

粒状路盤層における弾性係数の応力依存性に関する検討

鹿島道路(株) 技術研究所 正会員 ○神 谷 和 明
 鹿島道路(株) 技術研究所 正会員 東 滋 夫
 東京電機大学 フェロー会員 松 井 邦 人

1. はじめに

舗装構造解析の一手法として、多層弾性理論を用いた方法がある。本理論では、各層の材料を完全な弾性体と仮定し、したがって、荷重 - 変形特性は線形であるという前提のもとで解析が行われる。しかし、路盤材のような粒状材から成る層は応力依存性を有することが知られており¹⁾、厳密に言えば線形ではない。

そこで、本報では載荷荷重を変化させた FWD 試験データを用い、粒状路盤層における弾性係数の応力依存性について検討し、非線形モデルの構築を試みた。以下に、その構築プロセスについて報告する。

2. FWD 試験データ

検討に用いた FWD 試験データは以下のとおりである。

- (1) 試験断面：図-1 に示す鹿島道路(株)栗橋駅北側 A 交通断面
- (2) 解析モデル：図-2 に示す上層路盤と下層路盤を 1 層とした 3 層モデル(路盤層の着目点は路盤厚の中央)。
- (3) 測定日時と載荷条件等：表-1 に示すとおり。
- (4) 載荷方法：動的載荷。載荷回数は 1 回。なお、静的逆解析には荷重、たわみのピーク値のみを抽出。

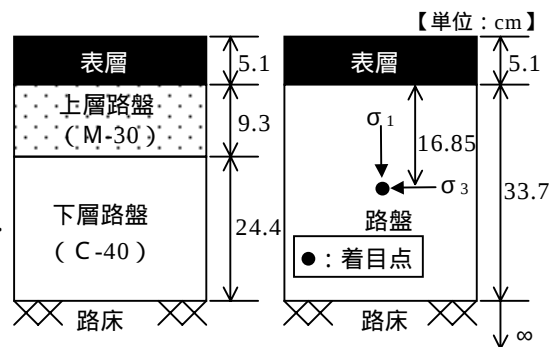


図-1 舗装断面

図-2 解析モデル

表-1 測定日時と載荷条件

年月日	時刻	載荷荷重 (kN)				気温 ()	舗装体 平均温度 ()
		24.5	49.0	78.4	98.0		
1996年8月7日	13時	○	○	○	○	29.6	43.4

舗装体平均温度は表層の上・中・下面に埋設した熱電対の平均値である。

3. 試験結果

(1) 荷重とピークたわみの関係

荷重レベルを 4 段階に変化させた時の荷重とピークたわみの関係を図-3 に示す。図-3 より、49kN、78kN、98kN 載荷時のピークたわみは、原点と 25kN 時のデータを結んだ直線より下側にプロットされており、たわみの増加割合は荷重の増加割合よりも小さくなっている。言い換えれば、作用荷重が大きくなると舗装全体の見かけの剛性が大きくなっていると言え、このことから、舗装は完全な線形を有しているとは言えない構造体であることがわかる。

(2) 静的逆解析結果

どの層の非線形性が顕著かを調べる目的で、静的逆解析(使用プログラム: BALM99)を実施した。その結果を表-2 に示す。

表-2 より、3 層とも荷重の増加に伴い、弾性係数が大きくなっているが、特に E2(路盤)にこの傾向が強く表われていることから、路盤層の応力依存性が大きいことが明らかとなった。

(3) 路盤層の非線形モデルの構築

路盤層の非線形モデルを Uzan らの提案式²⁾等を参考に式(1)のように仮定し、荷重レベルを変化させた F

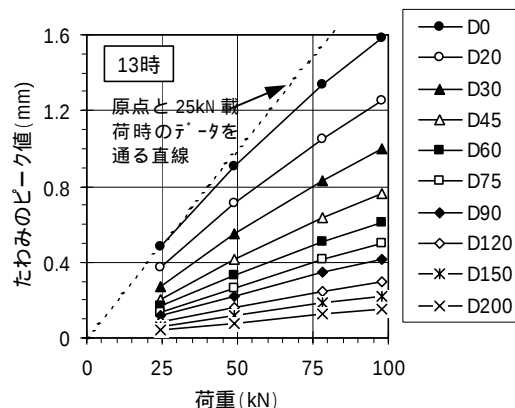


図-3 荷重とたわみのピーク値との関係

キーワード : FWD, 逆解析, 多層弾性理論, 非線形モデル, 静止土圧係数

連絡先 : 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL 0424-83-0541 FAX 0424-87-8796

WDデータから，材料定数 k_1, k_2, k_3 を決定する．決定手順は以下のとおりである．

$$E_i = k_1 \left(\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{c0}} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_{di}}{\sigma_{d0}} \right)^{k_3} \cdots \cdots (1)$$

i : 荷重レベルで 0(25kN), 1(49kN), 2(78kN), 3(98kN)

E_i : 荷重レベル i における路盤の弾性係数(MPa)

σ_{ci} : 荷重レベル i における平均応力(MPa)・・・式(2)参照

σ_{di} : 荷重レベル i における偏差応力(MPa)・・・式(3)参照

路盤の弾性係数 E_0, E_1, E_2, E_3 は静的逆解析により決定済み(表-2のE2欄)であり，また，式(1)より $k_1 = E_0$ である．

路盤層厚の中央を着目点としたときの平均応力 σ_{ci} および偏差応力 σ_{di} は， E_i を用いて順解析することにより σ_{zi}, σ_{ri} を求め，式(2)および式(3)により決定する．

$$\sigma_{ci} = \frac{\sigma_{1i} + 2\sigma_{3i}}{3} \cdots \cdots (2)$$

$$\sigma_{di} = \sigma_{1i} - \sigma_{3i} \cdots \cdots (3)$$

ここに， σ_{1i} : $\sigma_{zi} + \sum \rho_j h_j$ ρ_j : 各層の密度 h_j : 各層の厚さ

σ_{3i} : $\sigma_{ri} + K_0 \sum \rho_j h_j$

σ_{zi} : 荷重レベル i における鉛直方向の垂直応力(MPa)

σ_{ri} : 荷重レベル i における水平方向の垂直応力(MPa)

K_0 : 静止土圧係数 ($K_0=0.5$)

式(1)から，評価関数 J を式(4)のように設定する．

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \left\{ \log E_i - \log k_1 - k_2 \log \left(\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{c0}} \right) - k_3 \log \left(\frac{\sigma_{di}}{\sigma_{d0}} \right) \right\}^2 \cdots \cdots (4)$$

ここでは k_2, k_3 は未知であり，式(5)および式(6)を解いて k_2, k_3 を求める．

$$\frac{\partial J}{\partial k_2} = \sum_{i=1}^3 \left\{ \log E_i - \log k_1 - k_2 \log \left(\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{c0}} \right) - k_3 \log \left(\frac{\sigma_{di}}{\sigma_{d0}} \right) \right\} \left\{ -\log \left(\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{c0}} \right) \right\} = 0 \cdots \cdots (5)$$

$$\frac{\partial J}{\partial k_3} = \sum_{i=1}^3 \left\{ \log E_i - \log k_1 - k_2 \log \left(\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{c0}} \right) - k_3 \log \left(\frac{\sigma_{di}}{\sigma_{d0}} \right) \right\} \left\{ -\log \left(\frac{\sigma_{di}}{\sigma_{d0}} \right) \right\} = 0 \cdots \cdots (6)$$

上記の手順により， k_1, k_2, k_3 を決定すると，それぞれ $k_1=145, k_2=8.32, k_3=2.38$ となった．

4．まとめ

今回の検討から得られた知見を以下にまとめる．

FWD試験における荷重とたわみの関係は線形ではない．

荷重レベルを変化させて静的逆解析を実施した結果，荷重の増加に伴い路盤層の弾性係数の増加が顕著であったことから，路盤層の応力依存性が大きいことがわかった．

$K_0=0.5$ とした時の材料定数 $k_1 \sim k_3$ を特定できたことから，FWD試験により粒状材における非線形モデルの構築の可能性が見出せた．

5．おわりに

本検討は，限られた条件でのものであり，今回だけで非線形モデルが確立できたとは言えない．今後，より多くの条件下において同様の検討を行い，粒状路盤層の非線形モデルの確立を目指していく所存である．

<参考文献>

- 1)例えば，藤波 潔，James MAINA 井上武美 松井邦人 菊田征勇：粒状材層の弾性係数の応力依存性を考慮した舗装の構造解析，土木学会論文集第9巻，p201-206，2004年12月
- 2)Correia, A.G.: Review of models and modeling of unbound granular materials, International symposium for unbound materials (ed. Correia, A.G.), PP.3-15, 1999

表-2 静的逆解析結果

弾性係数(MPa) 載荷荷重(kN)	E1 (表層)	E2 (路盤)	E3 (路床)
25	10,314 (1.00)	145 (1.00)	68 (1.00)
49	11,382 (1.10)	163 (1.12)	68 (1.00)
78	11,765 (1.14)	191 (1.32)	69 (1.01)
98	12,016 (1.17)	209 (1.44)	72 (1.06)

() 内は 25kN 載荷時の弾性係数を 1 とした時の比率である．