

LPG岩盤貯槽における配管竪坑プラグコンクリートの品質管理と施工

川西 貴士 片野 啓三郎 竹田 宣典
 市川 雅之 宮崎 裕光
(名古屋支店営業部) (本社土木本部)

Quality Control and Construction of Concrete Plug on LPG Storage Tank

Takashi Kawanishi Keisaburo Katano Nobufumi Takeda
 Masayuki Ichikawa Hiromitsu Miyazaki

Abstract

Introduction of a piping shaft plug made of concrete into the liquefied petroleum gas (LPG) storage tank which is one of the world's largest class was planned. This concrete piping shaft plug was set to be air-tight for preventing the leakage of LPG. The piping shaft plug is made of mass concrete with a large component size, however, our concern was the generation of a crack owing to thermal stress. Then, using low-heat and low-shrinkage type concrete, as well as pre-cooling and pipe-cooling, we were able to reduce the concreting temperature and maximum temperature of concrete in curing. Moreover, we were also concerned about generating cracks in the piping shaft plug through subsidence of form and support, since the plug was built at 30m upper from the bottom of the storage tank. Then, the rate of placing was reduced and the subsidence of form and support was controlled. As a result, our developed plug was confirmed to be of high quality without any initial defects such as cracks.

概要

世界最大規模の液化石油ガス（LPG）の岩盤貯槽において、コンクリート製の配管竪坑プラグの設置が計画された。この配管竪坑プラグには、LPGの漏気に対する高い気密性が求められた。配管竪坑プラグは、部材寸法の大きいマスコンクリートであり、温度応力によるひび割れの発生が懸念された。そこで、低発熱・低収縮型のコンクリートの使用と、プレクーリングやパイプクーリングの実施により、コンクリートの打込み温度および最高温度の低減を図った。また、配管竪坑プラグは、貯槽の底盤から30m上部に構築されるため、型枠および支保工の沈下量の増大により、拡幅部の断面変化部にひび割れの発生が懸念された。そこで、打込み速度を低減し、型枠支保工の沈下を抑制する対策を講じた。その結果、ひび割れなどの初期欠陥のない品質の高いプラグを構築できた。

1. はじめに

波方国家石油ガス備蓄基地では、液化石油ガス（LPG）を貯蔵するためのLPG岩盤貯槽が構築されている（Fig.1）。貯槽の掘削断面積は650m²（幅26m×高さ30m）で、空洞延長は430mであり、LPGを15万t貯蔵できる世界でも最大規模の貯槽である。

この貯槽には、工事のための作業トンネルやLPGの流出入のための金属管を配した配管竪坑との連結部に、栓の役目を果たすコンクリート製のプラグを設置することが計画された。このプラグのコンクリートを施工するにあたり、LPGの漏気を防止するための気密性が求められた。本稿では、これらのプラグの中でもLPGを流出入するための金属管を配した配管竪坑プラグ（以下、プラグと略す）について、コンクリートの品質確保技術について報告する。

プラグは、600m³程度の部材寸法の大きいマスコンクリートであり、温度応力によるひび割れ（以下、温度ひび割れと略す）の発生が懸念された。また、プラグは、

貯槽の底盤から30m上部の貯槽上部に構築されるため、型枠および支保工の沈下によるひび割れ（以下、型枠沈下ひび割れと略す）も懸念された。本稿では、プラグのコンクリートの品質を確保するために実施した対策技術とその効果について報告する。

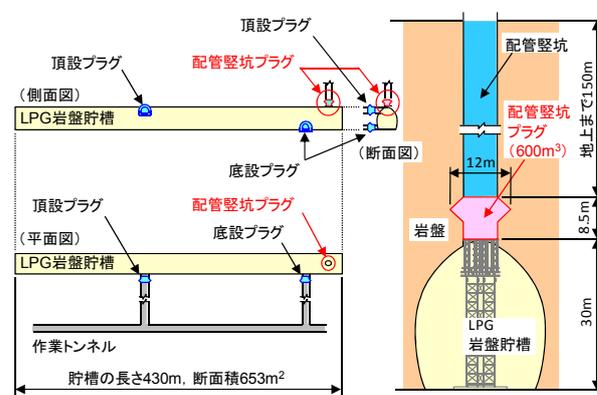


Fig. 1 LPG岩盤貯槽におけるプラグの概要と位置
 Outline and Location of Plug on LPG Storage Tank

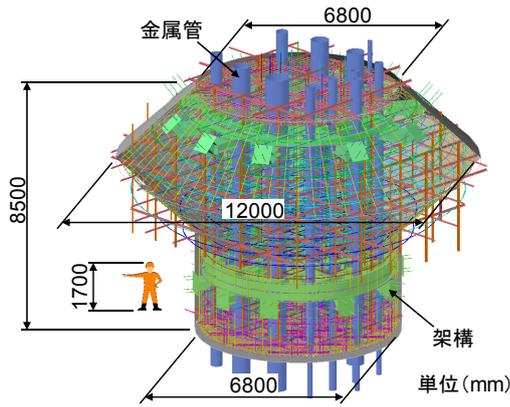


Fig. 2 プラグ内部の埋設物の配置図
Outline of Buried Object

2. コンクリートの配合選定

配管堅坑プラグの中の埋設物の配置図をFig. 2に示す。プラグ内部には、金属管、鉄筋、架構、クーリングパイプ、輸送管、排水管などが高密度に配置される。コンクリートを確実に充てんするために、自己充填性のレベルはランク1の高流動コンクリートを使用した。プラグのコンクリートに求められる要求品質をTable 1に示す。

プラグでは、気密性を確保することが重要であった。温度ひび割れの防止やコンクリートと岩盤との間にブリーディングや収縮等による隙間を生じさせないため、低発熱かつ低収縮なコンクリートを採用した。コンクリートに使用した材料をTable 2に示す。コンクリートは、レディーミクストコンクリートとし、配合は21-70-20Lとした。配合の詳細をTable 3に示す。

温度ひび割れの防止や収縮を低減するため、セメントには低熱ポルトランドセメントを使用し、膨張材を併用した。初期の強度発現が小さい低熱ポルトランドセメントを使用するにあたり、膨張材の使用量は標準添加量より低減し、 15kg/m^3 とした。また、粉体量を補うために石灰石微粉末を使用し、材料分離抵抗性を高めるために、分離低減剤を併用した高流動コンクリートを使用した。

3. 温度ひび割れの防止対策

プラグはマスコンクリートであり、周囲の岩盤からの拘束を受けるために、温度ひび割れの発生が懸念された。そこで、事前に温度応力解析を実施し、温度ひび割れの防止対策について検討した。温度ひび割れの防止対策の検討フローをFig. 3に示す。2章に示すとおり、低熱ポルトランドセメントや膨張材を使用した。材料面の対策だけでは、温度ひび割れを防止するのは困難であった。そこで、コンクリートの温度上昇量および最高温度を低減するために、パイプクーリングの検討を行うとともに、コンクリートの打込み温度の上限値を設定した。また、コンクリートの打込みは、連続で行うこととした。

Table 1 コンクリートの目標品質
Target Quality of Concrete

項目	目標品質
自己充填性のレベル	ランク1(U型容器, 障害R1)
スランプフロー	$70 \pm 5\text{cm}$
空気量	$4.5 \pm 1.5\%$
塩化物イオン濃度	0.3kg/m^3 以下
圧縮強度	設計基準強度 21N/mm^2 以上(材齢28日)

Table 2 使用材料
Use Material of Concrete

種類	記号	材料名	品質・主成分
水	W	地下水	JIS A 5308 附属書C適合品
セメント	C	低熱ポルトランドセメント	密度 3.22g/cm^3
混和材	EX	膨張材(石灰系)	密度 3.16g/cm^3
	LP	石灰石微粉末	密度 2.71g/cm^3
細骨材	S1	高炉スラグ砕砂	表乾密度 2.78g/cm^3 , 粗粒率2.50
	S2	砕砂	表乾密度 2.67g/cm^3 , 粗粒率2.55
	S3	山砂	表乾密度 2.53g/cm^3 , 粗粒率2.60
粗骨材	G1	砕石1305	表乾密度 2.73g/cm^3 , 粗粒率6.20
	G2	砕石2013	表乾密度 2.73g/cm^3 , 粗粒率7.00
混和剤	VM	分離低減剤	多糖類ポリマー系
	SP	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物

Table 3 コンクリートの配合
Mix Proportion of Concrete

水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)								分離低減剤 (kg/m^3)	高性能AE減水剤 (kg/m^3)	
		水	セメント	膨張材	石灰石微粉末	細骨材			粗骨材			
W/B	s/a	W	C	EX	LP	S1	S2	S3	G1	G2	VM	SP
55.0	51.5	175	303	15	282	165	436	188	612	153	0.3	6.00

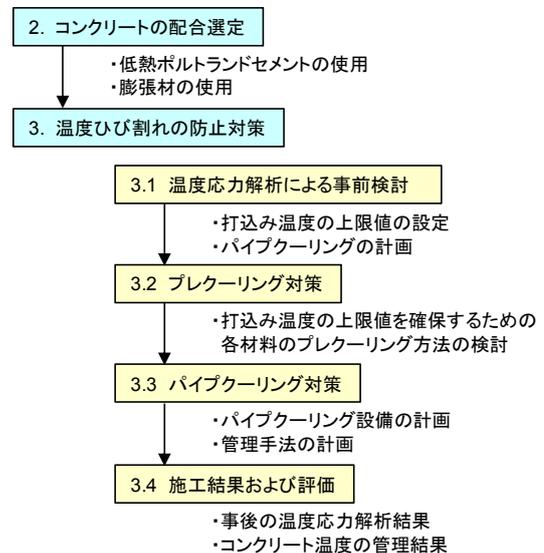


Fig. 3 温度ひび割れの防止対策の検討フロー
Examination Flow of countermeasures of Thermal Cracking

3.1 温度応力解析による事前検討

ひび割れ抵抗性は、ひび割れ指数により評価した。3次元FEMを用いた非定常熱伝導解析および応力解析を行い、最小ひび割れ指数を算出した。温度ひび割れを防止するため、目標とする最小ひび割れ指数は1.75と設定した¹⁾。

Table 4 温度応力解析条件
Condition of Thermal Stress Analysis

項目	単位	条件
熱伝導率	W/m°C	2.6
比熱	kJ/kg°C	1.26
単位容積質量	kg/m ³	2326
断熱温度上昇量	Q(t)	°C $Q(t) = Q_{\infty}(1 - \exp(-r \times t^s))$ $Q_{\infty} = 40.87, r = 0.777, s = 0.717$
圧縮強度	$f_c(t)$	N/mm ² $f_c(1) = 8.5, f_c(3) = 15.5$ $f_c(7) = 22.8, f_c(28) = 48.7$ $f_c(t) = 68.7 (t \geq 91)$
引張強度	$f_t(t)$	N/mm ² $f_t(t) = 0.1783 \times f_c(t)^{0.7784}$
有効ヤング係数	$E_e(t)$	kN/mm ² $E_e(t) = (1/(1+\phi)) \times (0.4914 \times 10^4 \times f_c(t)^{0.5079})$ ϕ : クリーブ係数 (温度上昇時: 0.28, 温度下降時: 0.77)
ポアソン比	$\mu(t)$	- $(0 \leq t \leq 1) \mu(t) = 0.1400t$ $(1 \leq t \leq 3) \mu(t) = 0.0100t + 0.1300$ $(3 \leq t \leq 7) \mu(t) = 0.0075t + 0.1375$ $(7 < t) \mu(t) = 0.0019t + 0.1767$
自己膨張ひずみ	$\varepsilon(t)$	$\times 10^{-6}$ $\varepsilon(t) = 245 \times (1 - \exp(-2.35(t - 0.45)^{1.35}))$
熱膨張係数	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	7.0

※t: 有効材齢 (日), $t = \sum t_i \times \exp(13.65 - (4000/(273 + T(\Delta t_i/T_0))))$
 Δt_i : 温度がT°Cである期間(日), T_0 : 1°C

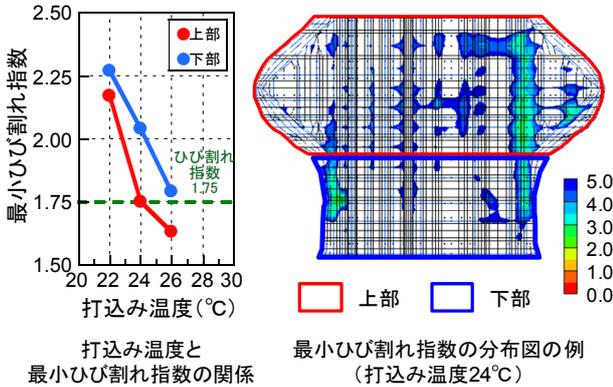


Fig. 4 温度応力解析の結果
Result of Thermal Stress Analysis

温度応力解析に用いた条件をTable 4に示す。解析に用いた条件は、実験により確認した値を使用した。また、パイプクーリングにおけるパイプ壁面とコンクリート面との熱伝達率は、式 (1) により算出した²⁾。

$$h = 4.75 \times u + 43.0 \quad (1)$$

ここに、 h : 熱伝達率 (kcal/m²h°C)

u : 流速 (cm/s)

解析の結果から、最小ひび割れ指数1.75を確保するには、打込み温度を24°C以下に抑えることと、パイプクーリングによりコンクリートの温度上昇量および最高温度の低減が必要であることが判った。温度応力解析の結果をFig. 4に示す。次節以降に、打込み温度を低減するために実施したプレクーリング対策と、コンクリート温度を低減するためのパイプクーリング対策について報告する。

3.2 プレクーリング対策³⁾

3.2.1 コンクリートの練上り温度の検討 プラグの打込み時期は、5月下旬であり、外気温が急激に増加する季節であった。そこで、各材料の比熱、単位量および練

混ぜ時の温度から熱量計算を行い、練上りの温度を推測

Table 5 コンクリート温度の予測
Calculation of Concrete Temperature

材料	比熱 (kJ/kg°C)	単位質量 (kg/m ³)	熱容量 (kJ/m ³ °C)	対策なし		練混ぜ水および骨材を冷却	
				温度 (°C)	含有熱量 (kJ/m ³)	温度 (°C)	含有熱量 (kJ/m ³)
練混ぜ水	4.19	139.6	584.9	20.0 ^{※2}	11698.5	7.0	4094.5
セメント	0.83	303.0	251.5	21.0 ^{※1}	5281.3	21.0 ^{※1}	5281.3
膨張材	0.83	15.0	12.5	21.0 ^{※1}	261.5	21.0 ^{※1}	261.5
石灰石微粉末	0.80	282.0	225.6	21.0 ^{※1}	4737.6	21.0 ^{※1}	4737.6
細骨材	0.80	789.0	631.2	21.0 ^{※1}	13288.8	18.0	11361.6
表面水 (4.0%)	4.19	31.6	132.4	21.0 ^{※1}	2780.5	18.0	2383.3
粗骨材	0.80	765.0	612.0	21.0 ^{※1}	12902.4	18.0	11016.0
表面水 (0.5%)	4.19	3.8	15.9	21.0 ^{※1}	334.4	18.0	286.6
メカニカルヒート ^{※3}	-	-	-	-	6665.6	-	6665.6
合計		2329.0	2466.0		57950.5		46087.9
出荷時のコンクリート温度の予測値 (含有熱量/熱容量)					23.5		18.7
出荷後のコンクリート温度の推定上昇量				外気温の変動		+1.5	+1.5
				場外および場内運搬		+3.5	+3.5
打込み時のコンクリート温度					28.5		23.7
冷却効果					-		-4.8

※1 打込み日の日平均気温
 ※2 地下水の温度
 ※3 練混ぜ時のミキサの発熱分を理論値で算出した値 (+2.7°C分)

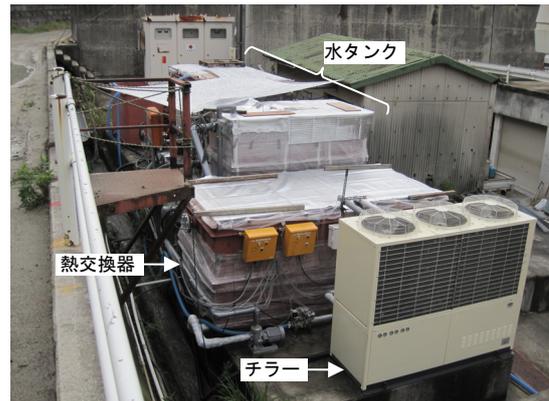


Photo 1 練混ぜ水の冷却設備
Cooling Equipment of Mixing Water

した。熱量計算の結果をTable 5に示す。

これまでの実績から、1日の外気温の変動を1.5°Cとし、場外運搬および場内運搬に伴う温度の上昇量を3.5°Cとし、練上り温度に対して5°C見込むこととした。したがって、打込み温度を24°C以下とするためには、生コン工場の出荷時のコンクリート温度を19°C以下にする必要があった。しかし、生コン工場の過去6年間の実績から、5月下旬における出荷時のコンクリート温度は、最大で23.5°Cであり、プレクーリング対策が必要であると判断し、主に練混ぜ水と骨材をできるだけ冷却することとし、その他の材料についても考えうる対策を施した。

3.2.2 プレクーリング

(1) 練混ぜ水 Table 5に示す熱量計算の結果から、練混ぜ水の温度は7°C以下に冷却することを目標とした。Photo 1に示すように、生コン工場にチラーと熱交換器を設置して、練混ぜ水を冷却した。冷却した練混ぜ水をバ

ッチャープラントへ移動する際に水温が2℃上昇することを想定して冷却直後の温度は5℃を目標とした。

(2) セメント セメントは、事前に製造し、中継基地にて保管した。セメントの温度が常温まで低下した後、夜間に納入した。生コン工場に納入後は、セメントサイロを遮光シートで覆い、サイロを冷却水で散水して、日射や外気温によるセメントの温度の上昇を抑制した。

(3) 骨材 Table 5に示す熱量計算の結果から、骨材の温度は、18℃以下に冷却することを目標とした。比較的温度が安定している貯槽内に、事前に骨材を搬入し、保管中に骨材の温度上昇を抑制した。貯槽内で保管中の骨材の温度の推移をFig. 5に示す。搬入時には、各骨材の温度にばらつきが認められたが、貯槽内にて保管することにより、概ね貯槽内の温度(18℃程度)に収束させた。

打込み日の10日位前から生コン工場に搬入し、骨材を貯蔵する建屋を密封し、冷気を循環させることにより冷却した。建屋の外部にクーリングタワーを設置し、建屋の上部から送気した。冷却設備の設置状況をPhoto 2に示す。最終的には骨材の温度を15℃程度まで冷却した。

(4) その他 バッチャープラントの建屋の窓は断熱材で被覆し、エアコンにより中に冷気を循環させ、貯蔵瓶内の材料や練混ぜ中のコンクリートの温度の上昇を抑制した。

コンクリートの練混ぜ後は、現場までの場外運搬や打込み場所への場内運搬によって温度が上昇する。場外運搬による温度の上昇を抑制するため、トラックアジテータのドラムには断熱性の高いカバーにて被覆し、生コン工場にて散水して出荷した。

現場での荷卸し後は、圧送による温度の上昇を抑制するため、輸送管の近傍に散水用の配管とノズルを配置し、輸送艦表面に散水を行った。散水の状況をPhoto 3に示す。

3.3 パイプクーリング対策⁴⁾

3.3.1 パイプの配置およびクーリングの設備 パイプクーリングにおけるパイプの配置図をFig. 6に示す。また、パイプクーリングの設備をPhoto 4に示す。パイプの配置間隔は、コンクリートの打込み作業に支障がなく、人の移動が可能な範囲で設定し、最小で700mmとした。パイプの直径は1インチとし、パイプの長さは、熱交換による水温の上昇を考慮して200m程度を目安とした。パイプは、7系統に分割し、系統ごとにてクーリング水を圧送し、熱交換により温められたクーリング水はチラーを用いて冷却・循環させた。

3.3.2 コンクリート温度の管理方法 パイプクーリングは、コンクリートの温度上昇量や最高温度を低減すること(1次クーリング)と、岩盤とプラグの隙間の充填を目的としたコンタクトグラウトを行うために、岩盤の温度以下までコンクリート温度を低下させること(2次クーリング)の2つの目的で実施した。コンクリート温度の管理用の温度計の配置図をFig. 6に示す。また、コンクリートの温度管理の概要をFig. 7に示す。

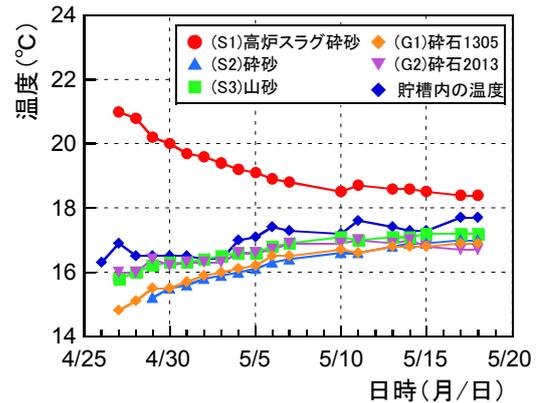


Fig. 5 貯槽内に保管した骨材温度の推移 History of Aggregate Temperature



Photo 2 骨材の冷却設備 Cooling Equipment of Aggregate

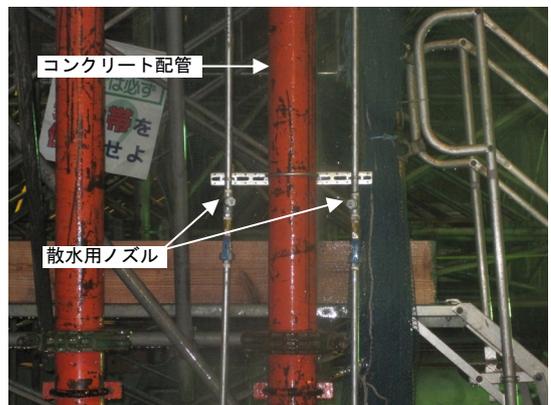


Photo 3 コンクリート配管の散水 Watering of Conveying Pipe

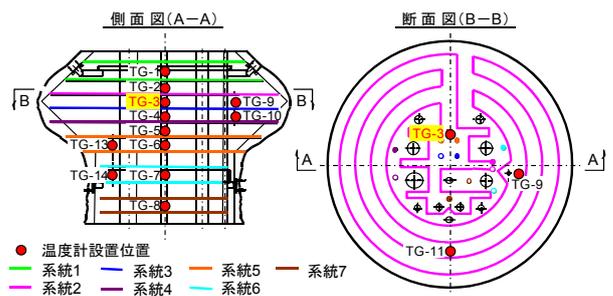


Fig. 6 パイプおよび温度計の配置図 Layout Plan of Cooling Pipe and Thermometer

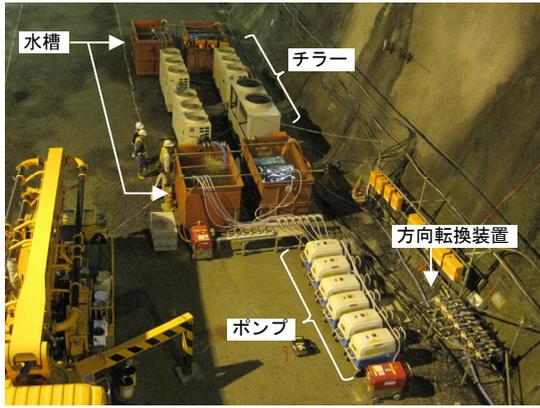


Photo 4 パイプクーリングの設備
Equipment of Pipe-Cooling

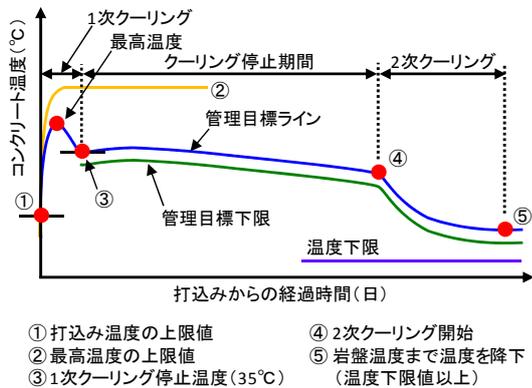


Fig. 7 コンクリートの温度管理の概要
Outline of Temperature Management Method of Concrete

事前の温度応力解析から、打込み温度の上限値を24°Cとし、その温度上昇量から最高温度の上限値を求めた。また、打込みの開始後に、実際の打込み温度を用いて温度応力解析の実施し、コンクリート温度の管理目標ラインを見直し、パイプクーリングの温度管理を行った。

1次クーリングは、パイプの結露を防止するため、各系統のパイプがコンクリートに埋没した後に開始した。通水温度を10°Cとし、1次クーリングは、コンクリート温度が35°Cまで降下した段階で停止した。また、プラグに配置された金属管には、1次クーリング中に空気を循環させ、エアークーリングを併せて実施した。

1次クーリング停止後は、管理目標ラインに沿って除冷した。管理目標ラインを大きく上回った場合は、水温18°Cで再度通水し、管理目標ラインに近付けた。2次クーリングは、コンタクトグラウトの開始時期を考慮して、2週間位前から開始した。通水温度は18°Cとした。

クーリング水の流入方向は、最高温度到達までは3時間ごとに切り替え、最高温度到達後は12時間ごとに切り替えた。通水量はいずれも30L/分とした。

3.4 施工結果および評価

練混ぜ時の各材料の温度をFig. 8に示す。石灰石微粉末の温度は、納入したロットによってばらつきが認められ

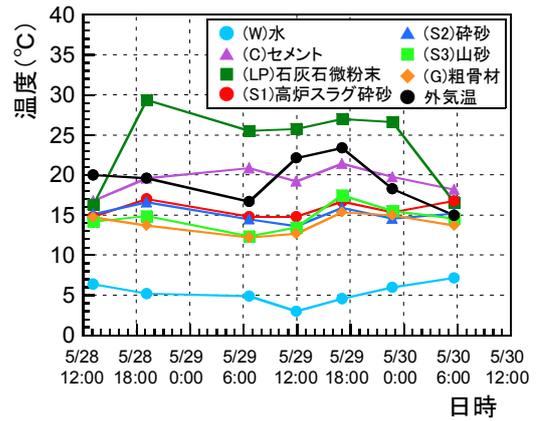


Fig. 8 プレクーリング後の各材料の温度履歴
Temperature History of Each Material after Pre-cooling

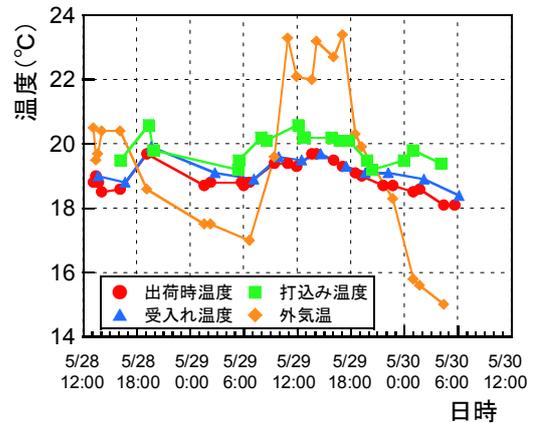


Fig. 9 外気温およびコンクリート温度の測定結果
Measurement of External Temperature and Concrete Temperature

たが、練混ぜ水の温度は5°C程度、骨材の温度は15°C程度であり、概ね Table 5に示す目標とした温度以内で管理することができた。

外気温と打込み中のコンクリート温度の測定結果をFig. 9に示す。生コン工場における出荷時のコンクリート温度は19°C程度であり、目標とした練上り温度に制御することができた。また、プラグ内で測定した打込み温度は21°C以下であり、すべてのコンクリートを上限値の24°C以内で打ち込むことができた。外気温の変動による影響は小さく、現場までの場外運搬とポンプ圧送等の場内運搬に伴う温度の上昇量は1°C~2°Cであった。種々のプレクーリング対策が功を奏した結果である。

いずれの温度計についても、コンクリートの最高温度は30°C~40°Cであり、上限値以内で制御することができた。また、温度解析により設定した管理目標ラインに沿って、コンクリート温度を管理することができた。一例として配管堅坑の拡幅部のTG-3 (Fig. 6参照)におけるコンクリート温度の履歴の例をFig. 10に示す。

実際の打込み温度、発熱特性およびパイプクーリングの結果を反映させて、事後に温度応力解析を実施した結果、最小ひび割れ指数は2.29であり、十分目標値1.75を上回る結果であった。

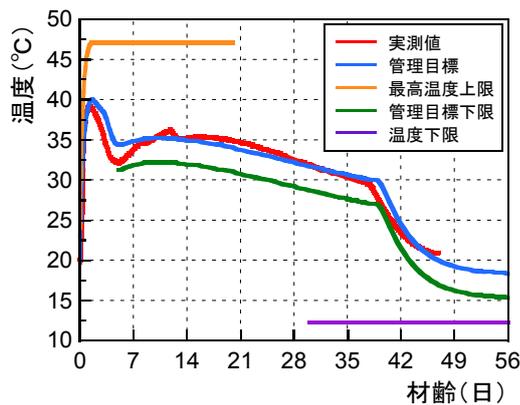


Fig. 10 コンクリート温度の履歴 (温度計TG-3)
History of Concrete Temperature (Thermometer TG-3)

4. 型枠沈下ひび割れの防止対策⁵⁾

4.1 型枠沈下ひび割れの防止対策の概要

プラグは、貯槽底盤からの高さ30m上部に位置している。プラグには、Fig. 11に示すとおり、力学的な安定のために拡幅部が設けられている。型枠支保工の沈下量が增大すると、断面が変化する部位に型枠および沈下ひび割れの発生が懸念された。

そこで、型枠および支保工の沈下を抑制する対策として、コンクリートを連続して打ち込むこととし、プラグ下部のコンクリートの強度発現により、コンクリートの剛性や岩盤とコンクリートとの付着に期待することとした。そのためには、許容打重ね時間間隔の範囲内できるだけ速度を低減して打ち込む必要があった。

打込み計画を立案し、沈下量の予測を行うために、FEM解析を行った。FEM解析を行うにあたり、事前に若材齢の物性を把握するために、圧縮強度、静弾性係数および付着強度の特性を室内試験により確認した。

FEM解析の結果、Fig. 12に示すように、プラグを7リフトに分割し、打込み量と打込み速度をリフトごとに管理することとした。1リフト目のコンクリートは、速い速度で打ち込み(20m³/時間)、2リフト目および3リフト目は、1リフト目のコンクリートの強度発現を待つため、できるだけ打込み速度を低減することとした(5m³/時間)。4リフト目以降は、再び打込み速度を増加させた。事前に貫入抵抗値の測定を行い、試験の結果から許容打重ね時間間隔を3.5時間と設定した。

沈下量の予測値と管理値をTable 7に示す。沈下量の管理値は、発生する引張応力が許容値以内に収まるよう、FEM解析により設定した。また、3リフト目と4リフト目の打込みを開始するための条件として、Table 6のような1リフト目に採取したコンクリートの圧縮強度の管理値を設け、プラグ下部のコンクリートの強度発現の管理を行った。圧縮強度の管理値は、FEM解析により設定した。

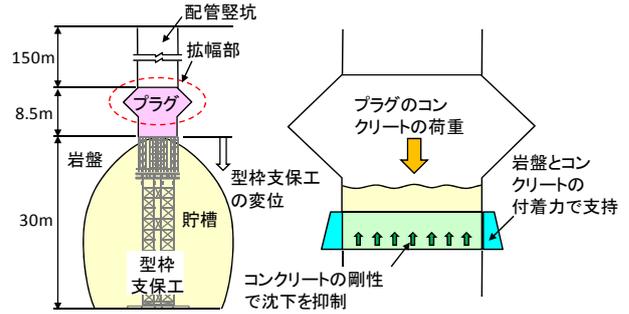


Fig. 11 沈下抑制対策の概要
Outline of Suppression Measure of Subsidence

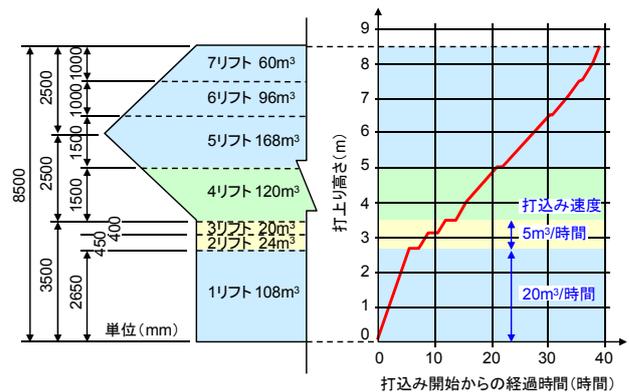


Fig. 12 リフト割の概要および打込みの計画
Plan of Divide of Lift and Placing

Table 6 1リフト目のコンクリートの
圧縮強度の管理値および試験結果
Management Value and Test Result
of Compressive Strength (Concrete of First Lift)

試験時期	試験体の採取時期 (1リフト目)	管理値 (N/mm ²)	試験結果 (N/mm ²)	試験材齢 (時間)
2リフト 打込み 完了時	最初(4m ³ 目)	—	0.29	6.0
	中間(52m ³ 目)	0.74	1.11	10.4
3リフト 打込み 完了時	最初(4m ³ 目)	0.34	0.44	7.3
	中間(52m ³ 目)	1.29	1.83	13.4
	最後(104m ³ 目)	0.87	1.11	10.5
		0.48	0.59	7.8

4.2 施工結果

施工時に測定した貫入抵抗値の結果をFig. 13に示す。また、圧縮強度の試験結果をTable 6およびFig. 14に示す。貫入抵抗値と圧縮強度とともに、事前に確認した室内での試験結果と同程度の強度発現が得られており、顕著な差異は認められなかった。1リフト目に採取したコンクリートの圧縮強度については、2リフトと3リフトの打込みを開始するために設定した管理値よりいずれも上回る結果が得られており、打込みを中断することなく、継続して施工することができた。

型枠および支保工の沈下量の比較をTable 7に示す。また、打込みの実績および型枠および支保工の沈下量をFig. 15に示す。初期の段階は、型枠および支保工の弾性

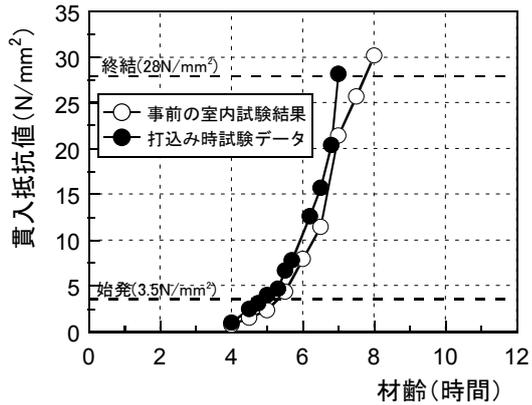


Fig. 13 貫入抵抗値の測定結果
Measurement of Penetration Resistance Value

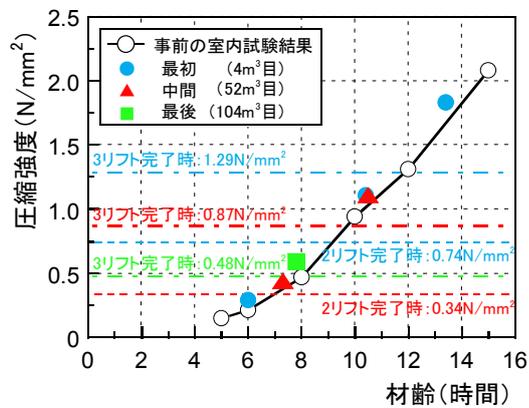


Fig. 14 圧縮強度の試験結果
Test Result of Compressive Strength

変形により沈下量が大きいですが、コンクリートの硬化とともに沈下は収束した。拡幅部にさしかかる4リフトの打込み開始からの沈下量は、0.5mmであり、管理値以内で打込みを行うことができた。最終沈下量の予測値10.3mmに対して、実測による最終沈下量は9.7mmであり、ほぼ計画どおりに施工を行うことができ、沈下を抑制することができた。

5. 施工状況およびコンクリートの品質

プラグの施工は、平成22年5月28日から5月30日にかけて行い、総打込み量605m³のコンクリートを42時間連続で施工した。コンクリートは、生コン工場より現場まで運搬した後、作業トンネル内を通じて地下150mの貯槽内にて運搬し、荷卸しを行った。施工の状況をPhoto 5に示す。

コンクリートポンプ車を1台貯槽内に配置し、30m上部のプラグまで直径5インチの輸送管により上方圧送した。輸送管の径は5インチとし、型枠支保工に輸送管を固定し、配管した。プラグの直径は最大で12m程度であったので、流動距離を考慮して、断面内に4本のサニーホースを配置し、打込みを行った。コンクリートの打込みの状況を

Table 7 型枠および支保工の沈下量の比較
Comparison of Subsidence of Form and Support

リフトNo.	型枠支保工の沈下量(mm)		
	予測値	管理値	実測値
1リフト	8.0*	9.5 (予測値+1.5)	8.7
2, 3リフト	1.8	2.6 (予測値+0.8)	0.5
4~7リフト	0.5	1.3 (予測値+0.8)	0.5
合計	10.3	—	9.7

※型枠支保工のなじみは除く

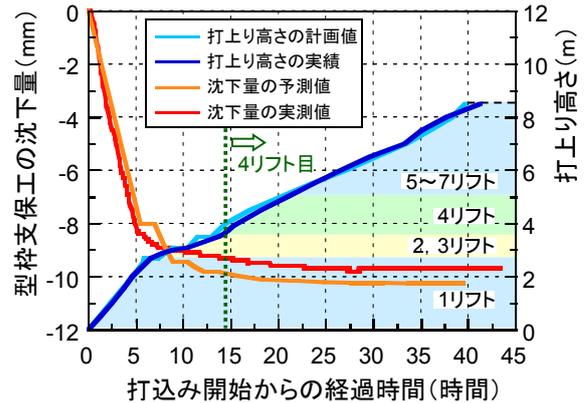


Fig. 15 打込みの実績および型枠支保工の沈下量
Result of Placing and Subsidence of Form and Support



Photo 5 施工の状況
Circumstances of Construction



Photo 6 コンクリートの打込み状況
Circumstances of Placing

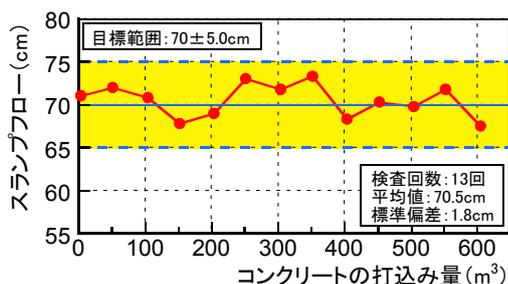


Fig. 16 スランプフロー試験の結果
Result of Test for Slump Flow

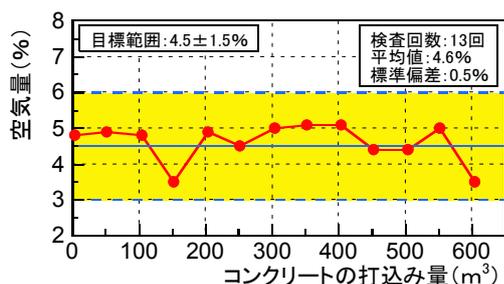


Fig. 17 空気量試験の結果
Result of Test for Air Content

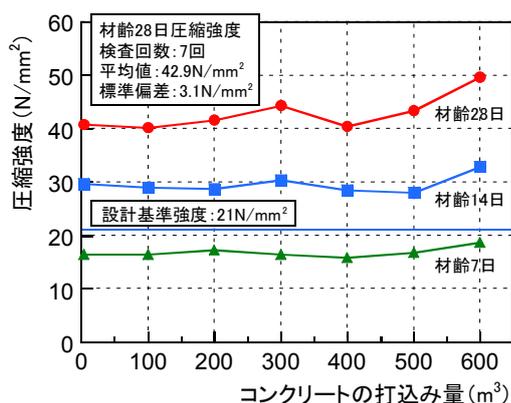


Fig. 18 圧縮強度試験の結果
Result of Test for Compressive Strength

Photo 6に示す。最も流動距離の長い岩盤周辺においてもモルタルと粗骨材とが一体となって流動しており、材料分離も認められなかった。

プラグ内には、岩盤からの湧水があるため、コンクリートの品質の低下や、岩盤とプラグのコンクリートとの付着への影響が懸念されたため、湧水対策を実施した。配管堅坑から流れてくる湧水は、プラグの上部全面にシートを貼り、端部に樋を設置して集水し、配管を通して貯槽内に導水した。また、プラグ内に溜まった湧水は、スポンジや柄杓を用いてバケツに回収し、バキュームユニットを用いて除去した。

スランプフローおよび空気量の品質試験結果をそれぞれFig. 16およびFig. 17に示す。また、圧縮強度試験結果をFig. 18に示す。フレッシュコンクリートの品質は、い

ずれも目標範囲を満足する結果であった。標準偏差もスランプフローで1.8cm、空気量で0.5%であり、ばらつきの小さい範囲で管理することができた。圧縮強度については、材齢14日の段階で設計基準強度を満足した。

施工は、ほぼ計画どおりに行うことができ、脱型後のコンクリートの表面には、ひび割れや未充てんなどの初期欠陥もなく、緻密なプラグを構築できたものとする。

6. まとめ

本工事では、LPG岩盤貯槽における配管堅坑プラグの施工に際して、気密性の高いコンクリート構造物の構築が求められた。温度ひび割れを防止するために低発熱および低収縮型のコンクリートを使用し、プレクーリングやパイプクーリングを実施した。また、型枠沈下ひび割れを防止するため、できるだけ打込み速度を低減し、プラグ下部のコンクリートの剛性や岩盤との付着力を向上させる対策を講じた。その結果、ひび割れや未充てんなど初期欠陥のない、品質の良いプラグを構築できた。今回実施した対策により、以下の知見が得られた。

- 1) 温度ひび割れを防止するため、プレクーリングにより、練混ぜ水を5℃程度、骨材を15℃程度に冷却することにより、8℃程度の冷却効果が得られた。5月下旬において、打込み温度を21℃以下で打ち込むことができた。
- 2) クーリング用の直径1インチのパイプを最小700mmの間隔で配置し、水温10℃、水量30L/分で通水することで、最高温度を40℃程度に抑制できた。
- 3) 配管堅坑プラグの拡幅部のコンクリートの打込みにおいて、30mの型枠および支保工による沈下量を1.3mmの管理値に対して0.5mmであり、極めて小さい沈下量に抑制できた。

参考文献

- 1) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕，(2007)
- 2) 田辺忠顕，他：パイプクーリングにおける管壁面の熱伝達率の決定ならびに冷却効果の解析，土木学会論文報告集，第343号，pp.171～179，(1984)
- 3) 市川雅之，他：プラグコンクリートの施工における打込み温度低減対策，土木学会第66回年次学術講演会講演概要集，VI-359，pp.717～718，(2011)
- 4) 二島建，他：LPG岩盤貯槽における底設プラグの温度ひび割れの防止対策，土木学会第68回年次学術講演会講演概要集，VI-189，pp.377～378，(2013)
- 5) 川西貴士，他：LPG岩盤貯槽における配管堅坑プラグの型枠支保工の沈下によるひび割れの防止対策，土木学会第68回年次学術講演会講演概要集，VI-187，pp.373～374，(2013)