

論文 人工軽量骨材を用いた高流動コンクリートのフレッシュ時の性状

小林孝一^{*1}

要旨:近年、新種の人工軽量骨材が開発された。この骨材の特徴として吸水率が従来の軽量骨材と比較して小さいことの他に、粒形が球状であることが挙げられる。本研究ではこの骨材を用いた高流動コンクリートの配合上の特徴、あるいはフレッシュ時の基本的な性状を調査、検討した結果、この骨材を用いた高流動コンクリートを用いた場合には、流動性、自己充てん性ともに良好であるが、粗骨材の分離、上昇が大きくなる傾向にあるため、配合設計時に注意が必要となる場合もあることが明らかとなった。

キーワード:人工軽量骨材、高流動コンクリート、スランプフロー、ボックス試験充てん高さ

1. はじめに

真珠岩を原材料とし、造粒、焼成した新種の人工軽量骨材が開発されている¹⁾。

従来の人工軽量骨材は、連続空隙を有するために吸水率が極めて大きく、練り上がったコンクリートのスランプの低下を防ぐため、あるいはポンプ圧送性を確保するためにプレウェッティング処理を施すことが一般的であった。しかし、硬化過程において骨材中の水がセメントマトリックス内に放出され、高強度を得ることが困難であるという一面もある。そのため、コンクリート構造物の死荷重を軽減できる等のメリットがあるにも関わらず、現在では人工軽量骨材を用いたコンクリートの製造量は非常に小さい。

一方、新たに開発された人工軽量骨材は、焼成時の発泡による空隙は有するものの、その表面は焼結によって緻密化されており、吸水率が非常に小さい。したがってミキサ投入前に特別な処理を施さなくても、一般の骨材と同様に取り扱うことが可能であるという特徴を有し、さらに上記の従来の人工軽量骨材が有する短所は解消されるものと期待される。

また、粒形が球状であることから、フレッシュ時においてコンクリートの流動中の粗骨材同士

の相互干渉、衝突に起因する狭窄部における骨材同士の噛合が減少するものと予想されるため、高流動コンクリート用材料として適しているものと考えられるが、今までのところこの種の人工軽量骨材に関する研究例は少ない²⁾³⁾。

そこで本研究では、この新人工軽量骨材を用いた高流動コンクリートの自己充てん性に各配合要因が与える影響について検討し、この骨材の高流動コンクリートへの適用性について明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

表1に本研究で用いた材料の一覧を示す。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント、密度: 3.16g/cm ³
フライアッシュ	比表面積: 3680cm ² /g、密度: 2.24g/cm ³
細骨材	密度: 2.63g/cm ³ 、吸水率: 1.63%、粗粒率: 2.94
粗骨材(普通骨材)	最大寸法15mm、密度: 2.60g/cm ³ 、粗粒率: 6.43、実積率: 63.9%
粗骨材(軽量骨材)	最大寸法15mm、密度(絶乾): 1.15g/cm ³ 、吸水率: 2.5%、粗粒率: 6.30、実積率: 67.0%
混和剤	ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤

*1 中部大学講師 工学部土木工学科 博(工) (正会員)

ここではセメントは普通ポルトランドセメントを用いたが、混和材としてフライアッシュを併用した。フライアッシュを用いたのは、一般的な高流動コンクリートの場合のように、セメントとの粒形の相違による、あるいはセメントと混和した場合に粉体全体としての粒度分布が調整されることによる流動性の向上も目的としているが、フライアッシュはその密度が小さいことから、軽量骨材とモルタルの密度差が小さくなり、粗骨材の分離が低減されると考えたためである²⁾。

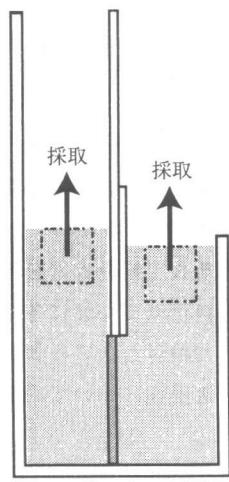


図1 ボックス試験器と試料採取場所

また一般の碎石を骨材として用いた高流動コンクリートも作製し、人工軽量骨材を用いた場合との比較を行った。

碎石は表乾状態にして用いたが、人工軽量骨材は絶乾状態で用いた。

練混ぜは、水および高性能AE減水剤以外の材料をミキサに投入し30秒間の空練りの後、水および高性能AE減水

剤を投入し、さらに90秒間練り混ぜた。その後5分間静置した後、さらに30秒間練り混ぜ、コンクリートをミキサから排出した。また練混ぜは室温下の実験室にて行なった。

高流動コンクリートのスランプフロー、スランプフロー500mm到達時間、ボックス試験充てん高さの測定を行った。ボックス試験ではR1障害（鉄筋間距離はすべて35mm）を用いて自己充てん性の判定を行なった。

また、ボックス試験が終了し、試料の流動が静止してから3分程度静置した後に、試験器の試料投入側、流出側のそれぞれ最上部からコンクリートを1.3リットルずつ採取し、それぞれに含まれる粗骨材の量を調べた（図1参照）。採取した試料から5mmふるいを用いたウエットスクリーニングにより粗骨材のみを取りだした後、粗骨材を表乾状態にしてその質量を測定した。

3. 結果および考察

3.1 配合の選定

まず、10バッチ程度の試し練りにより配合をおおよそ決定した後に、表2に示す範囲の配合のコンクリートを20配合程度練り混ぜた。

これら人工軽量骨材を用いた高流動コンクリートの配合において、スランプフロー、スランプフロー500mm到達時間、ボックス試験充てん高さに単位水量が与える影響について図2に示す。

通常の場合と同様に、単位水量の増加とともに、スランプフローは増大し、スラ

表2 配合の選定で検討した範囲

W/B (%)	s/a (%)	G _{vol.} (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)				B×(%)
			W	C	Fa	SP	
28.2	44.3	0.308	144	—	—	—	1.5
—	—	—	—	—	—	—	—
29.1	50.2	0.342	148.5	265	245	—	1.8

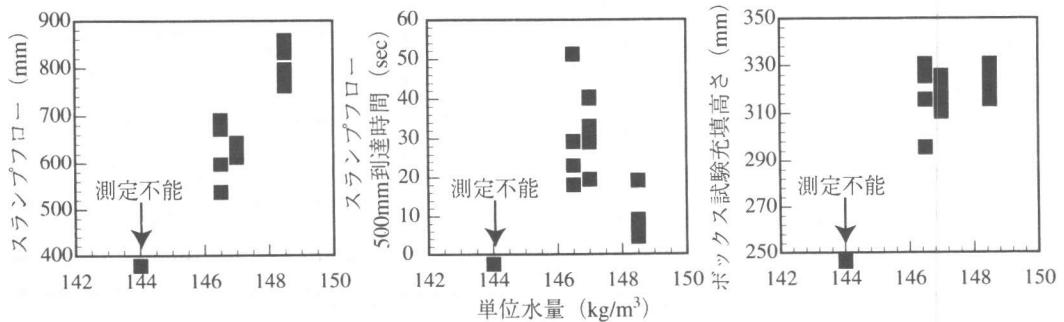


図2 単位水量がフレッシュコンクリートに与える影響

ンプフロー 500mm 到達時間は減少する。

また、ここでは単位水量が 144kg/m^3 の場合以外は、ボックス試験充てん高さはほとんど 300mm 以上となった。ボックス試験器の鉄筋間隔は、条件の厳しい R1 障害を用いているが、ここで検討した人工軽量骨材は最大寸法が 15mm と、一般的の場合と比較して若干小さい。したがって骨材の最大寸法に対する鉄筋間隔の比率が大きいため、その影響に関しては別途検討する必要があるものと考えられるが、少なくとも通常のボックス試験器を用いた場合には、ほとんどの配合が良好な充てん性を有すると判定される結果となった。

しかし、なかにはスランプフローが 800mm 以上となり、一般的に高流動コンクリートが良好な自己充てん性を有する目安として考えられているスランプフロー 600~700mm を大幅に逸脱しているものもあった。また、このような配合はスランプフロー試験時に、流動先端付近において目視により分離が認められた。

逆にスランプフローが 600mm 以下で、なおかつスランプフロー 500mm 到達時間が 40 秒以上と非常に大きな場合でも、ボックス試験充てん高さが 300mm 以上と、良好な自己充てん性を示す配合もあった。この場合には、通常の高流動コンクリートと比較して流動性が小さいにも関わらず、粗骨材の形状が球形に近いため、鉄筋間を透過する際

の粗骨材同士の噛合わせが減少し、優れた自己充てん性を有しているものと考えられる。

スランプフロー、スランプフロー 500mm 到達時間とボックス試験充てん高さとの関係を図 3 に示す。本研究で検討した範囲では、スランプフローが 550mm 以上の場合にはボックス試験充てん高さはおおむね 300mm 以上となった。

3.2 ボックス試験後の粗骨材濃度による評価

前項で述べたように、スランプフロー試験時に流動先端付近で分離が観察されたコンクリートの場合においても、ボックス試験充てん高さが 300mm 以上となる例が観察された。

ボックス試験器の構造を考えると、粗骨材とモルタルとの間に分離が生じ、両者の密度差により粗骨材が浮上した場合には、粗骨材濃度が低いコンクリートが鉄筋障害間を透過することになり、分離が生じた場合の方がボックス試験充てん高さが大きくなることになる。したがって、分離により粗骨材が沈降し、鉄筋間で閉塞が生じる普通粗骨材の場合と異なり、ボックス試験充てん高さのみからではコンクリートの分離を正確に判定できないと考えられる。

そこで、「2. 実験概要」で述べたような方法で、ボックス試験実施後に試験器の試料投入側および流出側の粗骨材量を測定し、粗骨材のコンクリート中に占める体積濃度を算出して評価を行った。

スランプフロー、あるいはスランプフロー 500mm 到達時間とボックス試験後の試料投入側、流出側における粗骨材体積濃度との関係を図 4 に示す。なお図中で直線で結ばれたデータは、同一のコンクリートにて得られたデータであることを示し、さらにここでの平均濃度は、配合表から算出した理論上の粗骨材体積濃度である。

またここでは図示していないが、本研究で検討した碎石を用いた高流動コンクリートでボックス試験充てん高さが 300mm 以上となる配合の場合には、理論上の平均濃度が 30.77% であるのに対し、試料投入側、流出側ともに粗骨材濃度は 25.7~29.5% と、平均濃度との差は人工軽量骨材を用いた場合と比較して小さくなつた。

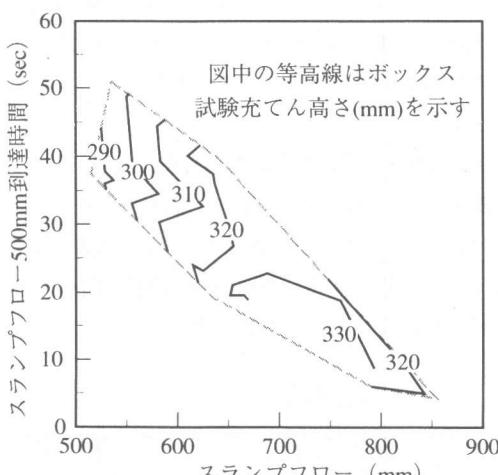


図3 ボックス試験充てん高さとスランプフロー、スランプフロー 500mm 到達時間の関係

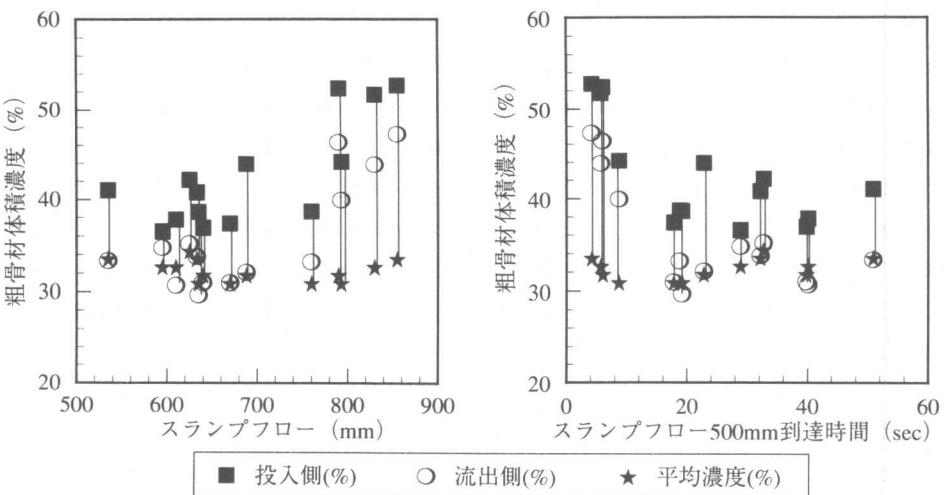


図4 フレッシュコンクリート中の粗骨材体積濃度

碎石を用いた通常の高流動コンクリートの場合にもスランプフローが700mm以上となると、一般に分離が生じ、自己充てん性が低下することが知られているが、人工軽量骨材の場合にもスランプフローが700mm以上の場合には、粗骨材濃度が非常に大きくなる傾向にあり、理論上の平均粗骨材体積濃度が30%台前半であるのに対し、特にボックス試験器の試料投入側では50%以上になる配合もあった。

ボックス試験器の流出側においては、スランプフローが700mm程度以下の場合には、粗骨材濃度はほぼ理論値に等しくなった。その場合にも、ボックス試験器の試料投入側における粗骨材体積濃度は、本研究で検討した最も小さなスランプフローの配合においても完全に理論値と一致させることは困難で、理論値よりも3~8%程度大きくなっているが、一応スランプフロー700mm程度以下を分離が小さくなる目安とすることができるものと考えられる。

また、モルタル部の密度が $2.2 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ であるのに対し、碎石の密度は 2.60 g/cm^3 、人工軽量骨材の密度は 1.15 g/cm^3 で、人工軽量骨材はモルタルとの密度差が非常に大きいため、分離が大きくなつたと考えられる。本研究の範囲では図3に示すようにスランプフローの増加と

スランプフロー速度の増加はほぼ一義的な関係にあるため、このどちらが粗骨材の分離に大きな影響を与えるかは明らかではないが、粗骨材の分離、上昇を小さくするためには、スランプフローによって表現される降伏値を増加させる、あるいはスランプフロー速度とよい関係にあるとされる塑性粘度を大きくする必要があるものと考えられる。

さらに今後はボックス試験器下部における粗骨材体積濃度を調査する必要があり、またレオロジー的な検討も行う必要があるものと考えられる。

以上、フレッシュコンクリートの試験結果から、良好な自己充てん性を有し、また比較的粗骨材の分離が少ない配合として、表3に示すものを基本配合とすることとした。

3.3 碎石を用いた場合との比較

表3に示した人工軽量骨材高流動コンクリートと単位セメント量、単位混和材量、単位混和剤量、および単位粗骨材体積が同一の、碎石を用いた高流動コンクリートを練り混ぜた。

表3 基本配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					B × (%)
		W	C	Fa	S	G	
28.8	50.0	147	265	245	811	354	1.6

人工軽量骨材を用いた場合と同一の単位水量とすると、碎石を用いた場合にはスランプフロー、流動速度が小さく、ボックス試験充てん高さも300mm以下となつたため、図5に示すように単位水量を増し、水の增量分は同体積の細骨材を減量して配合を調整した。

その結果、単位水量を $2\text{kg}/\text{m}^3$ 程度以上増量することによって、人工軽量骨材を用いた場合と同程度の物性が得られるようになった。また、ここでは人工軽量骨材は絶乾状態で用いているため、表乾状態で用いた場合には、単位水量の相違はさらに大きくなるものと考えられる。

川砂利を用いたコンクリートは碎石を用いたコンクリートよりも塑性粘度が低く、スランプフロー速度も小さくなることが報告されている⁴⁾⁵⁾。同様に川砂利の使用によってコンクリートの流動性が向上することも知られている⁶⁾。

本研究で用いた人工軽量骨材は形状が球に近いため、フレッシュコンクリート中での骨材同士の相互干渉と云った観点から考えれば、碎石よりも川砂利に近い挙動を示すものと考えられる。そのため、より少ない単位水量でもフレッシュコンクリートの性状が良好となったものと考えられる。

3.4 粗骨材量の影響

ここまで検討結果から、粗骨材の形状の違いが高流动コンクリートの流動性、自己充てん性に大きく影響を与えることが推察された。

そこで、粗骨材量がフレッシュコンクリートの性状に与える影響について検討することとした。ここで検討を行ったのは、表3に示した人工軽量骨材を用いた高流动コンクリートの基本配合をもとにし、細骨材量を減じて、粗骨材量を $354\text{kg}/\text{m}^3$ から $424\text{kg}/\text{m}^3$ まで増加させた配合である（表4）。

人工軽量骨材を用いた場合に単位粗骨材量がコンク

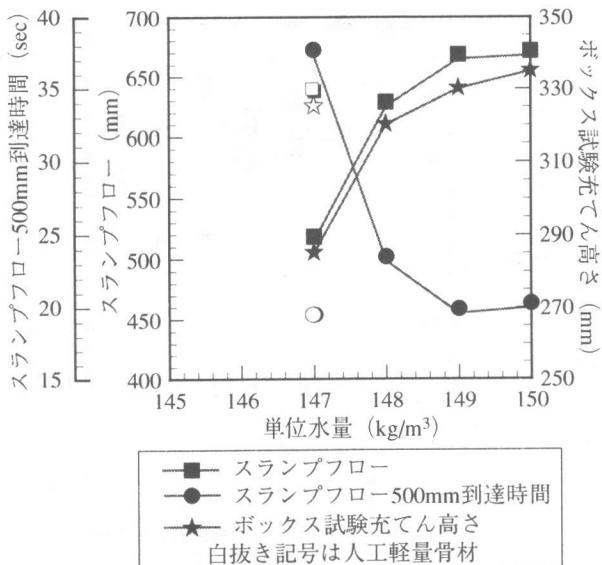


図5 人工軽量骨材と碎石をそれぞれ用いた高流动コンクリートの比較

リートのフレッシュ性状に与える影響について図6に示す。

単位粗骨材量の増加によって、スランプフロー500mm到達時間については20秒から40秒の範囲で大幅に変化したが、スランプフロー、ボックス試験充てん高さにはほとんど見られなかった。

高流动コンクリートが良好な自己充てん性を有するための粗骨材体積濃度の上限は、粗骨材の実積率の50%とされている⁴⁾。ここで検討した粗骨材体積濃度の最大値は36.9%であり、実積率67.0%の1/2を大きく上回っているにもかかわらず、良好な自己充てん性が得られている。これは、既に述べたように骨材の形状が球形に近いために、コンクリートの流动中における粗骨材同士の相互干渉が低減されているためであると考えられる。

また、粗骨材の相互干渉はモルタルの粘性を大きくすることによって低減されることも報告され

表4 単位粗骨材量の影響

W/B (%)	s/a (%)	Gvol. (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)					B×(%)
			W	C	Fa	S	G	
28.8	40.1	0.308	147	265	245	649	354	1.6
	50.0	0.369	147	265	245	811	424	

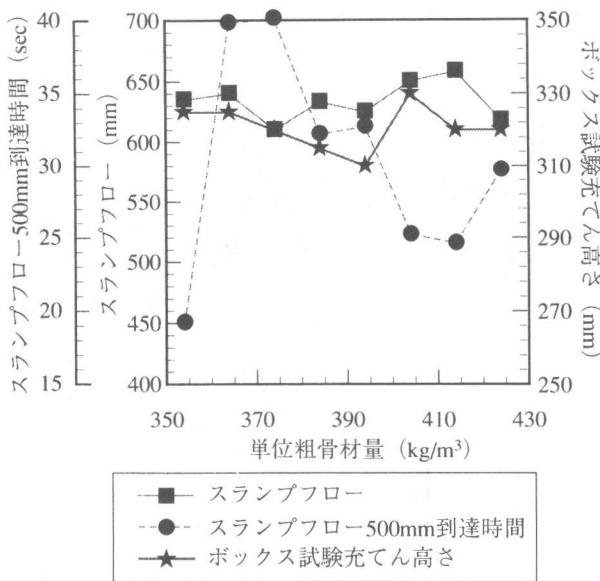


図6 粗骨材量がフレッシュ性状に与える影響

ている⁷⁾。ここでの検討には、粗骨材の分離、浮上を小さくするために、通常の高流動コンクリートと比較して粘性が大きな配合が用いられているため、鉄筋間の透過が容易になったものと考えられる。

さらに、ここではボックス試験時に条件のより厳しいR1障害を用いてはいるが、人工軽量骨材の最大寸法が15mmと、通常の場合よりも小さく、また細骨材量の減少によりモルタル性状も変化していると考えられるため、これらの影響も今後検討する必要があるものと考えられる。

4. 結論

本研究では、新たに開発された人工軽量骨材を用いた高流動コンクリートのフレッシュ性状に関して、基本的な検討を行った。

その結果、人工軽量骨材を用いた高流動コンクリートに関して、以下のような結果が得られた。
(1) 広い範囲のスランプフローに対して良好な自己充てん性を有する。

(2) ただしボックス試験の結果が良好であっても粗骨材の分離、浮上が生じている場合がある。
(3) 同一の単位水量で碎石を用いた配合と比較して、流動性は大きい。

(4) 単位粗骨材量が増加しても自己充てん性の低下に与える影響は小さい。

今後の課題としては、レオロジー的な検討、あるいはフロー速度が小さいことから、ポンプ圧送性などの施工性に関する検討を行う必要があるものと思われる、

謝辞 人工軽量骨材は太平洋セメント(株)、混和剤は(株)エヌエムピーからご提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 岡本享久ほか：高性能軽量コンクリート、コンクリート工学、Vol. 37, No. 4, pp. 12-18, 1999. 4
- 柳井修司ほか：高性能軽量コンクリートの自己充てん性付与に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 21, No. 2, pp. 337-342, 1999. 7
- 野上良浩ほか：軽量骨材を用いた高流動コンクリートの流動性評価試験、土木学会第54回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 294-295, 1999. 9
- 高野肇ほか：フローイングコンクリートに関する実験研究(その3 流動性の評価方法)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A, pp. 941-942, 1992. 8
- 塙見伊津夫ほか：高強度コンクリートの調合方法に関する実験(その2 フレッシュコンクリートの性質)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A, pp. 797-798, 1991. 9
- 北村昌彦ほか：球状化セメントを使用したコンクリートの基礎性状、第45回セメント技術大会講演集、pp. 172-177, 1991. 5
- 岡村甫ほか：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、1993. 9