

(148) 各鋼種による管状試験片のクリープ破断特性に関する研究

八幡鋼管, 研究部

工博○篠田 暉・工博 倉貫 好雄  
玉田 公・井上 靖介

Study on the Creep Rupture Properties of Tubular Specimens.

Dr. Noboru SHINODA, Dr. Yoshio KURANUKI,  
Isao TAMADA and Yasusuke INOUE.

I. 緒 言

ボイラ用鋼管の設計には、従来棒状試験片を用いて一軸引張応力の下で試験された結果からえられるクリープ強度あるいはクリープ破断強度が適用されてきたが、実際のボイラ用鋼管は厚肉鋼管であり、しかもその使用中の応力状態はクリープを考慮すれば非常に複雑な3軸応力であり、これと一軸クリープ結果との関連性を求めることは実用的にも重要な問題である。ここでは前報<sup>1)</sup>にひきつづき 1・25Cr-0・5Mo 鋼, 2・25Cr-1Mo 鋼, 18-8Mo 鋼の継目無鋼管および低炭素鋼の電縫鋼管につき内圧クリープ試験を行なったのでその結果につき報告する。

II. 試験装置および試験材

試験装置については前報<sup>1)</sup>に述べたので簡単に記すと、実験可能温度範囲は 300°~800°C, 圧力範囲は 0~1000 kg/mm<sup>2</sup> である。圧力はネジ式加圧器により水(水蒸気)を試料に圧入して加える。圧力精度は試験圧力の約 ±2% である。

試験材は 1・25Cr-0・5Mo 鋼, 2・25Cr-1Mo 鋼, 18-8Mo 鋼継目無鋼管および低炭素鋼の電縫鋼管でその化学成分を Table 1 に示す。

管状試験片の形状および棒状試験片の形状方法を Fig. 1 に示す。棒状試験片は管状試験片と同一の鋼管から軸方向に沿ってきり出したものである。Table 2 に管状試

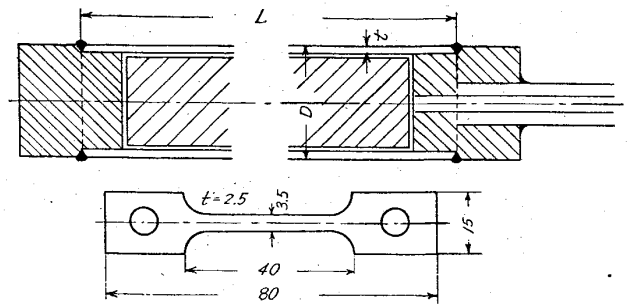


Fig. 1. Tubular and bar specimen.

験片の寸法と熱処理を示す。熱処理はもちろん棒状試験片についても同じである。

試験材は (1), (2) の鋼種については熱処理後、所定寸法まで機械加工により仕上げたものを用い、(3), (4) は製管のままのものを試験に供した。これらの試験片は所定寸法に切断後、上下をキャップに溶接した。

III. 試験方法

電縫管を除く 3 鋼種については管状試験片によるクリープ破断強度と一軸引張クリープ破断強度の関連性を検討するために、管状試験片の結果をいくつかの等価応力式を用いて整理し、棒状試験片の結果と比較した。ここで用いた等価応力式をつぎに示す。

Balow の式  $\sigma = PD/2t$

平均径の式  $\sigma = P[D/2t - 0.5]$

Soderberg の式  $\sigma = \sqrt{3} P/2[D/2t - 0.5]$

ASME の式  $\sigma = P[D/2t - y]$

ここで y は鋼種と温度によるパラメータで 0.4~0.7 の値をとる (P: 内圧 kg/mm<sup>2</sup>, D: 外径 mm,  $\sigma$ : 応力 kg/mm<sup>2</sup>, t: 内厚 mm)。

電縫管については管状試験片についてのみ試験を行ない、前報の継目無鋼管の結果と比較した。

IV. 実験結果と考察

まず管状試験片を用いて行なったクリープ破断試験の

Table 1. Chemical composition of tubes tested.

Mark	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
1・25Cr-0・5Mo	0・10	0・51	0・49	0・006	0・006	1・15	—	0・52
2・25Cr-1Mo	0・11	0・23	0・48	0・010	0・008	2・18	—	0・90
18-8Mo	0・07	0・49	1・70	0・026	0・012	17・11	12・07	2・50
Low carbon steel	0・12	0・64	0・48	0・013	0・027	—	—	—

Table 2. Size and heat treatment of tubular specimen.

Mark	Specimen size (mm)	Heat treatment
(1) 1・25Cr-0・5Mo	D=28・0 L=200 t=2・0	900°C×1 hr $\xrightarrow{100^\circ\text{C/hr}}$ 600°C, A. C.
(2) 2・25Cr-1Mo	D=28・0 K=200 t=2・0	900°C×1 hr $\xrightarrow{100^\circ\text{C/hr}}$ 600°C, A. C.
(3) 18-8Mo	D=30・0 L=300 t=2・2	1100°C×1/2 hr, W. Q.
(4) Low carbon steel	D=27・2 L=300 t=3・0	(a) Elec. Resi. Weld→Stretch Reduce (b) E. R. W.→S. R.→900°C×1/2 hr, A. C.

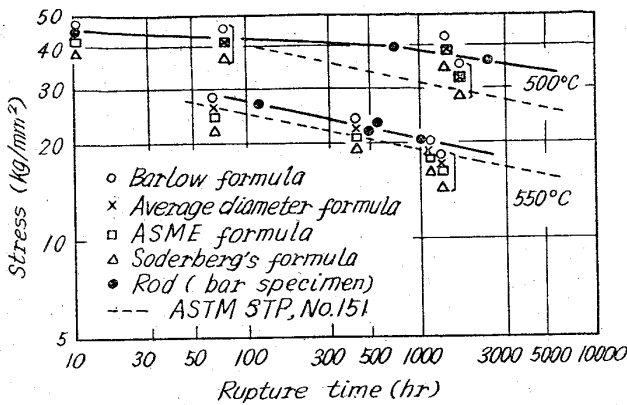


Fig. 2. Comparison of results of creep rupture test using tubular and bar specimen of 1.25Cr-0.5Mo steel. (sign shows that rupture occurred at the cap welded end).

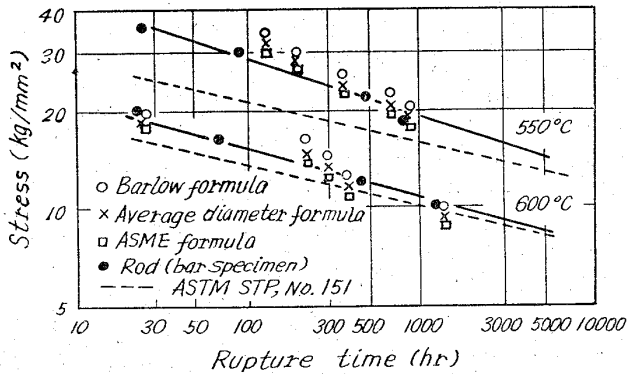


Fig. 3. Comparison of results of creep rupture test using tubular and bar specimen of 2.25Cr-1Mo steel.

破断強度と棒状試験片によるクリープ破断強度を比較してみる。この場合、ボイラ鋼管の設計に応用するという立場から、一軸クリープ破断強度ともつともよく一致する等価応力式を見出すことが基本となる。Fig. 2 は 1.25Cr-0.5Mo 鋼についてのクリープ破断曲線であるが、用いた等価応力式のうち、500°C では平均径の式と ASME の式を用いて応力を計算したものが一軸クリープ破断の結果とよく一致しており、550°C では Barlow の式を用いたものがよい結果を示している。Fig. 3 は 2.25Cr-1Mo 鋼のクリープ破断の結果で、この鋼については 550°C、600°C とともに平均径の式が一軸クリープ破断の結果ともつともよく一致している。また Fig. 4 は 18-8Mo 鋼についてのクリープ破断の結果であるが、この場合、600°C では Barlow の式、650°C では平均径の式がいいようである。この 18-8Mo 鋼は原管のまま試験に供し、結晶形はさきのもとの異なり f.c.c であるが、同じ型の等価応力で大体よい結果がえられている。電縫管については現在実験中であり、その結果については講演当日にゆずるが、現在までにえられた結果では前報<sup>1)</sup>の継目無低炭

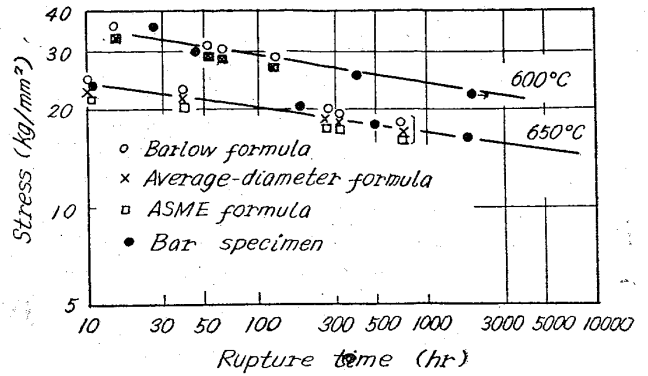


Fig. 4. Comparison of results of creep rupture test using tubular and bar specimen of 18-8Mo steel.

素鋼管と同等あるいはそれ以上の強度を示すようであり、またクリープ破断は溶接部とは限らず at random な位置で起るようである。

以上の結果より、ボイラ用材としての薄肉鋼管の内圧クリープ破断強度については平均径の式を用いれば今まで一般に行なわれてきた一軸クリープ破断の結果とよく一致し、したがって一軸クリープ破断強度をこの式に代入して求めた肉厚がもつとも実際的かつ経済的なものになる。

破断部の状況については全体の傾向として短時間破断のものは破断部が大きく口を開いて急激な破断がおこっており、その破断部のクラックを観察すると小さなクラックが比較的狭い領域に限って存在する。他方長時間で破断したものはクラックが大きく膨出部全体に広く分布し、これは膨出の際に発生したクラックが成長して管壁を貫通することによりゆるやかに破断している。Photo. 1 はこの後者の破断の状況を示している。

破断部の円周方向伸びと破断時間の関係は一軸クリープの場合とほぼ同様の傾向で破断時間の増加とともに伸びは減少している。軸方向伸びは多軸クリープの理論から予想されるごとくほとんど 0 である。

破断部の組織については大体一軸クリープ破断の場合と同様の傾向を示し、光学顕微鏡では一軸クリープの場合と比べてほとんど差は見られない。

以上薄肉鋼管のクリープ破断強度について実験を行な

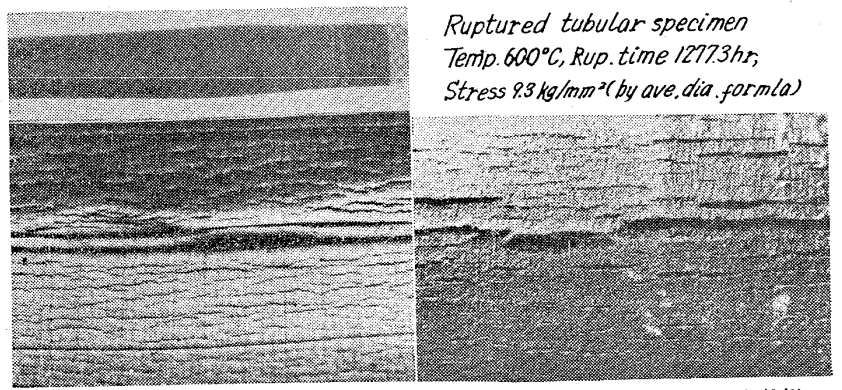


Photo. 1. Long time ruptured specimen of 2.25Cr-1Mo steel. Ruptured tubular specimen Temp. 600°C, Rup. time 12773hr, Stress 9.3 kg/mm<sup>2</sup> (by ave. dia. formula)

つた結果、平均径の式がもつとも適用性があることがみとめられたが、他方厚肉鋼管の場合には肉厚方向の応力分布を無視することができない。この場合については現在国外、国内とも実験結果が不足しているが、現在までに発表された外国文献<sup>2)</sup>の一部を検討したところでは必ずしも十分とはいえないが平均径の式が割合よい結果を示している。つい最近発表された文献<sup>3)</sup>でも、英、米、ソ連の各種管状試験片によるクリープ破断の結果を整理検討したところ、管の寸法、鋼種、温度、時間によらず平均径の式がもつとも適用性があると報告されている。

## V. 結 言

以上の実験結果をまとめると

- (1) 一軸クリープ破断の結果から薄肉管状試験片の内圧クリープ破断強度を推定する場合には、平均径の式を用いればもつとも良好な結果がえられる。
- (2) 破断部のクラックの状態は短時間破断の場合と長時間破断の場合では相当差がある。
- (3) 管の軸方向伸びはほとんど0である。
- (4) 円周方向伸びや破断部の組織については、一軸クリープ破断の場合とあまり変わらない。
- (5) この破断は主として接線方向応力の剪断成分により破断したもののようである。

## 文 献

- 1) 篠田, 倉貫, 玉田, 橘川: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 1555~1556
- 2) 例えば J. T. TOCKER, E. E. COULTER and L. F. KOOISTRA: Trans Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 82 (1960) 3, p. 465~476
- 3) W. B. CARLSON and D. DUVAL: Rept Brit elec & allied Inds Reseach Assoc, J(1962), T182, 1~20

## (149) 肉厚鋼管の内圧高温ラプチャー強度について

神戸製鋼所, 中央研究所

工博 山本 俊二・○高橋 正道

Rupture Strength of Thick-Walled Cylinders Subjected to Internal Pressure at Elevated Temperature.

Dr. Shunji YAMAMOTO  
and Masamichi TAKAHASHI.

## I. 緒 言

ボイラーの超臨界化は、今日の発電界のすう勢を見れば明らかである。アメリカにおいては、すでに  $246 \text{ kg/cm}^2$ ,  $538^\circ\text{C}$  の蒸気条件がもつとも経済的なものとしてとりあげられており、わが国においてもすでに試作の段階に入った。

このような状況を考えるとき、その重要な構成材料たるスーパーヒーターチューブに、よりすぐれた鋼管を使用すると同時に、その設計式も合理的なものとしなければならない。ボイラー用スーパーヒーターチューブに関

する設計式としては、ASME Code があるが、十分正確なものとは言い難い。

本実験は、4000 気圧不活性ガス加圧式内圧高温ラプチャー試験装置を試作し、これによつて実寸に近いスーパーヒーターチューブの実際の最高使用温度におけるラプチャー試験を実施したもので、単軸ラプチャー強度をもとにしていろいろ考えられている鋼管のラプチャー強度計算式のいずれがもつとも妥当性があるかについて若干検討を行なった。

## II. 試験材および試験装置

実際のスーパーヒーターチューブの強度を求めるため、当社製熱間押しにより得た  $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$  鋼管および 18-8Ti 鋼管を試験材とした。その化学成分、熱処理および常温引張性質を Table 1 および 2 に示す。

押し、冷伸後の鋼管の寸法は、いずれの鋼種も外径 34mm、内径 13mm で、単軸ラプチャー試験片は肉厚のほぼ中央部より軸方向に採取した。内圧ラプチャー試験片は、素管の内外面を旋削して仕上げ、これにエンドストッパーを溶接して Fig. 1 に示すごときものとした。試験片の外径はいずれも 30mm 一定で、内径を変化させて外径/内径 =  $K$  を 1.2, 1.5, 2.0 の 3 種類の肉厚のものをそれぞれの鋼管について製作した。

内圧ラプチャー試験装置の全体の系統図を Fig. 2 に示す。この装置は大容量のアクキュレーター内に封入したアルゴンガスを水で加圧してガス圧を試験片鋼管に与えるもので、すべて自動運転しうようになっている。普通、内圧は水蒸気によつて与えているが、水蒸気のラプチャー寿命におよぼす影響などを考慮してアルゴンガスで加圧した。本装置の大きな特長は圧力の自動補正ができることと、噴出防止弁によつて破壊時のガスの噴出を遮断しうることである。ひずみの測定は、鋼管の中心を通る直線上の 2 点で、先端に小円板を取付けたステンレス鋼棒を鋼管に押し当て、その変位を差動変圧器を通じて指示せしめることによつて行なった。

試験方法は、まず試験片を炉内にセットしたのちアルゴンガスを流して十分空気を置換してのち昇温し、十分炉内温度が安定してから昇圧する。すなわち塞止弁をひらいて  $100 \text{ kg/cm}^2$  のアルゴンガスを系内に封入し、リークのないことを確認したのち増圧機を運転して所定圧まで昇圧した。昇圧時間は 20~30 分である。試験温度は  $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$  鋼の場合  $550^\circ\text{C}$ 、18-8Ti 鋼の場合  $650^\circ\text{C}$  とした。試験期間中、圧力は  $\pm 5 \text{ kg/cm}^2$  の精度で一定値を保持した。この場合、試験片の膨脹による圧力低下はアクキュレーターの容量に吸収され、ほとんどなかつた。破壊後試験片を装置よりとりはずし、冷却してから、クラックの形状、伸びの測定および顕微鏡観察を行なった。

## III. 実験結果および検討

Table 3 および Table 4 にそれぞれ  $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$  鋼管および 18-8Ti 鋼管のラプチャー試験結果を示す。また Table 5 に上記鋼管より採取した単軸ラプチャー試験片のラプチャー試験結果を示した。これらの結果を従来の各種計算方式の中から Tresca, Lame, Mean dia. の式によつて計算した値を応力-ラプチャー時間の両対数軸表示によつて、 $K=1.5$  の場合を Fig. 3 および