

亀裂構造物評価のための J 積分算出方法

Ways of Obtaining J-integrals for Assessment of Cracked Components

釜谷 昌幸 (Masayuki Kamaya)*1

要約 亀裂を有する構造物の破壊評価において、破壊の駆動力指標として J 積分が用いられる。J 積分は、亀裂先端の弾塑性状態を代表する指標で、弾塑性有限要素解析により得ることができる。その値は、亀裂と構造物の形状や負荷の大きさの他、応力・ひずみ曲線などの材料の変形特性にも依存する。そのため、種々の構造物と亀裂形状に対応した解を表として準備することは難しく、維持規格にも J 積分の値は与えられていない。その代替として、J 積分の簡易推定法などが提案されている。本稿では、J 積分の算出方法の現状についてまとめた。J 積分の特徴を総括するとともに、簡易解析法（参照応力法と参照塑性勾配法）について解説した。そして、最後に、著者がこれまで発表してきた内表面に亀裂を有する配管の J 積分解を紹介した。

キーワード J 積分, 破壊評価, 参照応力法, 参照塑性勾配法, 維持規格

Abstract J-integral is used as a driving force parameter for component failure in fracture assessments of cracked components. The J-integral represents an elastic-plastic condition near the crack-tip and its value is obtained by elastic-plastic finite element analyses. The magnitude of the J-integral depends not only on crack and component geometries as well as the magnitude of the applied load, but also on material deformation properties such as the stress-strain curve. Therefore, it is not an easy task to prepare the J-integral solutions for a tabulated form and J-integral solutions have not been prescribed in the fitness-for-service codes. As an alternative, in some fitness-for-service codes, a simplified J-integral estimation procedure is provided. This paper summarizes the current situation of the J-integral estimation procedure. First, the characteristics of the J-integral are summarized. Then, two simplified methods, the reference stress method and reference plastic slope method, are outlined. Finally, some solutions the author has suggested for pipes with inside surface cracks are presented.

Keywords J-integral, fracture assessment, reference stress method, reference plastic slope method, fitness-for-service code

1. はじめに

国内の原子力発電プラント機器において亀裂が発見された場合、当該機器の構造健全性評価は日本機械学会の発電用原子力設備規格維持規格（以後、維持規格）⁽¹⁾の規定にしたがって実施される。具体的には、亀裂の進展予測と、進展後の亀裂寸法を想定した破壊評価が実施される。そして、予測された強度が基準を満足すれば亀裂を補修することなく機器の使用を継続できる。破壊評価では、延性破壊や脆性破壊などの破壊モード（壊れ方）を想定した上で、破壊モードに対応する破壊の駆動力を算出する。そして、材料の強度が破壊駆動力よりも大きければ、破壊しないと判断される。破壊モードは、材料の他、亀裂や構造物の形状などに依存し、複数の破壊モードを想定する場合もある。

維持規格では、図 1 に示すように塑性崩壊、弾塑性破壊、および脆性破壊の 3 つの破壊モードが想定される⁽²⁾。そして、破壊モードによって、用いる駆動力指標と材料強度の強度特性が異なる。塑性崩壊は構造物断面で生じる延性破壊で、断面における平均的な応力（実断面応力）が破壊を引き起こす駆動力になる。機器設計など亀裂がない構造物を対象にする場合は、塑性崩壊を想定して強度評価が実施される。そして、ステンレス鋼のように延性が大きい材料に対しては、亀裂構造物であっても塑性崩壊が破壊モードとして想定される⁽¹⁾。

断面全体が変形する塑性崩壊に対し、弾塑性破壊と脆性破壊は亀裂先端の局所から破壊する。したがって、弾塑性破壊と脆性破壊に対する破壊評価には局所的な応力やひずみの大きさを代表する J 積分や応力拡大係

*1 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

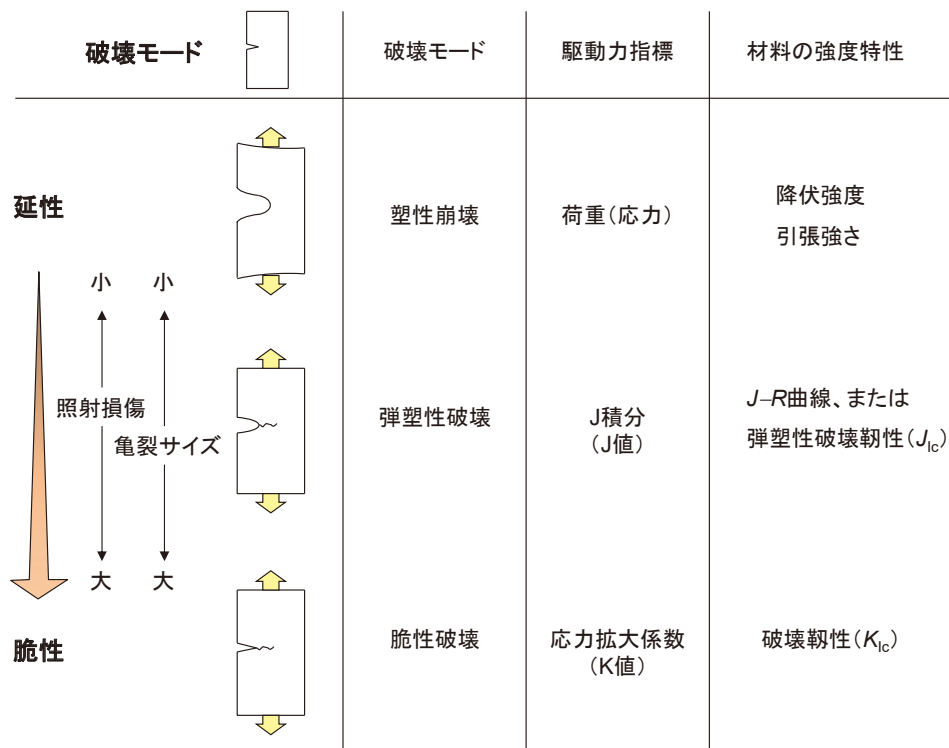


図1 維持規格で想定される破壊モード

数が駆動力指標として用いられる。弾塑性破壊と脆性破壊のどちらの破壊モードが出現するかは、材料や使用温度などの条件による。とくに、原子力発電プラント機器を対象にした場合は、中性子照射や熱による脆化の影響を考慮する必要がある。維持規格では、脆化が想定される原子炉压力容器や炉内構造物などに対しては脆性破壊を想定する規定となっている。その他の一般的な材料であれば、弾塑性破壊が想定される。

弾塑性破壊では、破壊の駆動力として J 積分が用いられる³⁾。J 積分は、亀裂先端への応力とひずみの集中を考慮した力学パラメータであり、単位面積あたりのエネルギーの次元を有する。したがって、負荷される外力に加え、材料の変形特性の影響も受ける。実構造物に対する J 積分を算出するには、有限要素解析を実施する必要がある。しかし、維持規格のユーザーが有限要素解析を利用できるとは限らない。また、利便性のためにも有限要素解析を実施しなくても J 積分が得られることが望ましい。しかし、材料の変形特性にも依存する J 積分を解として整備することは容易ではない。そして、維持規格で対象となるような構造物に対する J 積分の解が十分整備されているとは言えない状況にある。それに代わる方法として、簡易評価法も提案されており、いくつかの規格で採用されている。

J 積分は、物理的意味の理解が容易とは言えない弾塑性破壊力学パラメータとなる。そして、実用では、解析によって得られた値や簡易評価法など複数の方法が運用されており、どの値を用いるべきか判断に困る場面も想定される。本稿では、亀裂構造物の破壊評価に用いる J 積分を得るために必要な知見をまとめる。2 章では、J 積分の基本的な事項を解説する。とくに、破壊評価を実施するために理解しておくべき知見を中心にまとめる。3 章では、J 積分の簡易評価法を示すとともに、その特徴と適用に際しての注意点をまとめる。そして、4 章には、簡易評価法に依らずに、正確な J 積分を得るために著者がこれまで公表してきた J 積分解を紹介する。

2. J 積分の特徴

亀裂先端では応力とひずみが集中し、その大きさは理論上、無限大になる。したがって、破壊駆動力が応力やひずみであったならば、亀裂は無条件に破壊すると判断されることになる。しかし、実際は小さい亀裂は破壊しにくい。つまり、亀裂先端における無限大の応力やひずみにも大きさが存在する。その大きさを代表するパラメータが応力拡大係数や J 積分となる。寸

法 a の亀裂に応力 σ が負荷されている場合の応力拡大係数は下式で表すことができる。

$$K = f_1 \sigma \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

ここで f_1 は亀裂と構造物の形状から決定される形状係数を示す。一部の場合を除き形状係数は、有限要素解析などの数値解析により求める必要がある。応力拡大係数は、弾性力学において定義されるパラメータとなる。等方均質体の弾性材料の変形特性はヤング率とポアソン比で代表できるが、応力拡大係数はポアソン比にのみ依存する。一般的な金属材料のポアソン比は 0.3 近傍で、多くの場合 0.3 が仮定される。したがって、応力拡大係数は実質的に材料に依存しない。そして、弾性（線形）パラメータであることから、負荷の大きさに対しては比例的に変化し、複雑な負荷分布に対しては、解の重ね合わせが適用できる。平板や配管など代表的な構造物や亀裂形状に対する形状係数はハンドブックにまとめられている⁽⁴⁾。維持規格の評価において、亀裂は半楕円状に置き換えられる。配管内表面に半楕円亀裂が存在した場合の形状係数は亀裂の深さ（厚さに対する比）、亀裂の形状（深さと長さの比）そして配管形状（半径と厚さの比）に依存する。維持規格では、3 つのパラメータを系統的に変化させて得られた形状係数が表の形で与えられている。評価を実施する際は、表の値を内挿により求めることで、有限要素解析を実施しなくても、応力拡大係数を求めることができる。維持規格の添付 E-5 には、評価に必要なと思われる形状係数が網羅されている⁽⁶⁾。

緒言でも述べたように、応力拡大係数は例えば中性子照射を受けた材料のように硬い材料、つまり塑性変形が生じにくく、弾性的な変形が想定される材料の破壊評価に用いられる。一方、塑性変形の影響が無視できない材料の破壊評価には、J 積分を用いた弾塑性破壊力学評価が適用される。J 積分では、応力拡大係数に対する 3 つのパラメータに加え、降伏強度や応力・ひずみ曲線などの材料の変形特性も考慮する必要がある。さらに、材料は荷重に対して非線形に変形することから、荷重の大きさも考慮する必要がある。変形特性が 1 つの定数で代表できたとしても、3 つの形状因子と荷重の大きさを併せた 5 つのパラメータに対応した 5 次元の表を準備する必要があり現実的ではない。そこで、表の次元を下げるため、以下の方法により荷重の影響を正規化する。

まず、応力 σ とひずみ ε の関係（応力・ひずみ曲線）が次式の指数則にしたがう材料を想定する。

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \alpha \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^n \quad (2)$$

ここで、 σ_0 と ε_0 は基準応力と基準ひずみで、 n と α は材料定数を示す。 σ_0 と ε_0 にそれぞれ降伏強度 σ_y とそれに対応する降伏ひずみ σ_y/E (E はヤング率) を用いる。⁽²⁾ 式で材料特性に対する J 積分の解析解は得られており⁽⁶⁾、その値 J_p は次式で表すことができる⁽⁷⁾。

$$J_p = h_1 \frac{\alpha \sigma_y^2 t}{E} \left(\frac{P}{P_L} \right)^{n+1} \quad (3)$$

P と P_L は負荷する荷重と極限荷重を示す。極限荷重は、図 1 の塑性崩壊が発生する限界荷重に相当する。⁽³⁾ 式では、 J_p が荷重 P の関数となっていることから、形状係数に相当する h_1 が与えられれば σ_y 、 n および α で定義される任意の材料と荷重に対する J 積分を得ることができる。しかし、 h_1 は亀裂と構造物の形状のみでなく材料定数にも依存する。経験的には、 α による h_1 の変化は小さいので、考慮すべき材料パラメータは n のみとなる。配管内表面の亀裂に対しては、3 つの形状因子に材料定数 n を加えた 4 次元の表が必要となるが、4 章でも示すように、準備することは不可能ではない。

応力・ひずみ曲線を(2)式で表わすことのできる材料は限られ、一般的な構造材料への適用は誤差を伴う。構造材料の応力・ひずみ曲線の近似式（以下、構成式）として、次式の Ramberg-Osgood 式 (R-O 式) がよく用いられる。

$$\frac{E\varepsilon}{\sigma_y} = \frac{\sigma}{\sigma_y} + \alpha \left(\frac{\sigma}{\sigma_y} \right)^n \quad (4)$$

この材料に対する J 積分 J は次式で得られる⁽¹²⁾。

$$J = J_e + J_p = \frac{(K(a_e))^2}{E'} + h_1 \frac{\alpha \sigma_y^2 t}{E} \left(\frac{P}{P_L} \right)^{n+1} \quad (5)$$

ここで、 $E' = E/(1-\nu^2)$ (E と ν はそれぞれヤング率とポアソン比) で $K(a_e)$ は亀裂寸法 a_e に対応した応力拡大係

数を示す。\$J_p\$は(3)式による。弾塑性状態の\$J\$積分は弾性と塑性の単純な足し合わせで求まるわけではない。その補正のために\$a_e\$ (\$> a\$) が用いられる。\$a_e\$は亀裂先端で塑性変形が生じることによる実質的な亀裂進展を考慮した寸法との解釈⁽⁹⁾もあるが、\$a\$ではなく\$a_e\$を用いる目的は(5)式の精度を高めることにある。4章に記載した解では、正しい\$J\$積分(有限要素解析の結果)に近い値が得られる\$a_e\$を経験的に決定している。応力拡大係数を変換した\$J_e\$と\$J_p\$の和を用いることで、実用的な(4)式の構成式の材料に対して任意の荷重の\$J\$積分を得ることができる。

以上のように、構成式が(2)式または(4)式で近似できる場合は、\$J\$積分の解を4次元の表として準備することができる。しかし、4次元のパラメータを系統的に変化させて有限要素解析を実施するには多くの労力が必要となることから解の整備には限界がある。実際に、3次元表面亀裂に対する系統的な\$J\$積分の解が報告された例は限られる⁽¹⁰⁾⁻⁽¹⁵⁾。そして、維持規格の評価に対応する実用段階まで網羅されているとは言えない状況にある。また、R-O式が全ての材料に適用できるとは限らないという問題もある⁽¹⁶⁾。

任意の応力・ひずみ曲線の材料に対する\$J\$積分を得るため、次節で説明する参照応力法などの簡易評価法が適用されている規格もある⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。維持規格では参照応力法の適用は炉内構造物を対象にした場合に限られる。任意の応力・ひずみ曲線に対応できる方法として、維持規格では\$J\$積分を用いない\$Z\$係数法と2パラメータ評価法が規定されている。\$Z\$係数法は代表的な亀裂形状と材料に対して予め弾塑性破壊力学評価を実施して、保守的な破壊荷重を規定する簡易法で、得られる解は過度に保守側になる場合もある⁽¹⁹⁾。2パラメータ評価法には、\$J\$積分を用いなくても破壊評価が実施できるオプションが準備されている。しかし、これも保守側の評価になることが知られている⁽²⁰⁾。合理的な評価のためには\$J\$積分を算出する必要がある。

3. \$J\$積分の簡易評価法

3.1 参照応力法

参照応力法では、下式により\$J\$積分が算出される⁽²¹⁾⁻⁽²⁵⁾。

$$J = \frac{E \varepsilon_{\text{ref}}}{\sigma_{\text{ref}}} J_e \quad (6)$$

ここで、\$\sigma_{\text{ref}}\$は下式で求まる参照応力を示す。

$$\sigma_{\text{ref}} = \left(\frac{P}{P_L} \right) \sigma_y \quad (7)$$

参照ひずみ \$\varepsilon_{\text{ref}}\$は材料の応力・ひずみ関係における\$\sigma_{\text{ref}}\$に対応するひずみと定義される。\$J_e\$は(5)式でも用いられている弾性の\$J\$積分で応力拡大係数\$K\$を用いて、次式により変換される。

$$J_e = \frac{K^2(1-\nu^2)}{E} \quad (8)$$

参照応力法の物理的な意味の解釈のため、(6)式を以下のように展開する。

$$\begin{aligned} J &= \frac{E \varepsilon_{\text{ref}}}{\sigma_{\text{ref}}} \frac{K^2(1-\nu^2)}{E} = (1-\nu^2) K \times f_1 \left(\frac{\varepsilon_{\text{ref}}}{\sigma_{\text{ref}}} \sigma \right) \sqrt{\pi a} \\ &= (1-\nu^2) K \times f_1 \varepsilon'_{\text{ref}} \sqrt{\pi a} \\ &= (1-\nu^2) K K_e \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、\$K_e\$はひずみ拡大係数に対応する⁽²⁶⁾。つまり、\$J\$積分は応力(\$K\$)とひずみ(\$K_e\$)の積で表される。参照応力法では、ひずみ拡大係数に対する形状係数も応力拡大係数と同じ\$f_1\$を用いている。\$h_1\$が\$n\$に依存したように、厳密にはひずみ拡大係数の形状係数は材料の構成式に依存する。しかし、塑性ひずみが小さい場合は、\$J \doteq J_e\$が成立するように、ひずみ拡大係数の形状係数は\$f_1\$に近い。参照応力法により精度のよい\$J\$積分が得られる場合もあるが、必ずしも保証されたものではない⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。また、参照応力法の精度は、用いる極限荷重\$P_L\$に依存する⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾。逆に、極限荷重の値を調整することで、\$J\$積分の算出精度を上げる取り組みも報告されている⁽³¹⁾⁻⁽³⁵⁾。

参照応力法は、精度に対する問題は指摘されているものの、(6)式の導出の考え方が根拠をもって解説されており⁽²¹⁾、受け入れられやすいものとなっている。応力拡大係数解((8)式から得られる\$J_e\$)と応力・ひずみ曲線から\$J\$積分を得られる簡便さも実用では重要とな

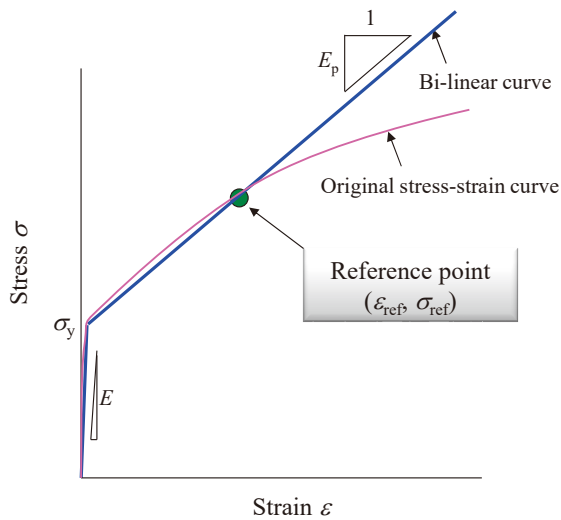


図2 参照塑性勾配法 (2直線近似の方法)

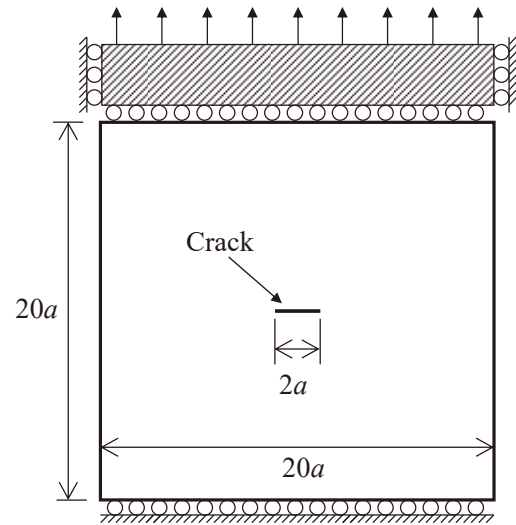


図4 引張荷重を受ける2次元平板モデル

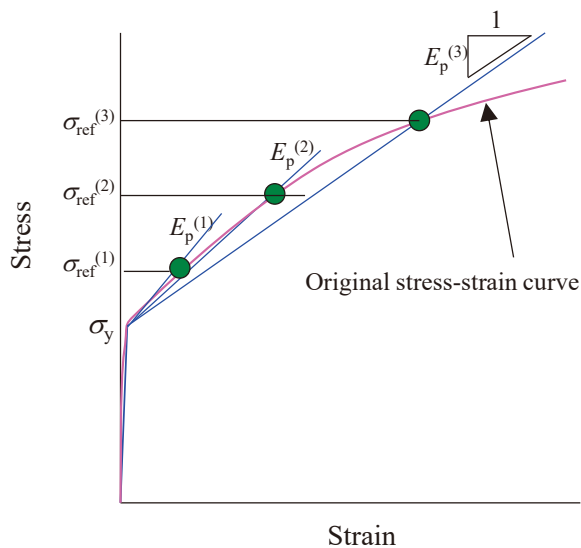


図3 参照塑性勾配法 (塑性勾配の同定方法)

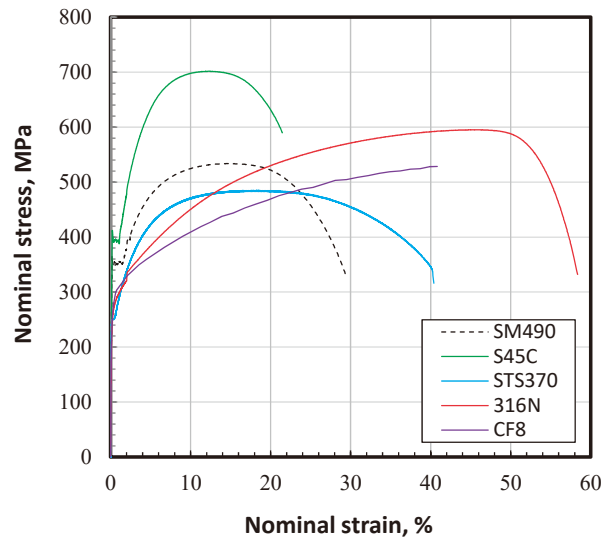


図5 想定した材料の公称応力・ひずみ曲線

る。現実問題として、任意の応力・ひずみ曲線から有限要素解析なしに J 積分を推定することのできる唯一の方法となる。そして、一部の規格の破壊評価に適用されている。しかし、規格に規定されていることが、必ずしも妥当な評価が行えることを意味しない。実機評価を実施したい社会的な要求の中で、取り得る選択肢が少ないのが現状である。

3.2 RPS法 (参照塑性勾配法)

任意の応力・ひずみ曲線を有する材料の J 積分を推定する方法として、著者は Reference Plastic Slope 法を

提案している。この方法のオリジナルは、ステンレス鋼の構成式としてよく用いられる Swift 構成式の J 積分を算出するために提案された⁽⁶⁾。原理的には、任意の応力・ひずみ曲線に適用できることから、J 積分の簡易評価法として文献(37)において一般化した。本稿では、RPS 法を参照塑性勾配法と称し、以下で概要を説明する。

手順としては、応力・ひずみ曲線を 2 直線の応力・ひずみ曲線 (以後、2 直線とよぶ) に置き換えて J 積分を算出する。置き換えの方法として、図 2 に示すように、参照応力法と同様に参照応力を用いる。このようにして置き換えた 2 直線に対する J 積分が、オリジナ

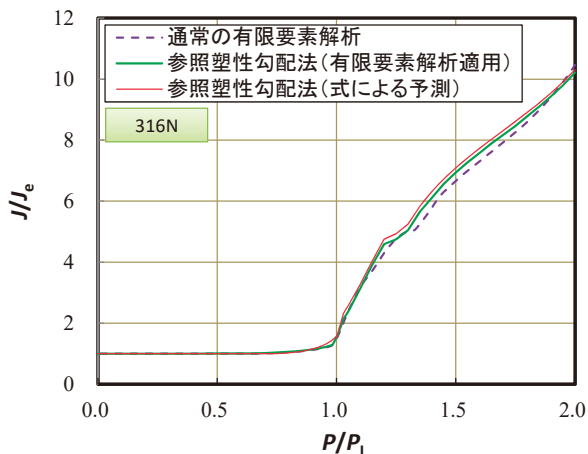


図6 参照塑性勾配法と通常有限要素解析により算出したJ積分の比較

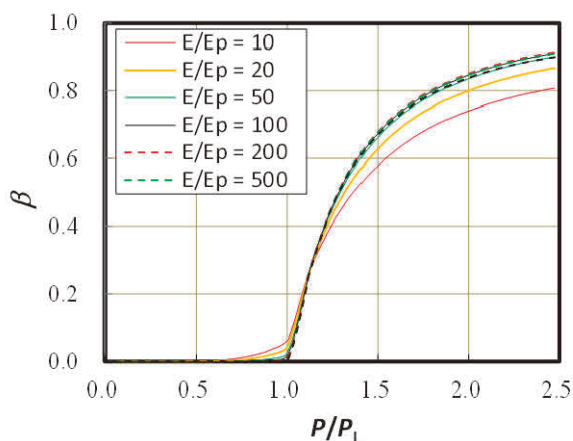


図7 2直線のJ積分の係数 β の変化((11)式参照)

ルの応力・ひずみ曲線のJ積分とほぼ同じであることが確認されている。2直線を定義するのに必要なパラメータは、降伏点と降伏点以降の勾配（塑性勾配）のみであるから、2直線のJ積分は比較的簡便に準備できる。図3に示すように、任意の応力・ひずみ曲線に対して2直線近似を行い、J積分を推定する。参照応力法では参照点を決定するための P_L の選択が重要であった。参照塑性勾配法では、構造物の真の極限荷重を P_L に用いることを基本としている。極限荷重の予測式については、種々の解を参照できる⁽³⁸⁾。一般に提案されている極限荷重式は安全側に設定されている。参照塑性勾配法において、安全側の極限荷重を用いると、推定されるJ積分も大きくなり、安全側の破壊評価をもたらすことになる。

参照塑性勾配法の精度は、応力・ひずみ曲線を2直線近似することによるJ積分の変化と、2直線のJ積分

の精度に依存する。図4に示す引張荷重を受ける2次元平板の中央部に貫通亀裂が存在する場合のJ積分を基本的な例として検討した⁽³⁷⁾。応力・ひずみ曲線としては、図5に示す3つの炭素鋼(SM490, S45C, STS370)と溶体化ステンレス鋼(316N)、および鋳造ステンレス鋼(CF8)を想定した。316Nに対するJ積分を比較した結果を図6に示す。荷重 P は極限荷重 P_L で、J積分は J_e で正規化している。 P_L としては、平板の理論解を用いた。応力・ひずみ曲線を用いて有限要素解析にて算出したJ積分(図中の破線)は、参照塑性勾配法により得た2直線近似を用いた有限要素解析結果(緑実線)に近いことがわかる。つまり、2直線近似しても、J積分はほとんど変化しない。他の材料についても、同様の結果が得られた。赤実線は、2直線のJ積分を有限要素解析ではなく、近似式で算出した結果を示している。近似式は以下の手順により求めた。

降伏強度が零の弾性域が存在しない場合の2直線(実際には1直線)のJ積分 J_{ps} は J_e と同様に、次式で算出できる。

$$J_{ps} = \frac{K^2(1-\nu_p^2)}{E_p} \quad (10)$$

ここで、 E_p は塑性勾配を示す。 ν_p は塑性域のポアソン比に相当し、体積一定の塑性変形に対して0.5を適用する。2直線のJ積分は荷重 σ_{ref}/σ_y が大きくなると J_{ps} に漸近する。一方、荷重が小さく完全に弾性の場合のJ積分は J_e に等しくなる。つまり、2直線のJ積分は J_e と J_{ps} の中間の値となる。そこで、係数 β を用いて次式で J を表す。

$$J = J_e + \beta(J_{ps} - J_e) \quad (11)$$

図7に P/P_L に対する β の変化を示す。荷重が大きくなるにしたがって、 β が1に収束している(J が J_{ps} に漸近している)。そして、 β は正規化した塑性勾配 E/E_p による変化が小さかった。 P/P_L と β の関係を定式化することで、任意の荷重に対するJ積分が得られる。文献(37)では、 β を P/P_L と E_p 、および亀裂長さ a の関数として式の形に表すことができた。その式を用いて得られた結果が、図6の赤実線となる。文献(37)では、さらに、曲げ荷重を受ける管内表面に半楕円亀裂がある場合の2直線のJ積分も式の形で得ている。

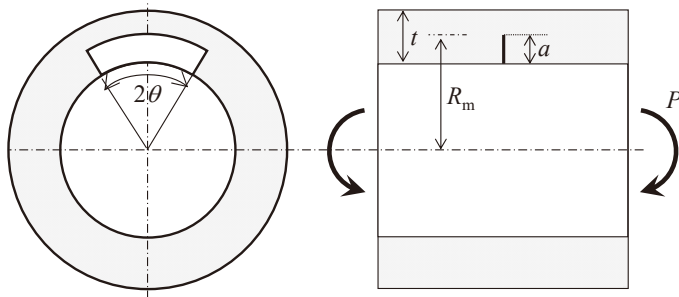


図8 周方向亀裂を有する曲げ荷重を受ける配管

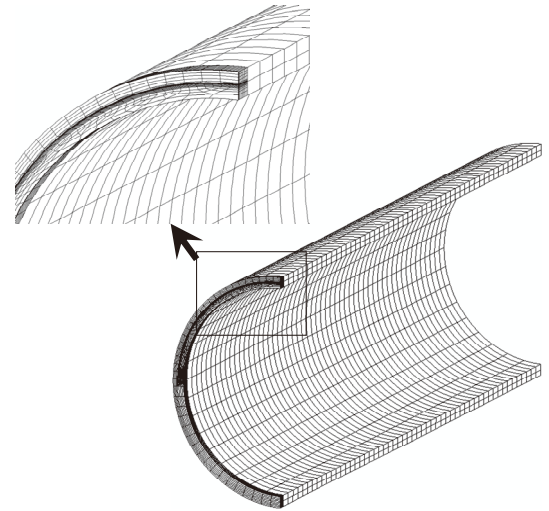


図9 周方向亀裂の有限要素モデル
($R_m/t = 10, a/t = 0.5, \theta/\pi = 0.5$)

以上のように、参照塑性勾配法では、2直線のJ積分を準備すれば、任意の応力・ひずみ曲線のJ積分は高精度に推定することができる。また、2直線のJ積分は表ではなく、式で表現できるなど、実用的な方法と考えられる。今後の発展が期待される。

4. 配管のJ積分解

これまで著者が発表してきた、一定深さ周方向亀裂を有する曲げ荷重下の直管と、軸方向半楕円き裂を有する内圧荷重下の直管のJ積分を紹介する。

4.1 周方向亀裂を有する曲げ配管

(1) 算出条件

図8に示す一定深さの周方向亀裂が内面に存在する直管が曲げ荷重を受ける場合のJ積分の解を算出した⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾。

対象はR-O構成式に従う材料で、構成式の指数定数 n は $n=3, 5, 7, 10$ および 13 とした。定数 α は 1.5 として算出したが、 $\alpha=4$ または 8 とした場合も、算出されるJ積分に及ぼす影響は小さいことを確認した。つまり、 $\alpha=1.5$ 以外の場合も適用できる。降伏強度 σ_y とヤング率 E はそれぞれ 200 MPa と 180 GPa としたが、これらの値以外の場合にも適用できる。ポアソン比は 0.3 とした。管は厚さ t を 40 mm に固定し平均半径 R_m との比 R_m/t を変化させた。板厚の影響がないことは確認さ

れている⁽³⁰⁾。管形状、および亀裂形状は以下の数値の組み合わせとした。

$$R_m/t = 5, 10, 20, 30$$

$$a/t = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$$

$$\theta/\pi = 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$$

解析に用いた有限要素メッシュの例を図9に示す。配管には曲げモーメントのみが負荷され、軸力は考慮しなかった。

最新点(対称位置)の節点でのJ積分を算出した。

(2) J積分の算出方法

得られたJ積分解を表1と表2にまとめる。これらの表の値を用いて、以下の手順でJ積分が算出できる。

- ① 配管形状(t および R_m/t)、亀裂形状(a と θ)および曲げモーメント P を設定する。
- ② (4)式の構成式(R-O式)の材料定数(α と n および σ_y)を決定する。
- ③ 極限荷重 P_L を下式で算出する。

$$P_L = 2\sigma_y R_m^2 t \left(2 \sin \beta - \frac{a}{t} \sin \theta \right) \quad (12)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\pi - \frac{a\theta}{t} \right) \quad (13)$$

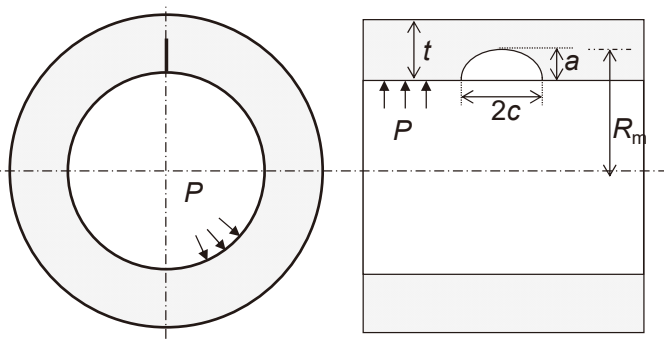


図 10 軸方向亀裂を有する内圧を受ける配管

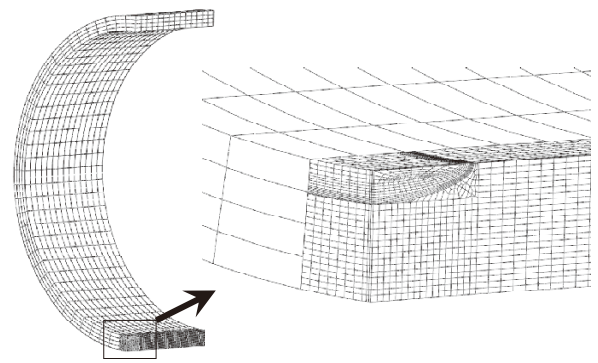


図 11 軸方向亀裂の有限要素モデル
($R_m/t = 10, a/t = 0.2, a/c = 0.2$)

- ④ (1)式にしたがって応力拡大係数を求める。応力 σ は断面係数 Z を用いて $\sigma = P \times Z$ により算出する。定数 f_1 は表 1 による。
- ⑤ 下式により a_e を算出する

$$a_e = a \left\{ 1 + (0.5n - 1.5) f_1^2 \left(\frac{P}{P_L} \right)^2 \frac{1}{1 + 2(P/P_L)} \right\} \quad (14)$$

- ⑥ (3)式から J_p を算出する。 h_1 は表 2 の値を用いる。
- ⑦ 以上求めた値を用いて(5)式により得られる J が、得られる J 積分となる。

4.2 軸方向亀裂を有する内圧配管

(1) 算出条件

図 10 に示す半楕円の軸方向亀裂が内面に存在する直管が内圧を受ける場合の J 積分の解を算出した⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾。

対象は R-O 構成式に従う材料で、構成式の指数定数 n は $n = 3, 5, 7, 10$ および 13 とした。定数 α は 1.5 とした。降伏強度 σ_y とヤング率 E はそれぞれ 200 MPa と 180 GPa とした。ポアソン比は 0.3 とした。管は厚さ t を 40 mm に固定し平均半径 R_m との比 R_m/t を変化させた。管形状、および亀裂形状は以下の数値の組み合わせとした。

$$R_m/t = 5, 10, 20, 30$$

$$a/t = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75$$

$$c/a = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$$

解析に用いた有限要素メッシュの例を図 11 に示す。亀裂面を含めた配管内面に内圧 P を負荷した。内圧が負荷された配管では軸方向荷重も作用する。しかし、実配管では軸方向の変位が拘束され、必ずしも軸力が作用するとは限らない。本解析では、安全側に、軸力を考慮しなかった。

表面点と最新点の 2 点の J 積分を算出した。

(2) J 積分の算出方法

得られた J 積分解を表 3 と表 4 にまとめる。これらの表の値を用いて、以下の手順で J 積分が算出できる。

- ① 配管形状 (t および R_m/t)、亀裂形状 (a と c) および内圧 P を設定する。
- ② (4)式の構成式 (R-O 式) の材料定数 (α と n および σ_y) を決定する。
- ③ 極限荷重 P_L を下式で算出する。

$$P_L = \frac{t}{R_m} \sigma_y \left(\frac{t/a - 1}{t/a - 1/M_t} \right) \quad (15)$$

$$M_t = \sqrt{1 + \frac{1.61c^2}{R_m t}} \quad (16)$$

- ④ (1)式にしたがって応力拡大係数を求める。応力 σ は $\sigma = P \times R_m/t$ により算出する。定数 f_1 は表 3 による。
- ⑤ 下式により a_e を算出する

$$a_e = a + \frac{1}{6\pi} \frac{(n-1)}{(n+1)} \left(\frac{K(a)}{\sigma_y} \right)^2 \left(\frac{1}{1+(P/P_L)^2} \right) \quad (17)$$

- ⑥ (3)式から J_p を算出する. h_1 は表 4 の値を用いる.
- ⑦ 以上求めた値を用いて(5)式により得られる J が, 得られる J 積分となる.

5. おわりに

一般的な解説書では J 積分は亀裂進展に伴うエネルギー解放率として, 難解な式により定義される. 非線形の弾塑性力学において用いられる J 積分は, 弾性力学パラメータである応力拡大係数よりもさらに敷居が高く思える. 本稿は, あえて詳細な定義式を用いずに, 表題にある「亀裂構造物評価のための」を前提に, 必要となる部分のみを抜き出して解説としてまとめた. より厳密な定義などは文献(42)など, 優れた解説を参照されたい. 本稿では, J 積分は亀裂先端の応力とひずみの集中を代表するパラメータであること, 弾塑性状態に対応した破壊評価に用いられる駆動力指標であることの2つを定義に代わるものとした. そして, J 積分に対するもう一つのハードルであると思われる, 値を得ることの困難さについてまとめた. J 積分の値を得る方法として以下のように要約できる.

- (1) 正確な値は有限要素解析により算出する必要がある.
- (2) 予め計算された解が整備されているが, 想定される材料構成式は R-O 式に限られる. 本稿 4 章においても紹介されている.
- (3) 有限要素解析を用いないで, 任意の構成式に対して J 積分を得るために参照応力法が用いられている. ただし, 参照応力法は J 積分の推定式であり, 必ずしも正しい値を算出するものではない.
- (4) 任意の構成式に対応する方法として, 参照塑性勾配法も紹介した. 開発されて間もないが, 精度と簡便さの両方を備えた方法として, 今後の発展が望まれる.

弊社ホームページから要求いただければ, 4 章で紹介した表 1~表 4 は電子データとしてお渡しすることもできる. 解の精度は参照した文献(39)と(40)の中で検

討されている. しかし, 解の妥当性は客観的に示されるべきと考えている. 検証にご協力いただければ幸甚である.

本稿ならびにお渡ししたデータを用いて得られる結果については, 著者ならびに本稿の発行元である(株)原子力安全システム研究所はいかなる責任も負わないことをお断りしておく.

引用文献

- (1) 日本機械学会, 発電用原子力設備規格維持規格, JSME S NA1-2016 (2016), 日本機械学会.
- (2) 釜谷昌幸, 北條智博, 望月正人, 中性子照射を受けた原子炉容器炉内構造物の構造健全性(ステンレス鋼構造物の冷間加工による破壊強度変化), 日本機械学会論文集, Vol. 80, (2014) SMM0252.
- (3) 釜谷昌幸, “軸方向き裂を有する鋳造ステンレス鋼管の破壊評価法”, 日本機械学会論文集 A 編, Vol. 78, No. 794 (2012), pp.1473-1484.
- (4) Committee on Fracture Mechanics, The Society of Material Science, Japan, Stress Intensity Factors Handbook Volume 1-3, Pergamon Press (1987).
- (5) N. Miura, Y. Takahashi, H. Shibamoto and K. Inoue, “Comparison of stress intensity factor solutions for cylinders with axial and circumferential cracks”, Nuclear Engineering and Design, Vol.238 (2008), pp.423-434.
- (6) J. W. Hutchinson, “Plastic stress and strain fields at a crack tip”, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol.16 (1968), pp.337-347.
- (7) N. L. Goldman and J. W. Hutchinson, “Fully plastic crack problems: the center-cracked strip under plane strain”, International Journal of Solids and Structures, Vol.11 (1975), pp.575-591.
- (8) C. F. Shih, “J-integral estimates for strain hardening materials in antiplane shear using fully plastic solution”, ASTM STP 590 (1976), pp.3-26.
- (9) V. Kumar and C. F. Shih, “Fully Plastic Crack Solutions, Estimation Scheme, and Stability Analyses for the Compact Specimen,” In: Fracture Mechanics: Twelfth Conference, ASTM STP 700 (1980), pp. 406-438.
- (10) A. Zahoor, Ductile Fracture Handbook, EPRI NP-6301 (1989), Electric Power Research Institute.
- (11) G. Yagawa, Y. Kitajima, H. Ueda, “Three-dimensional fully plastic solutions for semi-elliptical surface cracks”, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 53 (1993) 457-510.
- (12) Y. J. Kim, J. S. Kim, Y. Z. Lee and Y. J. Kim, “Non-linear fracture mechanics analyses of part circumferential surface cracked pipes”, International Journal of Fracture, Vol. 116 (2002) 347-375.
- (13) Y. Lei, “J-integral and limit load analysis of semi-elliptical surface cracks in plates under bending”, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 81 (2004) 31-41.

- (14) Y. Lei, "J-integral and limit load analysis of semi-elliptical surface cracks in plates under combined tension and bending", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 81 (2004) 43-56.
- (15) Y. J. Kim, J. S. Kim, Y. J. Park and Y. J. Kim, "Elastic-plastic fracture mechanics method for finite internal axial surface cracks in cylinders", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 71 (2004) 925-944.
- (16) M. Kamaya, "Ramberg-Osgood type stress-strain curve estimation using yield and ultimate strengths for failure assessments", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 137, (2016) pp.1-12.
- (17) Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects, R6 revision 4: British Energy Generation Ltd, 2007.
- (18) Fitness-For-Service API579-1/ASME FFS-1, ASME, 2007.
- (19) 釜谷昌幸, 町田秀夫, 板谷雅雄, 北条公伸, "維持規格における弾塑性破壊力学評価のためのZ係数式", *日本機械学会論文集*, Vol. 82 (2016) DOI:10.1299/transjsme.16-00263.
- (20) M. Kamaya, "Failure assessment curve for austenitic stainless steel pipes of nuclear power plants", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 238, (2020) (DOI:10.1016/j.engfracmech.2020.107283).
- (21) R. A. Ainsworth, "The assessment of defects in structures of strain hardening material", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 19, No. 4 (1984), pp.633-642.
- (22) R. L. Roche, "Models of failure - primary and secondary stresses", *Transaction of ASME Journal of Pressure Vessel Technology*, Vol. 110, No. 3 (1988), pp.234-239.
- (23) S. Takamatsu and T. Shimakawa, "Development of a simplified J-estimation scheme based on the reference stress method", *Journal of Society of Material Science, Japan*, Vol. 43, No.493 (1994), pp.1284-1289.
- (24) T. Shimakawa, N. Miura, Y. Nakayama and Y. Takahashi, "Verification of simplified J-integral evaluation method for flaw evaluation at high temperature", *Journal of Society of Material Science, Japan*, Vol. 49, No. 8 (2000), pp.851-856.
- (25) N. Miura, T. Shimakawa, Y. Nakayama and Y. Takahashi, "Systematization of simplified J-Integral evaluation method for flaw evaluation at high temperature", *Journal of Society of Material Science, Japan*, Vol. 49, No. 8 (2000), pp.845-850.
- (26) M. Kamaya, "Low-cycle fatigue crack growth prediction by strain intensity factor", *International Journal of Fatigue*, Vol. 72, (2015) pp.80-89.
- (27) A. G. Miller, R. A. Ainsworth, "Consistency of numerical results for power-law hardening materials and the accuracy of the reference stress approximation for J", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 32 (1989), pp.233-247.
- (28) 三浦直樹, 小山田賢治, "円筒中の表面欠陥に対する参照応力解の比較", *圧力技術*, Vol. 55, No.4 (2017), pp.158-166.
- (29) I. W. Goodall and G. A. Webster, "Theoretical determination of reference stress for partially penetrating flaws in plates", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 78 (2001), pp.687-695.
- (30) 釜谷昌幸, 町田秀夫, "参照応力 J 積分簡易解析法の破壊評価曲線評価への適用性の検討", *日本機械学会論文集 A 編*, Vol. 75 (2009), pp.333-342.
- (31) Y. J. Kim, J. S. Kim, Y. Z. Lee and Y. J. Kim, "Non-linear fracture mechanics analyses of part circumferential surface cracked pipes", *International Journal of Fracture*, Vol. 116 (2002), pp.347-375.
- (32) Y. J. Kim, J. S. Kim, Y. J. Park and Y. J. Kim, "Elastic-plastic fracture mechanics method for finite internal axial surface cracks in cylinders", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 71 (2004) pp.925-944.
- (33) Y. J. Kim, N. Su. Huh, Y. J. Kim, "Reference stress based elastic-plastic fracture analysis for circumferential through-wall cracked pipes under combined tension and bending", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 69 (2002), pp.367-388.
- (34) Y. J. Kim and D. J. Shim, "Relevance of plastic limit loads to reference stress approach for surface cracked cylinder problems", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 82 (2005), pp.687-699.
- (35) U. Zerbst, Y. Kiyak, M. Madia, A. Burgold, G. Riedel, "Reference loads for plates with semi-elliptical surface cracks subjected to tension and bending for application within R6 type flaw assessment", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 99 (2013) pp.132-140.
- (36) M. Kamaya, "A J-integral estimation procedure for Swift-type stress-strain curves", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 127, (2014) pp.31-45.
- (37) M. Kamaya, "J-integral estimation by reference plastic slope method for poly-linear stress-strain curves", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 191, (2021) (DOI:10.1016/j.ijpvp.2021.104366).
- (38) A. G. Miller, "Review of limit loads of structures containing defect", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 32 (1988), pp.197-327.
- (39) M. Kamaya, "J-integral solutions for surface cracks inside pipes under bending load", *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, Vol. 10 (2009), pp.1115-1126.
- (40) 釜谷昌幸, "クラス 2, 3 配管に対する弾性塑性破壊力学評価のための荷重割増し係数 (Z 係数)", *日本機械学会論文集 A 編*, Vol. 79, (2013), pp.1669-1684.
- (41) M. Kamaya, "J-integral solutions for surface cracks inside pipes under internal pressure", *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, Vol. 6 (2012), pp.871-885.
- (42) 久保司郎, "弾塑性破壊力学と J 積分", *材料*, Vol. 32, No.362 (1983), pp.1285-1290.

表1 周方向亀裂の f_i

R_m/t	θ/π	a/t							
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
5	0.05	0.887	0.915	0.897	0.867	0.834	0.803	0.780	0.778
	0.1	0.882	0.963	1.01	1.03	1.05	1.05	1.05	1.07
	0.2	0.892	0.988	1.07	1.14	1.21	1.27	1.33	1.41
	0.3	0.893	0.993	1.08	1.17	1.26	1.36	1.47	1.61
	0.4	0.893	0.994	1.08	1.18	1.28	1.40	1.53	1.71
10	0.05	0.953	1.08	1.15	1.18	1.19	1.18	1.16	1.15
	0.1	0.949	1.10	1.22	1.33	1.42	1.49	1.53	1.55
	0.2	0.960	1.12	1.26	1.41	1.57	1.72	1.86	2.00
	0.3	0.960	1.12	1.27	1.42	1.61	1.80	1.99	2.21
	0.4	0.960	1.12	1.27	1.43	1.62	1.82	2.05	2.30
20	0.05	0.955	1.15	1.31	1.45	1.57	1.64	1.67	1.65
	0.1	0.957	1.16	1.35	1.56	1.77	1.96	2.11	2.19
	0.2	0.967	1.18	1.38	1.61	1.87	2.16	2.44	2.71
	0.3	0.968	1.18	1.38	1.62	1.89	2.21	2.55	2.89
	0.4	0.968	1.18	1.38	1.62	1.90	2.22	2.58	2.95
30	0.05	0.952	1.16	1.37	1.57	1.76	1.90	1.99	2.00
	0.1	0.942	1.17	1.39	1.65	1.93	2.22	2.46	2.62
	0.2	0.966	1.18	1.42	1.69	2.01	2.37	2.77	3.14
	0.3	0.954	1.18	1.42	1.69	2.02	2.41	2.85	3.29
	0.4	0.954	1.18	1.42	1.69	2.02	2.41	2.86	3.32
30	0.05	0.954	1.18	1.42	1.69	2.02	2.41	2.86	3.32

表2(a) 周方向亀裂の $h_1(n=3)$

$h_1(n=3)$

R_m/t	θ/π	a/t							
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
5	0.05	0.427	1.07	1.59	2.02	2.30	2.45	2.56	2.86
	0.1	0.405	1.12	1.85	2.64	3.24	3.60	3.90	4.64
	0.2	0.398	1.08	1.79	2.57	3.18	3.59	4.03	5.21
	0.3	0.383	0.995	1.59	2.18	2.60	2.86	3.13	4.10
	0.4	0.371	0.930	1.44	1.87	2.14	2.20	2.24	2.52
10	0.05	0.366	0.895	1.34	1.67	1.79	1.71	1.53	1.46
	0.05	0.426	1.41	2.53	3.78	4.80	5.35	5.62	6.25
	0.1	0.402	1.37	2.64	4.30	5.87	6.97	7.83	9.54
	0.2	0.400	1.30	2.43	4.00	5.61	6.86	8.07	10.8
	0.3	0.383	1.16	2.13	3.39	4.60	5.52	6.31	8.15
20	0.4	0.371	1.08	1.86	2.86	3.68	4.09	4.28	4.80
	0.5	0.366	1.03	1.72	2.52	2.96	2.97	2.69	2.50
	0.05	0.390	1.42	3.26	5.93	8.66	10.5	11.4	12.8
	0.1	0.364	1.31	3.12	6.10	9.57	12.5	15.0	18.7
	0.2	0.374	1.27	2.83	5.45	8.86	12.2	15.5	21.1
30	0.3	0.358	1.14	2.42	4.50	7.02	9.32	11.3	14.4
	0.4	0.346	1.04	2.12	3.73	5.40	6.57	7.09	7.69
	0.5	0.341	0.994	1.96	3.24	4.36	4.74	4.42	3.94
	0.05	0.392	1.40	3.67	7.19	11.3	14.6	16.4	18.8
	0.1	0.334	1.24	3.32	7.18	12.3	17.2	21.4	27.5
30	0.2	0.378	1.24	3.04	6.30	11.1	16.5	21.9	30.2
	0.3	0.337	1.10	2.56	5.09	8.52	12.0	15.2	19.2
	0.4	0.325	1.01	2.24	4.19	6.38	8.21	9.08	9.74
	0.5	0.320	0.957	2.07	3.62	5.13	5.84	5.59	4.82

表 2(b) 周方向亀裂の $h_1(n=5)$

$h_1(n=5)$									
R_m/t	θ/π	a/t							
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
5	0.05	0.463	1.21	1.84	2.30	2.63	2.81	2.98	3.49
	0.1	0.430	1.28	2.16	2.92	3.61	3.93	4.10	5.20
	0.2	0.407	1.22	1.99	2.66	3.17	3.48	4.16	5.55
	0.3	0.384	1.09	1.70	2.16	2.46	2.64	2.93	3.90
	0.4	0.368	1.01	1.46	1.80	1.94	1.84	1.91	2.45
	0.5	0.362	0.961	1.32	1.56	1.52	1.33	1.26	1.24
10	0.05	0.465	1.63	3.04	4.45	5.52	6.28	6.39	7.68
	0.1	0.434	1.59	3.11	5.07	6.58	7.57	8.72	12.9
	0.2	0.412	1.43	2.81	4.62	5.92	7.02	8.83	15.0
	0.3	0.386	1.26	2.40	3.71	4.74	5.50	6.39	10.2
	0.4	0.370	1.15	2.03	2.97	3.64	3.66	3.92	5.45
	0.5	0.363	1.09	1.81	2.51	2.81	2.50	2.36	2.45
20	0.05	0.426	1.65	4.07	7.69	10.8	12.5	13.9	18.2
	0.1	0.387	1.49	3.92	8.13	12.0	15.1	18.8	29.7
	0.2	0.384	1.33	3.36	7.33	11.1	14.7	19.9	35.6
	0.3	0.373	1.17	2.82	5.46	8.10	10.8	13.0	20.9
	0.4	0.343	1.06	2.37	4.14	6.07	6.68	7.19	10.6
	0.5	0.336	1.00	2.08	3.42	4.51	4.21	3.84	4.14
30	0.05	0.426	1.64	4.93	9.86	14.7	18.0	20.7	28.7
	0.1	0.354	1.40	4.35	10.3	16.7	22.2	28.9	49.2
	0.2	0.388	1.29	3.67	9.15	15.4	21.6	30.2	56.5
	0.3	0.339	1.13	3.04	6.52	10.8	14.9	18.7	30.9
	0.4	0.322	1.01	2.56	4.80	7.25	8.68	9.25	14.4
	0.5	0.315	0.958	2.23	3.92	5.59	5.44	4.85	5.43

表 2(c) 周方向亀裂の $h_1(n=7)$

$h_1(n=7)$									
R_m/t	θ/π	a/t							
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
5	0.05	0.448	1.27	1.87	2.42	2.82	3.06	3.32	4.01
	0.1	0.413	1.35	2.16	2.96	3.46	3.74	4.22	4.83
	0.2	0.394	1.25	1.89	2.48	2.76	2.98	3.55	4.90
	0.3	0.365	1.07	1.56	1.86	1.97	2.09	2.40	3.10
	0.4	0.343	0.958	1.29	1.46	1.43	1.40	1.45	1.60
	0.5	0.334	0.895	1.13	1.21	1.07	0.950	0.950	0.690
10	0.05	0.470	1.74	3.18	4.81	5.92	6.46	7.06	8.93
	0.1	0.426	1.67	3.35	5.30	6.71	7.74	9.53	13.9
	0.2	0.405	1.48	2.84	4.53	5.74	6.73	8.92	13.8
	0.3	0.370	1.25	2.29	3.47	4.20	4.69	5.89	8.64
	0.4	0.348	1.08	1.88	2.66	2.86	3.00	3.28	3.97
	0.5	0.337	1.00	1.61	2.15	2.07	1.85	1.55	1.57
20	0.05	0.436	1.77	4.55	8.24	11.4	13.1	15.1	20.8
	0.1	0.378	1.54	4.37	8.58	12.3	15.4	21.2	35.6
	0.2	0.368	1.33	3.57	7.41	11.4	14.6	21.3	36.7
	0.3	0.336	1.10	2.73	5.48	8.07	9.41	12.2	20.4
	0.4	0.313	0.936	2.18	3.99	5.09	5.56	6.00	7.83
	0.5	0.304	0.864	1.86	3.13	3.49	3.27	2.64	2.90
30	0.05	0.460	1.87	5.75	11.4	16.6	19.9	24.2	36.2
	0.1	0.353	1.52	5.30	12.2	18.6	24.4	35.2	65.7
	0.2	0.382	1.33	4.22	10.4	17.5	23.5	35.0	63.8
	0.3	0.322	1.09	3.11	7.34	11.7	14.4	19.1	34.1
	0.4	0.300	0.922	2.45	5.10	7.10	7.89	8.56	12.0
	0.5	0.290	0.847	2.09	3.97	4.69	4.52	3.68	4.11

表 2(d) 周方向亀裂の $h_1(n=10)$ $h_1(n=10)$

R_m/t	θ/π	a/t							
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
5	0.05	0.434	1.26	1.85	2.40	2.80	3.05	3.36	4.08
	0.1	0.394	1.33	2.08	2.81	3.17	3.38	3.83	4.83
	0.2	0.361	1.19	1.69	2.01	2.15	2.35	2.81	3.61
	0.3	0.323	0.979	1.26	1.40	1.45	1.52	1.62	1.87
	0.4	0.299	0.838	0.990	1.05	0.963	0.847	0.802	0.825
	0.5	0.288	0.761	0.835	0.828	0.639	0.523	0.395	0.336
10	0.05	0.465	1.79	3.30	4.97	6.00	6.55	7.37	9.52
	0.1	0.413	1.67	3.46	5.30	6.50	7.52	9.51	13.2
	0.2	0.373	1.42	2.76	4.05	4.95	5.99	7.99	11.1
	0.3	0.331	1.13	2.05	2.87	3.41	3.85	4.50	5.65
	0.4	0.305	0.944	1.58	2.11	2.08	2.00	2.10	2.30
	0.5	0.293	0.849	1.28	1.60	1.35	1.07	0.893	0.843
20	0.05	0.432	1.82	4.95	8.95	12.0	13.7	16.7	23.4
	0.1	0.363	1.53	4.74	9.19	12.9	16.9	24.6	37.6
	0.2	0.337	1.23	3.67	7.48	10.8	14.5	21.7	32.5
	0.3	0.298	0.942	2.54	5.10	7.20	8.11	10.2	14.1
	0.4	0.273	0.773	1.88	3.47	3.96	3.95	4.12	4.91
	0.5	0.261	0.689	1.49	2.53	2.54	1.95	1.62	1.65
30	0.05	0.465	1.97	6.44	12.8	18.0	21.8	28.4	41.9
	0.1	0.341	1.54	5.98	13.9	20.6	28.5	44.3	72.1
	0.2	0.351	1.23	4.44	11.6	18.2	24.2	37.8	56.2
	0.3	0.287	0.938	2.98	7.50	10.5	12.9	16.9	26.3
	0.4	0.261	0.758	2.16	4.83	5.88	5.97	6.32	7.89
	0.5	0.250	0.679	1.71	3.50	3.70	2.79	2.41	2.52

表 2(e) 周方向亀裂の $h_1(n=13)$ $h_1(n=13)$

R_m/t	θ/π	a/t							
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
5	0.05	0.425	1.26	1.84	2.40	2.78	3.00	3.29	3.92
	0.1	0.376	1.32	2.01	2.62	2.86	3.02	3.37	4.08
	0.2	0.336	1.11	1.48	1.63	1.67	1.76	1.97	2.37
	0.3	0.293	0.872	1.00	1.02	0.971	0.946	0.937	1.03
	0.4	0.264	0.714	0.743	0.685	0.579	0.490	0.413	0.408
	0.5	0.251	0.630	0.602	0.499	0.364	0.275	0.196	0.164
10	0.05	0.463	1.82	3.41	5.10	6.07	6.62	7.52	9.49
	0.1	0.401	1.68	3.52	5.14	6.16	7.20	9.14	12.0
	0.2	0.349	1.32	2.58	3.51	4.22	5.04	6.23	7.81
	0.3	0.302	1.00	1.77	2.27	2.46	2.66	2.84	3.37
	0.4	0.271	0.800	1.28	1.46	1.34	1.24	1.16	1.22
	0.5	0.257	0.696	1.00	1.03	0.789	0.593	0.481	0.431
20	0.05	0.432	1.85	5.21	9.49	12.5	14.6	18.2	24.8
	0.1	0.353	1.51	4.92	9.34	13.3	18.3	26.1	36.0
	0.2	0.314	1.13	3.51	7.00	10.0	13.4	18.1	23.8
	0.3	0.270	0.804	2.26	4.33	5.37	6.04	6.97	8.97
	0.4	0.241	0.628	1.54	2.63	2.74	2.46	2.37	2.82
	0.5	0.228	0.547	1.17	1.77	1.50	1.11	0.909	0.883
30	0.05	0.471	2.00	6.72	13.8	19.1	23.6	31.3	43.3
	0.1	0.334	1.53	6.26	14.4	21.8	31.6	47.9	67.4
	0.2	0.330	1.14	4.32	11.5	17.3	22.6	31.2	39.8
	0.3	0.261	0.799	2.66	6.88	8.82	9.78	12.0	15.0
	0.4	0.232	0.618	1.78	3.97	4.25	3.79	3.79	4.62
	0.5	0.219	0.536	1.33	2.67	2.34	1.66	1.35	1.37

表3 軸方向亀裂の f_1

f_1	R_m/t	a/c	a/t														
			0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
Deepest point	5	0.1	1.29	1.30	1.32	1.36	1.42	1.50	1.59	1.69	1.81	1.94	2.09	2.25	2.42	2.60	2.79
		0.2	1.24	1.23	1.24	1.26	1.28	1.32	1.37	1.43	1.49	1.56	1.64	1.73	1.82	1.92	2.03
		0.3	1.17	1.17	1.16	1.17	1.19	1.21	1.23	1.26	1.30	1.34	1.39	1.44	1.49	1.55	1.61
		0.4	1.11	1.10	1.10	1.10	1.11	1.12	1.13	1.15	1.17	1.20	1.22	1.25	1.28	1.32	1.36
		0.5	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16	1.19
		0.6	0.983	0.979	0.973	0.970	0.970	0.972	0.975	0.981	0.987	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.06
		0.7	0.926	0.922	0.916	0.912	0.910	0.910	0.911	0.914	0.917	0.921	0.927	0.933	0.941	0.950	0.962
		0.8	0.873	0.869	0.864	0.859	0.856	0.855	0.854	0.855	0.856	0.858	0.861	0.864	0.869	0.875	0.883
		0.9	0.824	0.821	0.816	0.811	0.808	0.805	0.803	0.803	0.802	0.803	0.804	0.805	0.808	0.811	0.817
		1.0	0.779	0.777	0.771	0.767	0.763	0.760	0.758	0.756	0.755	0.754	0.754	0.754	0.755	0.757	0.761
	10	0.1	1.18	1.20	1.23	1.28	1.34	1.41	1.50	1.61	1.73	1.86	2.01	2.17	2.34	2.52	2.70
		0.2	1.13	1.14	1.15	1.18	1.21	1.25	1.30	1.36	1.42	1.49	1.56	1.64	1.72	1.80	1.87
		0.3	1.07	1.08	1.09	1.10	1.12	1.14	1.17	1.21	1.25	1.29	1.33	1.37	1.41	1.45	1.49
		0.4	1.01	1.02	1.03	1.03	1.04	1.06	1.08	1.10	1.12	1.15	1.17	1.20	1.22	1.24	1.27
		0.5	0.956	0.960	0.963	0.967	0.975	0.984	1.00	1.01	1.03	1.04	1.06	1.07	1.09	1.10	1.11
		0.6	0.907	0.900	0.904	0.907	0.912	0.919	0.927	0.936	0.946	0.956	0.966	0.975	0.984	0.993	1.00
		0.7	0.854	0.848	0.850	0.853	0.856	0.856	0.855	0.854	0.855	0.856	0.858	0.861	0.864	0.869	0.875
		0.8	0.805	0.799	0.801	0.803	0.805	0.807	0.810	0.814	0.818	0.822	0.826	0.830	0.833	0.837	0.841
		0.9	0.760	0.754	0.756	0.757	0.758	0.760	0.762	0.764	0.766	0.769	0.771	0.773	0.775	0.777	0.780
		1.0	0.719	0.714	0.715	0.716	0.716	0.717	0.718	0.719	0.720	0.721	0.722	0.723	0.724	0.725	0.727
	20	0.1	1.13	1.14	1.18	1.23	1.29	1.37	1.46	1.56	1.68	1.81	1.95	2.10	2.26	2.43	2.59
		0.2	1.08	1.08	1.11	1.14	1.17	1.22	1.27	1.33	1.39	1.46	1.53	1.60	1.66	1.73	1.79
		0.3	1.02	1.03	1.04	1.06	1.08	1.11	1.14	1.18	1.22	1.26	1.30	1.34	1.37	1.40	1.43
		0.4	0.991	0.973	0.983	1.00	1.01	1.03	1.05	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.19	1.21	1.23
		0.5	0.933	0.915	0.923	0.932	0.943	0.956	0.971	0.987	1.00	1.02	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08
		0.6	0.927	0.869	0.864	0.871	0.880	0.890	0.901	0.912	0.924	0.935	0.946	0.956	0.964	0.971	0.977
		0.7	0.872	0.818	0.813	0.818	0.825	0.832	0.840	0.848	0.856	0.864	0.871	0.878	0.883	0.888	0.891
		0.8	0.821	0.771	0.766	0.770	0.775	0.781	0.787	0.793	0.798	0.804	0.808	0.813	0.816	0.819	0.821
		0.9	0.774	0.728	0.723	0.726	0.730	0.735	0.739	0.743	0.747	0.751	0.754	0.757	0.759	0.760	0.762
		1.0	0.730	0.688	0.683	0.686	0.690	0.693	0.696	0.700	0.702	0.705	0.707	0.708	0.709	0.710	0.711
30	0.1	1.14	1.12	1.16	1.21	1.28	1.35	1.44	1.55	1.66	1.79	1.93	2.08	2.23	2.38	2.54	
	0.2	1.09	1.06	1.09	1.12	1.16	1.20	1.26	1.32	1.38	1.45	1.52	1.58	1.65	1.70	1.75	
	0.3	1.04	1.01	1.02	1.04	1.07	1.10	1.13	1.17	1.21	1.25	1.29	1.33	1.36	1.39	1.41	
	0.4	1.02	0.963	0.966	0.979	1.00	1.02	1.04	1.07	1.09	1.12	1.14	1.17	1.19	1.20	1.21	
	0.5	0.959	0.907	0.907	0.917	0.930	0.945	0.961	0.978	1.00	1.01	1.03	1.04	1.06	1.07	1.07	
	0.6	0.949	0.885	0.860	0.859	0.866	0.877	0.889	0.902	0.914	0.927	0.938	0.948	0.957	0.963	0.968	
	0.7	0.892	0.833	0.809	0.807	0.812	0.820	0.829	0.838	0.848	0.856	0.864	0.871	0.876	0.880	0.883	
	0.8	0.838	0.785	0.762	0.759	0.763	0.769	0.776	0.783	0.790	0.796	0.802	0.806	0.810	0.812	0.814	
	0.9	0.789	0.740	0.719	0.716	0.719	0.724	0.729	0.735	0.740	0.744	0.748	0.751	0.753	0.754	0.755	
	1.0	0.743	0.699	0.679	0.676	0.679	0.683	0.687	0.691	0.695	0.698	0.701	0.703	0.704	0.705	0.705	
Surface point	5	0.1	0.542	0.537	0.550	0.566	0.585	0.607	0.632	0.660	0.692	0.727	0.767	0.812	0.861	0.916	0.976
		0.2	0.631	0.636	0.645	0.661	0.681	0.705	0.735	0.768	0.806	0.849	0.897	0.949	1.01	1.07	1.14
		0.3	0.714	0.720	0.726	0.738	0.755	0.777	0.803	0.834	0.870	0.909	0.954	1.00	1.05	1.11	1.17
		0.4	0.787	0.788	0.792	0.801	0.815	0.834	0.858	0.886	0.918	0.955	1.000	1.04	1.09	1.14	1.20
		0.5	0.832	0.833	0.834	0.840	0.851	0.866	0.885	0.908	0.935	0.965	1.000	1.04	1.08	1.12	1.16
		0.6	0.868	0.866	0.866	0.870	0.878	0.890	0.905	0.924	0.947	0.973	1.000	1.03	1.07	1.10	1.14
		0.7	0.883	0.882	0.881	0.883	0.889	0.898	0.910	0.926	0.944	0.965	0.989	1.01	1.04	1.07	1.10
		0.8	0.890	0.889	0.888	0.889	0.893	0.900	0.910	0.922	0.937	0.955	0.974	1.00	1.02	1.04	1.07
		0.9	0.891	0.890	0.889	0.889	0.892	0.897	0.905	0.915	0.927	0.942	0.958	0.975	0.994	1.01	1.03
		1.0	0.888	0.887	0.886	0.886	0.888	0.892	0.898	0.906	0.916	0.928	0.941	0.956	0.972	0.988	1.01
	10	0.1	0.506	0.507	0.507	0.516	0.532	0.553	0.577	0.605	0.637	0.673	0.715	0.764	0.819	0.882	0.954
		0.2	0.570	0.583	0.593	0.607	0.625	0.648	0.675	0.707	0.744	0.786	0.833	0.887	0.946	1.01	1.08
		0.3	0.644	0.656	0.667	0.681	0.698	0.720	0.745	0.775	0.809	0.848	0.890	0.937	0.989	1.04	1.10
		0.4	0.713	0.723	0.730	0.741	0.756	0.776	0.799	0.827	0.858	0.893	0.932	0.974	1.02	1.07	1.12
		0.5	0.756	0.764	0.770	0.778	0.791	0.807	0.827	0.851	0.878	0.908	0.941	0.976	1.01	1.05	1.09
		0.6	0.791	0.796	0.801	0.807	0.817	0.830	0.847	0.867	0.890	0.916	0.945	0.975	1.01	1.04	1.08
		0.7	0.809	0.810	0.814	0.819	0.827	0.838	0.852	0.869	0.889	0.911	0.935	0.960	0.987	1.02	1.04
		0.8	0.820	0.816	0.819	0.824	0.830	0.840	0.851	0.865	0.882	0.900	0.921	0.943	0.965	0.989	1.01
		0.9	0.827	0.816	0.819	0.823	0.829	0.837	0.847	0.859	0.872	0.888	0.905	0.924	0.943	0.963	0.984
		1.0	0.831	0.813	0.816	0.819	0.824	0.831	0.839	0.849	0.861	0.874	0.889	0.905	0.921	0.938	0.956
	20	0.1	0.470	0.491	0.500	0.508	0.518	0.531	0.550	0.574	0.603	0.638	0.680	0.728	0.784	0.849	0.924
		0.2	0.538	0.548	0.563	0.580	0.599	0.621	0.647	0.677	0.711	0.751	0.796	0.847	0.904	0.967	1.04
		0.3	0.631	0.619	0.631	0.647	0.666	0.689	0.715	0.745	0.779	0.816	0.858	0.904	0.953	1.01	1.06
		0.4	0.674	0.684	0.696	0.709	0.725	0.745	0.769	0.797	0.829	0.864	0.902	0.944	0.988	1.03	1.08
		0.5	0.729	0.724	0.734	0.745	0.759	0.776	0.797	0.821	0.849	0.879	0.913	0.948	0.986	1.02	1.06
		0.6	0.777	0.757	0.764	0.774	0.786	0.800	0.818	0.839	0.863	0.889	0.918	0.949	0.981	1.01	1.05
		0.7	0.807	0.775	0.777	0.785	0.795	0.808	0.823	0.840	0.861	0.883	0.908	0.934	0.962	0.990	1.02
		0.8	0.828	0.786	0.783	0.789	0.797	0.808	0.821	0.837	0.854	0.873	0.894	0.917	0.940	0.964	0.988
		0.9	0.842	0.793	0.784	0.788	0.795	0.805	0.816	0.829	0.844	0.861	0.879	0.898	0.918	0.938	0.959
		1.0	0.848	0.796	0.783	0.784	0.790	0.798	0.808	0.820	0.833	0.847	0.862	0.879	0.896	0.914	0.931
30	0.1	0.452	0.477	0.493	0.506	0.519	0.533	0.550	0.571	0.597	0.629	0.667	0.713	0.766	0.830	0.904	
	0.2	0.537	0.535	0.549	0.566	0.587	0.610	0.636	0.666	0.701	0.739	0.783	0.833	0.888	0.949	1.02	
	0.3	0.641	0.614	0.617	0.632	0.652	0.675	0.702	0.733	0.767	0.805	0.846	0.892	0.940	0.992	1.05	
	0.4	0.672	0.667	0.680	0.696	0.713	0.734</										

表 4(a) 軸方向亀裂の h_1 ($n = 3$)

		$h_1 (n = 3)$															
		R_m/t	a/c	a/t													
			0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
Deepest point	5	0.1	0.230	0.455	0.676	0.878	1.05	1.19	1.29	1.30	1.29	1.21	1.06	0.906	0.710	0.516	0.356
		0.2	0.215	0.429	0.650	0.876	1.09	1.27	1.39	1.44	1.40	1.28	1.11	0.888	0.670	0.475	0.302
		0.3	0.197	0.394	0.596	0.807	1.02	1.22	1.38	1.47	1.49	1.43	1.26	1.04	0.795	0.553	0.359
		0.4	0.179	0.358	0.540	0.729	0.924	1.12	1.29	1.42	1.48	1.47	1.37	1.18	0.932	0.681	0.446
		0.5	0.160	0.321	0.484	0.654	0.827	1.00	1.17	1.31	1.40	1.43	1.38	1.26	1.05	0.799	0.555
		0.6	0.144	0.286	0.432	0.581	0.734	0.888	1.04	1.18	1.28	1.34	1.34	1.26	1.11	0.887	0.648
		0.7	0.128	0.256	0.386	0.519	0.656	0.793	0.929	1.06	1.17	1.24	1.27	1.23	1.12	0.951	0.722
		0.8	0.114	0.229	0.345	0.464	0.587	0.710	0.832	0.949	1.05	1.14	1.18	1.17	1.10	0.971	0.781
		0.9	0.102	0.205	0.310	0.417	0.526	0.637	0.747	0.853	0.952	1.04	1.09	1.10	1.06	0.962	0.813
		1.0	0.0920	0.185	0.279	0.375	0.474	0.573	0.672	0.769	0.860	0.940	1.00	1.03	1.01	0.938	0.818
	10	0.1	0.206	0.425	0.665	0.916	1.16	1.35	1.50	1.59	1.56	1.47	1.30	1.05	0.822	0.572	0.380
		0.2	0.192	0.395	0.617	0.868	1.14	1.42	1.67	1.82	1.87	1.82	1.60	1.31	0.999	0.682	0.434
		0.3	0.176	0.361	0.560	0.781	1.03	1.29	1.55	1.78	1.93	1.95	1.85	1.63	1.29	0.949	0.610
		0.4	0.163	0.330	0.508	0.703	0.915	1.14	1.38	1.61	1.80	1.91	1.89	1.75	1.52	1.18	0.832
		0.5	0.147	0.297	0.455	0.625	0.810	1.01	1.21	1.42	1.61	1.75	1.81	1.76	1.59	1.35	1.01
		0.6	0.132	0.268	0.408	0.557	0.717	0.886	1.06	1.24	1.41	1.56	1.65	1.67	1.57	1.39	1.13
		0.7	0.118	0.240	0.365	0.496	0.636	0.784	0.939	1.10	1.25	1.39	1.49	1.54	1.51	1.39	1.18
		0.8	0.106	0.215	0.326	0.443	0.567	0.697	0.832	0.971	1.11	1.23	1.34	1.40	1.41	1.34	1.19
		0.9	0.095	0.193	0.293	0.397	0.506	0.621	0.741	0.863	0.984	1.10	1.20	1.27	1.30	1.27	1.17
		1.0	0.0849	0.174	0.263	0.357	0.454	0.557	0.663	0.771	0.879	0.982	1.07	1.15	1.19	1.18	1.12
	20	0.1	0.189	0.406	0.658	0.951	1.27	1.59	1.84	2.02	2.11	2.00	1.79	1.49	1.11	0.783	0.472
		0.2	0.176	0.373	0.594	0.857	1.17	1.52	1.89	2.24	2.48	2.53	2.43	2.15	1.68	1.23	0.767
		0.3	0.162	0.340	0.534	0.758	1.02	1.32	1.65	1.99	2.30	2.53	2.59	2.43	2.15	1.72	1.20
		0.4	0.151	0.315	0.488	0.681	0.902	1.15	1.43	1.72	2.00	2.25	2.41	2.43	2.27	1.96	1.56
		0.5	0.137	0.283	0.436	0.604	0.792	1.00	1.23	1.47	1.72	1.95	2.12	2.22	2.20	2.02	1.70
		0.6	0.124	0.255	0.394	0.542	0.703	0.880	1.07	1.27	1.48	1.68	1.85	1.97	2.00	1.93	1.73
		0.7	0.111	0.228	0.352	0.482	0.622	0.774	0.937	1.11	1.29	1.46	1.62	1.74	1.80	1.79	1.68
		0.8	0.0995	0.204	0.315	0.430	0.552	0.684	0.826	0.974	1.13	1.28	1.42	1.53	1.61	1.63	1.58
		0.9	0.0889	0.183	0.283	0.385	0.493	0.609	0.731	0.860	0.992	1.12	1.25	1.36	1.44	1.48	1.46
		1.0	0.0797	0.165	0.254	0.346	0.442	0.544	0.652	0.764	0.879	0.995	1.11	1.21	1.28	1.33	1.34
30	0.1	0.181	0.394	0.654	0.967	1.33	1.73	2.10	2.35	2.53	2.53	2.26	1.92	1.44	1.00	0.610	
	0.2	0.169	0.361	0.584	0.851	1.18	1.56	1.99	2.44	2.82	3.06	3.01	2.79	2.36	1.74	1.19	
	0.3	0.156	0.329	0.524	0.748	1.01	1.32	1.68	2.07	2.46	2.79	3.00	3.00	2.73	2.33	1.79	
	0.4	0.148	0.306	0.481	0.674	0.895	1.15	1.44	1.76	2.08	2.39	2.63	2.76	2.73	2.49	2.09	
	0.5	0.134	0.275	0.430	0.597	0.784	1.00	1.23	1.49	1.76	2.02	2.25	2.41	2.47	2.41	2.16	
	0.6	0.122	0.248	0.385	0.535	0.698	0.876	1.07	1.28	1.51	1.73	1.93	2.09	2.19	2.19	2.08	
	0.7	0.109	0.222	0.344	0.476	0.617	0.769	0.935	1.11	1.30	1.49	1.67	1.82	1.92	1.96	1.93	
	0.8	0.0974	0.199	0.308	0.424	0.548	0.680	0.822	0.973	1.13	1.29	1.45	1.58	1.69	1.75	1.75	
	0.9	0.0869	0.178	0.276	0.379	0.488	0.604	0.727	0.857	0.994	1.13	1.27	1.39	1.49	1.56	1.58	
	1.0	0.0776	0.160	0.248	0.340	0.437	0.539	0.647	0.760	0.878	0.999	1.12	1.23	1.32	1.39	1.43	
Surface point	5	0.1	0.041	0.084	0.123	0.155	0.180	0.194	0.197	0.194	0.185	0.167	0.143	0.119	0.0906	0.0646	0.0422
		0.2	0.054	0.109	0.167	0.225	0.278	0.322	0.353	0.366	0.361	0.338	0.304	0.253	0.199	0.144	0.0910
		0.3	0.0653	0.131	0.200	0.273	0.348	0.419	0.479	0.522	0.540	0.531	0.489	0.423	0.340	0.248	0.164
		0.4	0.0647	0.130	0.200	0.274	0.351	0.431	0.506	0.568	0.612	0.626	0.606	0.547	0.457	0.351	0.237
		0.5	0.0724	0.144	0.221	0.301	0.387	0.476	0.566	0.649	0.714	0.755	0.756	0.717	0.627	0.501	0.356
		0.6	0.0760	0.149	0.225	0.307	0.394	0.485	0.578	0.669	0.750	0.808	0.837	0.817	0.751	0.629	0.472
		0.7	0.0800	0.156	0.236	0.320	0.410	0.504	0.601	0.698	0.790	0.864	0.910	0.918	0.869	0.764	0.598
		0.8	0.0829	0.161	0.242	0.328	0.419	0.514	0.614	0.714	0.811	0.897	0.959	0.986	0.962	0.875	0.721
		0.9	0.0847	0.164	0.247	0.332	0.424	0.519	0.619	0.721	0.821	0.913	0.985	1.03	1.03	0.960	0.826
		1.0	0.0856	0.166	0.249	0.334	0.425	0.520	0.619	0.721	0.822	0.918	1.00	1.05	1.07	1.03	0.910
	10	0.1	0.034	0.0721	0.111	0.147	0.176	0.198	0.212	0.217	0.212	0.203	0.185	0.158	0.129	0.0922	0.0632
		0.2	0.044	0.0939	0.148	0.208	0.271	0.333	0.386	0.423	0.442	0.443	0.412	0.364	0.301	0.222	0.151
		0.3	0.054	0.113	0.178	0.251	0.331	0.419	0.508	0.591	0.655	0.686	0.684	0.645	0.549	0.438	0.299
		0.4	0.0565	0.113	0.176	0.247	0.328	0.418	0.514	0.612	0.704	0.777	0.811	0.798	0.743	0.619	0.468
		0.5	0.0643	0.127	0.196	0.272	0.359	0.457	0.563	0.677	0.790	0.894	0.971	0.998	0.963	0.872	0.695
		0.6	0.0702	0.135	0.204	0.280	0.367	0.463	0.569	0.685	0.805	0.921	1.02	1.09	1.09	1.02	0.885
		0.7	0.0748	0.143	0.215	0.293	0.381	0.479	0.587	0.704	0.828	0.952	1.07	1.16	1.20	1.17	1.05
		0.8	0.0782	0.149	0.222	0.302	0.391	0.489	0.596	0.713	0.837	0.964	1.09	1.19	1.26	1.27	1.17
		0.9	0.0803	0.153	0.227	0.308	0.397	0.494	0.599	0.714	0.837	0.964	1.09	1.20	1.29	1.32	1.27
		1.0	0.0815	0.155	0.230	0.311	0.399	0.495	0.598	0.710	0.830	0.955	1.08	1.20	1.29	1.35	1.33
	20	0.1	0.0267	0.0642	0.104	0.144	0.182	0.214	0.238	0.252	0.257	0.248	0.235	0.210	0.172	0.133	0.0879
		0.2	0.0368	0.0837	0.137	0.197	0.266	0.341	0.420	0.495	0.557	0.588	0.597	0.569	0.488	0.396	0.273
		0.3	0.0477	0.102	0.164	0.236	0.320	0.416	0.526	0.643	0.762	0.869	0.943	0.952	0.916	0.805	0.619
		0.4	0.0511	0.106	0.165	0.232	0.311	0.404	0.511	0.631	0.761	0.893	1.01	1.10	1.11	1.05	0.912
		0.5	0.0596	0.121	0.185	0.258	0.342	0.441	0.555	0.685	0.827	0.978	1.13	1.26	1.34	1.34	1.22
		0.6	0.0649	0.133	0.199	0.271	0.354	0.451	0.562	0.688	0.829	0.980	1.14	1.28	1.40	1.46	1.40
		0.7	0.0691	0.142	0.211	0.286	0.370	0.467	0.577	0.703	0.844	0.996	1.16	1.31	1.45	1.54	1.55
		0.8	0.0722	0.148	0.220	0.296	0.380	0.476	0.585	0.709	0.846	0.996	1.15	1.31	1.46	1.58	1.63
		0.9	0.0743	0.153	0.226	0.303	0.387	0.482	0.588	0.708	0.841	0.987	1.14	1.30	1.45	1.58	1.65
		1.0	0.0758	0.155	0.229	0.307	0.390	0.483	0.587	0.703	0.832	0.972	1.12	1.28	1.43	1.56	1.65
30	0.1	0.0164	0.0592	0.0990	0.142	0.186	0.226	0.261	0.283	0.297	0.298	0.280	0.259	0.214	0.169	0.113	
	0.2	0.0305	0.0777	0.130	0.191	0.262	0.344	0.434	0.529	0.620	0.695	0.727	0.731	0.683	0.563	0.427	
	0.3	0.0441	0.0964	0.157	0.228	0.313	0.414	0.531	0.663	0.807	0.952	1.08	1.17	1.17	1.11	0.936	
	0.4	0															

表 4(b) 軸方向亀裂の h_1 ($n = 5$)

		h_1 ($n = 5$)															
		R_m/t	a/c														
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	
Deepest point	5	0.1	0.232	0.461	0.671	0.841	0.976	1.07	1.08	0.921	0.837	0.756	0.628	0.453	0.286	0.203	0.150
		0.2	0.215	0.435	0.666	0.893	1.08	1.20	1.27	1.27	1.11	0.842	0.664	0.508	0.342	0.181	0.110
		0.3	0.196	0.399	0.614	0.837	1.06	1.23	1.32	1.37	1.34	1.19	0.886	0.631	0.452	0.289	0.136
		0.4	0.177	0.360	0.553	0.757	0.966	1.16	1.29	1.37	1.38	1.32	1.15	0.857	0.577	0.388	0.235
		0.5	0.158	0.322	0.495	0.679	0.868	1.06	1.22	1.32	1.37	1.35	1.25	1.06	0.770	0.494	0.320
		0.6	0.141	0.286	0.439	0.601	0.769	0.940	1.10	1.23	1.30	1.31	1.26	1.14	0.933	0.632	0.394
		0.7	0.126	0.256	0.392	0.537	0.688	0.843	1.01	1.13	1.22	1.27	1.24	1.15	1.01	0.785	0.489
		0.8	0.113	0.229	0.352	0.482	0.618	0.757	0.898	1.04	1.14	1.20	1.20	1.14	1.03	0.863	0.611
		0.9	0.101	0.206	0.317	0.433	0.556	0.682	0.810	0.937	1.05	1.12	1.14	1.11	1.03	0.896	0.706
		1.0	0.101	0.186	0.286	0.407	0.501	0.615	0.732	0.849	0.957	1.04	1.08	1.07	1.01	0.900	0.749
	10	0.1	0.219	0.457	0.720	0.982	1.14	1.30	1.41	1.37	1.09	0.912	0.767	0.581	0.345	0.204	0.143
		0.2	0.202	0.421	0.671	0.957	1.27	1.55	1.67	1.75	1.73	1.53	1.12	0.775	0.556	0.349	0.153
		0.3	0.185	0.383	0.606	0.860	1.15	1.46	1.74	1.89	1.89	1.85	1.63	1.29	0.820	0.539	0.333
		0.4	0.172	0.351	0.548	0.770	1.02	1.29	1.57	1.82	1.95	1.91	1.78	1.57	1.26	0.804	0.490
		0.5	0.154	0.316	0.490	0.685	0.900	1.14	1.39	1.64	1.83	1.92	1.84	1.67	1.45	1.14	0.706
		0.6	0.139	0.285	0.440	0.608	0.794	0.998	1.22	1.44	1.64	1.78	1.86	1.74	1.55	1.27	0.962
		0.7	0.125	0.256	0.394	0.543	0.705	0.883	1.08	1.27	1.46	1.62	1.71	1.69	1.53	1.37	1.12
		0.8	0.112	0.230	0.353	0.486	0.630	0.786	0.955	1.13	1.31	1.46	1.58	1.62	1.54	1.35	1.19
		0.9	0.100	0.207	0.318	0.436	0.564	0.703	0.852	1.01	1.17	1.32	1.44	1.51	1.49	1.36	1.17
		1.0	0.0906	0.187	0.287	0.394	0.508	0.632	0.763	0.902	1.04	1.17	1.23	1.30	1.39	1.41	1.34
	20	0.1	0.203	0.447	0.739	1.09	1.45	1.65	1.82	1.96	1.85	1.41	1.07	0.847	0.581	0.278	0.156
		0.2	0.188	0.405	0.657	0.972	1.36	1.79	2.21	2.48	2.46	2.39	2.14	1.66	1.02	0.676	0.403
		0.3	0.172	0.368	0.586	0.850	1.17	1.55	1.97	2.37	2.67	2.72	2.50	2.23	1.84	1.28	0.706
		0.4	0.162	0.342	0.535	0.761	1.03	1.34	1.69	2.06	2.39	2.63	2.69	2.44	2.13	1.84	1.26
		0.5	0.147	0.309	0.479	0.673	0.897	1.15	1.44	1.76	2.08	2.35	2.52	2.53	2.28	1.93	1.65
		0.6	0.135	0.280	0.436	0.605	0.795	1.01	1.32	1.52	1.79	2.04	2.24	2.34	2.42	2.02	1.67
		0.7	0.121	0.251	0.390	0.539	0.703	0.889	1.10	1.39	1.63	1.87	1.99	2.13	2.17	2.06	1.75
		0.8	0.108	0.225	0.350	0.482	0.627	0.788	0.965	1.16	1.43	1.65	1.84	1.91	1.99	1.98	1.80
		0.9	0.0971	0.203	0.316	0.433	0.561	0.702	0.856	1.09	1.27	1.46	1.64	1.79	1.89	1.93	1.77
		1.0	0.0874	0.183	0.285	0.390	0.504	0.629	0.819	0.909	1.13	1.30	1.46	1.60	1.72	1.78	1.78
30	0.1	0.196	0.435	0.744	1.13	1.57	1.98	2.14	2.36	2.41	2.11	1.45	1.10	0.797	0.456	0.193	
	0.2	0.182	0.393	0.651	0.972	1.38	1.88	2.42	2.90	3.16	3.01	2.81	2.41	1.78	1.03	0.649	
	0.3	0.167	0.357	0.578	0.841	1.17	1.57	2.04	2.53	2.98	3.27	3.26	2.89	2.50	2.01	1.38	
	0.4	0.160	0.334	0.532	0.754	1.02	1.35	1.72	2.13	2.55	2.90	3.13	3.13	2.79	2.35	1.89	
	0.5	0.145	0.302	0.476	0.667	0.891	1.15	1.46	1.80	2.26	2.49	2.76	2.91	2.87	2.56	2.11	
	0.6	0.134	0.273	0.429	0.603	0.795	1.01	1.26	1.54	1.94	2.25	2.52	2.75	2.66	2.59	2.25	
	0.7	0.120	0.245	0.384	0.537	0.703	0.889	1.10	1.33	1.58	1.84	2.08	2.40	2.53	2.43	2.30	
	0.8	0.108	0.220	0.344	0.480	0.625	0.786	0.964	1.16	1.38	1.60	1.92	2.12	2.26	2.34	2.35	
	0.9	0.0966	0.198	0.310	0.430	0.559	0.699	0.854	1.02	1.21	1.40	1.69	1.90	2.05	2.13	2.19	
	1.0	0.0864	0.178	0.279	0.387	0.502	0.625	0.761	0.909	1.07	1.24	1.50	1.67	1.81	1.96	1.87	
Surface point	5	0.1	0.0429	0.088	0.128	0.157	0.173	0.178	0.170	0.151	0.135	0.117	0.0922	0.0639	0.0409	0.0273	0.0169
		0.2	0.0542	0.112	0.174	0.234	0.283	0.316	0.333	0.331	0.301	0.243	0.200	0.156	0.109	0.0587	0.0358
		0.3	0.0645	0.132	0.205	0.283	0.360	0.424	0.469	0.489	0.488	0.448	0.355	0.269	0.201	0.132	0.0624
		0.4	0.0600	0.125	0.196	0.274	0.355	0.433	0.497	0.539	0.552	0.543	0.494	0.387	0.275	0.194	0.118
		0.5	0.0665	0.137	0.213	0.297	0.387	0.478	0.562	0.628	0.666	0.669	0.644	0.573	0.431	0.289	0.190
		0.6	0.0690	0.139	0.215	0.299	0.389	0.484	0.577	0.657	0.715	0.738	0.725	0.679	0.586	0.406	0.257
		0.7	0.0724	0.144	0.222	0.308	0.401	0.499	0.621	0.693	0.766	0.813	0.811	0.780	0.706	0.568	0.353
		0.8	0.0750	0.149	0.228	0.314	0.407	0.506	0.610	0.732	0.797	0.860	0.886	0.861	0.801	0.687	0.489
		0.9	0.0766	0.151	0.231	0.316	0.409	0.507	0.611	0.716	0.813	0.887	0.929	0.928	0.875	0.780	0.616
		1.0	0.0880	0.152	0.232	0.337	0.407	0.504	0.608	0.714	0.816	0.901	0.959	0.976	0.935	0.852	0.710
	10	0.1	0.0347	0.0779	0.122	0.161	0.186	0.200	0.204	0.196	0.169	0.151	0.130	0.102	0.0628	0.0390	0.0258
		0.2	0.0447	0.0983	0.160	0.229	0.301	0.365	0.400	0.419	0.424	0.398	0.319	0.244	0.186	0.124	0.0567
		0.3	0.0540	0.117	0.188	0.271	0.365	0.466	0.563	0.628	0.649	0.680	0.626	0.540	0.368	0.262	0.168
		0.4	0.0526	0.109	0.175	0.253	0.345	0.448	0.557	0.661	0.736	0.757	0.746	0.707	0.610	0.414	0.267
		0.5	0.0604	0.122	0.194	0.276	0.373	0.484	0.607	0.735	0.853	0.932	0.942	0.907	0.839	0.706	0.451
		0.6	0.0665	0.129	0.200	0.282	0.376	0.485	0.609	0.741	0.874	0.990	1.09	1.08	1.01	0.871	0.690
		0.7	0.0715	0.137	0.209	0.293	0.389	0.498	0.622	0.757	0.898	1.03	1.14	1.18	1.13	1.06	0.896
		0.8	0.0750	0.143	0.217	0.301	0.397	0.505	0.626	0.760	0.902	1.05	1.17	1.26	1.26	1.15	1.04
		0.9	0.0773	0.148	0.222	0.306	0.401	0.507	0.625	0.755	0.895	1.04	1.18	1.29	1.33	1.26	1.11
		1.0	0.0789	0.150	0.225	0.309	0.402	0.506	0.620	0.747	0.883	1.09	1.17	1.29	1.37	1.35	1.26
	20	0.1	0.0260	0.0676	0.114	0.162	0.206	0.232	0.249	0.256	0.248	0.208	0.178	0.149	0.111	0.0590	0.0360
		0.2	0.0360	0.0862	0.147	0.219	0.304	0.400	0.493	0.562	0.576	0.592	0.575	0.498	0.339	0.250	0.159
		0.3	0.0466	0.104	0.173	0.257	0.359	0.481	0.620	0.766	0.896	0.963	0.947	0.920	0.835	0.641	0.380
		0.4	0.0470	0.102	0.162	0.236	0.327	0.437	0.569	0.717	0.872	1.01	1.11	1.09	1.03	0.986	0.728
		0.5	0.0557	0.117	0.182	0.260	0.355	0.472	0.610	0.768	0.943	1.12	1.28	1.38	1.34	1.22	1.13
		0.6	0.0612	0.130	0.196	0.272	0.364	0.474	0.661	0.830	1.01	1.20	1.32	1.45	1.62	1.43	1.26
		0.7	0.0658	0.140	0.209	0.287	0.377	0.487	0.618	0.830	1.01	1.20	1.32	1.50	1.63	1.65	1.48
		0.8	0.0693	0.147	0.219	0.297	0.388	0.494	0.622	0.769	1.00	1.19	1.39	1.50	1.66	1.75	1.68
		0.9	0.0722	0.152	0.226	0.305	0.394	0.498	0.620	0.822	0.989	1.17	1.37	1.57	1.74	1.86	1.79
		1.0	0.0746	0.155	0.231	0.309	0.397	0.498	0.671	0.750	0.971	1.15	1.34	1.54	1.72	1.86	1.95
30	0.1	0.0140	0.0605	0.107	0.161	0.215	0.261	0.281	0.301	0.307	0.290	0.227	0.192	0.150	0.0973	0.0473	
	0.2	0.0291	0.0786	0.137	0.212	0.302	0.408	0.526	0.642	0.725	0.733	0.746	0.713	0.595	0.380	0.263	
	0.3	0.0429	0.0970	0.163	0.247	0.352	0.482	0.636	0.812	0.996	1.16	1.25	1.20	1.14	1.01	0.767	
	0.4	0.															

表 4(c) 軸方向亀裂の h_1 ($n = 7$)

		h_1 ($n = 7$)		a/t													
		R_m/t	a/c														
Deepest point	5	0.1	0.233	0.439	0.628	0.754	0.779	0.772	0.658	0.582	0.484	0.317	0.231	0.155	0.0884	0.0536	0.0353
		0.2	0.217	0.422	0.627	0.823	0.994	1.06	0.991	0.878	0.671	0.517	0.336	0.188	0.111	0.0505	0.0257
		0.3	0.196	0.388	0.584	0.782	0.977	1.14	1.21	1.13	0.991	0.754	0.539	0.351	0.180	0.0935	0.0367
		0.4	0.179	0.356	0.535	0.719	0.904	1.07	1.21	1.27	1.17	1.00	0.762	0.518	0.331	0.161	0.0758
		0.5	0.160	0.319	0.479	0.650	0.823	0.987	1.13	1.25	1.28	1.15	0.955	0.713	0.468	0.286	0.126
		0.6	0.144	0.289	0.439	0.595	0.756	0.910	1.05	1.17	1.24	1.22	1.06	0.860	0.614	0.395	0.227
		0.7	0.129	0.259	0.393	0.533	0.678	0.821	0.959	1.08	1.17	1.21	1.14	0.959	0.753	0.500	0.313
		0.8	0.116	0.233	0.355	0.481	0.612	0.745	0.874	0.994	1.09	1.16	1.15	1.04	0.837	0.626	0.387
		0.9	0.105	0.211	0.322	0.435	0.556	0.679	0.801	0.916	1.02	1.09	1.11	1.06	0.902	0.707	0.475
		1.0	0.0944	0.192	0.292	0.396	0.504	0.616	0.729	0.840	0.941	1.02	1.06	1.05	0.949	0.757	0.563
	10	0.1	0.237	0.494	0.731	0.963	1.14	1.13	1.08	0.865	0.698	0.527	0.292	0.190	0.104	0.0538	0.0320
		0.2	0.220	0.463	0.723	0.997	1.25	1.51	1.68	1.57	1.32	0.992	0.674	0.426	0.207	0.107	0.0398
		0.3	0.202	0.417	0.662	0.923	1.21	1.46	1.69	1.86	1.83	1.52	1.19	0.778	0.486	0.257	0.108
		0.4	0.187	0.391	0.604	0.842	1.10	1.37	1.60	1.79	1.92	1.88	1.59	1.22	0.832	0.503	0.260
		0.5	0.169	0.346	0.537	0.754	0.984	1.23	1.48	1.68	1.82	1.89	1.82	1.54	1.16	0.784	0.451
		0.6	0.152	0.317	0.487	0.677	0.886	1.11	1.35	1.57	1.73	1.83	1.84	1.73	1.43	1.05	0.663
		0.7	0.137	0.286	0.441	0.607	0.791	0.987	1.21	1.42	1.60	1.72	1.76	1.73	1.57	1.23	0.883
		0.8	0.124	0.257	0.396	0.548	0.711	0.891	1.07	1.27	1.45	1.60	1.67	1.67	1.59	1.39	1.03
		0.9	0.112	0.233	0.359	0.490	0.641	0.796	0.974	1.15	1.31	1.47	1.57	1.59	1.55	1.43	1.17
		1.0	0.103	0.213	0.326	0.445	0.579	0.720	0.878	1.03	1.20	1.34	1.45	1.51	1.49	1.41	1.25
	20	0.1	0.230	0.504	0.847	1.19	1.50	1.79	1.79	1.59	1.26	0.915	0.641	0.304	0.176	0.0747	0.0360
		0.2	0.213	0.459	0.768	1.13	1.56	1.99	2.31	2.59	2.57	2.07	1.58	0.997	0.642	0.285	0.122
		0.3	0.197	0.420	0.676	1.00	1.38	1.81	2.25	2.58	2.76	2.79	2.53	1.91	1.36	0.780	0.413
		0.4	0.185	0.390	0.629	0.899	1.21	1.58	1.97	2.38	2.70	2.80	2.78	2.56	2.02	1.42	0.824
		0.5	0.168	0.353	0.554	0.798	1.07	1.37	1.72	2.08	2.43	2.68	2.71	2.63	2.41	1.92	1.31
		0.6	0.153	0.318	0.508	0.707	0.938	1.20	1.51	1.83	2.15	2.44	2.61	2.61	2.48	2.22	1.72
		0.7	0.137	0.288	0.458	0.637	0.834	1.06	1.32	1.60	1.90	2.17	2.40	2.50	2.44	2.26	1.96
		0.8	0.124	0.261	0.406	0.571	0.749	0.948	1.17	1.42	1.67	1.94	2.16	2.32	2.34	2.22	2.02
		0.9	0.112	0.237	0.368	0.518	0.674	0.847	1.04	1.25	1.48	1.72	1.94	2.11	2.20	2.15	2.00
		1.0	0.101	0.215	0.341	0.469	0.609	0.763	0.935	1.12	1.32	1.54	1.74	1.91	2.03	2.05	1.95
30	0.1	0.222	0.500	0.877	1.30	1.71	2.13	2.41	2.17	1.92	1.34	0.957	0.534	0.252	0.130	0.0450	
	0.2	0.206	0.452	0.754	1.16	1.65	2.23	2.78	3.11	3.34	3.18	2.44	1.81	1.07	0.659	0.245	
	0.3	0.192	0.414	0.674	1.01	1.42	1.90	2.47	3.01	3.38	3.48	3.41	3.01	2.21	1.54	0.839	
	0.4	0.182	0.386	0.617	0.905	1.24	1.64	2.10	2.60	3.07	3.42	3.45	3.30	2.99	2.37	1.60	
	0.5	0.165	0.352	0.556	0.788	1.08	1.41	1.79	2.21	2.66	3.04	3.29	3.28	3.09	2.79	2.22	
	0.6	0.153	0.319	0.498	0.715	0.948	1.22	1.54	1.90	2.29	2.67	2.98	3.14	3.09	2.89	2.55	
	0.7	0.138	0.287	0.450	0.641	0.847	1.08	1.35	1.65	1.98	2.33	2.63	2.86	2.95	2.86	2.60	
	0.8	0.124	0.258	0.407	0.567	0.758	0.960	1.19	1.45	1.73	2.04	2.32	2.56	2.72	2.74	2.58	
	0.9	0.111	0.233	0.368	0.513	0.682	0.860	1.05	1.28	1.53	1.79	2.05	2.28	2.46	2.57	2.50	
	1.0	0.0990	0.211	0.334	0.465	0.615	0.767	0.945	1.14	1.36	1.59	1.83	2.04	2.22	2.36	2.39	
Surface point	5	0.1	0.0486	0.0934	0.129	0.147	0.146	0.137	0.117	0.101	0.0804	0.0519	0.0375	0.0228	0.0122	0.00719	0.00345
		0.2	0.0588	0.118	0.175	0.228	0.273	0.288	0.273	0.244	0.191	0.152	0.100	0.0596	0.0355	0.0153	0.00779
		0.3	0.0670	0.135	0.206	0.279	0.349	0.407	0.437	0.414	0.370	0.292	0.217	0.145	0.0763	0.0408	0.0148
		0.4	0.0651	0.131	0.201	0.274	0.349	0.418	0.478	0.507	0.480	0.420	0.333	0.232	0.150	0.0723	0.0334
		0.5	0.0701	0.143	0.216	0.297	0.383	0.466	0.540	0.601	0.622	0.577	0.494	0.381	0.254	0.154	0.0656
		0.6	0.0738	0.150	0.228	0.313	0.404	0.494	0.578	0.648	0.699	0.703	0.630	0.521	0.379	0.241	0.132
		0.7	0.0760	0.155	0.234	0.321	0.414	0.511	0.606	0.689	0.754	0.788	0.760	0.656	0.522	0.346	0.206
		0.8	0.0773	0.158	0.239	0.326	0.420	0.520	0.620	0.712	0.788	0.841	0.853	0.788	0.641	0.480	0.287
		0.9	0.0782	0.160	0.243	0.328	0.425	0.526	0.628	0.729	0.814	0.877	0.903	0.883	0.761	0.594	0.387
		1.0	0.0789	0.160	0.244	0.330	0.423	0.524	0.629	0.731	0.825	0.898	0.943	0.944	0.866	0.690	0.500
	10	0.1	0.0412	0.094	0.137	0.172	0.189	0.180	0.168	0.138	0.118	0.0926	0.0550	0.0379	0.0203	0.0104	0.00564
		0.2	0.0488	0.114	0.184	0.256	0.320	0.378	0.416	0.396	0.350	0.281	0.205	0.137	0.0710	0.0390	0.0138
		0.3	0.0564	0.130	0.212	0.303	0.403	0.495	0.575	0.646	0.660	0.581	0.487	0.339	0.221	0.120	0.0529
		0.4	0.0573	0.129	0.206	0.294	0.392	0.499	0.598	0.679	0.749	0.772	0.697	0.568	0.411	0.255	0.133
		0.5	0.0643	0.138	0.222	0.318	0.426	0.544	0.670	0.781	0.870	0.937	0.952	0.859	0.679	0.478	0.276
		0.6	0.0719	0.149	0.234	0.332	0.443	0.564	0.702	0.839	0.961	1.05	1.10	1.09	0.947	0.717	0.455
		0.7	0.0774	0.155	0.245	0.344	0.456	0.578	0.721	0.869	1.01	1.13	1.20	1.23	1.17	0.954	0.686
		0.8	0.0813	0.158	0.248	0.352	0.464	0.591	0.725	0.876	1.03	1.17	1.27	1.32	1.31	1.19	0.881
		0.9	0.0841	0.162	0.252	0.352	0.469	0.590	0.731	0.879	1.03	1.19	1.31	1.38	1.40	1.33	1.10
		1.0	0.0872	0.166	0.253	0.353	0.468	0.589	0.726	0.868	1.03	1.19	1.33	1.42	1.45	1.41	1.26
	20	0.1	0.0294	0.083	0.143	0.193	0.234	0.260	0.253	0.229	0.189	0.152	0.115	0.0598	0.0382	0.0168	0.00883
		0.2	0.0332	0.0975	0.178	0.269	0.371	0.471	0.550	0.624	0.651	0.565	0.480	0.326	0.227	0.106	0.0504
		0.3	0.0430	0.112	0.198	0.307	0.431	0.577	0.733	0.868	0.970	1.05	1.03	0.848	0.661	0.402	0.224
		0.4	0.0510	0.115	0.196	0.293	0.408	0.546	0.699	0.869	1.02	1.12	1.19	1.18	1.02	0.768	0.468
		0.5	0.0614	0.130	0.209	0.315	0.437	0.580	0.748	0.930	1.13	1.31	1.42	1.47	1.44	1.24	0.887
		0.6	0.0729	0.147	0.230	0.326	0.446	0.589	0.760	0.956	1.16	1.38	1.56	1.65	1.67	1.59	1.30
		0.7	0.0797	0.158	0.242	0.339	0.455	0.598	0.767	0.963	1.18	1.40	1.62	1.79	1.85	1.81	1.64
		0.8	0.0845	0.167	0.246	0.346	0.461	0.599	0.766	0.958	1.17	1.40	1.63	1.85	1.97	1.97	1.85
		0.9	0.0876	0.173	0.253	0.354	0.464	0.600	0.759	0.940	1.15	1.38	1.62	1.85	2.02	2.08	1.99
		1.0	0.0897	0.178	0.266	0.358	0.465	0.597	0.750	0.921	1.13	1.35	1.58	1.82	2.02	2.13	2.09
30	0.1	0.0136	0.0730	0.137	0.200	0.252	0.298	0.324	0.299	0.278	0.209	0.167	0.101	0.0551	0.0300	0.0111	
	0.2	0.0191	0.0817	0.158	0.261	0.377	0.508	0.634	0.729	0.824	0.855	0.731	0.606	0.394	0.258	0.101	
	0.3	0.0342	0.0982	0.180	0.290	0.426	0.588	0.780	0.985	1.16	1.28	1.37	1.34	1.09	0.821	0.467	
	0.4	0.0389	0.110	0.182	0.279	0.401	0.549	0.727	0.929	1.14	1.35	1.47	1.53				

表 4(d) 軸方向亀裂の h_1 ($n = 10$)

h_1 ($n = 10$)																	
	R_m/t	a/c	a/t														
			0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
Deepest point	5	0.1	0.211	0.389	0.522	0.569	0.543	0.514	0.365	0.274	0.167	0.109	0.0592	0.0369	0.0239	0.0171	0.0129
		0.2	0.197	0.381	0.557	0.715	0.795	0.788	0.685	0.566	0.353	0.216	0.108	0.0517	0.0232	0.0126	0.00767
		0.3	0.180	0.352	0.526	0.702	0.857	0.942	0.926	0.803	0.667	0.438	0.253	0.118	0.0542	0.0198	0.00855
		0.4	0.163	0.321	0.485	0.653	0.814	0.948	1.01	0.984	0.853	0.681	0.465	0.255	0.120	0.0492	0.0151
		0.5	0.146	0.289	0.436	0.592	0.752	0.895	1.01	1.05	1.00	0.842	0.653	0.440	0.233	0.102	0.0371
		0.6	0.130	0.261	0.399	0.544	0.692	0.832	0.956	1.04	1.00	0.956	0.768	0.589	0.371	0.192	0.0726
		0.7	0.117	0.235	0.359	0.490	0.627	0.761	0.888	0.993	1.05	1.01	0.887	0.689	0.512	0.290	0.141
		0.8	0.106	0.213	0.325	0.443	0.568	0.693	0.816	0.927	1.01	1.02	0.943	0.794	0.598	0.417	0.206
		0.9	0.0948	0.193	0.295	0.401	0.514	0.631	0.749	0.860	0.953	1.00	0.965	0.857	0.675	0.496	0.294
		1.0	0.0857	0.175	0.268	0.364	0.467	0.574	0.686	0.794	0.890	0.957	0.962	0.887	0.746	0.552	0.384
	10	0.1	0.231	0.478	0.706	0.887	0.922	0.832	0.750	0.497	0.326	0.165	0.0950	0.0439	0.0247	0.0158	0.0109
		0.2	0.214	0.446	0.703	0.978	1.21	1.39	1.36	1.17	0.902	0.588	0.315	0.140	0.0616	0.0220	0.0098
		0.3	0.196	0.410	0.644	0.907	1.19	1.43	1.61	1.65	1.44	1.08	0.788	0.430	0.211	0.0791	0.0235
		0.4	0.182	0.379	0.588	0.829	1.09	1.36	1.59	1.74	1.76	1.53	1.19	0.841	0.509	0.240	0.0833
		0.5	0.165	0.341	0.528	0.739	0.972	1.23	1.48	1.68	1.78	1.76	1.51	1.18	0.818	0.495	0.217
		0.6	0.149	0.307	0.478	0.668	0.883	1.12	1.37	1.60	1.74	1.81	1.74	1.46	1.10	0.750	0.413
		0.7	0.134	0.278	0.431	0.601	0.790	1.00	1.23	1.45	1.63	1.74	1.75	1.62	1.33	0.955	0.631
		0.8	0.122	0.251	0.389	0.541	0.711	0.900	1.10	1.31	1.50	1.65	1.70	1.66	1.46	1.16	0.779
		0.9	0.110	0.229	0.354	0.490	0.642	0.811	0.993	1.18	1.37	1.53	1.62	1.62	1.53	1.28	0.942
		1.0	0.100	0.208	0.323	0.446	0.582	0.733	0.898	1.07	1.24	1.40	1.52	1.56	1.51	1.35	1.07
	20	0.1	0.228	0.508	0.852	1.20	1.48	1.55	1.40	1.14	0.744	0.425	0.189	0.0921	0.0373	0.0190	0.0111
		0.2	0.211	0.460	0.766	1.15	1.61	2.06	2.34	2.41	2.05	1.49	1.05	0.532	0.245	0.0872	0.0247
		0.3	0.196	0.421	0.685	1.01	1.42	1.88	2.35	2.66	2.74	2.53	1.99	1.37	0.904	0.408	0.146
		0.4	0.184	0.390	0.625	0.910	1.25	1.65	2.09	2.53	2.83	2.85	2.67	2.17	1.56	1.00	0.489
		0.5	0.168	0.354	0.563	0.806	1.09	1.43	1.82	2.23	2.61	2.83	2.82	2.61	2.14	1.52	0.948
		0.6	0.153	0.320	0.506	0.719	0.966	1.26	1.60	1.97	2.33	2.66	2.81	2.75	2.52	2.01	1.39
		0.7	0.138	0.291	0.456	0.645	0.861	1.11	1.41	1.73	2.06	2.39	2.63	2.71	2.59	2.30	1.77
		0.8	0.124	0.264	0.415	0.580	0.771	0.993	1.25	1.53	1.83	2.14	2.40	2.57	2.56	2.38	2.01
		0.9	0.111	0.240	0.377	0.525	0.696	0.892	1.11	1.36	1.63	1.91	2.17	2.37	2.46	2.38	2.13
		1.0	0.101	0.218	0.343	0.478	0.629	0.803	1.00	1.22	1.46	1.71	1.96	2.17	2.30	2.30	2.15
30	0.1	0.221	0.507	0.886	1.35	1.77	2.10	2.03	1.66	1.31	0.712	0.410	0.157	0.0623	0.0268	0.0135	
	0.2	0.203	0.455	0.773	1.19	1.73	2.37	2.94	3.19	3.13	2.55	1.78	1.19	0.569	0.237	0.0749	
	0.3	0.190	0.417	0.688	1.03	1.47	2.02	2.64	3.22	3.56	3.53	3.17	2.42	1.63	1.05	0.440	
	0.4	0.179	0.388	0.629	0.921	1.29	1.74	2.26	2.84	3.35	3.67	3.60	3.28	2.65	1.89	1.16	
	0.5	0.164	0.356	0.567	0.817	1.12	1.49	1.93	2.42	2.93	3.36	3.59	3.49	3.19	2.63	1.83	
	0.6	0.154	0.322	0.509	0.728	0.988	1.30	1.67	2.10	2.55	3.00	3.35	3.49	3.39	3.08	2.42	
	0.7	0.139	0.291	0.461	0.654	0.879	1.14	1.46	1.83	2.23	2.64	3.00	3.24	3.33	3.19	2.77	
	0.8	0.125	0.263	0.418	0.590	0.787	1.02	1.29	1.61	1.96	2.33	2.68	2.95	3.13	3.14	2.89	
	0.9	0.111	0.238	0.379	0.535	0.711	0.912	1.15	1.42	1.74	2.07	2.39	2.67	2.88	3.00	2.88	
	1.0	0.0991	0.216	0.344	0.485	0.644	0.819	1.03	1.27	1.54	1.84	2.14	2.41	2.63	2.79	2.79	
Surface point	5	0.1	0.0452	0.0855	0.111	0.115	0.106	0.0931	0.0678	0.0512	0.0300	0.0198	0.0107	0.00636	0.00361	0.00209	0.00115
		0.2	0.0542	0.109	0.161	0.204	0.226	0.223	0.195	0.161	0.105	0.0661	0.0347	0.0170	0.00820	0.00419	0.00235
		0.3	0.0618	0.125	0.190	0.255	0.311	0.345	0.343	0.301	0.253	0.173	0.105	0.0501	0.0236	0.00877	0.00387
		0.4	0.0593	0.119	0.183	0.251	0.318	0.375	0.407	0.399	0.352	0.287	0.202	0.113	0.0519	0.0213	0.00669
		0.5	0.0637	0.129	0.198	0.273	0.351	0.423	0.483	0.509	0.487	0.421	0.332	0.228	0.121	0.0504	0.0176
		0.6	0.0663	0.137	0.209	0.289	0.375	0.460	0.534	0.586	0.593	0.550	0.455	0.351	0.221	0.109	0.0380
		0.7	0.0681	0.141	0.215	0.297	0.388	0.480	0.568	0.638	0.678	0.658	0.587	0.463	0.342	0.185	0.0828
		0.8	0.0691	0.144	0.220	0.302	0.394	0.490	0.586	0.669	0.730	0.747	0.696	0.593	0.442	0.300	0.137
		0.9	0.0693	0.146	0.222	0.304	0.394	0.493	0.593	0.688	0.763	0.806	0.785	0.700	0.552	0.393	0.217
		1.0	0.0694	0.146	0.223	0.304	0.393	0.490	0.593	0.693	0.779	0.839	0.853	0.790	0.664	0.479	0.314
	10	0.1	0.0408	0.0921	0.135	0.160	0.157	0.138	0.121	0.0842	0.0613	0.0332	0.0215	0.0100	0.00572	0.00319	0.00188
		0.2	0.0471	0.111	0.181	0.255	0.315	0.360	0.352	0.313	0.253	0.178	0.104	0.0486	0.0231	0.00853	0.00381
		0.3	0.0529	0.126	0.207	0.300	0.401	0.493	0.564	0.594	0.543	0.434	0.337	0.193	0.101	0.0383	0.0113
		0.4	0.0531	0.123	0.198	0.288	0.390	0.497	0.594	0.663	0.700	0.642	0.534	0.397	0.249	0.120	0.0402
		0.5	0.0589	0.133	0.215	0.309	0.419	0.543	0.669	0.779	0.853	0.883	0.804	0.661	0.474	0.291	0.126
		0.6	0.0675	0.140	0.227	0.327	0.441	0.572	0.715	0.859	0.975	1.05	1.06	0.936	0.734	0.500	0.269
		0.7	0.0729	0.146	0.236	0.338	0.454	0.586	0.733	0.890	1.04	1.15	1.20	1.17	0.992	0.724	0.465
		0.8	0.0772	0.149	0.240	0.344	0.461	0.594	0.740	0.901	1.07	1.21	1.30	1.32	1.21	0.972	0.639
		0.9	0.0808	0.152	0.243	0.347	0.464	0.595	0.742	0.901	1.07	1.23	1.36	1.41	1.37	1.17	0.854
		1.0	0.0840	0.154	0.243	0.347	0.463	0.592	0.736	0.892	1.06	1.23	1.38	1.47	1.46	1.34	1.05
	20	0.1	0.0280	0.0847	0.145	0.197	0.229	0.229	0.207	0.174	0.125	0.0803	0.0391	0.0218	0.00972	0.00500	0.00259
		0.2	0.0290	0.0962	0.178	0.274	0.387	0.499	0.574	0.618	0.562	0.445	0.345	0.188	0.0965	0.0364	0.0105
		0.3	0.0371	0.108	0.197	0.308	0.444	0.605	0.778	0.921	1.00	1.01	0.865	0.641	0.455	0.214	0.0799
		0.4	0.0474	0.108	0.189	0.291	0.415	0.566	0.739	0.926	1.09	1.16	1.18	1.04	0.796	0.540	0.267
		0.5	0.0576	0.121	0.202	0.307	0.440	0.597	0.781	0.990	1.21	1.39	1.48	1.47	1.29	0.976	0.623
		0.6	0.0690	0.140	0.219	0.321	0.451	0.610	0.799	1.02	1.25	1.49	1.68	1.75	1.70	1.45	1.03
		0.7	0.0768	0.154	0.229	0.331	0.458	0.616	0.805	1.03	1.27	1.53	1.77	1.93	1.96	1.82	1.45
		0.8	0.0816	0.164	0.240	0.336	0.460	0.615	0.802	1.02	1.26	1.53	1.79	2.02	2.13	2.06	1.80
		0.9	0.0834	0.172	0.248	0.341	0.462	0.613	0.796	1.01	1.25	1.51	1.78	2.03	2.21	2.23	2.05
		1.0	0.0879	0.177	0.255	0.346	0.461	0.607	0.784	0.989	1.22	1.48	1.75	2.01	2.23	2.32	2.22
30	0.1	0.0121	0.0725	0.139	0.207	0.259	0.294	0.286	0.245	0.209	0.129	0.0845	0.0364	0.0158	0.00760	0.00359	
	0.2	0.0125	0.0773	0.160	0.268	0.398	0.545	0.690	0.783	0.836	0.753	0.585	0.439	0.224	0.102	0.0341	
	0.3	0.0254															

表 4(e) 軸方向亀裂の h_1 ($n = 13$)

h_1 ($n = 13$)		R_m/t	a/c	a/t													
				0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
Deepest point	5	0.1	0.190	0.341	0.441	0.445	0.377	0.276	0.176	0.105	0.0561	0.0296	0.0169	0.0115	0.00874	0.00693	0.00534
		0.2	0.178	0.340	0.491	0.623	0.650	0.608	0.461	0.296	0.164	0.0776	0.0299	0.0128	0.00677	0.00444	0.00311
		0.3	0.163	0.317	0.472	0.624	0.756	0.797	0.733	0.575	0.389	0.214	0.0990	0.0389	0.0133	0.00532	0.00292
		0.4	0.148	0.290	0.436	0.586	0.727	0.841	0.865	0.789	0.629	0.423	0.236	0.109	0.0407	0.0118	0.00397
		0.5	0.133	0.261	0.393	0.534	0.678	0.805	0.901	0.909	0.811	0.626	0.413	0.226	0.100	0.0342	0.00831
		0.6	0.119	0.238	0.364	0.496	0.630	0.754	0.864	0.934	0.888	0.770	0.565	0.363	0.191	0.0787	0.0216
		0.7	0.106	0.214	0.329	0.448	0.573	0.696	0.810	0.903	0.939	0.853	0.711	0.498	0.300	0.144	0.0506
		0.8	0.0957	0.194	0.297	0.405	0.520	0.638	0.752	0.854	0.923	0.912	0.790	0.625	0.417	0.228	0.0954
		0.9	0.0862	0.176	0.269	0.367	0.473	0.583	0.694	0.799	0.881	0.918	0.847	0.711	0.518	0.319	0.152
		1.0	0.0779	0.160	0.245	0.334	0.429	0.531	0.637	0.741	0.831	0.889	0.873	0.765	0.607	0.404	0.217
	10	0.1	0.227	0.467	0.662	0.805	0.756	0.617	0.426	0.241	0.123	0.0534	0.0241	0.0124	0.00836	0.00624	0.00466
		0.2	0.210	0.441	0.695	0.952	1.13	1.26	1.13	0.882	0.555	0.286	0.125	0.0456	0.0150	0.00612	0.00352
		0.3	0.193	0.406	0.640	0.902	1.17	1.37	1.50	1.47	1.16	0.776	0.441	0.206	0.0767	0.0208	0.00587
		0.4	0.179	0.377	0.588	0.829	1.09	1.36	1.54	1.63	1.60	1.27	0.903	0.538	0.258	0.0961	0.0229
		0.5	0.163	0.340	0.529	0.742	0.979	1.23	1.48	1.65	1.69	1.62	1.28	0.920	0.548	0.257	0.0880
		0.6	0.147	0.306	0.481	0.675	0.899	1.15	1.40	1.62	1.73	1.73	1.61	1.25	0.874	0.499	0.215
		0.7	0.133	0.276	0.433	0.607	0.806	1.03	1.27	1.49	1.66	1.73	1.68	1.50	1.14	0.750	0.390
		0.8	0.120	0.250	0.391	0.547	0.725	0.923	1.14	1.36	1.55	1.68	1.69	1.59	1.34	0.982	0.587
		0.9	0.109	0.228	0.356	0.496	0.654	0.833	1.03	1.23	1.42	1.58	1.65	1.61	1.46	1.15	0.777
		1.0	0.0993	0.208	0.324	0.450	0.593	0.753	0.928	1.11	1.30	1.46	1.57	1.58	1.49	1.27	0.937
	20	0.1	0.230	0.515	0.865	1.20	1.41	1.34	1.11	0.708	0.371	0.163	0.0609	0.0235	0.0107	0.00676	0.00478
		0.2	0.213	0.466	0.784	1.19	1.67	2.10	2.26	2.21	1.68	1.07	0.572	0.252	0.0857	0.0216	0.00679
		0.3	0.199	0.426	0.703	1.05	1.48	1.98	2.45	2.67	2.61	2.27	1.63	0.983	0.494	0.189	0.0490
		0.4	0.188	0.396	0.641	0.945	1.31	1.75	2.22	2.68	2.93	2.81	2.52	1.88	1.23	0.636	0.248
		0.5	0.172	0.361	0.579	0.838	1.15	1.52	1.94	2.39	2.79	2.98	2.83	2.50	1.92	1.24	0.634
		0.6	0.155	0.326	0.520	0.749	1.02	1.34	1.72	2.14	2.54	2.88	3.00	2.82	2.47	1.83	1.15
		0.7	0.140	0.297	0.471	0.670	0.909	1.19	1.52	1.88	2.26	2.63	2.88	2.89	2.68	2.25	1.60
		0.8	0.126	0.270	0.427	0.606	0.816	1.06	1.35	1.67	2.01	2.36	2.65	2.81	2.75	2.45	1.95
		0.9	0.114	0.246	0.388	0.548	0.736	0.955	1.20	1.49	1.79	2.12	2.42	2.63	2.70	2.53	2.17
		1.0	0.103	0.224	0.354	0.496	0.665	0.860	1.08	1.33	1.61	1.91	2.19	2.42	2.56	2.51	2.27
30	0.1	0.225	0.518	0.915	1.40	1.75	2.00	1.73	1.24	0.725	0.349	0.133	0.0436	0.0162	0.00824	0.00530	
	0.2	0.209	0.464	0.798	1.25	1.84	2.51	3.04	3.10	2.87	2.11	1.29	0.652	0.271	0.0813	0.0171	
	0.3	0.197	0.427	0.708	1.08	1.56	2.17	2.84	3.43	3.66	3.43	2.92	2.02	1.21	0.591	0.203	
	0.4	0.185	0.399	0.648	0.960	1.36	1.87	2.46	3.09	3.65	3.91	3.66	3.15	2.38	1.55	0.757	
	0.5	0.168	0.368	0.585	0.854	1.19	1.61	2.11	2.67	3.24	3.70	3.88	3.63	3.16	2.46	1.53	
	0.6	0.157	0.332	0.526	0.762	1.05	1.40	1.83	2.33	2.86	3.37	3.74	3.84	3.62	3.14	2.28	
	0.7	0.142	0.300	0.476	0.685	0.934	1.24	1.61	2.04	2.51	3.00	3.40	3.65	3.69	3.44	2.80	
	0.8	0.127	0.271	0.433	0.617	0.836	1.10	1.42	1.80	2.22	2.66	3.07	3.37	3.55	3.50	3.09	
	0.9	0.114	0.245	0.394	0.560	0.754	0.983	1.26	1.59	1.97	2.37	2.76	3.08	3.32	3.42	3.19	
	1.0	0.102	0.222	0.358	0.509	0.683	0.883	1.13	1.42	1.75	2.12	2.49	2.81	3.06	3.23	3.16	
Surface point	5	0.1	0.0411	0.0764	0.0950	0.0908	0.0734	0.0530	0.0346	0.0209	0.0112	0.00611	0.00328	0.00204	0.00128	0.000784	0.000465
		0.2	0.0490	0.0989	0.144	0.180	0.188	0.175	0.135	0.0883	0.0503	0.0249	0.0103	0.00474	0.00245	0.00154	0.00095
		0.3	0.0560	0.113	0.172	0.229	0.278	0.295	0.275	0.218	0.151	0.0875	0.0413	0.0167	0.00603	0.00250	0.00142
		0.4	0.0534	0.108	0.165	0.226	0.286	0.335	0.351	0.321	0.260	0.182	0.104	0.0475	0.0172	0.00516	0.00187
		0.5	0.0573	0.116	0.179	0.247	0.319	0.384	0.434	0.440	0.392	0.312	0.212	0.116	0.0499	0.0161	0.00404
		0.6	0.0598	0.125	0.191	0.267	0.350	0.429	0.494	0.535	0.516	0.448	0.338	0.217	0.110	0.0416	0.0105
		0.7	0.0610	0.129	0.198	0.276	0.363	0.453	0.534	0.595	0.620	0.568	0.473	0.335	0.196	0.0880	0.0275
		0.8	0.0614	0.132	0.203	0.281	0.370	0.465	0.558	0.635	0.684	0.679	0.592	0.468	0.303	0.156	0.0584
		0.9	0.0619	0.134	0.205	0.283	0.372	0.469	0.569	0.660	0.727	0.754	0.700	0.583	0.418	0.244	0.105
		1.0	0.0620	0.134	0.206	0.283	0.370	0.467	0.571	0.668	0.750	0.798	0.789	0.689	0.535	0.340	0.166
	10	0.1	0.0396	0.0901	0.127	0.146	0.130	0.103	0.0725	0.0449	0.0255	0.0119	0.00621	0.00310	0.00196	0.00125	0.000766
		0.2	0.0452	0.109	0.180	0.251	0.298	0.333	0.299	0.247	0.167	0.0939	0.0439	0.0170	0.00607	0.00250	0.00145
		0.3	0.0501	0.124	0.204	0.301	0.401	0.479	0.532	0.539	0.451	0.323	0.197	0.0958	0.0370	0.0102	0.00300
		0.4	0.0483	0.119	0.195	0.287	0.389	0.493	0.577	0.627	0.642	0.544	0.417	0.261	0.128	0.0463	0.0109
		0.5	0.0534	0.128	0.211	0.307	0.420	0.543	0.668	0.766	0.815	0.819	0.694	0.523	0.319	0.148	0.0480
		0.6	0.0626	0.135	0.224	0.326	0.444	0.580	0.729	0.874	0.979	1.02	0.999	0.824	0.589	0.331	0.135
		0.7	0.0687	0.139	0.233	0.338	0.459	0.598	0.754	0.917	1.07	1.17	1.18	1.10	0.865	0.569	0.282
		0.8	0.0740	0.143	0.237	0.345	0.467	0.607	0.766	0.937	1.11	1.25	1.32	1.29	1.13	0.827	0.476
		0.9	0.0782	0.145	0.240	0.349	0.471	0.611	0.769	0.943	1.12	1.30	1.41	1.43	1.33	1.07	0.696
		1.0	0.0816	0.147	0.241	0.350	0.471	0.609	0.765	0.938	1.12	1.30	1.45	1.52	1.47	1.27	0.910
	20	0.1	0.0265	0.0847	0.146	0.195	0.217	0.201	0.169	0.118	0.0699	0.0347	0.0146	0.00650	0.00296	0.00181	0.00113
		0.2	0.0238	0.0951	0.181	0.283	0.403	0.516	0.569	0.591	0.489	0.345	0.204	0.0965	0.0353	0.00948	0.00296
		0.3	0.0290	0.105	0.199	0.318	0.464	0.639	0.824	0.952	0.991	0.943	0.735	0.480	0.254	0.101	0.0272
		0.4	0.0452	0.101	0.186	0.293	0.426	0.589	0.778	0.974	1.13	1.16	1.12	0.909	0.635	0.346	0.135
		0.5	0.0573	0.113	0.196	0.310	0.448	0.620	0.822	1.05	1.27	1.45	1.49	1.41	1.16	0.791	0.410
		0.6	0.0701	0.135	0.210	0.320	0.462	0.636	0.844	1.08	1.34	1.59	1.77	1.79	1.65	1.32	0.843
		0.7	0.0781	0.150	0.222	0.326	0.470	0.645	0.856	1.10	1.37	1.65	1.90	2.05	2.02	1.77	1.30
		0.8	0.0838	0.162	0.233	0.332	0.472	0.647	0.855	1.10	1.38	1.67	1.96	2.19	2.27	2.12	1.73
		0.9	0.0883	0.172	0.242	0.337	0.469	0.641	0.847	1.09	1.36	1.66	1.97	2.24	2.41	2.37	2.06
		1.0	0.0910	0.180	0.251	0.339	0.465	0.631	0.833	1.07	1.34	1.64	1.95	2.24	2.46	2.52	2.32
30	0.1	0.00931	0.0716	0.141	0.210	0.254	0.281	0.251	0.196	0.130	0.0710	0.0309	0.0118	0.00481	0.00237	0.00147	
	0.2	0.00278	0.0724	0.161	0.278	0.420	0.580	0.728	0.789	0							