

論文 生産性向上に資する締固め不要コンクリートの配合設計手法に関する検討

松本 修治*1・倉田 和英*2・柳井 修司*3・坂井 吾郎*4

要旨：コンクリート躯体工における生産性向上の方策として高流動コンクリートの適用が考えられるが、使用材料の種類が増えることなどからコストや製造のしやすさ等に課題があり、一般的な構造条件、施工条件のRC構造物にはほとんど適用されていないのが実状である。そこで、筆者らは、モルタル中に含まれる0.6mm以下の粒子の容積割合を調整することで、上記課題を解決できる締固め不要コンクリートの配合設計手法を考案し、実規模の打込み実験を行い検証することで、使用材料の種類を増やさず、少ない単位セメント量でも自己充填を実現できることを確認した。

キーワード：締固め不要コンクリート、配合設計手法、粗骨材絶対容積、細骨材、粒度分布

1. はじめに

近年、建設工事における問題点として、生産性の改善の必要性や、技能労働者の高齢化・離職に伴う労働力不足が挙げられている。これらに対応すべく、国土交通省によりi-Construction¹⁾が提唱され、推進されている。その取組みの一对象としてコンクリート工があり、流動性の高いコンクリートの積極的な活用が挙げられている。

また、2019年に改正されたJIS A 5308においては、生産性向上に寄与するレディーミクストコンクリートの種類として、スランプフロー45 cm, 50 cm, 55 cm, および60 cmが新たに設定されるなど、流動性が高く施工性に優れたコンクリートの普及が推し進められている。

ただし、これらのコンクリートは、バイブレータによる振動締固めを行うことを前提としている。i-Constructionの趣旨に沿って生産性の向上を図っていく上においては、将来的に締固め作業の排除、すなわち自己充填性を有し、締固め作業が不要なコンクリートの導入が必然であるものと考えられる。

コンクリートの締固め不要を実現する技術としては、従来からハイパフォーマンスコンクリート²⁾やフローイングコンクリート³⁾など多数が研究・実用化されてきており、高流動コンクリートとして定義されるに至っている。しかし、既存の高流動コンクリートは、高い流動性と材料分離抵抗性を両立させるために使用材料の種類や量を増加させる場合が多く、大幅なコストの上昇を伴うのが通常である。そのため、高密度な配筋箇所や振動締固めを行うことができない閉塞空間への充填など、特殊な施工条件下で限定的に適用される場合がほとんどであった。先述の生産性向上の対象はすべての建設工事であ

り、一般的な構造条件・施工条件の鉄筋コンクリート構造物(以降、RC構造物と称す)が大半であるが、それらへの展開はほとんど実現していないのが現状である。

こうした状況を踏まえ、筆者らは、締固めを不要とする性能を有し、一般的なRC構造物の生産性向上に資するコンクリート(以降、締固め不要コンクリートと称す)の検討を行っている⁴⁾。

本稿では、締固め不要コンクリートの配合設計手法に関する検討の一環として、細骨材の粒度変更による充填性等のフレッシュ性状の調整方法について、室内実験で検討し、一般的なRC構造物の壁部材を模擬した打込み実験で検証した結果について述べる。

2. 締固め不要コンクリートの基本的な考え方

2.1 配合を考える上での条件

締固め不要コンクリートは、一般的なRC構造物を適用の対象とする。土木学会の「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」⁵⁾(以降、指針と称す)によれば、一般的なRC構造物では、(1)最小鋼材あきが60~200mm程度、鋼材量の目安が100~350 kg/m³程度とされているので、コンクリートの配合を考える上での構造条件は、これに準ずるものとした。施工条件としては、普通コンクリートにおける施工と同様に、ポンプの筒先を移動させながらコンクリートを打ち込めることを前提とし、(2)打込みの間隔は土木学会コンクリート標準示方書[施工編]⁶⁾(以降、示方書と称す)の施工標準で示される3.0m程度以下とした。また、広く普及させることが目標であり、市中の一般的なレディーミクストコンクリート工場で容易に製造できることが重要であることから、特殊な材料

*1 鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 研究員 (正会員)

*2 鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 研究員 修士(工学) (正会員)

*3 鹿島建設(株) 土木管理本部 土木技術部 担当部長 修士(工学) (正会員)

*4 鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員 博士(工学) (正会員)

は使用せず、(3)水、セメント（普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種）、細骨材、粗骨材、高性能AE減水剤（増粘剤一液型ではない）および空気量調整剤によって構成されることを配合設計上の条件とした。

2.2 フレッシュコンクリートの目標性能

指針に従えば、(1)の条件に応じた自己充填性のレベルはランク2であることから、最小鋼材あきが35mmとなるように異形棒鋼D13を3本配置した障害R2で、一般的なRC構造物を対象としており特に充填が厳しい形状や配筋を対象にしないことからU形容器での充填高さ（以降、U形充填高さとして記す）300mm以上をフレッシュコンクリートの目標性能として設定した。また、指針には、これに付随する目標値としてスランプフロー、500mmフロー到達時間（以降、SF₅₀₀と称す）および漏斗流下時間（以降、V漏斗と称す）が示されている。このうちスランプフローについては、(2)の条件、すなわち水平方向の流動距離を期待しないことを勘案すると、締固めを行うことなく自己充填を実現できる最低限のものであればよいことから、最小鋼材あきが200mm程度以上、鋼材量の目安が100 kg/m³未満が目安となる配筋量の少ないマスコンクリート構造物や無筋構造物を対象とするランク3の目標値相当である500~600mmとすることとした。SF₅₀₀およびV漏斗については、指針に従い、それぞれ3~15秒、7~13秒を目標とした。

2.3 各材料の単位量の考え方と配合設計上の課題

単位水量は、高流動コンクリートや一般に中流動コンクリートと称されるスランプフロー400~600mm程度のコンクリートにおける実績を勘案して175 kg/m³とした。

単位セメント量については、温度ひび割れに対するリスク低減のため、締固め不要を実現できる範囲で、できるだけ少なくする必要があると考えられる。一般的なRC構造物の水セメント比（以降、W/Cと記す）が50~55%程度であることと、上述の単位水量の設定も踏まえて、単位セメント量は350 kg/m³以下とした。

単位細骨材量は、セメント以外の粉体を用いない締固め不要コンクリートにおいて、材料分離抵抗性を確保するための重要な要素である。不足する粉体を細骨材中の微粒分で適切に補うことが必要であり、そのための配合設計手法を確立することが第一の課題と考えられる。

単位粗骨材量は、間隙通過性や充填性に大きな影響を及ぼす。一方で、流動性や耐久性の観点から単位水量および単位セメント量が決まったとき、(3)の構成材料の条件から、粗骨材量の増減は材料分離抵抗性を確保するための重要な要素の細骨材量の増減を意味するため、間隙通過性や充填性の観点から一義的に単位粗骨材量を決めることができない。したがって、単位粗骨材量を合理的に定めることが必要であり、これが第二の課題であ

る。

3. 室内実験による配合設計手法の検討

締固め不要コンクリートの配合設計手法について検討するため、3つの室内配合試験を実施した。

3.1 室内実験1

(1) 概要

2.で示した考え方の実現性の確認を行うことを目的に、市中のレディーミクストコンクリート工場で使用している材料を用いてコンクリートを練り混ぜ、指針に従って各種試験を実施した。

(2) 使用材料およびコンクリートの配合

表-1に使用材料を示す。セメントは、普通ポルトランドセメント、細骨材は、それぞれ粒度分布の異なる3種類を混合して用いた。粗骨材は、一般的な碎石を用いた。混和剤は、ポリカルボン酸化合物を主成分とする高性能AE減水剤を用いた。

表-2にコンクリートの配合を示す。目標スランプフローを550±50mm、目標空気量を4.5±1.5%とし、単位セメント量は、W/Cを55%にすることを想定して320 kg/m³とした。単位粗骨材絶対容積（以降、Gvolと記す）は、指針における自己充填性のランク2における標準値を参考に330 L/m³とした。

(3) 試験方法および試験項目

締固め不要コンクリートの練混ぜは、二軸強制練りミキサーを使用し、1バッチあたりの練混ぜ量を50Lとして

表-1 使用材料

材料名	記号	摘 用
水	W	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	S1	砕砂、東京都西多摩郡奥多摩町産 表乾密度:2.64 g/cm ³ 吸水率:1.16%,F.M.:2.97
	S2	山砂、千葉県市原市万田野産 表乾密度:2.57g/cm ³ 吸水率:2.24%,F.M.:1.95
	S3	石灰砕砂、埼玉県秩父郡横瀬町産 表乾密度:2.65 g/cm ³ 吸水率:1.39%,F.M.:2.97
粗骨材	G	碎石、東京都西多摩郡奥多摩町産 表乾密度:2.66 g/cm ³ ,F.M.:6.65 実積率:63.5%
混和剤	SP	高性能AE減水剤、ポリカルボン酸化合物
	AE	AE剤、樹脂酸塩系界面活性剤

表-2 コンクリートの配合（室内実験1）

W/C (%)	目標スランプフロー (mm)	単位量 (kg/m ³)						SP (C×%)
		W	C	S1	S2	S3	G	
54.7	550±50	175	320	54	534	317	878	1.15

行った。粗骨材，細骨材，セメントを投入後に空練り 15 秒を行った後，混和剤を混入した水を投入し，90 秒間練り混ぜた。その後，5 分間静置させた後，60 秒間練り混ぜた。試験項目は，表-3 に示すとおりである。

(4) 試験結果および考察

表-4 に，試験結果一覧を示す。スランブフローおよび空気量は，混和剤量の調整により目標値を満足するものであったが，性能の目標値および目安に対しては，SF₅₀₀ だけが範囲内となり，U 形充填高さ，V 漏斗は目標値を満足することができなかった。充填試験では，1 分間の静置時にブリーディングが確認されるとともに，仕切りゲートを引き上げた際に，コンクリートが流動障害の間をスムーズに通過できない様子が観察された。また，V 漏斗試験では，コンクリートが一定の速度で流下せず，吐出口から流出したコンクリートは粗骨材とモルタルが均質でないことが確認できた。これらのことから，室内実験 1 の配合ではスランブフロー 500~600 mm の流動性に対し，所要の材料分離抵抗性を確保するための粉体が不足しているものと考えられる。

3.2 室内実験 2

(1) 概要

室内実験 1 より，締固め不要を実現する最低限の流動性(スランブフロー 500~600mm)に対し，単位セメント量 320 kg/m³ の条件では，粉体が不足しているものと考えられた。しかし，本検討では使用材料の種類を増やさないことや温度ひび割れの観点から単位セメント量の増加や増粘剤を使用しないことを前提としている。そこで，対策として粉体の不足分を細骨材中の微粒分の増加で補うことを考えた。モルタル容積中におけるセメントの容積と細骨材中の 0.6mm 以下の粒子の容積割合 (以下，V_{0.6}/V_m と記す) に

表-5 コンクリートの配合 (室内実験 2)

実験ケース	W/C (%)	s/a (%)	G _{vol} (L/m ³)	V _{0.6} /V _m (%)	単位量 (kg/m ³)						SP (C×%)
					W	C	S1	S2	S3	G	
室内実験 1	54.7	51.3	330	43	175	320	274	319	319	878	1.00
No.1				41			347	246	319	878	1.00
No.2				45			209	382	318	878	1.10
No.3				47			136	454	318	878	1.15
No.4				49			54	534	317	878	1.15
No.5				51			0	588	317	878	1.20

表-6 V_{0.6}/V_m に関する試験結果

実験ケース	V _{0.6} /V _m (%)	スランブフロー (mm)	500mm フロー到達時間 (秒)	空気量 (%)
室内実験 1	43	580	3.4	5.6
No.1	41	590	3.7	6.0
No.2	45	585	3.2	5.6
No.3	47	600	3.5	3.0
No.4	49	581	3.0	4.2
No.5	51	575	4.2	5.0

着目し，これを配合要因として調整することとした。

室内実験 1 における配合の V_{0.6}/V_m を算出すると 43 % となる。そこで，本実験では，V_{0.6}/V_m を 41~51% の範囲で変化させ，その影響を確認した。単位セメント量を一定とし，細骨材の粒度分布を調整することで，V_{0.6}/V_m を変えて，自己充填性に及ぼす影響を確認するための室内試し練りを実施した。

(2) 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料は，室内実験 1 と同じものを用いた。

表-5 にコンクリートの配合を示す。目標スランブフロー，目標空気量，単位水量，単位セメント量および G_{vol} はすべて室内実験 1 と同じである。V_{0.6}/V_m を変化させるため，3 種類の細骨材の混合比率を調整した。石灰砕砂の混合率を一定とし，砕砂と山砂の比率を調整して，V_{0.6}/V_m を 41 %，45 %，47 %，49 % および 51 % とした。

(3) 試験結果および考察

表-6 に室内実験 2 のスランブフローと空気量の試験

表-3 試験項目

試験項目	試験方法	目標値
スランブフロー	JIS A 1150	550±50 mm
500mm フロー到達時間	同上	3~15 秒
空気量	JIS A 1128	4.5±1.5%
U 形充填高さ	JSCE-F 511 障害ランク 2	300 mm 以上
V 漏斗流下時間	JSCE-F 512	7~13 秒

表-4 室内試験 1 の結果

スランブフロー (mm)	500mm フロー到達時間 (秒)	空気量 (%)	V 漏斗流下時間 (秒)	U 形充填高さ (mm)
580	3.4	5.6	15.7	287

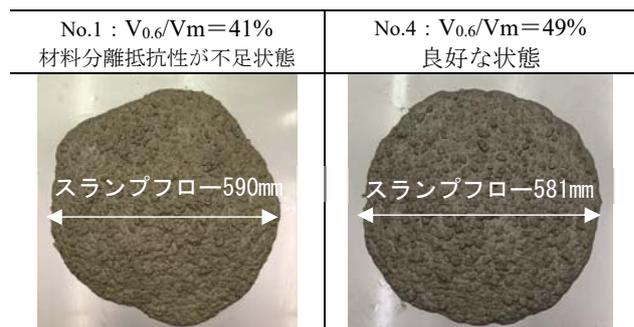


写真-1 スランブフローの外観性状

結果を示す。各ケースともスランプフローおよび空気量の目標値を満足するものであった。

写真-1 に No.1 ($V_{0.6}/V_m$: 41%) と No.4 (同 49%) の配合におけるスランプフローの外観を示す。 $V_{0.6}/V_m$ が 41% の配合におけるスランプフローの形状は、円形が崩れており、粗骨材の偏りが確認でき、材料分離抵抗性に劣るものと考えられた。一方で、 $V_{0.6}/V_m$ が 49% の配合のスランプフローは、形状が円形に近く、流動先端に水やペーストなどの材料分離の傾向は認められなかった。また、粗骨材が偏ることなく端部まで移動していることが目視により確認された。

図-1 に $V_{0.6}/V_m$ と U 形充填高さの関係を示す。なお、 $V_{0.6}/V_m$ 43% のデータは実験結果 1 のものである。 $V_{0.6}/V_m$ が大きくなるほど U 形充填高さが高くなる傾向が確認され、 $V_{0.6}/V_m$ が 45% 以上の配合において、指針の自己充填性ランク 2 の目標値の目安である U 形充填高さ 300mm を上回った。また、本実験の範囲では、U 形充填高さが最も高くなったのは、 $V_{0.6}/V_m$ が 49% の配合であった。これは、0.6mm 以下の細骨材を増加させることでコンクリートの粘性が増加し、材料分離抵抗性が大きくなることで、自己充填性が向上したものと推察される。

図-2 に $V_{0.6}/V_m$ と V 漏斗の関係を示す。 $V_{0.6}/V_m$ 45% 以下と 49% 以上では、優位な差はなかったが、 $V_{0.6}/V_m$ 45% ~ 49% の範囲においては、 $V_{0.6}/V_m$ が大きくなるにつれて V 漏斗は短くなる傾向が確認された。その傾向は、 $V_{0.6}/V_m$ が 47% 以上と大きい範囲で明瞭であり、粗骨材の干渉が解消されていた。また、U 形充填高さを満足し、目視評価においてもフレッシュコンクリートの性状が良好であった。 $V_{0.6}/V_m$ 49%、51% の 2 ケースは、指針の自己充填性ランク 2 の目標値の下限である 7 秒を下回る結果であった。これは、既存の高流動コンクリートより粘性が小さいためと考えられるが、2.1 で記述した配合を考える上での条件や目視評価において材料分離は生じていないこと、自己充填性のランク 3 における目標値の下限である 4 秒を満足していることなどから、締固め不要コンクリートとして問題ないものであると考えられる。また、図-1 に示したように、U 形充填高さが 300mm 以下となった $V_{0.6}/V_m$ が 41%、43% では、V 漏斗が指針の目標値の上限値である 13 秒を超える結果であった。これらのことから、単位セメント量を 350 kg/m^3 以下に設定し、普通コンクリートにおける施工と同様にポンプの筒先を移動させてコンクリートを間配することを前提としている締固め不要コンクリートでは、V 漏斗の上限値の目安を 13 秒以下、および下限値の目安である 4 秒以上に設定することで、適切な配合設計が可能になるものと考えられる。

図-3 に $V_{0.6}/V_m$ と SF_{500} の関係を示す。 SF_{500} は、

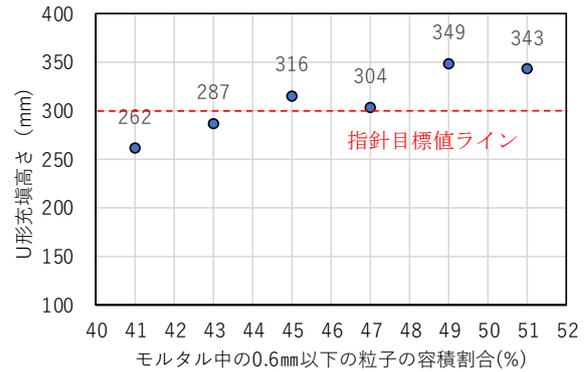


図-1 $V_{0.6}/V_m$ と U 形充填高さの関係

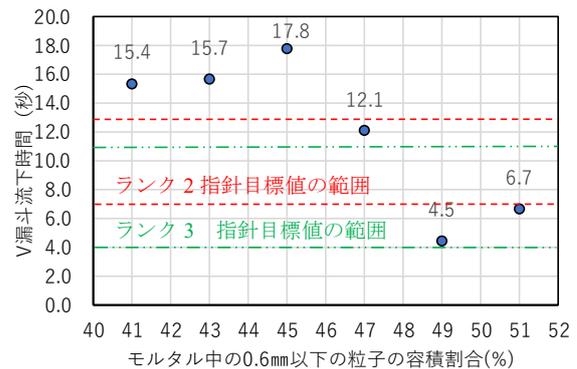


図-2 $V_{0.6}/V_m$ と V 漏斗流下時間の関係

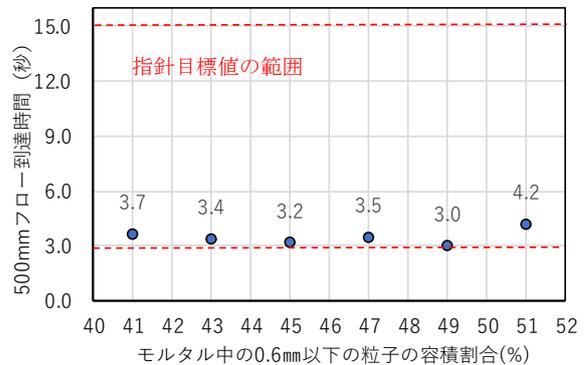


図-3 $V_{0.6}/V_m$ と SF_{500} の関係

$V_{0.6}/V_m$ 41~51% の範囲において 3.0~4.2 秒となり、指針における SF_{500} の目安である 3~15 秒を満たす結果であった。ただし、 $V_{0.6}/V_m$ の違いによって SF_{500} に明確な差は認められなかった。

3.3 室内実験 3

(1) 概要

室内実験 2 の結果より、良好なフレッシュコンクリートの性状であった $V_{0.6}/V_m$ が 47~51% の範囲のうち、最も U 形充填高さが良好であった $V_{0.6}/V_m$ が 49% を選定し固定させて、 G_{vol} を変化させて自己充填性に及ぼす影響を確認するための室内試し練りを実施した。

(2) 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料は、室内実験 1 と同じものとした。

表-7 にコンクリートの配合を示す。室内実験 1 と同

表-7 コンクリートの配合 (室内実験 3)

実験ケース	W/C (%)	s/a (%)	Gvol (L/m ³)	V _{0.6} /V _m (%)	単位量 (kg/m ³)						SP (C×%)
					W	C	S1	S2	S3	G	
室内実験 2	54.7	51.3	330	49	175	320	54	534	317	878	1.15
No.6		61.6	260				101	616	385	692	1.70
No.7		58.7	280				96	586	367	745	1.45
No.8		55.7	300				91	557	348	798	1.35
No.9		49.8	340				53	518	307	904	1.05
No.10		48.2	350				51	501	297	931	1.00

じ配合条件において、V_{0.6}/V_m を 49 % の一定とし、これまでの検討⁴⁾から Gvol は、260 L/m³, 280 L/m³, 300 L/m³, 330 L/m³, 340 L/m³ および 350 L/m³ で検討を行った。

(3) 試験結果および考察

表-8 にスランブフローと空気量の試験結果を示す。

表-8 にスランブフローと空気量の試験結果を示す。Gvol の影響を検討するために No.6~No.10 の配合で試験を行い、全ての配合で、混和剤量の調整によりスランブフローおよび空気量を目標値に合わせた。

図-4 に Gvol と U 形充填高さの関係を示す。No.6~No.10 の配合全てで、指針の自己充填性ランク 2 の目標値の目安である充填高さ 300mm を満足する結果であった。一般的に、Gvol が増えれば充填性が低下するが、本実験の範囲においては、V_{0.6}/V_m を適正に設定すれば、Gvol 350 L/m³ においても、U 形充填高さの目標性能が得られることが分かった。

図-5 に Gvol と V 漏斗の関係を示す。V 漏斗は 3.8~5.0 秒の範囲となり、U 形充填高さの結果と同様に、Gvol の違いによらず V 漏斗の値はほぼ同等となった。また、指針の自己充填性ランク 2 の目標値の目安の下限である 7 秒を下回る結果であったが、前述のとおりコンクリートの目標性能や性状を鑑みれば問題ないものであると考えられる。

図-6 に Gvol と SF₅₀₀ の関係を示す。Gvol が増加に伴って SF₅₀₀ は短くなる結果となった。これは、粗骨材が増えることで、細骨材が減り、細骨材中の 0.6mm 以下の粒子も減ることで、粘性が小さくなり流動しやすくなったものと考えられる。

以上から、本実験の範囲では、適切な Gvol を選定するにあたり、根拠となるような明確な差異は認められない結果であったが、全ての目標値を満たすものの中で、弾性係数などの硬化物性を考慮すると最も単位粗骨材量が多くなる Gvol 330 L/m³ が適切であると判断した。

3.4 室内実験のまとめ

以上の結果より、本実験の範囲では、V_{0.6}/V_m が 47~51% で、Gvol が 330 L/m³ において、指針の自己充填性ランク 2 の目標値の目安である充填高さ 300mm を満足し、良好なフレッシュ性状を有する締固め不要コンクリートの配合設計が可能となることを示した。

表-8 単位粗骨材絶対容積に関する試験結果

実験ケース	単位粗骨材絶対容積 (L/m ³)	スランブフロー (mm)	500mm フロー到達時間 (秒)	空気量 (%)
室内実験 2	330	581	3.0	4.2
No.6	260	580	5.8	5.9
No.7	280	550	5.2	5.0
No.8	300	590	3.8	4.1
No.9	340	575	2.1	4.6
No.10	350	595	2.1	4.8

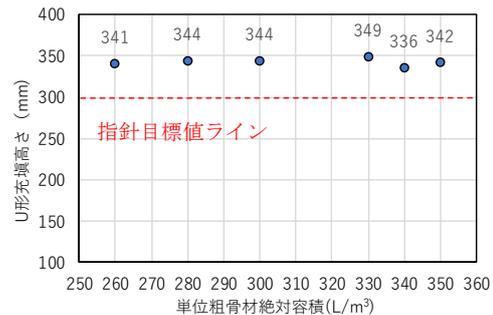


図-4 Gvol と U 形充填高さの関係

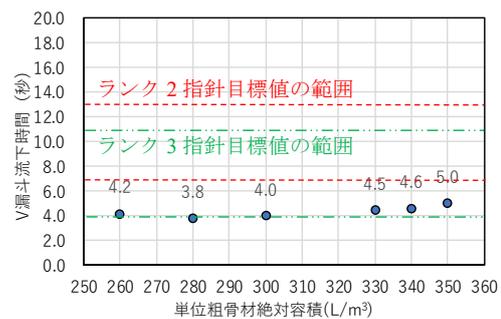


図-5 Gvol と V 漏斗流下時間の関係

4. 実規模の打込み実験

4.1 実験概要

室内実験で用いた No.3 の配合 (V_{0.6}/V_m 47%, Gvol 330 L/m³) を用いて、一般的な RC 構造物の壁を模擬した実規模の打込み実験を実施し、試験体を分析することで、前述の内容の配合設計手法の妥当性を検証した。

(1) 試験体

試験体寸法は、幅を 0.8m、延長を 3m、高さは、1 層 0.45m の 2 層打ちを想定して 0.9m とした。また、配筋は、鉄筋の最小あきが 75mm となるように、主筋となる

D25の異形鉄筋を100mmの間隔、D16の配力筋を300mm間隔で配置した。一般的なRC構造物の構造条件の範囲でも、鉄筋量が多くあきが小さい条件とした。

(2) 打込み・締固め

コンクリートの打込みは、実験体の中心（端から1.5m位置）で固定して行い、1層の高さを0.45mとして2層に分けて打ち込んだ。また、締固めは一切行わなかった。

(3) 評価項目

コンクリートの流動や充填状況の目視評価と硬化した試験体の打込み口と1.5m流動した先端部の各層中央位置のコンクリート上を流れたものでない試験体下部におけるコンクリートコアで、圧縮強度、静弾性係数および単位容積質量を測定し評価した。

4.2 実験結果

スランプフロー 570mm、空気量 4.4%の締固め不要コンクリートで打込み実験を行った。充填状況は、締固めを行わなくても壁の中央部から鉄筋のあきを通過して粗骨材を運び、かぶり部に充填される様子が確認できた。

写真-2 に型枠取外し後の試験体を示す。表層の目視観察では、型枠の隅々までコンクリートが充填されており、表面気泡や打重ね線が目立たない仕上がりであった。

表-7 に圧縮強度、静弾性係数および単位容積質量を示す。コンクリートコアの圧縮強度、静弾性係数および単位容積質量に大差はなく、材料分離することなく、均一に打ち込めたものと考えられた。

5. まとめ

単位セメント量 320kg/m^3 の条件で、締固め不要コンクリートの配合設計手法を検討した。さらに、既往の検討⁴⁾の要領で一般的なRC構造物の壁を模擬した打込み実験を実施し、本コンセプトにおいて、配合設計手法の妥当性および締固め不要の実現可否を検証した。以下に、本実験の範囲において、得られた知見を示す。

- (1) モルタル中の 0.6mm 以下の粒子の容積割合を 45～51%の範囲に調整することで、コンクリートの自己充填性を向上させられることが可能であった。
- (2) $V_{0.6}/V_m=49\%$ を基準とした場合、Gvol は $260\sim 350\text{L/m}^3$ の範囲では、全ケースにおいて、自己充填性を確保できた。
- (3) 実規模の打込み実験では、粗骨材が分離することなく、かぶり部分や型枠の隅々まで良好に充填し、硬化物性においても、打込み位置と流動先端部で大差はなく、全体的に均質であることを確認した。

以上より、打込み位置の間隔となる流動距離を制限することにより、モルタル中の 0.6mm 以下の粒子の容積割合を調整する締固め不要コンクリートの配合設計手法で、締固め不要を実現できることを確認した。

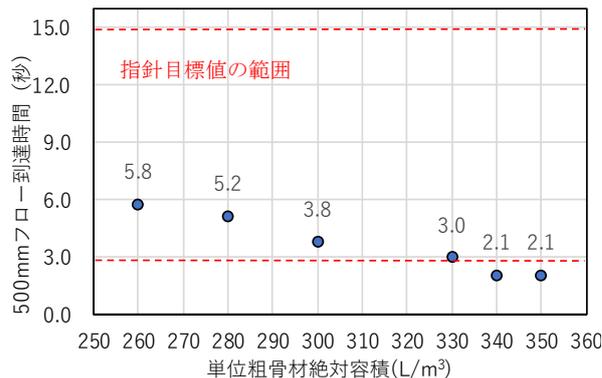


図-6 Gvol と SF₅₀₀ の関係

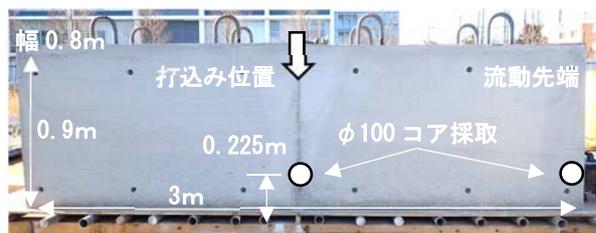


写真-2 型枠取外し後の試験体

表-9 圧縮強度、静弾性係数および単位

コア部位	圧縮強度* (N/mm ²)	静弾性係数* (kN/mm ²)	単位容積質量 (kg/m ³)
打込み口	37.6	23.6	2354
流動先端	38.5	25.8	2317

※材齢 80 日で実施

参考文献

- 1) 堂山修治, 竹下正一, 堤 英彰, 城澤道正: i-Construction(建設現場の生産性革命)の推進と建設現場の安全性の向上に向けて, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol.73, No.2, pp.1-1-1_6, 2017
- 2) 岡村 甫, 前川宏一, 小澤一雅: 自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの開発, 土木学会論文集 No.522/VI-28, pp.23-26, 1995.9
- 3) 平石信也, 笠井芳夫, 飛内圭之, 長田浩治: フローイングコンクリートの調合・流動性・強度・耐久性に関する実験研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 467 号, pp.9-18, 1995.1
- 4) 松本修治, 橋本 学, 柳井修司, 坂井吾郎: 生産性向上に資する安価な締固め不要コンクリートの実現に向けた一実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, 2019
- 5) 2012 年版高流動コンクリートの配合設計・施工指針, 土木学会, 2012.6
- 6) 2012 年制定コンクリート標準示方書 [施工編], 土木学会, 2012.3