

砕石微粉を用いたコンクリートの 配合設計方法に関する研究

十 河 茂 幸^{※)}近 松 竜 一^{※※)}桜 井 邦 昭^{※※※)}

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の施工時に生じる不具合が増加している。不具合の中では、収縮に起因するひび割れが最も多いが、コンクリートのブリーディングに起因するひび割れも多い。このブリーディングに起因するひび割れは「沈下ひび割れ」と呼ばれ、コンクリートの上面に生じる場合は、打込み後1～2時間後にタンピング（再振動）をすることで不具合を解消できるとされている。しかし、ブリーディングが多い場合は、鋼材の下面に水隙ができ、劣化因子の侵入路になる初期欠陥となる恐れがある。

図1は、ブリーディングにより生じた沈下でひび割れが生じる概念を示す。鋼材の上面に生じたひび割れは再振動でコンクリートを再流動化させると解消することができる。しかし、型枠面では、再振動を十分に行うことが難しく、写真1に示すようなセパレータ位置にひび割

れが残る場合が多い。

したがって、コンクリートの配合設計においてはブリーディング率あるいはブリーディング量を制御することが必要となるが、通常使用されるレディーミクストコンクリートでは注文する品質項目に含まれておらず、協議事項でもこれを求めることができないのが実状である。そのため、建設現場ではほとんどの場合にレディーミクストコンクリートが使用されるため、一般には配合面から沈下ひび割れを制御されることはほとんどない。

一方、砕石生産において、砕石微粉はコンクリート材料として使用するとブリーディングの抑制に効果的でありながら、現行の配合設計では細骨材でもなく、混和材にも位置づけられず、ほとんど廃棄されている。なお、骨材中に含まれる微粒分は一定の範囲で認められているものの、変動の要因になるとして多くは許容されない。

以上のことから、この研究では、砕石微粉を用いることでブリーディングを抑制する配合設計方法を提案する

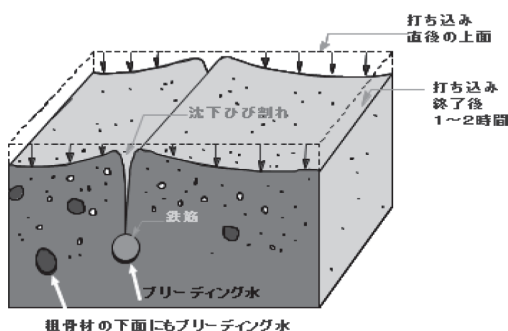


図1 沈下ひび割れの発生概念¹⁾



写真1 型枠面の生じる沈下ひび割れ¹⁾

※) 広島工業大学工学部 都市デザイン工学科 教授 工学博士

※※) 大林組技術研究所 生産技術研究部 主席技師 博士(工学)

※※※) 大林組技術研究所 生産技術研究部 副主任研究員 修士

ことを目標としている。本報文では、これまでの実験的研究およびコンクリートの配合設計の考え方について提案する。

2. 現行の配合設計方法

土木、建築を問わず、通常はレディーミクストコンクリート（生コンと略称）を使用することが多く、生コンで提示される配合条件の組み合わせの中から要求性能に合う配合を選択する場合が多い。

たとえば、構造物に要求される安全性能から圧縮強度、耐久性能から水セメント比や空気量、施工性能としては

スランプ、単位粉体量、粗骨材の最大寸法などが与えられ、これらを目標として使用する材料の性質に応じて各材料の単位量が計算され、生コン工場の保有する配合表から選定する。この場合に、ブリーディング率（あるいは量）の条件は勘案されない。

配合設計フローの一例を図2に示す。図2に示すように、ブリーディング率の値は条件として示されていない。なお、骨材については、標準粒度が与えられているが、自然の材料から生産されるため一部が標準粒度から外れるとしても目標とする指標が圧縮強度、スランプ、空気量等であれば、厳密に合わせる必要はない。しかし、細骨材のうち、0.15mmを通過する粒子が少ない場合は、単位セメント量が小さい配合ではブリーディングが多くなり、前述の不具合が生じやすい。つまり、要求性能にブリーディング率あるいはブリーディング量を加えないと不具合は減少しない。

3. ブリーディングが品質に及ぼす影響

ブリーディングが初期欠陥を生じる可能性が高いことは図1および写真1に示したとおりである。反面、コンクリートの表面をコテ押さええる場合は、多少ブリーディングが生じる方がよいとされ、日本建築学会では $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 程度を目標として示している。これは、コンクリート表面が凝結硬化する前に乾燥するとプラスチック収縮ひび割れを生じることを懸念しているためである。たとえば、高流動コンクリートや高強度コンクリートでは単位粉体量が多いためブリーディングがほとんど生じない場合が多く、逆に散水する必要が生じる。

しかし、表面に生じるブリーディングは、同様に内部にも材料分離を生じていることが容易に類推される。このことは、コテ仕上げのために内部の水隙を容認していることになる。したがって、ブリーディングは少ないほど望ましく、コテ押さえに際しては、表面が乾燥しないように仕上げ補助材（養生剤など）を用いるべきであるといえる。

内部に生じたブリーディングによる水隙は、骨材や鉄筋の下面に溜ると骨材や鉄筋とセメントマトリックスとの付着が阻害されるだけでなく、劣化因子の浸入を容易にし、セパレータの下面の溜ると、漏水の原因にもなると考えられる。

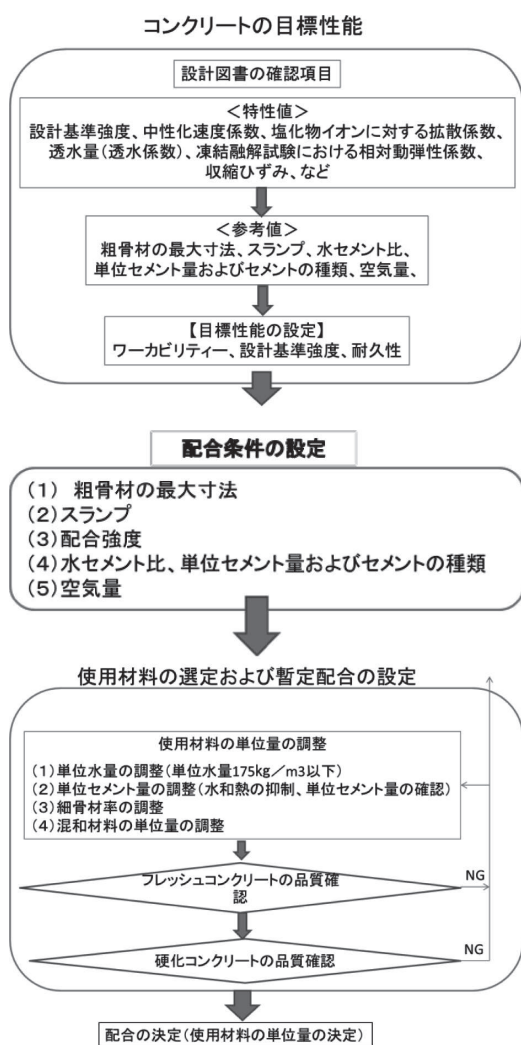


図2 配合設計方法の例²⁾

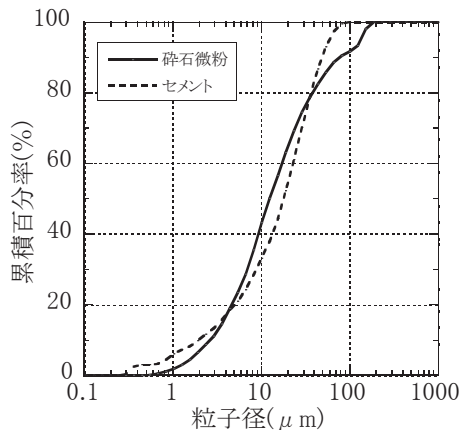


図3 実験に用いた砕石微粉の粒度分布

4. 砕石微粉によるブリーディング低減効果

コンクリートのブリーディング率を抑制する方法としては、単位粉体量を増加する方法、水セメント比を低減する方法、増粘性を有する混和剤の使用などが考えられるが、ここでは、これまで廃棄されることの多い砕石微粉を用いる方法について検討した。

コンクリートのブリーディング率の抑制に対して、まずモルタルを用いた実験によりその効果を確認することとした。

4.1 砕石微粉を用いたモルタル実験概要

4.1.1 使用材料

砕石微粉には、骨材製造工場にて乾式方式により砕砂・砕石を製造する際に副産される微粉末（密度 $2.73\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $2550\text{cm}^2/\text{g}$ ）を用いた。砕石微粉の粒度分布を使用したセメントと合わせて図3に示す。

セメントは普通ポルトランドセメント（密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ ）、細骨材は秩父郡横瀬町産砕砂S1（表乾密度 $2.67\text{g}/\text{cm}^3$ ）、佐野市仙波町産砕砂S2（表乾密度 $2.67\text{g}/\text{cm}^3$ ）、および成田市名木産陸砂S3（表乾密度 $2.57\text{g}/\text{cm}^3$ ）をS1:S2:S3=35:35:30で混合した混合砂で、 0.15mm のふるいを通過する微粉分は4.4%である。また、練混ぜ水には東京都清瀬市の上水道水、混和剤には高機能タイプのAE減水剤を用いた。

4.1.2 モルタル配合の組み合わせ

配合の組合せを表1に示す。砕石微粉を混入する方法

表1 モルタルの配合

W/C (%)	碎石微粉の 細骨材 置換率(%)	単位量(kg/m ³)						混和剤 (C×%)
		W	C	碎石 微粉	S1	S2	S3	
54.0	0	265	490	0	476	476	392	0.5
	2.5			35	464	464	383	0.6
	5			69	452	452	373	0.7
	7.5			104	440	440	363	0.95
	10			139	428	428	353	1.45

としては、セメントの一部と置換する方法および細骨材の一部と置換する方法が考えられるが、前者の場合は砕石微粉の混入に伴い圧縮強度が低下すると想定されるため、本実験は細骨材に置換する方法とした。

水セメント比54%、モルタル中のペースト容積を一定の配合条件とし、砕石微粉を細骨材に対し0～10%の割合で置換した。また、砕石微粉の混入率によらずモルタルの流動性が一定となるように、混和剤の添加量を調整した。

4.1.3 練混ぜ方法および試験項目

モルタルの練混ぜは、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じて行った。モルタルの製造後、フロー試験を行い、強さ試験用の供試体採取するとともに、JSCE-F 522「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率および膨張率試験方法（ポリエチレン袋方法）」に準じてモルタルのブリーディング率を測定した。

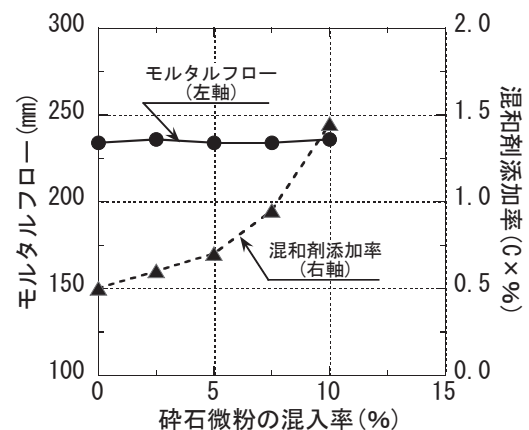


図4 砕石微粉混入率とモルタルフロー

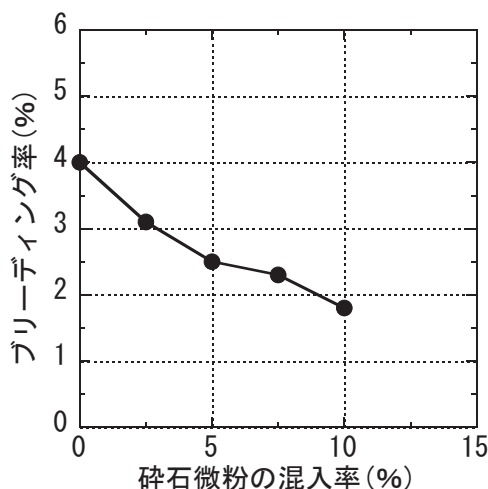


図5 砕石微粉混入率とブリーディング率

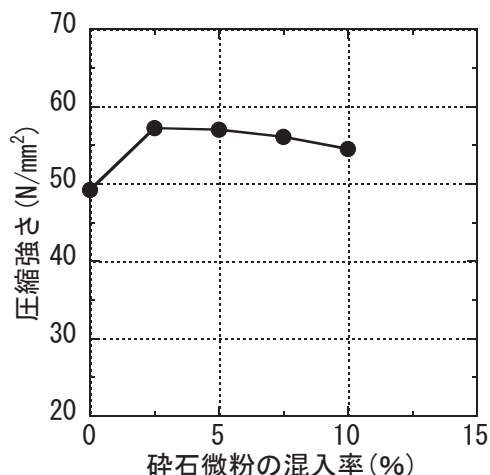


図6 砕石微粉混入率と圧縮強さ

4.2 実験結果および考察

砕石微粉の混入率とモルタルフローの関係を図4に示す。高機能タイプのAE減水剤の添加量を調整することで、砕石微粉の混入率によらず一定の流動性が確保されている。混和剤の添加量はメーカーの推奨する標準添加量の範囲内であり、本実験の砕石微粉混入率の範囲内（10%程度）であれば、比較的容易に一定の流動性を有するモルタルを製造できると考えられる。

ブリーディング率は、砕石微粉の混入に伴って小さくなり、混入率10%の場合は無混入の場合に比べ半減している（図5）。ブリーディング率の低減効果は、混入する砕石微粉の粒度分布や、使用する細骨材の微粒分量などの品質、モルタルの配合条件等により影響されることが考えられ、今後、これらを体系的にとりまとめていく必要があるといえる。

モルタルの圧縮強さは、砕石微粉の混入に伴って若干増加し、混入量が増加すると幾分低下傾向にある（図6）。この範囲においては、モルタル中の微粒量の増加によるフィルター効果が期待できるものと考えられる。

4.3 砕石微粉の使用効果のまとめ

(1) 砕石微粉がモルタルの流動性に及ぼす影響

砕石微粉の細骨材に対する混入率が10%程度の範囲内であれば、高機能タイプのAE減水剤の添加量を調整することで無混入と同等の流動性を確保することができる。

(2) 砕石微粉のブリーディング抑制効果

砕石微粉を細骨材の一部に置換して用いることでブリーディング率を低減できる。今後、使用材料や配合条件とブリーディング低減効果についての体系的な検討が必要である。

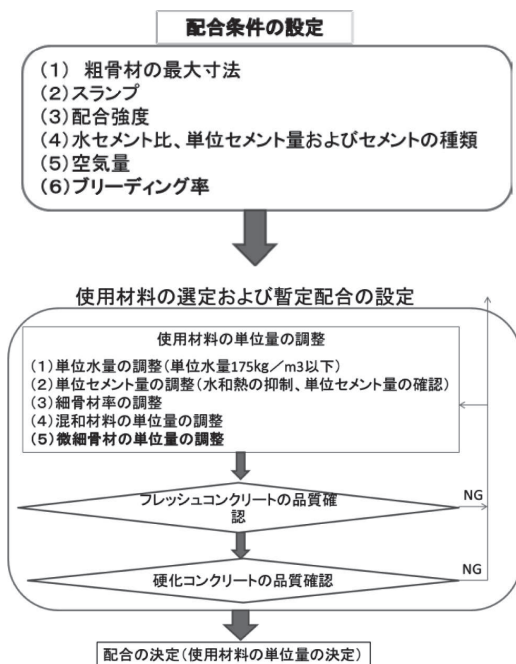


図7 ブリーディング率を目標に加えた配合設計案

(3) 碎石微粉が強度に及ぼす影響

碎石微粉を細骨材の一部に置換することで、圧縮強さは若干増加する傾向にある。

5. ブリーディング制御を目標とした配合設計

碎石微粉を用いれば、モルタルの流動性を確保しながらブリーディング率を抑制できる可能性がある。そこで、図2に示した配合設計例にブリーディング率を目標とするフローを図7に追記した。

コンクリートの目標性能が設定されると、その性能を担保するために配合条件を定めるが、その段階で不具合の発生を低減するために追記したものである。この条件の設定に合わせて、碎石微粉を含めた使用材料を選定し、暫定配合を定め、最終的には試し練りを行って配合を決定することになる。

6. おわりに

現状では、碎石微粉を用いることでモルタルのブリー

ディングが制御できる可能性を示したのみであるが、碎石微粉を用いることで懸念される流動性への悪影響は認められず、碎石微粉の適正量の使用がコンクリートの施工性能を向上させつつ、硬化後の品質の向上に寄与するものと考えられる。

今後は、コンクリートに許容されるブリーディング率あるいは量の目標値を明確にするとともに、碎石微粉を使用してブリーディング率を制御する配合設計方法を具体的に提案する予定である。

最後に、この研究は社団法人日本碎石協会から平成23年度研究助成を受けたものであり、記して謝意を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 十河茂幸ほか：改訂版コンクリート名人養成講座、日経BP社、2008.10
- 2) 土木学会編：コンクリート標準示方書[施工編]—2007、2008.3