

## 2.25Cr-1Mo 鋼溶接継手のスモールパンチクリープ寿命評価

## Small Punch Creep Life Assessment of 2.25Cr-1Mo Steel Weldment

久布白 圭 司 技術開発本部基盤技術研究所材料研究部

吉澤 廣 喜 技術開発本部基盤技術研究所材料研究部 部長 Ph.D

溶接継手部のクリープ損傷を評価するために、2.25Cr-1Mo 鋼を用いスモールパンチクリープ試験による評価を試みた。スモールパンチクリープ試験とは、試験片が非常に小さく、非破壊的な試験である。初めに異なる大きさのクリープ損傷を単軸クリープ試験で与え、その後、スモールパンチクリープ試験を行った。スモールパンチクリープ試験による破断時間は、あらかじめ与えたクリープ損傷が大きいものほど短くなった。得られた結果を線形損傷則で評価することで、スモールパンチクリープ試験によるクリープ損傷の評価が可能になることを明らかにした。

A small punch creep testing method is almost nondestructive test using very small specimens. 2.25Cr-1Mo steel weldment was tested by small punch test for evaluating some creep damage. Such damage was caused by uniaxial creep test. Small punch creep specimens were taken from creep test specimens. The rupture time in small punch creep test became shorter with increasing creep damage caused by uniaxial creep test. It appeared that some creep damage could be evaluated by small punch creep test for using linear damage summation rule.

## 1. 緒 言

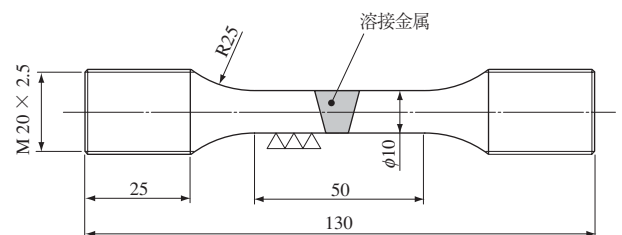
現在、火力発電用ボイラ機器の余寿命評価には非破壊検査法が多く用いられているが、信頼性向上のためには破壊試験を併せて行うことが望ましい。しかし、破壊試験を行うためには通常、大掛かりな部材の切り出しが必要となる。スモールパンチクリープ試験の試験片は非常に小さいので、実機にはほとんど損傷を与えずに試験片を採取でき、かつ破壊的に評価を行うことが可能であるため、実用化されることが期待される。スモールパンチクリープ試験に関する研究では、① 単軸クリープ試験との関連の調査報告<sup>(1),(2)</sup> ② クリープ損傷をうけた部材についての寿命評価<sup>(2),(3)</sup> ③ 溶接継手における溶接熱影響部などの微小領域の強度分布評価<sup>(4),(5)</sup>、に分別される。

スモールパンチクリープ試験を火力発電用ボイラ機器に適用することを想定した場合、クリープ損傷を受けた部位について、残りの寿命を可能な限り精度良く評価できること、溶接継手について評価が可能なが求められる。そこで本研究では 2.25Cr-1Mo 鋼溶接継手にあらかじめ幾つかの異なる大きさのクリープ損傷を単軸クリープ試験で与え、そのクリープ損傷量がその後のスモールパンチクリープ試験によって評価可能かどうか検討することを目的とした。

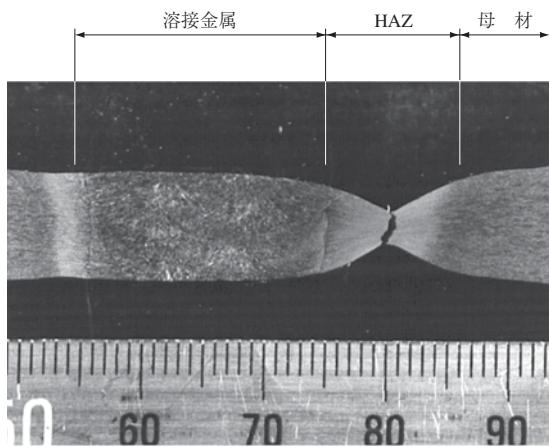
## 2. 実験方法

## 2.1 供試材

あらかじめクリープ損傷を与えるために、2.25Cr-1Mo 鋼の溶接継手からクリープ試験片を製作した。第 1 図に単軸クリープ試験片を示す。図に示すように溶接金属と母材の境界を試験片中央部に位置するように採取した。単軸クリープ試験は温度 898 K、応力 63 MPa で行った。第 2 図にクリープ破断した 2.25Cr-1Mo 鋼溶接継手のマクロ組織を示す。破断位置は HAZ (Heat Affected Zone: 溶接熱影響) 領域であり、HAZ のクリープ強度が全体のクリープ強度を決定していると推察される。クリープ破断試験は 2 本行い、破断時間は 1 391 h, 1 217 h であった。異なる大きさのクリープ損傷材を作成するために、先に行った 2 本の平均破断時間 (1 300 h)  $t_r$  より、クリープ



第 1 図 単軸クリープ試験片 (単位: mm)  
Fig. 1 Specimen of uniaxial creep test (unit: mm)



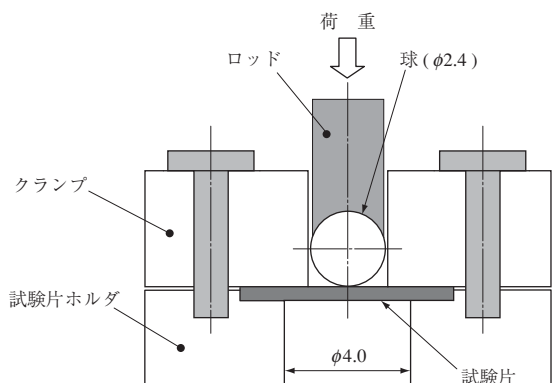
第2図 898 K, 63 MPaでクリーブ破断した2.25Cr-1Mo鋼溶接継手のマクロ組織  
 Fig. 2 Macrostructure of 2.25Cr-1Mo steel weldment at 898 K, 63 MPa

損傷  $0.5 tr$ ,  $0.77 tr$  になるように中断時間を決定した。中断時間は 640 h と 1 000 h である。得られた中断材を供試材とした。

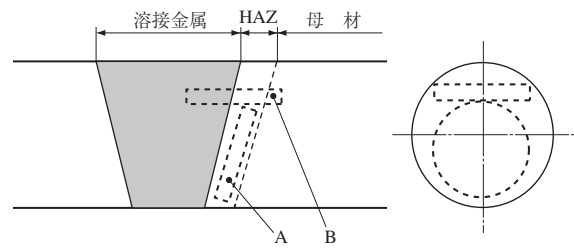
### 2.2 スモールパンチクリープ試験

スモールパンチクリープ試験の模式図を第3図に示す。円盤状の試験片にボールを一定荷重で押し当て、貫通するまでの時間と荷重線変位を測定する試験である。スモールパンチクリープ試験片は単軸クリープ中断材から第4図に示す試料（以下、試験片）A, B を各1枚採取した。一枚（A）は HAZ 細粒域から、もう一枚（B）はクリープ試験片から HAZ 領域が試験片の中心になるように採取した。

HAZ 細粒域は単軸クリープ試験を行ったときの破断位置であったため、溶接継手のクリープ寿命に大きく影響を及ぼすと考え、採取位置の一つに選定した。HAZ 領域は実機配管溶接継手において非破壊的に採取可能な領域であるため採取位置として選択した。



第3図 スモールパンチクリープ試験の模式図（単位：mm）  
 Fig. 3 Illustration of small punch test (unit : mm)

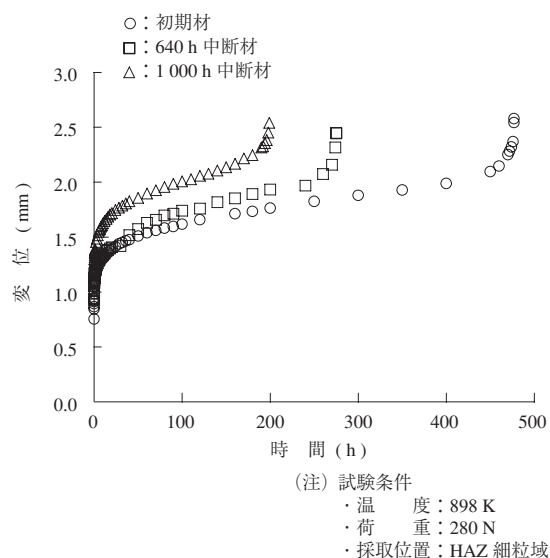


第4図 スモールパンチクリープ試験片採取位置の模式図  
 Fig. 4 Illustration of collection position for small punch specimen

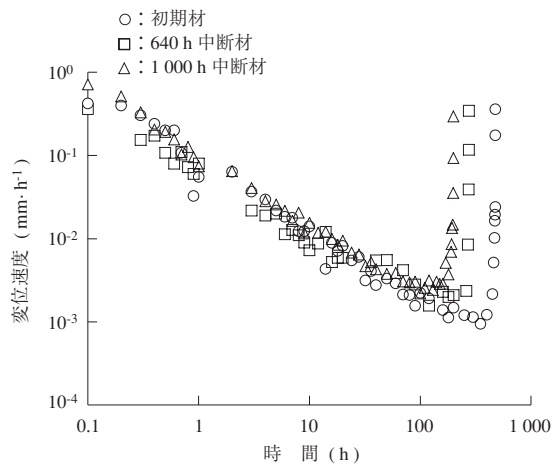
スモールパンチクリープ試験片は  $\phi 7$  mm の円盤の表面をエメリー紙で # 1 500 まで研磨した後、アルミナバフ研磨を行い鏡面仕上げした。板厚  $t$  は 0.485 mm である。スモールパンチクリープ試験荷重は単軸クリープ試験の破断時間と同様 1 000 h 程度になるように設定した。試験条件は温度 898 K, 荷重 280 N である。試験雰囲気は酸化の影響を取り除くため、Ar（アルゴン）雰囲気とした。

### 3. 実験結果

HAZ 細粒域から採取した試験片のスモールパンチクリープ試験結果を第5図に示す。初期材の破断時間が最も長く、640 h 中断材、1 000 h 中断材とクリープ損傷量の増加に伴い破断時間が減少した。破断変位はクリープ損傷量に依存しなかった。HAZ 細粒域から採取した試験片の変位速度と時間の関係を第6図に示す。いずれの試験片においても負荷直後に変位速度が減少し、最小変位速度に到達した後、加速、破断するといった単軸クリープのク



第5図 HAZ 細粒域から採取した試験片のスモールパンチクリープ曲線  
 Fig. 5 Small punch creep curves for fine grain HAZ specimens



(注) 試験条件  
 ・温度：898 K  
 ・荷重：280 N  
 ・採取位置：HAZ 細粒域

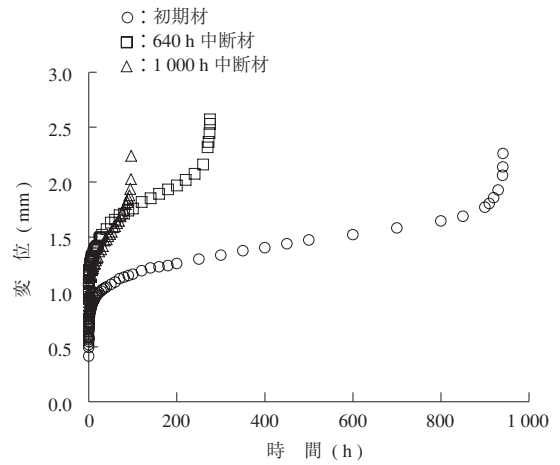
第 6 図 HAZ 細粒域から採取した試験片の変位速度-時間曲線  
 Fig. 6 Displacement rate-time curves on fine grain HAZ specimens

リーブ速度-時間曲線と類似した傾向を示した。変位速度が減少する領域（単軸クリープにおける遷移クリープ域）での同一時間における変位速度はクリープ損傷量によらずほぼ同じであった。最小変位速度は初期材が最も小さく、640 h 中断材、1 000 h 中断材とクリープ損傷量の増加に伴い大きい値を示した。遷移域での変位速度が等しく、最小変位速度のみが異なるという傾向は新材と劣化材のクリープ速度と時間の関係<sup>(6)</sup>と異なる。スモールパンチクリープ試験に及ぼすあらかじめ与えたクリープ損傷の影響は、最小変位速度、破断時間の変化として示された。

つぎに、HAZ 領域から採取した試験片のスモールパンチクリープ試験結果を第 7 図に示す。初期材の破断時間が最も長く、640 h 中断材、1 000 h 中断材とクリープ損傷量の増加に伴い破断時間が減少した。破断変位はクリープ損傷量に依存しなかった。この結果は HAZ 細粒域の傾向と一致した。

#### 4. 考 察

単軸クリープ試験によるクリープ損傷値  $D_c$  が既知の試料についてスモールパンチクリープ試験を行いその評価を行った。クリープ試験による余寿命評価では、クリープ損傷材のクリープ破断試験結果から余寿命を算出する方法、未損傷材とクリープ損傷材のクリープ破断強さを比較して、消費した寿命および余寿命を算出する方法に分けられる。クリープ損傷値  $D_c$  が異なる試料のスモールパンチクリープ試験結果の比較によって寿命評価を行うため、単軸



(注) 試験条件  
 ・温度：898 K  
 ・荷重：280 N  
 ・採取位置：HAZ 細粒域

第 7 図 HAZ 全域から採取した試験片のスモールパンチクリープ曲線  
 Fig. 7 Small punch creep curves for HAZ specimens

クリープ試験によるクリープ損傷値  $D_c$  を (1) 式で、後続のスモールパンチクリープ試験によるクリープ損傷値  $D_{sp}$  を (2) 式でそれぞれ計算し、(3) 式が成り立つかどうか検討した。

$$D_c = t(\text{interrupted time}) / tr(\text{initial}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$D_{sp} = tr(\text{interrupted}) / tr(\text{initial}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$D_c + D_{sp} = 1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

- $t(\text{interrupted time})$  : 単軸クリープ中断時間
- $tr$  : 破断時間  $t$
- $tr(\text{interrupted})$  : あらかじめクリープ損傷を与えた試料のスモールパンチクリープ試験時間
- $tr(\text{initial})$  : 初期材の破断時間

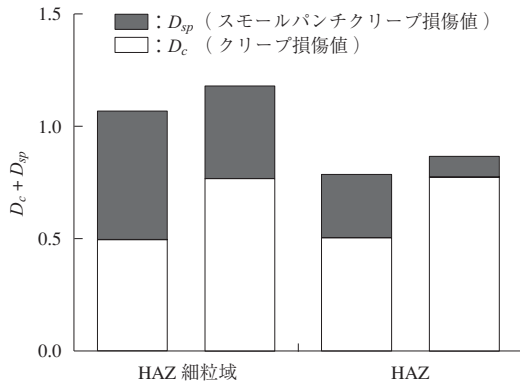
クリープ損傷値  $D_c$  とスモールパンチクリープ損傷値  $D_{sp}$  の評価結果を第 1 表に示す。線形損傷則によるクリープ損傷値  $D_c$  とスモールパンチクリープ損傷値  $D_{sp}$  の評価 ( $D_c + D_{sp}$ : 損傷和) を第 8 図に示す HAZ 細粒域は HAZ 細粒域から採取した試料の結果、HAZ は HAZ 全域から得られた結果である。損傷和はいずれの条件においても 0.8 ~ 1.2 程度となり、(3) 式が成立し、クリープ損傷値  $D_c$  をスモールパンチクリープ損傷値  $D_{sp}$  によって評価可能であることが明らかとなった。

HAZ 全域から採取した試験片についても同様に (3) 式が成立し、スモールパンチクリープ試験によって、クリー

第 1 表 クリープ損傷値とスモールパンチクリープ損傷値の評価結果

Table 1 Creep damage and small punch creep damage

クリープ損傷値 $D_c$ (898 K, 63 MPa)		
中断時間	640 h	1 000 h
単軸クリープ	0.5	0.77
スモールパンチクリープ損傷値 $D_{sp}$ (898 K, 280 N)		
中断時間	640 h	1 000 h
HAZ 細粒域	0.58	0.42
HAZ	0.29	0.10



第 8 図 線形損傷則によるクリープ損傷値とスモールパンチクリープ損傷値の評価

Fig. 8 Evaluation of creep damage and small punch creep damage by linear summation rule

損傷が評価可能である。HAZ 全域についてもクリープ損傷値  $D_c$  が評価可能であることから、実機部材の溶接継手においても表面から、サンプルを採取し評価することが可能になることを示唆している。

## 5. 結 言

異なるクリープ損傷を受けた 2.25Cr-1Mo 鋼溶接継手から HAZ 細粒域および HAZ 領域から試料を採取し、スモールパンチクリープ試験を行った。その結果よりクリープ損傷値  $D_c$  がスモールパンチクリープ損傷値  $D_{sp}$  によって評価可能であるか検討した。得られた知見を列挙する。

- (1) HAZ 細粒域, HAZ 全域におけるスモールパンチクリープ試験の破断時間はクリープ損傷の増加に伴い短くなる。破断伸びはクリープ損傷に依存しない。

- (2) 遷移域での変位速度はクリープ損傷に関わらず同じである。最小変位速度はクリープ損傷の増加に伴い大きい。
- (3) スモールパンチクリープ試験によるクリープ損傷値  $D_{sp}$  を用いると、全体のクリープ損傷和  $D_c + D_{sp}$  は 0.8 ~ 1.2 の間で評価が可能である。

## 参 考 文 献

- (1) 伊藤拓哉, 野中 勇: スモールパンチ試験のクリープ特性評価への適用検討 石川島播磨技報 第 45 巻 第 2 号 2005 年 6 月 pp. 86 - 90
- (2) 永江正隆, 小川 智, 金谷章宏, 小林十思美, 原田 誠: スモールパンチ試験によるクリープ余寿命評価技術の検討 日本機械学会年次大会講演論文集 第 4 巻 2004 年 pp. 179 - 180
- (3) 杉本隆之, 土岐和紀, 駒崎慎一, 三澤俊平: スモールパンチ試験片による CrMoV 鋳鋼製経年主要弁の靱性およびクリープ特性の評価 (力学特性) 鉄と鋼 第 91 巻 第 4 号 2005 年 4 月 pp. 408 - 414
- (4) J. D. Parker, G. C. Stratford, N. Shaw and H. Metcalfe: The Application of Miniature Disc Testing for the Assessment of Creep Damage in CrMoV Rotor Steel Baltica IV Plant Maintenance for Managing Life & Performance Vol.2 (1998.9) pp. 477 - 488
- (5) 久布白圭司, 伊藤拓哉, 野中 勇, 高木愛夫: スモールパンチ試験法による 2.25Cr-1Mo 鋼溶接熱影響部のクリープ強度評価 第 49 回日本学会材料研究連合講演会講演論文集 2005 年 9 月 pp. 105 - 106
- (6) 久布白圭司, 伊藤拓哉, 野中 勇: 改良 9Cr-1Mo 鋼長期使用材の特性 (使用材のクリープ変形 - 1) 材料とプロセス 第 17 巻 第 6 号 2004 年 9 月 pp. 1 411 - 1 411