

巨大タンクのスロッシング高さから見た長周期地震動に関する 1, 2 の考察

京都大学工学部 正員 山田善一 同正員 ○家村 浩和

京都大学工学部 正員 野田 茂 前田建設 正員 嶋田三朗

1. まえがき 最近における土木技術の進歩にともなう、大規模かつその固有周期の長い(数秒以上)構造物が次々と建設されている。長大吊橋、斜張橋、海上プラットフォーム、大型タンクなどはその典型である。これら長周期構造物の設計スペクトルは、加速度記録の応答スペクトルを外挿することにより決定されて来たが、観測記録に基づいた実証的な値であるとは言いがたい。すなわち、長周期領域における加速度記録の信頼性が明確でないことや、一倍強震計は±3 cmで振り切れてしまうことなどが原因となっている。本研究は、スロッシング高さから、長周期地震動の応答スペクトルを逆算し、各種設計スペクトル値との比較・検討を行ったものである。

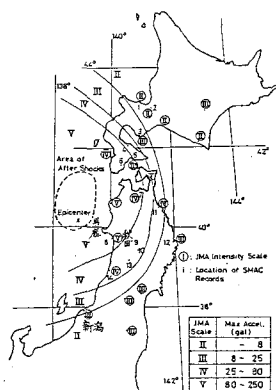


図1 等震度図

2. 日本海中部地震による地盤震動 昭和58年5月26日に発生した日本海中部地震(M=7.7)により巨大タンクが大きなスロッシングを起した。秋田では火災が発生した。さらに震央から約270km隔った新潟においては、震度がⅢで加速計がトリガーしなかった(十数ガル以下)にもかかわらず(図1), 溢流をともなうスロッシングが発生した。これらの事実は、地盤が長周期で稼動したことを示している。

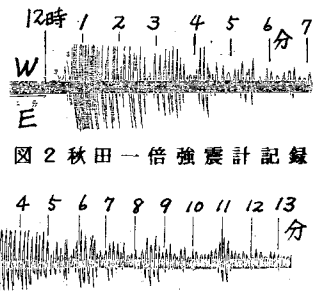


図2 秋田一倍強震計記録

図2, 3に示した秋田と新潟の一倍強震計記録を見ると、約2分間ほどの振り切れの後、7~10秒程度の周期の波が十数分以上にわたって継続している。大きなスロッシングは、継続時間の長い長周期地震波との共振現象によるものと考えられる。この地震による地盤変位のアテニュエーション特性を検討するため、地震月報に示された各地の一倍強震計記録の振幅 δ (cm)を震央距離 Δ に応じてプロットしたのが図4である。最大変位の生じた周期に

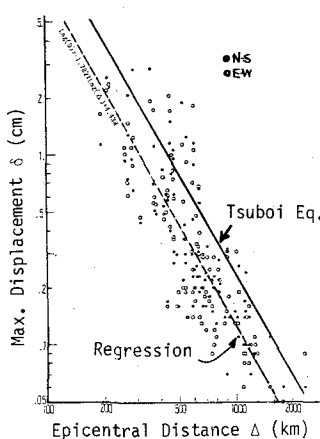


図4 一倍計変位と距離

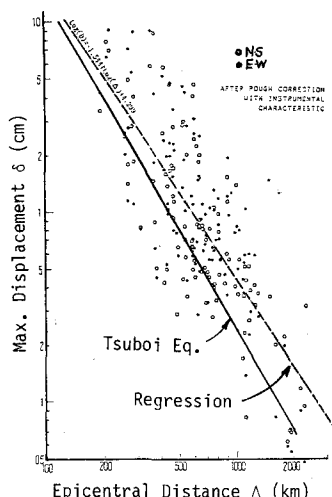


図5 修正変位と距離の関係

Yoshikazu YAMADA, Hirokazu IEMURA, Shigeru NODA, Saburo SHIMADA

修正変位は、 Δ が500 km以内において、次に示す坪井式

$$\log \delta = 4.53 - 1.73 \log \Delta \quad \dots \dots (1) (M=7.7 \text{ を利用})$$

よりもかなり大きくなることがわかる。

3. 各地巨大タンクのスロッシング周期と高さ

著者らは、地震直後より、各地の大型タンクのスロッシング高さに興味を持ち、東北、北陸および南北海道における各都市の消防本部に、詳細なアンケート調査を実施した。

これより秋田、男鹿、新潟市におけるスロッシング高さを、それぞれの周期に対してプロットしたのが図6である。他の都市においては、大型タンクが存在しないかあるいは存在しても非常に微小なものであった。スロッシングの1次モードの周期 T_s は、流力解析より次式で与えられる。

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.68g} \coth\left(\frac{3.68H_1}{D}\right)} \quad \dots \dots (2)$$

ただし、 D はタンクの直径、 H_1 は液深である。新潟では、8～11秒のタンクにおけるスロッシングが他の周期帯のそれより異常に大きな値を示している。秋田は震央より100 km程度と震源に近いが、8～10秒のスロッシング高さは新潟よりもやや低い。しかし4秒の所にもかなり大きな値が存在する。秋田よりもさらに震源に近い男鹿では、非常に低いスロッシング高さであった。スロッシングは、減衰の非常に小さい振動であるから、地震波動のうち固有周期周辺の狭帯域の周波数成分にのみ敏感である。したがってスロッシング周期に対応する長周期地震波が存在したことは間違いない。一倍強震計記録はこうした事実を裏づけている。スロッシング高さが地域や周期により大きく異なるが、その原因については、図7 $\eta_{\max}$ より逆算した S_A 震源過程や地盤条件などから現在検討中である。

4. スロッシング高さより逆算した加速度応答スペクトル

スロッシングの1次モードのみを考えれば、その高さ $\eta_{\max}$ は、基準座標における1自由度振動系の最大応答変位そのものであり、モード解析から次の関係を得る。ただし、 S_A, S_V は加速度および速度応答スペクトルである。 S_A を図7に示した。同図中に各種

$$\eta_{\max} = \frac{D}{2g} 0.84 S_A = \frac{D}{2g} 0.84 \left(\frac{2\pi}{T_s}\right) S_V \quad \dots \dots (3)$$

長周期構造物の設計スペクトルを載せたが、逆算値の中にははるかに大きい値もある。しかし、逆算値は減衰定数が1%以下の応答スペクトルに対応するから、通常の構造物の減衰効果によりどの程度にまで低下するか、現在検討を加えている。

謝辞 本研究でのアンケート調査と資料収集に御協力頂いた、各消防本部および気象台の皆様方に感謝の意を表します。

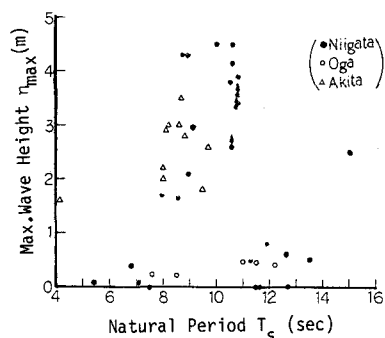


図6 スロッシング周期と高さ

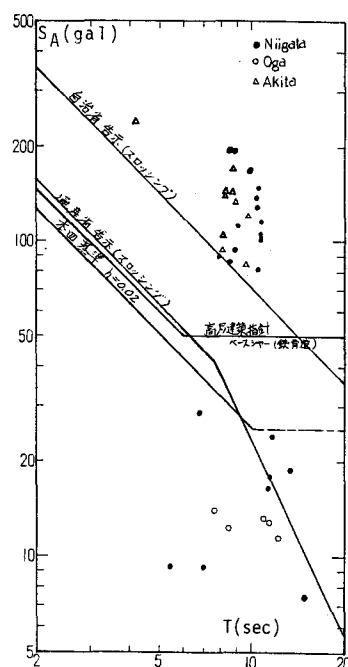


図7 $\eta_{\max}$ より逆算した S_A