112 乗客コンベア用振動抑制ガイドレールの性能向上

Raised effect on the vibration-suppressing guide rail in a man-conveyer

○ 石川佳延（東芝）、河本斉、荻村佳男、藤原憲治、藤井謙一、浅田宣昭、
菊池孝幸、弓削和也（東芝エレベータ）

Yoshinobu ISHIKAWA (TOSHIBA Corporation),

Hitoshi KAWAMOTO, Yoshio OGIMURA, Kenji FUJIWARA, Kenichi FUJII, Noriaki ASADA
Takayuki KIKUCHI, Kazuya YUGE

(TOSHIBA ELEVATOR AND BUILDING SYSTEMS Corporation)

The vibration of steps in passenger-conveyers that use a conveyer chain has increased as a result of their compact size and high speed. So we have proposed the vibration-suppressing guide rail which can easily eliminate this vibration as we mentioned in the previous report. This report describes that we have established the method to verify the effect of improved vibration-suppressing guide rails with a mechanical simulation program Working Model™-2D.

Key Words: Passenger-conveyer (Escalator, Auto-road), Conveyer chain,
Vibration suppressor, Guide rail and Mechanical simulation

1. 緒言

都市交通を担う乗客コンベア(エスカレータ・動く歩道)は、高速化による輸送力増大および薄型化による設置スペース低減が求められている。しかし、リンクの長いコンベアチェーンを用いて踏段を駆動しているものは、その高速化・薄型化に伴い振動が増えることが懸念されている。

著者らは、Fig.1のようにスプロケット近傍のガイドレールに凹凸を設けて、この振動を抑制する振動抑制ガイドレールを3通り立案した⁽¹⁾。その繋ぎ目を滑らかにして衝撃振動を低減する改良案も提案し⁽²⁾、様々なエスカレータ(Fig.2)および動く歩道(Fig.3)へ適用してきた。しかし、さらに振動抑制ガイドレールの性能を向上するには、動力学的に評価できることが必要となっている。

従来、機構解析を用いて乗客コンベアのシミュレーションが行われているが⁽³⁾、ガイドレール形状の影響を評価しているものは見当たらない。

本報では、機構解析ソフト Working Model™-2D を用いた乗客コンベアの機構シミュレーション手法を確立し、そのシミュレータを用いて振動抑制ガイドレールの性能向上改善策の効果を確認したので報告する。

Fig.2 Overview of a compact size escalator

Fig.1 Guide-rail to suppress the vibration

Fig.3 Overview of a thin auto-road

2. 振動抑制効果の評価の必要性

振動抑制ガイドレールは、チェーンローラ（以下、ローラ）がスプロケット上で等速円弧運動しており、ガイドレール上では等速運動をしているべきであるという理想論から、チェーンリンク（以下、リンク）を適切に曲げ伸ばしして速度を調整している。チェーンの曲げ伸ばしを正確に行えば、理想的には振動をなくすることができる。現実にはローラが転がるためにはガイドレールは一定のクリアランスを必要とするので、クリアランスを設けた状態でどの程度の振動が生じるのか、評価する必要がある。

また、Fig.1のような振動抑制ガイドレールは繋ぎ目S2が折れ点になることを究明しており、Fig.4およびFig.5に示すような繋ぎ目S2を滑らかにする改良案も立案した⁽²⁾。これに関しても折れ点がなくなること。どの程度の振動抑制効果があるのか、評価する必要がある。

Fig.4 Improved shape(1)

Fig.5 Improved shape(2)

Fig.6 Passenger conveyer (Auto-road)

3. シミュレーション対象

Fig.6 に振動抑制ガイドレールを用いた乗客コンベアの一例として、薄型動く歩道の構造を示す。

駆動モータからの回転力は伝達チェーンを介してスプロケットに伝達され、スプロケットが踏段を連結しているコンベアチェーンを駆動している。コンベアチェーンはガイドレールに沿って走行し、従動機構（スプロケットもしくは円弧形状のガイドレール）で反転して帰還する。

コンベアチェーンを用いた装置では、直線運動から円弧運動へ移行する箇所（★印）で、リンクの多角形運動による振動を発生する。従動機構のスプロケットの側には図示していないが、振動抑制ガイドレールはこれらすべてに適用可能である。

実機で、円弧形状の反転ガイドレールに振動抑制ガイドレールを適用したところ、軸間変位振動がほとんど発生しないことを確認できている。チェーン伝達機構としては弛み取りをなくせる可能性を示唆しており、振動抑制ガイドレールの特筆すべき効果である。

4. シミュレーションモデル

Fig.7 に示すようなシミュレーションモデルを作成した。

ここで、ローラの剛性は、ガイドレールおよびスプロケット歯面を想定した平面・曲面に実際のローラを押付けて万能試験機により実測している。また、チェーンの剛性も実際のチェーンを3リンク分切り出して実測している。さらに、踏段およびチェーンの等価質量に関しては、一様に分布しているものとして計算している。

Fig.7 Simulation model

解析条件

リンク長: 133.3 mm

スプロケット歯数: 8 歯 速度: 30 m 毎分

機長: 40 m 乗客数: なし(無負荷)

重量: 25 kg / m (片側)

5. シミュレーション内容および結果

上述のモデル・解析条件を用いて以降のシミュレーションを実施した。

5.1 振動抑制ガイドレールのクリアランス等と振動の関係

振動抑制ガイドレールの効果を評価するに際して、仮想試験による実験計画法(DOE)を用いた。その計画で用いるパラメータとして以下の3項目を選んだ。調整可能なものとして、Table 1 に示す①ガイドレールのクリアランス、②従動機構のばね復元力、③ローラの剛性(設計変更で対応可能)である。クリアランスはゼロが良いが、現実的な寸法として0.5 mm厚のスケールが入らなくなる0.4 mmを管理下限値とした。

シミュレーション結果の振動波形のデータ処理は、汎用の試験評価ソフト LabVIEW™ を用いて以下のように実施した。ハニングウィンドウで前処理をしてFFTを掛けて、チェーンピッチに対応する1次振動と2次以上の高次とに分けてピーク値を抽出した。この値を用いてDOEで評価した。

評価結果を Table 2 に示す。上述の解析条件下では、①ガイドレールのクリアランスを2 mmから0.4 mmに狭めると改善され、主要因である。②と③は強い交互作用があり簡潔に結論を言うことは出来ないが、②従動機構のばね復元力を従来の設定のままが良く、③ローラ剛性は現状のウレタンゴム(硬度90)のままで良いとの結果である。

Table 1 The items of DOE

Items	Level1	Level2
Clearance of guide rail	2mm	0.4mm
Tension force of sproket	privious force F	F×1.5
Stiffness of roller	tested stiffness of uletane (hardness 90) St	St×1.5

Table 2 The results of DOE

Items	Results
Clearance of guide rail	0.4mm is apparntly better and this item is main effect
Tension force of sproket	Privious force F remains good condition
	Interaction is so strong that we can not easily say the answer.
Stiffness of roller	Conventional uletane roller

5.2 繋ぎ目を滑らかにする効果

Fig.8 は前節で最良となった解析条件での生波形で、Fig.1 の振動抑制ガイドレール形状でのシミュレーション結果である。その生波形を見ると振動抑制ガイドレールの繋ぎ目で衝撃振動(a)が発生している。前後の2回の衝撃振動(b)はスプロケットヘローラが噛合った際に生じたもので、これらと同レベルの衝撃振動が発生している。

そこで、Fig.4 に示したような繋ぎ目を滑らかにした場合のシミュレーションを実施した。Fig.9 に示すように、形状以外は同じ解析条件で繋ぎ目での衝撃振動(a)がなくなることを確認できた。

なお、Fig.10 にシミュレーションモデルを示す。振動抑制ガイドレール前後でのガイドレールの高低差を2 mmとしている。

Fig.8 Raw data of simulation

Fig.9 The effect of improvement

Fig.10 Simulation model for improved shape(1)

6. 考察

6.1 ガイドレールのクリアランスに関して

前章で振動抑制ガイドレールのクリアランスに関しては、2 mmより0.4 mmに狭めたほうが良いという結論を得た。

クリアランスをゼロにすれば、ローラは上下に飛び移ることがなくなり滑らかな線分に沿って動くので、衝撃振動は減ることが推測される。

そこで、そのような形状を検討した。Fig.11にその検討結果を示す。ガイドレールに力の加わる側(実線)のクリアランスをゼロにして、力の加わらない側(破線)にはクリアランスを設けレールを除いても良い。繋ぎ目S2・S3点では、図示した様に張力の掛ったチェーンがまっすぐな状態となり、チェーンが前後のS1・S4点でクリアランスをゼロに支持されているので、S2・S3点では両側にクリアランス(勾配導入部)を設けている。

6.2 繋ぎ目を滑らかにする効果に関して

前述のような改善をすることで、折れ点による衝撃振動がなくなることを確認した。この他にも、前報⁽¹⁾⁽²⁾で紹介したType2・Type3の振動抑制ガイドレールはFig.12に示すように繋ぎ目が滑らかなので、それらを用いる対策も考えられる。これらの場合、オフセット δ は上げ過ぎても下げ過ぎても折れ点ができるので、注意が必要である。滑らかなのは $-4.44\text{mm} < \delta \leq 5.14\text{mm}$ の範囲であり、実用的には下限値の近傍は使えない。

Fig.11 Ideal shape of vibration-suppressing guide rail

Fig.12 Type2 and type3

6.3 衝撃振動に関して

今回のシミュレーションでスプロケットへ噛み込む際の衝撃振動が発生した。

衝撃振動の周波数は30～50 Hzであり、2自由度モデルの計算で、上下面連成の1次の共振周波数が4.3 Hzとなり、上下面が逆相となる2次と等価の共振周波数が8.7 Hzとなる。このことから、1次の共振周波数の振動が出ていると判断できる。

また、衝撃振動のレベルに関しては、ローラおよびチェーンの減衰率を仮定しているのので、実際にはこの様に振動は伝わらず残らないことが予想される。減衰率を正確に把握するには、実験データとの整合性を取る必要がある。

7. 結言

以上、乗客コンベアの機構シミュレーション手法を確立した。そのシミュレータを用いて、振動抑制ガイドレールのクリアランスを狭くすると性能がよくなることが分り、振動抑制ガイドレールの折れ点がなくなるような対策を講ずると衝撃振動が減ることを確認できた。

今後、さらにシミュレーション手法の向上を図るため、実験データとの整合性を確認する。そして、クリアランスをゼロにした場合の効果を確認して、最終的には、振動抑制ガイドレールを理想的に機能させ、コンベアチェーンによる振動をなくすことを目指していく。

8. 参考文献

- (1) 石川佳延, 他7名: 日本機学会 [No.03-53], 昇降機・遊戯施設等の最近の技術と進歩 技術講演会論文集, 「乗客コンベア用振動抑制ガイドレール」(2004.1.22), pp9-12
- (2) 石川佳延, 他3名: 日本設計工学会, 平成16年度秋季研究発表講演会 講演論文集, 「コンベアチェーン用振動抑制ガイドレールの開発」(2004.9.17), pp37-40
- (3) 宇都宮博文, 磯谷仁: 日本機学会 [No.03-53], 昇降機・遊戯施設等の最近の技術と進歩 技術講演会論文集, 「薄型動く歩道の開発」(2004.1.22), pp13-16