

報 告

[1029] 逆打ち用ハイパフォーマンスコンクリートの品質管理と施工性に関する検討

北村八朗*¹・西崎丈能*²・鎌田文男*³・十河茂幸*⁴

1. はじめに

大阪ガス(株)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製防液堤を一体化したPC LNGタンクを我が国で初めて採用した[1]。本タンク工事は、防液堤の構築後、屋根を据付け、外部と遮断された良好な環境下で、底部および内槽工事を行うために、防液堤には資機材の搬入出用に仮設開口部が設けられている(写真-1参照)。

この開口部の閉塞工事は、逆打ちコンクリート施工となる。また、防液堤内面が鋼製ライナで締切られる上に、90cm厚の壁体内には、鉄筋および円周・鉛直方向のPCテンドン用シースが配置されるために、コンクリートを十分に締固めることが困難な条件となっている。

そこで、筆者らは、この開口部閉塞工事にハイパフォーマンスコンクリート(以下、HPCと略称)[2]の適用を計画し、これまでに流動性と分離抵抗性を兼ね備えた高い充填性能に加え、逆打継目の一体性を確保するための収縮補償性能を有する逆打ち用HPCの材料および配合に関する基礎研究を実施してきた[3]。本報告は、逆打ち用HPCをレデーミクストコンクリート工場において製造し、実構造物に適用した場合のコンクリートの品質管理および施工性に関する検討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、高い流動性ととも、材料分離抵抗性を有し、鉄筋が密に配置された狭陰部に対しても締固め不要で優れた充填性能が確保されること、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能を有すること、さらに、温度ひびわれ制御の面から発熱と強度発現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。



写真-1 建設中のPC LNG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

*1 大阪ガス(株)技術部課長, (正会員)

*2 大阪ガス(株)技術部, 工修(正会員)

*3 (株)大林組本店土木部土木主任, (正会員)

*4 (株)大林組技術研究所土木第三研究室主任研究員, 工博(正会員)

セメントは、水和熱の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、発熱量を大幅に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用いた。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ものを用いた。さらに、初期沈降補償用にA ℓ 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を付与させるため、単位微粉末量を170 ℓ/m^3 以上、単位粗骨材量を300 ℓ/m^3 程度とした。

表-2 使用材料の概要

種類	略号	比重	物性・その他
低発熱型高炉B種	C	3.10	ルーン値:3550 cm^2/g
石灰石微粉末	LF	2.71	ルーン値:5400 cm^2/g
膨張材(CSA系)	EX	2.73	ルーン値:3150 cm^2/g
細骨材(海砂)	S	2.55	粗粒率:2.5程度
粗骨材(碎石)	G	2.63	実績率:約59%
高性能AE減水剤	SPA	1.05	ポリカルボン酸系
A ℓ 粉末	A ℓ	—	反応遅延型

表-3 逆打ち用HPCの示方配合

W/(C+EX) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
		W	C	EX	LF	S	G	A ℓ
41.5	52.0	165	370	30	125	816	776	35g
								SPA
								9.0

3. 逆打ち用HPC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HPCを大量に安定して製造するために、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。

HPCの製造には、二軸強制練りミキサ(容量3 m^3)を用い、練りまぜ量は1.5 m^3 /バッチとした。単位微粉末量が500 kg/m^3 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HPCをミキサ内で均質かつ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、HPC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秒に設定した。

配合中の水量および高性能AE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AE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、フロート流下時間[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フ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

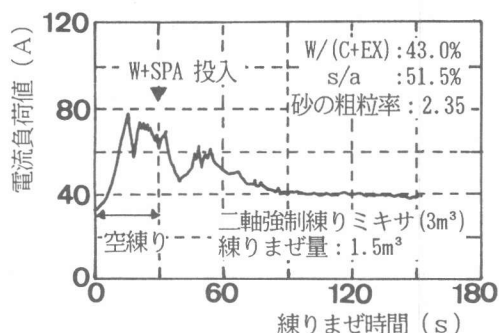


図-1 ミキサの電流負荷値の経時変化

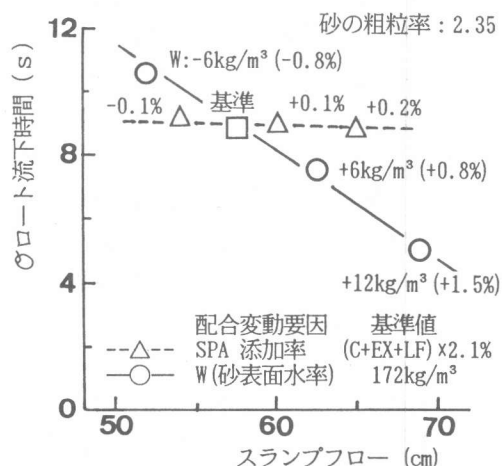
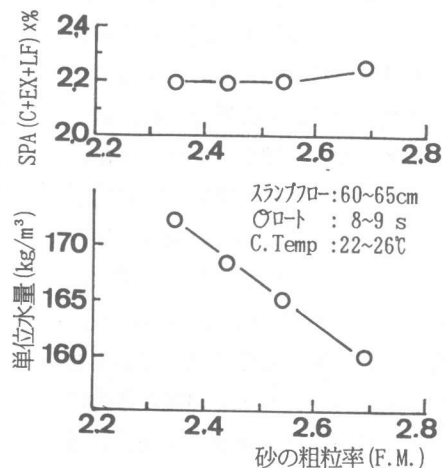
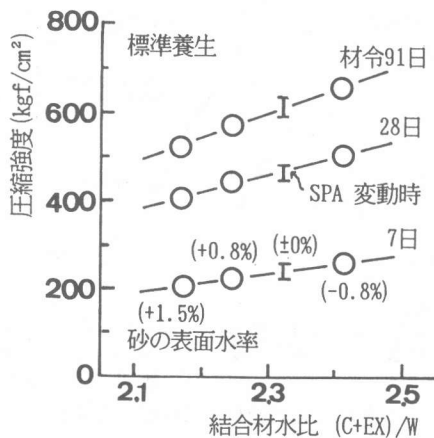


図-2 配合変動が流動特性に及ぼす影響



クリートの粘性に起因した変形速度を大きく左右する要因であることがわかる。また、強度発現特性に関しても、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（図－3 参照）、プラントでの骨材の表面水管理が極めて重要であるといえる。

細骨材の粒度の変動に対して所要の流動特性を確保するために配合を調整した結果を図-4に示す。高性能A E減水剤量はほぼ一定であるのに対して、所要単位水量は粗粒率の増大とともに減少する傾向が認められ、所要の流動特性を確保するためには、骨材粒度の変動に対しても適切に水量を調整する必要がある。

4. 実施工におけるHPCの品質管理および施工性

4. 1 壁状構造物への試験施工

要求仕様の厳しい開口部閉塞工事に先がけて、
図-5に示すように部材断面が薄く、配筋が比較的
密なLNG配管用カルバートの壁部に対してHPC
を6回にわたって打設した(打設総量:約300m³)。

フレッシュコンクリートの品質管理結果の一例を表-4に示す。プラントでの製造時に予め各材料の品質を確認し、細骨材の表面水率の変動を0.3%以内に管理した結果、品質のばらつきはほとんど認められなかった。また、HPCの充填性を確認するために、ポンプ車の投入口に開口あきが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。

壁中央部の天端に設けた投入用ホッパからコンクリートを流し込んだだけで、左右に均等に分かれ、両端部（流動距離 9m）まで約1/20の勾配で流動した。

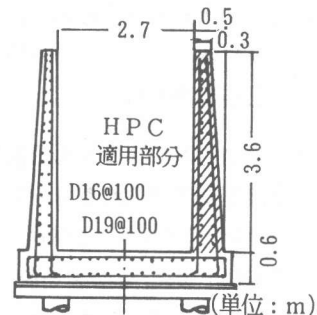


図-5 カルバート断面の概要図

表-4 HPCの品質管理試験結果(n:5)

項 目	平均	最大	最小	標準偏差
スランプ フロー (cm)	64	65	63	0.89
	66	67	65	0.74
フロー 下時間 (秒)	—	—	—	—
	8.4	8.6	8.0	0.25
空 気 量 (%)	4.4	4.7	4.2	0.17
	4.1	4.3	4.0	0.11

*上段：出荷時，下段：現場荷卸し時

施工時の打上り高さと型わくに作用する側圧の関係を図-6に示す。外気温が35℃を越える暑中下で打上り速度が約3m/hの場合には、側圧の顕著な増大は認められなかった。一方、コンクリート温度が20℃程度で打上り速度が8m/hの場合には、打上り高さに比例して側圧が増大し、液圧に相当する圧力が作用した。型わくに作用する側圧は、打込み速度およびコンクリートの温度条件によっては、液圧を考慮して施工計画を立案する必要があるといえる。

脱枠後の調査より、傾斜壁面には気泡が分散して生じ、投入口周辺には数mm程度の気泡が点在し、打込みを一時中断した箇所の打足し下面部には、細かい気泡が集まる状況が観察された。

コアによる品質調査結果を図-7に示す。流動距離の増大に伴い圧縮強度は若干低下する傾向にあったが、標準養生供試体とほぼ同等の品質を有することが確認された。

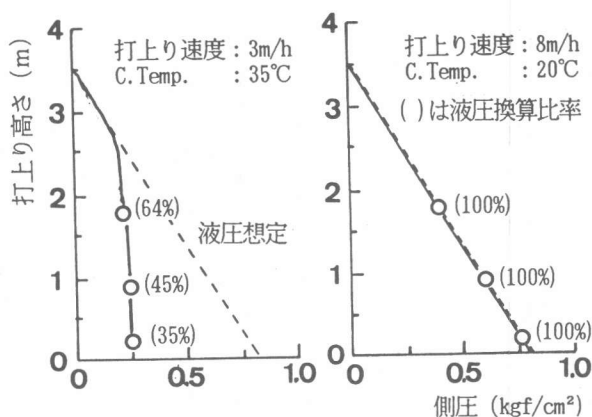


図-6 HPC施工時の型わくに作用する側圧

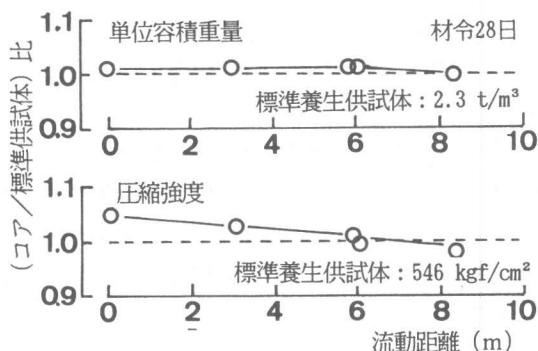


図-7 コアによる硬化後の品質調査結果

4. 2 PCLNGタンクの仮設開口部の閉塞工事への適用

PC防液堤に設けられた2ヶ所の開口部（大：15 m×4.5 m および小：6 m×3.5 m，コンクリート打設量：約60m³および約20m³）の閉塞工事に逆打ち用HPCを適用した。

これらの開口部の断面図を図-8に示す。開口部の閉塞にあたっては、開口上縁の中央部に投入口、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-9参照）。

逆打ち用HPCは、プラントで製造した後、アジテータ車（4.5m³積載）で現場まで運搬した

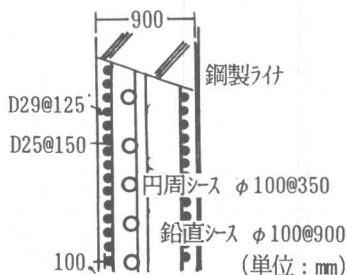


図-8 仮設開口部断面の概要図

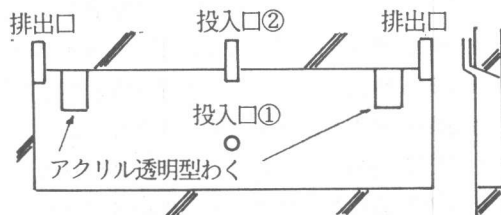
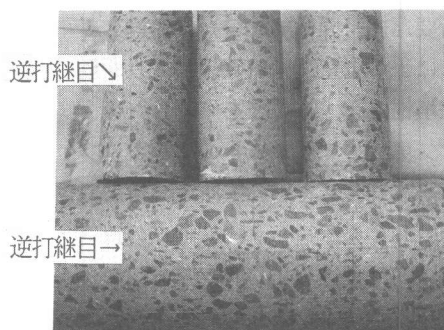


図-9 開口部閉塞工事のHPC投入・排出口

開口部の断面が約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の発生の可能性が予測された。そこで、施工上の温度ひびわれ対策として、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（冷却媒体：工業用水、水温：約 8～14℃程度）を実施した。その結果、図－12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することができた。

脱枠後の調査より、豆板やじゃんかなどの未充填部は全く認められず、既設部との逆打継目も一体化していることが確認された。参考までに、本施工と同様にして作製した開口部閉塞モデル試験体から採取したコアによる逆打継部の状況を写真－2に示した。



写真－2 コアによる逆打継目の状況

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、スランプフローに加え、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H P Cを安定して製造するためには、プラントにおける骨材の表面水管理が極めて重要である。
- 2) 使用する細骨材の粒度分布の変動に対して、所要の流動特性を確保するためにはH P Cの配合を調整する必要がある、粗粒率の増大に伴って所要単位水量は減少する傾向にある。
- 3) 流動性に優れたH P Cを適用する場合、打込み速度や温度条件によっては液圧に対応する圧力が型わくに作用することを考慮して施工計画を立案する必要がある。
- 4) 締固め不要の優れた充填性能を有するH P CにA Ⅱ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って、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、H P C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。また、宇部興産㈱、ポゾリス物産㈱、電気化学工業㈱、サンフロー㈱の皆様には、各種実験に御協力頂きました。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P C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.