

巨大地震に対する臨海部の大型石油タンクのスロッシング災害予防対策 —観測記録に基づくやや長周期の地震動特性—

○元木健太郎¹⁾，瀬尾和大²⁾，江藤公信³⁾

- 1) 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻, kmoto@enveng.titech.ac.jp
 2) 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻, seo@enveng.titech.ac.jp
 3) 東京ソイルリサーチ 技術本部 解析技術室, eto@tokyosoil.co.jp

1. はじめに

関東平野の長周期問題として対象となる東南海地震の震源域付近で2004年紀伊半島沖の地震が発生した。震源規模はM7級であったため被害はわずかであったものの、石油タンクを数多く抱え、長大構造物が密集して建設されている関東平野においては、巨大地震時のやや長周期地震動が適切な評価が求められている。関東平野では数多くの長周期地震動が観測された。江藤他(2006)は、その余震と本震の地震動の平野内の基盤に対するスペクトル比は安定していることと報告している。このことは、平野に入射してくるスペクトルを予測することができれば、平野内のスペクトルが推定できることを意味している。

やや長周期帯域の強震動予測は震源モデルを構築したものを理論的に数値計算によって求められることが一般的である。観測記録を用いた経験的な手法はKudo(1990)¹⁾、座間(1993)²⁾があげられるが、その数は少ない。その理由として、やや長周期が卓越した地震動記録が少ないこと、釜江他(1990)によって指摘されているように、やや長周期帯域は短周期帯域と比べラディエーションパターンが明瞭になり、統計的に取り扱うことが難しいことが考えられる。そこで本研究では近年観測された地震動記録に基づいて、放射特性を考慮しながら観測スペクトルを予測を試みる。

2. データ

本研究は平野に入射してくる地震波のスペクトルの評価を目的にしているため、やや長周期帯域で地盤増幅されない基盤上の観測点記録を用いて解析を行う。基盤上の観測点として、F-netの基盤上と思われる観測点とKiK-netの基盤S波速度が2000m/s以上でS波の増幅による卓越周期が1秒未満である観測点を抽出した。図1に使用した観測点と地震を

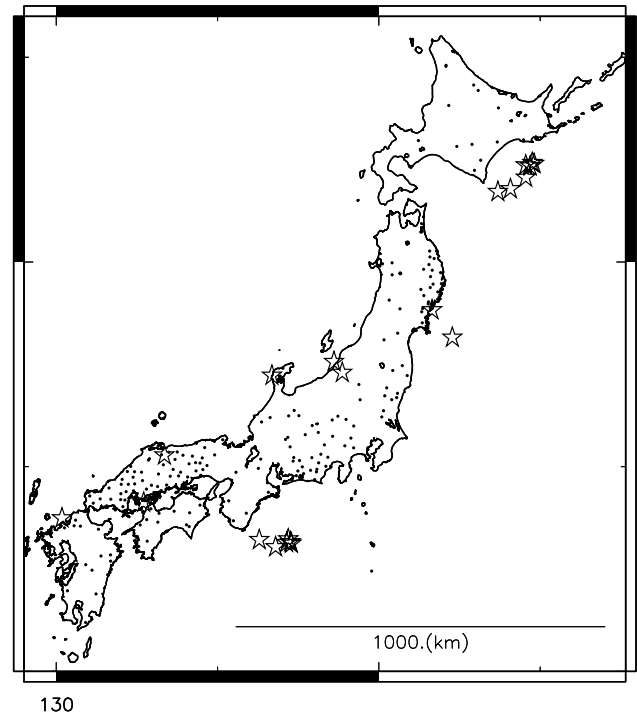


図1 解析対象地震震央分布(☆)と観測点分布図(●)

表1 解析対象地震緒元

date	Mw	Depth(km)	date	Mw	Depth(km)
2000/10/06	6.6	11.0	2004/09/07	6.5	14.0
2001/03/24	6.8	51.0	2004/09/07	5.0	11.0
2003/05/26	7.0	72.0	2004/09/08	5.5	5.0
2003/09/26	7.9	45.1	2004/09/08	6.1	11.0
2003/09/26	7.3	21.4	2004/10/23	6.6	5.0
2003/09/26	6.4	42.5	2004/11/11	6.1	38.6
2003/10/02	5.2	38.3	2004/11/15	5.4	30.0
2003/12/03	5.8	35.3	2005/03/20	6.6	13.1
2003/12/22	5.6	34.4	2005/08/16	7.1	42.0
2003/12/29	6.2	38.9	2007/02/17	6.0	40.1
2004/03/27	5.9	37.0	2007/03/25	6.7	10.7
2004/09/05	7.2	37.6	2007/07/16	6.6	16.8
2004/09/05	7.5	43.5			

示す。2003年十勝沖地震と2004年紀伊半島沖の地震は余震もあわせて用いている。強震動の予測をするため、ここでは震央800km以内の記録を使うこととする。KiK-net観測点において、地上と地下の記

録を比較して、本研究の対象としている周期帯域 2 ~ 10 秒においてほとんど振幅に違いが見られず、増幅されていないことを確認している。解析には直達 S 波直前から約 160 秒の記録を使い、前後 5 秒間にコサインテーパーをかけている。NS、EW 方向成分のスペクトルを水平合成し、スムージングには対数型 Parzen ウィンドウを用いた。そのスペクトルを 2 秒から 10 秒までの帯域を 10 分割し平均化したもので評価を行う。10 分割した周期帯域はその中間値で表記する。なお、データ長が足りない観測記録は解析に用いていない。

3. 解析方法

ここでは基盤上の記録を使い、地盤増幅が十分に小さいとみなして、地震動を震源特性と伝播特性で表記できるものとして定式化を行う。

$$O(\omega) = R(\theta)S(\omega) * r^{-\beta} * \exp(-\alpha r)$$

第一項は震源特性を表し、R はラディエーションパターンを示し、各方向成分で異なる値をもつこととする。第二項は幾何減衰項を表している。ここでは、表面波の幾何減衰に近いものとして、 $\beta = 0.5$ とした。第三項は非弾性による減衰を表している。この減衰項の定数 α が決まれば、震源特性が与えられる。しかし、図 2 に十勝沖地震のスペクトルを円の大ききで示しており、方向によって振幅が大きく異なっていることがわかる。ラディエーションの差を軽減するために震央から同様の方向からの記録のみをデータセットして扱いそれぞれの角度において、プロットする。ここでラディエーションパターンが類似している角度として扱う範囲を 20 度として、震央から 20 度以内に入る測線内の減衰を複数のラインで作成する。なお、やや長周期帯域の減衰は火山フロント通過するときにおいても減衰は変わらないという報告がされているので、本研究では全国同じ定数で表現する。ラディエーションの節に当たる方向では、射出角度もラディエーションに影響することが考えられるため、減衰はラディエーションの節以外の方向について求める。その観測データと (1) 式による計算値が一致するように α を GA によって求める。 α は図 3 に示す値と評価した。 α は周期が短くなるほど大きな値を示し、減衰が大きくなっていることがわかる。短周期帯域の非弾性減衰特性と同様の傾向を示しており、この値は座間の結果と同程度である。図 4 に紀伊半島沖の地震の関東に向かう測線の減衰曲線を示す。他の地震や方向においても同様な結果が得られている。

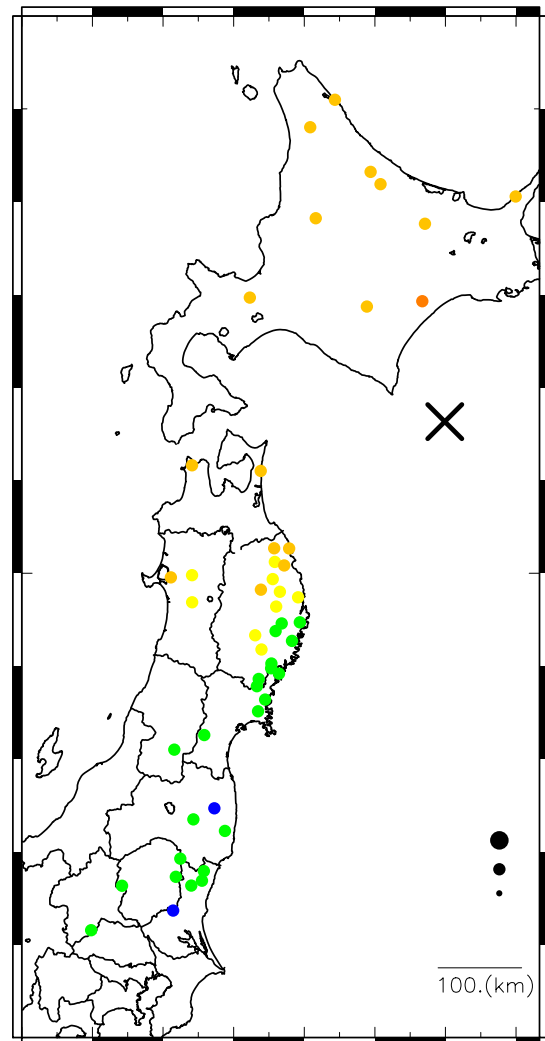


図 2 十勝沖地震の T=9.22 秒の
加速度スペクトル値

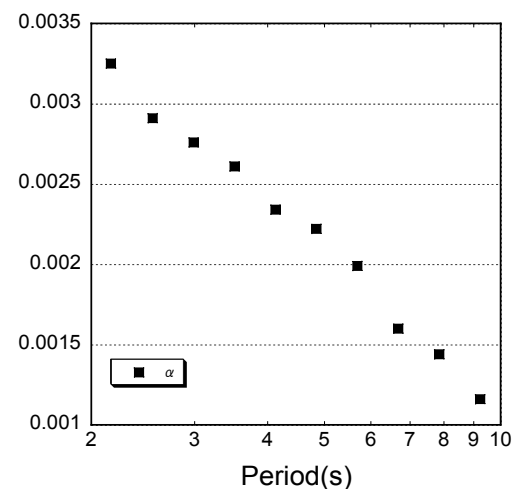


図 3 非弾性減衰を表現する係数の値 α

α が得られたため (1) 式の震源項が得られる。震源は放射特性を考慮するために、方向ごとに値を変え、ここでは 20 度毎の値を求める。図 5 に平均値で基準化したときの十勝沖地震の方向別の震源特性

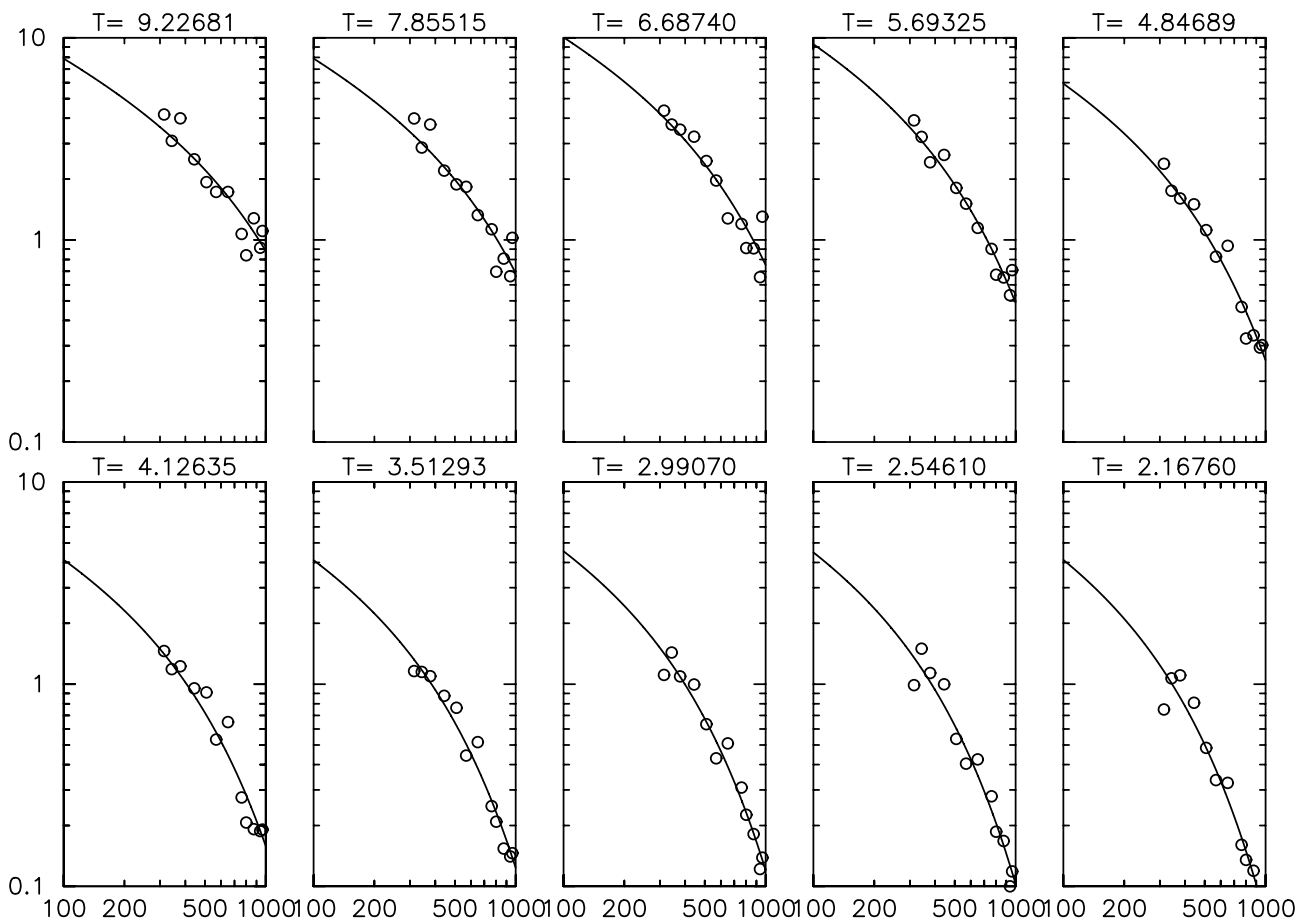


図4 紀伊半島沖の地震の観測スペクトル値と減衰曲線の比較

を示す。これはディレクティビティ効果を含んだ放射特性を表しており、北側に大きな値を示している。この平均値と標準偏差をもってMの異なる本震と余震について検討を行う。ここでの検討には十勝沖地震と2004年紀伊半島沖の地震のデータを用いた。図6に振幅と周期の関係を示す。両地震とも非常に類似していることがわかる。応力効果量が一定で、 $w=2$ モデルに従うなら、コーナー周波数を越えたところで急速に折れ曲がるが、 $T=9.22$ 秒 2.17 秒両方ともそのような傾向は見られず、そのほかの周期においても、緩やかに傾斜が変化するだけである。その傾斜を表す M_w にかかる乗数と周期の関係を図7に示す。周期が長くなるにしたがってその値が大きくなる。既往のPGVの距離減衰式5)では M_w にかかる係数は 0.58 と小さく、やや長周期領域では、 M_w の変化によって大きく振幅が変わることを示している。

4. まとめ

M8級の東海東南海地震が発生したとき、首都圏で卓越するやや長周期地震動を予測することを念頭において、海溝型地震の2003年十勝沖地震、2004年

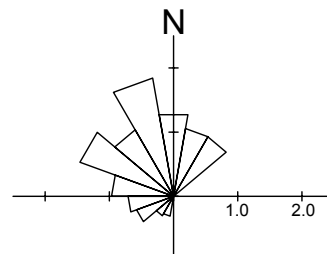


図5 十勝沖地震のラディエーションパターン

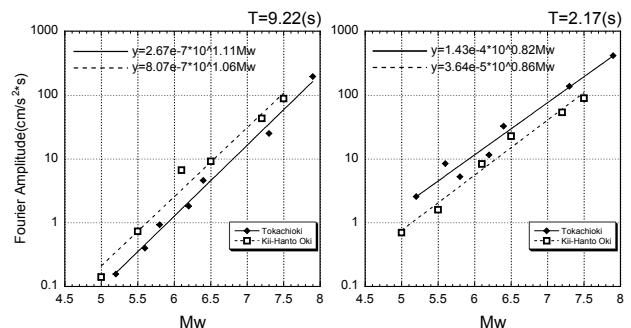


図6 M_w と振幅の関係

紀伊半島沖の地震について、地震記録から減衰特性、震源特性を求めた。現段階においては、理論解析と同様にディレクティビティ効果が大きく、予測精度

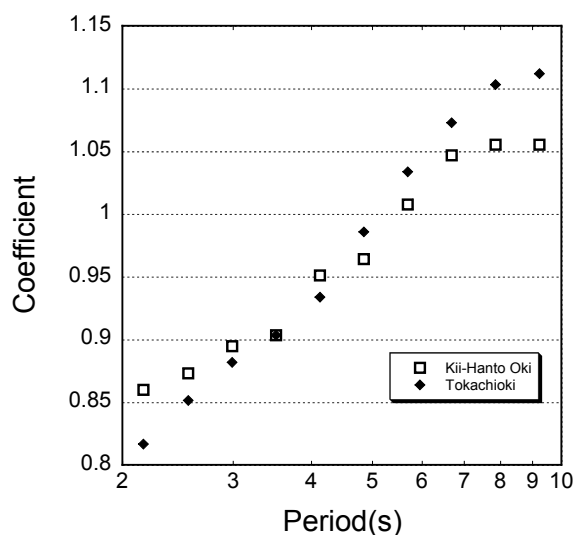


図7 Mwにかかる係数と周期の関係

にばらつきが予想されるが、想定地震と類似した地震記録が得られれば簡便な方法によって予測できることを示した。

謝辞

強震記録を使用させて頂いた防災科学技術研究所 (F-NET、K-NET) のご関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 江藤、元木、瀬尾：地震観測記録のスペクトル比を用いた関東平野のやや長周期地震動特性、日本建築学会学術講演梗概集、B-2、2006
- 2) Kudo, K. : Significance of Long-Period Strong Motion in Seismic Risk Evaluation, Proc. of the 4th International Symposium on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk, Bechyne Castle, pp. 433-439, 1989
- 3) 座間：気象庁1倍強震度計記録にみられるやや長周期地震動特性—その2—、消防研究所報告、第76号、pp1-11、1990
- 4) 釜江、入倉、福知：特定サイトにおける強震動予測、日本建築学会構造系論文報告集、第409号、pp. 11-25、1990
- 5) 司、翠川：断層タイプおよび地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、523、63-70、1999