

### 3. ダムの応答解析

#### 3.1 解析手法

今回用いた解析コードは、SuperFlush/2D<sup>9)</sup>である。剛性と減衰定数を複素剛性係数とし、これらを一つの剛性として表現した解析手法である複素応答解析法を用い2次元線形解析を行った。

解析の手法としては、図-3.1に示すように、①岩盤も含めたモデル化（ダムー基礎モデル）を行い、監査廊で観測された波形から基盤入力波形（基盤波）を推定し、その波を用いて応答解析を行う方法と②ダムのみモデルを用い、ダム底面に監査廊で測定された波形を入力する方法の2種類を用いて、再現性の検討を行った。

①ダムー基礎モデルについては、地盤の境界条件は側方と底面を粘性境界とする。貯水は非圧縮性の液体要素で考慮し、貯水池の境界条件は粘性境界とする。粘性境界とは、ダムから複雑に反射した波動（Vs波、P波）をモデル境界で吸収するものである。

②ダムのみモデルについては、ダム底面を固定境界とする。貯水はZanger式による付加質量とする。

入力地震動の高周波成分が応答解析に与える影響を排除するため、解析ソフト（SuperFlush/2D）内部でフーリエ変換する際に、ある一定以上の周波数成分をカットした。

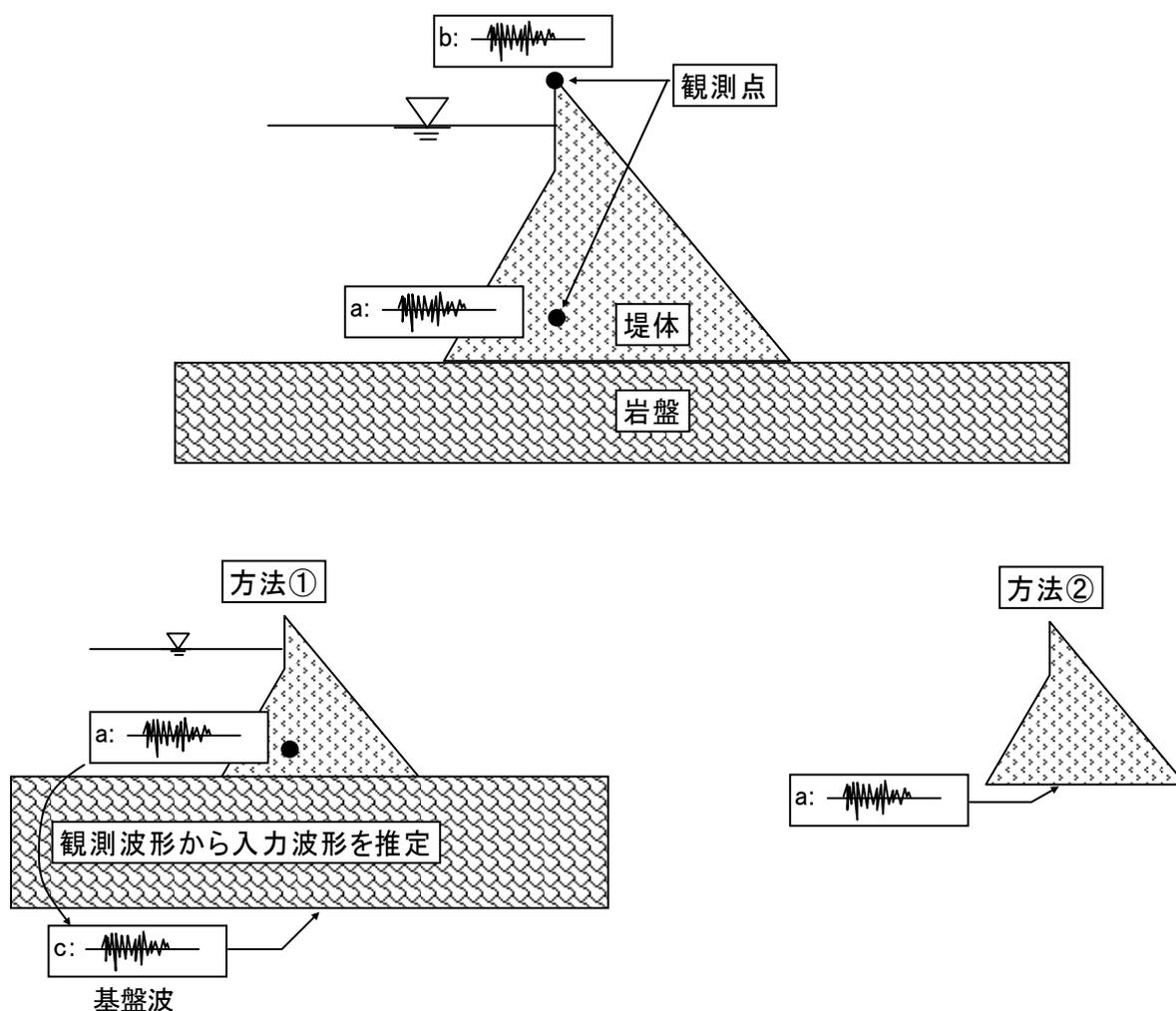


図-3.1 天端応答の再現の方法

### 3. 2 解析対象

#### 3. 2. 1 諸元

対象とする3ダムの諸元を表-3.1に示す.

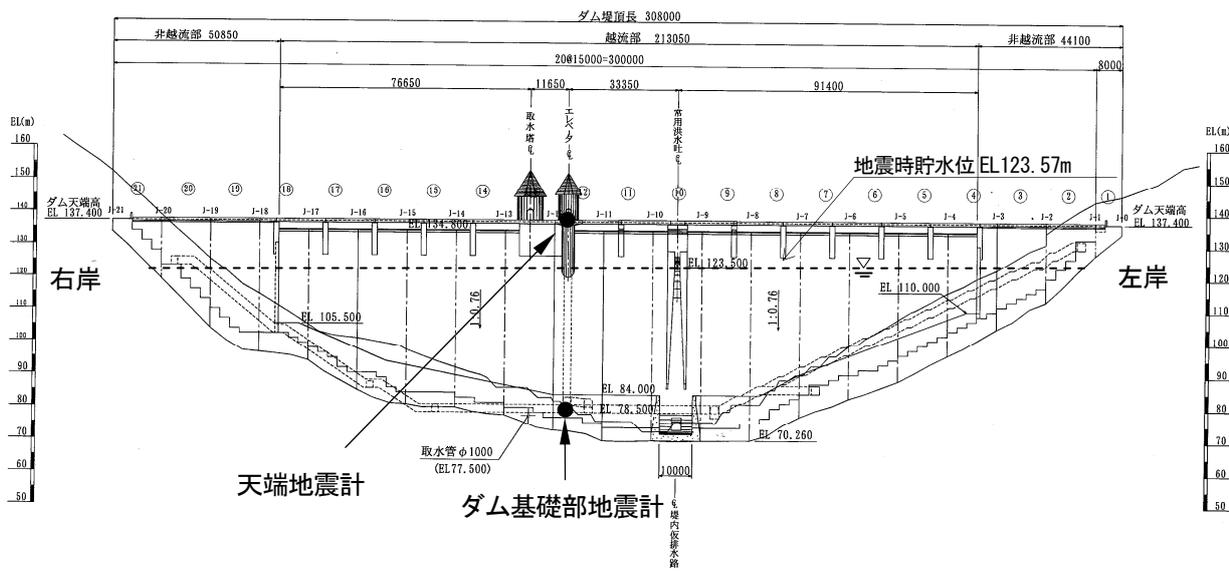
表-3.1 解析対象ダムの諸元

ダム名	鳴淵	巖木	瑞梅寺
所管	福岡県	九州地整	福岡県
竣工年	2002	1987	1977
堤高(m)	67.4	117.0	64.0
堤頂長(m)	308.0	390.4	337.5
堤体積(千 m <sup>3</sup> )	402	1,088	242.6
堤頂標高(EL, m)	137.4	222.0	213.0
設計震度	0.10	0.10	0.10
ダム軸右岸方向方位	N272° E	N27° W	N97° E
基礎地盤の地質年代	古生代	古生代末期 ～中生代初期	古生代
基礎地盤の岩石類	かんらん岩/角閃岩	角閃片岩/黒雲母片岩	結晶片岩
基礎地盤の速度層構造(km/s)	P波:4.16; S波:2.0	P波:5.10; S波:3.25	P波:4.5~5.0
常時満水位(EL, m)	123.50	199.10	200.00
地震時貯水位(EL, m)	123.57	190.99	197.99
ダム地点周辺の震度階	5弱(篠栗町)	5弱(唐津市西城内)	6弱(前原市)

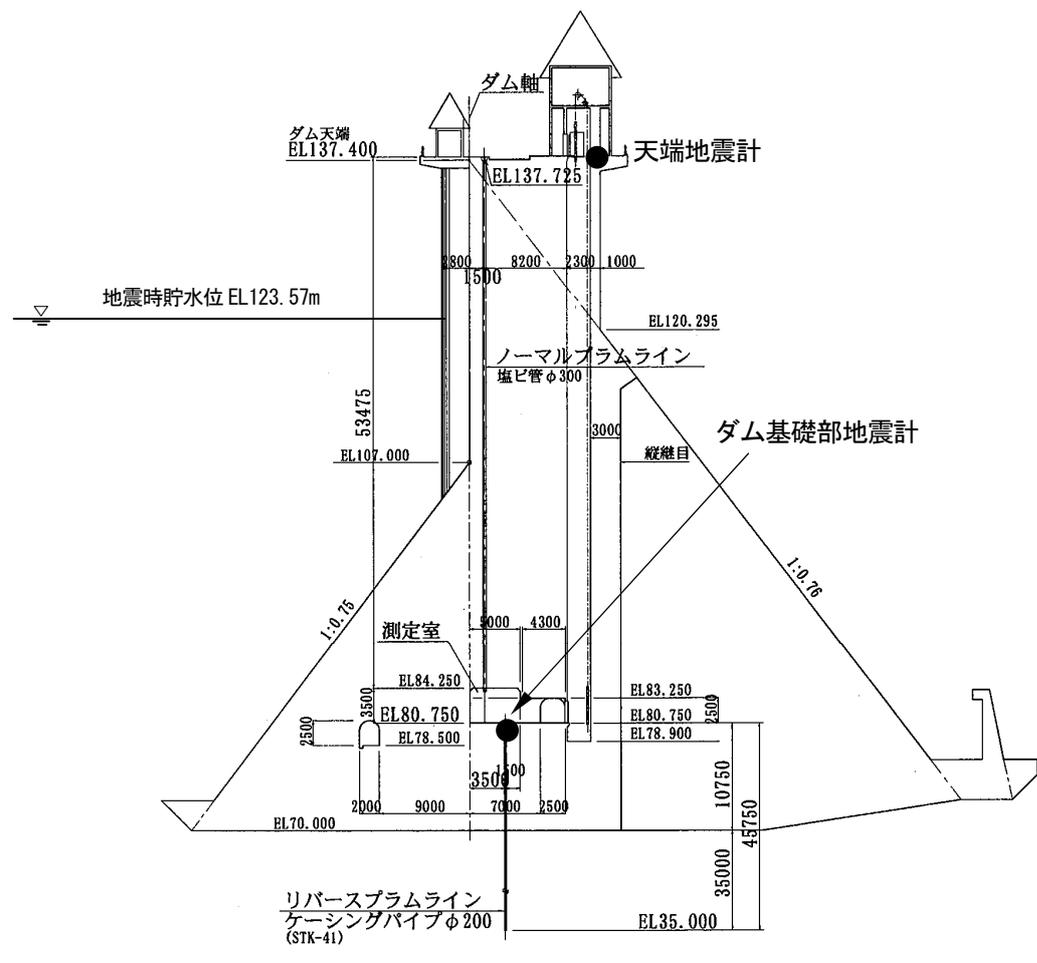
#### 2. 2. 2 地震計

対象とする3ダムの地震計の設置位置は、天端とダム基礎部の2箇所に設置されている。図-3.2に鳴淵ダム、図-3.3に巖木ダム、図-3.4に瑞梅寺ダムの地震計の設置位置を示す。また、各ダムの地震動計測装置の一覧を表-3.2に示し、地震計設置状況の写真と設置方向を表-3.3に示した。

なお、3ダムの検出器について原理から分類すると、鳴淵ダム(リオン社製LS-13DY)では光学式振子位置検出器によるフォースバランスサーボ型、巖木ダム(東京測振社製SV-355P)ではサーボ型、瑞梅寺ダム(リオン社製PV-21C)で加速度トランスジューサーによるせん断圧電型を用いている。



(ダム下流面図)



(ダム断面図)

図-3.2 鳴淵ダムの地震計設置位置と地震時の貯水位

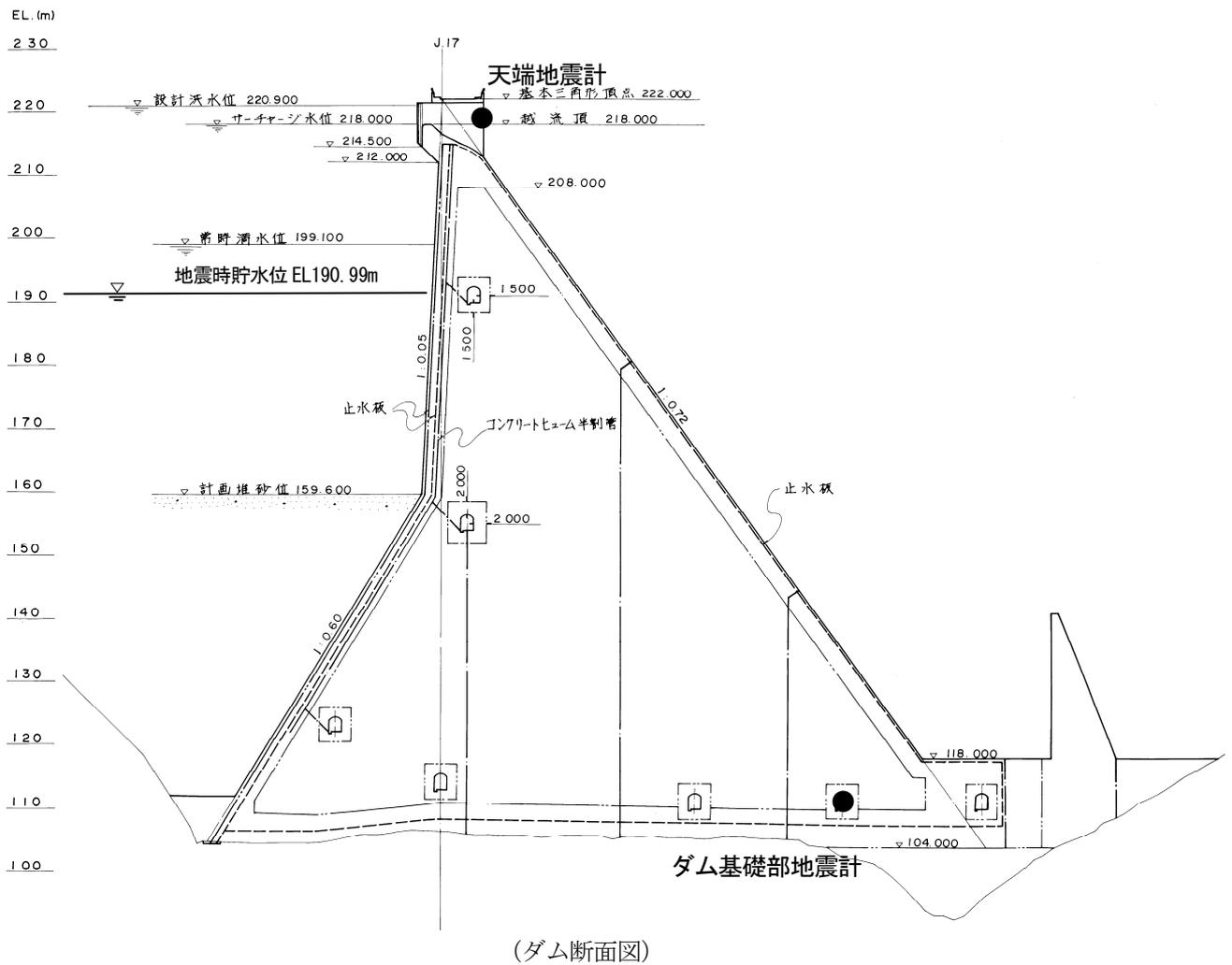
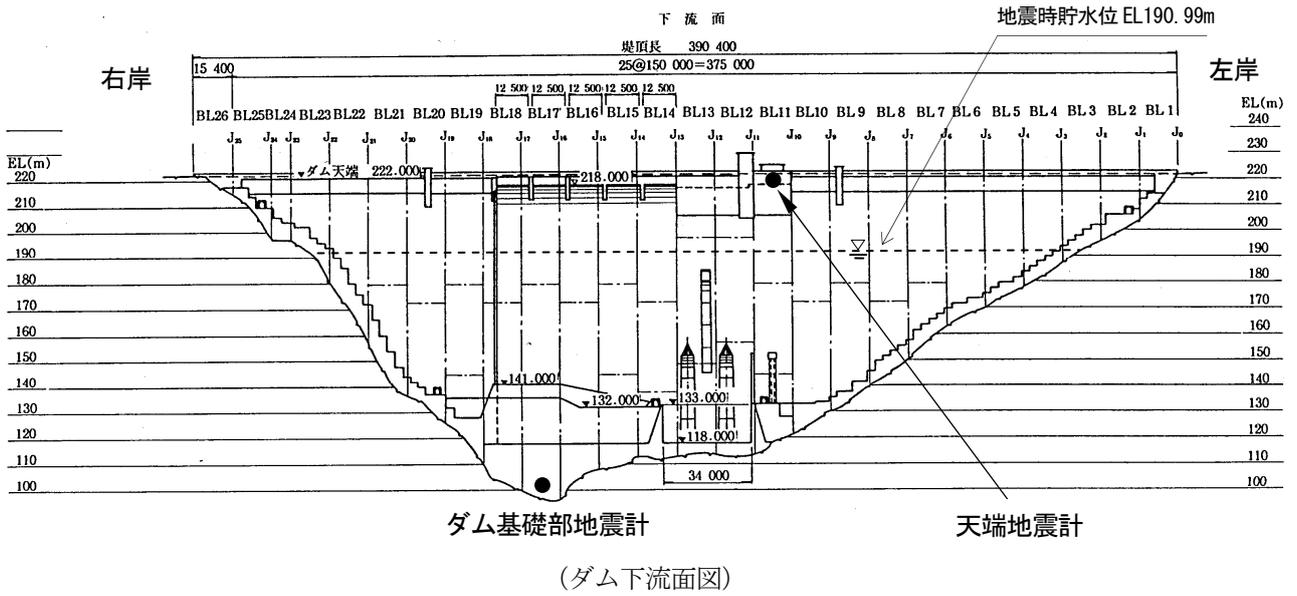


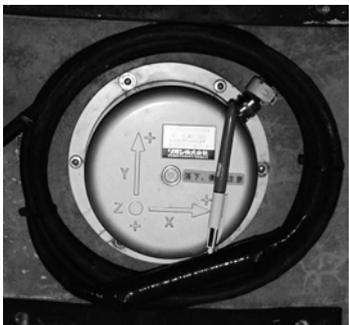
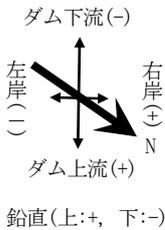
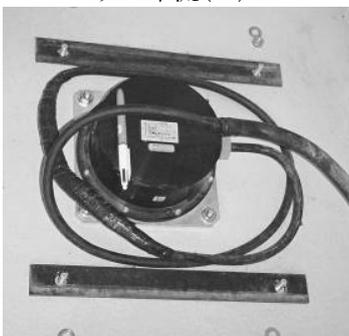
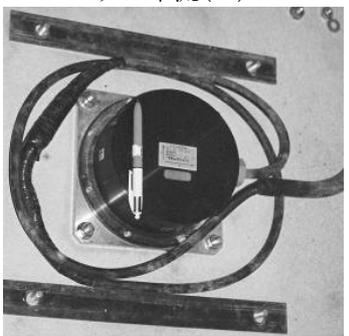
図-3.3 巖木ダムの地震計設置位置と地震時の貯水位



表-3.2 地震動計測装置

ダム名	検出器 設置場所	標高 (EL, m)	検出器					波形記録装置				
			メー カー	形式	設置方向 (+)			メー カー	機種	記録 形式	測定 範囲	サ ン プ リ ン グ
					上下流	ダム軸	鉛直					
鳴淵	天端	137.8	リオ	LS-	下流	右岸	鉛直	リオ	SM-	デジ	2000	100
	ダム基礎部	78.5	ン	13DY	N178° W	N88° W	方向	ン	24MR	タル	gal	Hz
巖木	天端	218.0	東京	SV-	上流	右岸	鉛直	東京	CV-	デジ	2000	100
	ダム基礎部	110.0	測振	355P	N63° E	N27° E	方向	測振	990	タル	gal	Hz
瑞梅寺	天端	213.0	リオ	PV-	下流	右岸	鉛直	リオ	SM-	デジ	2000	100
	ダム基礎部	159.0	ン	21C	N4° E	N94° E	方向	ン	12	タル	gal	Hz

表-3.3 地震動設置状況写真および設置方向

ダム名	天端地震計写真		ダム基礎部地震計写真		設置方向
鳴淵	ダム下流(+)		ダム下流(+)		ダム下流(+)  鉛直(上:+, 下:-)
	左岸 (-)		右岸 (+)		
巖木	ダム上流(-)		ダム上流(-)		ダム下流(-)  鉛直(上:+, 下:-)
	左岸 (-)		右岸 (+)		
瑞梅寺	ダム下流(+)		ダム下流(+)		ダム下流(+)  鉛直(上:+, 下:-)
	左岸 (-)		右岸 (+)		

### 3. 2. 3 加速度記録

解析では、ダム基礎部の加速度記録（上下流方向水平成分と鉛直成分）をもとに天端の加速度記録（上下流方向水平成分と鉛直成分）の応答解析を試みる。図-3.5に鳴淵ダムの、図-3.6に巖木ダムの、図-3.7に瑞梅寺ダムの天端(a)とダム基礎部(b)の加速度記録とフーリエスペクトルを示す。

応答解析の対象とする加速度記録は、地震時の挙動を再現するのに悪影響を及ぼす入力地震動の高周波成分の影響を排除するために、対象の3ダムとも主要動付近の記録に零詰め区間を加えた81.92秒間の加速度時刻歴波形とした。データ数は8192個である。これは、応答解析ソフト（SuperFlush/2D）内での高速フーリエ解析を利用するため、2のべき乗のデータ数にする必要からである。観測波のスペクトル特性から、鳴淵ダムは0-17Hzまで、巖木ダムと瑞梅寺ダムは0-20Hzまでを入力地震動の周波成分の調整し解析対象とする。これらの解析対象の波形について、表-3.4にまとめて示す。

①ダム基礎モデルについては、ダム基礎部の加速度記録にダムの影響があると考えられるので、まず岩盤境界入力に対するダム基礎部の加速度記録を再現できる岩盤境界への入力地震波を求める。次に天端の加速度応答を求め、観測記録との比較を行う。

岩盤境界入力地震波は、ダム基礎部で観測された波形の鉛直成分・上下流方向水平成分毎に加速度記録をフーリエ変換して応答振幅を求め、岩盤境界の各成分に対するダム基礎部の応答倍率の伝達関数から、フーリエ逆変換して岩盤境界入力地震波を算出する。

②ダムのみモデルについては、ダム基礎部の加速度記録をダムのみモデルの最下部への入力地震波として、ダム天端の加速度応答を求め、観測記録との比較を行う。

表-3.4 解析対象波形

ダム名	観測波形(sec)	抽出波形(sec)	零詰め区間(sec)	データ数	周波数領域(Hz)
鳴淵	120.00	0-59.99	60.00-81.91	8,192	0-17
巖木	70.00	0-40.96	40.96-81.91	8,192	0-20
瑞梅寺	53.34	0-53.34	53.35-81.91	8,192	0-20

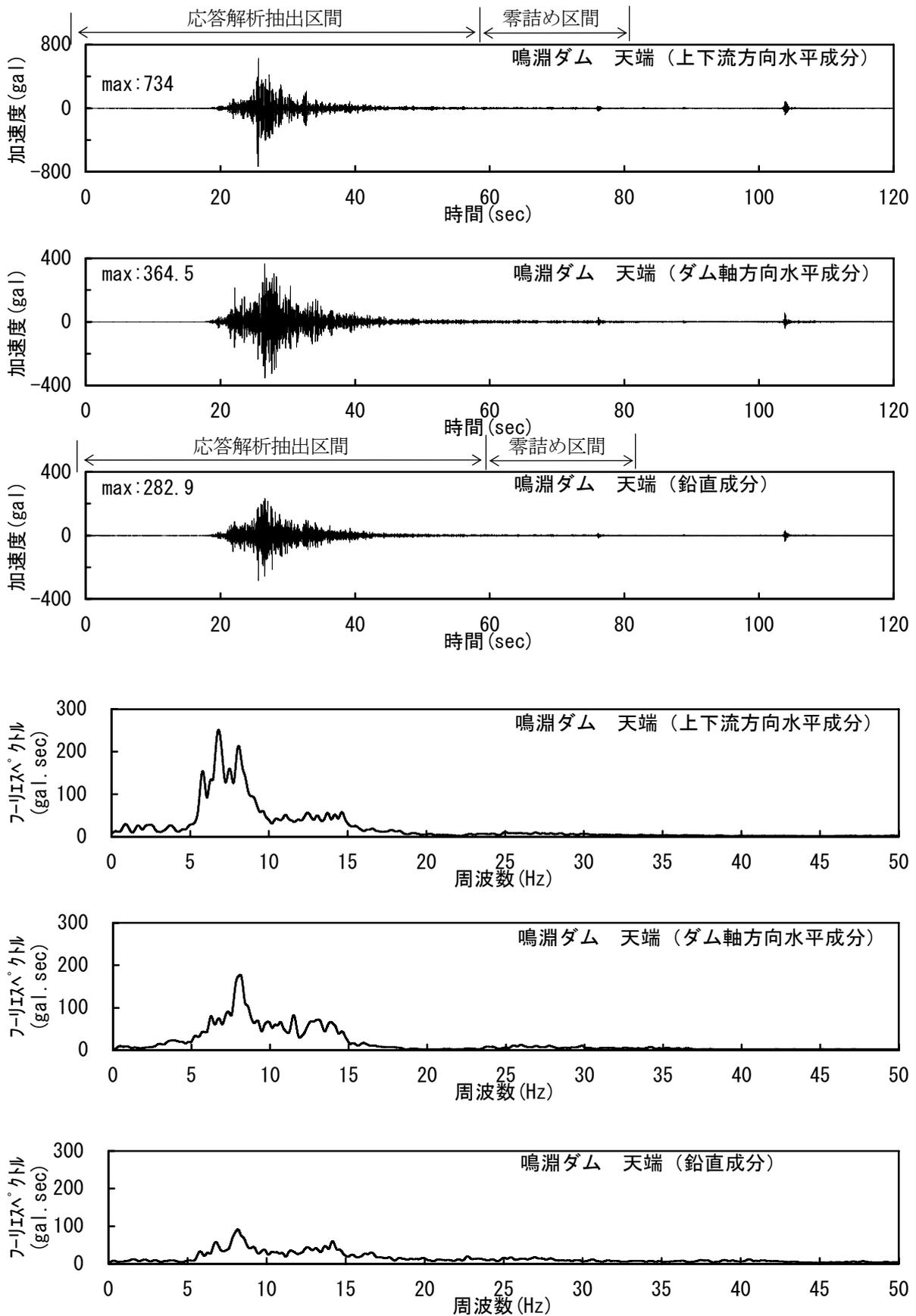


図-3.5(a) 鳴淵ダム天端での実測加速度時刻歴波形とフーリエスペクトル

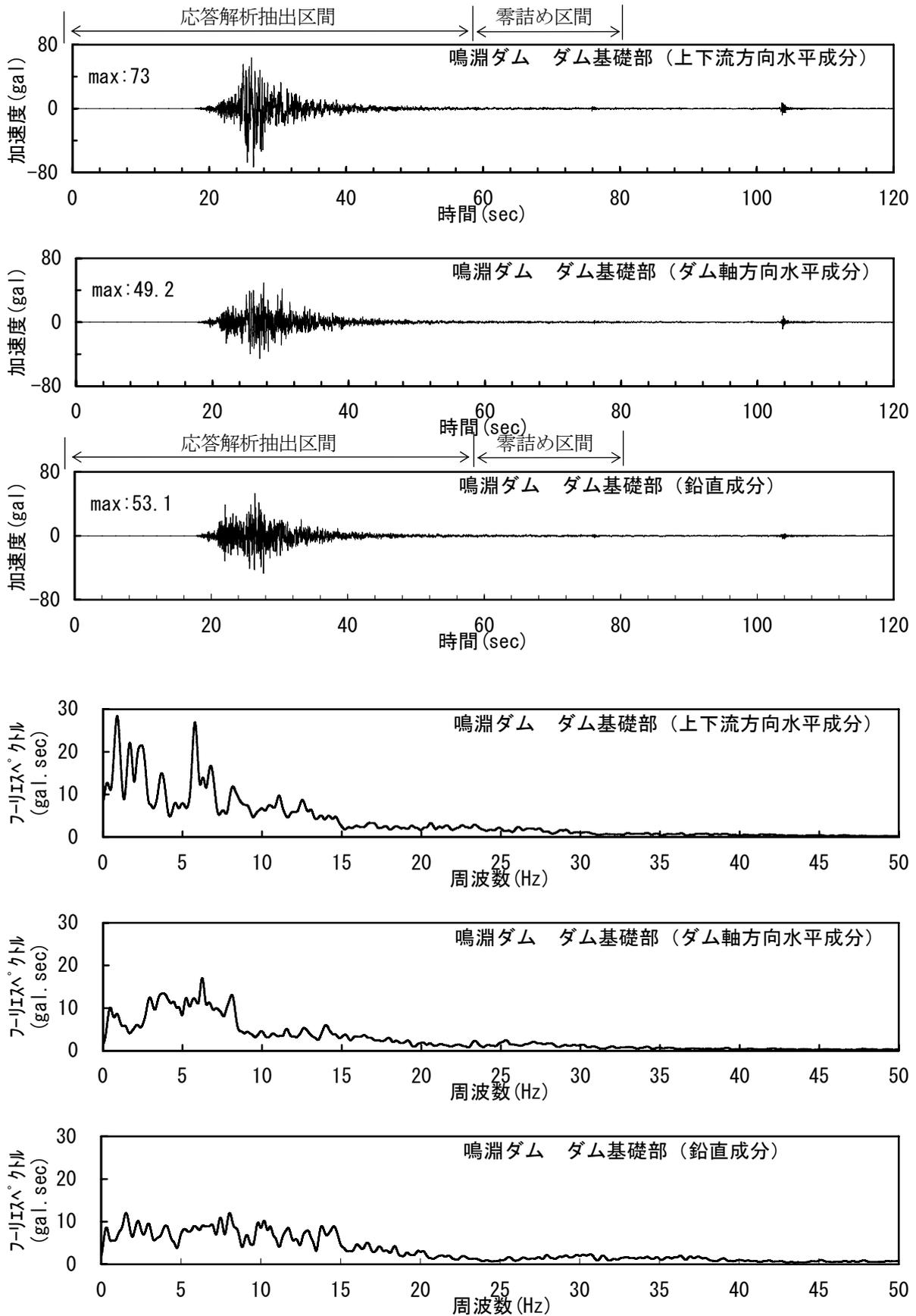


図-3.5(b) 鳴淵ダム基礎部での実測加速度時刻歴波形とフーリエスペクトル

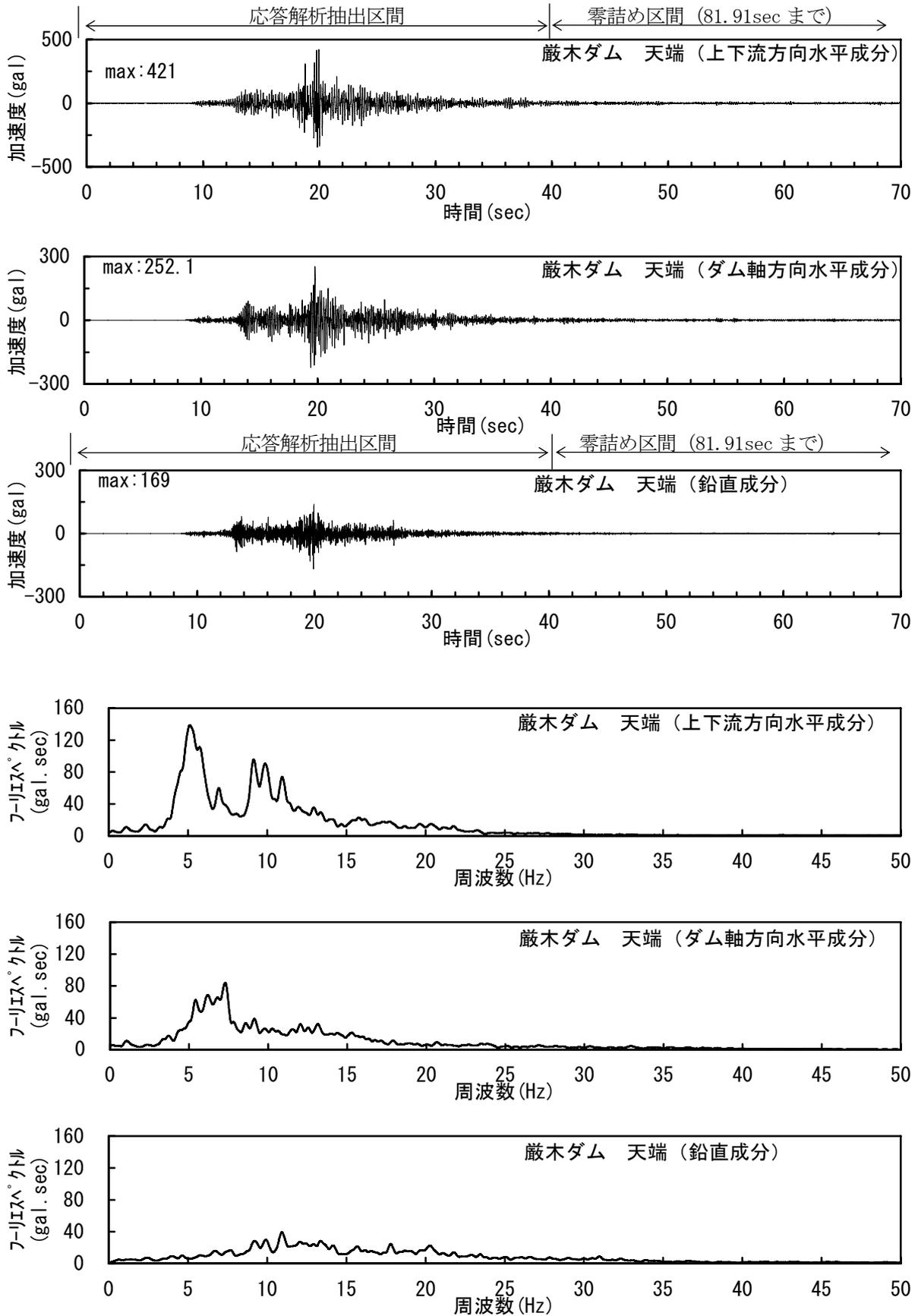


図-3.6(a) 巖木ダム天端での実測加速度時刻歴波形とフーリエスペクトル

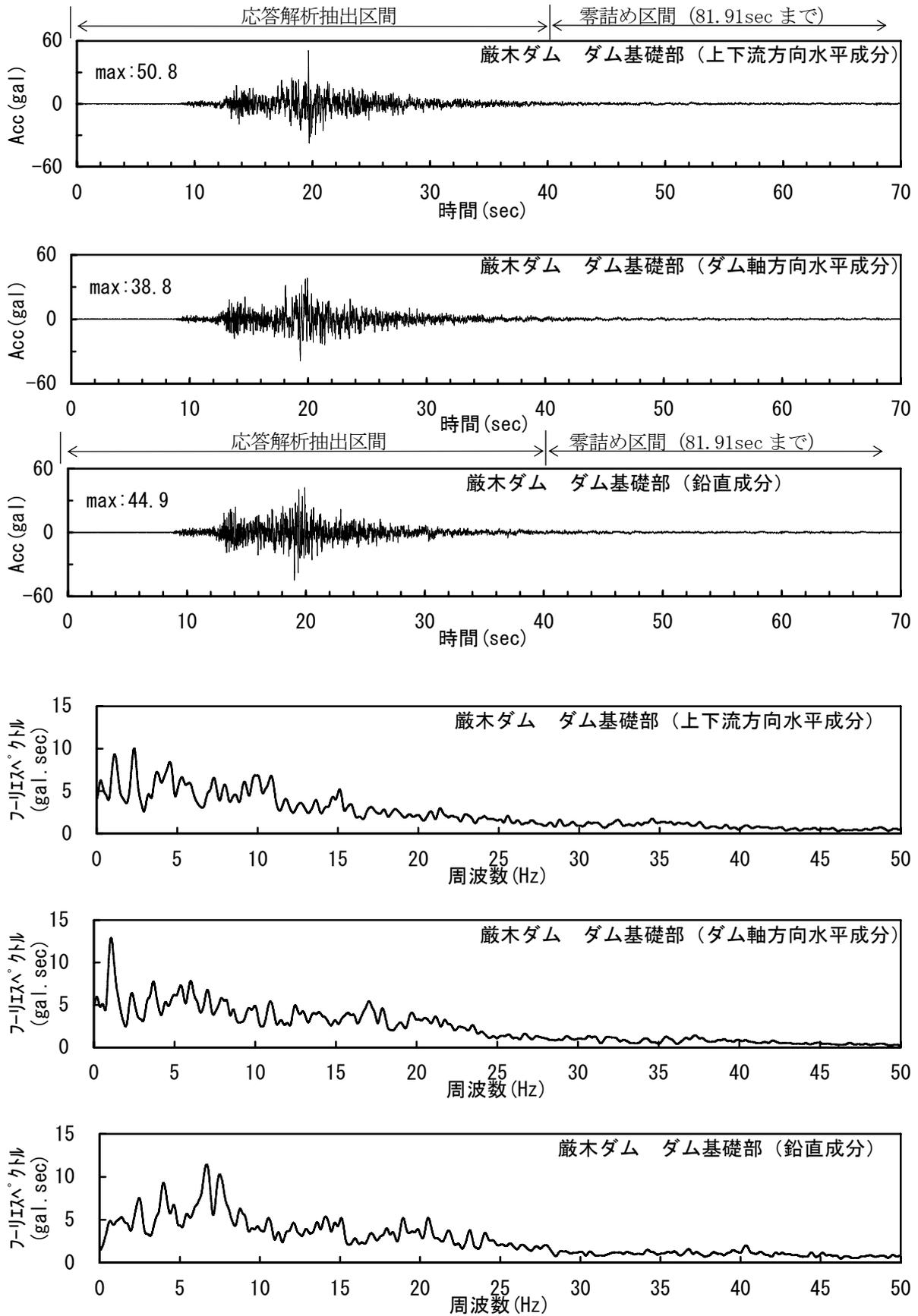


図-3.6(b) 厳木ダムダム基礎部での実測加速度時刻歴波形とフーリエスペクトル

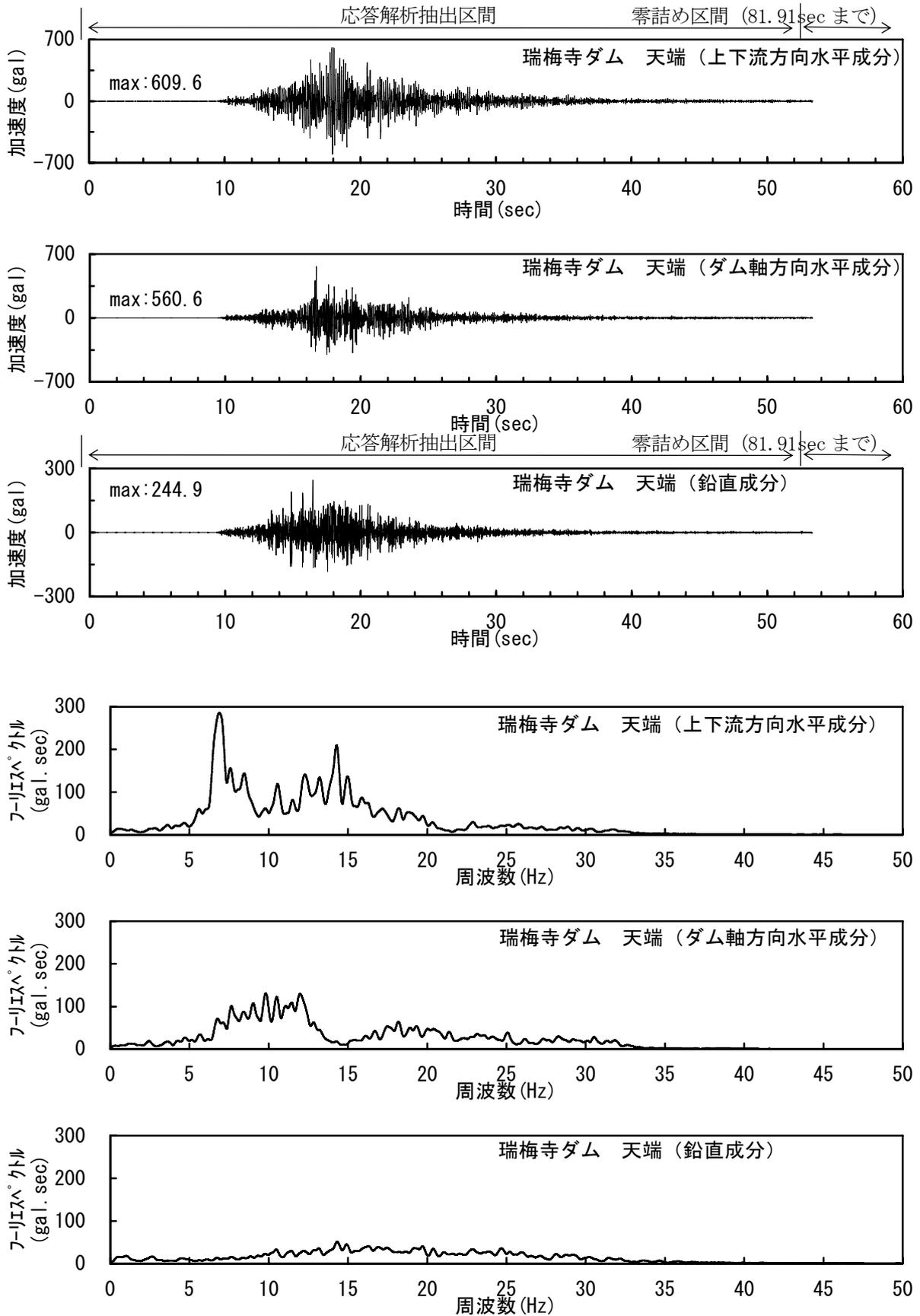


図-3.7(a) 瑞梅寺ダム天端での実測加速度時刻歴波形とフーリエスペクトル

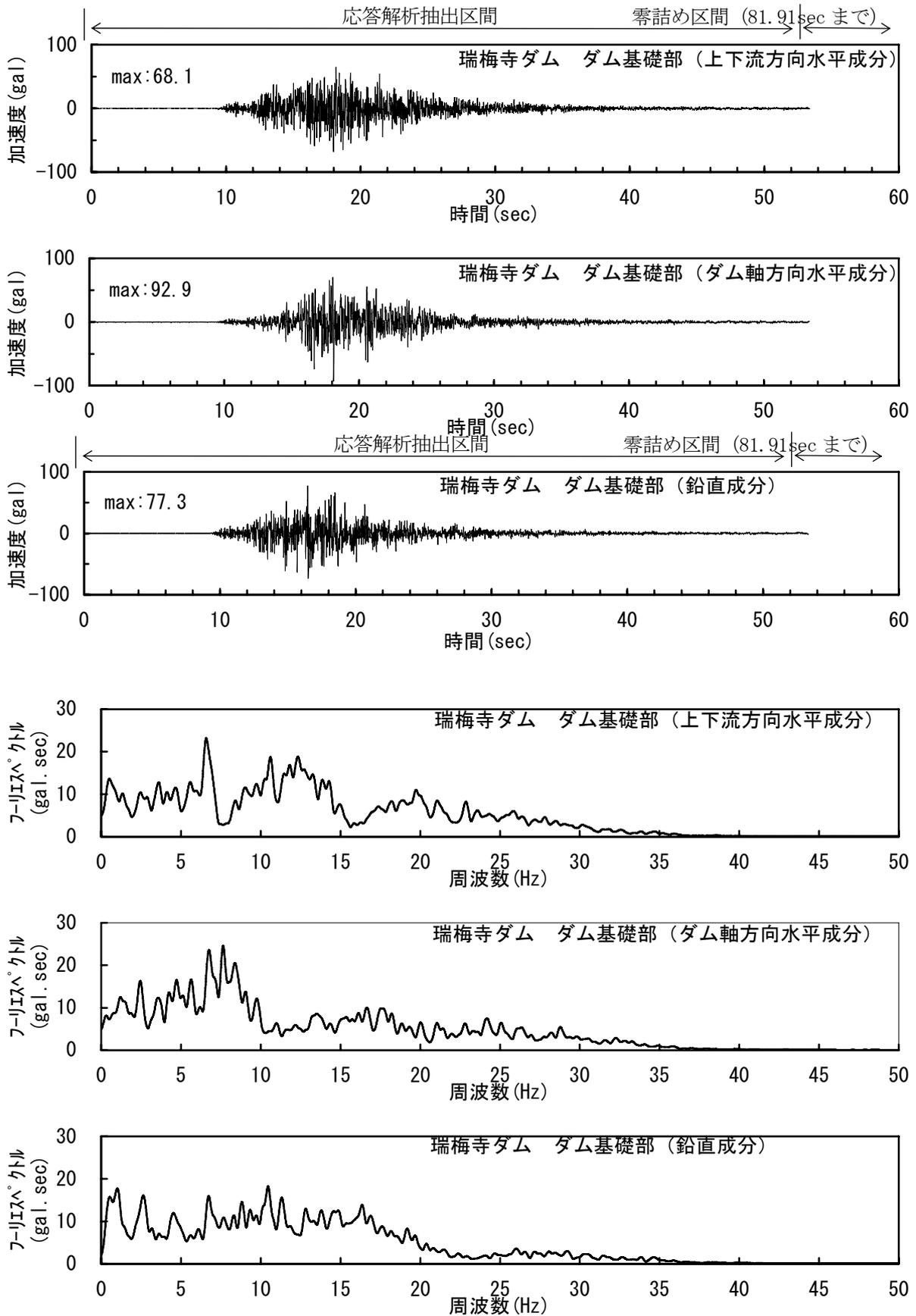


図-3.7(b) 瑞梅寺ダム基礎部での実測加速度時刻歴波形とフーリエスペクトル