

発熱体を使用した寒中グラウトの養生方法

オリエンタル建設(株)	正会員	工修	○坂西	馨
国土交通省中国地方整備局				藤原 浩幸
オリエンタル建設(株)	正会員	工博	正司	明夫
東亜電器(株)			田中	友三

1. はじめに

PC 鋼材のグラウトは、プレストレストコンクリート構造物の耐久性を確保するうえで重要な役割があるが、工期等の影響で冬期間にグラウトを行う必要が生じた場合、適切な養生を行わなければ所定の強度を得ることができないなど初期欠陥になることが考えられる。

一般に冬期間におけるグラウトの養生方法は、ジェットヒータや断熱マットを用いて行われるが施工現場の状況により養生温度を保つことは容易ではない。そこで本報告では、PC5 径間連続複合トラス橋である志津見ダム志津見大橋において行われた寒中グラウトの養生方法、すなわちコンクリート内に電熱線を配置し、シース周辺のコンクリート温度を効率的に管理する方法について報告するものである。

2. 橋梁概要

志津見大橋の構造一般図を図-1 に、写真-1 に完成写真を示す。また、橋梁概要を以下に示す。

橋梁名 : 志津見ダム志津見大橋
 発注者名 : 国土交通省中国地方整備局
 斐伊川・神戸川総合開発工事事務所
 橋梁形式 : PC5 径間連続複合トラス橋
 橋長 : 280.000m
 橋梁所在地 : 島根県飯石郡飯南町志津見地内

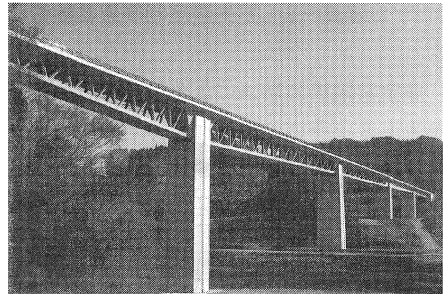


写真-1 完成写真

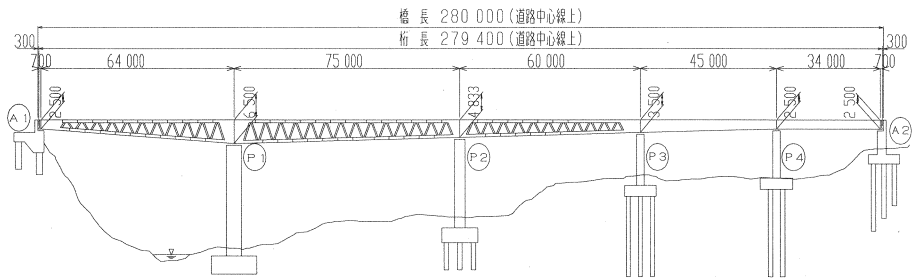


図-1 構造一般図

3. 寒中グラウト養生概要

本稿で報告する寒中グラウトの養生方法は、発熱体となる図-2 に示すロードヒーティング用ケーブル(DK6424)を、コンクリート内のシース近傍に設置し通電させることによりシース近傍のコンクリートを、示方書¹⁾に示されている寒中グラウトの規定温度である5℃以上に保つ方法である。

養生温度の管理は、写真-2 に示す養生温度制御装置に、シース近傍に設置した電熱線と、熱電対を接続してコンクリート温度を常時計測し、コンクリート温度が設定温度になるように電圧を制御することによって行った。図-3 に電熱線を配置した下床版の断面図を示す。また、写真-3 に電熱線配置状況を示す。

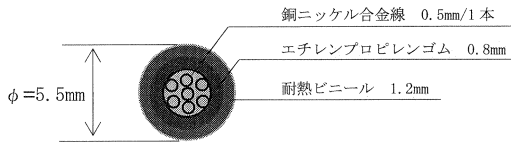


図-2 発熱体 (DK6424)

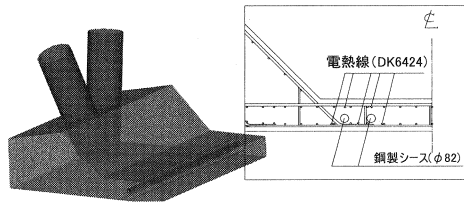


図-3 電熱線設置断面図

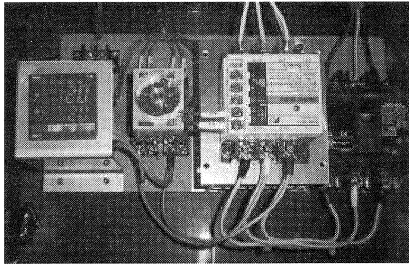


写真-2 養生温度制御装置設置状況

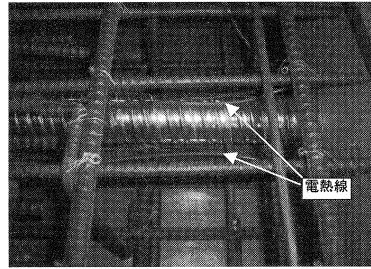


写真-3 電熱線設置状況

4. 非定常細線加熱法による供給熱量の推定

養生温度を所定の温度にするために必要な発熱体の電力量を非定常細線加熱法²⁾により求める。

熱特性の均一な無限媒質に、熱容量のない無限長の針状熱源がある場合、初期温度 θ_0 [°C] の周囲媒質へ、熱源より一定熱量 q [cal/sec · cm] (時刻 t_0 より) を連続的に供給加熱すると、ある時刻 t_1 [sec] 経過後、熱源より距離 r (cm) 上の媒質中の温度 θ_1 [°C] は熱源を軸とする円柱座標をとれば、式-(1)のように表される。

$$\theta_{(r,t)} = \theta_0 + \frac{q}{4\pi\lambda} \int_{\frac{r^2}{4kt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \theta_0 - \frac{q}{4\pi\lambda} Ei\left(-\frac{r^2}{4kt}\right) \dots\dots\dots \text{式-(1)}$$

ここで、 λ : 媒質の熱伝導率 [cal/cm · sec · °C] k : 試料の熱伝播率 [cm²/sec]

u : 積分変数 $-E_i(-X)$: 指数積分 = $\int_X^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$

式-(1)は、 $t > r^2/4k$ となるように時間 t を充分大きな値にすると、近似的に次のようになる。

$$\theta \doteq \theta_0 + \frac{q}{4\pi\lambda} \left(\ln \frac{4kt}{r^2} - \gamma \right) \dots\dots\dots \text{式-(2)}$$

ここで、 γ : オイラ一定数 = 0.57721

式-(2)を用いて時間 t_1 、 t_2 の温度差 $\Delta\theta$ を求めれば

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln \frac{t_2}{t_1} \dots\dots\dots \text{式-(3)}$$

熱供給量 q [cal/sec · cm] は、電気抵抗の発熱量で与えられる。

$$q = VI / L = W \dots\dots\dots \text{式-(4)}$$

ここで、 I : 供給電流 [A] V : 供給電圧 [V]
 L : ヒーター全長 [cm]

5. 寒中グラウト実施概要

寒中グラウトを実施するにあたり、目標とする養生温度を得るための、電熱線の必要本数と熱供給時間、および必要電力量は以下の手順に従い決定した。

- ① 寒中グラウト実施地域の冬期間の外気温を把握する。
- ② 式-(4)より、グラウト長から必要な電圧および電流を把握し熱供給量 q を求める。
- ③ 式-(3)より、所定時間 $[t_2-t_1]$ に得られる電熱線の熱量 $\Delta\theta$ を求める。
- ④ 熱量 $\Delta\theta$ を、温度解析モデルに与え電熱線の必要本数を決定する。
- ⑤ 温度解析によりグラウト実施前に所定の養生温度を得るまでの熱供給時間を求める。

5. 1 寒中グラウト事前検討 (P2 橋脚上配置について)

P2 橋脚上に配置した電熱線の必要配置本数、および必要電力量を前述の手順に従い求めた。

電熱線による熱供給量 $[\Delta\theta]$ を、式-(3)から求め 2 次元温度解析モデル(図-5)のヒーター位置に固定温度として入力した。温度解析に用いたコンクリートの熱特性値は、土木学会コンクリート標準示方書¹⁾、³⁾を参照した。外気温およびコンクリートの初期温度は架設地点付近の過去のアメダス観測データから -5°C に設定した。

図-5 に温度解析結果を示す。温度解析結果から、シース周辺のコンクリート温度が 5°C 以上になることを確認し、1 シースにつき電熱線の配置本数を3本配置することとした。

図-6 に温度履歴図を示す。これにより、グラウト施工実施1日前に、電熱線により熱を供給すればシース周辺のコンクリート温度が、定常状態になることが確認できる。

以下に計算に用いた諸数値を示す。

- コンクリート初期温度 $-5 [^{\circ}\text{C}]$
- 熱伝達率¹⁾ $\alpha = 0.03346 [\text{cal}/\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C}]$
- 熱伝導率²⁾ $\lambda = 0.00692 [\text{cal}/\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C}]$
- ヒーター全長 $L = 5000 [\text{cm}]$ (図-4 参照)
- 供給電流 $I = 10 [\text{A}]$
- 供給電圧 $V = 100 [\text{V}]$
- 式-(4)より
- 熱供給量 $q = 0.26 [\text{W}/\text{cm}]$
- 式-(3)より

$[t_2-t_1]$ 時間に得られる電熱線の熱量 $\Delta\theta$ は

$$\Delta\theta = 31.5 [^{\circ}\text{C}] \text{ となる。}$$

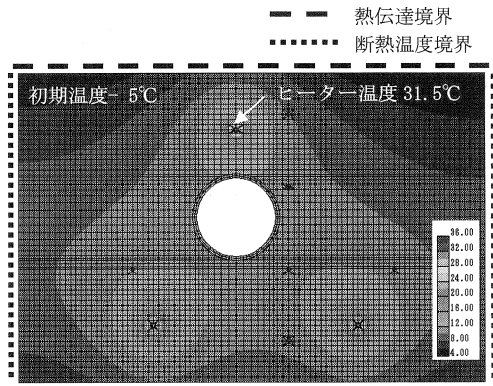


図-5 最高温度経験値図

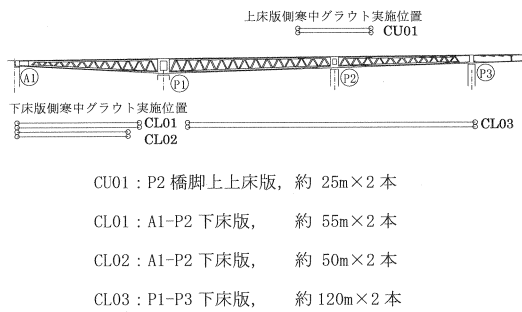


図-4 グラウト実施位置図

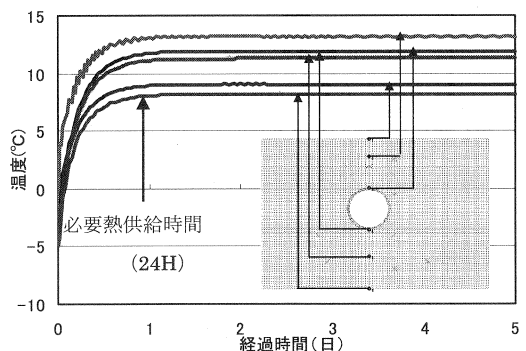


図-6 温度履歴図



写真-4 雪融け状況

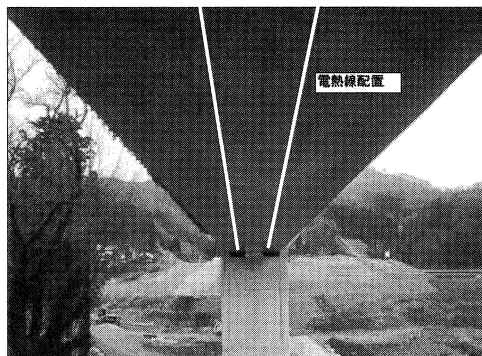


写真-5 電熱線配置位置

6. 寒中グラウト実施状況

写真-4は積雪時にP2橋脚上の橋面状況を撮影したものであるが、電熱線を設置した位置で発熱効果によって雪が融けているのが確認できる。また、電熱線による発熱効果を確認するため、サーモグラフィを使用して橋体の温度分布の撮影を行った。写真-5は、P2-P3径間の下床版下縁に設置されている電熱線の位置を示したものである。同じ位置でサーモグラフィを使用して温度分布を撮影した画像を写真-6に示す。電熱線を配置した位置周辺でコンクリート温度が5℃以上に保たれているのが確認できた。

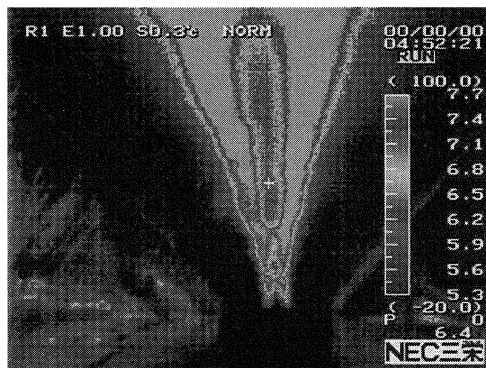


写真-6 サーモグラフィ画像

7. まとめ

本稿では、志津見大橋にて行った発熱体を用いた寒中グラウトの養生方法について報告した。本方法は、発熱体となる電熱線をコンクリート内のシース近傍に配置して、シース周辺のコンクリートを暖める方法である。

この養生方法は、検討した範囲では、非定常細線加熱法と温度解析により必要電熱線数および電力量を容易に算出でき、サーモグラフィの撮影結果から分かるように効率的にシース近傍のコンクリート温度を管理できることが確認できた。本方法は、特にグラウト区間が長く養生範囲が広がる場合や、志津見大橋のようにトラス断面を有しているため内空部がなく、外気に接する面が多いために、養生するのが容易ではない場合に有効な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会:コンクリート標準示方書[施工編],2002年制定
- 2) 朝倉書店:熱計測技術,日本機械学会編
- 3) 土木学会:コンクリート標準示方書[性能照査編],2002年制定