

PCホロー桁のコンクリート冬期施工における耐寒剤の適用について

～更なるコスト縮減効果を目指して～

北海道開発局 札幌開発建設部 岩見沢道路事務所 第2工務課

○池内 祐太

藤野戸 宏樹

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム

長谷川 諒

PCホロー桁の冬期工事において、間詰めコンクリートに給熱養生を行う場合、桁下部まで仮囲いを設けなければならないが、足場の設置費用などを含めるとコストが高くなることから、簡易な養生が可能な施工方法を検討した結果、耐寒剤を用いたコンクリートで打設を行うこととした。本報では、間詰コンクリートの冬期施工における強度管理や養生方法などの施工時の留意点やコスト縮減効果について報告するものである。

キーワード：コスト縮減、耐寒剤、冬期施工、温度解析

1. はじめに

コンクリート標準示方書【施工編】¹⁾および北海道開発局の道路設計要領²⁾では、日平均気温が4℃以下になることが予想される場合、寒中コンクリートとして施工を行うこととされている。寒中コンクリートは仮囲いを設け、保温養生またはジェットヒーター等による給熱養生を行うことが一般的である。一方、同じく道路設計要領では耐寒剤を用いることで簡易な養生とすることができるとも記載されている。

今回の三笠市桂沢ダム2号橋の工事では、寒中コンクリートの適用時期にホロー桁の間詰コンクリートの施工を予定しているが、桁全面に仮設足場を組んで囲う従来の工法ではコストが高くなるため、耐寒剤の使用と上面

からの簡易な養生による施工を試みた。また、年内に地覆工までを行う計画としているため、横締めが行える25 N/mm²への早期の到達も目的とした。

本報告では、桂沢ダム2号橋の間詰め部分のコンクリート施工において、温度解析ソフトを用いた簡易養生の可否および、寒中で耐寒剤を使用した場合の強度管理の手法について紹介する。

2. 品質管理方法

図-1に桂沢ダム2号橋の平面図を、図-2に間詰めコンクリートの施工箇所を示す。赤でハッチングした箇所が今回施工する間詰め部である。図のように、間詰め部の幅は通常の構造物と比較してもかなり薄い（100 mm以

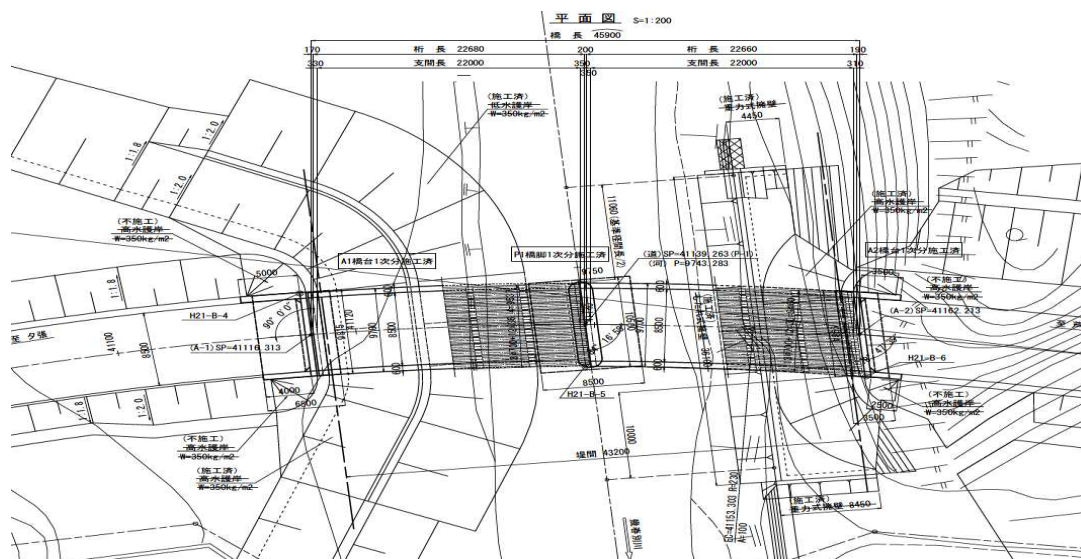


図-1 桂沢ダム2号橋の図面

下)。そのため、耐寒剤を用いる寒中コンクリート施工指針⁹⁾に示されている通り、打ち込み後24時間はコンクリートの最も冷えるところでもコンクリート温度を凍結温度以上に保てるか確認を行う必要があった。

このことについては、過去5年間（2014～2018年の10月～12月）の桂沢ダム周辺の温度データと温度解析ソフトを用いて、間詰コンクリートの温度の推定を行った。解析には公益社団法人日本コンクリート工学会のマスコンクリートソフト作成委員会により開発されたJCMAC3を使用した。

また、強度管理についてはテストピースの圧縮強度試験による方法と、温度センサーを埋め込み積算温度から強度を推定する2種類の方法で行うこととした。コンクリートの配合は現場の配合と同じRC-5をベースに試し練りを行い圧縮強度と積算温度の関係を把握した。

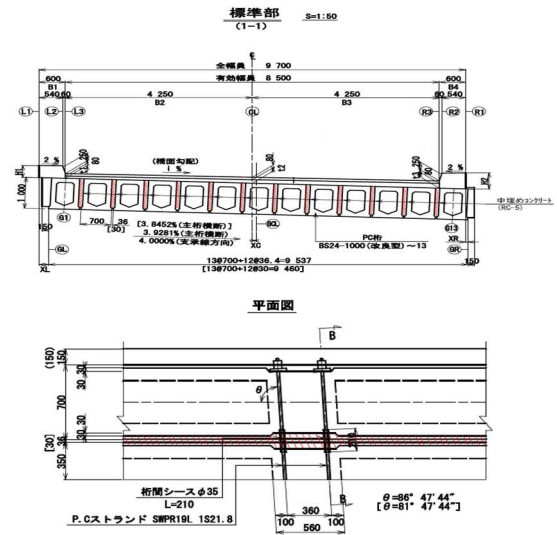


図-2 間詰めコンクリートの施工箇所図

(1) 温度解析による確認

図-3にホロー桁の解析モデルを示す。解析位置は桁の中央を想定し、奥行きは2 mの範囲とした。青色はホロー桁のコンクリートで、赤色はホロー桁中空部分の発泡スチロールであり、黄緑色は間詰コンクリートを示している。温度履歴は図に示す上部、中央、下部の3ヶ所で確認を行った。

温度解析に用いる間詰コンクリートの断熱温度上昇量に必要な断熱温度上昇特性値は表-1に示す値を用いた。

表-2に解析に使用した各材料の温度特性値を示す。温度特性値はひび割れ指針⁴⁾を参考とした。桁上面側は解析の期間中ブルーシートで覆う状態と仮定し、下面側は開放状態としてそれぞれの面の熱伝達率を設定した。

計算ケースは2014年から2018年の5年間で各年の11月11日から20日の10日間の内いずれかの日に打設したと仮定し、合計50ケースで解析を行った。なお、それぞれの解析対象期間は間詰コンクリート打設11日前から打設後14日目までの25日間である。

表-3に解析時の解析モデル境界部の温度条件を示す。温度解析の開始は間詰コンクリート打設11日前からとし、打設2日前から桁の上面側を15℃で暖め、打設後14日間は外気温の条件を与えた。なお、桁下面側は開放状態と仮定しているため解析の全期間で外気温の条件を与えた。

(2) 配合試験による強度発現特性の確認

図-4に配合試験の圧縮強度の結果を示す。養生温度は21℃一定とし、材齢4日目で目標の25 N/mm²を越える強度が得られた。なお、このときの配合は後述する配合(表-4)と同じである。

この結果を基に算出した積算温度と圧縮強度の関係を図-5に示す。なお、積算温度は「寒中コンクリート施工指針・同解説」⁹⁾に記載されている式(1)を用いて算出した。

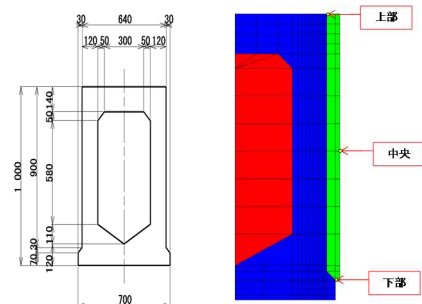


図-3 桁断面の寸法と解析モデル

表-1 間詰コンクリートの断熱温度上昇特性値

単位セメント量 (kg/m ³)	打設温度 (°C)	終局断熱温度上昇量 Q _∞ (°C)	温度上昇速度定数 r _{AT} (-)	発熱開始材齢 t _{0,0} (-)	温度上昇速度定数 s _{AT} (-)
290	14	49.273	0.722	0	1.073

表-2 解析モデルにおける温度特性値

部位	桁コンクリート	桁内部	間詰コンクリート	間詰型枠	桁上面ブルーシート	桁下面無
熱伝導率 W/m ² ・°C	2.7	0.037	2.7	0.3	-	-
比熱 kJ/kg ² ・°C	1.15	1.42	1.15	1.2	-	-
密度 kg/m ³	2300	25	2300	1400	-	-
熱伝達率 W/m ² ・°C	-	-	-	-	8	14

表-3 解析モデル境界部の温度条件

条件	桁	
	上面	下面
打設11日前	外気温	外気温
打設2日前	15℃一定	
打設～14日後	外気温	

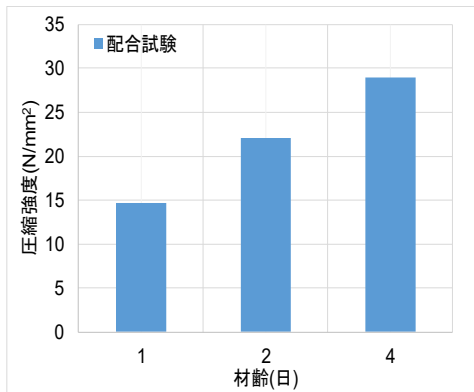


図-4 配合試験時の圧縮強度

$$M = \sum(T + 10) \Delta t \quad \text{式 (1)}$$

ここに M : 積算温度 (°D・D)、 T : Δt のコンクリート温度 (°C)、 Δt : 温度測定間隔 (日) である。

この結果から横締めに必要な圧縮強度 25 N/mm² が得られる積算温度は 85° D・D であることが明らかとなった。そこで、現地での強度管理ではテストピースによる圧縮強度試験に加え、間詰コンクリートの温度計測を行い積算温度を算出し、85° D・D を必要強度に対する到達基準として採用することとした。

3. 工事概要

本工事における間詰めコンクリート工 (60 m³) のコストを概算した結果、従来工法 (桁下面に吊り足場を設け桁全体に仮囲いを設ける工法) よりも耐寒剤工法 (ポリエチレンシートを型枠の内側に設置し、桁上面を暖め、かつ耐寒剤を用いる条件) が経済的となる見通しとなったことから、耐寒剤入りコンクリートによる施工を採用した。

表-4 にコンクリートの配合を示す。コンクリートは RC-5 をベースとし、耐寒剤は標準使用量のセメント 100 kg あたり 4 L とした。セメント種類は普通ポルトランドセメント (N)、水セメント比 (W/C) は 38.6 % である。現着時におけるフレッシュ性状はスランプは 15.5 cm、空気量 (Air) は 4.9 %、コンクリート温度は 11 °C であった。

養生は前養生として前日の夕方から写真-1 に示す様に桁上面にスタンドを置き、その上からブルーシートで覆い、桁上面内部空間をジェットヒーターを用いて暖めた。前養生の間の桁上面の空間温度は約 10 °C であった。打設後は同様の方法で養生を 5 日間行った。

間詰コンクリートの打設には、前養生に用いたブルーシートを一時取り外してから、高さ 90 cm の間詰め部を高さ方向に 2 回に分けて行った。施工当日の最高気温は 2.8 °C、最低気温は -5.8 °C、日平均気温は -2.4 °C であった。

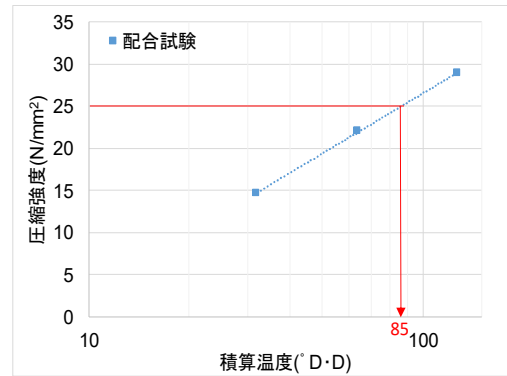


図-5 積算温度と圧縮強度の関係(配合試験)

表-4 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量(kg/m ³)				
			W	C	S	G	混和剤
38.6	40.8	4.5	164	425	689	1019	23.8



写真-1 養生状況

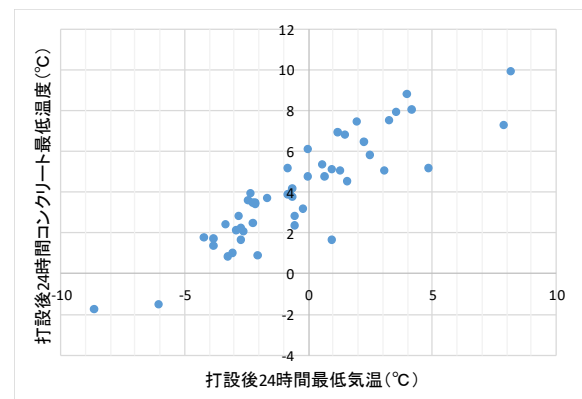
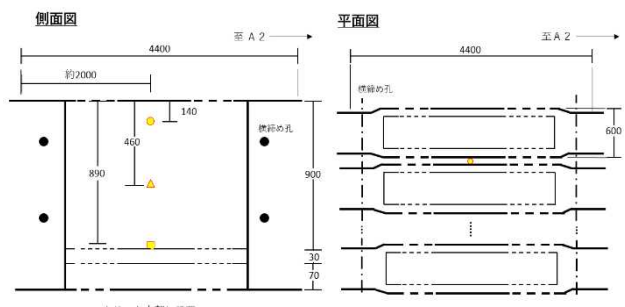


図-6 打設後 24 時間の最低気温と打設後のコンクリート最低温度



○: 上部 △: 中央 □: 下部

図-7 間詰め部の温度計測位置

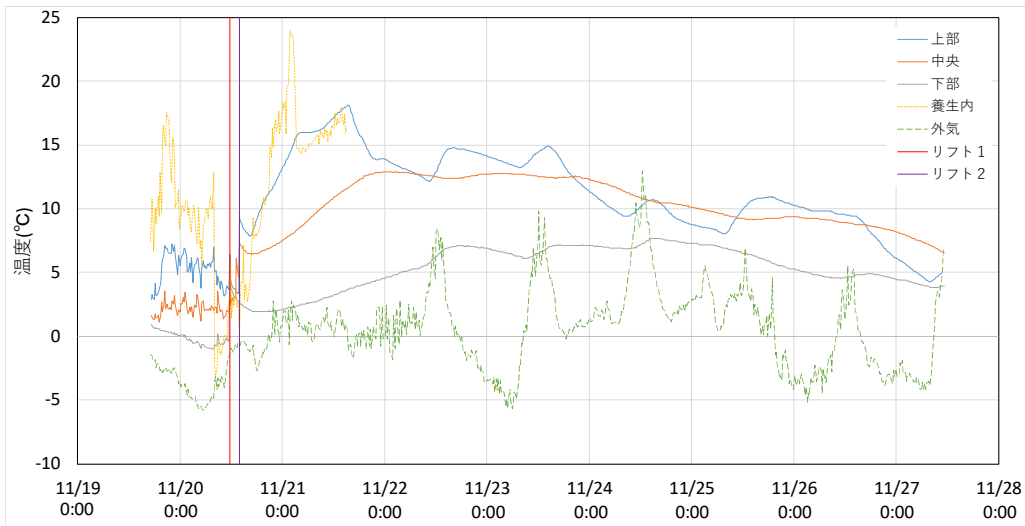


図-8 間詰コンクリートの温度計測結果

4. 品質管理

(1) コンクリート温度の管理

図-6に温度解析で得た打設後24時間の最低気温と打設後24時間のコンクリート最低温度の関係を示す。この結果から打設後24時間の最低気温が-5°Cを下回ると間詰コンクリートの最も冷える位置は氷点下となることが明らかとなった。これは間詰コンクリートの下面側がプラスチックの型枠のみで熱が逃げやすい状態にあることに加え、ホロー桁の体積が間詰コンクリートの約7倍と大きく、外気温の低下によりホロー桁の温度が低下するのに伴い間詰コンクリートが水和熱を奪われるためと考えられる。そのため、間詰めコンクリートの温度低下の抑制対策として、プラスチックの型枠の内側に断熱材のポリエチレンシート (6 mm) を配置するとともに、間詰コンクリートの打設後は上面からホロー桁を暖めることとした。

図-7に間詰め部の温度計測位置を示す。温度計は桂沢ダム側のP-1からA-2の支間の幾春別川の直上に位置する桁のほぼ中間の位置に上部、中央、下部の3箇所に温度計を設置した。加えて、温度計を設置した付近の外気温と上面側の簡易養生圏内温度の測定を行った。

図-8に間詰めコンクリートの温度計測結果を示す。打設後24時間の外気の最高気温は2.8°C、最低気温は-2.7°C、平均気温は0.2°Cであった。赤縦線 (打設リフト1) の時刻に温度計下部までコンクリートが到達し、紫縦線 (打設リフト2) の時刻に桁上部までコンクリートが到達した。

間詰コンクリート中央よりも上部でコンクリート温度が高い状態がしばしば確認できるが、これは打設後にホロー桁の上面からジェットヒーターで給熱を行ったためである。また、上部温度が中央よりも低くなっている時間帯が見受けられるが、これはジェットヒーターが振動などの影響で一時的に停止していたことが原因であると

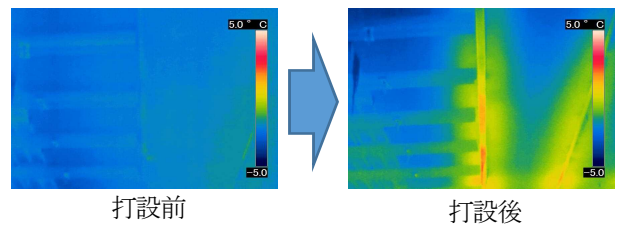


図-9 間詰コンクリート打設前後の桁下面側からのサーモ画像

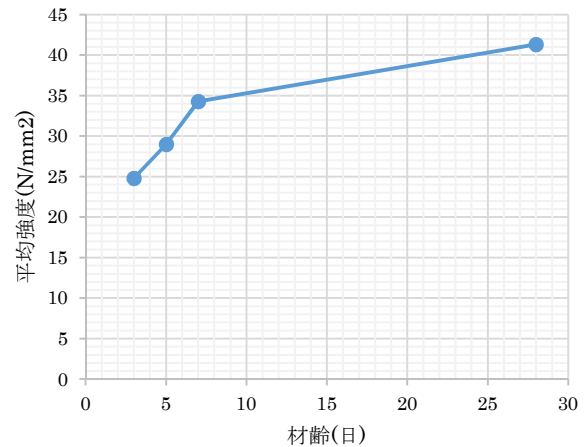


図-10 テストピース圧縮試験結果図

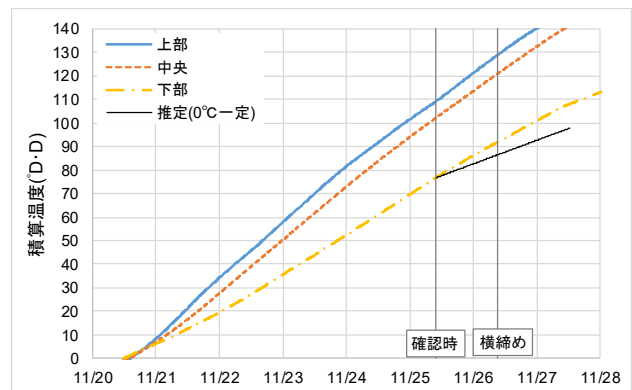


図-11 間詰めコンクリートの積算温度

表-5 従来工法と耐寒剤適用による工法の施工費（直工概算）の比較

従来工法			耐寒剤工法			
工種	数量	金額	工種	数量	金額	
上屋足場	460m ²	1,750,000	簡易仮囲い	460m ²	600,000	
下面吊り足場	460m ²	2,500,000	防寒養生(上面)	5日	550,000	
高所作業車	2日	60,000	生コン耐寒剤+配合変更	63m ³	850,000	
板張り防護	460m ²	1,400,000				
囲いシート張り	1,150m ²	2,300,000				
吊り足場用インサート	370個	350,000				
防寒養生(上面・下面)	10日	2,200,000				
合計(a)		10,560,000	合計(b)		2,000,000	
					コスト比較(b/a)	81%減

表-6 従来工法と耐寒剤適用による工法の工程日数の比較



考えられる。

間詰コンクリート内部のうち最も温度が低い下部の温度は、打設直後は温度が一時的に低下しているが、セメントの水和反応による熱や上面からの給熱により0℃を下回ることなく推移していた。

なお、図-9に示す間詰コンクリート打設前後の桁下面側からのサーモ画像では温度解析で予想された通り、ホロー桁下面の温度が低いため間詰めコンクリート下部の熱がホロー桁に奪われていることが確認された。

(2) 圧縮強度の確保

図-10に現場環境下に置いたテストピースの圧縮強度試験結果を示す。横締め前日の材齢5日目には目標の25 N/mm²を越える29 N/mm²に到達していた。これは、耐寒剤の強度増進効果に加え、W/Cが38.6%と低いため早期に強度が発現したためである。

図-11に間詰コンクリートの積算温度を示す。コンクリート温度を確認した11月25日10時の時点で上部、中央、下部の積算温度はそれぞれ109° D・D、102° D・D、76° D・Dであった。図-8の温度データに示すとおり間詰コンクリート下部温度は25日の10時の時点で7℃以上であり、たとえ確認時以降のコンクリート温度が0℃になったとしても、翌日には目標の85° D・Dに到達することが確実であった。実際に間詰コンクリート下部で85° D・Dを越えたのは26日の0時頃であり、9時開始の横締め作業時には各部の積算温度は上部で129° D・D、中央で121° D・D、下部で92° D・Dであったため、必要強度に到達していると判断できる。

5. コスト縮減効果

表-5に従来工法と耐寒剤を用いた場合の施工費の概算額を示す。従来の工法で行う場合、1000万円を越える試算となり、その大部分を占めているのが桁全体を囲う作

業費である。

一方、耐寒剤を用いた工法では、合計約200万円となった。作業内容としては簡易仮囲い（ホロー桁上面のスタンド、ブルーシート設置）、防寒養生（被覆空間内のジェットヒーターによる給熱）、耐寒剤使用とそれに伴う配合変更分となっているが、足場設置などの作業を省略できたこと、加えて、防寒養生の規模や期間を大幅に縮小でき、合計約850万円（81%）のコスト縮減が可能となった。表-6に工程日数比較を示す。従来工法に比べ、耐寒剤を用いた工法での施工の方が23日の工程短縮が可能となった。

6. 結論

今回の施工事例で得られた結果を以下に示す。

- 1) コンクリート温度が凍結温度に至らないとの見込みを得る上で、過去の気象データを基に行った温度解析結果が有効な判断要素となった。
- 2) テストピースによる圧縮強度試験と積算温度による強度推定から横締め工に必要な圧縮強度25 N/mm²が6日で得られたことが確認できた。
- 3) 今回の間詰コンクリートの施工において、耐寒剤を用いた工法で従来の工法よりも81%のコスト縮減効果を得られた。さらに、工程短縮が可能となり生産性向上となる結果が得られた。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書【施工編】，2017
- 2) 北海道開発局：道路設計要領 第3集橋梁通年施工推進協議会：耐寒促進剤を用いる寒中コンクリート施工指針（平成11年改訂）
- 3) 通年施工推進協議会：耐寒剤を用いる寒中コンクリート施工指針，1999.4
- 4) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針2016,2016.11
- 5) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説，2010.1