

たわみ性パイプカルバート調査におけるロボット技術の研究報告

西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 正会員 ○角森 尚志
正会員 岡本 淳二

1. はじめに

近年、激甚化している災害により全国で甚大な被害が頻発している状況から、「重要インフラの緊急点検」等が実施されている。また、平成27年に道路土工構造物技術基準が策定され、道路を構成する重要な道路土工構造物は、耐災害性能（耐震性能及び耐排水性能）を強化することとなった。

そのような中、高速道路などを横断するパイプカルバート（以下、「CP」という）の劣化損傷や漏水が盛土本体を脆弱化させ、最悪の場合は、路面の陥没や盛土崩壊に至り本線交通を寸断することが危惧されている。そのため、CPの内部状況を的確に把握することが急務となっているが、老朽化する管内の狭小性や有毒ガス発生などの危険性から人力による点検は困難を極めている。

本報文は、こうした背景を基に、盛土内の重要構造物であるCP（主にたわみ性CP）を安全かつ確実に調査することを目的として、研究開発した調査ロボットの実用性について報告するものである。

2. たわみ性CPの損傷事例

劣化損傷が危惧されるたわみ性CPの異常は、図-1に示す断面変形、圧壊、管底摩耗、沈下・滞水、表面の腐食、ボルトナット等付属物の腐食、接続部のずれ、並びにゴミや土砂等の堆積による通水阻害などが挙げられる。このような異常に気付かず放置した場合には、図-2に示すような路面の陥没等につながる恐れがある。

3. 調査ロボットの特徴

波型鋼鈑のセクションで構築された「コルゲートパイプ」は、管路自体のたわみ性能を活用した構造物である。コルゲートパイプは主たる部材が鋼材であり、経年劣化等による鋼製部材の腐食による損傷や漏水、さらには耐力低下に伴う断面変形が懸念されることから、内部の表面的な損傷のほか、断面変形量も調査することが必要である。

また調査対象物の延長が長く、調査箇所が盛土最下

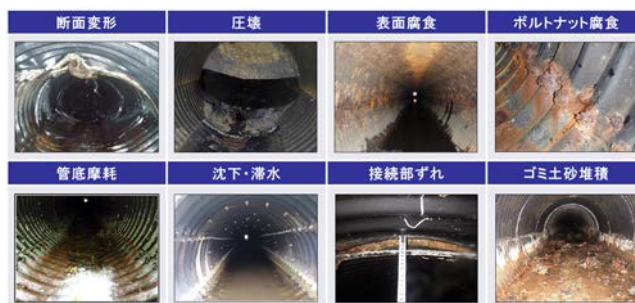


図-1 たわみ性CPの損傷事例



図-2 たわみ性CPの損傷による道路への影響事例

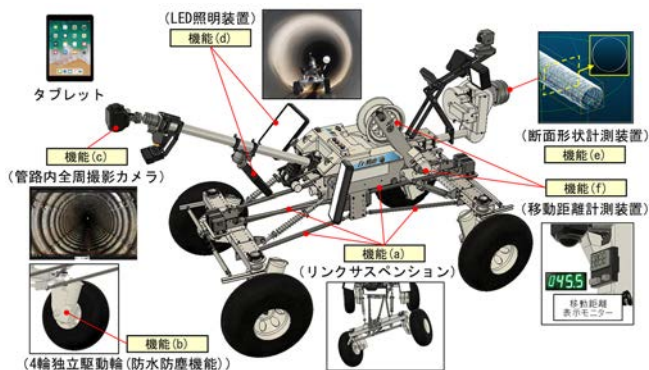


図-3 CP調査ロボット（Ex-Mole／エックス・モール）

部で非GNSS（Global Navigation Satellite System／全球測位衛星システム）環境下であることが、この構造物調査における課題である。

したがって、調査に使用するロボット（図-3）は、(a)CP内に凹凸や砂礫・土砂等堆積物が存在しても走行可能な機能、(b)脱輪時等の復旧機能、(c)CP内部の画像撮影機能、(d)照明機能、(e)CPの断面形状記録機能、(f)走行移動距離計測機能などの各機能を有するものとした。

キーワード 盛土、パイプカルバート、調査ロボット、間接目視調査

連絡先 〒733-0037 広島市西区西観音町2-1 TEL082-532-1411 FAX082-532-8058

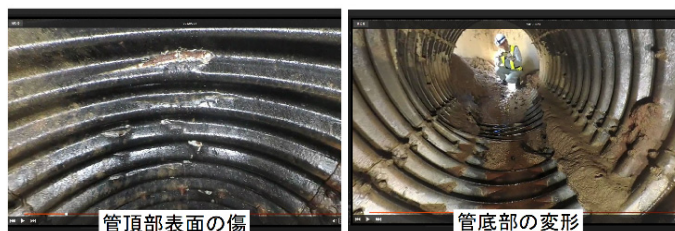


図-4 平成 30 年西日本豪雨災害時の CP 調査状況



図-5 山地部盛土内 CP の管部材腐食状況

4. 調査ロボットにより得られる成果

(1) 管内全周画像データ

図-4 は、平成 30 年 7 月の西日本豪雨災害時に、広島呉道路の盛土災害現場において、現場内のコルゲートパイプ（ $\phi 1.5\text{m} \times L=77.6\text{m}$ ）を緊急調査した際の 360° カメラによる管路内撮影画像である。取得した画像により、構造的な損傷が無いことが確認できた。これらの画像は、その後の災害復旧対策方針を決定する上で重要な基礎資料となった。

図-5 は、山地部盛土内におけるコルゲートパイプ内部の拡大写真である。波型鋼板やボルトナットに著しい腐食や管底部には断面欠損及び破孔が確認された。この破孔から流水が管周りに浸入し、裏込材や盛土路体材の流出による管周りの空洞化が懸念されたことから、早期の補修を提案した。

(2) 移動距離データ

調査ロボットの移動距離は、エンコーダー（モーター回転数から移動量を出力するセンサー）を用いて取得する。距離データを 360°カメラの撮影範囲内に設置した小型 LED 表示板（図-6：左図）に出力することで、非 GNSS 環境下においても損傷位置を特定できるようにした。

(3) 断面形状データ

たわみ性 CP の設計規格上の許容断面変形量（偏平率）は 5.0% 以下¹⁾ となっており、点検時の調査項目として、この断面変形量の測定は重要な項目である。CP の断面変形量計測は、搭載した 2 次元のレーザーキャナ（スキャン回数：10Hz、視野角 360°）で取得される点群データと、移動距離データを記録時間で照合し 3 次元化（図-6：右図）モデルを生成することにより、任意の位置において、図-7 のように計測と設計断面を比較し、偏平率が求められる。

5. ロボット技術の実用性の評価

管路内を走行速度 2～3m/min で 1 度走行するだけで全周画像データと断面形状を取得できるため、点

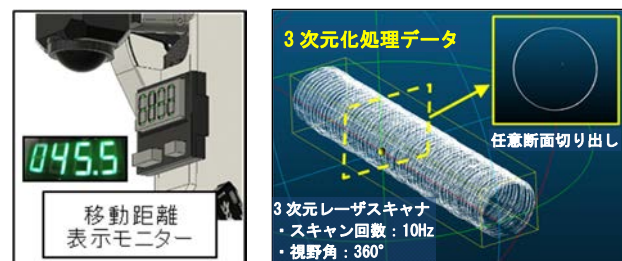


図-6 移動距離計測及び CP 断面 3 次元化モデル

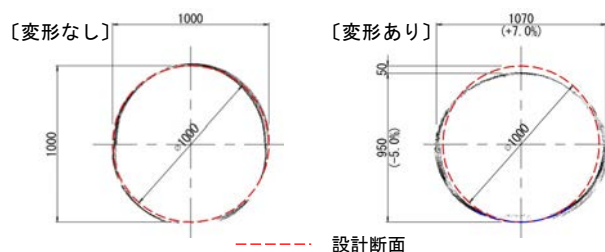


図-7 たわみ性 CP の断面変形量確認データ

検作業の効率化と管内作業の危険リスクの低減が図れたと評価できる。また、断面変形量を視覚的に表現できることは有用であると考ええる。

ただし、CP の健全性を判断するうえで重要な評価項目である「縦断方向のたわみ量」を自動計測する機能については、今後の研究課題である。

6. おわりに

近年の目覚ましく進歩する計測技術の中でも、最新の 3D 解析技術の一つである「SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)」技術は、非 GNSS 環境下においても計測機器の自己位置を推定することが可能である。この技術を応用することができれば、管路縦断方向の変形（たわみ）量を同時に取得することが可能になると考えられる。

社会的損失につながる重大な事故を防ぐため、今後もこうした新たな技術を積極的に導入・開発し、高速道路ネットワークの信頼性向上に寄与していきたい。

参考文献

- 1) 公益社団法人地盤工学会：コルゲートメタルカルバート・マニュアル 第三回改訂版，pp.44，2004.