

(119) 地下式貯槽の地震観測ひずみ

日本鋼管 (株) 榊 信昭
 東京互斯 (株) 小山 和夫
 同上 渡辺 修

1 まえがき

国内で、大型円筒地下式貯槽が多数建設され稼働している。ここでは、大型円筒地下式貯槽の地震時挙動の解明を目的に地震観測を行い、記録データから、主に貯槽の動的ひずみについて検討した。検討対象とした地震はA茨城県沖地震(1982. 7. 23, M 7.0, 横浜震度Ⅲ), B伊豆大島近海沖地震(1982. 8. 12, M5.7, 同Ⅲ), C神奈川西部地震(1983. 8. 8, M 6.0, 同Ⅳ)である。これらのうち、地震A, Cは同様な結果が得られたので、ここでは地震B, Cの検討結果を示す。

2 地震観測の概要

観測対象貯槽は、横浜市にある、稼働中の、容量9.5万KLの鉄筋コンクリート製LNG地下式貯槽である。貯槽諸元、周辺地盤構成と観測計器配置を図1に示す。加速度計はサーボ型(東京測振製)、鉄筋計(ひずみ計)は振動弦型(坂田電機製)を用いた。鉄筋計の測定分解能は0.05μである。

3 観測結果

3.1 地盤の地震動 地震B, Cの、図1のAG1位置の3成分の加速度波形を図2に示す。同図から、地震Bは、短時間に衝撃的に地震動が入力し、その後の減衰は早く、継続時間も短い。地震Cは、初期の部分でZ成分が卓越し、時間が経過するにつれ、3成分とも周期が長くなっていくことが認められる。継続時間は、地震Bと比較すると長い。地震B, Cの加速度の震央方向(X_R)成分と直交(X_T)成分、Z成分の非正常パワースペクトルとX, Y, Z成分のパワースペクトルを図3に示す。非正常パワースペクトルは文献1)の方法を用いて求めた。図3から、地震Bの X_R 成分は1.0~1.2 Hz(15秒前後)でパワーが卓越する。そこでは、表面波の分散性²⁾が認められる。 X_T 成分では1~4 Hz(13秒前後)でパワーが卓越している。ここでは分散性が認められないので、13秒前後の衝撃的な地震動成分は実体波と考えられる。Z成分は1~2 Hz(17~18秒)でパワーが大きくなり、分散性が認められる。地震Cの水平成分では、1.5~2.0 Hz(20~30秒)でパワーが卓越するが、そこでは分散性は認められない。Z成分では1.5~4 Hz(5~30秒)と0.45~0.65 Hz(45~50秒)でパワーが卓越し、非正常性が顕著に認められる。分散性は0.45~0.65 Hzで認められる。

3.2 貯槽の動的ひずみ 地震B, Cの側壁中段(GL-9.75m)のひずみ波形を図4に示す。同図のひずみNO.の数字は断面位置、OとIは側壁の外側と内側、TとZは円周方向(T)とZ成分を表わす。同図には6-6断面のT, Z成分それぞれの軸ひずみと曲げひずみも示す。ひずみ波形は、ドリフトを除くため、0.3~3.0の数値ハンドパスフィルターで処理した。パワースペクトルから、この範囲外のひずみ成分は少なく、無視してさしつかえないと判断した。ひずみ波形で特徴的な点は地震B, Cでは、断面6-6で、円周方向の軸ひずみが最大になること、地震Cでは、45~50秒で、比較的長周期のひずみが卓越することである。代表的なひずみ波形のパワースペクトルと非正常パワースペクトルを図5に示す。非正常パワースペクトルは、ひずみ応答の非正常性をみるため文

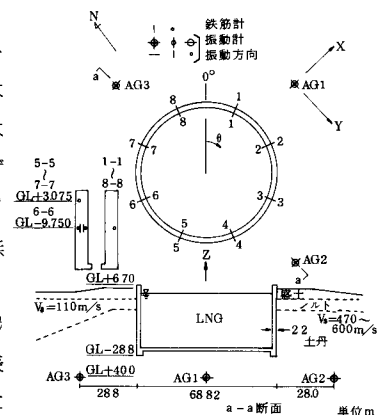


図1 観測計器の配置位置

献1)の方法を用いて求めた。非定常パワースペクトルの形状は、地震BのひずみのT成分とZ成分の13秒前後では、地盤加速度の X_T 成分と類似している。ひずみのT成分の15~20秒間は地盤加速度のZ成分と類似している。地震CのひずみのT、Z成分は、15~25秒間では地盤加速度の水平成分と、45~55秒では同Z成分と類似している。以上より、ひずみ応答にも非定常パワースペクトルから、地震継続時間の前半では、地盤加速度の水平成分に、後半では鉛直(Z)成分に対し、卓越して応答していることが認められる。地震B、Cの、ひずみが大きくなる時刻のT成分のひずみ分布を図6に示す。その時刻は図4のひずみ波形に記号○で示している。図6の点線の分布は側壁上段(GL+3.075m)のひずみである。地震Bのひずみ(SM20T)の最大値は13.11秒で生じている。ひずみ値の大きい13秒前後では半周引張り、他半周圧縮の分布形を示す。このとき上段での分布形は中段(GL-9.75m)とほぼ一致し、その値は中段と同程度かより大きな値となる。17.65秒以後ではひずみ値は小さいものの軸対称に近い分布形となる。このとき上段の分布形は中段とほぼ一致し、その値は中段より小さい。地震Cのひずみ(SM50T)の最大値は22.71秒で生じる。分布形の20.75~22.70秒では非対称な分布形となる。25.85秒以後は、全周引張りまたは圧縮となる対称性の強い分布形を示す。このとき上段のひずみ値は中段より小さい。図3の地盤加速度の非定常パワースペクトルと図6の分布形と比較すると、水平動のパワーが卓越する時間と振動数域で非対象な分布形となり、鉛直動のパワーが卓越する時間と振動数域では軸対称性の強い分布形を示す。地震Cでは、非対称と軸対称性の強い分布形は同程度のひずみ値を持つ。

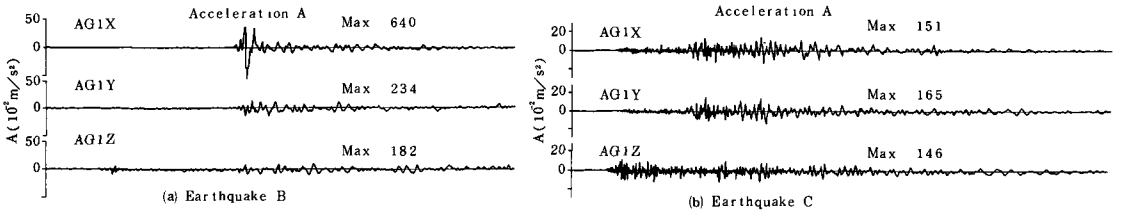


図2 加速度波形

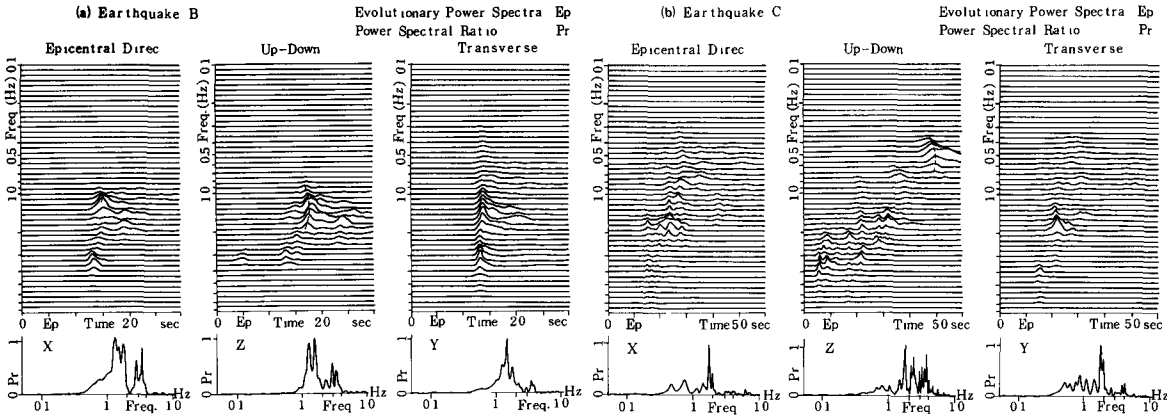


図3 加速度波形のパワースペクトル

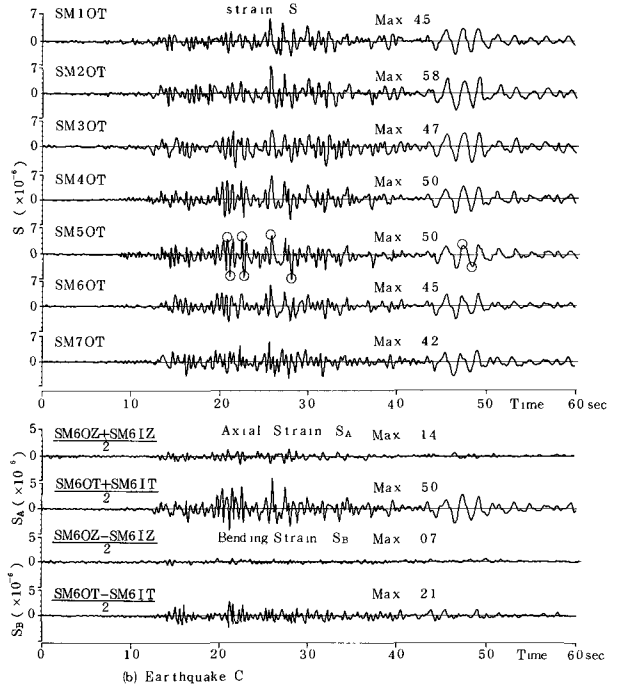
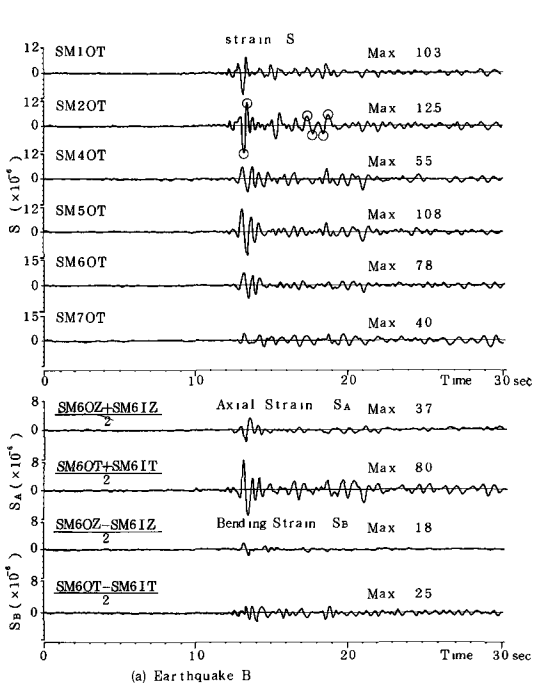


図4 ひずみ波形

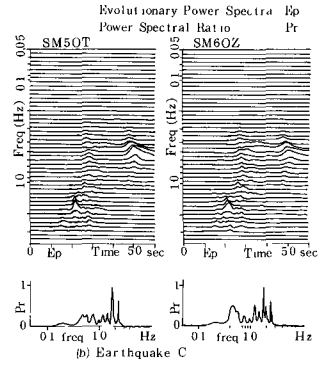
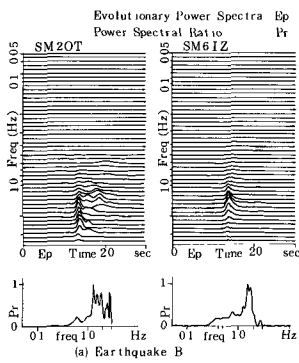


図5 ひずみ波形のパースペクトル

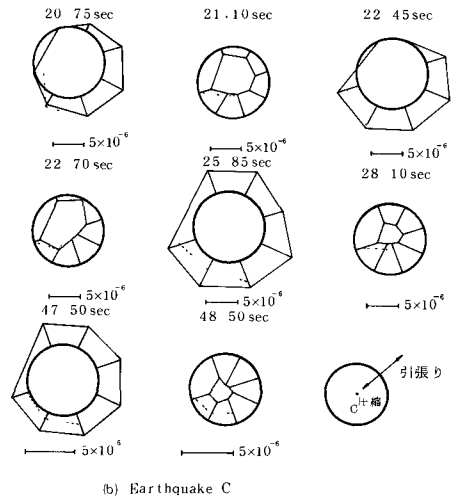
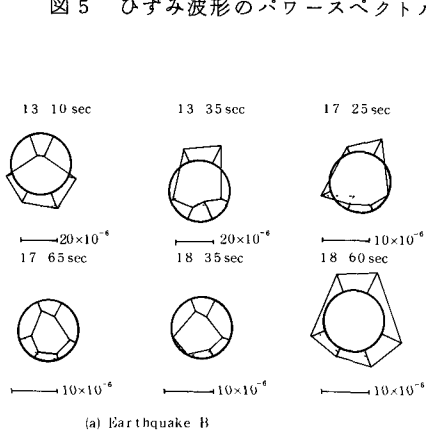


図6 動ひずみ分布

4 考察

貯槽ひずみの振動数特性を検討するため、地盤-貯槽連成系の軸対称有限要素モデル(図7)を用いて、ひずみの振動数応答曲線を求めた。解析モデルは、変位と荷重を円周方向にフーリエ級数で展開し、非軸対称振動が扱える。入力は、水平動(フーリエ級数の展開次数 $(n=1)$)と鉛直動($n=0$)を用いた。代表的要素(図7)の直ひずみの、基盤(GL-40m)で単位加速度入力当りの、振動数応答曲線を図8に示す。円周方向ひずみは、水平動入力では、3 Hzまで、側壁の上段(3519要素)が中段(2219要素)より大きくなる。これは、地震Bのひずみ分布の13.10、13.35秒の非対称な分布形とよく対応する。鉛直動入力では、0.2 Hz以上では、中段のひずみは、上段より大きくなり、地震B、Cの軸対称性の強い分布の場合とよく対応する。以上より、つぎのことが裏づけられた。実体波の衝撃的な水平動が作用するとき(地震Bの13秒前後)は、ひずみの円周方向成分は、半周引張り、他の半周圧縮となる分布形($\cos \theta$ 分布)が卓越する。鉛直動が卓越する時刻(地震Bの16~18秒、地震Cの25~40、45~55秒)では軸対称性の強い分布形が卓越して現われる。尚、地盤加速度の鉛直動では、地震Bの16~18秒、地震Cの45~55秒で、非定常パワースペクトルに分散性が認められる。

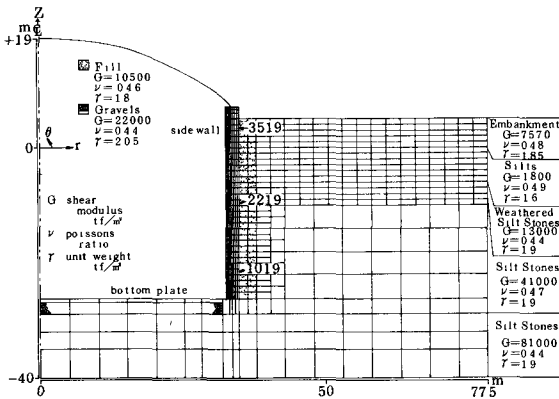


図7 地盤-貯槽連成系軸対称有限要素モデル

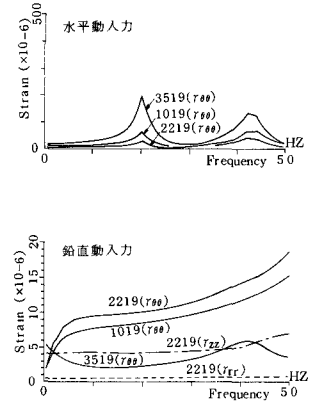


図8 直ひずみの振動数応答曲線

5 まとめ

大型円筒地下式貯槽の地震観測ひずみからつぎの知見が得られた。

- (1) ひとつの断面でみると、円周方向成分の軸ひずみが最も大きい。
- (2) 貯槽ひずみ応答の、振動数成分とひずみ分布形に非定常性がみられる。
- (3) 実体波の水平地震動が衝撃的に作用した場合、円周方向成分のひずみは、 $\cos \theta$ に近い分布形を示し、鉛直動が卓越して作用する場合は、軸対称性の強い分布形になる。
- (4) 地震により、軸対称性の強い分布形が、非対称な分布形と同程度のひずみ値を持って現われる。

〔参考文献〕

- 1) 亀田弘行(1975): 強震地震動の非定常パワースペクトル算出法に関する一考察, 土木学会論文報告集, 235号, pp 52-62。
- 2) 後藤尚男, 杉戸真太, 相川文宏(1983): 強震記録における表面波, 実体波の分離と地盤ひずみの推定, 第20回自然災害科学総合シンポジウム発表論文。