

I-9 鉛直アレー強震観測システムによる地盤剛性の非定常解析

東北工業大学 学生会員 ○吉田 勝
 正会員 神山 眞
 正会員 松川 忠司

1 はじめに

兵庫県南部地震から5年が経過し、その間にトルコ、ギリシャ、台湾などで大きな地震が起き大災害をもたらしている。それらの地震では地盤物性による震動特性の違いが良く表れた貴重な地震記録が得られている。筆者らは兵庫県南部地震の際ポートアイランド観測地点で得られたボアホールアレー記録を使用することにより、せん断剛性、ダンピングの非定常変動を評価し、本震と余震による特性の比較を行なった¹⁾。結果は本震の際にせん断剛性が急激な低下を示すことが分った。本研究では、昨年と同様の手法を兵庫県南部地震の本震で他地点により観測された鉛直アレー記録²⁾に適用し、せん断剛性、減衰比の非定常変動の総合考察を行なう。

2 兵庫県南部地震とボアホール観測地点の位置関係

今回解析に使用した地震観測記録は震災予防協会から出されている強震動アレー観測を用いた²⁾。

これによると、本手法により鉛直アレー強震記録の使用ができたのは図-1に示す11の観測地点である。これら地点の詳細な位置関係は表-1に示す通りである。

3 せん断剛性の算定方法

算定方法については参考文献に詳しく記しているため、ここでは簡単に述べる。地震動はせん断波の鉛直伝播によると仮定する。このとき運動方程式は次式のようにになる。

$$\rho(z) \frac{\partial^2 u(t,z)}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau(t,z)}{\partial z} \quad (1)$$

ここに $\rho(z)$ は密度、 $u(t,z)$ は変位、 $\tau(t,z)$ はせん断応力、 t は時間、 z は深さを示す。ここで、地盤は非粘性履歴減衰を有すると仮定すると式(1)のせん断応力はせん断ひずみと複素数を介して結ばれ、次式のようにになる。

$$\tau(t,z) = G(t,z) \{1 + i2h(t,z)\} \gamma(t,z) \quad (2)$$

ここに、 $\gamma(t,z)$ はせん断ひずみ、 $G(t,z)$ はせん断剛性、 $h(t,z)$ はダンピングを示す。ここでコンプレックスエンベロップの概念³⁾を用いるとせん断剛性、ダンピングは次のように求めることができる。

$$h(t,z) = \frac{1}{2} \tan \{ \phi(t,z) - \psi(t,z) \} \quad (3)$$

$$G(t,z) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2h(t,z))^2}} \frac{|T(t,z)|}{|\Gamma(t,z)|} \quad (4)$$

なお、計算条件を表-2に示す。表-2には地震計設置深さ、バンドパスフィルターの周期、算定に用いたS波到達時刻、地震計の設置されている地点の密度を示す。また、時間変動はウィンドウ幅1秒の移動平均を加え、スムージングした。

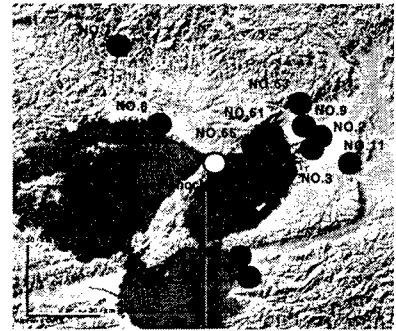


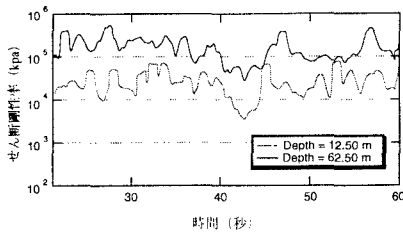
図-1 震源位置と観測地点との位置関係

表-1 震源位置と観測地点の詳細値

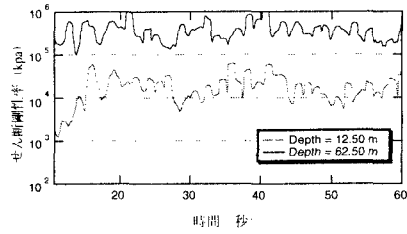
NO.	観測地点名	観測地点の位置		震央距離-km
		経度	緯度	
2	都島	34.704	135.523	46.2
3	大正	34.650	135.478	40.9
7	山崎大橋センター	35.060	134.603	65.1
8	高砂地区	34.753	134.783	29.1
9	総合技術研究所	34.743	135.442	40.6
11	土井地区	34.504	135.680	56.3
13	南海港地区	34.150	135.192	51.4
49	神戸市尾崎	34.226	135.153	42.3
61	東神戸大橋	34.707	135.296	26.8
63	姫島川	34.836	135.427	44.6
65	ポートアイランド	34.670	135.208	17.8
	兵庫県南部地震 本震	34.595	135.037	震源17.9km

表-2 計算の条件値

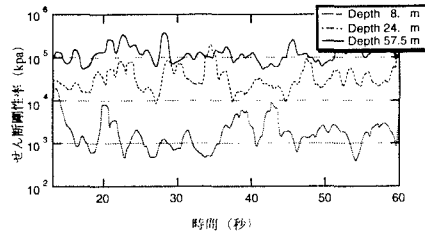
NO.	地震計設置深さ m	記録開始時刻		S波初動到達時刻		地盤密度(g/cm ³ ・cm/cm)			
		下限	上限	時刻	秒	1層目	2層目	3層目	4層目
2	GL-70.39	0.5	10	15.7	1.7	2			
3	GL-57.49	0.5	10	10.53	1.75	1.85			
7	GL-0.730	0.5	10	27.37	1.6	2			
8	GL-25.100	0.5	10	21.18	1.8	2	1.8		
9	GL-24.99	0.5	10	11.04	1.4	2	2		
11	GL-1.22	0.2	10	11.91	1.8	2			
13	GL-25.100	0.5	10	10.58	1.8	1.8	2		
49	GL-33	0.4	10	13.18	1.6	2			
61	GL-10.35	0.2	10	2.5	1.4	2			
63	GL-2.30	0.3	10	7.95	1.6	2			
65	GL-16.32.83	0.67	10	13.1	1.8	1.8	1.85	1.9	



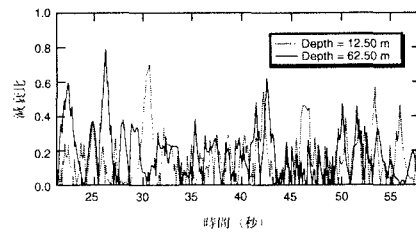
図ー２ 高砂地点でのせん断剛性



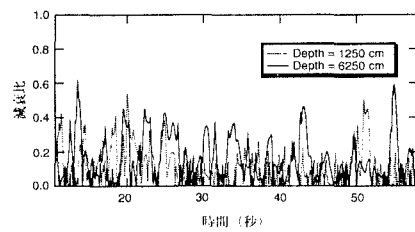
図ー３ 南海港地点でのせん断剛性



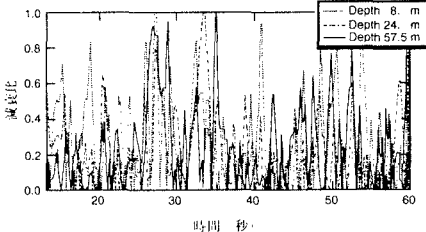
図ー４ ポートアイランドでのせん断剛性



図ー５ 高砂地点での減衰比



図ー６ 南海港地点での減衰比



図ー７ ポートアイランドでの減衰比

４）算定結果

１１地点の鉛直アレー記録の中から紙面の関係で、高砂地点、南海港地点、ポートアイランドで算定した結果について述べる。図ー２～図ー４に地震計の設置深さの中間深さで算定されたせん断剛性を、図ー５～図ー７に減衰比の時間変動を示す。それぞれＳ波到達時刻からプロットしている。図ー２、図ー５は高砂地点で算定したせん断剛性と減衰比の結果であり、図ー３、図ー６は南海港地点で算定したせん断剛性と減衰比、図ー４、図ー７はポートアイランドで算定したせん断剛性と減衰比をそれぞれ示したものである。図ー４に見られるような急激な剛性の低下は図ー２、図ー３からはみることができない。図ー２、図ー３の１２．５ｍの深さで算定した結果は急激な低下はみられず比較的定常な変動がみられる。一方、減衰の性状を示す図５、６、７を比較するとポートアイランドのそれは値が大きく変動も著しいが、高砂地点、南海港地点では比較的安定した小さな値を示す。

５）結論

ほとんどの観測地点においてせん断剛性と減衰比が複雑に変動する性状がみられたが、特にポートアイランドでは非線形応答が著しく変動が大きい。ここで対象とした２地点では比較的地盤物性の時間変動が安定していたことが分った。

参考文献

- １）吉田勝、神山眞、松川忠司：強震記録からみた非定常変動、第 25 回地震工学研究発表講演論文集、pp289-292、1999.
- ２）震災予防協会：強震動アレー観測 NO.3、1998.
- ３）John S. Farnbach: The complex envelope in seismic signal analysis. BSSA, Vol.65, pp. 951-962, 1975.