

かという事柄については現段階では明らかではありません。また、本研究で示されました大型実験による AWN の低応力脆性破壊発生温度の高温への移行現象は、木原先生らの論文でも示されており、その場合にもシャルピー試験ではほとんど劣化が認められない、という結果が報告されております。

なお、本研究は BWN にみられる現象の解明に主眼をおいて行ったものであり、AWN にみられる現象についての説明は十分なものではないと考えます。今後、この問題につきましても、ご指摘の点を参考にして研究を行いたいと考えています。

(2) AWN および BWN の劣化の程度は鋼種により異なるようで、我々の実験によりますと、60, 80 キロ鋼では、これらの劣化の程度は比較的少ないようであります。

【討】 豊貞 雅宏 君 Fig.10 は COD 試験片による結果で残留応力はほとんどなくなっており、BWN と NWN との差は塑性歪の集中による劣化であると言われておられますが、この点何か他の検証（たとえば硬度分布等）が得られておりましたらご教示下さい。また AWN と NWN との差ですが、この点につきましても他の検証（たとえば charpy あるいは硬度分布）が得られておりましたらご教示下さい。

さらに歪時効は 200~500°C に加熱された領域で、組織変化がなくとも C, N が安定化していない鋼材で著しく劣化することを岡田先生* が示しておられますが、50 キロ高張力鋼は一般的にここで示されたような量の歪時効（500°C の加熱温度で約 40°C の遷移温度の上昇）を起こす材料と考えておられるのでしょうか。この点の見解をお示しただければ幸いです。

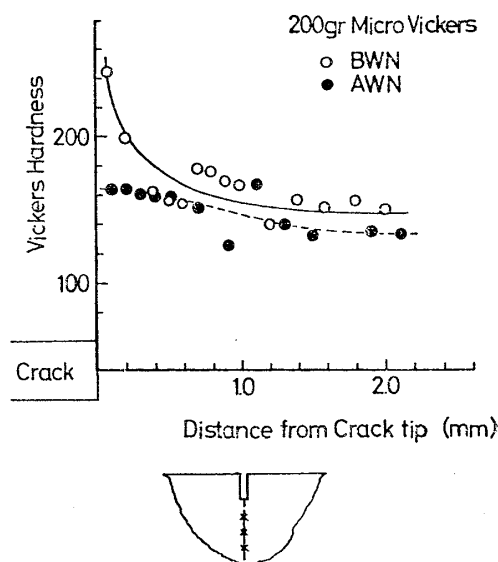
* 岡田実：低炭素鋼の電弧溶接における熱影響に関する基礎的研究（第4報），溶接学会誌6（昭12）7号。

【回】 有持 和茂 君 まず、BWN にみられる著しい塑性歪の集中を示す他の検証結果ですが、ご指摘のように、これほどの塑性歪の集中が存在すれば、硬度分布上にそれなりの硬度の上昇が当然みられるはずで、本実験の場合にも図に示しますように BWN 曲げ COD 試験片において、切欠先端部の非常に狭い領域で、著しい硬度の上昇が、マイクロヴィッカースによる硬度測定で検出されました。

次に、NWN と AWN の差についてですが、AWN の硬度分布をみますと、若干の硬度の上昇が認められるようであります。しかし笠松氏の質問でお答えしましたように、AWN にみられる靱性の劣化が室温における歪の集中のみで説明できるかどうかは現段階では明らかではありません。

本現象を歪時効と呼んでおられますが、このことにつきましては、本現象に時間的な要因がほとんど関与していないということからして、歪時効と呼ぶことには疑問があります。大谷先生らの報告によりましても、本現象には非時効性の要因が支配的であると述べておられます。

次に、本現象が 50 キロ鋼に対して一般的かというご質問ですが、50 キロ鋼に限らず C-steel では一般的な現象であろうと考えます。ただその劣化の程度は鋼材の化学組成や製造履歴によりかなり異なるものであることが本実験での母材とボンドの比較によっても推測されます。また、このようなことは我々の追加実験、あるいは Burdekin らの実験によりましても確かめられております。なお、60, 80 キロ鋼に対する追加実験の結果によると、その劣化量は比較的少ないというデータが得られています。



平板の貫通クラックの応力拡大係数の3次元解析

角 洋 一 外

【討】 寺田 博之 君 (1) Srawley らの結果によれば、き裂が比較的短い場合は K_I 値はピン荷重 P の位置 h_1 の影響を多少受けるようですが、貴解析においても荷重点の位置と K 値の関係についてはほぼ同様の傾向

であろうと解釈してよろしいか。また貴解析で負荷された荷重作用点の位置をお示し下さい。

(2) 結果に大きな影響を及ぼすとは考えられませんが、荷重 P のかけ方は集中荷重でしょうか、あるいはピン穴に沿った分布荷重でしょうか。

【回】 角 洋一君 (1) ピン位置を変えた計算は行っておりませんので、断定的なことは申し上げられませんが、短いクラックのときは、ピンの剛性の影響など本解析では取り扱っていない影響による3次元効果の現われる可能性があります。

(2) 本解析の負荷方法は、実際とは多少異なるかもしれませんが、荷重の作用点がピン中心となるようにしました。ピン中心は節点になっておりませんので、Fig. 4 の図中記号 P の上下2節点に板厚方向に一様分布となるように節点力を配分しました。

【討】 西谷 弘信君・村上 敬宜君 (1) 荷重条件の中で物体力は節点力に置き換えられておりますが、その際き裂先端要素の大きさが応力拡大係数に及ぼす影響が表面力の場合とは異なるように思われます。表面力の場合には、これまでの研究と同じく要素の大きさのきき方は少ないことが予想されますが、物体力についてはいかがでしょうか。

(2) Fig. 10 に見られるように、表面近くでは応力拡大係数が急に低下しております。表面近くのこのような特異性の傾向については色々議論がありますが、明確な見通しをお持ちでしたらご教示下さい。

【回】 角 洋一君 (1) 物体力の大きさは応力拡大係数の板厚方向の微分に関係しており、この値は板表面近傍を除いてなめらかに変化しております。したがって物体力の大部分は隣り合う解析解どうして打ち消し合うので、結果として有限要素法で打ち消す物体はごく僅かとなります。

物体力のクラック先端要素の応力に及ぼす影響は、物体力の働く領域全体を積分した形で現われるので、表面力ほど直接にその位置の応力分布にはきかないと考えられます。また特にクラック先端部の応力に影響を与えると思われる面内方向の物体力は、クラック先端部で $O(\sqrt{r})$ で減少するので、クラック先端部を細分割して、物体力を数多くの節点に配分しても、物体力としてクラック先端部の応力に与える影響は少なく、応力拡大係数への影響も小さいと考えられます。

(2) この問題は数学的にも物理的にも難しい問題で、今のところ明確な見通しは持っておりません。さらに実際の破壊の機構には表面の塑性降伏の影響もあり、これも問題をさらに複雑にしていると考えられます。

【討】 川原 正言君 (1) 変位の特異項の設定に、(3. a) および (3. b) が用いられており、 $w^{s1}=w^{s2}=0$ とされています。しかし、実際には板表面付近で、板厚方向の特異な変位が現われ、これが応力拡大係数にも大きな影響を与えるものと考えられます。今回解析された結果について、その影響はどの程度あるものと考えられるでしょうか。

(2) 変位の特異項で、板厚方向の変位を無視したことが解全体の簡素化に役立っていると見られますが、その場合、有限要素解の方に板厚方向の変位に関する高次項を算入したら、さらに解の妥当性が増すのではないのでしょうか。

また、板厚方向の変位に関する特異項をさらに重ね合せの中に算入されてはいかがのでしょうか。

【回】 角 洋一君 (1) 板表面の問題は、西谷、村上両先生もご指摘のように難しい問題ですが、本研究では、板厚方向の変位については有限要素解のみで近似しており、そのため板厚方向の分割を表面近傍で密にしております。したがって表面の解の性質の不明により生ずる応力拡大係数の誤差は、板表面の近傍のみで生ずるものと考えられます。

(2) (1)と関連しますが、本研究では板厚方向に高次の変位近似を行う代りに、表面近傍の板厚方向の分割を細かくしております。この変位の近似については今後検討させていただきたいと思います。

【討】 矢川 元基君 (1) 2次元平面ひずみタイプの解析的解を全板厚にわたって用いられているが、その妥当性についてうかがいたい。本問題では、板厚表面近傍ではむしろ平面応力的な解の方が直観的には良い精度を与えるように思われるが、いかがか。

(2) $\phi_j(z) (j=1, \dots, m)$ の選択基準として相互の独立性の強いものが望ましいとあるがその理由は何か。

(3) Fig. 4 において x - y 面の分割は等分割にされており、2次元問題における著者らの分割法と様子が異なっているように思われるが不都合はないか。

【回】 角 洋一君 (1) 1° 応力の $1/\sqrt{r}$ の特異性を取り除けば、それ以外の変形は有限要素法で近似で

きと考えられる。

2° 板表面は平面応力状態だが、2次元平面応力理論が3次的に成立するのはごく特殊な場合であり、一般に3次元の適合条件を満足しない。

以上の理由により、板表面近傍を除いた応力拡大係数の決定には本法で十分だと考えております。

(2) 自由度 (m の個数) が比較的少なく近似がしやすいこと、数値的不安定をさけることなどが主な理由です。

(3) 1° 2次元問題など⁴⁻⁷⁾では、一通りの要素分割で $0.2 \leq c/w \leq 0.8$ 程度の広範囲のクラック長の解析を行えるように分割しております。1つのクラック長のみに着目したときは、このように細かい分割をする必要はありません。

2° 本解析では上述のように1つの分割で広範囲のクラック長の解析をしておりません。また応力が要素内で変化する定ひずみ要素より多少高次の要素を用いているので、2次元問題と比べ粗な分割としました。

【討】 宮田 寛君 (1) 特異項に対応する変位 w_j^{s1} として (3.a) 式に示される変位式は、平面ひずみのクラックに対応する解を採用しておられますが、厚板の表面近傍の解を精度良く求めるには表面近傍では w_j^{s1} として平面応力状態の解を利用した方が better ではないでしょうか。

(2) 本報は平板の貫通クラックについて取り扱っておられる訳であるが、貫通クラック以外のクラックの解析への拡張について伺いたい。すなわち z 軸方向の近似関数 $\phi_j(z)$ の設定で、(4) 式で与えられるような関数では不十分になると考えられます。何かお考えがあればお教え願いたい。

【回】 角 洋一君 (1) 矢川先生の質問(1)に対する回答に同じ。

(2) 曲線状のクラック先端線をもつ3次元クラックについては、現在解析中ですので、後日機会がありましたら別途発表させていただきたいと考えております。

直列近接切欠の変形挙動と破壊特性について

永 井 欣 一 外

【討】 豊貞 雅宏君 図16に関しまして、切欠間距離が短ければ限界 COD 値 (Φ 値) が小さくなると結論され、COD 一定説の単純な適用は困難だとされておられますが、図15をみますと1点鎖線と実験値はよく一致しており、切欠にはさまれた領域は全面降伏していますので、どのようにき裂先端に換算すればよいのかわかりませんが、き裂先端に換算されたとしてその COD 値 (δ_c 値) では一定説がほぼ成立しているのではなからうかと私は思うのですが、この点はいかがでしょう。

【回】 梶本 勝也君 ご指摘の通り、図16は切欠先端から10mm内側の位置において計測した値であり、切欠先端の限界亀裂開口変位に着目した破壊発生特性ではない。そこで、室温でモアレ法によって計測した切欠先端から10mmおよび0.1mm内側における亀裂開口変位の関係をもとに試験温度 (-95°C) に

付図 限界き裂開口変位に及ぼす切欠間距離の影響
おける切欠端の限界亀裂開口変位 Φ_{oc} を推定してみた。 Φ_{oc} と l の関係を付図○印に示す。このように推定した Φ_{oc} は $l \leq 2.5$ では低下する傾向が認められる。付図中に△印で示した Φ_{oc}^{FEM} は図17に示した破壊時の切欠底における平均有効ひずみを用いて図12から推定した切欠先端の亀裂開口変位である。 Φ_{oc} と Φ_{oc}^{FEM} はほぼ一致しており、上記の推定が妥当なものであることが了解できる。なお、図15において、 Φ_{oc} が一定として推定した破壊応力 (1点鎖線) は $l \leq 2.5$ では実験値より大き目になり、内側先端からの1段目の破壊応力を過

