

土木研究所資料

フィルダム堤体の滑り土塊に作用する地震力の 簡易推定法

平成5年3月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright©(1993) 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、本報告書の全部または一部の転載、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。

フィルダム堤体の滑り土塊に作用する 地震力の簡易推定法

フィルダム研究室 室 長 中 村 昭
主任研究員 安 田 成 夫
部外研究員 横 山 真 至^{*)}

要 旨

フィルダムに作用する地震力としてすべり土塊の最大平均加速度 $\bar{a}_{max}$ に着目し、動的解析手法を用いて地震動の特性値からすべり土塊の $\bar{a}_{max}$ を簡易に推定する手法について検討し、以下の知見を得た。

地震動周波数特性値として加速度応答スペクトルをとり、 $\bar{a}_{max}$ の周波数応答関数から、 $\bar{a}_{max}$ に影響を与える領域でのスペクトルの平均値 S_m を算出した。これと、 $\bar{a}_{max}$ との関係を検討した結果、 S_m と $\bar{a}_{max}$ は原点を通る直線で近似される。

直線の勾配と y/H (y : ダム天端から円弧下端までの距離、 H : ダム高) の関係を減衰定数、堤体固有周波数等をパラメータとして評価した。本手法は概ね実測値と一致することが確認された。

キーワード: フィルダム、耐震設計、地震動、地震応答解析法、応答スペクトル

^{*)} 現(株)建設技術研究所 [平成3年4月～5年3月の間部外研究員として在籍]

Prediction method of seismic force acting on the sliding soil mass of the embankment dam body

Akira NAKAMURA
Head, Fill-type dam Division
Dam Department
Nario YASUDA
Chief Researcher, ditto
Shinji YOKOYAMA*
Researcher, ditto

Synopsis

Prediction method of seismic force acting on the sliding soil mass was investigated by using dynamic analyses considering the maximum average acceleration $\bar{a}_{max}$ and frequency characteristics of earthquake motions.

The average spectra S_{am} of frequency range influencing the maximum average acceleration was calculated by the acceleration response spectra of earthquake motions and the average frequency response function of the sliding soil mass. It was recognized that the relationship between S_{am} and $\bar{a}_{max}$ was approximated as the straight line which pass through the origin of the coordinate axes.

The relationship between the gradient of straight line and y/H was investigated parametrically with the damping ratio and the natural frequency of dam body. It was verified that the acceleration at crest by this method coincided with the observed acceleration.

Keywords: Embankment Dam, Seismic Design, Earthquake Motion, Dynamic Response analysis,
Response Spectrum

*Formerly, visiting researcher from C. T. I. Engineering CO., LTD. (April 1991 to March 1993).

まえがき

フィルダムの力学的安定性の検討は、通常計算が容易でかつこれまで多くのフィルダムの安定性の検討に用いられた実績があることから、円形すべり面を仮定したスライス法によって行われている。この安定計算において、堤体に作用する地震力を正しく評価することは重要な問題のひとつである。

震度法はダムの高さ方向に設計地震が一様と仮定して安定計算を行う手法であるが、ここでの仮定は地震動の卓越周期がダム堤体の固有周期に比べてはるかに大きい場合にのみ成立するものであり、必ずしも堤体に作用する地震力を正しく評価しているとはいえない。近年動的解析手法の発達に伴って、堤体に作用する地震力の評価に関する研究は進んでいるが、地震動の周波数特性と堤体の固有周波数との関係について着目した研究事例は少なく明かにされていない点が多い。

本論は、フィルダムに作用する地震力として、すべり土塊の最大平均加速度に着目し、地震動の加速度応答スペクトルからこれを簡易に推定する手法について述べたものであり、前報告「フィルダムに作用する地震力の評価」（土木研究所資料，第2997号，参考文献1））におけるすべり土塊の平均加速度の簡易推定手法に関して、その後補足および追加検討を行った結果を取りまとめたものである。

なお、研究の経緯および解析手法についての詳細な説明は、前報告に譲るものとする。

目 次

まえがき

1. 解析方法	1
1. 1 解析手法および解析モデル	1
1. 2 築堤材料の特性値	1
1. 3 入力地震動	3
1. 4 すべり円弧平均加速度の算定方法	4
2. すべり円弧最大平均加速度の簡易推定手法	11
2. 1 概 要	11
2. 2 すべり円弧最大平均加速度周波数応答関数	11
2. 3 加速度応答スペクトル	12
2. 4 すべり円弧最大平均加速度と平均加速度応答スペクトルの関係	13
2. 5 実測地震動との比較	16
3. まとめ	42
参考文献	44
付 録 (プログラムデータ入力説明)	45

(記号の説明)

本報告で用いる用語と記号の意味は下記のとおりである。

$\overline{a}_{max}$: すべり円弧の最大平均加速度 (gal)

a_{gmax} : 基盤入力加速度の最大値 (gal)

σ_m : 平均主応力 (kgf/cm²)

S_{am} : ある周波数領域に対する加速度応答 (倍率) スペクトルの平均値

f_0 : ダム堤体の 1 次固有周波数 (Hz)

f : 周波数 (Hz)

T : 周期 (sec)

y/H : ダム高 H に対するダム天端からすべり円弧下端までの距離 y の比率

1. 解析方法

1. 1 解析手法および解析モデル

一次元動的解析手法としてモード重畳法、SHAKEM、二次元動的解析手法としてQUAD-4、FLUSHの計4手法を用いて解析を行う¹⁾。

解析モデルは上下流方向の断面を対象とし、ダム諸元は表-1. 1に示すとおりである。なお、水位は設定しているが、動水圧の影響は考慮していない。

一次元動的解析においては、図-1. 1(1)に示す1次元要素分割図を用いている。ダム堤体は17層に分割しており、基盤を含めると18層となる。モード重畳法の場合、基盤はモデル上含まれない。図中の破線は後述するSHAKEMの解析手法を用いる際のモデル形状を表している。

二次元動的解析の場合は図-1. 1(2)に示す2次元有限要素断面を用いており、要素数は261個、節点数は271個である。なお、境界条件として基盤は剛体とし、ダム堤体底面を剛結させている。QUAD-4とFLUSHのモデルは全く同じである。

1. 2 築堤材料の物性値

ロックフィルダムの築堤材料は大半がロック材料であり、フィルター材料およびコア材料を考慮しても解析上その与える影響は小さいと考えられることから、モデル上、築堤材料はロック材料のみとする。

1. 2. 1 セン断弾性係数

せん断弾性係数については、ダムのロック材料の室内繰返し三軸試験結果を基に設定する。図-1. 2は建設省東北地方建設局七ヶ宿ダムのロック材料の基準化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係を示したものである。せん断弾性係数は拘束圧（平均主応力）に依存するが、せん断ひずみ γ が 10^{-5} の時の初期せん断弾性係数を用いて基準化すると実験結果はほぼ一本の曲線で表すことができる。

初期せん断弾性係数は、各層あるいは各要素の平均主応力 σ_m から次式を用いて算出する。この式は室内試験結果を基に設定したものであり、単位は kg/cm^2 である。

$$G_0 = 930 \cdot \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \cdot (\sigma_m)^{0.6} \quad \text{-----} \quad (1.1)$$

なお、拘束圧が 1 kg/cm^2 以下の場合は拘束圧 1 kg/cm^2 のときの初期せん断弾性係数を設定し一定としている。2次元動的解析における各要素の平均主応力 σ_m は次式によって与えられる。

$$\sigma_m = \frac{1 + 2K}{3} \cdot \gamma \cdot D \quad \text{-----} \quad (1.2)$$

ここで、 K は主応力比で三保ダムの実測値から 0.5 としている。 γ は単位体積重量で 1.88 t/m^3 と設定し、飽和重量 2.08 t/m^3 としている。 D は各要素の重心の地表からの深さを表している。

1次元動的解析SHAKEMの拘束圧 σ_m は、着目する層の重心より上部にある堤体の全重量を層幅で割ることで算定される。

1. 2. 2 減衰定数

減衰定数は堤体の応答加速度に大きく影響を与えるパラメータであり、その設定は重要である。

減衰定数はせん断ひずみに依存すると共に、微小ひずみ領域においては拘束圧にも依存することがわかっている。しかし、大規模な地震を想定した場合のせん断ひずみは $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 程度の大きさであり、このような大きなひずみ領域の減衰定数についてはよくわかっていないのが現状である。

Bon Tempeダムの資料を用いた実験によると弾性領域内にあるような低レベルの振動では減衰定数は $5 \sim 10\%$ の値であるが、大地震を想定した場合には 20% 程度の値をとることが示唆されている²⁾。既往の研究における解析でも多くの場合、減衰定数は 20% の値が用いられている。

図-1. 3 はやはり七ヶ宿ダムのロック材料の減衰定数とせん断ひずみの関係を表したものである。ロック材料の内部逸散減衰は想定されるひずみに対して約 10% 程度の大きさを示すものと考えられる。また、貯水位がある場合減衰定数が増加することは実験的に示されており³⁾、満水時には空虚時に比べて約 10% 程度に増加することが示唆されている⁴⁾。したがって、満水時における地震時の減衰

定数は約20%ということになる。

よってここでは、解析上の問題点を不明瞭にしないために、地震の規模や上記の既往の研究の研究結果等を踏まえて減衰定数をせん断ひずみ、拘束圧に関わらず一律20%と設定することとする。

1. 3 入力地震動

ダムサイト岩盤で観測された地震動観測記録から21個の地震動を選定した。地震動の諸元を表-1. 2に示す。

なお、入力地震動の最大加速度は0.2G（G：重力加速度, 980gal）となるように、実地震動の加速度を調整している。

1. 4 すべり円弧平均加速度の算定方法

基本的にすべり円弧の平均加速度は次式より算定する（図-1.4参照）。

$$\bar{a}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n \{m_i \times a_{hi}(t)\}}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{-----} \quad (1.3)$$

ここに、 $a_{hi}(t)$ ：すべり円弧土塊中の各節点の水平応答加速度時刻歴

m_i ： " の占める質量

i ：節点番号

N ： " 数

ただし、モード重量法においては、第 i 層より上部のすべり円弧土塊の平均加速度は次式で算定する。

$$\bar{a}(t) = \frac{F_i(t)}{\sum_{s=i}^n m_s}, \quad F_i(t) = K_i \times \{y_i(t) - y_{i-1}(t)\} \quad \text{-----} \quad (1.4)$$

ここに、 F_i ：第 i 層と $(i-1)$ 層間で働くせん断力

K_i ： " のバネ定数

y_i ：第 i 層の質点の相対変位

また、SHAKEMにおいては、次式に示すように、各層の水平加速度 a_{hi} を境界点の加速度 a_{bi} の平均値で表し、円弧内の各層の面積 A_i で重みをつけた平均値で算出する（図-1.5参照）。

$$a_{hi}(t) = \{a_{bi}(t) + a_{b(i+1)}(t)\} / 2 \quad \text{-----} \quad (1.5)$$

$$\bar{a}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n \{a_{hi}(t) \cdot A_i\}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{-----} \quad (1.6)$$

QUAD-4、FLUSHについては、円弧内の節点を共有する要素面積の重み付きで算出

するものとし、例えば、図－1. 6に示す場合は次式となる。

$$a_{pi}(t) = a_{ii}(t) \times (A_j/3 + A_{j+1}/4 + A_{j+2}/3) \quad \text{-----} \quad (1.7)$$

$$\overline{a}(t) = \sum_{i=1}^n a_{pi}(t) / \sum_{j=1}^n A_j \quad \text{-----} \quad (1.8)$$

ここに、 $a_{ii}(t)$ ：節点 i の水平加速度時刻歴

$a_{pi}(t)$ ： $a_{ii}(t)$ に対して面積の重みをつけた加速度

以下において、 $\overline{a}(t)$ の最大値を $\overline{a}_{max}$ と示す。

二次元解析において、具体的に検討したすべり円弧の形状を図－1. 7に示す。

すべり円弧は円弧下端標高が同じで形状が異なる2パターンの円弧形状を考えた。これは、基本的にSHAKEMについても同様とした。

解析の結果円弧形状(2)の方が(1)に比べ約5%程度大きかったが、傾向は全く同じであった。以下では、円弧形状(1), (2)の平均値でもって同一下端標高をもつすべり円弧の $\overline{a}_{max}$ を評価することとした。

表-1.1 ダム諸元

堤 高	63.0 m
堤 頂 長	12.0 m
法 勾 配	上流側 1:2.6 下流側 1:2.0
ゾーン断面	コア勾配 上流側 1:0.22 下流側 1:0.22
	フィルター勾配 上流側 1:0.47 下流側 1:0.47
設計高水位	ダム天端より 5.0m の位置

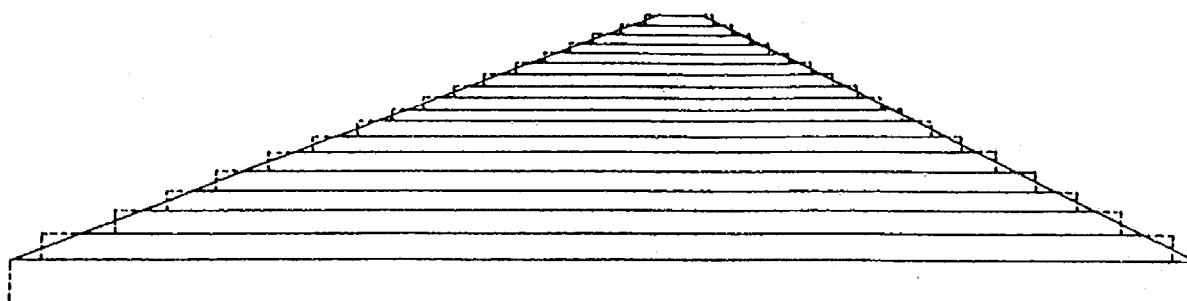


図-1.1(1) 1次元要素分割図

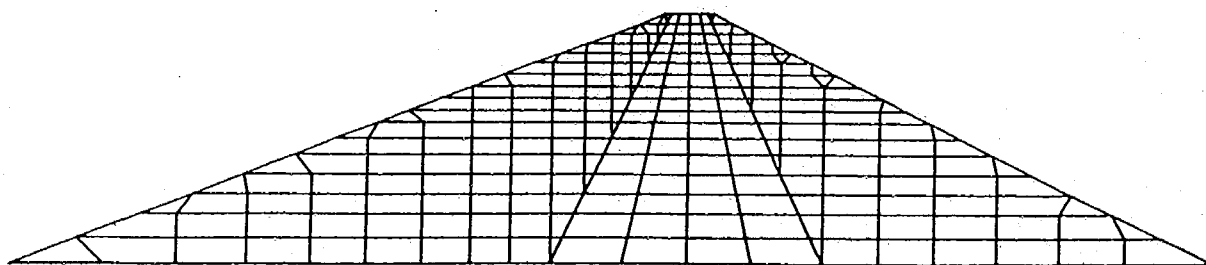


図-1.1(2) 2次元要素分割図

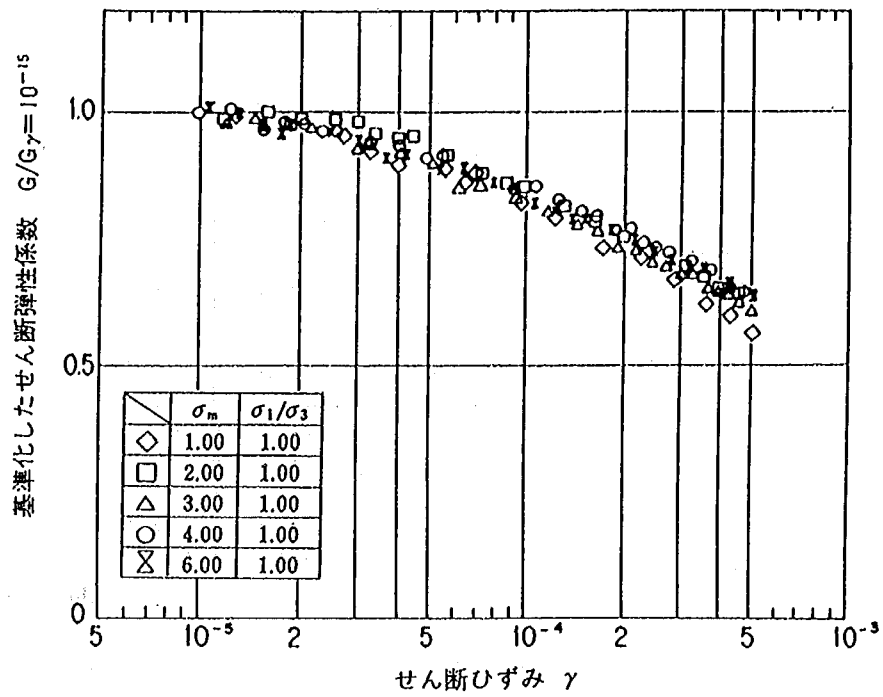


図-1.2 せん断弾性係数とせん断ひずみの関係

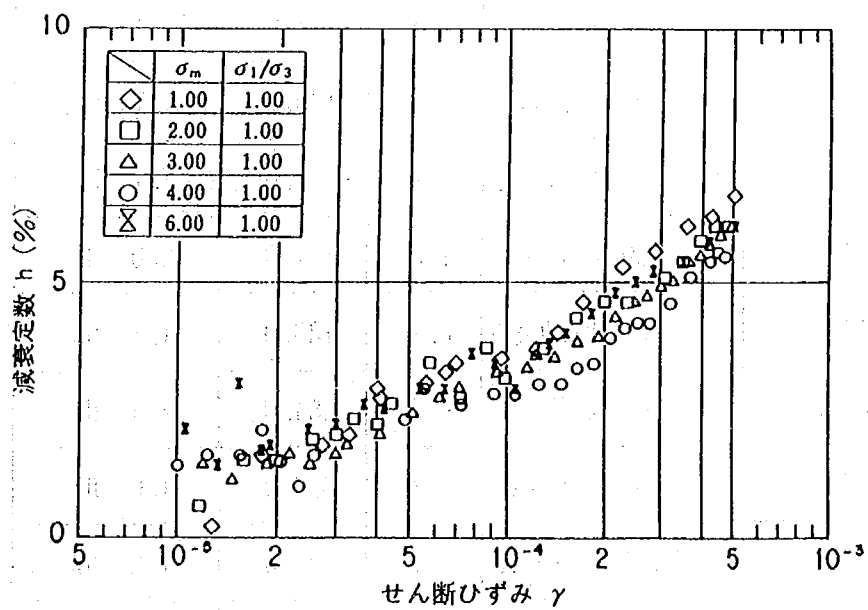


図-1.3 減衰定数とせん断ひずみの関係

表-1.2 地震動の諸元

ケース	観測地点	地震名	M	L (Km)	卓越周波数 F	最大加速度 (gal)
(1)	御所ダム	日本海中部地震	7.7	198.0	0.59 Hz	6.1
(2)	皆瀬ダム	宮城県沖地震	7.4	167.0	0.78 Hz	48.0
(3)	横山ダム	岐阜県中部地震	6.6	60.0	1.07 Hz	13.2
(4)	十勝ダム	日高山脈北部地震	7.0	62.0	1.61 Hz	18.0
(5)	田瀬ダム	日本海中部地震	7.7	264.0	2.39 Hz	8.7
(6)	御所ダム	岩手県中部地震	6.6	67.0	3.20 Hz	38.1
(7)	三保ダム	伊豆半島沖地震	6.7	56.0	4.15 Hz	21.7
(8)	三保ダム	神奈川県西部地震	5.8	12.0	6.59 Hz	148.3
(9)	三保ダム	山梨県東部地震	4.5	12.0	14.1 Hz	193.1
(10)	湯田ダム	宮城県沖地震	7.4	169.0	1.7 Hz	25.1
(11)	鶴田ダム	鹿児島県北部地震	4.9	7.0	7.1 Hz	360.1
(12)	田瀬ダム	東北中部地震	7.0	161.0	2.0 Hz	32.3
(13)	御所ダム	東北地震	6.2	189.0	1.1 Hz	9.6
(14)	四時ダム	東北地震	6.2	54.0	2.4 Hz	9.8
(15)	湯田ダム	日本海中部地震	7.7	216.0	1.0 Hz	17.7
(16)	石湊ダム	日本海中部地震	7.7	232.0	1.2 Hz	24.6
(17)	石湊ダム	岩手県南部地震	3.9	9.0	8.0 Hz	37.5
(18)	石湊ダム	岩手県中部地震	6.6	111.0	2.4 Hz	40.7
(19)	四時ダム	岩手県中部地震	6.6	334.0	2.3 Hz	8.8
(20)	湯田ダム	岩手県中部地震	6.6	97.0	6.9 Hz	23.0
(21)	鹿の子ダム	日高山脈北部地震	7.0	137.0	1.8 Hz	8.7

(注) M: マグニチュード、L: 震央距離

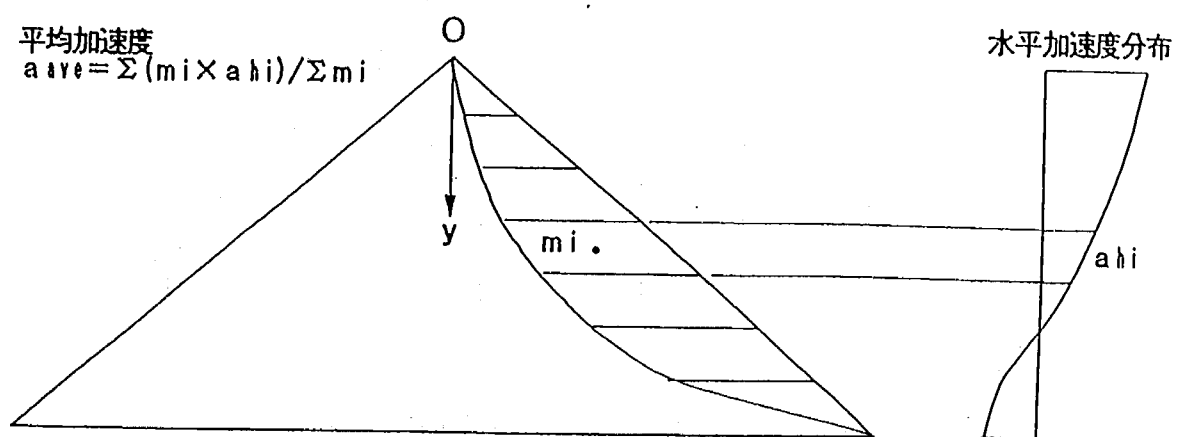


图-1.4 平均加速度算定法模式图

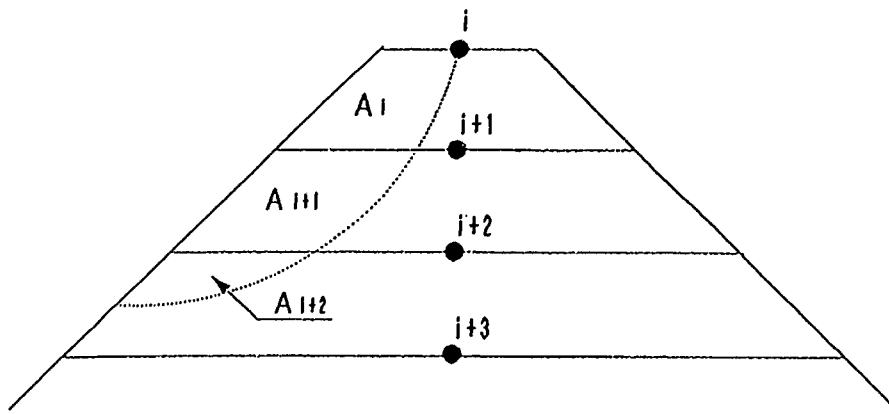


図-1.5 平均加速度算定法 (SHAKEM)

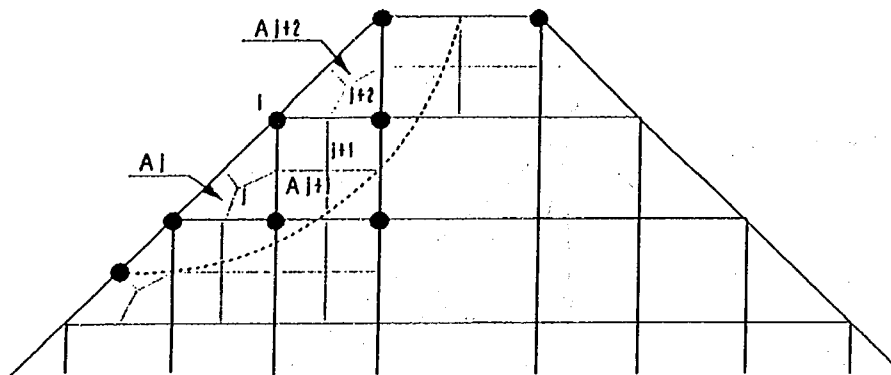


図-1.6 平均加速度算定法 (2次元解析法)

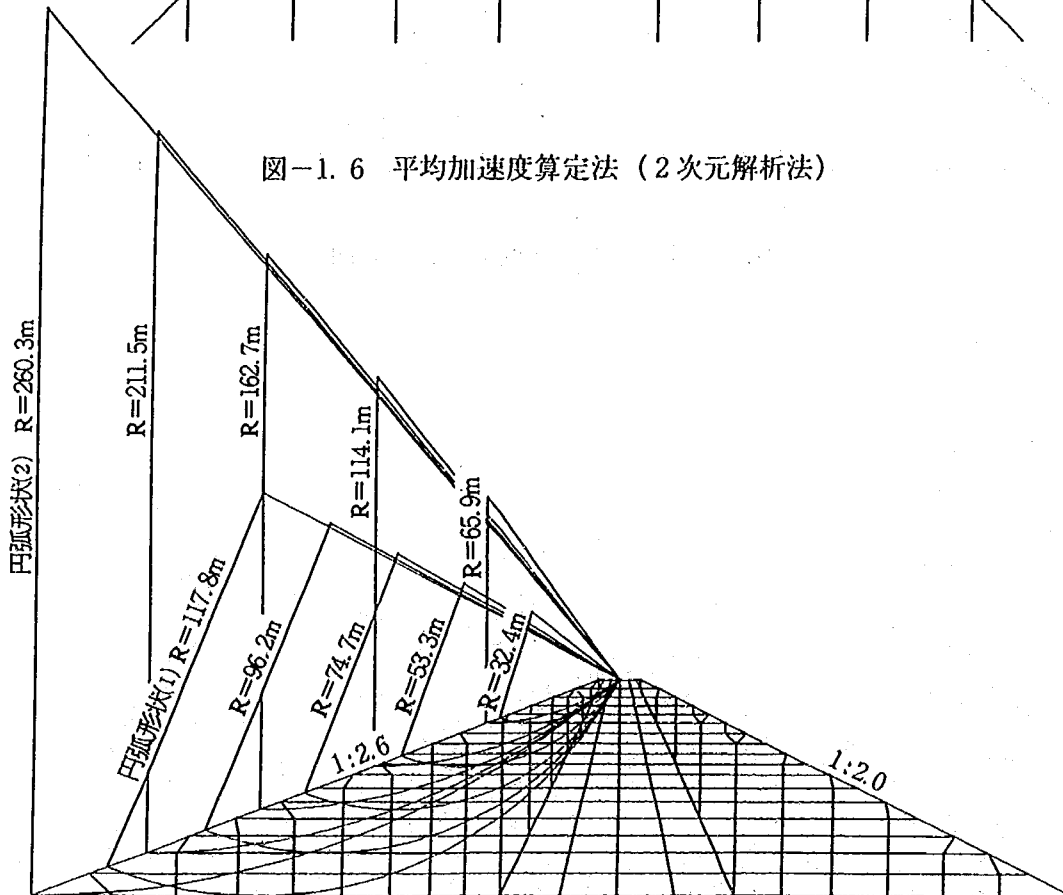


図-1.7 検討すべり円弧形状 (2次元解析)

2. すべり円弧最大平均加速度の簡易推定手法

2. 1 概 要

目的は、すべり円弧の最大平均加速度 $\bar{a}_{max}$ を想定される地震動の周波数特性値から推定することである。ここでは、地震動の周波数特性値として、加速度応答倍率スペクトルをとり、特にすべり円弧の平均加速度に影響を与えられとされる周波数領域の平均値 S_{am} と $\bar{a}_{max}$ との関係を求め、その関係によって入力される地震動の S_{am} から $\bar{a}_{max}$ を推定するものである。

2. 2 すべり円弧最大平均加速度周波数応答関数

2. 2. 1 各計算手法の比較

図-2. 1は、単位振幅をもつ種々の周波数の正弦波を入力したときの各計算手法によるすべり円弧の $\bar{a}_{max}$ の周波数応答倍率を示したものである。ただし、横軸は地震動の周波数を堤体の基本固有周波数で無次元化したものである。

まず、一般的な傾向として、各すべり円弧の $\bar{a}_{max}$ に対して応答倍率が1以上となる周波数領域は、高標高のすべり円弧ほど広くなることがわかる。

各計算手法の違いについては、堤体の固有周波数付近では各手法ともほぼ一致しているが、高周波数領域で差が生じている。特に、天端付近（高標高のすべり円弧）では、1次元解析SHAKEMの値が大きく、中・低標高部では、モード重畳法の結果が他の手法よりも若干小さい値を示している。

2. 2. 2 固有周波数，減衰定数の影響

すべり円弧の最大平均加速度周波数応答関数に与えるダム堤体の基本固有周波数および減衰定数の影響をモード重畳法を用いて検討を行った。

図-2. 2は、ダム形状は相似形でかつせん断弾性係数も同じとして、ダム高さを30m, 63m, 110mとした場合のすべり円弧の最大平均加速度周波数応答関数を示したものである。ただし、それぞれのダムの基本固有周波数（ダム高30mで3.54Hz, 63mで1.68Hz, 110mで0.96Hz）は固有方程式の解から求め、横軸の地震動の周波数をこれで無次元化している。

これより、ダム高30m, 63mのケースでは、ほとんど一致しているが、ダム高110mのケースになると、他のケースに比べ左へシフトしたような形となっている。また、高標高のすべり円弧 (y/H の値が小さい円弧) ほど、すべり円弧の $\bar{a}_{max}$ の応答倍率のピークが $f/f_0 = 1$ より小さいところで生じている。

これは、表-2. 1に示すように、固有方程式の解から求めた堤体の固有周波数と、すべり円弧の最大平均加速度周波数応答関数から求められるすべり円弧の固有周波数の間に差が生じるためであり、ダム高が高くなるほど、あるいはすべり円弧が大きくなるほど、高次モードの影響が強くなり、その差が大きくなるためと考えられる。

しかし、基本的には、ダム堤体の1次固有周波数で無次元化すれば、すべり円弧の最大平均加速度周波数応答関数は、堤体の固有周波数によらずほぼ同じ形状となることがわかる。

減衰定数の影響に対しては、ダム高63mのケースに対して、減衰定数を10%とした場合の計算結果を図-2. 3に示す。

これより、減衰定数が小さくなると、高標高のすべり円弧ほど、 $\bar{a}_{max}$ の応答倍率が1以上となる周波数領域が広くなる傾向にある。

2. 3 加速度応答スペクトル

地震波形の周波数特性を表すものとしては、種々のスペクトル（フーリエスペクトル、パワースペクトル、応答スペクトル等）が考えられる。

フーリエスペクトル、パワースペクトルは地震波そのものの周波数特性を表しているが、応答スペクトルは構造物に与える地震波の周波数特性を表現している。また、フーリエスペクトル、パワースペクトルは通常平滑されたものが使用されているが、この平滑化されたスペクトルは設定したバンド幅やデータの個数によって異なり普遍的でない。

よって、すべり円弧の平均加速度に与える地震動の周波数特性を検討する上では、応答スペクトルを使用するのが妥当であると考えられる。

ここでは、特に構造物に作用する力を表す加速度応答スペクトルを用いて検討を行った。

図-2. 4 (1), (2)にケース1～8の各地震動に対する減衰定数 $h=10\%$, 20% の場

合の加速度応答スペクトルを示す。ただし、縦軸は入力地震動の最大加速度で無次元化した加速度応答倍率（すなわち、加速度応答倍率スペクトル）を示す。また、図-2.5(1),(2)は横軸を周期にとった場合を示す。

2.4 すべり円弧最大平均加速度と平均加速度応答スペクトルの関係

2.4.1 加速度応答倍率スペクトルを平均化する周波数領域

すべり円弧の最大平均加速度周波数応答関数から、表-2.2に示すようにすべり円弧に影響を与えると考えられる周波数領域を設定し、その範囲における加速度応答倍率スペクトルの平均値 $S_{a,m}$ とすべり円弧の最大平均加速度 $\bar{a}_{max}$ との関係を検討した。

ところで、加速度応答倍率スペクトルは、ある周波数 f （あるいは周期 T ）に対して離散的に計算されたものであり、横軸を f あるいは T で表現することができる。よってスペクトルの平均領域としては、 f/f_0 で定義しているが f 領域でも T 領域でも $S_{a,m}$ は計算可能である。しかし、平均値の算出において、単に面積的な平均値として $S_{a,m}$ を求めると、横軸を f にとった場合と T にとった場合とでは若干異なった値になる。表-2.2における平均領域を T または f にとっているのはこれを考慮したものである。

また、表-2.2における計算ケース3, 6は y/H ごとのすべり円弧の $\bar{a}_{max}$ に影響を与える周波数領域を対象にスペクトルの平均範囲を設定したものであるが、その下限値は、最大平均加速度周波数応答関数の応答倍率がピークのほぼ半分になるときの値を、上限値は応答倍率が1となる範囲とした。

2.4.2 $\bar{a}_{max}$ と $S_{a,m}$ の関係

表-1.2に示した21ケースの地震動に対して、すべり円弧の最大平均加速度を基盤入力加速度の最大値で無次元化した $\bar{a}_{max}/a_{g,max}$ と $S_{a,m}$ の関係を高・中・低標高のすべり円弧の場合についてプロットしたものを図-2.6(1)~(4)から図2.9(1)~(4)に示す。ただし、 $S_{a,m}$ の算定範囲として計算ケース3, 6, 8, 10の場合を例に示した。

これより、 $\bar{a}_{max}/a_{g,max}$ と $S_{a,m}$ はほぼ直線関係にあることから、21個のデータより次のような原点を通る回帰直線を求めた。

$$\overline{a}_{max} / a_{gmax} = \beta \cdot S_{am} \quad \text{-----} \quad (2.1)$$

以下、直線の勾配 β の値について、堤体固有周波数、減衰定数等の影響について検討する。また、以下では加速度応答倍率スペクトルではなく、加速度応答スペクトルをとり、加速度応答スペクトルの平均値を S_{am} とする（このとき、直線の勾配は $\beta = \overline{a}_{max} / S_{am}$ となる）。

1) 堤体固有周波数 f_0 の影響

f_0 の異なるダム高 $H=30\text{m}, 63\text{m}, 110\text{m}$ の3ケース（せん断弾性係数一定、減衰定数20%）について、堤体固有周波数 f_0 の影響を検討した。モード重畳法を用いて、スペクトルの平均範囲を計算ケース4, 5, 6, 10とした場合の y/H と $\overline{a}_{max} / S_{am}$ の関係を図-2. 10(1)~(4)に示す。

$\overline{a}_{max} / S_{am}$ はスペクトルの平均範囲 f / f_0 の下限値を0.8程度にすれば、 f_0 によらずほぼ同一な値をとることがわかる（ケース5, 6, 10）。

また、QUAD-4を用いてスペクトルの平均範囲を計算ケース6, 10とした場合の y/H と $\overline{a}_{max} / S_{am}$ の関係を図-2. 11(1), (2)に示す。この場合もモード重畳法の場合と同様な傾向を示している。

2) 減衰定数 h の影響

$h=10\%$, 20% の場合を比較して y/H と $\overline{a}_{max} / S_{am}$ の関係を各4手法ごとに示したのが図-2. 12(1)~(4)から図-2. 14(1)~(4)である。

ただし、スペクトルの平均範囲として図-2. 12は $0.5 \leq f / f_0 \leq 2.0$ (T領域: ケース1, 4、f領域: ケース7, 9)、図-2. 13は $0.8 \leq f / f_0 \leq 2.0$ (T領域: ケース2, 4、f領域: ケース8, 10)、図-2. 14は y/H ごとに変えた場合 (T領域: ケース3, 6) を示す。

これより、低標高のすべり円弧に対してはほとんど h の影響はないが、中標高から高標高のすべり円弧にかけては、 h が大きい程 $\overline{a}_{max} / S_{am}$ の値は小さく、 y/H が小さくなるに従って $h=10\%$ と 20% の差が大きくなっている。

また、この傾向は2次元解析手法に比べ1次元解析手法の方が強く、天端（

$y/H=0$) での $h=10\%$ と 20% の差は 2 次元解析に比べ 1 次元解析では約 2 倍となっている。

2 次元解析結果では、 $\overline{a}_{max}/S_{am}$ は y/H に対して $h=10\%$ 、 20% とともにほぼ直線的に変化しており、特に QUAD-4 を用いた 2 次元動的解析の結果では、概略次の近似式が成り立つ。

$$\overline{a}_{max} = \{2.0 - 1.35(y/H)\} \times S_{am} \quad \text{-----} \quad (2.2)$$

3) 平均領域の影響

図-2.12～図-2.14において、スペクトルの平均領域の違いを比較すると、まず周波数領域で求めた方が時間領域で求めた場合に比べ、 $\overline{a}_{max}/S_{am}$ の値は若干小さい値となっている。(ケース1と7、ケース2と8、ケース4と9、ケース5と10を比較)。これは、単純に f 領域で求めたスペクトルの平均値 S_{am} が T 領域で求めた場合に比べ幾分大きな値となるためである。

一方、平均範囲としては $f/f_0=1$ をはさんだ範囲で定義したが、この範囲が狭い程、特に下限値が1に近いほど S_{am} は大きくなるため、 $\overline{a}_{max}/S_{am}$ の値は小さくなる(ケース1と2、ケース4と5、ケース7と8、ケース9と10を比較)。また、 y/H ごとに、影響が大きいと考えられるスペクトルの平均範囲を設定してもしなくても、天端($y/H=0$)での平均範囲の下限値が同じ(0.8)であれば、ほぼ同じ傾向を示している(ケース3と8、ケース6と10を比較)。

これより、 S_{am} を算出する主要な範囲として次式が考えられる。

$$0.8 \leq f/f_0 \leq 2.0 \quad (f \text{ 領域}) \quad \text{-----} \quad (2.3)$$

以上より、すべり土塊の $\overline{a}_{max}$ は以下の手順を踏むことで簡易に推定できる。

- ①地震動の加速度応答スペクトルを算出する。ただし、このときの減衰定数は、対象とするダムの減衰定数とする。
- ②ダム堤体の固有周波数を算定する。
- ③加速度応答スペクトルの平均値 S_{am} を式(2.3)の周波数領域を対象として算出する。
- ④ S_{am} を式(2.2)に代入すれば、各標高におけるすべり土塊の $\overline{a}_{max}$ が算出される。

2. 5 実測地震動との比較

表-1, 2に示した21ケースの地震動のうち、フィルダムで観測されたものでかつ天端での地震記録も観測されたケースに対して、天端での最大平均加速度(=最大加速度そのもの)において本推定法による値(スペクトルの平均範囲: $0.8 \leq f/f_0 \leq 2.0$, f 領域、減衰定数:20%)と実測値を比較した。計算結果を表-2, 3に示す。

また、表中のQUAD-4の結果について、推定値と実測値を比較してプロットしたものを図-2, 15に示す。

各標高のすべり土塊の最大平均加速度を実測から推定することは難しく、本手法による推定値と実測値との比較は天端に限られる。しかし、堤体の応答は天端ほど減衰の影響を受けやすいことから、本手法で減衰定数20%としたケースでは、地震規模が小さい場合でやや過減衰となる可能性がある。また、今回の解析では逸散減衰分についての(高周波数になるほど逸散減衰は小さくなる)周波数依存性も考慮していないため、高周波の卓越する地震動に対してもやや過減衰の影響がでると考えられる。

図-2, 15において、基礎での最大加速度が小さい地震動において、推定値が実測値よりやや小さい値を示しているのはこのためと考えられる。しかし、このことと、中標高以下のすべり土塊の $\bar{a}_{m,x}/S_{a,m}$ の分布形状はあまり、減衰の影響を受けないことを考慮すると、本手法は実測値を概ね再現していると考えられる。

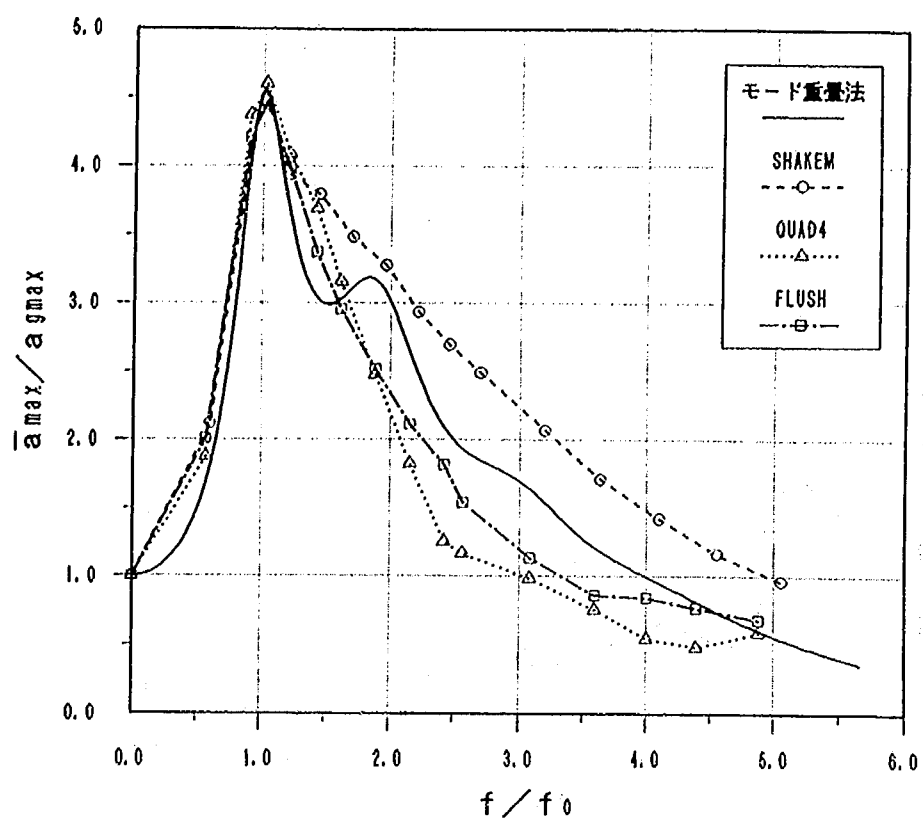


図-2. 1(1) 平均加速度の主は数応答関数 ($y/H \approx 0.02$)

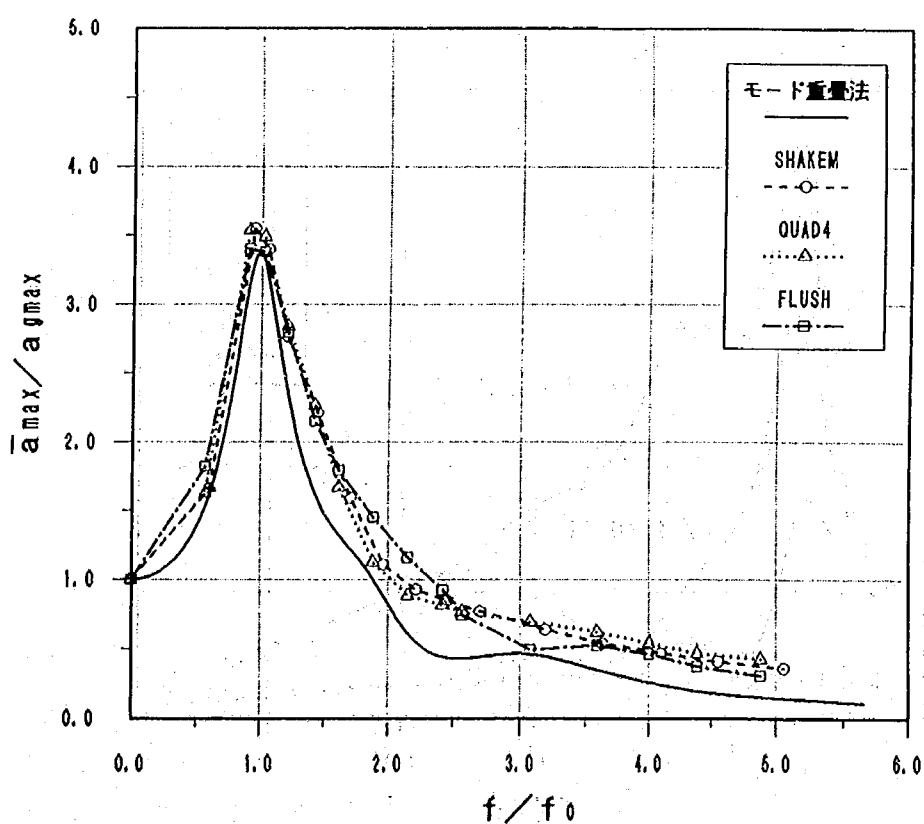


図-2. 1(2) 平均加速度の周波数応答関数 ($y/H \approx 0.4$)

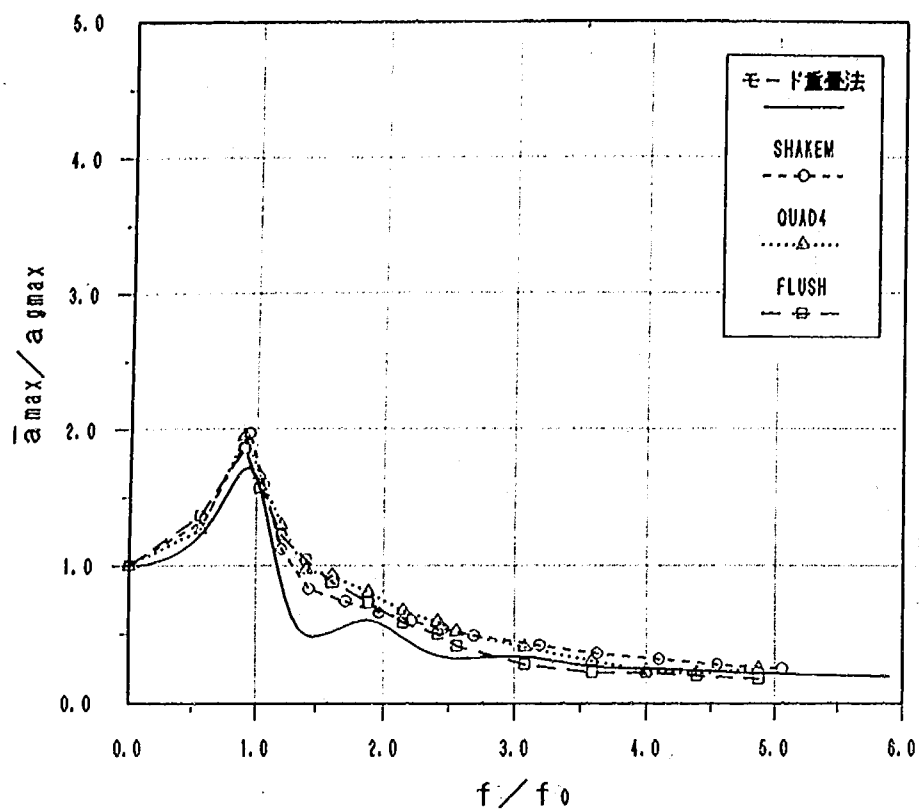


図-2. 1(3) 平均加速度の周波数応答関数 ($y/H \equiv 1.0$)

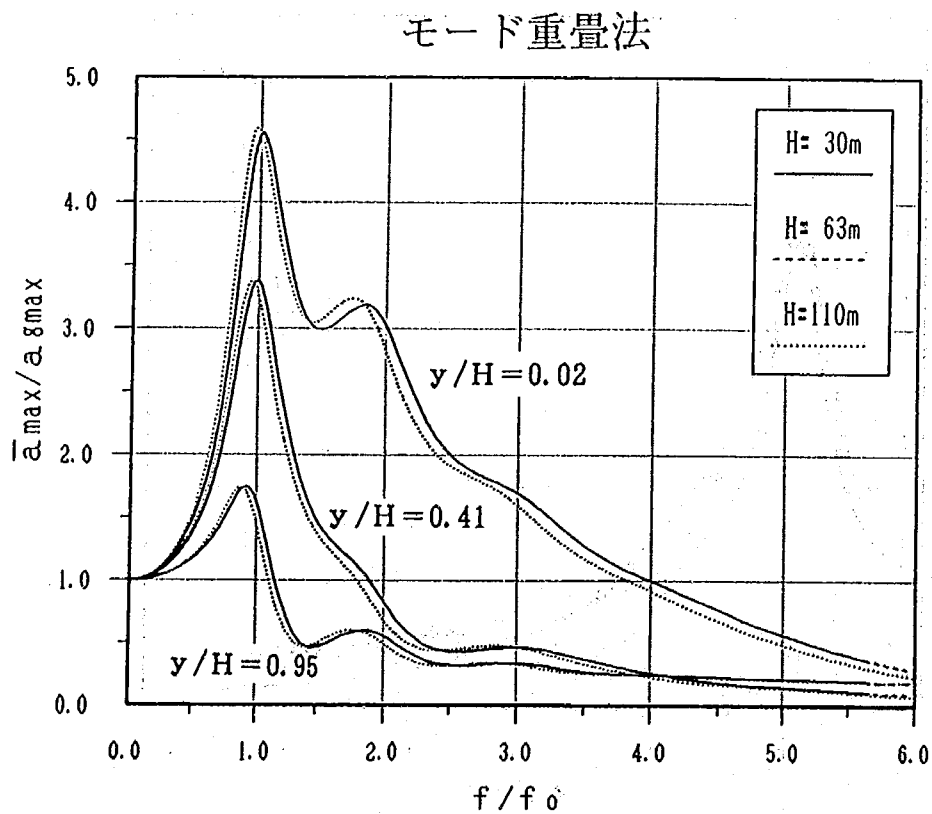


図-2. 2 平均加速度周波数応答関数

表-2.1 固有方程式から求めた f_0 と $\bar{a}_{max}$ を与える時の周波数

ダム高	y/H	固有方程式より求めた f_0	$\bar{a}_{max}$ のピークを与える時の周波数
30 m	0.02	3.535 Hz	3.52 Hz
	0.41		3.47 Hz
	0.95		3.24 Hz
63 m	0.02	1.683 Hz	1.69 Hz
	0.41		1.66 Hz
	0.95		1.53 Hz
110 m	0.02	0.964 Hz	0.94 Hz
	0.41		0.91 Hz
	0.95		0.84 Hz

モード重畳法($h=0.10$)

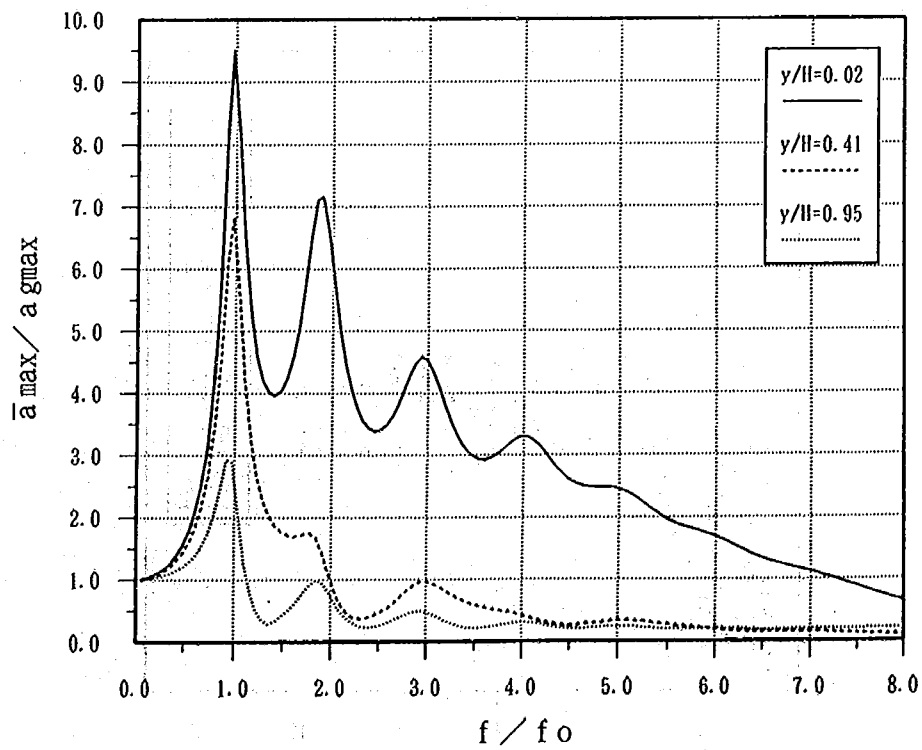


図-2.3 平均加速度周波数応答関数 (モード重畳法, $h=0.10$)

($h=0.10$)

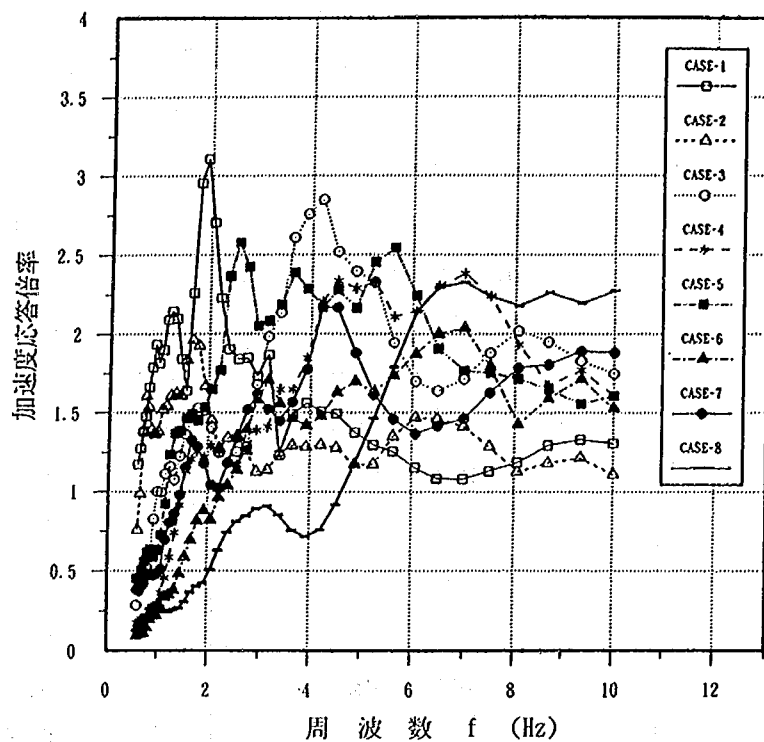


図-2. 4(1) 加速度応答倍率スペクトル ($h=0.10$)

($h=0.20$)

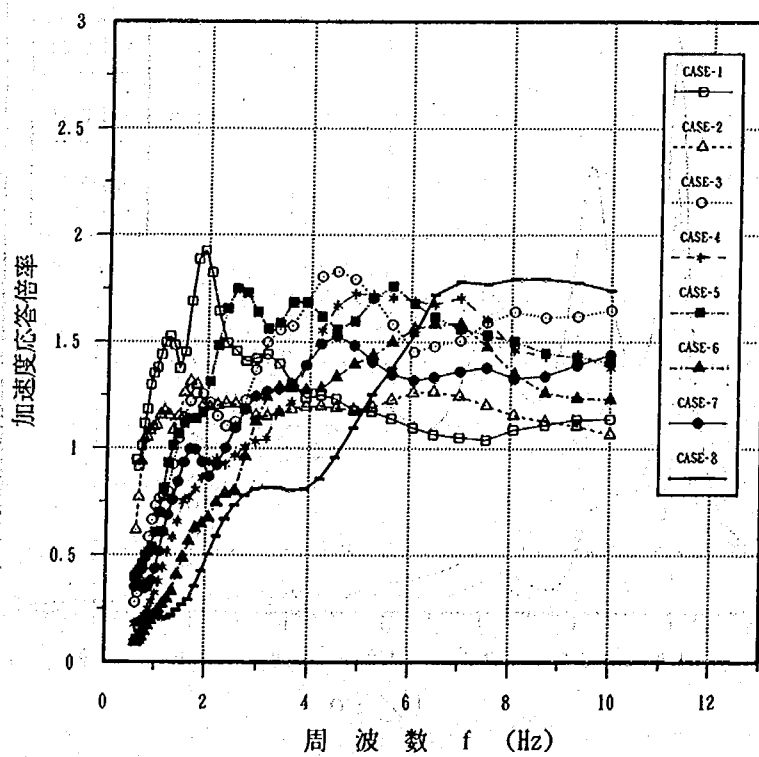


図-2. 4(2) 加速度応答倍率スペクトル ($h=0.20$)

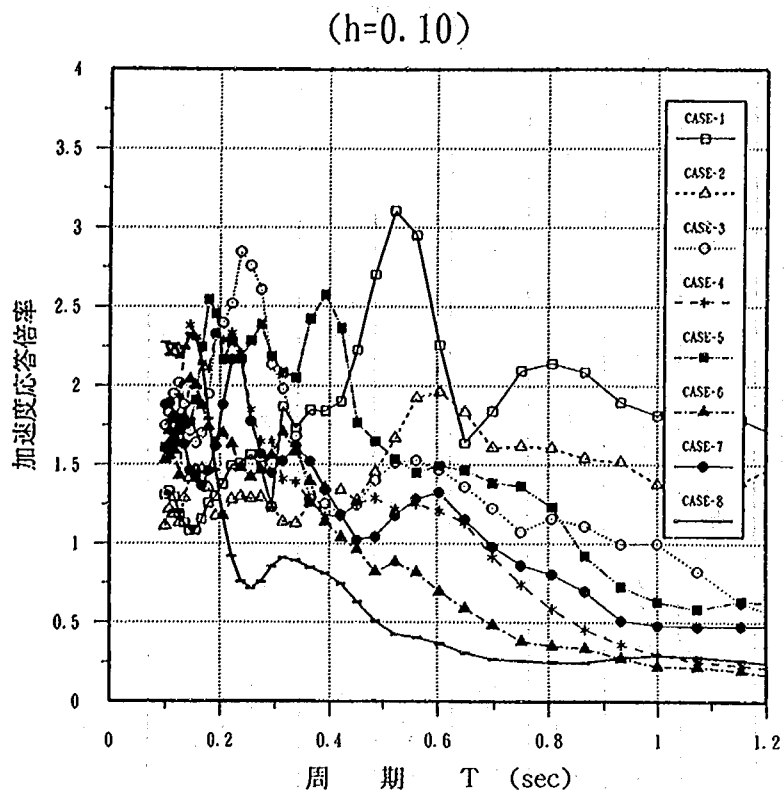


図-2. 5(1) 加速度応答倍率スペクトル ($h=0.10$)

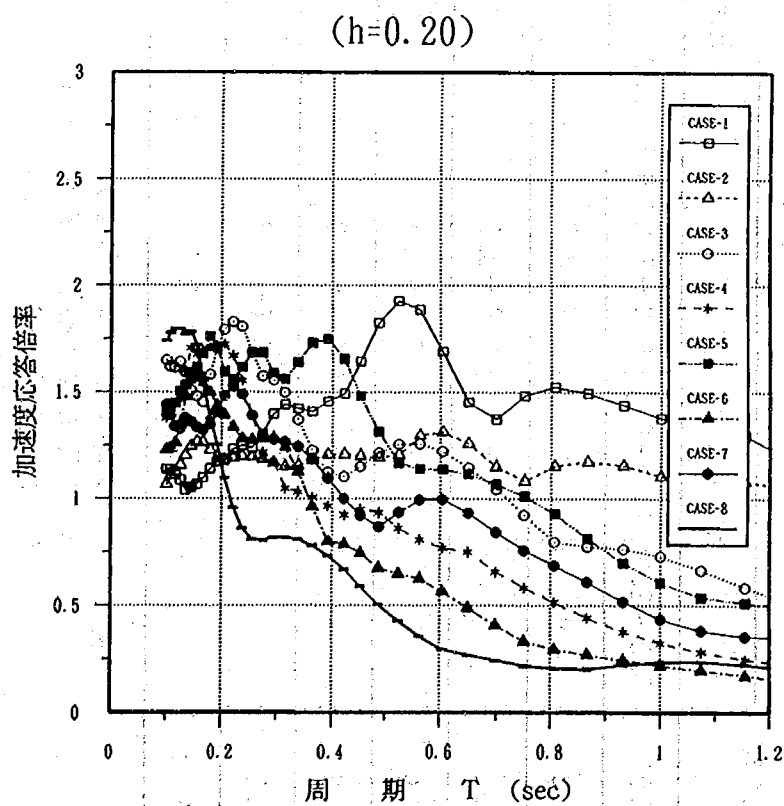


図-2. 5(2) 加速度応答倍率スペクトル ($h=0.20$)

表-2.2 加速度応答倍率スペクトルの平均領域 (f/f_0 の範囲)

y/H	T領域で平均する場合						f領域で平均する場合			
	h = 0.1			h = 0.2			h = 0.1		h = 0.2	
0.0	0.5~2.0	0.8~2.0	0.8~7.3	0.5~2.0	0.8~2.0	0.8~4.0	0.5~2.0	0.8~2.0	0.5~2.0	0.8~2.0
0.2	"	"	0.7~3.7	"	"	0.7~2.9	"	"	"	"
0.4	"	"	0.6~2.1	"	"	0.6~2.0	"	"	"	"
0.6	"	"	0.6~1.4	"	"	0.6~1.4	"	"	"	"
0.8	"	"	0.6~1.3	"	"	0.6~1.3	"	"	"	"
1.0	"	"	0.6~1.2	"	"	0.6~1.2	"	"	"	"
計算 ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

注) f_0 : 堤体1次固有周波数
 f : 周波数 (Hz), $f = 1/T$
 T : 周期 (sec)
 h : 減衰定数

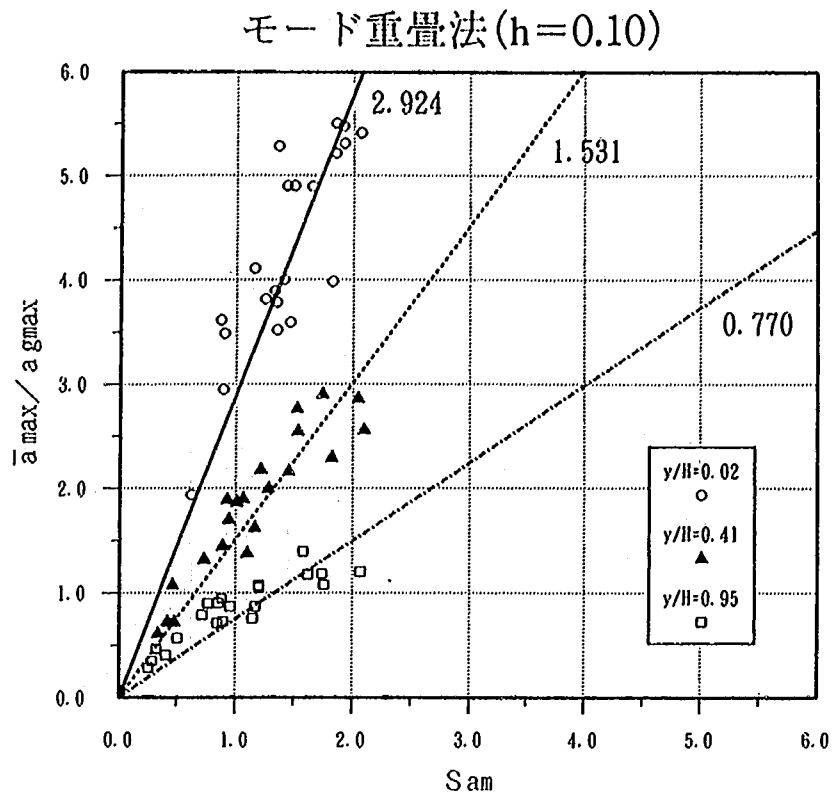


図-2. 6(1) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (モード重畳法、 $h=0.10$) (ケース3)

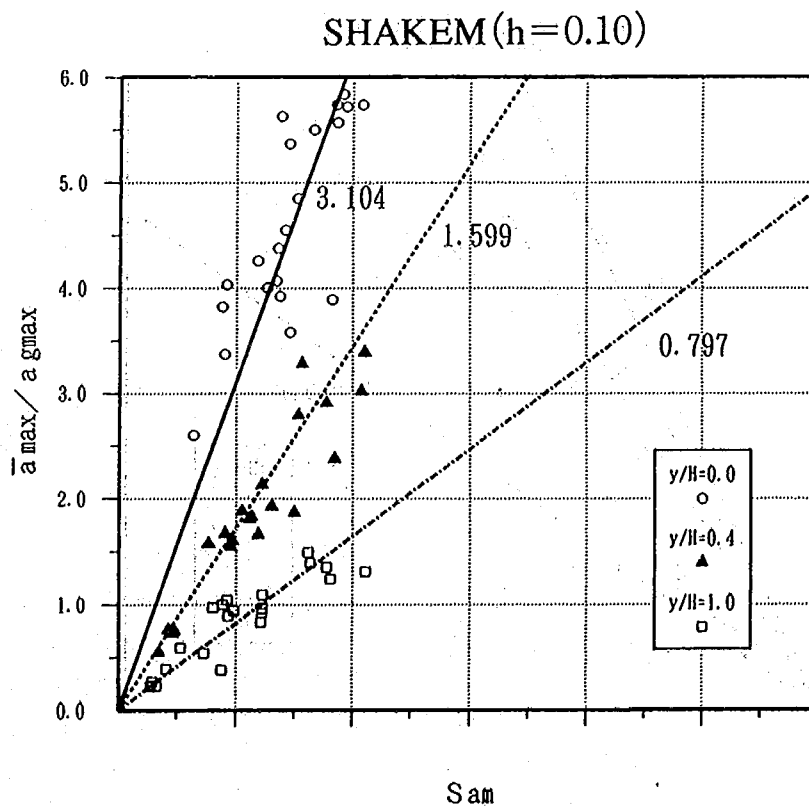


図-2. 6(2) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (SHAKEM, $h=0.10$) (ケース3)

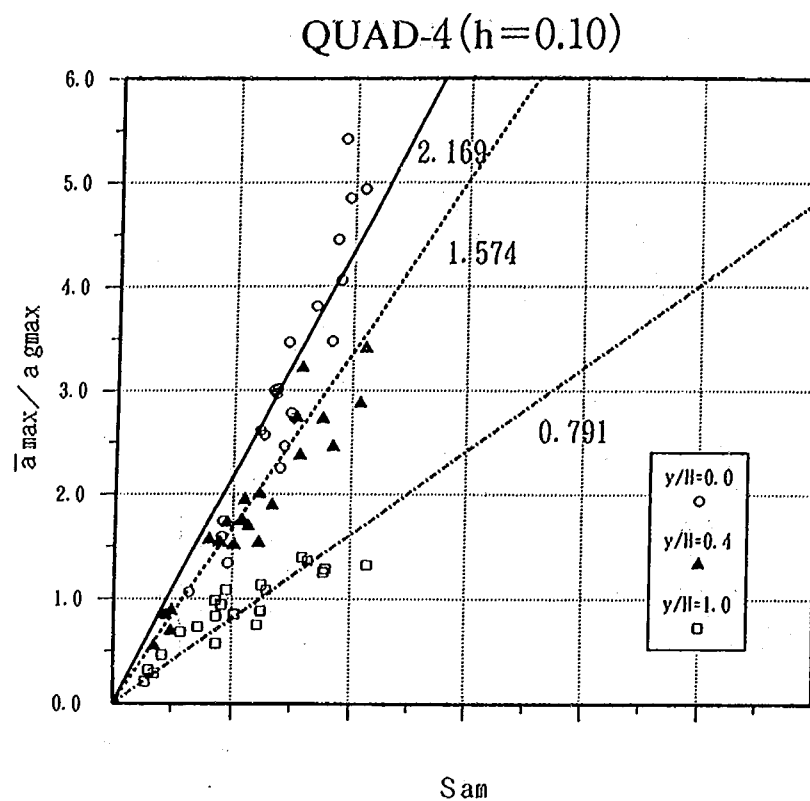


図-2. 6(3) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (QUAD-4, $h=0.10$) (ケース3)

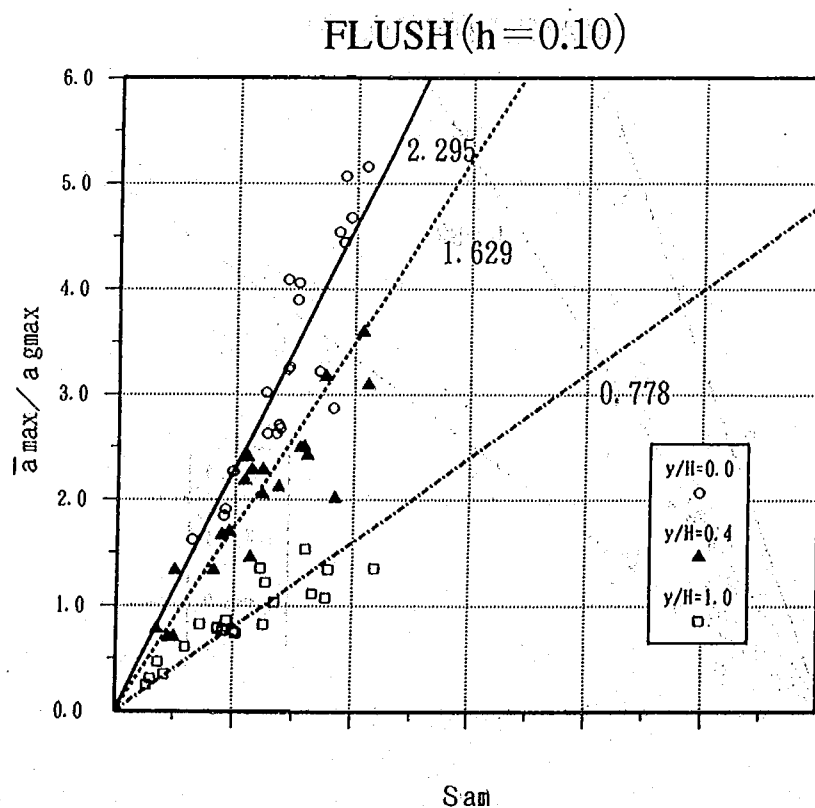


図-2. 6(4) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (FLUSH, $h=0.10$) (ケース3)

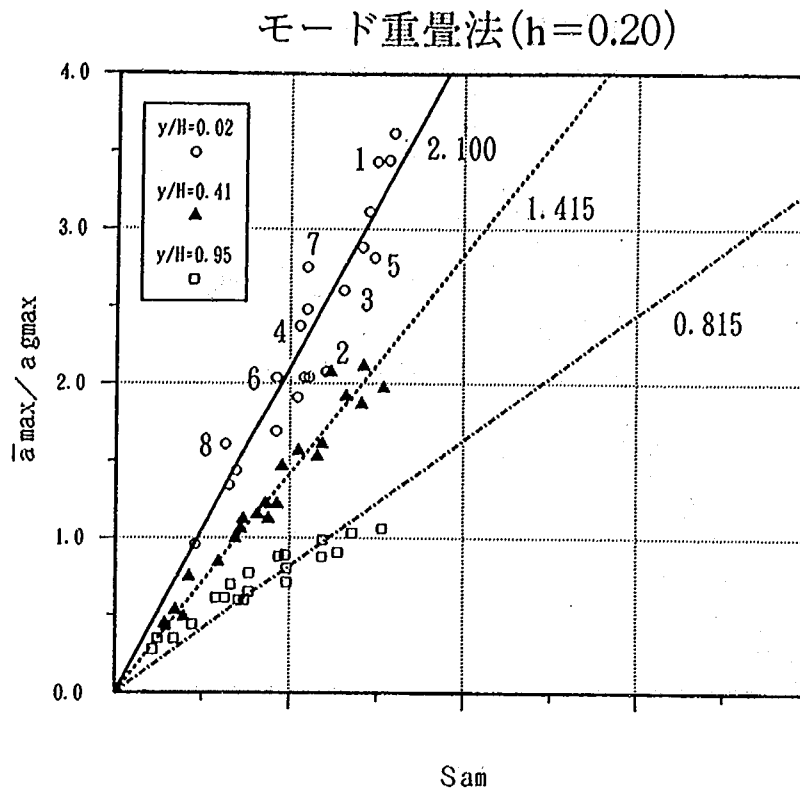


図-2. 7(1) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (モード重畳法、 $h=0.20$) (ケース6)

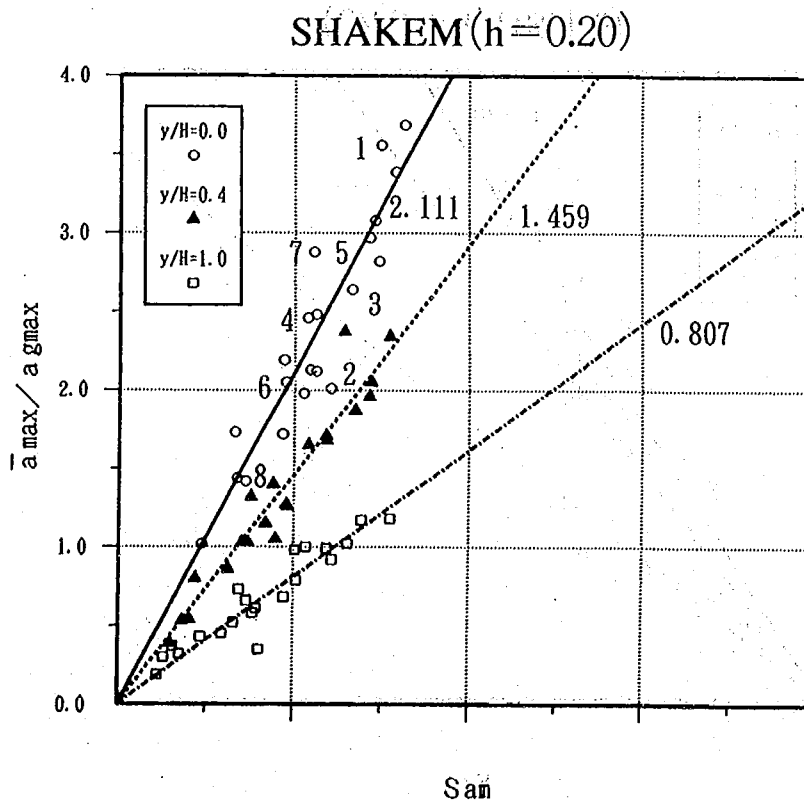


図-2. 7(2) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (SHAKEM, $h=0.20$) (ケース6)

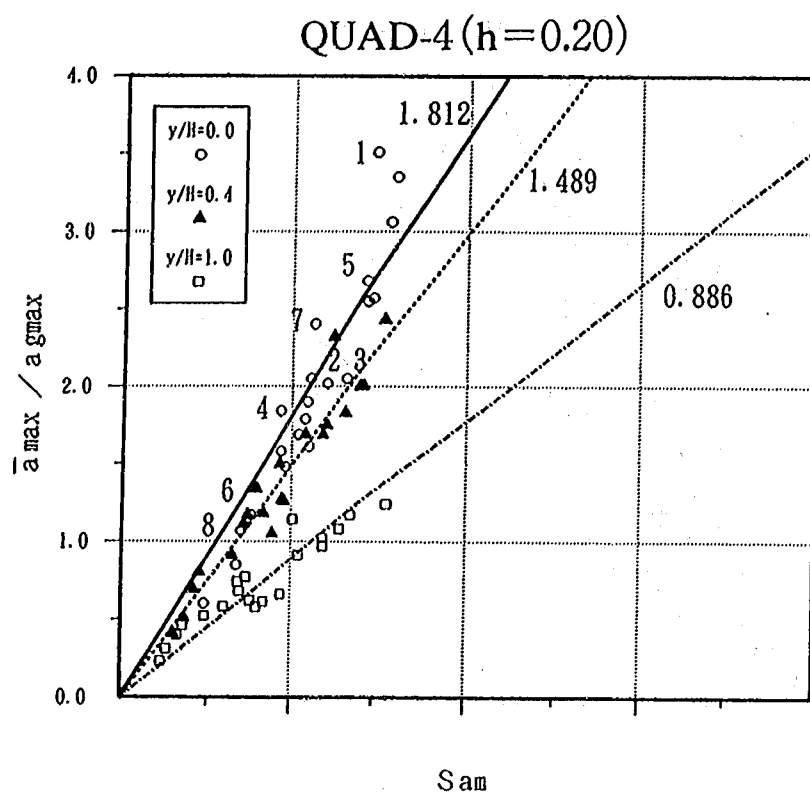


図-2. 7(3) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (QUAD-4, $h=0.20$) (ケース6)

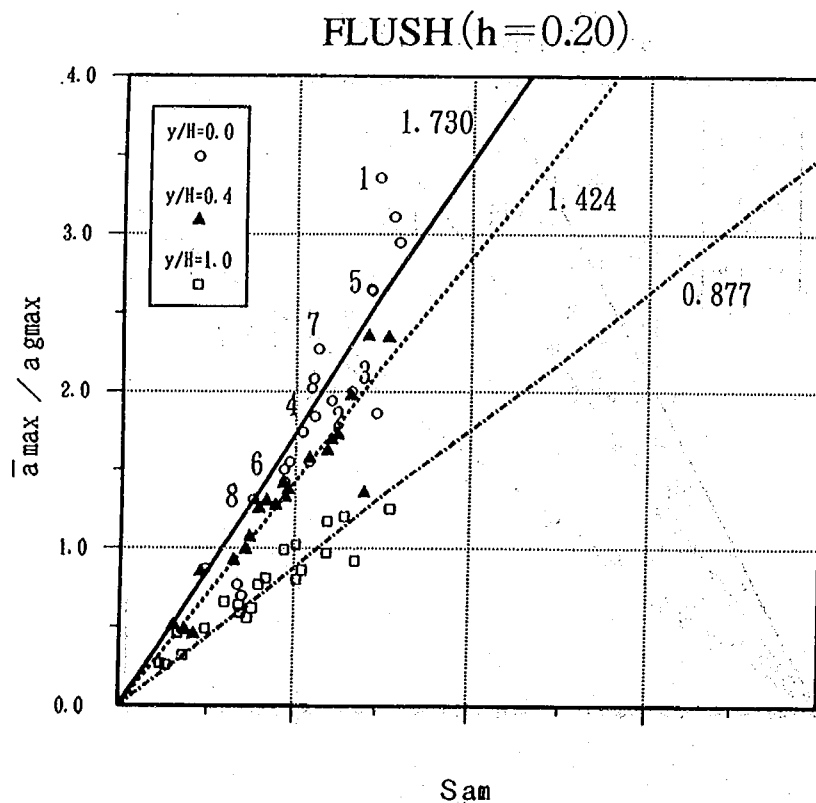


図-2. 7(4) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (FLUSH, $h=0.20$) (ケース6)

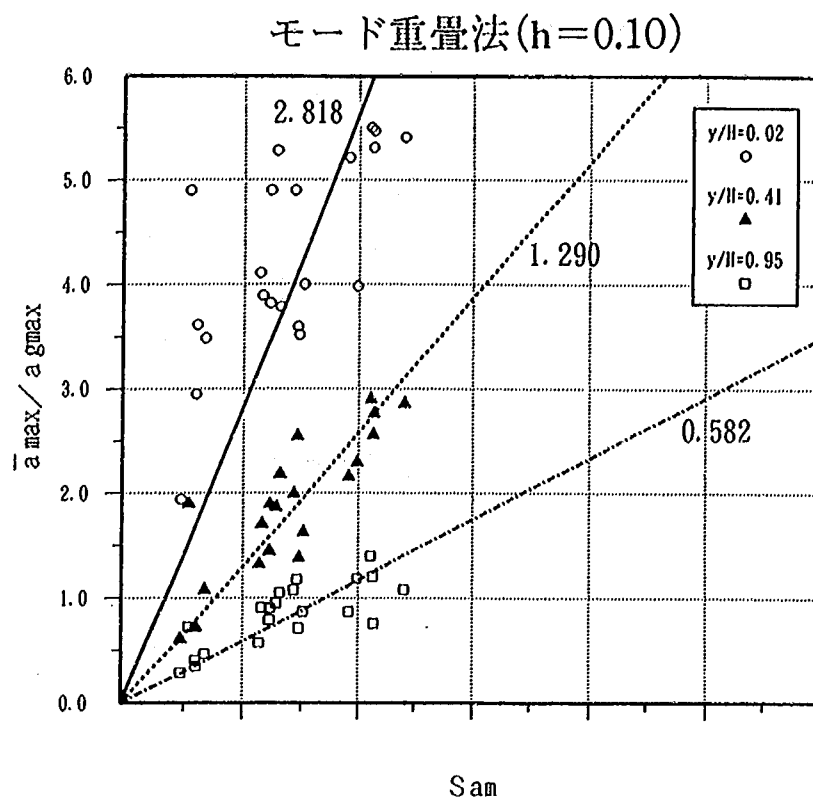


図-2. 8(1) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (モード重畳法、 $h=0.10$) (ケース8)

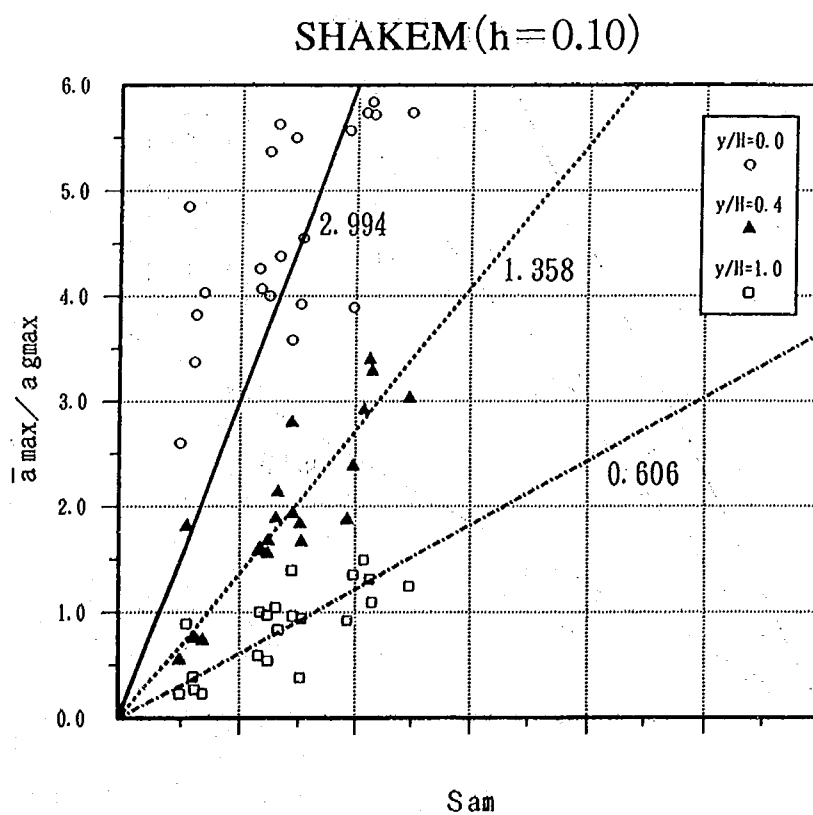


図-2. 8(2) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (SHAKEM、 $h=0.10$) (ケース8)

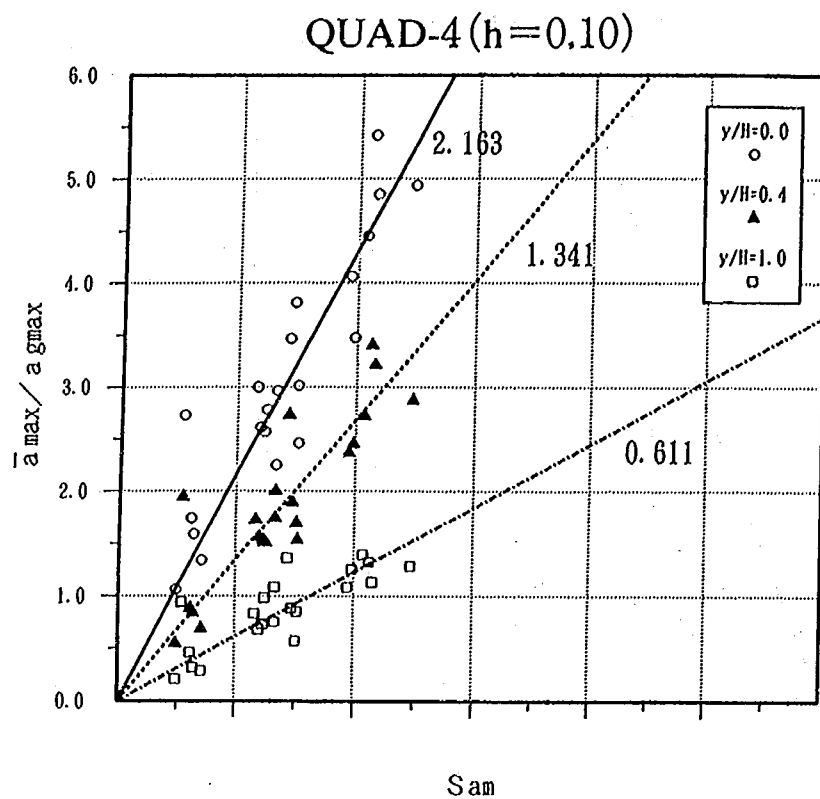


図-2. 8(3) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (QUAD-4, $h=0.10$) (ケース8)

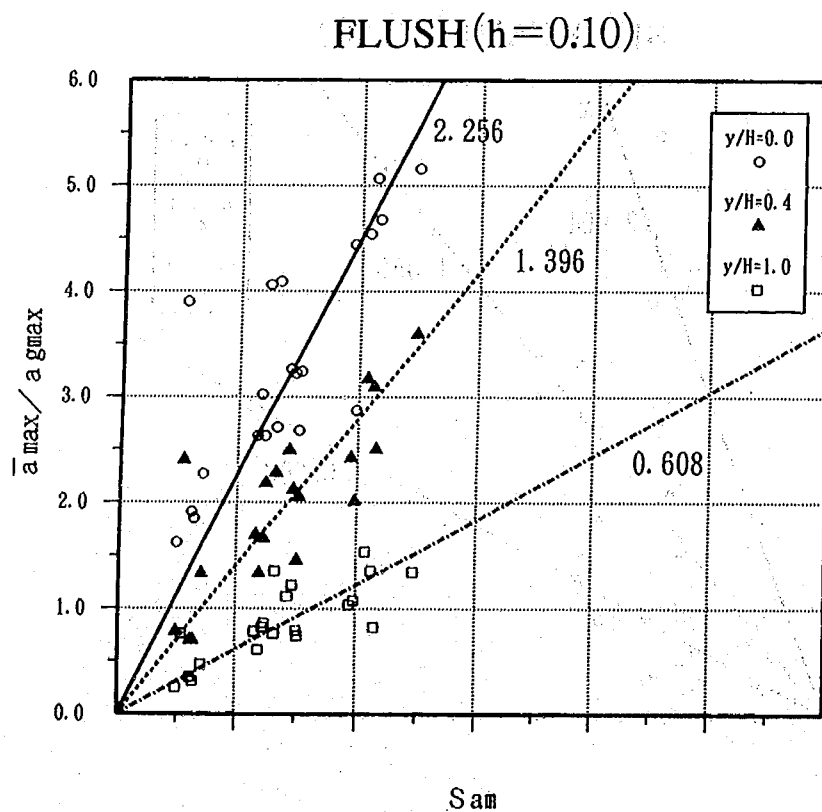


図-2. 8(4) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (FLUSH, $h=0.10$) (ケース8)

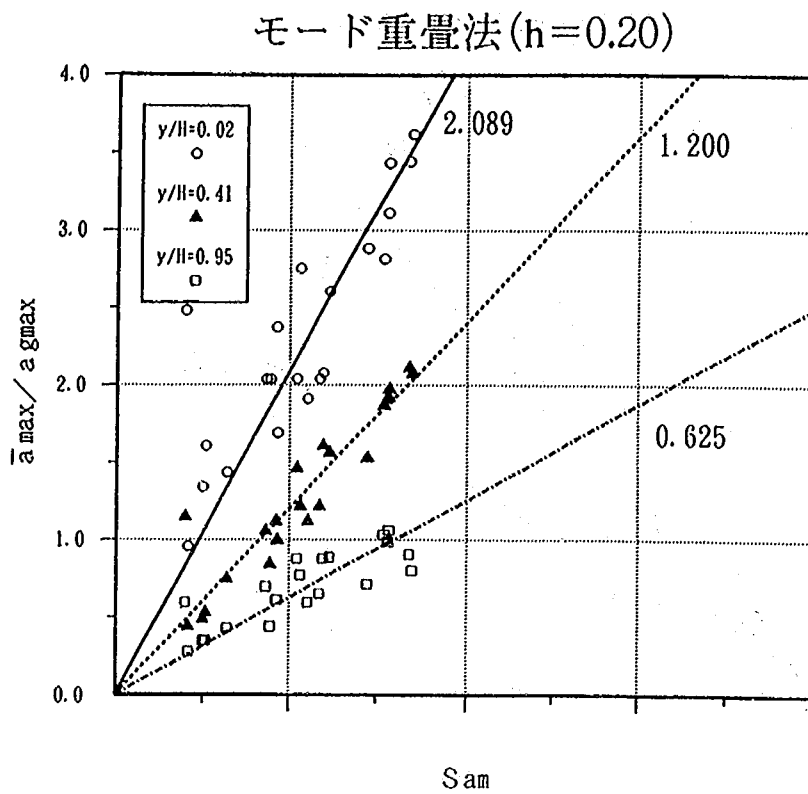


図-2. 9(1) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (モード重畳法、 $h=0.20$) (ケース10)

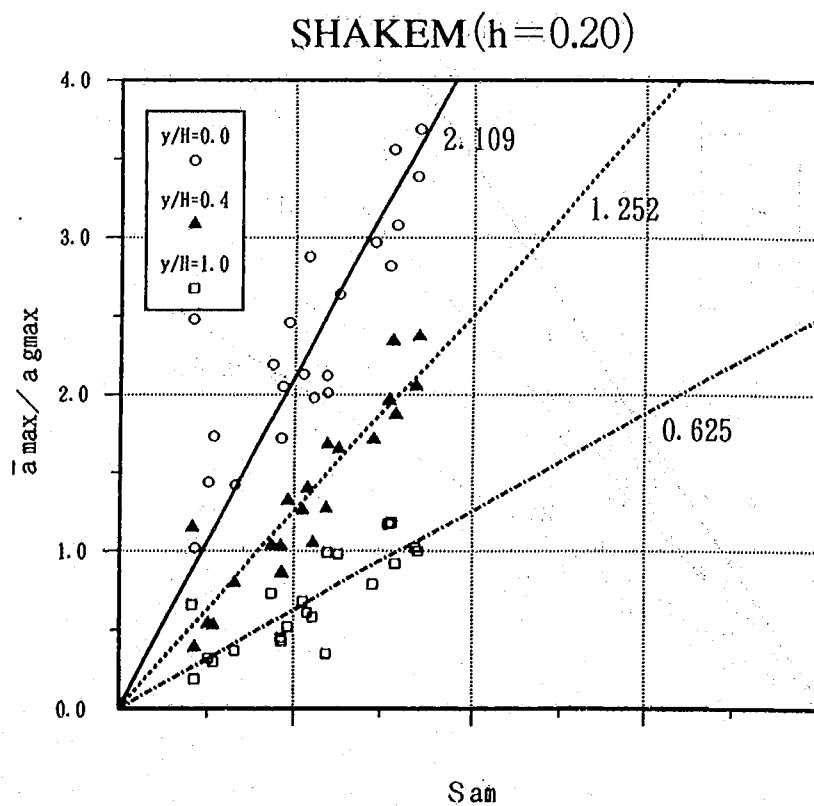


図-2. 9(2) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (SHAKEM, $h=0.20$) (ケース10)

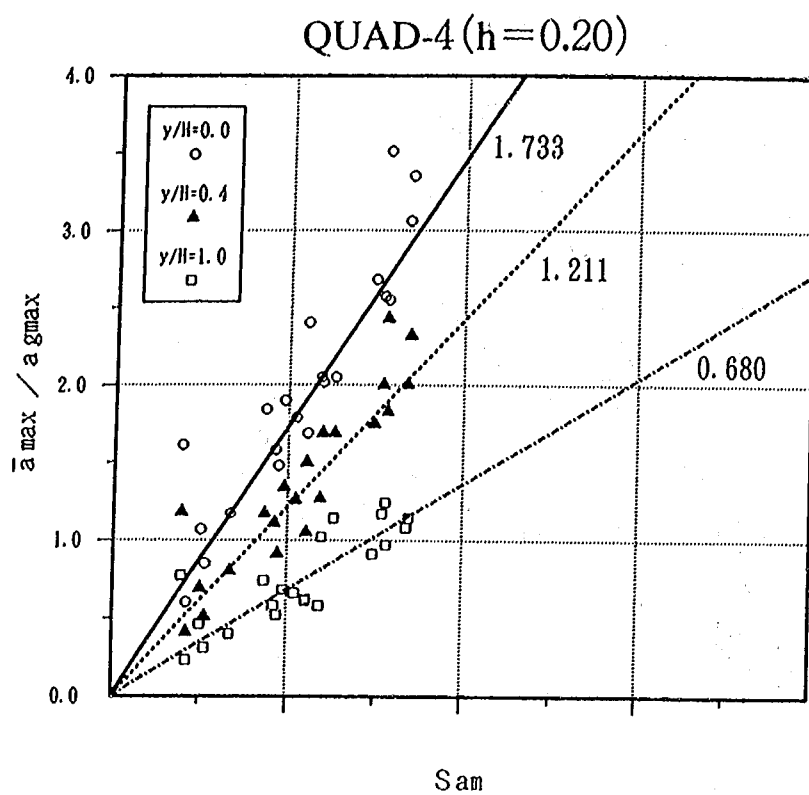


図-2. 9(3) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (QUAD-4, $h=0.20$) (ケース10)

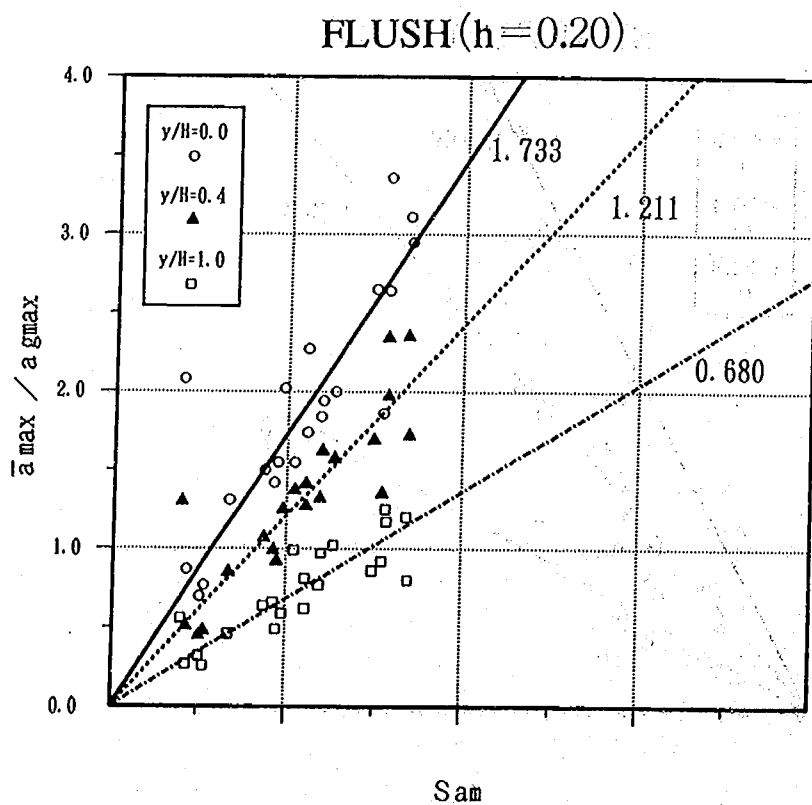


図-2. 9(4) 平均加速度と平均加速度応答倍率スペクトル (FLUSH, $h=0.20$) (ケース10)

モード重畳法 ($h=0.20$)

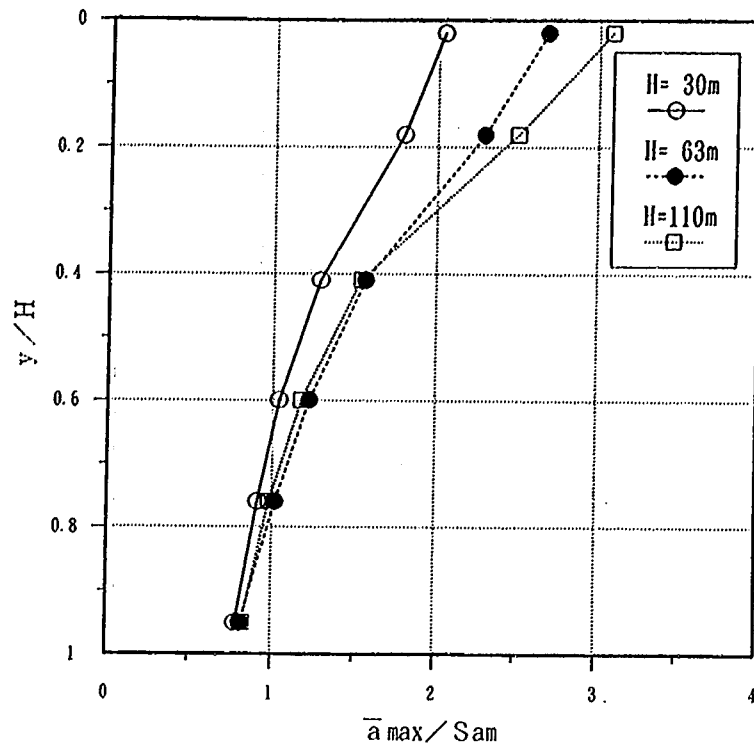


図-2. 10(1) y/H と $\bar{a}_{\max}/S_m$ (モード重畳法、 $h=0.20$) (ケース5)

モード重畳法 ($h=0.20$)

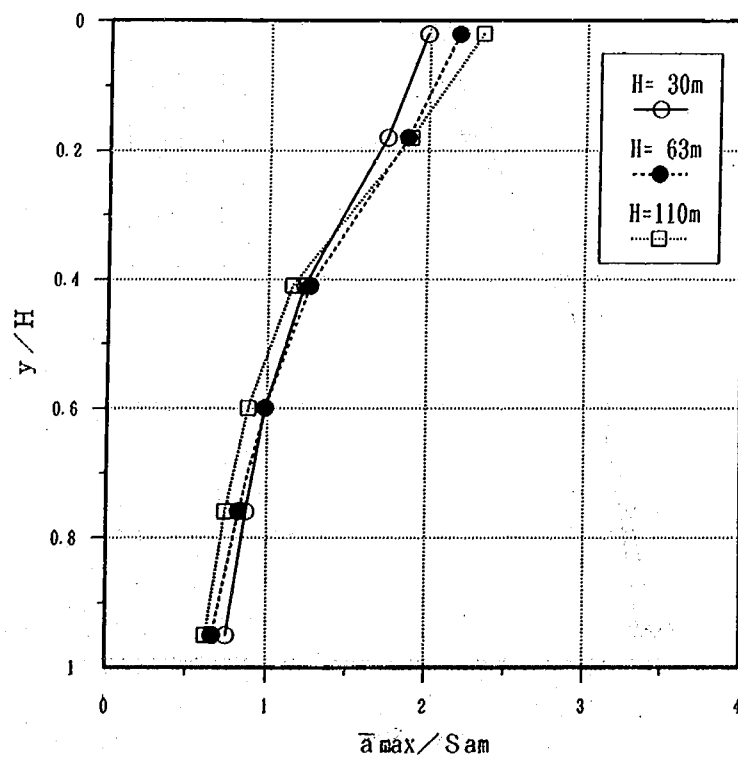


図-2. 10(2) y/H と $\bar{a}_{\max}/S_m$ (モード重畳法、 $h=0.20$) (ケース5)

モード重畳法($h=0.20$)

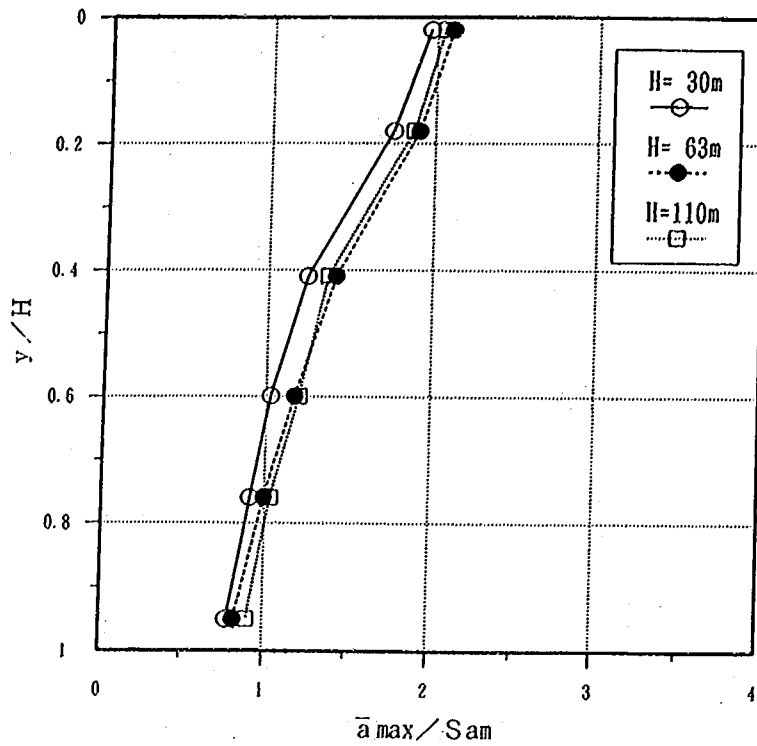


図-2. 10(3) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (モード重畳法、 $h=0.20$) (ケース6)

モード重畳法($h=0.20$)

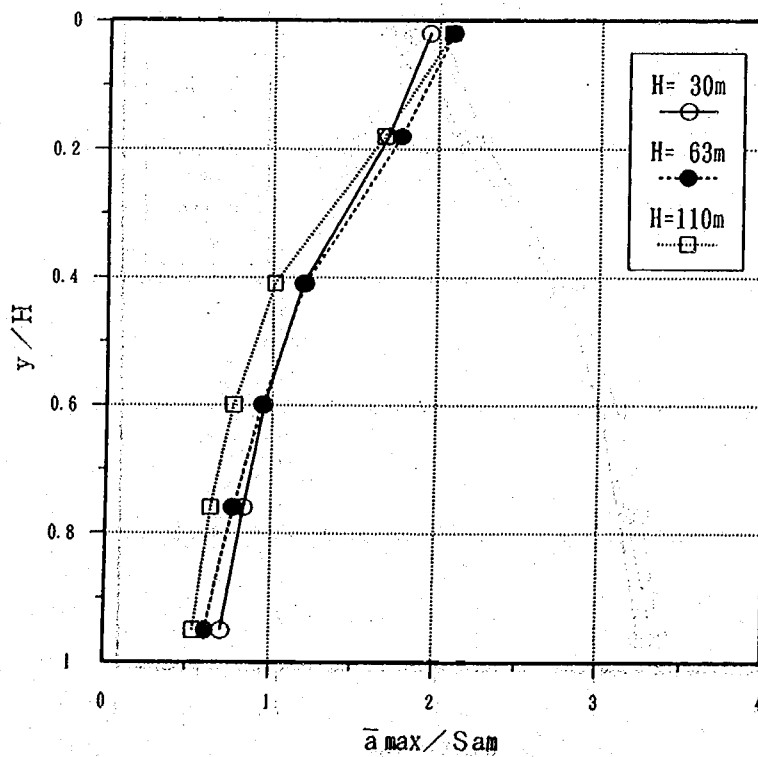


図-2. 10(4) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (モード重畳法、 $h=0.20$) (ケース10)

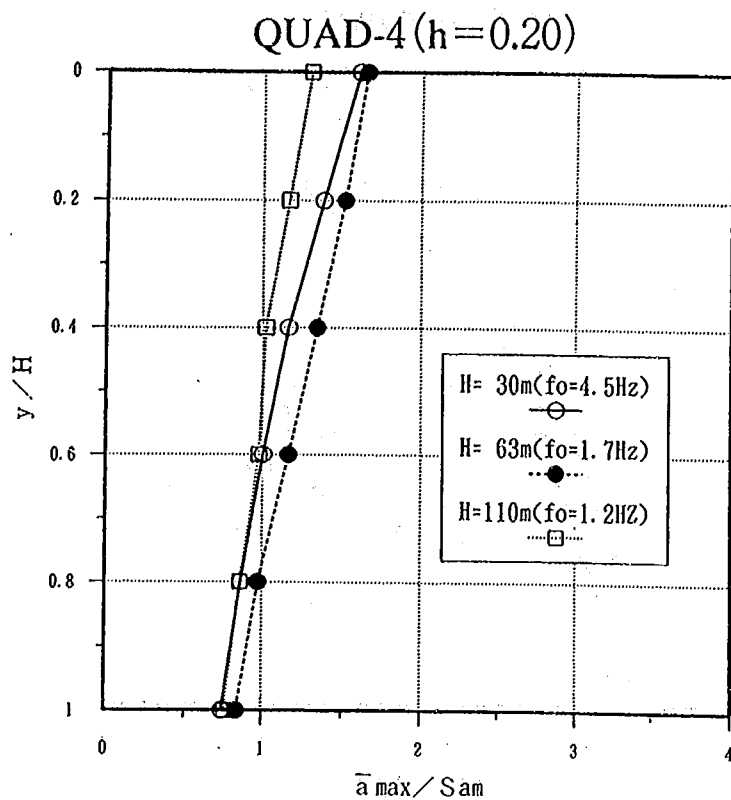


図-2. 11(1) y/H と $\bar{a}_{\max}/S_{am}$ (QUAD-4, $h=0.20$) (ケース6)

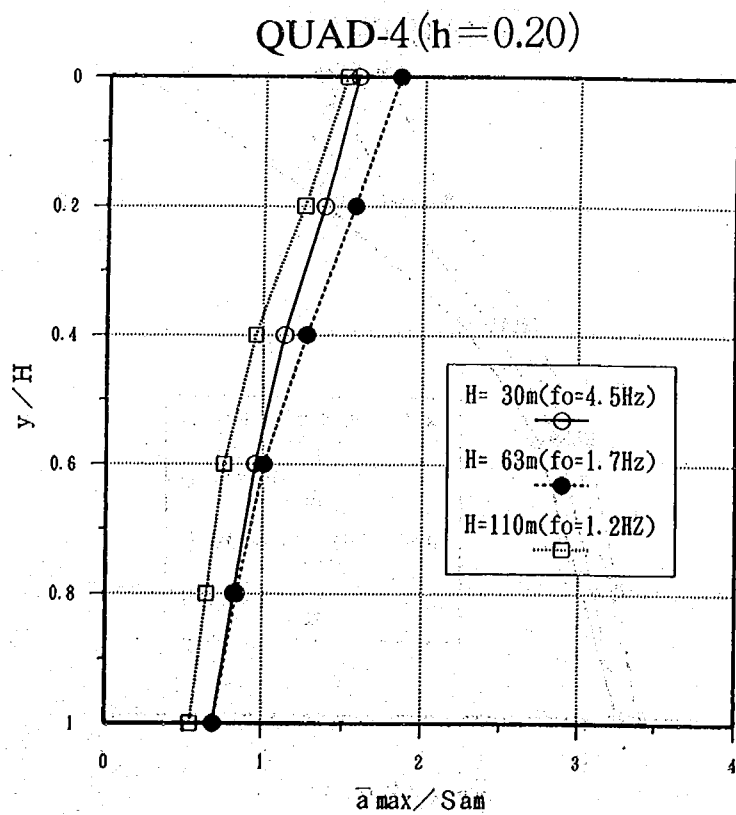


図-2. 11(2) y/H と $\bar{a}_{\max}/S_{am}$ (QUAD-4, $h=0.20$) (ケース10)

モード重畳法

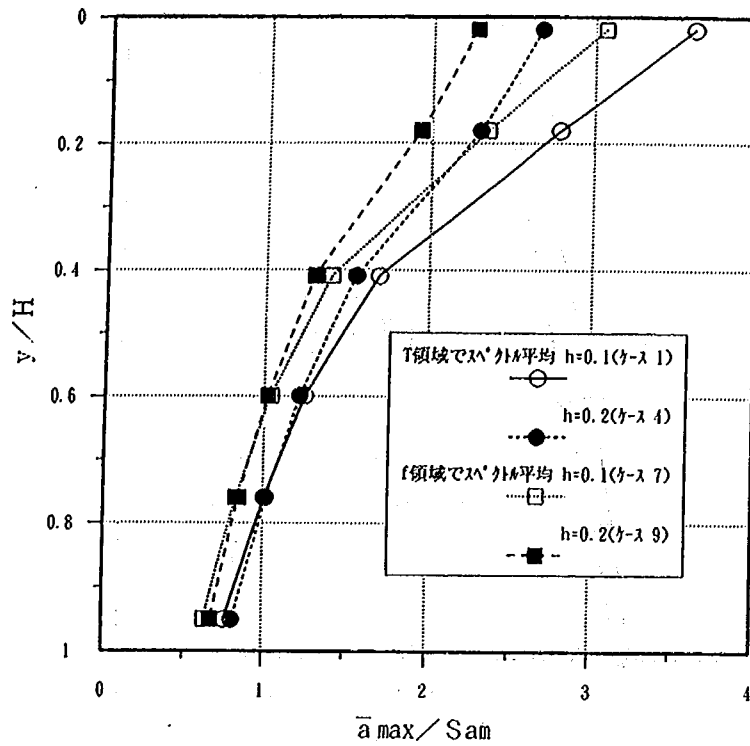


図-2. 12(1) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (減衰定数と平均領域の影響) (モード重畳法)

SHAKEM

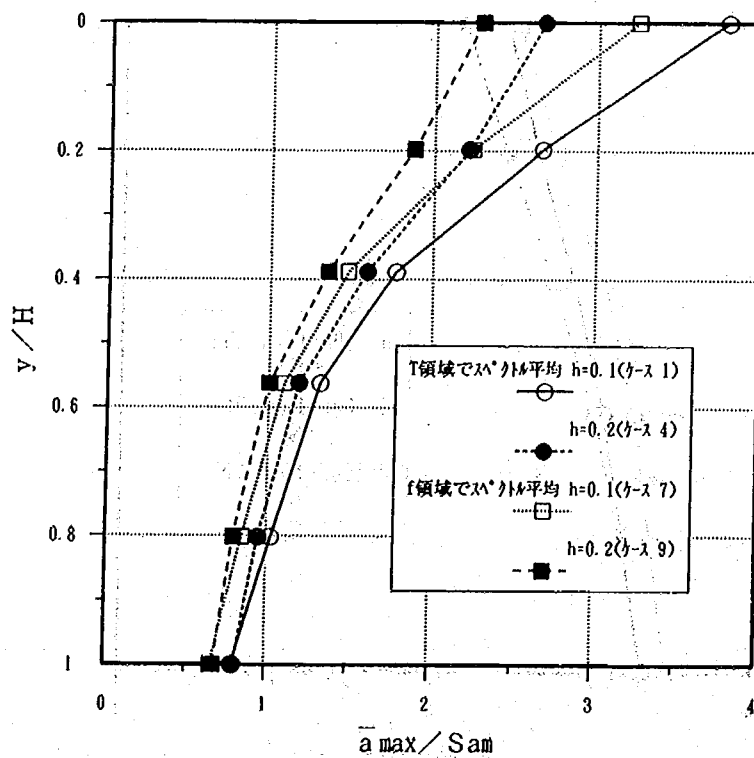


図-2. 12(2) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (SHAKEM)

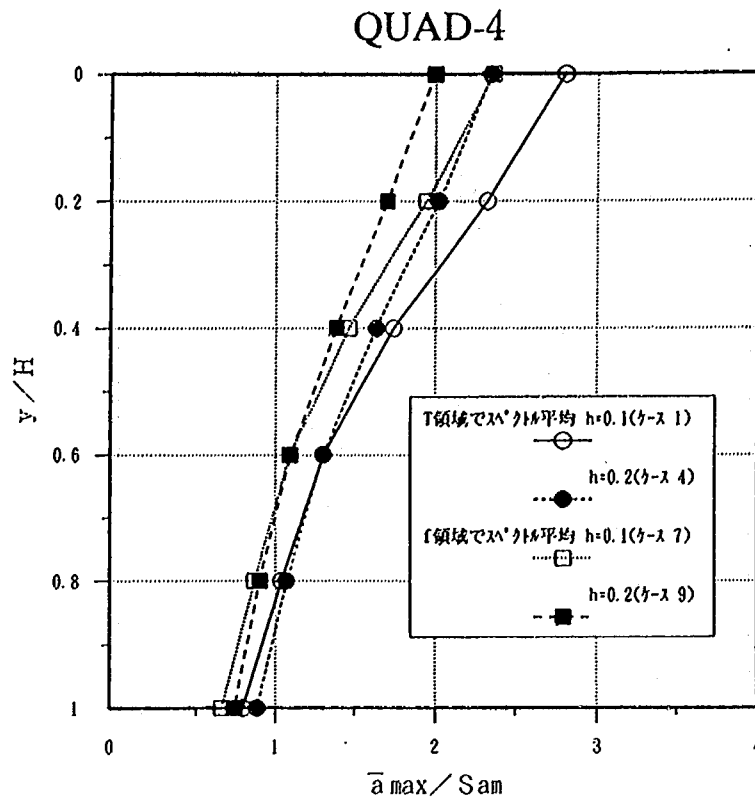


図-2. 12(3) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (QUAD-4)

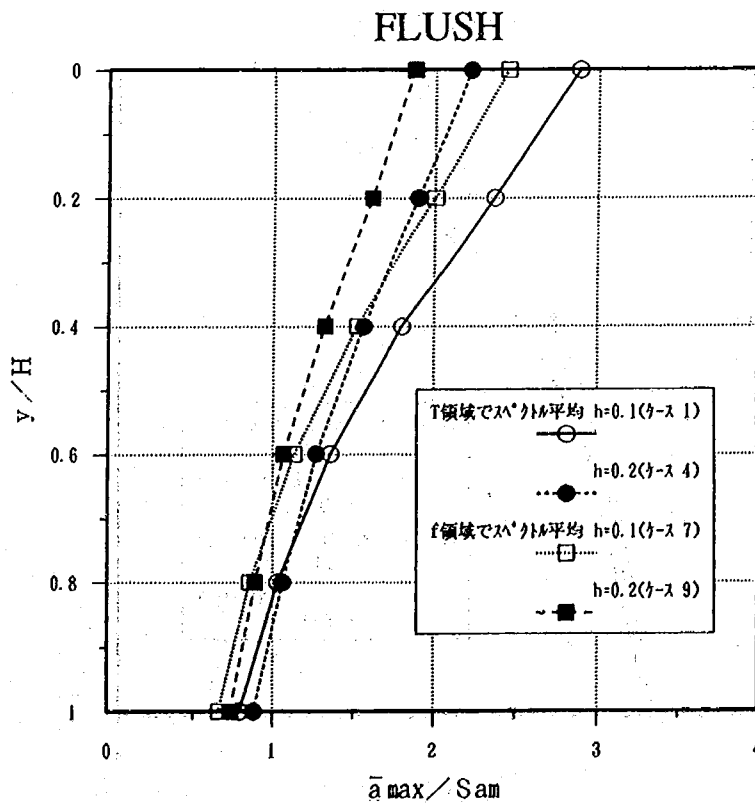


図-2. 12(4) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (FLUSH)

モード重畳法

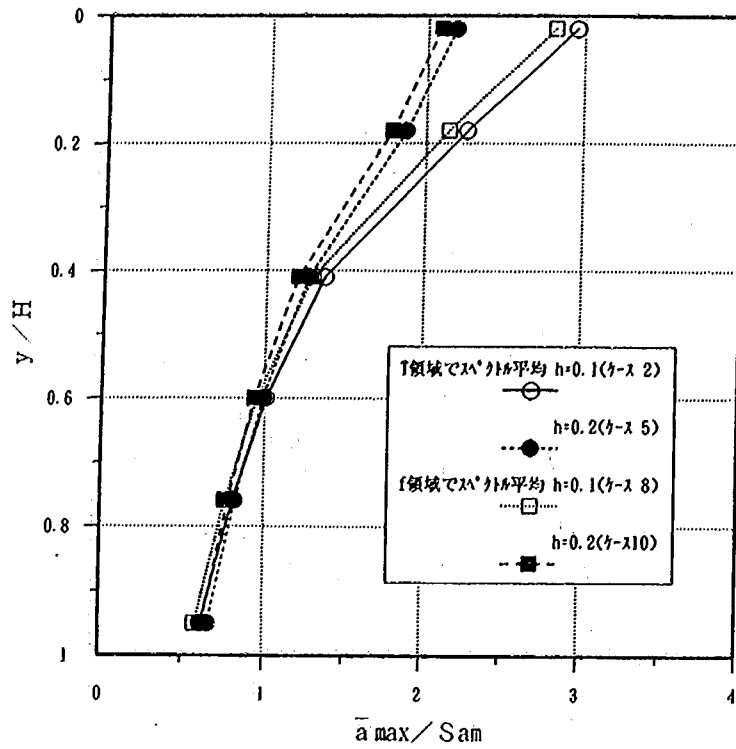


図-2. 13(1) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (減衰定数と平均領域の影響) (モード重畳法)

SHAKEM

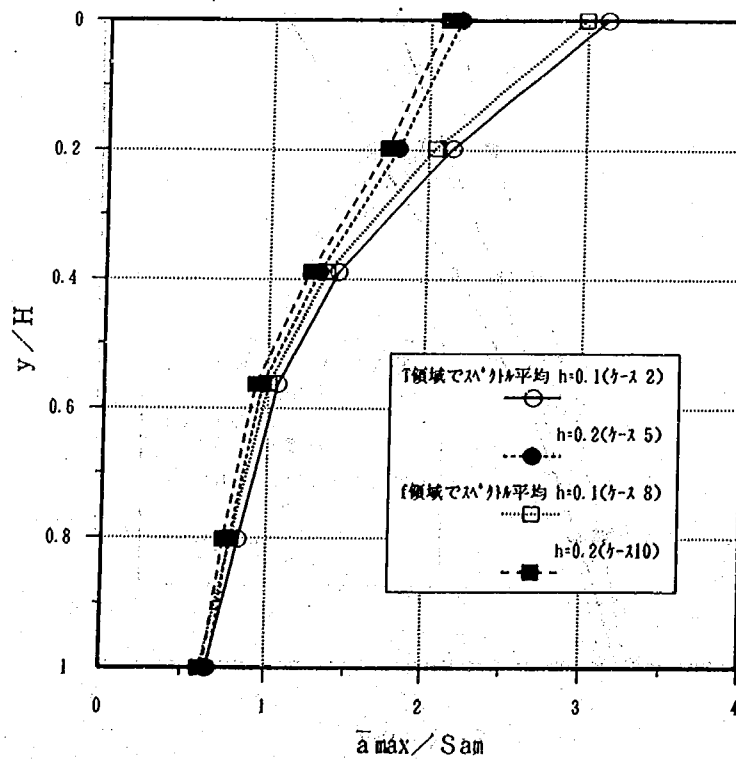


図-2. 13(2) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (SHAKEM)

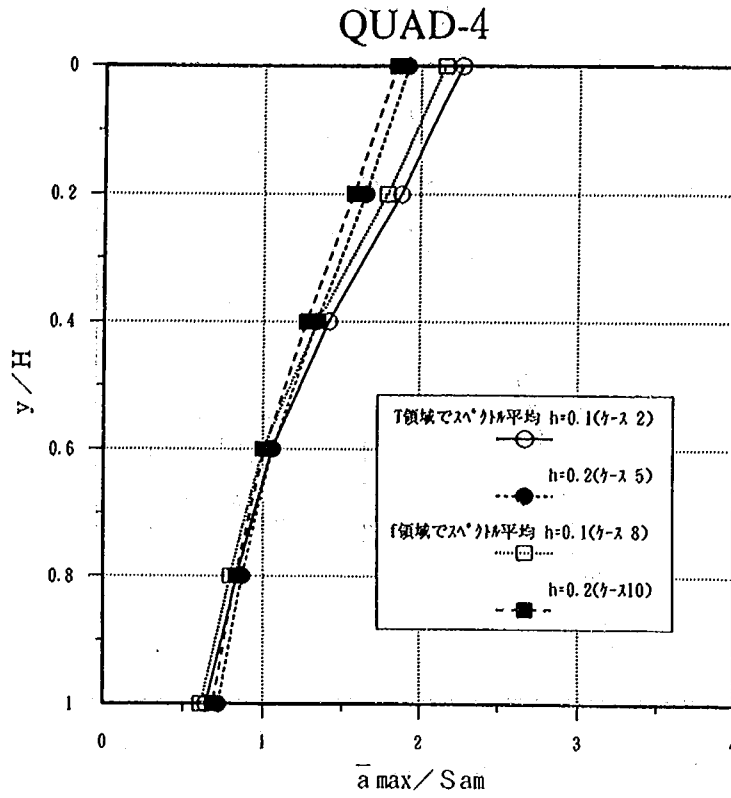


図-2. 13(3) y/H と $\bar{a}_{\max}/S_{am}$ (QUAD-4)

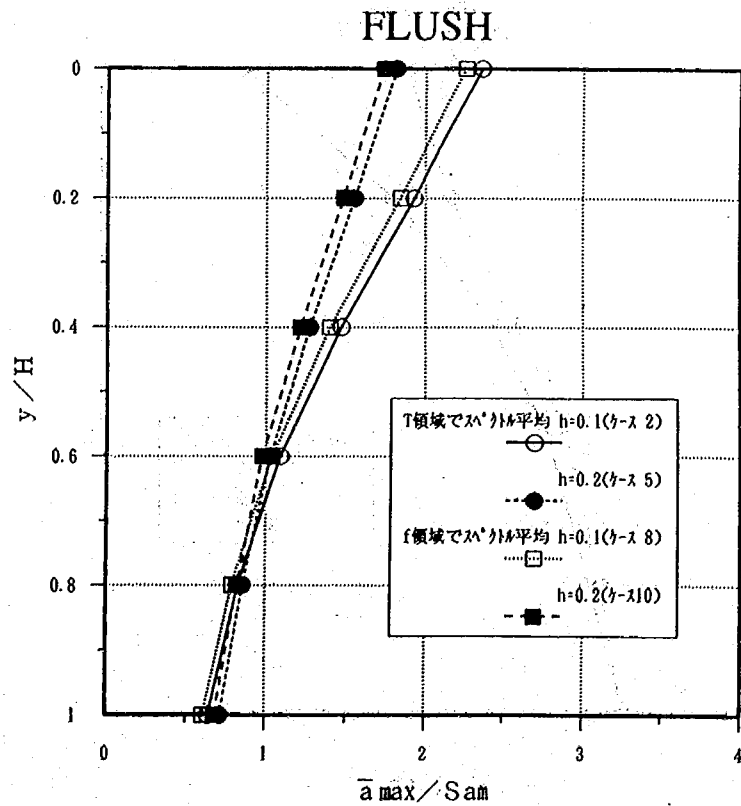


図-2. 13(4) y/H と $\bar{a}_{\max}/S_{am}$ (FLUSH)

モード重畳法

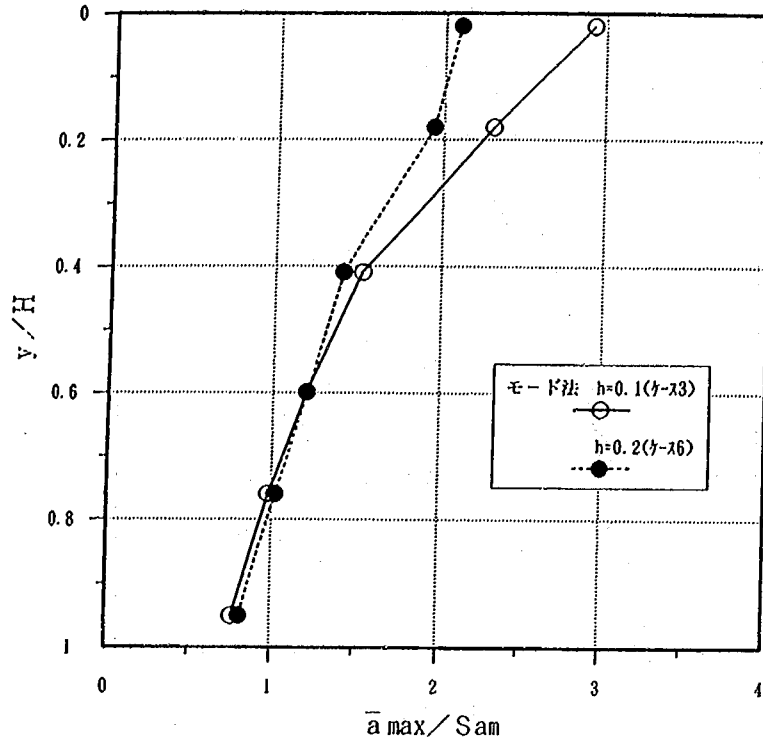


図-2. 14(1) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (減衰定数と平均領域の影響) (モード重畳法)

SHAKEM

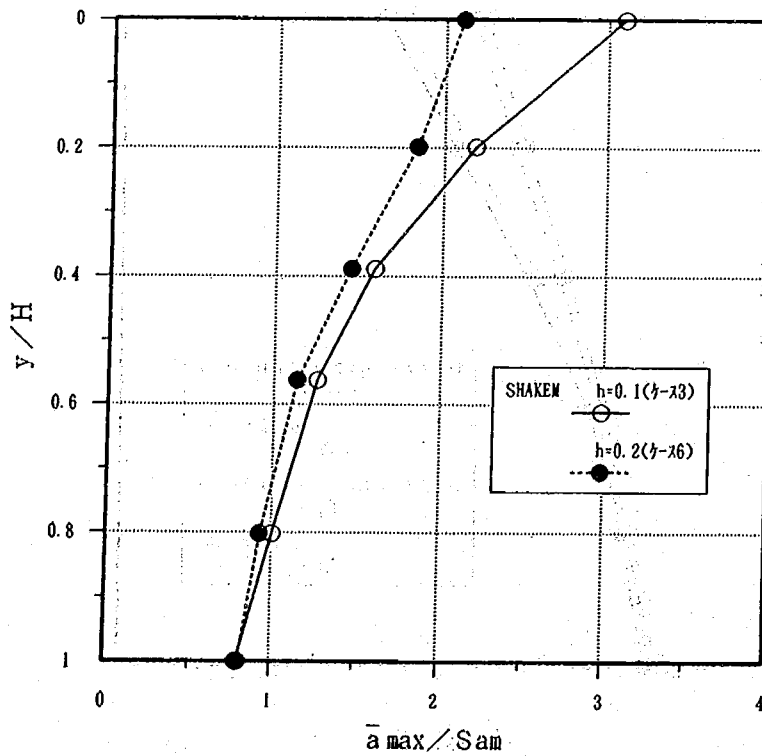


図-2. 14(2) y/H と $\bar{a}_{max}/S_m$ (SHAKEM)

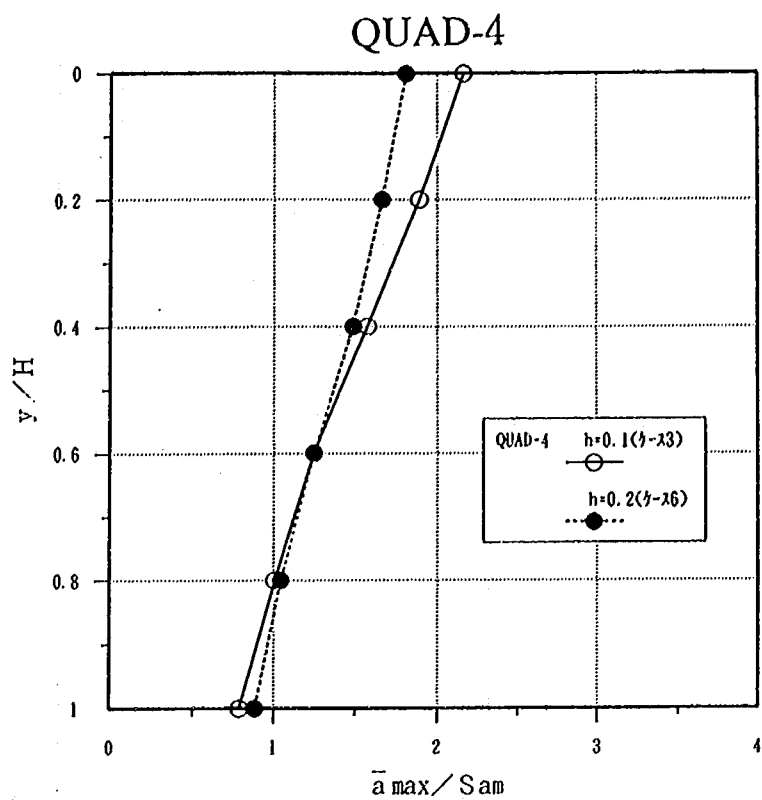


図-2. 14(3) y/H と $\bar{a}_{max}/S_{am}$ (QUAD-4)

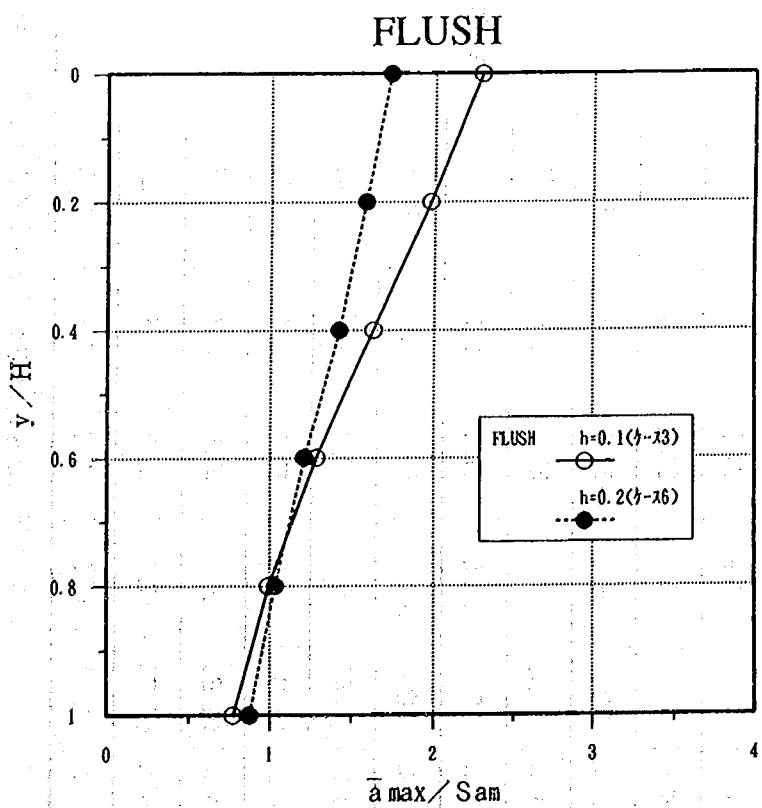


図-2. 14(4) y/H と $\bar{a}_{max}/S_{am}$ (FLUSH)

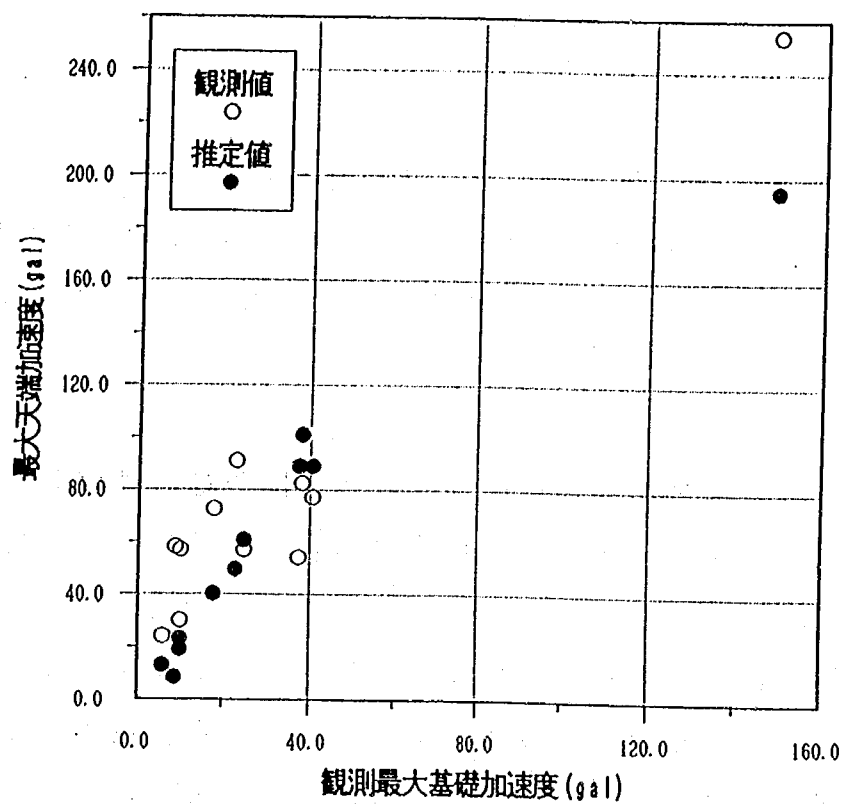
表-2.3 最大平均加速度推定法における推定値と実測値との比較 (ダム天端)

ダム名	地震 ケース	観測最大 加速度(gal)		堤体固有 周波数 (Hz)	平均加速度 応答倍率 スペクトル S_{am}	$\bar{a}_{max}/S_{am}$ の値 (天端) 注1)				天端での最大平均加速度の推定値(gal)			
		基礎	天端			モード重畳法	SHAKEM	QUAD-4	FLUSH	モード重畳法	SHAKEN	QUAD-4	FLUSH
十勝ダム	(4)	17.9	72.7	2.4	1.22	2.089	2.109	1.840	1.733	45.6	46.1	40.2	37.8
御所ダム	(1)	6.0	24.0	3.8	1.17					14.7	14.8	12.9	12.2
御所ダム	(6)	38.1	82.5	3.8	1.44					114.6	115.7	100.9	95.1
御所ダム	(13)	10.0	30.0	3.8	1.25					26.1	26.4	23.0	21.7
三保ダム	(7)	23.0	91.0	2.1	1.17					56.2	56.8	49.5	46.6
三保ダム	(8)	149.0	254.0	2.1	0.71					221.0	223.1	194.7	183.3
四時ダム	(14)	10.0	57.0	2.4	1.02					21.3	21.5	18.8	17.7
四時ダム	(19)	8.8	58.1	2.4	0.51					9.4	9.5	8.3	7.8
石測ダム	(16)	25.0	57.0	3.8	1.32					68.9	69.6	60.7	57.2
石測ダム	(17)	37.5	54.2	3.8	1.29					101.1	102.0	89.0	83.8
石測ダム	(18)	40.6	77.2	3.8	1.19					100.9	101.9	88.9	83.7

注1) $\bar{a}_{max}/S_{am}$ の値は、 $0.8 \leq f/f_0 \leq 2.0$ (f領域; h=20%) を使用

注2) 堤体の固有周波数 f_0 の値は岡本式により求めた

$$f_0 = \frac{200}{H} \text{ (Hz)}, \quad H \text{ (m): ダム高}$$



図一2. 15 推定値と実測値の比較

3. まとめ

種々の周波数特性を持つ地震動と、フィルダム堤体におけるすべり土塊の最大平均加速度 $\bar{a}_{max}$ との関係から、すべり土塊の $\bar{a}_{max}$ を簡易に推定する手法を示した。また、その手法に与える各影響要因について検討した。得られた結果を要約して以下に示す。

- 1) すべり円弧の最大平均加速度の周波数応答関数は、地震動の周波数 f を堤体の固有周波数 f_0 で無次元化すると、堤体の固有周波数によらずほぼ同じ形状となる。また、すべり円弧下端の標高を y 、ダム高を H とした場合、 y/H の関数となる。
- 2) 地震動の周波数特性値として加速度応答スペクトルをとり、1) の結果から、すべり円弧の $\bar{a}_{max}$ に影響を与えると考えられる周波数領域をいくつか設定し、この範囲における加速度応答スペクトルの平均値 S_m を算出した。さらに、すべり円弧の $\bar{a}_{max}$ と S_m の関係を求めた。その結果、 $\bar{a}_{max}$ と S_m は原点を通る直線で近似される。
- 3) 21 の実地震動について、 $\bar{a}_{max}$ と S_m の関係をプロットし、直線の勾配 β を最小 2 乗法で求めた。 β と y/H との関係を求めると、 β はスペクトルの平均範囲の下限値を 0.8 にすると、堤体の固有周波数によらずほぼ同じ分布を示した。また、 β は堤体の減衰定数が高い程小さくなるが、この傾向は y/H が小さい程顕著である。また、減衰定数の影響は 2 次元解析より 1 次元解析において大きい。
- 4) 加速度応答スペクトルの平均範囲としては、 f/f_0 で定義したが、その平均値 S_m を単に面積的な平均として求める場合、スペクトルの横軸を周波数で表すか時間で表すかによって若干異なる値となった。このため、 β と y/H の関係も異なってくるが、どちらも減衰定数や解析手法による傾向は同じである。このため、あらかじめ、スペクトルの平均領域を時間にとるか周波数にとるかを定め、 β と y/H の関係図もどちらで求めたものか注意して使用する必要がある。
- 5) 以上より、本検討では、主要なスペクトルの平均周波数領域として次式を考えた。

$$0.8 \leq f / f_0 \leq 2.0 \quad \text{-----} \quad (3.1)$$

また、QUAD-4を用いた2次元動的解析の結果では、 $h=10\%$ と 20% の差は小さく $\overline{a}_{max}$ と S_{am} の関係として、次の近似式が成り立つ。

$$\overline{a}_{max} = \{2.0 - 1.35(y/H)\} \cdot S_{am} \quad \text{-----} \quad (3.2)$$

以上より、すべり土塊の $\overline{a}_{max}$ は以下の手順を踏むことで簡易に推定できる。

- ①地震動の加速度応答スペクトルを算出する。ただし、このときの減衰定数は、対象とするダムが減衰定数とする。
 - ②ダム堤体の固有周波数を算定する。
 - ③加速度応答スペクトルの平均値 S_{am} を式(3.1)の周波数領域を対象として算出する。
 - ④ S_{am} を式(3.2)に代入すれば、各標高におけるすべり土塊の $\overline{a}_{max}$ が算出される。
- 6) 本手法による推定値と実ダムにおける実測値を天端について比較すると、概ね実測値を再現していた。

参考文献

- 1) 松本徳久・安田成夫・山邊健二：「フィルダムに作用する地震力の評価」,土木研究所資料,第2997号,1991.
- 2) H.B.Seed and G.R.Martin,"The Seismic Coefficient in Earth Dam Design",Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division,ASCE,Vol.92,NO.SM3,pp.25-58,1966.
- 3) 松本徳久・豊田光雄・志賀三智：「ロックフィルダムの模型実験」,土木技術資料,25-6,1983.
- 4) T.Ohmachi,N.Nakamoto,"In-Situ Measurement of Radiation Damping of Existing Rock fill Dams",Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering,[V],pp.337-342,1989.

付 録

- ・MATS (モード重畳法) データ入力説明
- ・SHAKEM データ入力説明

プログラムMATS（モード重畳法）データ入力説明

(1) タイトル (20A4)

--

(2) 入力地震動データ

NN	DT	EEE	FMT	(I5,2F10.0,5A4)
----	----	-----	-----	-----------------

NN : 入力地震動データ数

DT : 入力地震動の時間間隔(SEC)

EEE : " の加速度の引き延し倍率

FMT : " の入力フォーマット

(3) ダム形状データ

AA	AB	AH	NNN	(3F10.0,I5)
----	----	----	-----	-------------

AA : 天端幅(m)

AB : 基礎幅(m)

AH : ダム高(m)

NNN : " 分割層数

(4) 各層の物性値データ

(i)

AR(1)	AR(2)	AR(3)					
-------	-------	-------	-------	--	--	--	--

AR(9)		(8F9.0)
-------	-------	---------

AR(I) (I=1,NNN) : 各層の単位体積重量(t/m³) (基礎とする層を第1層とする)

(ii)

HH(1)	HH(2)	HH(3)					
-------	-------	-------	-------	--	--	--	--

HH(9)		(8F9.0)
-------	-------	---------

HH(I) (I=1,NNN) : 各モードの減衰定数

(iii)

HLI(1)	HLI(2)	HLI(3)					
--------	--------	--------	-------	--	--	--	--

HLI(9)		(8F9.0)
--------	-------	---------

HLI(I) (I=1,NNN) : 各層の厚さ(m)

(iv)

GG(1)	GG(2)	GG(3)					
-------	-------	-------	-------	--	--	--	--

GG(9)		(8F9.0)
-------	-------	---------

GG(I) (I=1,NNN) : 各層のせん断弾性係数 (t/m²)

モード重畳法入力データ例

DAMPING MASS MODEL (CASE-A1)							
568	0.01	1.40926	(8F9.0)				
12.0	301.8	63.0	17				
2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	1.88
1.88							
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.2							
6.5	6.	5.	5.	5.	4.	4.	3.
3.	3.	3.	3.	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5							
29811.	28062.	26411.	24658.	22684.	20603.	18593.	16667.
14910.	12983.	10575.	8026.	7993.	8152.	8485.	9096.
9968.							

プログラムSHAKEMデータ入力説明

(1次元地震応答解析および周波数応答関数の計算用プログラム)

NUM (I5)

NUM: 入力地震波の方向の数 (ex. 上下流、ダム軸、鉛直方向の3方向について計算する場合……NUM=3)

IR (I5)

IR=0: SHAKE or SHAKEMの計算を行う。注) 通常のスペクトル解析の場合は0を入力する。

IR=1: 2地点における加速度データから応答倍率(周波数応答関数)の計算を行う(ex. ダム天端と基礎の加速度データを入力)。

(IR=1は、SHAKEMとは別で、実測地震データが(例えばダム天端と基礎部)が得られたときに単に応答倍率を求めるプログラム)

NAME (20A4)

タイトル

計算タイトル(入力地震波タイトル)

NN

(I5)

DT

(F10.0)

BAND

(F10.0)

FMT

(5A4)

ICBA

(I5)

IRESQ

(I5)

IEQ

(I5)

IOH

(I5)

NN: 入力地震動のデータ個数(1方向につき最大8192個)

注: 本プログラムではデータ数が2ⁿとなるように後続のゼロを自動設定してくれるが、十分な後続のゼロをつけないとリンク効果によって計算誤差が大きくなる。

DT: 入力地震動の時間きざみ(sec)

BAND: スペクトル平滑化のためのバンド幅 (SWINサブルーチンで使用)

注: $BAND \geq 3.7081/T$, $T = NN * DT$

注: BAND=0. のときスペクトルウィンドウによるスペクトルの平滑化は行われない。

FMT: 入力加速度データフォーマット (ex. 8F10.0)

ICBA: 着目点(ND)の応答加速度のフーリエスペクトル図の出力(1:出力) (IR=1のときダミー)

IRESQ: 着目点(ND)の応答スペクトル図の出力(1:出力, 11:計算値プリント出力) (IR=1のときダミー)

IEQ : 着目点(ND)の加速度時刻歴図の出力(1:出力, 11:計算値プリント出力) (IR=1のときダミー)

IOH : データ原点補正スイッチ (1:補正, ≠1:補正なし)

INDX

EEE(I5,F10.0)

INDX : フィルター操作 (0:操作, 1:操作なし)

(IR=1のときダミー)

EEE : 加速度倍率 (0:倍率1.0)

I) IR=0の場合 (以下No.1~14のデータをNUM回繰返して入力する。)

(IR=0 : SHAKEM, SHAKEによる応答計算)

1. タイトル

TITLE (20A4)

2. SHAKE, SHAKEM, スペクトル解析の判別

IMM

NSW1

NSW2

(3I5)

IMM : (=0:SHAKE, =1:SHAKEM, =2:通常のスベクトル解析) (※IMM=2のとき、NO.3~10は省略する)

NSW1 : 地震動の入力位置(=0:底面基盤入力, =1:地表面入力, =2:露出基盤入力)

NSW2 : 応答の出力(=0:E+F, =1:2E, ただし、F:入射波, E:反射波)

注) 地表面入力の場合、計算結果の基盤の出力は意味がない。

3. 堤体分割基本データ

NM

NR

NW

(3I5)

NM : 堤体分割層数(最下層の基礎は除く)

NR : 基礎岩盤の層番号(通常NR=NK+1)

NW : 飽和層の最上層の層番号

注) 基礎岩盤では、ひずみによって減衰定数及びせん断弾性係数変化しない。

(本プログラムでは、各層の減衰定数、せん断弾性係数のひずみ依存性を考慮しているが、基礎ではそれを考慮していない。)

4. 層データ (NR-1個必要)

RO	BL	Z	(3F10.0)
----	----	---	----------

RO : 単位体積重量 (飽和している層は飽和重量を入力) (t/m^3)

BL : 層平均の幅 (SHAKEの場合はブランク) (m)

Z : 層厚 (m)

5. 基礎岩盤データ

RO	BL	Z	H	V	(5F10.0)
----	----	---	---	---	----------

RO : 基礎岩盤の単位体積重量 (飽和している層は飽和重量を入力) (t/m^3)

BL : 基礎岩盤の層平均の幅 (SHAKEの場合はブランク) (m)

Z : 基礎岩盤の層厚 (通常、最下層の場合はブランク) (m)

H : 基礎岩盤の減衰定数 (通常0.0~0.02を入力)

V : 基礎岩盤のせん断波伝播速度 (弾性波探査結果を基に入力) (m/s)

6.

NU	ND	NGP	IAP	(4I5)
----	----	-----	-----	-------

NU : 入力データポイント (地震波を入力する層番号, 通常基礎番号)

ND : 出力データポイント (加速度応答倍率, 応答スペクトル等を求める着目点番号)

NGH : $r \sim h, G$ の関係個数 (最大30ヶ)

注) h, G のひずみ依存性を考慮するために $r \sim h, r \sim G$ 曲線をいくつかのプロットで導入する (プロット間は線形補間)

IAP : 着目点 (ND地点) の周波数応答関係数の図化スイッチ (1:出力)

7. $r \sim G, h$ の関係

GAMA			(I=1, NGH)
(8F9.0)			
SENC			(I=1, NGH)
(8F9.0)			
DAMP			(I=1, NGH)
(8F9.0)			

GAMA : せん断ひずみ r

SENC : せん断弾性係数 $G_0(r)$ (kgf/cm^2)

DAMP : 減衰定数 $h_0(r)$

注) $G_0(r), h_0(r)$ は、拘束圧 1 kgf/cm^2 時のひずみの関数で表わしたせん断弾性係数, 減衰定数である。

8. G, hの拘束圧係数

GA	GB	DA	DB	(4F10.0)
----	----	----	----	----------

GA, GB, DA, DB: 次式の各係数 本プログラムでは、G, hの拘束圧依存性も考慮する。すなわち、 $G_o(r)$, $h_o(r)$ を基本に、次式で拘束圧の影響を考慮する。

$$G = G_o * (GA + GB * \log_{10}(\text{拘束圧}))$$

$$h = h_o * (DA + DB * \log_{10}(\text{拘束圧}))$$

注) 拘束圧が1 kgf/cm²の時は $G=G_o*GA$, $h=h_o*DA$ とする。

注) 拘束圧を考慮しない場合は、 $GA=1.0$, $GB=0$, $DA=1.0$, $DB=0$ とする。

9. 収束計算条件

ITE	GOSA	PKO	(I5, 2F10.0)
-----	------	-----	--------------

ITE: 繰返し計算回数 (通常5回)

GOSA: 収束誤差 (通常0.05)

PKO: 土圧係数 (一般に0.45~0.5) 注) 拘束圧の算定に用いる。

10. 計算加速度時刻歴の出力スイッチ (= 各層の計算された応答加速度時刻歴および最大応答加速度のディスクへの出力を行う)

ISA	(I5)
-----	------

ISA: 出力スイッチ (=1:出力) (F1e40に出力)

11. フィルター補正条件 (INDX=0のとき省略)

FC	FT	(2F10.4)
----	----	----------

FC: 周波数FC(Hz)以上の成分をカットする。

FT: 周波数FT(Hz)~FC(Hz)の成分を補正する。

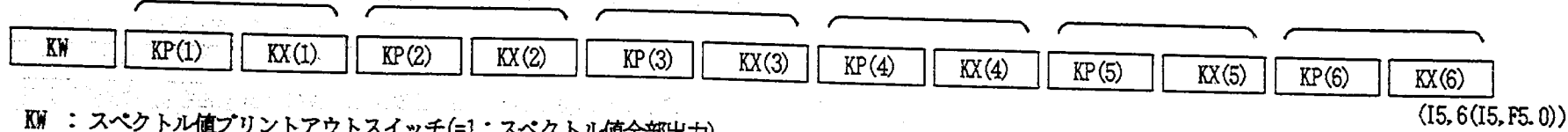
12. 入力動に対する着目点の加速度周波数応答倍率図の縦軸数値の設定 (IAP=1のとき必要)

APX	(F10.0)
-----	---------

APX=0.0のとき縦軸スケール自動設定

APX≠0.0のとき縦軸最大値はAPXとする。ただし、APXは5で割りきれる値を入力する。

13. スペクトル図スイッチ(ICBA=1の時必要)



KW : スペクトル値プリントアウトスイッチ(=1:スペクトル値全部出力)

KS(I) : 図化スイッチ(=1:図化)

MX(I) : 縦軸スケール, MX(I)を指定すれば、縦軸の最大値をMX(I)とする(ただし、極力(5×6)=30の倍数とすることが望ましい)
 注) MX(I)=0.0のとき自動設定。

ここで、I=1 : パワースペクトル

2 : " (平滑化)

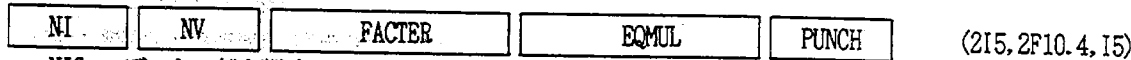
3 : フーリエスペクトル

4 : " (平滑化)

5 : 自己相関関数

6 : 位相スペクトル

14. パンチアウトデータ



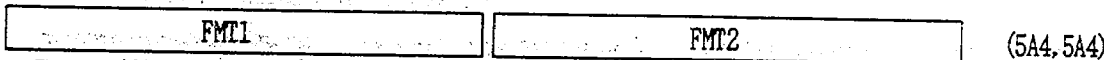
NIC : データの総行数(ex. 100)

NV : 1行あたりのデータ数(ex. 8)

FACTOR : 変換係数(通常1.0)

EQMUL : 倍率(通常1.0)

PUNCH : ファイル出力スイッチ(≠1:出力しない, =1:出力する)



FMT1 : 着目点加速度時刻歴の入力フォーマット

FMT2 : 着目点加速度時刻歴の出力フォーマット

15. (着目) 出力ポイントの加速度時刻歴図スケールデータ (IEQ=0のとき省略)

TSC	ASC	VSC	DSC	IABC	(4F10.4, I5)
-----	-----	-----	-----	------	--------------

着目点加速度時刻歴図の

TSC : タイムスケール (出力時間長) TSC (SEC) まで出力

ASC : 加速度スケール

VSC : 速度スケール (ダミー: ASCと同じ値を入れておく)

DSC : 変位スケール (ダミー: ASCと同じ値を入れておく)

IABC : プリントスイッチ (ダミー: 0を入れておく)

II) IR=1の場合

(IR=1 : 実測地震データによる応答倍率計算の場合)

1. タイトル

NAM(20A4)	タイトル
-----------	------

2. 応答倍率を求めたいポイントのデータ

DT1	NA	INDX	FMT1	(F10.5, 2I5, 5A4)
-----	----	------	------	-------------------

DT1 : 時間きざみ(sec)

NA : データ個数

INDX : フィルター操作スイッチ(≠0:フィルター操作を行う)

FMT1 : 加速度データフォーマット

3. フィルター(INDX=1のとき必要)

ex. ダム基礎 (入力ポイントデータ)

FC1	FT1	(2F10.0)
-----	-----	----------

ex. ダム天端 (出力ポイントデータ)

FC2	FT2	(2F10.0)
-----	-----	----------

4. 図化処理縦軸最大値入力

AMX	(F10.0)	AMX: 加速度周波数応答関数に関する縦軸の最大値 (≠0: 自動設定)
-----	---------	--------------------------------------

SHAKEM入力データ例

```

1
0
1983 NIHONKAI-TYUBU (GOSHO) CASE-1
8192 0.01 0.4 (8F9.0)
0 32.210
1983 NIHONKAI-TYUBU (GOSHO) CASE-1
1 18 3
1.88 17.75 2.5
1.88 29.25 2.5
2.08 40.75 2.5
2.08 52.25 2.5
2.08 63.75 2.5
2.08 76.40 3.00
2.08 90.20 3.00
2.08 104.0 3.00
2.08 117.8 3.00
2.08 131.6 3.00
2.08 147.7 4.00
2.08 166.1 4.00
2.08 186.8 5.00
2.08 209.8 5.00
2.08 232.8 5.00
2.08 258.1 6.00
2.08 286.85 6.5
2.60 301.8
0.000001 0.000005 0.00001 0.000015 0.00002 0.00003 0.00004 0.00005
0.00007 0.0001 0.00015 0.0002 0.0003 0.0004 0.0005 0.0007
0.001 0.02 0.02 0.02 0.03 0.04 0.05 0.07
1391.0 1391.0 1391.0 1368.0 1352.0 1323.0 1285.0 1262.0
1211.0 1162.0 1081.0 1031.0 956.0 905.0 865.0 810.0
751.0 609.0 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
0.7788 3.42508 1.0 0.0
5 0.01 0.50
1 0 0 0 1 120. 0 0
500 8 1.0 0 0 1 120. 0 0
(8F9.0) 800.0 (10F8.0) 0.0
40.0 0.0
1 1

```

フィルダム堤体の滑り土塊に
作用する地震力の簡易推定法

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3191号
平成5年3月(1993)

要旨

中村 昭・安田成夫・横山真至

フィルダムに作用する地震力としてすべり土塊の最大平均加速度 $\bar{a}_{max}$ に着目し、動的解析手法を用いて地震動の特性値からすべり土塊の $\bar{a}_{max}$ を簡易に推定する手法について検討し、以下の知見を得た。

地震動周波数特性値として加速度応答スペクトルをとり、 $\bar{a}_{max}$ の周波数応答関数から、 $\bar{a}_{max}$ に影響を与える領域でのスペクトルの平均値 S_{am} を算出した。これと、 $\bar{a}_{max}$ との関係を検討した結果、 S_{am} と $\bar{a}_{max}$ は原点を通る直線で近似される。

直線の勾配と y/H (y :ダム天端から円弧下端までの距離、 H :ダム高)の関係を減衰定数、堤体固有周波数等をパラメータとして評価した。本手法は概ね実測値と一致することが確認された。

キーワード: フィルダム, 耐震設計, 地震動, 地震応答解析法, 応答スペクトル

郵便はがき

郵便
切手
を
貼
り
下
さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

ダム部フィルダム研究室 御中

No. 3

No. 3

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3191号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印