

都立大学 学生員 宇田川 清

横川工事 正 員 坂野 和彦

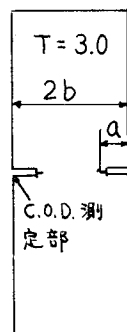
都立大学 正 員 堀川 浩甫

1. 諸言 土木における鋼構造物は、近年、増々大型化の傾向にある。それに伴ない、設計応力の増大と構造物の自重の低減のために、抗張力の大きい高張力鋼が使用される傾向にある。しかしながら、材料の引張応力が高くなると、 K 値（応力拡大係数）が応力の関数であることから理解できるように、材料に切欠き等の欠陥が存在すると、その切欠き先端から破壊が発生する可能性が高くなることが知られている。また、近年の鋼構造物はほとんどが溶接接合により製作されており、溶接に伴う割れ等の欠陥を完全に除去することは困難である。このようなことから、鋼構造物の安全性を保障するために、鋼材の切欠き等の欠陥に対する強さ（靱性）を評価することが重要な問題となってきている。靱性に対する評価の方法として、シャルピー試験の他に、 K 値をパラメータとする K 概念と、切欠き先端の開口変位量 a をパラメータとするC.O.D概念（Crack Opening Displacement）により行なわれてきた。しかしながら、 K 概念は、エネルギー論により論理的根拠が明確であるが、その適用範囲が弾性域に限られており、塑性変形の大きい鋼材には適用しにくく、また、C.O.D概念は、塑性域においても適用できるが、その論理的根拠がまだ明確にはなされていない。そこで、この研究では、 K 概念が塑性域においても適用可能であるかどうか、また、C.O.D概念が応力-歪曲線に基づく応力論から説明できるかどうかを研究し、次のような試験と変形を考慮した弾塑性解析を行なった。 K 値は無限幅の板に長さ $2a$ の切欠きが存在するとき、 $K=\sqrt{\pi a}$ で求められる。しかし、板幅が有限になると、 K 値は板幅 $2b$ と切欠き長さ $2a$ の比 a/b の関数になることが知られている。そこで、塑性域における K 値の有効性を調べるために、切欠き長さ $2a$ と a/b の比を変化させて引張試験を行ない K 値を求め、同時に、C.O.Dの測定と、試験片の切欠き部の挙動と解析結果と比較するために、クリップゲージで切欠きの開口変位量を測定した。また、板厚は塑性変形を大きくさせることと、解析を平面応力状態で行なうので、解析に近い応力状態にするために $3mm$ とした。

2. 試験片及び試験方法 供試材の機械的性質を調べ、解析の入力データとして応力-歪曲線と求めるために、素材引張試験を行なった。表-1に供試材の機械的性質を示す。切欠きを有する試験片の形状及び寸法を図-1及び表-2に示す。切欠きの長さは、試験片AとCが等しく、Bはその半であり、 a/b の比は、AとBが等しくしてある。また、試験片の切欠き部の挙動と解析結果と比較するため、一方の切欠きのC.O.D測定部にツメをつけ、クリップゲージで開口変位量を測定した。解析における破壊条件としては、相当歪が最大となる要素のそれが供試材の最大歪に達した時に破壊するものとしている。

表-1 供試材の機械的性質

降伏点	引張強度	破断強度	絞り
25.8 $\frac{kg}{mm^2}$	35.2 $\frac{kg}{mm^2}$	24.8 $\frac{kg}{mm^2}$	71.0 %



3. 試験結果と解析結果 荷重 P とC.O.D測定部の変位 V の $P-V$ 曲線を図-2に示す。この図で実線は試験値であり、破線は解析値である。この図における試験値は試験に際し、試験片に偏心荷重が作用したため、両端の切欠きから同時に亀裂が発生せず一方から亀裂が発生して進展してしま

表-2 試験片の寸法

記号	A	B	C
$2a$	80	40	80
$2b$	40	20	20
a/b	$1/2$	$1/2$	$1/4$

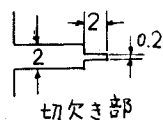


図-1 試験片

い、また、C.O.D.を測定していない切欠きから亀裂が発生したので、解析において用いた荷重条件である等分布荷重と異なる荷重分布における荷重、また、解析における形状と異なる形状における開口変位量を示しているものと思われる。破断時における K 値及びC.O.D.値の試験値と解析値を表-3に示す。この表で K 値は振幅を考慮していない値で、 $K = \sigma \sqrt{\pi a}$ で求められ、 K_c 値は振幅の補正を行なった値で、 $K = \sigma \sqrt{2b(\tan \pi a/2b + 0.1 \sin \pi a/2b)}$ で求められる。また、 $\bar{\sigma}_c$ 値は切欠き先端における開口変位量であり、試験値は直接求めることができないので、解析結果から類推して求めた。 K 値、 $\bar{\sigma}_c$ 値は材料特性であるので、各材料において一定となるものであるから、試験片の形状によらず同一の値を示すものである。この表が示すように、試験値はかなりのばらつきが見られるが、解析値は K 値、 $\bar{\sigma}_c$ 値ともほぼ同一の値を示している。また、解析値において、振幅の補正をしていない K 値は、試験片AとCは切欠きの長さが等しいのに多少異なっている。しかし、振幅の補正を行なった K_c 値は、%の比が異なっているても、 K_c 値よりも誤差が少なくなっている。このことから、 K 値は振幅が有限である時には振幅と切欠き長さに依存していることがわかる。 K_c 値と $\bar{\sigma}_c$ 値の相関関係を図-3に示す。この図が示すように、試験値はかなりのばらつきが見られるが、これは、試験に際し不備な点があったことによるものと思われる。解析値は、 K_c 値、 $\bar{\sigma}_c$ 値ともほぼ同一の値を示しており、両者とも切欠きも有する薄板の破壊のクライテリオンとして有効であると思われる。しかし、試験値は、両者とも前記の理由によりかなりのばらつきを示しており、試験値による裏付けは得られなかった。C.O.D.概念の応力論による説明は、解析における荷重条件と試験における荷重条件が異なっていたことにより、結論を得るには至らなかった。しかし、解析結果は K 値、 $\bar{\sigma}_c$ 値ともほぼ同一の値を示している。このことから、解析結果は平面応力状態における試験結果と等しいものと考えられる。これから、C.O.D.概念は、応力論からある程度説明できるものと思われる。

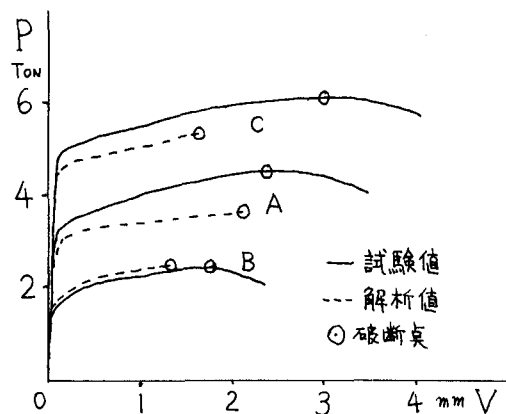


図-2 P-V 曲線

表-3 破断時の K 値及び $\bar{\sigma}_c$ 値

記号	試験値			解析値		
	A	B	C	A	B	C
$P_f(t)$	4.52	2.40	6.10	3.63	2.47	5.36
$K_c(\%)$	149.3	112.1	142.5	120.0	115.4	125.0
$K_c(\%)$	174.3	132.7	158.3	141.9	136.5	139.1
$V_c(mm)$	2.40	1.74	3.00	2.18	1.35	1.62
$\bar{\sigma}_c(mm)$	0.298	0.377	0.499	0.160	0.147	0.146

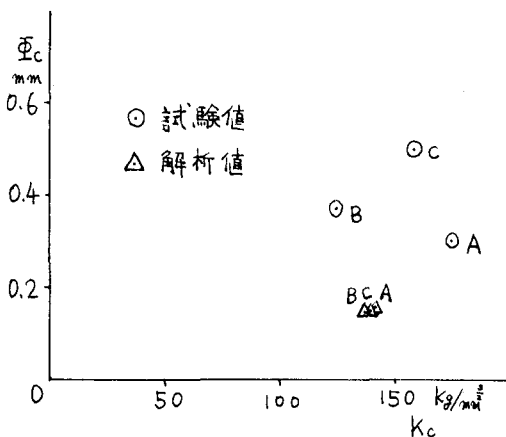


図-3 K_c と $\bar{\sigma}_c$ の関係

4. 結言 今回の研究では、以上に述べたように、 K 値、 $\bar{\sigma}_c$ 値は切欠きも有する薄板の破壊のクライテリオンとして有効であると思われるが、試験片に偏心荷重が作用したため、試験結果にかなりのばらつきがあり、試験による裏付けは得られなかった。また、C.O.D.概念の応力論による説明も、同様な理由により、試験による裏付けは得られなかった。しかし、応力論は、C.O.D.概念を説明する有力な手段であると思われる。