

セルフビルドによるインターロッキング組積造構法に関する研究

日大生産工(院) ○小室 昂久

日大生産工 岩田 伸一郎

1 はじめに

建築基準を満たさずに耐震性能が不十分なノンエンジニアド建築^{註1)}が世界の住宅の9割を占め、生活環境の潜在リスクとなっている。ノンエンジニアド建築の根絶を普遍的な目標とする従前からの開発途上国の住宅政策に対し、本研究ではそのような建築の存続を許容した上の改善策や建設技術でなくては実質的な普及は望めないと考え、開発途上国のあらゆる制約条件を満たした上で、十分な耐震性能を発現するセルフビルド構法を提案する。専門的な知識の無い住民たちによる作業を考慮すると高度な技術や重機を必要とする構法は提案に望ましくないことから人力だけで建設可能な組積造に着目した。しかし、組積造は地震に対して脆弱な構造であり十分な耐震性能を発現するためには何らかの耐震補強を施す必要がある。

本研究では、「組積造」「ノンエンジニアド建築」「セルフビルド」をキーワードとして既往研究を調査し、材料、構造、計画、施工、の観点から開発途上国での制約条件を整理して、セルフビルドによる組積造の構成手法に関する基本構想を示すことが目的である。

2 研究の方法

まず、既往研究を基に各地域のノンエンジニアド建築に関する材料、構造、計画、施工、の実態を調査し、多くの地域で汎用性の高い耐震化した組積造法に求められる条件を整理する、次に抽出した条件を反映させ、力学的なメカニズムに基づいたブロック形状および、そのブロックを用いた壁体や各部品の構成方法に関するシステムのアイデアを示す。

3 セルフビルド組積造構法の制約条件の整理

3.1 材料的視点に基づく考察

一括りに組積造といっても地域ごとに使われる材料は異なり、石材、日干しレンガ、焼成レンガなど様々である。強度の高いコンクリートブロックが普及して

いる地域もあるが、運搬の費用や外国の材料を使いたくないという住民らの意向から、あまり普及していないのが現状である。山下ら¹⁾は各地で入手できる土を主原料として用いた圧縮強度に優れた土ブロックと、それを用いた構造壁を構築する技術を開発し、従来の組積造建築よりも高い強度を発現することに成功した。水を加えると自由に成型でき、乾燥後は硬く固まるなど、土を建材として使う利点を確認した。

①コンクリートブロックなどの工業製品、②製造過程で焼き窯など特別な設備が必要な焼成レンガ、③石を砕く高度職人技術が必要な石材、などは実現できる地域が限られてしまう。一方、日干し煉瓦のような土を型枠内で固める方式のブロックは、特別な設備や技術が必要なく手作業での製造・建設が多く地域で可能である。さらに土は枯渇する心配がなく添加剤を加えることで強度を上げることが可能である、などの多くの利点がある。これらを考慮し、本研究では、各地域で調達できる土を主原料とした突き固め成型によるブロックと、それを用いた耐震化した構法を提案することを妥当であると考えている。

3.2 構造的視点に基づく考察

海外の組積造に関する研究には、既存の組積造建築の耐震性を高める補強方法に関するものが多く、強化繊維プラスチック²⁾、廃タイヤ³⁾、PPバンド⁴⁾、などを活用する様々な提案がされている。いずれも材料の引張抵抗に期待するものであり補強材を用いて壁体の一体化を図る補強方法である。一方、国内では、ブロック形状に着目した研究が多く、真田ら⁵⁾は、面内方向にインターロッキング機構を有するI型レンガとそれによって構築された組積壁について面内方向への正負交番荷重実験を行い、直方体レンガよりも水平耐力が1.5倍以上も上回ることを確認した。一方、古川ら⁶⁾はインターロッキング機構を有するレンガの噛み合い部の壊れやすさに着目し、I型レンガよりも噛み合い効果の小さい砂時計型レンガを作成し、斜め

Study on interlocking masonry construction
method by self-build

Takahisa KOMURO, Shinichiro IWATA

圧縮試験を実施して、破壊挙動と荷重-変異関係を調べ、砂時計型の方が最大荷重が大きくなることを確認した。結果として、応力集中の起こりにくい形状の方が最大荷重が大きくなり、レンガが壊れにくくなることを明らかにした。この結果を考慮すると、ブロックの噛み合い形状は大きさや高さに関係なく、せん断力を受ける水平断面が大きいほど、耐震性能を向上させる効果があると解釈することもできる。(図1参照)

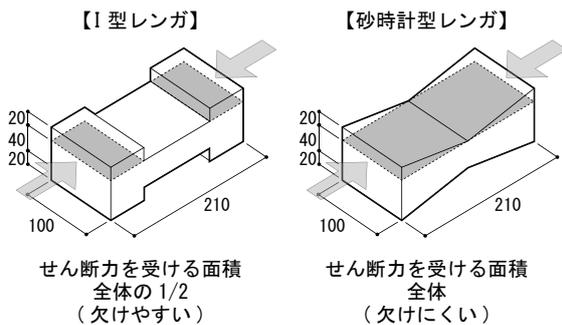


図1 噛み合い形状とせん断耐力の関係

二次部材を必要とせずブロック形状の操作のみで壁体を一体化することができるインターロッキング機構を有するブロックは、セルフビルドを目標とする本研究の実現可能性を高める耐震化手法の一つである。一方、噛み合い形状がブロックや壁体の強度に影響を及ぼすことや、開発途上国での材料に制約があることを考慮すると、それらの条件を踏襲した、新たなブロック形状を再考することが妥当であると考えられる。

3.3 計画的視点に基づく考察

安達らの研究⁷⁾では、ピナツボ火山礫を主骨材とする構造用軽量コンクリートを素材とした6種類のパーツによって構成される、プレファブ住宅の開発を行った。組積造を対象とした研究ではないが、現地にある材料を積極的に利用し、開発途上国における耐震化した住宅構法を提案している点は本研究との類似している。さらに、作業効率や汎用性を考慮した【①各部材の軽量小型を図り、部材数も最小限にする、②単位空間の組み合わせによる自由度の高い平面計画を目指す】などの計画的な考え方は、開発途上国での住宅構法を提案をする本研究でも参考にすべきである。

開発途上国を対象としたセルフビルドによる住宅政策を行う場合、地域によって異なる世帯あたりの人数や生活に必要な規模に対応可能な、自由度の高い構法が望ましい。専門知識のない現地住民数人での作業を考慮すると、各部材の規格もなるべく作業が円滑に行われるように計画することが妥当であると考えられる。

3.4 施工的視点に基づく考察

田阪らの研究⁸⁾ではノンエンジニアド建築の実態を多方面から調査し、各国の施工技術や建築基準の比較を通じてノンエンジニアド建築の耐震性の向上を妨げている課題の整理を行った。調査によって、住民自らが設計や施工を行う習慣や流通材ではない建材を使うため、品質の維持が困難であることを確認した。檜府らの研究⁹⁾では、地震時の主な被害の原因の一つはノンエンジニアド建築の施工上の問題であると指摘した。組積造住宅の調査では、①鉄筋がコンクリートに覆われておらず、コンクリートと主筋の一体的な挙動が発揮されないもの、②構造体として必要な断面寸法よりも、明確に小さい寸法の柱や梁、③構造部材にコンクリートの充填不良、などの問題が認められた。

これらの内容から、規格化した建材を用いた構法にすることで品質を維持することは重要であるが、重機を使った大掛かりな作業や現地住民では困難な技術を有する作業は正しく施工されないことが予測できる。そのため、工学的な経験の少ない現地住民にとって馴染みのない鉄筋やモルタルやコンクリートを利用した構法は、現地で正しく建設できないことが予測でき、使用しない方針とすることが妥当と考えられる。

4 構法システムの考察と妥当性に関する考察

4.1 ブロック形状に関する検討

本研究グループでは一連の研究を参考にし、特殊な噛み合い形状を持つ14面体型ブロックを作成した(図2参照)。水平断面全体でせん断力を受ける仕組みは砂時計型レンガと同様だが、噛み合い部の頂点を一点にすることで、①面外方向にも作用するインターロッキング機構にした点や、②上面と底面が異なる噛み合い形状である点、については先行の研究と異なる。理論上噛み合いの高さは、せん断耐力には関係ないが、低いと抜けてしまうリスクがあり、高いと製造や組み立てが困難なことから現段階では30mmとしている。一方、噛み合いによって積み方が制限され、一方向のみの積み方しかできないなど、デメリットも存在する。

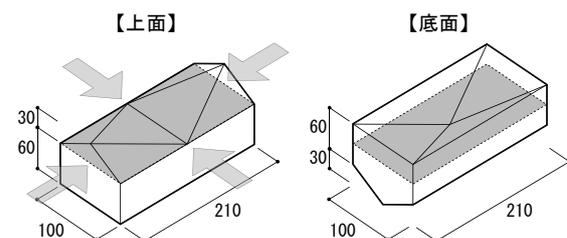


図2 14面体型ブロック

そのため、14面体型ブロックを改良した20面体のレンガを作成した。(図3参照)この噛み合い形状は多方向に積むことや、必要に応じて壁厚などを調節することが可能であり、構法としての自由度を高める効果がある。さらに、本構法では突き固め成型による非焼成土ブロックであることを考慮しサイズも改良した。実際のノンエンジニアド建築では400mm×250mm×100mmサイズの大型の土ブロックを用いたものが多く、そのサイズを利用した先行研究¹⁾も存在するが、積み方によって300mm、450mm、600mm、と様々な壁厚を構築できる点や作業のしやすさなどを考慮し、現段階では300mm×150mm×120mmサイズとしている。

本構法は形状の異なる4種類のブロックで構造壁を組み立てる方式である。図4に使用する4種類のブロックを示す。各ブロックはブロックAを基本形としたインターロッキング機構を有するブロックである。ブロックBは開口部や壁の隅(すみ)などで、ブロックAが当てはまらない余りの箇所に用い、上面に噛み合い部を持たないブロックC、Dは壁頂部や開口部で梁やまぐさを置く箇所など、ブロックと他の部材の接合を簡略化するために用いる。(図5参照)

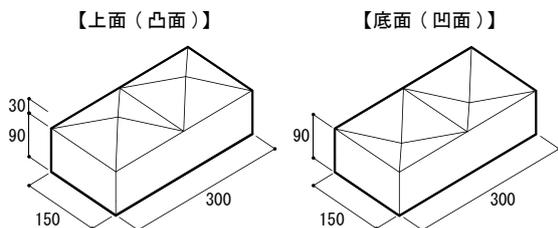


図3 20面体型ブロック

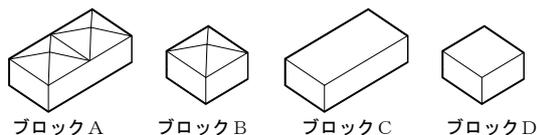


図4 ブロック種類

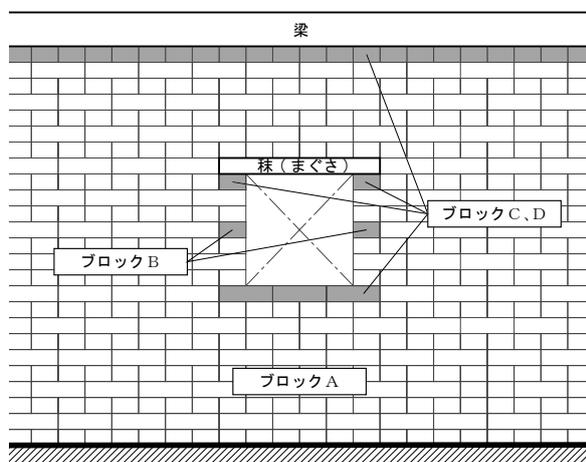


図5 壁体立面図

4.2 材料と製造方法の検討

ブロックはアルミ製型枠を用いた、突き固め成型で製造する。写真1に実際に試作した試験体と使用したアルミ製型枠を示す。本研究では、山下らの研究¹⁾を参考に、粘土(笠岡粘土)、砂(三河珪砂5号)、砕石(6号砕石)、消石灰、水を25%、40%、20%、10%、5%の重量比で練り混ぜ、試験体を作成した。ブロックのエッジの部分が正しく成型することが困難であり、材料の配合や突き固め方に改善の余地が残されている。それに、本構法は現地で入手できる土を主原料とした構法の提案であるため、世界各国において産出する土と入手が容易な凝固剤についても整理して、それらの性能を検証することは今後の課題である。



写真1 試作品とアルミ製型枠

5 ブロックを用いた壁体の構成手法の検討

5.1 一枚積み

4種類のブロックを用いて壁厚300mmの壁体を構築する積み方である。図6に一枚積みの積層平面を示す。平面1~4を繰り返すことで壁体を構成し、25段積みと居住空間となる2300mm程の構造壁を構築できる。モルタルやコンクリートが入手できる場合は基礎をつくる場合もあるが、入手できない場合は地面を軽く均し、その場に直接積み上げることも想定している。

5.2 一枚半積み

4種類のブロックを用いて壁450mmの壁体を構築する積み方である。図6に一枚半積みの積層平面を示す。良質な材料を収集できず、ブロックの強度が弱い場合や、地震多発地域などで、一枚積みよりも高い強度が求められる場合の利用を想定している。一枚積みと同様に平面1~4を順に繰り返すことで壁体を構成する。

5.3 開口部の構成手法に関する検討

組積構造では、出入口となる開口部とその他に小さな窓を有することが多い。本構法においても在来の組積構造と同じような組み立て方式で開口部をつくることができる。意図する大きさの開口をつくり、株で上辺をとじ、その上にブロックを積んでいく。株を受ける部分には、噛み合いの無いブロックC、Dを用いる。

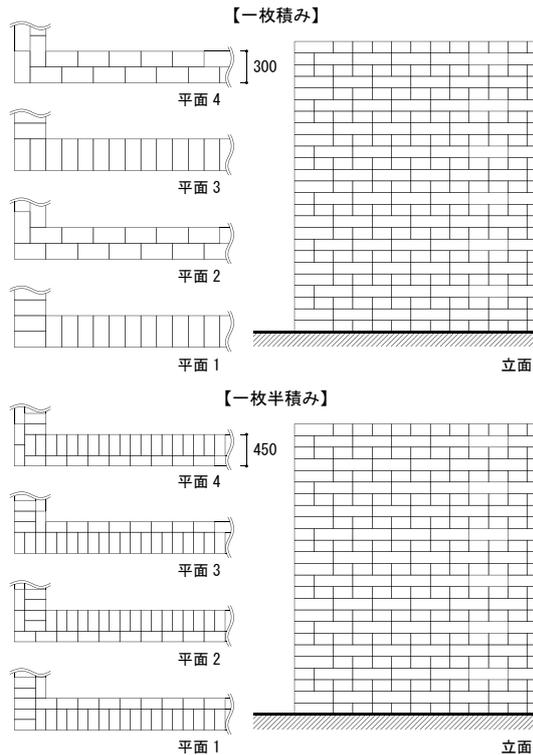


図6 積層平面

5.4 ブロックの浮き上がりの抑制方法に関する検討

本構法は、ブロックの浮き上がりを拘束することでインターロッキング機構が発揮されるため、特殊な臥梁の設置を行う。(図7参照)木製の梁を壁体上部で組み、飛び出し部分と基礎あるいは壁底のブロックを繋ぎ、壁体の浮き上がりを拘束する。ターンバックルを備えることで、ワイヤーの張力の調節が可能である。

現段階で想定しているワイヤーの固定方法は以下の通りである。(図8参照)①壁体の隅に鉄板を踏ませ、鉄板とワイヤーを繋ぐ方式(以下、鉄板型)、②角のブロックのみアンカーボルトを埋め込んだコンクリート製のものにし、それをワイヤーと繋ぐ方式(以下、ブロック型)、③基礎に横向きのアンカーボルトを打ち、ワイヤーと繋ぐ方式(以下、基礎型)、これらは施工の難易度や構造としての強度にバラつきがある。また、基本構想では極力コンクリートを使わない方針だが、建物の規模や求められる強度、入手できる材料などに合わせて地域ごとに適切なものを選択する。

6 まとめ

本研究は、開発途上国での実用化を見据え、現地でのあらゆる制約条件を考慮した耐震化組積造のセルフビルド構法を示した。しかし、ブロックの形状や製造方法、臥梁に用いる材料や設置方法、屋根の検討などは試作や実験を繰り返し行い改善する方針である。ま

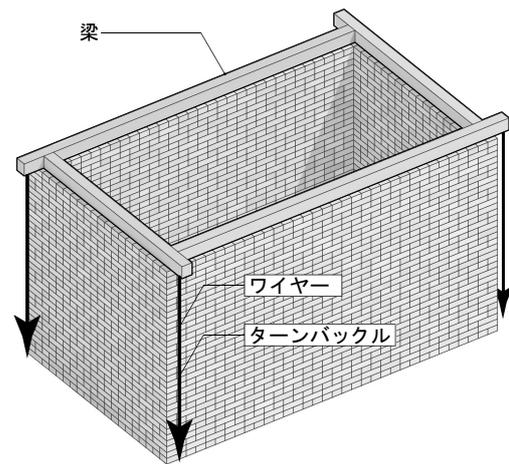


図7 臥梁設置方法

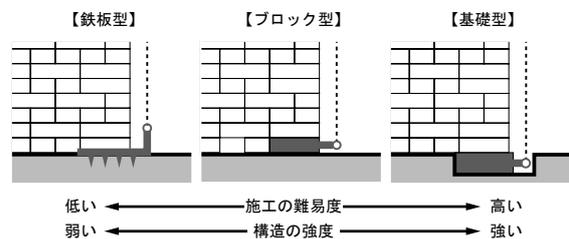


図8 ワイヤーの固定方法

た、本論の条件に加えて運搬や保管などの新たな条件も考慮し、ブロック形状や、それをを用いた壁体の構成システム及び空間モジュールを検討する方針である。

注

注1) 専門的な建築知識を有さない地元住民や施工業者が、技術者の関与を十分に受けることなく建設した建築物

参考文献

- 1) 山下保博, 佐藤淳, 前浪洋輝, 川崎善則, 上村浩之: 建築における土の高度利用と新構法の開発 - 非焼成土ブロックの組積耐力壁への利用 -, 住宅総合研究財団研究論文集, 第37巻, pp. 261-272, 2011
- 2) Giancarlo Marcari, Gaetano Manfredi, Andrea Prota, Marisa pecce: In-plane shear performance of masonry panels strengthened with FRP. G. Marcari et al. /Composites:Part B 38, pp887-901, 2007.
- 3) Ahmet Turer, Mustafa Golalm: Scrap tire as low-cost post tensioning material for masonry strengthening. Materials and Structures, 41, pp1345-1361, 2011
- 4) 櫻井光太郎, Navaratnarah SATHIPARAN, 目黒公郎: PP-band工法による石積み組積造壁の耐震補強に関する実験的研究, 第30回土木学会地震工学研究発表会論文集, 3-0053, 2009.
- 5) 真田靖士, 中村友紀子, 山内成人, 崔琬, 中埜良昭: 枠組組積造の水平力抵抗機構から推察される無補強組積造建築の高耐震化技術, 日本建築学会構造系論文集, 第605号, pp. 159-166, 2006. 7
- 6) 古川愛子, 増田景也, 浅野純史: ブロック形状および支持条件がインターロッキング組積造壁の斜め圧縮試験結果に及ぼす影響, 東農地震科学研究報告「防災研究委員会2017年度報告書」, No. 41, pp. 9-18, 2017
- 7) 稲葉隆一, 青柳岳史, 中西三和, 安達洋, 火山礫を用いたプレキャスト鉄筋コンクリートプレファブ住宅の開発, コンクリート工学年次論文集. 24(2), 2002
- 8) 田阪昭彦, ノンエンジニアド住宅の耐震性向上のための阻害要因分析に関する研究, 横浜国立大学大学院工学府 博士論文, 2013. 6
- 9) 檜府龍雄, 迫田恵子, 亀村幸泰, 白川和司, 今井弘, 松崎志津子: 開発途上国の地震災害復興事業における住宅の安全性向上