

厳環境こそ木材を？～木コンクリート橋「歌越別橋」の例～

性能部 構造・環境グループ 上田 麟太郎

■木コンクリート橋とは

インフラツーリズムの流れもあってか木橋や木製ダムなど木材を活用した土木構造物の知名度は増してきたようですが、木コンクリート橋はまだまだ知られざるもの(マニア向け?)の一つのようです。木コンクリート橋とは、第二次世界大戦直前の1938年に高橋敏五郎技師らにより北海道庁土木試験室で開発された橋の型式¹⁻⁴⁾です。日中戦争が泥沼化し鋼材の使用が制限されるようになった時局のなか、高橋技師らは木材とコンクリートを組み合わせることで、鋼材を節約しながら自動車も通行可能な橋を実現しました。木桁の上にコンクリートの床版(しょうばん)を載せた構造で、引張応力に強い木材と、圧縮応力や摩耗に強いコンクリートの材質的特徴をうまく活用しています。木桁と床版に切り欠きを設けて噛み合わせることで、二者をつなぐ鋼材の量を減らす工夫がみられます。

メリットは鋼材の節約に留まらず、工費の安さや施工の容易さ²⁾なども手伝い、資源不足が解消に向かった戦後になっても改良が進められながら新たな木コンクリート橋が架けられています。道内を中心に、延べ350橋以上(うち道内の国道246橋)³⁾が架けられました。しかし、残念ながらその後は交通量の増加などを背景に鋼橋やコンクリート橋への更新が進み、2023年時点では数橋しか現存しない⁴⁾「幻の橋」となっています。

■木コンクリート橋「歌越別橋」



図1 歌越別橋 (2025年5月撮影)

留萌から北に約80 km、初山別村の歌越別川に架かる歌越別橋(図1)は、現存する貴重な木コンクリート橋の一つです。歌越別橋は戦後18年経った1963年に当時の国道に架橋されました。日本海に注ぐ河口に位置しており、潮風を直に受ける厳しい環境にありながら60年間以上も橋の形を保っています。残念ながら齢相応に劣化が進んでおり、2025年現在は通行禁止となっています。

■歌越別橋の構造

歌越別橋は橋脚と床版が鉄筋コンクリート、高欄(欄干)が鉄筋コンクリートの支柱に手すりとして鋼製のパイプを挿したもので、桁が木材(針葉樹材)となっています。直径40 cmを超える大径の丸太から二丁取りされたとみられる桁もあり、木口を見てみると、かなり狭く均質な年輪が樹心まで密に詰まっています(図2)。今ではあまり見掛けなくなったような、天然林から伐り出された材が使われたようです。



図2 木桁の木口

木桁はメインの桁を補強するように下面にもう1本短い桁が添えられ、上下に通したボルトで束ねられた合成桁となっています。上下の桁同士が接する面は切り欠きを設け、広葉樹材の板を挟みこむことで2本が前後にずれないように一体化されています(図3)。現代であれば2本を接着するか集成材を使うことで、ボルトも広葉樹材のずれ止めも不要になっているところだと思います。この違いは、接着技術が未発達だった時代の創

意工夫が垣間見える貴重なポイントと言えます。上側の桁はただ床版と橋脚に挟まれているだけにも見えますが、桁の上面が切り欠かれて床版にかみ合うよう床版下面の穴に挿してあり(図4, 丸囲み部), 桁と床版が一体となって荷重を支えるよう作られています。



図3 一体化された2本の木桁



図4 木桁と床版下面のかみ合わせ

■歌越別橋に見る、鉄、コンクリート、木材の劣化の違い

歌越別橋をよく見ると、材料によって劣化の仕方が違うことに気がきます。

まず鉄(鋼)では、ボルトを留めたナットが木桁の下に見えますが、いずれも赤錆で膨らみ原型がようやく分かる程度(図5)で、一部のボルト頭部はすでに脱落しています。鋼製の手すりやコンクリートから露出した鉄筋も同様に、すっかり赤錆に覆われています。潮風を受ける環境ということで、塩害の影響が明らかに見受けられます。木桁には塩分の付着は見られますが、その影響と思われる変化は特に見当たりません。表面に付着した塩の結晶が木材の摩耗を促進する⁹⁾ことは報告されていますが、長く醤油や味噌の樽が無垢のスギ材で作られてきたように、塩分で木材自体はほとん



図5 塩害を受けた木桁下面のボルト・ナット



図6 コンクリート橋脚・高欄の様子



図7 劣化が進んだ高欄の様子

ど劣化しない(ほとんど塩害を受けない)ことが分かっています。

コンクリートの橋脚や高欄を見ると、所々ひび割れて角が割れ、表面は粗くなっています(図6, 白矢印)。高欄の劣化は特に激しく、鉄筋が露わになり、手すりが脱落するほど崩壊した箇所もあります(図7, 赤矢印)。これまで60年以上にわたり風雪を受けてきたことが見た目に納得できるような有様です。木材はというと、桁の中央あたりで腐朽劣化の進んだ箇所が見ら

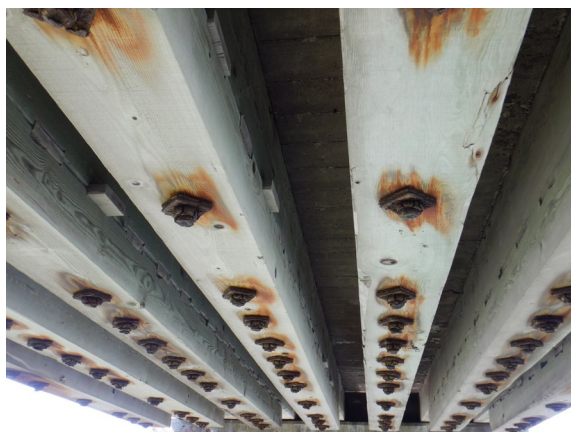


図8 木桁の様子

れます。一方で全体的な形状を見ると、周囲の角は立っており平面も整ったままで、コンクリートに比べれば60年も経っていると思えないぐらい元の形を保っています(図8)。この違いはどこからくるのでしょうか。

■コンクリートの「凍害劣化」

その主な要因と考えられるのが、コンクリートで発生する凍害劣化です。凍害劣化とは、長年にわたり水分の凍結と融解が繰り返されることでコンクリートの組織が徐々に劣化する現象で、表面のひび割れや剥離(スケーリング、ポップアウト)という形であらわれます⁶⁾。ひび割れや剥離が進めばよりいっそう水分や冷たい空気がコンクリートの内側に伝わりやすくなり、凍害劣化は勢いを増して進行することになります。

凍害劣化はさらに、塩分によって著しく促進される⁷⁾ことが分かっています。アイスクリームの手作りといえど氷に塩を混ぜた寒剤を使うのがお約束ですが、これは塩が水に溶けることで氷点が下がり、氷が解けることで周囲から熱を奪う(周囲の温度が下がる)現象を利用しています。これにより出来た氷水の温度が0℃を大きく下回することで、アイスクリームが出来るという仕組みです。塩分が付着したコンクリート表面でも同じことが起こり、表面で急激な温度低下が生じることで劣化に至る場合があるほか、コンクリートの内部で塩分濃度の違いにより凝固点に差が生じ、位置によって凍結の進行にズレが起きることや、塩分とコンクリートの成分との反応などの影響もあり、塩分による凍害劣化促進にかかわるメカニズムは複雑で、全容はまだ解明されていません⁷⁾。

歌越別橋の場合も、潮風により塩分が供給され続けたことで凍害劣化が促進されたものと考えられます。

また先述の通り、高欄のコンクリートが特に激しく劣化していました。これは積雪の重さや除雪作業の影響もありそうですが、高欄がコンクリート支柱に鋼製の手すりを直接挿した構造だったために、手すりが温度変化をコンクリートへ迅速に伝える熱橋(ヒートブリッジ)としてはたらく、凍結と融解の繰り返しを促進させたことで激しい凍害劣化につながったのではないかと推察されます。

■木材は「凍害劣化」するのか

木材の場合、水分の多い一部の生立木では凍裂と呼ばれる凍害が発生することがあります(図9、赤矢印)。凍裂とは木材中の水分が凍結して樹幹が縦に裂ける現象で、そのまま樹木の枯死につながる場合もあります。枯死しなくても凍裂の痕は「蛇下り」という欠点として残り、丸太としての商品価値が大きく下がってしまうため林業者に恐れられている現象の一つです。道産樹種ではトドマツやヤチダモの凍裂が知られており、冬山で凍裂が起きた「パーン」という音を聞くことがあります。



図9 顕著な凍裂を生じた生立木(旭川市)

一方で製材の場合、凍結や融解に関係する被害については特に情報が見つかりません。丸太の凍結が加工作業の支障になることはありますが、建設をはじめ製材を利用する過程では、特段問題になることはないようです。生立木でさえ、凍裂が起こるのはごく一部です。製材はふつう、凍結する水分(自由水)がない状態まで乾燥してから利用されています。もともと水で膨潤していた木材が乾燥によって収縮した後なので、生立木以上にほぼ吸水しない限り、凍結が生じても膨張に耐えられるのではないかと考えられます。生立木を-196℃の液体窒素で凍結して伐採し、凍ったままの

細胞を顕微鏡観察する手法⁸⁾においても、細胞壁は損傷していないように見えます。強度の面でも、注水・浸漬して高含水率(50,100,150,200%)としたスギ正割材に-15~+5℃のサイクルで凍結・融解の繰り返しを最大 90 回与えた試験において、曲げ強度性能に対して凍結融解の影響は少なかった⁹⁾ことが報告されています。

また、木材は一般に鉄・コンクリートに比べて比熱が高い(温度変化しにくい)こと、熱伝導率が低いことからすれば、同じ環境下において木材では、凍結・融解の繰り返し自体が緩やかになると考えられます。

以上のことをふまえると、コンクリートの凍害劣化に比べれば、凍結・融解による木材の被害のおそれはかなり小さいことが推察されます。

なお、コンクリートの凍害劣化は塩分により促進されることを先に述べましたが、木材の凍結・融解に対する塩分の影響は未解明です。木材が温度変化しにくいことや、ほとんど塩分と反応しないこと、海水貯木により塩分を含む製材が流通した時代から凍結が特に問題とされてこなかったことを考えると、コンクリートの場合のような顕著な影響は認められないのではないかと考えられます。

■歌越別橋と木材の強み

以上のように歌越別橋の劣化の様子から振り返ると、材料として木材には2つの強みがあることが分かります。一つは塩害に対する強さ、もう一つは低温環境(凍結・融解)に対する強さです。塩害の話題は歌越別橋のような沿岸地域に留まりません。寒冷地では冬季に道路上へ散布される融雪剤によって塩害が発生することも多く、凍結・融解と相まって材料には厳しい条件となっています。このような塩害や凍害にさらされる過酷な環境こそ、意外にも木材の強みを最大限に発揮できる場なのかも知れません。この点からすれば北海道はまさに、木材の実力が試される大地とすることができでしょう。

木材が活躍できる場を見出すことは、木材の利用拡大に欠かせない視点です。そのヒントは意外なところからも見つかります。例えば、木材が塩分だけでなく硫黄や酸にも強い(劣化しにくい)ことから、温泉ガスにより金属が劣化しやすい温泉地において木橋のような木製構造物が求められる場合もあります。今回は歌越別橋を例として、木材の強みはどこにあつて、どう活かせるか?について述べましたが、他にもまだまだ探索の余地はありそうです。

■されど設計の工夫&メンテナンスは抜かりなく

ところで歌越別橋の木桁には、腐朽劣化した箇所があることを先に述べました。桁の中央にあたる位置(図10)ですが、本来は床版を貫通した鋼製の排水管(図11, 黄矢印)が桁の側面を通っていたようです。排水管が木桁の下方まで水を運ぶことで、木桁を濡らすことなく床版上から排水する工夫が図られていました。ところが床版下面に露出した管が劣化して脱落した結果、排水を木桁側面に浴びせ掛ける穴(図11, 赤矢印)となってしまい、かえって木桁の腐朽を誘発したようです。これは、もし設計当初の意図を汲んだメンテナンスが行われていれば避けられた可能性が高い劣化と考えられます。いくら木材の強みを活かせる環境や工夫された設計であれ、維持管理を欠かせばいずれ形無しになってしまうことを、歌越別橋は物言わず伝えてくれているようです。



図 10 木桁の腐朽劣化の様子

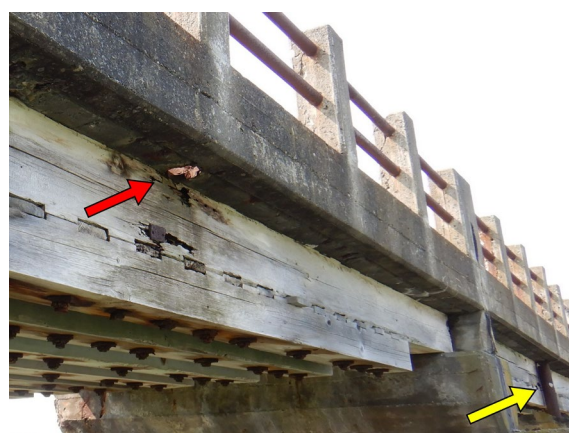


図 11 排水管の残留箇所(黄)と脱落箇所(赤)

■参考文献

- 1) 岩田圭佑：北海道で普及した「木コンクリート橋」の歴史的価値について. 寒地土木研究所月報 No.833, 70-73, 2022.
- 2) 西本藤彦：木コンクリート橋. 開発土木研究所月報 No.467, 1, 1992.
- 3) 畑山義人, 井上雅弘, 菅原登志也：高橋敏五郎と木コンクリート橋. 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, CS4-013, 25-26, 2010.
- 4) 岩田 圭佑, 榎本碧, 原口征人：木コンクリート橋の歴史的価値の評価手法に関する考察. 土木史研究講演集 vol.43, 233-238, 2023.
- 5) 飯田隆一, 園田里見, 愛甲龍之介：塩水を用いた乾湿繰り返しによる木材への塩害に関するメカニズムの検討. 第 75 回木材学会大会研究発表要旨集, N19P15, 2025.
- 6) 国立研究開発法人 土木研究所・寒地土木研究所：凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案）. 2-3, 2016.
- 7) 遠藤 裕丈：なぜ、塩化物水溶液はコンクリートの凍害劣化を促進させるのか？. 北海道開発土木研究所月報 No.582, 31-34, 2001.
- 8) 黒田克史：実験講座(65)立木の幹内部の水・元素分布を細胞レベルで解析する-立木凍結固定伐採法とクライオ SEM/EDX 法-. 木材工業 74(2), 76-80, 2019.
- 9) 野田龍, 石橋賢弥, 後藤文彦：凍結融解が木材の曲げ強度性能に与える影響に関する基礎的実験. 木材保存 44(5), 251-258, 2020.

謝辞：国立研究開発法人・寒地土木研究所より依頼を受けて今年 5 月、歌越別橋の用材の現地調査に参加できる貴重な機会を得ました。ここに謝意を表します。