

2. わだち掘れに関する要求性能

路面性能の低下はユーザーサービスの高低に直結する。路面に生じるわだち掘れは車両の快適な走行を阻害し、水はねによる周辺環境の負荷を引き起こすなど、サービスレベルを確保するために管理すべき重要な性能である。

(1) わだち掘れに対する認識

わだち掘れに対して、道路利用者（ドライバー、歩行者）と沿道住民、道路管理者それぞれの立場でどのような認識をもっているかについて整理することとする。道路利用者と沿道住民における要望は苦情内容や、特定地域（サービスエリアなど）におけるアンケート調査等の意向調査を通して行っている。道路管理者は舗装の管理水準や舗装の修繕計画を検討するなかでわだち掘れに言及している場合が多い。

a) 道路利用者と沿道住民

図-2.1.1に国道を対象に行われた、平成9年度全修繕箇所の、修繕前の苦情の有無についての調査結果（1997）を示す^{1),2)}。修繕箇所のうち約45%が修繕前に何らかの苦情を受けており、その苦情内容は、道路利用者からは乗り心地、水はねの順に多く、沿道住民からは騒音、振動が多い。

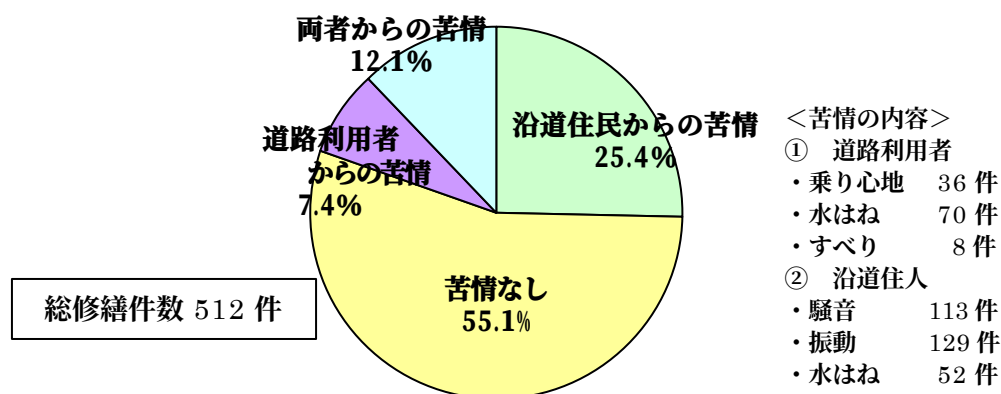


図-2.1.1 苦情の有無(1997)^{1),2)}

表-2.1.1に、建設省が昭和59年度に実施した維持修繕工事926件について、沿道住民から寄せられた苦情、およびその発生要因を整理した結果を示す³⁾。この結果から、沿道住民は振動、騒音、水はねの発生原因をわだち、ひび割れ、段差に起因していると考えてお

り，特にわだちは全苦情件数の約50%を占め，最多となっている。

表-2.1.1 苦情の内容と発生要因(1984)³⁾

苦情発生要因水準 \ 苦情の内容	騒音	振動	水・泥はね	かさ上げ	計
1. MCI	0	0	0	0	0
2. ひび割れ (C)	40	24	6	0	76
3. わだち (D)	31	51	204	0	286
4. 縦断凹凸 (G)	9	18	0	0	27
5. コレクション (Cor)	5	10	1	0	16
6. 段差 (Stø)	20	28	3	0	51
7. ポリッシング (Po)	1	2	1	0	4
8. ポットホール (Pot)	6	7	1	0	14
9. ラベリング (Rav)	2	0	0	0	2
10. 排水不良・その他 (Uf)	0	0	0	86	86
計	114	140	216	86	556

次に，図-2.1.2に昭和48，49年度に修繕を予定していた路線の約50箇所についての，わだち掘れに対する道路利用者からの苦情内容について示す⁴⁾．わだち掘れに対する苦情内容としては車の走行性に関するもの，および滞水からの水しぶきによる件数が多い。

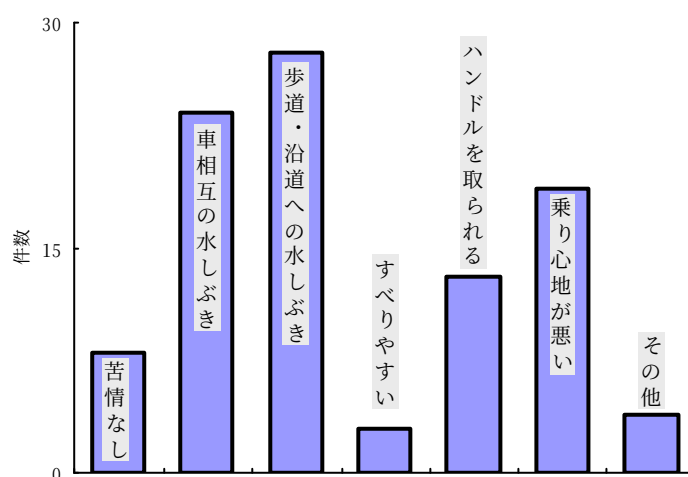
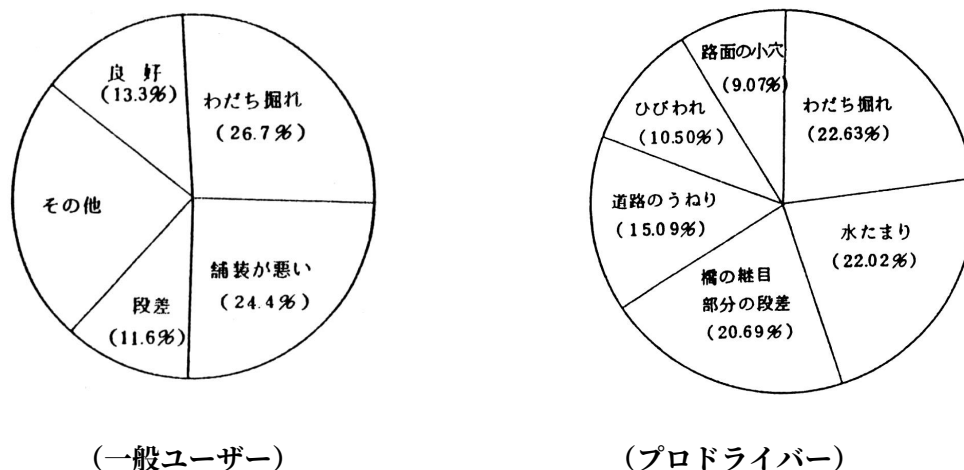


図-2.1.2 わだち掘れに対する沿道，利用者からの苦情(1974)⁴⁾

図-2.1.3に，1986年4月20日に3箇所のサービスエリアにおいて，一般ユーザーとプロのトラックドライバーを対象として行われた，高速道路に関する調査結果を示す^{3),5)}．ここでも舗装に関する苦情では，両者ともわだち掘れに関することが最も多くなっている。

図-2.1.3 舗装に関する苦情(1986)⁵⁾

このように舗装に対する要求性能を道路利用者と沿道住人の視点からみた場合、一般国道、高速道路に関わらず苦情はわだち掘れに起因するものが多く、わだち掘れを小さくすることへの努力が必須である。

b) 道路管理者

舗装の管理については、建設省技術研究会指定課題として「舗装の維持修繕の計画に関する調査研究（昭和54年～56年度）」⁶⁾、「舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究（昭和60年～62年度）」⁷⁾、「舗装の計画的な管理手法に関する調査研究（平成9年～10年度）」²⁾の3度にわたって調査研究が行われている。

最初に、路面のひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性から舗装の総合的な水準を算出する維持管理指数（Maintenance Control Index：MCI）が作られ、次に、舗装の設計・施工・管理を合理的に実施する舗装運営システム（Pavement Management System：PMS）が試作された。最後に、アンケート調査の実施から、舗装修繕の要否の判断、舗装のサービス水準のあり方等を検討し、現場における修繕の判断・工法選定に役立つ情報を提供するシステムを提案している。

さらに現在では、橋梁を中心とした道路構造物の老朽化の進行、公共事業を取り巻く厳しい財政状況や管理体制の制約を背景として、道路管理についてもアセットマネジメントの議論が急速に高まっている。このため、土木研究所では道路資産全体のアセットマネジメントシステムの一翼を担う舗装分野のシステムとして、舗装マネジメントシステムの構

築を進めている⁸⁾。

その検討のなかで、直轄国道の路面健全度評価について以下の点が指摘されている。

MCIが開発されてから期間が経過し、

- ・車の性能や経済・社会状況が変化したこと
- ・排水性舗装の普及など路面材料が変化してきていること
- ・MCIは道路管理者が主観的に維持修繕を必要と感じる路面状態を表す指標とし開発されたこと
- ・道路管理の現場からMCIが必ずしも十分に路面の状態を示していないこと

等の指摘を受けて、管理指標の見直しに向けた検討を以下の観点から着手している。

- ①維持修繕実態を踏まえた管理指標の検討
- ②ユーザー・国民の視点を加味した管理指標の検討
- ③海外における管理目標の実態を踏まえた新たな管理指標の導入

②に関しては、第13回道路技術シンポジウム（2005）にて、一般ユーザー、沿道住民の舗装のサービスレベルについて表-2.1.2のようにまとめられており、これらのなかでも、わだち掘れが道路に求められる性能に直結する重要な性能指標であると認識されていることが分かる⁹⁾。

表-2.1.2 道路舗装の性能(2005)⁹⁾

(一般ユーザー)		(沿道住民)	
道路に求める性能	舗装に求める性能指標	道路に求める性能	舗装に求める性能指標
①渋滞のない道路	—	①渋滞のない道路	—
②快適に走行できる道路	平坦性、わだち掘れ、段差、ポットホール	②騒音のない道路	路面のキメ、段差
③安全に走行できる道路	平坦性、わだち掘れ、段差、ポットホール、すべり抵抗性	③振動のない道路	平坦性、わだち掘れ、段差、ポットホール
		④水はねのない道路	わだち掘れ、ポットホール

このように舗装に対する要求性能を道路管理者の視点からみた場合でも、現行の管理指標およびこれから構築される舗装マネジメントシステムにおいて、わだち掘れが重要な性能指標の一つであると捉えられていることは明らかである。

(2) わだち掘れに関する管理目標値

舗装を含めた道路構造物の維持管理業務の効率化，コスト縮減に資するためには，適切な舗装の管理は必要であり，そのためには，道路管理者のみならず，道路利用者，沿道および地域社会の観点を含めた舗装の適切な管理目標を設定する必要があるとして，管理目標値の見直しに向けた検討が行われている。

a) 道路維持修繕要綱における管理目標値

わだち掘れに関する維持修繕判定の管理目標値は，道路維持修繕要綱において表-2.2.1のように示されている¹⁰⁾。これによると，わだち掘れ量は自動車専用道路では25mm以下，一般道路では30～40mm以下が維持修繕に対する目標値となる。

表-2.2.1 舗装の維持修繕の目標値(1978)¹⁰⁾

道路の種類	項目 わだち掘れ および ラベリング (mm)	段差 (mm)		すべり 摩擦係数	縦断方向 の凹凸 (mm)	ひびわれ率 (%)	ポット ホール径 (cm)
		橋	管渠				
自動車専用道路	25	20	30	0.25	8mm ⁷ 7mm ⁷ 90 (PrI) 3mm ⁷ 7mm ⁷ 3.5(σ)	20	20
交通量の多い 一般道	30～40	30	40	0.25	3mm ⁷ 7mm ⁷ 4.0～5.0(σ)	30～40	20
交通量の少ない 一般道	40	30	—	—	—	40～50	20

道路維持修繕要綱におけるわだち掘れ量の目標値を決めるにあたっては以下の点を考慮したとされている^{11),12)}。

- ・ 沿道および車相互の水はね（スプラッシング）障害
- ・ ハンドルがとられる走行不安感
- ・ 高速走行時のハイドロプレーニング障害
- ・ 道路種類別の補修実態

一般道路の場合30mm～40mmを基準としているが，これは現場の道路管理者からの意見のうち最も多い範囲も考慮して決めている。

高速道路では，ハイドロプレーニングを発生させないために水膜を7mm以下とする必要があり，水膜7mm以下を横断勾配だけを考慮して決めるとわだち掘れは20mm以下となるが，同様に管理実態への影響を考慮してわだち掘れの目標値を25mmとしている。

また、表-2.2.2に示すように橋面舗装では一つ一つの破損が橋梁本体の構造に重大な悪影響を与えると考え、橋梁部では一般部より厳しい目標値を設定している¹⁰⁾。

表-2.2.2 橋面舗装の維持修繕の目標値(1978)¹⁰⁾

道路の種類	項目	わだち掘れ (mm)	段差 (mm)	すべり 摩擦係数	ひびわれ、ひらき		ポット ホール径 (cm)
					率(%)	幅 (mm)	
自動車専用道路		15	10	0.25	20	3	10
交通量の多い 一般道		20～30	15～20	0.25	20	3	10～20
交通量の少ない 一般道		30～35	20～30	—	20	3	20

b) 道路管理者、道路利用者、沿道住民からみた管理水準

道路維持修繕要綱に示されている目標値（表-2.2.1～2）はあくまでも道路管理者の立場を主体に設定したものであり、設定の根拠も明確にされていない。そこで、建設省の舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究（1987）では、道路管理者、道路利用者、沿道住民の各立場からみた管理水準の実態について調査検討を行った⁷⁾。その検討結果の抜粋を表-2.2.3～4に示す。

表-2.2.3 実態調査等より推定された管理水準の現状（アスファルト舗装）（1987）⁷⁾

指標	条件	道路管理者から みた場合	道路利用者からみた場合		沿道住民からみた 場合
		実態の80%を カバーする水準	乗り心地 RCI) からみた水準	道路利用者の苦 情からみた水準 （苦情の半数に 対応するもの）	道路利用者の走行性 に及ぼす水はねの影 響からみた水準
わだち掘れ量 (mm)			<維持> 一般21.6 雪寒31.0 <修繕> 一般23.8 雪寒38.0	V=40km/hのとき 23 V=60km/hのとき 19	20～25

表-2.2.4 総合的管理水準の検討（各地建へのアンケート調査）（1987）⁷⁾

指標	条件	道路管理者 からみた場合	道路利用者 からみた場合	沿道住民 からみた場合	総合的な管理水準の考え方	
					標準的な管理水準	望ましい管理水準
わだち掘れ量 (mm)	(一 般)	30～40	維持) (一 般) 20～25 雪 寒) 30	(一 般) 15～30	(一 般) 15～30	(一 般) 10～30
	(雪 寒)	30～45	修繕) (一 般) 20～40 雪 寒) 30～40	(雪 寒) 15～30	(雪 寒) 45	(雪 寒) 20～45
	<自専道>	25	<自専道> 20		<自専道> 25	<自専道> 15～

これらの結果より新しい管理水準を設定するにあたっての目標値を表-2.2.5 のようにまとめている。

表-2.2.5 舗装の管理水準を設定するにあたっての目標値(1987)⁷⁾

条件 指標	道路維持修繕要綱		標準的な水準 の下限值		望ましい水準の下限值
	一般道路	専用道路	一般地域	雪寒地域	
わだち掘れ量 (mm)	30～40	25	35	45	20～30

c) 道路管理者に対するアンケート調査による望ましい管理水準

道路利用者や沿道住民のニーズの高度化する中で、個々の現場について修繕の要否の判定や修繕工法の選定を行う場合には、現行の維持管理目標値が必ずしも十分ではないことを踏まえ、平成9年度の修繕工事予定箇所を対象に、道路管理者として適切と考える目標管理水準についてのアンケート調査を行った。その結果を表-2.2.6～7に示す^{1),2)}。これによると、目標管理水準と管理限界に差がみられ、さまざまな制約下では、目標管理水準を保つことが難しいため、管理限界程度で管理したいという道路管理者の実態がみられる。

表-2.2.6 目標管理水準の平均値

と最多回答値(1999)^{1),2)}

項目	平均値	最多回答値
ひび割れ率 (%)	22	20
わだち掘れ量 (mm)	25	30
平坦性 (mm)	2.8	3
段差 (mm)	18	20
ポットホール径 (mm)	12	10
すべり摩擦係数	0.25	0.25

表-2.2.7 管理限界の平均値

と最多回答値(1999)^{1),2)}

項目	平均値	最多回答値
ひび割れ率 (%)	35	30
わだち掘れ量 (mm)	35	40
平坦性 (mm)	3.9	4
段差 (mm)	28	30
ポットホール径 (mm)	20	20
すべり摩擦係数	0.25	0.25

d) 管理水準に関する動向

土木研究所においては、適切な舗装の管理を行うために道路管理者のみならず、道路利用者、沿道および地域社会の観点を含めた舗装の適切な管理目標を設定すべく調査・検討を行っている¹³⁾。

また、高速道路においても、これまで「わだち掘れ」、「平坦性」、「すべり摩擦」、「段差」、「ひびわれ」の5項目で管理をしているが、舗装技術の革新やお客様の路面に対するニーズの変化など、道路を取り巻く状況が大きく変化してきているので、このような背景とアカウントビリティの向上を考慮し、現行の路面管理指標の見直し検討が進められている¹⁴⁾。

(3) アスファルト舗装の修繕に関する実態

アスファルト舗装の修繕に関する実態調査結果について多くの報文が報告されている^{8),14)~20)}。ここでは1998年に全国規模で修繕工事の実態調査を行い、その結果をまとめている技術論文について紹介する¹⁷⁾。

a) 調査方法

対象機関：国（建設省地方整備局，北海道開発局，沖縄総合事務所），都道府県，政令指定都市

対象工事：上記対象機関で管理するアスファルト舗装のうち平成9年度に実施した修繕工事

調査対象：設計交通区分，設計CBR， T_A ，採用工法および工事数量，修繕原因等

調査方法：アンケート方式（修繕原因については複数回答）

b) 修繕原因

図-2.3.1に平成9年度に実施した修繕工事の原因別の集計結果を示す。図-2.3.1より，ひびわれ，わだち掘れ，平坦性といった路面性状を原因とするものが多く全体の75%を占めている。また，騒音，沿道や利用者からの苦情などが路面性状に起因していると考え，路面性状が原因となる修繕は全体の90%以上を占めている¹⁷⁾。

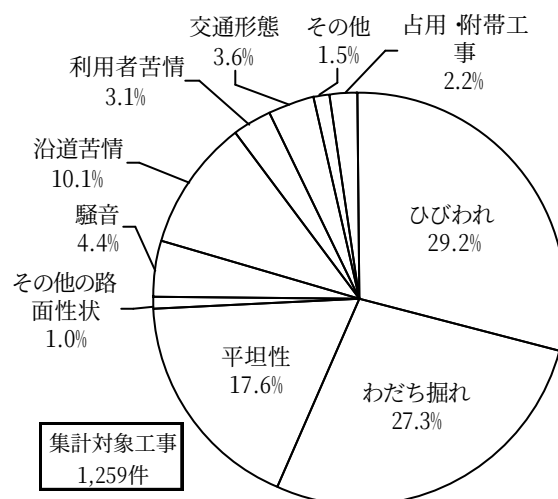
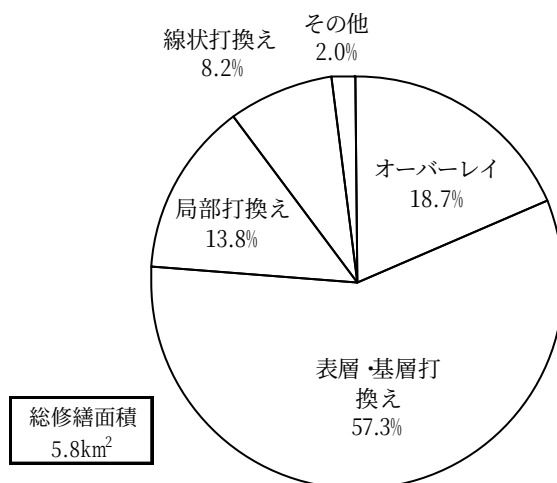


図-2.3.1 修繕原因（1998）¹⁷⁾

c) 修繕工法

建設省技術研究会報告（1998）による修繕工事の内訳を図-2.3.2に示す¹⁾。この結果より、舗装の修繕工事の半数以上が、表層・基層部分を打換える切削オーバーレイであることが分かる。

図-2.3.2 修繕工法（1998）¹⁾

(4) わだち掘れと走行性

走行性は、主に被験者のアンケート、車線変更時に受ける車の横方向加速度、床下加速度によって、乗り心地、ハンドルの操縦安定性という視点で検討されている。

表-2.4.1 検討項目と評価内容(わだち掘れと走行性)

項目	方法	条件	評価値
a) わだち掘れと乗り心地評価	アンケート	乗り心地について ・「とても良い」から 「とても悪い」の5段階評価	・「悪い」「とても悪い」の 50%を満足する値 ・「良い」「とても良い」の 50%を満足する値
b) 車線変更に伴う横方向加速度	走行実験 (常磐自動車道 一般国道408号)	・車速 ・車線変更距離 ・わだち掘れ深さ	・横方向加速度
c) 高速走行時の車の操縦性安定性	シミュレーション	・車速 ・乗移り距離 ・わだち掘れ深さ	・横方向加速度 ・ヨー角 ・ロール角
d) 乗り心地と生体反応	アンケート	・運転し易さ (PSR)、 乗り心地 (PDR)について 「非常に良い」から 「非常に悪い」の5段階評価	・「悪い」「非常に悪い」の 50%を満足する値 ・「良い」「非常に良い」の 50%を満足する値

a) わだち掘れと乗り心地評価

日本道路公団において、乗り心地に関する被験者評価結果からわだち掘れの管理指標を検討した事例（2004）がある¹⁴⁾。これは、高速道路数区間において大型バスに一般被験者及び日本道路公団職員に乗車してもらい、車線変更したときの乗り心地を「とても良い」から「とても悪い」までの5段階評価で行っている。

図-2.4.1にわだち掘れと乗り心地評価の関係を示す。わだち掘れ量は測定区間の2車線のうち大きい方の値をプロットしている。わだち掘れ量と乗り心地評価値には相関がみられ、被験者の50%以上の人「悪い」「とても悪い」と感じた範囲から乗り心地を評価すると、わだち掘れ15mmを超えると車線変更の際に乗り心地が悪いと感じるという実験結果が得られている。

同様に、わだち掘れ9mm以下であれば車線変更の際に乗り心地が良いと感じると評価できる。

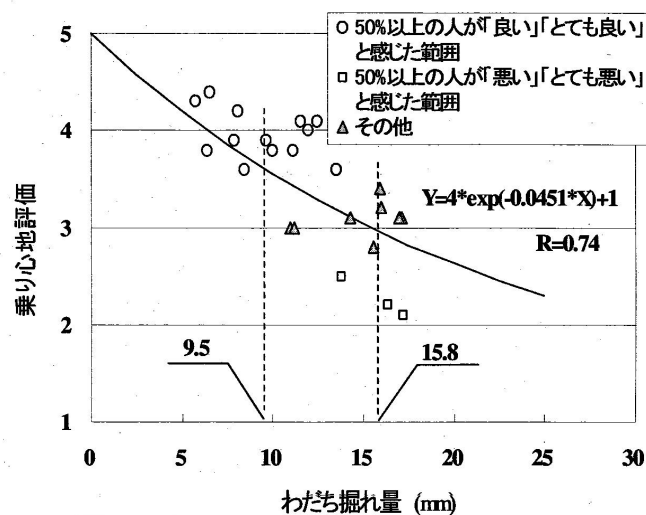


図-2.4.1 わだち掘れと乗り心地評価(2004)¹⁴⁾

b) 車線変更に伴う横方向加速度

建設省土木研究所では、わだち掘れ量の妥当な管理水準値について検討するために平成3～4年度にわだち掘れと走行特性に関する調査を行っている^{21),22)}。

土木研究所内の試験走路と常磐自動車道および一般国道408号の乾燥路面において車線変更時の操舵性の指標である車両にかかる横方向加速度測定と、ドライバーの運転感覚に関する調査を行い、わだち掘れが車線変更時の車両に及ぼす影響を検討している。

表-2.4.2に、常磐自動車道と一般国道408号の既設供用路線2路線における実験条件を示す。

表-2.4.2 実験条件(1993)^{21),22)}

測定箇所	一般国道408号	常磐自動車道
わだち掘れ量	10, 20, 30, 40mm程度	5, 10, 15, 20mm程度
走行速度	60km/h	100km/h
車線変更距離	60, 80m	100, 140m
路面状態	乾燥	
タイヤ種別	ラジアルタイヤ 185/70R14	

図-2.4.2に車線変更した場合のわだち掘れ量と横方向加速度の関係を示す。両者ともわだち掘れ量が大きくなるにつれて横方向加速度が増加する傾向がみられる。わだち掘れが40mmの場合、横方向加速度が0.4gを超える値となっており、湿潤時の場合、路面のグリップ力を超える横方向加速度が車線変更時にかかり、車両が瞬間的に横方向にスリップする可能性があるとしている。

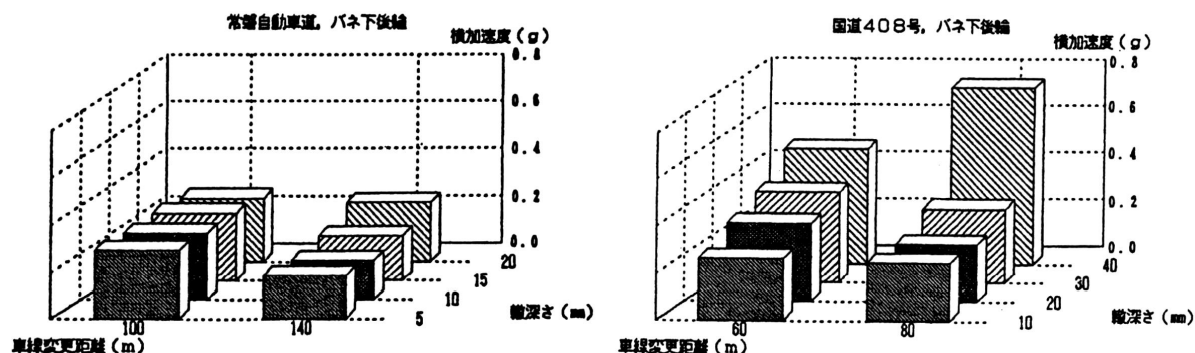


図-2.4.2 車線変更した場合のわだち掘れ量と横方向加速度の関係(1993)^{21),22)}

c) 高速走行時における車の操縦性安定性

高速走行時における車線乗移り走行試験に基づき、操縦性安定性に有用とされる3自由度運動モデルを作成し、車の横方向加速度をシミュレーションしている。シミュレーションにおける入力は、車速、乗移り距離およびわだち掘れ深さであり、出力は横方向加速度、ヨー角およびロール角である。

図-2.4.3に乗移り距離を100mとしたときのわだち掘れ深さと、速度が横方向加速度波形の振れ幅の最大値に及ぼす影響を示す²³⁾。ここで、操縦性安定性評価基準として運転者の快適性を考慮した限界値($0.3 \sim 0.6 \text{ m/s}^2$)を採用すると、下限値側の 0.3 m/s^2 (0.03 g) の値以下を満足するわだち掘れ深さは15mm以下、車速は120km/h以下であるとしている。

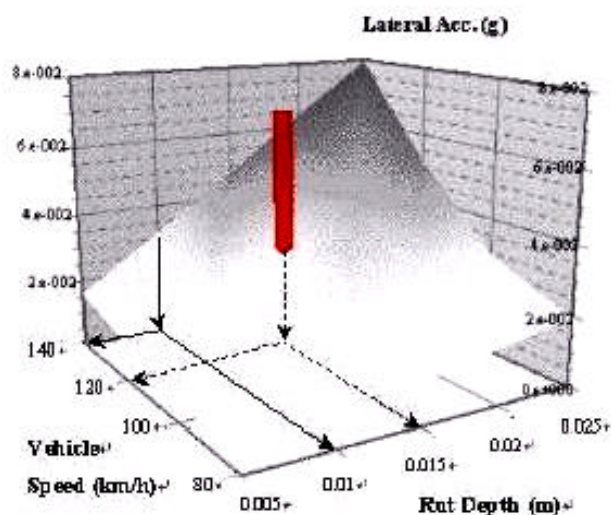


図-2.4.3 車速—わだち掘れ深さ—横方向加速度の相関図（最大加速度による）(2000)²³⁾

d) 乗り心地と生体反応

日本道路公団では、AASHO道路試験と同様な、道路利用者のアンケート調査及び路面性状測定、加速度計による平坦性評価（1988）を行っている²⁴⁾。この結果、道路利用者の乗り心地（主観評価PSR）と縦断凹凸及び床下加速度には強い相関があり、AASHOのPSIと同様に、乗り心地は路面の平坦性による感度が高いという実験結果を得ている。

また、わだち掘れに関しては、調査されたわだち掘れ30mm以下の大きさでは乗り心地にはそれほど影響していないとしている。

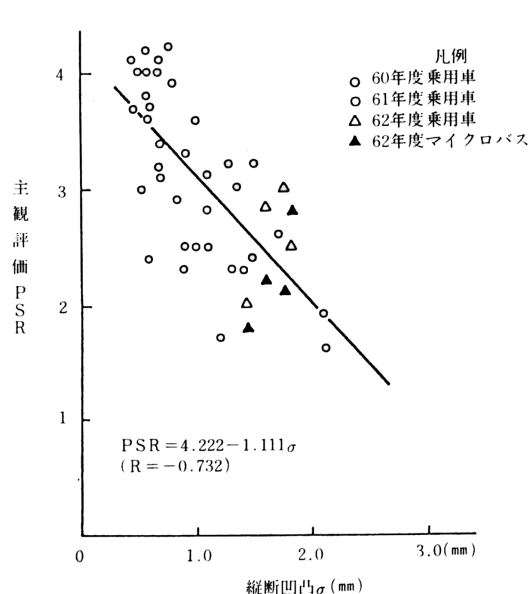


図-2.4.5 客観的測定値車線（3ms）と
主観的評価の関係(1988)²⁴⁾

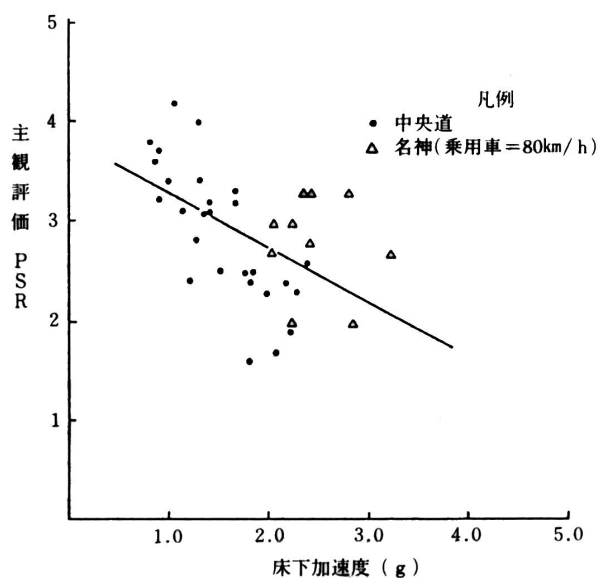


図-2.4.6 床下加速度と
主観的評価の関係（1998）²⁴⁾

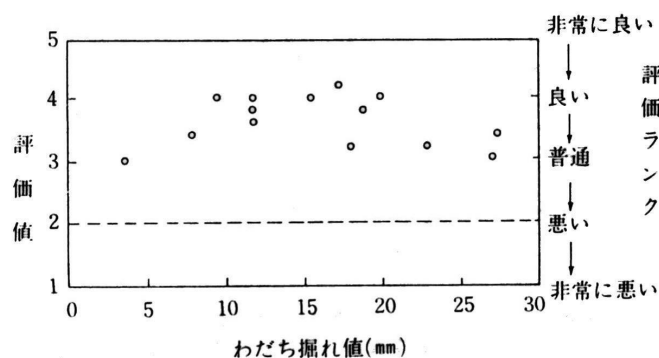


図-2.4.7 わだち掘れとPDRの関係(1988)²⁴⁾

(5) わだち掘れと滞水・水はね

わだち掘れは路面上の滞水の原因となり、車輛の走行安全性や沿道利用者への水はね被害を引き起こす。特に水はねはわだち掘れの評価として維持修繕要綱発刊以前から検討されており、そこに示されているデータ等は修繕要否判定値の基礎資料となっている¹¹⁾。

表-2.5.1 検討項目と評価内容(わだち掘れと滞水・水はね)

項目	方法	条件	評価値
a) 道路苦情と水はね	アンケート	・一般利用者と 道路技術者を対象	・わだち掘れ量と 回答数の累計
b) 横方向の飛散距離	走行実験	・水膜厚 ・車速	・タイヤからの 横方向飛散距離
c) 滞水深さとわだち掘れ量の関係	調査結果	・わだち掘れ深さ	・最大水深
	走行実験	・滞水深さ (わだち掘れ深さ) ・車速 ・車種	・水はね距離

a) 道路苦情と水はね

南雲ら（1974）は、一般道路利用者と道路技術者に対し、わだち掘れに関する表-2.5.1の設問のアンケートを行い、図-2.5.1の結果を得ている⁴⁾。表-2.5.2に示されている回答率50%の下限值はこれらの図から求めたものであり、設問に対する回答数の50%に相当するわだち掘れ量を意味している。

走行に全く支障のないとするわだち掘れ量は15mm以下であり、わだち掘れが25mm付近を越えれば水しぶきが問題とされるようになり、車の走行性に関しては40mm程度を越えるまではあまり影響が大きいことがうかがえるとしている。

表-2.5.2 わだち掘れに関する設問と下限値（1974）⁴⁾

設 問		回答率50%の 下限値 (mm)
A)一般利用者感覚	1. 全く走行に支障なし	1.5
	2. わだち掘れのあることは感じる	4.5
	3. ハンドルを取られるほどではないが走行に不安感あり	4.0
	4. ハンドルを取られて危険である	7.0
	5. 水しぶきがかなりある	2.5
	6. 水しぶきがひどい	6.5
	7. すべりやすい	6.0
B)道路技術者感覚	1. 走行に支障なし	1.5
	2. ハンドル操作等走行安定性	4.5
	3. 水はね（車相互）	3.0
	4. 水はね（歩道、沿道へ）	2.5
	5. すべりやすい	3.5
	6. 乗り心地	4.5
	7. 舗装の耐久性、補修上	5.5

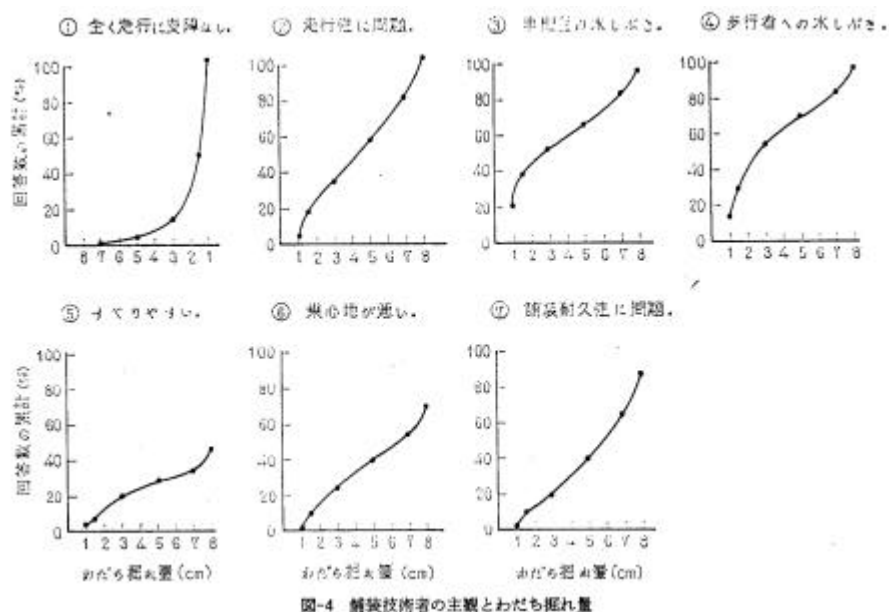


図-2.5.1 舗装技術者の主観とわだち掘れ量 (1974)⁴⁾

b) 横方向の飛散距離

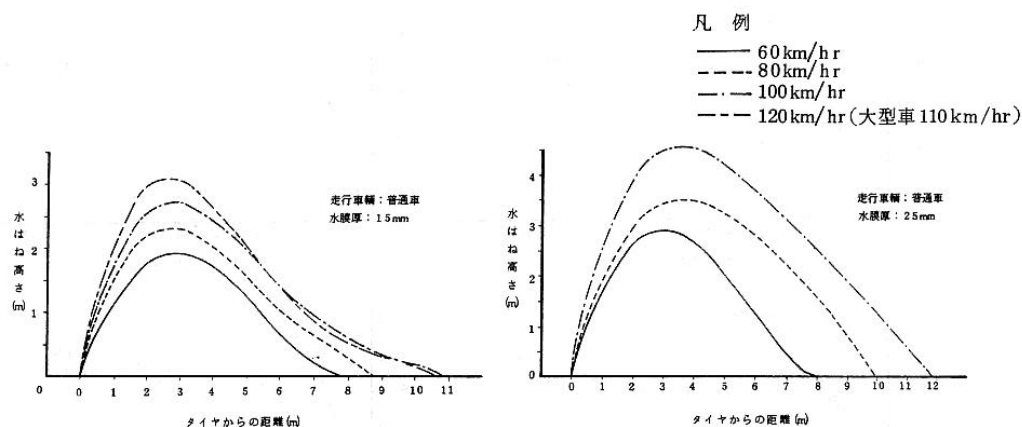
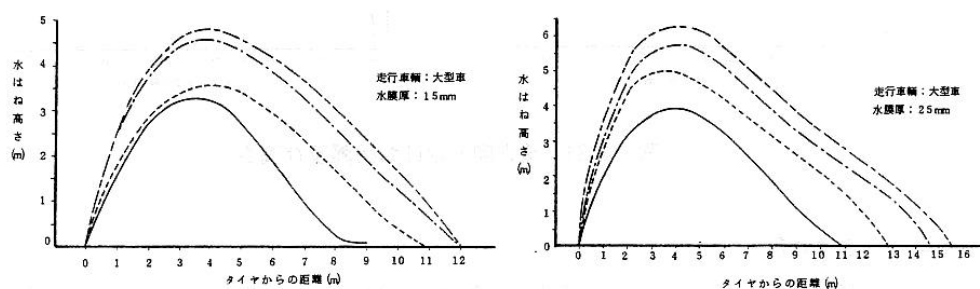
わだち掘れに滞水した水は、車両が通過する際に飛散水となって他の走行車両への視界阻害や、反対車線への飛水および高架部等では、遮音壁や高欄を越えて沿道家屋への汚損を与える。そこで、水はねに関する種々の測定が日本自動車研究所のテストコースにおいて計画実施されている。

横方向の水はね距離および高さの関係について、水膜厚 15mm と 25mm、速度を 60～120km/h に変えたとき、普通車の場合を図-2.5.2 に、大型車の場合を図-2.5.3 に示す⁵⁾。

普通車の場合、タイヤ端から 3m 前後に水はね高さのピーク値が現われ、その高さは水膜厚 15mm で約 2～3m、25mm になると約 3～4m と約 1.5 倍になっている。飛散距離は 8～12m 程度になっている。

一方、大型車の場合では、タイヤ端から 4m 前後に水はね高さのピーク値が現われ、普通車の場合より 1m ほど離れている。飛散距離は水膜厚 15mm の場合 9～12m であるが、水膜厚が 25mm になると 11～16m と約 1.3 倍になっている。

このことより、10mm 前後の水膜がある場合には、追越車線走行中には、反対車線の水が中央分離帯を越えて飛散するケースや、橋梁部等では走行車線の水が遮音壁を越えて家屋まで飛散するケースが発生する可能性があるとしている。

図-2.5.2 普通車による横方向の跳水実験 (1988) ⁵⁾図-2.5.3 大型車による横方向の跳水実験 (1988) ⁵⁾

c) 滞水深さとわだち掘れ量の関係

実際の路面では縦横断勾配があるために、わだち掘れ量がそのまま滞水深さにならない。横断勾配のみがある場合について、幅員 3.5m の道路で横断形状を放物線、路側に隆起がないと仮定して図-2.5.4 のように計算した滞水の深さは横断勾配に応じて表-2.5.3 のようになる ²⁵⁾。このように、わだち掘れ量がそのまま滞水深さになることは少なく、一般的な道路ではわだち掘れ量と比較してかなり浅いものとなることがうかがえる。

表-2.5.3 横断勾配がある場合の滞水深さ (1974) ²⁵⁾

横断勾配 わだち掘れ量 (cm)	最 大 水 深 (cm)			
	1.5%		2%	
	内 側	外 側	内 側	外 側
1.0	0.2	0.0	0.2	0.0
2.0	1.2	0.0	1.0	0.0
3.0	2.2	0.8	2.0	0.2
4.0	3.3	1.8	3.0	1.3
5.0	4.4	2.5	3.9	1.8

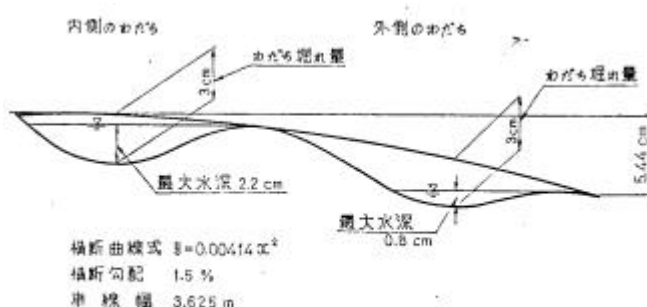
図-2.5.4 横断勾配がある場合の滞水深さ (計算例) (1974) ²⁵⁾

図-2.5.5 は、北陸地方建設局が昭和 53 年と 55 年に実施した管内路面性状調査から得た最大わだち掘れ深さと最大水深の関係である²⁶⁾。わだち掘れ深さの増大に伴って水深も深くなる。横断勾配が 0 の場合最も水深が深くなるが示されている。

水はねによる被害と対策を沿道住民、走行車両別に整理すると表-2.5.4 のようになる⁷⁾。

滞水深さとわだち掘れ量との間には一定の関係があり、これを用いてわだち掘れの管理水準を整理すると、走行車両の視界障害度を対象にした場合は 20mm となる。

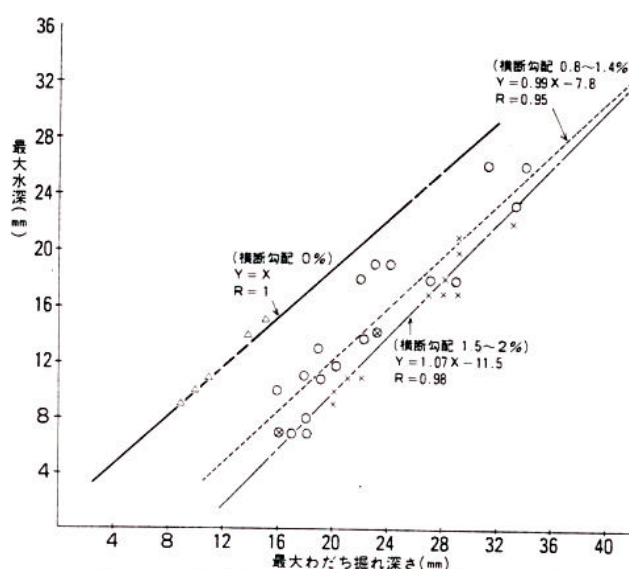


図-2.5.5 最大わだち掘れ深さと最大水深の関係 (1982)²⁶⁾

表-2.5.4 水はねによる被害と対策 (車道幅員 7.0m の場合) (1986)⁷⁾

被害の対象	被害の内容	被害の度合	防止対策	
沿道住民	①歩行者の衣服汚損 ②沿道住民の汚損	タイヤの中心から、路肩側横断方向へ2.5m~3.0m わだち掘れ深さ20mmの場合)	路肩等の巾員による対策	路肩)+ 歩道)の巾員 2.5m以上設置 わだち掘れ深さ20mmの場合)
			植樹帯による対策	樹高2m以上で重列密植
走行車両	走行車両の視界障害	①車両制限速度40km/hで わだち掘れ23mmが許容限界 ②車両制限速度60km/hで わだち掘れ19mmが許容限界	わだち掘れ維持管理基準 ①車両制限速度40km/h以下 23mm ②車両制限速度60km/h以下 19mm	

(6) わだち掘れとすべり抵抗

すべり抵抗の確保は自動車走行の安全性確保のために非常に重要なことである。わだち掘れに雨水等が滞水するとタイヤと路面との間に介在する水膜が厚くなり、水膜の上に載った状態になり危険である。

表-2.6.1 検討項目と評価内容(わだち掘れとすべり抵抗)

項目	方法	条件	評価値
a) 路面のすべり摩擦係数の分布	調査結果	・高速道路 ・一般国道 (国道管理調査データ)	・すべり摩擦係数
b) わだち掘れとすべり抵抗	実態調査	・わだち掘れ量	縦すべり摩擦係数
c) 水膜とすべり抵抗	走行実験	・速度 ・水膜厚	・すべり摩擦係数
d) 走行速度と車線変更時の横加速度	試験結果	縦すべり摩擦係数 横すべり摩擦係数	すべり摩擦係数
	走行実験	・自動車専用道路、一般道路 ・速度 ・わだち深さ	横方向加速度
e) 水深と車線変更時の横方向加速度	走行実験	・速度 ・水膜	横方向加速度

a) 路面のすべり摩擦係数の分布

路面のすべり摩擦係数の設定にあたっては、事故対策上路面のすべりが負うべき範囲、すべり抵抗測定方法等の問題があることから、新設時の施工直後に有すべき値と限定している。

図-2.6.1 に路面のすべり摩擦係数の分布を示す^{10),11),12)}。平均的なすべり摩擦係数は 0.4 程度である。

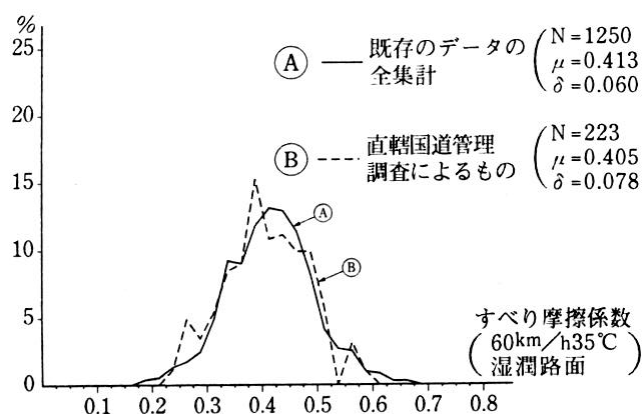


図-2.6.1 路面のすべり摩擦係数の分布 (1974) ^{10),11),12)}

b) わだち掘れとすべり抵抗

高速道路調査会によるわだち掘れ量とすべり摩擦係数に関する実態調査を図-2.6.2 に示す⁴⁾。わだち掘れ量が大きくなるに伴い、またわだち掘れとブリージングが複合するに伴いすべり摩擦係数が低下している。

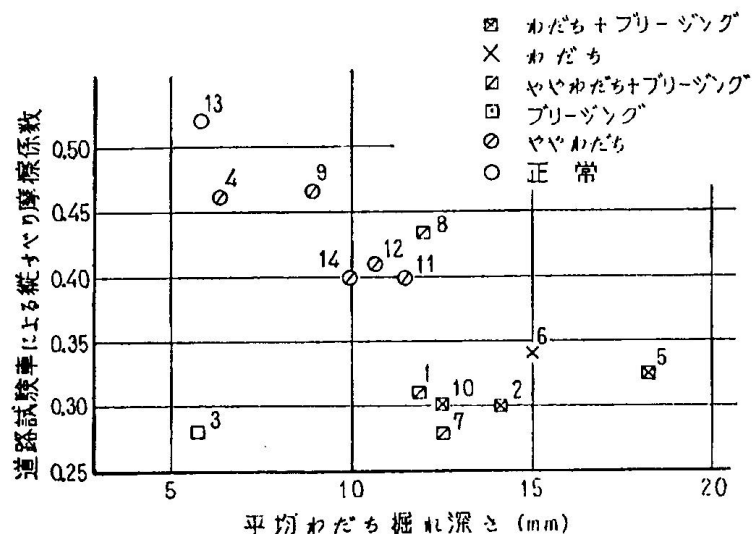


図-2.6.2 すべり摩擦係数とわだち掘れ量（高速道路調査会）（1974）⁴⁾

c) 水膜とすべり抵抗

水膜厚とすべり抵抗の関係を図-2.6.3 に示す²⁷⁾。低速域では水膜厚が厚くなってもタイヤの移動速度より水膜の排水速度が勝り、路面とタイヤが十分接触し、高いすべり抵抗値が得られるため水膜厚の影響を受けにくい。しかし、高速域になるにしたがい排水速度よりもタイヤの移動速度が勝るため、タイヤと路面との間に水膜が介在し、すべり抵抗値を低下させる。したがって、走行速度の速い道路ほど、降雨時、わだち掘れ箇所でのすべりの危険性が高くなる。

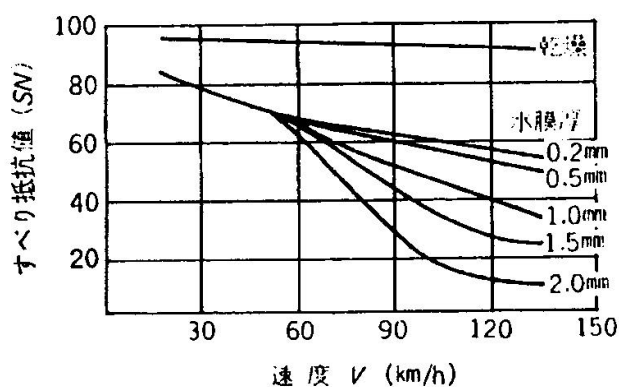


図-2.6.3 水膜厚とすべり抵抗値の関係(1982)²⁷⁾

d) 走行速度と車線変更時の横方向加速度

密粒路面における縦すべり摩擦係数と横すべり摩擦係数を図-2.6.4, 図-2.6.5 に示す²⁸⁾。

また, わだち掘れのある箇所を車線変更したときの横方向加速度を図-2.6.6 に示す^{21), 28)}。

図-2.6.6 より自動車専用道路ではわだち掘れ量が 25mm以下であれば, わだち掘れ量にかかわらず横方向加速度に変化はない。しかし, 一般道の場合, わだち掘れ量が維持管理基準の 40mm の場合, 横方向加速度は大きくなり, 0.5 程度の値となる。これは図-2.6.5 に示す横すべり摩擦係数を超えてないため車両がスリップするわけではないが, 図-2.6.4 に示す縦すべり摩擦係数に近い値であり, 雨天時に初速度 60km/h で急ブレーキを掛け, 車両がスリップしているときと同等の加速度である。

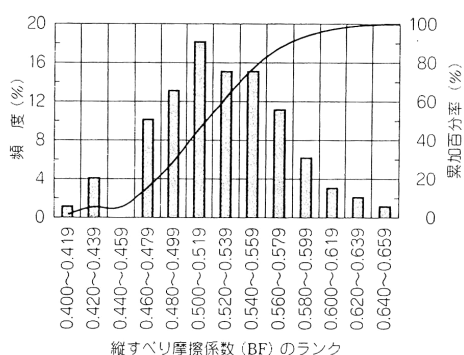


図-2.6.4 湿潤時縦すべり摩擦係数の

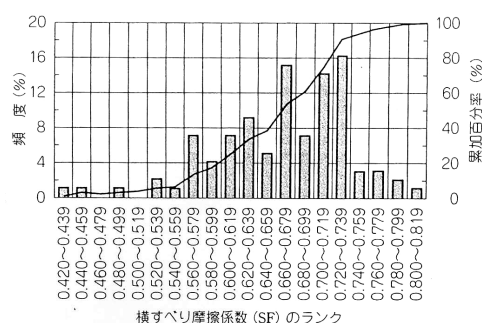
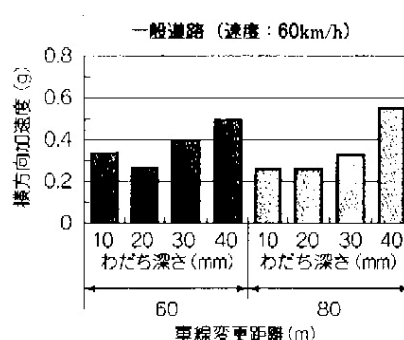
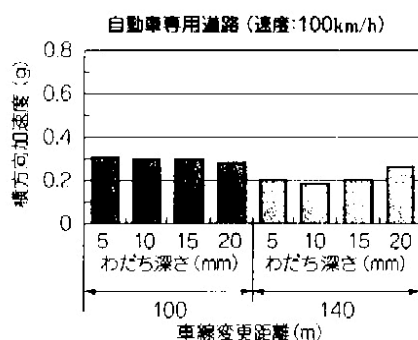


図-2.6.5 湿潤時横すべり摩擦係数の

分布範囲(走行速度 60km/h, N=99)(2001)²⁸⁾ 分布範囲(走行速度 60km/h, N=99)(2001)²⁸⁾

図-2.6.6 わだちの深さおよび車線変更距離ごとの横方向加速度(1993)^{21), 28)}

e) 水深と車線変更時の横方向加速度

水膜を張った 40mm わだち掘れ試験走路における車線変更したときの横すべり摩擦係数を図-2.6.7, 横方向加速度を図-2.6.8 に示す^{21),28)}。

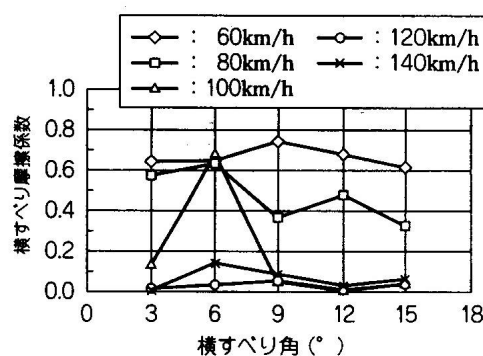


図-2.6.7 わだち内に水膜がある場合の横すべり摩擦係数(1993)^{21),28)}

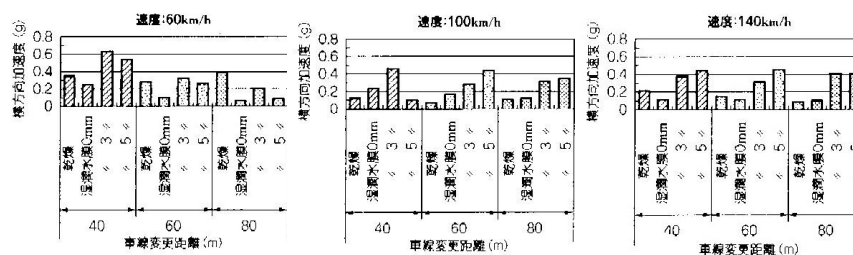


図-2.6.8 路面状態および車線変更ごとの横方向加速度(1993)^{21),28)}

図-2.6.7 より横すべり摩擦係数は 100km/h を越えると小さくなり、タイヤのグリップ力が低下していると推察される。また、図-2.6.8 より 100km/h 以上では、水膜が厚くなるとともに横方向加速度が増加している。これは、タイヤのグリップ力が低下するために、複雑な車両運動になり、横方向加速度が増加したと思われる。

(7) わだち掘れと騒音

タイヤ／路面騒音は路面の凹凸によるタイヤ振動音からも発生するので、路面性状が悪化すると舗装路面のテクスチャに変化をもたらし、騒音が増大することが推測される。

竹田（2001）は、路面性状の因子としてわだち掘れ、ひび割れ、平坦性をとりあげ、これらが道路交通騒音レベルにおよぼす影響について検討を行った²⁹⁾。騒音レベルのデータは、東京都の環状7号線（158点）および青梅街道（47点）、新青梅街道（36点）の密粒度タイプの舗装における4年間の測定結果である。

図-2.7.1はわだち掘れと騒音値の関係である。両者には相関が認められる。一方、わだち掘れと交通量の関係は図-2.7.2に示すとおりである。わだち掘れ深さは、交通量が多い路線ほどその進行が早いなど相関性があるため、図-2.7.1には交通量の影響が反映している可能性がある。

さらに、騒音値と交通量の関係は図-2.7.3に示すとおりである。騒音の発生源である交通量は、当然のことながら騒音値と高い相関を示している。これは、わだち掘れが大きい地点は交通量も多いことから騒音値の間にも有意な相関を示したものと考えられる。そこで、交通量の影響を取り除くために、交通量を一定にしてそれに対応する騒音値を算出して両者の関係を検討した。交通量の影響を除外したわだち掘れと騒音値の関係は図-2.7.4に示すとおりであり、わだち掘れの大きさは騒音値に影響を与えていないことがわかる。

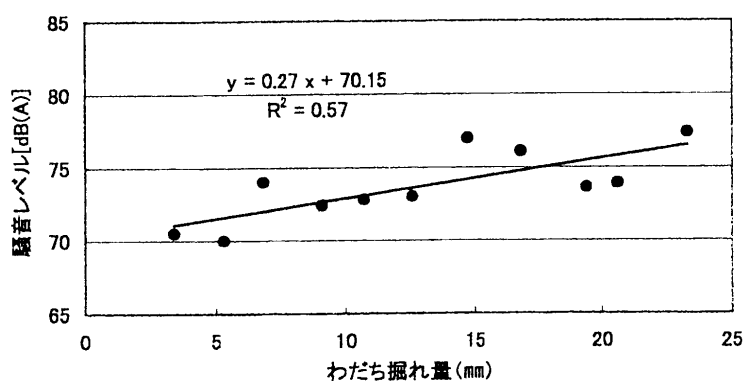


図-2.7.1 わだち掘れ量と騒音レベル(L_{50})の関係(2001)²⁹⁾

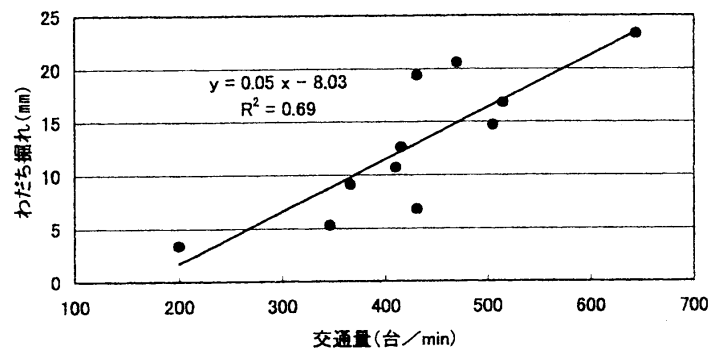


図-2.7.2 わだち掘れ量と交通量の関係(2001)²⁹⁾

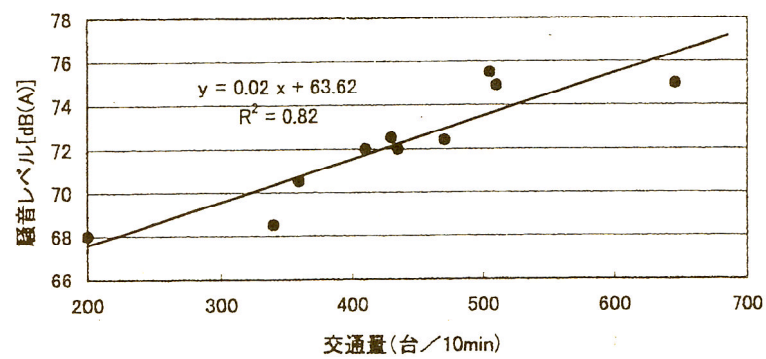


図-2.7.3 交通量と騒音レベル(L_{50})の関係(2001)²⁹⁾

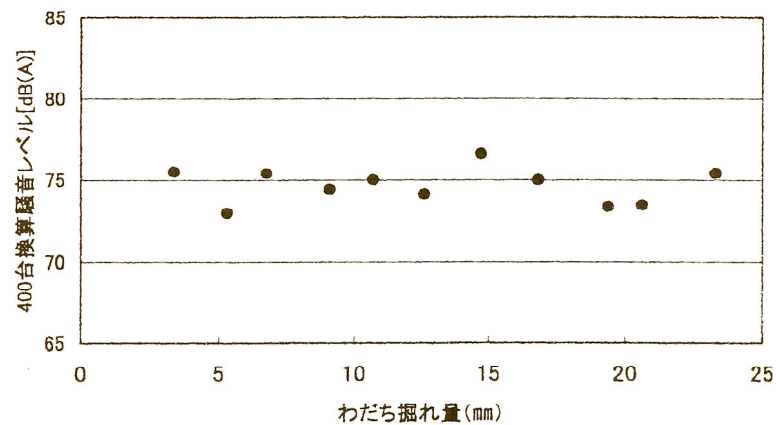


図-2.7.4 換算騒音レベルとわだち掘れの関係(2001)²⁹⁾

(8) わだち掘れ量と交通事故

わだち掘れデータの多い東名・名神・東北自動車高速道路の3路線について、管理事務所別 道路延長にして約50km)の事故率とわだち掘れ量の関係を図-2.8.1に示す⁵⁾。事故率は、わだち掘れ量の平均値が大きくなるほど増加する傾向を示している。

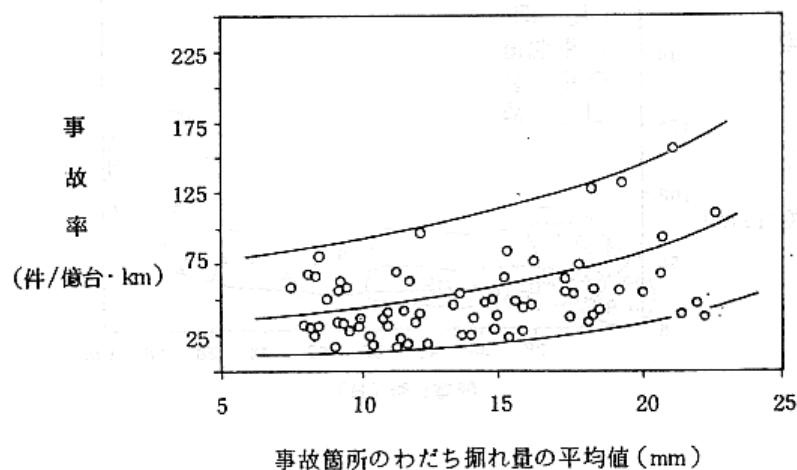


図-2.8.1 わだち掘れに起因する事故の比率(1988)⁵⁾

雨天時においては、晴天時に比べて視認性、タイヤと路面の摩擦係数などの走行条件の低下に伴い、交通の安全性は低下する。

図-2.8.2 に晴天時と雨天時の単位時間あたり死亡事故発生件数の比較³⁰⁾を示す。昼間、晴天時に比べると、雨天時の事故は約2倍多くなり、同じく夜間に至っては約3倍多くなっている。また高速道路では雨天時の死亡事故率は晴天時の死亡事故率の約7倍になるといわれている。

雨天時の事故は決してすべり摩擦係数の低下のみが原因ではないが、わだち掘れ量を小さくし路面に排水機能を付与させることなどにより、雨天時の路面の摩擦係数の低下を少なくし、交通の安全性を確保しなければならない。

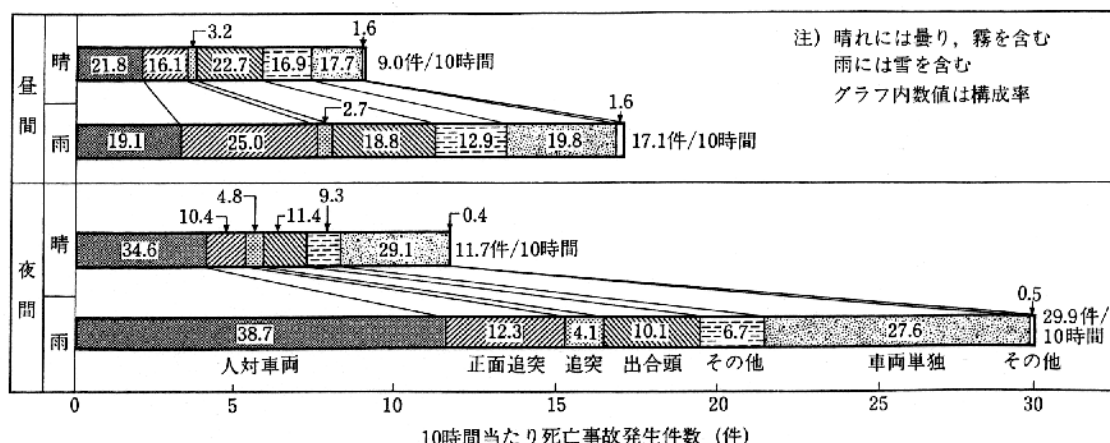
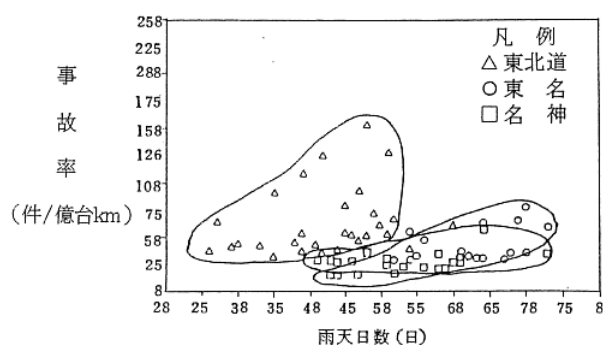
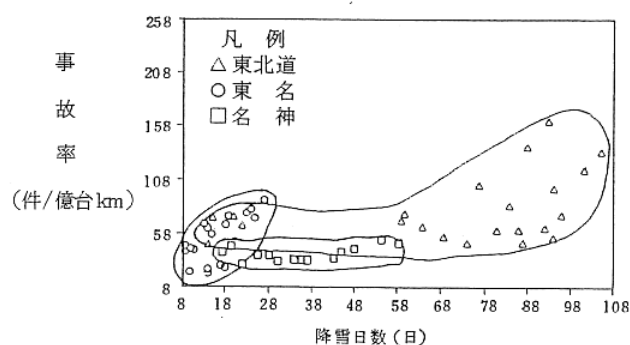


図-2.8.2 天候別単位時間当たり事故類型別死亡事故発生件数及び構成率

(平成3年～5年) (1996)³⁰⁾

図-2.8.3～4に雨天日数と事故率及び降雪日数と事故率の関係を示した⁵⁾。降雨(10mm以上の日数/年)日数については気象年報より調査を行い、事故率は路線毎に調査を行っている。各路線で増加の度合いは異なるが、雨天日数及び降雪日数の増加と共に事故率が多少増加しているといえる。

図-2.8.2 雨天日数と事故率(1988)⁵⁾図-2.8.3 降雪日数と事故率(1988)⁵⁾

一方では、わだち掘れの発生が交通事故との因果関係を判断できないとしている報告もある²²⁾。久保(2001)は、昭和61年および62年度の直轄国道における事故データと路面性状データに基づき、わだち掘れの発生と事故率の関係を調査した結果、わだち掘れの発生が直接交通事故につながっているかどうかまで判断できなかったとしている²²⁾。

(9) まとめ

道路の安全性・快適性の観点から、わだち掘れへ言及した内容をまとめて表-2.9.1～2に示す。

わだち掘れの管理目標およびその工学的な根拠については、おおよそ以下のことが言えるであろう。

- ・日本においては「道路維持修繕要綱」（1978）に維持修繕判断の目標値が参考値として示されているが、道路管理者の立場を主体に設定したものであり、既に25年以上が経過している。この目標値の設定には、道路利用者、沿道および地域社会の観点からの工学的な根拠が必ずしも明確ではない。
- ・道路管理者の立場だけでなく、道路利用者、沿道住民の立場にも配慮した舗装の管理水準が望まれている。
- ・排水性舗装の普及など路面材料が変化してきており、そのような路面におけるわだち掘れ特性、すべり抵抗特性、水はね特性などを把握し、路面管理のレベルを修正する必要がある。
- ・わだち掘れを、道路利用者、沿道住民、道路管理者いずれも、道路の安全性や機能性を確保するのに重要な性能指標であると認識している。

表-2.9.1 わだち掘れ量に関連する苦情、管理目標値

道路管理者			道路利用者			沿道住民		
主な苦情	—		乗り心地	水はね	すべり	騒音	振動	水はね
主な要因	—		わだち・ひび割れ・段差			わだち・ひび割れ・段差		
管理目標値	道路維持修繕要綱より ()内の数値 は橋面舗装の値	自動車専用道路 25 (15)	実態調査 (アスファルト舗装)	苦情の半数に 対応するもの	維持)一般21.6 雪寒310	実態調査 (アスファルト舗装)	苦情の半数に 対応するもの	20～25
		一般道路 (交通量多い) 30～40 (20～30)			修繕)一般23.8 雪寒380			
		一般道路 (交通量多い) 40 (30～35)			V=40km/hのとき 23 V=60km/hのとき 19			
	各地建へのアンケート	一般 30～40 雪寒 30～45 自動車専用道路 25	各地建へのアンケート	一般 (維持)20～25 (修繕) 20～40 雪寒 (維持)20～40 (修繕) 30～40 自動車専用道路 25	各地建へのアンケート	一般 15～30 雪寒 15～30		
管理水準 (目標値)	標準的な水準の下限値 一般地域 35 雪寒地域 45 望ましい水準の下限値 20～30							

国内外の実態調査^{5),9),31)}などを参考に舗装の適切な管理目標を設定する必要がある、わだち掘れの管理に対して概ね以下のことが指摘できるであろう。

- ・日本ではわだち掘れ量を最大わだち掘れ深さだけで測定評価しているが、海外ではわだち掘れ深さに加えて「わだち掘れ水深(mm)」、「水深面積(cm²)」、「幅の広いわだち掘れ(mm)」、「幅の狭いわだち掘れ(mm)」、「わだちの面積(cm²)」などでの評価がみられる。このような指標を取り入れている意味を調査するとともに、日本でのわだち掘れの評価に取り入れるべきかの検討が必要である。
- ・わだち掘れが車の走行性や安全性、歩行者や沿道住民の快適性に及ぼす影響を現道において統一的な調査を行い、定量的にデータを得ることで利用者へのサービスレベルを具体的に示し、望ましい路面の管理基準を運用していく必要がある。

表-2.9.2 わだち掘れ量に関するこれまでの工学的知見

性能等	評価項目	わだち掘れ量への言及内容
わだち掘れと走行性	わだち掘れと乗り心地評価	15mm以下であれば乗り心地に影響は無い
	車線変更に伴う横方向加速度	40mmでは車線変更時に横方向にスリップする可能性がある
	高速走行時における車の操縦性安定性	15mm以下、120km/h以下であれば運転者の快適性が得られる
	乗り心地と生体反応	30mm以下であれば乗り心地に影響はない(主観評価PSR)
滞水・水はね	道路苦情と水はね	わだち掘れが25mm付近を越えると水しぶきが問題となる
	横方向の飛散距離	水膜10mm前後では追越車線走行時に反対車線から水が飛散する可能性がある
	滞水深さとわだち掘れ量の関係	20mmが走行車両の視界障害度
すべり抵抗	路面のすべり摩擦係数の分布	平均的なすべり摩擦係数は0.4程度である
	わだち掘れとすべり抵抗	わだち掘れが12mmより大きくなる場合やわだち掘れとブリージングが複合するとすべり摩擦係数が低下する
	水膜とすべり抵抗	走行速度が速いほどわだち掘れ箇所でのすべりの危険性が高くなる
	走行速度と車線変更時の横加速度	自動車専用道路では25mm以上、一般道路では40mm以上で横方向加速度が大きくなる
	水深と車線変更時の横加速度	100km/hでは、水膜が厚くなるとともに横方向加速度が増加している
騒音	わだち掘れ量と騒音	交通量の影響を取り除くとわだち掘れの大きさが騒音に影響を与えていない
交通事故	わだち掘れ量と交通事故	わだち掘れが大きくなるほど事故率が増加している調査結果とわだち掘れの発生が交通事故につながっているとは判断できない調査結果がある

【参考文献】

- 1) 東嶋奈緒子, 池田拓哉: 舗装の計画的な管理手法に関する調査研究, 土木技術資料, Vol.41, No.1, pp.64-69, 1999.1.
- 2) 道路局国道課, 土木研究所舗装研究室: 舗装の計画的な管理手法に関する調査研究, 第51～52回建設省技術研究会報告, 1997-1998.
- 3) (社)日本道路建設業協会: 第6回道路技術シンポジウム, 舗装の機能と景観, 1990.
- 4) 南雲貞夫, 永康進: 路面のわだち掘れと段差の影響(その1), 土木技術資料, Vol.16, No.7, pp.19-22, 1974.7.
- 5) (財)高速道路調査会: 舗装の評価に関する研究報告書(3), 1988.2.
- 6) 建設省道路局国道第一課, 建設省土木研究所: 舗装の維持修繕の計画に関する調査研究, 第33～35回建設省技術研究会報告, 1979-1981.
- 7) 建設省道路局国道第一課, 建設省土木研究所: 舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究, 第39～41回建設省技術研究会報告, 1985-1987.
- 8) 藪雅行, 伊藤正秀: 舗装マネジメントシステムの構築, 土木技術資料, Vol.46, No.12, pp.26-33, 2004.12.
- 9) (社)日本道路建設業協会: 第13回道路技術シンポジウム, 舗装の効率的な管理と更新, 2005.1.
- 10) (社)日本道路協会: 道路維持修繕要綱, 1978.
- 11) 小島逸平: 用語解説「維持修繕の目標値」, アスファルト, Vol.38, No.186, pp.47-49, 1996.1.
- 12) (社)日本道路協会: 路面性状の基準に関する調査報告書, 1974.3.
- 13) 谷口聡, 伊藤正秀: 舗装の管理目標－欧米諸国における実態を中心として－, 土木技術資料, Vol.46, No.12, pp.34-39, 2004.12.
- 14) (財)高速道路技術センター: 高速道路の舗装技術に関する講習会, 2004.9.
- 15) 建設省道路局国道第一課, 建設省土木研究所: 耐流動耐磨耗の選定手法に関する調査研究, 第42回建設省技術研究会報告, 1988.
- 16) 桐越信, 伊藤正秀, 長谷川強: 耐流動耐磨耗対策の選定手法に関する調査研究, 舗装, Vol.26, No.9, pp.3-12, 1991.9.
- 17) 寺田 剛, 吉田 武, 東嶋奈緒子, 池田拓哉: アスファルト舗装の修繕に関する実態調査, 道路建設, No.637, pp.72-76, 2001.2.

- 18) 鶴窪廣洋：アスファルト舗装路面にとっての環境の変化について，アスファルト，Vol.34，No.168，pp.44-49，1991.7.
- 19) 明石達雄，佐藤正和：高速道路における舗装修繕の状況について，アスファルト，Vol.39，No.188，pp.21-25，1996.7.
- 20) 小松原昭則：JH日本道路公団における舗装マネジメントシステム，アスファルト，Vol.41，No.198，pp.14-19，1999.1.
- 21) 日置洋平，岩田明，池原圭一：わだち路における車線変更時の走行特性に関する実験，第32回土木研究所発表会，pp.9-12，1993.
- 22) 久保和幸：わだち掘れ抵抗性能，アスファルト，Vol.44，No.208，pp.24-27，2001.7.
- 23) 川村彰，榊本友紀，大野滋也，佐藤正和，鈴木一隆：道路利用者の視点から見た高速道路の路面プロファイルについて，土木学会舗装工学論文集，Vol.5，pp.102-111，2000.
- 24) 榎戸靖暢，湯川ひとみ：舗装の乗心地評価と生体反応，アスファルト，Vol.33，No.167，pp.52-66，1991.4.
- 25) 南雲貞夫，永康進：路面のわだち掘れと段差の影響(その2)，土木技術資料，Vol.16，No.8，pp.28-31，1974.8.
- 26) 小越富夫，高橋修平，水沢和久：路面水飛散防止に関する試験調査，第2回北陸道路舗装会議，A-11，pp.89-94，1982.
- 27) 樺島 積：路面性状とすべり摩擦抵抗—主として速度特性について—，舗装，Vol.17，No.3，pp.3-8，1982.3.
- 28) 瀬尾卓也，池原圭一：講座 路面の評価 安全性からみた路面の評価，舗装，Vol.36，No.9，pp.40-45，2001.9.
- 29) 竹田敏憲：道路交通騒音の舗装による低減化に関する研究，日本大学博士論文，2001.
- 30) 森 寛昭：交通事故の現状と分析，道路，pp.8-13，1996.5.
- 31) 井上武美：路面性状等に関する国際会議での動向，平成16年度舗装研究会17，2004.11.