

港湾におけるフォークリフト運転手の全身振動曝露 —日本の曝露実態と EN 13059 を用いた評価—

辻村裕次, 埜田和史, 西山勝夫

滋賀医科大学社会医学講座予防医学部門

抄録: 港湾におけるフォークリフト運転手の全身振動曝露—日本の曝露実態と EN 13059 を用いた評価—: 辻村裕次ほか. 滋賀医科大学社会医学講座予防医学部門—フォークリフト運転手の健康問題に関して, 腰痛リスクが多くの文献で指摘されてきた. その重要な要因として, 全身振動曝露が挙げられている. 欧州において, 産業車両の全身振動評価のための試験方法が開発され, それを規定した欧州標準化規格が発行された. 我々はその試験を応用した方法 (CEN 試験) により, 阪神地区の港湾フォークリフトの全身振動を測定し, 評価結果を報告した. 同地区でのフォークリフト作業時の曝露全身振動値が CEN 試験時より低値あるいは同程度であるならば, CEN 試験は阪神地区港湾でのフォークリフト運転手の全身振動曝露に関するリスク評価として有用である. 本研究は, CEN 試験調査の曝露全身振動値評価への適用性検証を目的として, すでに CEN 試験を実施したフォークリフト 4 台について延べ 19 日間の実作業中の全身振動測定調査を行った. 振動と共に, 車両速度, 着座状態, 前後進ギヤレバー位置, ビデオ映像などの情報を同時に測定・収集した. 結果については, 鉛直方向全身振動値は 4 台とも CEN 試験値を下回った. すべての測定日で優れた振動方向はなかった. **Health** 値 (直交 3 方向合成振動値) は 1 台で同等と判定され, 他の 3 台では CEN 試験値を下回った. 3 台を作業状態別に解析した. 荷物積載状態での前進移動時では, 3 台とも鉛直方向全身振動値と **Health** 値が CEN 試験値を下回った. フォークリフトを使った積み降ろし作業では, 前後が最も人体影響の大きい振動方向であった. 阪神地区の港湾フォークリフト作業において, CEN 試験は曝露全身振動値評価に対して適用できることが示唆された. しかし, CEN 試験が走行時の全身振動曝露を基としているのに

対し, 実作業では, 積み降ろし作業が要因として考えられる, 考慮すべき前後方向全身振動が観察された. 詳細な作業状況記録を含めた, さらなる実作業中全身振動測定が必要であると考えられる.

(産衛誌 2006; 48: 157-168)

キーワード: Forklift truck, Industrial truck, Low-back pain, Whole-body vibration, Ergonomics, European Standard

I. 緒言

フォークリフトは様々な産業で欠かすことのできない運搬作業用の車両である. その車体にはサスペンションが装備されていないなどの理由から, フォークリフト運転手は激しい振動に曝されやすい状況の中で運転作業を行っている. フォークリフト運転手の健康問題については, 1970 年代より国内外ともに多くの文献で腰痛リスクが指摘されており¹⁻¹³⁾, 疫学および生体力学的研究により, その重要な要因として全身振動曝露⁸⁻¹³⁾ や不良姿勢^{6, 8, 9)} が挙げられている. 全日本港湾労働組合に所属する全国のフォークリフト運転手に対する調査¹⁴⁾ においても, 腰痛有訴率は 50% を超えていた.

欧州では, 産業車両から曝露される全身振動の評価と低減について系統的に取り組まれてきた. 2002 年には, 物理的要因 (振動) により惹起されるリスクに対する安全衛生の最低必要条件を定めた EU 指令 2002/44/EC¹⁵⁾ が制定され, また, 全身振動評価のための試験方法 (CEN 試験) を定めた規格 EN 13059¹⁶⁾ が正式発行された. CEN 試験は, 試験対象となる車種の代表的な車両を通常使用した場合に (typical of the machinery in normal use), この試験方法が実作業時振動値を再現することを目標として, 策定された. すなわち, 欧州で産業車両の実作業時全身振動を測定した結果に基づいて, CEN 試験時の全身振動値 (CEN 試験値) が, 走行面を主とする作業環境や作業内容などにより変動する実作業

2006 年 4 月 13 日受付; 2006 年 6 月 28 日受理
連絡先: 辻村裕次 〒520-2192 大津市瀬田月輪町
滋賀医科大学社会医学講座予防医学部門
(e-mail: hiroy@belle.shiga-med.ac.jp)

時全身振動値を下回らないように、試験条件が定められている¹⁷⁾。

我々は、阪神地区港湾のフォークリフトが全身振動に関して改善されてきたかを検討するために、その地区全般で使用されていた46台に対して、2000年から2001年にかけて当時の試験規格 prEN 13059¹⁸⁻²⁰⁾ を応用した方法により全身振動を測定し、新旧車両を比較した (CEN 試験調査)²¹⁾。もし、同地区で測定したフォークリフト実作業時の全身振動値がCEN 試験値より低値あるいは同程度であるならば、CEN 試験値を阪神地区港湾でのフォークリフト運転手の曝露全身振動値としても過小評価にはならず、CEN 試験のみで健康リスクを評定できる。また、CEN 試験は、鉛直方向振動が全身振動曝露を代表するという考え方で策定されているが、我々が行った予備的なフォークリフト全身振動測定²²⁾では、鉛直だけでなく前後の方向にも顕著な全身振動曝露が観察されたので、日本の港湾フォークリフト作業での全身振動曝露評価に、水平方向振動が必要であるかを確認しなければならない。

本研究は、CEN 試験調査の曝露全身振動値評価への適用性検証を目的として、フォークリフト実作業時の事例的な全身振動測定調査を行った。

II. 対象と方法

1. 測定対象車両

阪神地区港湾で日常的に使用されており、CEN 試験調査で全身振動に関して新旧比較を行ったフォークリフト²¹⁾ (最大積載荷重: 2.5 t, 製造会社: TCM, トヨタ, 小松, 三菱) の中で、製造会社ごとに1台ずつの異なる事業所に所属していた4台を対象とし、かつ抽出することにした。製造年は、耐用年数が過ぎていて、測定調査しなければ廃車となり、測定機会を逸する可能性の高かった1990年前後とした。CEN 試験調査で試験できた電気モーター車はトヨタ製のみであったので、本測定調査では原動機形式をすべて一致させるため、ディーゼルエンジン車とした。さらに、一般的な作業での使用が期待できた標準フォークアタッチメント装備を条件とした。

2. 方法

2-1. 測定期間

港湾の場合には、大型の貨物船が出入港する可否かで作業密度が大きく変わるという情報が得られていたので、各車両につき1労働週の日測定を計画し、2000年6月26日から2002年5月17日にかけて測定調査した。

2-2. 測定装置

本測定調査には、振動、車両動態、操作状態を同時に

測定・収集できるシステムを開発して、用いた。

- 1) 座面での振動加速度については直交3方向座席用振動検出器 (Brüel & Kjær, Type 4322) を用いて、座席取り付け基部振動加速度については直交3方向圧電型振動検出器 (Brüel & Kjær, Type 4326 A) を用いて、検出した。検出された信号は、8チャンネルチャージアンプ (Brüel & Kjær, Type 5974) により、増幅および濾波 (0.3~1,000 Hz) された後、PCカード記録計 (ティアック社製, DR-C2) により、標本化周波数 1,000 Sample/s, 分解能 16 bit にて A/D 変換され、PCカードに記録された。振動検出器についてはCEN 試験時と同様に設置した。すなわち、座面上の、検出器中心が運転者の左右坐骨結節間のほぼ中央にあたるような位置に、テープを用いて座席用振動検出器を固定し、さらに、座席が取り付けられている基板上の、座席中央を通る車両左右方向線上のできるだけ座席の近くに、座席取り付け基部振動用検出器を固着した。
- 2) 車両動態については、GPS (Global Positioning System) を利用したカーナビゲーションシステム (データ・テック社製, M-12/D) により、車両の位置 (緯度・経度・高度)、向き、速度を検出し、1秒ごとに、運行記録計に収録させるようにした。運行記録計は、通信出力されたカーナビゲーションシステムのデータ、4 bit のデジタルデータ、1 channel のアナログデータを A/D 変換したものを、内部のEEPROM に記録し、測定終了後、記録したデータをパソコンに通信出力できる機器で、独自に開発した。
- 3) 操作状態に関しては、着座状態 (着座/非着座, 1 bit データ) ・一番左側のペダル (クラッチまたはブレーキ) 踏み量 (アナログデータ) ・ギヤレバー位置 (前進/ニュートラル/後進, 2 bit データ) の検出を行い、0.1 秒ごとに、運行記録計に収録させるようにした。
- 4) 作業状況を把握するために、ビデオカメラを運転手の斜め後方の天板直下に設置し、運転席からの前景をビデオ撮影した。

2-3. 周波数加重振動加速度実効値の計算

記録された振動加速度データについて、(1) バターワースハイパスフィルター (カットオフ周波数 0.47 Hz, 次数 10) で濾波し、(2) 1 秒ごとに、2,048 秒のデータを用いて高速フーリエ変換を行って、1/3 オクターブバンドごとの実効値に変換し、(3) 0.5~80 Hz で合成 (自乗積算値を平方根) した1秒ごとの周波数加重振動加速度実効値 ($a_w(t)$) を算出した。周波数加重は、CEN 試験調査²¹⁾ と同じ W_k (鉛直 (z) 方向) と W_d

(前後 (x) 方向および左右 (y) 方向) を使用した。

2-4. 評価指標

着座状態の検出データと、座面と座席取り付け基部の鉛直方向 $a_w(t)$ から、着座している (= 座面から振動を曝露されている) か否かを1秒ごとに判定し、1日あたりの以下の値を評価指標として求めた。

- 1) 振動曝露時間 (運転手が着座していると判定した時間の合計)
- 2) 各方向の全身振動値 $a_{wi, Pan}$ ($i = x, y, z$; 座面でのパワー平均周波数加重振動加速度実効値)
- 3) ISO 2631-1:1997²³⁾ により健康影響を評価するものとして示されている **Health** 値 (優越な振動方向²⁴⁾ があれば、その方向の振動値、優越な振動方向がなかった場合、水平方向振動値に係数1.4を乗じた直交3方向のベクトル合成値; 「優越な」振動方向とは、水平方向振動値に係数1.4を乗じた後、最大振動を有する方向の振動値の66%が、他の2方向の振動値を共に上回っている場合、最大振動を有する方向)
- 4) 鉛直方向の基部振動値 $a_{wz, Base}$ (座席取り付け基部でのパワー平均周波数加重振動加速度実効値)、および振動伝達率 **SEAT** (Seat Effective Amplitude Transmissibility; $a_{wi, Pan} / a_{wz, Base}$)
- 5) エネルギー等価8時間曝露換算振動値 **A** (8)。ただし、測定車両を運転手1人だけが運転していた場合のみ求めた。EU指令¹⁵⁾にて、その値を超過した場合に全身振動曝露低減の対策を計画し実行すべきと定められた「対策値 (= 0.5 m/s^2)」と比較した。

2-5. 全身振動値の比較判定方法

各車両につき、実作業時の代表値として全身振動値の1労働週あたりの平均値、および標準偏差を算出した。CEN試験時の代表値としてCEN試験値、および標準偏差として、体重55kgと98kgの運転者の走行時(5回)の標準偏差の高値であった方を採用した。両者の代表値 ± 1 標準偏差²⁵⁾ の範囲を比較し、両者の範囲が重なった場合を同等として、大小関係(大/同等/小)を判定した。

2-6. 作業状態別の解析

各車両につき、全日測定できた1日を抽出し、作業状態別の解析を計画した。ビデオ映像と操作情報から、図1に示すように、走行状態(Forward, Reverse or Stop; Run: Forward + Reverse)と荷物積載の有無(With load or Without load)を分類し、解析した。さらに、積載から無積載、または無積載から積載状態の切り換え時の3秒間、およびフォークにて荷物位置を調整していたときを同定し、荷物「積み降ろし」作業(Lift)と定

	Run forward	Stop	Run reverse
With load	Travel forward with load	Idle	Travel reverse with load
Without load	Travel forward without load	Idle	Travel reverse without load

*"Lift" is defined as "Loading", "Unloading" or tasks such as to adjusting the load position with the fork attachment. "Loading" is defined as 3 s when an unloaded state changes to a loaded state. "Unloading" is defined as when a loaded state changes to an unloaded state.

Fig. 1. Categorization of operating mode.

義し、「積み降ろし」以外の走行時を「移動」(Travel)、「積み降ろし」以外の停止時を「待機」(Idle)と定義して分類し、解析した。

走行速度については、予備測定により、GPSを利用したカーナビゲーションシステムから得られた速度データは、発進時や停止時のように加減速が大きかった場合、車両動態とそれを反映したデータが出力されるまでの遅延時間が長かったため、前後に十分な停止時間があり、ある時間以上走行している場合のみ、妥当な速度データが得られると考えられた。したがって、判定した1秒ごとの走行状態情報を基に、5秒以上連続して走行しており、かつ、その前後の停止または前後進切り換え時の速度データが3km/h未満のところを抽出し、そこから走行開始後および停止前のそれぞれ2秒のデータを除外した時間の速度データのみを用いて、走行速度を算出した。

着座時、走行時、「移動」、および「積み降ろし」での、曝露時間、各方向の全身振動値、走行速度と速度算出有効率(ある時間内で、有効な速度データであると判定できた時間の割合)を求めた。

次いで、CEN試験と同様の走行条件である荷物積載状態での前進「移動」における、全身振動値を各車両についてCEN試験時の比較範囲と比較した。また、そのときの鉛直方向全身振動値と速度の相関係数を求め、その関係性を検討した。

CEN試験の走行条件との相違を検討するために、荷物積載有無の変化の回数と前後進切り換え回数を求めた。

2-7. 周波数特性

各車両について、1日あたりの曝露時間でパワー平均した、各方向の座面と座席取り付け基部の1/3オクターブバンドごとの実効値(帯域振動値)を算出し、1労働週あたりの平均を求めた。そして、実作業時の鉛直方向平均帯域振動値とCEN試験時(体重55kgと98kgの運転者の走行時5回を合計した10回)の平均を W_k で加重した後、両データ間の相関係数を求め、周波数特性パターンの類似性を検討した。

Ⅲ. 結 果

1. 測定対象車両

4台を測定した順に, A, B, C, Dと名付け, その属性を表1に示した(表中にはCEN試験調査結果を報告した論文²¹⁾の表1に示されている本測定対象車両の番号を記した). 4台ともに, CEN試験調査時と同様の空気充填式ゴムタイヤが装着されていた. また, 4台ともに, 体重による調節機能がある, ばねやダンパーで構成された, CEN試験調査時と同じサスペンション座席が装備されており, CとDについては座席サスペンションの調節機構が故障したままであった.

2. 曝露全身振動

車両ごとの, 評価指標, および全身振動値を比較するための本測定調査時とCEN試験時の代表値と標準偏差を表2に示した. 各車両における1労働週の平均全身振動値(m/s^2)をA, B, C, Dそれぞれでみると, 鉛直方向で0.50, 0.38, 0.44, 0.50, 前後方向で0.46, 0.31, 0.37, 0.30であった. すべての測定日で優越な振動方向はなかった. 平均 *Health* 値は0.92, 0.66, 0.77, 0.74であった.

本調査結果とCEN試験時の全身振動値を比較したものを図2に示した. 鉛直方向については, 4台とも,

CEN試験値を下回った. 前後方向については, AとCではCEN試験時を上回り, BとDでは同等と判定された. *Health* 値については, Aでは同等と判定され, 他の3台ではCEN試験値を下回った.

振動曝露状況については, 運転手が着座(=全身振動曝露)していた1日あたりの時間は1時間32分から3時間58分であった. ビデオ映像により確認したところ, BとCについては, 全測定時間でそれぞれ1人の運転手が運転していた. A(8)については, EU指令¹⁵⁾での対策値に対して, Bでは上回った日はなく, Cでは上回った日が1日あった.

3. 座席の振動伝達率

本測定調査の *SEAT* をCEN試験時と比較すると, Aでは測定日により大小関係が異なり, B, C, DではCEN試験時で1を超えた値(座席が振動減衰しなかったことを意味する)であったが, 本測定調査ではすべての測定日で1未満であった.

4. 作業状態別の解析

ビデオ映像記録が不完全であった車両Aを除いた3台について, 作業状態別に解析した. 着座時, 走行時, 「移動」, および「積み降ろし」での, 曝露時間, 各方向の全身振動値, 走行速度と速度算出有効率を表3に示し

Table 1. Properties of forklift trucks measured

	Truck A	Truck B	Truck C	Truck D
Work place	Second jetty at Kobe new harbour	Maya wharf	Osaka south harbour	Maya wharf
Manufacturer	TOYOTA	TCM	MITSUBISHI	KOMATSU
Year manufactured	1989	1990	1989	1991
Tyre type	Pneumatic	Pneumatic	Pneumatic	Pneumatic
Tyre diameter (mm)				
Front	680	645	645	640
Rear	560	515	525	510
Mean	620	580	585	575
Seat adjustment by driver's weight	enable	enable	disable	disable
Truck No. by CEN test *	3	5	4	12
Driver's weight	Heavy, Light	Heavy, Light	Heavy, Light	Heavy, Light
$a_{wz} \pm SD (m/s^2)^\dagger$	0.92 \pm 0.04, \pm 0.04	0.88 \pm 0.04, \pm 0.02	1.41 \pm 0.07, \pm 0.03	1.37 \pm 0.09, \pm 0.07
$a_{wx} \pm SD (m/s^2)^\dagger$	0.29 \pm 0.02, \pm 0.01	0.34 \pm 0.04, \pm 0.04	0.20 \pm 0.02, \pm 0.03	0.27 \pm 0.04, \pm 0.05
$a_{wy} \pm SD (m/s^2)^\dagger$	0.14 \pm 0.01, \pm 0.04	0.17 \pm 0.04, \pm 0.02	0.16 \pm 0.04, \pm 0.02	0.12 \pm 0.00, \pm 0.01
<i>SEAT</i> ^{&}	0.78	1.14	1.08	1.55

* Truck numbers are published in Table 1 of our article (References 21).

[†] Frequency-weighted root-mean-square acceleration (a_{wi} : $i = x, y, z$) on the seat pan specified by prEN 13059: 1999, and the standard deviation obtained for 5 times running by each of two operators.

[&] *SEAT* (Seat Effective Amplitude Transmissibility) = (a_{wz} on the seat pan) / (a_{wz} at the seat base)

Table 2. Exposure duration (hour:min:sec), frequency-weighted root-mean-square acceleration on the seat pan ($a_{wi,Par}$: $i=x, y, z$, m/s^2), $Health^{[1]}$ (m/s^2), $SEAT$ (see Fig. 1) and $A(8)^{[2]}$ (m/s^2) for each day and average \pm standard deviation for a week. CEN test value shown for comparison (number in square parentheses is the value multiplied by 1.4)

A [†]	MON	TUE	WED	THU	FRI	Average \pm SD	CEN test ^{&}
Duration	0:47:51	1:32:25	1:39:09	2:22:51	2:02:50		
$a_{wz, Pan}$	0.44	0.57	0.47	0.51	0.51	0.50 \pm 0.05	0.92 \pm 0.04
$a_{wx, Pan}$	0.45 [0.64]	0.43 [0.60]	0.41 [0.58]	0.49 [0.69]	0.49 [0.68]	0.46 \pm 0.04	0.29 \pm 0.02
$a_{wy, Pan}$	0.31 [0.43]	0.28 [0.40]	0.30 [0.42]	0.35 [0.49]	0.31 [0.44]	0.31 \pm 0.02	0.14 \pm 0.04
$Health$	0.89	0.92	0.85	0.98	0.96	0.92 \pm 0.05	0.92 \pm 0.04
$SEAT$	0.62	0.90	0.68	0.57	0.80		
B	MON	TUE	WED	THU	FRI	Average \pm SD	CEN test ^{&}
Duration	2:15:49	3:50:17	1:43:07	3:11:28	3:54:01		
$a_{wz, Pan}$	0.40	0.40	0.36	0.36	0.37	0.38 \pm 0.02	0.88 \pm 0.04
$a_{wx, Pan}$	0.30 [0.43]	0.32 [0.45]	0.35 [0.49]	0.27 [0.37]	0.31 [0.44]	0.31 \pm 0.03	0.34 \pm 0.04
$a_{wy, Pan}$	0.24 [0.33]	0.23 [0.32]	0.25 [0.35]	0.20 [0.29]	0.23 [0.32]	0.23 \pm 0.02	0.17 \pm 0.04
$Health$	0.67	0.68	0.71	0.59	0.66	0.66 \pm 0.04	0.88 \pm 0.04
$SEAT$	0.93	0.96	0.89	0.94	0.88		
$A(8)$	-	0.47	-	0.37	0.46		
C	MON	TUE	WED	THU	FRI	Average \pm SD	CEN test ^{&}
Duration	3:58:02	3:01:23	1:52:13	(Public holiday)	1:29:45		
$a_{wz, Pan}$	0.40	0.47	0.46	-	0.43	0.44 \pm 0.03	1.41 \pm 0.07
$a_{wx, Pan}$	0.34 [0.47]	0.40 [0.56]	0.39 [0.55]	-	0.35 [0.49]	0.37 \pm 0.03	0.20 \pm 0.03
$a_{wy, Pan}$	0.23 [0.33]	0.27 [0.38]	0.26 [0.37]	-	0.25 [0.35]	0.25 \pm 0.02	0.16 \pm 0.04
$Health$	0.70	0.82	0.80	-	0.74	0.77 \pm 0.06	1.41 \pm 0.07
$SEAT$	0.52	0.55	0.55	-	0.53		
$A(8)$	0.49	0.50 [*]	-	-	-		
D [†]	MON	TUE	WED	THU	FRI	Average \pm SD	CEN test ^{&}
Duration	0:59:21	3:35:18	2:07:26	1:49:37	3:00:36		
$a_{wz, Pan}$	0.37	0.49	0.56	0.54	0.55	0.50 \pm 0.08	1.37 \pm 0.09
$a_{wx, Pan}$	0.25 [0.36]	0.31 [0.43]	0.32 [0.45]	0.34 [0.47]	0.30 [0.42]	0.30 \pm 0.03	0.27 \pm 0.05
$a_{wy, Pan}$	0.20 [0.27]	0.23 [0.32]	0.25 [0.35]	0.26 [0.36]	0.24 [0.34]	0.23 \pm 0.02	0.12 \pm 0.01
$Health$	0.58	0.73	0.80	0.80	0.77	0.74 \pm 0.09	1.37 \pm 0.09
$SEAT$	0.56	0.68	0.74	0.72	0.77		

DAY with gray background: did not complete measurements during whole working time.

[†] Not values of the exposure to one operator.

[&] Reported value \pm maximum among the standard deviations obtained for the two operators by CEN test.

^{*} exceeded "exposure action value" by EU Directive 2002/44/EC

^[1] No dominant whole-body vibration direction was observed on any of the measurement days;

it was calculated as follows: $Health = \{(1.4a_{wx, Pan})^2 + (1.4a_{wy, Pan})^2 + a_{wz, Pan}^2\}^{1/2}$

^[2] $A(8)$: $Health$ value standardized to an 8-h reference period with equivalent energy.

た。

荷物積載状態での前進「移動」の平均全身振動値 (m/s^2) を B, C, Dそれぞれでみると、鉛直方向で 0.36, 0.48, 0.46, 前後方向で 0.26, 0.37, 0.27であった。その場合、3台とも優れた振動方向はなかった。 $Health$ 値は 0.60, 0.79, 0.67であった。そして、鉛直方向全身振動値と $Health$ 値は、3台とも CEN 試験値を下回った。

同「移動」における平均走行速度は 4.8, 4.5, 4.6であった。その速度と鉛直方向全身振動値の相関係数は 0.25, 0.44, 0.35であった。

「移動」と「積み降ろし」における全身振動値を比較すると、3台とも、鉛直方向では「移動」時の方が高く、かつ前後方向では「積み降ろし」時の方が高かった。また、「積み降ろし」において、係数 1.4 を水平方向振動

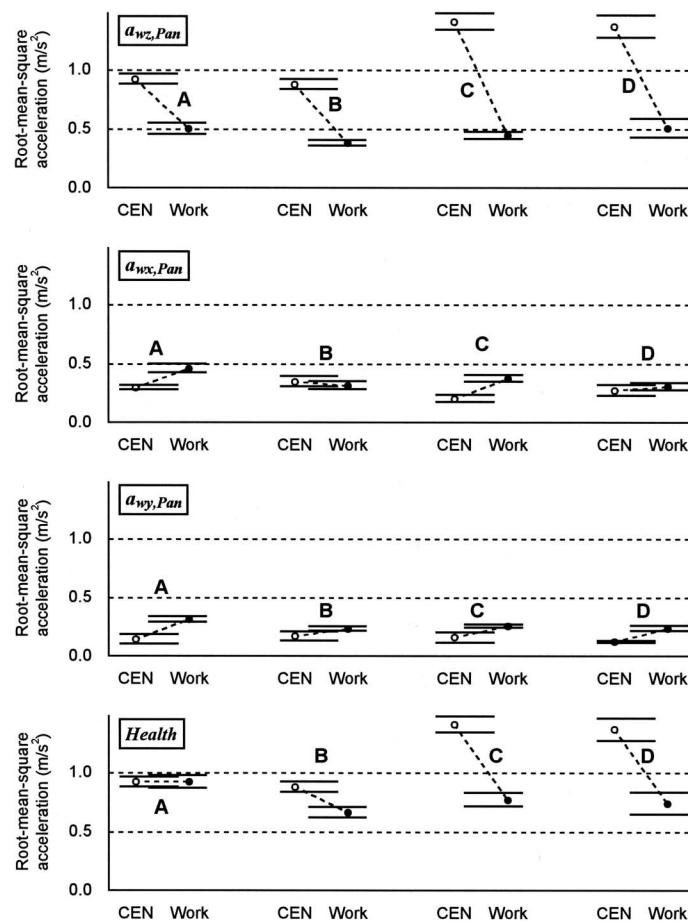


Fig. 2. Comparison of frequency-weighted root-mean-square acceleration on the seat pan ($a_{wi, Pan}$: $i=x, y, z$; **Health** (see Table 2)) between actual work and CEN test. —, mean \pm 1 standard deviation.

値に乗じた場合には3台とも前後が最大振動を有する方向となった。

着座時間内では、3台の平均で1分あたり3.3回荷物積載の有無が変化し(ほぼ同頻度で「積み降ろし」作業が行われた), 8.5回前後進が切り換わっていた。また, 走行時における後進時間の割合は34%, 40%, 45%であり, そのときの鉛直方向全身振動値は前進時と同程度か低値であった。平均速度は後進時の方が低かった。

5. 周波数特性

各車両における座面と座席取り付け基部の各方向の周波数特性を図3に示した。CEN試験走行時と比較した実作業時の鉛直方向周波数特性を図4に示し, 相関係数 r を表4に示した。CとDについては, 座席取り付け基部振動でパターンの違いが比較的大きかった ($r < 0.6$)。座面振動では, すべて r は0.8を超えた。

実作業時の周波数特性を見ると, A, B, Cについて鉛直方向全身振動値が最大となった周波数(最大周波数)は4Hzであり, Dについては3.15Hzであった。前後方

向の最大周波数は25Hzから40Hzであったが, その周波数域は人体影響の大きさを示す加重値が小さく, 人体影響を考慮した振動値が極大となる周波数(実効極大周波数)は4台とも3.15Hzであった。左右方向の周波数加重値が大きい (> 0.8) 周波数域0.5~2Hzでは, 4台とも, 周波数が低くなるにつれ振動値が上昇するという傾向であった。

IV. 考 察

1. 対象車両

対象条件に合致した車両台数は, 1 (= A), 3 (Bを含む), 1 (= C), 2 (Dを含む)であった。Dと同じ製造社製でD以外の1台はエンジンがかからなくなったために, Dを測定対象とした。CとDは座席サスペンションの調節機構が故障していたが, CEN試験調査時と同じであったため, 比較検討することに対する影響は考えられない。また, Dだけが他の車両に比べて約2年遅れで測定し, CEN試験日との差も1年4ヶ月となった。その間の車両劣化が振動値に影響を与えた可能性は否定

Table 3. Exposure duration (hour:min:sec), frequency-weighted root-mean-square acceleration on the seat pan ($a_{wi,Pan}$; $i=x, y, z$; **Health** (see Table 2); m/s^2), velocity (km/h) and (efficacy ratio for velocity calculation) for each categorized operation mode (number in square parentheses is the value multiplied by 1.4)

B (analysis time=3:00:00, 8:30:00–11:30:00)		Duration	$a_{wz,Pan}$	$a_{wx,Pan}$	$a_{wy,Pan}$	Health	Velocity
Sit (exposed to WBV)		1:34:56 (53% [*])	0.34	0.31 [0.44]	0.22 [0.31]	0.63	
Run		1:14:33 (79% [†])	0.36	0.33 [0.47]	0.24 [0.34]	0.68	5.4 (12%)
Forward		0:49:31 (66% [‡])	0.39	0.31 [0.44]	0.26 [0.36]	0.69	5.6 (17%)
Reverse		0:25:02 (34% [‡])	0.31	0.37 [0.52]	0.20 [0.27]	0.67	2.4 (2%)
Travel		1:06:23 (70% [†])	0.37	0.32 [0.45]	0.24 [0.34]	0.68	5.4 (13%)
Forward with load		0:21:19 (32% [‡])	0.36	0.26 [0.36]	0.23 [0.32]	0.60	4.8 (21%)
without load		0:22:55 (35% [‡])	0.42	0.34 [0.48]	0.29 [0.41]	0.76	6.7 (16%)
Reverse with load		0:10:33 (16% [‡])	0.30	0.33 [0.46]	0.18 [0.26]	0.61	2.8 (2%)
without load		0:11:36 (17% [‡])	0.31	0.39 [0.55]	0.21 [0.29]	0.69	2.1 (3%)
Lift		0:10:39 (11% [†])	0.30	0.39 [0.54]	0.21 [0.29]	0.68	
C (analysis time=7:05:27, 8:30:00–16:35:27)		Duration	$a_{wz,Pan}$	$a_{wx,Pan}$	$a_{wy,Pan}$	Health	Velocity
Sit (exposed to WBV)		2:56:09 (41% [*])	0.47	0.40 [0.56]	0.27 [0.38]	0.82	
Run		2:31:29 (86% [†])	0.49	0.41 [0.57]	0.28 [0.39]	0.85	4.7 (4%)
Forward		1:31:33 (60% [‡])	0.49	0.39 [0.55]	0.29 [0.40]	0.84	4.8 (6%)
Reverse		0:59:56 (40% [‡])	0.49	0.43 [0.60]	0.27 [0.37]	0.86	1.3 (0%)
Travel		2:17:22 (78% [†])	0.50	0.39 [0.54]	0.28 [0.39]	0.83	4.7 (4%)
Forward with load		0:43:02 (31% [‡])	0.48	0.37 [0.51]	0.27 [0.37]	0.79	4.5 (7%)
without load		0:42:17 (31% [‡])	0.51	0.39 [0.55]	0.31 [0.43]	0.86	5.2 (7%)
Reverse with load		0:25:11 (18% [‡])	0.43	0.39 [0.54]	0.22 [0.31]	0.76	0.4 (0%)
without load		0:26:52 (20% [‡])	0.57	0.40 [0.57]	0.30 [0.42]	0.91	1.4 (1%)
Lift		0:18:51 (11% [†])	0.36	0.56 [0.78]	0.27 [0.37]	0.94	
D (analysis time=4:35:27, 8:30:00–14:06:27)		Duration	$a_{wz,Pan}$	$a_{wx,Pan}$	$a_{wy,Pan}$	Health	Velocity
Sit (exposed to WBV)		3:35:08 (78% [*])	0.49	0.31 [0.43]	0.23 [0.32]	0.73	
Run		2:55:12 (81% [†])	0.52	0.32 [0.45]	0.24 [0.34]	0.77	5.6 (10%)
Forward		1:36:57 (55% [‡])	0.56	0.32 [0.45]	0.27 [0.38]	0.81	6.0 (15%)
Reverse		1:18:15 (45% [‡])	0.47	0.32 [0.45]	0.21 [0.29]	0.72	3.0 (3%)
Travel		2:41:47 (75% [†])	0.53	0.32 [0.45]	0.24 [0.34]	0.77	5.6 (10%)
Forward with load		0:44:41 (28% [‡])	0.46	0.27 [0.38]	0.23 [0.32]	0.67	4.6 (19%)
without load		0:43:33 (27% [‡])	0.68	0.36 [0.51]	0.30 [0.42]	0.95	8.0 (14%)
Reverse with load		0:46:50 (29% [‡])	0.49	0.32 [0.45]	0.21 [0.29]	0.73	3.3 (3%)
without load		0:26:43 (17% [‡])	0.45	0.33 [0.47]	0.20 [0.27]	0.70	2.2 (2%)
Lift		0:22:04 (10% [†])	0.38	0.33 [0.47]	0.26 [0.37]	0.70	

“Run”, “Travel” and “Lift”: See Fig. 1.

* Ratio to the analysis time.

† Ratio to the sitting (exposure to WBV) time.

‡ Ratio to the time of “Run” or “Travel” time.

できない。しかし、その1年4ヶ月の間に座席を修理するなどの全身振動曝露を低減させるようなことは行われておらず、通常、車両劣化は全身振動値を高くしたと考えられるので、より厳しい条件でCEN試験時と比較し

たことになる。

2. 鉛直方向全身振動

鉛直方向の全身振動については、1日あたりの平均値

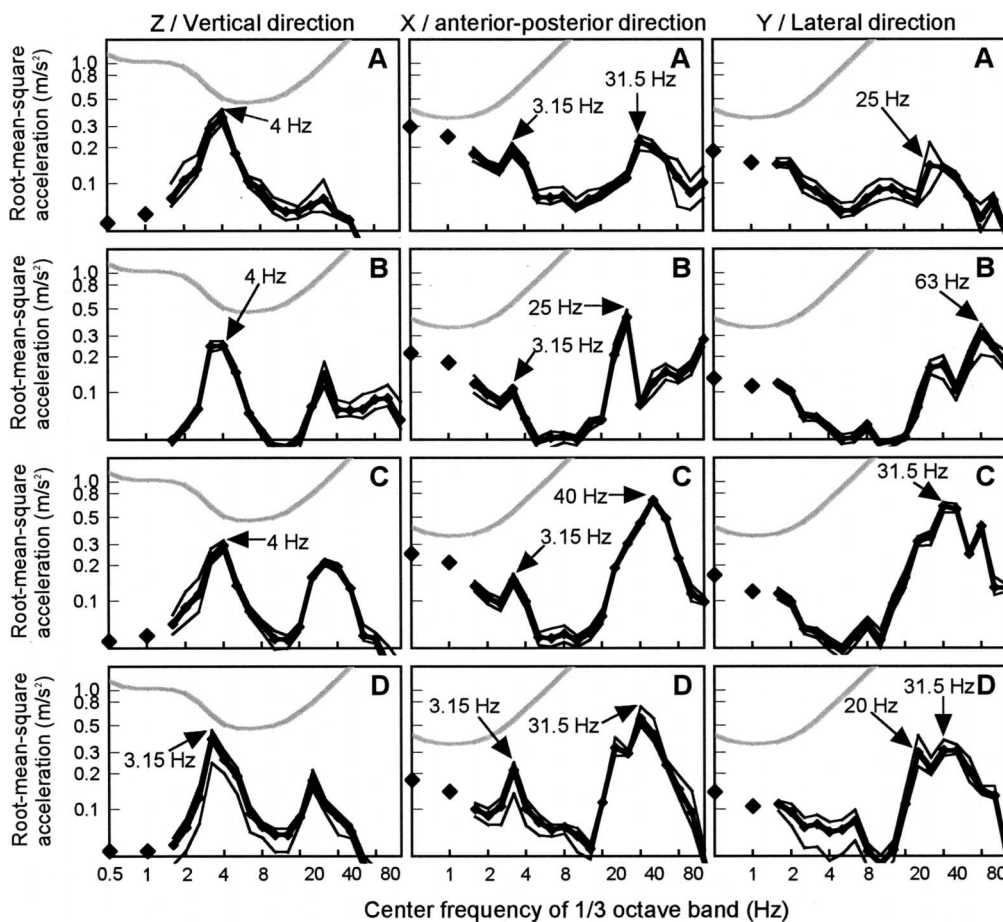


Fig. 3. Mean spectra of acceleration on the seat pan in z-axis/vertical direction (left side), x-axis/anterior-posterior direction (middle) and y-axis/lateral direction (right side). \blacklozenge , Mean for the week; —, Max. or min. of the value per day among the week; —, $0.5 (m/s^2) / k / W_f$ ($k=1$ for z-axis, $k=1.4$ for x- or y-axis; W_f : frequency weighting value of each band).

はCEN試験値を下回り、かつ、CEN試験と同様の条件であった荷物積載状態での前進「移動」だけを抽出しても、CEN試験値を下回った。CEN試験は実作業時鉛直方向全身振動曝露において過小評価になっていなかった。

実作業時鉛直方向全身振動値がCEN試験値を下回った理由を走行速度という観点で考えてみると、CEN試験条件は、荷物を積載し、速度が 10 ± 1 km/hでの前進走行であり、一方、作業状態別に解析した3日についての、荷物積載状態での前進時の平均走行速度は4.5～4.8 km/hであった。走行速度と鉛直方向座席上振動値の関係については、フォークリフトによるCEN試験路走行の場合、およそ10 km/hまででは、走行速度が高くなると座席取り付け基部振動値も高くなることが報告¹⁷⁾されており、タクシーでは鉛直方向全身振動値は速度の2乗に比例するという結果も出されている²⁶⁾。本測定調査では作業状態別の解析をした全時間で妥当な速度データが得られたわけではないが、やはり、前進走

行速度が高いと鉛直方向振動値は高くなる傾向があった。したがって、実作業時の走行速度がCEN試験条件速度より低いことが鉛直方向全身振動値を下回らせた大きな理由であると考えられる。

さらに、フォークリフト運転手からの聞き取りによれば、作業場で大きな段差があるところを運転手は把握しており、そのようなところでは速度を低くして走行するようにしている。つまり、実作業時平均走行速度からすると比較的高い、CEN試験条件の10 km/hという速度で段差を乗り越えることが、実作業中には少ないために、CEN試験値を下回ったと考えられる。

以上のように、走行速度は全身振動曝露評価を行う上で重要な情報であるが、本測定調査では、走行時でも4～12%しか有効なデータが得られなかった(表3参照)。前進走行速度と鉛直方向振動値の相関についても、定量的な考察は行えない。今後、速度と車両動態(前後進)を正確かつ簡便な装置で測定できるようにすることが必要と考えられる。

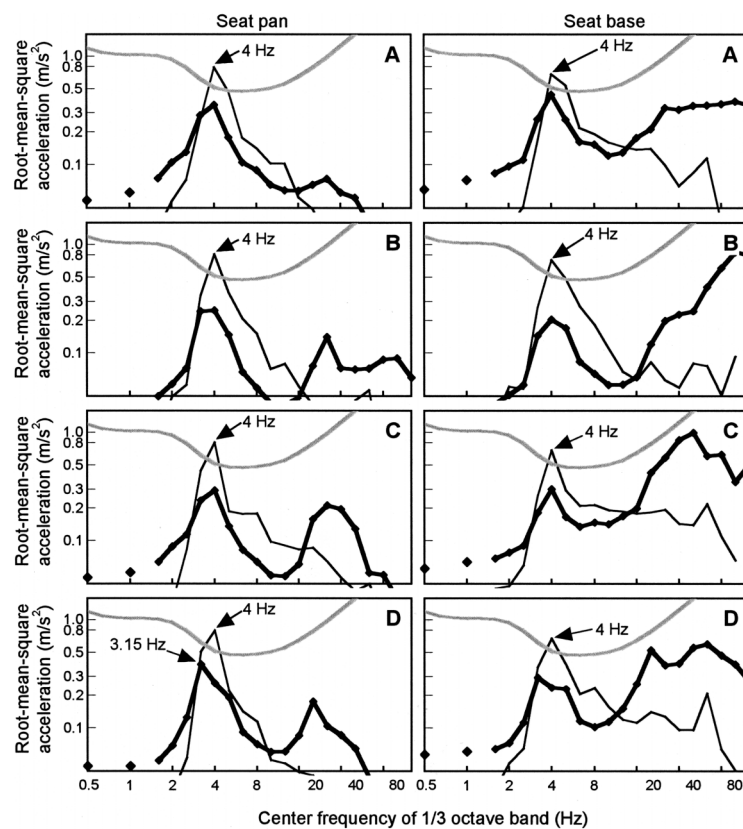


Fig. 4. Comparison of vertical acceleration spectra on the seat pan (left side) and at the seat base (right side) between actual work (mean for the week) and CEN test (mean of the values obtained for each of the two operators). \bullet —, Actual work; —, CEN test; —, 0.5 (m/s^2) / W_i (W_i : frequency weighting value of each band).

Table 4. Correlation coefficients for spectral patterns of vertical frequency-weighted acceleration between actual work and the CEN test

Truck	On the seat pan	At the seat base
A	0.96	0.94
B	0.93	0.80
C	0.92	0.57
D	0.86	0.59

3. 優越な振動方向

3-1. 3方向の比較

Donatiら (フォークリフト 67台)²⁷⁾ や Bovenziら (港湾フォークリフト 7台)²⁸⁾ が行った欧州でのフォークリフト全身振動測定では、鉛直が優越な振動方向であった。それに対して、本測定調査ではすべての測定日で優越な振動方向はなかった。さらに、D以外の3台について測定したすべての日 (14日) では、係数1.4を乗じると、前後が3方向の中で最大全身振動値を有する方向となり、阪神地区の港湾フォークリフト作業では前後方向振動にも注視すべきである。

3-2. Health値での評価

CEN試験調査でのHealth値は、ISO 2631-1:1997に基づき、優越であった鉛直方向の振動値とした。本測定調査では優越な振動方向がなかったために、Health値は3方向振動の合成値として算出した。その結果、車両Aでは実作業時Health値がCEN試験時Health値と同等となり、他の3台はCEN試験時を下回った。CEN試験値は鉛直方向だけでなく、直交3方向の総合的な曝露全身振動値としても、過小評価になっていなかった。

3-3. 「積み降ろし」作業時の曝露

前後方向振動値が比較的高くなったことについては、作業状態別の解析をした3台すべてで、「移動」より「積み降ろし」の方が前後方向振動値が高く、かつ「積み降ろし」時の前後方向振動 (係数1.4を乗じた値) が3方向の中で最大であったことから、積み降ろし作業がその主な要因の一つと考えられる。

CEN試験の規格EN 13059¹⁶⁾には、「産業車両の場合、『移動』(Travelling)『積み降ろし』(Lifting)『アイドルリング』(Idling)の3つの主要なモードがあり、『移動』

のみが顕著な全身振動を運転者に曝露する。そのため、本試験は『移動』モードを基にしている」と記述されている。このことにより CEN 試験は、荷物積載状態での前進定速走行を条件とし、その際に優越になる鉛直方向振動の測定のみを義務付けていると推定される。

しかし、日本の港湾フォークリフト作業では、積み降ろし作業が要因と考えられる前後方向全身振動が曝露されている。また、作業状態別解析をした日では、18秒 (= 60秒 ÷ 3.3回) ごとに荷物積載の有無が変化しており、さらに、後進運転時間割合はおよそ4割で、平均で7秒 (= 60秒 ÷ 8.5回) ごとに前後進が切り換わっていた。これらは頻繁な前後進切り換えや加減速と共に荷物の積み降ろしが行われる港湾のフォークリフト作業特性を端的に表すものと解釈でき、港湾フォークリフト作業では『積み降ろし』モードを無視し得ないと考えられ、CEN 試験が想定している全身振動曝露状況とは異なっていた。今後、『積み降ろし』モードの分布や全身振動曝露を詳細に検討する必要がある。

4. 周波数特性と座席の振動伝達率

4台すべての20～40Hz帯域で、座席取り付け基部の鉛直方向帯域振動値はCEN試験調査の値を上回った。特に、車両CとDではAとBに比べて、その差違が大きかった。しかし、表4に示したように、車両CとDの座面での鉛直方向振動周波数特性パターンは座席取り付け基部に比べてCEN試験調査時に近かった。これは20～40Hz帯域で振動伝達率が1より十分低かったこと(20～40Hzでの振動伝達率は、C: 0.23, D: 0.24)によると考えられ、CEN試験調査での振動伝達率の結果ともほぼ一致している。4台すべてで、本測定調査時のSEATはCEN試験調査時より小さい値であったが、これは振動伝達率が1より十分低い20～40Hzという帯域の振動を、実作業時はCEN試験時より多く含んでいたことが大きな要因として考えられる。

作業現場では、走行面の状態、運転条件(前後進・走行速度・荷物積載の有無など)や運転手の姿勢(前方や側方への体幹屈曲および捻転など)がCEN試験時と異なるため、周波数特性パターンにある程度差違が生じるのは当然のことであるが、人体影響に関して座席での振動減衰を考える場合に、最も重要である人体上半身の共振周波数域4～5Hzで、CEN試験時の周波数帯域振動値は実作業時を上回っていた。したがって、CEN試験により座席の基本的な鉛直方向振動減衰能を評価することは妥当であると考えられる。

5. フォークリフト運転手の健康リスクと今後の課題

我々はフォークリフト運転手の労働衛生学的研究の一環として本測定調査を行った。19日にわたる調査の中

で把握できた課題について、以下に述べる。

全測定時間で1人の運転手が運転していた2台(BとC)のうち1台はEU指令では対策を講じなければならないとされるような全身振動曝露状況であった。他の1台も対策値に比較的近い値(0.47m/s²)の日があり、この2台に乗務する運転手にとって、全身振動は健康に関する危険因子の一つであることが確認できた。

本測定調査での1日あたりの稼働時間は最長でも4時間に満たなかった。しかし、本調査対象を含むフォークリフト運転手に対する全国的な質問紙調査¹⁴⁾では、運転時間が3時間未満という回答が5割を占めていたので、対象車両が特別に短い稼働時間というわけではない。現場作業員からの聞き取りによれば、阪神地区港湾では運転だけでなく人力での重筋作業(荷造りや荷運びなど)も行うフォークリフト運転手が少なからずいる、ということであった。フォークリフト運転手の健康リスク評価のためには、作業項目別時間調査も必要であり、今後の課題と考えられる。

作業状態別解析の結果、後進運転時間割合はおよそ4割であり、その間、通常では後方視認のため体幹を捻転していると推測できる。また、荷物の積み降ろし時では、前方視界確保やフォークの先を見るため、側方や前方への体幹屈曲も行われている。このような動作が作業中の無視できない時間や頻度で行われていると考えられ、全身振動曝露と不良姿勢が複合して、大きな健康リスクとなる^{8, 29, 30)}ことが想像できる。

したがって、フォークリフト運転手の健康問題に関しては、様々なリスク評価が必要である。そうすると、本測定調査のように、多大な労力と時間を要する実作業時全身振動の全数測定を行うことなく健康リスク評定に資する研究の必要性も益々高まってくると考えられる。

V. 結 論

阪神地区の港湾フォークリフト作業時の全身振動曝露を測定し、CEN試験調査での同じ車両の全身振動値と比較検討した。様々な事情を考慮しても、鉛直方向全身振動値がCEN試験値を下回り、かつ前後方向を含めた全身振動値も同程度、あるいはCEN試験値以下であったことから、CEN試験は日本での曝露全身振動値の評価に対して適用できる可能性がある。しかし、日本の阪神地区港湾フォークリフト作業では、CEN試験が想定している全身振動曝露状況と異なり、積み降ろし作業が要因として考えられる、人体にとって無視し得ない前後方向全身振動が観察されたため、詳細な作業状況記録を含めた、さらなる全身振動測定が必要であると考えられる。

謝 辞：本研究の実施にあたり、測定調査にご理解・ご協力いただいた港湾の各事業所の関係者、ならびに、多

くの苦勞と時間をさいて、ご協力いただいた全日本港湾労働組合関西地方本部の方々に深謝いたします。また、測定データ解析にご協力いただいた加藤正人氏に感謝いたします。

本研究は平成17年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究)を受けた(課題番号17390171)。

文 献

- 1) 中務善夫, 水野 洋. 神戸港に於けるフォークリフト労働者の健康障害について. 産業医学 1970; 12: 298-299.
- 2) 水野 洋, 中務善夫. フォークリフト運転労働者の健康障害(その1). 産業医学 1971; 13: 309-310.
- 3) 水野 洋, 中務善夫. フォークリフト運転労働者の健康障害(その2). 産業医学 1971; 13: 310-311.
- 4) 渡部真也, 桜井逞二郎, 福地保馬, 若葉金三, 伊藤史子. 災害科学に関する委託研究の実績報告書. 東京: 労働省, 1971.
- 5) 週刊労災. 東京: 労災保険研究所, 1971(10月22日); 598: 1.
- 6) Brendstrup T, Biering-Sorensen F. Effect of forklift truck driving on low-back trouble. Scand J Work Environ Health 1987; 13: 445-452.
- 7) Boshuizen HC, Bongers PM, Hulshof CTJ. Self-reported back pain in fork-lift truck and freight-container tractor drivers exposed to whole-body vibration. Spine 1992; 17: 59-65.
- 8) Waters T, Genaidy A, Deddens J, Barriera-Viruet H. Low back disorders among forklift operators: an emerging occupational health problem? Am J Ind Med 2005; 47: 333-340.
- 9) Johanning E. Evaluation and management of occupational low back disorders. Am J Ind Med 2000; 37: 94-111.
- 10) Bovenzi M, Hulshof CTJ. An update review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. J Sound and Vibration 1998; 215: 595-611.
- 11) Lings S, Leboeuf-yde C. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. Int Arch Occup Environ Health 2000; 73: 290-297.
- 12) Wilder DG. The biomechanics of vibration and low back pain. Am J Ind Med 1993; 23: 577-588.
- 13) Pope MH, Wilder DG, Magnusson M. A review of studies on seated whole body vibration and low back pain. Proc Inst Mech Eng [H] 1999; 213: 435-446.
- 14) Nishiyama K, Tsujimura H, Taoda K, Kitahara T. Evaluation of whole-body vibration of forklift truck drivers during the daily operation. 11th Japan Group Meeting on Human Response to Vibration 2003; 46-51.
- 15) The European Parliament and the Council of the European Union. On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). Directive 2002/44/EC; Official Journal of the European Communities, 2002; L177: 13-19.
- 16) European Committee for Standardization. Safety of industrial trucks —Test methods for measuring vibration. European Standard EN 13059. 2002.
- 17) Donati P. A procedure for developing a vibration test method for specific categories of industrial trucks. J Sound and Vibration 1998; 215: 947-957.
- 18) European Committee for Standardization. Mechanical vibration —Testing of mobile machinery in order to determine the whole-body vibration emission value—General. European Standard EN 1032. 1996.
- 19) European Committee for Standardization. Mechanical vibration —Testing of mobile machinery in order to determine the whole-body vibration emission value—General. Amendment 1. European Standard EN 1032/A1. 1998.
- 20) European Committee for Standardization. Safety of industrial trucks —Test methods for measuring vibration. Draft European Standard prEN 13059. 1999.
- 21) 辻村裕次, 埜田和史, 西山勝夫. 全身振動曝露低減のための港湾フォークリフトの評価. 産衛誌 2005; 47: 55-66.
- 22) 西山勝夫, 埜田和史, 北原照代. 阪神地区港湾フォークリフト作業者の全身振動曝露と自覚症状. 第38回近畿産業衛生学会抄録集 1998; 30-31.
- 23) International Organization for Standardization. Mechanical vibration and shock —Evaluation of human exposure to whole-body vibration— Part 1: General requirements. ISO 2631-1. 1997.
- 24) European Committee for Standardization. Mechanical vibration —Testing of mobile machinery in order to determine the vibration emission value. European Standard EN 1032. 2003.
- 25) European Committee for Standardization. Mechanical vibration —Guideline for the assessment of exposure to whole-body vibration of ride on operated earth-moving machines. Using harmonised data measured by international institutes, organizations and manufacturers. Technical report on 1st committee draft Munich, March, 2005.
- 26) Chen JC, Chang WR, Shin TS, et al. Predictors of whole-body vibration levels among urban taxi drivers. Ergonomics 2003; 46: 1075-1090.
- 27) Donati P, Boulanger P. Fork-lift trucks: elaboration of a laboratory method for evaluating seat vibration isolating efficiency. Paper to Anglo-French Vibration Meeting and UK Informal Group Meeting on Human Response to Vibration, 1991.
- 28) Bovenzi M, Pinto I, Stacchini N. Low back pain in port machinery operators. J Sound and Vibration 2002; 253: 3-20.
- 29) Griffin MJ. Handbook of human vibration. London: Academic Press, 1990: 40-42.
- 30) Mansfield NJ, Griffin MJ. Effects of posture and vibration magnitude on apparent mass and pelvis rotation during exposure to whole-body vertical vibration. J Sound and Vibration 2002; 253: 90-107.

Exposure to Whole-Body Vibration of Forklift Truck Operators in Dockyards — Actual Exposure in Japan and Evaluation by EN 13059 —

Hiroji TSUJIMURA, Kazushi TAODA and Katsuo NISHIYAMA

Division of Preventive Medicine, Department of Social Medicine, Shiga University of Medical Science, Seta Tsukinowa-cho, Otsu, Shiga 520-2192, Japan

Abstract: Low-back disorders are well documented as occupational hazards among forklift truck operators. The potential risk factors that may lead to low-back pain include exposure to whole-body vibration (WBV). In Europe, test methods were developed to evaluate WBV in industrial trucks, and the European Standard which defines the methods has been published. We measured the vibrations of forklift trucks operated in the Hanshin harbour area adopting procedures based on the CEN test and report the evaluation results. If the WBV magnitudes of the ride on forklift trucks in the workplace were less than or comparable to those in the CEN test, the CEN test could be considered useful for the risk assessment of forklift truck operators exposed to WBV. In order to verify the applicability of the CEN test to the evaluation of WBV exposure in the field, we conducted measurements of the WBV of four forklift trucks for 19 d. The trucks had already been examined by the CEN test. The truck velocity, driver position (sitting or not), and gear lever position were also measured, and video footage was obtained for the study. The results indicate that the vertical WBV magnitudes of the four forklift trucks were below the CEN test values. No dominant WBV direction was observed on

any of the measurement days. The *Health* value (obtained by combining the values determined from the vibration in orthogonal coordinates) was comparable to that from the CEN test for one truck. The values for the other three trucks were lower. The data obtained for three forklift trucks were analyzed in each operating condition. The vertical WBV magnitudes and *Health* values for the three trucks were below the CEN test values when the trucks were travelling forwards with a load. The WBV in the anterior-posterior direction had the largest adverse effect on the human body of the three orthogonal directions when the trucks were used for loading and unloading. The results suggest the CEN test can be applied to the evaluation of exposure to WBV from forklift trucks operating in the vicinity of the Hanshin harbour. It was observed that the anterior-posterior WBV is considerable, mostly through exposure occurring in the lifting mode. However, the CEN test is based on the travelling mode, and further WBV measurements under real working conditions with exact descriptions of detailed work situations and operating conditions are required.

(*San Ei Shi* 2006; 48: 157-168)