

# 塑性ひずみ履歴を受けた鋼材の破壊靱性低下

大阪大学大学院 正会員 大倉 一郎\* 石川島播磨重工業 正会員 大野 勝\*\* 高田機工 正会員 山田 靖則\*\*\*

## 1.はじめに

著者らはこれまでに単調引張および定振幅正負交番繰返し塑性ひずみが鋼材の破壊靱性に与える影響を調査してきた<sup>1)</sup>。また、そのなかで破壊靱性低下を評価するための新しい指標として、(1)式の等価塑性ひずみ $p_e$ を提案した。さらに、単調塑性ひずみを受けた鋼材の破壊靱性低下と応力上昇の関係を(2)式で表した。

$$p_e = \sum_{i=1}^6 r_i \quad (1) \quad \frac{CVN}{(CVN)_0} = 1 - \left( \frac{\sigma - \sigma_y}{\sigma_{Be} - \sigma_y} \right)^n \quad (2) \quad B_e = B_n (1 + e) \quad (3)$$

ここで、 $r_i$  : 0.5 サイクルごとの塑性ひずみの絶対値、 $CVN$  : 単調塑性ひずみを受けた鋼材の吸収エネルギー、  
 $(CVN)_0$  : 塑性ひずみを受けていない鋼材の吸収エネルギー、 $\sigma$  : 単調塑性ひずみに対応する真応力、 $\sigma_y$  : 降伏点、  
 $B_n$  : 公称応力で表した引張強さ、 $e$  : 破断伸び、 $n$  : 係数

しかし、著者らの既往研究では、定振幅以外の塑性ひずみ履歴を受けた場合、ひずみ振幅 0.5% 以上の繰返し塑性ひずみ履歴を受けた場合、繰返し塑性ひずみ導入後に時効処理を施した場合、においても上記のモデルが成立するかどうかの検討をしておらず、これらの点を検証するために以下の実験を行った。

## 2.実験方法

鋼材は板厚 20mm の SM400B を使用した。引張試験片により降伏点 $\sigma_y$ 、引張強さ

$B_n$  および一様伸び $B_n$ を求めた。一様伸びは、破断した試験片のくびれが生じていない部分の断面積を測定し、(4)式により推定した。

また、真応力で表した引張強さ $B$ は(5)式によって求めた。

$$B_n = \frac{A_0}{A} - 1 \quad (4) \quad B = B_n (1 + B_n) \quad (5)$$

ここで、 $A_0$  : 試験片の元の断面積 (mm<sup>2</sup>)、 $A$  : 破断後のくびれが生じていない部分の断面積(mm<sup>2</sup>)

図-1 に示す試験片を用いて、単調の引張り塑性ひずみを導入した。繰返し塑性ひずみは、図-2 に示す片持ち梁を用いサーボ試験機によって導入した。塑性ひずみ履歴は、図-3 に示す漸増繰返し、漸減繰返しおよび定振幅繰返しとした。

塑性ひずみ導入後、各試験片に 250 × 1 時間の時効促進処理

を施し、時効処理の有無による破壊靱性の変化について調査した。破壊靱性はシャルピー衝撃試験によって評価した。衝撃試験方法は

表-1 鋼材の機械的性質

|        | 上降伏点 (MPa) | 下降伏点 (MPa) | 引張強さ (MPa) | 一様伸び (%) | 破断伸び (%) | 衝撃吸収エネルギー(J) |
|--------|------------|------------|------------|----------|----------|--------------|
| ミルシート値 | 313        | -          | 456        | -        | 29       | 206(0 )      |
| 引張試験結果 | 286        | 276        | 445        | 20.8     | 30.4     | 77(0 )       |

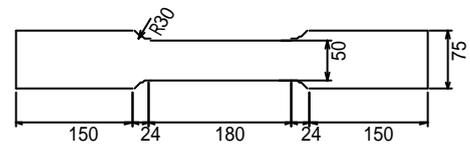


図-1 引張試験片

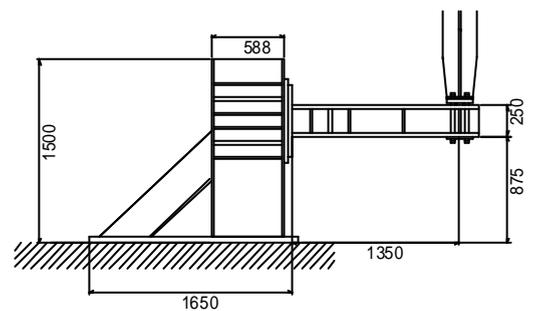


図-2 繰返し塑性ひずみの導入

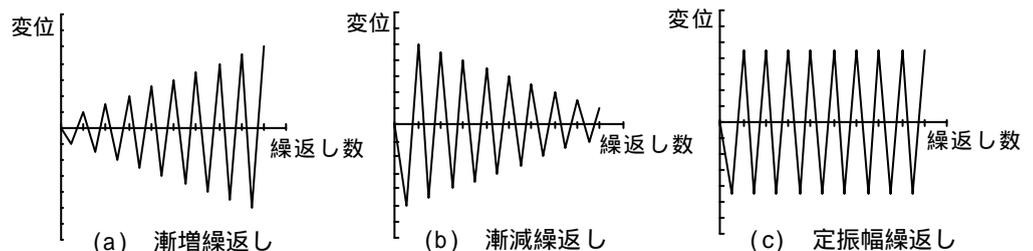


図-3 塑性ひずみ履歴

キーワード : 単調塑性ひずみ、繰返し塑性ひずみ、破壊靱性、修正等価塑性ひずみ

連絡先 : \* 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 TEL 06-6879-7620 FAX 06-6879-7621

JIS Z 2242 に準拠し、試験温度は 0 とした。衝撃試験片はすべて板厚の中央から採取した。

### 3. 実験結果

修正等価塑性ひずみと吸収エネルギーの関係を図-4 に示す。ここで、修正等価塑性ひずみ  $per$  とは、今回新たに提案した指標で、(6)式によって表される。また、修正等価塑性ひずみは、図-5 に示すように、文献 1) の等価塑性ひずみに対して単調塑性ひずみの増加に伴う応力の上昇が考慮されている。

単調塑性ひずみによる応力上昇と破壊靱性低下の関係を図-6 に示す。なお、図中の曲線は、今回新たに提案した(7)

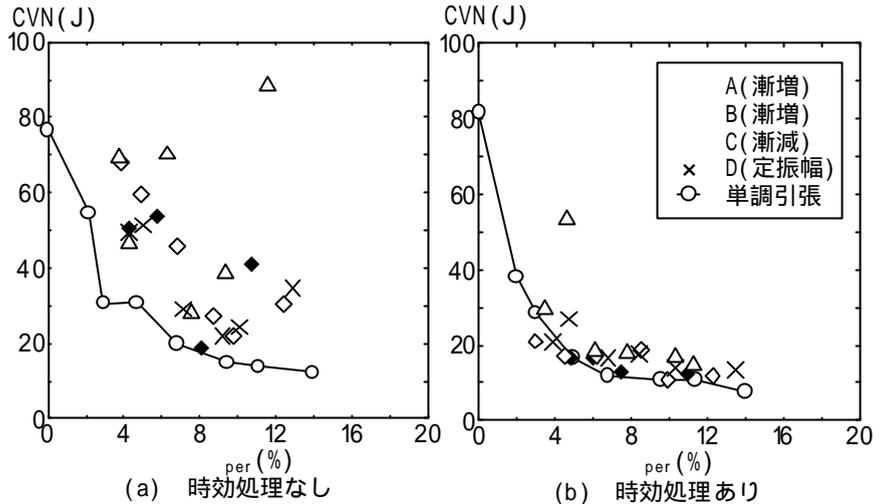


図-4 修正等価塑性ひずみと吸収エネルギーの関係

$$per = B \sqrt{\frac{Y}{B-Y}} \left( \sqrt{\frac{Y}{B-Y} + \frac{2 pe}{B}} - \sqrt{\frac{Y}{B-Y}} \right) \quad (6)$$

$$\frac{CVN}{(CVN)_0} = 1 - \left( \frac{-Y}{B-Y} \right)^n \quad (7)$$

式の関係を示しており、(2)式における  $Be$  の代わりに真応力で表される引張強さ  $B$  を採用し、モデル化する際の矛盾を解消した。また、(7)式において  $n=0.489$  とすると今回の実験結果とよくあうことが判明した。

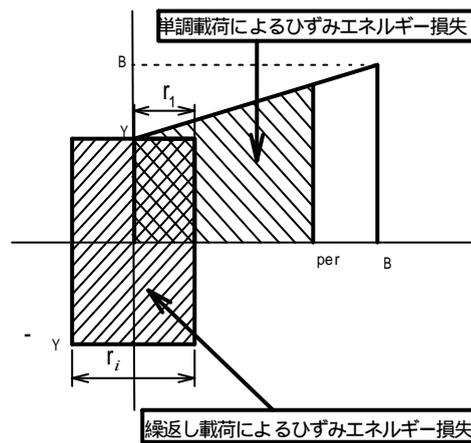


図-5 修正等価塑性ひずみ

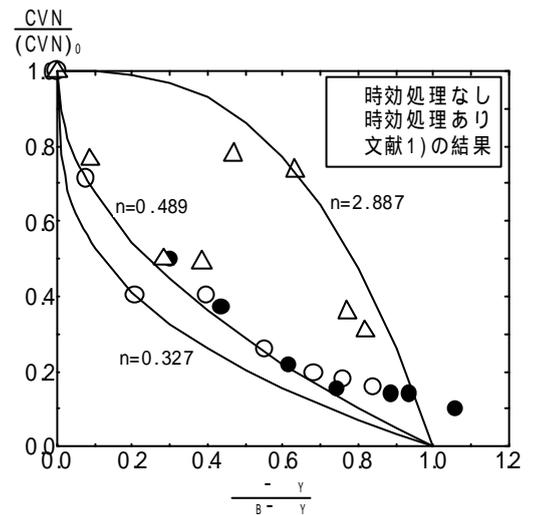


図-6 単調塑性ひずみを受けた鋼材の応力上昇と破壊靱性低下の関係

鋼材の引張試験によって得られた応力 ひずみ関係を、(7)式の  $per$  に代入

して図-7 の曲線を求めた。なお、(7)式の  $n$  に 0.489 を用いている。(7)式は、塑性ひずみ履歴の種類および時効処理の有無にかかわらず、実験結果を安全側に評価した。

#### 参考文献

1) 大倉ら：繰返し塑性ひずみによる鋼材の破壊靱性低下を評価するためのモデル, 構造工学論文集 Vol. 45A, pp. 347-356, (1999).

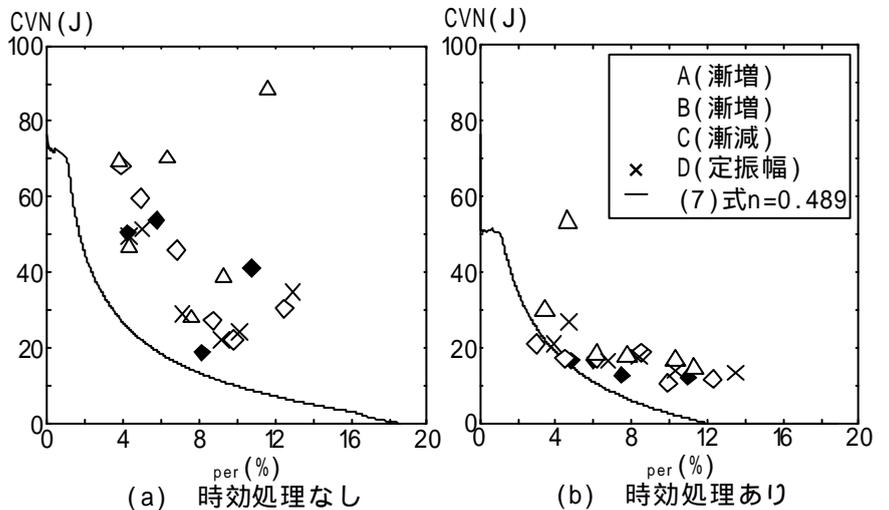


図-7 修正等価塑性ひずみと吸収エネルギーの関係