

押込み試験を用いた既設鋼構造物の材料強度特性推定法に関する基礎検討

(株)ニチゾウテック 正会員 ○三谷 欣也, 田邊 靖博, 畑中 章秀
大阪大学大学院 伊與田 宗慶, 望月 正人

1. はじめに

供用中に劣化損傷した既設鋼構造物を維持管理する上で、構造部材の降伏応力や引張強さなどの材料強度特性を把握することは重要である。従来から押込み試験により荷重と圧痕の大きさから硬さを測定し、その硬さをもとに引張強さを推定する方法が用いられている。近年では、圧子の押込み過程における荷重と押込み深さの関係を連続的に出力できる装置が開発されており、硬さのみならず、応力-ひずみ曲線（S-S カーブ）を算出することも可能となってきた^{1),2)}。本研究では、この圧子押込み試験機（Instrumented indentation technique 以下、IIT と称す。）を用いて、実構造部材の S-S カーブを引張試験結果に近い形で同定し、引張強さや降伏応力などの強度特性を精度よく推定することを目的としている。本報では、引張予歪を付与した試験片を用いて IIT による強度特性の基礎検討を行った結果を示す。

2. 押込み試験による応力-ひずみ曲線の推定

IIT による押込み試験のフローを図 1 に示す。まず、押込み時の荷重と圧子の押込み深さを連続的に測定し、図 2 のような押込み荷重と深さ曲線を得る。代表応力は、最大押込み荷重 L_{max} と圧痕の投影面積から得られる平均接触面圧を用いて式(1)により定義する。また、代表ひずみは、圧子と材料が接触している部分におけるせん断ひずみと定数 α により式(2)のように定義する。ここで、 a は接触半径、 Ψ は塑性拘束係数、 R は球圧子の半径である。

上記により定義した代表応力と代表ひずみを複数の押込み荷重に対して求め、塑性域における S-S カーブを推定する^{1),2)}。このとき、応力とひずみの関係は式(3)のような n 乗硬化則に従うものとして回帰して求める。ここで、 n は加工硬化指数、 K は比例定数である。得られた回帰曲線から強度特性を算出する。

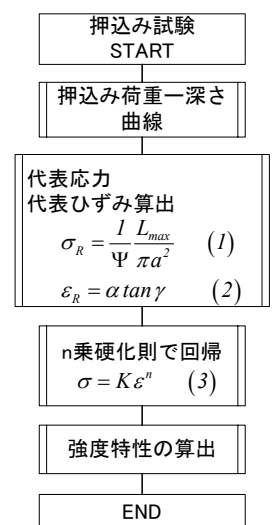


図 1 押込み試験のフロー

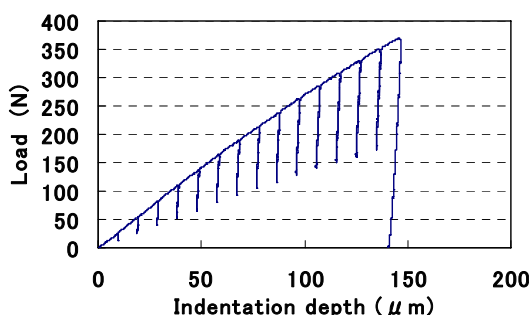


図 2 押込み荷重と深さ曲線例

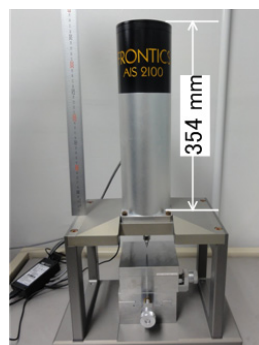


図 3 IIT 概観

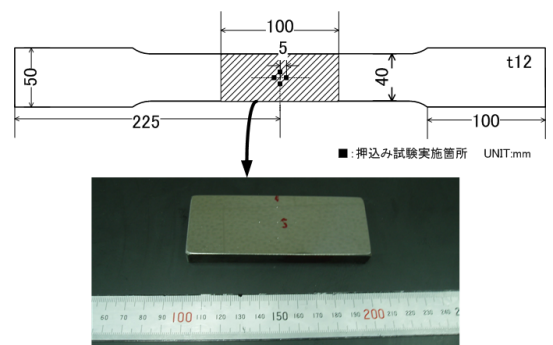


図 4 試験片概要

3. 実験方法

実験には、素材の試験片および単軸引張試験により予歪を付与した試験片を用いた。予歪試験片は、引張試験片の中央部を測定対象とした。材質は、一般圧延鋼板の SM400 と SM490 の二種類である。IIT の概観を図 3 に示し、試験片概要を図 4 に示す。実験に用いた IIT の装置は、FRONTICS 社製である。測定面は、鏡面仕上げを施しており、試験片一体当りの測定点は 4 点とした。押込み試験には径 0.5mm の球圧子を使用し、試験片を水平ステージの上に設置して下向きの姿勢で測定を行った。

キーワード 押込み試験, 既設鋼構造物, 材料強度特性, 応力-ひずみ曲線

連絡先 〒551-0023 大阪市大正区鶴町 2-15-26 (株)ニチゾウテック TEL 06-6555-7055

4. 実験結果

押込み試験から算出した S-S カーブの一例を図 5 (材質: SM490) に示す. 横軸を真ひずみ, 縦軸を真応力で表記している. 実線は, 引張予歪を付与するために行った引張試験結果である. 予歪は, 単調载荷により付与しており, SM490 における各試験片の予歪量は, 2.15%, 4.65%, 11.2%, 18.9% であった. プロットは, 各試験片の IIT の測定結果を示している. ここで, 予歪試験片の結果は, 予歪量分だけ平行移動して表示している. 各試験片のプロットは, ほぼ同一曲線上にあり, 引張予歪により加工硬化していることがわかる. 実際に, IIT の測定結果と引張試験結果を比較すると両曲線は概ね一致しており, IIT の測定により塑性域の S-S カーブはほぼ同定できることがわかった.

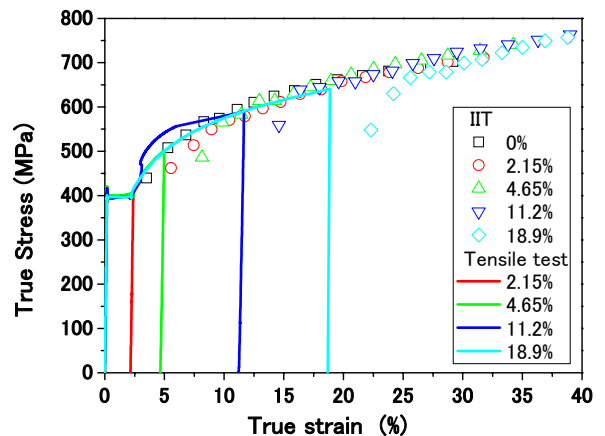


図 5 真応力・真ひずみの比較 (SM490)

図 6 は, 各試験片の加工硬化指数の変化を示している. 加工硬化指数は, 予歪の増加に伴って低下する傾向であり, SM400 と SM490 で大きな差異は認められなかった. 加工硬化指数は, 式(3)を両対数グラフで表示したときの傾きであり, 予歪の増加によって加工硬化指数は低下することになる.

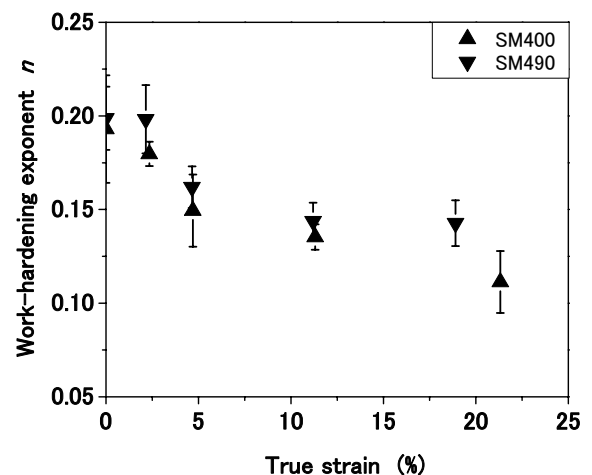


図 6 加工硬化指数の変化

図 7 は, 式(3)で回帰した S-S カーブから求めた引張強さと降伏応力の結果を示す. 素材の引張強さは, SM400 および SM490 共に引張試験から得られた引張強さとほぼ一致した. 予歪量に伴う引張強さ σ_t は, S-S カーブが式(3)の n 乗硬化則に従う場合, 式(4)として表わされる.

$$\sigma_t = Kn^n \cdot \exp(-n) \quad (4)$$

一方, 降伏応力は, 引張試験の上降伏点(SM400: 平均 301MPa, SM490: 平均 411MPa)と比較すると, SM400 で 60MPa, SM490 で 115MPa 程度小さくなっていった. これは, 式(3)の回帰曲線では, 降伏応力近傍の推定精度が良くないことを示している. ただし, 予歪に伴う降伏応力の変化比率は, SM400 と SM490 で同程度であることから式(3)を補正することで精度向上が期待できる.

5. まとめ

引張予歪を付与した試験片を用いて IIT の基礎検討を行った結果, 押込み試験から同定した塑性域の S-S カーブは引張試験結果と概ね一致しており, 引張強さの推定が十分可能であることがわかった. 降伏応力は, 引張試験結果と差が生じていたが, 回帰曲線の補正を行うことで精度が上がることを予測される. また, 予歪と強度特性を整理することで, 測定された引張強さから測定箇所の塑性ひずみ量を推定することも可能になると考えられる. 今後は, 実鋼構造物へ適用するために, 測定表面状態や装置姿勢の影響などを検討していく予定である.

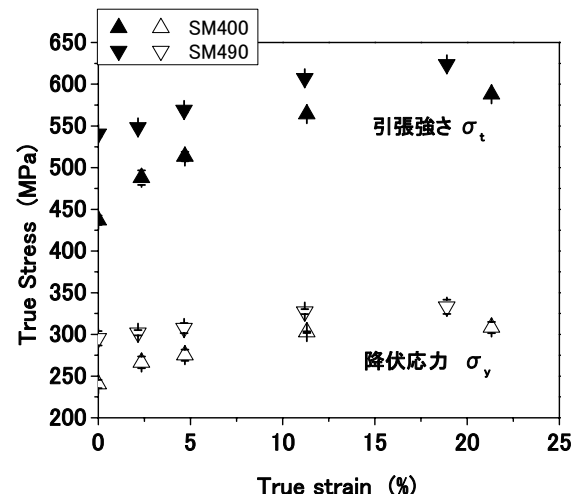


図 7 引張強さと降伏応力

参考文献

- 1) J.H.Ahn et al., Journal of Materials Research, 16(2001), 3170-3178.
- 2) 樋口他, 溶接学会論文集, Vol.27, No.2(2009), pp.115-123.