

回転慣性免震装置によるクリアランスを抑制した免震システムの評価

埼玉大学 正会員 ○齊藤 正人

1. 目的

従来の免震装置では、免震対象物（免震床、各種機器、建物躯体など）の地震時の振動を低減させるため、転がり支承や滑り支承などを用いた免震装置が既に実用化されている。また、これらの免震装置では、地震時の相対変位を抑えるために、オイルダンパや摩擦ダンパなどが取付けられている。しかし、オイルダンパや摩擦ダンパの減衰抵抗を大きくすると免震機能が十分に発揮されず、反対に、減衰抵抗を小さくすると相対変位を十分に抑制できないといった問題がある。免震機能を優先させるには、相対変位に対するクリアランスを免震対象物周辺に確保する必要があるが、狭小地など周辺空間にゆとりがない場合には、必要なクリアランスが確保できず、免震化することが困難な状況にある。これまで、小さな相対変位で大きな免震効果を得ることを目的とした回転慣性を利用した小ストローク免震装置がいくつか提案されている¹⁾³⁾。この小ストローク免震装置は、免震対象物と支持構造体（建物のスラブ、建物の下部基礎など）との間に、転がり支承や滑り支承を配設すると共に、免震対象物と支持構造体の特定方向の相対変位を回転運動に変換する回転慣性機構で免震対象物と支持構造体を連結した構造を有するものである。そこで本研究では、これら小ストローク免震装置の応答特性を把握し、種々の地震動に対する動的応答値の比較検討をおこなった。

2. 回転慣性免震装置の概説

本研究で提案している回転慣性免震装置³⁾を例に、その構成を解説する。図1に解析モデルを示す。図中(a)は通常の免震装置（復元機構・減衰機構はそれぞれ k_s と c_s ）に回転慣性免震装置（慣性抵抗 \bar{m} ）を設置した基本的なシステムである。図中(c)に示すように、この慣性抵抗 \bar{m} は、これを挟む節点の相対加速度に比例した

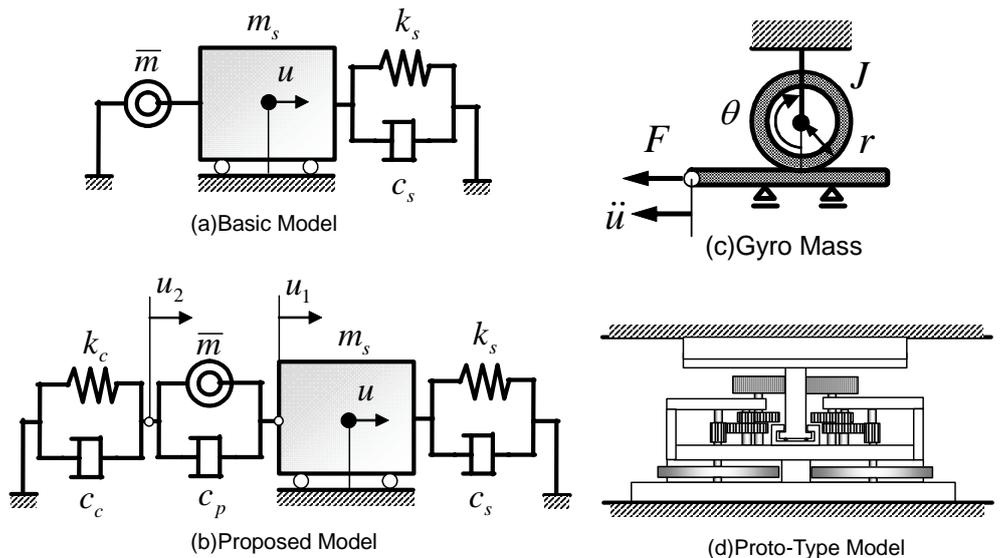


図1 回転慣性免震装置の概説

反力を生成する際の抵抗係数であり、質量と同じ単位を持つ。参考までに本研究で提案している具体的な装置の概形を(d)に示す。大小ギヤの回転増幅を利用して、効果的に慣性抵抗を増幅させる機構となっている。図1(a)に示す回転慣性免震装置の問題点は、回転慣性による慣性抵抗が、高次振動数領域で著しく大きくなり（振動数の二乗に比例するため）相対変位を生じ難くさせる一方で、応答加速度が増加して本来の免震効果を損失することにある。そこで図1(b)では、回転慣性免震装置に並列したばねとダンパを直列させて、高次振動数領域での免震効果を高める工夫をしている²⁾。また、上記ばねとダンパを取り付けることで新たな自由度系が形成されるため、そこで応答増幅が生じることになる。そこでその応答抑制として、回転慣性免震装置にダンパを並列に取り付けている³⁾。図中(b)の解析解は次式で表される。

キーワード 免震, 回転慣性, クリアランス, 小ストローク, 耐震工学

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-858-3560

$$u = \frac{\mu^2 f(\omega)}{\left[-\mu^2 + i2h_s\mu + 1\right]f(\omega) + \left(\frac{1}{\beta} - 1\right)\left[-\mu^2 + i2h_p\mu\gamma_c\right]\left[i2h_c\mu\gamma_c + \gamma_c^2\right]} u_g \quad (1)$$

ただし、

$$f(\omega) = -\mu^2 + i2(h_p + h_c)\mu\gamma_c + \gamma_c^2, \quad h_s = \frac{c_s}{2\sqrt{m_s k_s}}, \quad h_p = \frac{c_p}{2\sqrt{m k_c}}, \quad h_c = \frac{c_c}{2\sqrt{m k_c}}, \quad \mu = \frac{\omega}{\omega_g}, \quad \gamma_c = \frac{\omega_c}{\omega_s},$$

$$\omega_s = \sqrt{k_s/m_s}, \quad \omega_c = \sqrt{k_c/m}, \quad \beta = m_s/(m_s + m)$$

ここで、 u は入力面から免震対象物の相対変位、 u_g は基盤入力動である。

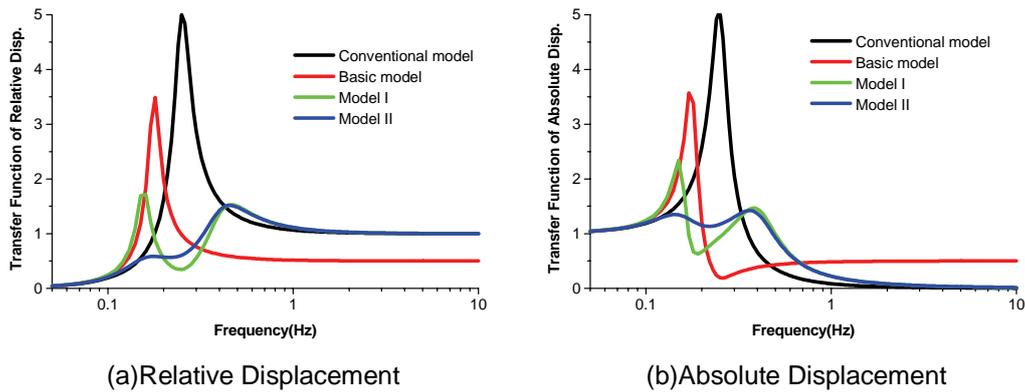


図2 モデルの違いによる伝達関数の比較

3. 回転慣性免震装置の効果に関する解析的検討

本検討では、従来免震を Conventional Model, 図 1 (a)を Basic model, 図 1 (b)の回転慣性免震装置との並列ダンパなしのシステムを Model I, 最後に図 1 (b)のシステムを Model II と定義する。図 2 に、各モデルの地動入力に対する伝達関数(相対変位と絶対変位)を示す ($\beta=0.5, \gamma_c=1.0, \omega_s=4.0$ sec 相当, $h_s=0.1, h_c=0.2, h_p=0.2$)。また図 2 には、観測地震動に対する最大応答値をグラフにした。種々の地震動に対して Model II の相対変位は平均して 6 割程度に低減されることがわかる。とくに長周期成分を多く含む地震動の Tomakomai (EW2003) では、過度の相対変位が大幅に抑制される可能性が示された。一方、免震効果は従来免震とおおよそ同程度を維持することがかわった。その理由として、Model I と Model II の長周期側の卓越の有無の違いが挙げられる。これは、回転慣性免震装置に並列したダンパがこのピークを抑制したことによるものである。0.3m を越す相対変位は、免震システムの損傷につながる可能性もあることから、回転慣性免震装置の導入によって応答抑制の対策をすることも一案と思われる。

参考文献

- 1) 小ストローク免震装置, 特許公開 2000-87592,
- 2) 小ストローク免震装置, 特許公開平 11-44338, 3) 免震装置及び回転慣性付加装置, 特許公開 2007-010110

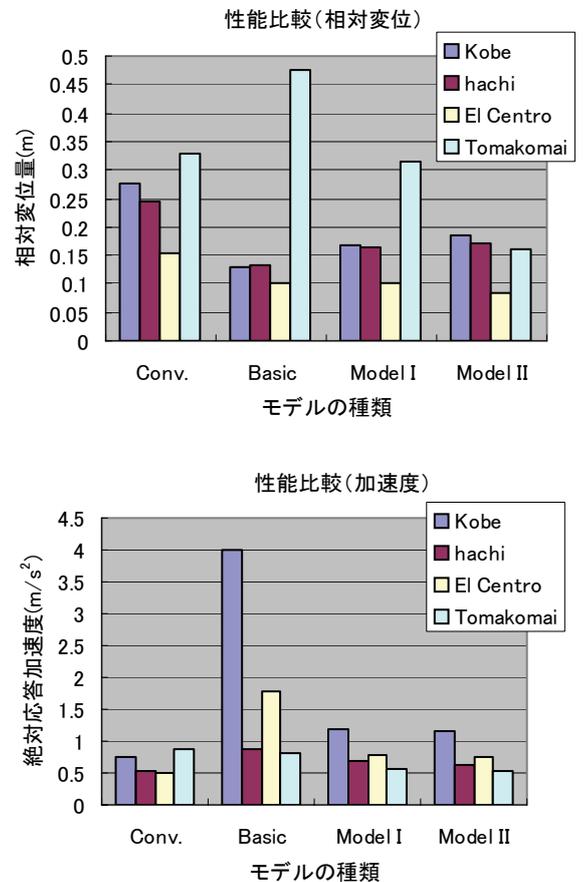


図3 時刻歴応答解析による応答値の比較