

ネットワークを駆使した情報化技術の建設用ロボットへの展開

—土工分野における IT を活用した建設ロボットの将来像と今後の課題—

2004年6月

(社) 土 木 学 会

建設用ロボット委員会

土木技術小委員会

## ネットワークを駆使した情報化技術の建設用ロボットへの展開

### —土工分野における IT を活用した建設ロボットの将来像と今後の課題—

## 目 次

### 1. はじめに

### 2. 土工分野における自動化施工での IT 活用の現状と課題.

#### 2. 1 概要

#### 2. 2 土工分野でのセンシング技術の現状

##### 2.2.1 回転レーザー（回転レーザーレベル）

##### 2.2.2 自動追尾式トータルステーション

##### 2.2.3 全地球測位システム（GPS：Global Positioning System）

##### 2.2.4 レーザースキャナ

##### 2.2.5 3D カメラ（ステレオカメラ）

##### 2.2.6 地図情報システム（GIS：Geographic Information System）

#### 2. 3 自動化施工の適用事例

##### 2.3.1 新工法規定方式

##### 2.3.2 中部国際空港埋立工事

##### 2.3.3 神流川上部ダム工事

#### 2. 4 将来展望

### 3. 防災工事における無人化施工での IT 活用の現状と課題

#### 3. 1 概要

#### 3. 2 防災工事における無人化施工の現状

##### 3.2.1 無人化施工技術の歴史的展開

##### 3.2.2 無人化施工技術の現状

#### 3. 3 災害復旧工事等への適用事例

##### 3.3.1 富士山源頭域調査工事

##### 3.3.2 有珠山における無人化施工実績

##### 3.3.3 雲仙普賢岳における無人化施工

##### 3.3.4 矢沢川における無人化施工実績

#### 3. 4 今後の無人化施工技術の展開とその課題

- 3.4.1 無人化施工適用工種の拡大
  - 3.4.2 無線の制限と今後期待される新しい通信技術
  - 3.4.3 センシング技術
  - 3.4.4 無人化施工の管理基準整備
- 
- 4. ITを活用した建設ロボットの将来像と今後の課題
    - 4. 1 IT化を活用した土工事の自動化技術の例
      - 4.1.1 土工分野における自動化技術
      - 4.1.2 防災工事分野における自動化技術
      - 4.1.3 その他の分野における自動化技術
    - 4. 2 建設用ロボットを取巻く情報化技術
      - 4.2.1 ISO TC127
      - 4.2.2 建設 CALS/EC
      - 4.2.3 GPS/GIS
    - 4. 3 土工事自動化におけるサービスと利用情報
      - 4.3.1 土工事における情報利用の実態
      - 4.3.2 3次元空間情報活用によって実現するサービス
      - 4.3.3 土工事自動化における情報活用
    - 4. 4 土工事自動化の将来像と今後の課題
      - 4.4.1 土工事自動化の将来像
      - 4.4.2 土工事自動化に関する今後の問題
      - 4.4.3 土工分野における情報化技術の普及に向けて

## 5. おわりに.

添付資料1…参考文献リスト

# 地下技術における建設用ロボットとIT技術

平成16年3月31日

(社) 土木学会

建設用ロボット委員会 地下技術小委員会

## 目 次

1 章	はじめに .....	1-1
	1. はじめに .....	1-2
	2. I T 技術とは .....	1-4
2 章	シールド工法における I T 技術の現状 .....	2-1
	1. シールド工法における I T 技術の現状 .....	2-2
	2. I T 技術導入によるシールド工法の将来像 .....	2-6
3 章	山岳トンネル工法における I T 技術の現状 .....	3-1
	1. TBM と I T .....	3-3
	2. トンネル自由断面掘削機の自動掘削制御 .....	3-9
	3. ラチス式スラストジャッキ方式による TBM 施工 .....	3-17
	4. ロボットジャンボ .....	3-25
	5. トンネル掘進機の余堀防止システム .....	3-52
4 章	まとめ .....	4-1

ネットワークを駆使した情報化技術の建設用ロボットへの展開

「海洋・港湾工事における情報化技術」

平成 16 年 4 月

社団法人 土木学会  
建設用ロボット委員会海洋技術小委員会

## 目 次

第1章	はじめに	1
第2章	情報化技術を用いた海洋工事の現状と動向	2
2.1	調査・測量工	2
2.2	浚渫工	8
2.3	埋立工	14
2.4	基礎工	23
2.5	本体工	28
2.6	沈埋トンネル	31
2.7	航行安全	35
第3章	海洋工事における情報化技術	39
3.1	水中測位技術	39
3.2	水中視認技術	42
3.3	水中通信技術	44
3.4	動力源	46
第4章	将来展望	49
4.1	情報化施工とは	49
4.2	港湾工事を円滑に推進してきた情報化技術	51
4.3	新規プロジェクトを生み出すための技術開発	52
4.4	研究開発担当者へ期待すること	54
4.5	最新の海洋プロジェクト	55
4.5.1	海洋肥沃化装置「拓海」プロジェクト	55
4.5.2	大陸棚調査プロジェクト	56
4.5.3	人工海底山脈の造成プロジェクト	59
4.5.4	湧昇流発生装置 - ついたて魚礁 -	63
4.5.5	地球深部探査船「ちきゅう」と統合国際深海掘削計画	66
4.5.6	洋上風力発電プロジェクト	73
4.6	大深度重作業の現状と将来	83
第5章	おわりに	91

## 1. はじめに

ライフラインは、社会活動を支える基盤構造物として機能している。わが国のライフラインは、欧米先進国に比して整備に遅れがあると指摘されているが、表 1.1 に示すようにその物量は極めて膨大である。また、近代より建設されてきたこれ

らのライフラインの一部には、昨今の報道に見られるように惨事につながりかねない老朽化が認められている。そして、これらの既存ライフラインは、その設

表 1.1 ライフライン地下構造物の総数量(全国)

公共事業者名	単位	総数	備考
電信電話事業	千 km	660	平成 8 年 3 月現在
電気事業 <small>注1)</small>	千 km	48.8	平成 15 年 3 月現在
ガス事業 <small>注2)</small>	千 km	224	平成 14 年 3 月現在
水道事業 <small>注3)</small>	千 km	681	平成 15 年 3 月現在
下水道事業 <small>注4)</small>	千 km	414	平成 15 年 3 月現在
地下鉄 <small>注5)</small>	k m	882	平成 15 年 9 月現在

置場所・利用状況・費用等による制約から容易に検査・補修を行いたい現状にあるとともに、その補修・更新費用の増大、補修・更新工事に伴いライフラインの流れを規制する必要がある等の社会的影響が高い。

現在、各ライフライン事業分野においては、検査・診断・補修等を行う自動化・ロボット技術の開発に鋭意取り組んでおり、「鉄道トンネル検査車」「道路下空洞調査技術」「管内検査ロボット」等を具体化しているが、今後、膨大な既存ライフラインの検査・診断や補修・再生に対するニーズの増加につれて、これらを的確かつ効率的に実施するための診断技術、情報化技術並びに自動化・ロボット化技術等がますます必要になってくることが予想される。

以上のことから、本報告書は、今後、必要とされるこれらの点検・検査および記録技術の効率化に寄与するロボット・システムなどの現状を集約し、紹介するとともに、これらの課題を抽出し、併せて今後のライフラインの維持管理における情報化・自動化・ロボット化への提言を行ったものである。

## 2. 既存ライフラインのストックの現状と動向

### 2.1. 既存ライフラインの構造，材料，数量，経年数など

物量は、日本の高度成長期 1970～90 年代に大きく増加し膨大なものとなっており、経年 30 年以上を超える構造物が多くなってきている。

- その構造，材料は多岐にわたるが、構造については都心部における近年の路上工事の縮減のため、非開削工法であるシールド・推進トンネルが多いが、開削工法もあり、その材料については概ね鉄筋コンクリート構造である。一方、口径 800mm 以下の小口径管の材料は、鉄筋コンクリート構造と共に、鋼管・铸铁管・塩化ビニル管等など、所期の目的等に応じて多岐にわたる。
- 以上の一例として下水道のうち区部公共下水道の管路施設年代別管理延長割合を図 2.1 に、管種別布設割合を図 2.2 に示す。

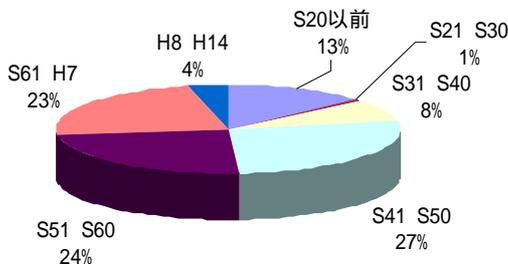


図 2.1 管路施設の年代別管理延長割合

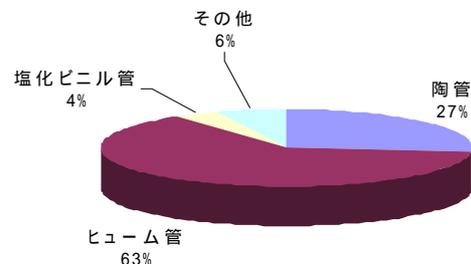


図 2.2 管種別布設割合

\*出典：事業概要 平成 15 年版，東京都下水道局，平成 15 年 9 月 5 日

2.2. 維持管理の現状

維持管理の現状は、定期的に全数を対象とした「一次点検」(基本的に目視観察による点検・記録)、必要に応じて実施する「二次点検」(観察記録, 写真撮影が主体による記録)および二次点検により問題があると判断された部分において実施する「詳細点検」(鉄筋・コンクリートに係わる調査などコア採取など含む調査・記録)により、実施されている。また、効率化, 迅速化等を目的としてロボットによる作業の自動化が取り組まれており、実用化が図られているロボットも多い。

2.3. 今後の課題・展望

今後の課題・展望は、点検・調査時間の短縮化, 非破壊検査などの新技術の導入, それらの劣化予測・損傷予測技術, 短い作業時間かつ狭隘箇所での補修, 補強技術, リスクマネジメント等を取り入れ, 合理的な検査周期, 補修時期・方法等を判断するためのマネジメントシステムが必要と考える。

3. 維持管理に関するマネジメント技術の事例

近年では、「保全対象設備を資産としてとらえ, 長期的・戦略的視点から最適に運営・投資をするための体系的な意志決定プロセス」と定義するアセットマネジメント技術も一部で導入されつつある。それらの概要について, 平成 15 年 4 月に国土交通省が発表した「道路構造物の今後の管理・更新のありかた提言」の概要をを図 3.1, 3.2 に紹介する。

システム上の技術開発においては、今後必要となる技術として、以下が挙げられており、本技術小委員会の取組についてもその開発の一助となると考えている。

- 赤外線, 超音波, 光ケーブルなどを活用した構造物内部の点検技術
- レーザー光線, ハイビジョンカメラ等による構造物の表面状態の定量的な記録技術
- 発生応力などを把握するための非破壊手法による点検技術
- 現地に到達することが困難な箇所の遠隔点検, モニタリング技術
- 点検結果の記録技術・活用技術の高度化

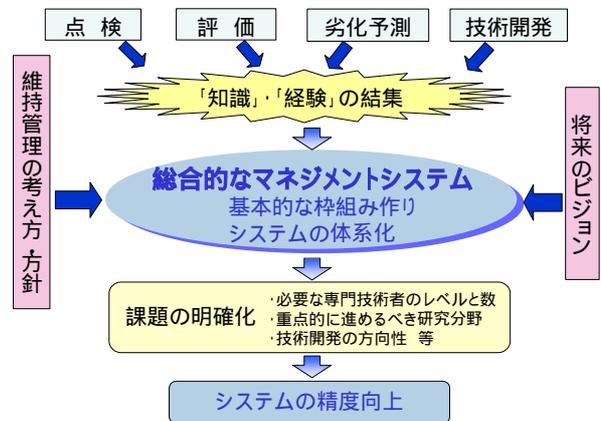


図 3.1 総合的なマネジメントシステム構築のプロセス

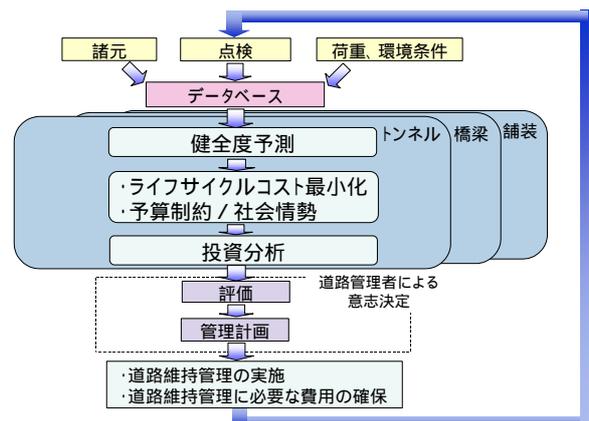


図 3.2 道路アセットマネジメントのフロー

\* 出典：中島, 「今後の道路整備と管理・更新のあり方について」, 第 21 回建設用ロボットに関する技術講習会資料, 平成 15 年 12 月

#### 4. 点検・検査，モニタリング技術の現状と今後の展望

##### 4.1. コンクリート構造物の点検・検査技術

コンクリート構造物を対象とした点検・検査技術の用途・目的は、コンクリートの剥落防止のための剥離検出、空洞・亀裂調査、劣化調査が主である。一方、その方式・要素技術は、ラインセンサカメラ等によるカメラによる可視、そのカメラ撮影をより精度を高くするための赤外線(ハロゲン)照射・遠赤外線照射(サーモグラフィ)、打撃・音響(衝撃弾性波)、電磁波などが用いられている。

打音点検システムの一事例を図4.1に示す。

また、課題・今後の展望として、交通機関においては、顕著である交通停止による時間を極

力短縮する必要性から、検査時間の短縮、例えば検査速度の向上などがあり、また、下水道においては、水が流れているため、水中観測ができないこと、有線方式であるためケーブル長による限界があることなどがあり、全体の共通課題として各要素技術での精度・分解能の向上も望まれている。

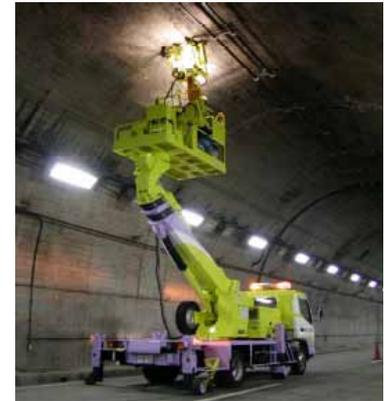
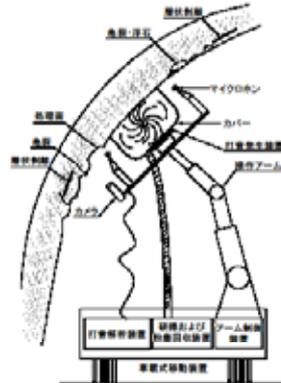


図4.1 打音点検システムの事例(実用試験段階)

##### 4.2. 鋼構造物の点検・検査技術

鋼構造物を対象とした点検・検査技術の用途・目的は、ガス鋼管の腐食・塗覆面の劣化調査が主である。一方、その方式・要素技術は、レーザー光を併用したカメラ、超音波が用いられており、塗覆装調査では交流M系列信号を用いている。

レーザー光を併用したカメラロボットシステムの事例を図4.2に示す。

また、課題・今後の展望として、管内がドライであることなど、各方法により個別の課題・展望がある。

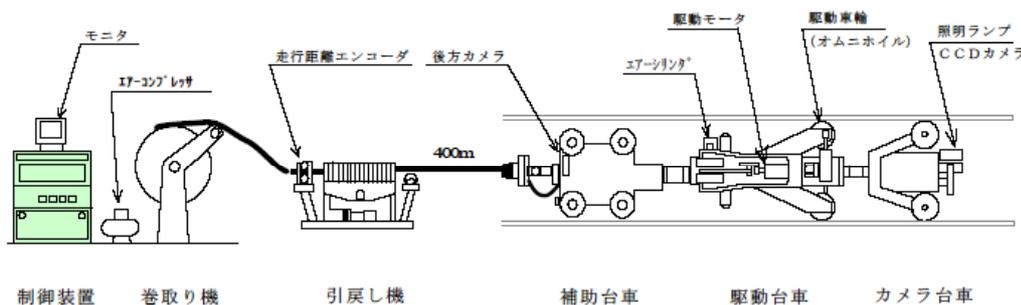


図4.2 管内カメラロボットの装置構成と光切断方式

4.3. 地中空洞，地下埋設物の調査技術

地中空洞，地下埋設物の調査技術の用途・目的は，地中空洞，地下埋設物の調査である．その方式・要素技術は，基本はコンクリート構造物と同様な電磁波である．

地中探査レーダの事例を図 4.3 に示す．

課題・今後の展望として，探査深度の限界，解析・判定に熟練技術者が必要なことなどが挙げられる．

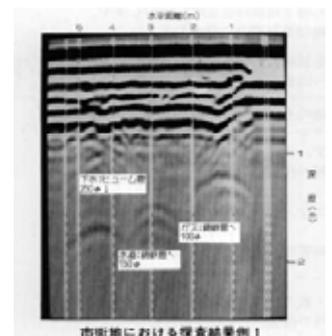
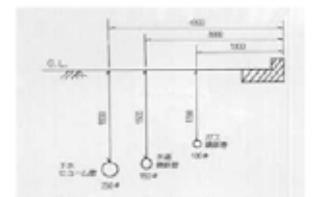


図 4.3 地中探査レーダの事例

4.4. モニタリング技術

モニタリング技術は，構造物の挙動を常時監視・評価することである．その技術は光ファイバセンサなどを利用した新しいモニタリング手法が近年開発されている．その用途・目的は，地盤も含めた各種構造物の挙動監視であり，その手法は BOTDR，SOFO 方式による光ファイバひずみ計測である．

光ファイバひずみ計測システムの事例を図 4.4 に示す．また，課題・今後の展望として，分解能の向上，遠隔監視，設置方法の効率化などが挙げられる．

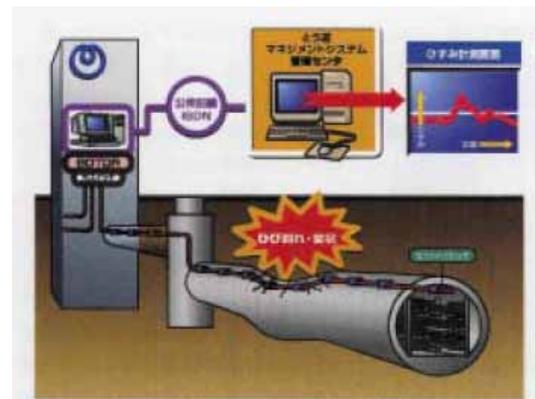
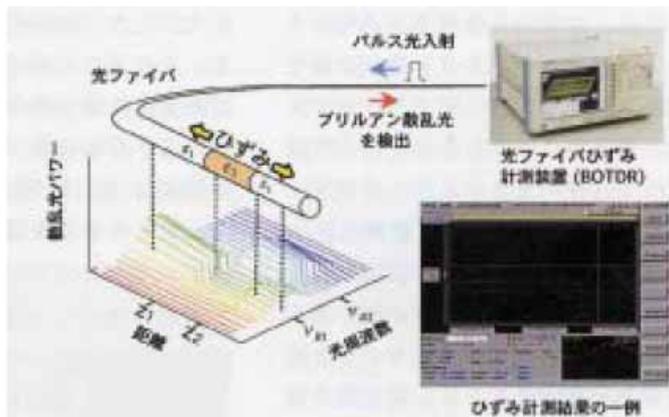


図 4.4 光ファイバひずみ計測システムの事例

4.5. 点検・検査技術，モニタリング技術の課題と展望

- 適用範囲，各手法の相対評価，コストなどの比較
- 熟練技術者の育成，および熟練技術者が不要となるための検査機器精度の向上または複数の検査手法を組み合わせたシステム
- 必要性能の基準化，各構造物による評価システムの構築，改善．より一層のロボット化に寄与するための事業者の保全に関する技術力向上，基準値設定等
- 時代の変遷とともにより効果的，効率的な検査手法への変換を実施する場合は，試験体により双方の精度確認などを実施するなど，過去の検査データのスムーズな移行のための全体システムの構築

## 5. 情報処理・評価技術

### 5.1. 情報処理・評価技術の概要

情報処理・評価技術は、これからの維持管理設備の増加に伴い、必ず必要となる技術であり、各事業者は各々独自の方法にてそのシステムを構築・運用しつつある。

これらを大きく分類すれば、以下の二つに分類できる。

- 点検・検査情報を総合的に取得し、これらを組み合わせて、技術判断を行う評価システム。
  - 設備の設計・保全情報を蓄積する DB，設備位置情報を組み合わせた GIS(Geographic Information System) 関係の技術，地図情報，設備管理情報を組み合わせた設備管理システム技術
- 設備管理システムの事例を図 5.1 に示す。

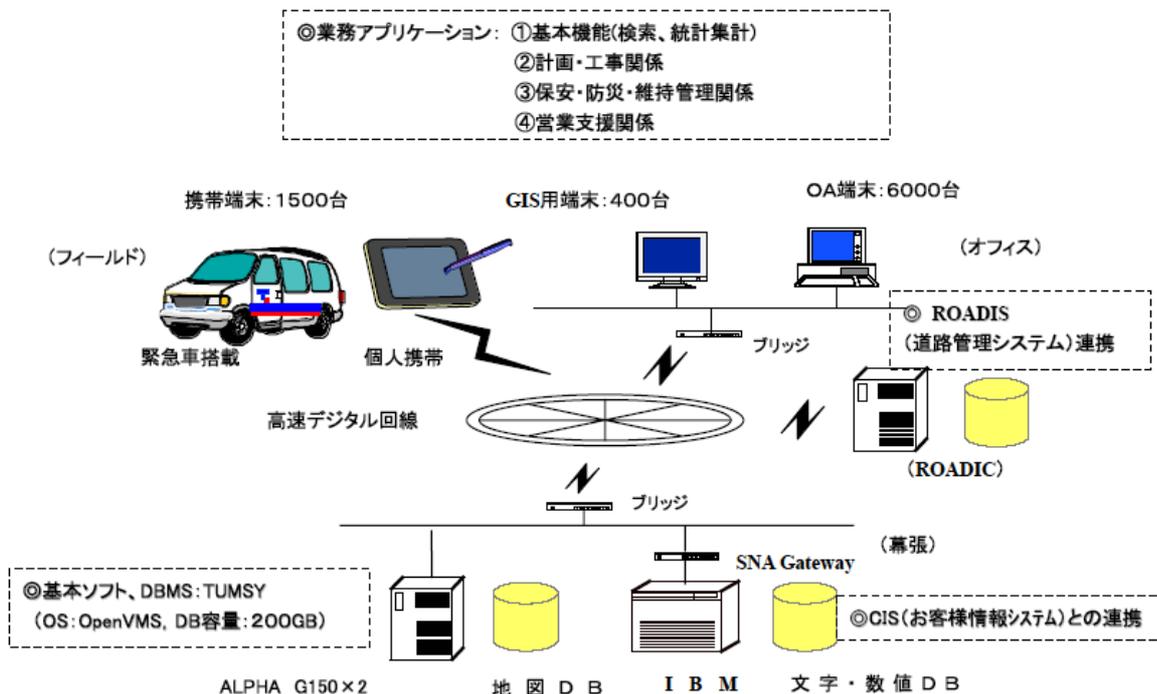


図 5.1 設備管理システムの事例

### 5.2. 情報処理・評価技術の課題と展望

- 最終的な工学的判断を行う人間が必要であり、その人材育成が課題
- 評価システムは保有しているものの、設備管理者により基準が異なることにより、そのニーズに合わせてそのシステムを変更することが現状であるため、事業者ニーズの明確化等
- 評価システムは追跡調査の実施が少ないことから、システムの検証が課題であり、事業者、施工者を含めた点検・検査者の相互協力の下、十分な検証を経た評価システムの確立
- DB，GIS を含む設備管理システムは、各設備のトップランナーたる設備管理者がその手法を整備し、日本国内の同様な設備保全を実施する設備管理者への水平展開を行い、点検・検査者も含めてライフライン設備全体の保全効率化・合理化に寄与
- 各設備管理者で実施中の保全方策，特に評価システム，設備管理システムについて、学会を含めて知見の共有を行い、より合理的なシステムとすることが望まれる

## 6. リニューアル技術

### 6.1. リニューアル技術の概要

設備保全において、前述のように点検・検査を実施し、評価した上で、適切な補修・または補強が必要となる場合がある。その補修・補強をリニューアル技術とここでは定義し、その技術は内容物による劣化の進行、過去に使用された材料の計画的な取替などから、下水道、ガス管の関するリニューアル技術が多いという特徴がある。リニューアル工法の事例を図 6.1 に示す。

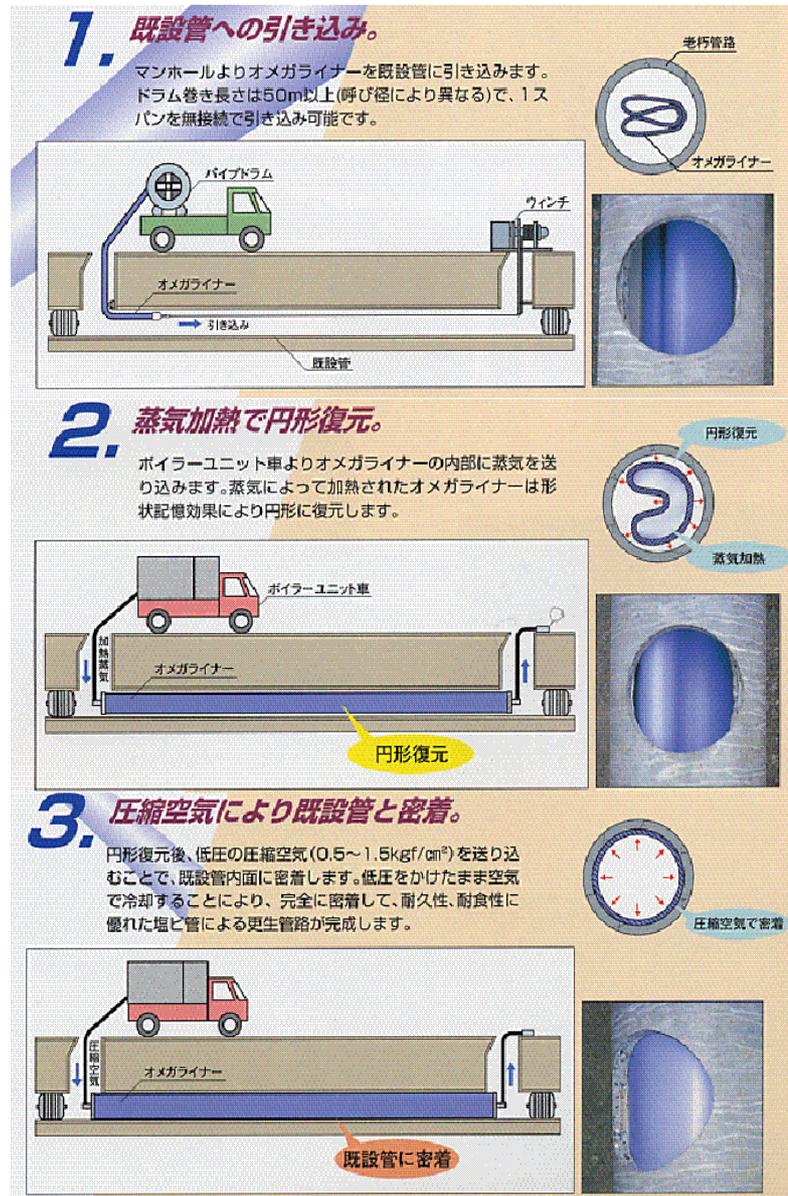


図 6.1 リニューアル工法の事例

### 6.2. リニューアル技術の課題と展望

- 技術の耐用年数また耐力などの増加が多少未知な部分もあり、検証を踏まえた技術の確立
- これら設備補修・補強情報を、建設時に有効に活用した設備建設から保全までのより合理的な計画立案

## 7. ライフラインの維持管理における情報化・自動化・ロボット化への提言

### 7.1. マネジメントシステムの構築に関する提言

- 適切な人材配置，事例の蓄積によるメンテナンス工学の確立
- 維持管理に関する基準と適切な要求性能の設定
- データベースの必要性，各部材・部位・環境毎等のデータ集約，評価システムとの連携
- 評価システム等，全体のシステムの相互連携，建設から維持管理までに精通した人材の育成

### 7.2. 技術に関する提言

- 設備管理者，調査・点検者が一体となった高性能化，小型化，および調査速度の向上
- 全体マネジメント・判断の迅速化に寄与する評価システム・GPS 等位置情報との連携
- ロボット・評価システム・人材判断でなく，システム全体としての検証，評価結果の統一性

### 7.3. 研究開発のあり方に関する提言

- 工学的な表現とした管理値・限界値等の具体的な設定による技術開発目標の明確化
- 技術共用，既存技術情報の共有による応用技術の展開，新規共同開発の実施
- 建設技術研究開発助成制度等の利用

### 7.4. 普及促進の施策に関する提言

- 既存の普及施策の活用（新技術情報提供システム：NETIS）
- マニュアル作成等による基準作り，非破壊検査の活用による環境会計・CO2 削減への寄与
- 道路占用企業者連絡協議会等を利用した異なるライフライン設備管理者間の情報共有
- 維持管理対象設備の増大に伴う調査費用を自動化により抑制
- 中小設備管理者への普及のための基準・マニュアル化

## 8. おわりに

今回の活動は、下記の点において十分有意義であったと考える。

- 各設備管理者の設備ストック，維持管理に関する現状と今後の動向について，情報共有し，今後のより合理的な方策立案，技術開発に取り組める可能性がある。
- 各技術の紹介により，目的・用途による個々の開発技術の把握が容易になったとともに，他事業者・施工者の技術を応用した技術開発の可能性もある。
- 小委員会の維持管理における自動化に対する意見は，「当面の設備健全度判定は，最終的には技術者が工学的な判断を行う。ただし，設備量が膨大であり今後も増加するため，一次判定までは自動化・ロボット化を指向する」との方向で一致を得られた。

なお，今回は日本国内における一部の設備管理者・施工者からの技術提供，意見集約であり，同様な活動をより全国的に広めるとともに継続すれば，より充実した技術資料の成果が得られると確信する。よって，今後はこの取組結果について，各種機会を通じて全国に紹介し，更なるニーズの把握に努め，今後の活動方針の設定を行うべきと考える。そのニーズの分析結果から，技術紹介などについては，報告書内にも記載のように，技術の認知不足といった面もあるため，一部では実用化されているが十分情報を収集，公開するシステムも必要と考えられる。

以上

### 【ライフライン技術小委員会 委員名簿】

小委員長	江村 和明	東京電力(株)	工務部送変電建設センター土木グループ 副長
副小委員長	伊藤 哲男	日本道路公団試験研究所	道路研究部トンネル研究室 主任
副小委員長	菅原 孝男	東京地下鉄(株)	工務部工務課 土木担当
委員	石村 利明	独立行政法人土木研究所	基礎道路技術研究グループ(トンネル) 主任研究員
委員	岡野 法之	東日本旅客鉄道(株)	上信越工事事務所長野原工事区
委員	金井 孝之	鹿島建設(株)	土木管理本部土木技術リニューアル GR
委員	川合 孝	(株)協和エクシオ	土木エンジニアリング本部恵比寿総合技術センター都市土木グループリーダ 担当課長
委員	小林 真澄	東京ガス(株)	技術開発部パイプライン技術センターエンジニアリングサービスチーム 係長
委員	榊原 康史	(株)関電工	21世紀推進室技術センター 主管研究員
委員	高橋 浩史	東急建設(株)	営業推進本部機械技術部機電グループ 課長代理
委員	平川 正道	東京都	下水道局計画調整部技術開発課 技術開発主査(土木技術)
委員	牧田 耕一	東京都	水道局建設部技術開発課開発企画担当 係長
委員	松尾 淳	JEF 工建(株)	技術開発本部研究開発部第二開発グループ グループリーダー
委員	三神 克己	大成建設(株)	土木本部土木技術部技術推進室 副部長
委員	山口 茂	日本電信電話(株)アクセスサービスシステム研究所	シビルシステムプロジェクトエンジニアリングサービスグループ 主幹研究員