

自転車駆動部品の耐久試験機の試作

<内外自転車等の品質性能調査研究>

技術第2部開発技術課 吉野秀雄

まえがき

自転車駆動部品の強度試験に関するJISには、単体の試験方法がある程度規定され、これに従ってそのための試験機も多数見られるが、部品相互の組合せにおける強度、性能についての試験に関してはななら規定もなく、また、試験機も変速機関係を含めた総合試験機となると数少ない。

今回、自転車駆動部品の品質性能調査の一環として、駆動部品一連の総合組合せ試験を行うことになり、これを機会に本52年度、その試験機の設計、試作を行ったのでここに報告する。

この試験機は、チェーンホイールセットから変速機、さらに変速ワイヤに至るすべての駆動部品の耐久性、および変速性の一端を調査するためのものである。

1 耐久試験機の設計条件

今回の調査部品が、主に高級ロードレース車用を対象としていることから、27インチ、ロードレース車が、車速40~50km/hにて傾斜2°程度の坂を、フロント2段、リア6段の12段変速をしながら走行することを模擬した装置とすることを設計条件とした。

この場合、各ギヤを一定時間使用し、クランク軸の回転数は一定とし、使用ギヤによりギヤ比が変わり、車速および負荷の大きさが変化する方式とした。

耐久試験機の基礎設計のための計算資料は、次のようにまとめた。

自転車の走行抵抗Rは、

$$R = R_r + R_l + R_s + R_b$$

R_r : ころがり抵抗

R_l : 空気抵抗

R_s : 登坂抵抗

R_b : 加速抵抗

乗員重量60kg、車体重量12kgの27インチロードレース車においては、これまでの実験値などより算出すると、

$$R_r = f_1 W \text{ より } R_r \approx 0.58 \text{ kgf (非補装路 } f_1 = 0.008)$$

$$R_l = C_x \cdot \frac{\rho v^2}{2} \cdot A \text{ より } R_l \approx 2.74 \text{ kgf}$$

$$(A = 0.34 \text{ m}^2 \quad v = 45 \text{ km/h})$$

$$R_s = W \sin \theta \text{ より } R_s \approx 2.8 \text{ kgf } (\theta = 2^\circ)$$

$$R_b = \frac{(1+\delta)}{g} \cdot W \cdot \frac{dv}{dt} \quad (\delta = 0.01 \sim 0.04)$$

R_b を除くと、常用 $R = 6.1 \text{ kgf}$ 、27インチ車輪のトルクTに換算すると $T \approx 2.1 \text{ kg} \cdot \text{m}$

27インチ車輪においては、45km/h=347rpmであり、調査対象部品の最大ギヤ比52:13より、クランク軸回転数は87rpm、クランク軸トルクは8.4kg・mとなる。

2 機器の選定

前記の条件より、クランク軸より回転を伝える駆動用モータは、回転数20~120rpm、出力2IPの無段変速機付きモータを使用した。歯数52T-13Tの組合せ条件における速度設定範囲は、約10~62km/hである。

次に、走行抵抗に値する負荷を与える方法には種々あるが、できるかぎり安価で、簡便に取扱い、調整を可能とするため、空気抵抗分にファンブレイキ、加速抵抗分に自転車の慣性に相当する慣性車を使用することとした。そして、ころがり抵抗分と登坂抵抗分には、装置の摩擦抵抗、および油圧ポンプを駆動させ、その所要馬力を利用し、油圧ポンプ吐出圧力を制御することにより、負荷の大きさを可変させる方式とした。

2.1 ファンブレイキ

空気抵抗 R_l が走行速度45km/hのとき、2.74kgfとし、走行速度Vの2乗に比例して変化するものとする。このときの所要馬力Pは、

$$P = \frac{V R}{75} = 0.45 \text{ PS}$$

V : 車速 m/s

ファンブレイキの吸収馬力Lは、

$$L = C_l r A D^3 \left(\frac{n}{1000} \right)^3$$

r : 空気比重 1.29kg/m³

A : 羽根総面積 m²

D : 羽根先端径 m

C₁ : 係数 54.5

n : 羽根回転数 rpm

羽根先端径 D=300 mm, 羽根の数を4枚とし, 回転数を3.5倍に増速するものとしてAを求めると,

$$A = 0.129m^2$$

これより羽根の幅 $\ell \approx 215mm$ となる。最終的には補助モータの空冷用ファンの存在などを考慮し, $\ell = 180mm$ とした。

2.2 慣性車

実走行時における慣性力は $\frac{(1+\delta)W}{g} \cdot \frac{dV}{dt}$ であり, この力が27インチ車輪に作用するときのトルクTは,

$$T = \frac{(1+\delta)W}{g} \cdot \frac{dV}{dt} \cdot r$$

また, $T = \frac{I}{r} \cdot \frac{dV}{dt}$ より,

$$I = r^2 \cdot \frac{(1+\delta)W}{g}$$

このIに等しい慣性モーメントを, スプロケットホイール取付用のハブ軸に与えれば, 実走行に等しい慣性抵抗を得られることになる。

いま, $(1+\delta)W = 72kg$ とすると,

$$I = 0.85kg \cdot ms^2$$

試験機の慣性車に D=φ300mm の鉄製円板を使用し, これをファンブレーキと同様に, 3.5倍に増速するものとすれば, $I = \int r^2 \cdot m$ より, 円板の厚さtは,

$$t = 0.11m$$

となる。慣性車取付軸に付属のファンブレーキ, プーリ, および後で述べるところの, さらに増速される補助モータなどの慣性モーメント分を差し引くとともに, 機械においては瞬間的に起動がなされ, したがって, 起動時や変速時の加速度が, 実走行の場合に比べて非常に大きいので, 最終的には慣性車の板厚tを,

$$t = 15mm$$

に修正した。

2.3 油圧ポンプ

油圧ポンプの駆動トルクは, 油温などの変化がなければ, 回転数にあまり影響せず, 吐出圧力によって変化することを応用し, 登坂抵抗用の負荷に油圧ポンプを使用した。

本試験機に使用したギヤポンプの性能を図1に示す。

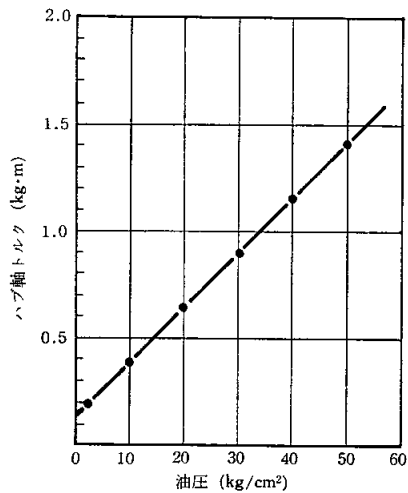


図1 油圧ポンプの性能

2.4 ディレイラの取付け

リヤディレイラの取付部は, 各メーカーそれぞれの特徴があるため, 各専用エンドに合わせて, 専用の取付部を製作して取り付けるようにした。

写真1に製作したディレイラ取付板を示す。

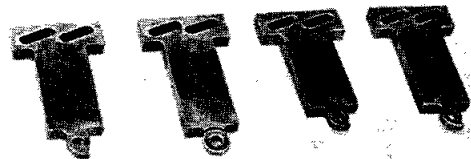


写真1 各リヤディレイラの専用取付板

3 装置の概略, 仕様

試作した装置の全景を写真2に示し, そのブロックダイアグラムを図2に示す。

この装置の仕様は下記のごとくである。

本体 幅800mm×奥行1,000mm×全高1,110mm

制御盤 640mm× 350mm× 340mm

M₁ 主モータ

3φ 200V 2HP 20~120rpm

無段変速機付きインダクションモータ

M₂, M₃ ディレイラ作動用モータ

1φ 100V 20W 1,800rpm

シンクロナスモータ

M₄ 補助モータ

3φ 200V 0.4HP 1,740rpm

インダクションモータ

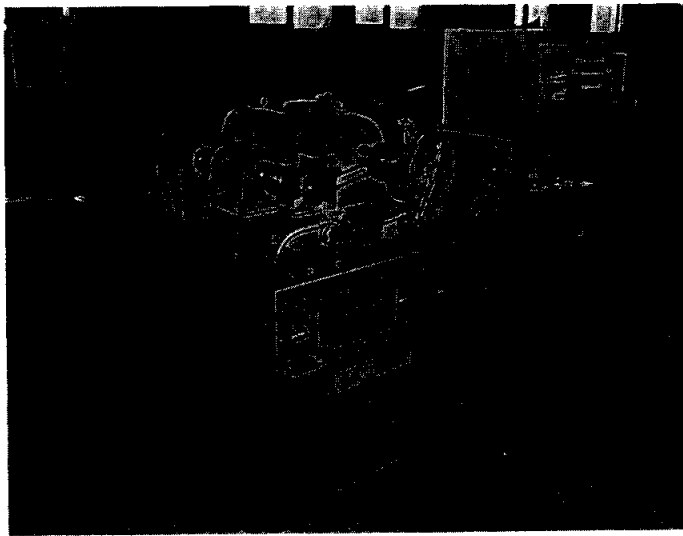


写真 2 (耐久試験機の外観)

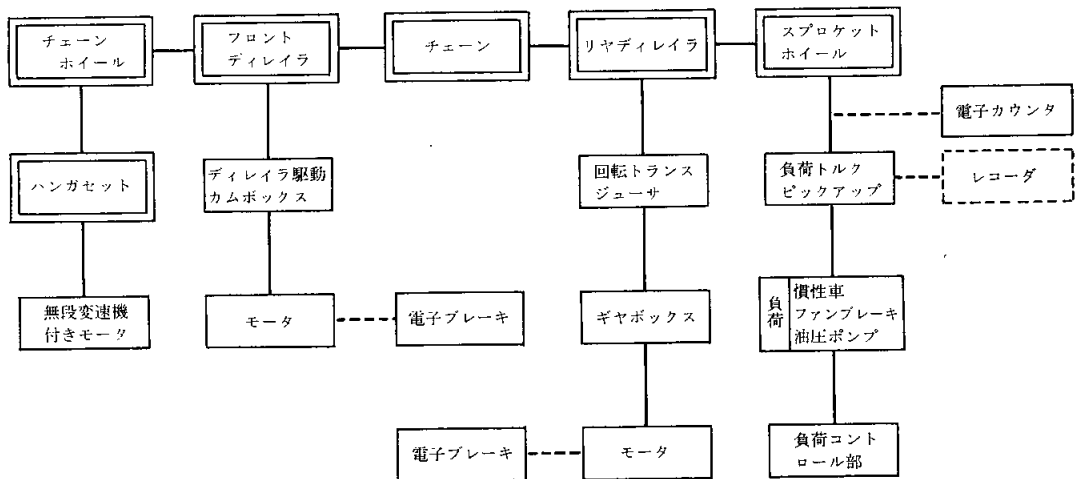


図 2 試験機ブロック線図 (二重わくは供試品)

P 油圧ポンプ

125kg/cm² 14ℓ/min ギヤポンプ

試験機架台上に自転車のハンガ部に相当するハンガ台、ハブ部に相当するハブ台を、自転車と相似的な位置に設置し、これに被試験部品であるチェーンホイールセットからスプロケットホイール、前後ディレイラに至る部品を組み付けて、無段変速機付きモータからクランク軸に駆動力を与える。ハブ軸の回転は増速され、装置下段に設置した負荷軸に伝わり、負荷である慣性車、ファンブレーキおよび油圧ポンプを回す(写真3参照)。

耐久試験時、変速機は、装置前面の下段に設けた各々のディレイラ作動装置より、被試験アウタおよびインナワイヤを介して自動的に作動する。

4 装置の作動

主モータを起動し、クランク軸を試験回転数にて駆動させ、油圧リリーフバルブを絞り、登坂抵抗分の油圧を設定する。

試験開始とともに、電気制御により前、後変速機が作動してギヤチェンジを行い、タイマにて設定された一定時間、すべてのギヤ比の使用を自動的に繰り返しながら耐久試験が行われる。

前2段、後6段の計12段変速をする場合の制御の一例を図3の電気フローチャート図に示す。

スプロケットホイールが6段のような多段の場合、リアディレイラが作動して、チェーンがスプロケットホイール

ールのTOP側、またはLOW側に移行した際、チェーンが相当に斜めに張られ、フロントディレイラの弓の部分と接触するため、リヤディレイラの作動と同期してフ

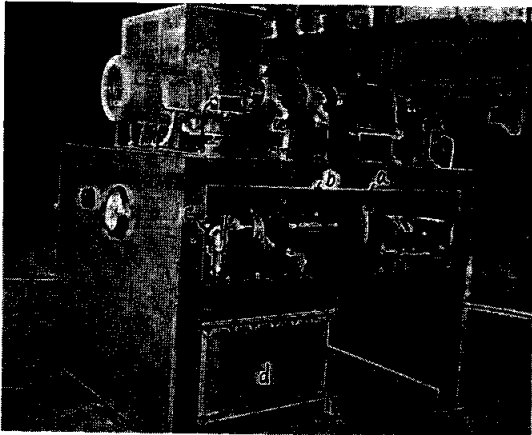


写真 3 耐久試験機の側面

a: 慣性車, b: ファンブレーキ
c: 油圧ポンプ, d: 油圧タンク

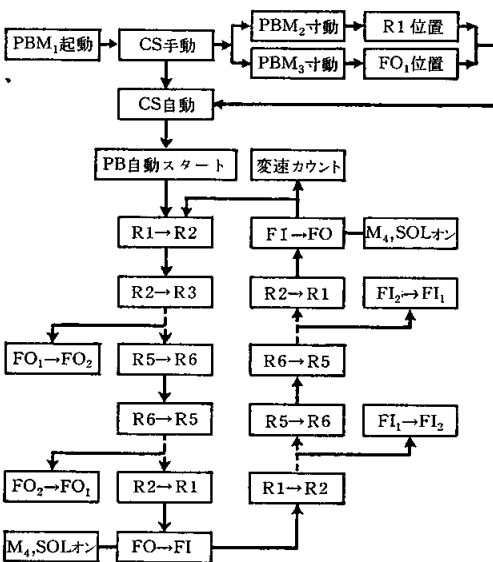
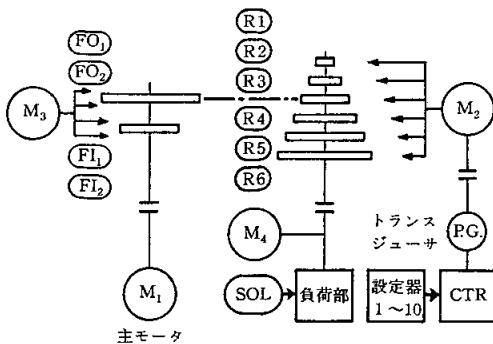


図 3 耐久試験の制御フローチャートの一例

ロントディレイラも微動させ、チェーンとディレイラの接触をさける。

また、フロントディレイラは、高負荷がかかっているときと変速が不可能な構造であるため、フロントチェンジ時には、油圧回路に設けた電磁バルブを作動させ、油圧（登坂抵抗分）を零にするとともに、変速時にギヤリング部が、チェーンとの無理な接触により損傷するのを防ぐため、補助モータを駆動し、走行抵抗分の負荷を完全に取り除くようにした。

この補助モータは負荷軸に連結されており、平常は電源解除し、フロントディレイラ作動時には、主モータから伝わる負荷軸の回転数より大きい回転数にて、回転させるよう負荷軸に伝え、無負荷にさせるとともに、スプロケットホイールのラチェット機構の耐久試験を行う役目を果たす。

5 ディレイラの作動制御

駆動部品の組合せ試験を行うにあたり、各ディレイラのレバー比や変速性能の違い、また、スプロケットホイールなどの部品寸法の相違など、多種多様な条件に対応して変速を可能とする必要がある。

本装置での変速機構は、取扱いや調整を簡単にするため、駆動源に個別に小形電気モータを使用し、すべて電気制御にて自動変速させるようにした。

5.1 フロントディレイラの作動制御

小形モータを減速 (300:1) し、この軸にカムを取り付け、カムの行程をレバーに伝えて、インナワイヤを引っ張ってディレイラを作動させる。このカムの上、下死点に対応した位置でリミットスイッチを作動させ、モータを停止させるとともに電子ブレーキを働かせて、位置決めを行っている。

ディレイラの移動量の調節は、レバーに取り付けられたワイヤ止め金具の位置を、レバー支点から任意の距離に移動させ、レバーの揺動量を変えることにより行う方式とした。

5.2 リヤディレイラの作動制御

フロントディレイラの作動制御と同様の小形モータを減速 (900:1) し、この軸に変速レバーを取り付け、変速レバーの回転量に応じてインナワイヤを巻き上げて作動させる。この場合、減速軸に回転トランスジェネサを設けてあり、回転量に比例したパルスが制御盤の設定器に送られる。スプロケットホイール各段のチェンジに必要な移動量に相当するパルス量を各設定器に設定し、この設定器の数値と発生パルス量が一致したとき、モータ

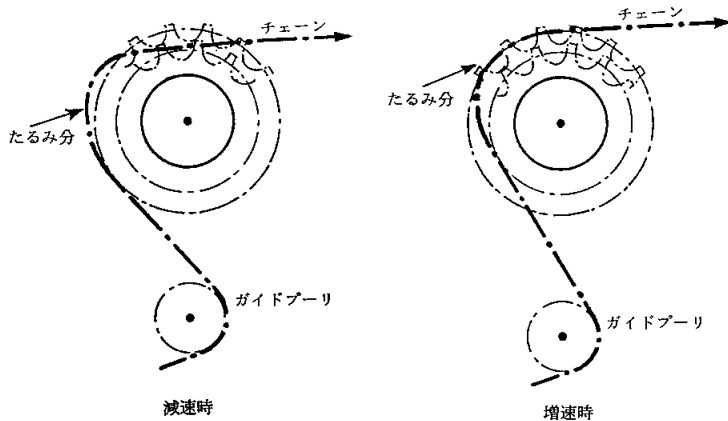


図7 変速時のチェーンの状態

1 km/h 増速するのに、ハブ軸において約 2, 3 kg・m の衝撃トルクが加わる。

この試験機で、油圧20kg/cm²、車速20km/hの条件で試験したときの 変速時のトルク 波形の一例を図6に示す。この波形からも観察できるように、変速時には、断続した衝撃トルクが現われ、減衰して定常トルクに落ち着く。これは、変速時の大きなトルクに対して、クランク軸などにねじれが生じること、チェーンがスプロケットの歯から次の歯に乗り移る際、瞬時であるが、チェーンの張力が（チェーンのたるみ分だけ）零となる時点があることに起因すると思われる。

図7に示すように、減速方向にチェンジするときは、スプロケットの歯に、いったんリンクプレートの部分が乗り上げるか、あるいは、テンションプーリのスプリングが強い場合などで、乗り上げなくとも、次段の歯とチェーンのピッチが合わないために、チェーンにたるみ分が生じる。増速方向にチェンジするときは、このピッチが合わない分と、スプロケットのピッチ円が小さくなる分だけたるみ分が生じる。

チェンジが行われ、このチェーン張力がたるみ分のため零となる時点で、装置の慣性モーメントが小さいうえ、走行抵抗が大きいので、負荷軸の回転数が急速に下がり、チェーンが張った瞬間に加速抵抗を含めた高負荷による衝撃トルクがかかる。このトルクにより、クランク軸などのねじれや、装置のカップリング部などの弾性部にひずみが生じ、ハブ軸の回転数は減少する。次の時点で、加速抵抗分がなくなると、軸のねじれなどが戻るとともに、ハブ軸の回転数は上昇する。

このばね作用によりハブ軸は、回転数およびトルクに脈動を生じ、減衰して定常トルクに落ち着くものと推定される。

なお、スプロケットホイールのチェンジが良好に行われず、チェーンとホイールが、がりがりと接触している

ときは、このトルク波形は大きな脈動が続く。

図6のトルク波形は、本試験機固有の特性かもしれないが、観察によると、被試験部品であるクランク軸がもっともねじれを生じている。

また、慣性車についてはあまり大きくすると、変速ソフトさせ増速する場合、さらに大きな加速抵抗が加わることになり、逆に小さくすると、慣性が少なくなり、減速方向に変速させる場合に、実走行に比べて大きなトルクが必要となる。

あ と が き

本試験機は試作1号機であり、完全とはいえないが、次年度、試験を行いながら徐々に改良してゆく予定である。試験機の性能としては、前述のごとく、実走行の場合と比較して相違する点が見られるが、耐久試験機であり、試験時間短縮のためこの相違はやむを得ない面がある。

また、変速時の力のかかり方は、意外な特性が現われたが、実走行における変速時のトルク波形などのデータがなく、比較検討も不完全である。しかし、いずれにしても、負荷のかけ方や、駆動源などを工夫しても、人間の要素を機械に置き換えることは容易ではないであろう。

今まで、変速に関する実験データは少ないが、今回を離れても、自転車工学の追求として、いろいろな条件下の実走行におけるこのようなデータも必要であろうと考える。

なお、本試験機は特許出願中である。

参 考 文 献

- 1) 自転車実用便覧第1版：第5章自転車力学
- 2) 自転車実用便覧第3版：第1章自転車総論
- 3) 自転車生産技術研究報告書，S.42年，第15—16号
自転車の人間工学的研究（I）