

V-18

水中コンクリートの品質のばらつきについて

北海道大学工学部 学生員 池田 哲郎
 北海道大学工学部 正 員 佐伯 昇
 北海道立工業試験場 高橋 徹
 開発局開発土木研究所 正 員 堺 孝司

1. はじめに

港湾、漁港構造物のコンクリート施工は、大別するとプレバッドコンクリートと水中コンクリート、または最近注目されている水中不分離性コンクリートとに分類できる。北海道内では、現在のところ昭和30年代からの実績があるプレバッドコンクリートによる施工が主流となっている。

しかしながら、水中建設工事の急速化、合理化等の理由から、急速施工が可能で施工性がよいなどの特徴を持つ水中コンクリートの需要が高まっている。その反面、材料分離の懸念、強度・耐久性の問題その他、不明な点が多く、信頼性が確立していない。

本研究は、種々の条件下で施工された水中コンクリート構造物より得た供試体を用い、打込み時の水との混合による品質の変化、材料の分離などが実際にどの程度起こっているのかを検討する事を目的とする。

2. 調査概要

数種類の配合、施工方法で施工された水中コンクリート構造物から採取したコアの圧縮強度をもとに品質のばらつきを考える。コアボーリング時に破断してしまった部分あるいは表層部については圧縮強度試験ができない上に、その部分は周辺の水との混合等によって劣化している可能性が少なくない。そこで、特にこれらの弱点部分について、化学的手法を用いて水セメント比を分析し、それから強度を推定する。これらに、実際に測定された圧縮強度とを合わせて、各施工方法、使用材料による強度の変動係数の検討を行うことにする(図-1)。また、ケーシングからの距離に対する品質の影響についても、検討する。

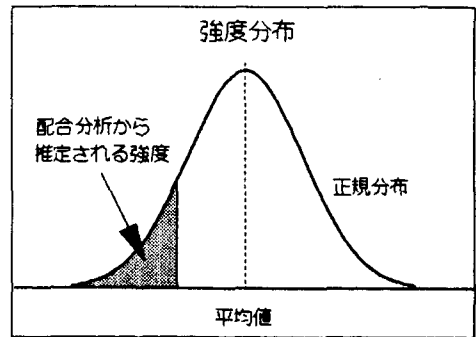


図-1 強度の変動係数の検討

3. 調査港湾、及び供試体

(1) 調査港湾

<港湾> 日本海側 2港

<漁港> オホーツク海側 1港 太平洋側 1港

(2) 配合、施工方法の条件

水中コンクリートによる打設は8スパン(漁港は6スパン)実施し、各スパンごとに表-1の配合、施工条件を用いている。

表-1 配合、施工条件

スパンNo.	1, 5	2, 6	3, 7	4, 8
セメント種類	BB	FB	BB	FB
施工方法	C-2	C-1	C-1	ポンプ

BB: 高炉B種 FB: フライアッシュB種

C-2: ケーシング2本によるポンプ施工

C-1: 同1本 ポンプ: ポンプのみ

Variation of Concrete Quality by Underwater Concreting

by Tetsuro IKEDA, Noboru SAEKI, Tohru TAKAHASHI and Kohji SAKAI

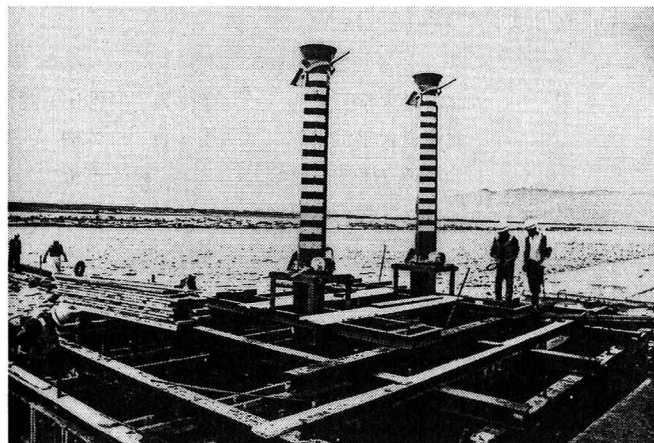


写真-1 ケーシング設置状況

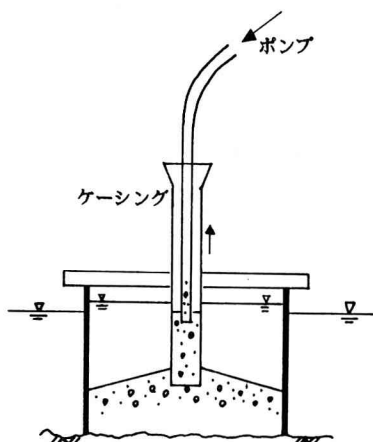


図-2 ケーシング打設

(3) 打設工法について

今回調査を行った港湾構造物において、打設工法はケーシング打設と、ポンプにより直接打設する方法が採用された。ケーシング打設は、ケーシングの中にコンクリートポンプでコンクリートを圧送し、ケーシングを引き上げながら連続的に水中に打ち込んでいく方法である。(写真-1、図-2)

(4) コア採取位置

各スパンについて、図-3に従ってコアボーリングを行い、No.1, 2, 3のコアから3本(上部、中部、下部)、No.4, 5のコアよりそれぞれ上層部より1本ずつ圧縮強度試験用供試体を切取る。日本海側港湾の一つについて、抜き取りコアの弱点部分として、コアNo.1, 2, 3の、コア最上部と抜き取り時に破断してしまった部分とを配合分析用供試体として長さ15cmに切取する。これを用いて変動係数の解析に用いた。

また、残り3港湾のスパンNo.6(高炉セメントB種、ケーシング1本打設)について、抜き取りコアの最上部と、中部の圧縮強度試験用供試体の、上かあるいは下の部分より15cmに切取る。この供試体は、ケーシングからの距離による品質の影響についての検討に用いた。

なお、コアNo.1の抜き取り位置(ケーシング位置)は、ケーシング2本打設の場合には、 $a/4$ の位置となる。

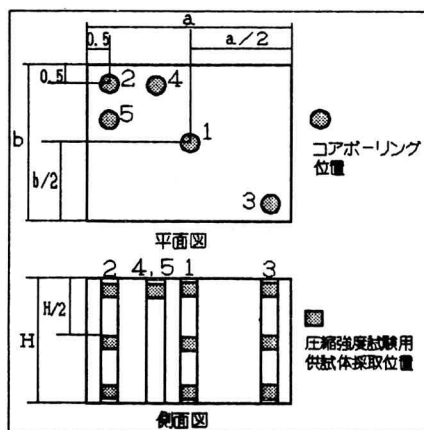


図-3 供試体採取位置

4. 硬化コンクリートの配合分析について¹⁾

コア破断部についてその配合を分析するための化学的手法の手順を、図-4に示す。初めに、供試体を恒量となるまで水中に浸漬させる。これは、セメントとの結合に使われずにコンクリート中に残留していた水(付着水)が、コア抜き取り後大気中に蒸発してできた空隙を、再度水で満たすためである。次に供試体を105℃で乾燥させた後、ジョークラッシャーで5mm粒径まで粉碎し、さらに恒量まで乾燥する。浸水後の重量と、乾燥後の重量より付着水量を求める。粉碎した試料は1/8に縮分し、振動ミルを用いて105μふるい全通まで微粉碎し、分析用試料とする。

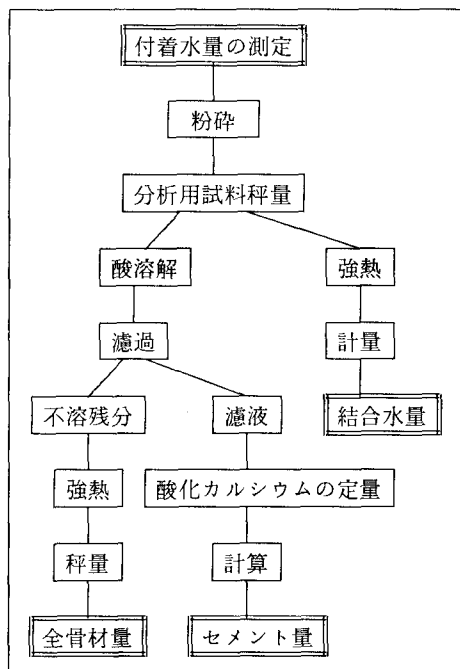


図-4 配合推定の手順

5. 測定値の検討

初めに、実際に施工された材料を用いて気中で打設され、標準養生した後圧縮強度試験を行った結果から高炉セメントB種（データ数 66）、フライアッシュB種（データ数 54）について変動係数（ v ）を求めると、以下のようになった。

$$v = 7.0\% \quad (f'c = 327 \text{ kgf/cm}^2)$$

・・・高炉B種

$$v = 10.6\% \quad (f'c = 312 \text{ kgf/cm}^2)$$

・・・フライアッシュB種

また、配合推定したデータは、 W/C より、同じ材料を用いて圧縮強度試験をした結果より求めた $f'c - C/W$ 関係を用いて圧縮強度を推定する。この推定された強度と、コア供試体の圧縮強度試験結果とを併せて、各セメント種類、施工方法ごとに正規確率紙にプロットする（図-5）。この時、各々のデータ数は配合分析によるものが12、圧縮強度試験によるものが22の計34である。

分析用試料は、まず1000℃で15分間の強熱を恒量まで繰り返され、その減量から結合水量が得られる。

硬化前のコンクリート中の練り混ぜ水は結合水量と附着水量の和で求められる。

コンクリート中の骨材量は、希塩酸（1%）を用いて試料中のセメント部分のみを選択的に溶解させ、その不溶残分より求める。この時に、実際には骨材も、ごく1部が溶解するので、使用された骨材について、その希塩酸に対する不溶残分をあらかじめ調べておく。

セメント量を分析するには、さきの希塩酸中に溶出したCaOを定量する事で求める。今回はキレート適定法を用いて定量した。この場合も、骨材及びセメント中のCaO量を別に調べておく。

実際に使用された材料を用いて精度確認試験を行うために作製したコンクリートを、上記の方法で配合分析したところ、セメント量で7%、水量で6%、骨材量で2%以内の誤差で分析可能であることがわかった。

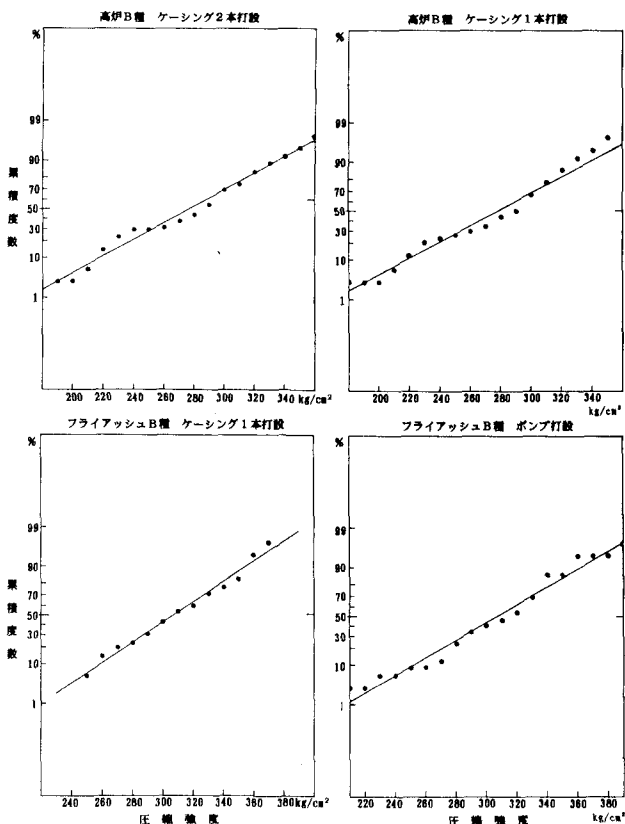


図-5 累積度数と圧縮強度の関係

表-2 変動係数の比較 (%)

セメント種類	高炉セメントB種		フライアッシュセメントB種	
標準養生供試体 (圧縮強度平均値 kgf/cm ²)	7.0 (327)		10.6 (312)	
施工方法	ケーシング2本	ケーシング1本	ケーシング1本	ポンプ
コア供試体 (圧縮強度平均値 kgf/cm ²)	20.1 (278)	16.5 (279)	12.1 (307)	14.0 (307)

図-5より、圧縮強度は正規分布をしているものとし、最小自乗法で回帰した後、分散と平均値を読みとる。

セメント種類、施工方法ごとに変動係数と圧縮強度平均値をまとめると、表-2のようになる。特徴的なのは、フライアッシュセメントを用いた場合の方が、圧縮強度の平均値の低下と変動係数が小さい。また、施工方法について、高炉B種の時に、ケーシングの数を2本にして1本当たりの受け持ち面積を小さくしたときの方が、変動係数が大きいという傾向がみられる。そこで、高炉セメントB種、ケーシング1本打設の場合について、3ヶ所の港湾よりランダムに採取された供試体を配合分析して得られたW/C、単位体積重量

(ρ)と、それぞれの港湾のケーシングの場所(打込み位置)からコア採取位置までの距離との関係をまとめたものが図-6である。グラフ中、実線はW/C、破線は単位体積重量の測定値の平均を結んだものである。また、W/Cは、原配合に対する比で表してある。

6. まとめ

(1) 水中コンクリートに用いるコンクリートを、標準養生した場合には、高炉B種を用いたものの方がフライアッシュB種を用いたときよりもより変動係数が小さく、両者比較の上では高炉B種の方が均質な傾向を示した。水中に打設されたコンクリートからコア供試体を取り、強度を調べると、高炉セメントB種に比べてフライアッシュB種の方が変動係数は小さくなる。また、標準養生供試体に比べ強度の低下も少ない。これは、混和材としてのフライアッシュが、打ち込まれたコンクリートの流動性能の向上に大きく寄与しているためであると考えられる。

(2) フライアッシュセメントを用いた時、ポンプから直接打ち込むよりは、ケーシングを用いた方が変動係数により結果が得られた。

(3) ケーシングから離れた位置のコンクリートのW/Cが、原配合より2.5%も大きなものとなることから、1本のケーシングが受け持つ面積には、打設するコンクリートの配合等の条件により、注意することが必要である。

7. 参考文献

- 1) コンクリート専門委員会報告F-17：硬化コンクリートの配合分析に関する共同試験報告, 1967

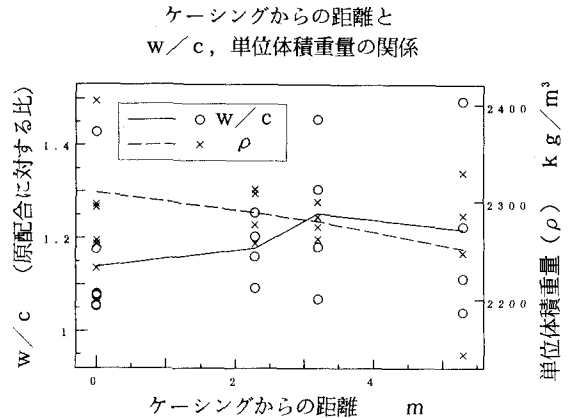


図-6