液体窒素を用いたプレクーリングの適用実績

国土交通省　九州地方整備局　稲見　哲男　櫻井　祥貴
鹿島建設(株)　正会員　○小林　聖　小倉　精太　松本　信也　寺本　淳一　奈須野　恭伸

１．はじめに

大分川ダムの洪水吐は全長 348m、コンクリート量 113,000m^3 のコンクリート構造物である。洪水吐の中でもマスコンクリートである流入部は貯水池と接し、湛水に伴う堰としての遮水機能が求められている。そこで、温度応力によって発生が懸念される遮水性を損なう有害な貫通ひび割れを防止するため、液体窒素（LN_2）を用いたプレクーリングを実施した。

２．流入部の概要

流入部の概要を**図―1** に示す。流入部の中で最もマスである SC-C ブロックについて、断面図を**図―2** に、SC ブロックの諸元を**表―1** に示す。コンクリートの使用材料を**表―2** に、配合を**表―3** に示す。

３．LN_2 の投入方法

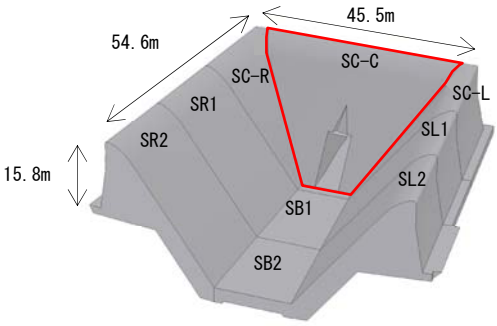
事前にコンクリートの打込み温度をパラメータとして温度応力解析を実施したが、その結果は、コンクリートの打込み温度を 10～12℃とすることで最小ひび割れ指数 1.75 以上を確保できるものであった [1)]。コンクリートの打込み温度の月別平均値を**表―4** に示すが、夏期では必要とされる温度低下量が約 19℃と大きい結果となった。そのため、従来のプレクーリングでは対応が不可能であったことから、短時間で大幅なプレクーリングが可能な LN_2 を用いた手法を採用した。LN_2 投入設備概要を**図―3** に示す。ここでは LN_2 を直接練混ぜミキサに投入する方式を採用した。LN_2 の投入は、吐出圧力を一定とし、投入時間により投入量を調整して所定のコンクリート温度を確保した。

４．原単位

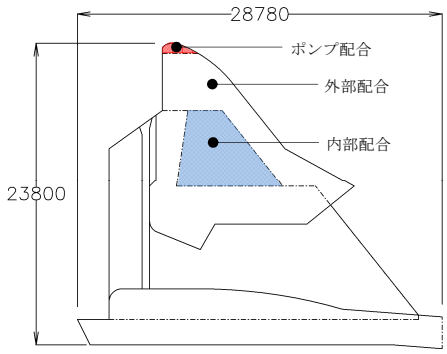
外気温と原単位の関係を**図―4** に示す。原単位とは、コンクリート 1m^3 を 1℃低下させるために必要な LN_2 の量である。図に示すように、外気温の上昇に伴い原単位が上昇する傾向が確認された。

５．LN_2 が圧縮強度に及ぼす影響

事前解析の結果、温度低下量が大きく、LN_2 を大量に使用することから、LN_2 が圧縮強度に与える影響が



図―1　流入部の概要



図―2　SC-C ブロックの断面図

表―1　SC-C ブロックの諸元

項目	SC-C
コンクリート打設量(m^3)	5,933
リフト厚さ(m)	0.75
打設期間	H28.6.10～H29.1.23

表―2　使用材料

項目	記号	摘要
セメント	MF30	中庸熱ﾌﾗｲｱｯｼｭｾﾒﾝﾄ、密度 2.90g/cm^3
粗骨材	G1	Gmax80mm、密度 2.75g/cm^3
	G2	Gmax40mm、密度 2.72g/cm^3
	G3	Gmax20mm、密度 2.72g/cm^3
細骨材	S1	砕砂、密度 2.67g/cm^3
	S2	海砂、密度 2.65g/cm^3
AE 減水剤	Ad	ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸塩とｵｷｼｶﾙﾎﾞﾝ酸塩

表―3　配合

配合	W/C (%)	s/a (%)	SL (cm)	Air (%)	単位量(kg/m^3)							
					W	MF30	砕砂	海砂	8040	4020	2005	Ad
外部	52.4	29.0	4.0	3.5	110	210	363	242	531	455	531	2.10
内部	70.6	32.0	4.0	3.5	113	160	407	272	518	444	518	1.60
ポンプ	50.0	44.0	10.0	4.5	153	306	490	326	-	530	530	3.06

キーワード　マスコンクリート，液体窒素，LN_2，プレクーリング，温度応力，ひび割れ
連絡先　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島建設(株)技術研究所　ＴＥＬ042-489-6756

表―4　コンクリート打込み温度の月別平均値

	想定（無対策）（℃）	解析値（℃）	LN_2による温度低下量（℃）
H28.2	9.2	-	-
H28.3	12.9	12.0	0.9
H28.4	18.9	12.0	6.9
H28.5	22.8	12.0	10.8
H28.6	25.2	12.0	13.2
H28.7	30.1	12.0	18.1
H28.8	30.9	12.0	18.9
H28.9	27.4	12.0	15.4
H28.10	23.2	12.0	11.2
H28.11	16.3	12.0	4.3
H28.12	12.0	12.0	0.0
H29.1	10.0	-	-

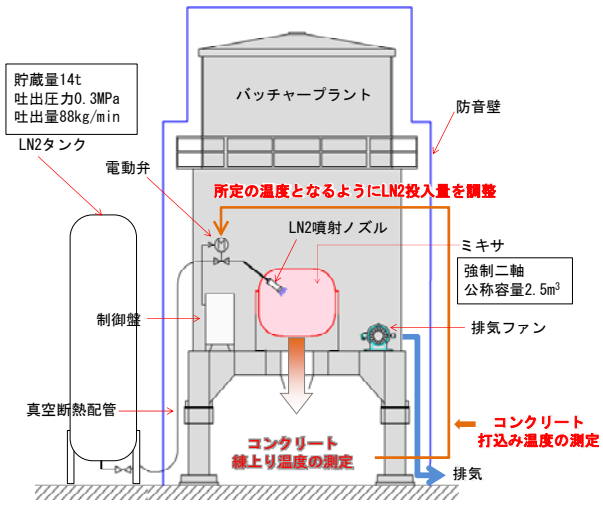
懸念された。温度低下量と外部配合の圧縮強度（材齢91日）の関係を**図―5**に示す。温度低下量に関わらず、圧縮強度はほぼ一定であることが確認された。また、LN_2を使用していない場合の圧縮強度の平均値は33.5N/mm^{2}で標準偏差は2.4N/mm^{2}であった。一方、LN_2を使用した場合の平均値は33.1N/mm^{2}で標準偏差は1.4N/mm^{2}であり、LN_2の使用の有無にかかわらず圧縮強度のばらつきは小さく、圧縮強度の平均値はほぼ同等であった。以上より、LN_2を大量に使用した場合でも、圧縮強度に悪影響を及ぼさないことが分かった。

６．温度低下量と LN_2 投入時間の関係

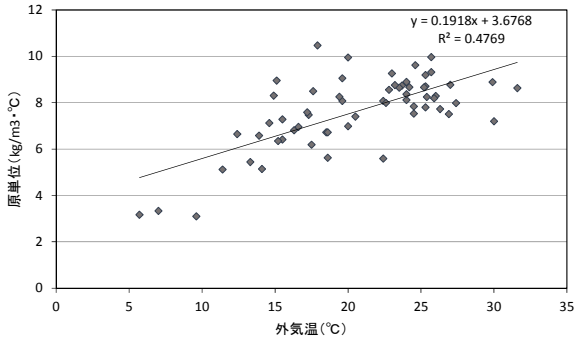
温度低下量とLN_2投入時間の関係について、事前に検討を行った。検討結果を**図―6**に示す。なお、LN_2投入圧は一定としているため、温度低下量はLN_2投入時間のみにより決定される。LN_2投入時間を100秒（温度低下量10℃）と設定した場合、製造能力は30m^3/h、250秒（温度低下量17℃）と設定した場合、製造能力は20m^3/hとなり、温度低下量が大きくなるに伴い製造能力が低下する結果となった。実際にSC-Cブロックの打設速度は15～37m^3/hであり、特に夏期においては、打設速度が大幅に低下した。今後はLN_2投入圧の増大などにより、短時間で大量にLN_2を投入できる方法を検討する必要がある。

７．おわりに

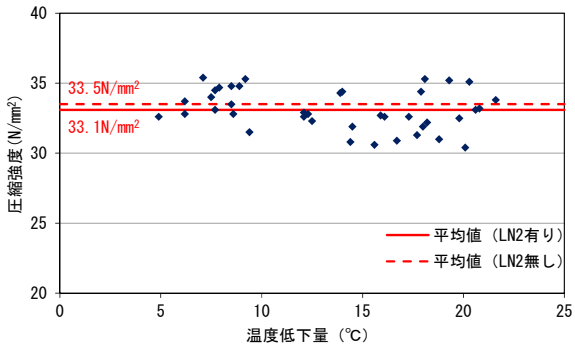
LN_2を用いたプレクーリングにより、コンクリートに有害な貫通ひび割れは発生していない。夏期においては約20℃の温度低下を達成しており、他事例においてもここまで大幅に温度低下をした実績は少ない。当現場での実績を、今後のプレクーリング技術の向上に活かしたいと考える。



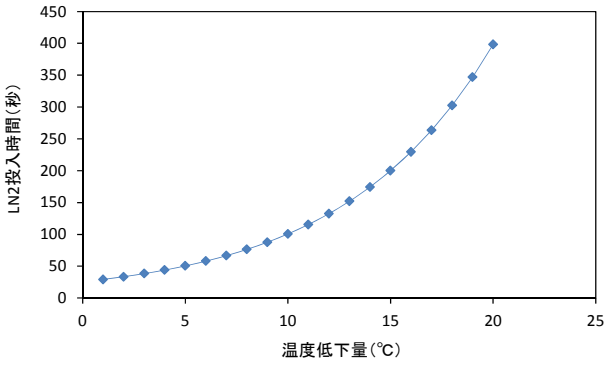
図―3　LN2 投入設備



図―4　外気温と原単位の関係



図―5　温度低下量と圧縮強度の関係



図―6　温度低下量と LN2 投入時間の関係