

論文 高性能軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する一考察

坂田 昇*¹・柳井 修司*²・石川 雄康*³・榎木 隆*⁴

要旨：最近，従来の軽量骨材に比べて大幅に吸水率が小さい軽量骨材が開発され，軽量コンクリートのポンプ圧送性改善および凍結融解抵抗性の向上が期待されている。本論文では，この軽量骨材を用いたコンクリートのポンプ圧送性について，室内試験および施工性実験によって検討した。その結果，その軽量骨材を絶乾状態で使用した場合でも，圧力が作用しない状態ではコンクリート中の軽量骨材はほとんど吸水せず，コンクリートの流動性の経時変化に影響を及ぼさないこと，圧送前のコンクリートのスランプフローを 55cm 程度とすることによって十分にポンプ圧送が可能であることなどが分かった。

キーワード：軽量骨材コンクリート，高性能軽量骨材，ポンプ圧送性

1. はじめに

橋梁やトンネルなどの土木構造物は，長大化・大断面化の傾向にあり，死荷重の軽減や部材断面の縮小が要求されている。この対策の一つとして，軽量コンクリートの適用が考えられるが，従来の軽量骨材は吸水率が大きいいためその骨材を用いた軽量コンクリートは一般にポンプ圧送性に乏しい。また，ポンプ圧送性を改善するために軽量骨材をプレウェッチングした場合には，一般に凍結融解抵抗性が小さくなることが知られている¹⁾。このようなことから，土木工事への軽量コンクリートの適用は建築工事に比べて少ないのが実状である。

このような状況において，最近，従来の軽量骨材に比べて大幅に吸水率が小さい軽量骨材²⁾（以下，高性能軽量骨材と記す）が開発され，軽量コンクリートのポンプ圧送性改善および凍結融解抵抗性の向上が期待されている。軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する研究³⁾は，吸水率の大きい従来の軽量骨材を用い，その骨材をプレウェッチングしたコンクリートについて数多く行われているが，高性能軽量骨材を用いたコンクリート

については皆無である。そこで，本論文ではこの高性能軽量骨材を用いたコンクリートのポンプ圧送性について，室内試験および施工性実験によって検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリート配合

使用材料を表-1に，室内試験およびポンプ圧送性実験に供したコンクリート配合を表-2にそれぞれ示す。粗骨材には，絶乾比重 1.10，24 時間吸水率 2.9%の高性能軽量骨材を用い，高性能 AE 減水剤にはポリカルボン酸系のものを用いた。コンクリートは 1 種軽量骨材コンクリートとし，目標スランプ 21cm および目標スランプフロー 55cm の 2 種類とした。ここで，目標スランプフロー 55cm のコンクリートは，ポンプ圧送によってコンクリートの流動性が低下することを考慮して流動性を大きくしたコンクリートである。2 種類のコンクリートともに単位水量を極力少なくするために高性能 AE 減水剤を用いた。

2.2 室内試験

*1 鹿島技術研究所土木技術研究部材料・施工グループ主任研究員 工博（正会員）

*2 鹿島技術研究所土木技術研究部材料・施工グループ研究員 工修（正会員）

*3 太平洋セメント（株）研究本部清澄研究所グループリーダー 工修（正会員）

*4 太平洋セメント（株）研究本部清澄研究所グループリーダー（正会員）

表-1 使用材料

使用材料	記号	銘柄	摘要
セメント	C	普通ポルトランドセメント	比重3.15, 比表面積3,400cm ² /g
細骨材	S	粗砂:朝日村産山砂	表乾比重2.58, 吸水率1.71%
		細砂:中条町産山砂 混合比 粗砂:細砂=70:30	表乾比重2.57, 吸水率1.64% 粗粒率2.64
粗骨材	G	人工軽量粗骨材 (高性能軽量骨材)	絶乾比重1.10, 実積率66.4% 24時間吸水率2.90% 単位容積質量710kg/m ³
混和剤	SP	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系(遅延形)

表-2 コンクリートの配合

No.	目標スランプ (70-) (cm)	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量					SP (C×%)
					W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	G (kg)	
1	21±1.5	40.0	48.0	5.0	155	388	832	359	350	1.00
2	55±5.0	40.0	50.5	6.0	175	438	817	317	310	1.20

表-3 試験項目

試験項目	目標値	摘要
スランプ	21±1.5cm	JIS A 1101
スランプフロー	55±5cm	JSCCE-F503-1990
空気量	4~7%	JIS A 1128
単位容積質量	-	JIS A 1116
コンクリート温度	-	温度計により測定
軽量骨材含水率	-	-

表-4 ポンプの仕様

ストローク長	1650mm	
シリンダ数	2	
ホッパ容量	0.50m ³	
輸送シリンダ径	φ205mm	
	標準仕様	高圧仕様
吐出量	10~100m ³ /h	10~60m ³ /h
ピストン前面圧	4.90N/mm ²	8.05N/mm ²
水平輸送距離*	530m	820m
垂直輸送距離*	125m	220m

*:輸送管125Aの場合

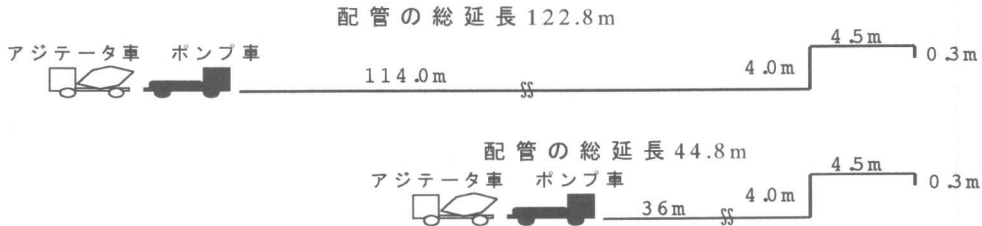


図-1 配管形状

練混ぜには強制パン型ミキサ(容量 60 ㍓, 回転数 60rpm)を用いて, 全材料投入後 120 秒間練り混ぜた。練混ぜ量は 1 バッチ 30 ㍓とし, 2 バッチを練混ぜて試験に供した。なお, 高性能軽量骨材は, 絶乾状態のものを用いた。

試験では表-2 に示す No.1 配合および No.2 配合のコンクリートを傾動式ミキサ(回転数 2rpm)に投入してフレッシュ性状の経時変化を確認するとともに, 練上がり 120 分後のコンクリートについては, 非排水加压試験を行なって, 加压後のコンクリートのスランプおよび軽量骨材の含水率を測定した。非排水加压試験は, 粗骨材最大寸法 40mm コンクリート用の加压ブリーディング試験装置(φ200m×h250mm)を用いて, 非排水状態として加圧力 3.5N/mm², 繰返し回数 10 回(加压に要する時間:20分)とした。また, ポンプ圧送によるコンクリートの流動性低下の主な原因としては, コンクリート中の水が軽量骨材

に吸水されて減少することであると考えられたことから, 単位水量だけを減少させた配合のコンクリートについてスランプおよびスランプフローを測定した。これは練混ぜ時に水量を変化させるものであり, 練混ぜ後に軽量骨材の吸水によるものとは機構が異なるが, 水量の変化がコンクリートの流動性に及ぼす影響を把握するために実施したものである。No.1 配合については, 単位水量 155kg/m³(標準配合), 152.5kg/m³, 150kg/m³ および 145kg/m³ の 4 ケースについて試験を行った。また, No.2 配合については, 単位水量 175kg/m³(標準配合), 170kg/m³, 165kg/m³, 160kg/m³ および 155kg/m³ の 5 ケースについて試験を行った。

2.3 ポンプ圧送性実験

コンクリートの練混ぜは, 生コン工場バッチャープラントの二軸型強制練りミキサ(容量 2.5m³, 回転数 60rpm)を用いて, 全材料投入後 60 秒間

練り混ぜた。なお、高性能軽量骨材は絶乾状態のものを用いた。各ケースともに1バッチの練混ぜ量は 1.5m^3 とし、3バッチ 4.5m^3 を練混ぜ、練上がったコンクリートをアジテータ車(10t車)に投入した。そして、そのコンクリートについて表-3に示すフレッシュ性状試験を行い、所定の性状を満足していることを確認後、実験現場まで約120分間運搬した。

アジテータ車が実験現場に到着後、直ちにポンプ圧送性実験を行った。ポンプ圧送性実験はNo.2配合から行い、続いてNo.1配合について行った。使用したポンプは表-4に示す油圧駆動のピストン式とした。輸送管は125Aとした。配管は、図-1に示す総延長122.8mおよび44.8mの2ケースとした。試験は、圧送前および圧送後のコンクリートについて、適宜表-3に示す試験を行った。ここで、軽量骨材の含水率は採取したコンクリートを5mmふるいの上で洗い、残った粗骨材を絶乾状態とすることで測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 室内試験

No.1配合およびNo.2配合のコンクリートのスランプあるいはスランプフローの経時変化を図-2に示す。図に示すようにそれぞれ目標とする流動性を120分間保持することを確認した。練上がり120分後に、非排水加压試験を行った結果、図-3に示すように、No.1配合では同じ時間の加压を行わないコンクリートのスランプが15.5cmであったのに対し、加压を行ったもののスランプは0cmであった。また、No.2配合では加压を行わないコンクリートのスランプが24.5cm(スランプフロー48cm)であったのに対し、加压を行ったもののスランプは18cmであった。軽量骨材の加压前の含水率はNo.1配合で1.05%、No.2配合で1.19%であったのに対し、加压後の含水率はNo.1配合で4.74%、No.2配合で4.70%とともに3.5%程度増加している結果となった。本試験では軽量骨材を絶乾状態で使用したが、練上がり後のコンクリートの流動性の変化

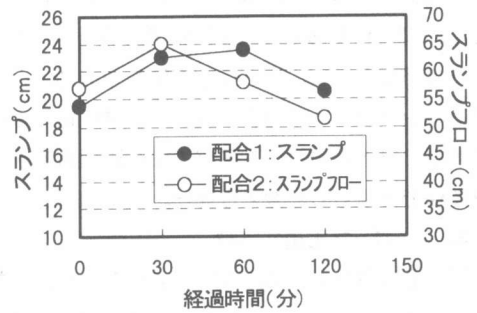


図-2 スランプ(フロー)の経時変化

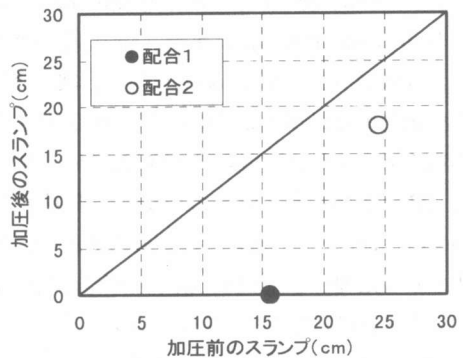


図-3 加压前後のスランプの比較

は2ケース共に僅かであり、また練上がり120分後の骨材の含水率が1%程度であることから、圧力が作用しない状態では、コンクリート中の軽量骨材はほとんど吸水しないものと考えられる。しかしながら、コンクリートに圧力を加えることにより、より大きな水圧が作用すると軽量骨材が圧力吸水するものと考えられる。この吸水によって図-3に示すようにコンクリートの流動性が低下したものと考えられる。

そこで、単位水量だけ異なるコンクリートの流動性の変化について検討した。図-4および図-5に単位水量とスランプあるいはスランプフローの関係を示す。図に示すように、No.1配合では水量が10kg(含水率に換算した場合2.8%に相当)減少することによってスランプが20cmから5cmに低下した。これに対し、No.2配合では同様に流動性が低下するものの、水量20kg(含水

率に換算した場合 6.3%に相当) 減少してもスランプが 22cm であり,十分に施工可能なコンクリートであった。このように初期に高い流動性を有するコンクリートの場合には,ポンプ圧送後の軽量骨材の吸水が生じても所定の流動性(施工性)を確保できるものと考えられた。

3.2 ポンプ圧送性実験

図-6にポンプ圧送性実験におけるスランプあるいはスランプフローの経時変化を示す。図に示すように, No.2 配合のスランプフローは練上がり直後 53.5cm に対し,練上がり 118 分後の現場到着時 57.8cm,練上がり 139 分後の圧送性実験終了時 57.3cm であった。また, No.1 配合のスランプは練上がり直後 21.5cm に対し,練上がり 127 分後の現場到着時 21.5cm,練上がり 168 分後の第 1 回目の圧送性実験終了時 20.5cm,練上がり 221 分後の第 2 回目の圧送性実験終了時 18.5cm であった。このように流動性の経時変化が小さかった理由としては,凝結遅延型の高性能 AE 減水剤を用いたことに加え,コンクリート温度が 10°C前後(外気温も 10°C前後)と低かったことが考えられる。また,室内試験結果同様に,練上がり後のコンクリートはアジテータ車で運搬,攪拌時には軽量骨材への吸水がほとんどなかったものと考えられる。なお,空気量は 7%程度でほぼ一定であった。

図-7にピストン前面圧の経時変化を示す。スランプフロー 55cm の No.2 配合では,圧送後ピストン前面圧が漸増し,その後 3N/mm² で一定となり,4.5m³ のコンクリートを閉塞することなく配管距離 122.8m を順調に圧送した。続いて,スランプ 21cm の No.1 配合を圧送したが,圧送開始後 7分 でピストン前面圧が 7N/mm² 以上となり,閉塞状態となった。そこで配管を切断し,コンクリートの状態を観察したところ,コンクリートはピストン近傍で最も硬くなっており,ピストンから離れるにしたがって流動性が大きくなっていることが観察された。そこで,配管距離を 44.8m と短くして,再度 No.1 配合について圧送性実験を行った。この場合においても圧送開始か

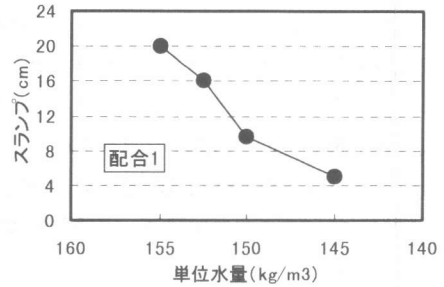


図-4 単位水量とスランプの関係(配合1)

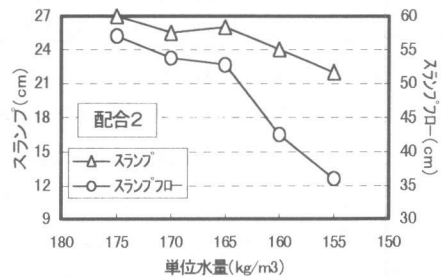


図-5 単位水量とスランプ(フロー)の関係(配合2)

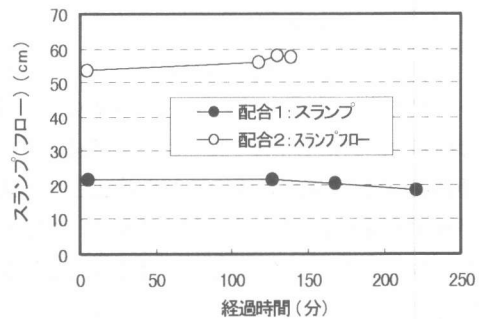


図-6 スランプ(フロー)の経時変化

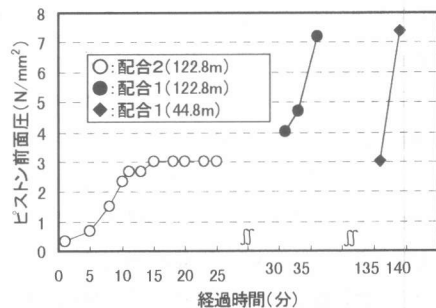


図-7 ピストン前面圧の経時変化

ら約3分でピストン前面圧が 7N/mm^2 以上となり、閉塞状態となった。

図-8に No.2 配合の圧送前と圧送後のスランブフローの関係を示す。No.1 配合は閉塞したため配管距離 122.8m でのデータがなく、配管距離 44.8m では閉塞直前に採取したもので圧送前 18.5cm に対し、圧送後 14.0cm であった。図-8から No.2 配合のスランブフローは、圧送前に 57.3~57.8cm のものが圧送後 43.3~46.7cm と、10cm 程度低下しているものの、ポンプ圧送後のコンクリートはスランブ 22cm 程度であり、十分に施工可能なコンクリートであった。従来の人工軽量骨材(吸水率 27.0%程度)を用い、その骨材をプレウェッチングしたコンクリートのポンプ圧送性実験の結果では、圧送前のスランブフロー 46.8cm に対し、圧送後は 38.4cm に低下している⁴⁾。これらのことから、圧送前のスランブフローを 55cm 程度とすることによって、高性能軽量骨材を用いた場合には、その骨材が絶乾状態でも十分にポンプ圧送が可能であると考えられる。

図-9に No.2 配合の圧送前後の軽量骨材の含水率を示す。圧送前の含水率は約 2%でほぼ一定であったのに対し、圧送後の含水率は圧送時間が長くなるほど大きくなる傾向を示した。図-10にピストン前面圧と圧送後の軽量骨材の含水率の関係を示す。図において、No.1 配合のピストン前面圧 7.22N/mm^2 の含水率はピストン近傍で採取したコンクリートの軽量骨材についてのものである。図に示すように、ピストン前面圧と圧送後の軽量骨材の含水率は比例関係にあり、ピストン前面圧が大きくなるほど軽量骨材の含水率が大きくなるのが分かった。

図-11に閉塞状態となった No.1 配合のポンプからの距離と軽量骨材の含水率の関係を示す。図に示すようにピストン近傍で含水率が 7%以上となり、ポンプから 75m 離れたところでは、含水率は 4.58%であった。コンクリートの流動性は、目視ではあるがピストン近傍では硬化したコンクリートのように硬く、ポンプから離れるにしたがって流動性が大きくなる傾向にあった。以上のこ

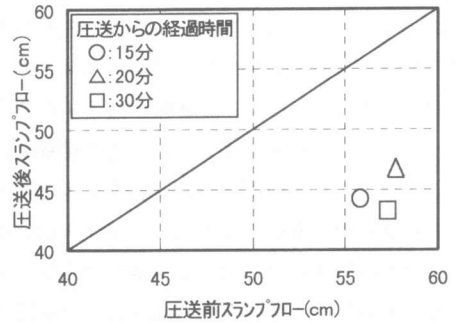


図-8 圧送前後のスランブフローの関係

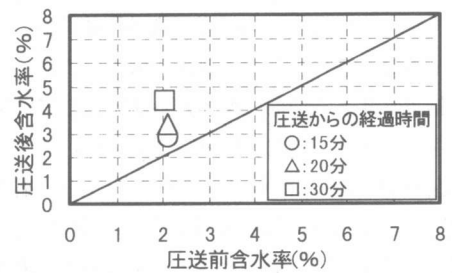


図-9 圧送前後の骨材含水率の関係

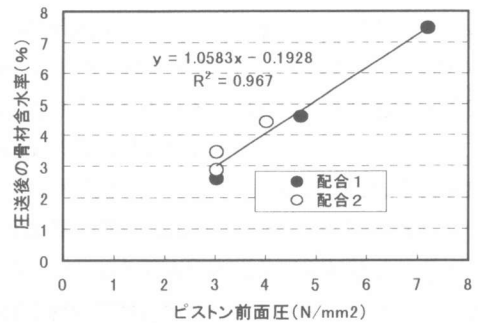


図-10 ピストン前面圧と圧送後の骨材含水率の関係

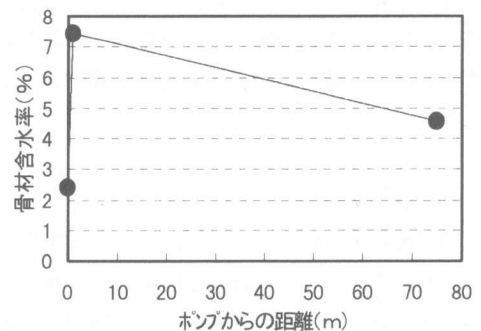


図-11 ポンプからの距離と骨材含水率の関係

とから、今回実験を行った高性能軽量コンクリートのポンプ圧送による閉塞は、ポンプ圧が最も大きくなるピストン近傍で軽量骨材への吸水が大きくなりコンクリートの流動性が低下することによって起こるものと考えられる。その機構は、コンクリートのスランブが21cm程度のもの場合、軽量骨材への吸水によってスランブが大幅に低下し、その結果さらにピストン前面圧が増加、それによって骨材への吸水が促されるという悪循環となって、最終的に閉塞状態になるものと考えられる。これに対し、コンクリートのスランブフローが55cm程度のもの場合、幾分軽量骨材に吸水してもコンクリートの流動性の低下は小さく、その結果ピストン前面圧も上がらず安定してポンプ圧送が可能になったものと考えられる。

図-12 に圧送前後のコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。図に示すように、No.1 配合では圧送前後の圧縮強度は若干圧送後の方が大きいものの、ほぼ同じであると判断された。これはNo.1 配合では圧送開始後数分で閉塞したため、採取した筒先におけるコンクリートの粗骨材の吸水率は2.59%であり圧送後の粗骨材の吸水率の増加が小さかったことによるものと考えられる。これに対し、No.2 配合では明らかに圧送後の強度の方が大きくなった。従来の人工軽量骨材を用いた既往の研究⁴⁾では、圧送前後の圧縮強度を比較すると若干圧送前の方が大きくなっている。しかし、今回の実験では、高性能軽量骨材を絶乾状態で使用しているため、圧送によってモルタル中の水分が骨材に吸水され、その結果モルタルの強度が増大することによるものと考えられる。実際に、No.2 配合において圧送後の粗骨材の吸水率は4.58%であり、圧送前に比べて2%以上増加した。

4. まとめ

高性能軽量骨材を用いたコンクリートのポンプ圧送性について、室内試験で選定した配合のコンクリートを用いて施工性実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

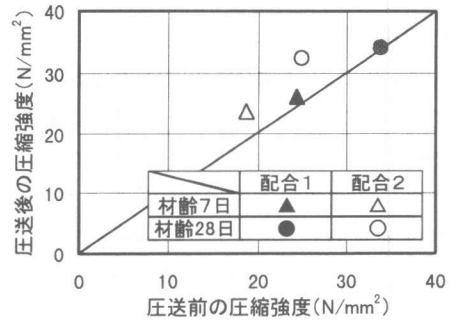


図-12 圧送前後の圧縮強度の関係

- (1) 高性能軽量骨材を絶乾状態で使用した場合でも、圧力が作用しない状態ではコンクリート中の軽量骨材はほとんど吸水せず、コンクリートの流動性の経時変化に影響を及ぼさない。
- (2) 圧送前のコンクリートのスランブフローを55cm程度とすることによって、高性能軽量骨材を用いた場合には、その骨材が絶乾状態であっても十分にポンプ圧送が可能である。
- (3) 高性能軽量骨材を絶乾状態で使用した場合、ポンプ圧送後のコンクリートの圧縮強度は、圧送前よりも大きくなる。

参考文献

- 1) 橘大介, 大野義郎, 黒木一実, 岡田武二: 高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性に関する研究, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, pp237~240, 1984
- 2) 岡本享久, 早野博幸, 柴田辰正: 超軽量コンクリート, コンクリート工学, Vol.36, No.1, pp48~52, 1998.1
- 3) 例えば, 和美広喜, 柿崎正義, 袖原治美: 人工軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する実験研究, 第1回コンクリート工学年次講演会論文集, pp237~240, 1979
- 4) 和美広喜, 田村直久, 小森浩之, 笠井浩: 高強度軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する実験研究, コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.10-2, pp225~230, 1988