

鋭いV形切欠きを有する丸棒の特異応力場の強さ*

野田 尚 昭*¹, 王 清*²
高瀬 康*³, 陳 玳 珩*⁴

Intensity of Singular Stress Field at the Notch Tip of a V-Notched Bar

Nao-Aki NODA*⁵, Qing WANG,
Yasushi TAKASE and Dai-Heng CHEN⁵ Kyushu Institute of Technology, Dept. of Mechanical Engineering,
1-1 Sensui-cho, Tobata-ku Kitakyushu, Fukuoka, 804-8550 Japan

In this study, generalized stress intensity factors K_{I,λ_1} and K_{II,λ_2} are calculated for a V-shaped notched round bar under tension using the singular integral equation of the body force method. The body force method is used to formulate the problems as a system of singular integral equations with Cauchy-type or logarithmic-type singularities, where the unknown functions are the densities of body forces distributed in an infinite body. In order to analyze the problems accurately, the unknown functions are expressed as piecewise smooth functions using two types of fundamental densities and power series, where the fundamental densities are chosen to represent the symmetric stress singularity of $1/r^{1-\lambda_1}$ and the skew-symmetric stress singularity of $1/r^{1-\lambda_2}$. Then, generalized stress intensity factors at the notch tip are systematically calculated for various shapes of V-shaped notches.

Key Words: Elasticity, Body Force Method, Notch, Tension, Test Specimen, Generalized Stress Intensity Factor

1. 緒 言

複合材料の強度評価を行う際には、強化材と母材の異材角部での応力分布を知る必要がある。このような角部では応力特異性が生じるため、その把握が必要となる。き裂問題と異なり、異材接合角部の問題では、モードIとモードIIの変形モードに関係した異なる応力特異性の指数が混在している。すなわち、その角部近傍の特異応力場は、次式のように特異性の指数 λ_1 , λ_2 および角部に拡張された応力拡大係数 K_{I,λ_1} , K_{II,λ_2} によって記述される⁽¹⁾。

$$\sigma_{\theta} = \frac{K_{I,\lambda_1}}{r^{1-\lambda_1}} f_{\theta}^I(\theta) + \frac{K_{II,\lambda_2}}{r^{1-\lambda_2}} f_{\theta}^{II}(\theta) \quad \dots \dots (1)$$

このような異材接合角部の特異応力の強さの解析としてこれまで、半無限板のV形切欠き^{(2),(3)}、平行四辺形穴⁽⁴⁾、帯板の片側⁽⁴⁾および両側切欠き⁽⁵⁾、菱形穴⁽⁶⁾、菱形介在物^{(7),(8),(9)}、長方形介在物^{(10),(11)}等が取扱われている。しかし、3次元問題は円柱状介在物⁽¹²⁾やリング状介在物⁽¹³⁾の問題を除いてあまり解析がなされていない。

そこで、本研究では図1に示すような鋭いV形切欠きを有する丸棒の特異応力場の強さについて体積力法を用いて解析を行う。この問題は、角部の応力拡大係数の応用に関する試験片として重要である^{(14),(15)}。すなわち、異材境界接合角部の強度評価を、その特異応力場に基づいて行うためには、通常なき裂を取扱う破壊力学を適用する場合は異なり、以下の2点を別個に考慮する必要がある。

(1) 異材境界角部近傍の特異応力場が、特異性指数の異なる応力拡大係数の組み合わせ(式(1))、一般

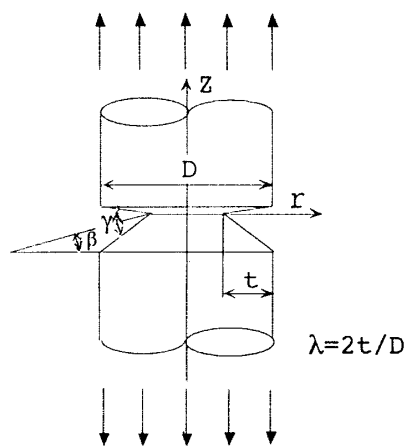


Fig.1 A cylindrical bar with a V-shaped circumferential notch

* 原稿受付 1998年8月13日。

¹ 正員,九州工業大学工学部 (〒804-8550 北九州市戸畑区袖水町1-1)。

² 由東工業大学(中国山東省済南市) [現:九州工業大学工学部]。

³ 准員,九州工業大学工学部。

⁴ 正員,東京理科大学工学部 (〒162-0825 東京都新宿区神楽坂1-3)。

E mail: noda@mech.kyutech.ac.jp

にはモードI～モードIIIの組合わせ) によって表現されること。

(2) 破壊は通常異材接合境界上(またはその極く近傍)に生じるため、材料単体の強度のみならず、特に異材界面の接合強度、ならびに、き裂発生状況の把握が問題となること。

鋭いV形切欠きを有する丸棒の問題では、異材接合界面が存在しないので、まず、相違点(1)に注目して、破壊条件を考察することが比較的容易である。

このような丸棒の鋭い切欠きの応力拡大係数を、切欠きの開き角 γ 、傾き角 β を系統的に変化させて精度良く求めるため、本論文では以下のような方法を用いる。体積力法の考え方によれば、問題は無限体中に想定した仮想境界上に分布すべき体積力密度を未知関数とする特異積分方程式で表される。そこで、境界条件を満足すべき仮想境界をいくつかの基本区間に分割し、分割した各区間において体積力密度を、基本密度関数と多項式で近似する。このような方法は、最近、強化繊維端部の特異応力の強さの解析^{(1),(2)}で良好な収束性を確認している。従って、本問題においても結果の外挿等を必要とせず、良好な結果が得られるものと期待できる。

2. 解析方法

図2に無限体中に想定した鋭いV形切欠きを有する丸棒となるべき仮想境界を示す。体積力法の考え方に基づいて、問題は図2に示す仮想境界の無限小外側に分布させる体積力密度を未知関数とする特異積分方程式(2)で表わされる。

$$\begin{aligned}
 & +\frac{1}{2}F_n(s) + \int_L h_{nn}^{F_n}(r,s)F_n(r)dr + \int_L h_{nn}^{F_t}(r,s)F_t(r)dr = -\sigma_n^\infty(s) \\
 & +\frac{1}{2}F_t(s) + \int_L h_{nt}^{F_n}(r,s)F_n(r)dr + \int_L h_{nt}^{F_t}(r,s)F_t(r)dr = -\tau_{nt}^\infty(s) \\
 & \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

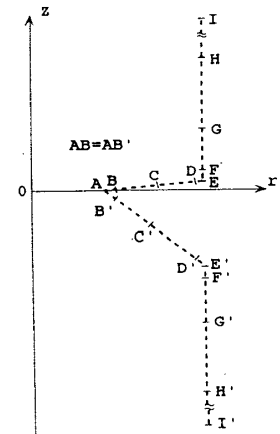


Fig.2 Boundary division

ここで、 \int_L は仮想境界上の積分を意味し、 $\sigma_n^\infty(s)$ および $\tau_{nt}^\infty(s)$ は、無限遠での一様引張応力によって、仮想境界上の任意の点sに生じる法線方向および接線方向の応力である。そして、 $h_{nn}^{F_n}(r,s)$ 等は、仮想境界上の点rに法線方向(n方向)または接線方向(t方向)の単位大きさの集中力の輪を作用させたときに仮想境界上の任意の点sに生じる応力である。

いま、鋭いV形切欠き先端部分の境界条件の満たし方を例にとり解析方法を説明する。無限体中の鋭いV形切欠き先端部分となるべき仮想境界上(図2のBAB')に分布させる体積力を、図3に示すような2種類の形式の体積力分布の線形結合によって問題を表現する。即ち、角部では、一般にモードIとモードIIの二つの変形が生じるので、角部での上下の仮想境界上に分布させるべき法線方向と接線方向の体積力に対し、角部の二等分線に対して対称形(モードI)と逆対称形(モードII)の2種類の分布形式を採用する。結局、図2のBAB'部分では、 F_n, F_t を基本密度関数と級数で以下のように近似する。

$$\begin{aligned}
 F_n(r_A) &= F_n^I(r_A) + F_n^{II}(r_A) = W_n^I(r_A)r_A^{\lambda_1-1} + W_n^{II}(r_A)r_A^{\lambda_2-1} \\
 F_t(r_A) &= F_t^I(r_A) + F_t^{II}(r_A) = W_t^I(r_A)r_A^{\lambda_1-1} + W_t^{II}(r_A)r_A^{\lambda_2-1} \\
 & \dots\dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

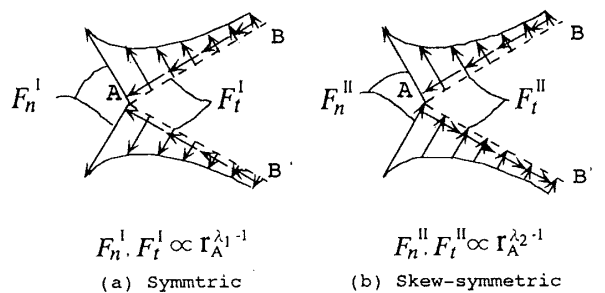
$$W_n^I(r_A) = \sum_{n=1}^M a_n r_A^{n-1}, W_n^{II}(r_A) = \sum_{n=1}^M b_n r_A^{n-1} \dots\dots\dots (4)$$

$$W_t^I(r_A) = \sum_{n=1}^M c_n r_A^{n-1}, W_t^{II}(r_A) = \sum_{n=1}^M d_n r_A^{n-1}$$

ここで、 r_A は角部Aから境界に沿う方向の局所座標であり、 $r_A^{\lambda_1-1}, r_A^{\lambda_2-1}$ は、切欠きにおける切欠き角部Aでの特異応力場を表現するための基本密度関数である。また、添字I, IIは、切欠きの二等分線に対して対称形および逆対称形の体積力を作用させることを意味する。 λ_1, λ_2 の値は、次の特性方程式の根として与えられる。

$$\begin{aligned}
 \text{モードI} & : \sin[\lambda_1(2\pi - \gamma)] = -\lambda_1 \sin \gamma \\
 \text{モードII} & : \sin[\lambda_2(2\pi - \gamma)] = \lambda_2 \sin \gamma \\
 & \dots\dots\dots (5)
 \end{aligned}$$

図2のBAB'以外の部分の体積力密度の表現も、式(3),(4)とほぼ同様であるが、対称形と逆対称形



$$\begin{aligned}
 F_n^I, F_t^I & \propto r_A^{\lambda_1-1} & F_n^{II}, F_t^{II} & \propto r_A^{\lambda_2-1} \\
 \text{(a) Symmetric} & & \text{(b) Skew-symmetric} &
 \end{aligned}$$

Fig.3 Two types of body forces distributed along the imaginary boundary with angular corner

の表現を用いない点が異なる。以上のような離散化手法を用いて特異積分方程式(2)を解くことにより、角部で定義される一般化応力拡大係数 K_{I,λ_1} , K_{II,λ_2} は、角部先端での重みの値 $W_n^I(0)$, $W_n^{II}(0)$, $W_t^I(0)$, $W_t^{II}(0)$ から求められる⁽²⁾。以下ではポアソン比 $\nu=0.3$ とした。

3. 解析結果

表1, 2に式(6)で定義される F_{I,λ_1} , F_{II,λ_2} の収束の例を示す。ここで、Mは各区間あたりの選点数である。

$$F_{I,\lambda_1} = K_{I,\lambda_1} / \sigma^\infty \sqrt{\pi t}^{1-\lambda_1}, F_{II,\lambda_2} = K_{II,\lambda_2} / \sigma^\infty \sqrt{\pi t}^{1-\lambda_2} \dots (6)$$

表1, 2に示す以外の形状でも検討した結果、本解析

Table 1 Convergence of F_{I,λ_1} and F_{II,λ_2} at the corner A ($\gamma=30^\circ, \beta=15^\circ, \lambda=2t/D=0.5$)

M	$F_{I,\lambda_1} (\lambda_1=0.5014530)$			$F_{II,\lambda_2} (\lambda_2=0.5981918)$		
	from $W_n^I(0)$	from $W_t^I(0)$	Average	from $W_n^{II}(0)$	from $W_t^{II}(0)$	Average
	6	1.9243	1.9253	1.9248	0.5351	0.5353
7	1.9278	1.9286	1.9282	0.5299	0.5300	0.5299
8	1.9289	1.9296	1.9292	0.5279	0.5280	0.5280
9	1.9292	1.9297	1.9295	0.5271	0.5271	0.5271
10	1.9288	1.9293	1.9291	0.5268	0.5268	0.5268

Table 2 Convergence of F_{I,λ_1} and F_{II,λ_2} at the corner A ($\gamma=60^\circ, \beta=15^\circ, \lambda=2t/D=0.5$)

M	$F_{I,\lambda_1} (\lambda_1=0.5122214)$			$F_{II,\lambda_2} (\lambda_2=0.7309007)$		
	from $W_n^I(0)$	from $W_t^I(0)$	Average	from $W_n^{II}(0)$	from $W_t^{II}(0)$	Average
	6	2.0857	2.0865	2.0861	0.7519	0.7529
7	2.0873	2.0878	2.0875	0.7485	0.7493	0.7489
8	2.0877	2.0881	2.0879	0.7471	0.7477	0.7474
9	2.0879	2.0881	2.0880	0.7463	0.7468	0.7465
10	2.0872	2.0874	2.0873	0.7472	0.7476	0.7474

Table 3 F_{I,λ_1} , F_{II,λ_2} of V-notch in a semi-infinite plate ($\lambda=2t/D \rightarrow 0$ in Fig.1)

γ	β	F_{I,λ_1}				F_{II,λ_2}			
		0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°
15°		1.129	1.093	0.992	0.837	0.000	0.193	0.356	0.462
30°		1.148	1.107	1.000	0.834	0.000	0.218	0.397	0.505
45°		1.181	1.139	1.020	0.835	0.000	0.258	0.464	0.573
60°		1.225	1.176	1.040	0.824	0.000	0.326	0.577	0.684
90°		1.336	1.266	1.065		0.000	0.946	1.576	

Table 4 Results of V-notch in a round bar

$\gamma=15^\circ, \lambda_1=0.5001793, \lambda_2=0.5452545$

$\lambda = \beta$ $2t/D$	$(1-\lambda)^2 F_{I,\lambda_1} / F_{I,\lambda_1} _{\lambda \rightarrow 0}$				$(1-\lambda)^2 F_{II,\lambda_2} / F_{II,\lambda_2} _{\lambda \rightarrow 0}$			
	0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°
$\rightarrow 0$	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000
0.01	0.987	0.990	0.995	1.002	0.000	0.970	0.966	0.967
0.02	0.973	0.975	0.982	0.989	0.000	0.955	0.950	0.952
0.05	0.930	0.933	0.939	0.948	0.000	0.907	0.905	0.904
0.1	0.857	0.858	0.862	0.867	0.000	0.844	0.840	0.840
0.2	0.725	0.726	0.727	0.727	0.000	0.720	0.719	0.723
0.3	0.613	0.613	0.612	0.605	0.000	0.622	0.624	0.633
0.4	0.518	0.518	0.514	0.504	0.000	0.543	0.543	0.555
0.5	0.436	0.435	0.429	0.419	0.000	0.468	0.471	0.483
0.6	0.362	0.360	0.354	0.346	0.000	0.398	0.400	0.413
0.7	0.293	0.291	0.286	0.279	0.000	0.328	0.331	0.343
0.8	0.225	0.223	0.219	0.214	0.000	0.256	0.260	0.271
0.9	0.150	0.149	0.146	0.143	0.000	0.176	0.180	0.189

法ではM=8程度でt方向とn方向の重みより得られた K_{I,λ_1} , K_{II,λ_2} の値が有効数字3~4桁程度まで一致し収束

Table 5 Results of V-notch in a round bar

$\gamma=30^\circ, \lambda_1=0.5014530, \lambda_2=0.5981918$

$\lambda = \beta$ $2t/D$	$(1-\lambda)^2 F_{I,\lambda_1} / F_{I,\lambda_1} _{\lambda \rightarrow 0}$				$(1-\lambda)^2 F_{II,\lambda_2} / F_{II,\lambda_2} _{\lambda \rightarrow 0}$			
	0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°
$\rightarrow 0$	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000
0.01	0.984	0.987	0.992	1.000	0.000	0.985	0.980	0.972
0.02	0.972	0.976	0.980	0.988	0.000	0.969	0.965	0.958
0.05	0.930	0.934	0.938	0.947	0.000	0.919	0.918	0.911
0.1	0.856	0.860	0.861	0.868	0.000	0.847	0.845	0.842
0.2	0.725	0.728	0.729	0.733	0.000	0.719	0.719	0.719
0.3	0.614	0.617	0.615	0.617	0.000	0.614	0.617	0.621
0.4	0.519	0.519	0.518	0.520	0.000	0.528	0.531	0.540
0.5	0.437	0.436	0.435	0.436	0.000	0.451	0.454	0.467
0.6	0.363	0.362	0.361	0.363	0.000	0.378	0.384	0.402
0.7	0.293	0.293	0.293	0.294	0.000	0.310	0.317	0.339
0.8	0.225	0.225	0.225	0.226	0.000	0.242	0.252	0.274
0.9	0.151	0.151	0.151	0.151	0.000	0.170	0.181	0.199

Table 6 Results of V-notch in a round bar

$\gamma=45^\circ, \lambda_1=0.5050097, \lambda_2=0.6597016$

$\lambda = \beta$ $2t/D$	$(1-\lambda)^2 F_{I,\lambda_1} / F_{I,\lambda_1} _{\lambda \rightarrow 0}$				$(1-\lambda)^2 F_{II,\lambda_2} / F_{II,\lambda_2} _{\lambda \rightarrow 0}$			
	0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°
$\rightarrow 0$	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000
0.01	0.982	0.984	0.985	1.001	0.000	0.984	0.978	0.980
0.02	0.971	0.972	0.975	0.998	0.000	0.968	0.965	0.972
0.05	0.929	0.930	0.933	0.939	0.000	0.920	0.918	0.914
0.1	0.855	0.856	0.858	0.863	0.000	0.848	0.845	0.841
0.2	0.725	0.725	0.727	0.735	0.000	0.717	0.714	0.715
0.3	0.614	0.614	0.616	0.627	0.000	0.610	0.608	0.613
0.4	0.519	0.520	0.522	0.535	0.000	0.516	0.518	0.530
0.5	0.437	0.437	0.440	0.455	0.000	0.434	0.438	0.461
0.6	0.363	0.364	0.368	0.382	0.000	0.360	0.368	0.400
0.7	0.294	0.295	0.299	0.312	0.000	0.292	0.306	0.343
0.8	0.225	0.227	0.231	0.241	0.000	0.230	0.248	0.285
0.9	0.151	0.152	0.155	0.162	0.000	0.168	0.185	0.216

Table 7 Results of V-notch in a round bar

$\gamma=60^\circ, \lambda_1=0.5122214, \lambda_2=0.7309007$

$\lambda = \beta$ $2t/D$	$(1-\lambda)^2 F_{I,\lambda_1} / F_{I,\lambda_1} _{\lambda \rightarrow 0}$				$(1-\lambda)^2 F_{II,\lambda_2} / F_{II,\lambda_2} _{\lambda \rightarrow 0}$			
	0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°
$\rightarrow 0$	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000
0.01	0.983	0.983	0.984	0.990	0.000	0.992	0.983	0.982
0.02	0.970	0.972	0.971	0.978	0.000	0.972	0.967	0.966
0.05	0.928	0.929	0.931	0.936	0.000	0.930	0.917	0.916
0.1	0.854	0.855	0.857	0.864	0.000	0.847	0.842	0.842
0.2	0.724	0.729	0.731	0.745	0.000	0.707	0.703	0.715
0.3	0.613	0.608	0.613	0.646	0.000	0.600	0.597	0.615
0.4	0.519	0.516	0.523	0.562	0.000	0.502	0.505	0.536
0.5	0.437	0.436	0.446	0.485	0.000	0.417	0.426	0.470
0.6	0.363	0.364	0.375	0.411	0.000	0.342	0.359	0.414
0.7	0.294	0.296	0.308	0.337	0.000	0.278	0.303	0.361
0.8	0.226	0.229	0.240	0.262	0.000	0.224	0.252	0.309
0.9	0.152	0.155	0.162	0.178	0.000	0.172	0.198	0.247

Table 8 Results of V-notch in a round bar

$\gamma=90^\circ, \lambda_1=0.5444837, \lambda_2=0.9085292$

$\lambda = \beta$ $2t/D$	$(1-\lambda)^2 F_{I,\lambda_1} / F_{I,\lambda_1} _{\lambda \rightarrow 0}$			$(1-\lambda)^2 F_{II,\lambda_2} / F_{II,\lambda_2} _{\lambda \rightarrow 0}$		
	0°	15°	30°	0°	15°	30°
$\rightarrow 0$	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000
0.01	0.985	0.985	0.983	0.000	0.984	0.982
0.02	0.971	0.972	0.971	0.000	0.970	0.967
0.05	0.927	0.928	0.928	0.000	0.921	0.919
0.1	0.852	0.854	0.856	0.000	0.843	0.840
0.2	0.722	0.724	0.736	0.000	0.701	0.703
0.3	0.612	0.616	0.640	0.000	0.578	0.591
0.4	0.518	0.525	0.558	0.000	0.472	0.503
0.5	0.434	0.446	0.485	0.000	0.385	0.434
0.6	0.365	0.375	0.414	0.000	0.320	0.382
0.7	0.298	0.309	0.345	0.000	0.276	0.341
0.8	0.233	0.242	0.273	0.000	0.248	0.310
0.9	0.161	0.168	0.189	0.000	0.229	0.282

しており、良好な収束性を示すことが確認された。このようにして得られた鋭いV形切欠きの応力拡大係数を、切欠き形状を系統的に変化させて正確に計算した。以下では得られた結果を、表3に示す同一形状のV形切欠きを有する半無限板の解⁽²⁾、⁽³⁾で無次元化して表4～8に示す。表4～8では、切欠きの相対深さ $\lambda = 2t/D$ と切欠きの傾き角 β の種々の値に対して、 $(1-\lambda)^2 F_{I,\lambda 1} / F_{I,\lambda 1}|_{\lambda \rightarrow 0}$ 等の数値をまとめている。表4～8より、開き角 γ が変化しても、切欠き深さ $2t/D$ と傾き角 β が同一であれば、応力拡大係数の相対値 $(1-\lambda)^2 F_{I,\lambda 1} / F_{I,\lambda 1}|_{\lambda \rightarrow 0}$ 、 $(1-\lambda)^2 F_{II,\lambda 2} / F_{II,\lambda 2}|_{\lambda \rightarrow 0}$ の変化は小さいことがわかる。このことより、切欠きが深い場合を除き、表3の半無限板の解から、V形切欠きを有する丸棒の応力拡大係数の値を、種々の寸法に対して、比較的精度よく推定可能である⁽¹⁶⁾。

比較のため、表9、10に、両側V形切欠きを有する帯板($\gamma = 30^\circ$, $\gamma = 60^\circ$)の応力拡大係数の値⁽⁵⁾を同様にして半無限板の解で無次元化したものを示す。帯板(2次元)の場合には丸棒(3次元)の結果に比べて応力拡大係数の相対値 $(1-\lambda)F_{I,\lambda 1} / F_{I,\lambda 1}|_{\lambda \rightarrow 0}$ 等は開き角によらずさらに良く一致する。

4. 結 言

本研究では、体積力法の特異積分方程式を利用してV形切欠きを有する丸棒の応力場を開き角 γ 、傾き角 β 、切欠き深さ λ を変化させ解析した。得られた結果を表3～8にまとめたほか、以下のような結論が得られた。

(1) 体積力法の特異積分方程式の数値解析として、境界をいくつかの基本区間に分割し、それぞれの基本区間で体積力密度(未知関数)を基本密度関数と級数の積で近似する離散化手法を検討した。その結果、解析した範囲で各基本区間の選点数 $M=6 \sim 10$ 程度で、有効数字3～4桁程度収束した結果が得られ、解法の有効性が確認された(表1、2)。

(2) 鋭いV形切欠きを有する丸棒の結果を同一形状の切欠きを有する半無限板の結果で無次元化した $(1-\lambda)^2 F_{I,\lambda 1} / F_{I,\lambda 1}|_{\lambda \rightarrow 0}$ 等は切欠きの開き角が変化しても切欠き深さ λ と傾き角 β が同一であれば変化は小さい。

(3) 鋭いV形切欠きを有する帯板の結果を同一形状の切欠きを有する半無限板の結果で無次元化した $(1-\lambda)F_{I,\lambda 1} / F_{I,\lambda 1}|_{\lambda \rightarrow 0}$ 等は切欠きの開き角が変化しても切欠き深さ λ と傾き角 β が同一であれば変化は、極めて小さい。

数値計算と研究のまとめを手伝って頂いた卒論学生の取達琢氏に深謝する。また、研究の一部を助成頂いた大創(株)および日本学術振興会に深くお礼申し上げる。

Table 9 Results of Double V-notches in a flat bar

$\gamma=30^\circ, \lambda_1=0.5014530, \lambda_2=0.5981918$									
$\lambda = \frac{2t}{D}$	β	$(1-\lambda)F_{I,\lambda 1} / F_{I,\lambda 1} _{\lambda \rightarrow 0}$				$(1-\lambda)F_{II,\lambda 2} / F_{II,\lambda 2} _{\lambda \rightarrow 0}$			
		0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°
$\rightarrow 0$		1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000
0.04		0.958	0.957	0.958	0.959	0.000	0.956	0.958	0.958
0.1		0.897	0.897	0.897	0.897	0.000	0.896	0.898	0.897
0.2		0.793	0.793	0.794	0.793	0.000	0.793	0.796	0.794
0.3		0.696	0.696	0.696	0.697	0.000	0.700	0.698	0.698
0.4		0.606	0.606	0.607	0.610	0.000	0.607	0.608	0.607
0.5		0.522	0.522	0.523	0.530	0.000	0.520	0.520	0.521
0.6		0.442	0.442	0.444	0.455	0.000	0.436	0.435	0.439
0.7		0.363	0.364	0.367	0.381	0.000	0.350	0.350	0.360
0.8		0.283	0.284	0.289	0.304	0.000	0.263	0.266	0.283

Table 10 Results of Double V-notches in a flat bar

$\gamma=60^\circ, \lambda_1=0.5122214, \lambda_2=0.7309007$									
$\lambda = \frac{2t}{D}$	β	$(1-\lambda)F_{I,\lambda 1} / F_{I,\lambda 1} _{\lambda \rightarrow 0}$				$(1-\lambda)F_{II,\lambda 2} / F_{II,\lambda 2} _{\lambda \rightarrow 0}$			
		0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°
$\rightarrow 0$		1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000
0.04		0.958	0.958	0.958	0.959	0.000	0.957	0.960	0.959
0.1		0.897	0.897	0.896	0.897	0.000	0.897	0.897	0.896
0.2		0.793	0.794	0.794	0.795	0.000	0.795	0.795	0.794
0.3		0.696	0.697	0.697	0.706	0.000	0.698	0.696	0.700
0.4		0.607	0.607	0.610	0.629	0.000	0.604	0.603	0.614
0.5		0.522	0.523	0.528	0.558	0.000	0.512	0.513	0.536
0.6		0.441	0.443	0.452	0.488	0.000	0.420	0.426	0.463
0.7		0.362	0.365	0.377	0.415	0.000	0.330	0.344	0.392
0.8		0.282	0.286	0.300	0.335	0.000	0.243	0.267	0.321

文 献

- (1) 陳耿珩・西谷弘信, 接合異材の角部近棒での応力場, 機論, 57-534, A(1991), 366-372.
- (2) 陳耿珩・西谷弘信, 半無限板のV形切欠き先端における特異応力場, 機論, 57-538, A(1991), 1406-1411.
- (3) 野田尚昭・小田和広・樋口健・田中篤, 体積力法の特異積分方程式の数値解析による界面き裂および角部の応力拡大係数の解析, 機論, 60-578, A(1994), 2213-2219.
- (4) 陳耿珩・西谷弘信, 引張りまたは面内曲げを受ける片側V形切欠り帯板の応力拡大係数 $K_{I,\lambda 1}$ と $K_{II,\lambda 2}$, 機論, 59-560, A(1993), 1069-1074.
- (5) Chen, D.H., Stress intensity factors for V-notched strip under tension and in-plane bending, Int. J. Fract., 70, (1995), 81-97.
- (6) 野田尚昭・小田和広・井上隆行, 角部の応力拡大係数の干渉効果の解析, 機論, 61-589, A(1995), 2052-2059.
- (7) 西谷弘信・陳耿珩・柴戸明, 面外せん断による菱形介在物角部の特異応力場, 機論, 59-561, A(1993), 1191-1195.
- (8) 野田尚昭・川島裕二・小田和広, 特異積分方程式による菱形介在物の干渉効果の解析, 機論, 62-598, A(1996), 1456-1463.
- (9) 野田尚昭・川島裕二・森山伸也・小田和広, 任意角の1列菱形介在物の干渉効果の解析, 機論, 62-600, A(1996), 1870-1876.
- (10) 陳耿珩・西谷弘信, 短繊維端における特異応力場の強さ解析, 機論, 58-554, A(1992), 1834-1838.
- (11) 野田尚昭・王清・上村仁峯・川島裕二, 特異積分方程式による長方形介在物の干渉効果の解析, 機論, 63-612, A(1997), 1663-1668.
- (12) 野田尚昭・王清・諸富貴光, 円柱状介在物端部の特異応力場の強さ解析, 機論, 63-612, A(1997), 1701-1706.
- (13) 西谷弘信・陳耿珩・柴戸明, ring状介在物を有する無限体がねじり荷重を受けるときの特異応力場, 機論, 59-568, A(1993), 2872-2876.
- (14) 陳耿珩・野田尚昭・高瀬康・諸富貴光, 角部の応力拡大係数を用いた強度評価法, 機論, 62-598, A(1996), 1445-1449.
- (15) 野田尚昭・陳耿珩・高瀬康・諸富貴光, 混合モード破壊における角部の応力拡大係数を用いた強度評価法, 機論, 64-620, A(1998), 958-963.
- (16) 野田尚昭・西谷弘信・高瀬康・篠崎正孝, 切欠き形状の全範囲に対して正確な応力集中係数を与える計算式(鋭い 60° V形および鈍い円弧形切欠きを有する丸棒引張試験片), 機論, 63-613, A(1997), 1926-1931.