

# 39. 水中コンクリート用打継目清掃機の開発

本州四国連絡橋公団：坂本 光重

## 1. はじめに

明石海峡大橋は中央径間1990m、橋長3910mの長大吊橋であり、この主塔基礎はコンクリート量が35万 $m^3$ を越える巨大な水中構造物である。このうち水中コンクリートは図-1に示すように26.4万 $m^3$ であり、温度ひび割れの防止のため先に内核部を打設し、完了後引続いて二重壁部を打設した。内核部は全面積(2462 $m^2$ )同時に1回当り3.5mリフトで打設し、これを14回くり返して完了した。また二重壁部はTP-60mからTP-5mまで連続して打設し、これを16回くり返して完了した。

内核部は3.5mリフトの層状打設であり、打継面の強度の確保が問題となった。すなわち、打設完了後のコンクリート表面には、打設中にコンクリートから遊離した微粒分や、マリンスノー等が堆積するためこれを除去し清浄なコンクリート面を露出させる表面清掃が必要となった。この表面清掃作業は小規模な基礎であれば人力(ダイバー)で十分可能であるが、今回は清掃面積が広くかつ水深も50mを越えるためダイバーによる施工は工程上及び安全上困難であり、専用の水中清掃機を開発した。以下この水中清掃機の開発経緯と稼働実績について述べる。

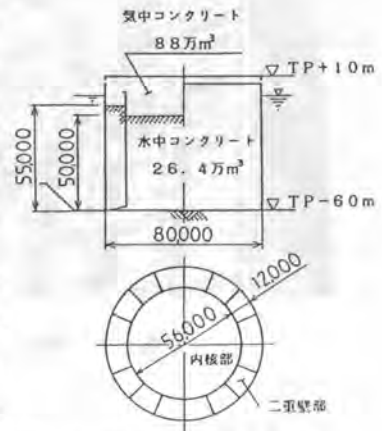


図-1 主塔基礎一般図(2P)

表-1 打継目処理実験結果

処理方法	無処理	水で洗う	ブラシで洗う
引張り	1 採取不能	13.1	14.5
強度	2 採取不能	11.2	12.4
( $kg/cm^2$ )	平均	-	12.2

※材料 28日強度

## 2. 水中清掃機の開発

### 2-1 清掃装置

今回打設したコンクリートは水中不分離性コンクリートであり、コンクリートの分離量もブリージング水量も極めて少ないため、ダムコンクリートのグリーンカットのような表面コンクリートの除去は不用であり、コンクリート表面の堆積物を除去すれば良い。

設計に先立って実施した表面の処理程度とコンクリートの付着強度の試験では表-1に示すようにブラシ洗いで十分な付着強度が得られた。したがって清掃機構としては図-2に示すように、ナイロンブラシを回転させて沈澱物を浮遊させ、これを水中ポンプでケーソン上の濁水処理装置へ揚水する機構とした。ブラシは摩耗を考慮

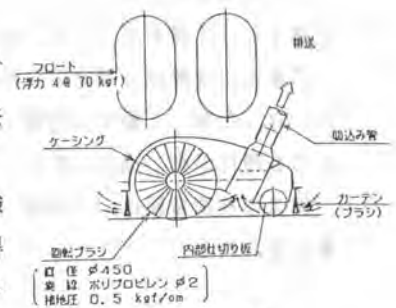


図-2 清掃装置の構造

してポリプロピレン製を採用するとともに上部にフロートを設けブラシの設地圧を調節した。またブラシはカバー内に収納し沈澱物の拡散を防止した。

## 2-2 走行方式

打設完了後のコンクリート表面の高さの差は15cm程度であり全体としてはほぼ平滑であるが、各打設管(24本)から打設されたコンクリートの合流位置には10~15cmのV・U字形の溝が生ずるためこれを乗り越えなければならない。走行機構としては表-2に示すように車輪方式と履帯方式の二種類考えられるが、ここでは方向制御性や機構の簡略化を重視して車輪方式を採用した。

駆動は四輪駆動にするとともに、鋼製車輪の外周にゴム履帯をはめ込み粘着力の向上を図り駆動力を確保した。また作業車本体と車軸の間に図-3に示す平行アングリング機構を設け、走行面の傾斜にかかわらず常時全車輪が接地する機構とした。なお水中作業車を写真-1に示す。

## 2-3 位置の計測

清掃作業にあたって最も重要なことは、広い面積全体をくまなく清掃し沈澱物の取り残しを無くすることであり、作業車の正確な位置の制御が必要となる。陸上であれば一見して把握できるが、水中では不可能であり、水中における位置の計測には一般的に超音波が使用される。しかし今回は鋼ケーソン内の作業であり、鋼の超音波伝達速度が水に比べて速い(約3倍)ため使用できない。

一方水中の作業車に対し動力の供給や制御信号の伝達を行なう電力・信号ケーブルは不可欠であるとともに、今回の作業範囲は直径56mに限定される。このため図-4に示すように、このケーブルの長さや張出方向により作業車の位置を計測する方法を採用した。

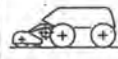

ケーブルの長さは次項で述べるケーソン上のケーブル巻取ウインチドラムの回転角度で計測するとともに、角度は水中旋回シーブに設けたパルスカウンターにより計数し、これらを電算機にとり込み常時座標計算を行ないCRT画面上に表示した。

なおこのケーブルは18mmの導体3本と光ケーブル4本を収容した耐張力3000kgの中性浮力ケーブル(比重1.0)とし、たれ下り等による位置計測の精度低下を防いだ。

## 2-4 走行制御

作業車の走行は作業範囲が円形であることに着目しケーソン中心を中心とする巡回走行を基本とした。しかし清掃作業は長時間に及

表-2 走行方式の比較

	車輪方式	履帯方式
一般図		
200mm程度の走破性	1) 4輪駆動 2) 前後軸重割合 2/1 3) 粘着係数 0.5 なら車輪径 1m以上	粘着係数が 0.25 でも走破可能な傾斜が得られる
方向制御への影響度	前軸舵角制御方式 (アルゴリズムが比較的明白)	左右の動輪舵角制御 (アルゴリズムが不明確 軌スリップの発生)
傾斜への影響度	大きな傾斜比が必要	可動部が多いことから傾斜が複雑となる
適合性	高い	低い

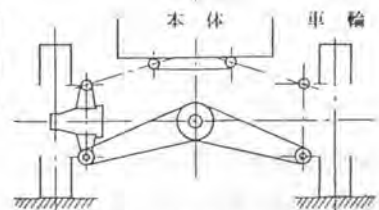


図-3 平行アングリング機構



写真 1. 水中作業車外観

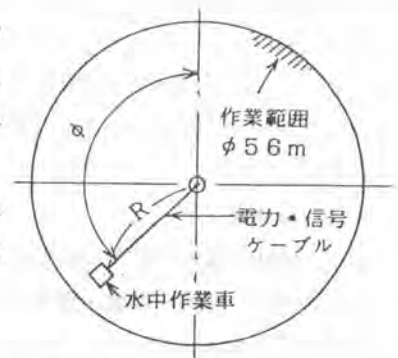


図-4 位置の計測

ぶため常時作業車の位置を監視しながら作業車を操作することは困難であり、ここではケーブル張力とケーブル繰出長による自動制御機構を取入れた。以下この原理について述べる。

走行中の作業車の位置・ケーブル長・ケーブル張力の関係は図-5に示すとおりであり、基準張力 $T_0$ と基準舵角 $\theta_0$ の関係は概略下式で表わすことができる。

$$\theta_0 = \sin^{-1} \left( \frac{L}{R} \right) - \alpha$$

ここで $L/R$  張力を0とする舵角  
 $\alpha$  基準張力を与えるための増減分舵角

したがって次に示すようにケーブル張力( $T$ )を検出しこの張力が下限( $T_L$ )と上限( $T_U$ )の間に収まるよう舵角 $\theta$ を管理すれば $R$ に応じた円形走行することになる。

- ①  $T_L < T < T_U$  の場合舵角 $\theta$ に保つ
- ②  $T < T_L$  の場合外側に繰舵する。
- ③  $T > T_U$  の場合内側に繰舵する。

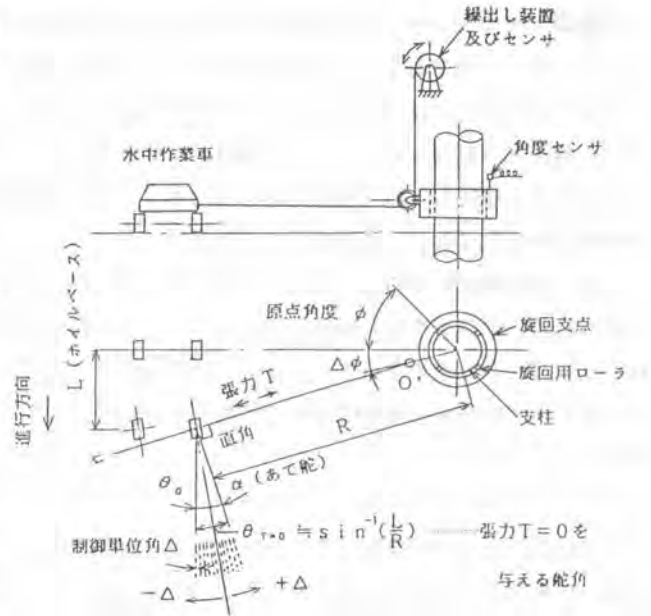


図-5 走行制御原理図

なお舵角の制御は油圧シリンダで舵角テコを動かし、附属のストロークセンサで実ストロークをフィードバックするものとした。

実作業における水中作業車の走行パターンは図-6に示すように一定半径上の走行・外方旋回・内方旋回の3種類となる。したがって操作員は1回転当りの繰出量を設定するのみとし、他は次に示すように自動的に制御した。すなわち図-6に示す角度センサで $\phi$ を検出しこれに応じてケーブル巻取ウインチでケーブルを繰出す機構とした。ここで1回転当りの繰出量を $P$ とすれば $\Delta P$ は $P/2\pi$ である。したがって1周を $n$ 等分し角度が $2\pi/n$ 変化するごとに一定量 $\Delta P$ を繰出せば良いことになる。

### 2-5 全体構成

以上が水中作業車の概要であるが、これを円滑に移動させるためにはこの他に、電源・制御・操作等の支援装置が必要となる。これらは図7に示すようにケーソンの中心に設けた、作業車と同調して回転する旋回架台上に搭載した。なお水中作業車の主要仕様は表-3に示すとおり、海水中での使用を考慮して全油圧駆動を採用した。



図-6 半径方向の位置制御

### 3. 稼働実績

本装置は平成元年10月(2P),平成2年2月(3P)より運転を開始し,全体で668時間稼働した。

全体の処理回数は23回であり,1回当りの清掃回数は工程の許す限り行なうものとし平均で4回となった。

したがって1回当りの清掃時間は7.3時間でありこれはケーソンの広さと表-3に示す走行速度から求まる設計計画時間とはほぼ一致した。

一例として2Pにおける清掃回数と揚水中に含まれるスライム量(沈澱物量),並びに揚水水质(濁度)の関係を図-8,図-9にそれぞれ示すが,清掃回数を重ねる毎にスライム量は減少するとともに濁度は低下しており確実に清掃効果が向上している。なおスライム量1mgは清掃面積上の堆積高さに換算すると0.4mmに相当し微量な量である。処理完了後,東西-南北の二方向について幅1m×長さ56mの範囲を水中テレビカメラで観察したが,いずれの清掃後も高さ5mm程度のコンクリートの流動模様が観察でき非常に清浄なコンクリート面が得られた。

### 4. あとがき

本装置は昭和62年10月に開発に着手して以来実験機的设计・試作・実験を経て平成元年10月に実用に供した。

開発期間も短かく作業開始当初は初期故障等トラブルの多発が懸念されたが,トラブルは全期間を通じて走行車輪の損傷の1回のみであった。また清掃効果も前項で述べたように良好な結果が得られた。これも設計製作を担当された㈱新潟鉄工所及び運用を担当された2P・3P下部工JV各位の御努力によるものであり誌上を借りてお礼を申し上げる。

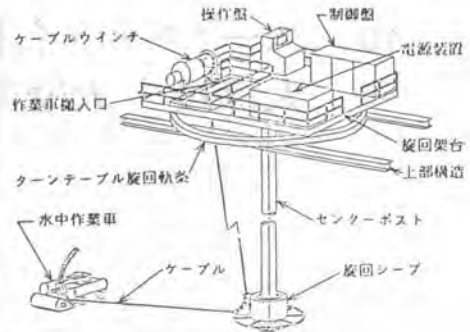


図-7 全体構成

表-3 水中作業車主要仕様

主要目	仕様
形式	全油圧式
走行速度	4m/分
耐水圧	100m
清掃幅	1.8m
重量(空中/水中)	3.5ton/2.5ton

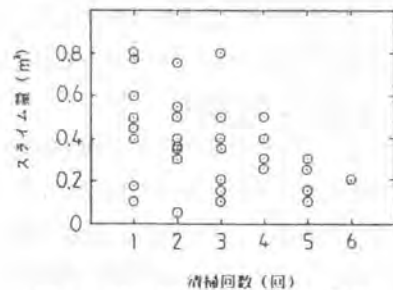


図-8 清掃回数とスライム量の関係(2P)

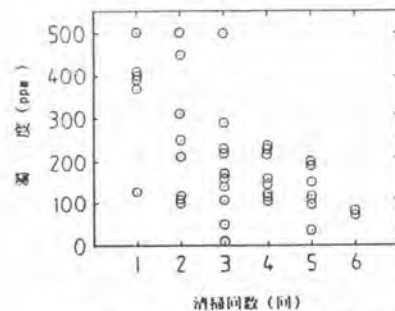


図-9 清掃回数と濁度の関係(2P)