

真空吸着車輪ゴンドラの開発

本州四国連絡橋公団 保全部 設備課 中村 修

1. はじめに

海浜部などの塩害環境下に構築されている大規模コンクリート建造物の保全では、塩分進入や中性化による内部鋼材の腐食防止対策が重要な課題になる。保全作業は、点検調査、劣化防止、修復などであり、いずれも対象部位への接近が必要になる。しかし、現在の点検調査は管理路や脚立などによる、接近可能な範囲に限定される。また、劣化防止作業は総枠組足場(写真-1)で施工されているため、組立解体時には基部への侵入が不可欠で設置期間と費用がかさむ難点があり、今後全ての建造物へ適用することは困難であることから、コンクリート壁面への安全・確実・短時間で安価な接近手段が求められている。



写真-1 アンカーレージの総枠組足場

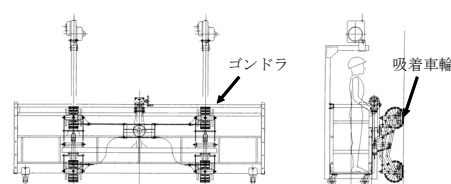


図-1 真空吸着車輪ゴンドラ

よって図-1に示すような真空吸着車輪ゴンドラによる接近手段を考案した。本装置の要諦はコンクリート壁面への吸着機構にあり、今回開発した真空吸着車輪を実験した結果、実用化に明るい見通しを得た。

本文では、開発にあたっての技術課題とその解決方法、車輪の吸着力、連続吸着性等の実験結果と今後の課題を述べる。

2. 壁面への接近方法

基部への進入と高さに左右されず、設置期間を要しない接近方法に、ビル壁面などで多用されているゴンドラがあるが、ゴンドラは風によって揺れるため、稼働率が低下するとともに作業反力が得られない難点があり、採用にあたってはこれらの解決が必要になる。

通常のゴンドラに吸着機構を付与した事例に、磁石車輪ゴンドラがあり、大鳴門橋主塔塗替試験工事で使用した結果、次を得た。

- ①磁石車輪で壁面に連続吸着するため、風によって揺れず、作業風速は、作業員の安全性と施工品質保持上の限界であった5~6m/sが13m/sまで可能になり、作業反力も確保できる。
- ②施工報告によると、大鳴門橋の通年気象条件による稼働率は、従来の50%から80%に向上する。

また、枠組足場の場合と、吸着車輪ゴンドラを使用する場合の接近コストは表-1に示すように、ゴンドラを5台投入しても、枠組足場に比べて約25,000千円安価となり、本四

表-1 接近コスト比較

項目	枠組足場 全面設置	真空吸着車輪 ゴンドラ5台
損料	12,800千円	18,000千円
組立・解体費	38,500千円	—
吊元費(4面)	—	8,000千円
合計	51,300千円	26,000千円
1㎡当たり	5,130円	2,600円

※ 対象物：50m立方のアンカーレージ壁面
(4面合計 10,000㎡)
対象作業：劣化調査、塗装(共に人力作業)
作業期間：6ヶ月

架橋全体の効果は約4億円安くなる。また、開発全体の効果は、費用を設計から実橋実験まで踏まえても、効果/費用(B/C)は15倍であり十分な投資効果がある。

以上から、コンクリートのような非磁性壁面でも吸着可能な機構を有したゴンドラの開発に着手した。

3. 吸着機構

3.1 既往吸着技術

非磁性体壁面への既往吸着技術としては、ビルの外装点検等を目的に真空吸着移動体が考案され実施工に供されている。しかしゴンドラとの組み合わせでは、①機構が煩雑、②装置の大型化、③移動速度や範囲が限定される、④積載を目的としていない等の難点があり既往技術を採用することは不可能である。したがって、機構が簡素・コンパクトで、容易に広範囲の移動が可能となる車輪形状の真空吸着機構(図-2)を開発する。

3.2 ゴンドラの必要性能

吸着機構を有したゴンドラに必要な性能は、壁面に常時吸着し、高速移動、重量物積載、広い作業エリア、高い安全性を実現することにある。また、瀬戸大橋のアンカーレイジ壁面には、船舶のレーダー偽像対策として5°の反射角(段差高252mm)を持たせたテクスチャーを配している。これらを踏まえたゴンドラの必要性能を表-2に示す。

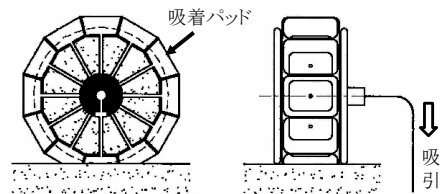


図-2 車輪形状の真空吸着機構構想図

表-2 必要性能

項目	必要性能
高速移動	昇降速度 7.2m/min
重量物搭載	積載質量 300kg 以上
広い作業エリア	50m×50m で安定した移動
高い安全性	耐風速 16m/s で揺れないこと
段差走行性	高さ 252mm のテクスチャー乗越
所用吸着力	1 輪当たり 490N (50kgf) で連続吸着
横抵抗力	1 輪当たり 245N (25kgf)

吸着パッドを裏面より見る



パッドの凹凸吸着状況

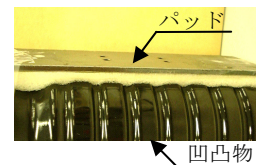


写真-2 吸着パッドと密着性状況

4. 真空吸着車輪の技術課題と対策

必要性能のうちゴンドラを採用することで得られるものを除き、車輪を検討した結果、次の技術課題があった。

4.1 凹凸面への密着性確保

凹凸面の密着性を確保するためには、吸着パッドの柔軟性が必要になる。一般に流通しているパッドは硬質ゴム製であり、凹凸に対する密着性は劣る。また端部が薄く比較的柔軟性を有する円形パッドでも、車輪の回転によりパッド端部に巻き込みを生じる。このため、鋼板に柔軟性に富むスポンジゴムを貼り合わせた吸着パッド(写真-2)を製作し、凹凸面の密着性を確保した。

4.2 吸着パッドへの吸気機構

回転体を真空吸着させるため、壁面に接触していないパッドからエアを吸い込むと真空は形成されない。各パッドへの吸気配管を独立させると真空形成は可能になるが、機器構

成が煩雑になり現実的ではない。よって、車輪の回転中心にディストリビュータハブを組み込むことで解決した。これにより、壁面側のパッドのみを常に吸着し、かつ簡素な機構にできた。(図-3)

4.3 真空発生機構の選択

高所で広範囲の移動を要することから、真空発生機構は車輪近傍、すなわちゴンドラ上に搭載しなければ、施工能率が格段に低下する。また、メンテナンス上は小型軽量で汎用性のある機構が必要である。この真空発生機構には、真空ポンプ方式と、エジェクタ（真空発生器）を使用して正圧を負圧に変換するコンプレッサー方式があるが、コンプレッサーは市場に多く出回っており汎用性に優れ、不具合時の代替品も容易に確保できることから、コンプレッサー方式を採用した。今回使用したのはベビーコンプレッサーで、小型軽量のため人力で容易に可搬でき、ゴンドラ上に搭載できる。

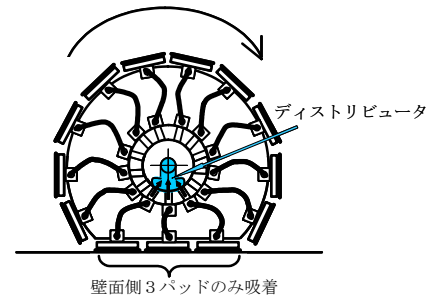


図-3 ディストリビュータハブ

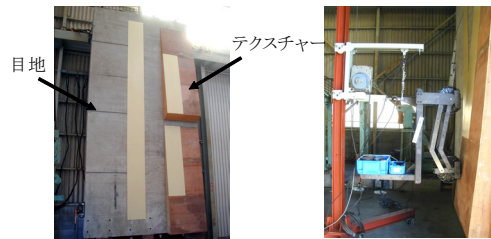


写真-3 模擬壁面 写真-4 装着状況

5. 室内実験

5.1 実験方法

前述の検討結果を基に車輪を試作し室内実験した。走行面は、目地を切ったコンクリート平面と実スケールのテクスチャーを2段配した模擬壁面を使用し、懸架装置と車輪は、ゴンドラに装着した条件になるよう重量配分した。(写真-3、写真-4)

実験の主な確認項目は、①車輪の吸着力、②車輪の横抵抗力、③連続吸着性、④テクスチャー乗越性能である。

5.2 実験結果

5.2.1 真空吸着力

真空吸着力は、吸着させた車輪を後方に引き、車輪が離壁するときの最大引き剥がし力を測定した。代表的な測定データを図-4に示す。測定結果から、最大585N(59.7kgf)、最小516N(52.7kgf)のデータが得られた。1車輪当たり490N(50kgf)としても、4車輪では1,960N(200kgf)の吸着力が十分に得られる。

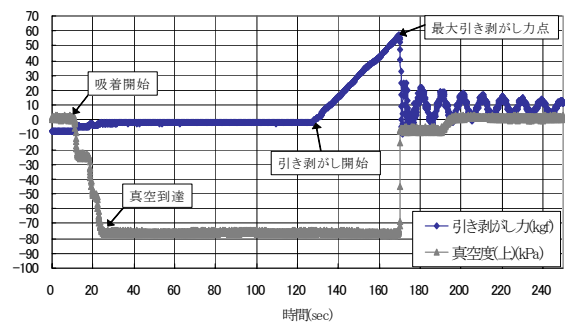


図-4 真空吸着力

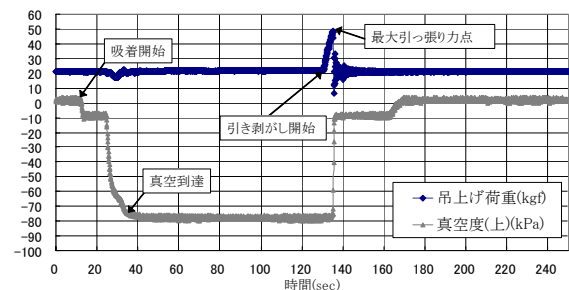


図-5 横抵抗力

5.2.2 横抵抗力

横抵抗力は、車輪軸を軸方向に引き、車輪がずれるもしくは剥がれる時の最大引っ張り力を測定した。代表的な測定データを図-5に示す。測定結果から、最大272N(27.8kgf)、最小214N(21.9kgf)のデータを得た。今回は1車輪で引っ張ったため、本来の4輪での安

定した抵抗力より低い値が出ていると考えられるが、横抵抗力は1車輪当たり平均値の245N(25kgf)としても、4車輪で980N(100kgf)以上が十分に得られる。

5.2.3 連続吸着性

連続吸着性は、吸着車輪を一定速度で回転させて、連続する3パッドの真空度で吸着性能を確認した。代表的な測定データを図-6に示す。吸着の切替は等間隔で円滑に出来ている。

5.2.4 テクスチャー乗越性能

テクスチャーの乗越手順は、図-7のように上昇中、車輪がテクスチャー下部に接近すると、①上車輪を Gondola 側に引き込み、段差を乗り越す。②上車輪が吸着後、下車輪を引き込む。③段差を乗り越えたら再度吸着する。この動作を繰り返し上昇する（下降時は逆）。実験では、昇降中に停止することなく円滑に乗り越える動作を確認した。

以上から、各項目とも良好な結果が得られ、また、①吸着機構は円滑に作動する、②吸着力、横抵抗力とも実用上の耐力が十分に得られる、③吸着力、不陸追従性、安定性などの吸着性能はパッド形状・硬度の選択が重要であるとの知見を得た。

6. 今後の課題

今回の実験により真空吸着車輪単独の機能は確認できたが、実用化には Gondola への装着が不可欠である。実作業へ使用するまでの課題としては、①吸着安定性のさらなる向上、②耐久性を有するパッドの製作、③実基礎での使い勝手の検証、④吸着パッドの耐久性の検証などが挙げられる。

これらの課題を解決するためには、今後予定されている保全作業に供して使い勝手などを確認するのが最も早道になる。さらに、今まで必要でありながら設備の不足から制約されていたコンクリート品質（塩分含有量、中性化深さ等）のデータ不足も一挙に解消される。したがって、今後は Gondola に真空吸着車輪を装着し、実橋での機能確認やコンクリート品質のデータ収集などを計画している。

7. まとめ

当公団には海浜部に数多くの大規模コンクリート構造物があり、本開発により点検や劣化防止対策など保全作業の機動性、安全性、保全コストが飛躍的に向上されるものと期待できる。今後は計画している実橋実験で課題を検証し、よりよい設備にしていく所存である。

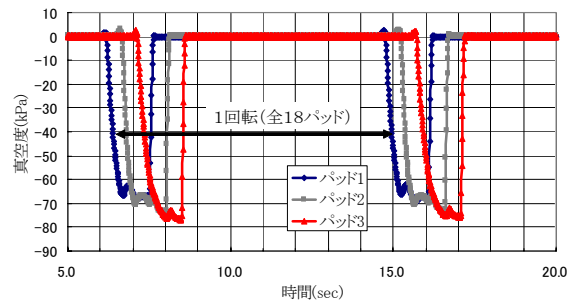


図-6 連続吸着性

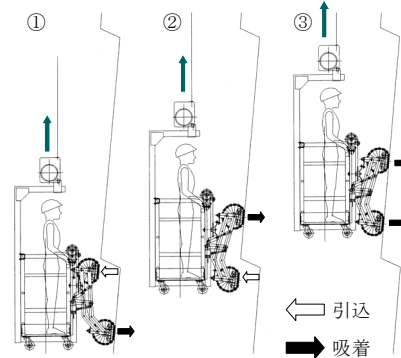


図-7 テクスチャー乗越手順