

水中コンクリートの施工に関する実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON UNDER WATER CONCRETE METHOD

中村弘之¹・柏木功²・菅野利明³・川尻伸二⁴・関口信一郎⁵
Hiroyuki NAKAMURA, Isao KASIWAGI, Toshiaki KANNO, Shinji KAWAJIRI,
Shin-ichiro SEKIGUCHI

¹(財)港湾空港建設技術サービスセンター 北海道支部 (〒060-0807 札幌市北区北7条西2丁目)

²(株)松本組 (〒040-007 函館市吉川町4-30)

³(株)吉田組 札幌支店 (〒065-0014 札幌市東区北14条東15丁目3-5)

⁴北旺建設(株) (〒003-0029 札幌市白石区平和通2丁目北11-18)

⁵正会員 (財)港湾空港建設技術サービスセンター 北海道支部 (〒060-0807 札幌市北区北7条西2丁目)

This paper is concerning about underwater concrete method using concrete pumping and casing pipe. This method is reliable and popular in the field of construction of port and fishery harbor facilities. Most essential code i.e. mix proportion, the way of placement and so on, is declared at "STANDARD SPECIFICATION FOR CONCRETE STRUCTURES-2002, Materials and Construction" edited by JSCE, and "MANUAL FOR UNDER SEAWATER CONCRETE" supervised by Hokkaido Development Agency. Though the first-setting distance between casing pipe and surface of rubble mound is one of the most important factors to prevent segregation in water, it is not described in them. To clarify the distance, the placing concrete tests using concrete pumping and casing pipe, we carried out with good precision.

According to these experiments, the paper addresses that the appropriate distance can be about 6 cm.

Key Words : Underwater concrete, concrete pumping, casing pipe, the first-setting distance

1. はじめに

水中コンクリートの打ち込み工法としては、①コンクリートポンプとケーシングの併用方法（以下、ケーシング工法）、②コンクリートポンプの筒先を直接コンクリートに差し込む方法（以下、ポンプ工法）および③トレミーを用いてコンクリートの自重により自然落下させる方法（以下、トレミー工法）がある。水中コンクリートの施工は材料分離が生じないように連続して打設することが要諦である。

ケーシング工法はケーシング内に一時的にコンクリートを貯留することによってコンクリートの水中落下を防止することができ、またコンクリートポンプの吐出反力や作業船の動揺などの悪影響を受けずに打ち込みが可能であることから他の工法に比べて優れていると考えられる。

1989年～1991年、北海道開発局は『海洋性水中コンクリート技術開発調査委員会』（委員長：岡村甫 東京大学教授（当時））を設置して、ケーシング工法による施工方法を確立し、『海洋性水中コンクリート施工の手引き（案）』⁴⁾（以下、『手引き（案）』）にまとめ、それに基づいて施工を行っている。

近年、水中コンクリート打ち込み当初のケーシング先端位置が不適切であることが原因とみられる事例が散見されたことから、2006年、国直轄事業の水中コンクリート施工についてアンケート調査を行った。その結果、水中コンクリートの打ち込み当初におけるケーシング先端位置が一定していない等が明らかになった。土木学会編『2002年制定 コンクリート標準示方書（施工編）』²⁾（以下、『示方書』）および『手引き（案）』⁴⁾においては「打ち込み時のコンクリートは、水中を自由落下させてはならない」とされているが、ケーシング先端位置の当初高さを規定していない。

本論文においては、陸上実験に基づき、ケーシング先端位置の当初高さの設定とその後のケーシングの巻き上げ方法について述べる。また、その点が水中コンクリート品質に大きく影響することから『手引き（案）』⁴⁾に解説を補うことを提案する。

2. ケーシング工法

(1) ケーシング工法に用いるコンクリート配合

『手引き（案）』⁴⁾において、適用の対象は、無

筋コンクリートによる港湾および漁港の構造物であり、場所打杭や地下連続壁などは対象外としている。表-1 にコンクリートの標準的な配合を示す。なお、水中不分離性混和剤の使用は対象外である。

表-1 標準的な配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラップ の範囲 (cm)	空気の範 囲 (%)	水セメン ト比 (%)	細骨材率 (%)	単位セメ ント量 (kg/m ³)
40	15～18	5.5	50以下	43～45	340以上

(2) 手引き（案）によるケーシング工法の手順

ケーシング工法による水中コンクリートの打ち込み手順を図-1 に示す。水中コンクリートは適当な締切りをして静水中で打ち込むことを原則とする。

- ①打ち込み開始に当たっては、ケーシングの先端にプランジャーや鋼製蓋を装着し、その筒先を地盤に着底させ、ケーシングの安定や水密性を確認してから輸送管を通してコンクリートを打ち込まなければならない。
- ②ケーシング内に充填されたコンクリートはコンクリートの自重で放出させてはならない。ケーシング先端を着底面より 6cm 程度上げた時点から、ポンプ車の吐出力でコンクリートを押し出し、コンクリートがケーシング内から溢れ出る様であればケーシング管を 1・2・3cm と上々にウインチで上昇させ捨石面からの隙間を調整する。ケーシング内のコンクリートは上面から目視ができる状態であること。
- ③打ち込み時のコンクリートは自由落下をさせないように、ケーシング先端がコンクリート中に 50～100cm 程度挿入されている状態を保ちながら、既に打ち込まれたコンクリートをかき乱さないように垂直に引き上げなければならない。
- ④コンクリートは所定の高さまたは水面上に達するまで連続して打ち込まなければならない。
- ⑤コンクリート表面が完全に水面上に盛り上がった段階でケーシングを外し輸送管のみで打設する。
- ⑥打ち込み終了時において水に接した表層のコンクリートは、これを完全に除去しなければならない。

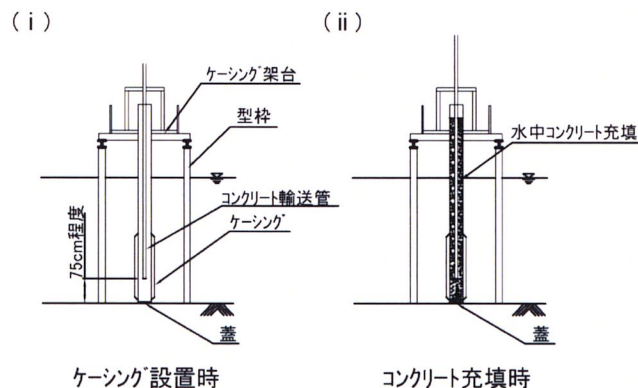


図-1 (a) ケーシング工法の施工手順

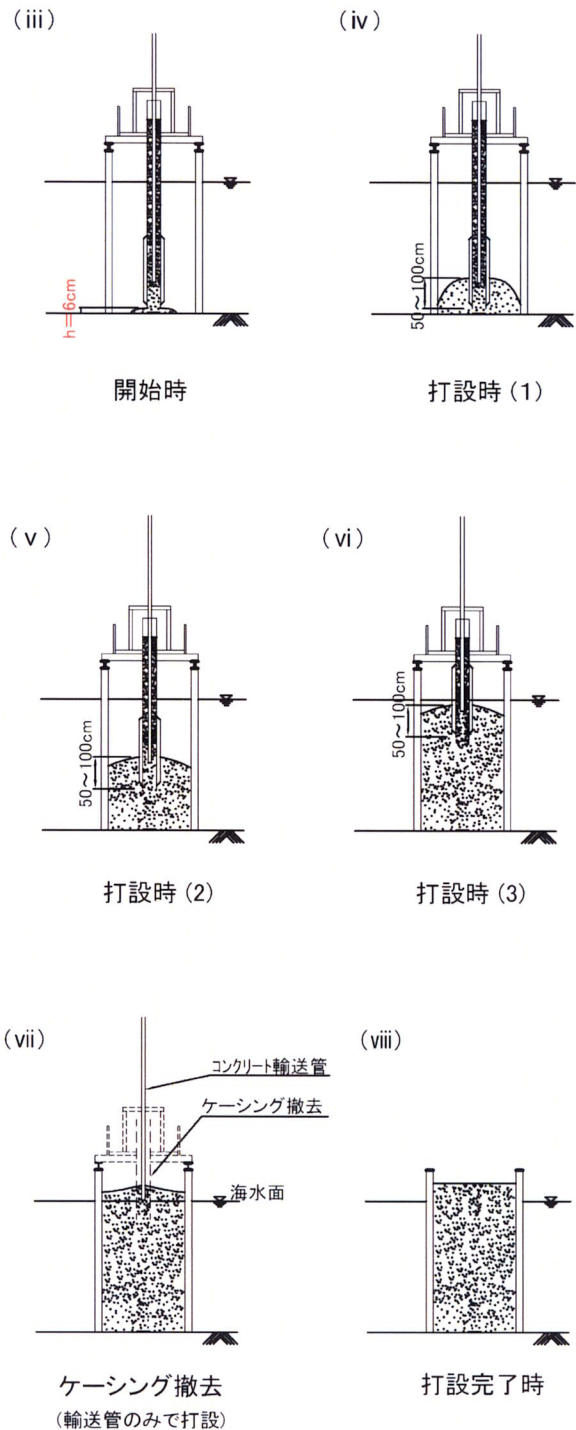


図-1 (b) ケーシング工法の施工手順

『手引き（案）』⁴⁾において、打設時における型枠内の海水処理方法は型枠に穴を開けて対応することとなっているが、実際には海水を汚す恐れのあることからシルトフェンスを設置しているのが一般的である。汚濁防止の観点から言うと、型枠内の海水はポンプにより汲み上げ、付近の海水に影響を与えないことが望ましい。⑥の水に接した表層のコンクリートの除去方法は、海水をポンプで汲み上げた後に柄杓で集め、ドラム缶に入れ処理を行うことが望ましい。

(3) 既往の課題

既往の課題としては、ケーシング先端位置の当初高さが設定されていないことである。

3. 水中コンクリートの施工に関わる実態調査

2006 年に北海道開発局発注の港湾・漁港工事における水中コンクリート施工の在り方について、全道一斉に初期打設時に関わる施工実態調査を行った。

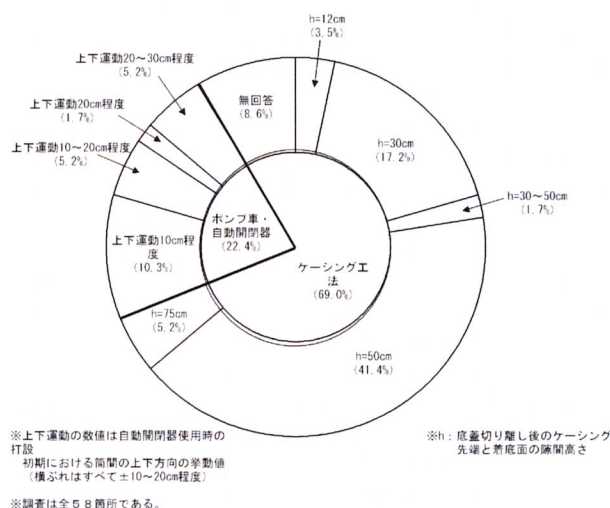


図-2 2006 年水中コンクリート施工実態調査
(北海道開発局発注の港湾漁港工事)

調査結果によると、図-2 に示すとおり、水中コンクリート施工におけるケーシング工法は、全体の7割に留まっており、2割はポンプ工法およびポンプの先端に油圧式自動開閉装置を装着する工法(写真-1)が占めている。

ポンプ工法および油圧式自動開閉装置を用いた工法では輸送管がコンクリートの吐出力の反力で上下・左右に動揺したことが聞き取り調査から明らかになった。既に打ち込まれたコンクリートが輸送管や自動開閉装置によってかき乱された可能性が高い(図-3)。さらに、自動開閉装置はコンクリートを打ち込む当初の高さが適切でなければ、弁が開いた瞬間にコンクリートは自由落下するため、コンクリートは乱される。ケーシング工法が開発された動機は、それらの工法の弱点を改良するためであった。

ケーシング工法においては、ケーシング先端の当初の位置設定、すなわちケーシング先端と着底面の間隔は12~75cmであり、大きなばらつきがある。その原因は『手引き(案)』および『示方書』に規定がないためでもあるが、水中コンクリートの品質を確保する上での要因の一つと推察される。



写真-1 油圧式自動開閉装置



写真-2 油圧式自動開閉装置の詳細

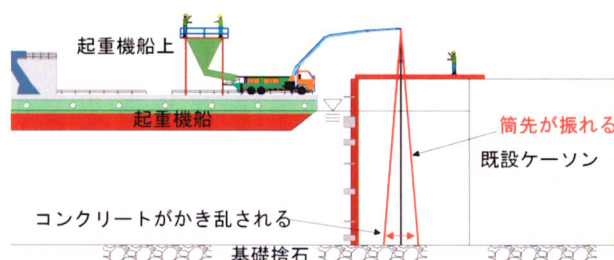


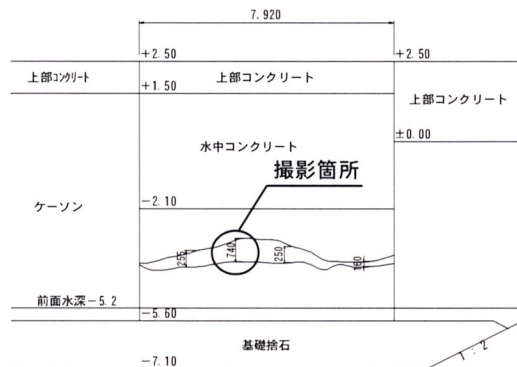
図-3 ポンプ工法・開閉装置工法による筒先の動揺

写真-3、図-4 は建設後、約10年を経過した水中コンクリートの岸壁である。長さ8m、最大幅74cm、奥行約1mの欠損が生じている。その原因としては

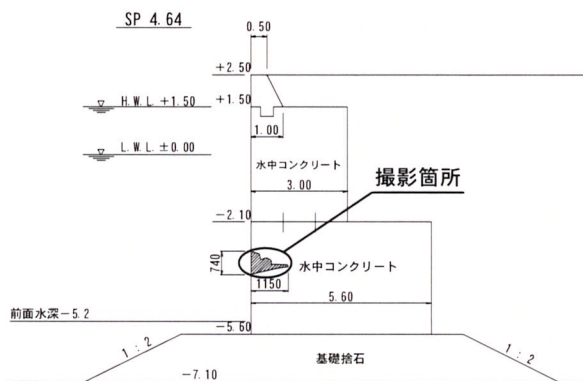
- ①水中コンクリートを所定の高さまたは水面上に達するまで連続して打ち込むことになっているが、途中で打設を中止した。
- ②水中コンクリートにおいてコンクリート表面が水に接して材料分離を起こすのは避けられない。コンクリートの硬化後、ジャックハンマーなどにより材料分離したコンクリートを完全に除去してから新コンクリートを打ち継ぐ必要があるが、それを怠った。
- ③新コンクリートを打ち始める際は、ケーシング先端の高さが適切でなく材料分離が生じたことが考

えられる。

写真-3 にみられる不規則な欠損形状から判断して上記全ての要因が重なっているように推察される。原因の①②はすでに『手引き（案）』に規定された事項を順守すれば防ぐことができるので、原因③が問題として残る。



(a) 正面図



(b) 側面図

図-4 水中コンクリートの欠損事例

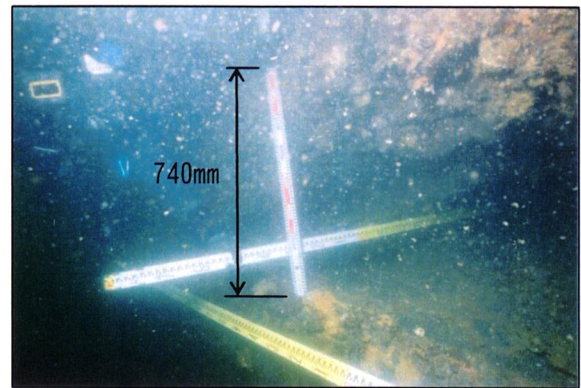


写真-3 (b) 水中コンクリートの欠損状況②

4. 現地実験

(1) 実験の目的

着底面からのケーシング先端の位置設定から打設開始までの施工手順を確認するために陸上において実験を行った。実験に用いた型枠寸法等は写真-4、写真-5 のとおりである。コンクリートはスランプ 16.5cm で表-1 の配合となっている。ケーシングの直径と長さは各々400mm、3.0mである。

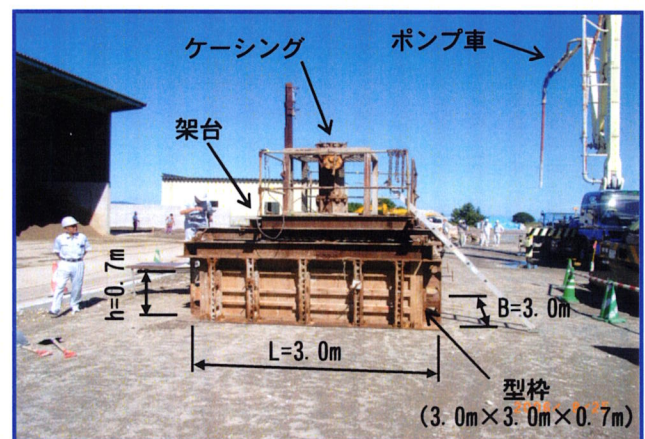


写真-4 現地試験装置

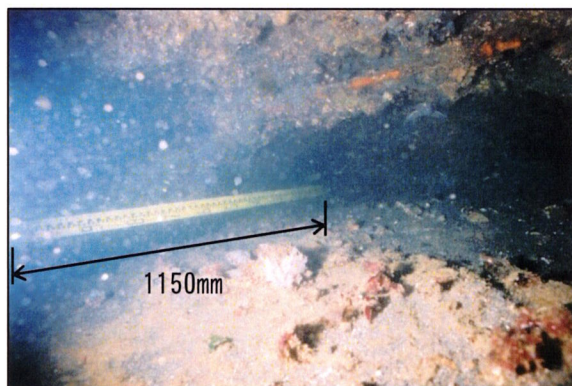


写真-3 (a) 水中コンクリートの欠損状況①



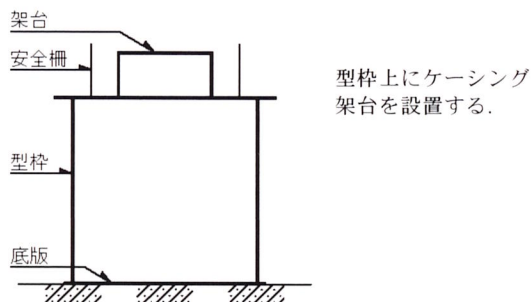
写真-5 現地試験装置（ケーシング）

(2) 実験の方法

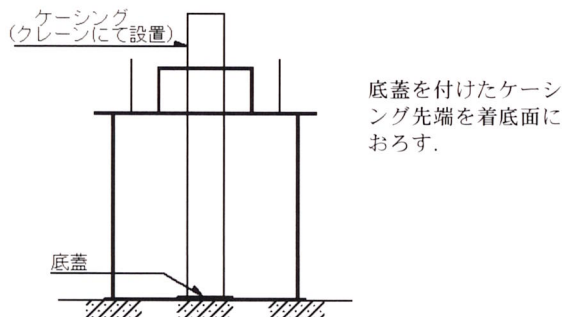
現地実験の方法は以下の通りである。

コンクリートの自重で放出される隙間の高さ確認の把握が必要である。この隙間の高さが自由であれば、水中落下になってしまうからである。コンクリート打設の初期段階において一番重要なのはケーシングの先端口から海水を流入させないことである。コンクリートがケーシング先端口と捨石面から自重で放出させない隙間の状態が一定でコンクリートポンプ車の吐出力で打設させる事に留意する必要がある。

①架台設置



②ケーシング設置



③コンクリート輸送管の挿入

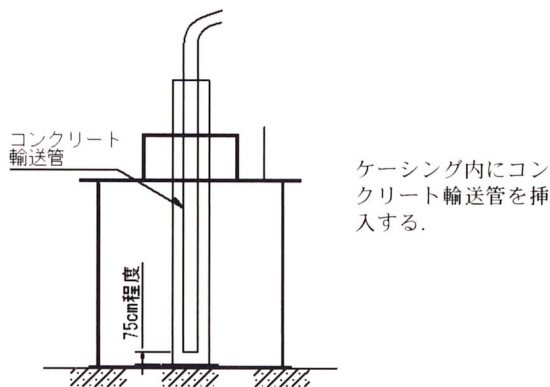
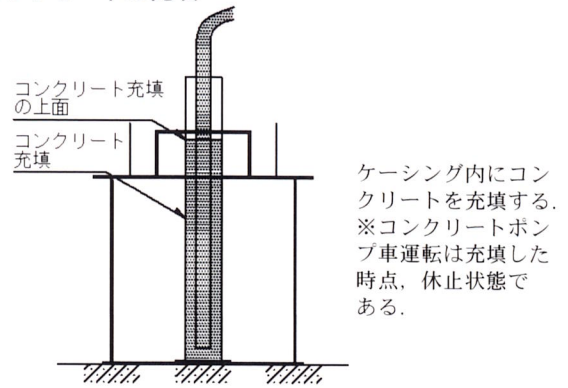
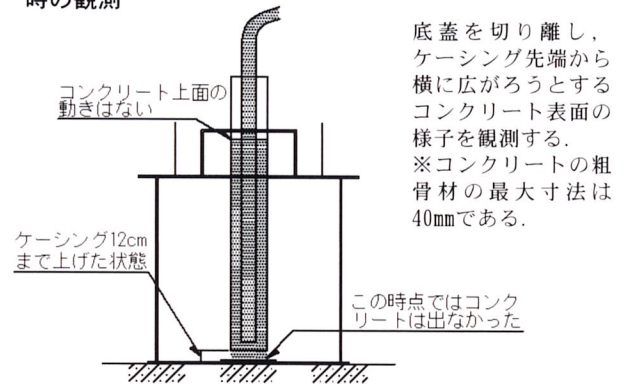


図-5 (1) 現地実験の順序

④コンクリートの充填



⑤ケーシング 12cm まで上げた時の観測



⑥コンクリートが自重で放出された状態

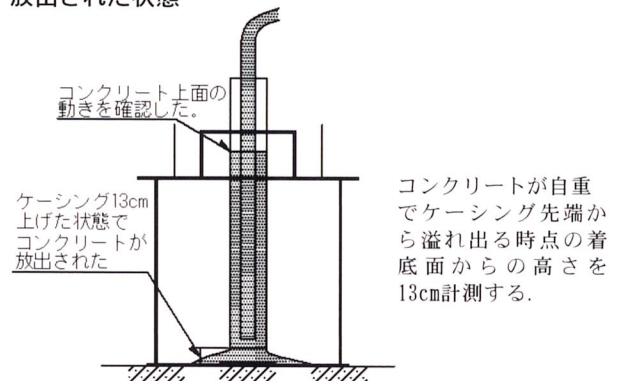


図-5 (2) 現地実験の順序

(3) 実験結果

陸上での試験の結果、コンクリートが自重によってケーシング先端より押し出される事が確認できる底面からの高さは 13cm であった。水中においては陸上よりもコンクリートの流動性は大きくなるので、海水中では底面から 13cm より下方の位置から押し出されるものと考えられる。図-2 の例では 3.5%しかその値を満足していない。

ケーシングの径の大きさによって相違する可能性やたった一度の実験（しかも陸上施工）ではあるが、

実際の施工にあたっては骨材の最大寸法が 40mm であることを考慮して、ケーシングを底面より 6cm 程度 (40mm の 1.5 倍) 上げた時点より、ポンプ車の吐出力圧でコンクリートを押し出し、ケーシング先端から横に膨張するコンクリートを観測しながら打設を開始する方法が実用的と考えられる。ケーシング内からコンクリートがあふれ出る様であれば、ウインチでケーシングを 1cm, 2cm と巻き上げ調整する。

なお、型枠内にて潜水土等による打設開始前のケーシング先端の着底及びケーシング巻き上げ高の確認が必要である。

この結果は「2. ケーシング工法 (2) ケーシング工法の手順」の①と③の間の手順として追加することが必要である。

5. 結論

主な結論は以下の通りである。

- ①水中コンクリート施工においてはケーシング工法の正しい手順をさらに徹底しなければならない。
- ②現行のケーシング工法に関する『手引き (案)』および『示方書』にはコンクリート打ち込み当初のケーシング先端と着底面の間隔が明記されておらず、実態調査によるとそのばらつきが大きい。
- ③陸上実験においてコンクリートがあふれ出ないケーシング先端と着底面の間隔は最大 13cm であった。
- ④水中においては、ケーシング先端を底面より 6cm 程度上げた時点から、ポンプ車の吐出力圧でコンクリートを押し出し、ケーシング先端から横に膨張するコンクリートを観測しながら打設を開始する。ケーシング内からコンクリートがあふれ出る

様であれば、徐々にウインチで巻き上げ調整する。

6. あとがき

ケーシング先端の初期位置が水中コンクリートの品質に大きな影響を及ぼすにもかかわらず、これまで注目されてこなかった。今回の簡単な陸上実験によってそれを確認した。ケーシング工法を開発した時点においては自明のことであったかも知れないが、時間の経過とともに忘れられ、近年の実態調査ではその基本が守られていないことが明らかになった。

ケーシング工法は水中コンクリートの施工方法として最も優れていると著者らは考えており、その確実な運用を望むものである。本論文で明らかにしたことが今後の施工に役立てて頂ければ幸いである。

謝辞：本論文の核となる「実証実験」に関して貴重な機会を頂戴した北海道開発局函館開発建設部様には多大なるご協力と深いご理解を賜りましたことに、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 最新コンクリート材料・工法ハンドブック
- 2) 【2002 年制定】コンクリート標準示方書〔施工編〕：土木学会, 2002. 5
- 3) 平成 17 年度版 北海道開発局 港湾・漁港工事仕様書, 2006. 4
- 4) 北海道開発局 港湾部港湾建設課, 農業水産部 水産課, 社団法人 寒地港湾技術研究センター：海洋性水中コンクリート施工の手引き (案), 2004. 3