

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

一本リンクを台車から外さずに ゴムの損傷を判定する

台車が加速・減速する力を車体に伝える一本リンクには、緩衝材としてゴムが使われています。その緩衝性能が維持されていることを確認するには、損傷を判定する必要がありますが、一般的な材料試験での判定には車体や台車から取り外すため多くの労力と時間が必要で、簡易な判定方法が求められています。そこで、一本リンクを台車から外さずにハンマーで打撃して判定する衝撃加振試験の適用を検討した結果、損傷のあるゴムを判定できることがわかりました。

はじめに

一本リンクは、図1のように台車と車体をつなぎ、台車が加速・減速する力を車体に伝達する重要な部品です。この一本リンクには、台車からの衝撃的な力や振動を直接車体に伝えないためにゴムが使われています。

一般にゴムは長期間の使用で劣化して硬化または軟化し、特に劣化が進行すると大きな損傷に至ることもあるため、損傷の早期発見が望まれます。一本リンクのゴムは表面に細かい傷が発生することが多く、図2のように、荷重を

負荷しない状態では、目視だけで大きな損傷と区別できないことがあります。

目視以外に、ゴムの損傷を評価する方法として、材料試験機を用いてゴムのばね定数を測定し、その変化で損傷の発生を評価する方法があります。しかし、一本リンクは一本が30kg程度の重量物であるため、台車から外して材料試験機に取り付けて、ばね定数の測定を行うには時間と労力が必要です。

そこで、台車から外さずにゴムのばね定数を推定する方法として、衝撃加振試験による方法を検討しました¹⁾。



間々田 祥吾
Shogo Mamada
材料技術研究部
防振材料研究室
副主任研究員
[専門分野] 防振・防音材料



佐藤 大悟
Daigo Sato
材料技術研究部
防振材料研究室
研究員
[専門分野] 防振・防音材料



鈴木 実
Minoru Suzuki
材料技術研究部
防振材料研究室
主任研究員
[専門分野] 防振材料



渡辺 信行
Nobuyuki Watanabe
車両構造技術研究部
走り装置研究室
主任研究員
[専門分野] 走り装置、車両運動



朝比奈 峰之
Mineyuki Asahina
車両構造技術研究部
車両振動研究室
副主任研究員
[専門分野] 車両振動、車内騒音

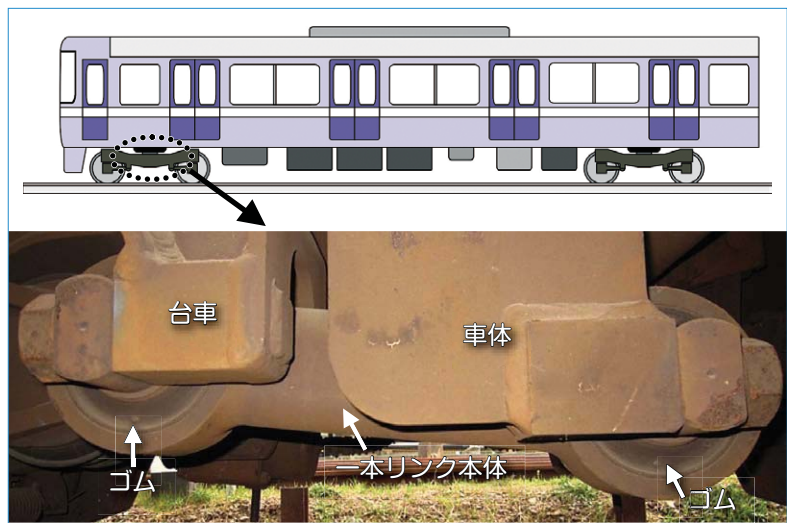


図1 一本リンクの取り付け状態



図2 一本リンクのゴムの損傷

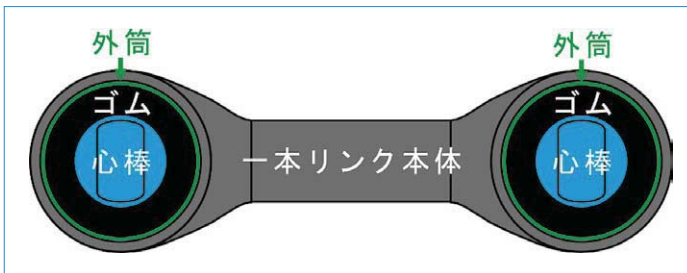


図3 一本リンクの概要

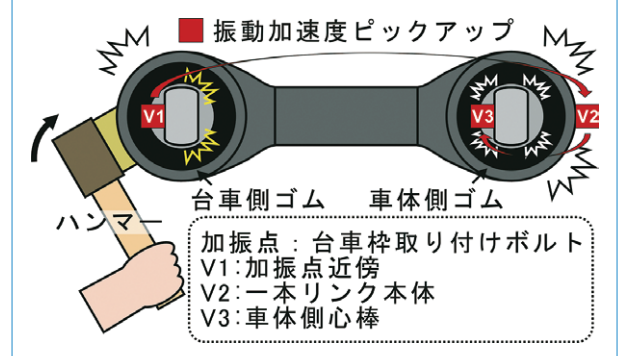
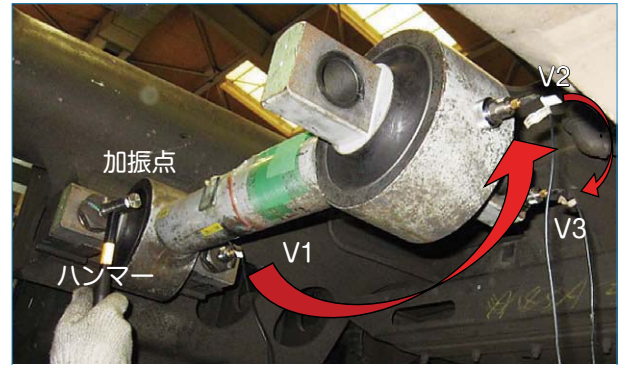


図4 衝撃加振試験の状況

一本リンクの概要

一本リンクの概略図を図3に示します。一本リンクは台車と車体に取り付ける2個の心棒とそれを連結する本体から構成されています。心棒と本体の間にゴムが挿入されており、両部材の間で発生する衝撃的な力や振動を緩衝します。ゴムの外側には外筒があり、一本リンク本体からゴムを取り外すことができます。以下、一本リンクのゴムのうち、台車側に取り付けるものを「台車側ゴム」、車体側に取り付けるものを「車体側ゴム」とします。

衝撃加振試験によるばね定数

衝撃加振試験の概要

衝撃加振試験はハンマーによって打撃した際に、振動が伝達する経路にあたる箇所の振動応答(振動加速度)を測定することで、振動の伝達の仕方を検証する試験です。

試験方法

試験状況を図4に示します。一本リンクは、車体からは切り離しますが、台車側は取り付けられた状態のままとします。

試験では、ハンマーと各部位の振動加速度を調べる振動加速度ピックアップを3個(V1~V3)使用します。振動加速度ピックアップは取り付け部が磁石になっており、測定部位に容易に取り付けることができます。ばね定数は、打撃した際に振動加速度ピックアップから得られる振動加速度の情報を分析し、計算によって求めます。

試験結果の分析方法

・周波数応答関数

台車側心棒と台車枠とを取り付けるボルトを打撃した時の振動は、図4に示すように加振点に近いV1からV2、V3の順に伝達していきます。この際、V1からV2の経路の途中に台車側ゴム、V2からV3の経路の途中に車体側ゴムがあるため、伝達する振動加速度はゴムの影響を受けることになります。

振動がゴムから受ける影響は主にゴムのばね定数によって決まります。伝達元から伝達先に伝達する振動加速度の大きさの比を振動伝達率といい、それを周波数で整理したものが周波数応答関数です。周波数応答関数における

共振および反共振周波数はゴムのばね定数によって決まるため、周波数応答関数からゴムのばね定数を求めることができます。

・周波数応答関数の求め方

打撃した時にV1~V3の振動加速度ピックアップから得られる振動加速度を周波数分析し、周波数毎の振動加速度の大きさを求めます。求めた周波数ごとの振動加速度の大きさを対数換算してdBの単位とした振動加速度レベル L_v とし、V1~V3の振動加速度レベル L_{v1} と L_{v2} の差、 L_{v1} と L_{v3} の差および L_{v2} と L_{v3} の差を求めます。求めたレベルの差が周波数応答関数となります。

周波数応答関数において、振動伝達率が0dBの周波数では、振動元と振動先の振動加速度レベルに差がなく、振動元と振動先が同じ振動加速度で振動していることを表しています。振動伝達率が0dBより大きい周波数では、伝達元よりも伝達先が大きく振動し、逆に0dBより小さい周波数では、伝達元よりも伝達先が小さく振動して

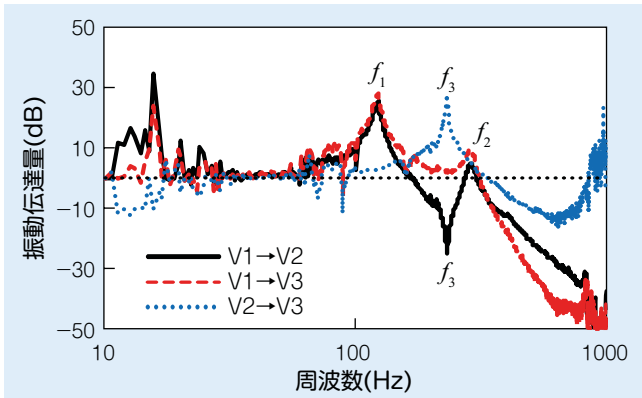


図5 新品の一本リンクの周波数応答関数

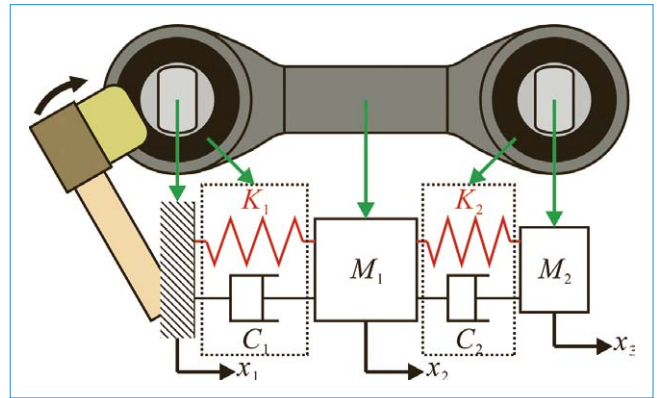


図6 振動モデル

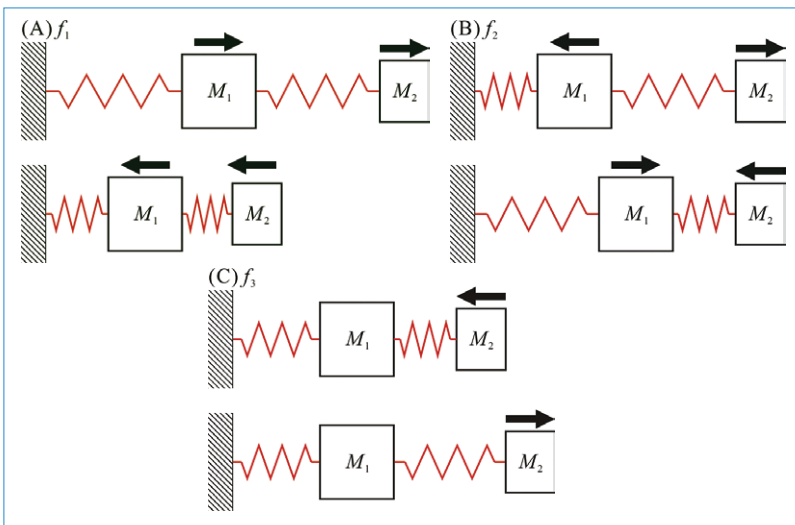


図7 共振および反共振周波数における各部位の動き

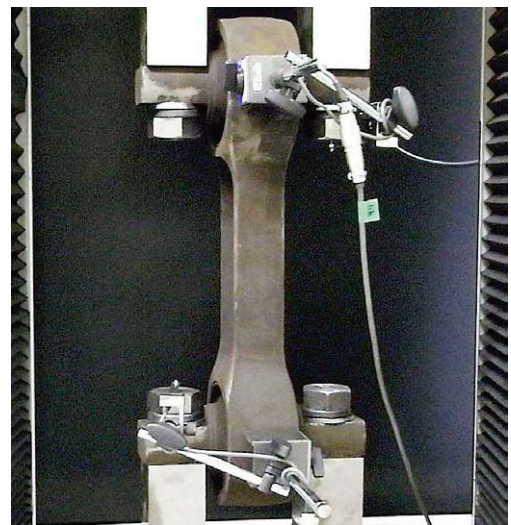


図8 材料試験の状況

いることとなります。特に伝達量が大きくピークとなる周波数を「共振周波数」、小さくピークとなる周波数を「反共振周波数」と言います。この共振および反共振周波数から一本リンクのゴムのばね定数を求めます。

ばね定数の計算方法

・一本リンクの周波数応答関数の例

例として、新品の一本リンクの衝撃加振試験での周波数応答関数を図5に示します。図より、以下のことがわかります。

○V2とV1の間の周波数応答関数

共振周波数が2つ（周波数の低い順に f_1 , f_2 ）あり、その間に反共振周波数が1つ（ f_3 ）あります。

○V3とV1の間の周波数応答関数

V2-V1間の周波数応答関数の共振周波数（ f_1 , f_2 ）と同じ周波数

に2つの共振周波数があります。

○V2とV3の間の周波数応答関数

V2-V1間の周波数応答関数の反共振周波数（ f_3 ）と同じ周波数に、共振周波数があります。

・振動モデルによる計算

共振および反共振周波数から一本リンクのゴムのばね定数を計算で求めるためには、一本リンクを模擬した振動モデルの共振および反共振周波数における動きを元に計算する必要があります。一本リンクの場合、図6のような振動モデルで模擬できます。図の記号の意味は以下の通りです。

- $x_{1\sim 3}$: V1, V2およびV3の変位
- M_1 : 一本リンク本体+外筒の質量
- M_2 : 車体側心棒の質量
- K_1 : 台車側ゴムのばね定数
- K_2 : 車体側ゴムのばね定数

C_1 : 台車側ゴムの減衰定数

C_2 : 車体側ゴムの減衰定数

ここでは共振周波数に与えるゴムの減衰定数 C_1 , C_2 は影響が小さいため考慮しません。

振動モデルの台車側心棒に相当する箇所を全ての周波数域で同じ大きさで振動させた場合、共振および反共振周波数での M_1 および M_2 の動きは次のようになります。

○共振周波数 f_1

図7(A)に示すように、 M_1 および M_2 が同じ方向に大きく振動します。

○共振周波数 f_2

図7(B)に示すように、 M_1 と M_2 が反対の方向に大きく振動します。

○共振および反共振周波数 f_3

図7(C)に示すように、 M_1 の振動は小さく、 M_2 のみが振動します。

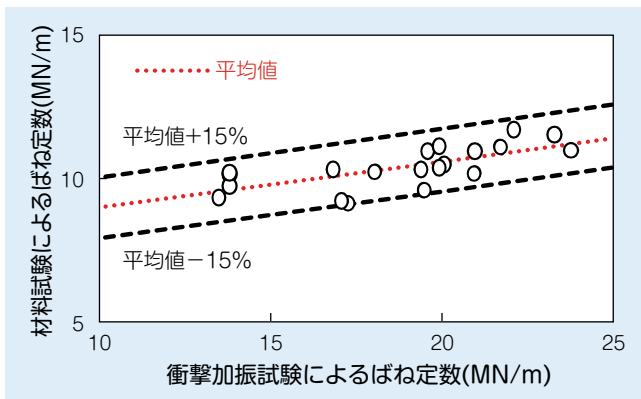


図9 衝撃加振試験結果と材料試験結果の比較

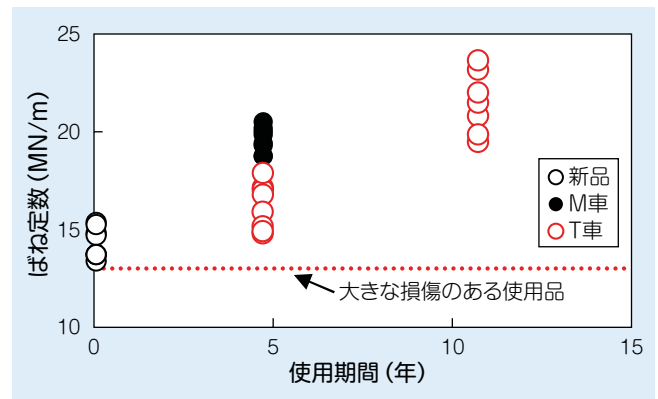


図10 衝撃加振試験で求めたばね定数の経年変化

モデルの計算より、共振および反共振周波数 f_1 は M_2 の重量および車体側ゴムのばね定数で決まり、共振周波数 f_2 は先に求めた M_2 の重量、車体側ゴムのばね定数および M_1 の重量、台車側ゴムのばね定数で決まります。

求めたばね定数が適正な値であるかを判断するため、衝撃加振試験で求めたばね定数と一般的な材料試験によって求めたばね定数を比較しました。

衝撃加振試験で求めたばね定数と材料試験で調べたばね定数の比較

材料試験によるばね定数の測定方法

材料試験は、図8のように台車から取り外した一本リンクを材料試験機に固定した後、一本リンクの軸方向に一定速度で載荷して変位および荷重を測定します。測定結果の荷重-変位曲線において一定範囲の荷重と変位の変化からばね定数を求めます。

衝撃加振試験と材料試験の比較

衝撃加振試験によるばね定数と材料試験によるばね定数の比較結果を図9に示します。

衝撃加振試験で求めたばね定数は材料試験によるばね定数の最大で約2倍の値となっています。これは、衝撃加振試験によるばね定数が動的ばね定数であるのに対して、材料試験によるばね定数が静的ばね定数であるためと考えられます。動的ばね定数と静的ばね

定数の比を動倍率といますが、一般的なゴム材料では、その比率が1~3であることが多いことが知られています²⁾。さらに、二つの試験方法で得られたばね定数の分布は平均値±15%を表す図中の点線の範囲内に全て収まっており、それぞれの結果には明確な関連があることがわかります。

この関連性とばね定数の動倍率を考慮すると、衝撃加振試験で求めたばね定数は適当な値であると判断されます。

衝撃加振試験を用いたゴムの損傷の判定

衝撃加振試験による新品および使用品の本リンクのゴムのばね定数を図10に示します。

新品と比較すると、動力装置を搭載しているM車、動力装置を搭載していないT車の使用品ともに使用年数の増加とともにばね定数が増加しています。特にM車の使用品では、ばね定数が大きく増加しています。これは、M車がT車よりも重く、ゴムにかかる負担が大きいため、経年によって劣化し硬化するのも早いと考えられます。使用品の経年によるばね定数の増加傾向は、材料試験によるばね定数でも同様にみられます。

一方、使用期間は不明ですが、図2右のような大きな損傷のある使用品のばね定数を衝撃加振試験で測定した結果では、図10の点線のように、

新品よりも低い値を示しました。

損傷のある使用品の場合は、衝撃加振試験結果によるばね定数が新品よりも小さい値を示すため、衝撃加振試験で損傷を判定できる可能性があります。

おわりに

一本リンクを台車から外さずに簡易に一本リンクのゴムの損傷などの劣化を評価するため、衝撃加振試験によってばね定数を求める方法を検討しました。

その結果、衝撃試験結果から求めたばね定数は適当な値であると判断され、材料試験の結果と同じように、ばね定数が使用期間の増加に伴って増加することが分かりました。また、目視では判断が困難な損傷を検出できる可能性があることもわかりました。

衝撃加振試験は材料試験よりも労力、効率の面で有利な点が多く、今後さらに試験精度を向上させることで、車両検修現場で有効な劣化判定方法となると考えられます。[RRR]

文献

- 1) 間々田祥吾, 鈴木実, 渡辺信行, 佐藤大悟, 判坂征則: 車体と台車を連結する一本リンクゴムの衝撃加振試験による損傷判定手法, 鉄道総研報告, Vol.26, No.10, pp.41-46, 2012
- 2) 日本ゴム協会編: ゴム技術の基礎, 1999