

# 壁土の圧縮強度の寸法効果

## Size Effect of Compressive Strength on Mud Plaster

山田耕司<sup>1</sup>・木下航輝<sup>2</sup>

Koji Yamada and Koki Kinoshita

<sup>1</sup>豊田工業高等専門学校教授 建築学科(〒471-8525 愛知県豊田市栄生町2-1)

Professor, National Institute of Technology, Toyota College, Dept. of Architecture

<sup>2</sup>大成建設株式会社(〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

Staff, Taisei Corporation

There are some feature sizes of mud plaster strength in former studies. Concrete has the size effect on its strength because of its coarse aggregate. In this paper, the size effect of compressive strength on mud plaster is researched. The results are as follows.

1. The compressive strength of the mud plaster without fiber does not depend on both its sectional area and its shape of cross section.
2. The compressive strength of the mud plaster with fiber depends on both its size and its form.

**Keywords:** Mud plaster, Size effect, Compressive strength, Section size, Section form, Slenderness ratio

## 1. 序

伝統構法木造建物の主要な耐震要素として土塗り壁がある。土塗り壁の壁耐力を予測する上で、壁土の強度特性の把握は重要である。土壁の強度試験は各種行われているが、これらの試験体は実験実施者により断面や高さ寸法が異なる<sup>1)~3)</sup>。コンクリートでは、同じ調合でも試験体の断面の大きさやアスペクト比によって圧縮強度が変化する寸法効果が報告されている<sup>4)~10)</sup>。しかし、壁土の強度試験において寸法効果は確認されておらず、コンクリートと同様な寸法効果が観測されるか確かめる必要がある。そこで本研究では、壁土の断面の大きさと圧縮強度の関係、高さとの比と圧縮強度の関係、圧縮強度の大きさによる寸法効果の影響の定性的関係を検討する。

## 2. 実験概要

試験体断面形状の影響を検討するため、図1のような円柱(円形断面)と正四角柱(正方形断面)の型枠を使用して壁土の試験体を作製し、乾燥させた後に、圧縮強度試験を行った。表1に実験のパラメータと水準を示す。円柱試験体では断面の大きさを3水準、H/D比(H=試験体高さ、D=試験体直径)を3水準、正四角柱の試験体ではH/D比(H=試験体高さ、D=試験体断面の一边)を2水準に変化させた。またどちらの試験にも調合は質量比で3水準とした。スサを加えた試験体は、粘土と砂の合計質量の1%の量の藁スサ(最大長さ50mm、以下、スサと略す)を加えた。実験に使用する壁土の材料は岡山県笠岡市で得られた粘土(単位体積質量 $2.45\text{g/cm}^3$ )<sup>11)</sup>、砂(単位体積質量 $2.55\text{g/cm}^3$ )、スサ(単位体積質量 $0.051\text{g/cm}^3$ )である。なお、スサは水合わせを行っていないため、元の形状(最大長さ50mm)を維持している。

圧縮試験機(S社製DTB-100)を用いて圧縮強度試験を行う。充分乾燥した試験体を1分間に2mmずつ圧縮し

圧縮強度を計測する。圧縮強度は計測された最大圧縮荷重を断面積で除して求めた。なお、3(1)節の歪は、試験体の縮小長さを試験体高さで除して求めている。試験体数は同一水準で各5体としている。

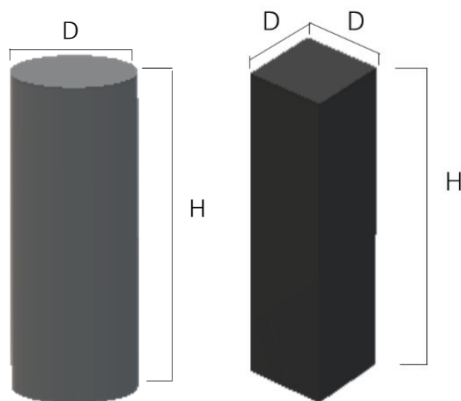


図1 試験体寸法

表1 実験の要因と水準

パラメータ	水準	
	円柱	正四角柱
断面の寸法(D mm)	44、50、77	40
調合(粘土：砂)	1:1、1:2、1:3	1:1、1:2、1:3
H/D比	1.0、1.5、2.0	1.0、2.0
スサ	有、無	有、無

### 3. 実験結果・考察

#### (1) 代表的な荷重変形について

図2に代表的な圧縮試験時の歪と圧縮応力度の関係を示す。図2のように、調合、試験体寸法が同じスサ有とスサ無しの試験体を比べるとスサ無しの試験体の方が、ばらつきが大きくなる傾向がみられた。これは、スサ無しの試験体の強度特性が脆性的であるためと考えられる。またH/D比=1の試験体は、歪5%以上の時圧縮強度のピークが来る傾向が見られ、H/Dが1を超える試験体は歪5%以下の時圧縮強度のピークにcoming傾向が見られた。

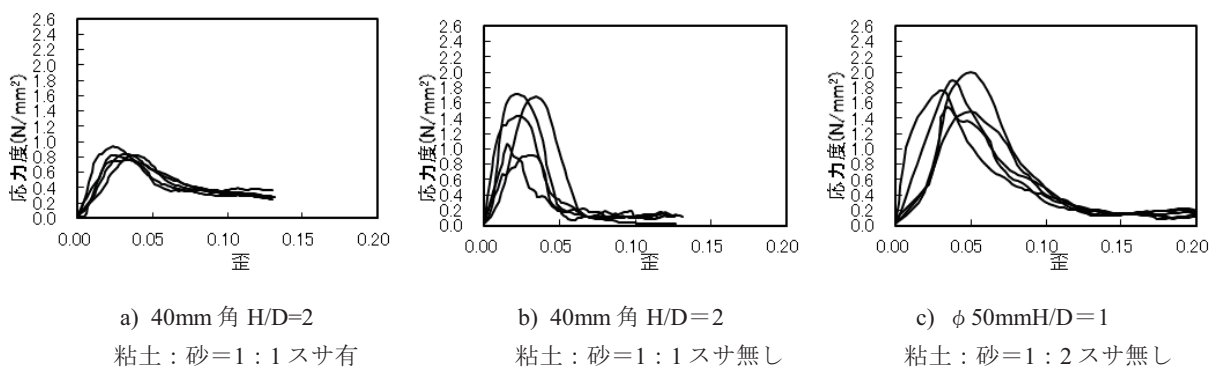


図2 歪と圧縮応力度の関係

#### (2) 分析方法

本報では、パラメータ変化の圧縮強度の標本平均への影響を検討するとともに、信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲を算出し、算定される圧縮強度の標本平均の差の意味を考察した。すなわち、標本平均に

ある種の傾向が見られた場合でも、母平均の範囲の重複が大きい場合は、パラメータの圧縮強度への影響は少ないと判断する。

信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の算出方法は次式とする。

$$\bar{x} - \frac{k\sigma^2}{n} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{k\sigma^2}{n} \quad (1)$$

ここに、 $\bar{x}$  : 標本平均、 $\frac{\sigma^2}{n}$  : 分散、 $\mu$  : 母平均、 $k : 2.132$ (自由度 4 の場合)

### (3) スサを加えていない壁土の寸法効果の考察

本項では、壁土圧縮強度の寸法効果の基礎情報を把握するため、スサを加えていない壁土の寸法効果の考察する。

まず、H/D比=2の円形断面の試験体を用いて、断面寸法と圧縮強度の関係を考察する。図3に断面寸法と圧縮強度の標本平均との関係(円形断面・スサ無し)、図4に断面寸法と信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(円形断面・スサ無し)を示す。

図3(円形断面・スサ無し)より、断面寸法の変化による圧縮強度の標本平均への影響は少ないことが分かった。加えて、図4(円形断面・スサ無し)より、圧縮強度の母平均の範囲が広い試験体もあるが、断面寸法の変化による信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の重複が大きい。

よって、コンクリートの場合と異なり、断面寸法が変化しても圧縮強度は変化しないと結論する。

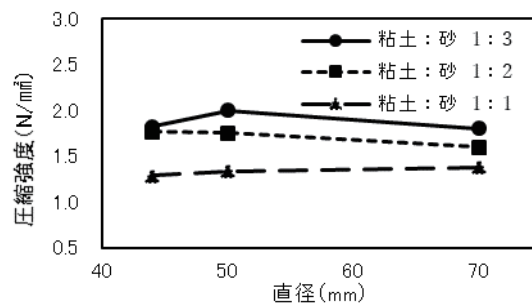


図3 断面寸法と圧縮強度の標本平均の関係(円形断面・スサ無し)

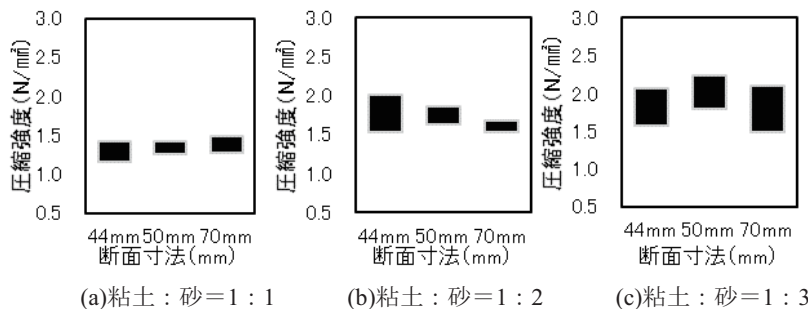


図4 断面寸法と信頼区間 95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(円形断面・スサ無し)

次に直径(D)50mmの円形断面試験体を用いて、試験体形状(アスペクト比: H/D)と圧縮強度の関係を考察する。図5にH/Dと圧縮強度の標本平均の関係(円形断面・スサ無し)、図6にH/Dと信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(円形断面・スサ無し)を示す。

図5(円形断面・スサ無し)より、粘土:砂=1:3の試験体を除き、H/D比の変化による圧縮強度の標本平均への影響は少ないことが分かった。このことは、図6(円形断面・スサ無し)より、圧縮強度の母平均の範囲でも確認できる。一方で、粘土:砂=1:3の試験体では、圧縮強度の標本平均の10%程度の差が生じているが、原因は不明である。

以上より、コンクリートの場合と異なり、H/D比が変化しても圧縮強度の変化は少ない傾向にある。

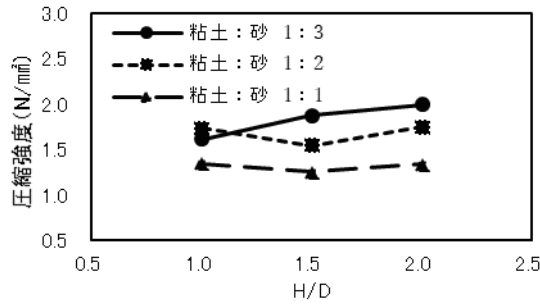
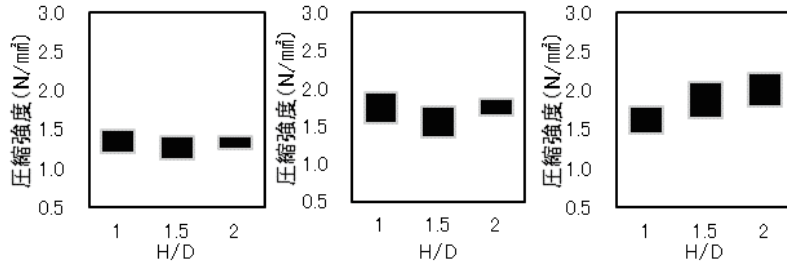


図5 H/D比と圧縮強度の標本平均の関係(円形断面・スサ無し)



(a)粘土:砂=1:1 (b)粘土:砂=1:2 (c)粘土:砂=1:3  
図6 H/D比と信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(円形断面・スサ無し)

次に、試験体の断面形状と圧縮強度の関係を考察する。図7に正方形断面・スサ無しの場合における、H/Dと圧縮強度の標本平均の関係、図8にH/Dと信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係を示す。

図7(正方形断面・スサ無し)より、粘土:砂=1:1の調合では、H/D比の変化による圧縮強度の標本平均の差が大きい。このことは、図8(正方形断面・スサ無し)の圧縮強度の母平均の範囲の差でも見受けられるが、この原因は不明である。一方、その他の場合では、H/D比の圧縮強度の標本平均への影響は小さいことが分かった。このことは、圧縮強度の母平均の範囲(図8)でも見受けられる。

加えて、円形断面(D=50mm)の実験結果(図6)と図8とを比較すると、粘土:砂=1:1かつH/D=1の正方形断面の場合を除き、圧縮強度の母平均の範囲に大きな違いはない。

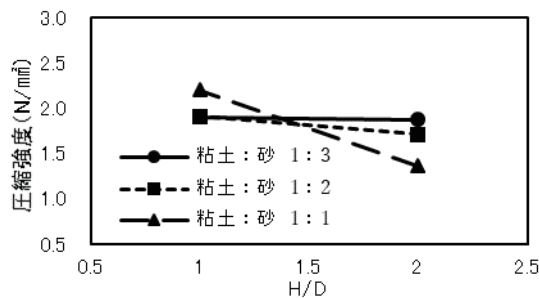
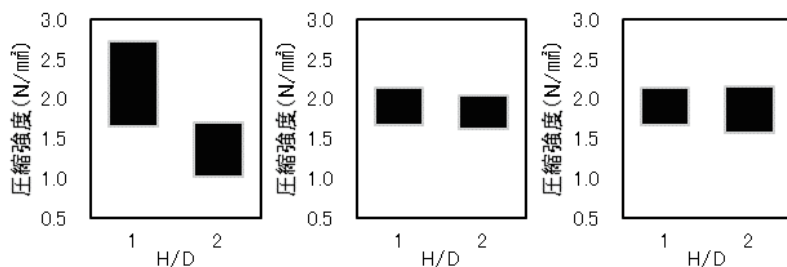


図7 H/D比と圧縮強度の標本平均の関係(正方形断面・スサ無し)



(a)粘土:砂=1:1 (b)粘土:砂=1:2 (c)粘土:砂=1:3

図8 H/D比と信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(正方形断面・スサ無し)

#### (4) スサを加えた壁土の寸法効果の考察

本項では、スサを加えた壁土圧縮強度の寸法効果を考察する。

まず、H/D比=2の円形断面の試験体を用いて、断面寸法と圧縮強度の関係を考察する。図9に断面寸法と圧縮強度の標本平均の関係(円形断面・スサ有)、図10に断面寸法と信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(円形断面・スサ有)、を示す。図9(円形断面・スサ有)より、断面寸法により圧縮強度の標本平均が大きく変化することが分かった。このことは、圧縮強度の母平均の範囲(図10)でも確認できる。

よって、スサ有の試験体では、断面寸法が変化すると圧縮強度が大きく変化するといえる。なお、断面寸法と圧縮強度の関係は、粘土と砂の調合比により異なる。

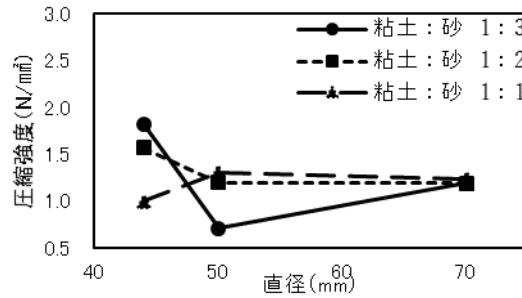


図9 断面寸法と圧縮強度の標本平均の関係(円形断面・スサ有)

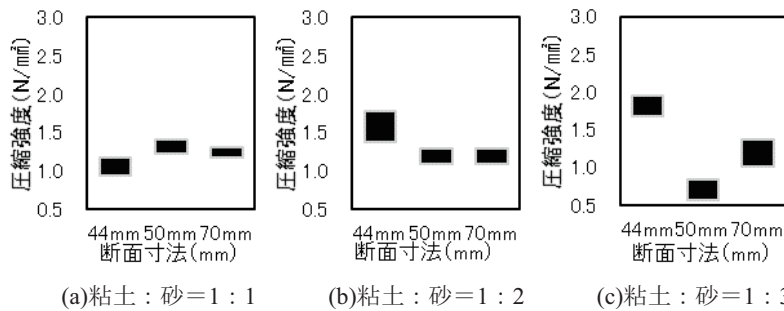


図10 断面寸法と信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(円形断面・スサ有)

次に直径(D)50mmの円形断面試験体を用いて、試験体形状(アスペクト比)と圧縮強度の関係を考察する。図11にH/Dと圧縮強度の標本平均の関係(円形断面・スサ有)、図12にH/Dと信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲(円形断面・スサ有)を示す。図11より、H/D比の変化により圧縮強度の標本平均が大きく変化することが分かった。このことは、圧縮強度の母平均の範囲(図12)でも確認できる。

よって、スサ有の試験体では、H/D比が変化すると圧縮強度が大きく変化するといえる。なお、断面寸法と圧縮強度の関係は、粘土と砂の調合比により異なる。

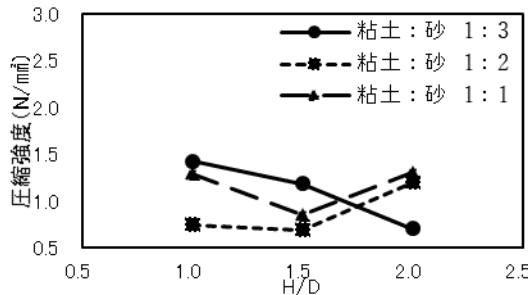


図11 H/D比と圧縮強度の標本平均の関係(円形断面・スサ有)

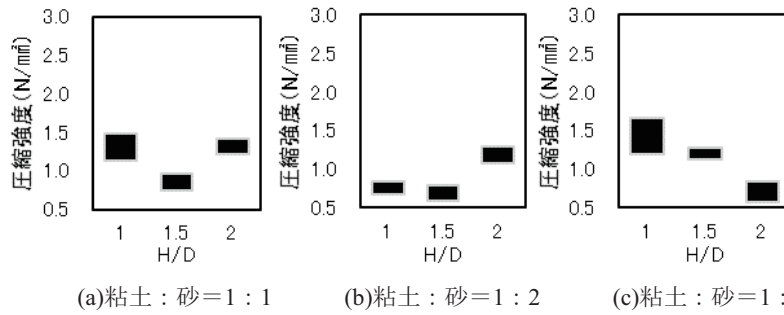


図 12 H/D比と信頼区間 95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(円形断面・スサ有)

次に、試験体の断面形状と圧縮強度の関係を考察する。正方形断面・スサ有の場合における、H/Dと圧縮強度の標本平均の関係を図13に、H/Dと信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲を図14に示す。

図13(正方形断面・スサ有)より、H/D比が大きくなると圧縮強度の標本平均が小さくなる傾向が見られる。このことは、圧縮強度の母平均の範囲(図14)でも確認できる。円形断面の場合(図12)と比較すると、H/D比と圧縮強度の母平均の範囲の関係に類似性は見られない。加えて、H/D比、粘土・砂の調合比、断面形状が異なると、圧縮強度の母平均の範囲も大きく変化することが分かる。

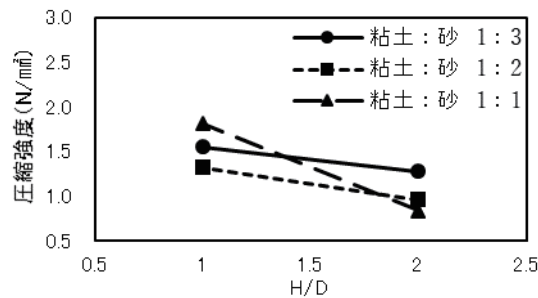


図 13 H/D比と圧縮強度の標本平均の関係(正方形断面・スサ有)

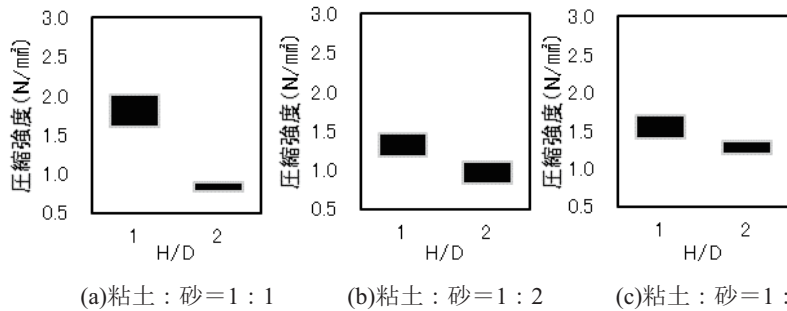


図 14 H/D比と信頼区間 95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(正方形断面・スサ有)

以上の結果から、スサを含んだ壁土では、試験体寸法や調合が壁土圧縮強度に影響を与えていると結論できる。しかし、スサのどの属性が壁土圧縮強度に影響を与えているか不明である為、今後スサ属性の壁土圧縮強度への影響を検討する必要がある。

#### 4. 結語

本研究では、壁土圧縮強度の寸法効果を検討するため、試験体の断面形状、断面積、高さ直径の比を変化させて、それらと圧縮強度の関係を定性的に検討した。その結果、スサを加えない壁土においては壁土試験体の断面形状、断面積、高さ直径の比は圧縮強度に大きな影響を与えないことが分かった。一方で、スサを加えた壁土では、試験体の断面形状、断面積、高さ直径の比が壁土圧縮強度に大きく影響を与えていることが分かった。したがって、今後スサの壁土圧縮強度への影響を検討する必要がある。

## 参考文献

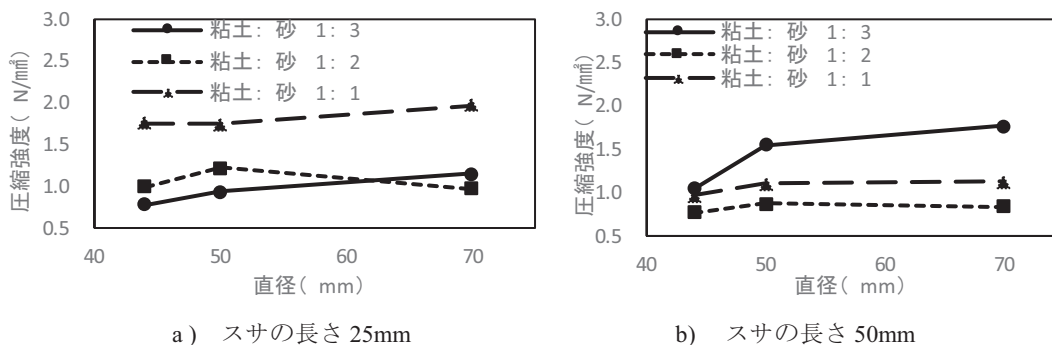
- 1) 福本和正：壁土のせん断強度の実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第530号，pp.99-106，2000.
- 2) 浦憲親・蒲田幸江・鈴木祥之：壁土供試体作製及び強度試験法に関する基礎研究，日本建築学会構造系論文集，第559号，pp.23-30，2002.
- 3) 山田耕司：壁土強度とばらつきの土壁耐力の影響，日本建築学会構造系論文集，第620号，pp.87-92，2007.
- 4) 寺井雅和・南宏一：鉄筋コンクリート部材のせん断強度と寸法効果に関する一研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.2，pp.1021-1026，2003.
- 5) 田中仁史・倉本洋・中治弘行・疋田次峰：コンクリートの一軸圧縮応力\_ひずみ関係に及ぼす寸法効果の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.193-198,2002.
- 6) 寺井雅和・山田法仁：粗骨材の最大寸法を考慮したコンクリート強度の寸法効果，日本建築学会中国支部研究報告集，第39巻，pp.205-208，2016.3
- 7) 谷川恭雄・山田和夫：コンクリートの圧縮強度の寸法効果について，日本建築学会論文報告集，第262号，pp.13-21，1977.12
- 8) 山本貴正・小池狭千朗：コンクリート円柱・角柱供試体の圧縮強度に及ぼす断面寸法の影響に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.322-327，2012.
- 9) 塩屋俊幸・長谷川俊昭：コンクリート構造物の寸法効果，コンクリート工学年次論文集，vol.30，No.8，pp.5-15，1992.
- 10) 山田耕司・中治弘行・後藤正美・鈴木祥之：壁土の強度試験法の開発と壁土の強度特性，歴史都市防災論文集Vol.13，pp.1-8，2019.7
- 11) カサネン工業株式会社，[www.kasanen.jp/products/building/kasaoka-soil.html](http://www.kasanen.jp/products/building/kasaoka-soil.html)

## 付録

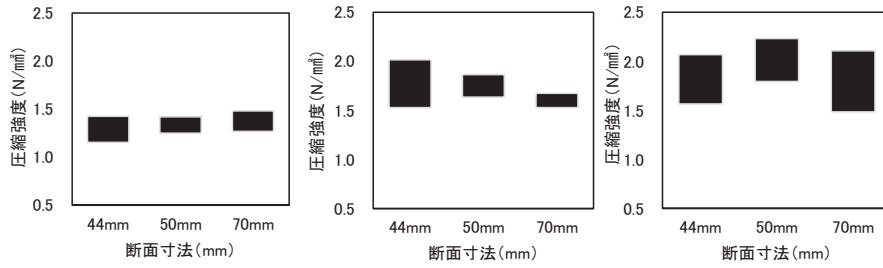
本稿の結論として、スサを加えた壁土では、試験体寸法や調合によって、壁土圧縮強度が変化した。これはスサにより試験体内部に不均一性が生じたためと考えられる。そこで、スサ属性の壁土圧縮強度への影響を一部検討した。スサの属性として、長さ、断面形状、断面積、表面摩擦力、スサの引張強度、ベースとなる壁土内での分散性、などが考えられる。

ここでは、スサの長さの影響を見るため、スサの長さの異なる試験体を作成し、その効果を検証した。本追試では、スサの長さの均一化を図るため、スサとして麻紐(長さ25mm、50mm)を用いた。試験体形状は円形断面とした。試験方法は、本文と同一である。結果として、試験体断面寸法と圧縮強度の標本平均の関係を付図1に、断面寸法と信頼区間95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係を付図2、3に、H/Dと圧縮強度の標本平均の関係を付図4に示す。

付図1～3より、試験体断面寸法と圧縮強度の標本平均の関係として、スサの長さ25mmでは試験体断面寸法の影響は少ないが、スサの長さ50mmでは試験体断面寸法が小さい場合に大きく強度が下がるケースが生じた。これは、本文図8のケースと強度変化の類似性は無いものの、断面寸法の影響を受ける点では同一である。

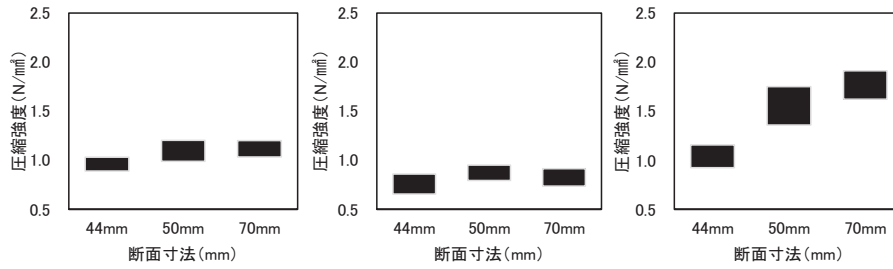


付図1 断面寸法と圧縮強度の標本平均の関係



(a)粘土：砂=1：1 (b)粘土：砂=1：2 (c)粘土：砂=1：3

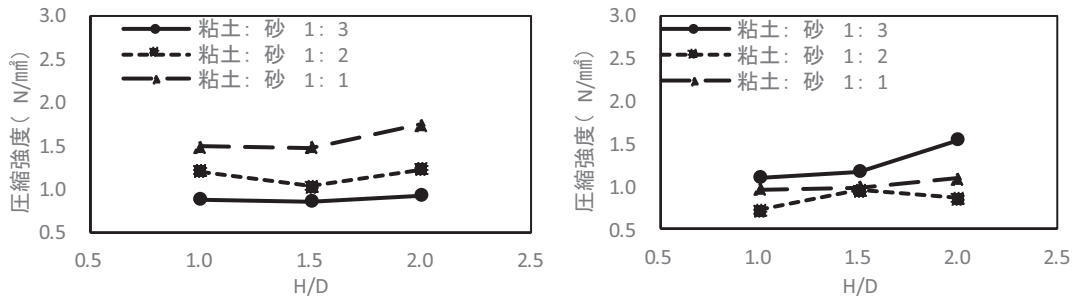
付図2 断面寸法と信頼区間 95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(円形断面・スサ 25mm)



(a)粘土：砂=1：1 (b)粘土：砂=1：2 (c)粘土：砂=1：3

付図3 断面寸法と信頼区間 95%での圧縮強度の母平均の範囲の関係(円形断面・スサ 50mm)

付図4のH/D比と圧縮強度の標本平均の関係でも、スサの長さ25mmでは試験体断面寸法の影響は少ないが、スサの長さ50mmではH/D=2.0の場合に平均強度が大きく異なるケースが生じた。



a) スサの長さ 25mm

b) スサの長さ 50mm

付図4 H/D比と圧縮強度の標本平均の関係

以上より、壁土の断面の大きさと圧縮強度の関係、高さ と直径の比と圧縮強度の関係、圧縮強度の大きさによる寸法効果の影響は、スサの長さの影響を受けると推測される。