

I - 46

高架橋構造物における粘性境界の伝播速度に関する一考察

東北学院大学 学生会員○岡本 健一
正社員 李 相勲

1 序論

連続高架橋のように同形式の構造が非常に長く連続している構造物の応答を解析する際、波動エネルギーを吸収する仮想境界の一つとして、簡便で時間領域の解析に適用可能な粘性境界⁽¹⁾が取り上げられているが、その粘性境界においてエネルギー吸収能を左右する伝播速度の求め方についてはあまり検討されていない。そこで、本研究では連続高架橋をマス・バネ系モデルに置き換え、質量 m 、バネ係数 k 、地盤連結バネ係数 k' を変化したパラメトリック解析を行い、無次元化したグラフから簡便に伝播速度を求める公式を提案する。

2 粘性境界における伝播速度の影響

図-1 に示すマス・バネ系モデルにおいて、1 質点ごとの縦波の伝播速度(1)は次式で表せる。

$$V_m = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

ここでは数値解析を用いて地盤連結バネ係数 k' による位相速度の変化を調べる。解析条件は、質量 $m=2.0\text{ton}$ 、軸方向バネ係数 $k=5000\text{kN/m}$ とし、地盤連結バネ係数 $k'=0, 10, 100, 500, 1000\text{kN/m}$ とする。この5ケースについて基本縦波速度に対する位相速度の比 V/V_0 と角振動数 ω の関係を図-2 に表す。図-2 より、 $k'=0$ を除いた全てのケースで位相速度が ω に依存していることが分かる。これは $k'=0$ 以外の場合で波動が分散していることを示している。よって、 $k' \neq 0$ 以外では波動の速度を議論するには群速度の概念を導入する必要があると言える。

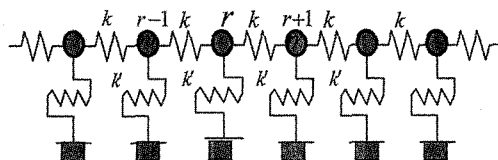


図-1 マス・バネ系モデル

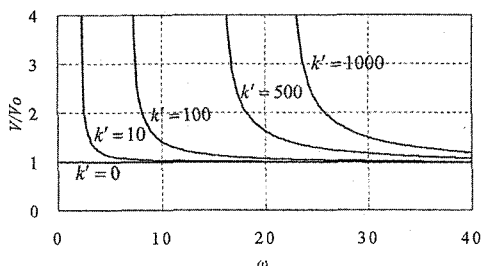


図-2 振動数と位相速度の関係

3 粘性境界における伝播速度の影響

図-1 のマス・バネ系モデルにおいて異なる速度で設定された粘性境界を設け、衝撃による応答波形を比較することで粘性境界における速度の影響をパラメトリック解析で検討する。検討方法は 201 質点モデルの応答波形(正解)と 51 質点の各伝播速度別の粘性境界を設定したモデルの応答波形比較することである。波形の比較には WCC⁽²⁾による方法を利用する。衝撃作用各条件で有意すべき時間が経過した時点において、2つの波形の勾配差を求める。その数値が小さいほど基準の正解波形に近い、すなわちエネルギー吸収能がよいことを意味する。紙面の都合上ここでは一例として、解析条件を $m=2.0\text{ton}$ 、 $k=5000\text{kN/m}$ 、 $k=0.0\text{kN/m}$ の場合について議論する。有意すべき時間として、正解波形が中央から境界面に達し、それが反射して 76, 126 質点に到達するまでを考慮する。図-3 より、計算すると、 $t=1.43+(1.43-0.26)=2.60\text{sec}$ となる。そして、伝播速度の異なる粘性境界を設定した解析結果から、最も正解に近づいた $V=40\sim 45\text{EA/sec}$ における勾配差を表-1 に示す。表-1 より $V=43.0\text{EA/sec}$ を最適値と見直す。正解波形との比較として $V=0.0$, 43EA/sec の時の時刻歴と応答変位の関係波形を図-4 に示す。当然ながら、伝播速度 V を 43EA/sec に設定した場合が、正解の波形と比べて若干差はあるが、一定のエネルギー吸収能を示すのに対し、 $V=0$ の場合は全く吸収されないことが分かる。

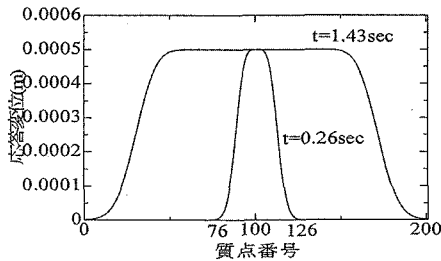


図-3 各質点の応答変位

表-1 WCCによる応答波形比較

Vの値(EA/sec)	勾配差(%)
40.0	3.375
41.0	3.368
42.0	3.363
43.0	3.361
44.0	3.363
45.0	3.368

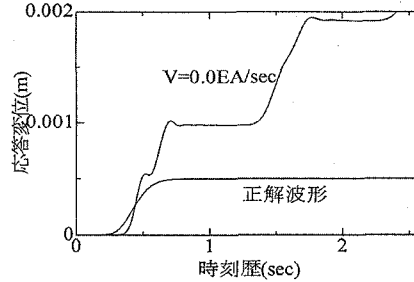
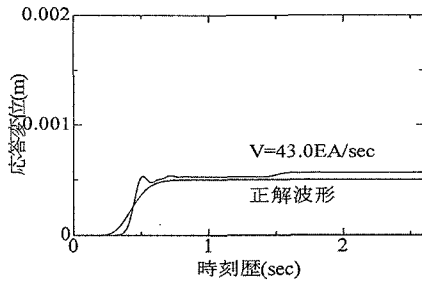


図-4 時刻歴と応答変位の関係波形

全体のケースとして、解析条件を質量 m の 2 ケース (2,5ton) と軸方向バネ係数 k (5000,10000kN/m) の総 4 ケースに対し、地盤連結バネ係数 k' を 9 ケース (0,10,20,50,100,250,500,750,1000kN/m) で変化させながら、以上 36 ケースについて、伝播速度におけるエネルギー吸収能について検討する。

解析の結果をまとめ、縦軸に V/V_0 、横軸に k'/k とし、図-5 に表す。前半部の部分については最小 2 乗法を適用し 1 次式への近似式を導入した。後半部のデータについては $V/V_0=0.6$ と仮定する。その結果を以下に示す。

$k'/k < 0.065$ の場合： $V/V_0 = 0.84 - 3.7k'/k$

$k'/k > 0.065$ の場合： $V/V_0 = 0.6$

4 結論

本研究では、高架橋構造物を置き換えたマス・バネ系モデルに粘性境界を設け、さまざまな解析条件に対するパラメトリック解析を行った粘性境界の設定速度とそのエネルギー吸収能を求め、WCC の方法を利用し、最適速度を取り出した。その結果、 k'/k と V/V_0 の関係グラフを作成することにより、そのグラフから粘性境界の設定に用いる伝播速度 V を求める提案式を導くことができた。

参考文献

- [1] 李相勲, 中沢正利, 遠藤孝夫, 石川雅美: 半無限連続高架橋における粘性境界の設定, 土木学会応用力学論文集, Vol.8, pp.189-198, 2005.8
- [2] Samman, M.J. and Biswas, M.: Vibration testing for nondestructive evaluation of bridges. I: Theory, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.120, pp.269-289, 1994

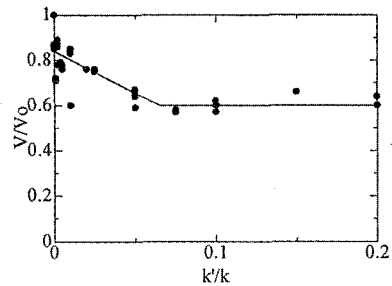


図-5 伝播速度 V を求めるための簡便式