

冬期走行環境を模擬した制輪子のブレーキ性能評価手法

嵯峨 信一* 半田 和行** 道辻 洋平***

Evaluation Method of Performance of Brake Shoe under Simulating Running Environment in Winter

Shin-ichi SAGA Kazuyuki HANDA Yohei MICHITSUJI

Such an accident occurred that the brakes of a train traveling at the time of snowfall did not work and the train collided with the preceding one. According to the review of the past researches, there are few studies reporting the brake shoe performance during snowfall. It is also known that the specifications of the brake shoe are different between Japan and Europe. For this reason, we examined a test method to reproduce the running environment of the vehicle in the winter season, devised an artificial snowfall device, and evaluated various brake control performances on the dynamo test bench. As a result of the evaluation, it was revealed that with respect to the brake force with various environmental conditions it increases in the order of being humid at the normal temperature, snowfall at the low temperature, water sprinkling at the low temperature, and the performance varies depending on various kinds of material of the brake shoe. Furthermore, a reasonable test method was proposed from the viewpoint of reproducibility of the test and implementation cost.

キーワード：踏面制輪子、ブレーキ性能、摩擦係数、散水、降雪、氷結、低温、標準正規分布

1. はじめに

運行列車の安全な走行を確保する目的で、鉄道車両のブレーキでは過去の事故等を踏まえた設計がなされている。一方で、通常期と異なる気象環境となる降積雪時には、踏面制輪子で十分なブレーキ力が得られず列車脱線事故や列車衝突事故に至った事例がある。鉄道事故調査報告書^{1) 2)}によると、こうした事例の原因はいずれも「車輪・制輪子間の摩擦係数が低下していたため」とされている。これらのことから、降積雪時のブレーキ扱いや車輪・制輪子間への介在物についての検証と同時に、降積雪のような冬期の走行環境が車輪・制輪子間の摩擦係数、すなわち制輪子のブレーキ性能におよぼす影響を把握する必要がある。

しかしながら、JIS規格（JIS E 7501, JIS E 4309）では制輪子のブレーキ性能を、常温乾燥と常温湿潤の限られた条件でしか定めておらず、問題となっている降積雪条件のブレーキ性能を評価する手法がないのが現状である。また、これまでに降雪時の制輪子特性を報告した研究事例は文献^{3) 4)}の他はほとんど見当たらない。その一方で、欧州の制輪子の規格はJIS規格と内容が異なり、降雪条件を含むより厳しい評価条件となっている。

そこで、本研究では日本国内の規格と欧州の規格を比較するとともに、冬期降積雪時の車両走行環境を再現模

擬する方法について検討し、考案した降雪模擬装置を用いた台上試験により、冬期走行環境における各種制輪子のブレーキ性能を評価した。さらに、再現性や実施コストの観点から台上試験の結果を検証し、日本国内において実施可能性の高いブレーキ性能評価手法を提案した。

2. 踏面制輪子の雨天・降積雪時の性能要求

2.1 日本国内の規格と変遷

日本国内における踏面制輪子の耐雪性能の検討は、1950年代に鑄鉄制輪子に替わり合成制輪子が使用開始された後、適用線区の拡大に伴い降積雪線区を走行する車両で降積雪時のブレーキ効果の不足が顕在化したことを受けて1968年度から開始された⁵⁾。これ以前の鑄鉄制輪子が全面的に使用されていた時代には、雨天・降積雪時のブレーキ力低下に注目した規定は見られない。

降積雪時を対象とした性能要求は1973年に制定された旧国鉄JRS規格（以下、旧JRS規格）で規定された。この間、1971年3月奥羽本線板谷峠の33%より勾配で停止した455系電車（4M2T, M車合成制輪子）が非常ブレーキを作動させたまま1.5km後退する事象が発生している⁶⁾。

旧JRS規格での耐雪性能要求は表1に示すように、耐雪用4, 5種（JIS規格の4種ではない）合成制輪子について規定されている。耐雪性能＝水膜破断性との考えに基づいており、常温湿潤試験（押付力14.7kN, 散水量1000ml/min）における瞬間摩擦係数の低下が常温乾燥試験の要求範囲に対して10%以内であることが求

* 車両制御技術研究部 ブレーキ制御研究室
** 材料技術研究部 摩擦材料研究室
*** 茨城大学 工学部機械工学科

特集：車両技術

められている。さらに、常温湿潤繰返し試験として、低初速での 20 回繰返し試験において乾燥条件の要求範囲を満たすことが求められている。一方、JIS 規格で規定される摩擦係数の要求は合成制輪子のみが対象であり、常温湿潤条件（押付力 15kN，散水量 200mℓ/min）における瞬間摩擦係数の低下が乾燥条件の要求範囲に対して 20% 以内であること等が求められている。

焼結合金制輪子については、1975 年に制定された旧 JRS 規格において、JRS4 種合成制輪子と同様の常温湿潤試験に加えて低温湿潤試験が規定されている。これら湿潤試験における瞬間摩擦係数は常温乾燥試験と同一範囲内であることが求められており、ブレーキ性能低下は許容されていないのが特徴的である。

2.2 欧州の規格と変遷

欧州では、溶製材の鋳鉄に対して複数原料を溶解せずに成形した制輪子を一括して合成 (composite) 制輪子と称し、日本国内で言う合成制輪子 (organic) と焼結合金制輪子 (sintered) の双方が含まれる。特に欧州の貨車には従来から鋳鉄制輪子が使用されてきたが、転動騒音防止のため合成制輪子への転換が図られている。新

製車には高摩擦係数材 (K block) が適用される他、既存車の鋳鉄制輪子置換え用に摩擦特性が鋳鉄と近似した LL block が用いられ、これは JIS 規格や旧 JRS 規格に規定された低摩擦係数型の合成制輪子に相当する。

UIC 規格の合成制輪子認証条件規定である Code 541-4 を表 2 に示す。これは 2010 年に改訂され (Ed.4)、新たに冬期ブレーキ性能試験条件が定められた。冬期性能の証明方法には走行試験か台上試験の選択肢があり、各々の試験方法が規定されている。台上試験は、ドイツの制輪子メーカーである Becorit 社が、同社が所有する空調を装備する台上試験装置を用い、UIC 認証試験を実施することができる。

この台上試験装置の空調室温度は -7℃，車輪は冷風により -4℃まで冷却され、降雪試験時の人工雪はドライ状態とされる。要求性能としては、低温乾燥条件（人工雪なし）における停止距離に対する低温条件（人工雪あり）の停止距離の差が、5 回平均値で 15% 以内、中位 3 回の平均値で 10% 以内であることが求められている。

その他、貨車の空車および積車相当条件では、最高速度からの非常ブレーキについて、湿潤条件（散水量 233mℓ/min）の距離基準摩擦係数が乾燥条件に対して

表 1 日本国内の制輪子の規格

規格名	試験名称	車輪温度	散水量 水温	試験条件 輪重 / 初速度 / 押付力	μ (摩擦係数) 低下許容範囲
JIS E 4309 :2001 鉄道車両用合成制輪子 品質要求	(常温) 湿潤条件	-	200mℓ/min	64 ~ 69kN 35, 65, 95km/h 15kN	35, 65km/h の瞬間 μ の低下が乾燥時の <u>30% 以内</u> 90km/h の瞬間 μ の低下が乾燥時の <u>20% 以内</u> 各速度の瞬間 μ の低下が乾燥時の <u>20% 以内</u>
JRS 12202-7B-15BR6A 車両用合成制輪子 (4, 5 種)	常温湿潤 試験	約 60℃	1000mℓ/min 室温	64kN ~ 35, 65, 95km/h 14.7kN	各速度での瞬間 μ の低下が常温乾燥試験時の <u>10% 以内</u>
	常温湿潤 繰返し試験	約 60℃	1000mℓ/min 室温	64kN ~ 35km/h 14.7kN (20 回)	35km/h の瞬間 μ の低下が常温乾燥試験時と <u>同一範囲内</u>
JRS 12202-8A-15CR8A 車両用焼結合金制輪子	低温湿潤 試験	約 -3℃	500mℓ/min 0℃	64kN ~ 35, 65, 95km/h 14.7kN	各速度での瞬間 μ の低下が常温乾燥試験時と <u>同一範囲内</u>
	常温湿潤 試験	約 60℃	1000mℓ/min 室温	64kN ~ 35, 65, 95km/h 14.7, 34.3kN	各速度での瞬間 μ の低下が常温乾燥試験時と <u>同一範囲内</u>

表 2 欧州の制輪子の規格

規格名	試験名称	温度	降雪条件 散水条件	試験条件 相当輪重 / 初速度 / 押付力	停止距離もしくは μ (摩擦係数) 低下の許容範囲
UIC CODE 541-4 Brakes - Brakes with composite brake blocks - General condition for certification of composite brake blocks	Demonstration of winter braking properties (Appendix A5)	車輪 -4℃ 試験室 -7℃	冷風速度 25km/h 雪質 dry	24.5kN 100, 120km/h 9kN	低温乾燥時の平均停止距離に対し 5 試番の平均値で <u>15% 以内</u> 中位 3 試番の平均値で <u>10% 以内</u>
	Demonstration of friction properties (wet condition)	車輪 60℃	233mℓ/min	24.5, 110kN 30, 60, 100, 120km/h 5 ~ 38kN	最大押付力での初速 100, 120km/h では 乾燥時の距離基準 μ の平均値に対し <u>15% 以内</u> それ以外の条件では同様に <u>30% 以内</u>

15%以内の低下、それ以外の停止ブレーキで30%以内の低下が許容されている。

なお、UIC規格の冬期性能要求はENの踏面制輪子規格においてもインターオペラビリティEU指令が適用される貨車を対象としてほぼ同内容が規定されている。

2.3 性能評価手法についての考察

湿潤条件の試験評価法として、合成制輪子のJIS規格の散水量200mℓ/minとUIC規格の233mℓ/minは近い値である。降積雪時を考慮した旧JRS規格では常温水1000mℓ/minもしくは車輪冷却状態で低温水500mℓ/minのように、より過酷な条件が規定されている。これらの条件はあくまでも「水膜破断性」の観点から制輪子の性能傾向を把握するために設定されたもので、散水・降積雪試験が実車で想定される雨天・降積雪時の状況を意図的に再現したものではないことに留意する必要がある。

一方、UIC規格の降雪試験では、-21℃の冷風ダクトのノズル直前に1℃の冷水を散水することで人工降雪を模擬している。加えて、試験チャンバーには-35℃の冷風を循環供給して試験前の車輪温度を-3℃としており、日本国内の規格に比べて低温環境の再現を徹底している。Becorit社によれば、この試験条件はUIC codeで規定された北欧での冬期走行試験（空荷貨車の非降雪時に対する吹雪時のブレーキ性能低下）を定量的に再現可能な定置試験条件を模索した結果として設定されている。

このように、国内外の性能評価手法を比較すると、日本国内においては、旧JRS規格からJIS規格への移行は一部に留まり、その評価条件や基準は制輪子の材質によって大きく異なっている。一方、欧州の規格では、より具体的に厳密で過酷な条件を課している場合があり、日本国内の規格よりも一日の長があるものと考えられる。このため、日本国内においては欧州の規格をすみやかに踏襲することも考えられるが、認証制度の構築やBecorit社のような特殊な試験装置の整備等に多くの時間と費用を要することになり、近年問題となっている降積雪時への技術的な対策が後回しになってしまう恐れがある。

そこで、本研究では、欧州の規格とは異なる方法で冬期走行環境を模擬・評価する手法について検討することとした。検討にあたっては、JIS規格や旧JRS規格よりも厳密で過酷な条件であること、試験の実施が安価で容易であること、日本国内の制輪子メーカーの台上試験機との取付互換性を有すること等を念頭に置いた。

3. 冬期走行環境を模擬した台上試験

3.1 試験装置の概要

台上試験は鉄道総研が所有するブレーキ性能試験機の踏面ブレーキ試験ユニットで実施した。

想定した車両諸元は、車両重量423kN（輪重52.9kN）、車輪径860mmとし、供試車輪を含む回転部の慣性モーメントを設定した。これは、空車重量337kNの車両において乗車率約100%（定員160人）の条件に相当する。必要なブレーキ力の全てを片押の踏面ブレーキに負担させることとした。したがって、実車両における電気ブレーキやディスクブレーキの負担分は考慮していない。

速度、制輪子の押付力、ブレーキトルクは試験装置に装備された計測系により測定し、制輪子の瞬間摩擦係数はブレーキトルクを制輪子の押付力と車輪半径で除した計算値として求めた。距離基準摩擦係数はブレーキ初速度の2乗をブレーキ停止距離の2倍で除した距離平均減速度に慣性質量（慣性モーメントを車輪半径の2乗で除した値）を乗じ制輪子の押付力で除した計算値として求めた。車輪温度は、踏面から半径方向10mm下、車輪背面から85mmの位置に埋込まれた熱電対により測定した。制輪子温度は、初期摩擦面から8mm下に埋込まれた熱電対により測定した。

3.2 常温湿潤および低温降雪条件の生成手法

常温湿潤条件の試験では、散水位置を制輪子の進入端から踏面円周方向に約300mmの踏面中央部に、散水ノズルの高さを踏面から約500mmとした。水温は冷水器により予め約5℃に保持し、散水量を100mℓ/minとした。なおこの条件は、JIS E 4309に規定された湿潤条件の散水量200mℓ/min（温度規定なし＝常温）に対し、ブレーキ性能への影響がより大きいと考えられる冷水かつシャワーノズルを使用したことを踏まえて散水量を半減したものである。

低温乾燥条件での試験では、予め車輪全周の踏面および制輪子をピーズ状のドライアイスで冷却し、以下の2条件を満たした時点で冷却完了とした。

- (1) 車輪踏面温度が計測点（踏面下10mm位置の熱電対）で-10℃以下であること。
- (2) 制輪子温度が計測点（摩擦面下8mm位置の熱電対）で-10℃以下であること。

車輪および制輪子の冷却後の状況を図1に示す。冷却完了後の試験機に図2に示す降雪模擬装置を設置して試験機を起動し、各ブレーキ初速度まで加速した後、ブレーキ開始直前からブレーキ終了までの間、降雪模擬装置により制輪子の進入端に近い車輪踏面に破碎氷片を投下した。氷片投下位置は、制輪子進入端から踏面円周方向に約300mm、投下ガイド高さは踏面から約70mmである。

破碎氷片は、降雪模擬装置上部の削氷機により、概ね1500mℓ/minの量を供給した。削氷機の粗さ調整は供給氷片比重が概ね0.4～0.5（しまり雪）となるよう設定した。この氷片量および氷片密度は、降雪模擬装置内で氷片が固渋することなく連続運転が可能で、なおかつ車輪回転に伴う風に抗って人工雪が車輪・制輪子間へ安定的に投下できる条件として選定したものである。

特集：車両技術

削氷器に投入する氷は、自動冷凍ストッカーで製氷した。降雪模擬装置使用後の車輪および制輪子進入端の状況を図3に示す。ブレーキ開始時点での車輪温度は計測点で-5～-10℃程度であった。

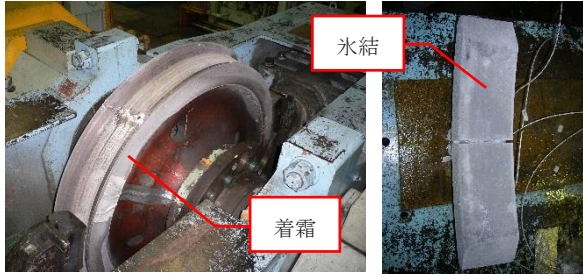


図1 冷却後の車輪と制輪子の外観

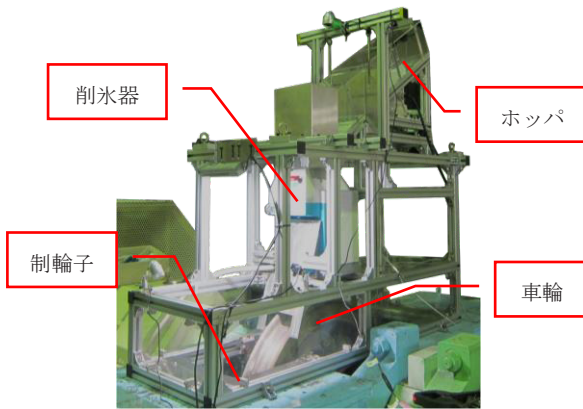


図2 降雪模擬装置の外観



図3 冷却後の車輪と制輪子の外観

3.3 供試体

供試車輪および供試制輪子を表3に示す。制輪子については、耐水・耐雪性をさほど考慮していないと考えられる標準的な材質（合成A）、耐雪性を考慮していると考えられる材質（合成B）、増粘着等を考慮して金属ブロックが挿入された材質（合成C）、焼結合金制輪子（焼結D）および鑄鉄制輪子（鑄鉄E）の計5材質を選定した。ただし、メーカー1社供給の焼結Dと鑄鉄Eを除きランダムに選定した。

3.4 試験条件（基本特性）

各種制輪子の基本的な特性把握を目的とした試験条件を表4に示す。各制輪子について常温乾燥，常温湿潤，

低温降雪の各環境で、ブレーキ初速度35，65，95km/hにて、各5回の試験を行った。各制輪子はJIS E 4309に従い試験前に摩擦面上で70%以上のあたり面が生じるよう摺合せを行った。

制輪子の押付力は、合成A～焼結Dについては速度120km/hから600m以内に停止すると考えられる押付力として合成制輪子では25～28.8kN，焼結合金制輪子では30kNとした。鑄鉄E（鑄鉄制輪子）については速度95km/hから600m以内に停止すると考えられる押付力として48kNとした。なお、これらの条件は合成制輪子および焼結合金制輪子は高速車両用として、鑄鉄制輪子では中低速車両用として使用されることが一般的であることを踏まえて設定したものである。

表3 供試体の一覧

供試体	名称	特記事項
車輪	一体圧延	φ 860, B型SQ車輪, 修正円弧踏面
制輪子	合成A	合成制輪子, JIS E 4309 JRS3種相当
	合成B	合成制輪子, JIS E 4309 JRS4種相当
	合成C	合成制輪子, 金属ブロック挿入型
	焼結D	焼結合金制輪子
	鑄鉄E	特殊鑄鉄制輪子, JIS E 7501 1種相当

表4 試験条件

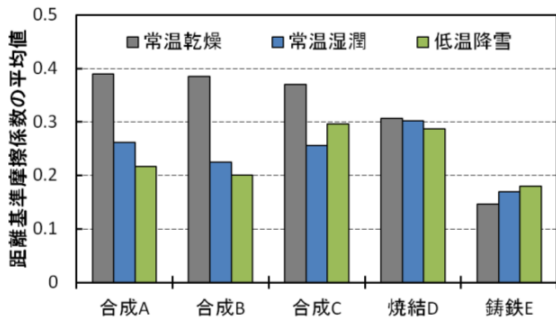
制輪子	条件	初速度	押付力	回数
合成A	常温乾燥	35km/h	25kN 片押	各5回
合成B			28kN 片押	各5回
合成C	常温湿潤	65km/h	28.8kN 片押	各5回
焼結D	低温降雪	95km/h	30kN 片押	各5回
鑄鉄E			48kN 片押	各5回

3.5 試験結果（基本特性）

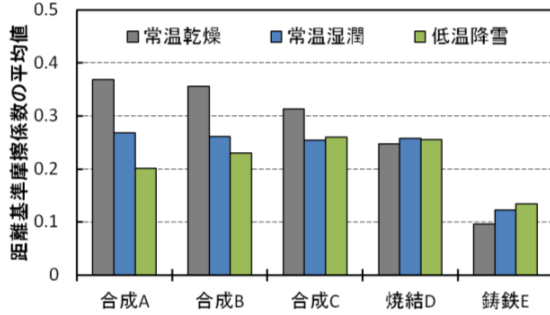
各種制輪子と比較するにあたっては、停止距離がそれぞれ異なることを考慮し、距離基準摩擦係数で評価した。各制輪子の距離基準摩擦係数について初速度ごとにまとめたものを図4に示す。

合成A，合成Bについては距離基準摩擦係数が常温乾燥，常温湿潤，低温降雪の順で明らかに低下しているものの、合成Cについては低温降雪条件の摩擦係数が常温湿潤条件を若干上回った。焼結Dについては環境条件による変化はほとんど見られなかった。鑄鉄Eについては摩擦係数が全般に低いものの、常温乾燥，常温湿潤，低温降雪の順で摩擦係数が上昇した。降積雪地域を走行する営業列車においても、焼結や鑄鉄が使用されていることから、これまで定性的に雪に強いとされてきた制輪子の性能が本台上試験によりはじめて定量的に示された。

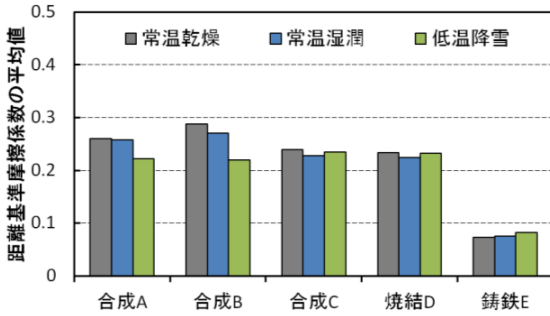
JIS規格では、常温乾燥条件に対する常温湿潤条件の摩擦係数の相対比率をダウン率と定義している。図5は図4をダウン率で表したものである。ここで、初速度65km/hに着目すると、合成Aおよび合成Bの摩擦係数



(a) 35km/h

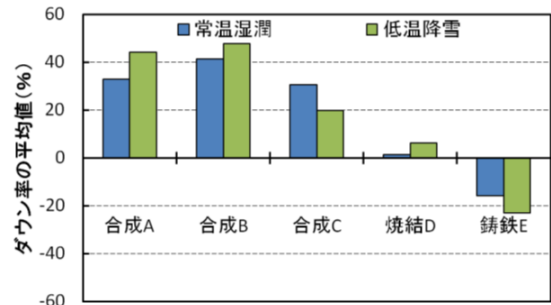


(b) 65km/h

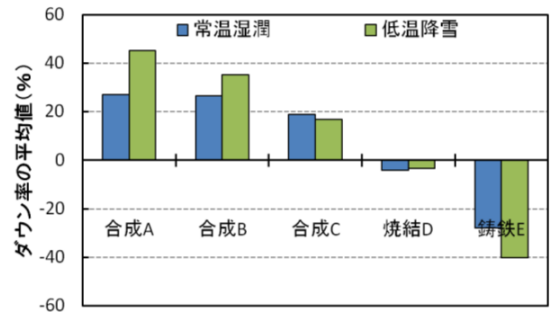


(c) 95km/h

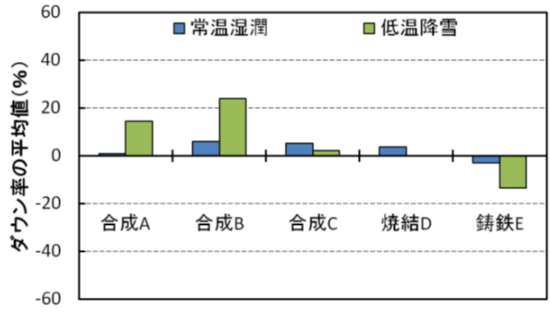
図4 距離基準摩擦係数の比較結果



(a) 35km/h



(b) 65km/h



(c) 95km/h

図5 ダウン率の比較結果

のダウン率は常温湿潤条件で約 20 ～ 30%，低温降雪条件で約 40% であった。初速度 95km/h の常温湿潤条件では 10% 以下であったが低温降雪条件では約 20% であった。

したがって、合成 A および合成 B は、水による影響の他、低温降雪条件が顕著に性能に影響する。

一方、合成 C については常温湿潤条件でのダウン率が初速度 95km/h を除き合成 A および合成 B よりも低く、低温降雪条件でのダウン率が全ての初速度で常温湿潤条件でのダウン率を下回った。これは、合成 C の摩擦材中に挿入されている金属ブロックによる効果と考えられる。

焼結 D については、常温湿潤条件および低温降雪条件ともに摩擦係数への影響は軽微であった。また、鑄鉄 E については、常温湿潤条件の摩擦係数が常温乾燥条件を上回り、低温降雪条件ではさらに常温湿潤条件を上回る傾向がみられた。この結果は、鑄鉄制輪子の摩擦係数は水で冷却されるほど増大することが知られていることと符合する。以上の結果から、制輪子の性能はダウン率で評価することが有効であることが分かる。

3.6 試験条件の拡張による走行環境の模擬

走行環境を模擬するのにあたって、最も環境の影響が高かった合成 A に着目し、様々な試験条件を追加してデータの拡張を図った。既存の 3 条件に加えて低温乾燥、低温湿潤、常温降雪を、さらに散水量を 1000mℓ/min、降雪量を 3000mℓ/min に増量した条件として、常温湿潤 (増)、常温降雪 (増)、低温湿潤 (増)、低温降雪 (増) を新たに追加した。ダウン率の比較結果を図 6 に示す。

初速度 35km/h の低温湿潤条件で著しい摩擦係数の低下がみられる。これは、散水によって車輪踏面に生成された氷結層が破碎されなかったことが原因で、低温湿潤 (増) も同傾向を示した。常温湿潤 (増) と常温降雪 (増) は、常温湿潤と同傾向であり、低温環境の模擬手法としては不適切と考えられる。低温湿潤 (増) と低温降雪 (増) は 35km/h を除いて同傾向であった。

以上の結果から、降積雪時の走行環境を模擬した評価手法としては低温降雪条件が最も適しているものと考えられるが、低温湿潤 (増) 条件は低速域の 35km/h にお

特集：車両技術

ける挙動を安全側と判断することができ、低温降雪条件と類似の傾向を示すことから、比較的簡易な評価手法として検討の余地があるものと考えられる。

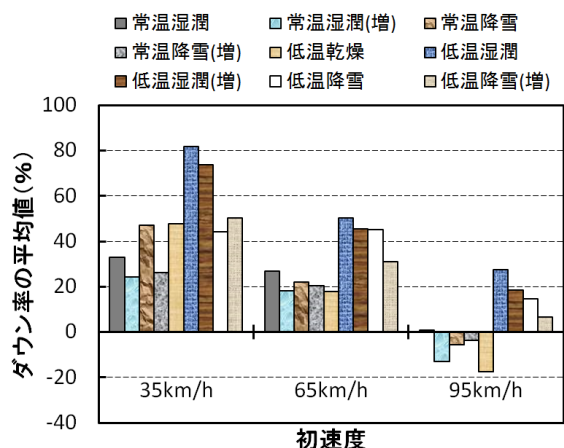


図6 各条件におけるダウン率の比較結果

は、低温降雪が低温湿潤（増）の約4倍であった。以上の結果から、冬期走行環境を模擬した低温環境における制輪子の性能評価手法としては、試験結果のばらつきが小さく、再現性・精度が高く、なおかつ試験実施が安価で効率的すなわち実施可能性が高い低温湿潤（増）が妥当と考えられる。

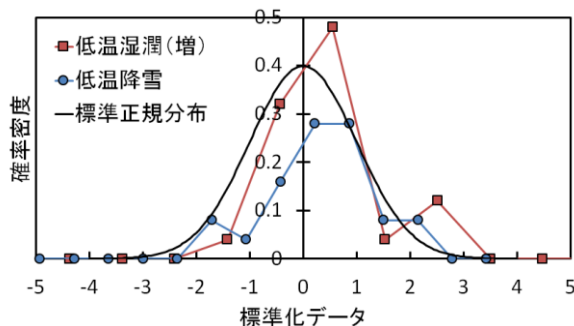


図7 距離基準摩擦係数の分布比較

4. ブレーキ性能評価手法の比較検討

性能評価手法としては、再現性が高くかつ試験実施に要する人的・費用的リソースが実用的な範囲内にあることが望ましい。そこで、前章で候補として挙げられた低温湿潤（増）条件と低温降雪条件について、65km/hにおける試験回数を25回に増やして再現性と各種リソースを比較検討した。ただし、低温環境での性能評価手法検討にあたっては、中程度の耐水・耐雪性を持つ制輪子が適切と考えられるため、合成Bを供試体とした。

試験結果では、距離基準摩擦係数の平均値が、低温降雪では0.253を示し、低温湿潤（増）では0.209と低かった。ダウン率は、低温降雪では29.7%を示し、低温湿潤（増）では42%と顕著であった。標準偏差は、低温降雪では0.031を示し、低温湿潤（増）では0.020と小さく、再現性は高いと考えられるが、より詳細なばらつきの検証には全測定データの分布形状を把握しておく必要がある。そこで、距離基準摩擦係数について、正規分布と比べる目的でデータの性質（平均値や標準偏差）に左右されないようデータを標準化して求めた分布と、標準正規分布の比較結果を図7に示す。

分布形状は、低温湿潤（増）の方が低温降雪に比べて、左右対称形に近く、なおかつ中心付近が突出しており、正規分布に似ていることから、低温湿潤（増）は、より再現性が高く、なおかつ精度に優れたデータが得られる試験条件であるものと考えられる。

次に、台上試験を行うにあたって必要となる作業等に要する費用として人件費、供試体の冷却に要するドライアイス費および電気代等に絞り込み、その費用を算出した。その結果、人件費においては顕著な差が認められ、低温降雪の人件費は低温湿潤（増）の約6倍、総費用で

5. まとめ

本研究では、踏面制輪子に関する日本の規格と欧州の規格の違いを踏まえ、冬期走行環境を模擬した制輪子のブレーキ性能評価手法について検討し、制輪子の種別によって性能低下傾向に明確な差異があることを見出した。

評価手法としては、試験結果のばらつきが小さく、再現性・精度が高く、なおかつ試験実施が安価で効率的すなわち実施可能性が高い低温湿潤（増）を提案した。今後は、耐雪ブレーキ扱いの効果についても検討する。

謝辞

本研究は国土交通省の委託（2015年から2017年度の3年間）で得られた成果である。ご指導、ご協力を頂いた国土交通省、各鉄道事業者、各制輪子メーカーおよび日本鉄道車両機械技術協会の関係各位に感謝の意を表す。

文献

- 1) 航空・鉄道事故調査委員会：鉄道事故調査報告書，RA2002-5-2, 2002
- 2) 運輸安全委員会：鉄道事故調査報告書，RA2015-3, 2015
- 3) 宗重倫典，長谷川泉：降雪時のディスクブレーキ性能，鉄道総研報告，Vol.14, No.5, pp.23-26, 2000
- 4) 嵯峨信一：冰雪条件を模擬した台上ブレーキ試験の試行，第15回鉄道技術連合シンポジウム J-Rail2008 論文集，pp.109-110, 2008
- 5) 出村要：機械の研究，Vol.49, No.1, pp.49-59, 1991
- 6) 出村要：ディーゼル，No.5, pp.25-30, 1985