[1087] フレッシュコンクリートのワーカビリチー判定手法に関する研究

正会員 ○豊福俊泰（日本道路公団試験所）
正会員 古賀文俊（日本道路公団旭川工事事務所）
正会員 吉岡博幸（日本道路公団試験所）
高橋 隆（日本道路公団試験所）

1．まえがき

コンクリート工事に用いられるコンクリートは、所要の強度・耐久性を満足するとともに、ワーカビリチーの良好な配合であることが重要である。ところが、ワーカビリチーの良否は、コンシステンシー以外の性質については定量的な試験方法がまだ確立されていないため、コンシステンシー試験におけるコンクリートの流動特性、変形性状などを観察して材料分離に対する抵抗性、フィニッシャビリチー、その他の良否を経験的に判断しているのが現状である[1]。

以上のことから、本報告は、型わく内に打ち込まれるコンクリートの状態に近い形でフレッシュコンクリートの変形性状を測定する流動性試験装置を考案し、スランプ試験およびＶＢ試験と対比して、その有効性を検討したものである。

2．実験概要

2．1 実験計画

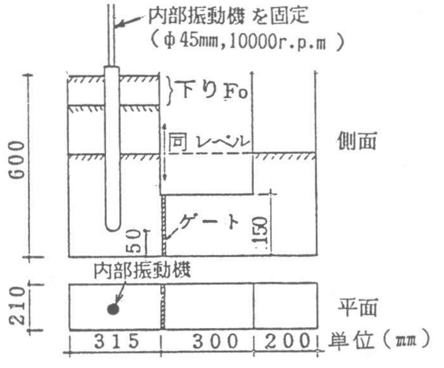
本実験における要因および水準を、表－１に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は相模川産川砂（比重2.60、粗粒率2.65）、粗骨材は華厳産砕石（最大寸法20mm、比重2.60、粗粒率6.72）、混和材はＡＥ減水剤を使用した。コンクリートの配合は、空気量4%とし、水準とした単位セメント量、スランプごとに単位水量が最小となる細骨材率（以後、最適細骨材率と呼ぶ）をまず求め、次に、単位水量一定の条件下で細骨材率を増減してフレッシュコンクリートの性状を測定した。

2．3 フレッシュコンクリートの性状測定方法

流動性試験装置は、図－１に示すように、佐治が考案したボックステスト[2]の下部に通路部分を追加して、型わく内の流動性・充填性の他に、ポンプ圧送性に近い状態を再現出来るように改良したものである。試験方法は、最初にゲートを閉じた状態でコンクリートを所定の高さまで投

表－１ 実験計画

要 因	水 準
単位セメント量 (kg/m³)	２３０，２８０ ３３０，４００
スランプ (cm)	７，１２，１７
細骨材率 (%)	最適細骨材率 －３，＋３



図－１ 流動性試験装置

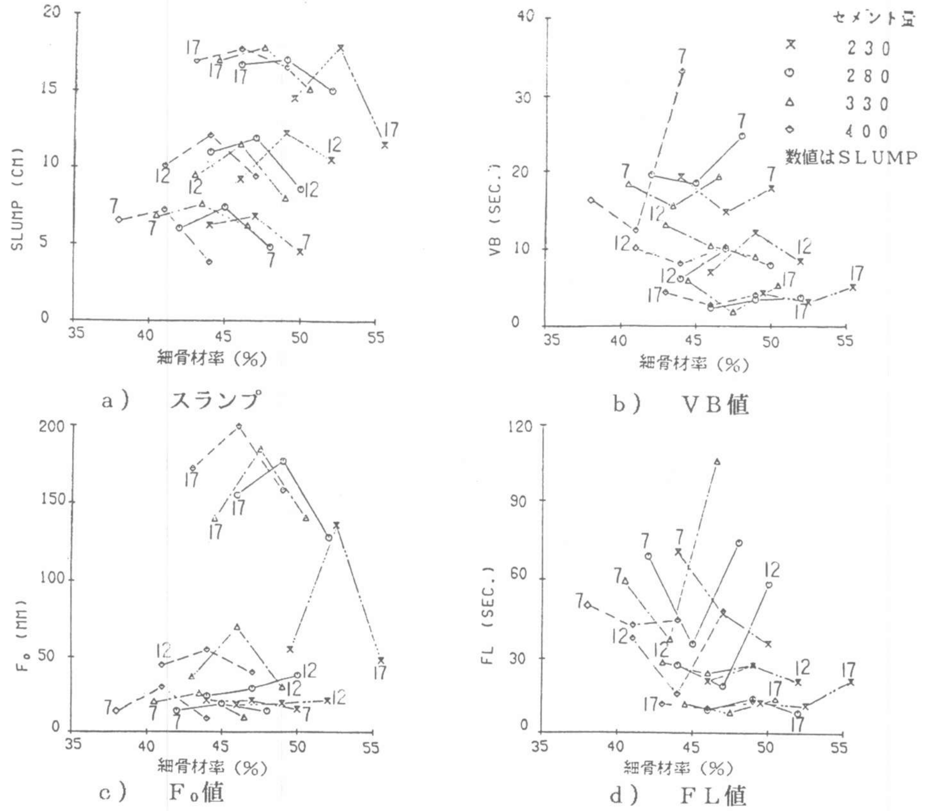
入した後、ゲートを開きコンクリートの下がり（以後、F_0値と呼ぶ）を測定し、次に内部振動機を振動させコンクリートが下部通路を通り反対側に侵入し投入側と同じ高さになるまでの時間（以後、ＦＬ値と呼ぶ）を測定する。側面部は透明なアクリル板を使用しており、内部の状況が観察できるようになっている。また、スランプ試験はJIS A 1101により、ＶＢ試験は振動台式コンシステンシー試験方法（土木学会規準）を準用し、スランプ10cmのコンクリートのＶＢ値が10秒程度となるように、試験装置の振動数を1500rpm、全振幅を0.4mmに調整[7]して実験を行った。

３． 実験結果と考察

３．１ 細骨材率

細骨材率は、所要のワーカビリチーが得られる範囲内で単位水量が最小になるようにこれを定めることとされている[3]。図－２から、いずれの試験値もスランプ試験で求めた最適細骨材率において変曲点が表れており、スランプ7cmに対してはＶＢ値およびＦＬ値、スランプ17cmに対してはF_0値の変化が顕著である。この傾向はボックステストにおいても、細骨材率を変化させると充填率が最大となる細骨材率があることが報告されている[2]。

スランプが2.5cm程度以下の硬練りコンクリートは、スランプが同じでも振動機による締固めやすさが相当に相違することがあるため、コンクリートに振動を与えて液状化させた状態における流動性をＶＢ試験で測定してコンシステンシーを判定している[4]。本試験では振動機の全振幅を0.4mmに調整したが、これによって硬練りに限らず、スランプ10cm程度のコンクリートまで流



a） スランプ　b） ＶＢ値　c） F_0値　d） ＦＬ値

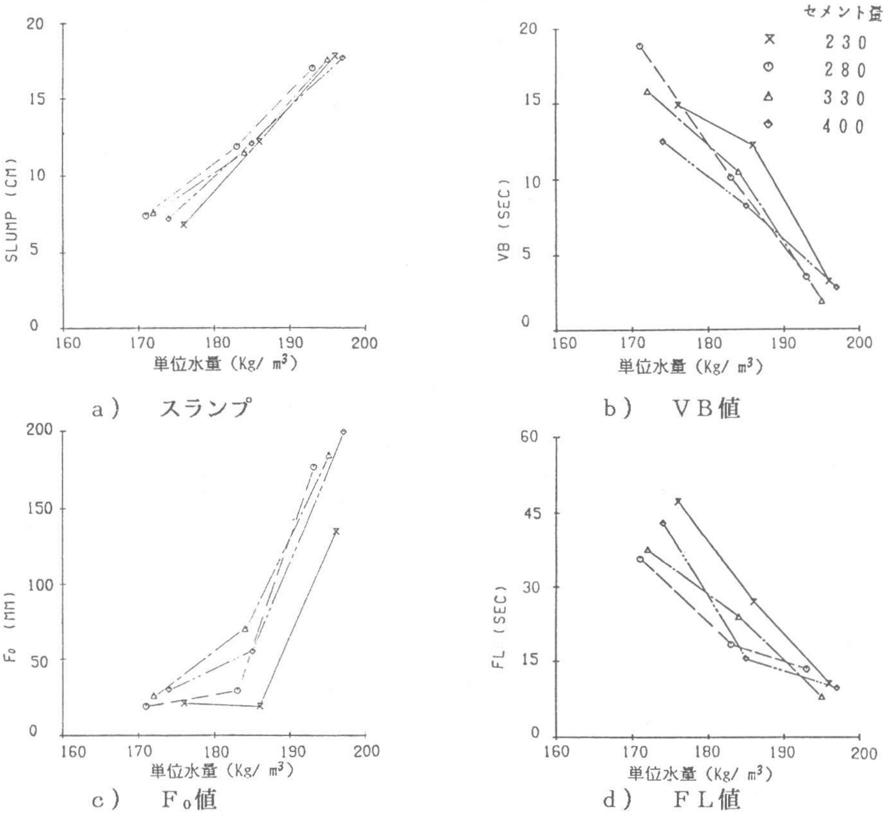
図－２ 細骨材率との関係

動性が判定でき、最適細骨材率を採用したコンクリートは締固めやすいものと判断された。

一方、本研究で考案した流動性試験装置は、流動性・充填性がよいほどF_0値が大きく、ＦＬ値が小さくなることが想定されるが、実測値もこの傾向を示しており、細骨材率の変化に伴い、F_0値はスランプと同様に上に凸、ＦＬ値はＶＢ値と同様に下に凸となっている。

３．２　単位水量

図－３は、最適細骨材率における単位水量と各試験値との関係である。スランプが5～15cm 程度の範囲では、単位水量が1.2％増加するとスランプは約1cm増加する関係があるが[3]本実験でも同様の傾向が求められ、スランプ1cmの増加に要する単位水量はスランプ7～12cmの間は約1.5%増加、同12～17cmの間は約1.1%の増加となっている。また、ＶＢ値は、単位水量1.2%の増加に対してスランプ7～12cmの間は約0.9秒減少し、同12～17cmの間は約1.4秒減少しており、セメント量が多いほどＶＢ値が小さくなる傾向がやや認められる。F_0値は、スランプ10cm程度に相当する30～50mm程度を変化点としてコンクリートの性状が異なって表されており、スランプの増大に伴い、単位水量が同一であっても単位セメント量によってF_0値に差が生じる傾向が示されている。スランプ7～12cmの間は単位セメント量によってF_0値の増加量に差があるのに対し、同12～17cmの間ではいずれも単位水量が1.2%増加するとF_0値は約25mm増加している。ＦＬ値は、F_0値とは逆にスランプが小さいほど単位セメント量によって差が生じており、硬練りのコンクリートほど振動機による締固めやすさの効果が相違する性状が表されているものと考えられる。また、ＦＬ



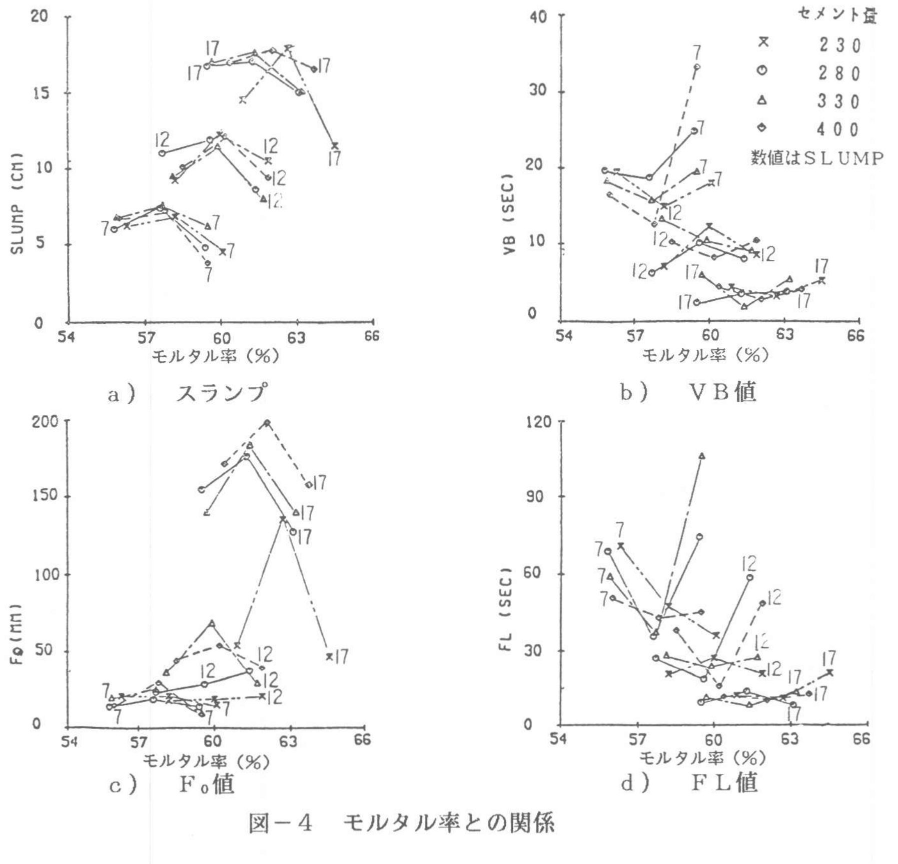
図－３　単位水量との関係

値はＶＢ値と比較すると測定値の読みが約3倍であり、性状の変化を測定し易いと言えよう。

ポンプ施工において閉塞などを起こさずに順調に圧送ができる最小セメント量は、粗骨材最大寸法20・25mm、スランプ8～12cm、空気量4%で配管径Φ150mmまたはΦ125mm、圧送距離100m程度の条件で、砕砂以外を用いる場合290kg/m^3程度、砕砂を用いる場合305kg/m^3程度が妥当であり、特に270kg/m^3程度以下の貧配合コンクリートは変形性が乏しいので、圧送負荷が増大し閉塞を生ずるおそれがある。さらに、単位セメント量350kg/m^3以上の富配合コンクリートは、コンクリート粘性が高いため通常のコンクリートと比較して管内圧力損失が増大傾向となり、吐出量は70%程度まで低下する場合もあるとされている[5]。流動性試験装置の下部通路は、壁部材等の型わく内への打ち込みあるいはΦ20cmの輸送管（断面積315cm^2を換算）内の圧送状況に近似していることを考慮するとF_0値およびＦＬ値はコンクリートの流動性・圧送性・充塡性などを表しているものと推察される。図－2・3によると、単位セメント量230kg/m^3の貧配合コンクリートは、他配合と比較してF_0値が小さく、ＦＬ値が大きくなる傾向が明らかに示されており、単位セメント量400kg/m^3の場合にも粘性が大きく流動性が低下する富配合コンクリートの性状がやや表れているものとみなされる。

３．３　モルタル率

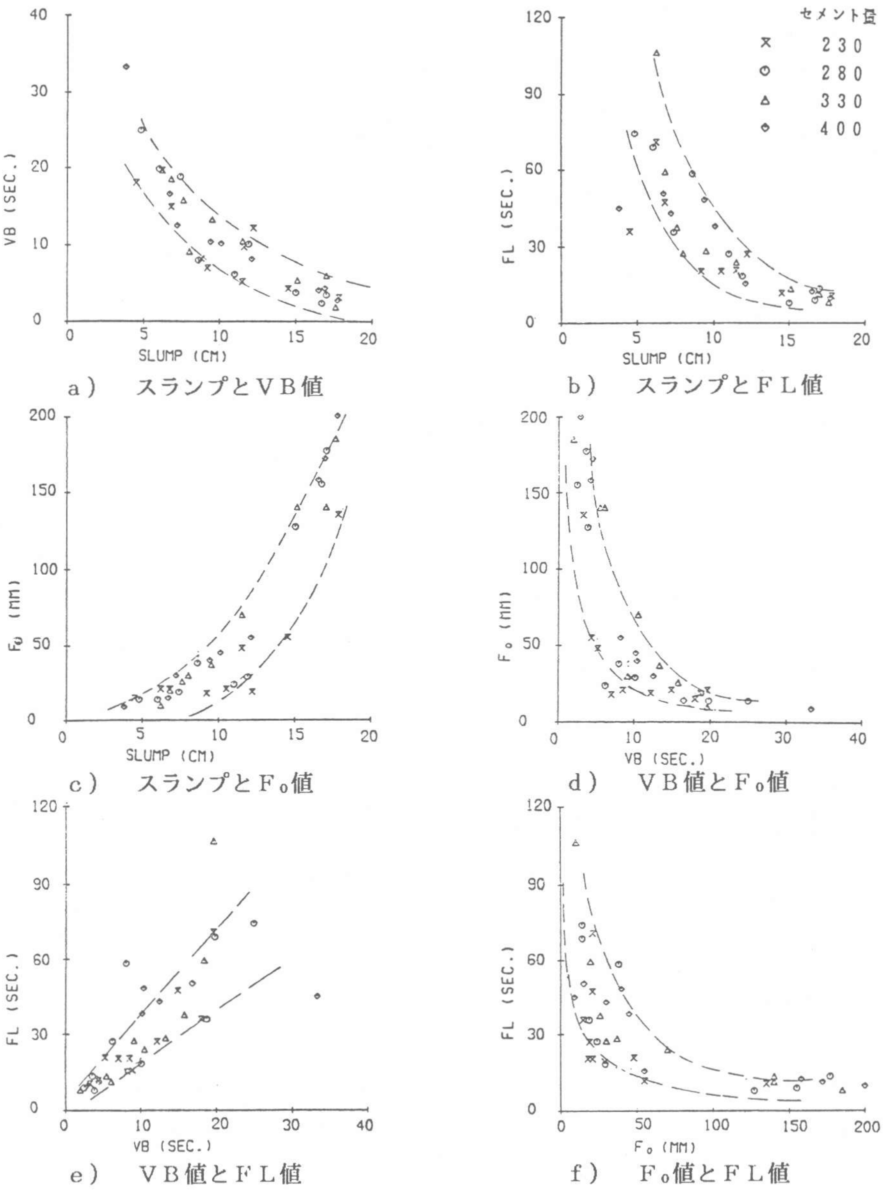
同一スランプのコンクリートでも、ポンパビリチーやフィニッシャビリチーが異なることは多くの報告があり、一般には0.3mm以下のモルタル量がポンプ圧送への影響が大きいとされている



図－４　モルタル率との関係

が[5]、ShilstoneはNo.8(2.36mm)ふるい通過モルタル量が施工性との関係が大きくスランプとモルタル量によってコンクリートの品質管理を行う必要があることを提案している[6]。

図－4は、後者の説により2.5mm以下の細骨材、セメント、水および空気の絶対容積合計がコンクリートの容積に占める百分率（これを、モルタル率と呼ぶ）とし、各試験値との関係を示したものである。図－2と比較すると、細骨材率で表した場合、単位セメント量によって最適細骨材率が異なっているのに対し、モルタル率で表した場合には単位セメント量にかかわらず変化点の位置がほぼ一致している。すなわち、使用骨材が同一であれば所要のコンシステンシーが得ら



a）　スランプとＶＢ値　　b）　スランプとＦＬ値

c）　スランプとＦ$_o$値　　d）　ＶＢ値とＦ$_o$値

e）　ＶＢ値とＦＬ値　　f）　Ｆ$_o$値とＦＬ値

図－５　スランプ試験、ＶＢ試験および流動性試験の関係

れる範囲内で単位水量が最小になる細骨材率におけるモルタル率（これを、最適モルタル率と呼ぶ）とし、各試験値との関係を示したものである。図－２と比較すると、細骨材率で表した場合、単位セメント量によって最適細骨材率が異なっているのに対し、モルタル率で表した場合には単位セメント量にかかわらず変化点の位置がほぼ一致している。すなわち、使用骨材が同一であれば最適モルタル率は単位セメント量にかかわらずほぼ一定となり、また、スランプとモルタル率は単位セメント量 230～400kg/m^{3}程度の範囲において直線関係にあり、各種の細・粗骨材を用いた筆者らの試験結果[7),8)など] にこの考えを当てはめてみたところ、スランプ一定の条件下では次の傾向が認められた。

① 使用骨材が同一であれば、単位セメント量が変わっても、最適モルタル率はほぼ一定である。

② 骨材の粒形・粒度が悪いと判断される粗骨材の実積率が小さく、細骨材の実積率が小さい場合ほど、いずれも、最適モルタル率が大きくなっている。

以上のことから、コンクリートの配合設計において、モルタル率を用いる方法はコンシステンシーと使用材料の品質、配合との関係を把握して配合決定が行えるものと考えられ、最適モルタル率から配合を定める方法が提案される。

３．４ スランプ試験、ＶＢ試験および流動性試験の関係

図－５によると、スランプとＶＢ値・ＦＬ値との関係、また、F_o値とＶＢ値・ＦＬ値との関係は同様の傾向を示しており、ＶＢ値とＦＬ値とはほぼ直線関係にあることが示されている。これらの図から、本試験結果ではスランプ10cm、ＶＢ値10秒、F_o値40mm、ＦＬ値30秒程度において 変化点が表れており、コンクリートの性状の変化を定量的に表しているものと考えられる。

４． 結論

本研究により得られた主要な結論を、以下に示す。

① 本研究で考案した流動性試験法は、コンクリートの流動性、圧送性、充填性などを表しており、内部振動機の振動特性および下部通路の断面を変えることによって軟練りから硬練りまで広範囲のコンシステンシーのコンクリートの性状を判定できるものと推察され、新しいワーカビリチー試験法として提案する。

② 流動性試験結果からも、所要のコンシステンシーが得られる範囲内で単位水量が最小になる最適細骨材率は、流動性、圧送性、充填性がよい配合であるものと考えられる。

③ 使用材料が同一でコンシステンシーが一定の場合には、単位セメント量にかかわらず最適モルタル率はほぼ一定であり、この特性を配合設計に適用することが可能である。

なお、流動性試験法の有効性については、さらに検討を進めていく予定である。

参考文献

1) 岩崎・西林・青柳：フレッシュコンクリート、硬化コンクリート、新体系土木工学 1981.1
2) 佐治：コンクリートの調合設計に関する研究（第1報～第3報）日本建築学会研究報告（第1部）No.33、1955.10、No.34、1955.11、同上論文報告集No.54、1956.9
3) 土木学会：コンクリート標準準示方書・施工編、1986.10
4) 村田、岩崎：コンクリート施工法、1978.12
5) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針（案）、1985.11
6) J.m.Shilstone;The contractor needs more than slump control、Concrete construction、1986.2
7) 三和・豊福：コンクリートの耐久性に関する試験（第2報)、日本道路公団試験所報告・昭和49年度 1975.12
8) 飯岡・豊福：コンクリートの耐久性に関する試験（第3報)、日本道路公団試験所報告・昭和50年度 1976.11