

9. 橋梁制震・免震

とりまとめ：松田泰治（熊本大学大学院）

論文題目：“Seismic Response of Steel Bridge Piers with Aged Base-isolated Rubber Bearing”

著者：Haosheng Gu, Yoshito Itoh
掲載：Vol. 52A、pp. 537-546、2006年3月

◆ 討議 [伊津野和行（立命館大学）]

Does the aging also affect on damping phenomena of the bearing?

◆ 回答：Through FEM analysis, we found that aging reduces the equivalent damping ratio of natural rubber bearings by about 15-20%. However, because the limit of uniaxial tension test only, it is hard to predict the equivalent damping ratio precisely. The absolute value of the inherent damping of natural rubber is very small, usually about 5%. In LRB, the energy dissipation is mainly provided by the lead plugs, which are not influenced by aging. Therefore, in the paper the variation of the damping ratio of LRB was not considered.

In order to study the aging effect on the damping ratio of high damping rubber bearings, we plan to conduct both uniaxial tension test and lap-shear test on aged rubber specimens. The test is still going on and the results will be reported in later this year.

論文題目：“熱量測定によるゴムのエネルギー吸収性の評価に関する研究”

著者：村田昌祥，丸山健司，長田 剛，飯島正徳，皆川勝
掲載：Vol. 52A、pp. 547-556、2006年3月

◆ 討議 [清宮 理（早稲田大学）]

周波数に依存してゴムの性状が異なることを示されているが、0.001~100Hzの試験範囲内で地震や桁間衝突を考えると、示されている試験結果で一般的には地震時にゴムの性状は周波数に依存していないと工学的に判断できるのではないか？

◆ 回答：ご指摘のとおり、桁間で発生する衝突の周波数領域においては、ゴムの性能(エネルギー吸収性能)は周波数に依存しないと判断できると思います。本研究の主な目

的は、①ゴムのエネルギー吸収性能を広い周波数領域で評価すること、②従来の落錘式衝撃載荷試験と静的載荷試験の載荷速度に対応する周波数でエネルギー吸収性能を評価できる測定方法(TMDSC・DMA)を提案すること、の二つです。このため、周波数は非常に遅い0.001Hzから、振動等に該当する100Hzまでという広範囲にわたって実験結果を示しました。これは橋梁の耐震・免震だけではなく、防振や防音へも、この結果が応用できるのではないかと考えたためです。

◆ 討議 [松田泰治（熊本大学）]

図-6でゴム硬度の増加につれて $\tan \delta$ が減少しているが、建築や土木の分野で設計で考慮されている減衰と逆の傾向になっていないか？

◆ 回答：試料に作用する最大変位が異なるためであると考えられます。DMAでは、試料に与えている変位が非常に小さく、大変形まで考慮したエネルギー吸収性能の評価はできていません。これに対し、建築や土木分野における減衰は、ゴムが硬化する程度(圧縮ひずみで約40%以上)の大変形を作用させることにより評価しています。このように、振動試験と載荷試験では入力条件が異なるため、硬度との関係が逆になっていると考えられます。

カーボンブラックによりゴムを補強すると、応力-ひずみ曲線の立ち上がりは急になり、履歴ループの面積も広がります。一方、微小な刺激を与えるDMAやTMDSCなどの振動試験では、貯蔵弾性率 E' (複素比熱の実部 c') が損失弾性率 E'' (複素比熱の虚部 c'') に比べ、相対的に大きくなるため、 $\tan \delta$ の定義 ($\tan \delta = E''/E'$) により $\tan \delta$ が小さくなったと考えられます。今後は、大変形下でのDMAやTMDSCが検討すべき課題となりますが、松田先生から頂いたご指摘がこれらの課題を解決するための鍵になると考えられます。

論文題目：“鋼材衝突実験におけるゴム製緩衝材に作用する最大衝撃力の推定式”

著者：梶田幸秀，北原武嗣，西本安志，大塚久哲
掲載：Vol. 52A、pp. 557-564、2006年3月

◆ 討議 [伊津野和行（立命館大学）]

実橋梁を考えた場合、衝突する二物体の換算質量はどのように考えればよいか？

◆ 回答：

設計振動単位を考え、隣接する設計振動単位における上部構造重量を衝突する二物体の換算質量とすればよいと考えております。

◆ 討議 [松田泰治 (熊本大学)]

衝突鋼材と被衝突鋼材の質量比は倍半分まで考慮してあるが、設計振動単位で考えて この程度の差を考慮しておけば良いのか？

◆ 回答：道路橋示方書では、隣接する上部構造の形式や規模が著しく異なる橋に対して桁間衝突の影響を考慮し、桁かかり長に余裕を持たせるなどの対策を推奨しており、一般にこのような配慮が必要な橋として、隣接する橋の重量の比が2倍以上、又は2つの設計振動単位の固有周期の比が1.5倍以上の橋となっています。よって、鋼材の質量比は倍半分までは考慮しなければならないと考えます。なお、質量比をこれ以上大きくすることは実験装置の制約上不可能であるため、質量比が3という実験は実施しておりません。

論文題目：“すべり方式免震基礎を有する4径間ラーメン橋の模型振動実験”

著者：安 同祥，清宮 理，近藤岳史，横井康人
掲載：Vol. 52A, pp. 565-572, 2006年3月

◆ 討議 [北原武嗣 (関東学院大学)]

上部構造-橋脚のロッキング振動により橋脚基部の浮き上がりは生じないでしょうか？

◆ 回答：橋脚基部の浮き上がりは生じます。フーチング部の分離によって、分離部より上にある構造の運動状態は静止、すべり、ロッキング、すべり・ロッキングなどに分けられる（大地震に対して、この構造は分離部のすべり、ロッキングを利用して構造系の振動周期を調整したり、地震エネルギーを発散したりする）。これらの運動状態は分離面の摩擦係数、橋脚のアスペクト比などによって支配されている。摩擦係数が大きく、アスペクト比も大きい場合はロッキングが生じやすくなる。橋脚基部の浮き上がりはロッキングによるものです。摩擦係数とアスペクト比は式

$\mu \leq B/6h$ を満足すれば（ここに、 μ ：摩擦係数、 B ：フーチング加振方向幅、 h ：アスペクト比）、橋脚基部の浮き上がりは生じなく、今実験用モデルのフーチングの加振方向幅はレベル1地震動に対して式 $B \geq 3k_h h$ を満足するように設定した（設計水平震度 k_h に対してフーチングの浮き上

り幅はフーチング加振方向幅の1/2以下）。ここに、 k_h はレベル1の設計水平震度で0.30とし、即ち、 $0.15 \leq B/6h$ 、摩擦係数 μ は0.20程度で0.15より大きいので、橋脚基部の浮き上がりは生じています。

◆ 討議 [松田泰治 (熊本大学)]

Rocking Angle で残留分がある原因は何でしょうか？

◆ 回答：今実験では水平方向のすべりに対して復元力を与えていないため、加振後すべり残留変位が生じます。橋軸直角方向加振後、各橋脚に異なる残留変位が生じることにより平面内に残留回転角が生じます。

◆ 討議 [伊津野和行 (立命館大学)]

PTFEの摩擦係数には面圧依存性や速度依存性があるが、縮小模型実験ではどのようにこれらの依存性を考えたのか？

◆ 回答：指摘された通り、PTFEの摩擦係数は面圧や速度などに依存しており、本実験ではこれらの依存性を考慮しておりません。今後の課題と考えております。

論文題目：“水平2方向に地震力を受ける免震橋脚の応答性状に関する研究”

著者：永田和寿，尾関孝人，渡邊英一，杉浦邦征，
山口隆司

掲載：Vol. 52A, pp. 583-592, 2006年3月

◆ 討議 [伊津野和行 (立命館大学)]

1方向載荷と2方向載荷で結果が違うのはねじれ特性が非線形性を有するからか？オフセット載荷で回転角を計測していればねじれ特性のハードニングのようなことも明らかになるのではないかと？

◆ 回答：1方向載荷に比べ2方向載荷の高減衰積層ゴム支承（HDR）剛性が高くなっており、ご指摘のように、ねじれの影響が考えられる。水平2方向に地震力を受ける免震橋脚の合理的な耐震性を行うためには、HDRのねじれ特性の影響について検討する必要があると思われる。

◆ 討議 [横川英彰 (オイレス工業)]

ゴム支承を用いるにあたって相似則を考慮しているのか？脚は弾性ということであるが塑性化が生じる可能性はあるのか？HDRはハードニングが大きく解析と比べた場合に力が大きく出る可能性があり、塑性化も大きくなる可能性が

ある。

◆ 回答：本ハイブリッド実験では、縮小した高減衰積層ゴム支承（HDR）を用いて載荷実験によりその力学的性能を評価し、実橋脚での応答解析を行ったため、長さ（変位）と力（荷重）に対して以下のような相似則を用いた。

本ハイブリッド実験で使用した相似則（相似比：S）

長さ（変位）：S

力（荷重）：S²

ご指摘のように、HDR がハードニングを起し橋脚が塑性化することは考えられる。本ハイブリッド実験では、事前の解析や検討により橋脚が塑性化しないことを確認した上で、橋脚は弾性体としてハイブリッド実験を行った。

◆ 討議 [竹田周平（金沢大学）]

試験体（HDR）は1つで載荷を行っているのか？それともそれぞれ別試験体なのか？ハイブリッド実験では入力波形が25秒であるが、このハイブリッド実験での実解析時間はどのくらいか？

◆ 回答：載荷実験毎に試験体（HDR）を取り替え、異なったHDRで載荷実験を行った。1ステップに要した時間は約20秒であり、本ハイブリッド実験では25秒の地震動を入力するために2,500ステップの載荷を行った。従って、本ハイブリッド実験に要した時間はおよそ14時間であった。

論文題目：“免震支承の剛性が桁の常時振動特性に与える影響に関する一考察”

著者：伊津野和行、小林紘士

掲載：Vol. 52A、pp. 593-602、2006年3月

◆ 討議 [水田洋司（九州産業大学）]

3 径間連続梁について図示されている結果はどの支承のものでしょうか？各々の支承が独立に変化する場合はどうのように考えればよいのでしょうか？

◆ 回答：今回の検討では、どの支承も同じ剛性を持たせています。各々の支承が別々の剛性を持っている場合は考えていませんが、同様に定式化していくことは可能だと考えます。

◆ 討議 [中島章典（宇都宮大学）]

支承が回転するときには桁高の影響で支承に水平変位が生じるので、支承の水平剛性も桁の固有振動数に影響を及ぼ

すのではないのでしょうか？

◆ 回答：今回のモデルでは、鉛直および回転ばねと、水平ばねとは連成しません。しかし、桁高が高い場合や、橋脚の影響を考えた場合には、ご指摘の通り水平ばねと鉛直・回転ばねとの連成が考えられますので、固有振動数への影響が考えられます。ただし、支承部に単に水平ばね、鉛直ばね、回転ばねを独立につけただけのモデルであれば、桁高が高くて連成したとしても、それは水平ばねによる端部の回転への影響が主体になりますので、今回の検討で示した回転剛性の影響と同じ結果になり、あまり大きな影響とはなり得ないと考えます。実際には、桁が回転しようとするとうもゴム支承が回転するとともに水平方向へ動くという支承の3次元的な動きによる連成が考えられます。桁のねじれの影響も大きいという報告もありますし、これ以上の解析には、3次元骨組みモデル等を用いた解析の方が有効ではないかと考えます。