

論文 充填装置の容器形状や骨材条件の違いが加振時のコンクリートの充填性評価に与える影響

渡辺 大河*1・根本 浩史*2・市川 晃*3・橋本 紳一郎*4

要旨: 充填装置の容器形状や骨材条件の違いが、コンクリートの充填性評価に与える影響について検討した。自己充填と加振充填による充填性評価を比較した結果、加振の有無により充填状況が異なることが推測された。加振充填では、容器形状の違いによる充填性評価への影響は骨材条件によって異なることが推察され、細骨材の粗粒率による影響が大きいことが考えられた。また、加振充填による充填状況の目視や粗骨材量比率の結果から、間隙通過に伴い粗骨材量比率の変化が大きくなるような骨材条件のコンクリートを評価する際は、U 形容器を用いて加振時のコンクリートの充填性を評価することが有効であることが明らかとなった。

キーワード: 充填性, 間隙通過性, 材料分離抵抗性, 充填装置, 容器形状, 骨材

1. はじめに

近年のコンクリート構造物は、配筋の高密度化により型枠隅角部の未充填や間隙通過時の材料分離をはじめとする初期欠陥の発生リスクが高まっている。そのため、フレッシュコンクリートに要求される材料分離抵抗性や間隙通過性等の充填性に関わる品質を配合設計の段階において適切に確認することが重要である。

フレッシュコンクリートの充填性を評価する方法として、高流動コンクリートの場合、土木学会標準「高流動コンクリートの充填試験方法 (JSCE-F 511)」が制定されている。本試験は、ボックス形もしくは U 形の充填装置を用いた間隙通過試験によって自己充填性を評価する方法である。充填装置の容器形状の違いについて、既往の研究¹⁾では、ボックス形容器を用いた場合に容器底部で試料が停滞し、せん断面が発生することから、U 形容器を用いた場合の方がボックス形容器を用いた場合よりも自己充填高さが大きくなることが示されている。

一方で、締固めを行うコンクリートの場合、「ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法 (案) (JSCE-F 701)」(以降、加振ボックス充填試験) が配合選定時に加振時の間隙通過性を定量的に評価する方法として制定されている。この試験方法は、既往の研究²⁾等において、実施工を想定した模擬型枠による充填試験を実施し、加振ボックス充填試験との関係性を分析することで、限定した配合条件における実施工条件下での材料分離抵抗性や振動締固めの限界の評価に適用できる可能性について検討されており、充填性を評価する方法として位置づけられている。ただし、試験規準が制定されてから約 10 年が経過する現状において、現在建設

工事で用いられている幅広い範囲のコンクリート配合における充填性評価ができるまでの知見は不足しており、筆者らはコンクリート構造物の品質確保を目的として、加振ボックス充填試験がコンクリートの充填性評価に広く適応できるようにするための情報や知見を蓄積していくことが必要であると考えている。

現在、締固めを必要とする高流動コンクリートの普及に伴い、材料分離抵抗性評価手法として本試験が汎用的に実施されている。しかし、締固めを必要とする高流動コンクリートに対しては検討実績が少ないのが現状であり、充填装置の容器形状について検討した例³⁾はあるが、骨材の違いが充填性評価に及ぼす影響は明確でない。

以上より本稿では、充填装置の容器形状や骨材条件の違いが、加振時のコンクリートの充填性評価に与える影響を検討した。本論文における骨材条件とは、粗粒率が異なる山砂と砂岩砕砂、および石灰岩砕石と砂岩砕石を組み合わせた場合と、砂岩砕砂・砕石単味の場合の 2 条件とした。また、加振時のコンクリートの充填性評価との比較として、自己充填による充填性評価における充填装置の容器形状や骨材条件の影響についても検討した。

2. 自己充填による充填性評価における容器形状や骨材条件の影響

高流動コンクリートの充填試験 (JSCE-F 511) は、充填装置の容器形状としてボックス形と U 形の両方が規定されているが、既往の研究¹⁾によれば、容器形状の違いにより自己充填高さが異なることが示されている。したがって、本実験で対象としたスランブで管理するコンクリートや締固めを必要とする高流動コンクリートについて

*1 (株) 熊谷組 技術本部技術研究所基盤技術研究室 修士 (工学) (正会員)

*2 清水建設 (株) 主査 博士 (工学) (正会員)

*3 千葉工業大学大学院 創造工学研究科都市環境工学専攻 (学生会員)

*4 千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科 教授 博士 (工学) (正会員)

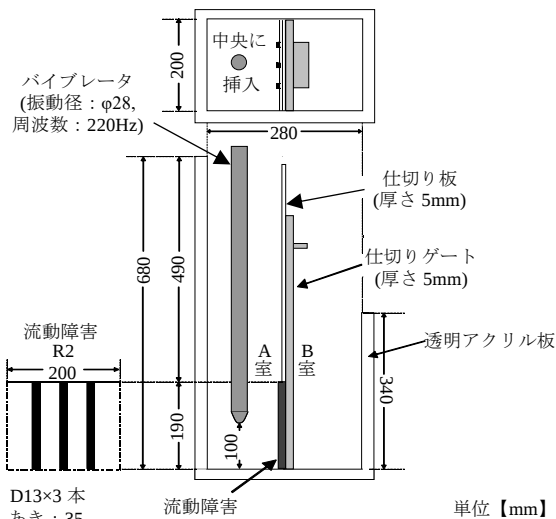


図-1 ボックス形容器の寸法

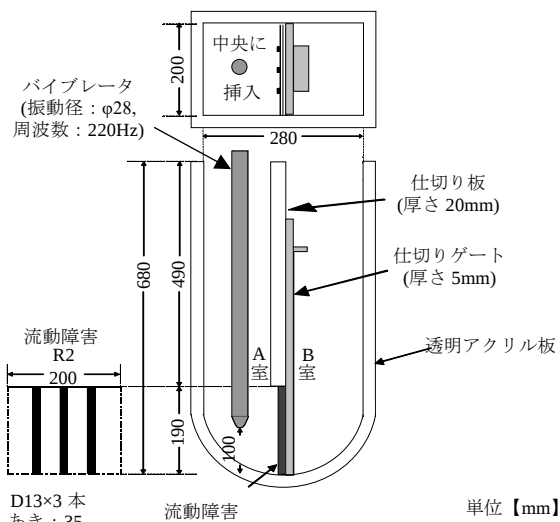


図-2 U形容器の寸法

て、容器形状の違いが自己充填による充填性評価に与える影響を把握することを目的とした。また、4章で加振時のコンクリートの充填性評価との比較を併せて実施した。さらに、その結果を既往の研究とと比較し、骨材条件による影響を検討した。

2.1 高流動コンクリートの充填性試験方法による検討

(1) 試験概要

フレッシュ性状試験は、スランブ試験を JIS A 1101 に、スランブフロー試験を JIS A 1150 に、空気量試験を JIS A 1128 に、コンクリート温度の測定を JIS A 1156 に準拠して実施した。

図-1 にボックス形容器の寸法を、図-2 に U 形容器の寸法を示す。流動障害には R2 鉄筋を用いた。ボックス形容器と U 形容器の違いとしては、容器底部の形状や仕切り板の厚さが異なることが挙げられる。試験方法は、高流動コンクリートの充填試験方法 (JSCE-F 511) に準拠して行い、評価項目は B 室正面における自己充填高さ

表-1 使用材料

使用材料	種類	詳細
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度: 3.15g/cm^3
水	W	上水道水 千葉県習志野市
細骨材	S1	硬質砂岩砕砂 東京都八王子市美山町産、表乾密度: 2.63g/cm^3 、粗粒率: 3.06、実積率: 57.5%
	S2	山砂 千葉県富津市鶴岡産、表乾密度: 2.61g/cm^3 、粗粒率: 1.84
粗骨材	G1	硬質砂岩砕石 2005 東京都八王子市美山町産、表乾密度: 2.64g/cm^3 、粗粒率: 6.63、実積率: 61.0%
	G2	石灰岩砕石 2005 高知県吾川郡仁淀川町産、表乾密度: 2.71g/cm^3 、粗粒率: 6.60、実積率: 58.2%
混和剤	Ad1	AE 減水剤 標準形 (I 種) 主成分: リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
	Ad2	高性能 AE 減水剤 標準形 (I 種) 主成分: ポリカルボン酸エーテル系化合物

表-2 配合表

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)						混和剤
			C	W	S1	S2	G1	G2	
SL12_A	56.5	47.0	292	165	602	258	488	501	Ad1
SL18_A	53.1	50.9	311		646	277	448	460	Ad1+Ad2
SLF45_A	51.5	52.6	340	175	649	278	421	432	Ad2
SLF55_A	45.5	53.8	385		650	279	401	412	
SL12_B	56.5	45.8	292	165	839	-	998	-	Ad1
SL18_B	53.1	49.7	311		904	-	918	-	Ad1+Ad2
SLF45_B	51.5	51.4	340	175	909	-	862	-	Ad2
SLF55_B	45.5	52.7	385		912	-	821	-	

とした。本実験ではスランブで管理するコンクリートの B 室正面の自己充填高さが全て 0mm であったため、締固めを必要とする高流動コンクリートのみを対象とした。

(2) 使用材料および配合

表-1 にコンクリートの使用材料を、表-2 に配合表を示す。本実験では骨材条件の違いとして、一般的な JIS 認証工場で使用されている粗粒率が小さい山砂と粗粒率が大きい砂岩砕砂、および石灰岩砕石と砂岩砕石を組み合わせた骨材条件 A と砂岩砕砂・砕石単味の骨材条件 B を比較した。コンクリートの配合は施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針⁴⁾を参考に、本実験で目標とした各スランブやスランブフローのコンクリートに対して、材料分離抵抗性を最低限確保できる範囲で単位セメント量を小さく設定し、骨材条件の違いによる影響が顕著にみられるようにした。

2.2 試験結果および考察

(1) 試験結果

表-3 にフレッシュ性状試験の結果を示す。全ての配合において目標値を満足することを確認し、容器形状や骨材条件の違いによる自己充填高さの比較を行った。

表-3 フレッシュ性状

配合名	スランプ (cm)	目標 スランプフロー (mm)	スランプフロー (mm)	目標 空気量 (%)	空気量 (%)	コンクリート 温度(℃)
SLF45_A	22.0	450±50	454×450	4.5±1.5	4.3	22
SLF55_A	24.5	550±50	588×578		4.0	19
SLF45_B	22.5	450±50	466×462		4.0	21
SLF55_B	25.0	550±50	564×552		5.9	20

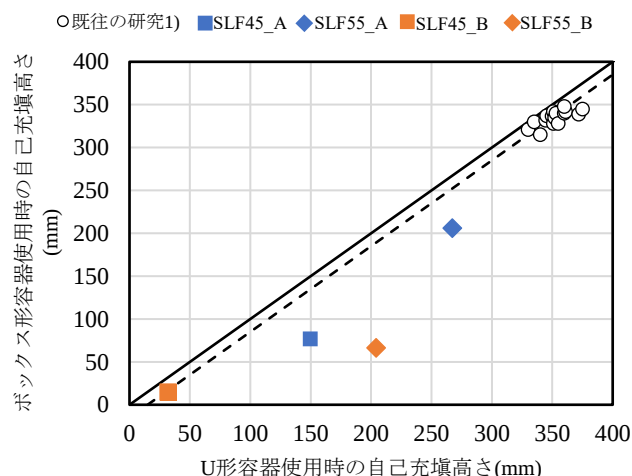


図-3 容器形状や骨材条件の違いによるコンクリートの自己充填高さの比較

図-3 に容器形状や骨材条件の違いによる自己充填高さを比較した結果を示す。図中の実線は、U 形容器を使用した場合とボックス形容器を使用した場合の自己充填高さが同値であることを示している。それに対し破線は、既往の研究¹⁾を参考に、ボックス形容器と U 形容器の容積の差を補正した際に U 形容器の充填高さが 15mm 高くなることを考慮したときの自己充填高さが一致する値を示している。容器形状の違いによる結果を比較すると、全ての配合で U 形容器を使用した場合の方がボックス形容器を使用した場合よりも自己充填高さが大きい値を示した。骨材条件の違いを比較すると、骨材条件 A の場合、U 形容器とボックス形容器の差は図中の破線に近い結果であるのに対し、骨材条件 B のスランプフロー 55cm の場合、U 形容器とボックス形容器の差が大きい結果となった。一方で、骨材条件 B のスランプフロー 45cm は、自己充填高さが他と比べて小さかったため、U 形容器を使用した場合とボックス形容器を使用した場合の自己充填高さの差が破線に近い結果となったことが考えられる。

(2) 充填性評価における容器形状や骨材条件の影響

既往の研究¹⁾と同様に、スランプフロー 45cm や 55cm のコンクリートにおいても、自己充填高さは U 形容器を用いた場合の方がボックス形容器を用いた場合よりも大きい値であった。また、U 形容器とボックス形容器の自己

充填高さの差は、高流動コンクリートよりもスランプフロー 45cm や 55cm のコンクリートの方が大きい結果であった。したがって、スランプフロー 45cm や 55cm のコンクリートの自己充填による充填性評価においても、既往の研究¹⁾で示されているように、ボックス形容器の底部に試料の停滞領域が発生し、せん断面を生じることが推測された。さらに、U 形容器を使用した場合とボックス形容器を使用した場合の自己充填高さの差から、今回の結果だけではデータが少なく十分な検証には至っていないが、容器形状の違いが自己充填性の評価に与える影響は、骨材条件により異なる可能性が考えられた。

3. 加振充填による充填性評価における容器形状や骨材条件の影響

高流動コンクリートの充填試験は充填装置の容器形状としてボックス形と U 形の両方が規定されているが、加振ボックス充填試験はボックス形のみが規定されている。これは、高流動コンクリートは充填性を自己充填高さで評価しているのに対し、締固めを行うコンクリートの充填性は加振時の間隙通過速度で評価していることによる評価方法の違いから、自己充填と加振充填では、容器形状の違いが充填性評価に与える影響が異なることが要因として考えられる。本章では、加振充填による充填性評価における容器形状や骨材条件の影響を把握することを目的に以下の試験を実施した。

3.1 加振時のコンクリートの間隙通過性試験による検討

(1) 試験概要

フレッシュ性状試験は、自己充填による充填性評価と同様にスランプ試験、スランプフロー試験、空気量試験、コンクリート温度の測定を実施した。

加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法は、スランプで管理するコンクリートの場合、加振前にゲートを開放して自己充填高さを確認してからパイプレータを始動した。本実験では、B 室正面における自己充填高さは全て 0mm であった。一方、締固めを必要とする高流動コンクリートの場合、JSCE-F 701 の附属書 1 の方法に従い、加振と同時にゲートを開放した。本検討では、B 室正面の充填高さ 190mm および 300mm に到達するまでに要し

表-4 フレッシュ性状

配合名	目標 スランプ (cm)	スランプ (cm)	目標 スランプフロー (mm)	スランプフロー (mm)	目標 空気量 (%)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)
SL12_A	12±2.5	11.0	-	-	4.5±1.5	5.4	18
SL18_A	18±2.5	18.0	-	-		4.1	18
SLF45_A	-	22.0	450±50	441×435		4.9	20
SLF55_A	-	24.5	550±50	547×523		5.7	21
SL12_B	12±2.5	11.5	-	-		4.4	20
SL18_B	18±2.5	18.0	-	-		5.4	20
SLF45_B	-	23.5	450±50	474×471		4.3	21
SLF55_B	-	25.5	550±50	535×530		5.8	21

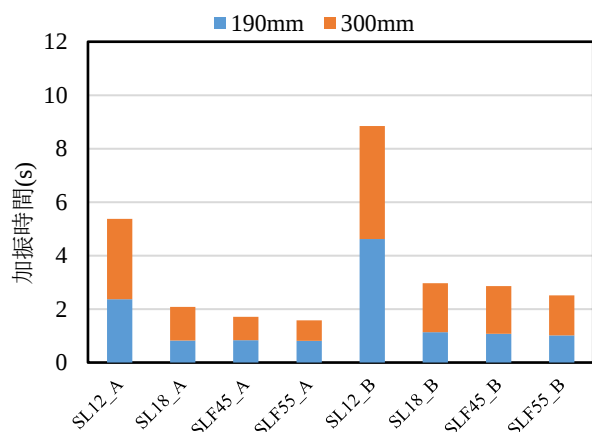


図-4 加振ボックス充填試験におけるB室正面の各充填高さに到達するまでの加振時間

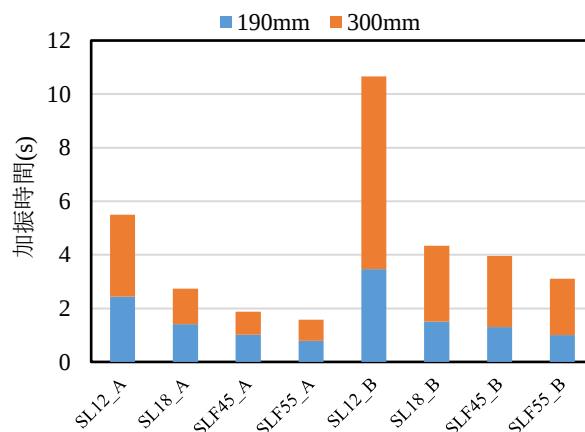


図-5 U形容器を用いた充填試験におけるB室正面の各充填高さに到達するまでの加振時間

た加振時間、B室正面の充填高さ190mmから300mm間をコンクリートが通過する際の間隙通過速度、A室下部およびB室上部における粗骨材量比率を評価項目とした。

(2) 使用材料および配合

使用材料および配合は、表-1、表-2と同様とした。

3.2 試験結果および考察

(1) 試験結果

表-4にフレッシュ性状試験の結果を示す。全ての配合において目標値を満足することを確認し、加振時のコンクリートの間隙通過性評価試験を実施した。

図-4および図-5に、それぞれの容器を用いた充填試験におけるB室正面の充填高さ190mmおよび300mmに到達するまでに要した加振時間を示す。骨材条件の違いを比較すると、どちらの容器を用いた場合でもB室正面の充填高さ190mmおよび300mmに到達するまでに要した加振時間は、骨材条件Aよりも骨材条件Bの方が長い結果であった。また、容器形状の違いを比較すると、B室正面の充填高さ190mmに到達するまでに要した加振時間は、非常に短く僅かな差であるが、加振ボックス充填試験の場合はスランプ18cmからスランプフロー55cmまでの結果が同等の値となっているのに対し、U形

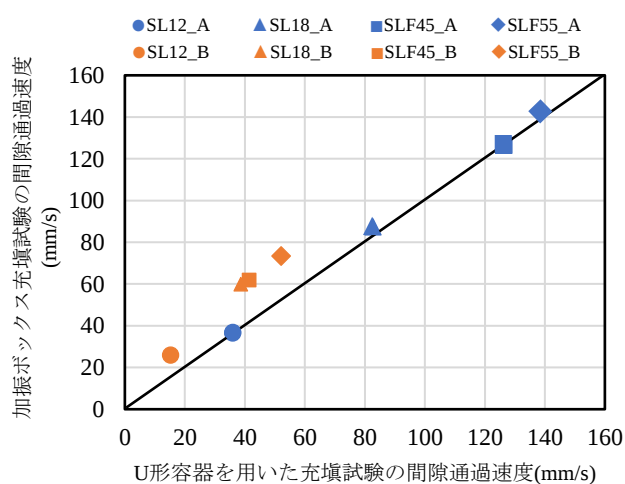


図-6 容器形状の違いによる加振時のコンクリートの間隙通過速度の比較

容器を用いた充填試験の場合はスランプやスランプフローが大きくなるほど短い値となっている。したがって、加振ボックス充填試験では流動性が高く間隙通過速度が非常に速い場合に骨材条件や配合の違いによる影響を捉えきれない可能性が考えられる。

図-6に、それぞれの容器を用いた充填試験のB室正

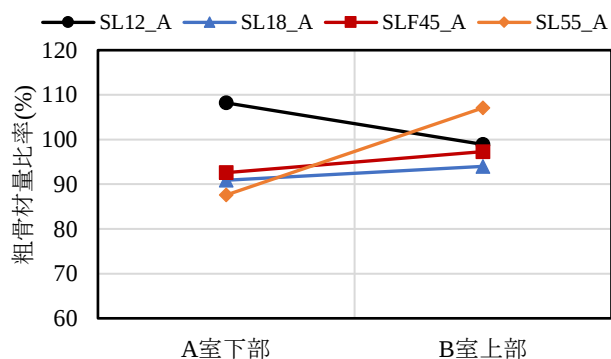


図-7 加振ボックス充填試験における粗骨材量比率
(骨材条件 A)

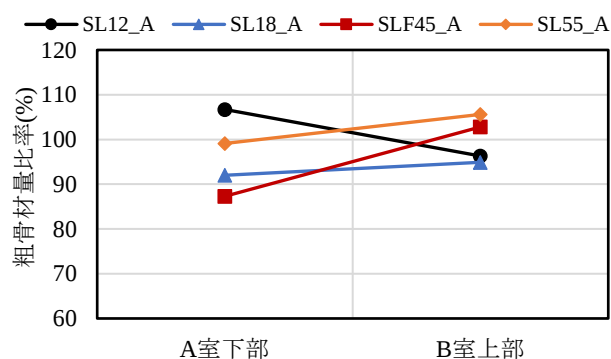


図-9 U 形容器を用いた充填試験における粗骨材量比率 (骨材条件 A)

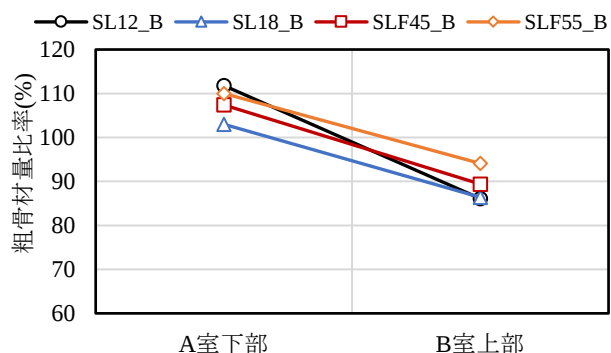


図-8 加振ボックス充填試験における粗骨材量比率
(骨材条件 B)

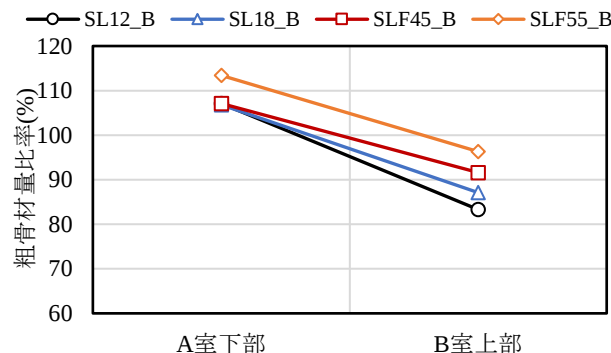


図-10 U 形容器を用いた充填試験における粗骨材量比率 (骨材条件 B)

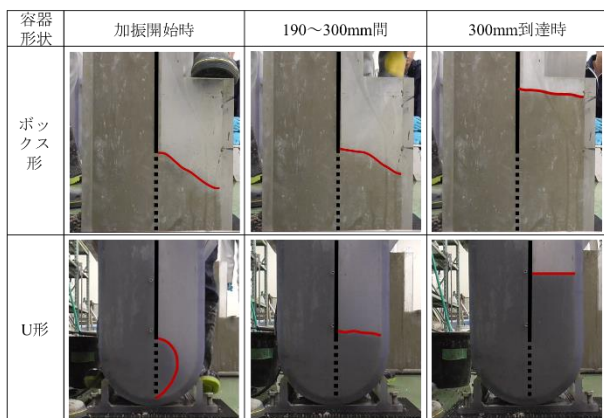
面の充填高さ 190mm から 300mm 間を通過するコンクリートの間隙通過速度を比較した結果を示す。骨材条件 A の場合、全ての配合で加振ボックス充填試験と U 形容器を用いた充填試験の間隙通過速度は同等の値であった。これに対し、骨材条件 B の場合には、全ての配合で加振ボックス充填試験で得られる間隙通過速度の方が U 形容器を用いた充填試験で得られる間隙通過速度よりも速い値を示す傾向が認められた。

図-7～図-10 に、それぞれの容器を用いた充填試験の充填装置 A 室下部および B 室上部の粗骨材量比率の結果を示す。本実験では、全ての結果において粗骨材量比率 80%以上と高い値を示した。その中で、骨材条件 A の場合、スランプ 18cm～スランプフロー 55cm のコンクリートは、A 室下部よりも B 室上部の粗骨材量比率が高い値であった。この結果は、粗骨材量比率が約 85～110% の間で推移していることから、試験誤差の範疇であると考えられる。一方で、骨材条件 B の場合、過度な材料分離を生じるまでには至っていないが、全ての配合で A 室下部の粗骨材量比率の方が B 室上部よりも高い値を示す傾向が認められた。したがって、加振時のコンクリートに関しても、骨材条件の違いによって充填状況は異なることが明らかとなった。また、これらの充填状況が異なる

理由として、骨材条件 A と B では、粗骨材の実積率が大きく変わらないことから、細骨材の粗粒率による影響が大きいことが推察された。

(2) 充填性評価における容器形状や骨材条件の影響

骨材条件 B のコンクリートでは、全ての配合で加振ボックス充填試験で得られる間隙通過速度の方が、U 形容器を用いた充填試験で得られる間隙通過速度よりも速い値を示す傾向が認められた。この結果は、自己充填による充填性評価と反対の傾向を示していることから、自己充填と加振充填では充填状況が異なることが推察された。また骨材条件 B において、充填装置の A 室下部と B 室上部の粗骨材量比率の差を比較すると、加振ボックス充填試験と U 形容器を用いた充填試験は同程度の値を示している。したがって、加振ボックス充填試験と U 形容器を用いた充填試験では、間隙通過時に生じる材料分離の程度は変わらないことが推測された。しかし、容器形状の違いにより間隙通過速度は異なる結果を示していることから、間隙通過時に粗骨材量比率が変化した際のコンクリートの挙動が容器形状によって異なることが、間隙通過速度に影響を与える要因となったことが考えられる。この要因について、充填状況を目視で確認した結果を踏まえて、次章で考察する。



写真－1 加振充填によるコンクリートの充填状況
(SLF45_B)

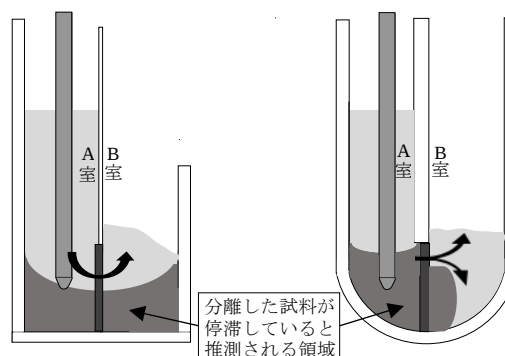
4. 自己充填および加振充填による充填性評価の相違について

写真－1 に加振充填によるコンクリートの充填状況を、図－11 にこれまでの実験結果や充填状況の目視から自己充填および加振充填による充填性評価の相違を推測した模式図を示す。ボックス形容器を用いた場合、B 室正面における充填高さ 190mm に到達する時間が流動性によらず速い値であることや、パイプレータの加振開始と同時に B 室に流れ込む試料の量が多いことが目視により確認された。そのため、既往の研究¹⁾で示されているように容器底面においてコンクリートが停滞する領域が生じ、加振充填の際にも、間隙通過に伴って粗骨材量が多くなったコンクリートがこの領域に集中することが考えられる。そして、粗骨材量が少なくモルタル分の多いコンクリートが、流動障害上部の領域を素早く通過することで、間隙通過速度が速い値を示すことが考えられる。また、容器形状による充填状況の違いは、加振充填の粗骨材量比率の結果から、細骨材の粗粒率による影響が大きいことが推察された。このことから、自己充填による充填性評価において、SLF55_B 配合の U 形とボックス形の自己充填高さの差が大きくなった理由として、一点のみの結果ではあるが、細骨材の粗粒率による影響を受けたことが考えられる。

以上より、加振充填による充填性評価に関して、今回の検討の範囲では、間隙通過に伴い粗骨材量比率の変化が大きくなるような骨材条件のコンクリートを評価する場合に、加振ボックス充填試験の方が U 形容器を用いた充填試験より間隙通過速度が速い値を示す傾向が認められたため、U 形容器を用いて加振時のコンクリートの充填性を評価することが有効であることが明らかとなった。

5. まとめ

(1) 自己充填による充填性評価における容器形状や骨材条件の影響に関して、スランプフロー45cm や 55cm の



図－11 容器形状の影響による加振時のコンクリートの充填状況の違いに関する推測

コンクリートの自己充填による充填性評価においても、既往の研究¹⁾と同様に、ボックス形容器の底部は試料の停滞領域が発生し、せん断面を生じることが推測された。

(2) 加振充填による充填性評価における容器形状や骨材条件の影響に関して、コンクリートの骨材条件によっては、加振ボックス充填試験の方が U 形容器を用いた充填試験より間隙通過速度が速い値を示す傾向が認められ、自己充填と加振充填では充填状況が異なることが推測された。

(3) 充填状況の目視や加振充填による充填性評価試験の粗骨材量比率の結果から、自己充填および加振充填による充填性評価の相違について検討した。その結果、間隙通過に伴い粗骨材量比率の変化が大きくなるような骨材条件のコンクリートを評価する場合には、U 形容器を用いて加振時のコンクリートの充填性を評価することが有効であることが明らかとなった。

謝辞

本論文の執筆にあたり、現在活動中の土木学会「コンクリートの打込みに関わる品質の定量的評価に関する研究小委員会 (368 委員会)」で実施した共通試験の結果の一部を使用した。ここに、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 西川隆之、橋本親典、吉岡靖司、浦野真次：充てん試験装置の形状が高流動コンクリートの自己充てん性能に与える影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21, No.2, pp.475-480, 1999
- 2) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 102 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 (341 委員会) 第 2 期委員会報告書, 2013.11
- 3) 直町聡子、梁俊、坂本淳、丸屋剛：締固めを必要とする高流動コンクリートの配合選定に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.44, No.1, 2022
- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー145 施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針, 2016.6