

I-234 入力損失の効果を考慮した地震応答解析例

武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
清水建設(株) 正会員 石井 清
横浜市政府 正会員 横田 佳幸

§1 はしがき

入力損失の効果についてはすでに多くの事例からまちがいになくそのような現象が存在することが確認されている。本研究では地震応答解析例を通して入力損失の効果を考慮することによって、従来の地震応答解析の結果とくらべ、その応答量が実際にどの程度の低減となるかについて調べてみることにした。ここで、解析例へととりあげた構造物は入力損失の効果を考えることの意義が大きいと思われる原子力発電所原子炉建屋の仮想モデルであり、解析の結果は構造物の最大応答値(絶対加速度、せん断力、曲げモーメント)についてだけでなく、機器配管系の耐震設計に用いられるフロアレスポンスについても比較検討を行なう。

§2. 解析に用いる原子炉建屋モデル

解析例として基礎版78m×78m、基礎底面からの高さ70m、総重量約32万トンの仮想原子炉建屋を想定した。ここで、地盤はその基礎をせん断波速度 V_s が450m/sec、ポアソン比 ν 0.46、単位体積重量 1.68 t/m^3 の半無限地盤とし、基礎の埋込み深さ H を17.0m、側面土の V_s 値を260m/secとしている。各部の減衰定数は上部構造を5%とし、地盤を10%とした。

構造物は10層の集中要素系モデルに置換され、基礎版による入力損失の効果は入力地震に対して§3に示す入力損失フィルターを用いて考慮するようにした(図-2参照)。

上記構造物の固有振動数は1次1.9Hz、2次3.8Hzとなっている。

§3. 入力地震とその有効入力波形

入力地震としては設計解析で広く一般に利用されているEl Centro (May, 18, 1940, SN成分), Taft (July, 21, 1952, EW成分)および十勝沖(ハブ) (May, 16, 1968, SN成分)の3波を用いた。

入力損失の効果は、参考文献(1)より埋込み深さ H を17m、側壁周辺のせん断波速度 $V_s = 260 \text{ m/sec}$ としてフィルター定数 τ^* を $\tau^* = 1.92 (H/V_s) + 0.120 = 0.246 \text{ sec}$ で τ^* 以下のフィルターを考えた。

$$|H(f)| = \left| \frac{f'}{\pi f} \sin \left(\frac{\pi f}{f'} \right) \right| \quad 0 \leq f \leq 0.710 f'$$

$$= 0.35$$

$$0.710 f' \leq f$$

ここで、 f および f' は振動数であり、 τ^* は $1/(0.710 f')$ として与えている。図-3はEl Centro波と上記のフィルターをかけた有効入力波形であるが、有効入力波形は原波形の高周波成

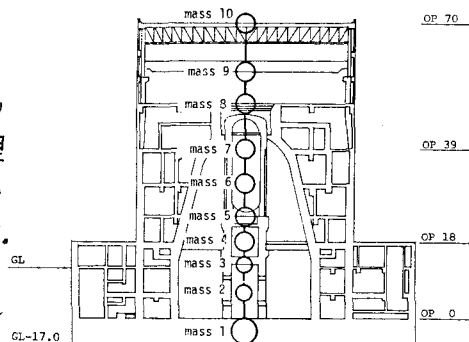


図-1 仮想原子炉建屋振動モデル

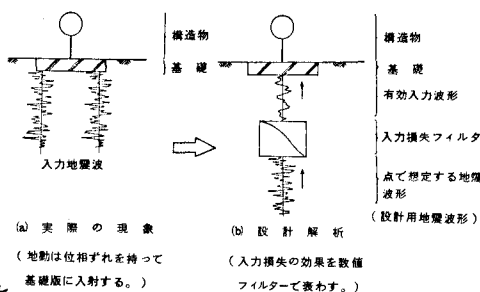


図-2 地震波の入力機構

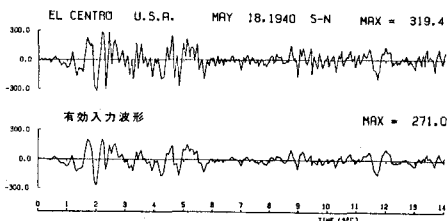


図-3 入力地震と有効入力波形

分がかなり除去されるとともにその最大加速度が約1割15分程度小さくなっていることがわかる。

§4. 計算結果

(1) 最大応答値による比較

図-4~図-6には入力地動とその有効入力波形に対する最大応答値の比較結果を示す。ここで、最大応答としては最大加速度値、最大せん断力図および最大曲げモーメントの結果を示している。図からは入力損失の効果を考えることにより、最大応答値は全体的に約2割方小さくなっているのがわかる。また、低層部(0P.±0.0m)の最大加速度では、両者の差はさらに大きくなっているものがある。さらに、応答波形をも含めた考察からは① 入力地動とその有効入力波形の最大加速度の差がほぼそのまま応答波形の最大加速度の差になっていること、② 建屋の低層部(0P.+18m以下)では両者の周波数成分は幾分異なり、入力損失の効果を考えた場合には短周期成分がだいぶ少くなること。また③ 0P.18m以上では両者の波形は振幅レベルを除けば、周波数成分、位相ともよく似たものになっていることがわかる。②および③の性質は構造物の応答が建物の上部では1次の振動モードによってほぼ支配されているのに対して、下部では高次の振動モードも関係することによる。

(2) フローレスポンスによる比較

入力地動のフローレスポンスと有効入力波形のフローレスポンスの比をとり、その効果を示す。図-7には建屋の代表として0P.±0.0m, 18.0m および39.8mの結果を示している。図からは建屋の低層部を中心に入力損失の効果が相当に期待できることがわかる。特に、0P.±0.0mでは周期 $T=0.2$ 秒を中心として、フローレスポンスは4割近くも小さくなっている。これに対して、0P.39.8mでは全体的に約1割5分程度、その値が小さくなるにすぎない。なお、今回の検討では入力地動として比較的大規模なマグニチュードが大きく、震央距離も遠い地震動を選んだが、さらに近距離あるいは直下型の地震動を選んだ場合には、その波形により短周期成分が多く含まれる可能性が高いことから、上記の傾向はさらに強いものとなろう。

§5. あとがき

本研究では原子炉建屋の仮想モデルの地震応答解析例を通じて入力損失の効果を検討した。結果にはフローレスポンスなど建屋のレベル、固有周期によってはその影響が無視し得ないほど大きいことが確認された。

参考文献 1) 石井 清; 実測資料に基づく地震波の入力損失フィルターの提案, 清水建設研究報, Vol.33, 1980.10.

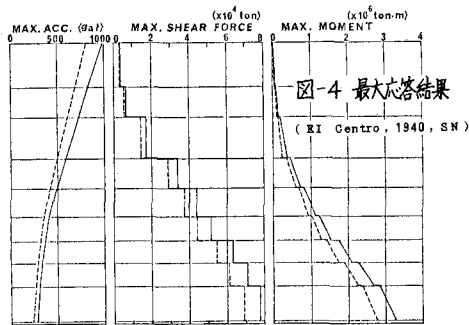


図-4 最大応答結果
(El Centro, 1940, SN)

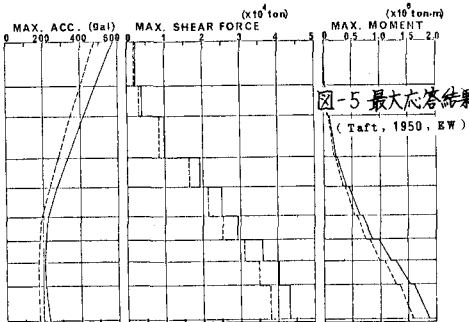


図-5 最大応答結果
(Taft, 1950, EW)

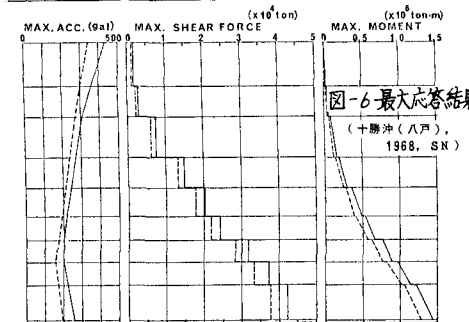


図-6 最大応答結果
(十勝沖(八戸), 1968, SN)

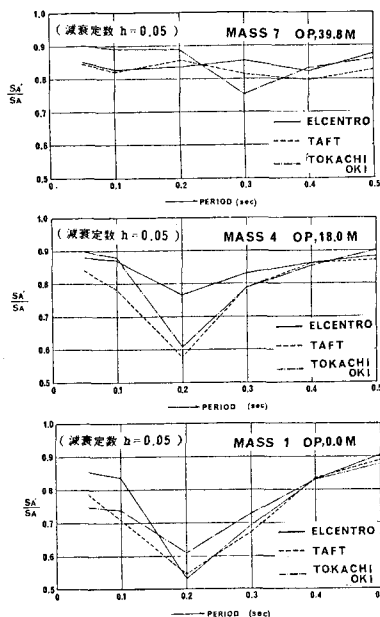


図-7 入力地動と有効入力のフローレスポンス比