

(317)

延性破壊安定亀裂成長に対する一考察について (高圧大径ガスパイプラインの不安定延性破壊防止の研究 - 1)

新日本製鐵(株) 製品技術研究所 ○小笠原昌雄 玉野敏隆

三 村 宏 柳本左門

〔 緒 言 〕高圧ガスパイプラインに見られる不安定延性破壊に対する材料の抵抗特性を低剛性・広巾ディープノッチ試片を用いて得る方法を検討して来た。しかるに通常の剛性を有する試験材を用いるとノッチ先端近傍のみ塑性状態になる条件下で延性亀裂の安定成長が生じ、亀裂成長抵抗曲線 (Rカーブ) が得られる。このRカーブは特定剛性下で亀裂が不安定伝播を起こすか否かを検討する上で重要な特性である。ここでは延性亀裂発生COD値, δ_i からRカーブを解析的に求めるモデルを検討する。

〔 実験及び検討 〕実験は8,000トン大型広巾引張試験材を用い、広巾 (2,500mm), ディープノッチ (6.25mm) の試験片でおこなった。素材はシャルピーセルフエネルギー, $C_{shelf}^V = 3 \sim 10 \text{ kg-m}$ のX-52, X-65材である。Dugdale モデルによる亀裂先端開口量は応力一定の場合、切欠長さに比例する。切欠長さが 6.25 mm の場合、降伏応力以下の応力で切欠先端に約 1 mm 程度の開口量が得られ、切欠先端から延性亀裂が発生する。発生した亀裂は荷重の増加と共に安定成長をおこなう。この現象は高剛性タブを用いた実験によりくわしく調べることができる。図1にはここで用いた

X-52 材の一例を示した。この様な安定成長が何故起こるのかについては多くの論議があるが、ここでは次の様なモデルを考えた。亀裂が成長した場合、それまでに形成された塑性域はその周囲の弾性変形域からの反作用を受けて、成長進展した亀裂の先端には高々降伏応力程度の圧縮応力が加わる。従ってもし負荷応力が同じならば、亀裂進展後のCOD値はこの圧縮応力によって小さくなる。従って更に亀裂を進展させるためには新COD値を材料の限界COD値と同一にするよう荷重を増加することが必要になる。図2はこの状態をモデル化したものであり、更に次の様な仮定を置くことにより、亀裂の進展を続けさせるためにはどの位荷重を増加する必要があるかを計算した。

即ち、(i) 亀裂が進展しても亀裂の先端には σ_y (降伏応力) なる圧縮応力が残る。(ii) 亀裂は、 $\delta = \delta_i$ (延性亀裂発生限界開口量) の条件が満たされれば進展する。以上の仮定により、 ΔC (亀裂進展量) と荷重との関係を計算し、図1に実線で示した。図に見る様に実験とかなり良く一致している。この計算で δ_i 値を実測カーブに良く合う様に仮定したが、ここで用いた δ_i 値と C_{shelf}^V との関係は図3に見る様な相関がある。

これは従来得られている関係とも良く一致する。

〔 結 言 〕延性亀裂の成長挙動 (Rカーブ) は簡単なモデルから定量的に計算することができること、又Rカーブの特性値 (δ_i) はシャルピーのセルフエネルギーと良い相関があることがわかった。

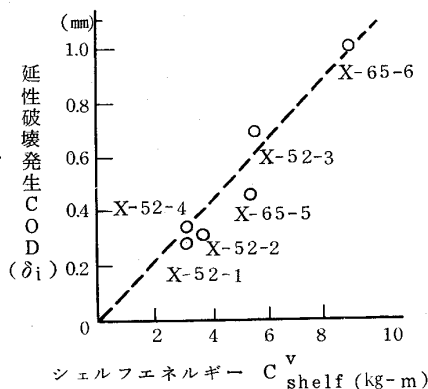
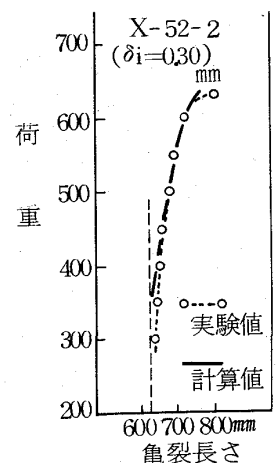
図3 δ_i と C_{shelf}^V の関係

図1 安定亀裂成長曲線例

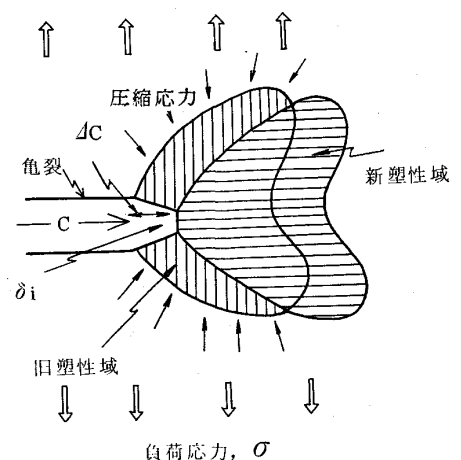


図2 安定亀裂成長の定性的説明及びそのモデル化