

竹材の建築構造物への利用促進について*1

井上 正文*2

1. はじめに

竹は、古来よりわれわれ日本人にとって最も身近な材料のひとつであり、仕上材や造作材などの建築材料や籠やザルといった生活用具として様々に利用されてきた。しかしながら、わが国ではプラスチック系材料に代表される様々な新材料が氾濫し、竹の材料としての需要は減少している。さらに近年では竹のもうひとつの身近な姿であるタケノコさえ、外国からの輸入がその需要の大半を占めるようになってきている。

このような竹の需要の減少に伴って、これまである程度人の手によって管理されてきた竹林(写真-1参照)が、今や、スギやヒノキの植林地を侵食し深刻な被害をもたらしたり、住宅地に広がった竹林の地下茎が住宅の基礎や給配水管を破壊するなどの被害が社会問題となっている。

一方でこのような現象は、竹がわずか3~5年で成長するという竹の特徴の裏返しとも言え、その資源量が無尽蔵に近いということに他ならない。また竹材は、スギ材などの他の植物系材料と比較して、非常に高い強度を持つという特徴を有している。

本報では、このような現状におかれた竹材を見直し、その利用促進を目的として、我々が取り組んでいるいくつかの事例を紹介する。

II. 新しい竹材接合法の開発

竹材を建築構造部材として使用した場合、建築構造物として一定の強度性能を保持するためには強度・剛性に優れた接合が必要とされる。しかし、従来から使用されている、縄で縛る接合法や、材同士を組み、込栓を打ち込むことで固定する接合法では、高い剛性や強度を確保することは難しい。そこで我々は、これに替わる新しい接合法として、竹の中空部に何らかの充填材を挿入し、我々の研究室で木材接合用に開発された「接着剤と接合金物を併用した接合法」(I)(以下、本接合とする)を応用した接



写真-1 繁殖する竹林

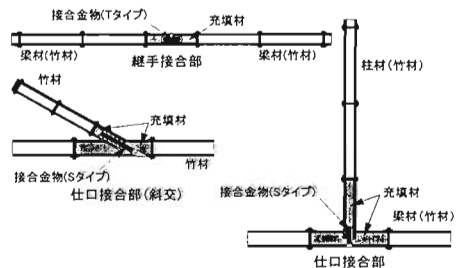


図-1 新しい接合部の概念

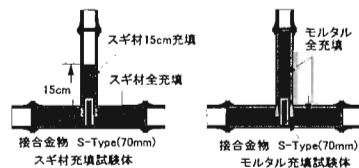
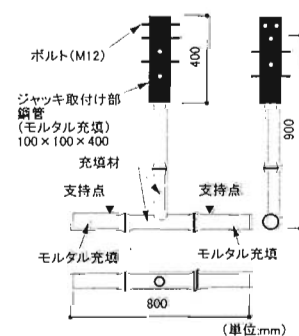


図-2 試験体の形状・寸法および接合部詳細

*1 Inoue, M. : Effective utilization of bamboo in architecture

*2 大分大学工学部福祉環境工学科 Dept.of Human welfare Eng., Fac.of Eng., Oita Univ., Oita, 870-1192

合法を提案している(図-1参照)。本報では、材を直角に接合させた接合部(仕口接合部)の引張実験を紹介する。

図-2に試験体の形状・寸法および接合部の断面の詳細を示す。この実験では、中空部の充填材として小径のスギ材(wシリーズ)と無収縮モルタル(mシリーズ)を採用した。なお、使用した竹は大分県産のマダケで、あらかじめ油抜き処理されたものを使用した。接合金物はSタイプで直径18mm、長さ70mmのものを使用した。図-3に加力装置を示す。試験体は、横材の端部を固定し、縦材端上部をオイルジャッキに取り付け、単調引張载荷による実験を行った。

スギ材を充填した試験体では、各試験体とも横材の曲げが進行した後、同材の側面の切欠き部分に割れが生じ、その割れが進行して竹材を引き裂くことで最終状態となった(写真-2参照)。モルタルを充填した試験体は、縦材の中空部に充填したモルタルと竹材との付着切れにより最終状態に至り、竹材の破壊はまったく見られなかった。

図-4に各試験体の最大耐力を示す。スギ材充填試験体では、各試験体とも1tf近い高い耐力を示している。一方、モルタル充填試験体で、極端に耐力が低かったのは、竹材内部の表皮とモルタルの付着力が低かったためと思われる。

このような結果から、竹材の割裂に対して何らかの補強を施し、充填材と竹材との付着性を向上させることで、接合金物と接着剤との付着切れが起きるまで、更に耐力が上昇すると考えられる。

また本接合法の開発は、強度・剛性の更なる向上や竹材の耐久性の向上あるいは加工工程の簡略化など、さまざまな解決すべき問題を有している。しかしその応用範囲は、家具、建築造作材に留まらず、建築構造を構成する部材(筋違など)や主要構造部材にも及ぶと考えられる。

III. 竹筋コンクリート部材の開発

竹筋コンクリートは、第2次世界大戦前から戦中の昭和初期にかけて、鋼材が不足した時期に鉄筋の代替材として研究がなされ、実際の建築および、土木構造物(写真-3参照)に使用された実績がある。しかしながら、当時の研究で力学的性質が完全に解明されていたとは言えない。本報では、この竹筋コンクリートを床スラブに使用した場合に、その力学的挙動把握のための基礎的研究として行った、竹筋コンクリートスラブの曲げ実験について述べる。

試験体は、図-5に示すような床スラブの一部を仮定し、寸法は長さ2m・幅60cm・厚さ15cmとした。本実験で使用した竹材は、大分県産の油抜き処理されたマダケを丸竹のまま入手した。原竹の寸法は長さ約10mで地面から高さ1m50cm前後での直径が約12cm、同位置での肉厚が約9mmであった。この丸竹を長さ250cm、幅9mm~16mmとなるように割って使用した。

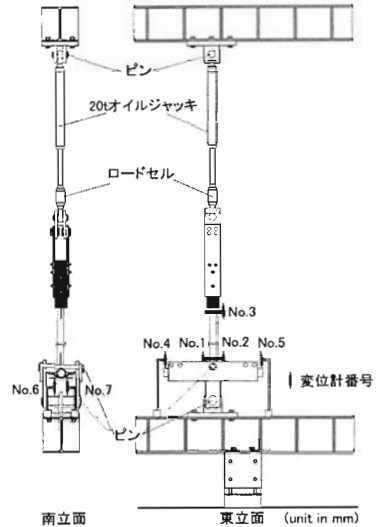


図-3 加力装置

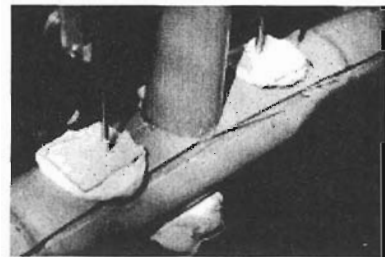


写真-2 スギ材充填試験体の破壊性状

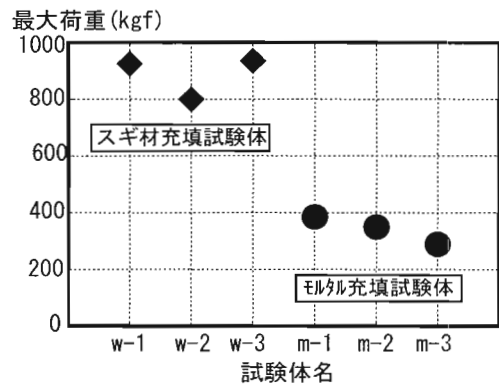


図-4 各試験体の最大耐力



写真-3 竹筋コンクリートを使用した旧鉄道橋 (熊本県阿蘇郡小国町)

各試験体の断面図を図-6に示す。実験ではスラブ主筋の竹材および鉄筋の配筋量をパラメータとした。S1-C試験体は、「日本建築学会 鉄筋コンクリート構造計算規準」(以下RC規準)(2)に示された最低の配筋断面積であるD10@200mmとした。また、同じ竹筋比となる様、竹筋を配筋した試験体をB1-C試験体とした。S1B4-C試験体は、S1-C試験体に配筋した鉄筋の4倍の断面積に相当する竹筋を追加した試験体である。B24-C試験体は、RC規準のスラブの構造規定を参考に束ね配筋とした場合の最大の竹筋配筋量とした。

図-7に加力装置を模式的に示す。荷重方法は3等分点荷重とし、荷重は単調荷重で行なった。変位の測定は変位計を用いて試験体のたわみ量の測定を行った。

図-8に各試験体の荷重-スパン中央たわみ関係を、また図-9に最大耐力を示す。本実験から、以下のことが明らかとなった。

- ① RC規準で最小となる配筋量の鉄筋と同量の竹筋を配筋した場合、強度および変形性能に問題がある。
- ② 竹筋を多量に配筋する場合、竹筋に沿ったひび割れが生じる可能性がある。
- ③ 竹筋と鉄筋を併用する事で耐力および変形性能の向上が見られる。

今後は、竹材のみによる最適な配筋量の算定法や竹筋と鉄筋を混用した場合の、それぞれの配筋量の割合について検討を行なう必要がある。

竹筋コンクリートが実用化されることで、国内では製造に莫大なエネルギーを要し、多量の二酸化炭素を放出する鋼材の使用量がわずかでも抑えられ、地球環境の保全に貢献できると考えられる。また、竹が多量に生息する東南アジアや中南米などの、未だ鋼材が高価な発展途上国において、この竹筋コンクリートを使用することで、安価で安全性の高い構造部材の供給が可能になると考えられる。

IV. 竹材とスギ材を組合わせた 接着重ね梁の開発(3)

九州産スギ材は、比較的ヤング係数が低く、その使用範囲が制限される傾向にある。とくにヤング係数とその構造性能に大きな影響を与える横架材(梁・桁)には、不向きであるとされている。

一方で九州は、竹材の国内最大の産地である。すでに述べたように、竹材は一般にスギ材等の針葉樹材にくらべ、非常に高い曲げ強度をもっている。この優れた性能をもった竹材をスギ材の補強材としてとらえ、スギ材の下面に竹材を接着させる重ね梁を考案した。

この接着重ね梁を試作し、その実用化に向けての問題点を把握するとともに、重ね梁の強度性能確認を目的として実験を行った。

図-10に試作した重ね梁の断面、図-11に実験に使用

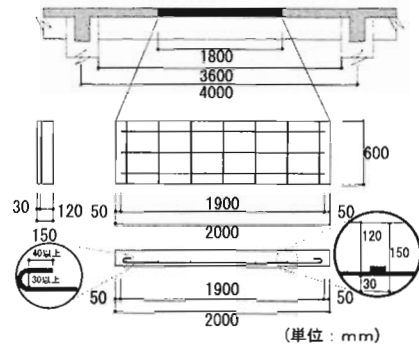


図-5 試験体の概要

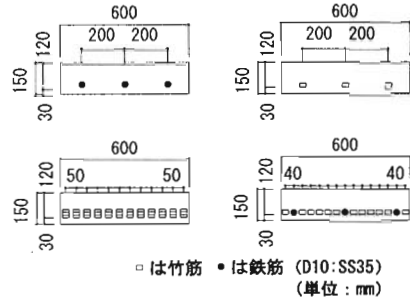


図-6 各試験体の断面

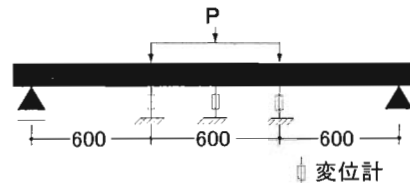


図-7 加力装置(単位:mm)

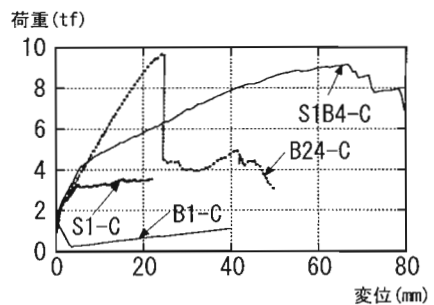


図-8 荷重-スパン中央たわみ関係

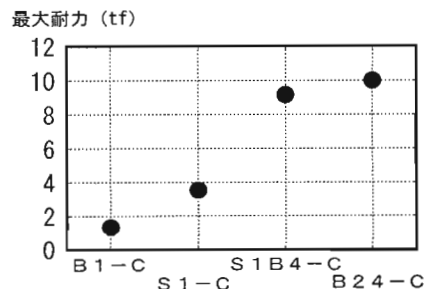


図-9 各試験体の最大耐力

した加力装置を示す。梁の寸法は幅90 mm、せい180 mmとし、それぞれ竹材とスギ材の構成比および竹材の集成方向をパラメータに実験を行った。なお、竹材は原木の形で丸みがあり、厚さも薄いため集成して用いることにした。

実験の結果として、図-12に各試験体の最大耐力を、また図-13に各試験体の初期剛性を示す。なお、いずれのグラフも、●はスギ材のみのそれぞれ値の理論値である。以上、試作の工程および実験結果から、次のようなことが明らかになった。

- ① 耐力については、竹材を使用した試験体ではいずれの場合もスギ材のみの試験体を上回っている。竹材の厚さが30 mm以上では、50~60%の耐力上昇があり、スギ材の重ね梁として引張側にヤング係数の高い竹材を用いることで十分に耐力を高めることができる。
- ② 初期剛性についても、耐力と同様にスギ材のみの試験体を上回っており、竹材の厚さが30 mm以上では30%以上の剛性上昇があり、竹材の効果があるといえる。
- ③ 竹材の厚さが45 mm程度に大きくなると、耐力・剛性の増加がほとんど見られなくなる。これは、竹材の厚さが薄いものにはみられなかった圧縮破壊が重ね梁の圧縮側に起こり、圧縮側のスギ材への負担が大きくなったためと考えられる。したがって、ある程度竹材の厚さを厚くするとき圧縮側の補強も行わないと耐力・剛性の上昇は期待できない。
- ④ 試験体の製作で、竹材を積層する作業では、竹材の厚さを揃えるためのプレーナーがけや接着を行なう準備などに大変な手間がかかり、実用化に際しては作業の効率化が必要である。

以上のように竹材を集成し、スギ集成材の補強に使用すると、高い補強効果が得られることが明らかになった。

V. まとめ

本報では、これまで取り組んできた竹材の有効利用に関する研究を3つ紹介した。これらの研究がきっかけとなり、竹林で朽ち果てている竹材が少しでも有効に使用され、これが大気中の二酸化炭素中の炭素固定化に多少なりとも役立ち、地球温暖化防止の一助となれば幸いである。

参考文献

- (1) 後藤 靖ほか：新しい木材接合法とその応用 - 筋違入り骨組への応用 - 日本建築学会技術報告集第5号, 102-107, 1997
- (2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 日本建築学会, 東京, 1995
- (3) Inoue, M. et al. : Development of Layered Beam Composed of SUGI and Bamboo, Proc.of ICUPT99, Taiwan, R.O.C., 549-554, 1999

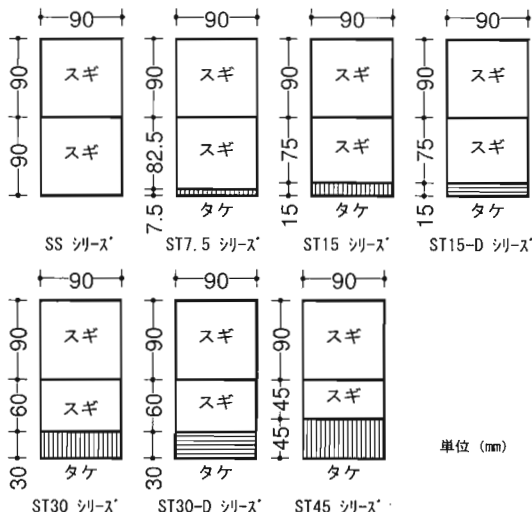


図-10 試験体の断面

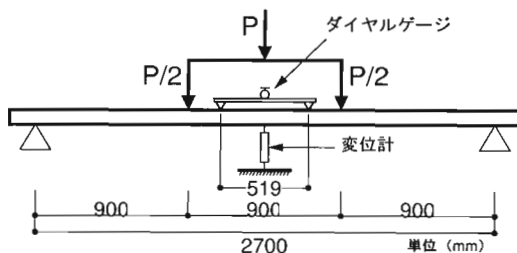


図-11 加力装置

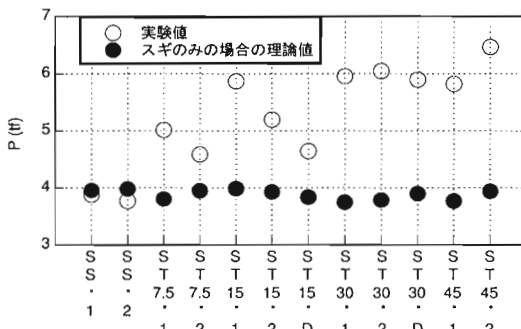


図-12 各試験体の最大耐力

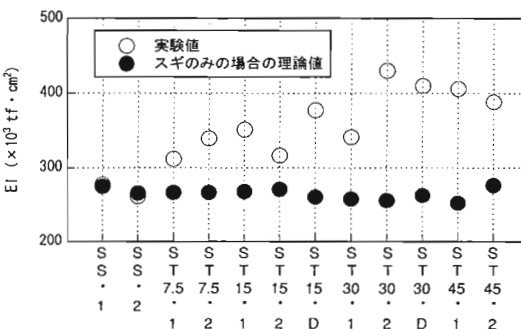


図-13 各試験体の初期剛性