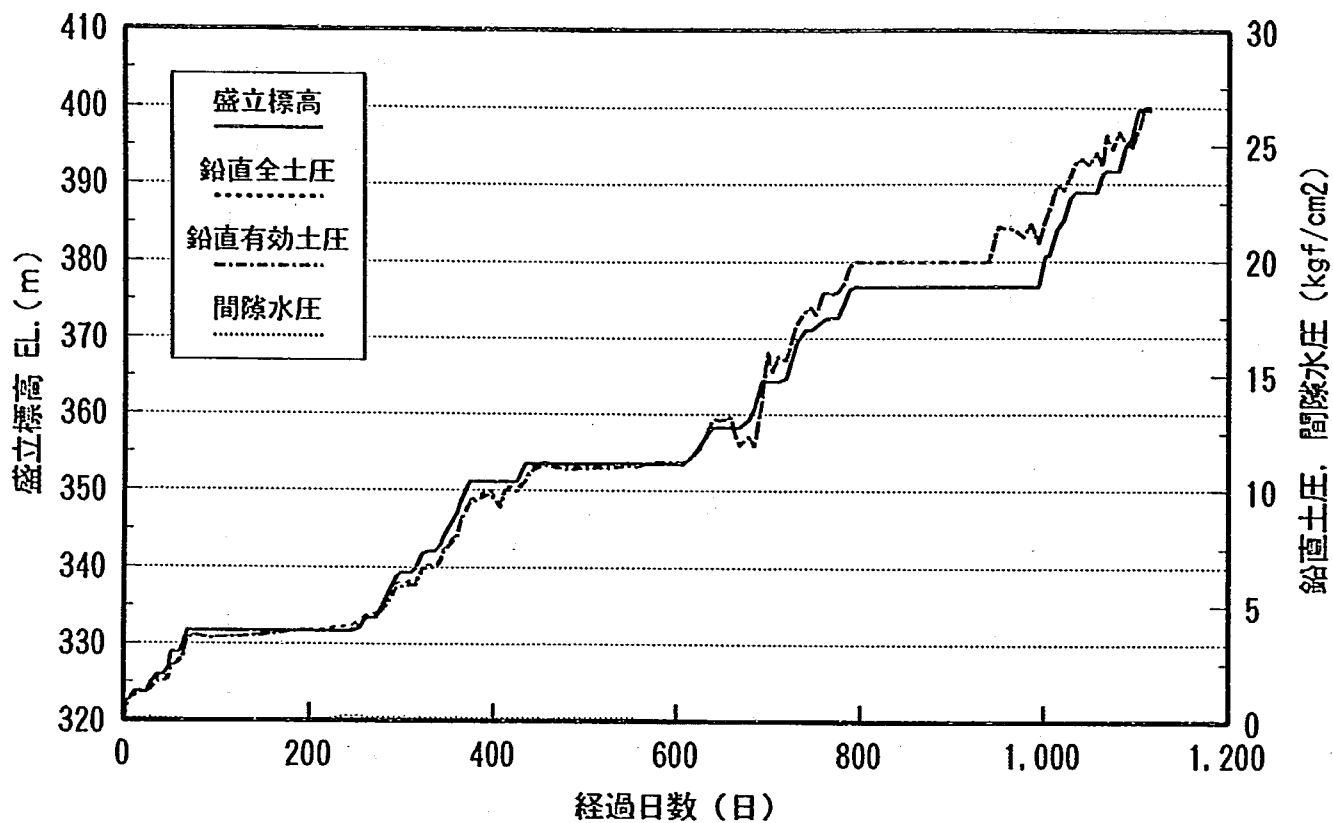


図-113 盛立標高と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム ; FEP-2)

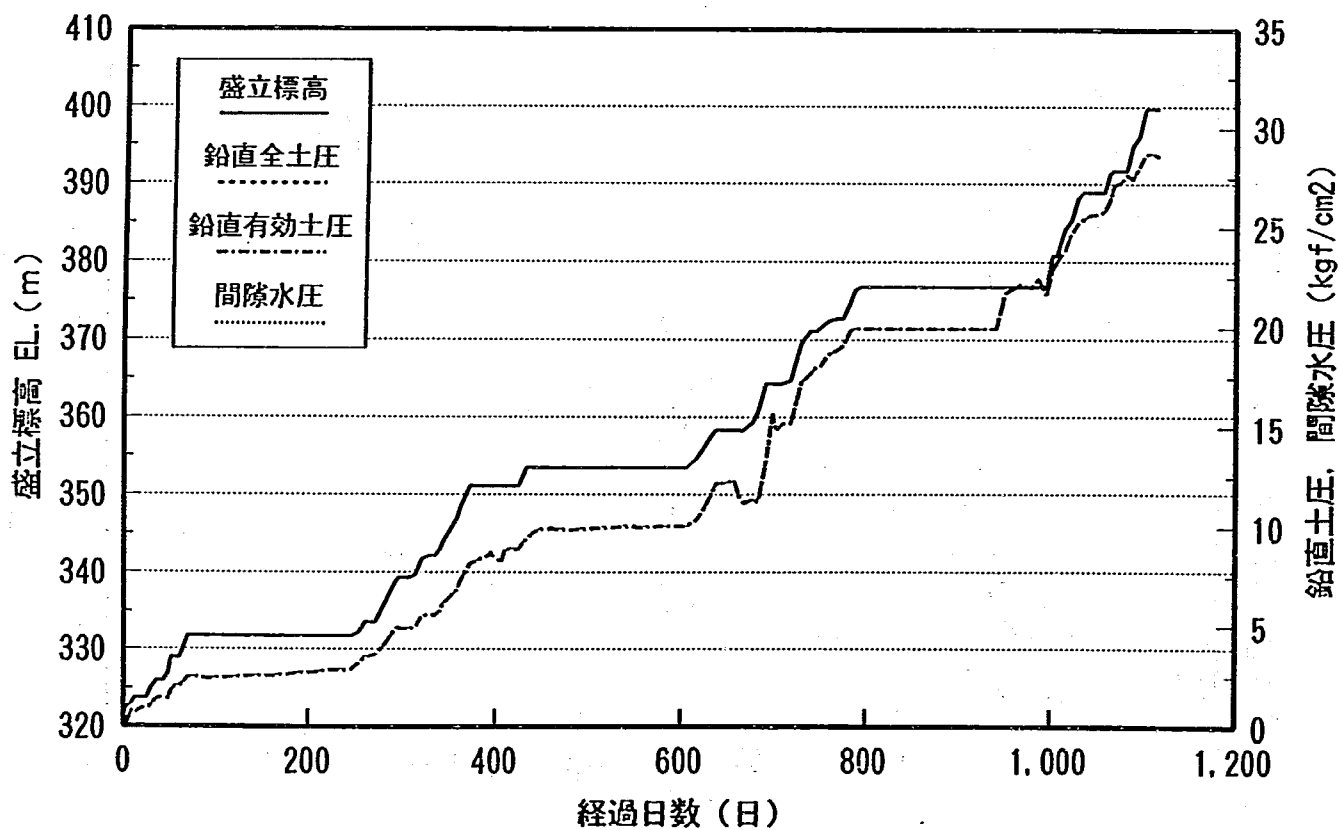


図-114 盛立標高と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム ; FEP-3)

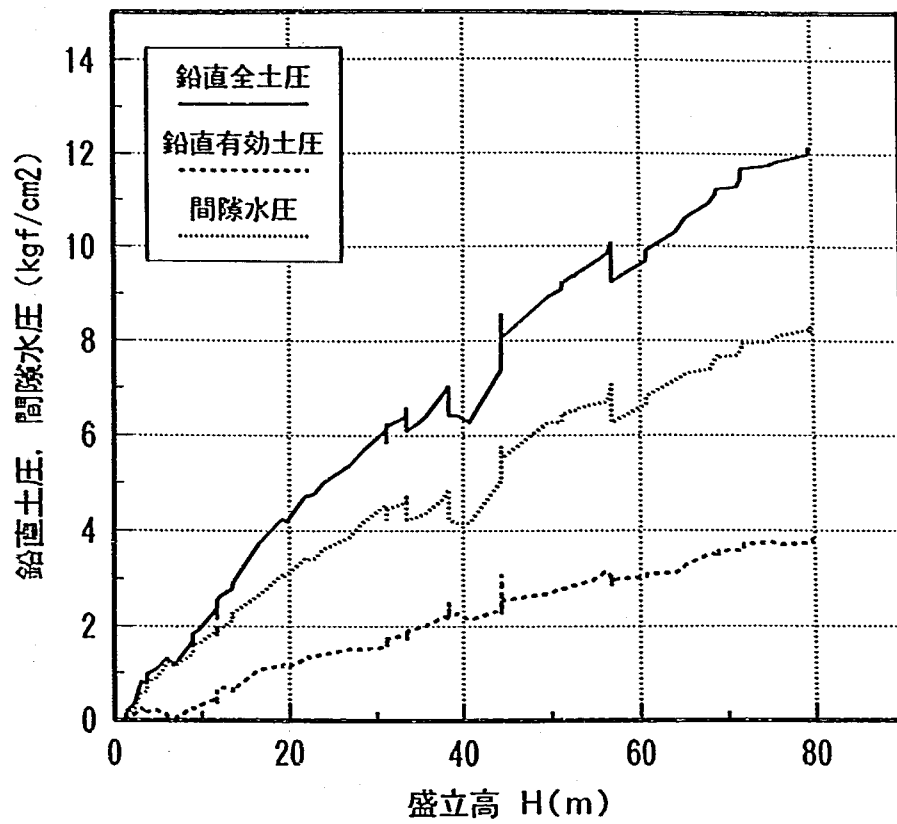


図-115 盛立高と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム; CEP-2)

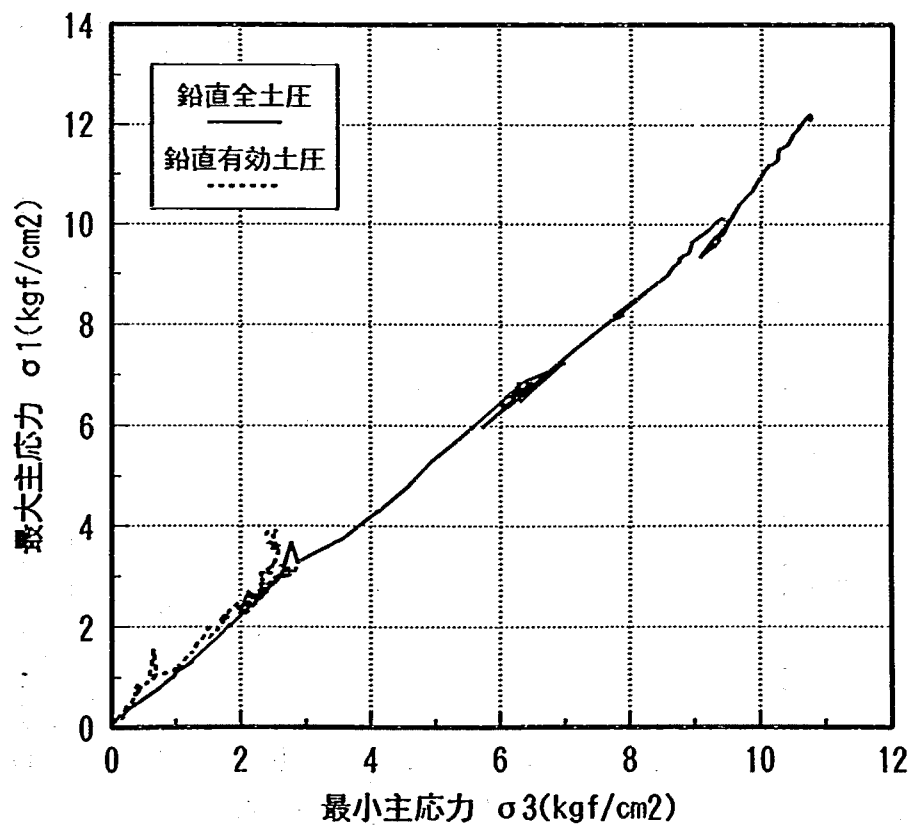


図-116 最小主応力と最大主応力 (Vダム; CEP-2)

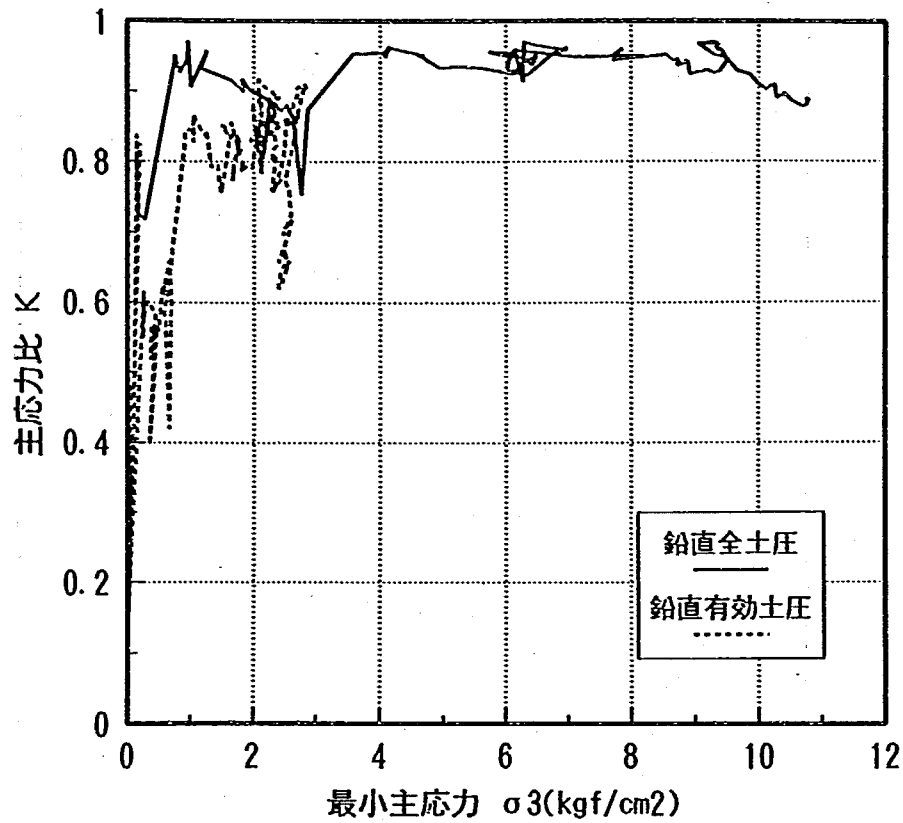


図-117 最小主応力と主応力比 (Vダム ; CEP-2)

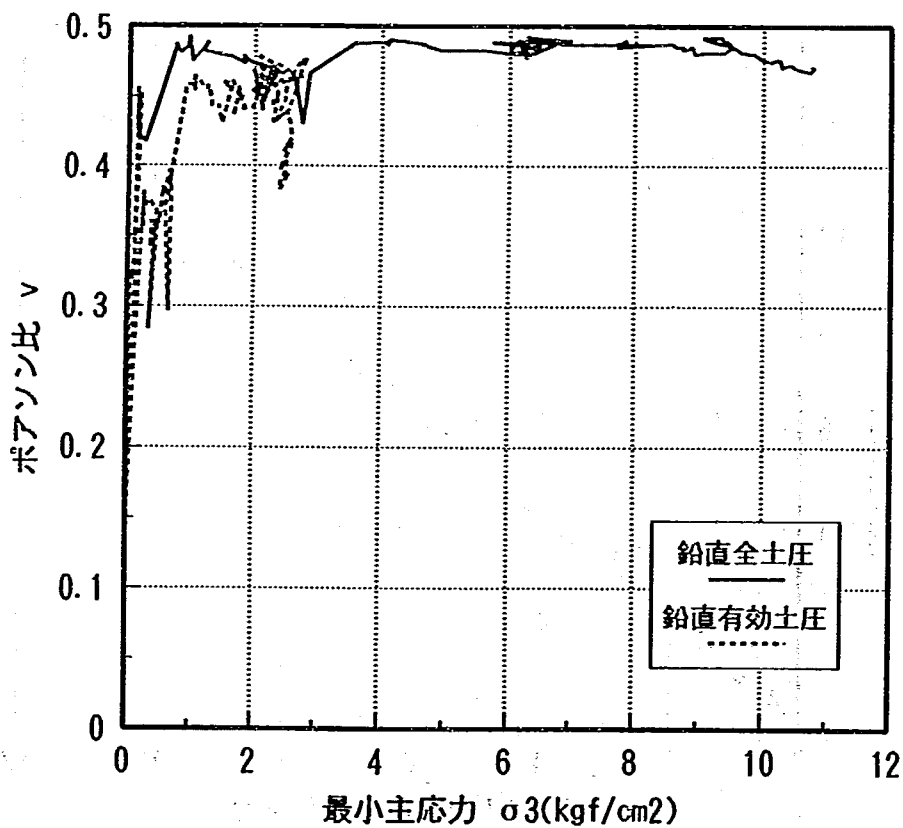


図-118 最小主応力とポアソン比 (Vダム ; CEP-2)

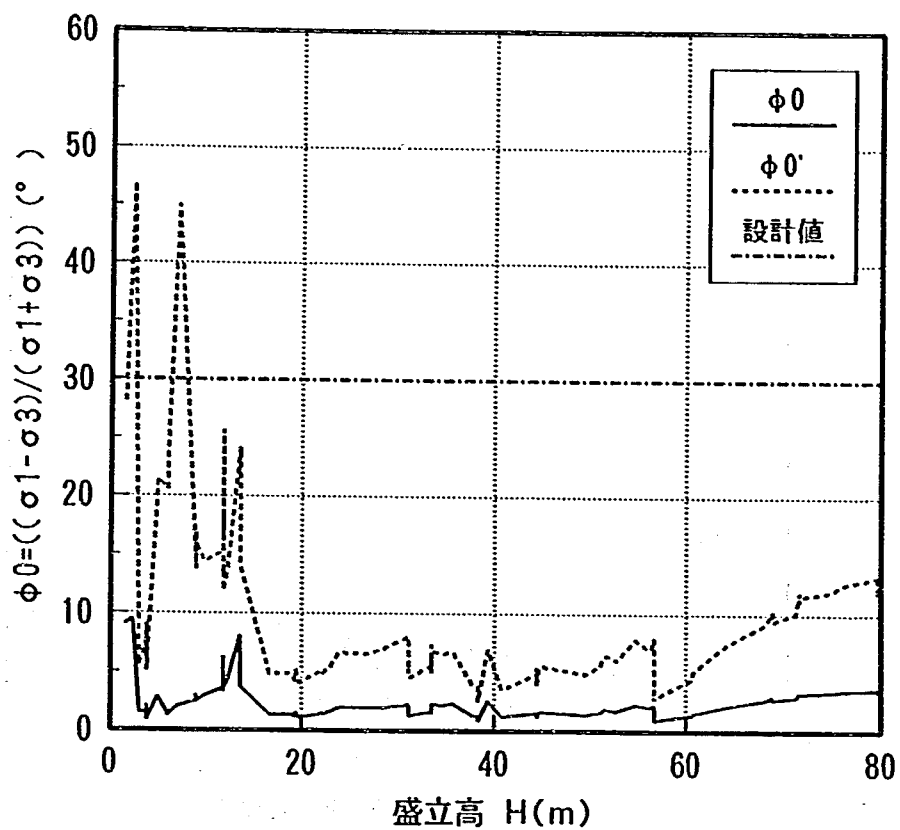


図-119 盛立高と内部摩擦角 (Vダム ; CEP-2)

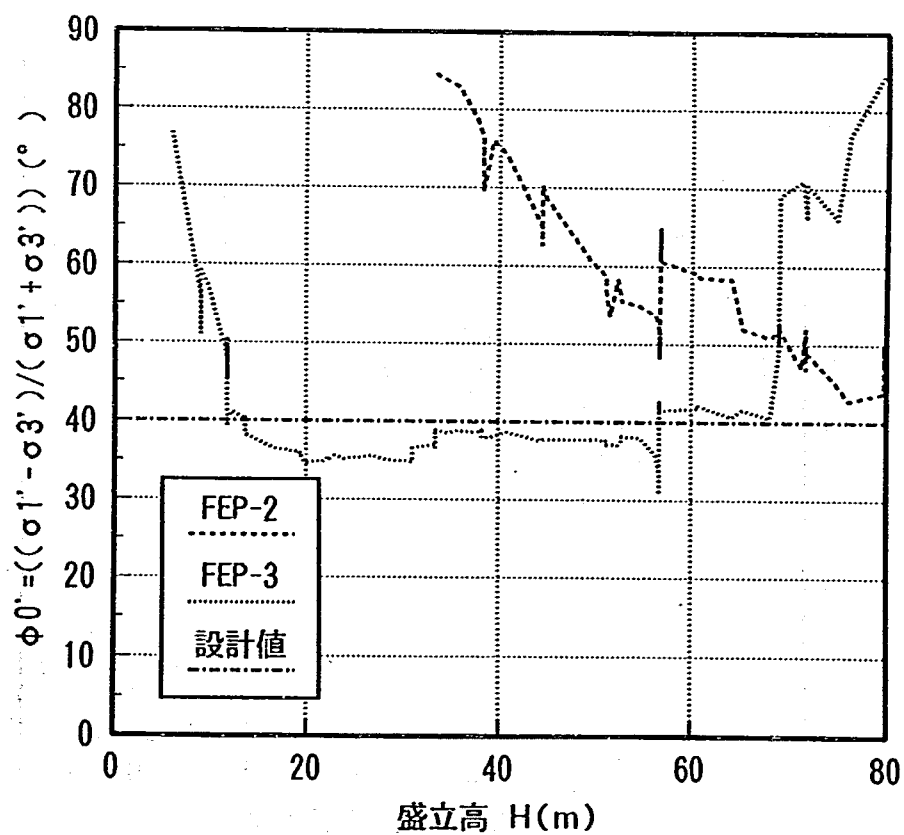


図-120 盛立高と内部摩擦角 (Vダム ; FEP-2, FEP-3)

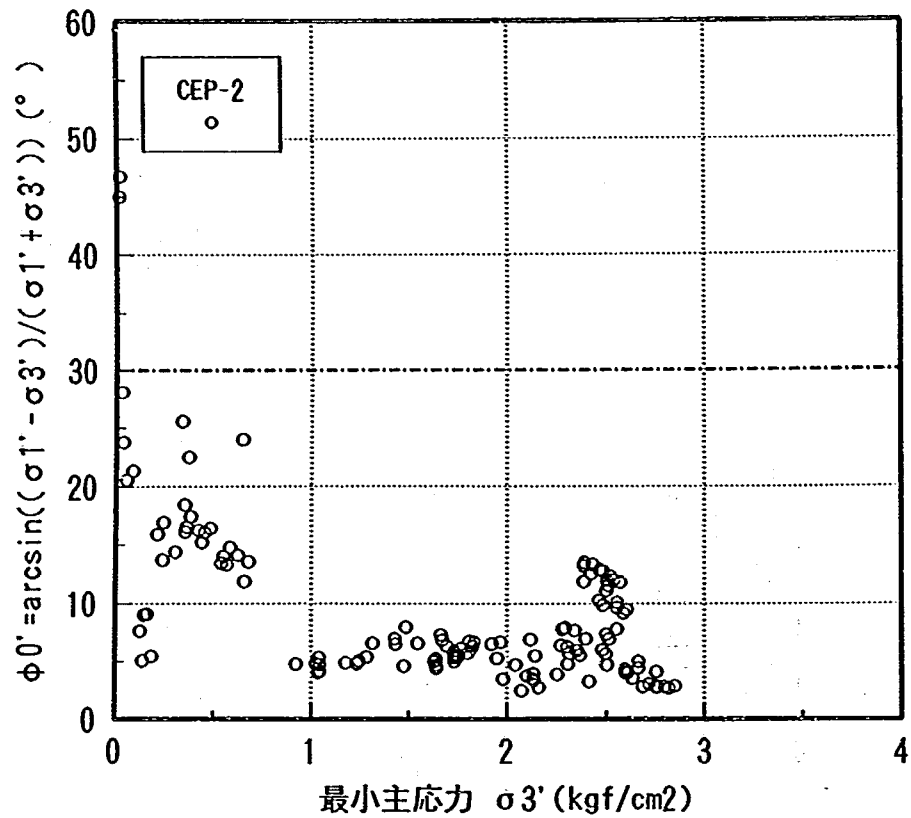


図-121 最小主応力と内部摩擦角 (Vダム ; CEP-2)

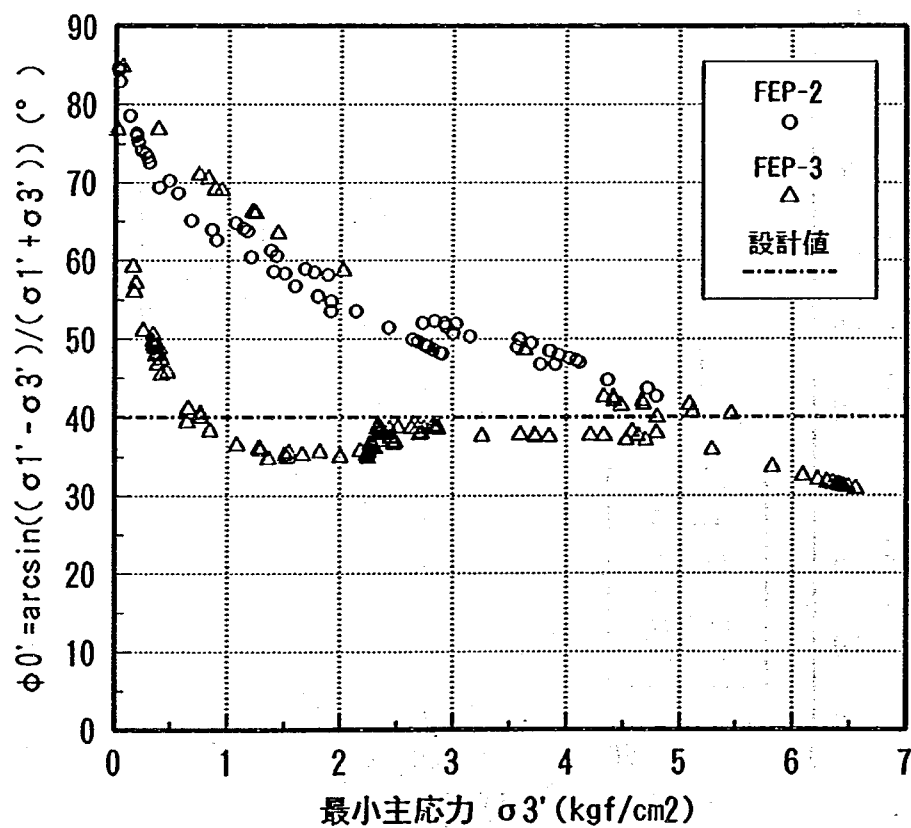


図-122 最小主応力と内部摩擦角 (Vダム ; FEP-2, FEP-3)

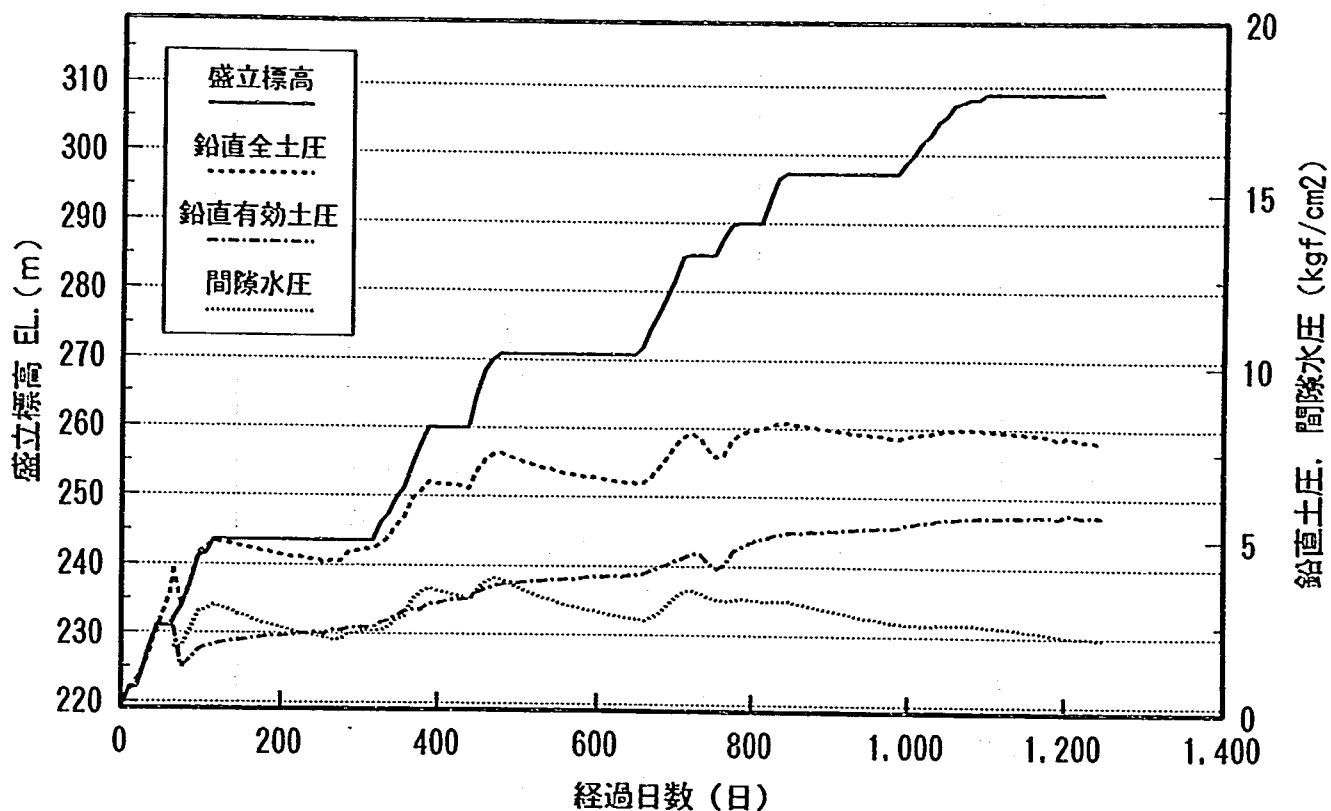


図-123 盛立標高と鉛直土圧，間隙水圧 (Wダム；CEP-2)

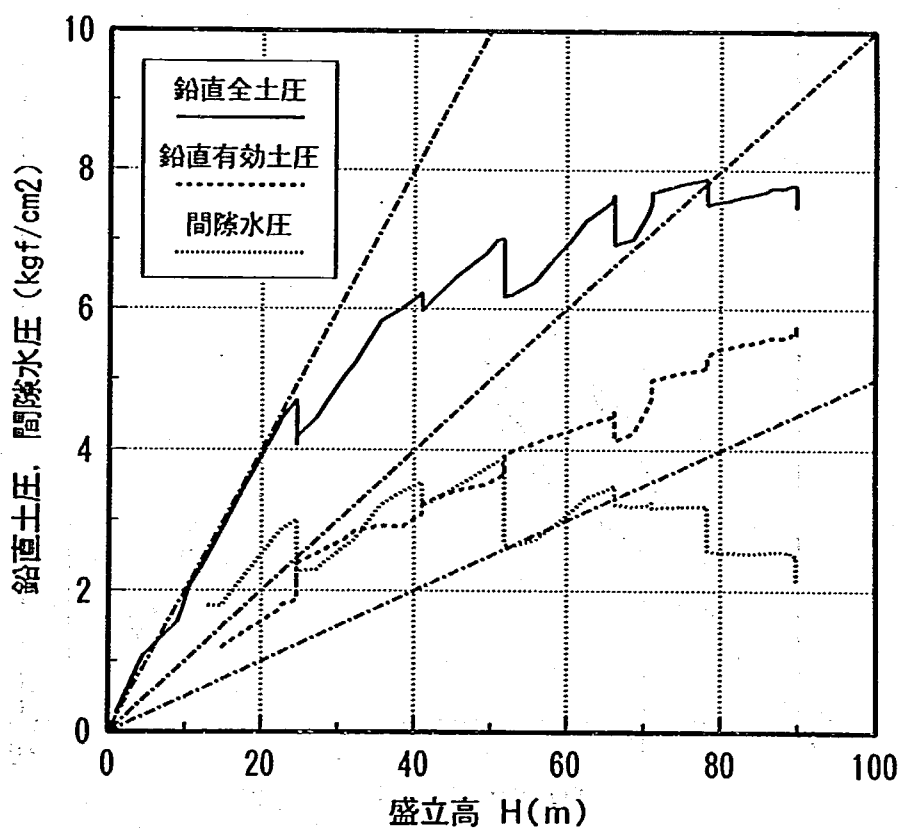


図-124 盛立高と鉛直土圧，間隙水圧 (Vダム；CEP-2)

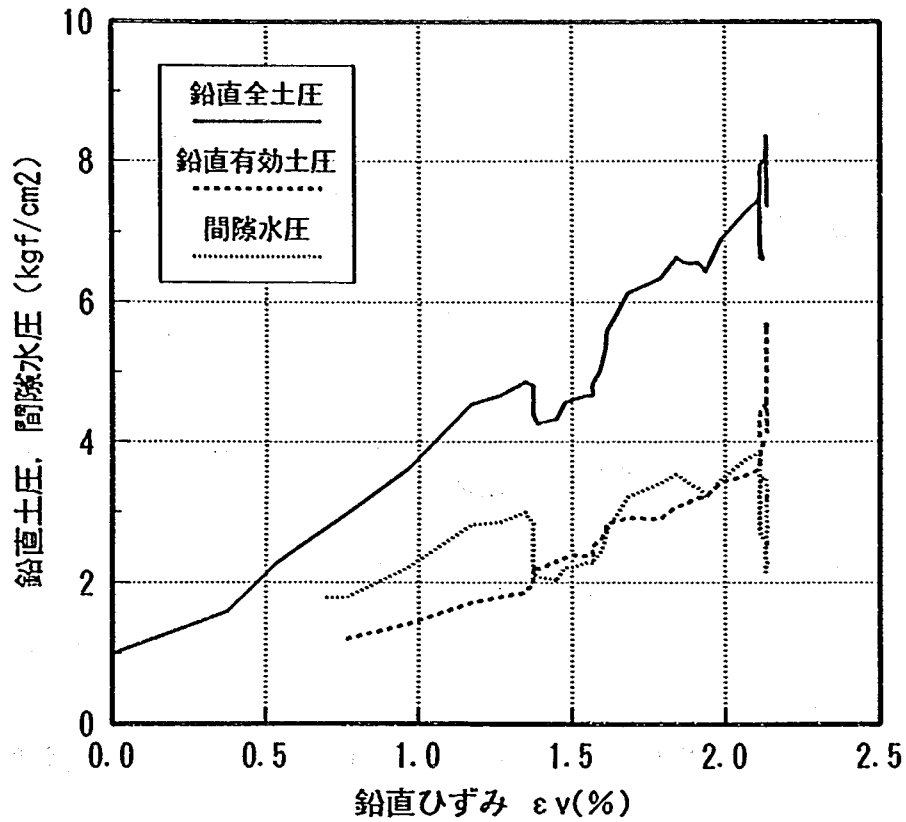


図-125 鉛直ひずみと鉛直土圧，間隙水圧 (Wダム；CEP-2)

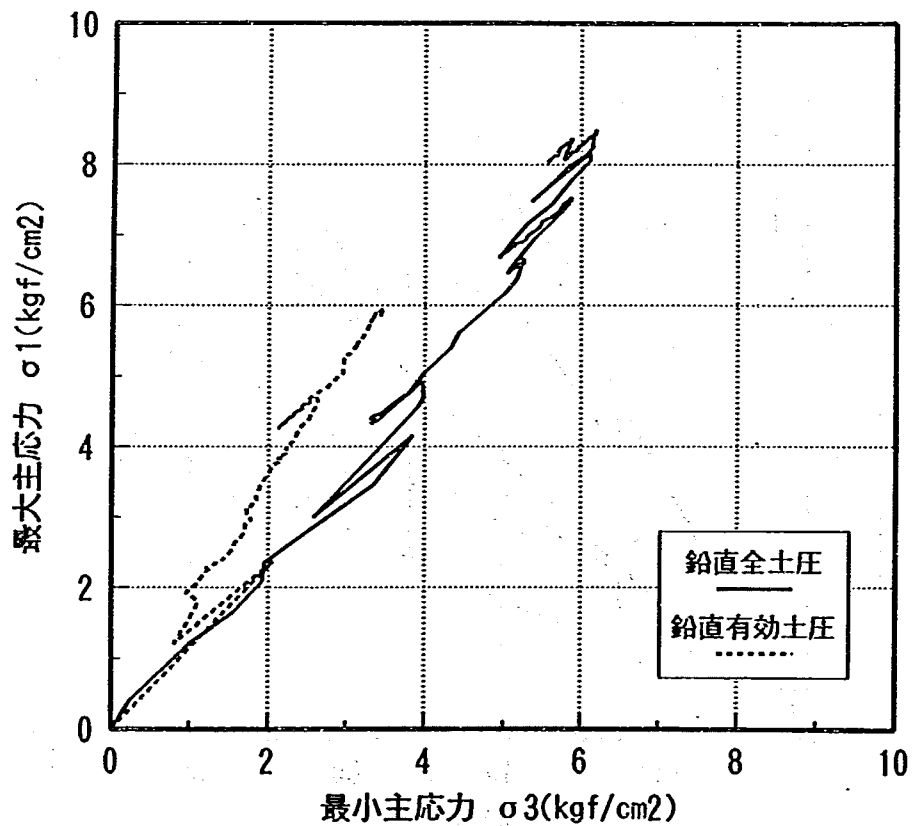


図-126 最小主応力と最大主応力 (Wダム；CEP-2)

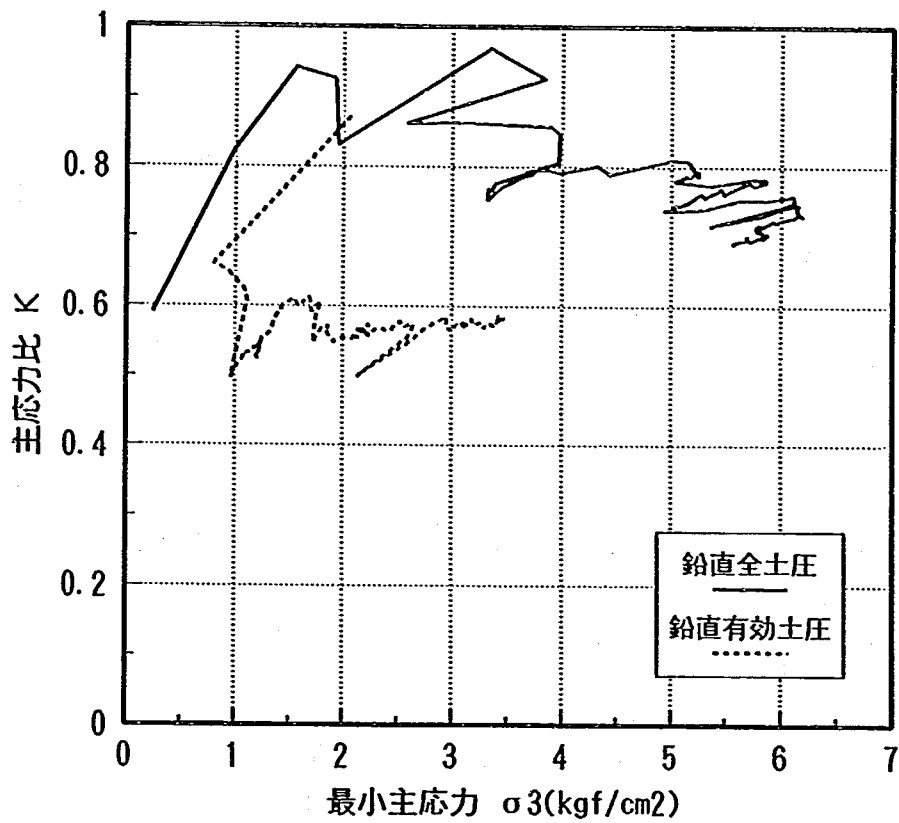


図-127 最小主応力と主応力比 (Wダム ; CEP-2)

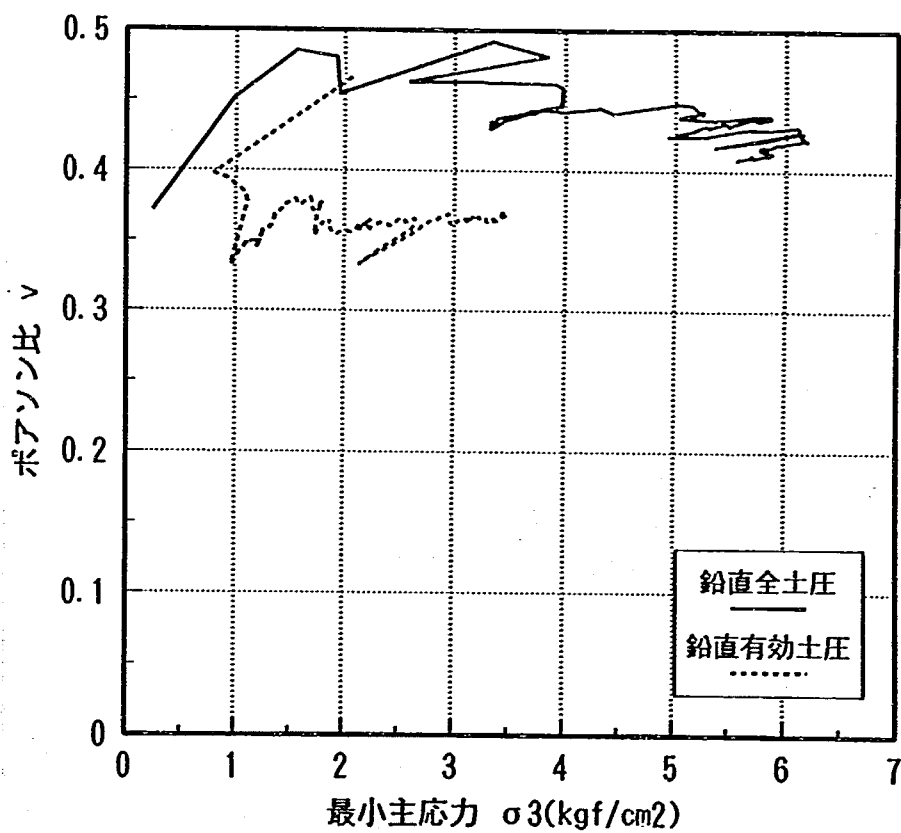


図-128 最小主応力とポアソン比 (Wダム ; CEP-2)

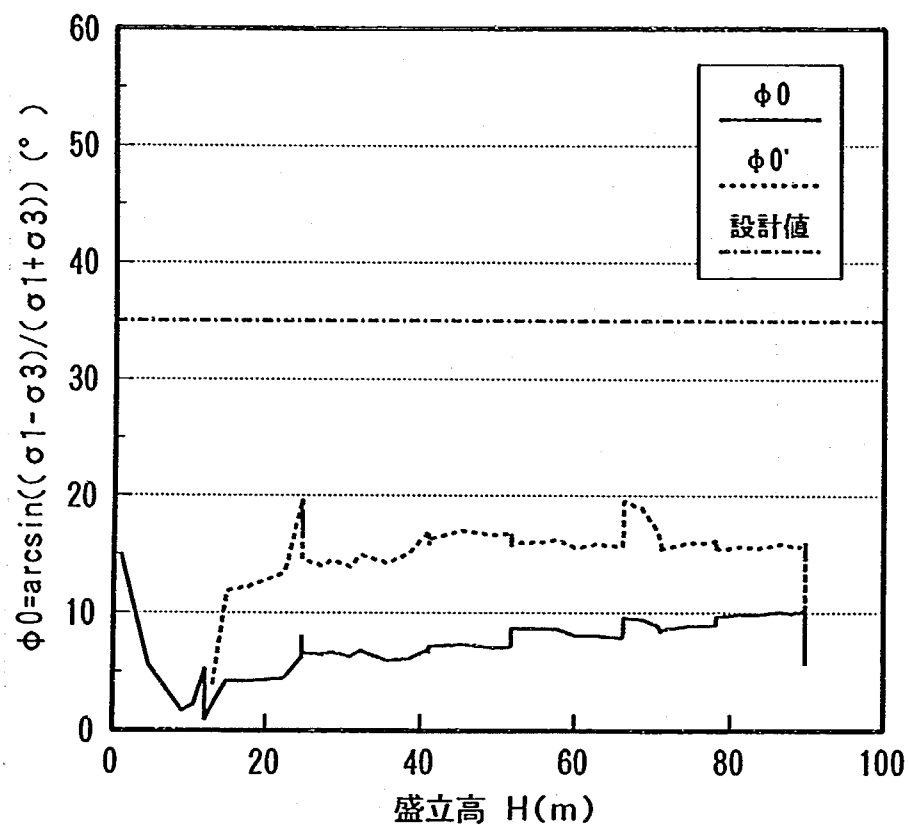


図-129 盛立高と内部摩擦角 (Wダム ; CEP-2)

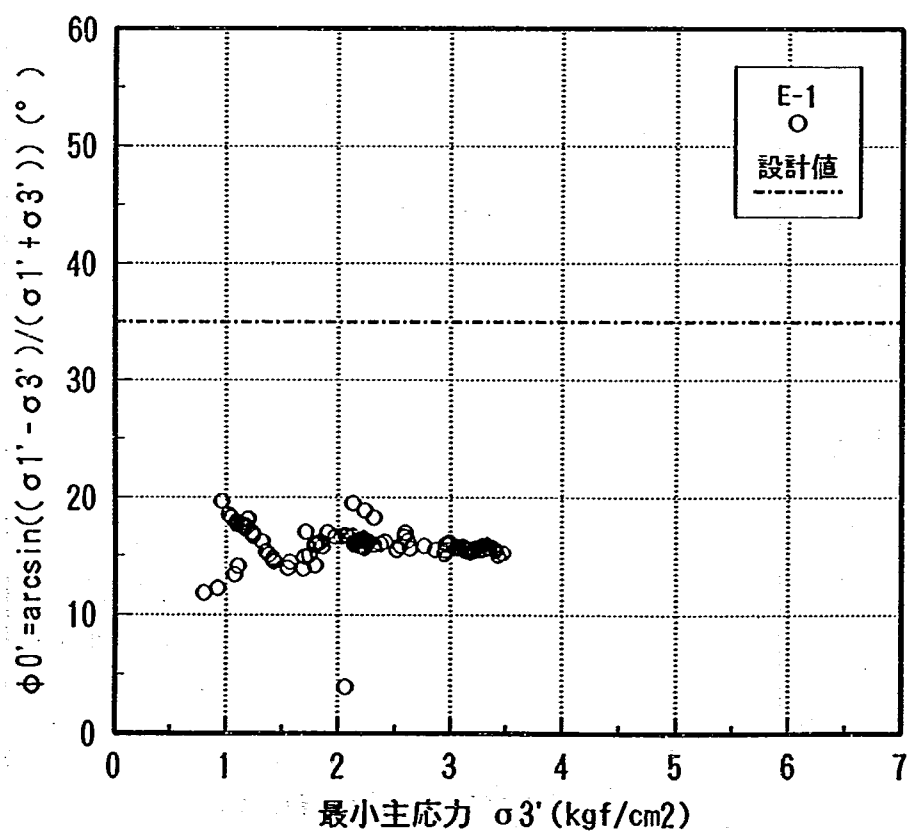


図-130 最小主応力と内部摩擦角 (Wダム ; CEP-2)

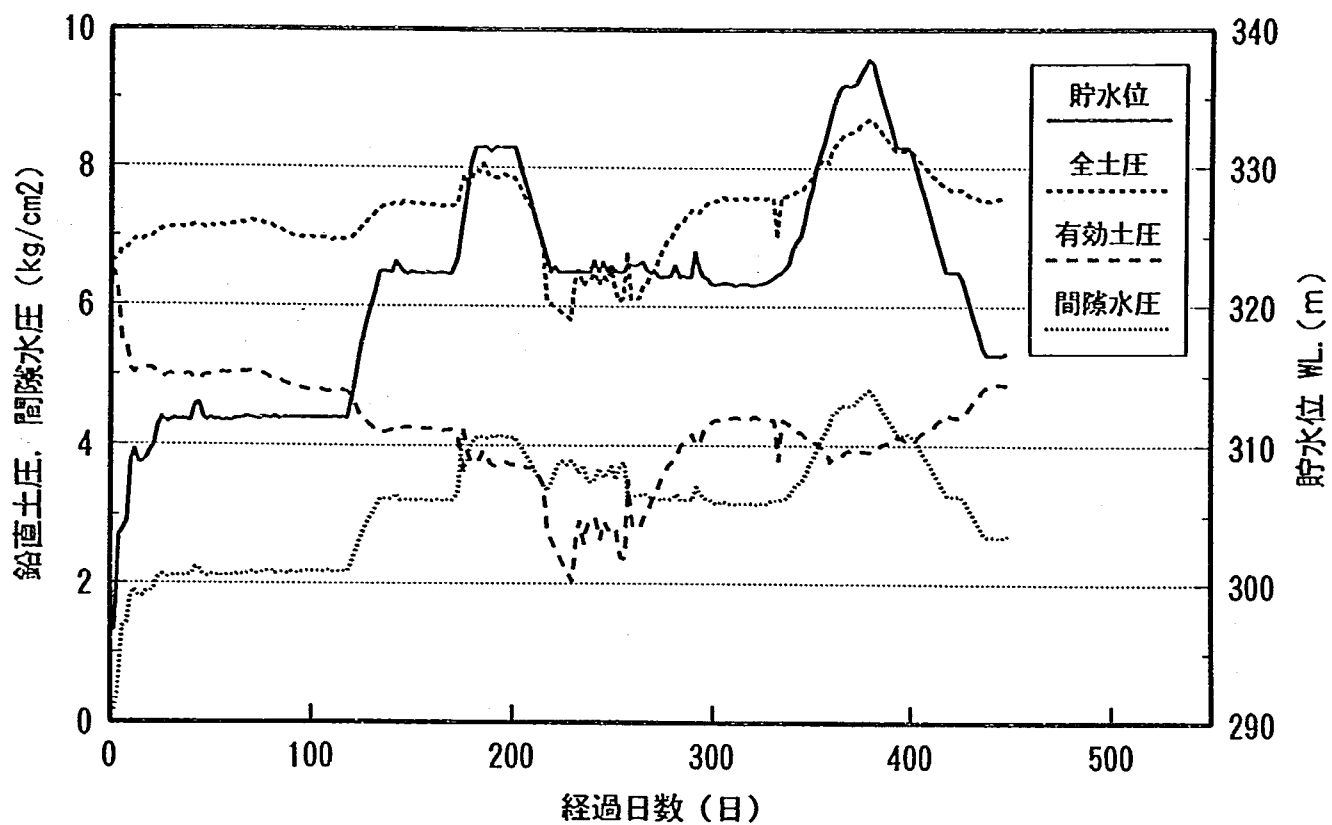


図-131 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Lダム ; E-4)

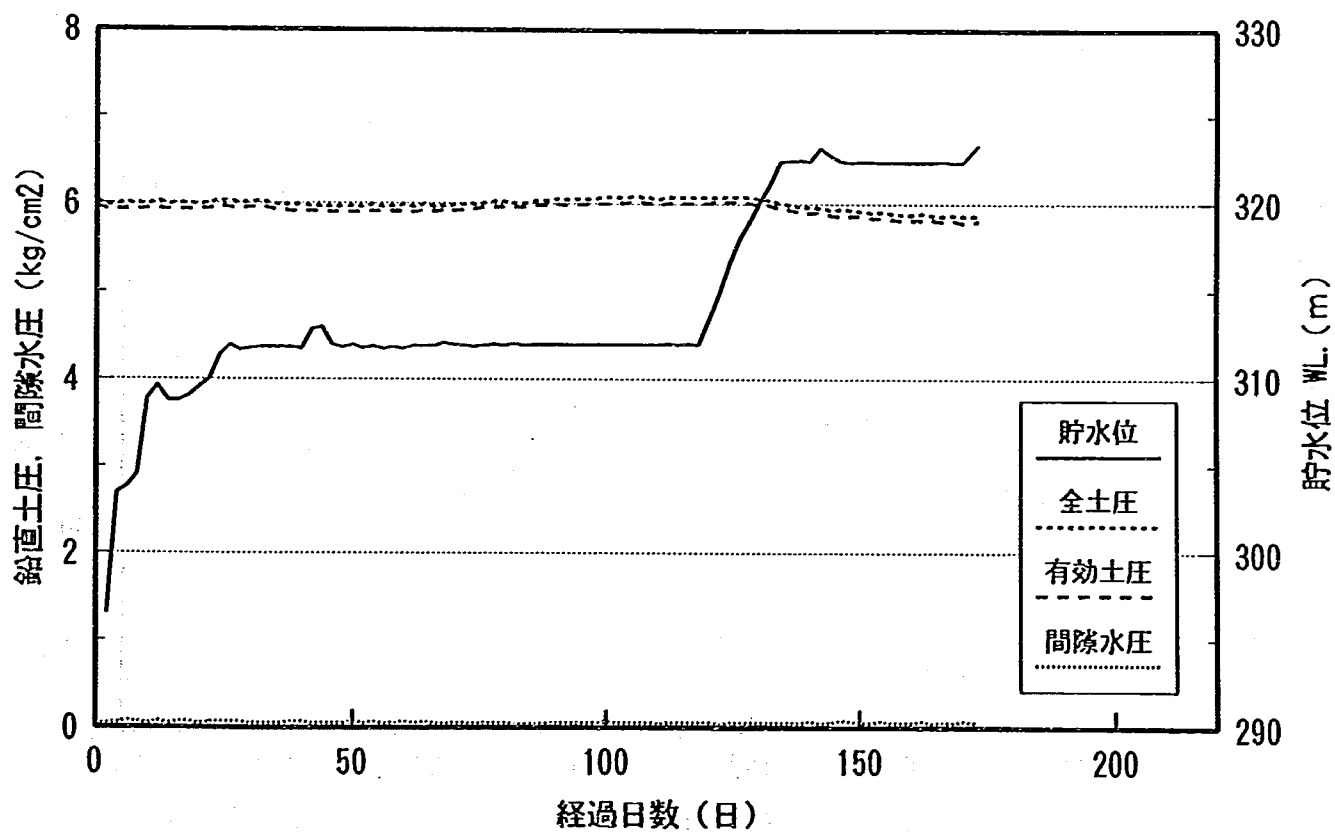


図-132 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Lダム ; E-5)

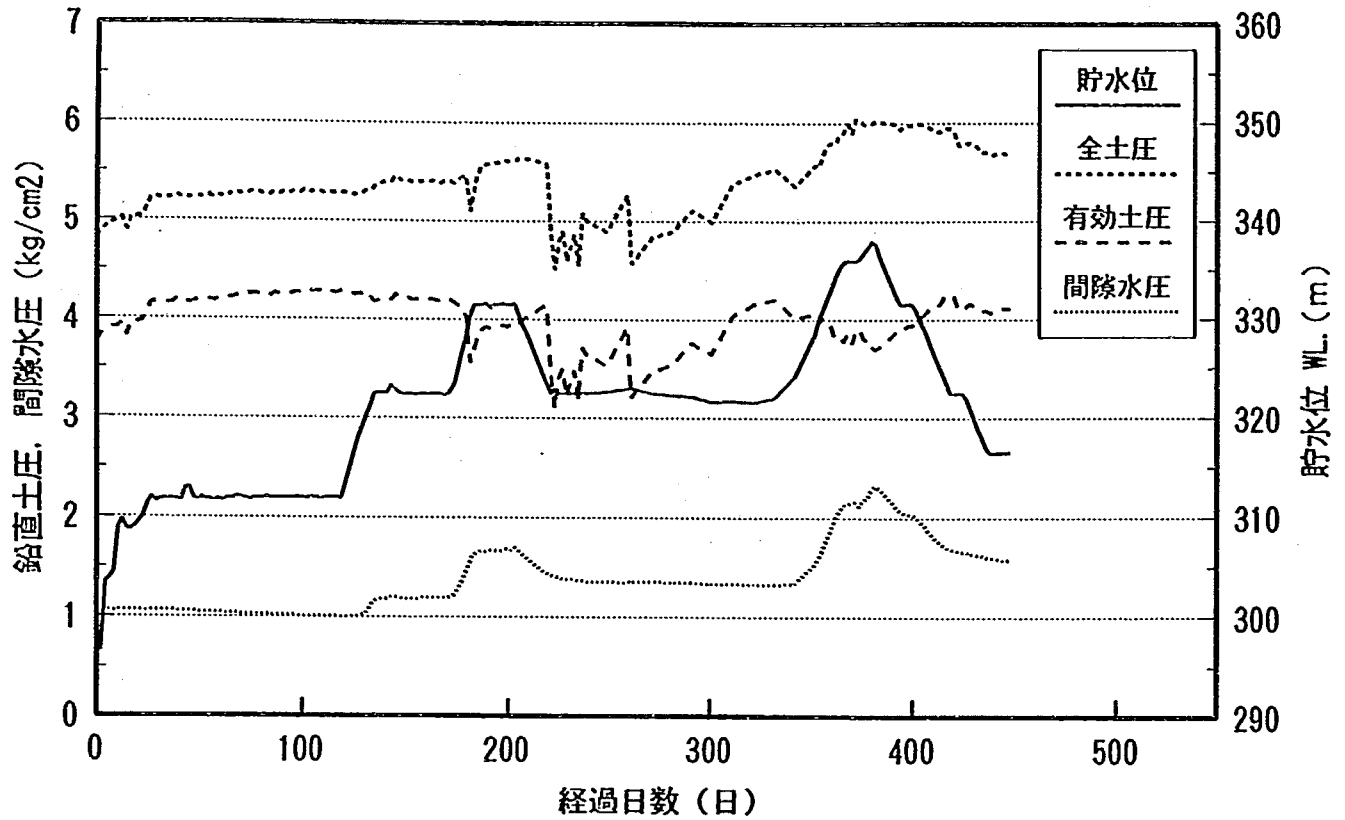


図-133 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Lダム ; E-6)

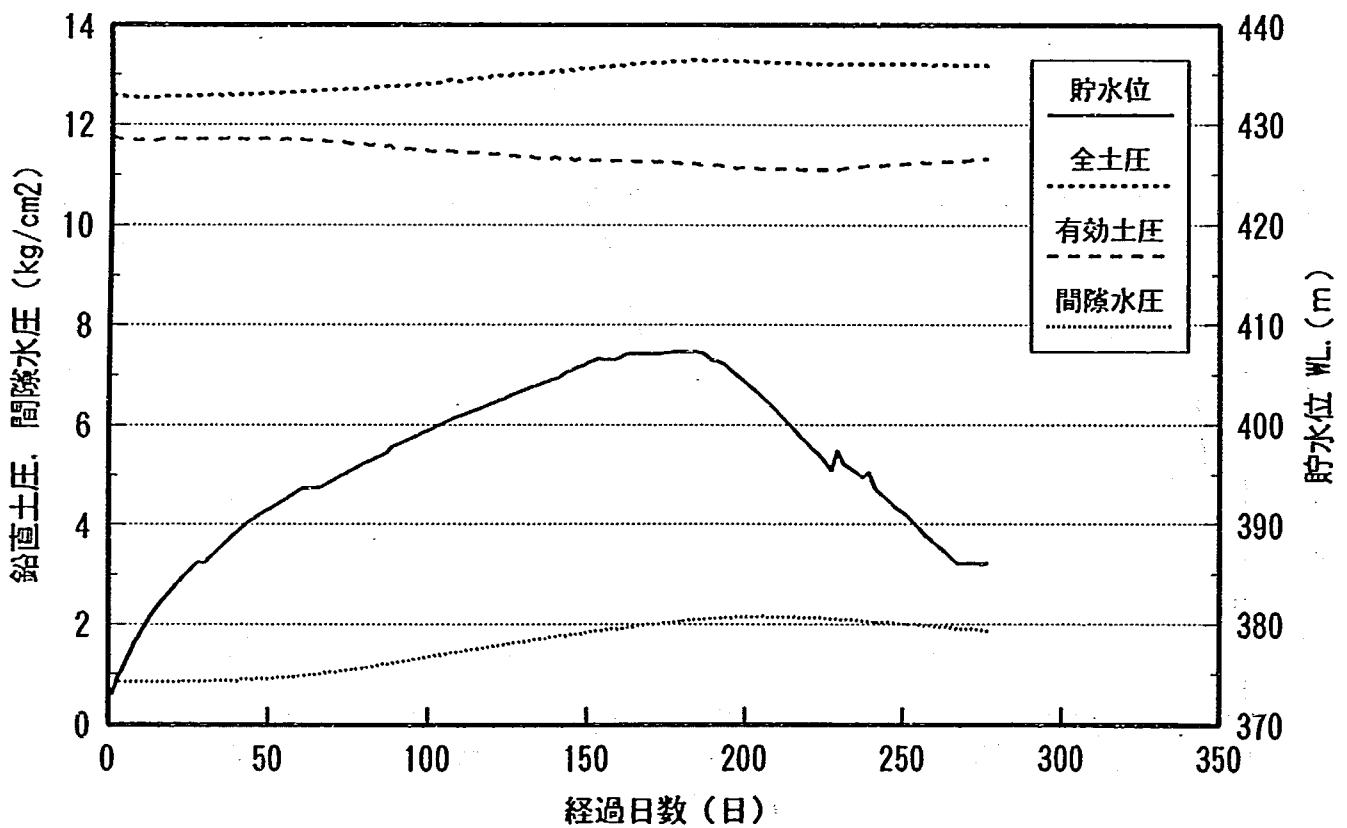


図-134 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Rダム ; S-1)

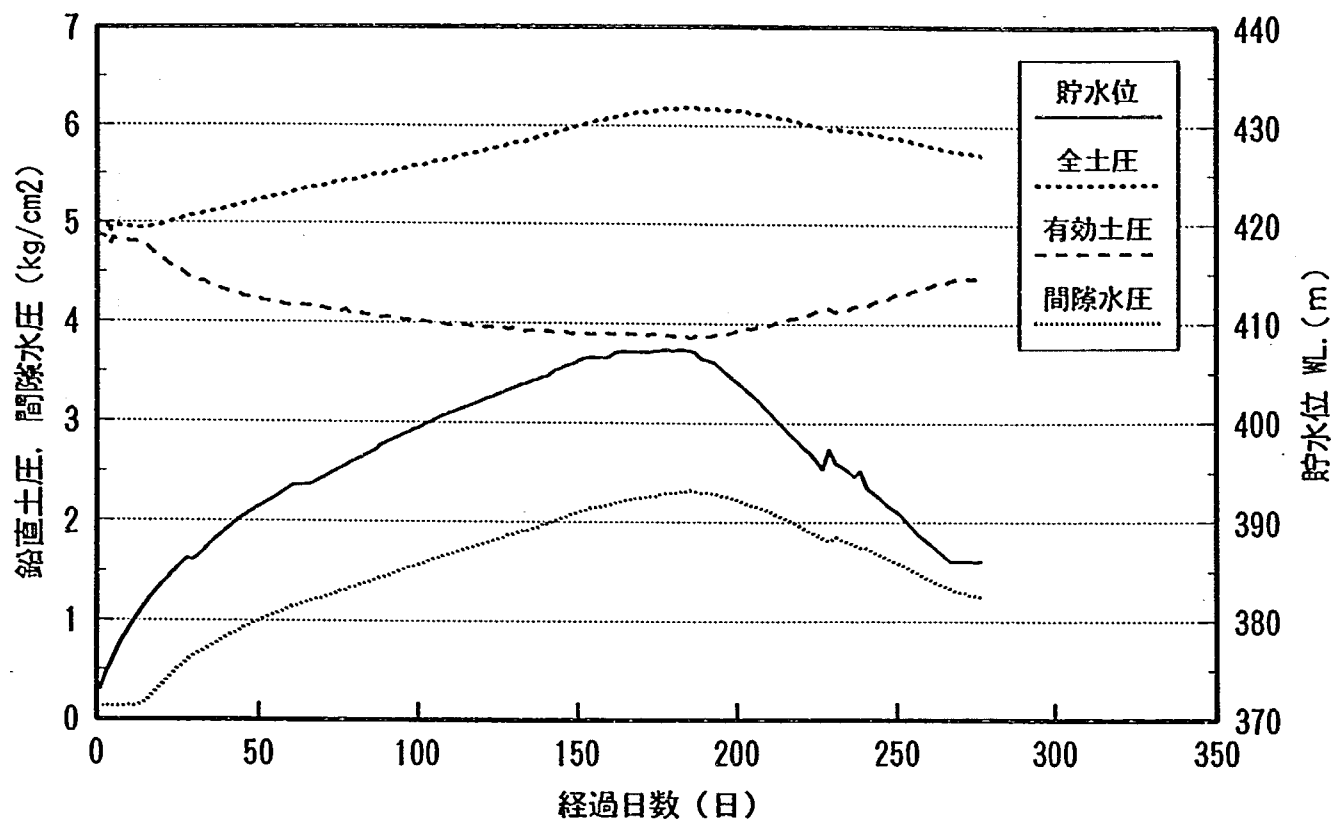


図-135 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Rダム; S-2)

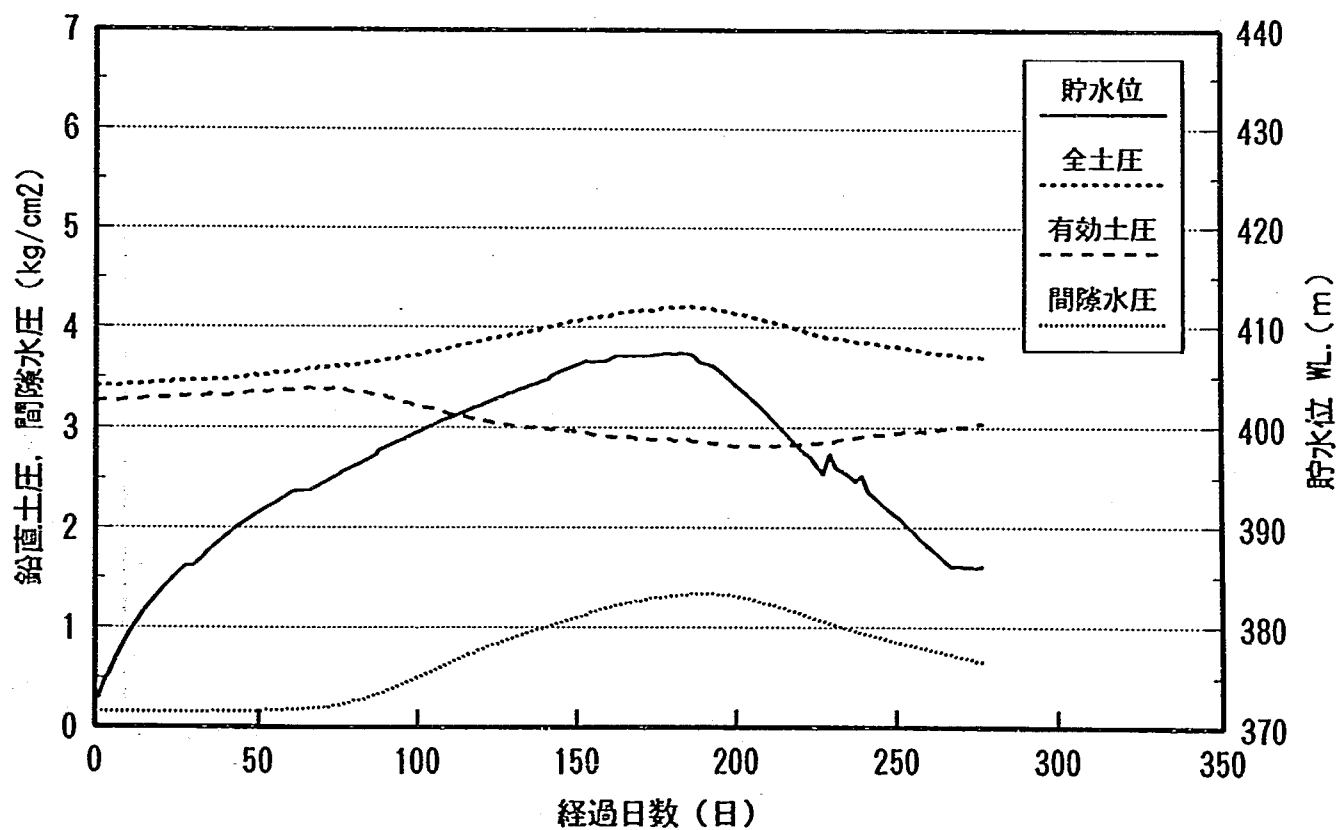


図-136 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Rダム; S-3)

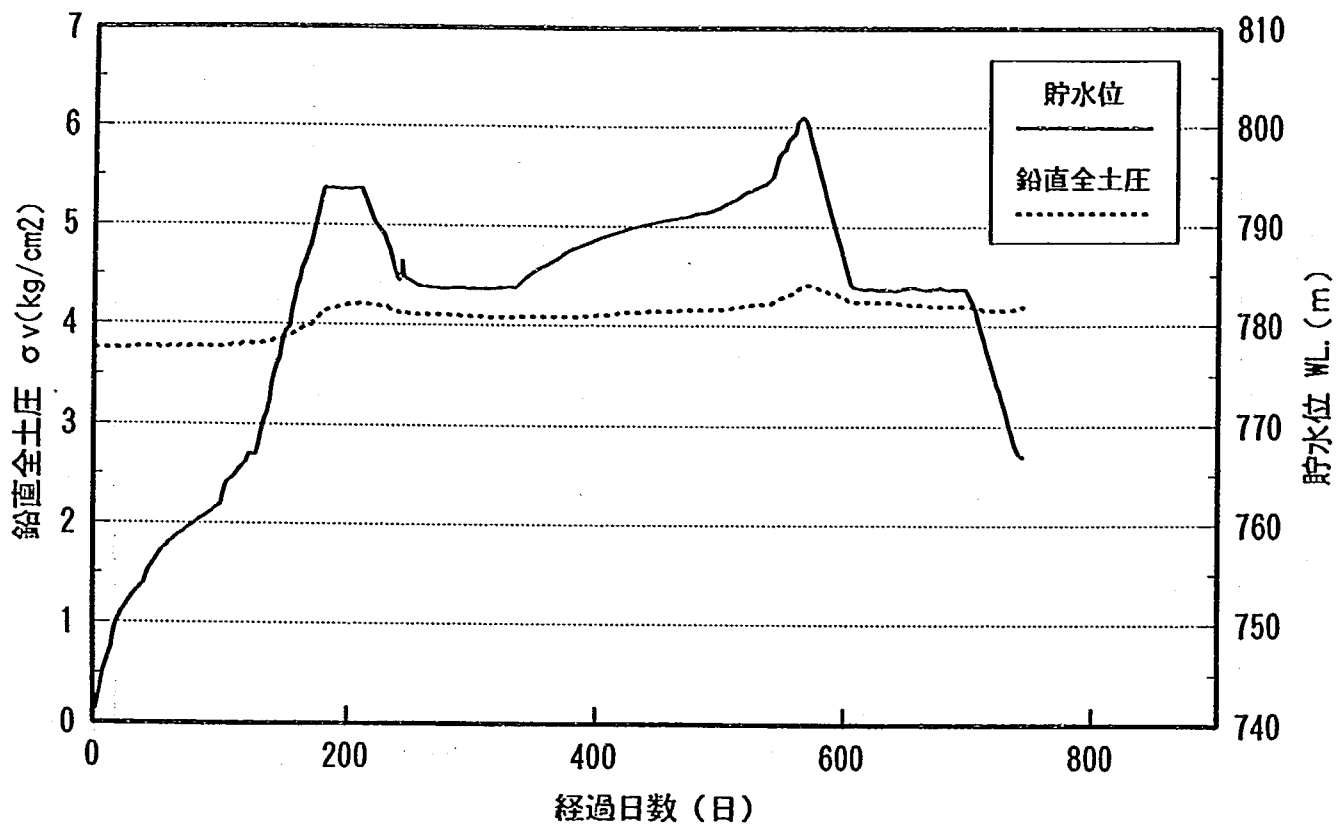


図-137 鉛直土圧、間隙水圧の経時変化 (Tダム ; E-2)

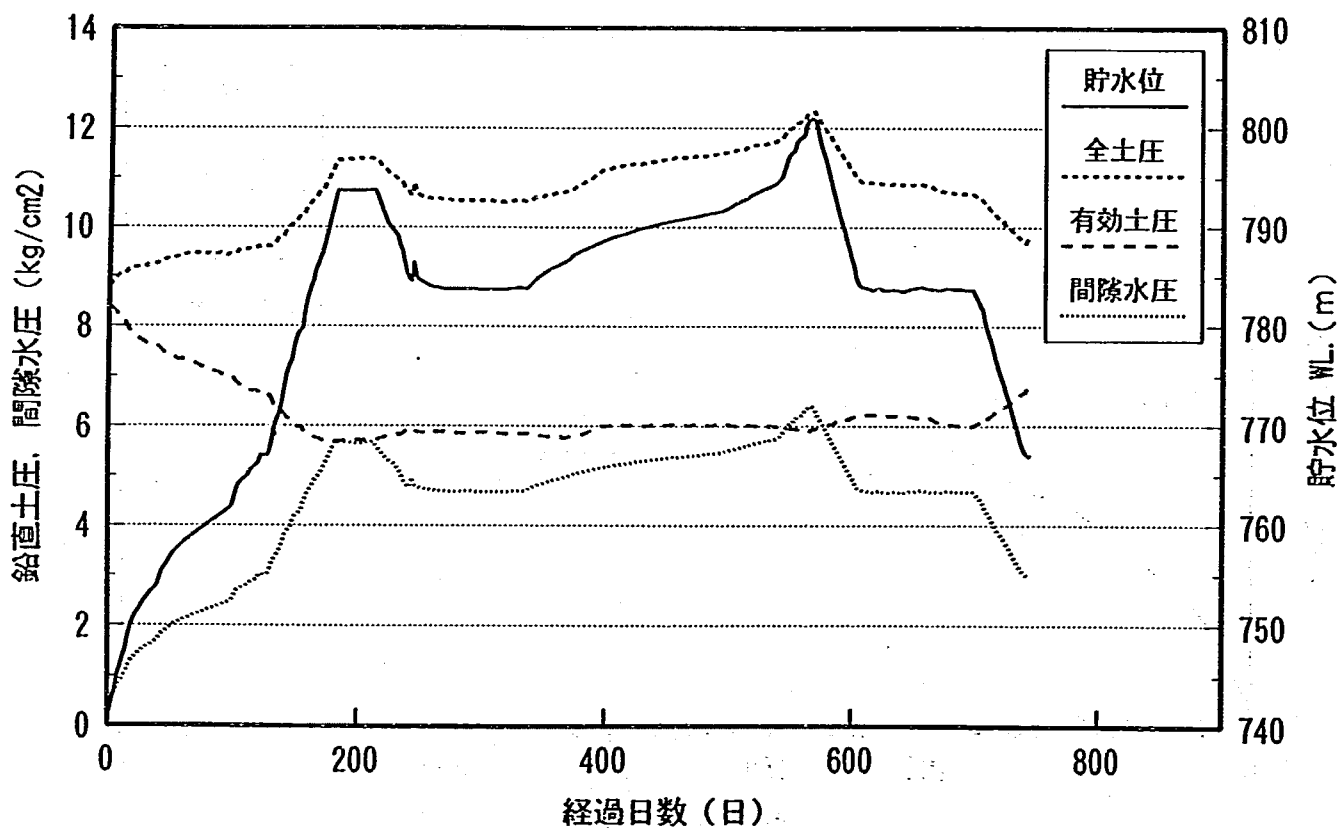


図-138 鉛直土圧、間隙水圧の経時変化 (Tダム ; E-3)

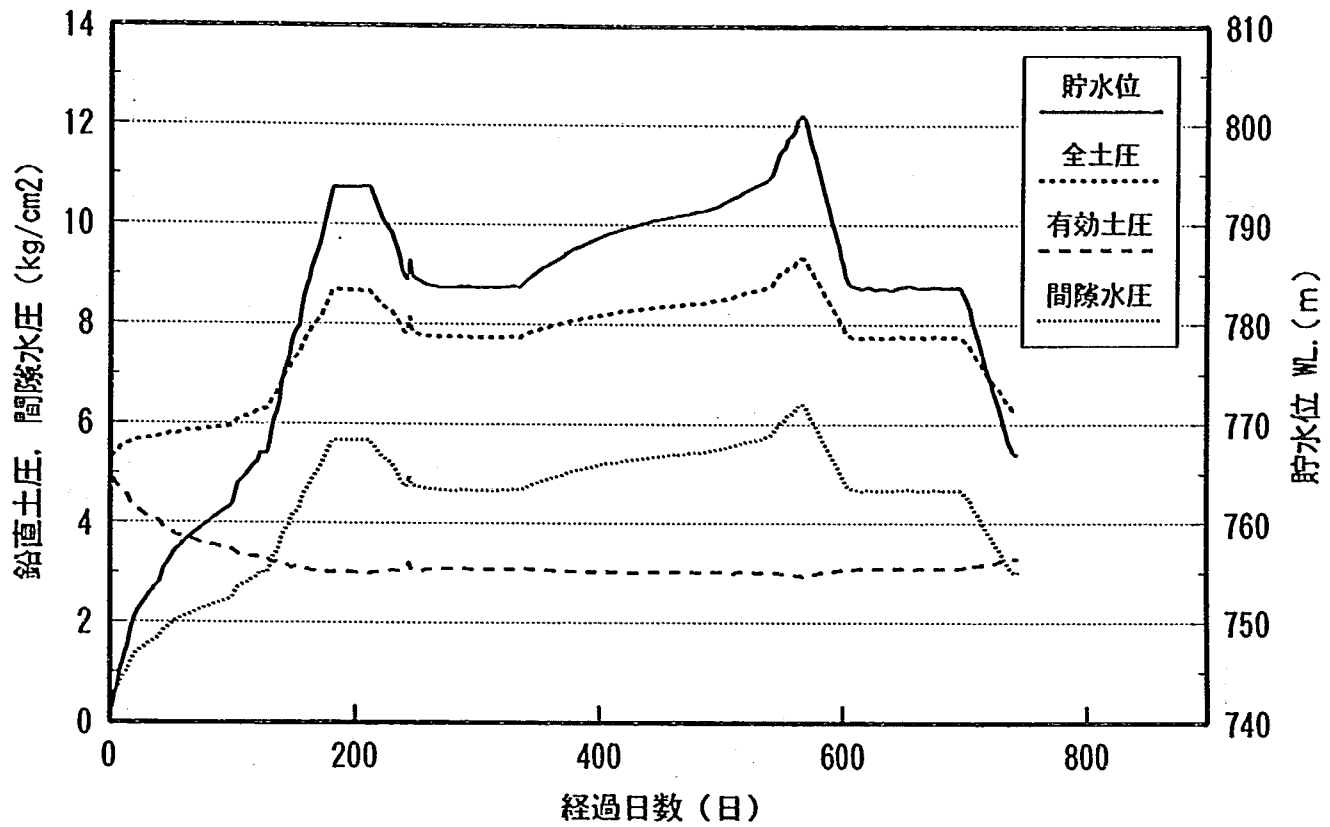


図-139 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Tダム ; E-4)

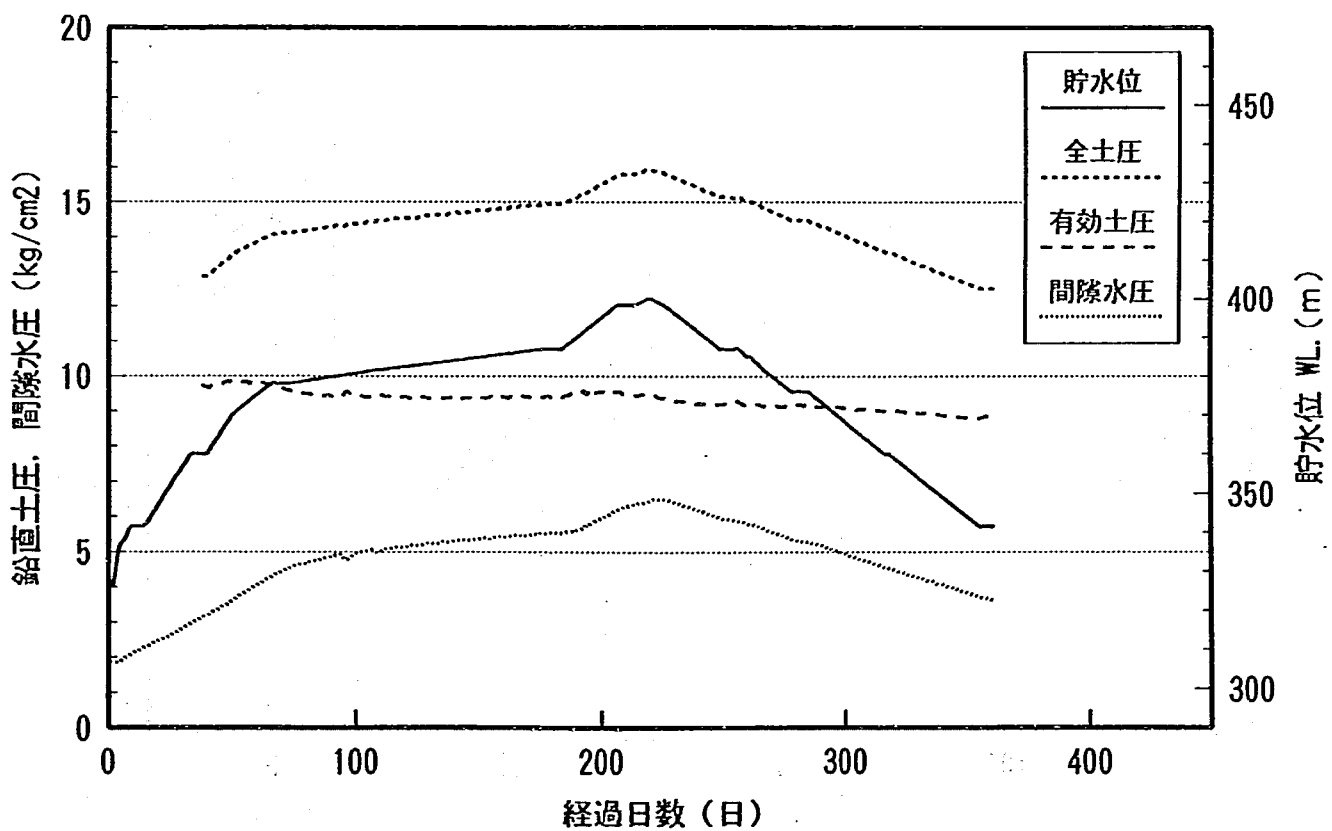


図-140 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Vダム ; BEP-1)

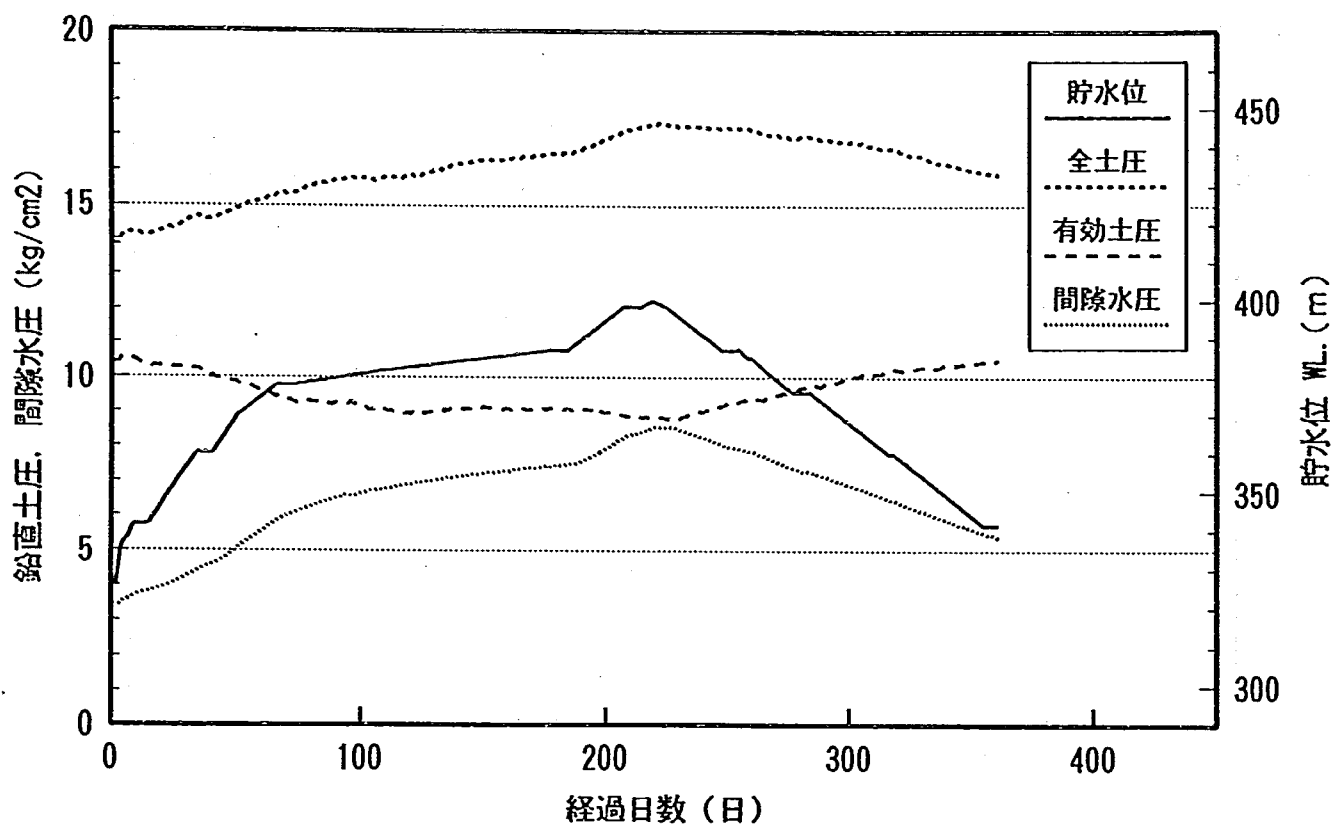


図-141 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Vダム; BEP-2)

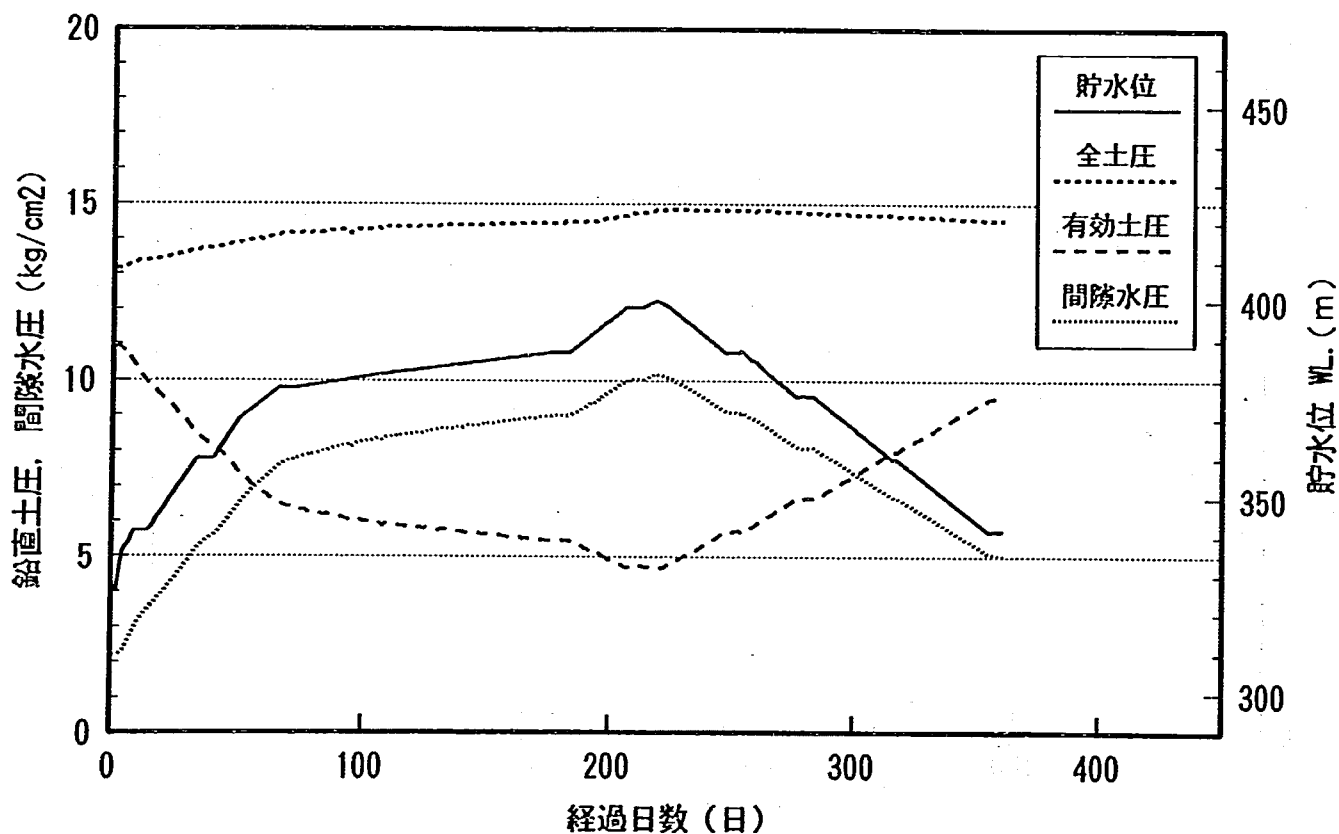


図-142 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Vダム; BEP-3)

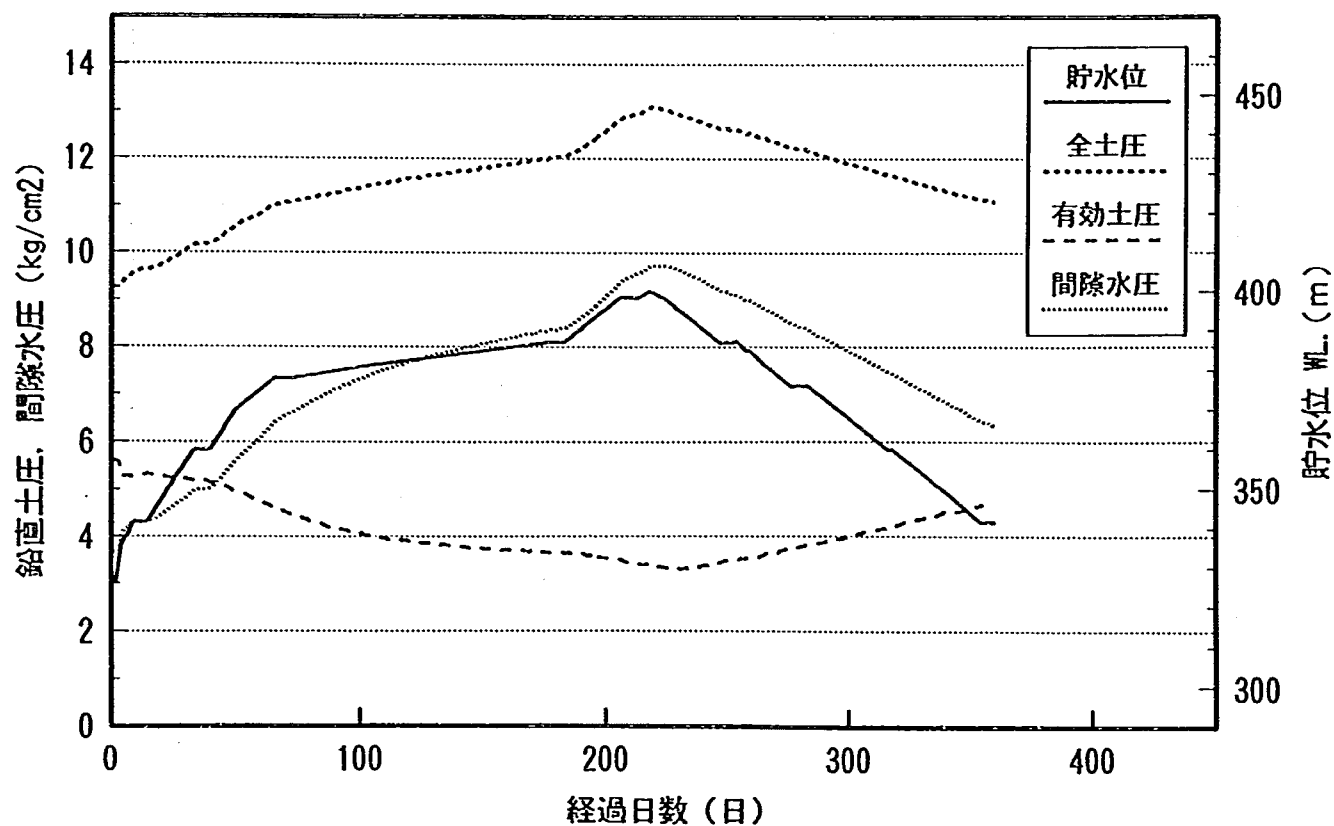


図-143 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Vダム ; CEP-1)

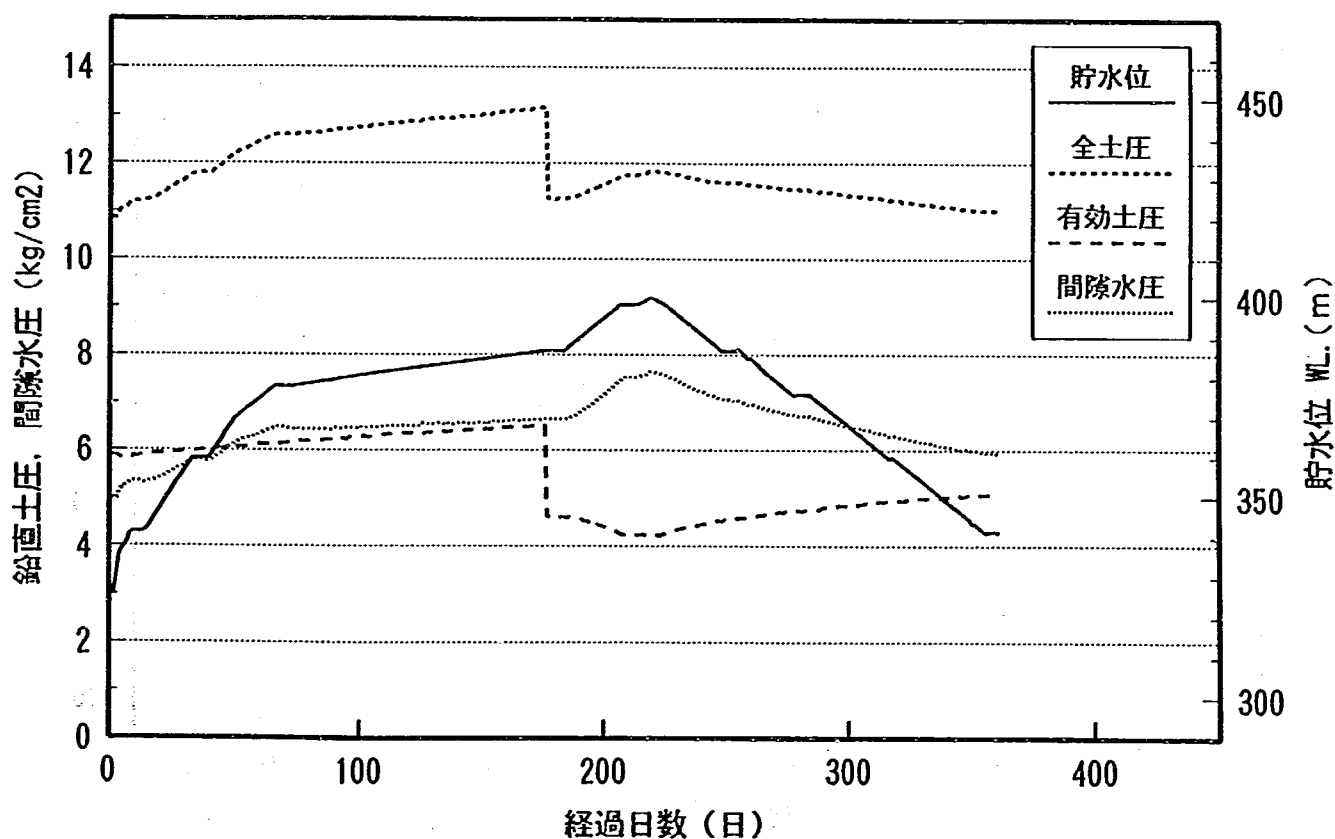


図-144 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Vダム ; CEP-2)

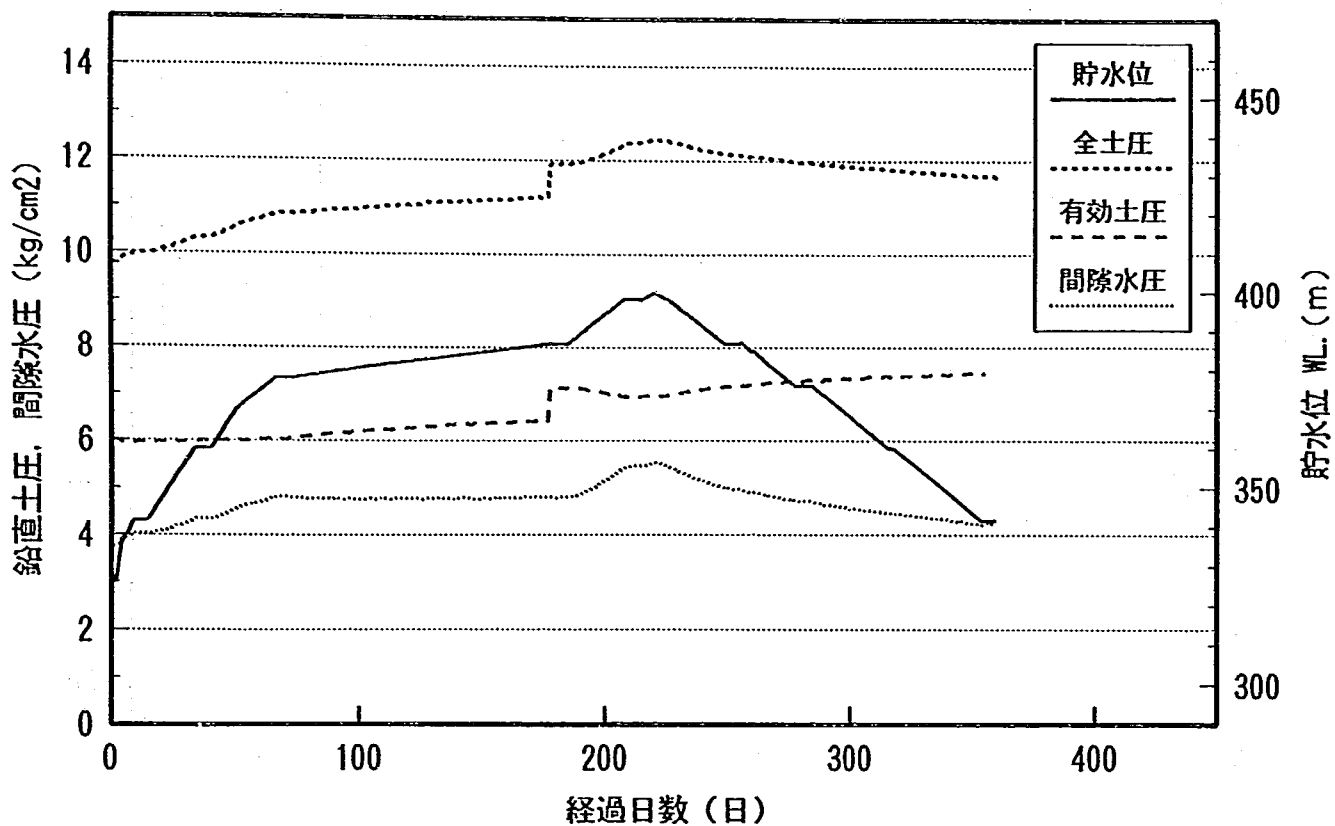


図-145 鉛直土圧，間隙水圧の経時変化 (Vダム；CEP-3)

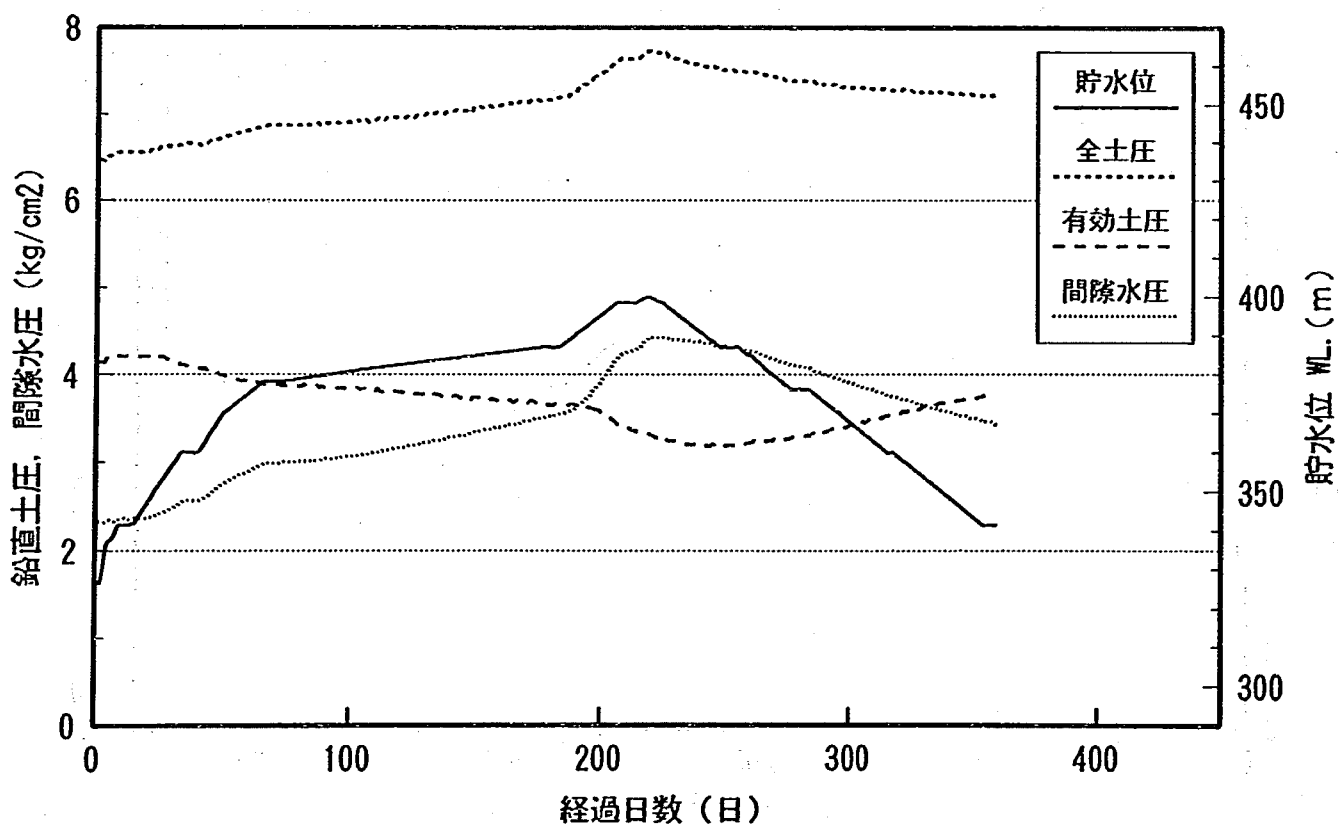


図-146 鉛直土圧，間隙水圧の経時変化 (Vダム；CEP-4)

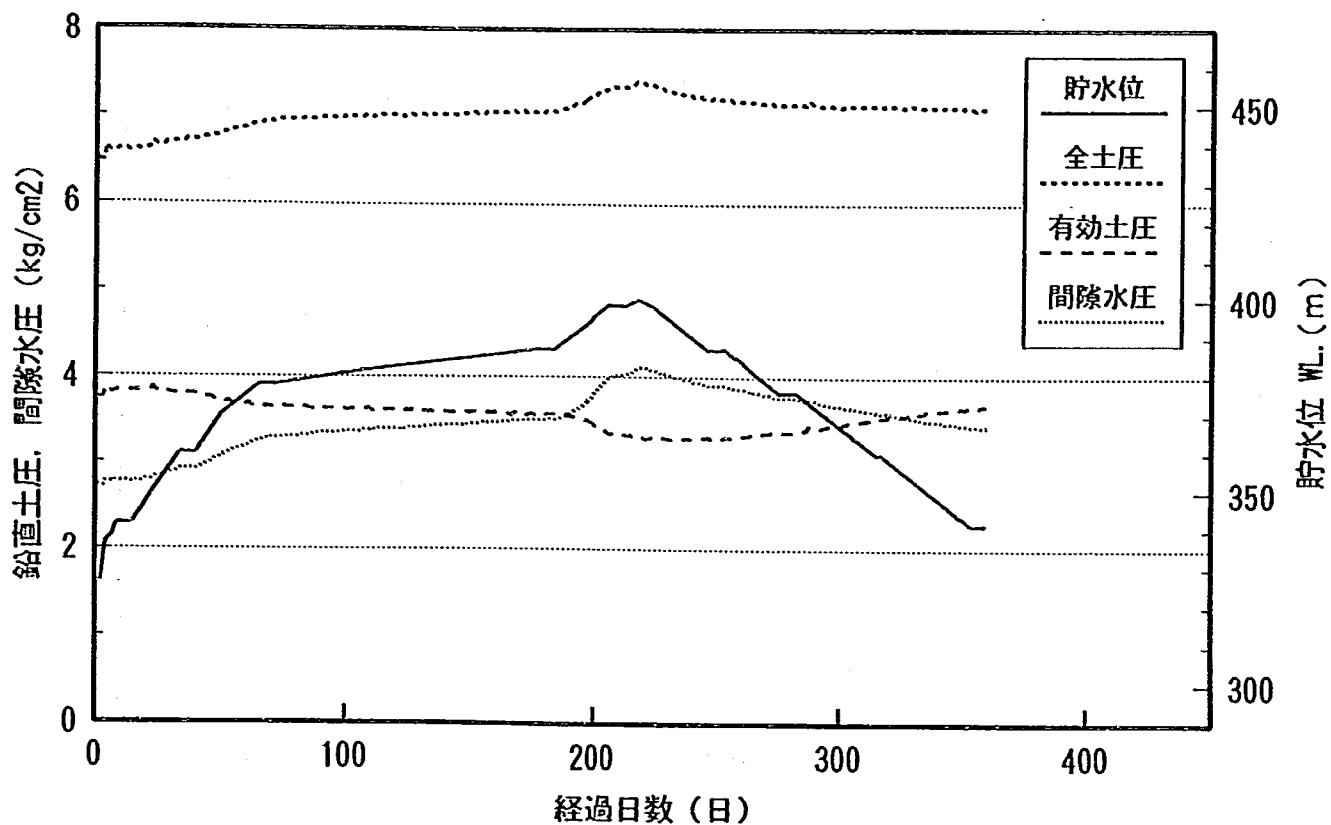


図-147 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Vダム; CEP-5)

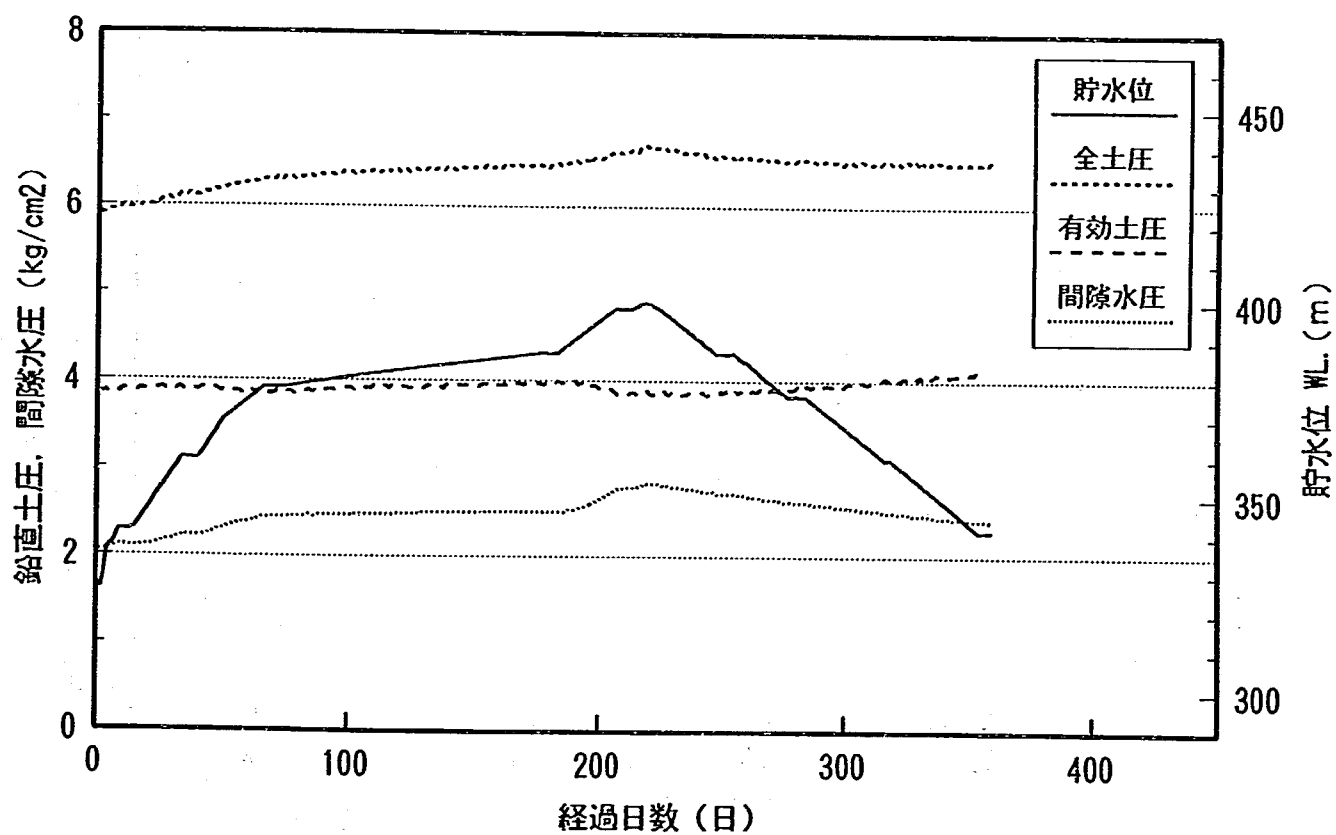


図-148 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Vダム; CEP-6)

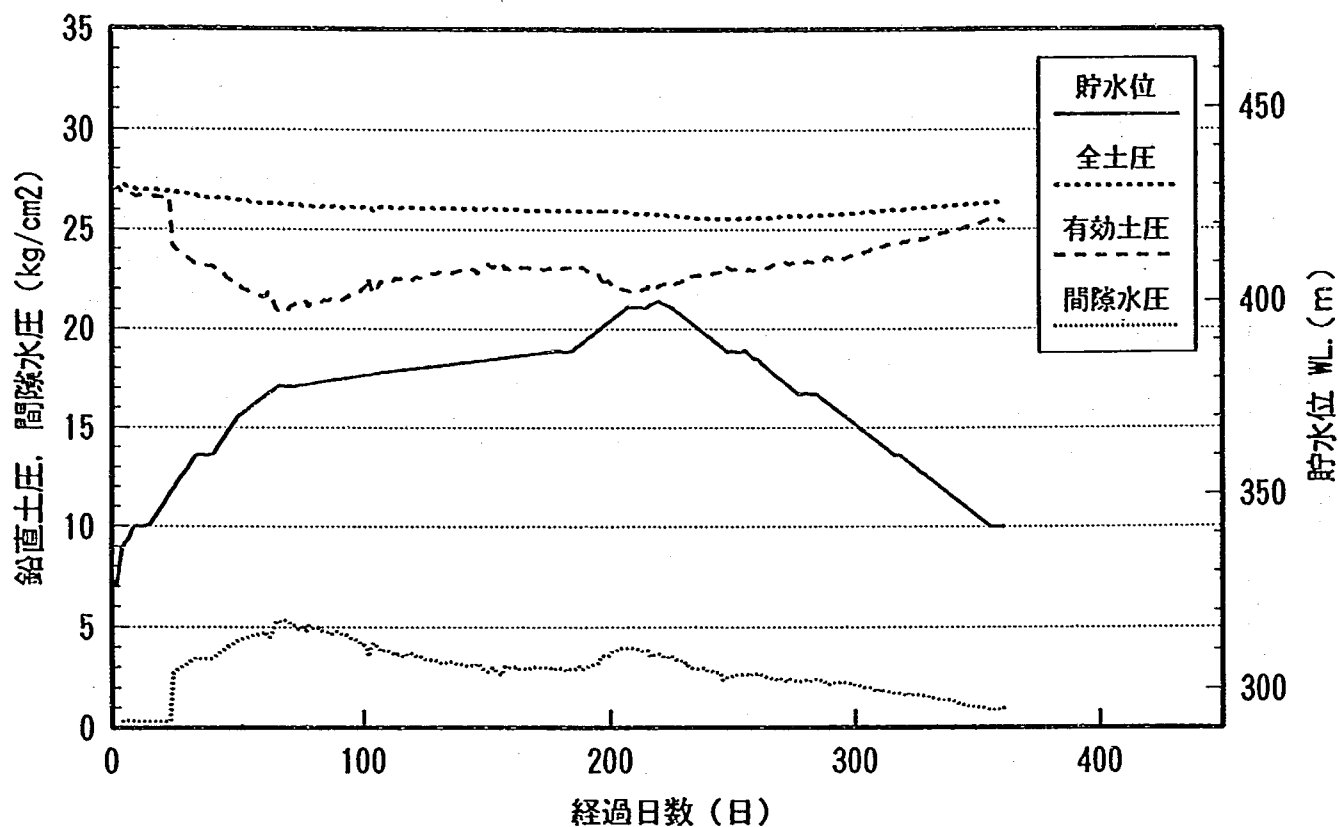


図-149 鉛直土圧、間隙水圧の経時変化 (Vダム ; FEP-1)

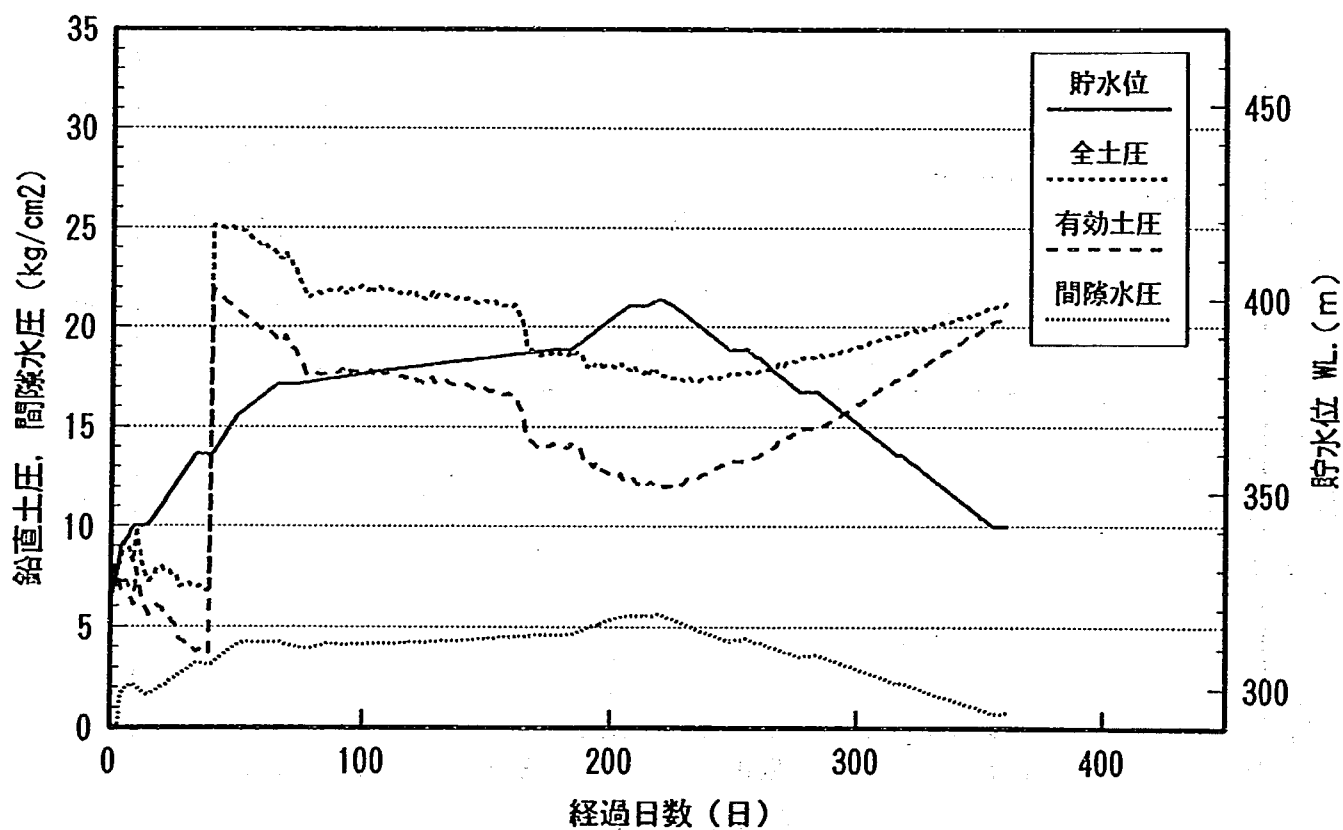


図-150 鉛直土圧、間隙水圧の経時変化 (Vダム ; FEP-2)

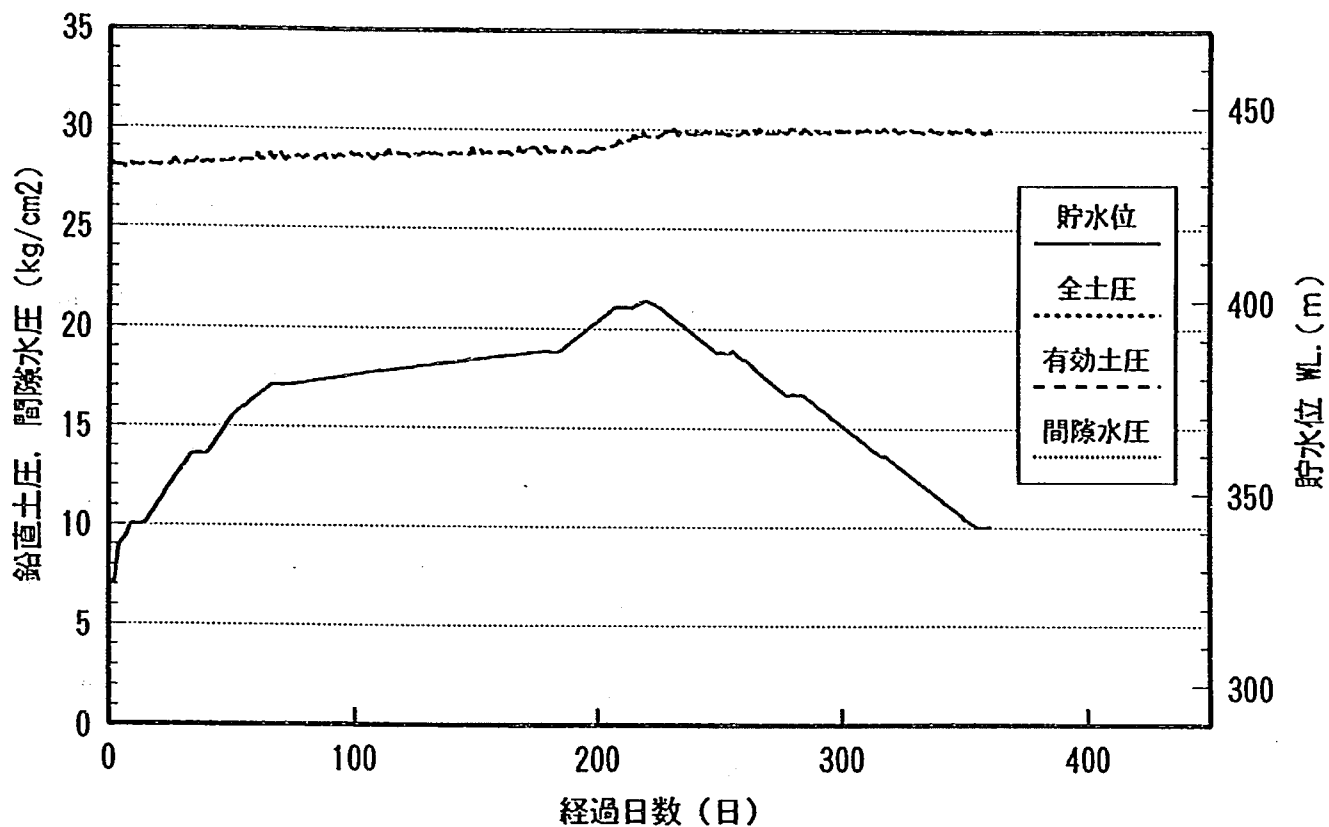


図-151 鉛直土圧、間隙水圧の経時変化 (Vダム ; FEP-3)

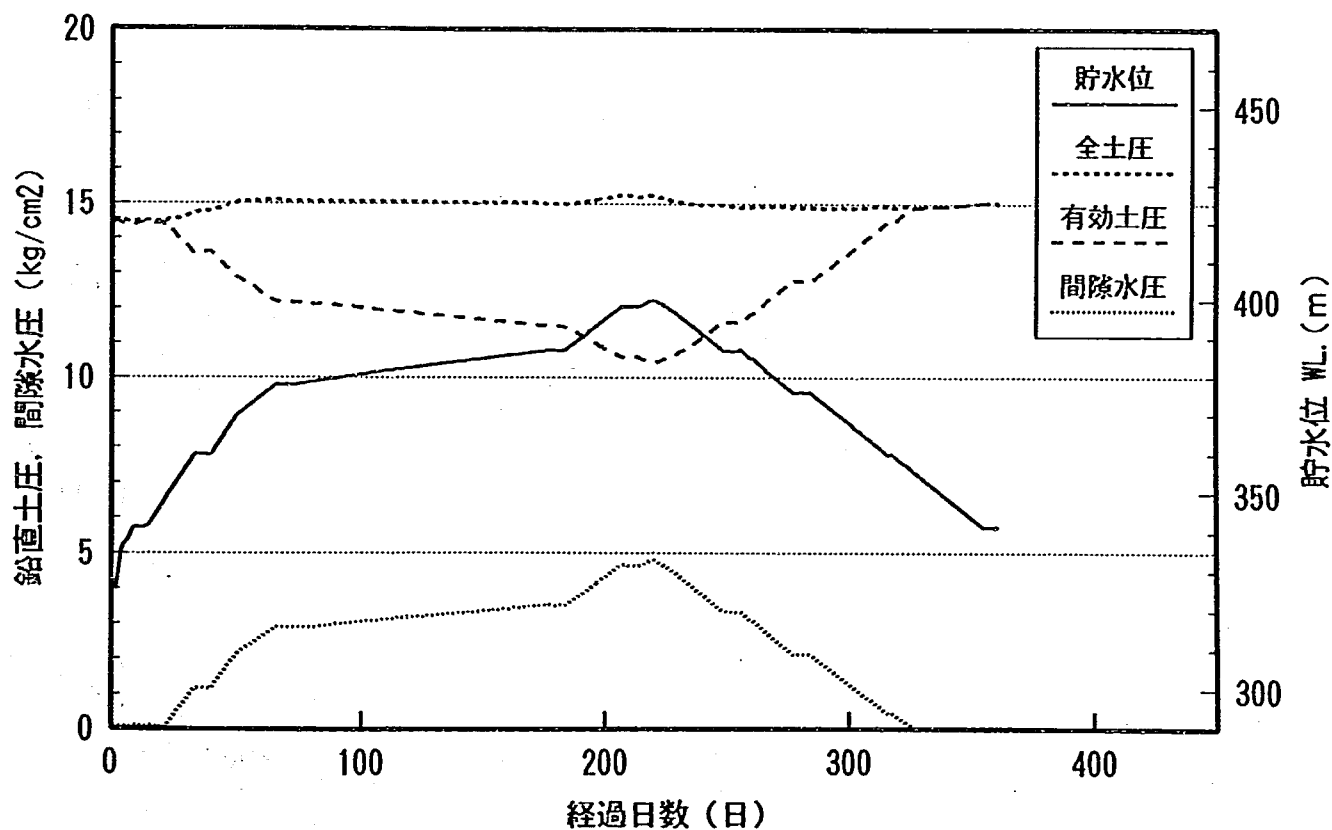


図-152 鉛直土圧、間隙水圧の経時変化 (Vダム ; FEP-5)

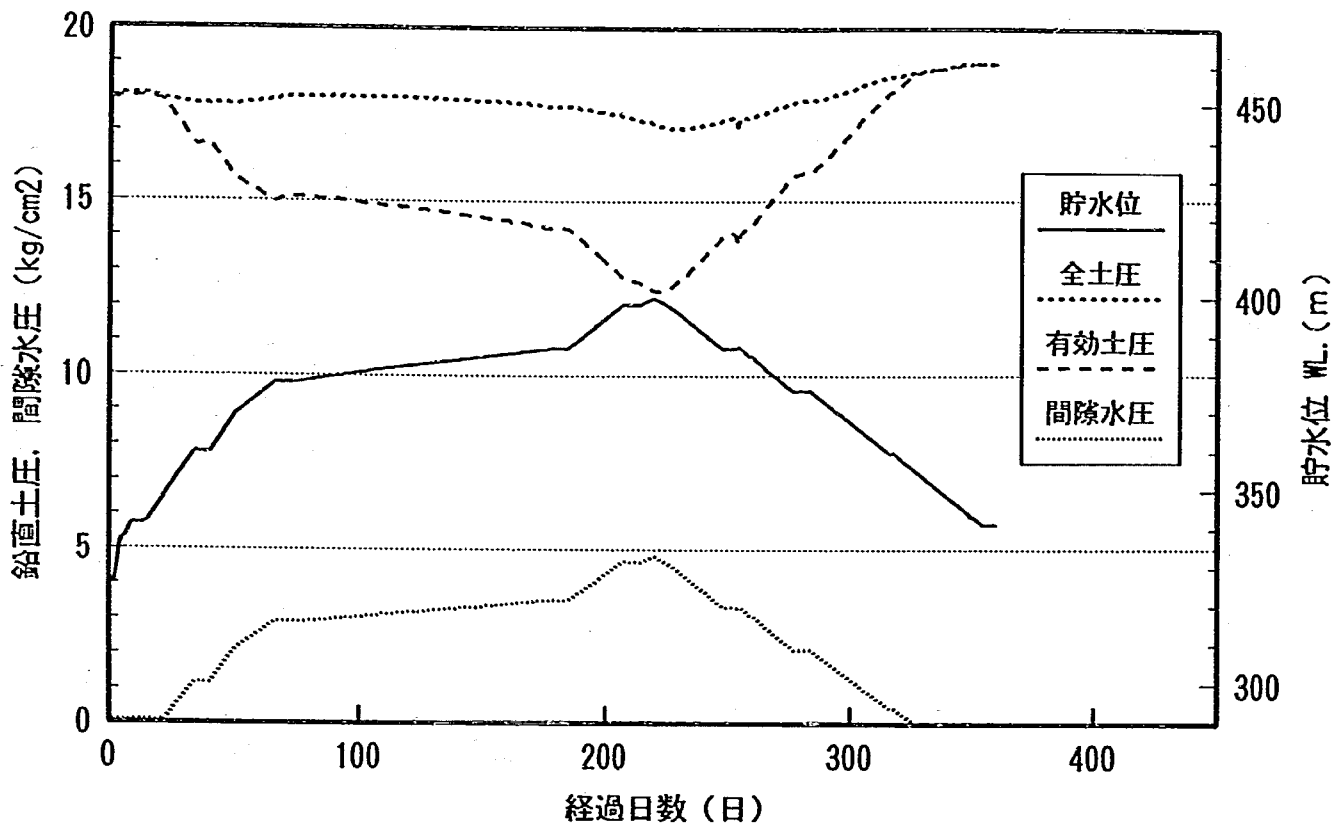


図-153 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Vダム ; FEP-6)

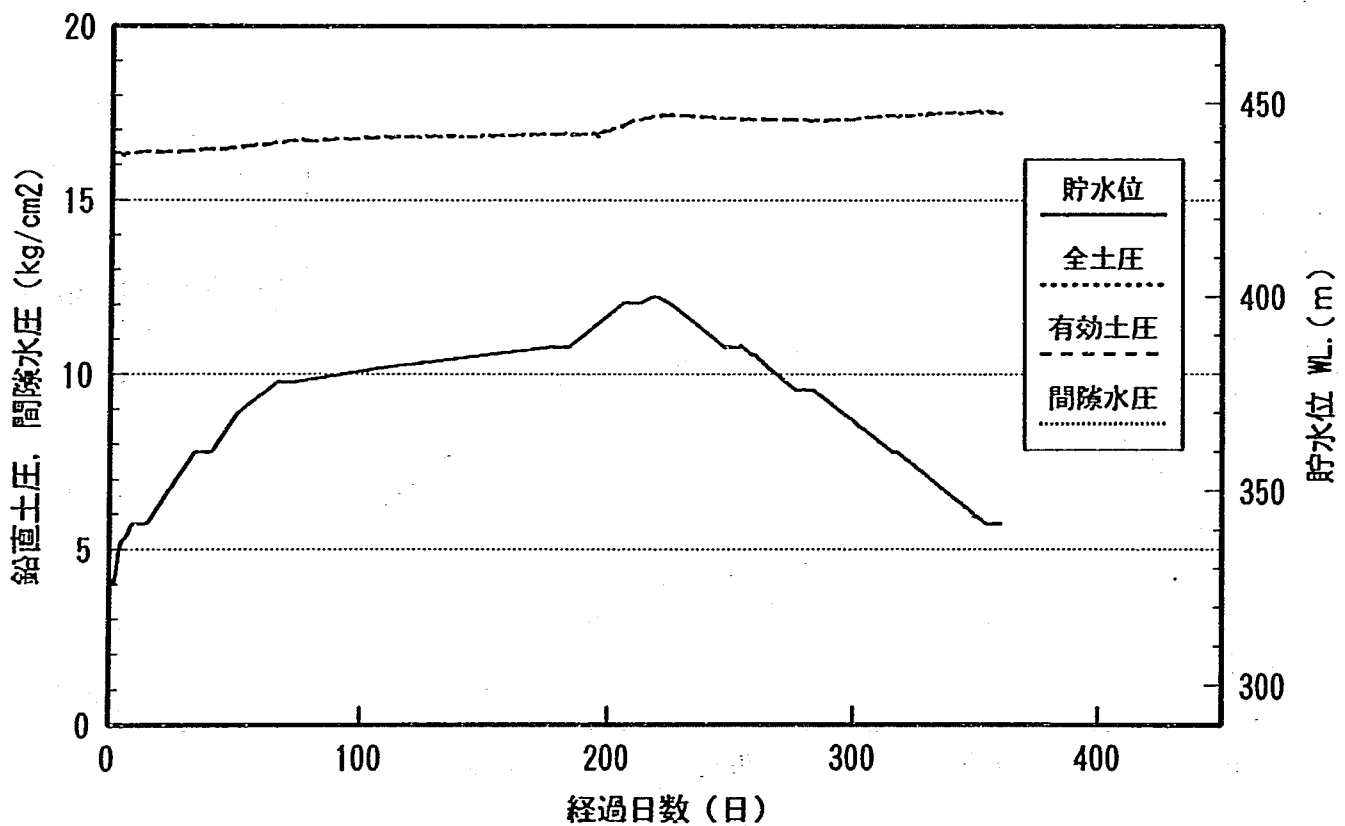


図-154 鉛直土圧, 間隙水圧の経時変化 (Vダム ; FEP-7)

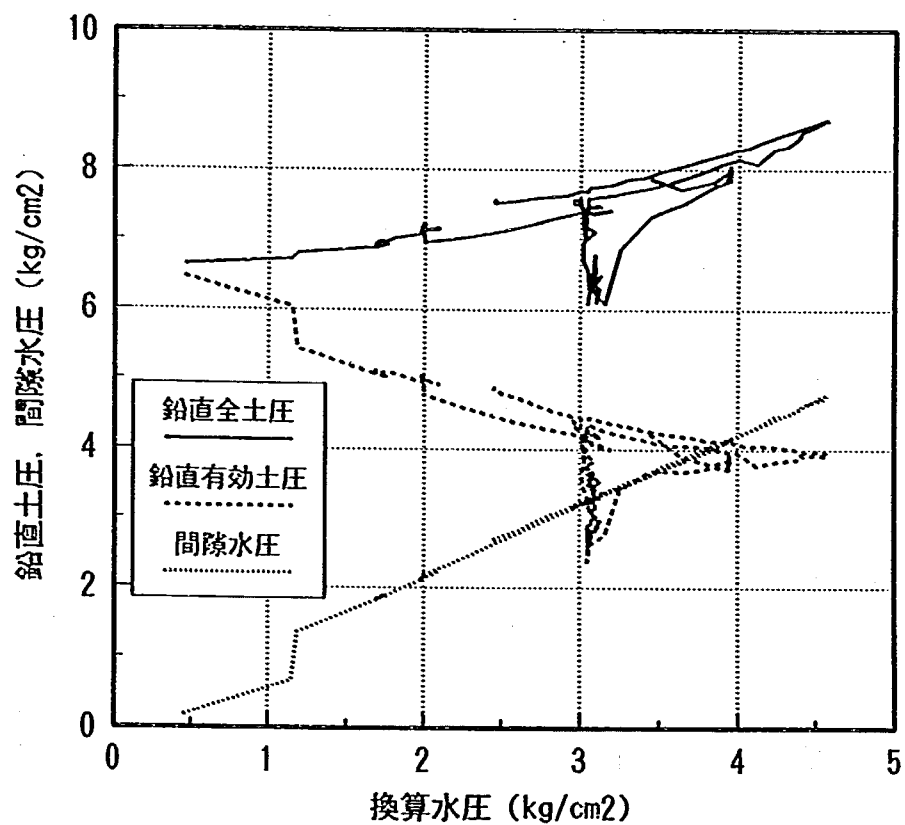


図-155 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Lダム; E-4)

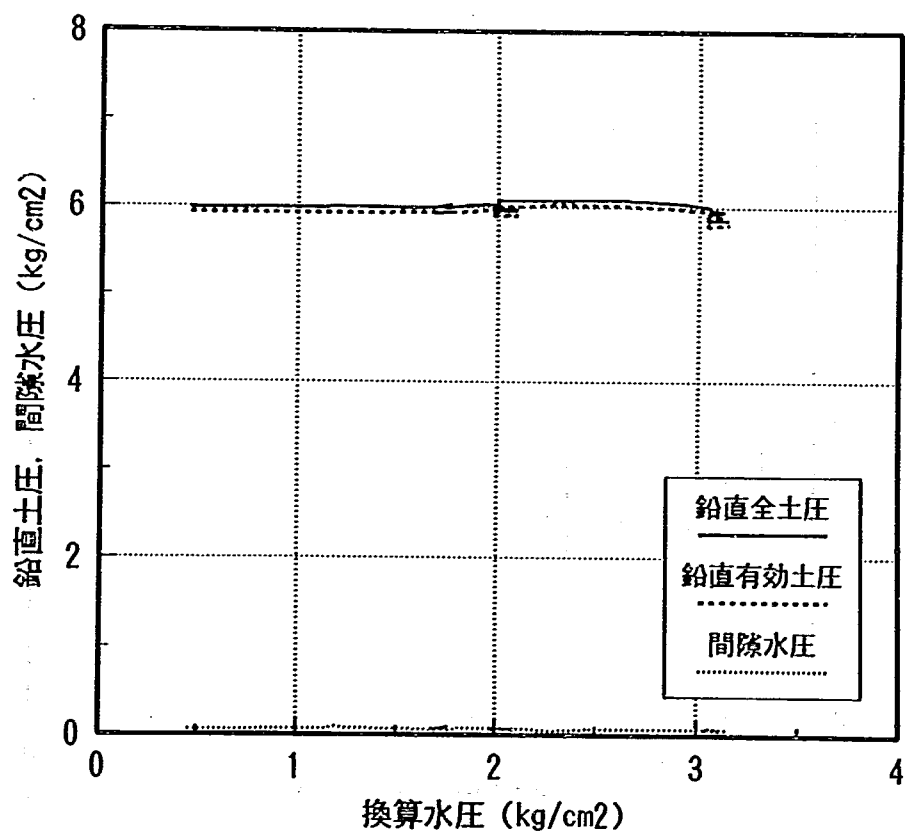


図-156 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Lダム; E-5)

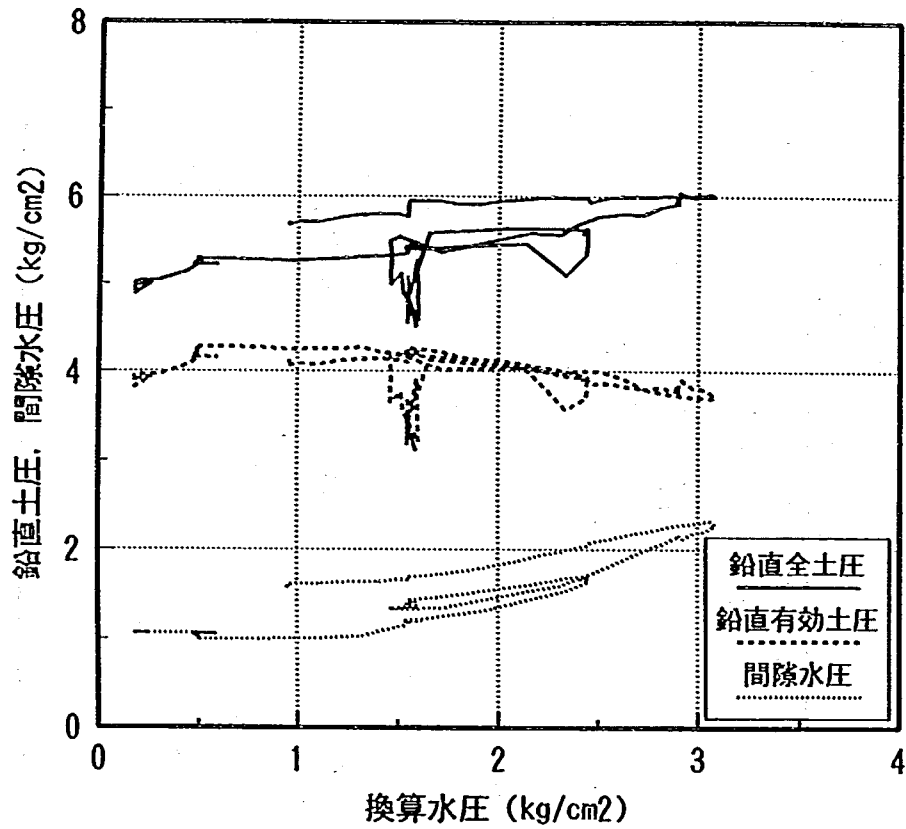


図-157 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Lダム; E-6)

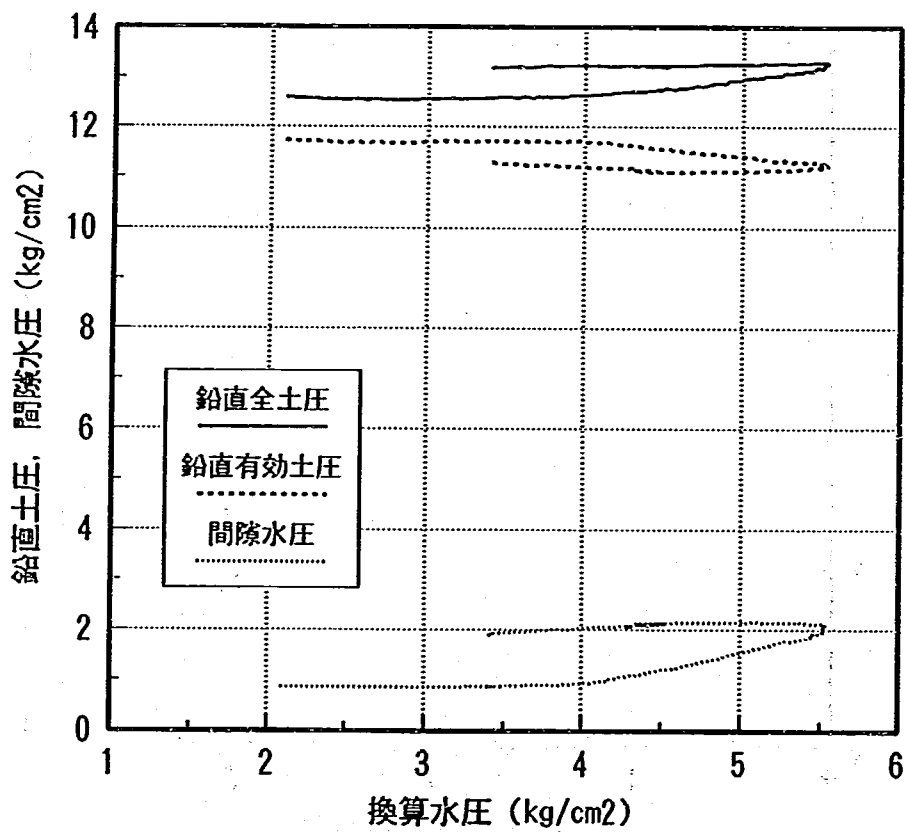
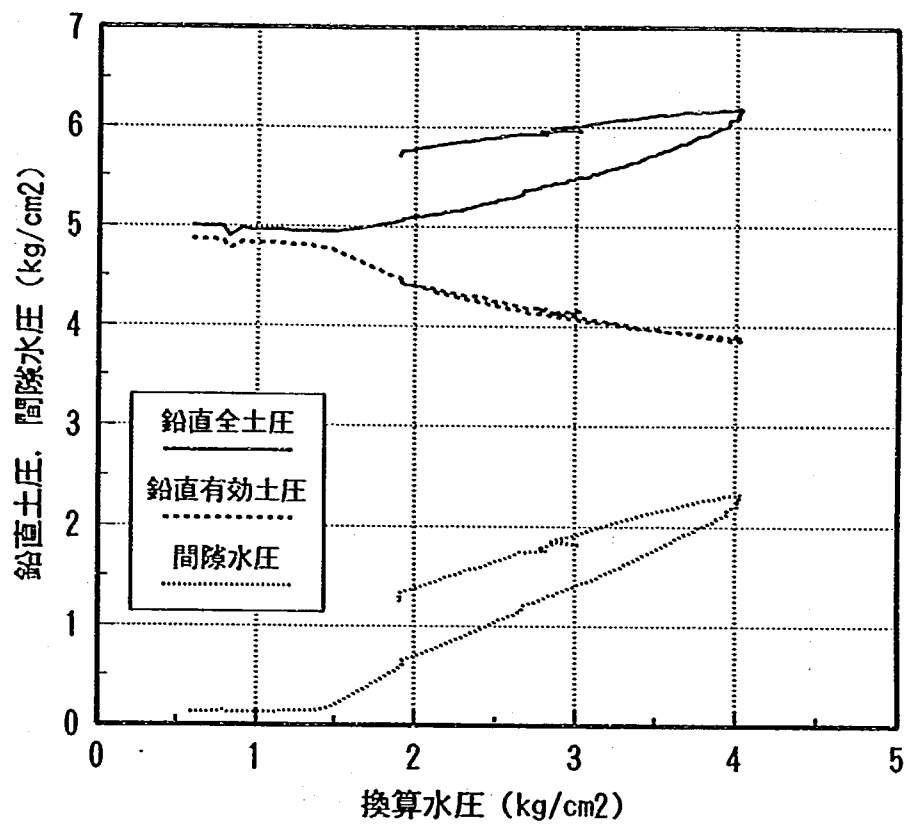
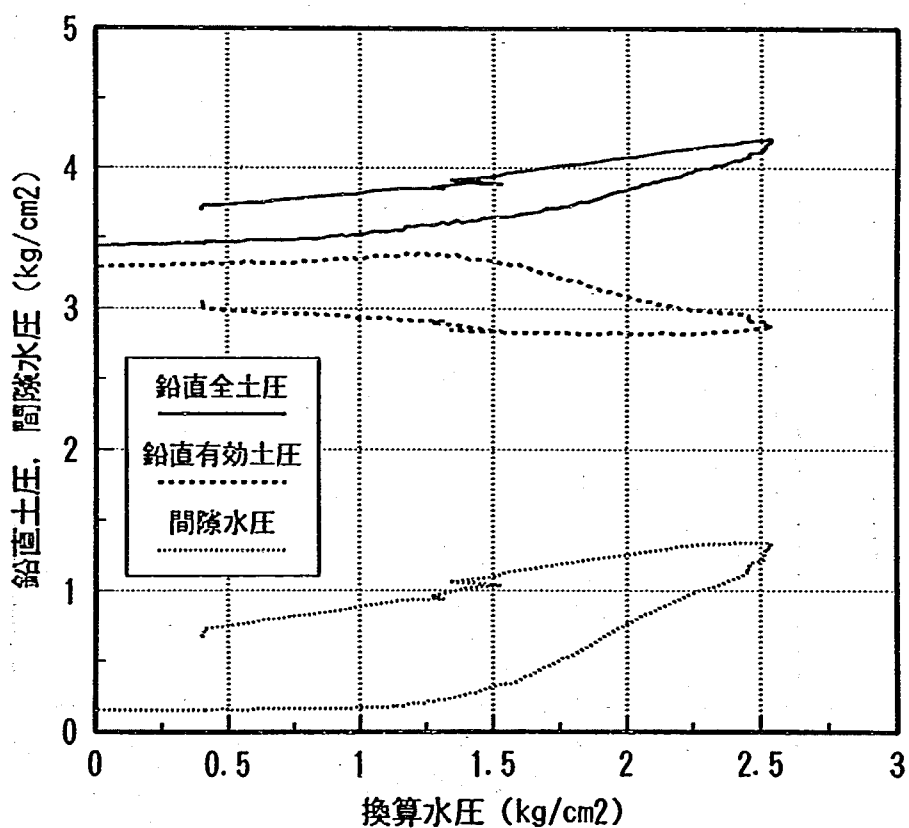


図-158 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Rダム; S-1)



図一159 換算水圧と鉛直土圧，間隙水圧 (Rダム ; S-2)



図一160 換算水圧と鉛直土圧，間隙水圧 (Rダム ; S-3)

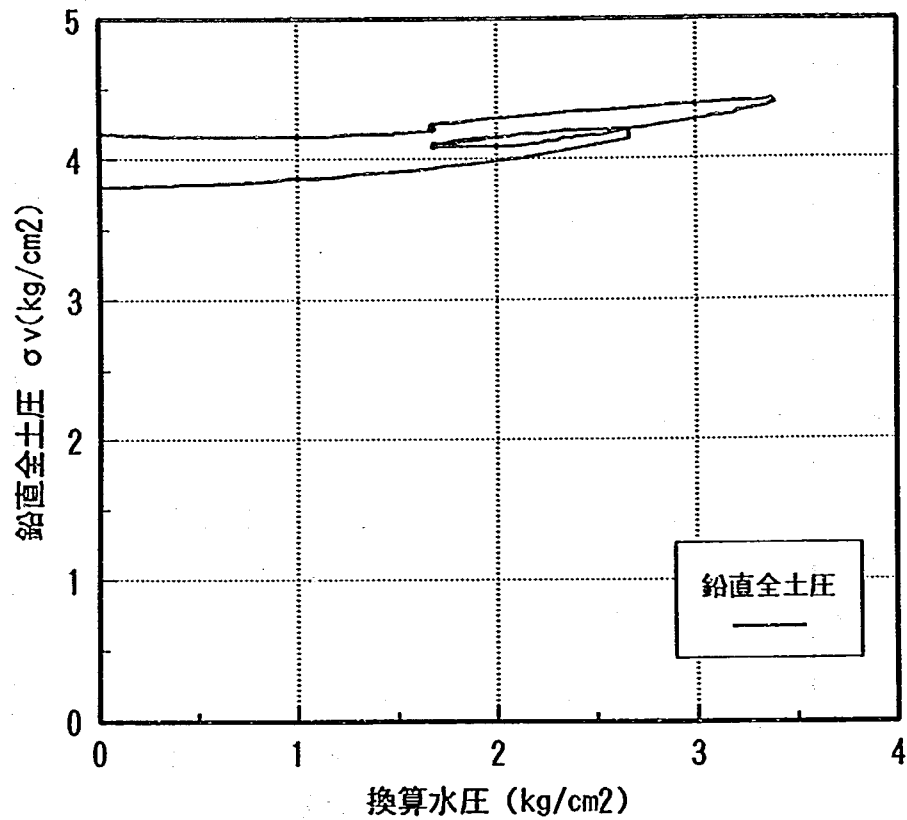


図-161 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Tダム; E-2)

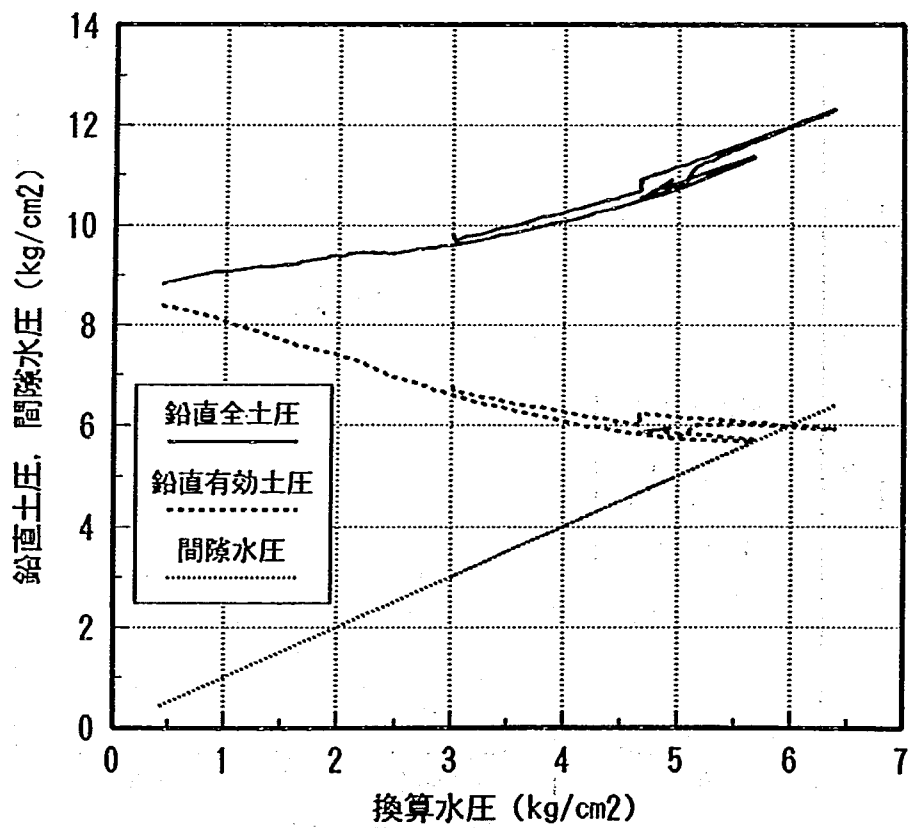


図-162 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Tダム; E-3)

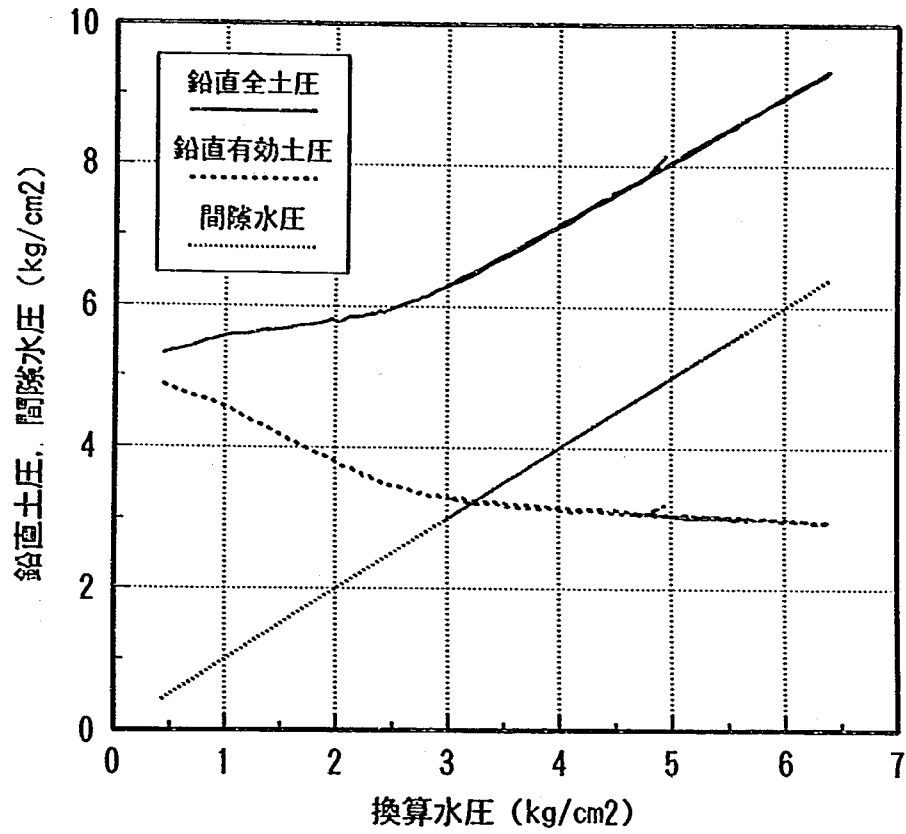


図-163 換算水圧と鉛直土圧，間隙水圧 (Tダム ; E-4)

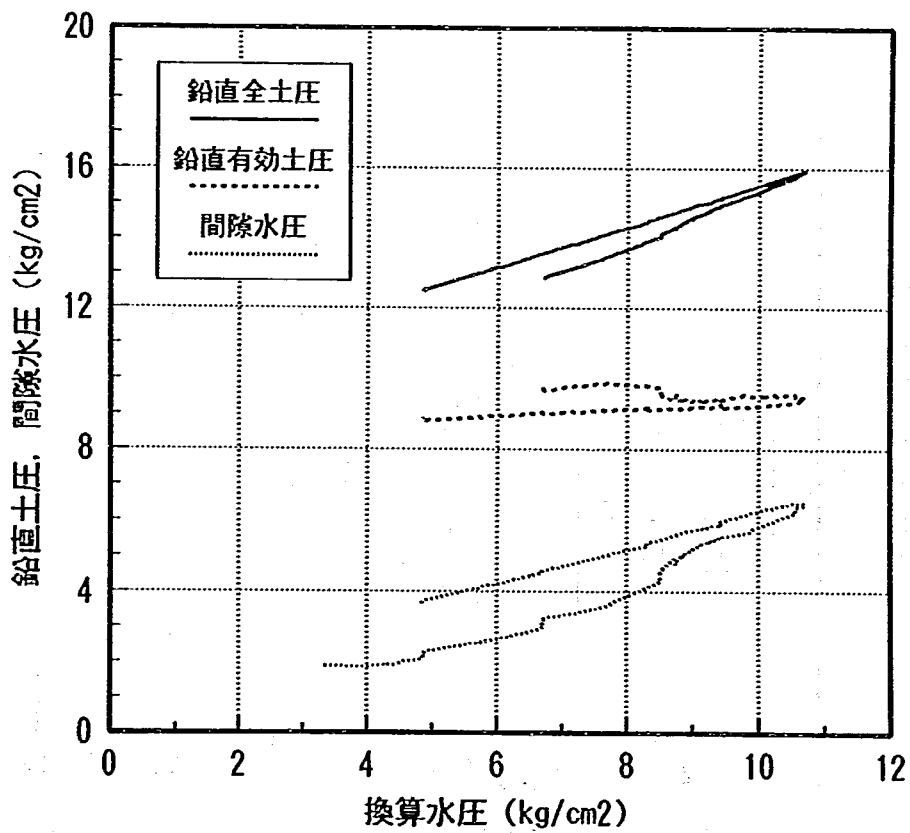
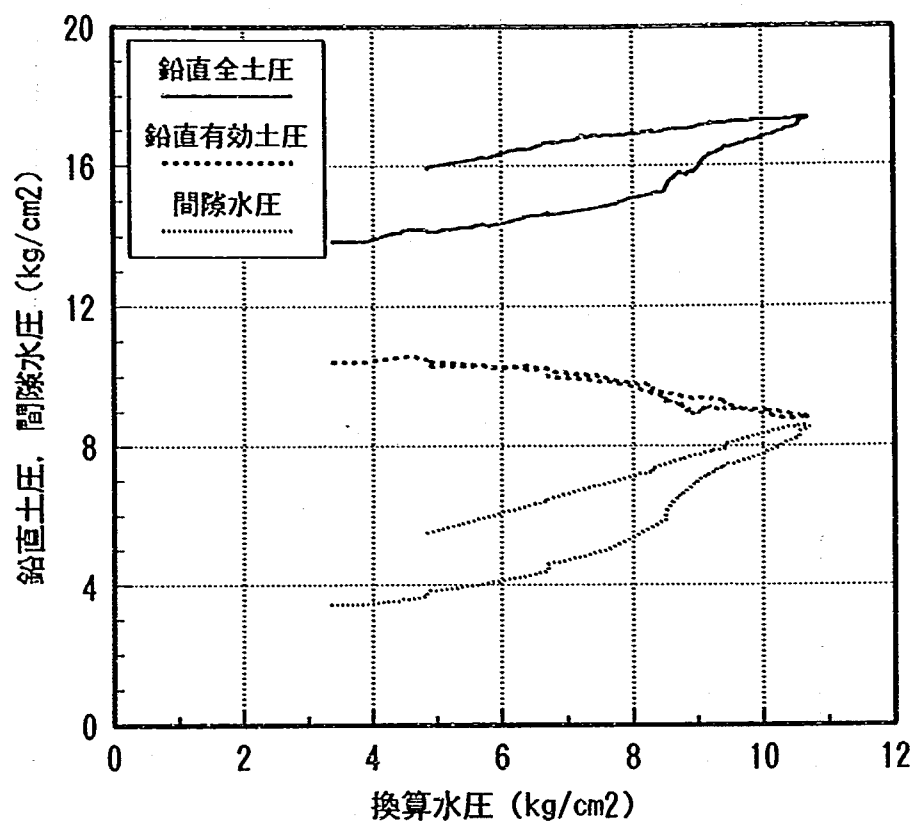
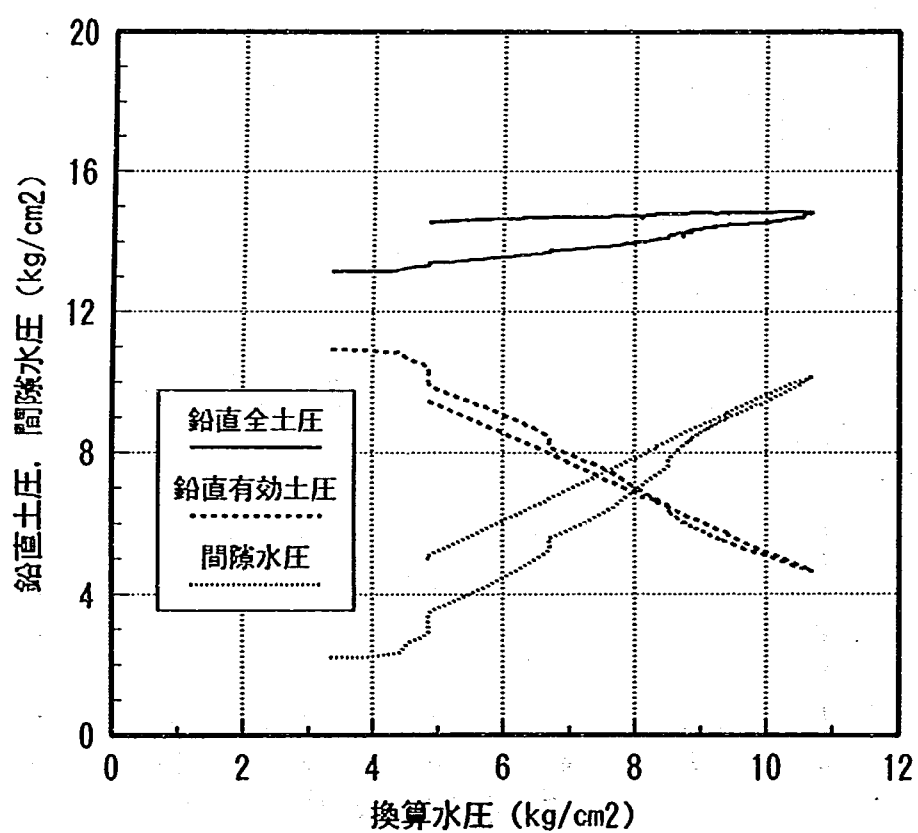


図-164 換算水圧と鉛直土圧，間隙水圧 (Vダム ; BEP-1)



図一165 換算水圧と鉛直土圧，間隙水圧 (Vダム ; BEP-2)



図一166 換算水圧と鉛直土圧，間隙水圧 (Vダム ; BEP-3)

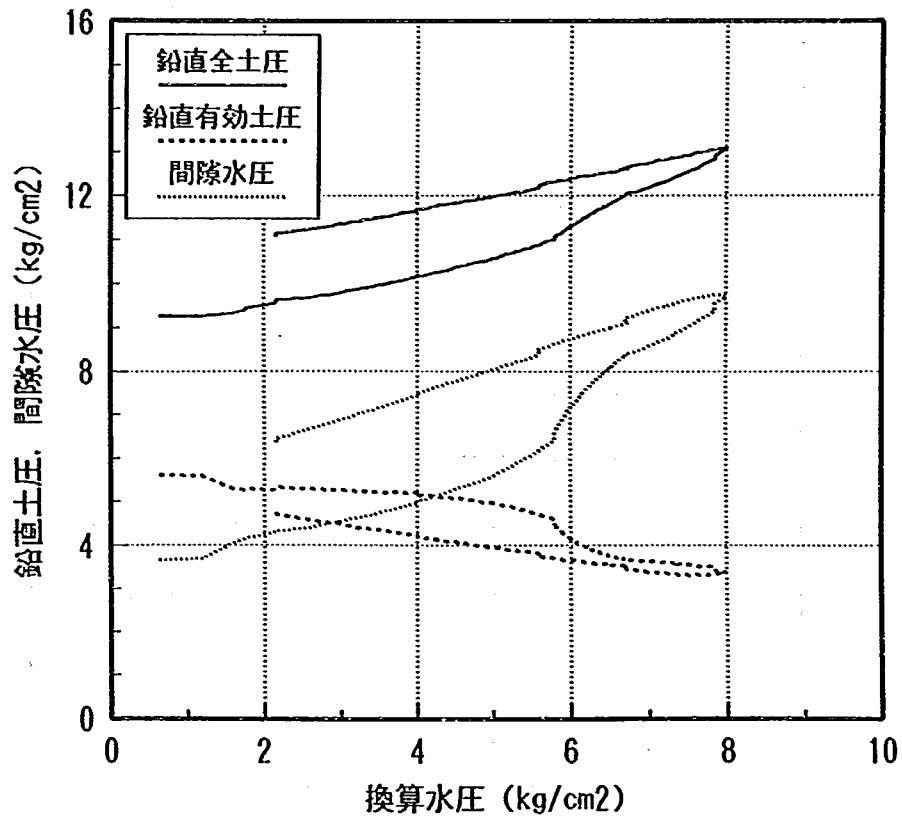


図-167 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム ; CEP-1)

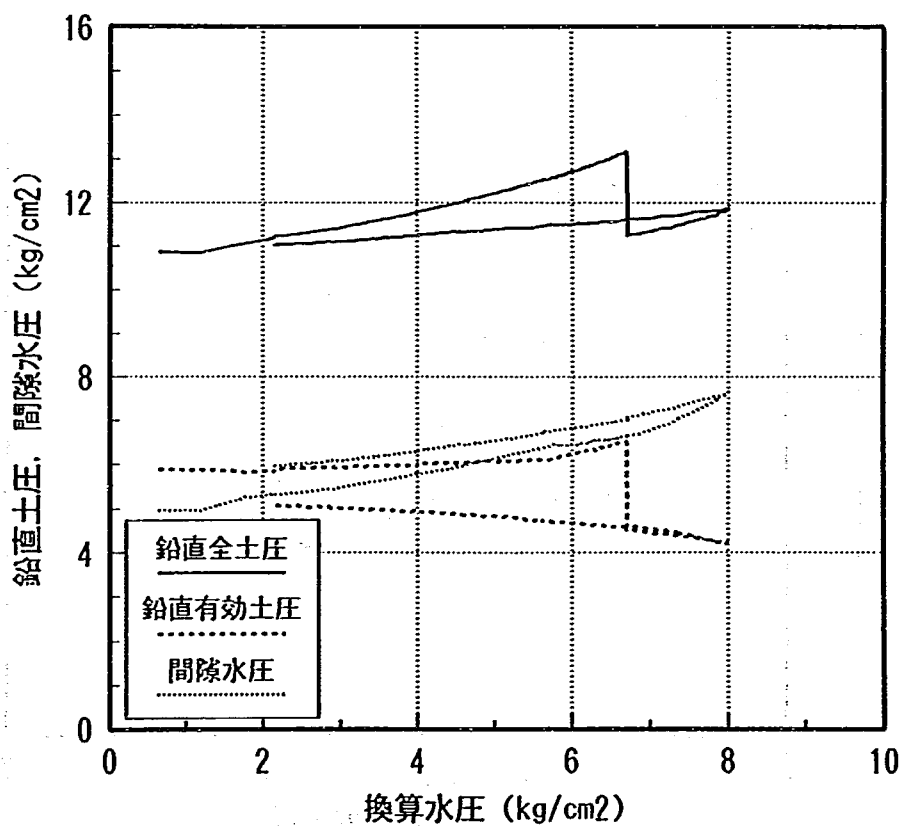
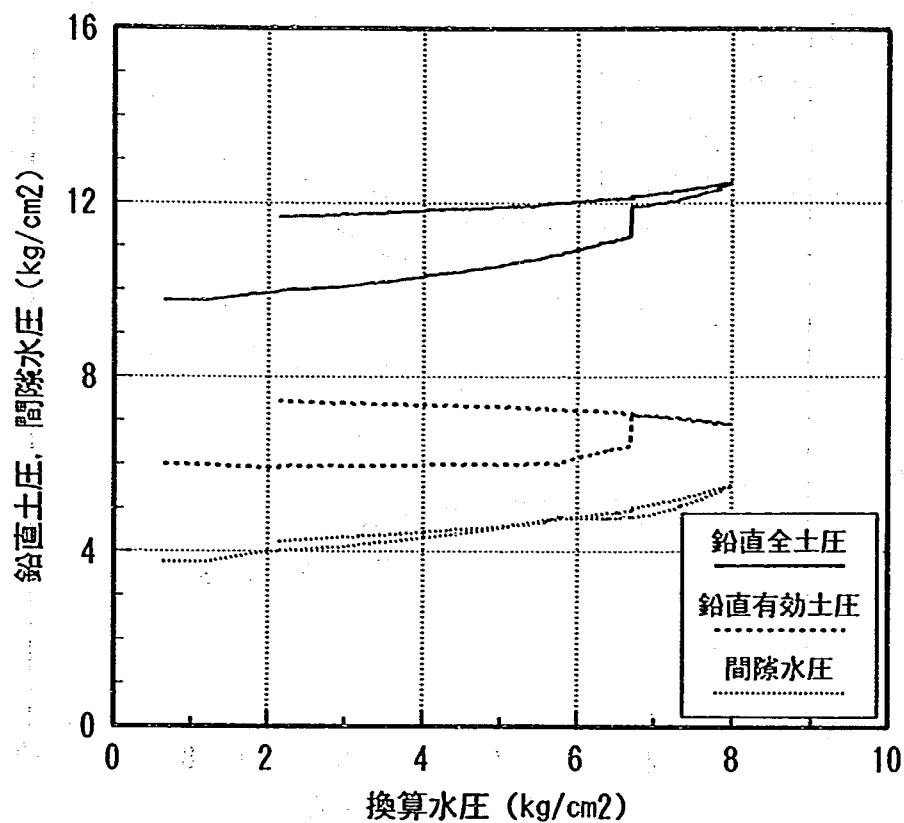
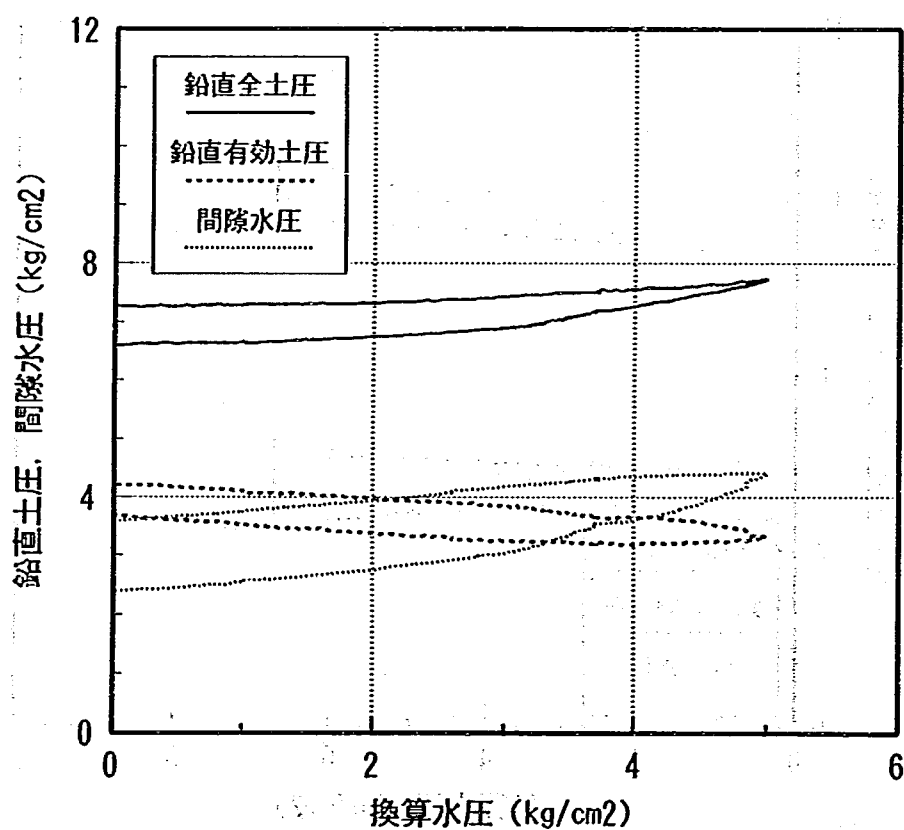


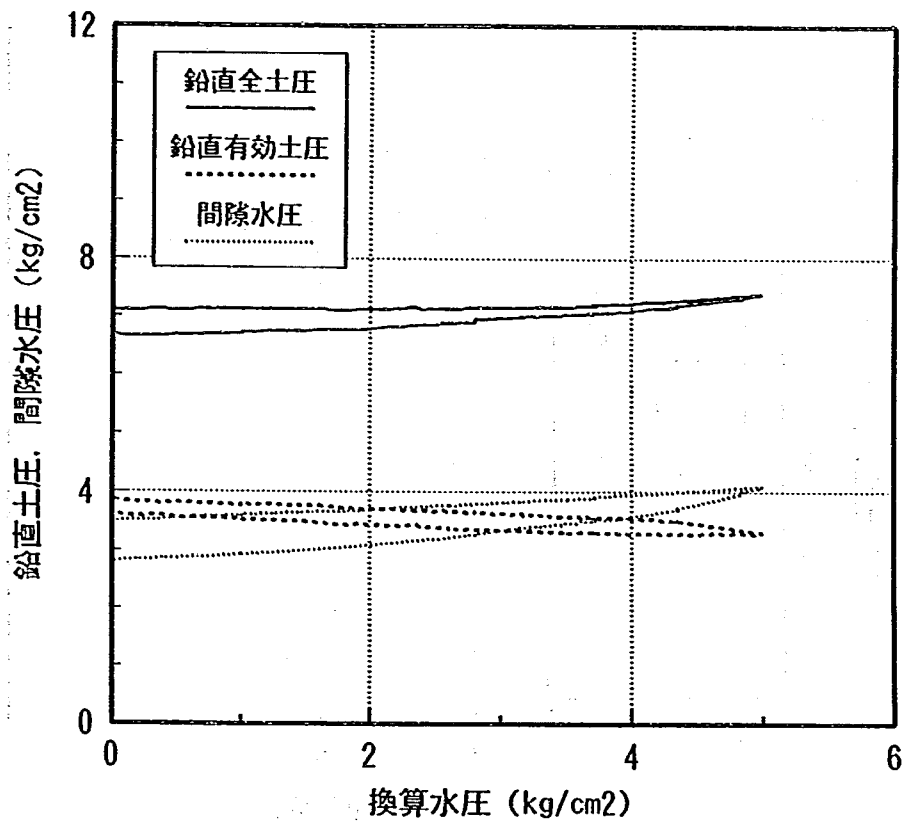
図-168 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム ; CEP-2)



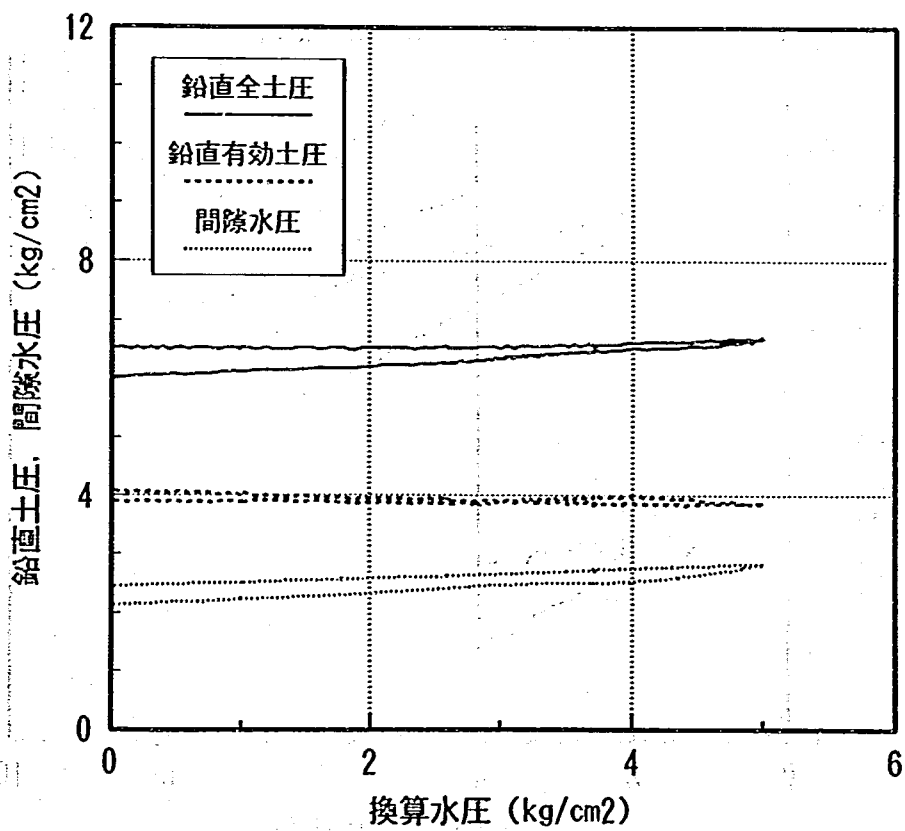
図一169 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム; CEP-3)



図一170 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム; CEP-4)



図一171 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム; CEP-5)



図一172 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム; CEP-6)

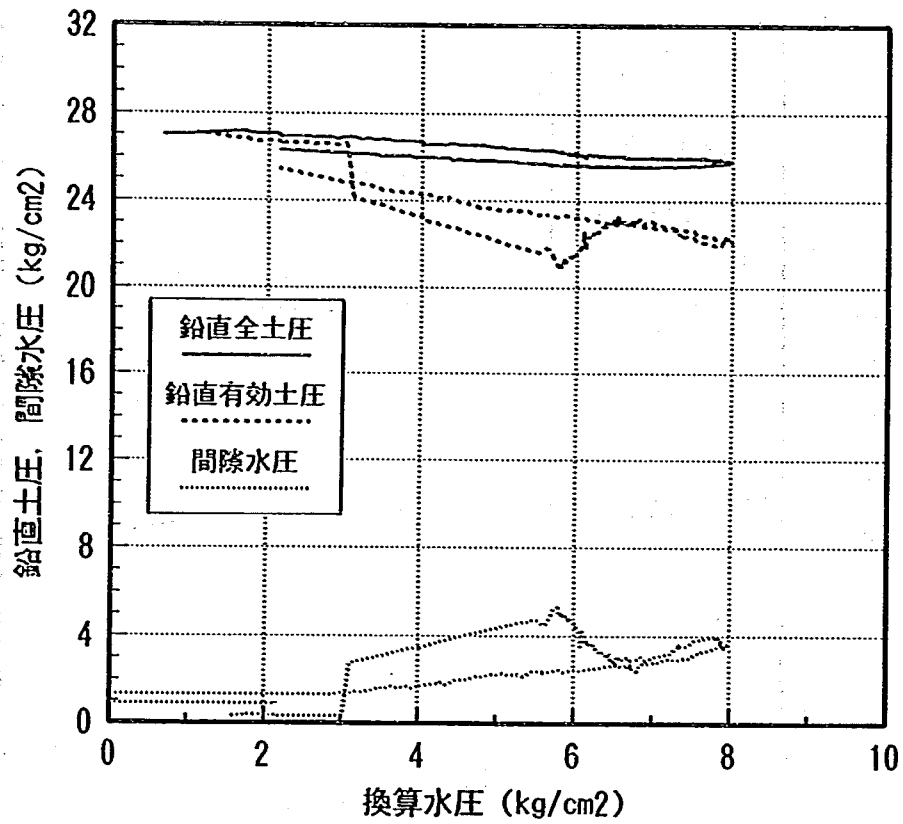


図-173 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム; FEP-1)

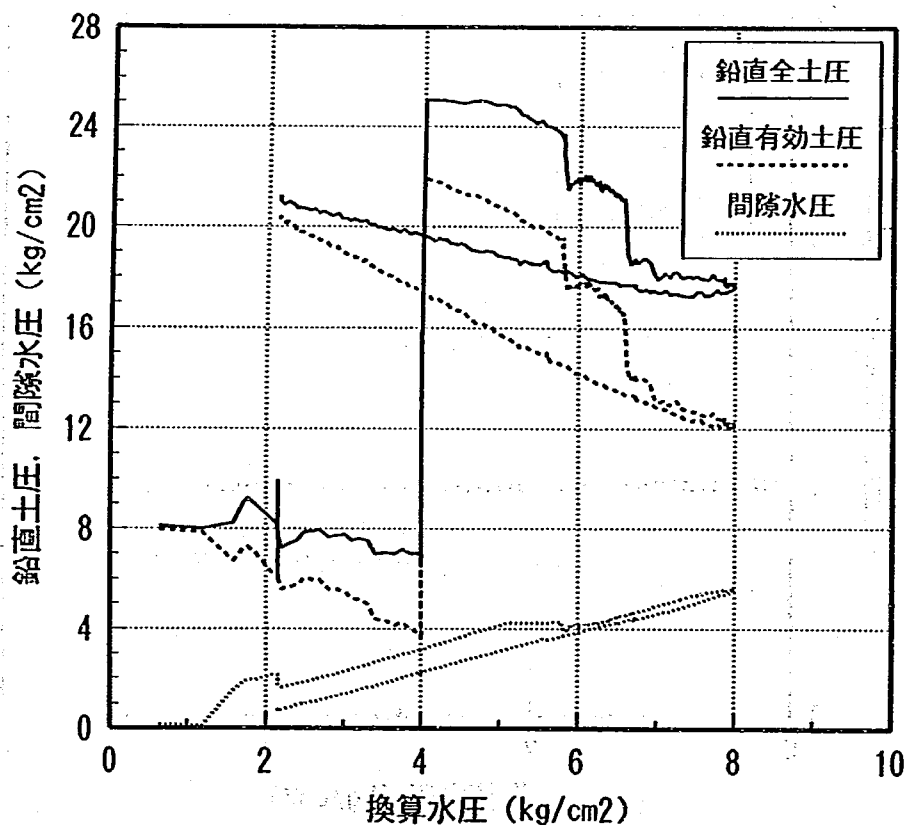
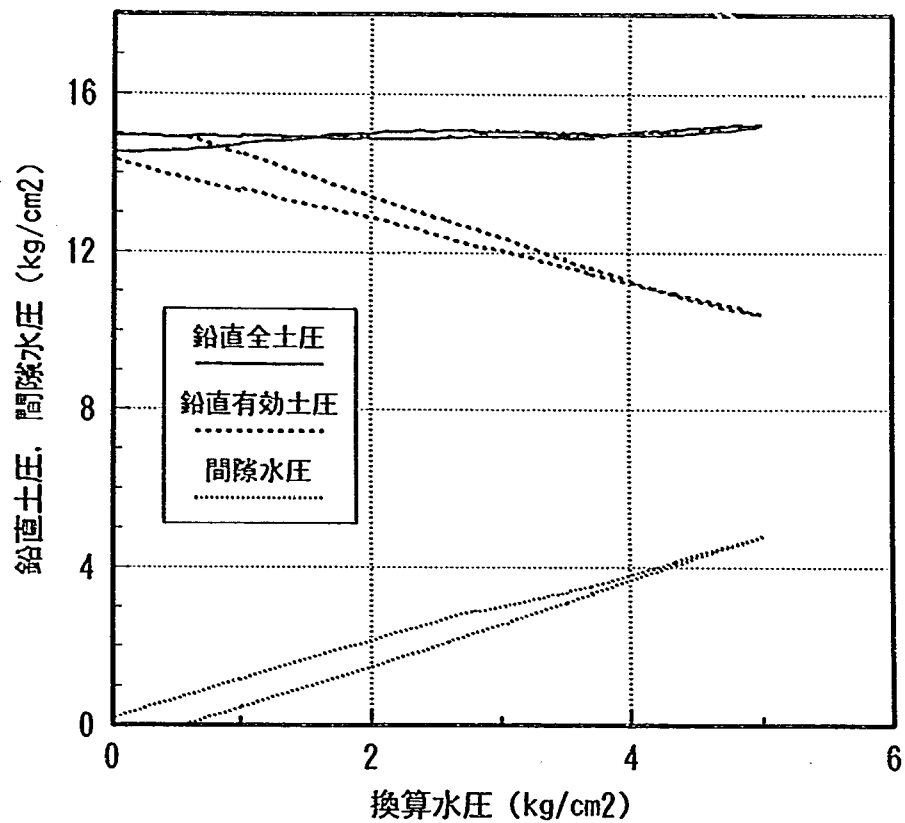
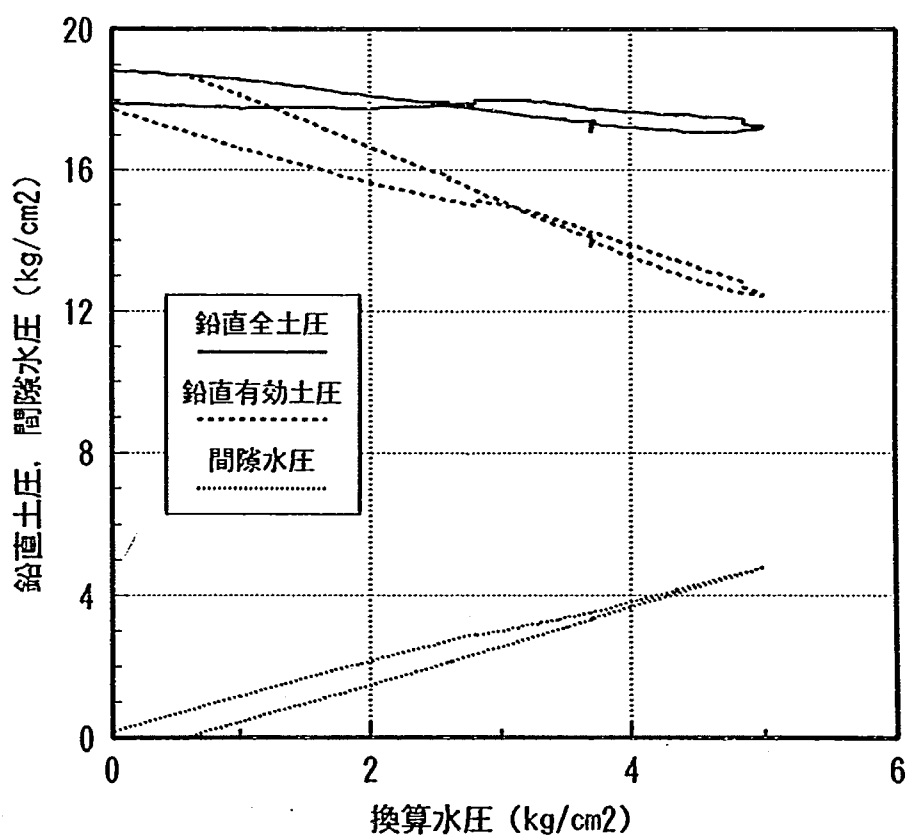


図-174 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム; FEP-2)



図一175 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム ; FEP-5)



図一176 換算水圧と鉛直土圧, 間隙水圧 (Vダム ; FEP-6)

フィルダムの挙動解析(その3)

—土圧, 間隙水圧—

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3422号

平成8年3月 (1996)

中村 昭, 小嶋 光博

藤澤 侃彦, 安田 成夫

伊藤 基博

要旨

本報告は、建設省所管のフィルダムに設置された計測計器のうち、土圧計および間隙水圧計によって計測された値を収集し、堤体盛立期間、初期湛水期間における計測値の変動傾向について整理・解析を実施したものである。

土圧は、鉛直全土圧とFEM解析値との比較を行い、その解析精度について検討した。また、盛り立てに伴う堤体内の主応力比の変化傾向を把握した。湛水期間においては、堤体内部のゾーン毎に、土圧の異なる変動傾向が確認された。

間隙水圧は、盛立期間および初期湛水期間中最高水位時のコア内部の分布状況について整理した。結果として、要因別に間隙水圧分布型の分類等がなされた。

キーワード: ロックフィルダム, 計測計器, 実測挙動, 土圧, 間隙水圧

郵便はがき

郵便切手
は
っ
て
下
さ
い

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室
行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 003

No. 003

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3422号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印