

Ⅱ-17 大規模地下空洞点検システムの開発

- サージタンク内壁面の目視点検 -

東京電力(株) 日比野 悦久 千代田 将明
 アジア航測(株) ○飯島 礼利 水谷 信之 斉藤 和也

1. はじめに

近年、揚水発電所の建設に伴い、ダム、地下発電所など大規模な構造物が増加しており、これら土木構造物の規模や構造特性に見合った管理が必要となっている。揚水発電所には、負荷遮断時に圧力トンネルに生ずる圧力上昇の軽減並びに負荷増減に応じた水量の補給吸収を行うために、高さ20～90m、直径6～15mにもおよぶ大規模な円筒型のサージタンク(調圧水槽)が地中に構築される。このサージタンクは一般に、環境保全への配慮や設備配置の効率化の観点から、岩盤中に建設される場合が多く、他の地中構造物と同様内巻コンクリートの劣化やひびわれ等の変状の有無を確認するために定期点検を実施している。サージタンクの点検は、発電所を停止・放水し、内部から目視観察により行っているが、下部からの観察のみでは、細かな変状を見落とす可能性があること、詳細なコンクリート壁面の観察を行う場合には、大規模な仮設が必要となり費用、停止期間が増加すること等が課題として挙げられた。このため、リモートセンシング技術を応用し、サージタンクなどの大規模地下空洞の内壁面の点検を安全かつ効率的に実施する遠隔点検システムの開発を行ったので、ここに報告する。

2. 点検システム開発にあたっての基本的な考え方

本システムの開発にあたり、必要とされる機能を、サージタンクの設置状況および点検目的を考慮して設定した(表1)。

次に、既開発の点検システムのサージタンクへの適用性を検討した。

鉛直壁面の点検を対象として開発された点検システムとしては、吸着盤を用いた壁面点検ロボットや水中にて点検を行う水中ロボットがある。これらの点検システムのサージタンクへの適用について検討した結果、前者は、水や泥、苔が付着した壁面への吸着力の不安による安全性の面、後者では、その操作性や画質の課題により適用は難しいと判断された。

また、ダム背面や橋桁を対象とした写真撮影による点検システムでは、広範囲にサージタンクの内部を見通せる場所がなく、これについても適用は難しいと判断された。

このため、表1に示す要求機能、特に安全性、点検速度を満足する点検システムとして、気球によって得た浮力を利用し、種々の観測機器を搭載した観測部を上下させる方式を採用することにした。なお、点検の精度は、水路トンネルの内部点検に合わせて目視による詳細観察程度、点検の工程も、システムの搬入から点検、搬出までを4日以内で終了することを目標とした。

表1 点検システムの要求機能

項 目	要 求 機 能
対象とする設備・諸元	揚水発電所サージタンク他大規模地下空洞 (適用対象設備諸元) 内径 6.0m～15.0m 高さ 20m～90m
点検項目と精度	(点検項目) ひびわれ、湧水、孕みだしなど (精度) 毛状ひびわれまで認識できること
システムの搬入・搬出	(最大寸法) 短径φ350mm、長径φ450mmのマンホールから搬入・搬出が可能である。
システムの運用	(安全性) 水分、泥が付着している壁面、曲半径3mの曲面であっても、安全に点検できること (点検速度) 最大16,000㎡を8時間以内に点検可能であること
点検に必要な日数	システムの搬入、組み立て、点検、解体、搬出まで4日程度で終了する。

3. 遠隔点検システムの概要

本システムは、以下の4つの部分から構成される(図1参照)。

- ①三次元空間を移動するための気球部もしくは、吊り下げ部。
- ②ビデオカメラ、スチルカメラ等を搭載した観測部。

- ③ サージタンク底部または導水路上に、方向検出用ビデオカメラと高さ制御用ワイヤーウインチを設置し、本システムの観測位置制御を行う制御部。
- ④ 導水路外に設置する地上操作・記録部（遠隔操作機、位置情報表示システム、観測モニタ等）。

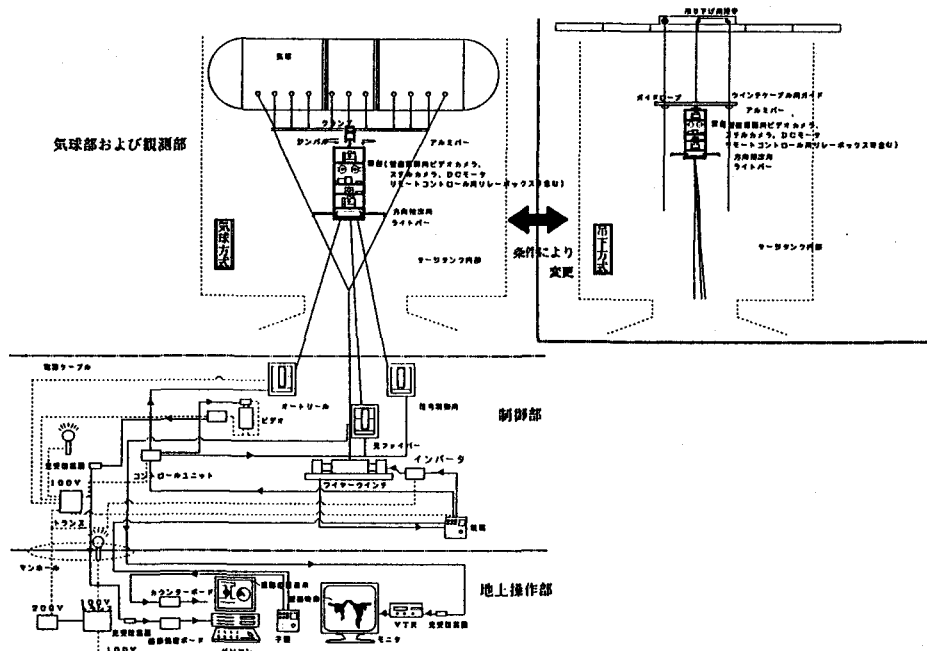


図1 システムの全体構成

以下に各部の概要について述べる。

3. 1 気球、吊り下げ部

気球部に観測部を吊り下げ、気球を上昇下降させることで三次元空間の点検を行う。なお、観測部をサージタンクのほぼ中央に維持するために、気球はサージタンクの直径とほぼ同径の横長楕円型とし、各発電所専用もしくは、汎用性をあげるために分割・接続式を採用した。また、上部から吊り下げることが可能な構造物については、気球を利用せずに滑車等を用いた吊り下げ方法で実施することが可能である。

3. 2 観測部

観測部は、観測モニタ用のビデオカメラとひびわれ簡易測定、壁面状況記録用のスチルカメラ等を雲台に搭載し、360°全周の撮影を行う。なお、観測モニタ用のビデオカメラからの映像信号の伝送には光通信を用いている。

3. 3 制御部

制御部では、観測部の位置制御を行う。高さ方向の制御は、サージタンク真下にワイヤーウインチを設置し、観測部に取り付けたワイヤーを繰出し、巻取ることで行う。撮影方向は雲台に取り付けた撮影方向を示すためのライトバーを、方向検出用ビデオカメラによってモニタすることで制御する。

3. 4 地上操作・記録部

地上操作・記録部では、方向検出用ビデオカメラからの映像信号とワイヤーウインチのモーター回転数のデータをもとに、パソコンによる位置情報表示システムで撮影位置（方向、高さ）を換算し、グラフィック表示および記録を行う。また、観測用モニタや位置情報表示システムの情報にもとづき、遠隔操作機で詳細点検（ビデオのズームアップ、写真撮影）が必要な箇所へシステムを制御する。

4. 点検システムの操作と適用

本システムでは、ビデオ映像によりサージタンク内壁面全体の目視（ビデオ）点検を行い、ビデオモザイクや壁面展開図を作成する。また、詳細記録が必要な箇所については、2台のスチルカメラにより、内壁面のステレオ撮影を行い、ひびわれ等の概略計測を行う。以下にその点検方法の概要について述べる。

4. 1 ビデオ映像による点検

本システムでは、観測部から伝送された内壁面のビデオ映像を、地上操作部に設置したモニタ上に表示しサージタンク内壁全体の目視点検を行う。目視点検時には、内壁面の状況に応じて、ビデオ映像を10倍まで拡大して行う。なお、内壁面に照射したレーザーマーカースの間の隔より、点検時に、モニタ上の映像の縮尺を得ることができる。

これらの点検情報（ビデオ映像、位置情報）から、内壁面全体のビデオモザイク画像や、ビデオ映像上で視認できる壁面上のひびわれ、湧水等をスケッチした内壁面展開図（ビデオスケッチ）を作成することができる。図2に壁面状況の展開イメージを示す。

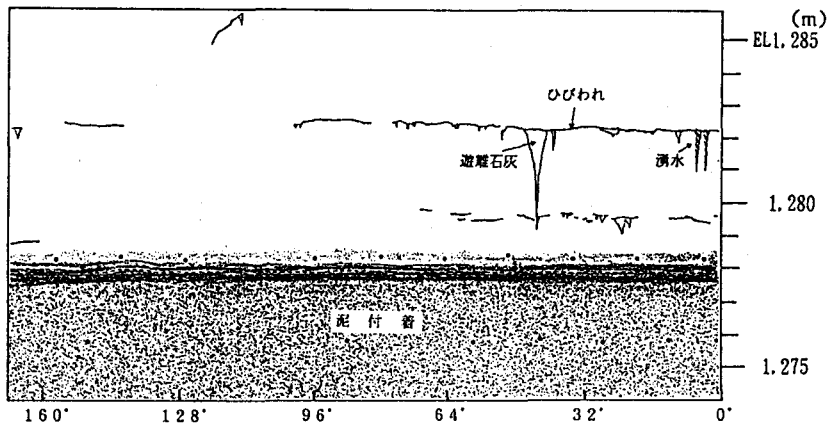


図2 壁面状況の展開イメージ

4. 2 スチルカメラによるステレオ撮影

観測部には、2台のスチルカメラを搭載しており、詳細な記録が必要な場合は、内壁面のステレオ写真をとることが可能である。本システムでは、2台のスチルカメラの基線を撮影範囲のオーバーラップが60%程度となるようにすることで、ステレオ写真を得ている。また、ビデオ映像同様レーザーマーカースを基準点として壁面と同時に写真内に写し込み、そのレーザーマーカースを標定し写真縮尺を求めることで、ひびわれ等の概略計測を行うことができる。図3にレーザーマーカースを基準点とした写真撮影の概念図を示す。写真からの概略計測は、写真1に示すように、壁面写真上の特徴的なひびわれ等について、オーバーレイを作成して計測する。オーバーレイ上の計測結

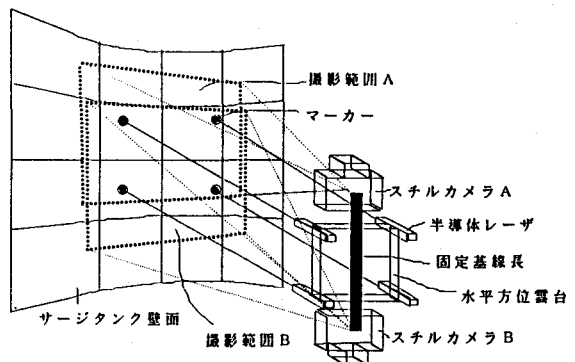


図3 レーザーマーカースを基準点とする写真撮影

果は、写真1に示すように、壁面写真上の特徴的なひびわれ等について、オーバーレイを作成して計測する。オーバーレイ上の計測結

果は、レーザーマーカーの標定によって算出された写真縮尺により、その概略的な規模をとらえることができる。

なお、ステレオ写真により得られる壁面の凹凸の情報は、内壁面の展開図を作成する際に、貴重な情報となる。

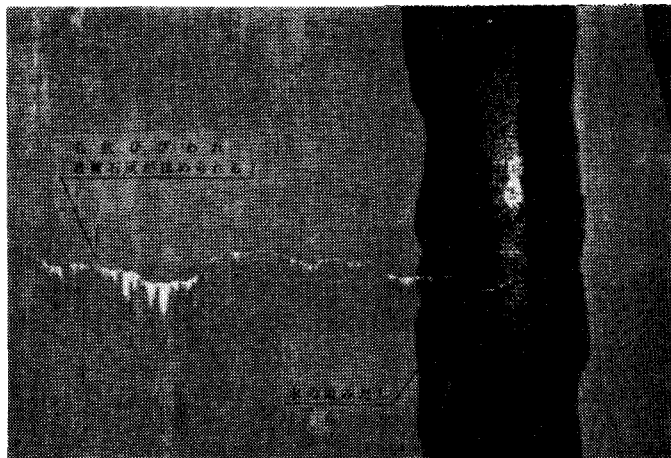


写真1 スチルカメラによる壁面写真の一例

5. おわりに

本システムは、平成元年度から開発に着手し、現地試験による性能確認、適用性評価等を踏まえて、平成4年度より主に揚水発電所サージタンク内壁面の点検調査に実適用している。

今後は、更に実用性向上を目指し、水垢、泥等が付着した壁面の点検および点検情報のデータベース化等の課題について検討を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 日比野悦久, 千代田将明, 水谷信之; 気球を用いたサージタンク点検システムの開発, 電力土木, No.243, 1993. 1
- 2) 大森 豊明 ; 監視制御システム実用便覧
- 3) 持木 一明 ; ビデオ技術ハンドブック
- 4) 長谷川、中山、横井、興水 ; 画像処理の基本技法 P. 41～63
- 5) 社団法人 日本写真測量学会 ; 解析写真測量 [改訂版]