

V-31

アスファルト舗装の表面温度予測と流動に関する一考察

北海道開発局 ○ 正会員 早坂保則
正会員 高橋守人

1. はじめに

舗装道路の維持管理を効率的に行うためには、舗装道路の供用性に関する現状評価と将来予測が重要である。現在、北海道開発局では舗装の供用性評価システムとしてMCI(道路維持管理指数)を使用している。MCIは路面性状の実測値(ひび割れ率・わだち掘れ深さ・平坦性)と交通量区分から求められる1～3年後の路面性状の予測値をもとに算出しており、予測式の精度を上げることが舗装道路の維持管理の効率化につながると考えられる。

MCIを決定する第1の要因はわだち掘れであり、特に近年は、積載荷重の規制緩和等によって夏期間の流動によるわだち掘れが増加している。舗装道路の流動は舗装の種別、交通量、旅行速度、輪荷重、舗装体温度、気温などが要因と考えられている。

本論文では、アメダス観測所の気温、日照時間データから舗装体温度の予測式を求め、交通量(大型車)、流動変形量の実測データとの検証を行い、舗装体温度の予測と流動について考察するものである。

2. 舗装体温度、交通量、流動変形量の観測

舗装体温度、交通量、流動変形量の観測地点を表-1に示す。この3地点は交通量常時観測所(国道の車種別交通量観測施設)とアメダス観測所が比較的近い地点を選定した。

表-1 観測地点一覧

地点名	路線	所在地	車線	観測期間	国道の観測地点とアメダス観測所との距離
士別	40	士別市南町	2	1998/5/29～10/23	2.5km
富良野	38	富良野市学田	2	1998/5/30～10/23	1.9km
石狩	231	石狩市花畔	4	1998/5/25～10/19	2.9km

国道の観測地点では5月から10月の1時間毎の舗装体温度(路面下1cm、3cm、5cm)と気温、5月と10月に路面の流動変形量を観測した。3地点の舗装種別は施工後数年以上経過した細粒度ギャップアスコンである。交通量データは1時間毎に累計された大型車交通量の方向別データ、アメダスデータについては気温と日照時間データを用いた。

アメダス観測所と国道の観測地点との気温の相関を図-1に示す。両者の相関係数が0.9813～0.9862であることから、非常に強い相関関係があると考えられる。今後、道内全域の舗装体温度予測を目指していることから、アメダスデータによる検討を行った。

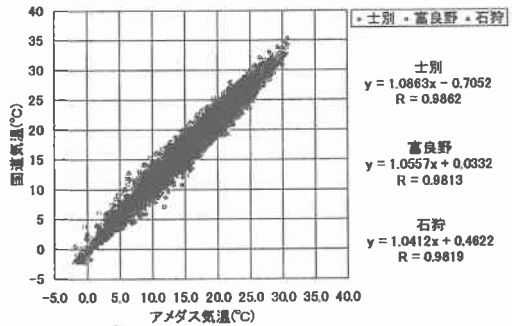


図-1 アメダスと国道における気温の相関

Study on the surface temperature prediction and flow of asphalt pavement
by Yasunori HAYASAKA, Morito TAKAHASHI

3. アメダスデータによる舗装体温度予測

予測式を検討するために、土別のデータをもとに舗装表面下1 cm、3 cm、5 cmの観測深さの違う舗装体温度を目的変数として4種類の回帰式を求めた。

表－2 回帰式①～④の相関係数(土別)

ケース	目的変数	説明変数	回帰式①	回帰式②	回帰式③	回帰式④(④－①)
1	土別 1 cm	アメダス気温 アメダス日照時間	0.857	0.868	0.889	0.922(0.065)
2	土別 3 cm		0.870	0.878	0.891	0.915 (0.045)
3	土別 5 cm		0.868	0.874	0.879	0.891(0.023)

この時の説明変数は、回

帰式① $Y=aX+b$ 、② $Y=a$

X^2+bX+c 、③ $Y=ae^{bX}$

の場合に気温データ、回帰

式④ $Y=aX_1+bX_2+c$ の

場合に気温、日照時間デー

タである。回帰式①～④の

相関係数を表－2に示す。

表－2 から、アメダス気

温を説明変数とする回帰式

①～③では、回帰式③の相

関が最も高く、観測深さ別

では舗装表面下3 cmのデー

タとの相関が最も高い。また、回帰式①に説明変数としてアメダスの日照時間を加えた回帰式④では、全ての測定深さにおいて回帰式①～③の相関係数を上まわり、その差(④－①)は表面に近いほど大きい。このことから、舗装体温度が日照時間に依存していることがわかる。したがって、相関係数の最も大きい回帰式④を用い、舗装体温度の予測式の検討を行う。土別、富良野、石狩について、回帰式④の偏回帰係数と相関係数を表－3に示す。

表－3 回帰式④と相関係数(土別、富良野、石狩)

ケース	目的変数	回帰式④ $Y=aX_1+bX_2+c$ 説明変数 X_1 : アメダス気温 説明変数 X_2 : アメダス日照時間			相関係数
		係数: a	係数: b	定数: c	
1	土別 1 cm	1.234	9.218	1.309	0.922
2	土別 3 cm	1.170	6.982	2.328	0.915
3	土別 5 cm	1.080	4.322	4.395	0.891
4	富良野 1 cm	1.289	9.308	0.234	0.907
5	富良野 3 cm	1.250	7.442	1.299	0.905
6	富良野 5 cm	1.198	4.764	2.403	0.901
7	石狩 1 cm	1.304	8.739	-0.149	0.862
8	石狩 3 cm	1.201	6.301	2.077	0.844
9	石狩 5 cm	1.101	4.161	3.668	0.814

3 地点とも舗装表面下1 cmの相関係数が最も高く、観測深さが深くなるほど係数a、bが小さく、定数cが大きくなる傾向を示している。このことから、舗装表面に近いほど気温、日照時間に強く依存していると考えられ、舗装体温度の予測には表面に近い深さの予測が有利だと推測される。

したがって、3 地点の観測深さ1 cmの回帰式④をもとに、相関係数の荷重平均から係数a、b及び定数cを求め、舗装体温度の予測式(1)とする。

したがって、3 地点の観測深さ1 cmの回帰式④をもとに、相関係数の荷重平均から係数a、b及び定数cを求め、舗装体温度の予測式(1)とする。

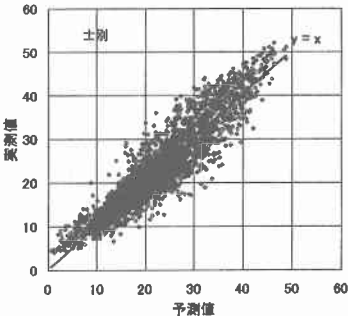
$Y=1.275X_1+9.095X_2+0.480 \cdots (1)$

X_1 : アメダス気温(℃)

X_2 : アメダス日照時間(時間)

土別の 1998/5/29～10/23 の気温と日照時間のアメダスデータから舗装体温度の予測値を求め、実測値との関係を図－2に示す。誤差は最大で13.7℃であった。また、3地点の舗装体温度毎の実測値と予測値の時間累計の比較を表－4に示す。この表から、舗装体温度40℃以上の予測精度が低いことがわかる。

舗装体温度が50℃を超えた7月19日の予測結果を図－3に示す。最高温度を記録した13時の実測値との誤差は－



図－2 舗装体温度の予測値と実測値(土別)

6.4℃であったが、その他の時間帯の誤差は約±3～4℃であった。

予測式(1)は 40℃以上の再現能力に多少劣っているが、全体的には舗装体温度をほぼ再現することができたと思われる。

4. 舗装体温度と流動変形に与える影響度

舗装の流動変形は舗装体温度が一定の温度になると急激に進むものと考えられ、舗装体温度毎の流動変形量を定量的に示すことができれば、流動変形予測の精度を上げることが可能と考えられる。

舗装体温度とアスファルト混合物の流動変形に関する報告として、土木研究所資料第1213号では、舗装体温度毎の永久変形に与える影響度について「(最大輪荷重 5ton の場合) 最初の 10,000 回くり返し温度の影響を比較すると、20～30℃に対して 30～40℃は約 7 倍、40～50℃は約 20 倍となっている。仮にこの傾向を 50～60℃まで外挿してみると 50～60℃では 20～30℃に対して 40 倍以上になるであろう。」と述べている。

供用後に発生したわだち掘れ量と動的安定度には良好な相関があると言われており、土木研究所資料第2401では、動的安定度と試験温度の回帰式(2)を求め、強い相関関係があることを示している。

$$\text{Log}_{10}(\text{DS})=8.656-0.07095\text{T}-0.2285\text{P} \quad \cdots(2)$$

DS:動的安定度(回/mm)、T:温度(℃)=45～60、 P:接地圧(kgf・cm²)

50～60℃の温度の影響を求めるため、式(2)から温度 45℃と 55℃の場合を比べると 1：5 となる。

これらを総合して、舗装体温度 20～30℃のときを 1 とした場合の各舗装体温度が流動変形に与える影響比(以下、影響比と呼ぶ。)を表-5 のように仮定する。

土別における交通量の測定結果とそれをもとに計算した流動変形に与える影響度(以下、影響度と呼ぶ。)を表-6 に示す。

表-4 舗装体温度毎の実測値と予測値比較

舗装体温度	土別		富良野		石狩	
	実測値	予測値	実測値	予測値	実測値	予測値
50～60	7	0	22	0	3	0
40～50	195	112	233	150	212	71
30～40	500	549	496	537	511	565
20～30	1270	1419	1496	1709	1582	1897
0～20	1580	1272	1281	1132	1244	1019
計	3552	3352	3528	3528	3552	3552

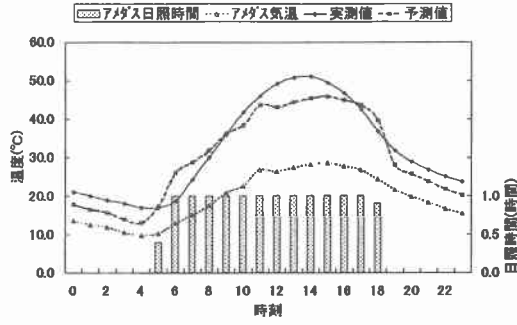


図-3 1日の舗装体温度の予測結果(土別)

表-5 舗装体温度の流動変形に与える影響比

温度分布	流動変形に与える影響比
50～60℃	100
40～50℃	20
30～40℃	7
20～30℃	1

表-6 流動変形に与える影響度(土別)

温度(℃)	時間	交通量(上り)	交通量(下り)	交通量合計	内大型車(上り)TU	内大型車(下り)TD	内大型車計	影響比 W	影響度(上り)TU×W	影響度(下り)TD×W
50～60	7	3416	2946	6362	163	143	306	100	16300	14300
40～50	195	80087	78431	158518	11350	10080	21430	20	227000	201600
30～40	500	205135	208582	413717	29397	26696	56093	7	205779	186872
20～30	1270	338941	383288	722229	43656	53035	96691	1	43656	53035
10～20	1400	195528	251546	447074	26799	48787	75586	—	—	—
0～10	180	15876	22661	38537	2644	6987	9631	—	—	—
計	3552	838983	947454	1786437	114009	145728	259737		492735	455807

影響度は舗装体温度毎の交通量に影響比を掛けたものの累計で表すこととする。また、舗装体温度と交通量の観測結果から、温度毎に占める時間、上り下り別の交通量合計と大型車交通量、影響度の比較を図-4に示す。流動変形に影響を与えると考えられる舗装体温度20℃以上の時間は観測期間に1972時間あり、50%強を占めている。また、この時間の交通量は70%を超えていることがわかる。交通量の内、流動変形に大きく影響を与える大型車交通量も60～70%強を占めている。影響度を見ると、舗装体温度30℃以上で90%を超えているが、50℃以上の割合は3%程度しかない。このことから、流動変形に影響を与える舗装体温度は30～50℃だと考えられ、この温度域での精度の高い予測式が有効だと推測される。

流動変形量は観測期間の開始日と終了日に測定しており、2回の測定値の差から求めている。横断方向に設けた3測線に対し10cm毎に高さを測定し、1回目の測定値との差の最大値の平均を流動変形量としている。3地点の影響度と流動変形量との関係を図-5に示す。

6組のデータから回帰式を求め、相関係数0.8838を得た。このことから、影響度と流動変形量には強い相関関係があると考えられる。

5. まとめ

- 1)アメダスの気温データと日照時間データを用いることにより、舗装体温度予測の精度が向上すると考えられる。
- 2)アメダスデータ(気温、日照時間)と舗装体温度は表面に近いほど相関が強いと考えられる。
- 3)流動変形予測を目的とした舗装体温度予測には、30～50℃の温度域における予測精度の高い予測式が有効と考えられる。
- 4)流動変形に与える影響度と流動変形量には強い相関があると考えられることから、これを用いた流動変形量の予測は可能だと推測される。

流動は気象条件の違いにより、年毎の変形量の大小や地域による差が発生する。このような違いを予測評価するには、流動変形に与える影響度のような指標が有効だと推測される。

6. おわりに

今回は1時間毎の交通量データ、アメダスデータを用いたが、今後は日最高気温や道路交通センサスのデータを用い、指標計算方法の簡略化についても検討したい。

参考文献

- 1)丸山暉彦他 アスファルト混合物層の温度推定法 土木研究所資料第3202号 1993年9月
- 2)姫野賢治他 アスファルト舗装の内部温度の推定に関する研究 土木学会論文集第366号/V-4 1986年2月
- 3)土木研究所 ホイールトラッキング試験方法の改善に関する研究報告書 土木研究所資料第2401号 1986年8月
- 4)土木研究所 加熱アスファルト混合物の配合設計と施工に関する研究 土木研究所資料第1213号 1977年3月

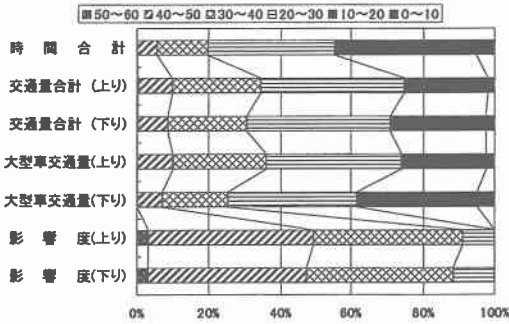


図-4 舗装体温度の予測値と実測値(土別)

	土別		富良野		石狩	
	上り	下り	上り	下り	上り	下り
影響度	492735	455807	559755	523467	384959	371260
流動変形量(mm)	1.5	1.7	3.9	2.6	1.3	1.3

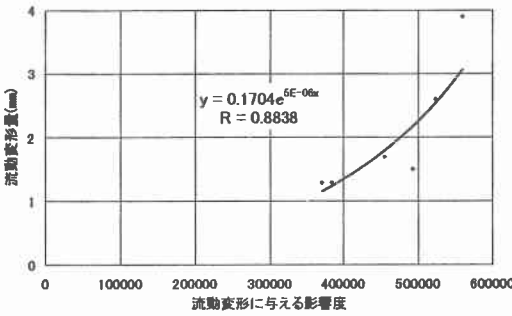


図-5 影響度と流動変形量