

住宅建設における構造技術の応用

金子 雄太郎

住宅建設における構造技術の応用

Structural Design Techniques Applied on Housing Construction

金子 雄太郎

1. 序

住宅は商品として流通し、多様なニーズに対応しているが、建設行為は本来、受注生産されるべきものであり、そこでは、ニーズそのものの検討・修正を加えつつ、建設案（設計図書）をよりよいものとするための努力がはられる。

建設工事、設計は生活空間、業務空間、あるいは、安らぎの空間を求めるといった漠然としたニーズに始まり、その空間が必要とする機能の分析を含めた試行錯誤によって計画・意匠設計がすすめられるわけであるが、戸建て住宅、あるいは集合住宅の1部を形成する住居については、既存の建設例が商品例となり、その例を吟味することで商品に対する希望が明確になるため、多くの場合は、商品例と、経済状況（予算措置）とのすりあわせに問題が集約され、商談がまとまる形で実際の建設行為に移される。

商品化された住宅、住居においては構造（骨組み、柱割り、床組、他）は規格化され、その規格の中で多様なニーズにあわせた試行錯誤が行われる。これにより住宅設計が簡略化されるとともに、合理的な生産システムと連動する下地となっているわけであるが、一方で、住宅設計＝商品選択という考え方が定着し、設計の可能性に係る選択宜を狭めることとなっている。

経済成長に伴い、より豊かな生活を求めて、常に過大な住宅供給が求められ、これに対して商品としての住宅が果たした貢献は多大な物といえるが、建築物としての住宅は多様であり、設計工程における努力が個別の建設に生かされることは重要である。

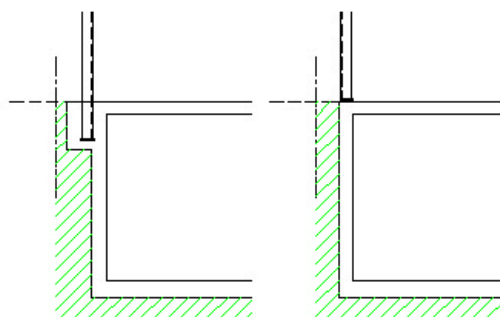
ここに示す4件の住宅建設は、敷地が手狭であることに対して構造技術の面から提案を行い、デザイン、意匠計画上の意図とすり合わせて実施に至ったもので、生産の合理化と言った観点からは、必ずしも推奨される物ではないが、計画段階で、建設技術の選択宜を広げることによって敷地の有効利用を図り、実現した例である。

構造設計上の問題、解決策他を、要約する。

2. 建設例

2.1 地下構造に支持されるアウトリガー構造

狭小地に建つ地下1階・地上3階鉄骨造住宅である。鉄骨柱は、基礎、基礎梁等の基礎構造の上に設けるため、図1(a)に示すように、堅固な基礎の下で、地下室が手狭なものとなる。ただし、隣接地との境界付近の柱を軽微な物とすると、図1(b)に示すように地下壁を配置することが出来、敷地の有効利用が計られる。



(a) 柱脚基礎付き (b) 柱脚ピン支持
図1 地下壁の配置

図2は、地下室を有する鉄骨造3階建て住居であり、外側の柱を地下壁上に設けることによって地下壁を隣接地に接近させて構築した例である。外側の柱の脚部がピン支持となり、水平荷重に抵抗し得ない柱となるため、これに替えて内部の柱を堅固な物として架構全体の強度と剛性を得ている。内柱は、地下階床（耐圧板）と1階床の2点で支持される独立柱であり、2階、3階の梁との組み合わせによりアウトリガー構造を形成する。

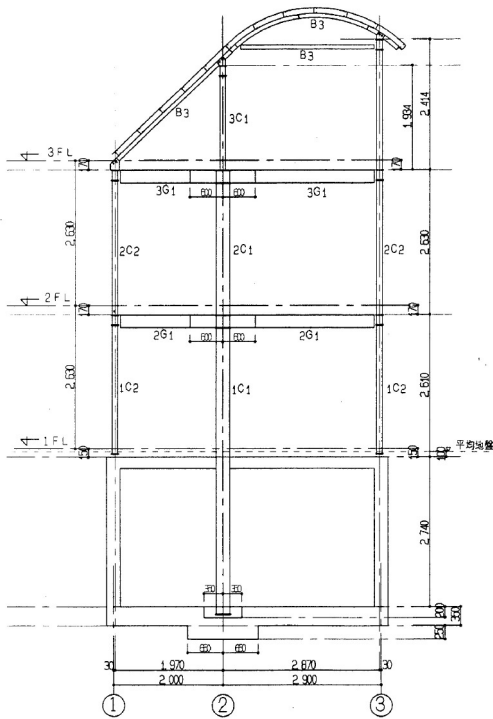
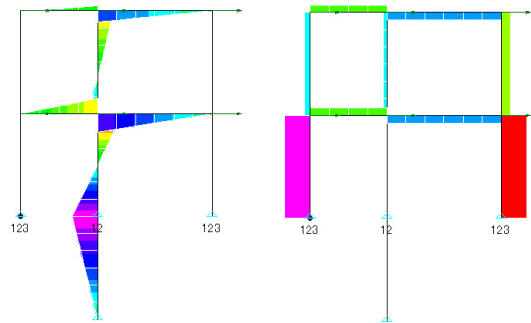


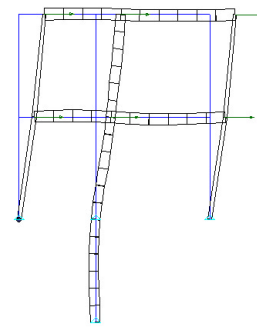
図2 アウトリガー構造，断面図

(構造設計概要)

水平荷重時応力・変位を図3(a)～(c)に示す。(a)図の曲げモーメント図に見られるように内柱は通常のラーメン構造と同様に作動し、外側の柱は、(b)に見られるように、軸方向力を生ずる。アウトリガー構造を形成する中央の柱は、図4に示すように、船のマストと同種の構造であり、船底と上部甲板に支持される状況を、地下室の底版と1階床に支持される柱に置き換えることにより、住宅に応用したものである。

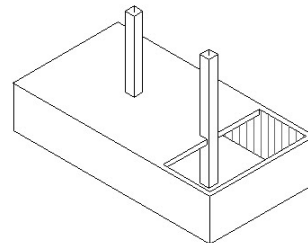


(a) 曲げモーメント図 (b) 軸力図

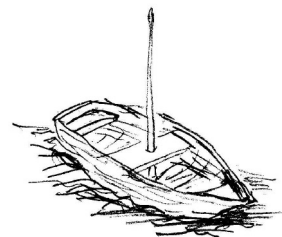


(c) 変形図

図3 アウトリガー構造，応力・変位図



(a) 地下室に支持される柱



(b) 帆柱

図4 内部柱の固定条件

2.2 チューブ構造

商業地区におけるオフィス兼用住宅ビルで、職住接近を実現することを目的として計画、実施されたものである。

基準階床面積 約 60 m²とする 10 階建て鉄骨造であり、外周部に配置した柱列と柱列を結ぶ梁、および、小判形の床を主要な構造部材とする。平面図（構造伏図）、骨組み視覚図、および、鉄骨接合部詳細図を図 5 (a) ～ (c) に示す。

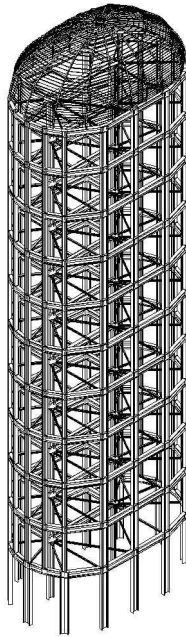


図 5 (a) 骨組み視覚図

一般に、小規模建物においては、柱・梁部材の曲げ強度が架構強度に關与する比率が高く、チューブ構造としての付加的な強度を求めることは不合理である場合が多いが、本件に於いては、外周部に配置された構造部材が、水平荷重方向に対応して、1 部はウェブとして、他はフランジとして作動する傾向がみられ、それが架構の強度と剛性維持に有効であると思われたので、チューブ構造を形成する意図の基に構造設計を進めた。

構造計画においては、①－柱間隔を小さくし

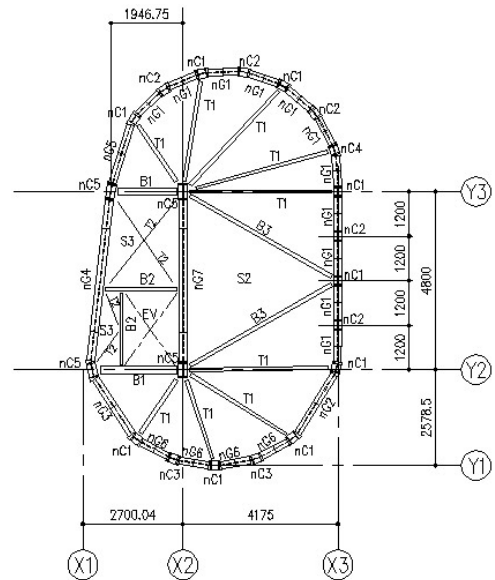


図 5 (b) 平面図（構造伏図）

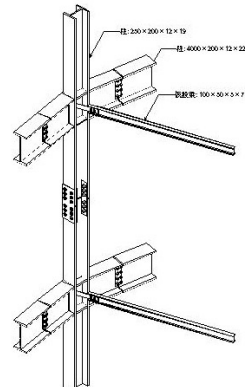


図 5 (c) 鉄骨接合部詳細図

てフレームの剛性をたかめること、②－円筒形状維持のため、床板厚を大きくし (200mm)、床を外周梁スパンドレル内に収めることによって床剛性を高めること、③－地震時に軸力変動が大きくなることを考慮して柱脚の設計を行うこと、等について配慮したこと。また、外周部に構造要素を集約し、生活空間内部から梁を除くことにより、必要な天井高を確保しつつ構造階高を小さくすることを可能とした。

(構造設計概要)

地震荷重時応力・変位図を、図 6 (a) ～ (d) に示す。

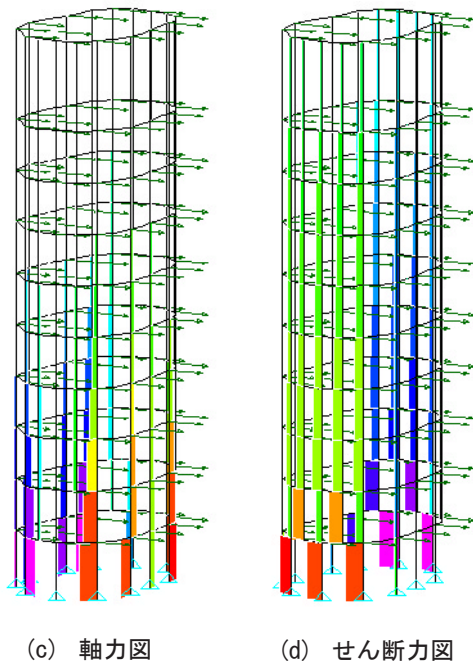
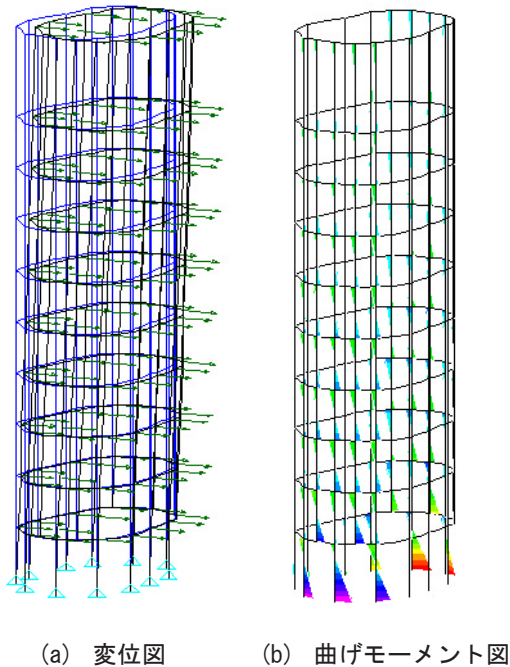


図6 チューブ構造・応力変位図

(c) せん断力図と(b) 曲げモーメント図に見られるとおり、柱脚部曲げモーメントは、層せん断力に対応して生じており、一方、(d) 軸力図に見られるとおり、柱軸力は転倒モーメントに対して生じている。設計計算において、地震荷重による転倒モーメントは $2321.13 \text{ tf} \cdot \text{m}$ 、これに対し、抵抗モーメントは、柱脚部曲げモーメントの総和 $227.8 \text{ tf} \cdot \text{m}$ 、および、柱軸力によるモーメント $2093.33 \text{ tf} \cdot \text{m}$ と計算されており、転倒モーメントに対する柱脚曲げモーメントの比率は、 0.098 となっている。

2.3 無梁板・壁式構造

鉄筋コンクリート造壁式構造は、壁と床にて箱形を形成することによって必要強度を得る構造であるが、出入り口、窓等の開口により、壁面の一部は柱・梁の形状を呈するため、これらの柱、梁を、通常の鉄筋コンクリート部材として設計し、柱が壁柱に置き換わった架構として、その強度特性が検討され、構造設計がなされる。

壁式構造関係設計規準集・同解説（日本建築学会編）では、壁柱、壁梁がラーメン構造として機能するための条件として、その長さ、厚さ等の寸法、および、配筋量の最小値を規定し、これら規定値が満たされていれば、平面上の壁長が、必要壁長以上であるとき、十分な構造強度が得られているものとして、構造設計計算法を定めている。この規定は、構造設計を簡略化するものではあるが、壁柱と梁によってラーメン構造が形成されることを前提とすることによって、独立壁の強度を過小評価する傾向があり、結果として無梁板構造を排除することで、意匠・計画上の自由度を阻害している。

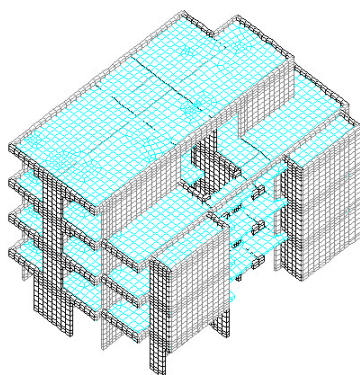
図7の例は、上記規定に従い、通常の壁式構造として平面計画を進め、機能上必要な開口を確保するため、部分的に無梁板構造を取り入れて、設計したものである。壁式構造ではあるが、梁に関する規定を逸脱する事となったため、鉄筋コンクリート構造として応力解析を行い、安全を検証して実施に至った。

(構造設計概要)

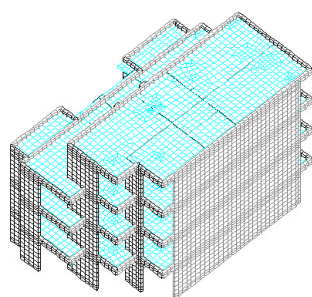
床板を支持する独立耐震壁の脚部における地震

荷重時応力に対し、境界梁、あるいは、床板の拘束による抵抗モーメントが安全側に作用するため、これらの影響を無視した計算によって安全側の設計がなされる。一方、床面については抵抗モーメントの反作用として生ずる応力に対して安全でなければならないわけであるが、通常の設計工程にこの検証作業を加えることは、必ずしも容易でない。壁式構造関係設計規準ではこの抵抗モーメントに対して、梁を設けることを規定して、安全性を確実にしている点で合理的である。無梁板構造はこの規定に対して不合理であることは明らかであるが、ここでは、この不合理な状況について検討し、詳細な強度計算を加えて安全を検証している。

応力解析は有限要素法（平板要素使用）による。この方法はこれまでにシェル構造の設計 * 等に用いて、その有用性を確認しているもので、解析モデルおよび解析結果の信頼性について工学的判断を加えて、設計資料を求めている。

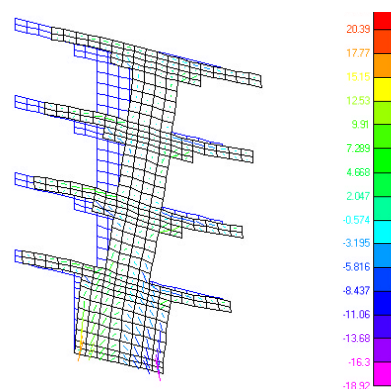


(a) 視点 1

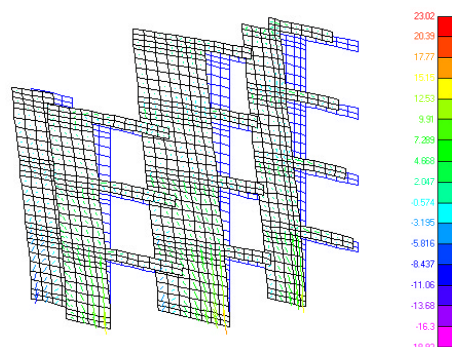


(b) 視点 2

図 7 解析モデル



(a) 視点 1



(b) 視点 2

図 8 変位図, 主応力図



図 9 無梁板壁式構造による集合住宅

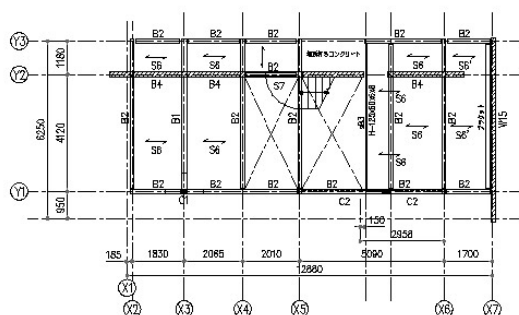
2.4 独立壁柱構造

地下1階、及び、1階壁を鉄筋コンクリート造、2階床を鉄骨造とし、これらを基礎構造として中2階、屋根を木造にて構築した住宅である。

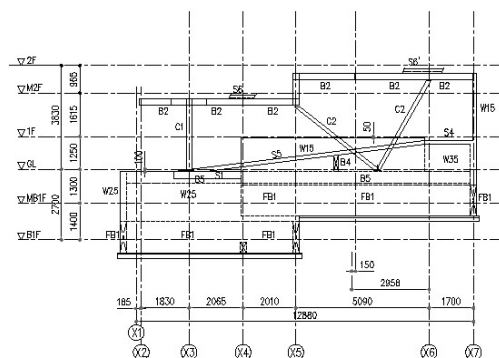
木造家屋への愛着と、鉄筋コンクリート造、鉄骨造によって得られる機能性を求めて提案された計画について、強度・剛性についての安全検証を加えて実施に至った。

(構造設計概要)

図9に平面図(構造伏図)、および、断面図を示す。図10に基礎、1階、および、中2階部分の駆体図を示す。中庭から地下に光を通す計画により、2階床が分断されているが、階段スラブによって一体性を保っている。また、2階床の支持は、鉄筋コンクリート造壁と鉄骨造柱・梁によって行っているが、地震荷重は、鉄筋コンクリート造壁のみで支持するものとして強度を付与している。



(a) 平面図 (構造伏図)



(b) 断面図

図9 独立壁柱構造

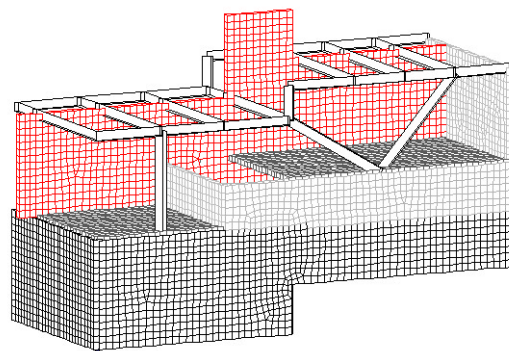


図10 駆体図

2階：鉄骨造床＋木造

地下1階、1階：鉄筋コンクリート造

3. まとめ

——構造デザインと、強度検証——

事例報告として、4件の建設例を要約した。

前2者は構造デザイン、すなわち、建築計画として提案された架構の力学性状を解明して合理的な構造計画をとりまとめたもの、後2者は構造計画上の不備を補い、安全な構造物に仕上げたものである。

住宅建築には、建築＝造形物としての側面と、生活空間を創出する側面があり、これらは構造的な合理性を追求する点からは、必ずしも両立しない。構造的に合理的な形状を求める一方で、合理的ではないとしても、安全であることを検証し、建設を推進する事が求められる。何れもが構造技術に課せられた役割といえる。

謝辞 構造設計、技術支援の機会に恵まれたことを感謝し、建築設計者名を記して、謝辞とします。

2.1 2.3 前野望建築都市研究所 前野 望氏

2.2 山崎エコロジカル研究所 山崎一彦氏・河村 泰弘氏

2.4 環境変換装置建築研究所(EPA) 武松幸治氏

参考文献

*) 金子雄太郎：「造形的意図を持って構築される曲面構造の強度設計」東京家政学院大学紀要．自然科学・工学系第40巻2000年7月 pp41～pp48