

I-A228 橋梁部材の影響面積を用いた走行車両の重量推定に関する研究

名古屋大学* 正 員 ○ 小塩 達也 名古屋大学* 学生員 新海 英昌
 名古屋大学* 正 員 山田健太郎
 建設省中部地方建設局中部技術事務所** 矢島 正美 水野 良浩

1. はじめに 道路構造物を維持管理する上で、実際に走行する自動車荷重を把握することは、今後ますます重要なものとなると思われる。自動車の走行を妨げずに道路上の自動車荷重を計測するシステムは、Weigh In Motion System (WIM) と呼ばれる。WIM には、路面に荷重計を埋め込むものと橋梁部材の応答を測定して荷重を推定するもの (Bridge Weigh In Motion: BWIM) がある。前者は国道、高速道路上で実際に運用されているが、装置が高価である。後者には、応答波形と車両の軸間距離から、軸重を逆推定する方法¹⁾、鉄筋コンクリート床版のひび割れを測定する方法²⁾や鋼床版部材を用いる方法³⁾等がある。本研究では、橋梁部材の影響線を利用した簡便な BWIM の手法を示す。

2. 推定理論 橋面上を走行する荷重によって橋梁部材に生じる応答波形 R は、影響線 $y = f(x)$ の線形和で表示できる。 N 軸のトラックが橋面上を走行する場合、先頭軸の位置を x 、先頭軸から各軸までの距離を Xn 、各軸の軸重を Wn とすれば、載荷位置の関数で表示した応答波形は各軸による影響線の和として以下のように表される。

$$R = \sum_{n=1}^N Wn \cdot f(x - Xn) \quad (1)$$

R の積分値を応答波形の影響面積 A と定義する。

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} R dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\sum_{n=1}^N Wn \cdot f(x - Xn) \right] dx \quad (2)$$

この式は次式のように変形できる。

$$\begin{aligned} A &= \sum_{n=1}^N \left[Wn \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} f(x - Xn) dx \right] \\ &= \sum_{n=1}^N Wn \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = GVW \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx \quad (3) \end{aligned}$$

ここで、式 3 の右辺の積分の項 $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx$ は、着目点が決まっ

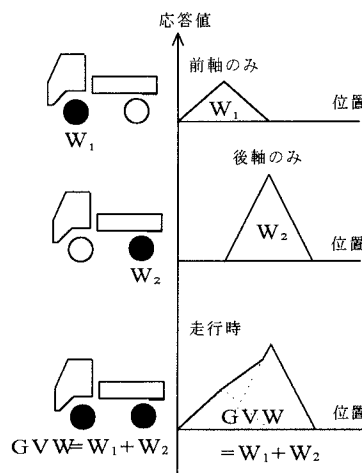


図1 影響面積と総重量

た時点で一定である。すなわち、式 3 は図 1 のように、あるトラックの応答波形の影響面積は、そのトラックの軸重の和、すなわち車両総重量 GVW に比例することを示している。式 3 はまた、単位長さあたり GVW の荷重を持つ一様分布荷重が作用した時の応答値を示している。これは、一様分布荷重と移動する集中荷重の力学的相似性によるものである。実際の計測では重量が既知 ($=GVWc$) であるトラックを走行させ、その影響面積 Ac を測定する。重量が未知であるトラックの応答を測定し、影響面積 A を計算すれば、そのトラックの重量が式 4 のように求まる。通常、走行車両による部材の応答は、ひずみや変位を時刻歴応答として測定する。トラックが一定速度 V で橋梁上を走行する場合、トラックの位置 x は、 $t=0$ で $x=0$ として、

キーワード：維持管理、自動車荷重、Weigh In Motion、BWIM、影響線、影響面積

* 〒464-8603 名古屋市千種区不老町、TEL 052-789-4619、FAX 052-789-3738

** 〒461-0047 名古屋市東区大幸南一丁目1番15号、TEL 052-723-5705、FAX 723-5790 (技術課)

$x = V \cdot t$ で表され、影響面積は時刻歴応答と走行速度を用いて式 5 のように計算できる。

$$GVW = \frac{A}{Ac} GVWc \quad (4), \quad A = \int_{-\infty}^{+\infty} R \, dx = \int_{-\infty}^{+\infty} R [V \cdot dt] \quad (5)$$

構造部材に振動などの動的な応答が含まれていなければ、部材の応答が開始、終了するまでの時間は、車両の最遠軸距と影響線の長さに関係している。複数の軸が橋面上を通過し、部材が応答している時間は、すべての軸が影響線長を通過するのに要する時間である。影響線長を l として、先頭軸が一定速度 V で通過するのに要する時間は、 $T = \frac{l}{V}$ である。最後尾の軸が影響範囲 l を退出したとき、先頭軸は影響線に進入後 l を走行し、さらに最遠軸距 L だけ走行する。つまり、先頭軸は、部材に応答を生じている時間 ΔT の間に、その部材の影響範囲+最遠軸距の距離を移動する。従って、 $l + L = V \cdot \Delta T$ である。つまり、測定点の影響線長 l 、応答時間 ΔT 、車両の速度 V が得られれば、最遠軸距 L が以下のように推定できる。

$$L = V \cdot \Delta T - l \quad (6)$$

3. 実際の運用に際して 前述の推定理論で車両重量を推定する場合、測定する車両の速度と、部材の応答波形が必要である。測定部材は、通過車両に敏感に反応し、応答が測定可能であること、影響線長がある程度短く、トラックが連行するような場合でも、部材が 1 台ずつの荷重に応答することが必要である。実構造での着目点には主桁曲げ応力・たわみ（支間が短いもの）、横桁、鋼床版横リブの曲げ応力、ワーレントラスの垂直材、縦桁の曲げ応力などが考えられる。車両の走行速度を得るため、橋軸方向に平行な位置関係にあり、同じ影響線を持つ着目点が 2 点必要である。2 つの測定点の応答波形を比較し、車両が 2 点間の走行に要した時間が得られれば、走行速度が計算できる。測定点が一つしかない場合は、光電管など他の計測器を用いて、走行速度を測定する。測定システムが決定したら、荷重車として大型自動車を用意し、計量等で荷重車の総重量 $GVWc$ を測定する。その後、橋梁上を複数回走行させ、荷重車による影響面積 Ac を測定する。諸要因が推定精度にもたらす影響として以下のものが考えられる。

- 1) 同時載荷：影響線長が 10m 程度以下であれば、影響線内に同時に車両が走行する可能性は低いと考えられる。
- 2) 振動・衝撃：応答値そのものではなく、応答値の積分を荷重の指標とするため、時刻歴波形に特有な振動成分や衝撃による応答の乱れなど、交番する応答が生じて、これらは積分操作により打ち消しあうので、影響は少ないと考えられる。
- 3) 走行速度の影響：車両速度は重量の推定値に直接的に影響する（式 5）。試験車両を用いて速度の影響を現地で検証する必要がある。
- 4) 道路幅員方向の走行位置のばらつき：走行位置のずれに対して敏感でない測定点が良い。推定精度と走行位置の関係は試験車両を用いて検証する必要がある。

4. まとめ 本研究では応答波形と車両の通過速度を用いて通過車両の総重量が推定できることを示した。この手法は「逆解析」的な他の推定手法^{1),2),3)}と比較して、測定、キャリブレーション、解析の作業が単純である。このことは、低コストで多数の地点を対象とするような BWIM の手法として有利であると考えられる。本研究では、実験的な BWIM システムとして下路ワーレントラスの垂直材および縦桁を重量検出部材とし、推定理論の実証試験を行っている。今後は、計測から推定までの一貫したプログラムの整備により、重量推定システムとしての確立を目指している。

参考文献 1) Moses, F., : Weigh-in-Motion System Using Instrumented Bridges, Transportation Engineering, Proceedings of ASCE, Vol.105, No.TE3, May 1979, pp.233-249, 2)松井繁之, Ahmed EL-HAKIM : RC床版のひび割れの開閉量による輪荷重の測定に関する研究, 構造工学論文集, Vol.35A, 1989-3, pp.407-418, 3)小塩達也, 山田健太郎 : 鋼床版部材を用いた走行車両の輪重推定, 構造工学論文集, Vol.44A, 1998-3, pp.1141-1151