

I - B218

衝突ばねを用いた衝突の数値解析精度

東京工業大学工学部 学生会員 渡邊学歩

東京工業大学工学部 f 会員 川島一彦

1. まえがき

強震下で桁間に発生する衝突現象は、桁～橋脚天端間に発生する相対変位を増加および減少させるために、橋梁の応答を複雑にする。このために、衝突減少を含んだ連続橋の応答を評価する研究が多いが、数値解析衝突現象の精度について述べている研究は少ない。ここでは、衝突ばねと呼ばれる接触時にだけ剛性の高くなるばねモデルを用いた衝突現象の解析について考察を行う。

2. 解析モデルと解析対象

衝突を含む橋の地震応答をを評価するのに、Kawashima¹⁾らは衝突現象を完全弾性衝突として、桁間に衝突ばねと呼ばれる要素を用いて解析を行った。この衝突ばねモデルは、剛性を次式のように評価することから、

$$k = \begin{cases} k_I & \cdots \Delta u \leq -u_G \\ 0 & \cdots \Delta u > -u_G \end{cases} \quad (1)$$

衝突の際に発生する衝突力 P_I については次式の通りとなる。なおここでは、 u_G は桁間の遊間を表す。

$$P_I = \begin{cases} k_I \cdot \Delta u & \cdots \Delta u \leq -u_G \\ 0 & \cdots \Delta u > -u_G \end{cases} \quad (2)$$

したがって、衝突時の剛性 k_I によって衝突力 P_I が大きく変化する。そこで、本解析では図1に示すような二つの棒部材が衝突する互いに等速度 V_0 で衝突する状況を想定して、剛性 k_I によって衝突現象の再現性がどのように変化するのかを検討した。



弾性係数 : $E = 100$
 断面積 : $A = 1$
 密度 : $\rho = 0.1$
 長さ : $L = 10$
 初速度 : $V_0 = 0.1$

3. 衝突現象の再現性

図2には衝突発生中の応力伝播および、棒部材内の各点の速度（以後粒子速度と呼ぶ）の変化の様子を示す。矩形

図1 解析対象

で示した結果が厳密解であり、点で示した結果が数値解析である。これにより、応力波が伝播するとともに粒子速度が変化し、応力波が棒を一往復した後は、2つの棒は互いに逆向きに運動するようになる。また数値解析の結果はフロント部における応力勾配が小さいが、厳密解の特徴をとらえている。図3には衝突面における応力の時間変化を示す。数値解析解は厳密解のまわりを振動するが厳密解が与える応力の関係を良く表している。図4には衝突ばねの剛性 k_I を変えた場合の応力伝播の様子を示す。ここでは衝突ばね剛性 k_I を棒部材要素の軸方向剛性 nEA/L で除して無次元化した剛性比 γ を用いている。これによれば、 $\gamma = 0.1$ の場合には応力の変化が緩やかすぎ厳密解をうまく再現できていないが、 $\gamma \geq 0.5$ とすると応力の立ち上がり部の勾配は大きくなる。ただし、ここには載せていないが、 $\gamma \geq 10$ とすると粒子速度が正解のまわりを大きく振動するようになり、全体としては、 $\gamma \approx 1.0$ とした場合の近似度がよい。図5には衝突時に生じる衝突面の衝突力が剛性比 γ によりどのように変化するのを示す。これによれば、剛性比 γ の増加とともに衝突力が増大するが、 $\gamma \approx 1.0$ を境として変化率が大きくなる。衝突力の時間変化を示すと図6のようになり、剛性比 $\gamma < 1.0$ では、衝突力は $A\sigma_0$ のまわりを振動するのに対して、 $\gamma \geq 10$ ではパルス状の衝突力が複数回発生するようになる。したがって、あまり高い剛性比 γ を設定することは好ましくなく、 $\gamma \approx 1.0$ とするのがよい。

耐震設計, 免震設計, 衝突, 動的解析, 橋, 数値解析

〒152-8852

東京都目黒区大岡山 2-12-1

TEL 03-5734-2922

FAX 03-3729-0728

4. 結論

- (1) 衝突ばねを用いた衝突現象の数値解析は衝突ばね剛性を適切に設定すれば高い精度で再現できる.
- (2) 衝突ばね剛性は部材要素との剛性比を0.5以上確保すれば衝突現象を再現できるが、あまり大きな剛性比を設定すると衝突力が適切に評価されないで、 $\gamma \cong 1.0$ 程度に設定する必要がある.

参考文献

1) Kawashima, K. and Penzien, J.: Theoretical and Experimental Dynamic Behavior of a Curved Model Bridge Structure, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 7, pp.129-145, 1979/6

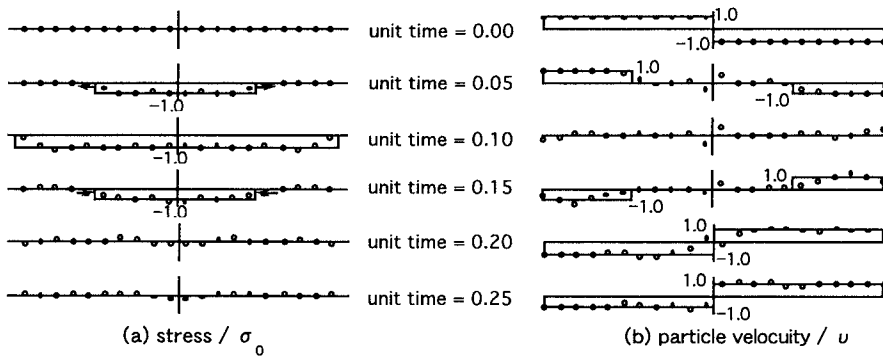
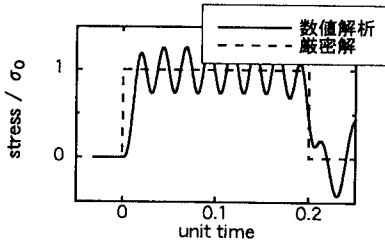


図2 衝突時の応力伝播と粒子速度の変化



(a) 応力

図3 衝突面における粒子速度の時間変化

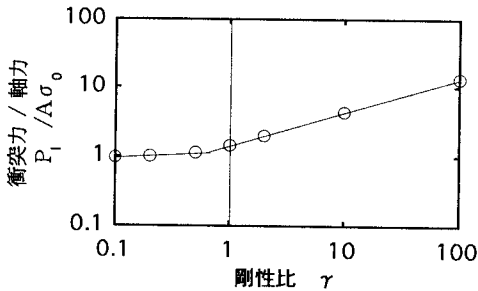


図5 剛性比 γ を変化させた場合の衝突力

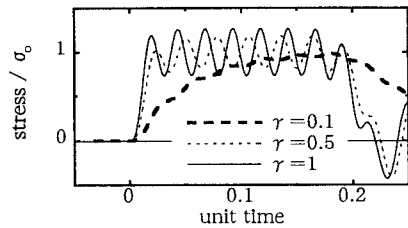


図4 衝突時の応力伝播の変化

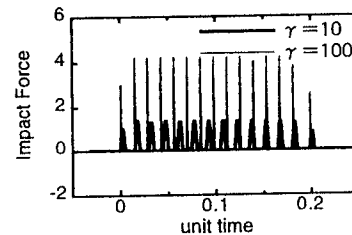
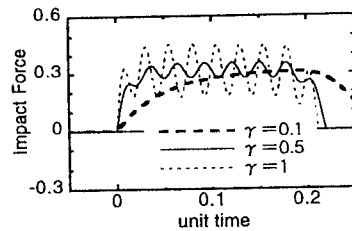


図6 剛性比 γ と衝突力の時間変化