

# 九州における木材の 土木利用に関する講習会 2017

~木材利用の考え方・現状・新技術~

2017年7月7日 電気ビル共創館

九州橋梁・構造工学研究会(KABSE) 九州における木材の土木利用への新たな取り組みに関する研究分科会



## 九州における木材の土木利用に関する講習会 2017 ~木材利用の考え方・現状・新技術~

九州橋梁・構造工学研究会(KABSE)は、土木学会西部支部と共催で、財団法人福岡県建設技術情報 センターの講習会等助成事業の助成により、以下の講習会を開催いたします。

地球温暖化対策として、国内では木材の積極的な利用が求められており、2010年10月には「公共建 築物等における木材の利用の促進に関する法律1も施行され、建築分野では積極的な取り組みも展開 され始めています。土木分野ではそのような取り組みはいまだ低調ですが社会的背景は同じであり、 近い将来その利用拡大が求められることになると考えられます。

本講習会では、この数年における我が国の木材利用のめざましい変革と技術について、広島大学の 森 拓郎氏よりご講演いただきます。続いて KABSE 九州における木材の土木利用への新たな取り組み に関する研究分科会の活動報告として、木材利用に馴染みのない土木技術者にわかりやすさを工夫し て取りまとめた成果報告の紹介を行います。今後のこれらの分野での実務に有益な情報が多く含まれ ていますので、多数のご参加をいただきますようご案内申し上げます。

名 九州における木材の土木利用に関する講習会 2017

~木材利用の考え方・現状・新技術~

主 (一社)九州橋梁•構造工学研究会 催

(公社)土木学会西部支部 共 催

後 援 福岡県 (公社)地盤工学会九州支部 (一社)日本木材学会九州支部

(公社)日本木材加工技術協会九州支部

(一社)建設コンサルタンツ協会九州支部

(公社)日本技術士会九州本部 木橋技術協会

平成 29 年 7 月 7 日(金)14:00~17:30 時

会 電気ビル共創館カンファレンスルーム C(福岡市中央区渡辺通 2-1-82) 場

参加費2,000円

継 続 教 育 土木学会 CPD プログラム(認定番号:JSCE17-0388/3.3 単位)

※建設系 CPD 協議会認定プログラムです

参 加 申 込 参加者氏名、所属、連絡先をKABSE事務局までお知らせください。先着 80名

で受け付けます。締め切りは 6 月 30 日です。これ以降も空席があれば参加

できます。事務局にお問い合わせください。

情報交換会 終了後、近隣で交流会を行います。会費は 3000 円程度を予定しています。

ご参加いただける方は参加申し込みと合わせてお知らせください。

(この参加費は当日講習会時に徴収いたします。)

問い合わせ先 812-0004 福岡市中央区渡辺通 1-1-1 サンセルコビル 6F

㈱長大 福岡支社内

九州橋梁•構造工学研究会事務局 Tel/Fax 092-737-8570

参考情報は → http://tbl.tec.fukuoka-u.ac.jp/kabse-wood/

プログラムは次ページをご参照ください。



# 九州における木材の土木利用に関する講習会 2017 ~木材利用の考え方・現状・新技術~

日 時 平成 29 年 7 月 7 日(金) 14:00~17:30

17:25~17:30 閉会あいさつ

会 場 電気ビル共創館カンファレンスルーム C (福岡市中央区渡辺通 2-1-82)

プログラム		司会:福岡 仁(朝日テクノ㈱)	
14:00~14:05	開会あいさつ		
14:05~15:05	《特別講演》我が国における近年の木材利用の動向と技術 森 拓郎氏(広島大学)		
15:05~15:20	KABSE (2	こおける木材利用研究会の活動 渡辺 浩(福岡大学/分科会主査)	
		(休 憩)	
15:30~15:40	第1講	熊本地震で公共木造建築はどうなった?〜知られざる中大規模木造建築の耐震性 池田 元吉(熊本県林業研究指導所)	
15:40~15:50	第2講	使っても減らない木材資源〜世にも不思議な循環型資源に迫る 渡辺 浩(福岡大学)	
15:50~16:00	第3講	なぜスギだったのか?~有り余っている木材資源の隠された能力 宮副 一之(㈱九州構造設計)	
16:00~16:10	第4講	樹木から木材へ〜設計と使い方の工夫で満足度と耐久性アップ! 藤本 登留(九州大学大学院)	
16:10~16:20	第5講	昔は木橋、これからも木橋〜技術は木橋をこのように変えた 千田 知弘(福岡大学)	
16:20~16:30	第6講	水の中でも土の中でも〜人と暮らしを支える様々な木材利用 北村 健一郎(㈱アリモト工業)	
16:30~16:40	第7講	目からウロコの木材利用〜こんなこともできます 稲垣 浩通(飛島建設㈱)	
16:40~16:50	第8講	魅せる木材、見えるメリット〜部材交換でいつでもフレッシュ 森竹 巧(中央コンサルタンツ(株))	
16:50~17:00	第9講	橋梁点検~木橋は他の橋とどう違うのか? 竹下 孝一郎(㈱長大)	
17:00~17:25	総合討論		

## まえがき

一般社団法人九州橋梁・構造工学研究会(KABSE)は、その名が示すとおり九州を拠点に構造工学・土木工学の研究者および技術者により運営されている研究会であり、産官学の相互協力と交流、技術者の育成を目的として活動している。その特徴的な活動のひとつに研究分科会活動がある。これは、様々なテーマの元に集まった会員が、実務や研究で得られたアイデアを出しながら自由闊達な意見交換ができる場であり、これまでに様々な成果が示されている。

本講習会を担当する「九州における木材の土木利用への新たな取り組みに関する研究分科会」は、平成 27, 28 年度に活動した研究分科会である。その特徴は土木分野のみならず木材分野の研究者・技術者も参加していることであり、相互の交流・意見交換を意識した活動を続けてきた。この講習会は、その研究成果を取りまとめたものである。

本講習会は、木材利用になじみがない、またはネガティブな土木技術者を対象に、木材利用の 意義や留意点、利用法等を紹介するものである。2010年のいわゆる公共建築物木材利用促進法に より、建築分野における木材利用の機運は高まっているが、土木分野ではいまだ低調なままであ る。しかしながら社会的背景は同じであり、近い将来その利用拡大が求められることは間違いな い。

このような観点から、報告書は、土木分野における木材利用について、その概要や考え方にテーマを絞って1トピック2ページでまとめている。詳細な内容には遠く及ばないが、専門書を手に取るきっかけとなれば、さらには木材利用を理解する土木技術者が増えれば幸いである。

今春、土木学会より「土木技術者のための木材工学入門(丸善出版/ISBN978-4-8106-0919-6)」が出版された。本書の編集には分科会委員でもある末次大輔氏(佐賀大学)が幹事長として関わっている。これから我々がよりよく木材利用を進めるために、多くの方にご一読いただきたい。また本報告書の写真の多くは「木橋資料館(http://tbl.tec.fukuoka-u.ac.jp/)」から引用している。ここには木橋を始め外講木材の利用におけるヒントが隠されている。一度ご訪問いただきたい。

最後に、本講習会を開催するにあたり、一般財団法人福岡県建設技術情報センターから講習会等助成をいただいた。また公益社団法人土木学会西部支部には共催を、福岡県、公益社団法人地盤工学会九州支部、一般社団法人日本木材学会九州支部、公益社団法人日本木材加工技術協会九州支部、一般社団法人建設コンサルタンツ協会九州支部、公益社団法人日本技術士会九州本部、木橋技術協会に後援をいただいた。記して感謝申し上げます。

福岡大学 渡辺 浩

九州における木材の土木利用への新たな取り組みに関する研究分科会 分科会委員

主査 渡辺 浩 福岡大学

副查 藤本 登留 九州大学大学院

幹事 竹下 孝一郎 ㈱長大

幹事 森竹 巧 中央コンサルタンツ㈱

池田 元吉 熊本県林業研究指導所

稲垣 浩通 飛島建設㈱

上月 裕 熊本県

北村 健一郎 ㈱アリモト工業

末次 大輔 佐賀大学低平地沿岸海域研究センター

篠原 義則 明治コンサルタント㈱

千田 知弘 福岡大学

野中 茂弘 (一財)福岡県建設技術情報センター

福岡 仁 朝日テクノ㈱ 宮副 一之 ㈱九州構造設計

### 平成 27, 28 年度 九州橋梁・構造工学研究会 「九州における木材の土木利用への新たな取り組みに関する研究分科会」

## 九州における木材の土木利用に関する講習会 2017 ~木材利用の考え方・現状・新技術~

### ~ もくじ ~

特 講	我が国における近年の木材利用の動向と技術	1
	森 拓郎氏 (広島大学)	
第1講	熊本地震で公共木造建築はどうなった?~知られざる中規模木造建築の耐震性	5
	池田 元吉(熊本県林業研究指導所)/上月 裕(熊本県)	
第2講	使っても減らない木材資源~世にも不思議な循環型資源に迫る	7
	渡辺 浩(福岡大学)	
第3講	なぜスギだったのか?~有り余っている木材資源の隠された能力	9
	宮副 一之(㈱九州構造設計)福岡 仁(朝日テクノ㈱)	
第4講	樹木から木材へ〜設計と使い方の工夫で満足度と耐久性アップ!	11
	藤本 登留(九州大学大学院)	
第5講	昔は木橋、これからも木橋~技術は木橋をこのように変えた	13
	千田 知弘(福岡大学)/篠原 義則(明治コンサルタント㈱)	
第6講	水の中でも土の中でも~人と暮らしを支える様々な木材利用	15
	北村 健一郎(㈱アリモト工業)	
第7講	目からウロコの木材利用~こんなこともできます	17
	稲垣 浩通(飛島建設㈱)	
第8講	魅せる木材、見えるメリット~部材交換でいつでもフレッシュ	19
	森竹 巧(中央コンサルタンツ(株)	
第9講	橋梁点検~木橋は他の橋とどう違うのか?	21
	竹下 孝一郎(㈱長大)/野中 茂弘(福岡県)	

## 特 講 我が国における近年の木材利用の動向と技術

#### 広島大学大学院工学研究科建築学専攻 森 拓郎

#### 1. 日本の森林の現状と可能性

日本は、60%以上の森林率を誇る大変森林率の高い国です。先進国と言われる国々の中では第3位 の森林率を誇っています。森林の成長量は年間の消費量をはるかに上回り、森林資源が年々蓄積され ている状態となっています。これは戦後の木材資源が枯渇していたときから考えれば望ましいことで すが、この蓄積と同様に木材の自給率は上がっているのでしょうか?答えは、ここ10年は少しずつ上 がり30%前後となっていますが、残念ながらまだまだ輸入に頼っているのが現状です。この有用な資 源を如何にうまく使いながら、更新していくのかということがとても重要な命題となってきます。そ こで、日本の森林蓄積量について取り上げますと約 49 億 m³ の蓄積があり、特に利用することを前提 として植林された人工林が、約30億m³という量となっています。またこの森林蓄積量は毎年8000 万 m³ ずつ蓄積されていると言われています。現在日本で必要とされている木材資源量は、約 7000 万 m³であり、十分まかなうことができ、この蓄積量を消費するにはかなりの年数が必要であることがわ かります(→第2講 使っても減らない木材資源~世にも不思議な循環型資源に迫る、第3講 なぜス ギだったのか?~有り余っている木材資源の隠された能力)。ただし、その木材が必要な強度性能を満 足しているかという部分は除いてとなります。これらの事実より、木材資源はもっと有効に使える可 能性があることが確認できると思います。この木材を「使う」という言葉ですが、現在ではもう少し 踏み込んで「使わないといけない」という状態であるとも言えます。なぜなら、図-2.2(第2講 使っても減らない木材資源〜世にも不思議な循環型資源に迫る)木材の齢級区分からも明らかなよう に、主伐期を迎えている齢級の材料はたくさんありますが、今後を支える若い木材を植えている森林 面積はどんどん減っています。そのため、このまま切らずに、また植えずにいると、数十年先には木 材は枯渇する時が来るという可能性を意味しています。現在、木材をどんどん使い、そして新しく植 えないといけない時期に差し掛かっているということです。

それでは、木材の利用用途とその国産材率について次に考えていきましょう (図-1)。木材の使用用途として半分以上を占める製材および合板という建築や土木に近い木材利用用途では、製材で 42%、合板で 29%、これを合せて 38% 余りが国産材を利用しています。しかし、パルプチップなどでの利用は約 17%となっています。日本で木材を育てるためにかかる費用は比較的高額であるためにパルプチッ

プでは新たに植林する費用をまか なうことができないため、比較的 買い取り価格が高い建築用材など での比率が高くなっていることが わかります。この建築用材の国国 材比率を上げること、またそれに 類する1となる土木での利用と 増やしていくことが国産材の利用 えます。もちろん、金額的な比較 合いをつける必要があり、比較的 一度の使用量が多い土木利用にな ると考えます。 ると考えます。

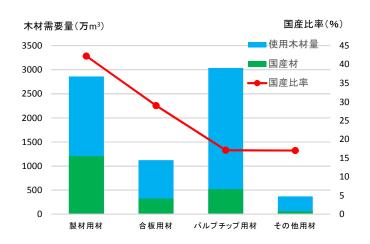


図-1 木材用途別の使用量と国産材比率 (林野庁データを基に作成)

#### 2. 木材の優位性と欠点

木材の優位性は、環境負荷が少ないこと、炭素を固定化している材料であること、再生可能材料であることなどがあり、最終的に燃やすことでエネルギーとして利用できることが挙げられます。事実、他の構造材料であるコンクリートや鋼材と比較するとリサイクル率の低い材料(約90%)となっています(国土交通省平成24年度建設副産物実態調査結果)。この理由として前述のエネルギーとしての利用にあるといえます。ただし、この燃やすことができるというのは、木材の欠点でもあります。木材の欠点としては、一般には「燃える」、「くるう」、「腐る」



写真-1 木造の耐火実験(飯島泰男氏提供)

が挙げられます。燃えるというのは、構造物を造る際にどうしても避けたい項目となります。構造躯体が燃えてしまうと火災時に建物が倒壊してしまう可能性が高くなるからです。そのため、木材の燃えるとどう向き合うのかをだめだというだけでなく、このあたりまで燃えても大丈夫ではないかなということを知るため、燃え方をコントロールするために多くの実験が実施され(写真-1)、その考え方や捉え方も少しずつですが変化してきています。次に、くるうというのは、木材が割れたり反ったりすることにより、構造体として不具合を出すことが挙げられます。これは工業材料として扱いにくくしている点でありますが、現在は乾燥技術の進歩によりずいぶんと精度の高い材料となってきています。加えて、木材の伸び縮みを押さえるために木材を再構成した材料が提案されています。また、腐るというのは、生物劣化を受けるという意味であり、腐朽菌やシロアリによって木材そのものが劣化することで構造躯体がその必要な性能を担保できなくなるということです。これは他の構造材料であるコンクリートや鉄骨でも、中性化や錆などの問題があり、同様に抱えることではありますが、その速度が速いという意味では少し異なるため、的確な処理と維持管理がいるというのが挙げられます。ただし、ここに挙げられている欠点については、説明にもある通りきちんと木材と向き合うことで打開できる要素であるといえます。

最後に木材の優位な性質として比重の割に強いことを紹介します。これは、所定の力を発揮するために必要となる断面積(体積)は他の材料よりも大きくなりますが、それに必要になった材料の重さは小さくなるということであり、これによって木材で出来ること、また木材である方が有利であることがあります。「4. 木材利用の可能性」で示す、木材が屋根材料として多く用いられている理由や簡易な橋の材料などにも向いているのではないかと言うことに繋がっています。

#### 3. 木材および木質材料

木材は繊維の方向に対して平行方向と直交方向でその力学的性質が大きく異なる異方性材料です。 繊維に平行方向が引張力や圧縮力に強く、直交方向は引張力や圧縮力に弱くまた圧縮方向にのみ大き な変形を許容することができるという特徴があります。これらの特徴をできるだけ活かし加工コスト を抑えるように、木を成形に切り出したまま使用する製材と、それらを様々な用途に合わせて加工し たのちに再構成する木質材料が製造されています。より細かなエレメントに別けられたのちに再構成 される材料の方が大きな要素で構成されている材料よりばらつきの少ない安定的な性能を示すことが わかっています。しかし、その再構成のための加工や接着剤利用や熱処理などの様々な要素が加わる ために、先述の付加価値が付くと同時に、高価になったりします。ただし、低密度や曲がっているた めに大きな製材を切り出すことができないような材料においても使用できるため、歩留まりが良く費 用を抑えられることもあります。土木でよく使用されている材料は、丸太などの素材に近い製材やラ ミナを繊維方向をそろえて貼り合わせた集成材(写真-2)やこの集成材を用いて作られた集成板など



写真-2 集成材の橋(オーストリア)



写真-3 CLT



写真-4 CLT5 階建ての振動台実験

があります。

現在、数多くある木質材料の中で注目されている新しい材料が CLT(Cross Laminated Timber: クロスラミネーティッドティンバー: 直交集成板)です(写真-3)。ヨーロッパをはじめとする海外で 10年ほど前から大型の木質構造に用いられており、日本でも新しい木質系建築構造材料として様々な研究が進められています。製造方法は、集成材とよく似ており、ラミナという板材にした後に、ラミナを層ごとに直交するように接着積層する材料です。世界では幅 3m 長さが 20 数 m の材料が製造され 50 万  $m^3$  を超える量を製造していると言われています。日本でも大型の版として  $3\times12m$  まで製造が可能となり、数万  $m^3$  が製造されています。この CLT や集成材などを用いて大型の木造建築についても研究が進められ、振動台実験なども実施されています(写真-4)。

#### 4. 木材利用の可能性

木材利用の可能性を建築および土木の両面からみていきたいと思います。建築の場合は、木材利用として大きな需要を支えているのは、木造建築の代表格である住宅です。現在住宅の約60%弱は木造住宅であります。これら住宅に使われている木材に加えて、少しずつではありますが、公共建築を含む中大規模の木造建築物が、ちらほらと建つようになってきています。最近では、集成材を用いた商業施設(写真-5)や先ほど紹介したCLTを用いたものなどが建設されています。このCLTを用いた建築物では、3階建て、5階建てなどの大きな建築物も施工される(写真-6)ようになってきています。また、中大規模の木造建築物としては、体育館やドームなどの大きな空間を持つものも多く作られています。これは、木材が軽い材料であるために屋根材料として活用が高いことを証明している結果だといえます。

土木の場合では、このあと紹介されますが、ガードレールや橋、ダム(写真-7)などが挙げられます。これらは、木質構造物と比較するとその木材使用量は大きく、一度に多くの材料を使うことにな



写真-5 木造大型商業施設



写真-6 1階RC造上4階CLT及び鉄骨造



写真-7 木製ダム (明石浩和氏提供)



写真-8 京都の木橋(小松幸平氏提供)

ります。ただし、現在ではそれほど多く建設されているわけではないため、木材利用量を増やすためには、さらなる利用が必要となります。特に、木橋については、10m程度であれば、橋自体を工場などで組み立てて現地に運び、設置するというようなことが乾式で可能になると考えられるため、魅力があると考えます。昔携わったものとしては、写真-8に示すような、丸太を桁に使った橋があり、これらの橋の施工においては軽いことが輸送機器の縮小などの利点となったと考えています。CLTにおいては元々板状であるため、デッキとしての活用も可能であると考えられます。実際に、カナダなどではデッキのような材料としてCLTを大量に使っているそうで、価格との相談となりますが日本でも多く使われるようになればと感じています。

#### 5. まとめ

建築分野においては木材利用の用途を拡げようと努力しています。同様に、土木分野でも木材利用 拡大を推進するための取り組みが土木学会や木材学会などで連携して実施されています。これからも 可能性を追求していただき、最初に述べたように木材資源を効率よく消費しないといけない時期との 認識のもと、本講演が、木材利用を促進していく一助となればうれしく思います。



## 第 1 講 熊本地震で公共木造建築はどうなった? ~知られざる中大規模木造建築の耐震性

#### 1.1 熊本地震と被害の概要

平成28年4月、熊本地方で強い地震が発生しました。この地震の特徴は、14日と16日の2回に渡って震度7を記録する地震が発生したことです。阿蘇大橋の崩落や九州自動車道の鋼橋の壊滅的被害など、橋梁も大きな被害を受けましたが、それは建築物も同様でした。1回目の地震で持ち堪えた建物が2回目の地震で倒壊するなど、建築分野でも耐震設計の考え方に一石を投じた地震でした。

内陸直下型地震にもかかわらず被害や余震域が熊本県から大分県に渡る 100km に及んでいることも特徴と言えますが、激震地域では倒壊した住宅が多く見られました。ただしその被害は、構造様式や建築年代から単純に区分できるものではなく、それらの基本的な情報に、設計や施工・メンテナンス状況やさらには地盤条件も加味して論じられる必要があるように感じられます。

#### 1.2 熊本県の中大規模木造建築物の被害は皆無だった

平成22年10月に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行されて以降、全国的な動きとして公共建築物の木造化・木質化に取り組まれるようになりました。その中でも熊本県は、積極的な取り組みにより、

多くの中大規模木造建築物が竣工しています。今回の地震で震度6弱以上を記録した地域には表-1.1 の建築物がありました。

このうち震度7を記録した地域には写真-1.1と写真-1.2の2つの建物がありました。写真-1.1はスギ大断面集成材を鉄筋挿入接合工法で組んだ2方向ラーメン構造の2階建てで、写真-1.2はスギ・ヒノキ製材によるトラスを用いた在来工法の平屋ですが、いずれも構造的な損傷は見られませんでした。

写真-1.3 は、完成が昭和 63 年と古い建物で、屋根部分が木造になっている高等学校の体育館です。大断面スギ心持ち製材 2 本を重ねた登り梁と鉄筋による張弦材の組合せで屋根を支えていますが、強い揺れにより、登り梁端部を RC 部分に固定する金属プレートを覆うモルタルの一部に浮き上がりが見られました。しかしながら構造的な損傷は見受けられず、以降も従前どおりに使用されています。

表-1.1 震度6弱以上を記録した地域の中大規模木造建築物1.1)

震度	所在地		種別	用途	完成年
7	西原町	小森	公共	教育施設	H22
	益城町	寺迫	公共	小学校	H22
6強	南阿蘇村	河陽	民間	商用施設	Н8
	菊池市	旭志新明	公共	小学校	H13
		旭志小原	公共	中学校武道館	H7
	大津町	大津	公共	交流施設	H22
		室	公共	公民館	H21
	合志市	須屋	公共	研究施設	Н8
	熊本市	東区小峯	公共	高等学校体育館	S63
		西区横手	公共	特別支援学校	H26
	益城町	小谷	公共	空港ターミナル	H24
	宇土市	古保理町	公共	交流施設	H23
		下網田町	公共	物産館	H17
	宇城市	松橋町豊福	公共	医療施設	H17
		松橋町久具	公共	物産館	H21
		小川町河江	公共	教育施設	H20
6弱	阿蘇町	小里	公共	教育施設	H26
	南阿蘇町	久石	公共	物産館	H17
	菊池市	隈府	公共	中学校・屋内運動場・武道場	H15
		隈府	公共	福祉施設	H22
	大津町	引水	民間	民間物流センター	H24
	菊陽町	原水	公共	物産館	H12
		原水	公共	教育施設	Н7
	熊本市	南区城南町舞原	公共	図書館	H25
		南区城南町沈目	公共	研究施設	H26
	御船町	辺田見	民間	温泉施設	H15
	山都町	浜町	民間	保育園	H26
		大矢野町	民間	生産施設	H26
	天草市	五和町二江	公共	物産館	Н8



写真-1.1 スギ集成材ラーメン構造



写真-1.3 スギ製材と鉄筋張弦梁による屋根



写真-1.2 製材による在来・トラス工法



写真-1.4 スギ製材平行弦トラスによる屋根

写真-1.4 は、地震後に避難所に利用された平成 26 年完成の体育館で、スギ製材の平行弦トラスで屋根が支えられています。現しの構造材の上に取付けられた天井材が落下する心配が少ない、または無いことは、避難所としての利用に大きなメリットだったと言えます。天井を貼って隠す配管や電気配線等が少なく、構造材を現しにできるところが中大規模木造の特徴といえます。

これらの例のように、中大規模木造建築物の構造様式は様々ではありますが、地震による構造的な被害・損傷はありませんでした。このことは、中大規模木造建築物の耐震性の高さを実証するものと言えます。

#### 1.3 なぜ耐震性が高かったのか

これらの建物の築年数は2~28年と大きな幅がありますが、今回の地震では構造的な被害・損傷はありませんでした。その理由のひとつとして考えられるのは、これらが比較的新しくそもそも高い耐震性能を有していたということです。このことは、木造であっても適切に設計されたものは十分に実用的な性能を有することができるという証明でもあります。もうひとつは、新しいため構造材は劣化していなかったであろうということです。

熊本地震では、木造住宅の被害が多く見られました。これにはそもそもの構造に加え、地盤、地震動、設計、施工、メンテナンスなど多くの要素がかかわるため、一概には言えませんが、古い住宅の被害が多い傾向にありました。しかしながら、ここで紹介した中大規模木造建築の被害の事例を勘案すれば、「木造だから」ということはないと断言できます。

#### 参考文献

1.1) 荒木博章:住宅以外の木造建築物の被害について、林業・木材産業活性化広報協力事業協議会主 催 震災復興シンポジウム 熊本地震を受けて 資料,2016.

担当:池田 元吉(熊本県林業研究指導所)/上月 裕(熊本県)



## 第2講 使っても減らない木材資源 ~世にも不思議な循環型資源に迫る

#### 2.1 地球温暖化に対する木材利用の効能

地球温暖化の主原因は大気中の二酸化炭素(以下 CO2)濃度の上昇と言われています。このため、1997年に開催された COP3 いわゆる京都会議では、国別に排出量の削減目標が割り当てられました。その方法は第一に排出量抑制であるべきですが、産業活動の制限を伴うためその実行は容易ではありません。そこで、もうひとつの方法として森林による CO2吸収量を削減量に置き換えてもよいという考え方が編み出されました。これを吸収源活動といいます。現在では、京都議定書が想定した期間は終わっていますが、この枠組みの延長線上で引き続き取り組まれています。

ところで「森林の  $CO_2$  吸収量を削減量に置き換えてもよい」とはどういうことでしょうか。光合成により  $CO_2$  を吸収し自らに蓄えている樹木は  $CO_2$  の塊と言えます。つまり樹木が集積している森林には大量の炭素が蓄えられていることになります。すると、伐ってはいけない、木材は使わない方がいいという意見も聞こえてきそうですが、それは違います。ある面積に生育できる樹木の量には自ずと限界があるので、成熟した森林になるとどれかが枯死して余裕ができない限りさらなる吸収はできないからです。そして枯死した樹木は分解され、 $CO_2$  となって大気中に還っていきます。ですから、成熟した森林の  $CO_2$  収支は $\pm 0$  となります。ほとんどが成熟した森林で、森林面積を増やすこともできない日本では、ただ見ていても  $CO_2$  の吸収量は増えないのです。

ところで、成熟した森林において、また森林面積を増やさずに CO2 をさらに吸収させる方法があります。それは、伐って使うことです。これによって森林には CO2 を吸収する余裕ができます。と同時に我々は木材資源を手に入れることができます。これを上手に使えば他の資源を節約することができますし、またその木製品を長く使い続ければ CO2 を引き続き固定しておくことができます。暮らしの中に森林ができたのと同じ効果が得られるわけです。

#### 2.2 木材資源はエコな資源

大気中の炭素は植物によって吸収・固定され、自身あるいは動物の栄養分となりますが、それらの呼吸、分解、燃焼により再び大気に放出されます。地球上では古来よりこのサイクルが繰り返されながら CO2 濃度が一定に保たれてきました。これに対して近年問題となっている CO2 濃度の上昇は、このサイクルの外からもたらされた炭素、すなわち化石燃料に由来するものです。このことから、地球温暖化対策の根本は、いかに化石燃料を使わない社会を実現できるかと言えます。

ここで、木材は大気中の CO2 を固定して形成されたものですから、それを燃焼しても CO2 が増加することはありません。ですから、同じ蒸気タービン発電でも、石油や石炭火力発電よりも木材を燃料とするバイオマス発電の方がはるかに CO2 排出量を抑えられます。このことからバイオマス発電はFIT (固定価格買い取り制度)の対象にされるなど国を挙げたバックアップにより全国で爆発的に増加しています。ちなみに、木材として使用済みのものでもバイオマス発電の燃料にはなります。つまり、木材資源はまずは用材として使用し、最終的に燃料とするという木材利用内のカスケード利用がなされれば、さらに環境負荷を減らすことができます。

#### 2.3 使っても減らない資源

さて、木材の素となる樹木は自然界で生産されますので、これにエネルギーを投入する必要はありません。日本は森林が国土の 2/3 を占めるという先進国でも稀な国ですが、その 4 割は人工林です。その日本の森林では、資源の蓄積量が毎年約 8000 万 m³ ほど増加しているといわれています。これは偶然にも国内の木材総需要量にほぼ等しい量です。すると、資源に乏しい日本にあって、木材は資源を全く減らすことなく自給できるかもしれない夢のような材料であることがわかります。実際にはそう上手くはいかないでしょうが、自給率は相当に高そうです。では、実際のところは。

#### 2.4 森林大国ニッポンの森林の現状

京都議定書のいう吸収源活動では、管理された森林のみカウントしてもよいことになっています。つまり手入れされた人工林です。日本の人工林率は4割もありますから、この点では有利かもしれません。図-2.1は、そこから得られた木材がどれほど利用されたかを示したものです。が、何と自給率はようやく3割といったところです。山には資源はあるのに、それを活用していないのです。

自給率が低迷している理由は、高度成長期に旺盛となった木材需要に対して、国産材がとても供給できる態勢にはなかったことにあります。その結果木材の輸入が一気に進み、自給率は低下しました。その後も為替変動、林業の衰退、輸入材の一般化と様々な要因により自給率は低位に留まったままです。近年徐々に上昇してきていますが、手を叩いて喜べる状況ではありません。

輸入材が一気になだれ込んだ時期は、精力的に植林がなされた時期でもあります。 図-2.2 は木材の年齢とその面積を年代毎に表したものです。横軸を×5 すると樹齢になりますが、明確な山が現れていることでか

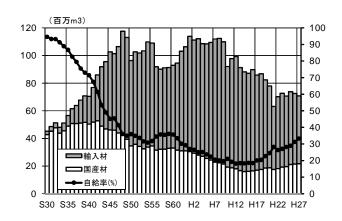


図-2.1 国産材・輸入材の量と自給率の推移 2.1)

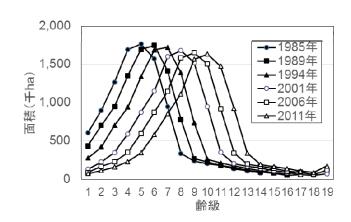


図-2.2 人工林の齢級別面積 2.2)

つての資源不足と積極的な植林が明確にわかります。適度な径の丸太を得るまでに長期間を必要とする木材ならではの悩みと言えるでしょう。

また**図-2.2** からは、樹齢構成がほぼ同じ形を保ったまま右へ移動していることもわかります。これで、積極的な利用がなされていないことがわかります。資源の安定供給の観点からはこれはフラットな方が望ましく、今後はピークにある世代を伐ってその面積を植林に回すなどの施策が必要でしょう。

#### 2.5 木材利用が推奨されるもうひとつの理由

有用な径の木材が得られるまでには、植林から数十年がかかります。その間、多めに植えた苗を間引く間伐が必要ですが、林業の衰退により十分な間伐がなされていない例が多くあります。その結果、過密による森林の荒廃が進んでいます。これはスギ花粉症の原因でもありますが、最もやっかいなのが災害です。過密で荒廃している森林は根が浅いため、大雨により表層ごと崩れてしまうからです。近年は台風によりダムが流木で埋まるような災害が発生していますが、これは風倒木より山崩れによるものの方が多いとされています。これが国土の2/3を占める森林で起こっているのです。

これを適正に戻すためにも、木材利用が重要な役割を示します。これにより適正な伐採が進むことと、山に資金が還流することで保全活動が行えるからです。木材利用はCO2のようなグローバルな環境問題だけでなく山間地域の防災対策というローカルな環境問題の面からも推奨されているのです。

#### 参考文献

2.1) 林野庁: 平成27年木材需給表,2017.

2.2) 林野庁: 平成 27 年度森林・林業白書, 2016.

担当:渡辺 浩(福岡大学)

# 第3講なぜスギだったのか? ~有り余っている木材資源の隠された能力 ~我が国の森林整備と木材活用の歴史を巡って~

#### 3.1 かつての森林整備 3.1)

古来、我が国の森林整備の取り組みとは、川岸や海岸、街道などの防水害・防風や美観のためのものでした。これが江戸時代になると、城郭や寺院等の建築のための木材需要増大により森林伐採が進んだため、森林資源の枯渇や災害発生が深刻化するようになりました。このため、幕府や各藩により、森林伐採を禁じる「留山(とめやま)」が定められるなど、森林保全の規制が強化されるとともに、造林も推進されるようになりました。公益実現のために私財を投じて森林造成を行った例も多くみられました。

明治以降には、表-3.1 に示すよう日本の木材利用は波瀾万丈の時代を迎えます。まず近代化推進の中、再び森林伐採にともなう森林荒廃が深刻化したため、明治 30 (1897) 年に「森林法」が制定され、保安林が創設されるなど森林伐採が規制されるようになりました。また明治 44 (1911) 年からは、「第1 期森林治水事業」が開始され、荒廃地の復旧・再生の取り組みが計画的に行われるようになりました。しかし、昭和 10 年代には戦局が拡大し、それに伴い軍需物資等としての木材需要のため、未利用森林の大量伐採が行われ、資源が失われていきました。

#### 3.2 戦後の木材需要と造林政策 3.1)

昭和 20 年~30 年代の戦後復興においても、旺盛な木材需要に対して森林の大量伐採が行われました。その結果、各地で山地災害や水害が発生した上、木材が不足して価格高騰も招きました。これに対して伐採跡地への造林が進められるようになりました。ここでは早期の森林回復と木材資源獲得を目的に、成長が早い針葉樹の植林が強力に推進され、広葉樹林を伐採してその跡地に針葉樹を植林する「拡大造林」も進められました。里山の雑木林や奥山の天然林も伐採し、代わりにスギやヒノキ、カラマツ、アカマツなど成長が比較的早く、経済的にも価値の高い針葉樹の人工林に置き換えられたのです。

中でもスギは、土壌を選ばずどこでもよく成長するため、全国的に好まれ植林されました。特に南 九州地方はスギを積極的に採り入れた地域です。その分様々な品種があり、産地も異なるため、様々 な性質を持ったスギ丸太が市場に出回っています。

衣-3.1	ロ本の不材利用を取り替く下にツク
圧	トピック

年	トピック
1897年	「森林法」が制定され、保安林が創設される
1077	など森林伐採が規制
10117	「第1期森林治水事業」が開始され、荒廃
1911年	地の復旧・再生の取り組みを計画的に実施
1940~	戦局が拡大し、軍需物資等としての木材需
45年	要のため、未利用森林の大量伐採
1945~	戦後復興のため、旺盛な木材需要に対し
55年	て森林の大量伐採
1955年	「木材資源利用合理化方策」が閣議決定
1959年	日本建築学会による「木造禁止」を含む
1959年	「建築防災に関する決議」
	木材輸入の全面自由化。国産材の価格
1964年	が高騰する一方で外材の輸入が本格的
	に開始
1975年	変動相場制により、円高が進み、昭和 55
	年頃をピークに国産材の価格は落ち続
	け、日本の林業経営を逼迫

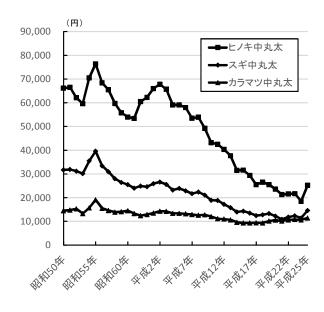
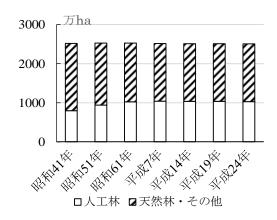


図-3.1 木材価格の推移 3.1)





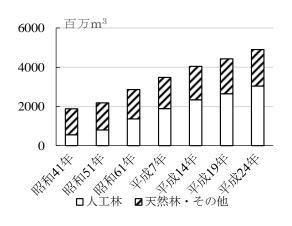


図-3.3 日本の森林蓄積の推移 3.2)

#### 3.3 木材を使うのをやめた?

造林政策とともに、昭和30年には「木材資源利用合理化方策」が閣議決定されました。国や地方公共団体が率先垂範して建築物の不燃化を推進し、木材消費の抑制や森林資源開発を推進することにしたのです。ここでは目的のひとつに「木材代替資源の使用普及の促進」が挙げられましたが、これはその当時の木材需給が逼迫しており、鉄筋コンクリート等に頼らざるを得なかった世相が反映されています。これを、木材が否定されたとする解釈もあるようですが、合わせて造林が謳われていることからも、資源枯渇に対してそうせざるを得なかったと考えるべきでしょう。

#### 3.4 木材の輸入自由化と林業の衰退 3.1)

昭和30年代には、不足しがちな木材の需要を賄うべく、木材の輸入が段階的にスタートしました。その結果、安価で品質と供給量が安定している輸入材は瞬く間に人気となりました。さらに昭和39年には木材の輸入は完全に自由化されました。国産材の価格が高騰する一方で輸入材が大量になだれ込み、一般化していきました。しかも、為替の変動相場制への移行に伴い昭和50年代には円高が進み、輸入材の価格競争力は一段と強まりました。これらの影響により、国産材の価格は図-3.1のように昭和55年頃をピークに落ち続け、林業はその経営が立ち行かなくなりました。これらの状況により、木材自給率が9割から2割にまで転落していったのは「第2講使っても減らない木材資源~世にも不思議な循環型資源に迫る」で述べたとおりです。

「拡大造林」政策は平成8年に終了しました。その結果、これまでに植林した広大な人工林で大量の針葉樹が育っています。一方で輸入材の席巻と国産材の価格低迷により、間伐等の保育や伐採・搬出等に掛かる費用も回収できない状況が続いています。その結果林業は衰退の途をたどり、林業離れと後継者不足、就業者の高齢化、限界集落と呼ばれる問題まで影響してきています。

#### 3.5 今こそ、日本は森林を活かす時代

図-3.2 を見ると、この 50 年間で森林面積は増えていないことと人工林の割合はやや増えたことがわかります。これに対して図-3.3 を見ると、過去の造林政策によって生み出された多くの人工林により、木材資源の蓄積が大幅に増加していることがわかります。このように、木材資源は今が熟れ頃です。一方で、もし未利用による過密ゆえの荒廃が進めば公益的な機能を発揮できず、二酸化炭素の吸収源はおろか土砂災害の温床になります。収穫期を迎えた森林の伐採→植林→育林→伐採というサイクルをより確実に回せるのはこれからです。そのためには、国産材を積極的に利用し、需要を高め、資金を山に還元する必要があります。今こそ、日本は森林を活かす時代なのです。

#### 参考文献

3.1) 林野庁: 平成 27 年度森林・林業白書, 2016.

3.2) 林野庁:森林資源の現況(平成24年3月31日現在),2012.

担当:宮副 一之(㈱九州構造設計)/福岡 仁(朝日テクノ㈱)



## 第 4 講 樹木から木材へ ~設計と使い方の工夫で満足度と耐久性アップ!

#### 4.1 建設材料の中での木材の強度性能は?

建設材料としての木材について、鋼材やコンクリートに比べてネガティブな印象をお持ちの方が多いようです。その理由は強度やばらつき、耐久性といったところでしょうが、実際のところどうなのでしょうか。まずは木材の強度性能を見てみましょう。

図-4.1 は、各材料の一般的な材料強度を比較したものです。ここでのポイントは2つです。木材は鋼材にはかなわないもののコンクリートより強いこと、そして圧縮にも引張にも耐えられることです。コンクリートで有利な圧縮許容応力度で見ても、例えばコンクリートが 6.5N/mm² であるのに対し、スギ7.8N/mm² と上回ります。さらに、図-4.2 を見ると驚くべき性質がわかります。木材は軽いため、自重を考慮した比強度で比較すると鋼材よりも強いのです。つまり、木材は強くて引張材にも曲げ材にもなるためコンクリートよりも明らかに有利であり、軽さを加味すると鋼材にも匹敵するすばらしい材料だと言えます。

強度のばらつきに関しては、これは生物由来の丸太を簡単に加工しただけのものですので仕方ありません。ただし、上記の許容応力度は、節の影響等を考慮して実強度の 1/10 程度と相当低く設定されています。つまりこれが原因で破壊するということはありません。また近年では強度ごとに選別する技術も確立されています。

#### 4.2 どうして木材は強くて軽いのか

木材はどうしてそんなに強くて軽いのでしょうか。図-4.3 を見ると、木材は長手方向に細胞が束になった空隙だらけの構造を有していること、またこの細胞のほとんどが長手方向に伸びる繊維でできていることがわかります。これにより強さと軽さが発揮されるわけです。

一方で、長手方向以外の強度は 1/10 程度という極端な異方性材料でもあります。ただし、長手方向を長辺とする軸材料としての利用が一般的ですので、通常は長手方向の強度を見ておけばよいことになります。 4.1 で示した強度もこの方向のものです。

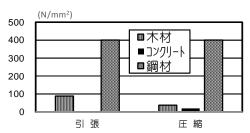


図-4.1 各材料の強度の比較 <sup>4.1)</sup> (木材はスギ無欠点小試験体による)

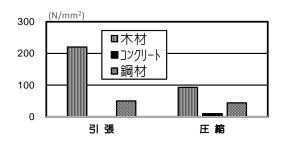


図-4.2 各材料の比強度の比較 4.1)

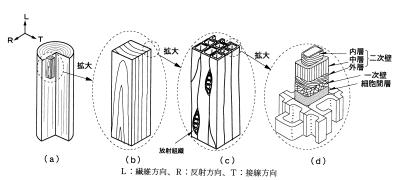


図-4.3 木材の構造の模式図 4.2)



写真-4.1 樹幹の横断面

#### 4.3 1本の丸太にも強い部分と弱い部分

写真-4.1 は丸太の断面図です。幹が太るのは樹皮のすぐ内側で細胞分裂するためですが、その細胞もほどなく 死細胞となり以後更新されることはありません。つまり、 幹の中心付近にはその断面で最も古い細胞があります。

ところで、分裂した細胞の性質が安定するまでの10~15年の間にできた部分を未成熟材と呼びます。未成熟材は強度が小さかったり収縮率が高かったり、また脆性的な破壊性状を示したりと周辺部の成熟材と比較して性質がかなり違います。このため、丸太は大径のものの方が強度性能に優れます。一方で小径材は全て未成熟材で構成されていることに注意が必要です。

強度の差は長さ方向にもあります。例えば、根元に近い部分よりも二番目に採材した丸太の方が強いとされています。このように、1本の樹木から採取された木材でも様々な強度の材が得られることになります。

#### 4.4 1本の丸太の中でも耐久性に差

写真-4.1 を見ると、内側は濃色で外周部は淡色であることがわかります。前者を心材、後者を辺材といいます。 おおまかに言うと、辺材は生物としての機能が残っている部分で、心材は完全な死細胞の集まりです。辺材部は

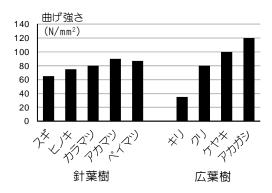


図-4.4 主な樹種の強度の比較 4.3)

表-4.1 主な樹種の心材耐朽性 4.4)

耐朽性	樹種	
大	ヒノキ	
(野外で7~8.5年)	クリ・ケヤキ	
中	スギ・カラマツ	
(野外で5~6.5年)	ベイマツ(輸入材)	
小	アカマツ	
(野外で3~4.5年)	クロマツ	

外周部の10~15 年輪分くらいで、内側から徐々に心材化します。ただし、死細胞は劣化のアタックには無防備ですので、心材化する時に耐朽性や耐蟻性を増すための成分を沈着させます。このため心材は耐久性が高くなります。ヒノキのように色の差が明瞭ではないものもありますが、心材と辺材はどんな樹種にも必ずあります。木材には耐久性が高い部分とそうでない部分があることも、屋外での木材利用にあたっては知っておきたい特徴です。

#### 4.5 樹種によっても性質はこんなに違う

同じ木材でも樹種によりその性質は違います。樹種別の強度を図-4.4 に示します。広葉樹は一般的に硬くて強いため好適ですが、土木用材としては資源量に富む針葉樹が多く利用されます。

耐久性も樹種により大きく異なります。**表-4.1** はこれを比較したものです。耐朽性に富む材の使用が好ましいのはもちろんのことですが、土木用材として人気のマツ(アカマツ、クロマツ)は、実は耐久性に劣る、スギよりも劣るということは確認しておいた方がいいかもしれません。なお**表-4.1** は心材部の話であることにも注意が必要です。辺材部を使用する場合には適切な防腐処理は必須です。

このように、木材の性質は様々ではありますが、このことは適材適所と設計の工夫が活かせる、可能性がある材料であるとも言えます。

#### 4.6 調達の工夫でも耐久性に変化が

さて、土木用材として所要の耐久性を確保するには、防腐剤の加圧注入処理が必要です。ただしそのためには、特に含水率が高い辺材部に薬剤が注入できるかがカギとなります。木材は我が国に豊富に蓄積する資源ではありますが、伐採、運搬、製材、防腐処理、加工と実際に利用するまでには時間がかかります。この時間が十分に考慮されなかった場合、注入不良が生じ結果的に十分な耐久性が発揮されないことになります。もし発注するのであれば、このことにも十分にご配慮いただきたいところです。防腐処理材の性能は、発注者次第であるとも言えるのです。

#### 参考文献

- 4.1) 小原二郎他:木と日本の住まい、日本住宅・木材技術センター、1984.
- 4.2) 林知行: ここまで変わった木材・木造建築, 丸善ライブラリー, 2003.
- 4.3) 森林総合研究所監修:木材工業ハンドブック第4版,丸善出版,2004.
- 4.4) 日本木材保存協会:木材保存学入門 改訂 3 版, 2012.

担当:藤本登留(九州大学大学院)

## 第5講 昔は木橋、これからも木橋 ~技術は木橋をこのように変えた

#### 5.1 かつては木橋がふつうだった

かつての日本では、木橋が普通に存在していました。これは、豊富な森林資源が身近にあったから に他なりません。ただ、それらは残念ながらほぼ現存していません。多くは高度成長期に鋼橋やコン クリート橋に置き換えられていきましたが、コスト面の有利さなどから現在でも利用されている**写真** -5.1 のような例もあります。

#### 5.2 集成材の登場 5.1) 5.2)

こうして木橋が消えていった時代における木橋の最大の課題は、耐久性ではなく「第3講 なぜスギだったのか? ~有り余っている木材資源の隠された能力」で述べたような森林資源の枯渇でした。大きな橋を架けるには大径長尺な丸太が必要ですが、それが入手困難になったからです。これに対して80年代の集成材の登場は状況を一変させました。丸太を一旦挽き板にして接着剤で貼り合わせるため、小径な丸太からでも大断面部材を作れることから、資源の状況に悩まされることがなくなったのです。さらには、強度をコントロールでき、内部の欠点を除去でき、挽き板の強度を調整しながら積層することで曲げに有利な断面を造り出すこともできるため、一般橋と同様の安全な設計も可能になりました。写真-5.2 は、25 トン車荷重対応のトラス橋の例です。

さらには、集成材ではラミナを曲げながら接着することで任意の曲線部材を製造することができます。このため、**写真-5.3** のようなアーチ橋も架けられるようになりました。これを用いた大型建築物も造られるようになっており、**写真-5.4** はその一例である木製屋根を持つドーム型野球場です。



写真-5.1 昔ながらの木橋の例 (現役で活躍している生活道/島根県)



写真-5.2 かりこぼうず大橋 (支間 49m の車道橋/宮崎県)



写真-5.3 金峰 2000 年橋 (支間 37m の車道橋/鹿児島県)



写真-5.4 木の花ドーム (天井部材は全てスギ集成材/宮崎県)

#### 5.3 CLT を用いた橋 <sup>5.3) 5.4)</sup>

CLT (直交集成板) とは、集成材のラミナを1層ごとに直交させて貼り合わせる要領で造られる木質部材のことです。木材では得にくい厚物の面材料を造り出すことができることから、建築分野ではこれを主構造とした建物が建設されるなど近年大きく実績を伸ばしています。現在JAS 化されているのは屋内用のみであるため土木分野での利用は活発ではありませんが、今後徐々に実績が増えるものと考えられます。

写真-5.5 はCLT を車道橋の床版に利用した事例です。写真は舗装前のもので、床版材が 4 色に分かれているのがわかりますが、これ防腐剤やラッピング処理による耐朽性を検証するための実証実験であるためです。CLT は大きさが 3m×6m、厚さが 210mmのような大きなものも製作可能で、そのものを構造材とすることができるため、土木分野においても今後幅広く利用されることが期待されています。

#### 5.4 他材料とのハイブリッド 5.1) 5.2)

他材料とのハイブリッド構造であるものも作られています。写真-5.6 は鋼床版と合成した上で、木桁下縁側にも平鋼を埋め込んで強化した構造を有する橋です。また写真-5.7 は RC 床版との合成桁橋の例です。いずれも、床版構造が屋根の役目を果たすことで長期の供用が期待されています。

#### 5.5 耐久性はどうなった? 5.1) 5.2)

木橋は耐久性が泣き所とされています。これに対して、ここで紹介したような橋は、安全設計だけでなく耐久性についても飛躍的に向上しています。それは、大断面部材の使用により弱点となる箇所が少なくなったことに加え、防腐処理技術が進歩したことによります。

木橋の耐久性向上策は、鋼橋やコンクリート橋と 同様に水分です。そこで、**写真-5.2** のように主構造 材の上面を銅板で保護したり、**写真-5.3**, **5.6**, **5.7** の



写真-5.5 CLT 床版を持つ橋(秋田県) (舗装前の状態)



写真-5.6 鋼床版との合成桁橋(広島県)



写真-5.7 RC 床版との合成桁橋(長野県)

ように路面を屋根代わりにして水からの保護を図っています。以上により、かつて 10 年程度言われていた木橋の耐用年数は 30 年~50 年と飛躍的に向上しています。

#### 参考文献

- 5.1) 林業土木コンサルタンツ:技術者のための木橋の設計と施工,2005.
- 5.2) 土木学会木橋技術小委員会:木橋技術の手引き 2005, 2005.
- 5.3) 新たな建築材料 CLT とは, 創樹社, 2016.
- 5.4) 佐々木貴信, 林 知行, 山内秀文, 足立幸司: ラッピングによる CLT の耐久性付与技術の開発, 日本木材保存協会第33回年次大会研究発表論文集, pp.64-69, 2017.

担当:千田 知弘(福岡大学)/篠原 義則(明治コンサルタント㈱)

## 第6講 水の中でも土の中でも ~人と暮らしを支える様々な木材利用

#### 6.1 最近の木材利用の事例

「土木」の語源である「築土構木」が示すように、我が国では古くから様々な場で木材が利用されてきました。それらの多くは鋼材やコンクリートに置き換えられましたが、今なお、利用されているものがあります。また技術革新により新たな用途も開発されつつあります。ここでは、そんな木材利用の事例の数々を紹介します。

#### 6.2 道路用防護柵にも木材 6.1)

古くは木製の防護柵といえば従来は遊歩道の 転落防止柵程度のもので、車両用は鋼製のみでした。それが1998年に「防護柵の設置基準」が改正 され、要求性能を満たせば木製ガードレールに使 用できるようになりました。この要求性能には、 車両逸脱防止、乗員安全性、車両誘導性能、構成 部材飛散防止等があり、大型貨物車と乗用車を用 いた衝突実験で性能が確認されます。写真-6.1 は RC 製支柱とスギ円柱材のビームの例ですが、支 柱が鋼製のものやビームが鋼材とハイブリッドに なったものなど様々なタイプの製品が開発されて おり、林道はもとより国道でも設置されるように なっています。

#### 6.3 高速道路遮音壁にも木材 6.1)

旧日本道路公団の「木製遮音壁技術指針(案)」に基づき、長野県の中央自動車道では 1985 年に 写真-6.2 のような木製遮音壁が試験施工されました。これには、防腐注入されたカラマツ材が使用 されましたが、鋼製支柱や地際部をコンクリートにするなど耐久性にも配慮されており、30 年が経過した今でも利用されています。このエリアには、新しいタイプの木製遮音壁も導入されています。この他にも利用事例は全国に拡がっています。

#### 6.4 土留め工にも木材 6.2)

架設の土留め工に木材が用いられることはしばしばありますが、木材の自然の風合いを活かして公園内に常設の木製土留め工が設置される例が増えています。写真-6.3 はその一例であり、周囲に溶け込みながらひっそりとしっかりと働いています。これらの構造物では耐久性が泣き所でしたが、防腐剤の加圧注入により長期かつ確実な防腐性能が得られるようになってきています。



写真-6.1 車道用木製防護柵(熊本県)



写真-6.2 30 年現役の木製遮音壁(長野県)



写真-6.3 公園内の木製土留め工(鹿児島県)

#### 6.5 治山ダムや護岸工にも木材 6.3)

治山ダムは、渓流の土砂流出を防止するために設置されるものです。コンクリート重力式のものが多いのですが、写真-6.4 のような木製のものも見られるようになっています。その多くはスギ材が使用されており軽いため設計が難しくもありますが、根入れや背土を利用して上手く安定させています。これらは基本的に防腐処理がされませんが、調査によると数十年が経過したものでも十分な機能を有しているとのことです。

流路の浸食を防止するための写真-6.5 のような木製護岸工も増えています。この例ではスギ円柱加工材と栗石が用いられており、上面は歩道としても利用できるよう工夫されています。新設にも関わらず上部と下部で色が違うのは、供用時は水中となる下半分では腐朽の心配がないため、上半分の部材のみを防腐処理材としてコストダウンが図られています。

#### 6.6 用水路の木柵工にも木材 6.4)

平野部の農業用水路には古くから木柵工が多く用いられてきましたが、耐久性に難があることからコンクリートに置き換わっています。しかしこれらも、適切な設計と防腐処理によれば十分な耐用年数が得られることがわかっています。写真-6.6 は、その一例として農業用水路に設置された木柵工です。農業用水路には激しい流れがなく、水位も管理されているので、水際部分の浸食防止のための簡易な木柵となっています。

#### 6.7 小規模構造物の基礎にも木材 6.5) 6.6)

軟弱地盤地帯では、常水面以下で利用される木材は劣化しないことから、全国的に木杭が多く活用されてきました。佐賀県では、ボックスカルバートやL型擁壁等の小規模構造物の基礎への木杭の利用がマニュアル化されており、これらは県の補助対象になるなど一般的に利用されるようになっています。図-6.1 はその考え方です。

#### 参考文献

- 6.1) 森林総合研究所: 木製防護柵・遮音壁の耐久設計と維持 管理指針(案), 2010
- 6.2) 日本治山治水協会:森林土木木製構造物施工マニュアル 平成28年版,2016.
- 6.3) 野田龍他: 秋田県における木製治山ダムの開発に関する 取組み, 砂防学会誌, Vol.65, No.1, pp.39-46, 2012.
- 6.4) 九州橋梁工学研究会:九州における木材の利活用 2015, 2015
- 6.5) 佐賀県県土づくり本部・(財) 佐賀県土木建築技術協会・(社) 佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会: 水路用ボックスカルバートの木杭ー底盤系基礎~設計マニュアル~(改訂版), p.66, 2009.
- 6.6) 同上:プレキャスト L 型擁壁(H≦2m)の木杭-底盤系基礎 ~設計マニュアル(第1版)~, pp 47, 2008.

担当:北村 健一郎 (㈱アリモト工業)



写真-6.4 木製ダム (熊本県)



写真-6.5 木製土留め工 (鹿児島県)



写真-6.6 農業用水路の木杭柵(福岡県)

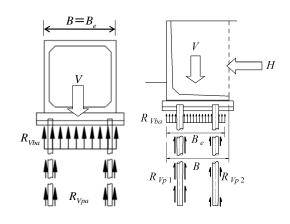


図-6.1 小規模構造物の基礎の例 6.5) 6.6)

## 第7講 目からウロコの木材利用 ~こんなこともできます

#### 7.1 ちょっと変わった木材だからできること

これまでにもあったように木材は、一般的な建設材料である鋼材やコンクリートとはその性質や性能がかなり異なる材料です。そのため、同じことをしようとするのにやや苦手な場合もありますが、木材らしい、木材にしかできない使い方をすることもできます。その事例はとてもたくさんありますが、ここではいくつかご紹介します。

#### 7.2 軽さを活かして、施工も耐震改修も格安に

木材の特徴のひとつが、軽いことです。重く剛な構造物が全盛の昨今ではこのことは忘れられがちですが、2つのメリットがあります。

ひとつは施工上のメリットです。施工の面からは鋼製であれコンクリート製であれ部材は大ブロックが理想ですが、輸送における重さの制限のため分割されることがよくあります。これに対して木橋の場合、その軽さを活かしてより大きなブロックとすることができます。**写真-7.1** はオーストリアの

事例ですが、橋長 35m の歩道橋が工場でまるごと製作され一括架設されたものです。日本の道路事情ではこのサイズの輸送はほぼ不可能ですが、軽い構造物だとこのようなことができる点は確認しておきたいところです。さらには、部材が軽ければ必要な重機等のサイズを小さくすることができます。木部材では大きさによっては重機によらず人力で運ぶことも可能であるため、コストを大幅に削減できる可能性があります。

もうひとつは、耐震性上のメリットです。地震力は 自重と加速度の積ですから、自重が小さい木構造は当 然ながら地震に有利です。昨今では数々の震災を契機 に耐震基準が改定されており、既存の構造物では新規 準への適応が課題となっています。ただし耐震化する と例外なく重くなるため、躯体そのものの補強をせざ るを得なくなり、コストが莫大となる事例も少なくあ りません。

写真-7.2 の歩道橋は、水路を跨ぐ昭和 43 年竣工の歩道橋ですが、その耐震改修にあたっては橋脚の補強が橋下の道路や水路まで影響を及ぼすことから、コストが大きくなることがネックでした。そこで既設の RC 床版を木製に置き換えることで軽量化することが考案されました 7.11)。下部工への負担を減らすことでこの部分の改修は不要となるため、大幅なコストダウンが実現できるからです。木床版は今後改修の必要があるでしょうが、それを見越しても十分なコスト的メリットがあるとされています。木材の特徴を上手く活かした好例と言えます。

また**写真-7.3** は木橋の橋脚の例です。軽いことで橋脚もスリムになっておりコストダウンが図れています。木橋は耐震設計上も有利であることが示されています。



写真-7.1 オーストリアの木歩道橋



写真-7.2 改修で木床版に置き替えられた歩道橋



写真-7.3 木橋のスリムな橋脚の例

#### 7.3 地中の森で地球温暖化防止 7.2)

「第2講 使っても減らない木材資源 ~世にも不思議な循環型資源に迫る」にもあるように、CO2でできた木材を暮らしの中に活かすことで地球温暖化防止に貢献できます。その木材は、酸素が供給されない地中においては劣化しません。例えば写真-7.4は福井県で橋の架け替え工事で現れた 74 年前の木杭基礎ですが、見事なくらいに完璧な状態で残っていました。この地中に木杭を打設し、軟弱地盤や液状化地盤の改良を行うことで、いわば「地中に森をつくる」カーボンストックを行いながらのインフラ整備を進められます。

近年の地震では、地盤の液状化による被害が多く報告されており、その対策が必要とされています。しかしながら、液状化対策工は経済性と環境負荷がネックとなっています。このような背景から丸太打設による対策も行われるようになってきました。これは図-7.1 のように、丸太を密に打設することで地盤を締固め、液状化を防ぐものです。打ち込みピッチを適切にとることで、図-7.2 のような既存の密度増大工法と同等の効果が得られることが実験により明らかになっています。この液状化対策工法は経済的に有利なだけでなく、薬剤等使わないので地下水へ影響を与えず、二酸化炭素貯蔵により地球温暖化対策へ貢献する環境負荷低減に効果のある技術として注目されています。

#### 7.4 軟弱地盤の不等沈下防止対策 7.3)

図-7.3 のような軟弱地盤上の堤防盛土の不等沈下防止対策工法が開発されています。これは適切な深さまで打設した木杭の頭部をロープ等で連結することで荷重の分配を図ることを意図しており、安価に軟弱地盤を補強することができます。写真-7.5 はその施工例を示しています。

#### 参考文献

- 7.1) 北村勝之,中村英夫,兵頭英樹,大場誠道:創価学 園栄光橋の耐震補強・改修工事橋梁と基礎, 2016-10, pp.24-29, 2016.
- 7.2) 飛島建設: 丸太打設液状化対策&カーボンストック工法資料.
- 7.3) 土木学会木材工学特別委員会:土木分野における 木材利用入門~土木分野における環境貢献に向け て~,2011.

担当:稲垣 浩通 (飛島建設㈱)



写真-7.4 74年前の木杭基礎

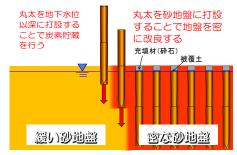


図-7.1 液状化対策の原理 7.2)

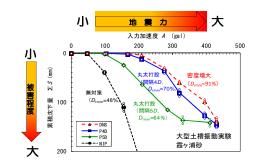


図-7.2 丸太打設による液状化対策効果 7.2)

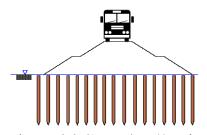


図-7.3 盛土の底部軟弱地盤対策の考え方 7.3)



写真-7.5 盛土の底部軟弱地盤対策の施工例 7.3)



## 第8講 魅せる木材、見えるメリット ~部材交換でいつでもフレッシュ

#### 8.1 木材のもうひとつの魅力=アメニティ

前述のように、最近木製構造物を多く見かけるようになりました。これは、環境問題や技術革新等が背景にあると説明しましたが、アメニティの面も欠かせません。これは木材が自然由来の材料であるゆえの様々な特徴によるものです。

木材は不均質であり、木目もひとつとして同じものはありません。不均質な木目は、自然っぽいあたたかみを演出してくれる効果があります。また、熱伝導率の低さゆえに熱くも冷たくもならないため、直接肌が触れる構造物に向いています。近年は、学校の教室の内装を木質化すると、子どもたちが落ち着いて勉強に取り組めるという研究成果もあります。

しかしながら、木材は設置環境や経過年数によって見栄えが大きく変わります。これが損なわれる と、健全であり機能性に問題がなくても評価は大きく下がります。では、その対策はどうすればいい でしょうか。そのためには、木材の劣化原因を知る必要があります。

#### 8.2 木材の劣化とその原因 8.1) 8.2)

木材の劣化には「物理劣化」と「生物劣化」があります。物理劣化には摩耗や紫外線による劣化があります。木材は軟らかいので、鋼材やコンクリートよりも摩耗しやすいのです。また、紫外線による劣化は美観に大きな影響を及ぼしますが、強度に及ぼす影響はさほど大きくはありません。

生物劣化とは微生物のアタックによるものであり、生物由来の木材ならではの劣化です。主な生物 劣化には、「蟻害」と「腐朽」が挙げられます。劣化速度は蟻害(シロアリによる食害)が大きいので すが、風雨にさらされた構造物では腐朽(担子菌による分解作用)が顕著に現れます。これらの劣化 が進行する際には、進行役の彼らが活動するための適度な温湿度と水分、酸素が必要です。一方で、 雨水の影響を受けない屋根の下や、酸素がない地下水位以下の土中では劣化は進行しません。つまり、 木材の劣化する速度はその設置環境(温湿度、水分、酸素)に大きく影響を受けるのが特徴です。

#### 8.3 では、その対策は?

#### (1) 設計で工夫する

木材を利用した土木構造物は、主に風雨に晒されており温度と酸素のコントロールは難しいため、 劣化対策としては主に雨水対策になります。雨水対策は、**写真-8.1** や**写真-8.2** のように屋根構造や保 護材を設置して雨に濡れにくい構造にすることや、排水装置を設けること、不用意に部材が重なる箇 所を作らないこと、濡れてもすぐに乾くように工夫することなどが有効です。耐朽性がある樹種や腐 朽しにくい心材を利用する等の工夫もあります。

#### (2) 防腐対策をする

さらに耐朽性を向上させるためには、薬剤による保護が行われます。処理方法には、塗布、吹きつけ、浸漬、加圧注入の4種類があります。このうち最も有効とされるのが加圧注入です。これは、木材を圧力容器に入れ、薬液を空隙部に加圧注入することにより、内部まで薬液を浸透させる方法です。薬剤には、クレオソート油やCuAZ(銅・アゾール系化合物)等様々なものが用いられています。

#### (3) 上手に使う

日本古来の木造寺社建築が現存していることは、良質の木材が使用されているためでもありますが、もう一方で上手な使い方がなされているからでもあります。これには、設計から施工、点検、補修に至るまで、様々なものがあります。逆に、下手な使い方をすれば、いくらでも耐用年数を縮められるのも木材の特徴です。「木材だから長持ちしなかった」と言われているものにも、「木材の使い方が下手だった」ものはあります。謙虚になって、木材の基本を今一度学びたいところです。

# 8.4 部材交換が容易なのは木材の大きなメリット

木材は軟らかいため、部材相互を繋ぐことが難しい材料でもあります。このため、木構造は、部材を現場で接合具により組み立てるのが一般的です。これは構造上や耐久性上の弱点となり得るデメリットですが、これを逆に捉えると、部材の交換が容易に可能であるという鋼構造やコンクリート構造にはないメリットを有していると言えます。また、軽いことや加工が容易なことから、補修が極めて簡単に行えることもわかります。木材そのものは耐久性にやや劣りますが、交換することで、構造物の健全性を容易に維持できるわけです。以下、これを考慮した構造物の例を紹介します。

#### (1)農業用水路の木柵工 8.3)

有明海沿岸の低平地にある農業用水路(クリーク)において、図-8.1 のような部材交換が容易な木柵工が設置されました。ここでは、今後劣化が見込まれる上部のパネル材を親杭と分離可能な構造とすることで、効率的かつ低コストでの部分交換が可能なように工夫されています。

#### (2)木橋 8.4)

都市内の遊歩道に架かる橋長 4m の木製歩道橋が 写真-8.3 のように改修されました。ここでは、

- ①横桁、縦桁を設置し、それらを多めに配置することで部材相互の接触面積を減らす
- ②高欄柱を床版と接触させず、床版を容易に交換可 能とする
- ③高欄柱を方杖材で支持させる
- ④床版材断面を台形とし間隔を空けて敷く
- 等の工夫が詰め込まれ、長期供用が期待されていま す。

#### 参考文献

- 8.1) 土木学会木橋技術小委員会:木橋技術の手引き 2005, 2005.
- 8.2) 九州橋梁構造工学研究会:九州の木橋の維持管理 技術, 2006.
- 8.3) 九州橋梁工学研究会: 九州における木材の利活用 2015, 2015.
- 8.4) 渡辺 浩, 千田 知弘, 竹下 孝一郎:簡易な木橋の 設計と市民による施工の事例, 土木学会木材利用 研究発表会, Vol.15, pp.29-33, 2016.

担当:森竹 巧(中央コンサルタンツ㈱)



写真-8.1 屋根を持つ木橋の例 (阿蘇望橋)



写真-8.2 カバー構造の例(錦帯橋)

#### タイプB (工場製作型)

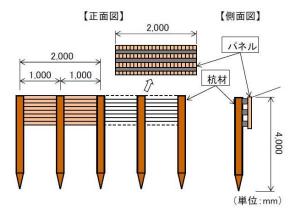


図-8.1 木柵工の概略図



写真-8.3 木製歩道橋



## 第9講 橋梁点検 ~木橋は他の橋とどう違うのか?

#### 9.1 橋梁インフラと資産管理 9.1)

現在供用されている橋梁は70万橋ほどですが、その半分が供用後50年を経過した老朽化橋梁になりつつあります。その結果、耐久性のみならず耐荷性能や機能性の面で様々な問題が現れてきており、管理者の頭を悩ませています。そこで橋梁の世界では、単に橋を架けるだけでなくその補修や更新を含めた「総合的な資産管理(アセットマネージメント)」の考え方が一般的になっています。ところで、これまでの話のように木橋は耐久性の面で一般の橋とは異なりますが、管理の善し悪しによって結果が大きく違ってきます。つまり、木橋では点検は重要、木橋には木橋ならではの点検が必要ということです。ここでは「点検」と「診断」の面で木橋が一般の橋とどう違うのかを考えてみます。

#### 9.2 点検

点検とは、構造物の合理的な維持管理のために現状を把握し異常や損傷を早期に発見することを主目的として行われるものです。橋梁点検では、おおむね5年に1回の頻度で近接目視(手の届く距離から観察すること)により行うよう義務づけられています。ただし、橋梁形式により損傷が発生する箇所と種類が異なるため、それを踏まえた目を持って点検がなされることが重要です。

#### (1) 損傷の違い

鋼橋の損傷は錆、コンクリートの損傷は ASR や中性化、ひび割れであり、これらは物理的要因や化学的要因により発生します。これに対して木材の主な劣化は腐朽や蟻害によるもので、生物的要因です。つまり生物の活動次第、置かれている環境次第で劣化速度が大きく変わります。

このように損傷のスタイルは大きく異なりますが、その外的要因はいずれも水です。つまり水の存在する箇所が劣化しやすいわけで、この点では注意すべき箇所は鋼橋・コンクリート橋と木橋で変わらないということになります。また木材は乾燥による割れが普通に生じます。これは劣化の要因にはなりますが劣化ではありません。

#### (2) 点検方法の違い

国土交通省の「道路橋定期点検要領(案)」では、点検の標準的な手法としては目視やテストハンマー、ノギスやクラックゲージを用いた検査と記録写真の保管が示されています。木橋の場合でも、下記を除けば点検方法の違いはほとんどないといえます。木橋の部材劣化の特徴としては、高含水率状態にある部材内部の劣化が先行することが挙げられます。この場合、材表面の目視等では異常を認識することができませんので、マイナスドライバーや千枚通しで突き刺す方法を追加すべきで、場合によっては超音波や穿孔による内部試験も必要となるでしょう。

点検箇所については、水が関わる箇所という点では同じですが、木材の特徴を考慮すると**図-9.1** のような箇所が挙げられます。つまり要注意箇所は、地際部、上に開口している孔や割れ、ボルト孔、木口(特に上を向いたもの)、支点部等の部材の隙間や接触面ということになります。

#### 9.3 診断

診断は、点検結果から構造物の損傷度合いを判定評価し必要な対策を示すためのもので、資産管理という点では重要な作業です。ここでは、架設当時の図面や材料、補修履歴などの資料が重要になりますが、木橋ではこれらの情報が少ない場合があります。この場合復元設計が必要になりますが、そのためには木橋の設計や使用される樹種、時代的背景等の木橋に関する知識が必要になります。

また、損傷が内部で進むことや、逆に材表面と裏腹に内部が健全であることがあるため、内部の損傷が定量化できる診断結果が必要となります。

#### 9.4 木橋の損傷の特徴 9.2)

点検の際に留意する箇所は 図-9.1 の通りです。ここでは、 その他の留意点について記述 します。

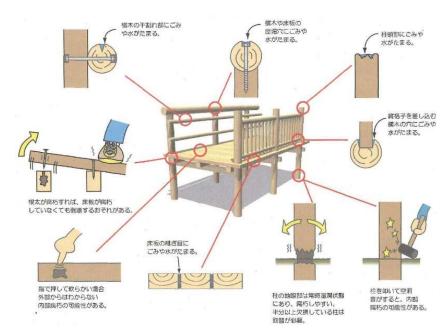


図-9.1 木橋の点検場所イメージ 9.3)

は、数年で色あせすることがあるのが難点ですが、効果は大きいものがあります。

木材は使用していれば割れるものです。割れない加工法もありますが木橋の部材の大半はそのような加工はされていません。ですので、割れていること自体を劣化と捉える必要はありません。上述の塗装も雨水の浸入を防止するのが目的ではないので、気にすることはありません。ただし、上向きの割れ等では雨水を溜め込みかねないので、劣化の温床にはなります。

風通しのよい場所に設置された木橋では、部材表面は乾燥しやすいため内部で劣化が進みます。また防腐剤を加圧注入した場合、部材表面に特にその効果が現れます。このため、木橋では、部材表面から異常を認識できないことがあります。ハンマーで強めに叩く、千枚通し等で突き刺す等して内部の異常を調べることが必要です。内部の診断を定量化するためには、超音波伝播時間測定器や穿孔抵抗値測定器などの専用の機器やノウハウが必要です。これらがない場合は、市販の電動ドリルで穿孔すれば、木屑や穿孔時に手で感じる硬さによりある程度知ることはできます。穿孔痕は劣化の致命傷になることは少ないですが、痕にはスプレー式防腐剤を噴霧しておくとよいでしょう。

#### 9.5 まとめ

木材は、性能的にも実用的にも良好な建設材料です。しかしながら生物由来の材料であるため劣化のスタイルは特徴的です。このことは外構材で顕著となるため建築の知識では到底カバーできません。

橋梁技術者・点検者は、学校で鋼材やコンクリートについては学ぶものの、木材を学ぶことはほぼありません。そのような中で、木橋を上手に管理していくためには、木材に関する適切な知識が必要です。土木技術者のための書籍としては、2017年に土木学会から発刊された「土木技術者のための木材工学入門」があります。また木橋技術協会は「木橋点検士」を認定しています。

木橋では、初期の設計のみならず適切な点検がなされずに短命に終わった事例も少なからずあります。適切な知識を持った方に適切に点検・管理していただけるようになってほしいと考えています。

#### 参考文献

- 9.1) (財)海洋架橋・橋梁調査会:道路橋マネージメントの手引,2004.
- 9.2) 土木学会木橋技術小委員会:木橋技術の手引き 2005, 2005.
- 9.3) 木橋技術協会:木橋の点検マニュアル 第2版,2009.

担当:竹下 孝一郎(㈱長大)/野中 茂弘(福岡県)