

# 荷傷みを考慮した農道舗装の 路面性状評価手法に関する研究

細見康文\*・竹内 康\*\*・江向俊文\*\*\*・牧 恒雄\*\*

(平成 18 年 8 月 4 日受付/平成 18 年 12 月 14 日受理)

要約：農道舗装の整備の目的の一つとして、農産物の品質を下げず、安全に輸送することがあげられる。しかし、農道整備における舗装の平たん性の低下は、車両の荷台に振動を発生させ、これによる農産物の荷傷み被害が報告されている。京都府をはじめとする高級野菜の産地などでは、荷傷みによる損失の試算が行われていることから、農産物の荷傷みに考慮した農道舗装の平たん性評価指標を検討する必要がある。そこで本研究では、福島県下における広域農道において実車両による荷台の振動測定と 3m プロフィロメータによる平たん性測定を実施した。車両の振動測定からは荷傷み解析を行い、平たん性測定からは  $\sigma$  と IRI に着目し、荷傷み解析との関係性を検証した。その結果、IRI は  $\sigma$  と比べて、荷傷みを適切に評価できる可能性があるということが示された。

キーワード：農道、路面プロファイル、振動、疲労解析、荷傷み

## 1. はじめに

農道舗装は、農業生産活動や農産物流通等を円滑に行うことを主たる目的として整備されるため、農産物の荷傷み等が生じないように、路面は平たんであることが望ましい。しかし実際には、路面凹凸に起因するものと思われる運搬車両の振動によって荷傷み被害が生じている。日野<sup>1)</sup>の調査結果によると、京都府の山城、丹後地区等の京野菜生産地区における約 50 km の農道整備の効果を荷傷み損料で計上した場合、3 億 3 千万円/年の増収になるとしていることから農道の平たん性管理は農道利用者にとって重要である。現在、道路舗装の平たん性管理には図 1 に示す 3m プロフィロメータが用いられることが多く、記録計によって計測される測定車輪の上下方向変位のアナログデータを 1.5 m 間隔で読み取ることになっている。舗装の維持修繕の要否の判定に関しては測定された路面凹凸の標準偏差  $\sigma$  が用いられ、一般国道などでは道路利用者の乗り心地や安全性を考慮し、 $\sigma=3.5$  mm が維持修繕の目安となっている<sup>2)</sup>。これに対し、農道舗装では平たん性の管理目標が明示されておらず、路面の平たん性と荷傷みの関係性も明らかでない。

そこで、本研究では、農産物流通の視点から、荷傷みに考慮した農道舗装の平たん性評価手法について検討することを目的とした。今回は、基礎的な検討として、予めからひび割れ調査等<sup>3)</sup>を実施している福島県内の広域農道において実車両による荷台の振動測定と 3m プロフィロメータによる平たん性測定を実施した。振動測定の結果より荷

傷み解析を行うことで、現状の路面凹凸と農産物の荷傷みとの関係性を解明した。また、3m プロフィロメータを用いた平たん性測定においては、現在、舗装の平たん性評価指標として一般的に用いられている  $\sigma$  の他、近年日本においても旧日本道路公団（以下、旧 JH）など<sup>4)</sup>が積極的に路面管理基準に関する検討を行っている国際ラフネス指数（International Roughness Index, 以下「IRI」）を用いて荷傷みとの関係性を検討した。その結果、農産物の荷傷みと路面の平たん性評価指標との関連性について幾らかの知見が得られたので報告するものである。

## 2. 調査内容および結果

### (1) 調査地概要

調査地は、図 2 に示すように福島市西部広域農道約 500 m と積雪寒冷地域である会津若松市広域農道約 1,300 m を調査対象地域とした。福島県は縦断する奥羽山脈と阿武隈高地によって会津、中通り、浜通りの 3 つの地方に分かれており、これらの地域における気候条件はそれぞれ異なる。特に会津地方の気象環境は日本海側の気候とほぼ同じであるとされ、冬季では県内での凍結深が最も高い値を示す<sup>5)</sup>。一方、中通りに位置する福島市では浜通りの気候や会津地方の気候と比べて比較的温暖であることから、会津若松市の広域農道と福島市の広域農道を調査対象地域とした。今後は太平洋に面する浜通りでの調査も同様に行っていくことで、気象環境による影響と路面性状の供用性についての検証を行う予定である。また、調査対象地の舗装構成は表 1 に示すとおりであり、いずれの舗装も供用開始が

\* 東京農業大学大学院農学研究科農業工学専攻

\*\* 東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科

\*\*\* 前田道路株式会社 技術研究所

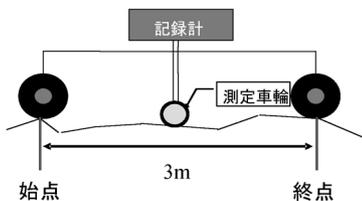


図 1 3m プロフィロメータ概要図

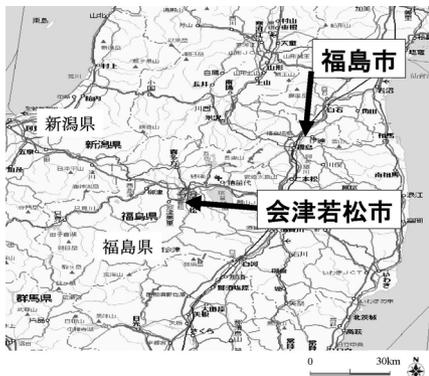


図 2 調査実施箇所

表 1 調査地を行った広域農道の舗装構成

調査箇所	表層(cm)	上層路盤(cm)	下層路盤(cm)	路床置換(cm)
福島市広域	7	28	17	-
会津若松市広域	5	28	17	45

ら 8~10 年経過した路面を選定している。

## (2) 調査項目

調査項目は①路面の目視調査、②軽トラックによる振動加速度測定（写真 1）③3m プロフィロメータによる平坦性測定（写真 2）の 3 項目である。なお調査項目②の振動加速度測定では、基礎的なデータ収集を目的としているため、農産物などは実際に積載せず、3 軸加速度計をトラック荷台の車軸中央付近に設置し、鉛直方向加速度（Z 軸方向加速度）を計測した。また、振動加速度測定においては路面凹凸からの振動を計測することを目標としているためエンジンなどから生じる高周波数のノイズは、アイドリング状態でローパスフィルタ処理を施し、除去した。なお、ローパスフィルターの値は 200 Hz としている。また、車両走行速度に関しては、谷本ら<sup>6)</sup>が農道における車両の平均速度を 50 km/h と報告していることから、本調査においても 50 km/h を車両速度として振動加速度を測定した。

## (3) 調査結果

調査項目①の目視調査では、福島市において写真 3 の矢印に見られるように、若干の縦ひび割れが観測されたがその他目立つ損傷等は観測されなかった。一方、会津若松市における目視調査では、写真 4 に見られるように凍上に



写真 1 振動測定状況



写真 2 3m プロフィロメータによる平坦性測定状況



写真 3 福島市の路面



写真 4 会津若松市の路面

よと思われる多くの亀甲状ひび割れを観測することができた。目視の調査から判断すると、会津若松市の路面においては福島市の路面と比較し、供用中の舗装の損傷が激しいと判断できる。

調査項目②の車両走行速度 50 km/h での振動測定結果を図 3 に示す。会津若松市の振動加速度は福島市の振動加

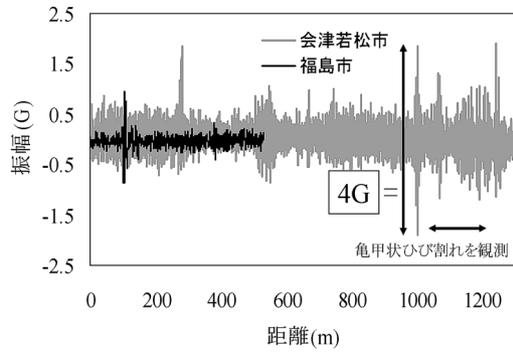


図 3 振動測定結果

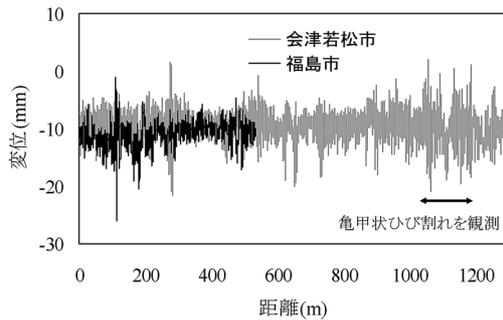


図 4 平坦性測定結果

速度と比べ、全体的に波形が荒く、目視によって亀甲状ひび割れが観測された地点では全振幅で 4G 近い振動も測定された。

調査項目③の 3m プロフィロメータによる平坦性測定結果では、図 4 に示すように測定結果は測定距離と路面凹凸の変位によって表わされる。この結果より、会津若松市においては亀甲状ひび割れの影響で、路面凹凸が激しくなる傾向があることを確認できた。

本研究においては調査項目②より得られた 2 地域の振動データから荷傷み解析を行い、路面凹凸の変化と荷傷みとの関係性を検討した。また、調査項目③より路面性状を測定した結果から  $\sigma$  と IRI を算出し、荷傷み解析で得られた結果との関係性を検討した。

### 3. 荷傷み解析

#### (1) 荷傷み解析

岩元ら<sup>7-9)</sup>の既往の研究において、農産物の荷傷みは、輸送中に農産物に作用する振動の繰り返し作用によって生じることがわかっており、疲労曲線（以下「S-N 曲線」）を用いて表すことができる。S-N 曲線とは、一定の応力振幅 S が供試体に反復して加えられたとき、破壊までに反復される総サイクル数 N との関係を示したものであるが、岩元らは輸送時の応力変化を振動加速度に対応させた S-N 曲線を提案している。そこで本研究における荷傷み解析においても岩元らの S-N 曲線を用いて検討することとした。なお、これは一種の脆性疲労破壊であるため、(1) 式に示す Miner 則から算出される累積の疲労度 (Fatigue Damage,

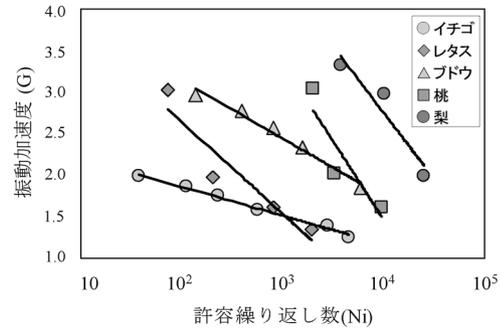


図 5 S-N 曲線

表 2 農産物の材料固有定数

農産物	$\alpha$	$\beta$
イチゴ	4.05	5320
レタス	10.44	65930

以下「FD」) が 1 を越えた場合に荷傷みが発生すると考えることができる。ここに、 $n_i$  は調査で実測したランダム振動 (図 3 参照) における全振幅での加速度の回数を示し、 $N_i$  は岩元らの研究によって明らかにされた青果物が商品性を失わないまで許容される加速度の繰り返し数を示すものである。このため調査を行った振動加速度の繰返し数  $n_i$  が図 5 に示す S-N 曲線から得られた  $n_i$  の加速度に対応する許容繰返し回数  $N_i$  を上回った場合に荷傷みが生じると考えることができる。

$$FD = \sum_{i=1}^T \left( \frac{n_i}{N_i} \right) \quad (1)$$

現在のところ図 5 に示す S-N 曲線は、岩元らによってイチゴ、レタス、ブドウ、桃、梨の 5 種類の農産物が明らかとなっている。S-N 曲線は式 (2) に示すように振動加速度と許容繰返し数、 $\alpha, \beta$  という農産物固有の係数を用いて表すことができる。またこの式は、農産物に作用する振動加速度 (G) が大きいほど、これに耐えうる許容繰返し数 ( $N_i$ ) は少なくなることを示している。

$$N_i = \beta / G_i^\alpha \quad (2)$$

#### (2) 解析条件

農村道路研究部会<sup>10)</sup>によると、農産物輸送においては近隣市場への輸送だけでなく、遠距離市場への輸送も広がりつつあると報告している。このことから、荷傷み解析を行う上では遠隔地への輸送も考慮して荷傷み解析を行う必要がある。しかし、調査測定距離は福島市で約 500 m、会津若松市で約 1,300 m と比較的短いことが考えられる。そこで、調査で行った測定路面をそれぞれ連続したものとして荷傷み解析を行い、輸送距離の増加による FD の影響をみることにした。また、荷傷み解析において用いた農産物は、表 2 に示す材料固有定数  $\alpha$  と  $\beta$  が既往の文献等<sup>7-9)</sup> で明確に記載されていたイチゴとレタスを用いて荷傷み解析を行った。

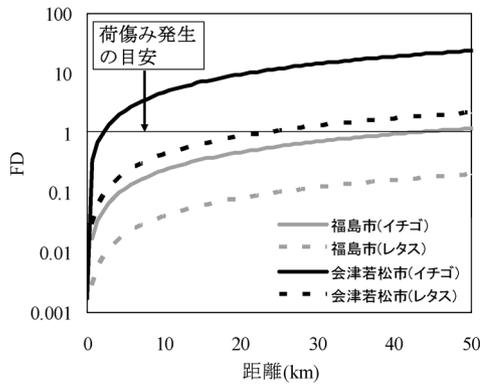
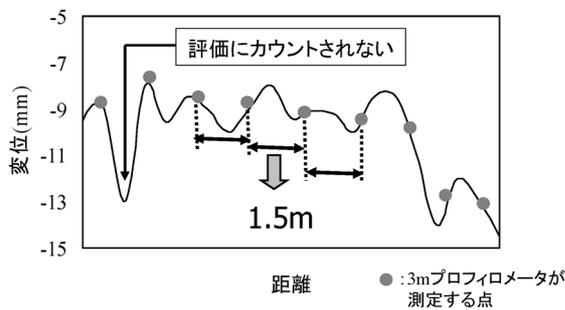


図 6 疲労度解析結果

図 7  $\sigma$  の解析特性

### (3) 解析結果

荷傷み解析の結果を図 6 に示す。この図より、解析距離が長くなるにつれて FD は累積されていることが確認できる。特に、イチゴにおいては、50 km の解析地点において、両地域で FD が 1 を超える結果となった。また、会津若松市の FD が福島市の FD と比べて相対的に高くなった理由としては、目視調査の結果からも考察されるように、舗装のひび割れ率の高さが荷傷みに影響を及ぼす振動を発生させていると考えられる。そこで今後は調査回数等を増やし、引き続き荷傷み解析の検証を行っていく必要がある。

## 4. 平坦性評価

調査項目③の 3 m プロフィロメータで得られた凹凸測定結果より平坦性評価を行った。現状の一般国道などで用いられている平坦性の評価は  $\sigma$  が用いられ、施工直後の目安や修繕打ち換えの目安などが明確に規定されている<sup>2)</sup>。しかし、農道舗装の平坦性評価は一般国道とは異なり、明確な評価指標の検討はほとんど行われていない。そこで農道の平坦性を評価する上で一般国道等ではすでに用いられている  $\sigma$  と、近年舗装の平坦性の評価指標として注目されている IRI の両指標を平坦性評価の検討対象として、荷傷み解析結果との関係性を求めた。

### (1) $\sigma$ の検討

$\sigma$  は昭和 42 年に低予算で簡便に路面情報を処理する方法として開発され現在も用いられている路面評価指標であ

表 3 荷傷み解析に用いた路面の  $\sigma$ 

地域	福島市	会津若松市
$\sigma$ (mm)	2.4	2.1

り、図 7 に示すように 1.5 m 間隔の路面凹凸の結果から標準偏差によって算出するものである<sup>11)</sup>。本検討においては調査で測定した福島市 (約 500 m) と会津若松市 (1,300 m) の舗装路面から  $\sigma$  を算出し、その値を表 3 に示した。なお荷傷み解析で用いた 50 km に渡る繰り返し路面においても  $\sigma$  は標準偏差であるため、もとの福島市 (500 m) と会津若松市 (1,300 m) の路面での  $\sigma$  (表 3 の結果) とほとんど同じ値を示すこととなる。舗装施工便覧<sup>12)</sup>によれば、舗装の施工直後の出来形の目安としては  $\sigma = 2.4$  mm が設けられているが、表 3 の調査結果における  $\sigma$  から判断すると、いずれも  $\sigma \leq 2.4$  mm となっているため、両地域ともに良好な平坦性を有しているものと考えられる。しかし、目視調査で確認したように、会津若松市の供用中の路面はひび割れの破損が目立つ状態であったことから、 $\sigma$  を用いた路面評価法では供用中の舗装を適切に評価できない可能性があるものと考えられる。

また、図 6 に示した疲労度解析結果と表 3 に示した  $\sigma$  の関係性をみてみると、両地域における  $\sigma$  は良好な平坦性を有しているにも関わらず、50 km 地点ではイチゴのような農産物は荷傷みをおこす可能性があるということが考えられる。この理由として、 $\sigma$  は図 7 に示すように 1.5 m 間隔という粗い路面情報しか評価に反映されない点と、その結果を標準偏差で評価するため、荷傷みに影響するような激しい路面凹凸が生じた場合でも、正確に評価へカウントされない可能性があるということが考えられる。

### (2) IRI の検討

IRI とは国際ラフネス指数と呼ばれ、各国や機関によって異なる平坦性の指標を共通化する目的で 1986 年に世界銀行から提案された評価基準<sup>13)</sup>である。日本においては、このような国際化を背景として、旧 JH などが積極的に IRI を一般国道などの路面評価基準に適用するための取り組みを行ってきた。IRI は  $\sigma$  とは異なり、路面の凹凸量だけでなく車両の動きも加味することができるため、正確な乗り心地評価を行うことができると報告されている<sup>14)</sup>。荷傷みは、路面凹凸に起因する車両の振動が原因で発生すると考えられているため、路面の凹凸量だけでなく車両の動きも加味した IRI を用いることは、農道舗装における適切な荷傷み評価を行うことができると考え、検討することとした。

IRI は任意の測定装置で縦断プロファイルを測定し、クォーターカー (Quarter Car, 以下「QC」) シミュレーションにより算出するのが一般的である。QC とは通常用いられている 2 軸 4 輪の乗用車の 1 輪だけを取り出し、抽象化した仮想車両モデルであり、図 8 に示すような力学系で表現される。IRI は、この QC を一定の速度で路面上を走行させたときの車が受ける上下方向の運動変位の累積値

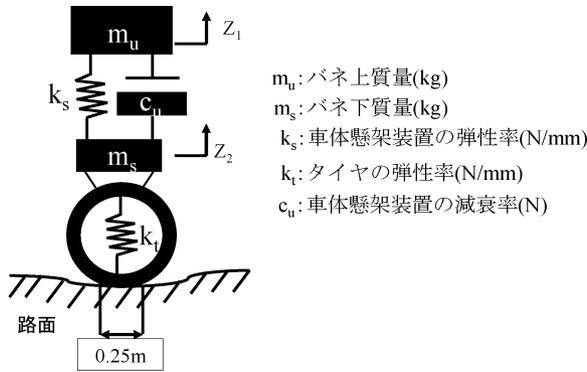


図 8 クォーターカーモデル

$m_u$ : バネ上質量(kg)  
 $m_s$ : バネ下質量(kg)  
 $k_s$ : 車体懸架装置の弾性率(N/mm)  
 $k_t$ : タイヤの弾性率(N/mm)  
 $c_u$ : 車体懸架装置の減衰率(N)

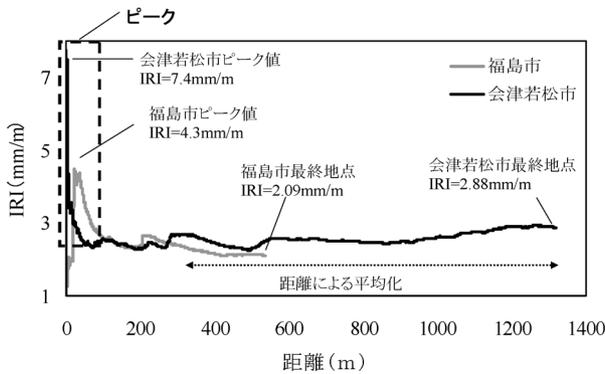


図 9 調査路面の IRI

(mm) と走行距離 (m) との比である。すなわち、QC シミュレーションによって算出される IRI は(3)式で表すことができる。ここに、 $Z_1$  はバネ上質量の高さ (mm)、 $Z_2$  はバネ下質量の高さ (mm)、 $L$  は走行距離 (m)、 $V$  は走行速度 (km/h)、 $t$  は時間 (s) を表す。

$$IRI = \left\{ \int_0^{LV} |Z_2 - Z_1| dt \right\} / L \quad (3)$$

IRI を用いた平坦性評価においても、 $\sigma$  と同様にそれぞれの調査路面から IRI を算出して図 9 に示した。この結果は表 3 に示した  $\sigma$  の解析結果とは異なり、会津若松市における路面の IRI の方が福島市の IRI よりも大きくなる結果となった。目視調査で行った結果と比べても同様の傾向がみられることから、IRI は供用中の舗装を適切に評価できる指標であると考えられる。また、図 9 の結果より、両地域での IRI はピーク値を迎えた後、解析距離が長くなるにつれて値が平滑化されていることが確認できる。白川ら<sup>15)</sup> は、解析距離と IRI 値は密接に関係しており、解析距離が長くなるに従って IRI 値は平均化されている点を指摘していることから、一般に突出して大きな凹凸を含む地点が解析路面に存在した場合、路面は過小に評価される傾向があると考えられる。

また、IRI を評価する際には、最終地点での評価と、コンクリート標準示方書<sup>16)</sup>に見られるような、区間全体を通してのピーク値を用いた評価の 2 種類の評価方法があると考えられる。このことから、本検討においては最終地点での

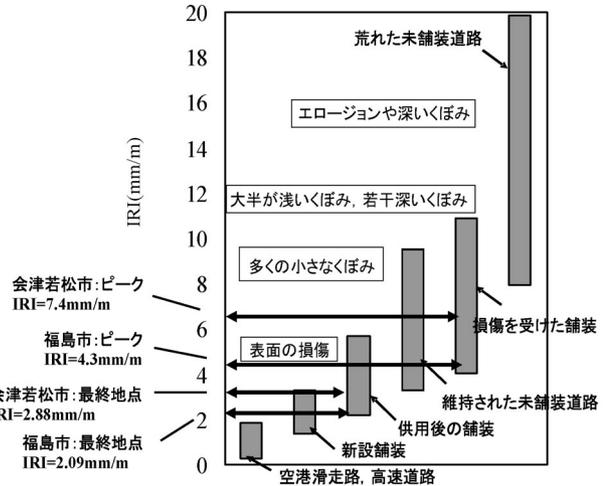


図 10 道路の種類別の IRI の範囲

IRI とピーク地点での IRI の両方の値を検討することとした。最終地点での調査路面の IRI は福島市で IRI = 2.09 mm/m、会津若松市で IRI = 2.88 mm/m となる。この結果を図 10 に示した道路の種類別の IRI の範囲<sup>13)</sup> と比べてみると、両地域ともに「供用後の舗装」と判断することができる。一方、ピーク値での IRI を用いて図 10 の指標と比べてみると、福島市では IRI = 4.3 mm/m であり、「供用後の舗装」と「損傷を受けた舗装」のほぼ中間に位置するものと考えられるのに対し、会津若松市では、IRI = 7.3 mm/m となるため、「損傷を受けた舗装」として評価される。

これらの結果より最終地点での IRI は、距離によって平均化されているため、目視調査で得られた結果との関係性が見られなかったのに対し、ピーク値を用いた IRI は目視での調査と一致しており、道路の損傷度によって IRI を明確に位置づけることが可能であると考えられる。しかし、図 9 に示したように、距離によって IRI 値が平均化されることを考えると、福島市（解析区間約 500 m）と会津若松市（解析区間約 1,300 m）においては評価の距離がそれぞれ異なるため、IRI の評価区間は統一して行なった上でピーク値の IRI を評価する必要があると考えられる。そこで、 $\sigma$  と IRI の両指標において一定の短い評価区間を設けた上で、荷傷み解析との関係性について検討した。

(3) 評価区間を統一した場合の平坦性評価

$\sigma$  と IRI は過度の凹凸を平均化し、路面を過小に評価することが考えられる。そこで  $\sigma$  と IRI において一定の短い評価区間を設けた上で、荷傷み解析との関係性について検討することとした。検討に用いた解析区間は白川ら<sup>15)</sup> が 100 m 単位に区切った路面での区間評価を提案していることから、本検討においても解析区間を 100 m とした。また、荷傷みとの関係性についても検証する必要があるため、100 m で区切った路面を荷傷み解析と同様に、連続したものとして、FD の影響をみることにした。なお解析に用いる路面長は、図 6 に示した疲労度解析結果において両

地域ともにイチゴが荷傷みを起こした 50 km を目安として行った。

図 11 に  $\sigma$  と FD の関係性を示し、図 12 にピーク値での IRI と FD の関係性を示した。両指標においてバラつきが確認されるが、おおまかな解析結果の傾向は同じであると考えられる。しかし、 $\sigma$  においては先述したように  $\sigma=2.4$  mm で舗装施工直後の平たん性合格基準とされているが、図 11 よりイチゴにおいてはおよそ  $\sigma=2.3$  mm で荷傷みを起こす可能性があるという結果になる。また、 $\sigma$  と FD の関係性においては、イチゴとレタスにおける近似曲線がほぼ同じ結果となった。このことは、 $\sigma$  を算出するために必要とされるデータが 1.5 m のサンプリング間隔と荒い評価であるため、荷傷みに影響を及ぼす過度の凹凸もカウントされなかった点と、 $\sigma$  が標準偏差で表される指標であるためであると考えられる。

一方、IRI ではイチゴにおいて  $IRI=3$  mm/m で  $FD=1$  となる結果を示している。図 10 に示した道路の種類別の IRI の範囲によれば、 $IRI=3$  mm/m では「新設舗装」または「供用後の舗装」に分類され、「表面の損傷」と評価できる。調査を行った地域では供用後 8 年以上経過していることから、「供用後の舗装」に分類され、損傷の程度も「表面の損傷」と、目視調査で観測した亀甲状ひび割れの破損とも一致していると考えられる。また  $\sigma$  とは異なり、農産物の種類によって近似曲線が異なる傾向となった。これは、図 8 に示したように IRI のサンプリング間隔がタイヤ幅の 0.25 m であることから、 $\sigma$  と比較しても細かな路面情報をカウントすることができるため、過度の凹凸も評価に反映されていると考えられる。

以上の結果より、 $\sigma$  はサンプリング間隔の問題などにより荷傷みに関係すると思われる過度の凹凸は評価値に反映されない可能性があるという結果を得たのに対し、IRI を用いた評価手法においては、荷傷み解析の結果と相関関係がみられた。また、この結果をもとに図 10 に示した道路の種類別の IRI の範囲との関係性を検討した結果、荷傷みを考慮に入れた IRI は現状の管理基準に適用できる可能性が非常に高いという結論を得ることができた。

## 5. ま と め

本研究では、荷傷みと路面の平たん性との関係性を明らかにするために、福島県下の広域農道において実車両による振動加速度測定と平たん性測定を行った。振動加速度測定の結果からは荷傷み解析を行い、平たん性測定の結果からは  $\sigma$  と IRI に着目し、荷傷み解析で得られた FD との関係性を検証した。その結果を以下に示す。

- (1) 振動加速度測定より得られた振動データからイチゴとレタスの荷傷み解析を行い、FD の影響を検証した。その結果、農産物の FD は解析区間が長くなるにつれて非常に大きくなる結果となった。このことから、路面凹凸の変化が荷傷みに及ぼす影響は非常に大きいことが分かった。

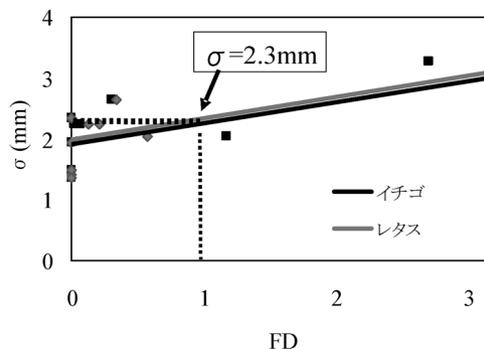


図 11  $\sigma$  と FD の関係

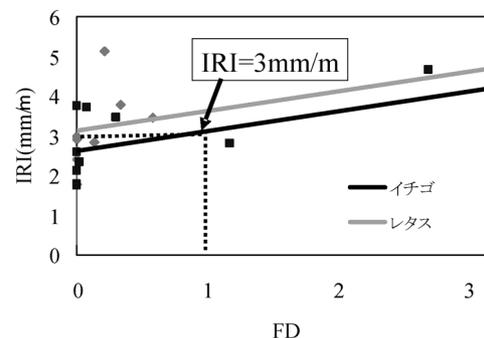


図 12 IRI と FD の関係

- (2) 会津若松市で観測された凍上によると思われる亀甲状ひび割れは、荷傷みに影響を与える振動を発生させることとなり、FD が非常に大きくなる傾向となった。
- (3) 平たん性評価において  $\sigma$  と IRI は、解析距離などの影響によりそれぞれ路面評価が過小評価される傾向が見られた。このことから、路面を短い区間ごとで評価する手法が有効であることが示された。
- (4) 100 m 区間ごとの評価によって算出された  $\sigma$  と FD の関係性を検証した。その結果、サンプリング間隔の問題や標準偏差という計算方法によって荷傷みに影響を与えていると思われる過度な凹凸をカウントできない可能性があることが分かった。
- (5)  $\sigma$  と同様、100 m 区間ごとで算出した IRI と FD の関係性を検証した。その結果、農産物の種類によって荷傷み発生の目安となる IRI が異なる傾向となったことから IRI は  $\sigma$  とは異なり、過度の凹凸を正確に評価し、農産物の荷傷みを適切に評価できる可能性が高いことが示された。

本研究では調査地域が福島市と会津若松市の 2 地域と少ない。したがって、今後は異なる気象環境下での地域において振動加速度測定調査や平たん性測定調査を行っていく

必要がある。特に振動加速度測定調査における今回の検討では、車両速度を 50 km/h のみで設定しているが、今後は異なる車両速度においても検討する必要がある。平坦性測定調査に関しては、算出できる IRI と荷傷みとの解析的検討も今後深めていく必要があると考えられる。また、本調査で行った図 3 に示す振動加速度の波形データと図 4 に示す路面性状の波形データは非常に類似していることが確認できる。このことは、路面性状の変化によって振動が発生していると考えることができ、路面性状を入力値とした荷台の振動解析が可能であると考えられる。そこで、今後は車両モデルと路面性状データを用いた車両振動予測モデルを構築し、数値実験を実施する予定である。

#### 参考文献

- 1) 日野裕之：京都府の農道整備の効果について，第 8 回農村道路研究部会研究発表会要旨集，pp. 58-84, 1998.
- 2) 道路維持修繕要綱：社団法人日本道路協会，pp. 93, 1978.
- 3) 竹内 康・江向俊文・斉藤正弘・姫野賢治・牧 恒雄：広域農道におけるアスファルト舗装のひび割れ発生形態，農業土木学会大会講演会講演要旨集，pp. 266-267, 2004.
- 4) 高速道路調査会：舗装の路面管理基準に関する検討（日本道路公団委託），pp. 44-48, 2004.
- 5) 福島県ホームページ（<http://www.pref.fukushima.jp>）
- 6) 谷本 岳・竹村武士・丹治 肇：農道走行車両の旅行速度について，第 9 回農村道路研究部会研究発表会要旨集，pp. 31-34, 1999.
- 7) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭：青果物輸送の等価再現化に関する研究—第 1 報—，農業機械学会誌 39, pp. 343-349, 1977.
- 8) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭：青果物輸送の等価再現化に関する研究—第 2 報—，農業機械学会誌 40, pp. 61-67, 1978.
- 9) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭：青果物輸送の等価再現化に関する研究—第 3 報—，農業機械学会誌 42, pp. 369-374, 1979.
- 10) 谷口 健・石川 毅：農産物流通と農道整備，第 8 回農村道路研究部会研究発表会要旨集，pp. 1-6, 1998.
- 11) 秋元 隆・笠原 篤・川村 彰・斉藤和夫：縦断プロファイルのデータ収集法に関する研究，土木学会舗装工学論文集，Vol. 2, pp. 1-6, 1997.
- 12) 舗装施工便覧：社団法人日本道路協会，pp. 213, 2001.
- 13) 舗装工学ライブラリー 1：路面のプロファイリング入門 pp. 49-56, 2003
- 14) 緒橋淳一・高木 久・河合雅己：路面性状測定車による乗り心地評価の精度検証（日本測量調査技術協会），Assoc Precise Surv Appl Technol, No. 82-16, pp. 106-112, 2002.
- 15) 白川龍生・川村 彰・富山和也：車の地点乗り心地を考慮した道路利用者のための平坦性管理方法，土木学会舗装工学論文集 10, pp. 83-89, 2005.
- 16) コンクリート標準示方書：土木学会，舗装編，pp. 168, 1997.

# Study on the Evaluation Method of Road Profiling in Farm Road Considering the Damage of Agricultural Products

By

Yasuhumi HOSOMI\*, Yasushi TAKEUCHI\*\*, Toshifumi EMUKAI\*\*\*  
and Tsuneo MAKI\*\*

(Received August 4, 2006/Accepted December 14, 2006)

**Summary** : One of the purposes of farm road maintenance is to keep quality of agricultural products and to carry them safely. But the damage of agricultural products by vibration of vehicle due to by deterioration of the roughness of farm road has been reported. A trial calculation of financial loss by the damage of agricultural products was carried out in Kyoto. Therefore, we need to examine the evaluation method of road roughness considered to cause damage of agricultural products on farm roads. In this research, we measured the vibration of vehicles and roughness of pavement by 3 m profilometer on farm road. The analysis of damage of agricultural products is performed from measurement of vibration, and the roughness index  $\sigma$  and IRI are calculated from measured road profile, and verified between the analytical results of agricultural products damage and the roughness index of road. From these results, it was shown that the roughness index of IRI can properly estimate the damage of agricultural products compared with  $\sigma$ .

**Key words** : farm road, road profile, vibration, fatigue analysis, the damage of agricultural products

---

\* Department of Agricultural Engineering, Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

\*\* Department of Bioproduction and Environment Engineering, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

\*\*\* Department of MAEDA ROAD CONSTRUCTION CO., LTD, Technical Research and Development