

# (71) 舗装路面簡易評価システムの 路面損傷検出精度向上に関する研究

中野 徹也<sup>1</sup>・吉武 俊章<sup>2</sup>・宮本 文穂<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 西日本高速道路エンジニアリング九州(株) (〒812-0073 福岡県福岡市中央区舞鶴1-2-22)  
E-mail:t.nakano.a@w-e-kyushu.co.jp

<sup>2</sup>正会員 三井共同建設コンサルタント(株) (〒753-0074 山口県山口市中央1-5-4)  
E-mail:yossey21@c-able.ne.jp

<sup>3</sup>フェロー会員 山口大学大学院教授 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台二丁目16-1)  
E-mail:miya818@yamaguchi-u.ac.jp

本研究は、筆者らが開発してきた舗装路面簡易評価システム(以下、「一步感舗」と表記する)の路面損傷検出精度の向上を目的としたものである。「一步感舗」はZ軸方向の加速度標準偏差値を評価信号とするため、タイヤ幅よりも広いレール状のわだち(以下、レール状のわだちと表記する)区間走行時にはZ軸方向の加速度標準偏差が小さく、わだちの検出が困難だという課題があった。この課題を解決するため、3軸方向の加速度・角速度・角加速度データとひび割れ・わだち掘れなどの路面損傷との関連性について解析を行い、これまで検出が困難であったレール状のわだちを検出するための検討を行った。

**Key Words :** road pavement, condition assessment, digital movie, motion sensor, accuracy improvement

## 1. はじめに

近年、老朽化と重車両の増加による路面損傷の進行に伴い、舗装路面の維持管理の重要度が高まってきた。

従来の路面の点検は、主に検査員の目視と路面性状測定車によって行われる。前者は簡易で即時性に優れる点検であるものの、その精度は点検者の技量に依存するため、評価にばらつきが生じる。後者は、定量的で高精度な診断が可能であるものの、初期導入費、運用費ともに非常に高額であり、継続的な計測が困難である。

これらの背景から、定量的かつ経済的な路面モニタリングシステムの構築が強く望まれてきた。

そこで筆者らは、走行映像、位置情報、車内走行音および車両振動の4種類のデータと舗装路面状況との関連づけを行い、道路管理者が舗装補修箇所を選定を効率的に行うことができる「一步感舗」を開発した。

### (1) 「一步感舗」について

「一步感舗」の概要を図-1に示す。測定方法は、測定機材を図-2のように車両に設置し、評価対象路線を概ね時速50~60kmで走行し、走行映像データ、センサーデータ、および車内走行音を取得する。取得したデータのうち、既存の研究<sup>(1)</sup>によりZ軸加速度と車内走行音(150~

250Hz)の標準偏差が路面状況と高い相関が得られたことから、これらを実験信号として使用した。

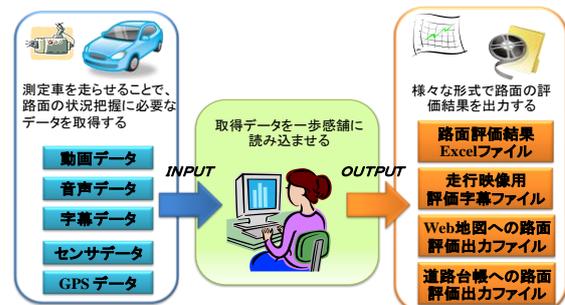


図-1 「一步感舗」の概要

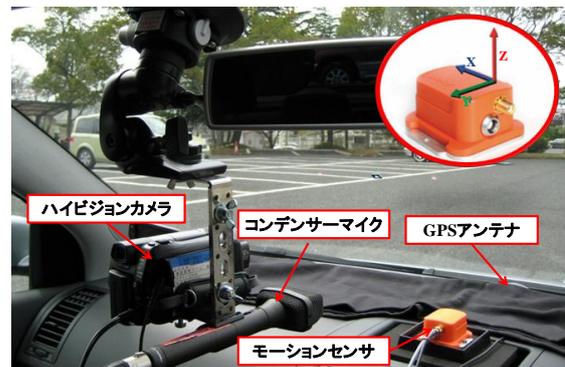


図-2 測定用機材の設置状況

(2) 本研究の目的

「一步感舗」は、図-3 に示すようなレール状のわだち区間走行時に、わだちを損傷として検出できないという事例が確認されている。これは、レール状のわだち区間では Z 軸方向の振動が発生せず、スムーズな走行となるためだと考えられる。

本研究は、3 軸方向の加速度・角速度・角加速度データとわだち掘れなどの路面損傷との関連性について解析を行い、これまで検出が困難であったレール状のわだちを損傷として検出するセンサデータの検討を行い、「一步感舗」の路面評価精度向上を目指した。

2. 路面性状値と3軸方向加速度・角速度との関係

ここでは、路面性状値（わだち掘れ量・ひび割れ率・平坦性・MCI）とセンサデータ（3軸方向の加速度・角速度データ）との関連性について調べた。

(1) 検証路線の選定

今回検証を行う路線は、H21 年度に山口県が取得した路面性状調査データ（以下、路面性状値と表記する）のうち、比較的損傷が多く、トンネルなどの路面評価結果に影響を及ぼすものが少ない路線を選定した。また、「一步感舗」による測定データと路面性状値には1年間のタイムラグが発生していたため、H21 年 5 月（路面性状値測定時期）～H22 年 5 月 15 日（「一步感舗」による測定日）の期間内に舗装補修工事が行われていない区間を対象とし、図-4 に示す。



図-3 レール状のわだち区間



図-4 検証対象区間

(2) データ整理

センサデータと路面性状値を比較するためには、双方の測定位置情報を照合し、整合を図った上で比較する必要がある。そこで、今回は GPS・走行映像データをもとに位置情報の整合を図った。また、路面性状値は 100m 毎、「一步感舗」では平均約 14m 毎のデータであり直接の比較ができないため、100m 間の平均値毎のデータを用いて比較を行った。さらに、トンネル区間・信号による車両停止区間は「一步感舗」の評価結果に影響を及ぼすため、今回の対象から除外した。

(3) 検証結果

まとめたものを表-1 に示す。表-1 色分けは、Z 軸加速度標準偏差が 0.60 以上を赤色 (Bad), 0.60 未満かつ 0.40 以上を黄色 (Moderate), 0.40 未満を緑色 (Good) と区分し、路面損傷についてはわだち掘れ量 25mm 以上・ひび割れ率 20%以上 (高速道路管理水準)・MCI が 3 以下を赤色 (Bad), わだち掘れ量 40%以上 (地方自治体管理水準) を紫色 (Very Bad) と区分した。なお、表-1 における No70,71,79 はレール状のわだちが生じている区間であり、Z 軸加速度標準偏差では損傷を検出できていないことが表-1 から確認できる。

表-1 路面性状値とセンサデータの比較表

No.	速度補正無し(軸加速度以外)										速度補正無し(軸加速度以外)														
	加速度標準偏差		角速度標準偏差		ひび割れ率 (%)	わだち掘れ (mm)	平坦性 (mm)	MCI	MCI式	加速度標準偏差		角速度標準偏差		ひび割れ率 (%)	わだち掘れ (mm)	平坦性 (mm)	MCI	MCI式							
	X軸	Y軸	Z軸	X軸						Y軸	Z軸	X軸	Y軸						Z軸	X軸	Y軸	Z軸			
1	0.54	0.40	0.51	0.03	0.02	0.01	0.4	10	8	2.71	7.7	1	66	0.70	0.40	0.49	0.03	0.02	0.01	5.7	14	12	2.17	5.3	1
2	0.50	0.38	0.44	0.02	0.02	0.01	0.0	9	8	2.94	7.7	1	67	0.68	0.43	0.54	0.03	0.02	0.01	8.0	14	13	2.29	4.9	1
3	0.58	0.44	0.47	0.03	0.02	0.01	0.5	11	8	2.40	7.0	7	68	0.56	0.36	0.56	0.03	0.03	0.01	1.9	14	10	3.31	5.2	7
4	0.89	0.45	0.46	0.02	0.03	0.01	0.0	11	9	2.22	7.5	2	69	0.53	0.29	0.46	0.02	0.02	0.01	8.8	14	13	4.41	5.2	1
5	0.65	0.33	0.34	0.02	0.02	0.01	0.5	11	11	2.22	6.7	1	70	0.45	0.27	0.36	0.02	0.02	0.01	0.6	10	6	1.85	11.4	1
6	0.66	0.38	0.44	0.02	0.02	0.01	0.0	5	5	1.34	8.3	4	71	0.40	0.28	0.37	0.02	0.02	0.01	0.6	8	6	2.12	4.7	4
7	1.07	0.53	0.64	0.03	0.03	0.01	1.5	5	5	2.21	6.9	1	72	0.31	0.22	0.35	0.02	0.02	0.01	0.0	23	19	2.12	5.8	4
8	0.78	0.44	0.57	0.03	0.03	0.01	1.4	10	7	2.21	6.7	1	73	0.33	0.22	0.34	0.02	0.02	0.01	0.1	21	18	1.49	5.9	4
9	0.86	0.51	0.49	0.04	0.03	0.01	0.8	13	6	2.25	7.0	3	74	0.47	0.28	0.39	0.02	0.02	0.01	0.3	23	18	2.06	5.9	4
10	0.72	0.41	0.46	0.02	0.02	0.01	0.6	11	7	1.62	8.2	1	80	0.45	0.26	0.44	0.03	0.03	0.01	0.6	8	6	2.23	5.9	4
11	0.78	0.43	0.58	0.03	0.03	0.01	0.3	16	8	2.43	5.3	3	76	0.48	0.27	0.48	0.02	0.02	0.01	1.5	8	6	2.52	4.4	4
12	0.92	0.52	0.52	0.03	0.02	0.01	0.6	9	6	2.63	6.7	3	77	0.36	0.21	0.51	0.01	0.03	0.01	0.0	23	19	2.12	5.8	4
13	0.88	0.48	0.59	0.03	0.03	0.01	1.7	10	6	3.90	2.9	3	78	0.40	0.28	0.47	0.03	0.03	0.01	0.1	21	18	1.49	5.9	4
14	1.07	0.59	0.62	0.03	0.03	0.01	0.6	9	6	3.24	2.9	3	79	0.42	0.22	0.36	0.02	0.02	0.01	0.2	23	18	1.89	5.2	4
15	0.57	0.35	0.38	0.02	0.02	0.01	0.6	11	8	2.17	5.3	1	80	0.45	0.26	0.41	0.02	0.02	0.01	0.0	20	16	2.51	6.3	4
16	0.59	0.35	0.39	0.03	0.03	0.01	0.8	11	10	2.31	5.3	1	81	0.44	0.26	0.41	0.02	0.02	0.01	2.9	16	16	1.97	6.3	4
17	0.78	0.32	0.41	0.02	0.02	0.01	5.5	12	9	2.75	5.6	1	82	0.39	0.28	0.41	0.02	0.03	0.01	1.0	23	20	2.62	5.6	1
18	0.48	0.21	0.34	0.01	0.02	0.01	3.2	9	3	1.48	6.2	1	83	0.54	0.33	0.50	0.03	0.03	0.01	4.0	10	6	22.67	4.7	1
19	0.39	0.22	0.28	0.02	0.02	0.01	3.2	9	7	1.61	6.3	7	84	0.66	0.39	0.53	0.03	0.03	0.01	0.2	18	16	1.5	1	1
20	0.76	0.33	0.46	0.02	0.02	0.01	16.4	19	9	2.03	4.7	1	85	0.47	0.21	0.32	0.01	0.02	0.01	4.2	7	5	1.57	5.3	1
21	0.53	0.28	0.34	0.02	0.02	0.01	7.2	10	8	2.03	5.0	1	86	0.43	0.18	0.32	0.01	0.02	0.01	0.0	10	6	2.51	6.6	1
22	0.54	0.28	0.44	0.02	0.02	0.01	6.6	7	6	2.46	5.8	1	87	0.49	0.28	0.41	0.02	0.02	0.01	4.5	6	4	1.12	5.3	1
23	0.58	0.38	0.47	0.03	0.02	0.01	9.5	15	2.67	4.6	1	88	0.54	0.28	0.38	0.01	0.02	0.01	4.8	8	6	1.57	5.3	1	
24	0.62	0.36	0.51	0.03	0.03	0.01	14.2	18	2.92	4.5	1	89	0.49	0.23	0.33	0.02	0.02	0.01	0.4	7	6	2.05	7.3	1	
25	0.50	0.34	0.47	0.02	0.02	0.01	9.2	14	12	2.34	4.9	7	90	0.29	0.27	0.31	0.02	0.02	0.01	0.0	7	7	2.05	7.9	4
26	0.80	0.37	0.46	0.02	0.02	0.01	6.0	12	10	2.56	5.4	1	91	0.78	0.51	0.64	0.02	0.03	0.01	0.0	9	9	3.05	7.5	4
27	0.45	0.23	0.41	0.02	0.02	0.01	3.1	11	9	1.85	6.3	1	92	0.50	0.29	0.42	0.02	0.02	0.01	0.4	10	6	1.30	7.4	1
28	0.72	0.42	0.47	0.03	0.04	0.01	4.0	17	17	3.52	5.0	1	93	0.46	0.21	0.35	0.01	0.02	0.01	0.2	9	6	1.62	7.6	1
29	0.79	0.62	0.77	0.06	0.07	0.01	0.0	15	15	3.59	6.4	4	94	0.56	0.25	0.41	0.02	0.02	0.01	1.6	11	8	1.76	6.5	1
30	0.44	0.28	0.36	0.02	0.02	0.01	2.4	15	12	3.52	5.8	7	95	0.44	0.25	0.40	0.02	0.02	0.01	3.0	9	7	1.04	6.3	1
31	0.53	0.30	0.38	0.02	0.02	0.01	1.0	18	10	2.39	6.5	1	96	0.50	0.27	0.43	0.02	0.02	0.01	1.1	14	12	2.78	5.2	1
32	0.52	0.34	0.47	0.02	0.02	0.01	1.7	15	9	1.99	6.4	1	97	0.38	0.27	0.40	0.02	0.02	0.01	1.2	8	6	1.75	6.7	1
33	0.50	0.34	0.35	0.02	0.02	0.01	2.4	15	11	2.16	6.0	1	98	0.42	0.25	0.48	0.02	0.02	0.01	0.4	10	6	2.42	4.6	4
34	0.56	0.46	0.55	0.04	0.03	0.01	0.5	17	10	3.10	6.8	1	99	0.52	0.30	0.53	0.02	0.03	0.01	6.1	14	12	3.43	5.2	1
35	1.09	0.62	0.77	0.04	0.03	0.02	1.7	6	6	3.10	6.7	7	100	0.59	0.34	0.51	0.03	0.03	0.01	5.7	10	7	2.53	5.8	1
36	0.49	0.31	0.32	0.02	0.02	0.01	0.0	6	6	3.10	8.1	7	101	0.44	0.21	0.34	0.01	0.02	0.01	2.4	8	5	1.67	6.7	1
37	0.62	0.37	0.59	0.03	0.03	0.01	8.7	7	5	1.54	5.7	3	102	0.50	0.20	0.35	0.01	0.02	0.01	0.0	10	7	2.76	7.9	4
38	1.53	0.63	0.69	0.05	0.05	0.01	5.1	4	1	4.88	6.3	1	103	0.57	0.28	0.41	0.02	0.02	0.01	2.9	19	5	1.15	6.5	1
39	0.98	0.54	0.65	0.02	0.02	0.01	0.6	6	6	4.88	5.8	3	104	0.68	0.30	0.39	0.02	0.02	0.01	1.6	11	8	1.96	6.5	1
40	0.67	0.38	0.45	0.03	0.02	0.01	0.6	21	11	2.34	3.7	1	105	0.48	0.28	0.38	0.02	0.02	0.01	2.1	13	8	1.97	6.4	1
41	0.82	0.49	0.61	0.03	0.02	0.01	0.7	9	8	2.54	3.4	3	106	0.48	0.21	0.31	0.01	0.01	0.01	0.1	8	7	1.27	7.6	1
42	0.88	0.56	0.64	0.04	0.04	0.01	0.6	8	6	2.54	7.1	1	107	0.35	0.20	0.29	0.01	0.01	0.01	0.0	6	5	1.07	5.3	4
43	0.58	0.31	0.42	0.02	0.02	0.01	1.1	13	9	2.99	4.7	1	108	0.40	0.23	0.32	0.02	0.02	0.01	0.0	11	7	1.47	7.9	1
44	0.59	0.40	0.43	0.04	0.02	0.01	9.6	19	9	1.97	5.2	1	109	0.40	0.21	0.28	0.01	0.01	0.01	2.7	7	5	1.39	6.7	1
45	0.54	0.31	0.43	0.03	0.02	0.01	9.6	20	10	2.75	5.1	1	110	0.51	0.28	0.31	0.01	0.02	0.01	0.0	7	5	1.35	5.3	4
46	0.56	0.35	0.50	0.02	0.03	0.01	11.5	12	9	2.65	5.0	7	111	0.61	0.43	0.58	0.02	0.02	0.01	4.1	12	9	2.90	5.8	1
47	0.51	0.37	0.51	0.03	0.02	0.01	0.6	8	8	2.65	4.5	7	112	0.77	0.46	0.69	0.03	0.04	0.01	6.7	18	13	2.75	5.1	1
48	0.59	0.39	0.53	0.04	0.03	0.01	10.7	13	9	2.99	4.7	1	113	0.55	0.40	0.63	0.03	0.03	0.01	6.2	10	7	1.97	4.7	1
49	0.59	0.38	0.44	0.02	0.02	0.01	3.1																		

$1.0 \geq  R  \geq 0.7$	高い相関がある
$0.7 \geq  R  \geq 0.4$	中程度の相関がある
$0.4 \geq  R  \geq 0.2$	弱い相関がある
$0.2 \geq  R  \geq 0.0$	ほとんど相関がない

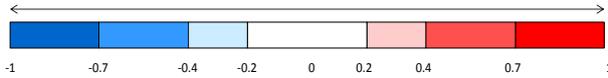


図-5 相関強さ

表-2 相関係数

標本数130	相関係数 R					
	加速度標準偏差			角速度標準偏差		
	X軸	Y軸	Z軸	X軸	Y軸	Z軸
ひび割れ率	0.46	0.39	0.20	0.19	0.12	0.17
平均わだち掘れ量	0.30	0.16	0.11	0.03	0.16	0.12
最大わだち掘れ量	0.28	0.15	0.05	0.05	0.11	0.12
平坦性	0.50	0.52	0.63	0.47	0.61	0.26
MCI	0.24	0.26	0.27	0.22	0.20	0.07

次に、表-1を用いてセンサデータと路面性状値との相関係数を算出し、図-5を用いて各相関の強さを求め、まとめたものを表-2に示す。表-2から、平坦性と「一步感舗」の評価信号であるZ軸加速度標準偏差との間には、中程度の正の相関が確認された。しかし、わだち掘れ量とセンサデータの間においてはほとんど相関が確認できなかった。そこで、レール状のわだちを検出するための新たな評価信号を検討した。

### 3. 角加速度標準偏差とわだち掘れとの関係

ここでは角速度を微分することで得られる角加速度標準偏差を新たな評価信号として、レール状のわだち検出の是非について考察していく。

#### (1) 検証結果

まず、3軸方向の角加速度標準偏差とわだち掘れ量の比較を表-3に示す。なお、表-3色分けは表-1と同様に区分した。次に、図-6にわだち掘れ量（左縦軸目盛）と3軸方向角加速度標準偏差（右縦軸目盛）の比較を示す。まず、図-6中No.70~No.79のわだち掘れ量の値が高い区間において3軸方向の角加速度標準偏差が低い値を示していることが確認された。また、Y軸やZ軸の角加速度標準偏差と比べ、X軸（進行方向）の値が急激に減少していることが確認された。これは、わだち掘れ量が大きい箇所を車両が走行する際に、タイヤのX軸回りの回転運動が抑制されるためだと推測される。この結果、わだち掘れ量の値が高い区間を走行する際の3軸方向角加速度標準偏差の挙動が確認された。

次に、表-3を用いて3軸方向角加速度標準偏差とわだち掘れ量との回帰式を算出し、相関係数を求めた。なお、

表-3 角加速度標準偏差とわだち掘れ量の比較表

No.	速度補正無し(軸加速度以外) わだち						速度補正無し(軸加速度以外) わだち						速度補正無し(軸加速度以外) わだち							
	加速度標準偏差			最大値 (mm)			加速度標準偏差			最大値 (mm)			加速度標準偏差			最大値 (mm)				
	Z軸	X軸	Y軸	Z軸	X軸	Y軸	Z軸	X軸	Y軸	Z軸	X軸	Y軸	Z軸	X軸	Y軸	Z軸	X軸	Y軸	Z軸	
1	0.51	0.82	0.83	0.46	10	8	45	0.43	0.80	0.83	0.47	20	10	88	0.38	0.62	0.73	0.46	8	6
2	0.44	0.68	0.77	0.46	9	8	46	0.50	0.75	0.81	0.50	12	9	89	0.33	0.55	0.66	0.46	7	6
3	0.47	0.79	0.85	0.52	11	8	47	0.51	0.70	0.72	0.48	8	8	90	0.31	0.52	0.54	0.42	7	7
4	0.48	0.91	1.31	0.57	11	9	48	0.53	0.82	0.87	0.53	25	13	91	0.65	0.93	1.07	0.48	9	9
5	0.34	0.68	0.77	0.51	11	11	49	0.44	0.80	0.81	0.51	11	8	92	0.42	0.59	0.71	0.46	10	6
6	0.44	0.73	0.94	0.53	5	5	50	0.46	0.81	0.79	0.52	15	11	93	0.35	0.54	0.60	0.45	9	6
7	0.66	0.94	1.43	0.61	5	5	51	0.51	0.83	0.91	0.55	11	8	94	0.41	0.57	0.74	0.44	11	8
8	0.57	0.96	1.09	0.57	10	7	52	0.50	0.85	0.87	0.52	13	10	95	0.40	0.56	0.63	0.44	9	7
9	0.49	1.03	1.13	0.62	13	6	53	0.43	0.75	0.91	0.52	12	9	96	0.43	0.62	0.68	0.44	14	12
10	0.48	0.92	0.99	0.58	11	7	54	0.39	0.76	0.84	0.49	4	4	97	0.40	0.62	0.60	0.41	30	17
11	0.58	0.92	1.04	0.58	16	8	55	0.47	0.79	0.82	0.48	10	6	98	0.48	0.56	0.61	0.43	35	23
12	0.52	1.08	1.17	0.69	9	6	56	0.55	0.82	0.85	0.51	12	10	99	0.63	0.85	0.87	0.44	14	12
13	0.59	1.04	1.21	0.59	10	6	57	0.43	0.89	0.97	0.56	11	8	100	0.51	0.72	0.81	0.52	10	7
14	0.62	1.19	1.51	0.73	9	6	58	0.54	0.98	0.95	0.53	16	11	101	0.34	0.53	0.70	0.45	8	5
15	0.38	0.68	0.81	0.50	11	8	59	0.53	0.93	0.95	0.58	14	11	102	0.35	0.48	0.66	0.44	10	7
16	0.53	0.76	0.81	0.51	11	10	60	0.54	0.91	0.83	0.51	15	10	103	0.41	0.62	0.70	0.47	9	5
17	0.41	0.72	1.30	0.57	12	9	61	0.53	0.98	0.90	0.57	11	10	104	0.39	0.66	0.75	0.50	11	8
18	0.34	0.56	0.69	0.46	9	8	62	0.53	0.90	0.93	0.57	13	9	105	0.38	0.59	0.70	0.46	13	8
19	0.28	0.54	0.62	0.43	9	7	63	0.45	0.83	0.84	0.53	10	8	106	0.31	0.56	0.67	0.46	8	7
20	0.46	0.74	1.03	0.56	19	9	64	0.51	0.94	0.95	0.52	10	7	107	0.26	0.52	0.59	0.45	6	5
21	0.34	0.61	0.75	0.47	10	8	65	0.54	0.94	0.97	0.57	14	12	108	0.32	0.53	0.62	0.45	11	7
22	0.44	0.64	0.85	0.45	7	6	66	0.49	0.90	0.97	0.52	14	12	109	0.28	0.51	0.57	0.43	7	5
23	0.47	0.78	0.85	0.53	15	15	67	0.54	0.89	0.99	0.54	14	13	110	0.31	0.51	0.60	0.45	12	9
24	0.51	0.80	0.83	0.49	18	12	68	0.56	0.77	0.78	0.51	14	10	111	0.59	0.87	0.80	0.54	7	5
25	0.47	0.73	0.78	0.50	14	12	69	0.46	0.66	0.75	0.46	9	14	112	0.66	0.96	1.02	0.59	18	13
26	0.46	0.82	0.84	0.53	12	10	70	0.36	0.66	0.68	0.48	12	11	113	0.67	0.80	0.79	0.51	29	17
27	0.41	0.69	0.72	0.48	11	9	71	0.37	0.59	0.64	0.44	12	14	114	0.73	0.96	1.05	0.56	31	25
28	0.87	0.93	1.08	0.62	17	17	72	0.35	0.51	0.55	0.41	23	19	115	0.82	0.90	1.01	0.57	18	16
29	0.79	0.92	1.21	0.48	15	15	73	0.34	0.51	0.56	0.41	21	18	116	0.85	0.84	0.94	0.55	19	17
30	0.36	0.66	0.67	0.43	15	12	74	0.35	0.57	0.69	0.45	23	18	117	0.53	0.89	1.00	0.59	16	14
31	0.38	0.63	0.74	0.48	18	10	75	0.44	0.58	0.60	0.42	30	29	118	0.80	0.89	0.86	0.58	28	15
32	0.47	0.75	0.77	0.47	15	9	76	0.48	0.53	0.69	0.43	35	28	119	0.44	0.69	0.72	0.46	22	16
33	0.35	0.68	0.71	0.48	15	11	77	0.51	0.47	0.64	0.43	35	26	120	0.44	0.71	0.78	0.49	36	17
34	0.55	0.91	0.82	0.48	17	10	78	0.47	0.57	0.65	0.42	31	27	121	0.89	0.67	0.92	0.46	35	19
35	0.77	1.21	1.41	0.70	6	6	79	0.36	0.56	0.67	0.44	30	23	122	0.60	0.83	0.90	0.50	6	6
36	0.32	0.74	0.74	0.43	6	6	80	0.41	0.56	0.68	0.43	30	10	123	0.52	0.62	0.70	0.44	12	9
37	0.52	0.76	1.05	0.55	7	5	81	0.43	0.63	0.66	0.46	33	33	124	0.48	0.67	0.76	0.52	17	12
38	0.83	1.26	2.44	0.81	4	3	82	0.41	0.55	0.65	0.43	23	20	125	0.41	0.73	0.70	0.47	13	12
39	0.65	0.93	1.20	0.58	6	6	83	0.50	0.65	0.74	0.49	27	22	126	0.55	0.90	0.98	0.56	16	11
40	0.45	0.86	0.92	0.54	21	11	84	0.53	0.77	0.87	0.54	27	18	127	0.40	0.60	0.67	0.46	13	7
41	0.61	0.89	1.12	0.56	9	8	85	0.32	0.56	0.62	0.42	7	5	128	0.33	0.62	0.61	0.46	10	10
42	0.71	1.12	1.12	0.63	8	6	86	0.32	0.53	0.63	0.43	7	4	129	0.36	0.70	0.71	0.50	9	7
43	0.42	0.79	0.79	0.48	12	9	87	0.41	0.59	0.68	0.44	6	4	130	0.41	0.63	0.71	0.46	12	9
44	0.43	0.81	0.84	0.47	19	9														

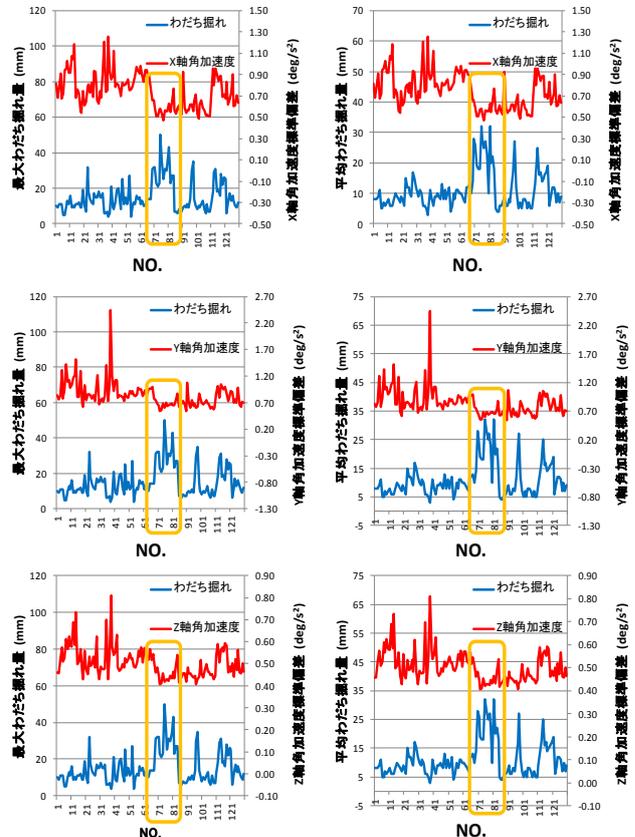


図-6 角加速度標準偏差とわだち掘れ量の比較図

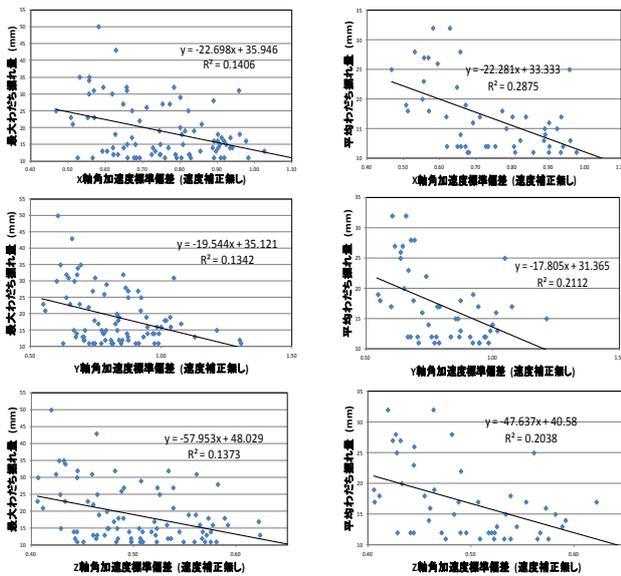


図-7 表-3 から得られた回帰式

表-4 相関係数

相関係数Rわだち掘れ量10mm以下削除			
標本数68	角加速度標準偏差		
	X軸	Y軸	Z軸
平均わだち掘れ量	0.54	0.46	0.45
最大わだち掘れ量	0.37	0.37	0.37

回帰式を算出する際、わだち掘れ量が11mm以上である区間のみを対象として回帰式を算出し、相関係数を求めた。まず、算出した回帰式を図-7に示す。次に、回帰式から得られた相関係数を表-4に示す。表-4から、X軸角加速度標準偏差と平均わだち掘れ量の間には「中程度の負の相関がある」という結果が確認された。

## (2) わだち区間走行時と平坦な路面走行時におけるセンサーデータの比較

ここでは、レール状のわだち区間走行時と平坦な路面走行時におけるX軸角加速度標準偏差の挙動比較を行った。レール状のわだち区間走行時におけるX軸角加速度データとしては、既存の研究によって得られたセンサーデータ（延長：500m）を用いた。また、平坦な路面走行時におけるX軸角加速度データとしては、筆者らが取得したH25年舗装補修工事済み区間データを用いた。これらのデータをまとめたものを図-8に示す。図中赤線が今回焦点を当てた区間のX軸角加速度標準偏差の挙動であり、その他の3つが舗装補修工事済み区間のX軸角加速度標準偏差の挙動を表したものである。図-8から、平坦な路面走行時におけるX軸角加速度標準偏差の値には大きなばらつきがみられる。しかし、レール状のわだち区間走行時におけるX軸角加速度標準偏差の値は平坦な路面走行時に比べ、ばらつきが少ないことが確認された。

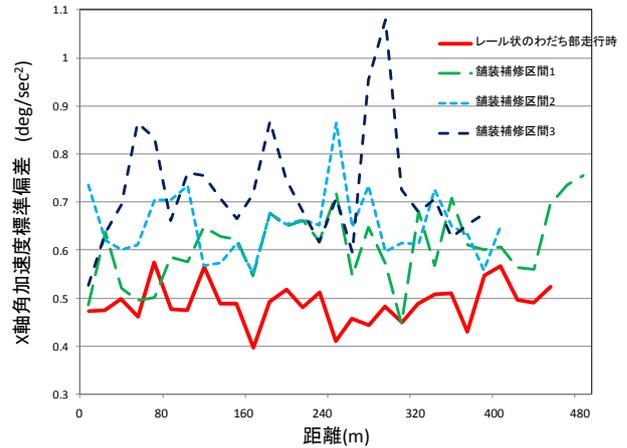


図-8 X軸角加速度標準偏差の挙動検証図

また、レール状のわだち区間走行時におけるX軸角加速度データの平均値が平坦な路面走行時に比べ小さいことから、従来の評価信号に加え、X軸角加速度標準偏差を新たな評価信号とすることで、レール状のわだち区間走行時にわだちを損傷として検出できると考えられる。

## 5. 結論

以下に、本研究で得られた成果をまとめる。

1) この検証区間については、平坦性と「一步感舗」の評価信号であるZ軸角加速度標準偏差との間には中程度の正の相関が確認された。しかし、ひび割れ率・平坦性と3軸方向加速度・角速度標準偏差の間においてはある程度相関がみられるものの、レール状のわだち掘れについては相関が低いことが確認された。

2) レール状のわだち検出のために信号解析を行った結果、X軸角加速度標準偏差がレール状のわだち区間走行時に信号値が小さくなるという特性が確認された。これは、わだち内を走行する車両のタイヤがわだちにより、X軸回転方向の挙動が制限されると推定されるからである。この推定は、舗装補修後の路面状況が良好な場合、X軸回転方向のタイヤの自由度が高くなるため信号値が大きくなったことで説明が付くと考える。このことから、X軸角加速度標準偏差に閾値を設け、システムに組み込むことで、「一步感舗」の弱点であったわだちの検出が可能となり、路面損傷検出精度が向上するものと考えられる。

## 参考文献

- 1) 吉武俊章, 溝部和広, 安村成史, 宮本文穂: 走行映像と車内走行音および車両振動を用いた舗装路面簡易評価システムの開発, 土木学会論文集 F4, Vol. 69, No.1, pp.12-31, 2013.