

インターロッキングブロックを用いた組積造建物の耐震性向上効果の検討

京都大学 学生員 ○浅野 恭介

京都大学 正会員 古川 愛子

1. 研究の目的と方針

世界の自然災害による死者の半数近くは、発展途上地域で多く建設されている耐震性の低い組積造建物の倒壊によるものである。地震時の組積造建物の崩壊・倒壊を防ぐ、または地震発生時から崩壊・倒壊までの時間を長くするための耐震性向上策として、凹凸を有するブロックを用いてブロック同士の噛み合わせ（インターロッキング機構）に期待する組積造構造が提案されている。これまで、組積造壁の面内載荷試験による有効性検証は行われている¹⁾が、組積造建物での検証は行われていない。そこで本研究では、3次元の組積造建物を対象とし、インターロッキング機構による耐震性向上効果を検討することを目的とした。本研究では、有限要素法を用いて、直方型ブロックとインターロッキングブロックのそれぞれを用いた組積造建物のモデル化・解析を行い、その耐震性能を比較・検討した。

2. 組積造建物のプッシュオーバー解析

解析には、汎用 FEM 解析ソフトウェア DIANA²⁾を用いた。

インターロッキングブロックを用いた組積造建物の耐震性能について検討するために、図1に示す直方型ブロックとインターロッキングブロックを用いた。直方型ブロックの寸法は 400mm(幅)×200mm(高さ)×200mm(奥行き)とした。インターロッキングブロックの寸法は、直方型ブロックの上部に 50mm 四方の突起を二つ付け、突起の真下の底面に 50mm 四方のくぼみを開けたものとした。

これらのブロックを用いて、図2に示す組積造建物をモデル化した。建物の寸法は 5000mm(幅)×2600mm(高さ)×3000mm(奥行き)であり、壁の厚みは 200mm、屋根の高さは 200mm である。メッシュサイズは 50mm 四方とした。図2の黄色い部分はブロック、緑の部分は木材である。ブロック間および木材とブロックの間はモルタルで接合されている。

ブロックの物性値は、発展途上国のものを想定し、室内実験によって得られたイランの煉瓦の物性値³⁾を用いた。ブロックの密度は 1800 kg/m^3 、ヤング率は $4.85 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 、ポアソン比は 0.2 とした。木材の密度は 700 kg/m^3 、ヤング率は $6.3 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 、ポアソン比は 0.3 とした。また、屋根荷重を再現するために、最上部のブロックに大きな密度（鉛直応力 $1.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 相当）を与えた。破壊はブロック内部の破壊とモルタルでの破壊を考慮しており、木材の破壊は考慮していない。ブロックの引張強度（標準の強度）は $1.96 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 、モルタルの引張強度は $4.6 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ とした。また、比較のためブロックの強度を 2 倍にしたものでも解析を行った。

モデルの全節点に水平慣性力を与えるプッシュオーバー解析を行った。1 ステップ毎に 20 cm/s^2 ずつ漸増させた。

3. 解析結果

本論文では、X 方向に水平慣性力を与えたケースの結果を示す。X 方向の加速度-変位関係を図3に示す。変位は、X 軸正側の外壁の中央部上端の節点の変位の値を用いた。また、標準の強度における、加速度 440 cm/s^2 での変位コンター図、モルタルの法線方向の変位コンター図(モルタルの開口変位)をそれぞれ図4、図5に示す。

まず、図3の加速度-変位関係を見ると、標準のブロック強度では、直方型ブロックとインターロッキングブロックで大きな差は見られないものの、ブロックの強度を 2 倍にしたものを比較すると、インターロッキングブロックの方が直

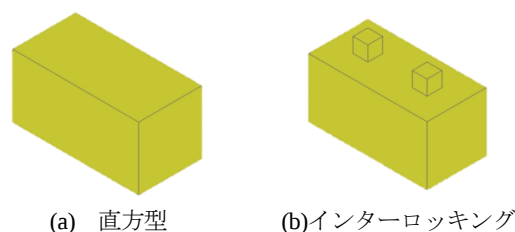


図1 ブロックモデル

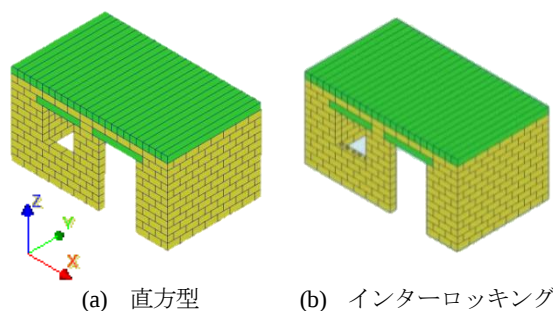


図2 建物のモデル

キーワード インターロッキング、組積造、耐震性、FEM

連絡先 〒615-8510 京都府京都市西京区京都大学桂 TEL 075-383-3252

方型ブロックに比べて大きな耐力を示す結果となった。これは、ブロックの強度が小さい場合、インターロッキングブロックを用いたモデルでは、ブロックのかみ合い部分に破壊が生じ、インターロッキング機構による効果が小さくなるが、ブロックの強度を大きくすると、かみ合い部分の破壊を抑制することが出来るため、インターロッキングブロックを用いたモデルの方が大きな耐力を得られたと考えられる。

次に、図4を見ると、加速度 440cm/s^2 を与えた時点での変位は、直方型ブロックを用いたモデルの方がインターロッキングブロックを用いたモデルに比べてかなり大きいことが分かる。直方型では目地が開いてブロック間に隙間が生じているのに対して、インターロッキングブロックでは建物が一体となって変形しているのが見てとれる。

また、図5で、モルタルの破壊が生じている場所を比較すると、直方型ブロックとインターロッキングブロックの両方で、開口部周辺、建物の角部分、およびY軸正側の外壁で破壊が生じているのが分かる。しかし、Y軸正側の外壁での破壊を比較すると、直方型ブロックでは、2か所に明瞭な対角線上の破壊が生じているのに対して、インターロッキングブロックでは、より広い領域で破壊が生じている。また、モルタルの開口変位の大きさを比較すると、インターロッキングブロックに比べて、直方型ブロックの開口変位の方が最大値がかなり大きくなっているのが分かる。これは、直方型ブロックでは開口変位の大きな斜めひび割れが局所的に発生するのに対して、インターロッキングブロックを用いたモデルでは、ブロック同士がかみ合うため、モルタルの開口変位が抑制されるものの、建物の広い領域で破壊が生じたためと考えられる。

4. 結論

インターロッキングブロックを用いた組積造建物は、ブロックの強度が小さい場合、インターロッキングブロックによる耐震性能向上の効果は小さいものの、ブロックの強度が大きくなると、その耐震性向上効果は大きくなり、変形を抑制できることが分かった。また、インターロッキングブロックを用いた組積造建物では、モルタルだけでなく、ブロックのかみ合いによっても抵抗するため、モルタルの開口変位の最大値は抑制されたものの、建物の広い領域で破壊が生じることが分かった。

参考文献

- 1) Johanes Jefry Prasetyo, Aiko Furukawa, Junji Kiyono, Failure Process and Load-Displacement Relationship of Interlocking Brick Walls during Lateral Loading, Proceedings of The Thirty-First KKHTCNN Symposium on Civil Engineering, 2018.
- 2) DIANA FEA, <https://dianafea.com/>, 2019年1月参照.
- 3) Ghannad MA, Bakhshi A, Mousavi Eshkiki SE, Khosravifar A, Bozorgnia Y, Taheri Behbahani AA.: A study on seismic vulnerability of rural houses in Iran, Proc. of the 1st European Conference on Earthquake Engineering & Seismology, 2006.

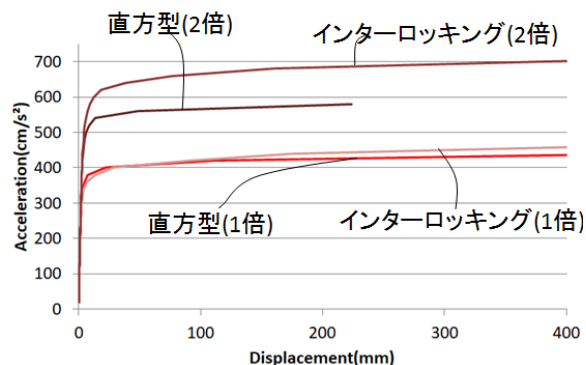
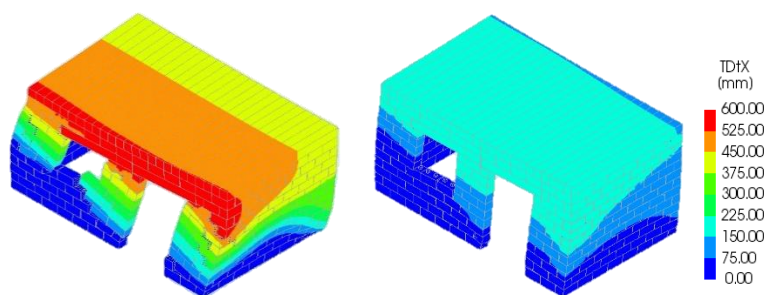


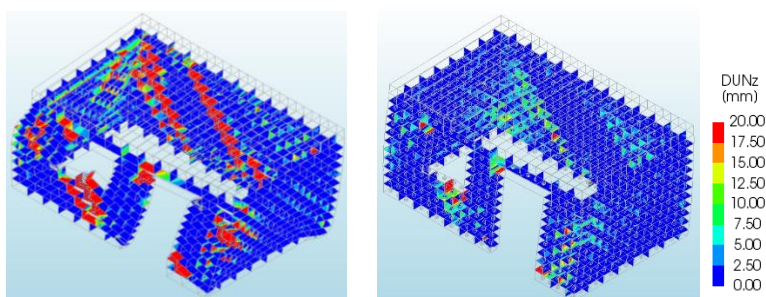
図3 X方向の加速度-変位関係



(a) 直方型

(b) インターロッキング

図4 変位コンター図(440cm/s^2)



(a) 直方型

(b) インターロッキング

図5 モルタルの法線方向の変位コンター図(440cm/s^2)