

新技術開発探訪

# 緊急仮設橋の開発について

国土交通省 近畿地方整備局 近畿技術事務所 防災・技術課 課長 **今井 祐三**

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、宮城県、岩手県、青森県の沿岸部を通る国道45号の橋梁において、津波による上部工の流失など、5橋が被災した。これを教訓に国民の安全・安心を確保するためには、予期できない大規模災害の襲来等に対して、できうる限りの備えをするべきであり、そのための措置を管理計画に盛り込むことが重要である。

一方、近畿地方では、近い将来に東南海・南海地震の発生が予想されている。東日本大震災後の道路啓開・復旧は、比較的被害が小さかった東北自動車道、国道4号を主軸とした三陸沿岸部から実施されたが、紀伊半島の地域では主軸となる幹線道路が未整備もしくは存在しない（図-1）。

特に田辺市以南については、高速道路の事業着手に至っていない区間もあり、全線開通にはしばらく時間を要することから、主軸となる幹線道路が国道42号のみで迂回路がないため、橋梁が1橋でも流失すると救出・救援に向かう車両が通行できず、孤立する地域が発生する。

このため、巨大地震等の災害に備えて、国道42

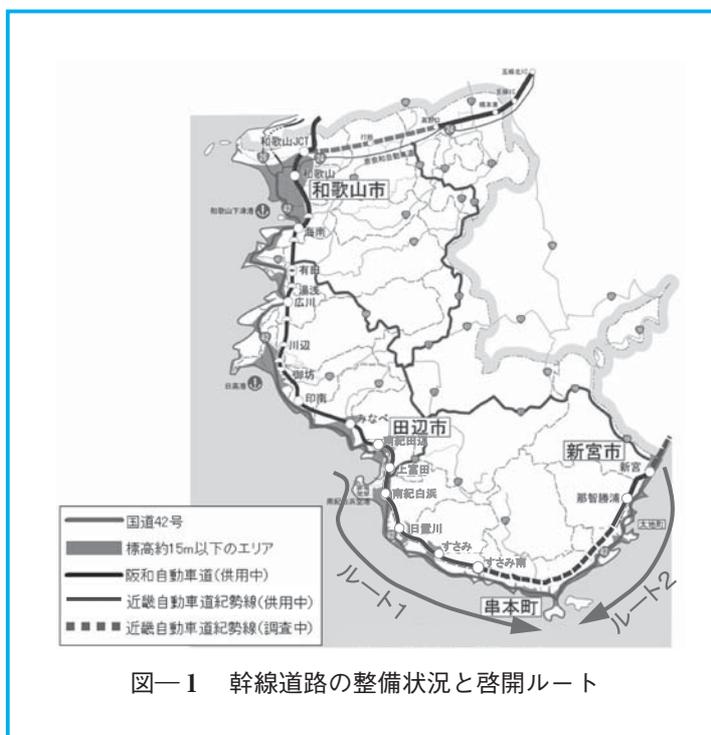


図-1 幹線道路の整備状況と啓開ルート

号の道路啓開・復旧が早期にできるよう準備することが急務である。

## 2. 緊急仮設橋の開発

現在、国土交通省地方整備局及び資材メーカー等では応急組立橋を保有しているが、比較的長期間の使用を前提としていることから、構造が大規模で組み立て及び架設には大型クレーンが必要となるとともに、利用できるまでに設置期間として1～2ヶ月の日数を必要とする場合が多い。

これに対し、災害時の人命救助には72時間を目安としていることから、災害により流失した橋梁部の場合、発災後3日以内には緊急車両（救急車や消防車等）が通行可能となる仮橋が必要となる。

このような背景から、短期間で架設が可能な「緊急仮設橋」の開発を目指し、2011年11月より、近畿地方整備局、及び有識者から構成される「緊急仮設橋に関する検討委員会」が設置され、本年3月に配備された。本稿では、緊急仮設橋の開発について概要を報告する。

### (1) 開発コンセプト

開発に際しては、以下のコンセプトを設定した。

- ① 緊急路構築が最も困難である条件を勘案した橋梁計画。
- ② 災害時の緊急車両（救急、消防、最小限の重機）の通行を優先した設計荷重の採用。
- ③ 災害時の混乱状況を勘案し、経験の少ない作業員でも組み立てが容易に行える構造の選定。
- ④ 運搬・作業性に優れ、組立時間が短縮可能な構造形式。
- ⑤ 被災した現地状況に合わせた順応性のある構

造と架設工法の採用（支間長と架設工法のバリエーション）。

### (2) 構造形式及び設計条件

開発コンセプトとして設定した項目に対し、構造形式、設計条件を以下のように決定した。

#### 1) 橋長の設定

紀伊半島の国道42号の適用候補地点の一つをモデルとして橋長を最大60m級（可変）に設定し、堤防と河床との高低差などにより、土工による緊急路の構築や災害時の河川内への柱（橋脚）設置などの困難な橋梁を勘案し、1スパンの単純形式とした（図-2）。

#### 2) 活荷重の設定

災害時の通行が想定される車両の一覧を表-1に示す。このうち、最も重量の大きい25t吊ラフテレーンクレーンの車両重量を設計活荷重とし、総重量270kNとした。

有効幅員については、緊急車両の車幅が大きい、ブルドーザーやラフテレーンクレーンが余裕をもって走行できる幅員とし、工事用道路の標準幅員4.0m以上の確保と床版パネルの製品寸法が

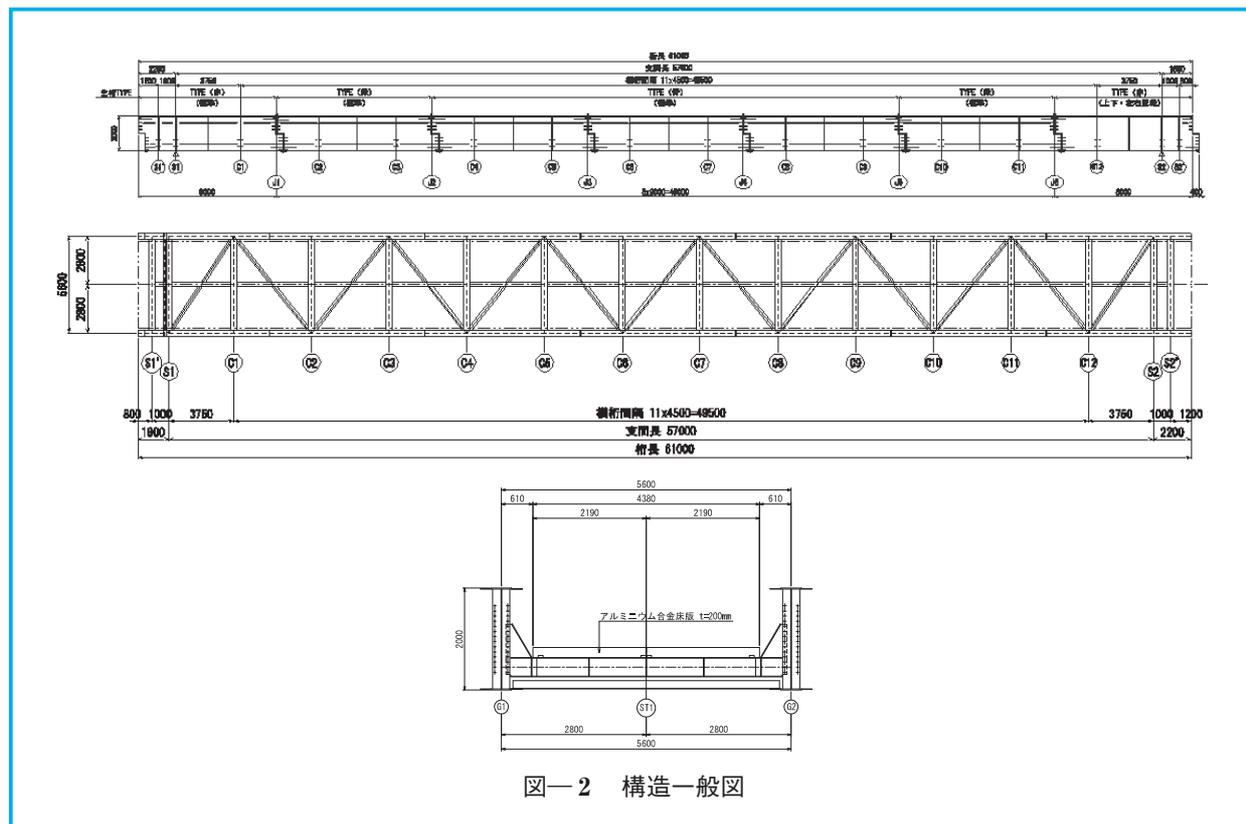


図-2 構造一般図

表—1 災害時の通行が想定される車両

想定車両	使用目的	車両幅員	車両重量
パトロール車（小型自動車）	救助活動先導，指示	1.7m	W=30kN以下
救急車（小型自動車等）	被災者搬送	2.0m	
ダンプカー（普通自動車）	土砂・がれき搬出	2.5m	W=110kN
25t吊ラフテレーンクレーン	損壊物撤去	2.62m	W=270kN
ブルドーザー	侵入路確保	2.99m	W=210kN

ら，4.38mとした。

### 3) 主桁形式の選定概要

橋梁形式は，設計，製作が容易で，鋼重が小さく，架設が容易な「鈹桁形式」を選定した。

主桁本数は，組立時間が最小となる2主桁とし，現地盤との高さの擦り付け量が少なく，アプローチ部の土工作業時間を短縮するため，下路式構造を採用した。また，部材の組合せによる組立時の混乱を回避するため，7ブロックに分割した主桁ブロックの構造について統一を図った。

### 4) 部材寸法の設定

一般的な車両である10tトラックでの輸送を可能とするため，主桁ブロック長を10m以下に統一した。

### 5) 主桁連結構造の概要

主桁の現場継手は，架設時間短縮のためにボルト本数を大幅に削減したエンドプレート（以下End.PLとする）による高力ボルト引張接合と，緊急時の施工の簡便さと安全性に配慮した載せかけ方式の切り欠き構造を併用した新たな接合形式を開発して採用した。

### 6) 架設工法の選定概要

多様な現地条件に対応できるよう，支間長と架設工法を種々組み合わせる使用できる構造としている。架設工法については5. 緊急仮設橋の架設

概要にて後述する。

以上により，決定した構造諸元を表—2に示す。

## 3. 上部工の設計

### (1) 設計の概要

本橋は単純2主桁橋であるため，主桁断面は一本梁モデルの最大断面力にて決定し，全主桁ブロックを同一断面とした。送出し架設時において断面が不足する箇所については，主桁上に架設用の補強桁を追加設置することとした。

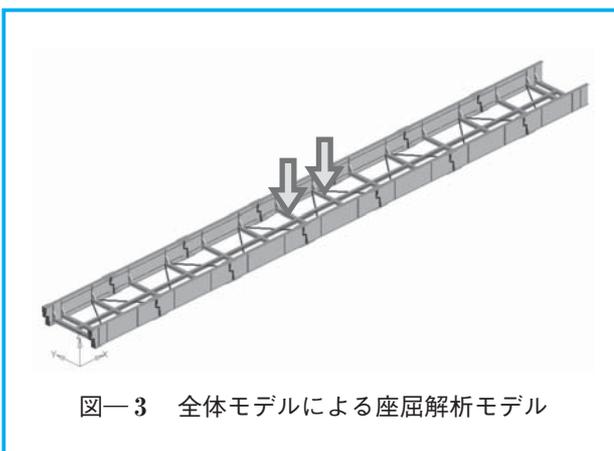
### (2) 弾塑性FEM解析の概要

本橋は，下路式の鈹桁橋であることから，主桁の横倒れ座屈に対する安全性の確認が重要であった。このため，全体モデルによる弾塑性FEM解析により，本橋の座屈耐荷力の確認を行うこととした。

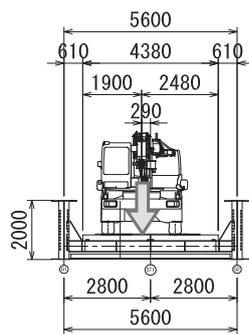
#### 1) 解析条件

解析モデルの概要を図—3に示す。主桁と横桁は薄肉シェル要素，横構は梁要素でモデル化した。荷重は，死荷重(D)として鋼自重と床版自重を考慮し，活荷重(L)としてラフテレーンクレー

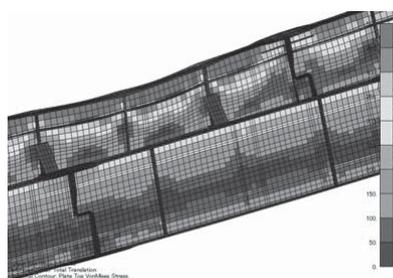
表—2 構造諸元	
橋 長	61.0m（支間長12~57mに対応）
設計活荷重	25t吊ラフテレーンクレーン（総重量270kN）
有効幅員	4.38m
形式	下路式鋼単純2主鈹桁橋
現場継手構造	高力ボルト引張接合
架設工法	クレーンベント工法，送出し架設工法



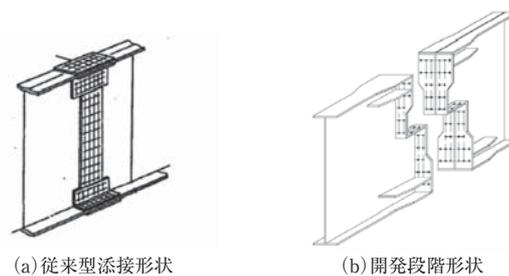
図—3 全体モデルによる座屈解析モデル



図一4 荷重位置

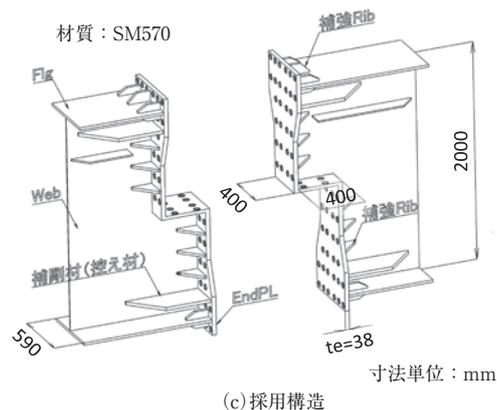


図一5 VonMises応力コンター図



(a)従来型添接形状

(b)開発段階形状



(c)採用構造

寸法単位：mm

図一6 主桁連結部構造

ン荷重を支間中央部に集中荷重として荷重し（図一3），断面内の荷重位置を走行帯最外縁に設定した（図一4）。

本橋の構造と用途の特殊性を踏まえて，解析では死荷重に加えて活荷重だけを漸増荷重していく方法によっても鉛直荷重に対する安全性の確認を行った。

## 2) 解析結果

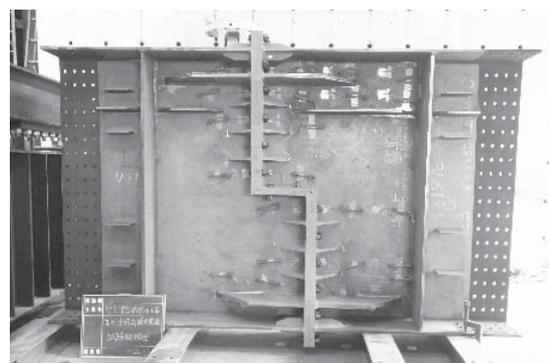
解析では，死荷重に加えて道路橋示方書のT荷重に準じた荷重を3倍以上荷重しても降伏や座屈に対して安全が確保されることが確認された。なお鉛直荷重の増加に対して最終的には圧縮フランジが図一5のように横桁を固定点とした座屈挙動を示して不安定化する傾向を示したことから，桁の設計では固定点間距離を横桁間隔として道路橋示方書II.3.2.1に従う圧縮フランジの許容曲げ圧縮応力度を設定してこれを満足させることとした。

## 4. 急速施工を可能にする主桁連結部

### (1) 連結部構造概要

従来の添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合形式では多数のボルト締め付け作業時間を要す。そのため緊急仮設橋では，現地での部材組み立ての時間短縮，材片数低減を目的として主桁の連結方式には短締め形式の引張ボルト接合を採用した。図一6，写真一1に開発した連結部構造を示す。

さらに，主桁連結部は，主桁をL形に切欠きフランジをつけた「載せかけ構造」とした。これは，



写真一1 実物大模型実験供試体

組立時の転倒防止用の支えやボルトの仮締めがなくても安定した連結施工ができることに加え、緊急橋が架設される大地震発生直後では余震の頻発が想定されるため、ボルトの挿入や締め付けが行えなくとも桁を仮置きしてクレーンから解放できることを考慮したものである。高力ボルト引張接合方式としたことで摩擦接合方式に比べボルト本数は約40%に削減された。

本橋は、緊急時の短期での利用に限られることを前提に、応力的に最も厳しい60mでの架橋時には、ボルト本数の増加を抑えるために道路橋ではまだ一般化していない超高力ボルト<sup>1)</sup>S14Tの防錆処理ボルトを試験的に採用することとした。なお60m未満の短い橋長で使う場合など架橋形態によっては通常のS10Tの高力ボルトでも構造は成立する。

## (2) 弾塑性FEM解析と実物大模型実験による性能確認

連結部は、新しい多列式引張接合方式であり設計手法は確立されてない。また試験的にS14Tの超高力ボルトを採用する場合を設定したことから、連結部の開発にあたっては部材製作や組立施工時の精度管理の条件まで詳細に反映した性能検証を解析と実験の両方で行った。

### 1) 弾塑性FEM解析による連結部の設計

連結部の設計にあたっては、全橋をモデル化し

たFEM解析モデルを用いた弾塑性解析を実施した。解析モデルでは、End.PLやボルト、補強リブなどを忠実に再現するとともに、着目する引張接合面のボルト導入軸力、鋼板部材間、ボルトとの接触を考慮した(図-7)。

引張接合の設計では“てこ反力”を考慮する必要がある。また、主桁のウェブに対称に多列のボルトを配置する連結では連結部接触面の剛性が一律でないと荷重伝達時にボルト軸力が均等に分担されない。本橋では、てこ反力によるボルト軸力の変動と各ボルトへの分担を考慮したボルト配置とするため、連結部のEnd.PLをフランジ端より突出させることとした。また、主桁部材としての連結部からフランジへの荷重伝達と、製作時の溶接変形防止のため、補剛材、補強リブを配置し連結部の剛性を確保した。以上を採用し、実橋の断面力で設計した結果、連結部のEnd.PL厚は38mmとなった。

### 2) 実物大模型実験

本連結構造のような特殊な構造では、解析では再現が困難な、連結部の溶接変形による初期不整なども継手性能に複雑に影響する可能性があると考えられたことから、実物大の模型桁による図-8に示す4点曲げ載荷実験を実施した。

連結部の製作・施工誤差、ボルト強度に着目し、表-3に示す3ケースの載荷実験を実施した。End.PLの平坦性は、ストレッチゲージを

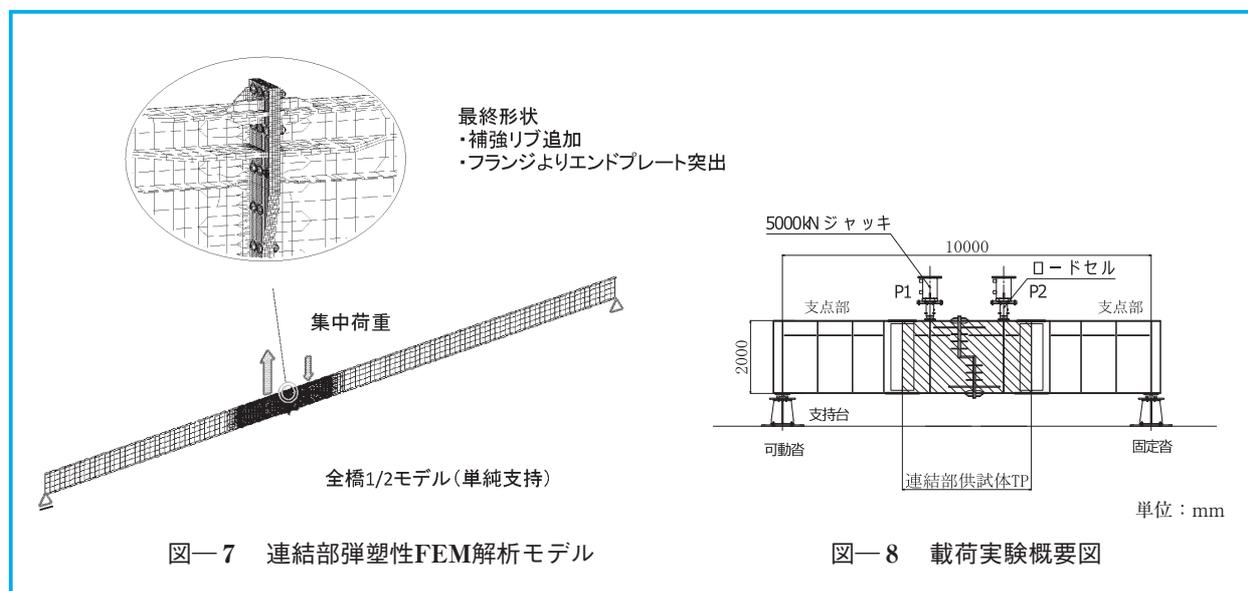


図-7 連結部弾塑性FEM解析モデル

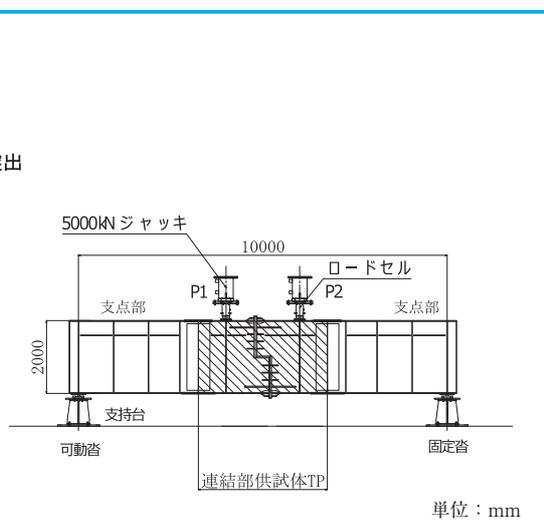


図-8 載荷実験概要図

表—3 荷重実験ケース

ケース	供試体	End.PL 平坦性	連結部 高力ボルト	P1荷重kN (荷重倍率)	単調 荷重数
Case-1	TP-1	0.5mm 以下	M24S14T	3323(1.9)	1
Case-2	TP-2	0.9mm 以下	M24S10T	2404(1.4)	3
Case-3	TP-2	以下	M24S14T	2500(1.4)	4

End.PL表面に押し当て、End.PLとストレッチゲージとの隙間を複数点計測することにより確認した。また、表中の荷重倍率は設計死活荷重に対する荷重荷重の比率である。荷重設備の関係により、荷重試験は弾性範囲内で実施した。

実橋で連結部に作用する曲げモーメントとせん断力の比率を再現するため、2台のジャッキ荷重比率を維持した状態で所定の荷重まで増大させる単調荷重を繰り返し、変位、ボルト軸力、鋼ひずみなどの諸量を各センサーにより計測した。本実験の荷重荷重は架設時の1.4~1.8倍でありラフテレーンクレーン荷重時曲げモーメントの2.6~4.4倍に相当する。

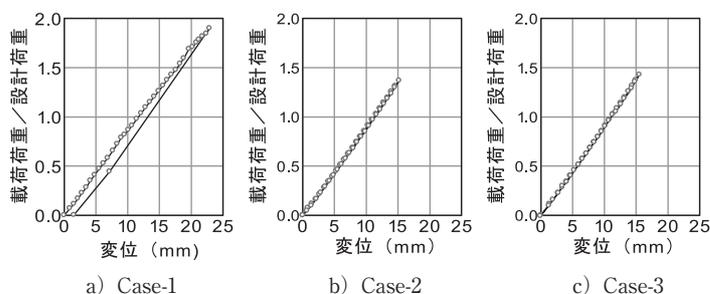
支間中央に配置した変位計による荷重-変位関係を図—9に示す。荷重とたわみの関係は線形関係を保持している。

残留たわみは、荷重装置の変形が約5mm生じたCase-1では1.6mm、残りのCase-2, 3では0.6mm程度と、ほとんど発生しておらず弾性域の挙動を示している。

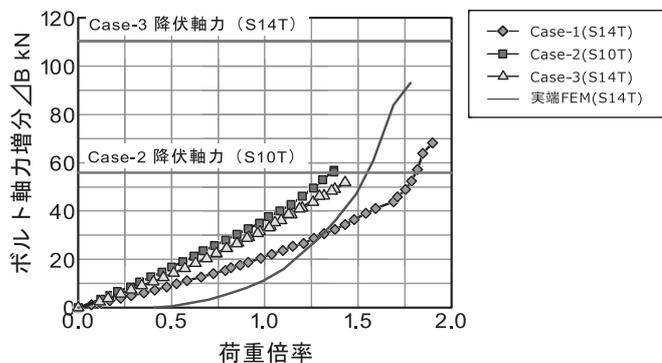
連結部の引張側に配置したボルト軸力増分と荷重倍率の関係において“てこ反力”による軸力増分が最も大きかったボルトの結果を図—10に示す。この図は、荷重開始時の軸力を0として表示している。ボルト軸力はボルト軸部に貼り付けたひずみゲージにより測定した。荷重直後からボルト軸力は変動しており、End.PLの平坦性が異なるCase-1と2, 3では変動に差異が生じていることが確認できる。S10Tボルトを用いたCase-2では、荷重倍率1.4程度で降伏域に到達した。S14Tの超高力ボルトを用いたCase-1, 3は、Case-2よりも降伏軸力が向上するため安全性に余裕がある結果となった。FEM解析と実験では乖離が見られるが、実験供試体は実際の製作で想定される誤差を考慮したものとなっており、End.PLの密着が一樣でなく、その影響が現れたものと考えられる。End.PLの平坦性はボルト軸力の変動に影響するため、製作時に十分な精度管理が不可欠であることが確認された。

また、いずれのボルトも荷重前、荷重後の軸力の差は各ケースとも最大で10kN以下と僅かであり、塑性ひずみは生じていないことを確認している。また、他の連結部の離間量、鋼ひずみなどの計測項目で、降伏、破壊に関係する変状は確認できなかった。

なお、本接合構造の特性については、データ数も少なくボルト配置、補強リブ配置、載せか



図—9 支間中央における荷重変位関係



図—10 荷重荷重に伴うボルト軸力増分の比較

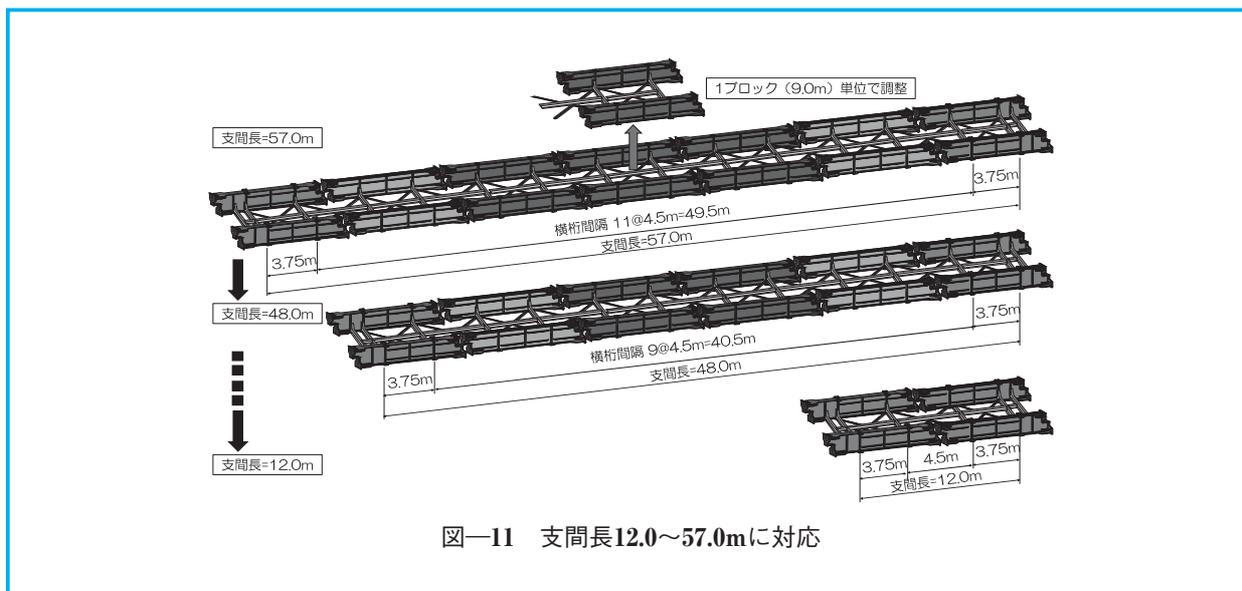


図-11 支間長12.0～57.0mに対応

け構造の幾何形状などについては合理化できる可能性もあると考えられ、今後の課題である。

### 5. 緊急仮設橋の架設概要

先述の開発コンセプトのとおり、本橋の開発では複数の支間長及び架設工法に対応できることを目指した。この検討に際しては、特に以下に留意して進めることとした。

- ① 多様な支間長に対応できる構造の選定
- ② 作業の特殊性が低く、時間が短い工法の選定
- ③ 多様な架設工法・順序に対応した構造詳細の配慮

これらについて、以下に詳述する。

#### (1) 多様な支間長に対応できる構造の選定

主桁は断面と連結部構造を共通化するとともに基本ブロック長を9.0mに統一した。これにより、中間ブロックの個数を変化させ、12.0～57.0mの間で9.0m単位に支間長を変化させることが可能となり、結果的に合計6種類の支間長への対応が可能となった(図-11)。

#### (2) 作業の特殊性が低く、時間が短い工法の選定

採用頻度の高い6種類の架設工法について、作業の特殊性と架設時間に着目して比較を行った(表-4)。この結果、上位3工種と下位3工種で大きな差が見られたため、上位3工種のクレーン一括架設工法、クレーンベント工法、送出し工法を本橋の架設工法として採用することとした。

#### (3) 多様な架設工法・順序に対応した構造詳細の配慮

現場連結部について、切欠きを設けた構造としたため、新規架設ブロックを架設済みブロックの切欠き部に載せかけて施工することが可能となった。これにより、1方向からのクレーン架設、及

表-4 工法選定

評価点数→◎：4点、○3点、△2点、▲1点

架設工法	A	B	各工法別評価 A×B
	架設作業の特殊性 ◎低い→×高い	架設に伴う時間 ◎短い→×長い	
クレーン一括架設工法	○3	◎4	12 適用
クレーンベント工法	○3	○3	9 適用
送出し工法	△2	○3	6 適用
ケーブルクレーンベント併用工法	▲1	△2	2 不採用
ケーブルクレーン直吊り工法	▲1	▲1	1 不採用
ケーブルクレーン斜吊り工法	▲1	▲1	1 不採用

び送出し架設においては、施工時間の短縮と施工の容易性を確保することができた（図-12）。

一方で、切欠きの存在により架設方向が限定されるため、2方向（両桁端）からクレーン架設を行う場合において、最終ブロックの落とし込み施工が困難となる問題があった。

これについては、一般ブロックの切欠き形状をZ型としているのに対し、図-13に示すように、落とし込みブロックのみ切欠き形状をT型とすることで対応した。

このブロックは送出し架設時において主桁後方に連結し、カウンターウェイトを支持する架設桁としても使用する。

なお、架設工法に応じ切欠き方向を逆転させるため、各ブロックは反転しての使用が可能な設計とした。中間ブロックは左右反転、支点ブロックは左右反転、上下反転、及び左右・上下反転に対応している。これにより、主桁ブロックは4種類に集約され、有意な方向性を持つ構造となった。本橋の架設時において、各ブロックの種類と向き

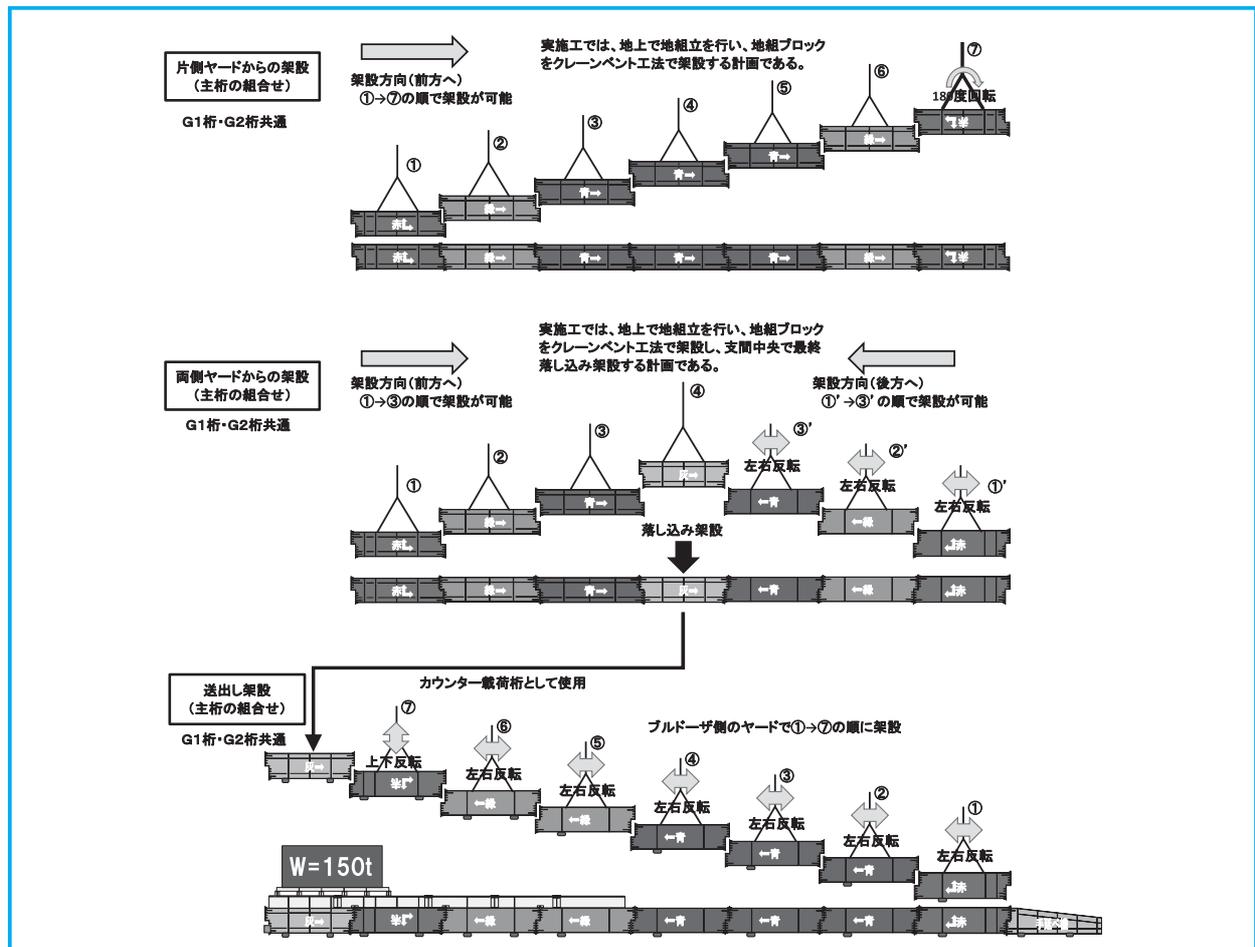


図-12 60m級緊急仮設橋 主桁ブロック組合せ図

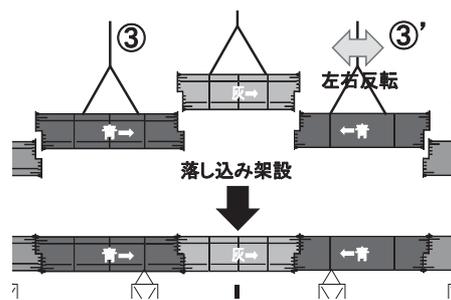
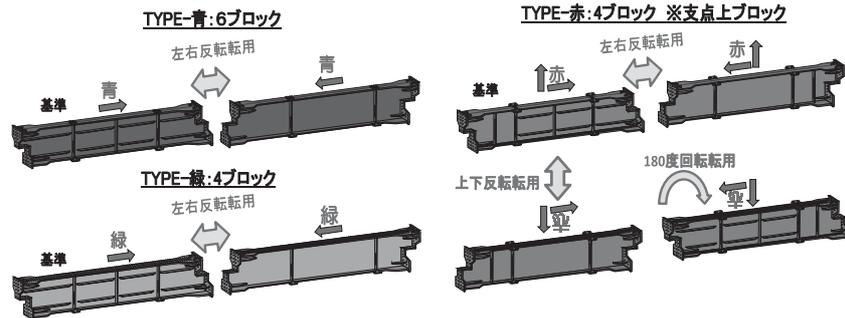


図-13 落とし込みブロック (T型)



図一14 主桁ブロックの反転使用要領

を即座に認識可能とするため、ブロックの種類は塗装を4色に塗り分けて分類し、方向性については腹板側面に矢印を明示することとした（図一14）。

## 6. 緊急仮設橋の試験施工

施工試験は、60m級緊急仮設橋の送出し架設パターンの主桁組合せとし、災害時の緊急施工を想定した架設手法で桁を組み立て、本体部はボルト本締めまで行った。

また、後方のカウンター載荷桁部は近接箇所において仮組み立てした（写真一2）。桁架設完了後、床版パネル及び両側の仮設スロープを設置し、設計活荷重（25t吊ラフテレーンクレーン）の走行試験を実施した（写真一3）。

設計・架設計画において課題であった下記項目について、試験施工により検証を行った。

- ① 緊急仮設橋の桁組み立て所要時間の検証
- ② 災害時を想定した緊急施工での桁組み立て精度の検証
- ③ 死荷重及び設計活荷重載荷時の性能検証

### (1) 桁組立手順

緊急施工手法は、連結部調整用のドリフトピンを使用せず、ヨセポンチによる連結部の簡易な孔合せで桁を組み立てた。桁組立手順は、図一15の要領で実施した。



写真一2 全橋組み立て風景

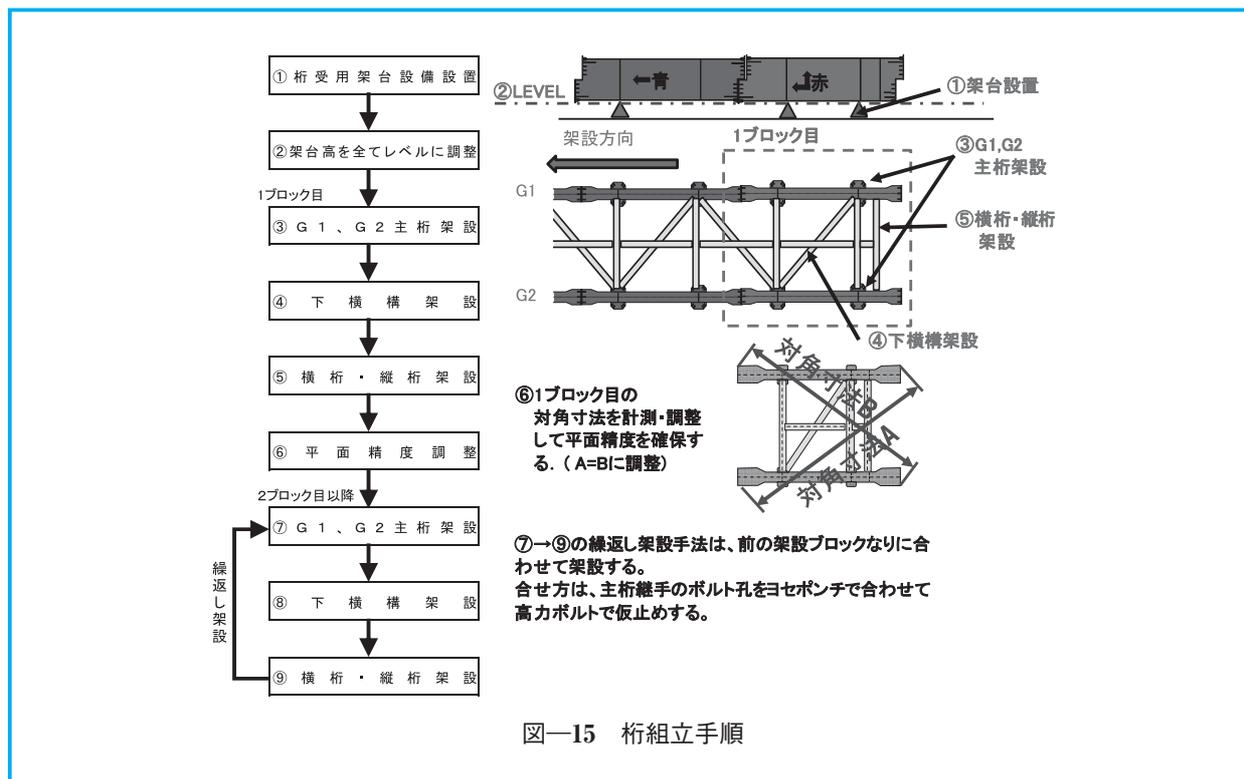


写真一3 走行試験風景

### (2) 桁組み立て所要時間

架設計画でシミュレーションした桁組み立てにおける各工種の所要時間に対する実際の所要時間を表一5で比較する。

本体桁組み立て、ボルト本締め、床版パネル設置については、計画時間以内での施工が立証できた。しかし、後方部のカウンター載荷桁部の組み立てについては、小物部材が多く、複雑な部材構造となっており、簡素化の余地があるものと考えられる。



表—5 架設所要時間対比表

工種	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
本体桁鉛立	計画: 10時間										結果: 8時間														計画より2時間短縮
	計画: 6時間※締付機械4台										結果: 6時間※締付機械2台														
本体桁高力ボルト本締め	計画: 6時間										結果: 6時間														計画より4時間短縮
	計画: 6時間										結果: 2時間														
カウンター載荷桁補強桁の組立	計画: 6時間										結果: 6時間														計画より4時間短縮
アルミ床版設置	計画: 6時間										結果: 2時間														

(3) 桁組み立て精度結果

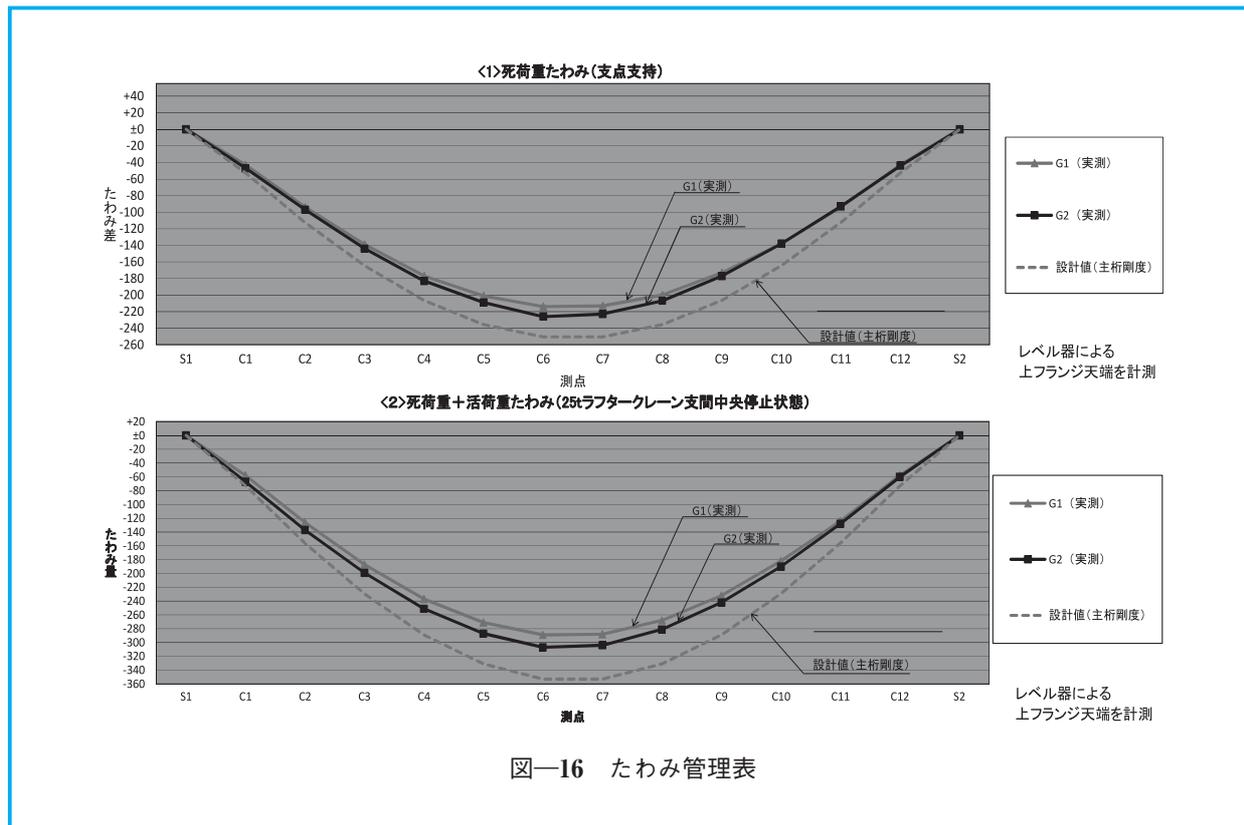
桁架設精度の初期不整として、FEM解析にて想定した桁の通り誤差（支間中央70mm）及び主桁の鉛直度（±5mm）に対し、通り誤差は最大5mm、主桁の鉛直度誤差は最大±4mmという結果が得られた。その他の主桁間隔、橋長・支間長についても、国の出来形管理基準を十分満たすことが確認できた。これにより、今回の組立手順・要領で桁組み立てた結果、出来形精度を十分確保できることが立証できた。

(4) 桁のたわみ及び走行試験の結果

支点支持状態における死荷重たわみ及び25t吊

ラフテレーンクレーン支間中央載荷時の死荷重＋活荷重たわみを計測した結果を図—16に示す。死荷重及び活荷重たわみ共に、設計たわみ量の90%程度となった。この要因は、支点部における回転拘束と縦桁等の剛性の影響であると考えられる。

25t吊ラフテレーンクレーン走行中の橋梁状態を目視確認した結果、主桁継手部における隙間の発生や異音等は一切なかった。また、活荷重載荷前後における桁断面の変形状態と、たわみ量を計測した結果、両者共に活荷重載荷前後の計測値に差は生じず、完全に元の死荷重状態の形状に戻ることを確認した。



(5) 試験施工のまとめ

本試験施工により、桁組立手順及び桁組み立てタイムスケジュールの妥当性を確認できた。また、設計活荷重の走行試験により、橋梁としての機能を十分保有することが確認できた。

7. おわりに

以上、緊急仮設橋の開発から、設計、施工、連結部模型実験、試験施工について、報告した。

現在、緊急仮設橋は国土交通省近畿地方整備局の紀南河川国道事務所に配備が完了しており、緊急時の対応に備えている。近畿地方整備局としては、更なる合理化を目指し、発展させていきたいと考えている。

最後に本橋の開発にご尽力いただいた、「緊急仮設橋に関する検討委員会」委員各位、ならびに関係各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 玉越, 石尾ほか: 超高力ボルトの橋梁分野への適用に向けた各要因の影響, 土木技術資料, 一財) 土木研究センター, 第55巻第5号, 2013.5
- 2) 日本鋼構造協会: 橋梁用高力ボルト引張接合設計指針, 2004.8
- 3) 茅野牧夫: 道路行政におけるアセットマネジメント・システム適用の実践的研究, 2015

〔プロジェクトデータ〕

橋名: 緊急仮設橋  
 橋長: 16~61m  
 支間長: 12~57m  
 構造形式: 下路式鋼2主桁桁橋  
 設計荷重: 25t吊ラフテレーンクレーン荷重 (総重量 270kN)  
 事業主: 国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所  
 適用示方書: 道路橋示方書・同解説  
 詳細設計: (株) 駒井ハルテック  
 施工: (株) 駒井ハルテック  
 主要材料: SM400, SM490Y, SM570, HTB (S10T), SHTB (S14T), A6061S-T 6  
 工期: 詳細設計・施工 平成26年3月~平成27年3月