

すべり摩擦を含んだ振動応答解析に関する研究

－その2. 従来手法との結果比較－

日大生産工(院) ○中根 彰人
日大生産工(院) 橋上 聡

日大生産工(院) 高橋 亜佑美
株式会社ブリヂストン 藤沢 佳孝
日大生産工 柴田 耕一

1. 序論

本論は、その1と同様の質点系($m=0.816[\text{kg}]$, $c=0.0 [\text{kgf/s}]$, $k=1.8[\text{kgf/cm}]$, $\mu=0.1$)に正弦波、実地震波を入力し、従来手法と新しく構築した解析手法の2つの手法により解析を行った。本論では従来の解析手法について説明し、構築した解析手法との結果を比較する。その結果新しく構築した手法の妥当性の検証を行った。

2. 従来手法(線形加速度法)

Δt [s]ごとの質点の動きを以下の5つの場合に分けて解析を行った。

①質点が静止していて、 Δt [s]後も静止している場合

$$\ddot{x}_{t+\Delta t} = 0, \dot{x}_{t+\Delta t} = 0, x_{t+\Delta t} = \text{CONST} \quad (1)$$

②質点が静止していて、 Δt [s]後すべり出す場合
時刻 t [s] から $t + \Delta t$ [s] 間を線形加速度法で計算する。なお $\ddot{x}_t = 0$, $\dot{x}_t = 0$, $x_t = \text{CONST}$ である。

$$\left. \begin{aligned} x_{t+\Delta t} &= x_t + \dot{x}_t \cdot \Delta t + \frac{\ddot{x}_t}{3} \cdot \Delta t^2 + \frac{\ddot{x}_{t+\Delta t}}{6} \cdot \Delta t^2 \\ \dot{x}_{t+\Delta t} &= \dot{x}_t + \frac{\ddot{x}_t}{2} \cdot \Delta t + \frac{\ddot{x}_{t+\Delta t}}{2} \cdot \Delta t \\ \ddot{x}_{t+\Delta t} &= -\ddot{y}_{t+\Delta t} - \frac{c}{m} \dot{x}_{t+\Delta t} - \frac{k}{m} x_{t+\Delta t} - \frac{\gamma}{m} \text{sgn}(\dot{x}_{t+\Delta t}) \end{aligned} \right\} (2)$$

③質点が動いていて、 Δt [s]後もすべり続ける場合
 t [s] から $t + \Delta t$ [s] 間を線形加速度法で計算する。

$$\left. \begin{aligned} x_{t+\Delta t} &= x_t + \dot{x}_t \cdot \Delta t + \frac{\ddot{x}_t}{3} \cdot \Delta t^2 + \frac{\ddot{x}_{t+\Delta t}}{6} \cdot \Delta t^2 \\ \dot{x}_{t+\Delta t} &= \dot{x}_t + \frac{\ddot{x}_t}{2} \cdot \Delta t + \frac{\ddot{x}_{t+\Delta t}}{2} \cdot \Delta t \\ \ddot{x}_{t+\Delta t} &= -\ddot{y}_{t+\Delta t} - \frac{c}{m} \dot{x}_{t+\Delta t} - \frac{k}{m} x_{t+\Delta t} - \frac{\gamma}{m} \text{sgn}(\dot{x}_{t+\Delta t}) \end{aligned} \right\} (3)$$

④質点がすべっていて、 Δt [s]後速度の向きが逆転する場合

Δt [s]後は速度方向が変わるので、符号が逆になる。

$$\text{sgn}(\dot{x}_{t+\Delta t}) = -\text{sgn}(\dot{x}_t) \quad (4)$$

t [s] から $t + \Delta t$ [s] 間を線形加速度法で計算する。

$$\left. \begin{aligned} x_{t+\Delta t} &= x_t + \dot{x}_t \cdot \Delta t + \frac{\ddot{x}_t}{3} \cdot \Delta t^2 + \frac{\ddot{x}_{t+\Delta t}}{6} \cdot \Delta t^2 \\ \dot{x}_{t+\Delta t} &= \dot{x}_t + \frac{\ddot{x}_t}{2} \cdot \Delta t + \frac{\ddot{x}_{t+\Delta t}}{2} \cdot \Delta t \\ \ddot{x}_{t+\Delta t} &= -\ddot{y}_{t+\Delta t} - \frac{c}{m} \dot{x}_{t+\Delta t} - \frac{k}{m} x_{t+\Delta t} - \frac{\gamma}{m} \text{sgn}(\dot{x}_{t+\Delta t}) \end{aligned} \right\} (5)$$

⑤質点がすべっていて、 Δt [s]後静止する場合

$$\left. \begin{aligned} x_{t+\Delta t} &= x_t + \dot{x}_t \cdot \Delta t + \frac{\ddot{x}_t}{3} \cdot \Delta t + \frac{\ddot{x}_{t+\Delta t}}{6} \cdot \Delta t \\ \dot{x}_{t+\Delta t} &= 0, \ddot{x}_{t+\Delta t} = 0 \end{aligned} \right\} (6)$$

3. 解析結果

その1で示した解析手法の応答解析値と従来解析手法を用いた応答解析値との比較により、今回新しく構築した解析手法の妥当性を調べた。まず、周波数2.0[Hz]、最大加速度500[gal]の正弦波入力(図1)に対する相対応答変位波形を図2、絶対応答加速度波形を図3に示す。つぎに、最大加速度210.1[gal]の地震波入力(El Centro波)(図4)に対する相対応答変位波形を図5、絶対応答加速度波形を図6に示す。新しく構築した解析手法によると、正弦波入力に対する絶対応答加速度波形(図3)で見られる不連続点が解消されていることが確認できた。また入力地震波に対する絶対応答加速度波形(図6)からも、不連続点が解消されていることが明らかとなった。

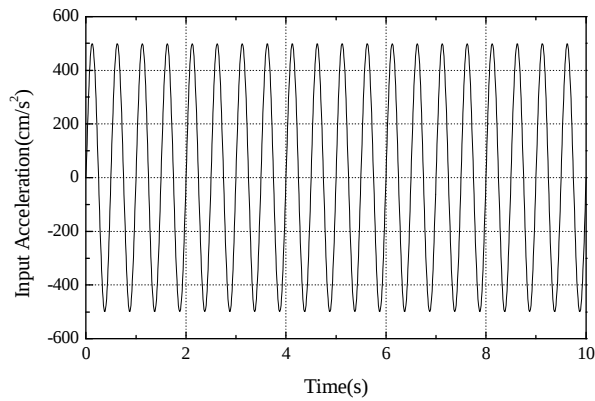


図1. 入力加速度波形: $\ddot{y}$

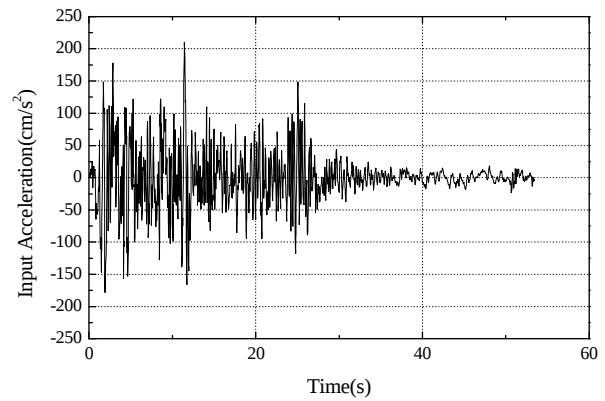


図4. 入力加速度波形: $\ddot{y}$ (El Centro波 EW方向)

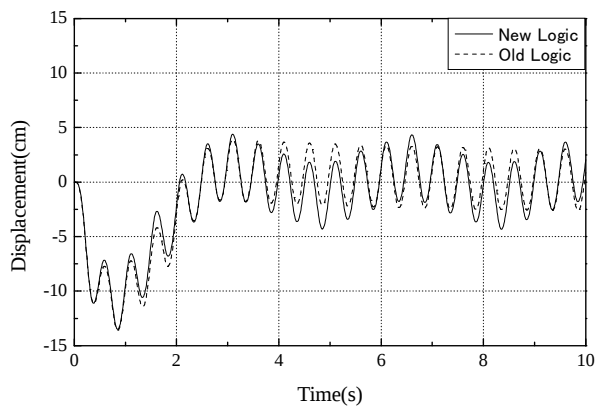


図2. 相対応答変位波形: x

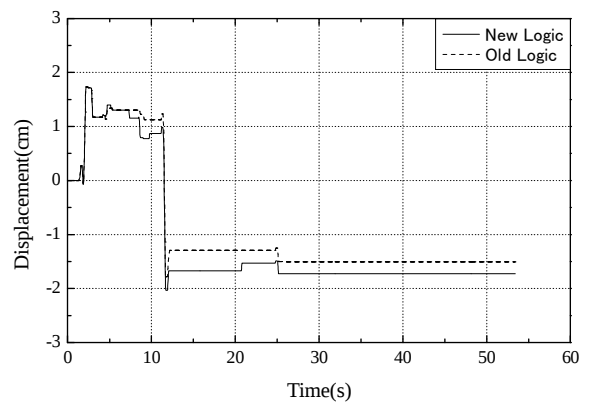


図5. 相対応答変位波形: x (El Centro波 EW方向)

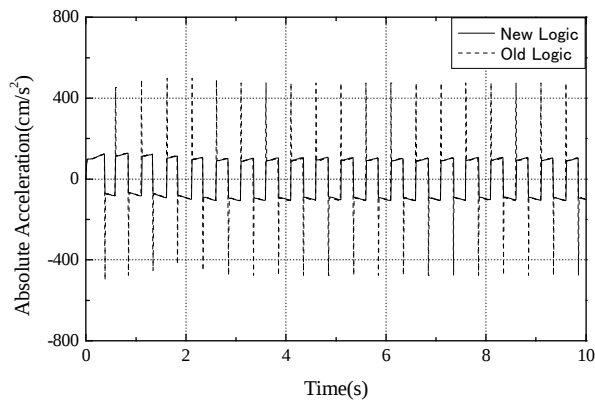


図3. 絶対応答加速度波形: $\ddot{x} + \ddot{y}$

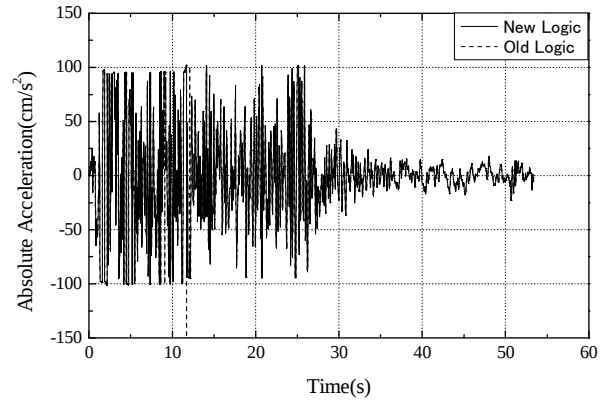


図6. 絶対応答加速度波形: $\ddot{x} + \ddot{y}$
(El Centro波 EW方向)

4. 結論

これらの結果から以下のことが明らかとなった。

1. 新しく構築した手法では、従来手法のように不連続点を解消するために、刻み幅を細かくする必要がなくなった。これにより、計算時間も大幅に削減できた。
2. すべり摩擦をもつ系に見られた応答加速度の不連続点を解消できた。
3. 新しく構築した解析手法は1刻み幅 Δt [s]間での変化に対しても解析するために、現象をより正確に捉えることができた。

今後の課題として、多質点系に今回構築した解析手法を適用していき、さらに非線形系である容器構造のモデルにも適用していく。

参考文献

1. 藤沢佳孝, 柴田耕一: 容器構造物の動的解析手法に関する研究(1987), 日本大学大学院生産工学研究科博士前期課程論文
2. 柴田耕一, 山田隆夫, 北川博: 摩擦型免震に関する研究(その1) (1987), 建築学会大会