

2021 年度自転車等研究開発普及事業
事業実施報告書

キャリパブレーキ用ブレーキブロックの 摩耗調査 [第3報]

目次

1. 事業実施の背景と目的.....	2
2. 摩耗試験で使用了ブロック、リムについて.....	3
3. ブロックの摩耗試験.....	4
3.1 試験条件	4
3.2 ブロック摩耗試験結果.....	5
3.2.1 ブレーキレバー操作力、ブロック摩耗量推移.....	5
3.2.2 ブロック制動面摩耗推移.....	6
3.2.3 リム制動面の摩耗推移.....	7
3.3 ブロック摩耗試験結果（接触状態の影響調査）	9
3.3.1 ブレーキレバー操作力、ブロック摩耗量推移.....	9
3.3.2 ブロック制動面摩耗推移.....	10
3.3.3 リム制動面の摩耗推移.....	11
4. 考察	12
4.1 減速度がブロック摩耗に与える影響.....	12
4.2 接触状態がブロック摩耗や制動性能に与える影響.....	12
4.2.1 ブロック摩耗に与える影響.....	12
4.2.2 制動性能に与える影響.....	15
4.2.3 制動時のブレーキアームひずみに与える影響.....	15
参考文献	18

1. 事業実施の背景と目的

JIS D 9301:2019（一般用自転車）5.2.5 制動性能ではブレーキの制動性能については規定されている。しかし、ブレーキブロック（以下ブロックと呼ぶ）の耐久性に関する規定はなく、使用に伴うブロックやリムの摩耗や、制動性能の変化についての調査も行われていない。そこで2019年度より、国内で広く普及しているシティ車用のキャリパブレーキ用ブロックの調査を行っている。2019年度はアルミリムでのブロック摩耗試験（以下摩耗試験と呼ぶ）を実施し、リム剥離片といったブロックとリム間の異物の有無がブロックの摩耗量に大きな影響を与えることが明らかになった¹⁾。2020年度はステンレスリムでの摩耗試験や、3D形状測定機を用いて、ブロックとリム制動面の摩耗に伴う形状変化の測定を行い、リム制動面の硬さや被膜の有無がブロック摩耗に大きな影響を与えることが分かった²⁾。

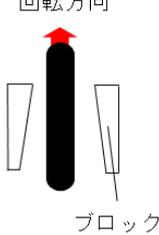
今回は、ブロックの種類を変えてブロックとリム制動面の摩耗に伴う形状変化の測定を行った。また、ブロックとリムの接触状態が摩耗に与える影響についても調査を行った。結果を以下に示す。なお、商品テストを目的としていないため、使用したブロックおよびリムに関する詳細は公表しない。

2. 摩耗試験で使用したブロック、リムについて

試験には 2019 年度から引き続き 26 インチのシティ車とスポーク数 36 本のアルミ合金製リム（以下アルミリムと呼ぶ）、3 種類のアルミリム用のブロック（以下ではブロック A、ブロック B、ブロック C と呼ぶ）を用いた。本年度は接触状態がブロック摩耗に与える影響を調査するために、ブロックとリムの接触状態を調整可能なブロック D でも摩耗試験を実施した。ブロックの特徴を表 1 に示す。制動時にブロックとリムが接触する面を以下ではブロック制動面、リム制動面と呼ぶ。ブロック B にはトーインが、ブロック C にはリム制動面の傾きを考慮したと思われるキャンバーが設けられていた。

ブロックの硬さはブロック A～C は 62～65 と同程度であり、ブロック D のみ他と比較して高かった。なお、ブロックの硬さはテックロック製 GS-751 TYPE C にて測定した 5 か所の硬さの中央値である。

表 1 ブロックの特徴

	ブロック A	ブロック B	ブロック C	ブロック D
表面パターン	溝	平面	凹凸	凹凸
トー、キャンバーの有無	無	トーインあり 回転方向  ブロック	キャンバーあり  リム ブロック	固定部の球面座金で任意に調整可能
ブロック制動面面積（片側）	243 mm ²	316 mm ²	233 mm ²	345 mm ²
ブロック制動面面積比（A を 1 とした場合）	1	1.30	0.96	1.42
硬度	A/63/1	A/62/1	A/65/1	A/73/1

3. ブロックの摩耗試験

3.1 試験条件

ブロックの摩耗試験には図 1 に示す制動試験機を用いた。本試験機は JIS D 9313-2:2019 (自転車-第 2 部：制動装置の試験方法) 4.6.5.4 試験機に準拠している。ブレーキ操作回数 500 回ごとにブロックを取り外し、表 2 に示す項目の測定を行い、ブレーキ操作回数が 3000 回に達するまで試験を実施した。試験中は目標減速度 3.4 m/s^2 (JIS D 9301:2019 一般自転車 表 2 制動性能の前ブレーキのみの制動性能値) を維持するようにブレーキレバーの操作力を制御し、レバー操作力と減速度を記録した。ブレーキアームは全試験を通して同じ仕様のものを用いた。また、JIS D 9313-2:2019 (自転車-第 2 部：制動装置の試験方法) 4.6.5 試験機による試験方法に従い、ブレーキレバーの操作時間は 2.5 s、操作間隔は 60 s とした。なお、初期条件をそろえるため、ブロックごとに前輪のタイヤ、リム、ブレーキワイヤを新しいものに交換した。また試験前と 500 回ごとのブロック摩耗量測定後にブロックとリムの間隔が 1 mm となるように調整を行った。

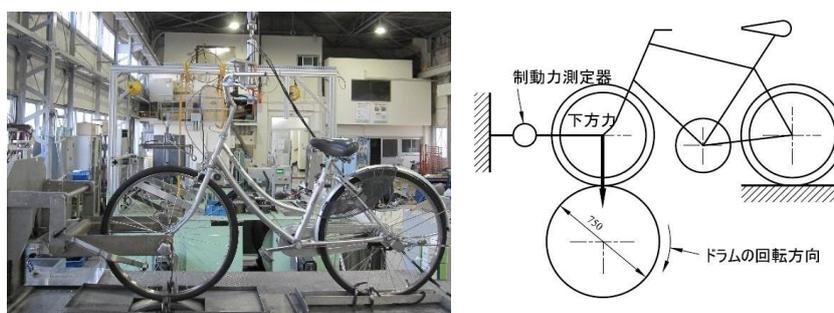


図 1 制動試験機概略図

表 2 測定項目一覧

	測定項目	測定方法
ブロック	摩耗量	電子天秤
	外観・形状変化	3D 形状測定機
リム	制動面外観	3D 形状測定機
	断面プロファイル	

図 2 にブロックを自転車に取り付けた際の方向と本報告書での方向との対応関係を示す。タイヤの回転方向を前方と、回転方向に対して右側のブロック、リムを右ブロック、右リム、反対を左ブロック、左リムと呼ぶ。図 3 にブロック、リム制動面の摩耗推移を示したグラフの測定箇所、XY 軸と実際のブロック、リムの方向との対応関係を示す。ブロック制動面の長手方向が X 軸、高さ方向が Y 軸と対応している。また、ブロックの短手方向の幅をブロック幅と呼ぶ。リム制動面の半径方向がグラフの X 軸と、厚さ方向が Y 軸と対応している。リム制動面の外観は赤枠で囲ったリム円周方向の一部を定点観察した。

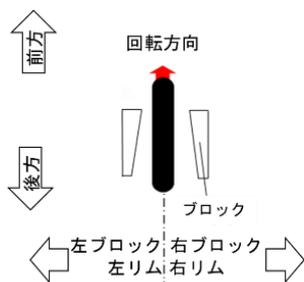


図2 ブロック取付方向との対応関係

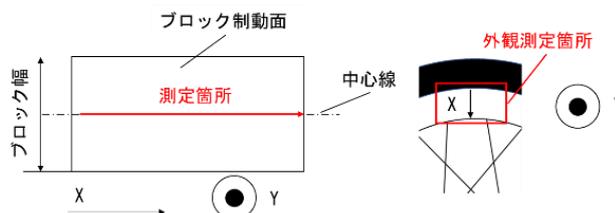
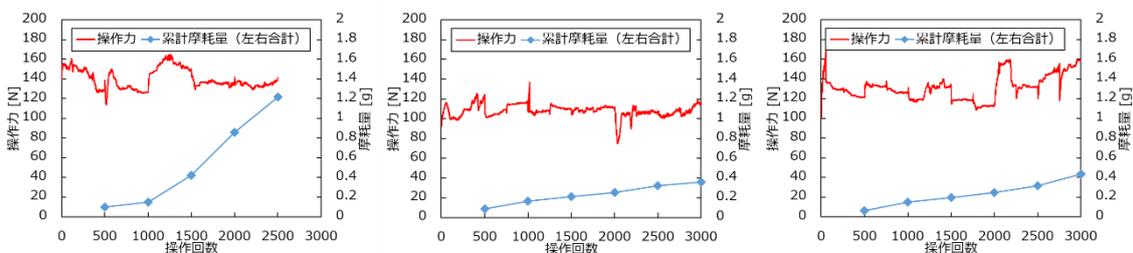


図3 ブロック、リムとグラフ軸の対応関係

3.2 ブロック摩耗試験結果

3.2.1 ブレーキレバー操作力、ブロック摩耗量推移

試験には表 1 に示したアルミリム用のブロック B、C を用いた。比較のために以下では 2020 年度に実施したブロック A の結果も再掲する。図 4 にブレーキ操作力と、500 回ごとに測定したブロック摩耗量の推移を示す。なお、ブロック A は左ブロックの摩耗が激しく、2500 回時点で試験を終了している。ブロック C は目標減速度である 3.4 m/s^2 を維持できなかったため 3.0 m/s^2 で試験を実施している。今回試験に用いた 3 種のブロックの中ではブロック B の摩耗量が少なく、ブレーキレバー操作力も安定していた。ブロック A と C に関してはブロック摩耗量が増加するタイミングでブレーキレバー操作力にも変化が確認できた。表 3 に試験中のブレーキレバー操作力の平均値、左右ブロックの累計摩耗量とその合計を示す。ブロック B を除き左右のブロックで摩耗量の差が大きかった。また、ブロックの種類によって減速度の維持に必要なブレーキレバー操作力に違いが確認できた。



*500 回ごとにブロックを取り外しているため、試験再開直後のレバー操作力の変動が大きい

(a) ブロック A

(b) ブロック B

(c) ブロック C

図 4 ブレーキレバー操作力・ブロック摩耗量推移

表 3 ブロック摩耗量、ブレーキレバー平均操作力比較

	ブロック摩耗量			ブレーキレバー 平均操作力
	左 (①)	右 (②)	合計 (①+②)	
A	1.011 g	0.204 g	1.215 g	140 N
B	0.203 g	0.155 g	0.358 g	108 N
C	0.146 g	0.292 g	0.438 g	131 N(148 N)*1

*1) 内の数字は減速度 3.4 m/s^2 に換算した際の操作力

3.2.2 ブロック制動面摩耗推移

表 4 に 500 回ごとに測定した左右ブロック制動面の中心線上の摩耗による高さ方向の変化を示す。ブロック A は右ブロックと比較して、左ブロックの高さ方向の変化が大きいことが分かる。ブロック B にはトーインが設けられていたが、制動面は均一には摩耗せず、ブロック後端と中央部の変化が大きい傾向にあった。他のブロックと比較して高さ方向の変化は少なかった。ブロック C に関しては制動面前方と比較して、後方の変化が大きかった。また、右ブロックは 500 から 1000 回の間には制動面の一部が欠損し、試験回数の増加にともない、欠損範囲が広がっていった。これに伴って、図 4(c)に示したように、目標減速度を維持するために必要なブレーキレバー操作力が増加していったと思われる。

表 4 ブロック制動面摩耗推移

	左ブロック		右ブロック	
	<前方	後方>	<後方	前方>
A	<p>高さ方向</p> <p>長手方向</p> <p>初期状態 500回後 1000回後 1500回後 2000回後 2500回後</p>	<p>高さ方向</p> <p>長手方向</p> <p>初期状態 500回後 1000回後 1500回後 2000回後 2500回後</p>		
B	<p>高さ方向</p> <p>長手方向</p> <p>初期状態 500回後 1000回後 1500回後 2000回後 2500回後 3000回後</p>	<p>高さ方向</p> <p>長手方向</p> <p>初期状態 500回後 1000回後 1500回後 2000回後 2500回後 3000回後</p>		
C	<p>高さ方向</p> <p>長手方向</p> <p>初期状態 500回後 1000回後 1500回後 2000回後 2500回後</p> <p>制動面が変形したため 端部がずれている</p>	<p>高さ方向</p> <p>長手方向</p> <p>初期状態 500回後 1000回後 1500回後 2000回後 2500回後</p>		

* 試験に用いたブロックの特定を避けるため、特徴的な変化のあった箇所を拡大して表示している。

3.2.3 リム制動面の摩耗推移

表 5、表 6 に左右リム制動面の 1500 回と摩耗試験後の外観、500 回ごとに測定した高さ方向のリム制動面のプロファイルを示す。ブロック A では左のリム制動面は高さ方向に最大で約 150 μm 摩耗した。右のリム制動面は外周側のみブロックと接触し摩耗した。ブロック B では左右いずれのリム制動面においても、摩耗試験前後で外観や高さ方向の明確な変化は確認できなかった。ブロック C では左側リム制動面外周にわずかな疵が確認できたが、高さ方向の変化は確認できなかった。右側制動面はブロック幅と同程度の接触跡がはっきりと確認でき、高さ方向に最大で約 50 μm 摩耗した。

表 5 リム制動面外観推移

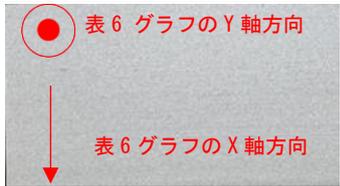
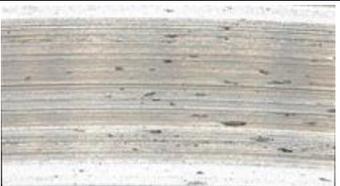
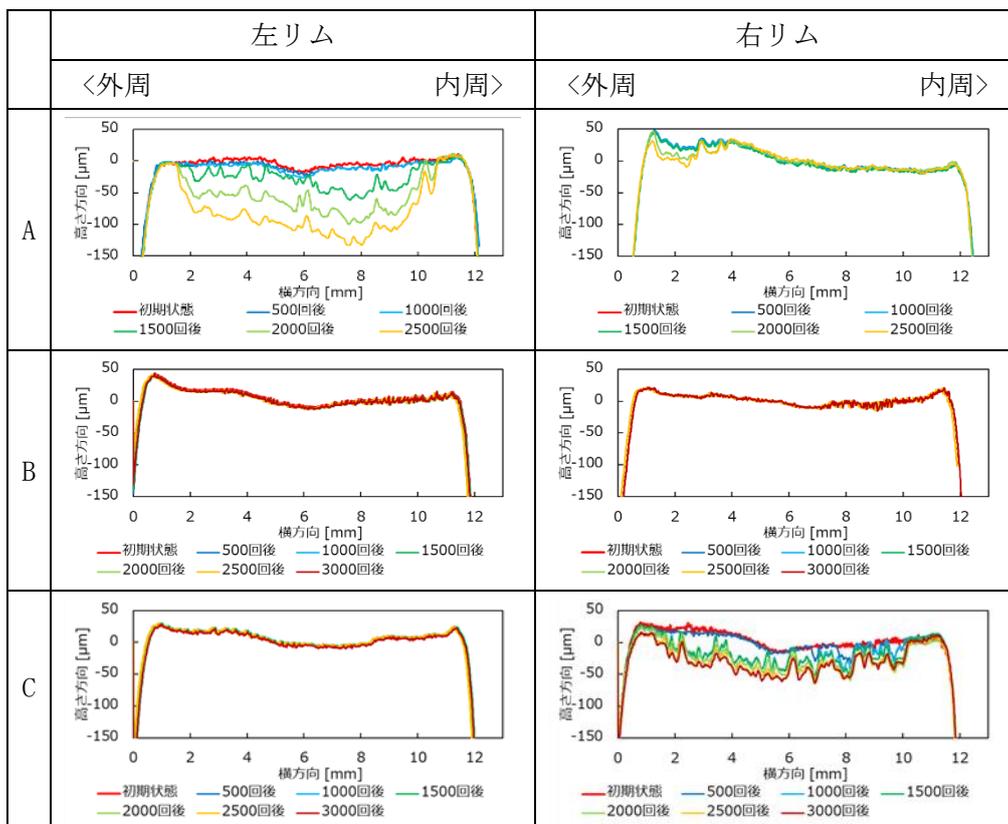
			左リム	右リム
A	1500 回	外周 > 内周 <		
	摩耗試験後	外周 > 内周 <		
B	1500 回	外周 > 内周 <		
	摩耗試験後	外周 > 内周 <		
C	1500 回	外周 > 内周 <		
	摩耗試験後	外周 > 内周 <		

表6 リム制動面外観、プロファイル推移

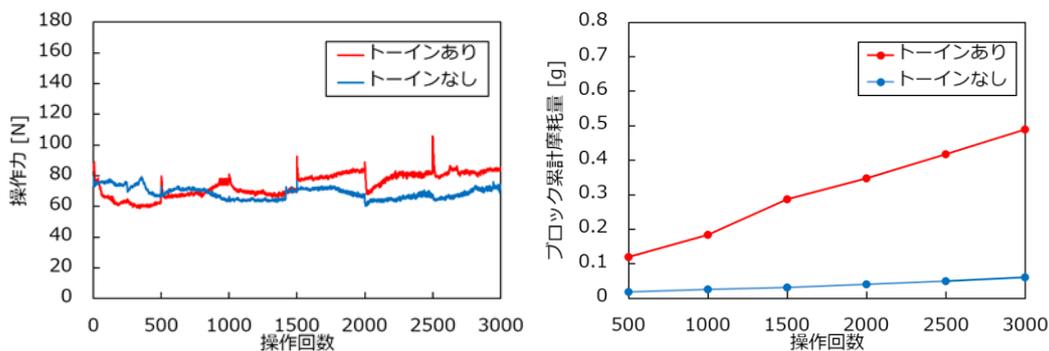


3.3 ブロック摩耗試験結果（接触状態の影響調査）

3.3.1 ブレーキレバー操作力、ブロック摩耗量推移

ブロックとリムの接触状態（トーインやキャンバー等）が摩耗に与える影響について調査するために、表1に示したブロックDを用いて摩耗試験を実施した。試験条件はブロックA～Cと同じで3.1に示した通りである。ブロックとリムの接触状態を①市販のブレーキシューチューナーを用いてトーインを設けた状態（以下トーインありと呼ぶ）と、②静止状態でブロックとリム制動面が平行で間隔が1 mmとなるように調整した状態（以下トーインなしと呼ぶ）で試験を行った。図5にトーインの有無でのブレーキ操作力と、500回ごとのブロック摩耗量の推移を比較したものを示す。また、表7に左右ブロックの累計摩耗量とその合計、試験中のブレーキレバー操作力の平均値を示す。トーインなしではレバー操作力が安定しているのに対し、トーインありでは徐々に増加する傾向が確認できた。また、レバー操作力の平均値はトーインなしがありと比較して小さかった。

ブロック摩耗量は、トーインなしがトーインありの場合の約12.5%であった。また、トーインなしの場合、左ブロックの摩耗量が右ブロックの約2.4倍であった。詳しくは3.3.2で述べるが、ブロック制動面の一部に欠けが発生したためと思われる。



(a) レバー操作力

(b) ブロック累計摩耗量

図5 ブレーキレバー操作力、ブロック累計摩耗量比較

表7 ブロック摩耗量、ブレーキレバー平均操作力比較

	ブロック摩耗量			ブレーキレバー 平均操作力
	左 (①)	右 (②)	合計 (①+②)	
トーインあり	0.231 g	0.259 g	0.490 g	84 N
トーインなし	0.044 g	0.018 g	0.062 g	68 N

3.3.2 ブロック制動面摩耗推移

表 8 に 500 回ごとに測定したブロック制動面の中心線上の長さ方向の変化を示す。トーインありの場合、ブロックの摩耗箇所が試験回数によって異なる傾向が確認できた。詳しくは 4.2.2 で述べる。トーインなしの場合、制動面の長さ方向の変化は少なく、各山の後端がわずかに摩耗する傾向が確認できた。また、試験回数が 500 回から 1000 回の間左ブロックの後方の一部に欠けが発生し、回数の増加に伴いその周辺が脱落していった。

表 8 ブロック制動面摩耗推移

	左ブロック		右ブロック	
	〈前方	後方〉	〈後方	前方〉
トーインあり				
トーインなし				

* 試験に用いたブロックの特定を避けるため、特徴的な変化のあった箇所を拡大して表示している。

3.3.3 リム制動面の摩耗推移

表9に試験前後での左側リム制動面の外観と高さ方向の変化を示す。ブロックDでは、左右のリムとも試験前後でリム制動面外観や高さ方向に明確な変化は確認できなかったため、左側の結果のみ示す。

表9 リム制動面外観、プロファイル推移 (左リム)

	トーインあり		トーインなし	
	<リム外周	リム内周>	<リム外周	リム内周>
断面 プロ ファ イル				
1500 回				
3000 回				

4. 考察

4.1 減速度がブロック摩耗に与える影響

2019年度より実施してきたキャリパーブレーキ摩耗試験において、3種のブロックで目標減速度 1.0 m/s^2 、 1.8 m/s^2 、 3.4 m/s^2 （ブロック C は 3.0 m/s^2 ）の3パターンでブロック摩耗試験を行った。各目標減速度でのブロック摩耗量を比較したグラフを図6に示す。なお、図6中の摩耗量の多いブロックの凡例は白抜きにしている。

ブロック B ではリム制動面の摩耗はほとんどなく、ブロック摩耗量は目標減速度に比例する傾向が確認できた。一方でブロック A と C においては、ブロック摩耗量は減速度に必ずしも依存せず、リム制動面の摩耗が発生した場合に大きい傾向にあった。特に減速度 3.4 m/s^2 、ブロック A の右ブロックの結果が顕著で、摩耗量は、同条件の左ブロックの約20%でブロック B と同程度であった。今回の結果より、リム制動面の摩耗が発生した場合は減速度によらずブロック摩耗量が急激に増加する可能性が示唆された。

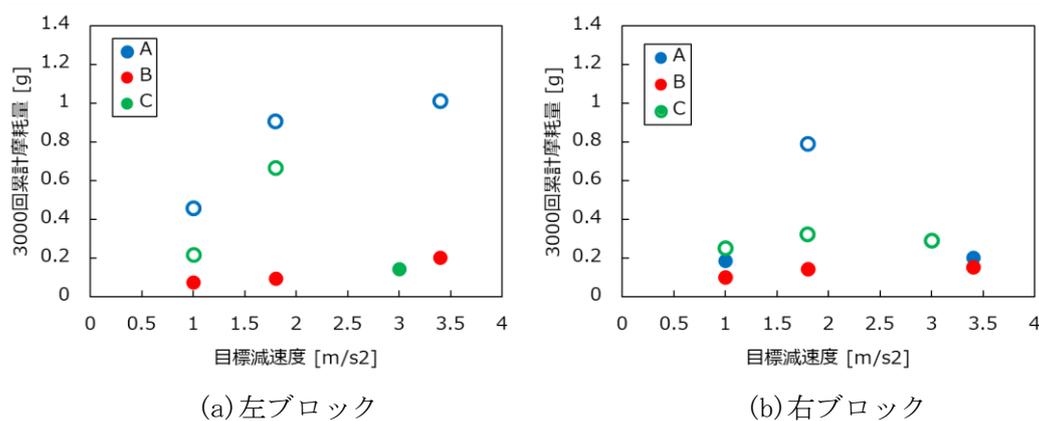


図6 目標減速度-ブロック摩耗量比較

4.2 接触状態がブロック摩耗や制動性能に与える影響

4.2.1 ブロック摩耗に与える影響

表10、表11はトーインの有無での初期状態から1500回までのブロックDの制動面の高さ方向の変化を500回ごとに比較したグラフである。トーインありの場合、試験回数によってブロック制動面の高さ方向の変化が大きい箇所が異なる傾向が確認できた。トーインが設けられているため、試験開始直後は制動面前方がリムと接触し摩耗したが、摩耗が進行することでリムと接触しにくくなり、他の箇所が摩耗したと思われる。一方で、トーインなしでは制動面の端部を除き、高さ方向の変化はわずかであった。このように、ブロック制動面の摩耗状態によってリムと接触しやすい箇所が限定されることで、接触圧力が高くなり、トーインなしの場合と比較して摩耗が進行したと考える。今回の結果より、静止時にリムとブロックが均一に接触するように調整することでブロックの摩耗量が抑制される可能性が示唆された。

表 10 トーインの有無によるブロック制動面摩耗の推移 (左ブロック)

	トーインあり		トーインなし	
	〈前方	後方〉	〈前方	後方〉
0- 500 回	<p>高さ方向 長手方向 — 初期状態 — 500回後</p>		<p>高さ方向 長手方向 — 初期状態 — 500回後</p>	
500- 1000 回	<p>高さ方向 長手方向 — 500回後 — 1000回後</p>		<p>高さ方向 長手方向 — 500回後 — 1000回後</p>	
1000- 1500 回	<p>高さ方向 長手方向 — 1000回後 — 1500回後</p>		<p>高さ方向 長手方向 — 1000回後 — 1500回後 欠損部</p>	

*3D 形状測定機は光の反射で形状を測定するため、ブロック溝部のデータが測定できていない場合がある。

表 11 トーインの有無によるブロック制動面摩耗の推移（右ブロック）

	トーインあり		トーインなし	
	〈後方	前方〉	〈後方	前方〉
0-500回	<p>高さ方向 長手方向 — 初期状態 — 500回後</p>		<p>高さ方向 長手方向 — 初期状態 — 500回後</p>	
500-1000回	<p>高さ方向 長手方向 — 500回後 — 1000回後</p>		<p>高さ方向 長手方向 — 500回後 — 1000回後</p>	
1000-1500回	<p>高さ方向 長手方向 — 1000回後 — 1500回後</p>		<p>高さ方向 長手方向 — 1000回後 — 1500回後</p>	

*3D 形状測定機は光の反射で形状を測定するため、ブロック溝部のデータが測定できていない場合がある。

4.2.2 制動性能に与える影響

図7にトーインの有無での制動性能を比較したグラフを示す。未使用のブロックを用いて JIS D 9313-2 4.6 制動性能試験に従い、乾燥時の制動性能を測定した。操作力が80 Nまではトーインの有無にかかわらず制動力は同程度だが、操作力100 N以上ではトーインありがなしと比較して10 %程度制動力が高かった。ブレーキアームへの負荷が大きくなる制動力が高い領域でトーインの有無による接触状態の違いによって、制動力に差が生じたと思われる。そこで制動時にブレーキアームに生じるひずみ(以下ブレーキアームひずみと呼ぶ)の測定を行った。詳細は4.2.3で述べる。

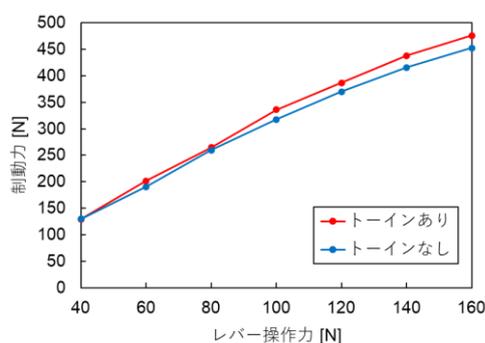
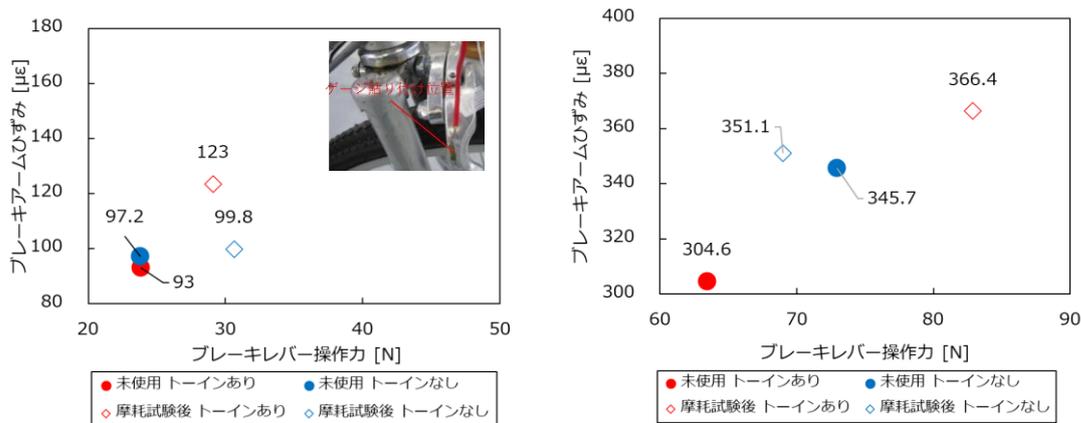


図7 トーインの有無による制動性能比較

4.2.3 制動時のブレーキアームひずみに与える影響

ブロックとリムの接触状態がブレーキアームひずみに与える影響を調査するために制動時のブレーキアームひずみの測定を行った。測定には(株)共和電業製の120 Ωの2線式箔ひずみゲージを使用した。データロガーは(株)キーエンス製のロガーを用い、測定時のサンプリング周期は1 msとした。ブロックは未使用のものと、3.3の摩耗試験後のブロックを用いた。制動時の目標減速度は1.0 m/s²と3.4 m/s²の2パターンで、目標減速度を維持するようにレバー操作力を制御して10回ブレーキ操作を行った際のブレーキアームひずみを測定した。なお、評価には減速度が安定した後半5回のブレーキアームひずみとブレーキレバー操作力の平均値を用いた。ブレーキレバーの操作時間は2.5 s、操作間隔は60 sとした。図8にトーインの有無での制動時のブレーキアームひずみを比較したグラフを示す。



(a) 目標減速度 1.0 m/s²

(b) 目標減速度 3.4 m/s²

図 8 制動時のブレーキアームひずみ比較

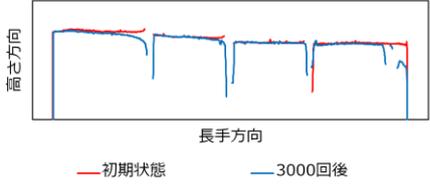
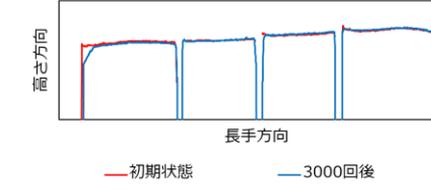
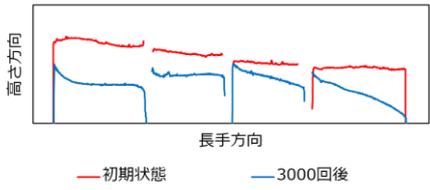
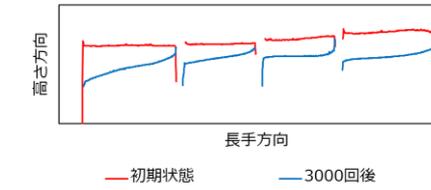
測定結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 未使用のブロック、減速度 1.0 m/s²でのブレーキアームひずみはトーインの有無にかかわらず同程度であった。
- (2) 未使用のブロック、減速度 3.4 m/s²でのブレーキアームひずみはトーインありがなしと比較して約 13 %低かった。
- (3) トーインありの場合、各減速度で、摩耗試験後のブロックのブレーキアームひずみが増加した。
- (4) トーインなしの場合、各減速度での摩耗試験後と未使用のブロックでのブレーキアームひずみは同程度であった。

トーインありの場合、ブロック摩耗初期の接触状態ではブレーキアームへの負荷が高くなる領域でブレーキアームの変形が抑制されることで、トーインなしと比較して制動性能が向上したと思われる。一方で、摩耗試験後のブロックではブレーキアームひずみが増加したことから、ブロック制動面の摩耗状態によってブレーキアームひずみに差が生じることが分かった。ブロック制動面の摩耗状態（ブロックとリムの接触状態）によって制動時のブレーキアームへの負荷が変化することで図 5 (a) に示したように目標減速度を維持するためのレバー操作力が徐々に増加したと考える。

トーインなしの場合、表 12 に示すように摩耗試験前後でのブロック制動面の変化が少ないため、ブレーキアームひずみの変化が生じなかったと思われる。

表 12 摩耗試験前後でのブロック制動面の比較

	左ブロック		右ブロック	
	〈前方	後方〉	〈後方	前方〉
トーン なし				
トーン あり				

まとめ

キャリパブレーキに使用されるブロックの摩耗試験を実施し、摩耗に伴うブロック、リム制動面の形状変化の測定や、接触状態がブロックの摩耗に与える影響を調査した。まとめを以下に示す。

- (1) リム制動面が摩耗せず、制動時のブロックとリム間に異物が生じない場合、ブロック摩耗量は減速度（ブレーキ操作力）に依存する。
- (2) リム制動面が摩耗し、制動時のブロックとリム間に摩耗粉等の異物が生じた場合、ブロック摩耗量は減速度（ブレーキ操作力）によらず増加する。
- (3) トーインありの場合トーインなしと比較してブロック摩耗初期において制動性能が約 10 % 向上した。一方で、リムとの接触箇所が限定されることでブロック摩耗に伴いブレーキアームひずみが増加し、減速度を維持するために必要なブレーキレバー操作力が増加した。
- (4) トーインなしの場合、ブロック摩耗量はトーインありの約 12.5 % であった。摩耗試験前後でブロック制動面の高さ方向への大きな変化がなく、ブレーキアームひずみも同程度であった。

上記の結果より、リム制動面の摩耗が発生した場合、減速度によらずブロック摩耗量が急激に増加する可能性が示唆された。また、静止状態でリムとブロックが均一に接触するように調整することで両者の摩耗が抑制される可能性があることが分かった。今後はブロックの種類を変えて接触状態が摩耗に与える影響を調査予定である。

参考文献

- 1) (一財) 自転車産業振興協会 キャリパブレーキ用ブレーキブロックの摩耗調査
[第 1 報] (2020 年 3 月)
- 2) (一財) 自転車産業振興協会 キャリパブレーキ用ブレーキブロックの摩耗調査
[第 2 報] (2021 年 3 月)