

I - 299

超音波試験による鋼材切欠き先端の破壊に関する研究

北見工業大学 正 員 山崎 智之

北見工業大学 正 員 菅原 登

北見工業大学 学生員 久恒 雅人

北見工業大学 正 員 大島 俊之

1. まえがき

近年、大型で重要な構造物の設計には損傷許容設計という考え方がしばしば使われている。この考え方は、内在する欠陥を想定し、稼働中の欠陥進展を定量的に評価して設計を行うことである。したがって、非破壊検査による欠陥の検出、及びそれによる破壊評価や余寿命評価が重要になっている。

本研究では、引張荷重を作用させた鋼材の切欠き先端部における破壊領域部分の広がり、非破壊検査の一つである超音波探傷試験から得られる超音波エコー強度による画像(Cスコープ表示)で表した。また、理論解析で弾塑性状態の材料の破壊を特徴づけるパラメータとして用いられるJ積分を有限要素法により計算して、実験より得られた結果との比較を行った。

2. 実験の概要

超音波探傷試験に使用した装置は超音波探傷映像装置(日立建機社製、AT5000)で、探傷試験により得られた超音波エコー強度を256段階の数値に変換し、白黒濃淡表示や16色カラー表示して画像化(Cスコープ表示)できるものである¹⁾。探触子は水浸用焦点型垂直探触子を用い、周波数は25MHzを使用した。供試体は一般構造用鋼材SS400(降伏点31kgf/mm², 引張強さ44kgf/mm²)を用い、供試体(長さ280mm, 幅60mm, 厚さ6mm)の片側端面にV型切欠きを設けたものを製作した。切欠きは深さ20mmで切欠き角度が $\theta = 10^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の4種類を用意した。載荷装置にはオイルジャッキを使用し、荷重は簡便な圧力計でオイルの圧力を測定し荷重に換算した。実験は供試体に引張荷重を作用させた状態で探傷試験を行い、探傷範囲は図1に示した切欠き先端の点線で囲まれた縦10mm、横20mmの部分として、各荷重段階の探傷画像を得た。

図2は切欠き角度 10° の供試体に引張荷重0.5, 7, 8tfを作用させたときの探傷画像で、縦横10mmで表したものである。荷重増加に伴い黒い部分が徐々に増加している領域は、鋼材の表面変化(ひずみの変化)が極端に大きく、超音波の入反射に影響し超音波エコーが低い部分である。したがって、この領域には材料的に破壊している部分を含んでおり、破壊領域と考えられる。この破壊領域の面積を探傷画像の面積に占める比率で表し、荷重との関係を示したものが図3である。

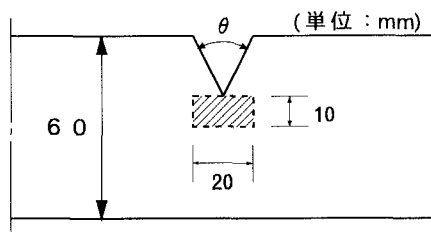
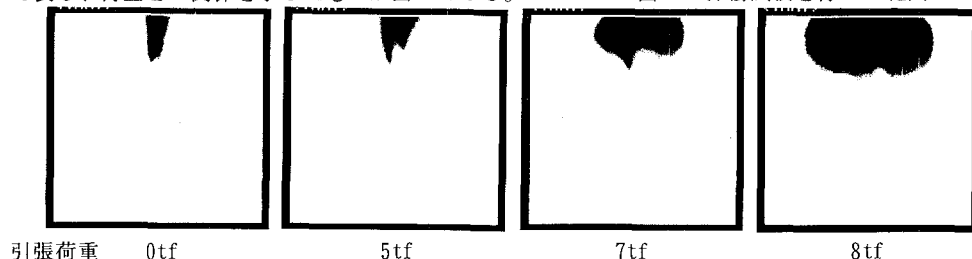


図1 探傷試験を行った範囲

図2 切欠き角度 10° の供試体における破壊領域部分の画像(10×10mm, pitch 0.05mm, scale 1.6mm)

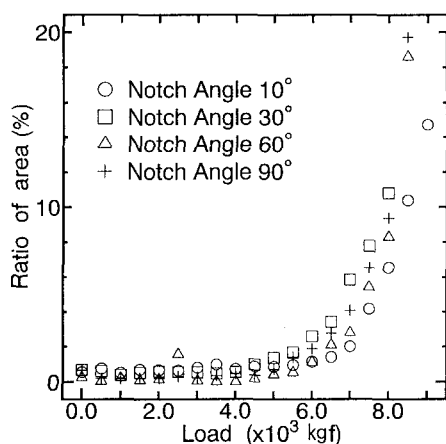


図3 画像における破壊領域の面積率

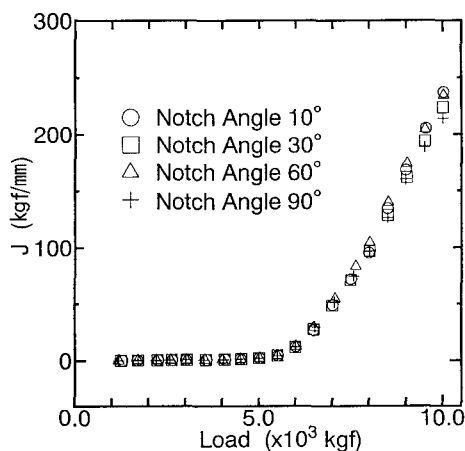


図4 有限要素法によるJ積分

3. 破壊力学パラメータJ積分と実験結果の比較

超音波探傷試験に用いた供試体は一般構造用鋼材SS400で、室内実験用として小さい寸法としたことなどから小規模降伏状態の条件が満たされないため、き裂先端の弾塑性変形を特徴づける破壊力学パラメータとしてJ積分の計算を行った。計算は荷重漸増法による有限要素法で2次元弾塑性解析を行い、変位、応力、ひずみ等を計算し、これらを利用して定義式(1)に従って経路積分を実行してJ積分値を求めた。

$$J = \int_{\Gamma} \left[W \, dX_2 - T_i \frac{\partial U_i}{\partial X_1} \, d\Gamma \right] \quad \dots (1)$$

W : ひずみエネルギー密度 , T_i : 表面力 , U_i : 変位

図4は、計算したJ積分と荷重の関係を表したものである。このJ積分の結果と図3に示した破壊領域の面積率の結果を比較すると、両方共に引張荷重が6000kgfを越えるあたりから急激に増加しており、その増加傾向も類似している。次に、切欠き角度の違いによる比較をすると、破壊領域の面積率では高荷重部分において数値の変化は見られるが、面積率の増加傾向は似ている。また、J積分についてはほとんど同じ増加を示している。このことから、破壊領域の面積率とJ積分値の変化の傾向はほぼ等しいことが確かめられた。

4. あとがき

超音波探傷画像において破壊領域と見なした部分の面積率は相対的な数値であり、実験装置の設定や超音波エコー強度レベルの選定、探傷範囲の面積などにより数値的には異なってくる。しかし、J積分との比較から荷重に対する増加傾向が類似していることや、切欠き角度の違いによる傾向も似ていることから、この超音波探傷画像より得られる破壊領域の広がり方が破壊評価の対象になると考えられる。今後、定量的に破壊評価ができる実験方法やデーター処理を考える必要がある。

参考文献

- 1) 菅原、三上、山崎、大島: 波形解析を応用した超音波探傷法の微小欠陥検出精度向上に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 38A, 1992
- 2) 山崎、菅原、久恒、大島: 超音波試験による切欠き先端の破壊プロセスゾーンの評価, 土木学会北海道支部論文報告集, 第50号, 1994. 2