粒度の異なる硅砂を用いたモルタルの 押出成形特性についての実験的検討[†]

守 明 子* 神 尾 典**

Experimental Investigation on Extrusion Characteristics of Mortars Prepared from Various Size Silica Sand Aggregates

by

Akiko MORI* and Tsukasa KAMIO**

Extrusion characteristics are intimately associated with the product properties of building materials. In this paper, both extruding pressure and extruding velocity were measured to investigate the extrusion characteristics of mortars. The mortars were prepared from fine silica sand aggregates of various sizes (6 kinds of silica sand and standard sand) and had different water contents.

The water content ratio which resulted in good surface appearance of moulding was little higher for the fine aggregates than for the coarse ones. The extruding pressure dropped abruptly with an increase of water content ratio. The extruding velocity increased with increasing water content ratio. The upward trend of extruding velocity declined at high water content ratio. The water content ratio had much more influence on extruding pressure and velocity than the grading of aggregates had.

In the cases of organic thermoplastics and clay like ceramics, the extruding pressure and velocity have been known to be prescribed by the extruder operating point determined by a cross point of screw characteristics and die characteristics. It seems to be possible to apply this operating point concept to the extrusion of mortar.

キー・ワード：モルタル，押出成形，成形圧力，成形速度，水量比

1 緒 言

近年，施工期間の短縮や安定した品質の材料供給のために，建造物のプレハブ化が進み，多くのサイディング材が工場で生産されるようになった。その製造方法には型枠流し込み成形法，加圧成形法，抄造法さらに押出成形法などがある。なかでも押出成形法は，断面形状の設計が任意であり，長尺な製品の成形に用いられ，生産性の高い成形法である。

押出成形法では，混練物は成形機のパレル内で圧縮され，さらにパレル先端につけたダイ（口金）を通してある形状まで絞り出す操作が加わるために，その混練物はダイを通して流動できるだけの性質を持たなければならない。つまり他の成形法と異なり，いかなる混練物においても成形が可能というわけではない。押出成形法にはピストン押出成形とスクリュウ押出成形がある。ピストン押出成形^{1)~3)}については，いくつかの実験データが発表されており，成形に要する圧力（成形圧力）と成形速度，パレルの直径，ダイ開口部の大きさ，ピストンとダイ開口部間の距離などとの関係について若干の解析がなされている。また，熱可塑性樹脂

のスクリュウ押出成形についても検討がなされている。⁴⁾⁵⁾しかしながら，スクリュウ押出成形による建材が市販されてきているにもかかわらず，モルタルのような非可塑性物質を用いた建材の押出成形については，著者らの知る限りでは実験データ，解析ともに皆無に近い。したがって実際の建材製造にあたっては経験に頼っているのが実情のようである。

建材製造に用いられるモルタルの性質には，モルタルを構成する骨材粒子の粒度や水の量が深く係わっていると考えられる。そこで本報では，骨材の粒度や水量比と押出成形性との関係を基礎的に調べるために，粒度の異なる骨材を用いたモルタルについて水量比を変えて押出成形を行った。成形時の圧力と速度とを測定し，骨材の粒度や水量比と成形圧力や成形速度との関係について実験的検討を試みた。

2 実 験

2・1 試料

粒度の異なる骨材として硅砂3～8号と豊浦標準砂を用いた。それらの粒度分布をFig.1に，物性をTable Iに示す。セメントは普通ポルトランドセメント

[†] 原稿受理 昭和62年3月5日 Received Mar. 5, 1987

* 正 会 員 九州工業技術試験所 鳥栖市宿町, Government Industrial Research Institute, Kyushu, Shu-machi, Tosu

** 九州工業技術試験所 鳥栖市宿町, Government Industrial Research Institute, Kyushu, Shuku-machi, Tosu

Table I. Properties of silica sand used in this study.

	Specific gravity	Water absorption %	Packed bulk density g/cm ³	Ratio of absolute volume	Specific surface area cm ² /cm ³	Angle of repose degree
Silica sand No.3	2.36	0.7	1.52	0.57	73	41
Silica sand No.4	2.60	0.7	1.45	0.56	107	41
Silica sand No.5	2.59	0.8	1.53	0.59	140	39
Silica sand No.6	2.59	1.2	1.49	0.58	211	40
Silica sand No.7	2.39	0.8	1.54	0.64	449	38
Silica sand No.8	2.43	1.1	1.64	0.67	479	45
Standard sand	2.61	0.6	1.56	0.60	392	37

Fig. 1. Grading curve of silica sand.

トを、増粘剤としてメチルセルロースを、また繊維質添加材としてクリソタイル系石棉 6D をそれぞれ用いた。

モルタルはセメントと細骨材（砂）とを同重量配合とし、セメントに対して重量で石綿 5%，メチルセルロース 1% を添加した。水量比はセメント、細骨材（砂）、水の合計重量に対する水の割合で示した。

2.2 押出成形工程

実験工程を Fig. 2 に示す。まず各試料をオムニミキサーで混合したのち土練機で混練した。混練された材料すなわちモルタルを Fig. 3 に示すようなダイ断面形状 12×60 mm、オーガー径 50 mm のスクリー型真空押出成形機にて成形した。モルタルは、まずバグミル（図中 1）に投入され輸送されながら（同 1）

Fig. 2. Experimental process.

Fig. 3. General model of an extruder operation on mortar.

次第に圧縮されていく（同 2）。つぎに減圧槽（同 2）でモルタルはチョップ化されつつ脱気され（同 2），バレル（同 3）へ送られる。ここでモルタルは圧着されながら（同 4）オーガー先端まで輸送され、均圧部（同 5）へと送られる。さらにダイから押し出され成形体得られる。

成形圧力はダイ後方に取り付けた圧力計の読み取りとし、成形速度はダイに沿ってスケールを設置することにより測定した。

3 結果および考察

3.1 押出成形可能なモルタルの水量比と骨材の粒度との関係

各骨材を用いた水量比の異なるモルタルを作製し押出成形を行った。押出成形可能な水量比の範囲を Table II に示す。表中×印は成形体に Fig. 4 に示すような犬歯状のクラックが発生したことを示し、△印は成形体表面が波うつ、つまり膨れの現象が成形体に観察されたことを示し、○印は表面状態の良好な成形体得られたことを示している。ここで押出成形可能な水量比とは、表面状態の良好な成形体得られる時のモルタルの水量比をいうこととし、表中大きな○印がそれである。同表からわかるように押出成形可能な

Table II. Extruding characteristics of mortar.

	Water content ratio (Water/Cement+Water+Sand)															
	0.12	0.13	...	0.15	...	...	...	...	0.20	...	...	...	...	0.25	...	0.28
Silica sand No.3	x~○	...	...	○	...	...	...	...	○	...	...	...	...	△		
Silica sand No.4	x~○	...	...	○	...	...	...	...	○	...	...	...	...	○~△		
Silica sand No.5	x~○	...	...	○	...	...	...	...	○	...	...	...	...	○~△		
Silica sand No.6	x	...	...	○	...	...	...	...	○	...	...	...	...	○	...	△
Silica sand No.7				x~○	...	...	...	...	○	...	...	...	...	○	...	○~△
Silica sand No.8				x~○	...	...	...	...	○	...	...	...	...	○	...	○~△
Standard sand	x~○	...	...	○	...	...	...	...	○	...	...	...	...	○	...	△

Surface appearance of moulding

x.....Dog's tooth

○.....Good

△.....Wave

Large symbol shows that almost mouldings were the same surface appearance and small showsthat few were the same.

Fig. 4. Moulding dog's tooth occurred.

範囲での最小水量比は 0.12~0.15 であり、最大水量比は 0.25~0.28 であった。最小、最大水量比ともに粒度の細かい骨材ほどわずかに高かったが、粒度による顕著な差は認められなかった。

骨材の表面を覆ったペーストの膜厚はモルタルあるいはコンクリートのワーカビリティを左右するとの報告があり、粒度の細かい骨材ほど Table I に示すように比表面積は大きくなる。同じモルタルあるいはコンクリートのワーカビリティを得るためには、骨材の表面を覆ったペーストの膜厚を同じにしなければなら

ないので、粒度の細かい骨材ほど最小、最大水量比ともに高くなることが予想される。しかし、Table I に示すように、粒度による骨材比表面積の差は約 7 倍であるのに対し、水量比の差は 0.03 と小さいことから、押出成形可能な水量比の粒度依存性が小さいということがわかる。

3・2 骨材粒度と成形圧力および成形速度

各種のモルタルを用いて押出成形を行った時の成形圧力および成形速度と水量比との関係を Fig. 5 と Fig. 6 に示す。

Fig. 5 に示すように、成形圧力は水量比の増加とともに急激に低下し、同一水量比における成形圧力は粒度の細かい骨材のモルタルほど高い。しかし、水量比の増加とそれにとりあう成形圧力の低下とともに、骨

Fig. 5. Influences of water content ratio of mortar and grading of silica sand on a moulding pressure.

Fig. 6. Influences of water content ratio of mortar and grading of silica sand on a moulding velocity.

材の粒度による差はほとんどみられなくなる。

また、Fig. 6 に示すように、成形速度とモルタルの水量比は正の関係にあり、水量比の増加とともに成形速度は上昇する。しかし成形速度の上昇率は、高水量比域になると鈍化の傾向がみられる。成形速度の場合、骨材粒度による明確な差は認められなかった。

押出成形可能な範囲での成形圧力は 44.0~1.3 kgf/cm²、成形速度は 13.5~37.0 cm/min であった。

ところで、従来、スクリー押出成形についての研究は少ないが、成形圧力と成形速度との関係については Parks らが粘土様のセラミックスを用いた実験を行い、重要な指摘をしている⁶⁾。それによれば、押出成形時の圧力と速度との間には一定の関係があり、それはスクリー特性とダイ特性によって規定される。ダイ特性についてはいくつかの研究データが発表されており、先の岡田の研究によれば、成形圧力と成形速度の関係は、Fig. 7 の鎖線で示すように成形圧力の増加とともに成形速度は上昇するが、水量比が増加するに従い X 軸との交点であらわされる押出停止圧力は急激に低下し、成形速度の圧力依存性はほとんどなくなると報告されている。つまり水量比が増加するに従い成形圧力と成形速度との関係は同図中(a)→(b)→(c)→(d)と移動する。またスクリー特性について考えると先の Carley や Parks らの報告およびスクリー出口の背圧が高くなると成形速度は減少することが考えられることから、成形圧力と成形速度との関係は同図中一点鎖線で示すような右下りの関係になることが想定され

Fig. 7. Relation between moulding pressure and velocity from literatures.

る。また水量比については、水量比が高くなるとモルタルはすべりやすい材料となるので、水量比が増加するに従い成形圧力と成形速度との関係は同図中(a)→(b)→(c)→(d)と上方へ移動することが予想される。実際の押出成形での操作条件は Carley や Parks らによればスクリー特性とダイ特性との交点で与えられるといわれているので、同図中鎖線と一点鎖線との

Fig. 8. Relation between moulding pressure and velocity.

各交点が操作条件となる。

そこで、本実験で用いた各種のモルタルに対して成形圧力と成形速度との関係をプロットすると Fig. 5 と Fig. 6 より Fig. 8 が得られる。図からわかるように、成形圧力と成形速度との関係は、おおむね水量比の種類によってゾーンが形成されており、また成形圧力が増加すると成形速度は小さくなっている。本実験ではスクリー特性ダイ特性それぞれについてのデータはなく、現時点における定量的な解析は不可能ではあるが、Fig. 7 と Fig. 8 との間には定性的な一致がみられる。

以上の結果より、モルタルの押出成形についても、熱可塑性樹脂や粘土様のセラミックスの押出成形と同様に、スクリー特性とダイ特性によって規定される操作条件の考え方が適用される可能のあることがうかがわれる。

なお全試料中、比較的粒度の細かい部類に属する標準砂に注目すると、成形圧力は Fig. 5 に示すようにほぼ中間に位置しているが、成形速度は Fig. 6 に示すように最も大きい。粒子間の摩擦はモルタルの水量比により大きく変化すると同時に粒子表面の角ばりの程度によっても変化する。一般に硅砂は硅石の粉砕物であるが、標準砂は天然硅砂をふるいわけしたものである。硅砂にくらべ粒子の角ばりの程度が低いと考えられる。また Table I に示すように安息角も小さい。これらのことから標準砂は他の試料にくらべて粒子間の摩擦が小さく、したがって成形速度が大きくなったと考えられる。

4. 結 語

骨材の粒度やモルタルの水量比と押出成形性との関係を基礎的に調べるために、粒度の異なる 6 種類の硅砂と標準砂を骨材としたモルタルについて水量比を変えて押出成形を行った。

成形時の圧力と速度を測定し、骨材の粒度や水量比と成形圧力と成形速度との関係について調べた結果、以下の知見が得られた。

(1) 押出成形可能な範囲でのモルタルの水量比は粒度の細かい骨材のほうがわずかに高いが、粒度による顕著な差は認められなかった。

(2) 水量比の増加とともに成形圧力は急激に低下し成形速度は上昇する。同一水量比では粒度が細かいほど成形圧力は高く成形速度は小さいが、粒度よりも水量比による差のほうが顕著である。

(3) モルタルの押出成形については、熱可塑性樹脂や粘土様セラミックスの押出成形と同様に、スクリュエ特性とダイ特性によって規定される操作条件の考え方が適用される可能性のあることがうかがわれる。

最後に、本実験を遂行するにあたり(株)朝日防火板工業所山本正嗣氏とトーヨーサッシ(株)大木隆喜氏に協力頂いた。また本稿をまとめるにあたり、当所大内

山紀男主任研究官と九州大学工学部松藤泰典助教授には有益な助言を頂いた。記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 森 芳郎, 神保元二, 岩本文男, 細矢正好, 杉本保次郎, 材料, **15**, 279 (1966).
- 2) 岡田 純, 工業化学雑誌, **63**, 2071 (1960).
- 3) 素木洋一, “セラミック製造プロセスⅡ”, p. 54 (1978) 技報堂.
- 4) J. F. Carley, R. S. Mallouk and J. M. Mckelvey, I. E. C., **45**, 974 (1953).
- 5) R. S. Mallouk and J. M. Mckelvey, I. E. C., **45**, 987 (1953).
- 6) J. R. Parks and M. J. Mill, J. A. C. S., **42**, 1 (1959).
- 7) C. T. Kennedy, J. A. C. I., **36**, 373 (1940).
- 8) 寺下敬次郎, 宮南 啓, 岡嶋雅資, 古林和夫, 粉体工学雑誌, **18**, 657 (1981).
- 9) 山口伯樹, “土質工学”, p. 52 (1969) 技報堂.

書 評

“Composites '86”

—Recent Advances in Japan and The United States—

Kozo Kawata, Sokichi Umekawa and Akira Kobayashi (編)

(1986年, Kokon Shoin 発行, 150×230 mm, 897ページ, 20,000円)

本書は、1986年6月に東京で開催された第3回日米複合材料会議の Proceedings である。発表論文は、基調講演2編と、一般講演107編で、会議の Session ごとに3～5編ずつがまとめて収録されている。

内容は、Fiber, Matrix の構造と力学的特性、GFRP, CFRP, CFRP/KFRP などの複合材料、セラミックス複合材料、金属マトリックス複合材料、などの力学的特性や強度、積層部や接合部の力学的特性、Fiber と Matrix の界面の力学的挙動、複合材料の製作方法、試験方法など、非常に幅の広い分野に及んでいる。さらに、複合材料の航空宇宙、自動車、車両、エネルギー機器、民需用機器、などへの応用と設計法も紹介されている。したがって、本書は、日米両国でかかえる複合材料の基礎研究、応用研究、設計、製造法、試験法、などの現状、問題点、将来動向などの最新の情報を得る上で貴重である。

本書は、2年に1回開催されている ICCM (International Conference on Composite Materials) の Proceedings と同様の編集方針がとられている。このため、最近の複合材料の研究動向や問題点をより一層幅広く知ることを希望される方々には、この本と本書を併読されることをお進めする。

(三菱電機(株)中央研究所 二川 曉美)