

# 米国における舗装の長期供用性データのわだち掘れ分析

弓削富司夫<sup>1)</sup>・石谷雅彦<sup>2)</sup>・亀山修一<sup>3)</sup>・笠原 篤<sup>4)</sup>

1) 正会員・大成ロテック株式会社 (064-0913 札幌市中央区南1条西1丁目)

2) 正会員・工学博士・大成ロテック株式会社 (104-0031 東京都中央区京橋3-13-4)

3) 正会員・工学博士・北海道工業大学 (006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目)

4) 正会員・工学博士・北海道工業大学 (006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目)

LTPP(Long Term Pavement Performance)プログラムは、1987年からSHRP計画の一部として、合衆国において実施された。SHRPは1992年に終了するが、LTPPは20年計画であるところから、連邦道路局が引き続き、調査、データの集積を実施している。本報告ではその成果である、DATA PAVE97に記録されている、アスファルト舗装のわだち掘れ(Rutting)に着目し、その実体と因子について検討した結果を報告するものである。

KeyWords: LTPP、DATA PAVE、舗装の長期耐久性、わだち掘れ

## 1. 概要

LTPP(Long Term Pavement Performance)プログラムは、1987年からSHRP計画の一部として、合衆国において実施された。SHRPは1992年に終了するが、LTPPは20年計画であるところから、連邦道路局が引き続き、調査、データの集積を実施している。本報告ではその成果である、DATA PAVE97に記録されている、アスファルト舗装のわだち掘れ(Rutting)に着目し、その実体と因子について検討した結果を報告するものである。

LTPPプログラムでは、一般的な舗装の研究セクションであるGPS(General Pavement Study)セクションと特定のテーマで舗装の研究を実施しているSPS(Specific Pavement Study)セクションがある。各々のセクションは舗装の種類、構造等から9種類に細分されている。

DATA PAVE97には、専用のソフトが添付されているが、データベースはMS-ACCESSで構築されており、内容の閲覧や、再構成等が可能な状態になっている。DATA PAVE97には、DP\_80、IMS\_80、FWD\_80の3つのデータベースが含まれている。本報告では、FWD\_80データベースについては対象としていない。以下対象としたデータベースの概要を示す。

### (1) DP\_80データベース

DP\_80データベースには、全部で28個のテーブルがあり、各テーブルやフィールド名の定義、State\_Codeと州の対応、気象データ、舗装の供用開始日、舗装の損傷データ等の情報が含まれている。解析に当たっての基礎的な情報が記録されている。特にData\_Dictionary\_80には全てのデータベース上のテーブルに含まれる各々のフィールドについて詳細に定義されている。また、DP\_CODES83には各テーブルで使用される材料や工法、施工機械等のコードが記述されている。データの分析上この2つのテーブルは、特に重要なファイルである。

### (2) IMS\_80データベース

IMS\_80データベースには265個のテーブルがあり、以下のような情報が含まれている。

a) AWS\_\*, ENV\_\* テーブル:

セクションの気象や位置等のデータ

b) INV\_\* テーブル:

建設時期、層構造、材料、施工に関するデータ

c) MNT\_\*, RHB\_\* テーブル:

補修や維持の履歴に関するデータ

d) MON\_\* テーブル:

ひび割れ、すべり、横断プロファイルに関するデータ

e) SMP\_\* テーブル:

セクションの温度等の記録

## f) SPS\_\* テーブル:

SPS セクションの材料、構造、施工に関するデータ

## g) TRF\_\* テーブル:

交通量に関するデータ

## h) TST\_\* テーブル:

材料試験に関するデータ

等、DATAPAVE97 の中心的なデータベースである。本報告も IMS\_80 データベースのデータを中心に、抽出、分析を行ったものである。

## 2. わだち掘れデータ

### (1) わだち掘れデータの概要

DATA\_PAVE におけるわだち掘れの計測データは、IMS\_80 データベースの中のテーブル MON\_RUT\_X\_Y に記録されている。テーブルの情報は、1 行に Shrp\_ID、State\_Code 等の基本的なデータとともに、測定時期、横断プロファイルの測定データ、測定点の横断距離等のデータが各フィールドに記録されている。代表的なセクションのデータ例を図-1 に示した。

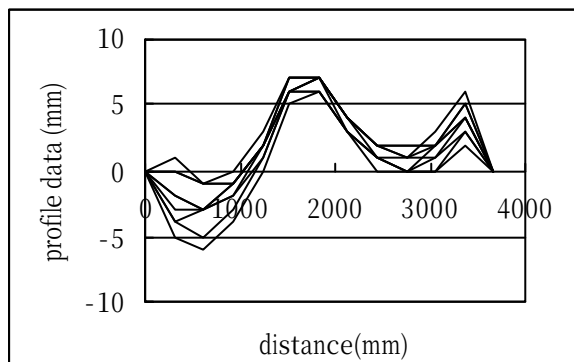


図-1 横断プロファイル測定データ

横断プロファイルデータは、各セクションで1回の測定毎に、150m 程度の区間につき 11 ~ 30 点ある。MON\_RUT\_X\_Y の総データは 26,517 行である。

同一の箇所を複数年測定した場合には、複数行に渡って記録されている。MON\_RUT\_X\_Y のデータには、各セクション毎に 1 ~ 11 年のデータが記録されているが、1 年しかデータがないセクションが相当数ある。各セクションでわだち掘れの調査回数の分布を図-2 に示す。

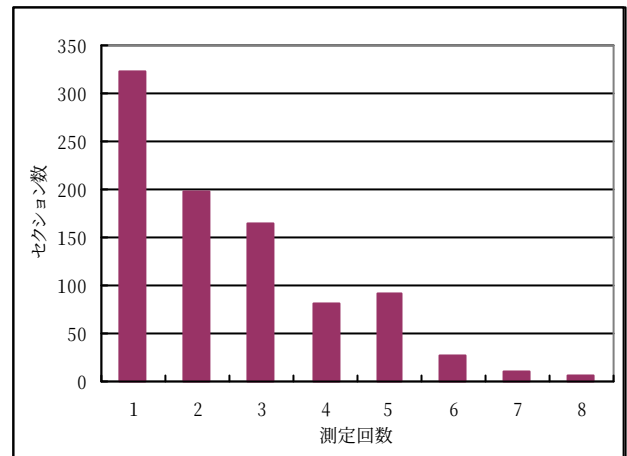


図-2 調査回数の分布

### (2) 最大わだち掘れ深さ

測点毎の横断プロファイルから最大わだち掘れ深さを求め、各セクションの平均わだち掘れ深さを求めた。これから最終調査時点でのデータを抽出して表-1、図-3 に示した。

最終調査時点のわだち掘れ測定結果を抽出すると、データ行数は 783 となる。これから得られる平均わだち掘れ深さは平均で 7.2mm であり、10mm 以下のセクションが 81.2 % を占める。

表-1 各セクションのわだち掘れ深さ

| N   | わだち掘れ深さ(mm) |     |     |      |
|-----|-------------|-----|-----|------|
|     | 最大値         | 最小値 | 平均値 | 標準偏差 |
| 783 | 33.1        | 0.6 | 7.2 | 4.7  |

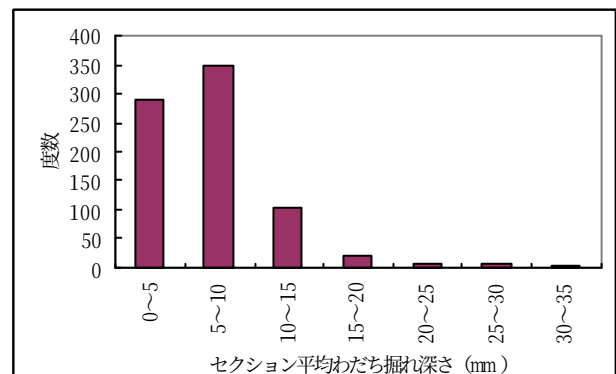


図-3 平均わだち掘れ深さの分布

### 3. 各セクションの供用日数

各セクションの供用日数は、IMS\_80 データベースの中のテーブル INV\_AGE に記録されている、供用開始日及び最新の測定日とから求められる。供用開始年を図-4 に、最終測定日までの供用日数を図-5 に示した。

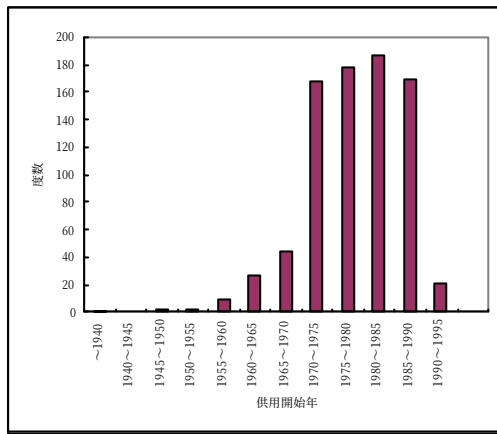


図-4 各セクションの供用開始年

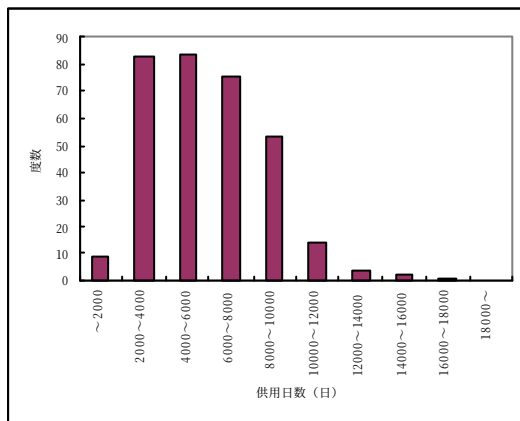


図-5 各セクションの供用日数

供用開始は 1970 ～ 80 年代のものが中心である。また、データベースでは供用開始に関わるデータは SPS セクションのものが欠落しており、時系列で評価が必要な場合には、GPS セクションのみを対象とする。

#### 4. 気候条件

LTPP では、気候条件により各セクションを DF (DRYFREEZE), WF(WET FREEZE), DNF(DRY NO FREEZE), WNF(WET NO FREEZE)の4種類の気候地域に分類している。DATA PAVE97 では、DP\_80 データベース内のテーブル Dp\_climate の中に各セクションと Weather Station とのリンク、測定年数、平均年間降水量、年間凍結指数、気象地域区分、凍結融解サイクル、90F(32℃)以上の日数、32F(0℃)以下の日数等が記録されている。

##### (1) 90F以上の年間日数

各セクションで、年間に出現する 90F(32℃)以上及び 32F(0℃)以下の日数を取りまとめて図-6、7に示した。

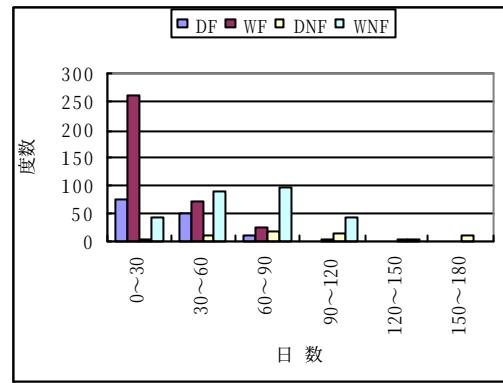


図-6 90F以上の年間日数

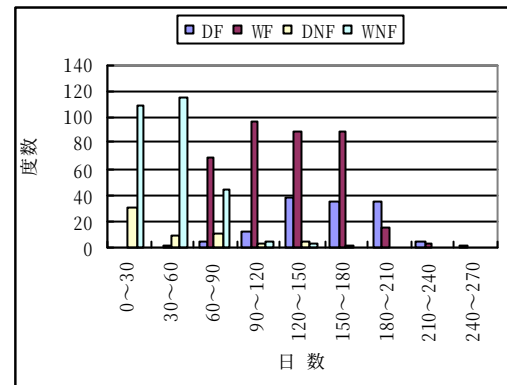


図-7 32F以下の年間日数

##### (2) 気象区分毎のわだち掘れ深さ

MON\_RUT\_X\_Y から算出した最終調査時点の平均わだち掘れ深さを、90F 以上の日数と対比して図-8に示した。気象区分とわだち掘れデータの関係がとれるデータは 304 である。

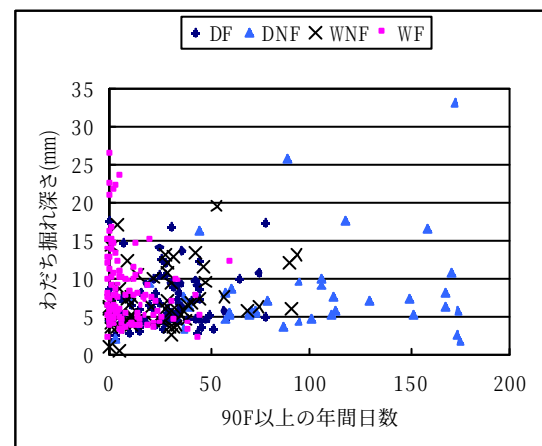
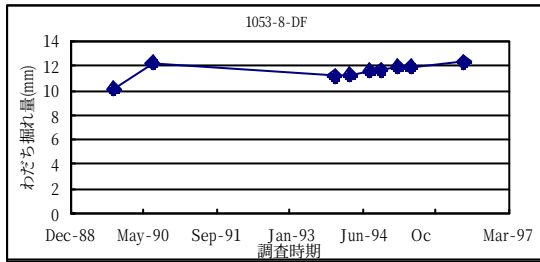


図-8 90F 以上の日数とわだち掘れ深さ

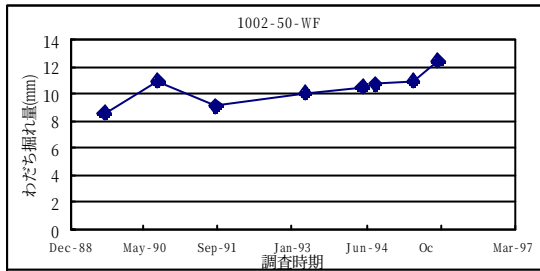
図-8から DNF 地域で数点大きなわだち掘れがあるが、気候区分に関わらずわだち掘れ深さは概ね 20mm 程度以内に集中している。

### (3) 気象区分毎のわだち掘れ経時変化の例

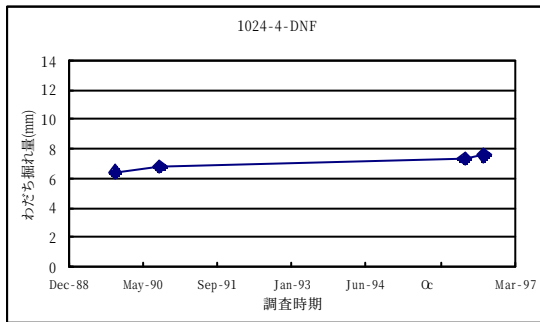
わだち掘れの経時変化の例を気象区分毎に図－9～12に示した。



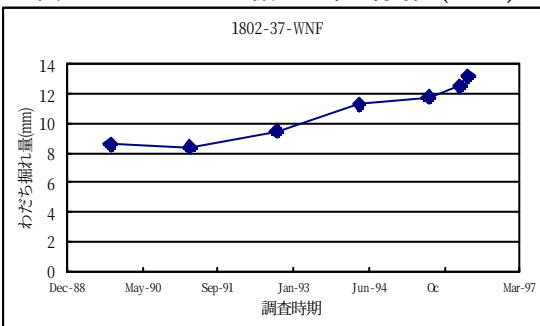
図－9 わだち掘れの経時変化(DF)



図－10 わだち掘れの経時変化(WF)



図－11 わだち掘れの経時変化(DNF)

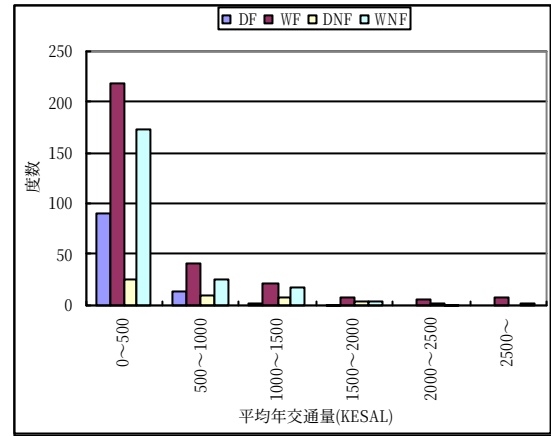


図－12 わだち掘れの経時変化(WNF)

## 5. 交通量

### (1) 交通量データの概要

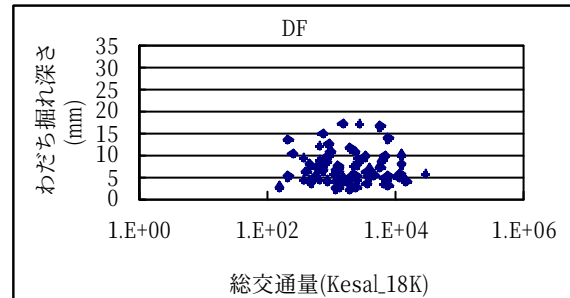
交通量のデータは、IMS\_80 データベースのテーブル TRF\_EST\_ANL\_LTPP\_LN に年平均日交通量、年平均日平均大型交通量、年間 Kesal\_18k 等のデータが記録されている。年間 Kesal\_18k の供用期間中の平均値の分布を図－13に示した。



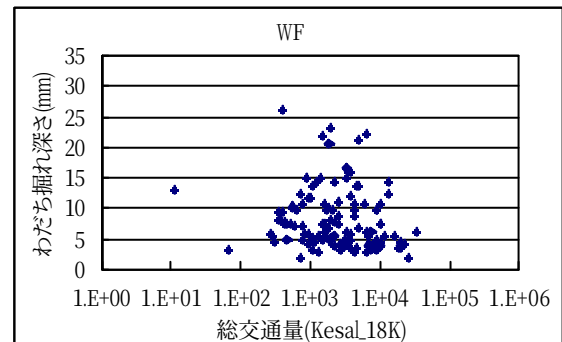
図－13 平均年交通量(Kesal\_18k)

### (2) 交通量とわだち掘れの関係

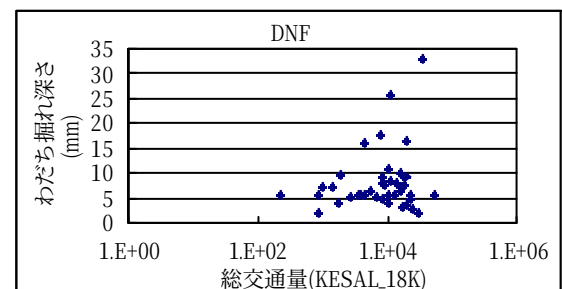
TRF\_EST\_ANL\_LTPP\_LN の 平 均 年 交 通 量 (Kesal\_18k) と、3項に示した供用日数から供用期間中の総交通量を計算し、わだち掘れ深さと対比して、図－14～17に示した。



図－14 総交通量とわだち掘れ(DF)



図－15 総交通量とわだち掘れ(WF)



図－16 総交通量とわだち掘れ(DNF)

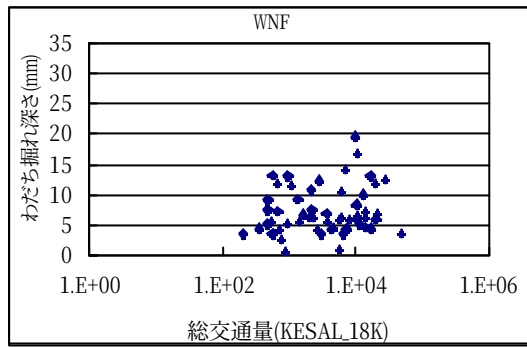


図-17 総交通量とわだち掘れ(WNF)

## 6. 材料に関するデータ

### (1) アスファルトに関するデータ

IMS\_80 データベースの INV\_PMA ASPHALT テーブルの中で、各セクションの各層でで使用された、アスファルトの諸性状が記録されている。記録されている性状は、比重、粘度(140F, 275F)、針入度(77F)、伸度(77F, 39F)、軟化点である。

アスファルトの性状データではデータの欠損が数多くみられる。これらのデータの中で、わだち掘れと対応がとれる表層のデータを以下に示した。

表-2 使用アスファルトの性状

|              |      | 全体     | DF     | WF     | DNF    | WNF    |
|--------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 粘度<br>(140F) | N    | 136    | 46     | 55     | 16     | 19     |
|              | 最大値  | 6957   | 5316   | 2366   | 6957   | 6842   |
|              | 最小値  | 263    | 263    | 288    | 944    | 1224   |
|              | 平均値  | 1783.1 | 1535.4 | 1655.4 | 2034.3 | 2540.8 |
|              | 標準偏差 | 1059.3 | 1061.9 | 534.5  | 1536.9 | 1379.5 |
| 粘度<br>(275F) | N    | 128    | 45     | 50     | 9      | 24     |
|              | 最大値  | 2400   | 669    | 505    | 2400   | 1817   |
|              | 最小値  | 102    | 136    | 140    | 102    | 133.47 |
|              | 平均値  | 364.9  | 305.2  | 347.3  | 574.7  | 434.7  |
|              | 標準偏差 | 257.3  | 115.4  | 95.1   | 726.3  | 327.9  |
| 針入度<br>(77F) | N    | 167    | 57     | 58     | 22     | 30     |
|              | 最大値  | 265    | 265    | 264    | 103    | 97     |
|              | 最小値  | 26     | 45     | 59     | 39     | 26     |
|              | 平均値  | 97.1   | 108.3  | 104.7  | 78.9   | 74.3   |
|              | 標準偏差 | 41.6   | 44.3   | 46.7   | 18.8   | 20     |
| 針入度<br>(39F) | N    | 10     | 3      | 1      | 2      | 4      |
|              | 最大値  | 77     | 49     | 77     | 30     | 31     |
|              | 最小値  | 15     | 15     | 77     | 20     | 17     |
|              | 平均値  | 31.4   | 27.7   | 77     | 25     | 26     |
|              | 標準偏差 | 18.8   | 18.6   | -      | -      | 6.2    |
| 軟化点<br>(F)   | N    | 2      | -      | 2      | -      | -      |
|              | 最大値  | 122    | -      | 122    | -      | -      |
|              | 最小値  | 115    | -      | 115    | -      | -      |
|              | 平均値  | 118.5  | -      | 118.5  | -      | -      |
|              | 標準偏差 | -      | -      | -      | -      | -      |

### (2) 合成粒度

IMS\_80 データベースの INV\_Gradation に各セクションの層毎の合成粒度が記録されている。データの中から、表層を抽出し、わだち掘れと対応がとれるセクションについて、表-3、図-18~21に示した。

表-3 混合物の粒度

|                |      | 全体    | DF    | WF    | DNF   | WNF   |
|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1/2.passing    | N    | 147   | 48    | 44    | 22    | 33    |
|                | 最大値  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
|                | 最小値  | 51.0  | 51.0  | 55.0  | 68.0  | 71.0  |
|                | 平均値  | 91.2  | 92.0  | 94.2  | 84.3  | 90.7  |
|                | 標準偏差 | 10.5  | 9.5   | 10.6  | 10.7  | 9.9   |
| NO.4.passing   | N    | 151   | 49    | 50    | 23    | 29    |
|                | 最大値  | 100.0 | 97.0  | 98.0  | 60.0  | 100.0 |
|                | 最小値  | 29.0  | 29.0  | 35.0  | 30.0  | 44.0  |
|                | 平均値  | 57.7  | 56.6  | 60.8  | 49.0  | 60.8  |
|                | 標準偏差 | 11.8  | 11.7  | 11.4  | 7.8   | 12.2  |
| NO.8.passing   | N    | 117   | 32    | 38    | 21    | 26    |
|                | 最大値  | 90.0  | 77.0  | 56.0  | 46.0  | 90.0  |
|                | 最小値  | 12.0  | 15.0  | 18.0  | 12.0  | 32.0  |
|                | 平均値  | 43.1  | 41.8  | 44.9  | 36.0  | 47.9  |
|                | 標準偏差 | 11.8  | 13.9  | 7.9   | 10.7  | 12.1  |
| NO.200.passing | N    | 164   | 55    | 52    | 23    | 34    |
|                | 最大値  | 12.0  | 12.0  | 8.8   | 6.0   | 11.0  |
|                | 最小値  | 1.0   | 1.0   | 3.0   | 1.0   | 1.0   |
|                | 平均値  | 5.4   | 6.4   | 5.2   | 3.9   | 5.1   |
|                | 標準偏差 | 1.8   | 1.8   | 1.4   | 1.3   | 1.9   |

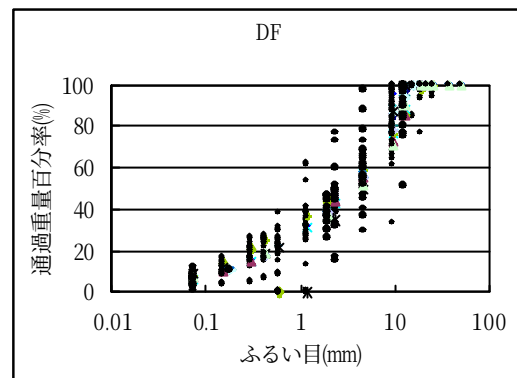


表-18 表層の合成粒度(DF)

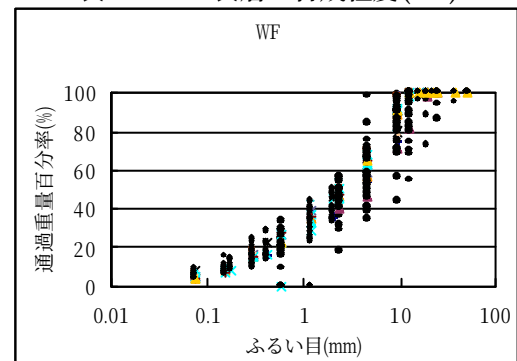


図-19 表層の合成粒度(WF)

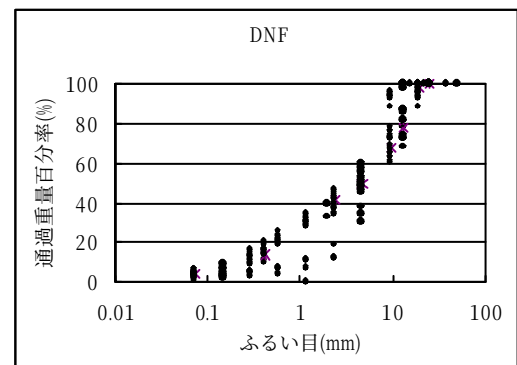


図-20 表層の合成粒度(DNF)

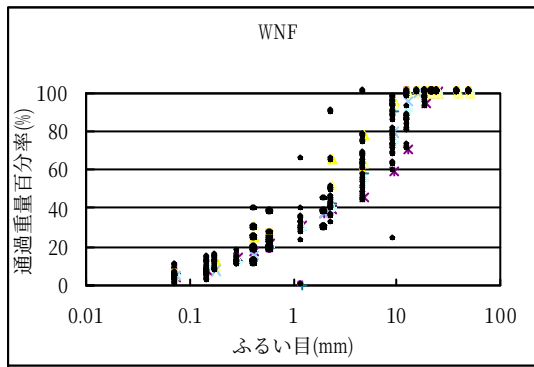


図-2 1 表層の合成粒度(WNF)

### (3) 表層混合物の性状

IMS\_80 データベースの INV\_PMA\_Org\_Mix テーブルに、各層の混合物の諸性状が記録されている。テーブルには、各セクションで、層毎に平均アスファルト量(%)、平均空隙率(%)、骨材間隙率(%)、マーシャル安定度(lbf)、マーシャルフロー(in)、ビーム安定度(lbf)が記録されている。混合物の評価方法は必ずしも一定ではなく、データの欠損が多いが、わだち掘れ量と対応がとれるデータを表-4に示した。

表-4 混合物の性状

|                  |      | 全体     | DF     | WF     | DNF    | WNF    |
|------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均アスファルト量(%)     | N    | 183    | 54     | 62     | 17     | 37     |
|                  | 最大値  | 7.5    | 7.5    | 7.1    | 7.0    | 7.0    |
|                  | 最小値  | 3.5    | 5.0    | 3.9    | 4.2    | 4.7    |
|                  | 平均値  | 5.8    | 5.9    | 5.8    | 5.4    | 5.7    |
|                  | 標準偏差 | 0.7    | 0.5    | 0.7    | 0.7    | 0.6    |
| 平均空隙率(%)         | N    | 170    | 54     | 62     | 17     | 37     |
|                  | 最大値  | 17.0   | 9.8    | 10.8   | 8.4    | 17.0   |
|                  | 最小値  | 0.2    | 1.4    | 0.2    | 1.2    | 2.1    |
|                  | 平均値  | 5.4    | 4.8    | 5.3    | 4.6    | 6.9    |
|                  | 標準偏差 | 2.4    | 2.0    | 2.2    | 1.5    | 3.0    |
| 骨材間隙率(%)         | N    | 96     | 23     | 38     | 12     | 22     |
|                  | 最大値  | 29.2   | 22.6   | 22.3   | 17.4   | 29.2   |
|                  | 最小値  | 4.5    | 11.7   | 4.5    | 13.2   | 5.3    |
|                  | 平均値  | 16.6   | 15.8   | 16.1   | 15.4   | 19.1   |
|                  | 標準偏差 | 3.6    | 2.6    | 2.8    | 1.3    | 5.5    |
| マーシャル安定度(lbf)    | N    | 67     | 21     | 31     | 3      | 9      |
|                  | 最大値  | 8820   | 2574   | 8820   | 3752   | 2482   |
|                  | 最小値  | 654    | 654    | 1200   | 1560   | 800    |
|                  | 平均値  | 2073.8 | 1798.2 | 2384.1 | 2383.0 | 1520.3 |
|                  | 標準偏差 | 1046.7 | 519.9  | 1327.8 | 1193.7 | 516.1  |
| マーシャルフロー(0.01in) | N    | 65     | 21     | 29     | 3      | 9      |
|                  | 最大値  | 18     | 16     | 18     | 11     | 10     |
|                  | 最小値  | 7      | 7      | 8      | 10     | 7      |
|                  | 平均値  | 11.4   | 11.4   | 12.6   | 10.3   | 8.6    |
|                  | 標準偏差 | 2.4    | 2.2    | 2.2    | 0.6    | 1.0    |
| ビーム安定度           | N    | 64     | 22     | 10     | 11     | 20     |
|                  | 最大値  | 56     | 44     | 46     | 45     | 56     |
|                  | 最小値  | 13     | 26     | 13     | 33     | 25     |
|                  | 平均値  | 38.3   | 36.7   | 29.1   | 41.3   | 42.8   |
|                  | 標準偏差 | 8.0    | 4.8    | 11.2   | 3.6    | 6.6    |

## 7. わだち掘れと各因子の関係

2-(2)項で示したわだち掘れ量を、総交通量で除して、単位交通量 (Mesal\_18k=10<sup>3</sup>Kesal\_18k) 当たりのわだち掘れ量を算出して、表-5に示した。

表-5 単位交通量当たりわだち掘れ量

|      |          | 全体    | DF   | WF    | DNF  | DNF  |
|------|----------|-------|------|-------|------|------|
| N    | mm/Mesal | 302   | 82   | 123   | 41   | 56   |
| 最大値  |          | 137.5 | 58.9 | 137.5 | 22.5 | 29.6 |
| 最小値  |          | 0.1   | 0.4  | 0.1   | 0.1  | 0.1  |
| 平均値  |          | 7.9   | 9.0  | 10.2  | 1.8  | 5.1  |
| 標準偏差 |          | 13.9  | 12.5 | 18.1  | 3.7  | 7.0  |

以下単位交通量当たりのわだち掘れ量と、代表的な因子について、単位交通量とのデータの対応がとれるものを抽出し、傾向を図-22～28に示した。データの対応状況は因子によってデータの欠落の状況が異なるため、因子毎に差がある。

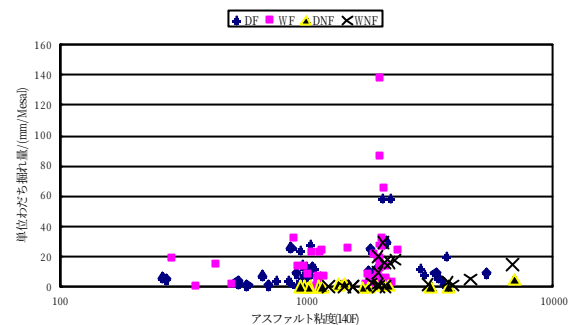


図-2 2 アスファルト粘度と単位わだち掘れ量

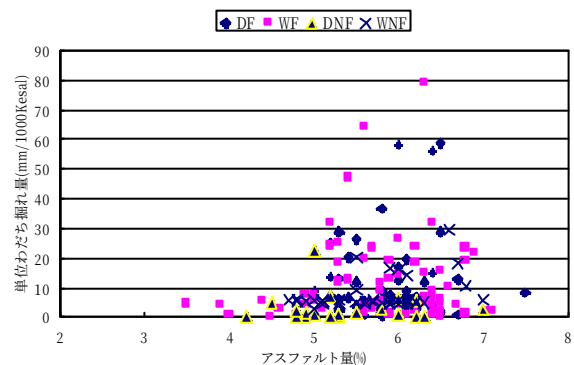


図-2 3 アスファルト量と単位わだち掘れ量

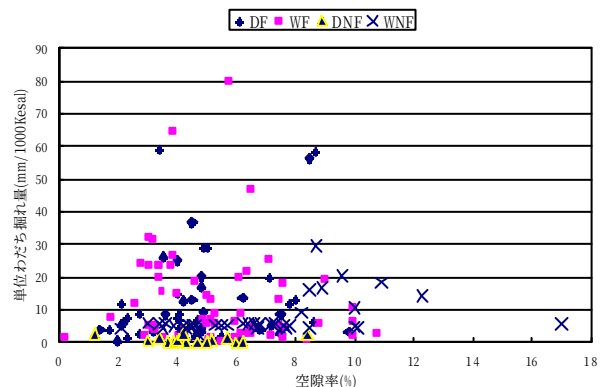


図-2 4 空隙率と単位わだち掘れ量



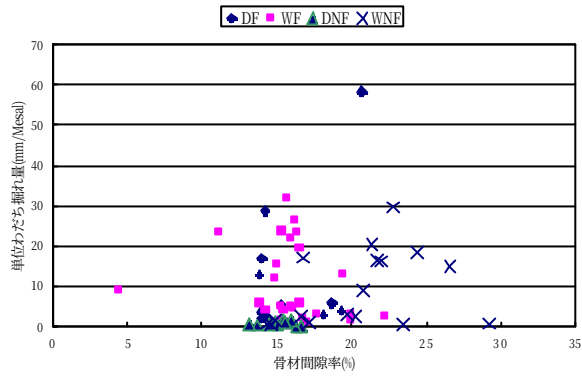


図-25 骨材間隙率と単位わだち掘れ量

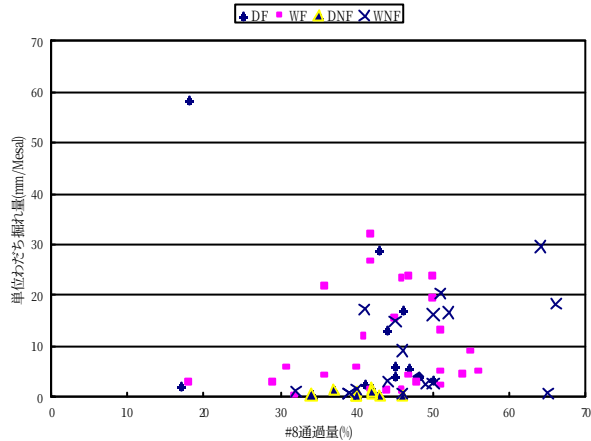


図-26 #8 通過量と単位わだち掘れ量

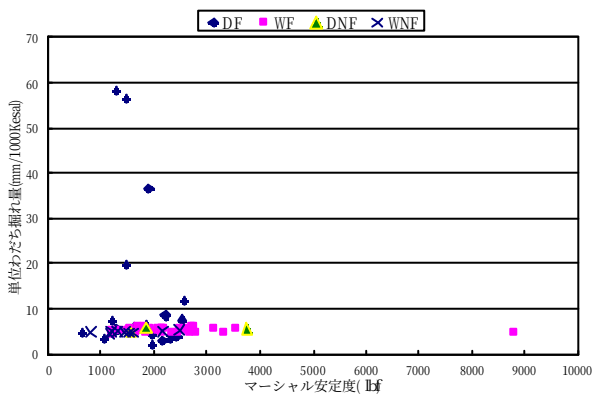


図-27 マーシャル安定度と単位わだち掘れ量

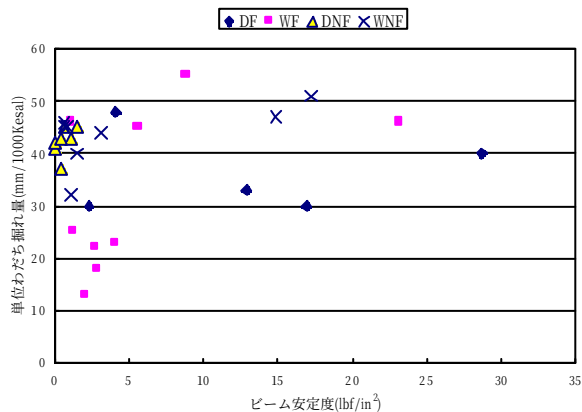


図-28 ビーム安定度と単位わだち掘れ量

図-22～28で示した因子について、単位交通量当たりのわだち掘れ量との関係の解析を試みたが、回帰分析の結果から有意な因子は無い。わだち掘れに関して、単独で支配的な要因はないといえる。また特に材料の因子についてはデータの欠損が多く、複数の因子の影響を検討する場合に全てのデータセットが揃うものはほとんどない状態であった。

## 8. まとめ

DATA PAVEの中にはわだち掘れに限らず膨大な量のデータが記録されている。このデータを有効に活用することは、舗装の長期耐久性の評価の上からも重要なことである。

LTTP プログラムにおけるアスファルト舗装のわだち掘れに焦点を当てて、DATA PAVE97を元に、わだち掘れの実態とその因子について検討を行った。

その結果、わだち掘れやそれに影響を与える因子の実態については、概ね解明することが出来たと考えている。

ただ、データの欠損が多いことと、流動わだち掘れに影響を与える混合物の物理性状のデータがマーシャル試験あるいはビーム安定度試験程度しかなく、また地区によって統一されていない状況にある。また、複数の因子を説明変数としてを抽出すると、混合物の物理性状のデータが各気候地域で数点しか揃わず、重回帰分析等の手法も採用できなかった。このため、各因子の影響の程度に言及することは不可能となった。

わだち掘れに影響を与える因子としては、今回使用した因子以外にも、層構造、舗装温度、車両の速度、車両軌跡の集中度等多岐に渡る。わだち掘れは温度と速度をパラメータとしたクリープ変形の累積値と考えられるが、理論的な解析を行う上では、まだまだ情報量が不足している。実態調査から何らかの成果を得るためには、力学的な解析とともに、統計的な処理が中心にならざるを得ない。我が国においてわだち掘れの研究を行う場合には、わだち掘れという出力に対して、どのような因子の組み合わせが妥当か、あるいはデータの継続性をいかに確保するかが特に重要である。

## 参考文献

- 1) Tuner-Fairbank Highway Research Center : Long-Term Pavement Performance Information Management System Data Users Guide

## THE ANALYSIS OF RUTTING OF THE LTPP PROGRAM IN THE UNITED STATES

**Fujio YUGE, Masahiko ISHITANI, Shuichi KAMEYAMA and Atsushi KASAHARA**

Since 1987, the LTPP (Long Term Pavement Performance) program had been implemented in the US as part of the SHRP (Strategic Highway Research Program). After the termination of the SHRP in 1992, the FHWA (Federal Highway Administration) continued the research and collection of data on the LTPP program, as this program is a 20-year-term plan. This report focuses on the rutting of asphalt pavement, as recorded on the DATA PAVE97 - compiling achievements obtained by the FHWA during this program -- and presents results of study regarding the real status of rutting and relevant factors.