

氏 名	やま ぐち ひで や 山 口 秀 谷
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和55年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)機械工学専攻
学位論文題目	弾性及び粘弾性材組合わせ系の振動減衰に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 齋藤 秀雄
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 齋藤 秀雄 東北大学教授 玉手 統 東北大学教授 渥美 光 東北大学教授 八巻 昇

論 文 内 容 要 旨

第1章 序 論

近年機械や構造物の高速化，軽量化がますます進み，それらに伴って振動の発生が増加して，機械の疲労破損や騒音発生など好ましくない現象を引き起こしている。これらの現象を除去するために，機械や構造物に振動減衰性能を持たせて，振動をすみやかに減衰させ，さらに共振時における過大な振動を抑制することは，実用上甚だ重要である。この為の手段として，弾性構造系に内部減衰の大きい粘弾性材を種々の方法で取り付けることがしばしば行われている。この種の研究としては，弾性層の中間に粘弾性コアを挿入した三層合わせはりについてのD. J. Mead と S. Markus¹⁾の研究，弾性ばりの一部に粘弾性層を固着したD. S. NokesとF. C. Nelson²⁾の研究，粘弾性材で周辺を支持された長方形平板についての齋藤と中切³⁾の研究等がある。

一方航空機，船舶等においては軽量化のため薄肉構造が多く使われており，これらに関連して薄肉平板あるいは円筒殻をはりで補強した場合の振動問題を扱った研究がかなり発表されてきている。例えば，補強ばりを多数取り付けけた長方形平板についてのB. R. Long⁴⁾の研究，軸方向に平行に補強ばりを取り付けた円筒殻についてのD. M. EgleとJ. L. Sewall⁵⁾の研究，周方向に補強円環を取り付けた円筒殻についてのA. M. J. Al-NajafiとG. B. Warburton⁶⁾の研究等がある。また平板を補強する場合，補強ばりを使用する外に平板の内部をばね列で支持する方法があり，この種の研究として長屋⁷⁾の論文がある。これらの研究の多くは構造物をすべて弾性

体として取り扱い、減衰については考慮していないが、補強材として粘弾性材を使用すると、補強のみならず振動減衰をも行うことができ甚だ便利である。この種の研究として斎藤と鈴木⁸⁾は一本の粘弾性ばりを有する長方形平板の振動を扱い、その減衰特性について論じている。しかしながら実際の構造物にみられる様に減衰性を有する補強ばりを多数取り付け付けた場合については明らかにされていない。また粘弾性ばね列で支持された長方形平板あるいは粘弾性補強材を有する円筒殻等の振動減衰を扱った研究は未だ見受けられない様に思われる。

一方三層合わせはりとは工業材としてしばしば使用されてきており、前述の論文をはじめ多数の研究がなされているが、これらはいずれも粘弾性コアがはり全体に一樣に挿入された場合のみを扱っている。しかしながら粘弾性コアを部分的に挿入して、はり全体に挿入した場合と同程度の強度、減衰性能をもたせることができれば、材料の節約、構造物の軽量化を行うことができ、実用上非常に便利である。

本報はこれらの点に鑑み、問題を三種類すなわち第一に多数の粘弾性ばりあるいはばね列で固着あるいは支持された長方形平板、第二に軸方向あるいは周方向に粘弾性ばりあるいは円環を多数固着された円筒殻、第三に粘弾性コアを部分的に挿入された三層合わせはりに分けて扱い、それらの振動特性を明らかにしようとするものである。

第2章 粘弾性ばりあるいは粘弾性ばね列で支持された長方形弾性平板の振動

本章では対向二周辺を単純支持、他の二周辺を任意の条件で支持された長方形平板に、単純支持辺に直角な方向に多数の粘弾性ばりを固着した場合あるいは粘弾性ばね列で支持した場合の自由振動を扱っている。解析は伝達マトリックス法を用いて行い、粘弾性ばりを固着した場合にはその回転慣性、せん断変形および粘弾性ばり取り付け部の幅の影響、さらに粘弾性ばりが板の片側のみに取り付けられていることにより生じる平板の面内変形をも考慮する。数値計算においては粘弾性ばり断面の大きさ、粘弾性ばね列のばね定数あるいはそれらの取り付け数が系の減衰固有角振動数、対数減衰率および振動波形に及ぼす影響を明らかにする。また粘弾性ばりを固着した場合については実験を行い、解析結果と比較検討し、理論の妥当性を証明している。

第3章 軸方向に平行に粘弾性ばりを取り付けられた円筒殻の振動

本章では面上軸方向に平行に多数の粘弾性ばりを固着された両端単純支持円筒殻の自由振動を扱っている。解析においては、円筒殻についてはDonnellの式を、また粘弾性ばりについてはEuler-Bernoulliのはり理論式を用い、伝達マトリックス法および剛性マトリックス法を併用して振動数方程式を導く。数値計算においては粘弾性ばりの断面の大きさを変えた場合、系の減衰固有振動数、対数減衰率および振動波形がいかに変化するかを明らかにする。

第4章 粘弾性円環を取り付けられた円筒殻の振動

本章では面上周方向に多数の粘弾性円環を固着された円筒殻の自由振動を扱っている。解析においては、粘弾性円環についてはA. E. H. Loveの導いた運動方程式を用いて、前章と同様の方

法により振動数方程式を導く。数値計算においては粘弾性円環の断面の大きさを変えた場合、系の減衰固有振動数、対数減衰率および振動波形がいかに変化するかを明らかにする。

第5章 粘弾性コアを部分的に有する三層合わせはりの振動

本章では粘弾性コアを部分的に挿入された三層合わせはりの自由振動を扱っている。解析においては上部および下部の弾性ばりは同質同形とし、粘弾性コアについてはせん断変形、厚さ方向の伸縮変形および横慣性を共に考慮して、伝達マトリックス法を用いて振動数方程式を導く。数値計算においては粘弾性コアの挿入位置、挿入数および長さにより減衰固有振動数、対数減衰率および振動波形がいかに変化するかを明らかにする。

第6章 結 論

第1章序論で述べた目的に従い、粘弾性補強材を固着された長方形平板、円筒殻あるいは粘弾性コアを部分的に挿入された三層合わせはりの振動減衰問題について理論解析を行った。得られた結果を要約すると次のとおりである。

(1) 一辺に平行に多数の粘弾性ばりを固着あるいは粘弾性ばね列で支持された長方形平板の自由振動を扱い、粘弾性ばりの断面の大きさ、粘弾性ばね列のばね定数、あるいはそれらの取り付け数により振動減衰特性がいかに変化するかを明らかにした。さらに粘弾性ばりを固着した場合について実験を行った結果、解析結果とほぼ一致することを確認した。これらにおいて同質同形の粘弾性ばりを等間隔に取り付けその断面の大きさを変える場合、あるいは粘弾性材の総量を一定にして取り付け数を変える場合対数減衰率が最大となるところがある。また減衰固有振動数および対数減衰率は、粘弾性ばりの回転慣性、せん断変形および粘弾性ばり取り付け部の幅の影響を無視する場合には取り付け数が小の範囲で、板の面内変形を無視する場合には取り付け数が大の範囲で、これらを考慮する場合との差異が大であり、かつこれらの差異は粘弾性材の量と共に増加する。一方同一ばね定数の粘弾性ばね列で等間隔に支持する場合には、ばね定数の大きさより対数減衰率が最大となるところがあり、また支持数を増していく場合、対数減衰率は最初急激に増加して、以後ほぼ一定となる。

(2) 軸方向に平行に多数の粘弾性ばりを固着された両端単純支持円筒殻の自由振動を扱い、振動減衰特性に及ぼす粘弾性ばりの影響を明らかにした。すなわち同質同形の粘弾性ばりを等間隔に取り付けた場合、対称モードと反対称モードに分けることができ、粘弾性ばりの取り付け数および周方向波数によって、両者の減衰固有振動数および対数減衰率が同一である場合と異なる場合がある。また粘弾性ばりのたわみ振動の影響が大きい場合には、粘弾性ばり断面の大きさと共に減衰固有振動数は最初減少してから増加し、対数減衰率はかなり増加する。一方粘弾性ばりのねじれ振動の影響が大きい場合には、減衰固有振動数は粘弾性ばり断面の大きさと共に最初増加してから減少し、対数減衰率は極大、極小値をもつ様になる。

(3) 周方向に多数の粘弾性円環を固着された両端単純支持円筒殻の自由振動を扱い、振動減衰特性に及ぼす粘弾性円環の影響を明らかにした。すなわち粘弾性円環が主にたわみ振動を行って

る場合には、周方向波数が小のモードでは粘弾性円環の断面の大きさと共に減衰固有振動数は減少し、対数減衰率は増加するが、周方向波数が大のモードでは減衰固有振動数は断面の大きさと共にかなり増加し、対数減衰率はある断面の大きさのところで最大値をとる。一方粘弾性円環が主にねじれ振動を行っている場合には、減衰固有振動数の変化、対数減衰率の値とも極めて小さい。

(4) 粘弾性コアを部分的に挿入された三層合わせはりの自由振動を扱い、振動減衰特性に及ぼす粘弾性コアの影響を明らかにした。上部および下部の弾性ばりを両端単純支持した場合には、対称モードと反対称モードの二種類に分けられる。これらの中で対称モードでは、粘弾性コアの長さと共に減衰固有振動数はかなり増加し、対数減衰率は極大となるところがある。一方反対称モードは、上部、下部はりが主にたわみ振動を行っている場合と、上部、下部はりがほぼ剛体的に互いに逆方向に軸方向に振動している場合に分けられ、前者の場合には減衰固有振動数は粘弾性コアの長さと共に減少あるいはわずかに増加し、対数減衰率は長さと共に増加して、後者の場合には減衰固有振動数は粘弾性コアの長さと共に増加するが、対数減衰率はほぼ一定の値を示す。上部はりの両端を自由、下部はりの両端を単純支持した場合の減衰固有振動数および対数減衰率は、粘弾性コアの長さのある範囲内で、上部、下部はりとも両端単純支持した場合と同じ様な変化を示す。

参 考 文 献

- (1) Mead, D. J. and Markus, S., J. Sound & Vib., 10 (1969), 163.
- (2) Nokes, D. S. and Nelson, F. C., The Shock and Vibration Bulletin, 1968, 5.
- (3) 斎藤・中切, 機論, 42 (1976), 1077.
- (4) Long, B. R., J. Sound & Vib., 16 (1971), 323.
- (5) Egle, D. M. and Sewall, J. L., AIAA J., 6 (1968), 518.
- (6) Al-Najafi, A. M. J. and Warburton, G. B., J. Sound & Vib., 13 (1970), 9.
- (7) 長屋, 機論, 43 (1977), 1669.
- (8) 斎藤・鈴木, 機論, 43 (1977), 114.

審査結果の要旨

近時機械や構造物の著しい高速化，軽量化に伴い，薄肉のはり，板及び殻を主体とする軽構造物が各方面に用いられてきている。これら構造物に周期的な変動荷重が作用すると，振動，騒音が誘起され，遂には破壊に到ることも少なくない。このため軽構造物構成要素に振動減衰性能を持たせて振動を速やかに減衰させ，さらに共振時に生ずる過大な振動を抑制することは工学上甚だ重要な問題となる。これらについては既に多くの方法が案出され，解析も行われているが，現象が複雑であるため未だ説明は十分ではない。著者は薄肉平板及び円筒殻の一部に粘弾性はり，ばね，あるいは円環を固着して，板及び殻に減衰性能を与えると共に，補強をも兼ね備えさせる方法を提案し，それらの振動特性，減衰効果を究明した。本論文はこれらの成果をまとめたもので，全編6章よりなる。

第1章は序論であり，従来の研究と本研究の意義および目的について述べている。

第2章では対向二周辺を単純支持，他の二周辺を任意の条件で支持された長方形平板の表面に，単純支持辺に直角に等間隔に粘弾性はりあるいはばね列を固着した場合の自由振動を考究している。解析は伝達マトリックス法を用いて行い，板の面内変形，粘弾性はりの回転慣性，せん断変形をも考慮して解を求め，かつ実験を行い，両者の結果を比較して本解析法の妥当性を実証している。特に減衰効果を最大ならしめる最適の取り付け数，断面寸法およびばね定数のあることを明らかにしていることは有用な知見である。

第3及び第4章では円筒殻の面上，軸あるいは円周方向に，粘弾性はりあるいは円環を等間隔に固着する場合の円筒殻の自由振動を考察している。解析においては伝達マトリックス法と剛性マトリックス法を併用して解の精度を保ち，振動数方程式を導いている。これより粘弾性はり取り付けの場合，はりが主にたわみ振動を行う場合は，対数減衰率は始め断面寸法の大きさと共に急増するが，後一定値に近づき，ねじり振動が主な場合は，ある断面寸法において極大値を生ずることなど，また円環取り付けの場合，円環が主にたわみ振動を行う場合は，対数減衰率は始め断面寸法と共に急増するが，ある寸法で極大値となること，また主にねじり振動を行う場合は対数減衰率は極めて小であることなど，貴重な成果を提供している。

第5章では粘弾性コアを部分的に挿入された合わせはりの横振動を，コアのせん断，伸縮変形および横慣性を共に考慮して取り扱い，コアの挿入数，長さによる減衰固有振動数，対数減衰率およびモードの変化を詳細に究明している。

第6章は結論である。

以上要するに，本論文ははり，板および殻など基本的な構造要素の振動減衰を，部分的に粘弾性材を固着することにより最も効果的に付与する方法を研究し，その振動特性を詳細に解明したものであって，振動工学並びに機械工学に寄与するところが少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。