

WIM データに基づく確率論的活荷重モデルによる RC 床版の安全性照査

清水建設株式会社 正会員 ○古宇田剛史

1. はじめに

新設構造物の設計基準に定められている荷重値には、あらゆる条件下への汎用性を考慮して、保守的な値が用いられていることが多い。種々の不確実性に関するデータが不足している設計段階においては、大きめに安全裕度を見込まざるを得ないが、維持管理を目的とした既設構造物の安全性照査においては、非経済的であり望ましくない。そのため、最適な維持管理計画を策定するためには、観測データなどから現在の荷重条件を反映させたモデルを用いる必要がある。近年、Weigh-in-motion (WIM) システムの発展に伴い、道路橋における車両データをより正確に観測できるようになった。言い換えれば、WIM データに基づいた活荷重モデルを用いれば、現実に即した条件下での安全性照査が可能になり、結果として経済的な維持管理計画を策定することができる。

本研究では、構造解析 (3次元 FEM 解析) に適用することを前提とし、WIM データを用いて道路橋における活荷重モデルを推定する方法を提案する。

2. WIM データに基づく確率論的活荷重モデル

2.1 WIM データの概要

本研究では、異なる道路橋で観測された2つのWIMデータを用いて、実際の交通状況を反映した活荷重モデルを作成する (WIM データの詳細は表-1 参照)。実橋梁における車両データには観測時のノイズやエラーが含まれるため、いくつかのフィルターを適用し、解析上不適切なデータを除去した。データクリーニング後の車両重量分布を図-1 に示す。車両重量分布は二峰性を示しており、2か所のピーク (15t および 35t 付近) はそれぞれトラックの空載時および満載時に対応する。なお、紙面の都合上、以降の検討では WIM-B1 による結果についてのみ記載する。

2.2 活荷重のモデル化方法

本研究では、新設構造物の設計基準 (例えば、ユーロコードなど) との整合性を保つため、活荷重として2軸集中荷重 (ユーロコードの Tandem system に相当) および一様分布荷重 (Uniformly distributed load に相当) をそれぞれモデル化する。

WIM データから荷重モデルを推定する場合、一般的に2つの手法が用いられる。ひとつ目は、得られたデータから影響線などを用いて最大荷重効果を算出し、荷重の特性値を外挿する方法である。ふたつ目は、記録された車両重量や車軸数、軸重などの確率分布を推定し、それらの確率モデルに基づいたモンテカルロ法を用いて特性値を推定する方法である。前者は簡便であるが、データ観測期間に観測されなかった車両の組み合わせは考慮できない。一方で、後者は比較的複雑ではあるが、様々な車両の組み合わせを考慮することができる。本研究では、可能な限り簡便かつ妥当性を損なわないモデル化手法として、車両の組み合わせを

表-1 WIM データの詳細

項目	WIM-B1	WIM-B2
観測車両数	121,797	133,543
観測期間	2011年 1月～12月	2011年 1月～12月
最大重量 (t)	73.6	115.0
最大車軸数	10	11

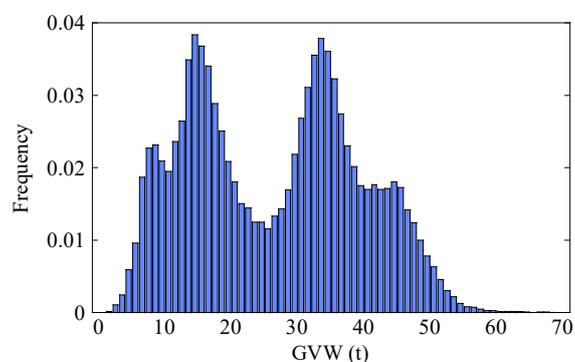


図-1 車両重量分布 (WIM-B1)

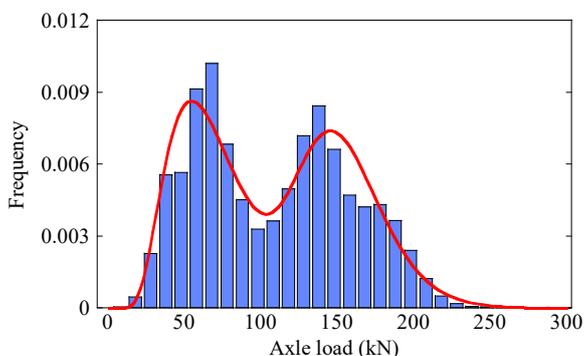


図-2 軸荷重の確率モデル (WIM-B1)

キーワード 既設橋梁, 安全性照査, WIM データ, 交通荷重の確率モデル

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社 TEL: 03-3561-3895 E-mail: t.kouta@shimz.co.jp

考慮する必要のない2軸集中荷重については前者を、一様分布荷重については後者を用いることとする。

それぞれの手法を用いて WIM データの解析を行った結果、2軸集中荷重は二峰性対数正規分布、一様分布荷重は正規分布で表されることが分かった。軸荷重（2軸集中荷重の半分）と一様分布荷重の確率分布を図-2 および図-3 に示す。両図において、ヒストグラムは WIM データから得られた荷重の頻度を表し、赤色の実線は最尤推定法により推定した確率モデルを表している。ユーロコードでは、軸荷重は 300 kN、一様分布荷重は 27 kN/m（載荷幅を 3 m と想定）と定められているため、冒頭に述べた通り、保守的な値が用いられていることが分かる。

3. 確率荷重モデルを用いた3次元 FEM 解析

前章で提案した活荷重モデルを3次元 FEM 解析に適用し、ユーロコードの荷重モデル（確定値）を用いた場合と比較した。

3.1 検討対象と3次元 FEM 解析の概要

本研究では、箱桁橋の RC 床版を対象とし、対称性を考慮して、断面の2分の1をモデル化する（図-4）。解析モデルでは、コンクリートをソリッド要素、鉄筋をトラス要素で別々にモデル化し、両者間の付着を鉄筋接線方向および法線方向のばね要素でモデル化する。構造物の経年劣化については、著者らの既往の研究¹⁾に基づいてモデル化するが、詳細は割愛する。

前章で提案した荷重の確率モデルからランダムに荷重を生成し、各荷重モデルに対して1,000回ずつ FEM 解析を行い、モンテカルロ法を用いて着目断面の破壊確率（曲げモーメントに対する終局限界を想定）を算定する。

3.2 検討結果

解析結果から、着目断面に発生する曲げモーメントの確率分布を図-5に、モンテカルロ法により算出した破壊確率を表-2に示す。両結果によると、WIM データに基づく荷重モデルを用いると、発生曲げモーメントの減少に伴い、破壊確率も低減される。これは、現行の設計基準に従うと補修が必要とされた構造物でも、実際の交通状況を反映させた安全性照査を行うことで喫緊の補修が必要ないと判断できる可能性があることを示している。つまり、より合理的で経済的な維持管理計画を策定するためには、WIM データの活用が必要不可欠である。

4. おわりに

本研究では、実橋梁で観測された WIM データに基づいた活荷重の確率モデルを推定する方法を提案した。そして、提案した荷重モデルとユーロコードに示されている荷重モデルを3次元 FEM 解析に適用し、両者の結果を比較することで、提案した荷重モデルにより、合理的な維持管理計画を策定できる可能性が示された。今後、本手法による安全性照査結果を活用することで、維持管理に関する合理的な意思決定手法を構築する予定である。

参考文献 1) T. Kouta, C. Bucher (2019) *Probabilistic Design for Deteriorating Reinforced Concrete Structures with Time-Variant Finite Element Analysis*, in: IABSE Symposium 2019, Portugal.

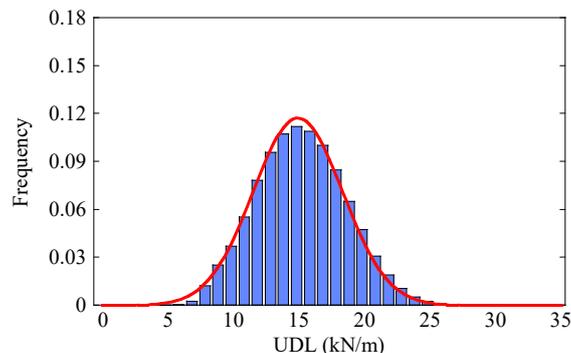


図-3 一様分布荷重の確率モデル (WIM-B1)

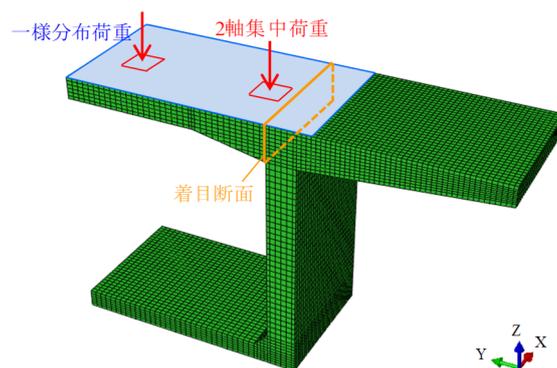


図-4 解析モデルと荷重条件

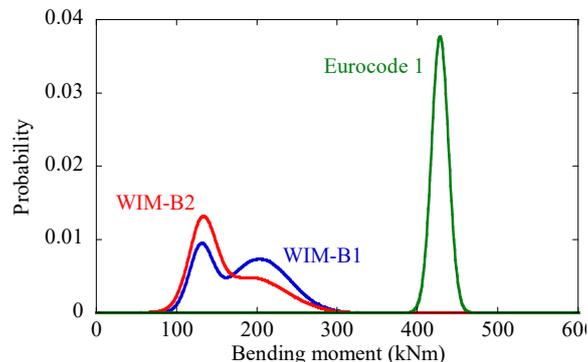


図-5 着目断面における曲げモーメント分布

表-2 着目断面における破壊確率

	平均	標準偏差
WIM-B1	0.012	0.0049
WIM-B2	0.014	0.0053
Eurocode 1	0.174	0.0203