

論文の内容の要旨

氏名：大 木 文 明

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：Cross Laminated Timber と鉄筋コンクリートを機械的接合した複合床スラブに関する研究

我が国では、公共建築物等における木材の利用促進に関する法律が2010年に施行され、学校や老人ホームといった中・大規模の公共建築物の木造化が進められている。このような中、近年木造建築物の中・大規模化や、施工の簡易化に向けて新たな木質構造部材である直交集成板(Cross Laminated Timber, 以下CLTと称する)の開発が行われており、注目を集めている。CLTは小・中径木や間伐材を用いて製造することが可能であることから、CLTの活用は地域林業、木材産業の活性化に寄与するものと期待される。

しかしながら、CLT等の木質材料を中・大規模建築物の床材として利用する場合、剛性不足によって設計時におけるスパンの制限または梁せいの増加や、床振動に加え、軽量であるための重量衝撃音、木材であるための耐火性能等が課題として挙げられる。これらに対し、米国やヨーロッパ等の諸外国では、木材の上部に異形鉄筋または溶接金網を用いて鉄筋コンクリート(以下、RCと称する)を配し、これらをせん断キー等によって機械的に接合した複合部材(Timber-Concrete Composite systems, 以下TCCと称する)とすることで課題の解決を図っている。

TCCが面外方向からの外力を負担した際には、木材とRCの境界面に互いにずれようとする水平方向のせん断力が生じる。このせん断力をせん断キーによって伝達することで、RCは主に圧縮力を、木材は主に引張力を負担し、効率的に応力を負担させることが可能となる。これによって木材単体、または木材とRC間の接合がなされていない部材に比べて高い剛性を得ることができることから、設計時におけるスパンの延長や梁断面の縮小に加え、固有振動数の上昇および減衰特性の性能向上が期待できる。また、コンクリートとの接合による質量増加によって重量衝撃音の改善、不燃材料であるコンクリートを用いることによって耐火性能の向上が見込まれる。また、屋外での利用の際には木材単体での利用に比べて高い耐候性が期待できる。

TCCの多くは製材や集成材といった木質軸材料とRCをせん断キーによって接合したものが多く利用されているが、一方で木質面材料であるCLTの上部にRCを配し、これらをせん断キーによって機械的に接合した複合部材が考えられる。木質軸材料の上部にRCを配する場合、コンクリートの型枠として木質軸材料の上部に面材を配する必要があることから施工が煩雑となるが、木質面材料であるCLTを用いることで耐力に寄与する型枠とすることが可能となり、簡易化を図ることが可能となる。以降の本論文においては、下端に木質軸材料である製材や集成材、LVL等を用い、せん断キーによってRCと機械的に接合した梁または床部材をTCCとして定義し、下端に木質面材料であるCLTを用い、せん断キーによってRCと機械的に接合した床部材を複合床スラブとして定義した。

諸外国におけるTCCに関する実験的研究は、欧米諸国を中心に報告されており、その多くはせん断キーによる接合方法が曲げ性能に与える影響や、よりせん断性能が高い接合部の開発が行われている。また、TCCに比べ報告数は少ないものの複合床スラブの曲げ性能に関する研究も行われている。しかしながらこれらの研究におけるせん断キーは、接着剤やCLTに切欠きを設けて接合が行われたものが多く、せん断性能は高いが、施工負荷が高いものを対象とした研究が報告されている。

一方、我が国におけるTCCの研究は、2008年以降に見られるようになったがその数は少なく、面外曲げを対象とした短期性能について梁断面内に生じるひずみを元にした応力分布や、剛性に関する考察が行われた。また、複合床スラブに関する研究はTCCに比べさらに少なく、諸外国同様に接合部のせん

断性能は高いが、施工負荷が高いものが報告されている。しかしながら構法の普及の観点では、簡易な施工方法によって国産スギ CLT を接合した複合床スラブのひずみに着目し、荷重と応力の変化について検討を行った基礎的研究が必要とされているものと考えられるが、設計指針が確立している鉄骨梁と RC 床版をせん断キリーによって接合した合成梁と比較すると少なく、更なる実験的研究が必要とされている。

そこで本研究では、中・大規模木造建築物の床材を CLT によって構成する際の課題を複合床スラブによって解決するため、国産スギ CLT と RC をせん断キリーによって簡易な施工方法で機械的に接合した複合床スラブの面外曲げ性能について実験的に検討を行った。さらに各種評価方法によって変形初期の挙動を評価し、実験によりその妥当性を検証した。

はじめに複合床スラブの曲げ性能に大きな影響を与える接合部について検討を行った。ここでは要素実験として、せん断キリーにラグスクリューを用い、乾式施工した 1 面せん断実験を行い、せん断キリーに直接せん断力が作用する際のせん断性能を評価した。

次に乾式施工したせん断キリーの施工方法および、湿式施工したせん断キリーの種類が複合床スラブの面外曲げ性能に与える影響について検討するとともに、複合床スラブが降伏に至るまでの挙動について実験的に検討を行った。

更に各種評価方法によって複合床スラブの変形初期の挙動を評価し、実験によりその妥当性を検証した。

本論文は全 6 章より構成されており、各章において得られた結果を以下に示す。

第 1 章では、本研究の背景と既往の研究について概説し、本研究の目的を示すとともに、本論文を構成する各章の概要を述べた。

第 2 章では、乾式施工したせん断キリーの打込み深さが、接合部のせん断性能に与える影響について検討を行った。ここでは要素実験として、せん断キリーにラグスクリューを用い、乾式施工した接合部の 1 面せん断実験を行い、せん断キリーに直接せん断力が作用する際のせん断性能を評価した。

その結果、CLT への打込み深さが深くなることで、力学的特性値における荷重は上昇し、変位は減少する傾向が認められた。また、CLT への打込み深さを 90mm とした試験体では最大荷重後、その 80% に低下する以前にせん断キリーの破断を生じた。

第 3 章では、第 2 章に続き、乾式施工したせん断キリーの施工方法である配置ピッチおよび打込み深さが複合床スラブの面外曲げ性能に与える影響について検討を行った。また、複合床スラブが面外方向からの外力を負担した際には、CLT と RC の境界面に水平方向のせん断力が生じ、これによってせん断キリーによる一体化が崩れ、複合床スラブの曲げ性能が低下するものと考えられる。そこで本章では、複合床スラブの力学的挙動として重要となる降伏に至るまでの挙動について検討を行った。

その結果、せん断キリーの配置ピッチを密にするか、打込み深さを深くすることで、値の上昇が認められた。また、複合床スラブは変形初期から不完全合成梁となっており、比例限度は RC 下部のコンクリートの曲げひび割れ、降伏はせん断キリーの曲げ変形によって生じ、降伏荷重以降は明確に平面保持が崩れた。

第 4 章では、湿式施工したせん断キリーの種類が複合床スラブの面外曲げ性能に与える影響について、層構成の異なる 2 種類の国産スギ CLT を用いた複合床スラブを対象として検討を行った。せん断キリーには、我が国で一般的に調達可能な建築材料である D10 異形鉄筋および M12 全ねじボルトを用い、これらを接着剤によって CLT に固定する湿式施工とした。また、比較として諸外国において利用実績のある VB コネクタを用いた。

その結果、これらのせん断キリーの種類が初期剛性および比例限度荷重に与える明確な影響は認められず、CLT が厚くなることで値の増加が認められた。一方、降伏荷重は D10 異形鉄筋、M12 ボルトに比べ、

VB コネクタが高い値を示した。

第5章では、第3章で検討を行ったせん断キーを乾式施工した複合床スラブおよび第4章で検討を行ったせん断キーを湿式施工した複合床スラブを対象に、面外曲げ性能について各種評価方法を用いて変形初期における曲げ性能の評価を行った。

その結果、複合床スラブは非合成梁に比べて剛性の上昇を確認した。次に、Eurocode 5 に示される γ 法によって初期剛性および降伏荷重を算出した結果、せん断キーを湿式および乾式施工した複合床スラブともに初期剛性は安全側の値を示した。この理由として、 γ 法においては CLT と RC の境界面における摩擦力を無視していることが要因の一つとして推察される。降伏荷重は、せん断キーを乾式施工した複合床スラブでは実験値と概ね良い相関が認められたが、せん断キーの配置ピッチが最も長い試験体では危険側の値を示した。この理由として既往の研究から γ 法はせん断キーの配置ピッチが長い場合、危険側の評価を示すことが示されており、本試験体はその傾向が顕著に現れたものとする。

第6章では、本研究を総括し、各章の結果と考察に基づき、得られた成果を示すとともに、今後の課題および展望を示した。

以上、本研究では国産スギ CLT と RC をせん断キーによって簡易な施工方法で機械的に接合した複合床スラブを対象に、せん断キーの施工方法および種類が面外曲げ性能に与える影響を解明するとともに、複合床スラブが降伏に至るまでの挙動を実験的に解明した。さらに各種評価方法によって変形初期の挙動を評価し、実験によりその妥当性を検証した。これらによって中・大規模木造建築物の床材における課題解決を目的とした新たな構造部材の可能性を示した。また、今後は γ 法を複合床スラブに適用する際の適用条件の精査および摩擦力等の影響を考慮した算定式の検討を行うとともに、新たな接合方法について検討を行うことにより、社会に普及することが可能となるものとする。