

4. 石灰石粉および砕石粉を用いた 高流動コンクリートの基礎的性質

立松 和彦
山崎 順二

要 旨

本報告は、粉体として石灰石粉および砕石粉を用いた高流動コンクリートの基礎的性質について述べたものである。普通ポルトランドセメントと高ビーライト系セメントの2種を用いて、圧縮強度、長さ変化率、凍結融解抵抗性などについて評価した。実験の結果、これらの高流動コンクリートは、一般コンクリートと比較して同等もしくはそれ以上の性能を有することを確認した。

キーワード

高流動コンクリート／石灰石粉／砕石粉／凍結融解抵抗性／気泡間隔係数
／高ビーライト系セメント

目 次

1. はじめに
2. 実験概要
3. 実験結果
4. ま と め

4. CHARACTERISTICS OF HIGH-FLUIDITY CONCRETE MIXED WITH LIMESTONE POWDER OR CRUSHED STONE FINES

Kazuhiko Tatematsu
Junji Yamasaki

Abstract

This paper deals with the fundamental properties of high-fluidity concrete mixed with the limestone powder or the crushed stone fines. The two kinds of cements, ordinary portland cement and belite rich cement were used to make specimens. The experimental results were following. In case of using ordinary portland cement, there were no problems on a performance of the high-fluidity concrete though the limestone powder or the crushed stone fines was mixed with this concrete, and the high-fluidity concrete mixing these powders has the same or better performance that it have performance to ordinary concrete. And now, the drying shrinkage of concrete was improved to use belite rich cement comparison with one of each concrete using ordinary portland cement, but resistance of freezing and thawing was decreased. It was thought that the reason for decrease to using belite rich cement was that it was influenced by a period of curing time before freezing and thawing test and spacing factor at all.

1. はじめに

高流動コンクリートを使用することにより、締め固め作業がほとんど不必要となり、型枠の隅々までコンクリートを充填できるため、打設作業の省力化と構造物の耐久性確保が可能となる。高流動コンクリートは、混和材に石灰石粉や高炉スラグ微粉末などの粉体を大量に混入する粉体系と、増粘剤を少量添加する増粘剤系の2種類に大別できるが、今回は、粉体系の高流動コンクリートを対象として、石灰石粉および砕石粉を用いた高流動コンクリートの基礎的性質の把握を目的として実験を行った。

本報告は、これらの粉体系高流動コンクリートの強度発現性、乾燥収縮性状、凍結融解抵抗性および気泡組織について述べたものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画

筆者らは、砕石および砕砂の製造の際に副産物として発生する砕石粉を用いた砕石粉使用高流動コンクリートに関する研究^{1)~3)}を、研究会を組織して行ってきた。しかしこれら一連の研究の中では、他の粉体を用いた高流動コンクリートとの性状比較や、セメントの種類の違いによる性状比較などについて、十分な検討がなされていなかった。そこで今回は、砕石粉使用高流動コンクリートを軸として、いずれも無機質で水硬性をもたない石灰石粉と砕石粉を混和材として用い、また、普通ポルトランドセメントと比較するため、高流動コンクリート、高強度コンクリート、マスコンクリートなどのセメントに最近よく使用されている、水和熱に起因するひびわれの低減などの性能を有した高ビーライト系セメントを用いて実験を行った。

2.2 使用材料および調合

表-1に本実験で使用した材料とその物性を示す。本実験では、セメントとして普通ポルトランドセメント（以下「OPC」とする）と高ビーライト系セメント（以下「LHC」とする）を用い、それぞれに粉体として石灰石粉(KL)と砕石粉(DR)を混入して高流動コンクリートを作製した。また比較コンクリートとして、OPCおよびLHCを使用した一般のコンクリート(OPC単味・LHC単味)をそれぞれ作製した。

これらの計6種類のコンクリートの調合概要を表-2に示す。今回の調合は、既往の研究結果⁴⁾および筆

表-1 実験に使用した材料

セメント	普通ポルトランドセメント(比重3.16:OPC) 比表面積: 3240 (cm ² /g) 高ビーライト系セメント(比重3.23:LHC) 比表面積: 4040 (cm ² /g)
粉 体	石灰石粉(比重2.73:KL) 比表面積: 5350 (cm ² /g) 砕石粉(乾燥微粉、比重2.71:DR) 比表面積: 2210 (cm ² /g)
細骨材	城陽産山砂(比重2.56、F.M.2.80) 高槻産砕砂(比重2.66、F.M.2.85)
粗骨材	高槻産砕石(比重2.68、実績率58.0%)
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤(SP-8S) AE助剤(775S)

表-2 コンクリートの調合とフレッシュ試験結果

調合名	水粉体比 (C+F) %	セメント C (kg/m ³)	粉体 F (kg/m ³)	AE剤 P×% ¹⁾	スラングフロー (cm×cm)	空気量 (%)
OPC-KL	35.0	340	146	1.50	63×62	4.5
OPC-DR	35.0	340	146	2.70	68×66	4.5
OPC単味	50.0	350	—	1.10	17.5 ²⁾	4.3
LHC-KL	35.0	340	146	1.80	62×61	3.4
LHC-DR	35.0	340	146	2.80	64×65	4.0
LHC単味	50.0	350	—	1.10	14.5 ²⁾	3.6

1) SP-8S, 総粉体積(C+F)=P

2) スラング

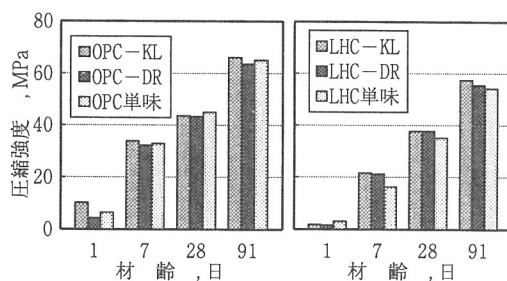


図-1 OPCおよびLHCの圧縮強度試験結果

者らが行った予備実験に基づき、水セメント比50%を基本としたものである。粉体を混入するものについては、水粉体比(水/(セメント+粉体))が35%となるように調合した。細骨材の混合比率は、山砂:砕砂=7:3とし、粗骨材かさ容積は、高流動コンクリートについては高い流動性を得るために通常の調合よりも小さく0.54m³/m³とし、比較コンクリートについては0.61m³/m³とした。高性能AE減水剤の添加量は、ス

ランプフローの目標値を 60 ± 5 cm、空気量を 4.5 ± 1.5 %とし、既往の研究⁴⁾に基づき試験練りを行い決定した。

3. 実験結果

3.1 フレッシュコンクリートの試験結果

OPCおよびLHCに砕石粉を混入した場合、所定の流動性を得るために必要な高性能AE減水剤の添加量は、石灰石粉を混入したものよりも多くなり、1.5～1.7倍程度となった。そのために、砕石粉を混入したコンクリートは、石灰石粉を混入したものよりも粘性がやや増大してスランプフロー速度が低下した。しかし、流動性や充填性については問題が生じるほどではなく、適度な分離抵抗性を有する状態であった。また砕石粉を混入したコンクリートの場合、高性能AE減水剤の添加量が多くなっているのは、砕石粉の吸水率が石灰石粉の0.3%に比べ0.8～2.5%と大きく、高性能AE減水剤の一部が砕石粉に吸着したためではないかと考えられる。しかし、この点については不明なところもあり、さらなる検討が必要である。

3.2 圧縮強度

OPCおよびLHCを使用したコンクリートの圧縮強度試験結果(標準養生)を図-1に示す。OPC-KLとOPC-DRを比較すると、材齢1日では砕石粉を混入したコンクリートの強度発現が遅れる傾向がみられた。しかし材齢7日以降において大きな差はみられず、石灰石粉と砕石粉との違いによる強度発現性の差異はあまりないと考えられる。

LHCの場合は、OPCと比較すると材齢1週でOPCの65%、材齢4週で87%程度の強度発現性であるが、長期材齢においてはOPCと同程度もしくはそれ以上の強度を確保するものと思われる⁵⁾。LHC単味の場合と比べ、石灰石粉および砕石粉を混入したものは、主として材齢1週での強度発現性が良好であった。LHCは水和反応がOPCより緩やかであるため、OPCの材齢2週程度の圧縮強度と同等の強度を発現させるためには、材齢4週程度必要となることが図-1から理解できる。また、材齢初期において石灰石粉を使用したコンクリートの圧縮強度に大きいものがみられた。これは、今回使用した石灰石粉の比表面積がセメントの1.3～1.6倍程度であることから、セメント水和物間への充填(フロック)効果によって細孔構造が微細化したためと考えられる。また、石灰石粉自身はポ

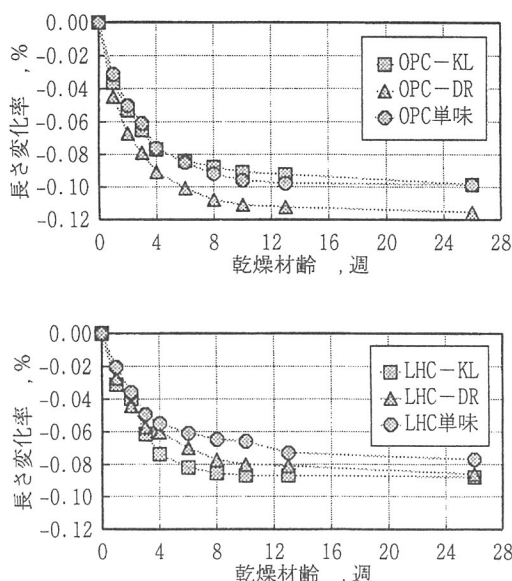


図-2 長さ変化率測定結果(上: OPC, 下: LHC)

ゾラン反応や潜在水硬性をもたない無機質であるが、石灰石粉のセメントへの水和促進効果や分散効果などが、強度発現に影響していると思われる。

3.3 長さ変化率

長さ変化率測定結果を図-2に示す。粉体系の高流動コンクリートの場合は、単位粗骨材かさ容積が小さく粉体量が多くなるために、一般的にコンクリートの乾燥収縮や自己収縮が大きくなる傾向にある。今回の測定結果から、OPC-DR、LHC-KL、LHC-DRの供試体にその傾向が認められた。OPCについては砕石粉を混入した供試体の長さ変化率が大きく、材齢26週で約0.12%の乾燥収縮率(OPC単味の場合の117%)となった。またLHCでは、石灰石粉および砕石粉を混入することにより乾燥収縮率がやや大きくなった。乾燥収縮率は単位水量の多少に大きな影響を受けるが、セメント成分である C_3A と石こうの量にも関係があり、モノサルフェートの多いものほど、また C_3A の多いものほど収縮率が大きくなる⁶⁾ことが、一般的に知られている。LHCはセメント成分である C_3A の量がOPCに比べて少ないために、全体としてはOPCより乾燥収縮率が小さくなっていることが図-2から理解できる。

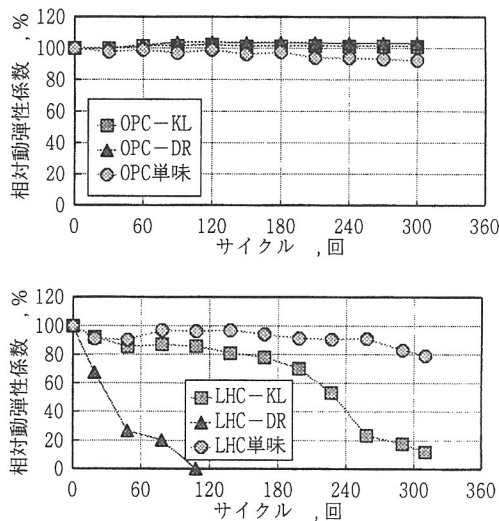


図-3 凍結融解試験結果(上: OPC, 下: LHC)

3.4 凍結融解抵抗性

OPCおよびLHCの凍結融解試験をASTM C 666 (A法)に準じて行った。試験結果を図-3に示す。

OPCの場合は、石灰石粉および砕石粉とも良好な凍結融解抵抗性を示し、相対動弾性係数は、凍結融解300サイクルにおいてほとんど低下しなかった。質量減少率も1.5%程度でありスケーリングもあまり見られなかった。LHCの場合は、粉体を混入することによって凍結融解抵抗性が低下し、石灰石粉では205サイクル程度、砕石粉では25サイクル程度で相対動弾性係数が60%以下となり、スケーリングも大きくなった。

3.5 気泡分布

LHCを使用した3種類のコンクリートについて、リニアトラバース法(ASTM C 457)によって硬化コンクリートの気泡分布を測定した。測定には、材齢約8週まで標準養生した $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体の中央部を $\phi 10 \times 10$ cmに切断した供試体を用い、切断面中央の一辺6cmの正方形を対象として、上下の切断面について行った。

測定結果を表-3および図-4に示す。LHC単味の供試体については、他の供試体と比較して気泡間隔係数が小さく、0.10mm以下の微細な気泡が多く良好に分布していることがわかる。これに対して石灰石粉および砕石粉を混入した場合は、0.03mmの気泡が少なく0.10mm以下の気泡に偏りがあり良好に分布していない。

表-3 気泡分布測定結果

供試体種類	気泡全数(個)	平均弦長(mm)	硬化コンクリートの空気量(%)	比表面積(mm^2/mm^3)	気泡間隔係数(mm)
LHC-KL	153	0.280	3.0	14.31	0.461
LHC-DR	149	0.258	2.7	15.53	0.446
LHC単味	172	0.250	3.0	15.97	0.387

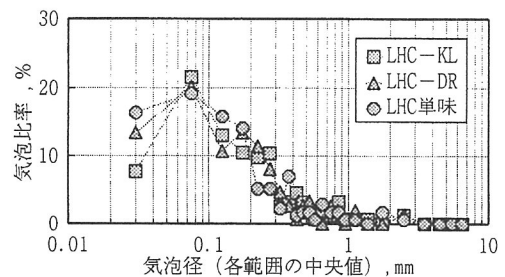


図-4 LHCを用いたコンクリートの気泡分布

気泡間隔係数も約0.45mm程度であり、LHC単味の場合と比べてやや大きかった。また硬化コンクリートの空気量は、フレッシュコンクリートの空気量と比較して全体的に小さい値であった。

LHCを用いたコンクリートの凍結融解抵抗性が低下した原因としては、気泡間隔係数が0.45mmと大きめであり、毛細間隙中の水が凍結することによって発生する膨張圧を、0.1mm前後以下の微細な空隙によって緩和しきれなかったため、また、硬化コンクリートの空気量が小さかったためと考えられる。しかしこれ以外にも、LHCは水和反応速度がOPCに比べて緩やかであるために、LHCを用いたコンクリートで凍結融解試験を行う場合は、OPCの場合の材齢14日の強度と同程度の強度を有するまで、前養生期間を延長することが必要と考えられる。

4. まとめ

石灰石粉および砕石粉を混入した高流動コンクリートについて実験を行い検討した結果、以下のことが確認できた。

1) 普通ポルトランドセメントおよび高ビーライト系セメントに砕石粉を混入した場合、石灰石粉と同程度の流動性を得るためには、高性能AE減水剤の添加量

を増加させることが必要である。

2) 碎石粉を混入した場合、材齢 1 日における強度発現が遅れる傾向にあるが、長期材齢においては比較コンクリートと同程度であり、粉体による差やセメントによる差はほとんどみられない。

3) 高ビーライト系セメントを使用することによって、粉体の種類やその有無に関わらず、普通ポルトランドセメントを使用した場合と比べ、乾燥収縮率を低減することができる。

4) 今回の実験結果からは、普通ポルトランドセメントを用いた供試体は優れた凍結融解抵抗性を示しているが、高ビーライト系セメントに粉体を混入した供試体については凍結融解抵抗性が低下した。これは、気泡間隔係数や硬化コンクリートの空気量、凍結融解試験の前養生期間が影響したものと考えられる。

[参考文献]

- 1) 大橋、寺田他:「碎石粉使用高流動コンクリートのフレッシュコンクリート性状」,コンクリート工学年次論文報告集,pp.113-118,Vol.16,No.1,1994
- 2) 木村、寺田他:「碎石粉使用高流動コンクリートの硬化性状」,コンクリート工学年次論文報告集,pp.167-172,Vol.17,No.1,1995
- 3) 浦野、芝池他:「碎石粉使用高流動コンクリートの実大施工実験におけるフレッシュ性状」,コンクリート工学年次論文報告集,pp.189-194,Vol.18,No.1,1996
- 4) 浦野、大橋他:「碎石粉を用いた高流動コンクリートに関する研究(その1)」,日本建築学会学術講演梗概集,pp.231-232,1995.9
- 5) 松本、友澤他:「高流動コンクリート用ビーライト系セメントの品質基準および使用基準作成に関する研究」,日本建築学会梗概集,pp.227-228,1995.9
- 6) 荒井康夫:「セメントの材料化学」, pp.195-196, 1991