報告 超軽量骨材コンクリートの物理特性に関する実験的研究*

Technical Report

水田 実¹ 田中 孝典²

Experimental Study on Physical Characteristic of Super-Lightweight Aggregate Concrete

by Makoto MIZUTA^a and Takanori TANAKA^b

a. Aso Technology Design College, Fukuoka, 812-0016, Japan
(Corresponding author E-mail: mizuta@asojuku.ac.jp)

b. Department of Civil Engineering, Oita National College Technology, Oita, 870-0152, Japan

Abstract: In this study, we examined drying shrinkage and the water absorption characteristics of super-lightweight concrete having dry specific gravity of less than 1.0. The results show that the drying shrinkage characteristics including the change in length and weight reduction ratios became small for super-lightweight concrete having dry specific gravity of 0.95. Moreover, water absorption tends to increase remarkably in one minute for super-lightweight concrete having dry specific gravity of 0.95.

KEY WORDS: Super-Lightweight Aggregate, Concrete, Drying Shrinkage, Water Absorption Property

1. はじめに

近年、高強度化技術の発展に伴い、設計基準強度 60N/mm²を超えるコンクリートについての実用化が進み、現在では 150N/mm²級のコンクリートを用いた超高層建築物の施工が可能となってきた¹⁾。一方、建築物の巨大化・高層化に伴い、合理的な設計を可能とするコンクリートの軽量化が新たな課題として注目されるようになってきている。超軽量コンクリート構造物が実用化できれば、上部構造の軽量化、地震荷重の低減、建設機械の省力化、基礎の負担の低減および基礎の軽量化などにより建設コスト・エネルギー全体の低減に繋がり大きな効果が期待できる²⁾。さらに今後は、コンクリートの要求性能の多様化や設計・施工の合理化によるコスト縮減に加えて、国内の骨材事情の悪化、廃棄物の再資源化による環境負荷の低減、省資源や省エネルギーの観点から、より一層人工軽量骨材の要請は強まるものと期待される³⁾。

このような状況から、軽量骨材を用いた研究は従来から相当数の報告がなされ、数多くのデータが蓄積されているが、最近では高強度化、超軽量化に着目した研究^{4,5)}も盛んに行われるようになってきた。橋ら⁶⁾は、従来の人工軽量骨材に比べて強度が大きく、吸水率の小さい高性能軽量骨材を用いて、圧縮強度 100N/mm²程度の高強度軽量コンクリートを製造できることを明らかにしている。また、コンクリートの軽量化に関して、塩田ら⁵⁾は、絶乾比重 1.0 以下の人工軽量骨材を用いてフレッシュおよび硬化コンクリートの諸特性について明らかにしてい

る。しかし、絶乾比重 1.0 以下の超軽量骨材を対象とした人工軽量骨材コンクリートの乾燥収縮や吸水特性などの物理的特性に関する基礎データは極めて少なく⁷⁾、十分な検討はされていない状況にある。

そこで本研究では、絶乾比重 1.0 以下の人工軽量骨材を用いて作製した超軽量骨材コンクリートの硬化後の物理的特性について把握することを目的として、超軽量骨材の性質がコンクリートの乾燥収縮および吸水特性に及ぼす影響について検討したものである。

2. 実験概要

2・1 使用材料

Table 1 に本実験で使用した材料一覧を示す。セメントに普通ポルトランドセメント、混和材としてシリカフェームを使用し、化学混和剤にはポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用した。細骨材には、頁岩を原料とした絶乾比重 0.61 ~ 0.72 の粒径の異なる 3 種類の超軽量細骨材を使用した。また、超軽量細骨材との比較のために普通細骨材（安山岩系砕砂）と絶乾比重 1.65 の軽量細骨材を使用した。粗骨材には、頁岩を微粉砕し発泡剤を混入したうえで造粒し、高温焼成した絶乾比重 0.9 の超軽量粗骨材を使用した。また、超軽量粗骨材との比較のために普通粗骨材（安山岩系砕石）と絶乾比重 1.29 の軽量粗骨材を使用した。練混ぜ水には上水道水を使用した。

2・2 コンクリートの調合と練混ぜ方法

Table 2 にコンクリートの調合を示す。この調合は、絶乾比重が各々 0.95（超軽量コンクリート I：以下、SLC I と称する）、1.1（超軽量コンクリート II：以下、SLC II と称する）、1.2（超軽量コンクリート III：以下、SLC III と称する）、1.6（軽量コンクリート：以下、LC と称する）および 2.4（普通コンクリート：以下、PC と称する）となるように、単位水量、単位セメント量、

*2008 年 6 月 13 日受付 10 月 24 日受理

1. 普通会员 麻生工科大学デザイン専門学校

2. 大分工業高等専門学校 都市システム工学科 准教授

[著者連絡先] FAX: 092-415-2358(麻生工科大学デザイン専門学校・水田)

E-mail: mizuta@asojuku.ac.jp

キーワード: 超軽量骨材, コンクリート, 乾燥収縮, 吸水特性

Table 1 Materials.

Kind	Symbol	Physical properties/Component
Cement	C	Ordinary Portland cement: Specific gravity: 3.15, Specific surface area by blaine: 3410 cm ² /g
Silica fume	SF	Specific gravity: 2.35, Specific surface area by blaine: 14.1 m ² /g
Fine aggregate (Crushed sand)	S	Specific gravity: 2.54, Water absorption: 2.3%
Fine aggregate (Lightweight aggregate)	SLS-1	No. 1: Specific gravity: 0.72, Particle size: 0.3~1.2 mm
	SLS-2	No. 2: Specific gravity: 0.65, Particle size: 1.2~2.5 mm
	SLS-3	No. 3: Specific gravity: 0.61, Particle size: 2.5~5.0 mm
	LS	Specific gravity: 1.65
Coarse aggregate (Crushed stone)	G	Maximum size: 20 mm, Specific gravity: 2.60, Water absorption: 1.47%
Coarse aggregate (Lightweight aggregate)	SLG	Maximum size: 15 mm, Specific gravity: 0.9
	LG	Maximum size: 15 mm, Specific gravity: 1.29
High-range water reducing agent	SP	Polycarboxylate superplasticizer

水結合材比および細骨材率（骨材に対する細骨材の割合）を定めたものである。また、SLC I の単位粗骨材量は、ワーカビリティが保てる範囲内で最密充填性を考慮して、粒径の異なる SLS-1、SLS-2 および SLS-3 の 3 種類の超軽量細骨材を試し練りにより調合を決定した。なお、骨材の含水状態は表乾状態として使用した。

コンクリートの練混ぜ方法は、容量 100L の 1 軸強制練りミ

キサを使用した。細骨材（軽量細骨材を含む）および粗骨材（軽量粗骨材を含む）を 30 秒攪拌した後、シリカフェュームを投入し 30 秒、その後セメントを投入し、60 秒の空練りを行った。つぎに、水を投入して 5 分間の本練りを行い、最後に高性能 AE 減水剤を添加し 2 分間の練混ぜを行い、コンクリートを 40 × 40 × 160 mm の 3 連型枠に打設した。

Table 3 に、材齢 28 日における使用コンクリートの力学的性質について示す。

2・3 試験方法

(1) 乾燥収縮試験 乾燥収縮試験は、コンパレータ測定法を用いて JIS A 1129 に準拠して行い、絶乾比重が異なる 5 種類の試験体 40 × 40 × 160 mm を用いて、材齢 90 日間まで温度 20℃、湿度 60% の恒温恒湿室で測定を行った。

(2) 吸水試験 吸水試験は、絶乾比重が異なる 5 種類の試験体 40 × 40 × 160 mm を用いて、材齢 28 日まで水温 20℃ で水中養生後、電気ワッフル炉 (100℃) で 24 時間の環境下で絶乾状態にした試験体を使用した。絶乾状態となった試料の重量（絶乾重量）を測定してから、その後、1 分間、3 分間、5 分間、10 分間、15 分間、30 分間、60 分間、120 分間、180 分間、360 分間、720 分間、1440 分間および 2880 分間、水中に浸漬し、一定時間を経過した試験体を水中から取り出し、乾いた布で試験体表面の水分を拭き取り、その時の試料の重量（表乾重量）を測定した。コンクリートの吸水率は、(1) 式により算出した。

$$\text{吸収率}(\%) = \frac{\text{表乾重量} - \text{絶乾重量}}{\text{表乾重量}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

3. 実験結果と考察

3・1 乾燥収縮

Fig. 1 に乾燥材齢と質量減少率の関係を示す。また、Fig. 2 に材齢 90 日における質量減少率と長さ変化率の関係を示す。材齢経過に伴う長さ変化率と質量減少率は、PC の方が SLC および LC に比べて小さくなった。この理由としては、一般にコンクリートの乾燥収縮過程は、コンクリート表面からの水の蒸

Table 2 Mixture of concrete.

Kind	Specific gravity	W/(C+SF) (%)	Unit content (kg/m ³)											
			W	C	SF	S	SLS-1	SLS-2	SLS-3	LS	G	SLG	LG	SP
Super-lightweight concrete I	0.95	35	119	309	31	0	187.6	187.6	93.8	0	0	57	0	3.4
Super-lightweight concrete II	1.1	35	137	355	35	0	125.2	125.2	62.6	0	0	227	0	4.1
Super-lightweight concrete III	1.2	35	154	400	40	0	158.8	158.8	79.4	0	0	158	0	4.4
Lightweight concrete	1.6	35	154	400	40	0	0	0	0	371	0	0	569	4.4
Plain concrete	2.4	35	154	400	40	585	0	0	0	0	1147	0	0	4.4

Table 3 Mechanical property of concrete.

Kind	Specific gravity	Compressive strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Specific strength (MPa)	Maximum strain (μ)	Tensile strength (MPa)
SLC I	0.93	9.3	6.7	10.0	1288	0.7
SLC II	1.08	17.9	11.1	16.6	1997	0.8
SLC III	1.25	18.1	8.1	14.5	2227	1.4
LC	1.56	40.4	13.7	26.0	2985	2.2
PC	2.42	72.5	38.9	30.0	2392	4.2

Fig.1 Relation between dry age and weight reduction ratio.

Fig.2 Relation between weight reduction ratio and length change.

発と内部から表面への水の拡散移動を伴って進行する。特に内部拡散の難易性はコンクリートの細孔構造に大きく依存することが知られている。つまり、PCの方がSLCおよびLCよりも細孔容積が小さいことから、内部から乾燥表面近傍におけるコンクリート中の水分の拡散移動が行われにくかったことを示唆している。一方、SLC Iについては、SLCおよびLCの中で最も長さ変化率と質量減少率が小さくなった。この理由としては、一般にコンクリートの乾燥収縮は、単位セメント量や単位水量が多いほど、細骨材率が小さいほど乾燥収縮は大きくなることが知られているが、本実験の範囲内では、SLC Iにおける単位セメント量および単位水量が最も小さかったこと、細骨材率が最も大きかったことが主な要因として考えられる。また、SLC II, SLC III および LC の長さ変化率および質量減少率は、PC より極端に大きくなる傾向にあった。この理由として在永⁸⁾は、セメントペーストのヤング係数よりも大きなヤング係数を持つ骨材、例えば珪砂などを使えば、モルタルのヤング係数は大きくなり、逆に小さなヤング係数を持つ骨材、例えば炭カル発泡粒やスチレン発泡粒などの軽量骨材を使えば、モルタルのヤング係数は小さくなるとしている。つまり、軽量モルタルのヤング係数は、ヤング係数の小さい骨材を多量に混合させるほど小さくなり変形しやすいと説明している。したがって、超軽量骨材および軽量骨材のヤング係数が母材モルタルのヤング係数より小さかったことにより、骨材の収縮低減効果が抑制され、長さ変化率および質量減少率がPCより大きくなったと推察される。さらに、SLC IがSLCおよびLCの中で長さ変化率と質量減少率が最も小さくなったが、このことは上述している水分の拡散移動の影響を受けていることが考えられる。すなわち、絶

Fig.3 Relation between specific gravity and water absorption.

Fig.4 Relation between water absorption age and water absorption. (Short term)

Fig.5 Relation between water absorption age and water absorption. (Long term)

乾比重 0.95 程度の SLC I の乾燥収縮は、硬化過程の初期の段階で水分の拡散移動の影響を受けてコンクリート中の水分が蒸発していることが考えられ、単位セメント量、単位水量、細骨材率およびヤング係数の影響よりもむしろ水分の拡散移動の影響の方が卓越しているものと考えられる。

3・2 吸水特性

Fig. 3 に比重と吸水率の関係を示す。Fig. 3 は、絶乾比重別の1時間吸水、2時間吸水、24時間吸水および48時間吸水のデータについて示したものである。Fig.3より、絶乾比重と吸水率の関係は相関性が高く、絶乾比重が小さい程、吸水率は大きくなる傾向を示した。また、1時間吸水での絶乾比重 0.95 の SLC

I と絶乾比重 2.4 の PC を比較した場合、SLC I が 13.8% に対して PC が 2.45% とその差は極端に大きくなり、24 時間吸水および 48 時間吸水についても同様の傾向がうかがえる。さらに、SLC、LC および PC の吸水率は 24 時間程度でほぼ終局吸水率に到達し、それ以降は長期的に安定する傾向が認められた。

Fig. 4 に短期（吸水材齢 120 分）の吸水材齢と吸水率の関係を示し、Fig. 5 に長期（吸水材齢 2880 分）の吸水材齢と吸水率の関係を示す。これより、SLC、LC および PC は吸水初期の段階での吸水速度が速く、吸水材齢の経過に伴い吸水率は大きくなる傾向を示し、特に短期材齢の SLC I においては著しく大きくなることが認められた。吸水材齢 1 分での PC の吸水率は 0.6% となり、それに対して SLC I は吸水率 11.0% と PC と比べて 18.3 倍程度大きくなった。このことは、骨材内部に有する空隙の大きさが明確に現れていることを示唆するものである。

4. ま と め

本研究では、超軽量骨材を用いたコンクリートの物理的特性について検討を行った。以下に本実験の範囲内で得られた知見を示す。

絶乾比重 0.95 程度の超軽量コンクリートの乾燥収縮特性は、超軽量コンクリートの中で最も長さ変化率と質量減少率が小さ

くなった。これは、硬化過程の初期の段階で水分の拡散移動の影響を受けてコンクリート中の水分が蒸発していることによるものと推察される。また、絶乾比重 1.1 および絶乾比重 1.2 程度の超軽量コンクリートは、長さ変化率および質量減少率が普通コンクリートより極端に大きくなる傾向にあった。これは、超軽量骨材のヤング係数が母材モルタルのヤング係数より小さかったことが原因と考えられる。絶乾比重 0.95 程度の超軽量コンクリートの吸水率は、吸水材齢 1 分で著しく大きくなり、24 時間程度でほぼ終局吸水率に到達し、それ以降は長期的に安定する傾向にあった。

References

- 1) K.Mitsui, M.Kojima, Z.Takao and T.Sato: Cement Concrete, **723** (2007), 25-31.
- 2) T.Okamoto, H.Hayano and T.Shibata: Concrete Journal, **36** (1998), 48-52.
- 3) T.Sugiyama: Cement Concrete, **652** (2001), 8-14.
- 4) K.Kono, J.Niwa and T.Okamoto: Journal of Materials Concrete Structures and Pavements, **802** (2005), 123-136.
- 5) H.Shioda, H.Aoki and K.Onoyama: AIJ Journal of Technology and Design, **4** (1997), 8-13.
- 6) D.Tachibana, K.Kimura and K.Naitoh: Journal of Materials Concrete Structures and Pavements, **496** (1994), 89-98.
- 7) K.Kohno, T.Okamoto, T.Shibata and Y.Ishikawa: Proceedings of the Japan Concrete Institute, **20** (1998), 43-48.
- 8) S.Arinaga: Construction Materials forum, **243** (1996), 16-19.