

# 走行中の自転車ペダルに発生するひずみの測定と疲労寿命の予測

滋賀県工業技術総合センター ○岡田太郎  
龍谷大学 田原大輔 相見朋輝 堀川武

## Measurement of dynamic strain caused by pedaling in bicycle pedal and fatigue life prediction.

Taro OKADA, Daisuke TAWARA, Tomoki AIMI, and Takeshi HORIKAWA

It has been increasing the probability of occurrence of an accident of a bicycle associated with a breakage failure of pedal structure in recent years. It is derived from overloads than estimated loads which are sometimes applied to a frame and parts of a bicycle due to severe loading conditions by a muscular professional bicyclist and growing in physical size in ordinary Japanese while body weight of a bicycle is reduced. Evaluation of mechanical conditions of the pedal during riding and estimation of fatigue life are necessary to avoid the failure accident. In this study, to evaluate magnitude and change in tread force for a pedal by a muscular professional bicyclist, we developed a small distortion measurement system which can be attached to a bicycle crank. Then, we measured bending moment which was applied to the pedal shaft at the time of depressing the pedal by the professional bicyclist. Before the experiment, we expected that rotating bending fatigue was applied to the pedal shaft in the riding bicycle, however, we found that pulsating fatigue was dominant based on analysis of change in bending moment on the pedal shaft. In addition, the test revealed that magnitude of the moment during riding was twice as high as the test standard. We also performed fatigue test of a pedal and the test results demonstrated that the possibility of fatigue failure would occur about 198 days in the shortest. Potency of our evaluation method for mechanical behavior of the pedal was discussed and new guide to predict fatigue life of a bicycle pedal was proposed.

### 1 緒 言

自転車競技は、気軽に始められ、年を重ねても継続しやすいことから、近年高い人気を誇っている。どのようなスポーツにおいても器具の軽量化は負荷の低減や成績の向上に直結する大きな課題である。特に自転車において、選手以外の一般競技者が趣味で用いる器具であっても、高級品にチタンやアルミニウムのような軽金属に加え CFRP が用いられるようになり、軽量化が行われている。

しかしながら、器具の軽量化に反して日本人の平均的な体格は大型化が進んでおり、従来の認識を超える負荷によって事故が発生する可能性が高まっている。プロ選手に限らず、肥満体型の人が健康のために運動を始めようとする際も同様である。

このようなペダルの力学的特性評価には、走行中のペダルに発生する負荷の詳細な評価が望まれる。また、その上でペダルの疲労寿命推定が必要である。そこで本研究では、実走中の自転車部品のひずみを測定するための小型のデバイスを作製し、自転車のペダルに発生する曲げひずみの測定を行った。また、実走状況の負荷を再現した疲労試験を行い、ペダルの折損事故を防ぐための製品寿命の予測と、従来の製品評価の試験方法の妥当性についての考察を行った。

### 2 実験方法

#### 2.1 小型ひずみ測定システムの構築

移動体である自転車において特に回転するクランク周辺のひずみ測定を行うために、小型かつ電池駆動するひずみ測定システムの構築を目指した。記録計は、TSND121 (ATR-Promotions 社) を用いた。後述の実験の性質上、2 箇所以上のひずみを測定する必要があるため、ひずみゲージを接続するアンプ 2 つを Fig.1 のように配置した。

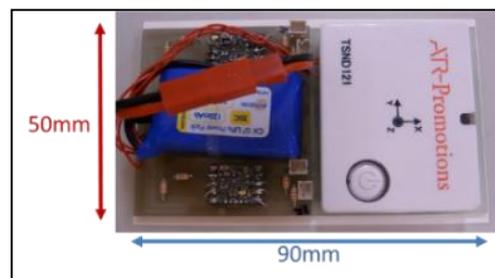


Fig.1 Dynamic strain measurement system

#### 2.2 ひずみ測定の校正方法

負荷測定に用いた自転車は、競輪競技で一般的に用いられる構成を使用した。ペダル上のひずみゲージ貼り付け位置は、Fig.2 のように、ペダルシャフトをクランクに取り付けたときの端面から 14mm の位置である。

センサー感度の校正として、ペダルの踏み板の中心であるクランク端面から 50mm の位置に 1kN の荷重が加わった際にひずみゲージの電圧変化が 300mV となるように感度を調整した。この測定法では、最大で 3kN

(150Nm) の負荷まで感知することができる。

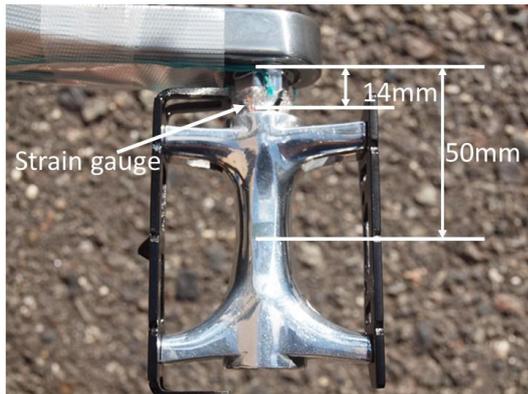


Fig.2 Position of the strain gauge on the pedal

### 2.3 曲げモーメントの測定

前述のように、同時に2箇所のみずみの測定を行った。センサー1は、クランクが水平な状態から鉛直上向きから反時計回りに $10^\circ$ の位置に取り付けた。センサー2は、センサー1からシャフトの円周方向反時計回りに $90^\circ$ となる位置に、Fig.3のように配置して貼り付けた。

これらで感知した曲げひずみから曲げモーメントを求め、ベクトル合成することで、ペダルシャフトに加わった合成曲げモーメントとその方向を算出した。

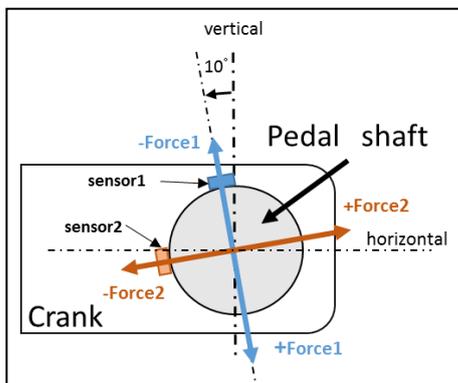


Fig.3 Positional relationship between sensors 1 and 2

### 2.4 曲げ疲労試験

踏み板の中心であるクランク端面から50mmの位置に荷重が加わるように疲労試験機にペダルを取り付け、ペダルシャフトに曲げモーメントが加わるように片振りの曲げ疲労試験を行った。周波数は3Hz、荷重条件は3kN(150Nm)~1.4kN(70Nm)の任意の荷重を最大荷重とし、応力比0.1にて行った。

## 3 実験結果

### 3.1 曲げモーメントの測定

センサーを取り付けた自転車を用いて実際に走行を行った。ペダルシャフトに加わる曲げモーメントの測定を行い、Fig.4のグラフを得た。曲げモーメントは最大102Nmに達した。

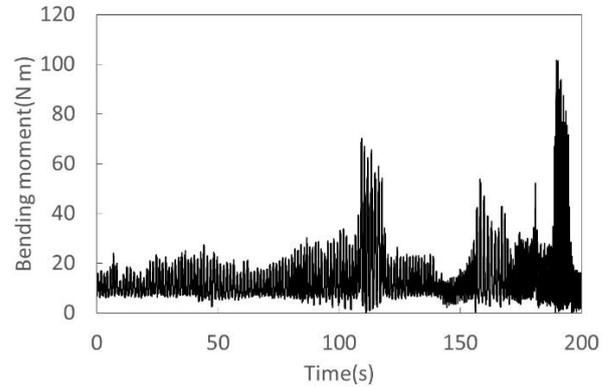


Fig.4 Bending moment in the pedal shaft

### 3.2 1回転中の曲げモーメントの変化

測定データのうち、最大の曲げモーメントが発生した区間189s~192sをFig.5に抽出した。

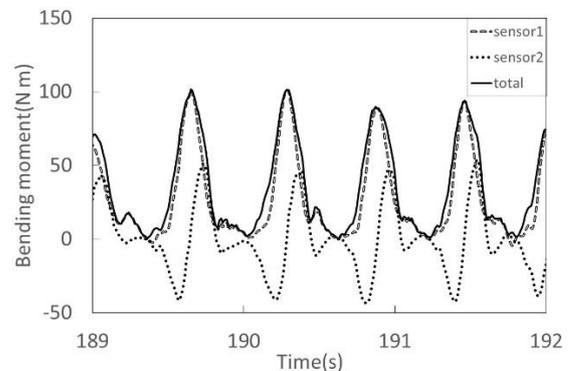


Fig.5 Bending moment in the pedal shaft (189~192s zone)

センサー1, 2の曲げモーメントの変化から、クランクが1回転する間にペダルシャフトに加わる合成曲げモーメントのベクトル変化をFig.6に図示した。なお、この図の中心は、クランクの回転中心である。ペダルシャフトへの曲げモーメントは、主にクランクが位置A→Bへと回転する際に発生し、位置Bにおいて最大になることが確認された。

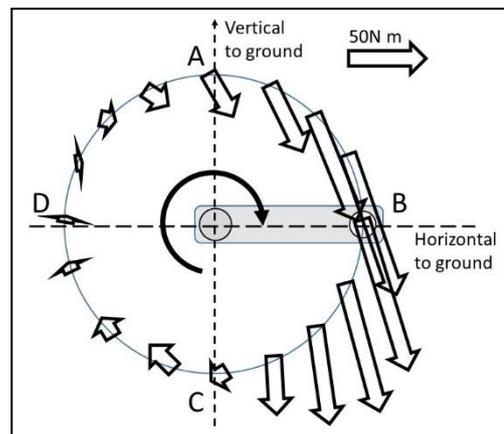


Fig.6 Bending moment from the point of view centered at the crank rotation

次に、視点をクランク中心ではなく、ペダルシャフトの中心に固定し、ベクトル変化を Fig.7 に図示した。位置 A→B→C→D→A とクランクが 1 回転する間に、合成曲げモーメントのベクトルは多少水平方向にブレるが、常に下向きで増減を繰り返すことが判明した。このことから、ペダルの踏み込みによって発生するペダルシャフトへの負荷を疲労試験機で再現する場合、回転曲げや両振りではなく、片振りの曲げ疲労試験が最も適切と考えられる。

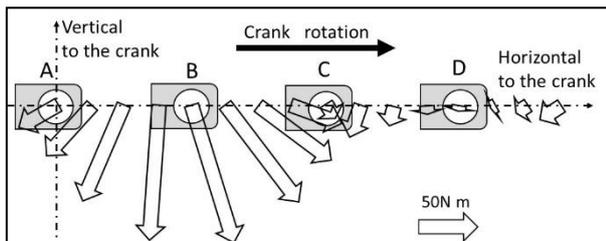


Fig.7 Bending moment from the point of view centered at the pedal shaft

### 3.3 疲労試験

ペダルシャフトに曲げモーメントを加える片振りの曲げ疲労試験を行い、Fig.8 の曲げモーメントサイクル線図を得た。走行中に実測された最大の曲げモーメントである 100Nm を加え続けると、約 50,000 サイクルでシャフトが折損した。図より、疲労限となる曲げモーメントは、70Nm 以下であると判明した。

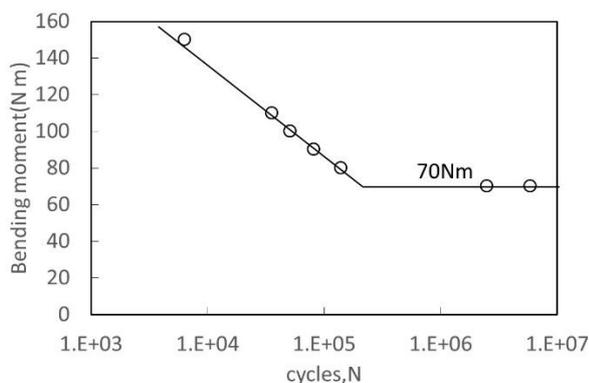


Fig.8 Relationship of bending moment to fatigue

## 4 考察

### 4.1 疲労寿命の予測

本実験の曲げモーメントの測定結果は、自転車競技者の練習時に採取されたものである。Fig.4 の曲げモーメントのグラフから、100Nm の曲げモーメントは最大値であり、定常的に発生していないことがわかる。実際には、高負荷状態はクランクの回転数で 10 回転程度である。

1 日の練習においては、200 秒間の高負荷練習が 6 本程度行われる。そのため、ペダルへの 100Nm の負荷は 1 日で 60 回発生する。100Nm での疲労試験では 50,000 サイクルで折損していることから、単純な計算では 850 日

程度の練習でペダルが折損することが予測され、事故を未然に防ぐには、それよりも早い時期に交換をする必要がある。

しかし、実際の練習時には、中負荷の練習も行われ、100Nm には達さずとも、70Nm 程度の曲げモーメントは頻繁に発生している。グラフとして掲載できなかったが、本研究では、合計 1,000 秒間の曲げモーメントの測定を行った。それらを考慮して修正マイナー則によって疲労寿命の再計算を行うと、その期間は 198 日まで短縮される可能性が判明し、半年以内の交換が必要となることが示唆された。

### 4.2 ペダルの評価法の妥当性についての考察

国内で販売される自転車のペダルについては、一般車・スポーツ車に関わらず、JIS D9416 自転車-ペダルに記載されている試験項目をクリアする必要がある<sup>9)</sup>。その中の動的耐久試験の項目においては、ペダル幅の中心に 90kg の荷重を加えて回転軸が加熱しないように 10 万回回転させることが求められている。このとき、シャフトと踏み板の双方に損傷があってはならない。本実験で用いたペダルで同様の試験を行う場合は、ペダル幅の中心まで 50mm であることから、45Nm の曲げモーメントを加え続けた状況での回転曲げ疲労試験を行うこととなる。

しかし、本実験の結果から、実際にペダルシャフトに加わる疲労は、回転曲げではなく片振りに近く、かつ、自転車競技者の脚力では、規格で想定されている倍以上の 100Nm の曲げモーメントが発生しうることが判明した。折損による事故の防止、競技者本人ならびに交通の安全のため、自転車ペダルの評価項目に、今後は片振り曲げ疲労試験も追加することを提案したいと考える。

## 5 結 言

小型ひずみ測定システムを構築し、走行中の自転車のペダルシャフトに発生する曲げモーメントの変化を測定した結果、シャフトに発生している疲労は、回転曲げではなく、片振り曲げに近い状態において発生していることが判明した。

また、測定された曲げモーメントの最大値である 100Nm の負荷で片振り曲げ疲労試験を行った結果、50,000 サイクルで折損し、測定データの提供者が練習を毎日続けた場合、最短で 198 日程度で折損する可能性があることが示唆された。事故を未然に防ぐために、従来の試験規格に加え、片振りの曲げ疲労試験を自転車ペダルの評価項目に追加することを提案する。

本研究の一部は、公益財団法人 JKA の若手研究補助の助成を受けて進めることができました。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

JIS D 9416 自転車-ペダル,日本工業規格(2009).