3D プリンティング技術に資するセメント硬化体の製造方法

岐阜大学　学生会員　○増田裕介
岐阜大学　正会員　國枝　稔

1. はじめに

近年 3D プリンティング技術を用いたコンクリート構造物の建設技術の開発が注目されており，実際に構造物が建てられている．V.N. Nerella ら [1]は，大規模な 3D プリント構造物を建設する技術「CONPrint3D」を考案し 3D プリントコンクリート建築の新しいシステムを開発した. 3D プリンティング技術を建設技術に用いることにより，従来作業員が行っていた多くの作業を省略することができ，短期間の建設，コンクリート構造物の建設費用，人件費や廃棄物の削減につながると予測される．

本研究では，新材料の開発を最終目標とし，その第一歩として，セメントに水を噴霧して作製する乾式によりセメント硬化体を作製し，従来の練混ぜ方法により作製したセメント硬化体に対して，圧縮強度ならびに水分蒸発率の比較を行った．

2. セメント硬化体の作製概要

2.1 作製手順

セメント硬化体(供試体)はふるいを使った手法(ふるい法)，練混ぜによる一般的なモルタル作製と同じ方法(練混ぜ法)の二種類により作製した．作製には高強度吹き付けコンクリート用急結剤，硅砂(7 号)を使用した．以下の**図-1** に 100×100×30 の供試体を作製するための作製手順を示す．

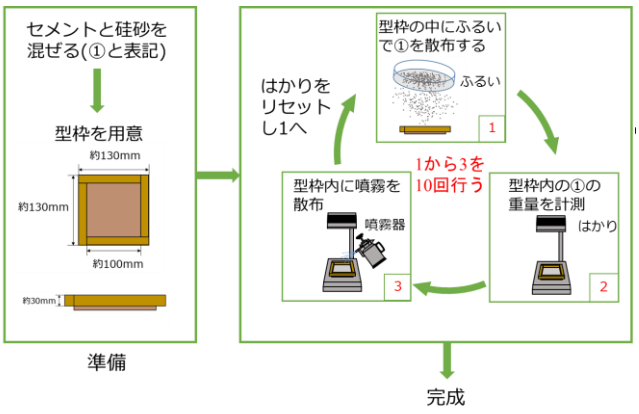

図-1　供試体の作製手順

2.2 供試体概要

表-1 に供試体のもととなる 8 つの供試体の配合を示す．水量およびセメント量を一定とし，硅砂の量を変化させた．供試体それぞれから各番号について，一辺 20~ 25mm の供試体を 6 つ作製した．

表-1　配合と水中養生期間

番号	比率			水中養生期間(日)	作製方法
	セメント	硅砂	水		
①	1.0	1.5	0.6	7	練混ぜ法
②		1.0		7	練混ぜ法
③		1.5		7	ふるい法
④		1.0		7	ふるい法
⑤		1.5		8	練混ぜ法
⑥		1.5		22	練混ぜ法
⑦		1.0		28	ふるい法
⑧		1.5		27	ふるい法

3. 試験方法

3.1 圧縮強度試験

圧縮試験はメカニカルジャッキを用い，容量 100kN のロードセルとひずみゲージ（ゲージ長 10mm）により，荷重とひずみを測定した．

3.2 水分蒸発率

作製した供試体は 1 日以上水に浸漬し，水分蒸発による質量の変化を計測し，それぞれの水分蒸発量を測定した. 質量の計測は 20 時間までは 2 時間ごとに計測を行い，その後測定開始から 32 時間，34 時間経過後の質量を計った．平均室温 24.1℃，平均湿度 21.0%の室内で保管，計測を行った．

4. 実験結果

4.1 圧縮強度およびヤング係数

図-2 及び**図-3** に各シリーズの圧縮強度を示す．練混ぜ法による供試体(①, ②, ⑤, ⑥)は，強度約 20N/mm^2, ふるい法による供試体(③, ④, ⑦, ⑧)は約 7N/mm^2 となった．

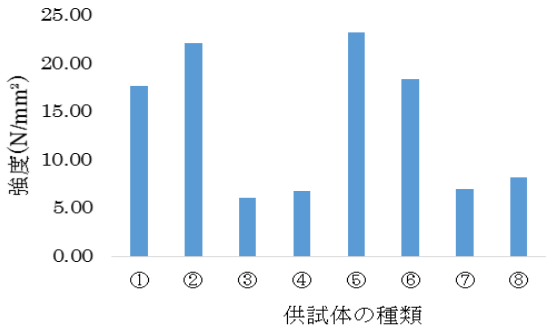

図-2　平均強度

キーワード：3D プリンティングコンクリート，乾式，圧縮強度，密度
連絡先：〒501-1193　岐阜県岐阜市柳戸 1 番 1　058-293-2472　岐阜大学工学部社会基盤工学科

ヤング係数は供試体によっては非常に大きな値となった．そのためそのようなデータは除外して平均値を算出した．ヤング率は練混ぜ法による供試体では約 20,000 N/mm², ふるい法による供試体では 5,000 N/mm² 程度となった．

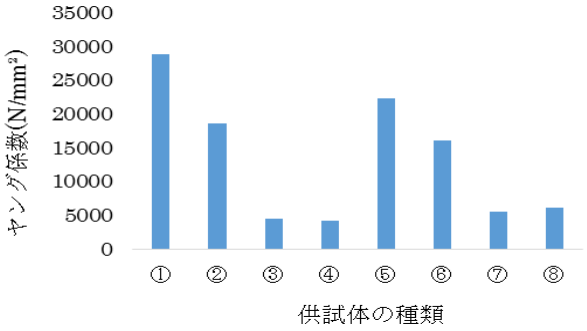

図-3　ヤング係数

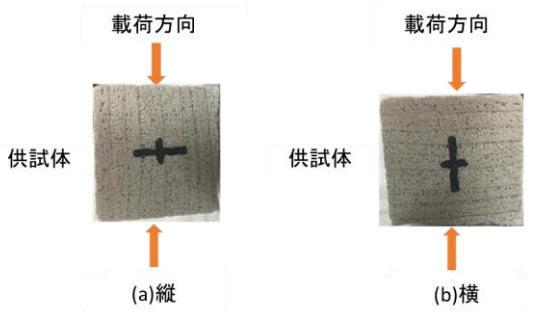

図-4　載荷方向

図-4 に示すように，ふるい法による供試体は作製工程の関係で断面が層状になっている．そのためふるいによる供試体においては，層の向きと載荷方向の組み合わせにより強度が変化するかを確認した．

図-5 及び図-6 に載荷方向ごとの強度，ヤング係数をそれぞれ示す．層が載荷方向に対して平行なものを縦載荷，垂直であるものを横載荷としている．

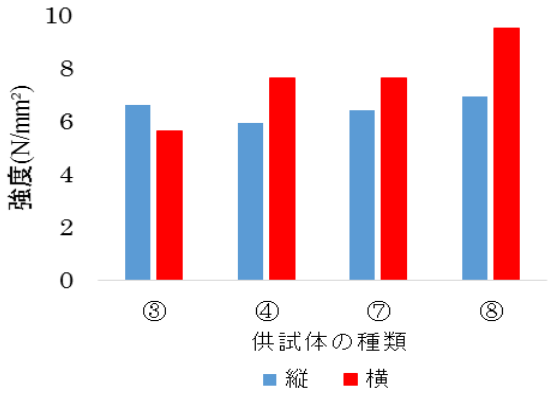

図-5　載荷方向と強度の関係

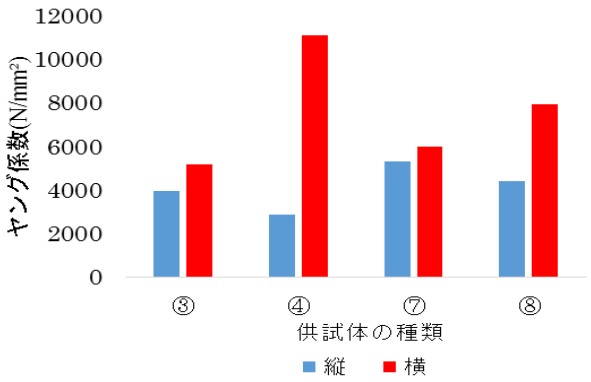

図-6　載荷方向とヤング係数の関係

強度に関しては③を除けばいずれも横載荷の値が大きいことが分かった．ヤング係数も横載荷が大きい値となった．

4.2　水分蒸発率

図-6 に 8 種類の供試体の平均強度ならびに平均水分蒸発率の関係を示す．水分蒸発率は，蒸発した水分量を飽水状態の供試体の質量で除したものである．これによれば，ふるい法による供試体は，練混ぜ法に比べ，水分蒸発率が大きく，内部の空隙が多いと推察される．このことはふるい法の強度が低いことと関連していることが分かる

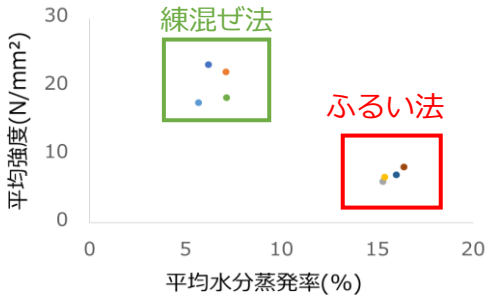

図-6　平均強度と平均水分蒸発率の関係

5. 結論

本研究では，乾式 3D プリンティングコンクリート技術の確立を目指し，ふるい法で作製したセメント硬化体の物理的特性を実験的に確認した．

圧縮強度に関しては，ふるい法による供試体は練混ぜ法による供試体に比べ強度が 1/3 から 1/4 となっていた．この原因としては，水分蒸発率からも明らかなように，内部の緻密性が影響しているものと推察される．また本研究の範囲内では，配合の影響は明確ではなかった．

参考文献

1) V.N. Nerella, M. Krause, M. Näther, V. Mechtcherine (2016):Studying printability of fresh concrete for formwork free Concrete on-site 3D Printing technology (CONPrint3D), Rheologische Messungen an Baustoffen 2016.