壁昇降点検ロボットの開発

㈱ネクスコ東日本エンジニアリング 正会員○赤木 琢也　㈱ネクスコ東日本エンジニアリング 正会員　髙櫻 裕一
㈱ネクスコ東日本エンジニアリング 正会員　小出 至也　インダストリーネットワーク㈱　大橋 俊夫

1．はじめに

道路法施行規則の一部を改正する省令（平成26年国土交通省令第39号）が施行され，橋梁点検要領についても見直しが行われた．点検は近接目視が基本となったため，これまで遠望目視も併用しながら点検していた高橋脚に対しても，全面的に近接目視点検を行うことが必要となり，第三者影響範囲内については打音点検が義務付けられている．

現状，40m 以上の高橋脚においては，高所作業車および橋梁点検車が使用できない近接目視点検困難箇所（**図-1**参照）があり，このような箇所はロープアクセス等で点検員が宙吊りになり対応している．このような高橋脚をより安全かつ効率的に点検する技術の開発が期待され，これに対応する手法として橋脚壁面の昇降が可能な点検ロボット（以下，壁昇降点検ロボットという）の開発に着手した．

本稿では壁昇降点検ロボットの開発状況および現地実証試験結果について，現時点での成果を報告する．

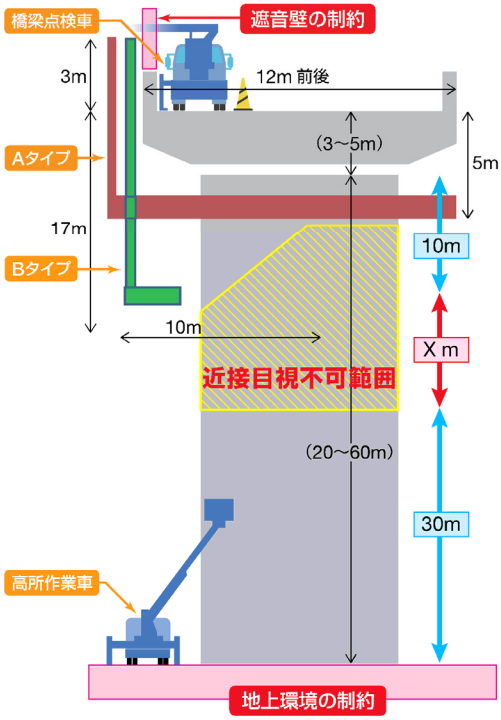

図-1　近接目視点検困難箇所

2．開発概要

ロープアクセスによる近接目視点検は，ＮＥＸＣＯ関東支社管内だけでも年間約200基（高橋脚以外を含む）実施する場合もある．このロープアクセスでは，点検員の送出しのために本線規制が必要な場合もあり，時間価値，安全および少子高齢化等による技術者不足対応までを視野にいれるとこれに代わる手法の開発が求められた．このような状況から保全管理技術の高度化・効率化を目的として，近接目視および打音点検が可能で壁面状況を遠隔でリアルタイムに確認できる「壁昇降点検ロボット」の構想に至った．

表-1　各種吸着昇降ロボット

項目	[1]尺取虫型昇降ロボット	[2] 胴体吸着クローラ昇降ロボット	[3]クローラ吸着昇降ロボット
外観	外壁診断装置(H24国総研)[1] 出典：国総研プロジェクト研究報告第50号	H27開発機 	 H28開発機
大きさ 重量	1m×1m　40kg	460mm×300mm　5kg	小型610mm×520mm　11kg 大型810mm×520mm　15kg
特長	・縦と横のアームを交互に吸着させ、尺取虫のような動きで移動 ・吸着力：大 ・スピード：遅い	・胴体中央吸着部がスライドし、クローラ回転で移動 ・吸着力(積載量)：小 積載 7kg確認 ・スピード：比較的速い	・吸着機構を備えたクローラ部が回転して移動 ・吸着力(積載量)：中 積載15kg確認 ・スピード：比較的速い
判定	△	△	○

デジタルカメラ技術が発達し，近接目視相当の画像を得る方法は比較的多様にある．しかし，コンクリート壁面を打音点検するためには，ロボット自体に反力を受ける機構が必要である．そこで着目したのが**表-1** に示すような壁吸着し吸着走行ができる機構を備えたロボットである．開発当初，[1]尺取虫型昇降ロボットは昇降スピードが遅い，[2]胴体吸引クローラ昇降ロボットは積載可能重量が小さいという課題があった．そこで，調査機器が搭載可能な吸着力と高さ 50m 程度の橋脚１基を１日で点検できるスピードを兼ね備えたクローラ自体に配置した吸着面が回転し，移動できる機構を考案した．この[3]に示すクローラ吸着方式の装置では，様々な調査・点検器具（非破壊検査機器等）を搭載することで，多機能な調査・点検ロボットとして展開できる可能性が高い．しかしながら，当面は実

キーワード　ロボット，吸着走行，構造物調査，詳細調査，打音点検，定期点検
連絡先　〒116-0014　東京都荒川区東日暮里 5-7-18　㈱ネクスコ東日本エンジニアリング

運用可能な機能の開発を優先的に進め，早期に実際の点検現場での運用を通じて性能や操作性の向上を図るとともにそれらの知見から機能追加等について検討を進めていきたいと考えている．

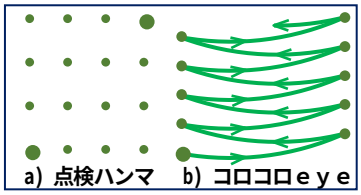

図-2 打音点検の軌跡

３．検討・試験結果

点検機構としては，壁面状況（0.2㎜以上のひびわれ等）の確認，打音点検による健全部と変状部（うき等）の判別が遠隔で十分可能であることが必要である．壁昇降点検ロボットで吸着して安定走行できれば，デジタルカメラにより一定間隔で近接した撮影が可能であることは明らかであったが，どのように打音点検を実施するかが課題であった．複数のハンマを使用した打音装置や回転式打音点検器（以下，「コロコロeye®」という）を使用した装置などを検討したが，重量面や判別・分析方法などの観点からコロコロeyeを揺動（ワイパー）方式で稼働させる方式を採用した．**図-2**で示すように通常の点検ハンマは点で打音するのに対し，コロコロeyeは，線・面での点検が可能であり，揺動打音がクローラ方式の昇降運動との相性が良いことも実証試験により明らかとなった．

図-3 実証試験状況

実証試験は，長野自動車道「滝ノ沢橋（**図-3**参照；橋脚地上高 40m 程度)」等で実施した．現状では，**図-4**に示す壁昇降点検ロボットを地上で操縦し，点検技術者が搭載カメラ映像と打音をモニター(**図-5,6**参照)することで変状を判断する方法を採用している．デジタルカメラによる近接撮影および打音点検による一連の動作および取得データから，定期点検に有効なツールとなることが証明できた．

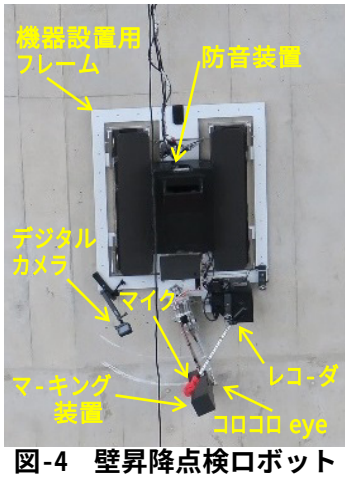

図-4 壁昇降点検ロボット

実証試験の成果として(1)35m 以上の連続点検昇降，(2)カメラ映像と打音での点検技術者によるリアルタイム変状判定，(3)打音点検時の変状箇所マーキング，(4)フェールセーフの送出し・巻取りの自動化，(5)15kg程度（調査機器想定）を装備しての昇降を達成した．

今後，点検ツールとして壁昇降点検ロボットを実用化するためには，a)防塵・防滴化（屋外使用対策）の性能向上，b)フェールセーフ（落下時自動吊下げ機構）の小型化，c)変状箇所のマーキング精度向上，d)運用方法の検討，e)回転式打音診断支援システム(S-SJ；環境音抑制およびうきの判定支援）の組込み等が必要である．さらに，将来的に研究開発を進めることにより，含有塩分量調査やＲＣレーダー等による非破壊調査のための機器の搭載や補修作業能力を有する装置の搭載を可能にしていきたい．最終的には，点検の自動化・高度化やＡＩ（人工知能）を採用するなどの高機能化されたロボットを視野に入れて研究・開発を進めたいと考えている．

図-5 点検状況・操縦状況

４．まとめ

保全管理技術の高度化・効率化を目指した壁昇降点検ロボットの開発成果を以下にまとめる．

(1) 吸着力および昇降能力は実点検でも有効に活用できる．ただし，今後も実運用を通じて性能や操作性および耐久性の向上を続ける必要がある．

(2) コロコロ eye による打音点検機構を搭載し，コンクリートの「うき」を特定できる．

(3)「うき」の範囲をチョークによりマーキングし，視認させることができる．

(4) コンクリート壁面の近接撮影が可能なため，「ひびわれ」を鮮明に撮影できる．（点検要件の幅 0.2㎜ を確実に捉えられる．）

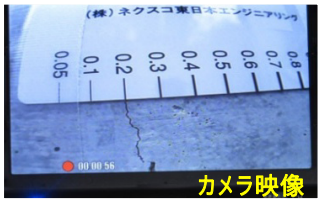

図-6 搭載カメラ映像

参考文献（写真出典）：１）国総研プロジェクト研究報告 第50号，国土交通省国土技術政策総合研究所，2015