

大阪ガス(株) 正員 北村 八朗
大阪ガス(株) 正員 ○西崎 文能
(株)大林組 正員 十河 茂幸
(株)大林組 正員 鎌田 文男
(株)大林組 正員 近松 竜一

1. はじめに

大阪ガス堺泉北製造所第二工場の最新LNGタンクに、従来の金属二重殻構造の地上式タンクとPC防液堤を一体化したPCLNGタンクを我が国で初めて採用した[1]。

本タンク築造に際して資機材の搬入出用に防液堤に設けた仮設開口部(写真-1参照)の閉塞工事は、逆打ちコンクリート施工となる上に、防液堤の内面が鋼製ライナで締切られ、かつ90cm厚の壁体内には鉄筋やPC用シースが密に配置されるため、コンクリートを十分に締固めることが困難な条件にあった。

本報告は、流動性と分離抵抗性を兼ね備えた高い充填性能を有し、逆打継目の一体性が確保される逆打ち用ハイパフォーマンスコンクリート(以下、HPCと略称)[2]をこの開口部閉塞工事に適用した結果についてとりまとめたものである。

2. 逆打ち用HPCの概要

コンクリートの配合条件を表-1に示す。

逆打ち用HPCに対する要求性能として、締固め不要で狭陰な部材内に完全に充填されること、また、逆打継目の一体化を図るために、ノンブリージングかつ適切な膨張性を有すること、さらに、温度ひびわれ制御の観点から発熱と強度のバランスがとれたものであること等が挙げられる。

これらの要求性能を確保するための材料・配合に関する既往の研究成果[3]をもとに選定した使用材料および配合の概要を表-2および表-3に示す。

セメントは、水和熱低減と耐久性向上の観点から、低発熱型高炉セメントB種を用いた。また、発熱量を増加させずに材料分離を抑制しながら流動性を高めるために石灰石微粉末を使用した。高性能AE減水剤は、流動性を所要時間保持できるように成分調整したポリカルボン酸系の製品を用いた。さらに、初期沈降補償用にA₀粉末を、硬化後の収縮補償用に膨張材を使用した。

配合に関しては、締固め不要で優れた充填性能を付与させるために、単位微粉末量を0.17m³/m³以上、単位粗骨材量を0.30m³/m³程度とした。

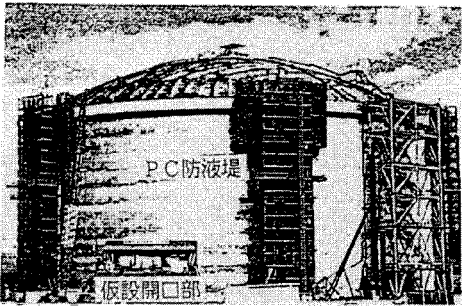


写真-1 建設中のPCLNGタンク

表-1 コンクリートの配合条件

粗骨材 最大寸法 (mm)	設計基準強度 《材令91日》 (kgf/cm ²)	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)
20	400	60～68	4.5±1

表-2 使用材料の概要

種類	略号	比重	物性・その他
低熱高炉セメントB種	C	3.10	フロー値:3550cm ² /g
石灰石微粉末	LF	2.71	フロー値:5400cm ² /g
膨張材(CSA系)	EX	2.73	フロー値:3150cm ² /g
細骨材(海砂)	S	2.55	粗粒率:2.53
粗骨材(砕石)	G	2.63	実積率:約59%
高性能AE減水剤	SPA	1.05	ポリカルボン酸系
A ₀ 粉末	A1	—	反応遅延型

表-3 逆打ち用 H P C の示方配合

W/(C+EX) (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
		W	C	EX	LF	S	G	Al	SPA
41.5	52.0	165	370	30	125	816	776	35g	9.0

3. 逆打ち用 H P C の製造管理

実構造物への適用に先立ち、レードミクストコンクリート工場において所要の品質を有する逆打ち用 H P C を大量に安定して製造する観点から、材料および配合の変動がコンクリートの品質に及ぼす影響を調べた。

逆打ち用 H P C の製造には、二軸強制練りミキサ（容量：3 m³）を用い、練りまぜ量は 1.5m³/バッチ とした。

単位微粉末量が 500 kg/m³以上と通常の配合より多く、数種類の微粉末材料を用いる H P C をミキサ内で均質に効率よく練りまぜるために加水前に空練りを30秒間行った。

また、H P C 製造時にミキサの電流負荷を測定した結果（図-1 参照）、練りまぜ開始から約90秒以後は電流値がほぼ一定となる傾向にあることから、練りまぜ時間は 120秒とした。

配合中の水量や高性能 A E 減水剤量の変動が流動特性に及ぼす影響を図-2 に示す。

高性能 A E 減水剤量を変化させた場合には、スランプフローが増減するのに対し、O ロート流下時間 [4] はほぼ一定の値を示している。

一方、配合中の水量を変化させた場合には、スランプフローとともに O ロート流下時間も増減する傾向が認められ、水量の変動がコンクリートの粘性に起因した変形速度を左右する要因であることがわかる。

水結合材比と圧縮強度の関係を図-3 に示す。高性能 A E 減水剤量を変化させた場合よりも水量の変化に伴う強度の変動が大きく、強度発現特性は、通常のコンクリートと同様に結合材水比との相関が認められ、逆打ち用 H P C の製造時には、ブラントでの骨材の表面水管理が極めて重要であることが確認された。

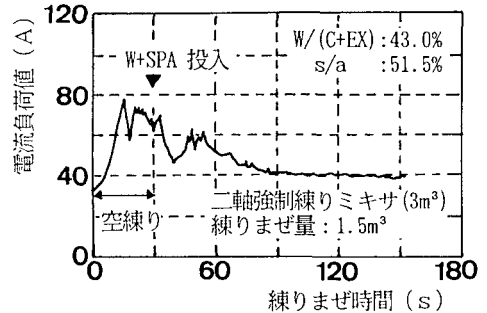


図-1 ミキサの電流負荷値の経時変化

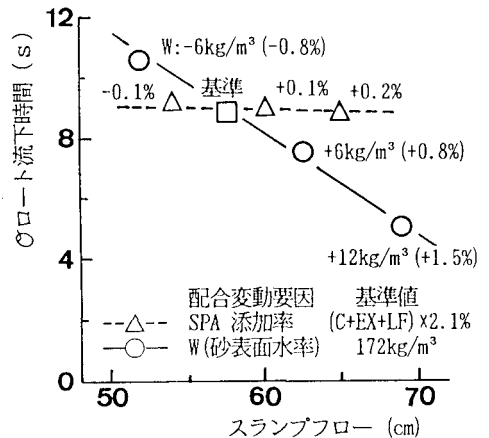


図-2 配合変動が流動特性に及ぼす影響

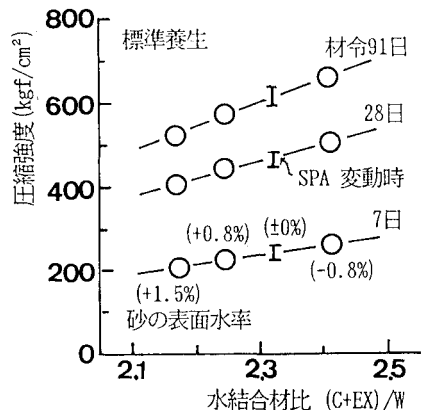


図-3 水結合材比と圧縮強度の関係

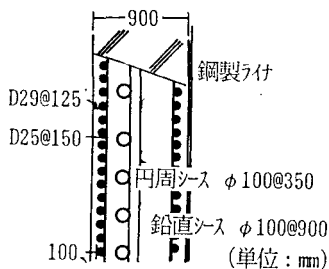


図-4 仮設開口部断面の概要図

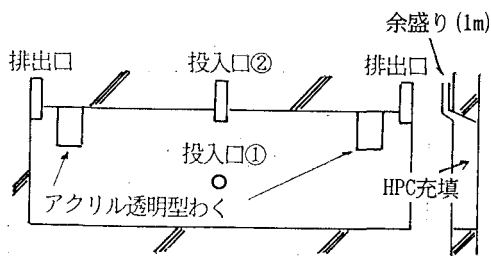


図-5 開口部閉塞工のHPC投入・排出口

4. 実施工におけるHPCの品質管理および施工性

PC防液堤に設けた2ヶ所の開口部（大： $15 \times 4.5\text{m}^2$ 、約 60m^3 および小： $6 \times 3.5\text{m}^2$ 、約 20m^3 ）の閉塞工事に逆打ち用HPCを適用した。

これら開口部の断面図を図-4に示す。開口部の閉塞にあたっては、開口上縁中央部に投入口、両端部に排出口を設け、いずれも約1mの余盛りののできる構造とした。なお、大開口部については、開口部下縁より高さ約1.5mの位置にも投入口を設けた（図-5参照）。

逆打ち用HPCは、プラントで製造後、トラック式アジテータ車（ 4.5m^3 積載）で現場まで運搬し、ポンプ車（ピストン式）のフレキシブルホース（5インチ）により所定の投入口までHPCを圧送し、約 $30\text{m}^3/\text{h}$ の速度で連続的に打込んだ。

ポンプ車のコンクリート投入口に開口間隔が50mmの鉄筋メッシュを設置し、受入れ管理を実施した結果、いずれも閉塞することなく全量が通過した。

フレッシュコンクリートの品質管理結果および自由膨張率測定結果をそれぞれ図-6および図-7に示す。

スランプフロー、0ロート流下時間、空気量とも変動がほとんどなく、また、A ϕ 粉末の発泡作用により十分な膨張性能（目標膨張率：1.0～1.5%）が確保されており、所要の品質を有する逆打ち用HPCが安定して製造できたことが確認された。

コンクリートは、約1/30程度の勾配で流動し、投入口側から排出口に向かって順次充填されていく状況が確認された。部材内を充填した後、投入・排出口の立上り部に約1mの余盛りをして打込みを終了した。なお、立上り部の付け根部には、型わく面に沿って仕切り板を挿入し、仕上げ処理を容易にした。

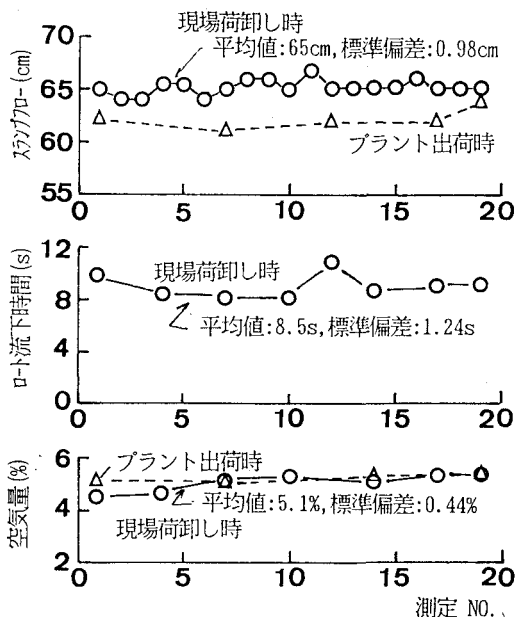


図-6 コンクリートの品質管理結果

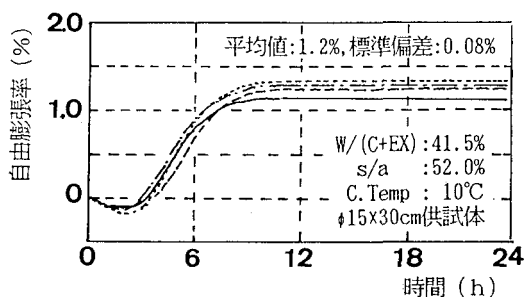


図-7 自由膨張率の経時測定結果

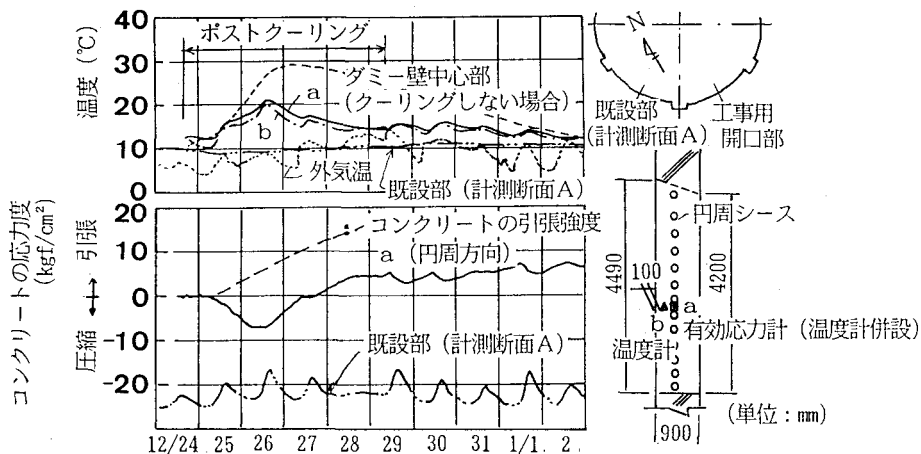


図-8 ポストクーリングによる温度ひびわれ制御結果

開口部の断面は、壁厚が約90cmと比較的マッシブで、かつ4辺が既設部に拘束され外部拘束度が高いことから、材料・配合面での温度上昇量の低減と膨張材併用によるケミカルプレストレス導入対策を講じて温度ひびわれ発生危険性が予測された。そこで、施工上の対策として、クーリングパイプ（配置間隔：約50cm）によるポストクーリングを実施した。その結果、図-8に示すように、ピーク温度は約9℃低減され、安定温度までの温度降下量は約10℃となり、ひびわれ発生を防止できた。

脱枠後の調査より、じゃんかや豆板などの未充填部は全く認められず、また、既設部との逆打継目も一体化されていることが確認された。

5. まとめ

本報告の範囲内で明らかとなった事項を以下に示す。

- 1) 配合中の水量は、スランプフローや粘性に起因する変形速度を左右する重要な要因であり、所要の流動特性を有するHPCを安定して製造するためには、骨材の表面水管理が極めて重要である。
- 2) 締固め不要で優れた充填性能を有するHPCにAⅡ粉末や膨張材を用いて適切な膨張性能を付与することにより、逆打ち施工に十分に適用することができる。

【謝辞】

東京大学土木工学科岡村甫教授ならびに小沢一雅助教授には、HPCの実用化にあたり、多大なるご指導ならびにご助言を賜りました。ここに、深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 中島一夫・西崎文能：液化天然ガスのPC製貯槽の開発，土木学会誌，Vol.75, pp.14-16, 1990.10
- 2) 小沢一雅・前川宏一・岡村 甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.11-1, pp.699-704, 1989
- 3) 北村八朗・西崎文能・鎌田文男・十河茂幸：逆打ち用ハイパフォーマンスコンクリートに関する基礎研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14 NO.1, p.101-106, 1992.
- 4) 近松竜一・竹田宣典・十河茂幸：超流動コンクリートの流動性と分離抵抗性に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14 NO.1, p.381-386, 1992.