FWDによる時系列データの舗装構造評価への適用

東　滋夫[1]・金井利浩[2]・岡部俊幸[3]・林　信也[4]・松井邦人[5]

1,2,3,4　正会員　鹿島道路（株）技術研究所　（〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1）

5　フェロー会員　東京電機大学理工学部建設工学科（〒350-0311 埼玉県比企郡鳩山町石坂）

断面の既知なアスファルト舗装において，FWD（Falling Weight Deflectometer）により１年間にわたって定期的に時系列（動的）データを測定した．本報では，それらのデータに基づいて，動的FEMによる逆解析法の現場測定データへの適用性を検証するとともに，舗装構造評価における時系列データの有効性について検討を行った．その結果，逆解析法の適用性の検証では，1）動的逆解析により，事前情報を与えなくても良好な解析結果が得られること，2）同一材料を使用して構築された舗装でも層構造が異なると，弾性係数などの材料定数が等しくなるとは限らないこと，また，時系列データに関する検討では，3）たわみのピーク時間や散逸仕事量といった指標が舗装構造評価において有効であること，などの知見が得られた．

key words : *asphalt pavements, back-calculation, elastic multilayer system, Gauss-Newton method, dynamic FEM*

１．はじめに

現位置における舗装の構造評価方法には，FWD試験で得られるたわみデータから直接評価する方法と，逆解析により求めた舗装各層の弾性係数から評価する方法とがある．さらに後者には，荷重とたわみのピーク値のみを用いる静的逆解析法（以下，静的法という）と，衝撃荷重が作用する過程で時間とともに変化する荷重とたわみの時系列データを用いる動的逆解析法（以下，動的法という）がある．

実用に耐えられる舗装マネージメントシステムを構築するためには，舗装の支持力を精度よく予測する必要があることから，舗装構造の逆解析法に関する研究およびプログラム開発が国内外を問わず活発に行われている[1),2)]．

現在では，解析時間が短いことやデータ処理の簡便さから，静的法が逆解析法の主流となっている．しかし，解析から得られる各層の弾性係数に逆転現象が生じるなど，工学的見地から妥当とは思われない結果が得られることもある．本来時系列なデータとして得られる荷重およびたわみデータから，ピーク値のみを抽出して解析を行っていることがその原因のひとつと考えられる．筆者らは，このような静的法の問題を回避するため，時系列データを本来の形で活用すべく動的法に関して，解析プログラムの開発と標準的なデータ処理方法の検討を実施してきた[3)]．

本研究では，現場で実測した時系列データの舗装構造評価への適用性を調べることを目的として，断面の既知なアスファルト舗装において1年間定期的に測定，収集した時系列データに基づき，以下に示す事項について検討した．

(1) 動的法の適用性に関する検討

当該データを動的または静的法により逆解析し，①同一地点において連続して測定したデータの解析精度，②与える荷重の大きさが解析結果に及ぼす影響，③アスファルト混合物層の温度と弾性係数の関係，を把握する．

(2) 時系列データの有効性に関する検討

舗装構造により動的な応答がどのように異なるかを，①たわみのピーク時間，②載荷荷重とたわみ量の時系列的な関係，の２つの観点から調べる．

その結果，動的法によれば，事前情報を与えなくても工学的な見地から良好な解析結果が得られることやたわみのピーク時間といった動的な応答の指標が舗装構造評価において有効であることなど，時系列データの舗装構造評価への適用に関して，いくつかの知見を得たので報告する．

２．時系列データの測定および逆解析方法

本研究には，FWDにより断面が既知の試験ピット（アスファルト舗装）において測定した時系列データ

表-1　測定に用いたＦＷＤの仕様

諸　元	仕　様
載荷方式	複重錘システム
載荷荷重	24.5kN，49kN，78.5kN，98kN
載荷板	直径300㎜（４分割）
たわみセンサ位置	0，20，30，45，60，75，90，120，150，200cm　（計10個）
付属計器	気温測定センサ，路面温度測定センサ，移動距離測定用距離センサ
データ収録	・荷重、各センサのたわみ，気温，距離および測定時刻データを一括してコンピュータに収録 ・時系列データの取り込み間隔：0.2ms

を用いた．測定および解析の概要は以下のとおりである．

(1) 測定の概要

a) ＦＷＤの仕様

今回，時系列データの測定に用いたのは，KUAB社製，複重錐式のFWDであり，装置の概要は，**表-1**に示すとおりである．

b) 測定場所および舗装断面

・測定場所：鹿島道路（株）機械センター構内試験ピット（埼玉県北葛飾郡栗橋町大字高柳）

・舗装断面：Ａ交通対応およびＤ交通対応断面のアスファルト舗装（**図-1**参照）．Ｄ交通断面の基層とアスファルト安定処理層を除き，両断面の対応する各層は同一材料により構築されている．なお，当該舗装においては，アスファルト混合物層の温度を測定するために，**図-1**に示す深さに熱電対を埋設し，データレコーダに１時間毎の温度を記録している．

c) FWDの測定要領

・測定期間：1996年８月～1997年８月（１年間）

・測定位置：両断面とも舗装面中央部（１点のみ）

・測定頻度：原則として2ヶ月に１回（1996年の８月と11月，1997年の２月，４月，６月，８月），１時間毎に24時間継続して測定した．

・荷重条件と測定回数：FWD測定は**表-2**に示す要領で実施した．表中の数字は測定回数を示す．

なお，この定期的な測定の他にも，1998年５月に49kN載荷による30回連続測定を実施している．

(2) 逆解析方法の概要

本研究で用いた静的ならびに動的法の概要は以下のとおりである．なお，動的法については，前報[3]に詳しいので，参照されたい．

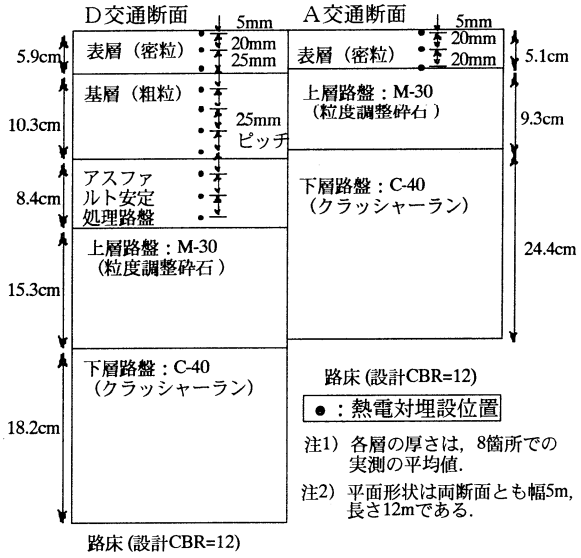


図-1　試験ピットの舗装断面

表-2　FWDによる動的測定の要領（数字は測定回数）

	A交通断面				D交通断面			
時刻	24.5kN	49kN	78.5kN	98kN	24.5kN	49kN	78.5kN	98kN
9		2				2		
10		2				2		
11		2				2		
12		5				5		
13	1	2	1	1		2		
14		2			1	2	1	1
15		2				2		
16		5				2		
17		2				5		
18		2				2		
19		2				2		
20		2				2		
21	1	2	1	1		2		
22		2			1	2	1	1
23		2				2		
0		5				2		
1		2				5		
2		2				2		
3		2				2		
4		2				2		
5	1	2	1	1		2		
6		2			1	2	1	1
7		5				2		
8		2				5		

a) 静的逆解析

・解析モデル：4層モデル（アスファルト混合物層（アスファルト安定処理層を含む），上層路盤，下層路盤，路床）

・理論：線形多層弾性理論

・最適化手法：Gauss-Newton法

・たわみデータ：全10センサーのたわみのピーク値を使用した（D0，D20，D30，D45，D60，D75，D90，D120，D150，D200；以下，例えば，載荷中心点から200cmの位置のたわみをD200という）．なお，解析に用いる荷重およびたわみのピーク値は時系列データから抽出した．

表-3　動的逆解析結果の変動係数（5回連続測定 単位：%）

年月	A交通					D交通				
	時刻	E1	E2	E3	E4	時刻	E1	E2	E3	E4
96年8月	12	6.9	7.9	3.2	1.4	12	8.2	4.0	3.2	1.3
	16	1.3	1.7	3.1	0.7	17	10.5	5.4	2.6	1.0
	0	8.1	6.3	11.6	3.8	1	14.8	6.6	26.1	3.9
	7	4.1	4.6	2.9	0.5	8	8.1	4.8	28.7	5.2
96年11月	12	8.1	8.1	1.8	4.1	12	10.2	11.5	13.4	3.9
	16	2.4	3.0	0.9	1.6	17	4.2	4.4	4.7	3.8
	0	3.1	2.8	0.2	0.9	1	2.8	2.7	2.8	2.6
	7	5.4	6.2	2.4	1.6	8	3.7	3.8	3.8	3.6
97年2月	12	2.5	6.7	2.4	0.9	12	4.8	4.9	5.3	1.8
	16	9.8	10.2	2.1	3.2	17	5.8	6.2	6.7	3.6
	0	欠　測				1	0.7	0.7	0.8	3.6
	7	9.8	4.2	2.8	1.5	8	7.4	7.4	7.4	4.7
97年4月	12	11.3	8.7	4.3	1.2	12	12.1	2.6	6.1	3.8
97年6月	12	2.5	3.0	2.3	2.3	12	7.8	16.1	5.2	1.7
	16	2.6	2.9	3.2	0.8	17	7.8	3.9	5.3	1.2
	0	4.3	3.2	3.0	2.5	1	7.9	12.0	22.0	5.9
	7	0.7	1.1	2.6	1.2	8	8.2	4.8	9.8	5.9
97年8月	12	2.5	3.0	2.3	2.3	12	8.3	13.0	3.3	1.3
	16	2.6	2.9	3.2	0.8	17	3.7	1.3	1.3	1.0
	0	4.3	3.2	3.0	2.5	1	15.1	13.6	7.1	1.5
	7	0.7	1.1	2.6	1.2	8	4.4	14.0	15.9	4.8

b）動的逆解析

・解析モデル：4層モデル（静的逆解析に同じ）
・理論：線形動的有限要素法（軸対称アイソパラメトリック8節点要素）
・解析領域：深さ10m，幅5m
・たわみデータ：D0，D30，D45，D60，D90，D120，D150の7センサーの時系列データを使用した．
・解析データの取り込み間隔：2msec

3．動的逆解析法の適用性に関する検討

当該時系列データを動的法により逆解析することにより，①同一地点において連続して測定したデータの解析精度，②与える荷重の大きさが解析結果に及ぼす影響，③アスファルト混合物層の温度と弾性係数の関係，を把握し，動的法の適用性について検討した．なお，比較検討のため，時系列データのうちピーク値のみを使用した静的法でも逆解析を実施している．

(1) 連続測定データの解析精度

a）5回連続測定データの解析精度

同一地点で5回連続して測定した時系列データを用い，動的法により逆解析して得られた各層の弾性係数の変動係数を表-3に示す（以下，E1～E4は，それぞれアスファルト混合物層，上層路盤，下層路盤，路床の弾性係数を示す）．表より，1996年8月の0時と7時，1997年6月0時においてD交通断面のE3の変動係数が20%を超えているのを除けば，各層の変動係数は概ね，A交通断面では10%以内，D交通断面ではA交通断面よりも若干大きく15%以内となっている．なお，変動係数と測定の時刻や季節との間に顕著な関連は認められず，解析結果の変動は測定時の偶然誤差に起因しているものと考えられる．

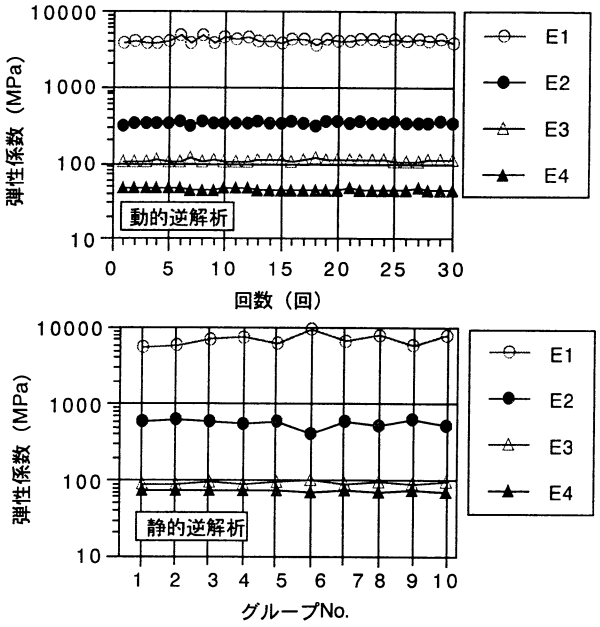


図-2　A交通断面の逆解析結果（30回連続測定）

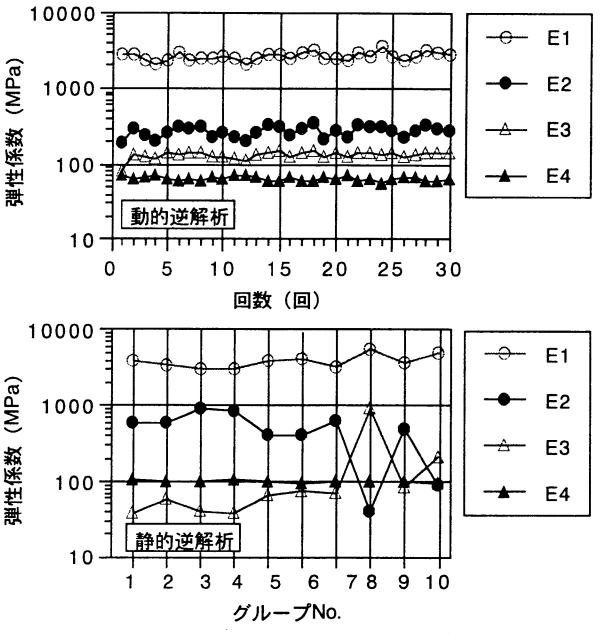


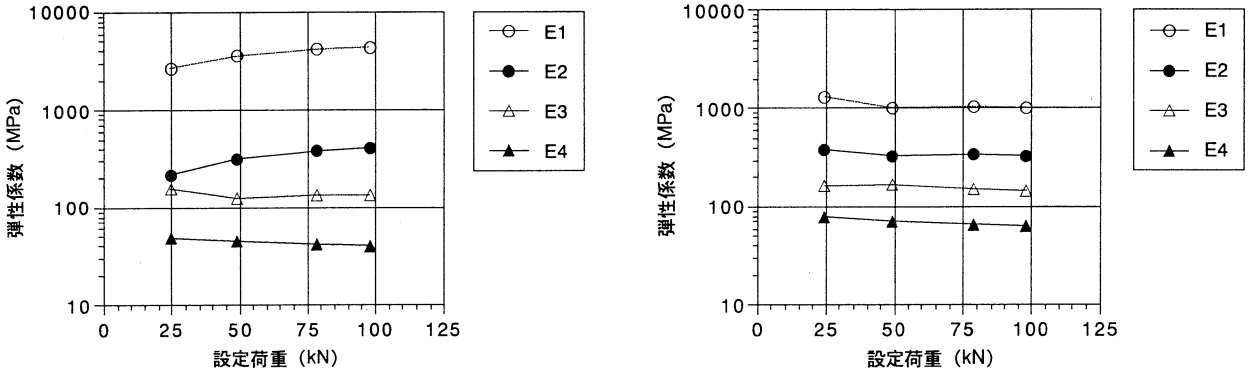
図-3　D交通断面の逆解析結果（30回連続測定）

表-4　解析結果の統計量（30回連続測定）

区分	統計量	A交通				D交通			
		E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
動的解析	平均値	4102.3	333.8	108.2	45.5	2636.7	272.9	132.0	64.9
	標準偏差	289.3	11.2	4.4	0.8	327.9	42.2	14.2	4.7
	変動係数	7.1	3.4	4.1	1.7	12.4	15.5	10.7	7.2
静的解析	平均値	7120.9	562.8	91.4	71.9	3840.0	498.8	159.8	99.7
	標準偏差	1240.9	61.2	4.0	1.6	743.0	266.4	258.6	3.7
	変動係数	17.4	10.9	4.4	2.3	19.3	53.4	161.8	3.7
注）平均値，標準偏差の単位：MPa，変動係数の単位：%									

表-5　各センサー位置におけるたわみ量（ピーク値）の統計量（30回連続測定）

種別	統計量	D0	D20	D30	D45	D60	D75	D90	D120	D150	D200
A交通	平均値　(μm)	919.75	712.56	562.31	420.60	331.58	261.01	215.70	155.18	116.30	81.72
	標準偏差　(μm)	8.39	7.78	7.76	6.73	6.03	5.17	4.51	5.06	4.28	4.71
	変動係数　(%)	0.91	1.09	1.38	1.60	1.82	1.98	2.09	3.26	3.68	5.76
D交通	平均値　(μm)	335.47	292.23	267.56	240.24	212.10	182.65	161.93	128.11	99.67	70.55
	標準偏差　(μm)	9.48	5.39	2.78	4.42	6.41	2.93	2.65	3.05	3.02	2.87
	変動係数　(%)	2.83	1.84	1.04	1.84	3.02	1.60	1.64	2.38	3.03	4.06



(a) A交通断面（1996年8月13時）　　(b) D交通断面（1996年8月14時）

図-4　載荷荷重の違いによる解析結果の変化

b)30回連続測定データの解析精度(静的法との比較)

動的法と静的法の解析精度を比較するためには，前述の5回連続測定ではデータ数が十分でないため，1998年5月に前述の試験ピットにおいて30回連続測定を実施し比較検討した．逆解析は，動的法では1回の測定データ毎に実施し，静的法については3回の測定を1つのグループとしてそれらの平均値を解析データ（計10グループ）とした．解析結果を**図-2**，**図-3**および**表-4**に示す．

これらの図表より，動的法と静的法を比較すると，A交通断面，D交通断面ともに動的法の方が変動が小さくなっている．この理由としては，静的法においては各センサー位置でのたわみの最大値や最大荷重にのみ重点が置かれるのに対し，動的法では荷重とたわみの時系列データを用いていることから解析のための情報量が多く，測定時の誤差が解析結果に及ぼす影響が比較的小さいことが考えられる．

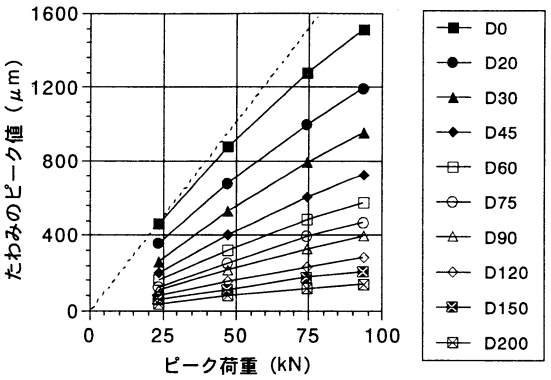
特に，D交通断面の静的法による逆解析結果では，弾性係数の逆転現象が認められる．同一地点におけるほぼ同一時刻の測定であることを考慮すると，この結果は工学的な見地から妥当とは思われない．この逆転現象は事前情報を与えることにより解消できることがわかっている[4]が，動的法ではそのような情報がなくても良好な結果が得られている点が注目される．

次に，A交通断面とD交通断面の解析結果を比較すると，逆解析手法に関わらずD交通断面の方がA交通断面に比べてばらつきが大きくなっている．**表-5**には各センサー位置におけるたわみ量(ピーク値)の統計値を示している．表の変動係数をみると，A交通断面とD交通断面で大差のない値となっていることから，逆解析結果は，D交通断面のように層厚が厚くたわみ量が小さい場合の方が，測定誤差などのたわみの変動の影響を大きく受けるようである．

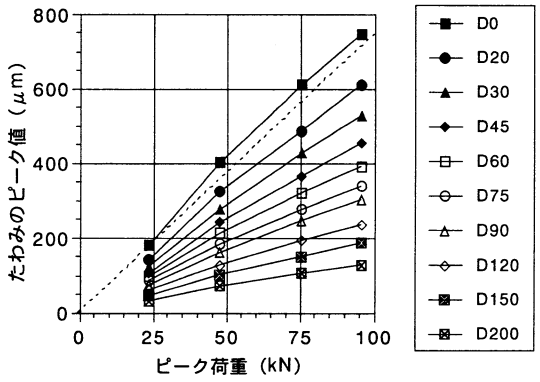
(2) 与える荷重の大きさが解析結果に及ぼす影響

同一時刻において載荷荷重を変化させて測定したデータを動的法により逆解析した結果の一例を**図-4**に示す．この図より，荷重の増加にともない，A交通断面ではE1とE2が上昇し，E3とE4が減少している．これに対し，D交通断面ではE1からE4までわずかに減少する傾向にあるが，49kN以上の荷重であれば各層とも弾性係数の変化は小さい．他の測定時期および時刻に関しても，ほぼこれに準じた傾向となっている．Frazier[5]は，様々な断面のアスファルト舗装に関して載荷荷重を変化させた場合の逆解析を試みており，アスファルト混合物層が薄いときは，荷重が大きくなるにつれて得られる弾性係数も大きくなるのに対し，厚い場合には，載荷荷重による弾性係数の変化は小さくなるという，今回の傾向と同様の結果を報告している．

この原因を究明するため，荷重とたわみの線形性について調べた．**図-4**で用いた解析データの荷重とたわみのピーク値の関係は**図-5**のようになる．**図-5**の点線は荷重とたわみ量D0が完全に線形関係にある場合を示している．A交通断面，D交通断面ともに



(a) A交通断面（1996年8月13時）



(b) D交通断面（1996年8月14時）

図-5 載荷荷重とたわみの線形性

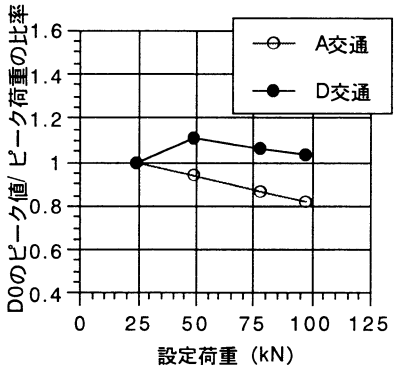
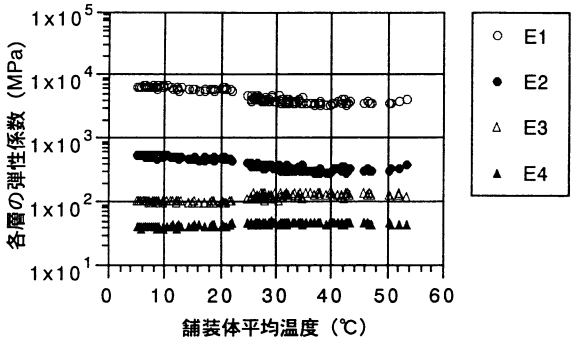


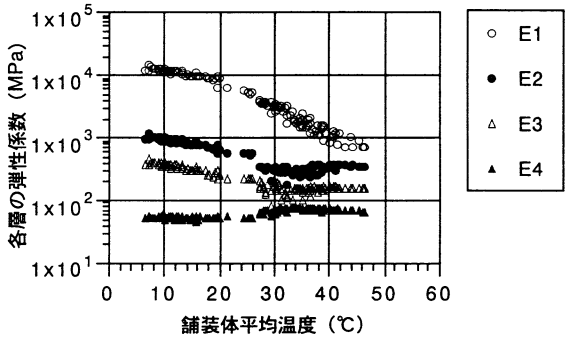
図-6 載荷荷重とたわみ量 D0/ 荷重の比率の関係

実際の軌跡と点線とは一致しておらず，荷重とたわみが完全な線形関係にはないことがわかる．

この関係をさらにわかりやすく表現するために，たわみ量D0のピーク値を荷重のピーク値で除した値を，24.5kNの場合を基準（1.0）として他の荷重について比率で表わすと，**図-6**のとおりとなる．図をみると，アスファルト混合物層厚が薄いA交通断面の場合には，載荷荷重が大きくなるほど，単位荷重当たりのたわみ量D0が小さくなっており，このことから線形弾性理論に基づいた解析を行うと，表層付近の層の弾性係数（E1，E2）が大きく評価されるものと思われる．一方，D交通断面についてはA交通断面のような単調な変化ではないが，24.5kNよりも荷重が大きい場合には，単位荷重当たりのたわみ量D0が大



(a) A交通断面



(b) D交通断面

図-7 舗装体平均温度と弾性係数の関係

きくなるため，A交通断面とは反対にE1，E2が小さく評価されたものと考えることができる．

いずれにしても，与える荷重の大きさにより弾性係数の評価が少なからず変化してしまうことから，舗装の構造評価を行うにあたっては，載荷荷重の設定に十分留意する必要がある．D交通断面の場合には，載荷荷重を49kN以上与えれば，弾性係数の変化は小さいと思われるが，A交通断面のようなアスファルト混合物層が薄い断面の場合は，交通条件を勘案して載荷荷重を設定することが望ましい．

(3) アスファルト混合物層の温度と弾性係数の関係

載荷荷重49kNの場合について，アスファルト混合物層の温度と各層の弾性係数の関係を調べた．動的法による逆解析結果を舗装体平均温度（各深さの温度の積分平均）との関係で整理したものを**図-7**に示す．両断面の各層の弾性係数は異なる傾向を示しており，材料物性が同じであっても，舗装構成により逆解析結果が必ずしも一致しないことがわかる．

a) アスファルト混合物層の弾性係数

アスファルト混合物は，バインダであるアスファルトにレオロジー的な特性があることから，高温になるほどスティフネスが低下する性質がある．

図-8にA交通断面とD交通断面のE1ならびに一般的なアスファルト混合物に関するShellの室内実験結果[6]を示す．室内実験結果とD交通断面の解析結果については，温度変化にともなう弾性係数の推移

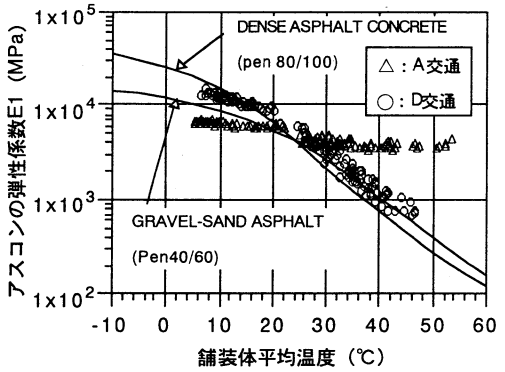


図-8　アスファルト混合物層の弾性係数

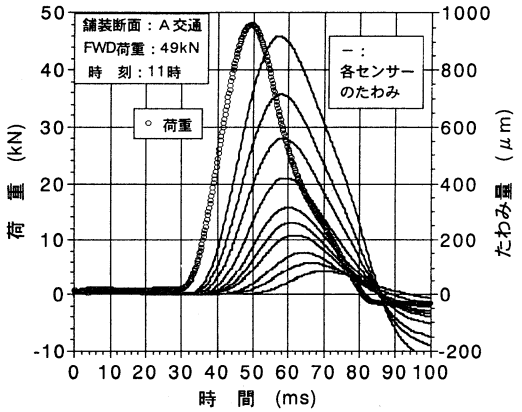


図-9　時系列データの一例

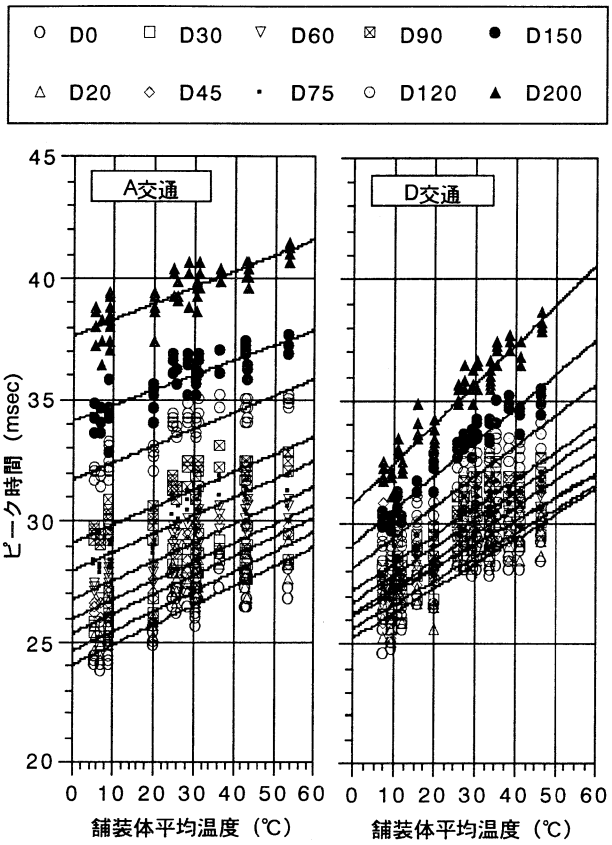


図-10　舗装体温度とたわみのピーク時間

がよく一致しているが，A交通断面では，温度に対するアスファルト混合物層の弾性係数の変化がかなり小さくなっている．

このA交通断面の特異な傾向は，静的法においても認められており[7]，動的，静的といった逆解析の手法に起因したものではなく，アスファルト混合物層が薄いと荷重分散効果が小さくなるといった構造上の特性を反映したものである[4]と考えられる．

b）路盤，路床の弾性係数

図-7をみると，A交通断面およびD交通断面ともに，温度により路盤，路床の弾性係数（E2，E3およびE4）が変化しており，特にD交通においてその傾向が顕著に現われている．

試験ピットの構築に用いられている粒状路盤材や路床土は，当該層に作用する応力の状態（主応力和など）により弾性係数が変化する非線形的な性質を有することが知られている[8]．このことが温度による弾性係数の変化を説明する手掛かりになる可能性もあるが，そのためには舗装内部の応力状態を精度よく把握する必要があることから，ここでは取り上げず，今後の検討課題としたい．

なお，SHRP逆解析に関する文献[9]によれば，路盤の弾性係数の範囲は，粒状材料の上層路盤で70～1035MPa，下層路盤で70～690MPaと規定されており，今回の解析結果は概ねこの基準を満足している．

4．時系列データの有効性に関する検討

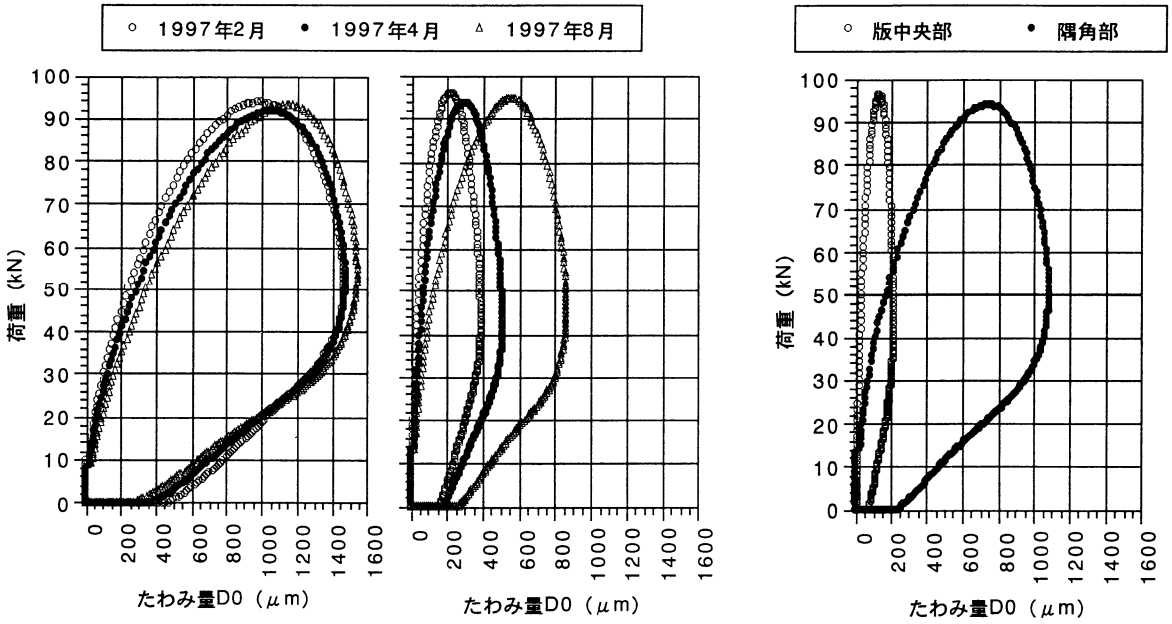
FWD測定で得られる時系列データの一例を**図-9**に示す．ここでは，このような動的応答が舗装構造によりどのように変化するかを，①たわみのピーク時間，②載荷荷重とたわみ量の時系列的な関係，の2つの観点から調べ，舗装構造評価における時系列データの有効性について検討した．

(1) たわみのピーク時間

載荷荷重を変えて測定した時系列データに関して，**図-9**に示すような各センサー位置におけるたわみがピークとなる時間を，横軸に舗装体平均温度をとって示すと**図-10**のとおりとなる．なお，載荷荷重によるピーク時間の違いはほとんどなかったため，載荷荷重による分類はしていない．

図-10をみると，温度が高くなるほど各センサー位置でのたわみ量がピークに達するまでの時間は長くなる傾向がある．この傾向は両断面に共通しているものの，A交通断面の方がD200がピークを迎える時間が遅く，載荷板から離れた位置にたわみが伝達されるのに時間がかかること，また，D交通断面の方が温度上昇にともなうピーク時間の増加率（msec/℃）が大きく温度に対して敏感に応答することがわかる．

個々のセンサー毎に温度上昇にともなうピーク時



(a) A交通断面　(b) D交通断面　(c) コンクリート舗装

図-11　散逸仕事量（(a) A交通断面，(b) D交通断面，(c) コンクリート舗装）

間の増加率（msec/℃）をみると，A交通断面ではセンサー間にほとんど差異が認められないのに対し,D交通断面では載荷中心点から離れた位置のセンサーほど，増加率が大きくなる傾向にある．

たわみのピーク値と舗装体平均温度の関係[7]から，D交通断面の方がA交通断面よりも感温性が高い傾向にあることはわかっていたが，以上のようにたわみのピーク時間と温度の関係においても，舗装構造の特性が明確に現われ，舗装構造評価において時系列データが有効であることが判明した．また，たわみの大きさと伝達時間の両方を入力因子として用いる動的法は，舗装の応答をより的確に反映した手法であると言える．

(2) 載荷荷重とたわみ量の時系列的な関係

図-9に示すような時系列データに関して，同一時点における載荷荷重と載荷点直下のたわみD0を，荷重が正の値である間，順次プロットしていくと，**図-11**に示すような軌跡を描く．この軌跡で囲まれた部分の面積を散逸仕事量（Dissipated Work）[10]と定義する．この散逸仕事量は1回の載荷により舗装体に加わるエネルギーの大きさを示しており，舗装のダメージや破損状態と密接な関係があると言われている[10]．

ここでは一例として，舗装体平均温度が異なる時期に98kN載荷で測定した時系列データについて散逸仕事量を求めた結果を**表-6**，**図-11**に示す．なお，図表には，参考としてコンクリート舗装（版厚：32.2cmの単一版）[11]における結果も並記している．

これらの図表より，A交通断面では測定時期が異なっても散逸仕事量はほとんど変化しないのに対し，D交通断面では舗装体温度が高い時期ほど大きくなっている．これは，A交通断面よりもD交通断面の方が温度に対して敏感に剛性が変化するためと考えられる．同一測定時期におけるA交通断面とD交通断面の散逸仕事量を比較すると，常にA交通断面の方が大きくなっており，同じ載荷荷重であってもA交通断面の方がダメージを強く受けていると言える．

参考として示したコンクリート舗装の版中央部と隅角部における結果からは，隅角部の散逸仕事量の方がかなり大きな値となっており，隅角部が版中央部よりも構造上の弱点となるポイントであることがわかる．なお，測定時におけるスラブ内部の温度勾配はほとんどなく，そり変形は生じていないと推定される．

以上のように，散逸仕事量は時系列データから舗装の構造的な支持能力を知るうえで有効な指標となる可能性があるものと考えられる．

表-6　散逸仕事量の比較

舗装種別	測定時期	平均温度 (℃)	測定位置	散逸仕事量 (μm*kN)	載荷荷重 (kN)
A交通断面	1997年2月	20.3	–	88402	98
	1997年4月	30.5	–	83056	98
	1997年8月	53.6	–	82382	98
D交通断面	1997年2月	16.0	–	25806	98
	1997年4月	26.1	–	31982	98
	1997年8月	46.4	–	53473	98
コンクリート舗装	1997年6月	28.0 (温度勾配≒0)	版中央部	13436	98
			隅角部	63658	98

5．まとめ

本研究で得られた知見は次のとおりである．

(1) 動的逆解析法は，静的逆解析法に比べ，解析結果のばらつきが小さい．

(2) 動的逆解析法によれば，静的逆解析法のように事前情報を与えなくても工学的に妥当と思われる解析結果が得られる．

(3) D交通断面のように舗装が厚い場合の方が，時系列データに生じる測定誤差の影響を受けやすく，解析結果のばらつきが大きくなる．

(4) 与える荷重の大きさにより，逆解析結果が変化するため，舗装の構造評価にあたっては，荷重の設定に十分注意する必要がある．

(5) 同一材料を使用して構築された舗装であっても，構造（層厚）が異なると，必ずしも逆解析で得られる弾性係数が等しくなるとは限らない．

(6) 時系列データから得られるたわみ量のピーク時間や散逸仕事量は，舗装の構造評価を行う上で有効な指標となる可能性があることを示した．

6．おわりに

本研究により，FWDによる時系列データを用いた動的逆解析法や各種指標が，舗装の構造評価を行う上で有効であることが確認できた．

今後は，逆解析で得られた各層の材料定数に基づき，時系列の荷重が作用したときの応答ひずみや応力を求めるプログラムを開発し，パフォーマンス予測システムとリンクさせていきたいと考えている．

謝辞：本研究の計算にあたり協力いただいた，元東京電機大学理工学部建設工学科松井研究室大学院生（現，米国留学中）西山大三君に感謝の意を表します．

参考文献

1) たとえば，Harokd L. Von Quintas et al.：Nondestructive Testing of pavements and Backcalculation of Moduli，ASTM，STP1198，second volume，1994

2) たとえば，FWD研究会：1996年度報告書FWDに関する研究，1996年12月

3) 金井利浩，東滋夫，岡部俊幸，松井邦人，渡辺規明：時系列データを用いた動的FEMによる逆解析に関する研究，土木学会地盤工学委員会，舗装工学講演会講演論文集，第1巻，pp.39-48，1996年12月

4) 岡部俊幸，金井利浩，東滋夫，松井邦人：静的および動的逆解析による舗装構造評価に関する一検討，土木学会第53回年次学術講演会第Ⅴ部門，pp.46-47，平成10年10月

5) Frazier Parker,Jr.：Estimation of Paving Materials Design Moduli from Falling Weight Deflectometer Measurements，Transportation Research Record，No.1293，pp.42-51，1991

6) A.I.M.Claessen et al.：Pavement Evaluation and Overlay Design-The Shell Method，4th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements，pp.649-662，1977

7) 林信也，東滋夫，金井利浩，岡部俊幸：FWD試験における測定たわみの温度補正システムの開発，土木学会地盤工学委員会，舗装工学講演会講演論文集，第2巻，pp.95-104，1997年12月

8) たとえば，Gonzalo Rada et al.：Comprehensive Evaluation of Laboratory Resilient Moduli Results for Granular Material，Transportation Research Record 810，pp.23-33，1981

9) Gonzalo R.Rada et al.：SHRP's Layer Moduli Backcalculation Procedure，Nondestructive Testing of pavements and Backcalculation of Moduli，ASTM，STP1198，second volume，pp.38-52，1994

10) Harokd von Quintus et al.：Analyses Relating to Pavement Material Characterizations and their Effects on Pavement Performance，FHWA-RD-97-085，January 1998

11) 岡部俊幸，千葉博敏，西澤辰男：コンクリート舗装におけるFWDの逆解析に及ぼす温度の影響，土木学会第51回年次学術講演会第Ⅴ部門，pp.42-43，平成8年9月

APPLICATION OF TIME HISTORICAL DATA TO STRUCTURAL EVALUATION OF ASPHALT PAVEMENTS

Shigeo HIGASHI, Toshihiro KANAI,Toshiyuki OKABE,Shinya HAYASHI and Kunihito MATSUI

FWD tests have been conducted on asphalt pavements with known profiles in order to collect a time historical data at one hour interval for 24 hours for all seasons. These data have been backcalculated to estimate layer moduli by the dynamic method using FEM. In comparison with the results from static backcalculation, the following matters are found; 1) The variation of the estimated layer moduli by the dynamic method is smaller than the static method. 2) Dynamic method can be used to evaluate the structural capacity suitably without prior-information concerning the layer moduli,which may be necessary for static method. 3) Even if same layer material is used, its backcalculated modulus is different depending thickness and material used in other layers.