

表面たわみを用いた舗装の各層のラメ定数推定

中央大学大学院 学生会員 ○李 海波
中央大学 フェロー会員 姫野 賢治
東京電機大学 フェロー会員 松井 邦人

中央大学 正会員 董 勤喜
中央大学 元学生 長谷川 陽介
中央大学大学院 学生会員 久保寺 貴彦

1. はじめに

FWD 試験機は舗装の構造評価の標準的試験機となっている．この試験機は，舗装表面に衝撃荷重を作用させ，表面の数点で表面たわみを計測する試験機である．荷重と表面たわみを利用して，いかに構造評価を行うかはユーザに任されている．ユーザはこれらの情報から舗装を構成する各層の弾性係数を推定している．

弾性係数の推定方法には，大別すると，簡易的方法と逆解析理論を用いる方法がある．現在研究は逆解析に関するものがほとんどである．逆解析を行うとき，各層の厚さとポアソン比を既知として弾性係数だけを推定している．また，ポアソン比を変化させて逆解析しても弾性係数に及ぼす影響は小さいことが確認されているので，逆解析には標準的な値が用いられている．しかし，ポアソン比の推奨値がどのように求められたのか明らかでない．

2. 目的

理論的には逆解析で求めることは可能であるが，その事例はほとんど報告されていない．そこで本研究の目的は，表面たわみからラメ定数求める方法を定式化し，FWD 試験データを用いてラメ定数を推定することが可能であることを確認し，その結果から弾性係数だけでなくポアソン比を推定することである．

3. 静的逆解析

FWD 試験において，各たわみセンサーでの測定値と計算値の誤差は，次式の非線形最小二乗形式の目的関数により評価される．

$$J(\mathbf{P}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \{u_i^* - u_i(\mathbf{P})\}^2$$

ここに，**P** は各層のラメ定数からなるベクトルである． Gauss-Newton 法を適用することにより，以

下のような方程式に表される．

$$\mathbf{A}d\mathbf{P} = \mathbf{b}$$

以上で述べた方法を統合することにより，たわみを用いた舗装構造解析の有限要素法による逆解析手法のアルゴリズムが構築可能となる．

ここに，ラメ定数 λ ， μ は以下の式で表す．

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \qquad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

この式を利用して弾性係数とポアソン比は以下のようになる．

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu} \qquad \nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}$$

4. FWD 試験結果の静的逆解析

逆解析に使用する FWD データは，第 2 回 FWD 共通試験のデータ中の舗装走行実験場 16, 17 工区（アスファルト安定処理を有する工区），609, 704 工区（粒状路盤工区）610, 611 工区（RCCP 工区）で計測したデータである．各舗装構成は図-1 に示す．

共通試験の概要

実施場所及び日時

場所：元建設省土木研究所 舗装走行実験場
日時：1993 年 3 月 29 日(月)～3 月 31 日(水)
天候：晴れ時々曇り

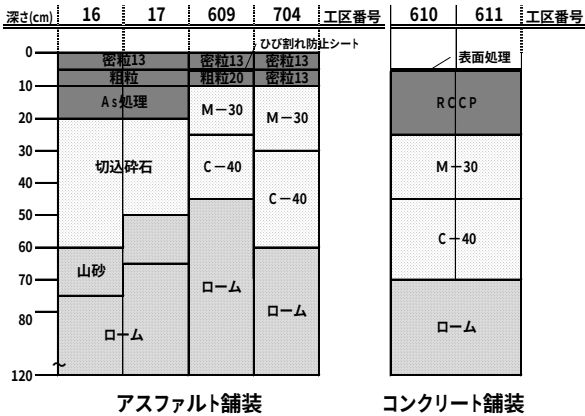


図-1 舗装走行実験場の各工区の舗装構成

表-1 試験参加機関のセンサー数と位置

機関名	センサー数	センサー位置									
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₇₅	D ₉₀	D ₁₂₀	D ₁₅₀
建設省土木研究所	6	●	●		●		●		●		●
世紀東急工業(株)	8	●	●	●		●	●	●	●	●	
大成ロテック(株)	7	●	●	●		●	●		●		●
長岡技術科学大学	6	●	●	●		●	●		●		
日本舗道(株)	8	●	●	●		●	●		●		●
東亜道路工業(株)	8	●	●	●		●			●	●	
日本道路(株)	6	●	●	●		●	●		●		
前田道路(株)	7	●	●	●		●	●	●	●	●	
新東京国際空港公社	6	●		●		●	●		●		●
港湾技術研究所	6	●		●		●	●		●		●

建設省土木研究所	- doc
世紀東急工業(株)	- sec
大成ロテック(株)	- tac
長岡技術科学大学	- nac
日本舗道(株)	- nhc
東亜道路工業(株)	- toc
日本道路(株)	- ndc
前田道路(株)	- mac
新東京国際空港公社	- sig
港湾技術研究所	- ko

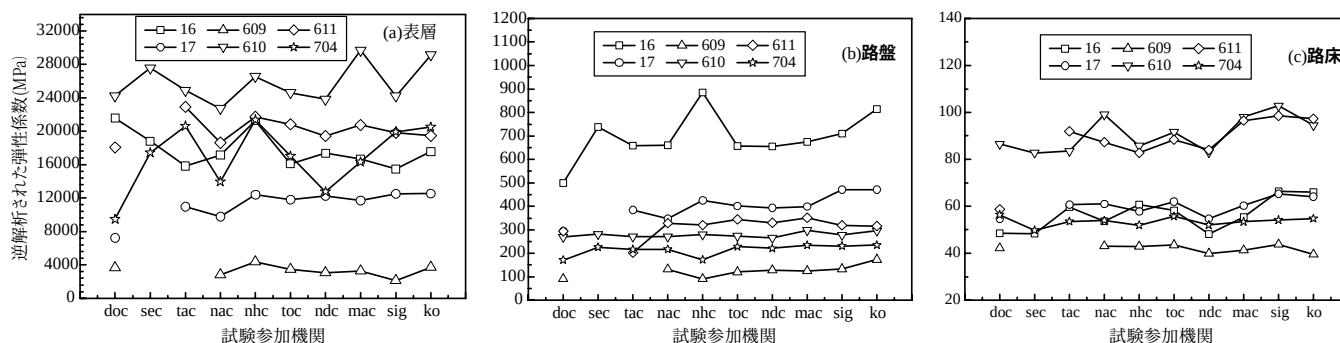


図-2 試験参加機関ごとに逆解析された弾性係数 (a) 表層, (b) 路盤, (c) 路床

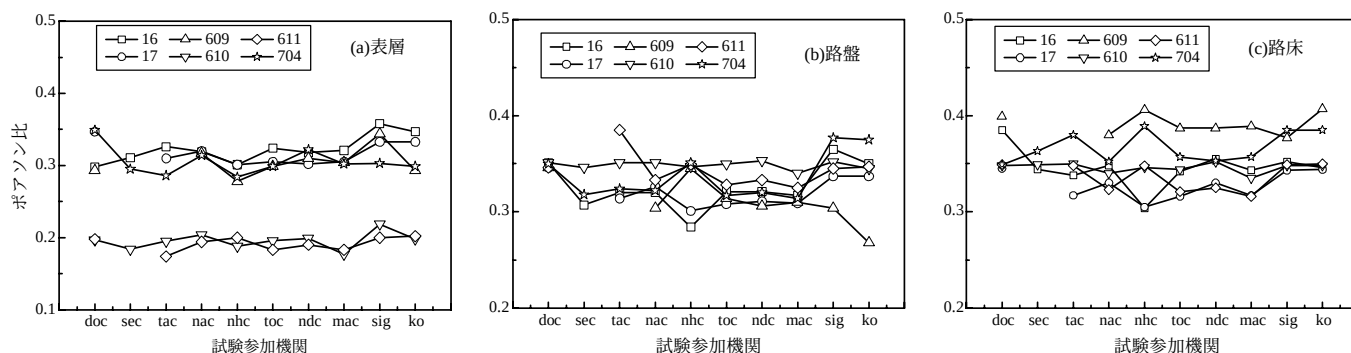


図-3 試験参加機関ごとに逆解析されたポアソン比 (a) 表層, (b) 路盤, (c) 路床

5. 解析結果

ラメ定数の逆解析では初期値が解析結果や収束回数に影響を与えやすい。そこで今回は最初にポアソン比を固定して弾性係数だけを逆解析し、その弾性係数とポアソン比からラメ定数を計算して、その値を初期値として逆解析を行った。

逆解析された弾性係数とポアソン比を図-2と図-3に示す。図-2により弾性係数と測定したたわみが反比例していることがわかってきた。今回の測定データ（特に704工区）の各機関の測定時の気温に大きな違いがあったため同じ舗装構造でも弾性係数にばらつきが出てしまった。実際704工区の気温と弾性係数を調べると、気温が高くなるにしたがって弾性係数は減少する傾向にある。この関係は、舗装体温度が上昇すればアスファルト単体のスティフネスが低下するためアスファルト混合物の弾性係数も小さ

くなるという事実と一致しており、妥当な結果であると考えられる。また温度の影響が少ないと考えられる路盤、路床の弾性係数はそれぞれの材料物性値に近い値が出ている。

またポアソン比は、アスファルト、路盤、路床で、0.35、コンクリートは0.20前後に収束しており、この値はポアソン比の推奨値であることから、良い解析結果であると言える。

6. 結論

FWD試験データを用いて逆解析でラメ定数を推定できることが確認できた。この結果から求めたポアソン比は、奨励値に近いことが確認できた。

参考文献

1. FWDに関する研究（その2）。
2. FWDに関する研究，2000年度報告書。