

現位置における路床・路盤の弾性係数評価手法の検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○岩永 真和, 綾部 孝之, 近藤 益央, 藪 雅行

1. はじめに

アスファルト舗装の構造設計を理論的設計方法で行う場合は、路床や舗装各材料の弾性係数を正確に把握することが非常に重要である。路床や路盤材料の弾性係数を評価する試験方法として、室内におけるレジリエントモデュラス試験が基本とされているが、弾性係数は粒度、飽和度、締固め度等の材料特性に大きく影響を受けること、現場品質のバラつき等の不確実性があることから、現地で直接評価することが望ましいといえる。そこで本検討では、現位置における弾性係数評価手法として、上浦ら¹⁾が提案している小型 FWD を用いた方法に着目し、実験的検証によりその測定精度を確認した。本報は、砂質土、粘性土、レキ質土および改良土等の種類の異なる実物大の地盤を対象として、小型 FWD および平板載荷試験により算出した弾性係数を比較した結果について報告する。

2. 検討概要

2.1 使用材料

本検討にて使用した材料の物性値を表-1 に示す。

図-1 に示すように、土木研究所が所有する土工実験施設土槽ピット内において材料毎に実物大供試体（延長 7m, 幅 0.5m, 深さ 0.3m）を構築した。実物大供試体の概要を表-2 に示す。実物大供試体の条件は、粒度や締固め度等の材料特性が異なる供試体の弾性係数を現位置評価方法にて把握可能か検討することを目的として、材料 5 種類、締固め度 2 水準の計 10 ケースを設定した。なお、参考値として、各ケースにおいて実施した現場 CBR 試験と平板載荷試験の結果を表-2 に示す。

2.2 現位置における弾性係数評価方法

1) 平板載荷試験による方法

平板載荷試験より得られる K_{30} 値から式(1)により、各ケースの弾性係数（以下「 E_{sg} 」という）を算出した。本検討では、 E_{sg} を各ケースの実測値として扱うこととした。

2) 小型 FWD による方法

小型 FWD においては、載荷荷重と変位の時刻歴データを測定した。また、本検討では、小型 FWD から得られる測定データの解析方法が弾性係数の測定精度に与える影響を検討することを目的に、載荷荷重と変位の最大値に着目した解析方法（以下「静的解析」という）と、川名ら²⁾が提案している載荷荷重と変位の時刻歴データを用いた動逆解析による解析方法（以下「動的解析」という）により弾性係数をそれぞれ算出した。

静的解析では、載荷荷重と変位の最大値から式(1)により、各ケースの弾性係数（以下「 E_{pFWD} 」という）を算出した。

表-1 使用材料の概要

項目		砂質土	粘性土	レキ質土	
最大粒径	(mm)	0.85	9.5	40	
土粒子密度 ρ_s	(g/cm ³)	2.698	2.584	—	
粒度	礫分(2mm 以上)	(%)	0	10.2	89.6
	砂分(75 μ m~2mm)	(%)	88.2	34.7	9.0
	細粒分(75 μ mPass)	(%)	11.8	55.1	1.4
塑性限界 w_p	(%)	NP	39.1	NP	
最大乾燥密度 ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.616 (A-c)	1.350 (B-c)	2.230 (E-b)	
最適含水比 w_{opt}	(%)	17.4	30.5	5.4	



図-1 左：供試体作製，中：平板載荷試験，右：小型 FWD 試験

表-2 実物大供試体の概要

No	種別	締固め度 D_c (%)	含水比 w (%)	現場 CBR (%)	K_{30} 値 (MPa/m)
1	砂質土	92.3	12.2	9.4	91.6
2		96.4	11.3	17.8	88.0
3	粘性土	84.3	34.7	4.6	28.8
4		94.4	34.1	3.5	27.6
5	粘性土 (石灰改良)	80.9	35.4	12.3	58.0
6		90.7	36.4	15.3	75.6
7	粘性土 (セメント改良)	82.8	38.2	24.6	158.4
8		94.7	37.1	33.3	319.2
9	レキ質土	88.7	2.8	16.9	134.4
10		92.0	3.0	19.5	157.2

$$E = \frac{a\pi(1-\nu^2)p}{2\delta} = \frac{a\pi(1-\nu^2)}{2} \times K_{30} \quad (1)$$

ここに、 E ：弾性係数(MPa)， a ：載荷板半径(m)，
 p ：荷重強さ(kN/m²)， δ ：沈下量(mm)，
 ν ：ポアソン比(0.4)

キーワード：弾性係数，小型 FWD 試験，現位置試験，動的逆解析，路床路盤
 連絡先：茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム

また、動的解析では、逆解析断面モデルを1層モデルとした場合と実物大供試体の実際の断面条件に合わせた2層モデル(1層目:実物大供試体 30cm, 2層目:基盤層)とした場合において動的逆解析を実施し各ケースの弾性係数を算出した。なお、動的解析においては載荷板の接地圧分布を考慮する必要があるため、本検討では載荷板に内蔵した圧力計によって載荷板の接地圧分布を直接測定した。

3. 検討結果

小型 FWD による弾性係数の現位置評価結果の一例として、今回検討した 10 ケース(材料 5 種類×締固め度 2 水準)について、 E_{sg} と E_{PFWD} を比較した結果を図-2 に示す。図-2 より、 E_{sg} は、各ケースによって異なる値を示し、弾性係数は材料種別(粒度等)や締固め度等の材料特性に依存することがわかる。また、静的解析により算出される E_{PFWD} は、 E_{sg} と正の相関関係にあるものの、 E_{PFWD} の値は E_{sg} と比べ若干大きな値を示す傾向があることがわかった。

次に、図-2 と同様に、動的解析により求めた弾性係数についても E_{sg} との関係を整理し、回帰式および決定係数を算出した結果を表-3 に、 E_{sg} との差をもとに各解析方法の測定精度について整理した結果を図-3 に示す。表-3 より、動的解析により算出した弾性係数は、 E_{sg} と正の相関関係にあり、静的解析と比べ決定係数は同程度以上となることがわかった。また、図-3 より、 E_{sg} との差の平均値および標準偏差は、静的解析よりも動的解析の方が小さく、また動的解析については、実際の断面条件に合わせた 2 層モデルの方がさらに小さくなる傾向にあることがわかった。

4. まとめ

本検討より得られた知見を以下に示す。

- ・ 今回検討した 10 ケース(材料 5 種類×締固め度 2 水準)の結果より、弾性係数は材料種別(粒度等)や締固め度等の材料特性に依存することを確認した。
- ・ 上浦ら、川名らが提案している小型 FWD を用いた評価方法によれば、路床・路盤の弾性係数の現位置評価が効率的に行える可能性があることがわかった。
- ・ 解析方法は弾性係数の測定精度に大きく影響し、静的解析よりも実際の断面構成を考慮したモデルにおいて動的解析を行う方が、弾性係数を精度良く把握できる可能性が高いことがわかった。

5. おわりに

本検討では、小型 FWD を用いることで様々な地盤材料や締固め度等が異なる条件下の弾性係数を現位置にて適切に評価できる可能性があることを確認した。今後は、路床や舗装各材料の弾性係数の分布性状を明らかにすることを目的として、各材料特性値が弾性係数に与える影響を把握する必要があると考える。

【参考文献】

1) 上浦 正樹, 川名 太, 松井 邦人: 小型 FWD 用接地圧測定装置による地盤の変形係数評価, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.70, No.3 (舗装工学論文集第 19 巻), I 57-I 64, 2014.
 2) 川名 太, 久保 和幸, 竹内 康, 松井 邦人: FWD 試験データの分析の高度化に関する提案, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.69, No.2, pp.22-31, 2013.

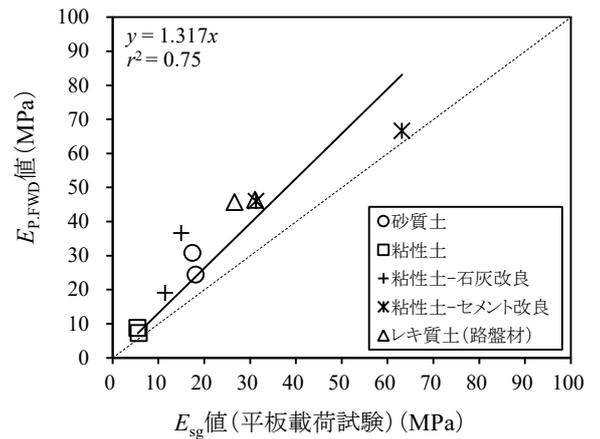


図-2 E_{sg} と E_{PFWD} の比較 (測定結果の一例)

表-3 各解析方法の回帰式と決定係数

		回帰式	r^2
静的解析	E_{PFWD} 値	$y = 1.317x$	0.75
	動的解析		
動的解析	1層モデル	$y = 1.061x$	0.73
	2層モデル	$y = 0.835x$	0.88

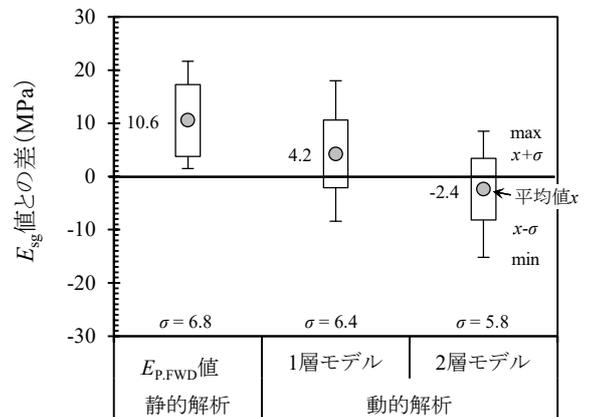


図-3 E_{sg} と各解析方法の差