

論文 フレッシュコンクリートの自己充填性に及ぼす 細・粗骨材量の影響

枝松良展^{*1}・安本礼持^{*2}・水越睦視^{*2}・長岡誠一^{*3}

要旨: フレッシュコンクリートの自己充填性をボックス形充填装置で評価し、自己充填性に及ぼす細骨材容積比および相対粗骨材容積比の影響を検討した。さらに、スランプフローが自己充填性に及ぼす影響について検討した。その結果、相対粗骨材容積比を0.50とし、細骨材容積比を細骨材同士の噛み合いによる変形抵抗が小さい範囲に設定することにより、自己充填性に優れたコンクリートとなること、細骨材容積比が異なるとスランプフローの変化に伴う自己充填性の変化が異なることが明らかとなった。

キーワード: フレッシュコンクリート、自己充填性、細骨材容積比、相対粗骨材容積比

1. はじめに

コンクリートに自己充填性を付加させるためには、適切な流動性をもつモルタルを製造することが重要である。自己充填コンクリートの配合設計法として、相対粗骨材容積比（空気を除いたコンクリート容積に対する粗骨材かさ容積の比）から単位粗骨材容積を、細骨材容積比（コンクリート中の空気を含まないモルタル容積に対する細骨材容積の比）から単位細骨材容積を設定し、モルタルの流動性から水粉体容積比を設定する方法が提案されている[1, 2, 3]。この配合設計法における細、粗骨材量の設定方法は、品質の悪い骨材、例えば偏平な粒子形状を有する骨材を使用した場合でも、高い自己充填性が得られるように考えられたものである。そのため単位セメント量が過大となり、粒子形状が丸い良品質の骨材を使用した場合には不経済なコンクリートとなる可能性が考えられる。そこで筆者らは、自己充填コンクリートにおける骨材量の合理的な設定方法を確立することを目指して、細骨材の特性値から細骨材量を設定する方法を提案した[4]。しかし、この方法の提案においては、相対粗骨材容積比を変化させた場合の検討、およびスランプフローの影響についての検討がなされていなかった。

本研究は、フレッシュコンクリート中の細骨材容積および粗骨材容積が自己充填性に及ぼす影響を定量的に表すことにより、細骨材量の設定方法の妥当性を検討することを目的とした。さらに、スランプフローが自己充填性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

使用したセメントは高

ビーライトセメント、細

表-1 高ビーライトセメントの特性							
比重	比表面積 (cm ² /g)	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	C ₃ A (%)	C ₄ AF (%)	拘束水比 β_p	変形係数 E _p
3.23	3220	22	56	3	11	0.94	0.09

骨材は滋賀県野洲川産川砂、粗骨材は大阪府高槻産碎石、混和剤はポリカルボン酸系高性能AE減水剤である。使用材料の特性を表-1 および表-2 に示す。なお、川砂の洗い損失量が 0.9%と少ないとから、0.09mm 以下の粒子も細骨材と見なした[1]。

* 1 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 コンクリート研究室 研究員、工博 (正会員)

* 2 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 コンクリート研究室 研究員、工修 (正会員)

* 3 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 コンクリート研究室 主任研究員 (正会員)

2.2 自己充填性の評価方法

フレッシュコンクリートの自己充填性は、土木学会「自己充填型の高流動コンクリートの試験方法（案）」[5]に従い、図-1に示すボックス形充填装置のA室から障害鉄筋（障害鉄筋数5本）を通過してB室に充填されたコンクリートの充填高さにより評価した。なお、スランプフローおよび空気量（目標値 $5\pm 1\%$ ）は、目標値になるように混和剤および空気量調整剤により調整した。スランプフロー、空気量、充填高さの測定は、練混ぜ終了後10分間静置したコンクリートで行った。

2.3 コンクリートの練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは水平2軸強制ミキサを用い、以下に示す方法により行った。セメントと細骨材を入れ、30秒間の空練りを行う。次に一次水を入れ、50秒間練り混ぜる。最後に残りの材料を入れ、100秒間練り混ぜる。なお、一次水と細骨材の表面水を合わせた水量は、単位水量の85%とした。

3. 実験結果および考察

3.1 細骨材容積の影響

相対粗骨材容積比を0.50に固定し、細骨材容積比を0.40、0.45、0.49および0.55として、水セメント容積比を変化させた場合のコンクリートの充填高さを図-2に示す。図中の充填高さは、同一水セメント容積比において、スランプフローが $600\pm 50\text{mm}$ の範囲内で最大となる値を示した。なお、スランプフローは $580\sim 650\text{mm}$ の範囲であった。

細骨材容積比が一定の条件では、充填高さは水セメント容積比の変化に伴って変化した。この充填高さの変化は、細骨材容積比0.40の場合と0.45の場合が同程度であり、細骨材容積比0.49以上では、細骨材容積比が大きくなるほど充填高さの変化が小さくなる傾向が窺えた。また、細骨材容積比が0.55の場合を除く各細骨材容積比において、充填高さが最大となる水セメント容積比が存在する傾向が窺えた。

各細骨材容積比における充填高さの最大値に着目すると、図-3に示すようになる。細骨材容積比が0.45より小さい範囲では、充填高さの最大値はボックス形充填装置における充填高さの限界（34cm）にはほぼ等しい値であった。一方、細骨材容積比が0.45より大きくなると、充填高さの最大値は徐々に低下し、0.49を超えると急激に低下した。この傾向は、使用した川砂の細骨材

表-2 骨材の特性

種類	最大寸法 (mm)	表乾比重	粗粒率	吸水率 (%)	実積率 (%)	洗い損失量 (%)
川砂	—	2.59	2.90	1.2	62.5	0.9
碎石	20	2.70	6.73	0.6	60.1	—

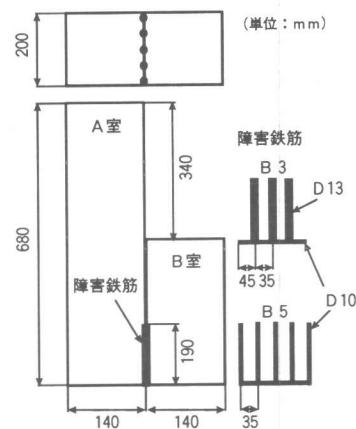


図-1 ボックス形充填装置

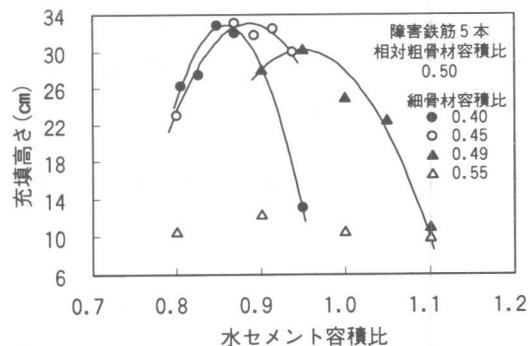


図-2 水セメント容積比と充填高さの関係における細骨材容積比の影響

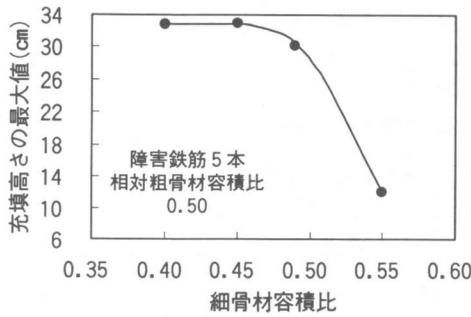


図-3 細骨材容積比と充填高さの最大値との関係

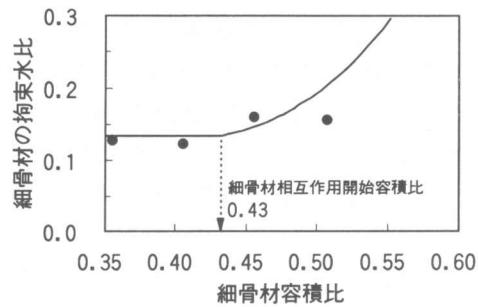


図-4 細骨材容積比と細骨材の拘束水比との関係[4]

容積比と拘束水比[6]の関係と類似している。すなわち、川砂の拘束水比は図-4に示すように細骨材容積比が0.43までは一定値となっており、この範囲の細骨材容積比では、細骨材同士の噛み合いや接触摩擦による細骨材の変形抵抗は無視できるほど小さいと考えられる。一方、細骨材容積比が0.43を超えると、川砂の拘束水比は増加する。これは、細骨材容積比がある限度を超えると細骨材同士の接触確率が大きくなり、細骨材同士の噛み合いや接触摩擦による変形抵抗が大きくなるためと考えられている。細骨材容積比が0.49を超えると、充填高さの最大値が急激に低下したのは、細骨材同士の噛み合いや接触摩擦による変形抵抗が無視できないほど大きくなつたためと考えられる。したがって、細骨材容積比は細骨材同士の噛み合いによる変形抵抗が小さい範囲に設定するのが望ましいと考えられる。この範囲は、細骨材容積比と細骨材の拘束水比との関係における変曲点（細骨材相互作用開始容積比[6]と呼ぶ）以下の範囲であるが、細骨材容積比を大きく設定すると単位セメント量は相対的に小さくなり、コンクリートの自己収縮や温度応力によるひび割れに対して有利となることから、細骨材容積比は細骨材相互作用開始容積比の付近に設定するのが望ましいと考えられる。

3.2 粗骨材容積の影響

(1) 細骨材容積を一定とした場合

細骨材容積比0.49において、相対粗骨材容積比を0.45、0.50および0.55とし、水セメント容積比を変化させた場合のコンクリートの充填高さを図-5に示す。図中の充填高さは、同一水セメント容積比において、スランプフローが600±50mmの範囲内で最大となる値を示した。なお、スランプフローは580~650mmの範囲であった。

相対粗骨材容積比0.45の場合、水セメント容積比1.1以下で充填高さがボックス形充填装置における充填高さの限界値にはほぼ等しい値となり、水セメント容積比の変化に伴う充填高さの変化の程度は相対粗骨材容積比0.50の場合に比べて小さくなつた。このことより、相対粗骨材容積比が小さいほど、すなわちモルタルに近い配合となるほど、水セメント容積比の変化に伴う自己充填性の変化は小さくなるものと

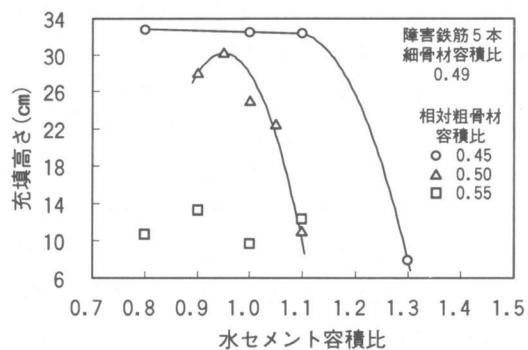


図-5 水セメント容積比と充填高さの関係における相対粗骨材容積比の影響

考えられる。相対粗骨材容積比 0.55 の場合、0.45 の場合と同様に充填高さの変化は小さくなつたが、この場合は他の相対粗骨材容積比に比べて極めて小さい充填高さにおける変化であった。

(2) 細骨材容積を変化させた場合

相対粗骨材容積比を 0.45、0.50 および 0.55 とし、細骨材容積比を 0.40 から 0.55 の間で変化させたコンクリートの充填高さの最大値を、単位骨材容積との関係でまとめたものを図-6 に示す。単位骨材容積と充填高さの最大値の関係には、相対粗骨材容積比が 0.45 と 0.50 とで、同様の傾向があることが認められた。すなわち、単位骨材容積が $0.60\text{m}^3/\text{m}^3$ より小さい範囲では、充填高さの最大値はボックス形充填装置における充填高さの限界値にはほぼ等しく、単位骨材容積に関係なく一定値となり、逆に単位骨材容積が $0.60\text{m}^3/\text{m}^3$ を超えると充填高さの最大値が急激に減少する傾向が認められた。一方、相対粗骨材容積比を 0.55 とした場合はこれらと異なり、単位骨材容積を $0.60\text{m}^3/\text{m}^3$ としても充填高さの最大値は極めて小さくなつた。このことは、フレッシュコンクリートの自己充填性が単位骨材容積のみでは評価できないことを示すものと考えられる。

図-6 に示した充填高さの最大値を細骨材容積比との関係で表したのが図-7 である。相対粗骨材容積比を 0.45 および 0.50 とした場合、充填高さの最大値は細骨材容積比がそれぞれ 0.50 および 0.45 までは一定となり、これらの値より大きくなると低下する傾向が認められた。また、充填高さの最大値が低下し始める細骨材容積比が、相対粗骨材容積比を 0.45 とした場合の方が 0.50 とした場合よりも大きくなつたことから、相対粗骨材容積比を 0.45 とした場合には 0.50 とした場合より細骨材容積比を大きく設定できると考えられる。一方、相対粗骨材容積比を 0.55 まで大きくすると、細骨材容積比を 0.45 とした場合でも充填高さの最大値は大きく低下した。また、図-8 に示すように、細骨材容積比を 0.45 とし障害鉄筋数を 5 本から 3 本に減らしても、充填高さは低くほとんど変化しなかつた。このように、相対粗骨材容積比を 0.55 まで増加させると、細骨材容積比を小さく設定しても、コンクリートの自己充填性はほとんど向上しない、すなわちフレッシュコンクリートの自己充填性には、細骨材容積比より相対粗骨材容積比の方が

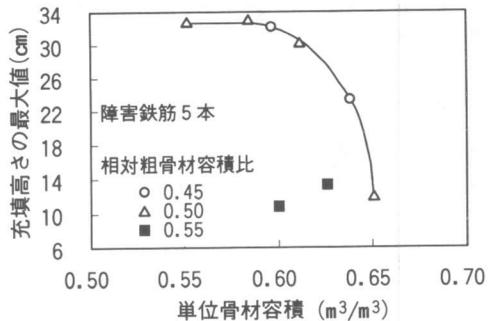


図-6 単位骨材容積と充填高さの最大値との関係

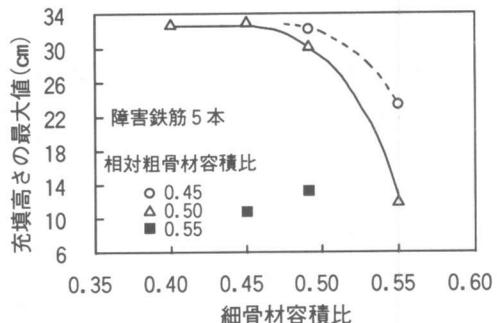


図-7 細骨材容積比と充填高さの最大値との関係

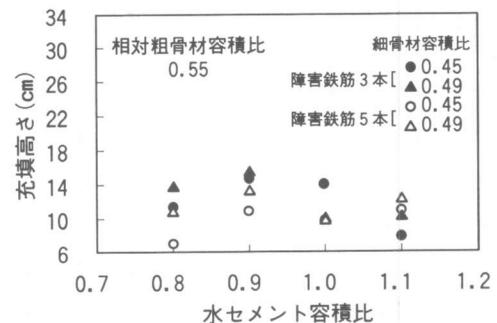


図-8 水セメント容積比と充填高さの関係における細骨材容積比の影響
(相対粗骨材容積比 0.55 の場合)

大きく影響することを示すものと考えられる。なお、図-8に示す充填高さは、同一水セメント容積比において、スランプフローが $600\pm 50\text{mm}$ の範囲内で最大となる値を示した。また、スランプフローは $570\sim 650\text{mm}$ の範囲であった。

図-9は、図-6に示した充填高さの最大値を相対粗骨材容積比との関係で表したものである。細骨材容積比を0.49以下とした場合、充填高さの最大値は相対粗骨材容積比によって一義的に定まる傾向が認められた。しかし、細骨材容積比を0.55と大きくした場合には異なった傾向を示した。これは、図-4に示すように、細骨材の変形抵抗の程度が他の細骨材容積比の場合に比べて無視できないほど大きくなっているためと考えられる。

以上のことから、相対粗骨材容積比が異なると最適な細骨材容積比が異なること、また相対粗骨材容積比を0.50より大きくすると自己充填性はあまり高くならないことが明らかとなった。したがって、本研究のようにコンクリートの自己充填性をボックス充填装置で評価する場合、自己充填コンクリートの相対粗骨材容積比は、コンクリートの自己収縮や温度応力に対するひび割れ抵抗性を考慮して、0.50に設定するのが最適であると考えられる。また、全節で述べたように、相対粗骨材容積比を0.50に固定できると、自己充填コンクリートの細骨材容積比は細骨材相互作用開始容積比に設定すればよいと考えられる。

3.3 スランプフローの影響

相対粗骨材容積比を0.50、細骨材容積比を0.49に固定し、水セメント容積比を0.90、0.95および1.00としてスランプフローを変化させた場合のコンクリートの充填高さを図-10に示す。水セメント容積比が小さいほど充填高さが最大となるスランプフロー値が大きくなる傾向が認められた。

図-11は、図-10に示したコンクリートおよび図-2に示した細骨材容積比0.45のコンクリートの相対漏斗速度[5]（10を吐出口寸法が $6.5\times 7.5\text{cm}$ のV漏斗を用いた場合の流下時間で除した値）をスランプフローとの関係で示したものである。図中の点線は、細骨材容積比0.49の場合

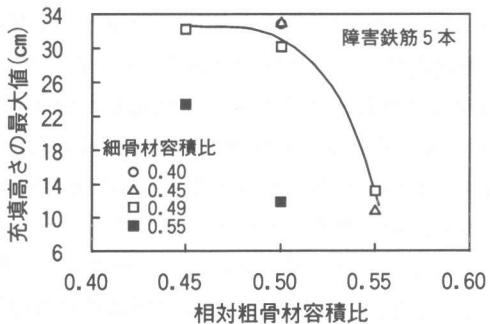


図-9 相対粗骨材容積比と充填高さの最大値との関係

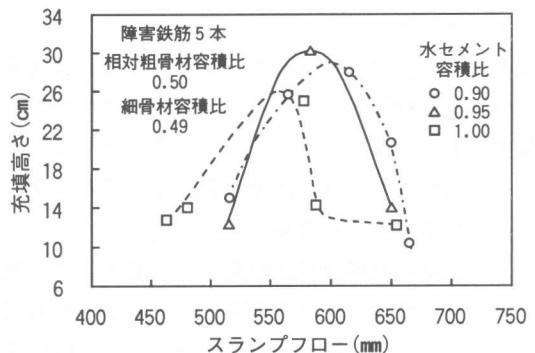


図-10 スランプフローと充填高さの関係

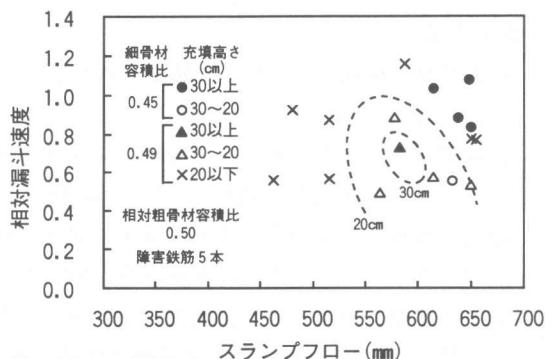


図-11 スランプフローとコンクリートの相対漏斗速度の関係

において、充填高さが30cmおよび20cmとなる範囲を示したものである。充填高さをスランプフローと相対漏斗速度の関係で整理すると、同一充填高さを示す領域はスランプフローが大きいほど相対漏斗速度は小さくなり、充填高さが最も大きくなる領域が得られることが報告されている[7,8]。本研究においても同様の傾向が観察された。すなわち、図-11に示すように、同一充填高さを示す領域はスランプフローが大きいほど相対漏斗速度は小さくなり、充填高さが最も大きくなる領域が認められた。水セメント容積比が小さいほど充填高さが最大となるスランプフロー値が大きくなるのは、水セメント比が小さいほど相対漏斗速度が小さくなるためと考えられる。また、充填高さが30cm以上となる領域は細骨材容積比によって異なり、細骨材容積比が大きくなると狭くなる傾向が認められた。すなわち、細骨材容積比が大きいと、スランプフローの変化に伴う充填高さの変化も大きくなることを示すものと考えられる。

4. まとめ

本研究は、フレッシュコンクリートの自己充填性に及ぼす細骨材容積比および相対粗骨材容積比の影響を検討した。さらに、スランプフローが自己充填性に及ぼす影響について検討した。本研究の範囲において明らかになったことをまとめると、次の通りである。

- (1) 相対粗骨材容積比を小さくすることにより、水セメント容積比の変化に伴う自己充填性の変化が小さくなる。
- (2) 相対粗骨材容積比が大きくなると、自己充填性は単位骨材容積では評価できない。
- (3) 良好的な自己充填性が得られる範囲の相対粗骨材容積比において細骨材容積比を選定する場合、細骨材同士の噛み合いによる変形抵抗が小さい範囲に設定するのが適当である。
- (4) 細骨材容積比が大きいと、スランプフローの変化に伴う自己充填性の変化が大きくなる。

参考文献

- [1]岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅:ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、pp.35-47、1993.9
- [2]松尾茂美, 小澤一雅:自己充填コンクリートの充填性に及ぼす粗骨材特性の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.165-170、1994.6
- [3]永元直樹, 小澤一雅:フレッシュコンクリートの自己充填性に及ぼす細骨材特性の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18、No.1、pp.105-110、1996.6
- [4]枝松良展, 安本礼持:高流動コンクリートの自己充填性に及ぼす細骨材量の影響、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第5部、pp.616-617、1996.9
- [5]土木学会コンクリート委員会高流動コンクリート研究小委員会:コンクリート技術シリーズ15高流動コンクリートに関する技術の現状と課題、土木学会、pp.2-20、1996.12
- [6]枝松良展, 山口昇三, 岡村甫:モルタルの変形性を表す細骨材の材料特性の定量化、土木学会論文集、No.538/V31、pp.37-46、1996.5
- [7]永元直樹, 小澤一雅:モルタル特性とコンクリートの自己充填性、セメント・コンクリート論文集、No.49、pp.832-837、1995
- [8]小澤一雅, 坂田昇, 岡村甫:ロート試験を用いたフレッシュコンクリートの自己充填性評価、土木学会論文集、No.490/V23、pp.61-70、1994.5