

概ね一定である。強震計相互間の時刻の同期は、各強震計に内蔵されている水晶時計（NHKの時報により自動較正される）により絶対時刻を記録することによりとる。

観測記録例として、1983年11月24日静岡県西部沿岸の地震（以下、EQ-4と呼ぶ。マグニチュード $M=5.0$ ）の際に相良地区（震央距離45km）で得られた記録および1985年10月4日茨城・千葉県境の地震（以下、EQ-13と呼ぶ。 $M=6.1$ ）の際に焼津地区（震央距離200km）で得られた記録を、それぞれ、図3および図4に示す。

4. 地震動の卓越方向と震央の方向との比較

いま、地震動が水平面内において伝播の卓越方向を有するものとすれば、ある観測点で得られた記録を卓越方向成分とそれに直交する成分に分離する場合に両成分の相関が最も低くなると考えられる。そこで、ここでは、各観測点で得られた加速度記録の東西成分および南北成分をもとに、任意の方向の直交座標軸に沿う2成分を求め、2成分の相互相関係数が0になる方向と震央の方向との関係について検討する。すなわち、いま、各観測点において得られた加速度記録の東西成分および南北成分を、それぞれ、 $a_x(t)$ および $a_y(t)$ とすれば、座標軸を反時計回りに角度 θ だけ回転させたX軸およびY軸に沿う成分 $a_x(\theta)$ および $a_y(\theta)$ は、それぞれ、次のように表される。

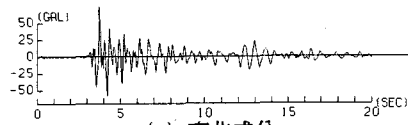
$$a_x(\theta) = a_x(t)\cos\theta + a_y(t)\sin\theta \quad (1)$$

$$a_y(\theta) = -a_x(t)\sin\theta + a_y(t)\cos\theta \quad (2)$$

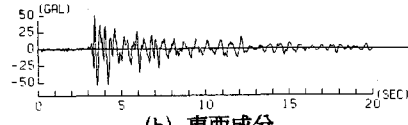
$a_x(\theta)$ と $a_y(\theta)$ の相互相関係数 R は次式で求められる。

$$R = \frac{\int_0^T a_x(\theta) a_y(\theta) dt}{\sqrt{\int_0^T a_x^2(\theta) dt \cdot \int_0^T a_y^2(\theta) dt}} \quad (3)$$

ここで、 T は記録の継続時間である。座標軸の回転角と相互相関係数の関係の例として、EQ-4の相良地区およびEQ-13の焼津地区のそれぞれについて、2観測点における計算結果を図5および図6に示す。図5および図6

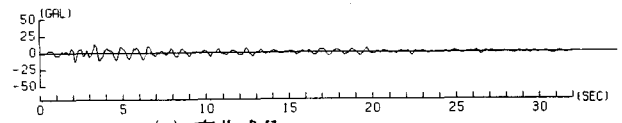


(a) 南北成分

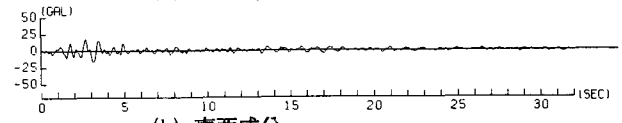


(b) 東西成分

図3 記録波形例 (EQ-4、相良地区、No.3地点)

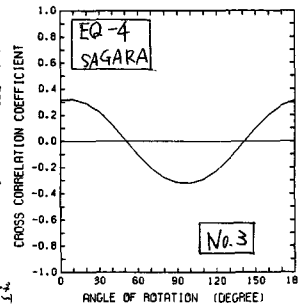


(a) 南北成分

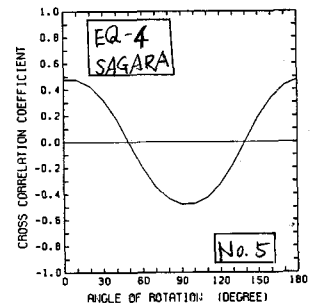


(b) 東西成分

図4 記録波形例 (EQ-13、焼津地区、No.5地点)

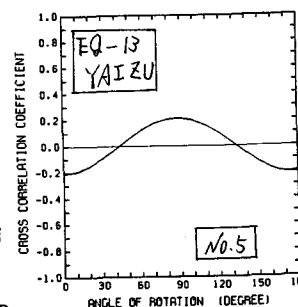


(a) No.3地点

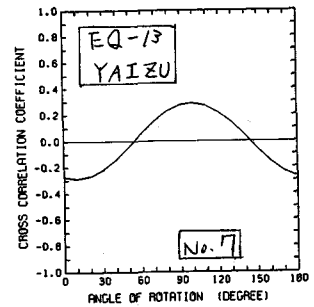


(b) No.5地点

図5 座標軸の回転角と相互相関係数の関係 (EQ-4、相良地区)



(a) No.5地点



(b) No.7地点

図6 座標軸の回転角と相互相関係数の関係 (EQ-13、焼津地区)

からわかるように、 $0 \leq \theta \leq \pi$ の範囲において $R=0$ となる θ は2個存在する。そこで、本検討では次式を満足するような θ をもって地震動の卓越方向とすることとした。

$$\int_0^T a_x^2(t) dt \leq \int_0^T a_y^2(t) dt \quad (4)$$

EQ-4の相良地区およびEQ-13の焼津地区について、各観測点における地震動の卓越方向および震央の方向角を示すと、図7のようになる。ここで、卓越方向は観測点ごとに示した2本の矢印のうち、長い方の矢印の方向である。図7より、地震動の卓越方向と震央の方向とは必ずしも一致しない場合もあるが、両者が比較的良好に一致する観測点が多く認められることがわかる。

5. 地震動の伝播速度の算出

5.1 原記録による算出

4. に示したように、地震動の卓越方向と震央の方向とは必ずしも一致しない場合もあるが、ここでは2観測点で得られた記録の震央方向成分および震央直交方向成分のそれぞれについて、相互相関係数が最大になる位相遅れを伝播に要する時間とみなして、伝播速度の算出を行う。すなわち、いま、2点*i*, *j*において得られた記録の震央方向成分を、それぞれ $a_{i,x}(t)$ および $a_{j,x}(t)$ とすれば、それらの相互相関係数 $R_{ij}(\tau)$ は次式により求められる。

$$R_{ij}(\tau) = \frac{\int_0^T a_{i,x}(t) a_{j,x}(t+\tau) dt}{\sqrt{\int_0^T a_{i,x}^2(t) dt \cdot \int_0^T a_{j,x}^2(t) dt}} \quad (5)$$

ここで、 τ は位相遅れである。 $R_{ij}(\tau)$ が最大値をとる位相遅れを τ_{max} とし、2点間の震央方向への投影距離を*l* (図8参照) とすれば、伝播速度*v*は次のように求められる。

$$v = l / \tau_{max} \quad (6)$$

震央直交方向成分についても同様に伝播速度が求

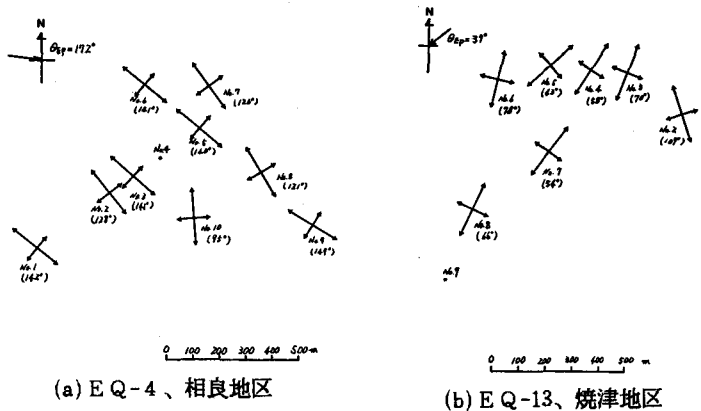


図7 地震動の卓越方向および震央の方向角

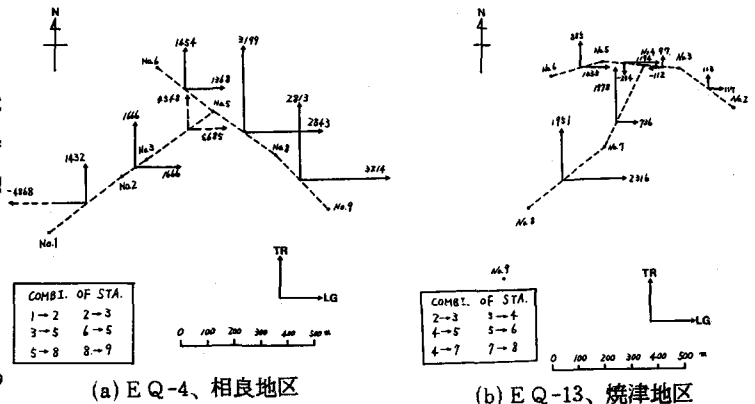


図9 地震動の伝播速度

表1 地震動の伝播速度の一覧

	伝播方向	伝播距離 [m]	成分 ¹⁾	最大相互 相関係数 R_{max}	R_{max} を以て 位相遅れ		伝播速度 ²⁾ V [m/sec]
					τ_{max} [sec]	V [m/sec]	
EQ-4 相良	2→3	83.3	LG	0.302	0.05	1666.0	
		83.3	TR	0.414	0.05	1666.0	
	3→5	227.4	LG	0.300	0.04	5685.0	
		227.4	TR	0.362	0.05	4548.0	
	1→2	243.4	LG	0.308	-0.05	-4868.0	
		243.4	TR	0.366	0.17	1431.8	
6→5	232.6	LG	0.479	0.17	1368.2		
	232.6	TR	0.611	0.16	1453.7		
5→8	255.9	LG	0.564	0.09	2843.3		
	255.9	TR	0.443	0.08	3198.8		
8→9	225.0	LG	0.566	0.08	2812.5		
	225.0	TR	0.534	0.07	3214.3		
EQ-13 焼津	2→3	66.5	LG	0.304	0.57	116.7	
		66.5	TR	0.368	0.59	112.7	
	3→4	93.9	LG	0.309	-0.84	-111.8	
		93.9	TR	0.466	0.27	96.8	
	4→5	107.5	LG	0.491	0.09	1194.4	
		107.5	TR	0.221	-0.46	-233.7	
	5→6	185.9	LG	0.352	0.18	1032.8	
		185.9	TR	0.346	0.21	885.2	
4→7	316.5	LG	0.137	0.43	736.0		
	316.5	TR	0.183	0.16	1978.1		
7→8	370.6	LG	0.217	0.16	2316.2		
	370.6	TR	0.273	0.19	1950.5		

1) LG: 震央方向成分 TR: 震央直交方向成分

2) 負の伝播速度は、伝播方向が見かけ上と反対であることを示す。

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1のようになる。ここで、負の伝播速度は、伝播方向が見かけ上と反対であることを示している。また、観測点の組合せごとに伝播速度を示すと、図9のようになる。表1および図9より次の事項が指摘される。

1) 相互相関係数の最大値が0.3程度以下の値を示す場合もかなり認められ、土木研究所構内で100m程度離れた2観測点の記録から求めた相互相関係数の最大値が一般に0.5程度以上の値である¹⁾のと比較して、本検討で対象とした記録間の相関は低いものとなっている。

2) 一般に、式(6)により算出した伝播速度は、当該地点の地表面付近のせん断波速度よりも大きい。また、見かけ上、震央とは反対の方向から地震波が伝播してくる結果になる場合も認められる。なお、EQ-13の焼津地区においてNO.2、NO.3およびNO.4地点の記録から算出した伝播速度は100m/s程度と小さいが、これらの観測点についても他の地震の場合には一般に大きな伝播速度が得られている。

3) 本検討の範囲では、観測点の地盤条件と地震動の伝播速度との間には明瞭な関係は認め難い。

5.2 周期帯域に分離した記録による算出

原記録に振動数領域でバンドパスフィルターをかけ、各周期帯域ごとに5.1と同様の手法により伝播速度の算出を行った。算出結果の例を図10および図11に示す。

図10および図11より次の事項が指摘される。図11 周期帯域ごとの伝播速度 (EQ-13、焼津地区)

- 1) 一般に、いずれの周期帯域においても、地震動の伝播速度は地表面付近のせん断波速度よりも大きい。
- 2) 本検討の範囲では、周期帯域と伝播速度の間には明瞭な関係は認め難いが、周期5~10秒の範囲において伝播速度が小さくなる場合が多く認められた。

6. まとめ

本検討より、以下の事項が明らかになった。

- 1) 加速度記録の水平2成分から求めた地震動の卓越方向と震央の方向とは比較的良好に一致する。
- 2) 2観測点の記録の位相差より算出した地震動のみかけ上の伝播速度は非常に大きい。現時点では、この理由として、地震動が鉛直下方から垂直に伝播してくるためであると考えられる。

参考文献 1)土木研究所資料第2271号、昭和60年12月、2)土木技術資料第28巻第1号、昭和61年1月

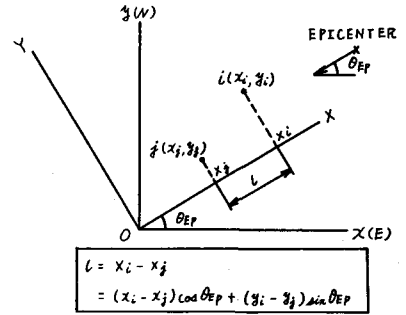


図8 伝播距離の定義

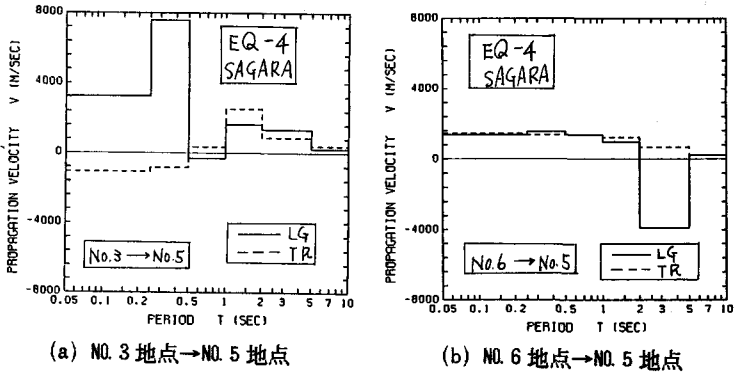
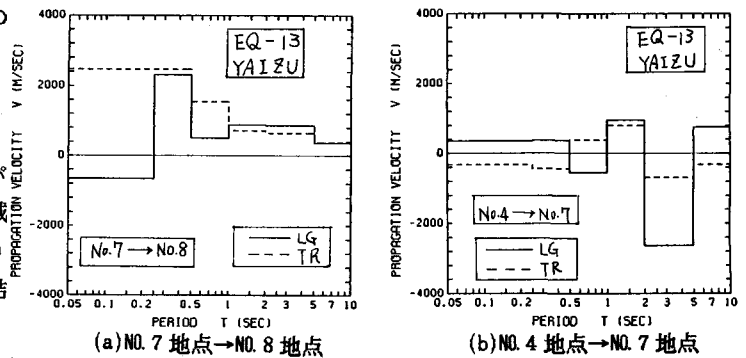


図10 周期帯域ごとの伝播速度 (EQ-4、相良地区)



(a) NO. 7 地点→NO. 8 地点 (b) NO. 4 地点→NO. 7 地点