

切欠きを有する丸棒および帯板試験片の  
応力集中係数の近似式\*野田尚昭\*<sup>1</sup>, 世良政春\*<sup>2</sup>, 高瀬 康\*<sup>3</sup>Approximate Formula of Stress Concentration Factor  
for Round and Flat Test Specimens with Notches

Nao-Aki NODA, Masaharu SERA and Yasushi TAKASE

The stress concentration problem of round and flat bars with V-shaped notches is important especially for the test specimen used to investigate the fatigue strength of materials. Accurate stress concentration factors have been given in a recent analysis of the body force method. However, the results of the solutions have been presented in tabular form which is not suitable for engineering applications. In this paper, convenient formulas which give the stress concentration factors of better than 1% accuracy are proposed using the Neuber formula and the solution of the V-shaped notch in the semi-infinite plate.

**Key Words:** Stress Concentration, Numerical Analysis, Notch, Test Specimen, Tension, Bending

## 1. 緒 言

図1に示すような切欠きを有する丸棒および帯板はしばしば試験片として用いられ, その応力集中問題は材料強度に関する研究において重要である。従来ノイバーの三角則<sup>(1)</sup>による近似値が主に用いられてきたが, 体積力法による切欠き寸法を広範囲に変えた系統的な解析が行われた結果<sup>(2)~(10)</sup>ノイバーの三角則は無視できない程度の誤差があることが指摘されている。しかし, 実際に設計や研究に利用する際には, 応力集中係数を線図や表から読取る際に誤差を生じるため, これを簡便に利用できる近似式の形にしておくことが望まれる。

そこで, 本研究では図1に示す問題の応力集中係数について, 体積力法によって得られた高精度の解析結果をもとに考察を行い, 特に, 計算がなされていない鋭い切欠きの場合も含めて, 広範囲の寸法に対して精度の高い計算式を与えることを目的とする。

\* 平成5年7月29日 久留米地方講演会において講演, 原稿受付 平成5年8月23日。

\*<sup>1</sup> 正員, 九州工業大学工学部 (〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1)。

\*<sup>2</sup> 准員, 富士重工業(株) (〒373-05 群馬県邑楽郡大泉町朝日2-17-1)。

\*<sup>3</sup> 准員, 九州工業大学工学部。

## 2. 記 号

本研究では以下に示す記号を用いる。

$$\xi = \sqrt{t/\rho}, \eta = \sqrt{\rho/t}, \lambda = 2t/D, \varepsilon = 2\rho/D \dots\dots (1)$$

$\rho, t, D, d$  は図1に示される各寸法である。また, 応力集中係数  $K_t$  は最小断面の公称応力に基づくものである。丸棒の問題では, ポアソン比  $\nu=0.3$  として近似式を作製した。

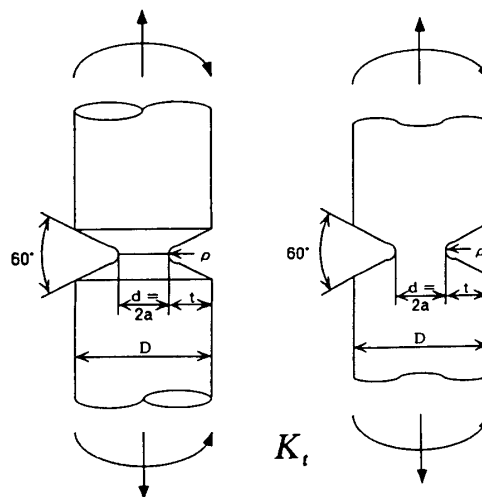


図1 円周切欠きを有する丸棒および切欠きを有する帯板

### 3. 半無限板の解を利用した 応力集中係数の近似式

丸棒および帯板の切欠きが鋭い場合 ( $\varepsilon < 0.02 \sim 0.03$ ) は、解析困難のため数値結果が得られていない。しかし、切欠きが浅い範囲では図2に示すような  $60^\circ V$  形切欠きを有する半無限板の解から応力集中係数を推定することが可能である<sup>(4)</sup>。はじめに、体積力法による  $60^\circ V$  形切欠きを有する半無限板 (図2) の解析結果<sup>(4)</sup> に最小二乗法を適用して作製した近似式を以下に示す (推定誤差 0.2% 以内)。ここで、 $K_{tH} = 1 + 2\sqrt{t/\rho}$  である。

(1)  $0 \leq \xi < 1$

$$K_{tV} = (1.000 - 0.120\xi + 0.2683\xi^2 - 0.1273\xi^3)K_{tH} \dots\dots\dots (2 \cdot a)$$

(2)  $0 < \eta \leq 1 (1 \leq \xi < \infty)$

$$K_{tV} = (1.035 + 0.261\eta - 0.1451\eta^2 - 0.0842\eta^3)K_{tE}$$

ここで

$$K_{tE} = (1.121 - 0.2846\eta + 0.3397\eta^2 - 0.1544\eta^3)K_{tH} \dots\dots\dots (2 \cdot b)$$

同じ形状比  $t/\rho$  を有する半無限板の  $60^\circ V$  形切欠きの応力集中係数が式 (1), (2) により求めれば、丸棒および帯板の応力集中係数は  $\lambda$  が小さい範囲ではほとんど  $\varepsilon$  によらずほぼ  $\lambda$  のみによって決まり<sup>(4)</sup>、それらは式 (3)~(6) で与えられる。

①  $60^\circ V$  形切欠きを有する丸棒の引張り

$$K_t = (1.0 - 1.5183\lambda + 0.2530\lambda^2 + 2.2356\lambda^3 - 2.411\lambda^4)K_{tV} \dots\dots\dots (3)$$

(適用範囲  $\lambda \leq 0.5, \varepsilon \leq 0.03$ )

②  $60^\circ V$  形切欠きを有する丸棒の曲げ

$$K_t = (1.0 - 3.0559\lambda + 1.5324\lambda^2 + 68.176\lambda^3 - 249.074\lambda^4)K_{tV} \dots\dots\dots (4)$$

(適用範囲  $\lambda \leq 0.2, \varepsilon \leq 0.03$ )

③  $60^\circ V$  形切欠きを有する帯板の引張り

$$K_t = (1.0 - 1.0340\lambda - 0.1447\lambda^2 + 0.9246\lambda^3 - 0.6667\lambda^4)K_{tV} \dots\dots\dots (5)$$

(適用範囲  $\lambda \leq 0.8, \varepsilon \leq 0.02$ )

④  $60^\circ V$  形切欠きを有する帯板の面内曲げ

$$K_t = (1.0 - 2.7808\lambda + 9.7250\lambda^2 - 34.167\lambda^3)K_{tV} \dots\dots\dots (6)$$

(適用範囲  $\lambda \leq 0.1, \varepsilon \leq 0.02$ )

### 4. ノイバーの三角則を利用した 応力集中係数の近似式

従来用いられているノイバーの三角則は、いわゆる浅い切欠きの応力集中係数  $K_{ts}$  としてだ円孔を有する

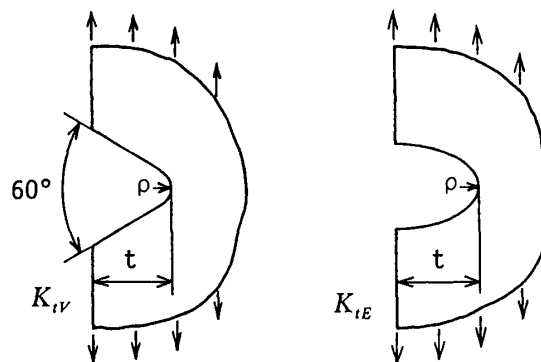


図2  $60^\circ V$  形および半だ円切欠きを有する半無限板

無限板の解を用い、深い切欠きの応力集中係数  $K_{td}$  として深い双曲線切欠きを有する無限体の解を用い、下に示す関係式から応力集中係数  $K_{tN}$  を求めるものである。

$$K_{tN} = \frac{(K_{ts} - 1)(K_{td} - 1)}{\sqrt{(K_{ts} - 1)^2 + (K_{td} - 1)^2}} + 1 \dots\dots\dots (7)$$

本研究では  $K_{ts}$  として、 $60^\circ V$  形切欠きを有する半無限板の解 [式 (2)] を用いることによりノイバー三角則の精度を向上させる。また、 $K_{td}$  は次式で与えられる。

(1) 丸棒の引張問題

$$K_{td} = \frac{1}{N} \left\{ \frac{a}{\rho} \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + (0.5 + \nu) \frac{a}{\rho} + (1 + \nu) \left( \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + 1 \right) \right\}$$

$$N = a/\rho + 2\nu\sqrt{a/\rho + 1} + 2 \dots\dots\dots (8)$$

(2) 丸棒の曲げ問題

$$K_{td} = \frac{1}{N} \frac{3}{4} \left\{ \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + 1 \right\} \left\{ 3 \frac{a}{\rho} - (1 - 2\nu) \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + 4 + \nu \right\}$$

$$N = 3(a/\rho + 1) + (1 + 4\nu)\sqrt{a/\rho + 1} + (1 + \nu)/(1 + \sqrt{a/\rho + 1}) \dots\dots\dots (9)$$

(3) 帯板の引張問題

$$K_{td} = \frac{2(a/\rho + 1)\sqrt{a/\rho}}{(a/\rho + 1)\tan^{-1}\sqrt{a/\rho} + \sqrt{a/\rho}} \dots\dots\dots (10)$$

(4) 帯板の面内曲げ問題

$$K_{td} = \frac{4a/\rho \times \sqrt{a/\rho}}{3\{\sqrt{a/\rho} + (a/\rho - 1)\tan^{-1}\sqrt{a/\rho}\}} \dots\dots\dots (11)$$

本論文では、ノイバーの三角則の値と体積力法の解析結果との比に対して、近似式をあてはめることにより、精度の高い計算式を求めた。それらは以下のようになる。

①  $60^\circ V$  形切欠きを有する丸棒の引張り

$$K_t/K_{tN} = (0.9670 + 0.6823\varepsilon - 4.5949\varepsilon^2) + (1.3638 - 24.7892\varepsilon + 158.378\varepsilon^2)\lambda + (-6.8877 + 211.763\varepsilon - 1356.21\varepsilon^2)\lambda^2 + (21.2643 - 810.957\varepsilon + 5172.28\varepsilon^2)\lambda^3 + (-38.1300 + 1538.05\varepsilon - 9776.43\varepsilon^2)\lambda^4 + (34.8030 - 1406.84\varepsilon + 8890.48\varepsilon^2)\lambda^5 + (-12.3798 + 492.074\varepsilon - 3083.73\varepsilon^2)\lambda^6, \text{ (適用範囲 } 0.03 \leq \varepsilon \leq 0.1, 0.02 \leq \lambda \leq 1.0) \dots\dots\dots (12\cdot a)$$

$$K_t/K_{tN} = (0.9907 - 0.0320\varepsilon - 0.0268\varepsilon^2) + (0.3967 + 1.3381\varepsilon - 0.8651\varepsilon^2)\lambda + (1.3055 - 12.2708\varepsilon + 6.6980\varepsilon^2)\lambda^2 + (-9.2572 + 40.3615\varepsilon - 22.8963\varepsilon^2)\lambda^3 + (19.1186 - 73.1167\varepsilon + 46.5492\varepsilon^2)\lambda^4 + (-17.9846 + 69.0592\varepsilon - 48.0002\varepsilon^2)\lambda^5 + (6.4306 - 25.3391\varepsilon + 18.4873\varepsilon^2)\lambda^6, \text{ (適用範囲 } 0.1 < \varepsilon \leq 1.0, 0.02 \leq \lambda \leq 1.0) \dots\dots\dots (12\cdot b)$$

② 60°V 形切欠きを有する丸棒の曲げ

$$K_t/K_{tN} = (0.9859 - 0.2658\varepsilon + 1.5531\varepsilon^2) + (1.1593 - 5.2297\varepsilon + 25.9976\varepsilon^2)\lambda + (-4.5477 + 35.1032\varepsilon - 222.384\varepsilon^2)\lambda^2 + (8.8976 - 126.382\varepsilon + 836.366\varepsilon^2)\lambda^3 + (-10.5167 + 245.239\varepsilon - 1603.87\varepsilon^2)\lambda^4 + (7.5008 - 239.283\varepsilon + 1531.55\varepsilon^2)\lambda^5 + (-2.4786 + 90.8033\varepsilon - 569.122\varepsilon^2)\lambda^6, \text{ (適用範囲 } 0.03 \leq \varepsilon \leq 0.1, 0.02 \leq \lambda \leq 1.0) \dots\dots\dots (13\cdot a)$$

$$K_t/K_{tN} = (0.9738 + 0.0003\varepsilon + 0.0148\varepsilon^2) + (0.8799 + 0.2328\varepsilon - 0.4536\varepsilon^2)\lambda + (-2.4147 - 9.7679\varepsilon + 7.2604\varepsilon^2)\lambda^2 + (0.8960 + 42.2626\varepsilon - 28.0362\varepsilon^2)\lambda^3 + (4.6763 - 76.4670\varepsilon + 48.9434\varepsilon^2)\lambda^4 + (-6.6692 + 64.4563\varepsilon - 40.9527\varepsilon^2)\lambda^5 + (2.6578 - 20.7164\varepsilon + 13.2229\varepsilon^2)\lambda^6, \text{ (適用範囲 } 0.1 < \varepsilon \leq 1.0, 0.02 \leq \lambda \leq 1.0) \dots\dots\dots (13\cdot b)$$

③ 両端に 60°V 形切欠きを有する帯板の引張り

$$K_t/K_{tN} = (0.9860 - 0.2543\varepsilon + 1.3536\varepsilon^2) + (0.8141 - 1.8146\varepsilon + 7.7454\varepsilon^2)\lambda + (-1.9019 - 2.7027\varepsilon + 10.6611\varepsilon^2)\lambda^2 + (0.8497 + 37.6317\varepsilon - 206.130\varepsilon^2)\lambda^3 + (1.4758 - 70.8874\varepsilon + 404.947\varepsilon^2)\lambda^4 + (-1.2097 + 38.0317\varepsilon - 220.164\varepsilon^2)\lambda^5 + (-0.0139 - 0.0054\varepsilon + 1.5961\varepsilon^2)\lambda^6, \text{ (適用範囲 } 0.02 \leq \varepsilon \leq 0.1, 0.02 \leq \lambda \leq 1.0) \dots\dots\dots (14\cdot a)$$

$$K_t/K_{tN} = (0.9735 + 0.0036\varepsilon + 0.0070\varepsilon^2) + (0.7227 - 0.2412\varepsilon + 0.0230\varepsilon^2)\lambda + (-1.8034 - 2.2175\varepsilon + 1.3980\varepsilon^2)\lambda^2 + (1.7308 + 7.0844\varepsilon - 3.3948\varepsilon^2)\lambda^3 + (-0.7339 - 6.8807\varepsilon$$

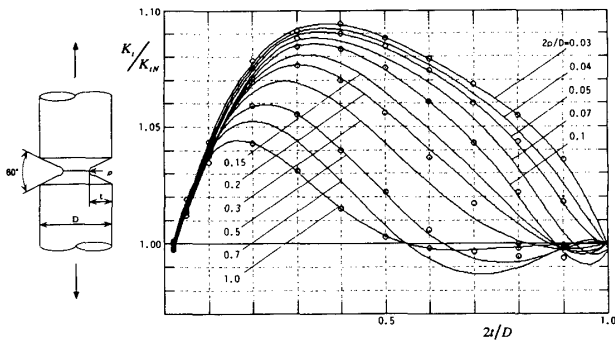


図 3 近似式により求めた応力集中係数  $K_t$  と  $K_{tN}$  の比

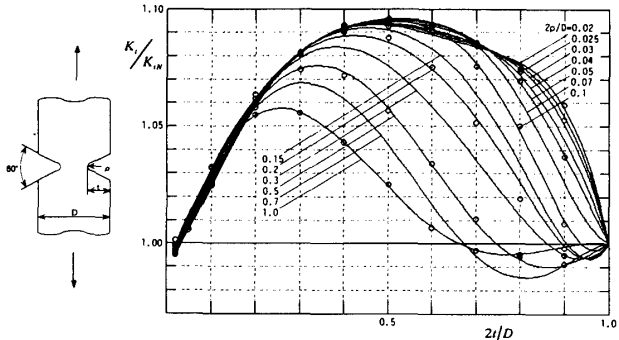


図 5 近似式により求めた応力集中係数  $K_t$  と  $K_{tN}$  の比

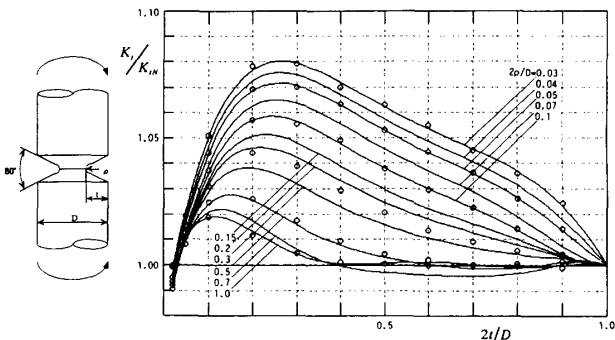


図 4 近似式により求めた応力集中係数  $K_t$  と  $K_{tN}$  の比

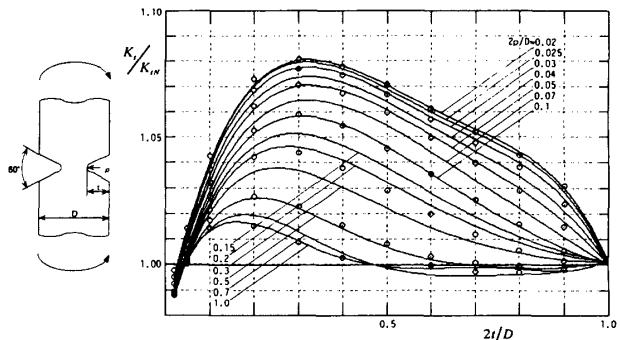


図 6 近似式により求めた応力集中係数  $K_t$  と  $K_{tN}$  の比

表 1 60°V 形切欠きを有する丸棒試験片の引張りによる応力集中係数

$\rho/d$	$t/d=0.01$		$t/d=0.02$		$t/d=0.03$		$t/d=0.04$		$t/d=0.05$		$t/d=0.06$		$t/d=0.10$		$t/d=0.20$		$t/d=0.50$	
	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN
0.001	7.771	7.665	10.396	10.097	12.229	11.722	13.635	12.929	14.762	13.874	15.689	14.640	18.181	16.675	20.839	18.951	22.735	20.879
0.002	5.704	5.639	7.545	7.349	8.831	8.492	9.818	9.339	10.609	10.002	11.259	10.538	13.003	11.958	14.854	13.536	16.158	14.860
0.005	3.886	3.856	5.029	4.922	5.828	5.633	6.441	6.160	6.932	6.570	7.335	6.901	8.414	7.772	9.546	8.727	10.322	9.515
0.010	2.975	2.961	3.773	3.707	4.326	4.200	4.750	4.562	5.088	4.844	5.366	5.070	6.106	5.662	6.874	6.301	7.382	6.818
0.020	2.352	2.348	2.880	2.851	3.256	3.191	3.540	3.438	3.765	3.627	3.951	3.779	4.453	4.170	4.989	4.584	5.305	4.910
0.030	2.082	2.080	2.505	2.481	2.795	2.744	3.020	2.941	3.198	3.090	3.343	3.208	3.737	3.509	4.163	3.823	4.424	4.066
0.040	1.923	1.923	2.281	2.261	2.526	2.483	2.711	2.643	2.861	2.769	2.983	2.868	3.312	3.116	3.664	3.370	3.869	3.564
0.050	1.817	1.818	2.129	2.112	2.344	2.305	2.506	2.444	2.633	2.550	2.740	2.635	3.025	2.848	3.325	3.062	3.491	3.223
0.060	1.740	1.741	2.018	2.002	2.211	2.174	2.356	2.297	2.470	2.390	2.562	2.464	2.814	2.650	3.075	2.835	3.214	2.972
0.080	1.632	1.633	1.865	1.850	2.026	1.991	2.146	2.092	2.240	2.167	2.316	2.226	2.519	2.374	2.726	2.518	2.826	2.623
0.100	1.560	1.560	1.762	1.747	1.900	1.867	2.003	1.952	2.084	2.015	2.149	2.065	2.318	2.186	2.490	2.304	2.565	2.388
0.200	1.383	1.381	1.508	1.495	1.593	1.563	1.655	1.609	1.702	1.643	1.739	1.669	1.832	1.731	1.913	1.787	1.930	1.826
0.300	1.306	1.301	1.397	1.383	1.460	1.430	1.504	1.461	1.537	1.483	1.562	1.500	1.623	1.538	1.668	1.572	1.663	1.595
0.400	1.261	1.253	1.332	1.317	1.381	1.352	1.416	1.375	1.441	1.390	1.460	1.402	1.503	1.428	1.528	1.451	1.512	1.466
0.500	1.230	1.221	1.289	1.272	1.329	1.300	1.356	1.317	1.376	1.329	1.391	1.337	1.423	1.357	1.436	1.373	1.413	1.384
1.000		1.139		1.164		1.175		1.182		1.186		1.189		1.196		1.201		1.205
2.000		1.083		1.093		1.097		1.099		1.101		1.102		1.104		1.105		1.106
10.000		1.021		1.021		1.021		1.022		1.022		1.022		1.022		1.022		1.022
20.000		1.011		1.011		1.011		1.011		1.011		1.011		1.011		1.011		1.011

表 2 60°V 形切欠きを有する丸棒試験片の曲げによる応力集中係数

$\rho/d$	$t/d=0.01$		$t/d=0.02$		$t/d=0.03$		$t/d=0.04$		$t/d=0.05$		$t/d=0.06$		$t/d=0.10$		$t/d=0.20$		$t/d=0.50$	
	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN
0.001	7.537	7.413	9.799	9.485	11.247	10.758	12.294	11.641	13.116	12.295	13.800	12.801	15.659	14.047	15.274	13.688	16.188	15.120
0.002	5.532	5.459	7.112	6.909	8.122	7.797	8.853	8.411	9.426	8.864	9.903	9.214	11.199	10.069	10.905	9.733	11.520	10.600
0.005	3.769	3.738	4.741	4.634	5.360	5.177	5.808	5.551	6.159	5.825	6.452	6.035	7.246	6.544	7.033	6.387	7.387	6.787
0.010	2.885	2.876	3.557	3.495	3.979	3.864	4.282	4.115	4.521	4.298	4.720	4.438	5.259	4.772	5.088	4.633	5.311	4.855
0.020	2.282	2.283	2.723	2.692	3.012	2.941	3.214	3.106	3.366	3.224	3.484	3.314	3.772	3.525	3.720	3.472	3.855	3.617
0.030	2.019	2.024	2.362	2.345	2.582	2.533	2.740	2.661	2.857	2.751	2.948	2.819	3.167	2.977	3.351	3.120	3.417	3.217
0.040	1.866	1.872	2.149	2.138	2.333	2.294	2.460	2.396	2.557	2.471	2.631	2.526	2.809	2.652	2.955	2.765	3.004	2.841
0.050	1.763	1.769	2.008	1.998	2.165	2.131	2.274	2.218	2.355	2.279	2.418	2.326	2.567	2.432	2.687	2.525	2.724	2.587
0.060	1.687	1.694	1.903	1.896	2.042	2.012	2.138	2.087	2.208	2.140	2.261	2.180	2.392	2.271	2.491	2.350	2.520	2.402
0.080	1.583	1.590	1.759	1.753	1.872	1.845	1.949	1.905	2.006	1.946	2.049	1.977	2.148	2.047	2.220	2.107	2.237	2.145
0.100	1.513	1.519	1.662	1.656	1.757	1.732	1.822	1.781	1.869	1.815	1.904	1.840	1.985	1.896	2.041	1.944	2.050	1.974
0.200	1.342	1.343	1.425	1.419	1.478	1.458	1.512	1.483	1.537	1.499	1.554	1.511	1.592	1.536	1.611	1.558	1.610	1.571
0.300	1.267	1.265	1.323	1.317	1.358	1.341	1.381	1.356	1.396	1.366	1.407	1.373	1.426	1.388	1.432	1.401	1.430	1.408
0.400	1.223	1.219	1.264	1.257	1.290	1.274	1.306	1.284	1.316	1.291	1.323	1.296	1.333	1.306	1.331	1.314	1.330	1.319
0.500	1.193	1.188	1.226	1.217	1.245	1.230	1.257	1.237	1.265	1.242	1.269	1.245	1.275	1.252	1.267	1.258	1.265	1.261
1.000		1.112		1.123		1.128		1.131		1.132		1.133		1.136		1.137		1.138
2.000		1.063		1.067		1.068		1.069		1.070		1.070		1.071		1.071		1.071
10.000		1.014		1.014		1.015		1.015		1.015		1.015		1.015		1.015		1.015
20.000		1.007		1.007		1.007		1.007		1.007		1.007		1.007		1.007		1.007

表 3 両端に 60°V 形切欠きを有する帯板試験片の引張りによる応力集中係数

$\rho/d$	$t/d=0.01$		$t/d=0.02$		$t/d=0.03$		$t/d=0.04$		$t/d=0.05$		$t/d=0.06$		$t/d=0.10$		$t/d=0.20$		$t/d=0.50$	
	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN
0.001	7.847	7.791	10.599	10.426	12.588	12.273	14.168	13.701	15.483	14.861	16.606	15.831	19.922	18.565	24.538	21.968	31.150	25.241
0.002	5.760	5.727	7.692	7.581	9.091	8.881	10.202	9.887	11.127	10.702	11.917	11.383	14.248	13.299	17.491	15.669	22.137	17.929
0.005	3.924	3.911	5.127	5.069	5.999	5.882	6.693	6.509	7.271	7.017	7.764	7.441	9.219	8.627	11.240	10.079	14.142	11.440
0.010	3.004	3.000	3.847	3.814	4.453	4.379	4.935	4.815	5.337	5.167	5.680	5.460	6.691	6.276	8.094	7.262	10.115	8.170
0.020	2.375	2.377	2.944	2.929	3.364	3.324	3.692	3.624	3.961	3.865	4.190	4.065	4.851	4.616	5.688	5.271	6.402	5.859
0.030	2.102	2.105	2.557	2.548	2.883	2.856	3.148	3.099	3.363	3.291	3.546	3.449	4.073	3.883	4.736	4.390	5.291	4.837
0.040	1.942	1.946	2.328	2.321	2.606	2.584	2.824	2.784	3.009	2.949	3.165	3.083	3.612	3.446	4.170	3.866	4.630	4.229
0.050	1.835	1.840	2.174	2.168	2.419	2.399	2.612	2.575	2.770	2.715	2.908	2.833	3.300	3.149	3.784	3.509	4.179	3.816
0.060	1.757	1.762	2.061	2.056	2.282	2.263	2.455	2.421	2.598	2.546	2.719	2.648	3.072	2.930	3.501	3.246	3.848	3.512
0.080	1.648	1.653	1.905	1.901	2.091	2.073	2.237	2.205	2.357	2.309	2.459	2.394	2.750	2.623	3.106	2.878	3.383	3.087
0.100	1.575	1.580	1.800	1.796	1.962	1.945	2.089	2.058	2.194	2.147	2.282	2.220	2.531	2.413	2.836	2.628	3.066	2.800
0.200	1.397	1.400	1.543	1.539	1.648	1.631	1.728	1.699	1.793	1.752	1.848	1.794	1.999	1.903	2.173	2.017	2.284	2.104
0.300	1.319	1.321	1.431	1.427	1.511	1.494	1.572	1.543	1.620	1.580	1.660	1.609	1.768	1.682	1.888	1.757	1.948	1.811
0.400	1.273	1.273	1.365	1.359	1.431	1.413	1.480	1.450	1.518	1.478	1.550	1.500	1.633	1.554	1.722	1.607	1.754	1.645
0.500	1.242	1.241	1.321	1.314	1.376	1.358	1.418	1.388	1.450	1.410	1.475	1.427	1.543	1.469	1.611	1.509	1.625	1.537
1.000		1.160		1.200		1.222		1.236		1.246		1.253		1.270		1.285		1.295
2.000		1.102		1.121		1.130		1.136		1.140		1.142		1.148		1.153		1.156
10.000		1.029		1.031		1.031		1.032		1.032		1.032		1.032		1.032		1.033
20.000		1.015		1.016		1.016		1.016		1.016		1.016		1.016		1.016		1.017

表 4 両端に 60°V 形切欠きを有する帯板試験片の面内曲げによる応力集中係数

$\rho/d$	$t/d=0.01$		$t/d=0.02$		$t/d=0.03$		$t/d=0.04$		$t/d=0.05$		$t/d=0.06$		$t/d=0.10$		$t/d=0.20$		$t/d=0.50$	
	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN	Kt	KtN										

$$+2.6137\epsilon^2)\lambda^4 + (0.1099 + 2.2525\epsilon - 0.6471\epsilon^2)\lambda^5$$

(適用範囲  $0.1 < \epsilon \leq 1.0, 0.02 \leq \lambda \leq 1.0$ ) ..... (14・b)

## ④ 両端に 60°V 形切欠きを有する帯板の面内曲げ

$$K_t/K_{LN} = (0.9863 + 0.1967\epsilon - 1.2261\epsilon^2) + (0.7598 - 14.6944\epsilon + 85.2855\epsilon^2)\lambda$$

$$+ (-3.3994 + 137.860\epsilon - 770.087\epsilon^2)\lambda^2 + (11.8465 - 546.326\epsilon + 2964.65\epsilon^2)\lambda^3 + (-24.6062 + 1074.41\epsilon$$

$$- 5684.17\epsilon^2)\lambda^4 + (24.9403 - 1013.22\epsilon + 5212.60\epsilon^2)\lambda^5 + (-9.5266 + 361.756\epsilon - 1806.89\epsilon^2)\lambda^6,$$

(適用範囲  $0.02 \leq \epsilon \leq 0.1, 0.02 \leq \lambda \leq 1.0$ ) ..... (15・a)

$$K_t/K_{LN} = (0.9973 - 0.0411\epsilon + 0.0290\epsilon^2) + (0.0025 + 1.4755\epsilon - 0.9146\epsilon^2)\lambda$$

$$+ (3.9929 - 13.7614\epsilon + 8.9229\epsilon^2)\lambda^2 + (-18.6927 + 59.2470\epsilon - 42.7560\epsilon^2)\lambda^3 + (38.2885 - 130.019\epsilon$$

$$+ 97.5542\epsilon^2)\lambda^4 + (-36.9392 + 131.133\epsilon - 98.5547\epsilon^2)\lambda^5 + (13.3503 - 48.0315\epsilon + 35.7172\epsilon^2)\lambda^6,$$

(適用範囲  $0.1 < \epsilon \leq 1.0, 0.02 \leq \lambda \leq 1.0$ ) ..... (15・b)

作製した近似式を線図に表した結果を図 3～6 に示す。図中の○印は体積法による解析結果である。これらの近似式で誤差 1%程度以内（ほとんどの場合で誤差 0.5%程度以内）で応力集中係数が与えられるものと考えられる。なお、切欠きの形状が極端に浅い場合 ( $\lambda < 0.02, 0.02 \leq \epsilon \leq 1.0$ ) にはノイバー三角則によって誤差 1%程度以内で  $K_t$  が評価できる。

表 1～表 4 は強度研究用としてよく用いられる寸法の試験片の応力集中係数を近似式 [式(2)～(15)] により求めたものである。

## 5. 結 言

材料強度に関する試験片としてよく用いられる円周切欠きを有する丸棒および、両側切欠きを有する帯板の応力集中係数について、実用上の便利のため近似式を作製した。精度のよい近似式を切欠形状寸法の広範囲に対して与えるため以下の方法を用いた。

(1) 体積法による解析結果の利用できる範囲については、ノイバーの三角則を利用し、その誤差を補正することにより、精度の高い近似式を求めた。その結果、切欠半径の相対値が  $0.02 \leq 2\rho/D \leq 1.0$  の範囲で、誤差 1%以内（ほとんどの場合 0.5%程度以内）で応力

集中係数が求められる近似式を与えた。

(2) 体積法による解析結果が得られていない鋭い切欠きに対しては、同一形状の切欠きを有する半無限板の応力集中係数  $K_{t0}$  に、ほぼ切込み深さの相対値 ( $2t/D$ ) のみによって決まる  $K_t/K_{t0}$  の値(二次元と三次元の応力集中係数の比) をかけることによって近似式を求めた。その結果、切欠きが浅くて鋭い ( $2\rho/D < 0.03$ ) 範囲では、誤差 1%程度以内で応力集中係数が求められる近似式を与えた。

本研究テーマを与えていただいた、九州大学・西谷弘信先生に深くお礼申し上げます。

## 文 献

- (1) Neuber, H., *Kerbspannungslehre*, (1957), 11, Springer-Verlag.
- (2) 村上・野田・西谷, 機論, 48-430, A(1982), 800.
- (3) 西谷・野田, 機論, 50-457, A(1984), 1592.
- (4) 西谷・野田, 機論, 51-461, A(1985), 54.
- (5) 西谷・野田, 機論, 51-463, A(1985), 775.
- (6) 野田・西谷・深迫・原田, 機論, 51-465, A(1985), 1467.
- (7) 西谷・野田・深迫・原田, 機論, 51-467, A(1985), 1804.
- (8) 西谷・野田・深迫, 機論, 52-467, A(1985), 1066.
- (9) 野田・椿・西谷, 機論, 54-499, A(1988), 518.
- (10) 野田, 九州大学学位論文, (1984).