

コンテナヤードの路面凹凸が荷役機械及び荷物に与える影響

中 藺 裕¹・三浦康夫²・阿部長門³・真鍋和則⁴

¹正会員 工修 日本貨物鉄道株式会社 ロジスティクス本部 保全工部部 GL (〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-13-1)
E-mail : hiro_n@jrfreight.co.jp

²正会員 博(工) 日本貨物鉄道株式会社 事業開発本部 用地部 部長 (〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-13-1)

³正会員 博(工) 東亜道路工業株式会社 技術部 技術課長 (〒106-0032 東京都港区六本木 7-3-7)

⁴正会員 工修 東亜道路工業株式会社 技術研究所 第4研究室 主任研究員 (〒300-2622 茨城県つくば市要 315-126)

貨物施設設備で使われている舗装ではコンテナ荷役時の輪荷重 101kN の 12ft フォークリフトが標準で使われていたが、荷物の大型化や海上コンテナを取扱うことによりフォークリフトの大型化が進行している。このため、路面の凹凸が設計時の想定より早期に増加し、荷役機械の上下動などによってコンテナ内部の荷物に破損が生じる場合がある。

そこで、舗装路面の凹凸によるフォークリフトの車両運動特性を把握する目的で、フォークリフト前軸上およびコンテナ内部の荷物に三軸加速度計を設置し走行試験及び減衰試験を行い、舗装路面の凹凸が荷役機械及び荷物に与える影響を把握し、フォークリフトの荷役作業に対する路面管理指標としてFRIを提案した。

Key Word : pavement surface, profile, forklift, cargo, IRI, acceleration, container yard

1. はじめに

従来、路面の凹凸に関する評価には3mプロフィールメータ(σ_{3m})を用いて評価していたが、これによる補修基準は各機関で個別に様々な評価基準が策定されている。特に、日本貨物鉄道株式会社では独自の評価指標として鉄道貨物舗装供用性指数 (Kamotu Maintenance Index: 以降KMIと略す) を考案し、コンテナヤード舗装の補修基準¹⁾としている。また、路面の凹凸の周波数と車両走行時の間の作業時間に関する加速度(RMS)の関連が図-1 のように各国で検討され、路面のプロファイル管理の重要性が指摘されている²⁾。現在、このような路面の凹凸から乗り心地を評価する方法として、世界銀行で策定された国際ラフネス指数(International Roughness Index: 以降IRIと略す)が舗装の路面と車両振動との関連性が高いと言われ、世界各国で使われ始めている。

そこで、日本貨物鉄道株式会社が運用するコンテナヤード舗装で荷役車両であるフォークリフトが作業時に受ける加速度をフォークリフトの前軸上とコンテナ内部の荷物上で測定し、コンテナヤード舗装の路面評価値との比較や荷役作業の管理指標の新たな検討を実施した。

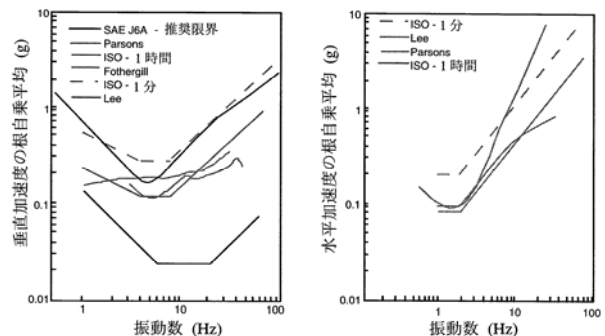


図-1 路面の周波数と車上の加速度に基づく各機関の提唱する作業限界曲線

2. 試験箇所と試験条件

本検討では、東北支社管内の宮城野駅構内で路面のプロファイルおよびフォークリフト走行試験などを実施した(図-2 参照)。

コンテナホームの全体の凹凸形状を把握するために、路面性状測定車を用いて図-3 の様な測定方法で

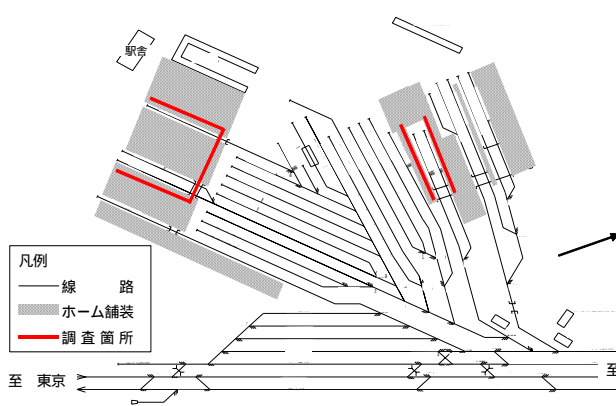


図-2 宮城野駅構内の調査箇所

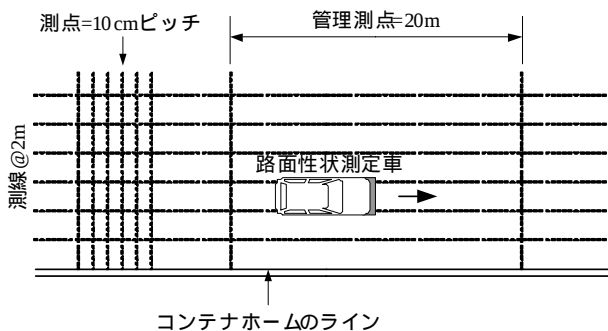


図-3 路面プロファイルの測定方法

横断方向に 7 本の測線を調査した。また、フォークリフトによる走行試験は、図-4 に示すように車軸上とコンテナ内部とマストに加速度計を設置して試験を行なった。計測に用いたフォークリフトの諸元を表-1 に示し、使用した測定機器を表-2 に示す。

この試験では、図-2 中の縦断凹凸量が小さい（下 7 番コンテナホーム）と縦断凹凸量の大きい（コンテナ 3 番線）のデータを用いて、検討を行なった。

3. 路面のプロファイルと車両の動揺

(1) 解析モデル

フォークリフト走行の車両モデルは、クォーターカーモデル（以降 1/4 モデルと略す）を用いた。一般に，“低周波数領域では車体は路面の凹凸に合わせて上下動する。サスペンション上の車体はおよそ 1Hz で共振し，道路からの振動数 1.5～3.0Hz で増幅する。”とされている²⁾。本試験では，一般的なフォークリフトの貨物駅構内走行速度 15km/h を基準とし加速度測定を実施したため，低速状態のシミュレーションが重要となる。

そこで，車軸上の加速度から得られた値を 2 重積分し変位量に換算し，路面のプロファイルに対して 1/4 モデルでシミュレートした変位量との比較を行なった。この解析に用いた内容を以下に示す。

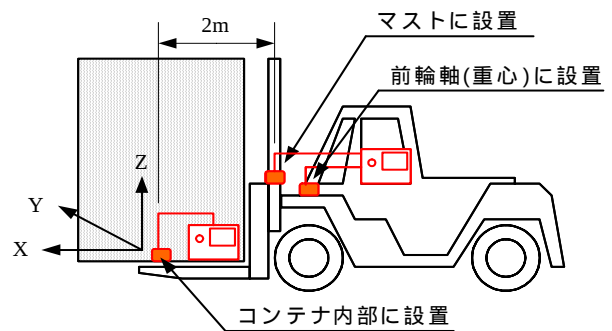


図-4 コンテナに設置した加速度計の位置

表-1 使用したフォークリフトの諸元

機械名	積載重量 (kN)	軸種	輪荷重(kN)		接地圧(kPa)	
			空車	積載	空車	積載
12ftコンテナ フォークリフト	68.7	前軸	41.2	100.6	647	795
		後軸	36.8	11.8	726	540

軸間距離は 1830mm，タイヤは幅 255mm，10.00-24 20PR を使用した。

表-2 加速度測定に用いた計測装置

加速度計			
ARF-500A	500(m/s ²)	Z方向	㈱東京測器研究所
ARF-200A	200(m/s ²)	X, Y方向	㈱東京測器研究所
データレコーダ			
HR-908A	ヒストグラムレコーダ		㈱東京測器研究所
HR-975A	メモリユニット		㈱東京測器研究所

IRI 値の算定においては，乗用車の走行速度 80km/h(49.7 mi/h)をシミュレートして得られたものをゴールデンカーモデルと呼んでいる。しかし，調査箇所の運用形態やその目的によっては走行速度や運動力学的な質量やバネ係数，粘性係数などの係数を可変させてシミュレートしなければならない。

(2) IRI の算出

1/4 モデルで検討を行う場合に，図-5 中の凡例に基づき，車両にかかる力と変位量の関係は以下の式で表される。

$$M \ddot{Z}_s = -C_s \left(\dot{Z}_s - \dot{Z}_t \right) - K_s (Z_s - Z_t) \quad (1)$$

$$m \ddot{Z}_t + M \ddot{Z}_s = -K_t (Z_s - X)$$

$$m \ddot{Z}_s + C_s \left(\dot{Z}_t - \dot{Z}_s \right) + K_s (Z_t - Z_s) = K_t (Z_t - X) \quad (2)$$

ここに，

M=サスペンションにかかるバネ上質量(N/mm/s²)

Z_s=M の変位量(mm)

K_s=サスペンションのばね定数(N/mm)

C_s=ダンパーの減衰係数(N/mm/s)

m =サスペンション下のバネ下質量(車輪，ブレーキ，車軸の合計質量 N/mm/s²)

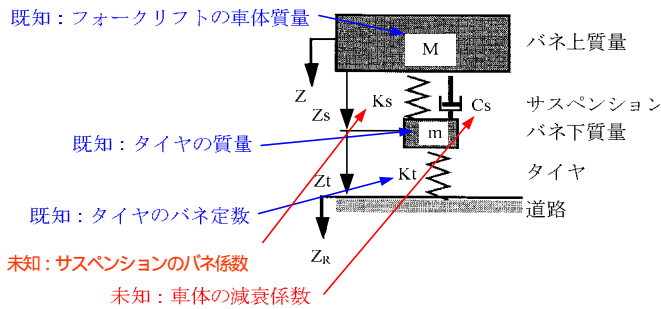


図-5 フォークリフトのクウォーターカーモデルの概念

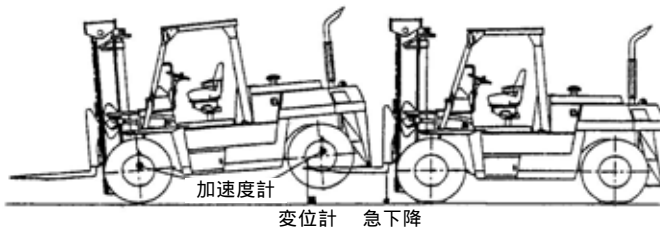


図-6 フォークリフトによる減衰試験の方法

$Z_t = m$ の変位量(mm)

K_t = タイヤをばねと見なした場合のばね定数 (N/mm)

X = 路面の凹凸量の変化(mm)

$\dot{Z}_t = m$ の変位速度(mm/s)

$\ddot{Z}_t = m$ の変位加速度(mm/s²)

ここでは、荷役車両に類似した大型トラックの解析パラメータである $K_s/M = 63.3$, $K_t/M = 653$, $C_s/M = 6$, $m/M = 0.15$ で走行速度を変えて検討した³⁾。

しかし、この 1/4 モデルをコンテナホームの荷役用フォークリフトに適用するには、図-5 に示すようなパラメータの設定が従来の設定値と異なってくる。

フォークリフトの前軸構造は、リジットタイプであるため、 K_s および C_s の設定が困難である。また、車体振動の減衰は、主にタイヤの減衰係数 C_t と後輪部に設置されたダンパーを含む車体の減衰係数 C_s を考慮しなければならない。そこで、フォークリフトはヤジロベイ形式の構造でマストや荷物の振動に影響を与えるのは C_s である。そこでタイヤの振幅 ± 5 mm とし、フォークリフトの後輪荷重が 25kN、50kN、75kN となるように、図-6 の後輪急速落下試験によってフォークリフトの車体の減衰試験を実施した。

大型車両で使用しているタイヤのバネ係数を表す荷重変位曲線を図-7 に示し、図-6 の落下試験によって得られた周波数に対する車体の減衰係数を図-8 に示す。

この結果、タイヤのバネ係数はタイヤの種類(幅や直径)の影響により変化し、車体の減衰は低周波数ほど減衰係数が大きく、タイヤの内圧(空気圧)に依存し

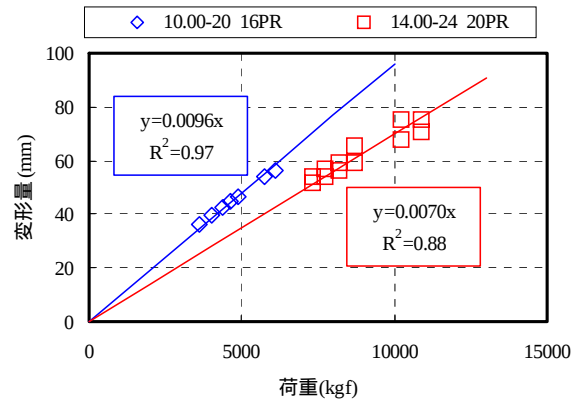


図-7 大型車用タイヤの荷重変位曲線

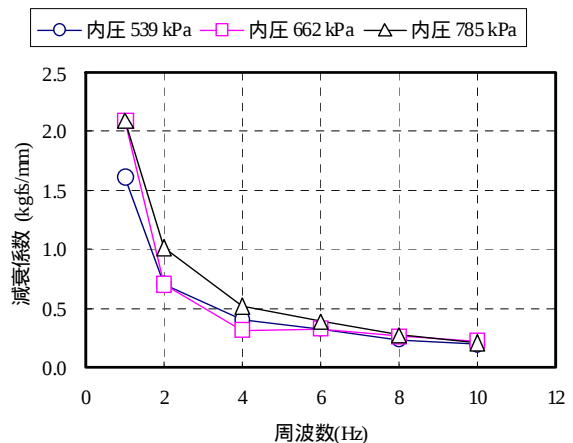


図-8 周波数に対する車体の減衰係数

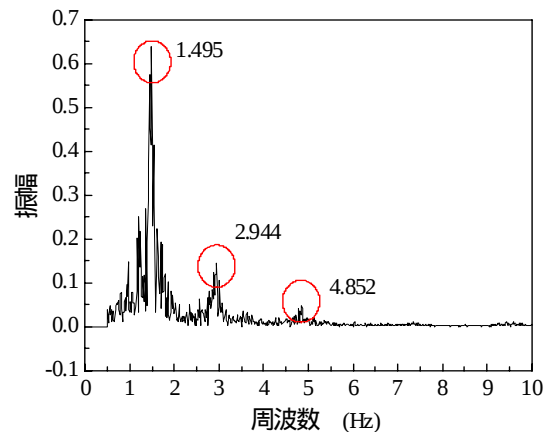


図-9 路面の上下方向の加速度の固有振動数

ている。また、減衰係数はタイヤの内圧によって周波数特性が変化しているが、8Hz 以上ではこの影響は少ない結果となった。コンテナホームの走行による路面の上下方向の固有振動数を図-9 に示す。この結果、路面走行による加速度の固有振動数は 1.5Hz であるため、以降の解析では、内圧 662kPa で固有振動数 1.5Hz の時の減衰係数 C_s を 1.92kgs/mm とした。フォークリフトはリジットタイプであるためサス

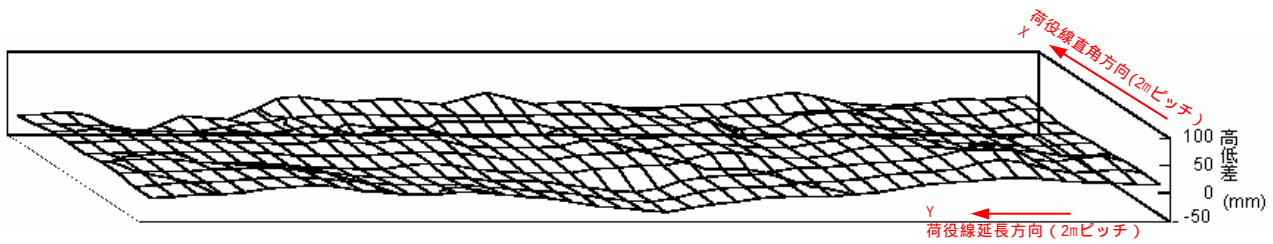


図-10 宮城野駅構内の下7番線コンテナホームの路面プロファイルの3次元表示

ペンションシステムがなく、タイヤがサスペンションの機能を果たしている。よって K_t を剛体と仮定した。このモデルを FRI(Freight Roughness Index)とする。また、IRI は 1/4 モデルのばね上質量とばね下質量間のシミュレーション運動の累積変位量であり、これをプロファイル測定長で割って基準化した量である。すなわち以下の式(3)で表現される。

$$IRI = \left\{ \int_0^{L/V} \left| \dot{Z}_s - \dot{Z}_t \right| dt \right\} / L \quad (3)$$

ここに L = プロファイル長 (m)
 V = 走行速度 (m/s)
 Z_s = ばね上質量の高さ (m)
 Z_t = ばね下質量の高さ (m)

対象箇所を宮城野駅 下7番線コンテナホームおよびコンテナ3番線ホームとし、速度条件 10km/h(2.78m/s), 15km/h(4.17m/s) の 12ft コンテナ (68.7kN) を積載したフォークリフトの動揺と FRI と大型トラックの諸元を用いて同等の速度でシミュレートした IRI_{1m} で比較を行なった。

(3) 路面のプロファイルと IRI

下7番線コンテナホームで得られたプロファイルの 3D 結果を図-10 に示す。また、コンテナホームにおけるフォークリフトの荷役作業の軌跡図を図-11 に示す。これらの図からわかるように、コンテナホームの荷役作業では、線路延長方向に対し直角方向の作業が伴うため、軌道と延長方向に一定の凹凸でなく、うねりが発生しやすい。このため、補修工法を含めた評価を行うには、ホーム長手方向に対する評価よりも、補修工法を含めた評価を行なうには短距離の評価基準が重要となる。ここでは、舗装の損傷形態と荷役作業時の揺れが大きい箇所を推測する目的のために、IRI と荷役時の前軸上の加速度から 2 重積分で求めた変位量の評価は 1m 単位の累積値を以下の式(4)により求めた。

$$Disp1m = \sum \left| (Disp_n - Disp_{n-1}) \right| \quad (4)$$

以降では、1m 単位の解析値で検討を行なった。

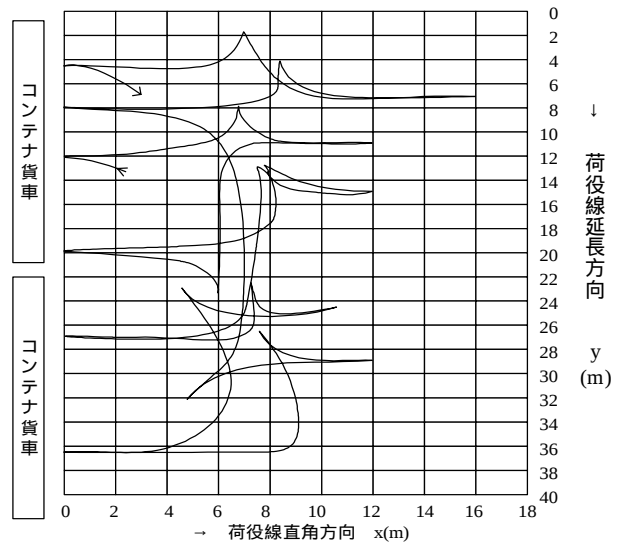


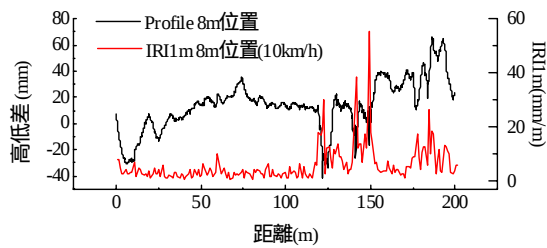
図-11 コンテナホームにおけるフォークリフトの軌跡

下7番線コンテナホームにおける、路面のプロファイルと加速度測定結果より得られた車軸上下の加速度から求めた変位量の絶対値を、1m単位で累積した IRI_{1m} を図-12 に示す。ここでは、図-11 において最もフォークリフトの交通量が大いであると判断できるコンテナホーム端から 8m の位置の縦断プロファイルを用いて、速度条件 10km/h, 15km/h, ゴールデンカーモデルの 80km/h の 1m 単位で累積した IRI_{1m} の結果を示しているが、走行速度が遅くなると IRI_{1m} の累積値が大きくなる傾向にある。また、走行速度が遅い場合は路面の段差の影響を受け、早い場合には路面のうねりに影響を受けるため、走行速度の違いにより路面のプロファイルの凹凸形状に対して IRI_{1m} の最大値の位置が縦断方向にずれる場合がある。これは、フォークリフトのバネや粘性の影響によるもので、このことは路面評価区間の車両の走行速度を走行条件に合わせてプロファイル解析や検討をする必要を示唆している。

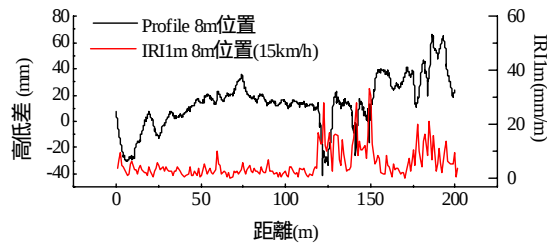
(4) 路面のプロファイルと車両の動揺

a) 加速度と変位量

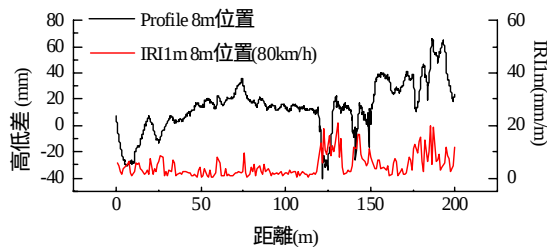
図-12 に示した結果の内、プロファイルの変化が激しい 100m-200m の位置の結果を図-13 に示す。うねりの影響を除去するためにローパスフィルターを、



(a)速度条件 10km/h の場合



(b)速度条件 15km/h の場合



(c)速度条件 80km/h の場合

図-12 車軸上の加速度と変位置と変位置の累積値

ノイズ除去のためハイパスフィルターを適用した。

この結果に基づき、加速度計のデータを2回積分して求めた車軸上の変位置とコンテナ内部の荷物の変位置との関係を図-14に示す。両者の関係には高い線形関係が得られることから、車軸上の挙動を把握することにより、コンテナ内部の荷物が受ける挙動をある程度予測できる。また、コンテナ3番ホームは下7番線コンテナホームと比較して路面状態が劣悪なコンテナホームであるが、下7番線コンテナホームと同様に高い相関を示しており、路面の良否に関係なく、両者の相関が得られることがわかる。ただし、舗装表面の路面性状の違いにより、車軸上の変位置と荷物の変位置の関係の傾きが多少異なる。

b) 変位置と IRI_{1m} の関係

解析速度 15km/hの IRI_{1m} と走行試験から求めた荷物の鉛直方向および車軸上の鉛直方向の変位置(1m累積値)を比較した結果を図-15に示す。

いずれのコンテナホームにおいても、走行試験による荷物の鉛直方向の変位置の1m累積値は、フォークリフトのピッチング特性により IRI_{1m} よりも2倍以上大きくなっている。しかし、車軸上の鉛直方向の変位置においては、 IRI_{1m} の累積値と走行試験から求めた変位置の1m累積値はほぼ同程度となってい

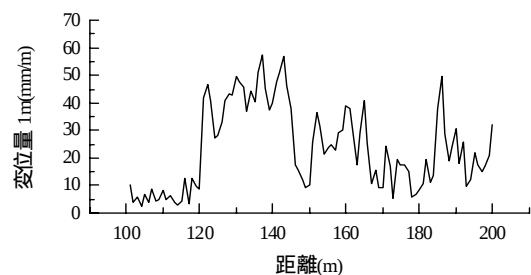
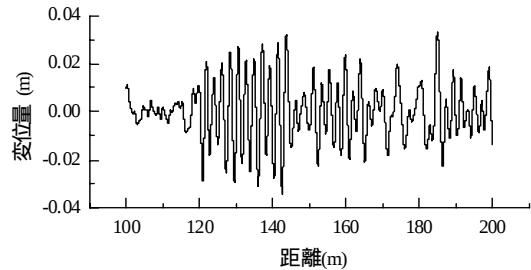
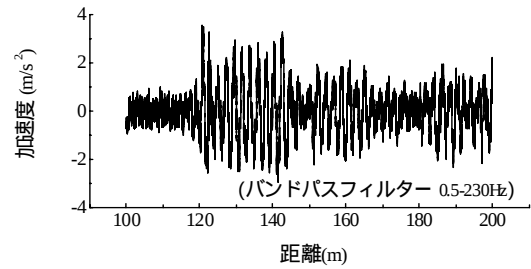


図-13 荷物の加速度と変位置と変位置の累積値

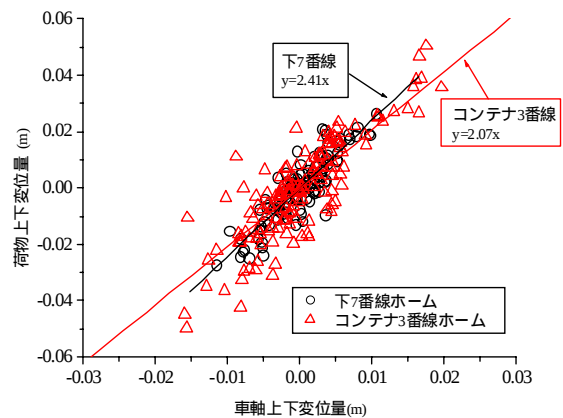


図-14 車軸上とコンテナ内部の荷物の変位置の関係

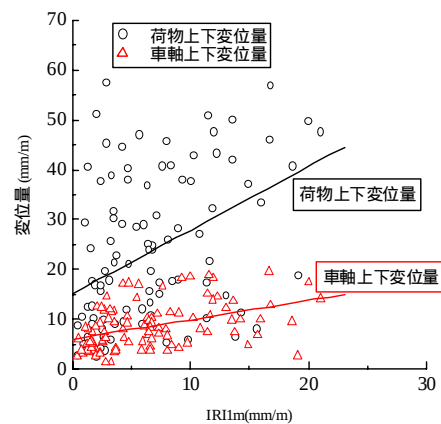


図-15 路面の IRI_{1m} と車軸上と荷物の変位置の関係

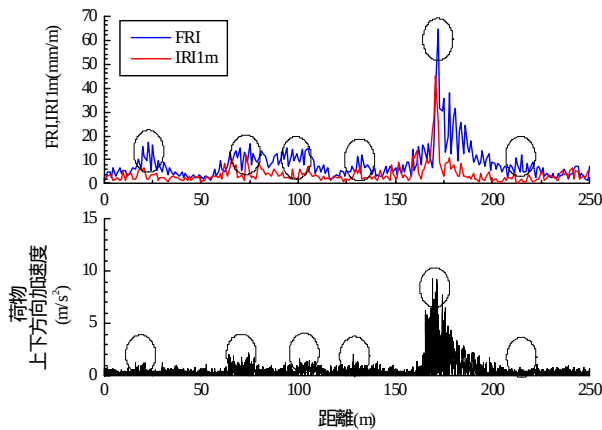


図-16 荷物上下加速度とIRI_{1m}およびFRIの比較

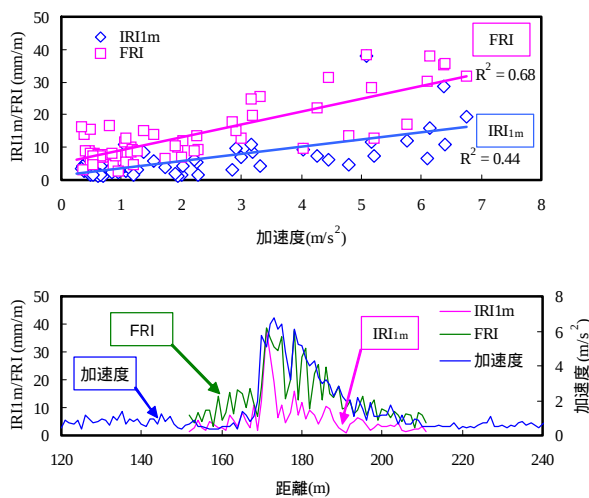


図-17 荷物上下加速度とIRI_{1m}およびFRIの関係

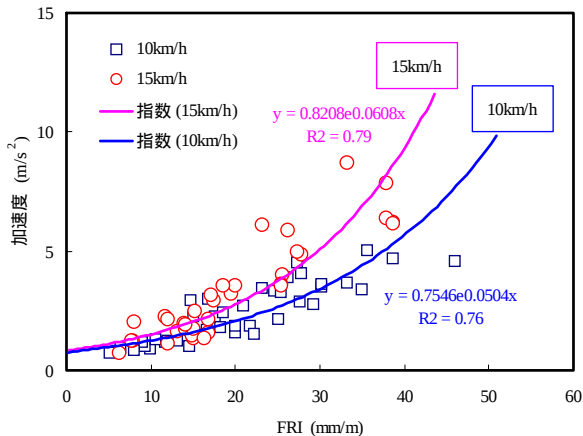


図-18 荷物上下加速度とFRIの関係の速度依存性

る．これより，荷物の載荷位置はヤジロベイ構造の支点から2m手前に作用点があり，腕(フォーク)の影響により変位量が大きくなっていると想定される．また，IRI_{1m}は概ね車軸の挙動を示すことが明かとなった．また，フォークリフトは一度振動を始めると

共振する為，IRI_{1m}が小さい値であっても変位量とIRI_{1m}のピークがずれることがある．しかし変位を開始する位置やデータ形状も類似しており，走行速度15km/hのIRI_{1m}においても荷役機械の動揺を表すと考えられる．IRIのモデル解析において，フォークリフトに見合った減衰係数Csとバネ係数Ksに対する検討を行ったが，以降ではこのIRIモデルの改良型であるFRIと振動加速度から求めた変位量やIRI_{1m}との関係についてさらに検証を行う．

4．FRI の適用性

(1) 荷物上下加速度とFRI の関係

フォークリフト前軸上の加速度と荷物が受ける加速度及び変位量は，路面の凹凸量に依存していることが明らかとなった．

そこで，これまでの結果に一般性を持たせ，併せて路面の評価及び荷物が受けるダメージをFRIで表現可能かどうかを検討するため，他駅でも検討することとし，埼玉県にある熊谷貨物ターミナル駅構内の仕分 19 番ホームにおける発生加速度とIRI_{1m}およびFRIの比較を行った結果を図-16に示す．この図-16よりIRI_{1m}およびFRIは，共に特徴的な路面の損傷箇所を表現しているが，IRI_{1m}の場合，ピーク発生後すぐに収束していることがわかる．それに対してFRIは加速度波形と同様にその特性値を表す傾向にある．このことから，IRI_{1m}に比べFRIの方が荷物の発生する加速度を表現できていることがわかる．

コンテナ内部の荷物の上下加速度とIRI_{1m}およびFRIとの相関図を図-17に示す．この結果，加速度に対して各路面評価指標の距離が必ずしも一致しているわけではないため相関係数は低いが，IRI_{1m}の相関係数が0.44に対しFRIの相関係数は0.68と高くなっている．従って，FRIの適用性は高く，FRIを用いて宮城野駅，土浦駅，熊谷貨物ターミナル駅の12箇所のコンテナホームのデータで，発生加速度とFRIの位置の関係が一致する箇所（図-16中の○で囲んだ番号）のデータを用いて検討し，相関および発生加速度を予測する回帰式を定めた．これより得られた荷物上下加速度とFRIとの相関及び速度依存性を図-18に示した．

荷物の上下加速度とFRIの関係は，図-18に示すようにFRIが大きくなるにつれ（路面状態が悪くなる），コンテナ内部の荷物に発生する加速度は指数関数的に増加する傾向になる．すなわち，舗装の損傷が進むと荷物が受ける振動は指数関数的に増加し，路面の凹凸の変化率以上にコンテナ内部の荷物がより大きな振動の影響を受けることになる．

また，コンテナ内部の荷物に発生する加速度は，フォークリフトの走行速度にも依存しており，走行速度が速くなるにつれ発生加速度の増加する割合は

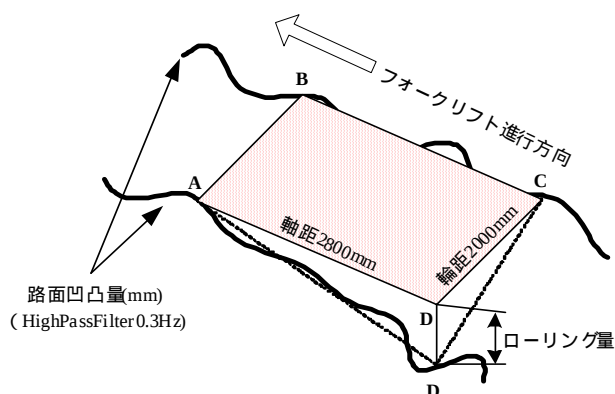


図-19 ローリング量の定義

大きくなる。

この結果より、路面が傷んでいたとしてもフォークリフトの走行速度を抑えることにより荷物に与える加速度（衝撃）は軽減されることが分かる。逆に速度を上げて走行すると、路面の状態が良くても荷物に与える影響は大きくなり「荷崩れ」「損傷」などの発生要因となる可能性が高い。

(2) 荷物左右加速度とローリング量の関係

コンテナホームの調査結果を用いてコンテナ内部の荷物に発生する水平方向（左右）の加速度と、路面性状より得られたローリング量との比較を行った結果をまとめた。ここで検討したローリング量とは、確立された評価基準において定義された値ではなく、図-19 のように路面上の A, B, C 点で構成される平面（基準面）に対し、D 点の路面が凹状態を表している。この値をローリング量と定義しており、D' 点が基準面より高いとき、つまり路面が盛り上がっていれば+、逆に低いときは-とした。

熊谷貨物ターミナル駅の仕分 19 番線ホームの調査結果を用いて荷物に発生する左右方向の加速度とローリング量の関係を図-20 に示す。また、両者の相関関係を図-21 に示す。

ここで定義したローリング量と左右方向の加速度データと比較した結果、図-21 のようにデータ数が少ないものの両者の関係は多項式による相関関係が窺われる。この多項式は指数関数と類似した関係にあり、ローリング量が増加すると荷物の左右方向の加速度は指数的に増加している。すなわち、ある程度のローリング量の範囲では、荷物に与える影響はそれほど大きくはないが、ローリング量が 10mm をこえると左右方向の加速度が急増する。また、コンテナ内部の荷物に発生する左右方向の加速度は、フォークリフトの走行速度にも依存性が有り、走行速度が速くなるにつれ左右方向の発生加速度の増加割合は大きくなる。この結果より、上下方向の加速度と FRI の関係と同様に、路面の損傷に応じてフォー

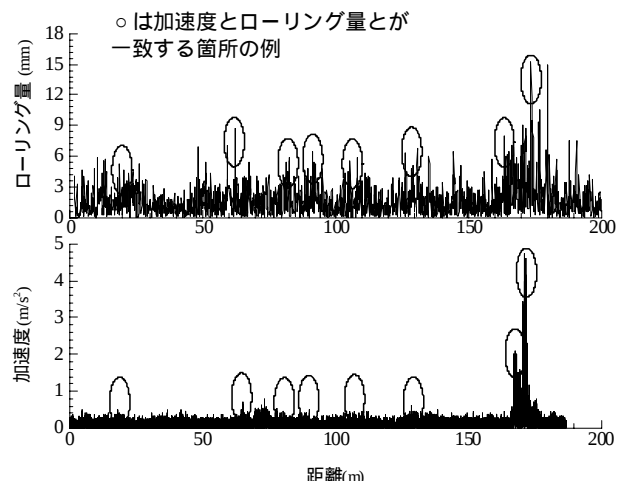


図-20 左右方向の加速度とローリング量の関係
(仕分 19 番線ホーム / 走行速度 10km/h)

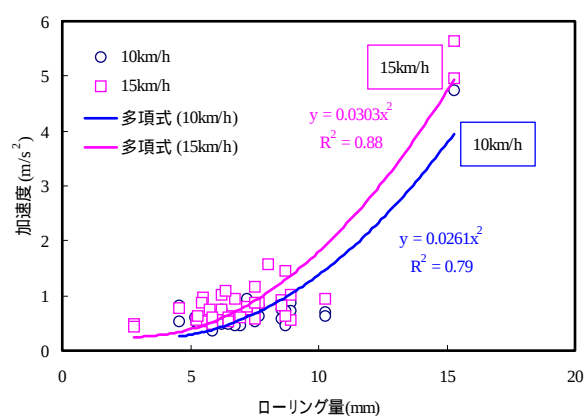


図-21 左右方向の加速度とローリング量の関係

クリフトの走行速度を抑えることにより荷物に与える加速度（衝撃）は軽減されることが分かる。逆に速度を上げて走行すると、路面の状態が良くても荷物に与える影響は大きくなり「荷崩れ」や「ずれ」などの発生要因となる可能性が高い。

(3) 加速度による評価基準

現在、問題となっている輸送過程で発生する「荷崩れ」に対する評価方法は確立されておらず、発生箇所や原因などは明らかでない。そのため「荷崩れ」に対する防止対策を実施していく上で、これらを明確にする試験や調査検討が必要となってくる。

本検討では、各行程を含む輸送過程の中の 1 過程である貨物ターミナル駅における「荷役作業」に着目し、荷役作業と荷物に発生する加速度（衝撃）との関係を求めている。しかしながら、荷役作業における「加速度（衝撃）の度合い」を表した加速度に対する規定の評価基準は無く、評価値として表現することは困難である。そのため唯一加速度に対し評価を行っている国際標準化機構における全身振動評

表-3 三軸方向における加速度基準と評価の一覧

軸方向	ISO2631に定義される 連続作業可能な時間	基準加速度 (m/s ²)	定義する 評価ランク	基準加速度と 回帰式より算出した各値
上下加速度	1時間以上	2.0以下	A	14.6未満
	1時間未満～25分以上	2.0～2.83	B	14.6以上～20.4未満
	25分以下	2.83以上	C	20.4以上
前後加速度	1時間以上	1.73以下	A	4.3未満
	1時間未満～25分以上	1.73～2.5	B	4.3以上～5.5未満
	25分以下	2.5以上	C	5.5以上
左右加速度	1時間以上	0.86以下	A	7.3未満
	1時間未満～25分以上	0.86～1.25	B	7.3以上～8.6未満
	25分以下	1.25以上	C	8.6以上

* FRIの算出は、走行速度15km/hにおける回帰式を適用

* 上下加速は振動周波数1.6Hzの場合の適用値

* 前後加速は振動周波数4.0Hzの場合の適用値

* 左右加速は振動周波数1.0Hzの場合の適用値

表-4 熊谷貨物ターミナル駅の従来方法の路面評価と
提案した振動特性から提案した評価の一覧

From (m)	To (m)	従来法による評価結果				全身振動評価法を適用した評価結果			
		平坦性 (mm)	ひびわれ 率(%)	KMI	KMI 評価	FRI (mm/m)	HighPass Filter 0.3Hz Profile (mm)	Rolling (mm)	総合 評価
0	20	2.33	0.0	2.77		B	A	A	BAA
20	40	1.75	0.0	2.81		B	A	A	BAA
40	60	2.54	0.0	2.76		A	A	A	AAA
60	80	7.31	0.0	2.42		A	A	A	AAA
80	100	5.80	2.5	2.40		B	A	A	BAA
100	120	2.38	4.4	2.55		B	A	A	BAA
120	140	2.90	7.4	2.36		A	A	A	AAA
140	160	3.03	0.9	2.68		A	A	A	AAA
160	180	3.77	5.2	2.41		C	C	B	CCB
180	200	3.83	0.1	2.66		C	A	A	CAA
200	220	1.86	0.0	2.81		A	A	A	AAA
220	240	3.50	1.3	2.62		A	A	A	AAA
平均値		3.42	1.8	2.60		15.86	2.71	3.7	BAA
最大値		7.31	7.4	2.81		47.31	9.96	7.8	
最小値		1.75	0.0	2.36		6.24	1.51	2.36	

価法(ISO 2631)を適用し検討を行なった。全身振動評価法は、国際標準化機構(ISO)が乗り物や作業の心地よさ、作業能率、健康や安全を保持するための、振動に対し汎用しうる評価法として統一した基準である(図-1 参照)。この基準は横軸に振動数、縦軸に加速度を対数で取り、その上で評価基準線を引いた基準である。

測定した加速度の固有振動数は、上下方向で 1.4～1.8 Hz、前後方向では 3.8～4.5Hz、左右方向では 0.8～1.4 Hz であった。よって、このとき適用する振動周波数は上下方向で 1.6 Hz、前後方向で 4.0 Hz、左右方向で 1.0 Hz を使用した。この結果を全身振動評価法に適用すると基準加速度が決定され、表-3 に示すような評価表が決定される。また今回の測定では、走行速度 10km/h、15km/h の 2 条件で測定を行い、それぞれの振動方向の相関関係を導いている。しかし、実際の荷役作業時には制限速度が 15km/h となっているため、評価対象に 15km/h を使用した。熊谷貨物ターミナル駅の結果に従来法および全身振動評価法を用いた評価結果を表-4 に示す。

従来法と全身振動評価法を適用した表-4 の比較より、両者の評価結果が大きく異なることがある。これは全身振動評価法を適用した場合は、路面凹凸より発生する加速度(衝撃)で評価しているが、従来法においては路面の凹凸の他に舗装構造に影響されるひび割れ率も考慮されているためである。実際に従来法によれば、平坦性が 5mm を超えていても、ひび割れ率が極端に小さい場合には KMI の評価ランクとなる結果がある。そのため舗装構造を評価する

場合は従来法が適しており、「荷崩れ」や荷役作業における労働負荷を評価する場合は全身振動評価法を適用した評価方法が適していると考えられる。

5. まとめ

本検討の結果を以下にまとめた。

- 1) フォークリフト走行時の車体の挙動は、前軸を中心に上下運動をしており、荷物の振動変位は支点となる車軸上の 2 倍以上となっている。
- 2) 従来のパラメータで求めた IRI_{1m}においても加速度と高い相関が得られるが、減衰試験で得られた結果に基づくフォークリフトを対象とした解析パラメータとして設定した FRI を提案した。
- 3) 荷物上下方向に発生する加速度と FRI の間には、指数関数の関係が得られた。路面の劣化によって、コンテナ内部の上下方向の加速度は指数関数的に増加し、路面状態から予想される上下方向の加速度以上に荷物は路面振動の影響を受けている。この衝撃は、フォークリフトの走行速度に依存しており、速度が速くなると衝撃の増加割合は大きくなる。
- 4) 荷物の左右方向に発生する加速度とローリング量の間には指数関数と類似した関係があり、ローリング量の増加に伴い左右方向の加速度は、指数的に増加する。また上下方向と同様に、フォークリフトの走行速度に依存している。
- 5) FRI モデルは、フォークリフト荷役中の荷物上で測定した加速度との相関が高く、このモデルの有用性が検証できた。
- 6) ISO の全身振動評価法(ISO 2631)を適用し、FRI などの基準を定め検証したが、明確な根拠づけを行なうためには「荷崩れ」と荷物に発生する加速度の関係を導き出し、対象物を適切にした上で再度検討する必要がある。
- 7) フォークリフトや荷物の共振を小さくするには、走行速度を抑えることが効果的であることが判った。なお、今後の課題としてはタイヤを含む車輪や車体の剛性を変えることや、これらの原因となる路面のうねりを少なくする舗装の種類や補修工法の検討が考えられる。

【参考文献】

- 1) 日本貨物鉄道株式会社：貨物設備アスファルト舗装設計補修の手引き、2000.3.
- 2) Sayers, M. W. and Karamihas, S. M. : The Little Book of Profiling, October 1998.
- 3) 中園裕、三枝長生、三浦康夫、阿部長門、岩城洋武：各荷役機械の走行時の振動特性と荷物の振動、第 56 回土木学会年次学術講演会、-37, pp.74-75, 2001.

THE INFLUENCE WHICH THE PAVEMENT UNEVENNESS OF THE CONTAINER YARD GIVES THE CARGO AND HANDLING MACHINE

Hiroshi NAKAZONO, Yasuo MIURA, Nagato ABE and Kazunori MANABE

In the pavement which is used at the freight facilities, the 12ft forklift of 101kN wheel loads at the time of the container handling was used, being average but the large-scale of a forklift is progressing by the enlarge of cargo and the handling of the ISO 20ft and 40ft container.

Therefore, we did a moving test and an attenuation test to grasp the vehicle kinetic feature of the forklift which accompanies the unevenness of the pavement surface. We grasped the influence which the unevenness of the pavement surface gives the driver of forklift. We examined the moving-time acceleration of the freight on the front-axis of the forklift and inside the container, and we proposed FRI as the pavement management index which accompanies the cargo handling of the forklift.