

# V-428 大口径深礎杭の温度ひびわれ発生検討方法

西松建設(株) 正会員 浅井 功  
 西松建設(株) 正会員 土橋吉輝  
 西松建設(株) 正会員 今村正孝

## 1. まえがき

本報は、大口径深礎杭の温度ひびわれ制御対策を検討する際に必要となる最高温度、最大温度差等の温度規制値に関する簡易的な算定方法について述べるものである。

一般にマスコンクリートの温度ひびわれ発生に関する検討は、温度ひびわれ指数により評価する。温度ひびわれ指数は、通常FEM等の温度応力解析により算定する。一方、コンクリート標準示方書には温度解析結果から簡易的に温度ひびわれ指数 ( $I_{c,r}$ ) を求める次式が示されている。

$$\text{内部拘束応力が卓越する場合 } I_{c,r} = 15/\Delta T_1 \quad \text{外部拘束応力が卓越する場合 } I_{c,r} = 10/(R \cdot \Delta T_0) \quad (1)$$

ここに、 $\Delta T_1$ ：最高温度時の内外温度差(°C)、 $\Delta T_0$ ：部材平均最高温度と外気温平衡時温度との差(°C)、 $R$ ：外部拘束の拘束度、である。式(1)はスラブ構造物の温度分布および外部拘束を想定して求められており、条件の異なる深礎杭への適用は困難である。よって、数値解析を実施し、この解析結果を重回帰分析することにより大口径深礎杭に適用可能な簡易算定式を求める。

## 2. 数値解析

温度ひびわれ発生の主要な特性要因と考えられるものを選び(表-1参照)、数値解析によりこれらの要因が温度ひびわれ指数に及ぼす影響を把握する。なお、セメントは普通ポルトランドセメントとする。解析は軸対称問題としてFEMを用い、26ケースについて検討する。

温度履歴および応力履歴の一例を図-1および図-2に示す。温度ひびわれ指数を求めた結果、 $r$ (半径)方向ではいずれのケースも温度ひびわれ指数は3以上となり、ひびわれ発生の可能性はほとんどない。よって、大口径深礎杭で問題となるのは、杭中心部での $z$ (鉛直)方向応力および杭外周部での $\theta$ (円周)方向応力である。

## 3. 簡易算定式の提案

数値解析の結果より、 $\theta$ および $z$ 方向応力を評価対象とする。 $\theta$ 方向応力は内外温度差による内部拘束が卓越しており、 $z$ 方向応力は温度降下に伴う外部拘束が卓越している。式(1)の関係を大口径深礎杭に適用するには、式(1)前式については深礎杭の温度分布状態に基づいて定数(基本温度差 $T_d$ (°C)とする)を導き、式(1)後式については深礎杭に対する拘束度 $R$ を与える必要がある。 $T_d$ および $R$ に関して式(1)を変形する。

$$\theta \text{ 方向 } T_d = I_{c,r} \cdot \Delta T_1 \quad z \text{ 方向 } R = 10/(I_{c,r} \cdot \Delta T_0) \quad (2)$$

式(2)に解析結果を代入して $T_d$ および $R$ を求める。

$T_d$ および $R$ と杭長の関係を図-3に示す。 $T_d$ は杭長の影響は比較的少ない。 $R$ は杭長に比例し、地盤弾性係数が大きいほど杭長の影響を受ける。 $T_d$ および $R$ と杭径の関係を図-4に示す。 $T_d$ および $R$ ともに、杭径が大きいほど小さくなる。 $R$ は地盤弾性係数が大きいほど杭径の影響を受ける。 $T_d$ および $R$ と地盤弾性係数の関係を図-5に示す。 $T_d$ および $R$ ともに、地盤弾性係数に比例して値が大きくなる。 $R$ は杭径が小さいほど、ある

表-1 解析因子および水準

杭径 (m)	3, 5, 7
杭長 (m)	10, 25, 50
セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	240, 270, 300
打込み温度 (°C)	15, 20, 25
地盤弾性係数(tf/cm <sup>2</sup> )	0.1, 1, 1.5, 2.5, 5, 10

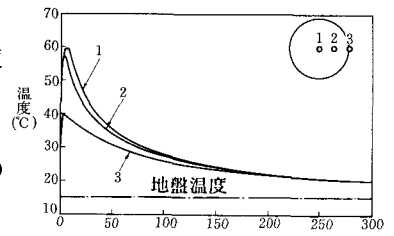


図-1 温度履歴

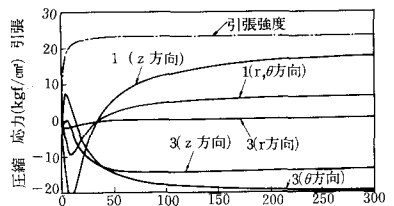


図-2 応力履歴

いは杭長が長いほど地盤弾性係数の影響が顕著になる。 $T_d$ および $R$ とコンクリートの打込み温度との関係を図-6に示す。 $T_d$ および $R$ ともに打込み温度に比例して大きくなる。また、数値解析の範囲内では終局断熱温度上昇量すなわち単位セメント量が $T_d$ および $R$ に及ぼす影響は少ない。

以上より、 $T_d$ は地盤弾性係数および杭径の影響が比較的大きく、 $R$ はこれらに加えて杭長の影響も大きい。次に、 $T_d$ および $R$ を従属変数、杭長、杭径等の要因を独立変数として重回帰分析を行い、次式を得る。

$$T_d = -0.0385L + 76.7(1/\phi) + 0.752E_r^{1/5} + 0.520\Delta T_p + 22.5 \quad (3)$$

$$R = 0.00209L + 0.538(1/\phi) + 0.0148E_r + 0.00490\Delta T_p - 0.0350 \quad (4)$$

ここに、 $L$ ：杭長(m)、 $\phi$ ：杭径(m)、 $E_r$ ：地盤弾性係数(tf/cm<sup>2</sup>)、 $\Delta T_p$ ：打込み温度と地盤温度の差(°C)、である。式(4)および式(5)の相関係数はそれぞれ0.974および0.805である。

目標とする温度ひびわれ指数を設定すれば、式(2)～式(4)を用いて最大温度差 $\Delta T_i$ および部材平均最高温度と平衡時温度（地盤温度）との差 $\Delta T_0$ の規制値を簡易的に求めることができる。

#### 4. まとめ

大口径深礎杭の温度ひびわれ制御対策の検討を行う場合、本方法の採用により温度解析のみで検討を行うことができる。また、温度解析についても杭全体をモデル化する必要は必ずしもなく、杭の一部をモデル化して解析を行えばよい。したがって、本方法を用いることで検討の省力化を図ることが可能となる。

#### 【参考文献】

1)土木学会：コンクリート標準示方書（施工編），1986。

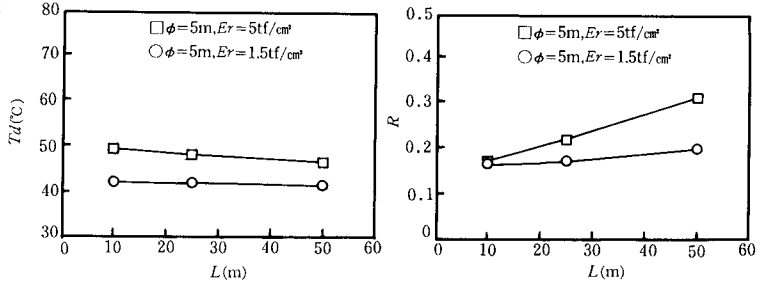


図-3  $T_d$ および $R$ と杭長の関係

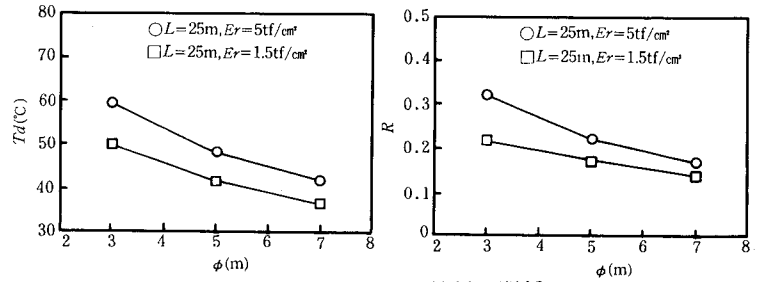


図-4  $T_d$ および $R$ と杭径の関係

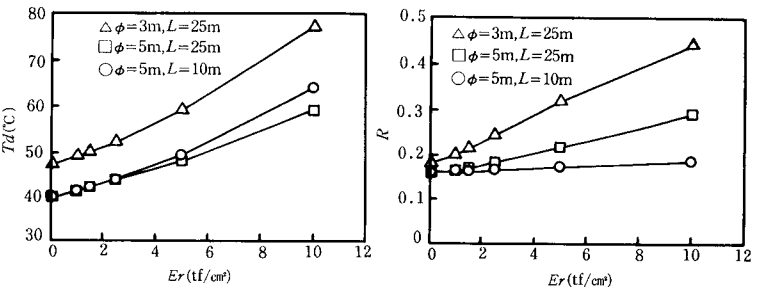


図-5  $T_d$ および $R$ と地盤弾性係数の関係

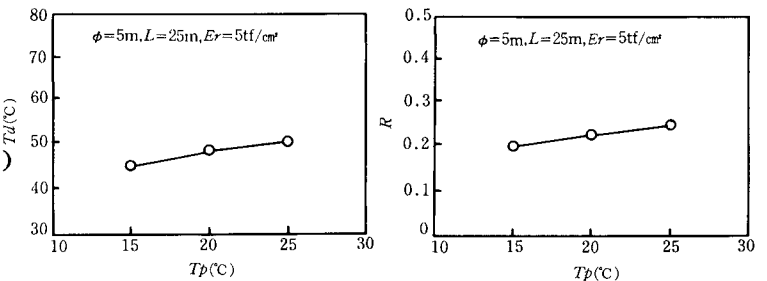


図-6  $T_d$ および $R$ と打込み温度の関係