

多層弾性解析と実測による舗装応答の比較に関する一検討

鹿島道路 管理本部 企画部 正会員 金井利浩
 エコロードコンサルタント 熊谷 親
 東京電機大学 理工学部 フェロー会員 松井邦人

1.はじめに

少子高齢化の急速な進展や財政の悪化などにより、効率的な公共投資の必要性が叫ばれている。道路舗装に関しても例外ではなく、理論的設計法による合理的で経済性に優れた舗装構造の提案が求められている。このような中、舗装の断面設計が、多層弾性理論などによる数値解析を利用して行われることも珍しくなくなっている。しかしながら、解析による舗装応答が実際のそれとどの程度一致しているかについての検討は、国内においてはあまり実施されていないのが現状である。そこで、本文では、海外のアスファルト舗装試験ヤードにおいて実施された FWD 測定の結果を多層弾性解析（逆解析および順解析）して、計算値と実測値（ひずみ、応力）の整合性について検討した結果を報告する。

2.解析に用いたデータ

解析には、舗装応答の応力依存性に関する研究を促すために TRB がホームページ¹⁾に掲載している 4 つのサイトにおける実測データのうち、SITE 4 (Danish Road Test Machine、デンマーク)の RTM2 のデータを用いた。当該試験ヤードの舗装断面は図-1 のとおりであり、延長方向 - 4.5m ~ 4.5m の範囲において中心線をはさんで左右 2 測線を設定し、それぞれの測線上において 300mm ピッチで 31 点ずつ FWD 測定を実施している。また、FWD 測定とは別に測線上において 75mm 間隔で静的載荷試験（590kPa）を行って、表-1 に示す位置に埋設した土圧計やひずみゲージなどにより、舗装体内の応答を測定している。なお、表-1 において、X 方向は舗装の横断方向、Y 方向は縦断方向、Z 方向は鉛直方向の応答を、数値は計器の埋設深さ、また、L と R は左右の測線の区別を示す。

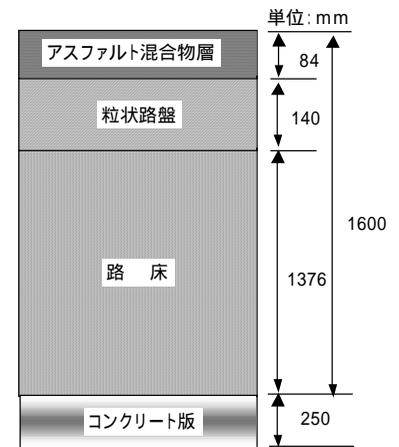


図-1 舗装断面

表-1 舗装応答測定位置

縦断距離(m)	路床ひずみ(μ)	路床応力(kPa)	アスコンひずみ(μ)
-3.0		Z方向・244mm・L	
		Z方向・374mm・R	
-2.7	Z方向・434mm・L		
-2.4			Y方向・84mm・L
			X方向・84mm・R
-2.1	Z方向・574mm・R		
-1.8		Z方向・244mm・R	
-1.5	Z方向・304mm・L	Z方向・504mm・R	
-1.2	Z方向・574mm・L		
-0.9	Z方向・434mm・R		
-0.6	Z方向・304mm・R	Z方向・504mm・L	
-0.3	X方向・329mm・L		X方向・84mm・L
			Y方向・84mm・R
0.0	Y方向・309mm・R	Z方向・374mm・L	
0.3		Z方向・244mm・L	
		Z方向・504mm・R	
0.6	Z方向・434mm・L		Y方向・84mm・L
			X方向・84mm・R
0.9	Z方向・304mm・L	Z方向・374mm・R	
1.2	Z方向・574mm・L	Z方向・244mm・R	
1.5			
1.8	X方向・329mm・R		X方向・84mm・L
			Y方向・84mm・R
2.1	Z方向・434mm・R		
2.4	Z方向・304mm・R	Z方向・504mm・L	
2.7	Z方向・574mm・R		
	X方向・329mm・L		
3.0		Z方向・374mm・L	

3.逆解析および順解析の方法

左右 2 測線上の全 62 測点における FWD データを BALM99 により逆解析した。逆解析には、載荷板中心から、0、200、300、450、650、900、1200、1500、1800mm の 9 点における実測たわみ（測定回数 3 回の平均たわみ量）を用いた。なお、載荷荷重は、400、550、690、850 kPa の 4 水準であり、解析モデルは図-1 に示す 4 層構造とし、最下層のコンクリート版は便宜上ベドロック（弾性係数：30,000Mpa、厚さ： ）とした。

次に、表-1 の各測点において逆解析で得られた弾性係数を用い、BISAR により載荷荷重 590 kPa を与えて所定の深さのひずみまたは応力を計算した。なお、FWD 測定と静的載荷試験における載荷荷重は、半径 150mm の円形等分布荷重とした。

4.検討結果と考察

4-1 逆解析結果

L ライン、R ラインを合わせた全測点(n=62)における FWD データを逆解析して得られたアスファルト混合物層、粒状路盤層、路床の弾性係数（それぞれ E1、E2、E3）の

Key Words : FWD、逆解析、多層弾性理論、ひずみ、応力

連絡先：〒112-8566 東京都文京区後楽 1 丁目 7 番 27 号 Tel : 03-5802-8003 Fax : 03-5802-8017

統計量を表-2 に示す。表-2 より、載荷荷重が大きくなるにしたがい、各層の平均弾性係数は、E1：増加、E2：ほぼ横ばい、E3：減少という傾向にあり、変動係数についてみると、E2、E3 ではほぼ一定の値で推移しているのに対し、E1 においては明らかに低下している。

載荷荷重と平均弾性係数の関係は、アスファルト混合物層が薄い A 交通断面における国内研究²⁾でも同様の報告があり、妥当な結果であると考えられる。

4.2 載荷試験における応答比較（実測値と計算値）

一例として、アスファルト混合物層下面（84mm 深さ）における Y 方向のひずみについて、実測値と計算値を対比したものを図-2 に示す（計算には、FWD 載荷荷重 550kPa 時の逆解析弾性係数を使用）。これを見ると、実測値と計算値は載荷板中心付近において若干差があるものの、全体的にはよく一致している。そこで、表-1 に示したすべての測点について、アスファルト混合物層下面ひずみ、路床内のひずみと応力別に実測値と計算値を対比してみた。その結果をまとめたものが図-3(a)~(c)である（引張り+、圧縮-）。実測値において測定エラーと思われるもの（実測値=0 かつ計算値 0 のデータ）が散見されることや、ひずみに関しては絶対値が大きい（載荷板中心位置に近い）ほど実測値と計算値の差が大きくなっていることなどから、両者は完全に一致しているとはいえないものの、図中の 1:1 直線に照らしてみると、比較的良好に一致しているといえよう。

また、図-3 には 550kPa 載荷時の FWD 解析結果に基づいて算出した計算値と実測値の単回帰式ならびに寄与率を併記しているが、その他 3 つの FWD 荷重レベルにおける回帰分析結果も 550kPa の場合と大差のないことを確認している。よって、本研究で検討した舗装断面に関しては、FWD 荷重の大小が、多層弾性解析（逆および順解析）によって得られるひずみや応力といった舗装応答解析結果に及ぼす影響はあまり大きくないといえる。

表-2 BALM99 による逆解析結果(n=62)

載荷荷重 (kPa)	平均値 (MPa)			標準偏差 (MPa)			変動係数 (%)		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
400	4119	129	85	1153.3	33.9	5.9	28.0	26.2	6.9
550	4218	124	76	1042.0	32.4	5.5	24.7	26.1	7.3
690	4264	127	70	974.6	34.3	5.2	22.9	26.9	7.5
850	4385	136	66	969.5	37.2	4.9	22.1	27.4	7.5

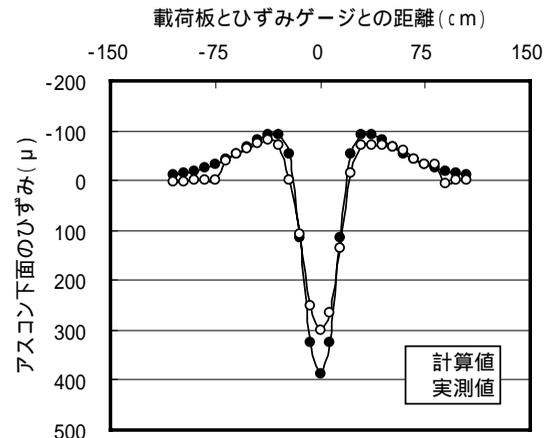


図-2 アスコン下面のひずみ（Y方向）

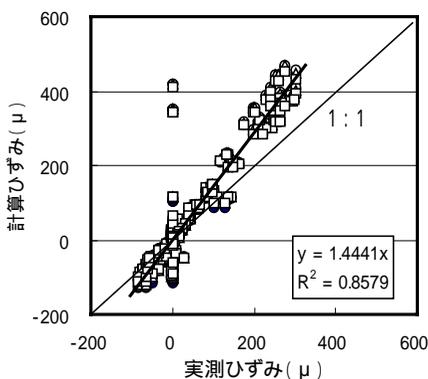


図-3(a) アスコン下面のひずみ

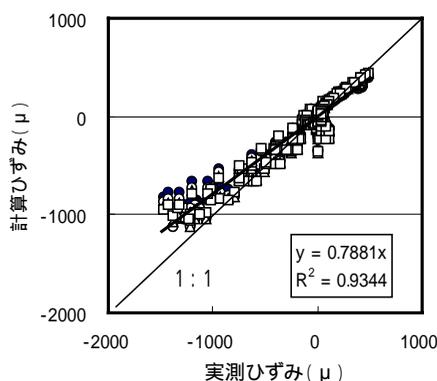


図-3(b) 路床内のひずみ

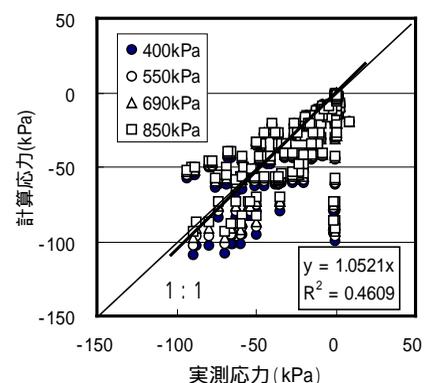


図-3(c) 路床内の応力

5.おわりに

本検討結果から、ひずみや応力に関して、多層弾性解析（BALM99、BISAR）による計算値と実測値が比較的良好に一致することなどがわかった。このことは、多層弾性理論に基づく舗装構造解析が、載荷荷重に対する舗装応答を予測するうえで有効であることを示唆している。しかし、今回検討したのは、アスファルト混合物層が 84mm と比較的に薄い断面（粒状路盤）におけるデータのみである。今後はアスファルト混合物層がより厚い重交通断面に関してもデータを収集、吟味し、多層弾性解析の妥当性についてさらに検証していきたいと考えている。

謝辞：本研究にあたっては、中央大学姫野教授より情報のご提供を賜った。ここに記して感謝申し上げます。

<参考文献> 1) <http://www.clrp.cornell.edu/A2B05/>、2) 東滋夫、金井利浩、岡部俊幸、林信也、松井邦人：FWD による時系列データの舗装構造評価への適用、第 3 回舗装工学講演会講演論文集、pp.31-38、1998 年 12 月