Technical Report F

コベルコ科研の各種クリープ試験

クリープ現象はよく知られているように、材料内に応力が持続的に作用すると時間の経過とともにひずみが増す現象であり、主に高温環境下での材料の変形や損傷（強度、延性、靭性の低下）を引き起こす原因となる。その特性は金属、FRPおよびゴム等の各種材料において重要なものの一つであり、各材料が使用される機械部品や構造物の安全性や耐久寿命の評価指標として活用されている。当社尼崎事業所では、1985年から現在に至るまで、素材や重電等の製造メーカ、大学および公共・民間の研究機関からの受託試験として、JIS規格*1)やASTM規格*2)に準じた試験は言うまでもなく委託元との協議によるオリジナルなクリープ試験もおこなってきている。本報では当事業所におけるクリープ試験の概要について述べる。

技術本部
機械・プロセスソリューション事業部
構造技術部
出射（いでい） 彬（あきら）

技術本部
機械・プロセスソリューション事業部
構造技術部
若三（わかみ） 淳（あつし）

F-1 保有クリープ試験機と実施できるクリープ試験

1.1 クリープ試験機

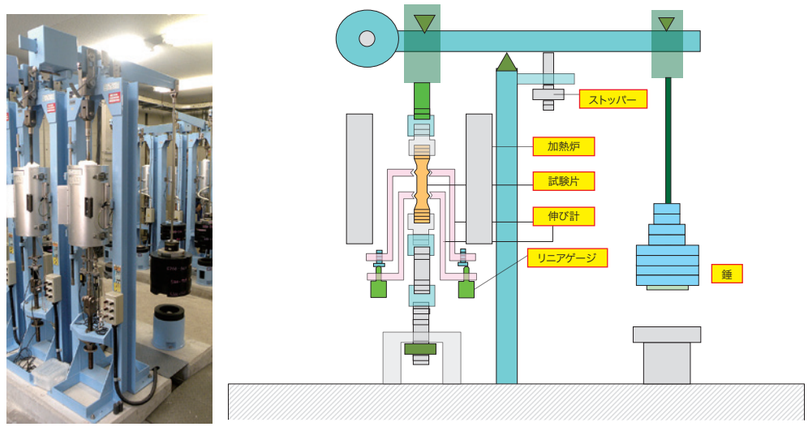
当事業所では約300台のクリープ試験機を保有しており、それらを5棟の試験棟に分散して設置している。各棟内は年間を通じて所定の温度に空調されており、試験温度の維持やひずみの測定に対する外乱を排除するようになっている。当事業所が保有しているクリープ試験機の種類を第1表に示す。No.1～No.5の計5種類の試験機を有しているが、通常のクリープ試験で多用されるのはNo.1、2の標準クリープ試験機と小型クリープ試験機であり、試験片サイズや負荷応力のレベルに応じて使い分けがなされる。また、最大試験温度はいずれも1150℃である。これらの試験機の外観と構成は第1図に示すとおりであり、電気炉により試験片温度を一定に維持しつつ、てこの力点に重錘を載せる、あるいは試験片軸方向に重錘を吊り下げることで試験片内部に応力を発生させるようになっている。No.3の大型クリープ試験機は、標準試験機と構造は同じ重錘てこ方式で最大温度と最大負荷がそれぞれ650℃、500kNである。最大荷重がクリープ試験機としては桁はずれに高いため直径60mmという大型試験片を取り扱うことができる。また、No.4の重錘てこ式構造のマルチクリープ試験機は最大温度と最大負荷がそれぞれ650℃、30kNと前述のクリープ試験機に比し試験条件が制約されるものの、写真1に示すように大型の電気炉に6本のてこ構造が組み込まれており、温度、荷重条件が合えば1本のてこに3本の試験片を繋げることで同時に最大18本の試験が可能である。このため、ある試験条件下で数種類の材料のクリープ特性を比較する場合や繰返しによるクリープ特性のばらつきを把握する場合等に際し試験時間を大幅に短縮できるという利点がある。なお、上記No.1～No.3の試験機については試験治具として引張力を圧縮力に変換する引張型圧縮試験治具を用いることにより圧縮クリープ試験も実施できる。一方、No.5の内圧クリープ試験機は、標準的な試験条件（一定荷重下での引張・圧縮負荷）とは異なる負荷形式でのクリープ特性を求めるための装置である。この試験機の構成は第2図に示すとおりであり、中空の柱状試験片にArガスを圧入することにより内面に所定圧力を付加した状態で、最大温度700℃までのクリープ特性を求めることができる。

第1表 尼崎事業所保有のクリープ試験機

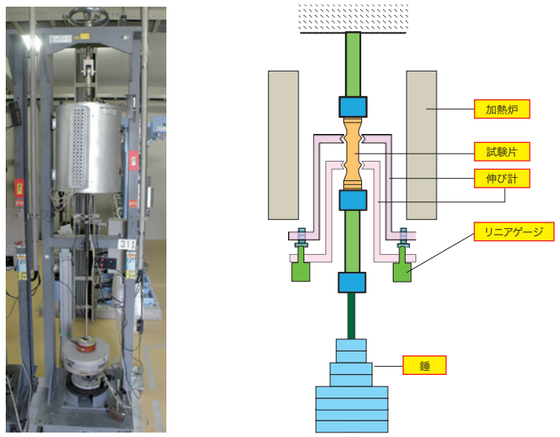
No.	試験機	負荷方式	最大荷重（kN）	最大温度（℃）	試験片断面サイズ（mm）
1	標準クリープ試験機	重錘てこ式	30	1150	円形：φ6 矩形：6×3
2	小型クリープ試験機	重錘てこ式 重錘吊下げ式	2	1150	円形：φ3 矩形：2×1
3	大型クリープ試験機	重錘てこ式	500	650	円形：φ60 矩形：60×40
4	マルチクリープ試験機	重錘てこ式	30	650	円形：φ6
5	内圧クリープ試験機	Arガス充填式	（内圧50MPa）	700	円形：φ50

写真1 マルチクリープ試験機

第1図 クリープ試験機の外観と構成



(a) 標準クリープ試験機（重錘てこ式）

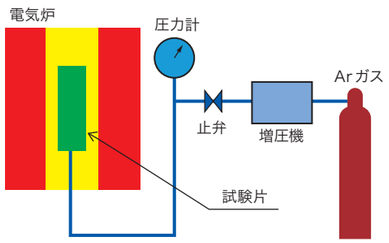


(b) 小型クリープ試験機（重錘吊り下げ式）

1.2　クリープ試験

クリープ試験はクリープラプチャ試験とクリープレート試験の2つに大別され、前者は試験片の破断時間を、また、後者は破断に至るまでの試験片に生じるひずみの時系列データを求めるためにおこなわれる。当事業所では、耐熱鋼や高合金鋼等の鉄ベースの金属材料、Ti合金やNi基合金などの非鉄金属材料およびゴムや樹脂などの非金属材料を対象としたクリープラプチャ試験とクリープレート試験の両者を実施している。用いる試験機は、クリープレート試験の場合No.1、2、3の標準、小型、大型の各クリープ試験機であり、クリープラプチャ試験の場合これらに加えNo.4、5のマルチクリープ試験機と内圧クリープ試験機となる。また、クリープレート試験の応用として、No.3の試験機は大型試験片のクリープ試験ができるという特徴があることから、所定のクリープ変形を生じさせた素材を作製し、そこから新たに試験片を採取して引張特性や衝撃特性を調査することができる。すなわち、クリープ損傷による材質劣化の評価が可能である。

第2図　内圧クリープ試験機の構成



F-2　クリープ試験結果の実例

2.1　クリープラプチャ試験結果の例

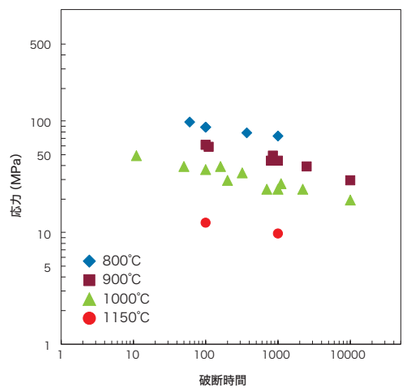
耐熱鋳鋼について温度範囲800～1150℃、応力範囲10～100MPaの条件下で実施したクリープラプチャ試験結果*3)は第3図に示すとおりであり、破断時間は応力や温度が高くなると短くなることがわかる。これらのデータをもとに破断時間と温度から右記の(1)式によるラーソンミラーパラメータ*4)を算出し、応力と対応させたものが第4図であり、温度によらない一対一対応となる。なお、機械部品や構造物の使用材料についてこの対応関係を明らかにすれば破断時間、応力、温度の内2つを既知として残り一つの予測が可能になり安全性や耐久寿命の評価に反映できる。

$$P=(T+273)[C+\log(t_R)] \qquad (1)$$

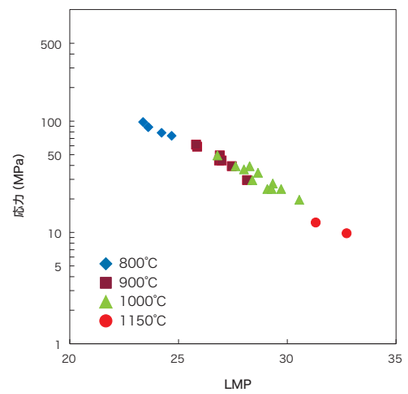
ここに、P：ラーソンミラーパラメータ
T：温度(℃)
C：定数(=20)
t_R：破断時間(hr)

また、第5図は配管用素材を用いて実施した内圧クリープ試験結果として、試験前後における試験片の外観を示している。内圧の付与により試験片の周方向と軸方向に応力が作用するが、破断状況からすると管状試験体の中心軸に垂直に開口破断しており、周方向応力によるクリープ破断であることが明らかである。

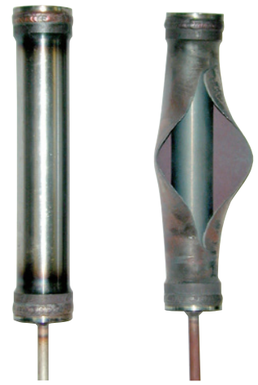
第3図　クリープラプチャ試験結果



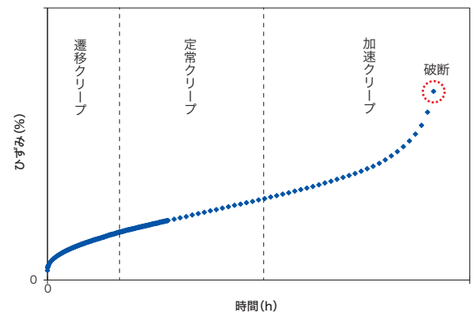
第4図　応力とLMPの関係



第5図　内圧クリープラプチャ試験の試験片外観



第6図　クリープレート試験結果



2.2　クリープレート試験結果の例

非鉄金属材料のクリープレート試験結果は第6図に示すとおりであり、得られたクリープひずみ曲線には初期にひずみが発生する遷移クリープ、時間にひずみが比例する定常クリープおよび急激にひずみが大きくなる加速クリープの3段階が明確に現れていることがわかる。

本報では当社尼崎事業所における各種クリープ試験について述べたが、当社全体で見るとクリープ試験の一種と言えるa)クリープ損傷と疲労損傷が重畳したときの材料の破壊・変形挙動を調べるクリープ疲労試験、ならびにb)腐食溶液中・電解水素チャージ中の応力を受ける材料の破壊挙動を調べる定荷重遅れ破壊・応力腐食割れ試験への対応も可能である。このように、当社では多種多様なクリープ試験に対して多くの実績を有するとともに、豊富な知識・経験の蓄積により高品質な委託試験が行えるように鋭意取り組んでいる

参考文献　＊1）日本工業規格 JIS Z2271（2010）
＊2）ASTM E139　Standard Test Methods for Conducting Creep,Creep-rupture,and Stress-rupture Tests of Metallic Materials（2011）
＊3）日本鉄鋼協会クリープ委員会；金属材料高温強度データ集(1979)，社団法人　日本鉄鋼協会
＊4）宮川松男；クリープ変形理論と設計(1963)，日刊工業新聞社