

V-414 地下連続壁の平均温度の簡易計算方法に関する一考察

清水建設技術研究所	正会員 木村克彦
清水建設機械本部	正会員 中原邦昭
清水建設土木本部	正会員 黒田正信

1. はじめに

地下連続壁は、構造物の大型化、経済性の面から大深度化、高強度化する傾向にある。地下タンクの場合には、止水性の観点から、とくに高強度コンクリートを用いる地下連続壁では水和熱による温度ひび割れ制御が要求されている。温度ひび割れ制御においては、コンクリート打込み後の温度変化を予測することが必要である。しかし、エレメント数が多い場合など、全エレメントについて温度解析するのは繁雑である。そこで、本報告では、地下連続壁の簡易温度計算方法について提案し、その適用性について高強度地下連続壁の温度測定結果を用いて検討した。

2. 平均温度および無次元化平均温度

(1) 平均温度および無次元化平均温度の定義

後行エレメント（以下、Bエレメント）では、壁厚と幅との比が通常小さく、熱の流れが厚さ方向のみの2面放熱モデルと考えると、平均温度 $T_m(t)$ を式 (1)¹⁾ で与える。

$$T_m(t) = 1/3 \{ 2T_{\max}(t) + T_s(t) \} \quad (1)$$

ここに、

$T_m(t)$: 材齢 t における平均温度 (°C)

$T_{\max}(t)$: 材齢 t における部材内最高温度 (°C)

$T_s(t)$: 材齢 t における表面温度 (°C)

次に、無次元化平均温度 $k_t(t)$ を式 (2) で定義する。 $k_t(t)$ は $T_m(t)$ が最大値となった時点で1.0、地盤の安定温度に等しくなった時点で0となる。

$$k_t(t) = (T_m(t) - T_{\infty}) / (T_{m,\max} - T_{\infty}) \quad (2)$$

ここに、

$k_t(t)$: 材齢 t における無次元化平均温度

$T_{m,\max}$: 平均温度の最大値 (°C)

T_{∞} : 地下連続壁の安定温度 (°C)

(2) 無次元化平均温度

A 地下タンクの施工例²⁾ におけるAおよびBエレメントの $T_m(t)$ から式(2)を用いて $k_t(t)$ を算定し、その一例を図-1に示す。この図から $k_t(t)$ は、Bエレメントでそれぞれほぼ同一形状であることが認められた。Aエレメントについても同様な傾向が認められた。そこで、 $k_t(t)$ の近似曲線をAおよびBエレメント毎に求めて図-2および図-3に示す。これらの関係は構造寸法、使用材料、配合などにより異なり、 $k_t(t)$ がピークを示す材齢が打込み温度 T_p により幾分変動すると思われる。しかし、地盤中は年間を通じてほぼ同一温度であるため外気温の変動などによる影響は比較的小さいと考えられる。Aエレメントは、後打ちのBエレメントの打込みの影響を受け温度上昇するので、 $k_t(t)$ を式 (3) で補正した。

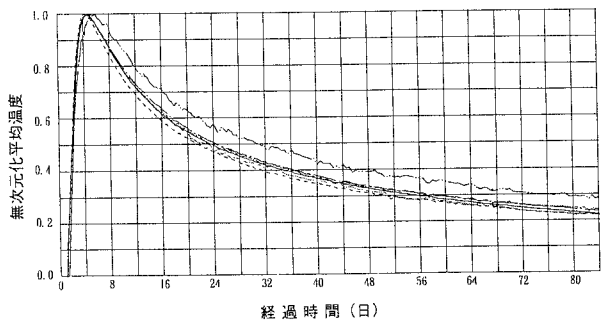


図-1 Bエレメントの $k_t(t)$ の経時変化の例

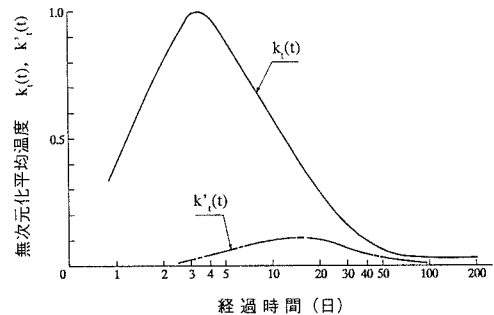


図-2 Aエレメントの $k_t(t)$ 曲線の例

$$k'_i(t) = k_i(t) + \Delta k_i(t-t') \quad (3)$$

ここに、

$k'_i(t)$ ：材齢 t における補正後の無次元化平均温度

$\Delta k_i(t-t')$ ：材齢 $t-t'$ における無次元化平均温度の増分

t' ：打継ぎ材齢（日）

温度測定の結果から $T_{m,max}$ を示す材齢は、 T_p が約 10～20℃の範囲で、A エLEMENT では約 3 日、B エLEMENT では約 3.5 日であり、 T_p により大差ないことが明らかになった。

3. コンクリート温度の簡易計算方法および適用性

(1) コンクリート温度の簡易計算方法

A および B エLEMENT の材齢 t における $T_m(t)$ を式 (2) から式 (4) で与える。なお、A エLEMENT に隣接して既設の B エLEMENT がある場合とない場合では、既設 ELEMENT の影響による A エLEMENT の $T_m(t)$ に差があることが認められたので、式 (4) で求めた $T_m(t)$ を補正する必要がある。例えば、施工例の場合には、補正量は 2.3℃であった。

$$T_m(t) = k_i(t) (T_{m,max} - T_\infty) + T_\infty \quad (4)$$

なお、 $k_i(t)$ および $T_{m,max}$ は、類似の実績または解析結果から与えられるとする。 $k_i(t)$ および $T_{m,max}$ が図表または式で与えられ、式 (4) で各 ELEMENT の $T_m(t)$ が算定でき地下連続壁の温度ひびわれ検討が容易に実施できる。

(2) 温度の簡易計算方法の適用性

施工例の地下連続壁 A および B エLEMENT の $T_m(t)$ を式

(4) を用いて求め、実測結果から算定した $T_m(t)$ と比較することにより適用性を検討する。まず、A および B エLEMENT の $k_i(t)$ を図-2 および図-3、 $T_{m,max}$ を式 (5) から求める。式 (5) は、実測結果を回帰して求めたものである。なお、 $T_p = 16.5^\circ\text{C}$ とする。

$$\begin{aligned} T_{m,max} &= 32.9 + 0.865 T_p \quad (\text{A エLEMENT}) \\ &= 35.0 + 0.738 T_p \quad (\text{B エLEMENT}) \end{aligned} \quad (5)$$

一例として A および B エLEMENT の T_p を 13.0℃ および 11.0℃ とし、A エLEMENT を打設して 39 日後に B エLEMENT を打設した場合の $T_m(t)$ の計算結果と実測値を図-4 に示す。図から B エLEMENT の $T_m(t)$ の計算値と実測値は材齢初期を除いてよく一致しており、本方法により B エLEMENT の平均温度を精度よく推定できることがわかる。また、A エLEMENT については温度上昇時は計算値と実測値の $T_m(t)$ はよく一致しているが、温度降下時は計算値と実測値の差が幾分か大きくなっており、隣接の B エLEMENT が打込まれたため、温度降下が遅くなったことも影響していると考えられる。

4. まとめ

本報告では、地下連続壁の $T_m(t)$ の簡易計算方法を提案し、その方法で求めた計算値と実測値を比較することにより適用性を検討した。その結果、本報告の範囲で、提案した地下連続壁の簡易温度計算方法を用いて、A および B エLEMENT の $T_m(t)$ を式 (4) で精度よく推定できることを明らかにした。

参考文献

- 1) 木村, 小野; マスコンクリート構造物の温度ひび割れ発生の評価方法に関する研究, 土木学会論文集 第375号/V-6, pp.61-70, 1987.2
- 2) 中村他; 高強度地中連続壁による大空間の施工-14万KL LNG地下タンク工事-, 土木学会第8回施工体験発表会, pp.73-82, 1989.2

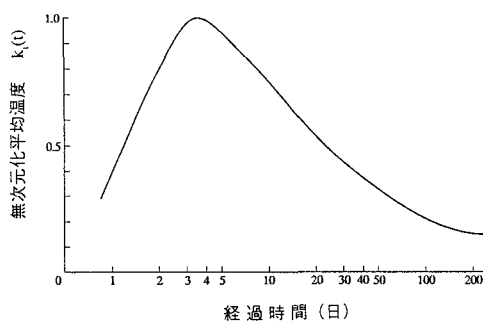


図-2 B ELEMENT の $k_i(t)$ 曲線の例

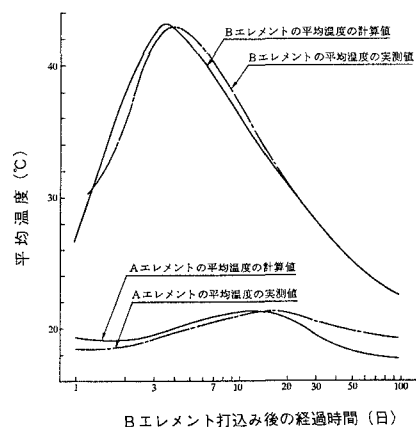


図-4 $T_m(t)$ の計算値と実測値との比較