

ノンエンジニアド建築用土ブロックの開発 - 土ブロックの製造方法の検討 -

日大生産工(院) ○中里 翔太
日大生産工 岩田 伸一郎

1. はじめに

開発途上国における建築基準を満たさずに耐震性能が不十分な建築(以下、ノンエンジニアド建築)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。先行研究¹⁾では、現地ですぐに入手できる材料を使用し、簡易的に製造できる独自の噛み合いをもつインターロッキング機構を応用した20面体型土ブロックによる耐震化組積造のセルフビルド構法を提案した。

本稿では、専門知識を持たない現地住民が施工する際の容易な施工性を実現する製造方法を確立するために、製造難度を下げつつ、保管のしやすさも考慮したブロック形状の改良と製造方法に関する課題点を整理し、生産効率を向上させる成型用型枠を再検討した。(2章)さらに、使用材料の選定を行い、最低限の製作条件で試験体を作成し、圧縮強度試験を行うことで、手練りによる土ブロックの添加材とその調合が圧縮強度に及ぼす影響を検証した。(3章)

2. ブロック形状と製造方法の再検討

2.1. ブロック形状の再検討

ブロック形状の課題を整理するために20面体型ブロック(図1参照)の試作を行った。土の調合や成型方法は既往研究²⁾を参考にした。脱型の際に天板や側面を外すと底面(凹面)のエッジ部分が崩れてしまう点や、保管や管理の際に底面(凹面)を下にして地面に置くとブロックの自重でエッジ部分が崩れてしまう点から鋭角な形状の成型が困難であるという問題が確認できた。製造難度を下げ、完全成型が可能なエッジ形状に改良を行うという課題が明らかになった。

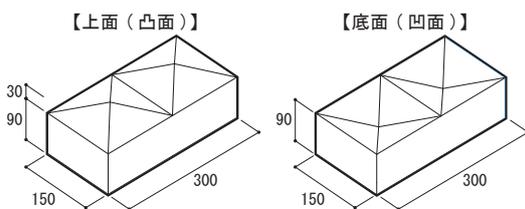


図1 20面体型ブロック

これらの課題点を踏まえて、改良したブロック(以下、改良ブロック)を図2に示す。改良のポイントとして、二軸方向に展開できる積層システムという20面体型ブロックの独自性は維持しつつ、凹凸部分の周囲に形状崩壊しない最小限の幅を検討し、10mmの平坦な縁を設けた。エッジ部分を平坦にすることで製造難度が抑えられ、成型が容易になる点や、保管や管理の観点からもより安定して地面に置くことが可能となった点については20面体型ブロックより優れている。

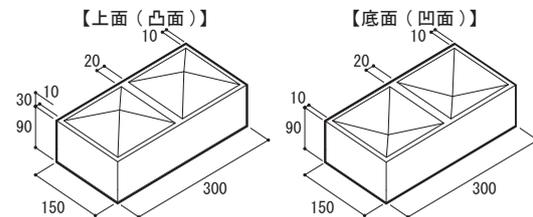


図2 改良ブロック形状

2.2. 製造方法の再検討

20面体型ブロックの製造手順と手順ごとに生じた問題点を図3に示す。ブロック製造手順全体を通して、成型用型枠を用いた手順自体が多いことは生産効率の観点で問題である。手順5~8では、天板ネジの圧縮がラチェットレンチを用いる仕様であるため、時間がかかるうえに想定していたほど強力な圧縮ができなかったことが確認できた。手順9では、支柱が歪み底面からの脱着ができなくなったことで、脱型に大きな支障が生じた。製造手順の中で、合計8箇所(天板4箇所、側面4箇所)のネジの締付と取り外しを行う必要があり、小さなパーツも多いため、紛失する可能性も高く、ブロック量産の観点からみて、生産効率を大きく低下させている要因であると考えられる。手順11~13に関しては、成型直後の最も脆弱な状態のブロックに直接触れるため、破損や損壊の可能性が高く望ましくない手順である。これらの問題点に対して、より少なく単純な手順でブロックを製造するために成型用型枠を改良する必要性がある。

Development of non-engineered building soil blocks
-Examination of manufacturing method of soil block-
Shota NAKAZATO, Shinichiro IWATA

3. 材料の調合と圧縮強度の検証

3.1. 使用材料の設定と調合

ノンエンジニアド建築に使用する材料は、世界中の多くの地域で入手可能な材料であること、低コストであること、大量に入手可能であることを選定条件とした。

選定条件に留意して設定した使用材料を表1に示す。既往研究³⁾にある世界土壌資源図を参照し、今回は基材に赤土を用い、添加材には既往研究⁴⁾⁵⁾で本研究と同様の目的で使用されている消石灰、藁、黄麻を用いた。これらの材料は主に、ノンエンジニアド建築が多く建設されている⁶⁾、インドやネパール、イランをはじめとする南アジアの開発途上国で生産、流通が確認されており、多くの地域で汎用性が高い。しかし、本研究の使用材料は現地で入手したものではないため、特徴や物性が異なることから本研究の結果が現地でそのまま準用できるものではないことは留意しなければならない。

表1 試験体の使用材料

材料		種類・産地
基材	赤土	茨城県笠間市
	珪砂5号	岐阜県瑞浪市産
	水	習志野市上水道水
添加材	消石灰	工業用消石灰2号
	藁	徳島県産藁すさ
	黄麻(ジュートファイバー)	中国産・植物片

材料の調合を表2に示す。基材の調合は質量比で赤土：珪砂=2：1である。添加材の消石灰に関しては、湯浅らの研究⁴⁾で基材の質量に対する消石灰の割合が20%で圧縮強度の向上が確認されている。藁および黄麻に関しては、Mohammadらの研究⁵⁾で基材の質量に対してそれぞれ1%の割合で混合することで圧縮強度の若干の向上と延性を高める効果が確認されている。黄麻は2%混合すると基材のみの調合に対して、圧縮強度の低下がみられることも明らかになっている。本研究ではこれらの既往研究を参考に、基材の質量に対して、消石灰を20%、30%、40%、藁を1%、2%、黄麻を1%、1.5%、1.75%の割合で混合した。さらに圧縮強度と延性の向上を両立することを期待して、消石灰(20%、40%) + 藁(2%)、消石灰(20%、40%) + 黄麻(1.5%、1.75%)の2種類の添加材を混合する調合も用意した。調合の際に、材料の練り混ぜや突き固め成型のしやすさの観点から藁と黄麻は3cmにカットしたものを混合した。

表2 材料の調合

基材 ^{※1}		添加材の混合率(%) ^{※2}			水量 ^{※3} (%)
赤土	珪砂	消石灰	藁	黄麻	
2	1				11
2	1	20			11
2	1	30			11
2	1	40			11
2	1		1		11
2	1		2		11
2	1			1,00	11
2	1			1,50	11
2	1			1,75	11
2	1	20	2		11
2	1	40	2		11
2	1	20		1,50	11
2	1	40		1,50	11
2	1	40		1,75	11

※1 質量比

※2 基材の質量に対する割合で示す

※3 基材 + 添加剤の質量に対する割合で示す

3.2. 試験体の作成方法及び実験方法

試験体はφ100×200mmの鋼製型枠を用いて作成した。つくりやすさの観点から製作の手間を少なくするために、材料をほぼ等しい量の3回に分けて投入し、各層とも材料の表面を軽く水平に均した後、直径25mmの鋼製突き棒により、落下高さ30cm、各層50回の条件で突き固めた。成形した試験体は直ちに脱型し、雨にさらされないよう室内にて保管した。

圧縮強度試験の様子を写真2に示す。試験体上面(載荷面)に石膏ペーストでキャッピングを施した。試験機は圧縮試験機アムスラー式堅型を用いて載荷した。

実験から得られた数値をもとに圧縮強度を算出する。試験体の直径寸法は100mmでなく、試験前にノギスを用いて正確な直径寸法を計測し、断面積を求め、実験にて測定した最大荷重の値を除いて圧縮強度を算出した。



写真2 圧縮強度試験の様子(左:載荷前 右:載荷後)

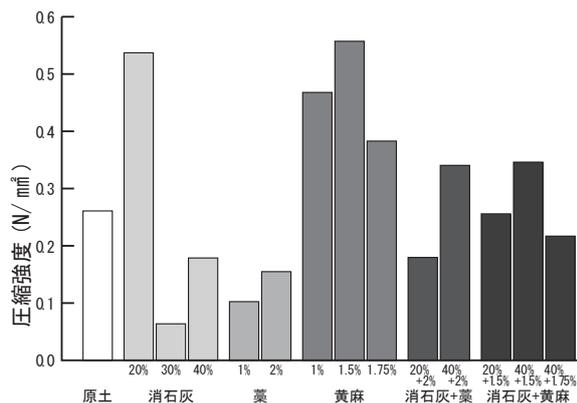


図6 添加材の種類と混合量、圧縮強度の関係

3.3. 結果と考察

添加材の種類と混合量、圧縮強度の関係を図6に、最大荷重と圧縮強度を図7に示す。

消石灰は、混合率20%で圧縮強度が向上したが、30%、40%では大幅な強度低下がみられた。強度向上に効果がある可能性は確認できたが、急激な強度低下は製造方法の要因も考えられるため製造条件を詳細に設定し、再度検証する必要がある。

藁は、混合率に比例して圧縮強度が向上する傾向を示したが、いずれも原土より低い範囲であるため効果は確認できなかった。

黄麻は、混合率に比例して圧縮強度が向上する傾向を示し、1.5%でピークをむかえ、0.558N/mm²であった。黄麻は、全ての混合率で原土より高い圧縮強度を示したため、効果的であるといえる。

消石灰+藁は、消石灰40%のほうが圧縮強度が大きかった。消石灰のみと比較すると消石灰20%では消石灰のみが、40%では消石灰+藁が大きくなり、後者は原土より圧縮強度が大きかった。藁のみと比較すると、消石灰+藁のほうが高い圧縮強度を示したが、大幅な効果は期待できない。

消石灰+黄麻は、消石灰40%+黄麻1.5%でピークをむかえ、0.347N/mm²であった。原土より大きな圧縮強度を示したのは、この調合のみであった。消石灰のみと比較すると、消石灰のみ(20%)のほうが強度が大きかった。黄麻のみと比較すると、全体を通して黄麻のみのほうが圧縮強度が大きかったため、混合量によっては効果的である。

4. まとめ

本研究では、ブロック形状と成型用型枠を改良することで、安定した形状成型と製造工程を大幅に簡略化した生産効率の向上を実現した。

圧縮強度試験では製作の手間を考慮し、少ない突き固め回数、層数の製造条件で試験体を作成した。その結果として、黄麻の混合率1.5%が最も

試料名	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm ²)
原土	2100	0.269
消石灰20%	4200	0.538
消石灰30%	500	0.0642
消石灰40%	1400	0.179
藁1.0%	800	0.103
藁2.0%	1200	0.155
黄麻1.0%	3600	0.469
黄麻1.5%	4300	0.558
黄麻1.75%	3000	0.384
消石灰20%+藁2.0%	1400	0.180
消石灰40%+藁2.0%	2700	0.341
消石灰20%+黄麻1.5%	2000	0.253
消石灰40%+黄麻1.5%	2700	0.347
消石灰40%+黄麻1.75%	1700	0.218

図7 本研究の最大荷重と圧縮強度

高強度であったことが確認できた。しかし黄麻を除く添加材は強度のピークを発見することができなかった点や山下らの研究²⁾で明らかにされている圧縮強度よりも大幅に低水準であったことが確認できた。これは、最低限の手間で試験体を作成したことが要因であると考えられる。

5. 今後の方針

今回の実験は調査ごとに1本の試験体を作成して強度の傾向を把握した。今後は添加材や水の混合率を変化させ、調査ごとに3本の試験体を作成し再度検証を行う。さらに製作の手間を少なくする条件の中で、突き固め回数や層数、突き棒の形状を変化させ、圧縮強度をより向上させる調査と製造条件を検証する方針である。

参考文献

- 1) 小室昂久：インターロッキング土ブロックを用いたセルフビルド構法に関する研究，日本大学大学院生産工学研究科修士論文，2019
- 2) 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，No. 37，pp. 261-272，2011
- 3) 菅野均志，平井英明，高橋正，南條正巳：土壤教育教材としての日本および世界土壤図の試作，日土肥講要 55，p. 201，2009
- 4) 湯浅昇，青木孝義，荒巻卓見，宮本慎宏，K. C. Shrestha，高橋典之，張景耀，Phuntsho Wangmo：プータンにおける組積造建築の耐震化技術に関する研究 その2 版築の材料強度の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，2018
- 5) Mohammad Shariful Islam, Kazuyoshi Iwashita: Earthquake Resistance of Adobe Reinforced by Low Cost Traditional Materials, Journal of Natural Disaster Science, Volume32, Number1, pp1-21, 2010
- 6) United Nations: Compendium of Housing Statics 2011, <http://unstats.un.org/unsd/demographic/sconcerns/housing/housing2.htm>, (参照 2019-12-28)