

論文 フレッシュコンクリートの粘性評価手法に関する研究

藤代 勝^{*1}・坂井 吾郎^{*2}・坂田 昇^{*3}・新藤 竹文^{*4}

要旨: 本報では、フレッシュコンクリートのスランプ値で判断できないコンクリートの粘性を評価するための手法として、従来のスランプコーンの高さを低くした改良コーンを考案し、そのコーンを用いてタンピング試験を行うことで、コンクリートの粘性が評価可能であることを確認した。また、この改良コーンを用いバイブレータによる連続的な振動を与えた場合には、モルタル中の粘性のみではなく粗骨材の影響を加味した結果が得られることを明らかにした。さらに、加振充てん性試験との関係より、この加振フロー試験によってモルタルの粘性と粗骨材の干渉に起因した、締固め時の流動特性を表現できる可能性を見出した。

キーワード: フレッシュコンクリート, 粘性, 改良コーン, スランプフロー, 充てん性

1. はじめに

一般に、実務においては同じスランプ値のコンクリートは、同じ施工性や耐久性を有すると評価されることが多い。しかし、実際には、スランプ値が同じであっても、セメントの種類や骨材の品質などの材料特性、単位水量や水セメント比などの配合条件によって、コンクリートの粘性に関わる性能である材料分離抵抗性や締固め性能は変化し、施工性が異なる^{1) 2)}。一般にコンクリートの粘性は、回転粘度計などにより塑性粘度を測定することで評価される³⁾。また、コンクリートの流動性と粘性の両者から決まる充てん性を、間隙通過試験や各種充てん性試験などによって評価する場合もある。しかし、これらの試験は現場で容易にできるものではない。

また、施工性におけるコンクリートの粘性は大きい方がよいというのではなく、材料分離抵抗性に関しては粘性が大きい方がよく、締固めの容易さに関しては粘性が小さい方がよい。すなわち、施工においては、適度の粘性が要求されることになるが、この適度な粘性を見出すための具体的な検討方法が十分に提供されていない。

このようにコンクリートの粘性を現場にて測定することや、その評価が困難であることから、経験的にスランプ値のみによって施工性能が評価されているのが実状である。しかし、今後コンクリートに要求される性能がさらに多様化すること、また、性能照査型設計への移行に向けて、コンクリートの施工性能を的確に評価する必要がある。

そこで、筆者らは、スランプ試験を応用して、スランプ板を振動させたときの変形性能により、簡易にコンクリートの粘性を評価する方法を考案し、その適用性について実験的に検討を行った。本論はその結果についてまとめたものである。

2. 新しく考案した試験方法

2.1 タンピング試験の問題点

スランプ値で判断できないコンクリートの粘性を見るための方法として、スランプ板に突き棒や木槌で打撃を与え、コンクリートに振動を与えてその拡がり方を見る、いわゆるタンピング試験がある。しかし、この方法ではスランプ試験後のコンクリートに振動を与えるため、振

*1 鹿島建設 (株) 技術研究所土木構造・材料グループ研究員 工修 (正会員)

*2 鹿島建設 (株) 技術研究所土木構造・材料グループ主任研究員 (正会員)

*3 鹿島建設 (株) 技術研究所土木構造・材料グループチーフ兼上席研究員 博工 (正会員)

*4 大成建設 (株) 技術センター土木技術研究所土木構工法研究室チームリーダー兼主席研究員 博工 (正会員)

動を加え始めるときのスランプ値はコンクリートの配合によって異なり、それぞれ位置エネルギーの初期値に違いがある。例えば、スランプ 8cm のコンクリートでは、高さ 22cm の位置エネルギーを初期値として持ち、スランプ 18cm のコンクリートは高さ 12cm の位置エネルギーを持っている。

このため、同一の振動エネルギーを与えても、数値化できる結果としてのスランプの拡がり、すなわちスランプフロー値には位置エネルギーが含まれることになり、フロー値の差をもって直接的に各配合の粘性の違いを表現できない。また、図-1のように、スランプコーンへの試料の詰め方などの影響によりスランプの軸にずれが生じた場合には、タンピング後のフローに偏りが生じるため、試験値のばらつきが大きくなる。

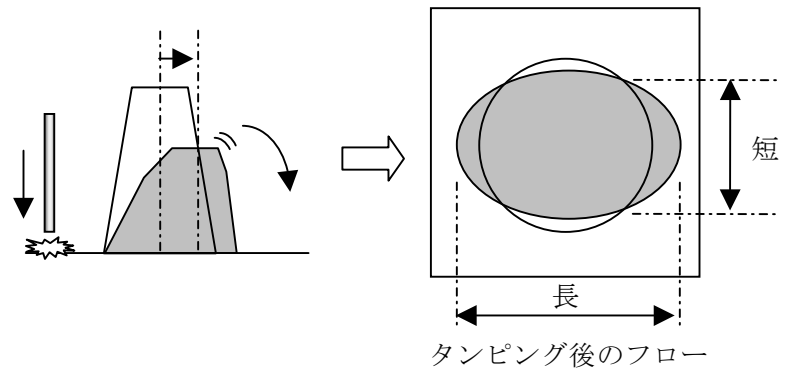
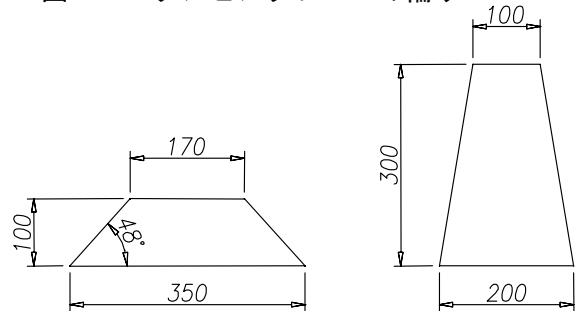


図-1 タンピングフローの偏り



$$V=5.510\ell$$

$$V=5.498\ell$$

考案した10cmコーン

従来の30cmコーン

図-2 コーンの側面形状

2.2 タンピング試験用コーンの考案

上記の問題点を解決し、配合が異なっても同一条件でタンピング試験を行える方法として、容積を従来のスランプコーン（以下、標準コーン）とほぼ同一とし、コーンの高さを10cmとしたもの（以下、改良コーン）を用いて評価する方法を考案した。改良コーンを図-2および写真-1に示す。

2.3 改良コーンの検証

コーンを改良したことによる効果について検証するために、スランプ値および粘性の異なるコンクリートについてタンピング試験を行い、標準コーンと改良コーンの比較を行った。

実験では、表-1に示す材料を用い、表-2に示す水セメント比（以下、W/Cと略記）55%、目標スランプ12cmのコンクリートを基準に、骨材料一定の条件下で、単位セメント量を+60kg、+20kg、0kg、-10kg、-20kg、-60kgの6水準で水と置換したコンクリートを練り混ぜ、それぞれ標準コーンと改良コーンを用いて以下の方法によりタンピング試験を実施した。



写真-1 改良コーン

試料の締固めはこれまでのスランプ試験同様、3層各25回の突き棒による締固めとした。ただし、改良コーンでは、コーンの裾の角度が48度と広がっているため、試料が十分にコーンの側面に行き渡るよう、試料を入れる際にはコーン底部で十分に広げてから突き棒での締固めを行った。改良コーンにて試料を成型し、コーンを引き上げて、スランプ値を計測した後、突き棒によるタンピング試験を行った。突き棒による

表-1 使用材料

項目	記号	材料	摘要
水	W	上水道水	-
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度 3.16 (g/cm ³)
細骨材	S	砕砂 (ブレンド)	表乾密度 2.64 (g/cm ³), 実積率 66%, 吸水率 1.36%
粗骨材	G	砕石 (ブレンド)	表乾密度 2.65 (g/cm ³), 実積率 64%, 吸水率 0.71%
混和材	A E	A E 減水剤	リグニンスルホン酸系

振動が常に同条件となるよう、スランプ板の下には 5cm 厚の硬質ゴム板を設置し、塩ビパイプをガイドとして突き棒を 25cm の高さから落下させた。突き棒を落下させる位置は、スランプ板の四隅とし、4箇所 (1周) を 1回として、これを 20回まで繰り返した。タンピングフロー値とは、タンピング前のスランプフロー値と 20回タンピング後のスランプフロー値の差である。実験結果について、セメントと水の置換量とスランプ値の関係を図-3に、置換量とタンピングフロー値の関係を図-4に示す。なお、図-3では改良コーンのスランプ値を通常のスランプ試験用検尺で測定した時の読み値で表記しており、実際のスランプ値に標準コーンと改良コーンの高さの差 20cm を加えた値となっている。

標準コーンでのスランプ値、すなわち通常のスランプ試験結果では、セメントと水を置換し、かつ配合毎のスランプの調整を行っていないため、各配合でスランプ値が異なり、単位セメント量の多い配合ほどスランプ値が小さくなっている。これに対して、改良コーンでのスランプ値は 0cm から 1cm の範囲にあり、タンピング開始時の位置エネルギーをほぼ同じにできていることが分かる (図-3)。

骨材量を一定とし、セメントと水を置換していることから、単位セメント量の多い配合ほどコンクリートの降伏値は大きくなり、粘性は高くなる。標準コーンによる試験では、スランプ値の変化により降伏値の変化が表現されていると考えられる (図-3) が、タンピングフロー値については個々のばらつきが大きく、明確に何らかのコンクリートの性質を表現しているとは言い難い (図-4)。これに対して、改良コーンのタンピングフロー値は、セメント量を増加

表-2 配合表 (S, G一定)

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				A E (C×%)
		W	C	S	G	
40.8	46.0	149	365	832	988	0.25
49.7	46.0	162	325	832	988	0.25
55.0	46.0	168	305	832	988	0.25
57.9	46.0	171	295	832	988	0.25
61.1	46.0	174	285	832	988	0.25
76.2	46.0	187	245	832	988	0.25

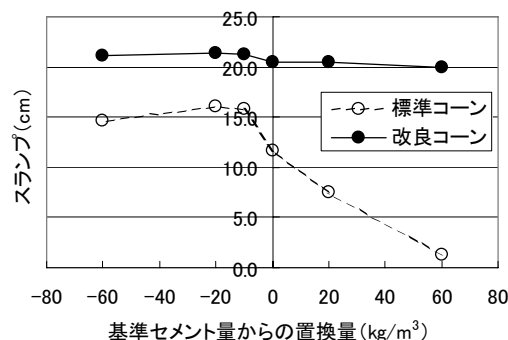


図-3 スランプ試験結果

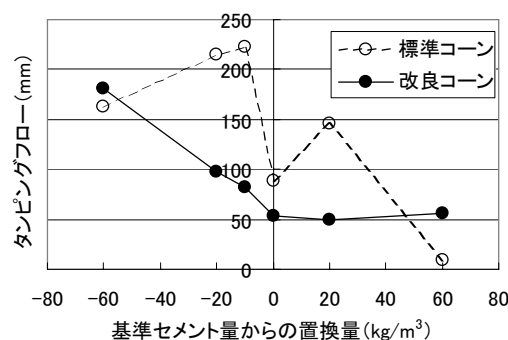


図-4 タンピング試験結果

した領域での変化が小さく、感度が鈍る傾向にあるものの、セメント量の増加に伴ってフロー値が小さくなる傾向となっている。また、セメント量を減少させた領域において、標準コーンでのスランプ値は 15cm 前後になっており、これらの配合の降伏値はほぼ同じであると考えられるが、改良コーンでのタンピングフロー値には明確な違いが認められる。これは改良コーンの

タンピングフロー値が主に降伏値以外のコンクリートの性質、すなわちコンクリートの粘性を表していることを示すものと考えられ、このことから、改良コーンを用いたタンピング試験を行うことでコンクリートの粘性を評価できるものと考えられる。

3. 試験方法の改良

3.1 振動の与え方についての問題点

前章で述べたとおり、改良コーンを用いてタンピング試験を行うことによりコンクリートの粘性や変形性を評価可能であることが確認できたが、**図-4**で示したように、特にスランプ値が小さく粘性が高い領域において前述のタンピング方法では明確な違いが出ない結果であった。これは、突き棒の落下による振動では、高粘性のコンクリートを十分に流動させるだけのエネルギーを与えることができないためと考えられる。また、タンピングによる振動が瞬間的であるのに対し、実際の締固めではバイブレータによる連続的な振動であり、これに対するフレッシュコンクリートの挙動が異なる可能性がある。

そこで、改良コーンを用いて成型したコンクリートに対して、スランプ板の端部に小型の型枠バイブレータで振動を与えて、その挙動をタンピング時の挙動と比較する実験を行った。

3.2 実験内容

実験に用いたコンクリートは、スランプのレベルを合わせるために、単位水量と粗骨材量を一定とし、セメントと細骨材の置換により W/C を 40%、45%、50%、60%、および 70% として粘性を変化させた。各配合を表-3 に示す。

(1) 型枠バイブレータによる加振フロー試験

図-5に示すように、タンピングの場合と同様にフロー板を設置し、型枠バイブレータは周波数 180Hz、出力 250W のものを使用して、振動を与えた。また、フロー板とバイブレータの間には 10cm×10cm、4cm 厚の硬質ゴム板を挟み、これを介してフロー板に振動を伝達した。

改良コーンにて試料を成型後、バイブレータ

表-3 配合表 (W, G一定)

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				A E (C×%)
		W	C	S	G	
40.0	43.0	168	420	743	988	0.25
45.0	44.2	168	373	782	988	0.25
50.0	45.1	168	336	813	988	0.25
60.0	46.5	168	280	859	988	0.25
70.0	47.5	168	240	893	988	0.25

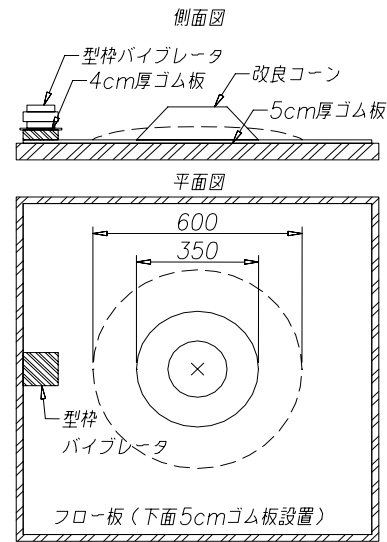


図-5 加振フロー試験

により加振を与え、フローが 600mm となるまでの時間を計測して、これをコンクリートの加振フロー値とした。また、骨材の影響についても考察するため、コンクリートの配合から粗骨材を除いたモルタルについて同様の試験を行い、比較を行った。モルタルの場合は、コンクリートに比べ変形性が大きいため、改良コーンを用いてもスランプし、配合ごとにスランプ値とフロー値の初期値が異なる。そこでコーンを引き上げ、周辺に微振動を与えてフロー値を 500mm に統一した後に、型枠バイブレータにて加振して、フロー値が 700mm となるまでの時間を計測した。

(2) 加振ボックス充てん性試験

加振フローと鉄筋障害がある場合の充てん性の関係を見るため、加振ボックス充てん性試験を実施した。**図-6**に示す試験器は高流動コンクリートの充てん性評価⁴⁾に用いられるものであり、これに加振フロー試験と同じ型枠バイブレータを用いて振動を与えた。A室にコンクリ

ートを3層に分けて入れ、大きな空隙が残らないよう突き棒で10回程度軽く突いて成型した後、ゲート開放して加振した。流動障害は障害R2とし、5分間加振後の充てん高さを計測した。

3.3 実験結果

各配合のスランプと空気量の試験結果を図-7に示す。スランプは7.5cmから9.8cm、空気量は2.6%から4.0%の範囲にあり、後述する試験結果にはほとんど影響を及ぼさないと考えられるものであった。

W/Cとタンピングフロー値の関係を図-8に示す。前章で述べた試験結果と同様に、粘性は評価できていると考えられるものの、粘性が高いW/Cが40~50%の領域での感度が鈍くなっている。なお、60%と70%においてフロー値がほぼ同じになっているが、これは70%ではモルタルの粘性が極めて低いために、粗骨材同士の干渉が大きくなりフロー値の増大を妨げたことによるものと考えられる。

一方、加振フローの変化は、図-9に示すように、タンピングの場合とは逆に40%と45%で明確な差異が認められ、W/Cが大きくなると感度が鈍くなっており、与える振動エネルギーの大きさの違いを反映した結果となっている。

ただし、45%と50%ではほとんど差のない結果となった。本実験は、各W/Cについて日を変えて2度実施したが、それぞれ同程度の数値が得られており、これが再現性のある現象であることを確認した。

図-10にモルタルでの加振フローの結果を示す。コンクリートの加振フローがコンクリート中のモルタル分の粘性を表すとすれば、モルタルにおいても同様の傾向が認められるはずであるが、モルタルの加振フロー試験で得られた数値は、モルタルの粘性がW/Cの低下に伴って増加することを示唆する結果であり、45%と50%には明確な差異が認められる。このことから、コンクリートの加振フロー試験で得られる数値は、単にコンクリート中のモルタル分の粘性のみではなく、粗骨材のロッキングなどの影響を

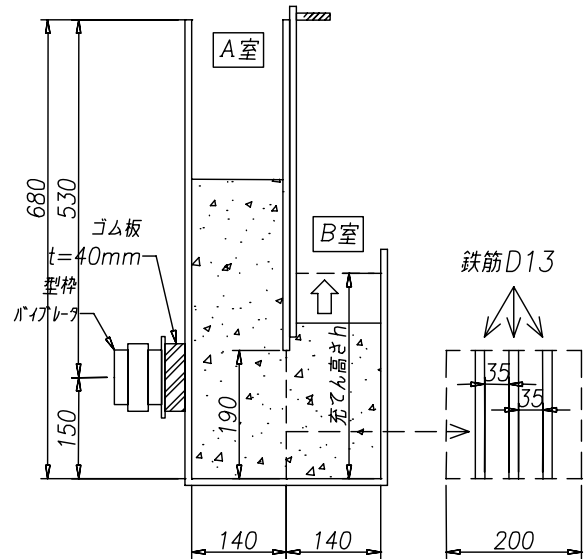


図-6 ボックス充てん性試験

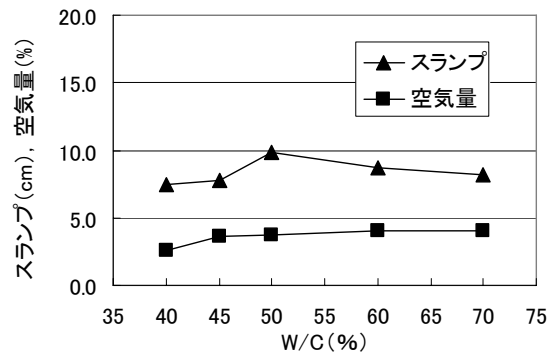


図-7 各配合のスランプ空気量

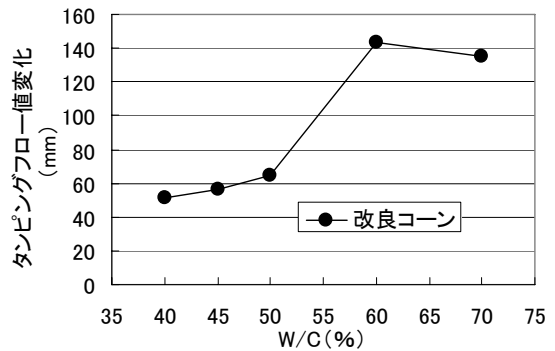


図-8 タンピングフロー試験結果

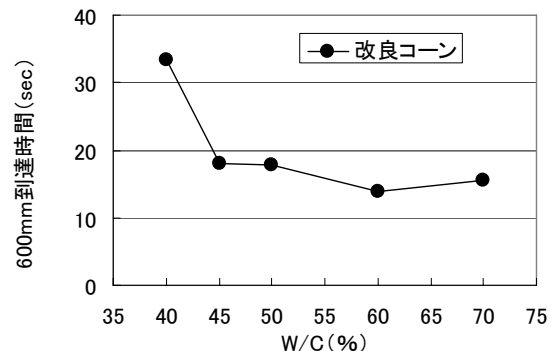


図-9 加振フロー試験結果

加味したコンクリートの性質を表現したものであると考えられる。

加振充てん性試験の結果を図-11 に示す。今回の実験水準においては W/C45%が最も高い充てん性能を示す結果となった。この試験では、粘性が高すぎると振動エネルギーが十分にコンクリートに伝達されないために充てん性が低下し、粘性が低すぎると鉄筋障害部でモルタルだけが通過し粗骨材のロッキングを生じて充てん性が低下する。粘性には、与えられる振動エネルギーや粗骨材の質と量、鉄筋間隔などの流動障害の程度といった各条件に対して、これらをバランス良く満足するものが存在し、その粘性が得られた時に最も充てん性が高くなると考えられるが、今回の実験結果における加振フローと加振ボックス充てん性の関係から、加振フローで得られた結果にも同じことが言えると推察される。すなわち、W/C45%の数値がそれより粘性の低い 50%と同程度の数値になったのは、今回の実験の範囲において、45%の配合が有する粘性がパイプレータにより発せられた振動をコンクリート全体に十分に伝達し、かつ粗骨材同士の干渉を緩和するのに適したものであったため、コンクリート全体が効率良く流動することができた結果であると考えられる。

以上のように、改良コーンによる加振フロー試験では、タンピング試験では表現できないモルタルの粘性と粗骨材の干渉に起因した、コンクリートの締固め時の流動特性が表現できるものと考えられる。また、今後さらに検討する必要があるが、比較的簡易に実施できる本試験を用いてコンクリートの性状を評価することで、締固め時の充てん性能を推定できる可能性があると考えられる。

4. まとめ

本報では、改良コーンを用いてタンピング試験、加振フロー試験を行い、フレッシュコンクリートの粘性を評価できる可能性について検討した。その結果、以下に示す知見が得られた。

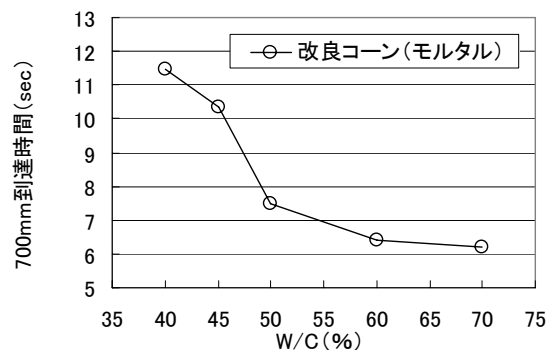


図-10 加振フロー試験

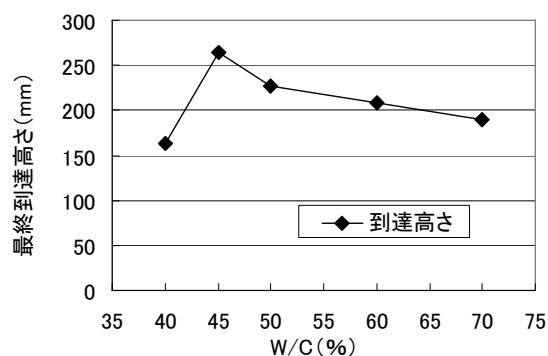


図-11 加振充てん性試験結果

(1) 改良コーンを用いたタンピング試験を行うことでコンクリートの粘性を評価できるものと考えられる。

(2) 改良コーンによる加振フロー試験では、粘性と粗骨材の干渉に起因した、締固め時の流動特性を表現できるものと考えられる。

最後に、本研究は東京大学前川宏一教授のご指導のもと、大成建設株式会社、鹿島建設株式会社が実施した2社共同研究の成果の一部であることを付記します。

参考文献

- 1) 坂田昇, 新藤竹文, 前川宏一: コンクリート施工性の問題とそれらを解決する施工性能評価システム, 橋梁と基礎, pp.41-46, 2005.10
- 2) 土木学会編: フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題, コンクリート技術シリーズ 37, 2000
- 3) 日本コンクリート工学協会編, 超高流動コンクリート研究報告書 (I), 1993.5
- 4) 土木学会編: 高流動コンクリート施工指針, コンクリートライブラリー93, 1998