

論文

性状が異なるコンクリートにおける適切なバイブレーターの締固め方法の提案

太田 真帆*1, 伊代田 岳史*2,

Proposal of appropriate compaction method using vibrator in different type of concrete

Maho OTA*1, Takeshi IYODA*2

要旨：コンクリートの打込み時に、エントラップドエアを追い出し骨材を均等に分布し強度を確保するためにバイブレーターが使用されている。近年、耐震規準の強化に伴い過密配筋され従来の低スランプのコンクリートに代わり流動性が高いコンクリートの使用が検討されている。しかし、現在使用しているバイブレーターの振動締固め時間は低スランプを対象にして定めたものであり、流動性が高いコンクリートに対しては検討が行われていない。そこで本研究では、流動性が異なるコンクリートを用いて、バイブレーターの振動締固め時間や周波数を変動させ材料分離の程度を測定する試験を実施した。その結果、適切な振動締固め時間や周波数が存在することがわかった。

キーワード：高流動、締固め振動時間、周波数、材料分離、表面空隙率

1. はじめに

コンクリート構造物の建設時には、締固めを行うためにバイブレーターが使用されている。バイブレーターによる締固めは、エントラップドエアを追い出し骨材を均等に分布させ、強度・水密性・耐久性に優れたコンクリート構造物の施工を可能にする。また、バイブレーターの時間当たりの締固め能力は大きいと、作業の効率性を高め打重ね時間は短縮できる。しかし、阪神淡路大震災以降、耐震性能の向上に伴い構造物の多くは過密配筋化が進んでいるため、長らく土木分野で用いられてきた低スランプのコンクリート性状では、バイブレーターの振動が伝達されず締固め不足の発生により豆板などが発生することが懸念されている。さらに、過密配筋の構造物の施工においてバイブレーターの径によっては、挿入できない箇所があり、かぶり部の表面品質の低下が問題となっている。そこで、近年ではコンクリートの骨材量を減らし、コンクリートの流動性を高めることで、過密配筋箇所でも充填可能なコンクリートの開発が進んでおり、今後流動性が高いコンクリートの使用は、増加することが懸念される。しかし、コンクリート標準示方書[施工編]には一箇所当たりの締固め振動時間が5~15秒と定められているが、これまでの従来の低スランプのコンクリートを対象としており、流動性が高いコンクリートには上

記に示した振動時間が適切であるかが不明である。また、現在建設現場で多く使用されているバイブレーターは、主に内部振動機のものが多く、直接コンクリート中にバイブレーターを挿入するため、バイブレーターの性能も締固めに大きく影響する。中でも性能の一つである周波数は、コンクリートを構成する材料に大きく影響を与える。現在使用されているバイブレーターの周波数は、高周波と低周波のものに分けられており、高周波は、細骨材やセメントペースト部などに対して振動が伝達しやすく、多くの建設現場で使用がされている。一方、低周波は粗骨材に振動が伝達しやすく、ダムなどの粗骨材寸法が大きい材料を使用する工事に多く用いられている。流動性が高いコンクリートは骨材量を減少させ、粉体量を増加させているため粘性が高く、高周波のバイブレーターを用いることで、エントラップドエアを適切に追い出せているのか、また骨材への振動は従来の低スランプのコンクリートと同様なのか、骨材分布に影響を与えているのかはわかっていない。

そこで、本研究では流動性が異なるコンクリートを用いて振動時間や、異なる周波数が材料分離、表面品質、耐久性に与える影響を調査した。加えて、表面品質の向上を検討するために、かぶり部にバイブレーターを挿入したものとし、ないもので比較を行った。

*1 芝浦工業大学大学院理工学研究科建設工学専攻 修士課程

*2 芝浦工業大学工学部土木工学科

教授

表-1 コンクリートの計画配合表及びその特徴

	W/C (%)	s/a (%)	air (%)	単体量 (kg/cm ³)					AE剤 (%)	減水剤 (%)	SP (%)	増粘系S P (%)	フレッシュ性状			特徴
				W	OPC	BFS	S	G					スランプ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)	
①	50	48	4.5	160	320	-	879	974	0.6	1	1	-	6.5	-	4.3	低スランプの コンクリート
②		58		175	175	175	1017	754	0.8	-	-	1.3	17	-	3.7	粉体量を増加させ たコンクリート
③		48		170	340	-	853	955	0.8	-	0.8	-	-	52×43	3.0	フローの大きい コンクリート

2. 振動時間がコンクリートに与える影響

流動性が異なるコンクリートを用いて振動時間を変化させた時のコンクリートへの影響を調査した。表-1 に試験で使用したコンクリートの配合と性状を示す。配合①は、従来用いられている流動性が低い、低スランプのコンクリート、配合②は単体量と s/a を高く設定し、高炉スラグ微粉末を 50%置換することで粉体量を増加させて、粘性のある中流動のコンクリート、配合③は①の単体量を増大させ流動性の高い分離気味のコンクリートを作製した。

2.1 供試体概要

振動時間による材料分離を確認するために、図-1 に試験で使用した型枠による鉛直締固め試験の概要を示す。φ30cm×50cm の塩化ビニル製のパイプを用い、底面をコンパネで固定した型枠を 3 つ作製した。コンクリートを型枠に高さ 45 cm まで流し込み、3 つの型枠にバイブレーターを使用し、それぞれ 3、10、60 秒の振動時間を与えて締固めを行った。

さらにコンクリートの劣化因子は外部から侵入するため、コンクリートの表面品質は耐久性に大きく起因する。そこで、硬化コンクリートにおける表面品質を確認するために図-2 のような表面品質評価試験用の供試体を作成し、二値化による表面の空隙率、促進中性化試験を行った。配合①～③それぞれに鉛直締固め試験に用いたコンクリートのうち、洗い分析試験以外に使用せずに残ったコンクリートは、練り混ぜ直後と同等のフレッシュ性状を保持していたので、再利用するために 2 分割して打ち込み、1 層目(高さ 40cm)に振動時間 60 秒を与え、2 層目(高さ 40cm)に振動時間 3 秒を与えて締固めして硬化させた。なお、使用した型枠には高さ 80cm×横 30cm×厚み 10cm の発泡スチロールを両脇に設置し、バイブレーターによる型枠からの振動跳ね返りを抑制した。

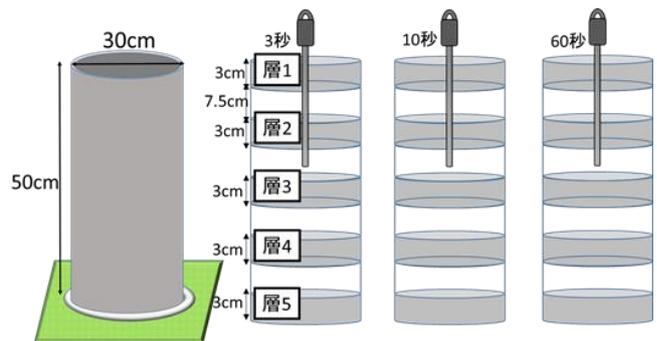


図-1 鉛直締固め試験の試験体概要図

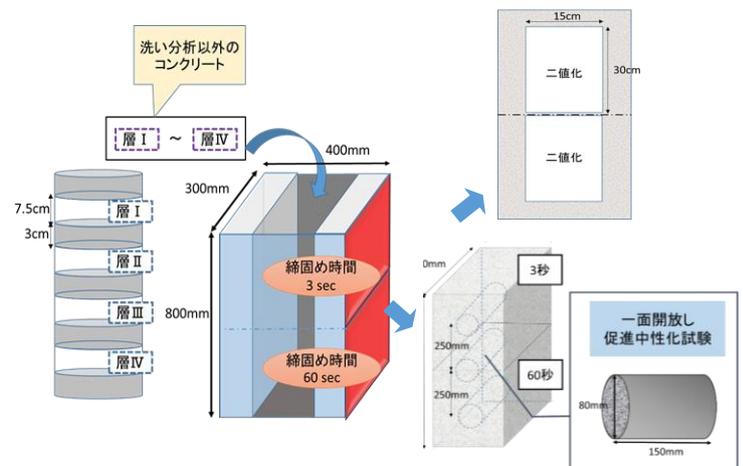


図-2 表面品質評価試験()供試体概要

2.2 評価方法

2.2.1 洗い分析試験

鉛直締固め試験後に、高さ 3cm の層 1～5 から 1.5ℓ のコンクリートを採取し、5mm ふるいを用いてペーパースト部を洗い流し、残った骨材を乾燥炉で絶乾にした。ふるい分け試験「JIS Z 8801-1」に準拠し、0.15, 0.3, 0.6, 1.5, 2.5, 5, 10, 20mm でふるい分けを行い、それぞれの質量を計測し、各配合における振動前の粗骨材量に対する増減を計算した。

2.2.2 二値化による表面空隙率の測定

各配合で作製した図-2 に示す供試体の側面の上下 15cm×30cm のエリアにおいて、写真を撮影し二値化処理を行い、各配合での振動時間の違いにおける表面気泡率を算出し比較を行った。

2.2.3 促進中性化試験

各配合で作製した図-2 に示す供試体の打継ぎ目、打継ぎ目より上下 250mm の位置より、直径 80mm×高さ 150mm のコンクリートのコアを計 3 本採取した。採取したコアは表面以外をアルミテープで覆い、一面のみ開放したものを CO₂ 濃度 5%, RH60% の中性化促進装置の中に 4 週間静置した。その後、コアを割裂し、割裂面にフェノールフタイレン溶液を噴霧して中性化浸透深さを測定した。

3. 実験結果

3.1 洗い分析試験結果及び考察

図-3, 4, 5 に洗い分析から算出した各配合における振動前からの粗骨材量の増減率を示す。配合①の低スランプのコンクリートは層 1 において、60 秒締固めで約 10% 程度粗骨材が減少したが、3, 10 秒においては大きな分離が見られなかった。また、配合②の粉体量を増加させたコンクリートでは、粗骨材の減少は振動時間 60 秒の場合でも約 6% 程度に収まり、大きな分離は確認できなかった。このことからこれらの配合においては、振動時間の影響は小さいと考えられる。特に配合②では粉体量が多くなりペーストの粘性が増加することで、骨材が分離しづらいためだと考えられる。配合③の流動性の高いコンクリートでは、少ない時間の振動を与えることで一層目に多量のブリーディング水が発生した。粗骨材は振動時間によらず大きく分離しており、バイブレーターの振動時間はフローが大きいコンクリートでは、材料分離発生に影響を与えることが示唆できる。

3.2 二値化による表面空隙率の測定結果及び考察

図-6.7.8 に各配合における二値化処理を行った画像と表面空隙率を示す。振動時間が大きいほど、どの配合においても、空隙率は小さくなった。配合①では、振動時間 3 秒ではペースト部が動きにくいいため、空隙を十分埋めることが出来ず、表面の空隙率が 20.41% と大きくなっていることを確認できた。配合②では振動時間 3, 60 秒においても空隙率が大きくなっていることがわかった。これは、粉体が多い配合では粘性が増加しペースト部が動きにくく、空隙を埋めること出来なかったためだと考える。配合③では、分離気味であったため、ペースト部が動きやすくなり、締固め時間が 3 秒においても、空隙

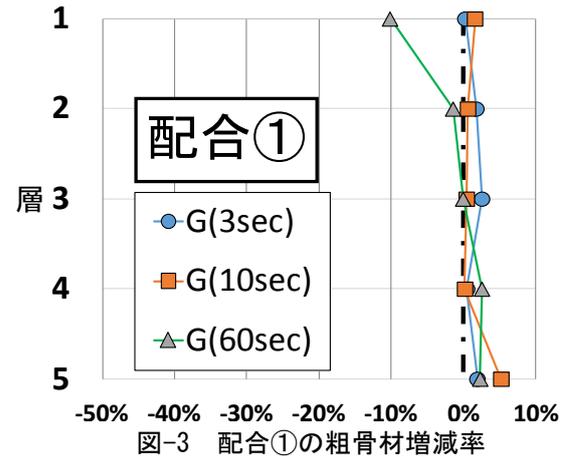


図-3 配合①の粗骨材増減率

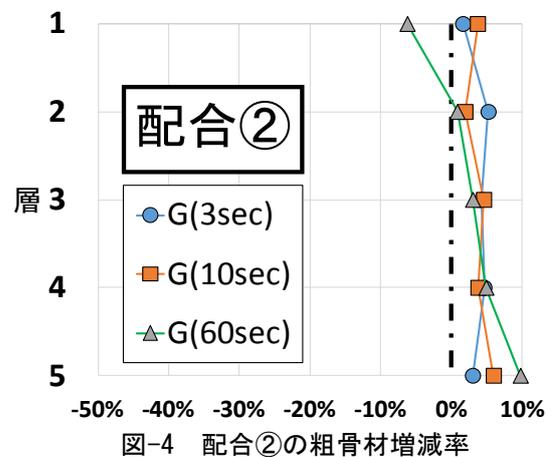


図-4 配合②の粗骨材増減率

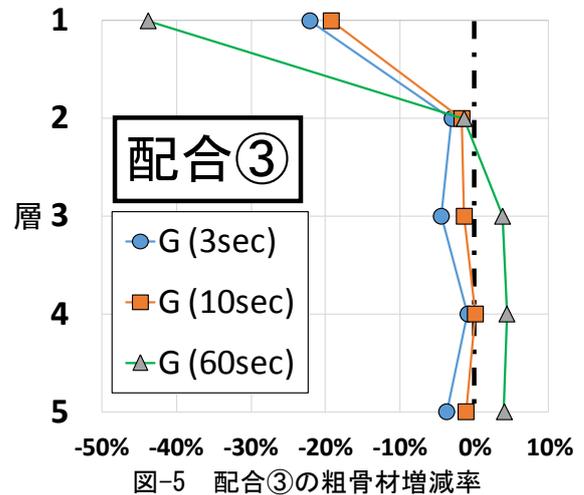


図-5 配合③の粗骨材増減率

率が他の配合と比べて低くなっていることが確認できた。以上の結果より、バイブレーターの締固め振動時間は表面空隙率に大きく影響し、コンクリートの性状によって影響の大きさは異なるため、締固め振動時間はコンクリートの性状ごとに変化させる必要があることが示唆出来る。

振動時間	二酸化処理(配合①)		空隙率
3秒			20.41%
60秒			0.35%

図-6 配合①表面空隙率

振動時間	二酸化処理(配合②)		空隙率
3秒			4.61%
60秒			1.95%

図-7 配合②表面空隙率

振動時間	二酸化処理(配合③)		空隙率
3秒			2.89%
60秒			0.42%

図-8 配合③表面空隙率

表-2 中性化深さ

	配合①		配合②		配合③	
	3秒	60秒	3秒	60秒	3秒	60秒
中性化深さ(mm)	15.46	9.4	15.31	12.94	12.66	11.4

表-3 コンクリートの計画配合

	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/cm ³)				フレッシュ性状	
			W	OPC	S	G	スランプ (cm)	空気量 (%)
④	50	50	165	330	884	932	6.5	4.3
⑤			200	400	811	855	17	3.7

表-4 バイブレーターの性能

振動機種類	振動体直径(mm)	周波数(Hz)	周波数(vpm)	遠心力(kg)
		低周波	高周波	
低周波	28	170	10200	59
高周波		210	12600	

3.3 促進中性化試験結果及び考察

表-2に打継ぎ目より上下250mmの位置より採取したコア計2本の促進中性化試験より得られた中性化深さを示す。表面気泡率の測定結果と同様に、振動時間が長いものほど、中性化は小さかった。配合①では、振動時間が3秒では中性化深さは60秒と比較して、差が大きい傾向を示した。配合②では、結合材のOPCに対して高炉スラグ微粉末を50%置換したため中性化が他の配合と比較して進行している。しかし、配合②では①ほど、振動時間による中性化深さの差はなかった。配合③は、振動時間に関わらず、中性化深さは変わらなかった。このことより、流動性が高いコンクリートでは空隙率が低くても、骨材が分離をしていれば、中性化に影響することがわかった。

3.4 振動時間が与える影響のまとめ

コンクリートの性状によって振動時間が与える影響は異なった。コンクリートの流動性が低いものほど、バイブレーターの振動時間は材料分離への影響が小さいことがわかった。表面品質や中性化は流動性によらずに振動時間が長いほど小さくなる傾向を示した。

4. 周波数がコンクリートに与える影響

3.4より振動時間は流動性によって最適な時間が存在することから、次にバイブレーターの周波数を変化させ、流動性が異なるコンクリートに及ぼす影響を整理した。表-3に試験で使用したコンクリートの配合を示す。周波数が変動するため、振動による骨材の影響を一定にするためにs/aを同一にし、単位水量を変動させたコンクリートを作製して、検討した。また実験に使用したバイブレーターの性能を表-4に示す。

4.1 供試体概要

図-9に実験に使用した型枠の概要図を示す。内側に発泡スチロールを使用し、型枠からの振動の跳ね返りを防いだ。周波数の違いによる、締固め不足、かぶり部のバイブレーター挿入有無による品質変化を確認するために、過密配筋を再現した。異形鉄筋D13を30mmの間隔で設置し、かぶり部の厚さを60mmとした。コンクリートは躯体内部にまず流し込み、図-10に示す星の箇所バイブレーターを挿入してコンクリートを鉄筋通過させた。その後、かぶり部においてもバイブレーターを挿入して締固めを行った。バイブレーターの挿入時間は一定とし、躯体内部は15秒間、かぶり部には10秒間とした。

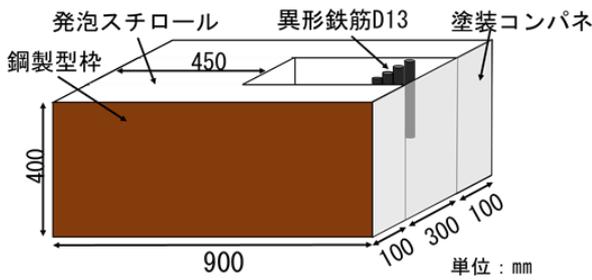


図-9 型枠概要図

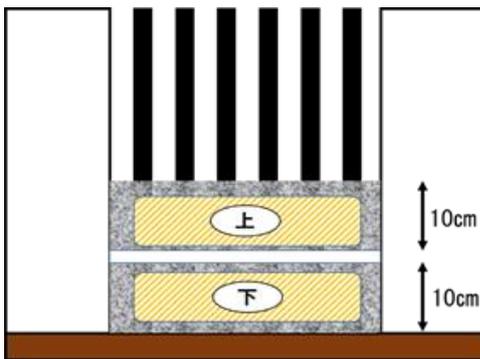


図-11 洗い分析採取位置

4.2 評価方法

洗い分析試験, 二値化による表面空隙率の測定, 締固めエネルギーの算出を行って周波数の違いがかぶりコンクリートの品質に与える影響を確認した.

4.2.1 洗い分析試験

かぶり部から, コンクリートを図-11 のように上下に分けて採取した. 2.2.1 と同様の計測方法で行った. 得られた結果より, 尾上²⁾等の算出方法を参考に各材料の割合を算出した.

4.2.2 二値化による表面空隙率の測定

かぶり部において, 前述の 2.2.2 と同様に写真を撮影し二値化処理を行い, 周波数の違いにおける表面気泡率を算出し比較した.

4.2.3 締固めエネルギーの算出

締固めエネルギーの算出を行い, 洗い分析試験から得られる材料分離と表面空隙率の結果との相関を確認した. 締固めエネルギーの算出の際に, バイブレーターの加速度は振動伝播を考慮¹⁾して算出を行った.

5. 実験結果

5.1 洗い分析試験結果及び考察

測定結果を図-12, 図-13 に示す. 配合④のスランブが 12cm の低周波のものはかぶり部へのバイブ

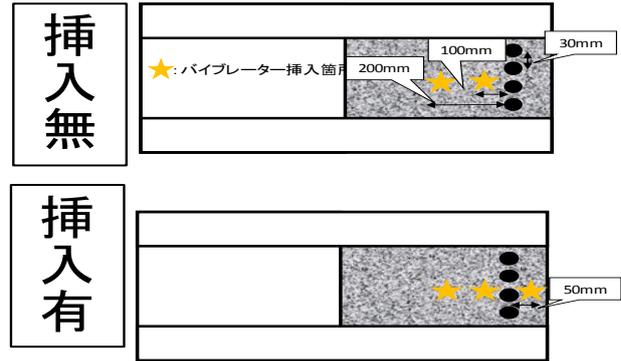


図-10 バイブレーター挿入位置

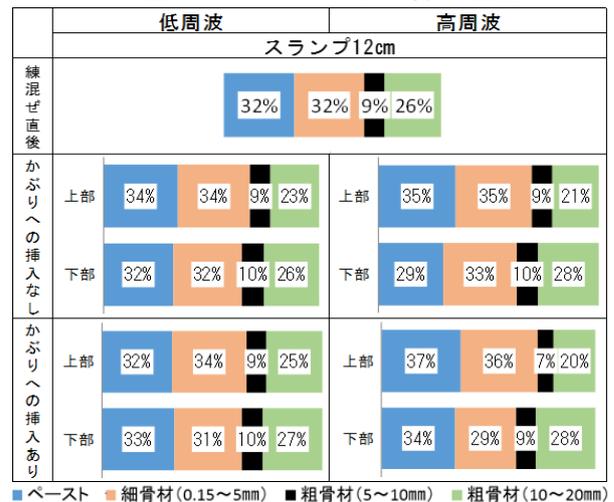


図-12 配合④の洗い分析試験結果

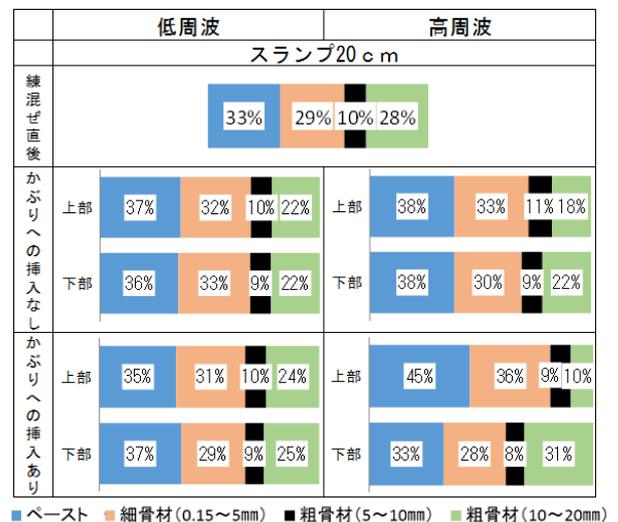


図-13 配合⑤の洗い分析試験結果

レーターの挿入の有無によらず, 上部と下部で配合の変化はなかった. また, 練り混ぜ直後との差も見られなかった. 一方, 高周波ではかぶり部のバイブレーターの挿入の有無によらず, 下部に骨材が沈下し, 上部にペースト部が浮上しており, 材料分離を引き起こした. スランブ 20cm のものは, 低周波ではスランブが 12cm のものと同様に材料分離が起こりにく

い結果となった。高周波では、かぶり部にバイブレーターを挿入しないときは、材料分離は起こらなかったが、かぶり部に挿入した時はスランプ 12cm の時よりも材料分離を引き起こした。このことから、かぶり部において、流動性が高いコンクリートを振動させる場合は、高周波よりも低周波の方が材料分離を引き起こさず締固めが行えることが考えられる。

5.2 二値化による表面空隙率の測定結果及び考察

図-14 に二値化処理を行った画像と表面空隙率を示す。かぶり部にバイブレーターを挿入しないものは、どの配合でも高周波を用いた方が、空隙率は低くなった。また流動性が高いコンクリートの方が空隙率は小さくなった。一方、かぶり部にバイブレーターを挿入したものは、低周波の方が空隙率は小さくなった。このことから、バイブレーターの周波数は挿入箇所によって異なる影響を与えることがわかった。

5.3 締固めエネルギーと材料分離、表面品質の関係

図-15, 16 に締固めエネルギーを算出し、洗い分析試験から算出した採取位置での粗骨材割合の差と二値化試験より得た表面空隙率との関係を示す。有効な締固めエネルギーは、低周波バイブレーターをかぶりに用いた際に発生する締固めエネルギーが最適なのがわかった。

5.4 周波数を与える影響のまとめ

バイブレーターの周波数は、流動性が高いものは、高周波では振動が伝播されにくく、材料分離を引き起こす可能性がある。一方、流動性が小さいものは、周波数による影響は大きくは見られなかった。そのため、コンクリートの性状によって最適な周波数で締固めを行う必要がある。

6. まとめ

本研究で得られた結論を下記に示す。

- 1) コンクリートの性状によりバイブレーターの振動締固め時間は異なることから、その性状ごとに最適な振動締固め時間が存在することが分かった。しかし、最適な振動時間の提案にはさらなる検討が必要である。
- 2) バイブレーターの周波数は、コンクリートの性状に影響することが分かった。流動性の高いコンクリートでは低周波を使用することで、材料分離を低減することができた。
- 3) 表面品質を向上するにあたり、かぶり部に低周波のバイブレーターを挿入することは有効である。

参考文献

- 1) 梁俊ほか：コンクリートのフレッシュ性状が締

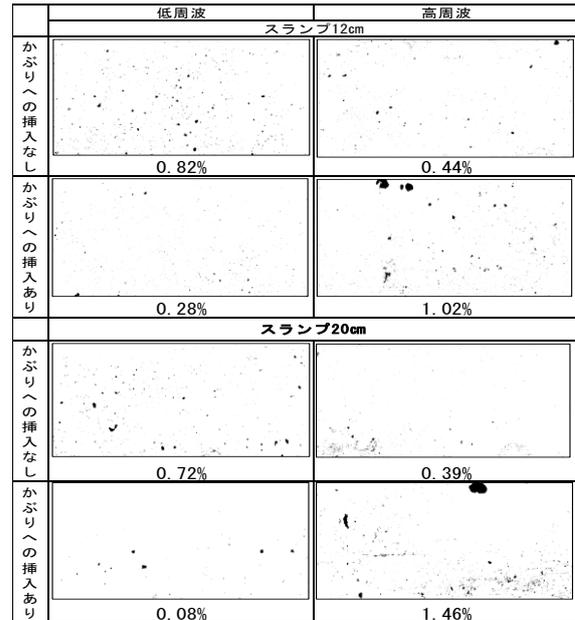


図-14 周波数が異なる締固めによるコンクリートの表面空隙率

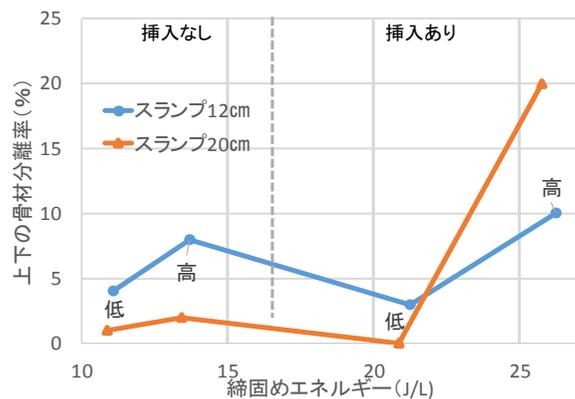


図-15 締固めエネルギーと材料分離の関係

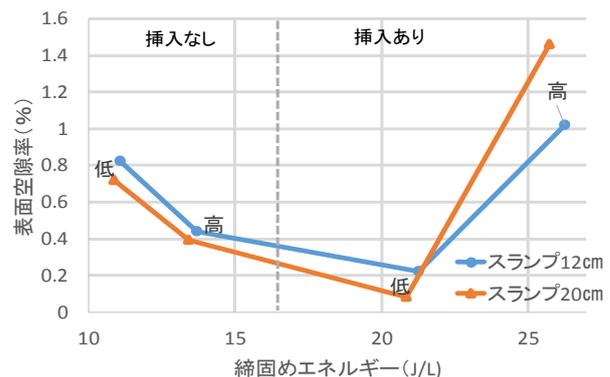


図-16 締固めエネルギーと表面空隙率の関係

め固め完了エネルギーに与える影響、コンクリート工学年次論文集、

Vol. 28, No. 1, 2006, pp1097-1102

- 2) 尾上幸造ほか：鉄筋通過によるコンクリートの配合変化、コンクリート工学年次論文集, Vol. 62, No. 1, 2006, pp119-128