

室蘭工大院

〇向平 紳一

室蘭工大

斉当 建一

1. 結論

著者らは、プラスチックボルトを用いたねじ締結体の締結力の緩和を予測する方法として、クリープ試験の結果から、ねじ材料に対する粘弾性モデルを決め、対応原理を適用することによって求める方法を提案した。<sup>(1)</sup>

しかし、実際の締結体では、初期締め付けの後、動的外力が加えられる結果、ボルトに変動荷重が作用しながら緩和する場合(動的緩和)も多い。その場合、プラスチックの材料特性の非線形性のために緩和が促進されると予想され、前述した緩和の予測方法に、変動荷重の影響を考慮する必要がある。

そこでこのような場合の緩和を、繰り返し応力を加えたクリープ試験(以下、動的クリープ試験と呼ぶ)の結果を用いて予測することを考え、ここではその第1段階として動的クリープ試験の方法と、この結果から粘弾性モデルを決定する方法について検討し、これを静的クリープ試験の場合と比較した。

2. クリープ試験

今回行った動的クリープ試験は、図1のような平均応力 $\sigma_m$ に、応力振幅 $\sigma_a$ 、振動数 $f$ の正弦波からなる繰り返し応力が加えられるという点が従来行われているクリープ試験と異なっている。

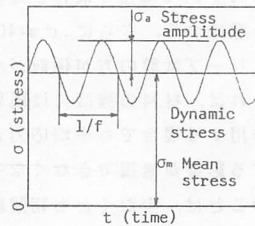


Fig.1 Relation of  $\sigma$  and  $t$

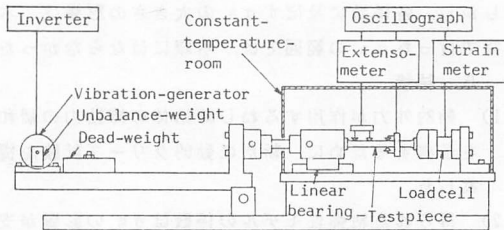


Fig.2 Creep testing machine

クリープ試験機を、図2に示す。これはてこを利用したものであり、 $\sigma_m$ と $\sigma_a$ はそれぞれ、てこの先端に固定された錘と加振機により与えられる。加振機は、モーター軸に取り付けられた不釣り合い量を回転させる

ことにより発生する遠心力を利用している。不釣り合い量を調節することによって、モーターの回転数を一定とした場合でも異なる $\sigma_a$ を発生することができる。また、静的クリープ試験はモーターを停止した状態で行う。

試験片は、市販のポリカーボネート製ボルトを切削加工した直径8mmの丸棒とする。

この試験片について疲労試験を行った結果、繰り返し数が $5 \times 10^6$ に達しても疲労破壊を起こさない応力振幅の最大値は5.6MPaであった。そこで、この値を疲労限とし、動的クリープ試験において $\sigma_a$ は、疲労限に対して十分小さな値とした。また、振動数は $f=10$ Hzとし、恒温槽内の温度は、 $20 \pm 1$ ℃に保持する。

測定する値は、平均応力 $\sigma_m$ 、応力振幅 $\sigma_a$ 、試験片の軸方向ひずみ $\epsilon_x$ 、直径方向ひずみ $\epsilon_y$ である。 $\sigma_a$ はオシログラフの波形から読み取り、 $\sigma_m$ 、 $\epsilon_x$ 、 $\epsilon_y$ は、クリープ試験開始後、一定の時間が経過する毎にモーターを一時的に停止して、測定する。

3. 粘弾性モデルの係数

前節で得られた $\sigma_m$ 、 $\epsilon_x$ 、 $\epsilon_y$ を用いると、試料の形状変化、体積変化に対するクリープコンプライアンス $J(t)$ 、 $C(t)$ は、それぞれ式(1)、(2)で定義される。

$$J(t) = (|\epsilon_x| + |\epsilon_y|) / \sigma_m \quad (1)$$

$$C(t) = (|\epsilon_x| - 2|\epsilon_y|) / \sigma_m \quad (2)$$

クリープ試験期間を48時間として得られた $J(t)$ 曲線の例を図3に示す。なお、 $C(t)$ は $J(t)$ に比べ、絶対量、時間的な変化はともに小さく、一定値としても緩和の予測にはほとんど影響がないことが分かっているため、 $J(t)$ にのみ注目する。

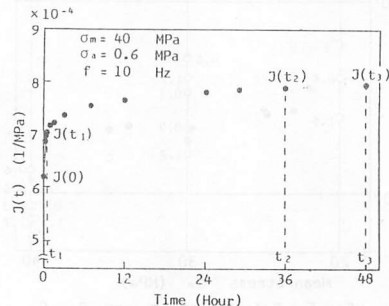


Fig.3 Creep compliance

図4は、この曲線を近似するために用いた粘弾性モデルで、瞬間弾性、遷移クリープ、定常クリープを表現できるモデルのうち、最小要素数から構成されている。このモデルのクリープコンプライアンス曲線（以下、 $J(t)$ 曲線）は、

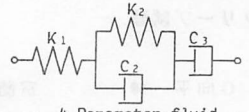


Fig.4 Visco-elastic model

$$J(t) = 1/K_1 + 1/K_2 + t/C_3 - \{ \text{EXP}(-K_2 t/C_2) \} / K_2 \quad (3)$$

で表される。したがってモデルの係数  $K_1, K_2, C_2, C_3$  は、実験から得られた  $J(t)$  曲線上に、 $J(0)$  を含む4点を定めることによって、次のように決定される。

$$K_1 = 1/J(0) \quad (4)$$

$$C_3 = (t_3 - t_2) / (J(t_3) - J(t_2)) \quad (5)$$

$$K_2 = 1 / (J(t_2) - J(0) - t_2/C_3) \quad (6)$$

$$C_2 = -K_2 t_1 / \ln \{ J(0)K_2 - J(t_1)K_2 + K_2 t_1/C_3 + 1 \} \quad (7)$$

こうして、図3の  $J(t)$  曲線について  $t_1, t_2, t_3$  をそれぞれ 0.5, 36, 48 Hour に統一して求めた各係数が図5と6である。

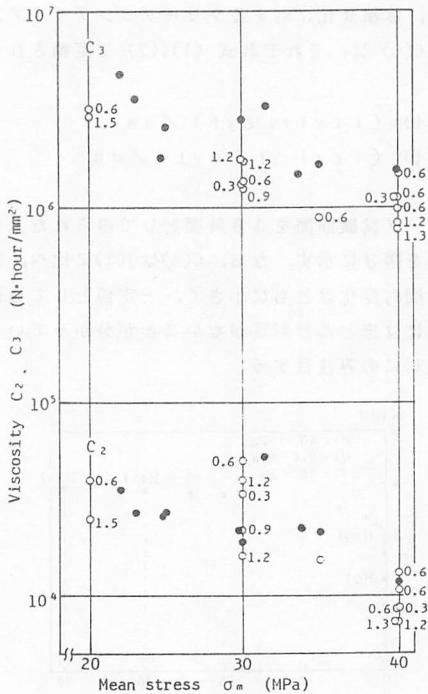


Fig.5 Relation of  $\sigma_m$  and  $C_2, C_3$

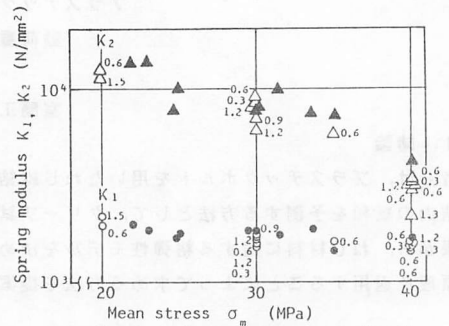


Fig.6 Relation of  $\sigma_m$  and  $K_1, K_2$

#### 4. 考察

図5と6の●と▲印は静的クリープ試験、○と△印は動的クリープ試験から決定した値であり、○と△印横の数字は  $\sigma_a$  の大きさ (MPa) を示す。ただし、 $K_1$  (図5) は瞬間弾性の大きさによってのみ決まる値であるため、静的クリープ試験の結果と区別する意味はないが、他の係数との対応が分かるように  $\sigma_a$  の数値を示した。すべての係数について、ばらつきはあるものの、動的クリープ試験と静的クリープ試験の場合は、ほぼ同様な傾向を示し、 $\sigma_m$  が高くなると共にその値は減少する傾向がみられる。これは、ポリカーボネート材の構成式が、この程度の  $\sigma_a$  にはあまり影響されず、 $\sigma_m$  に強く依存した非線形性を有していることを意味する。さらに、 $\sigma_m = 40$  MPa 程度になると、動的クリープ試験の方が係数が小さくなる傾向がみられる。これは、材料の強度には限界があるため、同じ  $\sigma_a$  が作用する場合でも平均応力  $\sigma_m$  が高くなれば材料に対する影響が無視できなくなるため、と考えられる。このことは、少なくとも初期締め付け力  $\sigma_a = 40$  MPa で締め付けられた締結体であれば、動荷重が作用することにより、緩和が促進されることを予想させる。

しかし、各係数に及ぼす  $\sigma_a$  の大きさの影響は、本研究で行った  $\sigma_a$  の範囲では、明瞭にはならなかった。

#### 5. 結論

- (1) 動的外力が作用するねじ締結体の締結力の緩和を予測するために、新たに動的クリープ試験を提案した。
- (2) 得られた粘弾性モデルの係数は  $\sigma_m$  の影響が支配的であるが、 $\sigma_m$  の高い領域では  $\sigma_a$  の存在も無視できなくなる。

#### 参考文献

1) 齊当建一, 大川明宏: プラスチックねじ締結体の締め付け力の緩和を予測する一方法, 精密機械, 50, 11 (1984) 1777