

1. はじめに

建設事業をとりまく社会経済情勢が大きく変化する中で、建設市場もかつてないほどの大きな構造変化に直面している。橋梁においては維持管理の重要性が認識されているが、橋梁を維持管理するためには橋梁上を通過する交通荷重を正しく推定する必要がある。そこで、本研究では、遺伝的アルゴリズム (GA)¹⁾ を適用した Bridge Weigh-in-Motion システムの妥当性と有用性について検討した。

2. 対象とした橋梁と車両

本研究では、50m の単純桁橋を検討の対象とした。また、対象とした車両は、トラック類に対応した総重量が 245.000kN の TYPE-1~TYPE-4、セミトレーラーを想定した総重量が 490.000kN の TYPE-5 と TYPE-6 である。なお、遺伝的アルゴリズムを適用する本手法では、等価軸距を定義する必要がある。ここに、等価軸距とは、図-1 に示すように、荷重列を一つの集中荷重に置換した場合の作用位置（前輪から測った軸距）であり、図-1 中に記した記号を用いれば、3 軸車の等価軸距 a_{eq} は次式で算定される。

$$a_{eq} = \frac{P_2 \times a_{12} + P_3 \times a_{13}}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (1)$$

3. 数値計算例

(1) 2 軸車を用いたキャリブレーション値の算出

ここでは、TYPE-1 の 2 軸車両を試験車として採用する。前輪荷重 $P_1 (=49.000\text{kN})$ 、後輪荷重 $P_2 (=196.000\text{kN})$ 、軸間距離 $a_{12} (=4.0\text{m})$ に $\pm 2.5\%$ の誤差がある場合を仮定し、表-1 に示す条件のもとで GA を適用することとした。適応度関数が最大となるキャリブレーション値（実測値と解析値の比率）を表-2 にまとめる。表-2 から、適応度関数の最大値は 60km/h の場合に生じ、キャリブレーション値ははじめの設定値である $CAL = 0.90$ を正確に算出していることがわかる。また、この時の等価軸距と総重量の推定値はそれぞれ 2.401m、245.24kN であったが、これらの値は真値である 2.400m、245.00kN と非常に良く一致する結果となっていた。なお、その他の走行速度に対応するキャリブレーション値は 0.88~0.93 であり、適応度関数の値はさほど大きくないものの、実務上は十分な精度でキャリブレーション値を推定できるものと言える。

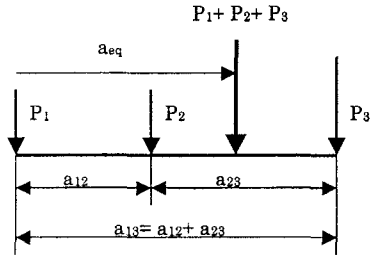
(2) 車両走行荷重の算出

キャリブレーション値 CAL を設定できたことから、任意車両が走行した場合の等価軸距と総重量を推定することとした。GA を適用するにあたっては、6 軸以下のすべての車両に対応できるように表-3 に示す条件を設定するものとした。したがって、TYPE-1 車両を対象とした場合にも、キャリブレーション時に使用した 2 軸車両と推定するパラメーター（本節でのパラメーターは 6 つの軸重と 5 つの軸距）が異なっていることに留意が必要である。キャリブレーション値を正確な $CAL = 0.9$ に設定した場合の車両速度と適応度関数の関係（300 世代目の最適結果）を図-2 に示す。図-2 から、59.7km/h と 60.0km/h にそれぞれ明確なピークが認められるものの、車両速度をほぼ正しく推定していることがわかる。また、表-4 からわかるように、等価軸距と総重量は、59.7km/h で 2.375m と 247.59kN、60.0km/h で 2.406m と 245.68kN のように推定されており、いずれも TYPE-1 車両の真値である 2.400m、245.00kN と非常によく一致している。

以上は、TYPE-1 車両に対する検討結果であったことから、TYPE-2~TYPE-6 車両についても同様の検討を実施することとした。GA による推定値（300 世代目の最適結果）と真値の対比結果を表-5 に示す。この表から、たとえどのような車両であっても GA を適用すれば、非常に高い精度で橋梁交通荷重を推定できると言える。

4. まとめ

遺伝的アルゴリズムを適用する手法は、交通止めをとまなう静的載荷試験を実施しなくても、キャリブレーション値を容易にしかも精度良く算出できるとの知見が得られた。また、特別な装置を利用しなくとも車両速度を算出でき、車両の総重量や等価軸距も十分な精度で推定できる可能性があることもわかった。それゆえ、今後は早急に計測システムの構築を図り、実際の橋梁交通荷重に適用する実用化研究を実施していく所存である。



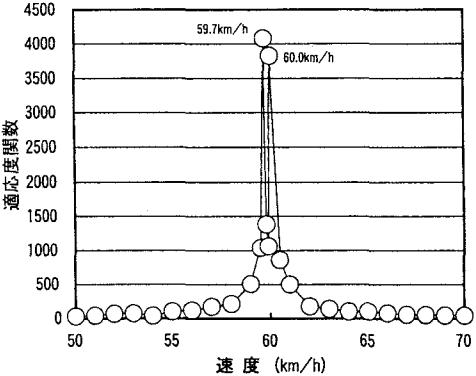
図－1 等価軸距の定義

表－2 キャリブレーションの算出値
(±2.5%の誤差がある場合)

車 速	適応度関数	キャリブレーション
58 km/h	50.7	0.93
59 km/h	121.8	0.93
60 km/h	11670	0.90
61 km/h	107.5	0.90
62 km/h	49.3	0.88

表－4 推定値と真値の比較 (TYPE-1 車両)

	推定値		真 値
	59.7 km/h	60.0 km/h	
等価軸距	2.375m	2.406m	2.400m
総重量	247.59kN	245.68kN	245.00kN



図－2 走行速度と適応度関数の関係
(CAL=0.9, TYPE-1 車両)

表－1 ±2.5%の誤差を考えた適用条件
(TYPE-1 車両)

推定する諸元		P_1, P_2, a_{12}
個体数		200 個
世代数		300 世代
交叉（1 点交叉）確率		0.50
突然変異確率		0.03
選択方法		ルーレットルール
推定諸元の設定範囲	P_1	95.55kN～100.45kN
	P_2	143.325kN～150.675kN
	a_{12}	3.90m～4.10 m

表－3 6 軸車モデルの適用条件

個体数		200 個
世代数		300 世代
交叉（1 点交叉）確率		0.50
突然変異確率		0.03
選択方法		ルーレットルール
推定諸元 の設定範囲	P ₁	29.4kN～196.0kN
	P ₂ ～P ₅	0.0 kN～196.0kN
	P ₆	49.0kN～196.0kN
	a ₁₂	1.0 m～13.0 m
	a ₁₃ ～a ₁₆	3.0 m～13.0 m

表－5 推定値と真値の比較 (TYPE-2～TYPE-6 車両)

		推定値	真 値
TYPE-2	等価軸距	2.845 m	2.837 m
	総 重 量	248.11 kN	245.00 kN
TYPE-3	等価軸距	2.379 m	2.369 m
	総 重 量	246.76 kN	245.00 kN
TYPE-4	等価軸距	3.884 m	3.885 m
	総 重 量	246.60 kN	245.00 kN
TYPE-5	等価軸距	7.049 m	7.098 m
	総 重 量	482.11 kN	490.00 kN
TYPE-6	等価軸距	7.127 m	7.193 m
	総 重 量	489.78 kN	490.00 kN

参考文献 1) 米田昌弘, 枝元勝哉:GAを適用した橋梁交通荷重の推定法に関する研究, 構造工学論文集, Vol.49A, pp.755～765, 2003 年 3 月.