

センサー位置がニューラルネットワークに及ぼす影響

東京電機大学	学生会員	市川 将志
東京電機大学	フェロー会員	松井 邦人
東京電機大学	学生会員	小澤 良明

1.はじめに

FWD 試験で得られた測定たわみと、舗装を多層弾性構造と過程して算出した解析たわみの一致度を利用して、各層の弾性係数を推定している。この方法は繰り返し計算が必要となり、測定現場で瞬時に層弾性係数を推定することが不可能である。そこで、ニューラルネットワークを用いてこの欠点を克服するシステムを構築した¹⁾。しかし、このシステムもセンサー位置が固定されている。

本研究では、FWD 試験機によりセンサー位置は若干異なることを考慮し、それぞれに対応できる層弾性係数の推定のニューラルネットワークシステムを構築することを目的としている。

2.舗装構造への適用

層弾性係数・層厚を図 - 1 に示す範囲内で一様乱数を用いてネットワークを構築する学習データとして 10000 セット、構築したネットワークの近似能力を確かめる検証データとして 2000 セット、計 12000 セット算出し、多層弾性理論を使用した解析ソフトである BISAR を用いて荷重の作用点より 0,20,30,45,60,90,150cm における表面たわみを算出させた。

ネットワークを構築するのに使用したセンサー位置の組合せを表 - 1 に示す。FWD 試験機の多くは、0,60,90,150cm の位置にセンサーを取付けている。そこで、センサー位置 0,60,90,150cm はすべてのネットワーク構築に使用した。FWD 試験機ごとに異なるセンサー位置 20,30,45cm を考慮したネットワークを構築するため、センサー位置の組み合わせを 8 通り、それぞれ各パターンに対するネットワークを構築した。

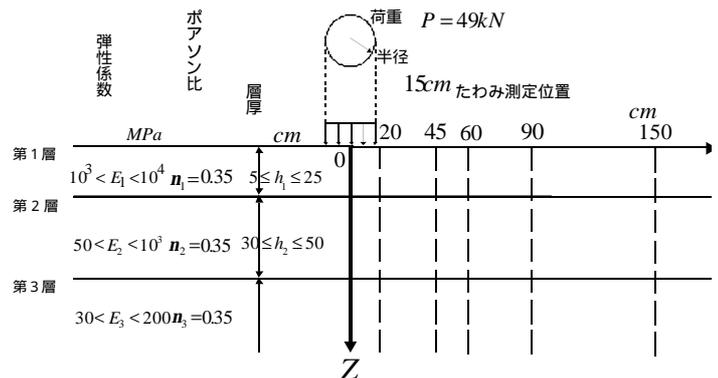


図 - 1 構築したシステムの適用範囲

3.学習結果(検証データ)

ネットワークを評価する指標として、それぞれの誤差を、式(1)に示す $Er(i)^k$ で評価した。ネットワーク全体の誤差を式(2)に示す $Er(i)_{STD}$ を使用し評価した。

表 - 1 センサーの組合わせ と $Er(i)_{STD}$

パターン	20	30	45cm	$Er(1)_{STD}$	$Er(2)_{STD}$	$Er(3)_{STD}$
1				0.082	0.105	0.016
2	×			0.084	0.103	0.016
3		×		0.079	0.101	0.016
4			×	0.083	0.096	0.013
5		×	×	0.083	0.111	0.015
6	×		×	0.088	0.102	0.016
7	×	×		0.100	0.116	0.016
8	×	×	×	0.115	0.133	0.017

(0.60.90.150cm に追加するセンサー位置 : 使用 × : 不使用)

Keyword : FWD, センサー位置, ニューラルネットワーク, BISAR

連絡先 : 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 TEL : 0492(96)5731 内線(2734) FAX : 0492(96)6501

$$Er(i)^k = \frac{Z(i)^k - T(i)^k}{T(i)^k} \quad (1)$$

$$Er(i)_{STD} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{2000} (Er(i)^k)^2}{2000}} \quad (2)$$

ここで i : 舗装の層番号(1~3) k : 検証データのセット番号(1~2000)
 $Z(i)^k$: ネットワークの出力値 $T(i)^k$: 教師値

表 - 1 には、構築した 8 パターンのネットワークに、検証データを入力し算出される推定層弾性係数と教師値の関係を誤差 $Er(i)_{STD}$ で示した。表 - 1 より、1 つセンサーを減らし構築したパターン 2,3,4 の方がすべてのセンサーで構築したパターン 1 より比較的精度良く推定している。これはセンサーの数が多いため、必要以上の情報をネットワークが学習した影響であると思われる。また、センサー位置 45 を抜かしたパターン 4 は、ほかのパターンより精度良く推定していることがわかる。以上の結果より、どのパターンに対しても十分な精度で推定できるネットワークが構築できることが確かめられた。

4. 学習結果(実測データ)

本研究で用いたデータは、第 2 回 FWD 共通試験の 16 工区と 609 工区で A, B 両機関が測定したデータを用いている。図 - 2 には、16 工区と 609 工区の実舗装構造と、それぞれを 3 層構造にモデル化した図を示す。表 - 2 は、A, B 両機関で測定されたたわみデータと、モデル化した層厚から、BALM'97 と構築した 8 パターンのネットワークに層弾性係数を推定させ、BALM'97 推定値とネットワーク推定値との誤差を変動係数で評価した。

表 - 2 から、609 工区において両機関ともすべてのセンサー位置を使ったパターン 1 とセンサー位置を 1 つ減らしたパターン 2,3,4 は比較的精度良く推定している。その中においてもセンサー位置 45 を抜いたパターン 4 の推定能力の高さが確かめられた。検証データにおいても同様の結果が得られている。16 工区においては、パターン 1,2,3,4 では比較的精度良く推定されている。しかし、パターン 4 の推定精度の高さは確認できない。

5. まとめ

1. 検証データより、センサー位置を変えても十分な精度で推定できることが明らかになった。
2. センサー位置 45 を抜いたパターン 4 の推定値は、検証データ、609 工区の実測データともに比較的精度が良い。
3. パターン 1,2,3,4 の推定精度が高いことが確かめられた。このことから、センサーの数は 6~7 が適切であると思われる。

参考文献

- 1) 小澤良明, 松島学, 松井邦人, 井上武美 : ニューラルネットワークを用いた舗装構造の逆解析に関する基礎的研究, 舗装工学論文集 第4巻 p87-94 1999

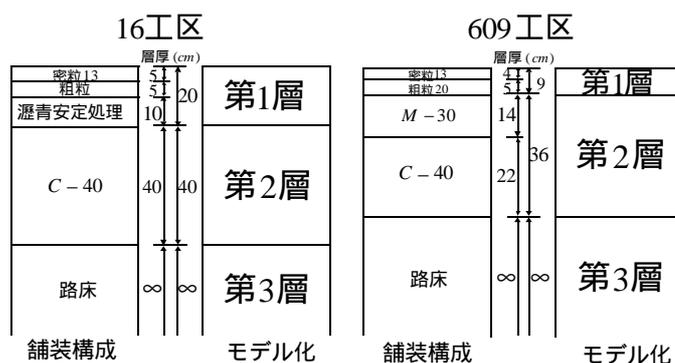


図 - 2 実舗装とモデル化舗装構造図

表 - 2 BALM'97 値と各ネットワークの変動係数 (%)

パターン	A 機関						B 機関					
	16 工区			609 工区			16 工区			609 工区		
	1	7.30	9.03	24.24	6.79	7.02	6.70	1.81	36.07	13.59	7.62	7.00
2	3.45	10.64	24.55	8.39	14.04	6.45	5.01	41.22	11.99	8.26	14.00	6.28
3	2.68	9.99	30.02	11.75	10.70	3.02	2.11	34.06	15.81	12.18	8.34	1.89
4	15.24	9.25	16.69	6.16	6.59	4.73	10.94	35.22	7.17	5.75	6.77	4.75
5	22.01	12.10	14.86	13.60	12.99	3.13	17.81	32.02	5.71	9.38	20.53	1.67
6	8.91	9.42	18.75	20.14	15.80	3.19	4.38	31.44	9.00	19.30	15.71	2.30
7	23.14	23.68	30.54	26.45	8.51	6.13	23.01	52.11	15.69	18.22	14.39	4.48
8	40.69	98.12	19.71	9.38	10.67	6.30	14.53	68.98	5.07	19.67	16.10	5.17