

## 実橋における応力頻度測定手法に関する提案

### Improvement to stress frequency measurement on bridges.

小寺 徹\*, 古市 亨\*\*, 佐光浩継\*\*, 村上郷太\*, 橋本健男\*\*\*, 前田和夫\*\*\*\*, 進藤泰男\*\*\*\*\*

Toru KOTERA, Toru FURUICHI, Hirotugu SAKO, Kyota MURAKAMI, Takeo HASHIMOTO, Kazuo MAEDA Yasuo SHINDO.

\* 第一技研コンサルタント(株) 技術部 (〒556-0005 大阪市浪速区日本橋4-5-21)

\*\* 工修 第一技研コンサルタント(株) 技術部 (〒556-0005 大阪市浪速区日本橋4-5-21)

\*\*\* 東洋技研コンサルタント(株) 技術本部 技術第3部 (〒532-0025 大阪市淀川区新北野1-14-11)

\*\*\*\* 東洋技研コンサルタント(株) 技術本部 技術第1部 (〒532-0025 大阪市淀川区新北野1-14-11)

\*\*\*\*\* 東洋技研コンサルタント(株) 技術企画部 (〒532-0025 大阪市淀川区新北野1-14-11)

This paper suggests the correction and confirmation method of thermal drift, noise caused by radio communication on vehicles and other electrical noise which may have large influence on stress frequency measurement.

Also some verifications of the method were carried out.

key words : stress frequency measurement, thermal drift, electrical noise, trigger

### 1. はじめに

道路構造令および車両構造令の改訂に伴い、貨物輸送の効率化、国際物流の円滑化に資するために、全国でその整備に取り組んでいる。既設橋梁の主桁・主構については「既設橋梁の耐荷力照査実施要領(案)」(以下、実施要領案<sup>1)</sup>)に従って補強要否判定を行い、対策が必要な橋梁に対しては補強工事を行うこととなっている。

実施要領案では、設計計算による照査で耐荷力を有していない場合には72時間連続応力頻度測定を実施し、その最大発生応力度を用いて補強要否の最終判定を行う。よって、現場で実施される応力頻度測定結果の信頼性は耐荷力評価に大きな影響を及ぼすこととなる。また、応力頻度測定は「応力頻度測定要領(案)」(以下、要領案<sup>2)</sup>)を遵守し、計測計画の作成、72時間連続計測の実施、データ整理、等を行うが、詳細な計測手法については技術者の判断に委ねられている。このため、著者らは主桁の応力頻度測定時に大きな影響を及ぼす可能性のある温度ドリフトとノイズ(車両無線、電氣的ノイズ)に着目し、実橋において温度ドリフト、ノイズの影響を確認するとともに、その影響を排除するための応力頻度測定手法を提案している。<sup>3)</sup>

本論では、これまでの主桁だけでなく、実橋における鋼床版、あるいはRC床版の温度ドリフト、ノイズの影響を確認するとともに、提案した応力頻度測定手法の有用性についての検証を行った。

### 2. 応力頻度測定結果を用いた耐荷力照査方法

実施要領案中の主桁耐荷力照査フローを図-1に示す。このフローでは、①損傷の有・無、②断面力による評価(照査I)、③応力度による評価(照査II)の順で照査を行い、応力度による照査の段階でも耐荷力を有していない場合には、④72時間連続応力頻度測定を実施し、その最大発生応力度(ピークバレーデータ)を用いて補強要否の最終判定を行うこととなっている。式-1にフロー中の最終段階で行う応力頻度測定結果を用いた耐荷力照査式を示すが、式中には設計活荷重応力度の項がなく、より実態に即した応力頻度測定結果( $\sigma_{max}$ )を用いて評価を行うこととなっている。

なお、式-1は原則として主桁を対象とした評価であるが、床版の耐荷力評価にも用いることもある。

#### 〈応力頻度測定結果を用いた耐荷力評価式〉

$$\begin{aligned} \sigma_a - \sigma_d \geq \sigma_{max} & : \text{耐荷力有り} \\ \sigma_a - \sigma_d < \sigma_{max} & : \text{要補強検討 (式-1)} \end{aligned}$$

式中、 $\sigma_a$  : 許容応力度

$\sigma_d$  : 設計死荷重応力度

$\sigma_{max}$  : 応力頻度測定による最大発生応力度

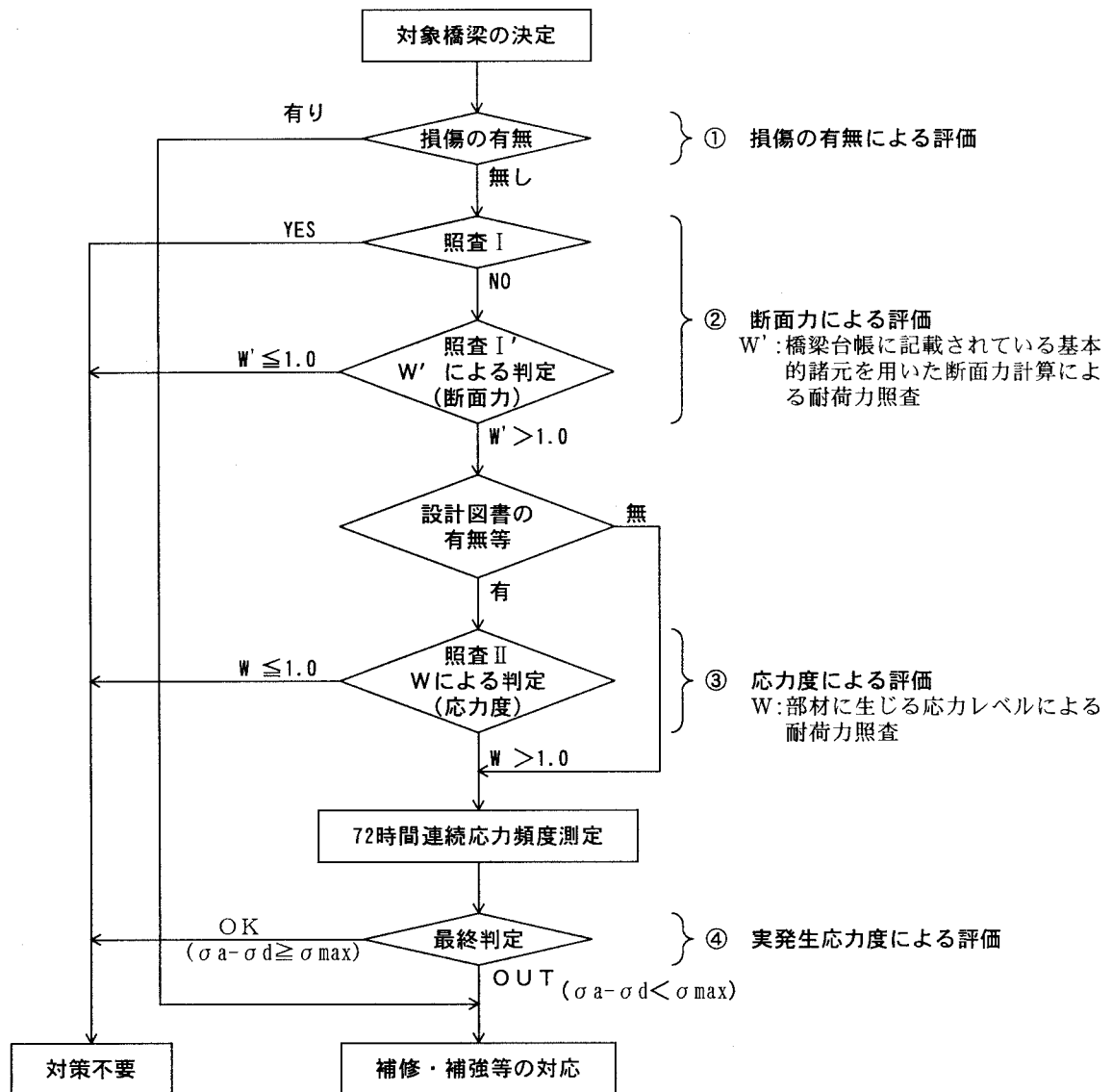


図-1 耐荷力照査フロー

### 3. 応力頻度測定実施上の問題点

要領案では、応力頻度測定を実施する場合には、以下の5項目に注意するように示されている。

#### (1) 温度変化による影響

日照による温度変化を受けやすい部材を測定すると、一日の温度変化による影響を受け、最大発生回数を頂点とする山が明瞭でなく、台形頻度分布となる可能性がある。

#### (2) ノイズ(車両無線等)の影響

跨線橋の計測や下路トラスなどで路面に近い位置にゲージを貼付する場合には、まれに車両無線や電氣的ノイズが混入する可能性がある。また、電動機器の使用によっても同様のノイズが混入こともある。

#### (3) 部材損傷の影響

部材に損傷がある事例では、車両無線等のノイズと同様の頻度分布が発生する可能性があるため、測定前にゲージ位置付近の損傷状況を十分確認しておく必要がある。

#### (4) 高電圧の添架物の影響

ゲージのリード線を高電圧の管上に配線したためにカウント数が異常に増大することがあるため、リード線の配線経路を検討する必要がある。

#### (5) フルスケールの設定

フルスケールの設定が過大であったり、過小であったりすると、有効なデータが得られない場合があるため、予備計測や構造計算により、最大発生応力度を想定する必要がある。

#### 4. 実際の応力頻度測定による事例

上部工を構成する3タイプの部材に着目し、実橋において72時間連続の応力頻度測定を実施した。なお、頻度計測におけるデータ保存は一般的に実施されている24時間単位で行った。

3タイプの着目部材とその概略橋梁諸元を表-1に、応力頻度測定時の計測システムを図-2に示す。

- タイプ1 鋼板桁橋の主桁下フランジ
- タイプ2 Uリブを有する鋼床版のUリブ下フランジ
- タイプ3 鋼板桁橋のRC床版の主鉄筋

図-3に3径間連続鋼板桁橋の主桁下フランジの24時間連続計測時の頻度分布を示す。同様に、図-4に鋼床版Uリブ下フランジの頻度分布を、図-5にRC床版の主鉄筋の頻度分布を示す。図-3～図-5から、次のことがいえる。

- ① 正規に計測した場合のピークバレー法の頻度分布は発生応力度の正負の境界位置で回数が最大値を示し、頻度分布も明瞭な山を示すのに対し、図-3に示す主桁下フランジに着目して24時間連続応力頻度測定を実施した場合の頻度分布を見ると、回数の最大位置が正負の境界位置ではっきりせず、山の頂きも明瞭でない。これは、前章で示した温度変化による影響（温度ドリフト）の可能性が高いと考えられる。
- ② また、図-3では $43.5\text{N/mm}^2$ までは比較的緩やかな頻度分布を示しているが、 $80.0\text{N/mm}^2$ 付近で突出した応力の発生（特異点）が確認されている。このデータからでは、前章のノイズ（車両無線等）の影響によるものか、大型車両の走行による発生応力度かは確認できない。

表-1 応力頻度測定橋梁の諸元

タイプ	タイプ1	タイプ2	タイプ3
着目部材	主桁下フランジ	鋼床版のUリブ下フランジ	RC床版主鉄筋
上部工形式	単純非合成鋼桁橋	鋼単純非合成鋼桁橋	3径間連続非合成鋼桁橋
橋長	21.8m	15.4m	74.05m
支間割	21.3m	14.7m	3 @24.5m
床版	RC床版(t=190mm)	鋼床版(Uリブ)	RC床版(t=200mm)
配筋	床版厚 t=200mm	リブ間隔600mm リブ高さ180mm	床版厚 t=200mm 主筋D16 @100 配力筋 D13 @125
交通量	87,000台/24hr	36,000台/24hr	115,000台/24hr
大型車混入率	18%	32%	40%
車線数	片側3車線	片側1車線	片側3車線

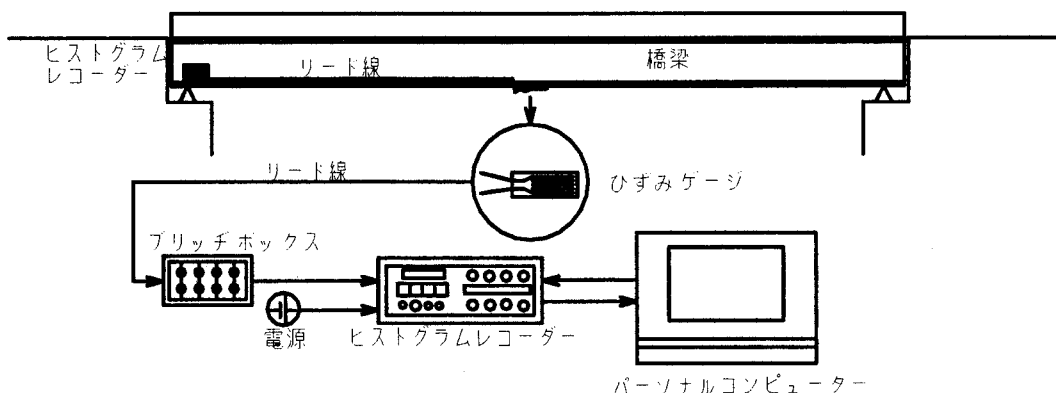


図-2 頻度測定システムの計測システム

③ 図-4に示す鋼床版Uリブ下フランジに着目した場合の頻度分布も図-3ほど明確ではないが、回数の最大位置がはっきりせず、山も明瞭でなく、温度変化（温度ドリフト）による影響の可能性が高い。

④ 図-5に示すRC床版主鉄筋に着目した場合の頻度分布は図-3と同様に、山が明瞭でなく、さらに特異点も存在する。

前述の図-3～図-5に示す応力頻度測定結果における事例は前章で示している (1)温度変化による影響、(2)ノイズの影響、の可能性が高いと考え、その影響を抑えるための計測方法、および補正方法を検討した。

### 5. 提案する計測方法と補正手法

温度ドリフトおよびノイズ影響を補正・確認する方法として、以下の手法を提案する。

① 温度ドリフトは1日単位の温度変化に伴い発生していると考えられる。しかし、通常の応力頻度計測は原則、無人で実施されるため、時間毎にゼロバランスを行うことが難しい。よって、1日単位で変化する温度によるドリフトの影響を最小限に抑えるため、現状の測定機器の性能を考慮して、3時間単位

でデータの保存を行うこととする。

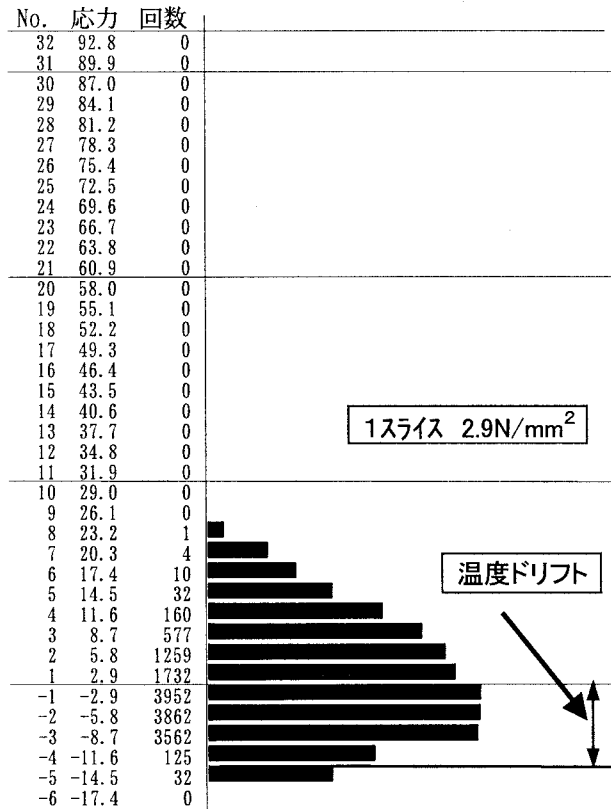


図-4 鋼床版Uリブの頻度分布 (24hr)

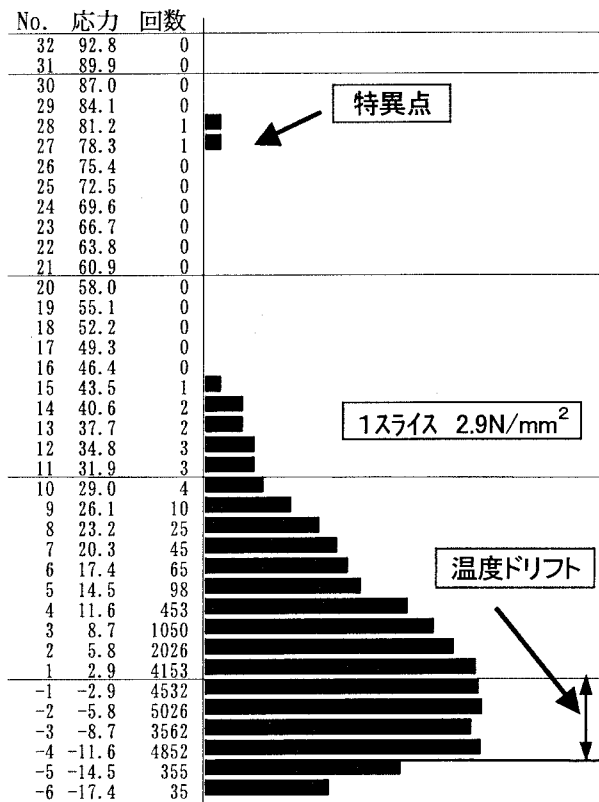


図-3 主桁下フランジの頻度分布 (24hr)

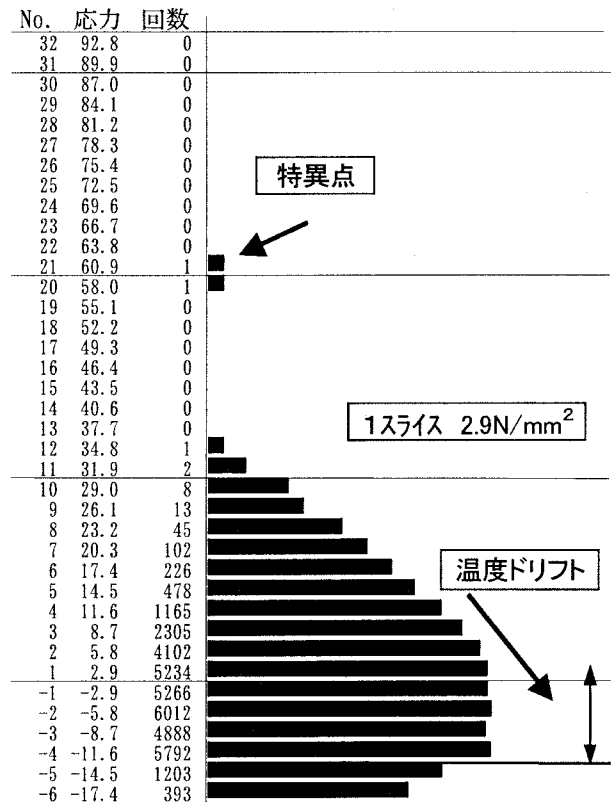


図-5 RC床版主鉄筋の頻度分布 (24hr)

- ② 図-6に3時間毎に計測したある時間帯の温度ドリフトが発生している頻度分布を例として示すが、まず温度ドリフトの影響を補正するため、発生回数の最大値位置と正負の境界位置との差をドリフト量(8.7N/mm<sup>2</sup>)と仮定する。そして実際の頻度分布上の最大値である実測値(49.3N/mm<sup>2</sup>)に仮定したドリフト量を加えたものをその時間帯における最大発生応力度(49.3+8.7=58.0N/mm<sup>2</sup>)として採用する。
- ③ 図-3に示すような特異点が電気的なノイズの影響か、一般走行車両による実際の発生応力度であるかを判断するために、計測開始時にあるレベルの発生応力度(ひずみ)を設定し、その設定したレベル以上の応力度が発生した場合には、その応力波形(事象波形)を保存する機能(トリガー機能)を有するヒストグラムレコーダ(東京測器研究所:HR908A相当品)を用いる。

## 6. 提案する計測手法による応力頻度測定結果

提案した計測手法により、タイプ1の主桁下フランジ、タイプ3のRC床版について、再度、応力頻度測定を実施した。

図-7に主桁下フランジに着目して72時間連続計測を実施した場合の各時間帯(3時間)でのドリフト量と気温の相関を示す。1日の気温が3℃~11℃と8℃程度変化すると、-2.9~+8.7N/mm<sup>2</sup>と11.6N/mm<sup>2</sup>の温度ドリフトが発生している。

温度ドリフトは24時間の周期内で±に変化しているため、データ保存を24時間単位で行うと温度補正ができないことがわかる。また、実測値のまま用いた場合と本手法により補正した場合の最大発生応力度の時間帯別変化を図-8に示すが、補正を行わない場合に比べ、本手法の採用値の発生応力度は大きく、補正を行わないと危険側の評価となることがわかる。

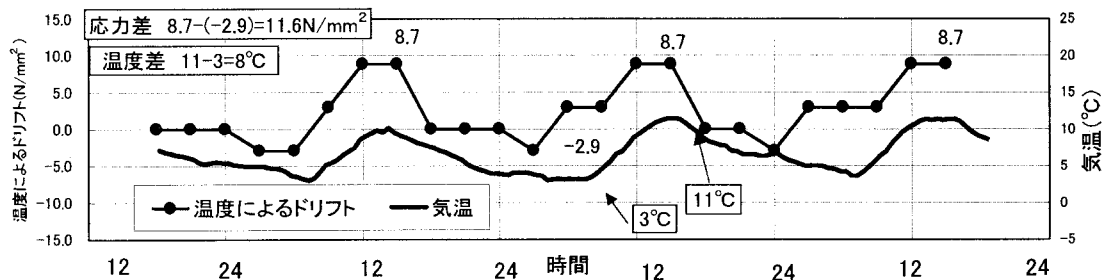


図-7 各時間帯毎のドリフト量と気温の相関性(主桁下フランジ着目)

図-9にRC床版主鉄筋着目した場合のドリフト量と気温の相関を示す。主桁下フランジに着目した場合と同様に、温度とドリフト量の相関性が確認できた。

図-10に新たな応力頻度測定時にトリガー機能を用いて採取した動的波形を示すが、この時の一般走行車両による波形と無線(本計測時に採取)、あるいは電気的なノイズ(他橋梁で採取)による波形は明らかに異なる形状を示しており、図-5に示す特異点は一般走行車両による最大発生応力度であったことが確認できた。

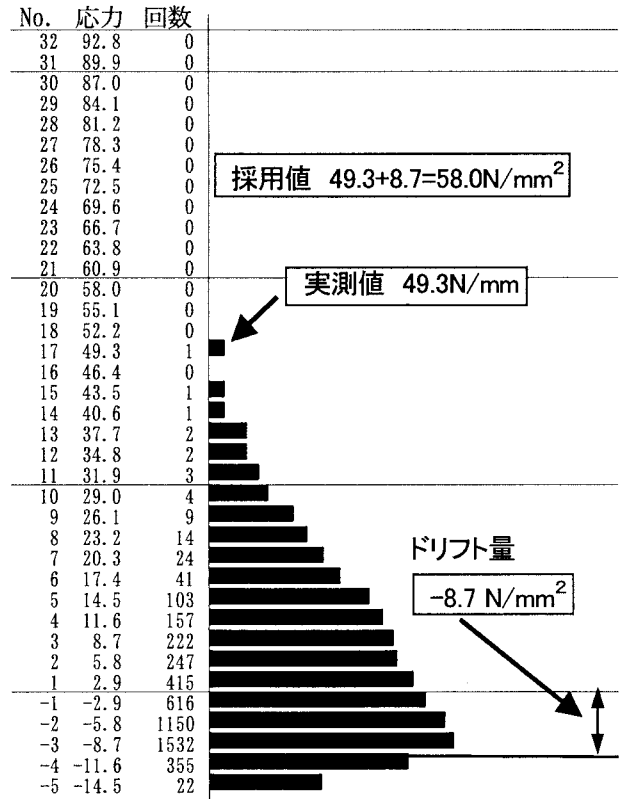


図-6 温度ドリフトの影響がある頻度分布

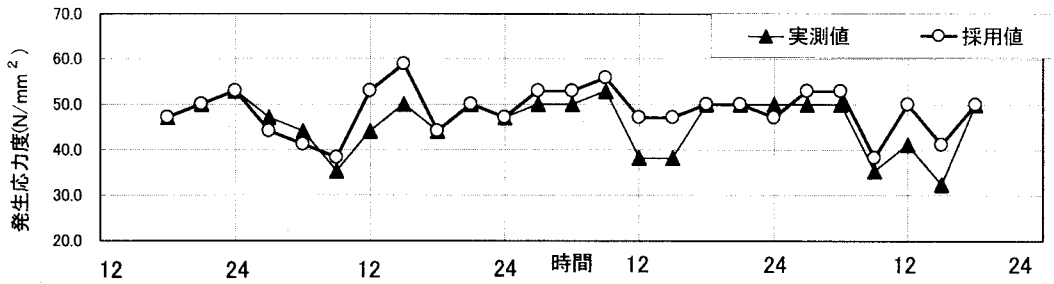


図-8 実測値を用いる場合と補正した場合の最大発生応力度の変化（主桁下フランジ着目）

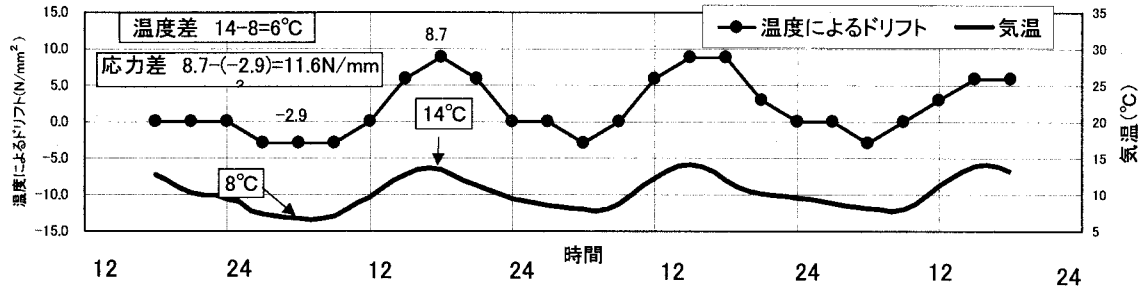


図-9 各時間帯毎のドリフト量と気温の相関性（RC床版主鉄筋着目）

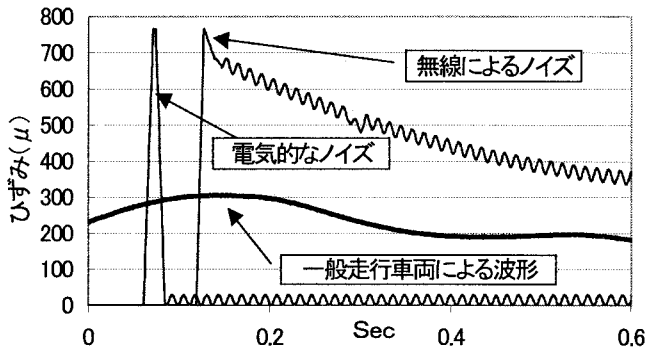


図-10 応力頻度測定時に採取した事象波形

## 7. まとめ

今回は実橋における応力頻度測定方法の提案とその検証を行い、その有用性を証明した。その概要および今後の問題点を以下に示す。

- ① 3時間単位での応力頻度測定の結果、主桁、RC床版ともに温度とドリフト量には相関性があった。
- ② 本手法を用いれば、データ整理の手間が若干増えるが、温度ドリフト影響の補正を行うことができることが確認できた。
- ③ トリガー機能を使用することにより、ノイズの種類を確認できる。なお、トリガーの設定は温度ドリフトの影響も考慮して ( $\sigma_a - \sigma_d$ ) の70~80%程度

の応力度に相当するひずみとする。

- ④ 温度ドリフト影響は疲労寿命推定時に用いるレインフローデータにも影響を与えるため、この目的での測定時にも適用した方がよい。

- ⑤ 今回は3時間毎にデータを保存したが、計測器の性能は向上しており、1時間毎のデータ保存を行えば、より精度は高くなる。さらに、定荷重車両を走行させ、その応力波形を採取する簡易動的試験を併用すれば、概略ではあるが、各時間帯での走行車両重量・軸重、等を推定することができる。

- ⑥ 応力頻度測定結果の信頼性を高めるには、レインフローデータやMAX・MINデータとの整合性照査や載荷試験との比較を行うのが良い。

## 【参考文献】

- 1) 既設橋梁の耐荷力照査実施要領(案)
- 2) (財)道路保全技術センター：応力頻度測定要領(案)，平成8年3月，(財)
- 3) 小寺徹，古市亨，荒瀬美喜夫，村上郷太，橋本健男，前田和夫：耐荷力評価を行うための応力頻度測定手法に関する提案、平成16年度土木学会関西支部学術講演会、I-57、2004年5月