

# 環境にやさしい波力を利用した小型発電システムの開発

新潟港湾空港技術調査事務所 施工技術課 羽田 広希

## 1. はじめに

近年、環境にやさしい自然エネルギーの利用がとえられており、自然エネルギーを利用した様々な発電装置が開発されている。

本開発は、臨海部の空間に存在する自然エネルギーを利用した小型で汎用性のある発電システムおよび発生電力の港湾施設での利用について開発するものである。

## 2. 開発スケジュール

自然エネルギー利用技術の開発は、平成12～13年度で発電システムの検討、水槽模型実験、平成14年度からは実海域実証実験、実用化に向けた課題の整理・検討を実施している。

表-1 開発スケジュール

項目	年度	平成12～13年度	平成14～15年度
発電システムの開発		[開発試験費] 発電システムの検討 水槽模型実験 課題の整理 事業化施設決定	[事業費] 発電装置製作 実海域設置 実海域実証実験 課題の整理・検討 発電装置改良
	利用システムの開発	利用方法の検討 利用方法の選定	

## 3. 発電方式の選定

自然エネルギーとして一般的に定義されている太陽光、風力、海洋（波力、潮汐、潮流、温度差）、水力、地熱、バイオマスがあるが、本開発では各エネルギーの中から港湾施設へのエネルギーとして有望な太陽光、風力、波力の自然エネルギーを一次選定した。

一次選定された自然エネルギーの中から、太陽光、風力については発電装置の小型化も進み、小規模容量の電力供給法として普及しているが、波力については浮体式航路標識の点滅電源としての限定的利用程度に留まっている。従って港湾施設で一番取り組みやすく、将来への技術の継承と小型発電装置として開発余地のある波力エネルギーと電力の安定供給を図る観点から、太陽エネルギーを複合的に利用したハイブリット方式を選定した。

## 4. 発生電力の利用方法の検討

港湾施設で比較的小電力でも利用可能な施設を中心に検討した。

### 4.1 発電規模

小型発電機の規模について定義されたものは無いが、本開発では汎用性のある小型波力発電タービンの利用を前提としていることから発電機一基の規模を100W程度とする。利用目的により発電量がさらに必要な場合は発電機を複数設置することにより対応する。

### 4.2 小型発電装置の設置場所

既設の防波堤への設置及び小型の発電装置を前提とすることから、小型発電装置の耐波性を考慮し、高波浪を対象とした防波堤ではなく中小波浪を対象とした防波堤あるい

は波除堤を小型発電装置の設置場所とする。

#### 4.3 利用方法

港湾施設への活用が図れるものについて検討した結果、人工湧水、防蝕電着、DO（溶存酸素）環境改善、波浪観測装置用電源などが考えられるが、親水施設での安全性と自然エネルギーの利用啓蒙を図ることを考慮して、実験では電光掲示板等に利用するものとした。

#### 5. 水槽模型実験

水槽実験は、実海域を想定して計画した波力発電装置の性能（波エネルギーの変換効率）および装置の固定方法に関する強度（作用波力）を確認し、実海域での利用に資することを目的とする。

##### 5.1 実験方法

発電装置は、汀線から沖合にでた突堤や、波除堤の港内側に設置することが想定されるため、発電装置には堤に沿ったいわゆる沿波が主たる波の方向となる。従って、装置の実験水槽への取付方法は、沿波を想定

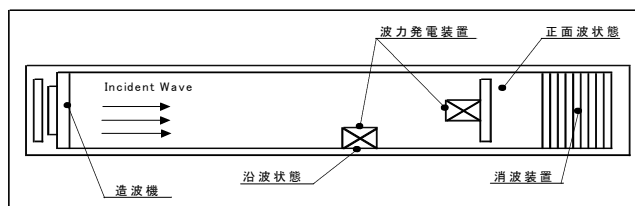


図-1 水槽実験概念図

し水槽側面に装置を設置する。また、港内において正面波として小波浪を受けるケースも想定されるため装置を正面波としたケースについても実験することとした。

##### 5.2 実験条件

本水槽実験では、実海域の実験に持ち込める空気室を使用する。そのため供試水槽は、造波機の能力等も実海域に近い状態で実験できるものが必要である。

###### 5.2.1 波浪

実海域の波浪は様々な周期成分を持った不規則波であるが、この実験では、波力発電装置の基本的性能を把握することに主眼を置いて、規則波で実施した。

表-2 波浪条件

(単位:m)

波周期 (秒)	波高 大		波高 小	
	沿波	向波	沿波	向波
2.0	0.40	0.09	0.20	0.04
2.5	0.40	0.09	0.20	0.04
3.0	0.32	0.09	0.20	0.04
4.0	0.21	0.11	0.11	0.05

###### 5.2.2 ノズル比

空気室の効率は、空気室と外部大気間をつなぐ空気流路面積に依存して変化することが知られており、空気室のエネルギー吸収効率の観点からは、ノズル比（空気流路面積と空気室水線面積の比）は1/100~1/200が適当と言われている。

この実験ではタービン台数を1~8台と想定して、タービンの代用として複数のオリフィス（φ58.6, 163.7, 231.5mm）を組み合わせることにより、ノズル比を下記のように設定した。写真-1にオリフィス、図-2にオリフィスの組み合わせを示す。



写真-1 オリフィス

### 5.2.3 模型実験結果

#### 1) 発電出力

沿波状態で周期3~6秒、有義波高0.5~1.5mの範囲の実験で得られたエネルギー吸収効率より算出される発電出力は、有義波高0.5m、周期5~6秒で100W程度、有義波高が1.0m、周期5~6秒で300~500Wと推定される。

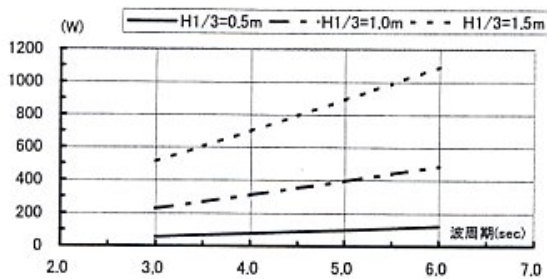


図-3 推定発電出力(ノズル比1/190)

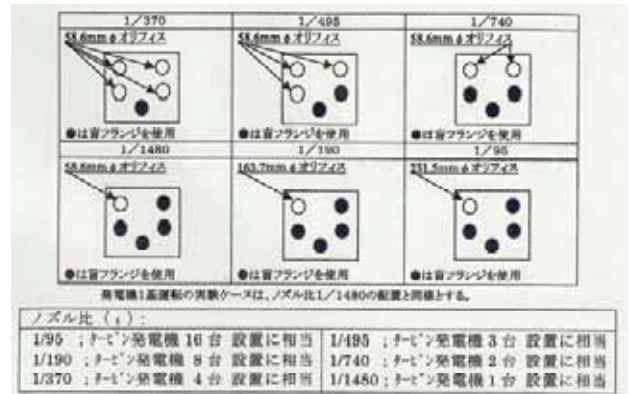


図-2 オリフィスの組み合わせ

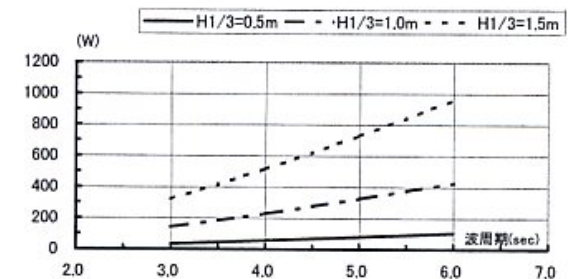


図-4 推定発電出力(ノズル比1/370)

#### 2) ノズル比

各設定ノズル比の中で1/190と1/370の2ケースについて、発電出力が大きくなる。この2ケースでは、ノズル比1/190のケースが1/370より発電出力が大きくなる傾向にあり、有義波高0.5mの発電出力を比較するとノズル比1/190と1/370では発電出力は殆ど同程度だが、有義波高1.5mで比べるとノズル比1/190と1/370では発電出力に大きな差が生じている。波高が高くなるほどこの差は顕著となっているが、電光掲示板、音声警報装置、照明などの必要電力が400W程度となることから、ノズル比1/370を採用し実海域実験ではウェルズタービン100W×4台で計画する。

### 6. 実海域実験

新潟西海岸第一突堤で実海域での実証実験を行い、実用化する上での種々のデータを取得し、これらをもとに小型波力発電システムの実用設計を行った。

#### 6.1 実験場所

波力発電装置設置場所と電光掲示板の距離は送電ロスを少なくする観点から短ければ短いほど良く、また市民が集う親水施設周辺での設置が自然エネルギーの利用啓蒙を図る観点からも好ましい。これらの条件を満たす場所として新潟西海岸第一突堤に波力発電装置を設置した。



写真-2 実験装置全体配置

## 6.2 実験装置概要

### ①発電原理およびシステム概要

波力発電の原理は、波による海面の上下動で空気の流れをつくり、発電タービンをまわして発電し、波力と太陽光による発電電力は、電光掲示板、音声、蛍光灯に利用する。

また、模型実験よりウェルズタービン100W×4台で実施する計画であったがウェルズタービン500W×1台の方が発電出力が高く送電ケーブルや制御装置が簡素化できることから、ウェルズタービン500W×1台とした。

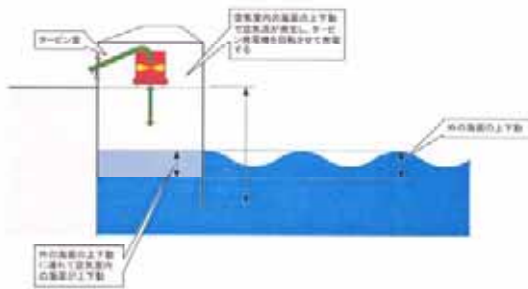


図-5 波力発電装置の原理



図-6 発電システム概要図

## 6.3 性能検証

離岸堤（潜堤）通過後の到達波高、周期と波力発電電力との関係より小型波力発電装置の性能検証を行った結果、波力発電装置は、波高により発電出力値はばらつくものの概ね300Wから定格出力の500Wを発現し、陸上に設置した電光掲示板も所定どおりに作動した。

よって、波力発電装置は計画どおりの性能を発揮していることを確認した。

## 7. おわりに

自然エネルギーを利用した発電システムとしては、地熱、風力、太陽光発電等実用化されているものは多くある。しかしながら波力を利用した発電システムは完全なる実用化はされていないのが現状である。我が国は四面を海に囲まれ、これら無尽蔵にある波エネルギーを利用した発電システムを開発し、港湾施設で利用する電力は波力発電でまかなうことを究極的な目標として進めたいと考える所存である。



写真-3 波力発電装置



写真-4 陸上制御ボックス



# 大保ダムにおける CSG 試験施工の概要

沖縄総合事務局 北部ダム事務所 調査設計第二課 町田 宗久

## 1、はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel) 工法とは、河床砂礫や掘削土砂などの粒度調整を行わない現地発生材にセメントを添加、混合し材料の強度を図る工法である。採取材料を洗浄せずに使用するため濁水が発生させないことから経済性や資源、環境面から期待されている工法である。この工法を用いて大保ダムでは、本ダム上流仮締切等の仮設構造物を施工した。さらに永久構造物である沢処理工と日本初の台形 CSG ダムを計画している億首ダムの施工方法の確立を目的として試験施工を行った。

## 2、CSG 試験施工の概要

### 2.1、試験施工の目的

台形 CSG ダムの試験施工を大保ダム貯水池内にある汚泥貯溜堤（高さ 15.5m、堤体積 5,100m<sup>3</sup>）、本ダム上流仮締切堤（高さ 9m、堤体積 3,400m<sup>3</sup>）、材料山仮締切堤（高さ 12m、堤体積 4,500m<sup>3</sup>）を利用して行った。以下の項目を目的として試験施工を実施した。

- ・台形 CSG ダムの混合、敷き均し、締固め等の施工方法の検討
- ・台形 CSG ダムの母材管理、締固め管理等の管理方法の検討

今回報告する内容は、CSG 品質管理方法の検討でおこなった室内試験の特に大型供試体の試験結果について述べる。

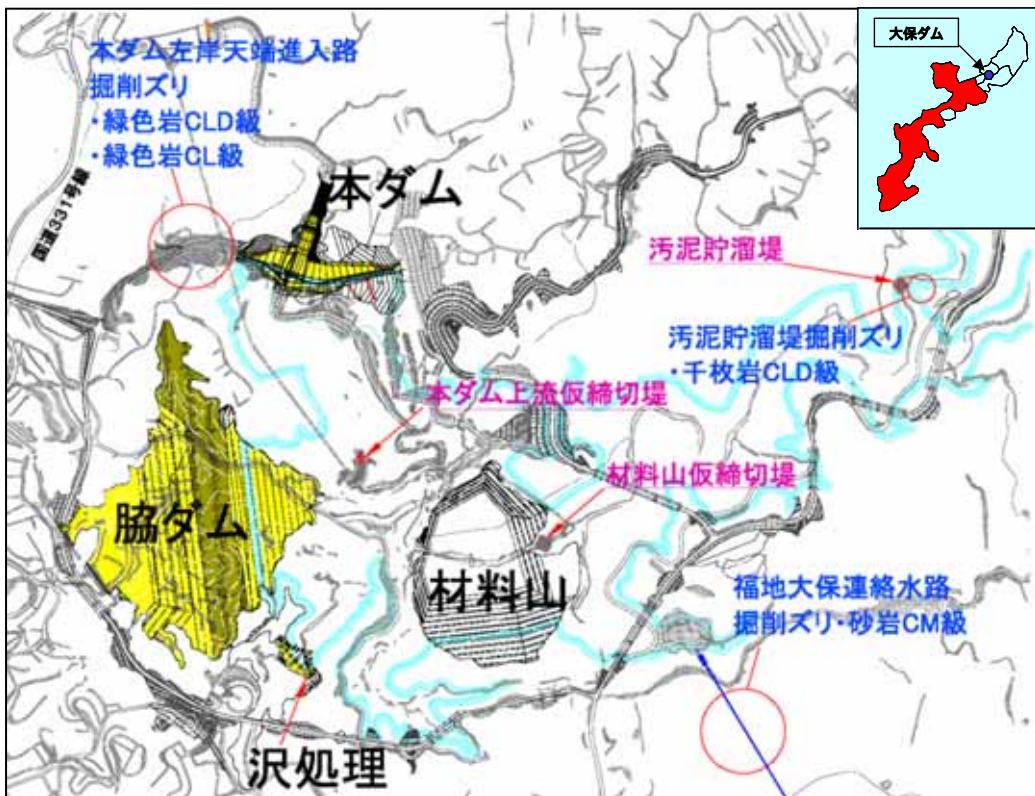


図 - 1 大保ダム位置図

## 2.2、CSG 試験施工の対象材料

試験施工に使用した母材は、本ダム左岸から掘削採取した緑色岩の CLD 級、CL 級とダムサイト関連工事から発生する砂岩 CM 級、千枚岩 CLD 級の合計 4 種類を使用した。

図 - 1 に今回行われた試験施工の位置と母材採取の位置を示す。

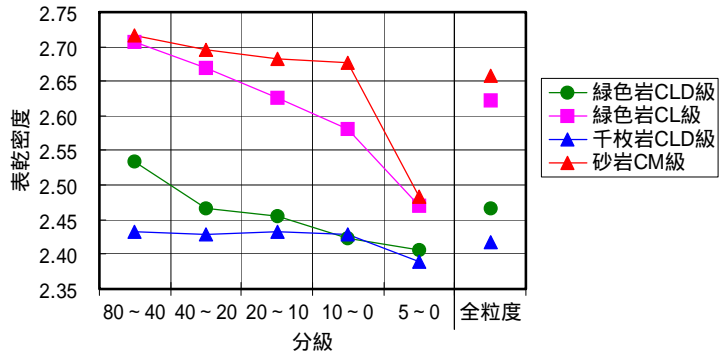


図 - 2 各母材の表乾粒度

## 3、試験内容

現場で打設した CSG 強度を管理するためには、室内試験により密度と強度の関係を把握し、現場密度から強度管理を行うことが合理的である。

そのため、想定される範囲の締固め密度を大型供試体により人為的に作製してフルサイズの CSG による大型供試体の密度と強度の関係を求めた。

試験内容の手順を示すと以下のとおりになる。

母材の物性と粒度のばらつきを把握し、予備試験により標準供試体、大型供試体の単位水量と締固め時間の範囲を設定する。

各母材の粒度試験結果により変動が想定される粒度を設定する。

室内試験により設定した粒度範囲の締固め密度と圧縮強度の関係を把握し、現場で用いる実機混合においても現場施工と同じ CSG 材料による締固め密度と圧縮強度を把握する。

室内試験による CSG 混合は傾胴式ミキサにより行い、大型供試体はフルサイズ (最大寸法 80mm) の母材を 4 層締固め、標準供試体は、40mm のウェットスクリーニングにより作製した。なお、単位セメント量は  $80\text{kg/m}^3$  とした。

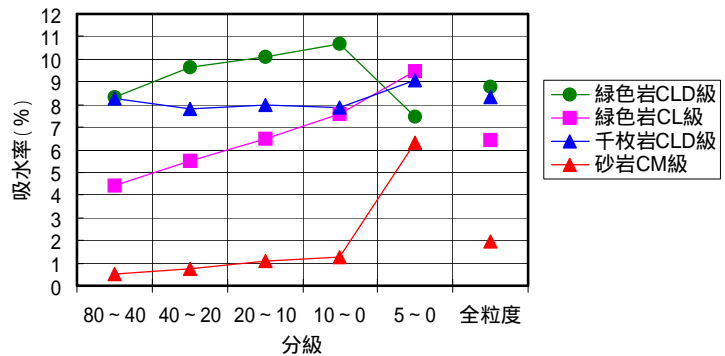


図 - 3 各母材の吸水率

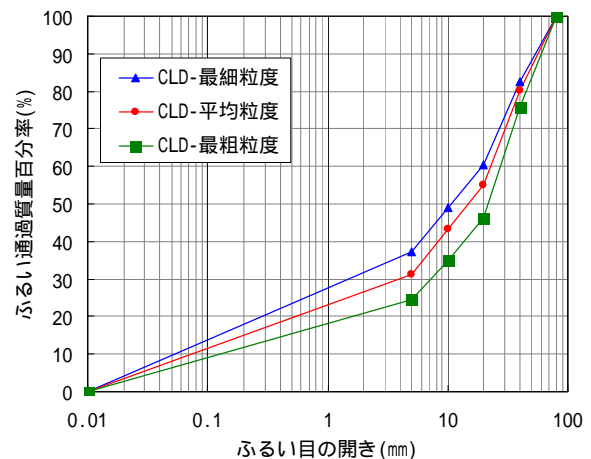


図 - 4 千枚岩 CLD 級の粒度のばらつき (6 回測定)

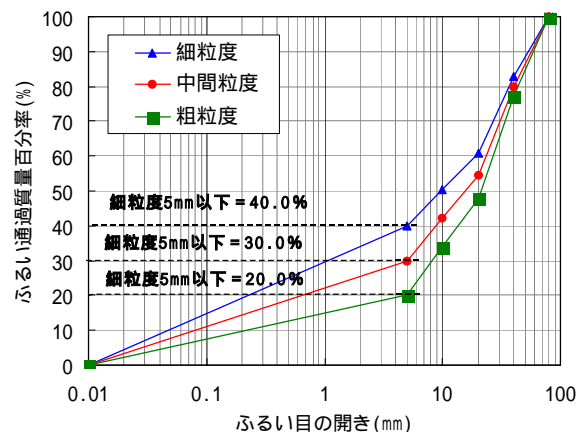


図 - 5 試験粒度の設定(千枚岩 CLD 級)

## 4、試験結果

#### 4.1. 母材の物理特性

図 - 2 に試験対象母材の表乾密度を示し、図 - 3 に吸水率を示す。この結果から表乾密度が低いと吸水率が高くなる傾向にあり、全体的に吸水率が高めにある材料であった。

#### 4.2. 試験粒度の設定

実施工では、粒度調整を行わないため、母材の粒度の幅を持たせた管理を行う必要がある。そこで各材料の粒度変動範囲と圧縮強度の関係を把握するにあたり、室内試験では各材料に対し粒度設定を行った。図 - 4 に粒度試験を 6 回測定した結果から千枚岩 CLD 級の細粒度、平均粒度、粗粒度を示す。この結果から、図 - 5 に示すように 5mm 以上の相対的な割合を変えずに 5mm 以下の量を細粒度 40%、中間粒度 30%、粗粒度 20% に設定し、圧縮強度試験を行った。他の材料も同様に粒度設定をして試験を行った。

#### 4.3. 現場での密度と大型供試体の締固め密度の関係に基づく管理手法の検討

大型供試体試験での、締固め密度と強度の関係を求めておくことで、現場における CSG 強度（弾性領域強度）の管理は、実施工における現場密度が必要強度以上であることの確認を行う。ここでは、千枚岩 CLD 級の CSG 試験結果および試験施工結果を例にとり、実施工における CSG 強度管理手法を試みた。

##### 4.3.1. 締固め時間をパラメータとした単位水量と締固め密度

現場密度が大型供試体作製における締固め時間のどのくらいに相当するのかを調査するため、まず締固め時間を 10 秒、20 秒、40 秒に変化させて供試体の密度をそれぞれ測定した。さらに実施工で転圧回数 8 回、リフト圧 50cm 時の砂置換による密度測定を行った結果を重ね合わせると、図 - 6、7、8 になる。この結果から現場密度は大型供試体の締固め時間の 20 秒に相当していることがわかった。なお、設定した単位

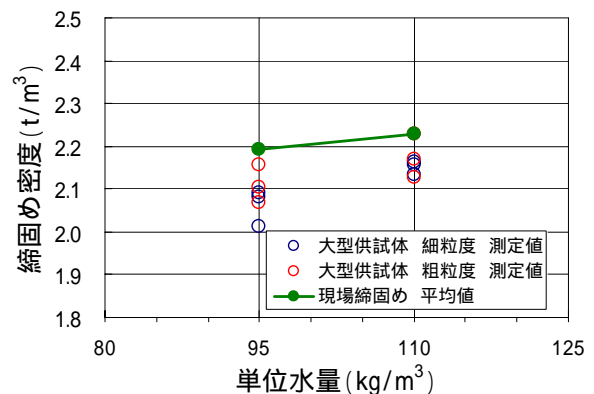


図 - 6 現場密度と大型供試体の締固め密度の比較 (10 秒締固め)

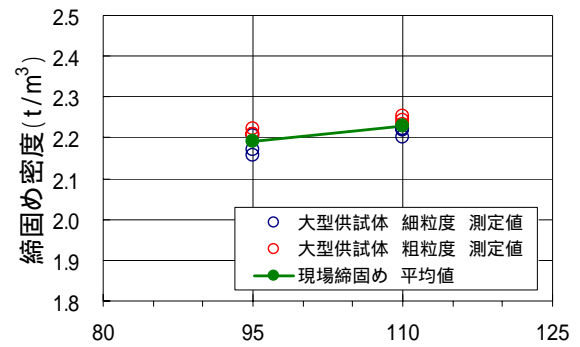


図 - 7 現場密度と大型供試体の締固め密度の比較 (20 秒締固め)

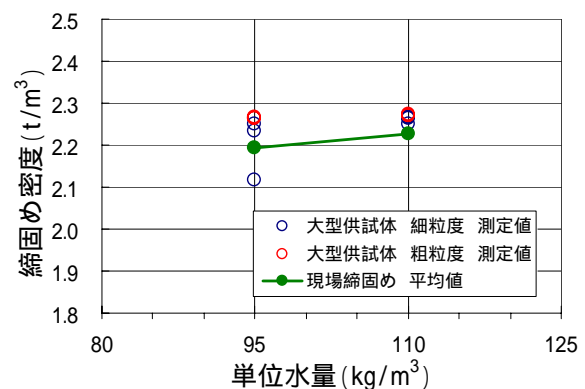


図 - 8 現場密度と大型供試体の締固め密度の比較 (40 秒締固め)

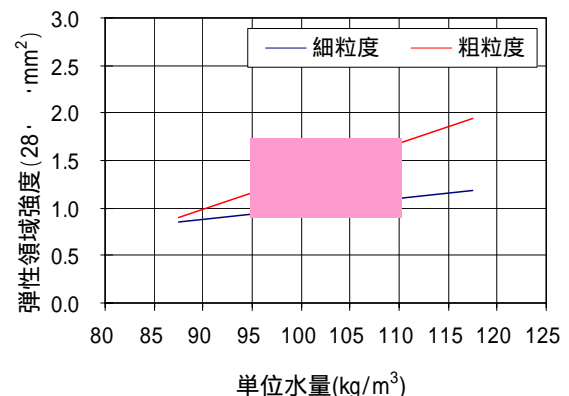


図 - 9 単位水量と CSG 強度の関係 (締固め時間 20 秒、単位セメント量 80kg/m³)

水量は、施工可能な最小量と最大量を示しており、この範囲は母材の種類によって異なる。

#### 4.3.2、現場密度と CSG 強度の関係

4.3.1 より大型供試体の締固め時間 20 秒時の単位水量と CSG 強度の関係について図 - 9 に示す。これより、CSG 製造時の配合(粒度範囲、単位水量範囲 (95kg/m<sup>3</sup> ~ 110kg/m<sup>3</sup>) および単位セメント量)を管理しておけば、転圧回数 8 回、リフト圧 50cm の CSG 強度は塗りつぶし部分を示す範囲(ひし形範囲)を用いて把握することができる。

#### 4.4、密度と CSG 強度の関係による管理手法の検討

4.3 では、大型供試体の締固め時間による密度と強度の関係を把握したうえで現場密度に相当する大型供試体の一定時間締固めによる「ひし形」範囲を用いて CSG の強度を管理する手法を検討した。実施工ではこの管理方法を用いることになる。ここではさらに現場密度と強度の関係を管理に活用するために大型供試体による締固め密度と CSG 強度の関係を整理した。

図 - 10、11 に単位水量 95kg/m<sup>3</sup> の時の細粒度と粗粒度の締固め密度と単位水量の関係を示す。図は想定する下限を直線で表しており、締固め密度 2.1 ~ 2.3 における CSG 強度を示している。同様に単位水量 110kg/m<sup>3</sup> の締固め密度と CSG 強度の関係も評価し、合成させると図 - 12 になる。これにより締固め密度と CSG 強度の関係の最低ラインを把握することにより測定された現場密度に対して最低限得られていると判断できる CSG 強度を把握することができる。

#### 5、まとめ

本論文は、CSG 試験施工における品質管理試験結果の概要について示した。採取材料の粒度と単位水量の幅を持たせることで現場の品質管理が容易になり、材料の強度特性と現場密度の関係を把握することで、現場の品質管理を密度測定で行うことができる。今後、さらにデータの蓄積により台形 CSG ダムの管理方法を確立し実施工で反映させていく次第である。

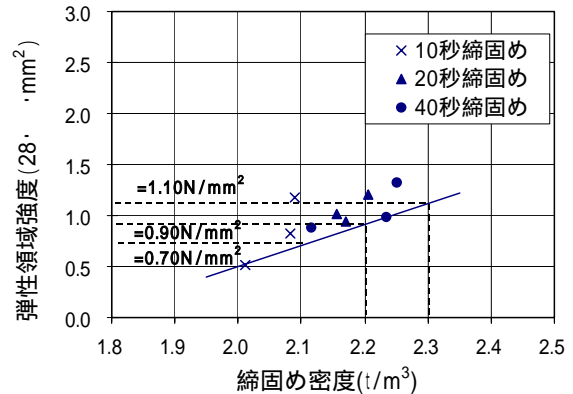


図 - 10 締固め密度と CSG 強度の関係 (細粒度、W=95kg/m<sup>3</sup>)

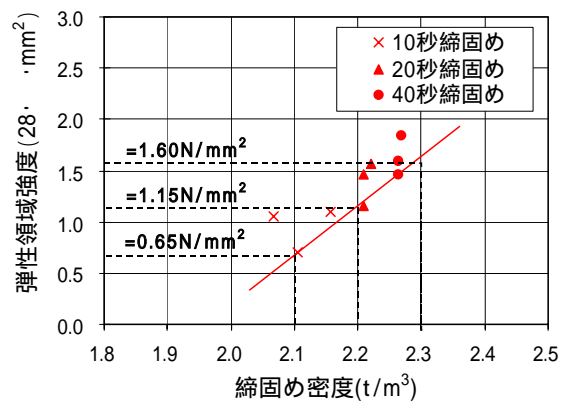


図 - 11 締固め密度と CSG 強度の関係 (粗粒度、W=95kg/m<sup>3</sup>)

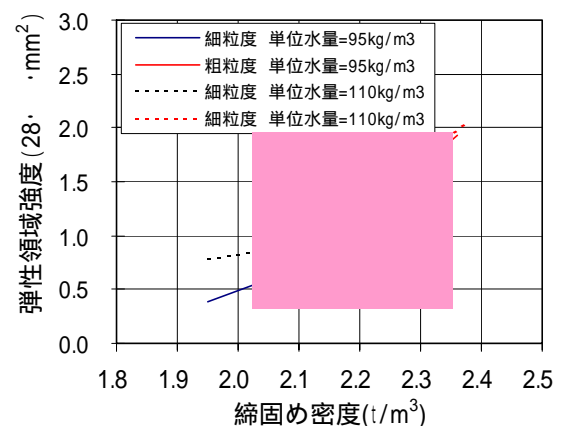


図 - 12 締固め密度と CSG 強度の関係 (細粗粒度、W=95,110kg/m<sup>3</sup>の合成)



# 排水性舗装に対応した高機能路面センサの開発について

関東地方整備局 東京国道事務所 交通対策課交通企画係長 今長信浩

## 1. はじめに

排水性舗装は、降雨時においても路面冠水が発生し難いこと、多数の空隙により車両の走行騒音が低減されることから、走行安全性の向上や沿道環境の改善を目的として直轄国道を中心に整備が進められている。東京国道管内においても総管理延長161.3kmの内89.6km(55.6%)が排水性舗装において施工されている。

一方、雨や雪などにより路面状態の変化を正確に把握し、ドライバーへの情報提供や凍結防止材の散布などの道路管理行動を行うことは道路管理者の重要な責務といえる。しかし、排水性舗装は従来用いられてきた密粒舗装と比較すると表面に凹凸が多く従来の赤外線を用いた反射型のセンサでは適切な路面状態が把握不可能となる問題点が発生している。そこで、微弱電波を使用した新規センサの技術開発を行っている。本センサは適切な路面状態が把握可能であること、小型軽量且つ安価であること、排水性舗装の機能把握にも活用可能であること等の特徴を有している。本報告は、これら内容と東京国道事務所における今後の技術開発計画等について報告するものである。

## 2. 高機能路面センサの概要

高機能路面センサは、10GHZ~25GHZの微弱電波を路面に照射しその反射時間、反射強度の違いを把握することにより路面の状況を把握するものである。反射強度は、反射対象物の特性(誘電率)、電波出力、電波到達距離によって異なる。図-1に測定の原理を、図-2に測定方法を示す。また、センサの外形は15cm角で重量は1.5kgとなっており、従来の赤外線を用いたセンサより遙かに小型、軽量となっている。また、価格も従来型センサと比較して約1/10程度である。

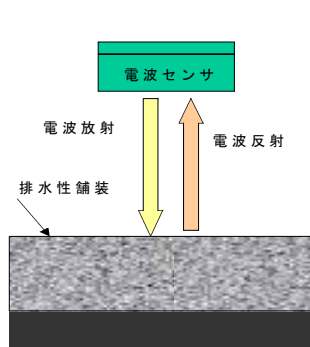


図-1 測定原理

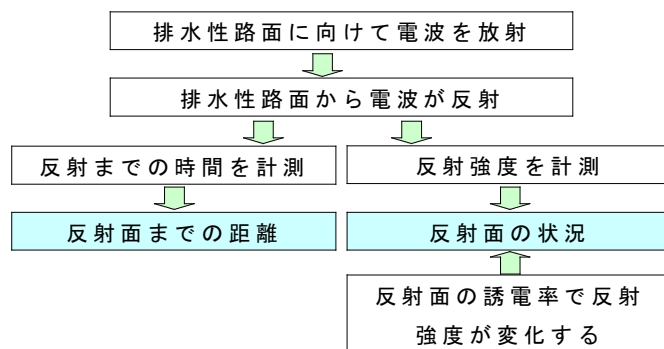


図-2 測定方法

## 3. 排水性舗装における路面状態の把握性能

### 3. 1 路面湿潤、路面冠水の把握

図-3は排水性舗装が施工された舗装路面における降雨時の路面状態把握状況を示したものである。設置高さ5.8m、出力30dBuv/mの場合、路面が乾燥した場合の反射強度は40以下であるため、それを乾燥・湿潤判定ラインとした。現地では、15:00~20:00まで最大で時間降水量10mmの降雨が観測されている。電波センサの反射強度も15:00以降、乾燥・湿潤判定ライン

を超え、最も降雨量の多い18:00においては反射強度140に達している。また、降雨量が減少した19:00以降は反射強度も低下しており、22:00には乾燥・湿潤判定ライン以下となっている。

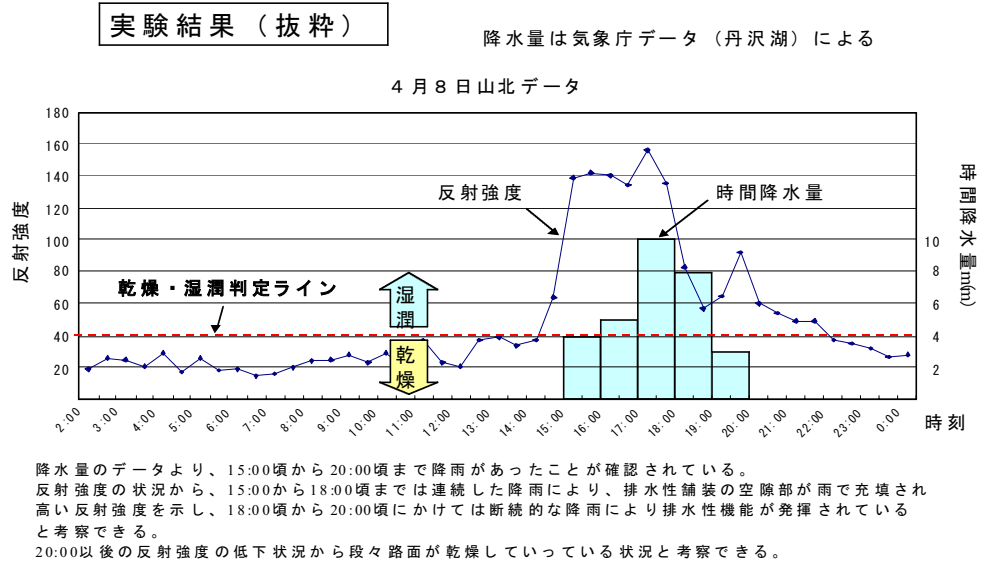


図-3 路面状態の変遷

このデータから当該区間の路面状態が乾燥、湿潤、乾燥と遷移したことが的確に把握されていることが確認される。

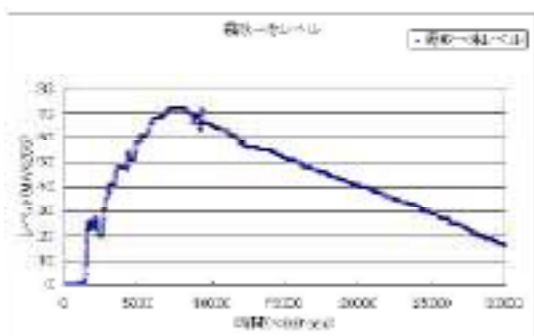
### 3. 2 路面凍結の把握

排水性舗装における凍結把握は排水性舗装のテストピースを用いて基礎的な検証を行った。実験は1m角の排水性舗装テストピースを作成し-20度まで冷却可能な恒温室内において行った。図-4はテストピースに高さ1.5mから散水を実施した後の時間経過と反射強度の変化を示したものである。出力は30dBuv/mである。また、図-5は路面からの反射距離を示したものである。

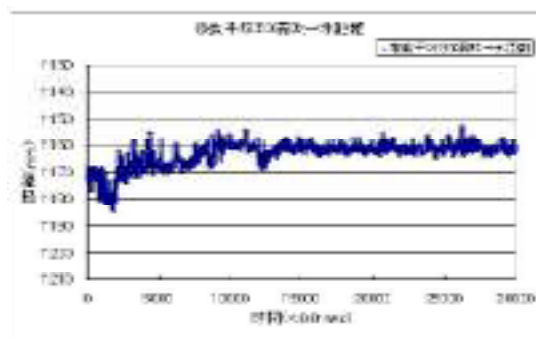
図-4は、散水と同時に反射強度が高まり約60秒経過した時点で反射強度が70以上となり、水の反射強度を示している（水の反射強度が3.1で述べた値よりも高いのはセンサと路面との距離が短いことによる）。また、図-5では、約60秒経過するまでは路面からの反射距離が1180mm~1160mmとばらついているが、60秒経過後は反射距離が1160mmと安定している。これは、60秒経過するまでは、排水性舗装内部に電波が浸透することにより反射値がばらついているが、60秒経過後は表面まで水が到達し冠水状態が発生したことを示している。

散水を停止した60秒以降は図-4に示す如く反射強度は氷又は排水性舗装（内部が空気）の状態まで低下している。一方、図-5の路面からの反射距離は1160mm前後で安定しており、路面表面に何らかの反射面が形成されていることが推定される。よって、この場合は、路面凍結が発生していることが推定される。

この様に、反射強度と路面からの反射距離データを組み合わせることにより排水性舗装における凍結の発生も検知する可能性を有している。



図－４ 反射強度の変化



図－５ 路面からの反射距離

#### 4. 排水性舗装機能の把握

##### 4. 1 必要性

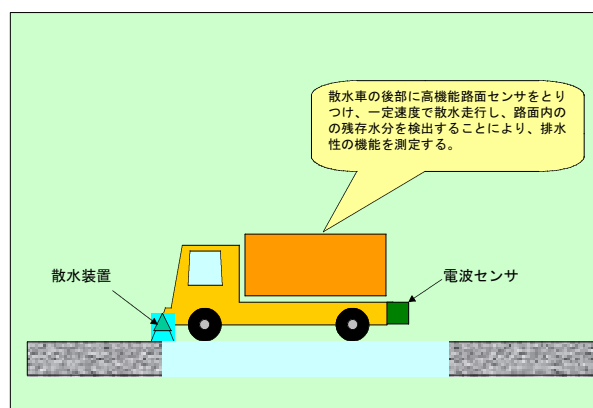
排水性舗装は、前述の如く、走行安全性の向上や走行騒音の低減等、優れた特徴を有しているが、内部に空隙が多数存在することから塵芥その他により目づまりが発生し、経年とともに機能低下が発生している。そのため、機能回復を目的とした清掃を定期的を実施しているが現時点では、清掃実施のための指標（排水性舗装の目づまり状態）が存在しない状況にある。

排水性舗装の清掃は1車線、km当たり50万円程度のコストが必要となり他、低速作業車による清掃によって渋滞の発生といった問題点も発生している。そのため、排水性舗装の機能低下程度や箇所を適切に把握可能であれば、それに応じた清掃計画（実施時期、間隔、区間等）の立案が可能となり、清掃作業による渋滞の緩和や清掃コストの縮減などが期待出来る。

##### 4. 2 排水性舗装機能の把握方法

図－6に示す様に車両前面に散水装置、後部に高機能路面センサを搭載する。この車両により一定量の水を散水しながら低速走行し、後部に設置した電波センサにより排水性舗装の反射強度を測定することにより、車両が移動に要した時間後の路面内の水分量が把握出来る。

散水した水は排水性舗装路面内を拡散し、反射強度の変化が発生する。排水機能が良好な場合は、良好に排水されるため反射強度が小さいが、内部に塵芥等が存在する場合は、排水機能が低下するため反射強度が大きくなる。この反射強度の差を比較することにより排水性舗装の機能把握を行う。



図－6 排水性舗装機能把握の考え方

##### 4. 3 排水性舗装機能把握予備実験

4. 2に示した排水性舗装路面内の空隙測定機能を検証するために、排水性舗装のテ

ストピースにより基礎実験を行った。実験は、写真-3に示す様に作成したテストピースに電波センサを設置して行った。まず、目詰まりの無い状態においてテストピースに散水を行い空隙内の排水状況について測定を行った。その後、空隙内の目詰まりを再現するために砂をテストピース表面に散布し、その上から散水を行った。図-7は各段階におけるテストピース表面からの反射を示したものである。この図において実験1及び2は排水性舗装内部にほとんど目詰まりが無い状態である。この場合、散水直後の反射強度は-4程度を示しているが、約100秒経過後は相対反射率が-12~-14と低い値になっている。それに対して実験3及び4は内部に砂を浸透させた状態での相対反射率を示したものである。実験3及び4とも、内部に砂が浸透し、排水機能が低下しているため、相対反射率が-10~-6と高い値を示している。この予備実験の結果から本センサが排水性舗装の目詰まり状態把握に関する可能性を有していることが確認される。



写真-3 予備実験

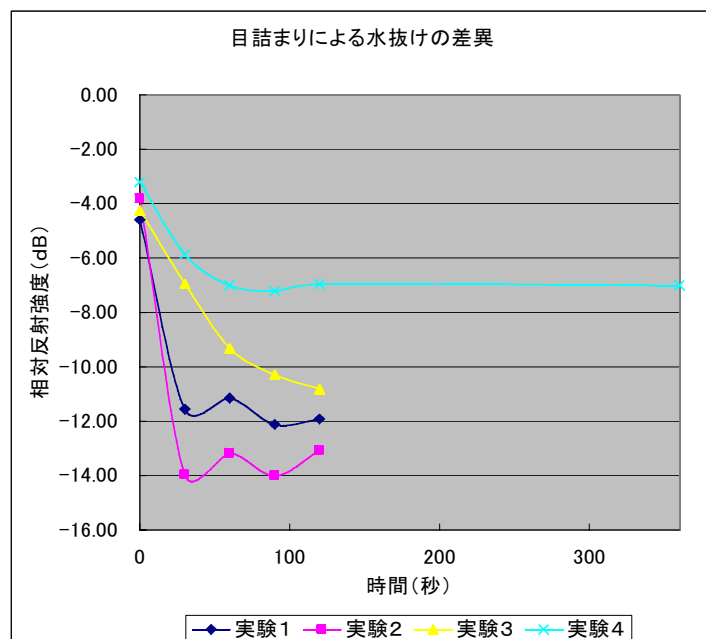


図-7 目詰まり状態による排水機能の差

## 5. 東京国道事務所における今後の技術開発計画等

以上の様に、高機能路面センサは排水性舗装の路面状態を適切に把握可能な他、排水性舗装の機能把握の可能性も有している。

また小型、軽量であるため従来型センサと比較して設置機器(支柱等)を必要としないこと、従来型センサと比較して価格が1/10等の特徴も有している。

そのため、東京国道事務所では、平成15年度に路面状態把握を特に必要とする橋梁等、数力所に試験設置を行い機能評価を行うとともに、排水性舗装の機能把握技術の開発、照明柱や情報板などへの架設形態等、整備形態に関する検討等を適宜行い実用化を行う予定である。



# 由良川地形レーザー計測における一考察について

発表者 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 調査課 田上 隆弘

## はじめに

由良川は、これまで沿川に幾多の洪水被害をもたらしてきた河川であり、直轄改修事業として昭和 22 年より本格的に築堤や河道拡幅・掘削などの治水対策が進められている。

現在、由良川下流部（河川延長約 32.0km）の治水対策は、水防災対策特定河川事業として平成 13 年度から事業化され、従来の連続堤防より効率性の高い輪中堤や宅地嵩上げなどの施策の見直しに対する計画の検討が進められている。これらの中でより具体的な計画・設計に資する地形・地物の基礎資料を作成するため、計測の精度や密度あるいは経済性を考慮した、技術提案型の業務発注を行い、新たな測量技術を取り入れて空中写真測量を用いた地形図（縮尺 1/500）の作成と最新技術である航空レーザー測量を用いた標高（計測密度 50cm）の計測を行った。

なお、この測量結果を地上測量との比較で検証した結果、目標通りに水平位置及び標高ともに高い精度（標準偏差 9cm）及び密度（40cm 程度の間隔）であることが確認できた。

## 1 由良川水防災対策事業における新技術の活用

### 1.1 背景と目的

由良川下流部の治水対策は、これまで大規模な河道拡幅・掘削や連続堤防による整備が図られてきたが、未だに相当の未改修部分を残しているのが現状である。しかしながら、通常の連続堤防による河川改修を実施するには、平坦地の多くが河道として必要となり、沿川の土地利用に与える影響は極めて大きいものと考えられる、治水効果発現までには多くの時間と費用を必要とする等の観点から早期に住家の治水安全度の向上を図るための新たな治水対策を取り入れ、一部区域の洪水氾濫の許容を前提に、住家を輪中堤や宅地の嵩上げの方式で洪水氾濫から防御する水防災対策特定河川事業が平成 13 年度から事業化されている。

そのことから本測量は、事業の検討を進める上で、より具体的な計画・設計に資するための地形・地物の基礎資料を作成するものであるが、通常の計画や工事設計などで実施する測量では、各目的に応じて地図情報レベルや測量手法などが一定確立されており、それらを用いて実施することが一般的である。しかし今回の事業は、従来の計画に付随できず、具体的には計画堤防法線（輪中堤）の選定、氾濫区域内対象家屋の地盤高把握、内水及び氾濫解析モデルなどの検証を行うにあたって広域的なエリアで多くの情報が必要である。

そのことから本測量の作業手法を 事業の特性を踏まえた効率的・経済的手法、高精度・高密度な手法、多くの用途へ活用可能なデータ取得、

計画～設計（詳細）までを網羅する地形図作成の 4 つの観点にたつて、通常的手法にとらわれずそれらが実現可能な最新の測量技術の手法を導入して、基礎資料の作成を実施した。

### 1.2 測量の実施箇所

実施箇所（図 1）は、由良川水系河川整備計画（案）に基づき、下流部では現況の治水安全度が低くて河川整備の優先度が高い 4 つの地区、中流部では超過洪水による氾濫被害の軽減対策において内水や洪水氾濫の解析モデルなどの検証を行う 1 地区を選定した。



図 1 測量の実施箇所と面積

## 2 採用手法(地形図作成)

### 2.1 手法の検討

通常地形測量の場合、計画や概略・予備・詳細設計など各目的に応じた地図情報レベルが設定されるが、今回は計画から設計まで全て網羅することを念頭に詳細設計で用いる地図情報レベル 500 だけの作成を行うこととした。しかし、通常測量手法では幾つかのハードルをクリアしなければならぬ。まず大縮尺図(1/500)の数値地形測量にあたっては、通常は空中写真測量によるが、縮尺 1/1,000 以上では高さ精度が低いために地形補備測量による補完が必要とされている。また、地上で実測を行う平板測量では、膨大な作業と時間が発生する。そのため、基礎資料の作成には膨大な経費が必要となる。そこで、本業務では地盤高計測において近年急速に実用化が進みつつある最新技術の航空レーザー測量を導入した。その際、1秒間に25,000発のレーザー計測が可能なヘリコプター搭載型を採用して空中写真測量と併用することにより、作業効率が良く、設計までを視野に入れた経済的で高密度・高精度な地形・地物情報(X,Y,Z)の計測が可能であることとした。

なお、標高点の計測密度は50cm程度とし、精度は国土交通省公共測量作業規程(以下、作業規程)地形測量の精度を十分に満足することとした。

### 2.2 航空レーザー測量

航空レーザー測量とは、航空機に搭載されたレーザスキャナーから建物や樹木などの地表面にある物体を含む地表面形状を、高密度な標高点群として能動的に計測する測量手法である(図2)。

航空機の位置や傾きをそれぞれGPS(Global Positioning System、汎地球測位システム)とIMU(Inertial Measurement Unit、慣性計測装置)を用いて連続的に計測すると共に、ノンプリズム型レーザー測距儀で地表をスキャン(レーザスキャナー)することにより、レーザー発射点の位置座標、発射方向角度、発射点から反射点までの距離を計測し、後処理により反射点の三次元座標を求めるものである。その際、レーザー発射点の位置計測精度を向上させるため、計測と同時に約50km当たり1点の地上の既知点(三角点など)でGPS観測を行い、基線解析を行う。

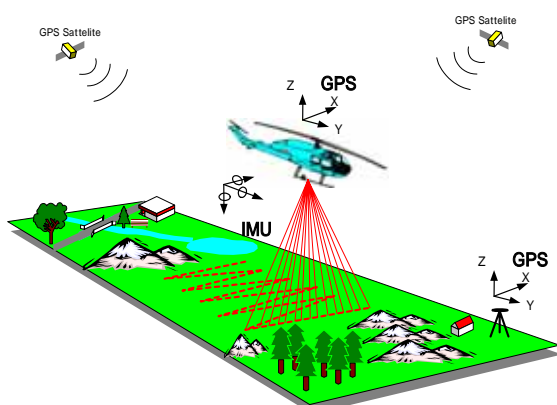


図2 航空レーザー測量

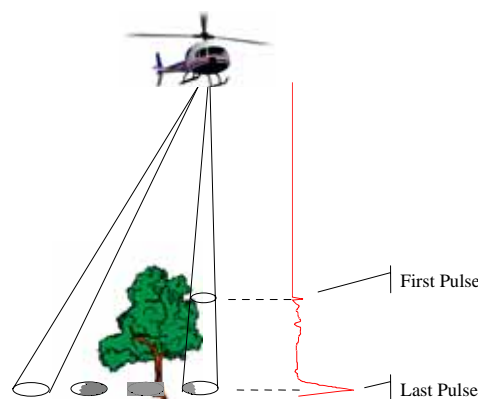


図3 レーザー計測の特性

レーザー光線は、直進性が強く、広がりが少ないため、高い計測精度が得られる。例えば、航空レーザー測量システムでは一般に0.2~0.5m rad程度の拡散度が採用されており、本業務では0.2m radで拡散できるシステムを用いて500mの高度から計測したため、地上に到達するレーザー光線の広さが直径約10cmと非常に小さく、より高い計測精度を確保した。

航空レーザー測量は、特にレーザー光線が持つ特性から、次のような特徴を持っている。

能動的な計測手法であるため、システム性能の向上により高密度な計測が可能である。

データがデジタルで処理され、多くの工程で自動処理されるため、迅速な処理が可能である。指向性の高いレーザー光線が使われているため、樹木の枝葉のような狭い隙間もレーザー光線が通過し、植生で被覆された地区も地表面を計測できる可能性が高い。

反射されてきたレーザー光線をその強度によって時系列的に捉えるため、最初に反射してきたレーザー光線(ファーストパルス)で樹冠を、最後に反射してきたレーザー光線(ラストパルス)で地表を同時に計測するといった、土地被覆と土地表面の両方を同時に計測可能である。(図3)

本業務では、高密度の高さ情報が必要となる事から、高密度な高さ計測が可能な航空レーザー測量は非常に有効と考えられる。



### 3 検証精度

本業務では作業規程に記載されていない新技術を採用したため、全体の精度を立証するため水平位置と標高について現地条件に偏りが無いよう比較的多くの範囲で点検測量を行った。

水平位置の点検手法は、現地にて地物間の距離をテープにて計測した値との比較と平板測量（図4）による後方交会（2地点からの方向による交点）によって得られた位置との比較によって行った。標高は、水準測量（図5）により空中写真測量及び航空レーザー測量のそれぞれについて行った。なお、空中写真測量の標高は地図上に表示するために取得されたものである。



図4 平板測量による点検



図5 水準測量による点検

点検の結果（表1）から、水平位置については標準偏差で0.07mが得られ、制限値（作業規程の水平位置の制限値（地図縮尺1/500）である図上0.5mm（現地で0.25m））を満たしていることが確認できた。

標高については、空中写真測量及び航空レーザー測量による標高、どちらも同一箇所で計測し、標準偏差でそれぞれ0.10mと0.09mが得られ、作業規程の標高の制限値（等高線主曲間隔1mの1/4で0.25m）を満たしていることが確認できた。

また、その計測密度についても計測区域と取得点数を点間隔に換算すると約40cm間隔であり、視覚的に点検した上で均等な間隔にデータが取得されていることが確認できた。

表1 精度検証結果

地区名	北有路地区	水間地区	私市地区	志高地区	大川地区	全体	備考
作業項目 面積[km <sup>2</sup> ]	1.0	0.7	0.3	1.2	1.3	4.5	
実施点検面積[km <sup>2</sup> ]	0.08	0.11	0.06	0.10	0.12	0.47	
<b>水平位置精度</b>							
最大較差[m]	0.30	0.15	0.37	0.28	0.28	0.30	
平均較差[m]	0.06	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	
標準偏差[m]	0.08	0.05	0.08	0.06	0.08	0.07	精度規程: 図上0.5mm(0.25m)
<b>標高精度</b>							
<b>空中写真測量標高</b>							
最大較差[m]	-0.22	0.41	0.27	-0.32	-0.21	0.41	
平均較差[m]	-0.04	-0.03	-0.01	0.01	0.03	-0.01	
標準偏差[m]	0.10	0.10	0.11	0.10	0.09	0.10	精度規程: 主曲線(1m)の1/4(0.25m)
<b>航空レーザー測量標高</b>							
最大較差[m]	-0.26	-0.20	0.20	-0.22	0.18	-0.26	
平均較差[m]	-0.01	-0.03	0.00	-0.02	0.01	-0.01	
標準偏差[m]	0.10	0.09	0.06	0.09	0.07	0.09	精度規程: 主曲線(1m)の1/4(0.25m)
<b>標高点の計測密度</b>							
平地部[m]	0.37	0.49	0.36	0.37	0.40	0.39	
山地部[m]	0.42	0.36	0.34	0.34	0.38	0.36	計画密度: 0.5m

### 4 検証結果

空中写真測量・航空レーザー測量（標高点）ともに目的とした取得データの精度・密度を得ることができた（図6）。この測量技術は、道路・河川といった公共測量においても使用が可能な手法の1つと考えられる。

ただし、航空レーザー測量の特性を考えると、地形的な要因や気象的な要因に大きく左右されることが分かっている。今回の計測では、主に河川流域の地形を冬期（無雪）に作業し、成果としては良好なものが得られたが、計測には現地状況や時期等を考慮する必要がある。

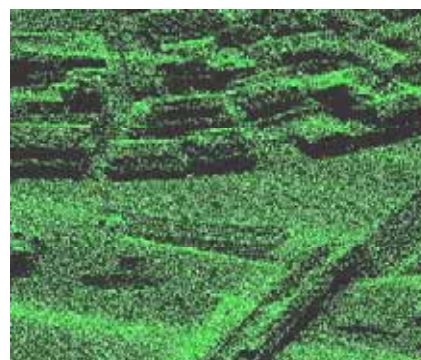


図6 航空レーザー測量成果（点群図化によって表現）

## 5 成果の活用

### 5.1 成果の活用

精度検証の結果、これから実施していく設計業務に対しても十分に活用できる精度が得られたことが確認できた。今年度は、この成果を活用した設計業務とレーザー計測という新たな測量手法で得た高密度な標高データの活用で実際の地形により近いモデルでの水理的な影響等の検証を行っていく。また近年では、地域住民へのわかりやすい説明が重要であり、今回得たデータが三次元画像や氾濫のシミュレーションなどの基礎データにもなることから(図7)最大限の活用を図り、水防災対策事業が個々の地形特性に応じた最適な治水対策の選定によって地域住民誰にも満足が得られるような形に展開していく。



図7 三次元画像

### 5.2 成果活用の可能性

作成した成果は、本業務が目的とする利用のみに留まらず、多くの用途が考えられる。そこで、幾つかの用途について紹介する。

#### (1) 洪水への植生要因分析

ファーストパルスとラストパルスで整備された DSM(Digital Surface Model: 植生の樹冠や家屋の屋根などを含む表層の標高)と DTM (Digital Terrain Model: 地表面の標高)により、植生の分布状況および植生密度を解析して定量化することが期待できる。また、植生が洪水時に与える影響は大きく、植生によって氾濫を緩和する効果もあることから、河道計画等への利用も期待できる。

#### (2) 氾濫シミュレーション

氾濫解析用のデータは、国土地理院が発行している数値地図 50m メッシュや縮尺 1/2,500 等の大縮尺地形図の等高線から作成したメッシュ標高が用いられているが、必ずしも標高精度が十分とはいえない。本業務では、0.5m メッシュの標高および三次元地図データを整備したことにより、氾濫解析において精密なデータが確保され、より現実に近い形で浸水想定区域図又は洪水ハザードマップのシミュレーションが行える。

#### (3) 空間情報の把握

このデータは、無数の点データ(X,Y,Z)を取得しており、その集合によって河川・道路・海岸などあらゆる地形・地物の形状を表現できる。また定期的な計測を行うことにより変遷の把握も可能となる。その他、縦横断形状の取得や図の作成が容易となることから、空間情報の把握への活用が期待できる。

## 6 今後の課題

航空レーザー測量は、一般的な手法としてはまだ確立されていないとともに、その他にも類似した手法が幾つか存在する。

また、国土(河川、道路、海岸、山林など)の計画・整備全般に活用が考えられるが、それぞれの特性が異なるなどと言った事もあり、十分な実績と検証を行った上で機器特性の把握や自然条件への適応などの様々な計測条件の整理が必要である。

現在は数値地形測量の一環として測量機関にて検討されているようであるが、それらを整理する事により応用測量として捉えた作業手法の標準化が図られ、以後この手法が多く用途・目的で使われる事が考えられると共に、国土行政における積極的な新技術の活用への取り組みが更なる測量技術の向上にも繋がる。

以上



# 道路照明柱探傷装置の開発

中国地方整備局 中国技術事務所 斉藤 智彦

## 1. はじめに

近年、道路照明柱の中間溶接部の腐食による折損事故の発生、或いは照明灯具付部の腐食による照明灯具の落下等が懸念されている。道路照明柱の点検は高所作業車を使用した目視や打音による点検を主としており、効率的、効果的な点検が行われていないのが現状である。また、高所作業車を使用するため、交通量の多い国道では交通渋滞の大きな要因ともなっている。こうした背景を踏まえて、道路照明柱溶接部の劣化程度を定量的に評価し、折損事故等の未然防止を図るべく、信頼性の高い点検手法の確立、維持管理コストの縮減を目的として、道路照明柱探傷装置の開発を行うものである。

## 2. 現状の点検手法における課題

一般国道191号において平成12年度に発生した道路照明柱の折損事故は中間溶接部の内部腐食を原因とするものであった。(写真1)こうしたことを鑑み、現在の点検方法における課題を以下に述べる。

- ・ 中間溶接部の劣化程度の判定
- ・ 高所作業車による交通渋滞の発生
- ・ 作業効率の改善



写真1. 中間溶接部の腐食状況

これらの課題の解決を図るべく、装置の開発について検討を行ったので報告する。

## 3. 探傷手法の検討

溶接部の定量的評価を行うために、道路照明柱の劣化内容及び部位別に探傷方法の検討を行い、溶接箇所の特長は超音波センサ、傷の深さ・長さの測定には磁気センサを採用している。また、照明灯具取付部の状況確認は画像による確認とし、小型CCDカメラを採用している。(図1)なお、機器選定においては学会等の文献資料<sup>1)</sup>を参考としている。

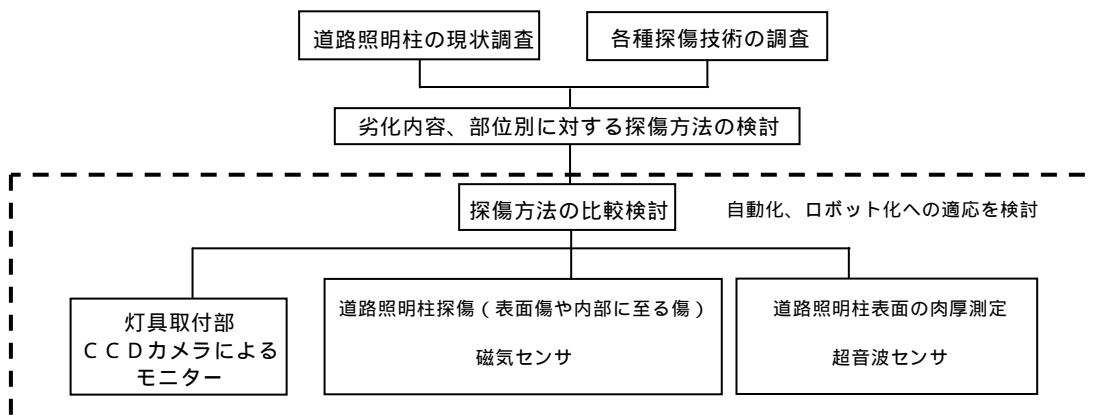


図1. 探傷方法の検討フロー

#### 4. センサ実証試験

選定した超音波センサと磁気センサについて、道路照明柱中間溶接部の一部を試験片(図2)とし、センサの測定性能の検証を行っている。

超音波センサによる板厚の測定は、道路照明柱の板厚が3.5~4.5mm程度であるため、3.5mmと4.5mmの2供体で測定を行ったが、3.5mmの箇所において測定値3.4mm、4.5mmの箇所において測定値4.45mmといずれも許容値内である±5%以内で板厚が計測できており、超音波センサが正確に板厚を計測できることを確認している。

磁気センサは傷の測定を行うために、試験片(図2)に人為的に深さ1mmの傷を入れて測定を行ったが、傷部をセンサが通過した時に磁束の乱れを検知しており(グラフ印部)磁気センサが正確に傷を測定できることを確認している。

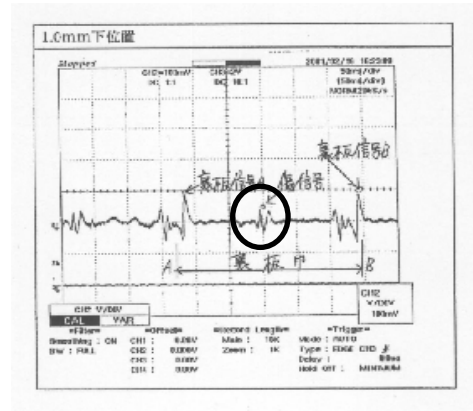
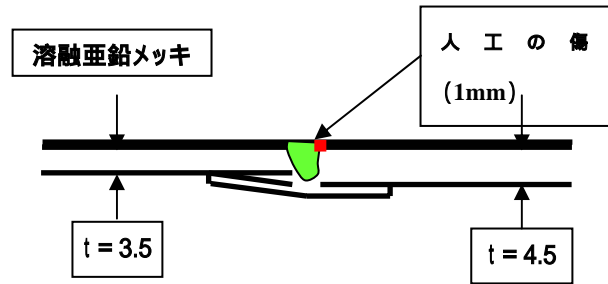


図3. 磁気センサによる実証試験結果

#### 5. システム構成

センサの実証試験結果を踏まえて開発する道路照明柱探傷装置のシステム構成を以下のように決定している。図4に示すように道路照明柱探傷装置は超音波センサ及び磁気センサを搭載し昇降・旋回駆動装置を装備している親機、小型CCDカメラと昇降装置を装備した子機、ならびに、これらの駆動制御装置、操作盤、電源装置を備えた地上ユニットで全体を構成している。装置のイメージを図5に示す。

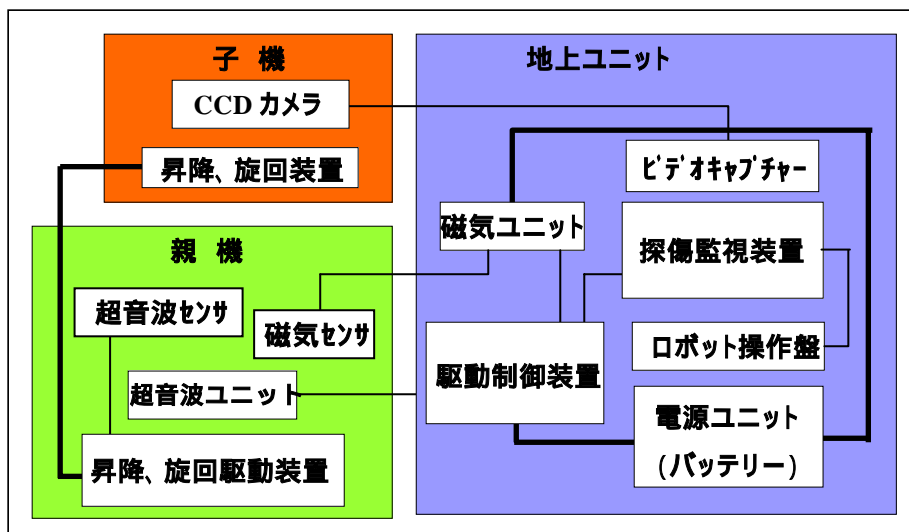


図4. システム構成図

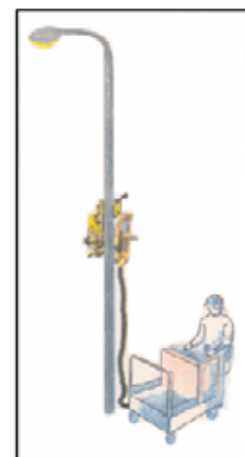


図5. イメージ図

## 6. 実証試験

### 6.1 工場試験

工場における実証試験は、試験柱への着脱、昇降、旋回などの基本的な動作機能の検証および磁気センサを親機に搭載した状態での傷の検出具合について検証を行っている。

磁気センサの検証は、塗装なしの鋼管、塗装有りの鋼管及び溶融亜鉛メッキ管を供試体として、管外表面に溝状の模擬欠陥を作り、模擬欠陥値を正確に検知できるか確認を行うものであるが、検知性能については問題がなく良好であった。グラフ(図6)は、磁気センサより検出した電圧信号と傷の深さの関係を示すもので、親機に搭載した状態で試験柱に傷を入れて、塗装無し、塗装有りの鋼管、溶融亜鉛メッキの試験柱毎に、傷の深さを変えての磁気センサを用いた測定を行いグラフのような相関関係を得ている。この結果は、現場においてデータ解析を行う上での基本データとなるものである。

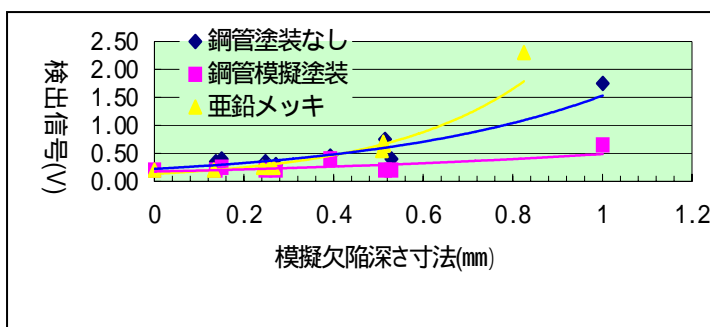


図6. 模擬欠陥寸法と検出信号

なお、着脱・昇降・旋回機能については安定した動作を確認している。

### 6.2 解析システム

解析結果を点検者が現場で確認できる解析システムの開発についても合わせて行っている。傷がある場合の解析結果の例を図7に示すが、図中の点線より検出信号が低い場合はノイズレベルとしている。縦方向の検出信号は傷の深さを示し、横方向の検出信号の幅が傷の長さを示している。

劣化程度の判定基準は、道路照明柱の断面が持つ許容応力が傷等により許容範囲を超えた場合にNGとしている。なお、解析結果の判定については、道路照明柱の型式において溶接部の断面が異なるため、データの蓄積を行い、その結果を踏まえて、総合的に判定する必要がある。

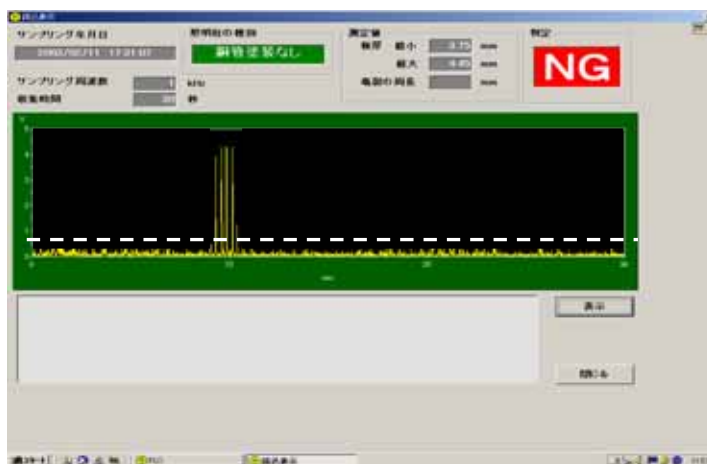


図7. 解析結果例

### 6.3 路上試験

路上での実証試験（写真3）は、設置環境によって異なる道路照明柱の表面劣化や、添架物回避などのより現場を意識した実用化に向けての検証を行っている。

親機の昇降・旋回動作については試験当初は自動点滅器などの添架物の回避に支障があったが、着脱幅を変更することにより添架物の回避に成功し、装置本体の滑落についても問題がなく、安定した昇降動作を確認している。

安全性については地上への脱落が懸念されたので機械式安全帯の追加を行っている。また、操作性については脱着の容易性、携帯型操作器によるオペレートの容易性を確認している。防滴性については小雨の中での作業においても構造上問題がないことを確認している。

子機については、道路照明柱の湾曲部を昇降する際に道路照明柱の汚れ等を原因とするスリップ現象が生じたために昇降用ローラ及び駆動ベルトを摩擦係数の大きい塩化ビニル製に変更するとともに、逆光対策として遮光板を取り付けることでCCDカメラの角度及び天候に左右されことなく灯具取付部の劣化状況を鮮明に撮影できることを確認している。



写真3．試験状況

地上ユニットについては、親機から送信されてくる測定データの解析ならびに子機からの画像データの表示状態が良好であるとともに、作業性についても実用上問題がないことを確認している。

### 7. おわりに

超音波センサによる溶接部の特定等、種々の項目について技術検証を実施し、本装置による道路照明柱溶接部の定量管理手法の有効性を確認した。

本装置の開発により、信頼性の高い点検手法を確立し、道路照明柱折損事故等の未然防止等を図るとともに、点検作業効率の改善等による維持管理コストの縮減を期待するものである。

#### 1) 参考文献

村上 章：鋼管・鋼板等のET、MT、MFLTによる品質保証、非破壊検査、44(3)、pp.139-143, (1995)



# 関山トンネルにおける消融雪設備の取組みについて ～ 潜熱蓄熱装置を利用した地中熱源ヒートポンプ融雪システム～

東北地方整備局 山形河川国道事務所 新井道徳

## 1. はじめに

東北地方整備局では、効率的・効果的に安全で快適な冬期の交通を確保し、安心できる生活と活発な社会経済活動を支えていくため、平成10年度を初年度とする「新道路技術五箇年計画（東北地方整備局版）」の重点分野の一つとして「道路消融雪技術」の技術開発を推進してきた。

今回、宮城県と山形県の県都を結ぶ一般国道48号関山峠へ設置した「潜熱蓄熱装置を利用した地中熱源ヒートポンプ融雪システム」は、自然エネルギーを活用した消融雪設備である。本設備は広く一般から公募された技術であり、東北地方雪対策技術検討委員会のもと平成11年度から技術開発を進め、平成14年8月に工事着手、平成15年1月から試験運用を行い、平成15年3月に完成した。



図 - 1 関山トンネル及び施工位置

## 2. システムの概要

関山トンネル山形県側抗口部は空気熱、地下水、風速が十分に確保できず、沢水は水温が低く利用できないといった環境で、地下100mでの地中温度については、冬期でも10

程度もあり、有効な融雪熱源として利用可能であることが確認された。本設備は地中熱を利用することで、自然エネルギーを活用した環境に優しい融雪システムとなっており、以下に消融雪設備（図 - 2）を地中熱交換器、潜熱蓄熱装置、放熱管の三つに大別して概要を述べる。また、設備の特長を表 - 1 に示す。

### 2.1 地中熱交換器

地中熱の採熱にはダブルUチューブ式地中熱交換器を19基使用している。1基当りに、長さ100mのUチューブを2組垂直に設置し、

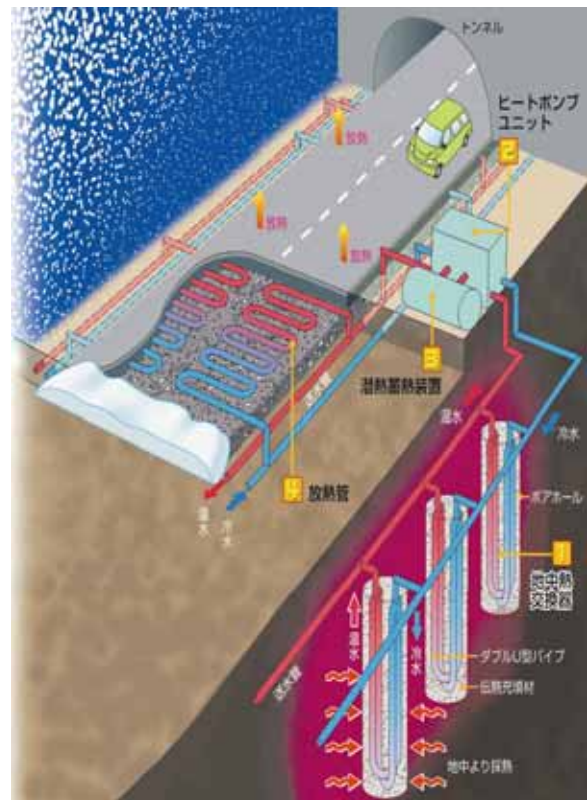


図 - 2 消融雪設備イメージ

Uチューブ内に不凍液を循環させることで地中熱を採熱している。また、地中熱交換器の充填材として、熱伝導率の高いセメントベントナイトを採用しており、さらにその充填材へ炭素粉を混合することで採熱効率を従来の充填材と比較し、20%向上させている。

## 2.2 潜熱蓄熱装置

本設備では、主電力に安価な融雪専用の電力（融雪用電力B）を使用することでランニングコストの低減を図っている。但し、融雪用電力Bは1日に2時間、電力供給が停止される。そこで、図-3の右図のように採熱した熱を一旦潜熱蓄熱装置に蓄熱し、電力供給が停止する時間帯（16時～18時）にはそこから熱を取り出して融雪を行う。この潜熱蓄熱装置の採用により、本設備は24時間安定した融雪能力を発揮させることが可能となった。また、潜熱蓄熱装置には蓄熱及び放熱を行う蓄熱ボールが約66,000個封入されているが、本設備では従来のものと比較し、物体の状態が変化する温度が低温（30～32℃）である蓄熱ボールを採用することで、蓄熱を行うヒートポンプの発生温度を下げ、エネルギー効率を向上させ消費電力を抑えた。

## 2.3 放熱管

放熱用配管として配管用炭素鋼鋼管を使用しており、ヒートポンプから送られた高温の不凍液は路面内で8ブロックに分配され、それぞれの放熱エリアに循環される。なお、融雪範囲は幅員7m、延長100m（トンネル坑外74m、トンネル坑内26m）の700㎡である。

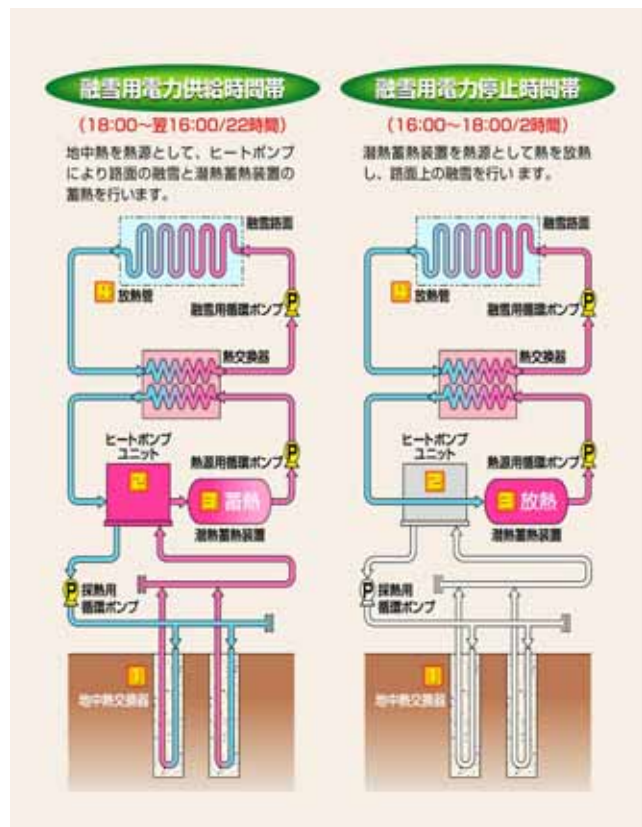


図-3 システムフロー

表-1 消融雪設備の特長



写真-2 消融雪設備全景

特長	効果
自然エネルギーである地中熱を熱源として採用	冬期間でも安定した熱を得ることができる CO <sub>2</sub> の排出量が電熱方式の50%以下に削減 安定した融雪能力の発揮及び環境への低負荷
潜熱蓄熱装置の採用	従来の水蓄熱と比べ、蓄熱槽の容量が約1/2に 設備のコンパクト化
潜熱蓄熱装置と融雪用電力Bを 組合わせた融雪システム	システム全体で電熱方式と比べてランニング コストを30%に低減 ランニングコストの低減
地中熱交換器の伝熱充填材 として炭素粉を含有	採熱効率20%向上による地中熱交換器数の減 イニシャルコストの低減

### 3. 路面融雪状況

平成15年1月より開始された、試験運用期間の路面融雪状況を示す。写真-2より、上り車線において、若干の車両の引きづりによる残雪は見られるものの、融雪能力を十分に発揮している様子が確認できる。また、写真-3からは本設備がトンネル坑内への吹込みにおいても充分に対応していることが確認できる。



写真-2 路面状況(トンネル坑外H15.1.15)

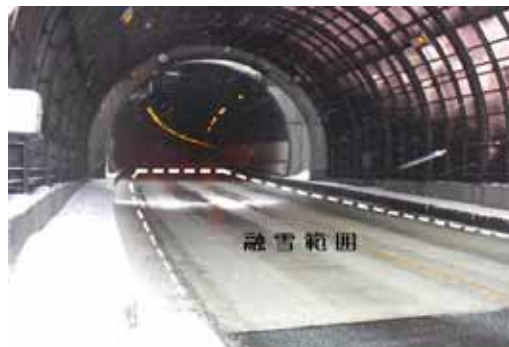


写真-3 路面状況(トンネル坑内H15.1.15)

### 4. 路面融雪効果

#### 4.1 採熱量・融雪熱量

図-4に日当りの平均採熱量・平均融雪熱量及び設備稼働時間の推移を示す。地中からの採熱量は、ほぼ設計値で推移しており、融雪熱量も常に設計値を満たしている。また、降雪や外気温低下といった厳しい気象条件により設備が高稼働となっても、設計融雪熱量を常に満足している。

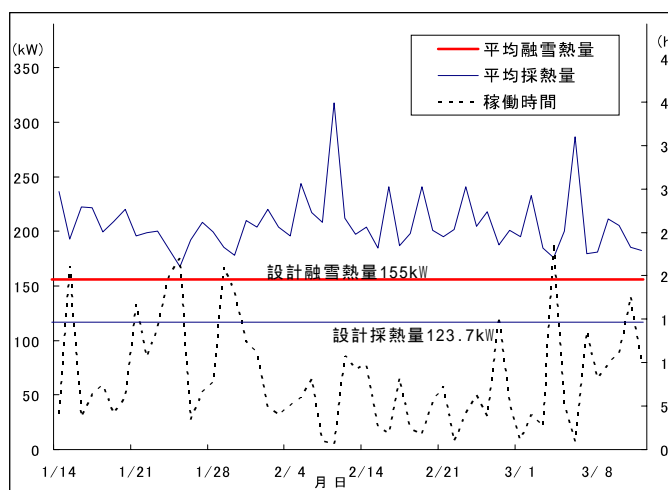


図-4 日当り平均採熱量・融雪熱量の推移

#### 4.2 融雪効果確認

本設備による路面融雪の効果を現地で定量的に確認するため、時々刻々と変化する路面状況をビデオカメラで10分毎に撮影し、この画像データと現地の気象観測データから、路面融雪効果を確認する調査を行った。

融雪効果調査期間における関山地域の気象状況は2月は、平年と比較して暖冬傾向にあったが、3月に入り急激な気温の低下や降雪量の増加がみられた。そのような気象条件の中、本設備の設計条件以内での融雪率は94.5%(8,980分)であり、融雪はほぼ達成されている。

表-2 稼働調査結果(H15.2.5~3.12)

項目	結果
調査対象時間	50,400分
設備稼働時間	12,750分
設計条件以上	3,250分
設計条件以内	9,500分
路面乾燥・湿潤時間	8,980分
路面積雪時間	520分
融雪率	94.5%

融雪率=路面乾燥・湿潤時間 / 設計条件以内稼働時間

## 5. 考察

### 5.1 融雪効果確認について

融雪効果確認調査より、融雪はほぼ達成されているものの路面上に積雪が確認できる状態が5.5%(520分)発生している。しかし、現地確認の結果、路面は圧雪及び凍結状態ではなくシャーベット状態であることから、凍結路面と比較すると交通安全は向上されており、車両の走行には支障がないものと思われる。

なお、路面上に雪が残った要因としては、強風による路面温度の低下や、雪があるもののすぐに消えてしまっていることから、短時間に発生する降雪量の強弱といった変動によるものと考えられる。

### 5.2 既存融雪システムとの比較

関山トンネル坑口部に設置した本設備（地中熱源ヒートポンプ融雪システム）と、既存融雪システムである温水ボイラ式及び電熱線式による融雪設備を比較すると、ランニングコストについては本設備が最も優位となるものの、イニシャルコストを含めたトータルコストで比較すると、本設備は割高となる。

しかし、本設備は自然エネルギーを熱源とした設備であるため、化石エネルギーを熱源とした温水ボイラ式や電熱線式と比較するとCO2排出量が少なく、自然に優しい消融雪設備として評価できる。

表 - 3 既存融雪システムとの比較

融雪方式	関山トンネル消融雪設備	既存融雪システム	
	地中熱源ヒートポンプ式	温水ボイラ式	電熱線式
トータルコスト(20年)	1.0	0.4	0.5
CO2排出量	1.0	2.9	2.5

## 6. おわりに

試験運用期間における調査結果から、本設備は気象条件の変化に随時対応しながらも安定した融雪能力を発揮させることができ、また、既存融雪システムと比較してCO2排出量の削減が大きく達成されていることから、冬期路面の交通安全確保と環境への低負荷を同時に達成させることができることができた。

今後は本結果により、稼働タイミング等の現地にあった設備運転・調整や、夏期における舗装路面から地中への蓄熱等について検討を進め、さらなる本設備の高効率な運用達成を進めていきたいと考えている。

最後に、本設備の開発・設置にあたり、山形大学梅宮弘道教授、東北大学齋藤武雄教授及び、関係各委員の方々から御指導、御協力をいただいたことを感謝申し上げます。



# 富士山源頭域における遠隔操作による吹付技術の開発 ～無人化施工への取り組み～

中部地方整備局 富士砂防事務所 建設監督官 石川 裕一

## 1. 目的

砂防工事における遠隔操作による無人化施工機械の開発、導入は、平成2年以降の雲仙普賢岳噴火災害の復旧・復興事業や平成8年蒲原沢で発生した土石流による作業員の死亡事故を背景としている。現在、雲仙普賢岳、桜島など特に活火山地域における危険な現場で、作業を安全に行う目的から、ブルドーザ、バックホウなどの土工用機械を中心とした無人化施工が行われている。

当事務所が砂防工事を実施している富士山は、梅雨・台風期の降雨や融雪水により年間を通じて土石流が発生する危険性がある。さらに、富士山源頭域における調査工事現場は、急峻な地形で、常時落石や落雷が発生する特に危険な現場であるため、作業員の安全確保は、発注者、受注者ともに重要な課題となっている。

このため、当事務所では平成9年度より遠隔操作による無人化施工技術に関する調査検討を開始した。平成12年度からは富士山源頭域斜面の侵食防止を目的としたコンクリート吹付について、無人化施工技術の開発検討を実施している。

本報告は、今回開発導入した遠隔操作による吹付技術の現場への適用性等について報告するものである。



写真－1 富士山源頭域

(施工現場は峡谷部に位置する)

## 2. 富士山源頭域調査工事

富士山大沢崩れは富士山の西斜面に位置し、ほぼ山頂付近から始まる延長約2.1km、幅約500mもの大崩壊地である。また、斜面崩落は年平均約16万 $m^3$  (10 t ダンプ3万2000台分)のペースで現在も続いている。

土砂生産源対策は砂防事業の基本であるが、高標高・急傾斜といった現地の自然環境が厳しいこと、資材運搬が困難なこと、自然環境・景観との調和など課題が多くあるため、直ちに工事に着手することはできない。そこで、昭和57年度より富士山源頭域調査工事として種々の試験施工を行っている。

富士山源頭域調査工事によって、次ページの課題について把握・解決することとしている。

- ①高標高、急斜面、低温地域という条件での施工性
- ②高標高部での気象条件が工程・歩掛・品質に及ぼす影響
- ③作業員の安全管理
- ④資材運搬方法、作業員の通勤方法
- ⑤施工した施設の土石流エネルギーや激しい気象条件への適用性
- ⑥植生の復元

具体的には、落石防護柵（ロックネット）、擁壁工、吹付工、溪岸保護工などの斜面崩壊防止、滝の後退防止のための試験工事を実施し、有効な対策方法の調査検討を実施している。

### 3. 調査検討内容

#### 3. 1 吹付工の概要

吹付工は、図-1に示すスコリア侵食防止工のひとつで、崩壊の拡大を防止するために侵食されたスコリア層に裏込め処理を行った後、吹付壁を建設するものである。

吹付壁は粗吹付と仕上げ吹付の2層とし、壁勾配1：0.3（73°）、壁厚25cmで計画している。

従来の施工方法は、急傾斜地のため足場が不可欠なうえ、落石等の危険がある中、吹付ノズル（2インチ径）を作業員が保持し吹付作業を行っているのが現状で、危険で過酷な作業環境にさらされている。（写真-2）

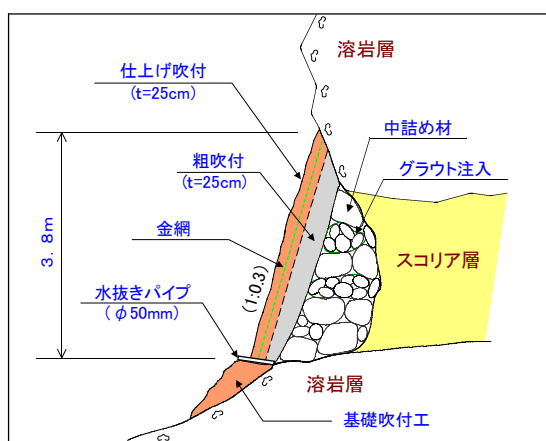


図-1 スコリア侵食対策工



写真-2 人力によるコンクリート吹付状況

#### 3. 2 吹付技術を活用した無人化施工（吹付システム）

スコリア侵食防止工は裏込め工と吹付工で構成される。作業の工程では裏込め工での中詰め材の積込と吹付工でのコンクリートの吹付時間のウエイトが高い。

そこで中詰め材の積込及びコンクリート吹付について無人化施工技術を導入することとした。ただし、本報告では吹付技術にテーマを絞ることとし、中詰め材の積込技術については、割愛した。

## (1) 吹付システムの構成

吹付システムは、ベースマシン、吹付装置、距離測定装置（多眼ステレオカメラ）、コントローラ（ラジコン送信器）、操作室内の遠隔操作支援機器類で構成している。



写真-3 吹付システム

## (2) 吹付システムの機能

吹付システムはセンサ、作業機械の制御ソフト、画像表示関連ソフト等により、急傾斜地での使用を考慮し次のような機能を充実させた。

### ●レバー1本による吹付作業

ベースマシンと吹付装置の姿勢を検知・解析し、これらを連動制御する機構により、多眼ステレオカメラで測定した吹付面と作業機械の位置関係に基づき、レバー1本による操作で吹付装置等を任意な姿勢に維持しつつ上下・左右・前後に動かすことを可能にした。

### ●出来形管理

多眼ステレオカメラで測定したデータを高速処理することにより、リアルタイムに吹付厚や吹付壁の勾配を操作室のモニタにカラー画像（3種類）として表示する。

吹付厚は平面的な分布図、横断面あるいは縦断面による表示が可能である。仕上げ位置に設計勾配の基準線を設定すれば、仕上げ面までの吹付が可能となる。

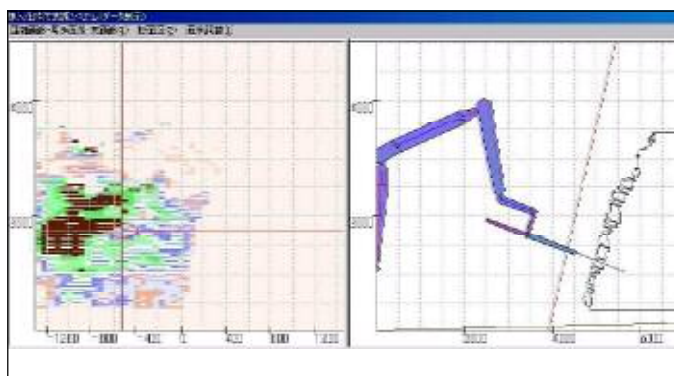


図-2 出来形表示画面

## ●人力に比べ高い作業能力

人力作業（2インチ）に比べ大口徑（3インチ）の吹付ホースが使用可能となり、時間当たりの吐出量を大きくできる。

### （3）これまでの試験結果と今後の方針

吹付システムは平成13年度に平場での機能試験、平成14年度には実際に富士山峡谷部において現地試験を実施した。その結果、施工機械の位置設定1回につき幅2m、高さ3.5mしか施工できず、設定回数や設定によるロス時間が大きいこと、また、スコリヤ侵食対策工全体では、どうしても人力に頼らなければならない工程があるなどの問題点も指摘されたことから、現在情報化施工技術を応用し、施工対象面全体を事前に座標としてとらえ、施工機械の状態や位置を把握することで設定回数を大幅に減らすことが可能となるようシステムの改良を実施している。また、多眼ステレオカメラについては、高性能デジタルカメラが普及してきたことから、これまでの9眼式から少眼式に変更しカメラ調整時間の短縮やコンパクト化を図っていく予定である。

## 4. 結論

これまでの成果として、限定された条件下であればコンクリート吹付厚をリアルタイムで把握でき、出来形管理も本システムで行うことが可能となった。今年度、3.（3）の改良を行うことでコンクリート吹付機としての当初の目的は達成できる。

ただし、富士山大沢崩れ対策といった急勾配、狭小な地形さらには大規模な対策エリアでの技術活用を想定した場合、現在進めている既存技術の応用を主とした開発では対応に限界がある。

このため検討内容を「砂防、ダム事業などの急傾斜地を想定した無人化技術」及び「大沢崩れ対策に特化した無人化技術」に区分することで、即実用可能な技術から、より高度で複雑な将来技術まで幅広い検討が可能となり、取りこぼし技術（アイデアの段階で潰してしまう技術）を減らすことができる。

無人化施工は、土木技術、機械技術、画像伝送・処理技術等のIT技術が融合したものである。これらの技術をより効果的に融合させるために関係機関と十分な調整を図りなが推進していくことが重要である。

最後に、引き続き本テーマへの取り組みに対する理解と協力をお願いするとともに、本報告をまとめるにあたりご指導いただいた関係者の方々に深く感謝の意を表すものである。

参考文献：「緊急時の無人化施工ガイドブック」（財）先端建設技術センター編 2001.7



# 既存ケーソンの有効活用を可能とした浮函工法の採用について

小松島港湾・空港整備事務所 保全課 いったんだ まさよし 壹反田 正好

## 1、はじめに

徳島小松島港では外貨貨物の増大及び船舶の大型化に対応するため、赤石地区において岸壁(-13m)2バース、岸壁(-10m)1バースの整備及び航路・泊地の浚渫を実施している。岸壁(-13m)①バースについては、平成7年から建設に着手して平成13年7月に供用を開始し、現在は連続バースとして、岸壁(-10m)①バース及び岸壁(-13m)②バースを整備している。

現在整備中の岸壁(-10m)①バースについて、既存ケーソンを流用するための浮函工法の技術的詳細についての検討と施工について報告する。

## 2、工事内容

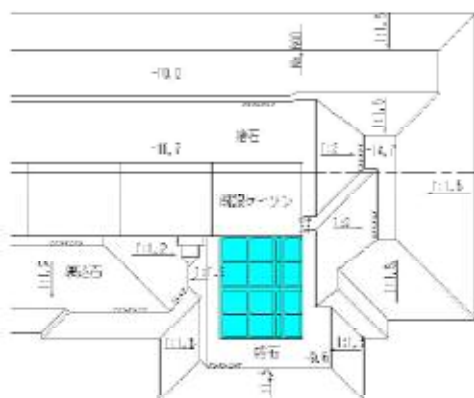
### 2. 1、工事概要

流用ケーソンを有効活用する岸壁(-10m)①の中仕切護岸の取付部はサンドコンパクションパイル工による地盤改良、床掘、捨石によりマウンドを形成し、マウンドの上に流用ケーソン、セルラーブロックを据付ける構造である。

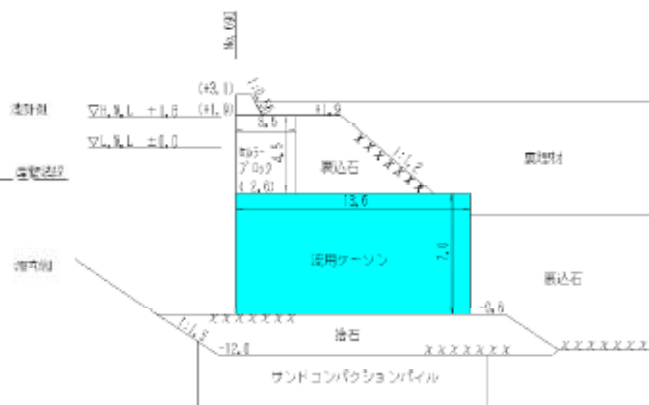
この流用ケーソンは、昭和40年代に津田地区木材団地の整備に伴って製作・施工されたが、平成4年度に係船杭分離堤の完成により不用となり水中に仮置きしていた。本工事はこの既存ケーソンを流用するものである。



赤石地区航空写真



中仕切護岸平面図



中仕切護岸断面図

## 2. 2、流用ケーソンの仮置状況

平成4年度から平成5年度にかけて行った津田地区防波堤（内）はね部の撤去により発生したケーソン2函を赤石地区の整備計画で流用するため、約10年間海中に仮置きしてきた。

ケーソンを流用するに当たり問題となったのが、ケーソンの仮置状況である。まず、①ケーソンの仮置状況は現地盤上に仮置きしていたため、ケーソン底面が0.3m～1.9mの深さで埋没しており、底泥の土質がシルト質粘土であるため底面付着力が発生し



津田地区航空写真

ケーソン浮函時に大きな抵抗力が働く②ケーソン天端が水中に没しているため現況のままでは排水が出来ない③ケーソンには吊鉄筋がない④壁面全体にノリ、カキ殻等が付着していたため健全度の調査が困難な状況である。これらの状況からケーソンの浮函作業の検討が必要となった。



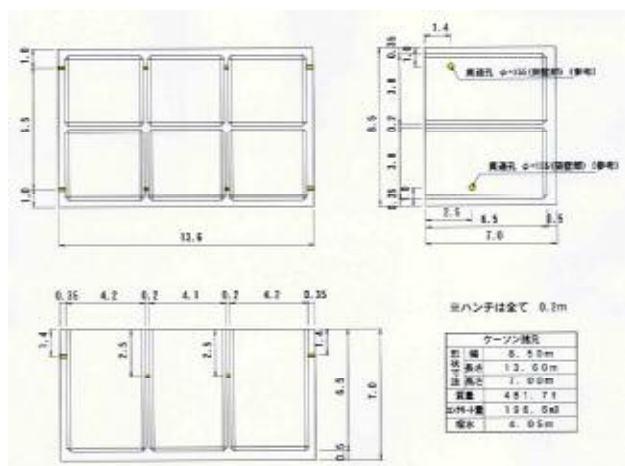
ケーソン仮置状況（干潮時）

## 2. 3、施工法の検討

施工法の検討はケーソン浮函、ケーソンえい航、ケーソン据付について行った。

### 2. 3. 1、ケーソン浮函

ケーソン浮函方法として、ケーソンの上面に蓋を取付け排水による浮函方法と起重機船により吊上げ浮函する方法があるが、据付時に流用ケーソンが水面下に没してしまう関係から吊降し



ケーソン一般図

方式が必要となる。よって、浮函方法も吊鉄筋を使用する吊上げ方法とした。その際の底面付着力を過去のボーリングのデータから推定し5kN/m<sup>2</sup>としたので、ケーソン浮函に必要な荷重は約3500kN(350t)となり、在港の起重機船400t吊が使用出来ると考えた。しかし、現地の土質試験結果から底面付着力が当初想定を大きく上回る12kN/m<sup>2</sup>であることが判明し、浮函時の荷重が約4400kN(440t)となったため当初計画の吊上げによる浮函が不可能となった。起重機船の規格を大きくすると回航費等により不経済となるので、簡易的な止水壁をケーソンの天端に設置し、ケーソン天端を嵩上げすることにより排水を行い、浮力も利用して浮函させる工法を採用した。



止水壁組立完了状況

### 2. 3. 2、ケーソンえい航

ケーソンえい航は、波浪による転倒を防止するため、静穏な日を狙って起重機船により支えながら、引船でえい航を行うこととした。



えい航状況

### 2. 3. 3、ケーソン据付

ケーソン据付後はケーソン天端が-2.6mで水中に没するため、据付方法は起重機船による吊降し方式とし、所定の位置にトランシットで誘導した後、水中ポンプにより注水し据付を行うこととした。

### 2. 4、施工

施工手順は施工フローのとおり行った。

- ①カキなどの生物が付着しており、必要箇所の清掃を行った。
- ②底面付着力の低減を図るため、ジェット水によりケーソン埋没部の土砂を水中で移動させた。
- ③ケーソン側壁4カ所、隔壁4カ所、計8カ所に削孔を行った。
- ④潜水士により削孔箇所に吊鉄筋を取付けた。
- ⑤止水壁は陸上ヤードで製作し、起重機船で吊って設置した。  
止水壁の四隅に切込みを入れ止水壁内部のチェーンで締付けを行い、水密性を高めれる構造とした。
- ⑥水中ポンプを6マスすべてに設置し、潮位が低くなる干潮時の2~3時間



施工フロー



で排水を行った。

ケーソンが海底面から離れるときに急激に浮上しないように、起重機船の吊上げ力と排水のスピードを調整しながら作業を行った。

- ⑦監視船の誘導により、起重機船でケーソンを吊った状態のまま、ロープでケーソンに大廻しを掛け、ケーソンの喫水調整を行い、えい航ロープをケーソンに取付け、引船によってえい航を行った。
- ⑧水中に据付けるのでケーソン四隅にポールを設置し、視準しながらケーソンを据付けた。
- ⑨据付後は削孔箇所からの中詰材の吸い出し防止のためにコンクリート・樹脂モルタルを使用して、開口部を補修し、潜水士による目視確認で異常がないことを確認した。



吊鉄筋確認状況



止水壁設置状況



排水・浮函状況



浮函完了状況



止水壁・吊鉄筋状況



据付状況

### 3、まとめ

本工事は、流用ケーソンを長期間仮置きした関係で困難な現場条件に変化したものである。しかし、現地状況の調査、検討と創意工夫で経済的かつ安全な施工がかなったケースである。そのために工事には手間が掛かっても現場条件に応じた工法を検討することが必要と考える。今回はケーソンを再利用した結果約19百万円（新規ケーソン製作費の縮減）のコスト縮減が可能となった。

今後さらに、施設の老朽化や用途変更により不要となる構造物が増えてくることが予想されるが、今回の工事は既存構造物を有効活用するための一例となったもので、今後はケーソン以外の既存構造物の有効活用やより安全で効率的な作業方法等についても検討を行い、さらなるコスト縮減を目指していきたい。



完成状況



