

⑯ 支柱通過前後の索道搬器のロール振動に関する考察

交通システム研究部 ※一柳 洋輔 森 裕貴 山口 大助
千島 美智男 緒方 正剛 押立 貴志 (客員研究員)

1. はじめに

索道では、運転中の加減速や風等によって搬器が動揺し、線路中の近接する支柱等の建造物、地表面等と接触することのないよう、搬器とこれら建造物等とは一定の間隔を確保している。本研究では、搬器が建造物と接触した事象を受け、動揺測定と運動シミュレーションをもとにそのメカニズムを分析し、ワイヤロープの撓みや振動が搬器のロール振動（進行方向軸まわりの回転）に与える影響を考察したので報告する。

2. 事象の概要

図1に示す3線交走式索道において、終点駅に向かって通常で運行中の搬器が、支柱Bを過ぎた箇所（以下、壁面という）に接触した。搬器が壁面に接触するには搬器のロール角は約10.6度発生したことになる。

支柱Aに設置された風速計は当日の営業運行開始前に5~6 m/sを示した。支柱Bには風速計は無いが、支柱前後は両側が壁面となっているため搬器のロール振動を助長する風向の風は小さいと推定される。

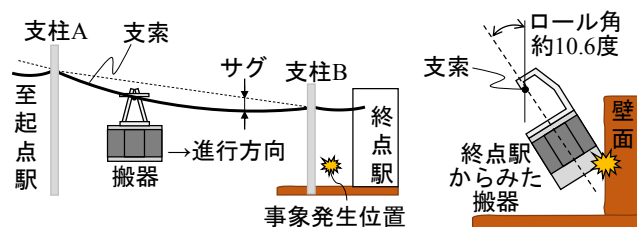


図1 索道施設および壁面との接触事象の概要

3. 走行中の搬器の動揺測定

索道事業者の協力のもと、当該搬器客室内の床面中心に慣性センサを設置し、搬器のロール角を全線にわたり連続的に測定した。動揺測定時の積載条件は、接触事象の発生当時の状況に合わせた。

図2には全線にわたる走行のうち支柱A通過以後の搬器のロール角の推移および同波形の時間周波数解析の結果を示す。搬器の荷重を負担する支索は自重

と搬器による局所荷重によって撓み、支柱の中間付近では撓み量（サグ量）が大きく、支柱付近では小さい。サグ量の大きい支柱Aと支柱Bの中間付近では支索自体の振動と搬器の振動とが相互に影響し合い、複雑な振動が生じている。

動揺測定の日には常時風が弱く、ロール角の値は全体を通じて小さいが、支柱Bへの接近に従って搬器のロール振動周期が短くなり振幅は増大している。

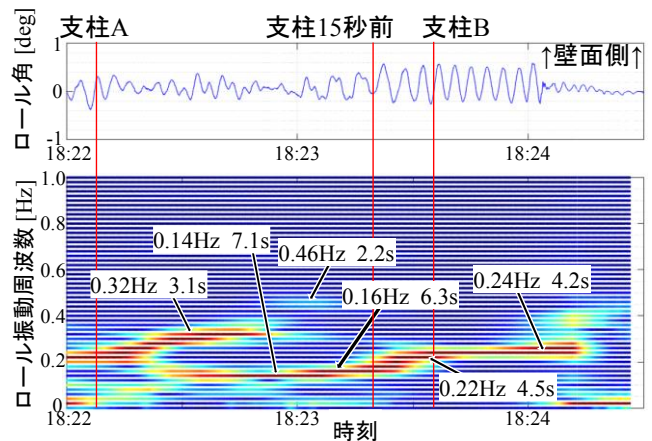


図2 搬器のロール角の推移と時間周波数解析

4. 接触事象の発生するメカニズムの考察

動揺測定の結果に基づき、接触事象の発生原因を以下のように推定し、その概要を図3に示す。

支柱間を走行中に風による外力を受けて搬器の傾斜が発生した後、サグ量の変化に伴う支索の振動の変化の影響を受け、搬器のロール振動は複雑になり、かつ搬器の振動周期は徐々に短くなった。支柱Bへの接近に従って、支索のサグ量が小さくなり、支索自体の運動のエネルギーは支索を支点とした搬器のロール振動に集約された。支柱Bでは支索が支持され、支索の振動が抑制されたため搬器は支索の振動の影響を受けずに、支柱Bに達した時点でそれまでに集約されたエネルギーによって搬器のロール振幅が最大となった。支柱通過後も搬器のロール振動が持続して、搬器が壁面に接触する事象に至ったと推定される。

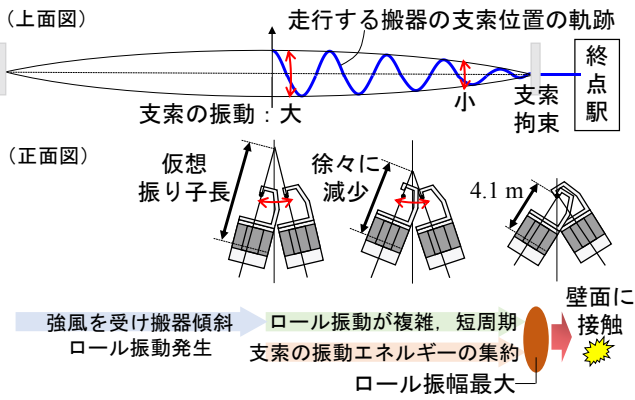


図3 壁面との接触に至る原因の考察

5. 搬器の運動シミュレーションによる検証

搬器の運動シミュレーションを行い、支索のサグ量と振動が搬器に及ぼす影響を確認する。例示するパラメータは動揺測定の結果から推定した。

5. 1. 振り子長変化の影響

支索のサグ量が大きくなる支柱の中間付近では、支索と搬器が一体の、長さ 16.3 m の振り子として振動し、支柱位置では搬器単体の長さ 4.1 m の振り子になると仮定する。支柱間から 45 秒かけて搬器が支柱に到達するまでのサグ量の変化を、振り子長の時間変化として模擬したシミュレーションを行う (図4)。

搬器ロール角の推移を図4右下に示す。支柱間の3/4位置の付近では振動の周期は6.3秒であるが、支柱近傍では搬器のロール固有振動周期に等しい4.1秒まで減少し、振幅は初期の4度から11.4度まで増大する。この支柱前後における振動周期の変化は、図2に示した実測結果とほぼ一致することを確認した。

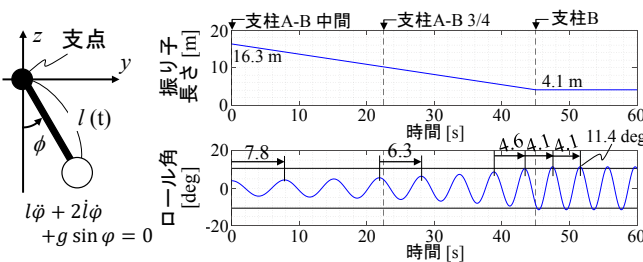


図4 振り子長が変化するシミュレーション

5. 2. 支索の左右振動の影響

支索と搬器とが同調せず一体の振り子とならない場合として、搬器を集中質量、支索を振り子の支点とする図5左のモデルで運動解析を行う²⁾。振り子の支点到左右方向の強制変位を与えることで、撓んだ支索が左右に振動する様子を模擬する。風の外力により支

索が左右に 0.21 m 変位し、搬器が 7 度傾斜した状態で壁面のあるエリアに進入した時点初期状態とする。その後は風の影響を受けない搬器は自由振動を開始する。支柱への接近に従い支索のサグ量が減少する状況を想定し、支索は周期 4.5 秒で振動しながら支柱に到達する 15 秒の間に拘束する (図5右上)。

搬器のロール振動応答の結果を図5右下に示す。支索からの変位加振を受け、支索の拘束後には搬器のロール振幅は壁面との接触に至る 11 度まで増大する。以上より、搬器が傾斜した状態から支柱に接近する際には、風以外の要因として、支索の振動の影響を受けて搬器の動揺が増幅する場合があることを確認した。

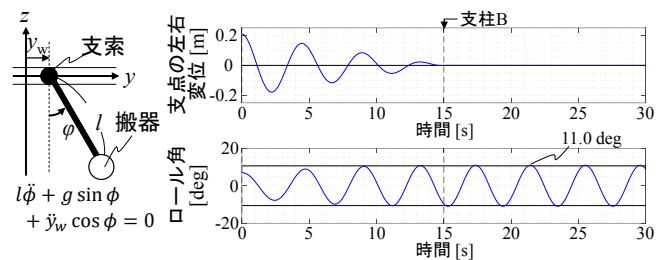


図5 支点が左右振動するシミュレーション

6. まとめ

風の外力により傾斜した搬器が支柱へ接近する際、支索のサグ量および支索の振動の影響が支柱への接近に従って複雑に変化したため、搬器が壁面と接触する程のロール振幅に成長したと推定される。

今回は動揺測定や数値解析に基づき分析を行ったが、搬器の動揺や運行に関する情報をモニタリングすれば、事故や異常が発生した際にその原因を迅速に特定することができると考えられる。またリアルタイムのデータから異常を検知し、運転の停止や点検整備へつなげることも期待できる。今後は、現在一般的に設置されている風速計などの既存の計器類のほか、近年では小型高性能化した慣性センサを新たに活用するなど、運転中の搬器動揺や各種保安設備のモニタリング手法についての研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 日本鋼索交通協会, “索道施設設計標準・管理標準及び同解説 2018年改訂版” (2018)
- 2) 一柳ほか, “索道のロープ振動が搬器のロール振動へ及ぼす影響の一考察”, 日本機械学会関東支部第27期総会・講演会, No. 11F01 (2021)