

土木研究所資料

四十四田ダムの地震時挙動

——実測とFEMによる解析——

昭和52年1月

建設省土木研究所

四十四田ダムの地震時挙動

—実測とF E Mによる解析—

建設省土木研究所

ダム部フィルダム研究室

松本 徳久

豊田 光雄

目 次

1. ま え が き	1
2. 四十四田ダムの概要	3
3. 四十四田ダムで観測された地震動	8
3-1 地震計の配置	8
3-2 観測された地震と地震動	9
3-3 観測された加速度波形の解析	10
3-3-1 最大加速度	13
3-3-2 周波数特性	14
3-4 観測された地震時挙動のまとめ	26
4. 有限要素法による二次元振動解析	28
4-1 解析上の仮定	28
4-1-1 解析モデル	28
4-1-2 物性値の評価	28
4-1-3 動水圧の評価	29
4-2 解 析 結 果	31
4-2-1 固 有 振 動	31
4-2-2 入力波に対する応答	32
4-2-2-1 変位および加速度	32
4-2-2-2 動的応力	50
4-3 解析結果に対する考察	54
5. 結 論	56
6. あ と が き	57

1. ま え が き

本報告書は次の2点を目的としている。

- a) 四十四田ダムの地震時挙動を1974年9月4日に観測された加速度波形を解析することによって明らかにすること。
- b) 四十四田ダムの重力ダム部分を有限要素法によって振動解析し、これを実測データと比較して、重力ダムの耐震設計に有用な資料を得ること。

a) については、後に述べるように四十四田ダムが重力ダムとアースダムの二つの型式のダムで建設されたいわゆる複合ダムで、両型式のダムの固有振動数に差があることが予想され地震時における両ダムの挙動が注目されている。

b) については筆者らは重力ダムの耐震設計について以下のような意見を持っているので、ここに研究を行った。

昭和51年度の時点で、建設省が調査又は、建設中のダムは二百数十に昇るが（補助ダムを含めて）その約70%は重力ダムである。このように重力ダムが多数採用されているのは、洪水調節のための工作物として重力ダムが優れた機能を有しているという事実の他に、力学的にも安定した構造物として信頼が高いためと考えられる。ちなみに、わが国において重力ダムに関する最初の系統的な論文は、物部長穂による「貯水用重力堰堤の特性並に其合理的設計方法」¹⁾であるが、この中で物部は地震国であるわが国にとっては、重力ダムが最も適したダムのタイプであると説いている。以来1975年現在でわが国において523の重力ダムが建設され²⁾、現実に地震による大きな被害を出していない。それでは、重力ダムの耐震性は理論的にも経験的にも確かめられたと結論してよいのだろうか。筆者らは、重力ダムが耐震的に安定した構造物であると考えるが、同時に現在の耐震設計には以下に述べる問題点があり、重力ダムの耐震研究が必要と考えている。

- ① 最近の地震観測によれば、地震動の最大加速度は岩盤上においても 200 cm/sec^2 を越えるものが記録され（1971年のサンフェルナンド地震では、パコイマダム左岸において $1.25g$ ）しかも上下動もかなり大きいことがわかってきた。これに対して重力ダムの設計堤体震度は 0.12 がほとんどであり³⁾、近地地震があったときに予想される地盤震度よりも低い。
- ② 重力ダムは震度法によって設計されているが（地震力を水平方向に一律な体積力として評価）、震度法は構造物が剛で、地震動の固有周期に比べ構造物の固有周期が短いことを前提としている。しかし、岩盤の地震動の周期は他の種類の地盤よりも短いために震度法の仮定があてはまらないこと

がある。すなわち、横方向に震度が一定という仮定は必ずしも現実と合わない。

- ③ 重力ダムの耐震設計においては、堤体と同等以上に、基礎の耐震性を重視すべきであるが、基礎の設計では静的な設計が中心である。

- ④ わが国において重力ダムの地震被害がないといってもまだ、大地震の震央付近に重力ダムが存在していた経験はない。新潟地震、十勝沖地震のような大地震で震央距離にして数十km、マグニチュード6.5クラスのそれほど大きくない地震から10kmくらい離れた地点で重力ダムが地震動を受けた経験はある。これらの地震においては、重力ダムは大きな被害を出してはいないが、一時的に漏水が少量増えた例もある⁴⁾。

またわが国の例ではないが、インドのコイナダムでは、1967年のコイナ地震 ($M=7.5$) で、継目からの多量の漏水が発生した⁵⁾。ただしコイナダムは建設途中基本三角形断面をはずれた嵩上げを行っており、しかも設計震度は0.05であった。

以上の諸点により、筆者らは重力ダムの耐震研究が必要であると考え、FEM解析を行い実測の挙動と比較した。

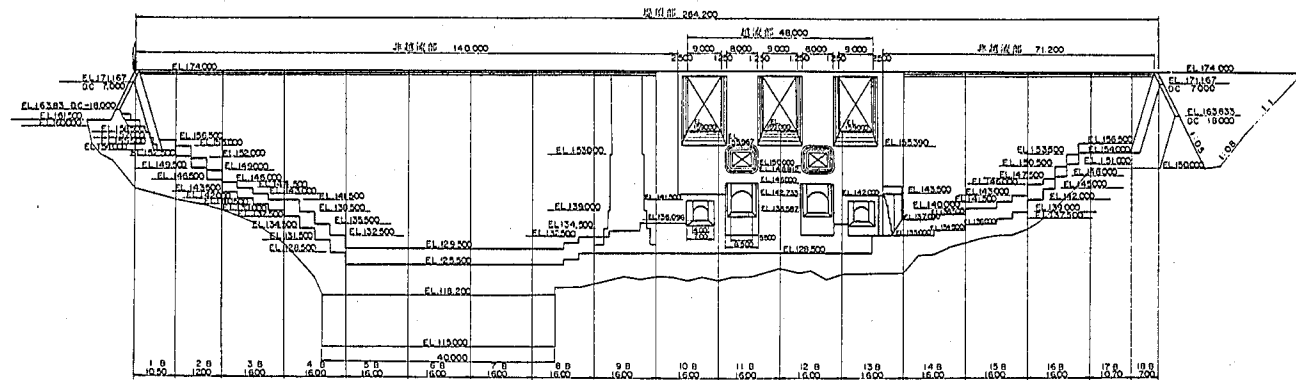
2. 四十四田ダムの概要

四十四田ダムは、昭和43年10月に竣工した高さ55.8mの重力ダムである。ダムサイトは岩手県のほぼ中央、盛岡市内北上川に位置している。ダムと貯水池の諸元を表-1に、ダムの標準断面図を図-1に示す。

表 - 1 四 十 四 田 ダ ム 諸 元

ダ ム 及 貯 水 池 諸 元			
河 川 名	北 上 川		
位 置	盛 岡 市 下 厨 川 四 十 四 田		
流 域 面 積	1.196 km ²		
貯 水 池	コ ン ク リ ー ト	上流 1:0.06	
湛 水 面 積	3.9km ²	堤 体 法 勾 配	下流 1:0.8
湛 水 延 長	15 km	アース堤体法勾配	上流 1:1.55
常時満水位標高	170m		下流 1:2.2
サーチャージ水位標高	171m	越 流 設 備	クレストゲート 巾9.0m高12.9m 3門
制限水位標高	159m	放 流 設 備	オリフィスゲート 巾5.5m高4.5m 2門
低 水 位 標 高	158m	地 質	輝緑岩及輝緑凝灰岩
洪水調節水深	12m	発 電	
発電利用水深	12m	最大有効落差	32.7m
総貯水容量	47,100,000m ³	最大使用水量	55.0m ³ /sec
有効貯水容量	35,500,000m ³	常時使用水量	17.4m ³ /sec
堆砂容量	11,600,000m ³	最大出力	15,100KW
洪水調節容量	33,900,000m ³	常時出力	3,800KW
発電容量	31,700,000m ³	年間発生出力	69,000,000KWH
計画洪水流量	1,350m ³ /sec	水 没 補 償	
計画放流量	700m ³ /sec	家 屋	60戸
調節流量	650m ³ /sec	宅 地	20,000坪
ダ ム	田 地	36町	
型 式	重力式コンクリート・ アース複合ダム	畑 地	113町
堤 頂 標 高	174m	山 林 原 野	190町
堤 高	約50m	道 路	11 km
堤 頂 長	480m	事 業 費	
堤 頂 巾	6m	ダ ム 工 事	6,680,000千円
堤 体 積	コンクリート 約300,000m ³	発 電 工 事	1,720,000千円
	アース約120,000 m ³		

上流図面



下流図面

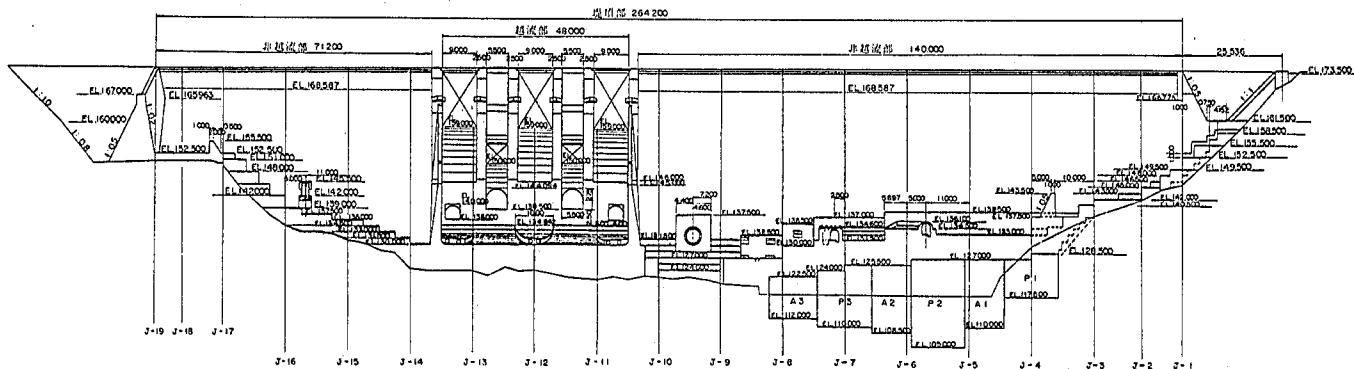
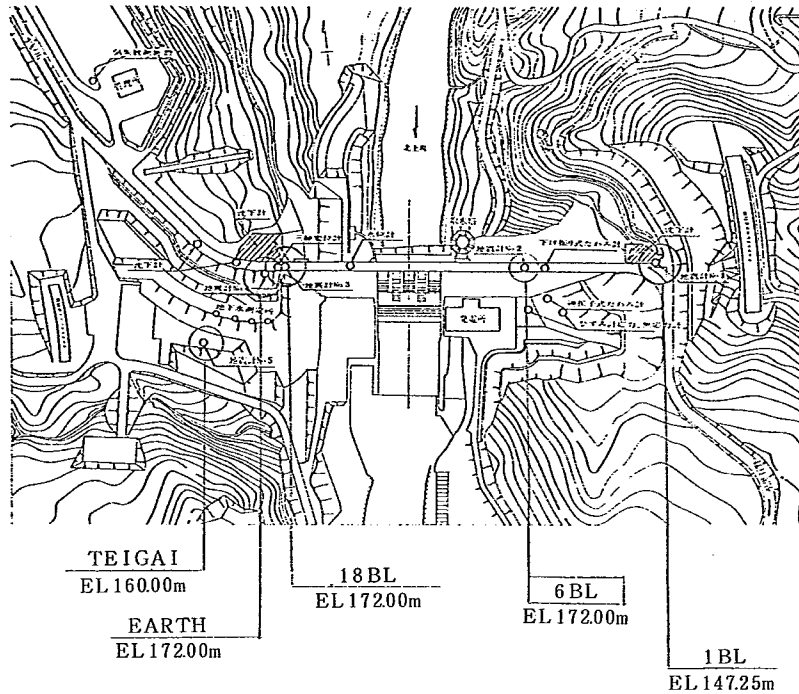


図-1 ダム標準断面図 (a 重力ダム)

ダムサイトおよびその周辺の地形と地質について簡単にふれておこう。北上川の東側（左岸）は標高300～1000 m程度の老年期、準平原的地形を形成し、この地区の地質は古生層の粘板岩・砂岩・輝緑凝灰岩などとそれを貫くカコウ岩類によって代表される。一方西側（右岸）は奥羽山脈の一部を形成する岩手山（標高2041 m）をはじめ2～3の急峻な壮年期地形と山麓部によって占められておりその地質構成も第四紀以降の火山噴出に由来するところの安山岩、火山砕屑物によって構成されている。四十四田ダムのダムサイトは準平原的な北上古生層山地に位置し、基礎岩盤は古生層の変輝緑岩、輝緑凝灰岩、粘板岩、砂岩、チャートが基盤をなし、これを部分的に泥流堆積物、火山灰質粘土、河床堆積物が覆っている。泥流堆積物は第4紀洪積世に活動した岩手火山の噴出物を主体としたもので、主にダムサイトの右岸に分布している。ダムは、これらの地質状況に合せて右岸部の泥流堆積物上には、アースダム、河心および左岸の古生層岩盤上に重力ダムが建設された。



※ 6BL地点で解析を行なう。

ダムの上流側からの側面図

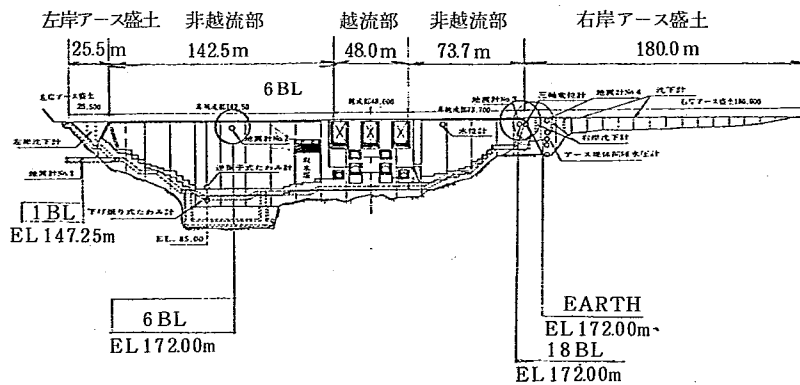


図-2 地震計設置箇所

3. 四十四田ダムで観測された地震動

3-1 地震計の配置

四十四田ダムには地震動を実測するために、合計12成分の地震計（短周期型、加速度計）が5ヶ所に設置されている。設置位置を図-2に示す。以下議論の簡便化のために表-2のように地震計に記号を付ける。観測地点のうち6BL、18BL、EARTHはすべて標高172.0mでダムの天端より2.0m低い地点でほぼ天端付近の挙動を示すと考えてよい。TEIGAIとは重力ダム施工中にケーブルクレーンタワーのアンカーをとるためのコンクリートブロック上に設置した地震計である。ROCKとは左岸岩盤監査廊内に設置した地震計で、岩盤の地震動を記録するためのものである。また、EARTHと18BLが近接して設置されているのは、アースダムと重力ダムとで地震時の振動特性がどのように異なるかを観測するためである。

表-2 地震計・各成分の記号

観測地点	観測地点記号	地点の標高 (m)	x (堤軸方向)	y (上・下流方向)	z (鉛直方向)
左岸岩盤内監査廊	ROCK	147.25	ROCKX	-	-
重力ダム 6ブロック天端	6BL	172.00	6BLX	6BLY	-
重力ダム 18ブロック天端	18BL	172.00	18BLX	18BLY	18BLZ
アースダム天端	EARTH	172.00	EARTEX	EARTHY	EARTHZ
堤外ブロック	TEIGAI	160.00	TEIGAIX	TEIGAIY	TEIGAIZ

地震計は電磁式加速度計で周波数特性を図-3に示す。図-3に示されるように、0.3～30Hzの振動に対しては相対感度は90%以上であり、一応かなりの高周波に対しても精度よい測定が期待できる。記録紙の

紙幅は18cmで6成分を一台のオシログラフで記録する。感度は1gal = 2mmで始動し、ある程度以上の地震動になると、感度 $\frac{1}{8}$ にダウンさせる。加速度の測定範囲は200galまでこのときの記録紙上のふれ幅は $200 \times 2 \times \frac{1}{8} = 50\text{mm}$ である（片側振幅）。紙送り速度

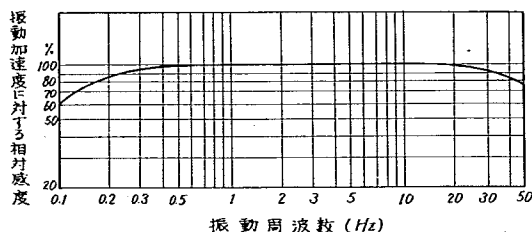


図-3 地震計の周波数特性

は1秒=100mmである。

3-2 観測された地震と地震動

観測された地震は1974年9月4日に発生した岩手県久慈市沖、北緯40°11'00"、東経141°56'00"で深さ40kmを震源とする浅発地震である。この地震のマグニチュードは、5.6で、被害状況は久慈市海岸で落石、岩手県下閉伊郡の林道が長さ20m、幅5m、高さ1mにわたってくずれ盛岡市内では一部停電があった。⁷⁾

ダムサイトと震源地は82.5km離れ(図-4) 四十四田ダムの地震計は18時20分から40秒間にわたって地震動を記録

した。記録された原波形(ただしデジタル値を約20秒間再現したもの)を図-5に示す。ただし図-5では途中約6秒~12秒において感度切り換えがあり、 $\frac{1}{8}$ に感度を落してある。

1973年1月より1975年1月まで約2年間における重力ダム5ブロックのたわみを図-6に示す。地震前9月2日と地震後9月5日の間の上下流方向のたわみの差は0.25mm上流側へたわんでいるが、この間に水位は0.91m下っている。1973年4月~11月の間では貯水位10mの変動でたわみは約4mm、1974年3月~4月の貯水位10mの変動でたわみは1.7mm変動している。同じ10mの水位変動で4mmと1.7mmと値が異なるのは温度変化の影響が大きいと推定される。したがって1974年9月4日の地震前後のたわみの変化は、水位変化とによるものと考えてよく、地震によってダム5ブロックに永久変化が生じたものではない。

四十四田ダムの重力ダムとアースダムの接触部には三軸変位計が埋設されている。この計器は動的にも記録をとることができるが、1974年9月4日の地震ではオシログラフは作動していないので動的記録は記録していない。しかし9月2日と9月4日に静的な変位を測定しており、これによると地震後は地震前に比べ、堤軸方向(X方向)には0.10mm閉じ、上下流方向(Y方向)にはアースダムが0.25mm下流側へ変位し、鉛直方向にはアースダムが0.11mm隆起していることが観測された。ただしこれらの数値については量が小さく計器の測定範囲ギリギリの値であるので精度上は問題がある値であろう。

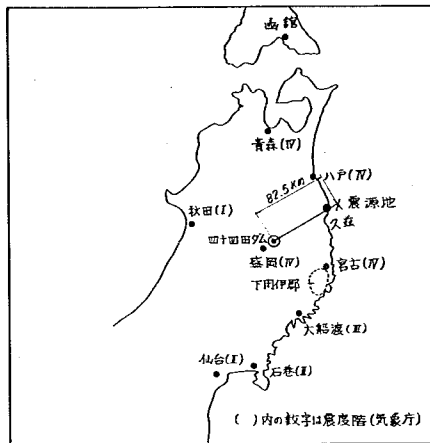


図-4 震央位置およびダムサイト

その他この地震によってダムはいかなる損傷も認められてない。

3-3 観測された加速度波形の解析

地震波形は記録紙上で、0.5 mm 間隔、すなわち $\frac{1}{200}$ 秒間隔でデジタル化した。デジタル値はプロッターにより現記録と同じ大きさに図化し完全に一致することが確認してある。感度切り換え部分を8倍に調整し再現した波形を図-7に示す。ROCKが岩盤での加速度波形であるが記録をはじめて5.5秒で主要動をキャッチし、これが約4～5秒継続している。

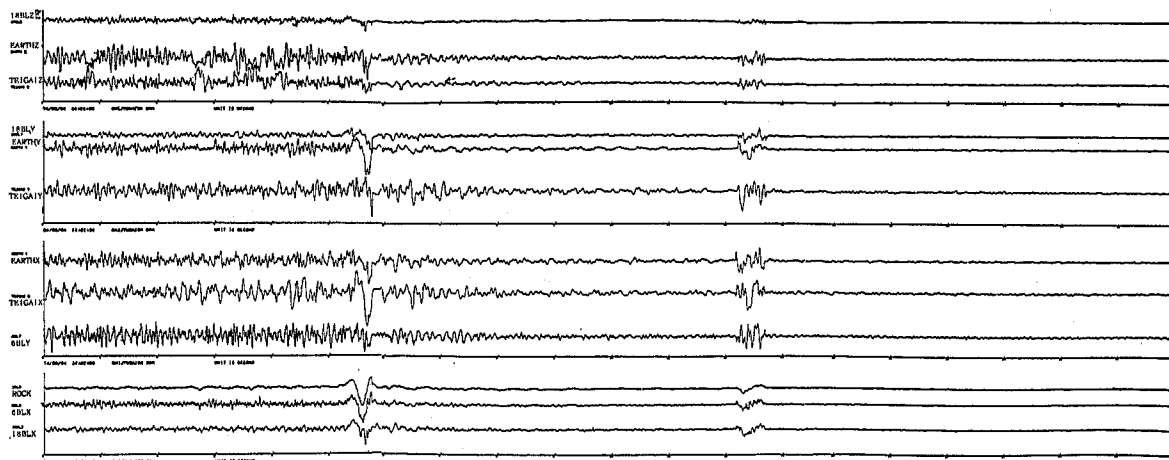


図-5 四十四田ダム観測された加速度記録

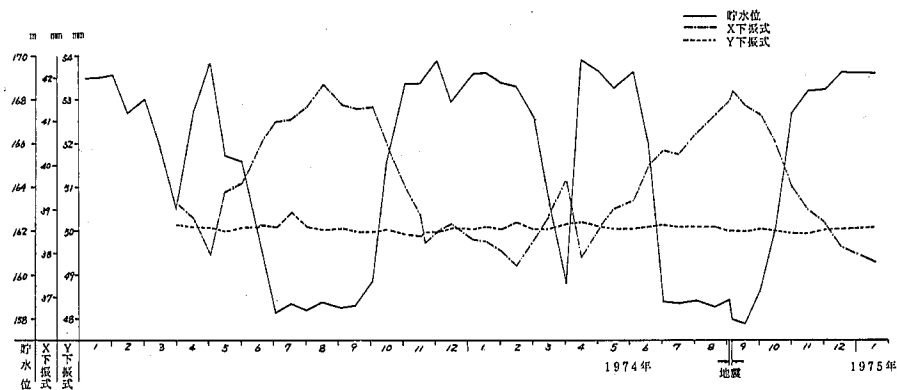


図-6 重力ダムのたわみ

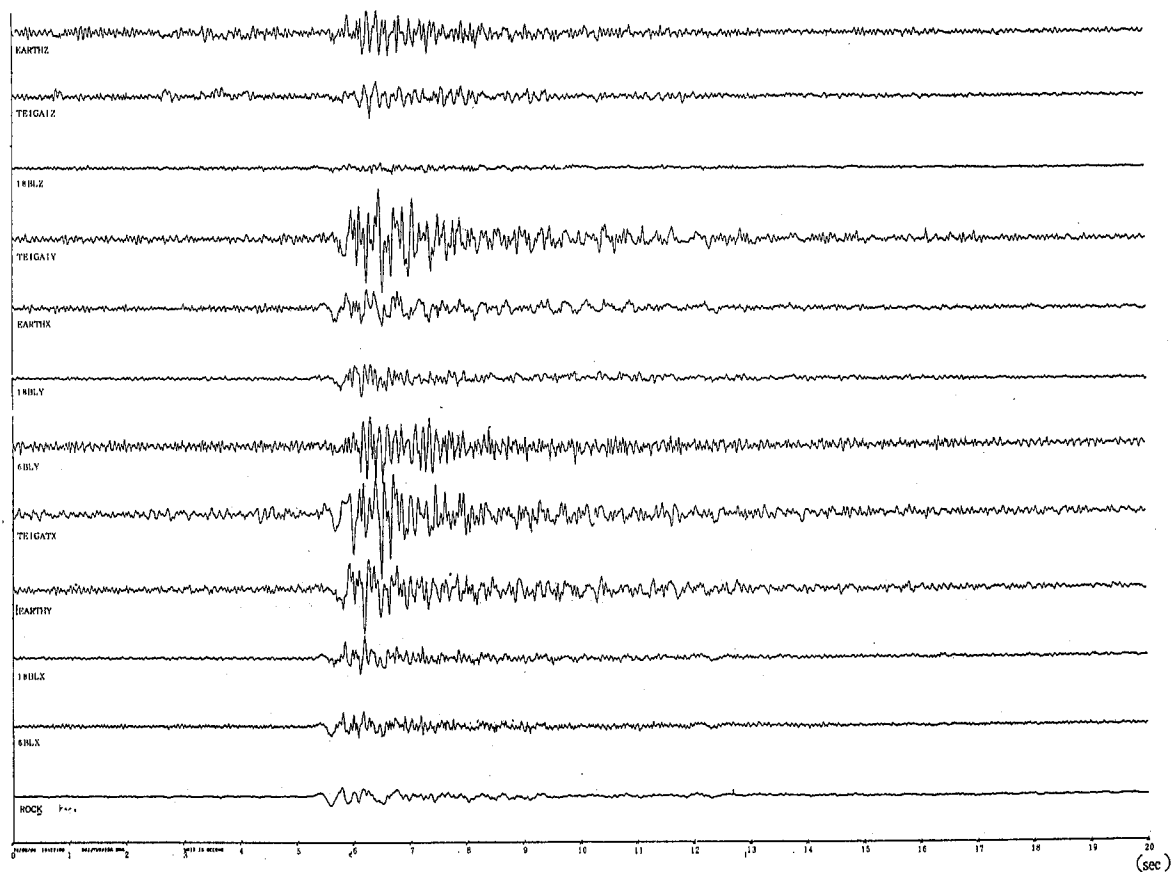


図 7 四十四田ダム地震記録

3-3-1 最大加速度

各地点、各成分での最大加速度を表-3に示す。表-3および図-7を概観して特徴を列記しよう。

表 - 3 最 大 加 速 度

観 測 地 点	記 号	最大加速度 (絶対値 gal)	$\sqrt{\text{分散}}$ (cm/sec^2)
岩盤 (EL=147.25)	ROCK X	16.3	3.3
堤体6ブロック EL=172.00	6BL X	25.0	3.9
	6BL Y	64.2	9.2
堤体18ブロック EL=172.00	18BL X	39.0	3.8
	18BL Y	31.7	4.1
	18BL Z	10.8	1.8
アースダム EL=172.00	EARTH X	32.8	5.6
	EARTH Y	75.7	8.8
	EARTH Z	38.5	6.6
堤外ブロック EL=160.00	TEIGAI X	110.9	11.8
	TEIGAI Y	92.0	11.7
	TEIGAI Z	37.8	4.6

① 岩 盤

岩盤上での最大加速度は16.3 galである。地震のマグニチュードと震央距離がわかったときの岩盤上で地震動の大きさについては、岡本や金井などによる経験式がある。⁵⁾

岡本によれば最大加速度を α (岩盤上)、マグニチュードを M 、震央距離を x としたとき、 α は次式で表される。

$$\log \frac{\alpha}{640} = \frac{x+40}{100} (-7.604 + 1.724M - 0.1036M^2)$$

これにおいて、 $x = 82.5 \text{ km}$ 、 $M = 5.6$ とする。

$$\alpha = 21.8 \text{ gal}$$

又、金井によれば、地震動の最大速度を V とすると

$$\log V = 0.61 M - 1.73 \log x - 0.67$$

$$\therefore V = 0.27 \text{ cm/sec}$$

また金井によれば最大加速度 α 、および最大変位はそれぞれ次式で最大速度と関係あるとされる。

$$\alpha = \frac{2\pi}{T} V \text{ (ここに } T \text{ は岩盤の固有周期)}$$

$$D = \frac{T}{2\pi} V$$

そこで、 $T = 0.5$ 秒、 0.25 秒とすると最大加速度は、それぞれ 3.4 gal 、 6.7 gal となる。

したがって四十四田ダムの岩盤では、比較的岡本の式に近い最大加速度であるといえる。

② 重力ダム 6 ブロック天端

重力ダム 6 ブロック天端の上下流方向 (6 B L Y) は最大加速度が大きく (64.2 gal)、加速度値の分散も大きい。しかし、6 ブロック天端の堤軸方向は大約岩盤程度しか振動していない。

③ アースダム天端

アースダム天端は上下流方向に大きく振動 (最大 75.7 gal) し、分散も大きい。堤軸方向は、上下流方向の約 40% 程度であり、上下動は、上下流方向の約 50% 程度である。

④ 重力ダム 18 ブロック

重力ダム 18 ブロックはダム高が低い (21.5 m) ために 6 ブロック又はアースダムほどに増幅して振動してはいない。水平面内の振動は、上下流方向も堤軸方向もほぼ同じ大きさである。

⑤ 堤外アンカーブロック

ここは、表-3 中最大の振動を記録している。その理由は、基礎が泥流堆積物であることと、アンカーブロックが高さ 150 cm 、幅 60 cm 程度の角柱状構造物であるために大きく増幅振動しているためである。角柱は正方形断面であり、剛性には方向性がない。したがって上下流方向および堤軸方向の振動加速度がほぼ等しいということは地盤での最大加速度が、上下流方向と堤軸方向で大略等しかったと推定される。

3-3-2 周波数特性

岩盤、重力ダム、アースダム、堤外地ブロックの各振動周期を知るために各加速度波の自己相関関数とパワースペクトルを求めた。(図 8~19)

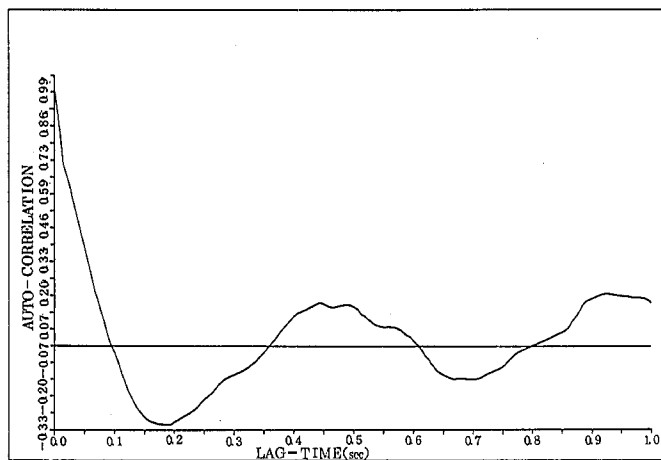


图-8a ROCK X

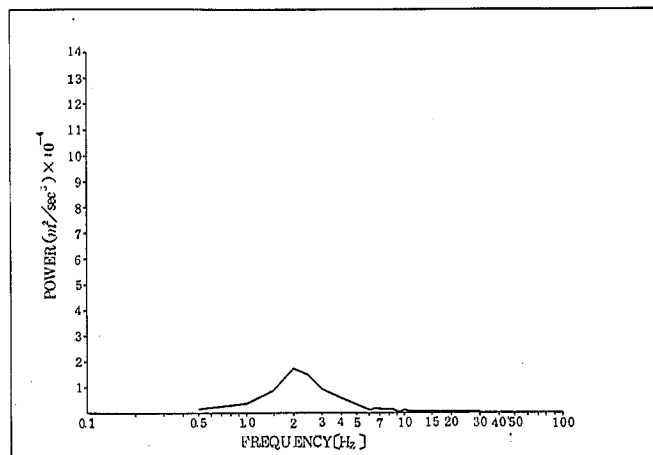


图-8b ROCK X

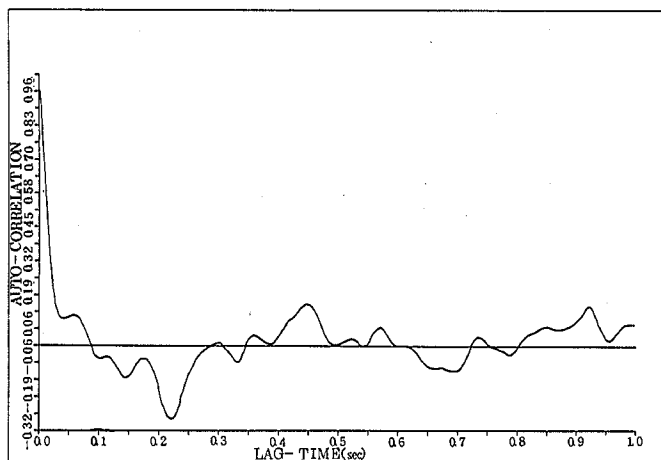


图-9a 6 BL X

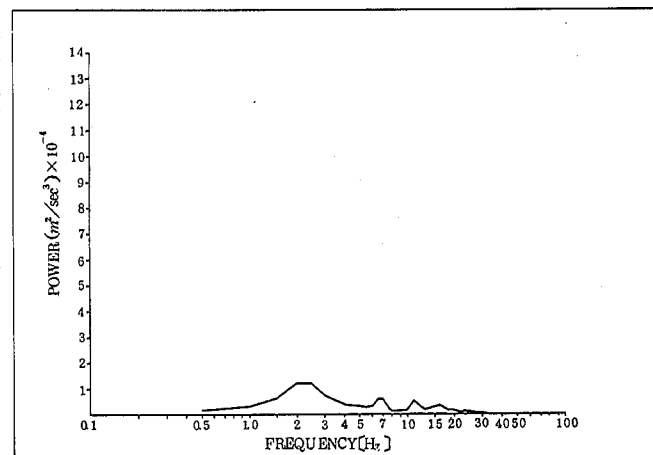
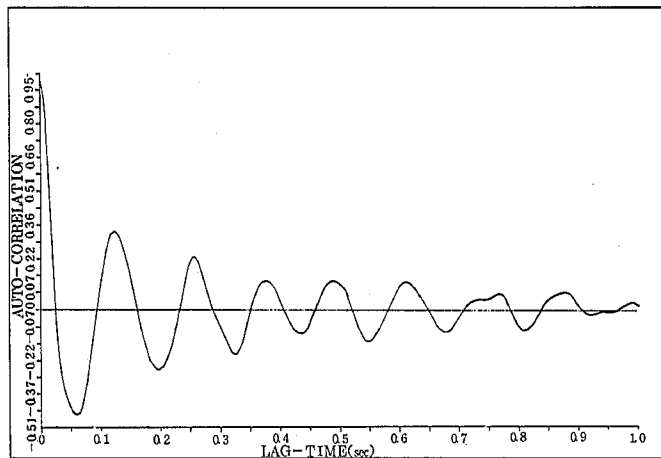
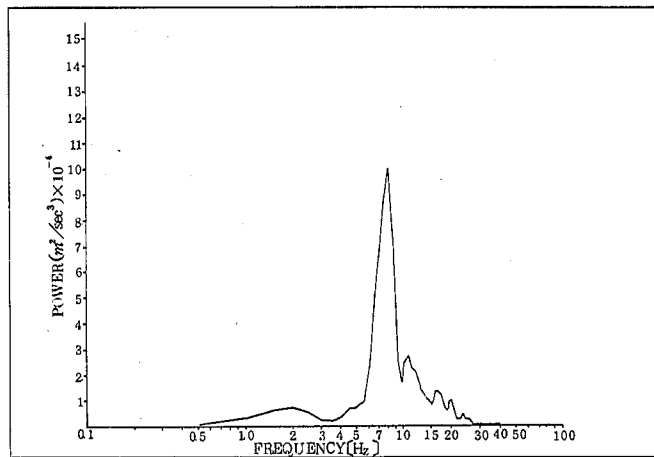


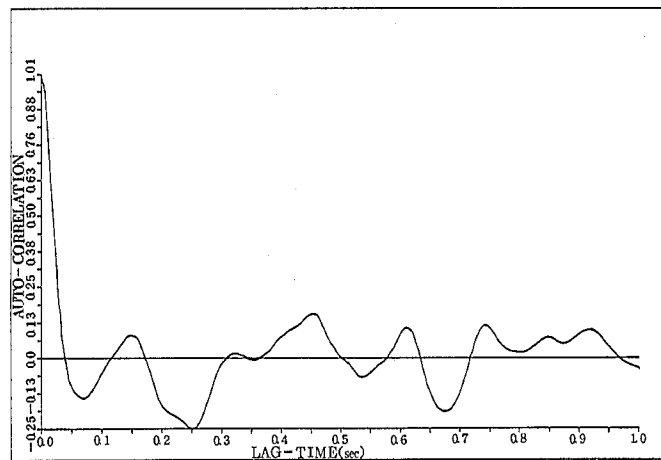
图-9b 6 BL X



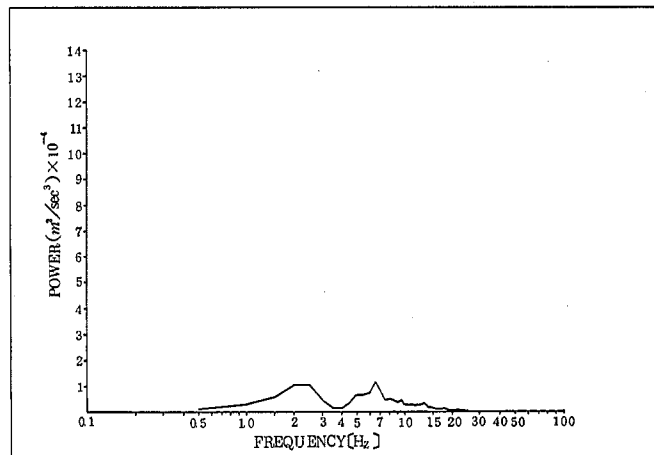
☒-10a 6 BL Y



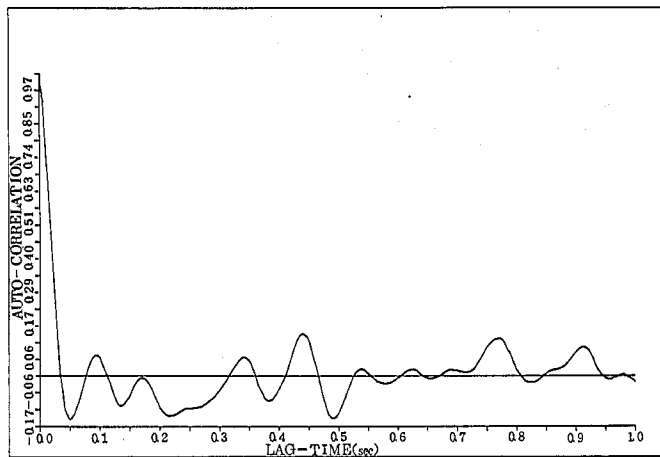
☒-10b 6 BL Y



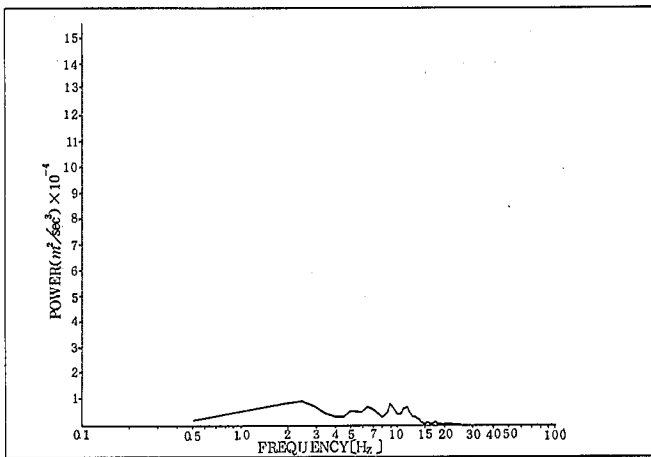
☒-11a 18 BL X



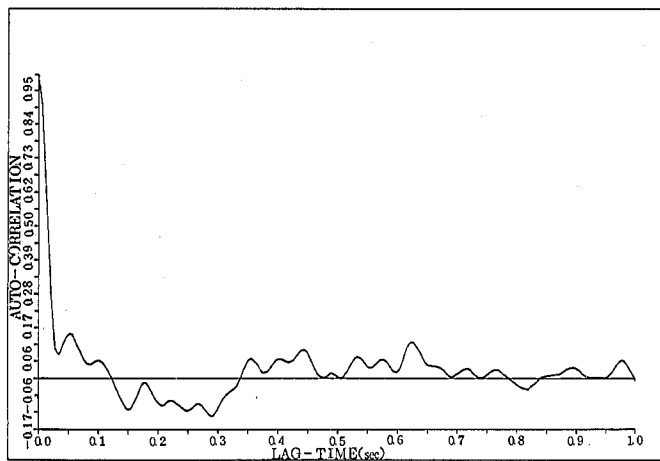
☒-11b 18 BL X



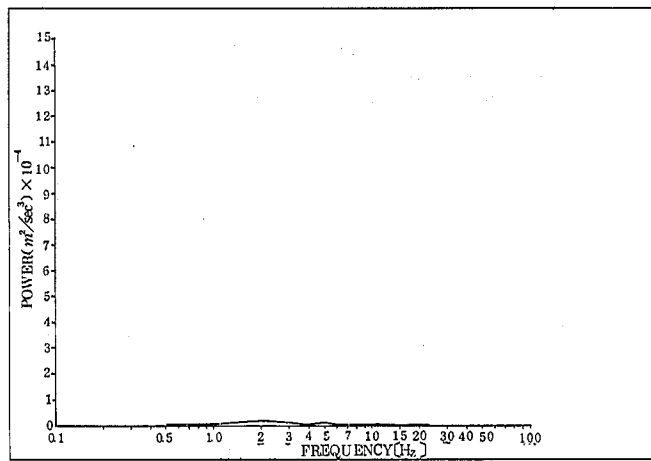
☒ -12a 18 BL Y



☒ -12b 18 BL Y



☒ -13a 18 BL Z



☒ -13b 18 BL Z

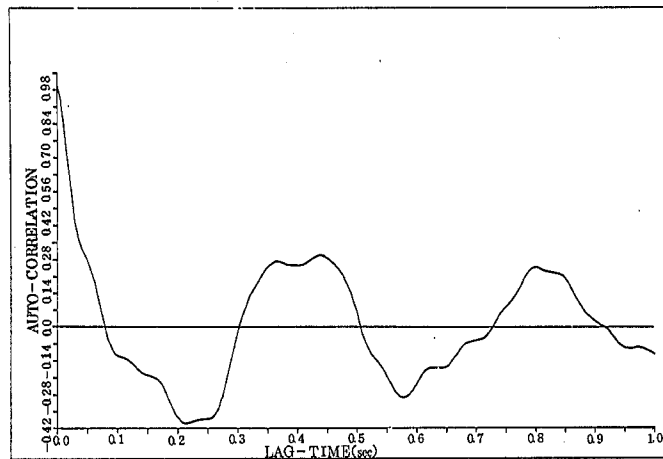


图-14a EARTH X

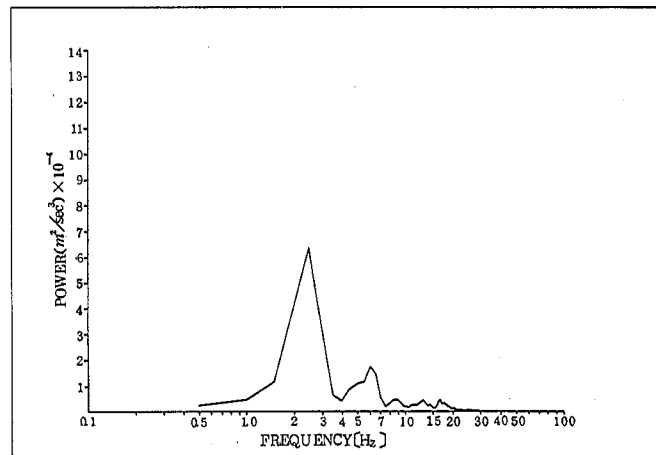


图-14b EARTH X

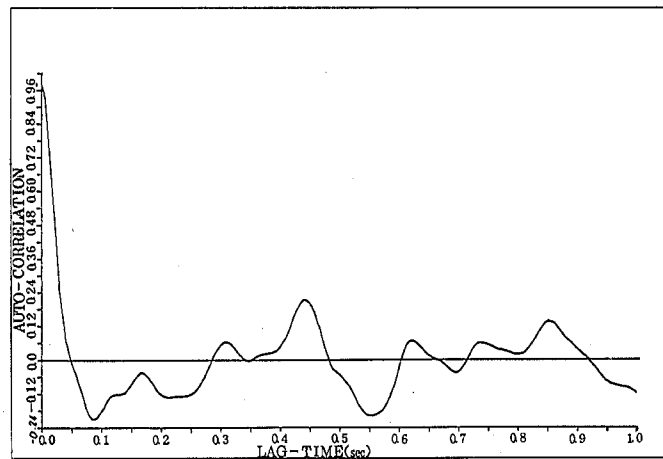


图-15a EARTH Y

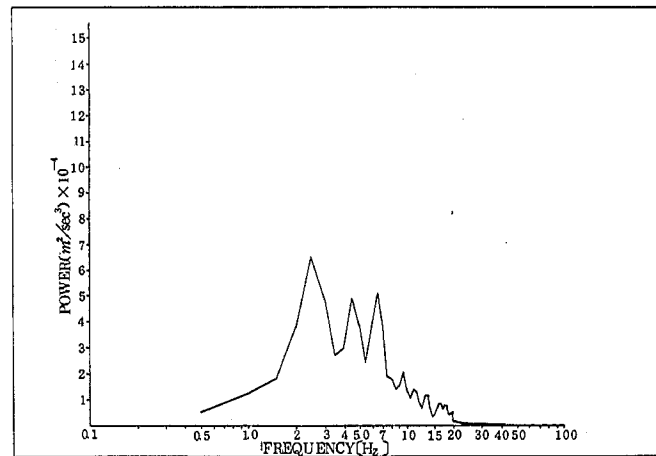


图-15b EARTH Y

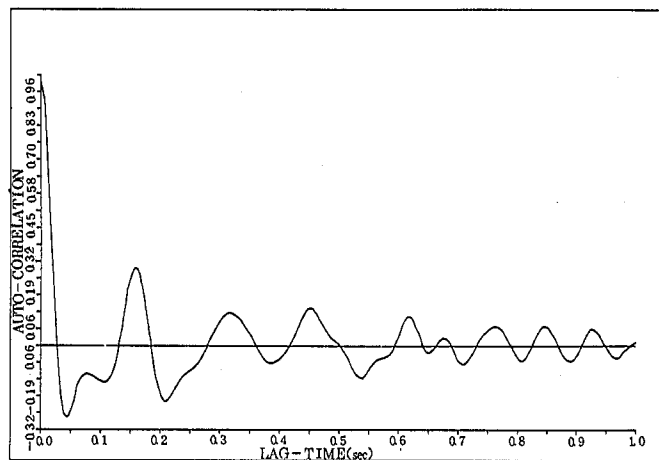


图-16a EARTH Z

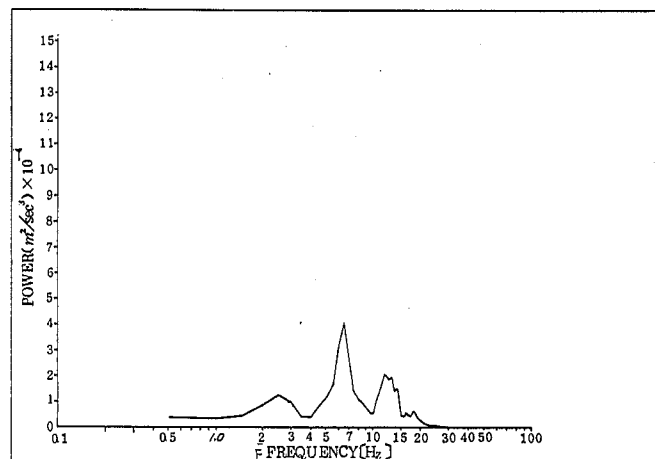


图16b EARTH Z

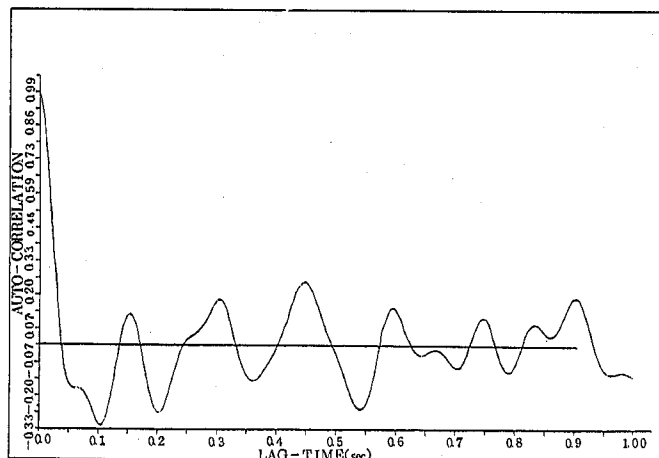


图17a TEIGAI X

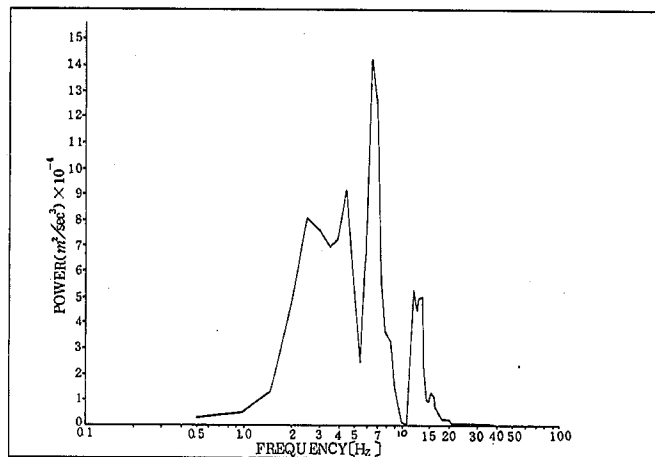


图17b TEIGAI X

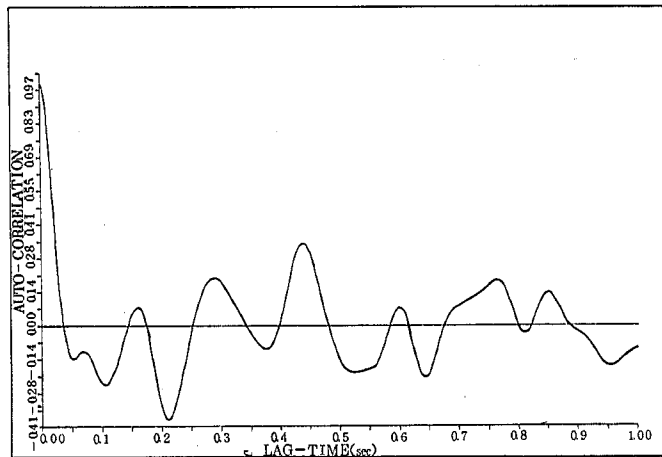


图-18a TEIGAI Y

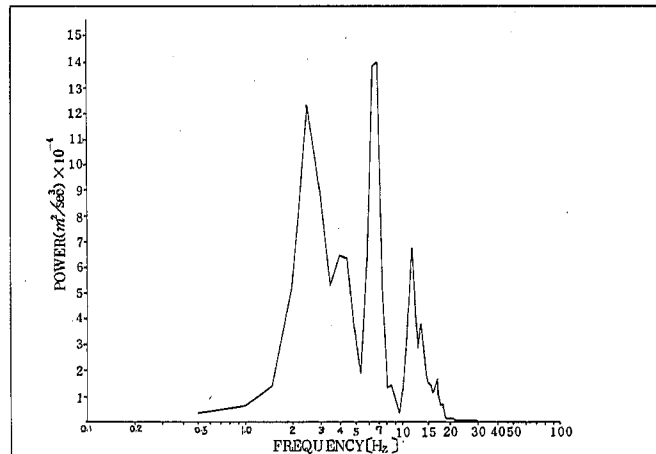


图-18b TEIGAI Y

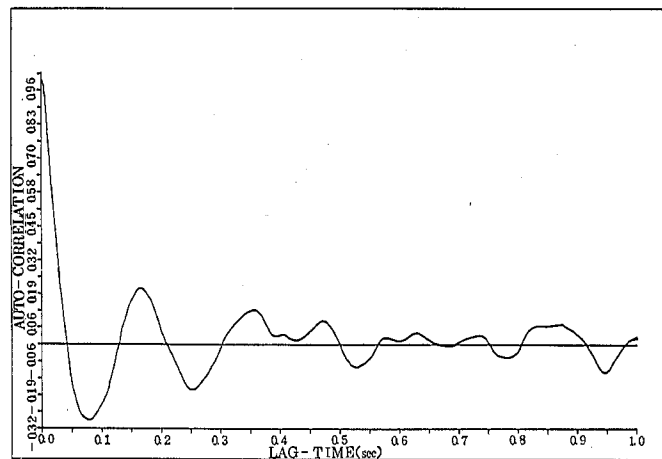


图-19a TEIGAI Z

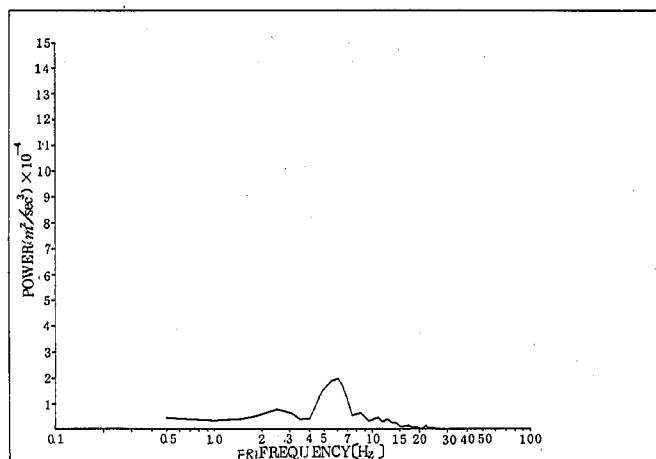


图-19b TEIGAI Z

表 - 4 にパワースペクトルより得た卓越周期を示す。

表 - 4 各加速度波の卓越周期

場 所	記 号	卓 越 周 期 sec		
岩盤 EL=147.25	ROCK X	0.5 (2.0)		
堤体 6 ブロック EL=172.00	6BL X	0.5 (2.0)	0.14 (7.02)	0.09 (10.8)
	" Y	0.13 (8.0)	0.095 (10.5)	0.06 (16.0)
堤体 18 ブロック EL=172.00	18BL X	0.15 (6.7)	0.5 (2.0)	
	" Y	0.4 (2.5)	0.15 (6.7)	0.11 (9.2)
	" Z	0.5 (2.0)	0.2 (5.0)	0.11 (9.2)
アースダム EL=172.00	EARTH X	0.43 (2.4)		0.17 (6.05)
	" Y	0.40 (2.5)	0.15 (6.5)	0.21 (4.6)
	" Z	0.15 (6.6)	0.09 (11.0)	0.4 (2.5)
堤外地盤上 EL=160.00	TEIGAI X	0.15 (6.7)	0.22 (4.5)	0.38 (2.6)
	" Y	0.14 (7.0)	0.4 (2.5)	0.09 (11.0)
	" Z	0.17 (6.0)	0.45 (2.5)	

① 岩 盤

岩盤での加速度波は堤軸方向一成分のみであるが、この波の卓越周期は約 0.5 秒であ

る。一般に岩盤での加速度の

卓越周期については Seed 教

授の示した図 - 20 がよく知

られている。おおまかには震

源距離が長いほど又、地震の

マグニチュードが大きいほど

卓越周期は長い。今解析して

いる地震はマグニチュード

5.6、震源距離 82.5km なので

図 - 20 によれば約 0.3 sec が

岩盤の卓越周期となる。図 -

20 はアメリカでの実測デー

タをもとに Seed 教授の工学

的判断によって作成されたものであるなのでこの程度の差はありうるものであろう。

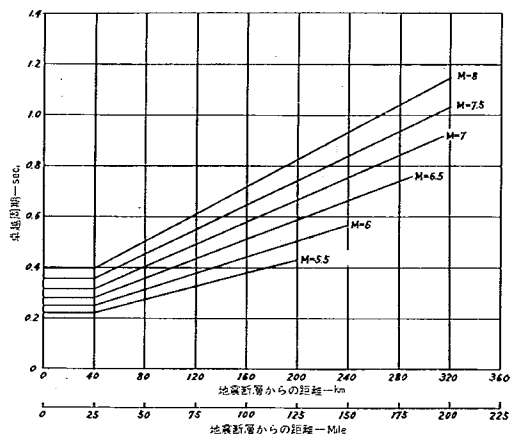


図 - 20 岩盤における最大加速度の卓越周期 (Seed)

② 重力ダム

6ブロックの上下流方向成分(6BLY)は、図10-aに見られるよう自己相関関数がきれいな正弦波状をなし、その結果パワースペクトルも図10-bのように0.13sec(8.0Hz)の著しい卓越周期を持っている。したがって、重力ダムの6ブロックの固有周期は、0.13秒と推定される。6ブロックの上下流方向成分には、その他に0.5sec(2Hz)と0.1sec(10Hz)以下の高周波成分すなわち0.095sec(10.5Hz)0.06sec(16Hz)がある。6ブロックの堤軸方向成分(6BLX)は図-9bのように0.5sec(2.0Hz)が最大の卓越周期である。これは岩盤の卓越周期に一致しており、堤軸方向には、重力ダムは剛で岩盤とはほぼ同じ周波数成分で振動していることがわかる。

18ブロック上下流成分(18BLY)は、図-12bのように0.4sec(2.5Hz)、0.15sec(6.7Hz)、0.11sec(9.2Hz)などが卓越しているが、パワーの絶対値は小さい。したがって、ほぼ岩盤の固有周期で振動しているといっていよう。

18ブロック堤軸方向成分(18BLX)は図-11bのように0.15sec(6.7Hz)と0.5sec(2.0Hz)が卓越しており、後者は岩盤の卓越周期に一致している。すなわち18ブロックはダム高が低く剛性が高いため、上下流、堤軸両方向とも岩盤の固有周期で振動している。

また6ブロックと18ブロックは同一標高であるが、両地点は、約180m離れているので、6ブロックと18ブロックは別の固有周期で振動している。ただし、堤軸方向については両者とも岩盤と同一の周期で振動している。

③ アースダム

アースダム堤体は、上下流方向成分、堤軸方向成分ともほぼ同一の周期0.40sec(2.5Hz)～0.43sec(2.4Hz)が卓越周期となっている。(図-14b、15b)

これは、先に述べた18ブロックとはほぼ同様の卓越周期である。18BLとEARTHの両地点は同一標高の近接した地点に配置された地震計であるから、両者がほぼ同一の周期を持つことは、アースダムと18ブロック重力ダムがバラバラではなく、互いに影響しあって振動していると考えてよいだろう。

アースダムの鉛直成分の卓越周期は、0.15sec(6.6Hz)であり、最大加速度は、38.5gal(18BLZでは10.8gal)であるので、アースダムでは、鉛直方向の振動がかなりあるのであろう。ただし、アースダムの基礎は泥流堆積物であるのでこの影響もあるだろうから断言はできない。

18BLYとEARTHの加速度値を積分して速度と変位を求めたのが、図-21で

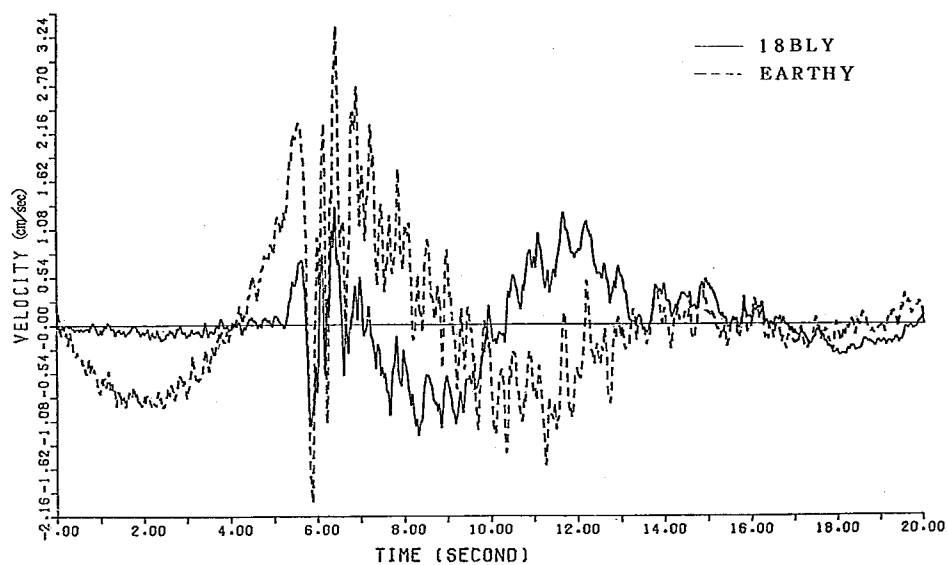


图-2 1 a 速度

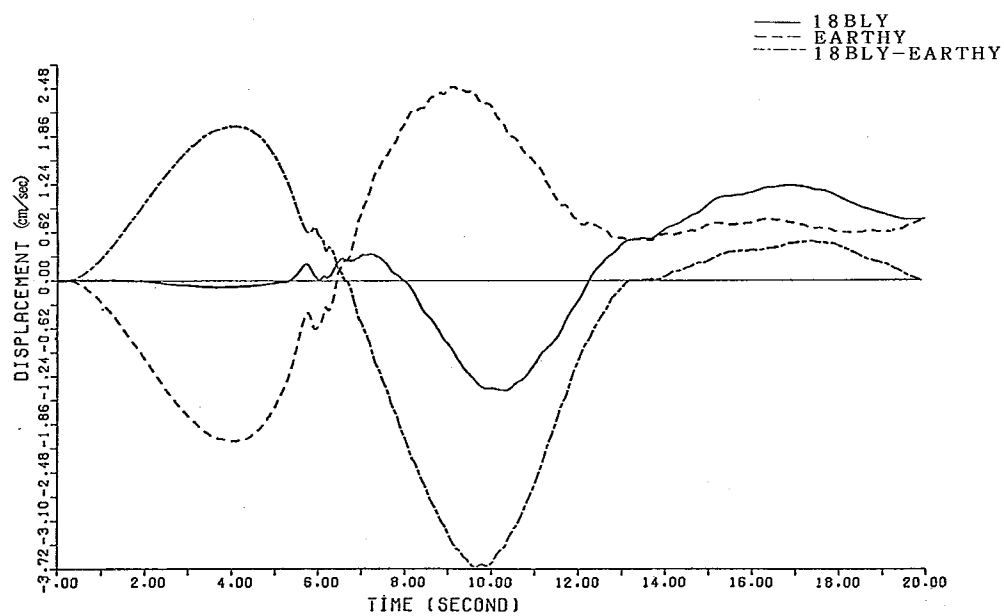


图-2 1 b 变位

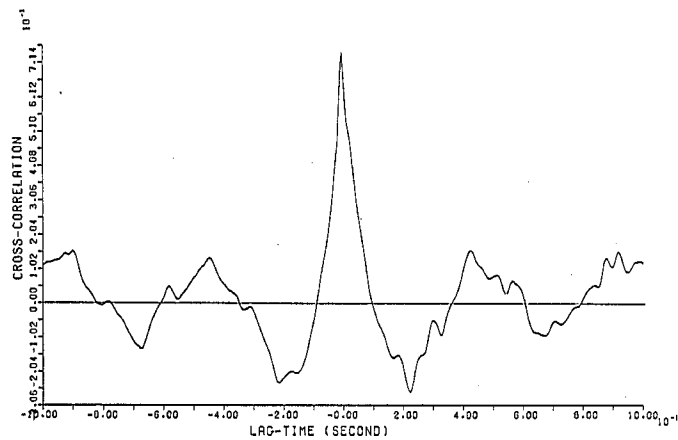


图 - 22 相互相関 1BLx * 6BLx

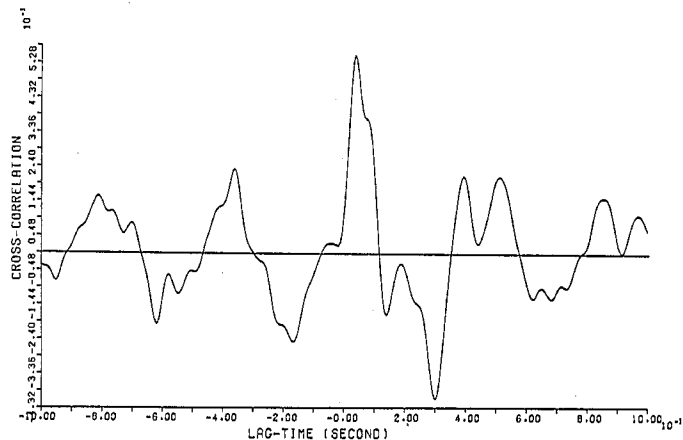


图 - 23 相互相関 18BLx * EARTH X

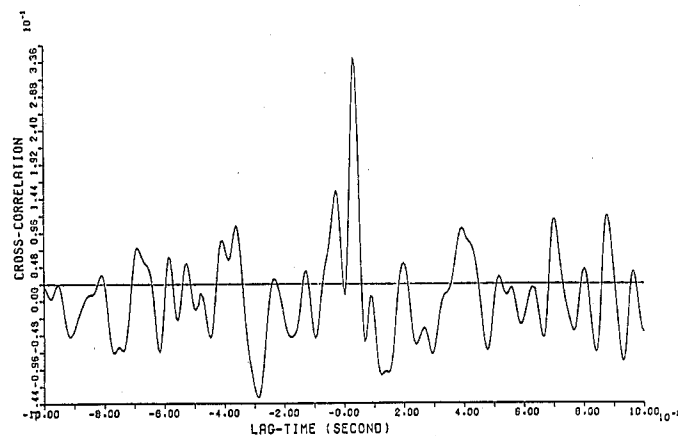


图 - 24 相互相関 18BLy * EARTH Y

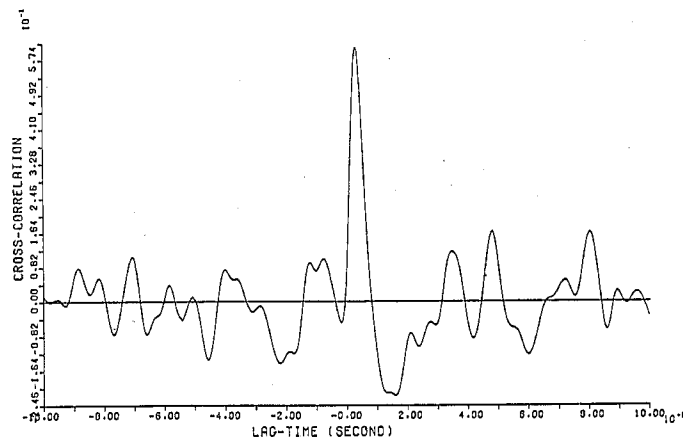


图 - 25 相互相関 18BLz * EARTH Z

ある。速度の周期にかなり長い周期があるようであるが、これは、単に加速度波を積分しているの、読み取り時の軸線の傾きなどの誤差が入っていたためである。したがって原記録にデジタルフィルタをかけ長周期の誤差成分を除去してから積分しないと正確な速度、変位は求まらない。

④ 堤外地盤上のアンカーブロック

アンカーブロックは、上下流方向、堤軸方向ともほぼ同一の卓越周期、 0.14sec (7.0Hz)
 $\sim 0.15\text{sec}$ (6.7Hz) を持つ。これは、ブロックが正方形断面で剛性が両方向に等しいから同一の周期で振動しているものである。

⑤ 伝達特性

各成分間の相互関係を相互相関関数を求めて検討した。図-22～25が相互相関関数であり、表-5が伝達特性である。これからわかることは、ROCKXと6BLXは出遅れ時間なしに、 0.4sec (2.5Hz) $\sim 0.5\text{sec}$ (2.0Hz) の周期でコヒーレンスが高い。すなわち重力ダムは堤軸方向には、剛性が高く岩盤と一体となって振動している。アースダムとコンクリートダムの接続部でも岩盤の卓越周期である 0.4秒 (2.5Hz)において相関が強いようである。(図-26)

表-5 伝達特性 (相互相関より)

地震波名		出力側の 遅れ時間	伝達特性	
入力側	出力側		周期 sec	コヒーレンス
ROCK X	6BL X	0.00	0.4～0.5	0.97
18BL X	EARTH X	0.04	0.5 0.15	0.87 0.77
18BL Y	EARTH Y	0.035	0.4 0.15	0.89 0.77
18BL Z	EARTH Z	0.035	0.5 0.15	0.84 0.69

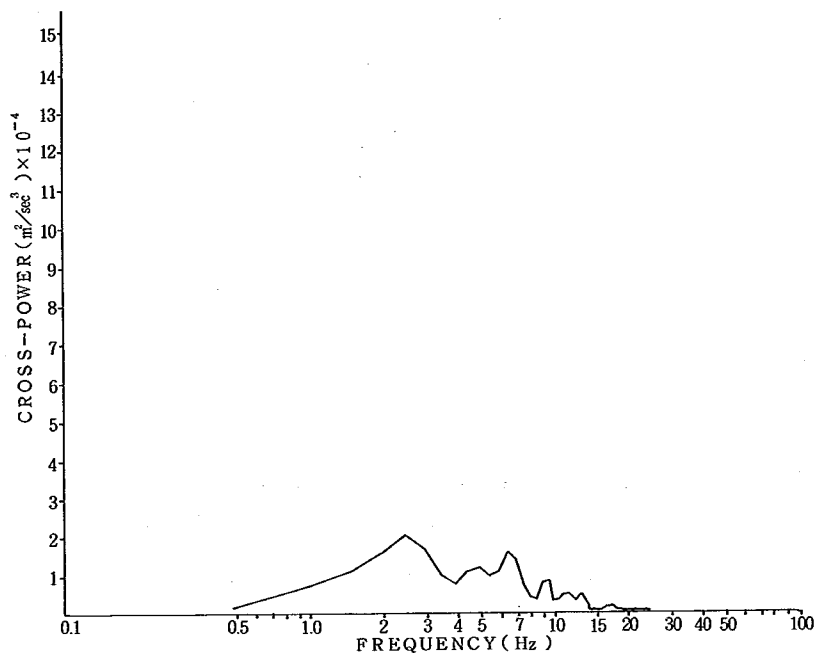


図-26 クロス・パワー-18BL Y×EARTH Y

3-4 観測された地震時挙動のまとめ

3-3で述べた事項に若干の考察を加えると、今回の地震における四十四田ダムの挙動は次のようにまとめられよう。

- ① 岩盤の卓越周期は約0.5秒である。
- ② 重力ダム6ブロックは、上下流方向に約0.13秒(8Hz)の固有周期を持っている。もし、0.13秒の一自由度系に0.5秒の正弦波が入力したとすると減衰定数を5%として約1.0倍の加速度応答倍率となるが、実際には6ブロックは4倍程度増幅している。これは岩盤の地震波の中に0.5秒以外のもっと高い周波数の成分が含まれているためと考えられる。
一方6ブロックは堤軸方向には剛性が高いため岩盤と同じ周波数で振動している。

③ アースダムと重力ダムの接続部では、アースダムの固有周期と重力ダムのそれは、相似かよっている。これは両者が互に影響しあって振動しているためと考えられる。しかし変位にずれがあるかどうかは数値積分に長周期の誤差が含まれ成功しなかったので今回のところ結論が出せない。

④ アースダムでは重力ダムに比べ鉛直方向の振動が大きく、無視できない。

4. 有限要素法による二次元振動解析

四十四田ダムの6ブロックの
二次元断面(図-27)について
弾性動的解析を行った。

堤体の力学的性質を弾性体と
して仮定して、貯水池の動水圧
をWestergaardの近似的慣性負
荷とした場合に、いままでの実
測結果とどの程度合致するかを
比較検討するのが目的である。

4-1 解析上の仮定

4-4-1 解析モデル

図-27を図-28のよ
うに要素分割した。重力ダ
ムは、厳密には三次元構造
であるが、四十四田ダムの
ように堤長がダム高に比べ
て長ければ二次元構造とし
て考えてもよいだろう。図
-28では節点数125、要
素数205である。

節点1~15は基礎岩盤
との境界部であり、境界条
件は固定となる。また応答
計算ではこの節点に加速度
波が入力される。

4-1-2 物性値の評価

弾性解析のため、コンクリート堤体の密度、動弾性係数、動ポアソン比、減衰定数が必
要である。これらについては次のように考えた。

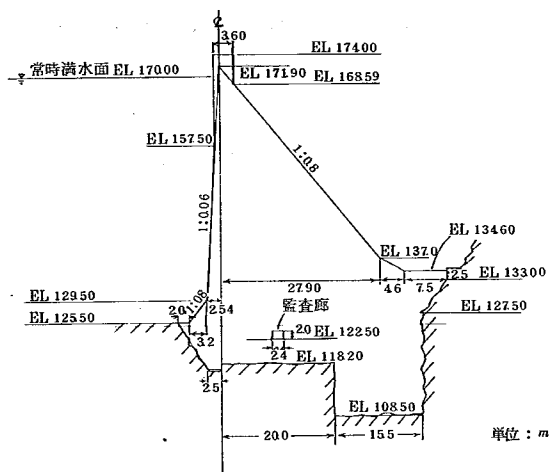


図-27 重力ダム6ブロック断面

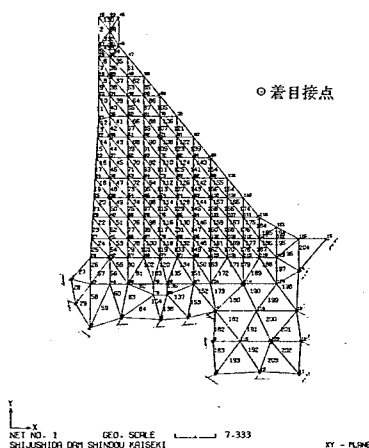


図-28 要素分割図

a) コンクリートの密度 (r)

コンクリートの密度は $r = 2.4 \text{ t/m}^3$ とした。(四十田ダム の安定計算における設計値は $r = 2.35 \text{ t/m}^3$ であった。)

b) コンクリートの動弾性係数 (E_d)

コンクリートの動弾性係数は、室内の実験から、応力レベル、振動数によって異なることが知られているが、⁸⁾ここでは、一定値 $2.500.000 \text{ t/m}^2$ を採用した。その根拠は、矢作アーチダムの実物の振動実験において、 $E_d = 2.500.000 \text{ t/m}^2$ とすることによって理論値がもっともよく実測値に適合したからである。⁹⁾

c) コンクリートの動ポアソン比 (V_d)

動ポアソン比は、畑野らの研究によれば ⁸⁾ $0.15 \sim 0.3$ の範囲の値が求められているが、ここでは $V_d = 0.2$ とした。四十田ダム のコンクリートについて動的材料試験を行っていないので、平均的な値という意味で 0.2 とした。

d) 減衰定数 h

既設のアーチダムにおける減衰定数の実測値は、岡本によれば表-6.に示される。⁵⁾すなわちアーチダムでは減衰定数は $2 \sim 4 \%$ 程度である。重力ダムの実測定は少ないが、塚原ダム (堤高 78.0 m 、堤頂長 210 m 、重力ダム) の振動実験では、 $10 \sim 20 \%$ の減衰定数が得られている。ここでは $h = 5 \%$ とした。

4-1-3 動水圧の評価

ダム上流面に働く貯水の動水圧は、ここでは H. M. Westergaard の理論より、¹⁰⁾ 近似的に付加質量として評価した。N. M. Westergaard の理論では、ダム堤体が剛体であること、貯水池基盤が正弦振動をすることを仮定している。このような仮定のもとでは、堤体上流面に働く動水圧は次式によって近似される。

$$p(y) = m k g \cos \frac{2\pi t}{T} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ここに } m = \frac{8WH}{\pi^2 g} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2 C_n} \sin \frac{n\pi y}{2H} \dots\dots\dots (2)$$

$$C_n = \sqrt{1 - \frac{16WH^2}{n^2 k g T}} \dots\dots\dots (3)$$

k : 基盤の震度

g : 動力加速度

T : 基盤地震動固有周期

W：水の単位体積重量

H：貯水池深さ

y：水面よりの深さ

すなわち、ダム堤体に働く動水圧の大きさは、ダムのその標高の水平加速度に比例し、位相が逆方向になっている。

四十四田ダムで実測された岩盤の固有周期Tは約0.5秒なのでこれを用いて式(2)より、付加質量mを求めると表-7のようになる。

表-6 ダムの減衰定数(岡本)

ダム名	高さ m	堤頂長さ m	堤厚 m	基礎岩盤	実測者	振動数 [c/sec]	減衰定数 %	振動形	測定方法
佐々並	67.4	127.3	24~8.4	石英斑岩	電研	4.3	3	逆対称一次(満水時)	超振機により加速
						5.5	1.8	" (低水時)	"
						5.5	2.0	対称一次(満水時)	"
						6.7	1.8	" (低水時)	"
						6.8	3.7	対称二次(満水時)	"
						8.7	2.0	逆対称二次(満水時)	"
上稚葉	110.0	310.0	7.0~27.7	硬砂岩	電研	3.8		対称一次(満水時)	"
						5.3	3.5~4.5	対称三次(満水時)	"
						6.3	3.5~4.5	" (低水時)	"
						4.3	4~5	逆対称二次(低水時)	"
						4.7	3.5~4.5	" (低水時)	"
雲川	39.0	95.0	28.4~11.0	硬閃緑岩	東大生研	9.2	4.4	逆対称一次(満水時)	"
						12.1	2.3	対称二次(満水時)	"
殿山	62.0	128.7	4.4~12.5	礫岩	東大生研	5.6	2.7	対称一次(満水時)	"
						6.2	2.5	" (低水時)	"
						9.8	1.5	対称二次(満水時)	"
						10.5	1.6	" (低水時)	"
						5.2	4.6	逆対称一次(満水時)	"
						5.9	3.9	" (低水時)	"
猪俣	14.0	72.4	0.6~1.6	石英粗面	東京電力	12.5	8.3	対称(低水)	"
						10.8	10.1	対称(満水)	"
						17.5	10.0		地震観測
Monticello	91.6	351.2				3.13	2.7	対称一次	
						3.55	2.2	逆対称一次	
						4.68	2.5	対称二次	
						6.00	2.1	逆対称二次	
						7.60	2.4	対称三次	

表-7 付加質量

NODE	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
付加質量	0.7	2.4	5.1	7.7	8.7	9.0	10.8	11.3	11.6	12.6	12.9	12.8

単位 t・sec²/m

4-1-4 ダム基盤の地震動

ダム基盤に入力させた地震動は、図-7におけるROCKXである。さきに述べたように四十四田ダムでは、上下流方向の基盤の地震計が設置されていないので、堤軸方向の記録で代用させた。堤外ブロックの挙動からみて基盤における地震動は上下流と堤軸方向でかなり近いものでないかと推定される。(3-3-1の⑤、3-3-2の④参照)。

入力した地震波のデジタル値(ROCKX)については付録に示した。

4-2 解析結果

解析はモード重ね合せ法によったので、まず固有値、固有モードを求め、次いで入力地震波に対する応答を求めた。

4-2-1 固有振動

まず固有振動数を貯水を考慮した場合(Westergaardの理論による付加質量として近似)と、考慮しない場合について表-8に示す。これによれば、貯水を考慮したときの第1次の固有周期は0.13秒であり、考慮しないときは0.11秒で、貯水を考慮するときと約20%固有周期が増加した。第2次以降についても貯水を考慮することによって固有周期が幾分長くなっている。前節で述べた実測結果では、ダムの第1次固有振動数は、6BLYにおいて0.13秒であり、貯水を考慮した場合のFEM解析結果とよく一致している。

ここで、三角形くさび状片持梁の曲げ振動による固有周期 T を参考のため求めておこう。⁵⁾貯水がないときの T は

$$T = 1.183 \frac{H^2}{B} \sqrt{\frac{12r}{Eg}} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 H :ダムの高さ

B :ダムの底幅

E :堤体材料の弾性係数

r :堤体材料の単位体積重量

そこで、図-27においてダム堤体を上流面1:0.06、下流面1:0.80の基本三角形とし、その三角形片持梁の固定端を $EL\ 118.2m$ とすれば、 $H=53.7m$ 、 $B=46.2m$ となり式-(1)により、 $T=0.080$ 秒が得られる。

貯水がある場合は、

$$T = (1.637 \sim 1.695) \frac{H^2}{B} \sqrt{\frac{12r}{Eg}} \dots\dots\dots(2)$$

とされるからこれより $T = 0.111 \sim 0.115$ が得られる

表-8 固有振動

モード	貯水を考慮する場合		貯水を考慮しない場合	
	周期 sec	周波数 Hz	周期 sec	周波数 Hz
1	0.13	7.46	0.11	9.05
2	0.060	16.59	0.051	19.60
3	0.046	21.52	0.046	21.64
4	0.037	27.30	0.031	32.21
5	0.025	39.35	0.022	46.15
6	0.023	43.63	0.021	47.25
7	0.020	50.54	0.016	60.14
8	0.019	51.87	0.016	64.30
9	0.019	53.13	0.015	66.82

三角形片持梁の解とFEMの解とでは前者の方が固有周期が約20%短くなっている。これは図-27においてHとBの決め方に問題があるようで、もし $H=53.7m$ 、 $B=38.0m$ とすれば三角形片持梁では、貯水のないとき、 $T=0.097$ 、貯水のあるとき、 $T=0.135 \sim 0.139$ 秒となり、片持梁理論とFEMの結果は近くなる。さらに実際のダムでは図-27のように堤頂部は基本三角形外に矩形のマスが付いているのでこの影響もあって三角形ばりの固有周期は短くなる要素もある。

さて次に貯水を考慮した場合について、固有振動モードの特徴をみてみよう。(図-29 a~e)

- ① 1次モード、片持梁としての1次の曲げ振動
- ② 2次モード、片持梁としての2次の曲げ振動
- ③ 3次モード、鉛直方向の1次の伸縮振動
- ④ 4次モード、片持梁としての3次の曲げ振動
- ⑤ 5次モード、片持梁としての4次の曲げ振動

4-2-2 入力波に対する応答

4-2-2-1 変位および加速度

4-1-4で述べた入力波に対する着目節点16点の変位および加速度の応答を図-30~45に示す。

これらの着目節点の各最大加速度を示したのが図-46であり、各最大相対変位を示

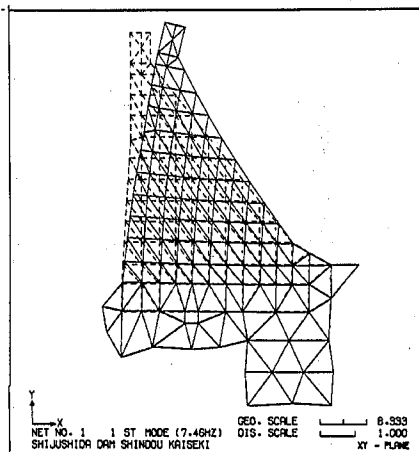


図-29a) 1次モード

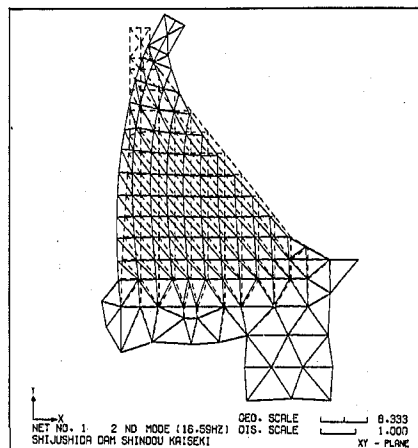


図-29b) 2次モード

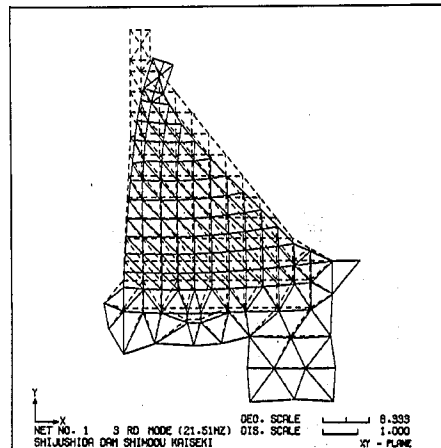


図-29c) 3次モード

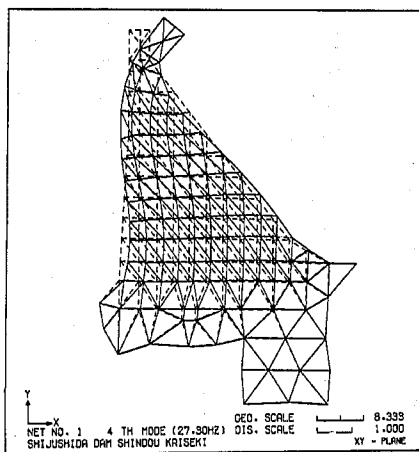


図-29d) 4次モード

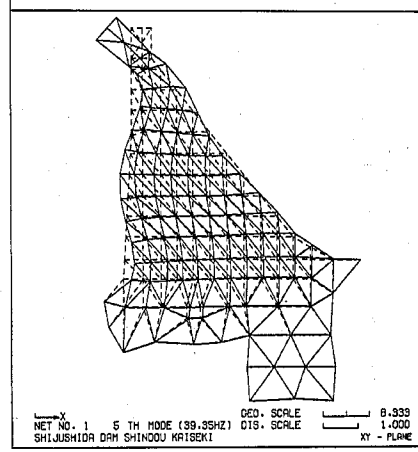


図-29e) 5次モード

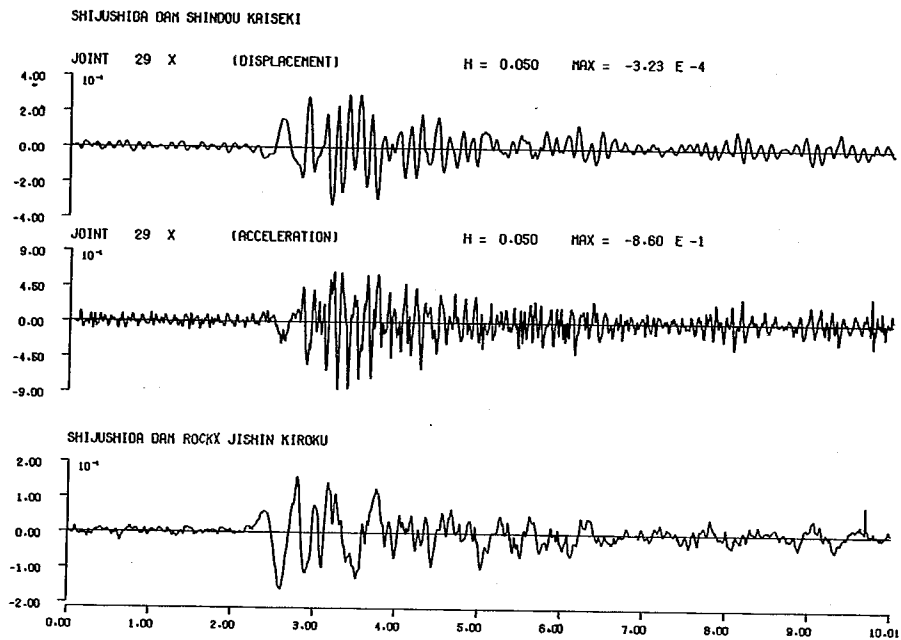


図-30 四十四田ダム振動解析

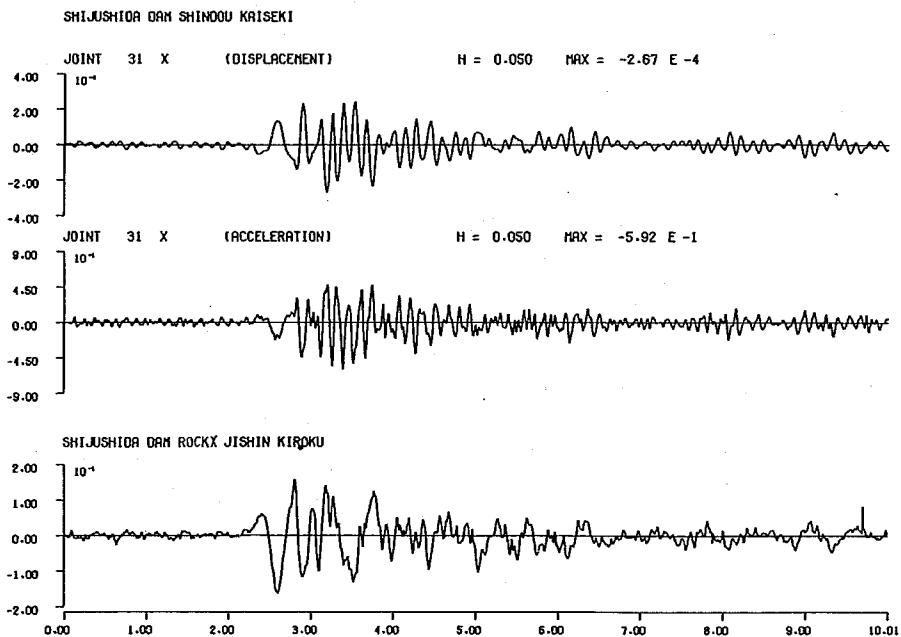


図-31 四十四田ダム振動解析

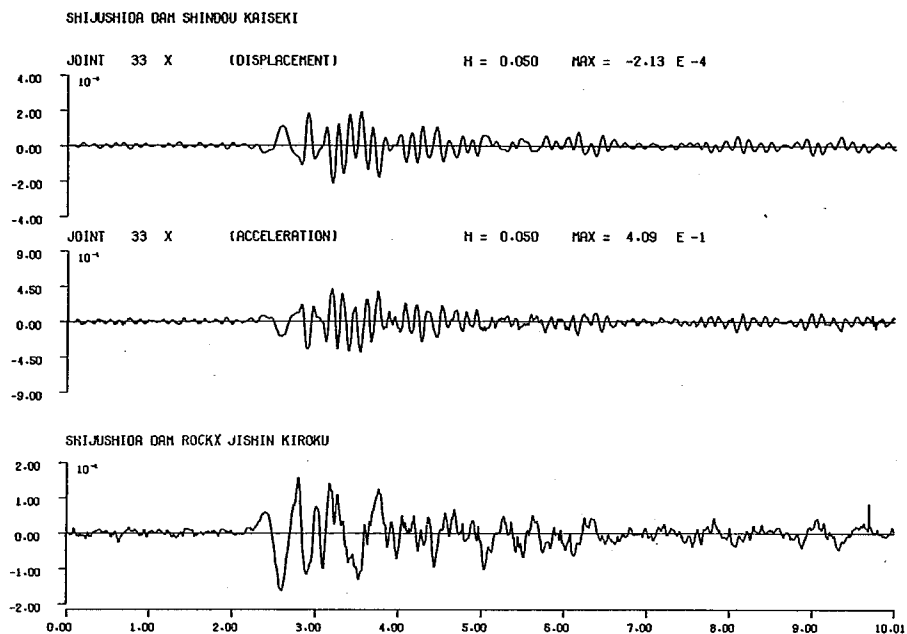


図-32 四十四田ダム振動解析

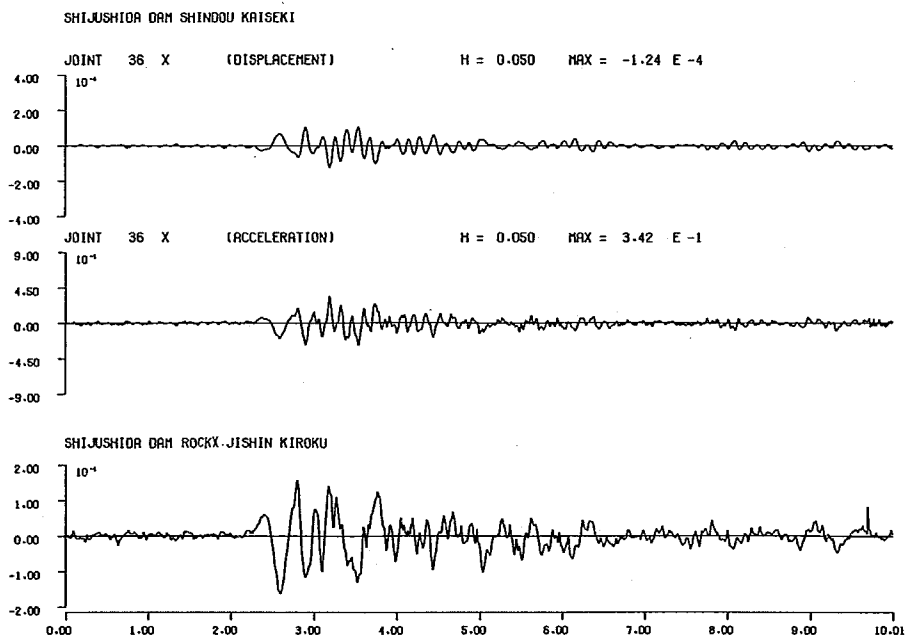


図-33 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

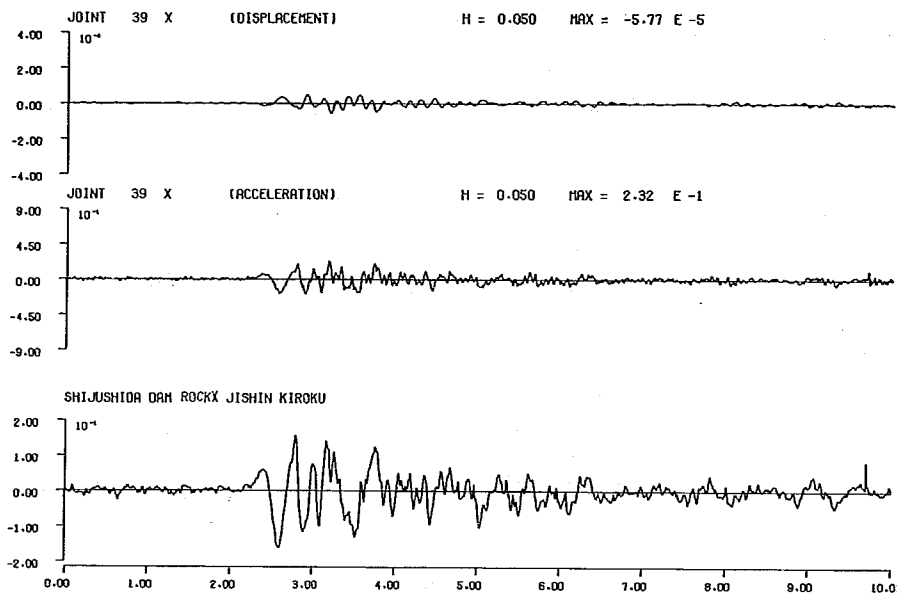


図-34 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

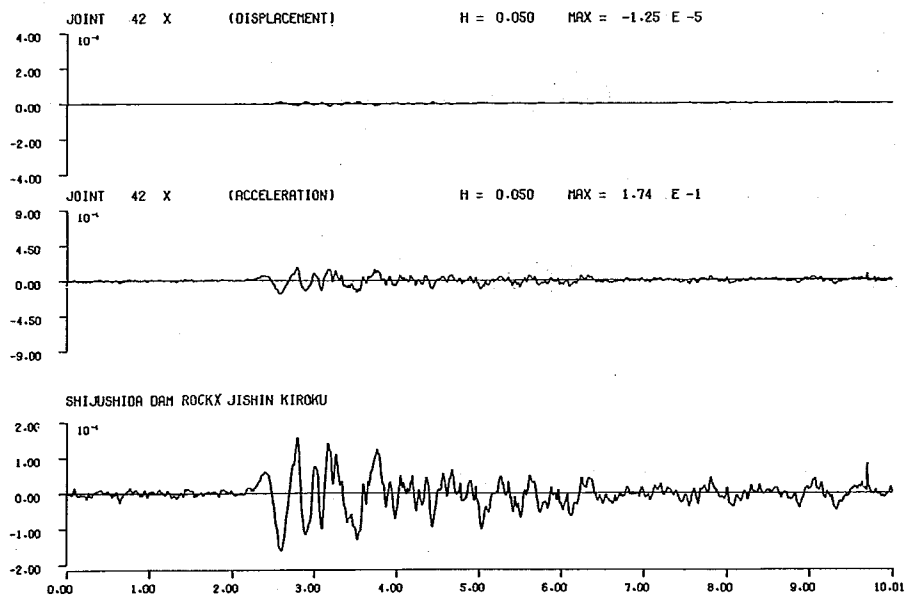


図-35 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

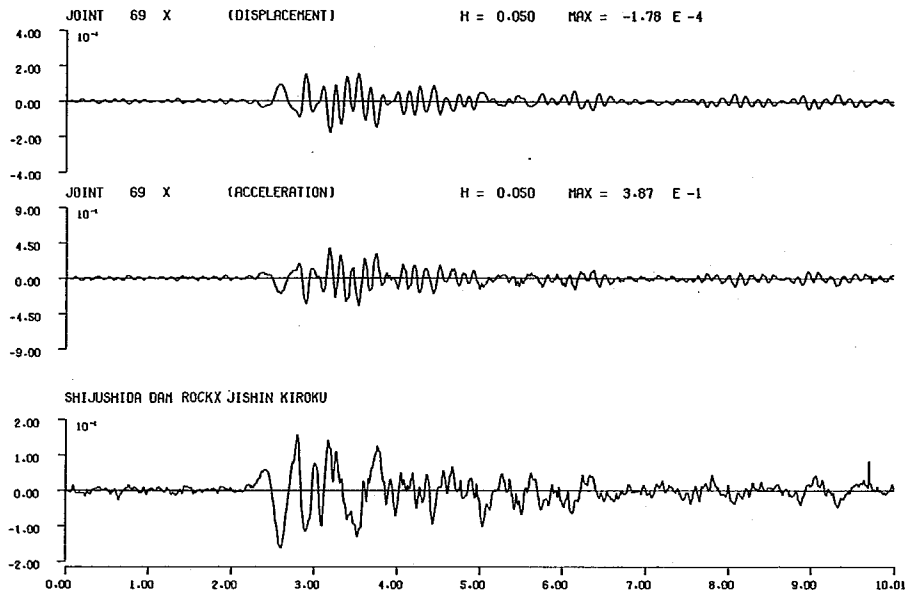


図-36 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

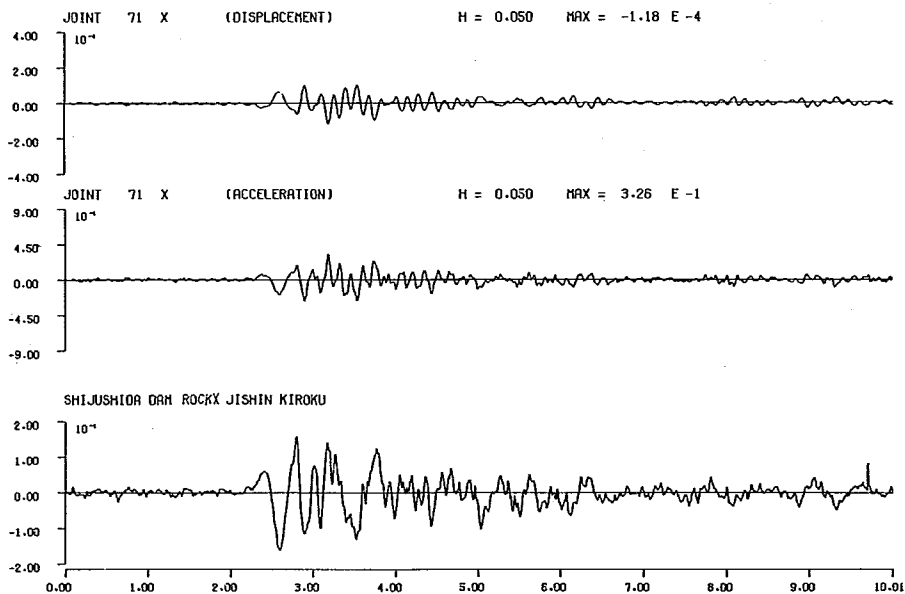


図-37 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

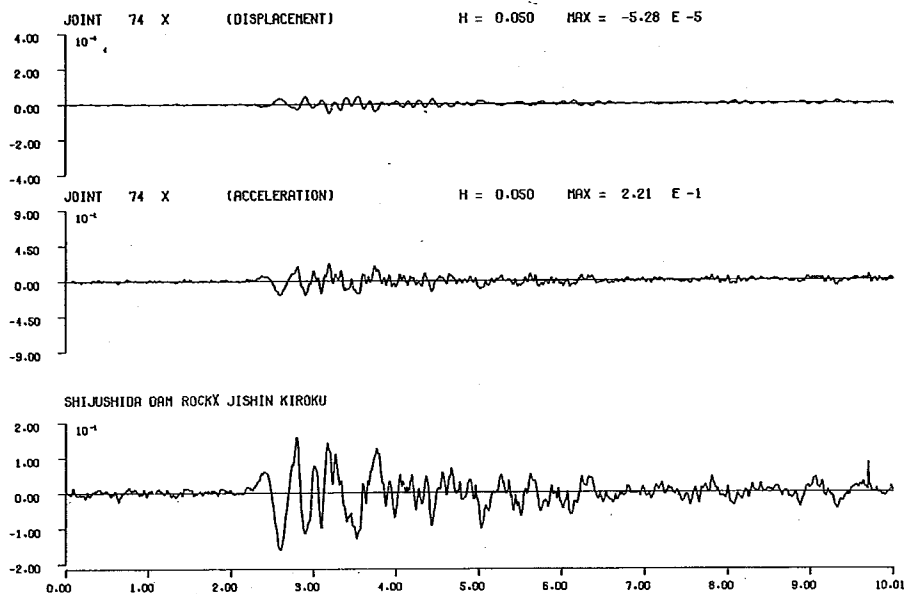


図-38 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

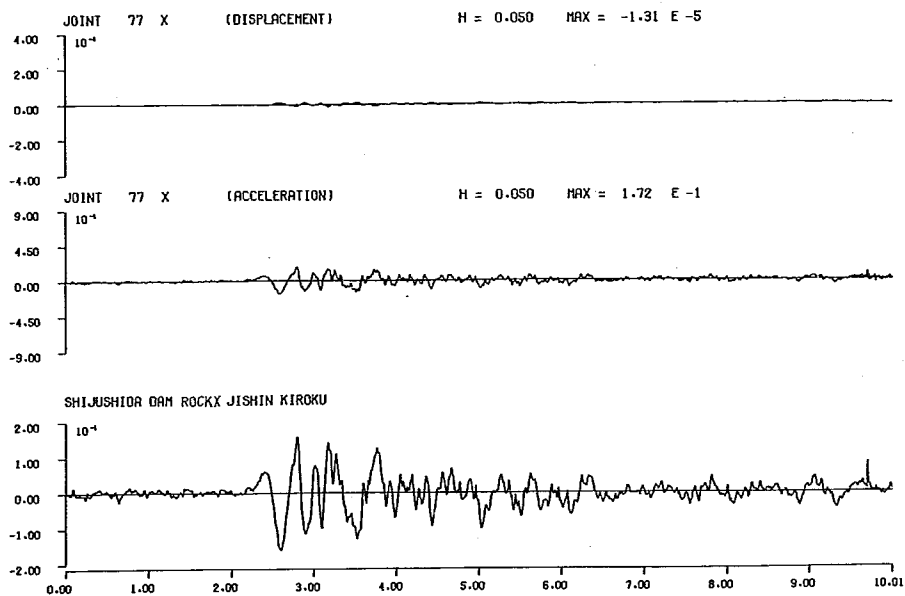


図-39 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

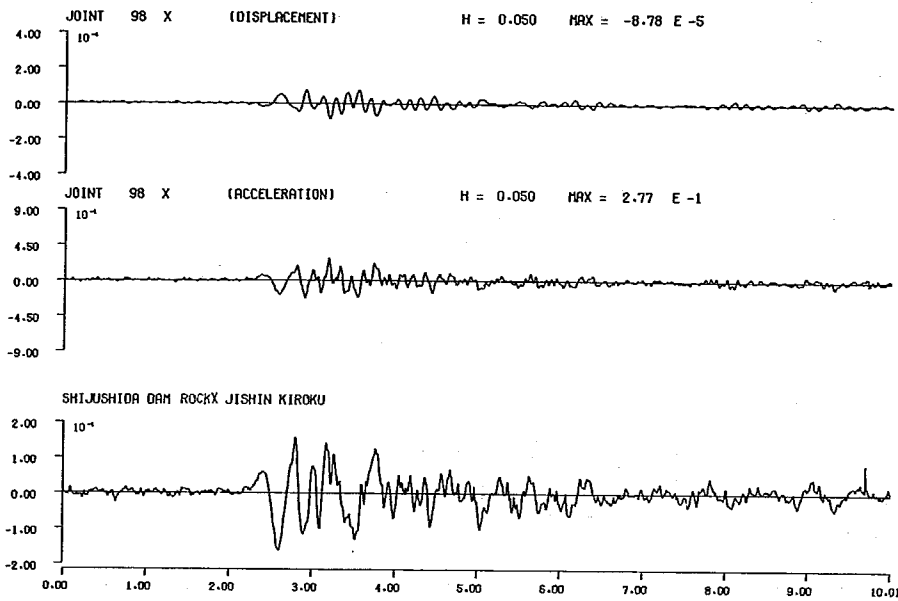


図-40 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

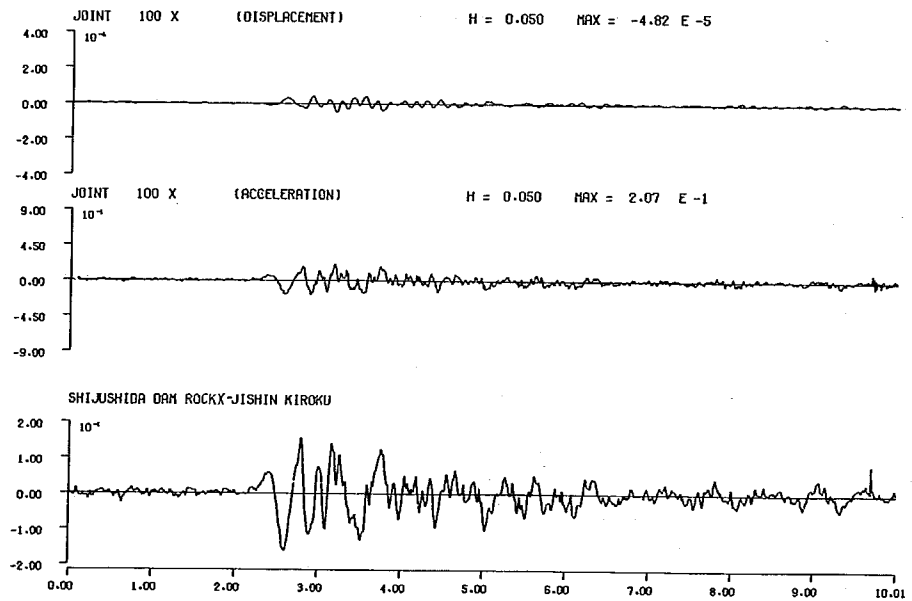


図-41 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

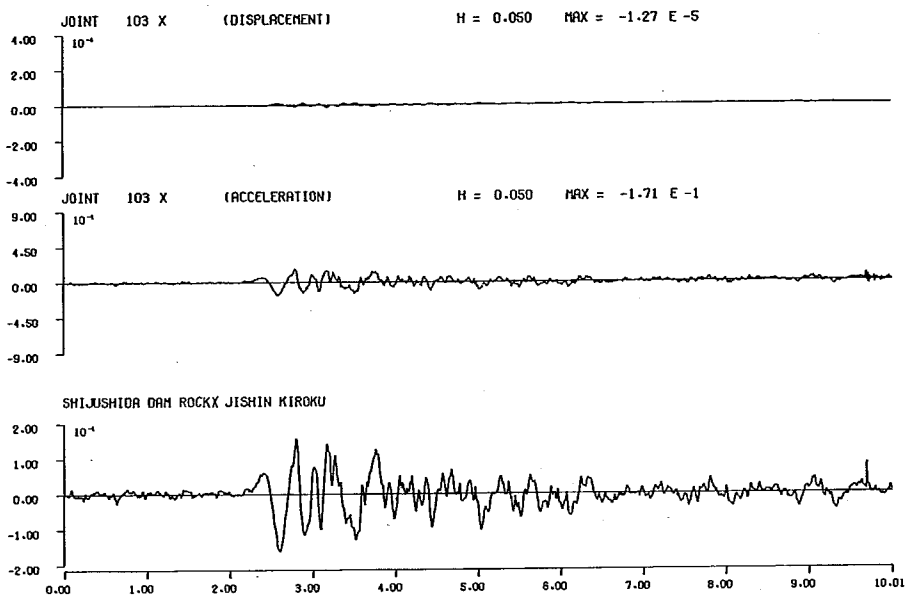


図-4 2 四十四田ダム振動解析

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI

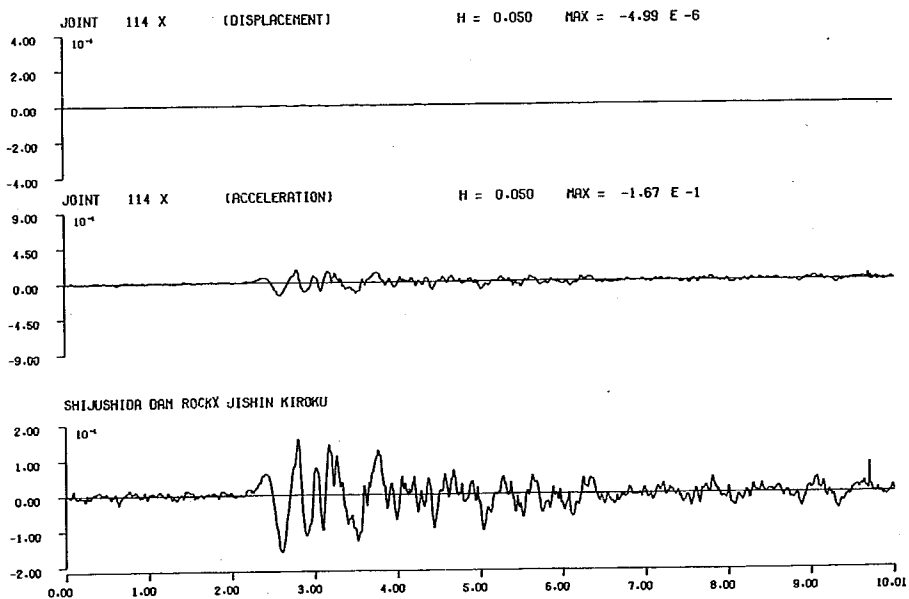


図-4 3 四十四田ダム振動解析

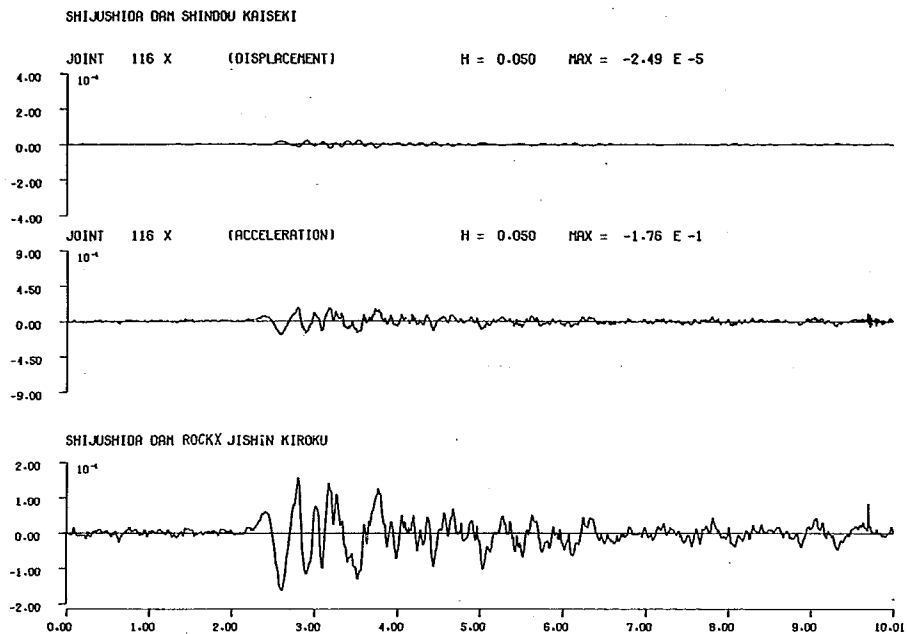


図-44 四十四田ダム振動解析

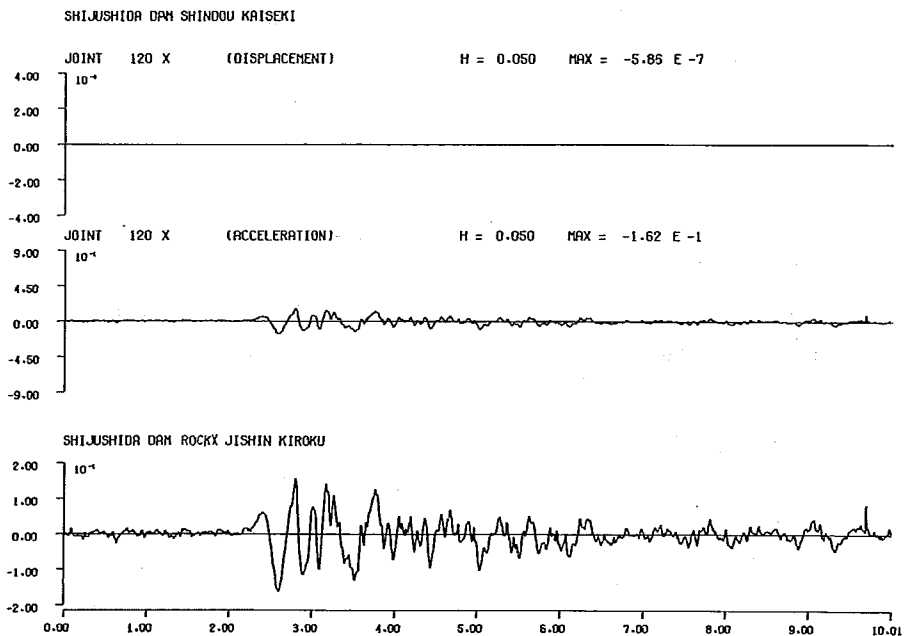


図-45 四十四田ダム振動解析

したのが図-47である。また加速度分布を2.50秒より0.13秒おきに経時的に示したものが、図-48である。

以上によって上位標高堤体、とくに堤頂部は、加速度が大きく増幅されること（堤頂で最大5.3倍）がわかる。

各着目節点の加速度波の周波数特性を知るため、応答加速度のパワースペクトルを求めた（図-49～65）。

3-3-2で述べたパワースペクトルは、①時間長さ20sec、②時間キザミ $\frac{1}{200}$ sec、③計算方法が自己相関→フーリエ変換したものにHammingウィンドウをかけたものであるが、本節のパワースペクトルは、①時間長さ10sec、②時間キザミ $\frac{1}{100}$ sec、③計算方法がFFT変換→自己相関の手順で行っている。図-49～65の結果、得られた卓越周期をまとめて表-9に示す。入力波の卓越周期は図-49のように

0.9sec(1.1Hz)、0.5sec(2.0Hz)付近にあるが、堤体では節点39、74、100の標高140.6m以下の下位標高部分では、この入力波の卓越周期がやはり卓越している。これに対して上位標高部では（加速度が大きく増幅される部分）堤体の一次の固有周期すなわち、0.13sec(7.46Hz)が卓越する。

堤頂部のパワースペクトル（図-50）を実測から得られたパワースペクトル（図-10b）とを比べてみると、両者とも堤体の固有周期0.13sec、と岩盤での固有周期0.45sec付近でよく一致している。

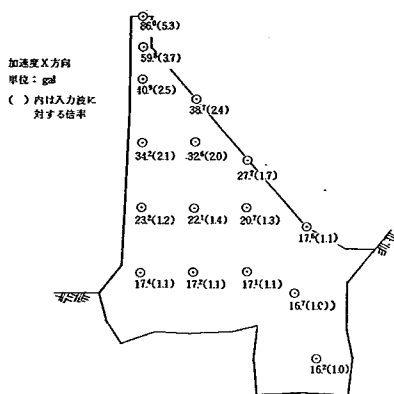


図-46 着目節点の最大加速度

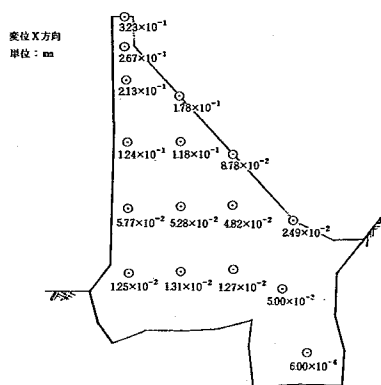


図-47 着目節点の最大変位

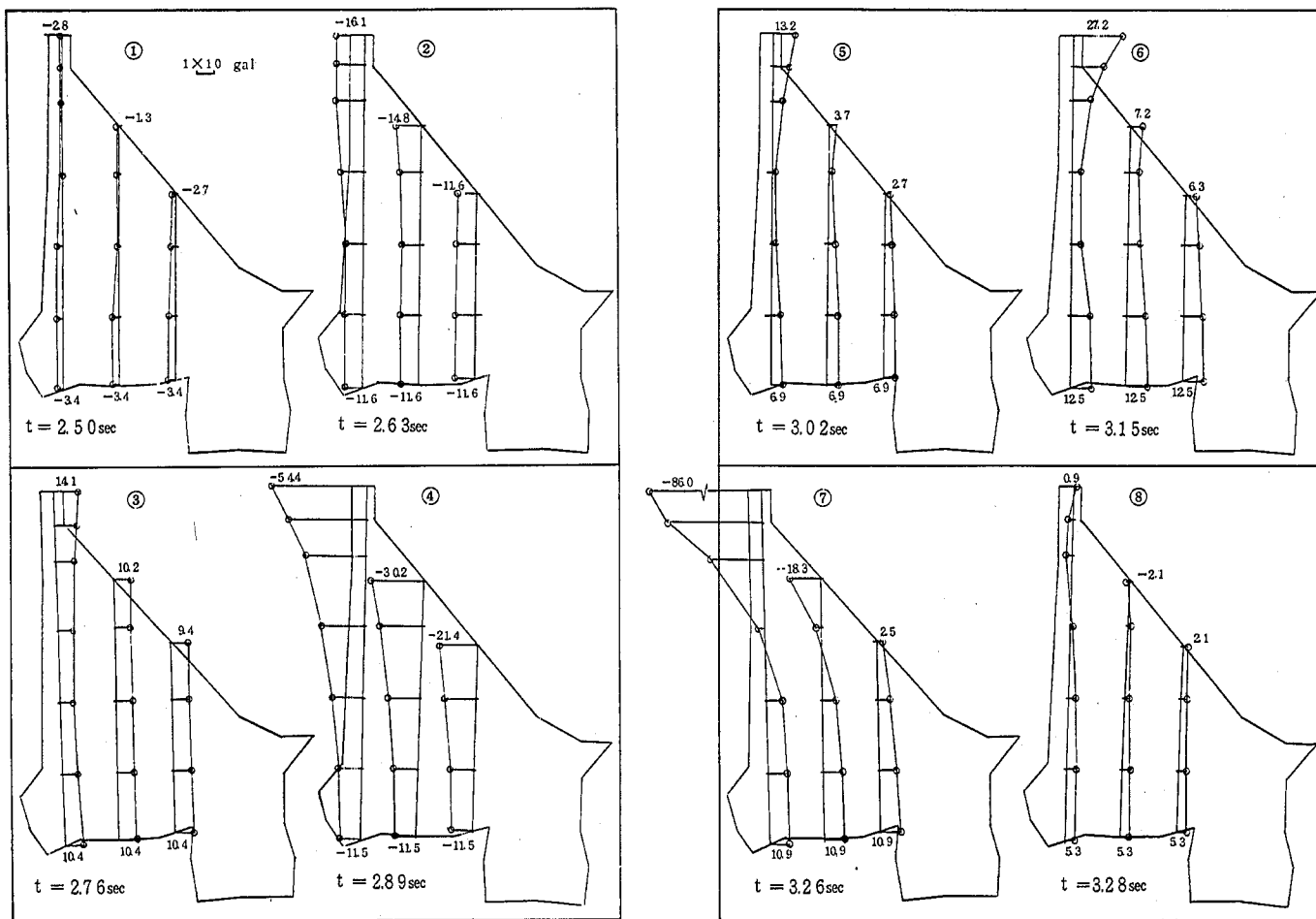


図-4 8 経時変化(加速度)

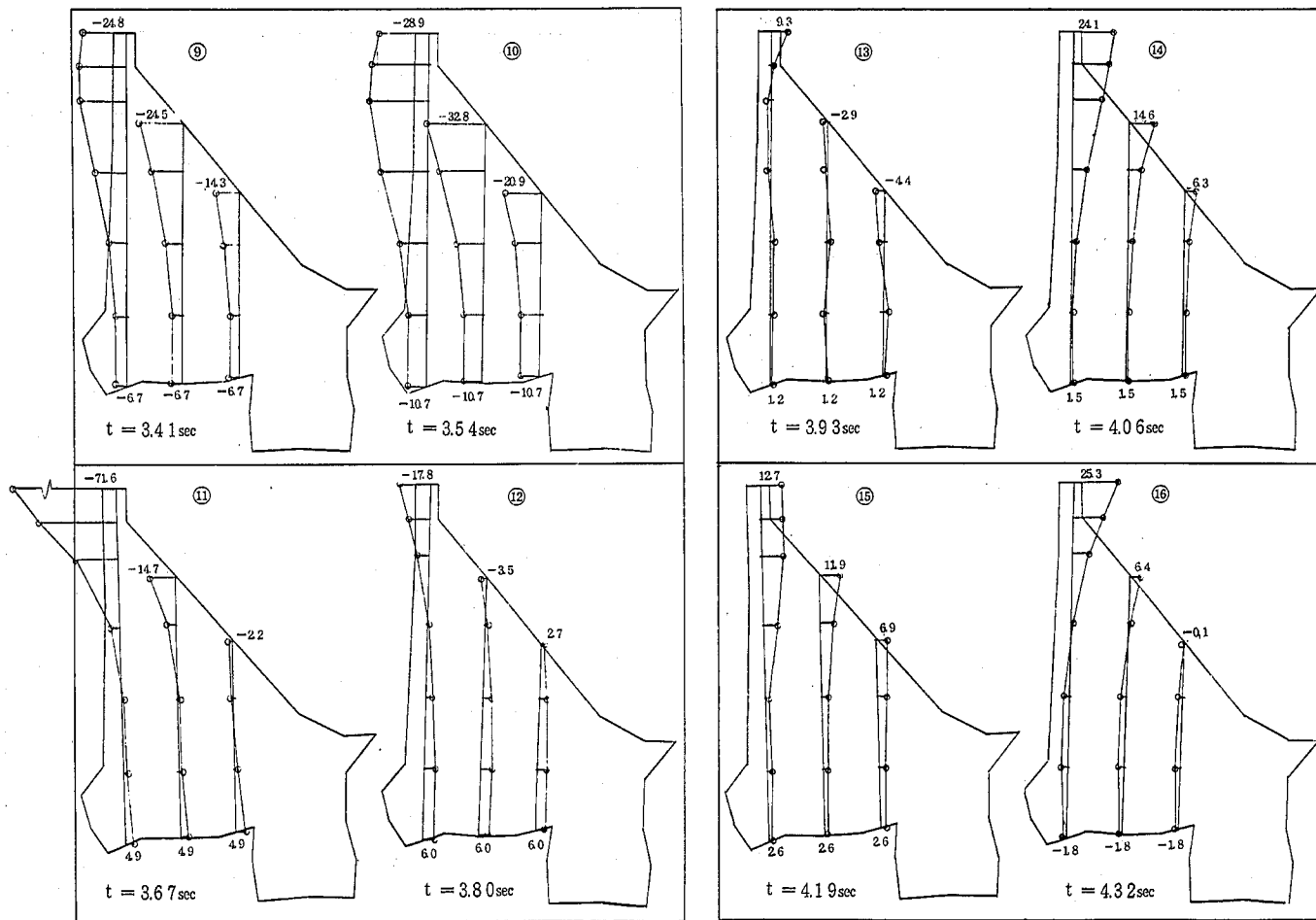


图-4 8 経時変化(加速度)

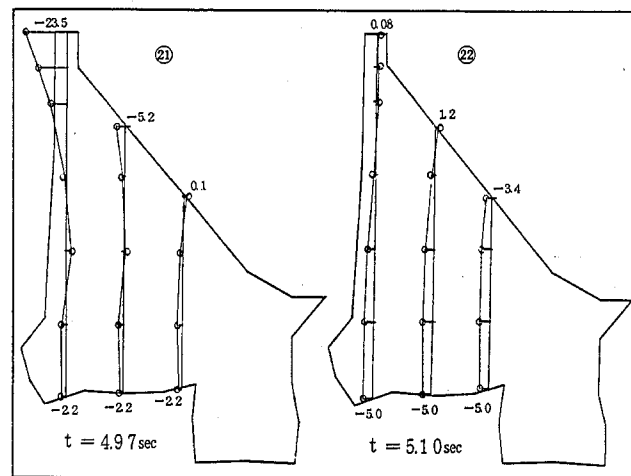
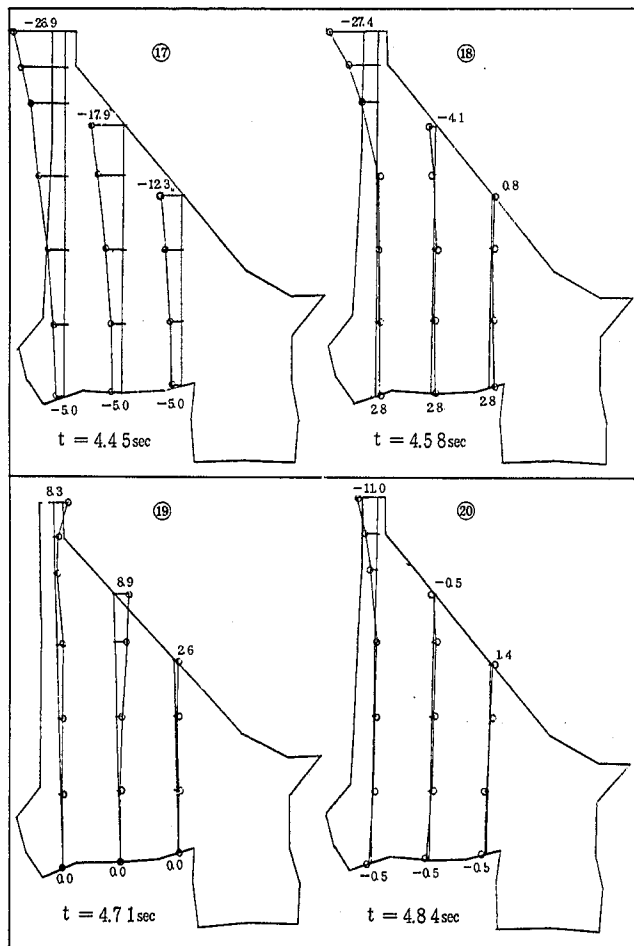


图-48 経時变化(加速度)

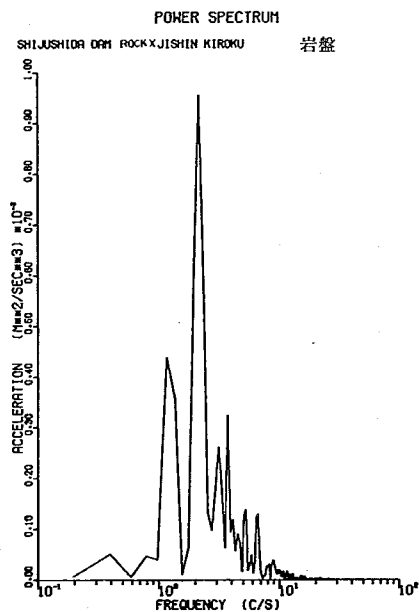


図 - 49 岩 盤

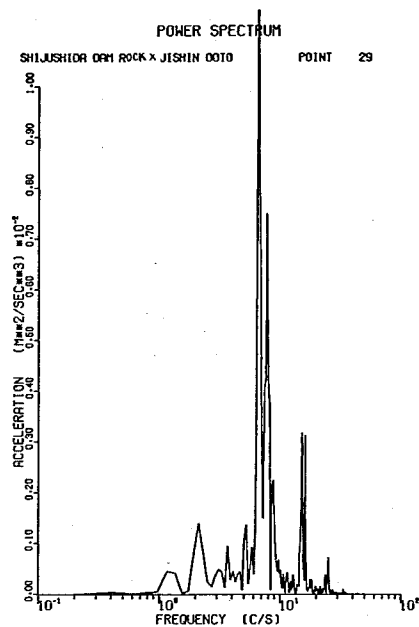


図 - 50 節 点 29

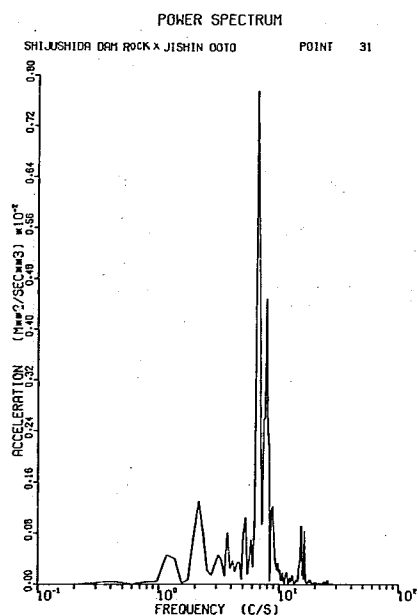


図 - 51 節 点 31

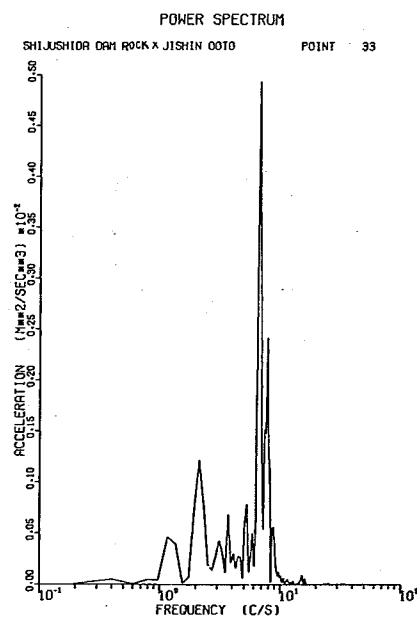


図 - 52 節 点 33

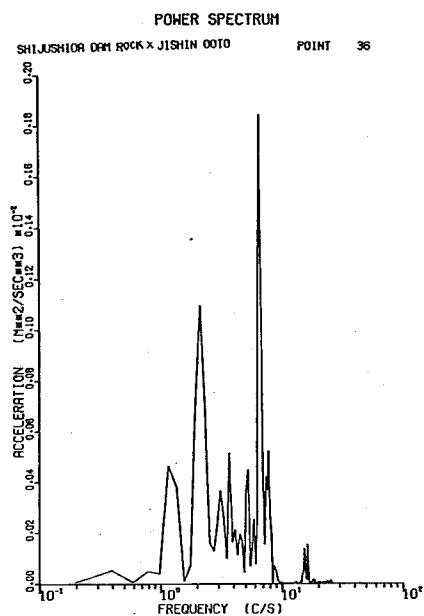


图 - 53 节点 36

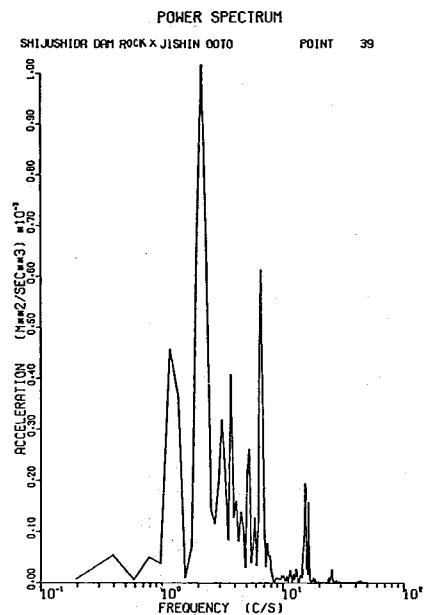


图 - 54 节点 39

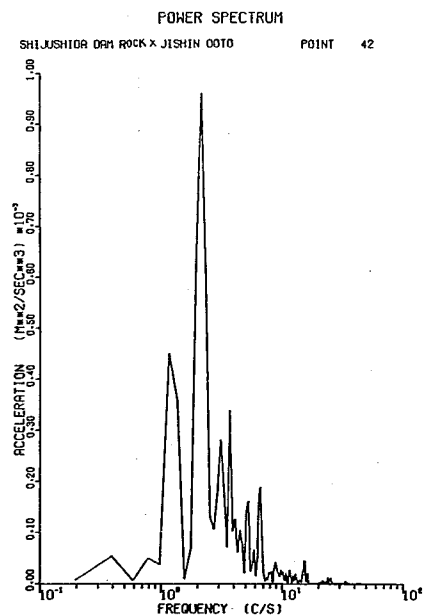


图 - 55 节点 42

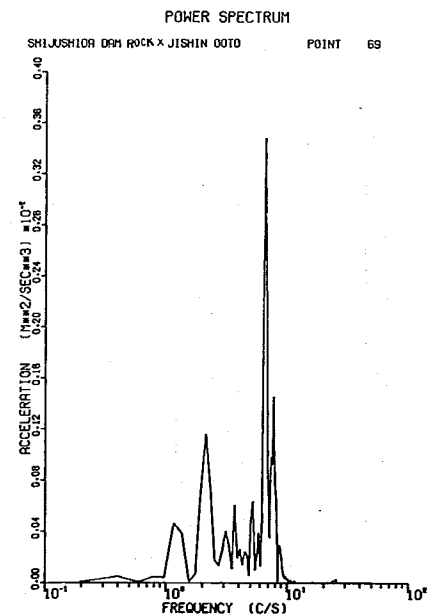


图 - 56 节点 69

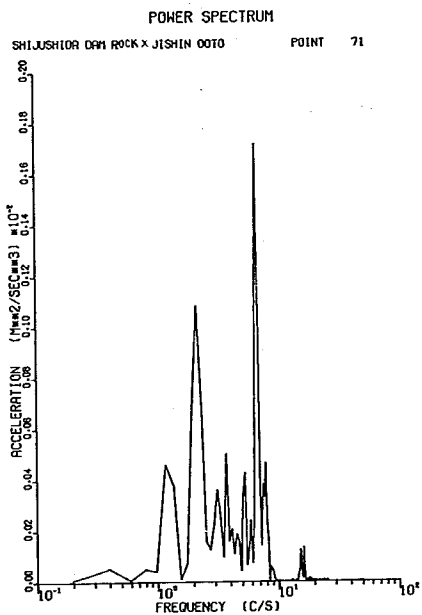


图 - 57 节点 71

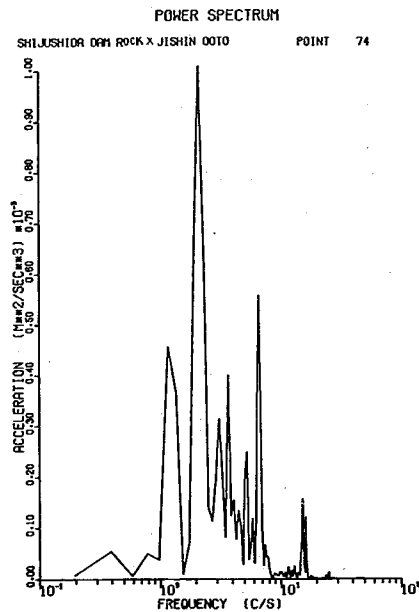


图 - 58 节点 74

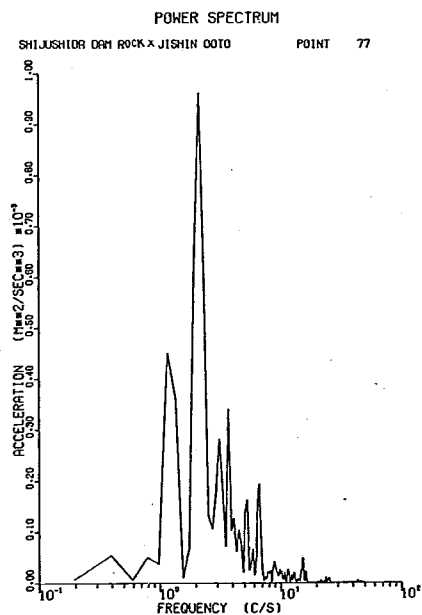


图 - 59 节点 77

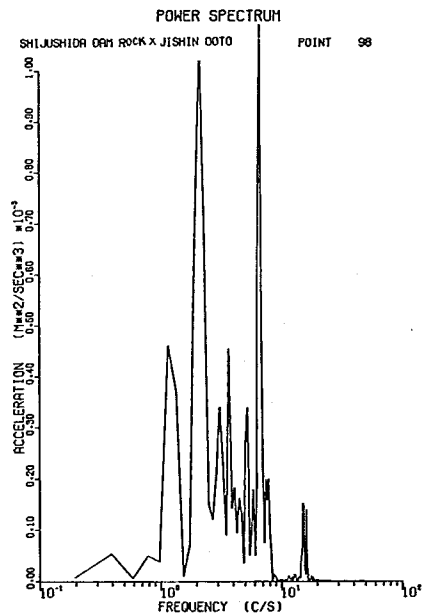


图 - 60 节点 98

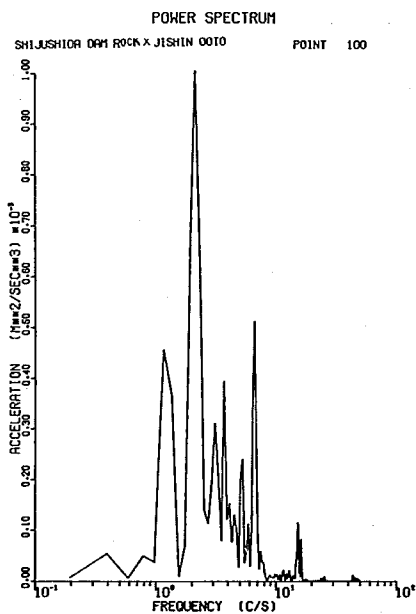


图 - 61 節 点 100

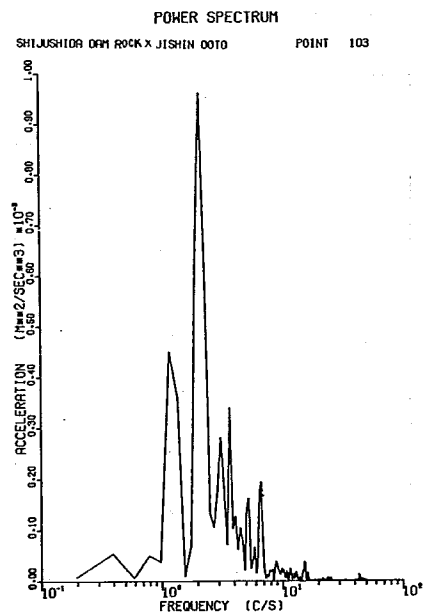


图 - 62 節 点 103

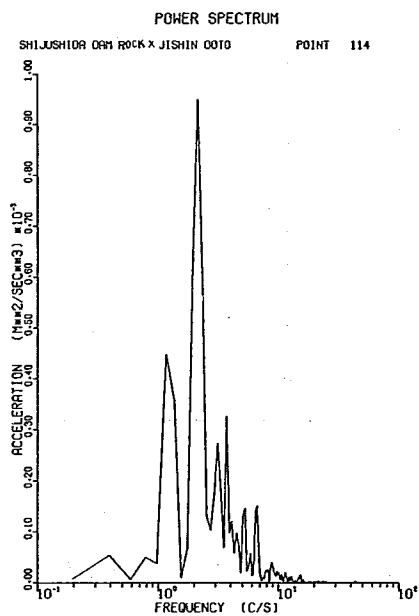


图 - 63 節 点 114

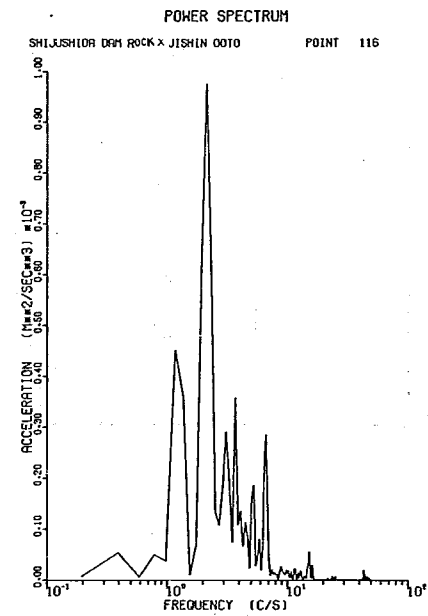


图 - 64 節 点 116

表-9 FEM解析による出力加速度の卓越周期

標 高 m	着目節点	卓越越 周 期 (Hz) sec			備 考
174	29	0.15 (6.5)		0.13 (7.6)	堤頂 地震計埋設箇所
168.6	31	0.15 (6.5)		0.13 (7.6)	
163	33	0.15 (6.5)		0.13 (7.7)	堤 体 中 央 部
159.4	69	0.15 (6.5)	0.13 (7.6)	0.50 (2.0)	
151.8	36	0.15 (6.5)		0.48 (2.1)	
	71	0.15 (6.5)		0.50 (2.0)	
143.0	98	0.15 (6.5)		0.50 (2.0)	
140.6	39	0.5 (2.0)		0.15 (6.5)	堤 体 ・ 下 部
	74	0.5 (2.0)	0.15 (6.5)	1.0 (1.0)	
	100	0.5 (2.0)	0.15 (6.5)	1.0 (1.0)	
137.0	116	0.5 (2.0)		1.0 (1.0)	
129.50	42	0.5 (2.0)		1.0 (1.0)	
	77	0.5 (2.0)		1.0 (1.0)	
	103	0.5 (2.0)		1.0 (1.0)	
124.6	114	0.5 (2.0)		1.0 (1.0)	岩 盤 中
114.0	120	0.5 (2.0)		1.0 (1.0)	
125.5		0.5 (2.0)		0.95 (1.1)	

4-2-2-2 動的応力

堤体内に発生した動的応力（自重、水圧による応力は加えない）を堤頂部が下流側および上流側にそれぞれ最大変位したときについて求めた。

まず、下流側に最大変位したときの変位、加速度、主応力、をそれぞれ図-66~68

に示す。このときは、ほぼ片持梁の曲げ振動の一次モードに近いたわみ形をしているわけであり、上流面下部に引張、下流面下部が圧縮側となる最大引張応力は 8.42t/m^2 (ELEMENT 25)、最大圧縮応力は 7.02t/m^2 (ELEMENT 174) である。

逆に上流側へ最大変位したときは(図-69~71)、やはり曲げ振動の一次モードで堤体上流部が圧縮 (ELEMENT 27 で、最大 11.7t/m^2) 堤体下流部が引張 (ELEMENT 174 で、最大 9.68t/m^2) となる。

ただし各着目点における最大応力を表-10に示す。

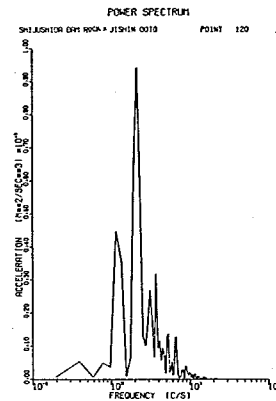


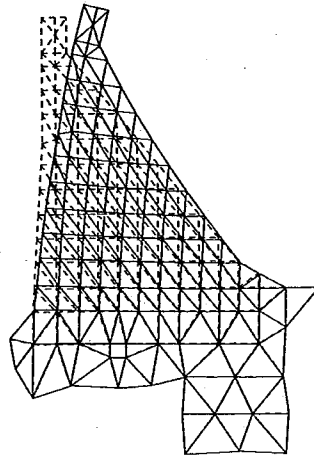
図-65 節点120

表-10 各着目節点における最大応力

場 所		主 応 力 t/m^2				セ ン 断 応 力 t/m^2		
		変 位 () (+)		変 位 () (-)		変 位 (+)	変 位 (-)	
		σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	$t_{\max}$	$t_{\max}$	
上 流 法 面	1	0.25	-0.05	0.03	- 0.14	0.15	0.086	
	4	0.92	-0.13	0.14	- 0.53	0.52	0.34	
	7	3.20	-0.71	0.74	- 1.87	1.96	1.30	
	13	5.53	-0.35	0.92	- 4.53	2.94	2.72	
	19	5.83	-0.20	0.61	- 6.38	3.02	3.49	
	23	6.65	0.14	0.008	- 8.43	3.26	4.22	
	25	8.42	0.81	-0.98	-11.4	3.80	5.21	
	26	4.86	0.57	-0.83	- 6.75	2.14	2.96	
	27	8.06	0.51	-0.76	-11.7	3.78	5.45	
下 流 法 面	85	0.91	-5.00	3.95	- 0.66	2.96	2.30	
	139	0.56	-6.07	6.89	- 0.65	3.32	3.77	
	174	0.05	-7.02	9.68	- 0.08	3.54	4.88	
	175	-0.47	-4.95	6.94	0.65	2.24	3.14	
	184	-0.28	-6.33	9.02	0.37	3.03	4.33	
ダム 内部	上 部	95	1.94	-0.93	1.85	- 2.71	1.44	2.28
	中央部	101	2.14	0.14	0.26	- 3.16	1.00	1.71
	基礎 処理部	191	0.01	-1.01	1.42	- 0.02	0.50	1.72

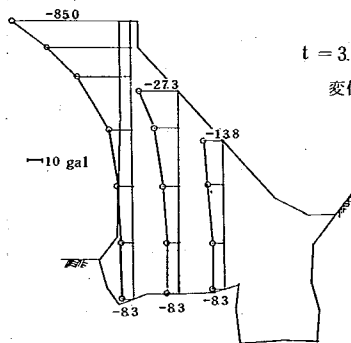
(+) 引張力

(-) 圧縮力



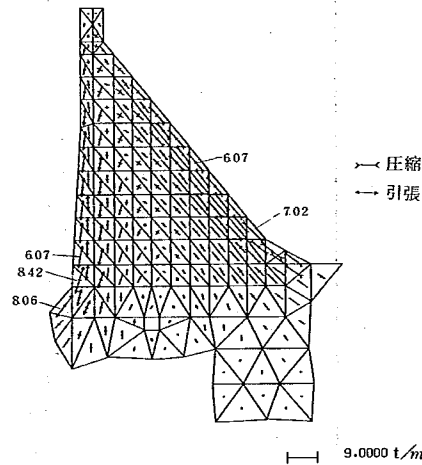
Y
X
NET NO. 1 LOADING NO. 1
SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI
GEO. SCALE 0.333
DIS. SCALE 2.999E-4
XY - PLANE

图-66 最大变位图(+) $t = 3.39\text{sec}$



$t = 3.39\text{sec}$
变位(+)

图-67 加速度分布



→ 压缩
→ 引張

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI
POINT 29 MAX. DISPLACEMENT (+) (3.39 SEC)
PRINCIPAL STRESS

图-68 主应力图

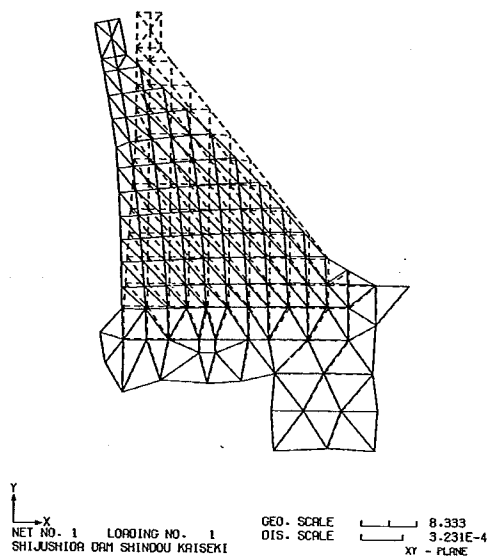


图-6 9 最大变位图 $t = 3.19 \text{ sec}$

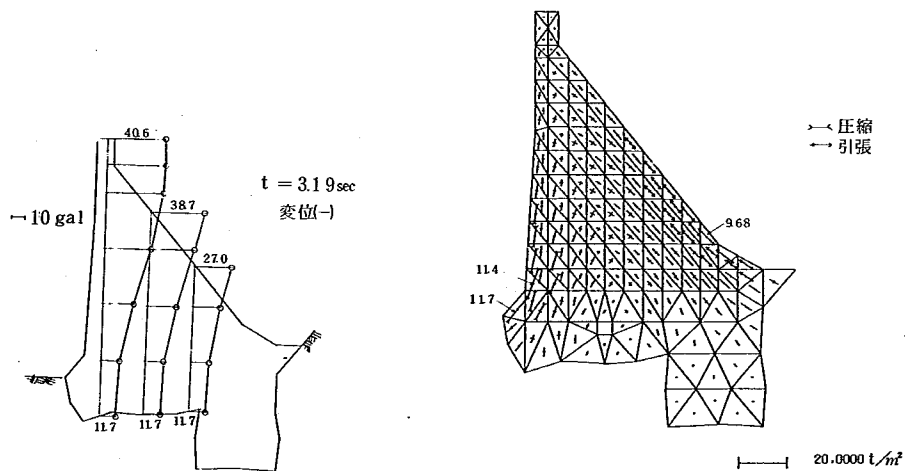


图-7 0 加速度分布

SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI
POINT 29 MAX. DISPLACEMENT (-)
PRINCIPAL STRESS

图-7 1 主应力图

これらの応力は静的応力を加えていないので、自重および水圧による応力を加えれば、すべて圧縮側に移行するものである。また入力地震の最大加速度は 16.2cm/sec^2 であり、設計上考えるべき加速度よりひとけた小さいものである。

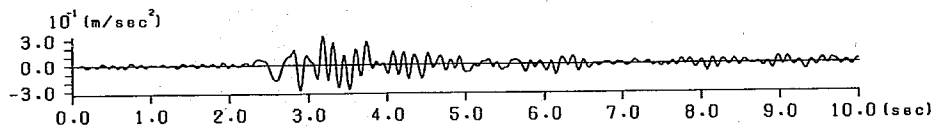
4-3 解析結果に対する考察

解析結果を実測値と比較しつつまとめると次のようなことが言えよう。

- ① 基礎における最大加速度が10数ガル程度の地震という今日の地震では、重力ダムは弾性体と仮定してよく、また仮定した物性値もまず妥当なものであった。
- ② 動水圧の評価は、すくなくとも固有振動については、Westergaardの理論の付加質量で近似できる。
- ③ 解析した二次元断面の第1次周期は0.134秒なので、この周期の一質点系に ($h=5\%$)、FEM解析に用いたのと同じROCKXの加速度波を入力し、応答を求めたのが図-72である。節点29の加速度応答と波形はよく似た応答であるが、加速度の絶対値は大幅異なり、最大加速度は 0.335m/sec^2 で加速度応答倍率は2.1倍である。すなわち重力ダムは、三角形断面で1質点系では表現できず、二次以降の振動形がかなり大きなウェイトを持っている。

$$h=0.050$$

$$T=0.134\text{ sec}$$



最大加速度 0.335m/sec^2

図-72 一質点系の応答

- ④ そこで、現実の設計において用いるべき震度分布を考えてみよう。堤頂と基盤で同時に最大加速度を生ずる可能性は少く、両者の間には位相差があるので(図-48)4タイプ

の震度分布を試案として提案する。図-73において、I型は現行の震度法で基本である。II型は上流側に慣性力が働き、堤頂部は2.5倍増幅される場合であるが、貯水池や空虚時以外は水圧と打消し合ってあまり問題にならないだろう。III型は、下流側へ慣性力を働かせているが、位相差を考慮して基礎では $\frac{1}{2}$ としている。IV型は、III型の变形で、堤頂で5倍増幅しているが、基礎では堤頂と逆位相となる。

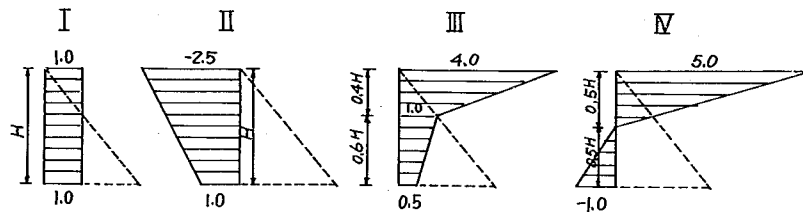


図-73

このような震度分布を与え、堤体および基礎の安定を検討するわけであるが、いま後者について基礎面の全せん断力のみI~IV型について計算して求めると表-11のようになる。ただしここでは動水圧は無視して堤体の慣性力のみ計算している。これによれば、現行のI型は堤頂部を4.0倍又は5.0倍増幅させたIII~IV型よりも大きなせん断力を考えていることになる。したがって設計において、現行のI型の他にII~IV型のような震度分布を考えるとすれば、堤体の(すなわちコンクリートの)動的な強度の検討が必要となる。

表-11 図-73に対応した全せん断力

	①	②	③	④	水 圧
慣 性 力	$0.115 H^2$	$-0.173 H^2$	$0.065 H^2$	$-0.029 H^2$	$0.500 H^2$
$H = 4.65 \text{ m}$	$248 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$-374 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$141 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$-63 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$1081 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
慣性力/水圧	23.0 %	-34.6 %	13.0 %	-5.8 %	100 %

5 結 論

1974年9月4日のマグネチュード5.6の地震による四十四田ダムの変動の実測解析と重力ダムの二次元FEM解析によって得られた結論は次の通りである。

- a) 1974年9月4日の地震による四十四田ダム岩盤における加速度波の卓越周期は0.5秒、最大加速度は16.3galであった。
- b) 実測によればアースダムは上下流、堤軸両方向とも約0.4秒の固有周期を持っている。また鉛直動もかなり大きい。
- c) 実測によれば重力ダムは上下流方向に0.13秒の固有周期を持っている。堤軸方向には剛ではば岩盤と同様の振動である。
- d) FEM解析に用いた重力ダムの物性値、動水圧の評価は、実測結果に照して概ね妥当であった。重力ダムは、ある程度までの歪の領域で弾性線型解析が使える。どの位の大きさの歪まで弾性体として扱えるかは、室内実験およびさらに大きな地震振動に対する変動実測によらねばならない。
- e) 耐震設計法として震度法は動的な力を静的な力におきかえる簡便な点で優れている。しかし、現行のダムの震度分布は一様であるので実測および動的解析の結果にもとづき、適切な震度分布パターンを考えるべきだろう。その一例を図-73に示した。ただし、これは今回の一解析の事例のみなので、今後さらに別の重力ダムの実測と解析の例を増して適切な修正が必要である。
- f) 加速度のデジタル値を積分して速度又は変位を求めるためにはデジタルフィルタを準備して記録上の長周期成分を除去する必要がある。
- g) 今回の重力ダムの実測および解析において、入力波の卓越周期は0.5秒で構造物の一次周期は0.13秒であった。固有周期0.13秒の一質点系に同じ入力波を入力し応答を求めると加速度応答倍率は2.1倍でありFEM解析では5.3倍である。すなわち、重力ダムを一質点系によって近似することは適切でなく、逆に、また、基礎の地震動については一個の卓越周期のみならず第2位以下の周波数成分を無視できない。

6 あとがき

本報告書は、はじめに述べた二つの目的すなわち a) 四十四田ダム地震時挙動の解明と b) 重力ダムの耐震設計の合理化であった。いまこの二つの目的に照して報告書の内容をふり返ると、a) については重力ダムの挙動はかなり特徴がはっきりしてきたが、複合ダムの地震時特性については変位が重要であるにもかかわらず精度よく求められなかった。b) については結論で述べた事項の他に残された課題として次のようなことが言えよう。

- i) 岩盤の地震動を $x \cdot y \cdot z$ の 3 成分について測定すること。
- ii) 四十四田ダムの地震観測を継続し、各種の周期と大きさの地震動に対するダムの応答を実測する。
- iii) コンクリートの動的物性値について特に動的強度について室内実験が必要である。
- iv) 動水圧について更に検討を要す。
- v) ダムの基礎の耐震設計には手がつかなかった。

末尾とはなりましたが、四十四田ダムにおいて長年地震観測の業務を担当されている北上川ダム統合管理事務所浅沼文男技官に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 物部長穂：「貯水用重力堰堤の特性並に其合理的設計方法」 土木学会誌 vol 11、
 № 5, 1925年
- 2) 日本ダム協会：「ダム総覧」 1976年
- 3) 松本徳久：「ダムの設計震度について」 土木学会誌 vol 18、№ 3, 1976年
- 4) 建設省土木研究所：「新潟地震調査報告」 土木研究所報告第125号, 1975年
- 5) 岡本舜三「耐震工学」 オーム社、1971年
- 6) 建設省東北地方建設局：「四十四田ダム工事誌」
- 7) 気象庁：「地震月報」 1974年12月号
- 8) 畑野正、渡辺啓行：「コンクリートの動的粘弾性定数ならびにポアソン比について」
 電力中央技術研究所報告№69097
- 9) 建設省土木研究所「矢作ダム実物振動実験(1)報告書」 1970年6月
- 10) H. M. Westrgaard : Water Rressure on Dams During Earthquakes , Trans. of
 ASCE, vol , 98、1933

付 録

付 録

データ シート

EARTHQUAKE MODE

固有振動数
モード計算

RANDOM

ランダム応答解析

RANDOM

地震加速度波

1
記号

15
モード数

TOPOLOGY

NET (1) (125) (SHIJUSHIDA DAM SHINDOU KAISEKI)
節点数 四十四田ダム振動解析

固定条件 { SUPPRESS (1) (15) (1, 1)
X方向 節点 節点番号 1 step
SUPPRESS (2) (15) (1, 1)
Y方向
SUPPRESS (3) (125) (1, 1)
Z方向

付加質量
ADDM3D (10) (1) (17) (18)
ADDM3D (11) (1) (19) (20)
ADDM3D (12) (1) (21) (22)
ADDM3D (13) (1) (23) (24)
ADDM3D (14) (1) (25) (26)
ADDM3D (15) (1) (27) (28)
グループ番号 例えば27-28節点を棒要素とする。

TRIM3	(1) グループ番号	(1)	(16) 要素番号	(30)	(29)
TRIM3	(1)	(1)	(16)	(17)	(30)
TRIM3	(1)	(1)	(17)	(31)	(30)
TRIM3	(1)	(1)	(17)	(32)	(31)
TRIM3	(1)	(1)	(17)	(18)	(32)
TRIM3	(1)	(1)	(18)	(33)	(32)
TRIM3	(1)	(1)	(18)	(19)	(33)
TRIM3	(1)	(1)	(19)	(34)	(33)
TRIM3	(1)	(1)	(19)	(20)	(34)
TRIM3	(1)	(1)	(20)	(35)	(34)
TRIM3	(1)	(1)	(20)	(21)	(35)
TRIM3	(1)	(1)	(21)	(36)	(35)
TRIM3	(1)	(1)	(21)	(22)	(36)
TRIM3	(1)	(1)	(22)	(37)	(36)
TRIM3	(1)	(1)	(22)	(23)	(37)
TRIM3	(1)	(1)	(23)	(38)	(37)
TRIM3	(1)	(1)	(23)	(24)	(38)
TRIM3	(1)	(1)	(24)	(39)	(38)
TRIM3	(1)	(1)	(24)	(25)	(39)
TRIM3	(1)	(1)	(25)	(40)	(39)
TRIM3	(1)	(1)	(25)	(26)	(40)
TRIM3	(1)	(1)	(26)	(41)	(40)
TRIM3	(1)	(1)	(26)	(27)	(41)
TRIM3	(1)	(1)	(27)	(42)	(41)
TRIM3	(1)	(1)	(27)	(28)	(42)
TRIM3	(1)	(1)	(28)	(43)	(42)
TRIM3	(1)	(1)	(28)	(1)	(43)
TRIM3	(1)	(1)	(1)	(2)	(43)
TRIM3	(1)	(1)	(2)	(3)	(43)

TRIM3	(1)	(1)	(29)	(30)	(45)
TRIM3	(1)	(1)	(30)	(46)	(45)
TRIM3	(1)	(1)	(30)	(31)	(46)
TRIM3	(1)	(1)	(31)	(32)	(46)
TRIM3	(1)	(1)	(32)	(47)	(46)
TRIM3	(1)	(1)	(32)	(48)	(47)
TRIM3	(1)	(1)	(32)	(33)	(43)
TRIM3	(1)	(1)	(33)	(49)	(48)
TRIM3	(1)	(1)	(33)	(34)	(49)
TRIM3	(1)	(1)	(34)	(50)	(49)
TRIM3	(1)	(1)	(34)	(35)	(50)
TRIM3	(1)	(1)	(35)	(51)	(50)
TRIM3	(1)	(1)	(35)	(36)	(51)
TRIM3	(1)	(1)	(36)	(52)	(51)
TRIM3	(1)	(1)	(36)	(37)	(52)
TRIM3	(1)	(1)	(37)	(53)	(52)
TRIM3	(1)	(1)	(37)	(38)	(53)
TRIM3	(1)	(1)	(38)	(54)	(53)
TRIM3	(1)	(1)	(38)	(39)	(54)
TRIM3	(1)	(1)	(39)	(55)	(54)
TRIM3	(1)	(1)	(39)	(40)	(55)
TRIM3	(1)	(1)	(40)	(56)	(55)
TRIM3	(1)	(1)	(40)	(41)	(56)
TRIM3	(1)	(1)	(41)	(57)	(56)
TRIM3	(1)	(1)	(41)	(42)	(57)
TRIM3	(1)	(1)	(42)	(58)	(57)
TRIM3	(1)	(1)	(42)	(44)	(58)
TRIM3	(1)	(1)	(42)	(43)	(44)
TRIM3	(1)	(1)	(43)	(3)	(44)
TRIM3	(1)	(1)	(44)	(3)	(4)
TRIM3	(1)	(1)	(44)	(4)	(58)
TRIM3	(1)	(1)	(47)	(48)	(59)
TRIM3	(1)	(1)	(48)	(60)	(59)
TRIM3	(1)	(1)	(48)	(49)	(60)
TRIM3	(1)	(1)	(49)	(61)	(60)
TRIM3	(1)	(1)	(49)	(50)	(51)
TRIM3	(1)	(1)	(50)	(62)	(61)
TRIM3	(1)	(1)	(50)	(51)	(62)
TRIM3	(1)	(1)	(51)	(63)	(62)
TRIM3	(1)	(1)	(51)	(52)	(63)
TRIM3	(1)	(1)	(52)	(64)	(63)
TRIM3	(1)	(1)	(52)	(53)	(64)
TRIM3	(1)	(1)	(53)	(65)	(64)
TRIM3	(1)	(1)	(53)	(54)	(65)
TRIM3	(1)	(1)	(54)	(66)	(65)
TRIM3	(1)	(1)	(54)	(55)	(66)
TRIM3	(1)	(1)	(55)	(67)	(66)
TRIM3	(1)	(1)	(55)	(56)	(67)
TRIM3	(1)	(1)	(56)	(68)	(67)
TRIM3	(1)	(1)	(56)	(57)	(68)
TRIM3	(1)	(1)	(57)	(58)	(68)
TRIM3	(1)	(1)	(58)	(78)	(68)
TRIM3	(1)	(1)	(58)	(79)	(78)
TRIM3	(1)	(1)	(58)	(4)	(79)
TRIM3	(1)	(1)	(79)	(4)	(5)
TRIM3	(1)	(1)	(59)	(60)	(69)
TRIM3	(1)	(1)	(60)	(70)	(69)
TRIM3	(1)	(1)	(60)	(61)	(70)

TRIM3	(1)	(1)	(61)	(71)	(70)
TRIM3	(1)	(1)	(61)	(62)	(71)
TRIM3	(1)	(1)	(62)	(72)	(71)
TRIM3	(1)	(1)	(62)	(63)	(72)
TRIM3	(1)	(1)	(63)	(73)	(72)
TRIM3	(1)	(1)	(63)	(64)	(73)
TRIM3	(1)	(1)	(64)	(74)	(73)
TRIM3	(1)	(1)	(64)	(65)	(74)
TRIM3	(1)	(1)	(65)	(75)	(74)
TRIM3	(1)	(1)	(65)	(66)	(75)
TRIM3	(1)	(1)	(66)	(76)	(75)
TRIM3	(1)	(1)	(66)	(67)	(76)
TRIM3	(1)	(1)	(67)	(77)	(76)
TRIM3	(1)	(1)	(67)	(68)	(77)
TRIM3	(1)	(1)	(68)	(78)	(77)
TRIM3	(1)	(1)	(78)	(88)	(77)
TRIM3	(1)	(1)	(79)	(5)	(80)
TRIM3	(1)	(1)	(69)	(70)	(80)
TRIM3	(1)	(1)	(70)	(81)	(80)
TRIM3	(1)	(1)	(70)	(71)	(81)
TRIM3	(1)	(1)	(71)	(82)	(81)
TRIM3	(1)	(1)	(71)	(72)	(82)
TRIM3	(1)	(1)	(72)	(83)	(82)
TRIM3	(1)	(1)	(72)	(73)	(83)
TRIM3	(1)	(1)	(73)	(84)	(83)
TRIM3	(1)	(1)	(73)	(74)	(84)
TRIM3	(1)	(1)	(74)	(85)	(84)
TRIM3	(1)	(1)	(74)	(75)	(85)
TRIM3	(1)	(1)	(75)	(86)	(85)
TRIM3	(1)	(1)	(75)	(76)	(85)
TRIM3	(1)	(1)	(76)	(87)	(86)
TRIM3	(1)	(1)	(76)	(77)	(87)
TRIM3	(1)	(1)	(77)	(88)	(87)
TRIM3	(1)	(1)	(80)	(81)	(90)
TRIM3	(1)	(1)	(81)	(91)	(90)
TRIM3	(1)	(1)	(81)	(82)	(91)
TRIM3	(1)	(1)	(82)	(92)	(91)
TRIM3	(1)	(1)	(82)	(83)	(92)
TRIM3	(1)	(1)	(83)	(93)	(92)
TRIM3	(1)	(1)	(83)	(84)	(93)
TRIM3	(1)	(1)	(84)	(94)	(93)
TRIM3	(1)	(1)	(84)	(85)	(94)
TRIM3	(1)	(1)	(85)	(95)	(94)
TRIM3	(1)	(1)	(85)	(86)	(95)
TRIM3	(1)	(1)	(86)	(96)	(95)
TRIM3	(1)	(1)	(86)	(87)	(96)
TRIM3	(1)	(1)	(87)	(97)	(96)
TRIM3	(1)	(1)	(87)	(88)	(97)
TRIM3	(1)	(1)	(88)	(89)	(97)
TRIM3	(1)	(1)	(89)	(6)	(97)
TRIM3	(1)	(1)	(89)	(5)	(6)
TRIM3	(1)	(1)	(90)	(91)	(98)
TRIM3	(1)	(1)	(91)	(99)	(98)
TRIM3	(1)	(1)	(91)	(92)	(99)
TRIM3	(1)	(1)	(92)	(100)	(99)
TRIM3	(1)	(1)	(92)	(93)	(100)
TRIM3	(1)	(1)	(93)	(101)	(100)
TRIM3	(1)	(1)	(93)	(94)	(101)

TRIM3	(1)	(1)	(94)	(102)	(101)
TRIM3	(1)	(1)	(94)	(95)	(102)
TRIM3	(1)	(1)	(95)	(103)	(102)
TRIM3	(1)	(1)	(95)	(96)	(103)
TRIM3	(1)	(1)	(96)	(104)	(103)
TRIM3	(1)	(1)	(96)	(97)	(104)
TRIM3	(1)	(1)	(97)	(7)	(104)
TRIM3	(1)	(1)	(97)	(6)	(7)
TRIM3	(1)	(1)	(98)	(99)	(105)
TRIM3	(1)	(1)	(99)	(106)	(105)
TRIM3	(1)	(1)	(99)	(100)	(106)
TRIM3	(1)	(1)	(100)	(107)	(106)
TRIM3	(1)	(1)	(100)	(101)	(107)
TRIM3	(1)	(1)	(101)	(108)	(107)
TRIM3	(1)	(1)	(101)	(102)	(108)
TRIM3	(1)	(1)	(102)	(109)	(108)
TRIM3	(1)	(1)	(102)	(103)	(109)
TRIM3	(1)	(1)	(103)	(104)	(109)
TRIM3	(1)	(1)	(105)	(106)	(110)
TRIM3	(1)	(1)	(106)	(111)	(110)
TRIM3	(1)	(1)	(106)	(107)	(111)
TRIM3	(1)	(1)	(107)	(112)	(111)
TRIM3	(1)	(1)	(107)	(108)	(112)
TRIM3	(1)	(1)	(108)	(113)	(112)
TRIM3	(1)	(1)	(108)	(109)	(113)
TRIM3	(1)	(1)	(109)	(114)	(113)
TRIM3	(1)	(1)	(109)	(104)	(114)
TRIM3	(1)	(1)	(104)	(7)	(114)
TRIM3	(1)	(1)	(110)	(111)	(116)
TRIM3	(1)	(1)	(111)	(117)	(116)
TRIM3	(1)	(1)	(111)	(112)	(117)
TRIM3	(1)	(1)	(112)	(118)	(117)
TRIM3	(1)	(1)	(112)	(113)	(118)
TRIM3	(1)	(1)	(113)	(114)	(118)
TRIM3	(1)	(1)	(114)	(7)	(119)
TRIM3	(1)	(1)	(7)	(115)	(119)
TRIM3	(1)	(1)	(7)	(8)	(115)
TRIM3	(1)	(1)	(8)	(9)	(115)
TRIM3	(1)	(1)	(116)	(117)	(121)
TRIM3	(1)	(1)	(117)	(122)	(121)
TRIM3	(1)	(1)	(117)	(123)	(122)
TRIM3	(1)	(1)	(117)	(118)	(123)
TRIM3	(1)	(1)	(118)	(124)	(123)
TRIM3	(1)	(1)	(118)	(114)	(124)
TRIM3	(1)	(1)	(114)	(119)	(124)
TRIM3	(1)	(1)	(119)	(115)	(120)
TRIM3	(1)	(1)	(115)	(10)	(120)
TRIM3	(1)	(1)	(115)	(9)	(10)
TRIM3	(1)	(1)	(121)	(122)	(125)
TRIM3	(1)	(1)	(122)	(123)	(125)
TRIM3	(1)	(1)	(123)	(14)	(125)
TRIM3	(1)	(1)	(123)	(124)	(14)
TRIM3	(1)	(1)	(124)	(13)	(14)
TRIM3	(1)	(1)	(124)	(119)	(13)
TRIM3	(1)	(1)	(119)	(120)	(13)
TRIM3	(1)	(1)	(13)	(120)	(12)
TRIM3	(1)	(1)	(120)	(11)	(12)
TRIM3	(1)	(1)	(120)	(10)	(11)

TRIM3
END NET
END TOPOLOGY

(1) (1) (125) (14) (15)

NPCO

N = 1

C = 2

2次元

1	4.00	20.50
節点番号	X座標	Y座標
2	4.80	15.00
3	7.40	11.60
4	13.00	13.40
5	20.00	13.00
6	25.00	13.40
7	30.00	14.60
8	29.60	9.00
9	30.00	3.00
10	38.00	3.40
11	45.00	3.00
12	45.40	9.00
13	44.60	14.60
14	45.00	22.00
15	50.00	28.00
16	9.00	69.00
17	9.00	63.60
18	9.00	61.60
19	9.00	58.00
20	9.00	54.40
21	9.00	50.00
22	8.79	46.80
23	8.57	43.00
24	8.34	39.20
25	8.12	35.60
26	7.91	32.00
27	7.67	28.00
28	7.46	24.50
29	11.00	69.00
30	11.00	66.40
31	11.00	63.60
32	11.00	61.60
33	11.00	58.00
34	11.00	54.40
35	11.00	50.60
36	11.00	46.80
37	11.00	43.00
38	11.00	39.20
39	11.00	35.60
40	11.00	32.00
41	11.00	28.00
42	11.00	24.50
43	7.50	19.60
44	11.00	19.60
45	12.64	69.00
45	12.64	63.60
47	14.24	61.60

48	14.24	58.00
49	14.24	54.40
50	14.24	50.60
51	14.24	46.80
52	14.24	43.00
53	14.24	39.20
54	14.24	35.60
55	14.24	32.00
56	14.24	28.00
57	14.24	24.50
58	14.24	19.60
59	17.12	58.00
60	17.12	54.40
61	17.12	50.60
62	17.12	46.80
63	17.12	43.00
64	17.12	39.20
65	17.12	35.60
66	17.12	32.00
67	17.12	28.00
68	17.12	24.50
69	20.00	54.40
70	20.00	50.60
71	20.00	46.80
72	20.00	43.00
73	20.00	39.20
74	20.00	35.60
75	20.00	32.00
76	20.00	28.00
77	20.00	24.50
78	18.80	19.60
79	18.80	17.60
80	23.04	50.60
81	23.04	46.80
82	23.04	43.00
83	23.04	39.20
84	23.04	35.60
85	23.04	32.00
86	23.04	28.00
87	23.04	24.50
88	21.20	19.60
89	21.20	17.60
90	26.08	46.80
91	26.08	43.00
92	26.08	39.20
93	26.08	35.60
94	26.08	32.00
95	26.08	28.00
96	26.08	24.50
97	26.08	19.60
98	29.12	43.00
99	29.12	39.20
100	29.12	35.60
101	29.12	32.00
102	29.12	28.00
103	29.12	24.50
104	29.12	19.60
105	32.16	39.20

106	32.16	35.60
107	32.16	32.00
108	32.16	28.00
109	32.16	24.50
110	35.04	35.60
111	35.04	32.00
112	35.04	28.00
113	35.04	24.50
114	35.04	19.60
115	34.40	9.00
116	37.92	32.00
117	37.92	28.00
118	37.92	24.50
119	37.40	14.60
120	40.00	9.00
121	41.00	30.20
122	41.00	28.00
123	41.00	24.50
124	41.00	19.60
125	45.00	28.00

GEDA N = 1 S = 1 C = 3 G = 1 E = A
 グループ番号 all

1 0.10000E+01 0.10000E+01 0.10000E+01
 単 位 幅

GEDA N = 1 C = 1 G = 10 E = A * ADDITIONAL MASS
 G10~G15までの偶数 付 加 質 量

1 0.7 0.0 0.0 2.4 0.0 0.0
 X Y Z 方向の付加質量

GEDA N = 1 C = 6 G = 11 E = A * ADDITIONAL MASS

1 5.1 0.0 0.0 7.7 0.0 0.0

GEDA N = 1 C = 6 G = 12 E = A * ADDITIONAL MASS

1 8.7 0.0 0.0 9.0 0.0 0.0

GEDA N = 1 C = 6 G = 13 E = A * ADDITIONAL MASS

1 10.8 0.0 0.0 11.3 0.0 0.0

GEDA N = 1 C = 6 G = 14 E = A * ADDITIONAL MASS

1 11.6 0.0 0.0 12.6 0.0 0.0

GEDA N = 1 C = 6 G = 15 E = A * ADDITIONAL MASS

1 12.9 0.0 0.0 12.8 0.0 0.0

GENS N = 1 S = 1 C = 1 G = 1 E = A
 1個

1 0.24490E+00

コンクリートの単位体積重量 1/φ

SEMOD N = 1 S = 1 C = 2 G = 1 E = A

1 2604166.6 0.25

弾性係数 1/g

ポアソン比

$$E' = \frac{E}{1-\nu^2} \quad \nu' = \frac{\nu}{1-\nu}$$

SFIN

0.018

モード選択のための最小周期

減衰	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
定数	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

1 ~ 15 次まで

16	1	
着目節点数	時系列応答値プリントの意味	

29	1	0
----	---	---

X座標の自由度

着目節点番号	31	1	0
	33	1	0
	36	1	0
	39	1	0
	42	1	0
	69	1	0
	71	1	0
	74	1	0
	77	1	0
	98	1	0
	100	1	0
	103	1	0
	114	1	0
	116	1	0
	120	1	0

応答曲線, 図化のいみ

1

応力計算着目節点数

29	1	0	0
	節点の自由度	絶対値で最大	

0

外力の入力	1.0	0.0	0.0	0.01	10.0	0.162
-------	-----	-----	-----	------	------	-------

X方向の外力
が作用する。

Y方向

Z方向

時間間隔
sec

入力波の
時間制限

No Scaling
入力波の最大値

0.0	1	50
つづき		

New mark β 法
の係数 1/6

SHIJUSHIDA DAM ROCKX JISHIN KIROKU

地震波の名称

1001 0.162

地震波の個数 入力波の最大値

0.01

つづき

時間間隔
sec

(10F10.0)

地震波の加速度 m/sec^2

.0030	.0000	-.0020	-.0030	-.0040	-.0050	-.0030	.0050	.0150	.0110
.0020	-.0040	-.0060	-.0060	-.0080	-.0070	-.0040	-.0060	-.0070	-.0070
-.0060	-.0060	-.0110	-.0160	-.0090	.0030	-.0040	-.0090	-.0090	-.0090
-.0030	.0000	.0030	.0030	.0040	.0060	.0050	.0070	.0090	.0100
.0110	.0080	.0040	.0010	.0030	.0020	.0040	.0050	.0070	.0040
.0010	-.0010	-.0040	-.0090	-.0100	-.0010	-.0020	-.0050	.0040	.0050
-.0030	-.0120	-.0150	-.0260	-.0200	-.0090	-.0090	-.0020	-.0020	.0000
.0030	.0040	.0090	.0090	.0100	.0150	.0160	.0080	.0050	.0070
.0060	.0060	.0110	.0100	.0070	.0040	.0010	-.0030	-.0070	-.0030
-.0050	-.0050	-.0030	.0080	.0100	.0030	-.0070	-.0100	-.0050	.0050
.0030	.0040	.0050	.0070	.0050	.0030	.0010	.0020	.0000	.0030
.0090	.0080	.0110	.0060	.0050	.0040	.0020	-.0010	-.0040	-.0040
.0010	.0080	.0080	.0020	.0020	.0000	-.0080	-.0110	-.0080	-.0040
-.0070	-.0110	-.0140	-.0110	-.0080	-.0020	-.0020	-.0010	.0040	.0000
-.0080	-.0040	.0120	.0140	.0090	.0110	.0120	.0120	.0090	.0080
.0080	.0090	.0070	-.0020	-.0090	-.0030	-.0030	-.0060	-.0040	.0000
.0000	.0010	.0040	.0000	-.0050	-.0050	.0000	.0030	.0030	.0000
.0030	.0060	.0030	.0000	.0000	.0060	.0050	.0060	.0070	.0030
.0020	.0020	-.0030	-.0080	-.0020	.0070	.0100	.0100	.0110	.0100
.0090	.0080	.0040	.0040	.0060	.0040	.0030	.0040	.0080	.0060
.0000	-.0040	-.0030	-.0050	-.0040	-.0030	.0000	-.0010	-.0030	-.0020
.0020	-.0020	-.0030	-.0020	-.0020	.0010	.0080	.0140	.0160	.0150
.0160	.0160	.0090	.0150	.0090	.0070	.0150	.0160	.0200	.0220
.0270	.0320	.0350	.0340	.0450	.0530	.0560	.0530	.0560	.0610
.0590	.0580	.0560	.0520	.0480	.0370	.0240	.0100	-.0070	-.0220
-.0340	-.0560	-.0820	-.0940	-.1030	-.1190	-.1480	-.1540	-.1590	-.1620
-.1570	-.1410	-.1300	-.1160	-.0880	-.0660	-.0530	-.0330	-.0120	.0060
.0280	.0520	.0670	.0810	.0790	.0870	.1040	.1290	.1570	.1570
.1450	.1130	.0530	.0130	-.0470	-.0670	-.0830	-.1070	-.1150	-.1150
-.1070	-.0990	-.0870	-.0830	-.0790	-.0630	-.0230	.0170	.0570	.0730
.0770	.0730	.0690	.0610	.0450	.0010	-.0470	-.0870	-.0990	-.0990
-.0510	-.0110	.0290	.0570	.0930	.1250	.1410	.1290	.1210	.1170
.0970	.0410	.0250	.0490	.0890	.1090	.1090	.0850	.0530	.0450
.0210	.0250	.0330	.0330	-.0110	-.0350	-.0390	-.0470	-.0710	-.0830
-.0710	-.0670	-.0710	-.0630	-.0590	-.0750	-.0950	-.0950	-.0950	-.1030
-.1230	-.1310	-.1190	-.1070	-.1070	-.1030	-.0670	-.0270	.0250	.0250
.0130	-.0190	-.0310	-.0030	.0330	.0330	.0210	.0490	.0610	.0650
.0770	.0850	.0970	.1050	.1090	.1250	.1210	.1090	.1120	.0960
.0600	.0440	.0280	.0240	.0200	-.0200	-.0400	-.0320	-.0040	.0080
.0280	.0320	.0280	.0120	-.0080	-.0320	-.0520	-.0720	-.0690	-.0450
-.0330	-.0050	.0150	.0430	.0510	.0270	.0150	.0310	.0270	.0110
.0030	-.0010	.0150	.0030	.0110	.0070	.0310	.0340	.0500	.0260
.0060	-.0100	-.0380	-.0500	-.0340	-.0100	.0100	.0060	-.0140	-.0220
-.0340	-.0300	-.0180	.0060	.0340	.0460	.0420	.0330	.0170	-.0070
-.0510	-.0750	-.0950	-.0910	-.0670	-.0510	-.0430	-.0190	.0010	.0090
.0130	.0090	.0090	.0130	.0410	.0570	.0530	.0400	.0280	.0080
-.0080	-.0040	.0280	.0440	.0400	.0560	.0680	.0560	.0440	.0240
.0040	.0000	-.0040	.0040	.0040	.0080	.0280	.0070	-.0210	-.0210

-.0210	-.0170	-.0130	-.0130	-.0050	.0070	.0270	.0310	.0350	.0350
.0270	.0070	-.0130	-.0210	-.0170	.0190	-.0090	-.0220	-.0220	-.0380
-.0700	-.0900	-.1020	-.0980	-.0820	-.0660	-.0500	-.0380	-.0380	-.0460
-.0500	-.0540	-.0460	-.0220	-.0100	-.0020	.0020	.0010	-.0030	.0010
.0010	.0050	.0050	.0210	.0410	.0450	.0490	.0450	.0250	.0290
.0210	-.0030	-.0030	-.0030	.0090	.0330	.0250	.0040	-.0160	-.0120
-.0440	-.0520	-.0360	-.0080	-.0240	-.0400	-.0400	-.0280	-.0400	-.0600
-.0680	-.0640	-.0400	-.0080	.0040	.0080	.0080	-.0050	.0030	.0150
.0350	.0510	.0470	.0390	.0310	.0310	.0310	.0350	.0190	.0030
-.0130	-.0250	-.0450	-.0530	-.0530	-.0450	-.0370	-.0260	-.0260	-.0260
-.0220	-.0260	-.0420	-.0420	-.0300	-.0140	.0060	.0180	.0020	-.0060
-.0020	.0020	-.0020	-.0180	-.0180	.0100	.0020	-.0270	-.0270	-.0350
-.0430	-.0470	-.0350	-.0270	-.0230	-.0150	.0010	-.0230	-.0510	-.0590
-.0630	-.0630	-.0590	-.0430	-.0270	-.0270	-.0270	-.0280	-.0320	-.0200
-.0040	.0000	.0240	.0440	.0440	.0280	.0200	.0200	.0200	.0160
.0320	.0400	.0440	.0400	.0400	.0400	.0360	.0230	.0150	-.0010
-.0010	-.0090	-.0170	-.0210	-.0170	-.0050	-.0130	-.0170	-.0250	-.0290
-.0250	-.0170	-.0050	-.0050	-.0130	-.0170	-.0170	-.0220	-.0220	-.0220
-.0300	-.0300	-.0260	-.0180	-.0060	-.0220	-.0220	-.0180	-.0100	-.0020
-.0100	-.0060	-.0020	-.0100	-.0100	-.0060	-.0060	.0050	.0170	.0170
.0130	.0090	-.0030	-.0030	-.0030	-.0030	-.0030	-.0030	-.0030	-.0030
-.0030	.0010	.0010	-.0030	-.0110	.0050	.0120	.0160	.0080	.0040
-.0040	-.0120	-.0120	-.0080	-.0080	-.0040	-.0160	-.0200	-.0160	-.0080
-.0040	.0080	.0120	.0200	.0160	.0120	.0070	.0110	.0190	.0190
.0270	.0150	.0030	-.0050	-.0050	.0030	.0030	.0070	.0150	.0110
.0110	.0110	.0070	-.0010	-.0010	-.0050	-.0060	.0020	.0060	.0020
-.0100	-.0060	-.0140	-.0220	-.0260	-.0260	-.0220	-.0220	-.0100	-.0060
-.0060	-.0100	-.0180	-.0260	-.0380	-.0300	-.0230	-.0070	.0010	.0050
.0130	.0050	-.0070	-.0150	-.0270	-.0310	-.0070	.0130	.0090	.0090
.0130	.0170	.0210	.0170	.0090	.0010	.0000	.0040	.0240	.0360
.0440	.0360	.0240	.0200	.0120	.0120	.0040	.0080	.0000	-.0040
-.0120	-.0120	-.0120	-.0080	-.0120	-.0120	-.0170	-.0130	-.0010	.0150
.0030	-.0130	-.0290	-.0290	-.0330	-.0330	-.0370	-.0370	-.0290	-.0210
-.0090	-.0050	-.0090	-.0130	-.0170	-.0170	-.0220	-.0180	-.0100	-.0020
.0060	.0060	.0020	-.0060	-.0180	-.0140	.0020	.0060	.0220	.0220
.0100	.0060	.0060	.0060	.0020	.0020	.0010	.0090	.0210	.0250
.0130	.0050	.0050	.0010	.0010	.0010	.0050	.0090	.0090	.0090
.0050	.0090	.0050	.0010	.0050	.0090	.0120	.0160	.0160	.0160
.0160	.0080	.0040	-.0040	-.0040	-.0120	-.0040	.0000	.0040	.0040
.0040	.0000	-.0040	-.0160	-.0120	-.0120	-.0170	-.0170	-.0130	-.0130
-.0050	-.0010	-.0010	-.0130	-.0250	-.0290	-.0370	-.0410	-.0330	-.0210
-.0170	-.0130	-.0050	.0030	.0150	.0150	.0180	.0180	.0100	.0140
.0140	.0180	.0260	.0380	.0380	.0420	.0420	.0260	.0140	.0140
.0100	.0100	.0220	.0300	.0260	.0100	-.0070	-.0110	-.0140	-.0040
.0060	.0010	-.0050	-.0050	-.0100	-.0110	-.0060	-.0180	-.0310	-.0370
-.0410	-.0460	-.0470	-.0400	-.0290	-.0230	-.0210	-.0250	-.0260	-.0210
-.0150	-.0100	-.0080	-.0060	-.0040	-.0090	-.0080	-.0010	.0080	.0110
.0110	.0140	.0140	.0180	.0200	.0180	.0130	.0120	.0190	.0220
.0190	.0180	.0250	.0290	.0180	.0150	.0140	.0120	.0080	.0830
.0190	.0190	.0110	.0030	-.0010	.0020	.0020	-.0020	.0020	.0100
.0020	-.0020	-.0020	.0020	-.0020	-.0060	-.0100	-.0060	-.0060	-.0100
-.0100	-.0060	-.0020	-.0020	.0020	.0010	.0090	.0170	.0130	.0050
.0010									