

I-97

野田追橋の緊急復旧に関わる技術的考察

(株)構研エンジニアリング 正会員 植村 豊樹  
(株)構研エンジニアリング 正会員 木村 和之  
北海道開発局 函館開発建設部 石塚 高之

1. はじめに

一般国道5号野田追橋は八雲町の野田生川に架かる昭和28年に建設された橋長84mのコンクリート橋である。本橋は平成9年8月10日、集中豪雨による河川増水のため、橋脚が洗掘されたためか、約1mの沈下により路面の変状が発生し、全面通行止めとなった。その後実施した載荷試験の結果、各橋脚の支持力が確認されたことから、現橋の緊急復旧工事を行った。復旧対策後の安全性を再度載荷試験によって確認し、8月20日に暫定供用した。その後、安全確保を目的とした橋梁の監視を行い、9月30日には現橋の上流側に仮橋を完成させ、交通を切り替えた。

一般国道5号は、函館圏と道央圏を結ぶ人流、物流の大動脈であり、経済界に対する影響は計り知れないことから、昼夜を徹しての復旧作業を行い、予定の14日間を8日間で終了させたものである。

本稿ではその緊急復旧工事の概要を述べるとともに、被災した橋梁の支持力の確認と復旧対策後の安全性を検証した載荷試験方法を紹介し、さらに供用後の監視方法について報告する。

2. 野田追橋概要

架橋地点は、八雲町から函館側へ11kmに位置する。

橋梁諸元を表-1に略図を図-2に示す。

表-1 橋梁諸元

| 野田追橋  | 車道               | 歩道                     |
|-------|------------------|------------------------|
| 橋長    | L=84.0m          | L=84.0m                |
| 支間割   | 11.4m+7連         | 11.4m+23.5m×3連         |
| 幅員    | W=7.0m           | W=1.5m                 |
| 上部工形式 | 鉄筋コンクリート単純T桁橋    | 単純鋼板桁橋                 |
| 下部工形式 | 逆T式橋台<br>ラーメン式橋脚 | (歩道拡幅一体化)<br>(歩道拡幅一体化) |
| 基礎形式  | 直接基礎(木杭)         | 杭基礎(H杭)                |
| 設計荷重  | T-13             | 群衆荷重                   |
| 施工年次  | 昭和28年            | 昭和46年                  |



図-1 位置図

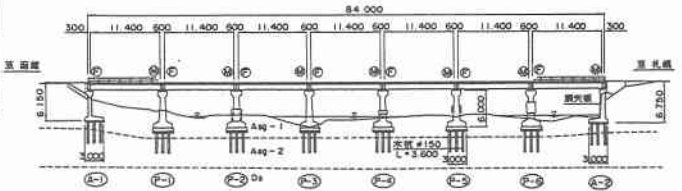
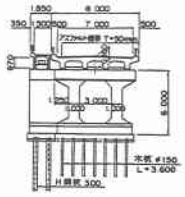


図-2 野田追橋略図

3. 被災概要

野田生川の流心部にあったP3橋脚が洗掘されたためか、約1.0m沈下した。P3橋脚の両サイドのG3、G4桁が単純桁より支点沈下して追従して路面がV字に折れた。この結果、車両・人の通行ができない状態となった。



写真-1 被災全景(下流側から)



写真-2 橋面状況

Technical Consideration on Emergency Restoration of Nodaai Bridge.  
by Toyoki UEMURA, Kazuyuki KIMURA, Takayuki ISIZUKA

#### 4. 緊急復旧対策フロー

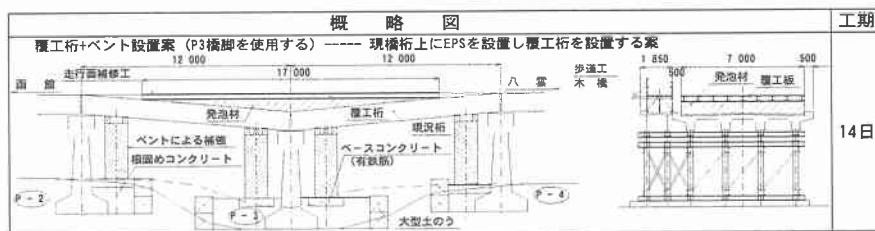
野田追橋の区間は、並行する道路がないことから、国道の通行止めにより大きく迂回が必要となり、広域観光、農水産物輸送等、地域経済に大きく影響を及ぼす。それによる損益は、約 3,800 万円/日にも見込まれると言われている。

このため、対策工は工期が大きく優先するものと考えられ、暫定交通開放を前提とし、短期間でかつ安全が確保できる工法を選定するものとした。災害発生から復旧までの経緯を以下に示す。



#### 5. 復旧対策工の選定

災害発生後ただちに実施した被災調査の結果から復旧対策工の立案を行った。



以下の理由から上図の「大型覆工板+ベント設置案」を採用した。

- ① 早期復旧ができること。（1日も早く）
- ② 「連続的な大雨が（8/13 未明まで）まだ続く」と言う気象情報から早期に水位が低下しない状況にある。
- ③ 河川の状況に影響されないで路面復旧工事がスタートできる。
- ④ 新橋架け替え用仮橋が完成するまでの1ヶ月余りの使用である。

ここで、当案を採用する条件として被災したP3 橋脚の支持力が期待できなければいけない。これより、載荷試験によって支持力を確認するものとした。

#### 6. 被災直後における橋脚の支持力確認

##### 1) 支持力確認の方法

復旧対策工で橋脚が新たに負担する荷重（覆工板+活荷重=86 t）により増加する地盤反力度は、計算の結果  $\Delta q = 2.97 \text{ tf/m}^2$  である。これより、載荷試験では、増加地盤反力度  $\Delta q$  を発生させた時に地盤が耐えるか否かを確認する。

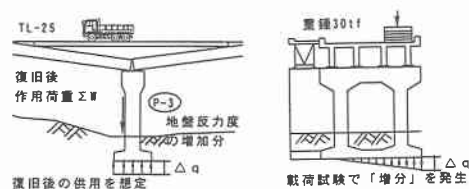


図-4 載荷方法

載荷方法は、重錘を路面端に偏心載荷することにより（図-4 参照）地盤反力度を三角形分布として、その最大値で  $\Delta q = 2.97 \text{ tf/m}^2$  に同等以上の地盤反力を発生させる。（重錘  $30 \text{ tf}$ ）地盤が耐えるか否かの判定指標は、荷重載荷によって沈下量が観測されても、「荷重除

去後には沈下が元に戻るという弾性挙動を示す。」こととした。

## 2) 地盤支持力の安全性に関する判定

P3 橋脚を始めとしてその他橋脚 4 基において、30tf の偏心載荷を行った結果はいずれも沈下は観測されなかった。これより、増加荷重に対しての地盤の持つ支持力は十分に有していると判定された。

以上の載荷試験の結果より、復旧対策工法は、「大型覆工板＋ペント設置案」を最終決定した。

## 7. 復旧対策工の検討と設計

### 1) 復旧対策工の考え方

- ①橋面の不陸修正は軽量の発泡材（EPS）を使用する。
- ②EPS のみでは、輪荷重で陥没するため大型覆工板を用いてその面積と剛性で分担する。
- ③覆工板の重量を含む全死荷重、活荷重は P2, P3, P4 橋脚で負担する。
- ④P3 橋脚に供用中異常が生じた場合でも桁を安全に支持できるようペントを設ける（重要路線における安全性の強化）

### 2) 復旧工の設計

設計の結果、所要の安全性を有することが確認できた。しかし、問題点として以下の 2 点があげられた。

- ①沈下した P3 橋脚の支持地盤の推定強度は妥当か。  
( $q = 20.1 \text{ tf/m}^2 < q_a = 30 \text{ tf/m}^2$ )

- ②建設から 44 年経過し老朽化している RC 桁の耐力評価は妥当か。(  $\alpha = 1.1 > 1.0$  )

これに対して、復旧工事完成後に実車両による載荷試験を行い橋梁の安全性を確認することとした。



写真-3 復旧対策工

## 8. 復旧後の耐力試験と安全性の検証

### 1) 安全性の確認方法

緊急復旧後の橋梁における、①支持地盤強度、②RC 桁の耐力の問題点に対して、「実車静的載荷試験」と「実車走行載荷試験」を実施し、安全性の検証を行う。

#### ①支持地盤強度の安全性

設計で想定した支持地盤における橋脚底面の鉛直バネ定数を判定指標とする。

以下の方法で求められた荷重－沈下量の関係より、実際上のバネ定数を求める。それが異常値を示していないか、また、荷重除去後に沈下に戻る弾性地盤領域にあるかを確認する。(実測 K 値  $\geq$  設計 K 値  $\rightarrow$  OK)

「実車静的載荷試験」…… 現実的に考えられる最大荷重であるダンプトラック（積載 25t）4 台を載荷し、その沈下量を測定する。

「実車走行載荷試験」…… 橋脚に加速度計を設置し、ダンプトラック（積載 25t）を走行させ、実際に支持地盤に伝達する荷重およびその時の沈下量を測定する。

もう一つの安全性の確認方法として、設計で想定した支持地盤の鉛直バネを用いて、P3 橋脚を 1 質点系モデルに置き換え、その固有周期 (T) を計算で求め、その逆数の周波数  $f \text{ (Hz)} = 1/T \text{ (sec)}$  を判定指標とする。これに対して「実車走行載荷試験」で橋脚に設置したサ

一ボ型加速度計で上下動の変位を計測し、フーリエ変換を行い、実際の周波数を測定する。これにより、設計で想定した周波数に対して、試験での卓越周波数が異常値を示していないかを確認する。(実測  $f$  値  $\geq$  設計  $f$  値  $\rightarrow$  OK)

## ② RC桁の安全性

計算で想定したRC桁の剛性は、劣化およびひび割れによるその低下を考慮していない。これより①で前述した「実車静的载荷試験」および「実車走行载荷試験」によって桁のたわみ量を測定する。

設計で想定した剛性を用いたたわみ値(理論値)を判定指標として実測たわみ量が異常値を示していないか、また、荷重除去後にたわみが戻る弾性領域にあるかを確認する。(実測たわみ量  $\leq$  理論たわみ値  $\rightarrow$  OK)

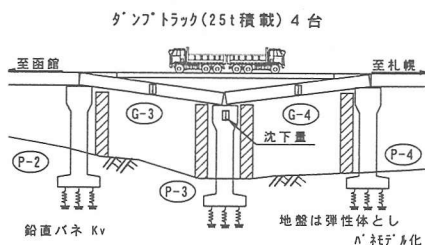


図-5 実車静的载荷試験

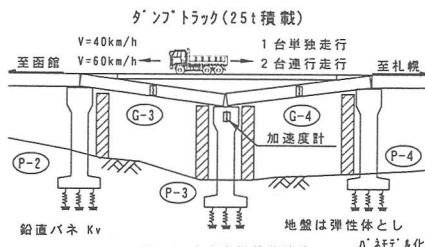


図-6 実車走行载荷試験

また、①、②の安全性の検証でその実測値の妥当性を評価するために被災しなかった健全な橋脚および桁でも各試験を行う。

## 2) 安全に関する判定

### ①支持地盤強度の安全性

- 設計鉛直バネ定数  $K$  値と実測鉛直バネ定数  $K$  値による判定。

| 設計 $K$ 値                                   | 単位                  | P2      | P1, P3  |
|--------------------------------------------|---------------------|---------|---------|
| $\alpha$                                   | —                   | 1       | 1       |
| $E\alpha = 28 \cdot N$                     | kgf/cm <sup>2</sup> | 840     | 840     |
| $k_{vo} = 1/30 \cdot \alpha \cdot E\alpha$ | kgf/cm <sup>2</sup> | 28      | 28      |
| $Bv = \sqrt{A \cdot v}$                    | cm                  | 458.3   | 536.7   |
| $k_v = k_{vo} \times (Bv/30)^{3/4}$        | kgf/cm <sup>2</sup> | 3.62    | 3.22    |
| $K \text{ 値} = k_v \times A$               | kgf/cm              | 760,000 | 927,000 |

| 実測 $K$ 値 (静的载荷)          | 単位     | P2(健全)    | P3(被災)    |
|--------------------------|--------|-----------|-----------|
| 最大沈下量 $\delta$           | mm     | 0.7       | 1.0       |
| 最荷荷重 $W$ (4台)            | t      | 116       | 116       |
| $K \text{ 値} = W/\delta$ | kgf/cm | 1,657,000 | 1,160,000 |
| 荷重除去後変位 $\delta$         | mm     | 0.0       | 0.0       |

| 実測 $K$ 値 (走行载荷)                         | 単位            | P1(健全)    | P3(被災)    |
|-----------------------------------------|---------------|-----------|-----------|
| 最大加速度 $\alpha$                          | g $\approx$ 1 | 26        | 26        |
| 総重量 $m$                                 | t             | 451       | 556       |
| 最大沈下量 $\delta$                          | mm            | 0.1       | 0.1       |
| $K \text{ 値} = m \cdot \alpha / \delta$ | kgf/cm        | 1,172,000 | 1,445,600 |
| 荷重除去後変位 $\delta$                        | mm            | 0.0       | 0.0       |

これより、実測  $K$  値は設計  $K$  値を上回り、かつ、荷重除去後に沈下量が元に戻ったことから安全と判定された。

- 設計周波数  $f$  値と実測周波数  $f$  値による判定

| 設計周波数 $f$ 値                     | 単位     | P1(健全)  | P3(被災)  |
|---------------------------------|--------|---------|---------|
| 総数量 $m$                         | t      | 451     | 556     |
| 設計 $K \text{ 値} = K_v \times A$ | kgf/cm | 927,000 | 927,000 |
| 固有周期 $T = 2\pi \sqrt{m/gk}$     | sec    | 0.140   | 0.155   |
| 設計周波数 $f$ 値                     | HZ     | 7.1     | 6.5     |

| 実測周波数 $f$ 値 | 単位 | P1(健全) | P3(被災) |
|-------------|----|--------|--------|
| 実測周波数 $f$ 値 | HZ | 12.5   | 13.0   |

これより、実測周波数  $f$  値が設計周波数  $f$  値を上回り、支持地盤は想定した強度以上を有するので、安全であると判定された。

## ②RC桁の安全性

- ・桁のたわみ値（設計理論値）と実測たわみ量による判定。

桁のたわみ値（設計理論値）

|                                                | 単位                | 静的載荷試験                             | 走行載荷試験                              |
|------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 載荷荷重W                                          | tf                | 29tf×4台=116tf                      | 29tf                                |
| 支間長l                                           | m                 | 8.0                                | 11.4                                |
| 等分布荷重q=W/l                                     | tf/m              | 10.2                               | —                                   |
| ヤング係数E<br>( $\sigma_{ck}=170\text{kgf/cm}^2$ ) | tf/m <sup>2</sup> | $2.15 \times 10^6$                 | $2.15 \times 10^6$                  |
| 断面2次モーメントI                                     | m <sup>4</sup>    | $0.0725 \times 4 \text{ 本} = 0.29$ | $0.0725 \times 2 \text{ 本} = 0.145$ |
| 桁のたわみ量                                         | mm                | $\delta = q l^4 / 384 E I = 0.9$   | $\delta = 5 l^3 / 48 E I = 2.9$     |

実測たわみ量

|                | 単位 | 静的載荷試験 |     | 走行載荷試験 |     |
|----------------|----|--------|-----|--------|-----|
|                |    | 載荷時    | 徐荷時 | 載荷時    | 徐荷時 |
| G3桁<br>(P2~P3) | mm | 0.8    | 0.0 | 0.1    | 0.0 |
| G4桁<br>(P3~P4) | mm | 0.6    | 0.0 | 0.1    | 0.0 |
| G6桁<br>(P5~P6) | mm | 0.5    | 0.0 | 0.1    | 0.0 |

これより、実測たわみ量が設計理論たわみ量を下回り、かつ、荷重除去後にたわみが元に戻ったことから安全と判定された。

以上の載荷試験結果より、復旧後の橋梁の安全性が確認されたので、供用を再開した。

## 9. 供用開始後の観測、監視

緊急復旧対策工を実施した野田追橋の供用再開後において、新たな変状の発生や損傷の点検調査と挙動計測を行い、落橋を未然に防止するとともに、通行の安全性を監視した。

### 1) 橋梁の挙動計測方法

- ・車両走行下での主桁のたわみ量と橋脚沈下量は、桁中央および橋脚に電子スタッフを設置し、橋梁下流左岸からレーザー光線を照射する電子レベルにより24時間連続の自動計測を行う。
- ・計測結果データはパソコン処理を行い、NTT回線を利用して八雲維持事業所のモニターで遠隔監視する。

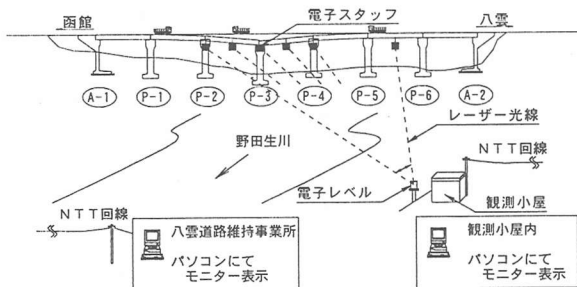


図-7 計測概要図

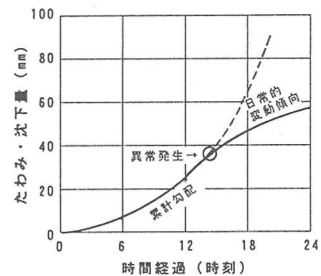


図-8 たわみ量の累積勾配グラフ

### 2) 橋梁の挙動監視方法

供用中のRC桁のたわみ量および橋脚の沈下量について、管理値を設定して安全性を監視することは、以下の理由から困難が予想された。

- ①RC桁は完成から44年が経過し、ひび割れも発生し老朽化しているため、理論たわみ量と計測値の不整合が考えられる。
- ②基礎の沈下量は、地盤をバネモデル化した理論で与えることができるが、実際には不均一な構造であるため、計測値との不整合が考えられる。
- ③一般車両の中には、実車載荷試験で考慮した荷重を超える（過積載荷車）ものが考えられる。

このことから、数値的な管理値を設定した場合、安全か危険か判定不明のまま、交通規制をかける回数が必要以上に多くなる。

基本的には、実車載荷試験時よりも大きなたわみ、沈下量が発生しても戻れば弾性体であり破壊に至らないこと、もし残留変位が生じても鉄筋コンクリート構造よりじん性がありただちに落橋しないことをポイントに以下の方法で監視するものとした。

通行車両の荷重によるたわみ量の変動を連続的にみて、その変動傾向を監視する。具体的には、1日24時間における5分間毎の「たわみ、沈下量」の最大値を計測し、図-8のように経過時刻と5分間毎の最大変位量を累積した値をプロットしたグラフの勾配により、異常の発生を監視するものとした。

この時の異常勾配の判定指標は、1週間程度の計測データを蓄積して日常的勾配の傾向をつかみ、決定するものとした。

### 3) 観測、監視結果

暫定供用中、復旧橋梁に新たな変状や損傷はなかった。計測結果についても図-9に示すように異常な挙動もなく目的を達成した。

橋脚1・3

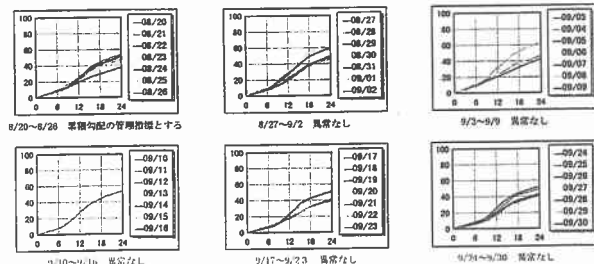


図-9 観測した累積勾配グラフ

## 10. あとがき

以上、大雨による河川増水により被災した橋梁の緊急復旧工事の概要を述べた。本工事は、被災直後から緊急復旧対策フローで述べた通り、工事と調査設計が並行して試行錯誤しながら行ったものである。限られた時間の中で復旧し、安全を確保できた大きな要因は、①工事がお盆中で材料の入手等に制限があったが、工事部門での積極的な提案と段取りが行われたこと。②調査設計部門での構造解析上の問題点をフィールド試験によってクリアしたこと。であったと考える。

現在、仮橋で供用し、約1ヶ月供用の役目を終えた復旧橋梁は解体された。結果として問題はなかったが、今回の復旧工事の中で議論された検討課題を参考までに以下に示す。

- ①被災直後に行った載荷試験で支持力を確認したのにベントは本当に必要なのか。
- ②被災橋脚で全ての荷重を受けて、不測の事態にベントで受けるとした時に、ベントと上部工の接点をどうするのか。
- ③被災橋脚とベントで受ける荷重バランスをどう見込むのか。事前にジャッキで強制的にベントへ反力換えをするのか。
- ④供用後の安全管理として変位量で規定できないのか。

最後に終始適切なご指導を賜った北海道開発局開発土木研究所構造研究室の方々と、この工事において昼夜を問わず施工および技術検討に携わり苦勞を共にした関係各位の皆様にご誌上を借りて厚くお礼を申しあげる次第です。