

1.2節 現代の木橋

佐々木 康寿

名古屋大学大学院生命農学研究科

1. はじめに

橋の歴史は人類の歴史と重なっていると考えても過言ではなかろう。我々は、いつ、誰が、どのようにして人類初の橋を作り、使ったのか知ることはできないが、一本の縄は有史以前より有用な橋として機能したのであろうし、数千年を経て木材、鉄、コンクリートの巧みな吊り構造に発展したと考えることができる。また、天然の飛び石は浮き船にとって代われ、紀元前6世紀頃には軍事用の巨大浮橋に発展した。そして、単純な丸太橋はローマの石造アーチにとって代われ、次第に目立たなくなった。

人が橋を架けることを考え始めたのはいつ頃からであろうか。始めは稚拙であった材料の使い方や構造が、そのうち材料の特性を理解し、限られた長さ、大きさの材料を繋ぎ合せてより長いスパンを跳ばし、橋に作用する力と部材に発生する応力に打ち勝つ構造を考えだした。このようにして橋は、自然の障壁を軽減し、遠く広範に食料や燃料、土地を求める人と物の動きを活発なものとした。

人間社会のこのような活動は、それがもつリズム・テンポの都合で資源を利用してきたわけであるが、21世紀を迎えた今日、経済的な発展の結果として多くの弊害が目立つようになり、地球温暖化など、環境問題の深刻化が厳しく指摘され、環境保全に対する社会一般の関心も加速度的に高まってきた。このような危機意識のもとに、環境との共生を可能にする社会的仕組みや持続可能な循環型社会への移行が求められるようになり、森林の存在と木材利用に関する対環境効果の重要性が意識されるようになった。今後は人間の経済活動が地域資源の持つ環境リズムに合わせていくことが求められることになる。

この報告では、筆者が調査した主に中央ヨーロッパ地域に現存する新旧の木造橋を幾つかの資料と共に眺め、木造橋に見る環境保全と木材利用の意義についてもあわせて考えてみたい。

2. ヨーロッパにおける木造橋架設小史

(1) グルーベンマン一族

人類は木材を土木・建築用材料の一つとして石や土とともに古くから利用してきた。例えば紀元前3000年頃にはエジプト第1王朝のメネス王がナイル川に木材を使って橋を架けたと伝えられている¹⁾。高度な土木技術を持っていたローマ人は紀元前625年にポンズ・サブリンウスの木造橋を完成させており、これを人類初の木造橋とみる向きもある²⁾。紀元前55年にはカエサルがドイツ・コブレンツ近郊のノイヴィートでライン川に幅12m、全長約400mの木造橋を架けている。この橋は僅か10日間で完成したといわれているが^{1,2)}、**図5.1.2-1**のように予め多数作製しておいた杭を打ち込んでいくことにより建設したと考えられている。

ヨーロッパ地域におけるこのような木造橋架設の歴史は高度な土木技術を持っていた古代ローマ帝国に遡ることができるが、これを**表5.1.2-1**にごく簡単にまとめた。記録に残る初の木造橋は1180年にオーストリア・イン川に架設されたものといわれており、このことがオーストリア・チロール州の州都名称「インスブルック」の由来となっている²⁾。これ以後15世紀に入ると木造橋の架設は活発化し、17-18世紀には最盛期を迎えたといわれている。

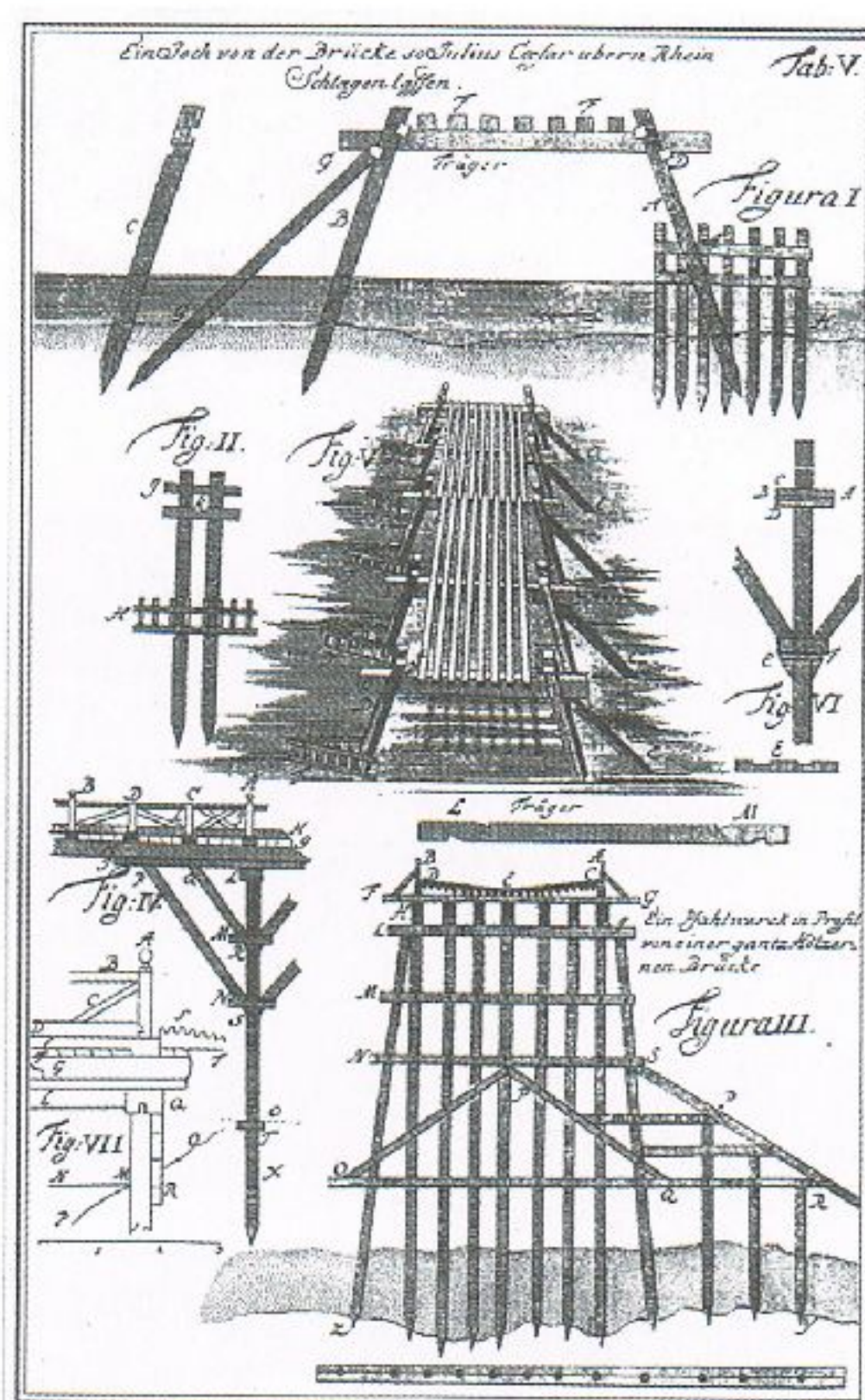


図 5.1.2-1 カエサルの木造橋(ノイヴィート, ライン川)
(Thdatrum Pontificiale by Jacob Leupold より転載)

表 5.1.2-1 ヨーロッパの木造橋架設の歴史

B.C.4C.	ナイル川エジプト第1王朝ファラオ・メンゼス
B.C.4-3C.	メソポタミア・チグリス・ユーフラテス川シュメル人
B.C.625	ポンズ・サブリシウスローマ
B.C.55	ライン川(12m幅, 400m長)ローマカエサル
103	ドナウ川(1,100m長, アーチ橋)ローマトラヤヌス
5-10C.	ローマ帝国滅亡, イスラムの台頭, ヨーロッパ暗黒の時代
1180	イン川に初の木造橋(インスブルックの由来)
15C.	木造橋の建造が活発となる, ルネサンスを迎える
17-18C.	木造橋の建造がピークとなる
1776-9	最初の鉄橋(英セバン川, アブラハム・ダービー)
19C.	工学的手法による材料利用, 鉄の導入 木質構造の沈滞が始まる, コンクリートの登場 木造橋の建造率が半分強となる
20C.	鉄・コンクリートの増加, 木造橋の排除
20C.後半	木造橋建造率の上昇

これ以後15世紀に入ると木造橋の架設は活発化し, 17-18世紀には最盛期を迎えたといわれている。特にスイス・ルツェルン出身のヨーゼフ・リッターとトイフェル出身のハンス・ウルリヒ・グルーベンマンの二人は18世紀後半に今日のスイス・ドイツ地域で木造橋を多数建設したことで有名で, アーチとトラスを組み合わせる長いスパンを架け渡す彼らの構造は大きなインパクトを与えたといわれている³⁾。リッターは1794年にメリンゲンのロイス川に美しいアーチ状の木造橋(スパン46m)を完成させ, 以後, 彼が手がけた木造橋の様式は「リッター・ボーゲン」と呼ばれるようになった。一方のグルーベンマン(1709-1783)は, 弟のヨハネス, 二人の甥, そして工房の弟子たちと共にグルーベンマン一族として活躍した。図5.1.2-2³⁾に示すのは, ボー

デン湖近くのシャフハウゼンのライン川に架設されたスパン54+59mの2連続トラス橋である。第1次計画(図5.1.2-3³⁾)ではスパン119mを一気に架け渡すものだったが実現せず、図5.1.2-2³⁾に示す第2次計画が1756-58年に実現した。しかし、これも残念ながら1799年にフランスとの戦争で破壊された。この木造橋架設のためには、ボーデン湖東岸ブレゲンツの森林から400-500本のモミを伐採、使用したといわれている。図からわかるように、主構造をなすアーチは製材を積層して構成されており、既にこの時期に今日の湾曲集成材の原型を見てとることができる。

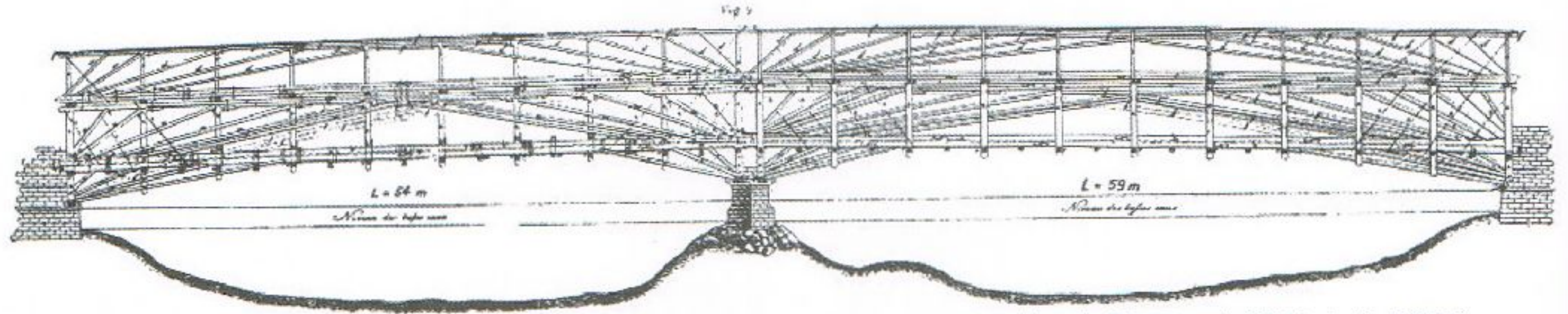


図5.1.2-2 グルーベンマンのシャフハウゼン・ライン橋(第2次計画)(文献3)より引用)

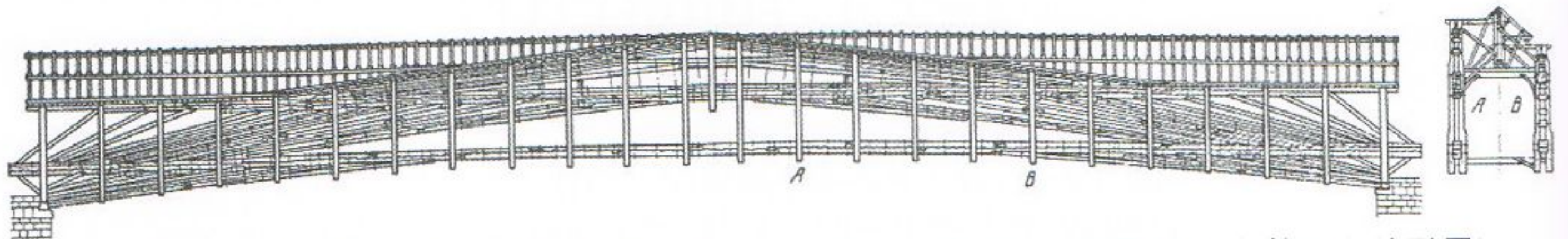


図5.1.2-3 グルーベンマンのシャフハウゼン・ライン橋(第1次計画案)(文献3)より引用)

(2) ブンブルッゲ橋

写真 5.1.2-1 に示すのはグルーベンマンの作ではないが、1781年にオーストリア・チロール州東部のパンツェンドルフ(シリアン近郊)のフィルグラテンバッハ川に架設された、当時の典型的な木造橋である。現地ではブンブルッゲ“Bunbrugge”と呼ばれている屋根付きの美しい木造橋で、現在では歴史的文化財に指定されている。全長66m、幅4m、高さ3.6m、載荷重量6tonの3連続トラス形式(図5.1.2-4³⁾)である。もともこの場所には1750年に単純梁形式のものが最初に架けられたが、1781年にシュヴァーベン地方(独バイエルン州南中央部)の棟梁によって現在のものが架設された。1797年にはシャフハウゼン・ライン橋と同じようにフランス軍によって破壊されようとしたがチロールの兵士達によって護られた。1809年以来、橋の中央部北側には十字架に架けられたキリストの、そして南側には聖ヨハネス・ネポームクの等身大像が置かれ、この橋の守護神となっている。第2次大戦中の1944年、軍用車両通行のため写真右隣にコンクリート橋が建設されている。材料はヨーロッパカラマツが使われている。この時期の木造橋・木質構造物には他に表5.1.2-2に示すようにモミ、ドイツウヒ(スプルース)、クロマツが使用され、ごく稀にオーク、ブナ、ハンノキも使用されたようである³⁾。

(3) 木造橋にみられる構造形式

日本の伝統的な土木・建築構造では、部材を縦と横に整然と配置し、例えば筋違いのようにトラスを構成するような斜めに配置する部材は、一部の例外を除いて、西洋文明の導入後に出現したというのが一般的な理解であろう。ましてや、全ての部材が圧縮力を負担することにより負荷を放射状に逃がすアーチ形式のような構造概念は乏しかったように思われる。これに対して、ヨーロッパの土木・建築構造では力学的に合理的なアーチやトラス構造(図5.1.2-5a, 写真5.1.2-2)を多用している。これには構造に対する美意識の違いもさることながら、豊富な木材資源(軸材料)に恵まれていた日本と、主な建築材料がそれぞれの地方で得られる石やレンガであったヨーロッパとの違いも背景として考えられよう。

ヨーロッパの木造橋にみられる構造形式は、方杖形式(図 5.1.2-5b, 写真 5.1.2-3), トラス形式および両者の複合型(図 5.1.2-5c, 写真 5.1.2-4, ウルゲン橋, オーストリア・オーバーインタール, 1882 年築)のいずれかである場合が多い。特に 19 世紀以前に架設されたものはこれらの形式に分類される場合が多いが, 後に紹介するように最近のものは集成材・接合金物を用いたアーチ形式や連続梁形式が多く見られる。



写真 5.1.2-1 ブンブルッゲ橋(オーストリア・パンツェンドルフ, 著者撮影)

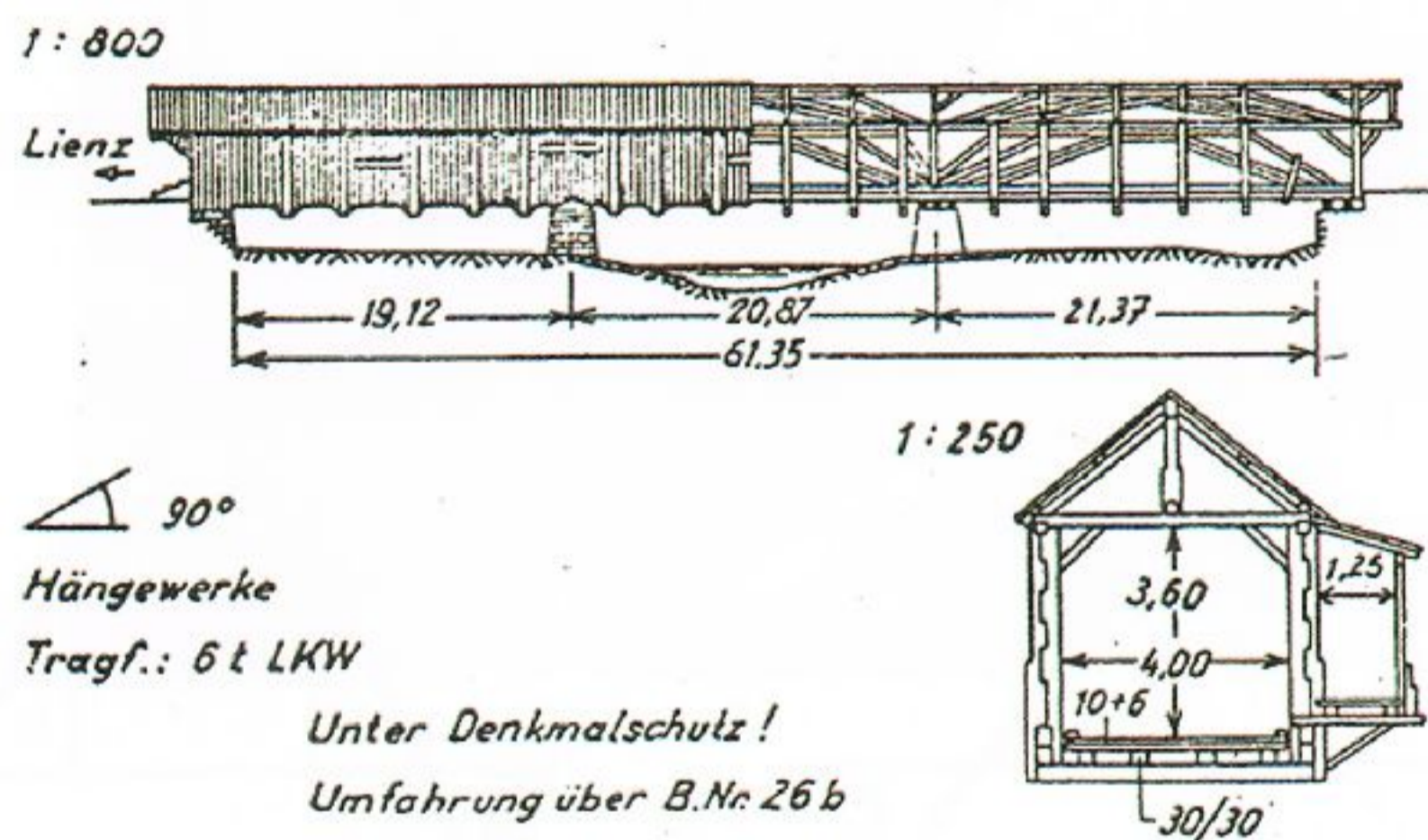


図 5.1.2-4 ブンブルッゲ橋(文献 3)より引用)

表 5.1.2-2 ヨーロッパの木造橋・木質構造物に使用された樹種(文献 3)より引用)

モミ	Weißtanne(<i>Abies alba</i> Mill.)
ドイツトウヒ(スプルース)	Rotfichte(<i>Picea abies</i> Karst.)
ヨーロッパカラマツ	Europäische Lärche(<i>Larix decidua</i> Mill.)
クロマツ	Schwarzkiefer(<i>Pinus nigra</i> Arnold)
オーク	Traubeneiche(<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.)
ブナ	Rotbuche(<i>Fagus sylvatica</i> L.)
ハンノキ	Schwarzerle, Roterle(<i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.)

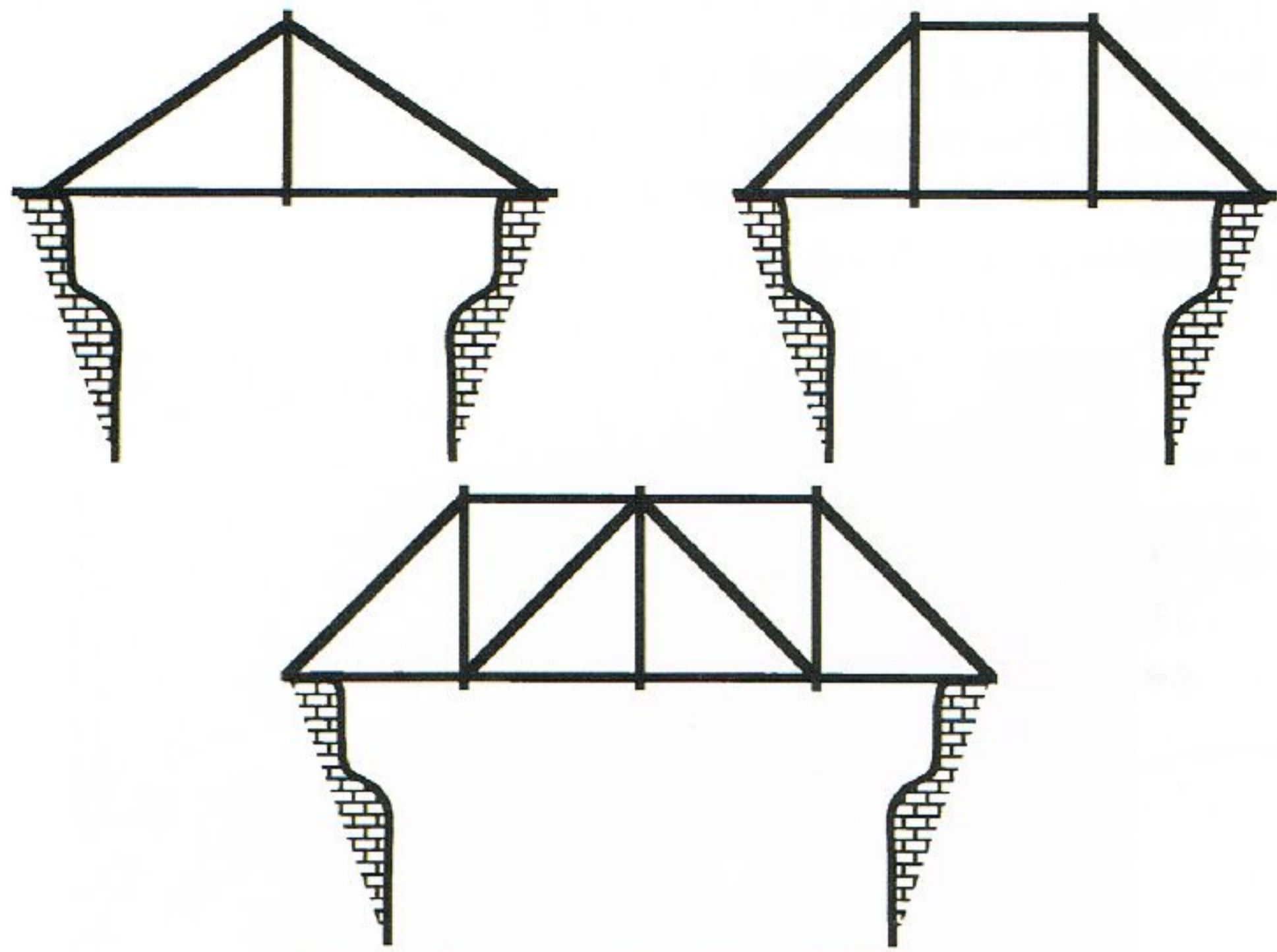


図 5.1.2-5a トラス形式(著者作成)

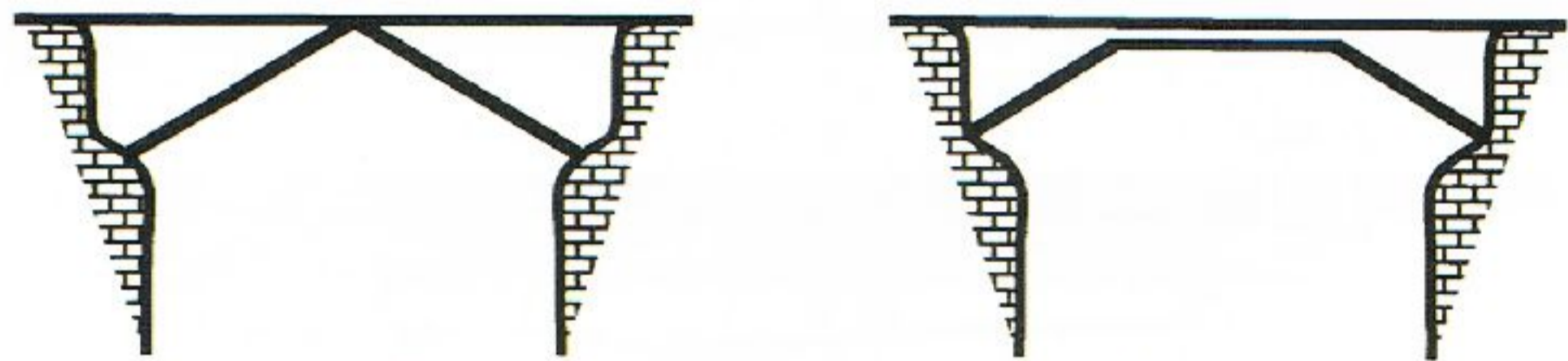


図 5.1.2-5b 方杖形式(著者作成)

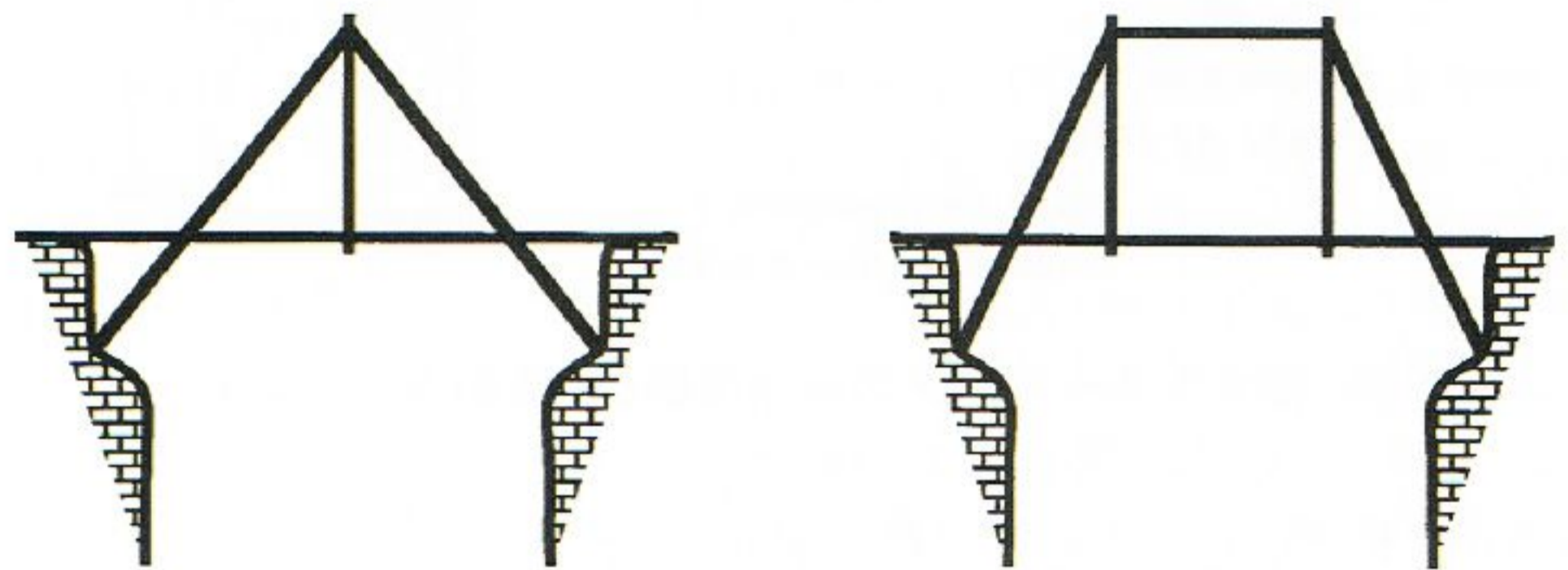


図 5.1.2-5c コンポジット形式(著者作成)

これまでの写真 5.1.2-1~4 のようにヨーロッパの木造橋は屋根と壁を構成する側板が外見上の特徴となっており、オセアニアや北アメリカの木造橋にも見ることができ、これらは主構造の保護に役立っており、耐久性を与えている。この様なことから、保存状態がよく現在でも現役である場合が少なくない。例えば写真 5.1.2-2~4 に示すのはいずれもオーストリア・チロール州の木造橋であるが、写真 5.1.2-2 はクンドゥル溪谷の入り口、ヴィルトシェーナウア川に架かる橋で、その正面の銘板に記されているように、ハプスブルク帝国の事実上最後の皇帝として 1848 年 12 月に 18 歳で即位したフランツ・ヨーゼフの治世 60 周年を記念したもので、サライェボ事件直後の 1914 年 12 月 2 日に開通した。全長 32.7m、幅 5m の車道橋でトラスを主構とし、斜弦材のリズムが視覚的な効果を与えている。設計者は橋の中央部に鳥小屋を設け、短いこけら板でふかれた両切妻屋根のロマンチックな雰囲気を漂わせるこの橋は、オーストリアの中でも美しい屋根付橋の一つに数えられている。なお、この時期にはドイツ・ワイマール出身の Otto Hetzer によって集成材が考案されているが、この橋では使われていない。写真

5.1.2-3 に示すのはエッツタール峡谷(エベネ)のシュエイベンバッハ川に架かる二層屋根を持つ橋で、1936年に架設された全長 21.3m、幅員 4.4m(さらに幅員 1m の歩道付き)の車道橋である。耐荷重を増やすため戦時中の 1942 年に鉄骨梁によって補強されたが、現在では再び純木造に戻されている。屋根・側板を部分的に補修した直後の様子がわかる。写真 5.1.2-4 に示すのはウルゲンのイン川に架かる全長 34.5m、幅員 2.5m の歩道橋で 1882 年に架設された。ここから川下へインターシュトラーセを下っていくとインスブルックに通じるが、かつてはこの街道とホッホ・ガルニックを結ぶ唯一の橋であったという。架設後、何度か補修がなされているが、トラスと方杖の複合構造による美しい仕上がりを見せており、周囲の景観とのマッチングも素晴らしい。

このような屋根付きの木造橋について、9 つの州で構成されるオーストリアを例にとると、1976 年の調査によれば 87 橋が存在しており、その多くは西部地域のチロール州とフォアアールベルク州にあり、両州だけで 72(それぞれ 45 と 27)橋となっている。これらの屋根付き木造橋は年々減少してきており、比較的記録が揃っているフォアアールベルク州を例にとると、1930 年(77 橋)、40 年(69 橋)、54 年(50 橋)、76 年(27 橋)のように推移している。また、1930 年代当時存在していた屋根付き木造橋の架設年代は 1710 年以前(2 橋)、1780-1800 年(4 橋)、1800-1900 年(41 橋)、1900-1939 年(32 橋)となっている³⁾。



写真 5.1.2-2 クラム橋(オーストリア・チロール州, 著者撮影)



写真 5.1.2-3 スチュエイベンバッハ橋(オーストリア・チロール州, 著者撮影)



写真 5.1.2-4 ウルゲン橋(オーストリア・チロール州, 著者撮影)

(4) 使用材料の変遷

ヨーロッパでは、中世以降の木造橋の架設が最盛期を迎えた後、産業革命を迎え鉄の大量生産時代に入ると、19世紀にはポルトランドセメントが出現し、20世紀には鉄筋コンクリートが登場するなど、木材は建築土木材料から排除されていった。その最大の理由は、材料力学の発展と新しく出現した工業材料、そして材料利用にあたっての工学的手法の適用によるところが大きいと考えられる。図 5.1.2-6⁴⁾は土木・建築における材料利用の変遷について示したもので、左上から木材、石、鉄、コンクリートであるが、木材が他の材料に置き換えられていった様子がよくわかる。こうした経緯を辿ったものの、幸いなことにヨーロッパ地域の木造橋は消滅することなく、例えばドイツでは1975年以降木造橋の架設が増加の傾向にある⁵⁾。これを受けて、それまで不利な評価が与えられていた木造橋についてドイツ連邦政府は施設償却方針を修正し、木造橋建設助成を整備するなど社会的な理解を獲得している。図 5.1.2-6にも示されているように、20世紀後半より土木・建築分野における木材利用が持ち直している。この背景として考えられるのは、集成材などの工業化木材(Engineering Wood)が持つ特徴に加えて、材料供給体制が確立され、設計規準の整備されていること、また、架設・保守上のメリットや構造特性としてエネルギー吸収能力が大きいことなどが理解されていること、そしてなによりも地球環境問題に対する高い国民意識などによるものと考えられる。

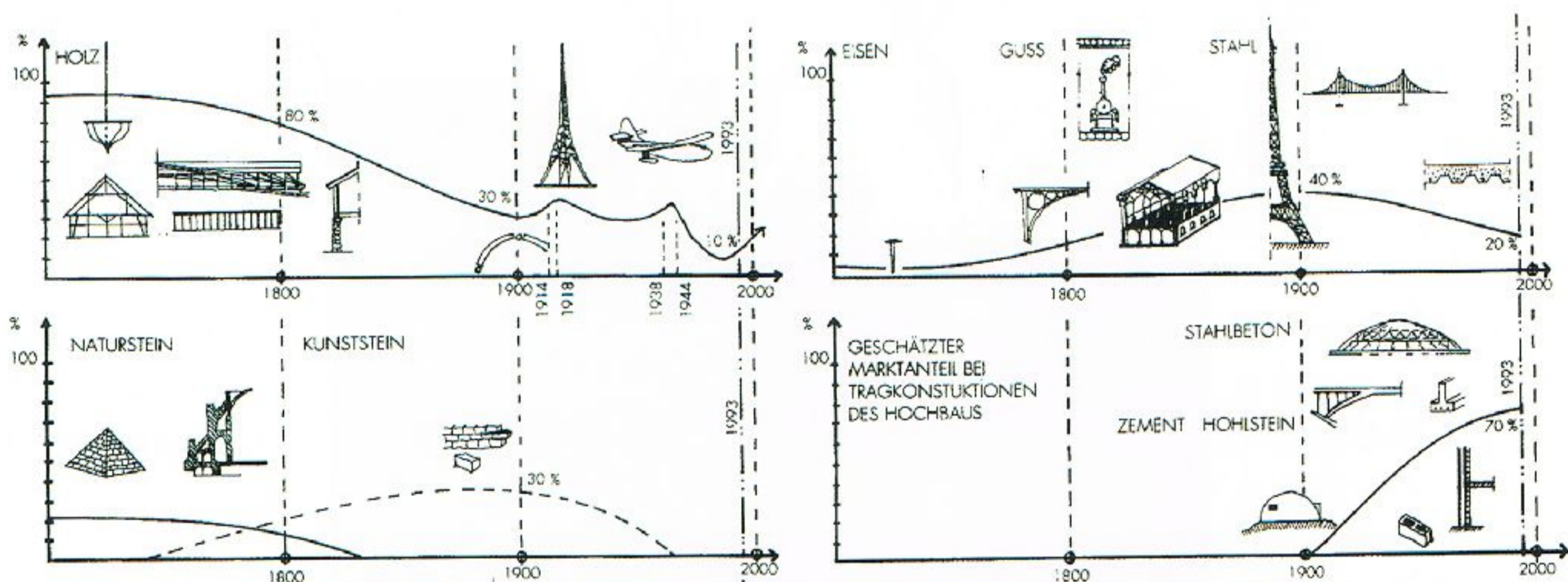


図 5.1.2-6 土木建築における使用材料(木材, 石, 鉄, コンクリート)の変遷(文献 4)より引用)

3. 中央ヨーロッパの現代の木造橋

本節では中央ヨーロッパ地域で近年架設された木造橋を概観するが、これらのものは鉄橋やコンクリート橋でもよく見かける構造である。したがって、これらは単に材料を鉄やコンクリ

ートから木材に置き換えただけと見ることもできるかもしれない。しかし、鉄やコンクリートではなく木材を使ってこのような土木構造物を実現させたということについてはそれ自体で大きな意味があり、これについては次節で考えることとする。

(1) タールキルヒェン橋

写真 5.1.2-5 はドイツ・ミュンヘン市内を流れるイーザール川に 1991 年架設されたタールキルヒェン橋である。1 スパンが 13.4m の立体トラスが 13 連続した立体トラスアーチ形式(写真 5.1.2-6)で、全幅 17m(車道幅員 5m, 歩道幅員 3.5m×2), 全長は約 200m である。同所には以前も木造橋が架かっていたが、1980 年代末期、東欧の社会主義政権の崩壊により難民が橋の下に住みつきはじめたのを機に改築することになった。コンクリート橋や鉄橋のプランも提案されたようであるが、環境に対する影響および費用の面から再び木造が選択された。地下鉄 3 号線(U3)「タールキルヒェン」駅を降りるとすぐにこの橋があり、これを渡るとヨーロッパ有数の動物園「ヘラブルン」につながっている。写真 5.1.2-6 に示すように、一辺が 140・160mm の 8 角形断面を持つスプルス集成材の両端に直径 132mm の鍛造接合球を挿入し、立体トラスを構成している。淡い赤紫色に塗られた立体トラスアーチは軽快感もあり、景観にもマッチしていて大変美しい。写真は 2004 年の様子であるが、再塗装をはじめとして細部にわたる丁寧な保守管理がなされている。

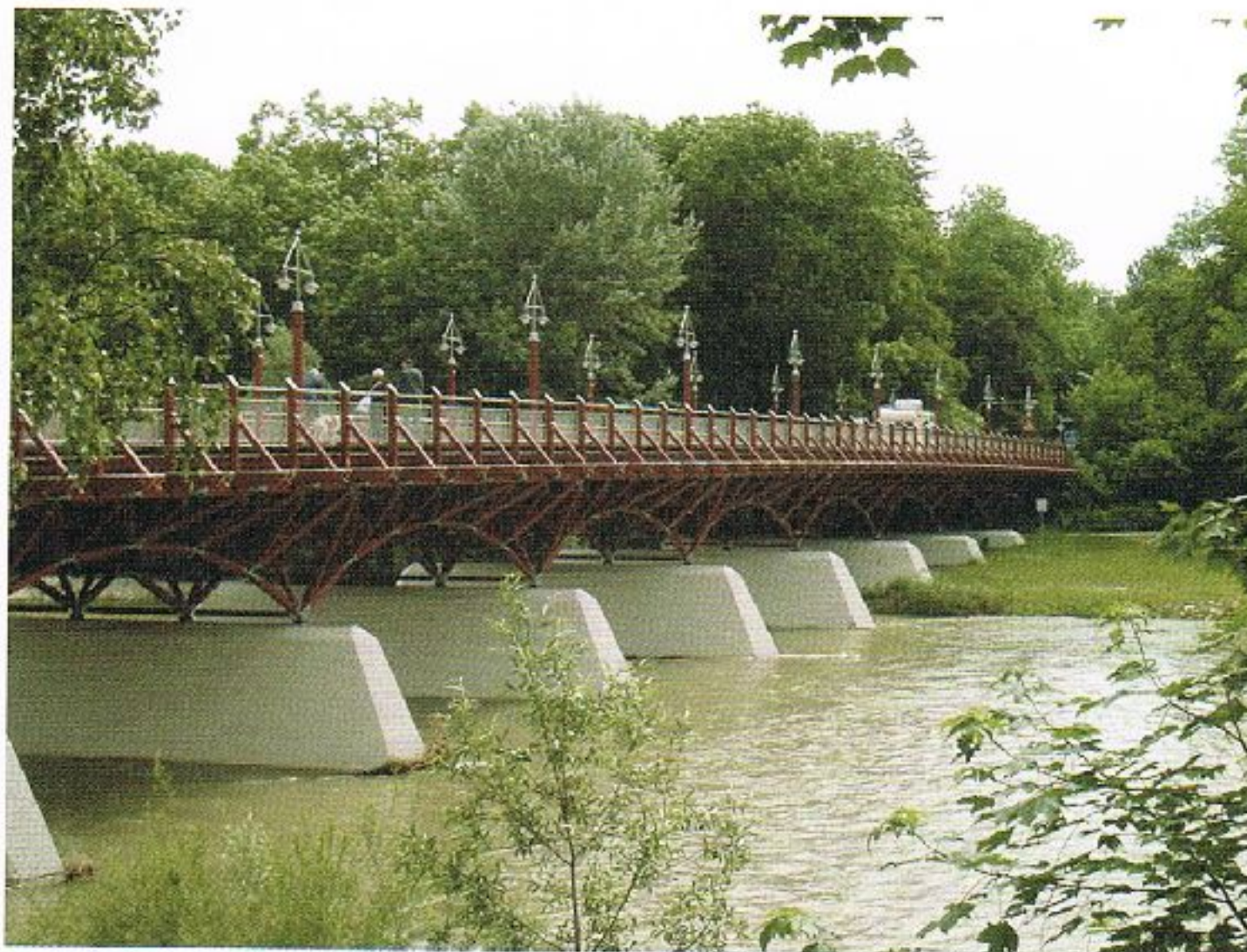


写真 5.1.2-5 タールキルヒェン橋(ミュンヘン市, 著者撮影)



写真 5.1.2-6 立体トラスアーチ(タールキルヒェン橋, 著者撮影)

(2) エール・イン橋

写真 5.1.2-7 はオーストリア・イン川にかかるエール橋である。イン川はオーストリア・スイス・イタリア国境付近のオーストリア・アルプスの源より北東方向に流れ、インスブルックを抜けてドイツ領に入るが、その直前の国境付近にある町がエール(チロール州)である。

写真のように3連続トラス形式で、全長124m、幅員3.3mの道路橋で、載荷重量6tonの1等橋である。主要構成材の断面は、上下弦材では(430~733)×280mm、腹材では(433~267)×240mmで、スプルー集成材が使用されている。あらかじめ工場で分割して箱型に組立てられたトラスを現場でクレーンを用いて吊り上げ、つなぎ合わせて架設している(写真 5.1.2-8)。木造橋の架設時には、次のムール橋のように大規模なものであっても、多くの重機を必要とするわけではなく、またコンクリート橋のように天候に左右されることがないことなどが特長として挙げられる。カール・シュポーシル氏の設計、シェルトラー社の製造・施工により1991年完成している。この橋の最大の特徴は、スイスの建築家ブルマー氏が考案し特許を持つ、ブルマーシステム(BSBシステム)と呼ばれる接合方法にある。5mm厚鋼板を集成材内部に数枚挿入し6.3mm径という比較的細いピンを多数打ち込んで接合部を構成するため、写真 5.1.2-9に示すように外観上極めてすっきりした接合部の仕上げとなっている。この接合部は、コンピュータ制御のBSBシステム専用加工機を備えた工場加工される。

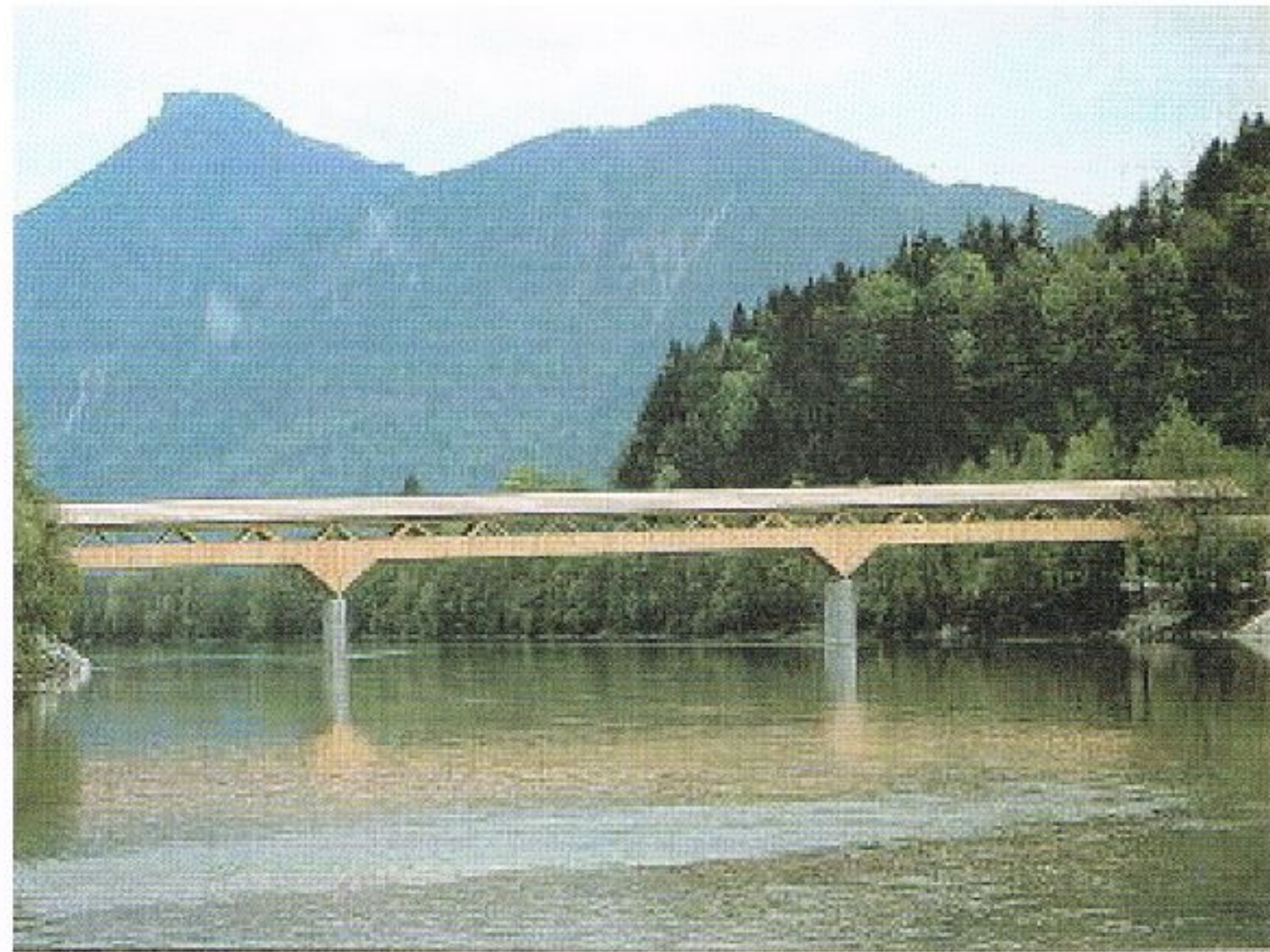


写真 5.1.2-7 エール・イン橋(オーストリア, 著者撮影)

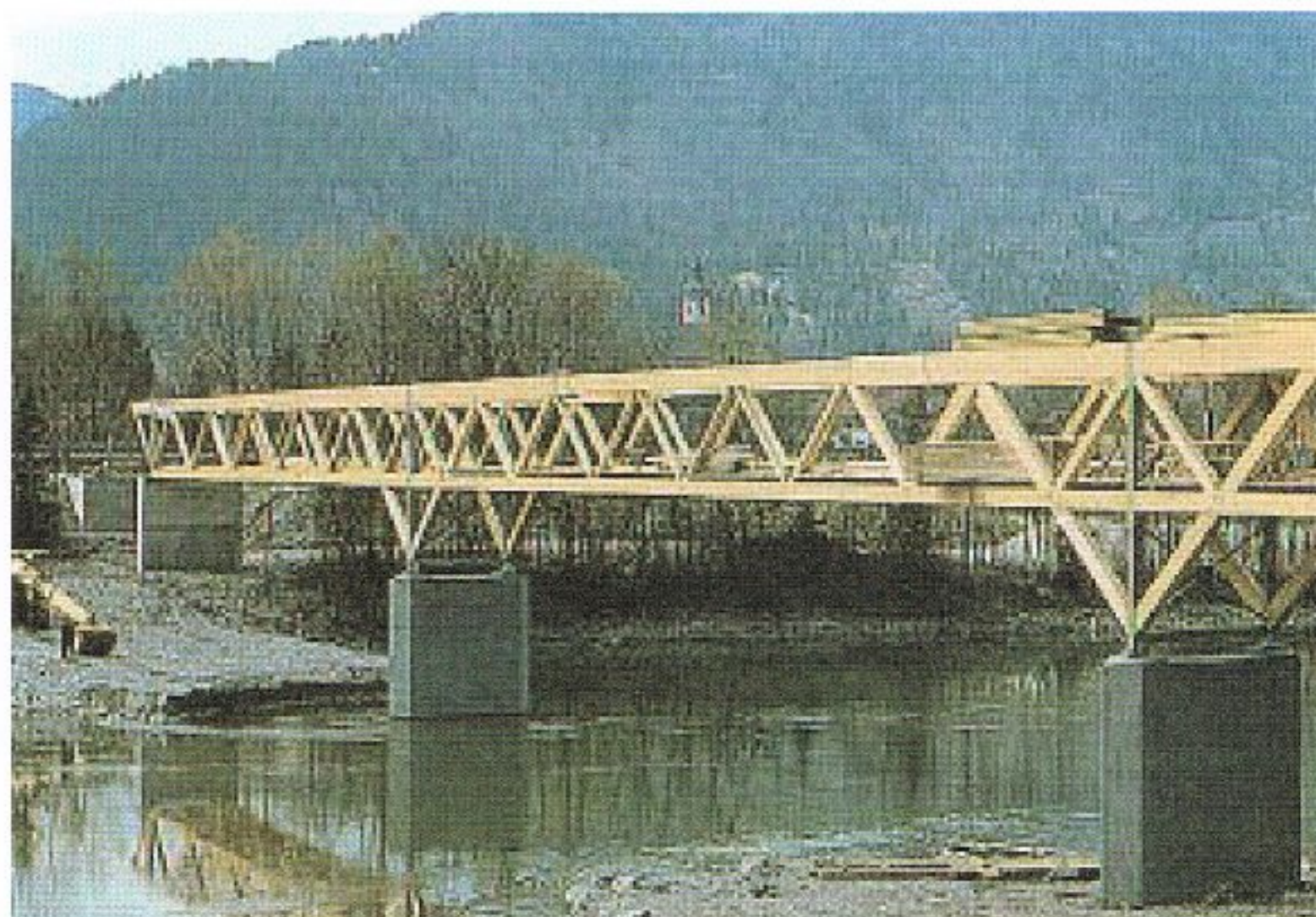


写真 5.1.2-8 架設中のエール・イン橋
(Graf-Holztechnik 提供)

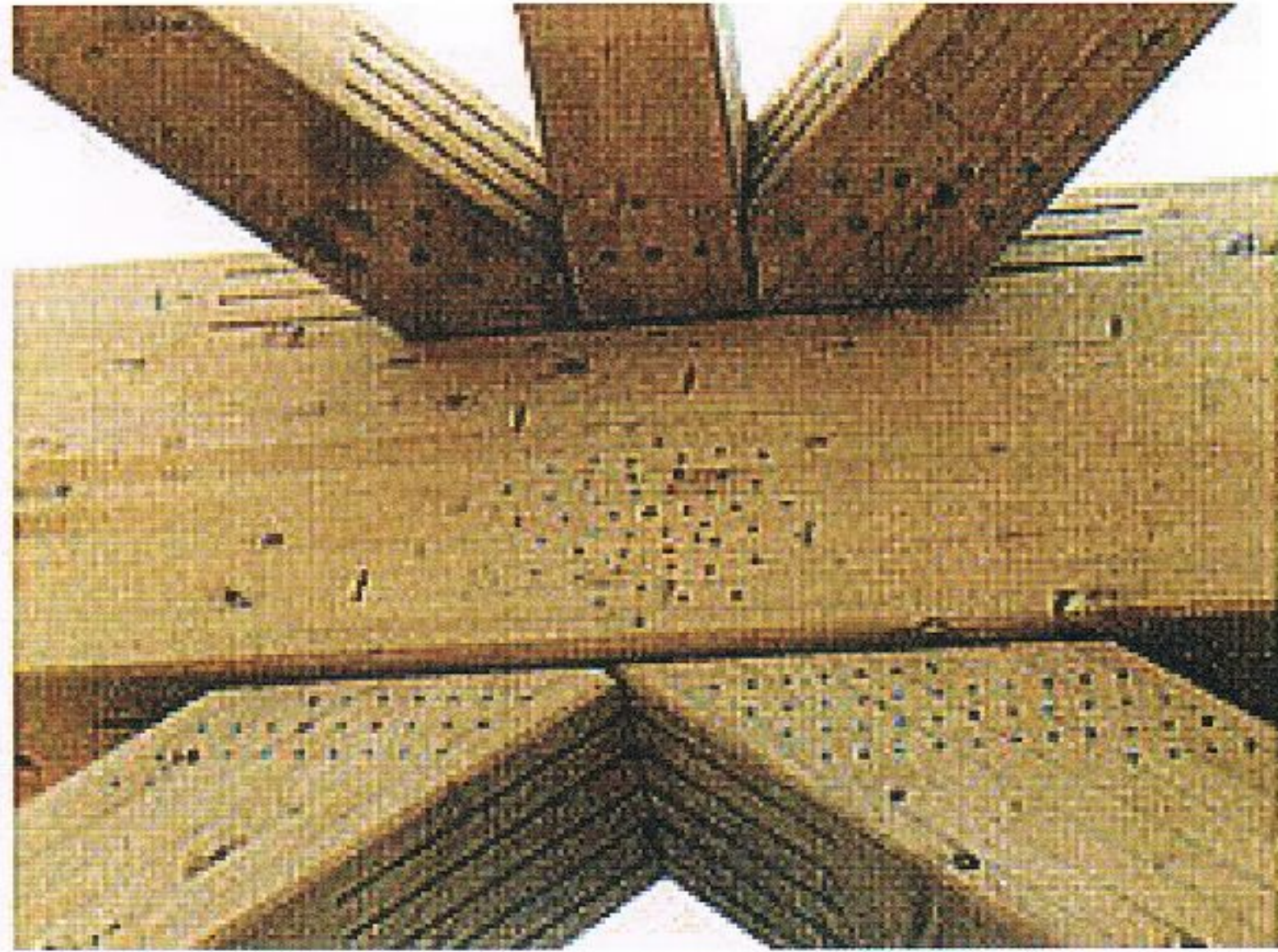


写真 5.1.2-9 BSB システム(エール・イン橋)
(Graf-Holztechnik 提供)

(3) ムール橋

写真 5.1.2-10 はオーストリア・シュタイアーマルク州ムーラウ地区のサント・ゲオルゲンとサント・ロレンツェンを結ぶ街道のムール川にかかる道路橋である。典型的な 3 ヒンジ・アーチ形式で、全長 85m、アーチ部分のスパン 45m、水面からの高さ 25m、車道幅員 5.5m、歩道幅員 1.8m、載荷重量 60 トンで、木造橋としてはヨーロッパ最大級の規模を誇っている。総工費 2,500 万シリング(約 2 億 5,000 万円)をかけて 1993 年に建設された。地元クルマー社製のヨーロッパカラムツ集成材を合計 300 立米使用している。主要構造材の断面は湾曲材が 360×1,200mm、主梁材が 360×1,000mm、柱脚材が 360×360mm、V 字形柱脚材が 360×600mm である。部材の接合には直径 60,80,100mm の ST510C のボルトと 69 トンの鋼材を使用している。アーチトップはピン接合(写真 5.1.2-11)、主梁材は鋼板挿入型ボルト締め接合(写真 5.1.2-12)となっている。また、道路床のために 180 立米、24 トン分の鉄筋コンクリートが敷かれている。湾曲集成材の上面は真鍮板で被覆し材料を雨水から保護している。ただし、このように金属板を木質材料に被せることについては、金属板と木材の隙間に水分が入り込み、金属板が水分を保持するかたちとなり、集成材の保護にはならないとして異論を唱える向きもある。さらに、塗装や化学処理についても強度性能の維持や河川汚染の観点から疑問視する考えもある。これは、化学処理を施していない材を用いて中世に造られた木造橋で現存するものが、例えば写真 5.1.2-1 に示したパンツェンドルフ・ブンブルグゲの他にもノイブルック(1535 年造)、ヴァンゲン(1549 年造)などで残っているという事実が根拠となっているようである。さらには虫害も滅多にないとする主張もある⁵⁾。



写真 5.1.2-10 ムール橋(オーストリア・シュタイアーマルク州, 著者撮影)



写真 5.1.2-11 アーチトップのピン接合(ムール橋)
(Firma Hubert Kulmer 提供)



写真 5.1.2-12 主梁材の鋼板挿入型ボルト締め接合(ムール橋)
(Firma Hubert Kulmer 提供)

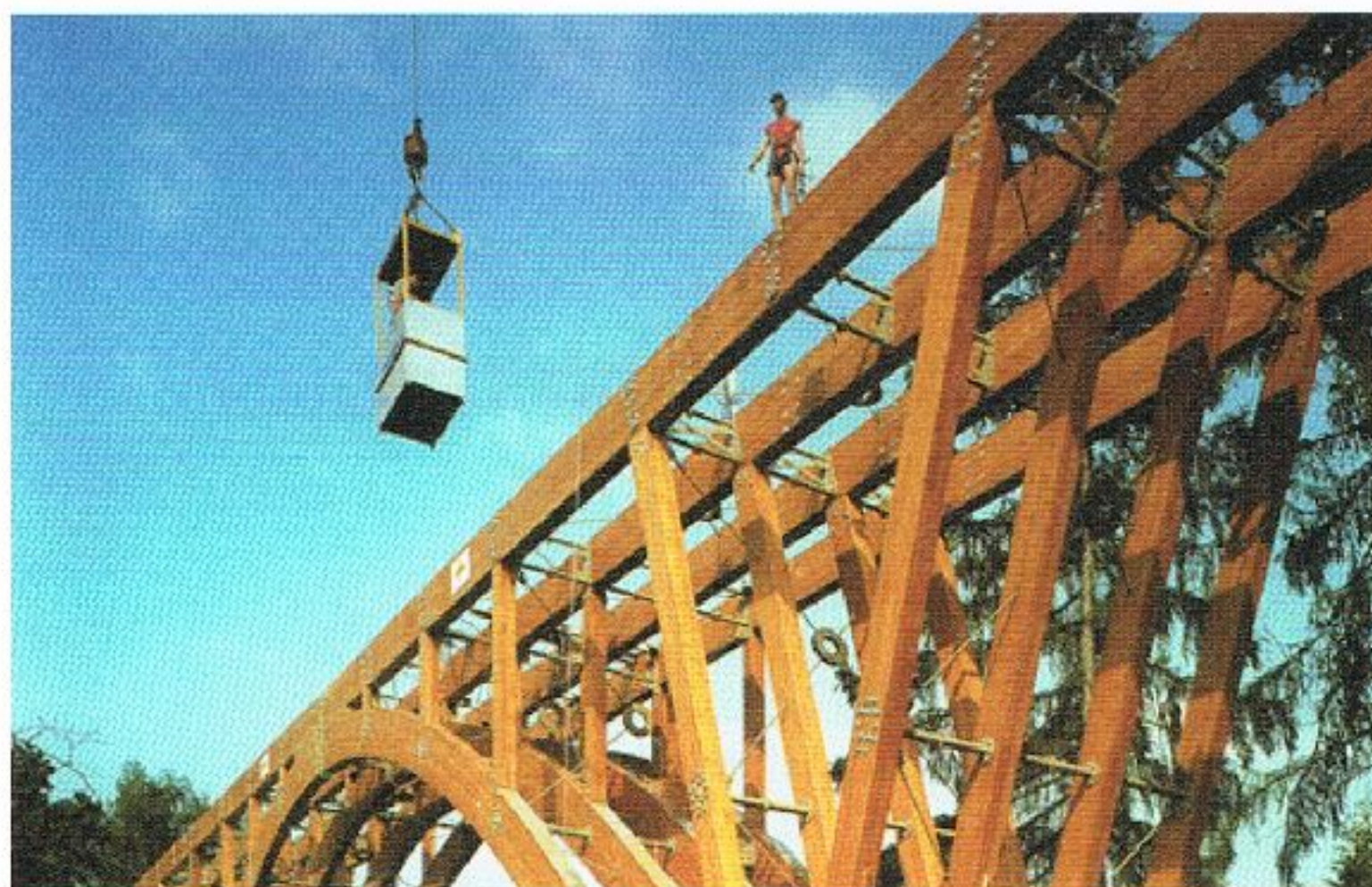


写真 5.1.2-13 架設時の様子(ムール橋)
(Firma Hubert Kulmer 提供)

写真 5.1.2-13 は架設時の様子で、骨組がほぼ完成した状態を示すが、一般に木造橋の場合、架設に当たって重機を必要としない、天候に左右されないなどの架設上のメリットや補修・補強が容易である、凍結融解・融雪剤に強いなど保守上のメリットも指摘されている。グラス工科大学のピシュル教授、シックホーファー教授らが主設計と構造計算を担当し、クルマー社が製造・施工を担当した。

(4) ヴァイアーブルク橋

写真 5.1.2-14 はオーストリア・チロール州の州都インスブルック市内を流れるイン川に架かるヴァイアーブルク橋である。1912年に橋の建設が計画されたが実際に完成したのは1944年であった。その後、1953年に修理され、1979年に写真のように改築された。連続桁形式で、主桁には断面が1,600~1,900×180mmのカラマツ集成材を使用している。2つの橋脚間で単純梁を設けたゲルバー形式を採用しており、この接合部分にはボルト締めされた鋼板が挿入されている。全長84m、幅3.3m、内高3.6mの歩行者専用橋である。



写真 5.1.2-14 ヴァイアーブルク橋(インスブルック市, 著者撮影)

(5) マルヒフェルト橋

写真 5.1.2-15 はオーストリア・ウィーン市北東部のマルヒフェルト運河に架かる湾曲集成材を用いたアーチ橋である。1989年の建設で、全長36m、幅員3.4mの歩行者専用である。アーチを構成する湾曲集成材の断面は330×320mmである。構造形式上の分類としてはアーチ橋であろうが、橋床が20mm径の丸鋼棒により湾曲材に吊された吊り橋でもある。湾曲材はアーチトップに鋼板を挿入し、ボルト締めにより接合されている。また、湾曲材の上面は材料保護のため真鍮板が被覆されている。



写真 5.1.2-15 マルヒフェルト運河橋(ウィーン市, 著者撮影)

(6) ウィーン市警察橋

写真 5.1.2-16 はウィーン市警察橋と呼ばれているが、ウィーンの国連 UNO-City に近いドナウ川の中州にある市警察保養施設へ通じる歩行者専用橋であるため、この名称がつけられた。意匠的には各支点間にロープを掛け渡したときにできるカテナリーのようなものを意図しているように感じられる。カールハインツ・ホリンスキー氏の設計である。



写真 5.1.2-16 ウィーン市警察橋(ウィーン市, 著者撮影)

(7) 20世紀前半の木造橋

本節でこれまで示した木造橋は、材料としては集成材を、接合にはボルトおよび鋼板を用い、構造・意匠的にも鋼橋やコンクリート橋に見ることのできるような形式を持つものであり、強度設計がなされた材料と接合部で構成され、緻密な構造設計のもとで成立しているものである。このように強度設計された木質材料を使うことで、鋼橋やコンクリート橋と同等の品質・施工管理が実現すると同時に、材料の大断面化と長尺化および新しい接合法の開発により、橋の見た目の構造が軽快感のあるシンプルな造りとなっている。その違いは図5.1.2-2～3、写真5.1.2-1と比較すれば歴然としている。また、このような材料や接合法の登場は、木造橋の耐久性に大きく影響する腐朽の発生を低減させる効果も期待される。

これらに対して写真5.1.2-17～20に示すものは19世紀後半～20世紀前半に架設されたもので、少し趣が異なっている。前出の写真5.1.2-4と同じように、写真5.1.2-15.18は方杖+トラスの複合形式であるが、図5.1.2-4のものとは材料の使用法や構造が軽快な印象を与えている。木材という材料には形状寸法に制限があるため、片持ちはりと持ち送り構造、斜材をうまく組み合わせ、長いスパンを稼ぐ工夫が見てとれる。写真5.1.2-17に示すのは、イタリア・ボルツァーノ(旧オーストリア領南チロール・ボーツェン)のアイザック橋で、この付近には同じような屋根付き木造橋が幾つかある。写真の後方に見えるのはブレンナー・アウトバーンで、これに並行して流れるアイザック川に架かっている。全長52m、載荷重量2tf(車両通行可)である。手前にはイタリア国鉄が走っている。これに対して写真5.1.2-19に示すのはシャチ(接合具の一種)を用いた重ね梁による真直梁形式の桁橋で、防腐処理を施した製材を用いている。以前は屋根なしであったが1957年に現在の形に改修され、良好な状態を保っている。屋根は寄せ棟形式で12の支柱により支えられている。橋台はコンクリート製で4つの簡単な木製橋脚を持つ。長さ45m、幅員2mの歩道橋である。写真5.1.2-20は26mm径のザイルに16mm径の鋼棒を吊るし、これに断面が160×120mmの木材を取り付け、床板を敷いた吊り橋(幅員1mの歩道橋)である。オーストリア・クラムザッハのブランデンベルガー川に架かっている。

写真5.1.2-17 アイザック橋
(伊・ボルツァーノ, 著者撮影)写真5.1.2-18 グルナウ橋
(奥・シュタンツェルタール, 著者撮影)



写真5.1.2-19 ミュルツ橋
(奥・キントベルク, 著者撮影)



写真5.1.2-20 シグムント橋
(奥・クラムザッハ, 著者撮影)

4. 森林資源の永続的循環

「持続可能」とは、将来の可能性を潰すことなく持続することとして捉えられているが、我々の生活を支える材料についても、「持続可能」を広く地球環境との調和の中で考えていく必要がある。このような思考過程の中で「エコマテリアル=エコロジカル・マテリアル、環境調和材料」という発想が生まれた。エコマテリアルに求められる諸特性としては、①生産・加工に要するエネルギー量が少ない、②生産工程での環境汚染がない、③再資源化が可能である、④使用・解体後の廃材が再利用できる、⑤廃材の最終処理で環境汚染がない、⑥持続的生産が可能である、などが挙げられる⁶⁾。

森林(樹木)は成育過程で大気中の二酸化炭素を樹体内に吸収し光合成により炭素を固定している。そして、樹木は伐採後に木材・木質材料に姿、形を変えても炭素を固定・貯蔵した状態を続ける。したがって、木造橋などの土木建築構造物はそれらの機能を維持しながら炭素の貯蔵庫としての機能も併せ持っている。例えば、法隆寺は1,300年以上にわたって炭素を貯蔵し、その分だけ大気中の二酸化炭素濃度の上昇を防ぐ貢献をしてきたと考えることができる^{7,8)}。伐採した跡地に植林すれば、新しく成育を始める樹木が再び二酸化炭素を吸収し始める。使用後の木材・木質材料は、幾度かのリユース・リサイクルを経て最終的には焼却・腐朽などにより大気中に二酸化炭素を放出することになるが、これは元々樹木であったときに吸収した二酸化炭素を大気中に返すだけのことであり、環境に負荷を与えることにはならない。これがカーボンニュートラルの考え方であり、木材はこのようなことからエコマテリアルとしての要件をほぼ満たす可能性を持っている⁶⁾。

ところで、我が国には、現在、スギやヒノキを中心とした豊かな人工林が広がっているが、材価の低迷や担い手の減少といった社会変化によって森林は十分な手入れがされないまま荒廃が進行し、これに伴い生態系の崩壊が深刻化している。この問題の本質的解決のためには、森林資源の現状を把握し将来にわたる木材供給能力を見積・評価すること、また、量だけでなく材料強度などの材質分布にも着目し、土木建築など木材の需要創出に関する持続可能なシナリオを作成することが必要である。試算によれば、日本の森林資源は現需要量の80%を占める輸入材に頼らないで済むほどの十分な蓄積量を有していると見込まれている。これまで人間社会は経済活動がもつリズム・テンポの都合で資源を利用してきたわけであるが、その結果として、日本の森林資源量は着実に増え、人工林の齢級構成は8~10齢級付近を頂点とする正規分布状を示し、若齢級(及び高齢級)が極めて少ないという危機的状況になっている。森林再生のためには、伐採・木材利用の促進と植林のバランスをコントロールし齢級分布を平準化させる必要がある。そのためには約100年を要すると試算されている。すなわち、これからは人間の経済活動が地域資源の持つ環境リズムに合わせていくことが求められる。そのためには、今後しばらくの間、木材の大量消費を考える必要がある。森林の多面的機能を享受している都市は積極的に木質化を推進する責務があると言える。

森林と森林が持つ機能，森林から生産される木材は，地球上で大きな資源循環システムを構築し，人類と生き物に多大な恵みをもたらしている．人類の存亡に関わる森林の保全，林業の建て直し，木材の高度有効利用はますます重要度を増しているが，資源循環を主体とした社会の仕組みを考え直すことが望まれている．

5. おわりに：木造橋に見る環境保全と木材利用の意義

森林は長い歳月をかけて出来上がった自然の恵みであり，そこから材料として得られる木材は時間の蓄積そのものであるため，経済や効率を重視する価値観とは相容れないところがある．循環型社会の構築のためには，エネルギー浪費型，利便追求型の経済論理に基づいた価値観を考え直す勇気が求められている．この報告で紹介した木造橋があるヨーロッパは温暖化対策や再生可能エネルギーに関して先進国となっているが，失業率も高く，良好な経済状態ではないにもかかわらず，多くの人々は環境保全を今後さらに重要な政策課題として捉えている．

ヨーロッパでは木造橋が消滅することなく，最近ではむしろ復活の気運にあることを述べたが，その背景としては，集成材の製造技術の進歩，設計基準の整備，架設上・保守上のメリット，腐朽処理法の発達，耐火性能の向上，優れた美観と質感に対する共感，力学的特徴に対する理解，材料供給体制の確立などを挙げることができる⁹⁾．我が国の木造橋もヨーロッパと同様，衰退の運命を辿り，特に戦後は完全に駆逐された．また，木造橋に限らず木造建築は昭和30年代より大空白時代に入り，木造に関する教育や構造設計技術が失われた．そのため，木造橋設計のための教育・研究は永らく途絶え，海外の事例に頼らざるを得ない状況が続いた．しかし，関係者の献身的な努力により1980年代に入って大規模木造建築が復活し，近年徐々に木造橋の事例もみられ，今後も発展する可能性が感じられる¹⁰⁻¹⁴⁾．特に景観とのマッチングにおいては，ここで紹介した写真でも明らかかなように天然材料ならではの圧倒的な質感が人々を惹きつけている．

森林から生産される木材は，土や石などと共に最も古くから利用され，かつ現在でも広く利用され続けている天然材料である．しかしながら，あまりに身近で便利なものであったため気がつかないうちに安易に扱われ，材料として低い価値観が定着している感がある．ある目的のためには極めて優れた性能と均一な性質をもつハイテク材料とは異なり，様々な項目に対して中庸で平均的な性能を持つと同時に人間と同じように個体間でバラツキが激しく，真に使いこなすためには知恵と知識が要求される．一方で，炭酸ガス排出ゼロで，しかも炭酸ガス貯蔵機能まで持つ木質構造物こそが地球環境に調和することができる．木造橋が循環型社会の構築に向けた架け橋となり，さらなる木材の需要拡大・利用普及と森林の再生につながることを期待したい．

参考文献

- 1) Gerold, M. : Hölzerne Brücken von den Anfängen bis heute(Teil1), bauen mit holz, Nr.5/90, pp.350-355, 1990
- 2) Gerold, M. : Hölzerne Brücken von den Anfängen bis heute(Teil2), bauen mit holz, Nr.6/90, pp.434-441, 1990
- 3) Horn, T. : Gedeckte Holzbrücken Zeugen alter Holzbaukunst, Eigenverlag Trude Horn, Klagenfurt, 1980
- 4) bauenmitholz, Nr.9/01, p.1,2001
- 5) Mucha, A. : Holzbrücken, Bauverlag, Wiesbaden u. Berlin, 1986 u. 1995
- 6) 山本良一：エコマテリアルについての考え方，アイカアイズ，No.31, pp.4-9, 1999
- 7) 只木良也：物質資源・環境資源としての地球の森林生態系，「木材利用と地球環境保全」，日本木材学会編，pp.1-11,1993
- 8) 川井秀一：木材加工におけるエネルギー消費と環境汚染性，「木材利用と地球環境保全」，日本木材学会編，pp.41-51,1993
- 9) 薄木征三：木橋，「木質構造研究の現状と今後の課題(Part II)」日本木材学会木材強度・木質構

造研究会編, pp.202-213,1994

- 10) 飯村豊：集成材斜張橋用倉大橋の性能，木材工業，Vol.48, No.12, pp.610-613, 1993
- 11) 奥迫輝昭：広島県立中央森林公園の木造斜張橋，木材工業，Vol.47, No.12, pp.606-608, 1992
- 12) 小松幸平：最近の木橋(I)，木材工業，Vol.49, No.2, pp.58-62, 1994
- 13) 小松幸平：最近の木橋(II)，木材工業，Vol.49, No.3, pp.112-114, 1994
- 14) 佐々木貴信：木橋の未来，木材工業，Vol.52, No.3, pp.140-142, 1997