

清水建設(株) 正会員 石井 清
東京ガス(株) 正会員 小山 和夫

§1 はしがき

最近の原子力発電所や大型構造物のように平面あるいは深さ方向に大きな広がりをもつ構造物になると、基礎に到達する地震動のわずかな時間差あるいは波動のみで、入力地動を決定する際に重要な意味を持ちうるものとがわかってきた^{1),2)}。これは異なる2地点間にある地動の位相ずれ、振幅差を比較的剛な基礎版が拘束し、基礎は地動に対して一種のローパスフィルターとしての働きを示すことによる。そして、この効果は基礎版による地震波の入力損失の効果と呼ばれ、すでに数多くの実測データにより、この効果の存在が確認されている¹⁾。

著者らは、大型地下タンクをはじめとする実在構造物の地震観測記録より、この効果について検討を行ない、基礎の埋込み深さが入力損失の効果と関係が深いことを確認した。しかし、検討事例は十数例と少なく基礎幅と埋込み深さとの関係などより詳細な検討はできていない。

本研究では、参考文献(3)で報告した大型地下タンクの常時微動測定結果について統計解析を行なうとともに、その中で得られた傾向を有限要素法(平面ひずみFEM-FLUSH)を用いて検討する。

§2 地下タンクの常時微動測定結果

地下タンクの常時微動測定結果より、タンク形状の違いにより差異の見出された例を図-1および図-2に示す。これらの図はタンク側壁天端と地盤(地表)との伝達関数であり、入力損失の効果を検討する基本的な資料となる。また、図には2本の線が入れられているが、これは隣接する形状寸法の異なる地下タンクの結果である。およその形状は図中に示すとおりであるが、図-1の直径Dは6.8m、埋込み深さH24.5m、図-2のDは2.5m、Hは1.5mである。また、図-1と図-2の地層、地質はまったく独立している。

図からは、タンクの規模が大きくなると、ローパスフィルターとしての効果が強くなることが見られる。また、特に図-2は直径がほぼ同じで、埋込み深さが2倍違うタンクの比較であるが、振幅比0.5となる共振周波数が浅い方で2.9Hz、深い方で1.4Hzとその減衰の仕方も比例している。これらの結果は入力損失の効果に基礎の大きさ、特に埋込み深さが関与していることを示す有力な裏付けといえよう。

§3 測定結果の統計解析

上記の考察は隣接する形状の異なる2つの地下タンクの比較結果に基づくものであったが、他のデータも含め統計解析ができないであろうか？ マコでは、側壁天端と地盤(地表)の伝達関数の振幅比が0.5となる共振周波数 $\omega_{0.5}(\text{sec})$ を目的変数とし、基礎の埋込み深さ(H)および直径(D)を側壁の平均せん断波速度(V_s)で除した

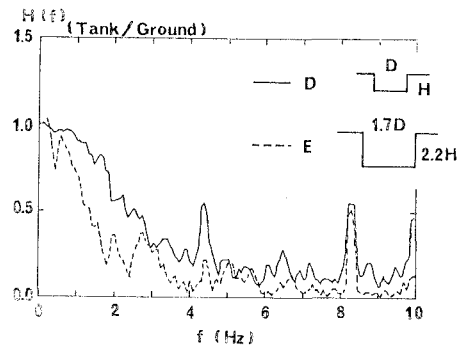


図-1 地下タンクの側壁天端と地表との伝達関数

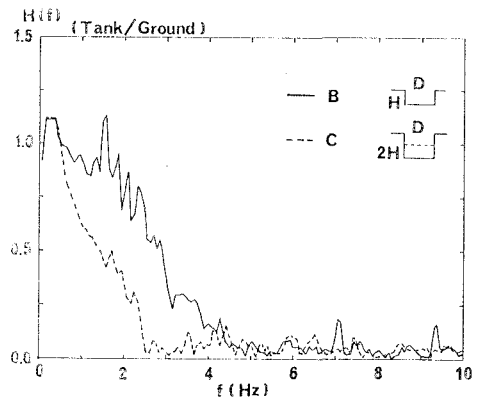


図-2 地下タンクの側壁天端と地表との伝達関数

値 すなわち (H/V_s) および (D/V_s) を説明変数として (重) 回帰分析を行った。ここで、 $\tau_{0.5}$ は入力損失の効果が強くなるほど大きくなる。また、 (H/V_s) 、 (D/V_s) はそれぞれ埋込み深さ、直径分の距離をせん断波速度 V_s の波動が伝播するのに要する時間であり、側壁の上下端およびタンク両端の波動伝播の時間差を与えるパラメータである (データ数 18)。

いま、 (H/V_s) のみを説明変数とした場合、

$$\tau_{0.5} = 3.62 (H/V_s) - 0.178 \quad (1)$$

(ここで、相関係数は 0.78)

また、 (H/V_s) および (D/V_s) を説明変数としたときには

$$\tau_{0.5} = 4.42 (H/V_s) - 1.02 (D/V_s) + 0.084 \quad (2)$$

(ここで、重相関係数は 0.95) の回帰式が得られた。(なお、側壁の平均せん断波速度の他に、底版下のせん断波速度を用いて統計処理したが結果は上記の方が良い。)

(1) および (2) 式からは入力損失の効果とタンク埋込み深さの間に正の相関があることがわかるが、タンク直径とは反比例の関係になっている。

§4 平面びすみ FEM (FLUSH) による解析

(2) 式の重回帰式における (D/V_s) の係数はマイナスとなっている。これは、基礎の幾何学的寸法が大きくなれば入力損失の効果も当然大きくなるであろうという予測とは一致しない。この点を FEM によるケーススタディにより検討する。検討対象は基礎の埋込みによる影響と基礎幅による影響の 2 つである。基礎幅 $D=40\text{m}$ 、埋込み深さ $H=20\text{m}$ 、地盤のせん断波速度 $V_s=300\text{ m/sec}$ (減衰定数 $\eta=5\%$) を標準タイプとし、基礎は質量のない剛基礎として入力損失の効果のみを評価する。また、基礎幅による影響評価では $D=40\text{m}$ 、 60m 、 80m と効果の違いがはっきりと表れるようにした。

結果を図-3 および図-4 に示す。図-3 からは基礎の埋込みに比例して入力損失の効果が大きくなることわかる。また、図-4 からは、基礎幅が大きくなると従って入力損失の効果が §3 の実験結果と同様に小さくなることわかる。なお、FEM の解析では地震は基礎の真下から入射するせん断波動であり、基礎の埋込みがなくなると入力損失効果は生じない。また、実際の地震の成分波は実体波、表面波が混り、複雑に反射・屈折した散乱波と考えられる。したがって、上記解析結果をそのまま信用することはできないが、実際の現象として (2) 式の傾向も十分ありうることわかる。

〔謝辞〕 常時微動測定および解析に協力していただいた東京ガス (株)、清水建設 (株) ならびに東京測振 (株) の関係者の皆さんに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 石井 清; 設計用の入力損失フィルターの提案, 清水建設研究所報, Vol. 33, 1980. 10.
- 2) 星谷 勝, 石井 清, 横田佳幸; 入力損失の効果と考慮した地震応答解析例, 土木学会第 36 回年次学術講演会, 第 I 部門, 1981. 10, 3) 石井 清, 赤尾嘉彦, 小山和夫; 常時微動測定による入力損失の効果の検討, 土木学会第 36 回年次学術講演会概要集, 第 I 部門, 1981. 10.

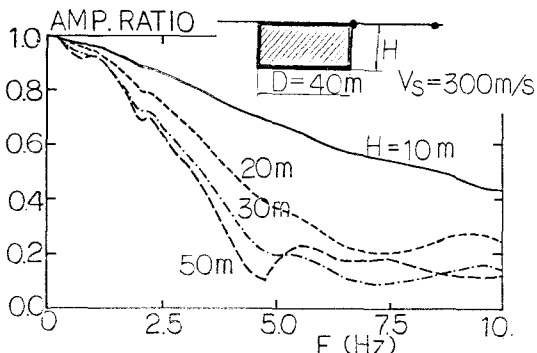


図-3 基礎/地表の伝達率 (FEM 解析)

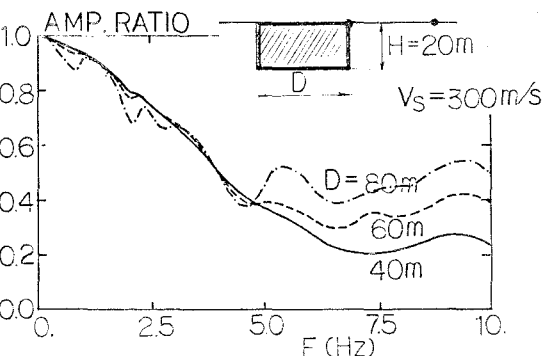


図-4 基礎/地表の伝達率 (FEM 解析)