

I-34 強震記録の三成分レクティリニアリティ特性について

専修大道短大 正員 金子 孝吉
専修大道短大 正員 三上 敬司

I. まえがき

全国各地で観測されている地震動の強震記録は工学的に多方面に利用されているが、それらの記録の多くは土木建築構造物の耐震設計における設計入力地震波として特に利用されている。その設計入力地震波が適切な波であるためには強震記録の波形を正確に解析し、地震動の特性を正確に把握しておく必要がある。したがって、これまで多くの研究者により各種の方法でその有効な波形解析が行われてきた。

本研究は適切な設計入力地震波を求めることに主眼をおき、北海道開発局管轄で北海道内の道路橋の架橋地点で観測されている強震記録の工学的利用を目的として、その3成分加速度記録のポーラリゼーション解析を行ったものである。

解析の特色は3次元空間での地震動粒子軌跡の楕円球の性質をあらわす特性 (rectilinearity) と方位指向性 (direction of polarization) の2つのパラメータで表現しようとする考えにもとづいている。

ここではまず3成分加速度強震記録を用いて地震動のポーラリゼーションの状態を推定し、波動主成分のレクティリニアリティ特性の検討を行っている。さらに進めて、地震動の最大のパワーを示す主要動部における最大主軸成分方向の波動を合成している。この3成分強震記録から合成された最大主軸成分波は構造物のより実地的な耐震設計入力地震波として工学的に利用できるものと思われる。

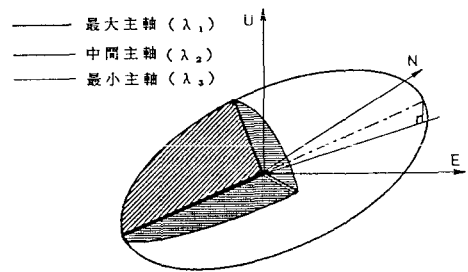


図-1 地震動粒子軌跡を
包含する主軸楕円球

II. 地震動のレクティリニアリティ特性

ここで示す道路橋架設地点で観測した強震記録のポーラリゼーション解析については Montalbettiら²⁾の手法を基礎にしており、すでに流れの操作手順に関するものは報告されている³⁾のでここでは簡単に説明することにする。

まず三成分強震地震波から地震動の持っている主軸の計

表-1 浦河沖地震と強震観測地点

地震	浦河沖地震 本震 1982.03.21.11:32 N42°04' E142°36' D=40km M=7.1					
観測点	(1) 幌満橋 (HOR)	地点 N42°04' E143°02' Δ=36.0 km	加速度強震計 SMAC-B2 GL	3成分 LG(N52°30'E), TR, UD	ALGmax=95.0	ATRmax=100.1 AUDmax=-29.8
	(2) 千代田大橋 (CHI)	地点 N42°55' E143°23' Δ=168.1km	加速度強震計 SMAC-B2 GL	3成分 LG(N53°45'E), TR, UD	ALGmax=74.0	ATRmax=-83.7 AUDmax=17.0
	(3) 島松沢橋 (SHI)	地点 N42°55' E141°32' Δ=128.4km	加速度強震計 SMAC-Q GL	3成分 LG(N38°25'W), TR, UD	ALGmax=121.0	ATRmax=107.7 AUDmax=56.7
	(4) 広尾橋 (HIR)	地点 N42°16' E143°19' Δ= 63.0km	加速度強震計 SMAC-Q GL	3成分 LG(N23°00'E), TR, UD	ALGmax=265.8	ATRmax=-207.1 AUDmax=-72.0
	(5) 石狩河口橋 (KAK)	地点 N43°13' E141°21' Δ=163.6km	加速度強震計 SMAC-B2 GL	3成分 LG(N42°42'E), TR, UD	ALGmax=36.2	ATRmax=45.3 AUDmax=14.5
	(6) 札幌IC高架橋 (SAI)	地点 N43°04' E141°25' Δ=147.2km	加速度強震計 SMAC-Q GL	3成分 LG(N09°43'W), TR, UD	ALGmax=249.9	ATRmax=299.2 AUDmax=40.5

算を共分散行列の対角化による固有値解析を行うことによって求め、最大主軸、中間主軸および最小主軸の大きさ(λ_i)とそれぞれの入射角(ψ_i)、方位角(θ_i)を計算しその分散の大きさの時間変化を図示することから始める。ここで、 $i=1,2,3$ である。つまり地震動はこれら3軸で作られる楕円球の内部での動きになっているわけである【図-1】。

この楕円球の特性を表す Rectilinearity Function をここでは Flinn¹⁾ による2次元の場合

$$F_1 = \left\{ 1 - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^n \right\}^m \quad \text{-----} \quad (1)$$

の他に3次元に拡張して試作し、

$$F_2 = \left\{ 1 - \left(\frac{\lambda_2^2 + \lambda_2 \lambda_3 + \lambda_3^2}{3 \lambda_1^2} \right)^n \right\}^m \quad (2)$$

$$F_3 = \left\{ \left(\frac{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}{\lambda_1^2 - \lambda_2 \lambda_3} \right) \right\}^m \quad \text{-----} \quad (3)$$

のように2種類定義する。ここで、各式のかっこ内の項には主軸でつくられる楕円の面積

$$A_1 = \pi \lambda_1 \lambda_2, A_2 = \pi \lambda_1 \lambda_3, A_3 = \pi \lambda_2 \lambda_3$$

と最大主軸 λ_1 を半径とする円の面積

$$A_c = \pi \lambda_1^2$$

楕円球の体積 $V = 4 \pi \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 / 3$

と球の体積 $V_c = 4 \pi \lambda_1^3 / 3$

とのそれぞれの比が組み合わさって用いられている。いずれも0と1の間の値をとり、極限の動きをする場合0の値になるときは F_1 が円板、 F_2 が球の内部を動き、1の値になるのは F_1 、 F_2 、 F_3 ともに直線運動をするときになる。 F_2 において円板の動きになるのは値が $2/3$ のときである。なお、以後の解析例においては $k=2$ $n=1$ $m=1$ を用いている。

さらに最大主軸成分方位の地震動の波形を合成して原波形と合成波形との振幅の比較を行っている。

Ⅲ. 強震記録の主成分解析

ボーラリゼーション・フィルターを用いて実地震の記録を解析するわけであるが、ここで扱った強震記録は北海道開発局(道路部門)で設置した強震計による記録から1982年北海道南方沖の地震(浦河沖地震)のものである。表-1にはその浦河沖地震と強震観測地点の情報が地点名コードとともに示されている。

島松沢橋 SHI での記録から主軸パワー λ_i と入射角 ψ_i 、方位角 θ_i を求めたものが一例として図-2に示してある。最大(実線)、中間(破線)および最小(点線)の主軸がそれぞれ時間変化として表されており、Eは地震の震央の方位を示している。

また次に、式(1)、(2)および(3)で与えられ

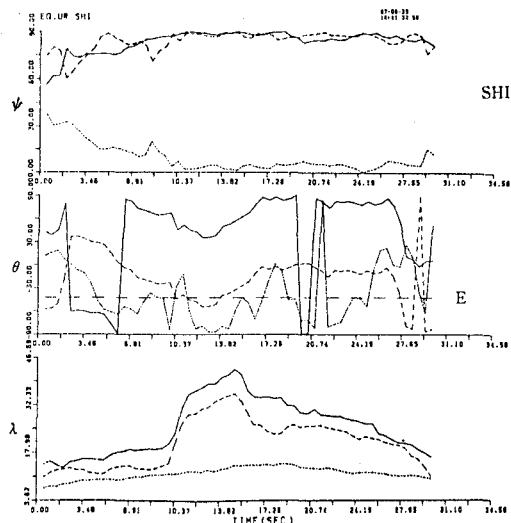


図-2 主軸の入射角、方位角およびパワー

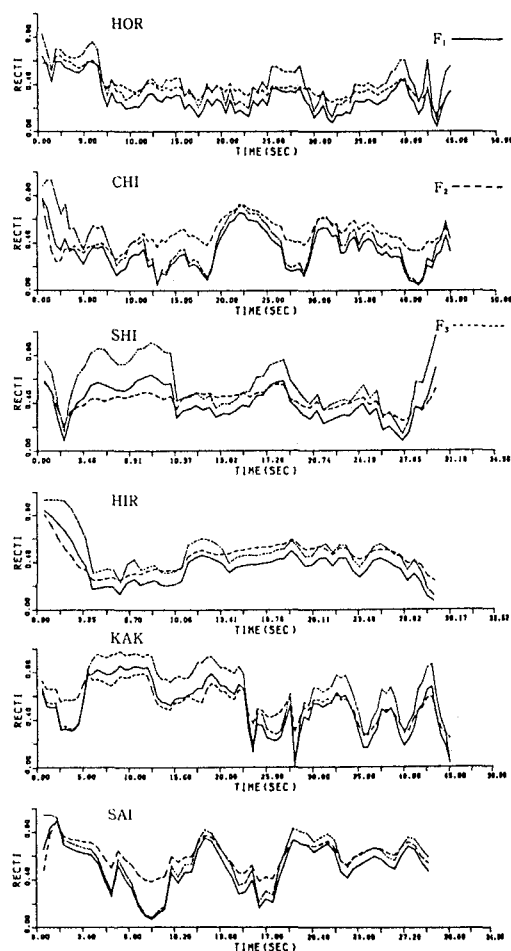


図-3 レクティリニアリティの時間変化

た Rectilinearity F_1 、 F_2 および F_3 の時間変化を調べて図-3に示した。 F_1 (実線)、 F_2 (破線) および F_3 (点線) はほぼこの順に値が大きくなっているが傾向はそれほど変わっていない。立上りの部分が比較的大きな値であることは細長い楕円球の動きになっており、後ろの位相で値が小さく円板に近い動きもみられる。これらの図から総合してFの式は、三次元で表現でき主軸の急変する箇所が明瞭であり、地震動の性質を判定しやすいという点で式(3)のF3が有効であることがわかった。

その楕円球あるいは楕円球の時間変化の様子を何点か示したのが図-4である。水平成分N、E方向に対してU方向は紙面に垂直な手前に20度傾いた方向からながめるような3成分座標で示してある。それぞれ振幅、方位、Rectilinearityと主軸の変化する様子を視覚的に充分とらえることができる。

そして図-5はHIRにおける楕円球の軌跡とそれに対応するパワーとRectilinearityの変化図である。

以上の結果地震動を三次元的に正確に分析することができ、ポーラリゼーション解析が有用な波形解析の手法であることを示すことができた。

IV. 主要動最大主軸成分波

さて、地震動のレクティリニアリティ特性を正確に把握した後、工学

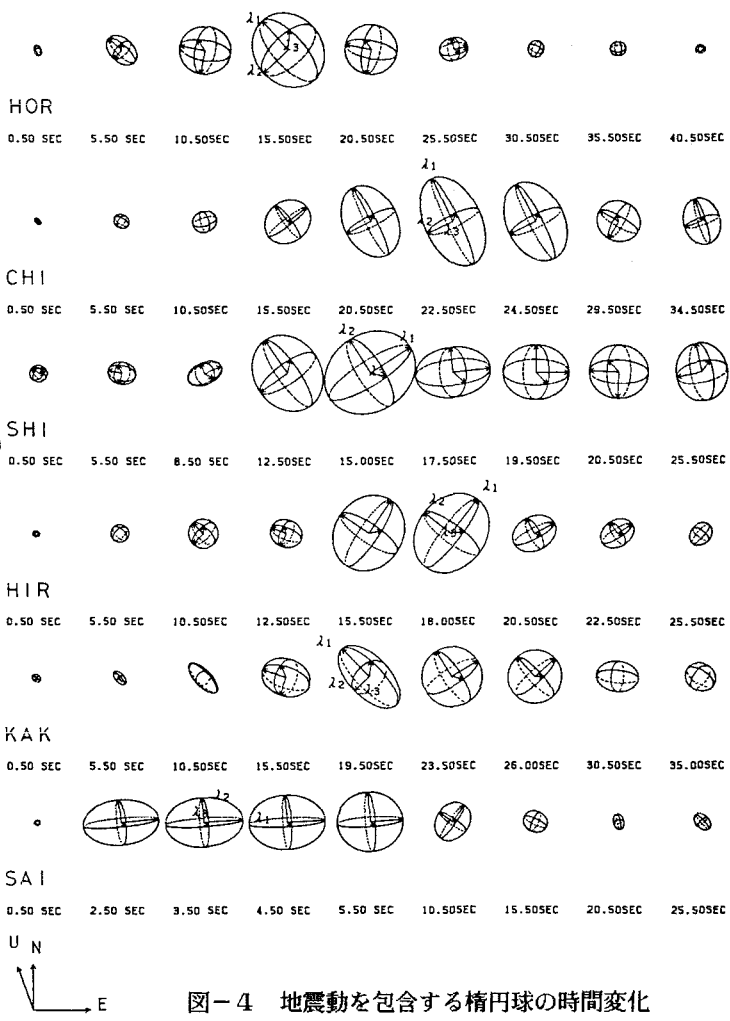


図-4 地震動を包含する楕円球の時間変化

HIR

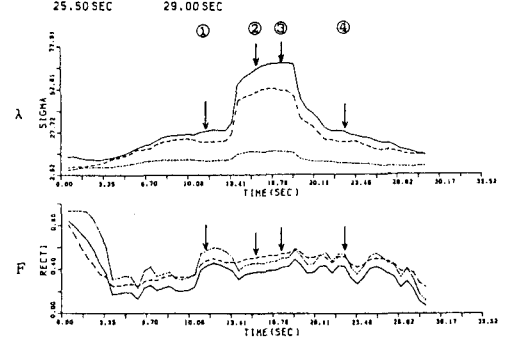
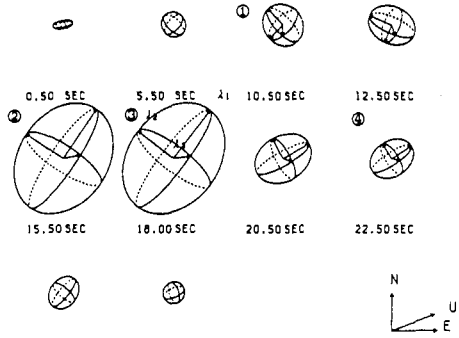


図-5 地震動軌跡の楕円球表示とパワーおよびレクティリニアリティ

的なアプローチを試みた。主成分解析を行って推定された波動の伝播方向 (Radial) もしくはそれに直角な成分 (Transverse) 方向に変換した波形を合成する。そして主要動の中で振幅の最大な波の最大主軸 λ_1 の示す方向が求められるからその方向に生波形を変換して合成すればこの地震動がもつ最大の成分波であると言える。主要動の最大振幅を示す部分の最大主軸成分の方で変換した波がどの程度大きいのか生波形 NS、EW と最大主軸方位合成波 R の比較をそれぞれ観測地点別に示してみた。図-6 は SHI の場合であるが、それぞれの地点いずれも NS あるいは EW どちらかの成分の波に類似した波形をしていることがわかる。

最後に、6つの観測地点における各成分波の最大加速度の値を比較して表-2に示した。生波形の振幅に比べて最大主軸成分波形の振幅はこのケースでは平均 数%大きくなっていることがわかる。

以上のことから総合的な地震動の主成分解析を行えるこのポーラリゼーション・フィルター解析は強震記録の波形特性を知る上でも効果を挙げることができ、また最大主軸の方向成分波はこの地震動が持つ最大の水平成分波とみなせることがわかった。

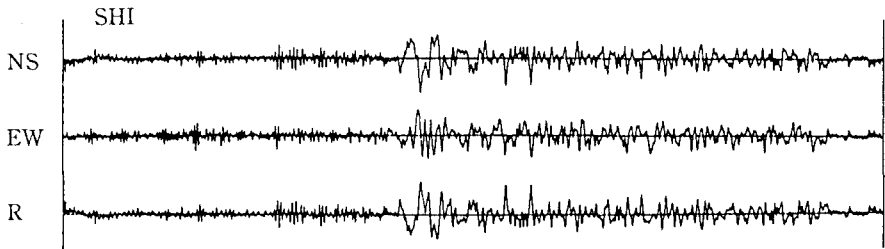


図-6 生波形と合成された波形

表-2 各成分波の最大加速度絶対値

観測地点	原波形の最大 加速度 Gal	座標変換後の 最大加速度 Gal	最大主軸成分波 の最大加速度 Gal	加速度増加比 (%)
H O R	100.1 (TR)	104.7 (EW)	104.8	4.70
C H I	83.7 (TR)	84.7 (NS)	87.1	4.06
S H I	121.0 (LG)	117.0 (NS)	121.6	0.49
H I R	265.8 (LG)	261.5 (EW)	266.3	0.19
K A K	45.3 (TR)	45.2 (EW)	45.4	0.22
S A I	299.2 (TR)	292.6 (EW)	300.1	0.30

V. あとがき

強震記録のポーラリゼーション解析において特にレクティリニアリティ特性を検討した。方位指向性の特性とともに粒子軌跡の3次元楕円球の性質を表わす特性は空間的に地震動をとらえ、波形分析を行えるということで十分に情報を引き出すことができた。最大主軸成分波は原波形にくらべ最大の加速度振幅比で数%大きくなっており、エネルギーでの比率を考えればさらに大きくなり無視できない量になっている。したがってこの合成波は耐震設計においてもより最適な入力地震波として利用できるものと思われる。

参考文献

- 1) Flinn, E.A.: Signal analysis using rectilinearity and direction of particle motion, Proc. I.E.E.E., 53, 1874, 1965.
- 2) Montalbetti, J.F. & Kanasevich, E.R.: Enhancement of Teleseismic Body Phases with a Polarization Filter, Geophys. J. R. astr. Soc., 21, 119-129, 1970.
- 3) 金子 孝吉他: ポーラリゼーション・フィルターを用いた強震記録の波形識別、土木学会北海道支部論文報告集、93-98、1987。