

小型構造物の振動特性の解析 (1)

— 環境データの収集と再現試験 —

岩間貴司・大柴勝彦・山田伸志*

Vibration Analysis of Small Sized Structure (1)

— Collection of Field Environmental Data and Reemergence Test in Laboratory —

Takashi IWAMA, Katuhiko OSHIBA and Shinji YAMADA

要 約

包装貨物内部に衝撃記録計及び環境データレコーダを設置し、製品が輸送中に遭遇する各種環境データを計測した。その結果、輸送中の温湿度変化（夏季・冬季）、走行中の加速度および加速度レベル、荷役中の衝撃値およびパワースベクトル等の再現試験条件が得られた。

1. 緒 言

電子機器の発展は、同時に製品の信頼性を保証する各種技術の発展を促した。製品輸送を想定した各種信頼性試験は、製品の品質向上のために必要なものになってきた。

特に近年、MIL-STD-810Dに示されるテラリング思想が提唱され、製品が市場環境で受ける温湿度・振動・衝撃等を計測・解析し、最適な試験条件を設定することが必要になっている。

本研究においては、小型構造物を対象に製品が遭遇するであろう温度・湿度・振動・衝撃量を計測・解析し、製品の高品質化を支援するための再現試験用の基礎データを構築した。

2. 輸送貨物

供試体として、実際に小型構造物輸送時に使用されている包装貨物を用意した。寸法、重量および緩衝材は以下のとおりである。

寸法：350mm×350mm×100mm 段ボール箱

重量：計測機を含め総重量 2004 g

緩衝材：発泡ポリスチレンフォーム、発泡ポリウレタンフォーム等

計測には、衝撃記録計（山一電機社製）および環境データレコーダ（ボックスブラウン社製）を使用した。計測機は箱底面中央に固定し、周囲は緩衝材で充填した。

3. 輸送条件

試験に使用した車両は、精密機器輸送用11ton車である。

走行距離は、山梨—秋田間の往復約1260kmで、高速道路走行が約半分を占め、走行時期は、8月（2回）および12月（2回）、1月（2回）である。輸送貨物は、他製品と混在し輸送した。なお、運転者および作業者には実験の実施は知らされていない。

4. 輸送時の温湿度・振動・衝撃

温湿度測定結果例を図1、2に示す。実線部が温度、破線部が湿度である。時間軸は積算値である。走行が夜間である事や1993年が冷夏であった事を考えると、通常の夏季昼間走行の場合は、輸送貨物はさらに高温になると考えられる。冬季は、平均温度が約5℃で氷点下も記録した。また温度差は、夏季が約10℃、冬季は、約20℃であった。平均湿度は、夏季が60%、冬季が55%であった。

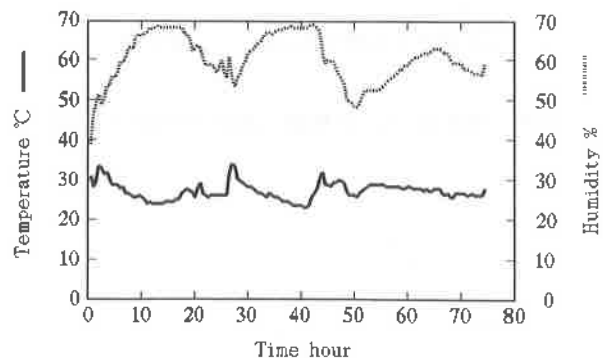


図1. 夏季温湿度測定例 (H5, 8, 25)

* 1 山梨大学工学部機械システム工学科

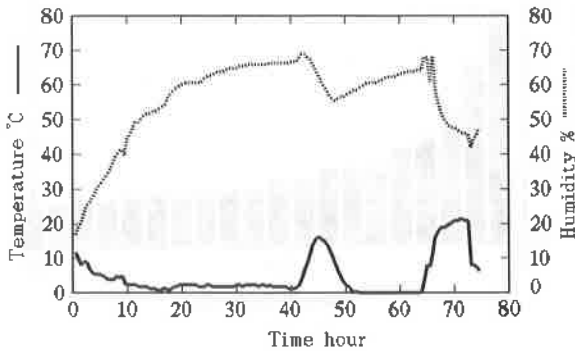
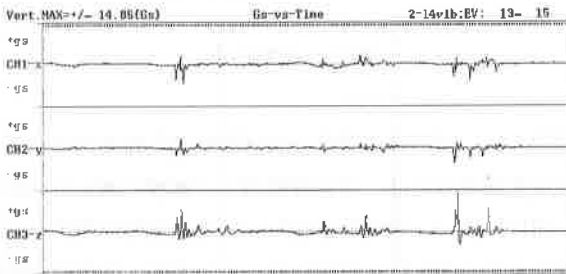


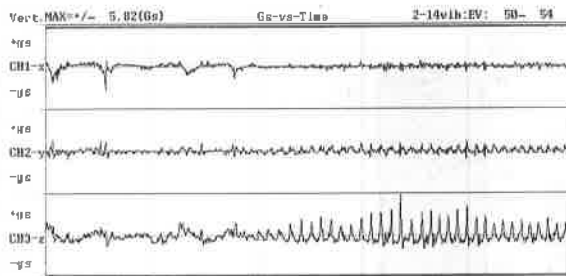
図2. 冬季温湿度測定例 (H5. 12. 17)

走行中の加速度の時刻歴データ例を図2, 図3, 図4および図5に示す. 図において, 包装貨物が受ける振動状態は, 次に示す3方向に分解して表現し, 進行方向は, X軸(ch1), 進行方向に対して左右方向は, Y軸(ch2), 上下方向は, Z軸(ch3)とした. 図3に, 走行中に計測された最大加速度を示す. 図4, 図5および図6にその他の計測例を示す.



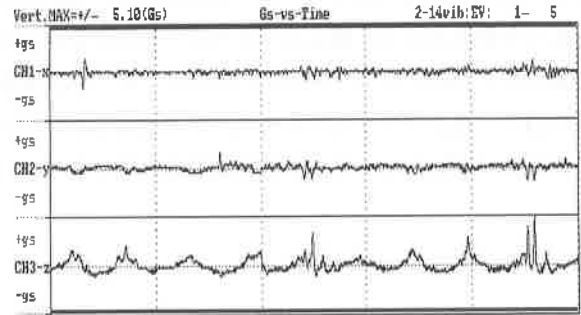
計測時間3000msec

図3. 時刻歴データ例 (測定レンジ±14.86Gs)



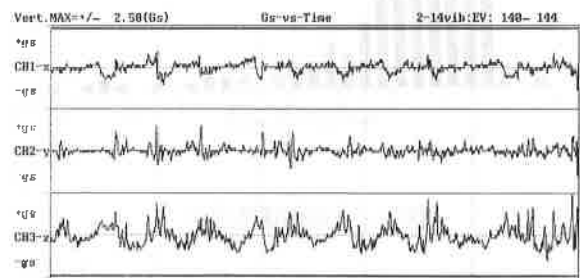
計測時間5000msec

図4. 時刻歴データ例 (測定レンジ±5.82Gs)



計測時間5000msec

図5. 時刻歴データ例 (測定レンジ±5.10Gs)



計測時間5000msec

図6. 時刻歴データ例 (測定レンジ±2.58Gs)

各軸毎の加速度実効値の分布を統計的に処理したものを図7に示す. 図より上下方向(Z軸)が他軸に比べて高いことがわかる. 表1に加速度実効値の最大・最小及び平均値を示す.

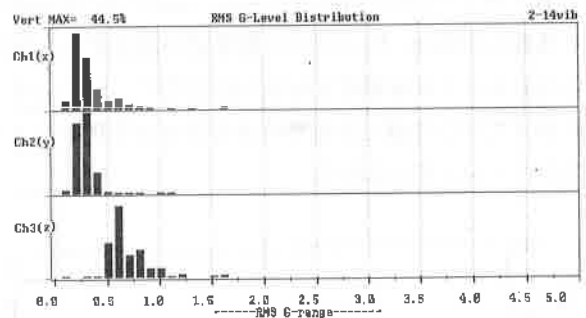


図7. 測定方向別加速度レベル分布

表1. 加速度レベル (実効値)

	ch1(X axis)	ch2(Y axis)	ch3(Z axis)
max....	1.66	1.12	1.16
min....	0.10	0.12	0.12
mean...	0.36	0.32	0.73

また、合成加速度（最大値）の分布状態を統計的に処理したものを図8に示す。図より分布のピークは2.5Gs付近で、最大値は14.5Gsであることが分かる。表2に計測加速度の最大・最小及び平均値を示す。以上は全て走行中のデータであり荷役により生じる衝撃加速度は含まれていない。

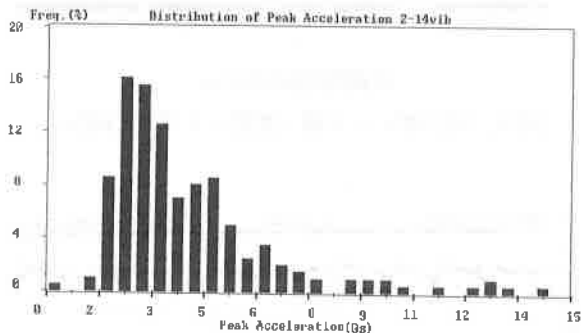


図8. 合成加速度分布

表2. 加速度レベル（最大・最小・平均）

	ch1(X axis)	ch2(Y axis)	ch3(Z axis)
max....	8.50 / -12.36	11.22 / -8.86	14.86 / -4.52
min....	0.22 / -0.26	0.22 / -0.24	0.26 / -0.38
mean...	1.19 / -1.89	1.47 / -1.33	3.52 / -1.31

供試体が走行中及び荷役中に受けた衝撃値を大きな順に並べたものを図9, 10, 11に示す。図中の衝撃値は、前後、左右および上下方向の合成値である。前述の走行中の加速度と比較した場合、15Gs以上の衝撃値が存在する。図11に示されるように衝撃値は15Gs付近を境に二分できる。したがって15Gsを越える衝撃値は荷役中の取扱いにより発生したものと考えられる。

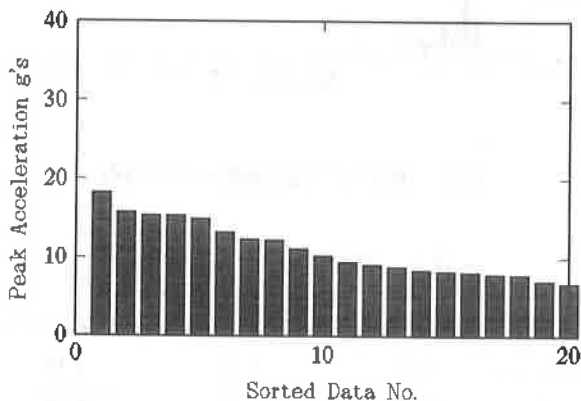


図9. 衝撃値例

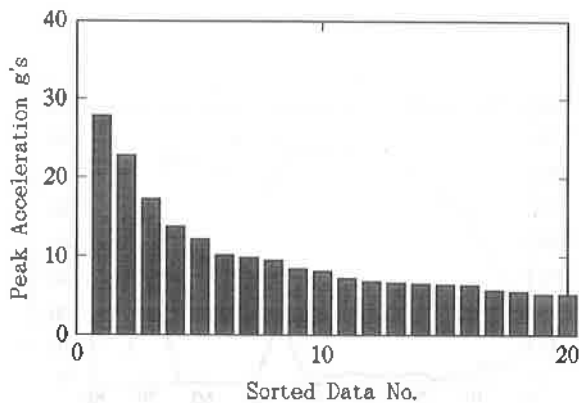


図10. 衝撃値例

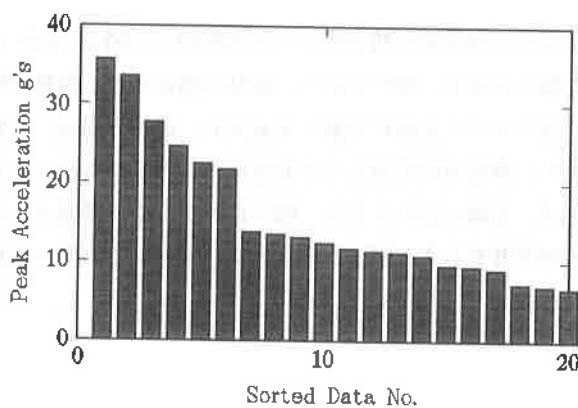


図11. 衝撃値例

図12, 13, 14, 15に測定方向別衝撃発生頻度例を示す。図に示す測定方向は、包装貨物内の計測機の測定方向である。図12, 13は、車両の進行方向と包装貨物の測定方向を一致させて計測を行った場合で、左右方向、前後方向の頻度に比べて、上下方向の頻度が高かった。

図14, 15は、任意の搭載状態における発生頻度である。図15は、輸送中に荷崩れが生じたもので、図16に輸送初期、図17に輸送後期の発生頻度を示す。ずより初期と後期で方向別の頻度が著しく変化している事が確認できる。

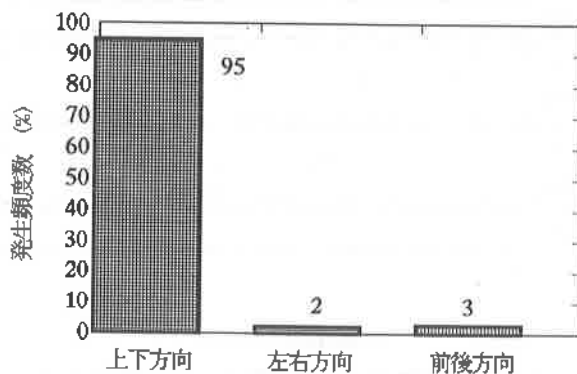


図12. 測定方向別衝撃発生頻度例

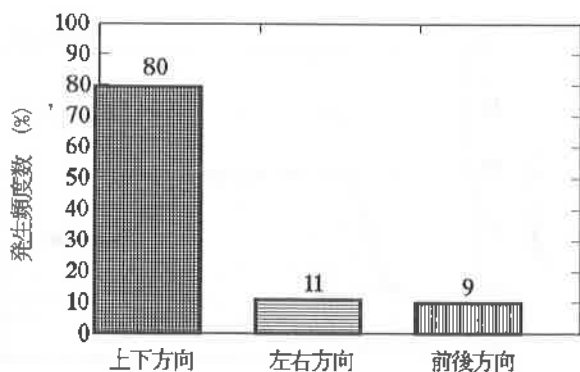


図13. 測定方向別衝撃発生頻度例

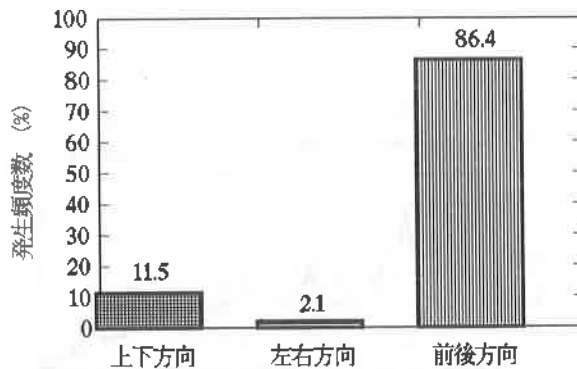


図17. 測定方向別衝撃発生頻度例

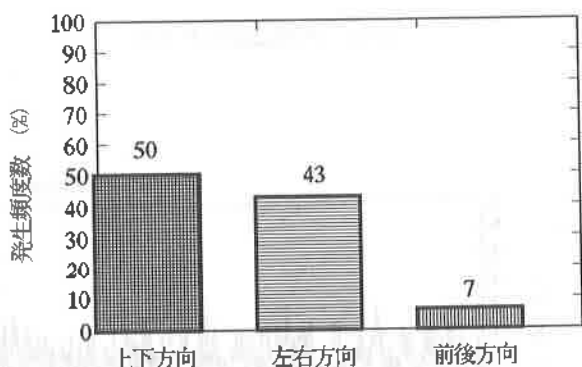


図14. 測定方向別衝撃発生頻度例

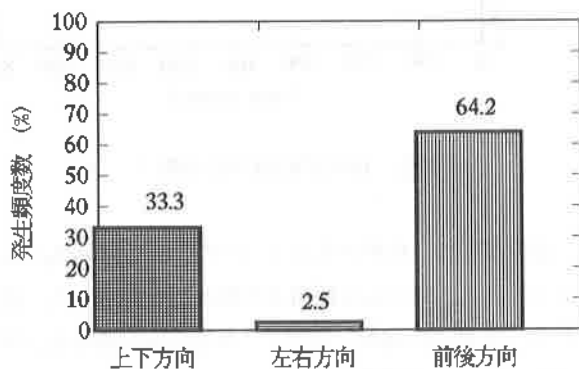


図15. 測定方向別衝撃発生頻度例

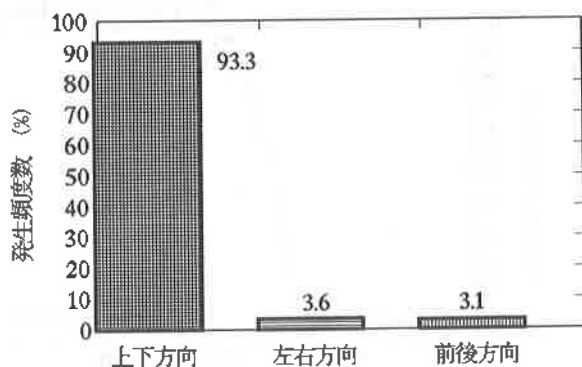


図16. 測定方向別衝撃発生頻度例

走行時のパワースペクトル (デンシティ/Hz) の平均値を図18に示す. 今回の供試体は, 包装貨物であるため緩衝材の効果により, 荷台に伝達された振動成分の中で100 Hz以上の成分が減衰している. また, 上下方向の周波数成分では 2 Hz, 10Hz付近にピークが存在している.

4-1 バネ下部及び荷台部の振動

小型貨物自動車の荷台における上下方向のパワースペクトル計測例²⁾を図19に示す. 図20に同じくバネ下部のパワースペクトルを示す. 図より荷台には100Hz以上の周波数成分が伝達していることが分かる. 今回の輸送貨物は, 緩衝材で包装されているため100Hz以上の成分が特に減衰しているものと考えられる.

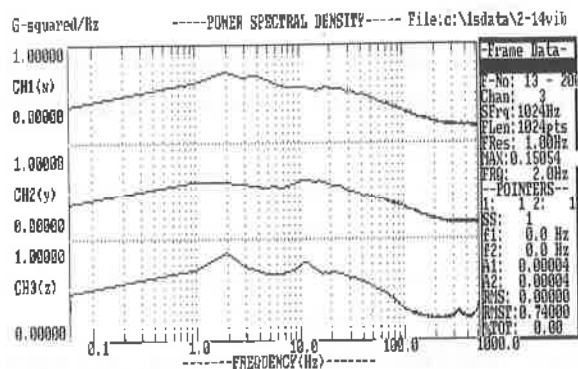


図18. パワースペクトル (輸送貨物)

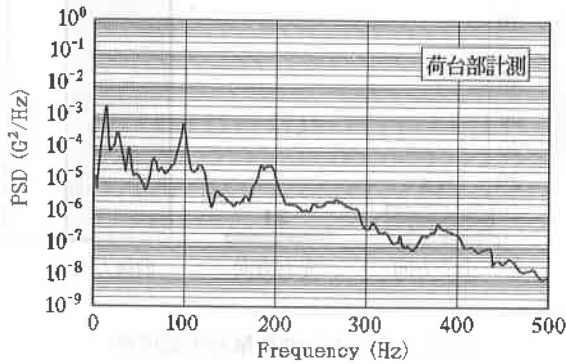


図19. パワースペクトル (小型貨物自動車)

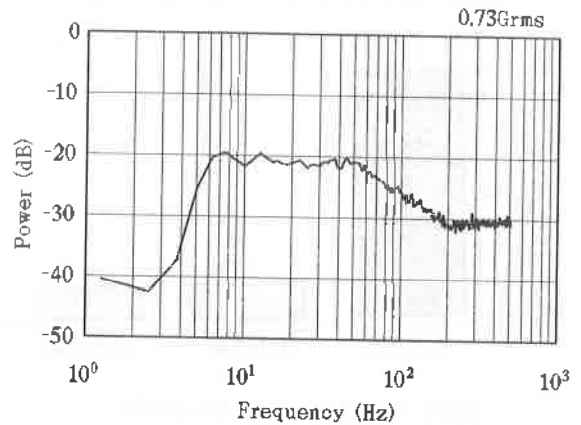


図21. 再現試験用 PSD

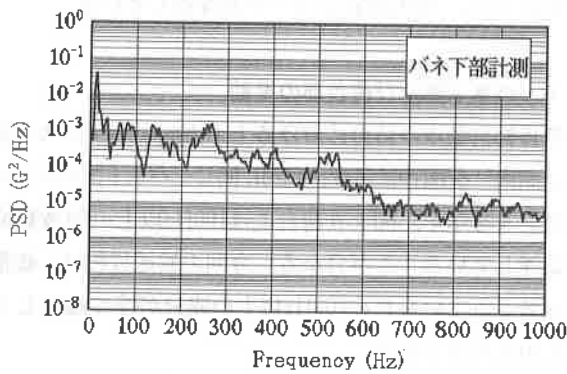


図20. パワースペクトル (小型貨物自動車)

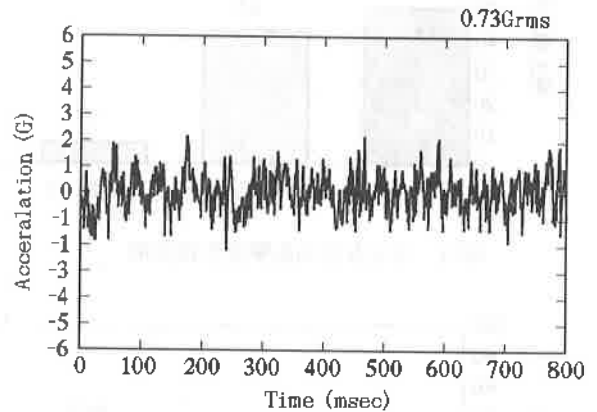


図22. 再現試験時の時刻歴データ

4-2 再現試験例

計測したPSD (図18参照) および加速度の時刻歴データ例 (図6参照) を基に作成したランダム振動試験用PSD (上下方向) を図21に示す。

今回作成したPSDのGrms値は0.73で、実測値の0.73と同じレベルであるため等価試験が可能となった。

5 Hz以下のパワーが低いレベルを示しているが、これは加振装置が動電型であることによる。

図22に、再現試験時の時刻歴データを示す。最大加速度値は+2.18G/-2.18Gで、Grms値の約3倍の値である。実測値の平均値は、+3.52G/-1.31Gで、+方向の加速度が再現試験時より高いレベルを示している。これは、図6から明らかのように、走行時の路面状態の変化 (悪路、段差等) により、10G前後の衝撃を包装貨物が受けている事を示している。これらの衝撃波形は前述のランダム振動試験では再現できないため、別に衝撃試験が必要である。

衝撃波形は、衝撃の大きさ (G's) および時間幅 (msec) で示される。今回は3種類の再現波形を検討した。図23-1は、Half-sine波形、図23-2はTriangle波形及び図23-3は、Sawtooth波形である。

なお、衝撃の大きさは10G、時間幅は11msecである。

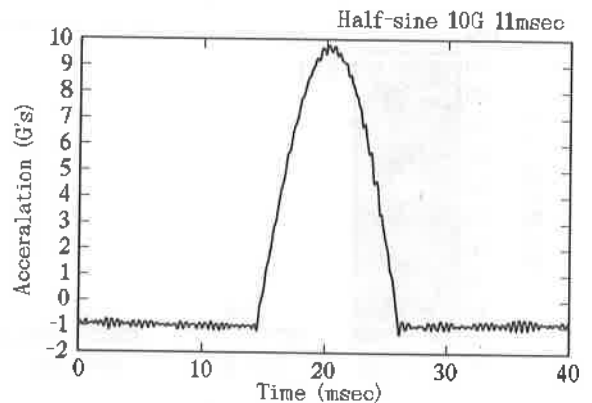


図23-1 衝撃波形

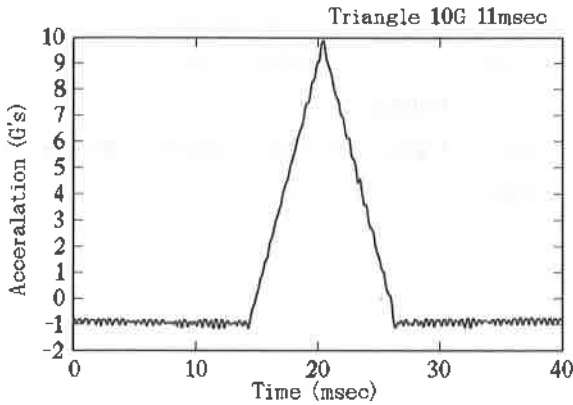


図23-2 衝撃波形

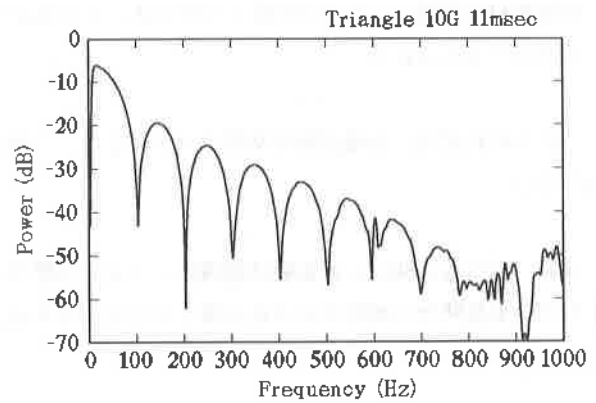


図24-2 衝撃波形(周波数特性)

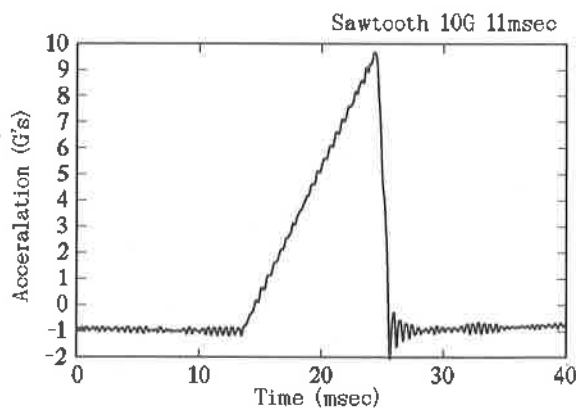


図23-3 衝撃波形

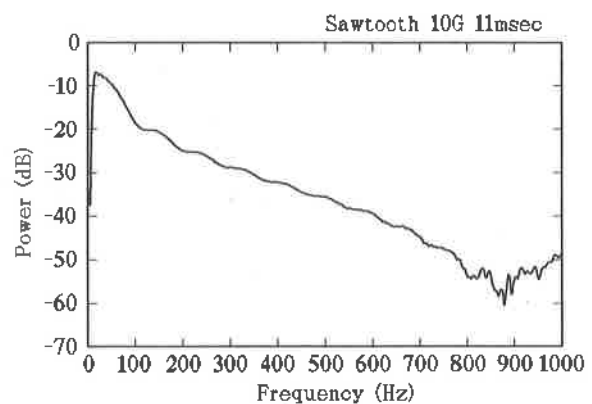


図24-3 衝撃波形(周波数特性)

図24に衝撃波形の周波数解析結果を示す。

図24-1では、100Hzまでに大きなピークが存在し、これは、波形の時間幅の逆数にはほぼ一致する。

図24-2においても、図24-1と同じ傾向を示したが、高い周波数に移行する時のパワー減少の傾きが異なっている。図24-3は、図24-2、図24-3を包括する周波数特性を示し、広い周波数範囲で高いレベル(パワー)を示している。従って、今回の衝撃波形の中では、再現試験に最も適していると考えられる。

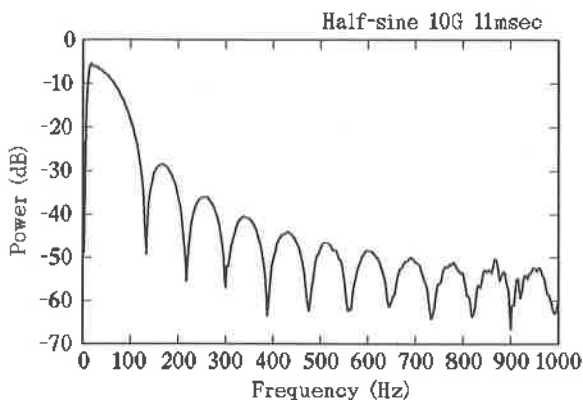


図24-1 衝撃波形(周波数特性)

5. 結 言

今回計測した環境データ収集は、走行中だけでなく、荷役中及び保管時についても実施した。

以下に結果を示す。

- ①輸送中の温度変化幅は、夏季で約10℃、冬季で約20℃であった。また、湿度は、夏季、冬季とも平均値は60%付近であった(事例)。
- ②走行中の加速波形を計測した結果、最大値で約14.5Gsであった。
- ③測定方向別の加速度レベルを実効値と比較した結果、上下方向のレベルは、他方向の約2倍であった(平均値)。
- ④衝撃値は、荷役中のもので15Gsを越え、今回の計測では最大値で約35Gsを示した。
- ⑤包装貨物のパワースペクトル(デンシティ/Hz)を計測した結果、100Hz以上の周波数成分が減衰していた。また、周波数のピークは2 Hz、10Hz付近に存在していた。
- ⑥小型貨物自動車において荷台上のパワースペクトルを計測した結果、100Hz以上の周波数成分がバネ下部から伝

達していることを確認した。したがって、包装貨物の場合緩衝材の効果により100Hz以上の成分は、十分減衰するものと考えられる。

これらの結果は、再現試験用基礎データとして、今後活用していく。

なお、本研究に使用した振動試験機は、平成3年度日本小型自動車振興会の補助金により設備された備品である。

参考文献

- 1) 関西電子工業振興センター規格情報分科会81
OWG訳：MIL-STD-810D環境試験方法—工学的ガイドライン 日本規格協会
- 2) 岩間貴司・大柴勝彦・藤原和徳・佐野正明：工業技術センター研究報告，No.7：P37～P44

