

せん断ひずみ成分計測による鋼桁橋での輪荷重 効果の処理評価

金沢大学 ○ 城戸隆良
金沢大学 近田康夫
金沢大学 小堀為雄

1. まえがき

計測の目的には種々の場合があるが、近年必要視されてきたのは活荷重の実態調査^{1), 2)}、交通流の自動計測³⁾、輪荷重の実態調査の必要性^{4), 5)} などとともに、維持管理の重要性・必要性からくる定期的な調査・検査や診断手法の確立のための計測などがあげられる。

このことから実交通状態をさまたげないような桁橋の応答特性調査法の検討を進める中で、動的測定において鋼桁のせん断ひずみ成分の計測に着目してその測定法を示し、鋼桁に作用する輪荷重による荷重効果の推定法について提案してきている⁶⁾。

また近年、実測現場またはデータ処理にパーソナル・コンピュータ（以下、パソコン）利用が比較的容易になり、目的的分析結果のファイル化や印刷、グラフ化が容易になってきている。

そこで、鋼桁へ作用する輪荷重効果を実測により推定する方法の検討を進めること、およびせん断ひずみ成分測定の実用化の方法を検討し、せん断ひずみ成分および曲げひずみの実測的な比較検討を行って、パソコンによるデータ処理、分析過程について事例報告しようとしている。

本報告は、既設の鋼道路桁橋において、従来あまり実用されていない桁のせん断ひずみ成分の動的計測処理により、桁に作用する荷重効果の情報を把握しようとする試みを報告する。このような実態調査法は、維持管理における、主要な鋼桁橋に作用する荷重効果の実態を把握するひとつの調査手段の方法に利用できるものと考ええる。

2. せん断ひずみ成分計測の考え方

鋼桁のせん断ひずみ成分の基本的な測定法と解析的な検討については文献 6) で報告してきた。さらに検討を進めて実橋における実測的な検討を述べる。まず、基本的にせん断ひずみ γ に関するひずみ成分は、鋼桁の中立軸で桁方向軸に対して 45 度の角度をなすひずみ成分（圧縮または引張ひずみ） ε_{45° の測定をすればよいとした。しかし、鋼桁の中立軸を正確に実測で求めるには、そのための測定と分析が必要になる。中立軸位置を求めることは、もちろん着目する桁断面において γ が最大になる γ_{max} となる位置であり、また曲げひずみ成分の影響がないので明解なせん断ひずみ成分を求める意味でも有用である。また、設計計算時での中立軸位置と実測で推定された中立軸位置の相違を調べることで、桁が健全な状態であるかどうかを判断する上でも有用である。

このように中立軸位置を実測で求めることは有用ではあるが、その作業だけでも時間を相当必要とする。もし、実測目的が鋼桁への輪荷重効果の推定のみを対象とするなら、この作業を省略できれば好都合である。その場合は中立軸近辺で任意の良好な位置を設定し計測してもよいと考えられ、2 ゲージ法を採用して曲げひずみ成分を消去する方法をとればよい。

さて、実際には自動車が相当の速度で鋼桁上を通過するために動的効果が波形に見られるようになり荷重効果の分析を難しくする。また、車輪の接地はある程度面的に接して移動载荷して行く。この動的な輪荷重は接地面舗装厚を介して床版内へと分布化されるなど、計測される動的なひずみ波形には際立って明確な段差変化を呈しない場合がある。このことは、タンデム軸距が短い場合に前後の輪荷重効果の分離が難しい波形が実測される例から推察される。測定される波形でこのように前後の輪荷重効果の分離が難しいのは、逆にいえば相当の速度で通過するタンデム軸距の短い場合にはその前後の輪荷重効果が合計されたように荷重効果が桁へ作用しているとも考えられる。

実交通の状況下で実測し、その結果を基に桁へ作用する輪荷重効果を分析する場合、このような幾つかの間

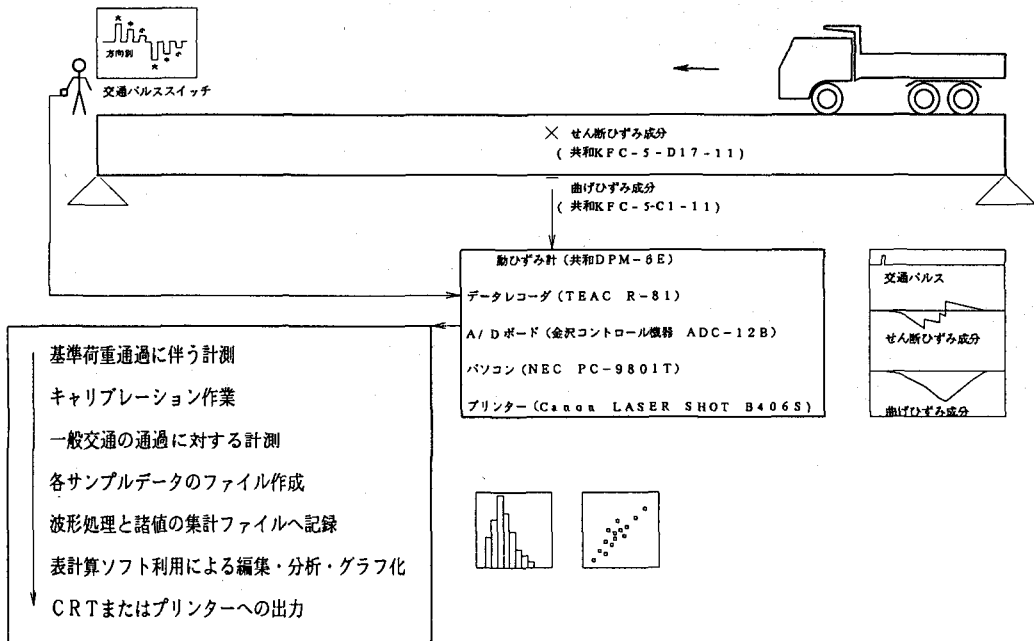


図-1 計測処理の概要

題点の解決を行うことによって、簡便な実態調査法として利用が期待される。

3. 実測的な荷重効果の比較検討

実測対象の橋梁は支間 30.7m、幅員 7m（上下各 1 車線）、主桁本数 3、腹板高 1.55m、主桁間隔 2.80m の単純活荷重合成桁橋の中桁で、支間中央から 1.87m における桁断面の中立軸位置（下フランジ上面から 1.45m：実測推定による）とし、基本的な 1 枚（3 線式結線）ゲージ法による計測とした。

計測位置の決定により ε_{45° などを計測し輪荷重効果の推定を行うには、基準荷重通過による波形を得てキャリブレーションを行う方法をとる。今回は空積みのダンプトラックの通過波形の結果を基準に見立てて荷重値に換算する方法をとった。車両の重量（自動車諸元表などより）がわかっているならばその車両が通過したときの通過位置の確認を行い、得られる波形の各段差量を基にして各荷重効果の推定が可能になる。

同時に、下フランジの曲げひずみ ε も計測し比較分析も行った。

(1) 実測とデータ処理の概要

実測とデータ処理は図-1 のようである。現場では動ひずみ計、データレコーダ、電源は DC12 ボルトのバッテリーを使用した。着目する中型車以上の重量車の通過は、通行状態を見ながら主要な目的車両が通過するときに手元のスイッチを押す、パルスを同時記録した。計測ではできるだけ大がかりにならない計測器の範囲とした。現場では長時間の間、目的車両の通過によるパソコン計測を実施すると各データファイルの書き込みに時間を要するため、リアルタイムで記録のみを行うデータレコーダに寄った。なお、パソコンによる計測を一部行ったが、これは基準荷重相当の車両通過によるキャリブレーションを行うために利用した。

データ処理は、交通パルスをトリガーとして波形を A/D 変換ボードを介してパソコンに入力した。パソコンで波形のキャリブレーションを行い、分析を行い必要な分析用データとした。データの取り込みは、通過速度が約 40km/h から約 50km/h であり 1 車両についてサンプリング間隔を 0.01sec で 600 個程度とした。これは、距離間隔 10 から 20cm、総距離 60m 程度を想定している。

波形の段差量は、波形の各段差の上下ポイント間を指示し、その結果を段差スケールデータとして読み取り、

集計データファイルに随時追加していく。集計されたデータは表計算ソフトウェアを利用し整理した。なお、大型車同士の車両が測点上路面で交差する場合は、せん断ひずみ成分の分析が困難となる特性があるので分析から除外した。

(2) 計測結果の比較検討

本報告であげる結果は、実測2時間の例である。荷重値に換算したもの、あるいは、ひずみ量そのものについての結果を度数分布あるいは2値間の比較図としてまとめたので、その結果と処理方法を示す。

せん断ひずみ成分の波形の分析は、各車両ごとの各軸による桁への荷重効果として波形に段差が生じているので、段差数、段差量、および波形の位相、段差間隔（一定速度での通過を仮定すると）を分析することで、車軸数、荷重効果、および走行方向、車軸位置による車種分類が可能になるものと考え、一般に、重量車はトレーラー連結車を含めると、第1輪 P_1 から第5輪 P_5 までをひとつの重量車ごとの基本データと考えればよいであろう。さらに、軸数が多い車両については別に設定するものとする。大まかな車種の判別は、パルスの大小、および1車両が通過するときの波形における段差の数によって本データは判断した。

図-2以降は、各車両のデータが得られたものをパソコンを用いて表計算用にデータ入力し、データ処理は、表計算、編集、関数、グラフ機能などを利用して出力した結果に若干の修正を加えたものを主に示す。

表計算機能を利用できるので各車の波形段差のスケール値の集計データファイルを入力し、キャリブレーション値を与えて編集、計算させ、データ加工や各データの比較結果のグラフ化が容易であった。

図-2は輪荷重効果の度数分布の例として、各車両の第1輪 P_1 による輪荷重効果 P_{G1} と全車種による P_1 から P_5 による各輪荷重効果の集計結果 $\sum P_{Gi}$ を示す。各輪荷重効果は各 P_i に対するデータの集計比較や車種ごとの効果の集計比較が可能である。

また、表計算機能の関数群を利用して式を立て、その分布を正規分布あるいは対数正規分布にモデル化するための諸値が得られる。諸値とは、最大値、最小値、平均値、標準偏差、変動係数、自然対数の平均値と標準偏差などである。

つぎに、各1台ごとの総荷重効果 P_G 、すなわち、各車両の総重量に対応するような各車両ごとの輪荷重効果の合計値（または、車両重量効果と呼ぶ）について分布を示したのが図-3である。結果はほぼ双峰性の分布になり、相対頻度で示すように中型車の分布と大型車以上の分布に分けられた。

図-4は P_G と ε_d の関係である。 P_G はひずみ量で示した。本例では校正値は $0.10\text{tf}/\mu$ である。 ε_d は同時載荷（乗用車など）の影響も加わるために P_G と ε_d は直線近似（直線回帰）から若干ばらついている。

よって目的とする輪荷重効果の推定はせん断ひずみ成分の計測によれば、比較的簡単に波形の段差量から輪荷重効果の推定が可能である。

その他に幾つかの関係について処理を行い、結果を得ることができた。このように実測的な結果を用いて、桁へ作用する輪荷重効果の推定、および曲げひずみとの関係について有機的な処理と分析が進められた。

4. あとがき

本研究は、一般車両通過に対する鋼桁橋の動的応答の計測と、パソコンを利用したデータ処理結果の考察により次のようなことが言える。

- (1) 従来あまり着目されていないせん断ひずみ成分の計測と分析により、通過する自動車（大型車の輪荷重を対象とした）荷重による桁への作用力（輪荷重効果）の推定が比較的簡単に行えることを示し、パソコンを一部用いた計測、パソコンを利用したデータ処理・分析の検討例を示すことができた。本事例では集計データファイルを作成し、表計算ソフトウェアなどを使って処理を行った。
- (2) せん断ひずみ成分の計測対象とする橋梁は、分析が容易な範囲を考慮して交通現象が複雑に過ぎないような、車両がほぼ一定の速度で走行するような2車線までの路線に架かるものに利用するのがよいと考えられる。現場での計測は、簡単のため主にデータレコーダーでの収録による方法をとった。
- (3) 動的波形であるので分析上においてタンデム軸に関しての荷重分離が容易でない場合が見られる。どのよ

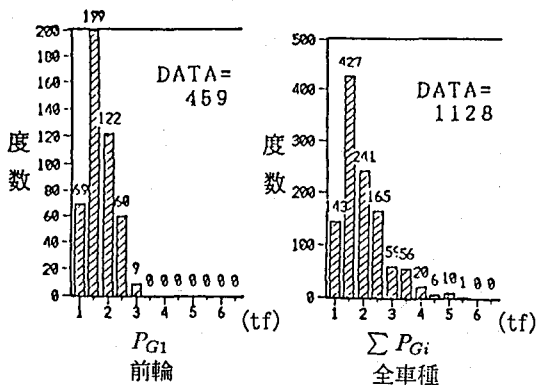


図-2 輪荷重効果の度数分布の例

うに解釈するかについての一考察を述べた。

(4) 実測的に計測、データ処理、分析により荷重効果に関する幾つかの特徴とその処理過程を確認した。また曲げひずみとの比較検討への利用も検討した。

その他に今後の課題としては、波形処理や段差判別などに処理時間がかかるので、計測や処理の簡単化、容易化のための工夫が必要である。

このように、一般車両通過時の荷重効果モニターの方法の検討を進めることで、曲げひずみによる桁の応力頻度の状態把握に加えて作用する荷重効果の頻度などが把握できるようになり、維持管理上に有用なデータの収集と分析が可能になるものと考えられる。

終りに、計測処理にご協力頂いた諸氏に深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 牧野文雄・小松定夫・向井文夫・岡田好彦・久保雅邦：橋梁における交通荷重調査と荷重特性の分析，橋梁と基礎，pp.19-26,1985-12.
- 2) 三木千壽・館石和雄・杉本一朗：道路橋の疲労照査のための活荷重に関する一考察，土木学会論文集，No.432 / I-16, pp.63-68,1991-7.
- 3) 梶川康男・西沢辰男・吉本正信：可搬式自動車交通流自動観測システムの開発，土木学会論文集，No.391 / IV-8, pp.107-114,1988-3.
- 4) 松井繁之・エル・ハキム・アーメド・本摩敦：道路橋における輪荷重について，平成元年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，I-37,1989-5.
- 5) 三木千壽・村越潤・米田利博・吉村洋司：走行車両の重量測定，橋梁と基礎，pp.41-45,1987-4.
- 6) 城戸隆良・近田康夫・小堀為雄：鋼桁のせん断ひずみ成分の測定による輪荷重効果の推定法，構造工学論文集，Vol.36A，pp.1057~1064，1990-3.

P_{Gi}		最大重量	最小重量	正規分布		実測頻度	対数正規分布	
				μ	σ		λ	ζ
中	P1	2.775	0.647	1.224	0.343	0.280	0.164	0.274
	P2	4.810	0.647	1.477	0.676	0.458	0.294	0.436
大	P1	2.775	0.925	1.842	0.386	0.209	0.589	0.206
	P2	5.272	0.925	2.007	0.796	0.396	0.623	0.381
	P3	4.532	0.555	2.298	0.930	0.404	0.756	0.388
全	P4	4.810	0.740	2.046	1.265	0.618	0.554	0.568
	P5	4.810	0.925	3.360	1.267	0.377	1.145	0.364

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta}\right)^2\right\}$$

ここに、 μ ：平均値

σ ：標準偏差

x ： P_{Gi} のデータ

ここに、 λ ： $\ln x$ の平均値

ζ ： $\ln x$ の標準偏差

x ： P_{Gi} のデータ、 $0 \leq x$

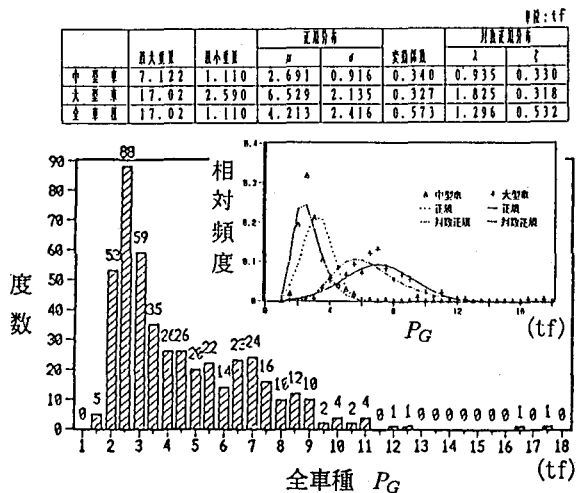


図-3 車両1台分の総荷重効果 P_G に関する度数分布の例

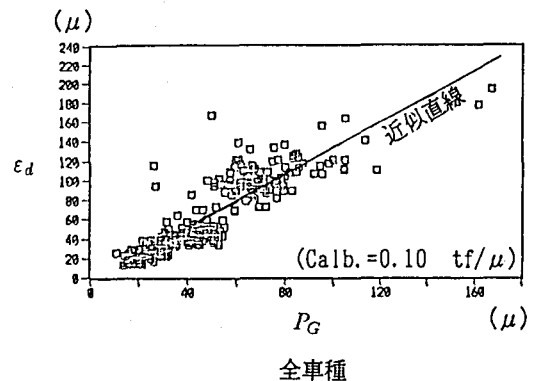


図-4 車両重量効果 $P_G(\mu)$ と動的曲げひずみ ε_d の関係