

nite

ドラム式走行試験機等を使用した 自転車事故の原因究明

九州支所
製品安全技術課

上江洲 守

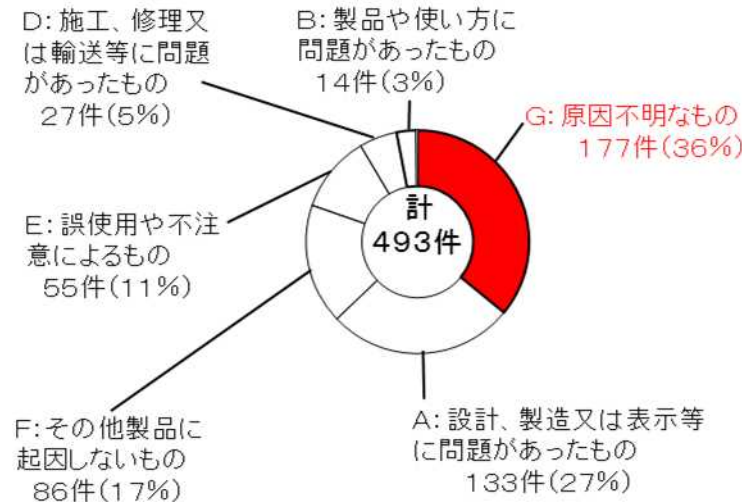
発表内容

1. 背景
2. 目的
3. 試験装置及び車輪(リム)について
4. 実施した試験
5. 試験手順及び結果
6. まとめ

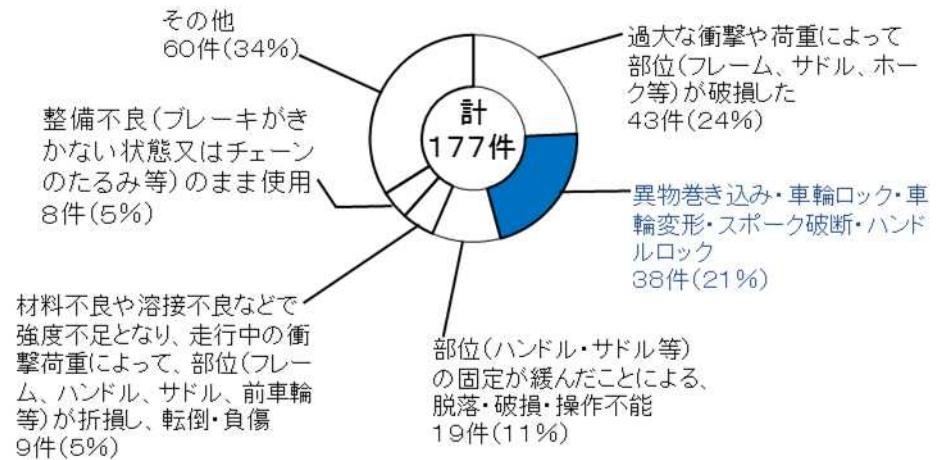
1. 背景

- 平成20年度～平成24年度の5年間で493件の自転車事故が発生
- 原因不明事故は177件(36%)と大きな割合

事故発生年度 平成20年度～平成24年度
総件数493件が対象



G: 原因不明なものの内訳



- 原因不明の中で「異物巻き込み・車輪ロック・車輪変形・スポーク破断・ハンドルロックが原因と推定される事故」は 38件(原因不明の21%)

①車輪が変形 ⇒ 走行不能

②転倒 ⇒ 車輪が変形

検証データが少ない

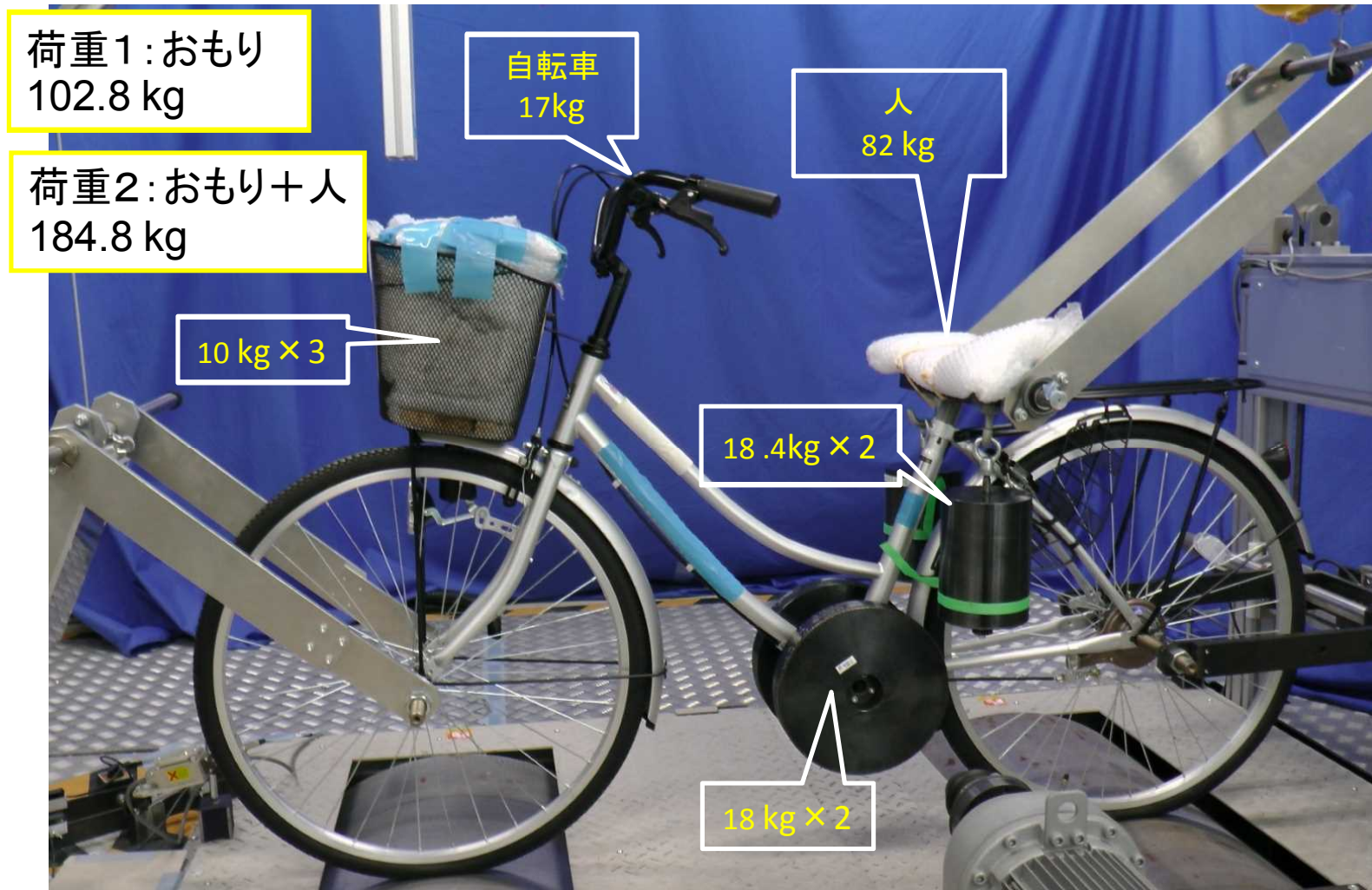
2. 目的

- ① 走行中の突然の車輪の大変形※の検証
- ② 車輪への巻き込み等の実施
⇒ 今後の事故調査への活用

※横振れの急激な変化量が10 mm以上ある場合を「突然の車輪の大変形」とした。



3. 試料及び試験装置等について(1)



ドラム式走行試験機(ISO規格対応)

3. 試料及び試験装置等について(2)

試験に使用した自転車及びリム

- 自転車 26インチ ダブルループ型 中国製
17 kg 約1万円
- リム 前輪リムを使用: 26 1 3/8 WO アルミリム

・スポーク番号:

進行方向向かって左側から見たときに、バルブ右側のスポークから1,2,3...36とする。

・奇数番号: 左側

・偶数番号: 右側

・スポーク番号18と19の間にリムの継ぎ目がある。

ハブ
写真

P9



3. 試料及び試験装置等について(3)



振れ取り台・ダイヤルゲージ



段差板 10 mm



スポークテンションメーター



スポークレンチ

4. 実施した試験

- ① スポーク張力調整時のリムの突然の変形
- ② ドラム式走行試験機を用いた試験
 - i. 過積載状態＋スポーク張力がアンバランスな状態(基本走行条件)
 - ii. 基本走行条件で走行中にスポークへの衝撃(巻き込み試験)
 - A) 木槌によるスポーク打撃
 - B) 角棒の差し込み
 - C) 長傘の差し込み
 - D) 運動靴の差し込み
 - iii. 前輪ハンドルを人が操作する試験(緩やかなカーブのある急な下り坂を想定した試験)
- ③ 段差降り試験
- ④ 自転車落下試験
- ⑤ 自転車正面衝突試験
- ⑥ おもり落下試験
- ⑦ 自動車による車輪轢き
- ⑧ リムの硬さ及びリム肉厚測定(事故品との比較)
- ⑨ 有限要素法を用いた応力解析

5. 試験実施手順及び結果

①スポーク張力調整時のリムの突然の変形

試験方法

- 徐々にスポーク全体の張力を締め付けて([p6画像参照](#))、その後スポーク張力をアンバランスにする。

試験結果

結果1(リム番号18)	結果2(リム番号3)	結果3(リム番号5)	結果4(リム番号16)
スポーク23が破断。 横振れ24mm	スポーク 30,31,32,33,34及 び35が破断。横振 れほとんどなく、リ ムが卵形に変形。	スポーク4,6,7及 び8が破断。 横振れ 35 mm	スポーク22が破断。 横振れ 26 mm

- スポークが破断し、突然の大変形が生じる場合がある。
- 破断した衝撃で近傍のスポークが連続して破断する。
- 横振れの変化:最大35 mm

5. 試験実施手順及び結果

② ドラム式走行試験機を用いた試験

i. 過積載状態＋スポーク張力がアンバランスな状態(基本走行条件)

試験方法

- 負荷 荷重1(おもり):102.8 kg ⇒ 前輪にかかる荷重:52 kg
荷重2(おもり+人):184.8 kg ⇒ 前輪にかかる荷重:90 kg




- スポーク張力:アンバランスな状態
- 速度 前輪ドラム:15 km/h、後輪ドラム:使用せず
- 段差板 10 mm (1枚)
- その他

試験前後にスポーク張力及び縦振れ横振れ測定、タイヤ空気圧(300 kPa)、ビデオ撮影の実施

5. 試験実施手順及び結果

②ドラム式走行試験機を用いた試験

i. 過積載状態＋スポーク張力がアンバランスな状態：基本走行条件

	結果1(リム番号18)		結果2(リム番号3)			結果3(リム番号21)	
スポーク張力調整及び走行試験状況	<ul style="list-style-type: none"> ・大変形リム ・スポーク23が欠落 ・横振れ取り、試験を実施 		<ul style="list-style-type: none"> ・スポーク6本(30~35)が欠落 ・縦に変形したリム ・横振れを取り試験を実施 			<ul style="list-style-type: none"> ・全てのスポークを緩める。 ・横振れを取り試験を実施 	
走行時間	荷重1 4h45min	荷重2 7h15min	荷重1 9h08min	荷重2+人 9min	荷重2 2h40min	荷重1 3h35min	荷重2 2h41min
	12h00min		11h57min			6h16min	
	横振れ	縦振れ	横振れ	縦振れ	横振れ	縦振れ	
走行前	0.51 mm	5.43 mm	0.44 mm	13.50 mm	0.22 mm	0.31 mm	
走行後	0.61 mm	5.55 mm	1.60 mm	13.19 mm	0.96 mm	1.43 mm	

結果： 走行試験中に突然の大変形は発生しなかった。

5. 試験実施手順及び結果

②ドラム式走行試験機を用いた試験

ii. 基本走行条件で走行中にスポークへの衝撃(巻き込み試験)

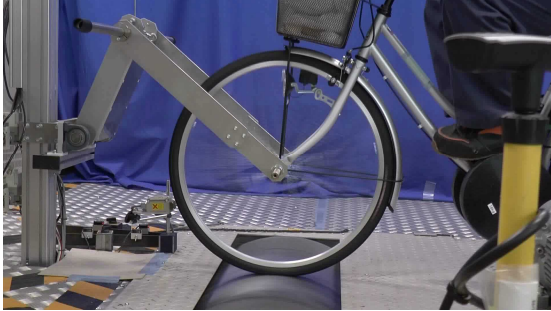

試験方法:

- スポーク張力強めの場合: スポーク張力アンバランス後、横振れを取る。
- 試験速度: 15 km/h
- 段差板: 高さ 10 mm
- 負荷: 184.8 kg (荷重2: おもり+人)
- スポークへ衝撃を与える方法
 - 木槌による打撃: スポーク張力(強めと張力なし)
 - 角棒の巻き込み: スポーク張力(強めと購入時の状態)
 - 長傘の巻き込み: スポーク張力(購入時の状態)
 - 布製運動靴の巻き込み: スポーク張力(購入時の状態)

5. 試験実施手順及び結果

②ドラム式走行試験機を用いた試験

ii. 基本走行条件で走行中にスポークへの衝撃(巻き込み試験) 結果 木槌による打撃試験

	結果1(リム番号18)		結果2(リム番号21)	
スポーク張力調整 及び打撃試験状況	<ul style="list-style-type: none"> ・スポーク張力強めでアンバランスな状態のリムを使用(スポーク23欠落)  <ul style="list-style-type: none"> ・スポーク破断(21,25) 		<ul style="list-style-type: none"> ・全てのスポークを緩めた状態のリムを使用  <ul style="list-style-type: none"> ・スポーク曲がり 11本 (1,3,5,7,9,13,19,21,23,25,27) 	
	横振れ	縦振れ	横振れ	縦振れ
試験前	0.61 mm	5.55 mm	0.96 mm	1.43 mm
試験後	21.76 mm	測定不能	2.50 mm	1.15 mm


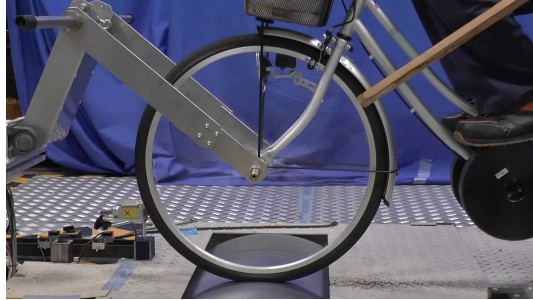
試験結果:スポーク張力強めで大変形が発生した。

スポークを緩めた状態ではほとんど変形しない。

5. 試験実施手順及び結果

②ドラム式走行試験機を用いた試験

ii. 基本走行条件で走行中にスポークへの衝撃(巻き込み試験) 結果 角棒の巻き込み試験結果



	結果1(リム番号15)		結果2(リム番号22)	
スポーク張力調整 及び巻き込み状況	<ul style="list-style-type: none"> ・スポーク張力強めでアンバランスなリム  <ul style="list-style-type: none"> ・左側のスポーク3,5,7及び9が破断 		<ul style="list-style-type: none"> ・スポーク張力は調整しない。  <ul style="list-style-type: none"> ・左側のスポーク23,25,27及び29が破断 	
	横振れ	縦振れ	横振れ	縦振れ
試験前	3.59 mm	4.14 mm	0.42 mm	0.46 mm
試験後	34.33 mm	測定不能	23.51 mm	測定不能

試験結果: 大きな変形(スポーク張力が大きい方が変形が大)
差し込んだ側のスポークに破損、スポークの曲がり

5. 試験実施手順及び結果

②ドラム式走行試験機を用いた試験

ii. 基本走行条件で走行中にスポークへの衝撃(巻き込み試験) 結果 長傘及び布製運動靴の巻き込み試験結果

		結果1(リム番号24)			
試験の種類		長傘の巻き込み試験		布製運動靴の巻き込み試験	
スポーク張力調整 及び差し込み試験 状況	・スポーク張力は調整しない。			・長傘の試験後に実施。	
					
		横振れ	縦振れ	横振れ	縦振れ
試験前		0.36 mm	0.50 mm	0.76 mm	0.46 mm
試験後		0.76 mm	0.46 mm	0.92 mm	0.37 mm

試験結果:長傘、布製運動靴ともにスポーク破断なし。

- 長傘:長傘は大破するが、リムに大きな変化は生じなかった。
- 布製運動靴の巻き込み:前輪がロックするが、リムはほとんど変形せず、ホークが後方に曲がる。ヘッド部下わんにベアリングの圧痕。

5. 試験実施手順及び結果

②ドラム式走行試験機を用いた試験

iii. 前輪ハンドルを人が操作する試験(ゆるやかなカーブのある急な下り坂での走行を想定した試験)

試験方法:

試験条件

- ドラム走行試験機の前輪の治具を取り外し、ハンドルを試験者が操作する。
- 負荷: 合計66 kg (バスケット部 10 kg × 3、ハンガラグ部 18 kg × 2)
- 段差板: 使用しない。
- 試験速度: 10 km/h、20 km/h
- スポーク張力(同じリムを使用)
 - ①購入時の状態
 - ②リムを変形させた状態

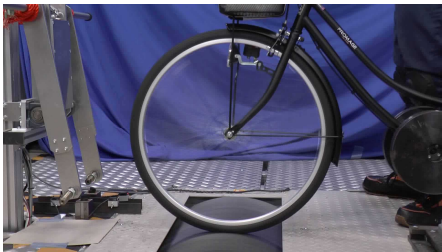
ハンドル操作

- ブレーキをかけながらハンドルをわずかに右に切った状態での走行。
- 走行中にハンドルを右に切りながら同時に強くブレーキをかける操作。
- ハンドル操作では意図的にハンドルを下方方向に押さえつけるようにしてリムに負荷をかける。

5. 試験実施手順及び結果

②ドラム式走行試験機を用いた試験

iii. 前輪ハンドルを人が操作する試験(ゆるやかなカーブのある急な下り坂での走行を想定した試験)試験結果

	結果1(購入時のスポーク張力状態での走行試験)		結果2(リムを変形させたままでの走行試験)	
スポーク張力調整及び走行試験状況	<ul style="list-style-type: none"> ・スポーク張力は調整しない。  <ul style="list-style-type: none"> ・スポークの破断なし。 		<ul style="list-style-type: none"> ・リムを変形させた状態(事故品のスポーク張力を測定し、特定のスポーク張力を30%増しで締め付けて変形させる)。 ・3時間程度の右側にハンドルを切る操作を主体に試験を実施。 ・リムは走行中に徐々に変形が大きくなり、急に大きく変形することはなかった。 ・スポークの破断なし。 	
	横振れ	縦振れ	横振れ	縦振れ
走行前	0.42 mm	0.41 mm	8.8 mm	測定不能
走行後	0.52 mm	0.48 mm	11.7 mm	測定不能



試験結果: 走行中に突然の変形は発生しなかった。

5. 試験実施手順及び結果

③段差降り試験

試験方法:

- 20 cm段差を降りる動作を1,000 回実施。
- 100回の段差降り毎に前輪を取り外し、横振れ、縦振れ及びスポーク張力を測定。
- 試験者の荷重は82 kg

	結果1(リム番号15)		結果2(リム番号21)	
スポーク張力調整 及び試験状況	<ul style="list-style-type: none"> ・スポーク張力が強めでアンバランス  <ul style="list-style-type: none"> ・スポークの破断なし。 		<ul style="list-style-type: none"> ・スポークをすべて緩めたリム。 ・スポーク曲がりがある状態で試験実施。  <ul style="list-style-type: none"> ・スポークの破断なし。 	
	横振れ	縦振れ	横振れ	縦振れ
走行前	4.01 mm	4.27 mm	2.50 mm	1.14 mm
走行後(1,000回段 差降り後)	3.59 mm	4.14 mm	2.28 mm	1.36 mm

試験結果: 走行中に突然の変形は発生しなかった。

5. 試験実施手順及び結果

④ 自転車落下試験（ハンドル操作不能状態による衝撃）

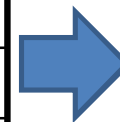
試験方法：

- ハンドルを進行方向右向きに直角にひもで固定し、落下試験を実施。
- 落下高さは、70 cm及び140 cm、リム側面方向からの衝突
- 自転車の重量は17 kg
- スポーク張力
 - ① スポーク張力を強めでアンバランスに設定したリム（リム番号4）
 - ② 購入時のスポーク張力（リム番号24）

試験結果：

- 140 cmからの落下試験で大きな変形が生じた（スポークが1本破断）

落下試験高さ 140 cm	リム番号4、落下試験回数1回	
	横振れ	縦振れ
落下前	4.31 mm	2.27 mm
落下後	18.43 mm	測定不能



衝突瞬間

5. 試験実施手順及び結果

⑤ 自転車正面衝突試験

試験方法:

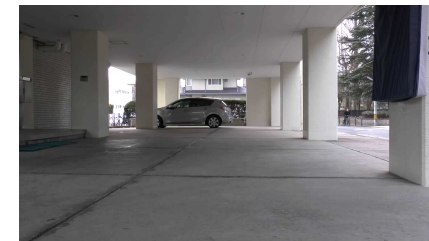
- 自転車に乗車したまま柱へ正面衝突を行う。
- 負荷: 合計 99.5 kg (試験者 82.5 kg、自転車 17 kg)
- 衝突時の速度: 12.7 km/h
- リム(リム番号5)
 - 強制的に塑性変形させたリムにスポーク張力を強めに設定したリム
 - 基本走行条件により走行試験を実施後のリムを使用。

試験結果:

- 衝突後、リムの変形はほとんど生じない。
- ホークが後方に曲がる。
- 下側メインパイプがどろよけと接触した状態。
- スポークの破断はなかった。

縦振れと横振れの変化(リム番号5)

	横振れ(mm)	縦振れ(mm)
衝突前	0.74	2.29
衝突後	0.75	2.22



衝突瞬間

5. 試験実施手順及び結果

⑥ おもり落下試験（駐輪場での横倒しや駐輪スタンドからの干渉を想定）

試験方法

- 自転車を横倒しにした状態で前輪スポークに70 cmの高さから25 kgのおもりを落下。
- おもりは、JIS S 1203 家具—いす及びスツール— 強度と耐久性の試験方法 6.8に規定されている座面衝撃体を使用。
- 使用するリム（リム番号5、リム番号25）
 - リム番号5及び25:強制的に塑性変形させたリム→スポーク張力を強めでアンバランスに設定。
 - リム番号25がリム番号5よりスポーク張力が大きい。

試験結果

- スポーク張力が大きいリム（リム番号25）に比較的大きな変形が発生した。
- スポークの破断はなかった。

おもり落下試験:縦振れと横振れの変化(単位:mm)

	結果1(リム番号5)		結果2(リム番号25)	
	横振れ	縦振れ	横振れ	縦振れ
試験前	0.81	2.62	0.53	0.58
試験後	6.33	測定不能	11.27	測定不能



5. 試験実施手順及び結果

⑦自動車による車輪轢き試験

試験方法

自転車を横倒しにした状態で前輪の上から自動車を通させる。

- 自動車は普通車を使用。
- 使用するリム(リム番号26)
 - スポーク張力は購入時の状態。

試験結果

- 自動車タイヤが自転車前輪上を通過する瞬間にはリムが大きく変形するが、試験後のリムには大きな変形は発生しなかった。
- スポークの破断はなかった。

自動車による自転車前輪轢き試験:横振れと縦振れの変化(単位:mm)

	リム番号26	
	横振れ	縦振れ
試験前	0.41	0.41
試験後	6.33	1.99



通過瞬間

5. 試験実施手順及び結果

⑧リムの硬さ及びリム肉厚測定(事故品との比較)

A) 硬さ測定

試験方法:

- 大変形を起こした事故品のリムと今回の試験に使用したリムの硬度を測定する。
- 硬さ測定には[バーコル硬さ計](#)を使用した。

試験結果

- 今回の試験に使用したリムと事故品のリムとの硬さは同じ値であった。
- バーコル硬さの値を換算式により6000系アルミ合金の引張り強さに換算したところ、275MPaであった。この換算値(275 MPa)はJIS H 4100 アルミニウム及びアルミニウム合金の押出型材6061 T4の引張り強さの規格値(175 MPa)を満足するものであった。

試験品リムと事故品リムのバーコル硬さ

	試験品(リム番号10)	事故品
バーコル硬さ	79	79
6000系アルミ合金への引張り強さ換算値(MPa)	275	

5. 試験実施手順及び結果

⑧リムの硬さ及びリム肉厚測定(事故品との比較)

B) 肉厚測定

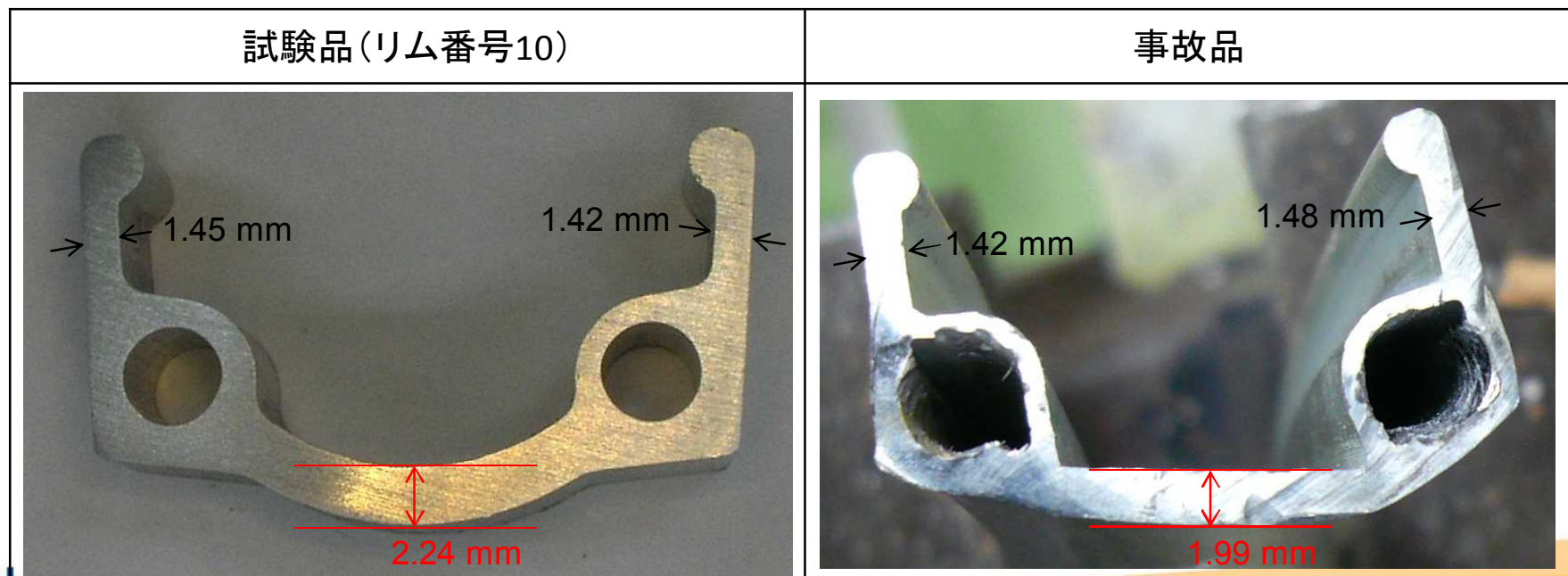
➤ 試験方法:

- 試験に使用したリムと大変形を起こした事故品のリムとの肉厚を測定する。
- 試験品: 切断してリム肉厚を測定。事故品: リム継ぎ目ピンを取り外して肉厚を測定。

➤ 試験結果

- 試験品リム内側の肉厚: 2.24 mm 事故品のリム内側の肉厚: 1.99 mm
- 事故品のリム内側の肉厚は試験品のリム内側の肉厚に対し11 %薄い。

試験品リムと事故品リムの肉厚



5. 試験実施手順及び結果

⑨有限要素法(FEM)を用いた応力解析(事故品との比較)

➤ 試験方法:

- 試験品と事故品のFEMモデルを作成し、応力解析(静解析)を実施する。
- モデルの違いはリム内側の肉厚: 試験品2.24 mm 事故品1.99 mm
- 1/2モデルを作成し、モデル上部に250 Nの負荷を与える。

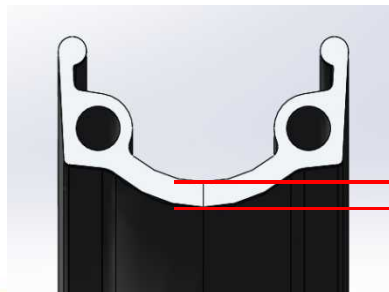
➤ 試験結果

- 肉厚を11%減らすと、応力が13%増加した。

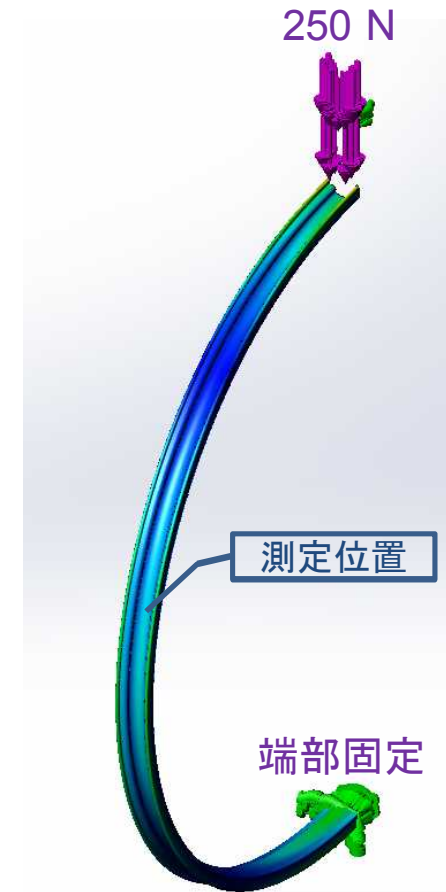
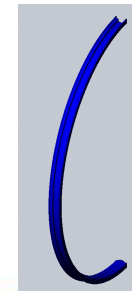
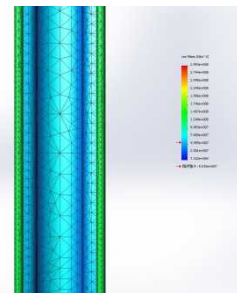
作成したモデル及び静解析結果

	試料	事故品
厚み(mm)	2.24	1.99
応力測定位置	側面部の中央	
応力*(MPa)	76	86

*応力はvon Mises応力により表示した。



リム内側厚み
試験品 2.24 mm
事故品 1.99 mm



6. まとめ及び事故調査への活用

まとめ 一覧表

	試験項目	スポークの破断の有、無 (※1)	突然の大変形の有無 (※2)	横振れ最大値 (mm)	事故原因究明への活用	
1	スポーク張力調整時のリムの突然の変形				スポークの張力のアンバランス ・リムの裏側のニップルからのねじの嵌め具合の観察	
1-1	リムが変形するような締め付け	×	×	0.5 → 60		
1-2	徐々にスポーク全体を締め付けていく途中、又は強く締め付けた状態でスポーク張力をアンバランスにしている途中	○	○	35.0		
2	基本走行条件：過積載＋スポーク張力強めでアンバランスにさせたリムでの走行試験	×	×	0.4 → 1.6		
3	基本走行条件で走行中のスポークへの衝撃					
3-1	木槌によるスポーク打撃	○	○	0.6 → 21.8		
3-2	角棒の巻き込み	○	○	3.6 → 34.3		巻き込みの可能性 ・どろよけの凹み ・同じ側での連続したスポーク破断
3-3	長傘の巻き込み	×	×	0.4 → 0.8		
3-4	布製運動靴の巻き込み	×	×	0.8 → 0.9		
4	前輪ハンドルを人が操作する試験（緩やかなカーブのある急な下り坂を想定した試験）	×	×	8.1 → 11.7		
5	段差降り試験	×	×	4.0 → 3.6	衝撃によるホーク曲がり ・ヘッド部の上わん・下わんのベアリングの凹み疵	
6	自転車落下試験（ハンドル操作不能状態による衝撃）	○	○	4.3 → 18.4		
7	自転車正面衝突試験	×	×	0.7 → 0.8		
8	おもり落下試験（駐輪場での横倒しや駐輪スタンドからの干渉）	×	○	0.5 → 11.3		
9	自動車による前輪車輪轢き試験	×	×	0.4 → 6.3		

6. まとめ及び事故調査への活用

まとめ

- スポーク張力の変化が急激に起こるほどリムの変形が生じやすくなる傾向にある。
- スポークが破断してリムが変形する場合、スポーク張力が大きくアンバランスなほど、リムの変形量が大きくなる傾向にある。
- 走行中の車輪への円環平面方向からの荷重では突然のリムの変形が起こりにくい。
- スポーク張力の急激な変化が走行中のリムの突然の変形を引き起こすために有効である。
- 過大な荷重での走行やスポーク張力の強弱あるいはスポーク張力がアンバランスな状態の走行だけでは、走行中の突然の車輪変形は発生しないと考えられる。

結論：走行中の車輪の突然の大変形は、走行中のスポークの破断、あるいは進行方向向かって横方向から車輪に急激な負荷が加わることにより発生すると考えられる。

車輪変形事故の事故調査への活用

- スポークの破断・変形 ⇒ 巻き込みがあった場合は、同じ側のスポークが破断
- リムの裏側のニップルからのねじの嵌め具合の観察
- どろよけの凹みによる巻き込みの可能性
- ホーク曲がりにおいてヘッド部の上わん・下わんのベアリングの凹み疵
- ホーク曲がりにおいて、前ブレーキブロック位置のずれ

自転車用4軸振動試験装置の導入について

➤ 背景

- ❑ 一定走行条件を再現するドラム式走行試験機では、実走行状態を再現することが困難。
- ❑ フレームの疲労による破損事故は日常の路面走行の積み重ねで発生している。
- ❑ 日常の実走行での路上段差の衝撃を再現可能な試験機があれば、数年単位で受ける振動を短時間で再現可能。

➤ 特徴

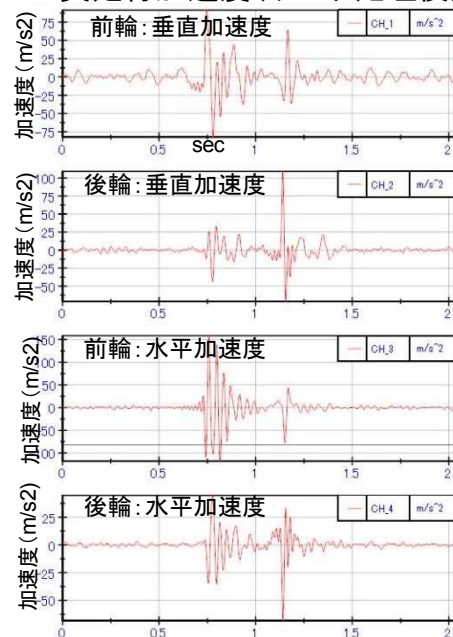
- ❑ 走行時の振動を再現する自転車用ロードシミュレータ
- ❑ フロント及びリアの車軸部を、水平・垂直方向に、それぞれ独立して加振
- ❑ 段差乗り越え時等に生じる車軸部の水平・垂直加速度を再現 → 目的位置のひずみ(応力)の再現

4軸振動試験装置(KYB製)

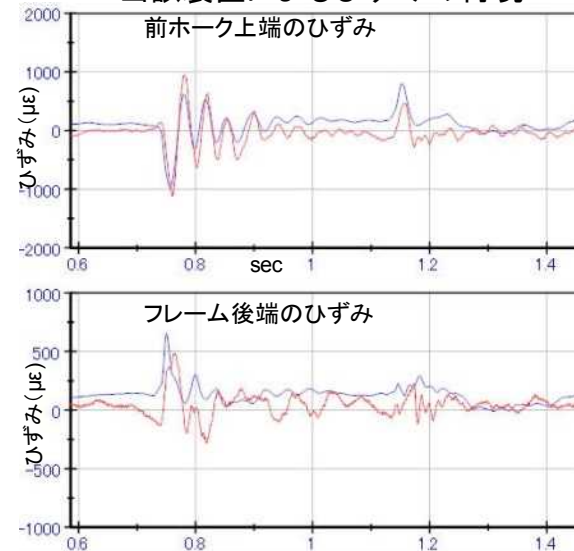


現在、ひずみを再現するため、おもりの積載方法を開発中。

実走行加速度(データ処理後)



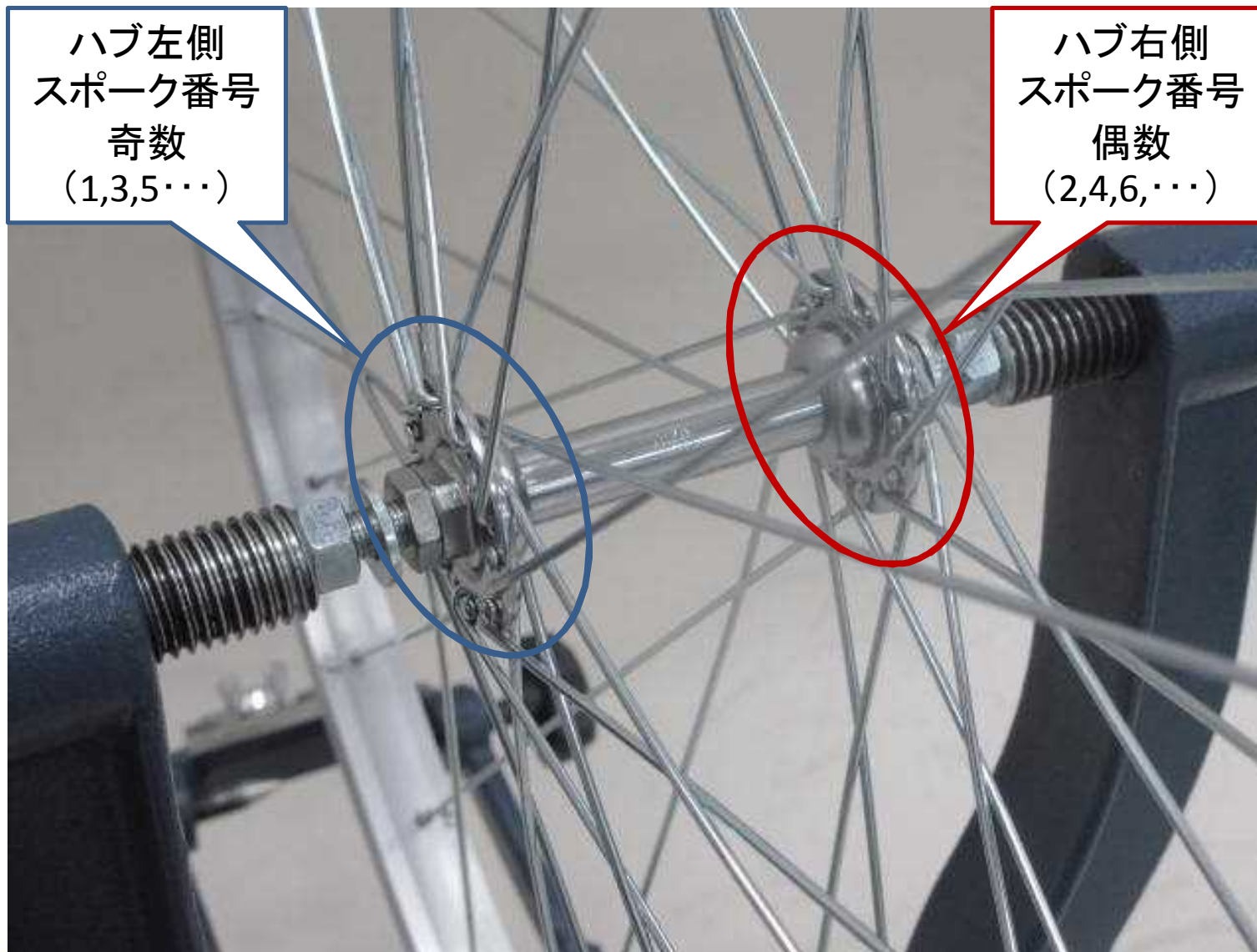
当該装置によるひずみの再現



青: 実走行のひずみ
赤: 試験装置のひずみ

ご静聴ありがとうございました。

ハブ



ハブ左側
スポーク番号
奇数
(1,3,5····)

ハブ右側
スポーク番号
偶数
(2,4,6,····)

意図的な変形



変形画像 [リム番号3](#)



自転車落下試験(140 cm) 衝突瞬間



衝突瞬間



おもり衝突瞬間



通過瞬間



バーコル硬さ計



意図的な大変形 リム裏側



泥よけの凹み



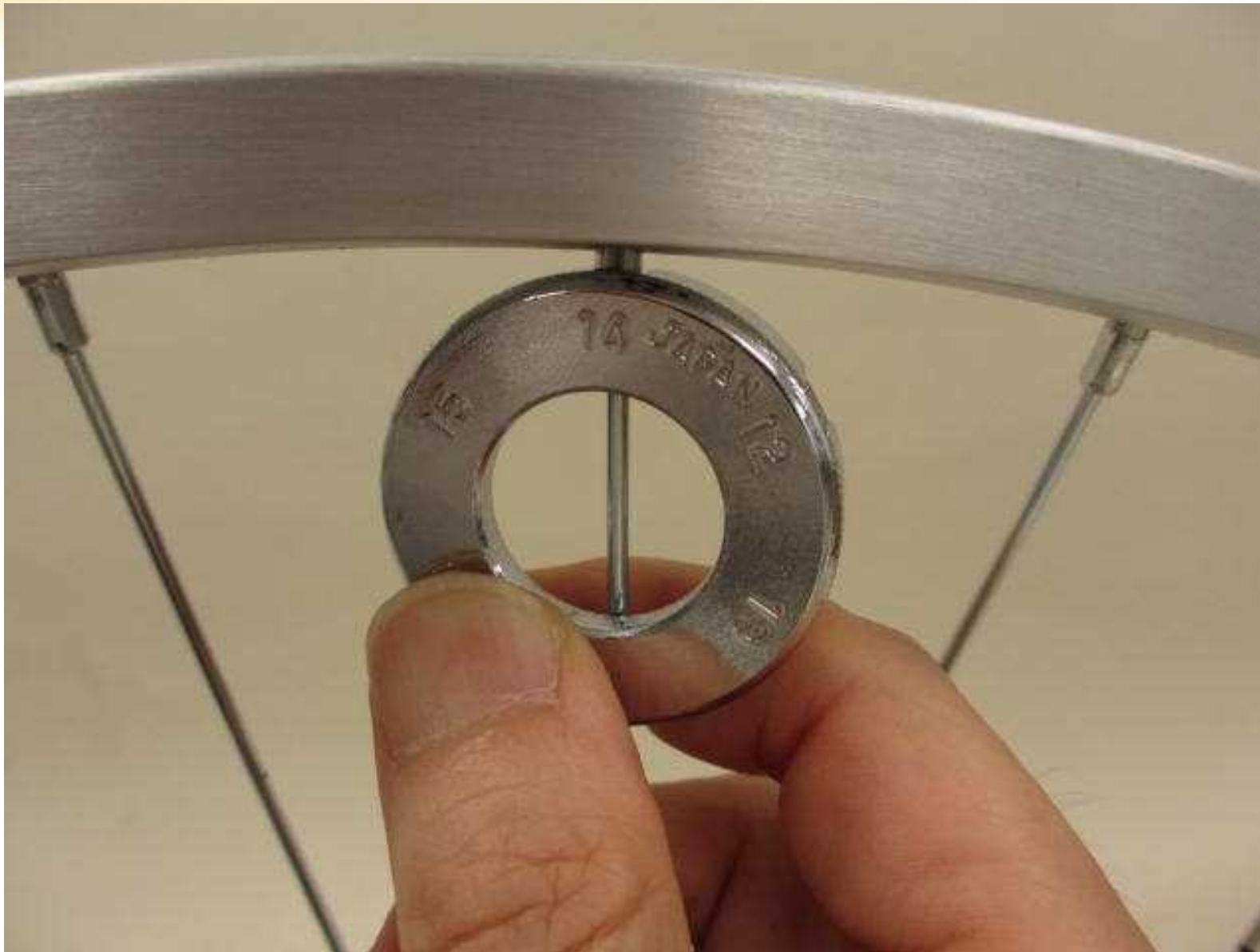
下わんのベアリングの凹み疵



スポークテンションメーター



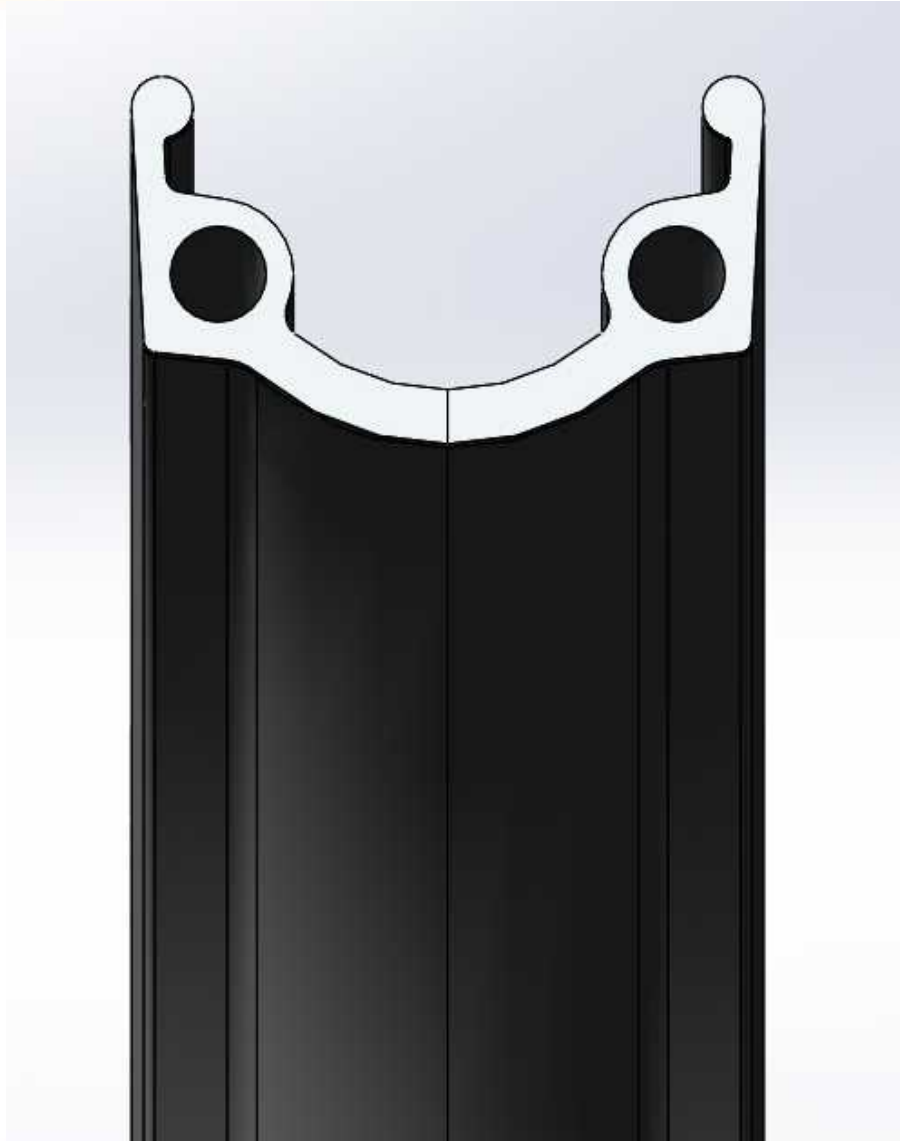
スポークレンチ



ダイヤルゲージ



FEMモデル リム断面

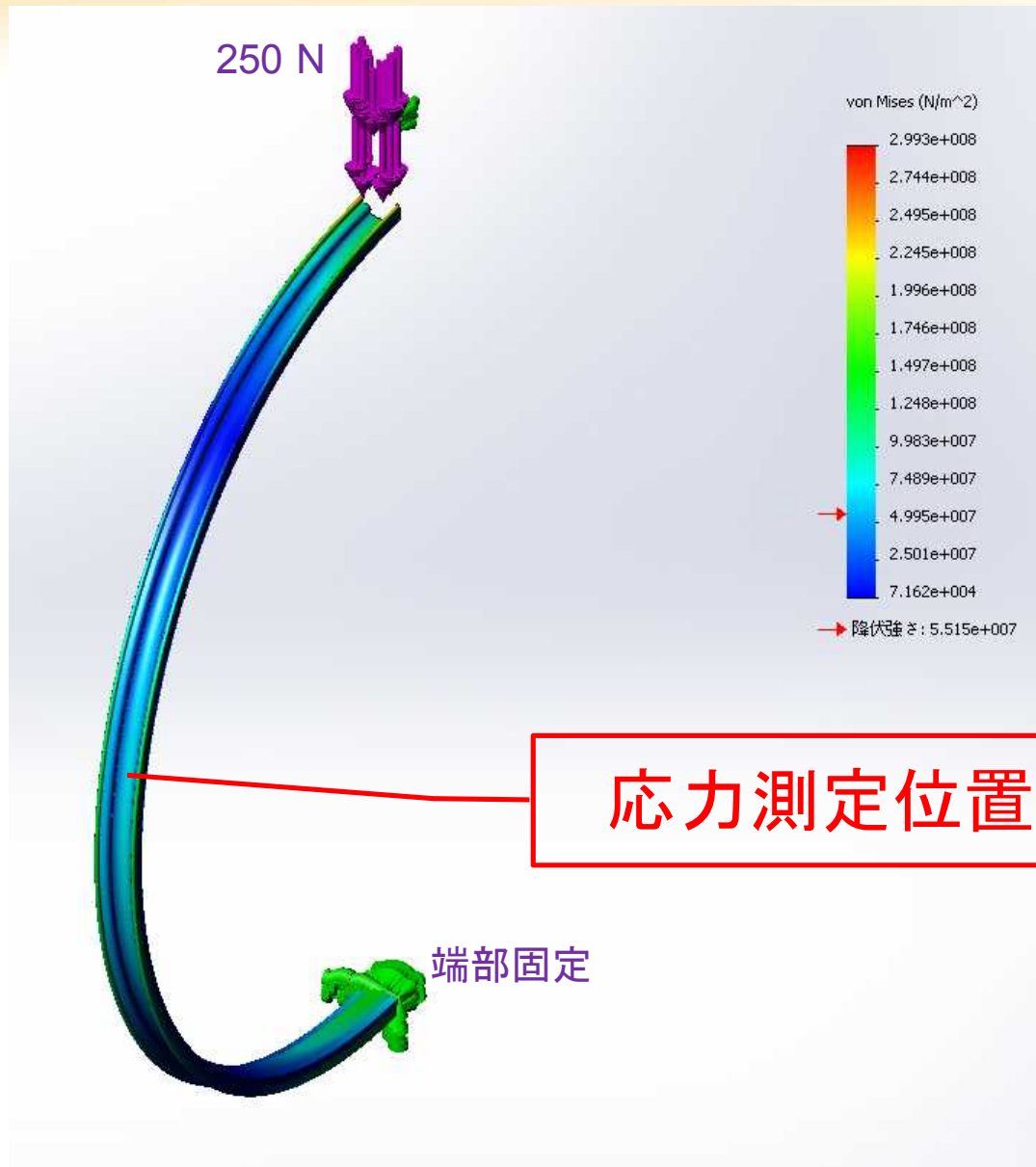


FEMモデル

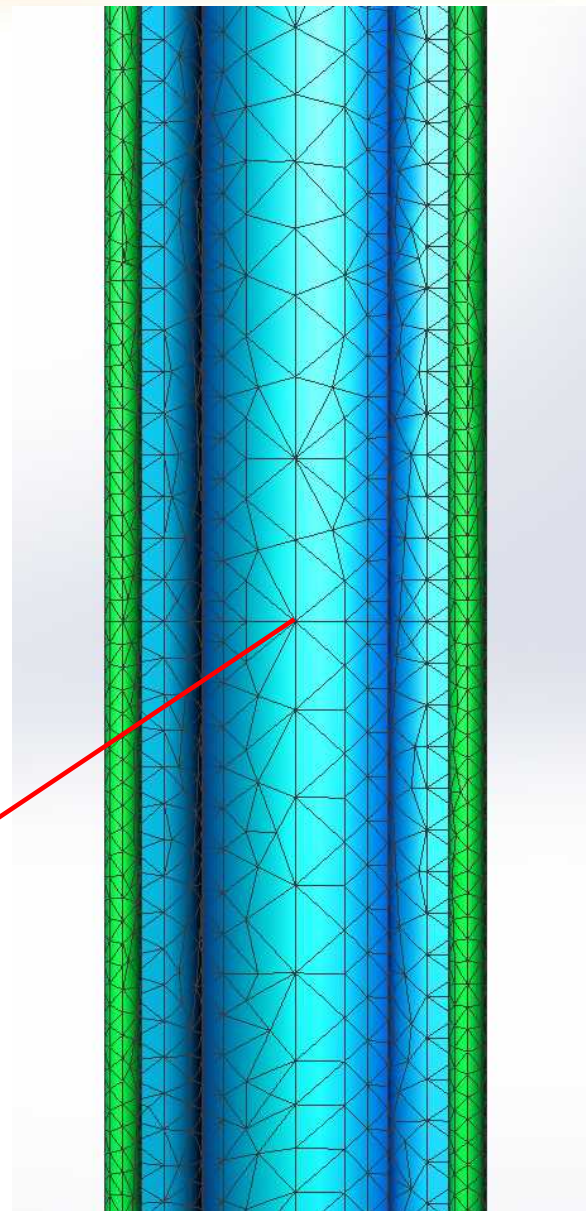


応力分布図 (von Mises応力)

リム側面中央応力分布図



応力測定位置



前ブレーキブロック位置のずれ

布製運動靴の巻き込み



正面衝突試験



試料及び試験装置等について(規格)

- リムの強度は？

JIS D 9421 自転車—リム 7.1 リムの強度試験において、規定される試験力(試験において使用したリムでは500 N)を静かに加えて2分間放置した後、力を取り除いたときの力の負荷点での永久ひずみが1 mm以下である。

- スポーク張力は？

JIS D 9301 一般用自転車 5.6.3 スポーク張力 ⇒ 車輪の呼び径22を超えるものでは平均400 N以上。張力が150 N以下のものがあるてはならない。

スポーク張力:(社)自転車協会 自転車安全基準(BAA) 5.5.2 ⇒ 車輪の呼び径22を超えるもので平均400 N以上。ただし、張力が1400 N以上もしくは200 N以下のものがあるてはならない。

- 横振れ及び縦振れは？

JIS D 9301 一般用自転車 5.6.1 リムを制動するブレーキがあるものでは1.5 mmを超えてはならない。