

招待論文
INVITED
PAPER

招待論文

自己充填コンクリートの配合設計法の現状と課題

MIX DESIGN METHOD FOR SELF-COMPACTABLE CONCRETE

岡村 甫*

Hajime OKAMURA

小沢一雅**

Kazumasa OZAWA

* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

** 正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科

Key Words : self-compactable concrete

1. 序 論

1986年2月に自己充填コンクリート(当時は、締固め不要コンクリートと呼ぶ)の開発を提唱¹⁾してから8年、1988年8月に初めて、そのプロトタイプ1号を開発²⁾してから5年余の歳月が過ぎようとしている。著者らは、基礎研究ならびに応用研究を続け、その成果の一部を最近公表した³⁾。また、この種のコンクリートを用いた実構造物の施工例も年々数を増やしてきており、その効果に期待する声も高くなってきている。本論は、自己充填コンクリート普及のための課題の中で、基礎研究として最も重要なものとして、配合設計法を取り上げ、その現状と今後の研究課題について論じたものである。

この種コンクリートの呼称として、「自己充填」コンクリートを用いた。この種コンクリートの最大の特長は、フレッシュコンクリートが自重によって型枠内に充填する性能であって、これを「自己充填性」とするのが適当と考えたからである。「締固め不要」という呼称よりも、より積極的な表現である。「高流動」や「超流動」の呼称も用いられてきているが、これらの呼称からは、フレッシュコンクリートが自己充填することあるいは締固めを要しないことが不明確であり、欧米等で用いられている「Flowing Concrete」との区別がつけにくいことを考慮して敢えて新しい用語を使用したのである。

「ハイパフォーマンスコンクリート (High Performance Concrete)」は、自己充填性を有するだけでなく、若材齢時や硬化後の性能も優れたコンクリートに対する呼称として、著者らが使用したものの⁴⁾である。欧米において近年全く同じ用語が異なった意味に用いられるようになった⁵⁾ので、この用語を「自己充填性」を含む意味に用いるのは適当ではなくなってきた。そこで、フレッシュコンクリートを表現する用語としては自己充填と

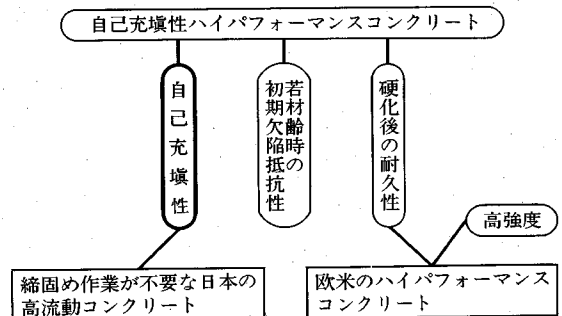


図-1 自己充填性ハイパフォーマンスコンクリート

し、著者らが提唱しているコンクリートを、自己充填性ハイパフォーマンスコンクリート (Self-compactable High Performance Concrete) としている⁶⁾ (図-1)。

2. 自己充填を実現する方法

(1) 増粘剤の添加による方法

フレッシュコンクリートは、大きさと比重の異なる構成材料から成る複合材料であって、その故に材料分離の危険に常にさらされている。変形量が大きくなると、分離の危険度も高まり、高変形性と高分離抵抗性とは、一般に、トレードオフの関係にある。従来から、作業に適する範囲で固練りとすることが推奨されてきたのも、変形性と材料分離の危険度を妥協させるためである。工場製品では、強力な振動締固めを行うことを前提として、コンクリートを超固練りとすることが可能となるのである。

自己充填コンクリートは、材料分離の危険を回避させながら、高変形性を実現したコンクリートであり、材料分離の抑制にはペーストの粘性増加が有効である (図-2)。水中不分離性コンクリートは、水中に打設される自

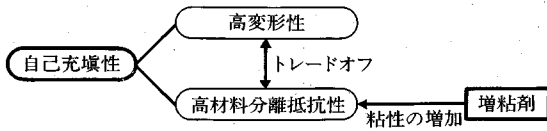


図-2 増粘剤による自己充填性の改善

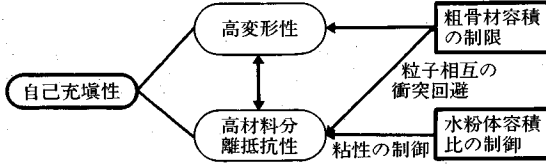


図-3 配合の調整による自己充填性の表現

己充填コンクリートであり、増粘剤（水溶性高分子）を多量に添加することによって、分離をきびしく抑制し、水中においてもセメント粒子が溶けださないようにしたコンクリートである。したがって、空中で一般の鉄筋コンクリート構造物に対して利用するには、粘性が高すぎ、巻き込んだ空気が逃げにくく、鉄筋等の鋼材が密に配置された箇所を通過することが困難であって、適当なものではない。粘性をもう少し小さくして、空中で利用可能なコンクリートとしたのが、増粘剤の添加による自己充填コンクリートである。

竹下らが最初にこの方法で自己充填コンクリートを実現し、実構造物への適用を試みた²⁾。添加する増粘剤と高性能減水剤とのバランスをとることが、自己充填性を高めるのに重要であるが、この方法では、自己充填性を高めるには限界があって、著者らは開発途上で諦めた方法である。

(2) 粗骨材容積を制限しかつ水粉体容積比を制御する方法

粗骨材容積を制限して障害物近傍での粗骨材粒子相互の衝突や接触摩擦を制御すると共に、水粉体容積比を1.0程度にすることによってペーストに適切な粘性を与えて材料分離を防ぐことによって、自己充填性を確保する方法である。この方法は、著者らが自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートのプロトタイプとして示した方法である（図-3）²⁾。

この方法では、従来のコンクリートに比べてペースト量が増加するために粉体量が多くなる。適用する構造物によっては、セメント量が多くなることによる欠点が生じるため、フライアッシュや高炉スラグ微粉末等の混和材あるいは石灰石微粉末を粉体の一部として使用しているのである。明石海峡大橋のアンカレイジに適用されている自己充填コンクリートは、このタイプであり、石灰石微粉末を大量に使用することによって、粉体量を増加させたものである（図-4）³⁾。骨材最大寸法を40mmとした自己充填コンクリートは、このケースが初めてであ

	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	LF	S	G	Ad
標準コンクリート	55.8	36	145	260	30	650	1253	3.9
自己充填コンクリート	1 A	55.8	145	260	150	769	965	6.355
	4 A	55.8	145	260	150	609	1121	7.8

C：三成分系低発熱型セメント

LF：石灰石微粉末

Ad：高性能AE減水剤

図-4 明石海峡大橋アンカレイジで使用された自己充填コンクリート

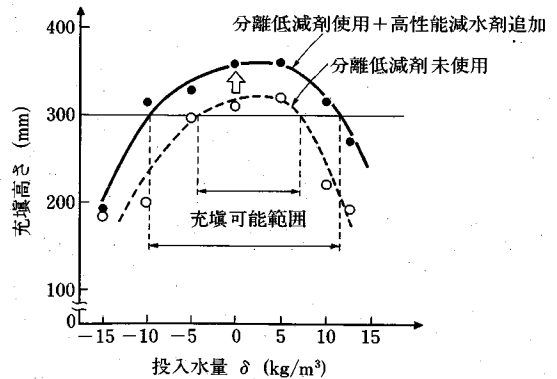
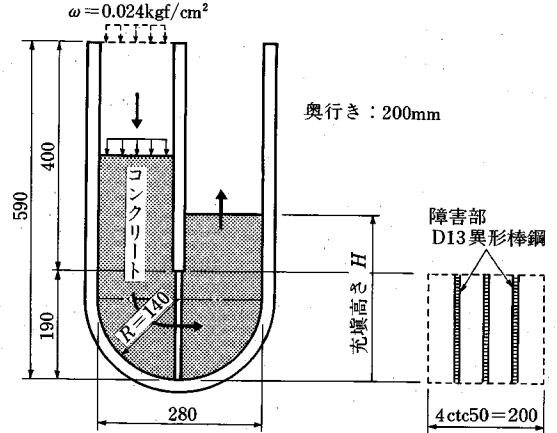
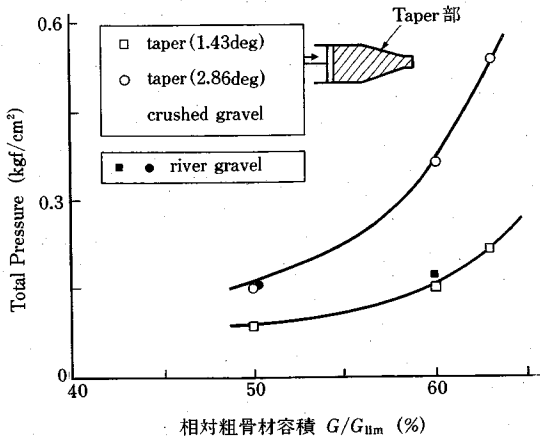


図-5 分離低減剤の使用による自己充填性の向上

る。

自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートのプロトタイプ配合を基本とし、これに分離低減剤（不水溶性高分子）を添加することによって自己充填性のレベルを容易に上げる方法を開発したのは、新藤・松岡らである（図-5）⁹⁾。現在では、この種分離低減剤を使用しなくとも、このレベルまで自己充填性を高めることが適切な水粉体容積比などの配合設計によって可能となっている。

いずれの方法にしても、高性能減水剤は不可欠の材料であるが、自己充填を実現するためには、骨材量を適切とすることとペーストに適度な変形性と粘性とを付与す



図—6 粗骨材量の増加によるテーパ管内部応力の上昇

ることが肝要である。骨材どうしの相対距離が小さくなると粒子相互の衝突や接触の頻度が高まるので、特に障害物近傍等でコンクリートが変形する際には発生する内部応力が高まって、流動に必要なエネルギーが消費され、閉塞状態となることが明らかにされている(図—6)¹⁰⁾。これを回避するには、通常の配合よりも骨材量、特にエネルギー消費のはげしい粗骨材量を制限することが有効である。

ペーストの変形性を高めるには、水粉体容積比を大きくするか、高性能減水剤を添加するかであり、粘性を付与するには、水粉体容積比を小さくするか、増粘剤を添加するかである。変形性の付与は、ペーストが変形する際に、内部で消費されたり外部との境界で摩擦により消費されるエネルギーを小さくすることである。粘性の付与は、逆に変形に必要なエネルギーを高めることであり、変形性と粘性とは互いにトレードオフの関係にある。したがって、水粉体容積比を小さくすることによって粘性を上げる方法を採用すると、高性能減水剤によって変形性を上げるほかは、両者のバランスが適切どころが存在すれば、そこで初めて増粘剤の助けを借りなくとも、自己充填が可能となる。幸いにも高性能減水剤の添加によって変形性は大きく改善されるが、粘性の低下はごくわずかであり、両者のバランスが適切な領域が存在することが明らかにされたのである。

ペーストに粘性を付与する必要があるのは、コンクリート中で比重の大きい粗骨材粒子が沈降しコンクリート全体の均一性が損なわれるのを防ぐためだけでなく、コンクリートが変形する際に粒子径の大きい粗骨材粒子どうしが近づき局所的に内部応力が上昇するのを回避するためでもある。コンクリートは異なる比重と粒径の粒子からなる複合体であり、コンクリートを液体の性質と固体の性質とを合わせもった材料としてとらえることが重要である。

3. 自己充填性レベル

自己充填が実際に実現されるかどうかは、コンクリートが持つ特性だけでなく、打設される施工条件や型枠内に存在する鋼材等の障害物によって決定される境界条件に支配される。したがって、従来のコンクリートの場合と同様に、品質管理を高いレベルに保ち、コンクリートの自己充填性レベルを打設される条件や構造物に応じて変える方法をとることも可能である。しかし、強度等の硬化後の品質に比べて、フレッシュ時の性状は、材料の品質や配合の変動に対してより敏感であるので、コンクリートの製造管理上は、なるべく同種のコンクリートを製造する方が信頼性は向上する。多くの場合、構成材料の品質や製造過程における変動が生ずると、自己充填性レベルが小さい方へと動く。自己充填性を高いレベルに設定するのは比較的容易になってきており、品質管理を高いレベルに保つことよりは一般に容易である。

現時点では、自己充填性を高いレベルに設定し、許容範囲を構造物によって変える方法を推奨したい。自己充填コンクリートにとって、自己充填性のレベルが一定となるよう管理することは従来のコンクリート以上に難しく、要求されるレベルを満足しない場合には構造物の信頼性を著しく損なうことになる。自己充填性レベルが低くても良い場合にも、これを高いレベルに設定し、製造におけるばらつきを許容して、管理幅を広げることで、構造物や施工の条件に対応する方が間違いが少ないのである。

4. 自己充填性に及ぼす使用材料の影響

(1) 粉体

使用する粉体の特性は、自己充填性に大きな影響を及ぼすだけでなく、硬化後の品質をも支配するので、粉体の選択は重要である。粉体は、コンクリート中に存在する最も粒径の小さい固体粒子である。フレッシュコンクリート中の水の一部が粒子によってその動きが拘束されるのであるが、単位体積当たりの粒子によって拘束される水量が大きいことが粉体の大きな特徴である。ペーストのフロー試験を行うと、そのフロー面積と水粉体比の間には線型関係があり、ペーストが変形しなくなる水粉体容積比を外挿して求めることができる(図—7)。この点をその粉体の拘束水比と定義すると、粉体の拘束水比は、その粒度分布、形状、反応性等の特性によって若干異なるが、いずれも0.7~1.0の範囲にある(図—8)。すなわち、粉体はおおよそその体積に等しい水を拘束すると考えられるのである。

自己充填コンクリートにとって適切な粘性をペーストに付与するために、最も適切な水粉体比が存在するが、その値は粉体の拘束水比の大小と密接な関係にある。フ

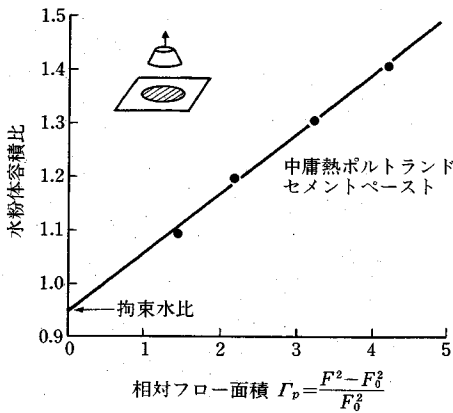


図-7 ベースの相対フロー面積と水粉体容積比の関係

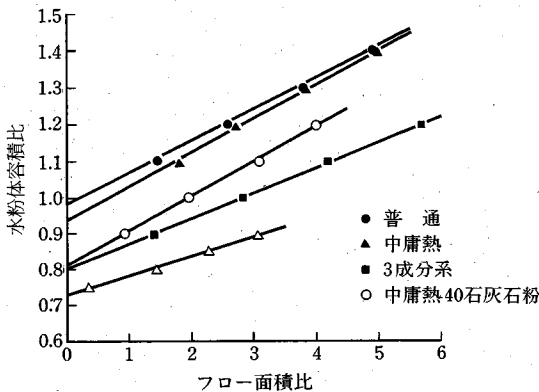


図-8 ベースのフロー面積比と水粉体容積比との関係

ライアッシュのように、形状の良い粉体の拘束水比は極めて小さく、したがって自己充填コンクリートにおける適切な水粉体容積比も小さくなる。初期水和の程度や粒径の分布も拘束水比に影響を与え、普通ポルトランドセメントよりも中庸熱ポルトランドセメントの方が一般に、その拘束水比は小さいのである。

(2) 骨材

骨材は、耐久性の良い強固な構成材料としての役割をもち、硬化コンクリートの品質確保の点からは、コンクリート中に占める体積が大であるほど良いと考えられるが、必ずしもそうとはいえないことが吉田徳次郎の研究によって明らかにされている。すなわち、同一の材料を用いて、最高強度のコンクリートを得るには、セメント、細骨材、粗骨材の容積比率を、実用的には1:1:2にするのが良く、この比率以上に骨材容積を増すと、到達する最大の強度が急激に小さくなるのである(図-9)¹¹⁾。

セメントと細骨材の容積比を1:1.5とした場合にも、セメントと粗骨材の容積比を1:1.5以上とすると、到達する強度が急激に小さくなることも図示されている。この研究においては、締固めは極めて入念に行われ

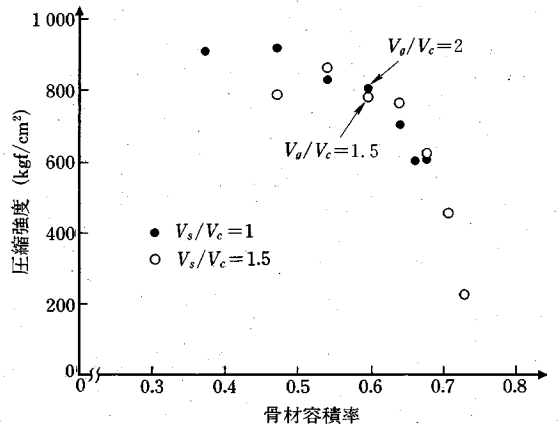


図-9 骨材容積率の違いによる圧縮強度の変化 (W/C=21.6 wt.%)

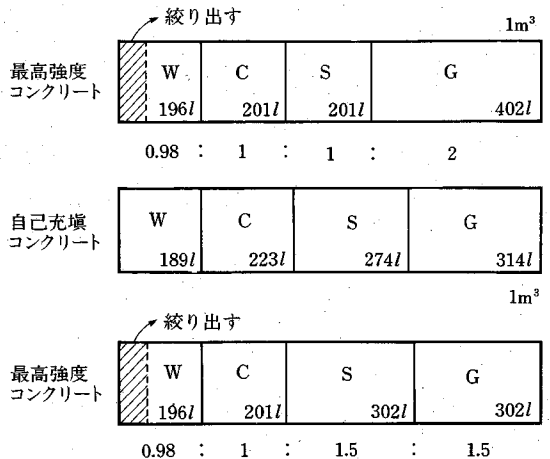


図-10 自己充填コンクリートと最高強度コンクリートの配合

ており、コンクリートを型枠に充填した後に、圧力を加えて水を、水セメント重量比が約22%となるまで圧出しているが、打ち込み前の水セメント重量比は最高強度を得るには31%とするのが最も良いと述べられている。セメント、細骨材、粗骨材の容積比を1:1.5:1.5とした配合は、同じ材料を用いた自己充填性コンクリートと極めて類似していることに最近気づき、愕然としたのである(図-10)。

硬化したコンクリートの力学的性質は、骨材総量が同じであれば粒径の大きい粗骨材の比率を大きくする方が良く、この研究では細粗骨材の容積比を1:2とすることを推奨しているが、フレッシュコンクリートが間隙を通過していく能力の点からは細骨材の比率を大きくするのが良く、自己充填コンクリートでは細粗骨材の容積比を大略1:1とするのが実用上望ましい。これらのことを考えると、吉田先生の最高強度コンクリートの配合のうち、細粗骨材容積比を1:1としたものに、フレッシュ

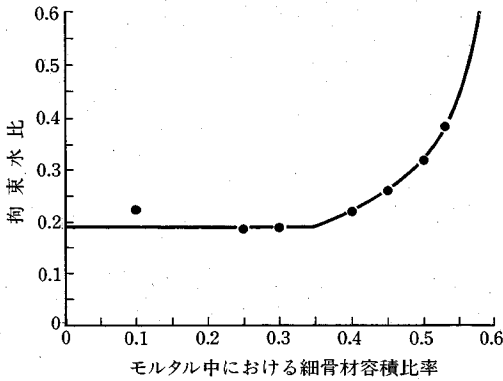


図-11 細骨材の拘束水比と細骨材容積比率との関係

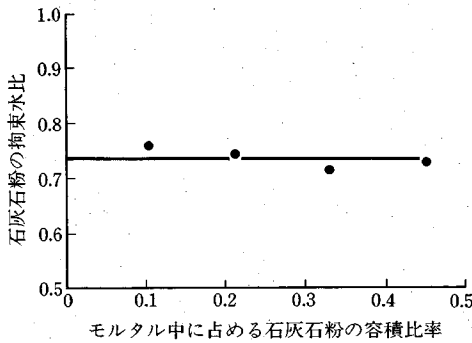


図-12 石灰石粉を細骨材と考えた場合の拘束水比

コンクリートの変形性を自己充填に必要なまで高めるように高性能減水剤を加えたものが、現在の自己充填コンクリートであるともいえる。逆に言えば、加圧によってペーストから一様に水を抜くためには、骨材同士が直接接触しないだけのペーストが必要なことを意味しているのである。

モルタルのフローに及ぼす細骨材の影響を定量化する試みを行い、一応の結論が得られている。これによれば、モルタル中における細骨材の容積がある限度以下であれば細骨材粒子が拘束する水量は、ほぼ細骨材容積に比例し、拘束水比の形で表すと大略 20% でほぼ一定である(図-11)¹²⁾。この値は粉体の拘束水比の数分の 1 の大きさである。ただし、フレッシュコンクリートあるいはモルタルにおいては、細骨材の微粒部分は細骨材というよりはむしろ粉体と考えるのが良いことも示されている。現在までに得られた知見では、64 μm 以下の粒子は粉体、128 μm 以上の粒子は細骨材、と考えるのが適当である。その中間の粒径の粒子は両者の中間の性質をもっている。

粉体と細骨材の違いは、拘束水比の大小のほかに、その量を増していくときに、細骨材はその量がある限度を超えると拘束水比がみかけ上急激に増えることである(図-11)。この現象は、粉体においては認められず、

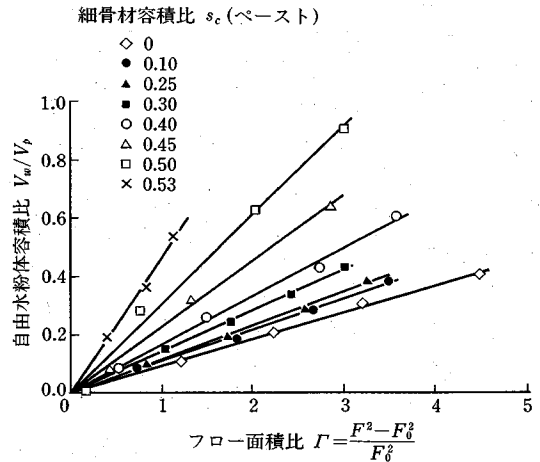


図-13 自由水粉体容積比とフロー面積比の関係

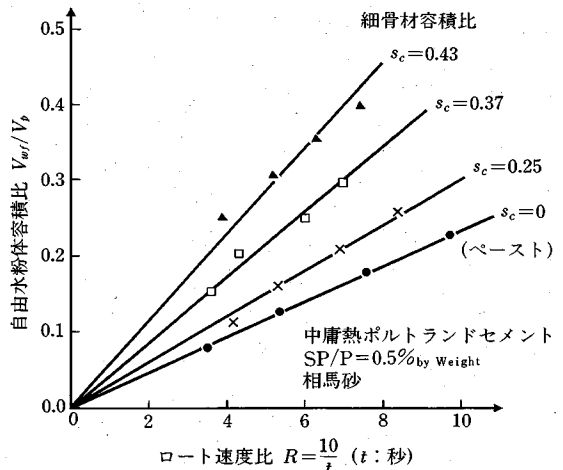


図-14 自由水粉体容積比とフロー速度比の関係

128 μm 以下の石灰石粉を細骨材と仮定して、モルタル中におけるその容積比と拘束水比との関係を認めると、拘束水比はほぼ一定となるのである(図-12)。細骨材の拘束水比が急激に増えるのは、細骨材どうしが直接接触する機会が増し、お互いのかみ合いが生ずる機会が増えるからであると考えられる。

粗骨材は拘束水比が実用上零と考えられる粒子であって、コンクリート中における粗骨材容積がある限度を超えると、急激に接触する機会が増え、お互いのかみ合いが生ずることは細骨材以上である。

(3) 水および高性能減水剤

フレッシュコンクリート中の水の主たる役割はコンクリートに十分な変形性を与えることである。ペースト中の水量から粉体や細骨材によって拘束される水量を差し引いたものを自由水量と定義すると、ペーストのフロー面積、および細骨材量を一定としたモルタルのフロー面

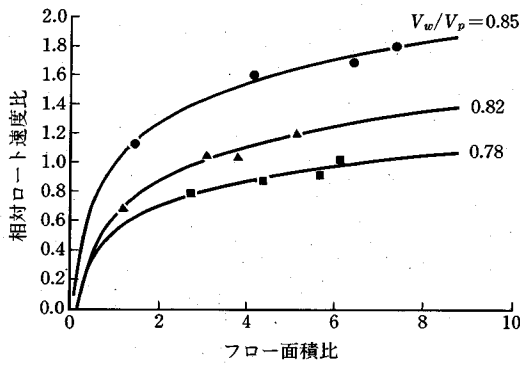


図-15 フロー面積比とロート速度比との関係

積，が自由水粉体容積比に比例する(図-13)。また，自由水粉体容積比の増加にしたがって，ペーストの粘性が小さくなる。ペーストやモルタルのロート流下速度が自由水粉体容積比に比例することも明らかにされている(図-14)¹³⁾。

高性能減水剤も，水と同様に，コンクリートの変形性を高める材料である。その添加量が小さい範囲では，添加量の増大に対してフロー面積が増加すると同時にロート速度も増加する。しかし，自己充填コンクリートに一般に使用される添加量では，フロー面積が大きく変化する場面にも，ロート速度の変化は比較的小さいのが，水の場合と大きな相違である(図-15)。もう一つの相違点は，高性能減水剤は，ブリージングを増すことなく，変形性を増すことができることである。このことが高性能減水剤が自己充填コンクリートにとって不可欠である重要な理由であり，高性能減水剤の開発があって初めて自己充填コンクリートが可能となったのである。自己充填コンクリートに必要な変形性と分離抵抗性とのバランスが適切となるようにするには，水粉体比の値と高性能減水剤の添加量とを適切に定める必要がある。

高性能減水剤は，粉体との組み合わせだけでなく，温度あるいは練混ぜ方法が異なれば，その効果も相当に異なるのが欠点である。その添加量や温度等の環境条件，練混ぜ条件や練混ぜ後の経過時間の変化に対してある程度鈍感であることが，自己充填コンクリートの製造管理の点から望ましい高性能減水剤の性質である。この種高性能減水剤の開発が強く望まれる。

(4) 増粘剤あるいは分離低減剤

増粘剤あるいは分離低減剤は，ペーストの粘性を高め，材料分離抵抗性を向上させるために利用される。セルロースのような水溶性高分子から成る増粘剤は，コンクリート中の水の粘性を変化させているものと理解される。多糖類のような不水溶性高分子は，吸水・膨潤し，粉体と同様にコンクリート中の水の動きを拘束し，自由水量を減少させることによって，粘性を増大させている。

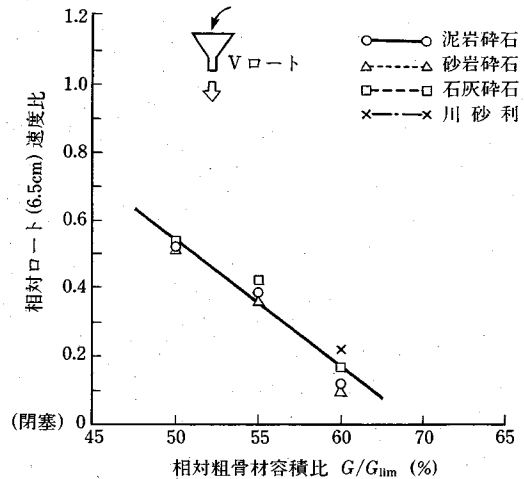


図-16 粗骨材量とロート速度比の関係

ものと思われる¹⁴⁾。

コンクリートの変形性を限界まで大きくし，なおかつ材料分離抵抗性を適切に保つ一つの方法として，分離低減剤の活用が図られている。このようにすれば，ばらつき，特に水量変動に対し，適用範囲の広い自己充填コンクリートを実現することが可能となる。分離低減剤を用いなくとも，同様な効果をあげる配合設計法が最近提案されるようになり，自己充填コンクリートにとって必ずしも必要な材料ではなくなってきた。しかし，その使用によって粉体量を減らすことは可能であるので，必要に応じて用いるのがよいと考えるのが至当であろう。

(5) 空気

コンクリート中にAE剤によって連行される空気泡は，硬化コンクリートの凍結融解抵抗性を高めるために必要である。しかし，フレッシュコンクリートにおいては，空気泡はその表面にわずかに水を拘束しており，その意味では，拘束水比の非常に小さい構成物質と考えられる。粉体ほどには骨材粒子を支える能力がないため，空気泡を混入しても，骨材粒子どうしが接触するのを防ぐ効果はほとんどないようである。したがって，自己充填コンクリートの配合設計において，空気泡は単なる増量材と考えてよいと思われる。

5. 配合設計法

(1) 粗骨材容積

コンクリート中における粗骨材容積が限度を超えると，互いに接触する機会が急激に増え，かみ合いが生じて，鉄筋の間隙等を通過する際に閉塞する可能性が高くなる。したがって，自己充填コンクリートの配合設計においてまず第一に考えなければならないことは，粗骨材の量をその限度以下とすることである。

現在までの知見では，この限度は粗骨材の容積そのも

のよりはその実績率に関連が深く、実績率の50%~60%にその限度があることが明らかにされている。また、粗骨材の容積率が50%以下であれば、適切なモルタルを用いると、前記のようなかみ合いが生ずる可能性はきわめて小さいことも明らかにされている(図-16)。このことは粒度分布が良く、粒形の良い骨材を用いると、粗骨材量を大きくできることを意味している。川砂利を用いると一般に粗骨材量を大きくできるのである。この限度は、モルタルの性質、特に粉体の特性によって幾分異なるようであって、今後の研究によって解明が期待されるところである。

(2) 細骨材容積

粗骨材の容積が定まればモルタルの容積も定まる。モルタル中における細骨材についても粗骨材と同様にその量が重要である。粗骨材の場合とは異なり、その実績率よりもむしろ容積そのものが重要であることが示されているが、その理由は必ずしも明確にはない。今後の研究課題である。

適切なペーストを用いると、細骨材容積をモルタル容積のある一定限度以下とすれば、細骨材どうしの直接的かみ合いがほとんど生ずることなく、自己充填コンクリートが得られる。この限度は、細骨材の種類の影響はあまり受けにくいようであるが、ペーストの特性の影響は受けるようである。適切な細骨材量とペーストの特性との関係については今後の研究課題である。

現段階において、細骨材中の90 μm 以上の粒子を粗粒細骨材と考え、それ以下の粒子を粉体と考えると、粗粒細骨材容積をモルタル容積の40%とすれば、十分安全に自己充填コンクリートを造ることができることが明らかにされている。

(3) 水粉体容積比と高性能減水剤添加量

モルタル中における細骨材量が定まると、次に定めるべきは水粉体比と高性能減水剤の添加量である。水粉体比を大きくしすぎると、水の分離が生じるだけでなく、ペーストの粘性が小さすぎて、粗骨材の分離を防げなくなる。逆に、水粉体比を小さくしすぎると、ペーストの粘性が大きくなりすぎて、コンクリートが間隙を通過していく能力に問題が生ずる。このことは、高性能減水剤を用いる場合も同様である。しかしながら、適切な変形性と粘性とをペーストあるいはモルタルに付与するための水粉体比と高性能減水剤の添加量を定める一般的な方法は未だに得られていない。配合設計法確立の点から、今後研究すべき最大の課題である。

(4) 配合設計システム

自己充填を実現するための解(配合)は、無数に存在する。材料あるいは配合の一部を固定すると、その範囲で最適な配合が定まる。逆に、何を固定するかによって得られる配合は異なるのである。現在使用されている配

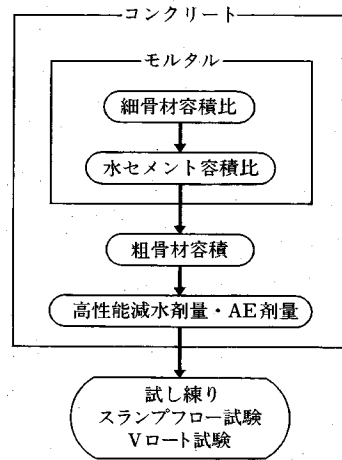


図-17 自己充填性汎用ハイパフォーマンスコンクリートの配合設計システム

合は、その材料の組み合わせから得られる最適な配合では必ずしもなく、自己充填が実現できる一つの配合に過ぎないといえる。

生コンクリート工場から一般的に供給されることを考慮し、自己充填性汎用ハイパフォーマンスコンクリートの配合設計システムを提案した(図-17)³⁾。この設計システムは、中庸熱ポルトランドセメントあるいは高ビーライト系セメントの使用を前提とした限定的なものである。一般の構造物に適用することを想定し、拘束水比等のフレッシュ時の特性だけでなく、発熱、強度発現、乾燥収縮、中性化等の硬化時および硬化後の特性を配慮すると、現段階では、前記のセメントを用いるのが適切だからである。

この配合設計システムによると、フレッシュ時の自己充填性を満足させると、自動的に硬化後の品質も一般的に満足されるようなシステムとなっている。セメントの品質の範囲を限定することで、配合設計を簡略化することができ、またその信頼性を高めることも可能となっている。さらに、データが蓄積されれば、組み合わせられる高性能減水剤の改良もより進むものと期待される。使用する粉体(セメント)の品質を限定する意義は大きいのである。

目標としている変形性および分離抵抗性は、自己充填性レベルとして高いものを設定している。したがって、一般の構造物であれば、この設定で自己充填が実現される。コンクリートの品質管理技術の信頼性が高まり、実構造物での充填性状とコンクリートの特性の関係がさらに定量的に明確になると、自己充填性レベルを自由に設定することも考えられる。

提案した配合設計システムでは、粗骨材量や細骨材量が安全をみて設定されている。各種の骨材に対応するためだけでなく、製造時のばらつき等に配慮し、コンクリー

ト中の粗骨材量やモルタル中の細骨材量をそれぞれの材料特性に応じて決定する方法を示したものである。

粉体、細骨材および粗骨材粒子相互の干渉の影響を定量的に評価できるようになり、製造時の品質管理技術が向上すれば、骨材量を増加させる方法を示すことも可能となる。また、水粉体比や混和剤添加量は、それぞれモルタルおよびコンクリートを実際に練混ぜることによって、最終的に決定される。これは、練混ぜの影響を定量的に扱うことが困難であることが最大の原因であり、高性能減水剤の効果等を実際に練混ぜることなしに評価できれば、試し練りなしに設計可能となる道が開ける。材料、配合、製造方法、環境条件から、フレッシュコンクリートの挙動が経時的に予測できる解析技術を開発することが将来の方向であろう。

(5) 自己充填レベルの評価方法

自己充填レベルを定量的に評価する方法の確立は、配合設計システムの確立において非常に重要な課題である。提案した配合設計システムでは、評価法として、スランプフロー試験とVロート試験を利用している。両試験によって自己充填性レベルを評価できるのは、材料および配合がここで提案された範囲にある場合に限られている。任意の材料および配合のコンクリートに対して、この二つの試験だけでは評価できないのである。実際に打設現場で再現される境界条件は種々様々であり、自己充填性に及ぼす要因が多数存在し、二つの試験値でコンクリートの特性を表現することには（一つよりは格段に優れているが）無理がある。フレッシュコンクリートの挙動を解析的に予測する技術の向上、およびこれらの評価試験の結果と実際の構造物へ打設して得られる自己充填性状との関係を結びつけるデータの蓄積が必要である。

参 考 文 献

- 1) 岡村 甫：新しいコンクリートへの期待，セメント・コンクリート，No. 475，1986. 9.

- 2) 小沢一雅・前川宏一・岡村 甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 11，No. 1，1989. 6.
- 3) 岡村 甫・前川宏一・小沢一雅：ハイパフォーマンスコンクリート，技報堂出版，1993. 9.
- 4) Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M. and Okamura, H. : High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures Proc. of the 2nd East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Chiang-Mai, 1989. 1.
- 5) Cagne, R., Pigeon, M. and Aicin, P.C. : Deicer Salt Scaling Resistance of High Performance Concrete, Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete, ACI SP-122, 1989. 11.
- 6) Okamura, H. and Ozawa, K. : Self-Compactable Concrete for Bridge Construction, International Workshop on Civil Infrastructural Systems, Taipei, 1994. 1.
- 7) 竹下治之・佐原晴也・横田季彦：締固め不要な高流動コンクリートに関する基礎的研究，コンクリート工学論文集，Vol. 1，No. 1，1990. 1.
- 8) 保田雅彦・古屋信明・糸日谷淑光・有馬 勇：1900 m³/日を可能にしたアンカレイジの施工—明石海峡大橋一，セメント・コンクリート，No. 558，1993. 8.
- 9) 新藤竹文・松岡康訓・ソムヌック・坂本 淳：超流動コンクリートの基礎物性に関する研究，第13回コンクリート工学年次論文報告集，1991. 6.
- 10) Nanayakkara, A., Ozawa, K. and Maekawa, K. : Flow and Segregation of Fresh Concrete in Tapered Pipes, Proc. of 3rd International Symposium on Liquid-Solid Flows, ASME, FED-Vol. 75, 1988. 11.
- 11) 吉田徳次郎：最高強度コンクリートの製造に就いて，土木学会誌第26巻第11号，1940. 11.
- 12) 山口昇三・枝松良展・岡村 甫：モルタルフロー値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，1994.
- 13) Tek Raj GYAWALI: Multi-Phase Model for Flow Behavior of Fresh Concrete, 東京大学修士論文，1993. 9.
- 14) 奈良 潔・新藤竹文・矢田英雄・三輪真敬：コンクリート用分離低減剤β-1，3-グルカン（カードラン）の性質，コンクリート工学論文集，Vol. 5，No. 1，1994. 1.

(1994.5.16 受付)