

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14年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 佐々木 哲也

平成15（2003）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. 周方向貫通き裂付き配管の曲げ破壊におけるパラメータの確率論的影響度評価に 関する研究	4
佐々木哲也	
2. ハイブリッド赤外線応力測定法による応力拡大係数評価に関する研究	6
本田 尚	
3. ステンレス鋼切欠部材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 独立行政法人産業安全研究所主任研究官

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。初年度に当たる本年は、オーステナイトステンレス鋼製切欠き付き平板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、弾塑性破壊における信頼性に大きな影響を及ぼすパラメータを明らかにするために、周方向切欠き付配管の曲げ破壊における確率論的影響度評価を行うとともに、精度の高い応力拡大係数評価を行うために、ハイブリッド赤外線計測法の開発を行った。さらに、互いに離れた3研究機関での共同研究を効率的に行うために、インターネットによる弾塑性破壊試験機の遠隔制御を試みた。

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

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年計画で独立行政法人産業安全研究所、群馬大学工学部、小山工業高等専門学校の3ヶ所で実施する。初年度に当たる平成14年度は次のような方法で研究を実施する。

まず、産業安全研究所では、R6法オプション1を用いてパラメータの影響度評価を行い、各確率因子が破壊確率に及ぼす影響度を明らかにする。また、赤外線計測に有限要素解析を併用したハイブリッド赤外線計測による応力拡大係数範囲の非接触評価手法を開発する。

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の改良を行う。そして、オース

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

テナイト系ステンレス鋼製の切欠き付き平板を用いて、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平板の塑性崩壊を評価する手法を開発する。

さらに、本研究は互いに離れた3研究機関の共同研究であるため、遠隔地共同実験者との実験データの共有及び試験の円滑な実施のため、インターネットを用いて軸力・曲げ同時負荷制御試験機を遠隔制御し、実験データの取得が出来るようにすることを試みる。

(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、倫理面の問題は無いと考える。

C. 研究結果

産業安全研究所においては、周方向貫通き裂付き配管の曲げ破壊に対して、R6法に基づくパラメータの確率論的影響度評価を行い、曲げモーメントが最も大きな影響を及ぼすことを明らかにした。また、赤外線計測法と有限要素法を組み合わせたハイブリッド赤外線計測法の開発を行った。これにより、応力拡大係数範囲の保守的な評価が可能になった。

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改良して試験速度・精度の改善を図るとともに、オーステナイト系ステンレス鋼製の切欠き付き平板を用い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、塑性変形域における最大すべり線は、光弾性縞の進展経路と非常によい一致を示した。

さらに、軸力・曲げ同時負荷制御試験機のインターネットによる遠隔制御では、群馬大学をサーバー、産業安全研究所、小山

工業高等専門学校をクライアントとして、試験条件の入力、試験の実施及びデータの共有に成功した。

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ステンレス鋼製切欠き付き平板の弾塑性破壊実験から、従来の理論崩壊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。今後は別の材料、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、周方向貫通き裂付き配管の曲げ破壊におけるパラメータの確率論的影響度評価結果は特定の解析対象・条件下で得られたものであるから、今後種々の解析対象・条件下で同様の解析を行う必要がある。また、ハイブリッド赤外線法による応力拡大係数評価では、解析解と比較して10%程度大きい値となっているため、今後誤差を小さくするための検討が必要である。

E. 結論

平成14年度の研究により、以下の結論を得た。

- (1) 周方向切欠き付配管の曲げ破壊における確率論的影響度評価を行い、曲げモーメントが弾塑性破壊における信頼性に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。
- (2) ハイブリッド赤外線計測法の開発を行い、応力拡大係数範囲の保守的な評価が可能にした。
- (3) オーステナイトステンレス鋼製切欠き付き平板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。
- (5) 互いに離れた3研究機関での共同研究を効率的に行うために、インターネットによる弾塑性破壊試験機の遠隔制御を試み、基礎実験に成功した。

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

T.Honda, T.Sasaki and E.Yoshihisa, "A study to improve the measurement accuracy of stress intensity factor by the infrared method", Proceedings of 7th International Conference on Assessment and Control of Damage and Fracture Mechanics, Maui (Hawaii), U.S.A., 2002, pp.265-272.

松原雅昭, 伊澤 悟, 根津紀久雄, 坂本賢治, 近藤正幸, 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, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2002 宇都宮-講演論文集, No.020-2, pp.149-150, 2002.

太田敦士, 松原雅昭, 伊澤 悟, 坂本賢治: ステンレス鋼切欠部材の塑性崩壊荷重

に及ぼす負荷履歴の影響, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2002 宇都宮-講演論文集, No.020-2, pp.151-152, 2002.

S.Izawa, M.Matsubara, K.Nezu and K. Sakamoto, "LOAD HISTORY EFFECT ON PLASTIC COLLAPSE IN A SINGLE-EDGE NOTCHED SUS316 SUBJECTED TO A COMBINED TENSION AND BENDING", 2002 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, Vol.443-2, Fatigue, Fracture, and Damage Analysis-2002, Volume II, pp.91-97, 2002.

(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

周方向貫通き裂付き配管の曲げ破壊におけるパラメータの確率論的影響度評価に関する研究

主任研究者 佐々木 哲也 独立行政法人産業安全研究所主任研究官

研究要旨 一次近似信頼性手法を用いて、R6 オプション1 に基づく周方向貫通き裂付き配管の曲げ破壊におけるパラメータの影響度評価を行った。その結果、主要なパラメータの中では曲げモーメントの影響度が最も大きいことなどが明らかになった。

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、信頼性解析におけるパラメータの影響度は同じではない。そこで本研究では、弾塑性破壊の信頼性解析に際してパラメータの影響度を評価することを目的とする。

B. 研究方法

本研究では、LBB 評価において重要となる曲げモーメントを受ける周方向貫通き裂入りパイプを対象として、R6 法オプション1 に基づく確率論的影響度評価を行い、信頼性解析において重要なパラメータを評価した。確率変数として考慮したパラメータはき裂半長、曲げモーメント、降伏応力、弾塑性破壊靱性の4個であり、信頼性解析には一次近似信頼性手法を用いた。

(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

曲げモーメントを受ける周方向貫通き裂付き配管に対してパラメータの確率論的影響度評価を行った結果、今回考慮したパラメータの中では曲げモーメントの影響度が

最も大きかった。降伏応力と弾塑性破壊靱性の影響度は破壊評価線図上の評価点の位置によって大きく変化する。

D. 考察

曲げモーメントを受ける周方向貫通き裂付き配管においては、曲げモーメントの影響度が最も大きいことから、この値を精度良く評価できれば、信頼性が大きく向上する。ただし、今回の解析結果は特定の解析対象・条件下に対するものであるため、一般的な結論を得るためには、今後種々の解析対象・条件下でパラメータの影響度評価を行う必要がある。

E. 結論

一次近似信頼性手法を用いて、R6 オプション1 に基づく周方向貫通き裂付き配管の曲げ破壊におけるパラメータの影響度評価を行ったところ、主要なパラメータの中では曲げモーメントの影響度が最も大きかった。

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

T.Honda, T.Sasaki and E.Yoshihisa, "A study to improve the measurement accuracy of stress intensity factor by the infrared method", Proceedings of 7th International Conference on Assessment and Control of Damage and Fracture Mechanics, Maui (Hawaii), U.S.A., 2002, pp.265-272.

(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

ハイブリッド赤外線応力測定法による応力拡大係数評価に関する研究

分担研究者 本田 尚 独立行政法人産業安全研究所主任研究官

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、赤外線応力測定による実験力学的手法と有限要素法による数値解析法を併用することによって、負荷履歴の違いによる弾塑性破壊挙動の変化を現象論的に明らかにする。

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。そこで、赤外線応力測定法と有限要素法を併用したハイブリッド法によって、疲労き裂を非接触でかつ非破壊的に評価する手法を開発する。

B. 研究方法

非接触式非破壊検査法として、物体表面から放射される赤外線から応力分布を求める赤外線応力測定法を採用した。赤外線応力測定法では、塑性変形や熱伝導のためにき裂極近傍の応力値を正しく評価できない傾向があることから、有限要素法(FEM)を併用するハイブリッド計測法を開発し、応力拡大係数の高精度な評価を試みた。

(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

板厚 16mm の HT590 鋼から機械加工により、板厚 14mm、幅 100mm の CT 試験片を作成した。CT 試験片には、電気油圧サーボ疲労試験機で予き裂を導入し、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た。赤外線応力測定に

は日本電子製 JTG-8010 を使用し、荷重周波数は 5Hz とした。また赤外線カメラには、4 倍の拡大レンズを装着し測定を行った。

赤外線応力測定では、塑性変形や熱伝導のためにき裂先端の応力分布を正しく測定できない傾向がある。そこで有限要素法を併用することにより、き裂先端から離れた部分の測定値からき裂近傍の応力値を推定する手法を開発した。

き裂先端を中心とする半円領域 Γ を抽出し、有限要素モデルを作成する。このモデルの境界上の節点 j ($j = 1 \sim N$) に、法線もしくは接線方向に単位力が作用するとし、この単位力により i 点に生じる主応力とを J_{ij}^* とする。この点に実際に作用している力を P_j とすると、重ね合わせの原理により、 i 点における主応力 J_{ii} は以下の式で表される。

$$J_{ii} = \sum_{j=1}^N J_{ij}^* P_j, \quad i=1 \sim M, j=1 \sim N \quad (1)$$

したがって、FEM により境界上に作用する全ての単位力について J_{ij}^* を求めておけば、以下の M 元連立方程式を解くことで境界値 P_j を決定することができる。

$$\{J\} = [U]^* \{P\} \quad (2)$$

ただし、実際の $\{J\}$ は測定誤差を含んでいるために、(2)式は解くことができない。

そこで次式のように、

$$\{P\} = \left([J^*]^T [J^*] \right)^{-1} [J^*]^T \{J\} \quad (3)$$

最小2乗法により未知量 $\{P\}$ を決定し、決定した $\{P\}$ に基づいてFEMによる弾性応力解析を行うことで、き裂近傍の応力を推定することが出来る。

開発したハイブリッド法の有効性を確認するために、有限要素法による解析結果を使用し、ハイブリッド法による応力拡大係数の評価を行った。その結果、解析解が $16.3\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ であったのに対し、ハイブリッド法による推定値は $15.9\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ と、両者は非常によく一致し、開発した手法が有効であることが確認された。

そこで、実際に測定値を用いてハイブリッド法による応力拡大係数の評価を行ったところ、これまで使用していた評価法である外挿法に比べて安全側の評価となったが、解析解よりも10%程度大きな値となった。

D. 考察

ハイブリッド法で評価した応力拡大係数は、参照値として数値解析結果を使用すると解析解と非常によく一致したが、実際の測定値を使用すると、解析解よりも大きな値となった。この原因として、測定値に含まれる誤差と、測定結果からのき裂先端の特定の困難さが挙げられる。今後、これらの影響を少なくする方法を検討する必要がある。

E. 結論

赤外線応力測定法では、塑性変形や熱伝

導のためにき裂極近傍の応力値を正しく評価できない傾向がある。そこで、有限要素法を併用するハイブリッド計測法を開発し、応力拡大係数の評価を試みた。その結果、ハイブリッド法により求めた応力拡大係数は、従来法である外挿法より安全側の評価となったが、解析解に対して10%程度大きな値となった。

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

T.Honda, T.Sasaki and E.Yoshihisa, "A study to improve the measurement accuracy of stress intensity factor by the infrared method", Proceedings of 7th International Conference on Assessment and Control of Damage and Fracture Mechanics, Maui (Hawaii), U.S.A., 2002, pp.265-272.

(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

ステンレス鋼切欠部材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片側切欠付ステンレス鋼部材について、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 SUS316 鋼片側切欠付ステンレス鋼部材について、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 SUS316 鋼片側切欠付ステンレス鋼部材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

履歴に関係なく従来得られていた理論崩壊限度に近い値を示し、軸力と曲げの組み合わせを考慮することによって適切に崩壊荷重が評価可能であることが明らかとなった。

D. 考察

得られた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。

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

なし

2. 学会発表

松原雅昭, 伊澤 悟, 根津紀久雄, 坂本賢治, 近藤正幸, 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, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2002 宇都宮-講演論文集, No.020-2, pp.149-150,(2002).

太田敦士, 松原雅昭, 伊澤 悟, 坂本賢治: ステンレス鋼切欠部材の塑性崩壊荷重

に及ぼす負荷履歴の影響，日本機械学会関東支部ブロッグ合同講演会-2002 宇都宮-講演論文集，No.020-2，pp.151-152,(2002).
(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鋼の弾塑性破壊挙動を、二軸独立負荷制御可能な不静定破壊力学実験装置を用いて調査した。この際、軸力と曲げの負荷経路を変化させることで、負荷履歴がステンレス鋼の塑性崩壊点に与える影響を光弾性皮膜法によって判定する方法を開発した。この結果、負荷履歴の違いはリガメント部の塑性域の伝播すなわち崩壊形態の違いに現れた。

A. 研究目的

経年圧力設備の寿命延伸と安全性確保を両立させるために、信頼性の高い弾塑性破壊手法の開発が求められている。本研究では弾塑性破壊に及ぼす負荷履歴の影響を明らかにするとともに、その影響を信頼工学的アプローチによって既存の弾塑性破壊評価手法を組み入れることにより、経年圧力設備の安全性評価を可能にするための弾塑性破壊手法を開発する。

B. 研究方法

オーステナイト系ステンレス鋼片側切欠試験片を用いて軸力と曲げの負荷履歴が塑性崩壊荷重に及ぼす影響について実験的検討を行う。この際、二軸独立負荷可能な不静定破壊力学実験装置を用いて、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う。塑性崩壊荷重の判定は、光弾性皮膜法によるリガメントを貫通する塑性域の可視化を通じて検証し、崩壊点および崩壊形態の違いの比較検討を行う。

なお、遠隔地共同実験者との実験データの共有および試験の円滑な実施のため、不静定破壊力学実験装置の遠隔操作プログラムを開発、インターネットによる遠隔操作

実験も平行して行う。

（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

軸力と曲げの荷重負荷形態の違いにより、リガメント部を進展する塑性域の形状は大きく異なる結果となった。塑性変形域における最大せん断応力線として与えられるすべり線は、光弾性縞の進展経路と非常に良い一致を示した。

遠隔操作実験は、群馬大学をサーバー、産業安全研究所、小山高専をクライアントとして、試験条件の入力、試験の実施およびデータの共有実験に成功した。

D. 考察

切欠先端より発生するすべり線は、軸力に対する曲げ負荷の割合が増加するに従いすべり線弧半径が小さくなるとともに、弧の中心は試験片外側からリガメント部の中央部へと変化する。これは、曲げ成分の増加による回転が原因となって、切欠先端からの引張による縞の発生と同時に試験片下

端自由表面からも圧縮による縞が発生し、両縞がリガメント中央部で貫通するためである。

E. 結論

すべり線の形成による塑性域の形成の違いは、リガメント部の崩壊に直接影響を及ぼし、これが塑性崩壊点の違いとなる。光弾性皮膜法により判定した塑性崩壊点はすべり線場理論による上界解と良い一致を示し、光弾性皮膜法を用いた塑性崩壊判定法の開発に成功した。

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

S.Izawa, M.Matsubara, K.Nezu, K. Sakamoto, "LOAD HISTORY EFFECT ON PLASTIC COLLAPSE IN A SINGLE-EDGE NOTCHED SUS316 SUBJECTED TO A COMBINED TENSION AND BENDING", 2002 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, Vol.443-2, Fatigue, Fracture, and Damage Analysis-2002, Volume II, pp.91-97, 2002.

(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

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
T.Honda, T.Sasaki and E.Yoshihisa	A study to improve the measurement accuracy of stress intensity factor by the infrared method	Proceedings of 7th International Conference on Assessment and Control of Damage and Fracture Mechanics		265-272	2002
松原雅昭, 伊澤 悟, 根津紀久雄, 坂本賢治, 近藤正幸, 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	日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2002 宇都宮-講演論文集	No.020-2	149-150	2002
太田敦士, 松原雅昭, 伊澤悟, 坂本賢治	ステンレス鋼切欠部材の塑性崩壊荷重に及ぼす負荷履歴の影響	日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2002 宇都宮-講演論文集	No.020-2	151-152	2002
S.Izawa, M.Matsubara, K.Nezu and K.Sakamoto	LOAD HISTORY EFFECT ON PLASTIC COLLAPSE IN A SINGLE-EDGE NOTCHED SUS316 SUBJECTED TO A COMBINED TENSION AND BENDING	Proceedings of 2002 ASME Pressure Vessels and Piping Conference	Vol. II	91-97	2002

20021423

以降は雑誌/図書に掲載された論文となりますので、
P.12の「研究成果の刊行に関する一覧表」をご参照ください。