

V-31

逆解析弾性係数が不安定となる舗装構造における
FWD センサーの最適配置に関する検討

北海道大学	学生会員	村山友彦
北海道工業大学	正会員	亀山修一
中央大学	フェロー会員	姫野賢治
北海道工業大学	フェロー会員	笠原 篤

1. はじめに

舗装の支持力を評価する非破壊試験のひとつとして FWD (Falling Weight Deflectometer) が広く普及しており、その解析法としては逆解析が用いられる。逆解析によって推定される層弾性係数は、逆解析に際して仮定する舗装構造と実際の舗装構造との間に存在するモデル誤差（層厚、ポアソン比）や測定たわみに含まれる測定誤差に影響を受ける。著者らは、現在まで、たわみ測定誤差が逆解析弾性係数に及ぼす影響が最小となるようなたわみセンサー位置を遺伝的アルゴリズム (GA) によって求める方法を提案し、その妥当性を検討してきた¹⁾。

Lynne²⁾も指摘しているように、次のような舗装構造においては、現在の逆解析技術では適切な解を得ることが困難な場合が多いことが知られている。

1. 表層の層厚が薄い場合 (Case 1)
2. 弾性係数比が極端に大きい場合 (Case 2)
(たとえば、コンクリート版下の粒状層)
3. 隣接する層の弾性係数が近い場合 (Case 3)

ここでは、上記のような構造を持つ舗装体（3層構造）を仮定し、GA によって最適センサー位置を求めた。そして、逆解析のシミュレーションをおこない、最適センサー位置の妥当性を検討した。

2. GA による最適センサー位置の決定

たわみセンサーの個数を7個とし、センサーは載荷版中心(0mm)から2000mmの範囲内に50mm間隔で設置できるものとした。図-1、表-1に示すような層厚、層弾性係数、ポアソン比を持つ舗装構造を仮定した。各測点において測定されるたわみの標準偏差を $2\mu\text{m}$ と仮定し、測定誤差が逆解析弾性係数に及ぼす影響が最小となるセンサー位置をGAによって求めた。各舗装構造において得られた最適センサー位置を図-2に示す。

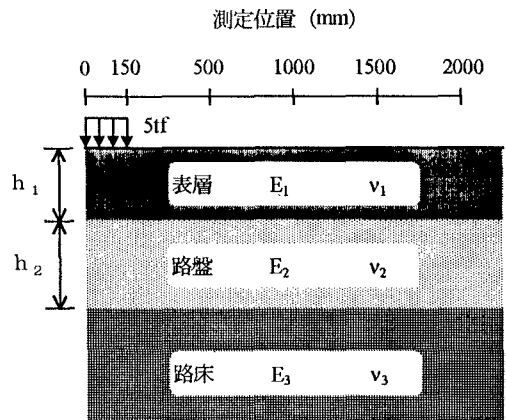


図-1 舗装構造（3層構造）

表-1 層厚、層弾性係数、ポアソン比

	Case 1	Case 2	Case 3
h_1 (mm)	50	100	100
h_2 (mm)	300	300	300
E_1 (kgf/cm ²)	50,000	350,000	50,000
E_2 (kgf/cm ²)	5,000	3,000	45,000
E_3 (kgf/cm ²)	1,000	1,000	1,000
v_1	0.35	0.17	0.35
v_2	0.35	0.35	0.35
v_3	0.50	0.50	0.50

キーワード : FWD, 逆解析弾性係数, 遺伝的アルゴリズム, 最適センサー位置

連絡先: 北海道大学 工学部 土木工学科

(〒060 札幌市北区北13条西8丁目 TEL: 011-706-6208)

3. 最適センサー位置の検証

GA によって得られた最適センサー位置の妥当性を検証するために逆解析のシミュレーションをおこなった。表-1 に示した舗装構造の表面に 50kN の荷重を加えたときに生じる舗装の表面たわみを多層弾性論解析プログラム (ELSA) によって算出した。各測定におけるたわみの母集団の標準偏差 (σ_t) を $2\mu\text{m}$ とすると、 $R(1\sim 10)$ 回測定をおこなったときの測定たわみの分散は σ_t^2/R で表される。同一地点におけるたわみは正規分布すると仮定し、各センサーのたわみの分散が σ_t^2/R になるように 100 組のたわみデータを生成した。これらのデータを測定たわみとし、逆解析プログラム (LMBS) によって各層の弾性係数を推定した。Case 1 の構造における表層の逆解析弾性係数の標準偏差を図-3 に、Case 2, 3 の結果をそれぞれ図-4, 5 に示す、図中の OP とは、GA によって得られた最適センサー位置 (図-2) を示しており、FE とは 1996 年に FEHRL から提出された FWD に関するレポートで推奨されているセンサー位置である。

最適センサー位置および FEHRL センサー位置のいずれの場合においても、表層の逆解析弾性係数 (E_1) の標準偏差は弾性係数比が極端に大きい構造 (Case 2) において最も大きく、次いで Case 3, Case 1 の順となっている。著者らが以前おこなった 3 層構造 (アスファルト層: 100mm, 5,000kgf/cm², 粒状路盤: 300mm, 3,000 kgf/cm², 路床: 1,000 kgf/cm²) のシミュレーション¹⁾の場合、 E_1 の標準偏差は 100 ~ 400kgf/cm² 程度であったことと比較すると、表-1 に示した舗装構造を逆解析した場合、得られる逆解析弾性係数のバラツキは非常に大きくなることが分かる。

しかしながら、GA によって得られた最適センサー位置を用いることによって、 E_1 の標準偏差がかなり減少することが図-3 ~ 図-5 から分かる。その減少割合は、Case 2 の場合において最も顕著である。したがって、最適センサー位置を適用することにより、FEHRL のセンサー位置から得られる E_1 の標準偏差と同程度の標準偏差を得るのに必要な FWD の測定回数を大幅に減少させることが可能となり、測定の効率化をもたらす。

4. まとめ

良好な逆解析弾性係数を得ることが困難であると指摘されている舗装構造の逆解析に GA によって得られる最適センサーを適用したところ、逆解析弾性係数のバラツキを低減させることが可能である。

参考文献

- 1) 亀山修一ほか: FWD センサー位置が逆解析弾性係数に及ぼす影響, 第 1 回舗装工学会論文集, pp49~56, 1996.

- 2) Lynne, H. Irwin : Report of the Discussion Group on Practical Limitation and What Can Be Done to Overcome Them, TRR, 1377, pp.1-2, 1992.

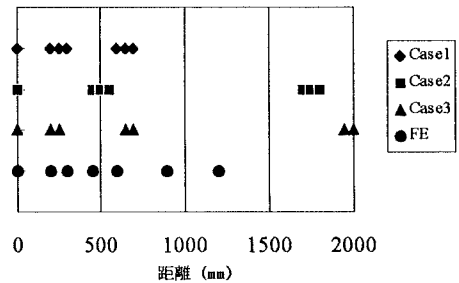


図-2 最適センサー位置

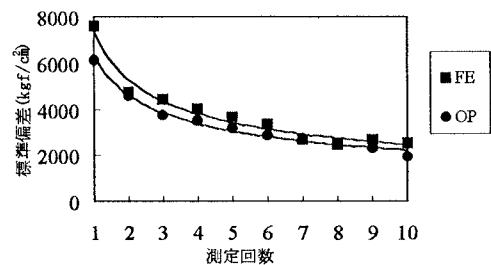


図-3 測定回数と E_1 の標準偏差の関係 (Case1)

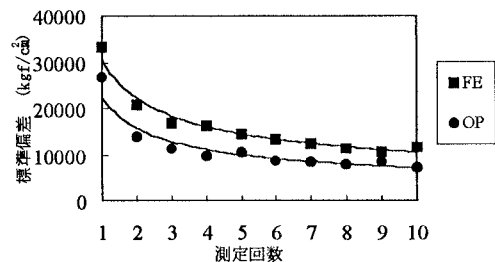


図-4 測定回数と E_1 の標準偏差の関係 (Case2)

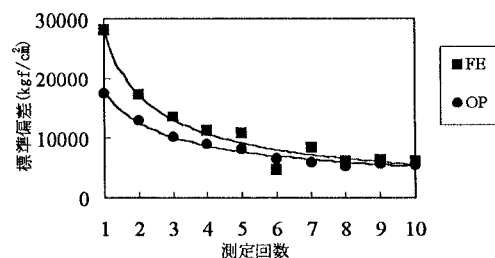


図-5 測定回数と E_1 の標準偏差の関係 (Case3)