

V-16

高流動コンクリートによる橋台翼壁の施工

清水建設(株)北海道支店 正員 前田 敏也
 北海道開発局室蘭開発建設部 古谷 浩幸
 同 上 西澤 勝一
 同 上 三原 一記
 清水建設(株)北海道支店 正員 松浦 勝

1. はじめに

通常、コンクリートの打設はホッパーやポンプから投入されるフレッシュコンクリートをバイブレーター等を用いて締固めを行うことにより行っている。しかし、近年のコンクリート構造物の大型化、配筋の緻密化および形状の多様化等は、バイブレーターの挿入を困難としている。このような場合、十分な締固めが不可能となり、シヤカの発生等構造物の品質を低下させる結果となる。一方、建設業界における労働者不足、特に熟練工の高齢化により、コンクリート打設においても省力化・省人化・機械化が望まれている。

このような状況から、通常のコンクリート打設の常識を破った締固め不要のコンクリート(以下、高流動コンクリートと称す)が1986年以降研究・開発され、現在実用化の段階に入っている¹⁾。高流動コンクリートとは、高い流動性と材料分離抵抗性、間隙通過性を有し、締固めを行わなくても十分な自己充填性を持つコンクリートである。すなわち、流動性と材料分離抵抗性という相反する性質をいかにバランスさせるかによって、通常コンクリートでは不可能なコンクリートの自己充填性が確保される。

本稿は橋台翼壁に高流動コンクリートを打設した結果を報告するものである。

2. 構造物概要

高流動コンクリートを打設した翼壁の概要を図-1に示す。翼壁は厚さ0.5m、高さ約8mで、締固め時に作業員が内部に入って作業を行うことが不可能であり、通常コンクリートでは十分な締固めの確認が困難であると予想された。高流動コンクリートの打設量は翼壁2箇所で合計約7.5m³である。また打設日は平成7年11月15日である。

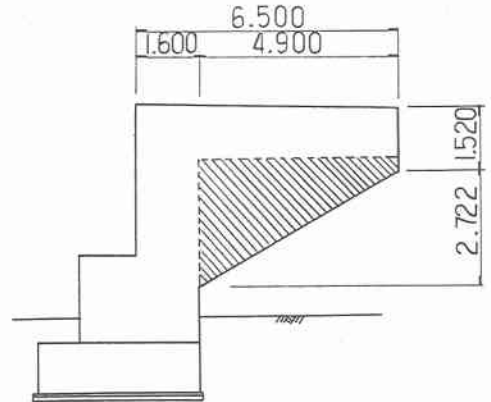


図-1 翼壁側面図

3. 試験練り

3.1 使用材料および配合

高流動コンクリートの打設に先立ち配合を決定するための試験練りを行い、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの性状を各種試験により把握した。ここで、高流動コンクリートの品質はRC-1²⁾

相当とした。すなわち、①設計基準強度21N/mm²以上、②空気量4.5%、③最大水セメント比55%、④最小単位セメント量280kg/m³等である。ただし、これら以外のスラップフロー、最大粗骨材寸法等の品質条件は、高流動コンクリートの特性が充分得られるように、⑤スラップフロー60cmおよび⑥最大粗骨材寸法25mmとした。コンクリートの流動性は高性能AE減水剤によって付与した。また、材料分離抵抗性を付与する手法は一般的には、セメント等の粉体量を多くする手法と増粘剤を用いる手法とがある。粉体量を多くした場合には水セメント比が小さくなり必要以上に強度が発現する、あるいは、水和熱が大きくなり温度ひび割れの発生が懸念されること等の理由から、ここでは増粘剤による手法を用いた。使用材料および示方配合を表-1および表-2に示す。コンクリートの配合は水セメント比

Placing of Highly Flowable Concrete for Wing Wall

by Toshiya MAEDA, Hiroyuki FURUTANI, Katsuichi NISIZAWA, Kazuki MIHARA and Masaru MATSUURA

の違いにより3ケースとした。ここで、高性能AE減水剤の主成分であるポリカルボン酸には空気連行性があるが、今回は低空気量タイプを用いたため、最終的な空気量の調整はAE剤により行った。

試験練りにはプラント試験室の傾動型ミキサを用い、1バッチ40ℓとして行った。練混ぜは、まず、砂、セメント、増粘剤で空練りを15秒程度行った後、水、高性能AE減水剤を加えてモル練りを120秒行った。次に、粗骨材を加えてコンクリート練りを60秒程度行いコンクリートを排出した。

3.2 試験

排出されたコンクリートに対して表-3に示す試験を行った。

(1)フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-4にまとめて示す。スランプローはいずれの水セメント比の場合も管理値である60±5cmを満足し、材料分離は認められず流動性は良好であった。ただし、水セメント比45%の場合にはフロー値が管理限界値となった。一方、空気量についても管理値である4.5±1.5%を満足した。ただし、水セメント比50%の場合には空気量が5.9%と管理限界値に近かった。また、テストピース作成時にブリージングは認められず、硬化後のテストピースを切断してもコンクリート中の空隙および骨材の分離は認められなかった。

表-3 コンクリートの試験

試験項目	試験方法
スランプロー	JSCE-F503「土木学会規準 コンクリートのスランプロー試験方法(案)」による
空気量	JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力方法)」による
コンクリート温度	棒状温度計による
圧縮強度	JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」による 材齢:3,7,28日(φ100×200)
静弾性係数	JSCE-G502「土木学会規準 コンクリートの静弾性係数試験方法(案)」による 材齢:7,28日(φ100×200)

(2)硬化コンクリートの性状

硬化コンクリートの試験結果を図-2に示す。材齢28日における圧縮強度はいずれの配合も21N/mm²以上であり要求品質を満足した。通常コンクリートのテストピースと比較すると材齢28日における圧縮強度は2～3割、また、RC-1仕様の同一プラントの式と比較しても3～5割程度大きくなっている。一方、セメント水比と圧縮強度との関係は、通常コンクリートと同様ほぼ線形関係にあることがわかる。ここで、水セメント比50%の場合の7日および28日強度が小さくなっているが、空気量が5.9%と大きいことがその原因の一つとして挙げられる。一般に、空気量が1%大きくなると圧縮強度は4～6%低くなることから、空気量を4.5%に換算すれば圧縮強度はそれぞれ22N/mm²および36N/mm²程度と試算されて直線上に乗る。

圧縮強度と静弾性係数との関係を図-3に示す。高流動コンクリートの弾性係数は、単位粗骨材量が少ないため、同一強度の通常コンクリートに比べてやや小さくなるとされているが⁴⁾、本施工においても土木学会式⁵⁾と比

表-1 使用材料の一覧

項目	使用材料名	主な性質(主成分)
セメント	高炉セメントB種(日鐵セメント社製)	比重:3.05、比表面積:3230cm ² /g
水	水道水	
細骨材	浜厚真産	比重:2.70、粗粒率:2.75
粗骨材	静内川産	比重:2.78、粗粒率:6.80
高性能AE減水剤	SP-8S(エヌエム社製)	ポリカルボン酸エーテル系
増粘剤	SFCA2000(信越化学社製)	水溶性セルロースエーテル
AE剤	ポリリスNa101(エヌエム社製)	7メチル-7H型陰イオン界面活性剤

備考)・スランプローの調整は高性能AE減水剤によって行った。
・空気量の調整はAE剤によって行った。

表-2 コンクリートの示方配合

スランプロー (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				SP-8S (C×%)	SFCA 2000 (g/m ³)	No. 101*
				W	C	S	G			
60±5	4.5±1.5	① 45	51	170	378	910	901	2.1	300	2.5A
					340	929	917	2.2		2.0A
					309	942	931	2.3		1.5A

備考)1A=C×0.001%

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果一覧

W/C (%)	スランプロー (cm)	空気量 (%)	練上り温度 (℃)
① 45	65×65(65)	4.4	22.0
② 50	63×60(62)	5.9	22.0
③ 55	59×57(58)	3.9	22.0
管理値	60±5	4.5±1.5	----

備考)試験時の室温は23.5℃であった。

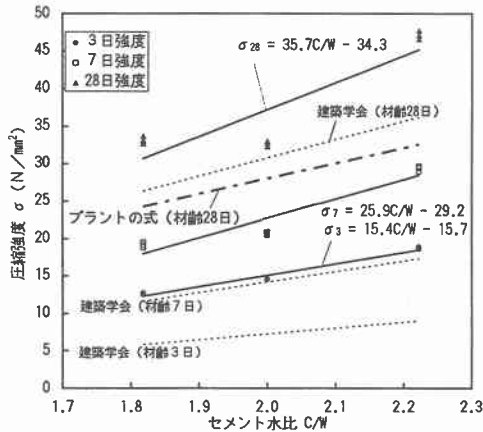


図-2 コンクリートの圧縮強度

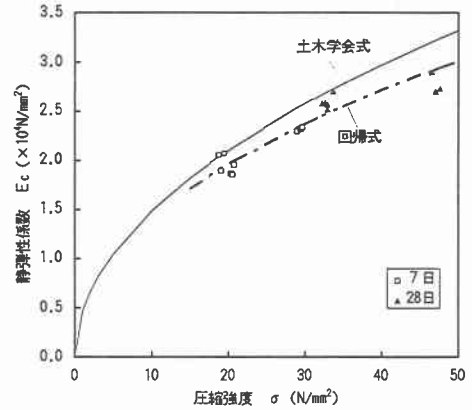


図-3 圧縮強度と弾性係数の関係

較すると同一強度に対する静弾性係数は通常コンクリートと同等または1～2割小さくなった。ただし、高流動コンクリートの打設部位が構造上独立している翼壁であることから弾性係数の違いは問題にならなかった。

4. 施工

4.1 配合

実施工におけるコンクリートの示方配合を表-5に示す。試験練りを行いたいずれの配合も要求品質を満足したため、実施工では水セメント比55%の配合とした。ただし、高性能AE減水剤(SP-8S)およびAE剤(Na101)の添加量はプラントにおける1バッチ目の試験結果からそれぞれ2.0%および2.0Aに変更し、以後同様の配合で製造を行った。コンクリートの製造は傾動型ミキサーを用いて1バッチ1.5m³として行った。練混ぜは、まず、砂、増粘剤、セメントを投入して15秒間空練りを行った後、水、高性能AE減水剤と砂利を投入して120秒間行った。ここで、施工時期が11月であることから練混ぜ水には約50℃の温水を使用した。

表-5 示方配合

スラフ厚 (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				SP-8S (C%)	SFCA 2000 (g/m³)	Na 101*
				W	C	S	G			
60±5	4.5±1.5	55	51	170	309	942	931	2.0	300	2.0A

備考) 1 A = C × 0.001%

質を満足したため、実施工では水セメント比55%の配合とした。ただし、高性能AE減水剤(SP-8S)およびAE剤(Na101)の添加量はプラントにおける1バッチ目の試験結果からそれぞれ2.0%および2.0Aに変更し、以後同様の配合で製造を行った。コンクリートの製造は傾動型ミキサーを用いて1バッチ1.5m³として行った。練混ぜは、まず、砂、増粘剤、セメントを投入して15秒間空練りを行った後、水、高性能AE減水剤と砂利を投入して120秒間行った。ここで、施工時期が11月であることから練混ぜ水には約50℃の温水を使用した。

4.2 型枠・支保工

高流動コンクリートは通常コンクリートと異なって高い流動性を有するため、型枠に作用する側圧は液圧として設計した。型枠・支保工の仕様を表-6に示す。なお、表中の透水シートは埋戻しを行わない翼壁の外側にあばたを減らす目的で設置したものである。

表-6 型枠・支保工の仕様

型枠材	合板ベニア t=12mm
横	木 27mm×60mm @225mm
縦	端 2-D19 (縦断方向に曲線であるため鉄筋を用いた)
セパレータ	φ=9.0mm @300mm(縦横共)
透水シート	CDマット100

4.3 コンクリートの打設

コンクリートの打設はポンプ圧送により行った。コンクリートの投入箇所は1箇所とし、パイプを縦管として用いてコンクリートの自由落下高さを1m以下として筒先を徐々に上昇させた。パイプレターによる内部締固めは行わなかったが、コンクリート表面のあばたの発生を少なくする目的で型枠側面を外部からハンマーで打撃した。養生は寒中養生とし、ジェットヒーターで採暖を行った。

4.4 品質管理

品質管理項目を表-7にまとめて示す。

表-7 実施工における品質管理項目

項目	場所	プラント (出荷時)	現場 (荷卸時)	筒先 (圧送後)
(1)スラフ厚 ①70: 60±5cm ②50cm70-74A: 5~15秒		○ (1台のみ)	○ (1.2台目)	○ (1台のみ)
(2)V, 出口流下時間 ①流下時間: 15±5秒 ②閉塞状況		○ (1台のみ)	○ (1.2台目)	---
(3)空気量 ①空気量: 4.5±1.5%		○ (1台のみ)	○ (1.2台目)	○ (1台のみ)
(4)コンクリート温度 ①打設温度: 15℃程度		---	○ (1.2台目)	---
(5)塩化物イオン量 ①Cl⁻: 0.30kg/m³以下		---	○ (1台のみ)	---
(6)流動勾配 ①流動勾配: 1:10以下		---	---	○ (随時)
(7)圧縮強度 ①f'₍₂₈₎: 21N/mm²		---	○ (供試体作成)	---
(8)表面性状		脱型後の実構造物で確認		

5. 施工結果および考察

5.1 フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの試験結果および練上りからの経過時間を図-4および表-8に示す。

(1)スラップフロー：スラップフローは1台目が出荷時に59.0cm、荷卸時に61.5cmであり、運搬過程で2.5cm大きくなったが材料分離は認められなかった。スラップフローの経時変化については練混ぜ15～30分後までに徐々に大きくなる傾向にあり⁶⁾、これと同様の結果となった。2台目は荷卸時に62.3cmであり1台目よりも0.8cm大きかった。また、圧送後のスラップフローは61.8cmであり、荷卸時よりも0.3cm大きくなった。ポンプ圧送による流動性の変化は圧送前の流動性や高性能AE減水剤の銘柄、あるいはポンプの排出量等によって傾向が異なるが⁶⁾、圧送前後で大きな変化はみられなかった。

(2)空気量：空気量は1台目が出荷時に5.9%、荷卸時には3.8%であり、運搬過程で約2%低下した。2台目は荷卸時に3.4%であった。また、ポンプ圧送により空気量は0.3%増加した。したがって、空気量は出荷から打設までに2%程度低下すると考えられる⁷⁾。

(3)粘性：コンクリートの粘性を表す50cmフロータイムおよびVロート流下時間は1台目が出荷時にそれぞれ5.5秒および5.0秒、荷卸時に8.5秒および10.0秒、またポンプ圧送後の50cmフロータイムは6.2秒で荷卸時よりも2秒程度短くなった。2台目の荷卸時における50cmフロータイムおよびVロート流下時間はそれぞれ6.8秒および9.5秒であった。コンクリートの粘性の経時変化については、種々の要因の影響でその傾向が変化するが、本施工では運搬過程で高くなり、ポンプ圧送によって低くなる結果となった。

(4)流動勾配：コンクリートの流動勾配は図-5に示すように最大でも約6%であり、高い流動性が確保された。また、打設終了後のコンクリート天端はほぼ水平であり、セグメントリング性を有していることも確認できた。

5.2 硬化コンクリートの性状

(1)強度：コンクリートの圧縮試験結果を図-6に示す。比較のため、通常コンクリートについての結果も併記する。材齢28日におけるコンクリートの圧縮強度は34.3N/mm²であり、ほぼ同時期に打設した通常コンクリートと比べて2割程度高強度であった。

次に、材齢14日における表面反発度の測定結果を表-9に示す。ここで、表面反発度はシュミットハンマー(NR型)を用いて流動距離および打上り高さの違いを考慮して図-7に示す5箇所測定を行った。翼壁各面の測点間で大きな差がないことから、流動距離および打上り高さにかかわらず、コンクリートはほぼ均質であ

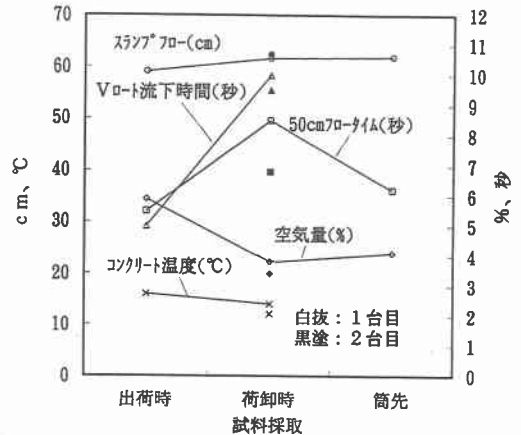


図-4 フレッシュコンクリートの試験結果

表-8 練上り経過時間 (分)

	出荷時	荷卸時	筒先
1台目	0	30	60
2台目	0	80	---

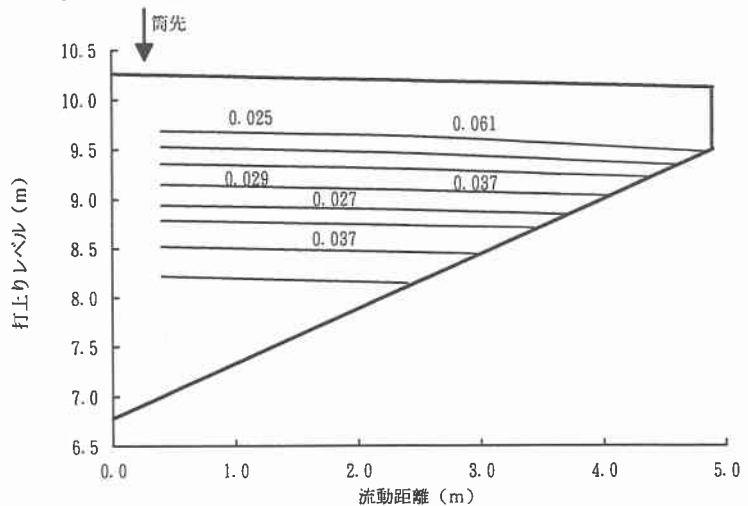


図-5 コンクリートの流動勾配の測定例

り材料分離は生じていないと考えられる。また、透水シートを使用した外側と使用しなかった内側とで大きな差がみられないことから、シート使用によるコンクリートの表面強度への影響は小さいと考えられる。通常コンクリートに透水シートを使用した場合、シートの排水効果により表面強度は大きくなるが⁸⁾、高流動コンクリートの場合にはブリージング水がほとんど発生しないために表面強度に差が生じなかったものと考えられる。

(2)表面性状：コンクリート表面にはジャンクは認められず、締固めを行わなかったにもかかわらず高い充填性が確保されたことがわかった。ただし、通常コンクリートと同様に空気あばたの存在が認められたが、透水シートを使用した外側のあばた発生状況は比較的軽微であった。表-10および図-8にあばた発生状況を示す。表-10のあばた発生率は、あばたが多数発生している箇所で一辺20cmの正方形を描き、一辺を2cm間隔に分割した平行線の線上に存在する長径1mmを越えるあばたの長さの合計を、引いた直線の全長で除した百分率(%)として算出したものである。透水シートを使用しなかった内側のあばた発生率は、通常コンクリートを打設した縦壁側面のあばた発生率に対する比が1.04~1.21と同等か若干大きい結果であった。これに対し、透水シートを使用した外側のあばた発生率に対する比が0.39~0.53と小さく、特に長径10mm以上の大きなあばたの発生はほとんどなかった。また、通常コンクリートのあばた発生率に対する比も0.40~0.64と小さく、あばた対策として透水シートは有効であったと考えられる。

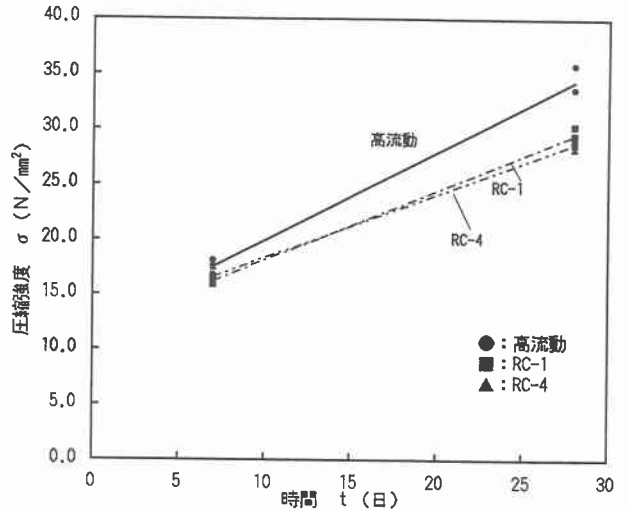


図-6 コンクリートの圧縮強度

表-9 表面反発度測定結果

	表面反発度					平均(変動係数)
	測点1	測点2	測点3	測点4	測点5	
翼壁1外	33.1	33.1	31.9	34.6	34.8	33.5(0.036)
翼壁1内	32.2	34.1	32.8	35.7	35.2	34.0(0.044)
翼壁2外	32.2	32.2	31.1	31.2	33.3	32.0(0.028)
翼壁2内	33.8	35.1	35.6	35.7	35.4	35.1(0.022)

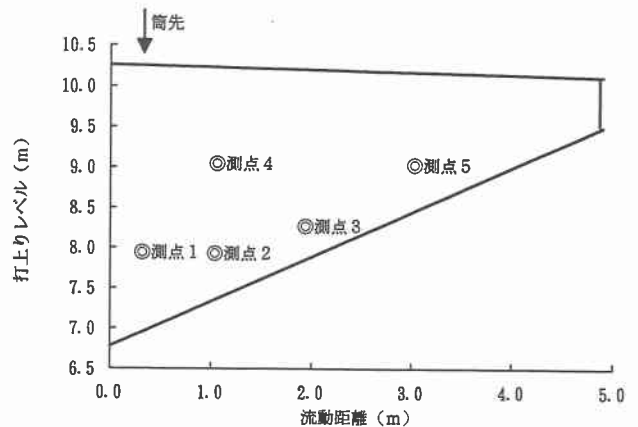


図-7 表面反発度の測定箇所

表-10 あばた発生率

	翼壁1外	翼壁1内	翼壁2外	翼壁2内	縦壁側面
あばた発生率(%)	0.91	1.72	0.57	1.48	1.42

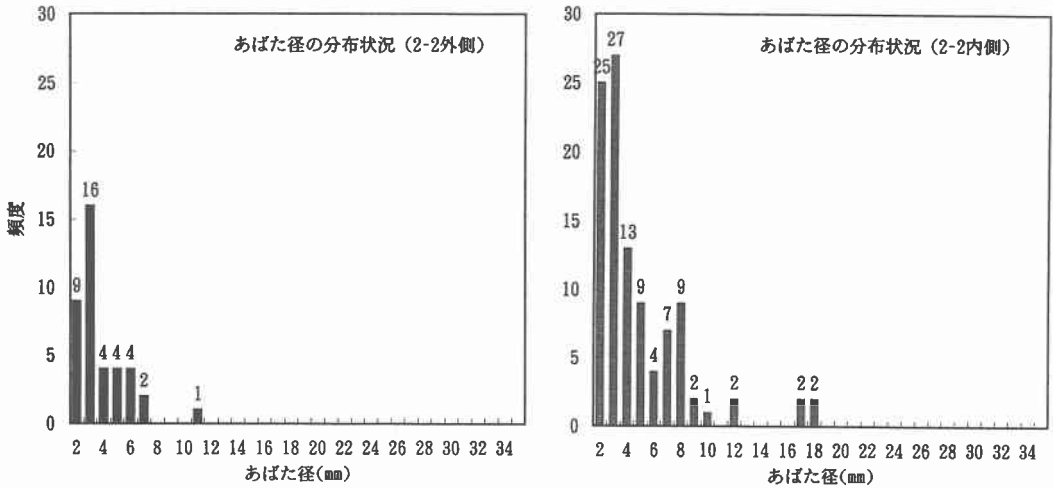


図-8 あばた径の測定例

6. おわりに

橋台翼壁に高流動コンクリートを打設した主な結果を以下にまとめる。

- ①セメント水比と圧縮強度との関係は通常コンクリートと同様ほぼ線形関係となった。
- ②同一強度に対する静弾性係数は通常コンクリートと同等または1～2割小さくなった。
- ③荷卸時のスラップフローは出荷時に比べて2.5cm大きくなったが、ポンプ圧送による大きな変化はみられなかった。
- ④空気量は出荷から打設までの間に約2%低下した。
- ⑤50cmフロータイムおよびVロート落下時間の測定結果からコンクリートの粘性は運搬過程で高くなりポンプ圧送により低くなった。
- ⑥コンクリートの流動勾配は最大でも6%程度であり高い流動性およびセルフベリフィケーション性が確認された。
- ⑦コンクリートの圧縮強度は材齢28日で通常コンクリートと比べて2割程度高強度であった。
- ⑧流動距離および打上り高さにかかわらずコンクリートはほぼ均質であり材料分離は生じなかった。
- ⑨透水シート使用によるコンクリートの表面強度への影響は小さかった。また、透水シートを使用しない面のあばた発生状況は通常コンクリートと同等か若干大きい程度であったが、透水シートの使用によって6割以下に軽減された。

高流動コンクリートは開発以来、様々な構造物に適用され、研究・開発の段階を終えて実用段階に入ったといえる。今後、省力化・自動化および安全性のみならず、通常のコンクリートでは締固めが困難な構造物の品質を確保するという点からも高流動コンクリートの需要はますます多くなると考えられる。本稿が高流動コンクリート導入の際の一助となれば幸いである。

謝辞：高流動コンクリートを実構造物に適用するにあたり、苫東コンクリート工業(株)ならびに(株)ポリス物産をはじめ多くの方々にも多大な御協力をいただいたことに感謝の意を表します。また連名の松浦 勝氏は実施工を待たずして急逝されました。実施工が滞りなく終了したことを報告するとともに御冥福をお祈りいたします。

<参考文献> 1)例えば、特集/高流動コンクリート・施工の実際、セメント・コンクリートNo. 558、1993年8月 2)北海道開発局：コンクリート設計施工要領、p. 60、平成2年7月 3)日本建築学会：高炉セメントを使用するコンクリートの調査設計・施工指針案・同解説、昭和53年2月 4)竹下、佐原、横田：締固め不要な高流動コンクリートに関する基礎的研究、コンクリート工学論文集第1巻第1号、pp. 143～153、1990年1月 5)土木学会：コンクリート標準示方書－施工編－、p. 140、平成3年9月 6)杉本：高流動化のための材料－化学混和剤－、コンクリート工学Vol. 32No. 7、pp. 64～69、1994年7月 7)松田、林、谷口、牛島：高流動コンクリートを用いた7-7橋の省力化施工、コンクリート工学Vol. 33No. 2、pp. 47～53、1995年2月 8)例えば、岩竹、久米、庄司、藤井：塩ビ製透水シートを用いた型枠工法のコンクリート表面性状について、土木学会第46回年次学術講演会概要集V、平成3年9月