

メキシコ市の軟弱地盤における地震動の、地震波の種類とその増幅

東京大学地震研究所 正会員 飯田昌弘

1. 目的 昨年の東京の埋立地盤に続き、ボアホール強震記録の解析により、かつて湖であったメキシコ市の軟弱地盤の地震動の性質を調べる (Iida, 2000; Iida and Kawase, 2003)。防災を考える時、軟弱地盤は重要である。特に、地震波の種類や深い地下構造を考慮して、表層地盤の地震動の大きな増幅を解釈する。メキシコ市の Lakebed 区域の Roma-C ボアホール強震観測点において、1995年9月に太平洋岸で発生した遠距離地震 ($M=7.3$) の記録 (3成分) を解析する。表1に、観測点で調査された地盤構造を示すが、きわめて軟弱地盤である。Q は、後述の木下法によって記録から得られた値 (表2) をもとに、約 1.0 秒以上の周期では QL (太線) を、約 1.0 秒以下の周期では QS ($= 10 \times QL$) (細線) を仮定する。

2. 基本解析 図1に、地表記録 (水平2成分のうち、表面波がより卓越する EW 成分を表示) の波形とスペクトルを示す。大きな振幅が1分間以上継続し、記録の卓越周期は約 2.5 秒である。図2に、EW 成分と UD 成分の、地表記録と地下記録 (深さ102m) のスペクトル比を示す。水平動には、約 2.5 秒の周期において、きわめて大きな増幅が観察されるのに対し、上下動には、こうした増幅が見られない。

3. 理論増幅 S 波、P 波、ラブ波、レーリー波 (表面波は基本モード) の、表層地盤 (深さ102m まで) の理論増幅を計算する。まず、図3に、S 波と P 波の理論増幅を示す。浅い構造 (深さ102m まで) と QL (太線)、QS (細線) を使用している。水平動の約 2.5 秒の周期における大きな増幅は、ほとんど地盤の減衰がない QS を仮定しても、S 波の増幅としては説明することができない。次に、図4と図5に、浅い構造及び深い構造 (深さ1100m まで) を使用した場合の、ラブ波とレーリー波の理論増幅を示す。深い構造を考慮すると、その大きな増幅を、表面波の増幅として説明することができる。水平動は、S 波やレーリー波も含むであろうが、主にラブ波であると解釈できる。約 1.0 秒以下の短周期の地震動は、概ね S 波である。他方、上下動は、約 2.5 秒の周期付近では主にレーリー波であり、約 1.0 秒以下の周期帯では概ね P 波である。

4. 波動分離 波動の伝播方向の違いによる到達時間の遅れを評価し、波動が S 波であるか表面波であるかを調べる。まず、地表記録と地下記録の相互相関関数を計算すると、地震動は約 2.0 秒以下の周期帯では主に S 波であるのに対し、約 2.0 秒以上の周期帯では主に表面波である。次に、地表記録と地下記録に対して木下法 (Kinoshita, 1999) を改良して適用し、図1に、地表記録から分離した S 波と表面波を示す。方法は、いくぶん S 波を過小評価、表面波を過大評価する傾向はあるが、地震動は、特にその後半部分は、ほとんどが表面波であると解釈できる。

5. 考察 表層地盤の地震動の卓越周期は、波動の種類にあまり依存しないが、その卓越周期における増幅は、波動の種類によって大きく異なる。S 波の増幅よりも、表面波の増幅がかなり大きい。その表面波は、メキシコ盆地、メキシコ火山帯といった、深い構造によって励起されたものである (Shapiro et al., 1997; Iida, 1999)。このような表面波に対しては、地表付近の小領域 (相互作用系) に地震動を入力するという考え方が通用しない。そこで、相互作用系に対する入力波動場に基づく、相互作用解析法を開発した (飯田, 2001; Iida, 2003)。また、直下型地震では表面波はあまり発生しない。表面波を励起する構造が存在する時に、震源から少し離れた地域において、表面波は発達する。従って、構造物の応答や防災を考える時、断層の位置はそれほど重要でない。地盤や地下構造の調査、及び地震動の性質の評価 (地震波の種類識別) がずっと重要である。

6. まとめ (1) S 波の増幅よりも、表面波の増幅がかなり大きい。(2) 地震動は、主に表面波である。

謝辞 強震記録は、メキシコ国立防災センターの Quas Roberto 氏に提供していただきました。

(キーワード) 地震動増幅、軟弱地盤、ボアホール記録、表面波、S 波、深い構造。

(連絡先) 113-0032 文京区弥生 1-1-1, Phone: 03-5841-5779, Fax: 03-5689-7265

参考文献 Iida (1999). J. Geophys. Res., 104, 7329-7345. Iida (2000). BSSA, 90, 1268-1280. 飯田 (2001). 土木学会年次学術講演会, I-A120. Iida (2003). J. Structural Eng., ASCE (submitted). Iida and Kawase (2003). BSSA (submitted). Kinoshita (1999). BSSA, 89, 484-500. Shapiro et al. (1997). Geophys. J. Int., 128, 151-166.

表1 Roma-C観測点の地盤構造。

深さ	P波速度	S波速度	密度	Q	QS	QL
m	m/s	m/s	t/m			
0 - 5	1430	90	1.2	30	3	
5 - 12	1430	30	1.1	20	2	
12 - 25	1430	55	1.1	20	2	
25 - 33	1430	80	1.2	30	3	
33 - 36	1430	200	1.4	100	10	
36 - 44	1430	130	1.4	100	10	
44 - 55	1780	400	1.5	100	10	
55 - 65	1580	250	1.5	100	10	
65 - 102	1750	430	1.7	100	10	
102 - 122	1940	660	1.7	100	20	
122 - 130	1750	430	1.7	200	20	
130 - 138	2250	920	1.9		20	
138 - 160	1760	500	1.8		20	
160 - 177	2070	670	1.8		20	
177 - 1100	2600	1120	2		20	
1100 -	3300	2600	2.3		100	

表2 記録から推定されるQ。

NO	卓越周期	Q
1	2.46	2.95
2	0.97	3.44
3	0.68	3.87
4	0.52	8.56
5	0.4	9.29
6	0.33	10.59

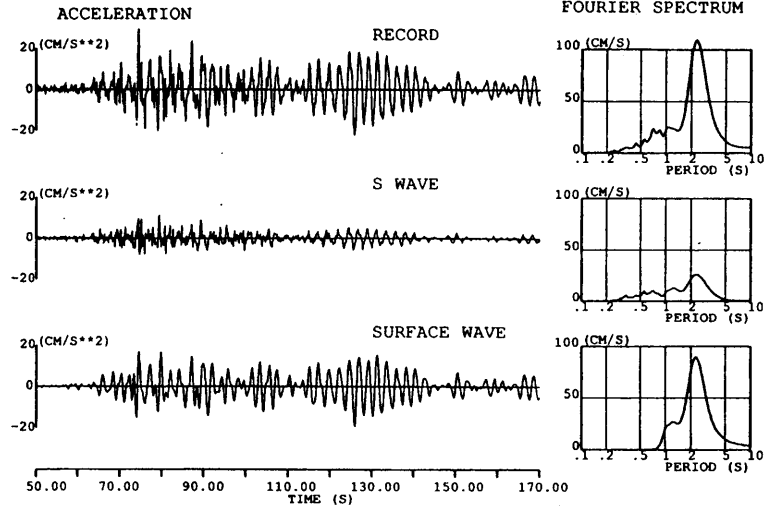


図1 地表記録 (EW成分)、分離S波及び分離表面波。

AMPLITUDE RATIO

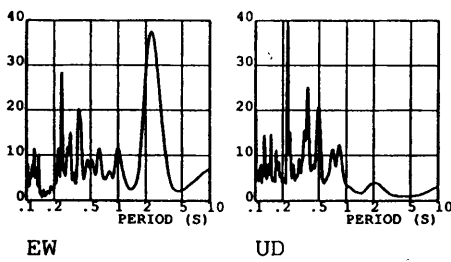


図2 記録のスペクトル比 (EW成分とUD成分)。

AMPLITUDE RATIO

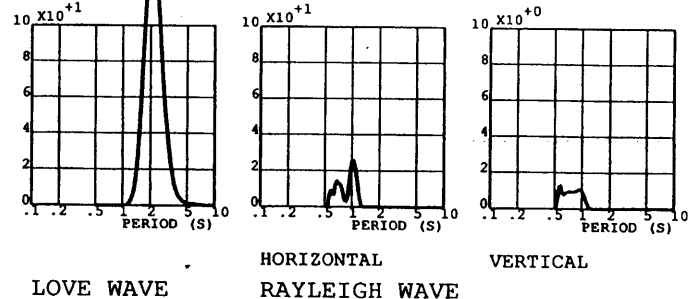


図4 ラブ波とレーリー波の理論増幅。

浅い構造とQLを使用。

AMPLITUDE RATIO

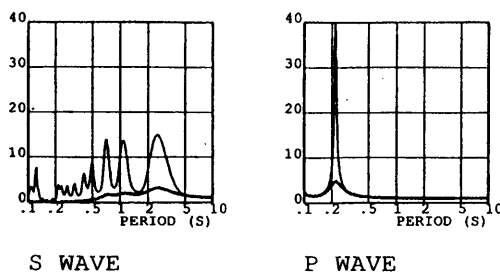


図3 S波とP波の理論増幅。浅い構造とQL (太線)、QS (細線)を使用。

AMPLITUDE RATIO

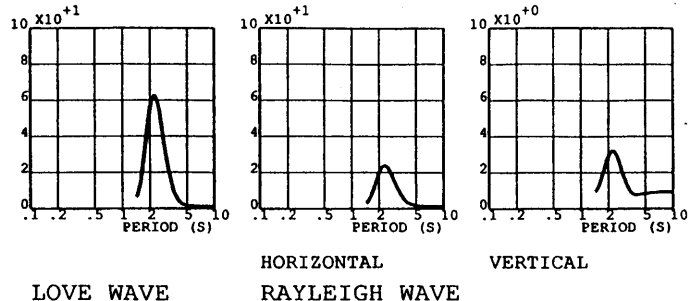


図5 ラブ波とレーリー波の理論増幅。

深い構造とQLを使用。