

I-674 1993年北海道南西地震による石油タンクの液面揺動について

消防庁消防研究所

座間信作

茨城大学工学部

正員 ○井上涼介

1. はじめに 本研究では、1993年北海道南西沖地震(7月12日、 $M=7.8$)における北日本各地の特定屋外貯蔵タンク(容量 $\geq 1,000\text{k}1$)のスロッシングの状況を調査し(図1)、最寄りの各機関の観測網(気象官署など)の強震記録から求めた応答解析結果と比較した¹⁾。

2. 速度応答スペクトル法による解析 スロッシングの観測された図2(a)~(e)の5地点における各事業所のスロッシングデータを、水平1方向加振で1次モードのみ考慮する「速度応答スペクトル法²⁾」により、速度応答スペクトル S_v に換算し(以下、「換算 S_v 」と略す)、最寄りの気象官署の強震記録(苫小牧、新潟、秋田は87型強震計記録、函館は1倍強震計記録紙、青森は87型変位出力紙の各データ)から減衰定数 $h=0.1\%$ と仮定して計算した S_v (周期2~20秒;以下、「計算 S_v 」と略す)の値と比較した(図2)。ちなみに、気象庁各官署と各事業所のタンクサイトとの距離は、苫小牧(油痕):約5~20km、新潟(油痕、一部はディプレーサ型液面計):約3~20km、青森(フロート型液面計):約4km、函館(フロート型液面計):約4km、秋田(油痕):約8.5kmなどとなっている(以上で地点名の後の括弧内は波高の測定法を示す;これらの測定方法に係わる誤差がどの程度であるかは、現時点では評価することが出来ない)。同図より、①苫小牧、新潟では S_v の計算値が周期8~11秒付近で卓越し、地動加速度のレベルは(やや)小さいものの、継続時間が長い。ため、計算 S_v のピーク部分の値は百数十~200 kine 弱にも達していること(これらの地点では、1993年日本海中部地震の際にも大型タンクに顕著なスロッシングが発生しており、今後、やや深い地下構造などとの関連を検討する必要がある)、②苫小牧、新潟、青森では、換算 S_v と計算 S_v の値が略整合していること、③函館、秋田では、換算 S_v の値が計算 S_v の値を約2倍以上(函館では約4~10倍)も上回ること、などが読み取れる。

3. 2次元応答解析 2. ③に関連して、函館、秋田について、水平2方向入力に対する3次モードまでの液面応答を座間³⁾の方法で計算し、観測波高と比較した(図3参照;ここで☆印は、さらに液面における境界条件の非線形性の影響を考慮した場合(嶋田・他⁴⁾)を表す)。秋田(同図(b))ではやや改善が認められるが、函館(同図(a))では殆ど改善が認められない。

4. 考察 函館については、2次元応答解析(3.)によっても、換算 S_v の値を説明できなかった。この不一致の主な原因として、函館気象台とタンクサイトの間で地下構造が急変し、タンクへの入力地震動が、気象台へのその数倍になったと考えることもできる(関連して、座間⁵⁾によるLove波伝播の数値シミュレーション例を図6として添付しておく)。そこで、地下構造がよりタンクサイトに近いと考えられる建研、港研の函館観測点(図4)のデジタル強震計記録から S_v を求め、気象庁観測点についての計算 S_v (図2(d))および換算 S_v の値と比較した(図5(a), (b))。これらの図より、①どの周期に対しても、計算 S_v の値は大略、気象庁<建研<港研の順となっており、この順で換算 S_v の値により近づく、②周期約4秒以下では、建研、港研とも、計算 S_v の値は換算 S_v の値と略整合する、③周期約6秒以上では、換算 S_v の値が、建研、港研についての計算 S_v の値を依然として約2~3倍以上も上回っている、といったことが読み取れる。

5. おわりに 表題の地震について各地点における換算 S_v と計算 S_v の値を比較してみたところ、両者が比較的良く一致する場合としない場合があった。前者が後者を大きく上回る函館地域の結果は、「やや長周期帯域(2~20秒)」といえども、狭い領域内で地震動特性がかなり変化しうること、より一般化すれば、地点によっては気象官署などの観測点だけの記録では、その地域の代表とはみなせないことを示している。函館地域については、今後、地下構造の推定(地質、重力などのデータによる)、余震(同年8月8日、 $M=6.5$ など)の各機関(図4)による観測記録の比較、などによりさらに検討を進めて行きたい。

謝辞 スロッシングデータをご提供頂いた各事業所の関連諸氏、函館の強震観測データをご提供頂いた建研・港研の関連諸氏に、心よりお礼申し上げます。

参考文献 1)座間・井上:消防研究所報告(投稿中), 2)坂井:圧力技術, 18, 1980年, 3)座間:消防研究所報告, 60, 1985年, 4)嶋田・他:土木学会論文集, 368, 1986年, 5)座間:地震研究所彙報, 56, 1981年

SLOSHING OF OIL STORAGE TANKS
(1993 Hokkaido Nansei-Oki)

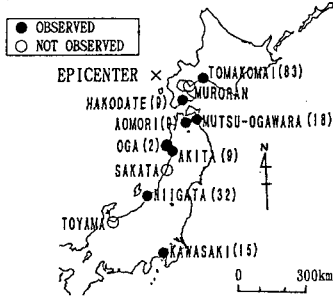
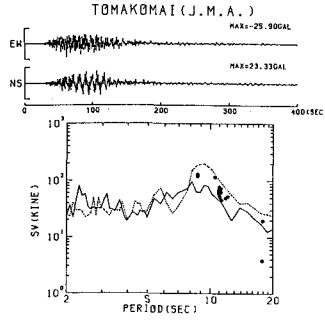
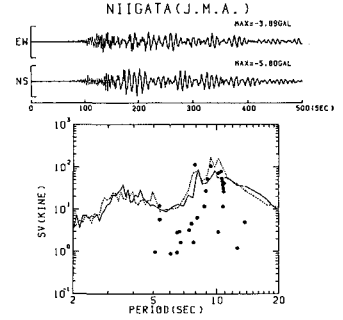


図1 各地のスロッシング状況（括弧内は、スロッシングの観測された大型タンクの基数）

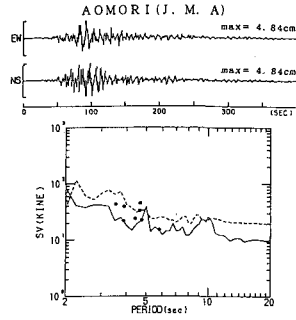


(a) 苫小牧 ($\Delta=196\text{km}$)

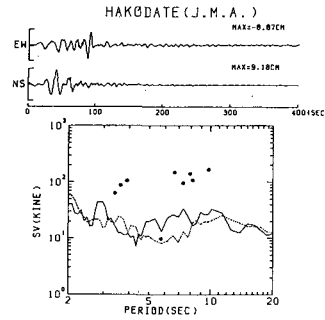


(b) 新潟 ($\Delta=541\text{km}$)

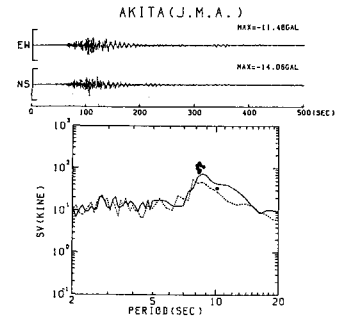
図2 気象庁観測点における地動波形（上）と速度応答スペクトルSv（下；ここで $h=0.1\text{km}$ 、また、実線、破線はそれぞれEW、NS成分）。黒丸は、最寄りのタンクサイトのスロッシングデータから換算したSvの値。



(c) 青森 ($\Delta=254\text{km}$)

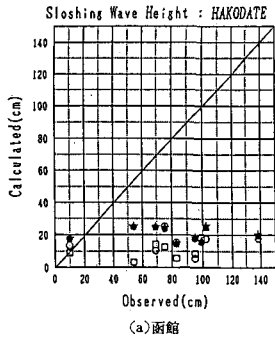


(d) 函館 ($\Delta=167\text{km}$)

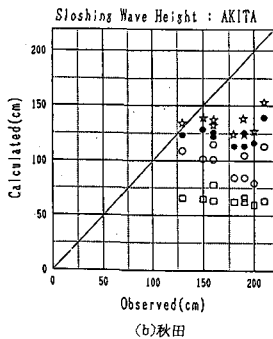


(e) 秋田 ($\Delta=349\text{km}$)

図2 (続き)



(a) 函館



(b) 秋田

図3 観測波高と計算波高の比較
白丸(EW方向)・白四角(NS方向)は水平1方向加振、黒丸は水平2方向加振、白星印はさらに非線形性を考慮した場合（本文参照）をそれぞれ表す

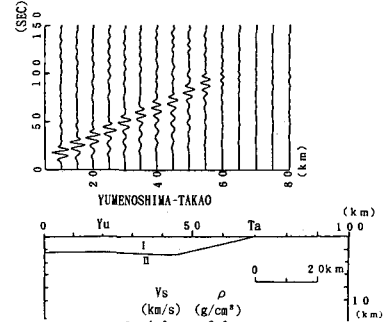


図6 夢の島-高尾間（東京）の深い地下構造モデル（下）に対するLove波伝播（上）のシミュレーション（座間⁴⁷）

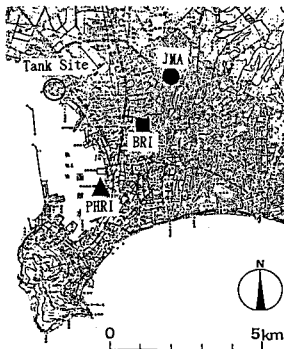
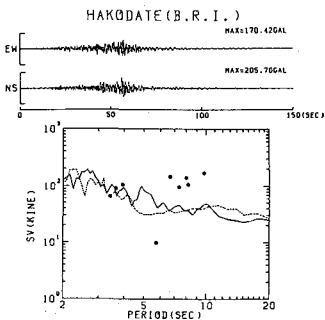
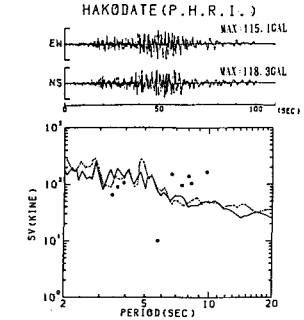


図4 函館地域のタンクサイト（白丸）と各機関の観測点の位置
黒丸は気象庁、黒四角は建研、黒三角は港研をそれぞれ表す



(a) 建研



(b) 港研

図5 函館の建研（左図）と港研（右図）の観測点における地動波形（上）と速度応答スペクトルSv（下；各線・点の約束は図2と同じ）