等長並列 line crack を有する材の変形挙動*

佐藤邦彦** 豊田政男** 小田 勇***

Deformation Behaviors in Plate Containing Two Parallel Cracks*

by Kunihiro Satoh**, Masao Toyoda** and Isamu Oda***

Abstract

The characteristics of brittle fracture and fatigue failure in the body which has several cracks and defects being close to each other, are different from those in the body having single crack due to the interaction.

For the plate containing parallel cracks of equal length, it is reported recently that not only the brittle fracture stress but also the critical COD are larger than those for the plate containing single crack and increase with decrease of distance of parallel cracks. Accordingly, the COD concept is not simply applicable to that case.

In this report, deformation behaviors such as stress, strain, plastic zone size ahead of crack tip and COD in the plate containing two parallel equal length cracks under uniaxial tension are investigated by the elastic-plastic analysis based on the finite element method and the experiment.

Main results obtained are as follows: COD of parallel cracks under same load decrease with decrease of distance of cracks. When COD is constant, magnitudes and distributions of stress σ_y and strain ϵ_y in tensile direction around crack tip are much the same regardless of distance of cracks and yet distributions of σ_x differ with distance of cracks. Moreover, it is shown that the parameter with respect to the brittle fracture initiation may possibly exist which is dependent on triaxiality of stress around crack tip.

1. 緒 言

溶接継手は複数の欠陥を近接して有することが十分に考えられ、このような場合には単一欠陥の場合とは異なり、欠陥の干渉によって脆性破壊や疲労破壊の発生および伝播特性に影響をおよぼすであろう。複数欠陥を有する場合の脆性破壊挙動を取扱った研究は多くはなく、近接き裂に関する実験¹⁾²⁾³⁾、複数き裂が存在する場合の K-value⁴⁾ や COD の計算例⁵⁾ などがあにすぎず、脆性破壊挙動に対する複数欠陥の影響を体系的に明らかにするに至っていない。とくにこのような場合の変形挙動を詳細に検討した報告は少ない。

永井ら²⁾は近接した line crack を有する材の破壊挙動に関して実験的検討を行ない、等長並列な line crack の間隔が小さくなると限界 COD や破壊発生応力が増大することなどを報告している。すなわち、このような場合には脆性破壊発生挙動に対していわゆる COD-concept の単純な適用が不可能となる。

本報ではこのように複数欠陥を近接して有し、COD-concept の単純な適用が不可能な場合の一例として等長並列な line crack が近接して存在する場合をとり上げた。まず、この場合の変形挙動を有限要素法による計算および実験によって明らかにし、それに基づいて、脆性破壊発生挙動に注目した場合の破壊代表パラメータに関する考察を行なった。

2. 変 形 挙 動

Fig. 1 に示すような等長並列き裂および単一き裂を有する材にき裂と直角方向に一樣引張りを加えた場合について、以下に述べるような変形挙動を有限要素法による計算および実験によって検討した。

有限要素法による解析はひずみ増分理論に基づいて平面応力として行なった。計算は2種類の場合について行ない、その一つは前述のような本研究の目的から、永井ら²⁾が行なった脆性破壊試験における供試鋼(60キロ高張力鋼)と試験片寸法に合わせて Fig. 1 に示す形状寸法、材料定数および塑性流動特性を用いた計算であり(以下、これを大型試験片に対する計算と称する)、他の一つは後述の実験で用いた小型試験片の寸法、材料定数およびひずみ硬化定数に基づく計算である。大型試験

*原稿受付 昭和49年9月6日(48年度秋季全国大会に発表)

**正 員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Osaka University

***正 員 熊本大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Kumamoto University

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of base metal

Element (%)					Yield point (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (G. L. = 50mm) (%)	Reduction in area (%)
C	Si	Mn	P	S				
0.26	0.18	0.41	0.03	0.02	24.0	38.0	41.5	60.7

Fig. 1 Model and material constants used in finite element analysis

片に対する計算では, Fig. 1 中に表示するように 2 種類のき裂長さについてき裂間隔 $2v$ を種々に変化させ, 変形挙動におよぼす $2v$ の影響および単一き裂の場合と比較した干渉効果を検討した.

さらに, このような計算によって得られた変形挙動の妥当性を吟味するために小型試験片を用いた実験を行ない, 実験結果と計算結果を比較検討した. 供試材の化学組成および機械的性質を Table 1 に示す. 試験片の形状寸法は Fig. 2 に示すように板厚 4 mm, 板幅 100 mm で, この中央部にき裂間隔 $2v$ の大きさが 5 種類の並列き裂および単一き裂をそれぞれ機械加工により設定した. 実験では常温において引張軸方向のひずみ ϵ_y , 塑性域の大きさ, き裂の口開き状態, き裂開口変位および伸びを測定した. なお, Fig. 2 には小型試験片に対する計算において用いた材料定数および塑性流動特性を併記して示す.

2.1 応力分布

大型試験片に対する計算の結果得られた応力に関して整理してみる. Fig. 3 にき裂先端近傍のき裂線上における引張軸方向の応力 σ_y の分布を示す. なお, Fig. 1 に示すように引張方向の軸を y 軸, これと試験片の中心において直交する軸を x 軸とする. また, 以後, 応力およびひずみはすべてき裂線上における分布に関して論ずる. 図によると塑性領域内ではき裂先端近くを除いて平坦な分布を示している. き裂先端のごく近傍で σ_y がこの材の降伏応力 $\sigma_Y = 58 \text{ kg/mm}^2$ と比較してかなり小さくなっているが, これは加工硬化の影響および x 方向の応力 σ_x もかなりの大きさになるための二軸度の影響を受けているためと思われる. 同一負荷段階においては

Fig. 2 Specimen used in experiment and model for finite element analysis

$2v$ が小さいほど先端近くの σ_y は小さく, 単一き裂の場合が最大である. これは並列き裂によってはさまれた領域の内的拘束が v の小なるほど小さいためと思われる. なお, 図中の σ_n/σ_Y はき裂線を含む最小実断面に対する平均応力と降伏応力の比である.

Fig. 4 に σ_x の分布を示す. 先端のごく近傍ではかなりの大きさとなっている. しかし, 負荷応力が大きくなると塑性域内の σ_x の増大は止まり, 単一き裂の場合はむしろ若干減少する傾向も見られた. また, 同一負荷段階においては $2v$ が小さいほど σ_x は小さくなっている. これもやはり, 並列き裂の間の領域の内的拘束が減少するためと思われる.

2.2 ひずみ挙動

Fig. 5 に大型試験片における y 方向および x 方向のひずみ ϵ_y および ϵ_x の分布を示す. ϵ_y は負荷応力の増大とともに大きくなるが, ϵ_x は塑性状態において先端のごく近傍で大きな負の値をもつほかはきわめて小さい. なお, 同一負荷段階において並列き裂における ϵ_y は単一き裂の場合のそれより小さい傾向が得られた. また, r をき裂先端からの x 方向の距離とすると, き裂先端近傍の ϵ_y は負荷応力が小さい場合にはほぼ $1/\sqrt{r}$

Fig. 3 Distributions of calculated stress σ_y on the prolongation of crack (a) In case of $2v=10$ mm (b) Effect of $2v$

に比例し、負荷応力が大きくなって塑性域がひろがってくると、しだいにほぼ $1/r$ に比例するような分布特性が得られた。

上述のようなき裂線上における ε_y の分布特性をさらに実験によっても検討した。Fig. 6 に標点距離 1 mm の電気抵抗線ひずみゲージを貼付して測定した ε_y の分布を示す。なお、図中の各曲線は有限要素法を用いて計算した結果であり、測定値は各き裂線上における平均値である。図によると、実測結果は全般的に計算結果と良

Fig. 4 Distributions of calculated stress σ_x on the prolongation of crack (a) In case of $2v=10$ mm (b) Effect of $2v$

Fig. 5 Distributions of calculated strains ε_y and ε_x on the prolongation of crack ($2v=10$ mm)

Fig. 6 Comparison of measured ϵ_y with calculated ($2v=20$ mm)

い一致を示しており, ここには示さないが他のき裂間隔および単一き裂の場合にも同様な一致が見られた. したがって, 前述のような計算結果に基づくひずみ特性は, 実験的にも十分妥当なものであることが確かめられた.

2. 3 塑性域のひろがり

大型試験片に対する計算結果をもとに, $2v=40$ mm および単一き裂の場合に負荷応力の増大とともに塑性域がひろがっていく状態を示すと Fig. 7 のようになる. 並列き裂の場合には 2 本のき裂の先端部からひろがった塑性域が比較的小さい負荷段階で y 方向に連結する. さらに負荷応力が大きくなると, このき裂を連結した塑性域が外方 (x 座標の絶対値が大なる方) へのびて行くと同時に, き裂先端から y 軸に対して 45° に近い方向へもひろがっていく. なお, 同一負荷段階においては並列き裂の場合が単一き裂の場合より, 塑性域面積はやや大きい傾向が見られた.

実験において, 負荷応力の増大とともに試験片表面にあらわれたひずみ模様がき裂先端部からしだいにひろがっていく状態を観察すると Photo. 1 のようになった. 並列き裂, 単一き裂のいずれの場合にも, 塑性域がひろがっていく状態は定性的には計算結果と同様である. 写真によると並列き裂の場合には, 2 本のき裂の先端部からひろがった塑性域が比較的小さい負荷段階で y 方向に連結し, この領域においてひろがり著しく, ついに全面降伏に達する. このことは前述の計算結果と同様であり, 実験的な裏付けが得られた.

また, 計算結果をもとに, 塑性域の大きさとしてき裂先端から塑性域端までの x 方向の距離をとり, これと負

Fig. 7 Growth of plastic zone

荷応力との関係におよぼす $2v$ の影響を調べると, これらの関係曲線は Dugdale model による理論曲線に比較的近似した曲線となり, $2v$ の違いによる明確な有意差は認め難かった. このことは, 後述するように同一荷段階におけるき裂開口変位 COD は $2v$ の影響を顕著に受けることと考え合わせれば, このようなとり方をした塑性域の大きさと COD が一対一の対応をしないことを示唆している.

2. 4 き裂開口変位と干渉効果

並列き裂の場合のき裂開口状態をしらべるために次のような実験を行なった. $2v=30$ mm の試験片について, $y=0, 10$ および 20 mm の各直線上に 5 mm 間隔でコンタクトボールを打ち込み, y 方向における 10 mm の標点距離を各負荷段階で押当て式ひずみ計を用いて測定した. これらの距離の変化からき裂の開口状態を求めた結果を Fig. 8 に示す. 図において縦座標が 0 の水平線は 2 本の並列き裂のうちの 1 本のき裂中心線を表わし, 他方のき裂はこれと 30 mm の間隔で下方に存在している. 口開きは, もう一方のき裂側への y 方向変位が小さいような, き裂中心線に関して非対称な状態となることが認められる. このような非対称な開口状態は当然, 有限要素法の計算結果によっても認められており, その傾向はき裂間隔 $2v$ が小さいほど顕著である. ところで, Fig. 8 に示す曲線は有限要素法によるき裂開口変位の計算結果であるが, 実験値と曲線の間に若干の差が認められるのは, 実験における標点距離 10 mm 間ののびの中には, き裂の幅だけでなく試験片の固体部分ののびも含まれているためである. なお, 標点距離 10 mm とした場合ののびの計算結果は実験で得られた値とほぼ

Photo. 1 Growth of strain figure observed

Fig. 8 Unsymmetrical displacement of parallel cracks measured by contact-type strain meter in case of 2v=30 mm

等しくなることが認められた。

き裂開口変位におよぼす 2v の影響について考察する。実験において、き裂先端から内側へ 4.5 mm はいった位置でクリップゲージによって測定したき裂開口

Fig. 9 Effect of 2v on relation of crack opening displacement $\Phi_{4.5}$ vs. applied stress

変位 $\Phi_{4.5}$ の結果を Fig. 9 に示す。図中の値は4箇所のき裂先端における測定値の平均である。 $2v$ が小さいほど同一負荷段階においては開口変位は小さくなっている。また、図中の曲線は有限要素法による計算結果であるが、両者はよい近似をなしている。

従来、単一き裂の場合、本報のような有限要素法による計算におけるき裂先端から 0.1 mm 内側の開口変位を、き裂先端の開口変位として考えることの妥当性が示されている⁶⁾⁷⁾。前述のように、並列き裂の場合のき裂開口状態は非対称となるが、この場合にも、き裂先端から 0.1 mm における開口変位 $\Phi_{0.1}$ をき裂先端の開口変位に対応するものとして考察を進める。そこで、大型試験片に対する計算結果をもとに並列き裂の場合のき裂開口変位 $\Phi_{0.1}$ に関する干涉効果について考える。 Φ_{2v} を並列き裂の場合の $\Phi_{0.1}$ 、 Φ_{single} を単一き裂の場合の $\Phi_{0.1}$ とし、両者の比を干涉効果係数と考える。これと負荷応力 σ_n/σ_Y との関係を示すと Fig. 10 のようになる。なお、図中の v/c はき裂間隔 $2v$ とき裂長さ $2c$ との比である。 $\sigma_n/\sigma_Y=0.3$ 程度の比較的小さい負荷段階

Fig. 10 Variation of $\Phi_{2v}/\Phi_{\text{single}}$ (Φ_{2v} =COD of parallel cracks, Φ_{single} =COD of single crack)

では $v/c=2$ 以上になると $\Phi_{2v}/\Phi_{\text{single}}=1$ となって、単一き裂の場合と同様な挙動を示すが、大きい負荷段階では $v/c=2$ の場合でも干涉効果を生じている。一般に干涉効果を生ずる場合には、負荷応力 σ_n/σ_Y が増大するほど、また v/c が小さいほど干涉効果係数は小さくなっている。Fig. 10 のような干涉効果は文献 2) に報告されている実験結果とは若干異なった傾向を示している。すなわち、文献 2) によると負荷応力が大きい範囲では負荷応力の増大とともに $\Phi_{2v}/\Phi_{\text{single}}$ は直線的に減少しているが、本計算結果では比較的小さい負荷段階では負荷応力の増大とともに $\Phi_{2v}/\Phi_{\text{single}}$ は減少し、 $2v \leq 40 \text{ mm} (v/c \leq 0.5)$ という、干涉効果が大きい場合に、 σ_n/σ_Y が約 0.5 以上では $\Phi_{2v}/\Phi_{\text{single}}$ はほぼ一定値に飽和する傾向が見られる。また、文献 2) では v が小さい場合に $\Phi_{2v}/\Phi_{\text{single}} < 0.5$ となっているが、本計算結果では $\Phi_{2v}/\Phi_{\text{single}}$ は最小の場合でも 0.5 より小さくはない。

さて、従来、破壊の条件としていくつかの Criteria が提唱されているが、全面降伏後には、いわゆる p_c^+ も定義できなくなり、かつ、Dugdale model による COD の計算も不可能となる。Burdekin ら⁸⁾や Wells⁹⁾によってこのような領域における COD と塑性ひずみ e との関係が求められ、全面降伏後にも COD-concept の適用が期待されているが、これらの関係はさらに詳細な実験的検討を加える必要がある。

本実験においても COD と伸びとの関係に関する基礎的データを得るために、 x 軸を中心として y 方向にとった標点距離 200 mm に対する伸びを各負荷段階で測定した。COD, $\Phi_{4.5}$ の実測値と伸びとの関係を無次元化して示すと Fig. 11 のようになる。ただし、 e は伸びをひずみに換算したものであり、 $e_Y = \sigma_Y/E$ 、 E =ヤング率である。図によると、同一伸びに対する COD は単一き裂の場合が最大で、 $2v$ が小さいほど COD も小さくなる傾向が認められ、かつ、 $2v=40 \text{ mm}$ 以下の並列き裂

Fig. 11 Relation between COD $\Phi_{4.5}$ and elongation measured

の COD は単一き裂のそれのおおよそ $\frac{1}{2}$ である。このことは、このようにして測定された伸びの絶対値には局部伸びと一様伸びの双方が含まれ、かつ、この値にはき裂開口変位が大きく影響すると思われるが、伸び測定における標点距離の中に並列き裂では2本の、単一き裂では1本のき裂が含まれていることから説明できよう。また、Burdekin ら⁸⁾や Wells⁹⁾ の提唱する design curve に比べると、 $e/e_Y=1$ 程度までに対応する COD はほぼ近似した値となっている。しかし、本実験で測定された COD はき裂先端から 4.5 mm における値であるから、き裂先端における COD はさらにこれより小さくなって前記の design curve との間にはかなりの差が生ずるはずである。これらに関しては、さらに種々の角度から検討を加える必要があろう。

3. COD-concept の立場に立った 変形挙動に関する考察

永井ら²⁾は板厚 20 mm の 60 キロ高張力鋼板から作製した試験片を用いて脆性破壊試験を行なっているが、その結果によると、 v が小さくなるほど破壊発生応力および限界 COD は増大している。したがって、このように v が小さい範囲では破壊発生挙動に関していわゆる COD-concept を単純に適用することが不可能になる。そこで、脆性破壊発生時のき裂先端部の状態量と COD との関係を考察するために、大型試験片に対する計算結果をもとにして同一の COD を生ずる場合のき裂先端付近の応力、ひずみを調べると Fig. 12 のようになる。ただし、同一の COD としては、永井らの実験が限界 COD, $\phi_c=0.02$ mm となる温度で行なわれていることに合わせて、 $\phi_{0.1}=0.02$ mm とした。Fig. 12 (a) によると、き裂先端に近い塑性域内の σ_y は、同一 COD に対しては v の影響をうけず、また並列き裂と単一き裂とにかかわらず、ほぼ等しい大きさと分布を示している。このことは $\phi_{0.1}$ がさらに大きい場合にも確かめられた。また、Fig. 12(b) に見るように ϵ_y 分布も同一 COD に対しては v にかかわらずほとんど同じ分布を示している。しかしながら Fig. 12(c) のように σ_x 分布は明らかに異なり、 v が小さいほど小さな値をもつ。このことは、き裂先端のごく近傍に関する限り、 σ_y あるいは ϵ_y はそれぞれ単独では COD と一対一の対応関係にあるが、 x 方向の応力、ひずみをも考慮に入れた、いわゆる多軸度は COD と対応関係にないことを示しており、このようなき裂先端近傍での多軸度の差が、たとえ同一 COD を生じたとしても異なった脆性破壊発生挙動を与えると考えられる。

Fig. 12 Distributions of stress and strain when COD is constant ($\phi_{0.1}=0.02$ mm)

- (a) Distribution of σ_y
- (b) Distribution of ϵ_y
- (c) Distribution of σ_x

4. き裂先端の状態を代表するパラメータに関する一考察

等長並列なき裂を有する材の脆性破壊発生挙動に関しては、 v が小さくなれば COD-concept の単純な適用が不可能となる。そのような状態においては COD 以外の何らかの破壊発生に関連したき裂先端の状態を代表するパラメータを考える必要がある。ここでは、そのような代表パラメータに対する手がかりを得る目的で、大型試験片に対する計算結果を用いて若干の考察を行なった。

破壊発生に対しては、き裂先端近傍に破壊の芽を作り出すには、そのまわりの部分も十分にその準備をしていることが必要であり、代表パラメータとしては、き裂先端近傍のある領域内の状態量をとって考えるのが妥当であろう。そこで、永井らの実験との対比から COD を $\Phi_{0.1}=0.02\text{ mm}$ に保ったときの次のような量を調べてみた。すなわち、 $\sigma_y/\bar{\sigma}$ の、き裂先端から x 方向にとった距離 5 mm を対角線とするひし形の領域（一定領域）における平均値と $2v$ との関係が Fig. 13 のように得られた。ただし、 $\bar{\sigma}$ は相当応力を表わし、図は $2c=80\text{ mm}$ の場合である。対角線が 5 mm のひし形の領域は、この場合にき裂線上における塑性域の大きさが約 $4\sim 5\text{ mm}$ であることから採用したものである。図によると、一定の COD を生ずる場合には $\sigma_y/\bar{\sigma}$ は $2v$ が小さいほど減少していることがわかる。したがって、もし $\sigma_y/\bar{\sigma}$ が一定の場合には、これに対応する Φ は $2v$ が小さいほど大きくなると予想される。そこで、 $2v=40\text{ mm}$ の場合の $\sigma_y/\bar{\sigma}$ の値に合わせて $\sigma_y/\bar{\sigma}=1.08$ とすれば、このときの Φ と $2v$ の関係は Fig. 14 に示す曲線のようになり、図中に併記した永井らの限界 COD に関する実験結果と定性的には同様な傾向を示している。このこと

Fig. 13 Relation between average $\sigma_y/\bar{\sigma}$ in crack tip zone and $2v$ when $\Phi_{0.1}$ is 0.02 mm

Fig. 14 Comparison of measured critical COD with calculated COD when average $\sigma_y/\bar{\sigma}$ is constant

から、たとえば $\sigma_y/\bar{\sigma}$ のこの領域における平均値のような、いわゆる多軸度を考慮に入れたものが、き裂先端の状態を代表するパラメータとなる可能性が見いだされる。ただ、これの物理的な意味に関しては、さらに考察を加えなければならない。

5. 結 言

等長並列なき裂を有する材にき裂と直角方向に一樣引張りを加えた場合の変形挙動に関して、有限要素法および実験によって検討を加え、さらに、COD-concept の単純な適用が不可能と思われる場合のき裂先端の状態量に関して考察を行なった。得られた結果を要約すると次のようになる。

(1) き裂先端近傍の応力 σ_y , σ_x およびひずみ ϵ_y は同一負荷に対して、単一き裂の場合が最も大きく、並列き裂のき裂間隔 $2v$ が小さいほど小さい。

(2) 並列き裂の口開きの状態は、もう一方のき裂側への y 方向変位が小さいような、き裂中心線に関して非対称な形状を呈する。また、同一負荷応力に対する COD は単一き裂の場合が最も大きく、並列き裂では $2v$ が小さいほど小さい。

(3) COD に対する干渉効果は、比較的小さな負荷段階では v/c が 2 以上になるとなくなる。また、 $v/c \leq 0.5$ の範囲における干渉効果係数 $\Phi_{2v}/\Phi_{\text{single}}$ は、 σ_n/σ_T が約 0.5 以上になるとほぼ一定値に飽和する傾向が見られる。

(4) 同一の COD を生じている場合の、き裂先端近傍における y 方向の応力 σ_y およびひずみ ϵ_y は、単一き裂と並列き裂の違いおよび $2v$ の違いにかかわらず、ほとんど同じ大きさと分布を示すが、 σ_x 分布は $2v$ によって異なる。

(5) き裂先端の小領域における $\sigma_y/\bar{\sigma}$ の平均値のよ

うな、多軸度を考慮に入れたものがき裂先端の状態を代表するパラメータとなる可能性が見いだされた。

本研究については、日本造船学会溶接研究委員会第1分科会の主査金沢 武教授をはじめ委員各位から有益なご討論と助言をいただいた。また、試験片の製作に際しては、新日本製鉄株式会社工作本部の高橋大輔氏ほか関係各位のご援助を得た。ここに記して深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 池田, 前中, 北村: 近接切欠の脆性破壊発生特性(第1報), 日本造船学会論文集, 第129号(昭和46年), 257
- 2) 永井, 池田, 岩田, 前中, 梶本, 北村, 南: 近接切欠の脆性破壊発生特性(第2報), 日本造船学会論文集, 第132号(昭和47年), 405
- 3) 永井, 池田, 岩田, 前中, 梶本, 北村, 南: 近接切欠の脆性破壊発生特性(第3報), 日本造船学会論文集, 第134号(昭和48年), 413
- 4) M. Isida: Method of Laurent series expansion for internal crack problems, *Mechanics of fracture*, Noordhoff international publishing, Leyden (1973), 56
- 5) E. Smith: The spread of plasticity between two cracks, *Int. J. Eng. Sci.*, Vol. 2 (1964), 379
- 6) 金沢, 町田, 萩原: 工業的試験法としての曲げ COD 試験について, 日本造船学会論文集, 第132号(昭和47年), 361
- 7) 佐藤, 豊田, 小田: 等長並列 line crack を有する材の変形挙動, 日本造船学会溶接研究委員会第1分科会資料, 1-254-73(昭和48年)
- 8) F. M. Burdekin and M. G. Dawes: Practical use of linear elastic and yielding fracture mechanics with particular reference to pressure vessels, *I.I.W. Doc. X-641-71* (1971)
- 9) A. A. Wells: Application of fracture mechanics at and beyond general yielding, *Brit. W.J.*, November (1963), 563

次 号 予 告

非 破 壊 大 特 集

随 想 用語の統一.....仙 田 富 男

論 説

第三検査機関の立場からみた溶接の管理と非破壊検査.....賀 来 信 一

資 料

《溶接部の非破壊試験》

放射線透過試験.....仙 田 富 男

超音波探傷試験.....富 士 岳

溶接部の磁粉探傷試験および浸透探傷試験.....三 好 滋

新技術紹介

中性子ラジオグラフィ.....小 林 昌 敏

アコースティック・エミッションと溶接.....尾 上 守 夫

研究論文

鋼材再現溶接熱影響部の変態挙動におよぼす成分元素の影響(第4報).....{ 春 日 井 孝 昌
稲 垣 道 夫

調質高張力鋼溶接継手の破壊靱性.....{ 長 谷 川 明
高 鈴 橋 秀 彦
鈴 木 正 彦

バッテリーを電源とするスポット溶接(1).....{ 浜 松 崎 正 信
松 岡 敏 彦

水中における重力式アーク溶接(2).....{ 蓮 井 淳 雄
菅 当 泰 英

厚板溶接部の溶接割れ防止の研究(第1報).....{ 西 尾 弘 之
吉 田 康 之
三 浦 謙 男

破壊領域観察にもとづく鉄鋼の水素脆化機構に関する研究(2).....{ 菊 田 米 雄
荒 黒 木 敏 雄

研究委員会報告