

清水建設株式会社 正員 川井 久史

大阪市立大学工学部 正員 山田 優

1. 目的

舗装用混合物の温度応力を繰返し曲げ試験によって求めた緩和弾性率から推定し、実験結果と比較する。

2. 繰返し曲げ試験によって求めた緩和弾性率 $E(t)$ から温度応力を推定する方法

$E(t)$ を種々の温度で試験した結果から、変形を拘束した状態で温度 T を T_0 から一定速度

$$k = -dT/dt \quad (1)$$

で低下させたときに生じる応力（温度応力） $\sigma(t)$ を以下に示す順で求める。

1) 解析に必要な時間 t の範囲における $E(t)$

通常、 $E(t)$ は時間 t のある限られた範囲で試験される。その範囲外の時間 t での $E(t)$ が温度応力の解析のために必要な場合には、時間-温度重ね合せの原理を利用して試験結果から外挿して求める。また任意の温度での $E(t)$ も試験した温度での $E(t)$ から推定できるものとする。

2) 一定速度 k で温度が低下するときの緩和弾性率 $E^*(t)$

温度 $T = T_i$ でひずみ増分 $\Delta \varepsilon$ を瞬時に加え、その後、時間とともに温度が低下するとき、ひずみ増分 $\Delta \varepsilon$ により生じた応力の時間 t 後の大きさ $\Delta \sigma(t)$ を

$$\Delta \sigma(t) = E^*_i(t) \cdot \Delta \varepsilon \quad (2)$$

と表し、この温度低下中での緩和弾性率 $E^*_i(t)$ を求める。

① 温度変化の階段状表示

図1に示すように一定速度の温度変化を階段状温度変化に置き換える。

② 最初の Δt 間 ($B \rightarrow C$) の $E^*_i(t)$

この部分は、B点の温度での $E(t)$ である。

③ その後 (D点以後) の $E^*_i(t)$

これを決定するために、次のように仮定する。

すなわち、定温度 T_0 の応力緩和試験で、応力がある大きさまで緩和した時点で、その応力を一定にしたまま温度を瞬時に T_0 に変化させたときの試験体の状態は、その試験と同じ大きさのひずみを加えて温度 T_0 で行った試験において同じ応力まで緩和したときの状態と同等で、その後の応力緩和速度は等しいとする。ひずみが等しいので、応力が等しければ、当然ながら緩和弾性率も等しいことになる。

すると、 $D \rightarrow E$ の部分は、図2

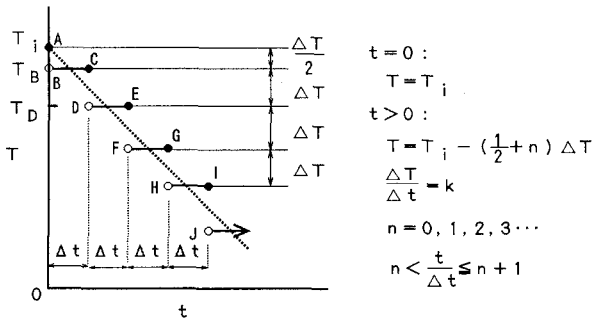


図1 $E^*(t)$ 曲線を求めるための温度変化の仮定

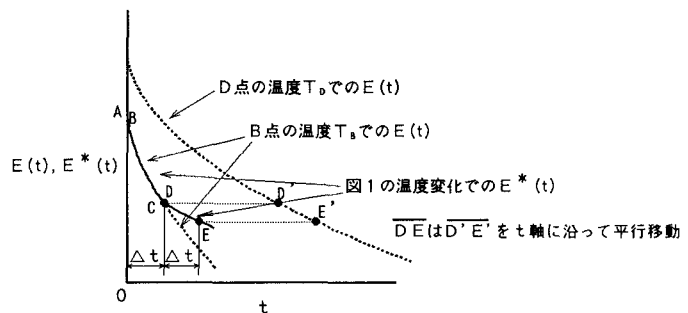


図2 $E(t)$ 曲線群から $E^*_i(t)$ を求めるための仮定

に示すようになる。B点の温度 T_B とD点の温度 T_D での $E(t)$ 曲線が図中の破線で与えられるとき、C点と同じ大きさの緩和弾性率を示す D' 点から始まる線分 $D'E'$ をC点とD点が重なるまで t 軸に沿って平行移動する。F点以後についても同様にして決定する。

3) 温度応力曲線

図3のように温度変化を階段状に置き換え、温度応力は $t=0$ およびその後 Δt 経過ごとに起こる温度変化による応力増分の積み重ねと考える。各応力増分は温度低下中での緩和弾性率 $E^*_i(t)$ を用いて、次式で示すことができる。

$$\Delta \sigma_0(t) = E^*_0(t) \cdot c \cdot \alpha \cdot \Delta T / 2 \quad (3)$$

$$\Delta \sigma_i(t) = E^*_i(t - i \cdot \Delta t) \cdot c \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

ここに、 $\Delta \sigma_0(t)$: $T = T_0$ での $\Delta T/2$ の温度低下で生じる温度応力($t > 0$)、 $\Delta \sigma_i(t)$: $T = T_i$ での ΔT の温度低下で生じる温度応力増分($t > t_i$)、 c : $0 \sim 1$ の値を取り、拘束の程度で決まる定数で、拘束されず自由に動くとき0、全く変形しないように拘束されるとき1、 α : 膨張率($^{\circ}/^{\circ}\text{C}$)

図2の温度変化による温度応力 $\sigma(t)$ は次式で求まる。

$$\sigma(t) = \sum \Delta \sigma_i(t) \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

温度応力と温度の関係は式(5)で変数を時間 t から温度 T に次式によって変換すればよい。

$$T = T_0 - k t \quad (6)$$

3. 温度応力測定実験の方法

図4のように内側にひずみゲージをはりつけた直径200mm、高さ50mm、厚さ5mmのインバー合金リングの外側に厚さ30mmの舗装用混合物を巻いた。これを一定速度($10^{\circ}\text{C}/4\text{h}$)で温度を降下させ、リングに生じたひずみから混合物中の円周方向の応力を求めた。

4. 温度応力の推定結果と実験結果の比較

図5にその例を示す。

5. 結論

以上のように繰返し曲げ試験により測定した緩和弾性率から、変形を拘束する時の温度応力を推定することができる。

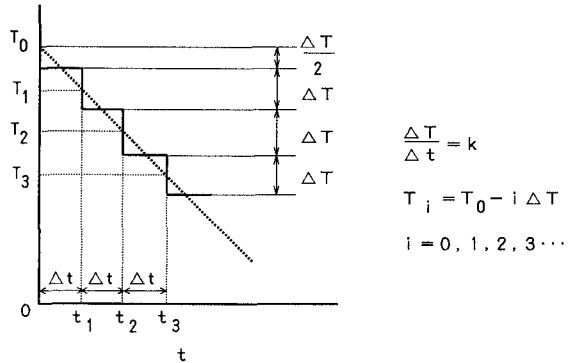


図3 $\sigma(t)$ を求めるための温度変化の仮定

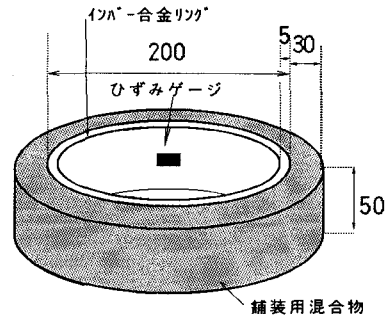
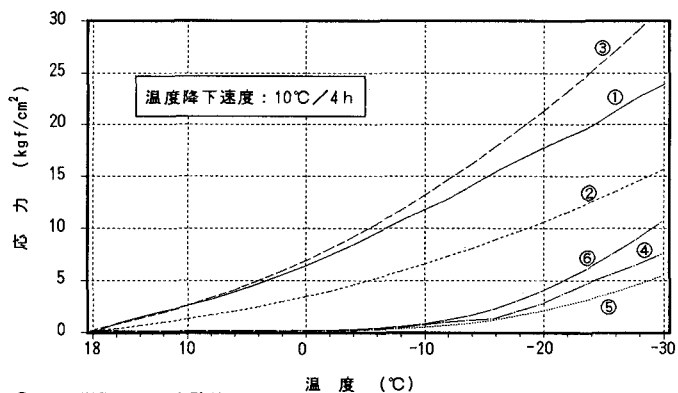


図4 温度応力測定実験供試体 単位(mm)



- ① アクリル樹脂モルタルの実験値
- ② 同 $\alpha = 0.5 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ の時の推定値
- ③ 同 $\alpha = 1 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ の時の推定値
- ④ アスファルト混合物(γ -s配合)の実験値
- ⑤ 同 $\alpha = 0.5 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ の時の推定値
- ⑥ 同 $\alpha = 1 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ の時の推定値

図5 温度応力の推定結果と実験結果の比較例