下水道管渠内面展開図関連システムの開発

THE DEVELOPMENT OF SYSTEMS CONCERNED WITH EXPANSIONARY IMAGE OF SEWER PIPE

斎藤 博*・伊達欣志*・望月 保**・東郷喜一郎***・宮本和治***・沼尾信二****・張本紀行****
Hiroshi SAITO, Kinshi DATE, Tamotsu MOCHIDUKI, Kiichiro TOGO, Kazuharu MIYAMOTO, Shinji NUMAO and Noriyuki HARIMOTO

More than 13% of sewer pipe in the city district of Tokyo Metropolis is beyond the service life, and the percent is increasing. Therefore, re-building of sewer pipe is planned in Tokyo Metropolis. To manage and maintenance of re-building, TV investigation is necessary.

To increase in efficiency of manage and maintenance, we developed an expansionary image system, a TV inspection system and an expansionary image DB system. This paper briefly explains the principle of these systems.

Key Words : *expansionary image, inspection system, sewer pipe*

1. はじめに

近年、大都市を中心に耐用年数を経過した下水道管渠が増加の一途を辿っている。東京都都心区においては、耐用年数を超える下水道管渠が 13%以上もあり、管渠の老朽化が進行している[1]。このため、東京都は、下水道管渠の再構築を計画している。また、下水道法の改正に伴い、下水道管渠内での光ファイバーの敷設・利用が増加している。

これらの下水道管渠の再構築、下水道管渠内での光ファイバー敷設等の工事判断・維持管理のためには管渠内の調査を行うことにより管渠内の状態を的確に把握することが重要になる。管渠内調査のうち、人が入ることの出来ない直径 800mm 以下の小口径管渠に対しては、テレビカメラ調査システムによって、調査が行われている。

現在行われている下水道管渠内のテレビカメラ調査方法は、管渠内を走行することが可能な自走車にカメラヘッドを搭載し、地上局からの制御により前後走行させ、管渠内異状部分等の撮影を行っている。画像データはVHS形式のビデオデータとして収録され、管渠保全、補修工事および清掃作業等の維持管理用として利用されている。

しかしながら、年間約 400kmの管渠内調査の成果品であるビデオデータや調査記録表は膨大な量になり、それらの保存スペースとして広大な空間の確保が必要となる。また、ビデオデータの検索や管渠施設台帳との照合にも多大な時間を要しており、抜本的な改善が必要となっている。

そこで、これら業務の効率化を目的として下水道管渠内調査データを展開図データに変換処理する下水道管渠内面展開図化システム、展開図データおよび管渠内調査データを効率的に管理する下水道展開図 DB システム、さらには展開図処理効率の向上、展開図帳票の精度向上のためのデジタル方式下水道管渠調査用テレビカメラシステムの共同開発を脚注に示す 3 社と行った。本稿では、共同開発を行った各システムについて、その開発内容を報告する。

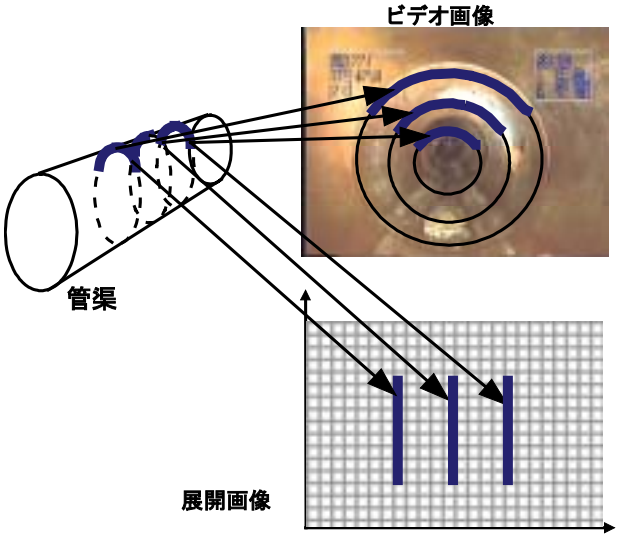
2. 下水道管渠内面展開図化システムの開発

(1) 展開図の処理方法

下水道管渠テレビカメラ調査では、管渠の内径に応じてテレビカメラヘッドを管渠中心にセットし、管渠内のビデオ撮影を行なわなければならないことが、東京都下水道局編の「管路内調査工標準仕様書」に明記されている。

展開図化処理には、管渠中心にセットされたテレビカメラから管渠の正面方向を撮影したビデオ画像を用いて行なう。テレビカメラによって撮影された管渠内画像は、図－1 に示すように、ビデオ画像上の 2 次元空間に遠近表示される。管渠内画像は、管渠中心を軸として管渠内周の各部分はディスプレイ上に同心円状に表示される。この管渠を円筒形とみなせば、 同心円部分の管渠内周画像を切り出して座標変換を行い、遠近に応じた補正を行うことにより、管渠を管頂から切り開いた遠近歪みのない帯状の展開画像データとすることができる。

* 東京都下水道サービス株式会社技術部技術開発課
** 下水道メンテナンス協同組合工務部
*** 東京電子工業株式会社 映像機器技術部
**** 日本工営パワー・システムズ株式会社 システムソリューション部



図－1　展開処理方法

また、それぞれのビデオ画像には、人孔部からの走行距離が文字データとして画面上に表示されているので、これらの文字データについて文字認識処理を行い、それぞれの展開画像データの位置情報を取得する。

1 回のテレビカメラ調査で行われる管渠の撮影距離は、50m～150m であるが、位置情報を参照してこれらの展開画像を管渠の長手方向に連接処理することにより展開図としている。通常、ビデオ画像は 1 秒間 30 フレームから構成されるが、このうち 5 フレーム程度を等間隔に抽出し、展開図化処理用データとして使用する。

(2) 画面上の管渠中心点の確定

展開図作成時の展開中心が、ビデオ画像上の管渠の中心点からずれた場合、展開図に歪みを生じる。たとえば、下水管渠間の継目は、正常に展開処理されると展開図上では直線となって表示されるが、中心点がずれると曲線となって表示されるので連接処理を行う際に不具合を生じることになる。

一方、テレビカメラ自走車が管渠内を走行する際に、管渠内の凹凸の影響を受けてカメラヘッドが上下動したり、管渠壁面の側視調査終了後にカメラヘッドを元の位置に復帰させる際に通常の位置に戻らなかったりする場合があるため、ビデオ画像の中心点と管渠の中心点との位置関係が変化することがある。このため、ビデオ画像から展開図データの変換処理を正常に行えるようにするには、管渠の中心点を自動的に探索することが必要となる。

本システムでは、以下の 2 つの中心点探索法を組み合わせ、相互に補完する方法を採用している。

1) ハフ変換による探索法

管渠の継ぎ目が照明による反射の影響で明るくなっていることに着目し、継ぎ目を円形であるとみなすことにより、ハフ変換を適用することができる。

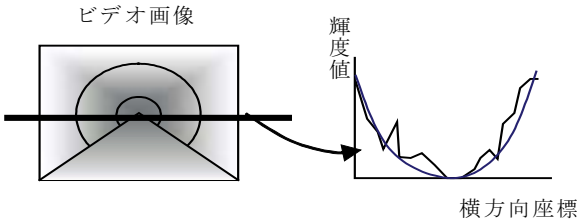
ハフ変換の適用にあたっては、円の中心点座標 X,Y および半径rをパラメータとして使用している。二値化処理後の継ぎ目上の各点をパラメータ空間に変換した後、曲面の交点を求めることにより、円形とみなした継ぎ目の中心点を決定することができる。これは、図－2 に示すような各仮想円上にある白い点の数をカウントし、最も多くの点が仮想円上にある場合にその円を継ぎ目として検出することと同等な処理を最も効率的に行なっていることに他ならない。ここで検出された円の中心を管渠中心とする。

図－2　検索法の概略図

本方法の長所は、継目の円が途切れていても、精度良く中心点の検出ができる。しかし、継目のない画像、または継目がはっきりしていない画像では使用できない。

2) 最暗点探索法

管渠の中心は管渠奥の最も暗い部分になることが多い。最暗点探索法は、ビデオ画像上の輝度データを使用して最小 2 乗法により、横方向(図－3 に示す)、縦方向の最も暗い部分を探索し、管渠の中心座標を求める方法である。



図－3　横方向の最暗点探索法の概略図

本方法の長所は、ほとんどの画像に適用できることである。しかし、管径の小さい管渠になるほど、展開図に利用する箇所の管渠中心と、最暗点である管渠の奥の部分とが異なる。また、求めた中心点の精度はハフ変換による探索法より悪い。

これら 2 つの中心点探索法の特長に留意し、本システムでは、まず、ハフ変換による探索法を用いて中心点の探索を行い、中心点が求められない画像に対し、最暗点探索法を使用することにした。しかし、取り込んだ画像フレーム全てに対して

上記の方法を適用すると、処理時間が長くなり、実用的には問題がある。このため、通常の管渠内調査においては、調査対象となる管渠の全スパンをテレビカメラ自走車により調査撮影するため、取付管や異状個所以外の部分では管渠内をほぼ連続して撮影するという特質を展開図化処理に利用している。すなわち、管渠内を連続して撮影する場合、管渠中心位置が極端に変化することは少ないため、連続撮影区間の先頭と後尾のビデオフレームに対してのみハフ変換による探索法および最暗点探索法により管渠中心位置の探索を行う。その間のビデオフレームについては、走行距離データを基に線形補間により中心点を決定し、展開図化処理を行っている。

なお、連続撮影区間の認識は、ビデオ画像上の走行距離データ、カメラヘッド回転角度データの文字認識結果を参照し、走行距離データが連続であり、カメラヘッド回転角度データが設定値の範囲内にあるか否かを判定することにより行っている。

(3) 撮影位置の情報の認識

先に述べたとおり、各展開画像を対応する展開図上の位置に連接処理するためには、画像上にスーパーインポーズされている走行距離データ情報を正確に読み取る必要がある。本システムでは、以下の方法を採用した。

1) 相関法による文字認識

相関法による文字認識は、あらかじめ登録した文字テンプレート(0～9 までの各数字)と画像上にスーパーインポーズされた距離等の文字情報との相関値を1文字ごとに求め、最も高い相関値を示したテンプレートの数値とスーパーインポーズされた文字が同じであるとして認識結果を出力する方法である。ただし、この方法では、管渠内画像の背景や、ビデオ画像の劣化などの影響により、文字認識率には限界(90～98%)がある。

2) 前後画像の連続性を利用した文字修正処理

テレビカメラ自走車は管渠内を一定速度以内で走行しているので、走行距離データは連続している。この点を考慮して連続性のない相関法で求めた走行距離データ、カメラ首振り角度に対して修正を行う。

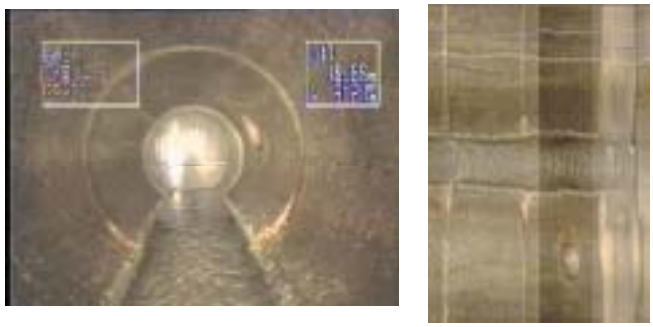
(4) 下水道管渠内面展開図化システム

下水道管渠内面展開図化システムのハードウェア構成を**図－4** に示す。

図－4 下水道管渠内面展開図化システム

ビデオ画像から展開図帳票に帳票化されるまでの流れは次のとおりである。

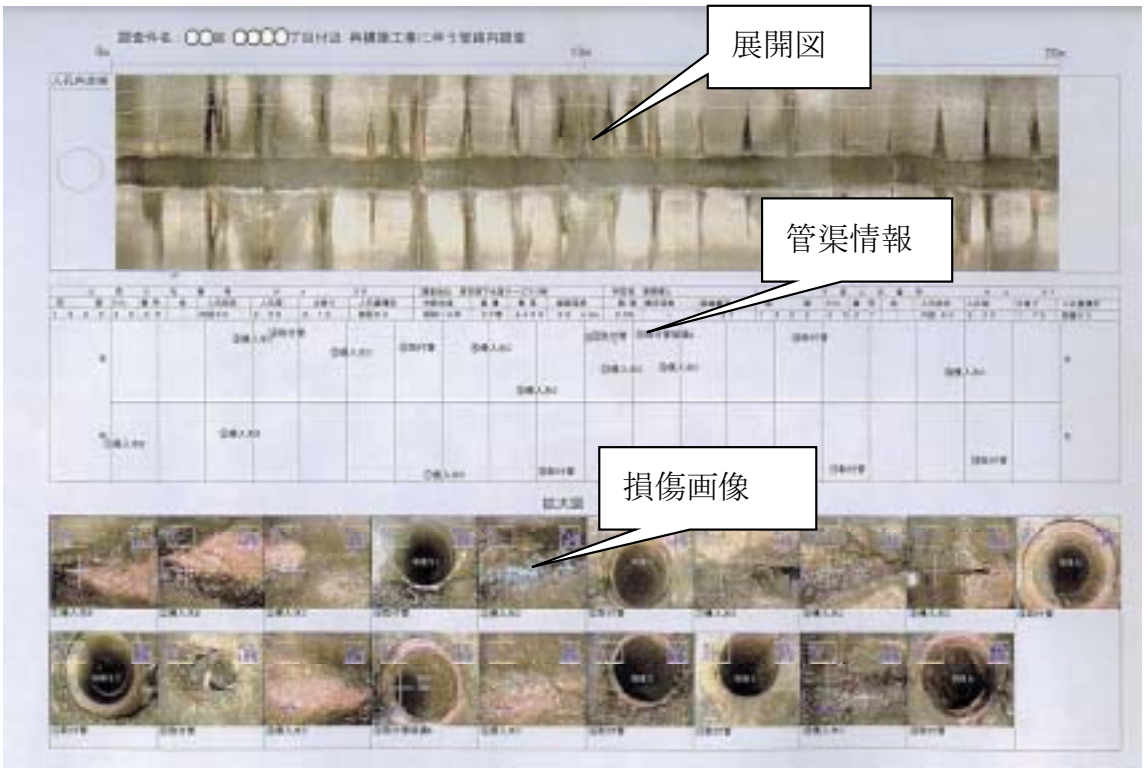
最初に調査画像を収録したビデオをビデオデッキにより再生する。再生したデータをコンピュータに取り込み、取り込んだ画像データや、管渠情報を基に展開図を作成する。作成した展開図は電子データとして、DVD-RAM に保存するか、カラープリンタによって出力する。**図－5** に、カメラが直進している時のビデオ画像とその近辺の展開図の1例を示す。



図－5 管渠内ビデオ画像と展開図の例

ビデオ画像の右上に表示されている走行距離情報を、このビデオ画像の位置情報として連接処理に使用している。展開処理を行って展開図とした後、20m区間毎に、同区間内の管渠内面の異状箇所・取付管箇所の画像および各種管渠の情報とともに展開図帳票として A3 用紙 1 枚に集成する。

展開図帳票の一例を**図－6**に示す。展開図と管渠情報記入欄の位置は対応しており、管渠情報記入欄には異状・損傷箇所の画像番号が損傷位置を考慮して記入される。また、路線番号や人孔番号等の関連情報も合わせて記入されているため、管渠内の全容を把握することが極めて容易になる。



図－6 展開図帳票の 1 例

現状のテレビカメラ調査業務では、検収用の成果品としてVHS形式のビデオテープ、写真集および記録表を提出することが義務付けられているが、下水道管渠内面展開図化システムを利用することにより、ビデオテープの代わりに展開図と動画（展開図 DB システムのところで後述する）を記録した DVD を、写真集と記録表の代わりに展開図帳票を利用することができるため、記録メディアの大幅なコンパクト化と紙ベースの記録様式について表現および情報の充実を図ることが可能になる。

3. デジタル方式下水道管渠調査用テレビカメラシステムの開発

(1) 開発の背景

現在、一般的に使用されている下水道管渠テレビカメラ調査システムでは、下水道管渠内の調査ビデオテープに、汎用性の高い VHS テープを使用しているため、画像の解像度が低く、経年劣化やテープの編集作業、パソコンへの取り込み作業による画質の低下が避けられなかった。また、下水道の維持管理者が直接ビデオテープを見ることを想定して作成されているため、走行距離データ、カメラヘッド回転角度データ、異常・損傷情報等をテレビ画面上にスーパーインポーズしており、それらの情報についてはコンピュータによる認識が容易ではなかった。このため、展開図の作成時には、文字認識処理段階における誤認データを人手により修正を要する場合があった。

今後、管渠内調査に関わる情報をコンピュータ管理していくことが不可欠となっていくなかで下水道管渠調査用テレビカメラシステムもいわゆるコンピュータ時代に対応したものへ進化することが望まれる。

(2) 画像データのデジタル化

現行の下水道管渠調査用テレビカメラシステムによって撮影された画像は、テレビカメラシステムから出力されたアナログ信号を VHS テープで録画し、調査件名、調査年月日等を画像としてテープ上に編集した後、保管される。これらの調査テープ上にある画像データをコンピュータで処理する場合には、A/D 変換用のキャプチャーボードを介してデジタル化し、コンピュータ上で扱える画像データとしてパソコン内に取り込んでいる。このように、VHS テープを使用して画像データを保管すると、録画、保管、キャプチャー処理の各段階で画質の劣化が起こることになる。また、一般の VHS 仕様のビデオ画像は、水平解像度が 240 本であり、カメラの出力映像に比べて解像度が低く、また編集、複写を重ねることにより画像のレベルはさらに劣化する。このため、画像データのデジタル化を図るべく VHS 録画に替わる方式の開発を行った。

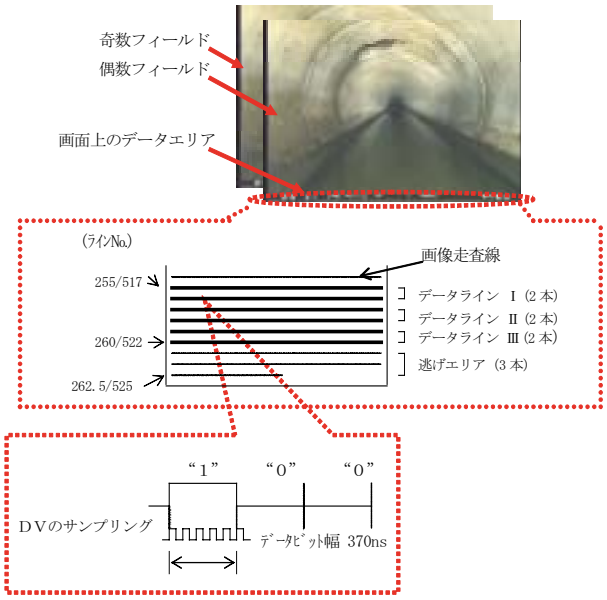
コンピュータによって処理を行うことを考慮すると、画像のデジタルデータは MO、DVD などのコンピュータに接続可能な記録メディアに保存する事が有効と考えられる。しかし、コンピュータおよびその関連装置の使用環境を考慮すると、対環境性について配慮する必要があるコンピュータ等の装置を現場に持ち込み、使用することは適切でない。また、MO、DVD の

容量、アクセス速度等を総合的に判断した結果、管渠調査画像の保存には不適切と判断し、デジタルビデオテープに保存する方法を採用した。

デジタルビデオテープに保存することにより、VHS テープと同様、2 時間の記録が可能であり、デジタル録画のため、保管による画質の劣化が起き難く、また、デジタルビデオテープからコンピュータに画像を取り込む際に、画質が劣化しない等の点が改善された。

(3) 文字情報のデジタル化

現行のテレビカメラシステムにより撮影された画像上には、走行距離データ、カメラ角度データ、異常・損傷情報等の文字情報がスーパーインポーズされているが、これらの文字情報について、コンピュータ処理を容易に行えるようにするためデジタルデータ化する開発を行った。デジタルビデオテープ内のデータ記録領域には、オーディオ・セクタ、サブコード・セクタ、ビデオ・セクタがある。オーディオ・セクタは音声データを記録するためのセクタであり、サブコード・セクタは録画時の年月日時分秒、絶対トラック番号などを記録するセクタであり、そしてビデオ・セクタは映像データを記録するセクタである。



図－7 データ重畳形式

このうち、データの保存容量が多く、画像とデータ項目との同期をとることが容易であるビデオ・セクタにデジタル化したデータを重畳する方式を選択した。また、デジタル化したデータを重畳する画像上の位置については、テレビ画面では画面上に表示されない有効画面範囲外の下方領域とした。

DV デッキの入力はアナログ方式であるため、インタレース走査のずれ、画像の圧縮による劣化等に耐えられるよう、画像上の 2 本×5 ドットの領域に同じ 2 値情報を重畳し、同期信号、エラーチェックビットを除いて、2 本に 128 ビットを搭載するデータ重畳形式とした。データ重畳形式を図－7 に示す。

データ出力の主な仕様は、次のとおりである。

- データ重畳方法　走査線末尾の 6 本にデータ重畳
- データビット幅　370ns
- データ出力順序　MSB より転送
- 重畳データ一覧　No.1～5: フレーム毎に重畳必要とするデータ
  No.6～13:データ変化時点に重畳を必要とするデータ

このようにして、デジタルビデオテープの限られたデータ記録可能な領域内に、管渠内調査作業中にテレビカメラシステムから発生する調査データを漏れなく保存することができるようになった。表－1 にデジタルビデオテープ上に重畳しているデータの詳細を示す。

表－1 重畳データ一覧表

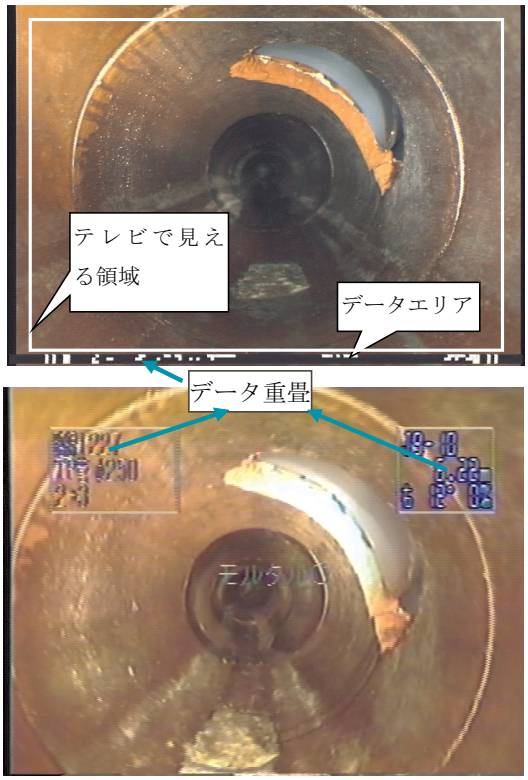
NO	データ名	データ量(bit)
1	ケーブル長	24
2	回転角度	16
3	首振角度	16
4	傾斜角度	16
5	写真	8
6	路線NO.	112
7	マンホールNO.	112
8	管種	72
9	管長	16
10	管径	24
11	日時	48
12	ジョイントNO.	16
13	項目データ	160

(4) デジタル方式下水道管渠調査用テレビカメラシステムの開発

画像データのデジタル化や文字情報のデジタル化を反映したデジタル方式下水道管渠調査用テレビカメラシステムの開発を行なった。図－8 に、今回開発したデジタル方式カメラ自走車の写真を示す。同テレビカメラシステムの開発では、以下の改良開発も同時に実施した。

図－8 デジタル方式カメラ自走車

① 画素 CCD カメラを採用し、画素数を、現行の 40 万画素から、90 万画素に増大することにより、画像の解像度の向上を図った。
② カメラ自走車に重力センサを装着し、テレビカメラのヘッドを水平に自動調整することを可能とした。
③ 走行距離データの精度を、cm 単位から mm 単位とすることにより、展開図の連接処理精度の向上を図った。

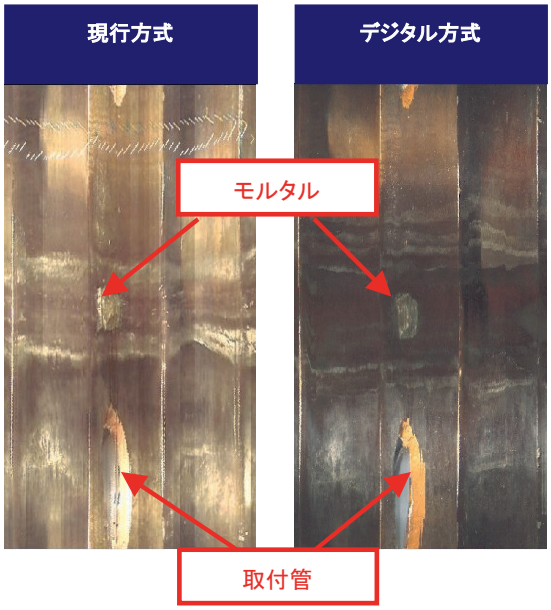


図－9 撮影画像の比較
（上：デジタル方式、下：現行方式）

図－9 は現行システムの撮影画像とデジタル方式下水道管渠調査用テレビカメラシステムの撮影画像の 1 例である。実画像の比較を行なった結果、デジタル方式の方が鮮明な画像を撮影することができたことを確認した。また、デジタル方式では、テレビ画面では見えない画像の下方領域に管渠の情報が重畳されていることがわかる。さらに、文字情報をビデオセクタに記録する方式を採用したため、特別な重畳データの入力ボードの開発が不要となり、市販の DV 画像入力ボード（IEEE1394 準拠）により、必要な画像および重畳データを同時に取り込むことができる。

このため、前述の展開図化システムに最小限の改良を実施することにより、デジタル方式テレビ調査カメラ装置に対応することができた。

図－10 は現行システムの撮影画像と今回開発したシステムの撮影画像を基に作成した展開図の比較例である。**図－10** では、取り付け管の展開画像が鮮明になっていることを確認することができる。



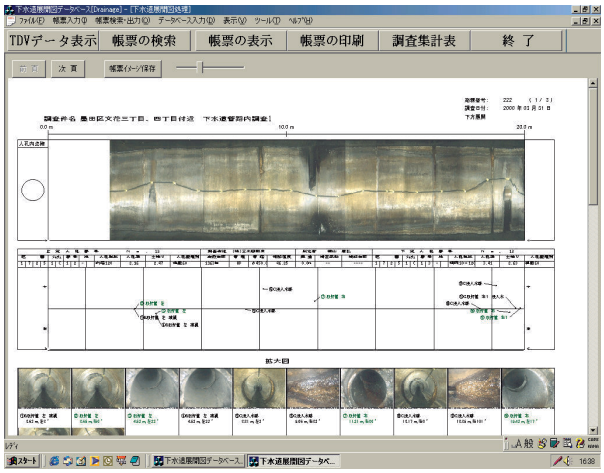
図－10 展開図の比較

4. 下水道管渠内面展開図 DB システムの開発

下水道管渠内面展開図化システムによって作成される管渠内展開図帳票および管渠情報を下水道の維持管理者が活用し易くするため、下水道管渠情報および展開図等を一括管理することのできるデータベースシステムを開発した。本システムは帳票の検索、集計、帳票の編集機能のほか、以下の特徴がある。

（1）帳票管理機能

本システムは以下の方法による展開図データを管理している。**図－11** に下水道展開図 DB システムの帳票表示画面の 1 例を示す。



図－11 下水道展開図 DB システムの表示画面

1）DB の切り替え

各管理事務所単位あるいは調査件名、時期等により帳票を別々の DB に収納することができる。システム内部で DB を切り

替えることにより、複数の DB 上において画像の検索機能や動画再生機能等を利用することができる。

2) DVD－RAM の利用

本 DB は画像データを管理しているので、データのサイズが膨大であり、ハードディスクに収納し切れない。このため、本システムでは、DB 本体には帳票の保存場所のみ管理する方法を採用し、画像データをラベリングした DVD-RAM 等のリムーバブル記憶装置に保存する。このため、小規模システム用 DBMS でも大量のデータを管理することが可能となった。

(2) 動画表示機能

下水道管渠調査ビデオテープをパソコンに取込む際、画像データは 1 フレーム／秒に JPEG 形式の圧縮を行い、展開図帳票データと同時に保存される。下水道展開図 DB システムの画面上に表示されている帳票内の展開図または異状個所の拡大図をクリックすると、動画表示ダイアログをポップアップし、その個所に対応するビデオ画像が表示される。また、動画表示ダイアログでは、画像の再生機能があり、保存されている画像を連続的に再生することができる。**図－12** に下水道展開図 DB システムの動画表示画面の 1 例を示す。

(3) 他メーカの下水道台帳システムとの連携

下水道管渠展開図を普及させるためには、下水道の維持管理者が利用しやすいマシン環境から展開図を参照できるようにすることが必要である。

このため、本システムでは、下水道台帳情報システムと連携し、下水道台帳情報システムから直接展開図 DB システムのソフトを起動し、展開図を表示することを可能としている。これにより、例えば地図が表示されている画面上から対象とする管渠を指定する等の簡単な操作により、管渠内の画像を確認することができるので、保管室からビデオテープを探す場合に比較して画像データの検索に要する時間を大幅に削減することができる。

図－12　下水道展開図 DB システムの表示画面

5. まとめ

これまでは、VHSテープ上に録画した管渠内画像をテレビ画面上でしか見ることができなかったが、VHSテープ上のアナログ画像データから展開図を作成する手法の開発により、展開図およびデジタル画像データとしてパソコン上でデータ操作、確認を行うことができるようになった。

また、デジタル方式下水道管渠調査用テレビカメラシステムの開発により、現場において撮影する管渠内画像の録画時からデジタル化を図るとともに、パソコンとの親和性についてより一層の向上を図った。

以上の開発内容は、下水道管渠の調査および管理業務に対して次のような効果をもたらすと考えられる。

① 展開図帳票により、管渠の全体像を一目で把握することができ、総合的な判断が可能となる。
② 展開図化処理を行うことにより、調査済データを電子ファイルとして収納するため、データの保存スペースの減少と経年劣化を防止することができる。
③ デジタル方式下水道管渠調査用テレビカメラシステムの開発により、パソコン等による画像データの再利用を容易にし、解像度の高い下水道管渠内調査画像を撮影することが可能となる。
④ 管渠内画像データのデータベース化を図ることにより、必要な情報の検索等をパソコン上で容易に行うことができる。
⑤ 下水道台帳管理システムとの連携により、画像データの検索に要する時間を大幅に削減することができる。

下水道管渠の維持管理を的確に行っていくには、最初に対象とする管渠の現在の状態を正確に把握することが必要とされる。このために、下水道管渠調査用テレビカメラシステムで撮影した画像を利用することは極めて有効である。

本文に述べた各システムは、今後、予想される老朽管の増大とともに、管理しなければならない管渠情報の増加に対応するべく有力な手段として適用が図られていくものと考えられる。

参考文献

1)　東京都下水道局:“管渠再構築設計の手引き”、平成 13 年 9 月