

製品紹介

自転車 4 軸振動試験装置

小 原 英 洋

1 はじめに

独立行政法人 製品評価技術基盤機構（National Institute of Technology and Evaluation, 以下 NITE）殿は、消費生活用製品の事故に関する情報を収集し、これらの事故を調査・分析して、その結果を公表している。その調査によると近年、自転車による製品事故は年間約60件以上発生しており、人的被害に至る割合は全体の7割を超え、死亡や重症に至る重篤な事故も約4割を占めている。NITE殿は自転車事故の原因究明を行ってきた結果、重篤な事故はフレーム破損によるものも多く既存の試験装置では不十分であると考えてきた。

本報はNITE九州支所殿への納入物件である自転車4軸振動試験装置について、装置への要求や受注背景、自転車試験装置としての特徴について紹介する。

今回開発した自転車用ロードシミュレータを写真1に示す。



写真1 自転車用ロードシミュレータ

2 試験装置製作の背景

自転車フレーム破損の原因究明を行うためには、段差衝撃や路面振動を自転車に繰り返し加えることができる試験装置を用いる。また原因究明の手法としては、実際に自転車を走行させた際のフレームに加わる加速度を再現することが望ましい。自転車の走行試験を行う場合、従来はドラム走行試験装置が用いられてきた（図1）。ドラム走行試験装置はタイヤの付いた自転車を、回転するドラム上で走らせる試験装置である。ドラムには段差板や横向きの力を発生させる傾斜板などを取り付けて回転させ、タイヤに対して繰り返し衝撃を加える。特徴としては10mmほどの小さな段差試験には使用できるが、大きな段差試験ではフレームよりもタイヤが先に破損してしまい、フレームに加わる衝撃を再現できない。

NITE殿は大きな段差試験として、最大90mmの段差を10km/hで乗り上げる試験が必要であると考え、

従来のドラム式とは異なる自転車用走行試験装置の製作を進めた。

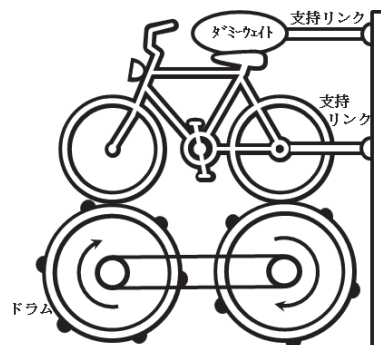


図1 ドラム走行試験装置模式図

3 自転車試験装置の特徴

大きな段差試験を実施する手法として、カヤバシステムマシナリー(株) (以下KSM) はタイヤを取り外した状態での自転車フレームに対する走行試験装置 (以下ロードシミュレータ) を提案し、製作を進めた。KSMは現在までにオートバイ用ロードシミュレータの製作を多数行ってきており、培ってきた実績から自転車用ロードシミュレータを提案するに至った。尚、ロードシミュレータとは台上で実路面走行と同等の応力や振動を車体フレームに再現できるものである。通常応力や振動の再現は実路面走行で取得した歪・加速度データを元に試験装置に備えられた加振機構を高速に動作させる事で行う。

今回新たに開発した自転車用ロードシミュレータとオートバイ用のロードシミュレータの相違点を表1、図2、図3に示す。

表1 試験装置の主な相違点

| 要素 | オートバイ用 | 自転車用 |
|---------|-------------|------------|
| 後輪加振装置 | 垂直方向に加振 | 水平・垂直方向に加振 |
| 試験体取付ジグ | 車軸またはタイヤを保持 | 車軸を保持 |

オートバイ用ロードシミュレータの基本的な原理は垂直方向2本・水平方向1本の計3ヶ所の加振機構で構成された試験装置に試験体となる車体フレームを固定し、それぞれの加振機構を独立制御することで車体フレームに垂直・水平方向に衝撃を与える。それに対して自転車用ロードシミュレータは垂直方向2本・水平方向2本の計4ヶ所の加振機構で構成される。オートバイの場合、水平方向の衝撃はフロントフォーク部のダンパがその成分を吸収し、車体フレームには伝わりにくいのに対し自転車の場合、通常オートバイに見られるダンパが備え付けられていないため、車体フレーム全体に振動が伝わりやすいからである。さらに自転車は人力で動作するなどの理由により、オートバイに比べて軽量に設計されているため前輪軸、後輪軸の衝撃が車体フレームに大きな影響を与える。これを再現する為には前輪軸、後輪軸ともに垂直・水平方向の加振機構が必要となる。

自転車用ロードシミュレータの構成要素としては、主に以下のものが挙げられる。

- ①前輪加振部
- ②後輪加振部
- ③後輪加振部の移動機構

試験体のサイズに合わせ、前輪後輪軸間距離を調整する。

- ④搭乗者相当負荷

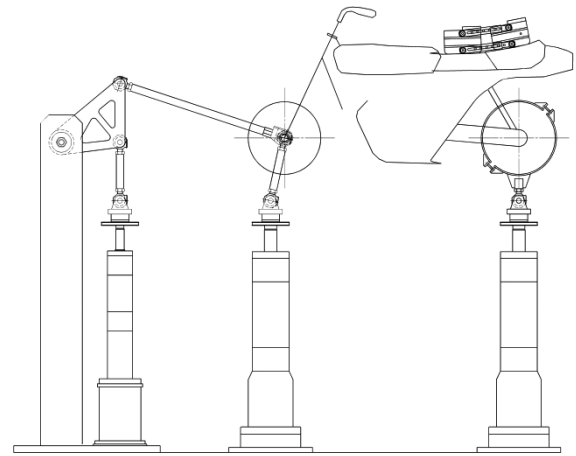


図2 オートバイ用ロードシミュレータ概要

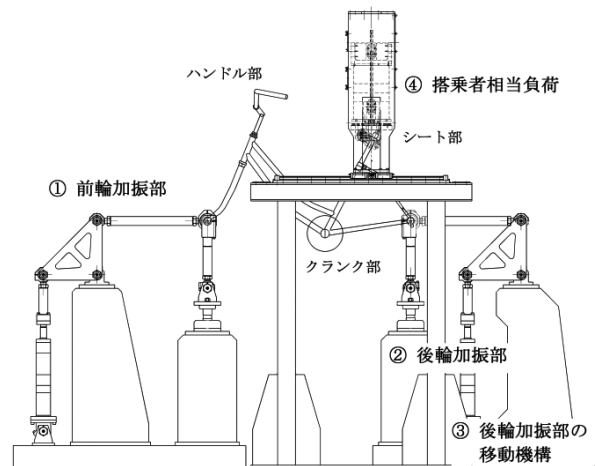


図3 自転車用ロードシミュレータ概要

自転車用ロードシミュレータのひとつ目の特徴は水平方向の加振機構が2本となることである。注意点として垂直・水平方向で車体フレームを拘束することにより、加振機構の制御を誤ると車体フレームを破損してしまうことがあげられる。その対策として4つの加振機構間の変位から車軸間距離を算出し、車体フレームを破損する軸間距離となった場合には油圧源を停止して動力を切断する機能を設けた。

これにより試験体を破損することなく、安全に試験を行うことができるようになった。また自転車フレームはオートバイフレームに対して車体が軽量であるために、搭乗者等の負荷による影響が大きい。

オートバイ用ロードシミュレータはシート部のみに搭乗者相当のおもりを配置するが、自転車用ロードシミュレータはハンドル部、クランク部、シート部に対してそれぞれおもりを配置する。

また自転車搭乗者は段差乗り上げの際には膝を曲げることや腰を浮かせることで衝撃を逃がすため、搭乗者の体重全てが自転車フレームに掛かるわけには無い。サドルポスト連結部機構はリニアガイドに

より上下方向へ可動できるようにし、サドル部とおもりの間に緩衝材を挟むことで自転車フレームに必要以上の負荷が掛からないようにしている。また緩衝材の種類や厚さを変えることで負荷の影響を調整することができる。

これが自転車用ロードシミュレータのふたつ目の特徴である。サドル部おもりに緩衝材を挟み込む機構を設計する上で、試験装置とサドルポストを連結する箇所には以下の機能が必要となる。

- A) 上下スライド機構
- B) 前後スライド機構
- C) 回転機構

段差乗り上げの際に前輪軸と後輪軸の高さが異なるため、回転機構がないとサドルポストに曲げ方向の力が掛かることになる。また同様に前後スライド機構、上下スライド機構が無い場合にも試験体が動いた際にサドルポストに曲げ方向の力が掛かる。これら機能を複合的に持たせるために、試験装置とサドル部を連結する箇所は図4の機構とした。

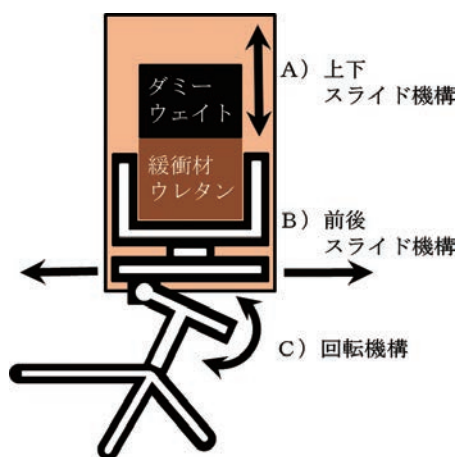


図4 サドルポスト連結部機構

NITE殿との自転車用ロードシミュレータの再現条件は目標加速度波形（実路面走行のデータ）のうち、+ピーク3点・-ピーク3点それぞれを抽出し再現加速度波形との誤差を取得する。この誤差の許容値は装置が再現できる最大加速度 250m/s^2 の5%となる 12.5m/s^2 以下を満たすこととした。

4 走行加速度再現

自転車ロードシミュレータが再現する目標加速度波形を図5、図6に示す。

まず前輪が段差を乗り上げるため、前輪垂直、前輪水平加速度が発生する。この際垂直、水平加速度ともにおよそ 200m/s^2 という大きな加速度となる。

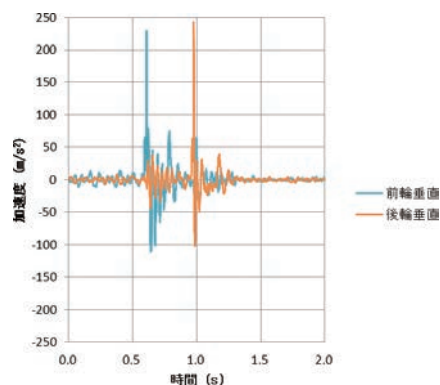


図5 目標加速度波形（垂直方向）

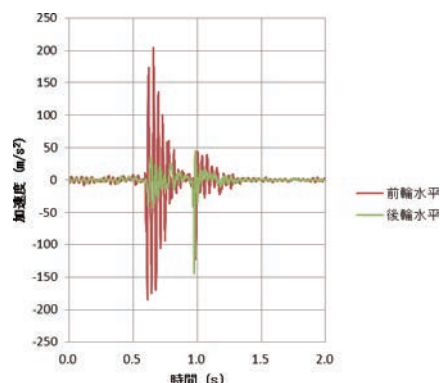


図6 目標加速度波形（水平方向）

前輪が段差を乗り上げた後、続いて後輪が段差を乗り上げるにより後輪垂直、後輪水平加速度が発生する。NITE殿が実測した実走行加速度波形を再現するために、当社制御ソフトウェアのWave Modification System（以下WMS）を使用する。WMSでは以下の手順にて実働波形再現を行うための駆動波形を作成し、耐久試験を実施する。

- ①試験体を試験装置に取り付ける。
- ②各アクチュエータを順に加振することで、伝達関数を取得する。
- ③得られた伝達関数と目標加速度波形を演算しドライブ波形を作成する。
- ④ドライブ波形により初期加振を行う。
- ⑤初期加振で得られた加速度波形から修正したドライブ波形を作成する。
- ⑥加振、計測を繰り返すことで反復修正を繰り返し、再現加速度を目標加速度に近づける。
- ⑦得られたドライブ波形を用いて耐久試験を実施する。

図7と表2に自転車ロードシミュレータで行った実働加速度波形再現結果を示す。図7は初期加振時と反復修正後の再現加速度波形についての周波数軸グラフである。初期加振時には目標加速度波形（黒線）と再現加速度波形（赤線）がずれているが、反

復修正を行うことにより2つの線が重なることがわかる。

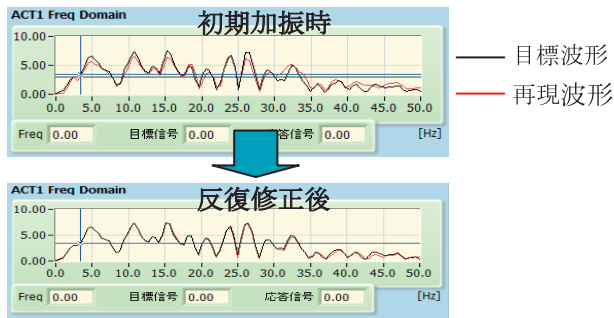


図7 周波数軸グラフ 反復修正前後比較 (前輪垂直)

前輪垂直・後輪垂直・前輪水平・後輪水平のそれぞれの目標加速度の+ピーク、-ピーク3点と再現加速度とを比較した結果を表2に示す。加速度の最大誤差は後輪水平の10.12m/s²となり、誤差が12.5m/s²という再現条件を満足することができた。

表2 加速度再現結果

| 前輪垂直 | +ピーク 3点 | | | -ピーク 3点 | | |
|---------------------------|---------|-------|-------|---------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 時間 (s) | 0.61 | 0.79 | 1.00 | 0.64 | 0.68 | 0.71 |
| 目標加速度 (m/s ²) | 101.16 | 70.02 | 64.56 | -114.60 | -65.22 | -44.48 |
| 再現加速度 (m/s ²) | 101.97 | 60.81 | 63.86 | -114.40 | -64.61 | -44.60 |
| 誤差 (m/s ²) | -0.81 | 9.21 | 0.70 | -0.20 | -0.61 | 0.12 |

| 後輪垂直 | +ピーク 3点 | | | -ピーク 3点 | | |
|---------------------------|---------|-------|-------|---------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 時間 (s) | 0.98 | 1.18 | 1.00 | 0.99 | 1.02 | 0.64 |
| 目標加速度 (m/s ²) | 121.00 | 36.20 | 32.42 | -81.10 | -44.76 | -41.76 |
| 再現加速度 (m/s ²) | 123.36 | 40.29 | 36.34 | -86.97 | -47.91 | -41.59 |
| 誤差 (m/s ²) | -2.36 | -4.09 | -3.92 | 5.87 | 3.15 | -0.17 |

5 おわりに

KSMでは長年ロードシミュレータを中心とした多軸試験装置を製作してきた。NITE殿は製品事故の調査分析等を行う機関であり、この自転車4軸振動試験装置は事故の解析・評価並びに新たな原因究明手法の開発等に使用されることになる。この事例を元にKSM製の多軸試験装置が広まっていくことを希望する。また今後は歪量再現手法の知識をさらに充実し、ロードシミュレータをはじめとする試験装置を広い分野で使用していただけるように、提案をしていきたい。今回の製品はNITE殿をはじめとする多くの方々の知見と協力を得て、新規要素(サドル連結部の機構：本執筆時点で特許申請中)の開発を行うことができた。関係諸氏および本機の撮影、見学了承をいただきましたNITE殿には謝辞を申し上げます。

| 前輪水平 | +ピーク 3点 | | | -ピーク 3点 | | |
|---------------------------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 時間 (s) | 0.66 | 0.62 | 0.70 | 0.68 | 0.64 | 0.99 |
| 目標加速度 (m/s ²) | 175.18 | 147.72 | 113.72 | -164.86 | -148.66 | -103.86 |
| 再現加速度 (m/s ²) | 176.48 | 143.97 | 116.33 | -164.72 | -149.04 | -98.98 |
| 誤差 (m/s ²) | -1.30 | 3.75 | -2.61 | -0.14 | 0.38 | -4.88 |

| 後輪水平 | +ピーク 3点 | | | -ピーク 3点 | | |
|---------------------------|---------|-------|-------|---------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 時間 (s) | 0.64 | 0.68 | 0.99 | 0.98 | 0.66 | 0.62 |
| 目標加速度 (m/s ²) | 34.87 | 25.13 | 25.58 | -79.88 | -36.57 | -31.87 |
| 再現加速度 (m/s ²) | 34.95 | 23.90 | 15.46 | -77.19 | -37.42 | -30.21 |
| 誤差 (m/s ²) | -0.08 | 1.23 | 10.12 | -2.69 | 0.85 | -1.66 |

著者



小原 英洋

2014年入社。カヤバシステムマシナリー(株)三重工場技術部。シミュレータ製品の設計に従事。