

車両の動的応答に基づく 舗装わだち掘れ評価指標の開発

富山和也¹・川村彰²・中島繁則³・石田樹⁴・Alimujiang Yming⁵

¹ 学生員 修(工) 北見工業大学大学院工学研究科博士後期課程 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

² 正会員 博(工) 北見工業大学教授 工学部土木開発工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

³ 学生員 北見工業大学大学院工学研究科博士後期課程 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

⁴ 正会員 独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

⁵ 正会員 博(工) 北見工業大学非常勤研究員 SVBL (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

本研究の目的は、わだち掘れ形状の違いを考慮し、車両の動的応答に基づく汎用的なわだち掘れ評価指標の開発である。はじめに、実車を用いたわだち路での乗移り試験により、わだち掘れと車両の相互作用について検討したところ、わだち掘れの評価には車両のローリングを考慮する必要がある事がわかった。次に、車両応答に基づくわだち掘れ評価には Half-Car モデルが有効であることが認められたため、Half-Car の評価指標としての有効性について検討した。わだち掘れ深さが等しく形状の異なる断面において、ドライビングシミュレータによる被験者評価試験を実施したところ、Half-Car シミュレーションから得られたロールレートと累積値を指標とした場合、利用者意識との間に強い相関がある事がわかった。

Key Words : *pavement rutting, Half-Car model, pavement rutting index, driving simulator*

1. はじめに

舗装路面は歩行者や車両との接点となるため、道路利用者にとって身近な土木構造物であり、道路の安全性・快適性、経済性及び環境問題など、利用者に対し非常に重要な役割を果たしている。また、路面状態の良否は道路利用者のみならず、車外騒音や地盤振動の様に、沿道環境に対しても重大な影響を及ぼす¹⁾。

舗装の主な補修要因は、路面性状三要素と呼ばれる「ひび割れ」、「わだち掘れ」、「平坦性」を原因とするものがその大半を占めるが、その中でも、道路利用者や沿道環境に直接影響を与える「わだち掘れ」及び「平坦性」が管理者のみならず利用者にとっても大きな関心事となっている²⁾。

今日、舗装の設計や施工は、舗装構成や仕様材料を一律に定める仕様規定から、舗装に要求される性能を満足するよう設計や施工を行う性能規定へと変遷してきている。これまでは、路面騒音値等環境関連を性能指標とするものが主流であったが、最近ではわだち掘れや疲労破壊輪数など、その他の性能指標を対象としたものも増えつつある。そのため、利用者の意識を考慮した評価基準策定への要望が高まっており、車両の動的応答に基づく平坦性評価指標である国際ラフネス指数 (IRI: International

Roughness Index) を用いた振動乗り心地の評価がその代表例である³⁾。

上述のように、平坦性に関しては、IRI が開発され利用されるようになり、利用者意識を考慮した管理目標の算定が試みられている。ここで、IRI は、算出者によらず同一の値となり、非舗装路から高速道路や空港滑走路といった質の高い路面までを同一の尺度で評価できる特徴を有する⁴⁾。

一方、わだち掘れについては、わだち掘れ深さを評価指標とし、車両の走行性やすべり抵抗性、沿道への水はねといった観点から、車両に作用する加速度など、それぞれの評価項目と結びつける研究がなされている⁵⁾。しかし、わだち掘れ深さは、道路管理機関毎に算出基準が異なる事や、わだち掘れ形状を一意的に取り扱う等、その運用に際し少なからず問題があるものと考えられる。特に、筆者らは、深さが同様のわだち掘れであっても、形状の違いによって車両に与える影響が異なる事を示している⁶⁾。このように、舗装路面の評価において固有の指標を用いる事は、舗装マネジメントシステムにおいて経済的損失を生むなどの悪影響を招く事が示唆されている⁴⁾。また、現在の指標は主として道路技術者の経験に基づく技術的視点から作られたものであり、利用者の意識を反映していない。

そこで、本研究では、車両の動的応答に基づく事で、道路種別や地域環境に依存せず、形状の違いを考慮できるようなわだち掘れ評価指標の開発を目的とし、以下の検討を行う。

- (1) 実車両を用いたわだち路走行試験により、わだち掘れが車両に及ぼす影響について、実験的に考察する。
- (2) 実車両試験結果の考察を踏まえ、わだち路を走行する車両挙動を単純な運動モデルにより理論的に考察し、わだち掘れ評価指標の算定を行う。
- (3) ドライビングシミュレータ（以下、「DS」とする）を用いた被験者評価試験により、開発した評価指標の妥当性について検証する。

2. 実車試験によるわだち掘れの影響評価

本章では、実車両を用いた走行試験により、わだち掘れが車両へ及ぼす影響について検討する。既往の研究から、わだち掘れは車両の操縦性・安定性（以下、「操安性」とする）に影響を及ぼす事が知られている。操縦性とは、一般にドライバの意思通りに車両が動くかどうかを表す性能であり、安定性とは、自動車の運動をかき乱すような外乱が作用した際に、現在までの進路をそのまま保持しようとする性質をいう。操安性は、車両運動のうち「横の運動」であり、わだち掘れは「横方向の平坦性」であることから、本研究でも、車両の操安性に着目し検討を行った。

(1) 走行試験の概要

a) 走行試験路

実車両を用いた走行試験は、安全性を考慮し、寒地土木研究所苫小牧寒地試験道路のわだち路にて行った。試験方法は、操安性試験の代表である車線乗移り走行試験のうち、ISO3888-1(1999)に規定されるダブルレーンチェンジ試験（Double Lane Change 試験：以下「DLC 試験」とする）とした⁷⁾。DLC 試験コースの概要を図-1 に、試験路の外観を写真-1 に、それぞれ示す。また、同様の試験を平坦路面においても行った。

b) 試験路の横断プロファイル

試験路における横断プロファイルの一例を図-2 に示す。ここで、わだち掘れ深さの算出方法は、図-3 に示す様に平均法とピーク法に大別され、 D_1 と D_2 で大きい方の値が用いられるが⁸⁾、試験路におけるわだち掘れ深さは、平均法で平均 28mm、ピーク法で平均 43mm である。

c) 試験車両

試験車両は、道路パトロール車と同等の諸元を有する SUV(Sport Utility Vehicle)タイプの車両（以下、「試験車

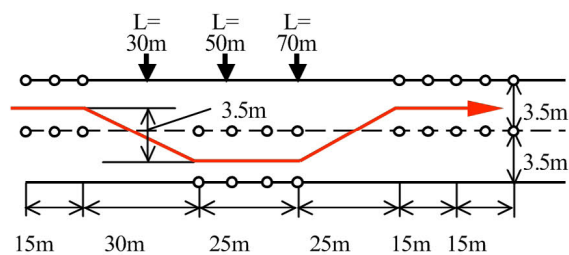


図-1 ダブルレーンチェンジ試験概要⁷⁾



写真-1 走行試験路外観

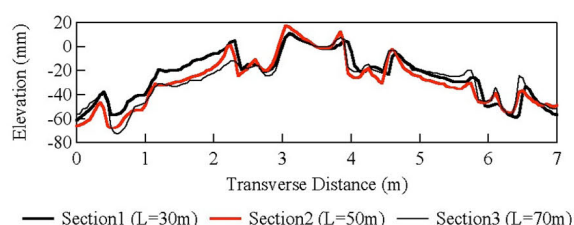


図-2 試験路における横断プロファイルの一例
(縦断距離Lは図-1に対応)

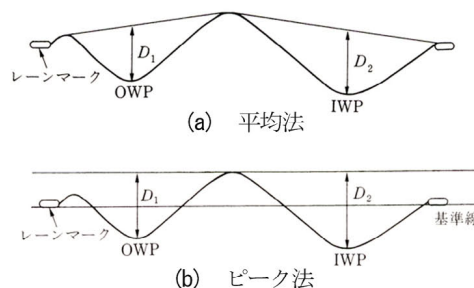


図-3 わだち掘れ深さの算出方法⁸⁾

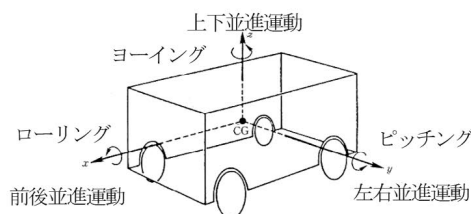


図-4 車両6分力⁹⁾

両」とする)を用いた。試験車両には、車両の6分力（前後・左右・上下並進加速度、ローリング・ピッチング・ヨーイング）⁹⁾の測定が可能な姿勢制御装置を車両バネ上重心位置付近に設置した。車両6分力を図-4に示す。また操舵角度及び操舵トルクの計測が可能な操舵計をステアリングホイールに設置した。

(2) 車両挙動解析

本節では、わだち路及び平坦路における同一条件下での DLC 試験結果を比較し検討することで、わだち掘れが車両挙動へ及ぼす影響について明らかにする。

a) 解析対象

解析対象となる計測項目は、車両の操安性並びに振動特性に関係の深い、横方向加速度、ロール角度及び操舵角とした。上下方向の振動に関しては、ローリングにおいて、左右輪への路面入力が同一である特殊な場合とし、解析対象から除いた。なお、試験車両の走行速度は 60km/h である。また、解析対象のサンプリング周波数は、最も低い操舵計に合わせ 10Hz に統一した。

b) 波形解析

わだち路及び平坦路での DLC 試験結果の時系列波形及び、それぞれの周波数成分を調べるため、解析対象波形のパワースペクトル密度（以下、「PSD」とする）を図-5 に示す。図-5 より、わだち路及び平坦路において傾向に大きな違いはないが、わだち路では平坦路に比べ振動成分の増加が見られる。これは PSD に顕著に現れており、およそ 0.8Hz 以下の低周波成分ではわだち路、平坦路とも同様の値であるが、高周波成分においては操舵角を除き、わだち路が平坦路に比べ増加していることがわかる。また操舵角の PSD は、周波数成分によらずほぼ同様の大きさであるが、およそ 0.8Hz 以上の帯域での周波数変動が激しくなっている。

以上より横方向加速度及びロール角度において 0.8Hz 付近を境に、低周波成分は乗移り時の遠心力成分に起因し、わだち掘れの影響が高周波成分に現れているものと考えられる。また、わだち路における操舵角の大きな増加はないが、ステアリング操作の複雑さが窺える。

c) わだち掘れ周波数伝達システムによる比較

DLC 試験結果のさらに詳細な分析を行うため、周波数伝達特性を利用した比較方法を提案する。まず平坦路での試験結果を入力とし、わだち路での試験結果を出力とすると、DLC 試験において路面以外の条件が等しいことから、わだち掘れをある種のシステムとして考える事ができる（図-6）。入出力の PSD をそれぞれ G_{in} 、 G_{out} とすると、わだち掘れを式(1) により求められる周波数領域での伝達特性 H_a により表現することができる¹⁰⁾。

$$H_a = \sqrt{G_{out}/G_{in}} \quad (1)$$

図-7 に解析対象の周波数伝達特性を示す。図-7 より、図-5 に示す PSD 同様、およそ 0.8Hz 以下の帯域では各解析対象が概ね同様の傾向で推移している。この事からも、0.8Hz 以下の成分は、DLC 試験において、路面状況に関

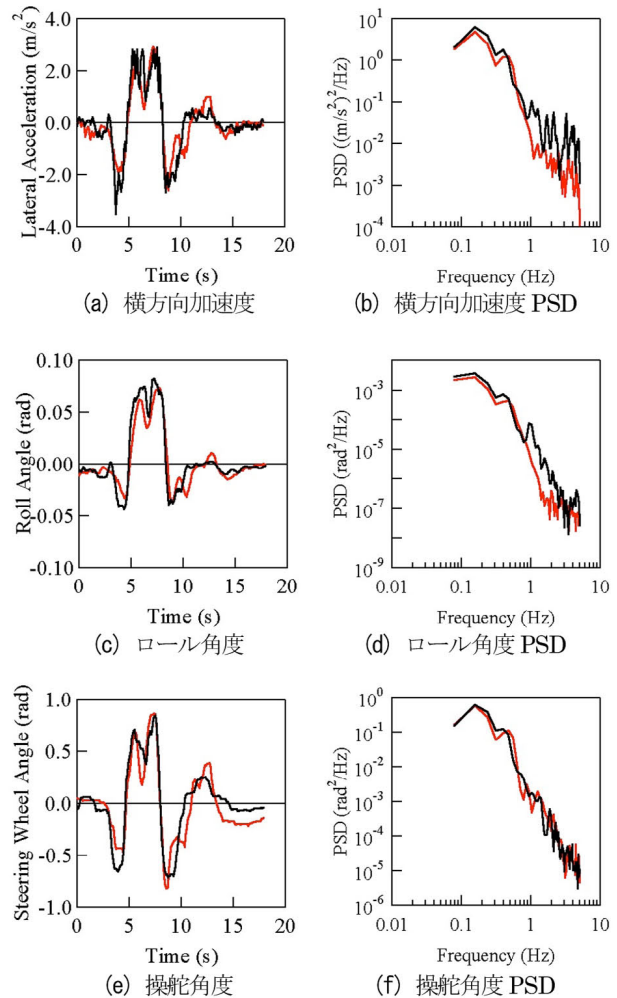


図-5 走行試験結果
(凡例 — Rutted Road — Even Road)

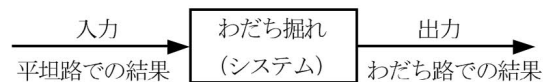


図-6 わだち掘れ伝達システム

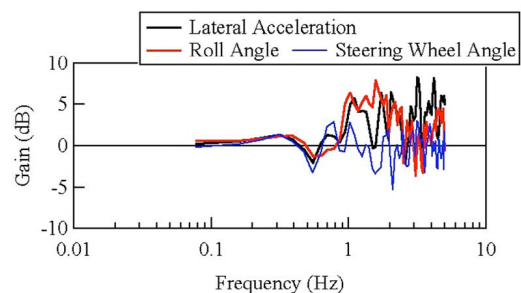


図-7 わだち掘れの周波数伝達特性

係なく、乗移り時の遠心力成分によるものが主であるとわかる。また、横方向加速度、ロール角度ともステアリング操作と密接に関係している事がわかる。一方、0.8Hz 以上の帯域では、どの解析対象もその変動が大きくなっているが、特に横方向加速度及びロール角度の増加が著しい。しかし、操舵角においては、ステアリング操作の

複雑さが窺えるものの、0dB付近を基線に変動しており、横方向加速度及びロール角度に比べその増加量は小さい。さらに、横方向加速度とロール角度がほぼ同様の傾向で推移していることから、わだち掘れによる左右輪への入力の違いが、車両のローリングとして現れ、その影響により車体が傾斜し横方向加速度が増加しているものと考えられる。

以上より、わだち掘れの評価では、左右輪での異なる路面入力による、車両のローリングを把握する事が必要であるとわかった。

3. 理論モデルによるわだち掘れ評価

わだち掘れが車両挙動に与える影響は、主として車両のローリングによるものである事を上述した。そこで、本章では、左右輪への異なる路面入力、及びそれに起因する車両のローリングを表現できる単純な運動モデルを作成し、シミュレーション結果を実車試験結果と比較することで、わだち掘れ評価への適応性について検討する。

(1) 理論モデル

車両の運動モデルとしては、IRI の算定に資する Quarter-Car モデルの様に比較的単純なものから、車両運動シミュレータで利用されるような複雑なものまで用途に合わせ様々な自由度を持つモデルが提案されている¹¹⁾。本研究では、左右輪が独立し、車両のローリングを考慮できるモデルであり、比較的単純な Half-Car モデル（以下「HC モデル」とする）を理論モデルとして用いた。

HC モデルとは、4 輪 2 軸の車両のうち、2 輪 1 軸の前輪もしくは後輪を取り出したものであり、左右路面凹凸の違いや、車両の回転運動を考慮できる比較的単純な運動モデルである。特に、本研究では ASTM (American Society of Testing Material) で規格化されている独立懸架式の HC モデルを用いた¹²⁾。ASTM の HC モデルを図-8 に示す。また、運動方程式を、式(2)～(5)に示す。なお、ASTM の HC モデルにおいて、タイヤ減衰定数 $C_2=0$ であることから、運動方程式中のタイヤ減衰に係る項は省略した。

$$M_2 \ddot{z}_1 = K_2(z_{p1} - z_1) - C_1(\dot{z}_1 - \dot{z}_a) - K_1(z_1 - z_a) \quad (2)$$

$$M_2 \ddot{z}_2 = K_2(z_{p2} - z_2) - C_1(\dot{z}_2 - \dot{z}_b) - K_1(z_2 - z_b) \quad (3)$$

$$M_H \ddot{z}_3 = C_1(\dot{z}_1 - \dot{z}_a) + K_1(z_1 - z_a) + C_1(\dot{z}_2 - \dot{z}_b) + K_1(z_2 - z_b) \quad (4)$$

$$I_H \ddot{\phi} = \{C_1(\dot{z}_1 - \dot{z}_a) + K_1(z_1 - z_a)\}l - \{C_1(\dot{z}_2 - \dot{z}_b) + K_1(z_2 - z_b)\}l \quad (5)$$

ここで ([]内は使用した値)、

C_1 : ダンパ減衰定数 [40 kgs/m]

I_H : 車体ロール慣性モーメント [1.29 kgs²m]

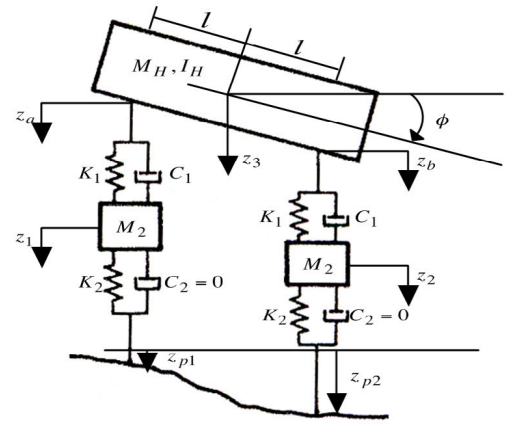


図-8 ASTM Half-Car モデル¹²⁾

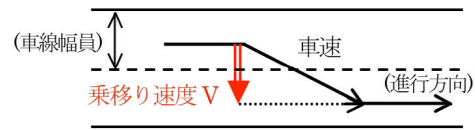


図-9 乗移り速度の定義

K_1 : サスペンションバネ定数 [575 kg/m]

K_2 : タイヤバネ定数 [3110 kg/m]

l : 車両重心位置-懸架装置間距離 [0.7275 m]

M_H : 車体質量 [10 kgs²/m]

M_2 : バネ下質量 [1.25 kgs²/m]

z_a, z_b : バネ上変位

z_{p1}, z_{p2} : 路面変位入力

z_1, z_2 : バネ下変位

z_3 : 車体重心上下変位

ϕ : 車体ロール角

(2) Half-Car シミュレーションの再現性

試験路から得られたわだち掘れプロファイル（図-2 に示す 3 断面）を路面変位入力とする HC シミュレーションを行い、実車試験結果との比較検討により、HC シミュレーションの再現性を検証した。なお、上述のように、わだち掘れの評価には車両のローリングを把握する事が重要であることから、本検討においてもロール角度に着目した。

HC シミュレーションの主な手順を以下に示す。

- トレッド（懸架装置間距離：図-8 中 $2l$ ）は試験車両に合わせ、1.455m とする。その他の諸元は ASTM モデルに準ずる。
- 図-9 に示すように、車速に対する乗移り方向の速度ベクトルを求め、乗移り速度と定義する。車速 60km/h に対する乗移り速度は 1.9313m/s である。
- 乗移り速度を V とすると、路面変位入力を右輪に対し、 $2l/V$ の遅れを持たせて左輪に入力させる。

なお、運動方程式の解法には The MathWorks 社の MATLAB/Simulink を用い、Runge-Kutta 法により計算した¹³⁾。また、出力結果のサンプリング間隔は実車試験に合わせ 10Hz とした。

a) 時間領域での検討

HC シミュレーションによるロール角度の計算結果を図-10 に示す。図-10 から、DLC 試験における乗移り部分だけを取り出しているため、図-6 に示す実車試験の結果のように遠心力に起因する大きな変動は見られない。これは、HC シミュレーションが車線乗移り走行時におけるわだち掘れの影響成分のみを検出しているといえる。また、入力された路面に片勾配（排水勾配）が設けられているため、基線のずれが生じている。

b) 周波数領域での検討

出力結果の周波数成分を調べるため PSD を算出し、実車試験から得られたロール角度の PSD と比較した。図-11 に PSD の算出結果を示す。図-11 より、およそ 0.8Hz 以下の低周波成分で実車に比べ HC シミュレーションの値が小さい。これは、およそ 0.8Hz 以下の成分が、車線乗移り時の遠心力を主な要因とするためである。一方、0.8Hz 付近以上の成分では、2.5Hz 以上の帯域で HC シミュレーションの値がやや大きいものの、実車試験と概ね同様の傾向にある。HC モデルが比較的単純なモデルであり、懸架装置等の諸元が異なる事を考えれば妥当な結果であり、1.0Hz 及び 1.7Hz 付近に同様の共振が見られる事からも、HC モデルはわだち掘れの影響を良く再現しているといえる。

4. わだち掘れ評価指標の算定と検証

本章では、深さが同一で形状がそれぞれ異なるわだち掘れ断面において HC シミュレーションを行い、シミュレーションから得られる出力を基にわだち掘れ指標を算定する。また、被験者評価試験を行い、算定された指標の妥当性を検証する。

(1) 車両応答に基づく評価指標の算定

a) 路面プロファイルデータ

路面プロファイルデータは1998年に日本で行われた路面平坦性に関する第2回 PIARC 国際共通試験（通称「EVEN 試験」）のデータを利用した¹⁾。

わだち掘れの形状は一般に、「流動性」と「摩耗性」、「デュアル」と「シングル」に大別される。そこで、これらの組み合わせによる4断面を選別した。今後、試験路から得られたプロファイルと区別するため、「EVEN プロファイル」と称し、以下参照する。また、わだち掘

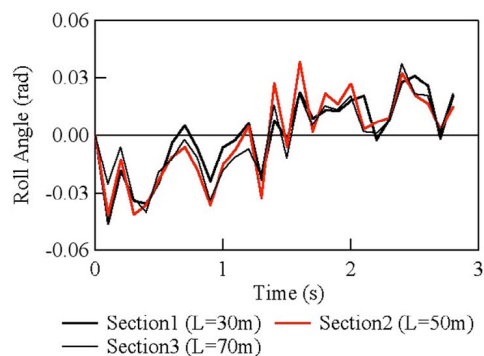


図-10 試験路プロファイルでの Half-Car シミュレーション結果

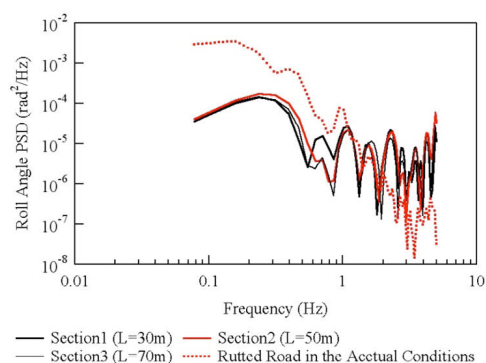


図-11 周波数領域での比較

表-1 EVEN プロファイルの特徴

断面	SITE, Dist.	流動/摩耗	シングル/デュアル
A	SITE3, L=220	流動	デュアル
B	SITE4, L=160	流動	シングル
C	SITE7, L=160	摩耗	シングル
D	SITE11, L=240	摩耗	デュアル

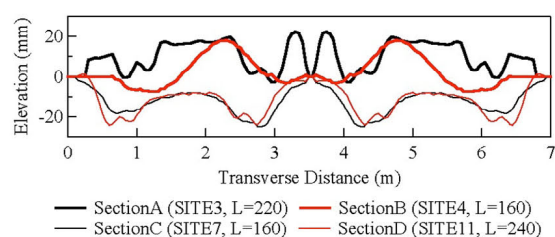
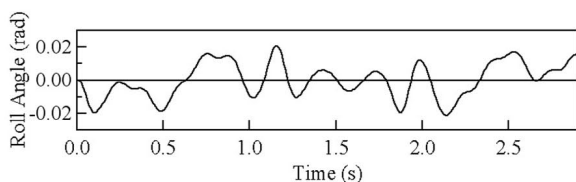


図-12 EVEN プロファイル

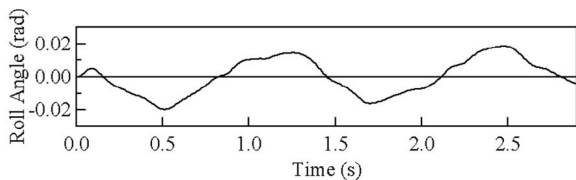
れ深さはピーク法で算出した際 25mm となる。使用する EVEN プロファイルの特徴を表-1 に示す。また、EVEN プロファイルを図-12 に示す。

b) Half-Car シミュレーション

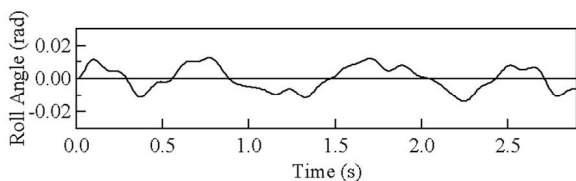
HC シミュレーションの手順は3章(2)と同様であるが、トレッド幅は被験者評価試験で用いるドライビングシミュレータの車両諸元に合わせ 1.48m とした。DS の詳細については後述する。出力項目は、ロール角度及び、ロー



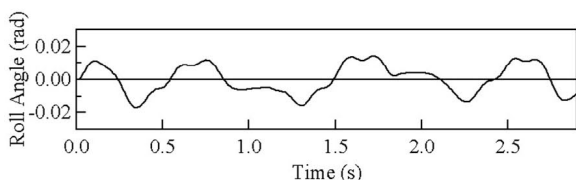
(a) 断面 A (SITE3, L=220)



(b) 断面 B (SITE4, L=160)

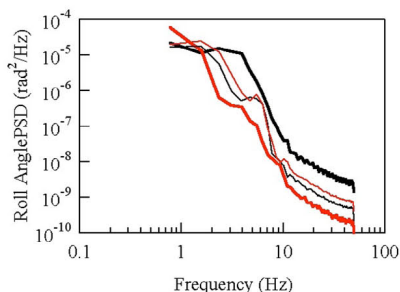


(c) 断面 C (SITE7, L=160)



(d) 断面 D (SITE11, L=240)

図-13 EVEN プロファイルでの
Half-Car シミュレーション結果 (ロール角度)

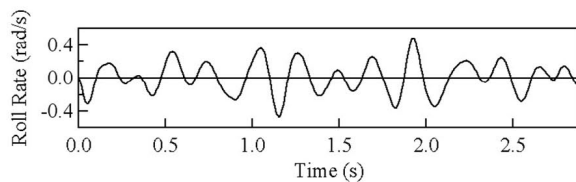


— SectionA (SITE3, L=220) — SectionB (SITE4, L=160)
— SectionC (SITE7, L=160) — SectionD (SITE11, L=240)

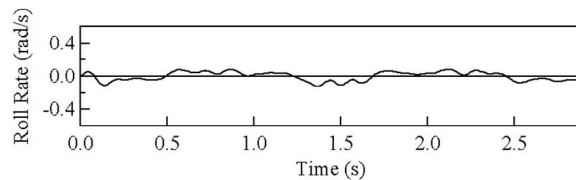
図-14 ロール角度 PSD 算出結果

ル角度の変化率を見るため、ロール角度の 1 階微分であるロールレートとした。サンプリング周波数は 100Hz である。

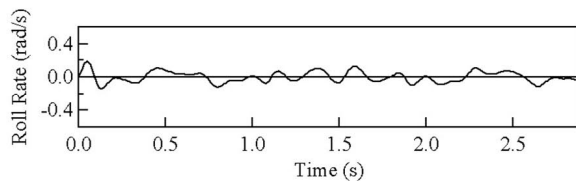
図-13 にロール角度のシミュレーション結果を、図-14 にロール角度の PSD を示す。また、図-15 にロールレートのシミュレーション結果を、図-16 にロールレートの PSD を示す。図-13～図-16 より、同様のわだち掘れ深さであっても、車両挙動に与える影響が異なることがわかる。図-13 より、わだち掘れ形状の違いにより振幅の値には大きな差はないものの、図-14 の PSD から振動数に差が生じている。また、図-15、図-16 から振幅変動の差が見て取れる。特に、断面 A は、他の断面に比べて激し



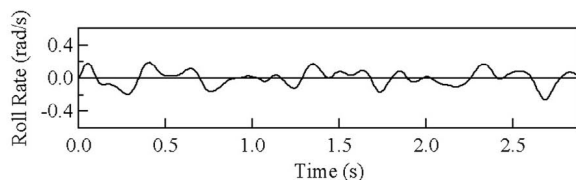
(a) 断面 A (SITE3, L=220)



(b) 断面 B (SITE4, L=160)

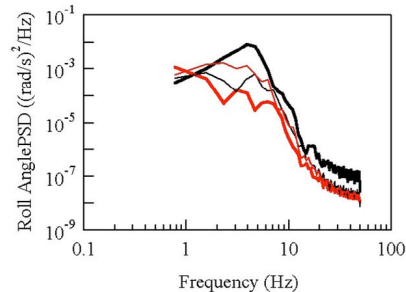


(c) 断面 C (SITE7, L=160)



(d) 断面 D (SITE11, L=240)

図-15 EVEN プロファイルでの
Half-Car シミュレーション結果 (ロールレート)



— SectionA (SITE3, L=220) — SectionB (SITE4, L=160)
— SectionC (SITE7, L=160) — SectionD (SITE11, L=240)

図-16 ロールレート PSD 算出結果

く振動していることがわかる。以上より、わだち掘れの評価には、深さのみならず、その形状を考慮する必要があると考えられる。

c) 評価指標の算定

車両応答に基づきわだち掘れを評価した場合、深さのみならず、形状を考慮する必要があることを上述した。

そこで、本研究では、HC シミュレーションの出力項目であり、わだち掘れの影響を受けるロール角度とロールレートについて、それぞれ以下のように単位ステップ当たりの変動を累積した指標を提案する。

表-2 作成したわだち掘れ指標の計算結果

断面	SITE	RAI	RRI
A	SITE3, L=220	0.69	12.5
B	SITE4, L=160	0.69	3.9
C	SITE7, L=160	0.38	4.3
D	SITE11, L=240	0.51	6.1

$$RAI = \frac{\sum |\phi_i|}{L} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n-1) \quad (6)$$

$$RRI = \frac{\sum |\dot{\phi}_i|}{L} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n-1) \quad (7)$$

ここで、

RAI : Roll Angle Index, ロール角指標(rad/m)

RRI : Roll Rate Index, ロールレート指標(rad/s/m)

ϕ_i : ロール角度 (rad)

$\dot{\phi}_i$: ロールレート (rad/s)

L : 車線幅員 (m)

i : 単位ステップ

n : データ点数

表-2 に EVEN プロファイルに対する, RAI 及び RAA の適用結果を示す. なお, それぞれの精度を考慮し RAI は小数点 2 桁, RAA は小数点 1 桁とした.

(2) ドライビングシミュレータによる被験者評価試験

本節では, DS を用いた被験者評価試験により, わだち掘れ形状の違いに対する被験者の意識について調査した.

a) Kitami Institute of Technology Driving Simulator

被験者による走行試験を実施するにあたり, 実道における試験では, 被験者の安全性や必要とされる路面状況の確保といった観点から, 多くの困難が伴う. 一方, DS を用いた走行試験では, 安全性の確保や実験条件の容易な設定, 同一条件で繰り返し実験が行えることなど多くの利点を有する. Kitami Institute of Technology Driving Simulator (以下, 「KITDS」とする) は, 安全運転教育や景観評価といった従来の機能に加え, 実路面プロファイルの再現が可能な路面評価型の DS である¹⁴⁾. 筆者らは, KITDS において, わだち路を乗移り走行した際の振動再現性について検討した結果, 高い再現性が得られることを示している¹⁵⁾. そこで, 本研究では KITDS を用い, 被験者評価試験を行った. 写真-2 に KITDS の外観を示す. また, 写真-3 に KITDS で再現したコース画像を示す.

b) 被験者評価試験概要

被験者評価試験は, 成人男女 8 名に対し, 走行条件として図-1 に示す DLC 試験を課した. 路面条件は図-12 に示す EVEN プロファイル 4 断面及び平坦路である. 評価方法は, 各走行パターン終了後すぐに, 図-17 に示す「(乗



写真-2 KITDS の外観



写真-3 KITDSN における再現コース

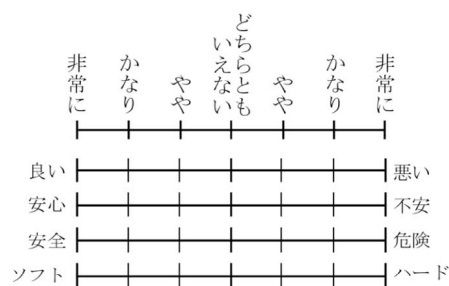


図-17 アンケート評価項目

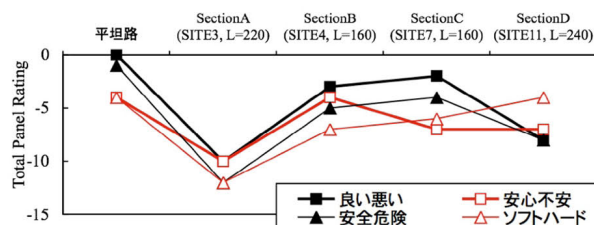


図-18 被験者評価試験結果

り心地が) 良い-悪い」など対になった項目に対し, 「どちらでもない」を中心に「やや」, 「かなり」, 「非常に」の3段階, 計7段階評価のアンケート調査を行った. 「ソフト-ハード」とは振動のフワフワ感, ゴツゴツ感を表すものとの説明を加えた.

c) 評価試験結果

アンケート調査の集計は, 「どちらでもない」を”0”として, それぞれの項目を-3〜+3で評価し, 合計を求めた. 評価値の範囲は”±24”である. アンケートの集計結果を図-18に示す. 図-18より, アンケート項目毎に大きな違いはないが, わだち掘れ形状によって被験者の評価に差が生じていることがわかる. このことから, わだち掘れの評価において, 形状を考慮することの重要性が窺える.

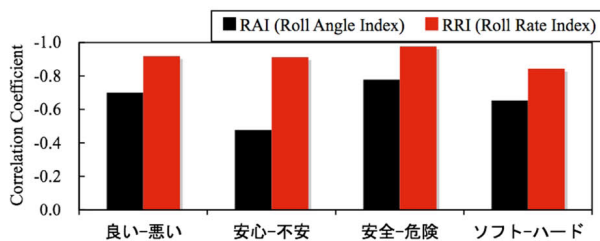


図-19 わだち掘れ指標と被験者評価値の相関

(3) 利用者意識に基づくわだち掘れ評価指標の検証

式(6), (7)によって求められた RAI 及び RRI に対する被験者評価値の相関係数を図-19 に示す。図-19 より, RRI がいずれの項目に対しても相関係数-0.8 以上と高い相関を示した。一方, RAI では, いずれも-0.6 前後と高い相関は得られなかった。また, t 検定を行ったところ, 全ての項目において, 有意水準 $p < 0.05$ と有意差が確認された。このことから, 被験者は, 車両ロール運動の変化率に対し評価を下しており, HC シミュレーションから得られる RRI は, わだち掘れ形状を考慮し, 利用者意識を反映した指標であることがわかる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・実車試験の結果から, 車両挙動に基づきわだち掘れを評価するためには, 車両のローリングを把握する必要がある事がわかった。
- ・車両応答に基づくわだち掘れ評価には, HC モデルが有効であるとわかった。そこで, HC シミュレーションから得られたロール角度及びロールレートをを用いた評価指標を提案した。
- ・KITDS を用いた被験者評価試験により, HC シミュレーションから得られたロールレートの累積値が, わだち掘れ形状及び利用者意識の両者を考慮した評価指標となり得ることがわかった。

今後, HC モデルに既定値のないトレッド幅及び速度の影響を検証し, 開発した指標の適用範囲について, 引き続き研究を進めたい。

参考文献

- 1) Kawamura, A., Takahashi, M., Inoue, T.: Basic Analysis of Measurement Data from Japan in EVEN Project, *Transportation Research Record*, No.1764, pp.232-242, 2001.
- 2) 秋本隆, 鈴木康一, 井上良和: ポータブル型路面プロファイル測定装置の開発, 舗装, Vol.36, No.8, pp.3-7, 2001.
- 3) 例えば, 石田樹, 岳本秀人, 川村彰, 白川龍生: ドライビングシミュレータによる舗装路面の乗り心地・安心感評価, 土木学会舗装工学論文集, 第9巻, pp.49-56, 2004.
- 4) 笠原篤: 舗装マネジメントシステム, 土木学会論文集, No.478/V-21, pp.1-12, 1993.
- 5) 例えば, 久保和幸: わだち掘れ抵抗性能, アスファルト, Vol.44, No.208, pp.24-27, 2001.
- 6) 富山和也, 川村彰, 白川龍生: わだち掘れ形状の違いが車両挙動に与える影響に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol.62(CD-ROM), V-2, 2006.
- 7) ISO: Passenger cars -Test track for a severe lane-change manoeuvre, Part1: Double lane-change, ISO3888-1. (1999), 1999.
- 8) 土木学会土木構造物および基礎委員会「舗装工学」編集委員会編: 舗装工学, 丸善, 1995.
- 9) 安部正人: 自動車の運動と制御, 山海堂, 1992.
- 10) 日野幹雄: スペクトル解析, 朝倉書店, 1985.
- 11) Genta, G.: *Motor Vehicle Dynamics -Modeling and Simulation-*, World Scientific, 2004.
- 12) ASTM: Standard Practice for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profile of Traveled Surface, *ANNUAL BOOKS OF ASTM STANDARDS*, No.E1170-97, 2001.
- 13) The Math Works, Inc.: *Using Simulink Version 6*, 2005.
- 14) Kawamura, A., Shirakawa, T. and Maeda, C.: KIT Driving Simulator for Road Surface Evaluation, *Proceedings of the 5th Symposium on Pavement Surface Characteristics*, CD-ROM, 2004.
- 15) Tomiyama, T., Kawamura, A. and Shirakawa, T.: Evaluation of the pavement rutting used by KITDS, *Proceedings of DSC Asia/Pacific 2006*, CD-ROM, 2006.

DEVELOPMENT OF THE PAVEMENT RUTTING INDEX BASED ON THE VEHICLE DYNAMIC RESPONSE

Kazuya TOMIYAMA, Akira KAWAMURA, Shigenori NAKAJIMA
Tateki ISHIDA and Alimujiang YIMING

This paper deals with a development of a new rutting evaluation index based on the vehicle dynamics taking into account rut shape, the rutting/vehicle interaction, and driver sensitivity. The result of lane change at the proving ground shows that the rutting affects the vehicle rolling behavior consisted by the frequency band above 0.8Hz. The Half-Car model which is the conventional vehicle simulation model is effective to represent the roll response induced by the rutting. Then, we develop two indices which are accumulation value of roll angle/roll rate obtained from Half-Car simulation to evaluate the rutting. From result of the subjective assessment survey by a driving simulator, we conclude that the accumulation value of the roll rate as the index has the strong relationship with road user's senses.