

I - A9

逆解析による鋼材の構成則パラメータの同定法に関する研究

名古屋工業大学 正員 小畑 誠

名古屋工業大学 学生員 水谷 明嗣

名古屋工業大学 正員 後藤 芳顯

1 はじめに

鋼構造においても終局挙動を正しく評価するために幾何学的非線形と鋼材の弾塑性挙動を考慮した解析を行う必要性が高まっている。このうち幾何学的非線形を扱う事は過去数十年にわたり精力的に研究され、現段階ではその成果はいくつかの汎用プログラムにも見る事ができる。その一方、弾塑性構成方程式については終局挙動の解析には大ひずみ領域まで考える必要がある事から、用途に応じてそれぞれの研究者が独自のものを使用しているのが現状である。これらの弾塑性構成則では実際の材料挙動をカーブフィッティングする目的で物理的に意味の不明な内部変数が多数導入されており、その実験での同定法については多くの場合自明ではない。また材料パラメータを決定するためには本来ならば多軸実験を行う必要があるが現実には多軸実験の困難さにより、一軸試験により推測している事が多い。

本研究ではこれらの材料パラメータを有限要素法を用いた逆解析により合理的に推測する事を目的としている。提案する方法の概要は以下の通りである。まず、一軸試験機でも多軸応力状態を再現しかつ大きなひずみが発生するように非一様な変形を許すような試験片を用いる。そして、測定項目としてはゲージにより測定されるひずみではなく適当に定めた標点間の変位とする。これにより標点間の変位には多軸応力状態の情報が間接的に含まれる事になる。次にこの変位を最も良く再現するパラメーターを有限要素法を用いた逆解析手法により推定する。

2 逆解析

本研究における逆解析の考え方は任意のある観測点における変位が $w_j (j=1, \dots, m)$ のときの荷重の観測値 P_{ej} と解析値 P_j が最も近づくように仮定した弾塑性構成則の材料パラメーターをガウス＝ニュートン法を用いて最適化するものである。以下に例として弾塑性構成則として次式で表される等方硬化則の場合の概略を示す。

$$\sigma = h(\varepsilon^p + \alpha)^n \quad (1)$$

この場合には $W = \sum_j (P_{ej} - P_j)^2$ で表される誤差を最小にする材料パラメーター h, n を求めることになる。必要条件から

$$\frac{\partial W(h, n)}{\partial h} = -2 \sum_j (P_{ej} - P_j(h, n)) \frac{\partial P_j(h, n)}{\partial h} = 0 \quad (2a)$$

$$\frac{\partial W(h, n)}{\partial n} = -2 \sum_j (P_{ej} - P_j(h, n)) \frac{\partial P_j(h, n)}{\partial n} = 0 \quad (2b)$$

となる。 $P_j(h, n)$ は h, n の陽な関数ではないのでこの関係式をそのまま解く事は困難である。そこで未知の真値である h, n に適当に近い値である H, N を仮定し P_j をこのまわりで展開し線形化して解くことを考える。

式(2a,b)に代入すると

$$\frac{\partial W(h, n)}{\partial h} = -2 \sum_j \left\{ P_{ej} - P_j(H, N) - \frac{\partial P_j}{\partial h} \Delta H - \frac{\partial P_j}{\partial n} \Delta N \right\} \frac{\partial P_j}{\partial h} = 0 \quad (3a)$$

$$\frac{\partial W(h, n)}{\partial n} = -2 \sum_j \left\{ P_{ej} - P_j(H, N) - \frac{\partial P_j}{\partial h} \Delta H - \frac{\partial P_j}{\partial n} \Delta N \right\} \frac{\partial P_j}{\partial n} = 0 \quad (3b)$$

となる。

これより、 $\Delta H, \Delta N$ を求める問題とみなし繰返し計算によって W が最小となるように収束させていく。(図1) W が十分値が小さくなった時に一応の収束解とみなす。 P_j の微分は数値微分法によって計算するこ

とになるが計算量が増える。そこで、繰り返し計算時の作業性を考慮し実用性を高めるため最初に適当な範囲で代表的な (h, n) の値について P_j を計算しておき、後は双3次補間関数によって P_j の微分を求めた。

3 解析例

提案する手法の適用性を示すために解析値に乱数により人工的に誤差を与えたものを疑似実験値として用いた。一軸引張り試験においても非一様な変形が生じるような試験片の一例として図2のように楕円孔を持つものを考えた。ヤング率は206GPa、ポアソン比は0.3、降伏応力は235MPaとしている。観測する変位としては点aa'間、点bb'間の2種類を考えた。有限要素法解析の対象は対称性を考慮し斜線で示す部分とした。擬似的な実験値の作成に用いた h, n は $h = 74.4513, n = 0.25$ である。

繰り返し計算の収束状況は良好であり、この例では初期値の選択に関わらず2種類の変位のどちらを用いてもともに10回程度で収束に至った。点aa'間の変位を用いた収束値は $h = 74.95, n = 0.2534$ 、点bb'間を用いた場合の収束値は $h = 73.57, n = 0.2364$ であり、若干ではあるが点aa'間を用いた場合の方が良い推定値を得た。図3(a),(b)に実験値と収束したパラメータを用いた解析値を比較したグラフを示す。いずれの場合も比較的良好く h, n を推定できているものと考えられる。

4 まとめ

簡単な例ではあるが有限要素法を用いた逆解析により弾塑性構成方程式のパラメータの推定が可能である事が示された。実用的な手法として確立するために、逆解析のために最適な観測点の選択法、画像解析を用いた精度の高くフレキシビリティのある変位測定法の開発、またガウス=ニュートン法以外の逆解析の適用の可能性の検討などについて今後検討していく予定である。

参考文献

- 1) 上原匠、結城和宏、小畑誠、信田佳延：高強度繊維補強コンクリート破壊靱性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、1995

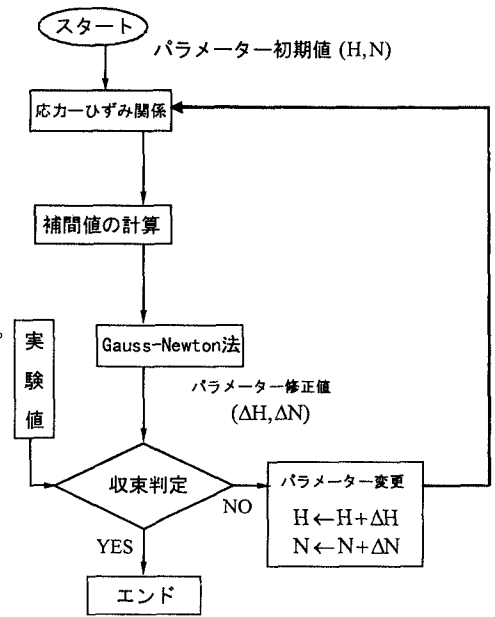


図1 解析の流れ

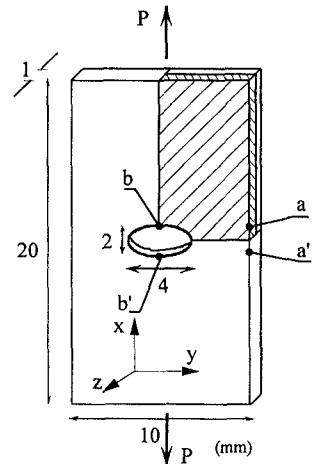


図2 解析モデル

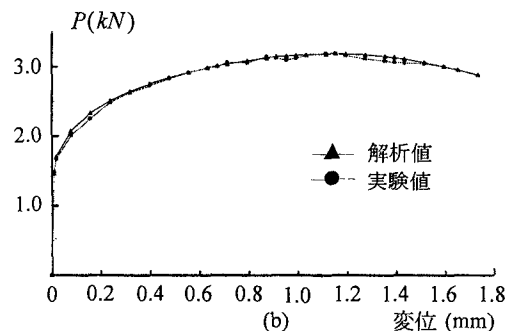
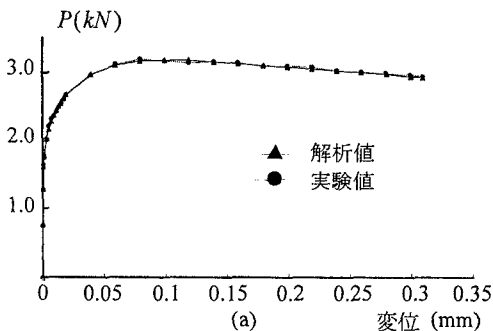


図3 解析例における荷重変位曲線: (a) aa'間の変位, (b) bb'間の変位