

# 応答包絡線の閾値超過時間を用いた地震動継続時間のスペクトル表現

岐阜大学工学部 正会員 ○能島 暢呂

岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 杉戸 真太・久世 益充

## 1. はじめに

強震動の継続時間は、振幅特性、周波数特性とともに、揺れを特徴づける経時特性の一つである。その評価方法としては、加速度パワーの累積曲線における主要部（例えば5～95%）に相当する時間<sup>1)</sup>や、所定の閾値を最初に超過してから最後に下回るまでの時間（例えば1cm/s 継続時間マップ<sup>2)</sup>）が挙げられるが、目的によってはこれらにはいくつか難点がある。前者は相対評価であり地震動強度の閾値に応じた継続時間は求められない。またいずれも、長い間隔を置いたサブイベントが存在する場合や余震が混入すると継続時間を過大評価する可能性がある。さらに原波形を用いるため周期特性を考慮できない。石井<sup>3)</sup>は周期特性を考慮するため、線形一自由度系の応答波形を用いて継続時間スペクトルを定義したが、累積パワー規準によるため、閾値設定と過大評価の問題は解決できていない。本研究は応答包絡線<sup>4)</sup>に閾値を設定した継続時間スペクトルを定義し、さらに地震時の避難行動に対する支障の継続時間の評価に応用したものである。

## 2. 速度応答包絡線閾値超過継続時間・反復数の定義

質量  $m$ 、剛性  $k$  の線形一自由度系の振動において、時刻  $t$  における全エネルギー  $Q(t)$  は、運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの和として次式で表される。

$$Q(t) = \frac{1}{2} m \dot{y}^2(t) + \frac{1}{2} k y^2(t) \quad (1)$$

ここに、 $\dot{y}(t)$  : 速度応答時刻歴、 $y(t)$  : 変位応答時刻歴である。速度応答包絡線  $E(t)$  は次式で表される。

$$E(t) = \pm \sqrt{\frac{2Q(t)}{m}} = \pm \sqrt{\dot{y}^2(t) + \omega^2 y^2(t)} \quad (2)$$

得られた速度応答包絡線に対して閾値  $E^*$  を設定し、これを超える時間の総和を「速度応答包絡線閾値超過継続時間」と定義する。あらゆる固有周期に対してこれを表示すると「速度応答包絡線閾値超過継続時間スペクトル  $S_{DVRET}(T, E^*)$ 」が得られる。これを固有周期で除すことで繰り返しの反復回数に関するスペクトル<sup>3)</sup> が得られ、「速度応答包絡線閾値超過反復数スペクトル  $S_{CVRET}(T, E^*) = S_{DVRET}(T, E^*)/T$ 」と定義する。高橋ら<sup>5)</sup>は単調加振実験に基づいて、避難行動限界評価曲線<sup>6)</sup>を評価した。これを参考に定められた避難行動難度ランク<sup>6)</sup>を基準として、本

研究では「行動難度継続時間スペクトル  $S_{RVRET}(T, R)$ 」を定義する ( $R$  は行動難度ランクを表す)。

## 3. 数値計算例

図1は兵庫県南部地震の神戸海洋気象台の加速度入力 (NS 成分) に対する固有周期  $T=1s$ 、減衰定数  $h=5\%$  の速度応答包絡線である。図2に速度応答スペクトルと速度応答包絡線の最大値を比較した。後者がやや前者を上回るが大差はない。以下、この記録を用いた例を示す。

図3は応答速度の閾値を  $E^*=1\sim 1000\text{cm/s}$  とした継続時間スペクトルである。 $E^*=50\text{cm/s}$  以上では速度応答スペクトルとほぼ相似形である。図中の水平な点線は加速度パワー累積曲線の5～95%相当の継続時間 (=8.4 s)、太破線は速度応答パワー累積曲線の5～95%相当の継続時間である。応答レベルの高い周期1s程度では応答速度50cm/s程度の閾値超過継続時間に近く、短周期・長周期側では2～20cm/s程度の閾値超過に相当している。図4に閾値超過の反復数スペクトルを示す。図5に行動難度継続時間スペクトルを示す。激しい揺れにより行動困難となる継続時間を固有周期ごとに読み取ることができる。

## 4. 結論

本研究では応答包絡線を用いて、多様な固有周期の構造物の応答において任意の閾値 (有感レベル～最大応答付近の大振幅) を超過する継続時間や避難行動への支障時間を簡便に参照できるスペクトル表現を提案した。累積パワー規準による評価値との関係性も明らかにされた。

### 参考文献

- 1) Trifunac, M. D. and Brady, A. G.: A Study on the Duration of Strong Earthquake Ground Motion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.65, pp.581-626, 1975.
- 2) 地震調査研究推進本部：南海地震（昭和型）の長周期地震動予測について（2012年試作版），2012.1.  
[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12\\_choshuki/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/index.htm)
- 3) 石井透：地震動の応答継続時間スペクトル・応答反復数スペクトル・応答累積振幅スペクトルの検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，No.21380，pp.759-760，2009.8.
- 4) Trifunac, M. D.: Response Envelope Spectrum and Interpretation of Strong Earthquake Ground Motion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.61, No.2, pp.343-356, 1971.
- 5) 高橋徹・貞弘雅晴・斉藤大樹・小豆畑達哉・森田高市・野口和也・箕輪親宏他：長周期地震動を考慮した人間の避難行動限界評価曲線の提案，日本建築学会学術講演梗概集，No.21249，pp.497-498，2007.8.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所：高強度鋼等の革新的構造物を用いた新構造建築物の性能評価手法の開発，国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告，No.32，2010.2.

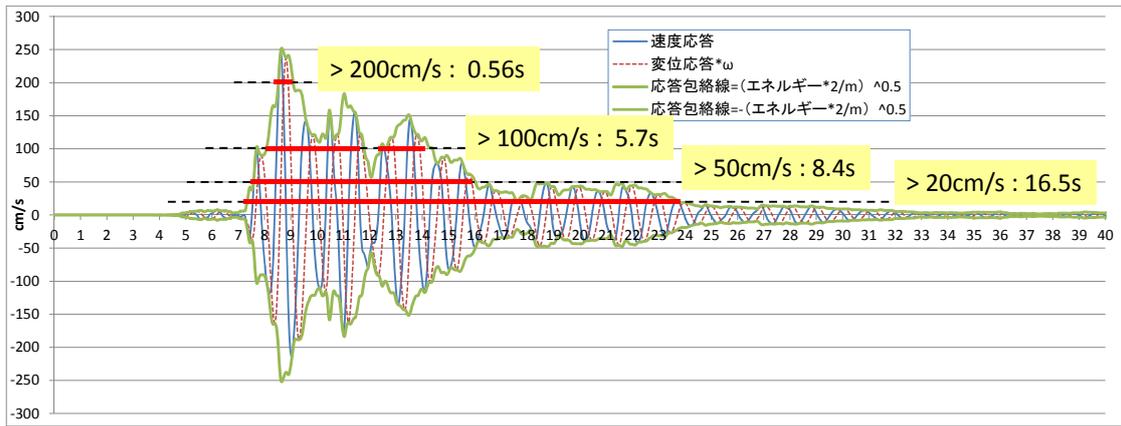


図1 速度応答包絡線を用いた閾値超過継続時間の算定例  
(1995年兵庫県南部地震 神戸海洋気象台加速度記録 (NS成分), 周期  $T=1s$ , 減衰定数  $h=5\%$ )

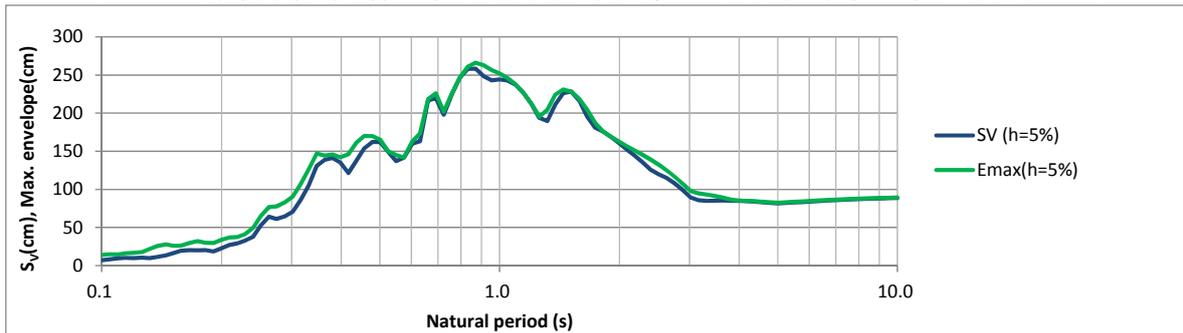


図2 速度応答スペクトルと速度応答包絡線の最大値の比較 (減衰定数  $h=5\%$ )

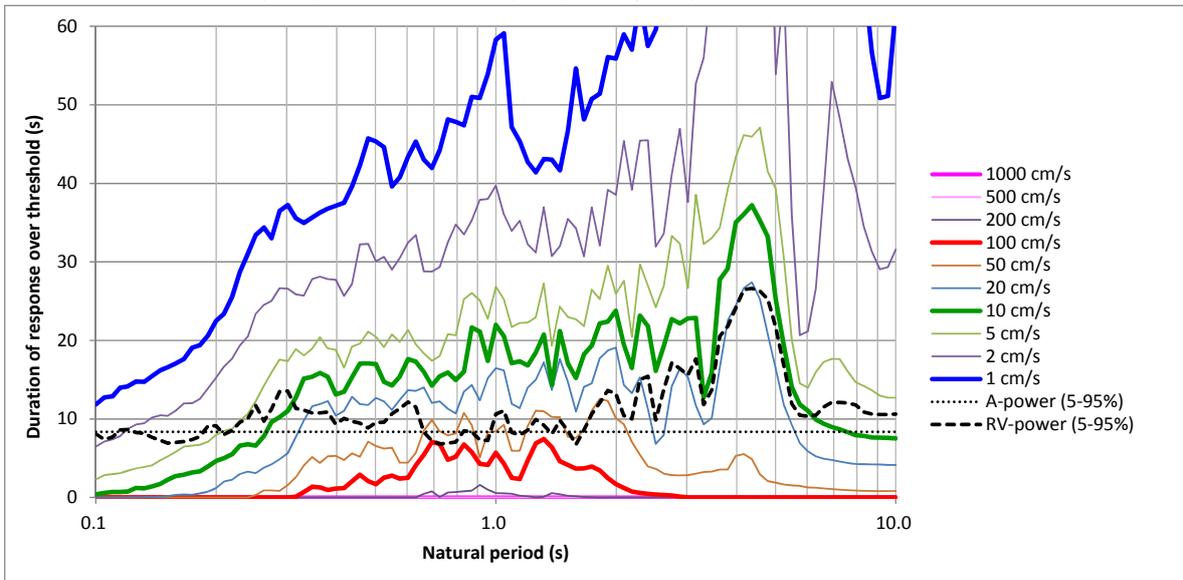


図3 速度応答包絡線による閾値超過継続時間スペクトル  $S_{DVRET}$

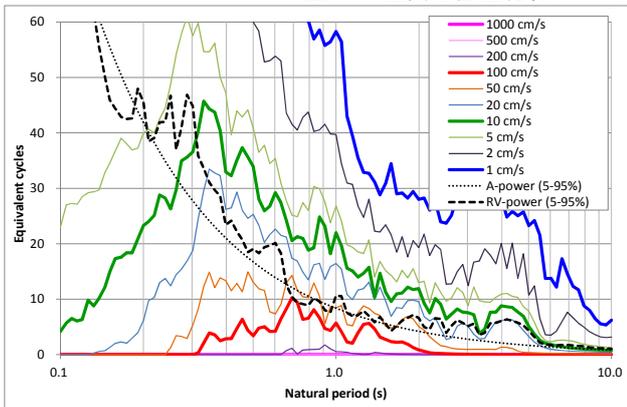


図4 速度応答包絡線による閾値超過反復数  
スペクトル  $S_{CVRET}$

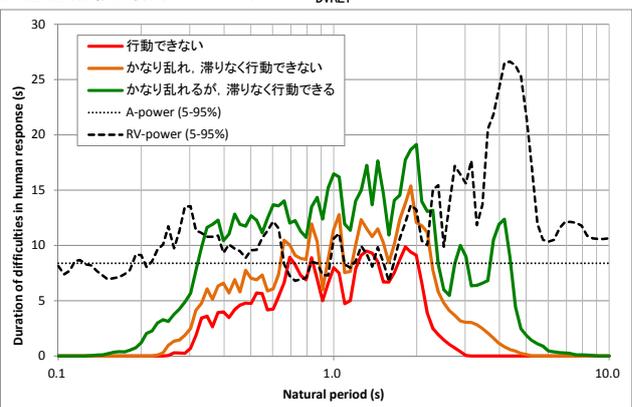


図5 速度応答包絡線による行動難度継続時間  
スペクトル  $S_{RVRET}$