

木造住宅の耐震性

ビッグフレーム構法とマルチバランス構法

金子 雅文・佐々木 修平

木造住宅の耐震性を左右する要素として上部構造, 基礎構造, 地盤がある。木造住宅の上部構造は, 一般的に木造軸組工法や枠組壁工法などがあるが, 筆者らは, 木質梁勝ちラーメン構造を実現したビッグフレーム構法 (以下「本BF構法」という) と日本の伝統的な木造軸組構造を最新技術で進化させたマルチバランス構法 (以下「本MB構法」という) を採用している。また基礎構造は, 上部構造の力を地盤へ伝達する重要な役目となっている。上部構造, 基礎構造を支えるための地盤は, 事前に地盤調査を実施し適切な地盤補強工法を選定する。これら木造住宅の耐震性について紹介する。

キーワード: 小規模建築物, 木造, 耐震構造, 上部構造, 基礎, 地盤

1. はじめに

耐震構造の歴史を振り返ると「日本で耐震研究が始まったのは, 1891年濃尾地震からと言われている。また1919年市街地建築物法, 翌年同法施行規則が制定され, 木造の構造詳細の基準「いわゆる仕様規定」が作られた。1923年関東地震によって翌年市街地建築物施行規則が大改定された。1948年福井地震により, 地震と木造の被害を調査し木造の耐震法規の原点となり, 1950年建築基準法²⁾制定に取り入れられた。1978年宮城県沖地震によって1981年建築基準法の改正があり, 木造住宅に必要な壁量が増えた。その後も1995年兵庫県南部地震により古い木造住宅に大きな被害が発生, 1999年建築基準法が改正され2000年同法施行令にて木造関係の規定も改定された。」と述べられている¹⁾。したがって過去から巨大地震により被害を受けては, 法が整備され耐震技術が向上してきたとも言える。最近では2016年熊本地震にて最大震度7を2回経験した。また2011年東北地方太平洋沖地震によって甚大な被害が発生したが, 震源地から遠く離れた千葉県東京湾岸地域で液状化被害が発生し, 戸建住宅が不同沈下等の大きな被害を受けた。ここでは, これらの歴史的背景から木造における耐震構造についての取り組みを紹介する。

2. 木造における耐震構造と法規制

通常建築物を建設するには, 色々な法規制に従う必

要があるが, その中で木造建築物の上部構造部分は, 建築基準法施行令第3章第3節に仕様規定が示されている。また基礎および地盤は, 建築基準法施行令第3章第2節に示され, 平12建告示第1347号にて建築物の基礎の構造方法および構造計算の基準を定める件, 平13国交告示第1113号にて地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力度を求めるための地盤調査の方法並びにその結果に基づき地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力度を定める方法等定める件が示されている。また2000年4月に「住宅の品質確保の促進等に関する法律 (以下品確法)」が施行³⁾され, 住まいの性能が客観的に判断できるようになった。2009年6月から「長期優良住宅の普及の促進に関する法律 (以下長期優良住宅)」が施行⁴⁾され長期に亘り良好な状態で使用するための措置が講じられた優良な住宅の認定を受ける制度が定められた。また地盤の耐震性の一つとして, 2011年東北地方太平洋沖地震で影響の大きかった液状化に対しては, 品確法施行規則の改正により建築主からの申出がある場合には, 液状化に関する参考情報を提供する任意の制度が施行された。よって昨今では, 建築基準法が最低基準であって品確法や長期優良住宅などの要求性能が上がってきている状況である。

3. 木造住宅の耐震性

(1) 上部構造について

木造住宅の耐震性を左右する要素として上部構造が

ある。上部構造として筆者らは、本BF構法において木質梁勝ちラーメン構造を採用している(写真-1)。ラーメン構造は、梁と柱を剛接合した骨組みのことで耐力壁を使わずに優れた耐震性を発揮し、壁の少ない自由な空間を実現できる。また、梁勝ち構造は、横の梁を縦の柱より優先させる構造のことで、上下階で柱や窓の位置が異なるプランにも対応でき自由度の高い構造である。大空間を支えるビッグコラムは、大断面集成材を採用し耐力壁に代わり建物を支える構造材で高耐久化を実現、開放的で明るい大開口や自由度の高い設計を可能にすることができる。科学的解析に基づいて開発された高強度・高精度な接合金物BFジョイント金物は、FEM解析によるシミュレーションと実験を繰り返し使用部位や目的に合わせて最適形状、強度を決定、外力に対する粘り強さを実現している。またビッグコラムと梁、基礎をBFジョイント金物でメタ

ルタッチ接合としている(図-1)。本BF構法の3階建て実物大の検証モデルは、東日本大震災の震度7を2回、阪神淡路大震災の震度7を20回、合計22回加振するという過酷な実験にもねばり強さを発揮した。また繰返し発生する余震も想定し、合計246回の加振を実施し安全性を確認した(写真-2)。また世代を超えて住み継げる家を目指し、建物を構造部分と内装、設備等に分けて考えた設計手法、スケルトン&インフィルによる可変性を実現でき住まう人のライフステージの変化に合わせて間取りを変更しやすく、世代を超えて住み続けることが可能で、建物としての資産価値の維持や耐久性を向上させることによる環境問題への貢献など新たな可能性を生み出すことができる。

また上部構造として本MB構法は、木造軸組構造を採用している(写真-3)。これまでの日本の伝統的な構造を進化させ、柱には国産檜を使用した構造用



写真-1 本BF構法



写真-2 実大振動実験(本BF構法)

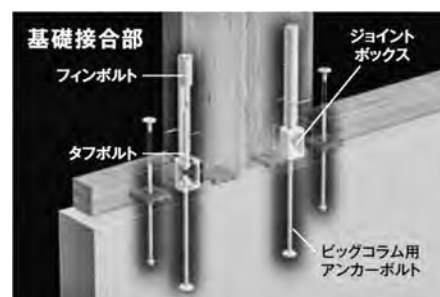
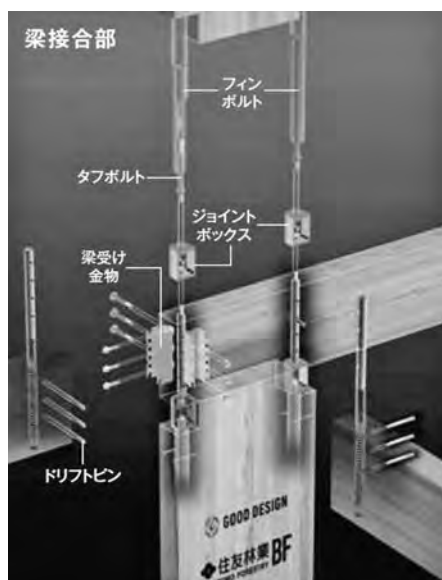
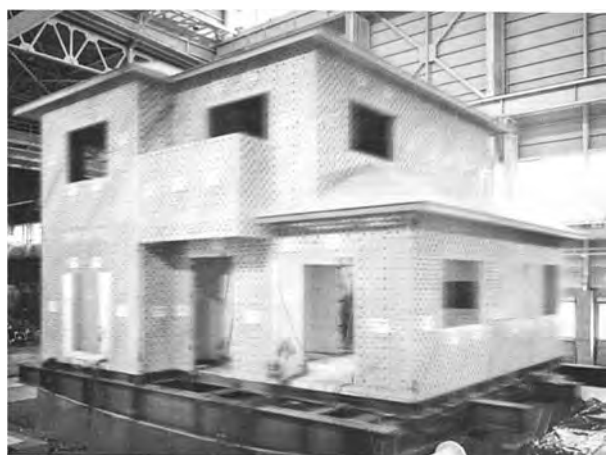


図-1 梁接合部, 基礎接合部



写真一3 本MB構法

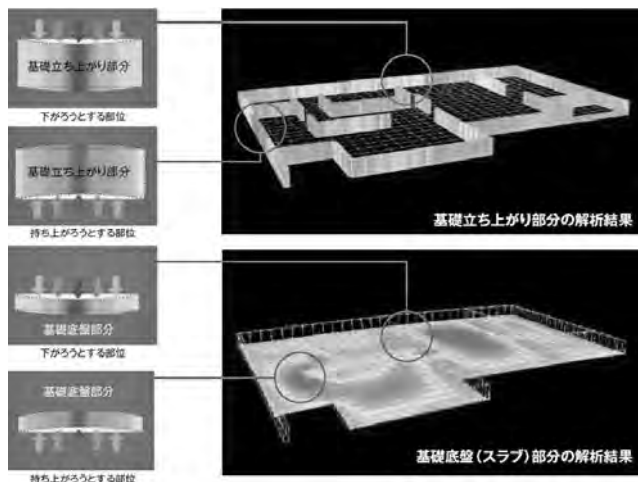


写真一4 実大振動実験 (本MB構法)

集成材を使用，地震の揺れに耐えるには壁面や床面の強さが重要なため壁には耐力面材「きづれパネル」，床には「剛床パネル」を用い地震などの外力を受けた場合に建物の変形やねじれを抑える。構造躯体だけでの実質的な耐力を把握するために実物大の試験体による振動実験を行い，耐震性を検証した。品確法の住宅性能表示制度における耐震等級3程度の壁量で構成した試験体に過去の巨大地震で木造住宅に大きな被害を与えた1995年兵庫県南部地震時の最大地動加速度の1.2倍を加振。さらに強い余震を想定し，ほぼ同等の加振を再度行い，本MB構法の試験体は損傷も倒壊もなく，高い耐震性を確認した（写真一4）。

(2) 基礎について

基礎構造は，上部構造の力を地盤へ伝達する重要な役目となっている。有限要素法を用いてプランに応じた基礎形状と配筋の適正化をはかり，一邸ごとに最適な基礎設計を実施している（図一2）。また一部エリアにて協力メーカーと共同開発しプレキャストコンクリート（以下PCa）べた基礎工法を導入した。本工



図一2 最適な基礎設計



写真一5 PCaべた基礎工法

法は，専用工場において基礎梁（以下PCa基礎梁）を製造し，現場へ運搬して設置を行った後で基礎スラブを現場打設するハーフPCa工法を採用している（写真一5）。最適な基礎設計を融合し，一邸ごとにプランに応じた基礎の構造計算を実施することでPCa基礎梁や基礎スラブの最適な設計および部材の共通化・効率化が可能となった。建物のプランや現場の施工条件から最適な工法をお客様へ提案している。

(3) 地盤について

住宅における地盤調査は，敷地の制約や経済性等からスウェーデン式サウンディング試験が一般的に行われている。スウェーデン式サウンディング試験は手動式といった錘やロッド，ハンドル等を用いて人力で錘の上げ下ろしやハンドルの回転を行う方法や回転は機械で行う半自動式，荷重の制御や回転全てを機械で行う自動式がある（写真一6）。手動式の場合，ハンドルを介してその感触から土質を推定できるといった特徴はあるが，調査技術者の技量によりデータのバラツ



写真一六 スウェーデン式サウンディング試験機例

キが生じることや調査技術者の負担軽減から半自動式や自動式が行われることが多い。また、最近ではデータのトレーサビリティの確保として試験データや試験時刻、位置情報等をGPSによって即時に送信できるシステム⁵⁾も構築されている。

この試験データや建築地周辺の状況、土地の変遷、地形や地質等から総合的に地盤補強工事の要否や適切な地盤補強工法を選定しお客様へ提案している。

地盤補強工事は、施工ヤードや搬入経路の制約から公共事業で用いられる施工機械よりも小型のものが用いられることが多い。また、木造住宅規模の建物荷重度は小さく、大容量の基礎ぐいを用いられることは少ない。平面地盤補強と呼ばれる表層改良やパイルド・ラフト工法等、杭状地盤補強と呼ばれるセメント系固化材を用いた柱状改良、丸太や円柱状の木材を用いた地盤補強、小口径の鋼管やコンクリートを用いた地盤補強等といった地盤補強工事が主に行なわれている。最近では、品質面の確保から第三者機関にて建築技術性能証明を取得された地盤補強工事を採用されることが多い。

液状化に対しては、上記制約条件のほか、保証面や経済性の問題や、設計方法が未確立であること等から発展途上段階であるが、2011年東北地方太平洋沖地震以降に様々な小規模建築物向けの液状化対策工法が開発されている。筆者らは、大学、協力メーカーと共同開発し薄鋼矢板を用いて基礎下を囲い込むことで矢板および基礎下内部の土砂の流出を防ぎ、液状化が生じても建物の沈下を軽減させる工法⁶⁾を開発した。本工法は、液状化層全てを囲い込むのではなく、液状化層の半分程度に抑えることで上部構造の沈下や傾斜被害を軽減することを期待している。実大規模に近い振動台実験では、沈下量が無対策よりも1/4程度に抑えられるという結果が報告⁷⁾されている。施工技術については、第三者機関にて技術審査証明を取得してい

る。また他の液状化対策として、丸太を密に打設することで地盤の密度を高め、液状化を抑制する工法⁸⁾も開発されている。

2016年熊本地震では大規模の地震動が連続して発生したことやその後の豪雨等の影響により、液状化による被害のほか、土構造物の崩壊や地盤の陥没、地割れ等の地盤に関する被害が顕著に発生した。地盤構造は目に見えず、鉄やコンクリート等の人工的にコントロールされ作製した材料とは異なり、自然が長い年月をかけて様々な条件の変遷を経て作り上げたものであるため、現象のメカニズムを解明することは難しい。また、小規模建築物では上述のとおり様々な制約が多く、絶対十分な対策を施すことは難しいことを実感した。従って、今後予想されている東南海・南海地震や首都圏直下地震等の大地震に対しては、防災用の設備や備蓄の確保が重要だと考えられる。そのため半地下収納を商品化し温度変化の少ない地下を有効に活用し非常食などの備蓄の確保を提案している(写真一七)。半地下室とすれば容積率の算定対象外となるため、限られた敷地空間を効果的に活かせる収納が可能である。また、外殻部には土木分野で活用されているライ



写真一七 半地下収納庫

ナープレートを協力メーカーと共同開発し用いている。今後の応用技術としてシェルターの可能性も期待できる。

4. おわりに

1975年「木を活用し安心安全で健康的な住まいを提供することで豊かな住生活の実現に貢献したい」との経営者の志のもと木造住宅事業へ進出した。現在、社会全体として世代を超えて住み継いでいける住まいづくりが推進されているなか、国産材の積極活用、耐震性、耐久性を高める構造躯体、アフターメンテナンスの充実など長寿命住宅を提供し、循環型社会の形成に貢献すること、特に耐震構造は、自然を相手にしている以上、今後予想される巨大地震に対して先人の方々の経験を基に実験実証を繰り返すことで安心・安全な空間作りの一助になるべく注力する所存である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 坂本功, 日本の木造住宅の100年, (社)日本木造住宅産業協会, 2001.3
- 2) 建築基準法(昭和25年5月24日法律第201号), 国土交通省
- 3) 住宅の品質確保の促進等に関する法律(平成11年6月23日法律第81号), 国土交通省
- 4) 長期優良住宅の普及の促進に関する法律(平成20年12月5日法律第87号), 国土交通省
- 5) G-Web System (<http://www.geosign.co.jp/system/>)
- 6) 小規模構造物液状化被害軽減工法研究会, K-gen工法 (<http://www.k-gen.info/>)
- 7) 安田・平出・金子・三上・尾澤, 薄鋼矢板を用いた液状化被害軽減工法に関する実験的研究その4, その5, 第49回地盤工学研究発表会, pp1585-1588, 2014.3
- 8) 木材活用地盤対策研究会, LP-LiC工法 (<http://www.mokuchiken.com/>)

【筆者紹介】

金子 雅文(かねこ まさふみ)
住友林業㈱
住宅事業本部 技術商品開発部
マネージャー



佐々木 修平(ささき しゅうへい)
住友林業㈱
住宅事業本部 技術商品開発部
マネージャー

