

## 学位論文題名

集成木材を使用したはりおよび格子桁橋の  
静力学的挙動に関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、木材が構造材料として見直され、小規模な橋梁の主構造材料として集成木材（以下「集成材」という）が使用されており、国内各地において歩道橋や林道橋が架設されている。木橋に関するわが国の基準としては昭和15年内務省制定の「木道路橋設計示方書案」があり、形式上は現在も生きているが、この示方書案の中では集成材については触れられておらず、今後集成材橋の架設を通して設計資料の蓄積を行い、集成材に関するわが国独自の設計基準を作成することが必要である。木桁の設計法は耐荷力を基本とする許容応力度設計法が主流と思われるが、橋梁部材として木材を用いる場合は曲げ耐荷力と変位限界を明らかにしておく必要がある。また、はりの支間長と桁高の比によっては耐荷力に及ぼすせん断変形の影響を無視できない場合もあり、せん断変形の影響も考慮した弾塑性解析が必要となる。秋田営林局土木課において計画、建設した坊川林道橋と鶴養林道橋は、秋田杉集成材を主桁と床版に使用した格子桁橋で、設計荷重は道路橋示方書のT-14を用いており、自動車の通行が可能なこれらの集成材橋はわが国初の試みである。

本論文は、集成材橋の設計基準の資料の基礎として、集成材を使用したはりの弾塑性挙動および格子桁橋の弾性状態における変形挙動を明らかにしたものである。

本論文は、全6章で構成しており、各章の概要は以下の通りである。

第1章は緒論であり、本論文に関連する概往の研究を概括し、本論文の目的と内容について述べている。

第2章では、曲げとせん断を受ける集成材はりの圧縮ひずみのひずみ軟化を考慮した弾塑性解析を行った。まず、スギ材の機械的性質を材料試験により明らかにし、木材に適用できる降伏条件を導いた。ついで、引張試験と圧縮試験の結果に基づいて、集成材を含む木材はりの圧縮側のひずみ軟化を考慮した応力-ひずみ関係を用い、はりの断面内ひずみ分布の直線性を仮定するこ

とにより塑性域分布を求め、集中荷重が載荷する場合荷重点付近でひずみ軟化の影響が現れることを明らかにした。また、終局モーメントは、圧縮強さと引張強さおよびひずみ軟化の程度を表す係数の関数で評価できることを明らかにした。さらに、ひずみ軟化を考慮した直応力とつり合うせん断応力を新たに求め、塑性域におけるせん断応力の効果を評価した。また、補仮想仕事の原理を弾塑性状態のはりへ適用し、破壊に至るまでの曲げとせん断によるはりの変位を求め、集成材はりの変位限界が、圧縮強さと引張強さおよびひずみ軟化の程度を表す係数で評価できることを明らかにした。最後に、集成材はりの曲げ破壊実験を行い、ここに提案した解析法の検証を行っている。ひずみ軟化を考慮した集成材はりのせん断応力分布と、弾塑性状態におけるひずみ軟化を考慮した曲げとせん断による変位を初めて求めた。

第3章では、集成材桁と床版を鋼ずれ止めで合成した合成格子桁橋を想定し、T型断面を対象として弾塑性解析を行った。床版は、コンクリート床版と橋軸方向に配置した集成材床版パネルを対象とした。圧縮側のコンクリート材と木材の応力-ひずみ関係は完全弾塑性とし、引張側の木部では破断点まで直線関係とするモデルを用い、破壊に至るまでの曲げによるはりの変位を求めた。また、はりのせん断による変位を求め、塑性域におけるせん断応力の効果を評価し、変位と耐荷力に及ぼすせん断変形の影響を無視できないことを明らかにした。さらに、T形断面の模型実験を行い、破壊に至るまでの合成桁の変位とひずみを測定し、完全合成桁として解析できることを明らかにした。

第4章では、秋田杉集成材を主桁と床版パネルに使用した坊川林道橋と鶴養林道橋の設計条件、および桁の製作、架設から舗装までの現地における架設手順について述べている。また、接着積層後の秋田杉集成材に、CCA 1号の2%水溶液を加圧注入防腐処理した場合の、圧力注入による木部の強度と接着性能に及ぼす影響、および実橋で使用した桁と床版を結合するラグボルトの引き抜き耐力に及ぼす影響を実験的に明らかにし、圧力注入防腐処理の影響は実用上問題にならない程度であることを示している。さらに、アスファルト舗装による集成材床版パネルへの影響について、床版の変位に及ぼすアスファルト舗装による温度の影響は小さいことを明らかにした。

第5章では、集成材主桁と鋼トラス横桁からなる格子桁の弾性状態における変形挙動を明らかにするために、従来用いられている剛性法を用いて格子構造の解析を行った。横桁取付部における集成材主桁と主桁を貫通する丸鋼の合成断面部材の断面二次モーメントは、モデル化を行うことにより評価し、坊川林道橋の二分の一模型桁の場合、鋼トラス横桁の断面二次モーメントの1/4.4に減少し、坊川林道橋では1/5.3に減少することを示している。さらに、ここに提案した解析方法を確認するために、格子桁の模型実験および集成材床版パネルを設置する前に坊川林道橋

の現場実験を行い、モデル化を行わない計算法では実験値を十分評価できないことを明らかにし、モデル化の妥当性を検証している。また、本格格子桁の場合、変位に及ぼす集成材主桁のねじり剛性を無視できることを明らかにした。

第6章では、集成材主桁に集成材床版パネルをラグボルトで結合し、鋼トラス横桁を有する格子桁橋の弾性状態における変形挙動を明らかにした。まず、ラグボルトによる主桁と床版の橋軸方向の合成効果について、スギ材を用いた模型桁の曲げ試験と有限要素法による解析より、ラグボルトによる橋軸方向の合成効果は無視できる程度であることを明らかにした。さらに、秋田杉集成材を主桁と床版パネルに使用した本郷橋の現場実験を行い、実橋においても主桁と床版の合成効果は無視できることを確認した。ついで、床版パネルを有する格子桁橋の横桁の曲げ剛性を、鋼トラス横桁と床版の合成断面として評価し、剛性法を用いて格子桁橋の解析を行った。さらに、坊川林道橋の二分の一模型実験および坊川林道橋と鶴養林道橋の現場実験を行い、解析法の妥当性を実験的に確認した。また、坊川林道橋と鶴養林道橋の現場実験と解析より、垂直変位に及ぼす笠木の影響を無視できないことを明らかにした。最後に、アメリカ道路橋設計基準(AASHTO)で規定されている集成材橋に対する荷重分配係数と、格子桁理論から得られる荷重分配係数を比較検討した。その結果、AASHTOの規定値は荷重分配を過小評価し、構造計算や変形計算において安全側の結果を与えることがわかった。

最後に、以上の各章で明らかにした諸点を要約して本論文の総括を行った。

## 学位論文審査の要旨

主査	教授	芳村	仁
副査	教授	角田	與史雄
副査	教授	小幡	守
副査	教授	金内	忠彦

近年、木材が構造材料として見直され、小規模な橋梁の主構造材料として集成木材（以下「集成材」という）が使用されており、国内各地において歩道橋や林道橋が架設されている。木橋に関するわが国の基準としては「木道路橋設計示方書案」があるが、集成材については触れておらず今後集成材橋の設計基準を作製することが必要である。

本論文は、集成材橋の設計基準の資料の基礎として、集成材を使用したはりの弾塑性挙動および格子桁橋の弾性状態における変形挙動を明らかにしたものである。

本論文は、全6章から成っている。

第1章は緒論であり、本論文に関連する既往の研究を概括し、本論文の目的と内容について述べている。

第2章では、曲げとせん断を受ける集成材はりの圧縮ひずみのひずみ軟化を考慮した弾塑性解析に成功している。まず、スギ材の機械的性質を材料試験により明らかにし、木材に適用できる降伏条件を導いた。ついで、引張試験と圧縮試験の結果に基づいて、集成材を含む木材はりの圧縮側のひずみ軟化を考慮した応力-ひずみ関係を用い、はりの断面内ひずみ分布の直線性を仮定することにより塑性域分布を求め、集中荷重が載荷する場合荷重点付近でひずみ軟化の影響が現れることを明らかにした。また、終局モーメントは、圧縮強さと引張強さおよびひずみ軟化の程度を現す係数の関数で評価できることを明らかにすると同時に塑性域におけるせん断応力の効果を評価した。また、補仮想仕事の原理を弾塑性状態のはりへ適用し、破壊に至るまでの曲げとせん断によるはりの変位を求め、集成材はりの変位限界が、圧縮強さと引張強さおよびひずみ軟化の程度を表す係数で評価できることを明らかにした。さらに、集成材はりの曲げ破壊実験を行い、ここに提案した解析法の検証を行っている。著者はひずみ軟化を考慮した集成材はりのせん断応力分布と、弾塑性状態におけるひずみ軟化を考慮した曲げとせん断による変位を本研究で初めて明らかにしている。

第3章では、集成材桁と床版を鋼ずれ止めで合成したT形断面を対象として弾塑性解析を行い、破壊に至るまでの曲げによるはりの変位を求めた。また、変位と耐荷力に及ぼすせん断変形の影響を無視できないことを明らかにしている。

第4章では、秋田杉集成材を主桁と床版とした格子桁橋の建設で作製から架設にまでに行った種々の実験について述べている。その結果接着積層後の秋田杉集成材に対する圧力注入防腐処理の影響は実用上問題にならない程度であること、およびアスファルト舗装による温度の影響が小さいことなどを明らかにしている。

第5章では、集成材主桁と鋼トラス横桁からなる格子桁の弾性状態における変形挙動を明らかにするために、横桁取付部における横桁の曲げ剛性のモデル化を提案するとともに、それに基づいた剛性法による解析を行っている。そして、ここに提案した解析方法を確認するために、格子桁の模型実験および集成材床版パネルを設置する前に坊川林道橋の現場実験を行い、著者提案のモデル化の妥当性を検証している。

第6章では、集成材主桁に集成材床版パネルをラグボルトで結合し、鋼トラス横桁を有する格子桁橋の弾性状態における変形挙動を明らかにした。まずラグボルトによる橋軸方向の合成効果は無視できる程度であることを明らかにした後、床版パネルを有する格子桁橋の横桁の曲げ剛性を、鋼トラス横桁と床版の合成断面として評価する解析法を提案し、剛性法を用いて格子桁橋の解析を行った。さらに、模型実験および坊川林道橋と鶉養林道橋の現場実験を行い、解析法の妥当性を実験的に確認している。

最後に、以上の各章で明らかにした諸点を要約して本論文の総括を行っている。

これを要するに本論文は近年架設されるようになってきた集成木材を使用した橋梁構造物の静力学的挙動に関し多くの新知見を見出すとともに、この種構造物の設計法確立のための有用な指針を与えるもので橋梁工学の進展に寄与する所大である。

よって著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。