

レールと路面の隙間を埋める充填材による 踏切通行者の安全性向上

太田 達哉* 間々田 祥吾* 斎藤 綾乃**
秋保 直弘** 坪川 洋友***

Enhancement of Pedestrian Safety at Level Crossings Using Rubber Filling Up a Gap Between Rail and Road Surface

Tatsuya OTA Shogo MAMADA Ayano SAITO
Naohiro AKIU Yosuke TSUBOKAWA

A gap between the rail and the road surface at a level crossing can cause a misstep to the pedestrians with stroller, walking aid and wheelchair. In this study, newly shaped rubber filling up the gap to prevent accidents was developed. The authors examined the influences of setting the filler rubber on rolling stock running through a bogie running test. A usability test was also carried out to investigate effects on users with stroller and walking aid. Furthermore, a durability test was performed at a railway crossing of the test line of RTRI. As a result, the filler rubber makes it easier for pedestrians to walk across a rail crossing.

キーワード：踏切、レールと路面の隙間、充填材、踏切安全性向上、被験者試験、耐久性評価試験

1. はじめに

踏切には、図1に示すようにレールと路面（踏切板）の間に隙間（以下、踏切隙間）がある。踏切隙間は列車の車輪フランジ通過のために不可欠のものであるが、踏切を横断する通行者にとっては「つまずき」等の踏切横断の妨げを生じる場合がある。特に、ベビーカーやシルバーカー、車いす等を利用した人（以下、器具を利用した通行者）にとっては、それらの車輪（以下、器具の車輪）の転動が妨げられて転倒するリスクがあり、最悪の場合は踏切事故につながるケースがある¹⁾。

このような背景から、器具を利用した通行者の踏切横断に伴うリスクを低減でき、かつ列車の通過に支障しない踏切隙間を埋める充填材（以下、充填材）を検討している。これまでの検討では、空気の吸排気で膨張・収縮し、昇降する充填材²⁾（以下、昇降式充填材）や海外で使用実績のある既製品の充填材（以下、既製品充填材）等を鉄道総研内の踏切に設置して状態を確認した。その結果、昇降式充填材の場合、踏切遮断機と連動した充填材の昇降を確認できたが、施工の煩雑さや故障のリスク、保守管理等の課題が抽出された。一方、既製品充填材については、昇降式充填材より設置が容易であったが、国内の踏切隙間の寸法に対応していないため、踏切の路面から

充填材の一部が突出し、突出した部分でつまずき等が生じる恐れがあった。

そこで、本研究では、国内の踏切寸法に対応した形状のゴム製の充填材（以下、新規充填材）を製作し、鉄道総研内の踏切に設置して、列車通過時に列車の走行に与える影響の評価試験および器具を利用した通行者の踏切横断に関する評価試験（以下、被験者試験）、列車の通過に対する耐久性評価試験を実施した。



図1 踏切隙間の状況

2. 新規充填材の製作

2.1 新規充填材の形状

国内で広く用いられている接続軌道の踏切に設置することを想定して、既製品充填材の形状を参考に、国内の踏切の寸法に合うように2種類の形状の新規充填材（以下、新規充填材Aおよび新規充填材B）を設計した。設計した新規充填材の形状を図2に示す。

* 材料技術研究部 防振材料研究室
** 人間科学研究部 人間工学研究室
*** 軌道技術研究部 軌道管理研究室

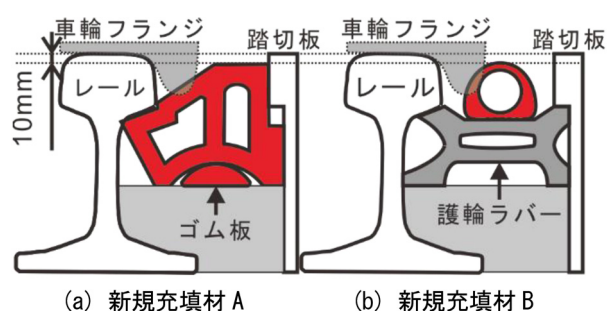


図2 新規充填材の模式図

新規充填材 A は、連接踏切に使用される護輪ラバーを撤去して設置される。図 2(a) に示すようにレールの頭部の下および踏切板にはまり込むため、取り付け後の安定性が高い。また、車輪フランジの通過に対する影響を低減するため、レール側の上面の形状を傾斜させた。また、踏切板側は器具の車輪が踏切隙間に落ち込むことを防止するため、水平な面とした。さらに、器具の車輪が横断する際の鉛直方向の変形を抑制するため、下面の曲線形状の下にゴム板を挿入した。なお、下面を曲線形状としたのは、踏切隙間に設置する際に、新規充填材 A を変形させて挿入しやすくするためである。

新規充填材 B は、護輪ラバーの上にビスで固定して設置される。これは、保守作業等で充填材を取り外す場合があることを考慮したためである。新規充填材 A よりも設置や取り外しが容易であるが、設置後の安定性は新規充填材 A に及ばない。また、新規充填材 B は、設置時の固定のしやすさや、車輪フランジとの接触面積の減少、器具の車輪が横断する際の鉛直方向の変形を抑制できるように下面を平坦な円筒形状とした。

2.2 新規充填材の設置

図 2 に示す新規充填材 A, B を製作し、鉄道総研内の踏切に設置した。新規充填材 A はスチレン・ブタジエンゴム製、新規充填材 B は天然ゴム製とした。硬度は、新規充填材 A で約 60、新規充填材 B で約 65 であった。

新規充填材 A, B を鉄道総研内の踏切に設置した状況および踏切のモックアップに設置した断面の写真を図 3 に示す。設置長さは新規充填材 A, B ともに 1.5m とした。また、新規充填材 B の設置については、固定を強化するため、図 4 に示すように護輪ラバーにアンカーを取り付けた後、ビスを用いて護輪ラバー上に固定するようにした。

図 3 に示すように、新規充填材 A, B がともにレール頭頂面から上方に突出することなく設置できている。なお、図 2 に示すように、新規充填材 A, B ともにレール頭頂面から 10mm 低い位置が上面となるようにしており、踏切隙間の寸法のばらつきや護輪ラバーの凹凸等があっても、レール頭頂面から新規充填材が突出しないよ

うに設計した。

また、1.5m の新規充填材を踏切に設置するのに要した時間は、新規充填材 A では護輪ラバーの撤去も含めて約 60 分であった。一方、新規充填材 B では、護輪ラバーへのアンカーの取り付けも含めて約 15 分であった。さらに、アンカーを一度設置すれば、新規充填材 B の脱着は 1～2 分程度で可能であり、交換作業等を含めた作業性は新規充填材 B の方が良好であった。



図3 各新規充填材の設置状況および断面の写真

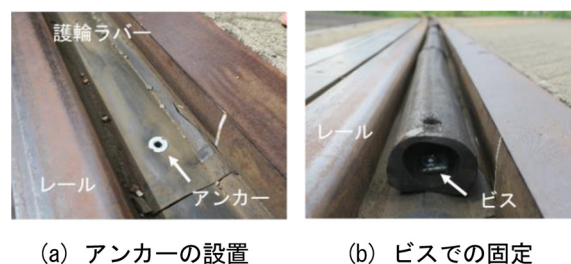


図4 新規充填材 B の固定方法

3. 列車通過時の列車への影響評価試験

鉄道では、列車の通過を支障しないように建築限界が定められており、建築限界内には設置物を設けることができない³⁾。レール近傍では、図 5 に示すようにレール頭頂面から 37mm 下までが建築限界として定められており、新規充填材 A, B はともに建築限界を支障する。一方、例外としてレール近傍における建築限界を支障する設置物に、車輪が押しつけて分岐器を操作する発条転てつ器がある。また、海外では踏切隙間充填材の既製品が一般的に使用されている。これらは列車への安全性が確保された上で設置されており、新規充填材も安全性等を十分に検証して設置する必要がある。

そこで、鉄道車両の台車を用いて、踏切隙間に新規充

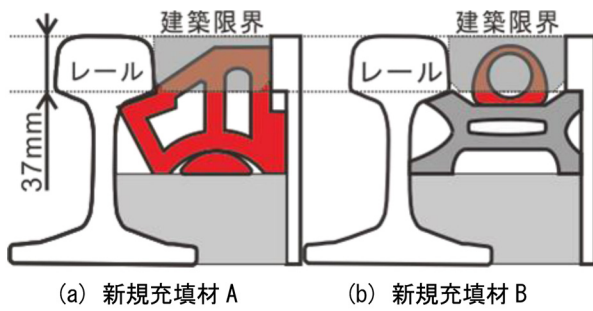


図5 新規充填材の模式図

充填材を設置した際の列車通過時の列車に対する影響を評価する試験を実施した。

本試験では、図6に示すように、重量4トンの台車を用いて速度約2km/hで、踏切隙間に新規充填材A、Bを設置した鉄道総研内の踏切を通過させ、台車の軸箱上に設置した振動加速度計で得られる上下方向の振動加速度レベルの変化を測定した。列車への影響評価試験における振動加速度レベルを図7に示し、台車通過時の新規充填材の状況を図8に示す。

図7より、新規充填材上を通過する際の軸箱の振動加



図6 台車走行への影響評価試験の様子

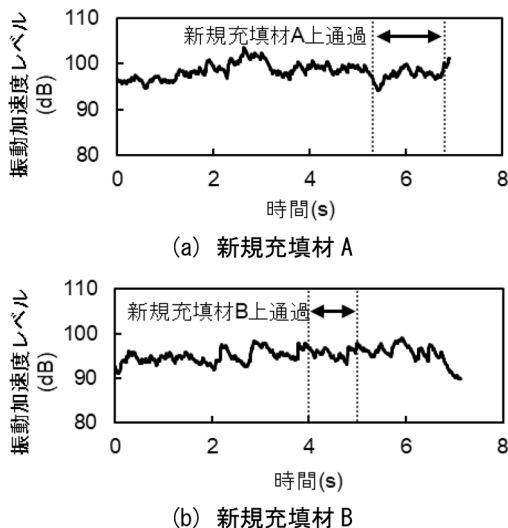


図7 充填材設置箇所通過時の台車の振動加速度レベル

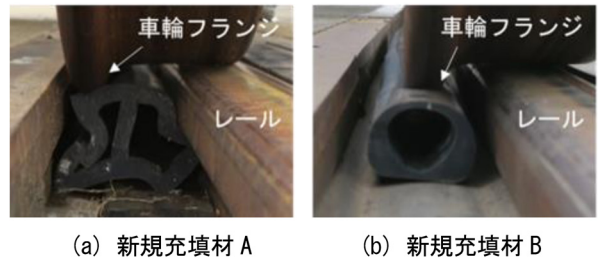


図8 列車への影響評価試験における新規充填材の状況

速度レベルは新規充填材A、Bともに、他の箇所を通過する際の振動加速度レベルとほぼ同等であった。新規充填材が台車の通過に影響し、車輪フランジが新規充填材上に乗るような場合、振動加速度レベルが大きく変化すると考えられるが、実際には、図8に示すように各新規充填材が大きく変形することで車輪が受ける衝撃が緩和され、振動加速度レベルが変化しなかったと考えられる。

以上、台車を用いた列車通過時の列車への影響評価試験の結果より、新規充填材の設置は、台車の通過に影響しないことがわかった。台車上に車体が乗った列車の場合は、台車よりも荷重が大きいことから、新規充填材の列車の通過に対する影響はさらに低下すると考えられる。

4. 被験者試験

4.1 試験の概要

被験者試験では、器具を利用した通行者が踏切を横断する際の新規充填材の設置による効果を新規充填材A、Bを設置した鉄道総研内の踏切で検証した。供試器具はベビーカーおよびシルバーカーとし、それぞれを被験者が押して踏切を横断した際に要する時間（以下、踏切横断時間）および踏切横断時の感覚を問うアンケート調査によって評価した。

4.2 試験方法

4.2.1 被験者

ベビーカーを使用した試験では成人40人（うち女性が22人）、シルバーカーを使用した試験では高齢者24人（うち女性が12人）が参加した。ベビーカーを使用した試験では平均年齢は32.8歳（20～49歳、標準偏差9.9歳）、シルバーカーを使用した試験では平均年齢は72.0歳（65～82歳、標準偏差4.9歳）であった。なお、ベビーカーを使用した試験では、ベビーカーの利用経験者を中心に募集し、利用経験者は26人であった。シルバーカーを使用した試験では、安全上、利用経験を不問としたため、利用経験者は0人であった。

4.2.2 使用器具

ベビーカーおよびシルバーカーは、踏切隙間の影響を評価しやすいように車輪径が小さいタイプを選定した。安全基準⁴⁾やJIS規格⁵⁾により、ベビーカーの車輪径は115mm以上、シルバーカーは100mm以上と規定されている。そこで、入手が容易なベビーカーおよびシルバーカーからできるだけ車輪径が小さいものを探し、ベビーカーは車輪径115mmで前輪が可動するダブルキャスターのタイプ、シルバーカーは車輪径110mmで前後輪が固定のタイプを選定した。なお、試験では乳幼児の乗車や荷物の積載を考慮して、ペットボトルに水を入れて作製したウェイトを搭載した。ベビーカーのウェイトは、ベビーカーの適用年齢の最大値が48カ月（4歳0か月）であることを考慮して⁴⁾、3歳6～11カ月児の平均体重（男児14.9kg、女児14.6kg）⁶⁾を上回る15kgとした。シルバーカーのウェイトは、荷物入れのスペースに収まる2Lのペットボトル飲料を想定して2kgとした。

4.2.3 踏切横断時間の測定条件

踏切横断時間は、新規充填材A、Bを設置した箇所および新規充填材を設置していない箇所（以下、新規充填材無し）の3箇所において、レールに対して直角な方向（以下、直行）および直行から30°左に向かう方向（以下、斜め）の2方向でベビーカーおよびシルバーカーを使用して1人1回測定した。試験を実施した踏切は、試験線の曲線区間にあり、150mmのカントが設定されているが、被験者試験では、負荷が大きい上り勾配（内軌側から外軌側）を横断方向とした。

踏切横断時間の測定において、直行、斜めともに、スタートラインは内軌側レールの手前1m、ゴールラインは外軌側レールを越えた先1mとした。そのため、直行の測定区間は約3.2m、斜めの測定区間は約3.5mであった。踏切横断時間の測定区間の例として、ベビーカーを使用して新規充填材Bを横断する被験者試験の様子を図9に示す。

スタートラインとゴールラインにおける時間測定は、ベビーカーおよびシルバーカーに取り付けたマーカーが通過した時点とした。なお、被験者の歩行にあたっては、「通常通りの自然なペースで歩く」ように教示し、時間を測定するが急ぐ必要はないことを強調した。

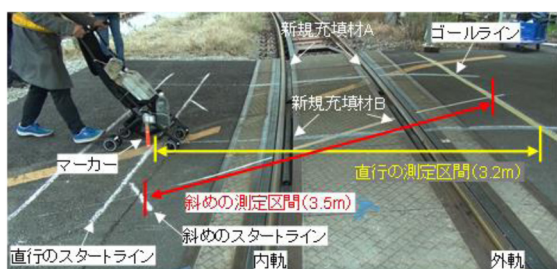


図9 被験者試験における計測区間

踏切横断時間について、新規充填材3水準の1要因反復測定分散分析を実施した。有意水準を0.05とし、多重比較はbonferroniとした。

4.2.4 主観評価の指標

踏切横断時にベビーカーやシルバーカーを押す際の負担（以下、負担感）を「かなり楽」から「かなり大変」の6段階、車輪がひっかかる程度（以下、ひっかかり感）を「まったくひっかからなかった」から「非常に強くひっかかった」の5段階で、試験後に被験者に評価してもらった。その後、結果について、新規充填材3水準、歩行方向2水準の2要因反復測定分散分析を実施した。有意水準を0.05とし、多重比較はbonferroniとした。

4.3 被験者試験の結果

4.3.1 踏切横断時間

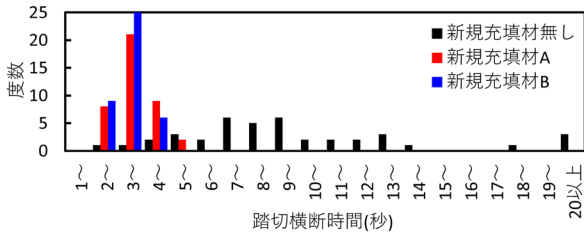
踏切横断時間の度数分布を図10に示し、図11に平均値を示す。図11中のエラーバーは標準誤差を示す。

ベビーカーを使用した試験では、度数分布（図10(a-1), (a-2)）より、新規充填材A、Bを設置した場合、直行、斜めともに、踏切横断時間は7秒未満であったのに対し、新規充填材無しでは7秒以上かかったケースが40回のうち直行で31回（77.5%）、斜めで11回（27.5%）であった。このうち、器具の車輪のひっかかりを解消するのに長時間（20秒以上）要したケースもあった（3回、7.5%）。一方、斜めでは、新規充填材無しでも踏切横断時間が短い傾向を示した。斜めでは、4箇所ある器具の車輪部のうち1箇所が踏切隙間と接触しても残りの3箇所は路面上にあることでベビーカーの荷重を支えることができるため、器具の車輪の前方2箇所が同時に踏切隙間に接触する状態となる直行よりも踏切を横断しやすかったと考えられる。また、図11(a)に示すように、新規充填材無しと新規充填材A、Bの差は有意であり、新規充填材A、Bのどちらを設置した場合においても踏切横断時間の短縮効果があることがわかった。さらに、直行においては充填材A、Bの差も有意であった。

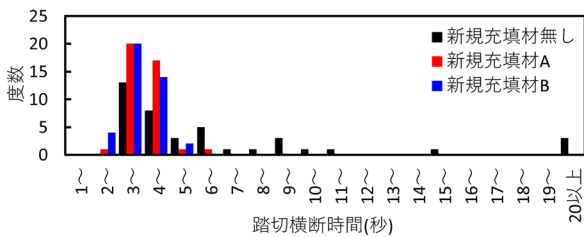
シルバーカーを使用した試験では、新規充填材A、Bを設置した場合、直行の1ケースを除き、直行、斜めともに踏切横断時間は7秒未満であったのに対して、新規充填材無しでは7秒以上かかったケースが直行で7回（29.2%）発生し、斜めでは発生しなかった（図10(b-1), (b-2)）。また、図11(b)に示すように、シルバーカーを使用した試験でも、新規充填材無しと新規充填材A、Bの差は有意であり、新規充填材に踏切横断時間の短縮効果があることがわかった。ただし、斜めでは、新規充填材無しの踏切横断時間も短く、短縮効果はわずかであった。

新規充填材無しにおける踏切横断時間の平均値は、ベビーカーを使用した試験よりシルバーカーを使用した試験の方が短かった。この理由として、シルバーカーに

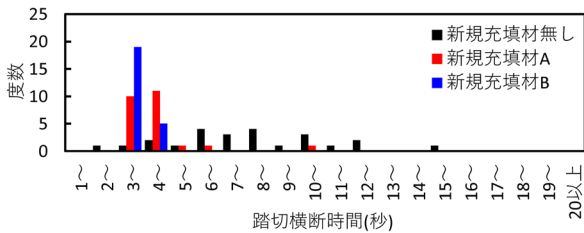
搭載したウェイトがベビーカーの1/7以下であり操作し易かったことや、シルバーカーは前輪の向きが変わらないため、前輪が動いて踏切隙間にはまり込むことが少なかったこと等が考えられる。



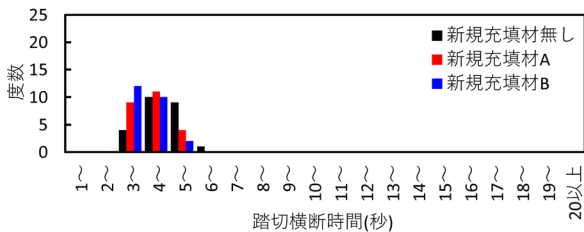
(a-1) ベビーカーを使用した試験（直行）



(a-2) ベビーカーを使用した試験（斜め）



(b-1) シルバーカーを使用した試験（直行）



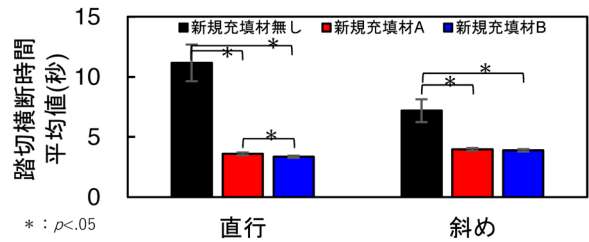
(b-2) シルバーカーを使用した試験（斜め）

図 10 被験者試験における踏切横断時間の度数分布

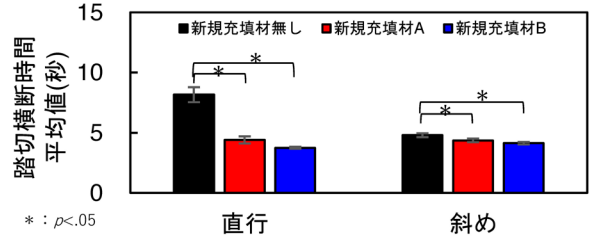
4.3.2 主観評価

踏切通過時の負担感およびひっかかり感の評価平均値を図 12 および図 13 に示す。図では、数値が大きいほど負担感もしくはひっかかり感が大きいことを示す。

直行においては、ベビーカーおよびシルバーカーを使用した試験の両方で、負担感、ひっかかり感のどちらも、新規充填材を設置することで負担感およびひっかかり感の低減効果があった。新規充填材 A と B の差も有意であり、新規充填材 B の方が低減効果が高かった。



(a) ベビーカーを使用した試験



(b) シルバーカーを使用した試験

図 11 被験者試験における踏切横断時間の平均値

斜めにおいては、ベビーカーを使用した試験でのみ、新規充填材なしと新規充填材 A, B の差が有意であった。シルバーカーを使用した試験では、新規充填材なしにおける負担感やひっかかり感が小さいことから、新規充填材による低減効果がみられなかった。新規充填材 A, B の差も有意ではなかった。

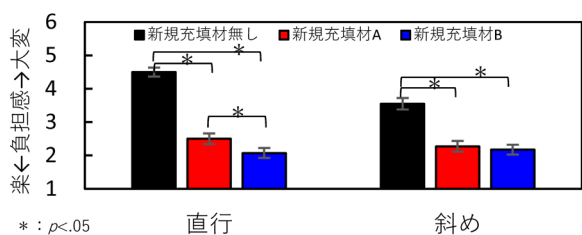
5. 列車通過に対する耐久性評価試験

5.1 実施概要

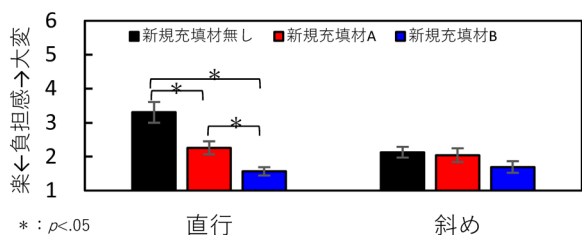
鉄道総研内の踏切に新規充填材 A, B を設置し、列車の通過に対する耐久性を評価した。評価方法としては、列車の通過本数を把握するとともに、定期的に充填材の外観を観察した。

5.2 評価結果

耐久性評価試験の結果、新規充填材 A では、車輪通過回数約 8500 回で、図 14(a) に示すような端部表面の擦れが見られたものの、端部以外の箇所では顕著な損傷が見られず、通行者の踏切横断には実用上問題はないと考えられる。一方、新規充填材 B では、車輪通過約 3000 回で、図 14(b) に示すように、内軌側の踏切隙間に設置した場合において 500mm 程度の範囲でレールと平行方向に割れが発生していた。これは、車輪の通過によって発生した端部の摩耗が進展して生じたものと考えられる。また、別途実施したゴムの表面硬度の測定結果から、新規充填材 B の表面に割れが発生した時期は気温が低かったため、ゴム硬度が高く、割れやすくなっていたことも要因の 1 つと考えられる。この結果から、新規充填材 B を現在の形状で使用する場合、表面の改質

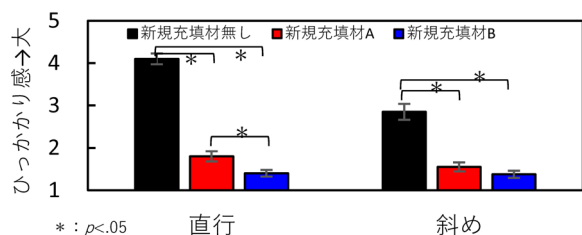


(a) ベビーカーを使用した試験

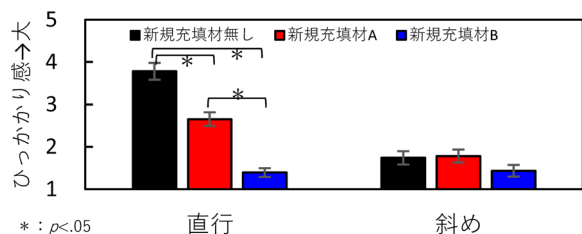


(b) シルバーカーを使用した試験

図12 被験者試験における負担感の平均値



(a) ベビーカーを使用した試験



(b) シルバーカーを使用した試験

図13 被験者試験におけるひっかかり感の平均値

等による耐久性の向上が必要である。ただし、表面が割れた状態でも、器具を利用した通行者の横断に対して機能上問題がないとも考えられるため、今後、踏切横断に関する評価を進めるとともに、車輪フランジが接触しにくい形状で製作する等の改良を行う予定である。

6. まとめ

器具を利用した通行者の踏切横断時のリスクを低減す



(a) 充填材 A (b) 充填材 B

図14 列車通過に対する充填材の外観観察

るため、接続軌道の踏切を対象として踏切隙間を埋める新規充填材を A, B の 2 種類製作した。新規充填材を踏切に設置し、各種試験を実施した結果、以下の知見を得た。

- 1) 新規充填材 A, B を設置した踏切において台車を通過させる試験を実施した結果、新規充填材の設置は列車通過時の列車に影響しないことがわかった。
- 2) 被験者試験の結果、新規充填材 A, B ともに、ベビーカーおよびシルバーカーを利用した通行者のつまずきを低減でき、新規充填材の設置により踏切横断時間を短縮できることがわかった。
- 3) 新規充填材の列車通過に対する耐久性を評価した結果、新規充填材 A は損傷が小さいが、新規充填材 B は列車通過に対して表面の割れが発生した。

今回製作した新規充填材は、新規充填材 B の耐久性に課題があるものの、器具を利用した通行者に対して一定の効果があることを確認した。一方で、杖、車いす、自転車等の横断に対する評価は行っていない。今後、鉄道事業者のニーズに合わせて評価試験を実施し、形状や材質等の改良を行う予定である。

文献

- 1) 高齢者等による踏切事故防止対策検討会（国土交通省）：高齢者等の踏切事故防止対策について（平成 27 年 10 月）
- 2) 間々田祥吾，矢口直幸，藤田浩由，中橋順一，及川祐也，岡田至規：レール隙間充填装置および踏切，特開 2017-122315，2017-7-13
- 3) 国土交通省：鉄道に関する技術上の基準を定める省令の解釈基準，2001
- 4) 一般財団法人製品安全協会：ベビーカーの安全基準，2017
- 5) 日本規格協会：JIS T9263 福祉用具—歩行補助具—シルバーカー，2017
- 6) 厚生労働省：一般調査及び病院調査による体重の身体発育値（2010 年度調査）