

## 水平動と上下動の最大加速度と発生時刻について

東京工業大学 学生会員 白井 克弘  
東京工業大学 正会員 大町 達夫

### 1. 目的

我々が便宜的に分けている地震動の水平動と上下動は、元は三次元に振動するひとつの波動であり、両者には物理的な関連性があると推察される。今後、重要な土木構造物の耐震設計では、水平動だけでなく上下動も的確に評価する必要がある。そこで本研究は、地震動の水平動と上下動の最大加速度(PGA)と、その発現時刻について考察を行った。なお、本研究では地震動記録を、フーリエ振幅特性のみで決定される最小位相推移関数と、フーリエ位相特性しか持たない全域通過関数に因数分解して、水平動と上下動の最大加速度分布とその発現時刻を調べた。

### 2. 因果律を考慮したフーリエ解析手法

本研究では、地震動記録を因果関数と見なせば、最小位相推移関数 (Minimum Phase Shift function以下MPS) と全域通過関数 (All Pass function以下AP) に因数分解できることを利用した<sup>1)</sup>。その算出方法を、図-1 のフローチャートに示す。まず、地震動記録 $x(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ は、フーリエ振幅 $|F(\omega)|$ とフーリエ位相 $i\phi(\omega)$ とする。フーリエ振幅 $|F(\omega)|$ の対数をとり負号を付すると $-\log|F(\omega)|$ となる。これに、周波数領域のステップ関数 $U(\omega)$ を乗ずると、角振動数 0Hz以上で振幅スペクトルだけを持つ周波数領域の因果関数 $-\log|F(\omega)|U(\omega)$ となる。これを4倍して逆フーリエ変換すると、時間領域の複素関数 $f_\alpha(t)$ となる。 $f_\alpha(t)$ の実部のみをフーリエ変換し、その指数関数をとると、フーリエ振幅 $|F(\omega)|$ と、地震動記録のフーリエ位相 $i\phi_M(\omega)$ とは異なった $F_M(\omega)$ からなる周波数領域の複素関数 $F_M(\omega)$ が得られる。これがMPSである。 $F_M(\omega)$ から $M(\omega)$ を引く事でAPが求められる。MPSのフーリエ振幅は、地震動記録のそれと同一であることから、APのフーリエ振幅は1であるのは明らかである。すなわち、APは地震動記録のフーリエ位相から、MPSのそれを引いた位相特性のみで決定される関数である。そして、算出された周波数領域のMPSとAPは、逆フーリエ変換して時刻歴波形を求めることができ、時間領域におけるこれら二つの関数も、因果関数となる。

### 3. 地震動記録の最小位相推移関数と全域通過関数

本研究では、2000年10月に発生した鳥取県西部地震(M7.3,震源深さ10km)の地震動記録を利用した。表-1に利用した観測点と震央距離を示す。対象とした観測点は、震源近傍で震央から半径50km圏内とした。地震動記録の因数分解の一例として、震央に最も近い観測点であるTTR009(震央距離12km)の地震動記録、MPSとAPを図-2に示す。同図によれば、MPSは水平動と上下動とも、時刻約0秒で最大となり、その値は元の地震動記録よりも大きくなっており、その後急速な減衰を示している。一方APは、水平動、上下動とも約20秒に、15gal程度のPGAを示している。APのPGAが水平動と上下動で同じ程度となるのは、前述のようにAPのフーリエ振幅は1であることが要因と推察される<sup>2)</sup>。そしてAPの包絡形状は、地震動記録のそれと非常によく似ているのが分かる。

### 4. 地震動記録、MPSとAPのPGA分布とその発現時刻

表-1に示した地震動記録からMPSとAPを算出し、それぞれの

キーワード 最小位相推移関数, 全域通過関数, 水平動, 上下動, PGA

連絡先 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 G3-2 東京工業大学大学院 TEL 045-924-5605

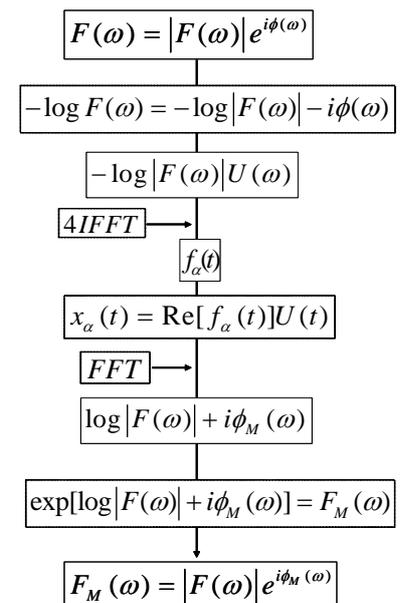


図-1 MPSの計算フロー

表-1 地震動記録を利用した K-net 観測点

No.	Station code	Latitude	Longitude	震央距離(km)
	TTR009	35.1681N	133.3143E	12
	TTR007	35.2794N	133.4902E	13
	TTR008	35.4227N	133.3327E	16
	SMN015	35.3613N	133.1730E	19
	SMN003	35.1763N	133.0955E	25
	SMN001	35.5341N	133.1638E	33
	SMN002	35.4683N	133.0708E	33
	TTR006	35.5075N	133.6330E	37
	OKY004	34.9547N	133.5044E	38
	SMN004	35.2850N	133.9030E	40
	HRS021	34.9497N	133.1197E	42
	HRS002	34.8919N	133.2781E	43
	OKY005	35.0060N	133.7344E	46
	TTR005	35.4258N	133.8280E	47
	SMN016	35.1925N	133.8172E	49
	HRS001	35.0305N	132.9044E	49

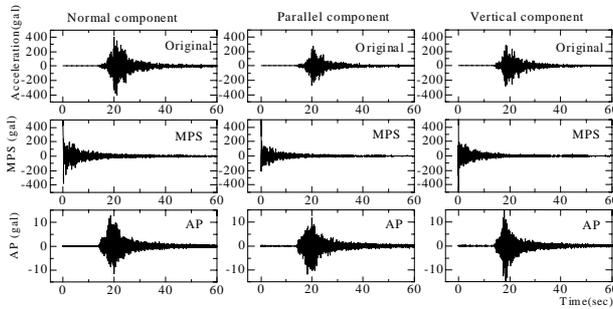


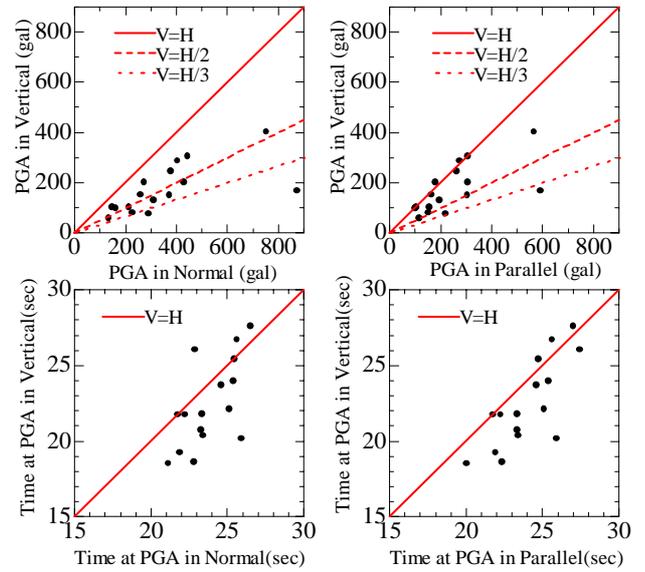
図-2 TTR009 の地震動記録（上段），MPS（中段）と AP

水平動と上下動の PGA とその発現時刻を調べ，横軸に水平動 縦軸に上下動をプロットした図を図-3に示す．図-3 から，地震動記録の上下動は，水平動の 1 から 1/3 程度で，MPS では，2 から 1/3 程度となる．MPS の PGA の発現時刻は，両成分とも約 0 秒である．一方，AP は水平動と上下動でほぼ同じ程度の PGA を示している．AP の PGA の発現時刻は，両成分とも 15 秒から 25 秒の間であるが，水平動の方が遅い傾向が見られる．

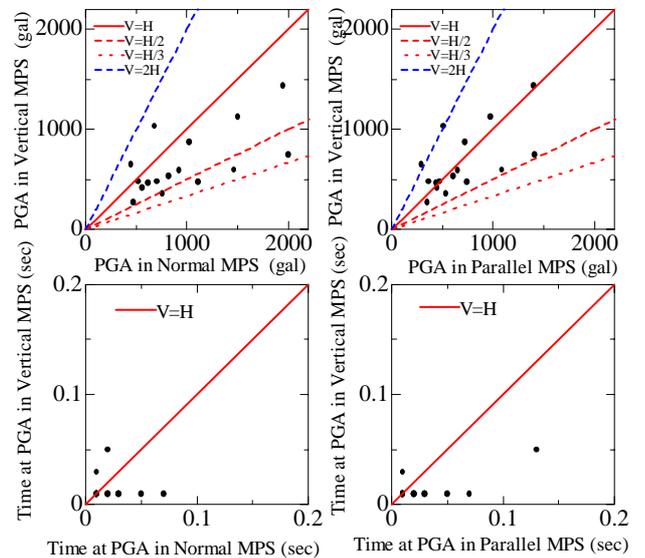
5 . 結論

本研究では 地震動記録を MPS と AP に因数分解し，水平動と上下動の PGA とその発現時刻について考察を行った．その結果，MPS は水平動と上下動とも，時刻約 0 秒で PGA になるのに対し，AP は地震動記録の包絡形状とよく似ており，AP の PGA は，水平動のほうが上下動よりも遅い傾向であることが分かった．

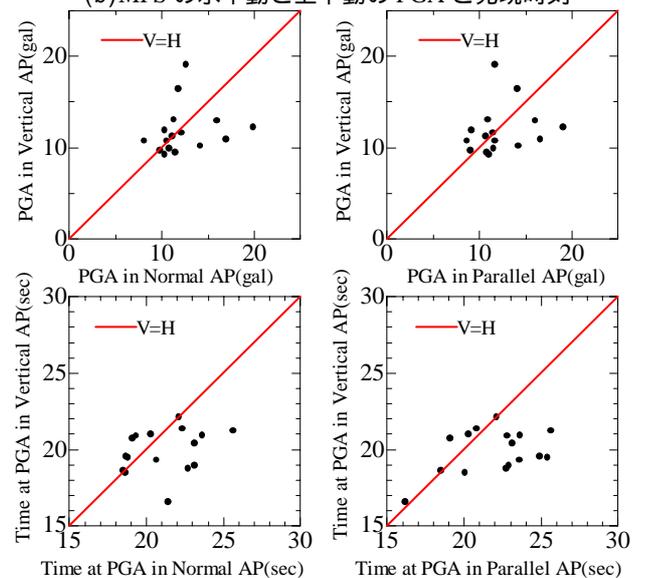
**参考文献** 1)和泉正哲，勝倉裕，大野晋：地震動の因数分解に関する基礎的研究，日本建築学会構造系論文報告集第 390 号 pp27-33 1988.2)白井克弘，大町達夫：震源近傍における地震動の水平動と上下動の関連性について，土木学会論文集（投稿中）.



(a)観測記録の水平動と上下動の PGA と発現時刻



(b)MPS の水平動と上下動の PGA と発現時刻



(c)AP の水平動と上下動の PGA と発現時刻

図-3 観測加速度記録(a),MPS(b)及び AP(c)の最大振幅分布とその発現時刻