

自然災害等により被災した橋梁を代替する応急組立橋の計画・設計

セントラルコンサルタント(株) 酒井 宏紀

論文要旨

本論文は、災害時に緊急輸送路としての機能を確保するため、和歌山河川国道事務所管内における洪水・土砂災害・高潮・津波等により被災した橋梁の代わりに現地で短時間に組立できる応急組立橋の詳細設計内容について述べたものである。管内の緊急輸送路指定の管理橋梁に対し、災害発生時の被災リスク評価を行い、高リスク橋梁を対象とした応急組立橋の活用検討や交通量解析に基づく迂回路の調査を行った。橋梁形式は下路式鋼板桁橋を採用し、主桁ブロックの組合せにより支間長10~60mに対応可能な構造とした。細部構造として、補強桁を使い分ける主桁構造や載せかけ構造とした横桁形態、それらの添接方法の検討、機能分離型の支承構造や現場での識別を容易にする部材の塗装塗分け等を検討した。また、送出し工法を基本とした架設計画、応急組立橋の部材を保管する保管庫の仕様やQRコードによる部材の識別方法、維持管理に対する摩擦接合面の防錆対策を検討した。

キーワード：下路式鋼板桁橋、被災リスク橋梁、送出し工法、載せかけ構造、QRコード

まえがき

日本は、地理的・地形的な条件から、地震・豪雨・津波等による自然災害が発生しやすい国土となっている。自然災害の激甚化や近い将来に発生が予想される南海トラフ地震等によって被災の恐れのある橋梁に対して、人命救助や孤立地域の解消、被災後の生活に関わる既設橋の仮復旧といった観点から、早期に道路啓開・復旧が可能な仮設橋として、応急組立橋のニーズが高まってきている。

1. はじめに

(1) 応急組立橋の位置付け

災害時に交通上重要な道路の迂回路や被災橋梁の代替路として利用される橋として、表-1に示すような緊急仮設橋、応急組立橋、仮設橋がある。これらは被災後の建設現場により求められる性能が異なる。

表-1 仮設橋の区分と求められる性能

種別	内容
緊急仮設橋 (官)	被災直後の人命救助・輸送・避難の通路確保に特化した形式であり、短期間での架設、安全面は最小限、耐久性は考慮しない条件で計画される。
応急組立橋 (官・民)	被災橋の復旧までの地域物流を支える目的とした形式であり、復旧までの3~5年程度の期間に一般供用するため、安全性、利用性、ある程度の耐久性が求められる。
仮設橋(民)	機能は応急組立橋と概ね同じであるが、メーカー既製品であるため、現地条件や支間長によっては利用が制限される。

(2) 近畿地方整備局管内の配備状況

① 近畿技術事務所

用地内の保管庫に配備される応急組立橋2橋のうち、昭和45年式のものA活荷重対応のため使用しておらず、平成11年式の1橋(※適用支間16~40m)が災害時に貸出されている。

② 紀南河川国道事務所

紀勢線出張所に緊急仮設橋1橋(※適用支間12~57m)が配備されており、管内の緊急災害に備えたものであるため、他機関への貸し出しは行われていない。

(3) 要求性能の整理

本業務の実施に先立ち、設計・施工上の留意点や防災訓練を踏まえた管理・施工上の課題点など、貴重な情報が蓄積されている近畿技術事務所及び紀南河川国道事務所へのヒアリングを実施し、本業務における応急組立橋の要求性能を明確化した。また、応急組立橋を現地に早期に整備して迅速な災害支援につなげることや、様々な架橋条件に適用させて利用性を高めることを目的とした付加機能についても整理し、これは構造細目の工夫により可能な限り達成することを目標とした。

a) ヒアリングの実施内容

設計上の留意点や改善点の把握、災害時の連携等について、ヒアリングを実施した。また、併せて配備済の応急組立橋及び緊急仮設橋に関する資料借用や保管場所の視察を行った。

b)整理した要求性能

①“早期”架設を可能とする設計

応急組立橋の目的が一般供用を考慮するものであるため、緊急仮設橋と同等の迅速性は求めない

②必要なボルト本数の削減

添接部等のボルトの耐用期限や、組立訓練時に使い切りとなり再手配に時間を要することに配慮

③繰り返し利用可能な材料の適用

使い捨てとなる特殊材料は使用せず、資材調達や維持管理の容易性に配慮

④シンプルでメンテナンスしやすい構造

熟練作業の軽減、輸送や架設、設備維持作業の手間を削減

国道 42 号 新広橋 (洪水/橋脚の傾斜・転倒)

国道 42 号 山田橋(旧) (洪水/橋脚の傾斜・転倒)

国道 42 号 海南橋 (津波/浮力, 波圧)

国道 42 号 中津川橋 (津波/浮力, 波圧)

2. 緊急輸送ルート確保の検討

和歌山河川国道事務所管内の橋梁に対する災害別の被災リスク橋梁を整理し、応急組立橋が必要となる箇所を設定の上、緊急輸送ルートや防災拠点等を考慮した災害時啓開ルートとの位置関係を把握することを目的に検討を実施した。

(1)被災リスク橋梁の評価方法と抽出

a)対象とした災害

管内の地理的状況を踏まえ、津波、洪水、土砂災害を対象とした。なお、その他の災害として、高潮は津波評価で代表できること、地震は管内の緊急輸送路の橋梁が耐震対策済であることから対象外とした。

b)被災リスク橋梁の定義

本検討で定義する「被災リスク橋梁」とは、「災害の被災により橋梁の機能が喪失するおそれがある橋梁」とし、管内橋梁の被災リスクを評価した。

c)災害別の評価方法

- ・津波：L2地震動に対する抵抗性の評価
 - 鉛直方向/津波による浮力と上部工重量の対比
 - 水平方向/津波による波圧と支承耐力の対比
- ・洪水：以下の被災パターンによる高リスク橋梁の抽出
 - ①流水圧による橋桁の流出リスク
 - ②護岸浸食による橋台の転倒・傾斜リスク
 - ③河床洗堀による橋脚の転倒・傾斜リスク
- ・土砂災害：わかやま土砂防災マップの特別警戒区域への該当有無

d)災害別被災橋梁の評価

津波、洪水、土砂災害別に被災リスクの評価を行った結果、以下の5橋を被災リスク橋梁と判定した。

国道 24 号 松下橋 (洪水/橋脚の傾斜・転倒)

(2)被災直後における緊急輸送路確保のシミュレーション

図-1に示すように、被災リスク橋梁と災害時の啓開ルートの重ね合わせを行い、橋梁の被災により影響を受ける啓開ルート上に被災リスク橋梁が位置するか確認を行った。その結果、全ての被災リスク橋梁に対して、橋梁が通行不可となった場合も橋梁前後のIC等から重要拠点へのアクセス性が確保できることを確認した。

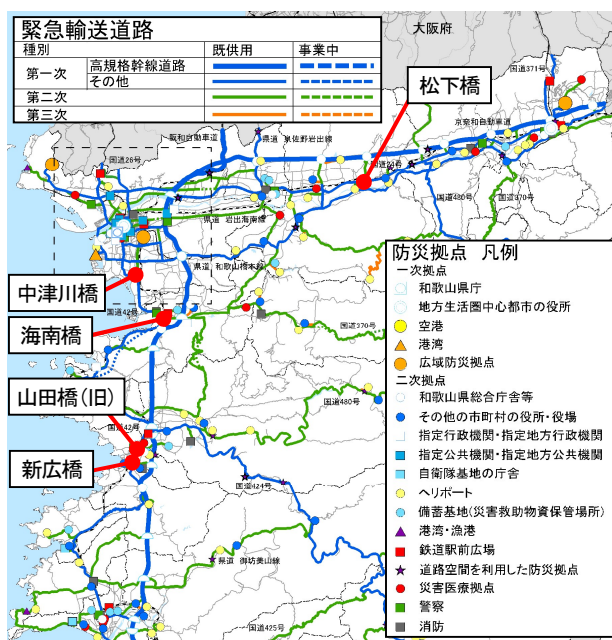


図-1 被災リスク橋梁と啓開ルート

(3)復旧段階における迂回路の調査

a)迂回路の調査

被災リスク橋梁について、被災橋梁の復旧段階において利用が可能な迂回路が確保できるか調査した。

車線数、最小幅員、通行規制の有無、迂回路上の橋梁の評価、沿道の評価を行い、橋梁毎に迂回路調査票を作成した。その結果、条件を満たす迂回路の候補がある橋梁は松下橋及び中津川橋の2橋であった。

b)迂回路候補に対する交通量解析

抽出した迂回路候補について、交通量解析に基づく混雑度評価を行い、現橋復旧までの長期利用が可能か検証を行った。検証方法に用いる交通量データは、H27道路交通センサス断面交通量とし、被災後の復旧期間であるため、通過交通は高規格道路で負担する条件として地域内交通量に着目した交通量解析による混雑度把握を行った。混雑度

は1.25を基準とし、1.25未満であれば、長期利用可能な迂回路と判断する。

交通量解析の結果、候補の迂回路は混雑度1.25を超え、慢性的な渋滞が発生することが確認できたため、代替可能な迂回路はないと判断され、応急組立橋の整備が必要となる結果が得られた。

3. 橋梁形式及び架設工法の検討

(1) 設計条件の整理

設計条件を表-2に示す。

表-2 設計条件

項目	内容	
適用基準	H24.3 道路橋示方書・同解説 H24.4 設計便覧(案)	
道路条件	道路規格 第3種第4級相当(一般国道の最低限の規格)	
	設計速度 V=50km/h(応急組立橋供用中)	
	支間長 L=10~60m程度	
	幅員構成 W=6.5m(0.50m+2.75m+2.75m+0.50m)	
	防護柵 B種の車両用防護柵(ガードレール)	
	橋面処理 横断勾配はLEVEL すべり止めの薄層舗装(t=6mm)	
7フーチ 取付	6%を標準とする 縦断曲線の設置を考慮しない	
荷重条件	活荷重 B活荷重(衝撃考慮)、群集荷重	
	地震荷重 考慮する(KH=0.20、KV=0)	
	たわみ 許容たわみL/500	
施工条件	輸送条件 10t積トラック(特認を考慮する)を基本	
	輸送ルート 高規格道路IC →第一次(第二次)緊急輸送路【県管理国道】	
	輸送可能 部材寸法	高さ: H=2650mm
		幅: B=2700mm
		長さ: L=9670mm
	架設条件 25t吊フックでの架設または送出し工法	
現地想定 橋脚無視、橋台については利用可能		

(2) 橋梁形式の比較対象橋種の抽出

応急組立橋の「軽量」、「繰り返し利用可能」、「輸送の重量制限」等の要求事項を満たすため、「鋼橋」を基本とし、以下の4案を比較対象橋種とした。

- ・第1案: 下路式鋼鈹桁橋(紀南河川国道事務所配備)
- ・第2案: 下路式鋼箱桁橋(設計便覧(案)より抽出)
- ・第3案: 下路式ワーレントラス橋(近畿技術事務所配備)
- ・第4案: 上路式ドラクガ-橋(近畿技術事務所配備)

(3) 架設工法の設定

a) 架設工法の検討対象と優先度

応急組立橋の設計コンセプトである「早期架設」に加え、任意の地形や交差物件で架設可能なことを満足させる条

件で、特殊な施工重機を必要とする工法を避けた架設工法の優先順位を検討した。その結果、交差河川への影響がなく小型重機で架設可能な「送出し工法」を最優先で選定し、次点で「クレーン架設(一括架設)」、やむを得ない場合に「クレーン架設(ペント併用)」を選定する方針とした。

b) 比較案に応じた架設工法の設定

最大支間長60mを対象とした比較検討案に適用可能な架設工法の整理を行った結果、鈹桁・箱桁系は「送出し工法(手延べ桁)」、トラス系は「クレーン架設(ペント併用)」とした。

c) 送出し架設の概要

送出し架設は、図-2に示すような送出しヤードの整備や送出し装置を配置した後、手延べ桁、主桁の組立を行い、順次送り出しを行う。手延べ桁は対岸ヤードに到達した後は、クレーンにより順次撤去する。桁が所定の位置まで送り出された後は、必要に応じ横取り移動のうえ、ジャッキにより降下させる。なお、送出し架設の最大片持ち時に転倒に対する安全率(1.2)を確保するため、カウンターウェイト(覆工板及び大型土嚢)を主桁端部に載荷するものとした。

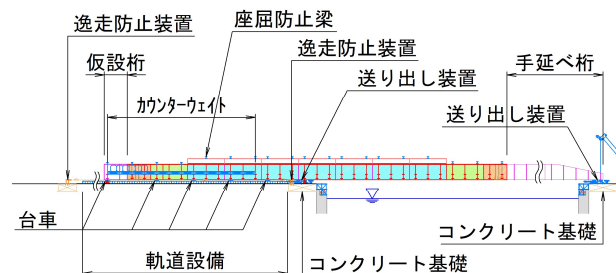


図-2 送出し架設の設備

(4) 橋梁形式の選定

前述した比較対象橋種に対し、比較検討を行った結果を表-3に示すが、以下の理由より総合評価で優位となる「第1案: 下路式鋼鈹桁橋」を採用するものとした。

<理由>

- ・第2案の鋼箱桁案は、鋼鈹桁案と比較して鋼重が大きく(15%増)経済性に劣るほか、主桁添接に箱桁内作業が出るなど施工性にも劣り、鈹桁案に対して優位性に乏しいことから推奨し難い。
- ・第3案、第4案のトラス系橋梁は、クレーン架設(ペント併用)となるため、河川内に中間杭橋脚を設置する必要があり河川環境(治水、水生生物)への影響があること、クローラクレーンの分解組立ヤードの確保が必要なことから推奨し難い。

表-3 橋梁形式比較表

比較案	側面図	総合評価					
		経済性	構造的性	施工性	維持管理性	景観性環境性	合計
第1案 下路式 鋼板桁橋		(50)	(15)	(15)	(10)	(10)	(100)
		40.7	13	15	5	7	80.7
第2案 下路式 鋼箱桁橋		(50)	(15)	(15)	(10)	(10)	(100)
		31.6	13	13	5	8	70.6
第3案 下路式 ワイルドス橋		(50)	(15)	(15)	(10)	(10)	(100)
		44.5	8	4	8	6	70.5
第4案 上路式 トラス-ガー橋		(50)	(15)	(15)	(10)	(10)	(100)
		50.0	8	3	5	4	70.0

4. 細部構造の検討

(1) 主構造の検討

a) 主桁の断面構成

長スパンの場合は大きな主桁断面を必要とするが、中～小スパンの場合は必要な主桁断面は小さくて済むため、図-3に示すような「主桁+補強桁」の断面構造を支間に応じて使い分ける方針とした。

- パターン①：支間 42m 超・・・主桁+補強桁
- パターン②：支間 42m 以下・・・主桁断面のみ

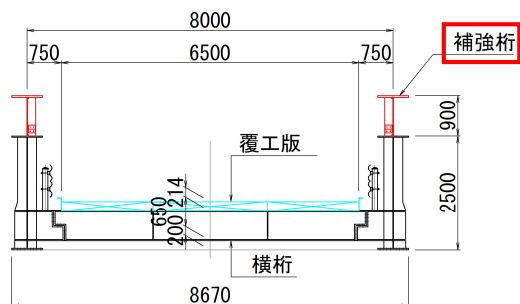


図-3 主桁断面図

b) 補強桁の形状

主桁との接合方法を含め、表-4に示す I 断面(フランジ接合)と T 断面(ウェブ接合)の比較検討を行い、経済性に優れ、ボルト本数を削減できる T 断面を採用した。

(2) 接合部の検討

a) 主桁添接部

主桁同士の接合方法について、表-5に示す3案比較を行った結果、入手難度が高い特殊ボルトを使用せず、ボルト本数の削減が可能な第2案：摩擦接合(WEB 添接板分割)を採用した。

b) 横桁添接部

応急組立橋は限定されたスペースに設置することになるため、主桁の間隔は最小限とする必要がある。

表-4 主桁と補強桁の添接方法の比較

断面図	第1案：I断面	第2案：T断面
鋼重 (17'ロック6m 当り)	主桁：4.54t 補強桁：3.37t 合計：7.91t (1.22)	主桁：4.57t 補強桁：1.91t 合計：6.49t (1.00)
	接合ボルト 本数 HTB M22 76本 (1.52)	HTB M22 50本 (1.00)
評価	△	○採用

表-5 主桁添接方法の比較

ボルト配置図 (WEB側)	第1案 摩擦接合 (カト'ライン仕様)	第2案 摩擦接合 (WEB添接板分割)	第3案 引張接合 (載せかけ構造)
ボルト 諸元 (1本/本)	規格 M22 F10T 補強材：172本 主桁：408本 合計：580本	規格 M22 F10T 補強材：160本 主桁：328本 合計：460本	規格 M24 SHTBHX 補強材：132本 主桁：150本 合計：280本
	評価 ・ボルト本数が多い ・WEB添接板が大きく 施工性に劣る	・標準的なボルトで 入手が容易 ・ボルト本数が第1案と 比べ約20%低減	・ボルト本数は第2案と 比べ約40%低減 ・特殊ボルトのため入手 難易度が高い
	○	◎採用	△

通常、横桁上面に添接板が突出する標準的なボルト接合

(摩擦接合)の場合、これを避けてガードレール支柱や地覆、床版を配置する必要性から桁間隔を広くする必要があるが、図-4に示すような載せかけ構造として引張接合の形態を計画することで、幅員抑制が可能なコンパクトな構造を採用した。

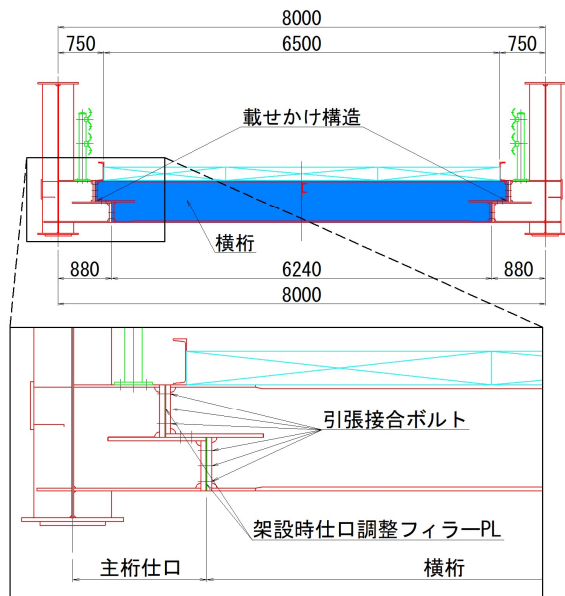


図-4 横桁添接構造

(3) 支承構造の検討

応急組立橋は単純桁であるため、支承条件は固定・可動を基本とし、図-5に示す既設橋台上に地震力を負担させない機能分離型を採用した。

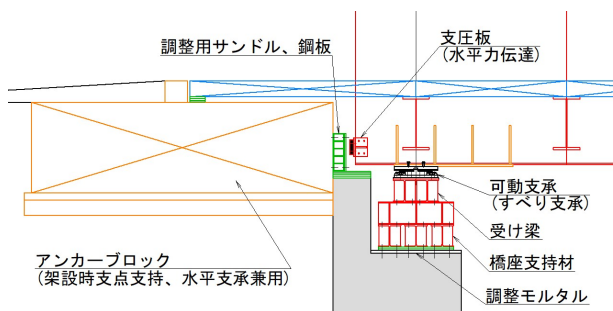


図-5 支承構造

(4) 歩道の追加検討

a) 検討概要

応急組立橋は被災橋梁復旧までの長期間の供用を想定しており、地域の歩道供用の状況に応じて歩道を確保できるように、図-6に示す着脱式の歩道構造を検討した。

b) 検討結果

- 歩道幅員：1.5m(実績調査より必要な最小幅)
- 構造形態：ブラケット、歩廊、高欄で構成される構造
- 主構造への影響

60m 支間案で歩道設置による主構造への影響を検討した結果、鋼重の増加は31.2t(本体12.3t、歩道部18.9t)であり、フランジ厚の増加は $t=11\sim 13\text{mm}$ であった。主桁のフランジ添接部の計算についても、ボルト列数が規定値の8列に収まるため、構造的に成立することを確認し、架設規模を左右するものではないことを確認した。

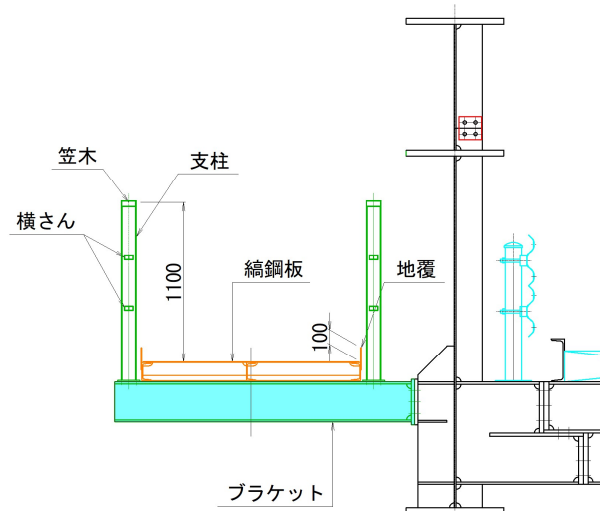


図-6 歩道及び主桁との接合構造

(5) ブロック分割と適用支間長

10~60mの支間長に対応可能な構造とするため、端部ブロック(3.8m)、調整ブロック(2, 4, 6m)、中間ブロック(6m)の組合せを検討し、2mピッチの支間長調整が行える構造とした。さらに、端部ブロックの支点部には、図-7に示すような0.5m間隔で支承受取部と支点上補剛材を配置し、0.5m間隔での支間長調整を可能とした。

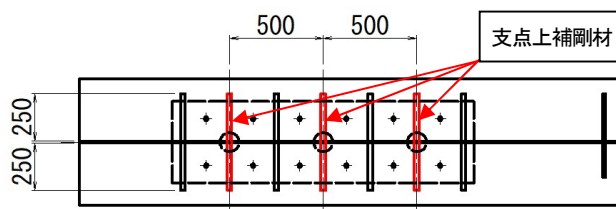


図-7 端部ブロックの支点部調整処理

(6) 塗装の塗分け

図-8に示すように、部材を任意に着色して現場での識別に有効な塗装仕様を採用した。また、送出し架設で使用する手延べ桁等の仮設材も赤色での着色を計画した。

5. 部材の保管方法

応急組立橋は部材数及び類似部材が多く、管理や識別が煩雑となることが想定され、災害時に円滑な対応を行うことができる仕組みが求められたことから、部材の保管方法

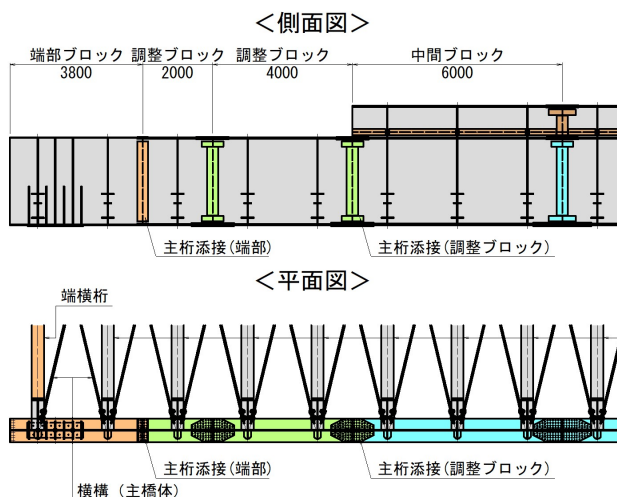


図-8 塗装塗分け図

について検討した。

(1) 保管庫の仕様

近畿地方整備局管内の既往の保管庫と同様の構造である屋根開閉式の保管庫及びコンクリート基礎構造を基本とし、必要部材数に応じて保管庫の規模を設定した。

通路幅は作業員の移動に配慮し、外周部 0.6m、部材間 0.5mとし、保管庫内の部材配置方法は以下の方針とした。

①重量物は、25t ラフタークレーンで保管庫外より吊上げ可能なように、吊上げヤード側に配置

②保管庫長手方向両端部は、屋根解放時にフレームが残存するため、当該箇所には軽量の部材の配置や長手部材の重心位置を避けた配置

③同系統の部材は、極力隣接させて配置

なお、工事着手までに手配が可能なリース材等は保管物の対象外とした。

図-9 に計画した保管庫の平面図を示すが、保管庫の平面規模は 39.15m×18.59m とした。

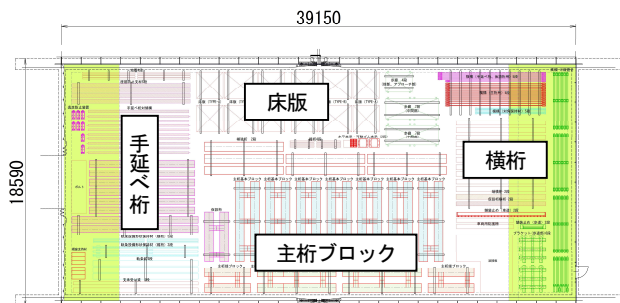


図-9 保管庫の部材配置と平面規模

(2) 部材の識別方法

a) 検討概要

部材数が多い応急組立橋は、現場内の仮置き時における

部材の識別や保管庫に戻す位置がわからなくなる問題点が挙げられる。そこで、部材に QR コードを貼付け、スマートフォン等で識別する方法を検討した。

b) 検討結果

保管部材毎に QR コードを作成し、一覧表に整理した。表示箇所は降雨等の影響を直接受けず、容易に確認できる箇所とし、QR コードを印字したシールを塗装した部材表面に貼りつけ、表面をエポキシ樹脂(無色)でコーティングして劣化や損傷を防止するものとした。また、表示数は部材長 3m 以上で 2 箇所、部材長 3m 未満で 1 箇所とし、表示サイズは標準部で 10cm×10cm、部材幅 12cm 未満で 2cm×2cm とした。

(3) 摩擦接合面の防錆対策

応急組立橋の主部材は塗装仕様であるが、高力ボルトの摩擦接合面(桁の添接部)は工場製作時に無機ジンクリッチペイントを行った後は無処理となる。摩擦接合面の防錆機能が失われると、錆が発生して所定のすべり係数が確保できなくなるため、施工前に錆の除去が必要となり迅速な出荷作業を行うことができなくなる。

そこで、表-6 に示す 3 案比較を行い、優位性の高い第 2 案：防錆紙梱包を採用するものとした。

表-6 摩擦接合面の防錆対策比較表

項目	第1案	第2案	第3案
	外面塗装 (被覆/強)	防錆紙梱包 (被覆/弱)	除湿器による 湿度管理 (環境維持)
案概要	製作時：外面塗装 出荷時：ブラスト処理	防錆紙で包み、 密封包装	工場用の大型 除湿器を 保管庫内に設置
保管庫との 相性	◎ 問題なし	◎ 問題なし	▲ 密閉性に課題有
防錆の 信頼性	◎ 問題なし	◎ 精密機械で実績有	△ 容積が大きすぎる
耐久性	◎ 一般塗装部と同等	○ 1~3年	△ 要メンテナンス
想定コスト	○ 外面塗装+ブラスト	○ 16,500円/100m ² +梱包・養生費	△ メンテ+電気代
出荷の 迅速性	▲ 要ブラスト	◎ 剥がすだけ	◎ 対策不要
維持管理の 煩雑さ	◎ 不要	△ 3年毎の更新必要	○ 機器のメンテナンスが必要
総合評価	○	◎	△

あとがき

応急組立橋は全国的に整備が進められており、同様の業務が多数存在する状況にある。本論文で述べた各事務所へのヒアリングのように、既存の蓄積された情報を水平展開し、頻発する自然災害に対し、本論文の内容の有効活用を含め、より良いものが今後計画されることを期待する。