

「用倉大橋」を支えるシステム技術

Yohkura Bridge Constructed by Integrating Japanese and US Bridge Engineering Systems

○飯村 豊

IIMURA Yutaka

博（農） 宮崎県木材利用技術センター （〒885-0037 都城市花繰町 21-2）

ABSTRACT Located at the Hiroshima Prefectural Central Wood Park, the Yohkura bridge is a cable stayed timber bridge. It has a 145m long span with a 77m clear center span designed with Douglas-Fir Glulam parallel chord truss sections. Built in 1992, the bridge is one of the world's largest vehicle timber bridges and supports an equivalent TL-14 loading. In October 2006 (14 years after its construction), first replacement of some bridge components, including hand rails, was conducted and no deterioration of the trusses was detected. This showed the designed structural performance of the bridge that was realized through the integration of US timber bridge engineering and Japanese construction technology of cable stayed bridges and Glulam engineering.

Keywords : 斜張橋、ベイマツ、集成材トラス、システム技術融合、PM 手法
cable-stayed bridge, Douglas-fir, glulam truss, integration of bridge engineering system, Project Management

はじめに

「用倉大橋」は 1992 年に広島県立中央森林公園内に建設された木造斜張橋で、ベイマツ集成材トラスを補剛桁とする TL-14 の車道橋（中央径間 77.0m、全長 145.0m）である。当時としては世界的に見ても長大橋と呼べる挑戦的な建設プロジェクトであった。未経験の長大橋領域となる木橋建設プロジェクトを当初の計画通り性能面での目標達成に導いたのは、ハイリスクを分散させるためプロジェクトマネジメント（以下 PM）手法の下で、トラス部材の設計製造の企画から維持保全に至るまで米国のティンバーブリッジ技術と国内の斜張橋技術・集成材技術を効率的に技術融合して構築されたシステム技術であった（写真 1 参照）。

架設から 14 年が経過した昨年 10 月、第 30 回全国育樹祭を前に補修が実施されたが、その際本橋のシステム技術の中心となったトラス構造部分には劣化が生じていないことが第三者によって明らかにされた。ここでは、当時このプロジェクトに（三井木材工業株式会社（以下三井木材）在職中に）携わった者として、ベイマツ集成材トラスを中心に、用倉大橋の企画から維持管理に至るまでプロジェクト全体を通じて重要な役割を果たしたシステム技術について報告する。

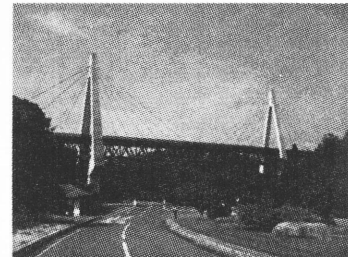


写真 1 用倉大橋（2006 年 8 月）

1. 用倉大橋の概要

用倉大橋は、広島県林務部の構想に基づき 1992 年 10 月に広島県立中央森林公園内のサイクリングロードに架設された TL-14 の設計荷重による木造の道路橋（中央径間 77.0m、全長 145.0m）である（図 1）。1994 年に広島で開催された「第 12 回アジア競技大会」の自転車競技個人ロードの会場に

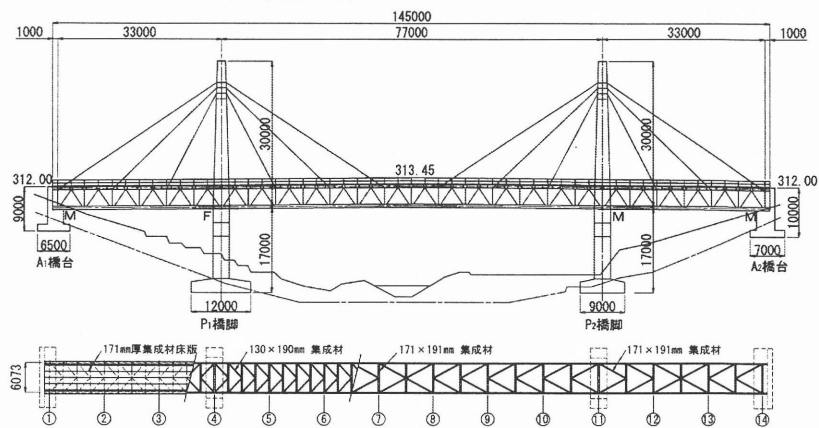


図 1 用倉大橋の一般図

もなった。用倉大橋の概要と設計条件を表1に示す¹⁾。

表1 用倉大橋の概要と設計

概 要	
名 称	用倉大橋
所在地	広島県三原市本郷町
発注者	広島県
設計者	広建コンサルタンツ
設計委託料	6,400万円
施工者	上部工製作が三井木材工業(技術指導:米Western Wood Structure 社)、上部工架設と下部工工事が栗本
施工期間	1991年7月~92年10月
工事費	6億4,800万円
設計条件	
橋の等級	二等橋(TL-14)
形 式	3径間連続斜張橋
設計基準風速	37m/秒
衝撃係数	0.25

2. 広島県の構想

アジア競技大会の開催を5年後に控えた1989年、広島県は開催地の県立中央森林公園内に木造長大橋を建設する構想を暖めていた。構想では県の地域材であるベイマツ材を景観材料として(橋梁用途に)挑戦的¹⁾に使うことで新しい木材利用法のPR効果を高め、木材の需要拡大、利用普及につなげる狙いがあった²⁾。そのため広島県が木造長大橋提案者に具体的に挙げた要件には、アジア競技大会などを通じて広島県の木材利用に取り組む姿勢を示し、話題性¹⁾も提供するシンボルの一つとして1) アジア(世界)に誇れる規模である、2) ベイマツが全て露出される、3) 長期間の供用に耐えることを実証する、4) 県内森林資源であるスギとアカマツも適所に使う、5) 企画から維持管理まで協力できること、などが含まれていた。

3. PM手法による企画

3. 1 PM手法の利用

この構想が立案された1989年、三井木材は広島県から長大橋に関する問い合わせを受けて企画書を提示することになった。当時、国産技術による近代木橋の実績は10橋にも達しておらず、新たな木橋の取り組みはどれも試行的な面を否定できない状況であった²⁾。そうしたなか、三井木材は、1984年より三井物産と共に米国のティンバーエンジニアリング会社ウエスタン・ウッド・ストラクチャー(以下WWS)と技術提携を結びんでおり、既にベイマツ集成材によるドームを建設していたほか、ティンバーブリッジなど橋梁用途への取引も開始するなどWWSのシステム技術を受け入れながら5年にわたる経験を積み重ねていた。そのためWWSの力を借りながら本橋を扱うことは可能と判断された。

それでも未知の領域への挑戦に対してリスクな取り組みであるとの批判をかかわすには、ゼロベースから10年後、20年後を見据えてプロジェクトを立ち上げ、維持管理プログラムまで含めてシステムとして運用できることを示す必要があった。そこでハイリスクを分散させるために採用したのがPM手法であった。

PM手法の特徴はプロジェクトを進める上で、スコープ、タイム、コスト、品質、組織、コミュニケーション、リスクおよび調達の8つの判断基準を設けている点にある。PMの業務範囲は通常のコンストラクションマネジメント(CM)の業務範囲に企画・計画、維持保全を加えたものだ。

表2はこのPM手法に沿った本プロジェクトのリスクマネジメントを示している。X軸は判断基準、Y軸はプロセス(段階)である。X軸の8つの判断基準の並べ方を、ここでは本プロジェクトの課題整理に合うように最初にリスク、最後に組織としている。さらに、できる限りシンプルにするため各プロセスでは優先する判断基準を3つに絞り、順位(◎→○→△)付けした。

例えば、プロセスの最初の構想の段階では、最も懸念されること(リスク)は何か、それを(本プロジェクトでは品質の低下)を誰が責任を負うのか(組織)、どのような損失が発生するのか(コスト)を明らかにし、次の企画の段階では、受注範囲(スコープ)及び受注金額(コスト)と仕様(品質)を明確化することによってリスクの回避・分散をはかった。判断基準の「組織」が構想プロセスの段階で◎、最後の維持管理プロセスで◎となっているのは、維持管理がシステムそのもので支えられるように、プロジェクトが進行して各段階を経ることで各関係者の運用しやすいシステム技術が構築されていくことを狙っている。

3. 2 構想の整理

WWSのシステム技術に裏付けられたプレハブ部材をパッケージで輸入するこ

表2 PM手法を利用したプロセスと判断基準

	判断基準							
	リスク	スコープ	コスト	品質	コミュニケーション	タイム	調達	組織
構 想	◎	○	△					◎
企 画	↓	◎	○	△				↓
プロセス								
基本設計	↓	↓	↓	◎	○	△		↓
実施設計	↓	↓	↓	○	◎	↓	△	↓
契 約	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
施 工	↓			△	↓	◎	○	↓
維持管理	↓			○	△			◎

とを前提に、三井木材は社内で用意した橋長 145m の斜張橋のラフスケッチと共にスパン、幅員、活荷重、基礎の形式、高欄の種類、橋面仕上げなどの設計と条件を添えて WWS に本構想の可能性を問い合わせた。これに対して WWS は、対応可能との返答と共に、AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) HS 20 を準拠規準にした構造概要図を、仕様書、概算見積り、実績表、関連資料を添えて送付してきた。

WWS の提案を整理すると、1) 最大支間長を 77m とする 3 径間連続斜張橋で、2) 補剛桁には部材を比較的小さくできるベイマツ集成材を用いたワーレントラスを採用、3) 設計・製作・施工法は米国の在来工法、4) 安全寿命設計ともいえる設計法の下にベイマツ集成材トラスは最低 10 年、目標 30 年～50 年の耐久仕様を提案、5) 責任範囲はトラス部のみ、6) WWS がトラスの生産設計をするため指定専門業者の採用を条件に、7) 部材は全てプレハブ化し、コンテナで C&F 渡し、8) 維持管理にも協力する、というものであった。

三井木材はこの提案内容を検討したうえで長大橋構想の実現可能性を確信したため、本プロジェクトに前向きに取り組むことになった。

3. 3 組織

三井木材は、広島県に提案する企画書作成と併せて、プロジェクトを進めるうえでの品質に対する責任体制をより明確化する目的で検討委員会を組織した。委員会の運営は関係先の土木コンサルタンツに委託した。検討委員会では斜張橋の専門家を招き、1) 提案用の基本図作成に必要な設計荷重と設計法を検討、2) WWS の責任範囲および設計業務範囲の検討、3) WWS 責任範囲の周辺技術を担う日本国内業者との連携法の検討、そして 4) 三井木材が最終的に橋梁全体の中で負う責任範囲の検討がなされた。この検討委員会を通じて責任範囲は図 2 のように部位別ツリー構造、即ちサブシステムとモジュールによる相互関係によって構成される体制としてまとめられた。

この体制の下では、集成材トラスが核となり高欄・地覆とケーブルが結合する

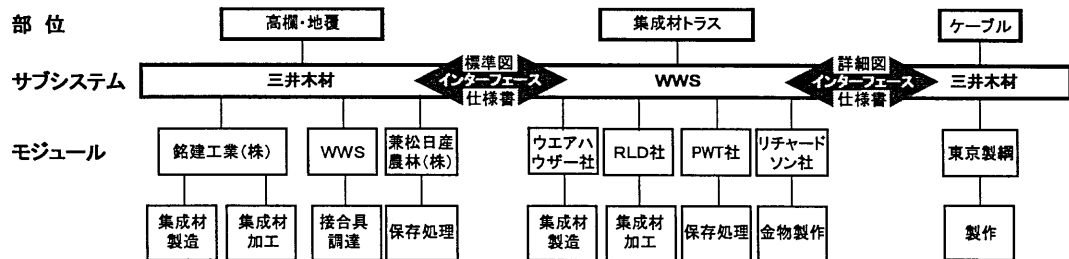


図 2 責任範囲を示す組織図

形で 3 つのサブシステムが一体化することを狙っている。サブシステムの役割は、工場で生産・加工されているモジュールを生産設計によって組み合わせ、目標とする機能や性能を満足させる部材や部品に仕上げることである。サブシステム間の調整・結合を円滑にするインターフェースとして、輸入集成材トラスと国産集成材高欄・地覆を結び付けるのは WWS の作成する標準図と仕様書、トラスとケーブルを結び付けるのは東京製綱の詳細図と仕様書である。

図 2 の各組織の責任は、モジュールから供給される部材や加工に関する品質情報が関係する準拠規準に従っていることで担保され、リスクは積算基準に明記された事項を積み重ねていることで回避され、さらに必要に応じて第三者確認や品質証明が入手できるようにして根拠や裏付けを与えている。システム技術は、モジュールの情報を習得すればするほど分りやすい技術になる。従って、本橋のシステム技術も製品に関する情報と設計情報をサブシステム間で明示化することで、部材や加工品質、併せてそれらのコストも把握できるようになり質が向上していった。

こうして三井木材がシステム技術を運用できる体制を整えてきたことから、検討委員会は委員会独自の検討の結果、以下を満たすことを条件に、本プロジェクトにゴーサインを出した。1) WWS 設計に耐震設計を加える、2) 設計法は許容応力度設計法を基本とする、3) WWS 仕様を基本とするが、床桁など部材の一部は鋼材に材料変更する、4) 補剛桁のワーレントラスには作業員に対する安全確保など施工性を考慮して鉛直材を加える、その性能を検証するため 5) トラス上下弦の継手実験³⁾と完成時の実橋実験⁴⁾を実施する。この委員会を通じて、ケーブル供給企業など関連企業から、提案に必要な情報が提供されてシステム技術に集約されていった。

3. 4. コスト

リスクを分担仕合う組織が整うと、次はコスト管理が必要になる。検討委員会が本プロジェクトの進め方について採用した大きな方針は、「木造橋として特殊な設計をすることなく鋼製の斜張橋と同様に設計し、材料が鋼材に代わって木材になる」というものであった。このことは、鋼橋をつくる現行の建設システムに木材を乗せていくという考えが成り立ち、コストという面では木材を使用する部材が要求性能を満たすように的確に加工処理されることを管理すればよいことになる。そのことで、施工管理方法も鋼橋の基準が適用できる。

木造による挑戦的なものづくりに求められる性能は、先ず設計段階で部材性能が予定通りであることを検討することができて、次に木部材や金物、保存剤などの製品性能の検討不足が無いこと、さらに材料や製品に対する加工不足や欠陥が無いことを各段階で確認できることによって担保される。その結果、コスト変動のリスクを最小化することができる。輸入コストは海外生産工場の信用限度や納期遅れ、為替差損や海難事故、さらには文化・商慣習、価値観の違いによる予期せぬ諸費用の発生などが常について回り、想定し難いことも多い。これらへの対策は、関係会社である三井物産株式会社をサブシステムとして機能するように位置付け、そうしたコストを事前に見積り、必要な経費として最初から見込むことにした。さらに、システム結合の際に予想外のコストが発生しないように、米国での工場調査を WWS と共に実施して実態の把握に努め、起こりそうな問題点を潰しておくなど海外取引の基本に学ぶこととした。

このように、1) リスクを組織間に分散し、2) 発生するコストの中身をサブシステムの中で明確にすることでリスクを評価することができるようになり、3) 最終的には予期せぬ費用発生も未然に防ぐことができるようになった。

企画の最終段階では、基本計画図と品質を絞り込む特記仕様書の表記を再確認することで、提案のスコップをさらに限定することができ、コストと品質がバランスするようになった。企画段階終了までに、リスクマネジメントはほぼ完了した。

3. 5 プロジェクトのコンセプト

上記プロセスを経て広島県の構想は実現可能と判断した三井木材は、以下のコンセプトを広島県に提案した。

1) 鉄道橋にはじまる 150 年の歴史を持つ米国のティンバーブリッジを支えてきたシステム技術を参考に、本プロジェクトでもシステム技術によって長大木橋をつくる、2) 50 年を目標とする安全寿命設計をする、3) 日米技術の融合によるアジアに誇れる長スパン斜張橋を実現する、4) 屋根付きではなく部材を全て露出するトラス形式を採用する、5) 主構造に補剛トラスを採用するためサブシステムとして WWS を受け入れる、6) 部材はコンテナ輸送を前提に通直材を基本とする、7) スギとアカマツは国産のサブシステム技術によって高欄と地覆に採用する、8) ベイマツ集成材橋技術というサブシステム技術の範囲で維持管理に協力する。

広島県はこの提案を検討後、受け入れることを決め、基本設計を広建コンサルタント（以下広建コンサル）に発注した。

4. 基本設計

基本設計では、三井木材は広島県に提案した内容を広建コンサルに説明し、設計協力するため技術情報を開示・共有化した。基本設計での優先事項は、既に表 2 に示したように、耐久性などの品質、国内外の設計情報を集約するためのコミュニケーション、納期・工期であった。

当初、設計基準は日本の基準に定める道路橋示方書、木質構造設計規準・同解説、および日本農林規格に従うこととし、米国の木橋の基準類、例えば、設計品質に関する AASHTO、使用材料に関わる AITC (American Institute of Timber Construction)、保存処理に関わる AWPA (American Wood Preservative Association)などは参考程度にする予定であった。しかし、実務の上で日本基準だけでは木橋の設計は進まなかった。設計を担当した広建コンサルの倉田氏は後に「橋梁と基礎」で、本橋の設計に当たり「構造等については体系的に確立されておらず、海外の設計基準や旧内務省の基準で設計されているのが現状である⁵⁾」と述べている。広建コンサルによる基本設計に対する WWS の提案には、各種資料やカタログの他に、USDA (United States Department of America) Forest Service

などの準拠基準類が含まれており、責任範囲も明示されていたことから、広建コンサルも同社の提案するシステムを信頼できると判断し、本プロジェクトの中心に据えることに同意した。

本橋を設計する上で、米国のティンバブリッジ技術、国内の斜張橋技術、集成材技術を持つサブシステムとそれらを支えるモジュールそれぞれを融合させることが不可欠なことから、最終的には両国の基準類を日本基準の下に照合し合いながら進めることになった。つまり、本橋は木造であっても日本の道路橋示方書に従った橋梁の設計法に従い、木材使用に対する耐久設計法は米国基準を取り込むことになった。

こうした融合を前提に、ベイマツ集成材橋に必要な日米のモジュールは表3のように具体的な品質規格・等級を伴う材料で示すことができた。その結果、日米のサブシステム技術を融合した新しいシステム技術が広島で威力を発揮できるようになった。

木橋の長期設計性能は、部材レベル、即ち性能設計型の生産設計で確保することになった。部材の性能レベルをまとめたのが表4の対象別性能レベルである。

例えば、桁（トラス）に用いるベイマツ集成材

は強度性能を AITC の Standard Specification for Structural Glued Laminated Timber of Softwood Species による 24F-V4 とし、保存処理は USDA の「50 年余命のインサイジング加工後 ペンタクロロヘネロール (PCP) 4.8 kg/m³ 仕様による薬剤選定及び処理法」を採用することで性能維持期間を 10 年とした。こうした両国の基準類およびその基準の下に構築されているそれぞれの現行サブシステムを併用したことで、コミュニケーションリスクが減少すると共に納期と工期も調整可能になった。

5. 実施設計

鉄道橋に木材を使うことから始まる米国のティンバブリッジの歴史は、ベイマツ、ボルト、金物、クレオソートといった基本材料（モジュール）をティンバーエンジニアが生産設計しながら支えてきた。このサブシステムこそ木橋づくりの基本で、これを実施設計でも生かすことになった。実施設計段階では、三井木材は表2に示したコミュニケーション、品質、調達を優先しながら広建コンサルに設計協力した。

コミュニケーションでは、WWS サブシステムと三井木材のサブシステムを相互に結合するため、詳細設計に必要な技術情報の伝達・共有を確実にすることに努めた。三井木材は、広建コンサルが用意した基本設計書を WWS サブシステムと三井木材のモジュールに渡し、重要事項を示す特記を含めて詳細設計を依頼。受け取った詳細設計書をチェック後、広建コンサルに提案した。広建コンサルは情報を集約、課題を整理したうえで三井木材と調整に当たった。

WWS から受け取った詳細設計書は、トラスのキャンバーおよび接合金物の詳細設計図で、同社のシステム技術の特徴が反映されていた。基本設計時のトラスキャンバーは、橋長 145.0m の橋中央に向かって 2.0% の縦断勾配とし、1.45m のキャンバー量とされていた（図1参照）。しかし、WWS の詳細設計では、曲率半径 3627.12m とする円弧状の縦断勾配によるキャンバー 0.725m であった。これは、厚さ 171mm、サイズ 1,549mm × 10,992mm（両端部の長さは 11,995mm）のキャンバーなしの集成材床版を千鳥にレイアウトするためである。144.9m の桁は、海上輸送に 40 フィートコンテナを使用するため 13 分割されていた。キャンバーに追従させるための床版長さ方向の曲面施工は、自重たわみを利用する意図があった。円弧状のキャンバービーム上下弦材は、指定専門工場であるウエア

表3 日米のモジュールと品質

		部 位	材 料	規 格	等級等	検査対象	検査方法	検査人	
米国	モジュール	集成材製造	トラス、床版	ベイマツ	AITC	24F-V4	強度	抜き取り	社内
		集成材加工	トラス、床版	ベイマツ	AITC	精度	寸法	全数仮組	WWS
		接合金具	ボルト、座金	鋼材	ASTM	A307	外観	抜き取り	WWS
		木ダボ	高欄	堅木	AITC	精度	寸法	抜き取り	WWS
		木材保存処理	床版	クレオソート	USDA	96.3kg/m ³	注入量	注入証明	WWS
	日本	トラス、木ダボ	PCP	AWPA	4.8kg/m ³	注入量	注入証明	WWS	
		金物製作	トラス、金物	鋼材	ASTM	A36	強度、精度	全数、ミルシート	第三者
		金物保存処理	金物、接合金具	鋼材	ASTM	亜鉛溶融メッキ	寸法、外観	全数	第三者
		集成材製造	高欄	スギ	JAS	二級	強度	抜き取り	社内
		集成材加工	地覆	赤松	JAS	二級	強度	抜き取り	社内
日本	集成材加工	高欄、地覆	スギ、赤松	JAS	精度	寸法、外観	全数	社内	
	保存処理	高欄、地覆	ナフテン酸亜鉛	JAS	3.2kg/m ³	注入量	注入証明	三井木材	
	金物製作	ケーブル	ワイヤーロープ	JIS G 3549	亜鉛溶融メッキ	強度、精度	全数、ミルシート	社内	

表4 対象別性能レベル

部 位	材 料	性能維持期間
桁(トラス)	ベイマツ集成材	10年
床版(デッキ)	ベイマツ集成材	5年
床版(摺付)	ベイマツ集成材	3年
親柱	県産スギ集成材	3年
高欄	県産スギ集成材	3年
地覆	県産アカマツ集成材	3年

ハウザー集成材工場のキャンバービーム生産ライン（通常は曲率半径 488,000m から 610,000m）を利用して、特注で生産されるというものであった。

WWS のトラス接合金物設計には、在来工法らしい鋼板の使い方、ボルトなどの接合具の選定など随所に特徴があった。トラス腹材の接合は、厚さ 9mm の添え鋼板に 26 mm（1 インチ）ボルト締めを標準とし、上下弦材の継手は 22 mm ボルトに 102φ シェアプレートを用いている（図 3 参照）。上下横構、対傾構、支材は挿入鋼板型 19mm ボルト締めとし、接合方法を使い分けている。接合設計に共通していることは接合部の断面欠損を最小にとどめ、しかも排水し易いディテールにしたうえ、外観検査（保守点検）もしやすくしていることだ。こうした在来工法の長期耐久性は、伝統的な木橋専用の飾りボルトや飾りワッシャ、スクリュウボルト或いは木床版を固定するデッキクリップなどの標準品とも言える各種付属品を適材適所に使用することによって支えられている。

品質、調達の面では、WWS はエンジニアリング会社として、指定専門業者との連携の下、現場情報や製作情報、製品情報を踏まえた生産設計に基づき、最終製品の性能・維持管理や橋梁部材としての最適化のみならず、生産段階で性能を確保するもの造りを行っていた。そこには設計と製作をそれぞれが分担しながら技術力を集約し、設計的な考慮を製品に織り込んで目標とする製品を合理的に生産する考え方が伺える。また、国内外の発注者から指定専門業者としての地位を得た誇りもシステムを長期間支える力になっていた。

広建コンサルは、三井木材および WWS のサブシステムから協力を得て、広島県の構想を土台にスタートしたバイマツ長大橋プロジェクトの設計書をまとめることに成功した。

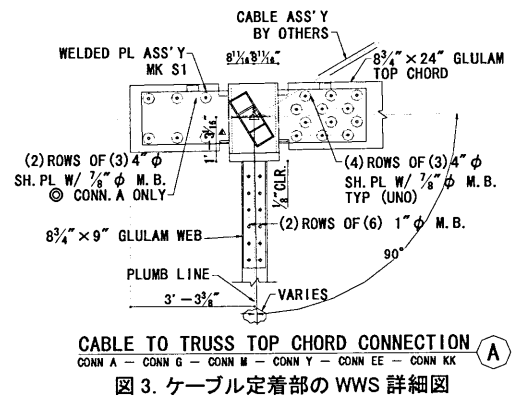


図 3. ケーブル定着部の WWS 詳細図

6. 契約

広島県は、下部工工事を(株)栗本（以下栗本）、上部工の製作を三井木材（技術指導 WWS）、上部工架設を栗本に発注した。三井木材が契約した上部工の製作では、部位別保証が両者合意の上で契約内に特記された。その内容は、「受注者は製作者と協議し、検査項目、管理値、検査方法、合格判定基準、不良・不合格の手直し方法、及び検査記録の報告、保管方法など維持管理について別途定め、協力する（完成引渡後 3 ヶ月以内）」というものであった。バイマツ集成材を挑戦的な扱い方で木造長大橋の補剛桁トラスと床版に全面的に採用するには、発注、受注者共にリスクを分担し合い、曖昧な瑕疵担保保証で何でも責任を取る無条件保証ではなく部位別保証とすることで責任の範囲を限定・明確化しようとするもので、三井木材にとっても、受け入れやすい内容であった。具体的には、耐用年数は主構造を最低 10 年、床版と高欄は 3 年、保証内容を強度と不朽に絞っている（表 4 参照）。

維持管理は、日常点検、定期点検、臨時点検のそれぞれの点検項目とメンテナンス・チェックリストを完成時の実態に合わせた点検マニュアルとして提出した。

7. 施工

施工で上部工の製作を担当する三井木材は、納期と工期、調達、品質を優先事項として架設を担当する栗本に協力した（表 2 参照）。

納期については、海外生産工場から海上コンテナ輸送されるプレハブ部材を架設計画に合わせて現場に到着するための調整を、工期については木造橋であっても鋼橋の組立に準ずる工程に乗せることを確実に行った。製作指示を出してから納品するまでに必要な日数は、1) 米国オレンゴン州ポートランド港から日本の神戸港までの定期運行コンテナ船の所用日数（15 日）、2) 神戸港での通関手続きに要する日数（2～5 日）、3) 米国内での保存処理日数（養生期間を含めて 3～5 日）、4) これにステップワイズに生産・加工される製品の各工場での必要日数の合計日数、5) 全数検査に必要な日数、6) 日米での横持ちなどの内陸輸送日数に検疫や通関書類不備などに対応する予備日を加えた日数、を合算

したものとなる。このように多くの工程を経ることから、タイムの管理という面からも、設計変更や特注品がないように詳細設計が重要な意味を持つてくる。

工期の計画に際しては、米国（WWS）の上部工架設法を参考にした。具体的には、米国の市販積算資料から、例えば 40m スパンのプレハブ木橋は、ユニオン（労働組合）や積算基準との関係もあってカーペンターのフォアマン 1 名、カーペンター 3 名、作業補助員 1 名、12 トンクレーンを 1 台とするクルーによって施工される。施工に必要な工具類は、ドリル、鋸、インパクトレンチ、パール、come-a-long（部材引き寄せ用のチェーンブロック）が中心となる⁶⁾。このように具体的な記述があることは、ユニオンに所属するカーペンターであれば、誰でも施工できることを意味しており、カーペンターが施工できるプレハブ部材の現場供給を支えるのがシステム技術と言える。即ち、WWS はユニオンで形成される労働市場の実態に合わせて、ベイマツ集成材の製造・加工技術力のあるモジュール（業者）を組み合わせながらプロジェクトを支えるために必要な機能と管理能力を発揮する方向へ無駄なく集約しているのである（写真 2 参照）。

広島での架設現場では、この米国の上部工架設法を参考にして、鋼橋の建設システムを熟知した橋梁鷹を中心に木橋組立に必要な工具類を国内で調達しながら鋼橋の管理基準に従って施工していった。現場での手直しや、現場加工に対応できるように大工職も 1 名配置している（写真 3 参照）。

調達に関しては、WWS の管理の下に WWS の指定専門工場から集成材部材や金物、接合具類が供給された。交換パーツは、契約段階で輸出書類の SHIPPING リストを通じて接合具類の予備数量なども的確に把握することができたことから不要とした。架設現場での部材や金物不足が発生した場合は可能であれば日本国内で調達し、生産費用は WWS に請求する、輸送時の損傷などの不具合に対しては保険で求償することとした。

品質については、部材や金物の品質証明を求めた。施工品質は、出来形確認と完成後の実橋実験によった⁴⁾。

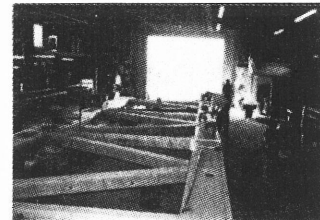


写真 2 米国 RLD 加工工場

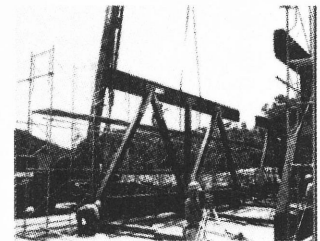


写真 3 ユニットトラスの地組

8. 維持保全（メンテナンス）

維持保全プロセスでは、三井木材は組織、品質、コミュニケーションに重点を置いて栗本に協力し、栗本を中心に、用倉大橋の維持保全について管理者である公園事務所、さらに広島県ともコミュニケーションを取り合える状態を維持した（表 2 参照）。

組織として、三井木材は栗本と一体となり、また集成材トラスに関係した専門業者からも支援を得て維持管理を支える体制を整えた。

品質を保つための点検マニュアルが、1992 年 10 月に完成し、そのマニュアルを使った定期点検が 1992 年 10 月 19 日に実施された。その後はこの点検マニュアルに従って、完成から 3 年後、4 年後に目視を主とする通常点検が実施され、異常なしと報告された。表 5 はその結果を示すものである。

5 年後には定期点検が実施され、目視ではトラス部材南面の塗装劣化が指摘されたが、変位計測とピロディンや打撃振動を利用した木部材の強度面からの健全度判定では異常はなかった。トラスは、その後目視点検等が定期的に行われ、14 年後には全部材の部材調査が実施されて、一部の部材に干割れなどが観測されたが構造上問題になるものではないと判断されている。

図 4、表 8 は、完成から 14 年後の補剛トラスの変位を計測したものである。①～④の値が示すようにクリープ等の変形は中央部で 11mm から 15mm と設計時の死荷重たわみ 35 から 41mm とくらべると小さく（中央径間 77m に対し約 1/5000）、トラス構造全体としては安定していることが分

表 5 用倉大橋のメンテナンスの記録(1995 年から 1998 年まで)

工期	工事名	発注者	備考
(1992.10.19)	(サイクリング1号橋定期点検)	(広島県 新空港地域整備事務所)	(点検チェックリストによる完了直後の点検)
1995.5.1 ~ 6.25	木造橋等定期点検業務	(財)中央森林公園協会	木造橋の外観検査及びパテによる一部補修
1996.5.1 ~ 6.25	木造橋等定期点検業務	(財)中央森林公園協会	木造橋の外観検査及びパテによる一部補修
1997.11.17~12.16	木造橋等定期点検業務	(財)中央森林公園協会	木造橋の外観検査
1998.2.9 ~ 3.20	用倉大橋高欄補修工事	広島県 尾道農林事務所	用倉大橋何面の高欄の研磨・補修工事

かる。

9. おわりに

用倉大橋は15年目を迎え、次の目標として30年への長期耐用に挑むに当たり、このプロジェクトを支えている米国育ちの設計・製作システム技術の一端を紹介したことで、今後の合理的な管理法の検討に役立てばと思う。一方、完成間際から問題となってきた夏期における床版からのクレオソート油の湧出、その後のアスファルト舗装のクラック、接合金物塗装の褪色といった維持管理上の問題も起きている。また、将来の解体を想定すると保存剤クレオソート、PCP処理廃木材の廃棄など新たな課題も加わってきている。

用倉大橋は、150年という長い年月を経て最適化された米国西海岸ポートランドの木構造技術と木材資源を一括導入して設計・施工されたという顕著な特徴を持っている。図5と図6は、広島（東広島）とポートランドの年間の月別温度と降雨量を比較したものである。ポートランドの月別降水量は東広島と比べると夏に少なく冬に多い。月別気温も夏期は5℃ほど低い。ポートランドでは出なかったクレオソート油の湧出问题が用倉大橋で出たのもこうした環境（気候）の違いが一因しているものとも考えられる。

企画時には問題なく受け入れられたものが、時代の変化と共に新たな視点や価値観が生まれるなどで問題視されるようになり、古い構築物への対応を迫られる場面も出てくるだろう。それに対応するためにも50年設計を支えるシステム技術を記録として残すことは重要であろうと考え、ここにまとめたものである。

【謝辞】

用倉大橋は、広島県平本勝吉様、同志水茂也様、広建コンサルタンツ倉田修治様、栗本木村誠二様、米国ウエスタン・ウッド・ストラクチャー社マーシャル・ターナー様、同ポール・ギャラン様、三井木材宮林正幸様、小林辰美様をはじめ多くの方々に指導いただいたことに感謝致します。

【引用・参考文献】

- 1) 日経コンストラクション: 「用倉大橋」, 10月27日号, 78-83(1992)
- 2) 奥迫輝昭: 「広島県中央森林公園の木造斜張橋」, 木材工業, 47(12), 606-608(1992)
- 3) 大橋好光, 飯村豊: 「102mm シアプレートのせん断耐力実験」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, 8, 43(1992)
- 4) 藤野陽三, 岩本政巳幸, 加藤雅史, 岡林隆敏, 本田秀行, 長井正嗣, 志水茂也, 平本勝吉, 飯村豊: 「集成材を補剛桁に用いた斜張橋(用倉大橋)の振動実験」, 橋梁, 29(6), 19-21(1993)
- 5) 赤岸英治, 平本勝吉, 志水茂也, 飯村豊, 倉田修治: 「用倉大橋の設計・施工」, 橋梁と基礎, 28(5), 7-14(1994)
- 6) Chuck Schmokel: BIDDER DESIGN SPECIFICATION for GLULAM TIMBER BRIDGES, Wood Design Focus-Fall, 1990, Re-printed 3/20027)
- 7) 本田秀行: 集成材補剛トラス桁を有する斜張橋の構造特性と解析モデル, 第3回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, 土木学会鋼構造委員会木橋技術小委員会, 2004, pp.65-74

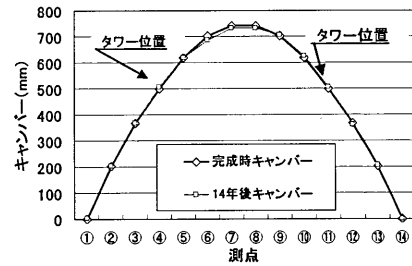


図4. カンバー量の推移

表8 カンバー量の誤差

測点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
誤差(mm)	3	1	-2	7	-2	-15	-11	-11	4	7	6	-8	4	0
死荷重たわみ	0	2	2	0	19	35	41	41	35	19	0	2	2	0

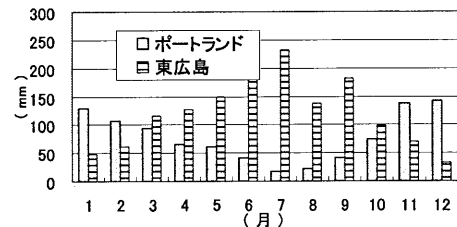


図5 ポートランドと東広島の月別降水量

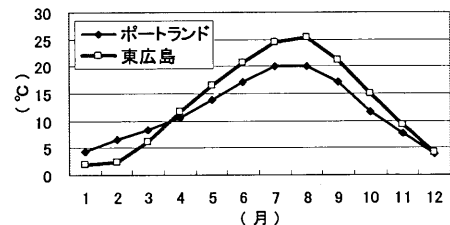


図6 ポートランドと東広島の月別気温