

現場吹付け法砕工の寒中施工での温度管理

(社)北海道土木施工管理技士会

川田工業株式会社

土木舗装部

主任

石田 弘 樹

Hiroki Ishida

1. はじめに

本工事は、北海道の観光地えりも岬につながる広尾町音調津の国道336号沿いの法面防災工事です。防災対策箇所は急崖斜面の尾根部にあたり、現道からの高低差は70m程度になります。対策区間中央部には過年度に切土工及び落石防護網工が施工されており、この部分が凹地となっています。現崩壊地は、起点側で強風化部からの土砂流出が顕著であり、終点側では露岩部からの岩片剥離や抜け落ちが多く、現道（音調津覆道）への被災が懸念され、防災対策工事を実施することとなりました（写真-1）。

対応策として、強風化部のオーバーハング箇所を1：0.5勾配にて軟岩掘削（コンクリート破砕器）し、現場吹付け法砕工（200×200）で法面を保護する工法が選定されました。

現場吹付け法砕施工時期が厳寒期である2月上旬（過去5年間の日平均気温-4.3℃、最低気温-13.9℃）から開始するため、寒中コンクリートとして施工する必要があります。

当現場における現場プラントでの吹付けコンクリートの配合、温度管理、養生方法の検討・計画と実施結果を記述します。

工事概要

- | | |
|-----------|--|
| (1) 工事名： | 一般国道336号 広尾町
ルベシベツ防災工事 |
| (2) 発注者： | 北海道開発局帯広開発建設部 |
| (3) 工事場所： | 北海道広尾郡広尾町音調津 |
| (4) 工期： | 平成20年3月20日 ～
平成21年3月18日 |
| (5) 工事内容： | 軟岩掘削工 5,410m ²
現場吹付け法砕工 3,007m ²
ラス張り工 2,331m ² |



写真-1 施工箇所（完成写真）

2. 現場における課題・問題点

工事場所は北海道道東沖に広がる漁場に面しており、8月20日から11月中旬頃まではサケ定置網漁への騒音の影響を配慮し、施工休止期間となっ

ています。そのため春から開始した軟岩掘削終了が1月となり、法面保護の現場吹付け法砕工の施工は2月からの開始となりました。施工箇所の音調津は海岸線に位置し、気候は十勝の中では年間の寒暖の差は小さく、厳冬期（2月）での平均気温が-4℃程度です。最低気温は-14℃程度であり、寒中コンクリートとしての施工となります。現場プラントでの配合、1：0.5分の法面での吹付け、養生等を行うので、品質管理及び法面作業での安全対策は細心の注意を払わなければなりません。

現場吹付け法砕施工断面は200×200mmであり、縦横の梁間隔は1,500mmの鉄筋コンクリートです。断面が小さく、施工面積が広いので通常のヒーターなどでの給熱養生方法はできず、シート囲い養生での保温養生が主流となります。断面寸法が小さいのでコンクリートの水和発熱量も小さく、防寒対策を検討しなければなりません。当現場での検討内容は、以下を中心に行うことにしました。

- (1) コンクリート凍結防止対策の配合設定と配合温度管理による吹付け時の品質確保。
- (2) コンクリートのシート囲いによる保温効果の推定。

3. 対応策・工夫・改良点

- (1) コンクリート凍結防止対策の配合設定と配合温度管理による吹付け時の品質確保のための検討と対策。

吹付けコンクリートの配合決定は給熱養生ができない事、打設終了直後からコンクリート温度が外気温によって下がり、凍結する恐れを考慮し、防凍剤を使用することにしました。使用セメントは早強ポルトランドセメントを使用することで設計強度を確保しました。

施工箇所の2月外気温は過去5年間で日平均気温-4℃、最低気温-14℃、旬毎の日平均気温は-10℃であることから、使用防凍剤は水セメント比50%でセメント量100kgに対し4ℓを混合し、外気温-10℃に対応できるものを使用しました。

施工時に外気温が-10℃以下になる日が予想されるときは、品質確保のため作業中止を含め検討しました。

吹付けコンクリートの配合は次表の通りです。

表-1 配合設定（水セメント比50%）

	材料区分	水 (W1)	セメント (C)	組骨材 (S)	粗骨材 (G)	防凍剤 (W2)
1m ³ 当たり	重量配合	169.80L	369.14kg	1476.56kg	369.14kg	14.77L
1バッチ当り	重量配合	23.0L	50.0kg	200.0kg	50.0kg	2.0L
	配合比	0.46	1	4	1	0.04

冬期施工の現場プラントにおいて、搬入骨材が外気温によって冷えており、練混ぜ温度は初期凍結防止と初期強度発現を考慮して、目標管理温度を10～15℃に設定して品質の安定を目指しました。温度確保には使用骨材と練混ぜ水の給熱が必要となります。過剰な加熱は練混ぜ時にセメント急結の恐れがあるため、練混ぜ水の温度は40℃以下にし、骨材の給熱温度を検討しました。材料を熱したとき、練上りコンクリートの温度Tは、次式で計算する事とします。

$$T = \frac{C_s (T_a W_a + T_c W_c) + T_m W_m}{C_s (W_a + W_c) + W_m}$$

C_s : セメントおよび骨材の比熱と水の比熱に対する割合、0.2と仮定

T_aW_a : 温度および骨材の質量

T_cW_c : 温度およびセメントの質量

T_mW_m : 温度および練混ぜに使う水の質量

(コンクリート標準示方書より)

骨材重量及び練混ぜ水重量は細骨材の表面水率を考慮するものとし、実測した表面水率で管理温度を確認しながら、品質管理を行いました。コンクリートの練上りにおける温度推定結果の一部は以下の通りです。(骨材表面水率2.3～4.6%)

推定結果から給熱後骨材温度を10℃、練混ぜ水の温度を30℃に設定し施工標準とする事で余剰な給熱を無くし、品質の確保、燃料経費の削減を行いました。

表-2 練上りコンクリート温度推定

判定	骨材		セメント		練混ぜ水		練上りコンクリート
	質量(kg)Wa	温度(°C)Ta	質量(kg)Wc	温度(°C)Tc	質量(kg)Wm	温度(°C)Tm	
OK	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	5.0	7.6
OK	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	10.0	8.7
OK	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	15.0	9.9
OK	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	20.0	11.0
OK	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	25.0	12.2
OK	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	30.0	13.3
OK	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	35.5	14.4
OK	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	40.0	15.6
急結の恐れ	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	45.0	16.7
急結の恐れ	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	50.0	17.8
急結の恐れ	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	55.0	19.0
急結の恐れ	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	60.0	20.1
急結の恐れ	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	65.0	21.3
急結の恐れ	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	70.0	22.4
急結の恐れ	255.0	10.0	50.0	0.0	18.0	80.0	24.7



写真-2 骨材ホッパー 給熱状況

(2) コンクリートのシート囲いによる保温効果の推定と実施効果。

今回、施工する現場吹付け法砕工の断面寸法が200×200mmと小規模であるため、外気温の影響を受けやすいと予測されます。シート囲いによる保温養生効果の検討には打設温度設定とコンクリート自体の水和発熱の温度、および養生期間の温度経過を推定して保温効果の検討をする事にしました。

コンクリートの水和発熱量の推定には(社)日本コンクリート工学協会の「マスコンクリートの温度応力解析用パソコンプログラム JCMAC 2」を使用しました。マスコンクリートの発熱量等を計算するソフトで、断面寸法を法枠高さ200mmと梁間隔の1,500mmで検討することとします。

使用するコンクリートは早強ポルトランドセメント、単位セメント量369kg/m³、外気温は-10℃とし、打設温度を5℃、10℃として、シート囲い

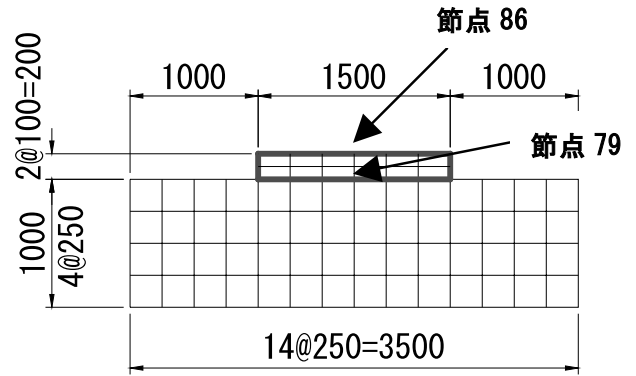


図-1 水和発熱量解析図

養生の効果を検討しました。温度解析位置はコンクリート表面(節点86)と内部(節点79)としました。

使用防凍剤は打設後一昼夜の間、コンクリート温度を0℃以上に保つ必要があります。これを検討条件として解析を行います。

① 打設温度5℃でシート養生を実施した場合は(図-2)、打設後1日で内部温度は3.4℃で0℃を上回るものの、表面温度が-1.3℃になる推定結果となりました。打設温度5℃ではシート囲いで保温してもコンクリートを養生できない結果となります。

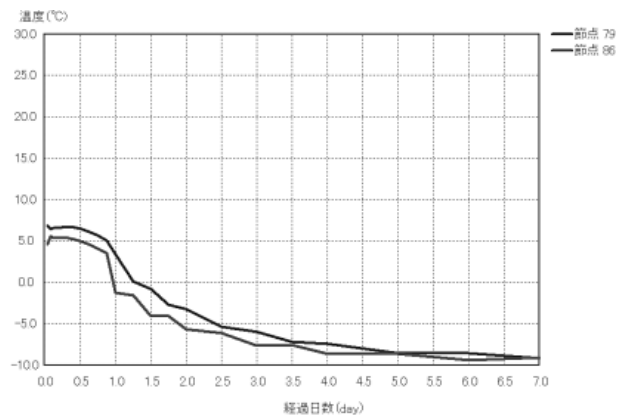


図-2 打設温度5℃(シート養生)

② 打設温度10℃でシート養生をしない場合は(図-3)、打設後1日で内部温度は1.5℃で0℃を上回るものの、表面温度が-1.5℃になる推定結果となりました。この検討でも材令1日目で0℃を確保できない結果となります。

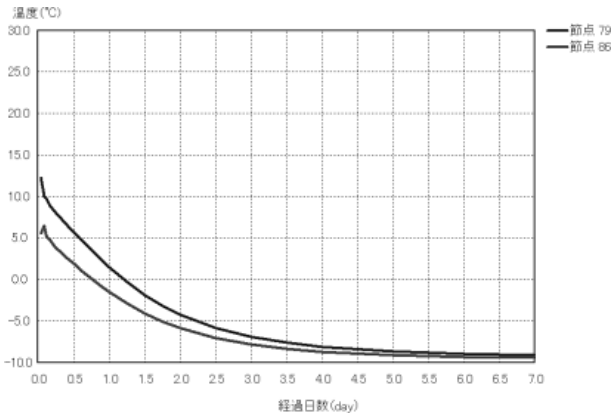


図-3 打設温度10℃（シート養生無し）

③ 打設温度10℃でシート養生を実施した場合は（図-4）、打設後1日で内部温度は5.5℃で0℃を上回り、表面温度も0℃となる推定結果となりました。この検討で材令1日目に0℃を確保できる結果となります。

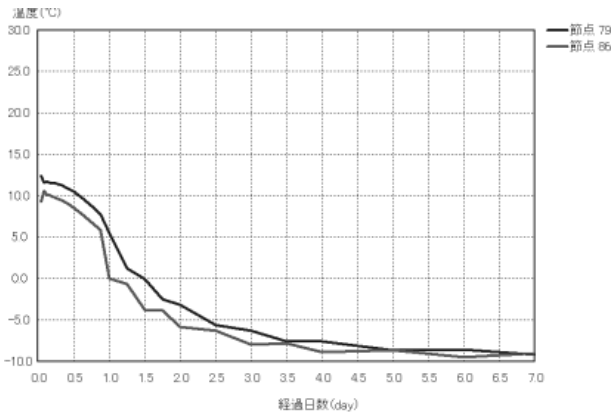


図-4 打設温度10℃（シート養生）

コンクリート養生期間

・打設後シート養生にてコンクリート温度0℃以上を24時間確保。その後外気温にコンクリートを露出。

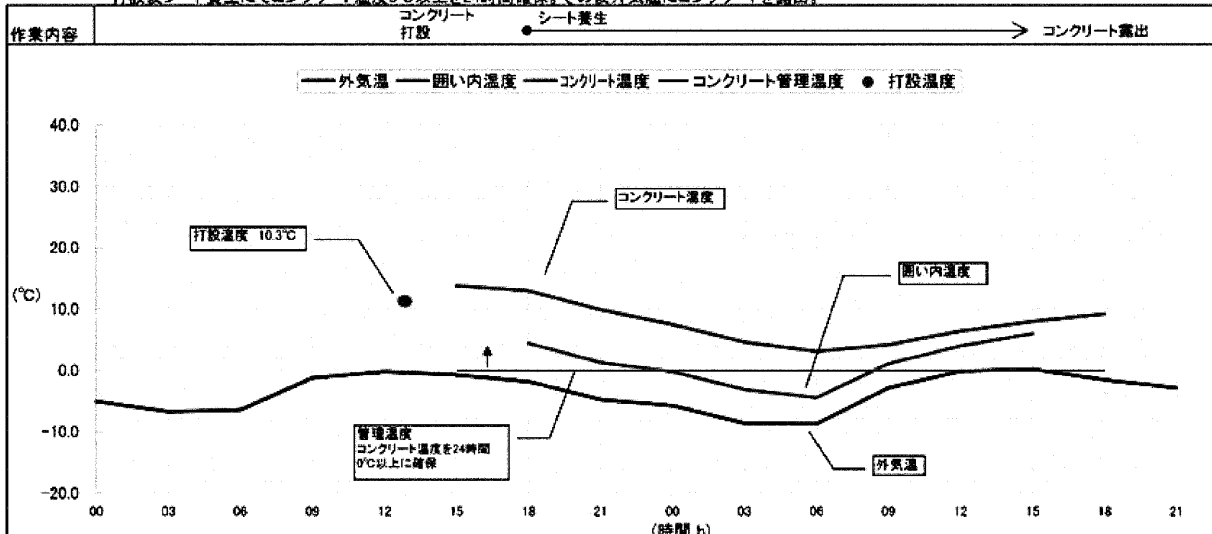


図-5 コンクリート温度測定結果

これらの検討で、外気温-10℃の時、打設温度10℃以上でシート囲い養生によるコンクリートの保温があれば、当現場での配合（早強セメント+防凍剤）が使用できることとなりますが、あくまで検討であり、外気温も一日中-10℃になる日はありません。しかし条件を厳しくすることにより一層高品質の管理ができます。次に実際の施工時のデータ（図-5）と比較してみます。

施工時、コンクリート内部温度は測定せず、表面温度とシート囲い内の温度を測定しました。結果は打設温度10.3℃で最低外気温は打設後の18時間で-8.7℃で下がりましたが、コンクリート表面温度は24時間の間は0℃を下回りませんでした。

推定した打設温度10℃（シート養生あり）と比較しても、温度推移に大きな差はなく計画検討していた打設温度の妥当性が証明できました。

4. おわりに

今回、圧縮強度試験でも、現場養生（材令7日）で32.9N/mm²と高強度が得られ、構造物には問題は有りませんでした。早強セメント配合による早期の強度発現のため、長期間の強度の増進性は得られないと思われます。発熱温度推定段階で更に細かく検討すれば、精度の高い施工に役立つ方法だと考えます。多方面からの検討をこれからも行いたいと思います。