

新型 RI 機器を用いたフレッシュコンクリートの締固め完了の判定に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○香島和輝 松本修治 荒川 遥 渡邊賢三 柳井修司 坂井吾郎

1. はじめに

コンクリートの締固め完了の判定は目視で定性的に行われるか、経過時間で仕様規定により行われることが多く、定量的な判定技術が少ない。筆者らは、これまでに放射線同位元素（Radioisotope：以降、RI と記す）を用いた密度計を締固め箇所近傍の型枠面に押し当てて密度を連続的に計測することで、コンクリートの締固め完了の判定ができることを明らかにしている¹⁾。しかし、現場で適用していくにあたり、型枠の縦バタ・横バタの隙間からせき板に直接 RI 機器を押し当てて計測するには、RI 機器の小型化が必要であった。そこで筆者らは、既往の研究¹⁾で使用した RI 機器から小型化・軽量化を図り、写真-1 に示す新型 RI 機器を開発した。本稿では、新型 RI 機器の締固め完了の判定方法としての適用性を評価した結果について報告する。

2. 新型 RI 機器

新型 RI 機器は、透過能力が高いセシウム 137 を元素とする線源部と、ガンマ線の検出部が一体化した機構である。線源部より放出されるガンマ線は、密度が大きい物質を透過すると、エネルギーの消失が大きくなる特性を有し、密度が大きい物質ほど、透過したガンマ線の検出数（以降、カウント値と記す）が少なくなる。既往の研究¹⁾では、図-1 に示すように、RI 機器を型枠に押し当てて、型枠内のコンクリートに放出されるガンマ線を受信部で検出することで、締固め状態が判定できる可能性が確認されている。

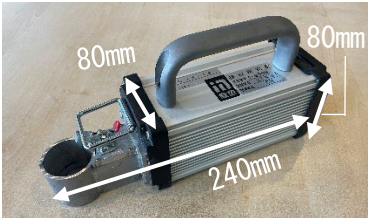


写真-1 新型 RI 機器

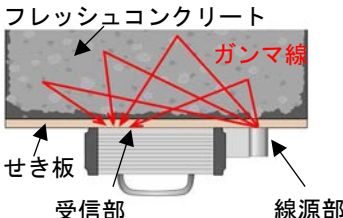


図-1 測定イメージ

3. 実験概要

(1) 使用配合

表-1 に実験に供したコンクリートの配合を示す。単位容積質量とカウント値の関係を確認するために、基本配合は目標スランプを 12.0 cm、目標空気を 4.5% とし（記号：1.0G）、基本配合に対して単位粗骨材絶対容積を 0 倍（モルタル）、0.5 倍、1.3 倍、1.5 倍した 4 配合（記号はそれぞれ 0G、0.5G、1.3G、1.5G）で実験を行った。また、締固めが不要な高流動コンクリートのカウント値の変化についても比較用として測定した。

(2) 測定概要

過去の検討¹⁾と同様に、小型の亚克力製型枠に測定対象となるフレッシュコンクリートを打ち込み、新型 RI 機器をせき板面に押し当てて、カウント値を測定する室内実験を実施した。写真-2 に本実験で用いた型枠と測定方法を示す。新型 RI 機器は、線源中心部が高さ 150 mm になるように、型枠側面に架台を設けて固定した。型枠内にフレッシュコンクリートを打ち込み、打ち込み完了から締固め完了までカウント値を測定した。締固めは、高流動コンクリートを含むすべての配合において、内部振動機（φ30 mm）を使用し、2 回に分けて行った。1 回目は、締固め前後のカウント値の挙

表-1 コンクリートの配合

配合	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位粗骨材絶対容積 (L/m³)	単位量 (kg/m³)				
				W	C	S1	S2	G
0G	51.0	100	0	257	499	812	555	0
0.5G	51.6	73.3	159	216	419	617	534	424
1.0G	51.5	52.6	319	175	340	500	433	848
1.3G	51.4	42.4	414	150	292	430	372	1,104
1.5G	51.3	36.2	478	134	261	381	310	1,276
高流動	27.8	45.1	319	175	630	370	320	850

W:水道水, C: 普通ポルトランドセメント, 密度:3.16 g/cm³ S1: 砕砂, 表乾密度:2.64 g/cm³, 粗粒率:3.23 S2: 山砂, 表乾密度:2.63 g/cm³, 粗粒率:1.61 G: 砕石 2005, 表乾密度:2.64g/cm³,実積率:62.7% (1.5G 配合のみ G:砕石 1005, 表乾密度:2.67g/cm³, 実積率:60.5%), Ad:AE 減水剤, リンゴポリカルボン酸塩とポリカルボン酸系化合物, *高性能 AE 減水剤,ポリカルボン酸系 (Ad は C×1.6%)

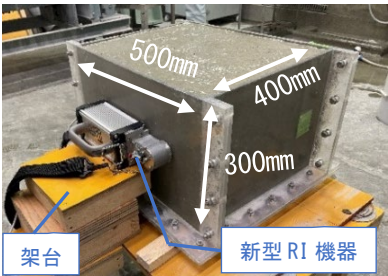


写真-2 実験に用いた型枠と測定方法

キーワード 締固め, 単位容積質量, RI, カウント値

連絡 先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

動を把握するために 30 秒間、2 回目は、粗骨材の沈降を模擬するために 120 秒間締め固めた。カウント値は、締め固め前に 120 秒間測定し、1 回目の締め固め中に 30 秒間および 1 回目の締め固め後に 120 秒間測定した。その後、2 回目の締め固め中に 120 秒間測定した。

4. 実験結果および考察

表-2 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。本実験では、単位容積質量を締め固め前の空気量試験から、質量方法によって実測値を算出した。図-2 に 1.0G、0G および高流動コンクリートの締め固めによるカウント値の変化を示す。カウント値は、1 秒ごとに測定し、10 秒毎の平均値を 1 プロットとした。1.0G について、カウント値は 1 回目の締め固め前で $104.5 \times 10^3 \text{cpm}$ (count per minute)、1 回目の締め固め後で $94.8 \times 10^3 \text{cpm}$ と、締め固めを経てカウント値が減少した。これは、締め固めを行うことで、フレッシュコンクリートが密実になり、密度が大きくなることで、ガンマ線の検出が少なくなったためと考えられる。一方で、2 回目の締め固め中のカウント値は $97.5 \times 10^3 \text{cpm}$ と、1 回目の締め固め後のカウント値よりもやや大きくなった。これは、2 回目の過度な締め固めによって粗骨材の沈降が生じ、測定位置においてモルタルの割合が高くなってコンクリートの密度が小さくなり、結果としてカウント値が増加したものと推察される。0.5G、1.3G、1.5G の締め固めによるカウント値の変化は、1.0G と同様の傾向であった。なお、0G は、締め固めによるカウント値の変化がほとんど生じなかった。これは、粗骨材がないモルタルは充填性が高く、打ち込むだけである程度密実になり、振動をかけても密度変化が生じないためであると考えられる。また、2 回目の過度な締め固めを行った後でもカウント値がほとんど変わらなかったのは、モルタルには粗骨材がなく、細骨材の沈降による密度変化がわずかであったためであると推察される。また、高流動コンクリートの配合についても、カウント値の平均値は 1 回目の締め固め前、1 回目の締め固め後でそれぞれ $92.6 \times 10^3 \text{cpm}$ 、 $92.4 \times 10^3 \text{cpm}$ であり、締め固め前後のカウント値がほとんど変化しなかった。これは、高流動コンクリートは単位粉体量が多く、締め固めによる材料分離抵抗性が大きいためであると考えられる。図-3 に表-2 で示した単位容積質量の実測値と、1 回目の締め固めが終了した後に 120 秒間測定したカウント値の平均値との関係を示す。本検討の範囲では、新型 RI 機器で測定したカウント値と単位容積質量には、高い相関関係が認められた。この結果から、新型 RI 機器によって、コンクリートの密度、すなわち締め固めの度合いを定量的に捉えられることが確認できた。

5. まとめ

新型 RI 機器を用いてコンクリートを透過するガンマ線のカウント値を測定し、コンクリートの密度を捉えることで、締め固め完了の判定が可能かどうかについて検討を行った。フレッシュコンクリートの締め固め前後の密度変化を定量的に捉えることができた。また、カウント値と単位容積質量には、高い相関関係があることが認められた。以上のことから、フレッシュコンクリートの締め固め完了を判定する機器として開発した新型 RI 機器が適用できる目途を得た。

参考文献

1) 水野浩平, 松本修治, 倉田和英, 柳井修司, 坂井吾郎: RI によるフレッシュコンクリートの締め固め度合いの検知に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.73, V-039, 2018.

表-2 フレッシュコンクリートの試験結果

配合	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m³)	
			理論値	実測値
0G	23.0	8.1	2,123	2,093
0.5G	22.0	2.9	2,210	2,274
1.0G	12.0	6.0	2,296	2,281
1.3G	4.0	2.3	2,348	2,371
1.5G	0.5	2.4	2,386	2,384
高流動	*64.1	3.0	2,344	2,401

*スランブフローの試験結果

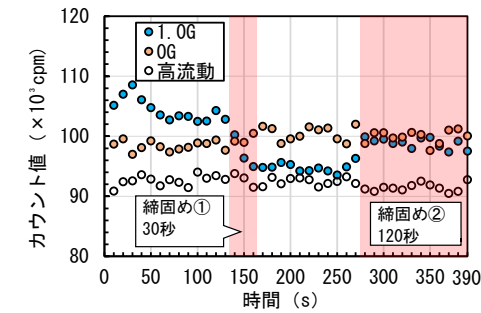


図-2 締め固めによるカウント値の変化

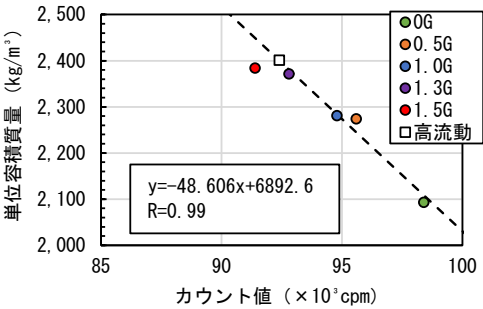


図-3 単位容積質量と締め固め後のカウント値の関係