構造物の減衰に着目した海溝型巨大地震による予測地震動の特徴について

九州大学工学部　学生会員　○安井聡　　九州大学工学研究院　正会員　梶田幸秀
九州大学工学研究院　フェロー　　大塚久哲

１．はじめに

今世紀中の発生が予想されている海溝型巨大地震である東海・東南海・南海地震に対する研究が活発に行われている[1)]。海溝型巨大地震では、内陸直下型地震とは異なり、長周期地震動の発生が懸念されており、長周期地震動による構造物への影響に関する研究も始まっている[2)]。長周期地震動では、構造物に入力されるエネルギー量の増大が明らかとなっており[1)]、本研究では構造物に入力されるエネルギー量の増大に対するの対策として、構造物全体での減衰に着目して海溝型巨大地震による予測地震動の特徴について考察することを目的とした。

２．解析概要

2.1　地震動の概要

使用した地震動は、想定南海地震が発生した時に大阪市で観測される地震動と想定東南海地震が発生した時に濃尾平野で観測される地震動である。表1に概要を示す。詳細については、文献4）を参考にして頂きたい。

2.2　解析条件

解析ソフトはTDAPIIIを使い、解析方法は直接積分法、数値積分法にはNewmark β法（β=0.25）を用い、積分時間間隔を0.01秒とした。

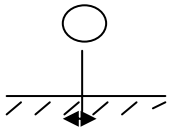

図１　解析モデル

表１　使用する地震動のデータ

想定地震	観測地点	方向	最大加速度	継続時間	表記名
南海地震	大阪市上町台地上	東西	59.3	440	OSA-EW
	大阪市上町台地上	南北	68.3	440	OSA-NS
	西大阪の木津	東西	69.3	298	WOS-EW
	西大阪の木津	南北	84.9	298	WOS-NS
東南海地震	名古屋市緑区	東西	1060	109	AIC-EW
	名古屋市緑区	南北	961	109	AIC-NS
	四日市市	東西	877	131	MIE-EW
	四日市市	南北	752	131	MIE-NS

3.　解析結果と考察

解析対象は図1に示す弾性の１自由度モデルとした。図2に予測地震動の速度応答スペクトルを示す。なお、設計標準波とは、道路橋示方書に示されている2種地盤における標準波（Type121）を表している[5)]。この地震動の最大加速度は約362galであり、継続時間は40秒である。図2より固有周期0.1から1秒付近まではAIC-EW、AIC-NS、MIE-EW、MIE-NSの方が設計標準波より大きな値を示す。これは最大加速度の差が影響したものと考えられる。一方で固有周期1秒から10秒にかけては設計標準波のほうがより大きな値を示す。

続いて、運動方程式の両辺に微小変位ｄｙ（=y'dt）を作用させ、地震動の継続時間で積分すると式(1)のように表すことができる。

$$\int_0^{T_{end}} my''y'dt + \int_0^{T_{end}} cy'y'dt + \int_0^{T_{end}} kyy'dt = \int_0^{T_{end}} -mz''y'dt \qquad (1)$$

式(1)の右辺は構造物に入力されるエネルギーを表しており，この値をEとし，構造物に入力されるエネルギーの速度換算値を式(2)で表すことができる。

$$V_E = \sqrt{\frac{2E}{m}} \qquad (2)$$

このエネルギーの速度換算値と構造物（1自由度モデル）の固有周期の関係を図３に示す。図３を見ると、全体の傾向は図２とよく似ている。エネルギースペクトルでは、　地震動の継続時間の影響を考慮できるため、長周期地震動と設計標準波の間で有意な差が現れると考えたが、今回のグラフだけでははっきりとしたことはいえないため、さらなる分析を行う必要がある。

式(1)の左辺第一項は地震動の継続時間終了時点での質点の運動エネルギーを表しており、左辺第三項は地震動の継

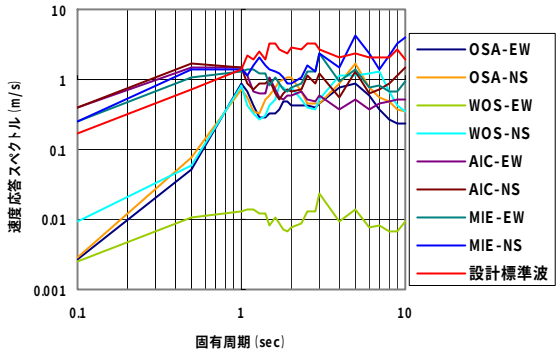

図２　速度応答スペクトル

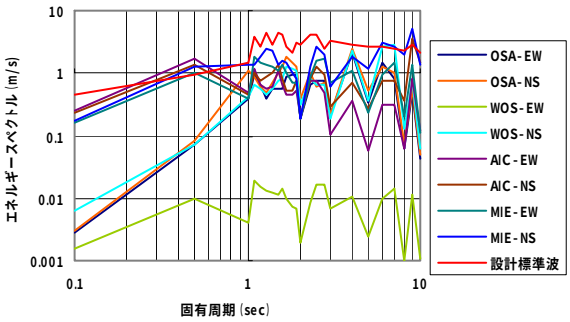

図3　エネルギースペクトル

続時間終了時点での質点のひずみエネルギーを表している。地震動継続時間終了時点では、質点の応答速度・応答変位はほぼ0であることから、構造物に入力されるエネルギーは左辺第二項である減衰項が吸収するエネルギー（以下、減衰エネルギーと呼ぶ）に等しいことが解る。

固有周期を一定として、減衰定数と減衰エネルギーの比較を行った。OSA-NSと設計標準波の結果を比較したものを図4に示す。図4より、設計標準波においては、減衰定数の増加に伴い減衰エネルギーは増加傾向である。一方、OSA-NSでは固有周期1秒と5秒では減衰定数の増加に伴い減衰エネルギーは減少傾向にあることがわかった。ここで着目している減衰エネルギーは式(3)で表すことができる。

$$c\int y'^2 dt \qquad (3)$$

この式より、減衰エネルギーは減衰係数ｃと、応答速度の２つの物理量から構成される物理量である。そのため減衰係数の増加に伴い減衰エネルギーが増加したとしても、応答速度が減少している可能性は否めない。そこで減衰定数が0.02の時の最大応答速度を1としたとき、減衰定数が0.10のときの最大応答速度の値を表2に示す。最大応答速度の減少率の比較を見ると、全ての固有周期で長周期地震動の8波平均のほうが小さな値を示す。これは減衰定数の増加に伴い最大応答速度が敏感に反応したことを意味する。これより最大応答速度に比例して地震力を吸収できる速度比例型ダンパーの設置は長周期地震動の対策として有効であると考えられる。

4. まとめ

本研究を通じて得られた成果を下記に示す。

・長周期の構造物に長周期地震動が作用すると設計標準波が作用した場合と同等の速度応答・変位応答を取り得る可能性がある。

・最大応答速度を表した速度応答スペクトルの他に、地震動の継続時間の影響を考慮できるエネルギースペクトルについても検討をしたが、全体的な傾向は速度応答スペクトルとエネルギースペクトルでは同じとなりまた、グラフだけでは有意な差が現れなかった。

・長周期地震動による最大応答速度は、設計標準波の場合に比べて、減衰定数の増加に対して敏感に減少する傾向があるため、長周期地震動に対する対策として、速度比例型ダンパーが良いのではないかと考えられる。

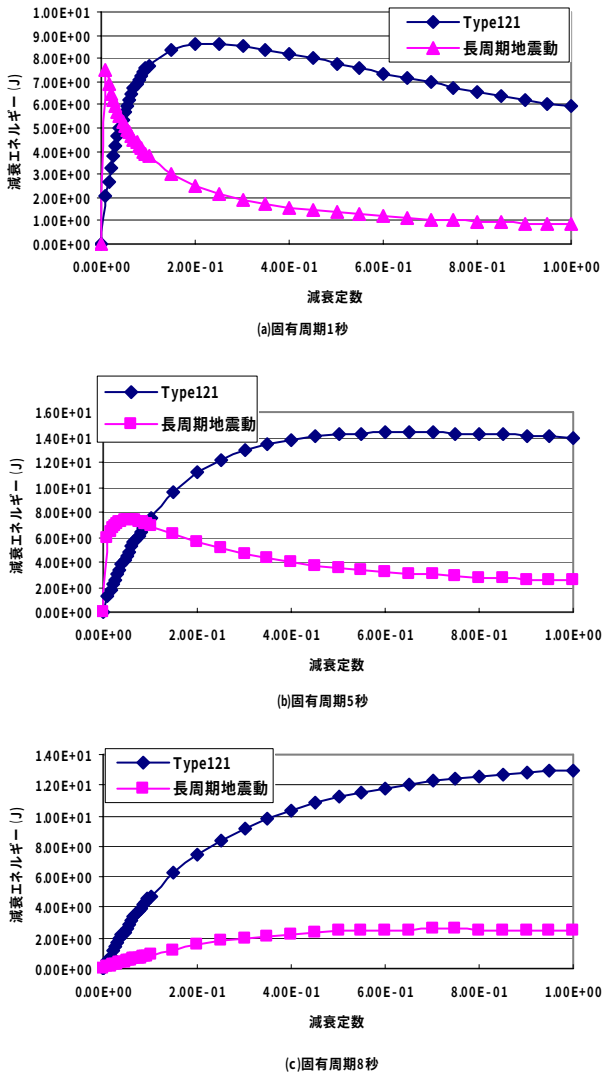

図4　減衰定数別の減衰エネルギー

表2　減衰定数の増加による最大速度の減少率

固有周期 (s)	1	3	5	8	10
長周期地震動 8波平均	0.486	0.571	0.618	0.851	0.834
設計標準波	0.623	0.679	0.69	0.939	0.956

参考文献
1)(社)土木学会，(社)日本建築学会：海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言，2006.11，http://www.jsce.or.jp/committee/kyodai-jishin/index.shtml
2)庄司学・小木智史：長周期地震動に対するPC斜張橋の地震応答特性，第11回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.1-8，2008.1
3)(社)日本建築学会：長周期地震動と建築物の耐震性，丸善，2007.12（ISBN978-4-8189-0573-3）
4)(社)日本建築学会東海地震等巨大災害への対応特別調査委員会：各種波形予測手法に基づいた海溝型巨大地震の予測強震動波形収集資料，2007.12
5)(社)日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編，丸善，2002.12