

低燃費舗装に求められる性能と路面の性能指標の関係について

(国研) 土木研究所 舗装チーム ○川上篤史、寺田剛、藪雅行
(株) NIPPO 総合技術部技術研究所 白井悠、石垣勉

1. はじめに

低燃費舗装は、タイヤと路面間の転がり抵抗（以下、転がり抵抗）を小さくすることによって自動車の走行燃費・CO₂排出量を低減する、新たな低炭素舗装技術として期待されている¹⁾。筆者らは転がり抵抗の低減メカニズム解明に向けた研究として、低燃費舗装の開発、転がり抵抗と路面性状の関係把握、燃費改善効果に関する検討を行ってきた^{2),3)}。

本報告は、低燃費舗装の性能評価方法として、路面の性能指標（路面テクスチャおよびラフネス）を用いた転がり抵抗係数の試算方法を重回帰分析によって明らかにするとともに、低燃費舗装に求められる性能と路面の性能指標の関係について検討を行ったので報告する。本研究成果は（国研）土木研究所と（株）NIPPOの共同研究「低炭素舗装技術の高度化に関する研究」の成果の一部である。

2. 検討方法

2.1 試験工区の路面性状および転がり抵抗の測定

転がり抵抗測定に用いた舗装路面は、国土技術政策総合研究所試験走路の直線部において、表-1に示す23種類のアスファルト舗装路面を用いた。試験条件を表-2に示す。なお、測定した転がり抵抗は横力補正およびタイヤ温度補正(30℃)³⁾を行い、転がり抵抗係数 μ_R を算出した。

2.2 低燃費舗装に求められる性能と路面の性能指標に関する検討

転がり抵抗と路面性状の関係については、転がり抵抗係数を目的変数、路面テクスチャ指標およびラフネス指標を説明変数として、重回帰分析を行った。なお、路面テクスチャ指標およびラフネス指標は、今回の分析では表-1に示すMPDおよびIRIを用いた。得られた重回帰式および転がり抵抗係数と燃料消費率の関係式（過去の試算結果³⁾を更新）より、低燃費舗装に求められる性能と路面の性能指標の関係について検討した。

3. 研究結果

3.1 転がり抵抗係数の算出と路面性状との関係分析

横力補正および温度補正を行った各舗装路面の転がり抵抗係数を表-3に示す。この転がり抵抗係数を目的変数、MPD、IRIを説明変数として、走行速度毎に重回帰分析を行って得られた重回帰式を表-4に示す。相関係数は走行速度20~60km/hで0.85、80km/hで0.71であった。これより、舗装路面の転がり抵抗係数を評価する性能指標にはMPDとIRIを用いることが可能であると考えた。また、本式より転がり抵抗係数は、MPD、IRIと正の相関があることがわかる。これは、路面テクスチャが粗く、ラフネスが悪くなるほど転がり抵抗は大きくなることを定量的に示している。一方、走行速度間の比較では、IRIの定数は走行速度が

表-1 試験に用いた舗装路面

工区 No.	混合物 (最大粒径)	MPD [mm]	IRI [mm/m]
1	低燃費(5)	0.65	0.87
2	低燃費(5)	0.74	0.97
3	排水性(13)	1.63	1.26
4	密粒度(13)	0.36	1.17
5	排水性(13)	1.54	1.26
6	密粒(13)	0.35	3.14
7	低燃費(5)	0.61	1.27
8	低燃費(5)	0.58	1.51
9	低燃費(5)	0.71	1.32
10	低燃費(5)	0.62	1.69
11	密粒	0.79	1.22
12	SMA(5)	0.72	2.01
13	SMA(13)	1.21	1.73
14	排水性(5)	1.01	1.46
15	排水性(5)	1.07	1.7
16	排水性(13)	1.79	1.51
17	密粒	0.71	1.29
18	排水性(20)	3.50	2.53
19	排水性(20)	2.45	1.54
20	排水性(10)	1.49	1.86
21	排水性(13)	1.93	1.31
22	排水性(13)	2.11	1.46
23	密粒	0.84	1.59

表-2 転がり抵抗測定方法・条件

項目	内容
形式	垂直昇降式縦横両用型すべり測定装置
測定項目	牽引抵抗(Rc)、コーナリングフォース(Fc)、鉛直荷重(Fz)、試験輪速度(V)、試験輪温度(T) (サンプリング間隔0.01秒)
測定輪	第5輪
測定タイヤ	すべり抵抗測定用タイヤ(リブタイヤ) タイヤ寸法:165-SR13、タイヤ内圧176.5kPa
載荷重	3,969N±150N
測定速度	20, 40, 60, 80km/h 定常走行

表-3 各舗装路面の転がり抵抗係数

工区 No.	転がり抵抗係数				工区 No.	転がり抵抗係数			
	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h		20km/h	40km/h	60km/h	80km/h
1	0.0140	0.0156	0.0172	0.0196	13	0.0157	0.0177	0.0208	0.0232
2	0.0141	0.0153	0.0175	0.0197	14	0.0159	0.0166	0.0200	0.0228
3	0.0150	0.0169	0.0186	0.0213	15	0.0158	0.0168	0.0195	0.0222
4	0.0142	0.0159	0.0177	0.0204	16	0.0163	0.0173	0.0203	0.0221
5	0.0158	0.0173	0.0197	0.0213	17	0.0161	0.0173	0.0201	0.0230
6	0.0153	0.0176	0.0222	0.0242	18	0.0175	0.0191	0.0220	0.0246
7	0.0148	0.0164	0.0194	0.0214	19	0.0171	0.0192	0.0214	0.0249
8	0.0147	0.0169	0.0200	0.0226	20	0.0163	0.0176	0.0194	0.0214
9	0.0149	0.0167	0.0192	0.0226	21	0.0170	0.0190	0.0204	0.0257
10	0.0149	0.0163	0.0194	0.0220	22	0.0160	0.0182	0.0219	0.0224
11	0.0152	0.0168	0.0191	0.0213	23	0.0157	0.0174	0.0198	0.0225
12	0.0152	0.0166	0.0202	0.0226					

上がるにつれて大きくなった。これは、走行速度が速くなるほど IRI の影響が大きくなることを示している。

3.2 低燃費舗装に求められる性能と路面の性能指標に関する検討

本検討では、比較元となる舗装路面を設定し、その路面より自動車の走行燃費を 1%改善できる路面の性能指標 (MPD、IRI) の関係を整理した。この走行燃費改善効果 (1%) は過去の実測値より設定した。また、本試算における比較元の路面性状は、本実験で用いた排水性舗装および SMA 舗装の平均値である MPD=1.7[mm]、IRI=1.6[mm/m]と仮定した。試算方法を次に示すとともに試算結果を表-5 に示す。

①比較元の舗装路面の転がり抵抗係数を表-4 より試算。結果として、走行速度 20, 40, 60, 80km/h で 0.0161、0.0177、0.0204、0.0229 となる。②上記転がり抵抗係数を有する路面の燃料消費率[km/L]を表-5 に示す転がり抵抗係数と燃料消費率の関係式より試算。③燃料消費率を 1%向上させる路面の転がり抵抗係数を、再度表-5 に示した式により試算。結果として、走行速度 20, 40, 60, 80km/h で転がり抵抗係数は 0.0155、0.0170、0.0199、0.0221 となる。

以上より、この転がり抵抗係数以下を満たす MPD および IRI の組み合わせについて、走行速度 40km/h の試算結果を表-6 に示す。

表-6 低燃費舗装に求められる転がり抵抗係数の試算例(走行速度 40km/h の場合)

走行速度40[km/h]	MPD [mm]																
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	
IRI [mm/m]	0.8	0.0156	0.0156	0.0157	0.0158	0.0159	0.0160	0.0161	0.0162	0.0163	0.0164	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170
	0.9	0.0157	0.0158	0.0159	0.0160	0.0161	0.0162	0.0163	0.0164	0.0164	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171
	1.0	0.0158	0.0159	0.0160	0.0161	0.0162	0.0163	0.0164	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172
	1.1	0.0159	0.0160	0.0161	0.0162	0.0163	0.0164	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0173
	1.2	0.0160	0.0161	0.0162	0.0163	0.0164	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175
	1.3	0.0161	0.0162	0.0163	0.0164	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0175
	1.4	0.0162	0.0163	0.0164	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0175	0.0176
	1.5	0.0163	0.0164	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177
	1.6	0.0164	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177	0.0178
	1.7	0.0165	0.0166	0.0167	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177	0.0178	0.0179
	1.8	0.0165	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177	0.0178	0.0179	0.0179
	1.9	0.0166	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177	0.0178	0.0179	0.0180
	2.0	0.0167	0.0168	0.0169	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177	0.0178	0.0179	0.0180	0.0181
	2.1	0.0167	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177	0.0178	0.0179	0.0179	0.0180	0.0181
	2.2	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177	0.0178	0.0179	0.0180	0.0181	0.0182
	2.3	0.0168	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177	0.0178	0.0179	0.0180	0.0181	0.0181	0.0182
2.4	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0174	0.0175	0.0176	0.0177	0.0178	0.0179	0.0180	0.0181	0.0182	0.0183	

一般国道や市町村道の平均的な走行速度 40km/h の場合、低燃費舗装に求められる転がり抵抗係数は 0.0170 以下となり、表-6 よりそれを満たすテクスチャ指標 MPD およびラフネス指標 IRI の組み合わせがわかる。また、さらなる低燃費効果を期待する際は、燃費改善率 2%相当の転がり抵抗係数は 0.162 以下となり、その路面の性能指標を試算することが可能となる。ただし、本性能指標値は転がり抵抗のみの試算であり、騒音低減機能や路面排水機能を有する路面を付加するには、例えば MPD の下限や上限を設定する、もしくは騒音低減量や現場透水量を設定する等の検討が今後必要であると考えられる。

4. まとめ

本検討の結果、低燃費舗装の評価に用いる性能指標として MPD および IRI を用いることが可能であることが明らかになり、低燃費舗装に求められる性能と路面の性能指標の関係について整理することができた。今後は、現地試験施工により本検討結果の検証等を行いたいと考えている。

参考文献：

1)川上ら：低燃費舗装の CO₂削減効果の試算、第 67 回土木学会年次学術講演集、2012.9 2)石垣ら：自動車走行燃費の向上に寄与するタイヤ/路面転がり抵抗の小さい低燃費アスファルト舗装技術の開発、第 30 回日本道路会議、2013.11 3)白井ら：アスファルト舗装のタイヤ/路面転がり抵抗と自動車走行燃費の関係、土木学会論文集 E1 (舗装工学講演論文集)、pp.9-17、2016.12

表-4 転がり抵抗係数の重回帰式

走行速度	重回帰式	重相関係数
20km/h	Y=0.014083 +0.000999 ln(IRI) +0.000895 MPD	0.8518
40km/h	Y=0.015541 +0.001216 ln(IRI) +0.000938 MPD	0.8478
60km/h	Y=0.017801 +0.003212 ln(IRI) +0.000617 MPD	0.8450
80km/h	Y=0.020333 +0.002869 ln(IRI) +0.000723 MPD	0.7097

表-5 転がり抵抗係数と燃料消費率の試算例

走行速度 (km/h)	比較路面の転がり抵抗係数	転がり抵抗係数と燃料消費率の関係式(過去の試算結果 ³⁾ を更新)	燃料消費率(km/L)		要求される転がり抵抗係数
			比較路面	1 %向上後	
20	0.0161	Y=-153.78X+11.158	8.68	8.77	0.0155
40	0.0177	Y=-167.36X+14.858	11.9	12.02	0.0170
60	0.0204	Y=-264.22X+18.685	13.29	13.42	0.0199
80	0.0229	Y=-141.35X+14.780	11.54	11.66	0.0221