

折りたたみペダルの検証試験 平成 20 年度自転車等規格標準化推進事業

1. はじめに

折りたたみペダル（写真 1）を装備した自転車は、収納や持ち運びに便利なことや、比較的安価な折りたたみ自転車が増えたこともあって、近年広く普及している。しかし、折りたたみペダルは、ペダル軸が短いことや、折りたたみ機構が構造的に弱いものもあり、ペダルの破損事故も発生している。そのため国民生活センターでは、消費者に対しペダルの外側に体重をかけないように、また乗る前にはペダルの固定状態を点検するようアドバイスしている。

折りたたみ機構のない通常のペダル（以降一般用ペダルと呼ぶ）ではペダル軸が長いことから、ペダル中心への静荷重に対して十分な強度を備えていればペダル先端部への荷重に対する強度も確保されていると言えるが、折りたたみペダルではペダル軸の短さゆえに、また折りたたみ機構の耐力が不十分なことで、ペダルの先端部に繰り返し荷重を加えると破損および折りたたまれる恐れがある。

このような経緯から、ペダルの JIS（JIS D 9416：自転車 - ペダル）改正に際して、折りたたみペダルに関する項目の追加を検討することとなった。そして JIS 改正原案作成委員会の下に設置された第 4 作業部会（ペダル）において、JIS 改正案へのペダル先端部静的強度試験の追加と、ペダル先端部の繰り返し強度試験の検証要請があり、同作業部会からの要請によりその検証試験を行った。

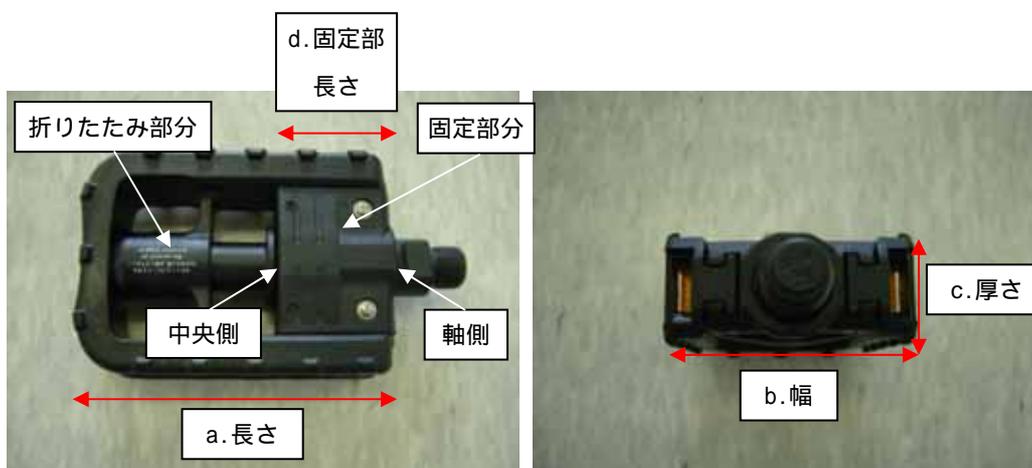


写真 1 折りたたみペダル外観と名称

2. 供試品

今回、11 銘柄の折りたたみペダルに加え、先端部の静的強度試験での比較のため代表的な一般用ペダル 3 銘柄を用いた。No.1 ~ No.11 が折りたたみペダル、No.12 ~ No.14 が一般用ペダルである。各供試品の材質、寸法などを表 1 に示す。

表 1 供試品一覧

| | ペダル体材質 | | 備考 | ペダル各部の寸法 (mm) | | | |
|----|--------|---------|---------|---------------|-----|---------|-------|
| | 固定部分 | 折りたたみ部分 | | a:長さ | b:幅 | c:厚さ | d:固定部 |
| 1 | 合成樹脂 | 合成樹脂 | 固定部分が薄い | 97 | 70 | 30 | 36 |
| 2 | | | 固定部分が厚い | | | | |
| 3 | 合成樹脂 | 合成樹脂 | | 99 | 75 | 35 | 47 |
| 4 | AL | 合成樹脂 | | 98 | 73 | 34 | 40 |
| 5 | 合成樹脂 | 合成樹脂 | | 95 | 70 | 27 | 36 |
| 6 | AL | AL | | 96 | 68 | 24 | 43 |
| 7 | AL | 合成樹脂 | | 98 | 70 | 28 | 42 |
| 8 | 合成樹脂 | 合成樹脂 | | 98 | 65 | 30 | 47 |
| 9 | AL | AL | | 89 | 68 | 23 | 42 |
| 10 | AL | 合成樹脂 | 片面式 | 94 | 68 | 21 ~ 35 | 37 |
| 11 | 合成樹脂 | 合成樹脂 | | 98 | 73 | 34 | 40 |
| 12 | 合成樹脂 | | 一般用 | 98 | 74 | 26 | |
| 13 | 合成樹脂 | | 一般用 | 94 | 70 | 25 | |
| 14 | 合成樹脂 | | 一般用 | 98 | 73 | 22 | |

固定部分の薄いものと厚いもの



薄い



厚い

いくつかのペダルにおいてペダルを分解し、ペダル軸の長さを計測した(写真2)。折りたたみペダルは一般用ペダルに比べ、ペダル軸の長さがおよそ半分であることがわかった。

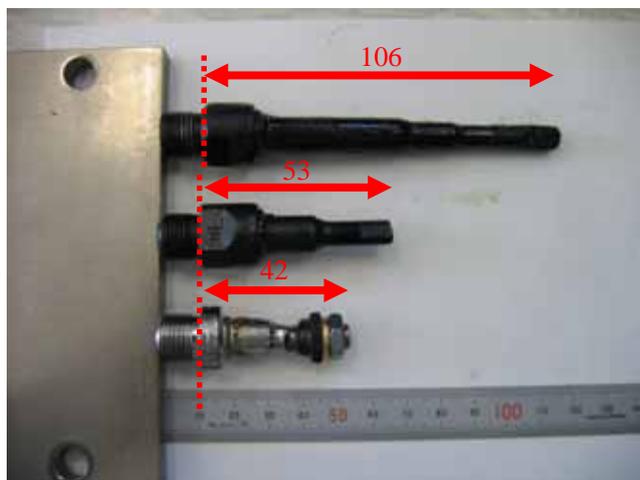


写真2 ペダル軸の長さ(上から No.12 No.3 No.9)

3．試験方法

3．1 ペダル先端部の静的強度試験

JIS D 9416 では、ペダル体中央部分に荷重を加えるのに対して、今回の試験では、ペダルをクランクはめ合いねじ部で水平に固定し、ペダル体の先端部から 10 mm の箇所に鋼板当て板（長さ 100 mm、幅 50 mm、厚さ 5 mm）を挟んで荷重試験機で鉛直にペダル軸、ペダル体にひび割れ、折損などが生じるまでゆっくり力を加えていき、その時の変位置量と破損状態を確認した。実際の試験の様子を写真 3 に示す。



写真 3 ペダル先端部の静的強度試験

3．2 ペダルの繰返し強度試験

ペダルを写真 4 のように、クランクはめ合いねじ部で水平に固定し、鋼板当て板（長さ 100 mm、幅 50 mm、厚さ 5 mm）を挟んで、ペダル体のクランク胴付け部から 90 mm の箇所に 800 N ~ 1000 N の負荷を 50000 回、あるいは、ペダル先端部から 10 mm の箇所に 500 N、600 N の負荷を 10 万回、鉛直に毎分 60 回の割合で加え、ペダル軸、ペダル体にひび割れ、折損などの有無を調べた。



写真 4 ペダルの繰返し強度試験

4．結果

4.1 ペダル先端部の静的強度試験

ペダル先端部の静的強度試験は No.3 を除くすべての折りたたみペダルと、一般用ペダルで行った。荷重試験機のストロークとその時の試験力（負荷）をプロットしたものを図1、それより得られる試験力の最大値、変位の最大値を表2に、破損状況を写真5に示す。また No.8 に関しては折りたたみの方向が一方向に限られているのでそれぞれの面に負荷をかけて測定した。

ペダル体の固定部分と折りたたみ部分の材質が合成樹脂製のもの（No.1、2、5、8、11）や折りたたみ部分のみ合成樹脂製のもの（No.4、7、10）では No.8 を除き 0.75 ~ 1.82 kN と一般用ペダルに比べ低い試験力で破損する傾向があり、試験力が最大のときの変位量は一般用ペダルより小さい、あるいは同程度であった。折りたたみ方向が一方向である No.8 は、試験力の最大点が折りたたみ方向で 1.98 kN、折りたたみ反対方向では 2.36 kN と比較的大きい試験力に耐えた。またペダル体の固定部分と折りたたみ部分の材質がアルミニウム製のもの（No.6、9）においては試験力最大点がそれぞれ 3.37、3.75 kN と大きく、変位量がそれぞれ 9.67、16.46 mm とかなり小さかった。

これらの結果により、ペダル体の折りたたみ部分と固定部分の材質がアルミニウム製のものの方が負荷に対しての変位量が小さい、すなわちたわみが小さく、一般用ペダル並みに大きな負荷に耐えうるということがわかった。ただし破損状況が異なり一般用ペダルではペダル軸が曲がるということに対し、アルミニウム製の折りたたみペダルでは衝撃音とともに割れたり裂けたりするという結果であった。

また JIS の一般用ペダルの静的強度試験では、はめ合い部から 60 mm の部分に 1800 N で 5 分間静的荷重を加えペダル軸、ペダル体にひび割れ、折損が生じないことが規定されている。これは力のモーメントに換算すると 108 N・m であり、先端部（クランク胴付け部からおよそ 90 mm）で同じモーメントとなる力は 1200 N であるが 1200 N の負荷がかかるまでに破損あるいは折りたたまれてしまうものが 4 銘柄あった。一般用ペダル（No.12 ~ No.14）ではおおむね 3800 N 程度まで耐えることから、先端部の負荷に対してはこれらのペダルは 3 分の 1 以下の強度であるということがわかった。一般用ペダルに比べて折りたたみペダルがペダル先端部の荷重に弱いということを確認できた。

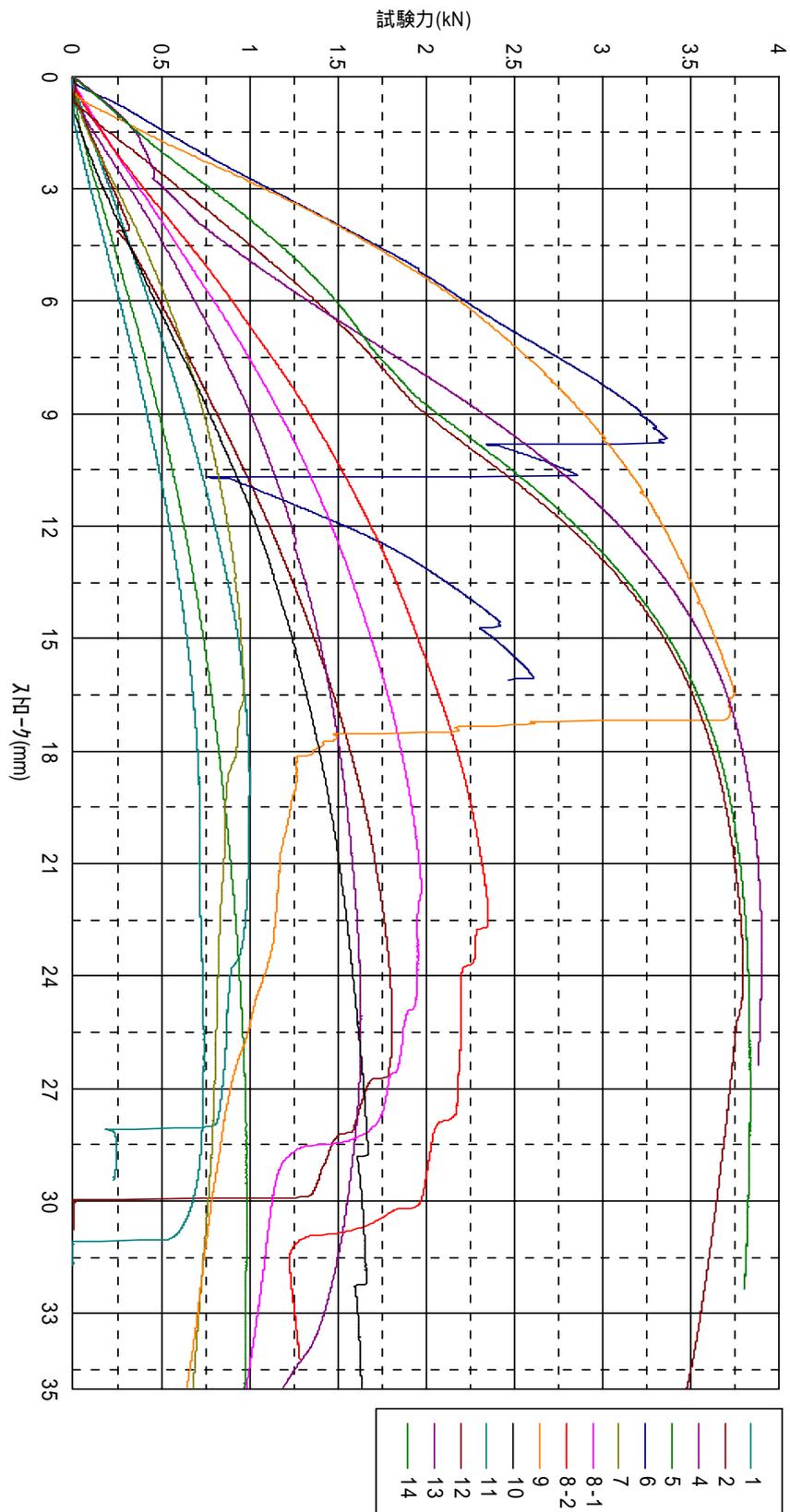


図1 ペダル先端部の静的強度試験結果

表2 ペダル先端部の静的強度試験結果

| No. | 先端部静的強度 | | | | | | 備考 |
|-----|--------------------|-------------------|------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| | 試験力 最大点 (kN) | 変位 最大点 (mm) | 破損状態 | 0.9kN 変位 (mm) | 1kN 変位 (mm) | 1.2kN 変位 (mm) | |
| 1 | 1.01 | 18.80 | 折りたたみ固定部分（溝部）にクラック発生 | 13.84 | 17.74 | - | |
| 2 | 1.82 | 25.34 | 折りたたまれる（破損なし） | 9.75 | 10.74 | 12.88 | |
| 4 | 1.64 | 25.06 | 折りたたみ機構が壊れる | 7.86 | 8.87 | 11.33 | |
| 5 | 0.99 | 30.94 | 樹脂変形、折りたたみ機構が壊れる | 20.92 | - | - | |
| 6 | 3.37 | 9.67 | 折りたたみ部が割れる、クラックが発生する | 2.46 | 2.71 | 3.20 | |
| 7 | 0.98 | 16.30 | 折りたたみロック部分にクラック発生 | 12.42 | - | - | |
| 8-1 | 1.98 | 21.77 | 樹脂変形、折りたたみ機構が壊れる | 6.70 | 7.47 | 9.18 | 折りたたみ方向に負荷 |
| 8-2 | 2.36 | 22.45 | 樹脂変形、折りたたみ機構が壊れる | 5.94 | 6.61 | 7.94 | 折りたたみ 反対方向に負荷 |
| 9 | 3.75 | 16.46 | ペダル踏面の変形、折りたたみ機構内でアルミニウムが裂ける | 2.58 | 2.80 | 3.25 | |
| 10 | 1.68 | 28.77 | 樹脂変形、リフレクター割れる | 10.29 | 11.41 | 14.19 | |
| 11 | 0.75 | 25.90 | 折りたたまれる（破損なし） | - | - | - | |
| 12 | 3.80 | 24.13 | ペダル軸曲がる | 4.07 | 4.46 | 5.25 | |
| 13 | 3.91 | 23.00 | ペダル軸曲がる | 4.56 | 4.90 | 5.56 | |
| 14 | 3.84 | 26.97 | ペダル軸曲がる | 3.42 | 3.79 | 4.59 | |



No. 1



No. 4



No. 5



No. 6



No. 7



No. 8-1



No. 8-2



No. 9



No. 10



No. 11



No. 12



No. 13



No. 14

写真5 破損状況

4.2 ペダルの繰返し強度試験

ペダルの繰返し強度試験は No.1 から No.11 の折りたたみペダルで行った。試験結果を表3、写真6、破損状況を写真7に示す。各ペダルで大きさが異なり、先端部を基準とした負荷位置でははめあい部からの距離が異なる。よって、全ペダルの繰返し強度を比較するために、はめあい部を基準とした力のモーメントの大きさも計算した。

最も繰返しに強いと思われるのが No.2、No.8 であり、はめあい部から 90 mm の部分に 1000 N の負荷を 50000 回かけても異常は見られなかった。また、繰返しに最も弱いと考えられるのが No.1 や No.5、No.11 のペダルであり、No.1 の場合では、前述のものと同様の条件でも 166 回にしか耐えず、クラックが発生した。

試験結果よりペダルを分類すると 異常なし 破損はないがたわみが大きい、あるいは折りたたまれたため試験終了 破損、あるいは変形し試験終了 の3つの分類に分けることができる。

に該当するものは No.2、No.6、No.8、No.10 である。これらのペダルにおいては先端部の静的強度試験においても 1200 N 以上の負荷に耐えるものであった。

に該当するものは No.5、No.11 である。これらのペダルにおいては先端部の静的強度試験において 1000 N 以下で折りたたみ機構が壊れる、あるいは折りたたまれるといったものである。このことは実際ペダルを踏み込む際に折りたたまれる、あるいはたわんでしまう恐れがあるということであり、決して安全とはいえない。

に該当するものは No.1、No.3、No.4、No.7、No.9 である。これら破損したペダルでは折りたたみ機構の回転軸部やペダル本体の材質が合成樹脂、アルミニウム製であるにもかかわらず破損しており、材質にかかわらずその構造に由来して破損が起こることが分かった。また No.1 と No.9 に関しては 500 N ~ 1000 N での測定を行ったが、負荷の大きさが小さくなるにつれ耐用回数が増えるという相関があることが分かった。また No.9 に関しては負荷のかかる位置をペダル体のクランク胴付け部から 60 mm として 900 N の負荷をかけて測定を行った。結果 50000 回で異常がないことから、やはり折りたたみペダルがペダル外側の荷重に弱いということを裏付ける結果となった。また No.9 に関しては、先端部の静的強度試験において、試験力の最大値が 3.75 kN (3750 N) と一般用ペダルと遜色ない大きさであったが、繰返し強度試験に関してはペダルの軸折れにより目標回数に達していない時があった。

表3 ペダルの繰返し強度試験結果

| No. | 先端～はめあい部 (mm) | はめあい部から 90mm 5万回 | | | | | | | | | はめあい部から 60mm 5万回 | | | 先端から 10mm 10万回 | | | | | |
|-----|------------------|---------------------|-------|--------------------------------|----------------|-------|--------------------------------|----------------|-------|--------------------------------|---------------------|-------|------|-------------------|------------------------|--------------------------------|----------------|-------------|------|
| | | 負荷 1000 N | | | 負荷 900 N | | | 負荷 800 N | | | 負荷 900 N | | | 負荷 600 N | | | 負荷 500 N | | |
| | | モーメント (N・m) | 回 | 破損状況 | モーメント (N・m) | 回 | 破損状況 | モーメント (N・m) | 回 | 破損状況 | モーメント (N・m) | 回 | 破損状況 | モーメント (N・m) | 回 | 破損状況 | モーメント (N・m) | 回 | 破損状況 |
| 1 | 108 | 90 | 166 | 折りたたみ 固定部分 (溝部)に クラック | 81 | 418 | 折りたたみ 固定部分 (溝部)に クラック | 72 | 1192 | 折りたたみ 固定部分 (溝部)に クラック | | | | 58.8 | 60080 | 折りたたみ 固定部分 (溝部)に クラック | 49 | 100000 | 異常なし |
| 2 | 110 | 90 | 50000 | 異常なし | | | | | | | | | | 60 | 100000 | 異常なし | 50 | 100000 | 異常なし |
| 3 | 111 | 90 | 17071 | ペダル 軸折れ | 81 | 30873 | ペダル 軸曲がり | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 111 | | | | 81 | 22312 | ペダル 軸曲がり | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 108 | | | | 81 | 271 | たわみ大 | | | | | | 58.8 | 19318 | たわみ大 | 49 | 100000 | 異常なし | |
| 6 | 107 | | | | 81 | 50000 | 異常なし | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 110 | | | | 81 | 1301 | たわみ大 | | | | | | 60 | 727 | 折りたたみ ロック部に クラック | | | | |
| 8-1 | 105 | 90 | 50000 | 異常なし | | | | | | | | | 57 | 100000 | 異常なし | | | | |
| 8-2 | | 90 | 50000 | 異常なし | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 98 | 90 | 11126 | ペダル 軸折れ | 81 | 18785 | ペダル 軸折れ | 72 | 31583 | ペダル 軸折れ | 54 | 50000 | 異常なし | 52.8 | 77293 | ペダル軸折 れ | 44 | 100000 | 異常なし |
| 10 | 106 | | | | 81 | 50000 | 異常なし | | | | | | 57.6 | 100000 | 異常なし | | | | |
| 11 | 111 | | | | 81 | 379 | 折りたた まれた | | | | | | 60.6 | 117 | 折りたた まれた | 50.5 | 9861 | 折りたた まれた | |

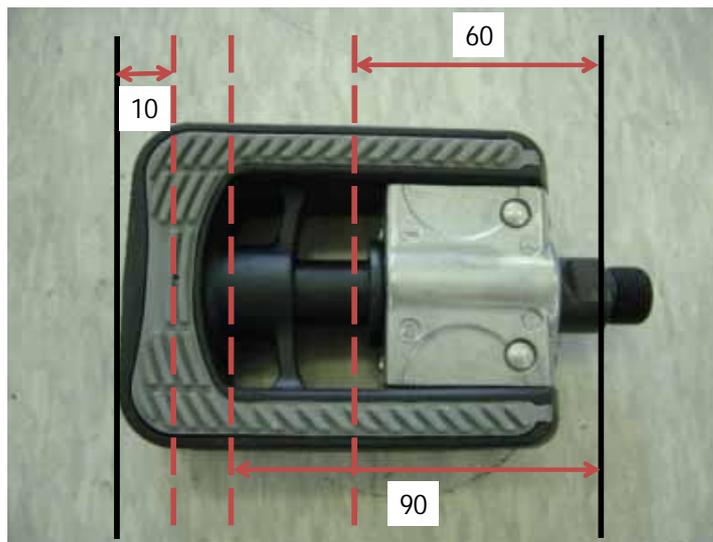


写真6 負荷をかけた位置



No.1 折りたたみ固定部分（溝部）にクラック



No.3 ペダル軸折れ



No.3 ペダル軸曲がり



No.4 ペダル軸曲がり



No.7 折りたたみロック部にクラック



No.9 ペダル軸折れ

写真7 繰返し強度試験 ペダルの破損状況

次に目標回数に達する前に壊れたペダルにおいて、ペダルに対して加えた負荷（力のモーメントの大きさ）と繰返し回数との間にどのような相関があるかを、データ数の多い No.1 と No.9 のペダルにおいて考えてみた。図 2 にペダルに加えた力のモーメントの大きさとペダル破壊までに要した繰返し回数を、両対数グラフでプロットしたものを示す。なお、繰返し回数 1 回のデータは、静的強度試験の値とした。

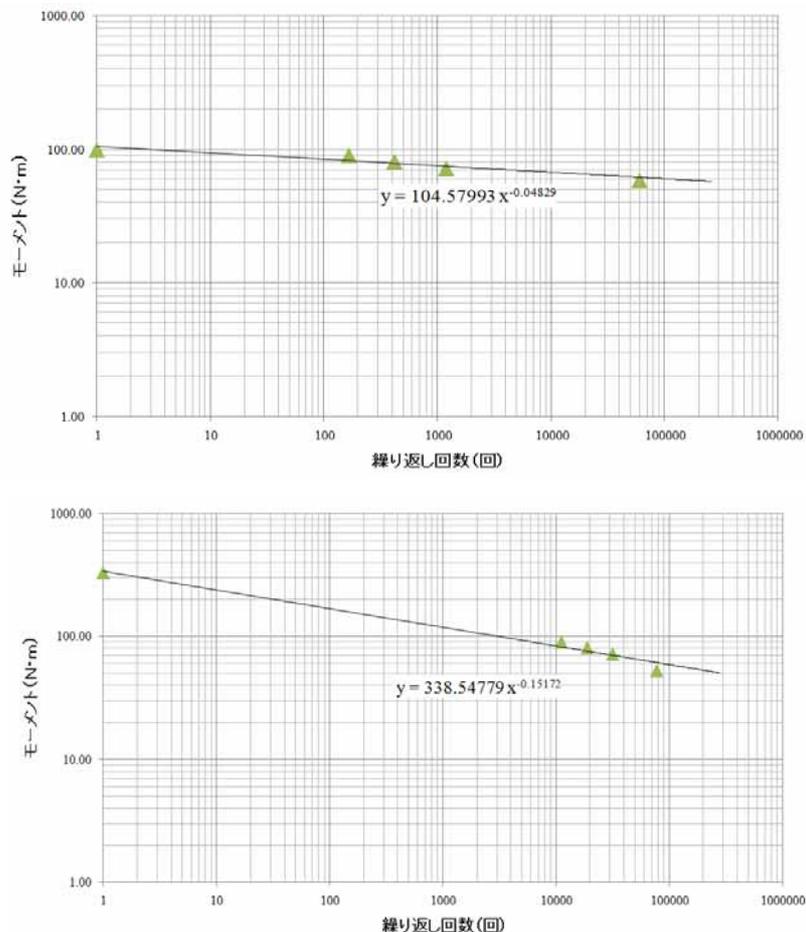


図 2 繰返し回数と力のモーメントの相関（上：No.1、下：No.9）

図 2 から、繰返し回数と力のモーメントの大きさを両対数グラフにプロットした場合にはデータが直線状にプロットされる、すなわちそれらには比例関係がある（繰返し回数のべき乗と力のモーメントの積の大きさが一定）ことが分かった。

この関係を、材料の疲労強度を測る際に用いられるコフィン マンソン則を基に考えてみた。この法則は、低サイクル疲労（破断までの繰返し数が $10^2 \sim 10^5$ 回程度）において、負荷レベルを塑性ひずみの振幅で評価するとき、疲労寿命のべき乗と塑性ひずみの振幅の積が一定値になることを示した実験式である。このとき、塑性ひずみの振幅が力のモーメントの大きさに比例すると考えると、ペダルの破壊までに要する負荷の繰返し回数（疲労寿命）のべき乗と力のモーメントの大きさの積が一定であるということになり、図 2 の関係と整合する。今回の試験だけではデータ数が少ないので断言はできないが、この関係は繰返し回数と負荷に関係を見出す上で今後、参考にできるのではないかと考えられる。

5. まとめ

今回の試験結果により、折りたたみペダルは先端部への静的な負荷に対して、一般用ペダルよりも強度が劣ることが分かった。ペダル自体が破損するものもあれば、負荷によりペダルが折りたたまれるものもあった。

繰返し強度試験については、試験条件（試験力の大きさ、負荷点の位置、方向）を変えた時に、ペダルの材質や折りたたみ機構の違いにより、結果が逆転してしまうこともあり、試験条件の設定が非常に難しいことが分かった。今後、実使用時のペダル踏力を解析するなど、最適な繰返し試験の検討が必要であろう。

なお、本報告を審議資料とし、JIS D 9416（自転車 - ペダル）改正案には、ペダル体の先端部から 10 mm の箇所に 1200 N の力を加える静的強度試験が採用されることになった。繰返し強度試験は検討課題も多く、今回は採用されなかったことを付け加えておく。

本報告書は修正版です。



この報告書は、競輪の補助金を受けて作成しています。

