# RIによるフレッシュコンクリートの締固め度合いの検知に関する検討

鹿島建設(株)　正会員　○水野浩平　松本修治　倉田和英　柳井修司　坂井吾郎
ソイルアンドロックエンジニアリング（株）　井上惠介

## １．はじめに

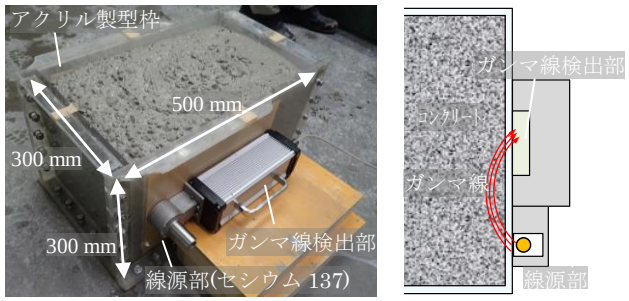
コンクリート構造物に生じる未充填部や豆板といった初期欠陥の発生を未然に防止するには，内部振動機により適切な締固めを実施することが重要である．フレッシュコンクリートの締固め度合いを定量的に評価する手法としては，振動による締固めエネルギーとコンクリートの密度との関係に立脚した振動台式試験[1)]などが提案されているが，実際の施工時に打ち込まれたコンクリートの締固め度合いを直接評価できる手法は限られており，また，統一的な見解も得られていない．そこで，本報文では，型枠内に打ち込まれたフレッシュコンクリートの締固め度合いを評価する手法として，放射性同位元素（RI）を用いた密度計に着目し，締固め前後の定量的データに基づき評価・判断できる技術の検討を行った．

## ２．実験概要

RIより放出されるガンマ線は，原子の軌道電子との間に生じる相互作用を受け，密度が大きい物質ほど，物質を透過する際にエネルギーの消失が大きくなる特性を有する．すなわち，密度が大きい物質ほど，透過したガンマ線の検出数が少なくなる．また，ガンマ線は線源部を中心に3次元的に放出されるため，ガンマ線の散乱範囲内の物質を立体的に測定できる．一方，コンクリートの締固めは，型枠内に充填されたコンクリートの単位容積質量が，配合から算出される理論単位容積質量と等しくなった場合に，その締固めが完了したものと判断される[1)]．筆者らは，RIの特性を活かし，ガンマ線の検出数（以下，カウント）を型枠側面から測定して単位容積質量を推定し，かぶり部のコンクリートの締固め度合いを検知･判定する手法について検討した．使用したRI機器を**写真－1**に示す．人体に害がなく，透過能力の高いセシウム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り，型枠側面に架台を設けて固定し，締固めの前後においてそれぞれ180秒間測定を行った．

実験に供したコンクリートの配合を**表－1**に示す．本実験では未充填箇所を再現しやすくするために，基本配合は目標スランプを硬練りの4.0 cm，目標空気量を4.5%とした（記号 1.0G）．また，コンクリートの単位容積質量を増減させることを目的に，1.0Gに対して粗骨材容積を0.6および1.3倍とした2配合に加え，流動性の影響を抽出すべく，スランプフロー45.0 cmのコンクリート（以下，中流動と称す）の合計4配合とした．

コンクリートの打込みはアクリル製型枠にスコップを用いて行い，締固めは100 Vの内部振動機により型枠側面が目視にて十分充填したと判断されるまで行った．




測定状況　　上面図

写真－1　RI機器

表－1　コンクリートの配合およびフレッシュ性状の試験結果

| 配合 | W/B (%) | s/a (%) | 単位粗骨材容積 (L/m³) | 目標 SL/SF※ (cm) | 目標 Air (%) | 単位量（kg/m³） | | | | | | | | | 単位容積質量 (kg/m³) | 試験結果 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | W | C | BB | S1 | S2 | G | Ad | SP | AE | | SL/SF※ (cm) | Air (%) | 単位容積質量 (kg/m³) |
| 0.6G | 50.0 | 65.3 | 214 | － | 5.5 | 200 | 401 | － | 849 | 210 | 567 | 3.96 | － | 0.0099 | 2227 | 36.0 | 7.4 | 2191 |
| 1.0G | 50.0 | 48.5 | 353 | 4.0 | 4.5 | 165 | 330 | － | 699 | 173 | 934 | 3.96 | － | 0.0099 | 2301 | 4.5 | 5.1 | 2291 |
| 1.3G | 50.0 | 56.4 | 450 | － | 2.9 | 108 | 216 | － | 594 | 147 | 1191 | 3.96 | － | 0.0099 | 2353 | 0.5 | 4.4 | 2344 |
| 中流動 | 55.0 | 49.4 | 355 | 45.0※ | 4.5 | 165 | － | 300 | 469 | 432 | 942 | － | 2.40 | 0.0090 | 2308 | 43.0※ | 5.2 | 2295 |

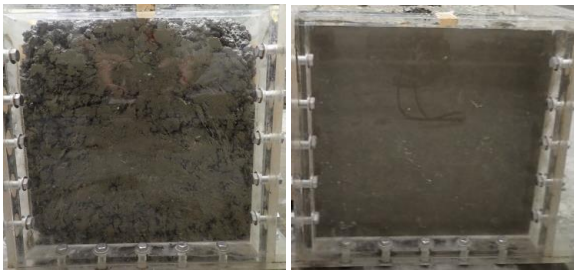
W:上水道水，C:普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ,密度:3.16 g/cm³，BB: 高炉セメントB種,密度:3.04g/cm³，S1: 砕砂,密度:2.63 g/cm³，S2: 山砂,密度:2.60 g/cm³,粗粒率.1.67，G:砕石,20 mm~5 mm,密度:2.65 g/cm³，Ad: AE減水剤（標準形），SP: 高性能AE減水剤（標準形），AE:AE剤

キーワード　締固め，フレッシュコンクリート，単位容積質量，密度，RI
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　042-489-8014

## ３．試験結果および考察

フレッシュコンクリートの性状は**表－1** に併記した通りである．エアメータで測定した単位容積質量は，いずれの配合も理論単位容積質量と同程度の結果であった．

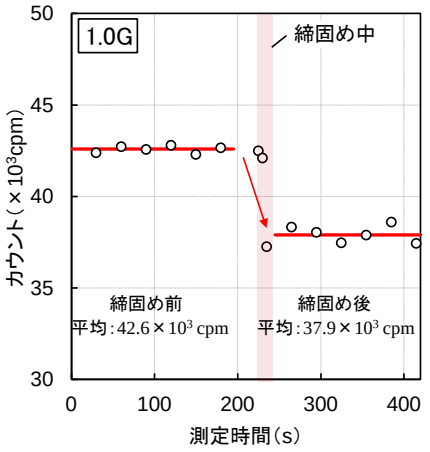
1.0G の配合における締固め前後の型枠側面の状況を**写真－2** に示す．締固め前において，型枠側面には特に隅角部に未充填箇所が認められた．一方，締固め後においては，コンクリートが隅角部にも密実に充填していることが確認された．



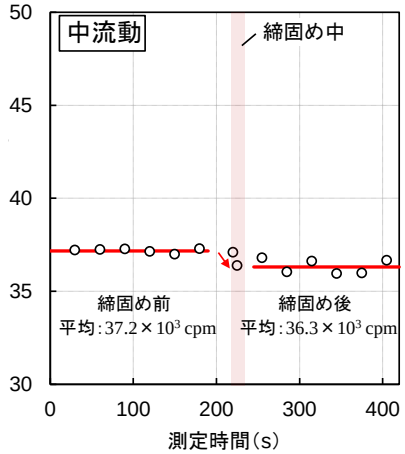
締固め前(1.0G)　　締固め後(1.0G)

写真－2 締固め前後における型枠側面の状況

締固め前後における，RI によるカウントの経時変化の例として，1.0G と中流動のものを**図－1** および**図－2** に示す．なお，カウントは 1 秒毎に測定されデータ数が膨大となるため，カウントの測定周期とその規則性が損なわれないよう留意し，締固め前後においては 30 秒毎の平均値を，締固め中においては 5 秒毎の平均値をプロットした．1.0G の配合において，カウントの平均値は締固め前で $42.6\times10^3$ cpm，締固め後では $37.9\times10^3$ cpm と，締固め後でカウントが明確に減少した．一方，中流動の配合においては，カウントの平均値は締固め前で $37.2\times10^3$ cpm，締固め後では $36.3\times10^3$ cpm と，1.0G の配合と比較して締固め前後のカウントの減少量が少なくなった．これは，中流動コンクリートの有する比較的高い流動性や充填性により，軽微なエネルギーで締固めが完了したためと考えられる．

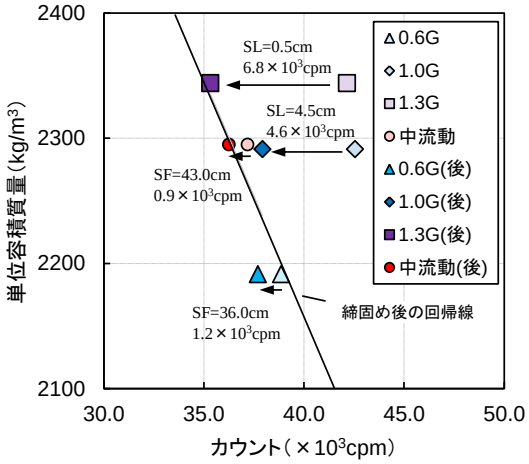



図－1　RI によるカウントの経時変化（1.0G）




図－2　RI によるカウントの経時変化（中流動）

締固め前後の RI によるカウントとエアメータによる単位容積質量との関係を**図－3** に示す．なお，カウントは上述の通り平均値を用い，図中にはスランプまたはスランプフローと締固め前後のカウントの減少量を同時に示す．いずれの配合においても締固め前と比較して，締固め後でカウントが減少し，かつ流動性の高い配合ほどカウントの減少量が少ない傾向が認められる．これより，流動性や充填性の異なるコンクリートに対して，締固め前後のカウントの減少を抽出できたことから，未充填箇所の検知のみならず，締固め度合いの検知も可能であることが示唆された．また，締固め後に着目すると，単位容積質量と RI によるカウントにある程度の負の相関関係が認められた．今後，単位容積質量の異なる様々な配合のコンクリートに対して同様のデータを蓄積することで，締固め度合い判定のための検量線を設定できる可能性が考えられる．




図－3 カウントとエアメータによる単位容積質量との関係

## ４．まとめ

本稿では，型枠側面から RI 機器によりガンマ線のカウントを測定し，締固め前後のフレッシュコンクリートの締固め度合いの検知が可能かを検討した．締固め前後のカウントの変化から，一般的なスランプコンクリートから流動性の高いコンクリートに対しても締固め度合いを検知できる可能性が示唆された．

## 参考文献

1)　梁俊ほか：フレッシュコンクリートの締固め性試験法に関する研究，土木学会論文集 E，Vol.62，No.2，pp416-427，2006