

「かりこぼうず大橋」とシステム技術の変遷—ブルネルの木造鉄道橋から現代のスギ車道橋まで—

宮崎県木材利用技術センター 正会員 ○飯村 豊

1. はじめに

CO₂ 吸収を効率的に推進することで関心が高まっている生育の早い人工林の森林資源を早期循環させるという視点からその利用技術開発が急がれている。宮崎県では、スギ造林木の成長に伴い(図1)、その伐採量を現在の110万m³(42万トン)から、年間の平均成長量300万m³(114万トン)に近づけるべく、スギの利用拡大を推進している。その一環として、宮崎が最近取り組んだスギ車道橋「かりこぼうず大橋」について、システム技術という視点から、19世紀以降の工学的木材利用を先導したブルネル(I.K.Brunel: 英国1806-1859)の木造鉄道橋、20世紀に発展した米国の木造橋と比較しながら述べていく。



図1 充実する人工林スギ

2. 木造橋に使用されている木材

英国のブルネルは鉄道施設に耐久性に優れるオーク材と当時は割安であったパイン材(イエローパイン)を多用した。木造鉄道橋には主にパイン材を用いたようだ。良質なベイマツの天然資源に恵まれた米国では、英国から伝えられたパインの利用技術が飛躍的な発展を遂げ、現在でも木造橋に活かされている。宮崎県の人工林スギは生育が著しく伐採期を迎えているが、これまでは橋梁に使用されることは少なかった。

表1は、これらの木材の物性を比較したものである。強度等級は一般材を前提とし、パイン(イエローパインとベイマツを含む)がJAS集成材規格のE105-F300、スギは同E65-F225、オークは比較のためJAS規格並にE75-F240としている。圧縮、せん断、曲げ、引張り、めり込みの各数値は、長期許容応力度を示す。表1から、材料の物性に影響の大きい比重(気乾比重)は時代(1世紀毎に)とともに下がってきていることが分かる。そこで、各物性を比重で割った比ヤング係数・比強度で示すと、図2のレーダーチャートのようになる。レーダーチャートでは、オークを100として、パイン、スギの各物性をそれぞれ比較している。この図から、めり込み以外の全ての物性で、パインとスギがオークより高い値となっていることが分かる。宮崎県産スギは気乾比重ではパインより低いいため相対的に強度が劣るとみなされることから、扱い難い木材とされることが多いが、その他の物性では遜色ない。こうしたスギの特徴は「かりこぼうず大橋」に活かされている。

表1 物性の比較

	オーク	パイン	スギ
ヤング係数(kN/mm ²)	7.5	10.5	6.5
圧縮(N/mm ²)	6.8	8.4	6.2
せん断(N/mm ²)	0.68	1.3	1.1
曲げ(N/mm ²)	7.4	10.8	8.1
引張り(N/mm ²)	4.3	7.3	5.3
めり込み(N/mm ²)	4.9	3.3	2.2
気乾比重	0.65	0.42	0.32

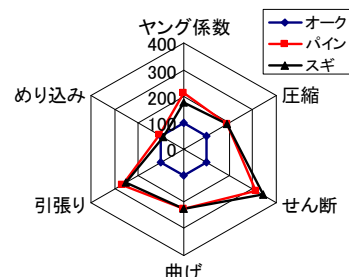


図2 比ヤング係数・比強度の比較

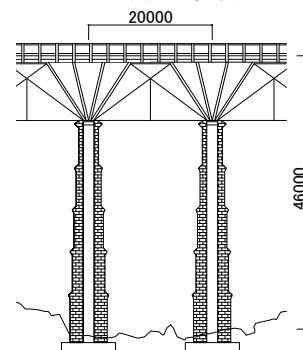


図3 トレスル橋のイメージ図

3. システム技術の変遷

表2は、英国のブルネルの木造橋、米国の代表的木造橋、および宮崎県の「かりこぼうず大橋」の設計から製作、施工、維持管理に至る各プロセスをシステム技術として比較したものである。表にはそのシステムがオープンかクローズかも示した。

ブルネルの木造鉄道橋は、民間の鉄道事業の運営に必要な設計者、エンジニアリング会社、製作者(製材業者、加工工場、機械メーカ、木工事業者)、施工者などの関係者に支えられたクローズドシステムから成り立っていた。クローズドシステムの下にパイン材の強度格付を行い、パイン材がオーク材より比重が低く、加工が容易なことを利用して、平角材を積層してボルトで連結してつくる長尺大断面の積層材を開発した。積層材に使用されたイエローパインは、通直製材品として経済性に優れ、保存処理の容易なことを理由にバルト海沿岸から調達された。彼はこの積層材を用いて軽量構造のトレスル橋を低コストで建設した(図3)。パイン材で鉄道施設を建設する際には、パイン材が要求性能を満たしているかどうか実大材の座屈実験などを実施している。その実験を通じてオークの技術とは違う新たなパインの技術を性能設計に基づくシステム技術として短期間のうちに構築したことになる。ブルネルは、このシステム技術に基づき、新たに開発した橋梁木部材の積層材を駆使しながら過去に類例のない用途となる鉄道橋を64橋、設計・監理・架設した。しかし、ブルネルの木造鉄道橋は、イエローパイン材の枯渇や当時の薬剤で防腐処理はしていたものの維持管理の困難さも手伝って、全て取り壊されて鉄に代替された結果、80年の歴史に幕が閉じた。ブルネルがオークに代えて新しい材料のイエローパインを短期間のうちに使いこなすことができたのはブルネルの構築したクローズドシステムに負うことが大きい。そのクローズドシステムの下で施工を受け持つ

表2 システム技術の変遷

	代表的な形式	設計	資源	木部材製作	施工	維持管理	システム
英国	トレスル	個別	輸入	製材、積層材	大工・鳶	大工・鳶	クローズ
米国	トラス	標準	地域	製材、集成材	大工・鳶	大工・鳶	オープン
宮崎	ハイブリッド	個別	地域	集成材	橋梁鳶	橋梁鳶・集成材メーカ	セミオープン

キーワード: 木材資源、木造橋、ブルネル、軽量構造、システム技術、維持管理法

連絡先: 宮崎県木材利用技術センター 〒885-0037 宮崎県都城市花繰町21-2 TEL:0986-46-6041 FAX:0986-46-6047

ていたのはブルネルが所属する GWR (Great Western Railway) に従事していたオーク材を自在に扱うことができる優秀な技量を持つ大工と鳶であった。

英国の鉄道技術は米国に渡って、大陸横断鉄道建設と共に木造鉄道橋の建設に大きな役割を果たした。建国間もない米国社会のオープンシステムの中で、木造橋建設の設計・製作・施工技术は分業 (サブシステム) が前提となり、設計はティンバーエンジニア、製作は製材や集成材等を加工する木材加工工場、接合金物は鉄工所、現場架設工事はラフカーペンター (大工鳶) が担当した。

西海岸から供給されたパイン (ベイマツ) は比ヤング係数が、鉄・鋼とほぼ同じ 25kN/mm^2 であったことから架設場所によっては長スパンのハウトラス橋などに使用されて市場競争力を長い間維持してきた。米国の木造橋は木造トラスが主であった。トラスとすることで部材を比較的小さくできるため、運搬や建設が容易であり、製作、施工が誰でも容易にできるのが特徴であった。最も普及したハウトラスは、トラスの鉛直材 (引張り材) に鋳鉄の長尺ボルトを用いている。橋の維持管理を考えると引張り材をボルトとした使い方は、未乾燥の製材を用いれば必ず起こる収縮ガタを調整するのに画期的な提案であった。こうして発展したトラス橋のシステムは、既製品を組み合わせて建設するトラス橋として米国独自の発展を遂げることになる。その背景には、安価な規格ボルトの普及、組み立てやすい既製品金物の充実など、サブシステム技術の構築と共に、設計の標準化が進んだことがある。サブシステム技術は、競争原理の中で、コストダウンを引き出し、海外にも普及していった。木橋の耐久性能は現在、50 年が前提となっている。そこには豊富な森林資源を 100 年以上使い続けて構築されたサブシステム技術が途絶えることなく存続しており、その中で維持管理法も培われている。米国ではオープンシステムの下で施工を担当するのがラフカーペンター (大工鳶) で、彼らはユニオンに所属している。



図4 かりこぼうず大橋

日本では木造橋建設のシステム技術が確立されていない。そこで宮崎県は「かりこぼうず大橋」を建設する際に、公共工事として今後のモデル橋とするためシステム技術の構築を目指した。人工林スギを利用した「かりこぼうず大橋」は、2003 年 2 月に宮崎県児湯郡西米良村に架設された (図 4 参照)。橋長 140m、幅員 7m の木造車道橋で、15m の単純桁、50m のキングポストトラス 2 連、25m のキングポストトラス 1 連で構成される A 活荷重 2 車線構造の木造橋である。木造橋とはいえ、鋼橋と同様に性能設計の手法を採用し、現行のサブシステム技術を活かしながら鋼材などとスギ集成材を適材適所に混用するハイブリッド型の木構造である。スギ集成材は積層接着を繰り返して $1000 \times 1800\text{mm}$ の大断面材を開発した。スギは、上述したように、ヤング係数とめり込み応力度 (繊維と直角方向の圧縮応力度) がパインより低いことで加工が一層容易となる特長を利用したもの。図 4 に示したスパン 50m を有するハイブリッド構造のキングポスト車道橋が実現できたのも、比ヤング係数と比強度でスギはパインと遜色ないからである。本橋建設のシステム技術は、短期間のうちに木造橋建設システムの構築を図るため、ブルネルのようにクローズのシステム技術と米国に倣い普及を前提にしたオープン化を狙う、いわばセミオープン型となっている。木部材の製作は、地域のクローズのサブシステム技術に依存した。鋼材の製作及び架設は、鋼橋の現行システム技術を適用している。最大支間長 50m のキングポストトラスでは、木部材は軽軟で加工性の良いスギの材料特性を活かすボックス型の複合集成材を圧縮と曲げ材とし、鋼部材は PC 鋼棒の引張り材とする混構造としている。キングポストトラス上弦材のボックス型複合集成材の断面は $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 、下弦材は図 5 に示す $1000\text{mm} \times 1800\text{mm}$ である。

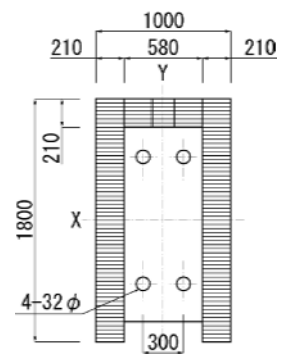


図5 下弦材の断面図

4. おわりに

19 世紀に架設された英国のブルネルの木造橋は、クローズシステムの下に豊富な熟練大工技能者によって支えられていた。一方、20 世紀における米国のトラス橋は一般に、オープンシステムによって未熟練の大工鳶が建設したものといえる。宮崎県のかりこぼうず大橋はクローズシステムとオープンシステムを折衷したセミオープンシステムの下、大工の手によらず橋梁建設の現行サブシステム技術によって建設されたものであり、そのサブシステム技術に依存しながら維持管理されていくだろう。キングポストトラスとしては世界最大規模のスパン 50m を誇り、性能の点でも、図 6 に示すように、架設 992 日後の変位量が 0 から 14mm (スパンに対し 1/3570) と小さな値で推移・安定している。セミオープンシステムの下に建設されたこのスギ木造橋は地域材スギの土木分野への利用の可能性を改ためて示したものである。

謝 辞 「かりこぼうず大橋」の建設には宮崎大学工学部中澤隆雄教授、同今井富士夫教授他の多くの関係者にご指導を頂いた。

参考文献: 1) 飯村豊: 木橋の耐久性と維持管理, 土木学会鋼構造委員会木橋小委員会, 第 2 回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, 2003, pp.85-92.

2) 飯村豊, 中澤隆雄, 今井富士夫, 木場和義: 「現代木橋の劣化予測」- 「かりこぼうず大橋」の維持管理-, 土木学会, 第 59 回年次学術講演会講演概要集 (第 VI 部門), 2005, pp.721-722.

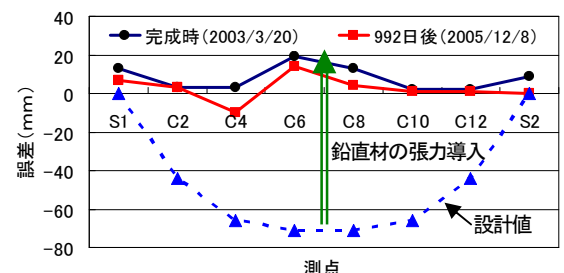


図6 50mキングポストトラスの変位量の推移