

2.2 道路走行試験

2.2.1 概要

一般的な道路上を走行する状態において、車両が路面に及ぼす影響を評価するために、国総研構内の試験走路およびその外周路からなる総延長約 20 km のコースを設定し、そこに実験車両を走行させ、走行中のトラクタ駆動軸の動的軸重および車両の運動性状を連続的に測定した。

2.2.2 試験方法

(1) 試験走路

図-2.2.1 および図-2.2.2 に走行ルートと設定した試験走路およびその外周路の概要を示す。ルート上には、14 箇所の測定区間を設け、この区間内において、路面プロファイルおよび車両運動特性（動的軸重等）を測定した。走行速度については、試験走路内においては、40km/h および 80km/h の 2 通り、外周路内においては、40km/h を標準として走行させた。表-2.2.1 に各計測区間における路面の PSD（パワースペクトル密度）、プロファイル、状況写真、平坦性（OWP; Outer Wheel Path：車線中央より左 1 m 位置、IWP; Inner Wheel Path：車線中央より右 1 m 位置）等の諸データを示す。また、図-2.2.3 に本試験での走行ルートにおける路面と関東地方整備局管内の直轄国道及び平成 14 年度に海コントレーラの試験を実施したときの走行ルートの路面の平坦性とを比較したものを示す。本走路の PSD は、ISO 基準の A ～ C クラスの付近に、また、平坦性については 1.5 ～ 4.5 (mm) の範囲に分布しており、既往の調査データと比較して、概ね一般的な性状を有する路面であると考えることができる。

なお、各測定区間の路面凹凸性状を現地踏査した結果、局部的に一般的な路面性状とみなすことができないような箇所が存在することを確認した。道路管理において用いられている道路維持修繕要領（日本道路協会、1978.7）³⁾において、橋梁伸縮継手付近の段差量の管理目標水準が 15 ～ 20mm であることから、20mm を超えるような段差を有する区間のデータは、データ整理の際に削除して示すこととした。本試験では、測定区間⑩におけるマンホール前後の 40mm 段差を有する区間がこれに該当した。

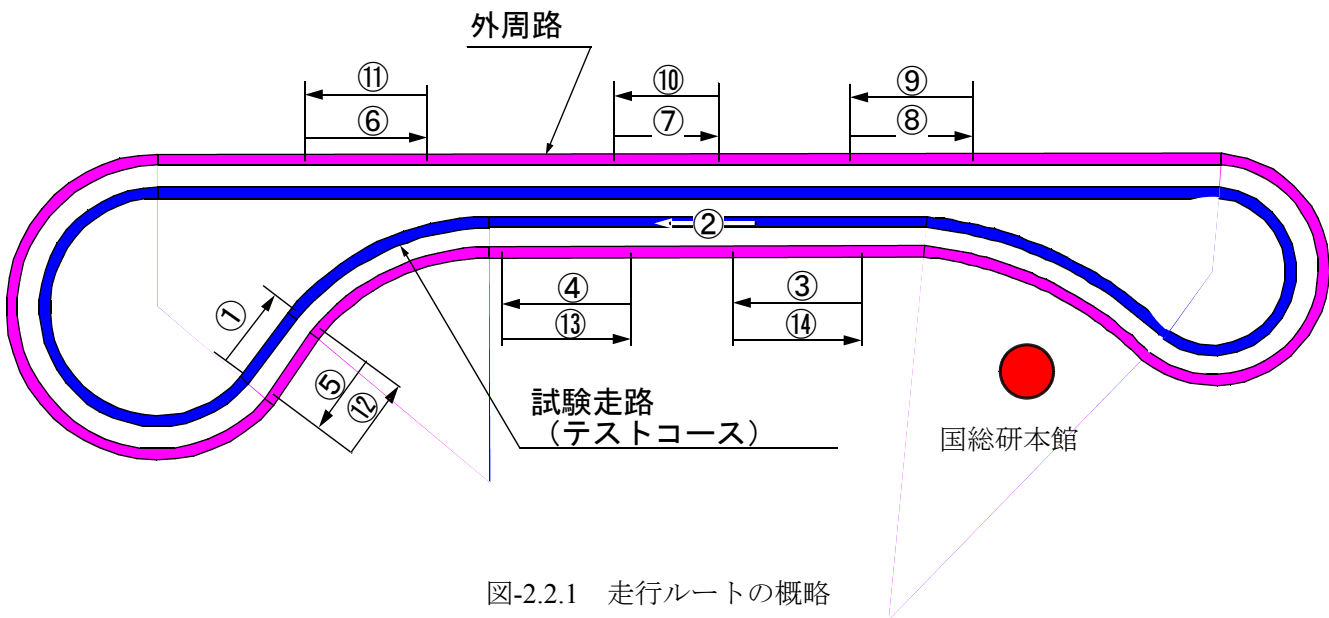
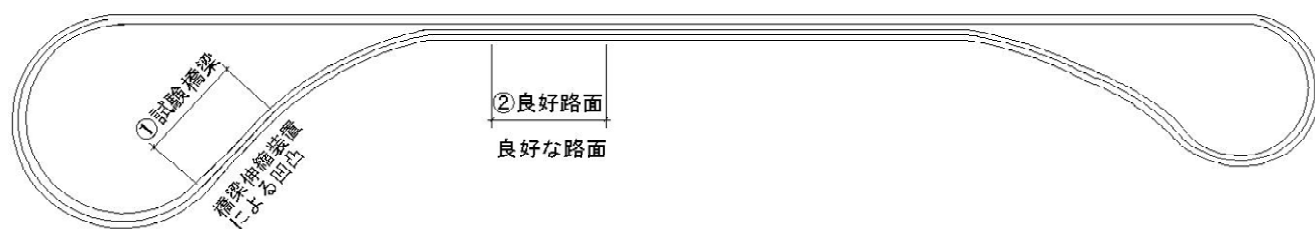
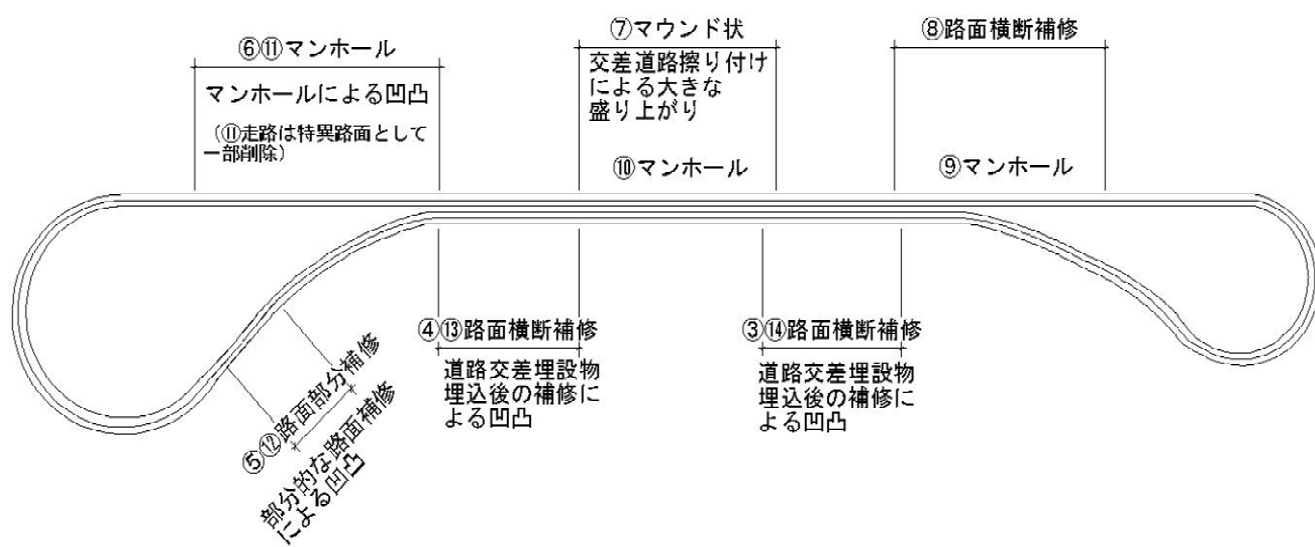


図-2.2.1 走行ルートの概略



(a) 試験走路部



(b) 外周路部

図-2.2.2 走路ルート内の測定区間

表-2.2.1 各測定区間の特性（その1）

測定区間	パワースペクトル密度 (PSD)	路面プロファイル・路面状況写真
<p>①試験橋梁</p> <p>総延長：31.6(m)</p> <p>OWP：4.13 (mm)</p> <p>IWP：4.64 (mm)</p> <p>区分：試験橋梁</p> <p>※橋梁伸縮装置による凹凸</p>		
<p>②良好路面</p> <p>総延長：200(m)</p> <p>OWP：1.92 (mm)</p> <p>IWP：1.90 (mm)</p> <p>区分：試験走路</p>		
<p>③路面横断補修</p> <p>総延長：380(m)</p> <p>OWP：2.62 (mm)</p> <p>IWP：1.41 (mm)</p> <p>区分：外周路</p> <p>※道路交差埋設物埋込み後の補修による凹凸</p>		

表-2.2.1 各測定区間の特性（その2）

測定区間	パワースペクトル密度(PSD)	路面プロファイル・状況写真
<p>④路面横断補修</p> <p>総延長：400(m)</p> <p>OWP：2.62(mm)</p> <p>IWP：1.55(mm)</p> <p>区分：外周路</p> <p>※道路交差埋設物 埋込み後の補修に よる凹凸</p>		<p>路面補修(段差量 5mm)</p> <p>路面補修拡大</p>
<p>⑤路面部分補修</p> <p>総延長：200(m)</p> <p>OWP：1.79(mm)</p> <p>IWP：3.19(mm)</p> <p>区分：外周路</p> <p>※部分的な路面補 修による凹凸</p>		<p>部分的路面補修</p>
<p>⑥マンホール</p> <p>総延長：400(m)</p> <p>OWP：4.61(mm)</p> <p>IWP：1.97(mm)</p> <p>区分：外周路</p> <p>※マンホールによ る凹凸</p>		

表-2.2.1 各測定区間の特性（その3）

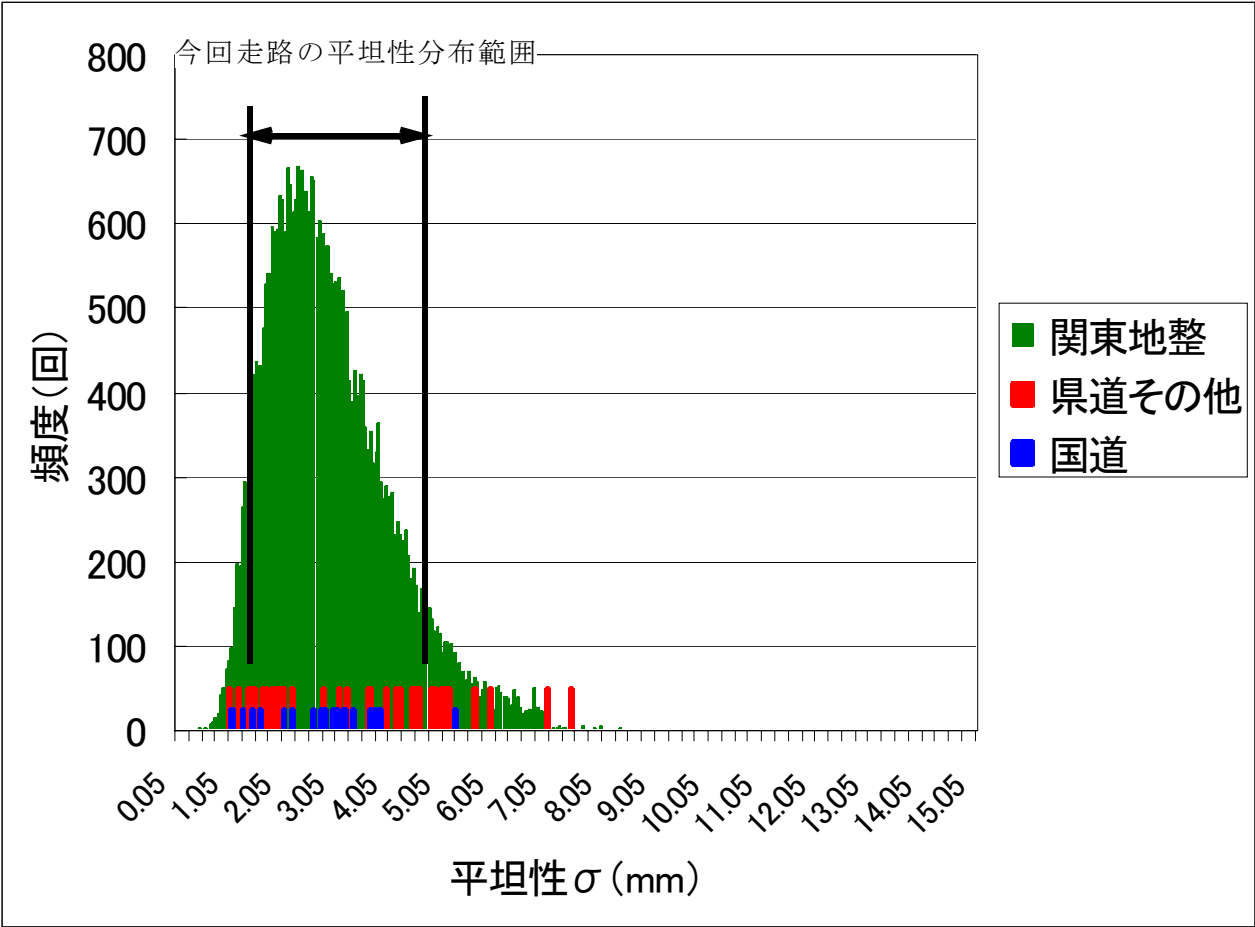
測定区間	パワースペクトル密度 (PSD)	路面プロファイル・状況写真
<p>⑦マウンド状</p> <p>総延長：300(m)</p> <p>OWP：3.98(mm)</p> <p>IWP：2.57(mm)</p> <p>区分：外周路</p> <p>※交差道路擦り付けによる大きな盛り上がり</p>		 <p>路面擦りつけ部</p>
<p>⑧路面横断補修</p> <p>総延長：400(m)</p> <p>OWP：2.81(mm)</p> <p>IWP：2.28(mm)</p> <p>区分：外周路</p> <p>※道路交差埋設物埋込み後の補修による凹凸</p>		
<p>⑨マンホール</p> <p>総延長：400(m)</p> <p>OWP：3.10(mm)</p> <p>IWP：2.19(mm)</p> <p>区分：外周路</p> <p>※マンホールによる凹凸</p>		

表-2.2.1 各測定区間の特性（その4）

測定区間	パワースペクトル密度(PSD)	路面プロファイル・状況写真
<p>⑩マンホール</p> <p>総延長：300(m)</p> <p>OWP：3.17(mm)</p> <p>IWP：2.54(mm)</p> <p>※マンホールによる凹凸</p>		
<p>⑪マンホール</p> <p>総延長：400(m)</p> <p>OWP：2.53(mm)</p> <p>IWP：2.06(mm)</p> <p>※マンホールによる凹凸、特異路面として削除</p>		
<p>⑫路面部分補修</p> <p>総延長：200(m)</p> <p>OWP：3.48(mm)</p> <p>IWP：1.90(mm)</p> <p>区分：外周路</p> <p>※部分的な路面補修による凹凸</p>		

表-2.2.1 各測定区間の特性（その5）

区間	パワースペクトル密度 (PSD)	路面プロファイル・状況写真
<div>⑬路面横断補修</div> <div>総延長：400(m)</div> <div>OWP：1.78(mm)</div> <div>IWP：1.39(mm)</div> <div>区分：外周路</div>		<div><div>路面補修(段差量 5mm)路面補修拡大</div></div>
<div>⑭路面横断補修</div> <div>総延長：380(m)</div> <div>OWP：1.59(mm)</div> <div>IWP：1.52(mm)</div> <div>区分：外周路</div> <div>※道路交差埋設物埋込み後の補修による凹凸</div>		<div><div>路面補修(段差量 10mm)路面補修拡大</div></div>
①～⑭全体		



備考)

関東地整：関東地方整備局管内の直轄道路の平坦性分布

県道その他，国道：H14 年度一般走路走行試験時のルートにおける平坦性分布（国総研資料 No.179，180）

図-2.2.3 既往の平坦性測定データとの比較

(2) 測定項目および測定方法

道路走行試験における測定項目は表-2.2.2 および表-2.2.3 に示すとおり、車両の走行速度、各車軸の動的軸重、車体各部の加速度とした。なお、動的軸重の測定には、国総研資料 180 号¹⁾に示すように、車軸に取り付けたひずみゲージを用いた。すなわち、あらかじめ車軸ひずみと車輪が路面に与えている荷重値の関係を求めておき、その関係を用いて走行中の車軸ひずみの値を車輪が路面に与えている荷重値に換算することで間接的に求める方法を採用した。

図-2.2.4 から図-2.2.6 に各種計測機器の取り付け位置、写真-2.2.1 写真-2.2.1 にひずみゲージの貼り付け状況を示す。また、試験に先立って実施した各車両の車軸のひずみ応答値と動的軸重との相関関係を図-2.2.7 から図-2.2.10 に示す。

表-2.2.2 測定項目(長トレーラとの組合せの場合)

番号	記号	測定項目	測定(取付)箇所			使用センサー	備考
1	SPD	速度	トラクタ前面			速度計	
2	S1R	軸重 (輪荷重)	トラクタ	前軸	右側	ひずみゲージ	図-2.2.4 図-2.2.6 参照
3	S1L				左側		
4	S2R			後軸	右側		
5	S2L				左側		
6	S3R		トレーラ	前軸	右側		
7	S3L				左側		
8	S4R			中軸	右側		
9	S4L				左側		
10	S5R			後軸	右側		
11	S5L				左側		
12	A1	加速度	トラクタ	前方	中央	加速度計	図-2.2.4
13	A2R				右側		
14	A2L				左側		
15	A3R		トレーラ	前方	右側		
16	A3L				左側		
17	A4R			中間	右側		
18	A4L				左側		
19	A5R			後方	右側		
20	A5L				左側		

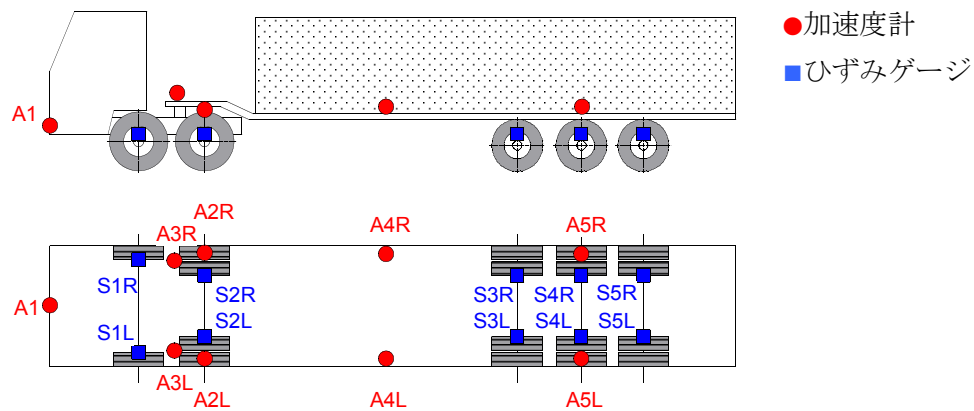


図-2.2.4 計測機器の設置状況（長トレーラとの組合せの場合）

表-2.2.3 測定項目（短トレーラとの組合せの場合）

番号	記号	測定項目	測定(取付)箇所			使用センサー	備考
1	SPD	速度	トラクタ前面			速度計	
2	S1R	軸重 (輪荷重)	トラクタ	前軸	右側	ひずみゲージ	図-2.2.5 図-2.2.6 参照
3	S1L				左側		
4	S2R			後軸	右側		
5	S2L				左側		
6	S3R		トレーラ	前軸	右側		
7	S3L				左側		
10	S4R			後軸	右側		
11	S4L				左側		
12	A1	加速度	トラクタ	前方	中央	加速度計	図-2.2.5
13	A2R				右側		
14	A2L			後方	左側		
15	A3R		トレーラ	前方	右側		
16	A3L				左側		
17	A4R			中間	右側		
18	A4L				左側		
19	A5R			後方	右側		
20	A5L				左側		

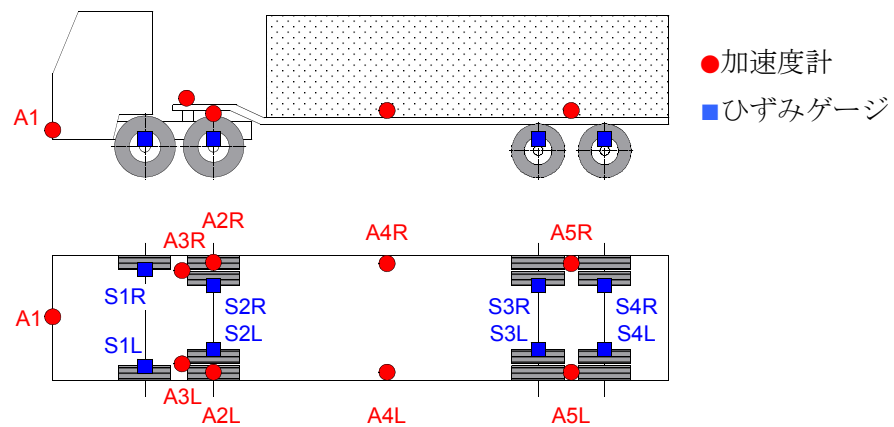


図-2.2.5 計測機器の設置状況（短トレーラとの組合せの場合）

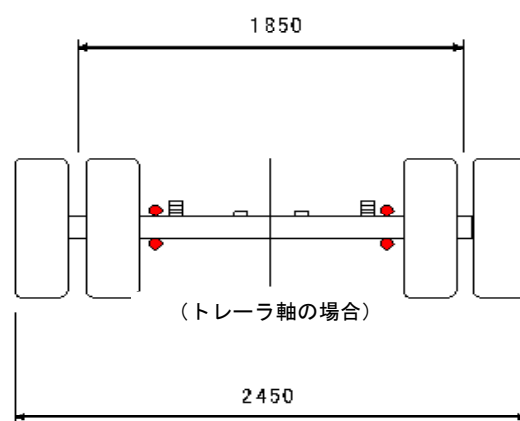
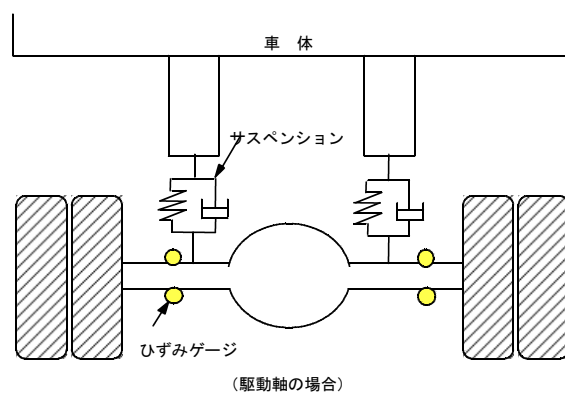


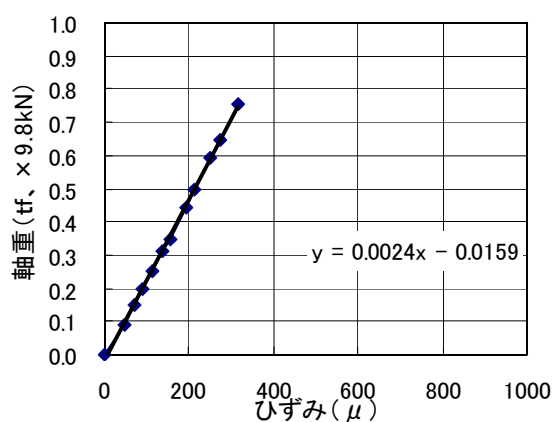
図-2.2.6 車軸へのひずみゲージの貼り付け方法詳細



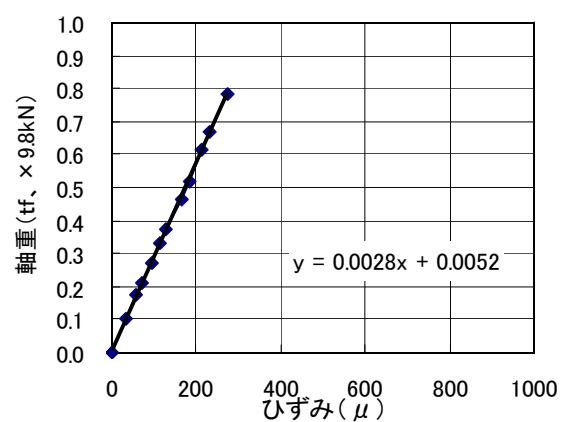
写真-2.2.1 ひずみゲージの貼付作業



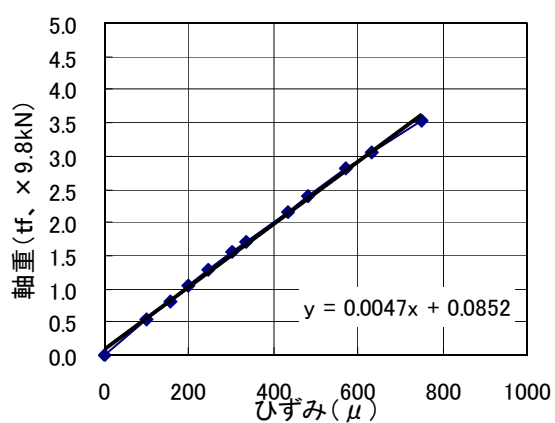
写真-2.2.2 ひずみゲージの貼付状況



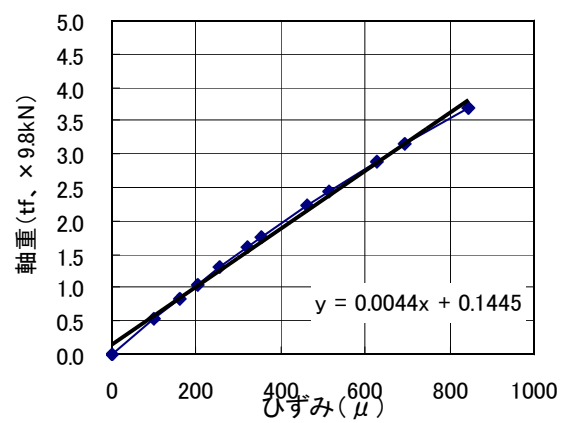
(a) 前輪左側



(b) 前輪右側

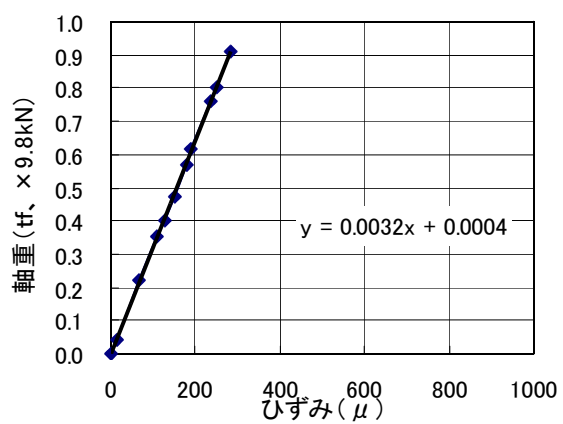


(c) 後輪左側

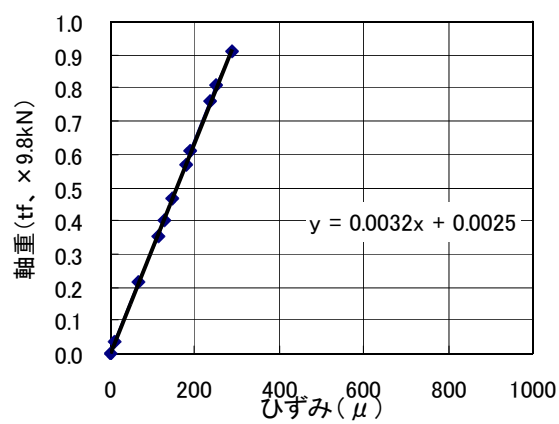


(d) 後輪右側

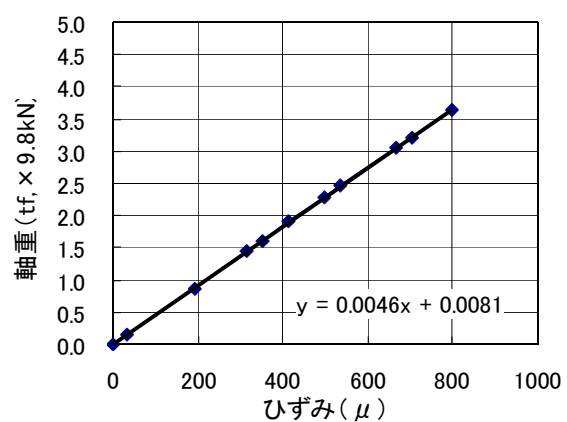
図-2.2.7 車軸ひずみ～軸重関係 (リーフサストラクタ)



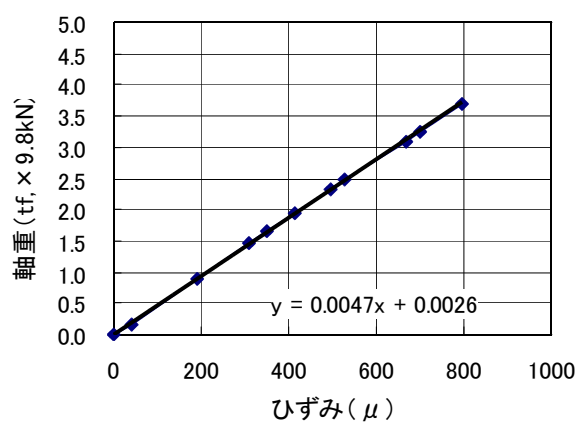
(a) 前輪左側



(b) 前輪右側

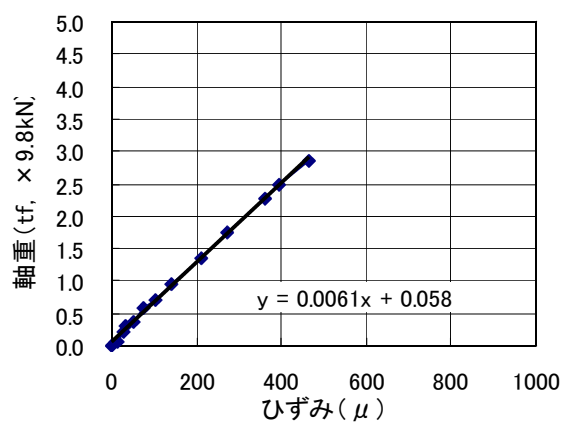


(c) 後輪左側

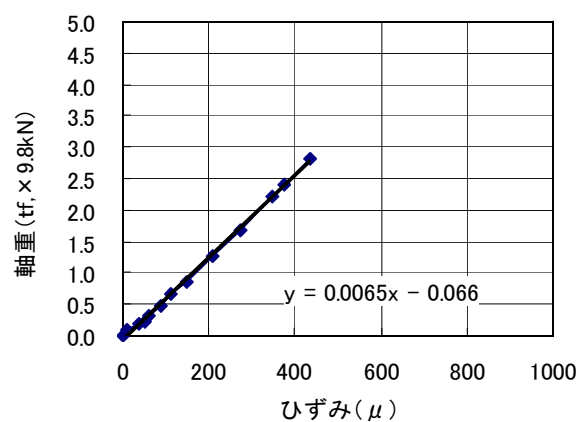


(d) 後輪右側

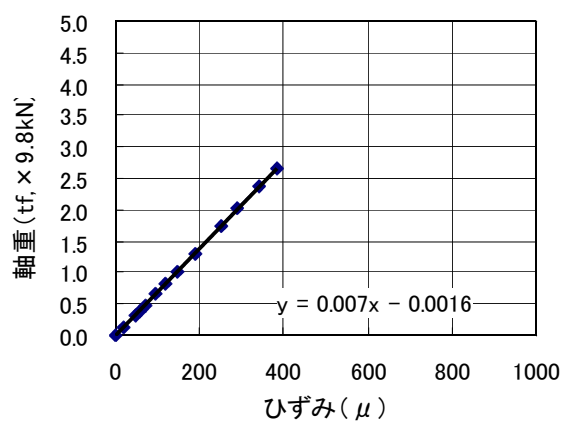
図-2.2.8 車軸ひずみ～軸重関係 (エアサストラクタ)



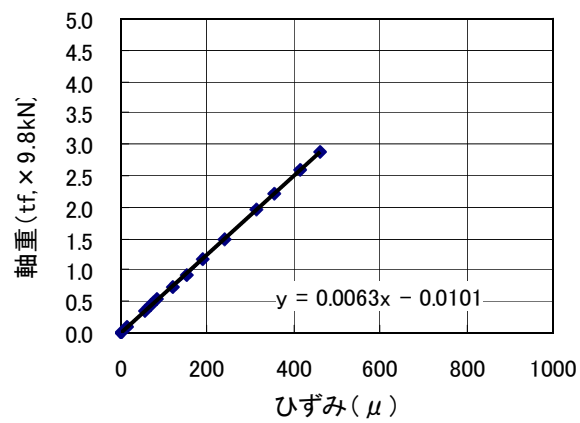
(a) 前輪左側



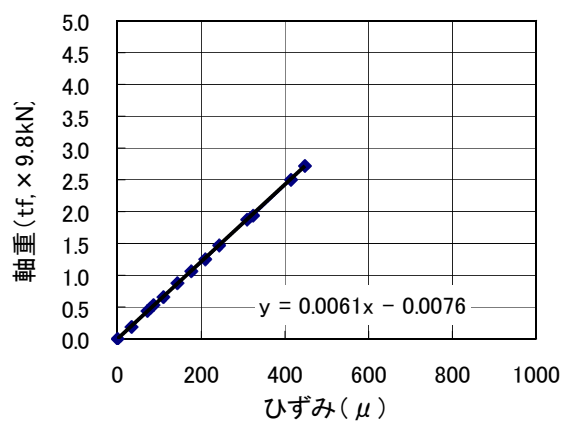
(b) 前輪右側



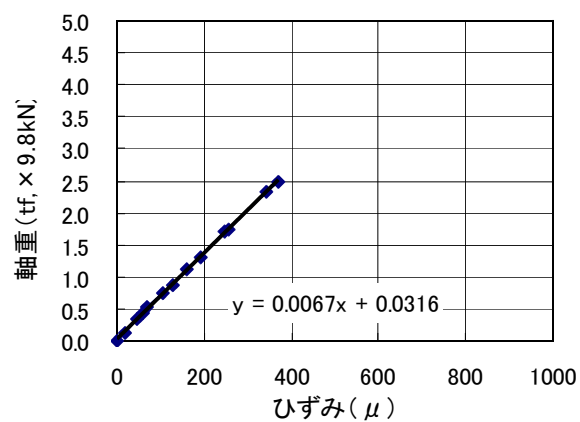
(a) 中輪左側



(b) 中輪右側

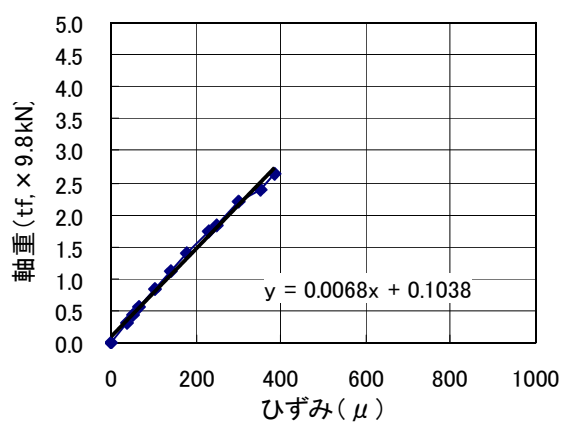


(c) 後輪左側

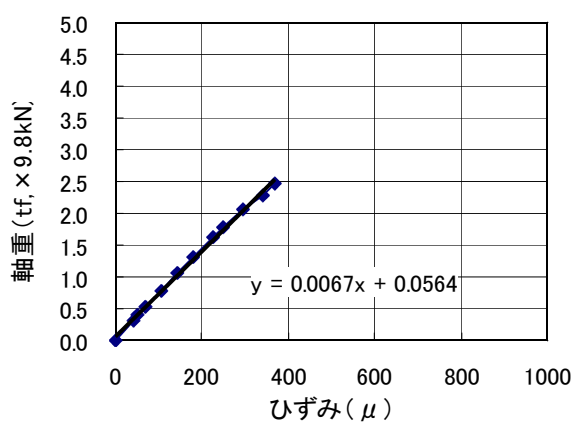


(d) 後輪右側

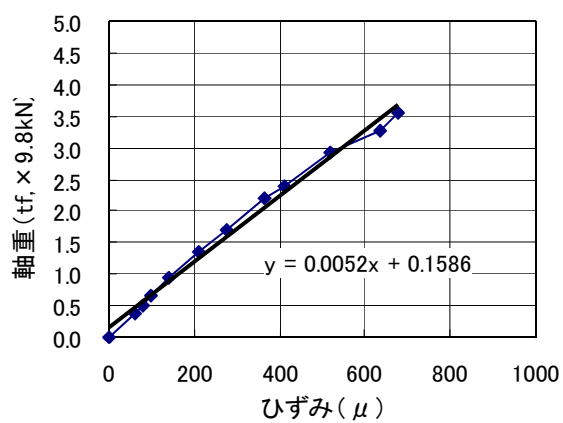
図-2.2.9 車軸ひずみ～軸重関係 (長トレーラ)



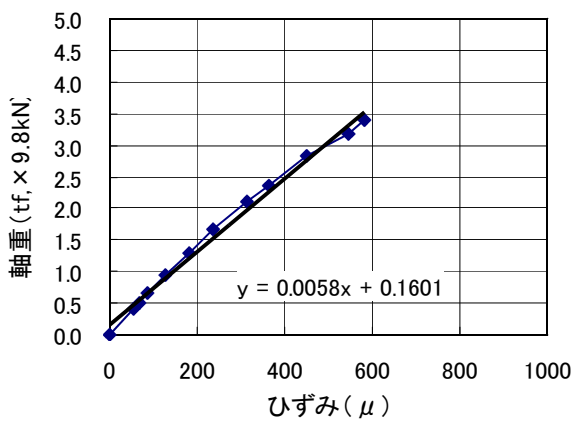
(a) 前輪左側



(b) 前輪右側



(c) 後輪左側



(d) 後輪右側

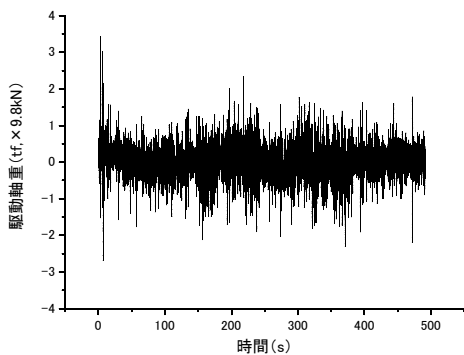
図-2.2.10 車軸ひずみ～軸重関係 (短トレーラ)

2.2.3 試験結果

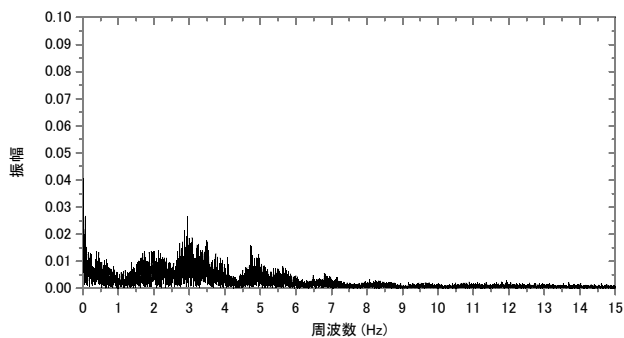
(1) 動的軸重波形の分析

各試験車両の道路走行時の動的軸重波形および動的軸重波形の周波数分析結果を図-2.2.11 から図-2.2.18 に示す。動的軸重波形については、14 ある全測定区間のデータを連続させて表示している。

全測定区間分の動的軸重波形について周波数分析を行った結果、車両走行中に卓越する振動の周波数帯は、サスペンションの特性やトレーラ条件の違いによって複雑に変化していることがわかる。例えば、エアサス軸の場合、標準的な積載条件の場合は、1.5 ～ 2.0Hz 付近の振動が主として卓越しているのに対し、リーフサス軸の場合、3Hz 付近が主として卓越しているのが見て取れるものの、エアサス軸ほど卓越振動数が明確に現れないことが分かる。また、エアサス軸ではトレーラの積載条件変化によって、1 次の振動主成分（1.5 ～ 2.0Hz）以外の振動の影響が相対的に大きくなる場合もあることがわかる。

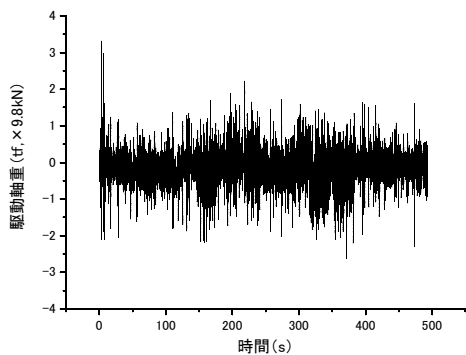


(a) 軸重波形

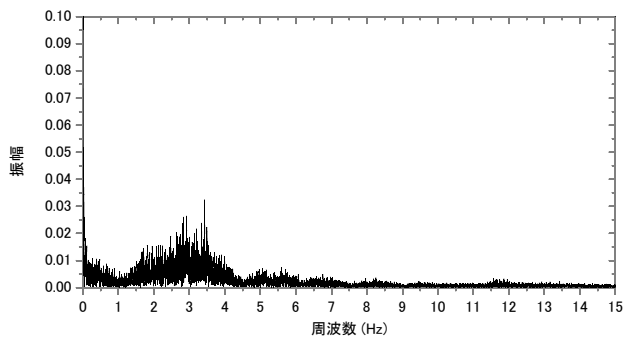


(b) 周波数特性

図-2.2.11 ケース 1（長トレ・標準・リーフ）

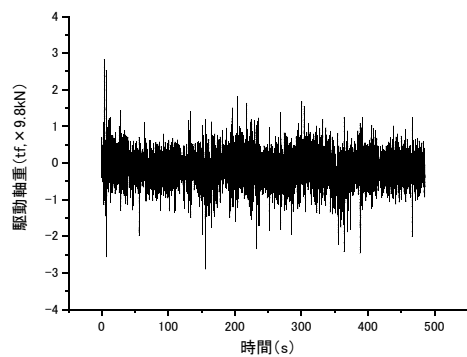


(a) 軸重波形

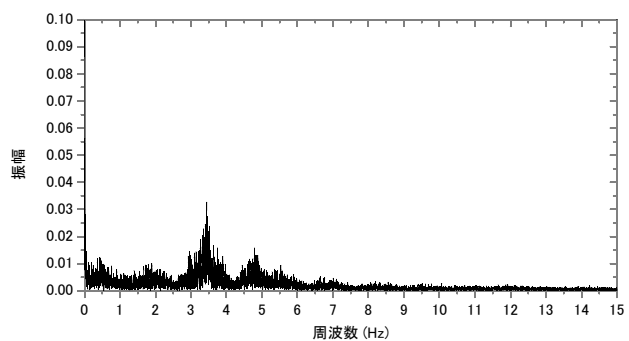


(b) 周波数特性

図-2.2.12 ケース 2（長トレ・前方・リーフ）

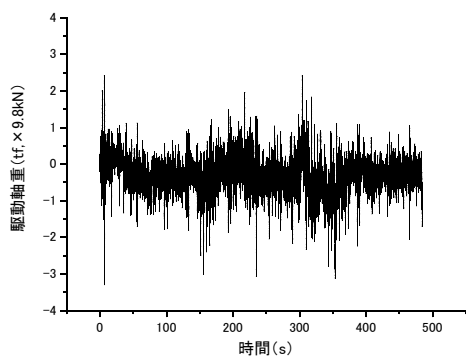


(a) 軸重波形

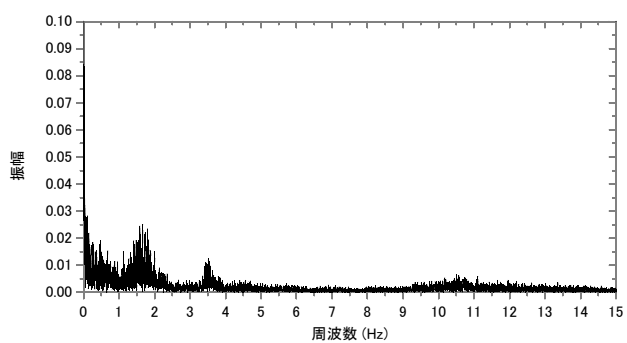


(b) 周波数特性

図-2.2.13 ケース3 (長トレ・後方・リーフ)

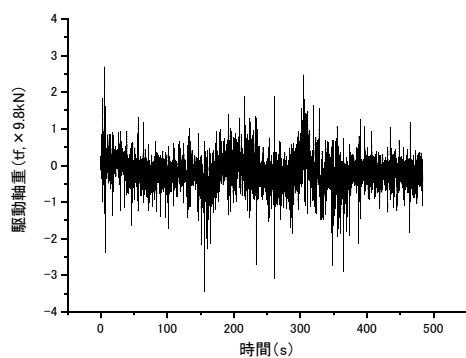


(a) 軸重波形

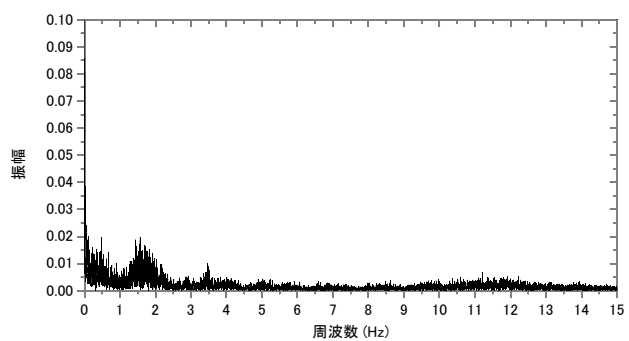


(b) 周波数特性

図-2.2.14 ケース4 (長トレ・標準・エア)

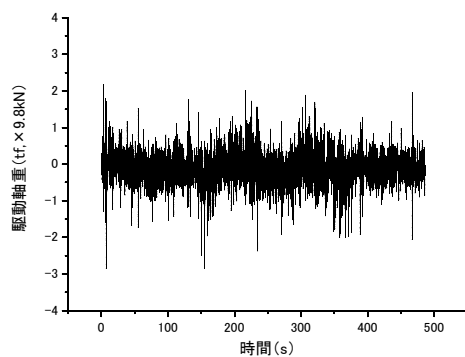


(a) 軸重波形

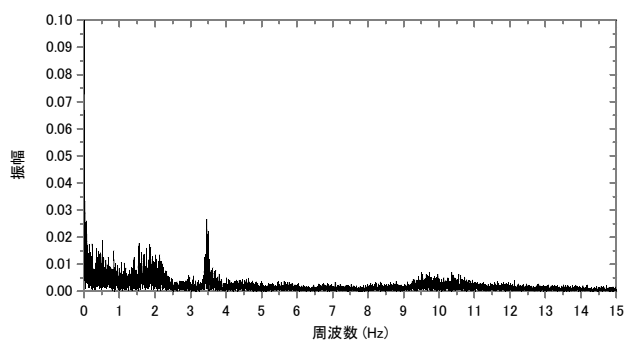


(b) 周波数特性

図-2.2.15 ケース5 (長トレ・前方・エア)

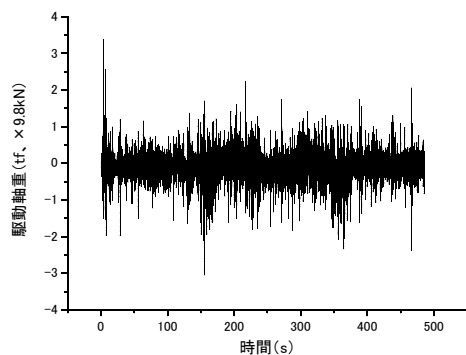


(a) 軸重波形

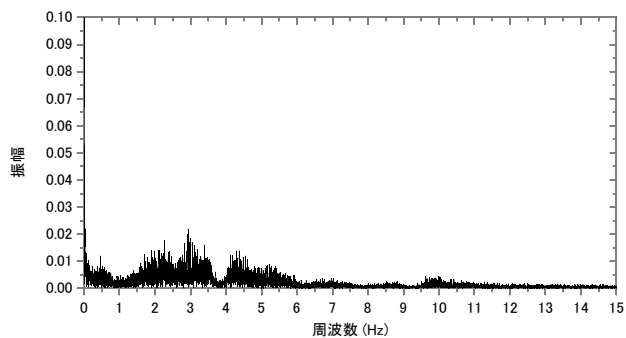


(b) 周波数特性

図-2.2.16 ケース 6 (長トレ・後方・エア)

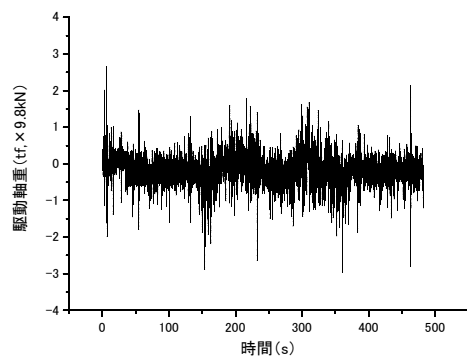


(a) 軸重波形

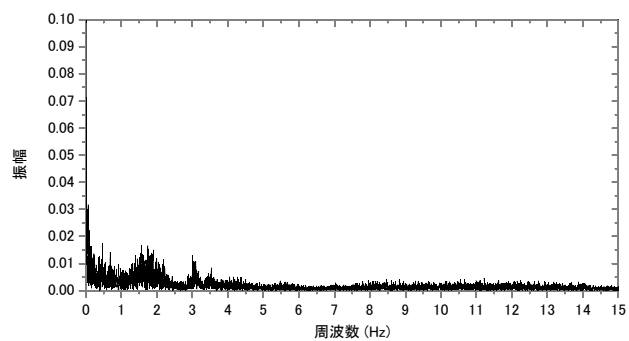


(b) 周波数特性

図-2.2.17 ケース 7 (短トレ・標準・リーフ)

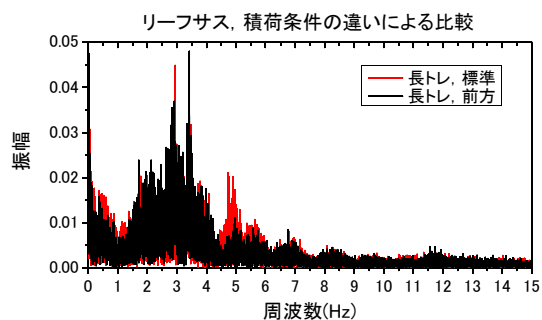


(a) 軸重波形

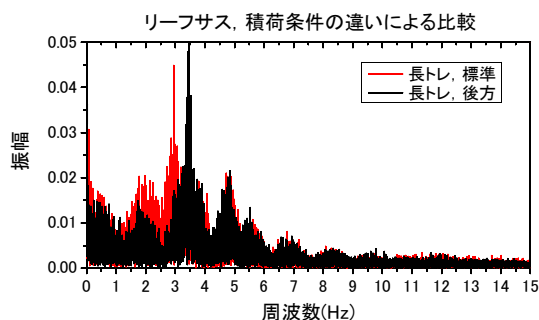


(b) 周波数特性

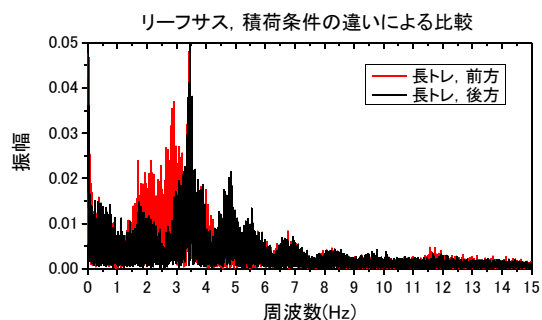
図-2.2.18 ケース 8 (短トレ・標準・エア)



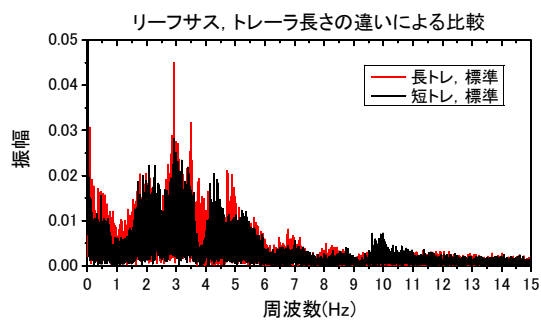
(a) 積載条件（標準・前方）



(b) 積載条件（標準・後方）



(c) 積載条件（前方・後方）



(d) トレーラ長さ（長・短）

図-2.2.19 リーフサス車両における周波数特性の条件比較

次に、周波数特性について各条件による違いを考察した。

(1) リーフサスペンション車両

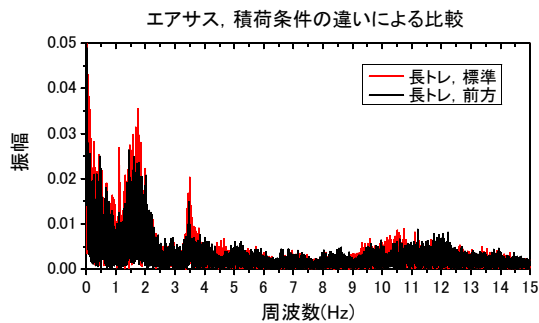
① 積載条件の違い

標準積載と前方積載では、2 次の振動成分である 5Hz 付近の周波数成分の振動に差が若干見られるものの、1 次の振動主成分とみられる 3Hz 付近の振動には差がない。後方積載の場合では、標準積載、前方積載と異なり、振動主成分が 3.5Hz と高周波数領域に若干ずれているのが確認された。また、標準積載と後方積載の比較では、2 次とみられる 5Hz 付近の周波数に差はなかった。

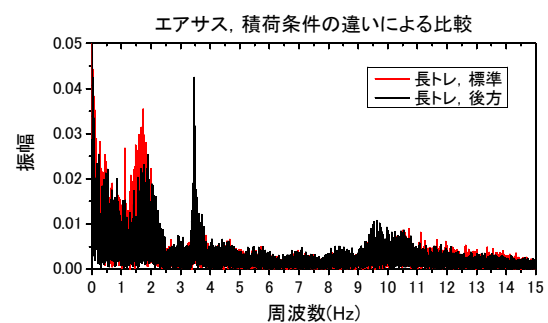
② トレーラ長さの違い

3Hz 付近の周波数成分については、それほど違いは見られない。2 次の成分では、トレーラが短い場合では、4.3Hz 付近が卓越しているなど、若干周波数が低くなる傾向が見られた。

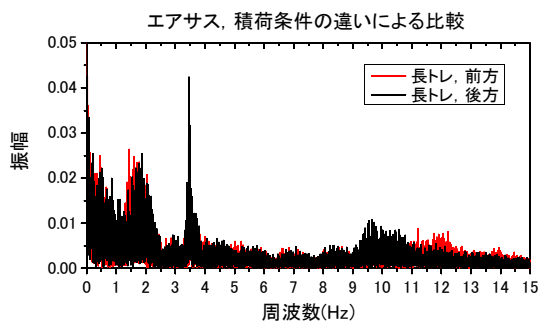
これらより、駆動軸重が同じケースであれば、1 次振動の周波数はほぼ同様。また、トレーラ後軸重が同じであれば、2 次振動の周波数はほぼ同様と見られる。



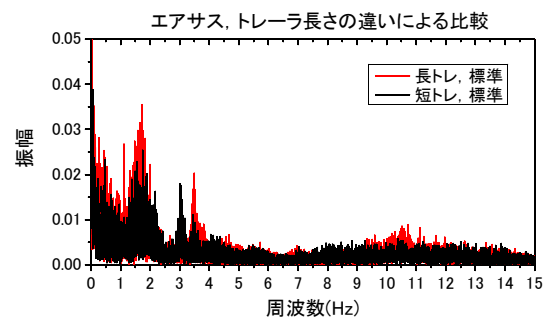
(a) 積載条件 (標準・前方)



(b) 積載条件 (標準・後方)



(c) 積載条件 (前方・後方)



(d) トレーラ長さ (長・短)

図-2.2.20 エアサス車両における周波数特性の条件比較

(2) エアサスペンション車両

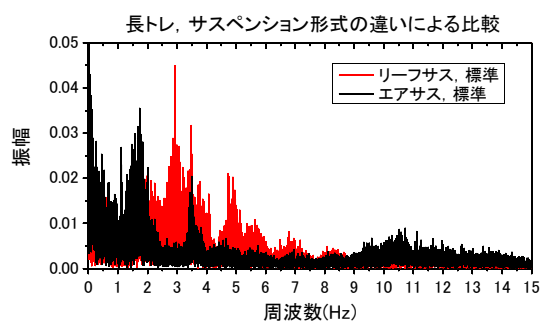
① 積載条件の違い

標準積載と前方積載では、卓越振動数については、大きな差は見られないが、振幅等では差が見られる。また卓越振動数以外の成分でも差が見られた。後方積載の場合では、標準積載、前方積載と異なり、3.5Hz に大きな振動が発生しているのが見受けられた。

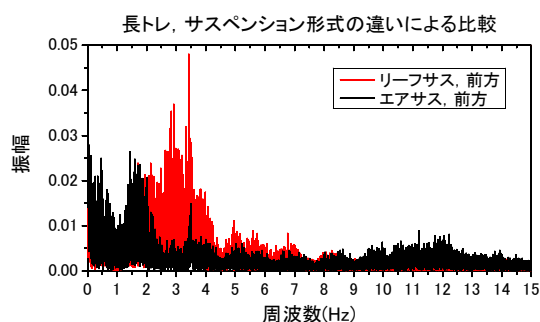
② トレーラ長さの違い

両ケースとも 1 次の卓越振動数については差は見られないものの、2 次の卓越振動数については短い場合が 3Hz 付近、長い場合が 3.5Hz 付近と明らかにずれが見られる。

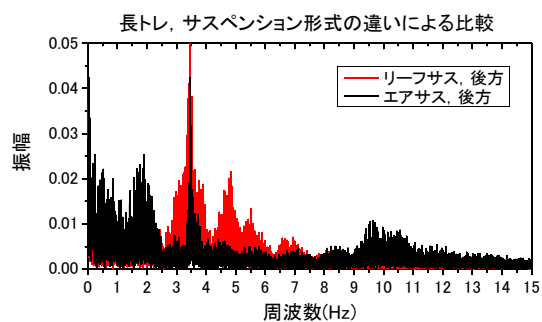
これらより、エアサス車の場合は、1.5 ～ 2Hz 付近 (1 次) と 3.5Hz 付近 (2 次) に大きな卓越振動数が見られる。ただし、後方積載については、2 次が 1 次を上回る、またトレーラが短い場合には 2 次の振動数がずれてくるなど、積載条件、トレーラ仕様によって動的応答特性が異なることが分かった。



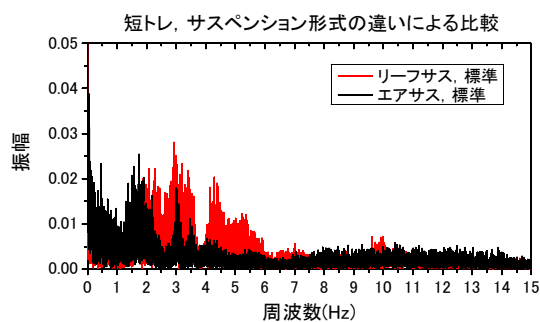
(a) 標準積載時



(b) 前方積載時



(c) 後方積載時



(d) 標準積載時 (短トレ)

図-2.2.21 サスペンション形式の違いによる周波数特性の比較

(3) サスペンション形式での比較

①標準積載

周波数特性は明らかに異なる特性を有している。

②前方積載

標準積載とほぼ同様の傾向であるが、若干エアサスの場合に2次の卓越振幅が小さくなっている。

③後方積載

3.5Hz 付近に両者とも卓越周期が見られた。周波数特性についても比較的近い特性が見られた。

④トレーラが短い場合

振幅が小さいものの、トレーラが長い場合とほぼ同様の傾向が見られた。

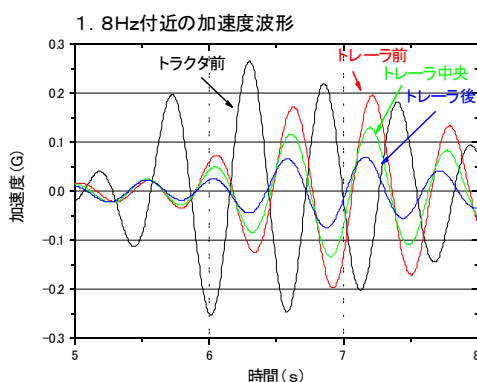
(2) 走行中の車両の振動モードに関する分析

(1) での周波数特性で確認された、各卓越周波数帯に対応したエアサス車両の振動状態(振動モード)を明らかにするため、車両(エアサス、長トレーラ、標準積載)走行中に測定した車体各部の鉛直方向加速度データの位相関係を分析した。分析に用いた加速度データは、比較的大きな動的軸重値が得られた区間①(試験橋梁を含む区間)とした。

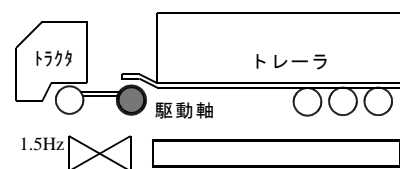
分析の方法は、動的軸重において卓越の見られた3つの周波数帯(1.5～2.0Hz、3.5～4.0Hz、10～12Hz)に着目して、加速度波形からそれらの周波数帯の成分が抽出されるようにフィルター処理を行い、抽出された波形を用いて、車体各部の加速度応答の位相関係を調べることで、車体の振動モードを明らかにした。

分析の結果、1.5～2.0Hz 付近の振動については、図 2.2.22 でわかるようにトレーラ部は、前方、中央、後方のすべての加速度波形がほぼ同位相となっており、トレーラ部がバウンシング振動をする一方で、トラクタの前方の加速度のみ位相が完全に逆転しており、トラクタ部はピッチング振動していることがわかる。3.0～4.0Hz 付近の振動については、図 2.2.23 にあるとおりトレーラの前方と後方で位相が逆転しており、さらにトレーラの中央部で加速度の振幅が小さくなっているためトレーラ部のピッチングに対応していることがわかる。10～12Hz 付近の振動については、図 2.2.24 にあるようにトレーラの前方と後方が同位相で振動しており、トレーラの中央部がこれらと逆位相になっているため、トレーラの曲げ振動が起こっていることがわかる。図-2.2.22 から図-2.2.24 には、各周波数帯における、加速度波形、振動状態の概略図、トレーラ前方(キングピン近傍)の加速度最大時および最小時の加速度分布図を示す。

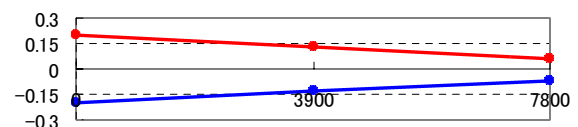
(1) での周波数分析の結果と合わせて考察すると、トレーラが標準的な積載状態にあるときは、トラクタのピッチング、すなわち、駆動軸のサスペンションの振動の影響が顕著であると言えるが、トレーラ条件によっては、3.5Hz 前後の振動等、すなわち、トレーラ部のピッチング振動の影響が相対的に大きくなる場合があり得ることがわかった。



(a) 加速度波形

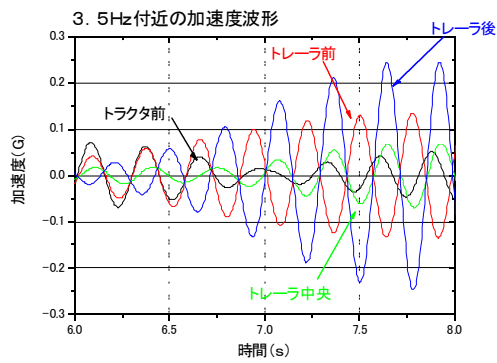


(b) 振動モードの模式図

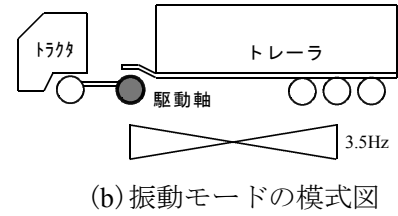


(c) トレーラ部の加速度分布

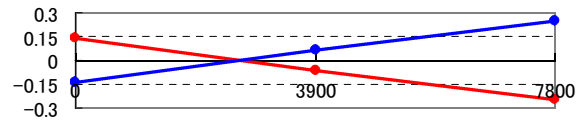
図-2.2.22 トレーラの振動モードの分析(1.5～2.0Hz)



(a) 加速度波形

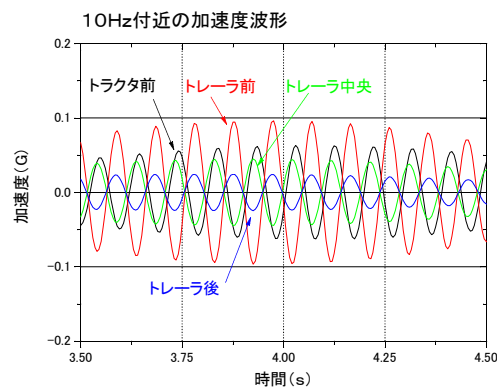


(b) 振動モードの模式図

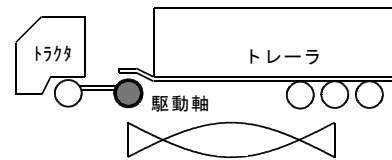


(c) トレーラ部の加速度分布

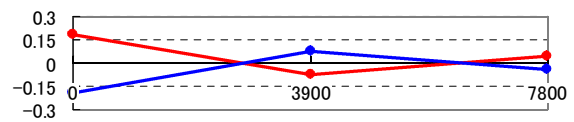
図-2.2.23 トレーラの振動モードの分析(3.5 ~ 4.0Hz)



(a) 加速度波形



(b) 振動モードの模式図

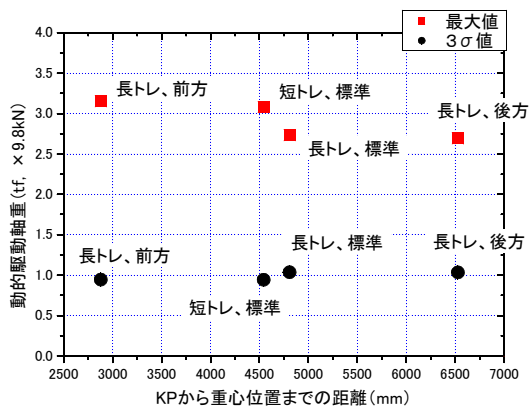


(c) トレーラ部の加速度分布

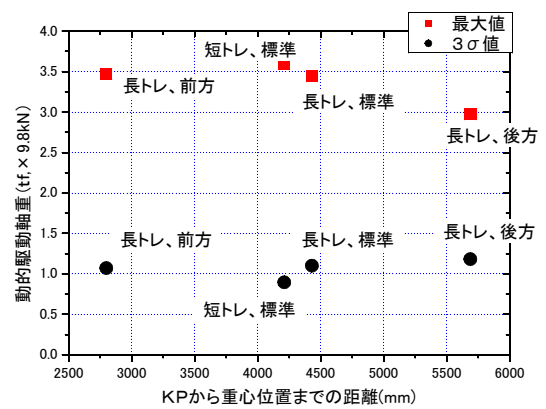
図-2.2.24 トレーラの振動特性の分析(10 ~ 12Hz)

(3) 動的軸重の最大値および頻度分布の比較

道路走行時の動的軸重の最大値および上位 3 σ 値（平均値よりも標準偏差の 3 倍分大きな値）の比較結果を図-2.2.25、動的軸重の頻度分布を図-2.2.26 から図-2.2.29 に示す。なお、動的軸重の頻度分布は、1/200 秒間隔で取得した軸重データを基にして、0.5 トン幅の階級を設定し、各階級毎のデータ数をカウントすることにより作成した。トレーラ条件と動的軸重の最大値との関係は、トレーラの重心位置がキングピン位置に近づく場合に大きくなる傾向を有しているが、上位 3 σ 値で見ると、トレーラの重心位置がキングピン位置と軸重には大きな傾向は見られない、もしくは、キングピンに近づく場合に微減している。また、エアサスとリーフサスの最大軸重の比較とすると、リーフサスの方が若干多めに動的軸重が発生していることが分かる。

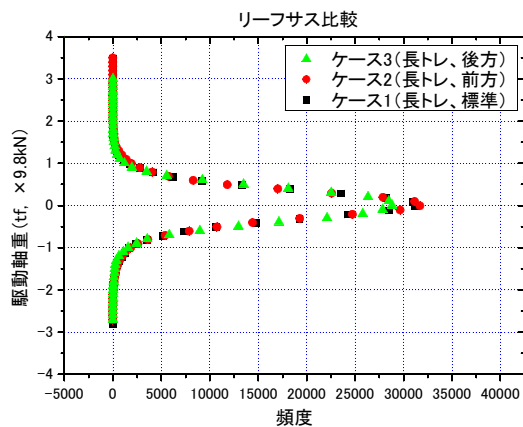


(a) エアサス

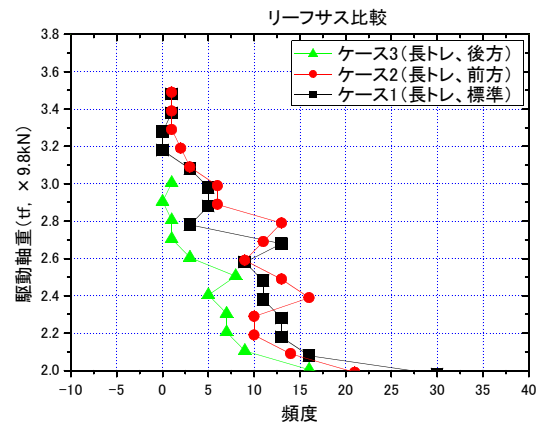


(b) リーフサス

図-2.2.25 動的軸重の最大値の比較

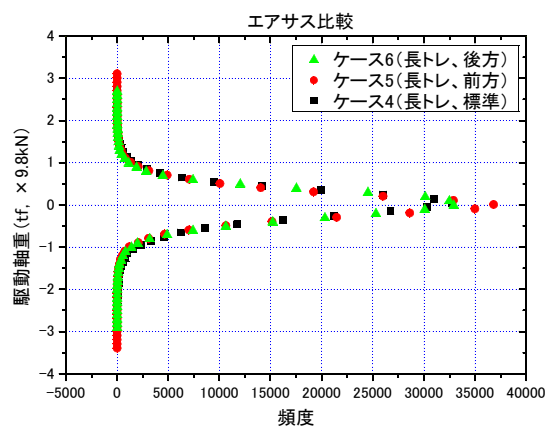


(a) 頻度分布

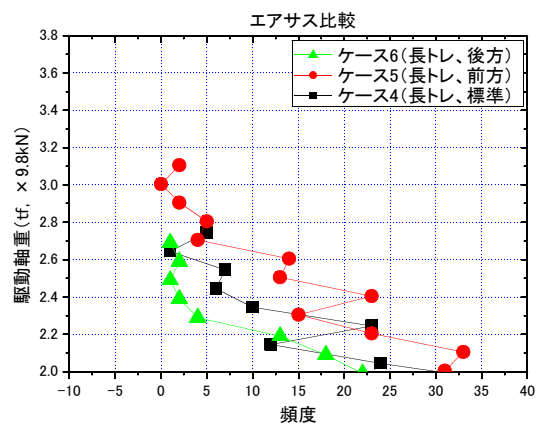


(b) 最大値付近拡大図

図-2.2.26 動的軸重の頻度分布（長トレーラ・リーフサス）

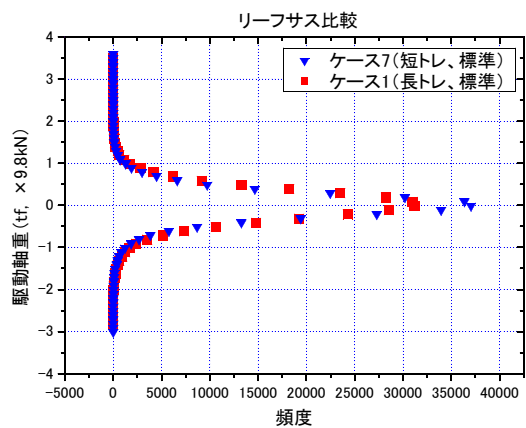


(a) 頻度分布

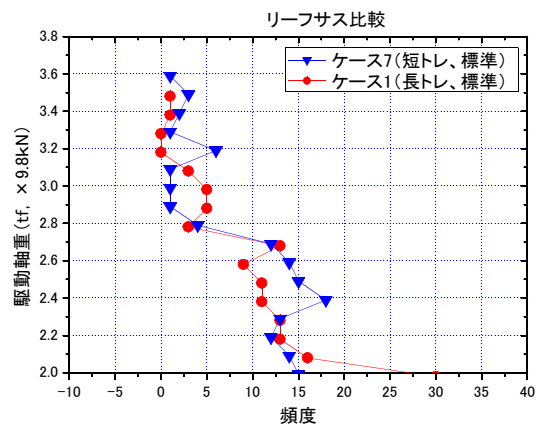


(b) 最大値付近拡大図

図-2.2.27 動的軸重の頻度分布の比較 (長トレーラ・エアサス)

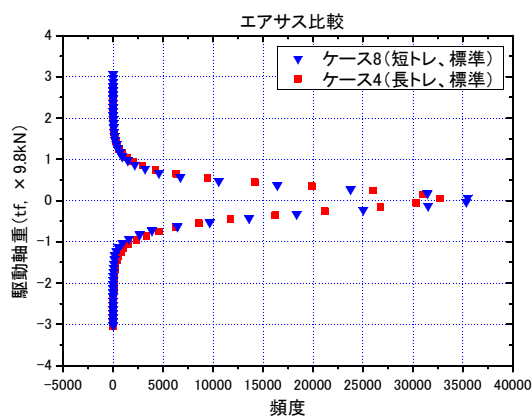


(a) 頻度分布

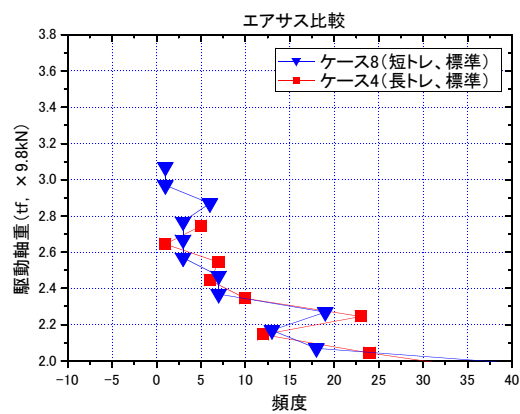


(b) 最大値付近拡大図

図-2.2.28 動的軸重の頻度分布の比較 (トレーラ長の影響・リーフサス)



(a) 頻度分布



(b) 最大値付近拡大図

図-2.2.29 動的軸重の頻度分布の比較 (トレーラ長の影響・エアサス)