

エスカレーター用 低剛性ウレタン手摺

Low-rigid Polyurethane Handrail for Escalator

野末紗海人*
Samito Nozue
毛利圭佑†
Keisuke Mori
西村良知‡
Yoshihito Nishimura

井上和哉§
Kazuya Inoue

要 旨

近年、エスカレーターの手摺(てすり)には環境対策と意匠性の観点から従来のゴム手摺よりもウレタン手摺の適用ニーズが高まりつつある。一方で、エスカレーターの手摺駆動システムとしてはシーブに手摺を巻き付けて駆動する方式が主流であるが、高い駆動性能を発揮する反面で、シーブ通過の前後で手摺の正・逆曲げが繰り返されるため、シーブ駆動システムに適用される手摺には耐屈曲性が求められる。

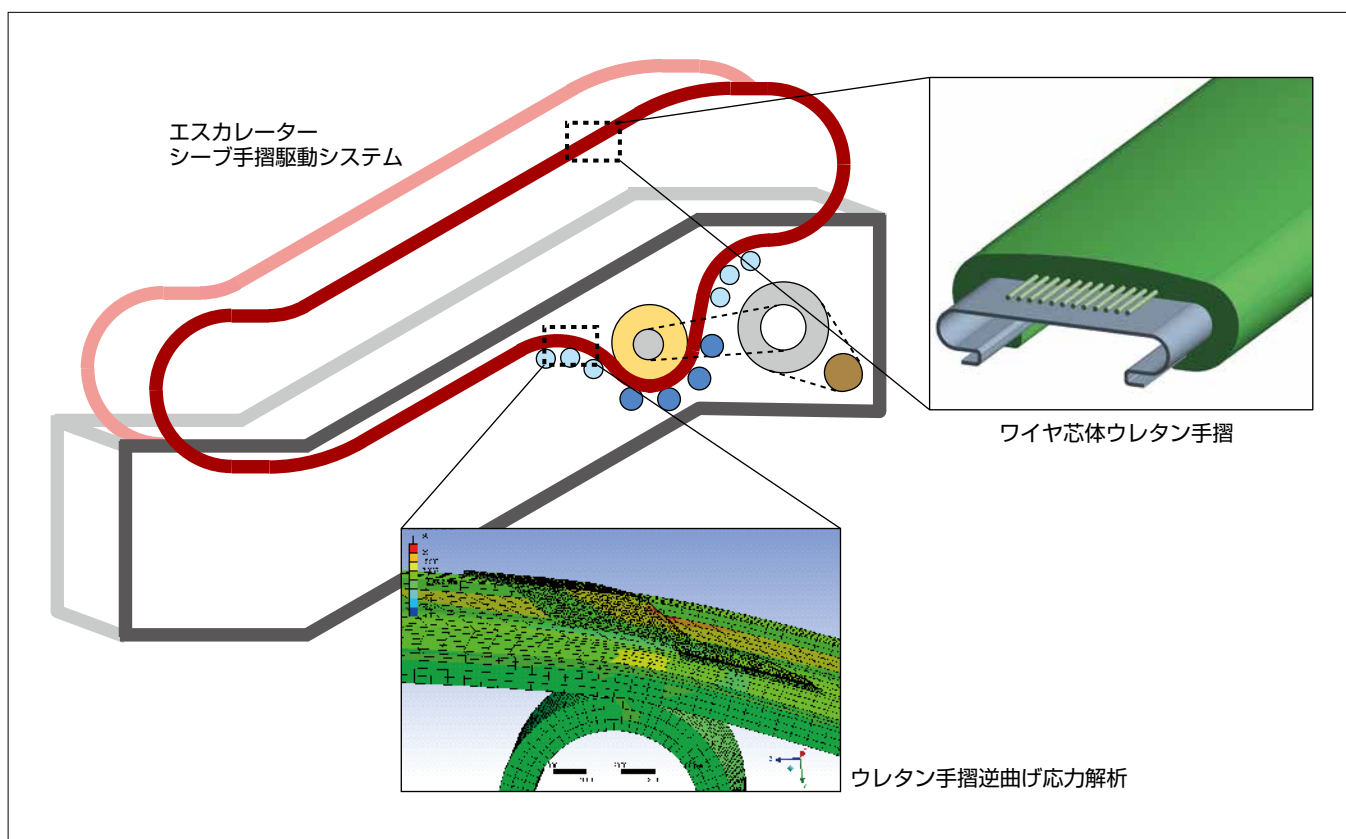
高い耐屈曲性を備える低剛性ウレタン手摺の実現に向けて、最大の技術課題は手摺の環状化に必要なエンドレス接合部の低剛性化である。連続した押出成形によって均一な剛性を持つ本体部に対して、強度部材のラップが必要なエンドレス接合部は相対的に高剛性になるが、長手の剛性

変化を最小限に抑えることで手摺の耐屈曲性を向上できる。

ワイヤ芯体ウレタン手摺のエンドレス接合部低剛性化に向けては、長手にラップさせる強度部材であるワイヤ芯体と内層帆布の接合仕様に関して次の対策を行った。

- (1) ワイヤ芯体のオフセット接合
- (2) 帆布端面の斜切
- (3) 強靱(きょうじん)性帆布接着剤の選定
- (4) 帆布ラップ長の極小化

(1), (2)では長手の剛性不連続性を緩和することで曲げ応力の集中を回避し, (3), (4)では低剛性化と強度確保のバランス設計が求められる中, FEM(Finite Element Method)解析を駆使して最適仕様を導き, ウレタン手摺の低剛性化を実現した。



エスカレーターシーブ手摺駆動システムとワイヤ芯体ウレタン手摺

エスカレーターのシーブ手摺駆動システムで駆動時に手摺耳部の負担する曲げ応力を解析し、手摺設計仕様にフィードバックを行い、十分な耐屈曲性を備える低剛性仕様のワイヤ芯体ウレタン手摺を開発した。

1. ま え が き

エスカレーターの乗客が把持して安定姿勢を保つ手摺は、表面の樹脂素材で分類するとゴム手摺とウレタン手摺に二分される。近年では、光沢・清潔感のある意匠性を持ち、乗客に把持を促す効果も期待できるウレタン手摺の適用率が高まっている。

三菱電機のエスカレーターでは、2007年から従来のゴム手摺に加えてウレタン手摺の量産適用を開始し、以降当社グループでは、ゴム手摺の生産に必要な断続プレス成形とは異なり、連続した押出成形によって高い生産性を実現するウレタン手摺の適用拡大を進めている。

ウレタン手摺の適用拡大に当たっては、環状走行するエスカレーター手摺システムの構造上、曲げ剛性の低減が重要課題になるが、芯体にワイヤを採用して手摺全体の剛性を抑えつつ、環状接合部での低剛性化と強度確保の両立を実現した。

本稿では、低剛性ウレタン手摺のFEM解析を駆使した要素技術開発について述べる。

2. エスカレーター手摺のシステム構成と課題

2.1 手摺駆動システムと手摺の負荷

エスカレーターの手摺駆動システムは、ローラ駆動方式とシーブ駆動方式に分けられる(図1)。主流であるシーブ駆動方式では、外周にゴムを巻いた駆動輪であるシーブに対して手摺を巻き付けることで駆動力を確保する。特長としてシーブゴムと手摺間で安定した摩擦駆動力を発揮できる一方で、手摺はシーブやガイドローラ部を通過する際に大きく繰り返し正曲げ(表面樹脂を外向きに湾曲)・逆曲げ(表面樹脂を内向きに湾曲)を受けるため、屈曲疲労の面

は厳しい仕様になる。

また手摺には、乗客負荷や摩擦抵抗に抗(あらが)って走行するための駆動力がシーブから伝達されることで、シーブ通過前後で正・負の張力が作用する。したがって、シーブ手摺駆動方式に対応する手摺には、スムーズに屈曲走行する柔軟性と長期にわたる屈曲や張力負荷に対する疲労強度の確保が求められる。

2.2 ウレタン手摺の断面構造・製法と課題

エスカレーターの乗客が把持する意匠面はゴム・ウレタンの樹脂素材で覆われる手摺であるが、前項の張力負荷に対する強度部材として、内部には全長にわたってスチールテープやワイヤなどの芯体(金属材料)が内蔵される。

各芯体を備えたウレタン手摺の断面構造を図2に示す。当社グループとして初めてローラ手摺駆動システム用に生産・適用したスチールテープ芯体のウレタン手摺は、高い引張強度を持つ反面で、柔軟性に乏しく、シーブ手摺駆動システムへの適用では十分な耐屈曲性が得られない。そこで柔軟性改善、すなわち曲げ剛性を低減するためにワイヤ芯体を採用した低剛性ウレタン手摺の開発をスタートした。

長手に連続して押出成形されるウレタン手摺の製造では、ワイヤ芯体を安定してウレタン樹脂で密着保持・整列させる技術課題はあったが、樹脂流動解析と工程改善によって解決し、手摺全体の曲げ剛性はスチールテープ芯体ウレタン手摺比で30%低減した。

しかし、環状走行する手摺駆動システムの構造上、長手に連続成形されたウレタン手摺は環状接合(以下“エンドレ

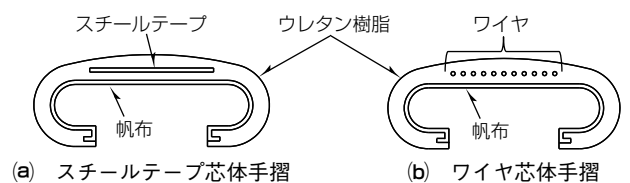


図2. ウレタン手摺の断面図

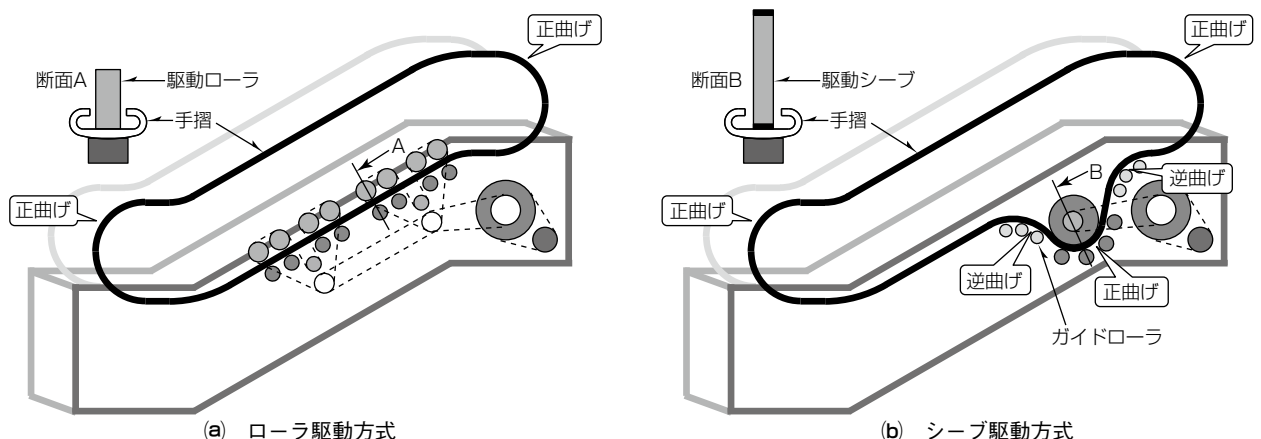


図1. エスカレーターの手摺駆動システム

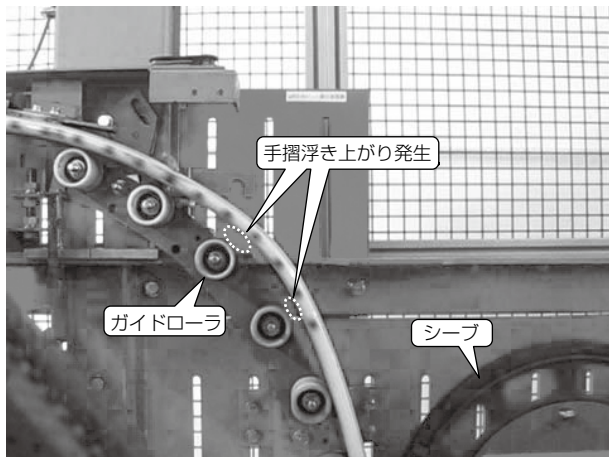


図3. 曲げ剛性連続性を欠いたウレタン手摺の逆曲げ挙動

ス接合”という。)する必要がある、全体を低剛性化した長尺ウレタン手摺(以下“本体部”という。)の両端を低剛性かつ強固にプレス成形接合することに大きな技術課題があった。

ウレタン手摺のエンドレス接合部で、熱可塑性を持つウレタン樹脂同士は高温のプレス成形によって融着される。ただし、ウレタン樹脂の熱融着だけでは接合断面の強度は不十分であり、エンドレス接合部では、強度部材である芯体と手摺内面を覆って形状安定と摩擦駆動性能に寄与する帆布をそれぞれ長手にラップさせることで強度を確保する。

両強度部材のラップによって、少なからずエンドレス接合部の局部剛性は本体部に対して増大するが、曲げ剛性の長手連続性を欠いたウレタン手摺は、シーブ前後の逆曲げ部などで、手摺ガイドの軌跡に十分追従できず(図3)、手摺・ガイドの双方に早期の偏摩耗や損傷・騒音のリスクを生じさせてしまう。

3. ウレタン手摺エンドレス接合部の低剛性化

3.1 ワイヤ芯体のオフセット接合

ワイヤ芯体ウレタン手摺のエンドレス接合部で、同一ワイヤの両端を長手にラップさせる場合、ラップ範囲で剛性が高まり、加えてワイヤ同士の干渉によるフレットング摩耗のリスクも高まる。そこで今回の開発では、同一ワイヤの両端は隙間を空けて突き合わせ、かつワイヤ突き合わせ部を複数ワイヤごとに段状オフセット配置することで、接合断面の低剛性化と強度確保を両立させた(図4)。

3.2 帆布ラップ接合仕様の最適化

エンドレス接合部では帆布の継ぎ目をラップさせて接合断面を補強する必要がある(図5)。曲げ剛性への影響度の大きい手摺耳部で、補強部材をラップさせるエンド

レス部の帆布接合仕様は、低剛性化のキーになる一方で、ウィークポイントになり得る帆布同士の接着を要するため、FEM解析を駆使して最適化した。

3.2.1 帆布端面の斜切

局部的に曲げ剛性の増大する帆布ラップ接合部の端面には曲げ応力の集中が避けられず、耐屈曲性が低下する。そこで今回の開発では、本体帆布と補強帆布の両端を手摺長手に対して斜切することで曲げ剛性の不連続性を緩和した(図6)。とりわけ厳しい屈曲条件になるガイドローラ上で張力負荷と逆曲げを受ける条件で、手摺耳部にかかる最大曲げ応力は斜切前との比較で30%低減した。

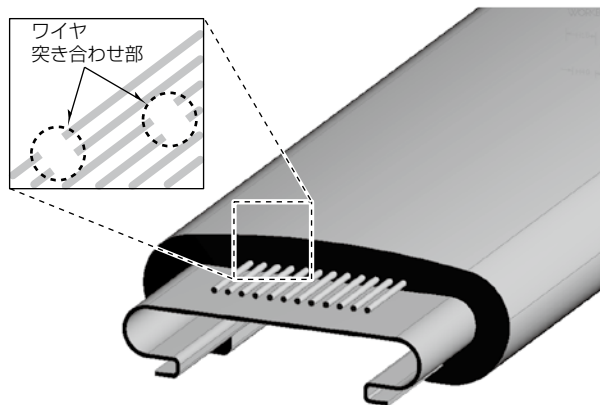


図4. ワイヤ芯体オフセット接合の模式図

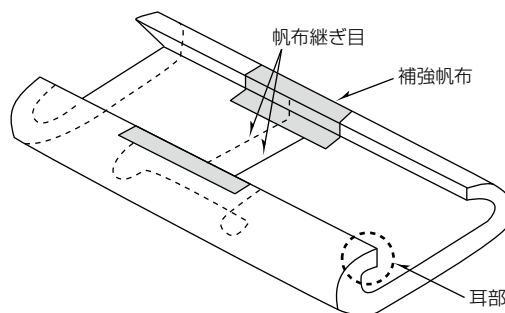


図5. 帆布ラップ接合の模式図

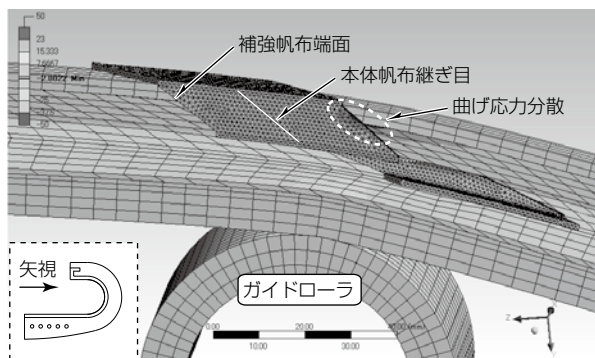


図6. エンドレス接合部の逆曲げ応力解析

3.2.2 強靱性帆布接着剤の選定

帆布接着剤の選定には弾性率と接着強度のバランスが肝要であった。高強度を求めて高弾性率の接着剤を用いると接着層の張力負担が大きくなり、必要な接着強度は増大し、また局部剛性も高めてしまう。そこで今回の開発では、被着部材との弾性率のバランスを取りつつ、強靱性を発揮する接着剤を採用した。図7に弾性率の異なる接着剤を用いた条件での耳部剪断(せん断)応力の比較解析結果を示すが、低弾性率接着剤の採用によって接着層の負担する最大剪断応力、ひいては必要接着強度を低減させた。

3.2.3 帆布ラップ長の極小化

エンドレス接合部の高剛性範囲を狭めるためには帆布ラップ接着長を最小限にする必要があるが、接着層の長手端部に集中する剪断応力を抑えて接着強度を確保するには一定の帆布ラップ接着長が必要になる。図8に比較解析結果を示す。

帆布ラップ長を小さくすることでエンドレス接合部の曲げ剛性を20%低減できるが、耳部接着層の最大剪断応力

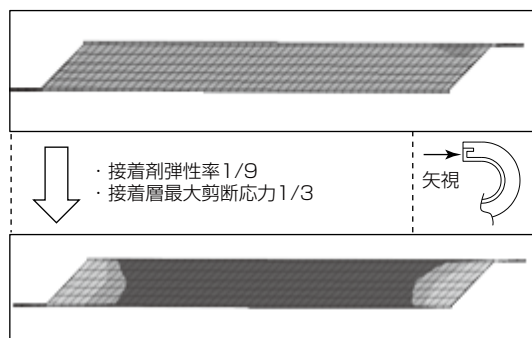


図7. 接着剤弾性率の影響確認結果(耳部接着層応力解析)

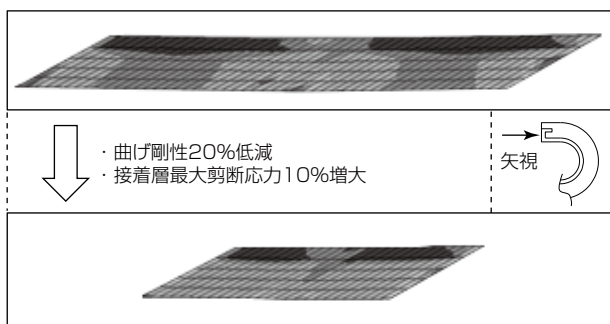


図8. 帆布ラップ長の影響確認結果(耳部接着層応力解析)

表1. ワイヤ芯体ウレタン手摺の曲げ剛性低減結果

曲げ剛性低減率(注1)	本体部	30%
	エンドレス接合部	40%
曲げ剛性比(注2)低減率(注1)		10%

(注1) スチールテープ芯体ウレタン手摺比
(注2) エンドレス接合部曲げ剛性/本体部曲げ剛性

は10%増大することが分かる。剛性低減に反して増大した剪断応力に対して十分な接着強度を確保する必要があるが、今回の開発では、環境ばらつきや経年的な劣化を見込んだ初期接着強度要件の導出に式(1)を用いた。

$$F \geq \tau_{\max} \div (\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3) \times S \dots\dots\dots (1)$$

- F : 帆布ラップ部の初期接着強度
- τ_{\max} : 帆布ラップ接着層の最大剪断応力
- η_1 : 接着強度の温度依存係数
- η_2 : 接着強度の屈曲疲労係数
- η_3 : 接着強度の湿熱劣化係数
- S : 安全率

式(1)中の各接着強度低下係数には実際の要素試験結果をフィードバックさせることで、評価する初期接着強度の信頼性を高め、必要になる低剛性ウレタン手摺の耐屈曲性を確保した。結果として、ウレタン手摺の低剛性化を実現した(表1)。

従来のスチールテープ芯体ウレタン手摺に対して、エンドレス接合部の曲げ剛性を大幅に低減させたワイヤ芯体ウレタン手摺であるが、理想となる本体部同等の曲げ剛性まで低減させるには至っておらず、エンドレス接合部の相対的な曲げ剛性比には改良の余地を残している。

また、今後ウレタン手摺を更に適用拡大させていくに当たり、省スペース化に有効になる小径シーブを採用した手摺駆動システムへの適用などを想定した場合、大曲率の厳しい屈曲条件に対応するためには更なる低剛性化が必要になる。

そこで当社グループでは、ワイヤ芯体ウレタン手摺の更なる低剛性化を進める。エンドレス接合部の更なる曲げ剛性低減、すなわち曲げ剛性比の改良に向けて、帆布ラップ長を極小化するために補強帆布を排除したエンドレス接合構造の実現によって、本体部に対するエンドレス接合部の曲げ剛性比として更に20%の低減を見込んでいる。

4. む す び

低剛性ウレタン手摺の開発に当たって見定めるべき次の2点のバランス設計と要素技術について述べた。

- (1) 手摺全体とエンドレス接合部の剛性バランス
- (2) エンドレス接合部の低剛性化と強度確保のバランス

今後も、より高次元でのウレタン手摺低剛性化と耐屈曲性確保のバランス設計に挑み、高品質なウレタン手摺のエスカレーターを提供していく。

参 考 文 献

- (1) 毛利圭佑, ほか: エスカレーター手摺のFEM解析, 三菱電機技報, 89, No.9, 512~515 (2015)
- (2) 原賀康介: 高信頼性を引き出す接着設計技術—基礎から耐久性, 寿命, 安全率評価まで—, 日刊工業新聞社 (2013)