

# アルミダイカスト製品の強度解析

茨島 明\*、小川 裕二\*\*  
岩手県工業試験場 機械金属部

## Strength Analysis of Aluminum Alloy Die Castings

BARAJIMA Akira, OGAWA Yuji

自動車の軽量化等に伴い、強度が必要な部品がアルミダイカスト製品に移行しつつあり、従来のアルミ製品の設計であまり考慮していない塑性変形後の挙動を把握しなければならなくなっている。そこで、アルミダイカスト製品の塑性変形後の挙動を数値解析及び実体破壊試験により調査した結果、本研究での数値解析は実体の弾塑性域での挙動を正確にシミュレーションしており、この数値解析を設計に応用できることが確認された。

キーワード：アルミダイカスト シミュレーション エンジンマウントブラケット 降伏条件 硬化則

### 1. 緒言

自動車の軽量化等に伴い、強度が必要とされる部品(エンジンマウントブラケット等)が鉄製品等からアルミダイカスト製品に移行し始めており、部材が塑性変形した場合や破壊した場合のことを考慮した設計がアルミダイカスト製品に求められている。したがって、従来アルミダイカスト製品の設計であまり重要でなかった塑性変形後の挙動を把握しなければならなくなっている。

鋼板製品では、その部材が図1に示すような応力-歪み曲線を描き、OA間の線形領域(弾性領域)が設計の目安となる。ところが、アルミ合金は図2に示すような応力-歪み曲線を描き、線形領域を特定するのが難しく

設計の目安を決めるのが難しい。また、図2のC点を0.2%耐力と呼び設計の目安とすることもあるが、強度が要求される製品では適用できない場合が多い。そこで、本研究では、アルミダイカスト製品(エンジンマウントブラケット)の弾塑性領域での挙動を数値解析及び実体破壊試験により調査し、設計への応用について検討した。

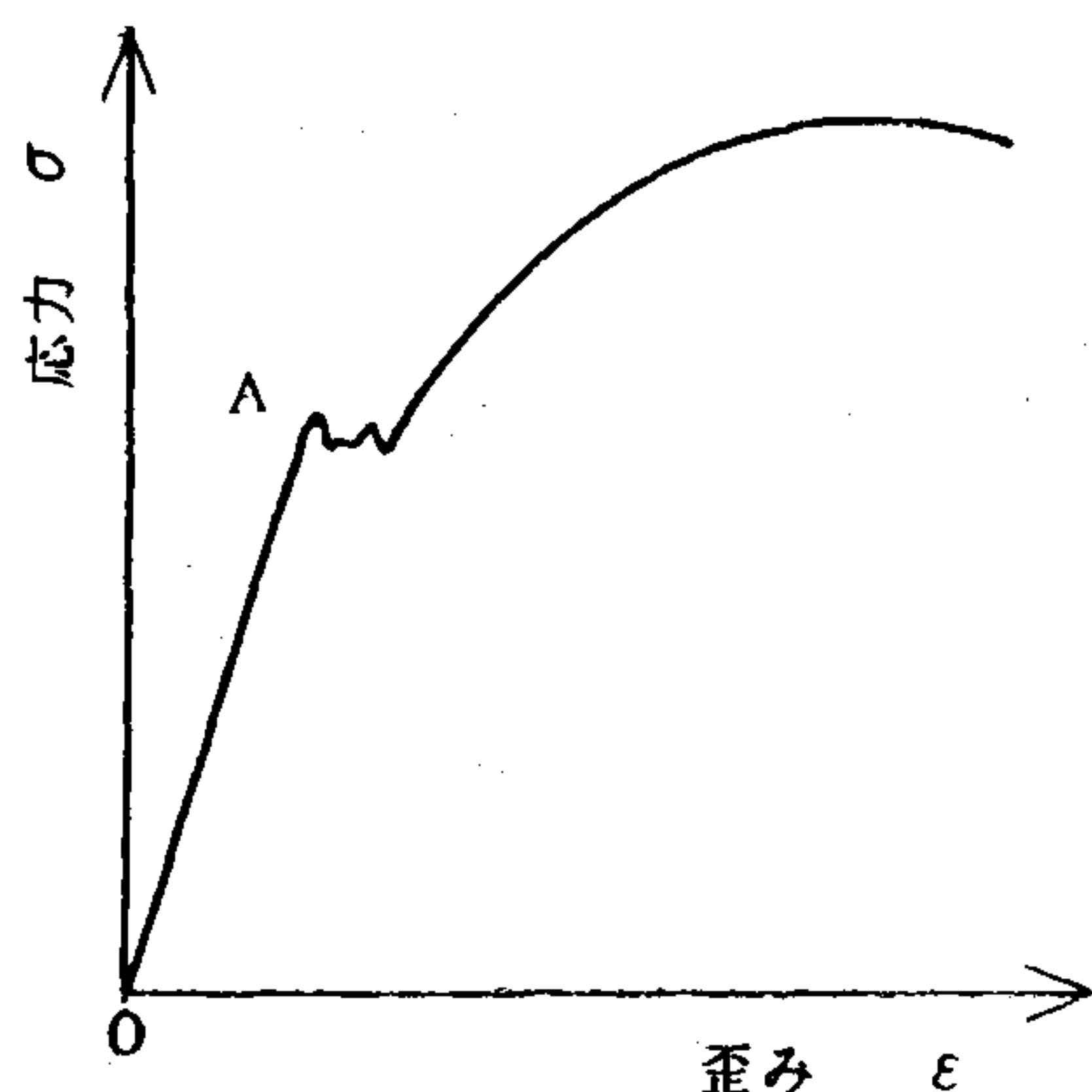


図1 鋼材の応力-歪み曲線

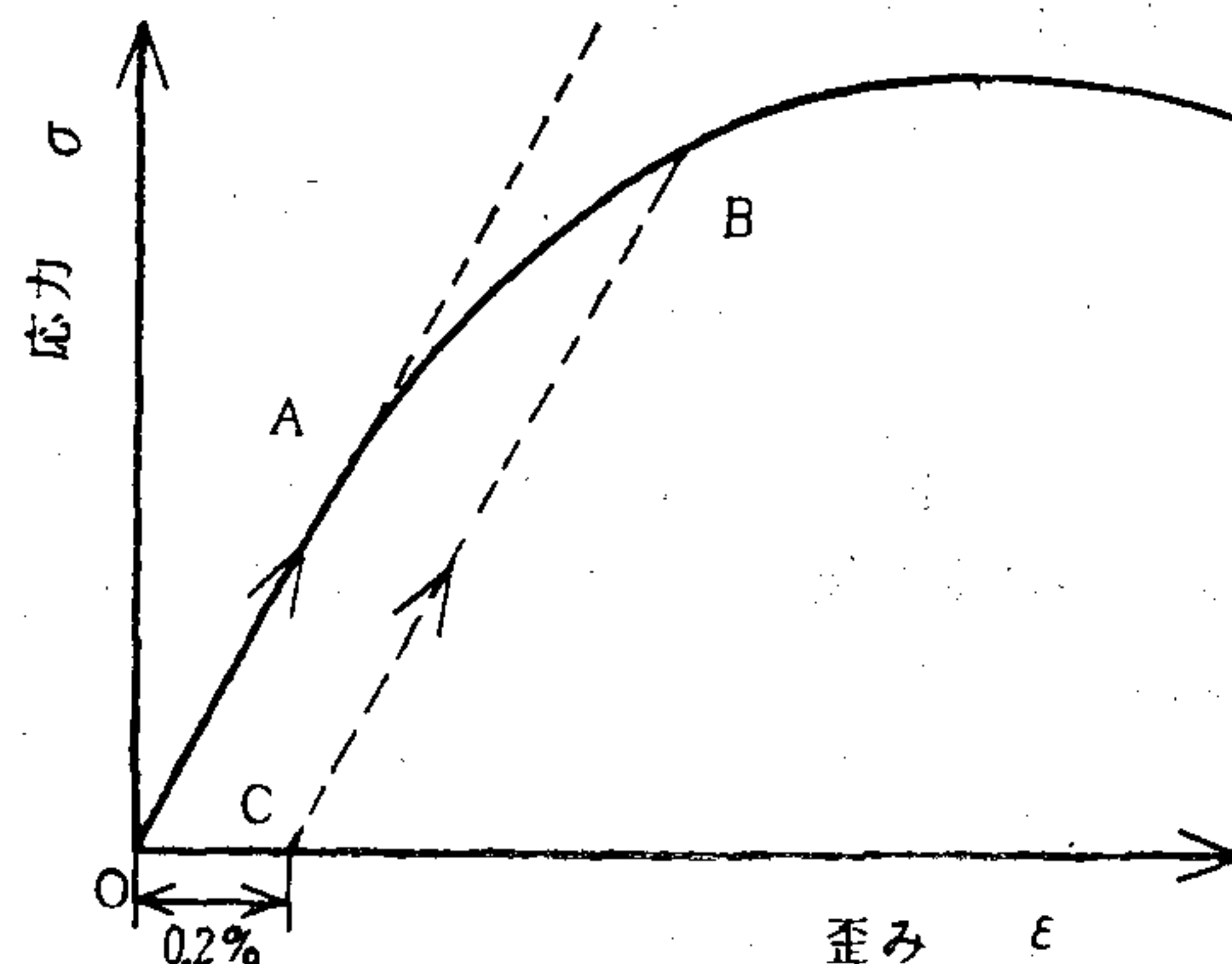


図2 アルミ合金の応力-歪み曲線

### 2. 数値解析方法

#### 2-1 降伏条件

塑性領域での数値解析を行うためには材料が塑性変形を起こしたかどうかを決めなければならない。そこで、いくつか定義されている降伏条件説のうち今回は式(1)の

生産技術への工学解析の応用

\* 岩手県工業技術センター 金属材料部 岩手県盛岡市飯岡新田 3-35-2

\*\* (株)アーレスティ研究所 盛岡研究室 岩手県盛岡市盛岡駅前通り 1-10

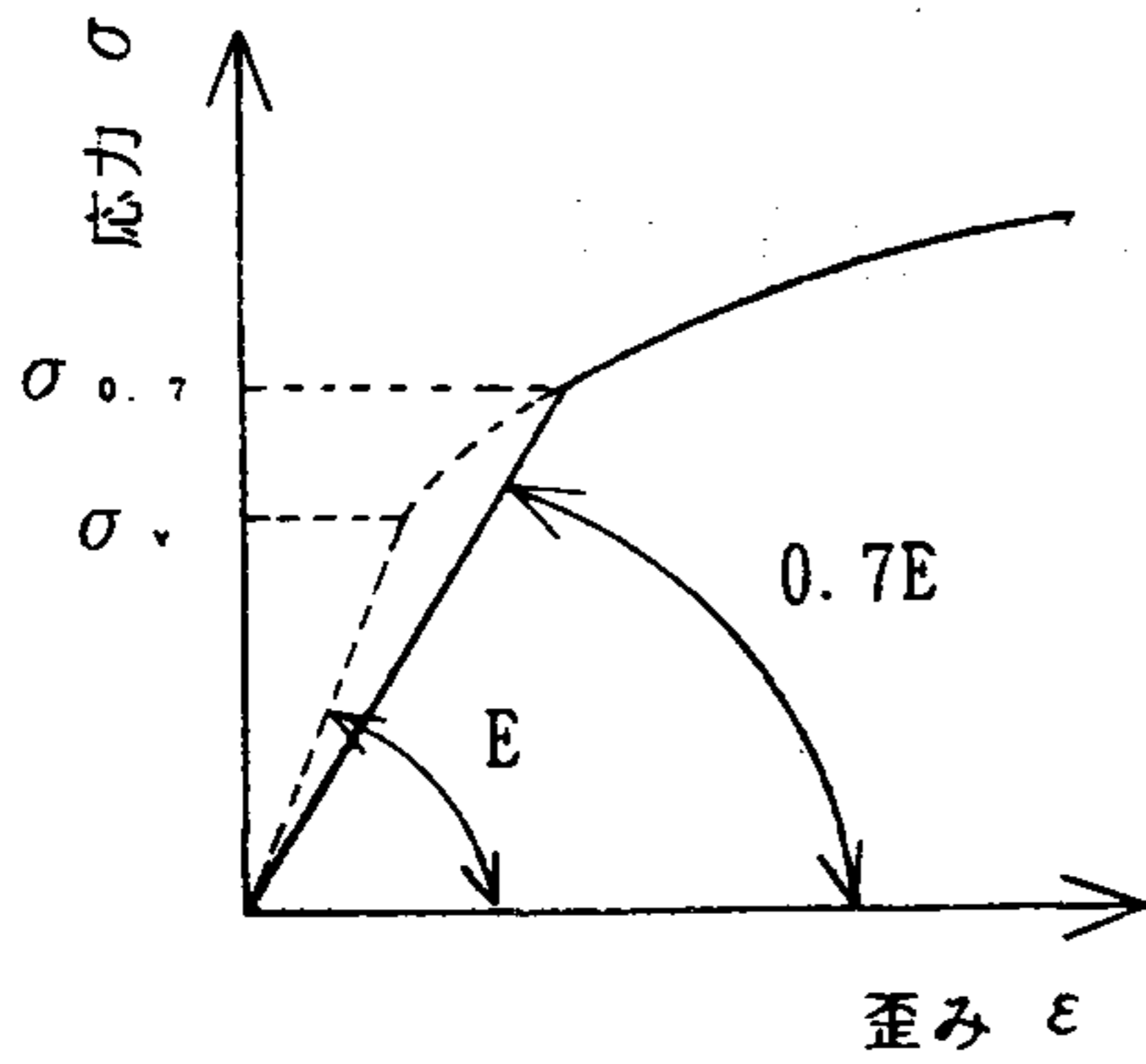


図3 ランベルクーオスグット曲線

降伏関数で表される von Mises の条件説を用いた。

$$\bar{\sigma} = 0.5^{1/2} \{ (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2 \}^{1/2} \quad (1)$$

$\bar{\sigma}$ : 降伏応力、 $\sigma_1 \sim \sigma_3$ : 主応力

この条件説は一般の構造用金属材料に対しては最も妥当なものと考えられている。

### 2-2 硬化則と応力-歪み曲線へのあてはめ

降伏後の応力-歪み曲線は一般に曲線 (図2参照) を描くが、数値解析上はその曲線の降伏から破壊までを直線とみなして解析することが多い。しかし、ADC12 (アルミダイカスト用合金の一種) では、塑性変形後の直線近似には無理があると考えられる。また、降伏条件が理論と実際とでは若干異なることが知られている。そして、これらを補う考え方が硬化則である。

そこで、本研究では実験とよく合うとされている移動硬化則を応力-歪み曲線にあてはめた「ランベルクーオスグット曲線」(図3)を用いて数値解析を行った。なお、塑性変形後 ( $\sigma \geq \sigma_{0.7}$ ) の応力-歪みの関係は式(2)により与えられる。

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \frac{3 \sigma_{0.7}}{7 E} \left( \frac{\sigma}{\sigma_{0.7}} \right)^n \quad (2)$$

$\epsilon$ : 歪み、 $E$ : 弾性係数

$\sigma_{0.7}$ : 割線係数、 $n$ : 硬化指数

### 2-3 モデル形状と荷重・拘束条件

解析する製品 (エンジンマウントブラケット) のモデルと荷重・拘束の方法を図4に示す。荷重は実験と同じになるように治具部に与え、拘束は製品取り付け部を完全拘束とした。モデルは有限要素法によるもので、薄肉部はシェル要素を用い、その他の部分はソリッド要素を用いた。また、製品の固定用ボルトのモデル化にはビーム要素 (図5) を用い、製品とボルトの結合にはリジット要素 (図5) を用いた。

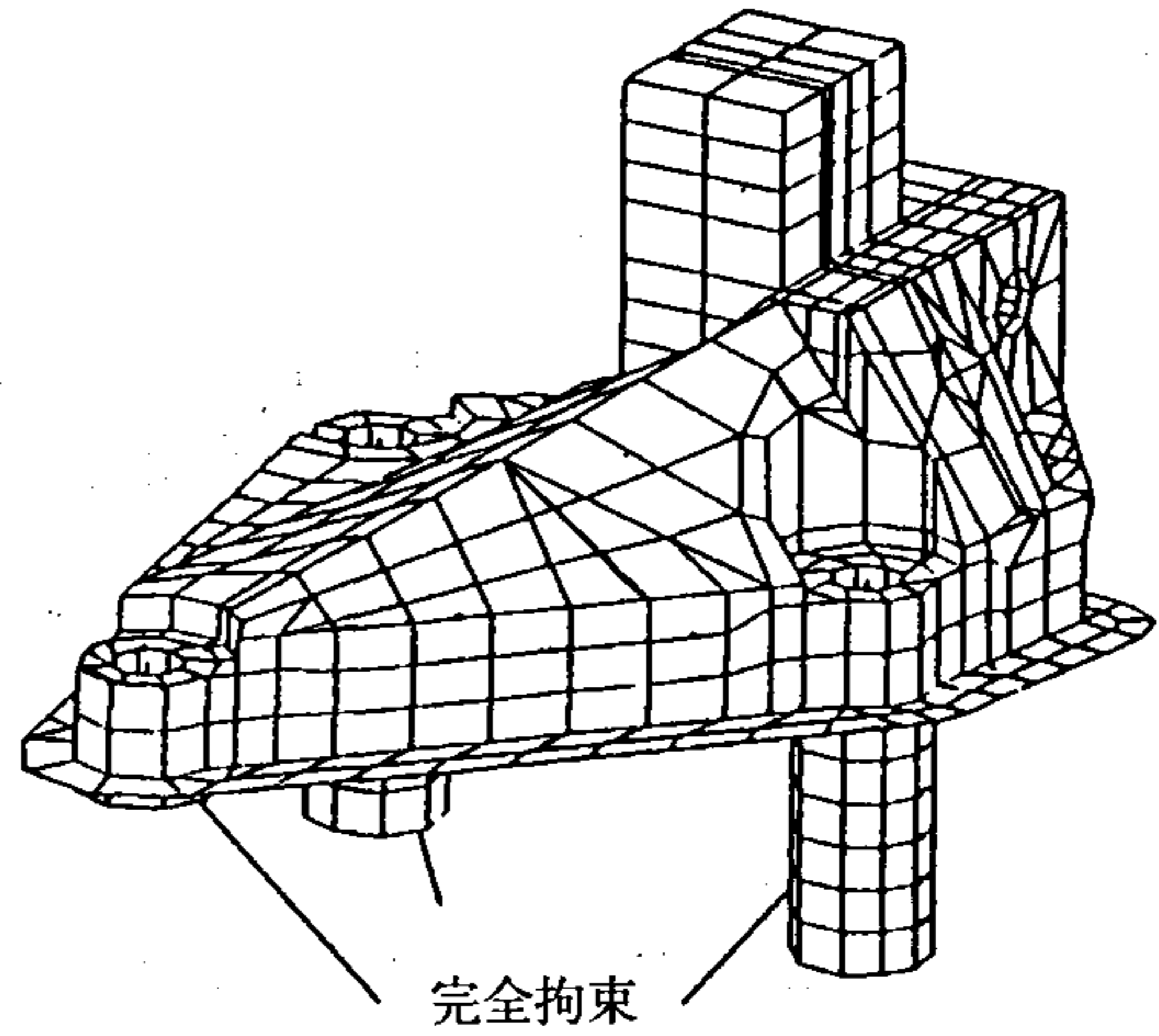


図4 モデル形状と荷重・拘束条件

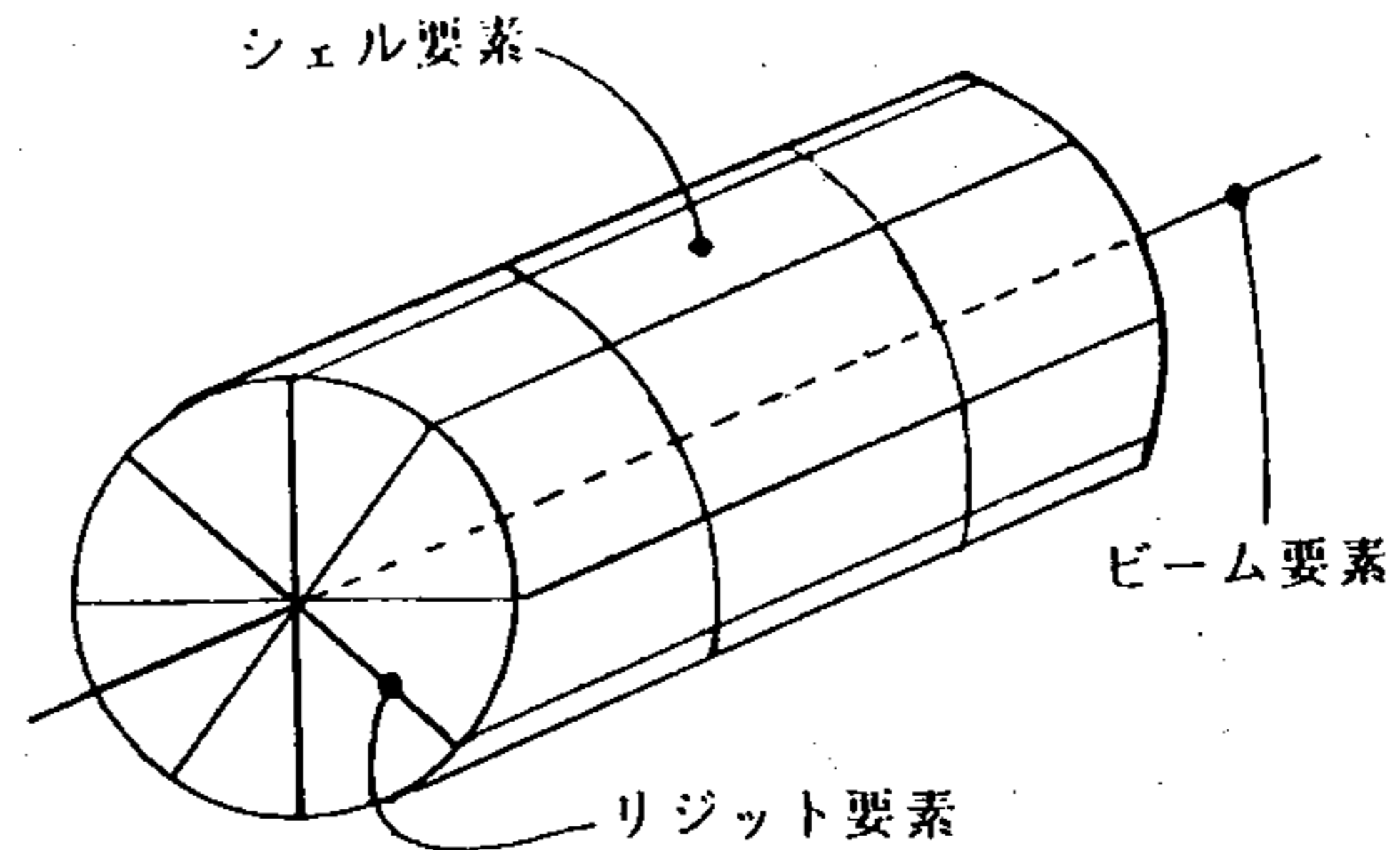
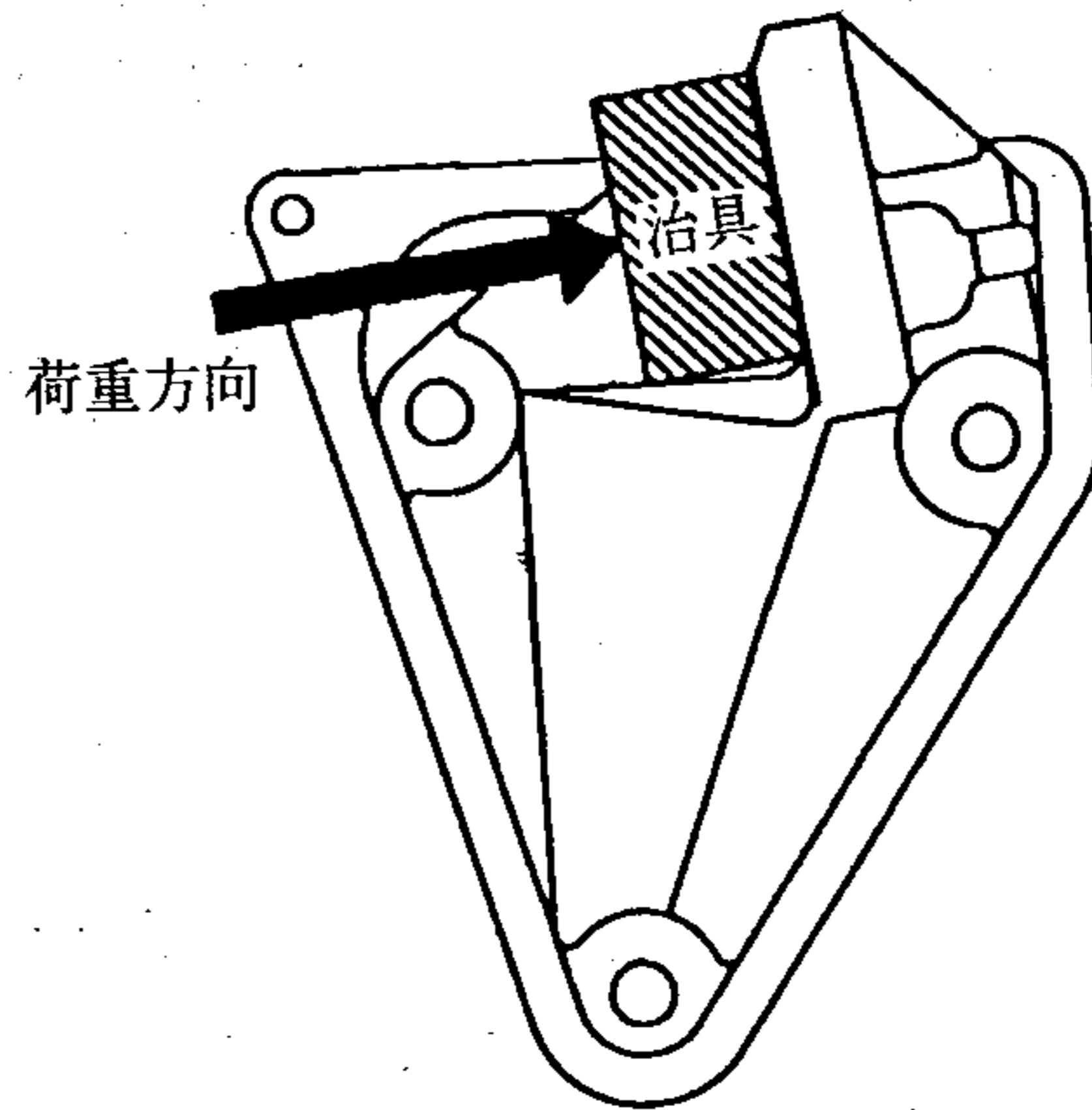


図5 ビーム要素とリジット要素

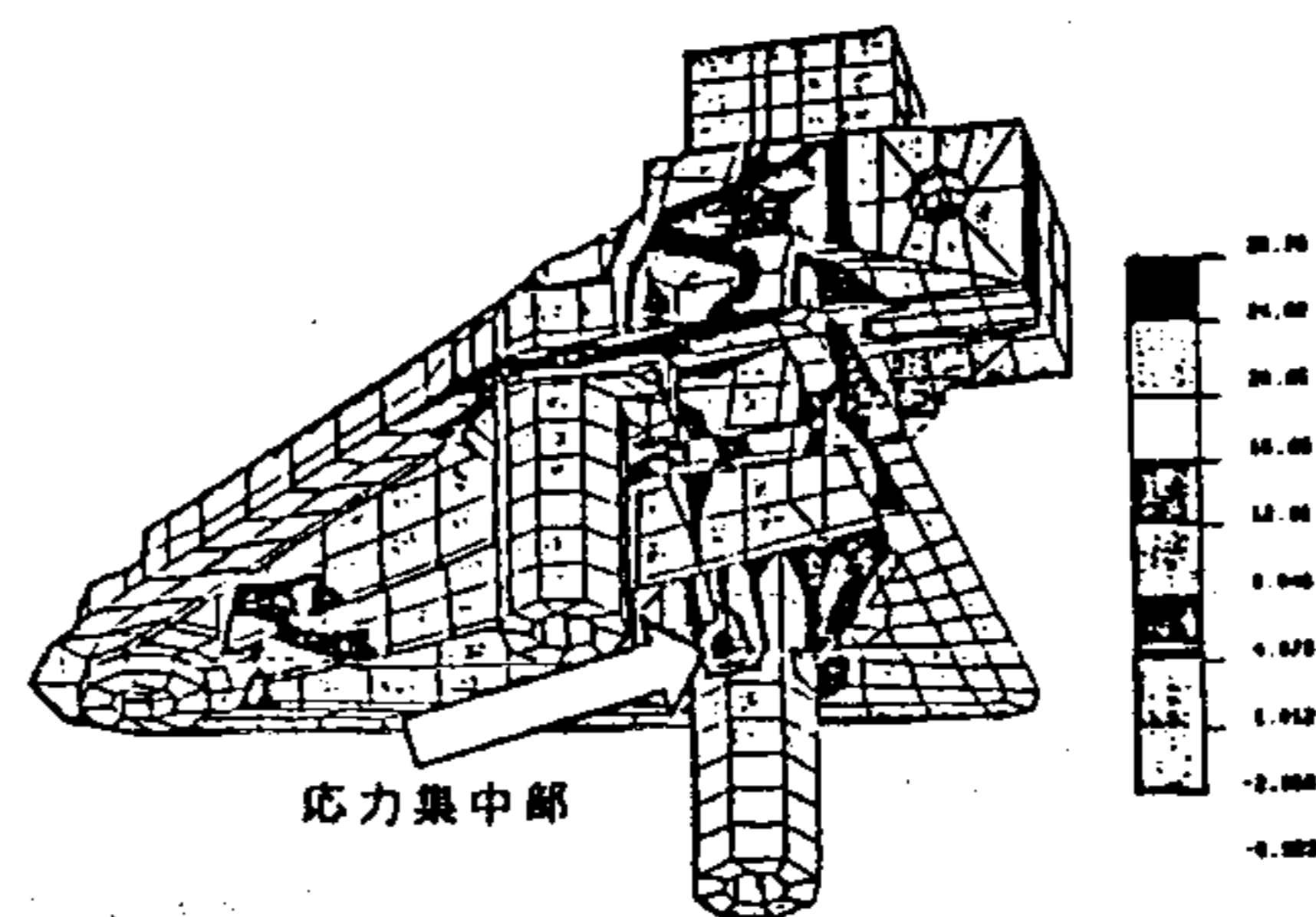


図6 解析結果 (応力コンター図)

2-4 材料定数

JSI B 13号試験片で、解析に必要なADC12等の材料定数を以下のように求めた。

- 縦弾性係数：67,000MPa・・・製品
- 縦弾性係数：206,000MPa・・・治具、ボルト
- ポアソン比：0.3
- 硬化指数：5.5
- 割線係数：160.7MPa
- 弾性限界：127.4MPa

2-5 解析環境 (ソフトとハード)

今回の数値解析では、ハードウェアは米国Sun Microsystems社製のS 4 / 330を、ソフトウェアは米国emrc社製のN I S A IIを使用した。

イカスト製品から切り出したテストピース (JIS B 13号試験片) で引っ張り強さを求め、数値解析結果と比較した。

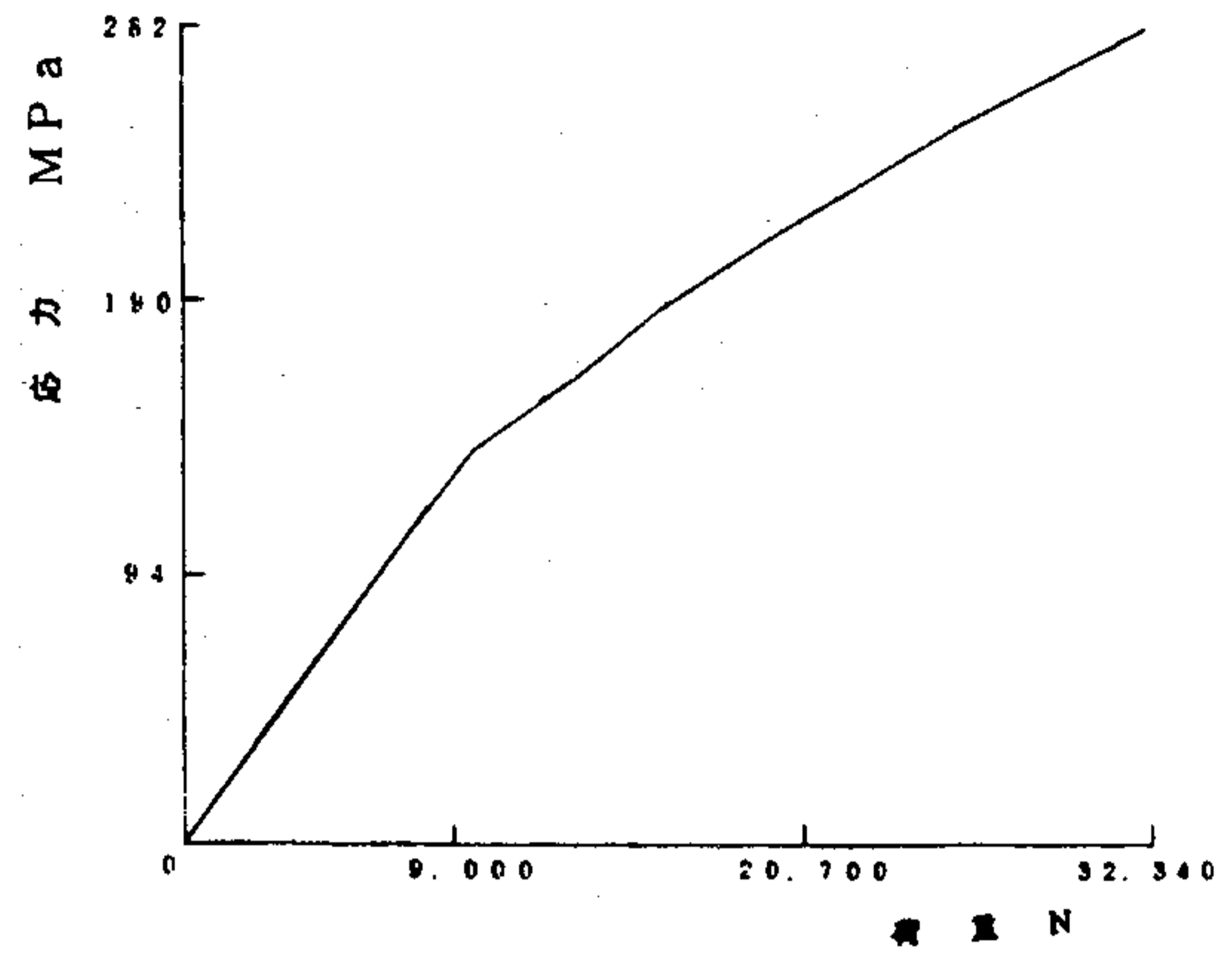


図7 応力集中部の応力-荷重曲線

3. 数値解析結果及び検証実験との比較

実体破壊荷重 (X=32,340N：検証実験を参照) を荷重条件として入力し、材料非線形解析を行った。その結果、図6のような応力コンター図が得られ、図中に示すような応力の集中部が見られた。また、図7のような応力集中部の応力-荷重曲線が得られた。そして、検証実験との比較のための変位-荷重曲線が図8のように得られた。

数値解析結果を検証するために図9に示す装置で実体破壊実験を行った。図10に示す部位 (数値解析において応力集中が見られた場所) に歪みゲージを2枚接着した後24時間放置し、破壊実験を行った。実験結果のうち2,940N荷重時の変位と歪み及び破壊荷重値をまとめたものを表に示す。破壊荷重の平均値は32,340Nで、この値を数値解析の荷重条件として用いた。また、アルミダ

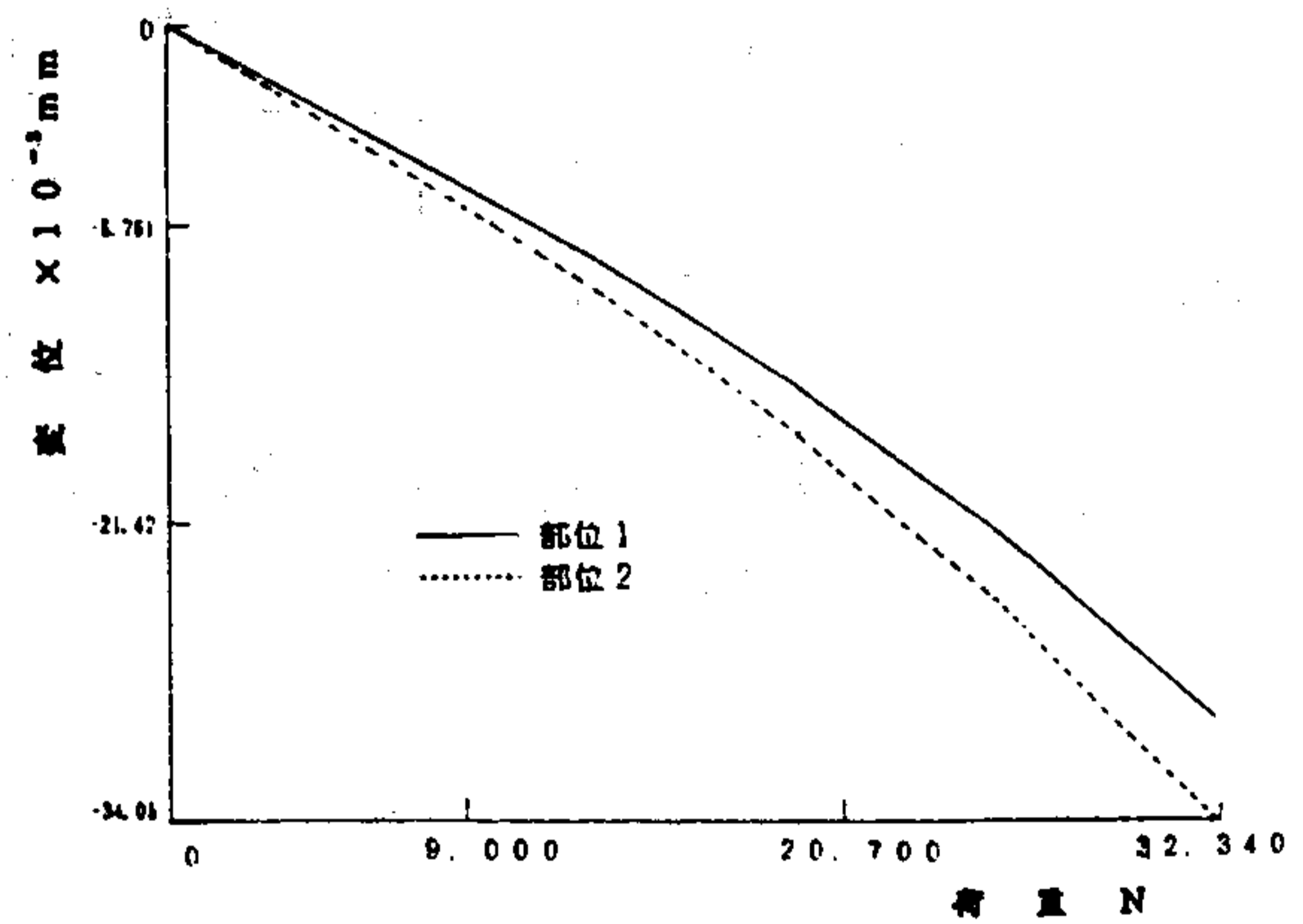


図8 部位1, 2の変位-荷重曲線

表 実体破壊試験結果

部位	サンプル 番号	1	2	3	4	平均値
	データの 種類					
1	歪み	$5.0 \times 10^{-4}$	$4.8 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$	$5.8 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-4}$
	変位 (mm)	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$
2	歪み	$5.0 \times 10^{-4}$	$5.5 \times 10^{-4}$	$4.8 \times 10^{-4}$	$5.4 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-4}$
	変位 (mm)	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.8 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$
破壊荷重 (N)		37,534	37,828	27,832	26,068	32,340

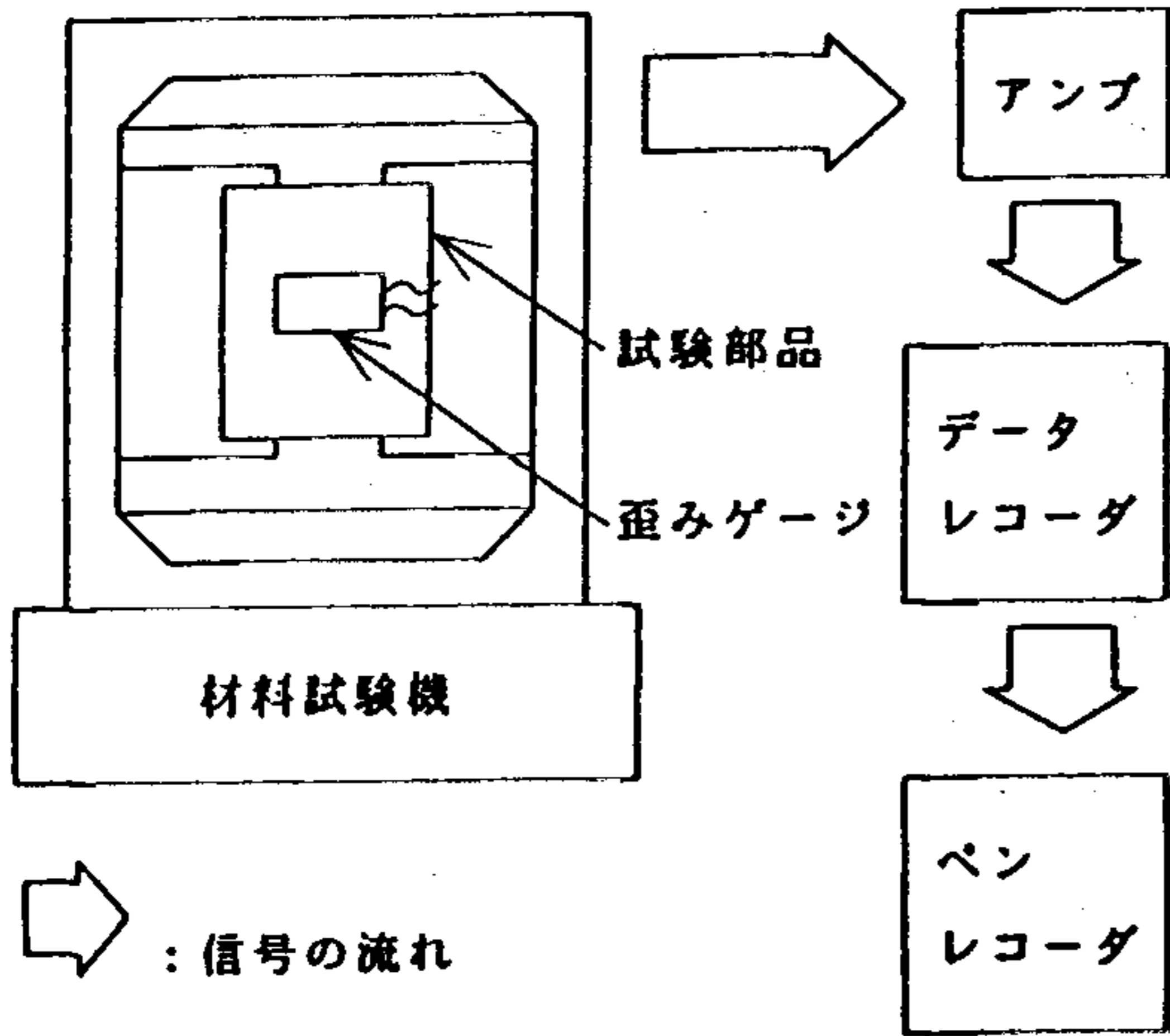


図9 実験装置概略

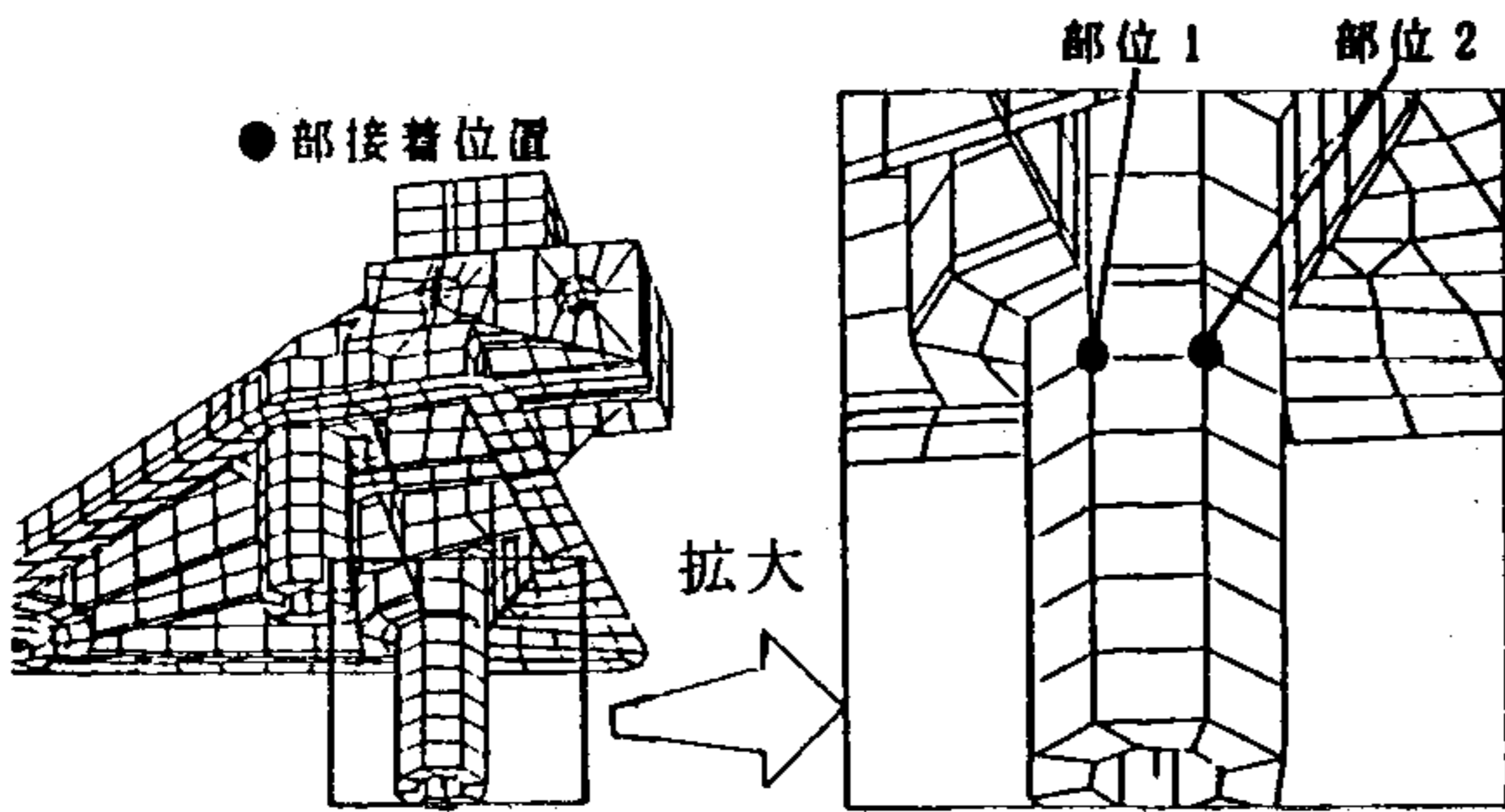


図10 ひずみゲージ接着位置

図7の応力-荷重曲線の最大応力は282MPaとなり、JIS B 13号試験片による253MPaと良く一致した。  
 また、図8及び表により2,940N加重時(弾性変形領域)の応力集中部近傍2ヶ所の変位を比較すると、数値解析で $2.144 \times 10^{-2}$ mm及び $2.519 \times 10^{-2}$ mm、実験値で2ヶ所とも $2.6 \times 10^{-2}$ mm(平均値)となり、数値解析と実験との値が良く一致した。

#### 4. 結 言

von Misesの条件説を用いた本研究の数値解析は実体(アルミダイカスト製品)の弾塑性域での挙動を正確にシミュレーションしていると考えられる。したがって、本研究の数値解析の手法はアルミダイカスト製品の設計に十分応用できるものと考えられる。また、この数値解析により、実験ではわからない実体の挙動をより詳細に解析できるものと考えられる。

#### 参考文献

- ・矢川元基、ほか1名：有限要素法、培風館
- ・富田佳宏：数値弾塑性力学、(株)養賢堂