

海洋性水中コンクリートの施工向上に関する検討

Study for Improvement of Under Water Concreting at Marine Fields.

安田 修*・村瀬 和史*・得永 道彦**・中嶋 雄一***・北原 繁志****

Osamu, Yasuda, Kazumi, Murase, Mitihiko, Tokunaga, Yuuichi, Nakazima, Shigeshi, Kitahara

This report gives the outline of a technical development for the under water concreting carried out at Hokkaido during the past two years.

The research for the advancement of construction technique is performed by collecting and analyzing the data as for the mix proportions, concreting, quality of concrete and others on the base of the practical construction in marine fields.

From the surveying results, it is ascertained that the characteristics concerned with concrete quality and the properties of the concreting have an influence with the compressive strength, frost resistance and so on.

It is found that the new casing-system for under water concreting is available for a measure to prevent the segregation due to free dropping.

Keywords: under water concreting, casing-system

まえがき

港湾・漁港構造物の築造に係わる水中部におけるコンクリートの施工方法は、大別するとプレバックドコンクリートと水中コンクリートに分けられる。北海道開発局管内においては、従来プレバックドコンクリートによる施工がほとんどであったが、近年、熟練労働者や経験豊富な潜水士の不足、施工期間の制約等の理由から水中コンクリートによる施工の提案が増加してきており、実際に施工している例も見受けられるようになった。しかし、水中コンクリートは北海道開発局管内での施工実績が少なく、標準とされる施工技術の近代化が遅れており、施工の良否によって品質が大きく左右される。このことから、統計的に把握されたデータを基にした新たな施工技術の開発が望まれている。そこで、実海域における構造物の施工を基に、水中コンクリートの配合や施工方法、品質などに関する各種技術データを収集・解析し、施工技術向上の検討を行った。

1. 水中コンクリートの概要と特徴

水中コンクリートは、陸上管理の普通コンクリートを直接水中に打設する工法であり、打設方法としてはトレミー工法とコンクリートポンプ工法がある（図-1 参照）。今回の検討では、現場での施工実績等を踏まえてコンクリートポンプ工法に重点を置いた。また、コンクリートの水中落下防止効果を期待して、吐出管の数倍の直径を持つ鋼製のケーシングを用いたポンプ工法（以下ケーシング工法）についても採用して検討を行った。この工法の長所としては、

- (1) コンクリートポンプ車またはミキサ船のコンクリートポンプによる機械施工が主となるので、高能率な施工が可能となり大量施工ができる。
- (2) プレバックドコンクリートに比べ、施工工程が少なく工期短縮が可能となる。

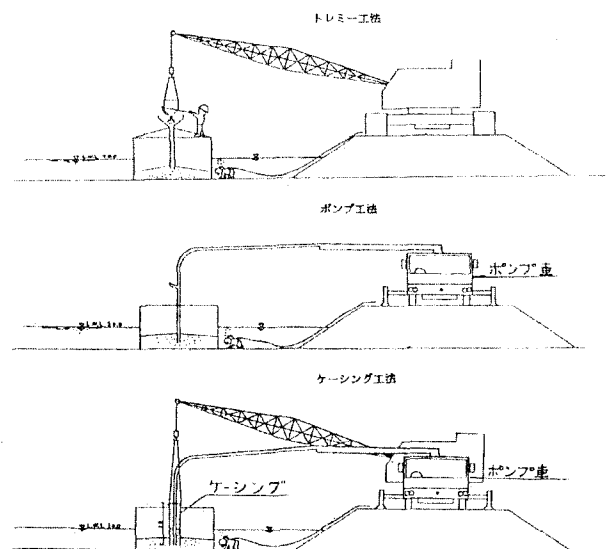


図-1 水中コンクリートの打設工法

- | | | |
|------|-----|--------------------------------------|
| * | 正会員 | 社団法人 寒地港湾技術研究センター (060 札幌市北区北7条西2丁目) |
| ** | 正会員 | 北海道開発局港湾部港湾建設課 |
| *** | 正会員 | 北海道開発局港湾部空港課 (元北海道開発局港湾部港湾建設課) |
| **** | 正会員 | 水産庁漁港部 (元北海道開発局農業水産部水産課) |

(3) プレパックドコンクリートの場合、モルタル漏出時の処理が困難であったが、この工法ではコンクリートの漏出がほとんどない。などが挙げられる。一方、次のような未解明な点がある。

- ①今までにコンクリートの品質に関する統計的な把握がなされていない。
- ②コンクリートの粘性・打設方法の良否が、レイタンスの発生に影響し構造物の上面管理が問題となる。
- ③コンクリートの打設開始時あるいは打設途中でのトラブル発生時における材料分離が懸念される。

等が挙げられ、これらの解明に主眼をおいて各種のデータ収集を行った。

2. 実構造物調査の概要

水中コンクリートの施工に関する未解明な点を明らかにするため、以下のような試験を2カ年にわたり実施し、各種の施工データを収集した。

①圧縮強度試験

コンクリートの品質を評価するひとつの指標として強度を調べることとし、構造物から平面方向および鉛直方向に複数のコアを抜き取り、圧縮強度試験を実施した。

②凍結融解試験および空気量測定

コンクリートの品質を耐久性の面から評価するためには、北海道の場合は耐凍害性が問題となることから、構造物の部位のなかでも影響を受けやすい上面付近からコアを抜き取り、凍結融解試験を実施した。また、耐凍害性と空気量とは密接な関係があることから、コアの一部を用いて空気量測定も行った。

③構造物の内部温度測定

水中コンクリートによる構造物はマスコンクリートであることが多いことから、水和熱の発生が問題となる。そこで、コンクリートの表面および内部の温度測定を実施した。

④打設状況および汚濁拡散状況

よりよい品質のコンクリートを確実に打設する方策を検討する基礎資料とするため、実施工の打設状況を調査した。また、周辺環境への影響を把握するため、コンクリート打設時の汚濁拡散状況を調査した。

2.1 1年目の調査内容

1年目は、特に数多くの圧縮強度を調べることに力点をおき実海域において、合計20箇所の水中コンクリート打設の構造物と61個の水中コンクリートにより施工した根固方塊を対象に調査を行った。この水中コンクリートは表-1に示すとおり、それぞれ配合、打設工法を変えて行っており、従来の規定に比べてある程度単位セメント量を低減させた条件を設定している。また、トレミー工法ポンプ工法のほかにケーシング工法によっても単位セメント量を変化させて施工を行った。その内訳を表-2に示す。

試験は、対象構造物の図-2に示す箇所からコアボーリングを行い、材令28日で圧縮強度試験を行った。ただし、根固方塊は上下2箇所のみとした。そのほか、打設状況や汚濁拡散状況を調べるために現場担当者に対し、アンケート調査を実施した。

2.2 2年目の調査内容

2年目は、1年目に実施した圧縮強度試験に加え、凍結融解試験や水中コンクリート構造物内部の温度測定も実施することとし、合計36箇所の構造物を製作した。その配合および打設方法を表-3に示す。

圧縮強度試験は、1年目と同様に本体コンクリートより図-3および図-4に示す箇所よりコアボーリングを行い、材令28日で実施した。凍結融解試験については、表-3の2および6の施工箇所において図-3に示す位置の供試体を材令28日で行

表-1 1年目施工のコンクリートの配合及び打設工法

項 目	水中コンクリート構造物(20箇所)				採 掘 方 式 (割合別)
	1	2	3	4	
セメント種類	高炉B種				高炉B種
単位セメント(kg/m ³)	340	370			270、300、340、370
セメント比の最大値(%)	50				50
スランプ(cm)	15				15
粗骨材の最大寸法(mm)	40				40
空気量(%)	4.5				4.5
混 和 剤	AE減水剤				AE減水剤
打 設 工 法	ポンプ	ポンプ	ポンプ	ポンプ	ポンプ

表-2 1年目の打設工法別箇所数内訳

工法	セメント量	
	340kg/m ³	370kg/m ³
トレミー	0	4
ポンプ	4	7
ケーシング	2	3

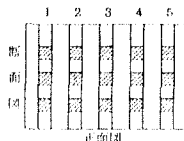
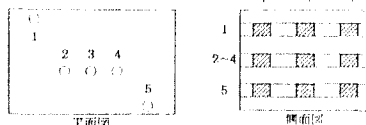


図-2 1年目コアボーリング位置図

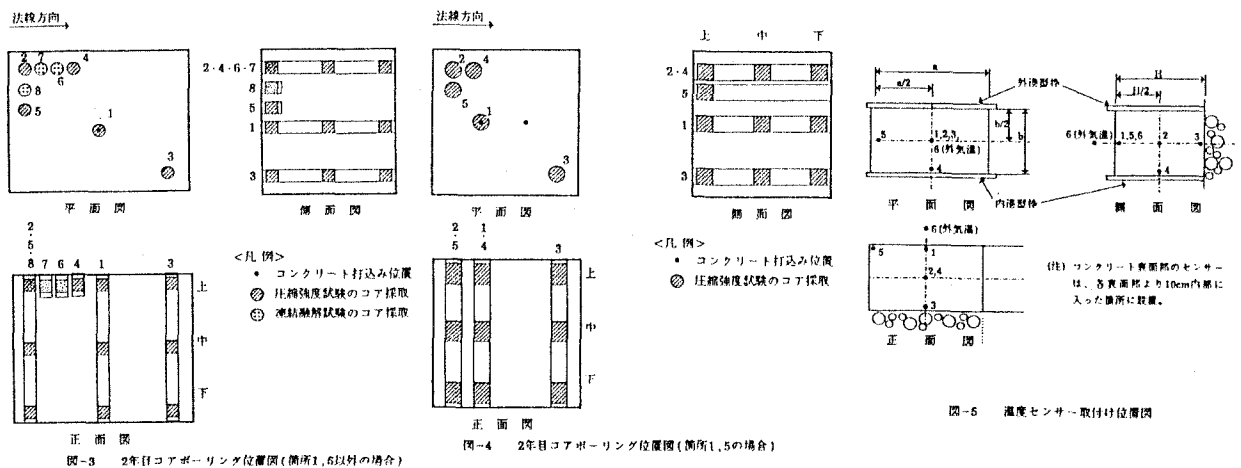
表-3 2年目施工のコンクリートの配合及び打設工法

項目		施工箇所							
		1	2	3	4	5	6	7	8
セメントの種類		高炉B種				高炉B種			
単位セメント(kg/m ³)		340				300			
セメント比の最大値(%)		50							
スランプ(cm)		15							
粗骨材の最大寸法(mm)		40							
空気量(%)		4.5							
混和剤		AE減水剤							
打設工法		ケー-2	ケー-1	ケー-1	ポンプ	ケー-2	ケー-1	ケー-1	ポンプ

(注1) 「ケー-1, 2」とは、それぞれケーシングを1本または2本用いた打設であることを示している。

(注2) 4箇所(2箇所2箇所)はスパン3, 7を除く6スパンで実施。

(注3) 現場条件より6箇所中1箇所のみ、スパン4, 8はケーシング1本打設を行っている。



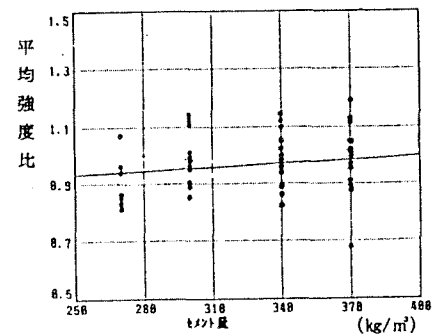
い、空気量測定も実施した。構造物の内部温度測定は、1 構造物において図-5に示す箇所に温度センサーを取り付け、打設直後から35日間測定した。また1年目と同様に打設状況や汚濁拡散状況についても実施した。

3. 調査結果と考察

3.1 圧縮強度について

(1) 標準供試体とコア供試体との強度比特性

水中へ打設したコンクリートの強度におよぼすセメント量の影響を調べた。標準供試体とコア供試体の圧縮強度の比(以下強度比)と単位セメント量との関係を表したものが図-6である。データは、1年目の試験で得られたもので、コア供試体強度は構造物から得られた圧縮強度の平均値を用いている。図-6から、セメント量と強度比との間には強い相関関係は見られず、単位セメント量が 270 kg/m^3 から 370 kg/m^3 の範囲では、気中から水中への打設後の圧縮強度の変化の度合いは、セメント量への依存は少ないものと思われる。

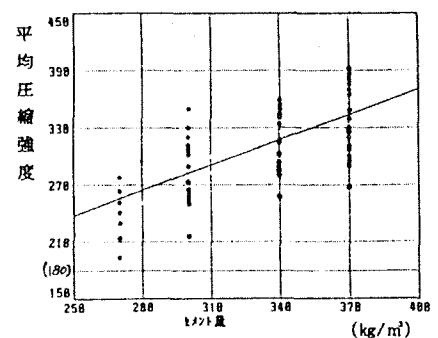


(2) 単位セメント量と圧縮強度の関係

単位セメント量は、コンクリートの強度を支配する配合条件の1つである。現行のコンクリート標準示方書(土木学会)では水中コンクリートの単位セメント量を 370 kg/m^3 と規定しているが、これを減じた時、圧縮強度がどのように変化するか調べた。

図-7は、1年目の試験結果を用いて単位セメント量と構造物の平均圧縮強度の関係を表したものである。

この図から、単位セメント量とコア供試体との間に強い相関関係が見られ、単位セメント量を 10 kg/m^3 減じた場合、圧縮強度は約 9 kgf/cm^2 低下することになる。



港湾・漁港の構造物の中で、水中でコンクリート打設されるのは防波堤や係船岸本体が主で、通常プレバックドコンクリートが用いられてきた。これらは、設計基準強度を 180 kgf/d としている。

図-7の圧縮強度は平均値であるが、単位セメント量 270 kg/m^3 の場合であっても平均圧縮強度は 180 kgf/d を上回っている。ただし、各個のコアでみた場合、 270 kg/m^3 の時圧縮強度が 180 kgf/d を下回るものがあった。なお、2年目の調査で単位セメント量 300 kg/m^3 の施工を行ったが、その結果では、各個のコアは圧縮強度が 180 kgf/d 以上得られた。

(3) 打設工法の違いによる圧縮強度の比較

1年目にトレミー、ポンプ、ケーシングの3工法で施工し、その試験結果を用いて打設工法の違いによる圧縮強度の比較を行った。

図-8は、図-2のコア番号で抜き取ったコア供試体の圧縮強度の平均値をトレミー、ポンプの2工法で比較したものである。全体的にポンプ工法で施工した構造物の圧縮強度が大きい値を示し、コンクリー

ト打設位置付近で、堤体の中でも品質のばらつきが出にくいと思われるコア番号3（図-2参照）の位置で比較しても、ポンプ工法のほうが大きくなっている。

次に、トレミー、ポンプ、ケーシングの3工法による圧縮強度の比較を行う。図-8と同様に図-2で示した各位置での平均値を工法の違いで比較したのが図-9である。図-9から、圧縮強度は、トレミー、ポンプ、ケーシングの順で強くなる傾向が示されている。

ただしケーシング工法は1港のみであるため、データ数が少なく、また、現場での施工特性が強く反映されている可能性があることを考慮しなければならない。

(4) 構造物の各部の強度比較

構造物より採取した複数個のコア供試体の圧縮強度を鉛直方向と水平方向で比較し、構造物内の強度分布を把握した。用いた試験結果は、本体コンクリートの打設箇所数の多かった2年目の調査のものである。なお、前項までに①圧縮強度の特性として、目標値を 180 kgf/cm^2 とした場合、単位セメント量は 300 kg/m^3 以上あればこの値は確保できる。②ケーシング工法での施工がより品質の高いコンクリートを打設することができる可能性がある。という傾向があることから、ここでは、こうした条件で打設したスパンについて調べた。

図-10、11は、図-3で示した位置のコア供試体強度を鉛直方向で比較したものである。このときの配合および打設工法は図-10が前出の表-3の施工箇所2に、また、図-11が同じく施工箇所6に対応している。図-10、図-11から、どちらも鉛直方向での強度分布に際立った特徴がみられず、平均値ではどの層もほぼ1に近い値になっている。また、図-10と図-11を比較しても大きな違いはみられない。

つぎに、図-10、図-11と同じ試験結果を用いて水平方向の圧縮強度を比較した。図-12、13はコンクリート打設位置（図-3におけるコア番号1の位置）を0とした時のコア供試体1～5の採取位置までの距離と強度比との関係を表したものである。距離が大きくなるにしたがい強度比は低下する傾向にあり、打込まれたコンクリートが流動する間に品質が低下していく傾向がわかる。

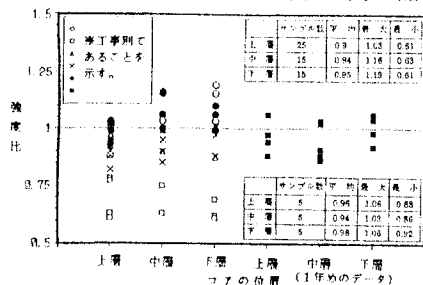


図-10 鉛直方向の圧縮強度比較（2年目、箇所2）

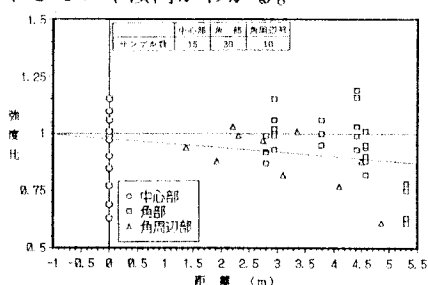


図-12 水平方向の圧縮強度比較（2年目、箇所2）

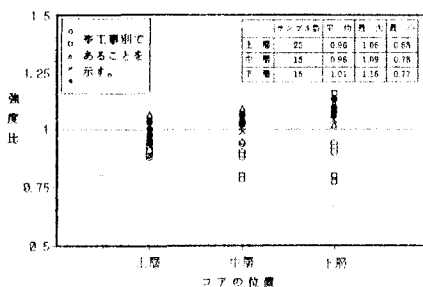


図-11 鉛直方向の圧縮強度比較（2年目、箇所6）

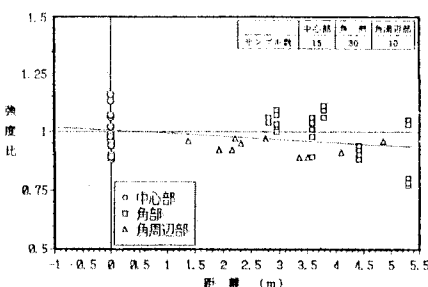


図-13 水平方向の圧縮強度比較（2年目、箇所6）

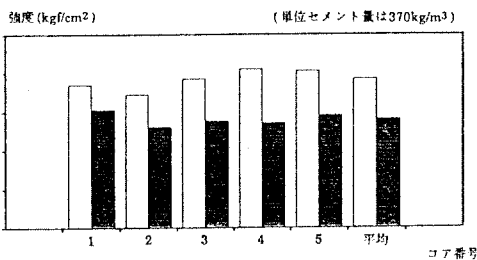


図-8 トレミー・ポンプ工法間の圧縮強度の比較

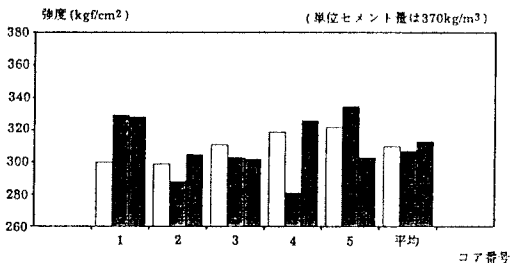


図-9 3工法間の圧縮強度の比較

3.2 耐凍害性および空気量

(1) 圧縮強度と耐久性指数の関係

3.1において圧縮強度についての特性をみてきたことからまず、圧縮強度と凍結融解試験から得られた耐久性指数との関係についてみることにした。図-14は、圧縮強度と耐久性指数の関係を表したものである。ここで、圧縮強度は図-3にけるコア2、4、5の上のコア供試体の平均値を、また、耐久性指数は同じくコア6、7、8の平均値を用いている。

耐久性指数の分布に着目すると、耐久性指数の低い耐凍害性の劣るコアもあることがわかる。一方、圧縮強度との関係でみるとその相関はほとんどなく、また、それぞれ耐久性指数が偏っていたりばらついていることから、耐凍害性は単位セメント量や水セメント比以外の配合条件や、施工の方法などに大きく左右されている可能性がある。

(2) 細骨材率と耐久性指数との関係

一般に、細骨材率を大きくすると材料分離抵抗性が増加することから、細骨材率と耐久性指数の関係についてみてみた。

図-15は、これらの関係を表したもののだが、細骨材率が43%程度を越えたあたりから耐久性指数が大きくなっている。この図は少ないデータに基づいているが、細骨材率を大きく設定することは、コンクリートの耐凍害性に寄与する可能性があることを示している。

(3) 空気量と耐久性指数との関係

空気が適切に連行されたコンクリートは、凍結融解作用に対して有利であるといわれていることから、空気量と耐久性指数の関係についてみる。図-16は硬化後のコンクリートの空気量と耐久性指数との関係を表したものである。

図-16から、空気量が多い領域では耐久性指数が大きいものが多く、一般的にいわれている結果が現れている。

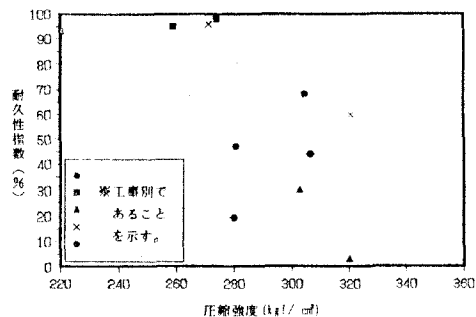


図-14 圧縮強度と耐久性指数の関係

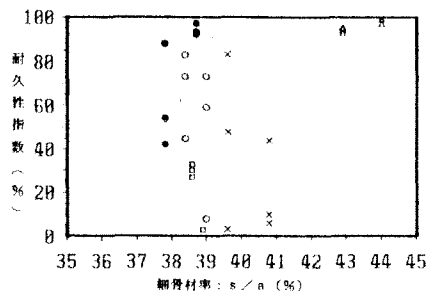


図-15 細骨材率と耐久性指数の関係

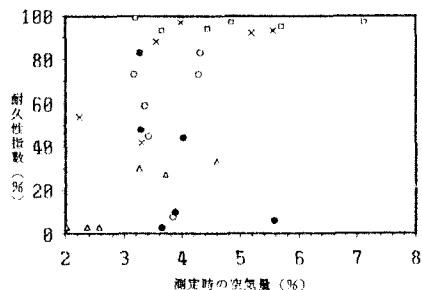


図-16 空気量と耐久性指数の関係

3.3 構造物の内部温度

前出の表-3の施工箇所2と施工箇所6の打設後の温度変化をそれぞれ図-17、18に示す。

施工箇所2、6の単位セメント量はそれぞれ340、300 kg/m³であり、セメント量の少ない施工箇所6の方が発熱が少ないと予想していた。しかし、今回の調査では、測点2（中心部）と測点3（中心下部）が他の3点より温度上昇が大きかった。その2測点における温度のピークは、材令3～7日で、温度は約60～80℃で、この傾向はどちらともほぼ同じであり、セメント量の違いによる差異はみられなかった。

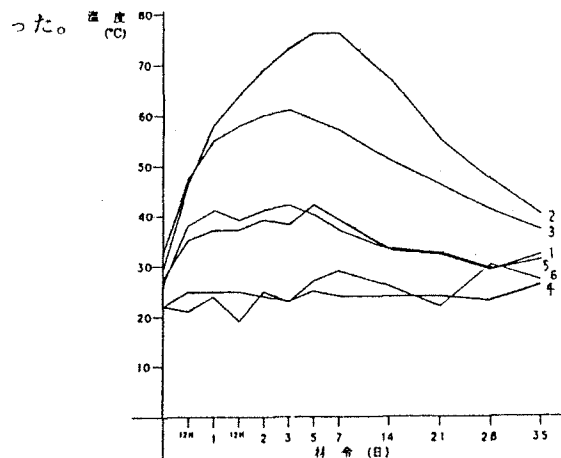


図-17 打設後の温度変化（2年目、箇所2）

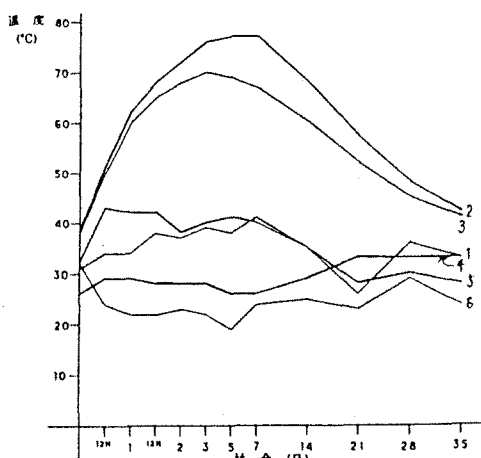


図-18 打設後の温度変化（2年目、箇所6）

3.4 打設状況および汚濁拡散状況

打設状況については、現場担当者を対象として施工に関するアンケート調査を行った。その結果、今回の検討で採用したケーシング工法の長所を示す意見が多かった。それらをまとめると以下の2点になる。

①ポンプ輸送管はケーシング内にあるため、打込まれたコンクリートが輸送管の動揺によるかき乱しが防止できた。

②ポンプ吐出口より出たコンクリートは、一度ケーシング内に貯留された後連続的に打込まれるが、ケーシング内はドライ状態であるためコンクリートの水中落下を防止することができた。

そのほか、単位セメント量と施工性に関するものとして、単位セメント量が 300 kg/m^3 以下の場合では管内が閉塞する場合がある。という意見が出された。

汚濁拡散状況についても調査を行ったが、特に施工上問題となる意見はなかった。

4. まとめ

実海域におけるコンクリート構造物の水中での施工に対して、それから得られたコアを用いて実施した試験を中心に、その結果をまとめると以下ようになる。

①水中へ打設したコンクリートは、水の洗い出し作用を受けやすく、圧縮強度は陸上のそれに較べて低下する傾向がある。しかし、今回の調査では単位セメント量を従来の 370 kg/m^3 から 340 kg/m^3 に減じても、さらに、特に流動性を留意するならば 300 kg/m^3 に減じても、想定される構造物の設計基準強度 180 kgf/cm^2 以上を確保することは可能と思われる。

②水中コンクリートの施工にあたっては、とりわけコンクリートの水中落下防止措置が重要である。この点においてケーシング工法は、従来のトレミー、ポンプ工法に較べて優れている。また、ケーシング工法は打込まれたコンクリートのかき乱し防止に対して有効であることから、この工法を用いることにより上記①の品質の確保がより確実になるものと思われる。

③凍結融解試験を実施した結果、耐凍害性に劣るものも一部に見られたが、その原因はあきらかでない。しかし、細骨材率や 空気量の増大等がコンクリートの耐凍害性の向上へ寄与することが確認された。

あ と が き

本報告は、過去2カ年で実施した北海道における水中コンクリートの技術開発に関する調査試験について、その概要を紹介した。この調査試験は、北海道開発局が実施した技術活用パイロット事業により実現したもので、その強度や耐久性等、水中コンクリートに関する特性について把握できたほか、従来の工法に較べて、より確実な施工管理が可能であるケーシング工法について、その施工性に関する知見を得ることができた。しかし、耐凍害性に係わるものとして、細骨材率等の定量的な検討も必要であることから補足調査を実施しており、現在解析中である。今後、これらの内容を海洋性水中コンクリートの施工のガイドラインとしてとりまとめる予定である。

最後に、この技術開発にあたり、東京大学の岡村甫教授を委員長とする委員会よりご助言を頂戴し、検討を進めてきた。また、現地施工ではパイロット港を初めとする各開発建設部の担当官、室内試験では北海道開発局開発土木研究所の材料研究室より多大なご協力を頂いた。ここに、関係者各位に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 北海道開発局港湾部港湾建設課・同農業水産部水産課；海洋性水中コンクリート技術開発検討業務報告書，1989・1990
- 2) 柏木 功・三原 一憲・先川 光弘；コンクリートの貯留筒を用いた水中コンクリート工法，第34回北海道開発局技術研究講演概要集，1990
- 3) 土木学会；コンクリート標準示方書 [平成3年度版] 施工編
- 4) 土木学会；水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）