

I - 38

無限遠方からのエネルギー入射を考慮したマス-バネ モデルにおけるパラメトリック解析

東北学院大学 学生会員 ○大河内光孝
東北学院大学 正会員 李 相勲

1. はじめに

地盤構造物系における動的解析を行う際に、広範な広がりを持つ地盤については、モデルの切断部を波動エネルギーが吸収できる伝達境界として取り扱う研究が数多くなされてきた。しかし、その地盤の上に構築される離散系構造物が無限境界を有する場合の境界条件の設定については、著者らが知る限りほとんど研究がされていない。

本研究では、無限遠方からの地動によるエネルギーの吸収量を求めエネルギー伝達境界に適用し、解析領域が不規則的に変化する場合や左右の遠方における地動の大きさが変化する場合などについてパラメトリック解析を行い、その結果について考察を行う。

2. 無限遠方からのエネルギー入射を考慮したエネルギー伝達境界

伝達境界を考慮したマス-バネ系モデルの解析領域 Ω において地動加速度 a_0 が作用した場合、その運動方程式は次のように書ける。

$$([K]_{\Omega} - \omega^2 [M]_{\Omega} + [R]_R + [L]_L) \{U\}_{\Omega} = -[M] \{a_0\}_{\Omega} + ([R]_R - [L]_L) \{U\}_R^L + ([L]_L - [R]_L) \{U\}_L^R \quad (1)$$

この式の左辺の $([R]_R + [L]_L) \{U\}_{\Omega}$ は右と左の境界でエネルギー逸散を表している。また、右辺の $([R]_R - [L]_L) \{U\}_R^L$ は右領域からの、 $([L]_L - [R]_L) \{U\}_L^R$ は左領域からのエネルギーの入射を表している。すなわち、 $\{U\}_R^L$ と $\{U\}_L^R$ はそれぞれ右側と左側の境界において、解析領域 Ω へ入射する波の複素変位振幅を表す。両側に伝達境界を持つ1質点モデルにおいて地動加速度 a_0 が作用する場合を考える。 $\{u\}_R^L$ と $\{u\}_L^R$ の複素変位振幅を u とすると伝播条件によって次式で表される。

$$\text{伝播しない場合： } u_1 = \frac{1 \cdot u_0 \cdot \eta}{1 - \eta} \quad (2)$$

$$\text{ただし、 } {}_1u_0 = \frac{-ma_{0R}}{\sqrt{(m\omega^2 - 2k - k')^2 - 4k^2}} + \frac{-ma_{0I}}{\sqrt{(m\omega^2 - 2k - k')^2 - 4k^2}} i$$

$$\text{伝播する場合： } u_1 = {}_1u_0 a \left(-\frac{1}{2} - i \frac{1}{2} \cot \frac{\phi}{2} \right) \quad (3)$$

$$\text{ただし、 } {}_1u_0 = \frac{-ma_{0R}}{\sqrt{4k^2 - (m\omega^2 - 2k - k')^2}} + \frac{-ma_{0I}}{\sqrt{4k^2 - (m\omega^2 - 2k - k')^2}} i$$

上式で求められるエネルギー入射量を考慮し解析を行った。解析結果から図-1に示すように振動が伝播しない範囲の ω の条件では、伝達境界を考慮した場合の応答振幅は非考慮の場合の応答振幅より大きくならないことが分かった。それは非考慮の場合で構造物を設計しても構造物は安全側の設計になることを意味する。一方、図-2に示す振動が伝播する範囲の ω の条件では、伝達境界を考慮した場合がより非考慮の場合より応答振幅が大きくなる質点が存在することが分かった。中央部に注目すると約1.1倍もの振幅が増幅される結果となった。これは伝達境界を考慮せずに構造物の設計を行うと、安全でない箇所が存在することを意味する。

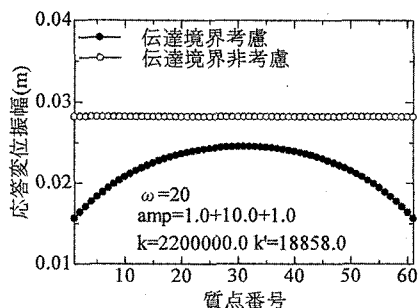


図-1 各質点の応答変位振幅 $\omega = 20$

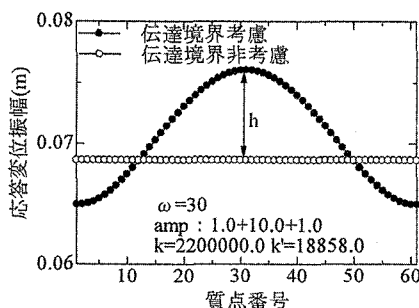


図-2 各質点の応答変位振幅 $\omega = 50$

3. エネルギー入射を考慮した不規則的構造物におけるパラメトリック解析

図-3に示すように解析モデルを解析領域Lの質量 $m = 30.0\text{ton}$ とし、解析領域Rの質量 $m = 50.0\text{ton}$ とする。解析領域LとRの間にある解析領域 Ω は、解析領域L側から解析領域R側へ行くにしたがって徐々に質量が増えていくようなモデルを考えた。

図-4は領域Lと領域Rの伝播条件を2次関数で表現したグラフである。⑤が負の場合の ω の範囲は伝播する波の範囲を表している。

逆に⑤が正の場合の ω の範囲は伝播しない範囲を表している。このグラフから質点の不規則な解析領域 Ω の伝播条件が読み取れる。5つの条件についてパラメトリック解析を行った。

検証を行った結果、図-4の②範囲での応答振幅の結果が他の範囲に比べて著しく大きく表れた。また領域Rにおいて伝達境界を考慮しない場合の応答振幅より、伝達境界を考慮した場合の応答振幅の方が全体的に大きいことが図-5から分かる。しかしこの結果からも分かるように、伝達境界を考慮せずに設計した場合、最高点では約3倍の振幅の大きさに及ぶ a の高さ分が増幅されることになる。実際に地震などの影響で構造物に振動が発生した際に、構造物の耐力を上回るので、構造物が破壊される危険性がある。不規則領域を含む構造物を解析する際に、伝達境界を考慮せずに行わないのが通常であるが、このことより伝達境界を考慮して設計する必要があることが言える。

4. 結論

伝播する場合において規則領域から解析領域へ入射するエネルギー伝達境界を考慮する場合は考慮しない場合より最大応答振幅が大きくなることがわかる。伝達境界を非考慮で行った設計方法が常に安全な設計であるとは限らないことが言える。

5. 参考文献

李 相勲, 田邊忠顕: 無限領域の地動を考慮したマス・バネ系モデルのエネルギー伝達境界, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 2, pp. 1453-1458, 2003. 7

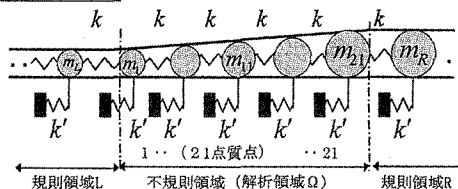


図-3 解析モデル

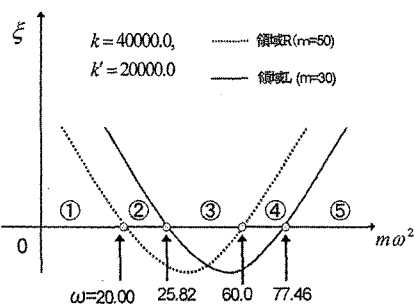


図-4 解析領域 Ω における伝播条件

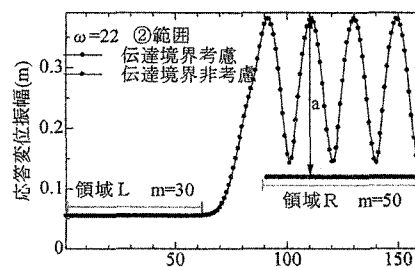


図-5 ②の範囲における周波数解析の
応答変位振幅