

マス-バネ系モデルにおける粘性境界設定時の伝播速度の提案

東北学院大学工学部 学生会員 渡邊 光珠
正社員 李 相勲

1. はじめに

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に対し動的解析する際、その一部を取り出し両端を自由境界として取り扱う一般の解析方法は次の2つの問題が考えられる。1つは対象高架橋の中に不規則的な構造を含んでいる場合、高架橋の長さ方向に波動の流れが発生するが、それに対して対応できないことである。2つ目は地震動によって発生する運動エネルギーが自由境界で反射し、その系内に閉じ込められてしまうことである。このような問題を解決すべく、離散系半無限体を対象とし、周波数領域の解析であるエネルギー伝達境界¹⁾と、時間領域での解析をその目的とした粘性境界²⁾³⁾が提案されている。

しかし、粘性境界においては、その設定方法については提案されているものの、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ない。

そこで本研究では、離散系への粘性境界設定の基本的条件を考察した上で、粘性境界を設定する最も重要な因子である伝播速度について検討する。まず、連続高架橋をマス-バネ系モデルに置き換え、上部構造物に橋軸方向疎密波が伝播する速度を数値計算的に推測する方法を提案する。この速度を基準に粘性境界における速度の影響やエネルギー吸収能を高める境界の設定方法について議論する。最後に解析条件、すなわちマス-バネ系モデルにおける地盤連結バネ係数 k' を変化させ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粘性境界を設定するための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

本章では粘性境界に対する速度の影響を詳しく調べる。グラフを比較する方法の一つとして‘Waveform

Chain Code’ (WCC) を利用する方法⁴⁾を用いる。これは、デジタル信号において forward differencing により勾配を求め、その scaled 相関勾配の差から scaled 相関曲率を求める。すなわち、2つのデジタル信号を比較するのに両信号の勾配と曲率の差を利用する方法である。比較する信号は、伝達境界¹⁾を設けた151質点モデル(図-1)の中央質点に10kNの衝撃を与え10秒まで観測した縦波速度の変化に対する応答と、粘性境界²⁾³⁾を設けた151質点モデルの中央質点に10kNの衝撃を与え10秒まで観測した縦波速度の変化に対する応答である。これら2つの波形を $k'=15558.7\text{ kN/m}$, $k'=16941.9\text{ kN/m}$, $k'=17848.4\text{ kN/m}$ の場合で求め比較した。勾配差と曲率差を表-1、表-2に示す。数値が小さいほど基準となる伝達境界と近いということになる。即ち、数値が小さいほどエネルギー吸収能が高くなることを意味する。

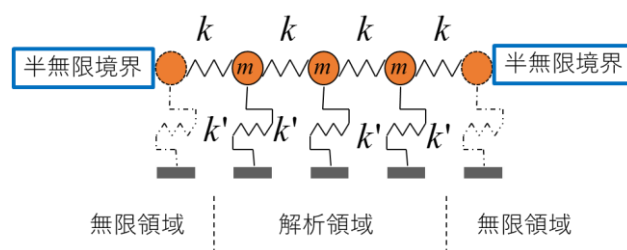


図-1 解析モデル 粘性境界

表-1 WCCによる応答波形比較解析の結果(勾配差)

区分	平均値	v=91	v=92	v=93	v=94	v=95	v=96
$k'=15558.7$	勾配差	0.80159	0.80150	0.80146	0.80142	0.80141	0.80141
$k'=16941.9$	勾配差	0.79282	0.79259	0.79237	0.79216	0.79214	0.79247
$k'=17848.4$	勾配差	0.76754	0.76749	0.76752	0.76755	0.76762	0.76771

キーワード：地震応答、波動伝播、粘性境界、エネルギー逸散

連絡先：〒986-8537 多賀城市中央 1-13-1 東北学院大学 環境建設工学科 TEL：022-368-7213

$k'=15558.7\text{kN/m}$ のときのWCCによる勾配差と曲率差で求めたそれぞれの最適伝播速度で粘性境界を設定したモデルを用いた解析の応答波形を図-2と図-3に示す。この2つの波形の比較から曲率差で求めた最適伝播速度で設定したほうがより基準に近い応答波形が得られることが分かる。

3. 粘性境界における伝播速度の提案式

前述のとおり曲率で求めた最適伝播速度 V と基本縦波速度 V_0 との割合を縦軸に、軸方向のバネ係数 k と地盤方向の連結バネ係数 k' との割合を横軸にプロットしたものを図-4に示す。ここの k' の範囲は $0 \sim 20000\text{kN/m}$ であり、縦軸の V_0 は $V_0 = \sqrt{k/m}$ の式から求める縦波伝播速度である。また、図に示した式は最小2乗法により求めた近似式であり、構造物の諸定数 m , k , k' から最適の粘性境界設定時の伝播速度を求める式である。

4. 結論

本研究では、連続高架橋のように同形式の構造物が非常に長く連続する構造物において、時間領域での解析をその目的とした粘性境界を提案した。粘性境界の定義、設定方法、エネルギー吸収能を左右する伝播速度について検討し数値解析の結果をもとに、粘性境界を設定するにあたっての伝播速度を簡便に求めるための提案式(1)を導いた。

$$V/V_0 = 0.38 + 0.61e^{(-126.1k'/k)} \quad (1)$$

参考文献

- 1) 李相勲、田邊田顕：連続したマス-バネ系モデルを用いた連続高架橋構造物の伝達境界の定式化,コンクリート工学年次論文集,Vol.24,No.2,pp.1165-1170,2002.6
- 2) 川名龍太郎、李相勲：離散系の半無限境界における波動伝播有無が地震応答の及ぼす影響,平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集,I-18
- 3) 小笠原敦樹、李相勲：マス-バネ系モデルにおける粘性境界設定の簡便法と減衰の影響,平成18年度
- 4) 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

表-2 WCCによる応答波形比較解析の結果(曲率差)

区分	平均値	$v=132$	$v=142$	$v=146$	$v=151$	$V=161$
$k'=15558.7$	曲率差	0.26587	<u>0.26551</u>	0.26553	0.26560	0.26578
$k'=16941.9$	曲率差	0.26918	0.26880	0.26874	<u>0.26872</u>	0.26896
$k'=17848.4$	曲率差	0.26931	0.26899	<u>0.26896</u>	0.26897	0.26905

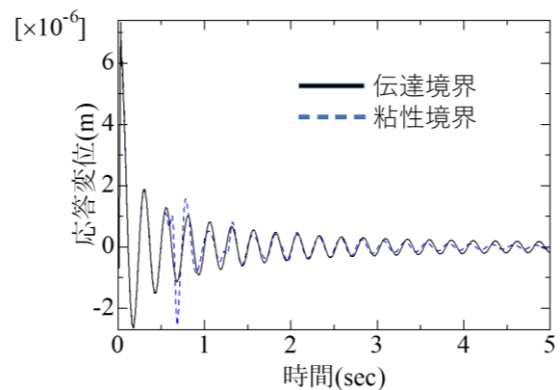


図-2 勾配差により判定した両境界の時刻歴応答グラフ

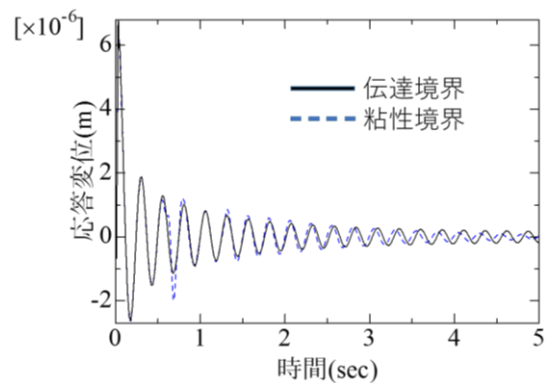


図-3 曲率差により判定した両境界の時刻歴応答グラフ

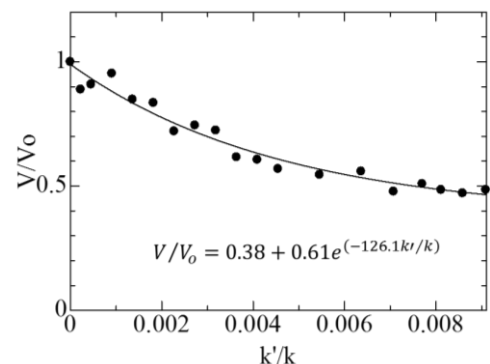


図-4 最適伝播速度 V を求めるための関係