

長周期地震動によるコンビナート地帯の石油タンクに及ぶ影響

木更津高専 学生会員 ○渡邊 一樹
木更津高専 正 会 員 鬼塚 信弘

1. はじめに

東海地震と呼ばれる M8.0 クラスの巨大海溝型地震が、30 年以内に約 88% の確率で発生すると、2012 年 1 月政府の地震調査委員会によって発表された。震源から遠く離れた関東平野で長周期地震動が長時間継続すると予測されているため、長周期地震動に弱くスロッシング現象を引き起こしてしまう石油タンクを多数有する東京湾岸のコンビナート地帯で甚大な被害が発生すると推測できる。ここで本研究では、東京湾岸のコンビナート地帯において長周期地震動による被害を抑制する方法を探るため、東海地震による既設位置での石油タンクに及ぶ影響について把握することを目的とした。

2. 長周期地震動予測地図

2.1 想定東海地震による長周期地震動予測地図

文部科学省に設置される地震調査研究推進本部が公開している、想定東海地震による周期 5 秒、7 秒の長周期地震動予測地図¹⁾を示す(図 - 1, 図 - 2)。

これらの図は、周期 5 秒、7 秒の速度応答スペクトルの分布図であり、地表の揺れに対してそれぞれの固有周期をもつ構造物がどのように揺れるかを、応答の速度最大値の分布で表したものである。図 - 1、図 - 2 の関東平野に着目すると、固有周期が 5 秒である構造物よりも、7 秒の構造物でより大きい応答速度を示していることから、長い固有周期をもつ構造物ほど大きな揺れを生じることが示唆される。

2.2 予測震度及び長周期地震動の継続時間の分布図

地震調査研究推進本部が公開している、想定東海地震による予測震度分布図¹⁾及び長周期地震動の継続時間の分布図¹⁾を示す(図 - 3, 図 - 4)。

図 - 3 をみると、東海地震による関東平野の震度は 5 弱程度であることがわかる。図 - 4 をみると、応答速度 1cm/s を超える長周期地震動が関東平野において 300 秒以上継続して発生することがわかる。長周期地震動が長時間継続することにより、石油タンクのスロッシング現象が発生しやすくなることが考えられる。

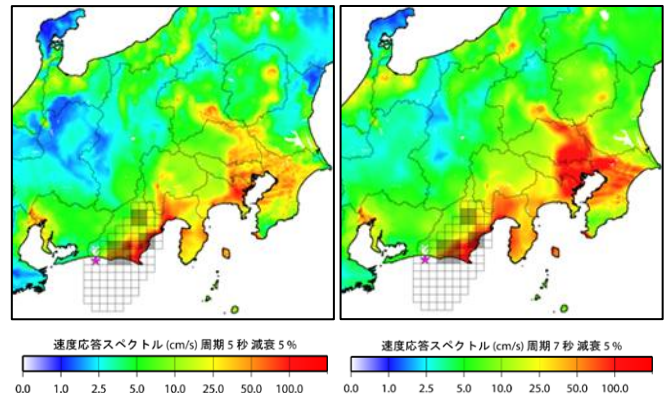


図 - 1 周期 5 秒の予測地図¹⁾ 図 - 2 周期 7 秒の予測地図¹⁾

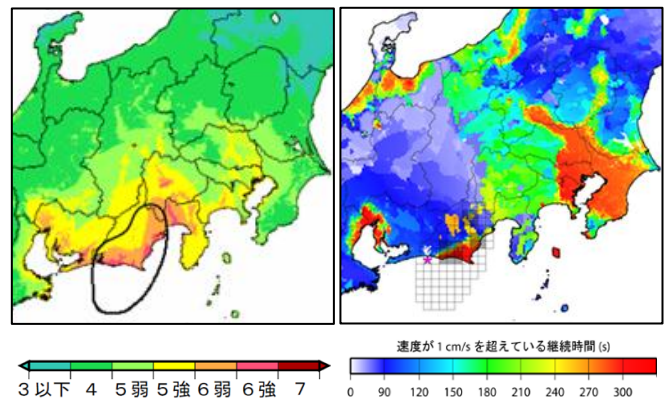


図 - 3 予測震度分布図¹⁾ 図 - 4 継続時間の分布図¹⁾

3. スペクトル解析

3.1 フーリエスペクトル解析

コンビナート地帯の地盤強度の指標をみるためフーリエスペクトル解析を行った。本研究は、防災科学技術研究所の K-NET が公開している、東北地方太平洋沖地震による千葉県市原市姉崎の強震観測記録をダウンロードし、フーリエ変換を行うことでフーリエスペクトル値を求めた(図 - 5)。

図 - 5 に示す通り、E-W 成分の周期が約 3.5 秒で卓越しているため、姉崎の地盤の固有周期は 3.5 秒程度であることがわかる。また、長周期帯でのフーリエスペクトル値が大きく、卓越周期が約 3.5 秒とやや長周期に分類されるため、姉崎は比較的軟弱な地盤であるといえる。

キーワード：東海地震、長周期地震動、スロッシング現象、スペクトル解析

連絡先：〒292-0041 木更津市清見台東 2-11-1 木更津高専 TEL0438-30-4161 E-mail: onizuka@kisarazu.ac.jp

3.2 応答スペクトル解析

地震波が石油タンクに対してどの程度の応答を生じさせるかを調べるため、応答スペクトル解析を行った。今回、姉崎における石油タンクの応答スペクトルを求めるため、千葉県石油コンビナート等防災本部が公開している調査結果報告書²⁾の、3種類の東海地震の予測波形による速度応答スペクトルを引用した(図-6)。

図-6に示す通り、姉崎の石油タンクは短周期帯より、2秒以上の長周期帯で約100cm/s程度に応答速度が増加することから、石油タンクに入力される地震エネルギーは長周期帯で増幅することが予測される。

4. スロッシング現象による溢流計算

長周期地震動の発生により石油タンクのスロッシング現象を引き起こしてしまうことが懸念されるため、溢流計算を行った。タンクのスロッシング固有周期 T_s は[1]式、スロッシング波高 η_{max} は[2]式を用いた³⁾。

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.68g} \coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)} \quad [1]$$

$$\eta_{max} = 0.419 \frac{D}{g} \left(\frac{2\pi}{T_s}\right) S_v \quad [2]$$

ここで、 D はタンクの直径、 H は液面高さ、 g は重力加速度、 S_v は速度応答スペクトルである。実際の千葉県コンビナート地帯に既設されているタンクを満液時と想定し⁴⁾、タンク直径75.5m、タンク高さ18.3m、液面高さ17.3mと設定して、予測計算を行った結果、スロッシング固有周期 $T_s=10s$ が得られた。さらに、想定東海地震による姉崎の応答速度 $S_v=1.0m/s$ を用いて計算すると、スロッシング波高 $\eta_{max}=2.0m$ という結果が得られた。その結果から波高と液面高さの合計値は19.3mとなるため、タンク高さ18.3mを超え内容液が溢流してしまう可能性が高いことがわかった。

5. まとめ

東海地震の発生によって、関東平野の広い範囲に長周期地震動が長時間継続して発生することが危惧される中、石油タンクを多数有する市原市姉崎のコンビナート地帯のスペクトル解析を行ったところ、姉崎は長周期地震動が伝播しやすい軟弱地盤であり、コンビナート地帯に既設されている石油タンクにおいて、満液時の場合、東海地震の発生により内容液が溢流する可能性が高いことがわかった。今後は本研究で得られた結果をもとに、振動台を用いた地盤改良実験など、地盤の面からみた長周期地震動対策を検討していきたい。

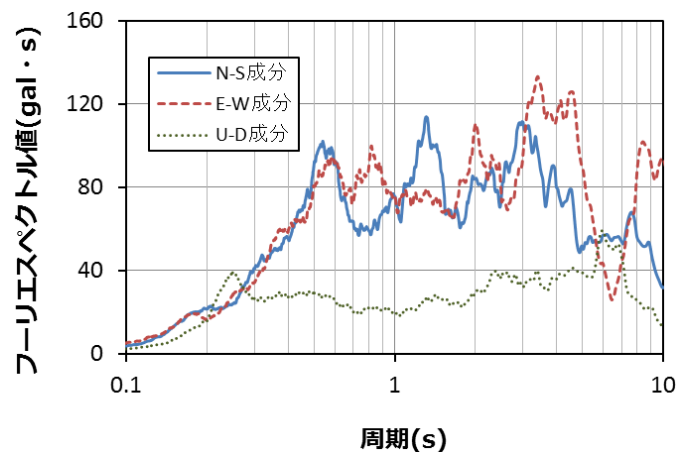


図-5 市原市姉崎のフーリエスペクトル

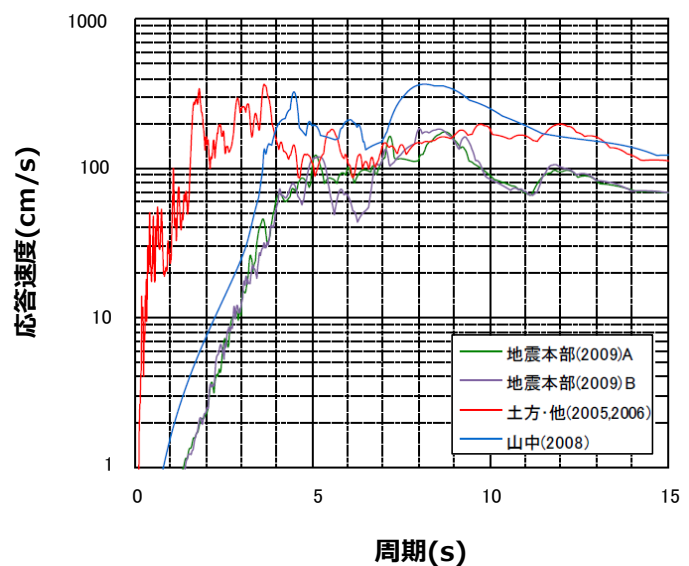


図-6 想定東海地震による姉崎の速度応答スペクトル²⁾

【謝辞】

本研究の実施にあたり、地震調査研究推進本部の長周期地震動予測地図、予測震度分布図、継続時間の分布図、並びに防災科学技術研究所の観測記録を利用させていただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 地震調査研究推進本部：「長周期地震動予測地図」2009年試作版 http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/index.htm
- 2) 千葉県石油コンビナート等防災本部：千葉県石油コンビナート等防災アセスメント調査結果報告書 pp.26-29,2010.
- 3) 坂井藤一：長周期地震動のタンク・橋梁に及ぼす影響 日本地震工学会誌 N.11 pp.8-11,2010.
- 4) 千葉県石油コンビナート防災アセスメント検討部会：耐震対策分科会検討結果報告書 pp.33,2011.