

論文 棒状バイブレータを用いたフレッシュコンクリートの ワーカビリティ試験法の開発

片平博¹, 河野広隆²

要旨: 一般にコンクリートのワーカビリティはスランプによって示されるが, ダムコンクリートのような低スランプのコンクリートではスランプの値で現場の締固め易さを適切に評価できない場合がある。そこで低スランプコンクリートの締固め易さを適切に評価できる新しい試験法を提案した。更に, この試験法を改良し, スランプ 8 cm 前後の中スランプのコンクリートに対する試験も実施し, 同一スランプのコンクリートであっても空気量や細骨材の違いによって締固め易さが異なることを確認した。

キーワード: フレッシュコンクリート, ワーカビリティ, 棒状バイブレータ, スランプ

1. はじめに

コンクリートの締固め易さはスランプで評価されるのが一般的であるが, 振動締固めが一般的である現状において, スランプの値だけでコンクリートの締固め易さを評価するには限界がある。

特に, ダムなどに使用されるマスコンクリートでは練上りのスランプが 2~5 cm 程度とその値自体が小さく, スランプ試験の適用範囲としては限界に近いと考えられる。さらに, コンクリートダムの施工法によってはコンクリートの打ち込み開始から締固め終了までに 4 時間程度を必要とする場合があり, その間のスランプロスを考慮するとスランプでの締固め易さの評価は困難である。このような低スランプのコンクリートであっても, 実際の締固めは十分に可能な場合もあり, 低スランプ領域での締固め易さを容易に評価する新たな指標が必要であった。コンクリートの締固めには棒状バイブレータが使用される場合が多い。そこで棒状バイブレータによる実際の締固め方法を模擬した新しいワーカビリティ試験法を提案した¹⁾。

また, スランプ 8 cm 程度の中スランプのコンクリートに対しても, 振動機による締固め易さとスランプとの対応性については不明な点が

多い。特に良好な骨材が不足し, 粒度分布や粒子形状のやや劣る骨材を使用したり, また, これに高性能 A E 減水剤等の特殊な混和剤を使用することでスランプの調整が行われる現在においてはなおのことである。

そこで中スランプコンクリートの締固め易さについても評価を可能とするため, 上記の試験法を改良し, スランプとの関係について実験的検討を行った。

実験目的を以下に整理する。

- (1) 低スランプコンクリートの実際の締固め易さを評価するための試験法を確立する。
- (2) この試験法を改良し, 中スランプコンクリートの締固め易さの評価も可能とし, スランプとの関係について調査する。

2. 低スランプコンクリートに対応した試験

2.1 棒状バイブレータによるワーカビリティ試験法

この試験では実際の締固め方法をできるだけ模擬することとした。すなわち, 実際のコンクリートの締固めには棒状バイブレータが主に使用されることに着目し, コンクリート試料中に棒状バイブレータを挿入し, その振動でコンクリート表面にペーストが浮上してくるまでの時

*1 独立行政法人土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム 主任研究員 (正会員)

*2 独立行政法人土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム 主席研究官 工修 (正会員)

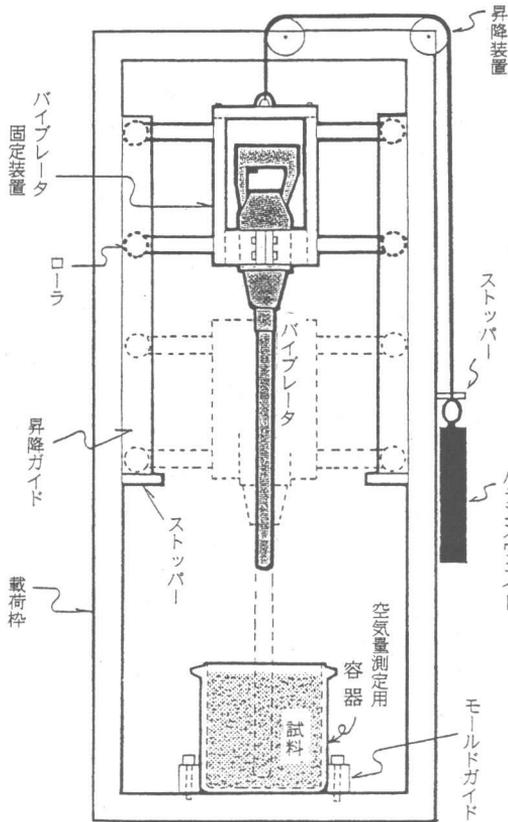


図-1 棒状バイブレータによる
ワーカビリティ試験装置

間を測定することで、コンクリートのワーカビリティを評価することとした。

試験装置の構造を図-1に示す。この装置ではバイブレータ固定装置のローラと昇降ガイドとの間に隙間を設け、バイブレータの振動が載荷枠を通して容器に伝達しない構造とした。棒状バイブレータの性能を表-1に、試験の手順を以下に示す。

(1) 空気量測定用の7リットルの容器内にコンクリ

表-1 棒状バイブレータの仕様

対象	低スランプ ^o	中スランプ ^o
全長 (mm)	761	690
質量 (kg)	4.0	5.0
原動機	電圧 (V)	100
	電流 (A)	4
	出力 (W)	220
振動体	長さ (mm)	475
	直径 (mm)	28
	振動数 (rpm)	12,000
	振幅 (mm)	1.8

表-2 材料物性 (低スランプ)

粗骨材 I	硬質砂岩, 密度 2.67g/cm ³ , 吸水率 0.51 %
粗骨材 II	輝石安山岩, 密度 2.66g/cm ³ , 吸水率 1.86 %
河床砂	大井川産, 密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 1.06 %
砕砂 B	輝石安山岩, 密度 2.63g/cm ³ , 吸水率 2.58 %
セメント	中庸熟, 密度 3.21g/cm ³ , 比表面積 3,170cm ² /g
フライッシュ	強熱減量 0.6 %, 比表面積 3,550cm ² /g
混和剤	AE 減水剤 (リク ^o ニスルホン酸), 遅延剤 (ク ^o ルコン酸)

ート試料を静かに詰め(突き棒等による突き固めは行わない), 所定の位置にセットする。

(2) 棒状バイブレータを起動させ, 試料中央に挿入させる。棒状バイブレータの先端はモールドの底面から 20mm の高さで停止するようになっており, 挿入に要する時間は 1 秒とする。

(3) 棒状バイブレータの振動によってコンクリートが流動し, コンクリート表面にペースト浮上してくる。この棒状バイブレータを挿入してからペーストが浮上してくるまでの時間を「ペースト浮上時間」とし, この秒数で締固め易さ

表-3 コンクリートの標準配合 (低スランプ)

骨材の組合せ		Gmax (mm)	W/C+F (%)	F/C+F (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				備考
細骨材	粗骨材						W	C+F	S	G	
河床砂	I	40	55	30	38	4.5	130	166	733	1,230	
河床砂	II	40	55	30	40	4.5	140	178	755	1,165	
砕砂 B	I	40	55	30	38	4.5	155	197	709	1,162	
砕砂 B	II	40	55	30	40	4.5	165	210	729	1,100	超遅延剤使用

を評価する。

2.2 低スランプコンクリートの実験方法

実験には表-2に示す材料を使用した。表中の砕砂Bはモンモリロナイトを含有している。モンモリロナイトはセメントの水和に影響を及ぼし凝結を促進する性質がある。

表-2の材料を使用し、表-3の配合を中心にコンクリートを練混ぜ、練上り後から、1時間ごとにスランプ、プロクター貫入抵抗値、およびペースト浮上時間を実施した。

なお砕砂Bと粗骨材Bを組み合わせた配合については凝結速度を緩和する目的で凝結遅延剤を添加したケースを数ケース設定した。

2.3 低スランプコンクリートの実験結果と考察

スランプとペースト浮上時間の経時変化の例を図-2に示す。この図で、まずスランプの経時変化についてみると、細骨材に河床砂を使用した配合に比較して砕砂Bを使用した配合のスランプロスは大きく、また超遅延剤の添加によってスランプロスが押さえられることが分かる。しかし、いずれの配合でもスランプは時間の経過とともに緩やかに低下していく傾向を示し、コンクリートの締固めがどの時間まで可能なかを判定するのは困難である。これに対してペースト浮上時間はある時間を境に値が急増する傾向を示し、締固め可能時間の判定は容易であった。

スランプとペースト浮上時間との関係について今回の実験結果を全てプロットすると図-3によるようになる。ペースト浮上時間はスランプが5 cm以下になるとやや増加し、スランプが0付近となった段階で値が急増する傾向を示した。このように、この試験法はスランプが5 cm以下の低スランプコンクリートの締固め易さの評価に有効と考えられる。

なおペースト浮上時間とプロクター貫入抵抗値との関係は図-4に示すとおりで、プロクター貫入抵抗値が0.1 ~ 0.5 N/mm²を超えるとペースト浮上時間も急激に増加する傾向を示した。

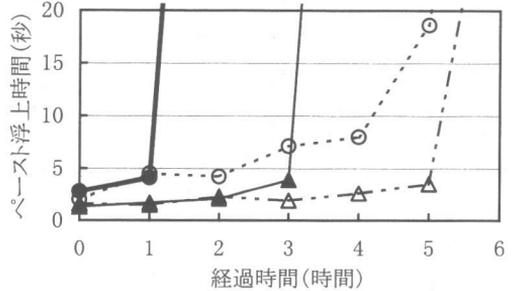
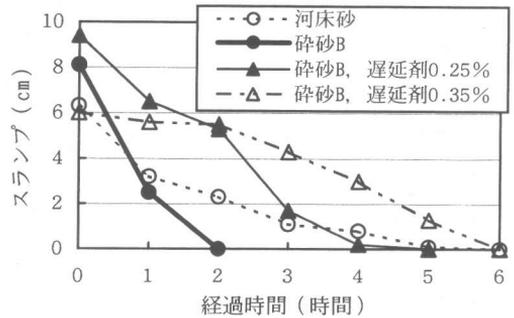


図-2 スランプとペースト浮上時間の経時変化(低スランプ)

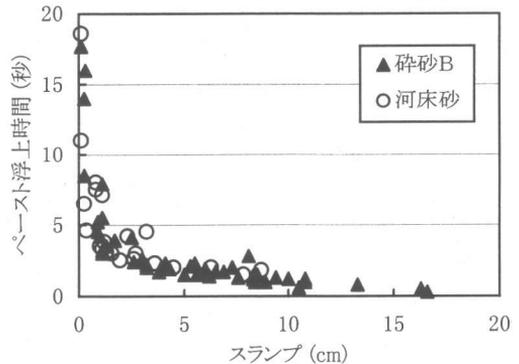


図-3 スランプとペースト浮上時間の関係(低スランプ)

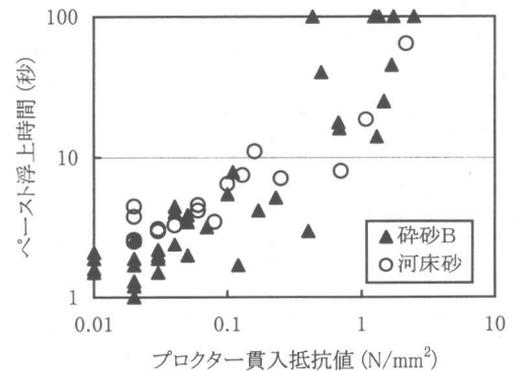


図-4 プロクター貫入抵抗とペースト浮上時間の関係(低スランプ)

3. 中スランプコンクリートに対応した試験

3.1 棒状バイブレータによるワーカビリティ試験法の改良

3.1 で紹介した試験法は図-2に示すように低スランプコンクリートの締固め易さの評価には有効であると思われるが、スランプが5~15cm程度の一般のコンクリートに対しては測定値の値が小さく、その評価は困難であった。

そこで中スランプコンクリートへの適応を可能とするために、棒状バイブレータの能力、挿入深さ、容器の大きさ、形状等を種々に変化させ、適切な試験条件を検討した。この結果、容器形状はそのままに、棒状バイブレータの能力を表-1に示すように低下させることによって、スランプ8cmに対応するペースト浮上時間は5秒程度となった。

しかしながらコンクリート表面へのペーストの浮上自体も緩慢となり、どの段階でペーストが浮上したと判定すれば良いか、その判定基準が不明確となった。このため、以下の方法によってペースト上昇時間を判定することとした。

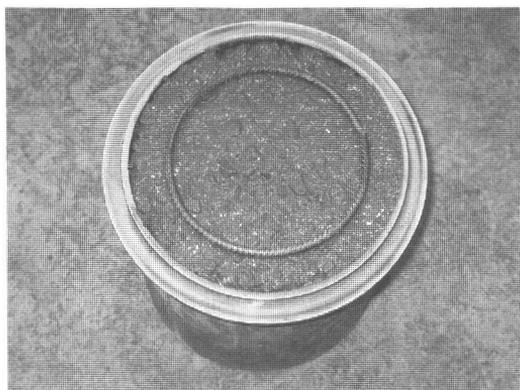


写真-1 鋼製リング

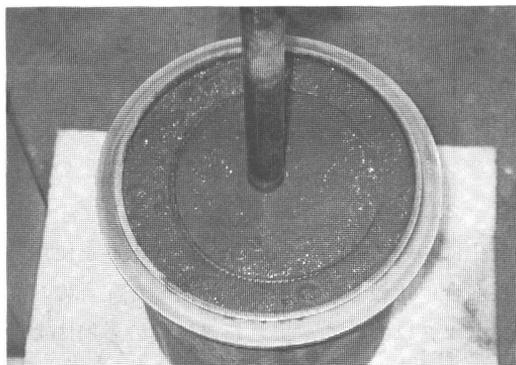


写真-2 鋼製リングの沈み込み状況

表-4 材料物性 (中スランプ)

粗骨材	硬質砂岩, 密度 2.67g/cm ³ , 吸水率 0.51 %
河床砂	大井川産, 密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 1.05 %, 粗粒率 2.76
砕砂 A	硬質砂岩, 密度 2.63g/cm ³ , 吸水率 0.94 %, 粗粒率 2.66 (~ 3.13, 一部の試験で粒度を変更)
砕砂 B	輝石安山岩, 密度 2.63g/cm ³ , 吸水率 2.58 %, 粗粒率 2.97, 粘土分を含有
セメント	普通ポルランドセメント, 密度 3.16g/cm ³ , 比表面積 3,170cm ² /g
混和剤	AE減水剤(リグニンスルホン酸), 高性能 AE減水剤(ポリカルボン酸)

表-5 コンクリートの配合 (中スランプ)

細骨材の種類	コンクリートの配合								フレッシュ性状	
	G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤	スランプ (cm)	空気量 (%)
				W	C	S	G			
河床砂	20	55	46	150~162	273~295	824~847	994~1010	AE減水剤 または 高性能AE 減水剤	4.7~12.3	3.0~5.8
	30	55	44	150	273	816	1065		6.4~7.7	4.8~5.0
	40	55	41	145	264	775	1144		5.2~6.9	3.7~4.9
砕砂 A	20	55	45~51	153~166	278~301	815~960	866~1036		5.7~15.3	4.3~7.0
	30	55	43~45	148~158	269~287	792~848	1032~1089		6.5~14.9	5.4~6.6
	40	55	40~43	140~153	255~278	757~827	1088~1176		2.2~8.1	3.8~6.5
砕砂 B	20	55	45~48	175~195	318~355	765~816	918~982	4.2~13.0	4.7~8.6	
	30	55	44	178~185	324~336	763~773	984~1002	7.0~11.0	4.8~6.5	
	40	55	41~42	168~180	305~327	726~763	1036~1068	6.5~7.3	3.6~5.4	

- (1) 容器に詰めたコンクリート試料の表面を軽く均し、
- (2) コンクリート表面に写真-1に示すような鋼製リング（リングの厚さ 6mm、リングの直径 150mm）を置き、
- (3) パイブレータを挿入すると、締め固めの進行に伴ってコンクリート表面には徐々にペーストが浮上し、これに応じて密度の大きな鋼製リングは沈下していく（写真-2 参照）。

このパイブレータを挿入してからリングが沈み込むまでの時間（実際にはリングの 1/2 が見えなくなるまでの時間）を測定することとし、この秒数をペースト浮上時間とした。

3.2 中スランプコンクリートの実験方法

実験に使用した材料は表-4に示すとおりで、細骨材には河床砂、砕砂A、砕砂Bの3種類、混和剤はAE減水剤と高性能AE減水剤の2種類を使用し、粗骨材の最大寸法は20,30,40mmの3水準とした。これらの材料を使用し、表-5に示す配合条件の範囲で合計で60配合のコンクリートの練混ぜを行い、スランプ、空気量およびペースト浮上時間を測定した。

3.3 中スランプコンクリートの実験結果と考察

スランプとペースト浮上時間との関係について全ての実験結果をプロットすると図-5のようになった。スランプが 8.5cm 以上の範囲ではペースト浮上時間は4秒程度でほぼ一定値を示

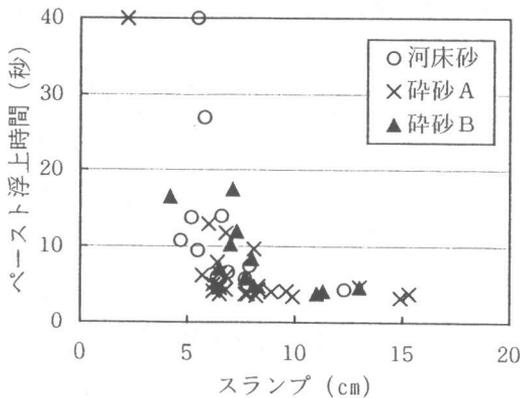
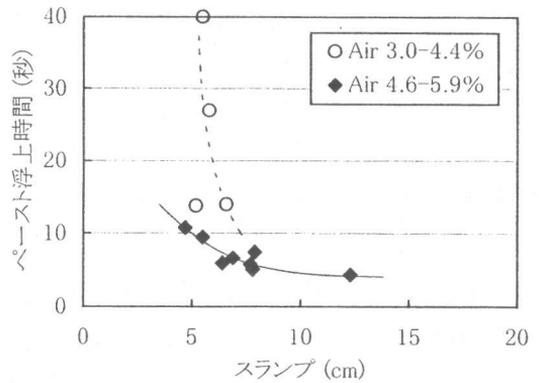


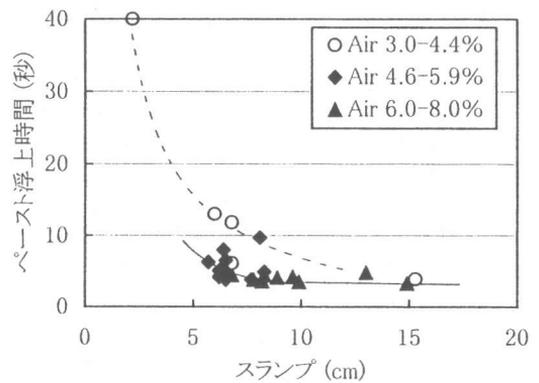
図-5 スランプとペースト浮上時間の関係（中スランプ、全データ）

した。スランプが 8.5cm 以下になるとペースト浮上時間は増加する傾向を示したが、バラツキが大きく、細骨材の違いによる差も判然としなかった。

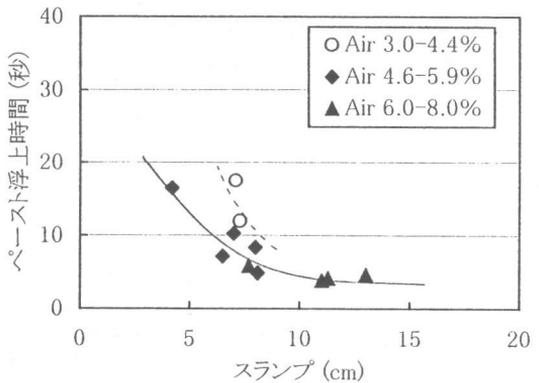
そこでグラフを各細骨材ごとに分け、さらに空気量との関係について調査した。この結果を



(1) 河床砂



(2) 砕砂 A



(3) 砕砂 B

図-6 スランプとペースト浮上時間の関係（中スランプ、各細骨材ごと）

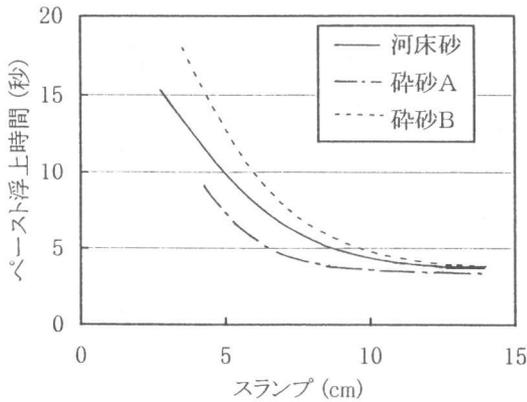


図-7 細骨材の違いによる比較
(中スランプ, 空気量 4.6%以上)

図-6 (1)~(3)に示す。これらの図では空気量の範囲を 3.0 ~ 4.4 %, 4.6 ~ 5.9 %, 6.0 ~ 8.0 % の3水準に分けて示した。このうち空気量が 4.6 % 以上のものについては概ね一つの曲線上にデータが分布する結果となった。これに対して空気量が 4.4 % 以下のものはペースト上昇時間が長くなる結果となった。このことからコンクリートの締固め易さはスランプ以外にも空気量の影響を受け、スランプが同一のものであっても空気量の少ないコンクリートは締固めにくいものと考えられる。

また、空気量が 4.6 % 以上のものについて図-6 (1)(2)(3)の実線を比較すると図-7のようになり、砕砂A、河床砂、砕砂Bの順でペースト上昇時間がやや大きくなる結果となった。このように、細骨材の種類によってもコンクリートの締固め易さはある程度異なるものと考えられる。

4. まとめ

- (1) 棒状パイプレータによるワーカビリティ試験によって得られるペースト上昇時間によって、低スランプコンクリートの締固め可能時間の判定が可能となった。
- (2) 低スランプコンクリートに対するペースト上昇時間とスランプ、またはプロクター貫入抵抗値との関係を明かとした。

(3) 本試験を改良することによって、中スランプコンクリートの締固め易さについても評価することが可能となった。

(4) 中スランプコンクリートに対する試験の結果では、同一スランプであっても空気量の違いによって締固め易さが異なる結果となった。また、細骨材の種類によっても締固め易さがやや異なる結果となった。

5. おわりに

今回の実験ではコンクリートの軟らかさの応じて2種類の性能の異なる棒状パイプレータを使用した。いずれのケースでもスランプがある値以上であればペースト上昇時間はほぼ一定値で、スランプがそれ以下になるとペースト上昇時間が急増する傾向を示した。このことから、ある振動エネルギーに対して締固め易さの境界点が存在するようである。このことから振動エネルギーを任意に設定することの可能な棒状パイプレータ(試験装置)を開発することによって、スランプをはじめとするコンクリートの配合条件と締固め易さとの関係を更に詳細に検討することが可能となり、種々の条件に対応した適切なスランプ範囲の設定が可能になるものと考えられる。

また、コンクリートのワーカビリティは単にスランプや締固め易さだけでなく、種々の性状が複雑に影響し合ったものであり、特にポンプ圧送性、鉄筋背面への充填性、分離抵抗性等が重要と考える。したがってこれらを適切に評価する指標の確立が重要であり、これによってコンクリートの施工実態に応じた適切なコンクリートの供給が可能になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 片平博：新しいコンクリートのコンシステンシー試験法の提案, 土木技術資料 39-10, pp8-9, 1997.10