

2003/155

厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合研究事業

負荷履歴の影響を考慮した経年圧力設備の
高信頼度弾塑性破壊評価手法の開発

平成15年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 佐々木 哲也

平成16（2004）年3月

目 次

I. 総括研究報告書	
負荷履歴の影響を考慮した経年圧力設備の高信頼度弾塑性破壊評価手法の開発	1
佐々木哲也	
II. 分担研究報告	
1. ニューラルネットワークを用いた応答曲面法による信頼性評価に関する研究	4
佐々木哲也	
2. 赤外線による応力拡大係数範囲の計測精度に及ぼす熱伝導の影響	6
本田 尚	
3. ステンレス鋼切欠配管の塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴の影響に関する研究	8
松原雅昭	
4. 光弾性法による切欠部材の塑性崩壊評価に関する研究	10
伊澤 悟	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	12
IV. 研究成果の刊行物・別刷	13

総括研究報告書

負荷履歴の影響を考慮した経年圧力設備の高信頼度弾塑性破壊評価手法の開発

主任研究者 佐々木 哲也 筑波大学機能工学系助教授

研究要旨 本研究は、負荷履歴の影響を考慮した信頼性の高い弾塑性破壊評価手法を開発することを目的としている。2年目に当たる本年は、オーステナイトステンレス鋼製切欠き付き配管を用いて負荷履歴を変化させた弾塑性破壊実験を行い、負荷履歴が塑性崩壊点に及ぼす影響を明らかにするとともに、光弾性法で塑性崩壊形態の違いも明らかにした。一方で、R6法オプション2、3に適用可能な信頼性評価法として、応答曲面法の高度化について検討するとともに、赤外線応力測定の精度を向上させるために、熱伝導の影響について評価した。

分担研究者氏名・所属機関名及び所属機関における職名

本田尚・独立行政法人産業安全研究所主任研究官

松原雅昭・群馬大学工学部助教授

伊澤悟・小山工業高等専門学校機械工学科講師

A. 研究目的

我が国では各種産業プラントにおける圧力設備の経年化が急速に進んでいるが、経済の低成長化のために更新は困難であり、既存設備の寿命延伸に対する要求が強くなっている。このため、既存圧力設備の寿命延伸を可能にすることを目的として、破壊力学の手法を取り入れた維持基準の整備が産官学の協力体制の下で進められている。しかし、従来の弾塑性破壊評価では負荷履歴等の影響は考慮されていないため、長期間運転した圧力容器や配管の破壊評価に適用した場合には非安全側の評価となっている可能性がある。そこで本研究では、これまで研究の行われていない弾塑性破壊挙動に及ぼす負荷履歴の影響を明らかにするとともに、その影響を信頼性工学的手法によって解析して現状の簡易弾塑性破壊評価手

法へ組み入れることにより、信頼性の高い弾塑性破壊評価手法を開発することを目的とする。

B. 研究方法

本研究は3年計画で筑波大学、独立行政法人産業安全研究所、群馬大学、小山工業高等専門学校の4ヶ所で実施する。2年目に当たる平成15年度は次のような方法で研究を実施する。

まず、筑波大学、産業安全研究所では、R6法オプション2、3に適用可能な信頼性評価法として、応答曲面法の高度化について検討する。また、赤外線応力測定の精度を向上させるために、熱伝導の影響について評価する。

群馬大学、小山工業高等専門学校においては、既に開発済みの軸力・曲げ同時負荷制御試験機を用いて、オーステナイト系ステンレス鋼製の切欠き付き配管を用いて、①軸力・曲げ同時負荷試験、②軸力負荷後曲げ試験、③曲げ負荷後軸力試験の3種類の負荷履歴について実験を行い、塑性崩壊点や崩壊形態の違いを調べる。また、光弾性法によって切欠き付き配管の塑性崩壊を評価する手法を開発する。

(倫理面への配慮)

本研究の実施によって生体及び環境へ影響を及ぼすことはないので、倫理面の問題は無いと考える。

C. 研究結果

筑波大学、産業安全研究所においては、R6法オプション2, 3に適用可能な信頼性評価手法として、ニューラルネットワークを用いた応答曲面法を提案した。また、赤外線計測による応力評価、応力拡大係数範囲の評価に及ぼす熱伝導の影響を非定常熱伝導解析によって明らかにし、計測誤差を減少させる方法を示した。

一方、群馬大学、小山工業高等専門学校においては、既に開発済みの軸力・曲げ同時負荷制御試験機を用いて、オーステナイト系ステンレス鋼製の切欠き付き配管に対して負荷履歴が塑性崩壊荷重に及ぼす影響を明らかにした。また、光弾性被膜法によって負荷履歴による塑性崩壊形態の違いを調べた結果、切欠き付き配管のリガメント部の全断面降伏による崩壊定義は、複合荷重条件によって適用に限界があることが示された。

D. 考察

軸力と曲げの負荷順序を3種類に変えたオーステナイト系ステンレス鋼製切欠き付き配管の弾塑性破壊実験から、理論崩壊限度曲線は軸力と曲げの組み合わせとは関係なく安全側の評価を与えることが明らかになった。今後引き続き別の材料、試験片形状について同様の結果が得られるかについて検討する必要がある。

一方、ニューラルネットワークを用いた応答曲面法による信頼性評価では、実験点の選択方法によって得られる信頼性指標の値が変化するため、引き続き効率良く応答曲面を構築するための手法を検討する必要がある。また、赤外線法による応力評価では、熱伝導が応力の測定値に大きな影響を及ぼすが、き裂近傍から流出した熱量が非

常に小さいため、 $r^{1/2}$ の特異性を持つ領域の温度勾配は、繰返し速度の変化に対して殆ど変化しない。したがって、赤外線計測値から応力拡大係数範囲を求める場合に限れば、荷重繰返し速度を考慮する必要はない。

E. 結論

平成15年度の研究により、以下の結論を得た。

- (1) ニューラルネットワークを用いた応答曲面法の開発により、離散的にしか値が得られない複雑な限界状態関数も近似可能となった。
- (2) 赤外線計測による応力評価では、応力の測定値に熱伝導が大きな影響を及ぼすが、応力拡大係数範囲の評価にはほとんど影響を及ぼさないことが明らかになった。
- (3) オーステナイト系ステンレス鋼製切欠き付き配管を用いて負荷履歴を変化させた弾塑性破壊実験を行い、負荷履歴が塑性崩壊点に及ぼす影響を明らかにした。
- (4) 光弾性法で負荷履歴による塑性崩壊形態の違いを明らかにした。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

M.Matsubara, S.Izawa, N.Hirao, K.Busujima, T.Koyama, K.Machida, D.Kawada, K.Sakamoto and K.Nezu: Development of Testing Equipment for Studying Statically Indeterminate Fracture Mechanics, Pressure Vessel Technology 2003, pp.481-486, (2003).

伊澤 悟, 松原雅昭, 根津紀久雄, 橋本彰三・光弾性皮膜法による軸力-曲げ複合荷重下の SUS316 鋼片側切欠部材の塑性崩壊挙動・実験力学・Vol.4, No.1・pp.55-60・2004.3

2. 学会発表

The Effect of Heat Conduction on Stress Concentration Factors and Stress

Intensity Factors Determined by Thermoelastic Stress Analyses, Takashi HONDA, Tetsuya SASAKI, Teruhito OHTSUKA and Etsuji YOSHIHISA, ATEM'03, Nagoya, Sept. 10-12, 2003.

伊澤 悟, 松原雅昭, 根津紀久雄, 坂本賢治, 太田敦士:軸力と曲げを受ける SUS304 切欠付配管の塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴の影響, 第 52 期学術講演会講演論文集, pp.208-209(2003-5).

松原雅昭, 針塚宏樹, 太田敦士, 伊澤 悟, 根津紀久雄, 坂本賢治:ステンレス鋼切欠付配管の塑性崩壊実験に関する研究, 関東支部 10 周年記念ブロック合同講演会-2003 桐生-講演論文集, No.030-2, pp.107-108

伊澤 悟, 松原雅昭, 根津紀久雄, 坂本賢治・光弾性被膜法による切欠付ステンレス配管の塑性崩壊判定・日本実験力学学会 2003 年度年次大会講演論文集・pp.98-99・2003.7

宮田覚史, 伊澤 悟, 松原雅昭, 太田敦士・軸力と曲げを受けるステンレス鋼片側切欠部材の応力解析に関する研究・日本機

械学会関東支部ブロック合同講演会-2003 桐生-講演論文集・ pp.103-104・2003.9

S.Izawa, M.Matsubara, K.Nezu, K. Sakamoto・PLASTIC COLLAPSE EVALUATION OF NOTCHED STAINLESS STEEL PIPING SUBJECTED TO COMBINED TENSION AND BENDING BY PHOTO - ELASTIC COATING・11th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing 2003 Abstract book・p.128・2003.11 (発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

分担研究報告書

ニューラルネットワークを用いた応答曲面法による信頼性評価に関する研究

主任研究者 佐々木 哲也 筑波大学機能工学系助教授

研究要旨 応答曲面法による信頼性評価に際して、ニューラルネットワークを用いる方法を提案した。また、少数の実験点から正確な信頼性指標が評価可能な応答曲面を構成するための手法についても検討した。

A. 研究目的

近年、パイプや圧力容器の構造健全性評価に際して破壊評価線図を用いる手法が主流となりつつあるが、有限要素解析が必要な場合のように評価点が離散的にしか得られないことも多い。そこで本研究では、このような場合にも正確な信頼性評価を可能な手法を開発することを目的とする。

B. 研究方法

限界状態関数の値が離散的にしか評価できない場合の代表的な信頼性評価手法は応答曲面法であるが、従来提案されている2次曲面での応答曲面近似では複雑な限界状態曲面を近似できないという問題点があった。そこで本研究では、新たにニューラルネットワークで限界状態曲面を近似することを試みる。また、より少ない実験点で精度の高い信頼性指標を導出可能な応答曲面を構築する方法についても検討する。

（倫理面への配慮）

本研究の実施によって生体及び環境へ影響を及ぼすことはないので、倫理面の問題は無いと考える。

C. 研究結果

破壊評価線図の評価点値が離散的にしか評価できない場合でも精度の高い信頼性評価を可能にするため、限界状態曲面をニューラルネットワークによって近似して応答

曲面を構築する手法を提案した。ニューラルネットワークの学習にはB-P法を用いた。また、構築された応答曲面を用いて信頼性指標を計算する際には、修正 Hasofer・Lind アルゴリズムを用いた。

さらに、ニューラルネットワークによる応答曲面の構築に際し、全ての実験点を一度に用いる直接法、選択する実験点を順次変更する逐次法の二つの方法を提案し、両者を比較検討した。その結果、逐次法の方が計算時間を要するが、より少ない実験点で精度の高い応答曲面を構築できることが明らかになった。

D. 考察

ニューラルネットワークによる応答曲面の構築に際して、直接法と逐次法では、逐次法の方が計算時間を要する。両者の差は限界状態関数の非線形性が強いほど大きくなるが、通常計算時間の大部分は実験点の評価に費やされるため、この点はあまり問題にならないと考えられる。

E. 結論

ニューラルネットワークを用いた応答曲面法により、限界状態関数が離散的にしか評価できない場合でも信頼性評価が可能になった。また、応答曲面の構築に際しては、直接法、逐次法という二つの方法を提案し、両者を比較検討した結果、逐次法の方がより少ない実験点で精度の高い信頼性指標を

導出可能であることが明らかになった。

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

分担研究報告書

赤外線による応力拡大係数範囲の計測精度に及ぼす熱伝導の影響

分担研究者 本田 尚 独立行政法人 産業安全研究所

研究要旨 既存設備の寿命延伸と安全性確保を目的として、経年損傷の一つである疲労き裂の非破壊検査に赤外線応力測定法を使用した場合、赤外線応力測定値に測定物内の熱伝導がどのような影響を及ぼすのか、実験と数値解析から検討した。

A. 研究目的

既存設備の寿命延伸と安全性確保には、非破壊検査による疲労き裂の確実な検出とその評価が欠かせない。金属材料は熱伝導に優れているため、疲労き裂の評価に赤外線応力測定法を用いた場合、き裂近傍の熱拡散により測定精度が低下することが予想される。そこで本研究では、実験と解析の両面から、赤外線応力測定に及ぼす熱伝導の影響を定量的に明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

試験片内の熱伝導が、疲労き裂近傍の測定値および応力拡大係数範囲 ΔK におよぼす影響を調査するために、中央き裂引張り(CCT)試験片を用意し、異なる繰返し速度下で応力測定を行った。また差分法による非定常熱伝導解析を行い、実験結果との比較を図った。

C. 研究結果

応力拡大係数範囲 ΔK への熱伝導の影響を調査するために、3.3 mm の S45C 圧延鋼板から CCT 試験片を作製し、電気油圧サーボ疲労試験機により予き裂を導入したのち、応力測定に供した。応力測定は、 $\Delta K=10, 15, 20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 、 $R=0.1$ になるよう荷重を負荷し、1, 5, 10, 15 Hz の 4 種類の荷重繰返し速度で応力測定を行った。応力測定には日本電子（株）製赤外線応力画像システム

JTG-8000 を使用し、赤外線カメラには 4 倍の拡大レンズを装着した。なお全ての試験片には赤外線放射率を高めるために、エアゾールタイプの黒色塗料を塗布している。

非定常熱伝導解析は、差分法により行った。解析モデルは、試験片の対称性を考慮し、試験片の 1/4 を要素数 720、接点数 766 に分割したものを使用した。

熱伝導解析に先立ち、汎用有限要素解析コード MARC により弾塑性解析を行い、応力解析結果から各接点の温度振幅を求めた。この温度振幅値を使い、繰返し負荷を受ける試験片の定常状態での温度分布を求めた。ただし、今回の解析では試験片表面と空気との熱伝達、およびき裂先端の塑性変形による発熱は考慮していない。

異なる繰返し速度下での計測の結果、荷重繰返し速度の増加につれて、き裂近傍の応力値は大きくなり、熱伝導が赤外線測定値に大きく影響していることが明らかとなった。この傾向は、特に ΔK が小さい場合に顕著であった。このように、測定値に熱伝導が大きく影響することから、応力拡大係数を測定値から求めた場合に、熱伝導がどの程度影響するかを調査することにした。

測定結果から外挿法により ΔK を求めたところ、 ΔK の値は荷重繰返し速度によってほとんど変化しないことが分かった。解析値と実験値を比較してみたが、解析値の方が実験値より 10%程度大きい値となったものの、全く同様の傾向が得られた。

D. 考察

ΔK を外挿法で評価した場合、 $r^{1/2}$ の特異性を持つ領域 ($r^{1/2} < 0.08$) の勾配は、繰返し速度の変化に対して殆ど変化しない。これは、熱伝導によってき裂近傍から流出した熱量が非常に小さいためである。したがって、赤外線計測値から ΔK を求める場合に限れば、荷重繰返し速度を考慮する必要はない。

E. 結論

赤外線応力測定において、試験片内の熱伝導が測定値に及ぼす影響を調査するために、異なる繰返し速度において応力測定を行い、非定常熱伝導解析と比較したところ、以下の結果を得た。

(1) 繰返し負荷にある CCT 試験片の応力分布は、試験片内の熱伝導の影響を大きく受ける。

(2) 非定常熱伝導解析を行い、定常状態における温度分布を求めたところ、実験値と非常によく一致した。

(3) 測定結果から応力拡大係数範囲 ΔK を求めたところ、 ΔK は荷重繰返し速度にほとんど影響されなかった。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

The Effect of Heat Conduction on Stress Concentration Factors and Stress Intensity Factors Determined by Thermoelastic Stress Analyses, Takashi HONDA, Tetsuya SASAKI, Teruhito OHTSUKA and Etsuji YOSHIHISA, ATEM'03, Nagoya, Sept. 10-12, 2003.
(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を

含む。)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

分担研究報告書

ステンレス鋼切欠配管の塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴の影響に関する研究

分担研究者 松原 雅昭 群馬大学工学部助教授

研究要旨 構造健全性評価を行う上で代表的モデルである軸力と曲げを受ける SUS304 ステンレス鋼切欠付配管（切欠角度 60° ）について、不静定破壊力学実験装置を用いた塑性崩壊実験を行った結果、その負荷履歴依存性等が明らかになった。

A. 研究目的

軸力と曲げを受ける SUS304 ステンレス鋼切欠付配管（切欠角度 60° ）について、不静定破壊力学実験装置を用いた塑性崩壊評価実験を行い、その負荷履歴依存性を明らかにする。

B. 研究方法

不静定破壊力学実験装置を用いた塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴依存性を調べるために実験として、次の3パターンの試験を行った。

- ①軸力と曲げを同時に負荷。
- ②軸力を負荷後、曲げを負荷。
- ③曲げを負荷後、軸力を負荷。

種々の軸力と曲げの組み合わせについて、上記3パターンでの試験を行う。その結果に基づいて、軸力と曲げを受ける SUS304 ステンレス鋼切欠付配管の塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴依存性を検討する。

（倫理面への配慮）

本研究の実施によって生体及び環境へ影響を及ぼすことはないので、倫理面の問題はないと考えるが、現在問題となっている原子力発電所の検査に関するトラブルと直結する問題であるので実験データの客観性に注意を払った。

C. 研究結果

実験結果として得られた崩壊荷重は負荷履歴に関係なく弾完全塑性体仮定して得られる理論崩壊限度に上回る値を示し、軸力と曲げの組み合わせを考慮することによって安全側の崩壊荷重評価が可能であることが明らかとなった。

また、軸力を負荷後曲げを負荷する試験では塑性崩壊に先立ち延性き裂の発生が確認された。

D. 考察

実験で得られた塑性崩壊荷重との比較より、理論崩壊限度曲線は軸力と曲げの組み合わせとは関係なく安全側の評価を与える。

E. 結論

軸力と曲げを受ける SUS304 ステンレス鋼切欠付配管について、塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴依存性を明らかにした。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

M. Matsubara, S. Izawa, N. Hirao, K. Busujima, T. Koyama, K. Machida, D. Kawada, K. Sakamoto and K. Nezu : Development of Testing Equipment for

Studying Statically Indeterminate Fracture Mechanics, Pressure Vessel Technology 2003, pp.481-486, (2003).

2. 学会発表

伊澤 悟, 松原雅昭, 根津紀久雄, 坂本賢治, 太田敦士:軸力と曲げを受ける SUS304 切欠付配管の塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴の影響, 第 52 期学術講演会講演論文集, pp.208-209(2003-5).

松原雅昭, 針塚宏樹, 太田敦士, 伊澤 悟, 根津紀久雄, 坂本賢治:ステンレス鋼切欠付配管の塑性崩壊実験に関する研究, 関東支部 10 周年記念ブロック合同講演会-2003

桐生・講演論文集, No.030-2, pp.107-108 (2003-9).

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3.その他

なし

分担研究報告書

光弾性法による切欠部材の塑性崩壊評価に関する研究

分担研究者 伊澤 悟 小山工業高等専門学校機械工学科講師

研究要旨 軸力と曲げを受ける切欠きを有するステンレス板材および配管の塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴の影響を、光弾性皮膜法による弾塑性破壊挙動の観察を通じて解明を行った。

A. 研究目的

経年圧力設備の安全性確保のため、軸力と曲げを受ける片側き裂部材の塑性崩壊強度を精度よく求めることが構造健全性評価上重要である。設計荷重に安全裕度を取ることで回避してきた弾塑性破壊に及ぼす負荷履歴の影響を、光弾性皮膜法によるリガメント部の弾塑性挙動の観察を通じて評価することを目的とする。

B. 研究方法

軸力-曲げ複合荷重を受ける切欠きを有するオーステナイトステンレス鋼の塑性崩壊荷重の評価を、不静定破壊力学実験装置を用いて実験的に行なった。

板材および配管に生じる膜応力および曲げ応力の定式化を行い、光弾性皮膜法によるリガメント部の可視化によって全断面降伏崩壊点を判定した。得られた崩壊点は崩壊限度線図上にプロットし、崩壊点へ及ぼす軸力と曲げの負荷履歴の影響を調査した。

（倫理面への配慮）

本研究の実施によって、生体および環境へ影響を及ぼすことはないので倫理面の問題は無いと考える。

C. 研究結果

光弾性皮膜法により得られた切欠付板材の崩壊荷重は、負荷履歴に関係なく従来得

られていた理論崩壊限度線図の外側に沿うように分布した。

配管について、軸方向荷重と曲げモーメントのつりあいから膜応力および曲げ応力を定式化し、板材と同様に光弾性皮膜法による塑性崩壊判定法に適用した。

D. 考察

得られた切欠付板材の塑性崩壊荷重との比較より、従来の理論崩壊限度曲線は軸力と曲げの組み合わせとは関係なく安全側の評価を与える。

切欠付配管のリガメント部の全断面降伏による崩壊定義は、複合荷重条件によって適用に限界がある。

E. 結論

軸力と曲げを受ける SUS316 鋼片側切欠付ステンレス鋼部材について、塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴依存性を明らかにした。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 伊澤 悟, 松原雅昭, 根津紀久雄, 橋本彰三・光弾性皮膜法による軸力-曲げ複合荷重下の SUS316 鋼片側切欠部材の塑性崩壊挙動・実験力学・Vol.4, No.1・pp.55-60・

2004.3

2. 学会発表

1) 伊澤 悟, 松原雅昭, 根津紀久雄, 坂本賢治・光弾性被膜法による切欠付ステンレス配管の塑性崩壊判定・日本実験力学学会2003年度年次大会講演論文集・pp.98-99・2003.7

2) 宮田覚史, 伊澤 悟, 松原雅昭, 太田敦士・軸力と曲げを受けるステンレス鋼片側切欠部材の応力解析に関する研究・日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2003 桐生-講演論文集・ pp.103-104・2003.9

3) S.Izawa, M.Matsubara, K.Nezu, K.Sakamoto・PLASTIC COLLAPSE EVALUATION OF NOTCHED STAINLESS

STEEL PIPING SUBJECTED TO COMBINED TENSION AND BENDING BY PHOTO - ELASTIC COATING・11th

Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing 2003 Abstract book・p.128・2003.11

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3.その他

なし

研究成果の刊行に関する一覧表

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻名	ページ	出版年
伊澤 悟, 松原雅昭, 根津紀久雄, 橋本彰三	光弾性皮膜法による軸力-曲げ複合荷重下の SUS316 鋼片側切欠部材の塑性崩壊挙動	実験力学	Vol.4, No. 1	55-60	2004
T.Honda, T.Sasaki and E.Yoshihisa	The Effect of Heat Conduction on Stress Concentration Factors and Stress Intensity Factors Determined by Thermoelastic Stress Analyses	Proceedings of 7th International Conference on Assessment and Control of Damage and Fracture Mechanics	CD-RO M		2003
M.Matsubara, S.Izawa, N.Hirao, K.Busujima, T.Koyama, K.Machida, D.Kawada, K.Sakamoto and K.Nezu	Development of Testing Equipment for Studying Statically Indeterminate Fracture Mechanics	Pressure Vessel Technology 2003		481-486	2003
伊澤 悟, 松原雅昭, 根津紀久雄, 坂本賢治, 太田敦士	軸力と曲げを受ける SUS304 切欠付配管の塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴の影響	第 52 期学術講演会講演論文集		208-209	2003
松原雅昭, 針塚宏樹, 太田敦士, 伊澤悟, 根津紀久雄, 坂本賢治	ステンレス鋼切欠付配管の塑性崩壊実験に関する研究	関東支部 10 周年記念ブロック合同講演会-2003 桐生-講演論文集	No.030-2	107-108	2003
伊澤 悟, 松原雅昭, 根津紀久雄, 坂本賢治	光弾性被膜法による切欠付ステンレス配管の塑性崩壊判定	日本実験力学会 2003 年度年次大会講演論文集		98-99	2003
宮田覚史, 伊澤 悟, 松原雅昭, 太田敦士	軸力と曲げを受けるステンレス鋼片側切欠部材の応力解析に関する研究	日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2003 桐生-講演論文集		103-104	2003

20031155

以降は雑誌/図書等に掲載された論文となりますので、
「研究成果の刊行に関する一覧表」をご参照ください。