

# 論文 各種振動条件によるブリーディングの発生に関する検討

澁上 翔平\*1・橋本 紳一郎\*2・伊達 重之\*3・藤倉 祐介\*4

**要旨:**本研究では同一のモルタルフローと空気量のフレッシュモルタルに対し、振動機の種類や振動周波数、振動時間、振動の与え方などの振動条件が最終ブリーディング量や発生時間に与える影響を振動時のフレッシュ性状試験とともに検討した。同時に振動の有無により、細骨材の種類や粒度の影響も検討した。その結果、振動無と比較し、振動有は振動の条件により初期のブリーディング発生量や最終ブリーディング量、終了時間が異なること、細骨材の粒度の影響が大きいことを示した。また、振動の有無や振動条件による最終ブリーディング量の増減の違いは、振動時の塑性粘度と相関性があることを示した。

**キーワード:**ブリーディング, 振動, 周波数, モルタル, 塑性粘度, 流下速度

## 1. はじめに

近年、化学混和剤の開発が進み、混和剤の種類や添加量によって使用材料・配合条件が異なっても同一のスランプを有するコンクリートを製造することは可能となってきた。既往の報告<sup>1)</sup>では、振動条件下における同一スランプを有するコンクリートの間隙通過性や材料分離抵抗性、変形性を定量的な指標で示す試験方法が提案されており、これにより同一スランプのコンクリートでも、使用材料や配合条件により振動時の挙動が異なることが報告されているが、それらがブリーディングに与える影響は明確にされておらず、フレッシュ性状とブリーディングとの関係性については不明瞭な点が多い。

これまでに、コンクリートのブリーディングにおける研究は数多く行われているが、主に使用材料の材料特性や配合条件に関するものが多い。また、打込みや締め固めなどについては、型枠形状の影響<sup>2)</sup>や振動時の材料分離との関係<sup>3)</sup>等について検討されているが、振動条件や振動時のフレッシュ性状とブリーディングとの関係を直接的に検討されていない。

ブリーディングの試験方法には JIS A 1123 や ASTM C 232-04 等が挙げられるが、JIS の試験方法には振動条件は含まれておらず、ASTM C 232-04 の B 法は振動を付与するが、一定の振動条件で行うものであり、振動の条件までを考慮していない。そのため、これらの試験方法の結果は振動締め固めを必ず行う実施工とは対応していない。実施工やコンクリート製品工場等では、型枠に直接振動させる場合や内部振動機による振動等、振動条件も様々である。

以上のことから、本研究では同一のモルタルフローと空気量のフレッシュモルタルに対し、振動機の種類や振

動周波数、振動時間、振動の与え方などの振動条件が最終ブリーディング量や発生時間に与える影響を検討した。また、振動の有無により、細骨材の種類や粒度の影響が最終ブリーディング量や発生時間に与える影響も検討し、それらと振動時のフレッシュ性状との関係について比較・検討を行った。

## 2. 実験概要

本研究では、モルタルでのブリーディングの発生について2つのシリーズで検討した。シリーズ1では、振動条件や振動の与え方の影響をフレッシュ性状とともに検討した。シリーズ2では、振動条件と細骨材の種類や粒度分布が与える影響をフレッシュ性状とともに検討した。

### 2.1 振動条件や振動の与え方がブリーディングの発生に及ぼす影響に関する検討 (シリーズ1)

#### 2.1.1 使用材料及び配合条件

本試験で使用したモルタルの配合は、W/C を 55%, S/C を 2.5 とし、目標フロー値は 15 打フローで 170±15mm、目標空気量を 8.0±1.0% に設定した。フローの調整は混和剤の添加量のみで行い、目標フローと目標空気量を満たしたモルタルに対して試験を行った。今回のモルタルの配合は、スランプ 8.0cm、空気量 4.5% 程度の一般的なコンクリートを想定したものである。本試験で使用した材料を表-1 に示す。

#### 2.1.2 試験項目及び試験方法

##### (1) フレッシュ性状試験

フレッシュ性状試験の試験項目及び試験方法、評価項目を表-2 に示す。フレッシュ性状試験において、振動ロータ試験は振動を付与して、羽根沈入試験は振動を付与しない場合と付与する場合で行った。

##### (2) 振動ロータ試験

\*1 福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (学生会員)

\*2 福岡大学 工学部社会デザイン工学科助教 博(工) (正会員)

\*3 東海大学 工学部土木工学科教授 博(工) (正会員)

\*4 株式会社フジタ 技術センター土木研究部 博(工) (正会員)

表-1 使用材料

材料	記号	種類	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	粗粒率
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.15	-	-
細骨材	S	福岡県玄界灘産海砂	2.58	0.96	2.62
混和剤	Ad	リグニンスルホン酸系	1.06	-	-

振動ロート試験は、振動下におけるモルタルの流動性をテーブルバイブレータ(以降、テーブルと称す)に固定した Jp ロートによって測定した(図-1 参照)。また、本試験で使用したモルタルは振動無では Jp ロートを流下しないものである。流下時間の測定は、まず始めにロート下部を塞いだまま、無振動の状態でも漏斗にモルタルを充填し、5 秒間静置した後にロート下部を開放と同時に振動を付与しながら完全流下するまでの時間を測定し、流下速度を算出した。振動ロート試験では、表-3 に示す条件でテーブルの振動条件を変えた場合も検討した。

(3) 羽根沈入試験

羽根沈入試験は既往の研究<sup>4)</sup>を参考として行った。3 枚の羽根を有する治具をモルタルに自重で沈入させて粘性を測定するものである。容器に詰めた試料に対し、沈入羽根の質量を段階的に変えていき沈入速度を測定し、せん断速度とせん断応力度の関係から、塑性粘度を求めるものである(図-2 参照)。また、容器をテーブルに固定し、振動を付与しながら試験を行った場合の塑性粘度も測定した。羽根沈入試験はテーブルの振動条件を表-3 に示す条件で変えた場合も検討した。

(4) ブリーディング試験

ブリーディング試験は既往の研究<sup>5)</sup>を参考とし、ブリーディング容器には細骨材用単位質量測定容器(2l)を用いた。ブリーディング試験において振動を付与したもの(振動有)は、振動機や周波数の違いによる影響をみるために、テーブルはテーブルに固定した容器に、棒状バイブレータ(以降、棒パイと称す)は水平な台の上に静置した容器に加速度計を取り付け、設定した周波数に達する時間を計測した。

1) 振動無の場合

振動無の場合は JIS A 1123 に準拠して行った。容器に試料を 1 回(1 層)で詰め、突き棒で 15 回突いた後、木槌で数回叩いてブリーディングを測定した。ブリーディング水の採取時間は 0 分~60 分までは、15 分毎に採取し、60 分以降は 30 分毎に採取した。

2) 振動有の場合

容器に試料を 1 回で詰める(1 層)、テーブルにより振動を付与した後にブリーディングの測定を振動無と同様に行った。周波数は 10, 20, 30, 40, 50, 60Hz(振幅は、周波数: 10Hz の場合に 0.90mm, 周波数: 20Hz の場合に 0.50mm, 周波数: 30Hz の場合に 0.35mm, 周波数: 40Hz の場合に 0.35mm, 周波数: 50Hz の場合に 0.35mm, 周

表-2 フレッシュ性状試験の試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法	評価項目
モルタルフロー試験	JIS R 5201	流動性
空気量試験	JIS A 1128	空気量
凝結試験	JIS R 5201-1997	凝結時間
振動ロート試験	既往の研究を参考	振動下におけるモルタルの流動性
羽根沈入試験	既往の研究を参考	振動下におけるモルタルの塑性粘度
回転粘度計試験	回転粘度計を使用	降伏値



図-1 振動ロート試験装置

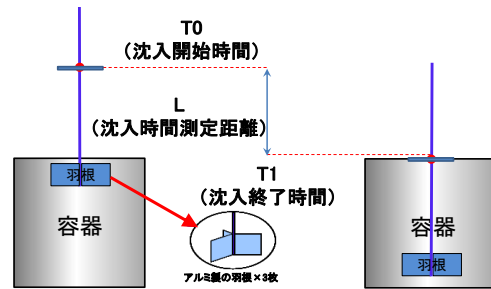


図-2 羽根沈入試験装置

波数: 60Hz の場合に 0.20mm) で検討し、それぞれの周波数に対して振動時間は 5, 30, 60, 120 秒でも検討した。試料への振動の与え方を検討するため、容器に試料を 2 回に分けて詰める場合(2 層)でも検討した。試料全体に与える振動時間が同じになるように各層にテーブルにより振動を付与した後に、ブリーディングを測定した。2 層の場合でも振動時間と周波数を 1 層と同様に調べて検討した。棒状バイブレータ(以降、棒パイと称す)により振動を付与した場合でも比較し、振動を付与する方法の違いがブリーディングに与える影響を検討した。棒パイの周波数については 20Hz, 40Hz, 60Hz(振幅は、周波数: 20Hz の場合に 0.10mm, 周波数: 40Hz の場合に 0.10mm, 周波数: 60Hz の場合に 0.10mm)の 3 水準で試験を行った。ブリーディング水の採取時間は振動無と同様である。振動有の場合のブリーディング試験の試験条件を表-4 に示す。

2.2 振動条件と細骨材の種類や粒度分布がブリーディングの発生及ぼす影響に関する検討(シリーズ 2)

2.2.1 使用材料及び配合条件

シリーズ 2 で使用した使用材料及び細骨材の物理的性質を表-5 に示す。シリーズ 2 では、海砂と砕砂の 2 種類

表-3 フレッシュ性状試験における振動条件について

試験条件	比較項目
振動	振動有, 振動無
周波数(Hz)	10, 20, 30, 40, 50, 60

表-4 ブリーディング試験の試験条件と比較項目

試験条件	比較項目
振動	振動有, 振動無
振動を付与した装置	棒パイ, テーブル
加振時間(秒)	5, 30, 60, 120
容器への詰め方	1層, 2層
周波数(Hz)	10, 20, 30, 40, 50, 60

表-5 使用材料及び細骨材の物理的性質

骨材の種類	粒度	粗粒率	表乾密度 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	実積率 (%)	微粒分量 (%)
海砂	中目	2.62	2.58	0.98	60.1	1.0
	粗目	3.30	2.69	0.31	60.2	0.0
	細目	2.53	2.52	2.12	59.6	3.2
砕砂	中目	2.64	2.57	0.53	61.8	0.8
	粗目	3.32	2.71	0.34	62.1	0.0
	細目	2.51	2.52	2.34	60.8	2.7

の細骨材を使用し、それぞれに対して粒度分布の異なる3種類を用いて検討した。粒度曲線の中央に位置の粒度(以降、中目と称す)、粗い粒度(以降、粗目と称す)、細かい粒度(以下:細目と称す)である。各粒度の粒度分布を図-3に示す。配合条件はシリーズ1と同様である。

### 2.2.2 フレッシュ性状試験及びブリーディング試験

フレッシュ性状試験についてはシリーズ1の試験項目を行った。ブリーディング試験は、振動無の場合には、シリーズ1と同様に行った。振動有の場合には、容器に試料を1層で詰め、テーブルで振動を付与した。振動時間は30秒、周波数は40Hzで行った。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 シリーズ1の結果及び考察

#### 3.1.1 テーブルパイプレタでの試験結果

図-4に振動時の流下速度と塑性粘度の関係を示す。周波数が高くなるとともに流下速度は速くなり、塑性粘度は100 (Pa・s) 付近の値であった。周波数別では、周波数を10Hzから20Hzに高くした場合、塑性粘度は小さくなるが、20Hzでは流下速度に変化はみられなかった。周波数を20Hzから30Hzに高くした場合、塑性粘度が最も小さくなり、流下速度は大きく変化した、急激に速くなった。また、周波数を30Hz以上に高くした場合、流下速度は周波数が高くなるとともに大きくなるが、30Hzよりやや大きくなった。以上から、同一のモルタルフローと空気量であっても、振動時のフレッシュ性状は周波数によって異なり、周波数が30Hz以上で、流下速度が速くなりそれは塑性粘度の値が100 (Pa・s) を境界に大きく変動すると考えられる。

図-5に振動時間と最終ブリーディング量(以降、最終量と称す)、ブリーディング終了時間(以降、終了時間と

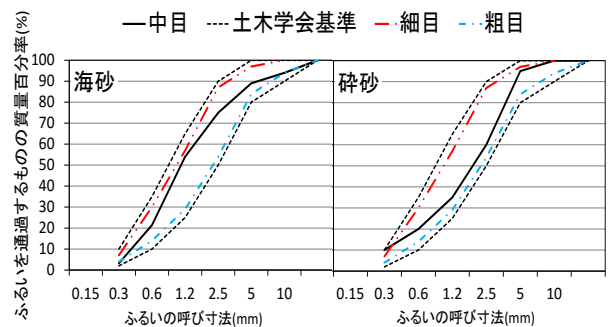


図-3 細骨材の粒度分

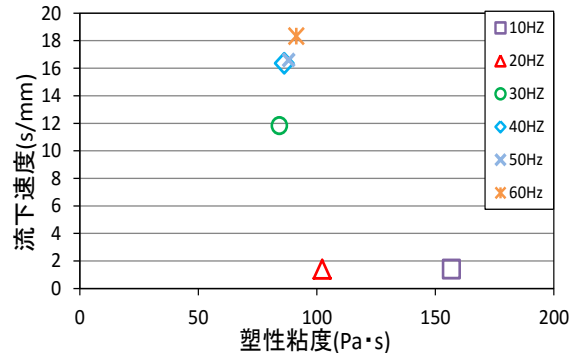


図-4 振動時の流下速度と塑性粘度の関係

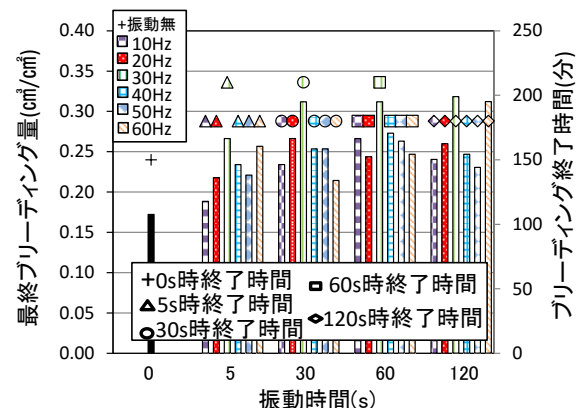


図-5 テーブルにおける最終ブリーディング量とブリーディング終了時間の関係

称す)の関係、図-6に結果の一例として振動時間30秒の各周波数の経過時間とブリーディング発生量(以降、発生量と称す)の関係、図-7に結果の一例として周波数30Hzの各振動時間の経過時間とブリーディング量の関係を示す。

振動無に対して振動を与えたことにより最終量は多くなり、最大で2倍程度に増えた。終了時間も長くなり、振動無に比べて振動を与えた場合の終了時間が最大で60分程度長くなった。周波数別での終了時間については、周波数30Hzの場合に長くなったが、各振動時間での終了時間は同じであった。また、その他の周波数の各振動時間での終了時間は全て同じであり、振動時間が終了時間に与える影響はみられなかった。

周波数別での最終量は、フレッシュ性状で周波数30Hzに変化が見られたのと同様に、30Hzが最も多くなり、周

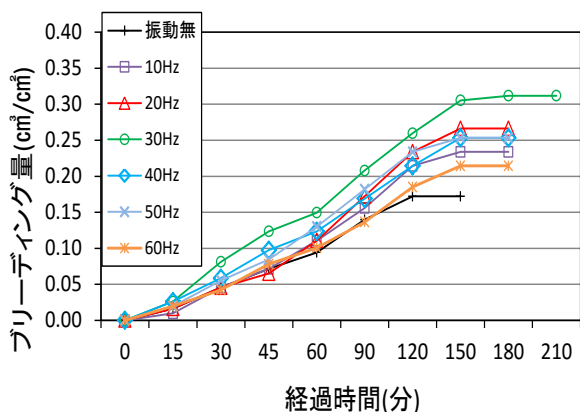


図-6 テーブルにおける振動時間 30 秒時の周波数とブリーディングの関係

波数 30Hz を境とし、最終量の増減が見られた。塑性粘度が最も小さい 30Hz の場合に、容器と試料内部に均等に振動が伝わり、試料内部に均等に水みちが形成されたためと考えられる。これらのことから、最終量は周波数による影響を受けるが、振動時間の長さや周波数の高さによる影響を受けにくいと考えられる。

各周波数の経過時間と発生量については、周波数 30Hz の場合、振動無と比べて 15 分以降の早い経過時間から発生量が増えている。その他の周波数と発生量について、60 分までの発生量は、10Hz, 20Hz, 60Hz, は振動無と同様の発生状況であり、40Hz と 50Hz は 30Hz ほどではないものの 15 分以降から発生量が増えている。また、発生量はいずれの周波数においても、60 以降から徐々に増加する傾向を示した。この傾向は、全ての振動時間で確認でき、振動時間が長くなるほど、その傾向は顕著であった。各振動時間の経過時間と発生量については、振動時間が 5 秒から 30 秒になると発生量は増加するが、振動時間が 30 秒以降では発生量の推移に差がみられなかった。容器に取り付けた加速度計で計測した結果、各周波数の振動が容器全体に伝わる時間は 5 秒程度であった。今回の試験において、振動時間 5 秒以降も 30 秒までは振動時間の影響により発生量は増加するが、振動時間 30 秒以降は試料の量や容器形状の影響により発生量と終了時間に違いが見られなかったと考えられる。

図-8 に結果の一例として周波数 30Hz, 振動時間 30 秒の振動の与え方の違いによる経過時間と発生量の関係を示す。2 層の場合、1 層の場合と同様に振動無と比べて、終了時間は長くなり、最終量も多くなった。また、1 層と 2 層で比較した場合、同一の振動時間と周波数の場合でも 1 層の方が発生量は多くなるが、終了時間は同じであった。また、2 層の場合は、90 分程度まで振動無と同様の発生量の推移を示し、90 分以降から徐々に発生量が伸びる傾向を示した。この傾向は、他の周波数でも同様であった。これは 2 層に分けて振動を与えて容器に詰め

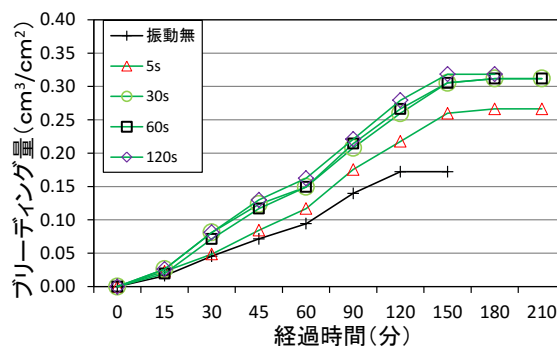


図-7 テーブルにおける 30Hz 時の振動時間とブリーディングの関係

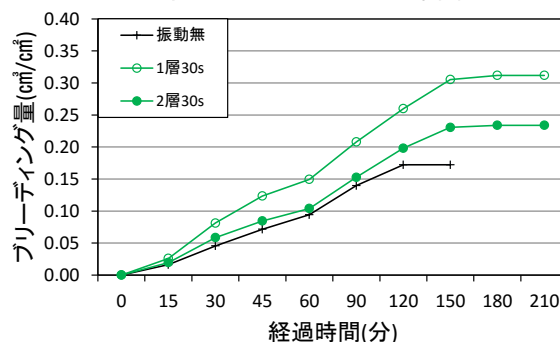


図-8 テーブルにおける試料の詰め方とブリーディングの関係

ることにより、1 層目の上面にたまったブリーディング水が 2 層目の間に溜り、試料上面まで上昇して来なかったためと考えられ、これは振動を与えた時の特有の結果といえる。

### 3.1.2 棒状バイブレータでの試験結果

図-9 に振動時間と最終量、終了時間の関係、図-10 に結果の一例として振動時間 30 秒の各周波数の経過時間と発生量の関係、図-11 に結果の一例として周波数 20Hz, 振動時間 30 秒の振動の与え方の違いによる経過時間と発生量の関係を示す。振動無に対して振動を与えたことにより最終量は全体的に多くなったが、テーブルの結果ほどの違いではなかった。終了時間は振動無に比べて 40Hz の場合に長くなったが、その他の周波数では振動無と同じ終了時間であった。また、各振動時間での終了時間は同じであった。

周波数別での最終量では、周波数 20Hz が最も多くなったが、終了時間が長くなることはなかった。周波数 40Hz と 60Hz の最終量は同程度であった。また、振動時間が長くなるにつれて最終量が増える傾向であった。棒パイの場合、各周波数により振動が容器内全体に伝わる時間が異なり (周波数 20Hz : 20 秒, 周波数 40Hz : 10 秒, 周波数 60Hz : 5 秒), 試料内部への振動の伝わり方もテーブルと異なるため、振動時間が長くなるにつれて最終量が増えたと考えられる。

各周波数の経過時間と発生量については、周波数 20Hz と 60Hz の場合、15 分以降の早い経過時間から振動無と

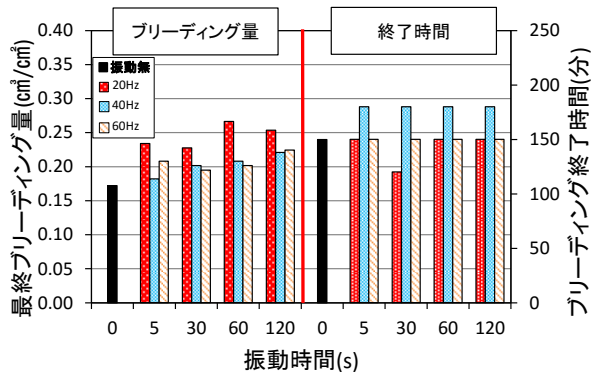


図-9 棒パイにおけるブリーディング試験結果

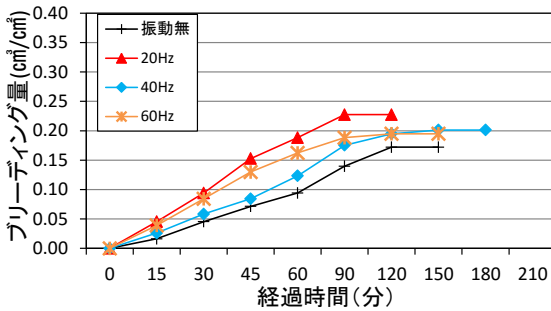


図-10 棒パイにおける振動時間 30 秒時の周波数とブリーディングの関係

比べて発生量が増え、初期の時間から発生量は多くなった。2層に分けて振動を与えて容器に詰めた場合（2層）でも、1層で振動を与えて容器に詰めた場合（1層）に比べて発生量は少なくはなるが、テーブルの結果と異なり、早い経過時間から振動無と比べて発生量が増えた。

これら初期の発生量がテーブルと棒パイでは異なることから、60分までの発生量と最終量をテーブルと棒パイの同じ周波数で比較した結果を図-12に示す。経過時間と発生量の関係は、ほぼ直線近似が可能であったことから、直線回帰式の勾配（ブリーディング増加量（ $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ ）を指標とした。ブリーディング増加量は、最終量ではテーブルの方が大きい、30分と60分では、いずれも棒パイの方が大きくなった。テーブルと棒パイでの発生量の発生状況について、テーブルでは試料と容器との境界面からブリーディング水が多く発生し、棒パイでは棒パイの挿入位置からブリーディング水が多く発生している状況を確認した。このことから、テーブルと棒パイでは、試料全体への振動の伝わり方や水みちの形成の仕方が異なり、棒パイの初期の発生量が大きいのは、振動を与えた後に試料から棒パイを取り出す際の跡が残り、そこが大きな水みちとなったためだと考えられる。また、周波数については40Hzのブリーディング量だけが極端に小さいため、周波数による特性または試料の量や容器形状の影響であるかは今後の検討課題とする。

図-13に各振動条件の最終量と塑性粘度の関係を示す。棒パイでは塑性粘度が小さくなるにつれて最終量も少な

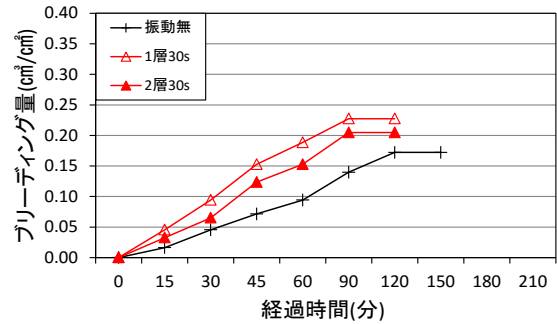


図-11 棒パイにおける試料の詰め方とブリーディングの関係

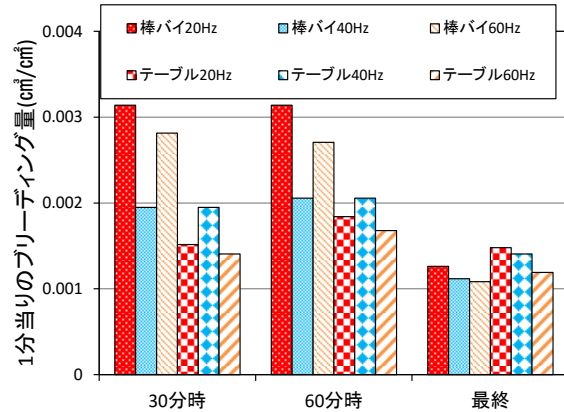


図-12 テーブルと棒パイにおける初期のブリーディング量の違い

くなるが、テーブルでは塑性粘度が小さくなるにつれて最終量も多くなる傾向を示した。以上からブリーディング増加量の結果と同様に、テーブルと棒パイではブリーディングの発生仕方が異なると言える。また、最終量と塑性粘度には相関性があると考えられる。

### 3.2 シリーズ2の結果及び考察

図-14と図-15に海砂と砕砂の各粒度における振動無と振動有の経過時間と発生量の関係を示す。海砂は、振動無と振動有ともに細目、中目、粗目の粒度の順に発生量が多くなり、終了時間は最終量の最も少ない細目が長くなった。砕砂についても、海砂と同様に細目、中目、粗目の粒度の順に最終量が多くなる傾向を示したが、海砂と比較すると全体的に最終量が多く、終了時間も長くなった。振動の有無で比較した場合、振動有は最終量が増加し、終了時間が短くなる傾向にあった。また、0分から60分までにおける発生量も多くなり、それらの傾向は海砂の粗目、砕砂の粗目と中目で顕著であった。

図-16に海砂と砕砂の各粒度における塑性粘度と最終量の関係を示す。振動無の場合と振動有の場合の両方の結果である。海砂と砕砂の両方で塑性粘度は振動を与えることにより小さくなる傾向を示した。塑性粘度が大きな領域の場合、振動を与えた後の塑性粘度の変化が大きくなったが、塑性粘度が比較的小さな領域では変化しなかった。また、塑性粘度が小さくなるにつれて、最終量

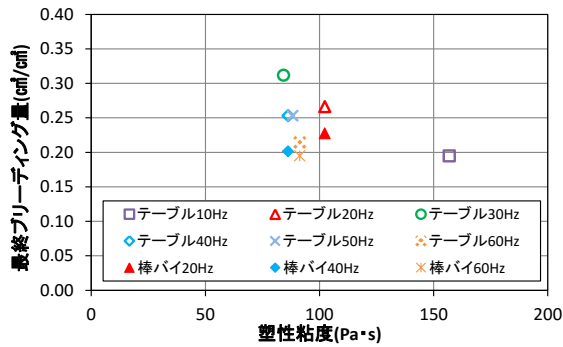


図-13 塑性粘度と最終ブリーディング量の関係

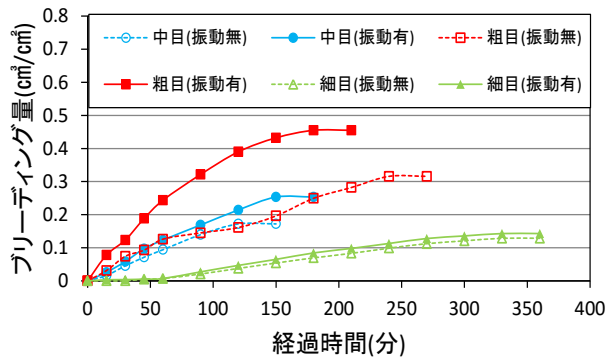


図-14 海砂の各粒度における振動無と振動有のブリーディングの関係

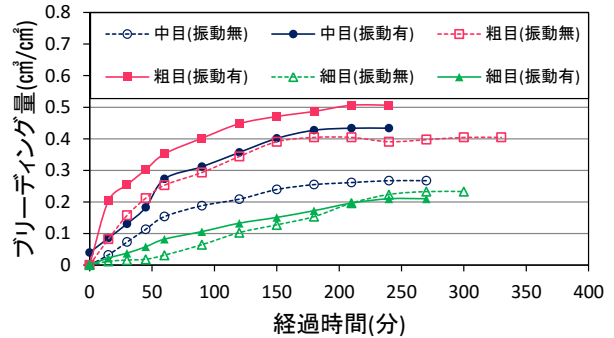


図-15 砕砂の各粒度における振動無と振動有のブリーディングの関係

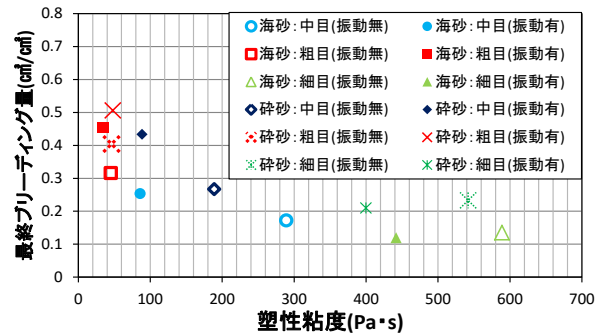


図-16 海砂と砕砂の各粒度における塑性粘度と最終ブリーディング量の関係

が多くなる傾向を示し、フレッシュ性状試験や図-13の結果と同様に最終量と振動時の塑性粘度に相関性が見られた。

以上から、振動条件下におけるモルタルのフレッシュ性状及びブリーディングの発生状況や最終量は、振動条件によって異なり、それらは振動条件下のモルタルの塑性粘度と相関性があることを確認した。本研究はモルタルによる結果であるため、今後、コンクリートのブリーディングの最終量や発生状況の把握につなげるため、今回の結果と実際のコンクリートの結果を検討していく予定である。

#### 4. まとめ

- (1) 振動時のモルタルのフレッシュ性状は、塑性粘度の値が 100 (Pa·s) を境界に大きく変動する。
- (2) 最終量は、振動無に比べて振動を与えることにより増加する。また、終了時間は振動を与えた際の周波数の大きさにより、長くなる場合がある。発生量は、振動無とテーブル、棒バイでは、初期の発生量が異なり、特に棒バイは初期発生量が多くなる。

- (3) 細骨材の種類や粒度によって振動無と振動を与えた場合の最終量や発生時間は異なる。
- (4) 振動の有無や振動条件による最終ブリーディング量の増減の違いは、振動時の塑性粘度と相関性がある。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会委員会報告書，2011.5
- 2) 三田勝也ほか：ブリーディング水がコンクリート表層部の品質に与える影響に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.1385-1290，2011
- 3) 桜井邦昭ほか：振動作用下におけるコンクリートの充てん性の評価に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.1387-1392，2009
- 4) 伊達重之ほか：モルタルの振動下のフレッシュ性状に及ぼす分割練混ぜの効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.1091-1096，2006
- 5) 阿部道彦ほか：モルタルによるブリーディング試験方法に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.277-278，2004.8