

車輪台上走行試験機の改造と検証試験

一般財団法人自転車産業振興協会

技術研究所 研究開発部

1. はじめに

自転車の車輪は、自転車、乗員の重量を支えながら回転するとともに、駆動時や制動時にはねじり力、凹凸路面通過時には上下振動が繰返し加わることから、ブレーキワイヤー、チェーンとともに疲労破壊を起こす数少ない部品である。しかし、JIS規格では部品毎に製品認証がなされるため、タイヤ、チューブ、リム、スポーク、ニップル、ハブ単独の強度試験が規定されており、車輪としての強度試験はJIS D9301（一般用自転車）に規定されたスポーク張力及び車輪の横静的強度試験しかない。

過去に技術研究所では、車輪台上走行試験機を用い、車輪の組立条件を変化させ、組立条件と車輪寿命の関係を調査し、報告^{1),2)}してきた。いずれも20年以上前に調査されたもので、最近の製品について調査を行ったものはない。

ところで、その時に開発した車輪台上走行試験装置は、次章に示すとおり、モーター駆動するドラムにより車輪を回転させる方式のため、自転車の駆動時や制動時に車輪に繰返し加わるねじり力は負荷されない。競輪選手が使用しているトラックレーサー用の車輪では、使用中に前輪のスポークが折損することは少なく後輪のスポークが折損することのほうが多い。これは、トラックレーサーにはブレーキが装備されていないため、前輪には接地力しか加わらないのに対し、後輪は分担荷重が大きい上に、駆動時やペダルを逆転させる減速時に大きなねじり力が加わるためと思われる。

今回、技術研究所に設置されていた車輪台上走行試験機について、走行中の車輪にねじりトルクも加えられるよう改造を行うとともに、同試験機を使用した検証試験を実施したので以下に報告する。

2. 主な車輪強度試験

まず初めに、国内外でみられる車輪の強度試験を紹介する。

2.1 技術研究所設置の車輪台上走行試験機

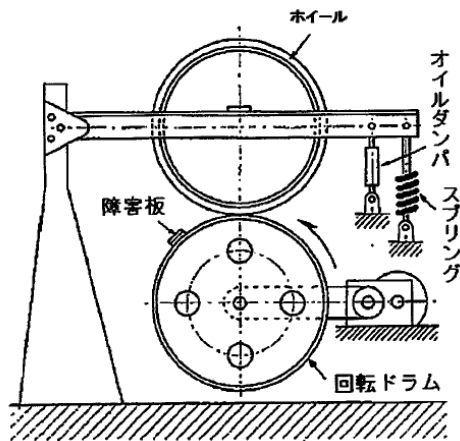
技術研究所では、昭和58年に『自転車部品試験装置の調査および試作研究委員会』を設置し、車輪台上走行試験機を製作するとともに、組立条件と車輪寿命の関係を調べ、基礎資料を収集¹⁾している。その時に開発された試験機の仕様は以下のとおりである。

試験機の模式図を下図に示す。本試験機はモーターによって駆動されたドラム上に、油圧ダンパによって供試品車輪を押し付け、車輪を回転させる方式である。車輪へのストレスは、車軸荷重、ドラム上に設置された障害板、並びに車輪を含めたアーム全体が左右に揺動することによって与えられる。従って、実走行時に加わるストレスのうち、駆動によるものや制動に伴うものは

含まれず、路面衝撃や、自転車の傾きに起因するもののみを与える試験機である。以下に試験機の諸元を示す。

車輪速度	5 ～35 km/h
車軸荷重	450 ～800 N
揺動角	0° ～15° (片側)
揺動回数	固定又はドラム 1 回転につき 5/12 往復
障害板	高さ 15 mm, 幅 120 mm, ドラム外周 2 m につき 1 ヶ所

[自転車技術情報誌から抜粋]



そして、車輪台上走行試験機を使用し、スポーク張力、スポークの通し方、スポーク本数、ハブのスポーク穴径、スポーク首高さ、スポーク首角、リム剛性、スポーク材質、スポーク線径を変えて、スポークが 1 本折れるまでの走行距離を比較している。なお、この試験では組立条件のうち一項目のみを変化させて行っており、複数条件を変えての試験は行っていない。

その結果、次のような傾向が確認できたと報告されている。

- 個々のスポーク張力がそろっていれば、初期張力が極端に強い弱い場合を除き、スポーク張力の寿命に与える影響は少ない。
- ハブつばに対して外から内に通したスポークは、内から外に通したスポークより折れやすい。(図 1)
- スポーク本数が多いほど車輪寿命は長い。
- スポーク首高さが小さいほど車輪寿命は長い。
- スポークの首角が大きいほど車輪寿命は長い。
- リム剛性による寿命差は確認できなかった。
- スポーク材質の違いによる寿命差は、SWRH62A が最も長く、SUS430、SWRH32、SUS304、SUS201 の順に短寿命になり、その差は数倍に及んでいる。
- スポーク線径の太さはスポーク穴が同一寸法のハブを用いた場合には、太いほど長寿命である。
- 走行後のスポーク首角増加量は、ハブつばの内から外に通したスポーク

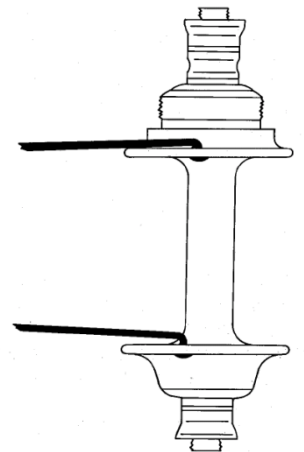


図 1 スポークの通し方

クは1°前後であるのに対し、外から内に通したスポークでは10°近く増加している、また、おちょこのあるハブで外から内に通したスポークに関しては、左ハブつばの方が増加量が多い。

2.1 JIS K6302 による方法

JIS K6302:2011（自転車タイヤ）では、タイヤの走行耐久性試験として次のように規定されている。

7 品質

7.1 外観

タイヤの外観は、形状、肉厚ともに均整で、きず、気泡、ゴム割れ、ゴム流れ不良及び異物混入による有害な欠点がなく、表1～表3に規定する適用リム又は受渡当事者間の協定によるリムに装着したとき、著しい振れがないものでなければならない。

7.2 性能

タイヤの性能は、自転車用タイヤ及び運搬車用タイヤに区分し、箇条8によって試験し、表4又は表5の規定に適合しなければならない。

表4 自転車用タイヤの性能（抜粋）

項目	試験	性能		
走行耐久性	走行耐久性試験	タイヤの呼び	外径 18 以下のもの	2 000 km
			外径 20 以上 25 以下のもの	3 000 km
			外径 26 以上で 幅 1・3/8（又は 1.37）未満のもの	
			外径 26 以上で 幅 1・3/8（又は 1.37）以上のもの	5 000 km

タイヤの呼び別に規定する走行耐久距離に到達するまで走行試験を行い、その間にリム外れがなく、試験後、タイヤに目視で認められる布切れ、セパレーション及び布層に達するトレッドゴムの亀裂の発生があってはならない。

8.8 走行耐久性試験

8.8.1 試験機

試験機は、タイヤをドラム面に垂直にドラムの中心に向かって押し付け、ドラムの回転によってタイヤが連動する構造とする。ドラムは鉄製で、表面が平滑とし、外径は(760±10) mm、幅は試験を行うタイヤの呼び幅の2倍以上とする。ドラムの表面に軸方向に平行に、ドラム幅と等しい長さの鋼製のショックバー2個を、外周に等間隔に取り付ける。

ショックバーは、断面の幅(10±0.1) mm、高さ(5±0.1) mm の長方形とし、角の曲率半径は(1.0±0.05) mm とする。

8.8.2 試験方法

試料に同じ呼びのチューブを封入し、タイヤに適合するリムに装着する。チューブ内に表1～表3に規定する標準空気圧を加える。次に、タイヤをドラム面に垂直に表1～表3に規定する最

大負荷で押し付け、ドラムの回転によってタイヤを回転させる。ドラムの表面速度は毎時(40±4) km とし、ドラム表面の走行距離が表 4 に規定するタイヤの呼び別の走行耐久距離に到達するまで走行試験を行い、タイヤの状態を調べる。

なお、試験室の温度は、試料から 1 m 以上離れた位置で測って(25±10) °Cとする。

[JIS K6302:2011 (自転車-タイヤ) より抜粋]

なお、JIS K6302 は自転車用タイヤ及び運搬車用タイヤの規格であり、チューブ、リム、スポーク、ニップル、ハブには適用されない。

2.2 ISO 4210 による方法

ISO 4210-7:2014(自転車 — 二輪自転車の安全要求事項—第 7 部:車輪とリム試験方法)では、附属書(参考)に車輪/タイヤアセンブリ—疲労試験として次のように規定されている。

これは EN 14764:2005 (シティ車及びトレッキング車—安全要求事項と試験方法) 附属書 D に規定されていたものと同じである。

A.1 車輪/タイヤアセンブリ—シティ用及びトレッキング用二輪自転車向け疲労試験

A.1.1 要求事項

A.1.2 に規定する方法で試験したとき、車輪のいかなる部分にも折損、離脱、または目に見えクラックがなく、車輪とタイヤまたはチューブ(装着されている場合)の損傷によるタイヤの空気圧の損失がなく、かつ無傷のタイヤがリム上に留まっていなければならない。

A.1.2 試験方法

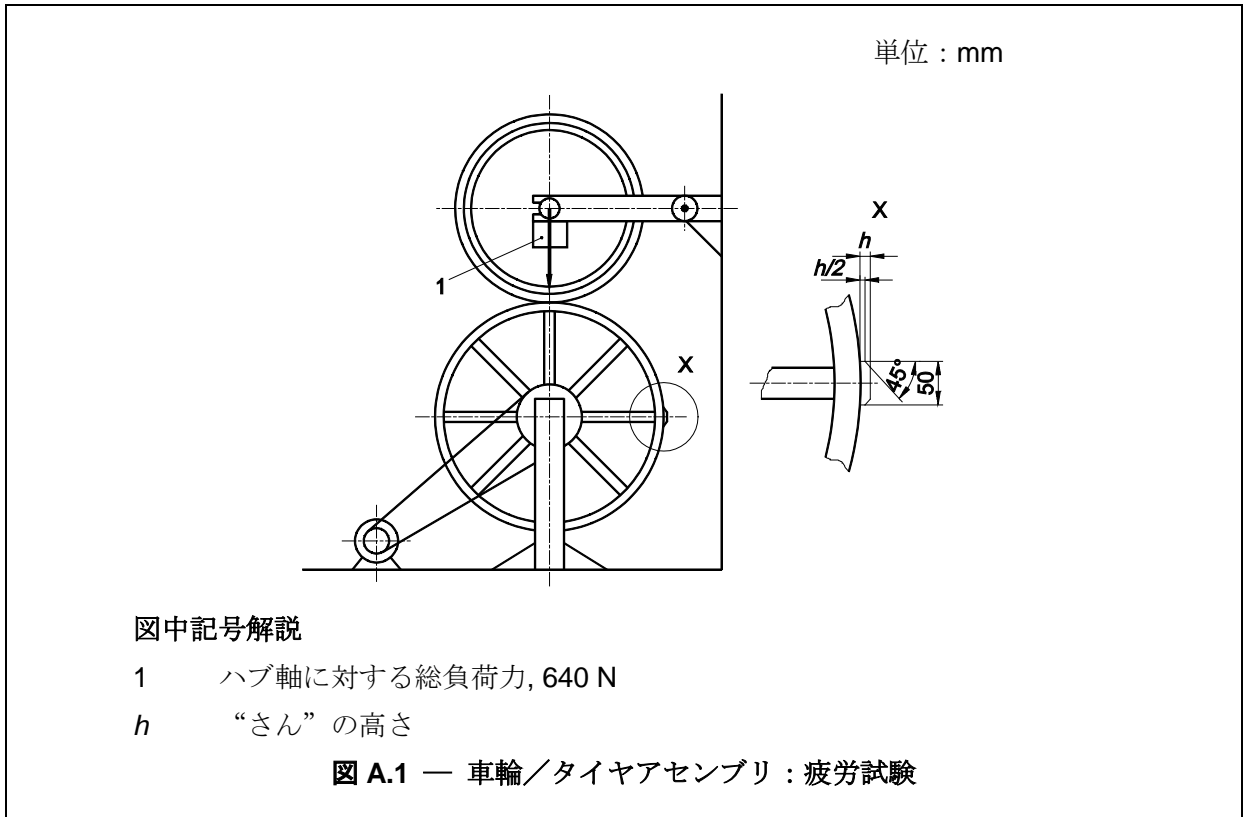
車輪にタイヤとチューブ(装着されている場合)を組み付け、最大空気圧の 90%まで空気を入れる。

ハブ軸を中心に自由に回転でき、垂直方向の動きを拘束しないように車輪/タイヤアセンブリを取り付ける。おもりを用いて、車輪/タイヤアセンブリに負荷されるラジアル方向の力が 640 N になるようにし、均等に間隔をあけて横方向に金属の“さん”を装着したドラムと接触させて、車輪アセンブリをセットする。車輪とドラムの中心軸は、鉛直になるよう位置合わせをしなければならない。

試験配置の例を、図 A.1 に示す。この例では、タイヤが“さん”間でドラムと接触している状態で、水平に伸びるピボット付きアームの自由端の間に車輪が固定されている。

ドラムの直径は 500 mm~1,000 mm の範囲内であり、“さん”は幅 50 mm±2.5 mm、厚さ 10 mm±0.25 mm で、縁部には厚みの半分で、45度の角度で面取りがしてあること。また、2つの隣接する“さん”の中心線の円周方向の間隔は 400 mm 以上でなければならない。

ドラムを表面速度が 25 km/h (±10%) となるよう回転させて、タイヤと“さん”の間に 750,000 回の衝撃を加える。



2.3 DIN 79100 に規定されていた方法

EN 14764:2005 の発行に伴い、2006 年 3 月に廃止された DIN 79100:2000（自転車の安全要件及び試験方法）では、次のように規定されていた。

4.11 タイヤとリム

4.11.3 動的強度

試験後、タイヤがリム上に留まっており、ウォール部にクラックがなく、チューブの損傷による空気圧の損失があってはならない。

チューブの欠陥によりタイヤが不合格となった時には、新しいチューブを使用して試験を繰り返さなくてはならない。

5.11.3 動的強度試験

ホイールとタイヤアセンブリは **5.11.1** に規定された試験に使用したものを用いる。試験前に、冷えた状態で、タイヤに **表 1** で示された空気圧を充填する。

試験機は直径が 500 mm から 1,000 mm のドラムとそれを 25 km/h で回転させるモーターから成る。（**図 39** 参照）幅が 50 mm、高さが h の“さん”をドラムの回転軸に平行に、不規則な間

軸荷重：65kg

ドラム径：
500mm～1,000mm

×部拡大

図 39 タイヤ試験

隔となるよう取り付け。 “さん” の前後の縁には $h/2 \times 45^\circ$ の面取りを付ける。

直径が 760 mm のドラムには 12 個の “さん” を取り付け。 それ以外の径のドラムは、それに相当する数の “さん” を取り付け。

試験機には、ホイールの車軸を両側から保持し、垂直方向に動くアームも備える。アームにはトータル荷重 65 kg となるよう調整されたおもりを取り付ける。試験時間は 6 時間とし、試験後要求事項を満たしているかどうか確認する。

表 1 タイヤ空気圧と “さん” の高さ

タイヤの呼び幅	試験空気圧(bar)	“さん” の高さ
20 以下	8.0	4
23	7.0	5
25	6.0	6
28	5.0	7
32	4.5	8
35	4.25	9
37	4.0	9
40	3.5	10
44	3.25	11
47	3.0	12
47 超	2.5	12

DIN 79100 に規定されていた試験方法は EN 14764、及び ISO 4210 のベースとなった規格であるが、タイヤの呼び幅により試験空気圧、“さん” の高さが変わること、ドラムに取り付ける “さん” の数が多いことなどに差がある。

3. 車輪台上走行試験機の改造

2.1 章に記した技術研究所で開発された車輪台上走行試験機は、その報告書の中で『今回の試験は試験機の構造上、路面からの衝撃や、車輪の傾きからくるストレスを与えるのみで、駆動や制動時に起きる回転方向でのねじりに相当するストレスは与えていない。試験機の製作も含めて、今後早急に実施しなければならない課題であろう。』と記されている。そこで、今回、試験機の制御装置を更新するとともに、パウダーブレーキを追加し、チェーンを介して車輪にねじり力を加えられるよう改造した。写真 1 に改造した車輪台上走行試験機の外観を示す。



写真 1 車輪台上走行試験機

3.1 パウダーブレーキ

車輪にチェーンを介してねじり力が加えられるよ

うに、パウダブレーキの増設を行った（写真2）。パウダブレーキは、シンフォニアテクノロジー（株）（旧神鋼電機（株））製の自然冷却式のブレーキで、

定格トルク： 25 N・m
 定格電圧： 24 DC-V
 消費電力： 30 W
 重量： 11 kg

のものを使用した。

なお、パウダブレーキによりチェーンに制動力を加えると、車輪の小ギヤには駆動時とは逆向き（緩み方向）のトルクが加わり小ギヤが緩んでしまう恐れがあるため、ねじり力を加える試験時には車輪を実走行とは逆方向に回転させることとした。また、パウダブレーキは加えた電流値に比例したトルクが発生する構造となっているため、手で電流値を調整する電気回路を追加するとともに、ドラムの駆動トルクをモニタできるようにドラム回転軸にトルクメーターを追加した。パウダブレーキのトルク特性を図2に、パウダブレーキ、トルクメーターの外観を写真2、3に示す。

●パウダブレーキ/POB-2.5形

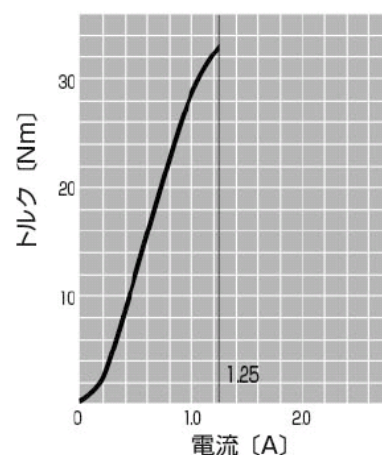


図2 パウダブレーキトルク特性（メーカーHPより転載）

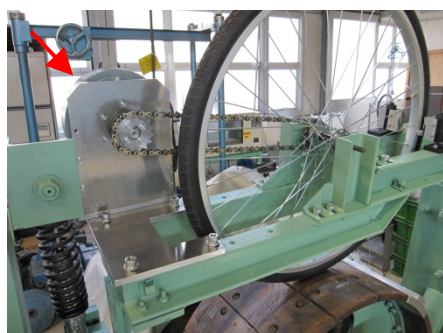


写真2 パウダブレーキ

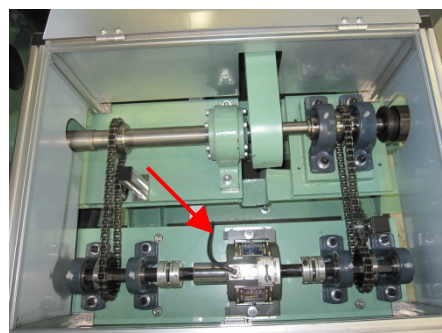


写真3 トルクメーター

3.2 制御装置（操作盤）の更新

技術研究所で開発された車輪台上走行試験機には、モーターの起動／停止ボタン、ドラムの周速度を表示するアナログメーター、走行距離を表示するデジタル表示装置のみが装備された簡単な操作盤が付属していたのみであったので、今回、ドラムの周速度、走行距離、停止距離を表示できるLEDモニター、パウダブレーキの電流を手動で調整できる可変抵抗器とトルクメーターが装備された操作盤（写真4）を新設した。また、ドラムの回転、パウダブレーキの電流を周期的に ON/OFF 制御する機能を追加した。



写真4 制御装置（操作盤）



写真5 パンクセンサ



写真6 障害板 (さん)

3.3 パンクセンサ

車輪台上走行試験を実施した時に、一番多い車輪の破損状況はパンクである。そのため、従来から装置には車輪を取付けたアームがパンクにより少しドラム方向に下がることを検知するタッチセンサを装備していたが、チューブラタイヤのように細いタイヤを使用した試験では、障害板(さん)による上下振動によりタッチセンサが接触する誤動作も発生していた。

そこで、空気圧の低下によりタイヤが凹むことを感知する光ファイバー式の光電スイッチを追加した。(写真5)

3.4 障害板 (さん) の追加

車輪台上走行試験では、車輪速度、車軸荷重、左右揺動角度、障害板(さん)の高さの組み合わせで試験条件が決まる。従来は木製の障害板を使用していたため、試験による劣化が激しかったので、前述した ISO4210-7:2014 の車輪/タイヤアセンブリ疲労試験で規定された寸法に準拠した高さ 3, 5, 10, 14, 18, 22 mm の障害板を製作した。(写真6)

4. 検証試験

今回、新たに試験機に追加したパウダブレーキによるトルク負荷の効果を確認するために、市販の車輪による検証試験を実施した。

4.1 トラックレーサー用車輪による検証試験

以下に示すトラックレーサー用の部品を購入し、スポーク張力が 700N 前後の値となるよう留意しながら、8 本取りで車輪を組み上げた。

リム	アラヤ	GOLD
スポーク	星工業	スターブライト
		(No.15/16)×305 mm, SUS430 製
ハブ	シマノ	NEW DURA-ACE HB-7600-R
		後輪用ハブ 120mm (両ギリ)



写真7 供試品

タイヤ ソーヨー SUPRT RACING-290

なお、バルブ穴の両側のスポークは、いずれもハブつばに対して内から外へ通した。

そして、

車輪速度	25 km/h
接地荷重	588 N(60 kgf)
左右揺動角度	± 7 度
タイヤ空気圧	9.0 kgf/mm ²
段差高さ	無し, 5 mm
パウダーブレーキ	なし, 0.5A 連続, 0.8A 連続, 0.8A 断続(0.5 秒 ON, 0.5 秒 OFF)

の試験条件で破損までの走行距離を比較した。試験は 10,000km (400 時間, 16.7 日間) 走行まで続行したが、リムのハトメが脱落、若しくは亀裂が発生した際は試験続行不能とし、試験を中止した。また、パンク、スポーク折れの際には、タイヤ、スポークを交換のうえ試験を続行した。

試験結果を表 1, 2 に示す。表 1 から分かるように、段差がない時は、パウダーブレーキ無し (試験番号 1)、及び 0.5A となるよう調整した時 (試験番号 2) は、途中 3 回パンクしたものの、10,000km まで破損しなかった。しかし、同じ条件で 5mm の段差を取付けた時には、パウダーブレーキ無し (試験番号 4) では 4,992km で、0.5A となるよう調整した時 (試験番号 5) では 5,650km にてハトメが脱落した。また、パンクの頻度も高くなっていることから、段差により車輪の寿命が短くなることが確認できた。段差がない場合でも、パウダーブレーキを 0.8A となるよう調整した時 (試験番号 3) は、6,804km にてリムのハトメが脱落しており、パウダーブレーキによる回転方向のねじり力によっても車輪の寿命が短くなることが確認できた。

しかし、過去の報告では『ハブつばに対して外から内に通したスポークは、内から外に通したスポークより折れやすい。そのため、駆動や制動の時に引張力を受けるスポークをハブつばに対して内から外に通した方が長寿命になる。』とされているが、今回の試験ではスポーク折れが 1 本しか発生しなかったため、パウダーブレーキによるトルク負荷により、スポークの折損状況が変わるかどうかは確認できなかった。また、いずれの場合でもほぼ 5,000km 以上の走行が可能であり、十分な強度があることが確認できた。

表 1 試験結果 1

試験番号	試験条件		試験結果 (km)										
	段差	パウダーブレーキ	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	
1	無し	無し		●パンク		●				●		○	
2	無し	0.5A			●			●		●		○	
3	無し	0.8A			●	●				⊗ハトメ脱落			
4	5mm	無し	▲	●	●	●		⊗ハトメ脱落					
5	5mm	0.5A	●	●	●	●		⊗ハトメ脱落					
6	5mm	0.8A断続	●	●	●	●	●	●		⊗リム亀裂			

●パンク ▲スポーク折れ ⊗試験終了 ○10,000km完了

表2 試験結果1 (破損状況)



試験番号	段差	パウダーブレーキ	途中経過	状況写真
1	無し	無し	1,759.7km にてパンク	
			3,796.1km にてパンク	
			7,500.5km にてパンク	
			10,000km 走行完了	
2	無し	0.5A	2,826.5km にてパンク	

表 2 試験結果 1 (破損状況)



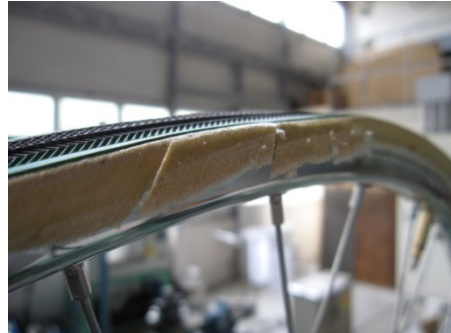

試験番号	段差	パウダーブレーキ	途中経過	状況写真
2	無し	0.5A	6,146.9km にてパンク	
			8,423.5km にてパンク	
			10,000km 走行完了	
3	無し	0.8A	2,488.9km にてパンク	
			3,519.1km にてパンク	

表 2 試験結果 1 (破損状況)





試験番号	段差	パウダー ブレーキ	途中経過	状況写真
3	無し	0.8A	6,804.3km にてハトメ脱落	
4	5mm	無し	1,193.9km にてパンク	
			1,386.7km にてスポーク折れ	
			2,664.5km にてパンク	

表 2 試験結果 1 (破損状況)


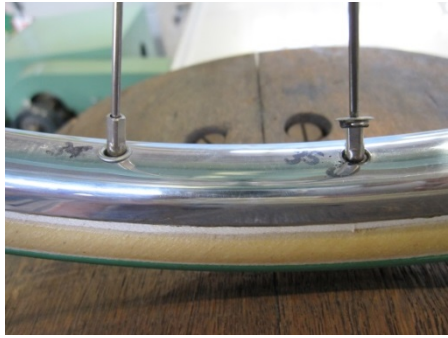
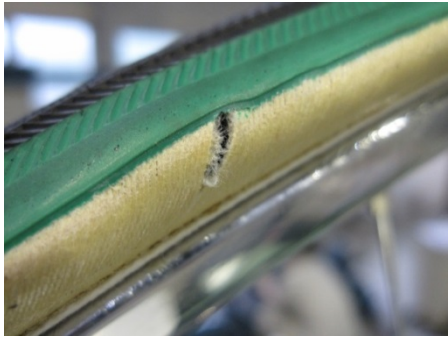
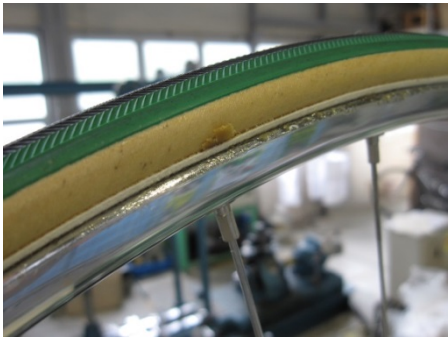
試験番号	段差	パウダー ブレーキ	途中経過	状況写真
4	5mm	無し	3,983.1km にてパンク	
			4,991.6km にてハトメ脱落	
5	5mm	0.5A	1,283.6km にてパンク	
			2,676.5km にてパンク	

表2 試験結果1 (破損状況)


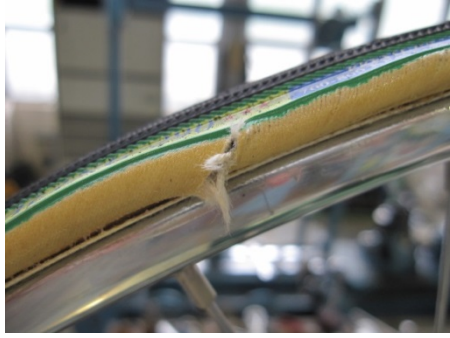
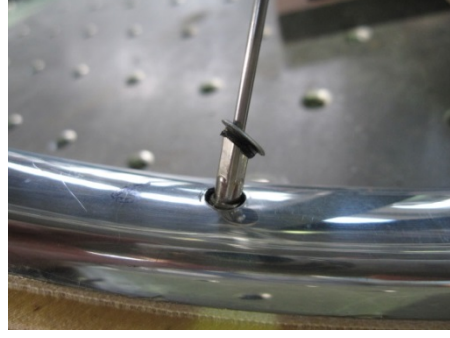
試験番号	段差	パウダーブレーキ	途中経過	状況写真
5	5mm	0. 5A	3,596.4km にてパンク	
			4,629.9km にてパンク	
			5,650.0km にてハトメ脱落	
6	5mm	0. 8A断続	1,301.0km にてパンク	(写真なし)

表 2 試験結果 1 (破損状況)




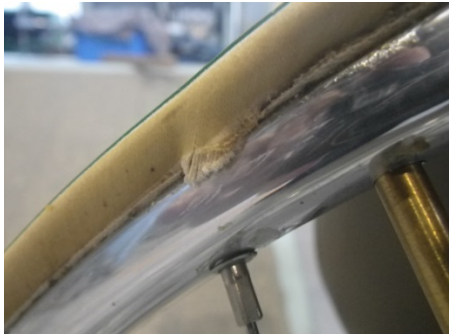
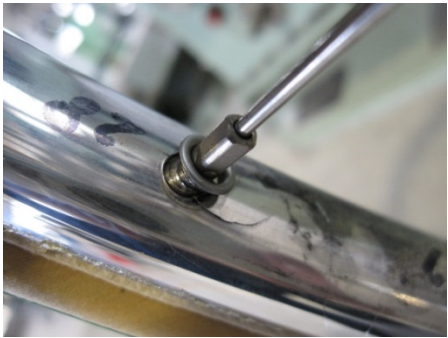
試験番号	段差	パウダー ブレーキ	途中経過	状況写真
6	5mm	0. 8A断続	2,272.2km にてパンク	
			3,139.1km にてパンク	
			4,235.9km にてパンク	
			5,226.6km にてパンク	

表 2 試験結果 1 (破損状況)

試験番号	段差	パウダーブレーキ	途中経過	状況写真
6	5mm	0.8A断続	6,626.2km にてハトメ脱落	

4.2 ロードレーサー用車輪

別途実施した試験で使用したロードレーサーから前車輪を取り外し、検証試験を実施した。
使用されていた部品は、

ハブ	GIANT(DT SWISS) P-SL1 (右側:タンジェント組, 写真 9)
リム	GIANT(DT SWISS) P-SL1 24 穴 622×18
スポーク	DT SWISS ストレート 太さ 2.0mm
タイヤ	GIANT P-R3 700×23C(23-622)

で、

車輪速度	25 km/h
接地荷重	588 N(60 kgf)
左右揺動角度	± 7 度
タイヤ空気圧	8.0 kgf/mm ²
段差高さ	5 mm
パウダーブレーキ	なし

により試験を行った。供試品の外観を**写真 8**に、供試品のハブ部を拡大したものを**写真 9**に示







写真 8 供試品



写真 9 供試品 (ハブ部拡大)

表3 試験結果2 (破損状況)

試験番号	段差	パウダーブレーキ	途中経過	状況写真
7	5mm	無し	2,446.1kmにてパンク タイヤが膨らむ	
			2,717.5kmにてパンク タイヤ側面が裂けたため試験終了	
8	5mm	無し	8,863.9kmにてパンク タイヤ変形のため試験終了	
9	5mm	無し	7,858.1kmにてパンク タイヤ変形	
			7,865.5kmにて再度パンク 修理不能のため試験終了	写真なし

した。

同じ供試品 3 本を使用し、タイヤがパンクした際には、チューブを修理の上、試験を続行したが、タイヤ側面が避けた場合には、継続不能として試験を中止した。試験結果を表 3, 4 に示す。

いずれもタイヤ側面が裂け、試験を継続することができなくなったが、試験番号 7 の供試品は 2,717.5km、試験番号 8 は 8,863.9km、試験番号 9 は 7,865.5km まで走行できた。4.1 章のトラックレーサー用の車輪では、段差 5mm の場合は千数百 km 毎に車輪がパンクし、タイヤの交換を繰り返していたが、ロードレーサー用の車輪は、段差に強いことが確認できた。

表 4 試験結果 2

試験番号	試験条件		試験結果 (km)									
	段差	パウダーブレーキ	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
7	5mm	無し	.....●⊗.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
8			.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....⊗.....	.....
9			.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....⊗.....	.....

●パンク ⊗タイヤの損傷が激しく試験終了

5. おわりに

今回、車輪台上走行試験機を改造し、トルクを負荷することが可能となった。しかし、通常使用を模した車輪の耐久試験には長時間の試験時間が必要で、段差高さ、駆動トルクによる差異までは確認することができなかった。また、スポーク折れが 1 本しか発生しなかったため、パウダーブレーキによるトルク負荷やスポークの通し方によりにより、スポークの折損状況が変わるかどうかまでは確認できなかった。今後も耐久試験を継続し、データの蓄積を図っていきたい。

参考文献

- 1) 井上：車輪の疲労強度の研究、自転車技術情報, No.24(1984-7), 28-37
- 2) 林, 井上: ハブつば間隔及びオフセット量による車輪の強度, 自転車技術情報, No.28(1985-7), 25-32