

研究成果報告原稿作成要領(衝撃弾性波法による壁面検査ロボットの開発)

岩本達也¹、森 和也²

著者1 有明工業門学校、著者2 熊本大学大学院

概要：地震あるいは経年により損傷・劣化したコンクリート構造物の健全性を地面からリモートコントロールで打音検査する吸着式自走装置を開発した。装置は、減圧ファンによって吸着する8個の吸盤を有し、吸着盤を相互に運動させることによって、鉛直コンクリート壁面を自由に移動することができる。現在のところ、検査効率は0.2 m²/分程度である。

1. はじめに

強度の地震を受けた橋梁やトンネルは、利用再開にあたって安全性評価が不可欠である。第一段階の安全性評価は、外見検査によっておこなわれる。しかしながら、外見検査ではコンクリート片の剥落を引き起こすような内部き裂の検出は困難である。そこで、危険性のある橋梁やトンネルの安全性評価には打音検査をおこなう必要がある。

地震の影響範囲が広域に及ぶ場合、打音検査による安全性の確保は、膨大な時間と労力を要する。また、高架橋梁では検査自体が困難である。一方、ライフラインの確保には迅速な打音検査が必要とされている。

また、近年経年劣化したコンクリート構造物の信頼性評価も重要な課題となってきた。高度経済成長期に建てられた大量のコンクリート構造物が耐用年数を迎え、再構築の困難な経済状況に置いては、問題箇所のみを補修するしかない。そのためにも、効率的で経済的なコンクリート構造物の検査法が求められている。

本研究では、打音検査を機械的におこない、その検査装置を任意の角度の壁面を走行することのできる走行装置に搭載して、壁面を検査する装置を提供する。壁面走行装置は、複数の吸着盤を有し、吸着盤を相対的に運動させることによって、任意の角度を持つ平面を自由に移動でき、かつリモートで制御できることを特徴とする。壁面の検査方法としては、打音法に加え、CCDカメラによる被検査面の映像収集や、衝撃弾性波法の適用も可能である。

吸盤による移動装置としては、特許等にすでに多くの出願がなされている。スズキ株式会社の今野は、4個の吸盤をリンクで連結し壁面を移動する装置を提案している¹⁾。三菱重工業株式会社の重永は、真空装置によってロボットを壁面に吸着させつつ、ローラーで壁面を移動するロボットを提案している²⁾。本田技研工業の大熊は、4個の吸盤を相対的に移動させること

によって壁面を自由に移動できる吸盤式壁面歩行装置を提案している³⁾。株式会社アトックスの吉村らも、重永と同様な真空装置とローラーを用いて壁面を移動する装置を提案している⁴⁾。これらの出願はいずれも審査未請求である。

これらのように壁面を移動する多数の提案があるにも関わらず、壁面を検査する装置はいまだかつて実用化されていない。その理由は、原理自体は簡単であるが、実現化には困難な問題があるからである。その問題とは確実な吸着である。

前述の吸着方法は多くとも4個の吸盤を用いて移動をおこなう。3個の吸盤で固定し、残りの1個の吸盤を移動させて、全体を移動させる。しかしながら、移動のために1個の吸盤の吸着が確実でない場合、移動が困難になる。

そこで、本研究で提案する方法では、同時に4個の吸着盤を移動させることによって、1個の吸着盤が十分な吸着力を得られなくても、他の3個の吸着盤で確実に吸着をおこなう点に特徴がある。

吸着盤を用いて検査をおこなう方法の利点は、作業者のための足場の設置が不要な点が第一である。足場の設置に対して本研究で提案するリモート操作による検査法の優位性は以下の通りである。

(1) 作業時間

従来の足場工法からリモート検査装置の作業に変える事により、足場の組立・バラシ時間の削除、資材類の上げ降ろし工数の低減、足場移動の簡略化が図れるので、検査時間を大幅に短縮することが可能になる。

(2) 人工数

足場の組立・バラシの人工が不要となる。また、リモート検査装置の操作は、基本的に一人でおこなえるので、総合的に合理化することができる。

(3) 機材費用

足場機材費は足場の設置高さ×延長によって決まり被検査構造物が大型であるほど経費がかかるが、リモート検査装置の機材費用は被検査構造物の大きさに依存せず安価である。

(4) 高所の検査

足場の高さ制限は原則4.5mまでで、それ以上の高所の足場は制約されている。しかしながら近年、さらに高い橋脚が施工されており、このような高構造物の検査法は本発明のリモート検査装置以外ない。



図1 検査装置

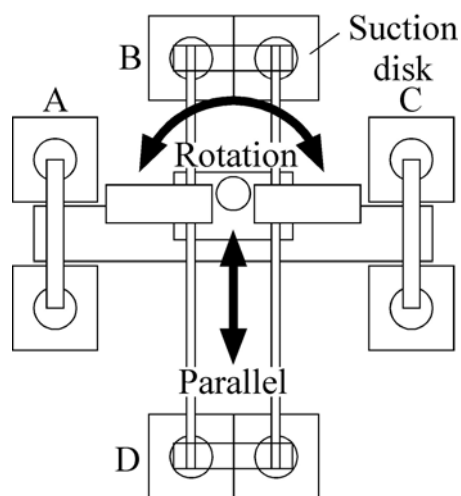


図2 検査装置の構成

2. 自走式リモートコントロール打音検査装置

鉛直な面を移動可能な装置開発に成功した。その走査の様子を図1に、構造図を図2に示している。この装置は8個の吸盤を持ち、吸盤Aと吸盤C、吸盤Bと吸盤Dが互いに固定され、相互に回転並進運動をおこなうことによって、平面内を自由に移動できる。吸盤の吸着力は減圧ファンによって発生させ、その電力は地上より電力線で送る。

欠陥検出方法としては打音法を採用し、鋼球を先端に取り付けたアームをロータリーソレノイドで駆動して壁面を打撃する。打撃音はマイクロフォンで収集する。打撃点の水平方向の移動にはリニアアクチュエータを用いている。水平の走査範囲は40cm程度である。なお、この装置はマイクロフォンを加速度センサーに置き換えることで、衝撃弾性波法を使用できる。また、加速度センサーとチャージアンプを合わせた重量は500g程度なので、打音法と衝撃弾性波法の両方を用いることも可能である。

装置の寸法は縦104cm、横84cm高さ24cmで、重量は24kgである。

現在、吸盤のON-OFFおよび吸盤の回転並進運動をマニュアル操作によっておこなっている。移動速度は1m/分程度である。

2.1 吸着部の構成

図3は吸着部の写真である。その断面図を図4に示す。一個の吸盤は一辺150mmの正方形の形状で、一個の減圧ファンを有している。個々の吸着盤に減圧ファンを設けることによって、



図3 吸着部

何らかの原因によって一個の吸盤の圧力が上昇し吸着力が低下しても、他の吸盤の吸着力に影響がないようにしている。なお、一個の吸着盤による吊り下げ可能な荷重は、壁面の状態にもよるが、10kg程度であった。

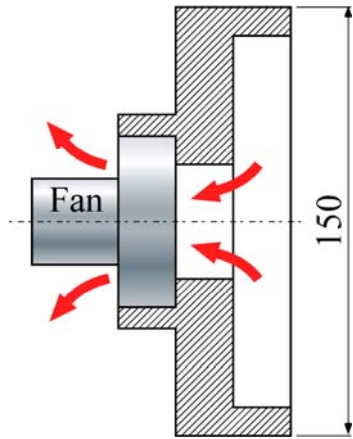


図4 吸着部断面図

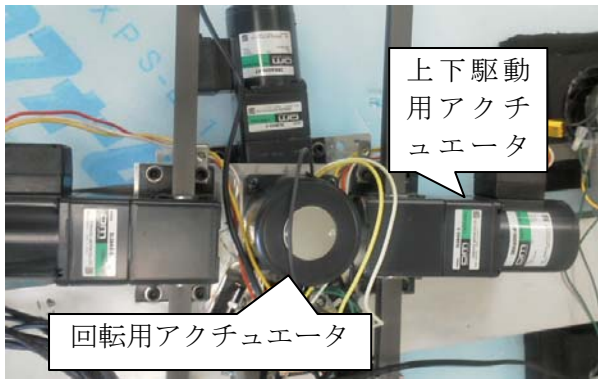


図5 駆動部の構成



図6 コントローラー

2.2 駆動部の構成

図5は、吸盤を相対運動させる駆動部の構成を示している。左右の二つのリニアアクチュエーターによって、上下に配された4個の吸盤が左右に配された4個の吸盤に対して、上下運動する。中央のロータリーアクチュエーターによって、4個ずつの吸盤は、互いに回転運動をする。図5の中央上のアクチュエーターは、打撃装置を水平方向に移動させるリニアアクチュエーターである。

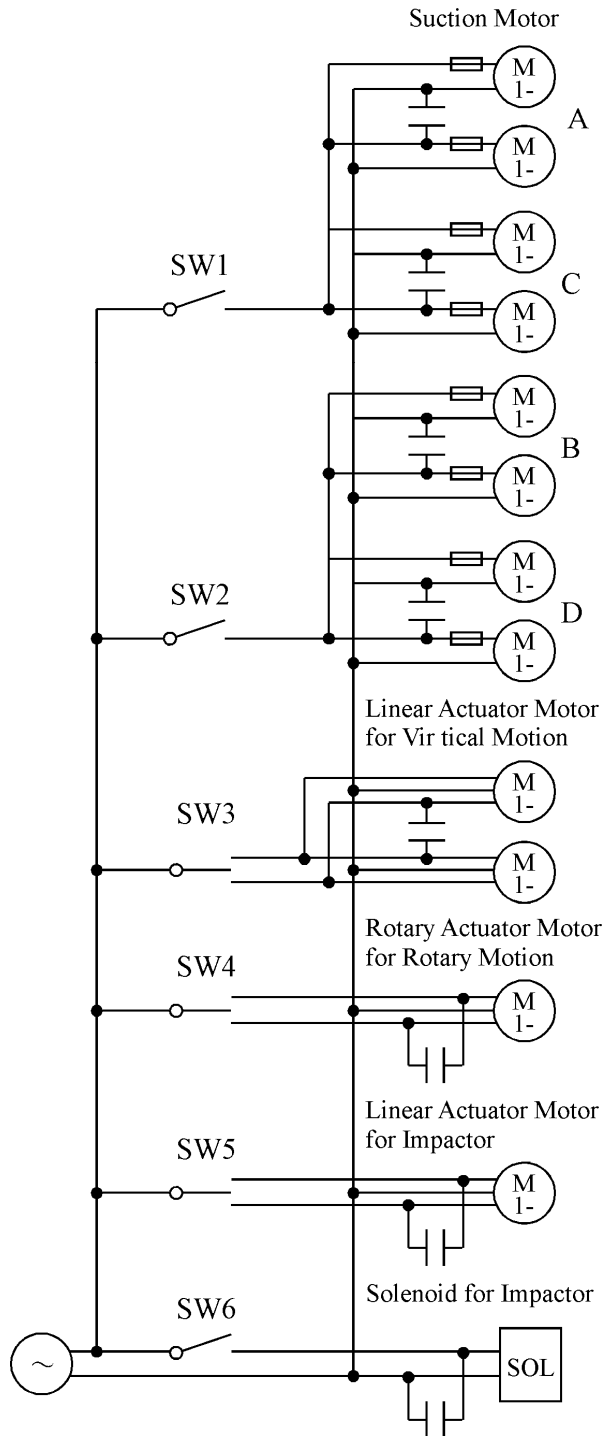
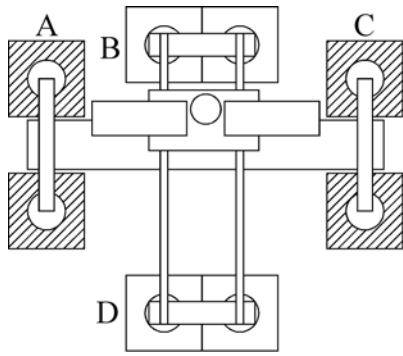
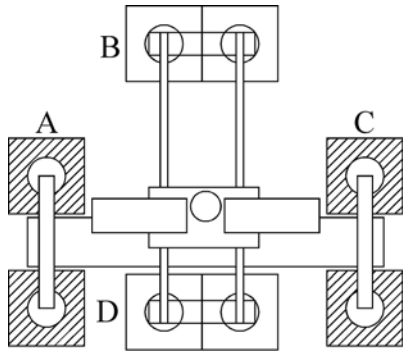


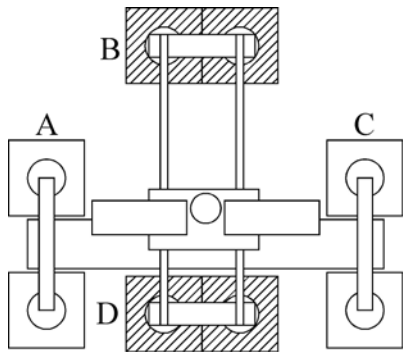
図7 電気回路



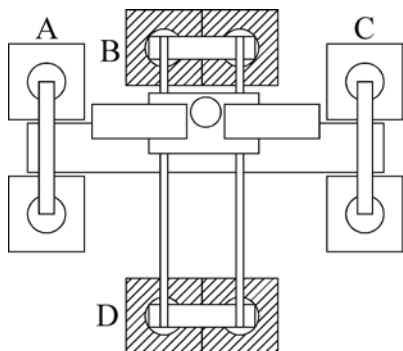
(1) 左右吸着盤ON



(2) 上下吸着盤を上へ



(3) 上下縦吸着盤ON



(4) 左右吸着盤を上へ

図8 壁面上下方向移動の機構

2.3 コントローラー

図6はコントローラーの写真である。また、駆動部の電気回路を図7に示している。本検査装置は現在のところすべてマニュアルで操作している。

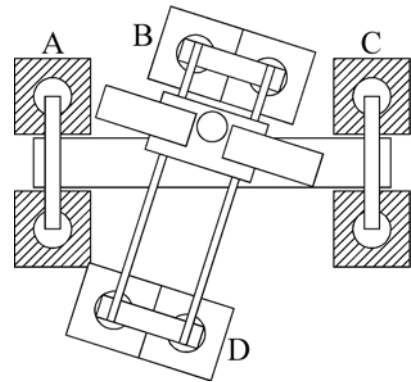
3. 移動のメカニズム

3.1 壁面上下方向移動の機構

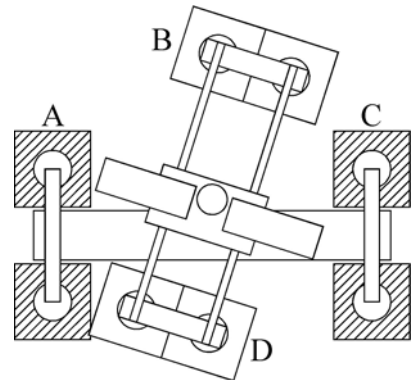
図8に、上下方向の移動方法を示す。まず、(1)左右吸着盤をONにして壁面に吸着した後、(2)上下吸着盤を上を移動する。その後、(3)上下吸着盤をONにし、(4)左右吸着盤を上を移動する。この繰り返しによって、上方向の移動ができる。下方向の移動は、この逆の動作で可能である。

3.2 壁面左右方向移動の機構

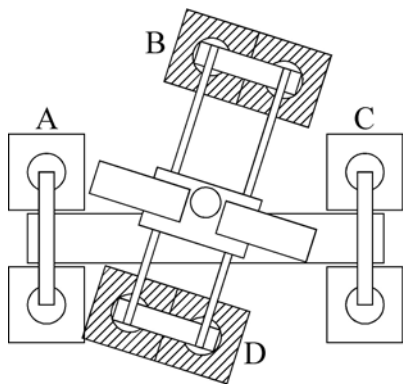
図9に、左右方向の移動方法を示す。(1)左右吸着盤をONにして上下吸着盤を右に回転させ、(2)上下吸着盤を右上に移動する。その後、(3)上下吸着盤をONにし、(4)左右吸着盤を右上に移動する。この繰り返しによって、右上方向の移動ができる。左方向の移動は、上下吸着盤の回転方向を左にすることによって可能である。



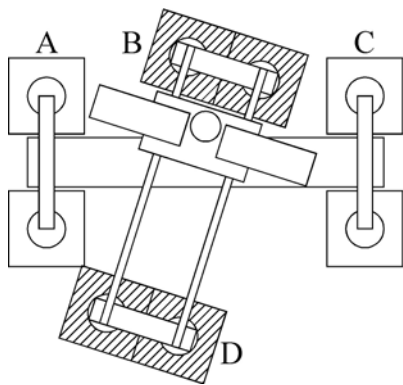
(1) 左右吸着盤ON



(2) 上下吸着盤を右上へ



(3) 上下吸着盤ON



(4) 左右吸着盤を右上へ

図9 壁面上下方向移動の機構

4. 今後の開発の方針

4.1 解決すべき課題

実用化に向けて解決しなければならない点は以下の項目である。

(1) 吸着の信頼性向上

実際に現場で検査をおこなうためには、装置の落下は絶対に避けなければならない。

(2) 検査効率の向上

マニュアル操作の場合、移動の作業は煩雑で移動には時間がかかる。そのため移動速度・検査速度が遅い。

(3) 打音検査の水平走査範囲の拡大

本装置は上下方向に移動しながら検査することを想定している。打音検査の水平走査範囲は、一回の縦方向検査における検査幅に等しい。効率的に監査するためには、水平走査範囲を広めて一回の検査幅を広げ、縦方向の検査ライン数を減少させる必要がある。

4.2 課題の解決方法

(1) 吸着の信頼性向上

検査装置が落下すると、機器の損失も問題であるが、歩行者や車両に危害を与える可能性がある。そこで、吸着の信頼性を向上させる。その方法は、吸着力の確認と検査装置の軽量化である。すべての吸盤に圧力センサーを付けて、吸着力を確認しながら移動する。十分な吸着力が確保されない場合は、通常半分の個数の吸着盤の吸着で実施する検査をすべての吸着盤による吸着で吸着力を確保し実施する。検査装置の軽量化は、まず、構造の過強度部を洗い出し軽量化を図る。次に、アクチュエーターの負荷を測定し、必要十分の小型のアクチュエーターに取り換える

(2) 自動制御化

現在の移動装置は、マニュアル操作であるため、吸盤のON-OFF、アームの運動を個々のスイッチおこなっている。そのため、単純な上方向に1ステップの移動に対しても、6ステップのスイッチ操作が必要である。これをパソコンで制御することによって、1ステップのスイッチ操作で迅速な上方向や横方向への移動を可能にする。

(3) 検査部の改良

現有の打音検査装置は、ロータリーソレノイドによるハンマリングと、マイクロフォンによる音響収集からなる。この打音検査装置をリニアアクチュエーターを用いて横方向に走査している。この装置の問題点は走査範囲が狭いことと、重量が重いことである。そこで、ワイパーのような運動をさせながらハンマリングをおこなう機構を開発する。この改良によって、走査長さの倍増を実現し、リニアアクチュエーターが不要になりことから軽量化が図れる。

(4) 送電線の集約

現在は、動力系統ごとに操作盤から送電線を配しているため、送電線の重量は1m当たり0.25kgである。40mの高所の場合、10kgとなる。①の自動化によって電力のスイッチングを検査装置に組み込むと、送電線が2線となり、大幅な軽量化が実現する。現在の装置でも10kgの重量は引き上げ可能であるが、40mを超える高所の検査を問題なく検査するためには、送電線の集約・軽量化が望ましい。

(5) 監査装置の位置情報

問題箇所を明示するためには、検査装置の位置情報が必要である。また、検査を見落としなく、かつ効率的に進めるためにも検査装置の位置情報は欠かせない。そこで、2台のCCDカメラを用い、3点計測によって、パソコン上に検査装置の位置情報を表示するシステムを作る。

(6) 橋梁の床版下への適用

橋梁の床版下への検査には、鉛直面の検査よりさらに高い吸着の信頼性が必要である。現在の吸着力でも検査装置の重量を超えているので、理論的には床版下の面の検査も可能であるが、実際に吸着の信頼性を確認し適用可能性を検討する。また、床版下の検査の開始には、検査装置を橋梁横から床版下に設置する必要がある。この方法についても検討する。

5. おわりに

本研究では、コンクリート壁面の検査装置を搭載し、任意の角度の壁面を走行することのできる走行装置の開発を目的として、研究を行った結果、次の成果を得ることが出来た。

(1) 合計8個の吸着盤で任意の角度の壁面を走行可能な装置を開発し、鉛直壁面における実証実験により、その性能を確認した。

(2) 走査装置に搭載可能な打音検査装置を開発し、その動作を確認した。この装置は、マイクروفオンを加速度センサーに置き換えることで、容易に衝撃弾性波法を用いることが出来る。

以上のことより、本研究の目的は達成されたと考えられる。今後は、前述の課題を解決し、現存の構造物での実証実験を重ねるなど、実用化に向けて研究を継続する予定である。

発表予定論文

1) Remote-Controlled Testing Machine for Vertical Concrete Wall, Kazuya MORI and Tatsuya IWAMOTO, Proceedings of ATEM11, 2011

参考文献

- 1) 今野裕之, 壁面移動装置, 特開平 5-317203, 平成 5 年
- 2) 重永貞雄, 真空吸着自走式壁面移動ロボット, 特開平 7-205060, 平成 7 年
- 3) 大熊罔昭, 吸盤式平面歩行装置, 特開平 8-207840, 平成 8 年
- 4) 吉村英夫, 中村賢司, 堀井顯良, 特開 2005-47451, 平成 17 年