

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—

主査 興石 直幸*¹

委員 山下 保博*², 佐藤 淳*³, 前浪 洋輝*⁴, 川崎 善則*⁵, 上村 浩之*⁶

本研究は、資材調達や環境負荷などの面で優位な土素材を対象として、各地で入手可能な粘土を用いて建築現場で非焼成土ブロックを製造し、これを用いて組積耐力壁を構築する技術を開発したものである。材料実験では、粘土に各種の添加材を加えて土成形体の圧縮強度に対する効果を確かめたうえで、これらの中から増強効果が高く環境影響の少ない酸化マグネシウムを選定し、建築現場での製造を想定した成形や養生の条件の影響および調合の影響を明らかにした。構造実験では、積上げ面に凹凸を持つ組積壁の要素試験体を作製し、せん断耐力を確認した。施工実験では、実際の建築現場において土ブロックを製造し、量産可能であることを確認した。

キーワード : 1) 土, 2) 添加材, 3) 酸化マグネシウム, 4) 非焼成土ブロック, 5) 突固め成形,
6) 圧縮強度, 7) 組積, 8) せん断耐力, 9) 生産性, 10) 施工性

INTENSIVE UTILIZATION OF SOIL AND DEVELOPMENT OF NEW CONSTRUCTION METHOD

— Application of Unburned Soil Blocks in Masonry Load-bearing Wall —

Ch. Naoyuki Koshiishi

Mem. Yasuhiro Yamashita, Jun Sato, Hiroki Maenami, Yoshinori Kawasaki and Hiroyuki Uemura

The objective of this research is to develop a new construction method for masonry load-bearing wall which are built up of unburned soil blocks. First, the effects of various additives on compressive strength of consolidated soil were investigated and then the optimum conditions concerning mix proportion, molding and curing were determined against the soil blocks containing magnesium oxide which had much higher effect than the others. Next, the shear strength was examined by using mockup of masonry wall with projections and hollows on horizontal face. Finally, soil blocks were manufactured at a real construction site by using soil obtained from surroundings and then the feasibility of this method was verified.

1. 序論

1.1 背景

鉄鋼、ガラス、コンクリートなどの近代的材料が建築に使用されるようになって以来、各地における資源の入手可能性とは無関係に、こうした材料を用いた構法が近現代建築に不可欠なものとして世界中に広まった。しかし、近年の鋼材等の急激な価格高騰にみられるように、グローバルな投機的市場の動向が建築活動に多大な影響を及ぼしている。また、昨今のこのような建築生産方式は、地球環境時代の指向に逆行していることは明白である。今後は建築資材の調達を始めとした建築生産の仕組みそのものに抜本的な方向転換が必要と言えよう。

こうした観点で土素材には多くの利点がある。すなわち、あらゆる地域に存在し、資源として枯渇の心配がない。水を加えると塑性状態になって自由に成形できる。乾燥過程では収縮するが、乾燥後は硬く固まる。人体に有害な物質を含まないため、廃棄する場合も害なく大地

へ還元することが可能であるなどが挙げられる。

一方で、天然素材ゆえ品質のばらつきが大きく、また、成形体の強度は必ずしも十分ではなく、耐水性に劣るなど、建築材料として利用する上での制約もある。

1.2 目的

本研究では、地球上のどこでも入手可能で資源枯渇の心配のない土素材に着目し、その環境優位性を活かした建築における土素材の高度利用技術の開発を目的とした。

1.3 研究対象

本研究では、海外でも広く採用可能な土素材の利用技術の一例として、焼成せずに成形した土ブロックを用いて組積耐力壁を構築する技術の実用化を目指し、下記の項目に従って研究を行った。

- (1) 土ブロックおよび目地充填材の性質に関する実験
- (2) 土ブロック組積壁のせん断抵抗に関する実験
- (3) 建築現場での土ブロックの製造実験

*¹ 早稲田大学理工学術院 教授

*² 株式会社アトリエ・天工人 代表

*³ 東京大学大学院特任准教授 佐藤享構造設計事務所顧問

*⁴ 株式会社INAX サステナブル・イノベーション部 研究員

*⁵ 新田ゼラチン株式会社接着剤事業部 研究員

*⁶ 株式会社マサキ・エンヴェック 部長

2. 土ブロックおよび目地充填材の性質に関する実験

2.1 実験の目的および項目

2.1.1 実験の目的

本章では、土ブロックおよびその積上げに用いる目地充填材について、使用材料を選定して調合を決定するとともに、建築現場でのブロックの製造を想定した成形方法とその条件を絞り込み、さらに次章で行う土ブロック組積壁の構造性能に関する実験に先立ち、目地部の形状の影響を確認することを目的とした。

2.1.2 実験の項目

本章は下記のⅠ～Ⅲのシリーズから成る。

Ⅰ. 各種添加材を用いた土ブロックの圧縮強度の向上

2.2節では、突固めや加圧による成形を想定し、土成形体の圧縮強度の向上を意図して各種添加材の混入効果を確認した。実験1では有機系添加材4種を、実験2では無機系添加材3種をそれぞれ検討の対象とした。

Ⅱ. 酸化マグネシウムの調合および成形条件の影響

2.3節では、前節で効果が顕著であった酸化マグネシウムについて、MgO含有率が異なる2種を用い、効果向上のための各種条件の影響を確認した。実験3では加圧成形による場合について、調合、原材料の混練方法、成形時の含水比および圧力、ならびに養生の有無の影響を明らかにした。実験4では突固め成形による場合について、混練方法および成形時の含水比の影響をそれぞれ調べ、実験5では、粘土の混合可能な量を確認した。

Ⅲ. 目地に使用される材料および調合等の検討

2.4節では、土ブロック組積壁の水平目地におけるせん断強度の向上を目的とし、これに影響を及ぼす諸条件を調べた。添加材には酸化マグネシウム、消石灰およびセメントを用いた。実験6では、目地部の形状および添加材の種類が目地充填材とブロックとの付着強度に及ぼす影響を明らかにしたうえで、実験7において、目地充填材の圧縮強度およびせん断強度を確認した。

2.2 各種添加材を用いた土ブロックの圧縮強度の向上

2.2.1 有機系添加材の効果(実験1)

A. 実験方法

1) 使用材料

(1) 土ブロックの基材

伝統的な小舞土壁に用いられる荒壁用原土(京都府伏見区深草大亀谷産)を使用した。2mm網ふるいでふるい分けを行った。残留分のほとんどは粘土塊であったため、105±5℃の炉内で1時間乾燥した後に、乳鉢を用いて粉末状にした。これと通過分を均一に混合して用いた。

(2) 添加材

左官用セメントモルタルに使用されているセルロースエーテルおよびつゝのまた(海藻糊)、さらに文献¹⁾において本研究と同様の目的で検討されているコンスター

チおよびアマニ油を使用した。なお、アマニ油は液体状であり、その他の添加材は粉末状である。アマニ油は常温と熱湯で湯煎したものを用いた。

2) 調合

表2-1に示すように、添加材の種類と添加率を要因として実験を行った。添加材の添加率は土の炉乾燥質量に対する百分率で示した。水量は突固め作業に適した量とし、作業をしながら決定した。成形時に測定した含水比(すなわち、水量)を同表中に示した。

表2-1 添加材の種類と調合(実験1)

試料名	添加材の種類	添加率 ^{※1} (%)	水量 ^{※2} (%)
原土	(無添加)	0	※3
セルロース0.45%	セルロース	0.45	※3
セルロース0.9%		0.9	
つゝのまた1.0%	つゝのまた	1.0	10.0
つゝのまた2.0%		2.0	13.0
つゝのまた3.0%		3.0	14.0
コンスターチ1.0%	コンスターチ	1.0	9.9
コンスターチ2.0%		2.0	9.6
コンスターチ3.0%		3.0	10.0
アマニ油2.0%	アマニ油	2.0	8.6
アマニ油3.0%		3.0	8.8
アマニ油4.0%		4.0	15.6
アマニ油(湯煎)3.0%		3.0	8.5

※1 土の炉乾燥質量に対する割合で示す。

※2 水量は加水後の含水比である。

※3 測定せず

3) 混練方法

1回の練混ぜ量は、試験体の作製に必要な量とした。試験体数は、原土の場合が2体、その他の場合が1体である。ステンレス製の角型バットに土と添加材を入れ、ストレートエッジのステンレス製のヘラを用いて均一になるまで混合し、適量の水を加えて練り混ぜた。

4) 成形方法

試験体は50^φ×80^hmmの円柱形である。

型枠は50^φ×100^hmmのモルタル成形用鋼製型枠を使用した。突き棒は直径25mm、質量340gの鋼製丸棒で、先端が平らに切断加工されたものを用いた。

試料をほぼ等しい量の10回に分けて投入し、各層とも試料の表面を軽く水平に均した後、突き棒を約3cmの高さから、横断面内で偏りなく均等に50回落下させた。その後、ナイフエッジを用いて突き固めた上面を格子状に傷を付け、次の層と良く馴染むようにした。なお、10層目の突固め面は傷付けずに平らに均した。

成形した試験体は直ちに脱型し、20℃65%RHの恒温恒湿槽内に静置して恒量にした。

5) 試験方法

(1) 圧縮強度試験

試験体の上下面(載荷面)にキャッピングを施し、直ちに圧縮強度試験を行った。試験機はオートグラフを用い、クロスヘッドスピード0.5mm/minで載荷した。

(2) 試験時の含水比および炉乾燥密度の算出

試験の直前と直後に試験体の質量を測定し、その平均値を試験時の質量とした。試験後に試験体を炉乾燥し、デシケーター内で常温まで冷却して炉乾燥質量を測定した。両者の値から試験時の含水比を算出した。また、試験前に試験体の外形寸法をノギスで測定して体積を求め、測定した炉乾燥質量の値を除いて炉乾燥密度を算出した。

B. 実験結果および考察

表 2-2 に圧縮強度試験の結果を示す。セルロースエーテルおよびつのまたを添加した場合には、添加率が大きい場合ほど圧縮強度は大きくなる傾向が認められた。どちらの場合もさらに添加量を増やすことで圧縮強度の増大が期待できる。一方、コンスターチおよびアマニ油を添加した場合には、圧縮強度の向上は認められたが、前者では 1.0%ないし 2.0%、後者では 3.0%付近でピークとなった。なお、アマニ油では湯煎の効果が認められた。

図 2-1 は、各々の添加材において圧縮強度に対する効果が顕著であった添加率のデータを抜き出し、炉乾燥密度と圧縮強度の散布図にプロットしたものである。添加材の種類によらず炉乾燥密度が大きいものほど圧縮強度は大きかった。同図から、増強効果は、特に湯煎したアマニ油が顕著であり、次いでつのまたが高かった。

表 2-2 圧縮強度試験結果

試料名	圧縮強度 (N/mm ²)
原土	0.4
	0.5
セルロース0.45%	0.6
セルロース0.9%	1.0
つのまた1.0%	1.2
つのまた2.0%	1.0
つのまた3.0%	2.0
コンスターチ1.0%	0.9
コンスターチ2.0%	0.9
コンスターチ3.0%	0.7
アマニ油2.0%	0.8
アマニ油3.0%	1.5
アマニ油4.0%	0.9
アマニ油(湯煎)3.0%	2.5

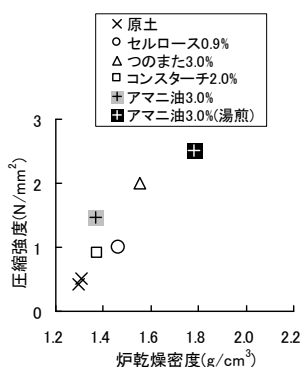


図 2-1 炉乾燥密度と圧縮強度の関係

2.2.2 無機系添加材の効果(実験 2)

A. 実験方法

1) 使用材料

(1) 土ブロックの基材

千葉県成田市松子産の粘土、千葉県富津市鶴岡産の砂およびJIS A 5001 に規定される 6 号碎石を使用した。

(2) 添加材

添加材には、消石灰、ドロマイトプラスターおよび MgO-95% 酸化マグネシウム (酸化マグネシウム A と称す) を使用した。また、消石灰の場合には、版築やたたきの施工で用いられるにがりを加えた場合を含め、合計 4 種類を用いた。なお、にがりは 15 倍に希釈した水溶液を用いた。

2) 調合

表 2-3 に添加材の種類と調合を示す。

基材の調合は、乾燥状態の質量で土：砂：碎石=1：2.3：0.9 である。添加材の混合率は、種類にかかわらず土の乾燥質量に対して 9.2%とした。水量は、加圧成形に支障がない軟度で、かつ加圧時に余剰水の絞り出しや即時脱型時に型崩れが生じない程度とし、作業をしながら決定した。

表 2-3 添加材の種類と調合 (実験 2)

試料名	基材の調合 ^{※1}			添加材混合率 ^{※2} (%)	水量 ^{※3} (%)
	粘土	砂	碎石		
土	1	2.3	0.9	(無添加)	約18
消石灰					
消石灰(にがり入)					
酸化マグネシウムA					
ドロマイトプラスター					

※1 乾燥質量比で示す。
 ※2 粘土の炉乾燥質量に対する割合で示す。
 ※3 加水後の含水比を示す。

3) 混練方法

混練には容量 15ℓ のモルタルミキサーを使用した。最初に粘土と砂を空練りし、次に添加材を加えて均一に混合した後、加水しながら練り混ぜた。最後に碎石を投入し、手練りで均一に分散させた。

4) 成形方法

コンクリート用型枠合板を用い、内法 100×100×200^hmm の木製型枠を作製した。型枠内に適量の試料を深さ均等に軽く詰め、100×100×100mm の木片を試料表面に載せ、オートグラフを用いてクロスヘッドスピード 5mm/min で木片上面を加圧した。当初、建築現場において簡易な加圧装置を使用することを想定していたため、本実験での加圧力はこの装置で載荷可能な 20kN (2N/mm²) とした。この値に達するまで加圧するが、この時に試験体高さが約 100mm になるように、投入する試料の量を加減した。試験体数は各条件とも 2 体である。

5) 養生方法

成形後直ちに脱型し、表面が乾き色になるまで室内で乾燥した。次に、105±5℃の炉内でほぼ恒量になるまで乾燥し、その後 20℃65%RH の恒温恒湿槽内で保管した。なお、添加材を混合した試験体については、圧縮強度に対する環境湿度の影響を確認するため、試験体の半数を圧縮試験の前日に 20℃90%RH の多湿の槽内に移した。成形から圧縮試験までの期間はおよそ 10 日である。

6) 試験方法

(1) 圧縮強度試験

成形時の加圧面を載荷面とするが、加圧面は平滑であったため、キャッピングは行わなかった。使用した試験機および載荷速度は実験 1 と同様である。

(2) 試験時の含水比および炉乾燥密度の算出

測定および算出の方法は実験 1 と同様である。

B. 実験結果および考察

(1) 添加材の種類の影響

添加材の種類が異なる試験体の圧縮強度を、炉乾燥密度との関係で整理した結果を図 2-2 に示す。

添加材の混合により炉乾燥密度は小さくなるものの、消石灰のみを混合した場合を除き、圧縮強度は増大した。最も効果が顕著であったのは酸化マグネシウムであり、次いで消石灰とにがりの併用であった。基材（土単体）の場合を除き、添加材の種類によらず、炉乾燥密度と圧縮強度の関係はほぼ同一の直線上に分布していることがわかる。そのため、添加材の混合による炉乾燥密度の低下が小さい試料ほど、結果的に圧縮強度の向上は顕著であった。なお、消石灰のみを混合した試料では、基材よりも圧縮強度は低下したが、今回は若材齢で強度試験を行ったこともあり、養生期間が長くなれば強度は増大するものと考えられる。

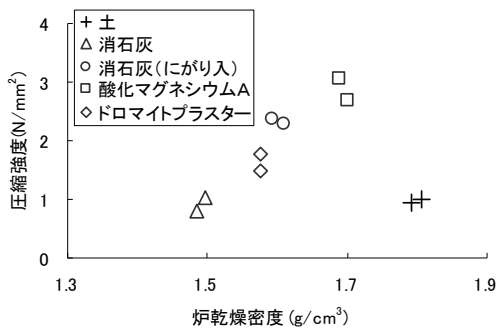


図 2-2 添加材の種類の影響

(2) 環境湿度の影響

添加材の種類が異なる試験体について保管場所の相対湿度を変えて圧縮強度を測定した結果が図 2-3 である。消石灰のみおよびドロマイトプラスターを混合した試料では、環境湿度が圧縮強度に及ぼす影響は顕著でなかったが、酸化マグネシウムAを混合した試料と消石灰とにがりを併用した試料では、相対湿度の高い場所で保管した試験体のほうが圧縮強度は小さかった。

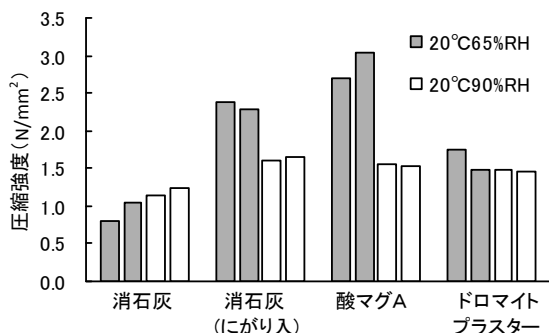


図 2-3 環境湿度の影響

2.3 酸化マグネシウムの混合量および成形条件の影響

2.3.1 加圧成形における各種条件の影響(実験 3)

A. 実験方法

1) 使用材料

(1) 土ブロックの基材

粘土、砂および碎石は実験 2 と同様のものを使用した。

(2) 添加材

添加材は、実験 2 で使用した酸化マグネシウムAのほかに、MgO-55%;CaO-35%酸化マグネシウム（酸化マグネシウムBと称す）を使用した。

2) 調合

土ブロック基材の調合は、粘土：砂：碎石=1：0.5：0.6 である。酸化マグネシウムの混合率は約 18, 27 および 36%とした。水量は、手作業での成形が可能なことを条件とし、その可能範囲の下限を約 21%, 上限を約 24%とし、成形時の水量の影響を比較した。

実験の要因と水準を表 2-4 に示す。

表 2-4 実験の要因と水準(実験 3)

試験条件	試料名 酸化マグネシウム	基材の調合 ^{※1}			添加材の混合率 ^{※2} (%)	水量 ^{※3} (%)	混練方法	加圧力 (N/mm ²)	散水養生	
		粘土	砂	碎石						
①	-A	1	1.5	0.6	18.1%	多 (約24)	a法 ^{※4}	0.02	有	
	-B				27.2%					無
-A	36.2%									
-B					少 (約21)					0.2
-A	多 (約24)							0.02		
-B					b法 ^{※5}				0.1	
-A	0.2							有		
-B					0.02				有	
-A	0.1							有		
-B					0.2				有	
-A	0.02							有		
-B		0.2	有							

※1 乾燥質量比で示す。 ※2 粘土の炉乾燥質量に対する割合で示す。 ※3 加水後の含水比を示す。 ※4 モルタルミキサーで粘土と砂を空練り後、添加物を加え混練しながら加水し、最後に碎石を加え手練りする。 ※5 モルタルミキサーで添加物と水をペースト状にし、砂と粘土を加え混練し、最後に碎石を加え手練りする。

3) 混練方法

混練方法は a 法および b 法の 2 種類とした。a 法は実験 2 と同様である。b 法は、a 法と同様のモルタルミキサーを用い、最初に添加材を投入し、パドルを回転させながら水を加えてペースト状にし、次に、粘土と砂を加えて均一になるまで練り混ぜ、最後に碎石を投入し、手練りで練り混ぜた。1 回の練混ぜ量は試験体 2 体の作製に必要十分な量とした。

4) 成形方法

成形方法は実験 2 と同様である。ただし、加圧力については、建築現場での土ブロックの製造が、当初想定し

ていた簡易装置の使用から、生産性を向上させるため手作業での成形に変更となった。これにより、加圧力は実験2の場合よりも小さい範囲の3水準とした。

試験体は各条件とも2体ずつ作製した。

5) 養生方法

試験体は成形後直ちに脱型し、成形から3日間は20℃60%RH以上の室内で保管し、1日1回100ml程度の水を散布した。4日目以降は室温20℃、湿度無制御(期間中の湿度の変動幅はおよそ24~60%RH)の室内で保管した。試験材齢は成形から14日目である。

6) 試験方法

圧縮強度試験方法ならびに試験時の含水比および炉乾燥密度の算定方法は実験2と同様である。

B. 実験結果および考察

1) 添加材の混合量の影響

比較的水量が多めの状態で成形した場合の結果を図2-4に示す。酸化マグネシウムAの混合効果は、比較的大きな圧力で成形した実験2では顕著であったが、手作業を想定した小さな加圧力で実施した実験3ではあまり明確ではなかった。また、混合率を変えても圧縮強度の向上はわずかであった。一方、酸化マグネシウムBでは、混合率の増加に伴い圧縮強度は著しく増大しており、混合率36%において実験2と同等の圧縮強度となった。

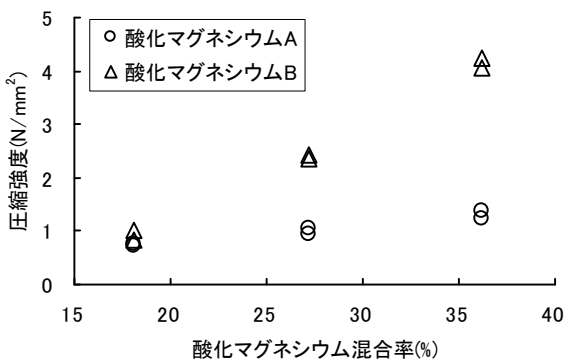


図2-4 添加材の混合率と圧縮強度の関係

(練混ぜ:a法, 水量:多, 加圧力:0.02N/mm², 散水:有)

2) 成形時の含水比および加圧力の影響

図2-5に成形時の加圧力および含水比と圧縮強度の関係を示す。酸化マグネシウムAを混合した場合(左図)では、本実験の水量の範囲では、加圧力を0.02から0.2N/mm²まで増大させても圧縮強度はほとんど変化しなかった。酸化マグネシウムB(右図)では、水量が多めの条件では、成形時の圧力を高めることの効果はほとんどなく、0.02N/mm²程度の圧力で十分に成形可能であることがわかる。一方、成形時の水量が少なめの場合には、成形圧が小さい条件では基材の圧縮強度と同等であったが、圧力の増大に伴って圧縮強度は著しく増加しており、圧力を0.2N/mm²まで上昇させれば、成形時の水量が多

めの場合と同等の圧縮強度が得られることがわかった。

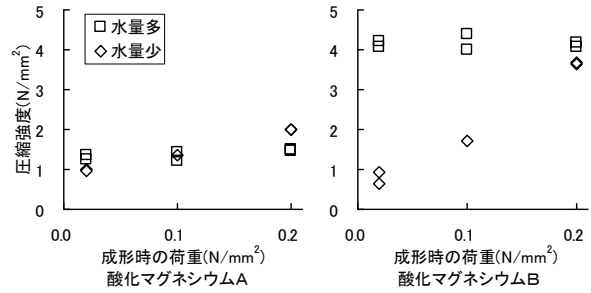


図2-5 成形時の加圧力および含水比と圧縮強度の関係

(混合率:36%, 練混ぜ:a法, 散水:有)

3) 養生の有無の影響

表2-5に結果を示す。酸化マグネシウムAでは、養生の有無による圧縮強度の差は顕著でなかったが、酸化マグネシウムBでは、散水養生を行った場合のほうが圧縮強度は大きくかった。

表2-5 養生の有無の影響

(混合率:36%, 練混ぜ:a法, 水量:多, 加圧力:0.02N/mm²)

酸化マグネシウム	散水養生	炉乾燥密度 (g/cm ³)	試験時の含水比 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
A	有	1.72	5.26	1.31
A	無	1.74	3.56	1.16
B	有	1.69	9.41	4.14
B	無	1.71	6.04	3.26

2.3.2 突固め成形における各種条件の影響(実験4)

A. 実験方法

1) 使用材料

粘土, 砂, 碎石ならびに酸化マグネシウムAおよびBは実験2および3と同様のものを用いた。

2) 調合

基材の調合は、粘土:砂:碎石=1:2.2:1である。酸化マグネシウムの混合率は48.3%とした。

本実験では、建築現場での土ブロックの量産を視野に入れ、1回の練混ぜ量を25ℓ程度とした。水量は成形可能な範囲とし、その上限と下限の2水準とした。また、2種類のミキサーを使用した混練方法(c法およびd法)を比較した。実験の要因を表2-6に示す。

表2-6 実験の要因(実験4)

試験条件	試料名	基材の調合 ^{*1}			添加材の混合率 ^{*2} (%)	水量 ^{*3}	混練方法
	酸化マグネシウム	粘土	砂	碎石			
⑫	-A	1	2.2	1	48.3	少	c法 ^{*4}
⑬	-A						
⑭	-B					多	d法 ^{*5}
	-B						

^{*1} 乾燥質量比で示す。(各試料の含水比は実験3を参考に算出した。)
^{*2} 粘土の乾燥質量に対する割合で示す。 ^{*3} 加水後の含水比を示す。
^{*4} ハンドミキサーのみを使用。 ^{*5} コンクリートミキサーとハンドミキサーを使用。

3) 混練方法

c法では、砂、砕石および酸化マグネシウムを大型のポリバケツに投入し、ハンドミキサーで空練りし、粘土を少量ずつ加え、適宜加水しながら練り混ぜた。

d法では強制攪拌パン型コンクリートミキサー（混練量：100ℓ）を使用し、c法と同様の順番で材料を投入して練り混ぜた後、ハンドミキサーで練り返した。

4) 成形方法

型枠は実験2と同様の内法 100×100×200^h mm の木製型枠を使用した。質量 3.35kg で先端が 100×100mm の平らな面になった鋼製の突き棒を用いて突き固めた。

成形後の試験体高さは 100mm とし、各層の厚さがほぼ等しい 3層に分けて突き固めた。各層 25 回ずつ突き固めた後、層間の密着を良くするために各層の上面をナイフエッジでメッシュ状に傷を付けた。最上層の表面は傷を付けず平坦に仕上げた。

試験体数は、各条件とも c法の場合が 3体、d法の場合が 2体である。

5) 養生方法

成形後は直ちに脱型を行い、室内で保管した。成形から 3日間は 1日 1回 500ml 程度の水を散布した。材齢 21日 で圧縮試験を行った。

6) 試験方法

圧縮強度試験方法ならびに試験時の含水比および炉乾燥密度の算定方法は実験2と同様である。

B. 実験結果および考察

表 2-7 に圧縮試験の結果を示す。酸化マグネシウム A を用い、c法で練り混ぜた場合では、水量が少ない試料のほうが圧縮強度は大きかった。また、酸化マグネシウム A を用い、水量多めで成形した場合では、混練方法の違いによる影響は認められなかった。さらに、水量多めで d法によって練り混ぜた場合では、酸化マグネシウム B を用いたほうが圧縮強度は大きかった。

表 2-7 圧縮強度試験結果

酸化マグネシウム	水量	混練方法	炉乾燥密度 (g/cm ³)	試験時の含水比 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
A	少	c法	2.43	2.90	5.12
A			2.40	2.69	3.72
A	多	d法	2.40	3.08	3.84
B			2.31	7.12	5.44

2.3.3 粘土量の影響(実験5)

A. 実験方法

1) 使用材料

粘土、砂、砕石および酸化マグネシウム A は実験2と同様のものを用いた。調合時の各材料の含水比は、粘土が 35.1%、砂が 1.40%、砂利が 1.09%であった。

2) 調合

本実験では粘土の配合量を要因とし、表 2-8 に示す 3

水準とした。水量は突固めに適した量とし、作業をしながら決定した。

3) 混練方法

実験3の a法と同様である。

4) 成形方法

成形方法は実験4と同様である。試験体数は各条件とも 3体である。

表 2-8 調合(実験5)

試験条件	試料名 酸化マグネシウム	基材の調合 ^{※1}			添加材の混合比 ^{※2}	水量 ^{※3} (%)
		粘土	砂	砕石		
⑮	-A	1			0.3	21.3
⑯	-A	0.5	1.5	0.7		18.0
⑰	-A	0				9.14

※1 乾燥質量比で示す。

※2 基材の調合に対する質量比で示す。

※3 加水後の含水比を示す。

5) 養生方法

成形後は直ちに脱型を行い、室内で保管した。成形から 3日間は 1日 2回散水を行った。散水には、市販の園芸用リールホースを用い、ノズルの切り替えを「霧」にして 1分間散水した。ただし、粘土を配合しない試料では、散水によって試験体に欠損が生じることもあるので、欠損が起こる前に散水を中止した。

試験材齢は成形後 14日である。

6) 試験方法

圧縮強度試験方法ならびに試験時の含水比および炉乾燥密度の算定方法は実験2と同様である。

B. 実験結果および考察

表 2-9 に圧縮強度試験の結果を示す。粘土を配合した試験体では配合量によらず圧縮強度はほぼ同等であった。粘土を配合しなかった試験体の圧縮強度は前 2者よりも大きい。成形時や散水中に欠損も発生しやすい。このため、成形時および養生時の取り扱いを考慮すると、適量の粘土を混合したほうがよい。その際の粘土の配合量は、圧縮強度に対する影響がほとんど無いことから、作業性を重視して決定することができる。

表 2-9 圧縮強度試験結果(実験5)

粘土調合比	炉乾燥密度 (g/cm ³)	試験時の含水比 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
1	1.77	4.95	1.09
0.5	1.88	3.56	1.04
0	2.03	1.09	2.28

2.4 目地に使用する材料および調合等の検討

2.4.1 ブロックとの付着強度に及ぼす影響(実験6)

A. 実験方法

1) 使用材料

粘土、砂、碎石、消石灰および酸化マグネシウムAは、実験2と同様のものを使用した。セメントは JIS R 5210 に適合する普通ポルトランドセメントを使用した。

2) 調合

(1) 土ブロック

基材の調合は、粘土：砂：碎石=1：1.5：0.7 である。酸化マグネシウムAの混合率は約50%である。

(2) 目地充填材

目地充填材の調合を表2-10に示す。水量はブロック積みに適した軟度とし、作業をしながら決定した。

表 2-10 各試料の調合 (実験6)

試料名	粘土	砂	添加材の種類		
			酸化マグネシウムA	消石灰	セメント
①	1		1.2	-	-
②	1	4.2	0.9	-	-
③	1	4.0	-	1.1	-
④	-	2.5	-	0.5	0.5
⑤	-		-	-	1

3) 混練方法

(1) 土ブロック用試料

混練方法は実験4のd法と同様である。

(2) 目地充填材

混練には容量20lのモルタルミキサーを用いた。粘土、砂および添加材を投入して十分に空練りを行い、次にパドルを回転させながら徐々に水を加えて練り混ぜた。

4) 試験体の作製方法

(1) 土ブロックの成形

成形方法は実験4と同様である。ただし、試験体の寸法は高さの低い100×100×50^hmmである。なお、試料①では、機械的な付着力を期待し、図2-6に示すような凹みを付けた試験体も作製した。

(2) 目地充填材の成形

脱型後、土ブロックを十分に乾燥した後、内法寸法40×40×10mmのロ字形の型枠をブロックの表面中央に固定し、湿潤状態の各試料を充填した。

試験体数は各条件とも3体ずつである。

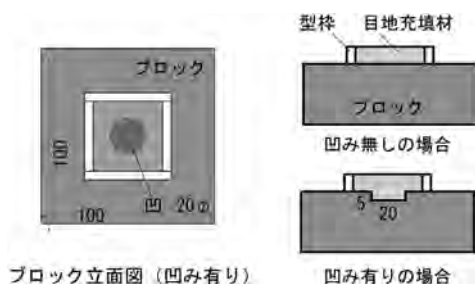


図 2-6 付着強度用試験体の概要

5) 目地充填材の養生方法

目地材を充填後、直ちに濡れ新聞紙を目地部に被せ、その上にガラス板を載せて過度の乾燥を抑制した。これは組積壁における目地内部の環境を模擬したものである。試験材齢は目地充填後12日とし、試験の前日に目地部成形用の型枠を取り外した。

6) 付着強度試験方法

付着強度試験の荷重装置および荷重方法は文献²⁾の方法を採用した。その概要を図2-7示す。同図のように、土ブロックを治具に取り付け、目地充填材の小口に荷重板を当てて荷重を加えた。試験機はオートグラフを用い、荷重速度はクロスヘッドスピードで1.0mm/minとした。

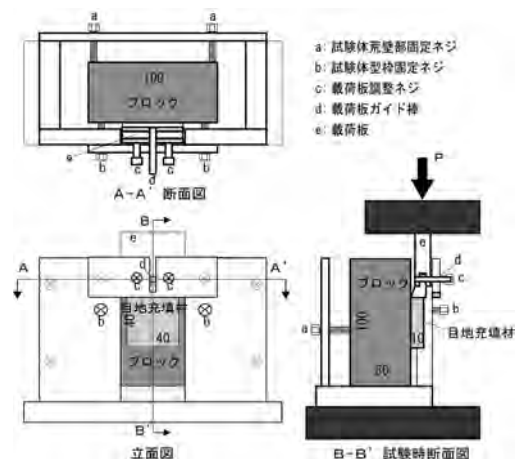


図 2-7 ブロックと目地の付着強度試験の荷重方法

B. 実験の結果および考察

1) 接着部の形状が付着強度に及ぼす影響

酸化マグネシウムを混合した場合のせん断荷重と変位の関係を図2-8に示す。

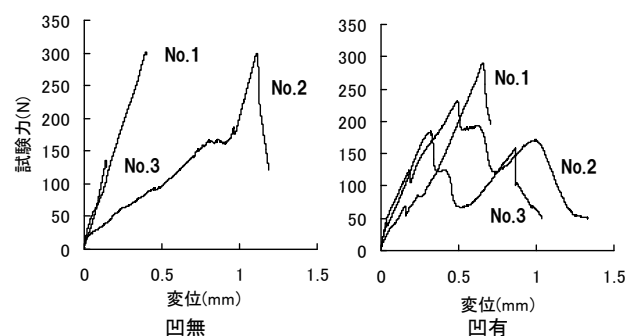


図 2-8 接着部の形状が付着強度に及ぼす影響

(試料① 粘土：酸化マグネシウムA=1：1.2の場合)

凹み無しの場合(左図)をみると、No.2試験体の初期剛性がNo.1やNo.3より小さかった。しかし、変位1mm付近から、他の2つの初期傾きとほぼ等しい傾きに変化した。これより、No.2試験体の初期傾きが小さかった原因は荷重板と目地材の片当りによるもので、圧縮

強度に対しては影響ないものと考えられる。また、No. 3 試験体の最大荷重が小さいのは、目地材が硬化する前に目地型枠がずれ、この時点で何らかの損傷が生じていたためと考えられる。

一方、凹み有りの場合（右図）をみると、No. 1 試験体を除き、曲線がふたこぶ形になっている。No. 1 に第 2 ピークが現れていないのは、第 1 ピークの直後に荷重を終了してしまったためである。

以上から、第 1 ピークでは土ブロックと目地充填材の界面の付着破壊、第 2 ピークでは凹みに喰い込んだ円筒形の目地充填材のせん断破壊がそれぞれ生じていたのではないかと考えられる。そこで、凹み有り試験体では、付着面積から凹み部分の断面積を差し引いて付着強度（第 1 ピーク）を算出してみると、凹み無し試験体の付着強度とほぼ等しい値となり、前述の仮定を裏付ける結果となった。

2) 添加材の種類の影響

種類の異なる添加材を用いた場合の付着強度試験の結果を図 2-9 に示す。セメントのみを使用した場合の付着強度が最も大きかった。逆に、土に消石灰を混合した場合の付着強度が最も小さく、2 体は脱型時に剥落してしまった。土に酸化マグネシウムを混合する場合の混合率の影響については、明確な差は認められなかった。

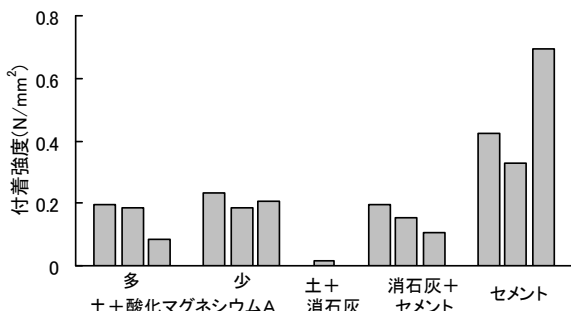


図 2-9 添加材の種類が付着強度に与える影響

2.4.2 圧縮およびせん断強度に及ぼす影響(実験 7)

A. 実験方法

1) 使用材料

使用材料は実験 6 と同様である。

2) 調合

圧縮強度試験は、実験 6 の①、④および⑤と同様の調合に対して行い、せん断強度試験は、実験 6 の①および④と同様の調合に対して行った。水量はブロック積みに適した軟度とし、作業をしながら決定した。

3) 成形方法

(1) 圧縮強度用試験体

型枠は実験 1 で使用した円柱形の鋼製型枠を用い、試料は 3 回に分けて投入し、各回とも突き固めは行わずに、型枠の側面を木製ハンマーで叩いて締め固めた。試験体

数は各条件とも 3 体とした。

(2) せん断強度用試験体

型枠は JIS R 5201 で使用するモルタル成形用の鋼製 3 連型枠 (40×40×160mm) を使用した。試験体数は各条件とも 3 体とした。

4) 養生方法

試料を充填した型枠は室内に静置し、試験の 3 日前に脱型した。試験材齢については、圧縮強度試験では成形後 12 日、せん断強度試験では成形後 7 日を基本とし、試料①では材齢 49 日についても試験を行った。

5) 測定項目および試験方法

測定項目および試験方法を表 2-11 に示す。

圧縮強度試験は、実験 1 と同様の方法で行った。せん断試験は 2 面せん断で行い、装置および荷重方法は文献³⁾の方法に準じた。その概要を図 2-10 に示す。試験体の仕上げ面が加力面となるように加力治具に取り付ける。

表 2-11 測定項目および試験方法 (実験 7)

測定項目	試料名※			試験方法
	①	④	⑤	
圧縮強度	○	○	○	試験片寸法: 50 ^φ mm×100 ^h mm 載荷面: キャッピング 含水状態: 気乾 載荷速度: 0.5mm/min
せん断強度	○	○		試験片寸法 40mm×40mm×160mm 含水状態: 気乾 載荷速度: 1.0mm/min

※表 2-10 の試料名に準ずる。

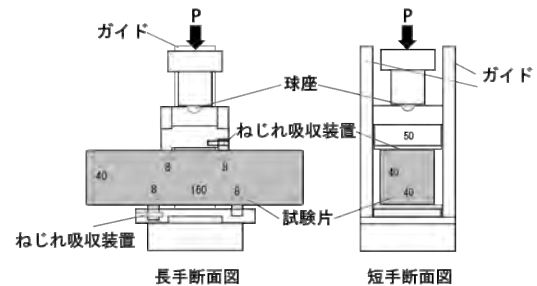


図 2-10 二面せん断試験装置の概要

B. 実験の結果および考察

1) 圧縮強度に及ぼす影響

圧縮強度に対する添加材種類の影響を図 2-11 に示す。

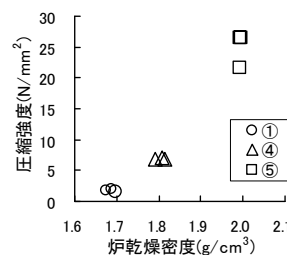


図 2-11 圧縮強度に及ぼす影響

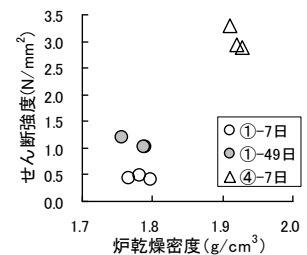


図 2-12 せん断強度に及ぼす影響

圧縮強度の大小関係は、セメント>消石灰+セメント>

酸化マグネシウムAであった。しかし、前2者の圧縮強度は、土ブロックの強度より著しく大きく、組積壁とした場合に応力集中などが懸念される。

2) せん断強度に及ぼす影響

せん断強度に対する添加材種類の影響を図2-12に示す。酸化マグネシウムAを用いた場合では、材齢7日から49日にかけてせん断強度は約2倍まで増大した。しかし、消石灰とセメントを混合した場合のせん断強度に比較して非常に小さかった。

2.5 まとめ

実験1～7の結果を要約すると以下の通りである。

- A. 各種添加材を用いた土ブロックの圧縮強度の向上
 圧縮強度に対する効果は、酸化マグネシウム>湯銭アマニ油>にがり入り消石灰>の順の順に大きかった。酸化マグネシウムは自己水硬性を有するため、適切な養生を施すことによりさらに圧縮強度の向上が期待できる。また、非焼成の土ブロックは環境湿度の変化によって圧縮強度が増減するものもある。
- B. 酸化マグネシウムの混合量および成形条件の影響
 加圧成形の場合は、成形時の水量が圧縮強度に大きく影響し、また、養生の効果も顕著であった。突固め成形の場合では、MgO含有率の影響は小さく、2種類の酸化マグネシウムを用いた土ブロックの圧縮強度は同等であった。粘土を混合せずに酸化マグネシウムを用いた場合は、圧縮強度は高いものの、成形時や養生中に破損しやすいため、作業性を考慮して適量の粘土を配合したほうがよい。
- C. 目地に使用する材料および調合等の検討
 土ブロックと目地充填材の付着性状に関しては、凹み有り試験体では、界面の付着破壊が生じた後に、目地充填材がせん断破壊を起こすため、応力-変位関係には2つの荷重ピークが現れた。セメント単体およびセメントと消石灰の混合物を使用した目地充填材の圧縮強度は、酸化マグネシウムを用いた場合より大きかったが、土ブロックの圧縮強度との差が大きいことから、その差の小さい酸化マグネシウムを混合した目地充填材のほうが適していると判断される。

3. 土ブロック組積壁のせん断抵抗に関する実験

3.1 概要

組積壁のせん断抵抗を検証するため、図3-1に示すように組積壁の一部（ブロック3個を芋目地で3段積み上げたもの、以降これを壁モックアップと称する）を要素として抽出し、実験を行った。壁モックアップの作製および実験は3回に分けて行った。

第1回（試験体1～10）では、壁モックアップの二面

せん断実験を行い、目地材の強度が組積壁の耐力に大きな影響を与えること確認した。

本章では、ブロックと目地材の境界のせん断抵抗性能に着目した第2回および第3回の実験について記述する。

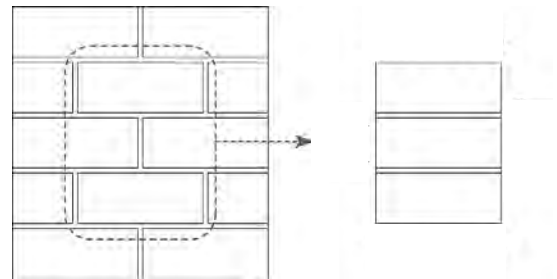


図3-1 組積壁（左）と壁モックアップ（右）

3.2 実験計画

表3-1に試験体の一覧を示す。壁モックアップ（以降、試験体）のせん断耐力に影響する因子として、ブロックの強度、目地材の強度、ブロックと目地の機械的噛合が考えられる。機械的噛合とは、ブロックに凹凸状の加工を行い、これが目地材と上下のブロックと噛合うことを指す。

この検討のため、図3-2に示すようにブロックの形状をパラメータとして設定した。

表3-1 試験体の一覧（第2回および第3回）

試験体番号 (試験体数)	ブロック添加材	目地添加材	形状	初期軸力 (kN)
11 (1)	消石灰	消石灰	SU2	0
12 - 13 (2)				2.5
14 (1)				5
15 - 17 (3)		消石灰(粘土入)		2.5
18 (1)	-			
19 (1)	酸化マグネシウム	消石灰	SU1	2.5
20 - 22 (3)	消石灰			
23 (1)				
24 (1)				0
25 - 26 (2)			SU1	10
27 - 30 (4)	酸化マグネシウム	酸化マグネシウム		15
31 (1)				20
32 (1)				40

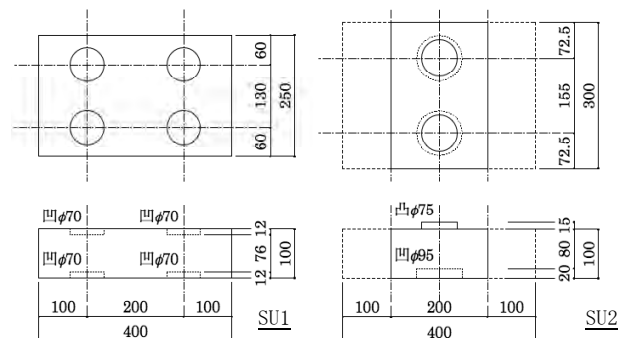


図3-2 ブロック形状

この図において、SU2の実線で描かれた輪郭線が実験

で使用したブロックの大きさである。実用では破線で描かれた大きさのブロックを想定しているが、せん断力に抵抗する領域はブロック中央部2分の1程度のみと仮定し、このブロックの大きさとした。水平目地の厚さはいずれも10mmとした。

載荷装置を図3-3に示す。試験体は、水平目地が鉛直となるように設置した。左右のブロックの下部を支持し、中央ブロックの天端に鋼板を置いて、200tf 万能試験機によって載荷した。載荷速度はクロスヘッドスピード2mm/minとした。試験体が横方向にはらむのを防ぐために、試験体を鋼板で挟み込み、4本の軸力導入ねじを用いて、2つの鋼板を繋いだ。これらに張力を加えることで、その反力が試験体に軸力として導入される。張力は、4本の軸力導入ねじのひずみを測定し、予め行った軸力導入ねじの引張荷重-変位関係と照合させて求めた。

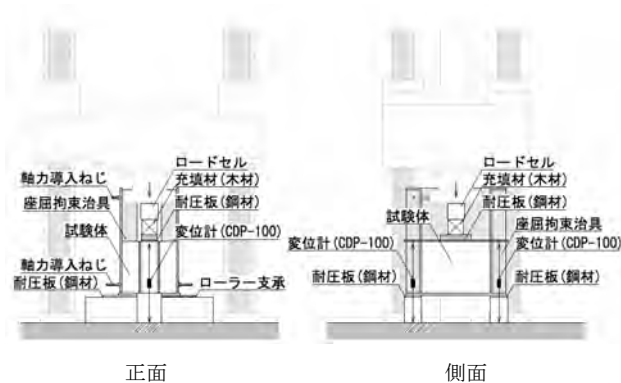


図3-3 載荷装置 (第2回および第3回の実験)

3.3 実験結果

表3-2に各試験体のせん断耐力とその時の軸力を示す。

表3-2 せん断耐力と軸力

試験体番号	せん断耐力 (kN)	軸力 (kN)	試験体番号	せん断耐力 (kN)	軸力 (kN)
11	5.9	2.3	24	14.0	9.2
12	13.9	5.9	25	35.4	29.3
13	10.3	4.9	26	40.0	32.7
14	13.9	6.9	27	37.6	34.5
15	15.1	6.8	28	35.8	32.8
16	18.4	7.6	29	65.2	49.4
17	12.1	4.5	30	23.8	14.8
18	6.4	3.3	31	39.3	38.2
19	14.6	6.7	32	48.7	48.2
20	14.8	5.8			
21	18.2	6.8			
22	12.6	5.4			
23	7.9	4.1			

破壊性状として、せん断破壊面は概ねブロックと目地の境界面に現れるという特徴が認められた。この境界面で左右のブロックと中央のブロックがずれるように破壊が進行した。ずれ変位が進行しながらも、せん断力は増加するが、これに伴って軸力も増加した。せん断力が最

大値を迎えた以降は、せん断力が緩やかに減少するが、軸力もこれに伴って減少した。

3.4 考察

3.4.1 ブロック強度の影響

酸化マグネシウムがブロックの強度を向上させることは第2章で確認した。ブロックの添加材のみが異なる試験体19と試験体20~22を比較すると、試験体19のせん断耐力は14.6kN、試験体20~22のせん断耐力の平均値は15.2kNである。このことから、ブロックの強度がせん断耐力に及ぼす影響は少ないといえる。これは、破壊面がブロックと目地の境界面であり、ブロックの強度が発揮される前に破壊が起こったためと考えられる。

3.4.2 目地材の強度の影響

せん断破壊面が、第1回の実験では目地材の内部であったのに対し、第2回と第3回ではブロックと目地の境界面となった。これは、作製した目地材の強度が境界面の強度を上回ったためと考えられる。すなわち、目地材の強度が組積壁のせん断耐力に十分寄与しており、さらなる耐力向上を図る場合は、境界面の強度を詳細に把握する必要があるといえる。

3.4.3 ブロック形状の影響

せん断破壊面がブロックと目地の境界面であるため、ブロックの突起や凹みがせん断耐力を向上させるものと考えたが、第2回と第3回の実験では、ブロック形状をそれぞれほぼ1通りに決めたため、ブロック形状の影響の差異は一概にはいえない。

3.4.4 軸力の影響

試験体11~32のせん断耐力とそのときの軸力の関係を図3-4に示す。同図から、軸力が大きい試験体ほどせん断耐力が大きくなっており、両者に相関があることがわかる。破壊の起こった面がブロックと目地の境界面であったことを考慮すると、せん断耐力に摩擦力が大きく寄与していると考えられる。

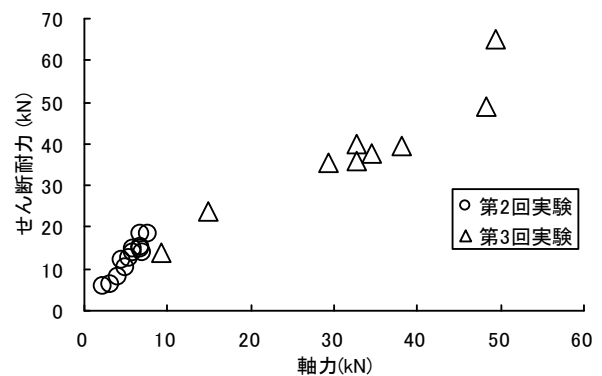


図3-4 せん断耐力と軸力の関係

3.5 まとめ

第2回および第3回の実験結果を要約すると以下の通りである。

- (1) せん断破壊面は、ブロックと目地の境界面となった。
- (2) せん断耐力はブロックと目地の境界面の強度で決まり、この場合、ブロックおよび目地の強度がせん断耐力に及ぼす影響は少ない。
- (3) 軸力がせん断耐力に及ぼす影響は大きい。これは摩擦力の影響と考えられる。

4. 建築現場での土ブロックの製造実験

4.1 実験目的および検討項目

4.1.1 実験の目的

本章では、関東圏の戸建て住宅新築工事において、これまでに検討してきた土ブロックを積み上げた耐力壁の実施工を行うため、建築現場に近接する敷地で土ブロックの製造実験を行って、大量生産に向けた問題点の整理とその改善を図るとともに、実行可能性を確認することを目的とした。

4.1.2 事前の検討課題

A. 練り混ぜ水量の調整

屋外においては、温度、湿度、日射、風速などの様々な条件が常に変化する。また、使用する材料は、直接風雨に曝されないようにビニールシート等で覆って保管するが、粘土や砂などの含水率は環境条件に応じて変動している。したがって、特に練り混ぜ時に加える水量は、常に一定ではなく、その都度、環境に合わせた微調整が必要となる。

B. 酸化マグネシウムの硬化速度の調整

酸化マグネシウムは水と酸化マグネシウムの化学反応、すなわち水和反応（自己水硬性と称する）によって硬化する。この水和反応速度は温度が高い場合ほど早くなる。このため、気温の高い夏季の屋外で土ブロックを製造すると、室内実験の時よりも作業が可能な可使用時間が短くなる。事実、室内実験で定めた水量で調合し、練り混ぜを行ったところ、混練中に硬化が始まり、成形ができなかった。

そこで、水量を2倍程度まで増やしてみたが、硬化速度は変わらなかった。また、練り混ぜ水に氷を入れて冷却してみたり、材料の投入手順を変えて混練時間の短縮も図ったりしてみたが、問題解決には至らなかった。

4.2 実験方法

4.2.1 使用材料

土ブロックの基材に使用した材料は、粘土、砂および砂利である。また添加材には、酸化マグネシウムAとMgO含有率がほぼ同等の酸化マグネシウム（酸化マグネ

シウムCと称す）を用いた。さらに、硬化速度を抑制するため、遅延材として無水クエン酸を使用した。

無水クエン酸は、一般に使用されているコンクリート用凝結遅延材の成分である。また、食品添加物としても使用されるように、人体に無害の天然由来の成分である。

4.2.2 調合

土ブロック基材の基本調合は、乾燥質量に対し、粘土：砂：砂利=1：2.2：1程度である。また酸化マグネシウムの混合率は0.49%である。これらはいずれも実験4の調合にほぼ等しい。ただし、各材料の含水率は常に変動しているため、上記の調合比は正確ではない。

無水クエン酸の使用量は、酸化マグネシウムの質量に対して1~5%とした。この上限は、外気温が30℃以上の屋外で添加率を0.5~10%の範囲で変えて実験を行ったところ、5%が最も効果的であったからである。また、クエン酸の効果は、温湿度ほかの環境条件によって変化するため、その都度、調整を行うこととした。

4.2.3 混練方法

粘土を大型のポリバケツに入れ、ハンドミキサーで軽く混ぜ、これに砕石を加えて十分に混合した(①)。別の容器に酸化マグネシウムと無水クエン酸を入れてハンドミキサーで練り混ぜ、これを砂の入った別の容器に入れ、ハンドミキサーで良く練り混ぜておく(②)。①を要容量100ℓのコンクリートミキサーに投入して練り混ぜ、②を少量ずつ投入し、適宜、水を加えながら成形に適した軟度に調整した。

4.2.4 成形方法

実施工に用いる土ブロックの基本寸法は、長手（壁厚）400mm×幅250mm×厚さ100mmである。

型枠の材質は、転用回数（耐久性）や寸法精度を考慮し、室内実験で用いた木製から鋼製に変更した。鋼製型枠の一例を図4-1に示す。



図4-1 型枠の一例

成形は、鋼製の棒による突固めで行った。材料が型枠内に隙間なく充填するように、材料を投入する度に適宜、目視で確認しながら突き回数を調整した。土ブロックの高さのバラツキを低減するため、ストレートエッジの付いた鋼製のレベラーを用い、材料を平らに均したり、余

分な材料を摺り切ったりして土ブロック表面を仕上げた。

4.2.5 養生方法

成形後は直ちに脱型した。仮設足場に使用する鋼製パイプを用いてラックを作製し、建築現場近くの敷地に設置した。試験体はこのラックの棚板に置き、炎天下での急激な乾燥を避けるため、ラックにビニールシートを被せた。成形後の3日間は散水養生を行った。屋外における土ブロックの養生および保管の状況を図4-2に示す。

成形後8日以降は、ラックから取り出し、同じ敷地内の別の場所に移動し、土ブロックに損傷を与えないことを条件に、数段積み重ね、雨除けのビニールシートを被せて保管した。



図4-2 土ブロックの養生および保管の状況

4.3 製造実験の結果および今後の検討課題

4.3.1 調合の調整

屋外における土ブロックの製造では、温湿度、日射、風速など様々な環境条件の影響を受け、使用材料の含水率や酸化マグネシウムの硬化速度が変化するものの、水量および無水クエン酸の添加量を調整することにより対応可能であることが確認できた。しかし、真夏の酷暑日には、水和反応の抑制が効かず、成形に支障をきたすこともあり、反応速度の制御、調合の調整、成形方法も含め、更なる検討が必要である。

4.3.2 作業効率について

今回の製造実験はすべて手作業で行った。材料の練り手が1ないし2名、土ブロックの成形が2人1組で、2～4組（4から8名）程度で作業を行った。

鋼製型枠を使用したため、突固めを十分に行うことが可能であり、充填不良などの欠陥がなく寸法精度の良い土ブロックが製造できた。しかし、1日1人当りの製造可能な土ブロックの数は10～15個程度であった。今後は、屋外で使用可能な簡易な機械式加圧成形機を制作するなどして、作業効率の向上を図る必要がある。

4.4 まとめ

以上の結果を要約すると、建築現場における土ブロックの製造に関しては、作業効率の面で改善が必要であるものの、環境条件が変化する屋外においても、調合を微

調整することにより、欠陥がなく寸法精度の良い土ブロックが製造可能であることが検証できた。

5. 結論

本研究では、建築における土素材の高度利用の一例として、建築現場で製造した非焼成土ブロックを用い、組積耐力壁を構築する技術の開発を目的とした。

材料実験では、粘土に各種添加材を加えて土成形体の圧縮強度に対する効果を確認したところ、酸化マグネシウムの効果が顕著であり、以後、その使用を前提として、加圧成形や突固め成形を想定した土ブロックの調合および成形・養生の詳細条件の影響を明らかにした。

構造実験では、積上げ面に凹凸を持つ組積壁の要素試験体を作製し、せん断加力実験を行ったところ、破壊は土ブロックと目地充填材の境界面に生じており、せん断耐力向上のための機械的噛合の効果を確認した。

屋外製造実験では、実際の建築現場に近接する敷地において土ブロックを製造したところ、作業効率に課題が残るものの、環境条件が変化する屋外においても十分製造が可能であることが検証できた。

今後は、今回製造した土ブロックを用いて壁のモックアップを作製し、その構造性能を確認し、実施工を開始する予定である。

<参考文献>

- 1) Gernot Minke : BUILDING WITH EARTH, pp.39-51, Birkhauser, 2009
- 2) 鈴木, 興石, 山田, 森田 : 壁土の性質に関する基礎的研究(第15報 荒壁と中塗りの一体性に及ぼす影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.A-1, pp.449-450, 2010.8
- 3) 森田, 興石, 山田, 鈴木 : 同上(第13報 荒壁の力学的特性の評価に用いる試験方法の考案), 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.A-1, pp.445-446, 2010.8

<研究協力者>

久住 有生	左官株式会社 代表
藤田 香織	東京大学大学院工学系研究科 准教授
西野 伸幸	宇部マテリアルズ株式会社 製品開発部 環境材グループリーダー
高田 昌彦	アトリエ・天工人 所員
石井 あずさ	アトリエ・天工人 所員
高木 亮	アトリエ・天工人 所員
前島 彩子	東京大学大学院工学系研究科 建築学専攻 博士課程
山田 宮土理	早稲田大学創造理工学研究科 建築学専攻 博士後期課程
朝光 拓也	東京大学大学院工学系研究科 建築学専攻 修士課程
神保 奈央子	早稲田大学創造理工学研究科 建築学専攻 修士課程
中村 航	早稲田大学創造理工学研究科 建築学専攻 修士課程
藤崎 慧	早稲田大学創造理工学研究科 建築学専攻 修士課程