

兵庫県

正員 登日幸治

建設省土木研究所

田村敬一

"

相沢 興

1.はじめに

応答変位法に基づく地中構造物の耐震設計では正弦波状の震動が水平方向に伝播すると考えて地震の変形を求めるとされているが、液動の伝播速度については実測資料が皆無であったこと等からほとんど研究されていないのが実情である。そこで、本小文は、土木研究所構内で得られた三次元同時地震観測記録をもとに、地震動の伝播方向を考慮した上で、その水平方向の伝播速度について予備的に検討した結果をとりまとめたものである。

2.解析対象記録

解析の対象とした記録は表1に示す6地震の際に土木研究所構内(図1参照)の地表面下2mの観測点(A2N2, A2S2, A2E2, A2W2)で得られた加速度記録である。一例として、EQ-21の際にA2N2点およびA2S2点で得られた記録波形を示すと、図2のようになる。

3.震央の方向性の検討

いま、各観測点において観測された加速度記録の東西(x)成分および南北(y)成分を、それぞれ、 a_x および a_y とすれば、図3に示すように座標軸を反時計回りに θ だけ回転させたX軸およびY軸に沿う成分 $a_{x'}$ および $a_{y'}$ は、次のように表される。

$$a_{x'} = a_x \cos \theta + a_y \sin \theta \quad a_{y'} = -a_x \sin \theta + a_y \cos \theta \quad (1)$$

$a_{x'}$ と $a_{y'}$ の相互相関係数 R は次式で求められる。

$$R = \int_0^T a_{x'}(t) a_{y'}(t) dt / \sqrt{\int_0^T a_{x'}^2(t) dt \cdot \int_0^T a_{y'}^2(t) dt} \quad (2)$$

ここで、 T は記録の継続時間である。 θ を10刻みで 0° から 180° まで変化させ、式(2)により R を求めた例を示すと、図4のようになる。なお、図中には震央の方向角 θ_0 も併せて示している。図4より、EQ-21およびEQ-34については、多少のばらつきは見られるが、 R が0になる角度 θ_0 と θ が比較的良好一致し、震央方向とそれに直交する方向に座標軸をとる場合に2成分の相関が最も低くなることがわかる。

4.伝播速度の試算

3.の検討結果に基づき、地震動の卓越方向が識別できたEQ-16, EQ-21, EQ-34およびEQ-45について、以下のように伝播速度の試算を行う。すなわち、いま、 i, j において座標軸を θ_0 だけ回転させたX軸(震央方向)に沿う成分を $a_{i,x}$ および $a_{j,x}$ とすれば、その相互相関係数 $R_{ij}(\tau)$ は次式で求められる。

$$R_{ij}(\tau) = \int_0^T a_{i,x}(t) a_{j,x}(t+\tau) dt / \sqrt{\int_0^T a_{i,x}^2(t) dt \cdot \int_0^T a_{j,x}^2(t) dt} \quad (3)$$

ここで τ は位相遅れである。また、 (i, j) の組み合わせとしては、(A2N2, A2S2)および(A2E2, A2W2)の2組の組合せを考慮ことにする。 $R_{ij}(\tau)$ が最大値をとる位相遅れを τ_{max} とし、 i 点の震央方向への投影距離を l (図5参照)とすれば、伝播速度 v は次のように求められる。

$$v = l / \tau_{max} \quad (4)$$

また、Y軸(震央直交方向)成分についても、同様に伝播速度が求められる。このようにして求めた伝播速度の一覧を示すと、表2のようになる。ここで、負の伝播速度は伝播の方向が見かけ上と反対であることを示している。当該地点のせん断波速度が、地表面下50m付近までは250m/sec程度、それ以下では、400m/sec程度であるのに比較して、式(4)より求めた伝播速度は極めて大きいことがわかる。また、ここでは紙面の都合上詳細は省略するが、原記録に振動数領域でバンドパスフィルターをかけ、各振動数帯域ごとに算出した伝播速度についても

せん断変位速度よりも非常に大きくなる傾向が認められる。

5.震源の方向性の検討

ここで述べた手法と同様に、記録の震央方向(X)成分と上下成分をもとに鉛直面内で座標軸を角度 ψ だけ回転させた場合の相互相関係数を求めると、図6のようになる。図6より、 $\psi=90^\circ$ 付近で相互相関係数は0になり、記録を水平成分と鉛直成分に分離した場合に2成分の相関が最も低くなることかわかる。

6.まとめ

本解析で検討した範囲内では、地表面付近の水平面内における地震動の伝播速度は非常に大きく、地震動は鉛直下方から垂直に伝播して行くと考えられる。

表1 解析対象地震の諸元

表1 解析対象地震の諸元

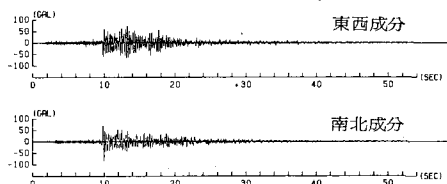
NO.	発生年月日	震 域	震 中	マグニ チュード	震度強弱 (K.M)
EQ-13	1920.9.25	千葉	中部	5.0	6.1
EQ-21	1923.3.7	鹿島	灘	6.0	5.5
EQ-22	1927.7.23	千葉	海 沖	30	7.0
EQ-28	1929.2.27	茨城	林野郡	7.2	6.0
EQ-34	1933.10.28	茨城	利根郡	6.0	5.2
EQ-45	1984.3.6	茨城	高 崎 近海	4.6	7.9

表2 伝播速度の一覧

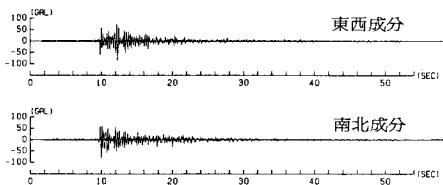
记录 No.	传播方向	成分 ^①	$R_{\max}$	$T_{\max}$ (sec)	速度 (m/sec)
EQ-16	AZNZ→AZSZ	X	0.758	0.010	3420.2
		Y	0.801	0.020	1710.1
EQ-21	AZNZ→AZSZ	X	0.577	0.010	6430.0
		Y	0.613	0.0	∞
EQ-34	AZNZ→AZSZ	X	0.391	-0.010	-8660.0 ^{a)}
		Y	0.657	-0.020	-4330.0
		X	0.209	0.050	1000.0
		Y	0.528	0.035	1428.6
EQ-45	AZNZ→AZSZ	X	0.850	0.0	∞
		Y	0.877	0.035	∞

1) X:震央方向 Y:震央直交方向
2) 震の伝播速度は伝播の方向が見かけ上と反対側を示す。

図1 三次元同時地震観測点の配置



(w) AZNZ 点



(c) AZS点、

図2 加速度波形の例 (EQ-21)

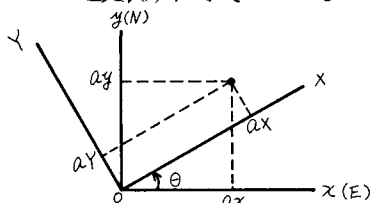


図3 座標軸の回転

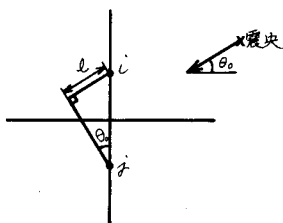
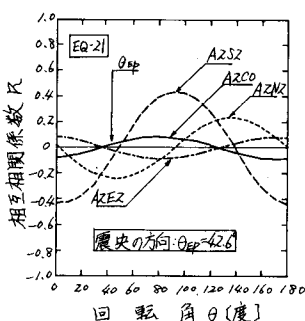
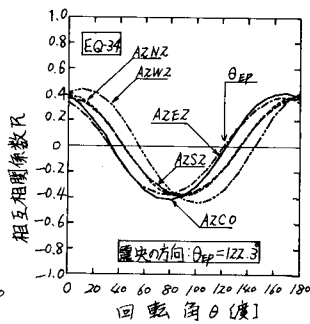


図5 伝播距離の定義

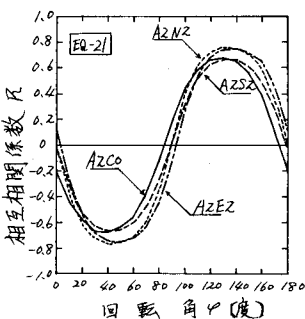


(a) EQ - 2/

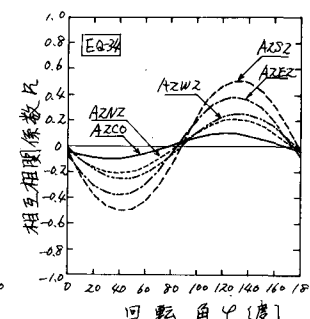


(b) EQ-34

図4 座標軸の回転角と相互相関係数の関係



(A) EQ - 21



(b) FQ-34

図6 鉛直面内の回転角と相互相関係数の関係