

大阪市立大学工学部 学生員○金田 貴洋
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀
 (株) ニュージェック 正会員 中西 泰之

1. 研究背景および目的

構造物の支持条件が地震時応答に及ぼし、構造物の地震時安全性を評価する上で、構造定着部の正確なモデル化が必要がある。ここで、構造定着部は、滑動、変位制限(ストッパー)、柔な支持(ゴム)、トリガー(ロックオフ)の各機構の組合せで構成される。滑動や柔な支持は上部構造へ地震の揺れを伝達せず、免震装置に用いられている。但し、大きい水平変位を許容することから、変位制御装置を併設されることが多い。また、常時は移動を制限し、強地震時は変位を開放するトリガー機構としてロックオフ部材をも併用すれば、合理的な構造定着部の実現が可能である¹⁾。このとき、構造定着部の各機構を簡易かつ実用的なモデル化手法として、ばね要素により理想化できれば、動的応答解析による構造物の動的挙動の照査に有用である。しかし、これら4機構をそれぞればね要素でモデル化し、かつ、それらを組み合わせる場合の構造定着部の動的挙動の再現性については、あまり検証されていない。

そこで、本研究では、構造定着部の小型モデルを用いる小型振動台実験を実施し、その動的挙動とモデル化の問題点を検討している。

2. 小型振動台実験

構造物(重り)と構造定着部(ばね)からなる1質点系の振動モデルを想定して、図-1に示す小型振動モデルを設計し、小型振動台により一方向に加振する。小型振動モデルは、振動台上に設置した2つのゴムまたは4つのローラーにより重りを支持し、面外方向変位、加振方向のロッキングを防止している。

実験パターンは、部材のロックオフを介して、固定条件からゴムによる振動系へ移行する固定-ゴム型、さらにストッパーに衝突する固定-ゴム-衝突型、および滑動からストッパーに衝突する滑動-衝突型の3パターンである。

重りと振動台の加振方向には変位計および加速度計を設置し、実験結果は、それぞれ相対変位と相対加速度により評価する。また、重りの重量はゴム型で200N、滑動型で176Nである。

加振方法は、図-2に示す、振幅が1.55mm、振動数が4.97Hzの正弦波8波により強制振動を与える。なお、加振振動数はゴムにより支持されたゴム型の固有振動数と同じであり、5波目以降で定常な振動応答となることを確認している。

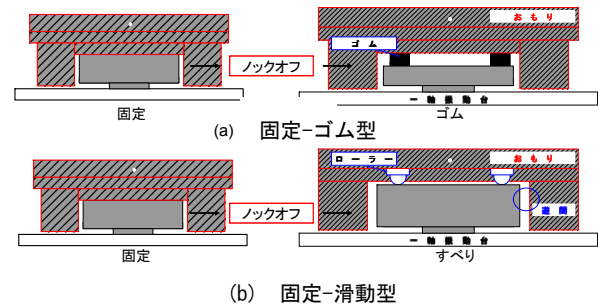


図-1 構造定着部を模した供試体

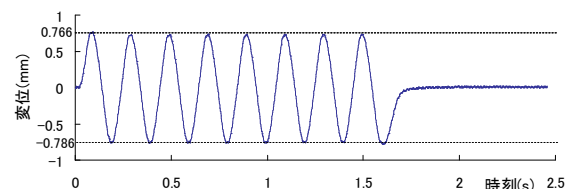


図-2 強制振動(入力波形)

3. 1質点系ばね-マスモデルを用いた動的解析

(1) 解析モデル

1質点系のばね-マスモデルを作成し、実験の再現解析を行った。ゴム、滑動、ロックオフのばね定数は、それぞれ、別途、要素実験を実施し得られた荷重-変位関係の勾配をばね定数として入力する(図-3(a)~(c))。ストッパーのばね定数は、遊間内は0、衝突後は剛($=1.0 \times 10^5 \text{ N/mm}$)となるように設定した(図-3(d))。

なお、振動系の減衰は、式(1)に示すように、質量 $[M]$ と剛性 $[K]$ に比例するレーリー減衰により与えた。減衰定数 h と係数 α, β との関係は式(2)のように表せる。また、 ω は固有円振動数である。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (1)$$

$$h = \frac{\alpha}{2\omega} + \frac{\beta\omega}{2} \quad (2)$$

ただし、ゴム型では、 α による寄与はほとんど無い
ため、式(3)から求まる β を用いて剛性比例型の減衰を考慮する。

$$h = \frac{\beta\omega}{2} \quad (3)$$

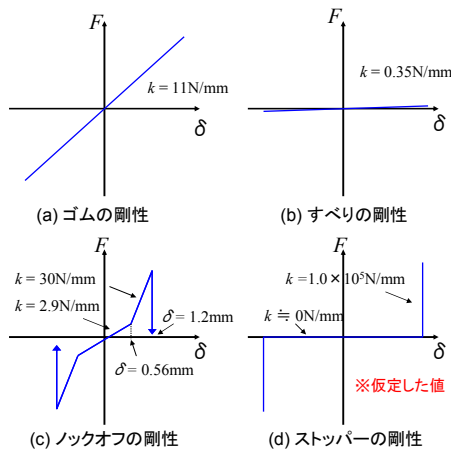


図-3 構造定着部のモデル化とばね定数

(2)実験および解析結果

a) ゴム型

重りと振動台の相対変位を図-4に示す。実験と解析で、定常状態の振動応答を良好に再現できており、剛性比例型の減衰を考慮するモデル化が妥当であることが確認できる。

b) 固定-ゴム型

固定-ゴム型にロックオフのばねを組み合わせた固定-ゴム型の相対変位の時刻歴を図-5に示す。ロックオフ以前では応答変位が小さく、ロックオフ後はゴム型と同じ応答を示すことが確認できる。

c) 固定-ゴム-衝突型

固定-ゴム型にストッパーのばねを組み合わせた固定-ゴム-衝突型の相対変位の時刻歴を図-6に示す。衝突発生まではストッパーの遊間に関わらずゴム型と同じ挙動を示す。また、ロックオフとストッパーへの衝突のタイミングがことなることによる応答の差は明確には認められず、また弾性的なばね返りを示している。

d) 滑動型

滑動をモデル化する際のばね定数は微小であることから、滑動型の減衰は α の値を変化させ、質量

比例型として考慮した。図-7に示すように、係数 α の設定が応答結果に顕著に影響を及ぼし、ばね要素を用いる滑動のモデル化について検討する必要がある。

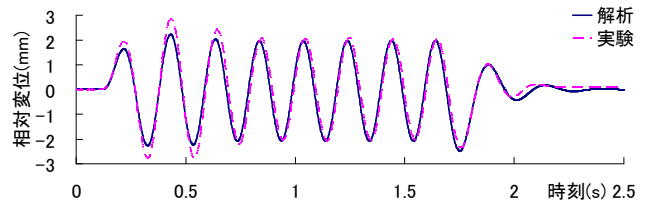


図-4 実験解析比較(ゴム型)

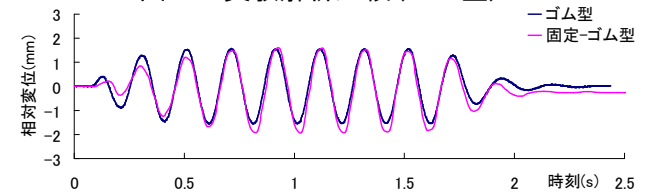


図-5 実験解析比較(固定-ゴム型)

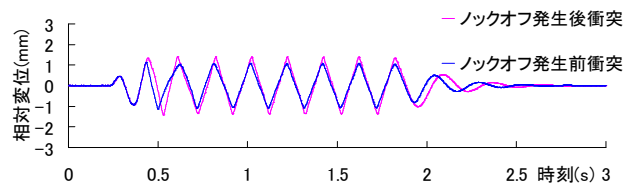


図-6 解析(ゴム-衝突型)

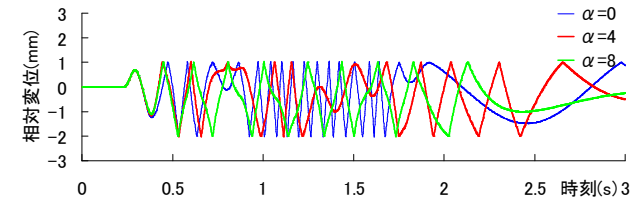


図-7 減衰別解析(滑動型)

4. まとめ

本研究では、構造定着部を対象として、実験と解析を比較し、ばね要素による構造定着部のモデル化の手法を確認した。

- 1) ゴムやロックオフの挙動は、要素実験より求めたばね定数入力することで、ばね要素により評価することができる。
- 2) ばね要素を用いて、滑動及び衝突をモデル化するには、減衰やエネルギー吸収の設定について検討する必要がある。

参考文献

1)松村政秀, 石原和之, 北田俊行, 山口隆司: 伸縮継手の衝突と取り付け高力ボルトのロックオフ化が高架橋の地震時応答の及ぼす影響に関する一検討日本鋼構造協会, 第18巻, pp.419-424,2010.11