

2016 年熊本地震における設計地震力超過継続時間の評価

岐阜大学大学院 学生会員 ○山本大喜

岐阜大学工学部 正会員 能島暢呂

1. 研究の背景と目的

地震動の特性は、振幅特性、周期特性、継続時間の3要素がある。継続時間が長い地震動は構造物の被害に大きな影響を与える可能性が高いため、継続時間の影響を考慮することは重要である。本研究は、2016 年熊本地震の本震(4月16日1時25分発生)を対象として、道路橋示方書¹⁾の設計スペクトルを超過する超過時間とその反復数を評価するものである。

2. 既往研究と本研究の内容

地震動の継続時間の評価には様々な方法があるが、周期依存性を考慮したものに「閾値超過継続時間スペクトル」²⁾がある。これは、線形一自由度系の速度応答包絡線が一定レベルの閾値を超過した正味の”Uniform duration”を算出し、固有周期 T ごとにスペクトル表現するものである。その応用として「設計地震力超過継続時間スペクトル」³⁾が提案されている。これは、速度応答スペクトルで表現された設計スペクトルを速度応答包絡線が超過する時間をスペクトル表現したものであり、等価な反復数を表すスペクトル³⁾も定義されている。

本研究は、道路橋示方書の設計スペクトルを閾値として、2016 年熊本地震の本震で得られた観測記録にこの方法を適用する。設計スペクトルとして、橋の供用期間中の発生確率が高いレベル1地震動(L1と表記)と、発生確率は低いが大きな強度を持つレベル2地震動のうち内陸直下型のタイプII(L2-TIIと表記)を用いる。また地盤種別I~III種はGI~GIIIと表記する。設計スペクトルは加速度応答スペクトルで定義されているため、本研究では角振動数 ω [rad/s]で除した擬似速度応答スペクトル(後出図2折れ線を参照)を用いる。

3. 設計地震力超過継続時間の評価

(1) KiK-net 益城 (KMMH16) の結果

数値計算結果の一例として、KiK-net 益城 (KMMH16) の加速度記録(EW成分)を用いた結果を示す。震源断層に最も近い益城町内の観測点で、II種地盤である。最大加速度は 1157.0cm/s^2 であり、主要動はおよそ20sである(図1)。まず地域別補正係数 $c_2=1.0$ とした場合を示す。速度応答スペクトル(図2黒線)は $T=0.3\text{s}$ よ

りも長周期側の広い範囲で 100cm/s を超過する。卓越周期は 1.0s であり、最大速度応答は 405.7cm/s である。速度応答スペクトルはどの周期でもレベル1の設計スペクトルを超過している。設計地震力超過継続時間スペクトル(図3)については、特に $T=4\text{s}$ 付近で卓越し、L1-GIIでの最大値は 18.8s ($T=4.4\text{s}$) である。一方、レベル2の設計スペクトルについては、L2-TII-GIIでの最大値は 3.8s ($T=0.83\text{s}$) である。仮に地盤種別I種で設計されていた場合、L1-GIの継続時間の最大値は 27.2s ($T=4.4\text{s}$)、L2-TII-GIの継続時間については長周期部分で目立ち、最大値は 17.0s ($T=10.0\text{s}$) である。設計地震力超過反復数スペクトル(図4)は、 $T=0.2\sim 0.4\text{s}$ 付近の短周期で卓越している。GIIにおける最大値は、L1で60.8回($T=0.23\text{s}$)、L2では8.2回($T=0.38\text{s}$) である。

次に、地域別補正係数 c_2 を 0.85 および 0.7 として閾値が下方に変化した場合の継続時間を図5に示す。係数 c_2 を小さく設定するほど継続時間が長くなる。L1-GIIでは長周期(特に $T=4\sim 5\text{s}$ 、 $T=6\text{s}$ 以上)で特に敏感に変化して、約7~15s長くなっている。L2-TII-GIIでは継続時間の変化量は小さく、変化はほぼ一様である。

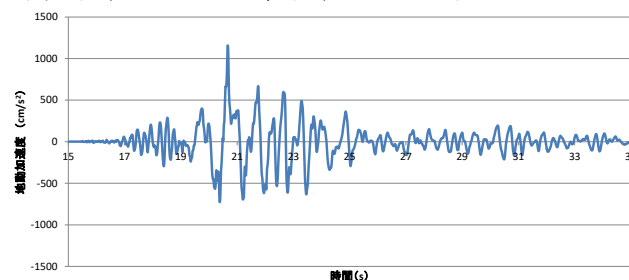


図1 加速度時刻歴波形 (KiK-net 益城, EW成分)

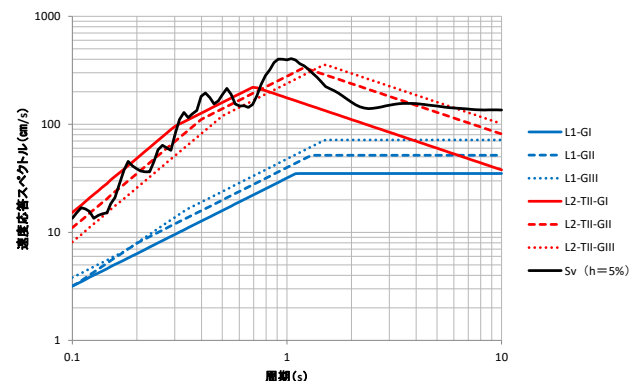


図2 速度応答スペクトルと設計スペクトル

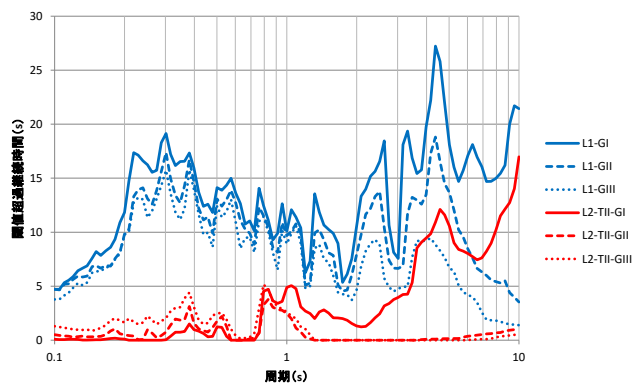


図3 設計地震力超過継続時間スペクトル

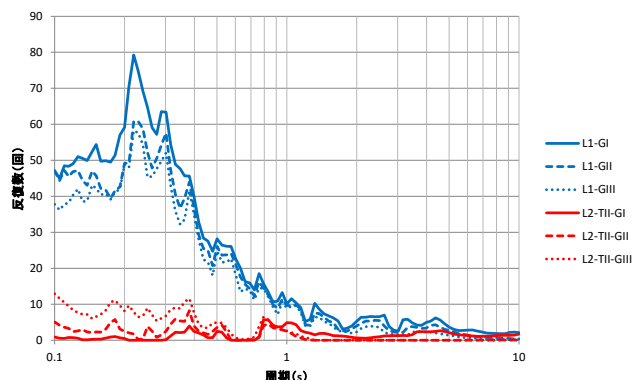
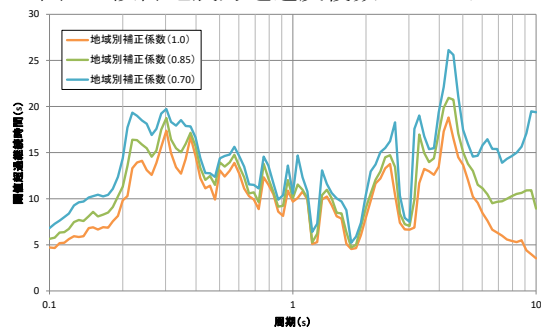
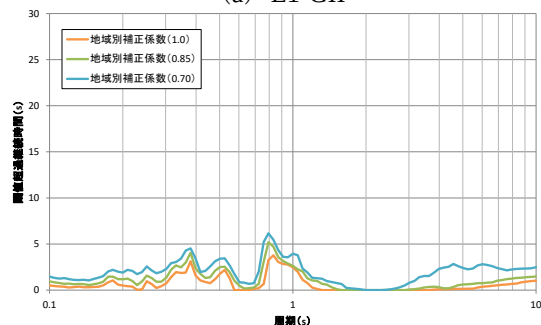


図4 設計地震力超過反復数スペクトル



(a) L1-GII



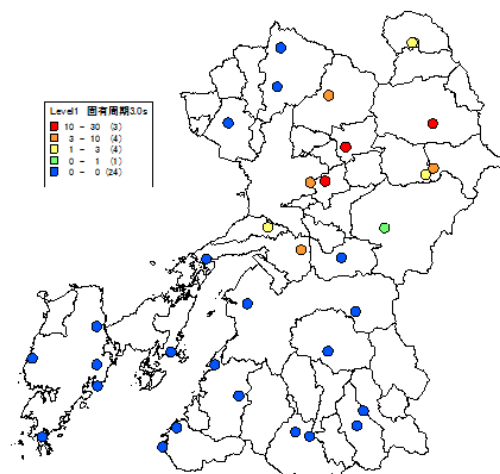
(b) L2-TII-GII

図5 地域別補正係数 c_z を変化させた場合の設計地震力超過継続時間スペクトルの比較

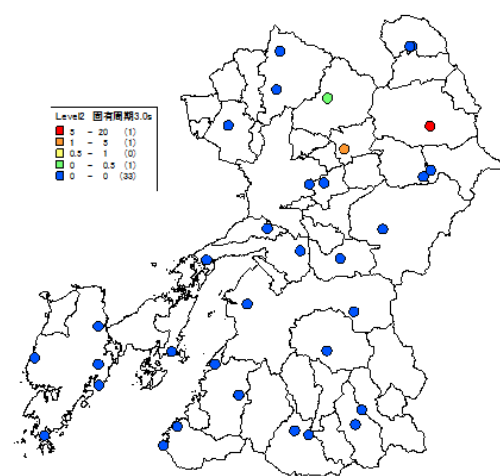
(2) 設計地震力超過継続時間のマップ表現

熊本県における継続時間を面的にとらえるために、ここでは、NS成分の加速度記録を用いた設計地震力超過継続時間のマップ表現を行う。例として、 $T=3.0s$ 、 $c_z=1.0$ 、各観測点の地盤種別を採用したマップを示す(図6)。L1では熊本県中部、北東部に継続時間が生じている。断層付近での継続時間が長い。L2-TIIで継続時間が生じるのは北部の一部で、範囲は極めて限定的

である。 $T=3.0s$ においてはK-NET一の宮(KMM004)の継続時間が長いことが目立った。



(a) L1



(b) L2-TII

図6 設計地震力超過継続時間のマップ表現 (NS成分, $T=3.0s$, $c_z=1.0$, 各観測点の地盤種別を採用)

5. 今後の課題

今後は2016年熊本地震の前震と余震も含め、継続時間の累積効果についても検討する方針である。K-NET一の宮(KMM004)での長周期成分の卓越が顕著であったため、他の長周期地震動と比較し、評価する必要がある。また、2016年熊本地震におけるKiK-net益城(KMMH16)の加速度波形(EW成分)では、振幅の大きいパルス波(キラーパルス)も観測されたため、継続時間とは異なる観点からその影響についての考察も必要である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説, 2012.3.
- 2) 能島暢呂：速度応答包絡線を用いた閾値超過継続時間のスペクトル表現とその応用, 日本地震工学会論文集, Vol.15, No.1, pp.1-17, 2015.2.
- 3) 能島暢呂・杉戸真太・久世益充：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, 第68回土木学会年次学術講演会, I-245, pp.489-490, 2013.9.