

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とその応用

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

岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 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¹⁾。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²⁾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³⁾）が挙げられる。しかし、時間間隔の長いサブイベントや余震の影響で継続時間が過大評価される可能性があることや、周期特性を考慮できないなど、目的によってはこれらの定義には難点がある。石井⁴⁾は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て周期特性を考慮したが、累積パワー規準を採用している。本研究は応答包絡線⁵⁾に閾値を設定した継続時間スペクトルを定義し、地震防災・地震工学面での応用を検討したものである。

2. 速度応答包絡線の閾値超過継続時間とそれに基づく各種スペクトルの定義

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 $Q(t) = m\dot{y}^2(t)/2 + ky^2(t)/2$ で表される。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 $E(t) = \pm\sqrt{2Q(t)/m} = \pm\sqrt{\dot{y}^2(t) + \omega^2 y^2(t)}$ で表される。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 T に対してこれを表示すると「閾値超過継続時間スペクトル $S_{DV}(T, E^*)$ 」が得られる。これを固有周期 T で除すことで等価な反復数のスペクトルが得られ、「閾値超過反復数スペクトル $S_{CV}(T, E^*) = S_{DV}(T, E^*)/T$ 」と定義する。これらの応用として、地震時の避難行動限界評価曲線⁶⁾を参考に定められた避難行動難度ランク⁷⁾を基準とした「行動難度継続時間スペクトル $S_{RV}(T, R)$ 」を定義する（ R は行動難度ランクを表す）。また、道路橋示方書の標準加速度応答スペクトル⁸⁾を疑似速度応答スペクトルに変換し、これを超過する「設計地震力超過継続時間スペクトル $S_{FV}(T, F)$ 」を定義する（ F は設計地震力条件を表す）。

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 $T=1$ s、減衰定数 $h=5\%$ の速度応答包絡線である。図2は応答速度の閾値を $E^*=1\sim1000$ cm/s とした継続時間スペクトルである。 $E^*=50$ 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3に閾値超過の反復数スペクトルを示す。図4に行動難度継続時間スペクトル、図5に設計外力超過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や設計外力を上回る継続時間を、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。構造物の応答ではなく、地動加速度や地動速度そのものを用いる場合には、複素包絡線を用いて上記と同様の継続時間を定義することが可能である。

キーワード 地震動継続時間、応答包絡線、閾値超過、避難行動、設計地震力

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部 Tel 058-293-2416

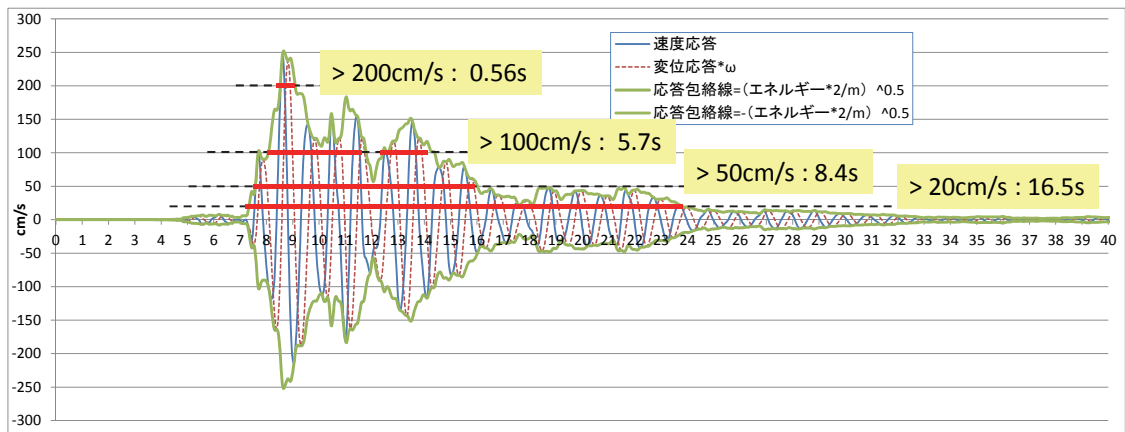


図1 速度応答包絡線を用いた閾値超過継続時間の算定例
(1995年兵庫県南部地震 神戸海洋気象台加速度記録 (NS成分), 周期 $T=1$ s, 減衰定数 $h=5\%$)

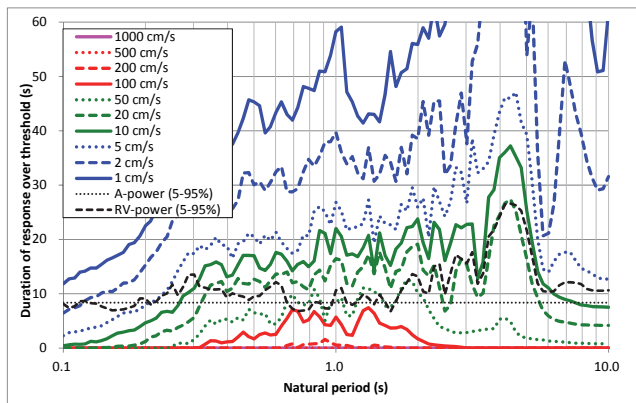


図2 閾値超過継続時間スペクトル S_{DV}

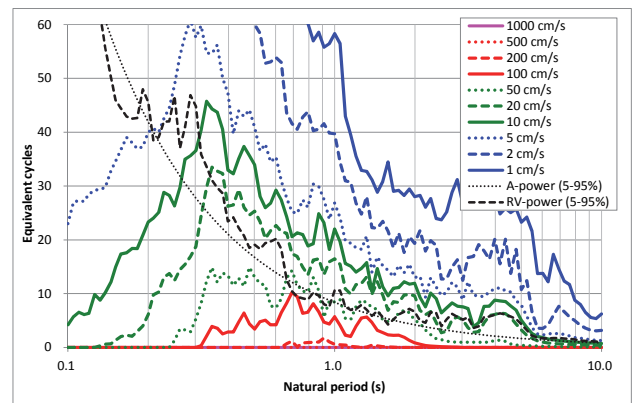


図3 閾値超過反復数スペクトル S_{CV}

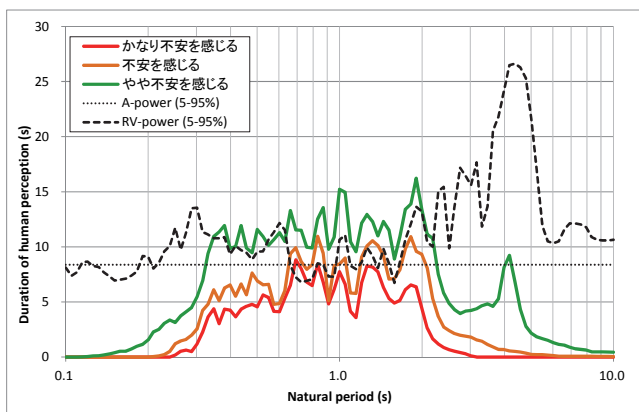


図4 行動難度継続時間スペクトル S_{RV}

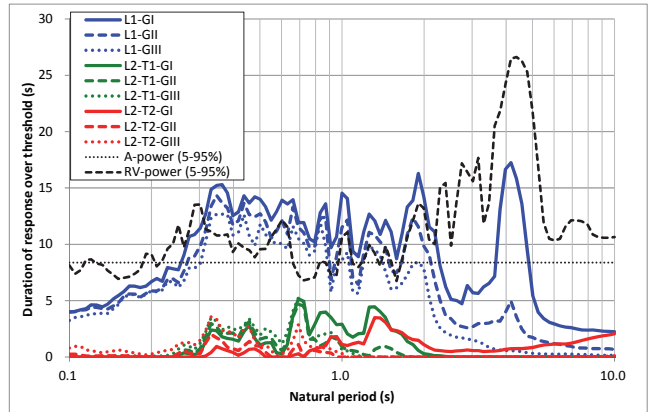


図5 設計地震力超過継続時間スペクトル S_{FV}

参考文献

- 1) 土木学会地震工学委員会 強震継続時間が長い地震動に対する土木構造物の耐震性検討小委員会：シンポジウム「強震継続時間が長い地震動に対する土木構造物の耐震性評価」, 2012.5.
- 2) 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.
- 3) 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
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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材料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.
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説, 2012.3.