

# 東京首都圏に分布する長周期構造物の震災対策上の問題点 — 2003年十勝沖地震と2004年紀伊半島沖の地震をヒントにして —

○瀬尾 和夫<sup>1)</sup>, 元木 健太郎<sup>2)</sup>, 江藤 公信<sup>3)</sup>

- 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, seo@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, kmoto@enveng.titech.ac.jp  
 3) 株式会社東京ソイルリサーチ 技術本部 解析技術室, eto@tokyosoil.co.jp

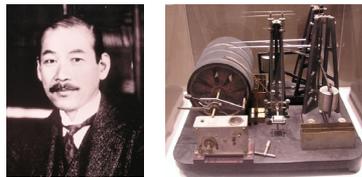
## 1. はじめに

東京首都圏が長周期地震動に対して大きな問題を抱えていることについては以前から多くの指摘がある。しかし長周期地震動の定量的予測を行うまでには至らなかったため、設計実務家にこの問題が注目される機会はほとんどないままに、現在見られるように、首都圏には長大構造物が林立することになった。再度、長周期地震動の問題が注目されるようになったきっかけは、最近になって発生したいくつかの長周期地震動に起因する災害によるものであった。ここでは2003年十勝沖地震と2004年紀伊半島沖の地震における長周期地震動の観測事例に基づいて、東京首都圏の長周期問題について考えてみたい。

## 2. すでに知られていた長周期地震動

東京首都圏に長周期地震動が存在するであろうとの認識は1923年関東地震の頃からあったはずであるが、長周期地震動に影響を受けるような構造物が実際に建設されるようになったのは、それからしばらく時代を経た1960年代の戦後復興・経済成長期

今村式2倍強震計による  
関東地震の記録(本郷)



1分



図1 今村明恒の2倍強震計と本郷における関東地震の記象紙である。新産業都市新潟では1964年の新潟地震と1983年日本海中部地震によって、東京首都圏よりも先に長周期地震動の洗礼を受けており、いずれの地震においても巨大石油タンクにスロッシング現象が顕著に現れ、溢流による被害が発生している。



図2 1964年新潟地震における石油タンクの溢流被害と火災

## 1983年日本海中部地震の経験

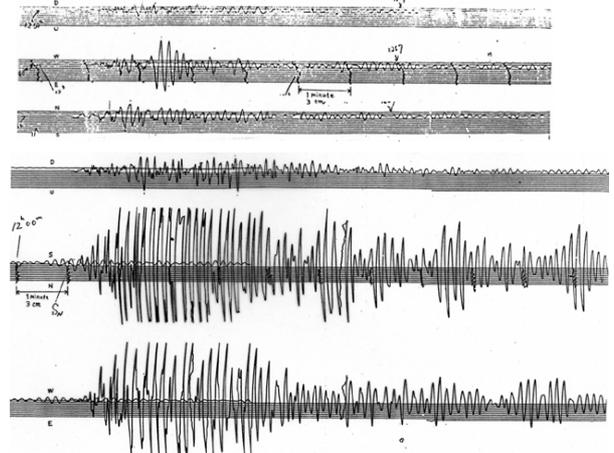
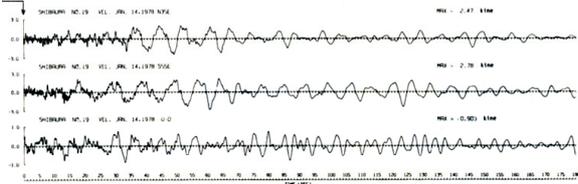


図3 1983年日本海中部地震における相川(上)と新潟(下)の1倍強震計記録(相川と新潟の地下構造の違いが明瞭)

関東平野では、その後、高感度・高密度の地震観測と地下深部構造の調査が実施されるようになり、長周期地震動の解明が進んだ。その結果、首都圏において長周期成分を優勢に含む地震動は、相模灘や伊豆半島・伊豆諸島付近に発生するごく浅発の地震の際によく現れることが判った。しかも注目すべき点は、東京において長周期地震動の卓越周期は常に7秒付近にあって、地震の発生場所や地震のマグニチュードによらず、また観測場所にもさほど左右されずに、非常に安定していることであった。

**1978年伊豆大島近海地震の本震(M7.0)の記録(芝浦)**



**1978年伊豆大島近海地震の前震(M4.9)の記録(大岡山)**

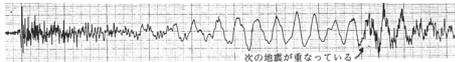


図4 長周期成分の優勢な1978年伊豆大島近海の地震。上は芝浦における本震(M7.0)の記録。下は大岡山における前震(M4.9)の記録。

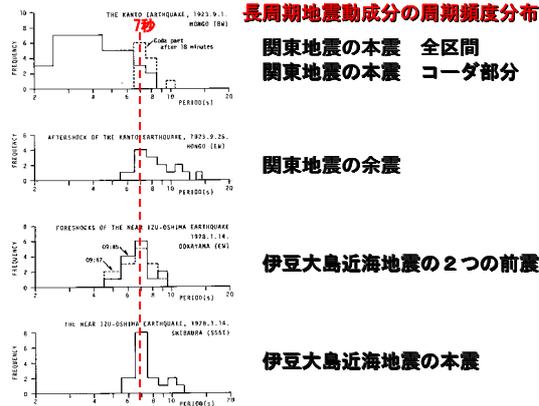


図5 東京に共通して見られる周期7秒付近の長周期成分

**3. 2003年十勝沖地震で卓越した長周期地震動**

今回の十勝沖地震では、十勝地方の軟弱地盤に起因する被害とともに、苫小牧における石油タンクのスロッシング現象とそれに伴ったタンク火災が注目された。このスロッシング現象を規定しているものは円筒型タンクの規模と油の液量であり、長周期地震動の特性は苫小牧が位置する勇払平野の地下構造によって特徴づけられる。勇払平野ではすでに反射法探査や微動アレー探査によって地下深部構造が調査されている(1989)。



図6 勇払平野における苫小牧(出光石油)と苫小牧国家石油備蓄基地。大きな被害は苫小牧の方のみ発生し、長周期地震動と特定の規模の石油タンクの共振現象として理解される。

**苫小牧周辺の深部地下構造とラブ波のエアリー相**

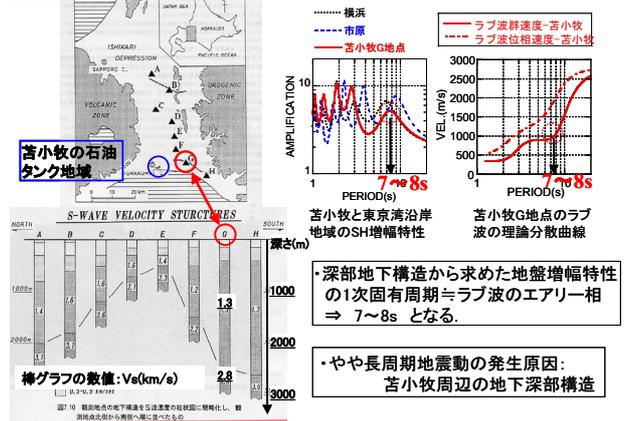


図7 勇払平野における地下深部構造の調査(1989)

**襟裳岬-苫小牧測線の速度時刻歴波形(EW成分 周期帯域(6-8s))**

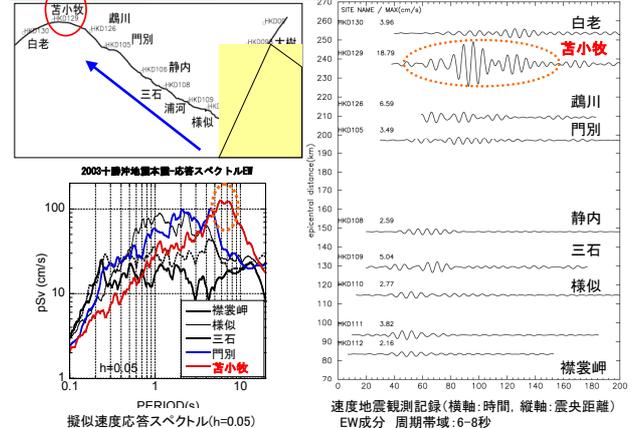
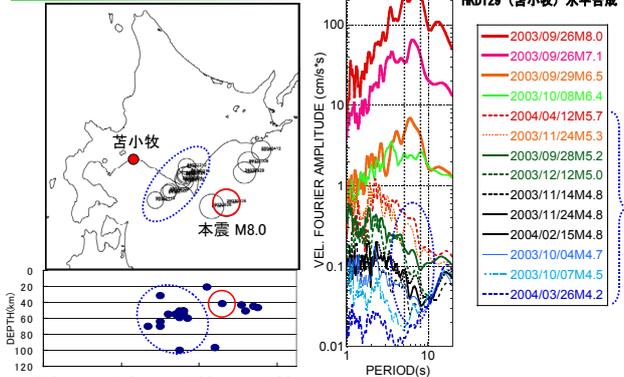


図8 苫小牧で長周期地震動が卓越した2003年十勝沖地震

**Mの大きさに伴うやや長周期帯域の振幅の変化—2003年十勝沖地震**



2003年十勝沖地震の本震(M8.0)と余震(M4.2-M7.1)の震央  
図9 苫小牧で観測された2003年十勝沖地震の本震(M8.0)と余震(M7.1~M4.2)のスペクトル

苫東の国家石油備蓄基地が建設されたのは、それよりも後のことで、もし長周期地震動に対処しようとの考えがあれば計画変更は可能であったかも知れない。今回被害が大きかった苫小牧にしても、タンクヤードが苫小牧ではなく室蘭にあれば、何の問題も発生しなかったはずである。

**4. 東京首都圏で卓越する長周期地震動**

2004年 紀伊半島沖の地震(M7.4)は東京首都圏か

ら見ればごく遠方の地震であったが、東京湾岸市原のスロッシング周期 11~12 秒の石油タンクでは 35cm の液面動揺を生じている。もし東京首都圏の近くで M8 クラスの巨大地震が発生した場合の長周期地震動の定量評価ははたして可能であろうか。関東平野では以前から地下深部構造の調査が実施されてきており、長周期領域での地盤卓越周期の分布性状はおおよそ把握されている。また、M8 クラスの地震観測記録は得られていないが、中小地震の観測記録は豊富に得られている。そこで問題は、これらの知見に基づいて M8 クラスの地震に対する長周期地震動の定量評価をどうしたらよいか、ということになる。

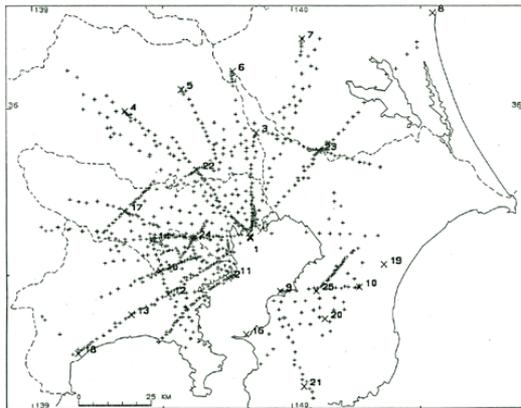


図 10 東京首都圏における屈折法地下深部探査の蓄積

関東平野内で励起されるやや長周期地震動の周期帯域の目安

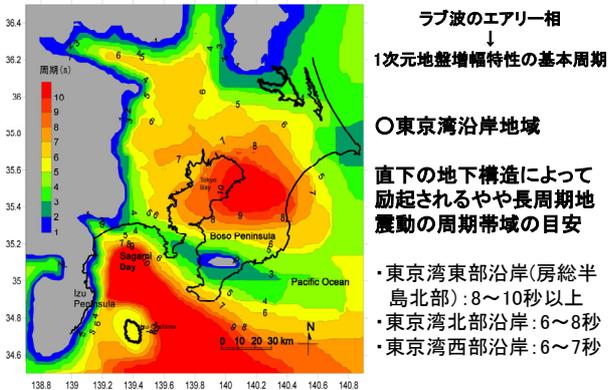
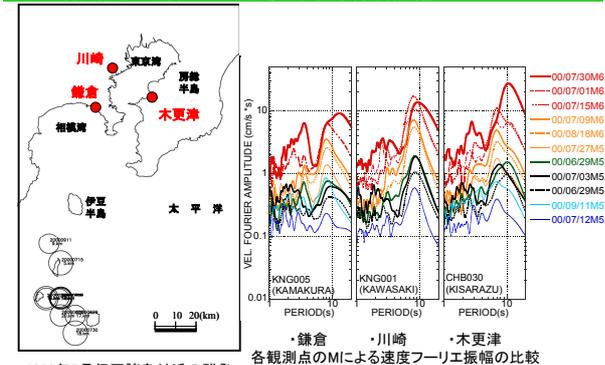


図 11 既往の地下構造調査から推定した東京首都圏の長周期領域での卓越周期 (図中の数字: 秒) の分布

Mの大きさに伴うやや長周期帯域の振幅の変化  
伊豆諸島付近の地震 K-NET鎌倉, 川崎, 木更津観測点



2000年7月伊豆諸島付近の群発地震の震央位置  
図 12 川崎・鎌倉・木更津の3地点で確認された長周期帯域での卓越周期の安定性(2000年伊豆諸島付近の群発地震)

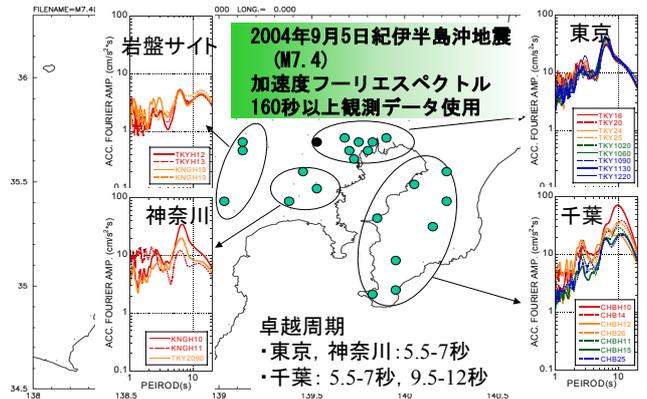


図 13 2004年伊半島沖の地震の際の首都圏各地における卓越周期の差異 (図 11 とよく整合している)

苫小牧, 鎌倉, 木更津における卓越周期帯域の平均振幅とMの関係

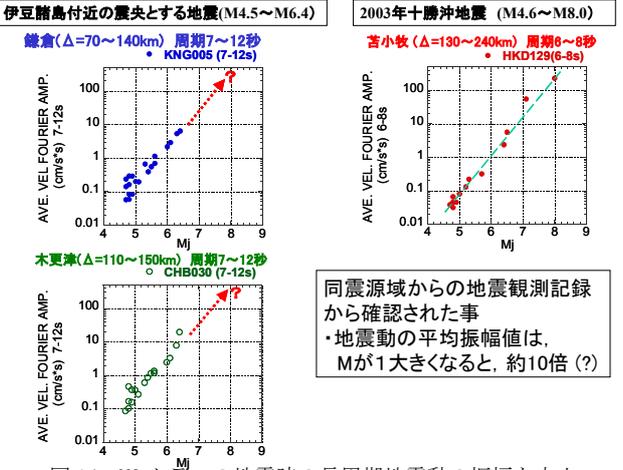


図 14 M8クラスの地震時の長周期地震動の振幅を中小地震の観測経験を用いて推定する方法の提案。苫小牧でのM8地震の経験を東京首都圏に援用することは可能か?

同震源域からの地震観測記録から確認された事  
・地震動の平均振幅値は、Mが1大きくなると、約10倍(?)

今もし、図 14 のような苫小牧での 2003 年十勝沖地震の観測経験に基づくとすれば、周期 6~8 秒で卓越する顕著なスペクトル振幅の大きさは、M8の本震から M5 程度の余震までの規模の異なる地震群に対してほぼ直線近時できる。この関係は、Mが1大きくなると振幅が約 10 倍になるというもので、従来から経験的に知られている倍率よりも大きい値となっている。図 14 には、この苫小牧での経験を首都圏の鎌倉・木更津に適用することによって、東京首都圏での M8 クラスの地震時の長周期地震動がある程度予測できるのではないかとの意味で、予測値の外挿が試みられている。このような検討の過程で明らかになった長周期地震動の基本的性質には以下に示すような傾向が認められる。

- 1) 大きな堆積平野の内部では直下の厚い堆積層を反映した長周期領域での卓越周期が存在し、地震によらず安定して出現する。
- 2) この時、岩盤に対する卓越周期の増幅率は地震規模によらず安定し、1次元の伝達関数に比して大きな値を示す。
- 3) また卓越周期の振幅は、地震規模に依存し、Mが1大きくなると振幅は約 10 倍になる。

## 5. 長周期地震動の影響を受ける長大構造物

東京首都圏には各種の長大構造物が存在している現状において、2003年十勝沖地震の経験から最も懸念されるのは、東京湾岸の石油タンク群である。関東平野の地下深部構造から明らかであるのは、神奈川地区においては周期6~7秒が卓越するのに対して、千葉市原地区では周期10秒以上が卓越するため、スロッシング現象に起因する石油タンクの被害形態には双方の地域で大きな違いが見られる点である。例えば、2004年紀伊半島沖の地震でスロッシングが確認された千葉市原の石油タンクであるが、これまでの知見を総合すれば、同じ方角で発生が予想されているM8クラスの巨大地震(東海地震・東南海地震など)に際して、前回と同じタンクが大きな被害を受ける確率は相当高いはずである。(長周期地震動の卓越周期はMによらず一定で、振幅はMが1大きくなると10倍であるので単純明快である)

## 6. おわりに

東京首都圏では、2004年の新潟中越地震や先般の千葉の地震(2005.7.23, M6.0)でも、高層建物のエレベーターに支障が多かったようである。まず明らかにしなければならないのは、もちろん、長周期地震動の定量的予測ということであろうが、それがクリアされたとして、長大構造物の設計実務では、そのような地震動はどのような扱いを受けるのだろうか。また実際の構造物では、いったいどのような挙動が問題となり、どのような支障が生じるのだろうか。石油タンクのスロッシング挙動については、対応の困難さはともかくとして、経験が蓄積されているので実現象をイメージすることは可能である。超高層建築・免震建築・長大スパンを有する吊り橋・海底沈埋トンネルなどでは、想定外の大きな長周期の変位に対して追従は可能であろうか。

### 全国から見た関東平野(1都4県)における長大構造物の数

- ・高層建築: 全国物件数の60% (1990~2003年ビルディングレター)
- ・石油タンク: 500kl以上の石油タンクの全国の1/3が東京湾岸に (座間1990)

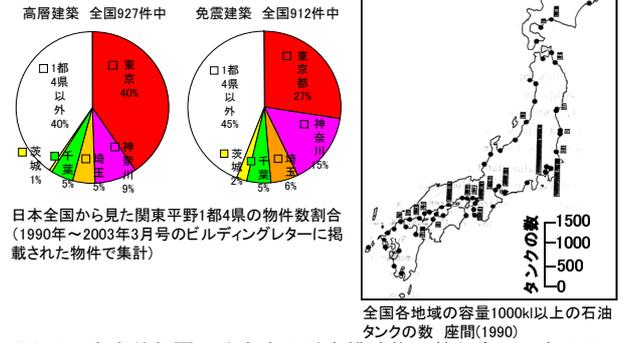


図15 東京首都圏に分布する長大構造物の数と全国に占める割合。

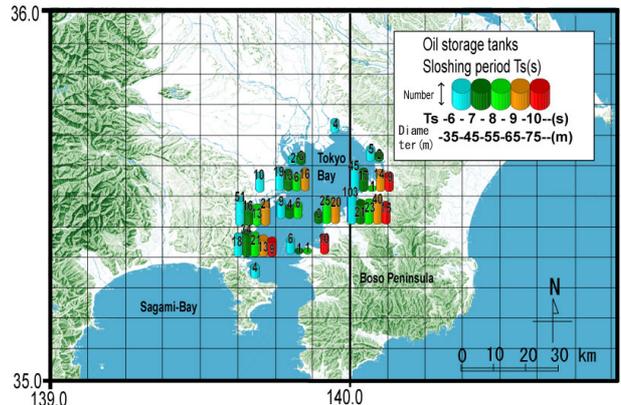


図16 東京湾岸の石油コンビナートに分布する石油タンクのスロッシング周期毎の数量(メッシュ単位)

謝辞

本報告の作成に際しましては防災科学技術研究所の K-NET/Kik-NET で観測された多数の強震記録を利用させて頂きました。また石油タンクの現状調査に際しましては、神奈川県防災局防災消防課、千葉県総務部消防地震防災課、川崎市臨港消防署、市原市消防局、ならびに神奈川・千葉両地区の石油コンビナート関連各社、苫小牧出光石油のご関係各位に大変お世話になりました。記して深甚なる謝意を表する次第です。