

大深度立坑におけるデジタルビデオカメラを用いた新しい覆工健全度調査

直塚 一博¹・野村 貢²

¹正会員 株式会社建設技術研究所 東京本社・道路交通部（〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1）
naotsuka@ctie.co.jp

²正会員 株式会社建設技術研究所 東京本社・道路交通部（〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1）

本立坑は、地下350mの空間に合計3台の大容量ポンプを設置し、最大毎分5t、年間約100万tの水を地上に揚げ、専用のため池に注ぐといった村の水利用の重要な役割を担う施設である。本報告は、今回、新たに開発したデジタルビデオカメラを用いてその重要施設である立坑の覆工壁面調査を実施したものである。これまで立坑という縦に長い構造という特殊性により、壁面点検においては足場がなければ近接目視が不可能若しくは非常に困難であり、点検の実施について大きな課題を有していた。今回、新たに導入したデジタルビデオカメラを用いた「コンクリート構造物の損傷・劣化検出システム」は高速道路トンネルの不停止点検システムであり、本システムを用いることで足場設置なしで従来の近接目視と同等以上の調査結果を得ることが可能になった。これにより今まで維持管理が不可能または困難とされてきた大型換気立坑、発電所・備蓄サービス立坑に対する維持管理に端緒が付けられたといえる。

Key Words : soundness evaluation of lining , wounding and diagnosis of aging , depth vertical shaft , digital video camera ,

1. はじめに

本立坑は、昭和47年2月に着工した上越新幹線建設に伴い、建設以前の河川及び山際からの湧水、村営の上水道の井戸等が湧水に至ったのでその対策として農業用水、飲料水の施設となる中山トンネル建設に伴う四方木立坑を当時の日本鉄道建設公団より譲り受け、地下350m空間に計3台の大容量ポンプを設置し、最大毎分5t、年間約100万tの水を地上に揚げ、専用のため池に注ぐといった村の水利用の重要な役割を担う施設である。

本報告は、その重要施設である大深度立坑（D=350m）の覆工調査を実施したものであり、大深度立坑という縦に長い構造といった特殊性により、足場がなければ近接目視が不可能若しくは非常に困難であるところ、従来、高速道路トンネルの不停止点検システムとして開発したデジタルビデオカメラを用いた「コンクリート構造物の損傷・劣化検出システム」により従来の近接目視と同等以上の調査結果を得ることが可能となったのでここに報告するものである。

なお、本システムは、平成14年12月24日に国土交通省九州地方整備局九州技術事務所において、新技術情報システム「NETIS」の技術活用パイロット事業に活用する

新技術として登録（登録番号：QS-020025）され、現在、道路トンネル、鉄道トンネル等の外観変状の点検・調査に用いられている。

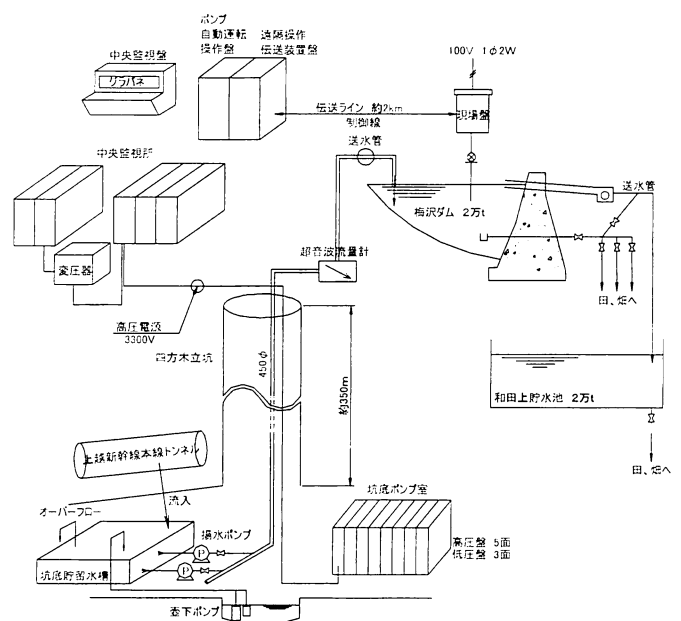


図-1 立坑システム概要図

2 調査システムの概要

(1) 概要

立坑覆工面の外観変状を把握する手法として、近接目視点検に変わる「コンクリート構造物の損傷・劣化検出システム」による点検手法を適用する。

本システムは、デジタルビデオカメラによる撮影と独自に開発した画像処理技術を用いて、コンクリート構造物のひび割れ等外観変状の顕在化を行い、処理画像展開図あるいは変状展開図を作成することで、維持管理に伴う点検・調査における外観変状の検出ならびに変状の分布を把握した。

現在、外観変状の点検は人間の目による近接目視観察が主流で、多大な作業負荷及び個人差、曖昧さ等により、信頼性に欠けた結果となることは避けられないのが現状である。特に立坑といった特殊構造物の場合、足場がなければ点検そのものが不可能で、今回、足場を設置するにも350mという大深度であるため多大なコストが発生し、点検作業も危険作業となる。しかし、本システムを適用することにより、安全性も考慮した点検作業の実施、作業時間の短縮化、正確に記録された信頼性の高い画像処理データの提供による良好な再現性の実現等が可能となった。1回の撮影時における撮影範囲および機材配置を図-2に示す。立坑内周面全範囲を確実に撮影するためにビデオカメラの方向や取り付け位置を1回の撮影毎に調整し全部でトータル5回撮影を行った。なお、点検作業に要した日数は2.5日であった。

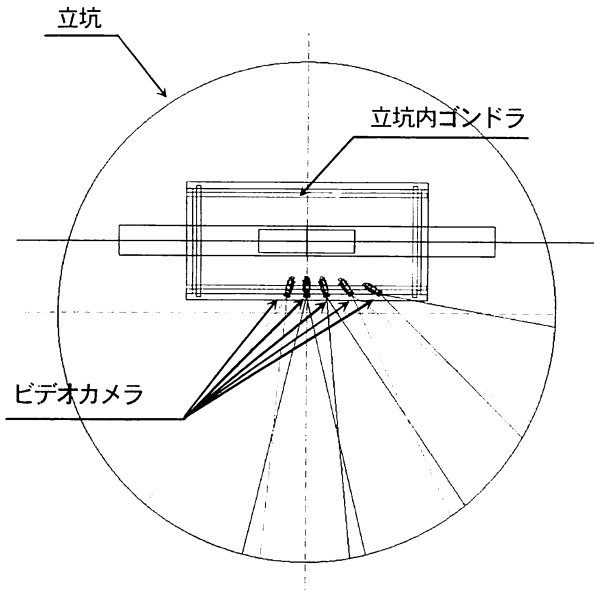


図-2 立坑内ビデオカメラ設置状況図

表-1 立坑概要

立坑名		四方木立坑	
深度	総深度 (m)	371.6	
	つぼ上 (m)	336.6	
	つぼ下 (m)	35.0	
断面	掘削断面積 (㎡)	45.4	36.3
	覆工断面積 (㎡)	17.1	8.0
	内径 (m)	6.0m	
	巻厚 (m)	0.8	0.4
地質		主として凝灰角礫岩	
掘削工法		全断面掘削	
穿孔		レッグドリル	
支保工		円形鋼製支保工 150H4ピース	

表-2 機器仕様一覧表

品 名		仕 様
撮影	デジタルビデオカメラ 5台	画素数：3CCD 34万画素 (有効画素) 寸法：93×112×193mm 重量：900g
	照明器 5台	消費電力：1kw、0.5kw 寸法：290×213×195mm 定格電力：100V 重量：2.3kg
	デジタル録画装置 2台	記録方式：DV-CAM 寸法：221×44×250mm 記録時間：3時間 (max) 重量：5.8kg
撮影車両	単管製架台	25kg 撮影速度：5km/h程度
使用電源	バッテリー	自動車用12Vバッテリー

(2) 施工条件

a) 適用条件

- ① ビデオカメラ及び架台の設置によって立坑内昇降設備の運転に支障が無い事.
- ② 雨, 高湿度等の水分の影響が少ないこと.

b) 適用範囲

- ① 近接目視で、ひび割れが確認できるものは検出可能. 本業務でのひび割れ検出精度は0.3mm以上である. (今回業務ではひび割れの検出は未実施)
- ② 撮影は 環境の明るさには影響されない. (昼・夜撮影可能)
- ③ 立坑覆工面の全断面周方向の撮影が可能である.

c) 移動速度

- ① 撮影は時速5km程度とする. (エレベーター速度)

d) 出力画像仕様

- ① 展開図は距離程毎もしくは、1 スパン毎の進行方向10m 程度で製作する.
- ②画像の範囲は、覆工全周とする.
- ③ファイルは、24ビットカラーJPEGとする.

3. 立坑覆工面調査概要

(1) 現地撮影準備

- a) 単管製撮影架台上に専用架台を設置し、その架台にカメラ及び照明器を取り付ける.
- b) 立坑昇降設備内に録画装置, バッテリー等の機材を設置し、各機器間の配線を行う.

(2) 視野角調整

- a) 立坑内部の既存ステージ位置で撮影範囲 (視野角) 及び焦点 (ピント) の調整をカメラ1台毎について行う.
- b) 照明器の方向を撮影断面に応じて調節する.
- c) カメラ, 録画位置, 照明器の動作確認を行う.

(3) 撮影

昇降設備を上下する方法で、ビデオカメラによる深度方向の連続撮影を行う。昇降設備の上下移動は数回実施する。ビデオカメラを昇降設備に固定し昇降することにより、各方向の撮影を行う。

(4) 展開画像作成

現地撮影調査により撮影・記録された画像（動画）を静止画像に変換し、図-3 に示すように、トンネル円周方向に据え付けた各カメラの画像をトンネル延長方向に合成を行うことで距離程毎の展開合成写真を作成する。

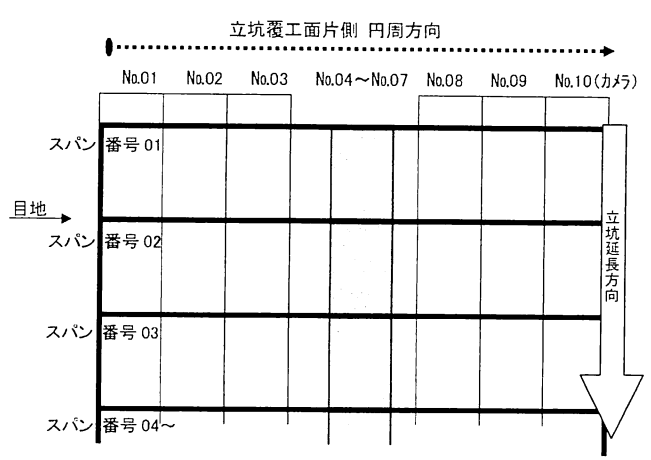


図-3 合成画像

(5) 健全度判定

展開画像や変状展開図に基づいて、覆工コンクリートおよび附属物の劣化状況及び損傷状況について整理し、遠望目視レベルでの健全度判定を行う。

4. 立坑壁面健全度調査結果

健全度調査に当っては主に仮設鋼材、覆工壁面、打継部に着目しそれぞれ脱落の危険性、漏水の程度、剥落の度合い、目開き、劣化、遊離石灰状況などにより補修の重要性の判定を行った。

表-3に健全度判定として今回定義した健全度ランク表を示す。

表-3 健全度判定表

健全度 ランク	健全度判定の内容
A	変形や変状が明らかに発生しており、現況及び進行程度により、早急な対策が必要と判断される部分
B	現段階では明らかな変化が発生しているが、進行程度が不明で経過観察等が必要と判断される部分
C	多少の変形、変状など見受けられるが現段階では早急な対策まで必要としない部分

なお、今回上記A判定としたものは、仮設鋼材の落下の危険性があると判断した箇所、B判定としたものは覆工壁面の劣化・剥落が顕著な箇所、C判定としたものは、使用上特に問題はないが覆工壁面の漏水、劣化、剥落、遊離石灰等存在する箇所とした。

立坑壁面というよりは仮設鋼材の撤去が必要な箇所が数箇所存在したものの総合的所見としては、トンネル壁面は概ね健全な状態であった。

表-4 調査結果一覧表（例）

撮影深度	覆工面状況	設備状況
展開合成写真 (1) 0.0～10.0m	【打設長】 坑口部は7.0m、坑口以深は2.5m 【覆工面】良好 【漏水】遊離石灰 漏水有り C 【施工目地】切欠無し 【パイプ振れバンド接続箇所】 うき・はく落無し 【ガイドレース振れバンド接続箇所】 うき・はく落無し	【送水管】良好 【パイプ振れバンド】良好 【ガイドレール】良好 【仮設材】腐食軽微 脱落の危険性有 A
展開合成写真 (2) 10.0～20.0m	【打設長】2.5m 【覆工面】良好 【漏水】漏水(滲み出し有り C)、 遊離石灰 水接管(塩ビ管φ50mm) 【施工目地】切欠無し 【パイプ振れバンド接続箇所】 うき・はく落無し 【ガイドレース振れバンド接続箇所】 うき・はく落無し	【送水管】良好 【パイプ振れバンド】良好 【ガイドレール】良好 【仮設材】腐食度軽微 脱落の危険性無し
展開合成写真 (3) 20.0～30.0m	【打設長】2.5m 【覆工面】良好 【漏水】遊離石灰 水接管(塩ビ管φ50mm) 【施工目地】切欠有り(25cm) 【パイプ振れバンド接続箇所】 部分的なはく落有り 【ガイドレース振れバンド接続箇所】 うき・部分的のはく落有りC	【送水管】良好 【パイプ振れバンド】良好 【ガイドレール】良好 【仮設材】腐食度軽微 脱落の危険性無し



写真-1 デジタル画像撮影・録画装置

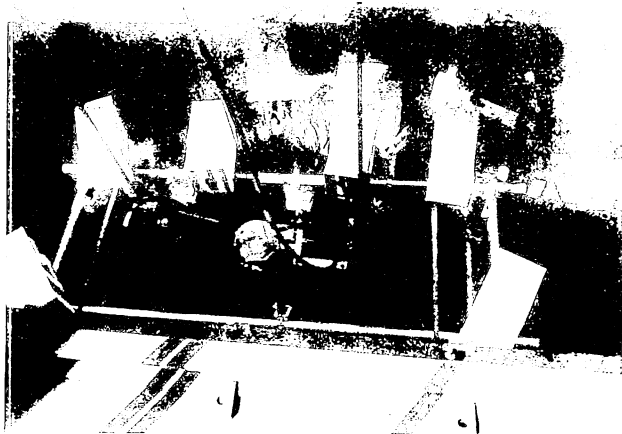


写真-2 立坑健全度調査状況

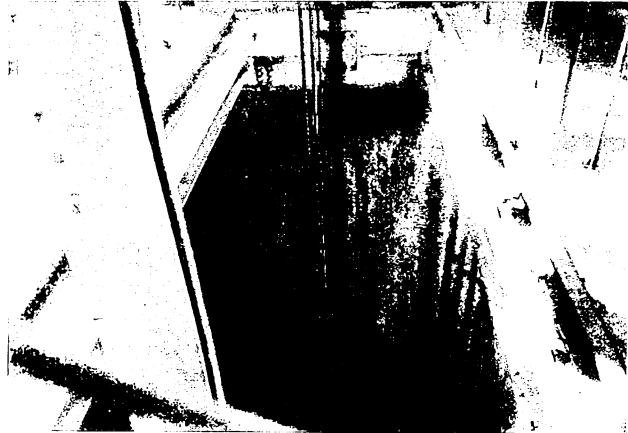


写真-3 立坑上部壁面（地上部より撮影）



写真-4 立坑下大容量ポンプ

5. まとめ

デジタルビデオカメラを用いた近接目視点検に変わる「コンクリート構造物の損傷・劣化検出システム」採用による有効性を以下述べる。

- (1) 大深度立坑における近接目視点検の実施が可能
これまで立坑（大深度立坑含む）覆工点検においては作業足場等がないため危険作業を伴うものであり、足場設置にも多大のコストを要するため実施困難であったが本システムの採用により、低コストでしかも安全に従来実施している近接目視と同等以上の結果を得ることが可能となった。
- (2) 作業時間の短縮化
通常のトンネル点検と異なり立坑内という非常に狭い特殊空間での作業の困難性から考慮すると最低でもおよそ5～7日程度要すると想定されるところ今回2.5日

という非常に短期間での作業を実現できた。

短時間作業の効果は今回のような大深度であればあるほど時間短縮の効果が顕著に現れるため、今回大幅なコストダウンを図ることができた。

(3) 信頼性の高い画像処理データの提供が可能

従来の近接目視点検の場合、点検者の力量・経験等により点検結果に差異が生じていたが壁面展開図を電子画像化することにより、検証が客観的に行われるため統一的な判定が何時でも可能で対策必要箇所も漏れなく網羅できるようになった。

(4) トンネル壁面クラック展開図作成の容易性

トンネル点検作業において最も時間を要するものは、覆工コンクリート表面の諸情報（ひび割れの位置・長さ、剥落箇所の位置・範囲、湧水箇所等）を点検記録として変状展開図に整理することにある。一般には近接目視を行い、覆工コンクリート表面を観察、ひび割れ等の位置を計測した上で記録が行われている。これらは、最終的にはCADデータ等として電子化されるが、全てが人力による手作業であり労力および時間を費やしていた。また、精度としても実施者によるバラツキを有していた。しかしながら本システムの採用により後々容易に点検画像を確認できることから点検記録の図化作業時間の短縮が図れるようになった。

(5) 熟練技術者に頼らない客観的判定が可能

トンネル点検（立坑点検）結果に基づく健全度評価（＝劣化度診断）は、専門的な知識や経験を有する熟練技術者の裁量で行われてきた。しかし、昨今の専門技術者の減少に対して老朽化トンネルはますます増加するという実状では、従来の熟練技術者に依存した健全度評価には限界があるという事実もあり、熟練技術者ほどの専門的知識を有しなくとも、簡易にトンネルの健全度評価が可能なツールをとって実用化され利用できるようになった。

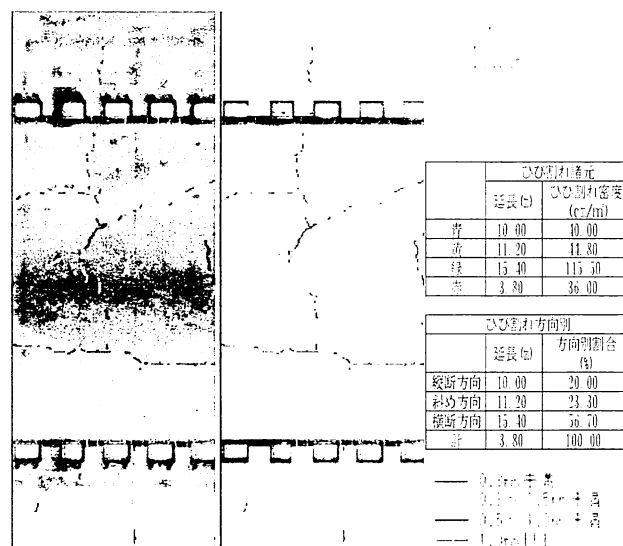


図-4 ひび割れ処理画像と変状展開図データ（例）

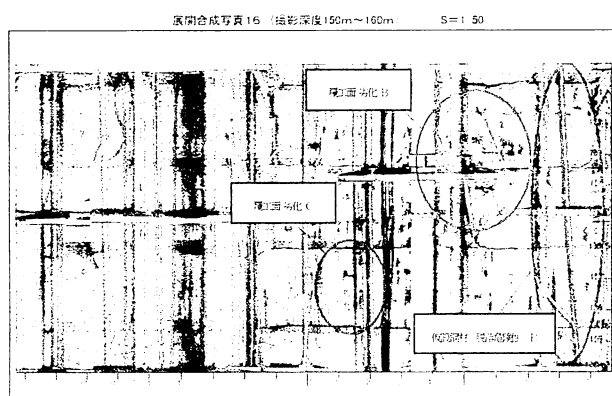


写真-5 立坑展開合成写真例その1

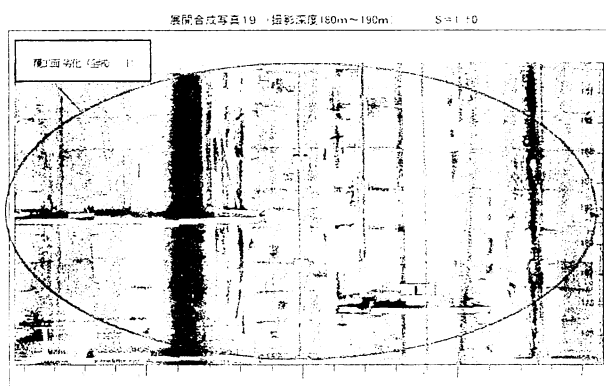


写真-6 立坑展開合成写真例その2

6. 最後に

今回、新たに導入したデジタルビデオカメラを用いた「コンクリート構造物の損傷・劣化検出システム」は高速道路トンネルの不停止点検システムで、これを立坑の健全度調査に用いることで、足場設置なしで従来の近接目視と同等以上の調査結果を得ることが可能になった。

本技術の展開活用により今まで維持管理が不可能または困難とされてきた大型換気立坑、発電所・備蓄サービス立坑において低コストかつ安全に点検作業が実施可能になったことは非常に画期的であり、今後大深度に限らず換気立坑や共同溝等の中規模の立坑施設立坑においても十分活用できるシステムであるといえるであろう。

今後本システムの積極的な展開を図ると共に更に効果的な改良を加えながら様々な場面での活用の機会を広げて行く所存である。

参考文献

- 1) 上越新幹線工事誌（大宮－水上間）1982 日本鉄道建設公団
- 2) 上越新幹線中山ずい道掘さくに伴う湧水対策水源井の調査報告書 昭和52年12月 株式会社地下開発コンサルタント

NEW LINING SURVEY THAT USED DIGITAL VIDEO CAMERA DONE IN VERY DEEP SHAFT

Kazuhiro NAOTSUKA, Mitsugu NOMURA

This shaft sets up a mass pump of three totals in the space of 350m in the underground.

It is facilities where an important role for the water supply in the village of giving the ground the water of 5t maximum per minute and about one million ton a year and pouring into the pond for the exclusive use is played.

It is a cover and this report is execution of wall survey of the shaft with a digital video camera newly developed. Up to now, if there was no work stand, the adjacent watching was impossible or very difficult in the wall check according to distinctiveness of long structure in length of shaft.

However, it became possible no stop check system of the expressway tunnel "Damage and deterioration detection system of a concrete structure" with a digital video camera newly introduced this time, and to obtain the result of the survey more than the equal to the adjacent watching the past as this was used and the work stand installation did not exist.

As a result, the operation and maintenance to the large-scale ventilation shaft and the power plant and the savings service shaft where the operation and maintenance had been assumed to be impossible or difficult up to now became easy.