

4) 材料研究グループ

4)－5 木質構造物の安全限界変形角の設定法に関する検討【持続可能】

Study on Determination of Safety-limit Drift Angle of Timber Structures

(研究開発期間 令和4～6年度)

材料研究グループ

Dept. of Building Materials and Components

山崎義弘

YAMAZAKI Yoshihiro

植本敬大

TSUCHIMOTO Takahiro

To encourage mid- to high-rise timber buildings, a rational structural design method for severe earthquakes must be established. Determining a safety-limit drift angle for individual buildings is one of the most challenging issues for designers. This research deals with technical issues such as the variability of ultimate deformation of shear walls and non-structural components, and the structural characteristics factor(D_s). Adequate design methods are proposed based on experimental results and numerical analyses.

【研究開発の目的及び経過】

グリーン社会の実現に向けて建築における木材利用促進が図られており、中大規模木造建築物の設計技術の開発が進められている。中大規模化に伴い、大地震時の安全性を担保する設計で重要となる安全限界変形角の設定について、建築物の構造関係技術基準解説書で判断基準の記載があり、木造では $1/30\text{rad}$ が一つの目安となっている。一方で、主に低層木造建築物の性能評価では、従来より $1/15\text{rad}$ までの荷重－変形関係の包絡線が用いられており、これとの関係から、より具体的な条件に基づいた明確な判断基準が必要と考えられる。

本研究では、木質構造物において一般的に用いられている各種耐力壁などの水平耐力要素について、終局耐力や変形性能に影響を及ぼし得る因子を分析するとともに、設計時の安全限界変形角の設定方法について検討を行う。これにより、ルート3や限界耐力計算法などの大地震時の構造安全性を直接的に検証する構造計算において設計者が信頼のおける技術資料を提供することを目的とする。

【研究開発の内容】

1) 各種耐力壁の繰り返し変形性能の調査

耐力壁の面内せん断性能は、性能評価機関の試験業務方法書に則った荷重履歴の試験結果に基づき評価される。この荷重履歴は図1に示すように小振幅から3サイクルずつ繰り返ししながら振幅を漸増させるものであるが、地震動の継続時間や変形のサイクル数は様々であるため、その妥当性を時刻歴応答解析によって検証した。

2) 安全限界変形角の判定基準の整理

安全限界変形角の設定においては、構造部材の終局限界だけでなく、非構造部材の安全性も考慮する必要がある。軸組工法や枠組壁工法では実験事例が多く、耐火被覆材としてせっこうボードが用いられた場合の変形追従性に関する検討も行われている（基整促M6）。しかし、

CLTパネル工法については実験例がなく、他の工法と比べて壁体の挙動が大きく異なることから、個別の検討が必要と考えられる。そこで、2時間耐火の外壁仕様を対象に、その変形追従性の確認を行った（図2）。



図1 耐力壁の性能評価における標準的な荷重履歴

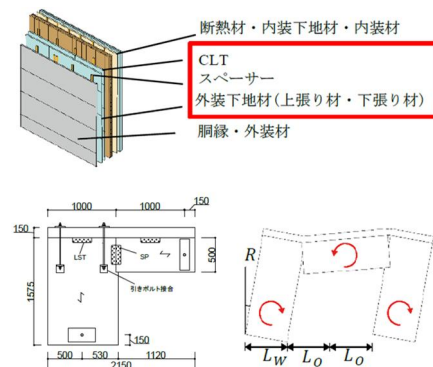


図2 CLTパネル工法の外壁仕様と変形追従性確認実験

3) 構造特性係数 D_s の設定法の検討

木質構造では従来より包絡線の完全弾塑性置換によるエネルギー一定則が用いられてきたが、この方法は低層建築物で安全限界変形角を $1/30\text{rad}$ 以上とできる場合には妥当な D_s 値を与えていたが、中高層化にあたって安全限界変形角を $1/30\text{rad}$ より小さくとると、過大な計算値となり得る。そこで、8階建て以下の木造建築物を対象として、構造特性係数 D_s の設定法を検討し、その妥当性を質点系モデルの時刻歴応答解析により検証を行った。

Ds の設定法は文献 1 の方法を参照し、安全限界変形角は文献 2 の数値を参考にしつつ一部変更し設定した（3 階：1/30rad，5 階：1/45rad，7 階：1/50rad）。

【研究開発の結果】

1) 各種耐力壁の繰り返し変形性能の調査

解析は図 3 に示す 3 種の耐力壁をもつ一質点系モデルで、繰り返し载荷による劣化を考慮した復元力特性モデルを用いた。35 地震波（国内外観測地震 31 波、模擬地震 4 波）を用いた時刻歴応答解析によって得られる包絡線と、標準载荷試験により包絡線の比較を図 4 に示す。筋かいと 9mm 合板は標準载荷試験で得られる包絡線が時刻歴応答解析による包絡線と同等かやや低めであり、試験法として適切であることが確認した。一方、12mm 合板では標準载荷試験で得られる包絡線が 1/30rad ($\Delta=0.4$) を超えたあたりから時刻歴応答解析の包絡線を上回った。これは図 1 のように標準载荷試験では 1/30rad で 1 回繰り返した後は単調な引き切り载荷のみのためである。安全限界変形角を 1/30rad 以上に緩和するような措置を考える場合には、当該大振幅域での繰り返し载荷を適切に実施する必要があることを確認した。

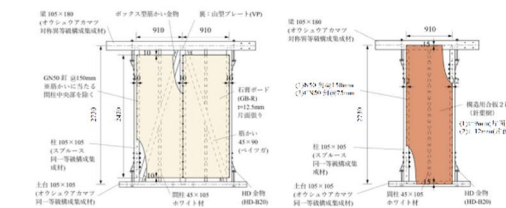


図 3 対象とした耐力壁

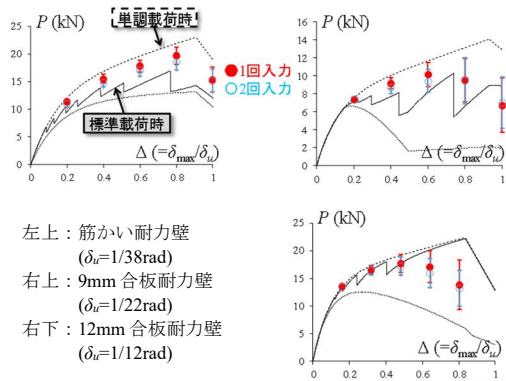


図 4 時刻歴応答解析と標準载荷による包絡線の比較

2) 安全限界変形角の判定基準の整理

袖壁、垂れ壁の幅、スペーサーの有無、CLT 壁幅等をパラメータとして、袖壁と垂れ壁からなる L 形接合部の水平加力実験を実施した。層間変形角 1/200～1/100rad 程度で、袖壁－垂れ壁接合部の入隅部でせっこうボードの割れが見られたが、層間変形角 1/30rad まで脱落が生

じないことを確認した（図 5）。

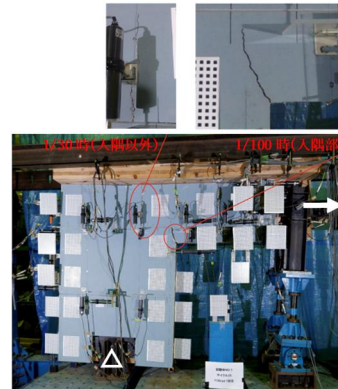


図 5 CLT パネル工法外壁の層間変形による損傷

3) 構造特性係数 Ds の設定法の検討

図 6 左に示すように保有水平耐力を設定したモデルにおいて、極稀地震（2 種地盤）に対する各層の最大層間変形角が、設定した安全限界変形角以下に概ね収まることを確認した。各層の剛性と耐力は A_i 分布に比例させたが、時刻歴応答解析では層間変形角分布が多少ばらついた。文献 1 の Ds 設定法では層間変形角分布によって Ds の計算値が多少変化するが、多少の応答ばらつきがあってもクライテリアは概ね満足されることが確認された。なお、上述の方法の立面混構造に対する適用性検証も別途確認した。

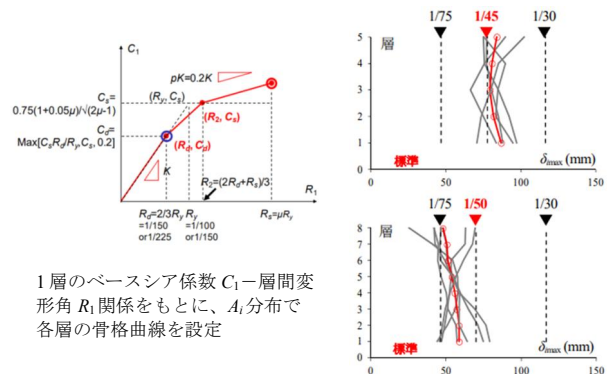


図 6 時刻歴応答解析による Ds の設定方法の検証

【参考文献】

- 1) 一般社団法人日本建築構造技術者協会：JSCA 版 木造建築構造の設計（第 2 版），オーム社，2021
- 2) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター：2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル 2021 年構造・材料増補版