

## 論文の要旨

### 題目

複数のばね・ダッシュポットで離散的に連結された二重はりの振動解析  
(Vibration Analyses of Double Beams Discretely Connected by Multiple Springs and Dashpots)

氏名 加藤 隆一

建築構造物, 産業機械, 航空機, 船舶などの構成部材は, はりとして扱うことができるため, 単一のはりに関する振動現象の研究は盛んに行われてきた. 一方, 複数のはりでモデル化することができる二重はり構造, すなわちばねで連結された2本の弾性ばりを対象とした振動に関する研究は, ゴムのような粘弾性材料で連続的に接合されたサンドイッチ構造をもつ二重ばりを対象としたものが多く, モード解析などを利用して数多くの研究がなされている. 一方, 2本のはりが離散的に配置されたばねで連結された系については, グリーン関数や伝達マトリクス法などを利用した研究はあるものの, モード解析を利用したものは少ないようである. その理由は, 特に強制振動について, 両端が単純支持された2本のはりが連続的に配置されたばねで結ばれた系(連続的に接合された二重はり)の解析は, 比較的容易であるのに対し, 離散的にばねで連結された系では, モード関数の直交性を利用して各モードを非連成化することは一般的に困難であるためである. しかし, 離散的にばねで連結された系は実用的な構造であり, それを対象とした振動解析は広い分野での応用が期待される.

具体的な二重はり構造として, 住宅の床-天井吊り構造がある. 特に集合住宅では, 上階の居住者の飛び跳ねや歩行などにより発生する固体伝播音が下階での騒音問題となっている. この固体伝播音は, 床と天井を結ぶ吊り具を介して, 上階の床振動が下階の天井を振動させることによって発生する. 天井の振動により発生する放射音は, 天井の振動モードが対称モードの場合には天井から室内への放射効率が高く, 非対称モードの場合は小さくなることが分かっている. 一方, 天井下の室内が閉空間と想定される場合には天井の振動と室内音の連成問題となり, 放射音とは逆に天井が対称モードのときに室内音が小さく, 非対称モードで音が大きくなることが報告されている. このように住宅構造物では天井の振動と室内音は密接な関係にあり, 2本のはりがばねで連結された系である二重はり構造に生じる振動現象を把握することは重要である. そこで, 本論文では, 両端が単純支持された2本のはりが離散的に配置された複数のばね・ダッシュポットで連結された系を対象として, モード解析により, 自由振動, 強制振動, および衝撃応答を理論的に調べた.

自由振動については, 2本の両端単純支持はりが複数( $N$ 本)のばねで離散的に連結された系を対象として, モード解析により厳密な固有角振動数や振動モード形状を求めるための一般式を解析的に誘導した. 数値計算では, 2本のはりが1本, または2本の連結ばねで連結された場合において, 連結ばねのばね定数, および設置位置が系の固有角振動数と振動モード形状に及

ばねの影響を調べた。その結果、はり1とはり2が同材質・同形状で連結ばねが1本または2本の場合、いずれについても連結ばねのばね定数が増すにつれ、奇数次、偶数次モードの固有角振動数はそれぞれ一定、および増大することが分かった。連結ばねが1本 ( $N=1$ ) の場合、はり単体の節の位置、すなわちはりの中央に連結ばねを設置すると、そのばね定数が特定の値になると3つの固有角振動数が等しくなり、その値を境にして固有角振動数の大小関係が入れ替わることが明らかになった。連結ばねが2本 ( $N=2$ ) の場合、はり単体の節に連結ばねを設置しない場合でも、連結ばねが1本の場合と同様の特徴が現れることが分かった。

強制振動については、2本の両端単純支持はりが離散的に配置された  $N$  組のばねとダッシュポットから成る連結要素により繋がれた系を対象とし、上部のはりに正弦外力が作用する場合、モード関数の直交性を用いてモード方程式を導き、強制振動解を解析的に求めた。数値計算では、連結要素が1組の場合と2組の場合について、強制振動の応答を求め、連結ばねのばね定数とダッシュポットの減衰係数が変化した場合や2本のはりが異なる形状の場合の影響を調べた。なお、はりの振動振幅と位相遅れは、モード方程式により得られる各振動モードの強制振動を合成することにより求めた。はり1とはり2が同材質・同形状の場合、奇数次モードの共振ピークの大きさと振動数はばね定数と減衰定数に関わらず、変化しない。一方、偶数次モードの共振ピークの振動数と大きさはばね定数と減衰定数に依存して、変化する。連結要素が1組で2本のはりが異なる形状の場合、2本のはりが同材質で同形状の場合に比べ、振動モード形状が大きく変化し、外力が直接作用しないはりの振動を小さくできることを明らかにした。2本のはりが同材質で同形状の場合、それらを繋ぐばねとダッシュポットが2組に増えると、振動モード形状とモード外力が変化し、外力が直接作用しないはりの振動が大きくなることを示した。

衝撃応答については、2本の両端単純支持はりが離散的に配置された  $N$  組のばねとダッシュポットから成る連結要素により繋がれた系を対象とし、上部のはりに半波正弦励振の衝撃荷重が作用する場合、モード関数の直交性を用いて求めたモード方程式より、過渡応答解を求めた。数値計算では、連結要素が1組の場合と2組の場合について、各モードと各はりのたわみに対する過渡応答を求めた。半波正弦励振力の加振位置、ばねの取付位置、および励振振動数が過渡応答の残留振動の最大振幅に及ぼす影響について調べた。連結要素が1組または2組の場合、強制振動で得られたモード方程式を用いて、半波正弦励振の衝撃荷重が作用する場合の各はりの残留振動を求めた結果、はり1とはり2の残留振動は1次モードの寄与が大きく、3次以上の高次モードの影響をほとんど受けない。半波正弦励振力に含まれる振動数成分と、系の各次モードの固有角振動数の関係により、残留振動の最大変位量が変化する。また残留振動の最大変位量は加振位置、連結ばねの取付位置および励振振動数の影響を大きく受ける。半波正弦励振の振動数  $\omega$  と系の  $r$  次の固有角振動数  $p_r$  の間で  $p_r = (2n+1)\omega$  ( $n$ : 整数  $\geq 1$ ) の関係が満たされると、励振振動数  $\omega$  の付近で、はりの残留振動が極小となることが分かった。