

立命館大学 理工学部  
三和システムサービス  
立命館大学 理工学部

○坂根 政 男  
山 田 敏 則  
大 南 正 瑛

1 結 言 無限に深い双曲線切欠きに対して、Tubaの行った解析<sup>(1)</sup>に準じて保持を伴う場合についての切欠き底の応力-ひずみ解析をモードⅢについて行った。高温における切欠きの力学解析としては、大略によ、Tubaの解析のクリープ問題への拡張<sup>(2)</sup>が計られてゐる。本稿の解析は初期負荷および荷重（または変位）保持期間中を対象として行ない、とくに保持期間中のものについては定常クリープおよび時間硬化型の遷移クリープ方程式を用いて行った。さらに、解析結果は工業用純アルミニウムのV型切欠き平板材の60°Cにおけるモリス法を用いての切欠き底のひずみ測定結果と対比された。

2. 解 析 紙面の都合で解析の途中経過は省略し、結果だけを記すことにする。解析に用いたモデルは図1に示す無限に深い双曲線切欠きが縦せん断の応力を受ける場合である。解析の対象とした負荷波形は定荷重保持を伴う台形波であり、保持時間に至るまでの初期負荷および保持期間中の切欠き底の応力解析を行った。構成方程式は初期負荷については、(i)  $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 (\tau/\tau_0)^k$ 、保持期間中については定常クリープ式 (ii)  $\dot{\epsilon}_c = \dot{\epsilon}_{c0} (\tau/\tau_0)^p$  および遷移クリープ式 (iii)  $\dot{\epsilon}_c = \dot{\epsilon}_{c0} (\tau/\tau_0)^b t^n$  の面式を用いた。

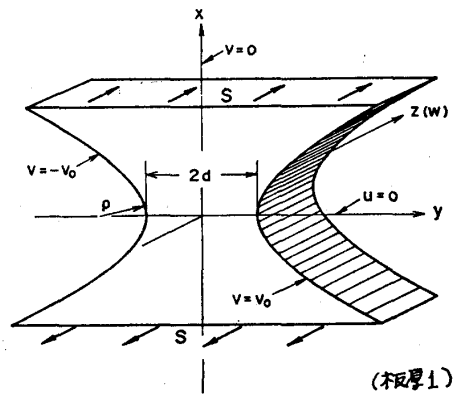


図1. 解析モデル図

図2に初期負荷の場合について(i)の構成方程式を用いた解析結果の一例を示す。図は  $K_\sigma$ ,  $K_\epsilon$  が  $K_t$  のべき乗で近似できることを示している。また、初期負荷の場合には、 $K_\epsilon = K_\sigma^k$  の関係が得られているので、このことと図に示された解析結果とを併せ考えると、本解析の場合には、 $K_\epsilon = K_\sigma^b$  の関係にノイバーの式  $K_\sigma K_\epsilon = K_t^2$  <sup>(3)</sup> を組合して得られる関係式、 $K_\sigma = K_t^{(2/k+1)}$ 、 $K_\epsilon = K_t^{(2k/k+1)}$  に類似した関係式、 $K_\sigma = K_t^{(2.54/k+1)}$ 、 $K_\epsilon = K_t^{(2.54k/k+1)}$  が得られる。しかし、本解析結果は、 $K_\sigma$ ,  $K_\epsilon$  両者ともノイバーの式よりも大き目の値を評価する結果となっている。

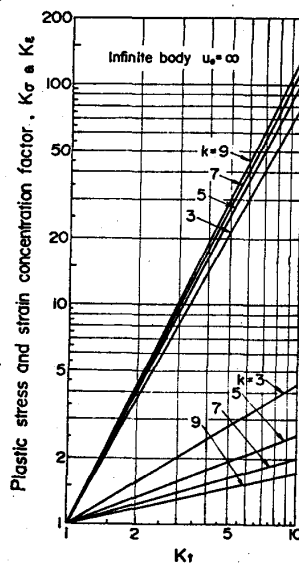


図2.  $K_\sigma$ ,  $K_\epsilon - K_t$  線図

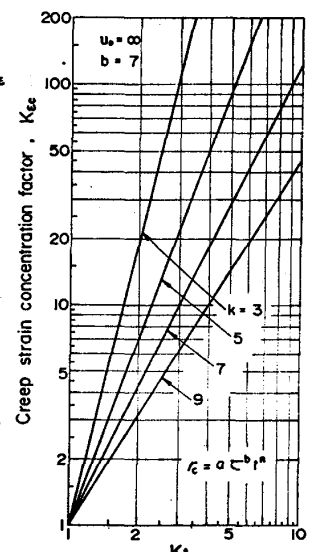


図3.  $K_{\epsilon c} - K_t$  線図

(ii)の構成方程式を用いた保持期間中の定

常クリープ解析においては，初期負荷の場合の解析結果中のひずみ速度をひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ に形式的に変換するだけでよく，初期負荷の場合と同じ型の関係式が成立する。すなわち，保持期間中のひずみ速度集中係数 $K_{\dot{\epsilon}c}$ と応力集中係数 $K_{\sigma}$ との間には関係式， $K_{\dot{\epsilon}c} = K_{\sigma}^b$ が成立し， $K_{\dot{\epsilon}c}$ と $K_t$ の間には $K_{\dot{\epsilon}c} = K_t^{(2.54b/b+1)}$ の近似式が成立する。

図3は保持期間中に対して(iii)式の遷移クリープ解析を行，たものである。図より，保持期間中のひずみ集中係数 $K_{\dot{\epsilon}c}$ は $b$ の値によ，て大きく変化するものの， $K_t$ のべき乗によ，て表されることがわかる。また， $b > 5$ の範囲においては $K_{\dot{\epsilon}c} > K_t$ となり，保持期間中の $K_{\dot{\epsilon}c}$ を $K_{\dot{\epsilon}c} = K_t$ として評価することは保持期間中のひずみ集中係数を小さめに評価する可能性のあることを示しているものと思われ。なお， $K_{\dot{\epsilon}c}$ と $K_{\sigma}$ の間には前二者と同様に $K_{\dot{\epsilon}c} = K_{\sigma}^b$ が成立する。

図4は初期負荷後，変位制御の保持時間を伴う場合の解析結果の一例である。構成方程式としては(iii)の時間硬化型の構成方程式を用いた。図より，変位保持期間中のひずみ集中係数 $K_{\Delta\epsilon Pr}$ は $K_t$ のべき乗で表されることがわかる。また，荷重保持を伴う場合と同様に， $K_{\Delta\epsilon Pr}$ は $K_t$ よりも大きくなる。図中には変位保持直後( $t=0$ )と，充分時間が経過した場合( $t=\infty$ )の両者についての解析結果が示してあるが，両者間の解析結果についての差はそれほど大きくなく， $K_{\Delta\epsilon Pr}$ は時間的には一定値をとると見なしてよいことがわかる。

3 解析結果と実験結果との比較

前節で行，た解析結果は，市販純アルミニウム試験片(板幅32mm，板厚10mm，60°V両側切欠き， $K_t = 2.1$ および3.2)を用いてのモアシ法による切欠き底のひずみ計測結果と比較された。実験は60°Cで行われ，負荷波形は荷重制御の引張・圧縮の両側保持(保持時間は15分)を伴うものである。グリッドは10mmあたり200メッシュの直交グリッドを用いた。

図5および図6に $K_t = 3.2$ の場合の解析結果と実験結果との比較を示す。図中の一点鎖線は前節で得られた結果をモードIに直接適用したものである。

また，破線は平面応力状態のクリープひずみ集中係数の評価式を平面ひずみ状態の場合に適用する時の大谷の提案， $K_{\dot{\epsilon}c} = (\sqrt{1-p+p^2})^b K_t^{(2b/b+1)}$  (4) ( $p = \sigma_{zmax}/\sigma_{ymax}$ ) に沿，て修正したものである。図5より，実験結果は平面応力と平面ひずみの解析結果との中間に位置するこ

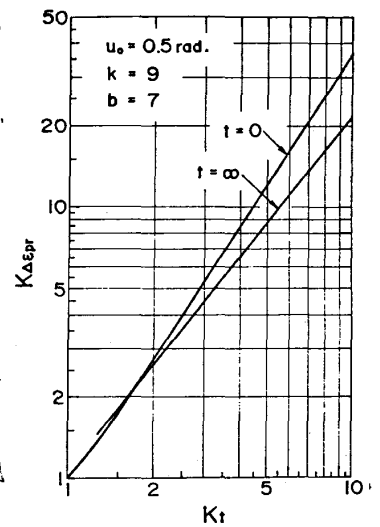


図4.  $K_{\Delta\epsilon Pr} - K_t$  線図

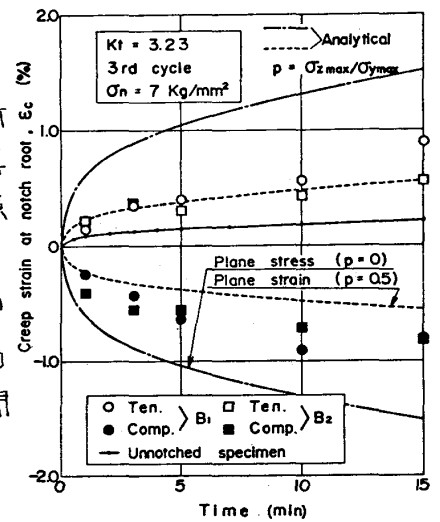


図5.  $\epsilon_c$ の解析と実験値との比較

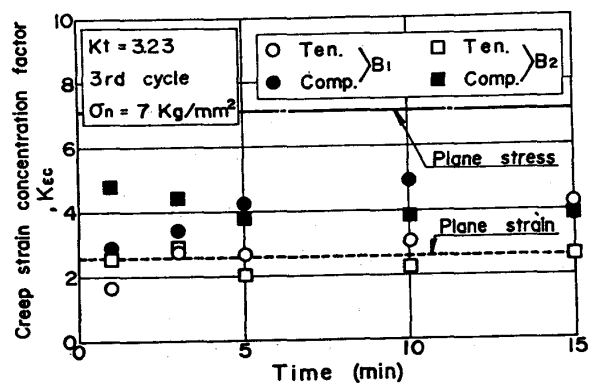


図6.  $K_{\dot{\epsilon}c}$ の解析と実験値との比較

とびわかる。同様の比較が1~10サイクル目においても行われたが、3サイクル目の結果とそれ程差異はなかった。また、 $K_t=2.1$ の試験片についての実験結果も $K_t=3.2$ の場合と同様であった。図6は保持期間中のひずみ集中係数 $K_{\epsilon c}$ の時間変化をみたものである。図より、実験値の $K_{\epsilon c}$ は時間依存性はそれほどなく、保持期間中はほぼ一定値をとることがわかる。図7は $K_{\epsilon c}$ と $K_t$ との関係を表わした図である。図中の実験点の横の数値は平均に供したデータの総数を示している。図はこう配の点では解析結果と実験結果とはより一致を示しているが、 $K_{\epsilon c}$ 値そのものについては解析結果は、実際のひずみ集中よりも大き目の値を評価する結果となっている。また、 $K_{\epsilon c}$ の値そのものはむしろ $K_t$ 値に近い。図7の結果を前記した平面ひずみ状態への換算式を用いて換算したのが図8である。図7とは逆に解析結果はひずみ集中の程度を小さ目に評価していることがわかる。したがって、実験結果は平面応力と平面応力の混在状態を反映しているものと考えられる。

4 結 言

- (1) 縦せん断負荷形式下での無限に深い双曲線切欠きを有する柱の切欠き底における応力およびひずみ集中の全ひずみ理論に基づく解析を初期負荷を対象として、構成方程式、 $\sigma = \sigma_0 (\tau/\tau_0)^k$ を用いて行った結果、 $K_{\epsilon} = K_{\sigma}^k = K_t^{mk}$ が成立することが明らかになった。さらに、荷重保持期間中のひずみ集中の解析を、定常クリープ式、 $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 (\tau/\tau_0)^p$ および遷移クリープ式、 $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 (\tau/\tau_0)^b t^a$ を用いて行った結果、それぞれ、 $K_{\dot{\epsilon}c} = K_{\sigma}^p = K_t^{mp}$ および $K_{\dot{\epsilon}c} = K_{\sigma}^b = K_t^{mb}$ が成立することが判明した。
- (2) 同モデルを使って切欠き底でのリラクゼーション解析を行い、ひずみ保持期間中のひずみ集中係数 $K_{\dot{\epsilon}c}$ は $K_t$ のべき乗で表されることが判明した。
- (3) 市販純アルミニウム60°V型両側切欠きを有する2種類の切欠き試験片( $K_t=2.1$ および3.2)について、60°Cで保持を伴う両振りの繰返し試験を行ない、モリス法により切欠き底のクリープひずみを計測した結果、(i)切欠き底での反転負荷の下におけるクリープ挙動は繰返しの初期においてその履歴の影響をあまり受けず、(ii)遷移クリープが支配的な時間領域ではクリープひずみ集中係数 $K_{\dot{\epsilon}c}$ は時間によらずほぼ一定値をとることが明らかになった。
- (4) クリープひずみ集中係数 $K_{\dot{\epsilon}c}$ の実験結果と解析結果との比較では、実験結果は解析結果の平面応力状態と平面ひずみ状態との中間に位置することが明らかになった。

参考文献 (1) Tuba, I. S., Inter. J. Mech. Sci., 8, 683 (1966). (2) 大野, 小倉, 久保, 材料, 23, 202 (1974). (3) Neuber, H., Trans. ASME, Ser. E, 28, 544 (1961). (4) 大谷, 材料, 25, 230 (1976).

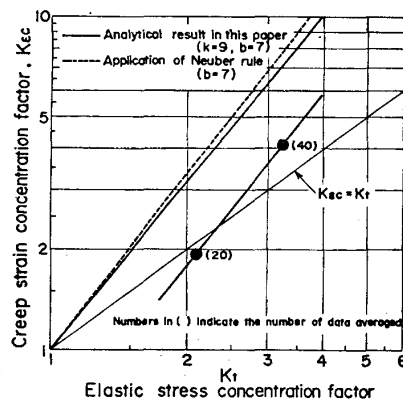


図7.  $K_{\epsilon c} - K_t$ 線図

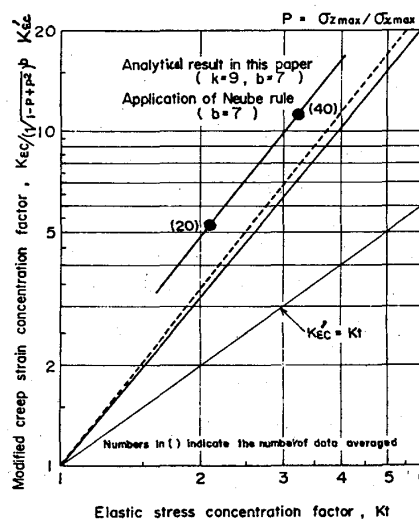


図8.  $K_{\dot{\epsilon}c} - K_t$ 線図