

これまでの研究成果について

Outline of Author's Researches

青木 繁

Shigeru Aoki¹⁾

Abstract : Author's researches, his work in Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology 32 years, are outlined. His research fields are seismic response of mechanical systems, vibration characteristics of structure with joint, manufacturing utilizing vibration, random vibration analysis, nonlinear vibration analysis of continuous system and concentrated mass system, development of device for reduction of seismic response, cleaning method for mechanical parts using micro-bubble, etc. These researches contain maximum seismic response of piping system with nonlinear characteristics, estimation method of first excursion probability, vibration characteristics of structure with welded joint and bolted joint, method for reduction of residual stress on welded joint using vibration, drilling of laminated material using vibration, deburring of sand core using vibration, simplified calculation method for integral of mean square response of structure subjected to nonstationary random excitation, relation between absorbed energy by nonlinear characteristics and reduction of response, approximate method for vibration of continuous system with collision and nonlinear support, vibration of structure with nonlinear damper, vibration of structure with asymmetric force-deformation relation, development of base isolation system for mechanical system, development of oil damper and eddy current damper for house, cleaning method for mechanical parts using micro-bubble and ultrasonic vibration, material for reduction of vibration and noise, stability of manipulator, strength and vibration characteristics of FRP structure.

Keywords : Random vibration, Seismic Response, Reliability, Nonlinear vibration, Utilization of vibration

1. 緒言

本校に就任してから 32 年が過ぎようとしている。この間に 5 年ごとに研究成果をまとめてきた[1-6]。本稿はこれまでの研究をまとめたものである。これまでの研究は大きく分けると次のようになる。機械構造物系の地震応答、接合部のある構造物の振動特性、振動利用技術、不規則振動理論、連続体および集中質量系の非線形振動、地震応答低減装置、機械加工部品の洗浄である。それぞれについて概説する。

2. 機械構造物系の地震応答特性

がたや摩擦特性のある配管系の最大地震応答の推定法および構造物の動的信頼性を評価する上で重要な初通過破壊確率の簡易推定法について検討した。

2.1 非線形特性を考慮した配管系の最大地震応答

生産施設内の配管系はガイド・ストッパ・ハンガーなどの支持構造物系に取付けられている。配管系と支持構造物

系の間にはがたや摩擦などの非線形特性がある。このような配管系の地震応答を推定する方法を提案した。配管系と支持構造物系をそれぞれ 1 自由度系でモデル化し、がた特性は衝突後に剛性が増す bilinear 復元力特性、摩擦はクーロン摩擦でモデル化した。がた特性を考慮した場合については、衝突後の剛性と衝突前の剛性の比およびギャップ幅をパラメータとして、配管系と支持構造物系との相対変位とサポート反力の最大値を実用的な線図で示した[7]。摩擦特性を考慮した場合については最大応答を摩擦特性がない線形系の場合に対する応答低減率（応答低減係数）で整理した[8]。

2.2 初通過破壊確率の簡易推定法

構造物の破壊様式として、応答が最初に破壊レベルを超過した瞬間に破壊が生じるとする初通過破壊に着目した。生産施設内の建物などの主構造物系内に設置されている機器・配管などの付加構造物系が地震動入力を受ける場合に、地震動が不規則振動であるために、応答を確率論的に評価しなければならない。このような場合の付加構造物系の初通過破壊確率を理論的に求める手法を提案し、その特徴に

¹⁾ 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科、機械システム工学コース

ついて述べた。上述のように、付加構造物系にはがたや摩擦、過大な入力を受けて塑性変形した場合の履歴復元力特性のような非線形特性がある。入力として応答スペクトルに適合する模擬地震波を用いて付加構造物系の応答が大きくなる付加構造物系と主構造物系の固有周期が一致する条件での初通過破壊確率を求めた。この場合に、破壊レベルを非線形特性のない線形系の付加構造物系の最大応答で無次元化すると、初通過破壊確率が固有周期によらずに推定することができることを明らかにした[9-11]。

初通過破壊確率の簡易推定法についても検討した[12]。まず、線形 1 自由度系を対象に、定常白色雑音および非定常白色雑音を入力として初通過破壊確率を求めた。この場合に破壊レベルを応答の最大値の平均値（平均応答スペクトルに相当する。）で無次元化すると、減衰比と固有周期によらずに初通過破壊確率を推定することができることを明らかにした。また、付加構造物系に対しても同様に破壊レベルを付加構造物系の最大応答で無次元化することによって付加構造物系の減衰比と固有周期によらずに初通過破壊確率を推定することができることを示した。さらに、非線形特性のある付加構造物系に対しても、破壊確率が 50%となる破壊レベルを最大応答の平均値として、破壊レベルを最大応答の平均値で無次元化すると、非線形特性のパラメータによらずに初通過破壊確率を推定することができることを明らかにした[13]。

3. 接合部のある構造物の振動特性

構造物には溶接やボルト結合などの結合部をもつものが多い。このような結合部が構造物の振動特性に及ぼす影響について検討した。

まず、片持ちはりの中央部に溶接のある試験片を用いて、1 次の振動特性を測定した[14]。その結果、溶接部があると減衰比が約 10%大きくなることが明らかになった。固有振動数の変化はなかった。このような溶接部のある構造物が不規則振動入力を受けた場合の応答を理論解析で求め、溶接部があると応答の標準偏差が小さくなり、初通過破壊確率も低くなることを明らかにした。

次に、溶接部の位置が異なる片持ちはりの試験片を用いて溶接部の位置が振動特性に及ぼす影響について検討した[15]。1 次振動については溶接部があると減衰比が約 10%大きくなることが明らかになった。2 次振動については、固有振動モードの腹の近くに溶接部がある場合には減衰比が大きくなり、節の近くにある場合には減衰比はあまり大きくならないことが明らかになった。固有振動数の変化はほとんどなかった。さらに、溶接部の位置を考慮した振動解析をするためのモデル化を提案した。

さらに、ボルト結合部が構造物の振動特性に及ぼす影響について検討した[16]。片持ちはりの中央部にボルト結合部のある試験片を用いて 1 次および 2 次それぞれの減衰比および固有振動数を測定した。ボルトの本数を変え、補助板の有無について検討した。ボルト結合部があると、1 次振

動および 2 次振動の減衰比が大きくなり、固有振動数は低くなることが明らかになった。ボルトの本数が少ないと減衰比が大きくなる傾向があり、補助板がある方が減衰比が大きくなる傾向がみられた。固有振動数は補助板がない方が下がる傾向がみられた。ボルトの本数の違いによる固有振動数の変化はほとんどなかった。ボルト結合部のある構造物が不規則振動入力を受けた場合の応答を理論解析によって求め、ボルト結合部があるととくに加速度応答が低減されることを明らかにした。

4. 振動を利用した機械加工

振動を利用して溶接残留応力を低減する方法、積層材料の穴あけ加工面の形状を改善する方法、バリ取りをする方法について検討した。

4.1 振動を利用した溶接残留応力低減法

溶接は多くの構造物に用いられている接合法である。溶接は局部的に熱を加える加工法であるため、溶接部付近に残留応力が発生する。表面の引張残留応力は部材の疲労強度などに悪影響を及ぼすために、熱処理やショットピーニングなどの残留応力低減法が実用化されている。これらの方法は特殊な装置が必要であることや処理に時間がかかる。そのため、短時間で簡単な装置でできる残留応力低減法として、溶接中に振動を加える方法を提案した。

振動を加えながら 2 枚の平板を突き合せ溶接した[17]。試験片の材質は一般構造用圧延鋼材（SS400）とした。溶接には自動炭酸ガスアーク溶接装置を用いた。残留応力の測定には X 線応力測定装置を用いた。振動として、試験片の固有振動数に近い比較的低い振動数の振動、超音波振動、不規則振動を用いた。どの振動を用いても溶接部付近の引張残留応力が低減された。振幅が大きいほど残留応力が低減されることが明らかになった。また、引張残留応力の低減を理論的に検討するための力学モデルを提案した[18]。

肉盛溶接についても検討した[19]。厚板に振動を加えながら肉盛溶接した。振動として、厚板に加えやすい超音波振動を用いた。振動を加えながら溶接すると引張残留応力が低減されることが明らかになった。また、振動数の異なる 2 つの超音波振動を加えるとひとつの超音波振動を加えるよりも残留応力が低減されることが明らかになった[20]。得られた残留応力の統計量を求め、2 つの超音波振動を加えるとひとつの超音波振動を加えた場合より残留応力の低減確率が高く、両者の間に有意差があることが明らかになった。

4.2 振動を利用した積層材料の穴あけ加工

積層材料は軽量で強度が高いために多くの構造物に用いられている。積層材料は接合などのために穴あけなどの 2 次的な加工が必要となることがある。その際に、積層面で剥離が生じ、加工形状が悪化することがある。振動を利用することによって、加工形状を改善する方法について検討した。振動として比較的低い振動数の振動[21]および超音波

振動[22]を用いた。穴あけには汎用ボール盤を用いた。比較的低い振動数の振動では積層材料、超音波振動はドリルに振動を加えながら積層材料を穴あけ加工した。振動を加えながら穴あけ加工すると、加工面の表面粗さが小さくなり、加工形状が改善されることが明らかになった。また、旋盤で穴あけ加工する際にドリルに超音波振動を加えながら加工すると、スラスト力とモーメントが低減され、工具摩耗が改善されることが明らかになった[23]。

4.3 振動を利用した鑄造中子のバリ取り。

鑄造中子の製作で、バリが生じることがある。バリは鑄造製品の精度を劣化させるために、振動を利用してバリ取りをする方法について検討した[24]。異なる形状の振動メディアの中にバリのある金型を入れて、振動を加えた。その結果、メディアの形状は球がよく、ある程度以上の径が必要であり、加振振幅、加振振動数、振動を加える時間を適切に選ぶ必要があることを明らかにした。

5. 不規則振動に関する研究

非定常不規則振動を受ける構造物の応答の自乗平均値の積分値の簡易計算法および非線形特性のある構造物の応答の低減と吸収エネルギー量の関係について理論的に検討した。

5.1 非定常不規則振動入力を受ける構造物の応答の自乗平均応答の積分値の簡易計算法

地震動は振幅および周波数特性が時間的に変化する非定常不規則振動である。このような入力を受ける構造物の応答は非定常不規則振動となる。このような不規則振動入力を受ける構造物の応答の評価に自乗平均値がよく使われる。非定常不規則振動入力を受ける構造物の応答の自乗平均値を理論的に求める方法は複雑である。一方、振動特性が変化しない定常不規則振動入力を受ける構造物の応答の自乗平均値を求める方法は比較的容易である。ここでは振幅の非定常性に着目し、入力を定常不規則振動と振幅非定常性を表す包絡関数の積で表せるものとした。非定常不規則振動入力に対する応答の自乗平均値を定常不規則振動入力に対する応答の自乗平均値と包絡関数の自乗の積で近似した。自乗平均値の時間に関する積分値の近似解と厳密解が一致することが明らかになった[25-26]。

5.2 非線形特性のある構造物の応答の低減と吸収エネルギー量の関係

構造物は過大な入力を受けたときに塑性変形によって履歴復元力特性をもつ。一方、構造物の支持部に接触による摩擦特性がある場合がある。このような非線形特性によって、振動エネルギーが吸収され、応答が低減される。このような場合の応答を等価線形化法によって理論的に求め、応答の低減と吸収エネルギー量の関係について検討した。

履歴復元力特性をもつ構造物では、降伏変位（降伏力）が小さくなると吸収エネルギー量が大きくなり、応答が低減される。しかしながら、降伏変位が一定の値より小さくなると、吸収エネルギーは大きくなるが、応答も大きくなる[27]。摩擦特性をもつ構造物では、摩擦力が大きくなると吸収エネルギー量が大きくなり、応答が低減される[28]。

6 非線形振動に関する研究

非線形振動は多くの構造物にみられる。衝突振動、支持部の非線形特性を考慮した振動、非線形特性をもつダンパを用いた場合の振動、非対称履歴復元力特性をもつ構造物の振動について検討した。

6.1 衝突振動

衝突振動の解析には反発係数を用いる方法や衝突後に剛性が増加する bilnear 復元力特性が用いられる。前者では衝突時間が考慮されず、後者では衝突によるエネルギー吸収が考慮されていない。両者を考慮するために、反発力に履歴特性を導入した。反発係数が速度に依存しない三角形または反発係数が速度に依存する四角形の履歴特性を用いた。反発力をフーリエ級数展開し、片持ちはりや単純支持はりのような連続体の一端が衝突する場合の定常振動応答の近似解析法を示した[29-30]。その結果、共振曲線が不連続となり、複雑な振動が生じる領域があることが明らかになった。このことを実験でも確認した[31-32]。この解析法を 1 自由度系にも応用した[33]。

6.2 支持部の非線形特性を考慮した解析法

支持部に非線形特性がある場合の解析法について検討した。非線形特性として履歴復元力特性に着目した。片持ちはりと単純支持はりの一端の支持部に四角形の履歴復元力特性を考慮した場合の定常振動応答を求める近似解析法を示した[34-35]。

6.3 非線形特性をもつダンパを用いた場合の振動応答解析

振動入力を受ける構造物の応答を低減するために種々のダンパが考案されている。弾塑性ダンパと衝撃ダンパを用いた場合の応答解析法について検討した。

片持ちはりと単純支持はりの一端に弾塑性ダンパを取付けた場合の定常振動応答計算法を示した[36]。履歴特性のない弾性ダンパを取付けた場合と比較すると、共振曲線のピークが低減されることを明らかにした。

地震動入力を受ける構造物に取付ける衝撃ダンパについて、主振動体を 1 自由度系でモデル化し、衝撃ダンパを衝突を伴う 1 自由度系でモデル化した。衝突による反発力に三角形の履歴特性を考慮して等価線形化法を用いて主振動体の応答を求めた[37]。衝突のない弾性ダンパを取付けた場合と比較すると、応答が速く低減されることが明らかになった。

6.4 非対称履歴復元力特性をもつ構造物の振動

履歴復元力特性において降伏力が非対称である構造物が地震動のような不規則振動入力を受けた場合の応答特性について検討した[38-39]。履歴復元力特性が非対称であると加速度応答は低減される。一方で永久変形が一方に増加するために、変位応答が大きくなる。速度応答は構造物の固有周期が長い領域では小さくなり、短い領域では大きくなる傾向がある。

7. 地震応答低減装置

地震による構造物の応答を低減するための装置として、屋内設備の転倒防止を目的とした摩擦軸受を用いた免振装置およびオイルダンパを中心とした木造住宅用のダンパを開発した。

7.1 免振装置の開発

コンピューター用ラックのような屋内設備の転倒を防止することを目的として、球面体を2枚の板で挟み、摩擦によって振動を低減する構造の免振装置を開発した[40]。まず、地震波を用いた実験によってこの装置上の免振台の振動を測定し、入力と比較して応答が大幅に低減されることが明らかになった。次に、コンピューター用ラックを搭載した実験によって、応答が低減され、転倒を防止することができた。事務用の棚や花瓶なども搭載して同様の実験を行い、転倒を防止することができた。これらのことから、開発した免振装置の有効性を確認することができた。さらに、力学モデルを用いたシミュレーションによって実験結果を検証した。

摩擦のある構造物が地震動入力を受けると、一般に摩擦係数が大きくなると応答が低減される。しかしながら、摩擦係数が大きくなると、加速度応答も大きくなることもある。地震動を想定した不規則振動入力を受ける摩擦のある構造物の応答を等価線形化法を用いて解析によって検討した[41]。その結果、加速度応答が最小となる摩擦係数が存在することが明らかになった。

7.2 住宅用ダンパの開発

木造住宅の地震応答の低減を目的として、本体を住宅の基礎に設置し、天井と連結する方式のダンパを開発し、その有効性について検討した。

本体の中にある振動体を連結棒で天井と連結し、振動体と本体の間がシリコンオイルで満たされているダンパを開発した[42]。振動体の形状を球、円筒、直方体とした。住宅モデルにダンパを取付けてその有効性を実験によって検討した。その結果、どの形状の振動体を用いても住宅の共振曲線のピークが低減された。球形ダンパは3次元方向の応答低減に有効で、円筒形ダンパと直方体ダンパは加工性の良さが利点である。ダンパを含めた住宅の力学モデルを用いて実地震波を用いたシミュレーションによって、ダン

パの有効性を確認した。

磁気制動力を利用した磁気ダンパの開発もした[43]。本体に永久磁石を設置し、天井と連結した銅板の振動によって振動を低減する構造とした。実験によって共振曲線のピークが大きく低減されることが明らかになった。また、ダンパを含めた住宅の力学モデルを用いたシミュレーションによって、磁気ダンパの有効性を確認した。

8. マイクロバブルを用いた機械部品の洗浄

機械部品は加工油などが付着しているために洗浄する必要がある。環境への影響を考慮して、有害な物質を用いないマイクロバブルによる洗浄が注目を集めている。このことを考慮して、マイクロバブルによる洗浄の有効性について検討した。まず、洗浄に用いるマイクロバブル発生装置の基礎特性を測定した[44]。次に、タッピングペーストを塗布した試験片を洗浄する実験を行った[45]。洗浄によく用いられている超音波振動も用いた。試験片を水中に固定し、上方から超音波振動、下方からマイクロバブルを加えた。マイクロバブルおよび超音波振動をそれぞれ単独で用いた洗浄も試みた。その結果、超音波振動のみを用いた場合にマイクロバブルのみを用いた洗浄よりも洗浄速度が速かった。マイクロバブルと超音波振動を用いた場合の洗浄速度は両者の中間であった。一方、洗浄後の水の濁りを測定したところ、超音波振動を用いた場合には急速に水が濁ったが、マイクロバブルのみを用いた場合にはあまり濁らなかった。マイクロバブルと超音波振動を用いた場合には、マイクロバブルのみを用いた場合ほどではないが、水はあまり濁らなかった。

9. その他

振動・騒音防止用に開発された金属多孔質材料の有効性を加振実験および音響実験によって検討した[46-47]。この材料は重量を負荷した状態で振動減衰効果があることが明らかになった。また、低音部の伸びをよくし、しかも残響音を減少させることを明らかにした。

対象物の動特性の変動がマニピュレータの安定性に及ぼす影響について検討した。マニピュレータと駆動機構をそれぞれ1自由度系で模擬して摂動法を用いて特性根のばらつきを求める方法を提案した[48]。減衰係数の変動の影響で特性根が不安定領域に入る場合があることが明らかになった。

糸状のFRPを編むことによって立体構造物を製作し、その強度および振動特性を測定した[49-50]。圧縮試験では立体構造物であるために、一部で破断して荷重が減少しても、他の部分で強度を補い、再度荷重が増加することを繰り返すことが明らかになった。また、軽量であるが固有振動数が比較的高いことも明らかになった。

10. 結言

これまでの研究についてまとめた。研究の遂行にあたり、多くの先生方および学生にご協力をいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] 青木繁：5年間の研究成果，東京都立工業高等専門学校研究報告，28，pp.1-6，1993
- [2] 青木繁：5年間の研究成果（その2），東京都立工業高等専門学校研究報告，33，pp.1-7，1998
- [3] 青木繁：5年間の研究成果（その3），東京都立工業高等専門学校研究報告，33，pp.1-6，2003
- [4] 青木繁：5年間の研究成果（その4），東京都立産業技術高等専門学校研究紀要，2，CD-ROM，2008
- [5] 青木繁：5年間の研究成果（その5），東京都立産業技術高等専門学校研究紀要，7，CD-ROM，2013
- [6] 青木繁：5年間の研究成果（その6），東京都立産業技術高等専門学校研究紀要，12，CD-ROM，pp.61-67，2018
- [7] 鈴木浩平・青木繁・大山哲治，サポートの非線形特性を考慮した配管系の振動応答解析（第1報，サポートのがた特性の影響），日本機械学会論文集（C編），53-490，pp.1141-1146，1987
- [8] 青木繁・鈴木浩平，サポートの非線形特性を考慮した配管系の振動応答解析（第2報，サポートの摩擦特性の影響），日本機械学会論文集（C編），53-495，pp.2243-2248，1987
- [9] 青木繁，地震動入力を受ける付加構造物系の初通過破壊確率，東京都立工業高等専門学校研究報告，23，pp.1-8，1988
- [10] 青木繁，摩擦特性をもつ付加構造物系の初通過破壊確率の推定法，日本機械学会論文集（C編），59-563，pp.2065-2069，1993
- [11] 青木繁，がた特性をもつ付加構造物系の初通過破壊確率の推定法，日本機械学会論文集（C編），67-660，pp.2450-2455，2001
- [12] 青木繁，平均応答スペクトルを用いた初通過破壊確率の簡易推定法，日本機械学会論文集（C編），58-546，pp.347-351，1992
- [13] 青木繁，非線形特性をもつ付加構造物系の初通過破壊確率の推定法（最大応答を用いた簡易推定法），東京都立産業技術高等専門学校研究紀要，11，CD-ROM pp.15-21，2017
- [14] 青木繁，溶接部が構造物の動特性に与える影響（加振実験に基づく振動特性および信頼性の検討），日本機械学会論文集（C編），58-546，pp.1030-1033，1992
- [15] Aoki,S., Effect of Welding Position on Dynamic Characteristics of Welded Structure, Proceedings of the 1996 ASME Pressure Vessels and Piping Conference : Pressure Vessels and Piping Design, Analysis, and Severe Accidents, PVP 331, 115-119, 1996
- [16] 青木繁，ボルト結合のある試験片の振動特性，東京都立工業高等専門学校研究報告，39，pp.1-5，2004
- [17] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨・平井聖児，振動を利用した溶接残留応力の低減法（種々の振動数による検討），東京都立産業技術高等専門学校研究紀要，3，CD-ROM，pp.1-5，2009
- [18] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨，振動荷重を利用した溶接残留応力の低減法，東京都立工業高等専門学校研究報告，36，pp.1-6，2000
- [19] Aoki,S., Kurita,K., Koshimizu,S., Nishimura,T, Hiroi,T, Hirai,S., Probabilistic Evaluation of a Method for Reduction of Residual Stress in Welded Structure Using Vibration, Chemical Engineering Transactions, 33, pp.1087-1092, 2013
- [20] 青木繁・栗田勝実・越水重臣，2つの超音波振動を利用した溶接残留応力低減法—ひとつの超音波振動を利用した場合との比較—，塑性と加工，58-672，pp.47-52，2017
- [21] 青木繁・西村惟之，積層材料の振動穴あけ加工に関する研究，平成8年度～平成11年度科学研究補助金（基盤研究C）研究成果報告書，1999
- [22] 青木繁・西村惟之・平井聖児，超音波振動を利用した積層材料の穴あけ加工表面形状の改善，日本機械学会論文集（C編），72-720，pp.2629-2633，2006
- [23] 青木繁・朝比奈奎一，超音波振動ドリルを利用したFRP積層板の穴あけに関する研究，日本機械学会関東支部総会第15期総会講演会講演論文集，090-1，pp.319-320，2009
- [24] 青木繁・平井聖児・戸澤幸一・吉田雄一・武藤一夫，振動を利用した铸造中子バリ取り，山梨講演会講演論文集，pp153-154，2001
- [25] 青木繁・深野あづさ，非正常地震応答の自乗平均値の積分値の近似計算法，東京都立産業技術高等専門学校研究紀要，4，CD-ROM，2010
- [26] 深野あづさ・青木繁，非正常不規則振動応答の自乗平均値の積分値の近似計算法（非正常白色雑音入力を受ける構造物の応答），東京都立産業技術高等専門学校研究紀要，5，CD-ROM，2011
- [27] 青木繁・深野あづさ，履歴復元力特性による吸収エネルギーと最大応答の関係，数理科学会論文集，17-1，pp.9-13，2016
- [28] 青木繁・深野あづさ，不規則振動入力を受ける構造物の摩擦による最大応答の低減と吸収エネルギーの関係，数理科学会論文集，19-1，pp.11-15，2018

- [29] 青木繁・渡辺武, 非対称履歴特性を有する連続体の強制振動, 日本機械学会論文集 (C 編), 63-610, pp.35-40, 1997
- [30] Aoki,S., Watanabe,T., Some Aspects of Response of Continuous Systems with Nonlinear Boundary Conditions, Proceedings of the Asia-Pacific Vibration Conference '99, 1, pp.418-423, 1999
- [31] 青木繁, はりのやや複雑な衝突振動, 東京都立工業高等専門学校研究報告, 35, pp.1-4, 2000
- [32] 青木繁・酒井康徳, 非対称履歴特性を有する連続体の定常衝突振動解析, 日本機械学会論文集 (C 編), 76-767, pp. 1692-1699, 2010
- [33] 青木繁, 衝突を伴う 1 自由度系の定常振動解析, 東京都立産業技術高等専門学校研究紀要, 5, CD-ROM, 2011
- [34] Aoki,S., Watanabe,T., Forced Vibration Analysis of a Beam with a Nonlinear Support, Proceedings of the 6th International Conference on Structural Dynamics : Recent Advances, 1, pp.847-861, 1997
- [35] 青木繁・渡辺武, 非線形サポートを有する配管系の定常振動応答解析法, 日本機械学会論文集 (C 編), 65-634, pp.2181-2187, 1999
- [36] Aoki,S., Watanabe,T., Various Aspects of Forced Response of Piping System with Elasto-Plastic Damper, Proceedings of the Fifth International Conference on Motion and Vibration Control, 2, pp.761-766, 2000
- [37] Aoki,S., Watanabe,T., Effect of Impact Vibration Absorber with Hysteresis Damping to Nonstationary Random Excitation, Proceedings of the 2nd World Conference on Structural Control, 2, pp.1521-1528, 1998
- [38] Aoki,S., Random Vibration of Structure with Asymmetric Hysteretic Restoring Force-Deformation Relation, Proceedings of the 6th International Conference on Structural Safety and Reliability, 3, pp.2273-2276, 1993
- [39] 青木繁, 非対称履歴復元力特性をもつ付加構造物系の地震応答特性, 第 9 回日本地震工学シンポジウム論文集, 2, pp.1651-1656, 1994
- [40] 青木繁・中西佑二・西村惟之・富永一利・大高武士・稲垣光義・金澤光雄・川口澄夫・吉田智基, 摩擦軸受を利用した機械構造物の地震応答低減装置の開発, 東京都立産業技術高等専門学校研究紀要, 1, pp.1-4, 2007
- [41] Aoki,S., Kurita,K., Response Characteristics of Base Isolation System with Friction, Proceedings of International Conference on Mechanical, Electrical and Medical Intelligent System 2018, CD-ROM, 2018
- [42] 青木繁・栗田勝実・野村幸一, 振動体を介して土台部と天井を連結する住宅用オイルダンパの性能に関する検討 (振動体の形状による有効性の検討), 日本地震工学会論文集, 18-5, pp.78-87, 2018
- [43] Nomura,K., Aoki,S., Kurita,K., Miyata,N., Damping Performance of Evaluation of Eddy Current Damper, Information, 19-6(B), pp.2341-2348, 2016
- [44] 青木繁・平井聖児・香村誠・Vichai Saechout・菅谷諭・堀内勉・佐久間茂・栗田勝実・池田宏, 加圧溶解法で発生したマイクロバブルの基礎特性, 東京都立産業技術高等専門学校研究紀要, 11, CD-ROM, pp.7-14, 2017
- [45] 青木繁・栗田勝実・池田宏・平井聖児, マイクロバブルと超音波振動を併用した金属板表面における洗浄効果の基礎的研究, 日本機械学会論文集, 80-813, Web DSM0134, 2012
- [46] 青木繁・山田栄一・塩崎恵一・稲垣恭次・松島穆・神野学, 振動防止法の基礎試験, 日本機械学会第 70 期通常総会講演会講演論文集, 930-9(III), pp.58-60, 1993
- [47] 青木繁・田中匡・武田敏郎・神野学・塩崎恵一・稲垣恭次・松島穆, 振動防止法の基礎試験 (室内における振動・騒音防止効果), 日本機械学会機械力学・計測制御講演会講演論文集, 930-42 B, pp.221-225, 1993
- [48] Narizawa,T., Aoki,S., Uncertainty Analysis for Control of Single-Degree-of-Freedom Manipulators, Proceedings of the 2nd International Conference on Motion and Vibration Control, 1, pp.210-215, 1994
- [49] 青木繁・成澤哲也・上保徳彦・長野将也・明石和也, FRP材料を用いた構造物の成形に関する研究 (第 1 報, 製造法および強度), 日本機械学会関東支部第 11 期総会講演会講演論文集, 050-1, pp.403-404, 2005
- [50] 青木繁・成澤哲也・上保徳彦・明石和也・長野将也, FRP材料を用いた構造物の成形に関する研究 (第 2 報, 振動特性), 日本機械学会関東支部第 11 期総会講演会講演論文集, 050-1, pp.405-406, 2005