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

Study on vehicle dynamics affected by the rut shape variations

北見工業大学大学院　○学生員　富山和也（Kazuya Tomiyama）
北見工業大学工学部　　正会員　川村　彰（Akira Kawamura）
北見工業大学工学部　　正会員　白川龍生（Tatsuo Shirakawa）

1. はじめに

舗装路面の性状は非常に複雑であり，その良し悪しは車両の走行に直接影響を及ぼすばかりでなく，道路利用者の快適性や安全性に重大な影響を及ぼす[1),2)]．特に，路面破損の主要因であるわだち掘れは道路利用者の安全性に直結する．そのため，その性状を正確に把握・評価し，適当な時期に適切な補修を行う事が必要である．

本研究の目的は，わだち掘れ形状の違いが車両挙動に与える影響を把握する事であり，わだち掘れが道路利用者に与える影響評価に関する基礎的研究となるものである．研究内容は，はじめに，著者らが開発した舗装わだちモデル（以下，「モデル」とする）[3)]により，幾つかの特徴でわだち掘れ形状を分類し，わだち掘れをモデリングする．続いて，分類されたわだち掘れが生じた路面を車両が走行した際の挙動について，車両運動シミュレーション（以下，「シミュレーション」とする）により再現する．そして，シミュレーションにより再現された車両挙動の内，わだち掘れとの関係が深く，車両の操縦性・安定性に影響を及ぼす横方向加速度に焦点を当て考察した．

なおシミュレーションに関しては，様々な運動モデルやシミュレーションソフトウェアが開発されているが，本研究では，ミシガン大学交通研究所（UMTRI）によって開発された汎用のシミュレーションソフトウェアである「CarSim」を用いた[4)]．

2. わだち掘れのモデリングと形状の分類

本章ではわだち掘れ形状を幾つかの特徴で分類する．

わだち掘れ形状の分類には，実際の道路から測定されたデータを元に分類する方法も考えられるが，任意のわだち掘れを自由に作成できるモデルを用いた方が本研究においてはシミュレーションの際に都合が良い．著者らは，わだち掘れの定量的な把握を目的に，実際のわだち掘れ形状を考慮し，シミュレーションに適したモデルを開発している[3)]．そこで，本研究ではモデルを用いて，わだち掘れ形状を幾つかの特徴で分類する．

2.1 舗装わだちモデルの概要[3)]

著者らが開発したモデルは，「車線中央部の高さ（y_2）」及び「左右 Wheel path におけるわだち掘れ深さ（y_1, y_3）」を入力する事により，形状を自由に変化させる事ができる．モデルの設計には，形状変化の自由度が高く，比較的簡易に再現できる事から 3 次のスプライン関数を用いた．モデルの概要を図-1 に示す．

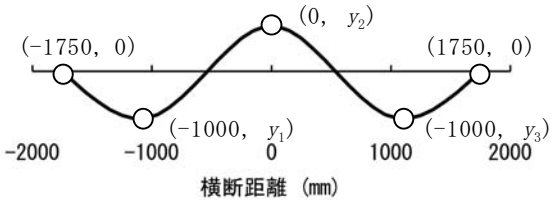


図-1　舗装わだちモデルの概要[3)]

2.2 わだち掘れの分類

わだち掘れは「流動性わだち掘れ」と「摩耗性わだち掘れ」に大別される．流動性わだち掘れとは，レーンマークを「基準点」としたときに，車線中央部付近が基準点より高い状態にあるものをいう．一方，摩耗性わだち掘れとは，基準点より車線中央部が低いか，もしくは車線中央部と同等の高さの状態にあるものをいう．近年，スパイクタイヤの禁止や重交通の増加に伴い，流動性わだち掘れが主流であるが，タイヤチェーン等による摩耗性わだち掘れも一部の地域で見受けられている．

そこで，上記の特徴に基づきわだち掘れを車線中央部の状態によって以下の 4 種類の形状に分類する．

(1) 基準点<0　（以下，「強摩耗性」とする）
(2) 基準点=0　（以下，「弱摩耗性」とする）
(3) 基準点>0　（以下，「弱流動性」とする）
(4) 基準点>>0　（以下，「強流動性」とする）

上記の(1)，(2)は摩耗性わだち掘れであり，(3)，(4)は流動性わだち掘れである．(4)は特に盛り上がりわだち掘れと称する場合もある．わだち掘れ形状の分類を図-2 に示す．

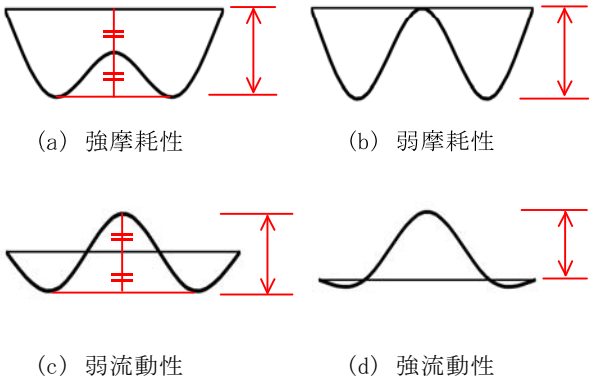


図-2　わだち掘れ形状の分類

3. わだち掘れが車両挙動に及ぼす影響

本章では，わだち掘れ形状の違いが車両車両挙動に及ぼす影響に関して，CarSim により車両挙動を再現し，わだち掘れ形状と車両に作用する横方向加速度の関係について考察する．

3.1 CarSim シミュレーションの条件

CarSim は乗用車や小型商用車の様々な運転条件や環境条件をユーザーが自由に設定でき，その時の車両挙動を再現するシミュレーションソフトウェアである．

本研究では，CarSim デフォルト車両の小型セダンを用い，操安性試験の一つであり，ISO3888-1(1999)に規定されているダブルレーンチェンジ試験（以下，「DLC 試験」とする）を行なった[5]．DLC 試験コースの概要を**図-3** に示す．なお，走行中，車両は与えられたステアリング操作以外は行なわず，アクセルやブレーキ，ギヤチェンジ等の操作も行なわないものとする．また，走行速度は時速 80km とする．

DLC 試験における主な環境条件は，車線幅員片側 3.5m，路面は乾燥状態（摩擦係数:0.75）であり，横風等の外乱は生じていないものとする．

また，横方向加速度の計測位置は車両のバネ上重心位置である．

以上の条件に基づき，わだち掘れ深さ 5mm から 40mm まで 5mm 刻みで，それぞれ上述のわだち掘れ形状の分類 4 種類について，DLC 試験を行った．

3.2 測定データの事前処理

はじめに，わだち掘れが生じていない路面における DLC 試験結果を「定常成分」と定義し，わだち掘れが生じている区間の結果から，定常成分を除去する事前処理を行なう．以降，定常成分除去後の値を「わだち掘れ寄与成分」と称し解析対象とする．事前処理前後の波形例を**図-4** に示す．

3.3 シミュレーション結果

事前処理を施した時系列波形において，わだち掘れ寄与成分の全振幅をわだち掘れ形状の特徴別に整理した結果を**図-5** に示す．

図-5 より，わだち掘れ寄与成分の全振幅において，弱摩耗性のわだち掘れが最大値を示し，次いで強摩耗性，弱流動性，強流動性わだち掘れの順である．このことから，わだち掘れが車両に与える影響は，横方向加速度に着目した場合，摩耗性わだち掘れが流動性わだち掘れに比べ大きい事がわかる．

よって，わだち掘れの評価に際しては，その形状を考慮する必要性があると考えられる．さらに，詳細な分析を行うため，次節において，スペクトル解析を行い，わだち掘れ寄与成分を周波数領域で検討する．

3.4 スペクトル解析結果

本節では，わだち掘れ寄与成分に関する周波数特性を検討するためにスペクトル解析を行う[6]．

はじめに，スペクトル解析を行うための事前処理として，解析対象であるわだち掘れ寄与成分をアンチ・エイリアシング・フィルタにより 10Hz 以下の周波数帯域に制限する[7]．そして，帯域制限された波形について，パワースペクトル密度を算出した[6),8)]．パワースペクトル密度の算出結果を**図-6** に示す．なお，解析対象のサンプリング周波数は 250Hz である．

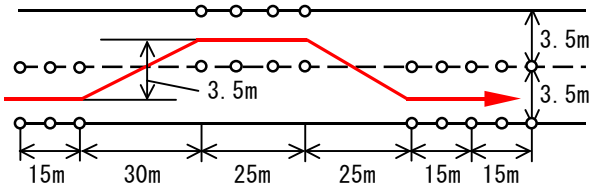
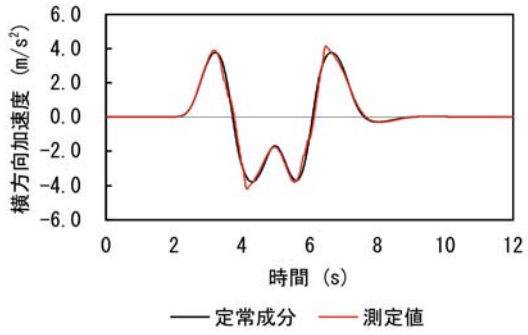
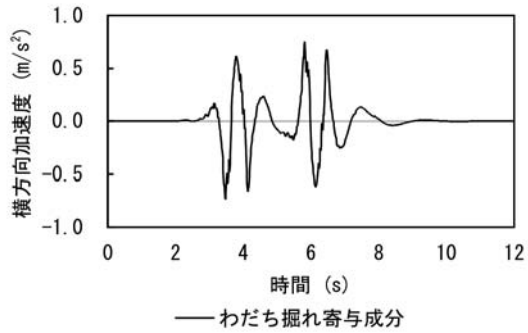


図-3　DLC 試験コース概要



(a)　事前処理前



(b)　事前処理後（わだち掘れ寄与成分）

図-4　測定データの事前処理例
（弱摩耗性わだち掘れ，深さ 30mm）

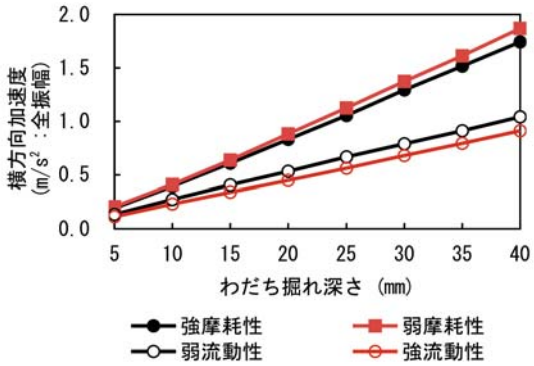


図-5　わだち掘れ寄与成分の全振幅

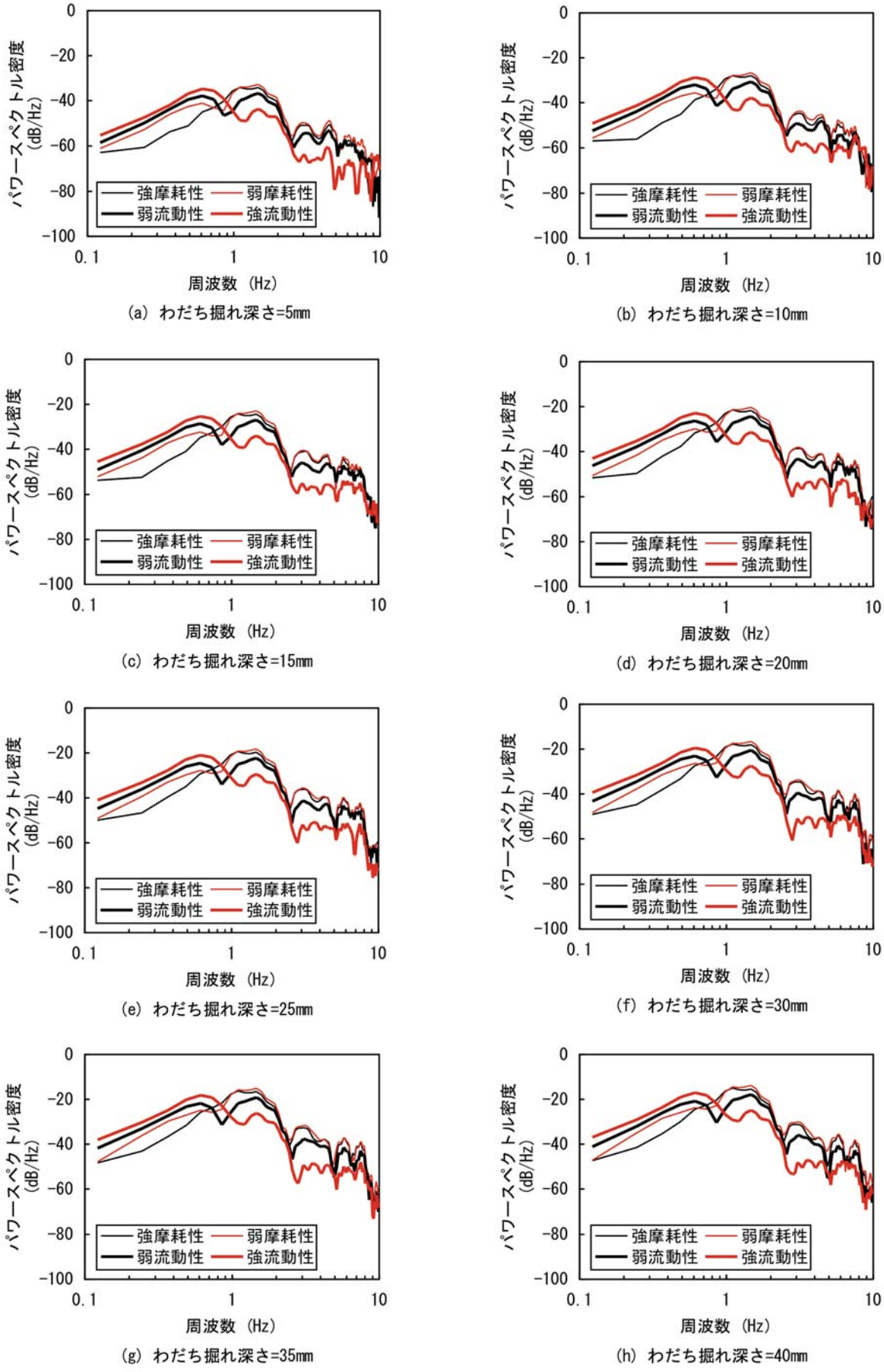


図-6　わだち掘れ寄与成分のパワースペクトル密度

図-6 より，わだち掘れ寄与成分の周波数特性は，わだち掘れ深さによらず同様の傾向を示した．形状別に見ると，摩耗性わだち掘れは 1-2Hz の間にピークを持ち比較的高い周波数成分が顕著であり，流動性わだち掘れは 0.5-0.7Hz の間にピークを持ち，比較的低い周波数成分が顕著である．

ここで，人間の受振感特性において水平方向では 1-2Hz の感度が高い事を考慮し[9]，1-2Hz の周波数帯域に着目すると，**3.3 節**におけるわだち掘れ形状の違いによるわだち掘れ寄与成分の大小は周波数成分の大小と一致していることがわかる．人の受振感特性の伝達関数を**図-7** に示す．また，**図-7** より，人間の水平方向の受振感特性は垂直方向に比べ感度が高い事がわかる．これは，わだち掘れを評価するにあたり，車両に作用する力の内横方向加速度を用いる事の妥当性を示している．

また，周波数領域における検討結果からも，わだち掘れ形状を考慮した評価の必要性が窺える．

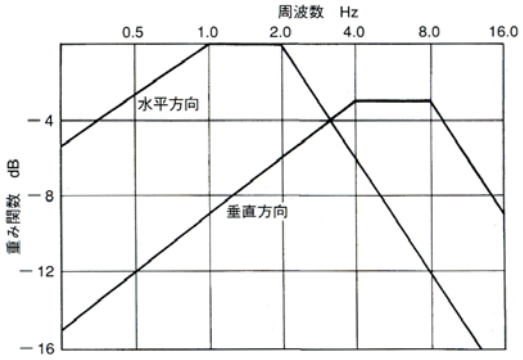


図-7　人間の伝達関数[9]

4. まとめ

本研究は，車両に作用する横方向加速度に着目し，わだち掘れ形状の違いが車両に与える影響について考察したものである．

本研究を要約すると以下のようになる．

(1) わだち掘れを形状の特徴別に，モデルを用いて分類した．分類は車線中央部の状態に着目し，摩耗性 2 種類（弱摩耗性，強摩耗性），流動性 2 種類（弱流動性，強流動性）の計 4 種類とした．

(2) 汎用の車両運動シミュレータである CarSim を用いて，分類されたわだち掘れの生じた路面上で DLC 試験を行い，車両バネ上重心位置に作用する横方向加速度を計測した．

(3) わだち掘れが生じていない路面上での DLC 試験結果を「定常成分」と定義し，わだち掘れ路面上における試験結果から定常成分を除去し，定常成分除去後の値を「わだち掘れ寄与成分」とし，解析対象とした．

(4) わだち掘れ寄与成分における全振幅を求め，各わだち掘れ深さにおいて形状別に整理した．その結果，車両に作用する横方向加速度に与える影響の大きさは，弱摩耗性，強摩耗性，弱流動性，強流動性の順であり，形状を考慮したわだち掘れ評価の必要性を示した．

(5) わだち掘れ寄与成分についてスペクトル解析を行い，その周波数特性について検討した．その結果，摩耗性わだち掘れに関しては 1-2Hz の間にピークを持ち，比較的高い周波数成分が顕著であり，流動性わだち掘れに関しては 0.5-0.7Hz の間にピークを持ち，比較的低い周波数成分が顕著である事がわかった．

(6) 人間の受振感特性において，水平方向で感度の高い 1-2Hz の周波数帯域に着目すると，わだち掘れ形状の違いによるパワースペクトル密度の大小は，わだち掘れ寄与成分の時系列波形における全振幅の大小と一致する事がわかった．

(7) わだち掘れを管理する際には，従来からの指標であるわだち掘れ深さに加え，その形状を考慮する必要がある事を示した．

(8) わだち掘れが車両及び道路利用者に与える影響に関しては，人間の受振感特性を踏まえた上で，車両に作用する横方向加速度のわだち掘れ寄与成分に着目する必要がある事を示した．

5. 今後の課題

本研究では，試験条件や走行速度，車両諸元を限定しシミュレーションを行った．今後，様々な条件の下で，実験を行う事により，わだち掘れが車両及び道路利用者に与える影響評価について研究を進めていきたい．

特に，近年注目を集めているドライビングシミュレータを用いて，ヒューマンファクタを考慮したわだち掘れの影響評価を行いたい．

参考文献

1) 川村彰：舗装考 路面の複雑さ，舗装，Vol.38，No.6，pp.1-2，2003.
2) 川村彰：講座・路面の評価(1)-平坦性に着目して-，舗装，Vol.36，No.8，pp.31-35，2001.
3) 富山和也，川村彰，白川龍生：舗装わだち掘れのモデリング方法に関する研究，土木情報利用技術論文集，Vol.14,pp.119-128,2005.
4) 例えば Sayers，M.W.，Mousseau，C.W. and Gillespie，T.D. ：Using simulation to learn about vehicle dynamics，International Journal of Vehicle Design，Vol.29，pp.112-127，2002.
5) ISO：Passenger cars - Test track for a severe lane-change manoeuvre - Part1 :Double lane-change (ISO3888-1),1999.
6) 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，1985.
7) 三上直樹：ディジタル信号処理の基礎 はじめて学ぶディジタルフィルタと FFT,CQ 出版社，2003.
8) 足立修一:MATLAB によるディジタル信号とシステム，東京電機大学出版局，2002.
9) カヤバ工業出版株式会社編：自動車のサスペンション，山海堂，2005.