

小型 FWD を用いたアスファルト混合物の材料定数推定に関する研究

日本大学大学院 学生員 佐藤 晃之
 日本大学 正会員 栗谷川 裕造
 日本大学 正会員 秋葉 正一

1. はじめに

近年、小型 FWD 試験(以下 HFWD)は、現場での舗装診断が容易であることなどから注目されている。一方、舗装の設計・評価を行うにあたり、材料定数の把握が必要不可欠である。そこで本研究は、HFWD 試験の室内載荷試験への利用に着目し、ホイールトラッキング試験用供試体(以下 WT 供試体)を用いて HFWD による室内載荷試験を実施し、測定されたたわみ量と弾性基礎にある矩形板の弾性解析結果より簡便に弾性係数を推定するための基礎的検討を行った。

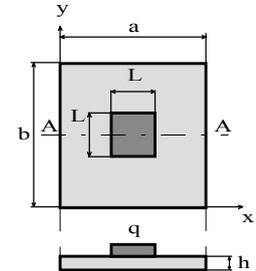


図 - 1 平板と載荷板の形状

2. 解析手法

供試体を型枠に納めず非拘束の状態とし、正方形載荷板を有する HFWD で試験を行えば、供試体は弾性基礎にある四辺、四隅とも自由な矩形板として、近似的に解析することができる。図 - 1 に示す $a \times b$ の四辺四隅とも自由な矩形板のたわみは、文献¹⁾によれば式(1)で示される。本研究では、この矩形板に正方形の載荷板が載荷されたものとして解析した。

$$w = \frac{qa^4}{N} \sum_m \sum_n \frac{R_{mn}}{\rho_m(\alpha_n)} \sin m \sin n + \frac{1}{2^2 C^2} \sum_n \left\{ (1-\nu)P_n^{(1)} + \frac{C^2}{2} Q_n^{(1)} \right\} A_n \sin n + \frac{1}{2^2 C^2} \sum_m \left\{ (1-\nu)P_m^{(1)} + \frac{C^2}{\beta_m^2} Q_m^{(1)} \right\} B_m \sin m + W \left[1 + \frac{2C^2}{n} \sum_n \frac{1-(-1)^n}{n(\alpha_n^4 + C^4)} \{ \alpha_n^2 P_n^{(1)} + C^2 Q_n^{(1)} - C^2 \} \sin n \right] \dots (1)$$

(m, n = 1, 2, 3, \dots)

ここで、 N は板の曲げ剛性である。 $\rho_m(\alpha_n)$ 、 C 、 C' 、 α_n および β_m は矩形板のサイズによって決定される係数で K を地盤反力係数として以下に示す式(2)で表される。なお、 $m, n = 1, 2, \dots$ である。

$$\rho_n(\alpha_n) = (m^2 + \alpha_n^2)^2 + C^4, \quad \alpha_n = \frac{a}{b} n, \quad \beta_m = \frac{b}{a} m, \quad C^4 = \frac{a^4 K}{\pi^4 N}, \quad C'^4 = \frac{b^4 K}{\pi^4 N} \dots (2)$$

また $P_n^{(1)}$ 、 $Q_n^{(1)}$ 、 $P_m^{(1)}$ および $Q_m^{(1)}$ はフーリエ級数の無限和である。また、図 - 1 に示すように正方形板上の一辺が L の中央正方形面内に荷重強度 q が等分布する場合、

$$R_{mn} = \frac{8}{2^n} \frac{(-1)^{\frac{m-1}{2}} (1 - (-1)^m)}{m} \sin m \frac{L}{a} \sin \frac{n}{2} \sin \frac{n}{b} L \dots (3)$$

となり、さらに A_n 、 B_m および W は境界未知数で、式(4)に示す境界条件を用い、 $(m+n+1)$ 元連立方程式を解くことによって得られる。

$$\frac{\partial^3 \omega}{\partial x^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 \omega}{\partial x \partial y^2} = 0 \quad (x = 0, x = a)$$

$$(2-\nu) \frac{\partial^3 \omega}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 \omega}{\partial y^3} = 0 \quad (y = 0, y = b) \dots (4)$$

$$\frac{\partial^3 \omega}{\partial x^2 \partial y} = 0 \quad (0,0), (a,0), (0,b), (a,b)$$

表 - 1 入力値

入力条件				
弾性係数 E	(MPa)	100 500 1000		
		2000 3000		
ポアソン比		0.3		
平板幅 a	(cm)	30		
平板長さ b	(cm)	30		
平板厚さ h	(cm)	5		
載荷板幅 L	name	P1	P2	P3
	(cm)	7.5	10.0	12.5
荷重 P	(N)	4905		
地盤反力 K	(MN/m ³)	100 200 300		

キーワード：小型 FWD，弾性係数，フーリエ級数，地盤反力係数

日本大学 生産工学部 土木工学科 道路工学研究室 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 Tel 047-474-2420 Fax 047-474-2449

3. 数値計算

表 - 1 に示す入力値により数値解析を行った。図 - 2 は地盤反力係数 $K=100\text{MN/m}^3$ 載荷板サイズ P2(表 - 1; 載荷板幅)での解析結果で、A-A 面におけるたわみ形状を示したものである。E が小さい場合には載荷部でたわみが大きくなり、E が大きくなるに従い平板自体が沈下するような傾向となった。これは地盤反力係数の違いに関わらず同傾向である。図 - 3, 4 は中心のたわみと載荷板幅(L)の関係を調べた結果で、このうち図 - 3 は K を一定として E を変化させた場合、図 - 4 は K を変化させて E を一定とした場合の解析結果である。両図ともに載荷板の増加に伴ってたわみは減少する。

4. 試験概要

試験用供試体は、ホイールトラッキング用供試体(密粒度アスファルト混合物(13))を使用した。試験条件は、表 - 2 に示す。HFWD 試験は、実験室内の RC 床上に供試体を設置して図 - 1 に示す位置で行った。なお、供試体の温度低下を考慮し、1 つの載荷板による試験から次の載荷板による試験までのインターバルを 2 時間設け、この時間帯は養生時間とした。

5. 材料定数推定

材料定数を推定するために Gauss-Newton 法²⁾を用いた逆解析プログラムを作製した。逆解析は各載荷板による実測たわみ、実測最大荷重、ポアソン比、初期弾性係数および初期地盤反力係数を仮定し、弾性係数、地盤反力係数を推定することとした。

表 - 3 に示す載荷試験により得られたたわみ量から逆解析により、弾性係数および地盤反力係数を推定した結果、どの温度においても材料定数が得られた。図 - 5 は各試験温度において逆解析より算出された弾性係数、地盤反力係数を示したもので、温度が高くなるにつれて弾性係数が低くなる。

地盤反力係数は温度によって大きな差異が生じていない。本試験はコンクリート床上の同一位置であることから K に差異があるとは考えにくく、結果は妥当であると推察できる。

6. まとめ

本研究では、矩形供試体を用いた HFWD 試験による材料定数推定手法を開発するために弾性解析プログラムを作製し、実際に載荷試験を行い、得られたたわみを用いて矩形供試体の弾性係数推定を実施した結果、有効であることが考えられた。今後は物性の異なる供試体を用いた場合や低温域での試験を実施してデータの蓄積を行い、推定法の信頼性を高める必要がある。

【参考文献】

- 1) 能岡純雄：弾性基盤上にある四辺、四隅自由な鉄研板の曲げについて、土木学会論文集第 32 号、1956
- 2) 松井邦人ほか：舗装各層の弾性係数を表面たわみから推定する一手法土木学会論文集第 420 号

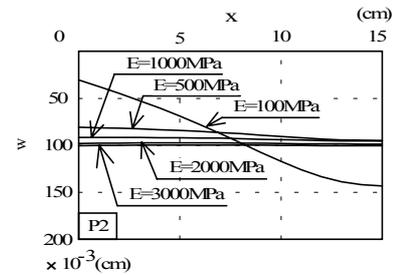


図 - 2 たわみと解析点の関係 (K=100MN/m₃)

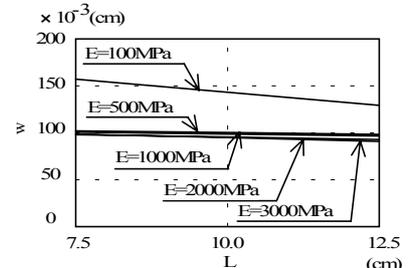


図 - 3 たわみと載荷板幅の関係 (X=15cm, y=15cm K=100MN/m₃)

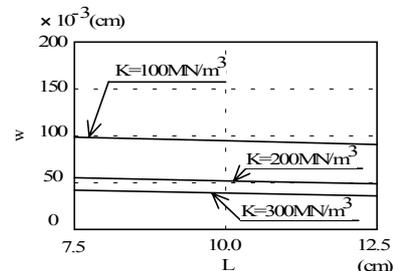


図 - 4 たわみと載荷板幅の関係 (X=15cm, y=15cm E=500MPa)

表 - 2 試験条件

供試体サイズ (a×b×h)	30×30×5 (cm)
載荷板幅 (L)	7.5, 10.0, 12.5 (cm)
重さ (M)	15 (kg)
落下高さ	20 (cm)
計測点 (x,y)	(15, 15) (cm)
試験温度	30, 45, 60 ()

表 - 3 試験結果

試験温度()	載荷板幅(cm)	たわみ量 (cm)	
30	7.5	0.0373	0.0360
	10.0	0.0353	0.0347
	12.5	0.0305	0.0308
45	7.5	0.0418	0.0375
	10.0	0.0391	0.0373
	12.5	0.0360	0.0356
60	7.5	0.0430	0.0414
	10.0	0.0391	0.0385
	12.5	0.0361	0.0354

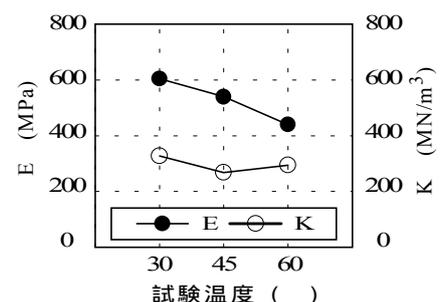


図 - 5 逆解析結果