

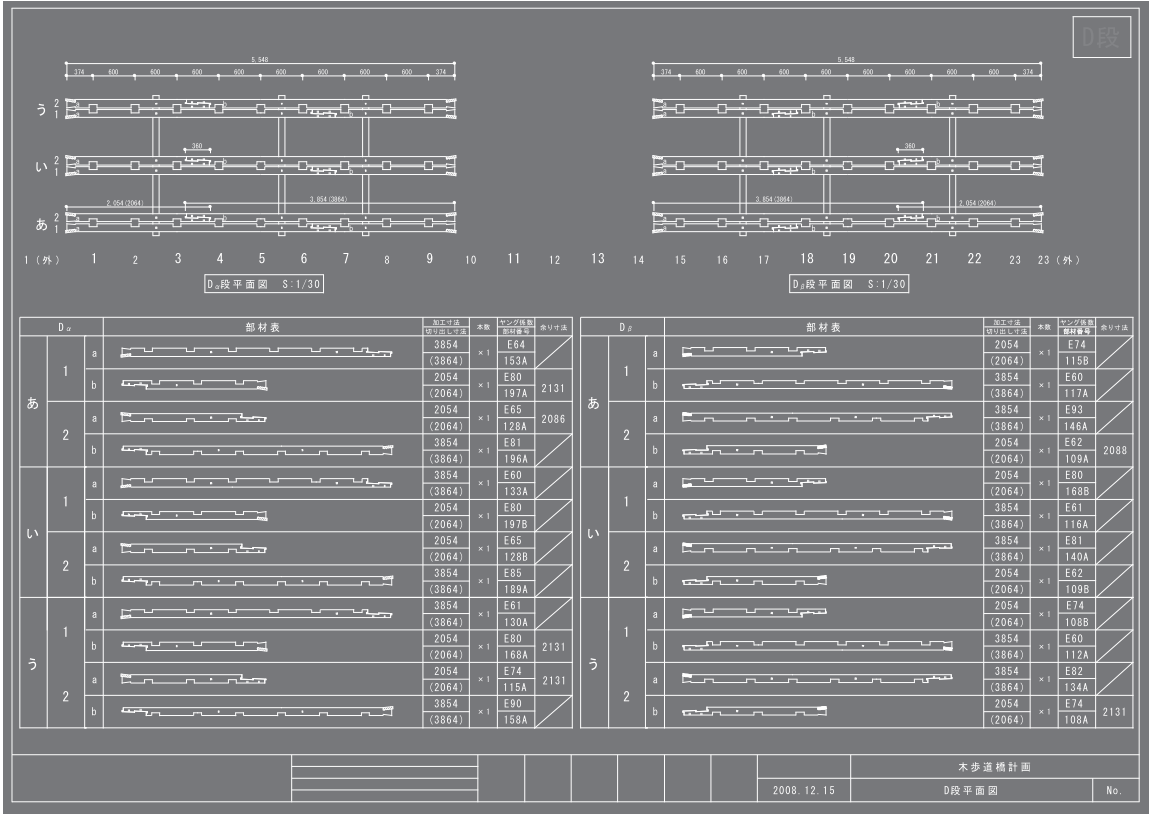


図 15 梁部材の加工図

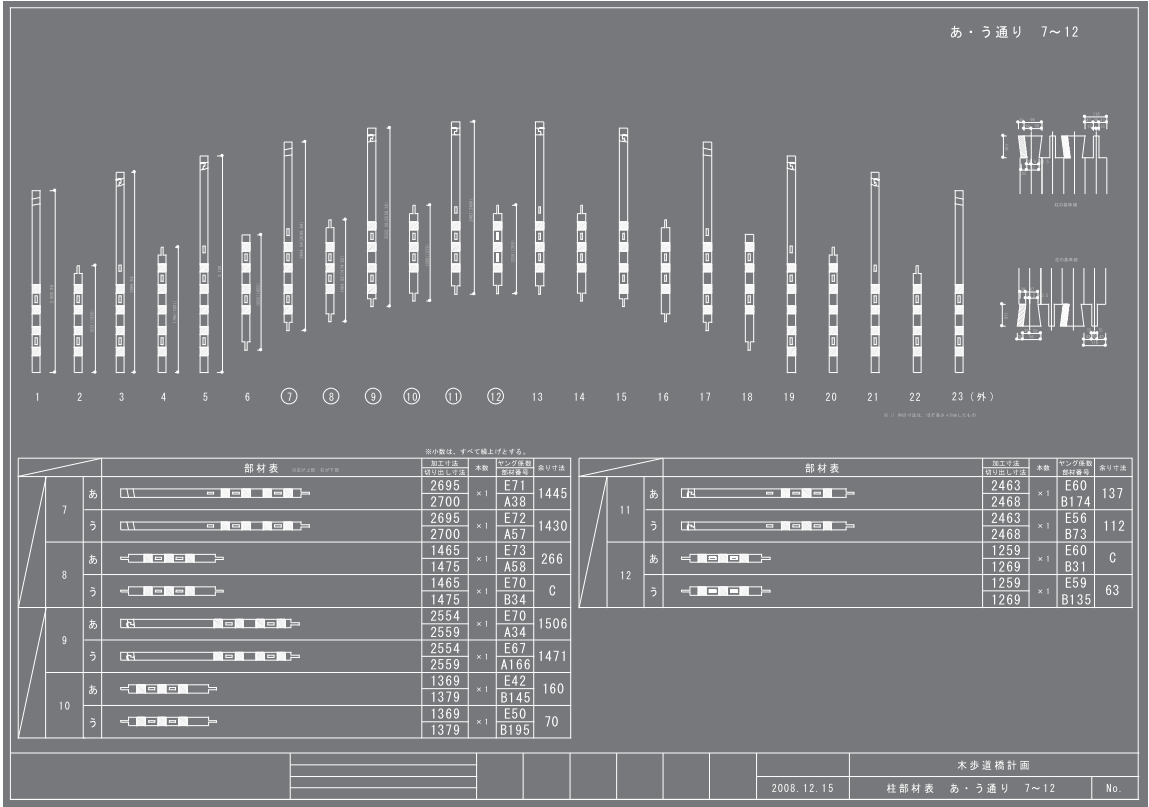


図 16 柱部材の加工図

3.2.2 木歩道橋用材料の受入れ検査

木歩道橋の詳細設計の完了後に木歩道橋を製作するために使用する材料として、山梨県産のスギを購入した。職業大東京校の地域的な特徴としては埼玉県飯能の西川スギ、東京都青梅市の青梅材や奥多摩のスギなどがよく知られているが、芯去り材を多くとれる大径材が供給可能な山梨県のスギを使用することにした。スギは日本で最も立木として多くを占めている樹木であるが、地方的な特徴とともに同じ地域内でも強度特性にバラツキがあることでもよく知られている。スギを構造材として使用する場合は JAS（日本農林規格）や建築基準法で機械等級区分して基準強度を求める方法が推奨されている。そこで音響打撃法によってスギ材の曲げヤング係数を測定するコンピュータを利用した簡易なシステムを構築して、木歩道橋のスギ部材すべての強度特性（曲げヤング係数、含水率、平均年輪幅及び密度）を測定して、木歩道橋の部材として強度特性の順番に適材適所に用いた。山梨県産スギの受入れ検査の状況を図 17 に示した。同図は曲げヤング係数（E）の測定を行うために、断面が 120mm 角で長さが 4m のスギ正角材の一端を玄翁でたたき、他端をカラオケ用のマイクで録音して、周波数分析ソフトウェア（FFT）を用いて 1 次共振周波数をコンピュータの CRT 画面上で読み、下記の式で曲げヤング係数を求める作業を行っている状況である。

$$E = (2LF)^2 \rho \quad (1)$$

ここで、E は曲げヤング係数(GPa)、L は材の長さ(m)、F は 1 次共振周波数(Hz)、 ρ は密度(kg/m³)である。なお、コンピュータの周波数分析結果は図 18 に示したように縦軸が dB、横軸が周波数(Hz)で表されており、初心者でも慣れてくると作業は容易である。

強度特性の項目の一つである含水率は高周波式含水率計を用いて、スギ正角材の 4m の木口部(元口と末口)及び端部から 0.5m、1.5m、2.5m、3.5m の位置の 4 面を測定した。平均年輪幅と密度は JIS（日本工業規格）の測定法によった。この音響打撃法による曲げヤング係数の測定は、平成 12 年から建築基準法で記載されているが一部の地方のみで使用されている方法であるので、今回の応用課題でこの特殊な測定方法の普及もかねて導入した。植物材料である木材の強度特性を行う必要性和その技法を十分に理解してくれたものと思っている。なお、このスギ材の材料の受け入れ検査の作業は応用課程と専門課程の連携でうまくいった事例である。



図 17 受入れ検査（音響打撃法による E 測定）

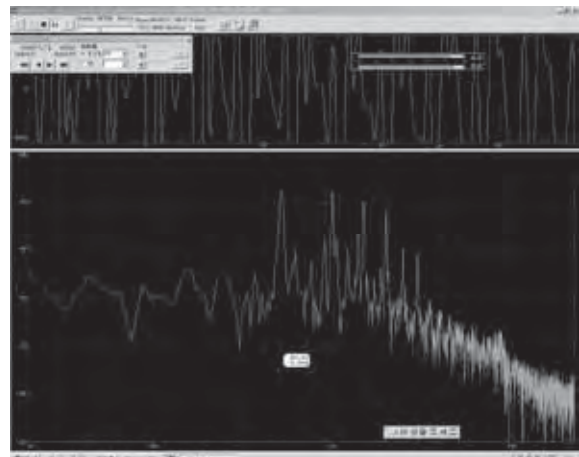


図 18 音響打撃法による周波数分析結果

3.2.3 材料選別と使用部材の選定

購入した山梨県産スギ 200 本（断面 120mm 角、長さ 4m）の受入れ検査終了後に下記の方法で木歩道橋の部材選定を行った。使用部材別に選定を行った状況を図 19 に示した。

「使用部材：山梨県産材 200 本（4 寸角、4m 材）を受入れ検査で求めた曲げヤング係数の上位から順に、①梁、②柱、③横架材・手摺・貫・根太・床板・床押え、④余った材は予備材として用いる。」

木歩道橋は橋長で約 14m 近くもあるので、4m 長のスギ正角材の選定も継手を考えないといけないので、曲げヤング係数のみで判断するのではなく材の形状（辺材部分の占める割合、変形状況、節などの欠点）も考慮していく必要がある。しかし、木橋班としては材料の強度特性を重視して、音響打撃法による曲げヤング係数に基づいた部材選定を行った。そのため、実際の梁部材の継手に節などを含む場合があり、加工上の問題となった場合もある。木材を使用する場合は、やはりトータルな判断が必要であることが全員の体験から得た貴重な知識となった。



図 19 使用部材の材料選定

3.2.4 スギ材の調整

200 本の山梨県産スギは、納入状態で公称断面が 120mm 角であるが 117mm から 123mm の幅の断面を有していたので、木歩道橋の部材を 116mm 角とすることに設計を変更した。この断面変更のために職業大東京校の 7 号館実習場（建築科・インテリア科専用）の建築科の自動一面鉋盤を使用して 116mm 角に加工した。この作業はスギ材の含水率が平均で約 70% と高いことと長さが 4m 長であることから、一回の鉋がけ作業をするのに送り側で 2 名、受け側で 2 名を必要とする大変な作業工程となった。また、校内の 2 号館実習場から 7 号館実習場のフォークリフトの材料移動も伴うことから、スギ材の調整作業はほぼ 1 ヶ月以上を要する大変な作業になった。この期間は建築施工システム技術科の 4 年生 3 名と専門課程の建築科 1 名とインテリア科 3 名の合計で 7 名が力を合わせてスギ材の鉋がけ作業を行った。平成 20 年 10 月以降から開始した応用課程と専門課程の学生による共同作業は木歩道橋の材料の受け入れ検査とこのスギ材の鉋がけがメインの作業となった。スギ材調整の鉋がけは体力を消耗する大変な作業であるので、応用課程の 4 年生は専門課程の 2 年生に押し付けぎみであった。そのため専門課程の 2 年生にはかなりの不満がつり、お互いの協力関係もうまくなりなくなってしまった。そのための対策として、著者がそれぞれの作業に参加するという方法でなんとかスギの調整作業を終えた。作業の配分や難度によって上級生と下級生の作業を計画していかなければ、応用課程と専門課程の応用課題と総合制作の連携は十分な成果が得られないと思う。

3.2.5 墨付け作業

木歩道橋の梁・柱・横架材などのすべての部材に対して、強度特性の評価値とした曲げヤング係数で使用するスギ部材の対応付けを行った。その後にスギ材の調整を行った部材を加工図面に従って、次の方法で墨付けを行った。

- ① 横架材・梁・柱等の順に墨付けを行う。
- ② 墨付けは部材ごとの最初に墨付けした材料を尺棒に代用する。
- ③ 墨付け作業を短時間かつ正確に行うために墨付け用の専用治具（込栓、渡り腮、追掛け大栓）を作成し、墨付け作業を効率的に進める。

木歩道橋の柱部材の接合に使用する横架材の墨付け作業を図 20 に示した。墨付けの要点は必ずしも断面が四角形となっていない部材の芯墨を正確にとることである。また、渡り腮の墨付けのための専用治具と追掛け大栓継ぎと込栓の墨付けのための専用治具を図 21 と図 22 にそれぞれ示した。



図 20 横架材の墨付け作業

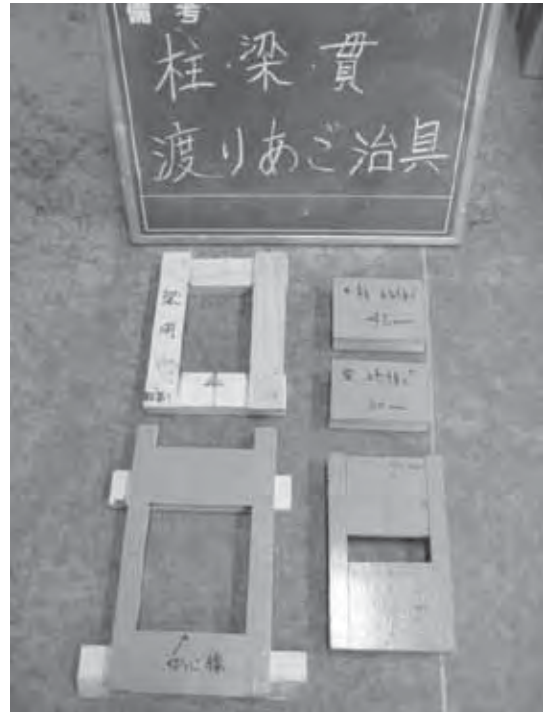


図 21 渡り腮の墨付け用専用治具

これらの墨付け用治具は木歩道橋の製作の工程が予定よりかなり遅れていることと、作業を正確に短時間でを行うことを目標として 4 年生 3 名が独自に考案したものである。このような作業の合理化に対するアイデアの創出と具現化は応用課程でこれまでに学習した応用力が十分に働いている結果であると思う。また、治具の製作者はシャープペンシルの芯をどのような角度で墨付けをしたらよいかをグループ討議で説明しており、コミュニケーション能力が十分に発揮されていることが分かった。なお、図 22 に示した追掛け大栓継ぎと込栓用の墨付け専用治具の表面板の加工は当校の産業デザイン科の今田亜由美さんに行ってもらった。木歩道橋の製作はたくさんの協力者を得て製作を進めていった。

3.2.6 木歩道橋の固有の接合部

木歩道橋の詳細設計において、継手は追掛け大栓継ぎ、貫や振れ止めには込栓接合、梁と柱部材の相互の接合には図 23 に示した片下げくさび接合を用いた。この接合法はスギ部材の T 型試験体の強度実験で 2 t (20kN) 以上の引抜き耐力を持つことを建築学会で発表しており⁹⁾、構造物への適用は木歩道橋が始めてである。強度的には十分であるが、組立においては作業工程を綿密に決めておかないと組立が極めて困難になることが平成 21 年 3 月 12 日 (木) と 3 月 13 日 (金) の組立で判明した。しかし、片下げくさび接合

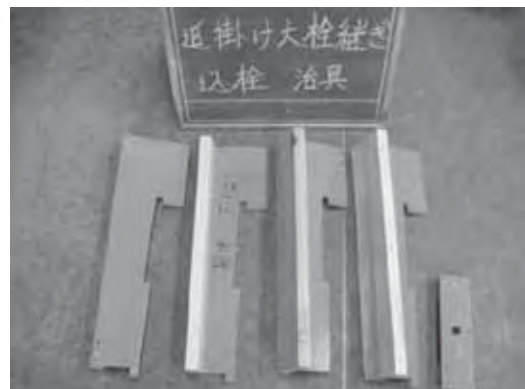


図 22 追掛け大栓継ぎと込栓の墨付け用治具

の方向を一方方向にして組立の手順を工程管理することにより十分に実用に耐える接合法であることが分かった。部材接合の実験レベルを実用に応用するときに組立などの作業において様々な課題が発生することを再度実感させられた。詳細な知識と幅広い視野を身に付けないと実用的な設計と製作はできないことを痛感した。今後の開発課題と応用課題において、より一層の勉強を行い技術レベルの向上を図る必要があることが分かった。

なお、片下げくさび接合法の特徴は次のとおりである。

- ① 長ホゾを従来のものとは異なり、ホゾ穴内で片方に寄せてくさびを打ち込むことで扇型とすることを特徴とする。
- ② ホゾ穴についてもホゾの扇型部分にくさび幅を加えた形状で穴があげられている。

3.2.7 木歩道橋の部材加工

木歩道橋の梁や柱などの部材は、加工の精度向上と作業時間の短縮を図るために、電動工具を活用することで工期の短縮を試みた。新しくアイデアを出して考えた加工法には、次のようなものがある。

- ① 横架材の斜め加工は角鑿盤で墨付けされている限界まで真直ぐに穴をあけて、鑿の欠き取り作業を少なくした。
- ② 梁部材と柱部材の扇状のホゾ加工にジグソーを使用して、加工精度と作業時間を短縮した。
- ③ 追掛け大栓継ぎには、電動丸鋸、電動丸鋸、角鑿盤などで試作をつくって最も効率が良い方法として、電動丸鋸+角ノミ盤+堅刃の手鋸の組合せで流れ作業を行った。
- ④ 柱部と梁部の渡り腮接合部の加工は、電動丸鋸+角鑿盤+チェーン鑿盤が最も正確で効率的であるのでこの組合せで流れ作業を行った。

梁部材の渡りあごの流れ作業の加工状況を図 24 に示した。同図の左から電動丸鋸で渡り腮の切り欠き部分に鋸歯を入れ、その後に込栓の穴を 15mm 角刃の角鑿盤であけ、最後に渡り腮の接合部の除去を 30mm 角刃の角鑿盤で行っている作業状況である。加工作業は正規の授業時間はもちろんのこと時間を延長することが多かった。なお、追掛け大栓継ぎの加工は、図 25 に示したように職業大東京校の藤野栄一先生に直接指導を受けて、加工精度などの向上を目指した。木歩道橋の製作過程において学生の協力の他に先生方にもたくさんの指導をしていただいた。



図 23 片下げくさび接合



図 24 梁部材の流れ作業の加工状況



図 25 追掛け大栓継ぎの加工指導

部材加工がすべて完了した時の状況を図 26 に示した。加工部材の一覧はつぎのとおりである。

柱	69 本
梁	126 本
横架材	48 本
手摺・貫・込栓・根太他	約 45 (4m 材) 本
追掛け大栓継ぎ	60 箇所
渡り腮	534 箇所
ホゾ	198 箇所



図 26 部材加工完了済みの整理状況

3.2.8 木歩道橋の組立準備

木歩道橋の部材加工が完了したのちに、梁部材の追掛け大栓継ぎの仮組みを行った。この仮組み作業においても図 27 に示したように大工職人の松田俊介氏に組立のコツと調整具合などについて指導していただいた。応用課題の木歩道橋の設計と製作については、山梨県の大工職人の方々や木材関連の業種の方に注目していただいている。木橋班のメンバーの木歩道橋の製作の励みになり本当にありがたかった。木歩道橋の仮組みについても図 28 に示したようにポイントを指導していただいた。その指導の成果もあって、図 29 に示したように木歩道橋の 3 列構成の左端 1 列の仮組みを終わったときの晴れやかな 4 年生の表情が特に印象的である。同図の背景には構造実験用に使用した 1/3 モデルの木歩道橋が見えるが、その左端から 5 番目までの柱が組み合わされた状況である。一番下の梁部材 (A 段) が渡り腮接合の島部分と貫材の穴を確認することができる。



図 27 職人による追掛け大栓継ぎの組立指導



図 28 仮組みにおける接合部の嵌合度の確認

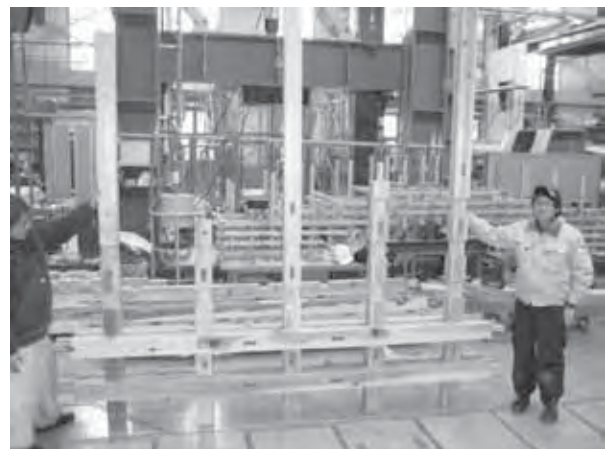


図 29 3 列構成の左端 1 列の仮組みの状況

3.2.9 木歩道橋の組立

木歩道橋の組立準備を終えて、図 30 に示したように一列ごとに構造材を平組にして職業大東京校 2 号館実習場の天井クレーンを用いて図 31 で示すように立体的に組立を行った。木歩道橋の構造部分の仮組みは図 32 に示した状況を最終段階として平成 21 年 3 月 13 日（金）の午後 11 時に完成した。手摺り部材が中央部前面しか入れていないが、これは実習場の大きさの制限で手摺り部材を穴に挿入できないために断念せざるをえなかった。また、図 32 の奥行き側は強度実験用の構造体があるために一部分の組立のみにしている。そのために木歩道橋の中央部が著しくたわみが大きくなる可能性があるので鋼管を組み立てて支持させた。この木歩道橋の組立作業は建築施工システム技術科の 4 年生や先生方の見学があり、作業している 3 名は本当にすばらしい笑顔であった。



図 30 木歩道橋の 3 列構成の平組み



図 31 木歩道橋の 2 列構成の仮組み

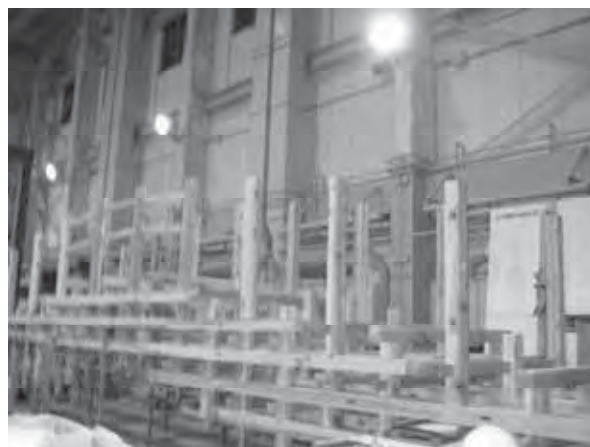


図 32 木歩道橋の構造部分の仮組み

3.2.10 木歩道橋の解体

平成 21 年 3 月 13 日（金）に 2 号館実習で組立てた木歩道橋は、たくさんの人に見学してもらうために職業大東京校の平成 21 年 3 月 19 日（木）の卒業式まで展示した。木歩道橋の展示案内を十分に行っていなかったもので、建築施工システム技術科 4 年生の見学がほとんどであったけれども高い評価を得ることができた。この構造部材だけで組立てた木歩道橋を平成 21 年 3 月 20 日（金）に図 33 に示したように 1 列ずつ梁部材と柱部材の接合部を分解して解体作業を行った。解体作業は木歩道橋の組立作業のように作業時間を必要としないけれども、接合部の破損や割れなどに注意しながら解体する必要がある。そのために作業時間としては午前 8 時から午後 8 時まで要した。その後に図 34 で示すように木歩道橋の部材を 2 号館実習場の鉄骨造 2 階に整理して保管した。この木歩道橋は山梨県の県産木材の普及施設である「木の国サイト」に 5 月の連休中に施工を行った。

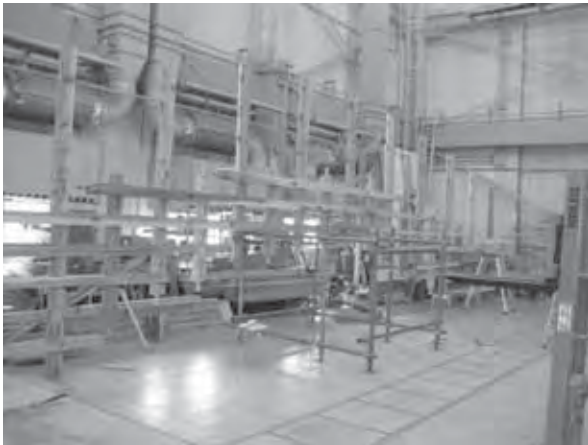


図 33 木歩道橋の解体状況



図 34 木歩道橋の部材の保管状況

3.2.11 専門課程の研究成果

応用課程の応用課題とした木歩道橋の設計と製作に連携した専門課程の研究成果は次のとおりである。渡り
 腮接合部の強度特性については、図 35 の圧縮試験と図 36 の荷重-変形曲線からその強度が推定できた。また、
 図 37 に示したように構造実験用の 1/3 モデルによる
 載荷実験によって構造計算結果の確認を行うこ
 とができた。専門課程の卒業研究と応用課題テー
 マの連携を行った結果は、総合的に判断した場合
 は 60 点の可がつけられるのではないかとと思っ
 ている。様々な作業環境の中でコミュニケーション
 をとって互いの意思を伝えて作業することは大変
 難しいことである。応用課程 4 年生 3 名と専門課
 程 2 年生 4 名がよく協力してものづくりと強度実
 験を行ってくれた。著者の職業大東京校での初め
 ての試みとしてたくさんの迷惑を学生にかけてし
 まった。大変よく頑張ってくれたと思う。

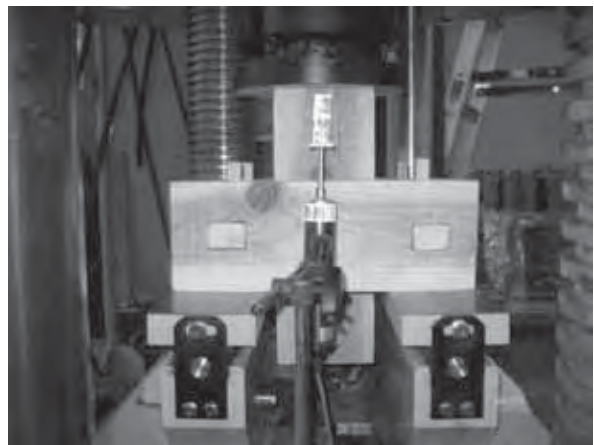


図 35 渡り腮接合部の圧縮試験

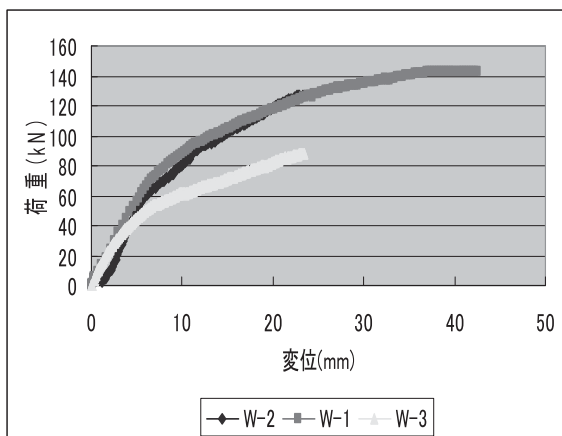


図 36 渡り腮接合部の荷重-変位曲線



図 37 1/3 モデルによる構造実験

3.3 応用課題のまとめ

応用課題は約14mの橋長の木歩道橋を製作するという大変な作業を建築施工システム技術科4年生3名が主に行った。各工程の作業には専門課程の2年生が協力してくれたが、木歩道橋をつくりあげるといふ3名の4年生の強い熱意がなければ3月13日（金）の組立はできなかっただろうと思う。ものづくりの楽しさと新しい加工法の発見によって、自分たちが設計し製作するものに誇りを持ち続けることができたことが無事に応用課題を終えることの貴重なエネルギー源になったと思う。応用課程研修として試行錯誤で行った結果であるが、今回の開発課題と応用課題の経験を大切な財産として今後の指導にいかしたいと強く考えている。

4 おわりに

平成20年6月18日から平成21年3月20日までの約7カ月間に開発課題と応用課題を行った。その後、平成21年5月の連休に山梨県南アルプス市の木の国サイトに卒業生や地元の大工職人の方々と協力して木歩道橋を施工した。施工時の集合写真を図38に示した。木歩道橋として一般の方々に歩行してもらえたのは同年11月に開催された山梨県産材フェアであった。木歩道橋の設計と施工という開発課題・応用課題のテーマの完成には1年半の日数を要した。平成22年8月にも山梨県産材フェアが開催されるので、そのための木歩道橋の保護塗料の塗布作業を7月に行った。その時の作業状況を図39に示した。この塗装作業は職業大東京校の在校生と和信化学工業（株）のボランティアで行った。開発課題テーマ説明会で人と人との架け橋になれるような木歩道橋をつくりたいという目標に少しずつ近づいてきているように思う。なお、この木歩道橋は平成22年度の日本木材青壮年団体連合会主催の第13回木材活用コンクールで奨励賞を受賞した。



図38 木歩道橋の施工時の集合写真



図39 木歩道橋の塗装作業

参考文献

- 1) 『橋と日本人』 上田篤、岩波親書（黄色）、1984年9月 第1刷
- 2) 『ものと人間の文化史 66 橋』 小山田了三、法政大学出版会、2001年9月 第3刷
- 3) 『江戸の橋』 鈴木理生、三省堂、2006年9月、第二刷、267頁
- 4) 『橋と日本文化』 川田忠樹、大巧社、2008年6月、第2版第1刷
- 5) 『橋の歴史』 山本宏、森北出版株式会社、1992年1月、第1版第2刷
- 6) 『江戸の橋 制度と技術の歴史の変遷』 松村博、鹿島出版会、2007年7月
- 7) 『塔と橋 構造芸術の誕生』 D.P.ビリトン、伊藤學・杉山和雄監訳、(財)海洋架橋調査会訳、鹿島出版会、2001年8月

- 8) 『ブリュッケンバウ 博物館で学ぶ橋の文化と技術』ドイツ博物館ディルク・ビューラー編著、中井博・栗田章光監訳、(財)海洋架橋調査会訳、鹿島出版会、2003 年 6 月
- 9) 定成政憲：木造仕口部の強度特性とアコースティック・エミッションの関係(5)－2 種のクサビ型接合部の強度特性について－、日本建築学会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ, P.263-264, 2005.