

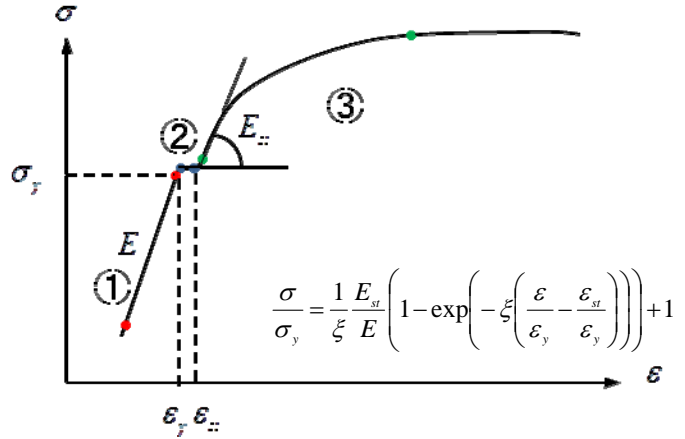
応力-ひずみ曲線における硬化パラメータ解析について

松本英敏

環境建設技術系

1 はじめに

某研究室の実験見学中に、タイトルにあるようなお話をいただいた。自分自身興味があったし、今までの知識で何とかなるだろうと思ひ引き受けた次第である。実際、何とかなつたのでここに報告する。この内容が、皆さまの何らかのヒントになれば幸いである。



2 解析概要

図1 応力-ひずみ曲線概略図

図1に示した応力-ひずみ曲線に対して、①、②の区間(赤点、青点)は線形最小自乗法、③の区間(緑点)は図中にある式(1)を非線形最小自乗法により、パラメータ推定するものである。今回推定するパラメータ¹⁾は図中の ξ, E_s, ε_s の3個である。

2.1 テーラー展開による近似式

パラメータを推定するには、計算誤差の式とテーラー展開して1次項までをとる近似式²⁾が必要となる。今回の計算誤差式 R_i と各々の近似式は次のようになった。

$$R_i = \sigma_y + \frac{\sigma_y E_s}{\xi E} \left(1 - \exp \left(-\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_y} \right) \right) \right) - \sigma$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \xi} = -\frac{\sigma_y E_s}{\xi^2 E} \left(1 - \exp \left(-\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_y} \right) \right) \right) + \frac{\sigma_y E_s}{\xi E} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_y} \right) \left(\exp \left(-\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_y} \right) \right) \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial E_s} = \frac{\sigma_y}{\xi E} \left(1 - \exp \left(-\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_y} \right) \right) \right), \quad \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon_s} = -\frac{\sigma_y E_s}{\xi E} \frac{1}{\varepsilon_y} \exp \left(-\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_y} \right) \right)$$

解析は上式(2)を次式(3)に代入し、定められた精度になるまで繰り返し計算を行った。

$$\begin{bmatrix} \sum_i \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \xi} \right)^2 & \sum_i \frac{\partial \sigma}{\partial \xi} \frac{\partial \sigma}{\partial E_s} & \sum_i \frac{\partial \sigma}{\partial \xi} \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon_s} \\ \sum_i \frac{\partial \sigma}{\partial E_s} \frac{\partial \sigma}{\partial \xi} & \sum_i \left(\frac{\partial \sigma}{\partial E_s} \right)^2 & \sum_i \frac{\partial \sigma}{\partial E_s} \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon_s} \\ \sum_i \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon_s} \frac{\partial \sigma}{\partial \xi} & \sum_i \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon_s} \frac{\partial \sigma}{\partial E_s} & \sum_i \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon_s} \right)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \xi \\ \delta E_s \\ \delta \varepsilon_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sum_i \frac{\partial \sigma}{\partial \xi} R_i \\ -\sum_i \frac{\partial \sigma}{\partial E_s} R_i \\ -\sum_i \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon_s} R_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

尚, 材料は判らなかったので, 初期値は右表を参考に
 $\xi=0.05, E/E_{st}=50, \varepsilon_{st}/\varepsilon_y=5$ と設定した。

収束精度は 1/10000 である。

3 解析結果

図 2 に case1 の解析結果を示している。実測のデータは黒線で示してあるが, 弾性域の赤線は完全に一致していることが判る。降伏棚の青線も小さくて見難いがほぼ満足いく結果を示している。

さて問題は硬化部であるが, case1 におけるパラメータは $\xi=0.0596, E/E_{st}=46.9, \varepsilon_{st}/\varepsilon_y=4.62$ となり, 表 1 と比較しても遜色ない結果を得た。また解析したパラメータを用いて, 加筆した結果が図 2 の緑線である。他の case2, case3 の実測データでも, 表 2 に示すような妥当な結果を得た。

表 1 既存の硬化パラメータ¹⁾

Material	ξ	E/E_{st}	$\varepsilon_{st}/\varepsilon_y$
SS400	0.06	40	10
SM490	0.06	30	7
SM570	0.02	100	3

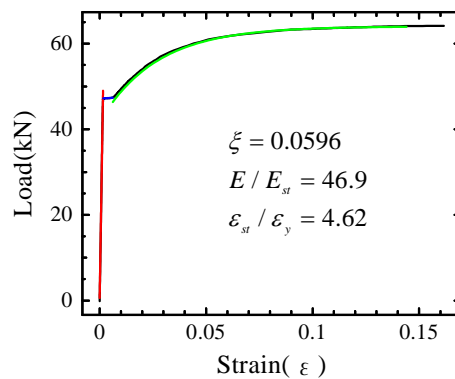


図 2 case1 解析結果

4 おわりに

実験データは他の技術職員 WG³⁾の協力により得られたものであり, 技術の連携が功を奏した例と言える。

後は学生さんに頑張っていただき, 得られた知見をもとに次の Step であるモデル解析へ更なる発展を期待する。

今回, このような機会をいただいた教員に感謝している。やはり自分が経験して無いものにチャレンジすることは, 楽しいの一言に尽きる。今後もこのようなスタンスを貫き, 楽しく業務がやればこの上ない喜びである。

表 2 硬化パラメータ解析結果

Case	ξ	E/E_{st}	$\varepsilon_{st}/\varepsilon_y$
Case1	0.0596	46.9	4.62
Case2	0.0553	51.5	4.83
Case3	0.0678	38.9	4.31

参考文献

- [1] 宇佐美勉, (社)日本鋼構造協会, 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 技報堂出版, 1995.9
- [2] 三浦 功, 田尾陽一, 計算機のための数値計算法概論, サイエンス社, 1996, P225-P230
- [3] 熊本大学工学部 技術部 構造解析 WG : 友田祐一, 戸田善統, 池崎智美