

清水建設(株) 正会員 石井 清
清水建設(株) 山原 浩
東京瓦斯(株) 正会員 高木 貞人

§1. はしがき

構造物の地震応答解析を行うとき、構造物は一般に集中要素系モデルで置きがえられることが多い。そして地震とそれによる構造物の応答を純粹な振動現象と見なし、地表または地中のある点で想定される地震加速度波形をそのまま構造物に対する入力として用いている。また、このことは構造物の基礎に対して地震波がすべての周波数成分にわたって同位相、同振幅で入射することを意味する。しかし、地震はもとより波動現象であり、基礎の幾何学的寸法に比べてその成分波の波長が十分長いものは同位相、同振幅で入射するが、波長のより短い成分波は基礎の各点で位相ずれを持って入射する。この場合、この地震の位相ずれを剛な基礎版が拘束することにより、構造物を加振するのに有効な地震入力はある程度相殺され小さくなる(図-1, 2参照)。上記の現象は、基礎版による“地震波の入力損失”と呼ばれ、位相ずれを持って入射する地震入力に対する基礎版の幾何学的拘束によるローパスフィルターの働きとして理解できる。

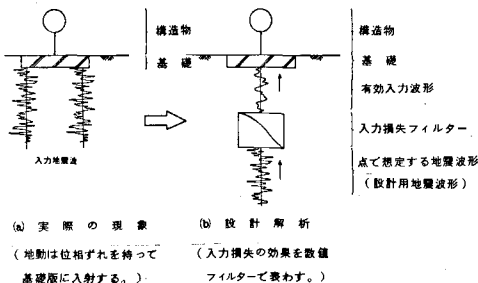


図-1 地震波の入力機構

また、この現象を解析に取り入れることは、解析をより実際の現象に近づけるというだけでなく、原子力発電所の機器配管系の耐震設計に関係して実用的な意義も大きい。

ここでは、地下タンクの実測記録を用いて、入力損失の効果を検討するとともに、これに対し軸対称FEM解析によるシミュレーションを試みる。

§2 大型地下タンクの地震観測³⁾

地震観測の対象となった地下タンクは図-3に示すように直径67.9m、高さ26.2m、側壁厚さ1.8m、底版厚さ5.5mの円筒形RC構造物である。埋込み深さは24.5mであり、タンク本体はほとんど土中に埋込まれた形となっている。土質状況はGL-14mを境として上部は埋立土と沖積層、下部は成田層群の一部である。S波の平均速度はGL±0~GL-14mの間で150m/sec、GL-14m~GL-40m間で380m/sec、そしてGL-40m以深では480m/sec以上である。

なお、“入力損失の効果”は質量のない剛な基礎版の地震に対する応答としてモデル化されているが¹⁾、地下タンクは上部構造物をもたず、中空となっていることから、一般の構造物とくらべ、みかけ上の単位体積重量は小さく、同タンクの場合には側壁、底版などは比較的剛に作られており、このモデルに近い構造となっている。したがって、地下タンクの実測記録の検討からは入力損失に関して従来以上に直接的で有用な資料が得られよう。

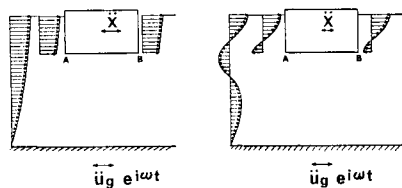


図-2 地下タンクに対する地震波の入力損失

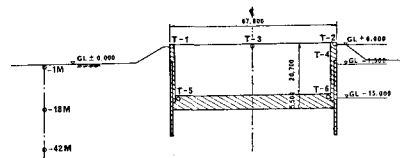
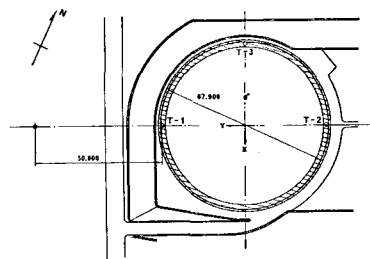


図-3 大型地下タンク

§3 地震観測波形

図-4は1968年6月12日の宮城県沖地震の際、同タンクで観測された地盤(GL-1m)とタンク底版の地震加速度波形である。観測波形からはタンク底版の波形が地盤と比べて短周期成分がカットされていることがわかる。また、これは両波形の伝達率をとることにより、さらにはっきりとする(図-5参照)。伝達率からは、振動数が0.0~1.0 Hzでは、地盤の周波数成分はタンクにほぼそのまま入射するが、2.0 Hz以上では2割5分程度しか入ってこないことがわかる。

§4 FEMによるシミュレーション解析

図-5に示めされる短周期成分のカットは§1で述べた入力損失の効果と考えられることから、軸対称FEMモデルを用いて、この現象をシミュレートすることを試みた。今まで解析モデルは設計解析で用いたモデルをほぼそのまま用いたが、入力損失の効果のみをはっきりと出すために、タンク本体の単位体積重量を通常の10分の1として、タンクに作用する慣性力の影響(通常の動的相互作用の影響)を除くようにした⁴⁾。

結果を伝達率について表示したものが図-7であるが、振動数 $f = 0.0 \sim 2.5$ Hzを中心として、解析は実測結果と十分にシミュレートできていると考えられる。

なお、この解析では、地盤を構造物直下より入射するセン断波と考えていることから、入力損失の効果はタンクの側壁において生ずることになる。従来、入力損失と言えば基礎底面に着目していたが、基礎の側壁すなわち基礎の埋込み深さが、この効果に相当に寄与していることが推察される。

§5 おわりに

本研究では地下タンクの実測記録より入力損失の効果について検討を加えた。紙面のつごうから、理論的な考察および地盤の代表点をGL-18m(タンク底版位置)とした場合などの考察については省略したが、これについては別に報告したい。

参考文献

- 1) 山原 浩;地震時の地動と地震波の入力損失, 日本建築学会論文報告集, No.165, 1969およびNo.167, 1970
- 2) 山原 浩, 塩谷 清人;実測例による地震波の入力損失の検討, 日本建築学会論文報告集, No.270, 1978.
- 3) 竹脇 尚信, 倉橋 龍夫, 中 裕 新, 石井 清;地下タンクの地震応答解析と地震観測, 第5回日本地震工学シンポジウム講演集, 124, 1978
- 4) Kausel, E., Whitman, R.V., Elsasabee, F. and Morray, J.P.; Dynamic Analysis of Embetted Structures., Proc. of the 4th SMIRT, K2/15, 1977.

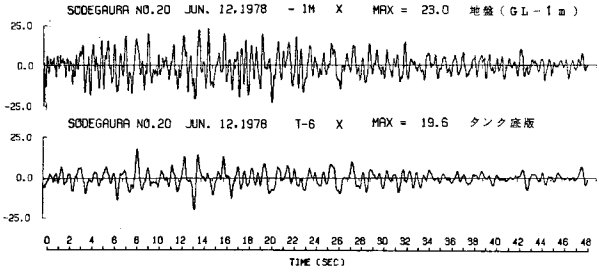


図-4 地震加速度波形

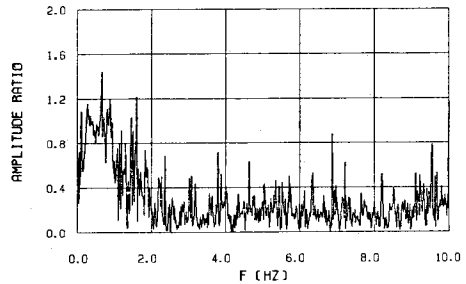


図-5 タンク底版と地盤(GL-1m)の伝達率

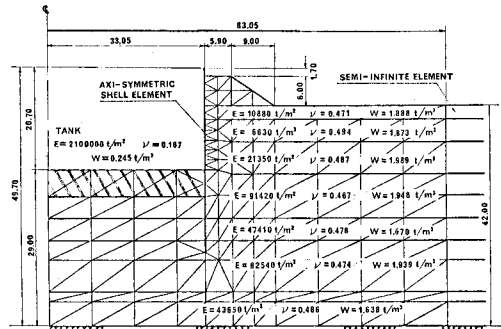


図-6 軸対称FEM解析モデル

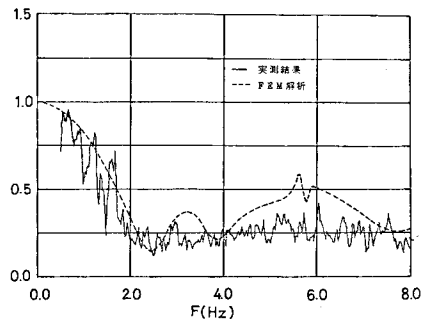


図-7 タンク底版と地盤(GL-1m)の伝達率