

# 5年間の研究成果(第4報)

## Author's Researches during Last 5 Years (4th Report)

青木 繁<sup>1)</sup>

Shigeru Aoki<sup>1)</sup>

The author's studies during the last 5 years are outlined. Contents of the studies are random vibration, nonlinear vibration, reduction of residual stress of welded joints using vibration, drilling of FRP using vibration, reduction of seismic response using a base isolation device, dynamic characteristics of structures with bolted joints and strength and dynamic characteristics of FRP structures. Those studies contain a simplified estimation method of integral of the mean square value of the response, reliability of the system subjected to seismic excitations, continuous system with collision, continuous system with nonlinear support, continuous system with elasto-plastic damper, reduction of response using impact damper, reduction of residual stress of welded joints using low cycle vibration and ultrasonic vibration, application of vibration to drilling of FRP, development of base isolation device for reduction of seismic response, the damping ratio and the natural frequency of structures with bolted joints, compressive strength, the damping ratio and the natural frequency of FRP structures.

Key Words : Vibration, Random Vibration, Nonlinear Vibration, Welded Joint, Residual Stress, Seismic Response, Bolted Joint, FRP

### 1. 緒 言

本校に就任して 20 年が経過した。既報[1]-[3]に引き続き平成 14 年 4 月 1 日から平成 19 年 3 月 31 日までの 5 年間の研究成果をまとめた。5 年間の研究は大きく分けると次の 5 つの分野になる。

1. 不規則振動に関する研究
2. 非線形振動に関する研究
3. 振動を利用した溶接残留応力低減に関する研究
4. 振動を利用した FRP の穴あけ加工に関する研究
5. 地震応答低減装置に関する研究
6. ボルト結合部をもつ構造物の振動特性
7. FRP 構造物の強度および振動特性に関する研究

これらの研究について以下に概要を示す。

#### 2. 不規則振動に関する研究

地震動は不規則振動である。一般の構造物の耐震設計では、1 次振動に着目した 1 自由度系がよく用いられる。一方、機械構造物の耐震設計は、建物などの主構造物系

に設置されている機器・配管などの付加構造物系を対象とすることが多い。このことを考慮して、地震動を想定した不規則振動入力を受ける 1 自由度系および付加構造物系の応答(自乗平均値の積分値)および信頼性に関する研究を行った。付加構造物系の解析では、付加構造物系および主構造物系をそれぞれ 1 自由度系でモデル化した 2 自由度系を用いた。

##### 2.1 地震応答の自乗平均値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の関数となる非定常不規則過程である。このような入力を受ける構造物の応答も非定常不規則過程となる。不規則過程の特徴を表す統計量として、自乗平均値がよく用いられている。非定常不規則過程の自乗平均値を理論的に求める計算式は複雑になり、解析的に求めることが困難である。一方、定常不規則過程に対する自乗平均値を求める理論式は比較的容易に求まる。このことを利用して、定常不規則過程に対する自乗平均値を利用して非定常不規則過程の自乗平均値を求める簡易計算法について検討した。入力として、非定常非白色雑音を用いた。

解析モデルとして、1 自由度系<sup>(7),(8),(9),(10)</sup>および付加構造物系を対象とした 2 自由度系<sup>(4),(5),(6),(8),(9)</sup>を用いた。これ

1) 都立産業技術高専 ものづくり工学科

らの計算において、応答の自乗平均値の継続時間に渡る積分値を求めた。その結果、1自由度系においては減衰比、固有周期にかかわらず、2自由度系においては質量比、減衰比、固有周期にかかわらず、簡易計算法の結果は厳密解と一致することを明らかにした。厳密解は2自由度系に対してはモーメント方程式を解いて求め、1自由度系に対してはモーメント方程式を解いた場合<sup>(7),(8),(9)</sup>と、理論式に現れる積分を数値的に求めた場合<sup>(10)</sup>がある。

## 2.2 信頼性に関する研究

地震動入力を受ける構造物系の応答は不規則振動となるために、信頼性を確率論的に評価することの重要性が指摘されている。構造物の破壊様式のひとつとして、応答が特定のレベル（破壊レベル）を最初に通過した瞬間に破壊するものとする初通過破壊に注目した。この場合の破壊確率である初通過破壊確率を推定する方法について検討した。解析モデルとして、1自由度系<sup>(13),(15),(16),(18),(19),(21),(22),(24),(29)</sup>および付加構造物系を対象とした2自由度系<sup>(14),(15),(17),(20),(22),(23),(25),(26),(27),(28),(29)</sup>を用いた。入力としては地盤の振動特性を考慮した定常非白色雑音<sup>(15),(18),(19)</sup>、振幅非定常性を考慮した非定常非白色雑音<sup>(15),(16),(17),(18),(20),(21),(22),(23),(29)</sup>、応答スペクトルに適合した非定常模擬地震波<sup>(13),(14),(19),(24),(25),(26),(27),(28)</sup>を用いた。

応答スペクトルに適合した非定常模擬地震波を入力として受ける線形系の付加構造物系について検討し、破壊レベルを応答の最大値で無次元化すると、破壊確率を固有周期によらずに推定できることを明らかにした<sup>(25)</sup>。構造物にはがた<sup>(27),(28)</sup>・摩擦<sup>(14),(17),(20),(23),(26)</sup>および塑性変形による履歴特性<sup>(13),(15),(16),(18),(19),(20),(22),(24),(29)</sup>のような非線形特性がある。これらの非線形特性を考慮した場合の初通過破壊確率を求めた。定常非白色雑音および非定常非白色雑音を入力として用いた場合に、破壊レベルを非線形特性がない線形系の応答の標準偏差の最大値で無次元化すると、1自由度系の場合には破壊確率を減衰比および固有周期によらず、付加構造物系を対象とした2自由度系の場合には減衰比・固有周期および付加構造物系と主構造物系の質量比によらずに推定できることを明らかにした<sup>(9),(11),(13),(15)</sup>。また、設計用応答スペクトルに適合する非定常模擬地震波を入力として用いた場合には、破壊レベルを線形系の最大応答で無次元化すると、固有周期によらずに初通過破壊確率を推定できることが明らかになった<sup>(8),(10),(14),(16)</sup>。とくに、破壊レベルを非線形系の最大応答で無次元化すると、非線形特性を表すパラメータによらずに初通過破壊確率を推定できることを明らかにした<sup>(28)</sup>。

## 3. 非線形振動に関する研究

連続体を中心に、衝突を考慮した場合、支持端の非線形特性を考慮した場合、弾塑性ダンパ・衝撃ダンパを用いた場合について応答計算を行った。

### 3.1 衝突振動

片持はり<sup>(34),(38)</sup>および単純支持はり<sup>(32),(33),(35),(40)</sup>の他端が衝突する場合の定常振動応答を求めた。衝突は、1周期に1回衝突する非対称な衝突<sup>(34)</sup>と、1周期に2回衝突する対称な衝突<sup>(32),(33),(34),(35),(38),(40)</sup>を考慮した。実際の衝突現象において、エネルギー吸収があり、衝突時間がある。これらのことを考慮するために、反発力に履歴特性を導入した。履歴特性としては、反発係数が速度に依存しない三角形<sup>(33),(34),(40)</sup>の履歴特性と速度に依存する四角形の履歴特性<sup>(32),(35),(38)</sup>を用いた。また、衝突の解析でよく用いられる、履歴特性を考慮せずに、衝突すると単純にはね返り数が大きくなるとした場合についても検討した<sup>(34)</sup>。反発力をフーリエ級数展開したが、その基本周波数の項のみを考慮した場合<sup>(32),(33),(34)</sup>と多数の項を考慮した場合<sup>(35),(37),(38),(40)</sup>について応答を求めた。その結果、共振曲線が不連続で複雑な振動が生じる領域があり得ることが明らかになった。このことは、片持はり、非対称な衝突、履歴特性を考慮しない場合に生じることが多い。また、反発力のフーリエ級数の基本周波数の項のみを考慮した場合でもかなりよい共振曲線の近似解が得られることが明らかになった。この方法を1自由度系にも適用し<sup>(36),(37)</sup>、不規則振動入力を受けた場合についても応答の自乗平均値を求めた<sup>(36),(37)</sup>。

### 3.2 支持部の非線形特性を考慮した振動

支持部の非線形特性を考慮した場合の定常振動応答を求めた。単純支持はり<sup>(41)</sup>の他端の支持部の復元力が四角形の履歴特性をもつ場合について検討した。履歴特性を表すパラメータと共振曲線の関係を明らかにした。

### 3.3 弾塑性ダンパをもつ連続体の振動

地震応答を低減するために、塑性変形によるエネルギー吸収を利用する弾塑性ダンパが使われている。弾塑性ダンパを用いた場合の連続体の定常振動応答を求めた。片持はり<sup>(31)</sup>および単純支持はり<sup>(31),(32)</sup>の他端が弾塑性ダンパで支持された場合について検討した。弾塑性ダンパの履歴復元力特性として、完全弾塑性履歴特性を用いた。弾性ダンパを用いた場合と比較して、共振曲線のピークが低減されることが明らかになった。

### 3.4 衝撃ダンパを用いた振動低減

衝突を利用して振動を低減する衝撃ダンパも使われている。主振動体を1自由度系でモデル化し、それに取付

ける衝撃ダンパとして対称な衝突部をもつ 1 自由度系でモデル化した。反発力に三角形の履歴特性を考慮して、また、調和振動入力を受ける場合について検討した。その結果、共振曲線が不連続となり、複雑な振動が生じる可能性があることを示した<sup>(39)</sup>。さらに、不規則振動入力を受ける場合の主振動体の応答の自乗平均値を求めた<sup>(39)</sup>。地震動入力を想定した非定常不規則振動入力に対して弾性ダンパを用いた場合と比較した。その結果、衝撃ダンパは応答を早く小さくする効果があることが明らかになった。

#### 4. 振動を利用した溶接残留応力低減に関する研究

溶接は局部的に熱を加える加工法であるために、溶接部付近に残留応力が発生することがよく知られている。表面の引張残留応力は疲労強度などに悪影響を与えるために、いくつかの残留応力を低減させる方法が考えられている。新しい残留応力の低減法として、振動を加えながら溶接する方法を提案し、いろいろな種類の振動を用いた実験によってその有効性を検討した。さらに、理論解析によって実験の妥当性を検証した。

##### 5.1 低周波振動による検討

溶接する試験片（薄板）の固有振動数に近い比較的低い振動数の振動荷重を加えながら溶接する実験を行った。手動による溶接では、溶接部の引張残留応力を低減することができた<sup>(43),(48)</sup>。自動溶接機を用いた実験では、溶接部に近接する部分に対しても引張残留応力を低減することができた<sup>(43),(48)</sup>。また、入力の振幅が大きいほど引張残留応力が低減されることを明らかにした<sup>(48)</sup>。これらの実験では試験片の材質として一般構造用圧延鋼材を用いたが、この方法は高張力鋼に対しても有効であることを確認した<sup>(51)</sup>。

##### 5.2 不規則振動による検討

広い範囲の振動数成分を含む不規則振動で加振しながら溶接する実験を行った。不規則振動として、全ての振動数成分を均等に含む定常白色雑音<sup>(44),(46),(47)</sup>および特定の振動数成分を多く含む定常非白色雑音<sup>(44),(45)</sup>を用いた。また、入力の振幅が大きいほど引張残留応力が低減されることを明らかにした<sup>(44),(46),(47)</sup>。

##### 5.3 超音波振動による検討

超音波振動は固体中での伝達効率がよい。このことを考慮して、薄板<sup>(49)</sup>の他にブロック材の補修溶接を想定した実験<sup>(52)</sup>を行った。その結果、溶接部付近の引張残留応

力を低減することができることを明らかにした。また、ホイールのように曲線部をもつ製品の溶接にも応用した<sup>(53)</sup>。さらに、超音波振動を加える時間が長いほど引張残留応力が低減されることを明らかにした<sup>(49)</sup>。異なる振動数の超音波振動を加えた実験も行い、ひとつの超音波振動を加えた場合よりも引張残留応力が低減されることを明らかにした<sup>(54)</sup>。

#### 5.4 理論解析による検討

溶接直後の部材の温度が高いために、降伏応力が低く、比較的小さい力で塑性変形を生じると考えられる。この塑性変形によって残留応力が低減されるものと考えられる。そのため、塑性変形を考慮した力学モデルを用いたシミュレーションによって残留応力を求めた。解析モデルとしては、1次元モデル<sup>(43),(48),(51),(53)</sup>および平面応力状態を考慮した2次元モデル<sup>(43),(45),(46),(47),(54)</sup>を用いた。その結果、入力の振幅が大きいほど、降伏応力が低いほど引張残留応力が低減されることが明らかになり、実験結果を検証することができた。

#### 5. 振動を利用した FRP の穴あけ加工に関する研究

FRP は軽量で強度が高い。他の構造材料との結合のために、穴あけなどの2次的な加工をする必要がある。しかしながら、積層面での剥離を生じ、加工面の精度が悪化することがある。このようなことを防止するために、振動を加えながら穴あけ加工する方法を提案し、その有効性を実験によって検討した。さらに、理論解析によって加工面の精度を改善するための条件を示した。

まず、FRP 材料に比較的低い振動数の振動を加えながら穴あけ加工をする実験を行った<sup>(55),(56)</sup>。穴あけ加工をした後に、穴の中心を含む面で材料を切断し、加工面の表面粗さを測定した。ドリルの回転数、送り速度、ドリルの材質を変えた実験を行った。その結果、全体的に振動を加えながら穴あけ加工した方が、表面粗さが小さくなることが明らかになった。

次に、ドリルに直接超音波振動を加えながら穴あけ加工をする実験を行った<sup>(55),(56),(57),(58)</sup>。ドリルの回転数およびドリルの送り速度を変えた実験を行った。その結果、超音波振動を加えながら穴あけ加工をした方が、積層面での粗さ曲線が滑らかになり、表面粗さが改善されることが明らかになった。

さらに、ドリルの先端の位置を考慮して、積層面を減衰要素とする理論解析を行った<sup>(55),(56),(57),(58)</sup>。その結果、超音波振動を加えた場合の減衰力による力積が超音波振動を加えない場合よりも等しいか小さいときに表面粗さが改善されることが明らかになった<sup>(58)</sup>。

## 6. 地震応答低減装置に関する研究

大地震に際して屋内機械設備の転倒を防止することは防災上重要なことである。このような屋内機械設備用の摩擦軸受を用いた地震応答低減装置を開発した<sup>(59),(60)</sup>。この装置は凹面の球面板 2 枚で円盤状の球体および球体をゴムで囲んだものを挟む構造になっている。この装置の特徴は、球面の曲率を変えることによって装置の固有振動数を変えることができること、地震波が終了したときに元の位置に戻ることにある。まず、この装置上の免震台の応答が、入力と比較して大幅に低減されることを実験によって明らかにした。次に、コンピュータ用ラックを搭載した実験によって、応答が大幅に低減されることが明らかになり、実用性があることがわかった。さらに、解析モデルによるシミュレーションによって実験結果を確認した。

## 7. ボルト結合部をもつ構造物の振動特性に関する研究

構造物にはボルト結合が多く用いられている。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。ボルト結合部の形状、ボルトの本数を変えた場合<sup>(61)</sup>とボルトの締付けトルクを変えた場合<sup>(62)</sup>について検討した。その結果、ボルト結合部があると構造物の減衰比が大きくなり、固有振動数が低くなる傾向があることを明らかにした<sup>(61),(62)</sup>。ボルト結合部がある構造物が不規則振動入力を受けた場合の加速度応答の標準偏差は、ボルト結合部がない構造物より小さくなることが明らかになった<sup>(61)</sup>。

## 8. FRP 構造物の強度および振動特性に関する研究

FRP は軽量で強度が高い。糸状の FRP を編むことによって立体構造物を作製し、その強度および振動特性を実験によって検討した。FRP の本数<sup>(73),(74),(86)</sup>および立体構造物の大きさ<sup>(79)</sup>を変化させて立体構造物を作製し、圧縮強度、減衰比および固有振動数を測定した。その結果、立体構造物であるために、一部で破断が起きて荷重が減少しても、他の部分で強度を補うために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、比較的固有振動数が高いことが明らかになった。

## 9. その他

上記の研究の一部を卒業研究として学生に分担させ、その成果を学会で発表した<sup>(63),(64),(65),(68),(69)</sup>。また、学生自身に発表をさせた<sup>(66),(67),(70)-(85)</sup>。

以上の研究のほかに、機械力学<sup>(89)</sup>の教科書を執筆し、機械工学概論の工業力学<sup>(88)</sup>、機械工学便覧の不規則振動<sup>(90)</sup>、JSME (日本機械学会) テキストシリーズ 振動学の不規則振動<sup>(91)</sup>の分担執筆をした。報告書<sup>(92)</sup>や解説<sup>(87),(93)</sup>も執筆した。

また、自主研修として第 5 回世界計算力学会議 (ウィーン, 2002 年 7 月 29 日~7 月 2 日)、2002 年米国機械学会合同圧力容器及び配管に関する会議 (バンクーバー, 2002 年 8 月 14 日~7 月 17 日)、第 2 回構造工学および構造力学に関する国際会議 (釜山, 2002 年 8 月 17 日~22 日)、第 8 回構造動力学に関する国際会議 (サザンプトン, 2003 年 7 月 9 日~13 日)、極限荷重に対する構造物の応答に関する国際会議 (トロント, 2003 年 8 月 26 日~30 日)、第 17 回原子炉構造力学に関する国際会議 (プラハ, 2003 年 8 月 25 日~28 日)、2004 年米国機械学会合同圧力容器及び配管に関する会議 (サンディエゴ, 2004 年 8 月 8 日~12 日)、第 13 回世界地震工学会議 (バンクーバー, 2004 年 8 月 15 日~20 日)、第 3 回アジア - 太平洋構造物の信頼性およびその応用に関するシンポジウム (ソウル, 2004 年 8 月 13 日~15 日)、第 7 回世界計算力学会議・第 2 回アジア-パシフィック計算力学会議 (北京, 2004 年 9 月 15 日~17 日)、2005 年米国機械学会合同圧力容器及び配管に関する会議 (デンバー, 2005 年 8 月 8 日~12 日) に出席し、講演発表および論文発表を行った。

これらの研究を遂行するにあたり多くの先生方にお世話になった。とくに、不規則振動に関する研究では首都大学東京 鈴木浩平副オープンユニバーシティ長にご指導いただいたことを基礎に進めた。非線形振動に関する研究では、元山梨大学教育人間科学部 故渡辺武教授にご指導いただいた。ここに謝意を表する。

## 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 号, 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 号, 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, 38 号, pp.1-6, 2003
- [4] Aoki,S., Simplified Estimation Method for Seismic Response Energy of Secondary System, Website of the Fifth World Congress on Computational Mechanics, Paper-ID 81089, pp.1-7, 2002
- [5] Aoki,S., Simplified Calculation Method of Seismic Response Energy of Mechanical System, Proceedings of the 2002 ASME Pressure Vessels and Piping

- Conference : Seismic Engineering-2002, PVP Vol.445-1, pp.157-161, 2002
- [6] 青木繁, 非定常地震動入力を受ける付加構造物系の地震応答エネルギーの簡易推定法, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集, CD-ROM, 1461-1464, 2002
- [7] Aoki,S., Estimation Method for Response Energy of System Subjected to Earthquake Excitations, Proceedings of the VIII International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics, CD-ROM No.85, 2003
- [8] Aoki,S., Simplified Estimation Method for a Seismic Response Characteristic Using Stationary Random Response Characteristic, Proceedings of 13th World Congress on Earthquake Engineering, CD-ROM, 2004
- [9] 青木繁, 定常不規則近似を用いた地震応答特性の推定法( 応答の自乗平均値の積分値の近似計算法 ), 日本機械学会論文集, 70 巻, 696 号, C 編, 2257-2262, 2004
- [10] Aoki,S. and Fukano,A., Approximate Calculation Method for Sum of Mean Square Value of Nonstationary Response, Information, Vol.10, No.2, pp.231-234, 2007
- [11] Aoki,S., First Excursion Probability Estimation Method of Secondary System with Elasto-Plastic Characteristics Subjected to Seismic Loading, Information, Vol.5, No.1, pp.51-57, 2002
- [12] Aoki,S., Simplified Estimation Method for First Excursion Probability of Secondary System with Gap, Nuclear Engineering and Design, No.212, pp.193-199, 2002
- [13] Aoki,S., Reduction of First Excursion Probability and Absorbed Energy by Hysteresis Loop Characteristic, Proceedings of the Second International Conference on Information, Vol.3, pp.193-199, 2002
- [14] Aoki,S., An Estimation Method for First Excursion Probability of Secondary System with Friction Subjected to Seismic Loading, Proceedings of the Second International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics, CD-ROM F2D, 1-8, 2002
- [15] Aoki,S., Reduction of Response and First Excursion Probability for Random Excitation Using Nonlinear Characteristics, Proceedings of the International Workshop Wave 2002, 93-100, 2003
- [16] Aoki,S., First Excursion Probability of Structure with Hysteresis Loop Characteristic Subjected to Excess Seismic Load, Proceedings of Response or Structures to Extreme Loading 2003, CD-ROM O81, 2003
- [17] Aoki,S., Simplified Estimation Method for First Excursion Probability of Secondary System with Friction, Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, CD-ROM M01-2, 2003
- [18] Aoki,S., Reduction of First Excursion Probability and Absorbed Energy by Hysteresis Loop Characteristic, Information, Vol.6, No.4, 399-408, 2003
- [19] 青木繁, 履歴復元力特性による吸収エネルギーと初通過破壊確率の低減の関係, 構造物の安全性および信頼性に関する国内シンポジウム論文集, Vol.5, 749-754, 2003
- [20] Aoki,S., An Estimation Method for First Excursion Probability of Nonlinear System Using Maximum Response, Proceedings of the 2004 ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference : Seismic Engineering-2004, PVP-Vol.486-1, 189-197, 2004
- [21] Aoki,S., Reduction of First Excursion Probability due to Plastic Deformation and Absorbed Energy, Proceedings of the 2004 ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference : Seismic Engineering-2004, PVP-Vol.486-2, pp.151-158, 2004
- [22] Aoki,S., Effect of Absorbed Energy by Hysteresis Loop Characteristic on First Excursion Probability, Proceedings of the Third Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and Its Applications, pp.613-624, 2004
- [23] Aoki,S., An Estimation Method for First Excursion Probability of Secondary System with Friction Using the Maximum Response, Proceedings of the Sixth World Congress of Computational Mechanics in conjunction with the Second Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics, CD-ROM, 2004
- [24] Aoki,S., Estimation Method for First Excursion Probability of Secondary System with Friction Using Expected Value Maximum Response, Proceedings of the Third International Conference on Information, pp.306-309, 2004
- [25] 青木繁, 不規則振動入力を受ける構造物の初通過破壊確率の計算法, 数理科学論文集, 6 巻, 1 号, 3-8, 2004
- [26] Aoki,S., Estimation Methods for First Excursion Probability of Secondary System with Friction Using Maximum Response, Information, Vol.8, No.4, 565-570, 2005
- [27] Aoki,S., Estimation Methods for First Excursion Probability of Secondary System with Collision Using

- Maximum Response, Information, Vol.9, No.5, pp.751-756, 2006
- [28] Aoki,S. Estimation Method for First Excursion Probability of System with Collision Characteristic, Proceedings of PVP2006- ICPVT-11 2006 ASME Pressure Vessel and Piping Conference, CD-ROM 93084, pp.1-7, 2006
- [29] Aoki,S., Seismic Control of Structure Using Energy Absorption by Elasto-Plastic Hysteresis Loop Characteristic, Proceedings of PVP2006- ICPVT-11 2006 ASME Pressure Vessel and Piping Conference, CD-ROM 93090, pp.1-7, 2006
- [30] 青木繁, 不規則振動入力を受ける非線形構造物に対する等価線形化法について, 数理科学会論文集, Vol.7, No.1, pp.9-13, 2005
- [31] Aoki,S. and Watanabe,T., Approximate Analytic Method of Piping Systems with Elasto- Plastic Damper, Proceedings of the 2002 ASME Pressure Vessels and Piping Conference : Seismic Engineering-2002, PVP Vol.445-1, pp.523-529, 2002
- [32] Aoki,S. and Watanabe,T., Response Analysis of a Simply Supported Piping System with Various Types of Damper, Proceedings of the 6th International Conference on Motion and Vibration Control, Vol.2, pp.745-750, 2002
- [33] Aoki,S. and Watanabe,T., Response Analysis of Simply Supported Beam with Nonlinear Boundary Conditions Proceedings of the Second International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics, CD-ROM W4B, pp.1-8, 2002
- [34] Aoki,S. and Watanabe,T., Response Analysis of Piping System with Collision Characteristics, Nuclear Engineering and Design, No.223, pp.1-10, 2003
- [35] Aoki,S., and Watanabe,T., Analytical Methods of Nonlinear Continuous Systems with Collision Characteristics, Proceedings of the VIII International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics, CD-ROM No.51, 2003
- [36] Aoki,S. and Watanabe,T., Practical Response Analysis of a Mass-Spring Impact System with Hysteresis Damping, Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, CD-ROM K16-6, 2003
- [37] Aoki,S. and Watanabe,T., Practical Response Analysis of a Mass-Spring Impact System with Hysteresis Damping, Nuclear Engineering and Design, No.234, pp.1-9, 2004
- [38] Aoki,S. and Watanabe,T., Forced Response of Continuous System with Hysteresis Loop Characteristics (System with Quadrilateral Hysteresis Loop Characteristics), Proceedings of the 2005 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, PVP 2005-71279, pp.1-5, 2005
- [39] Aoki,S. and Watanabe,T., An Investigation of an Impact Vibration Absorber with Hysteresis Damping, Proceedings of the 2005 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, PVP2005-71280, pp.1-9, 2005
- [40] Aoki,S. and Watanabe,T., Response Analysis of Simply Supported Beam with Nonlinear Boundary Conditions, Advances in Vibration Engineering, Vol.4, No.2, pp.145-156, 2005
- [41] Aoki,S. and Watanabe,T., Forced Response of a beam with a Support Having Hysteresis Damping, Advances in Vibration Engineering, Vol.4, No.2, pp.157-169, 2005
- [42] Aoki,S. and Watanabe,T., An Investigation of an Impact Vibration Absorber with Hysteresis Damping, Transactions of ASME, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol.128, No.4, pp.508-515, 2006
- [43] Aoki,S., Nishimura,T. and Hiroi,T., Analytical Method for Reduction of Residual Stress of Welded Joint Using Vibration, Proceedings of the VIII International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics, CD-ROM No.105, 2003
- [44] Aoki,S., Nishimura,T. and Hiroi,T., Reduction Method for Residual Stress of Welded Joint Using Random Vibration, Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, CD-ROM J07-6, 2003
- [45] Aoki,S., Nishimura,T. and Hiroi,T., Analytical Method for Reduction of Residual Stress of Welded Joint Using Filtered White Noise, Proceedings of International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics, CD-ROM OS04W0014, 2003
- [46] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨, 不規則振動を用いた溶接残留応力の低減法, 日本機械学会論文集, 69巻, 686号, C編, pp.2783-2787, 2003
- [47] Aoki,S., Nishimura,T. and Hiroi,T., Reduction of Residual Stress of Welded Joint Using Random Vibration, Proceedings of the 2004 ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference : Seismic Engineering-2004, PVP-Vol.486-2, pp.195-199, 2004
- [48] Aoki,S., Nishimura,T. and Hiroi,T., Reduction of Residual Stress for Welded Joint Using Vibrational Load, Steel and Composite Structures, Vol.4, No.5, pp.355-365, 2004
- [49] Aoki,S., Nishimura,T., Hiroi,T. and Hirai,S., Usage of Ultrasonic Vibration for Reduction of Residual Stress on Welded Joint, Proceedings of the First International

- Symposium on Advanced Technology of Vibration and Sound, No.05-202, pp.175-178, 2005
- [50] Aoki,S., Nishimura,T. and Hiroi,T., Reduction Method for Residual Stress of Welded Joint Using Random Vibration, Nuclear Engineering and Design, No.235, pp.1441-1445, 2005
- [51] Aoki,S., Nishimura,T., Hiroi,T. and Hirai,S., Reduction Method for Residual Stress of Welded Joint Using Harmonic Vibrational Load, Nuclear Engineering and Design, No.237, 206-212, 2006
- [52] Aoki,S., Nishimura,T., Hiroi,T. and Hirai,S., Reduction of Residual Stress of Welded Joint Using Local Plasticity Caused by Ultrasonic Vibration, Key Engineering Materials, Vols. 340-341, pp.1455-1460, 2007
- [53] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨・平井聖児, 超音波振動による局所的な塑性変形を利用した溶接残留応力の低減法, 塑性と加工, 第 48 巻, 第 554 号, pp.225-228, 2007
- [54] Aoki,S., Hirai,S., Saehout,V., Kohmura,M., Nishimura,T., Hiroi,T., Development for Automatic Welding System with Reduction of Residual Stress-Effect of Vibrations with Different Frequencies, Electronics and Electrical Engineering, No.4(76), pp.20-24, 2007
- [55] Aoki,S. and Nishimura,T., Prevention of Delamination during Drilling of Composite Material Using Vibration, Proceedings of the Fifth International Conference on Fracture and Strength of Solids, Part 1, pp.381-386, 2004
- [56] Aoki,S. and Nishimura,T., Prevention of Delamination during Drilling of Composite Material Using Vibration, Key Engineering Materials, Vols.261-263, pp.381-386, 2004
- [57] Aoki,S., Hirai,S. and Nishimura,T., Prevention from Delamination of Composite Material during Drilling using Ultrasonic Vibration, Key Engineering Materials, Vol. 291-292, pp.465-470, 2005
- [58] 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, 72 巻, 720 号, C 編, 2629-2633, 2006
- [59] Aoki,S., Nakanishi,Y., Nishimura,T., Kanazawa,M., Otaka,T. and Inagaki,M., Reduction of Seismic Response of Mechanical System by Friction Type Base Isolation System, Proceedings of the Third Asian Conference on Multibody Dynamics 2006, CD-ROM A00705, 2006
- [60] 青木繁・大高武士・中西佑二・西村惟之・稲垣光義・金澤光雄・川口澄夫・古田智基, 摩擦軸受を利用した機械構造物の地震応答低減, 第 1 2 回日本地震工学シンポジウム論文集, CD-ROM, 1202-1205, 2006
- [61] Aoki,s., Dynamic Characteristics of Structures with Bolted Joint, Proceedings of the 2002 ASME Pressure Vessels and Piping Conference : Analysis of Bolted Joints-2002, PVP Vol.433, pp.75-79, 2002
- [62] Aoki,S., Dynamic Characteristics of Structure with Bolted Joint Considering Some Factor, Proceedings of the 2004 ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference : Seismic Engineering-2004, PVP-Vol.486-2, pp.143-149, 2004
- [63] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨・大澤寿一, 非白色雑音を利用した溶接残留応力の低減法, 日本機械学会 2002 年度年次大会講演会講演論文集, No.02-1, Vol. , pp.509-560, 2002
- [64] 青木繁・岡本浩司, ボルト結合部のある構造物の振動特性 (ボルトの締付トルクと加振振幅の影響), 山梨講演会講演論文集, pp.1-2, 2002
- [65] 青木繁・宇都宮淳一, 履歴復元力特性をもつ系の地震応答エネルギーの近似計算法, 日本機械学会大 15 回計算力学講演会講演論文集, No.02-2, pp.267-268, 2002
- [66] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨・米谷雄介, 超音波振動加振による溶接残留応力の低減法, 日本機械学会関東支部第 9 回総会講演会講演論文集, pp.363-364, 2003
- [67] 成澤哲也・青木繁・清水朋大, 構造減衰を考慮した FRP 構造材料の振動特性, 日本機械学会関東支部第 9 回総会講演会講演論文集, pp.391-392, 2003
- [68] 青木繁・高林昌史, ボルト結合構造物の振動特性 (ボルトの径と本数の影響), 日本機械学会関東支部 10 周年記念ブロック合同講演会講演論文集, pp.191-192, 2003
- [69] 成澤哲也・青木繁・馬場浩平, 偏平 FRP シェルの振動解析, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2003, No.03-7, p.255, 2003
- [70] 成澤哲也・青木繁・馬場浩平, FRP シェルの偏平率が固有振動数に与える影響, 日本機械学会関東支部第 10 期総会講演会講演論文集, pp.303-304, 2004
- [71] 青木繁・甲木力, ボルト結合構造物の振動特性 (ボルトの径と接触面粗さの影響) 日本機械学会関東支部第 10 期総会講演会講演論文集, pp.529-530, 2004
- [72] 青木繁・押切宏史, エレベーターの振動低減法, 日本機械学会関東支部第 10 期総会講演会講演論文集, pp.531-532, 2004
- [73] 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, No.050-1, pp.403-404, 2005
- [74] 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, No.050-1, pp.405-406, 2005
- [75] 成澤哲也・青木繁・上保徳彦・高下智行・山本光生・吉川慶郎, FRP 材料を用いた構造物の成形に関する研究(第3報, ピラミッド構造が強度に及ぼす影響), 日本機械学会関東支部第11期総会講演会講演論文集, No.050-1, pp.407-408, 2005
- [76] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨・秋元清貴, 超音波振動を利用した溶接残留応力の低減(2点加振の影響), 日本機械学会関東支部第11期総会講演会講演論文集, No.050-1, pp.421-422, 2005
- [77] 青木繁・石渡龍, ボルト結合構造物の振動特性(ボルト結合部の位置の影響), 日本機械学会関東支部第11期総会講演会, No.050-1, pp.429-430, 2005
- [78] 青木繁・佐藤孝太, 振動によるボルトの緩み(Dカットを施した軸の場合), 日本機械学会関東支部第11期総会講演会, No.050-1, pp.431-432, 2005
- [79] 青木繁・成澤哲也・上保徳彦・豊田雄一, FRP 材料を用いた構造物の成形に関する研究(製造法および振動特性), 日本機械学会関東支部第12期総会講演会講演論文集, No.060-1, pp.401-402, 2006
- [80] 青木繁・鎌田智幸, ボルト結合構造物の振動特性(ボルト結合部の厚さの影響), 日本機械学会関東支部第12期総会講演会講演論文集, No.060-1, pp.481-482, 2006
- [81] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨・長澤隼将, 超音波振動を利用した溶接残留応力の低減(2つの異なる周波数による加振の影響), 日本機械学会関東支部第12期総会講演会講演論文集, No.060-1, pp.483-484, 2006
- [82] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨・平井聖児・山口正敬, 超音波振動を利用した溶接残留応力の低減(加熱装置による検討), 日本機械学会関東支部第13期総会講演会, No.070-1, pp.409-410, 2007
- [83] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨・平井聖児・佐藤竜也, 超音波振動を利用した溶接残留応力の低減(ブロック材の補修溶接への応用), 日本機械学会関東支部第13期総会講演会, No.070-1, pp.411-412, 2007
- [84] 青木繁・岩浪孝一・杉谷勇樹, ダンパによる構造物の振動低減に関する研究(円筒形ダンパを用いた場合), 日本機械学会関東支部第13期総会講演会, No.070-1, pp.451-452, 2007
- [85] 青木繁・岩浪孝一・萩原哲平, ダンパによる構造物の振動低減に関する研究(球形ダンパを用いた場合), 日本機械学会関東支部第13期総会講演会, No.070-1, pp.453-454, 2007
- [86] 青木繁・長谷川収・成澤哲也・村上幸一・伊藤諒助, FRP 立体構造物の強度および振動特性に関する研究, 日本機械学会関東支部第13期総会講演会, No.070-1, pp.485-486, 2007
- [87] 青木繁・西村惟之・廣井徹磨・平井聖児, 超音波振動と溶接残留応力の関係, 超音波テクノ, 第14巻, 第2号, 日本工業出版, pp.94-100, 2002
- [88] 青木繁, 工業力学, 機械工学概論, コロナ社, pp.17-33, 2002
- [89] 青木繁, 機械力学, コロナ社, 2004
- [90] 青木繁, 不規則振動, 機械工学便覧 基礎編α2 機械力学, pp.88-100, 2004
- [91] 青木繁, 不規則振動, JSME テキストシリーズ 振動学, 丸善, pp.115-130, 2005
- [92] 青木繁, 超音波振動による局所的な塑性変形を利用した溶接残留応力の低減法, 研究概要報告書・国際交流報告書 (18), 天田金属加工機械技術振興財団, pp.99-104, 2006
- [93] 青木繁・平井聖児・神谷聖志, 振動を利用した溶接残留応力の低減法, 型技術, 第21巻, 第6号, pp.87-91, 2006