

## 9. 橋梁制震・免震

とりまとめ：松田泰治（熊本大学）

論文題目：“低摩擦すべり支承を有する連続桁橋の地震時挙動及び変位制御に関する考察”

著者：大塚 久哲，西田壮宏，田中弘紀

掲載：Vol. 53A, pp. 525-531, 2007 年 3 月

## ◆討議 [青木徹彦（愛知工業大学）]

地震の上下動に対して摩擦力が変化しますが、どのように対処するのですか？

◆回答：支承の鉛直反力は鉛直地震動によって変化します。それによって、滑り始める水平地震動の大きさも変化しますので、設計時にはそのことを考慮しておく必要はあるでしょう。ただし、摩擦係数が極端に小さいので、変動してもなお水平力は小さく、本研究のねらいは達成されと考えています。

## ◆討議 [小川一志（和歌山工業高等専門学校）]

風荷重や制動荷重等の水平力に対して、低摩擦のすべり支承で対応可能でしょうか？

◆回答：小さな水平荷重に対しては動かず、一定以上の力で桁が自由に動き始められるようなトリガー装置を取り付けておくことによって、小地震を含めた日常的な荷重に対しては対処可能と考えています。これは小さな模型実験でも確かめております。

## ◆討議 [林川俊郎（北海道大学）]

3 径間連続桁の全支承を低摩擦すべり支承とした場合、桁端部の水平変位が約 2m となるとのことではありますが、この大きな桁端変位をダンパーのエネルギー吸収を用いて低減することは可能でしょうか？

◆回答：可能だと考えています。ダンパーの最大耐力の変化に伴う桁の移動量、橋脚・橋台の応答曲率の低減などは論文の図に示しております。

論文題目：“すべり型免震基礎を有する 4 径間ラーメン橋における水平 2 方向地震入力および鉛直方向地震入力の影響”

著者：安 同祥・清宮 理・横井康人

掲載：Vol. 53A, pp. 532-539, 2007 年 3 月

## ◆討議 [伊津野和行（立命館大学）]

免震装置は復元力特性を持っていないようですが、地震後にはどのように対応するのですか？

◆回答：今回の検討では免震装置に復元力特性を持たせていません。滑る事によって、上部構造に大きな変位が生じますが、適切な伸縮装置を設置し、桁の変位を吸収できると考えます。地震後には免震装置に残留変位が生じます。この残留変位は橋脚端部の塑性変形と基礎の塑性変形によるものではなく、殆ど免震装置より上にある構造の剛体変位によるものであり、残留応力度はあまり生じないので、道路の線形・橋梁の付属物などに大きな影響がなければ、特別な対応を採らなくても問題ないと考えます。

## ◆討議 [Shehata Abdel Raheem（北海道大学）]

Typically, for bridge structures, the vertical, lateral, and torsional motions are often strongly coupled, Specially curved, skew and long-span bridges since the bi-directional motion is coupled and two independent unidirectional models could not accurately describe the bi-directional behavior.

How do you think about the seismic response of the studied case of 4-span bridge, that the use of independent modeling of isolation in both horizontal directions (X, Z), and neglect Biaxial interaction could lead to Conservative/ Unconservative, overestimated /underestimated response.

## ◆回答：

It is thought that the interaction between horizontal direction forces of longitudinal (X) and transversal (Z) does not exist. The longitudinal and transversal moments are coupled at the isolation device. In this investigation, the interaction between the moments is given consideration by modeling the isolation device into 121 none linear springs. As a result, the response of the superstructure sectional forces increases several percentages in case of considering the interaction between moments.

論文題目：“Study on seismic performance upgrading for steel

bridge structures by introducing energy-dissipation members”

著者：Zhiyi Chen, Hanbin Ge and Tsutomu Usami

掲載：Vol. 53A, pp540-549, 2007 年 3 月

◆討議 [青木徹彦 (愛知工業大学) ]

ダンパーを導入した場合、変位が大きくないと効果はない。その場合大きなひずみが発生すると思われますが、 $\gamma/\gamma^*=1$  程度で残留変位は生じないのですか？

◆回答：本研究で用いられたフレームモデルの柱基部フランジの剛比  $\gamma/\gamma^*$  は 1.03 である。ダンパーを導入する前の基本モデルでは JRT-EW-M 地震動を受けた場合、柱基部のフランジに生じる最大応答平均圧縮ひずみ  $\varepsilon_{a\max}/\varepsilon_y$  は 23.4 と非常に大きかった。これに対して、ダンパー (BRB, SPD) を導入した制震モデルでは最大応答平均圧縮ひずみは非常に小さくなり、ダンパーと主構造の剛性比  $\alpha_F=0.5$  のモデルの場合  $\varepsilon_{a\max}/\varepsilon_y=3.5$  程度、 $\alpha_F=1.0, 1.5$  のモデルの場合  $\varepsilon_{a\max}/\varepsilon_y=1.0$  以下となった (論文の Table 2 参照)。このように、 $\gamma/\gamma^*=1$  程度でも、ダンパーを適切に設計すれば、主構造を弾性範囲内に制御することができる。

論文題目：“衝撃質量ダンパ (IMD) の衝撃力緩和に関する研究”

著者：小川一志

掲載：Vol. 53A, pp. 550-559, 2007 年 3 月

◆討議 [青木徹彦 (愛知工業大学) ]

振子をバネに代えても同じ効果が得られるのか。また、実際にどこに、どのように使われているか。

◆回答：振子は振動数調整された質量として評価され、バネは復元力要素として評価されます。

IMD の振動数調整用として振子とバネのどちらを用いたとしても、IMD 振動系の質量 (衝突部換算の一般化質量) と振動数の値が、各々同じであれば、同じ制振効果を得ることができます。

バネの実施例としては、鹿児島空港レーダー避雷針支柱の IMD があります。使用した IMD の所要振動数は 3.8Hz であり、振子で振動数調整するには振動数が高かったため (振子長が短くなりすぎ)、バネを使用して振動数調整をしました。(文献 1)

(文献 1) 小川一志, 坂井藤一, 斎藤敏雄 ; 衝撃質量ダンパ (IMD) の耐風制振装置への適用,

振動制御コロキウム PART B, 講演論文集, pp. 145-151, 1991

◆討議 [伊藤義人 (名古屋大学大学院) ]

TMD との違いや特徴は、何があるのでしょうか？

◆回答：機構的な違いの面から述べると次のようになります。

(1) 構造物と重錘の振動数比

TMD では振動数比を 1 : 1 にして、重錘が構造物の振動と共振するように設定する。IMD では振動数比を 1 : 0.5 にして、重錘の動きが構造物と正面衝突を繰り返すように設定する。

(2) 構造物と重錘の間の隙間

TMD では重錘は構造物と接触しないように設定する。IMD では重錘は緩衝材を介して構造物と接しており、構造物の振動に伴って衝突 (片当り) する。

(3) 振動エネルギー散逸

TMD では重錘に付設したダンパ (通常は油圧ダンパ) により振動エネルギーの散逸を図る。IMD では重錘が緩衝材と衝突するときの反発係数 (緩衝材の内部摩擦) により振動エネルギーの散逸を図る。

IMD の特徴は次のようである。

(1) 装置の構成は TMD と類似しており、自由振動時の付加減衰性能もほぼ同等である。

(2) TMD の重錘に付設したダンパ (通常は油圧ダンパ) の代わりに、IMD では緩衝材 (通常は硬質ゴム) を使用して、その分だけ機構が簡単になり、メンテナンスも容易 (油の交換が不要) になる。

(3) TMD の重錘の動きは、重錘質量の慣性力によっているが、IMD の重錘の動きは重錘と構造物との衝突によっている。そのため、不規則な外力によって仮に構造物の動きが重錘の動きとずれた場合でも、IMD ではすぐに重錘の動きと構造物の動きが同期して制振効果を発揮できる。

論文題目：“円筒形容器内溶液の水平方向非線形振動の解析”

著者：高西照彦, 若原敏裕

掲載：Vol. 53A, pp. 568-577, 2007 年 3 月

◆討議 [青木徹彦 (愛知工業大学) ]

円筒容器の変形の影響はなかったのでしょうか？

◆回答：模型実験に使用した円筒容器は何れもアクリル製で、大山の実験では内径 50cm, 高さ 25cm, 厚さ 0.5cm,

若原の実験では内径 24cm, 高さ 30cm, 厚さ 1cm の諸元を有する容器がそれぞれ用いられている. これら円筒容器単独の固有振動数に関しては, いずれの場合についても実験的には求められていないが, **FEM** による理論的な数値計算の結果によればその 1 次の固有振動数はいずれの場合も 250Hz より大きな値が得られている. これに対して, 実験で採用した加振振動数の大きさは 1 Hz 前後の値である. 内容液の付加質量を考慮した円筒容器のバルジング振動の固有振動数は 250Hz より多少小さくなるであろうが, しかし, それは実験で用いた加振振動数に比べて遥かに大きな値であると見做してもよい. したがって, 当該実験においては, 円筒容器の変形は全く無かった, すなわち, 容器は剛であったと考えてもよいと言える.