

3. 遮熱性舗装におけるラベリング試験機を用いた 促進摩耗試験用タイヤの代替検討

Examination of Alternative Tires for Accelerated Abrasion Test
Using A Ravelling Test Machine on Solar Heat-Blocking Pavements

(公財)東京都道路整備保全公社道路部土木技術課 上野 真誉

(前 東京都土木技術支援・人材育成センター技術支援課)

(公財)東京都道路整備保全公社道路部土木技術課粉川 心介

1. はじめに

東京都（以下、「都」という。）では、ヒートアイランド現象への対策として、路面温度の上昇を抑制する効果がある遮熱性舗装を首都高速中央環状線の内側の地域、いわゆるセンター・コア・エリアを中心とした重点エリアにおいて施工している。

都では、遮熱性舗装に対し、室内試験や試験施工等の検討を行い、遮熱性舗装（車道）設計・施工要領（案）

（以下、「設計・施工要領（案）」という。）を平成 19 年に策定し、設計、材料、施工、出来形・品質管理について基準値及び試験方法を定めるとともに、必要に応じて改定を行ってきた。

過去には、供用に伴いすべり止め用骨材が摩耗し、すべり抵抗が低下する懸念や早期に骨材面から遮熱材がはがれる現象が散見されたことから、遮熱性舗装表面の耐久性に関する基準を平成 22 年 9 月に設計・施工要領（案）に規定した¹⁾。

その後、10 年以上が経過し、耐久性確認に用いてきたラベリング試験機の促進摩耗試験用タイヤ（以下、「現行タイヤ」という。）が製造中止となつたことから、代替となるタイヤの検討が必要となつた。本稿は、令和 5 年度から同 6 年度にかけて実施した検討結果を取りまとめたものである。

2. 試験概要

(1) 試験手順

試験は、2 段階に分けて実施した。

まず、令和 5 年度にラベリング試験機に設置可能な

代替候補となるタイヤ（以下、「代替候補タイヤ」という。）4 種類を現行タイヤとともに遮熱性舗装の供試体 2 種類に対し、20 万輪走行させ、供試体表面のすべり抵抗値の変化傾向を確認した。

その後、令和 6 年度に現行タイヤと最もすべり抵抗値の変化傾向が類似していた代替候補タイヤのうち 1 種類に対し、100 万輪走行させ、供試体のすべり抵抗値の変化傾向を確認した。

試験手順は、図-1 に示すとおりである。

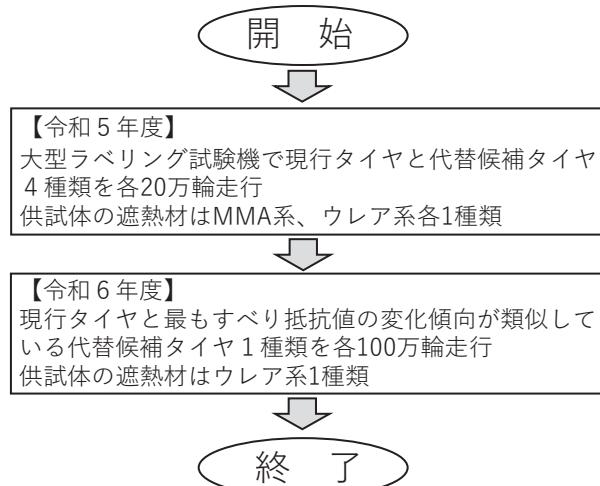


図-1 試験手順

(2) 試験対象タイヤ

今回試験に用いたタイヤ 5 種類を表-1 に示す。

表-1 試験対象タイヤ

| 記号 | 規格 |
|-----|------------------------------|
| BS1 | 小型 トラック 用 145R12【現行タイヤ】 |
| BS2 | 604V RD-604 Steel 145R12 6PR |
| YK | Super Van Y356 145R12 6PR |
| TY | Open country R/T 145R12 6PR |
| DL | グランドレック TG4 LT パン 145R12 6PR |

BS1 が現行タイヤであり、他の 4 種類のタイヤが代替候補タイヤである。

(3) 試験対象供試体

MMA 系、ウレア系の遮熱材を塗布した供試体を準備した。MMA 系は、メタクリル酸メチルを主成分とする塗料で遮熱性舗装導入当初より広く使用されてきた。一方、ウレア系は、ウレタンウレア等を主成分とするもので MMA 系に比べ低臭といった特徴を有する。

(4) 試験条件

1) ゴム硬度

(2) で示した試験対象タイヤを促進摩耗試験前にゴム硬度計を用いてゴム硬度の測定を行った。

2) 促進摩耗試験

設計・施工要領（案）²⁾に規定された試験機を用いて試験を実施した。

3) すべり抵抗値

2) に示した促進摩耗試験を規定の輪走行させ、促進摩耗試験前・中・後のすべり抵抗値を測定し、すべり抵抗値の変化傾向を確認した。

3. 令和 5 年度試験

令和 5 年度試験は、促進摩耗試験に用いるラベリング試験機に現行タイヤと代替候補タイヤ 4 種類を用いた。遮熱材は都道での施工実績の多い MMA 系とウレア系の 2 種類を用い、遮熱材とタイヤの組み合わせにより、すべり抵抗値の変化傾向に差異が発生するか確認するため、20 万輪走行まで行った。

(1) 試験条件

1) ラベリング試験の条件

試験条件は、以下の表-2 に示すもので行った。試験に用いたラベリング試験機の外観を写真-1 に示す。

表-2 ラベリング試験の条件

| 項目 | 条件 |
|---------|---------------|
| 輪荷重 | 1.96kN程度 |
| 接地圧 | 0.29MPa程度 |
| 走行輪の数 | 2輪（同時走行） |
| 走行回数 | 20万輪走行（10万回転） |
| 走行速度 | 20km/h |
| 試験温度 | 20°C |
| 供試体養生時間 | 4時間以上 |
| シフト幅 | ±5cm |
| 車軸勾配 | キャンバー角 1.5度 |
| 散水量 | 2L/min |



写真-1 ラベリング試験機の外観

2) 試験タイヤの条件

試験に供するタイヤは、現行タイヤと代替候補タイヤ 4 種類を選定した。タイヤのゴム硬度が試験に影響することが考えられるため、試験開始前に硬度計によりゴム硬度を測定した。

写真-2 はゴム硬度の測定状況を示し、表-3 に測定した各タイヤのゴム硬度を示す。



写真-2 ゴム硬度の測定状況

表-3 ゴム硬度の測定結果

| 記号 | BS1 | BS2 | YK | TY | DL |
|------|-----|-----|----|----|----|
| ゴム硬度 | 62 | 60 | 61 | 62 | 61 |

ゴム硬度を測定した結果、現行タイヤと代替候補タイヤの間で大きな差がないことを確認した。

3) タイヤの接地面積と輪荷重の設定

現行タイヤと代替候補タイヤ 4 種は、タイヤのトレッドパターンが異なる。そのため、表-2 の輪荷重を与

えても接地面積が異なることから、接地圧が異なる。その場合、遮熱材等の剥離状況に差異が生じ、すべり抵抗値に差が発生することが考えられることから、写真-3 から写真-7 に示すように、墨汁をつけたタイヤを用紙に押し付け、その黒い部分をコンピュータ上で読み込み面積を算出した。なお、ラベリング試験機にはタイヤを 2 輪設置することから、各輪各 3 回面積測定を行い促進摩耗試験の条件である接地圧 0.29MPa 程度になるよう輪荷重の調整を行った。調整結果を表-4 に示す。

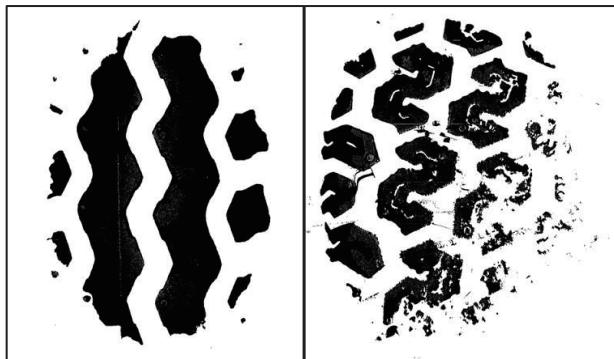


写真-3 BS1 (左)、写真-4 BS2 (右) の
トレッドパターン

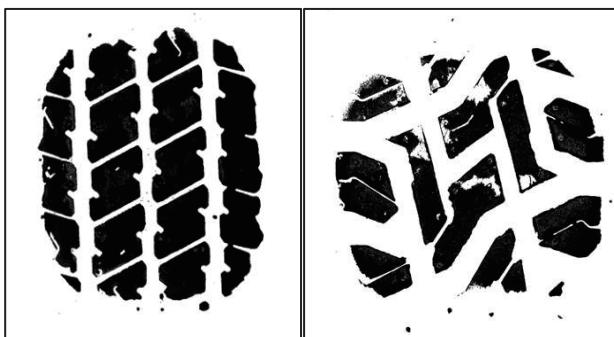


写真-5 YK (左)、写真-6 TY (右) の
トレッドパターン



写真-7 DL のトレッドパターン

写真-3 から写真-7 に示したとおり、タイヤによってトレッドパターンが大きく異なることが示された。

表-4 タイヤの輪荷重と接地面積、接地圧の関係

| 記号 | 輪荷重 (kN) | 接地面積 (mm ²) | 接地圧 (MPa) |
|-----|-------------|----------------------------|--------------|
| BS1 | 1.96 | 6,012 | 0.33 |
| BS2 | 1.25 | 4,418 | 0.28 |
| YK | 2.33 | 8,512 | 0.27 |
| TY | 1.96 | 6,229 | 0.31 |
| DL | 2.33 | 7,718 | 0.30 |

4) 遮熱材等を塗布した供試体の条件

令和 5 年度試験は MMA 系、ウレア系の 2 種類の遮熱材を用いて供試体を作製した。これは、塗料の種類が異なった場合に、促進摩耗を行った際に、遮熱材の剥がれ具合に差異が生じるか確認を行うためである。

(2) 試験結果

以下、表-5、図-2 にウレア系供試体に促進摩耗試験を実施した結果を示す。また、表-6、図-3 に MMA 系の結果を示す。

表-5 ウレア系試験結果

| 輪走行回数 | BS1 | BS2 | YK | TY | DL |
|---------|-----|-----|----|----|----|
| 0 | 91 | 95 | 91 | 94 | 92 |
| 2,500 | 80 | 86 | 82 | 84 | 80 |
| 5,000 | 80 | 84 | 79 | 84 | 78 |
| 7,500 | 79 | 83 | 78 | 83 | 76 |
| 10,000 | 78 | 82 | 76 | 82 | 75 |
| 25,000 | 76 | 80 | 74 | 80 | 73 |
| 50,000 | 72 | 78 | 72 | 78 | 72 |
| 75,000 | 69 | 76 | 71 | 77 | 71 |
| 100,000 | 68 | 75 | 69 | 76 | 70 |
| 125,000 | 67 | 74 | 68 | 74 | 69 |
| 150,000 | 65 | 73 | 67 | 73 | 68 |
| 175,000 | 64 | 72 | 66 | 73 | 67 |
| 200,000 | 62 | 72 | 65 | 72 | 66 |

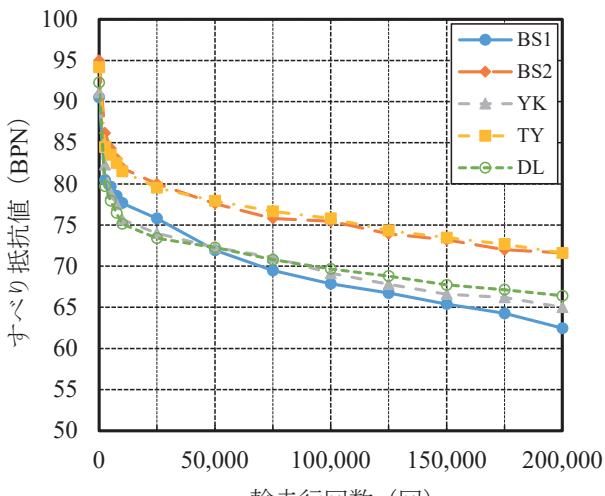


図-2 ウレア系試験結果

表-6 MMA系試験結果

| 輪走行回数 | BS1 | BS2 | YK | TY | DL |
|---------|-----|-----|----|----|----|
| 0 | 75 | 85 | 76 | 84 | 81 |
| 2,500 | 66 | 77 | 66 | 79 | 70 |
| 5,000 | 65 | 75 | 63 | 78 | 66 |
| 7,500 | 63 | 74 | 62 | 76 | 65 |
| 10,000 | 61 | 73 | 60 | 74 | 63 |
| 25,000 | 60 | 71 | 60 | 72 | 62 |
| 50,000 | 60 | 69 | 59 | 69 | 61 |
| 75,000 | 61 | 68 | 59 | 69 | 60 |
| 100,000 | 61 | 67 | 59 | 68 | 59 |
| 125,000 | 62 | 66 | 59 | 67 | 58 |
| 150,000 | 62 | 66 | 61 | 66 | 58 |
| 175,000 | 62 | 66 | 60 | 66 | 58 |
| 200,000 | 62 | 65 | 61 | 65 | 57 |

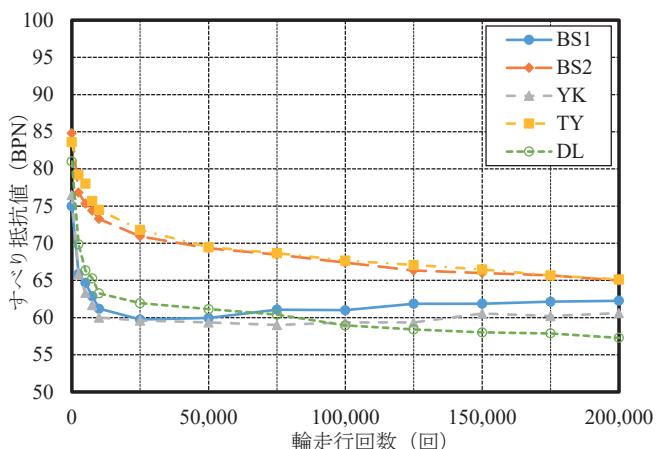


図-3 MMA系試験結果

ウレア系、MMA系とともに現行タイヤであるBS1に対し、YKとDLが近似した結果を示した。

BS1に対し、各タイヤの結果をグラフ上に描画し、相関を求めたものが、図-4から図-7、表-7である。

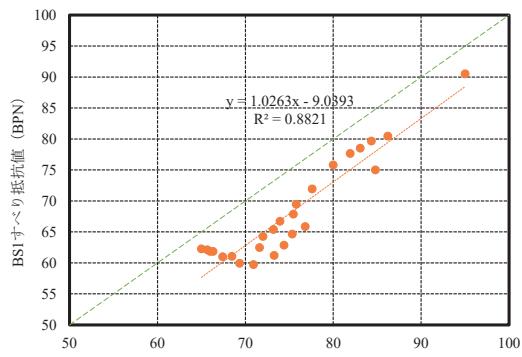


図-4 BS1とBS2の関係

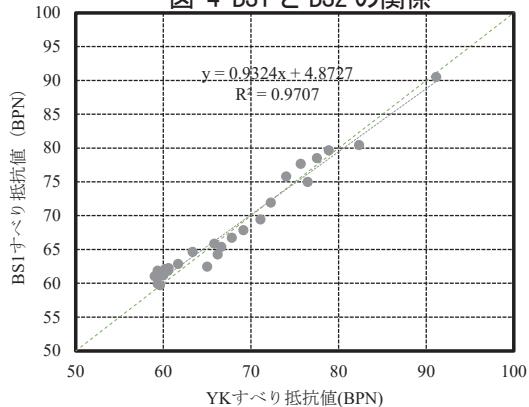


図-5 BS1とYKの関係

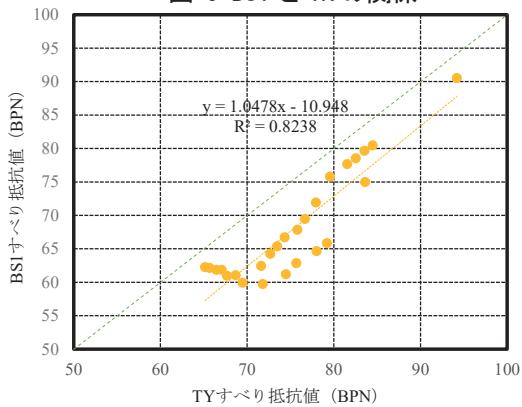


図-6 BS1とYKの関係

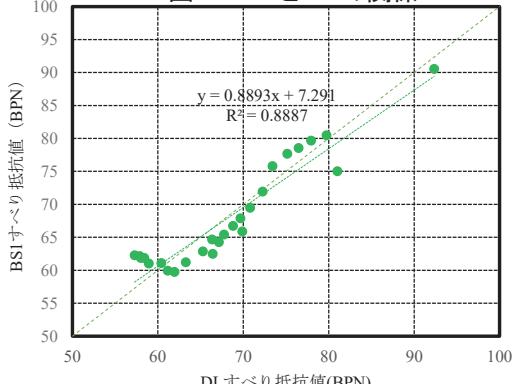


図-7 BS1とDLの関係

表-7 BS1 と各タイヤの決定係数 (R^2) の関係

| 記号 | BS2 | YK | TY | DL |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| R^2 | 0.8821 | 0.9707 | 0.8238 | 0.8887 |

以上の結果から、BS1 とすべり抵抗値の変化が近い代替候補タイヤは、YK>DL>BS2>TY の順であることを見た。

(3) 令和5年度試験のまとめ

MMA 系、ウレア系とともに試験初期段階の 2.5 万輪走行（回）まで急激にすべり抵抗値が減少することが確認された。これは、過年度の試験結果と同様の結果を示したと考えられる。

現行タイヤと代替候補タイヤ 4 種類で 20 万輪走行試験を行った結果、YK が BS1 のすべり抵抗値の変化に最も近い傾向を示した。

4. 令和6年度試験

令和6年度試験は、令和5年度試験の結果を踏まえ、BS1 のすべり抵抗値の変化に最も近い傾向を示した代替候補タイヤ 1 種類（YK）に対し、100 万輪走行を行い、BS1 に対し、代替可能か確認を行った。

令和6年度試験において、100 万輪走行を行ったのは、設計・施工要領（案）（平成22年版）に遮熱材のすべり抵抗値の基準を規定するに当たり、既往調査において 100 万輪走行を行った上で、定めた経緯による。

なお、令和6年度試験においては、MMA 系とウレア系の内、ウレア系のみを用いて試験を行うものとした。これは、現在、ウレア系と MMA 系では、ウレア系の方が都道での工事に用いられている件数が多いことによる。

(1) 試験条件

1) ラベリング試験の条件

表-2 に示したものの中、走行回数を 100 万輪走行（50 万回転）に変更して試験を行った。なお、現行タイヤ（BS1）、代替候補タイヤ（YK）とも 20 万輪走行（10 万回転）ごとに新しいタイヤを使用するものとした。

試験に用いたタイヤを写真-8 及び写真-9 に示す。



写真-8 BS1



写真-9 YK

2) 試験タイヤの条件

令和5年度試験の際に用いたタイヤとゴム硬度に変化があった場合、結果に影響を与える可能性が考えられたことから、試験前にゴム硬度の測定を行った。表-8 に測定した各タイヤのゴム硬度を示す。

表-8 ゴム硬度の測定結果

| 記号 | BS1 | YK |
|------|-----|----|
| ゴム硬度 | 63 | 62 |

表-3 と表-8 を比較した結果、過年度に比べ各タイヤともゴム硬度が 1 上昇しているが、大きな差ではないと判断し、試験を行った。

3) 遮熱材等を塗布した供試体の条件

過年度の試験結果から、MMA 系、ウレア系とも、20 万輪走行までのすべり抵抗値の変化はすでに確認している。その結果、試験の初期段階において、すべり抵抗値が急激に減少することが確認されており、2.5 万輪走行以降は、塗料の種類に関わらずすべり抵抗値の減少が緩やかになる。すべり抵抗値の減少の仕方に若干の差異を確認したものの、令和6年度試験においては、都道での使用実績が多いウレア系の遮熱材を塗布した供試体で試験を行うこととした。また、各タイヤに対し、供試体を各 2 枚用意した。

(2) 試験結果

以下、表-9、図-8 にウレア系供試体に促進摩耗試験を実施した結果を示す。なお、すべり抵抗値の測定は、20 万輪走行以降は、10 万輪走行ごとに 100 万輪走行まで行った。

表-9 ウレア系試験結果

| 輪走行回数 | BS1-1 | BS1-2 | YK-1 | YK-2 |
|-----------|-------|-------|------|------|
| 0 | 87 | 91 | 96 | 97 |
| 2,500 | 80 | 84 | 85 | 84 |
| 10,000 | 79 | 79 | 81 | 82 |
| 100,000 | 69 | 68 | 72 | 84 |
| 200,000 | 62 | 62 | 70 | 71 |
| 300,000 | 60 | 60 | 69 | 70 |
| 400,000 | 57 | 57 | 68 | 69 |
| 500,000 | 56 | 56 | 68 | 68 |
| 600,000 | 55 | 55 | 67 | 68 |
| 700,000 | 54 | 53 | 67 | 67 |
| 800,000 | 54 | 52 | 65 | 66 |
| 900,000 | 54 | 52 | 65 | 66 |
| 1,000,000 | 53 | 52 | 65 | 66 |

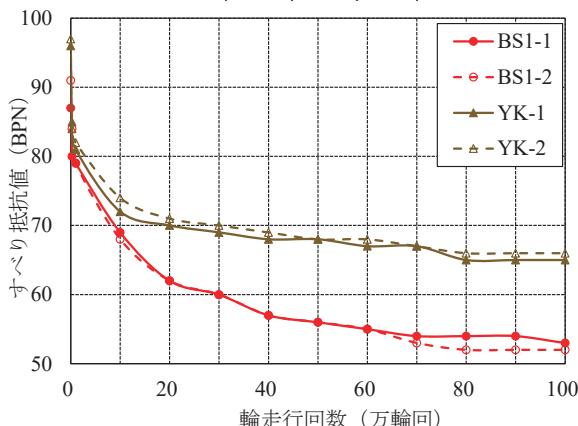


図-8 ウレア系試験結果

令和 6 年度試験において、20 万輪走行から 80 万輪走行まですべり抵抗値は低下し、BS1 では、すべり抵抗値 55BPN、YK では、すべり抵抗値 65BPN 程度で変化がなくなった。一定程度まで促進摩耗試験を行った場合、すべり抵抗値が一定の値を示すことは過年度の試験結果と同様の傾向を示したといえる。令和 6 年度試験においては、BS1 と YK に 10 万輪走行以降すべり抵抗値に明確な差異が確認された。この挙動は、令和 5 年度試験における BS1 と BS2 や TY に近しい結果になったといえる。そこで、令和 5 年度試験における BS1 と YK の試験結果を令和 6 年度試験の結果と重ね合わせ、試験結果の乖離を確認したものが、図-9 である。

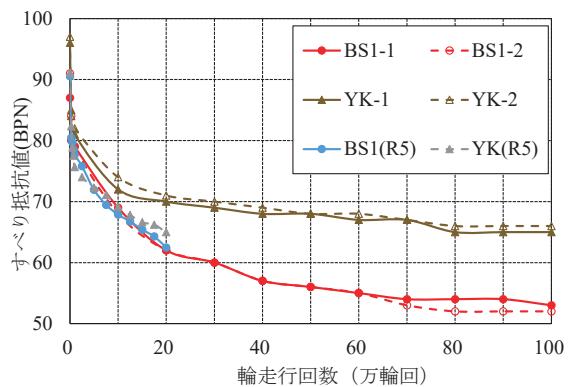


図-9 令和 5 年度試験と令和 6 年度試験の比較

図-9 から BS1 については、20 万輪走行まで令和 5 年度試験と令和 6 年度試験ですべり抵抗値の変化は類似の傾向を示した。

そこから、令和 6 年度試験における YK のすべり抵抗値の変化傾向が BS1 に乖離していると考えられる。

令和 5 年度試験、令和 6 年度試験において、資機材の変更はないため、令和 6 年度試験において供試体の促進摩耗試験前のすべり抵抗値の差が結果に影響を与えたと考えられる。

そこで、表-9 の各タイヤの試験結果の平均値を計算 (BS1(ave)、YK(ave)) し、BS1 と YK の初期のすべり抵抗値の差 7.5BPN を各輪走行回数における YK(ave)から差し引き補正したもの (YK(mod)) が表-10 である。また、BS1(ave)と YK(mod)を比較したグラフが図-10 である。

表-10 促進摩耗試験前のすべり抵抗値を補正した場合の結果

| 輪走行回数(万輪回) | BS1-1 | BS1-2 | BS1(ave) | YK-1 | YK-2 | YK(ave) | YK(mod) |
|------------|-------|-------|----------|------|------|---------|---------|
| 0 | 87 | 91 | 89 | 96 | 97 | 96.5 | 89 |
| 0.25 | 80 | 84 | 82 | 85 | 84 | 84.5 | 77 |
| 1 | 79 | 79 | 79 | 81 | 82 | 81.5 | 74 |
| 10 | 69 | 68 | 68.5 | 72 | 74 | 73 | 65.5 |
| 20 | 62 | 62 | 62 | 70 | 71 | 70.5 | 63 |
| 30 | 60 | 60 | 60 | 69 | 70 | 69.5 | 62 |
| 40 | 57 | 57 | 57 | 68 | 69 | 68.5 | 61 |
| 50 | 56 | 56 | 56 | 68 | 68 | 68 | 60.5 |
| 60 | 55 | 55 | 55 | 67 | 68 | 67.5 | 60 |
| 70 | 54 | 53 | 53.5 | 67 | 67 | 67 | 59.5 |
| 80 | 54 | 52 | 53 | 65 | 66 | 65.5 | 58 |
| 90 | 54 | 52 | 53 | 65 | 66 | 65.5 | 58 |
| 100 | 53 | 52 | 52.5 | 65 | 66 | 65.5 | 58 |

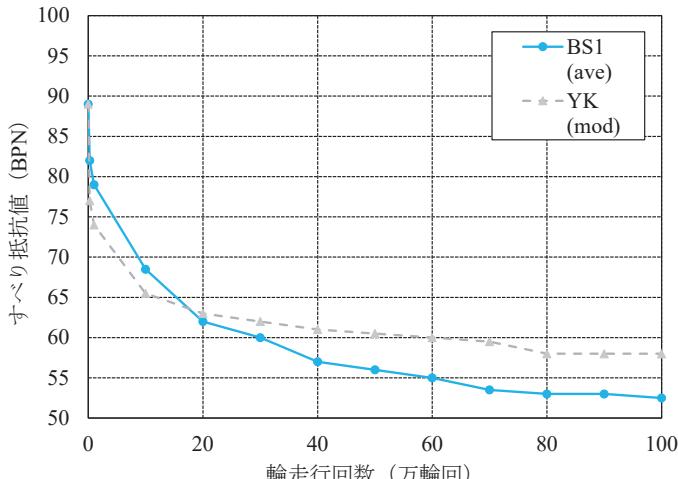


図-10 促進摩耗試験前のすべり抵抗値を補正した場合の結果

図-10 に示したとおり、促進摩耗試験開始前のすべり抵抗値を BS1 の供試体のすべり抵抗値に補正した結果、YK(mod)は、BS1 のすべり抵抗値の低減傾向と類似の傾向を示した。また、設計・施工要領（案）の規格試験である 20 万輪走行で比較した場合、BS1(ave)と YK(mod)のすべり抵抗値の差は 0.5BPN と乖離が小さいことを確認した。

(3) 令和6年度試験のまとめ

令和5年度試験において、20万輪走行までの促進摩耗試験によるすべり抵抗値の減少傾向や促進摩耗試験後のすべり抵抗値が現行タイヤと類似の傾向を示していた代替候補タイヤを用いて試験を行っても供試体の促進摩耗試験前のすべり抵抗値によっては、100万輪走行を行った場合に望むような結果が得られないことがあることを確認した。

その一方、供試体の促進摩耗試験前のすべり抵抗値を補正することで、代替候補タイヤ（YK）が現行タイヤ（BS1）を用いた場合の供試体のすべり抵抗値の減少傾向や促進摩耗試験後のすべり抵抗値と類似の傾向を示した。このことから、YK は BS1 の代替として使用可能であると考えられる。

5. 令和5年度試験の再確認

令和6年度試験において、促進摩耗試験前の供試体のすべり抵抗値が促進摩耗試験後のすべり抵抗値に影響を与えた可能性があることが示された。そのため、

令和5年度試験の代替候補タイヤ4種類の結果を補正し、再確認することとした。補正した結果を表-11、12、図-11、12に示す。

表-11 令和5年度試験ウレア系補正結果

| 輪走行回数 | BS1 | BS2(mod) | YK | TY(mod) | DL(mod) |
|---------|-----|----------|----|---------|---------|
| 0 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| 2,500 | 80 | 82 | 82 | 81 | 79 |
| 5,000 | 80 | 80 | 79 | 81 | 77 |
| 7,500 | 79 | 79 | 78 | 80 | 75 |
| 10,000 | 78 | 78 | 76 | 79 | 74 |
| 25,000 | 76 | 76 | 74 | 77 | 72 |
| 50,000 | 72 | 74 | 72 | 75 | 71 |
| 75,000 | 69 | 72 | 71 | 74 | 70 |
| 100,000 | 68 | 71 | 69 | 73 | 69 |
| 125,000 | 67 | 70 | 68 | 71 | 68 |
| 150,000 | 65 | 69 | 67 | 70 | 67 |
| 175,000 | 64 | 68 | 66 | 70 | 66 |
| 200,000 | 62 | 68 | 65 | 69 | 65 |

表-12 令和5年度試験 MMA系補正結果

| 輪走行回数 | BS1 | BS2(mod) | YK(mod) | TY(mod) | DL(mod) |
|---------|-----|----------|---------|---------|---------|
| 0 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| 2,500 | 66 | 67 | 65 | 70 | 64 |
| 5,000 | 65 | 65 | 62 | 69 | 60 |
| 7,500 | 63 | 64 | 61 | 67 | 59 |
| 10,000 | 61 | 63 | 59 | 65 | 57 |
| 25,000 | 60 | 61 | 59 | 63 | 56 |
| 50,000 | 60 | 59 | 58 | 60 | 55 |
| 75,000 | 61 | 58 | 58 | 60 | 54 |
| 100,000 | 61 | 57 | 58 | 59 | 53 |
| 125,000 | 62 | 56 | 58 | 58 | 52 |
| 150,000 | 62 | 56 | 60 | 57 | 52 |
| 175,000 | 62 | 56 | 59 | 57 | 52 |
| 200,000 | 62 | 55 | 60 | 56 | 51 |

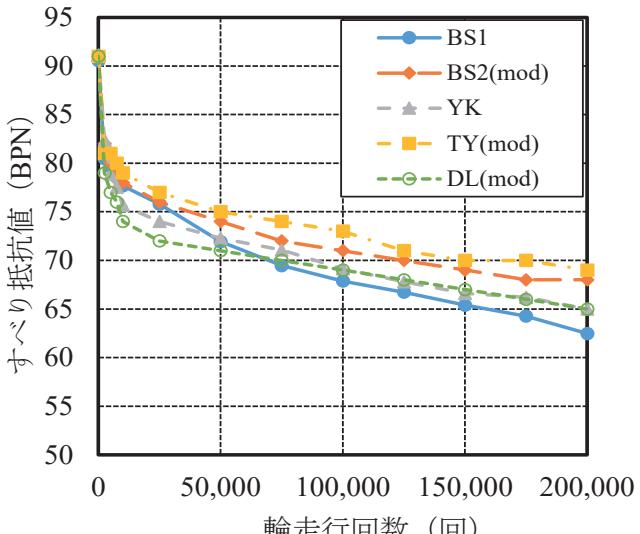


図-11 令和5年度試験ウレア系補正結果

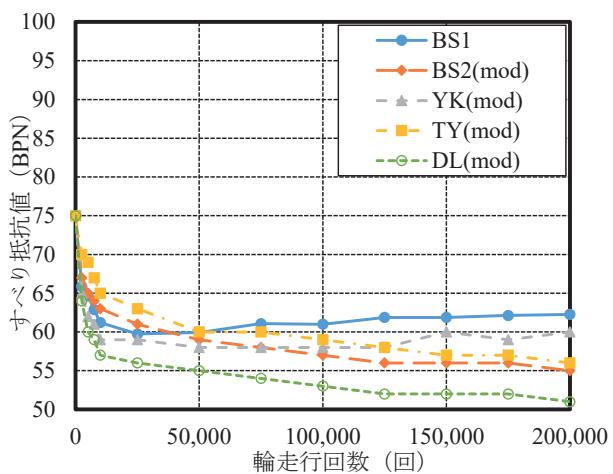


図-12 令和5年度試験MMA系補正結果

促進摩耗試験前の供試体のすべり抵抗値をBS1を基準に補正した結果、補正前と比較し、ウレア系、MMA系とともに促進摩耗試験に伴うすべり抵抗値がBS1に近い値を示すようになった。なお、令和5年度試験結果の補正において、YKのウレア系については、促進摩耗試験前の供試体のすべり抵抗値がBS1と同じ値であったため、補正を行っていない。

しかし、令和6年度試験で継続調査したYKより他の代替候補タイヤが近い結果となるということはなか

った。

6. まとめ

本検討により得られた知見を以下に3点示す。

①本試験導入から10年以上経過したが、すべり抵抗値の変化の仕方は試験導入時の検討結果と同様の結果を示した。

②令和5年度試験、令和6年度試験より代替候補タイヤ4種類のうち、YKが最も現行タイヤBS1に近い結果を示すとともにBS1の代替となりうるタイヤであることが判明した。

③促進摩耗試験前の供試体のすべり抵抗値が最終的な促進摩耗試験後のすべり抵抗値に影響を与える可能性があることが示唆された。

7. おわりに

遮熱性舗装のすべり抵抗の保持は安全な車両交通に重要である。その品質を確保するために、設計・施工要領（案）にて基準値を定めているところであるが、今般試験に用いるタイヤが製造中止となる事態が発生した。今回は、代替となりうるタイヤを見つけることができたが、このタイヤ（YK）も商品開発により、いずれ製造中止なることが考えられる。その際には、別の代替タイヤを検討することや別の試験方法を考えること等様々な検討が必要になると推察される。

今回の検討結果を踏まえ、建設局道路管理部では、すでに設計・施工要領（案）の改定が行われており、BS1とともにYKが使用可能となったことを紹介する。

なお、本調査の実施に当たり、供試体作製において、路面温度上昇抑制舗装研究会（クール舗装研究会）に多大な協力をいただいた。ここに記し、感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 峰岸、上野 (2010) : 遮熱性舗装表面の耐久性に関する性能の設定, 平22都土木技術支援・人材育成センター年報、41-50
- 2) 建設局道路管理部 (2014) : 遮熱性舗装（車道）設計・施工要領（案）（平成26年4月）