

[114] 振動テーブルにおける RCC の締固め条件の検討

正会員 ○栗田守朗（清水建設技術研究所）

正会員 青柳征夫（電力中央研究所）

正会員 加藤 治（電力中央研究所）

正会員 金森洋史（清水建設土木本部技術部）

1. はじめに

RCC (Roller Compacted Concrete) は、貧配合、ノースランプコンクリートであり、振動ローラで締固めて施工されるものである。RCCについては、材料、配合面では研究がなされつつあり、筆者らも配合特性等について既に報告している¹⁾。しかし、RCCは振動ローラによって締固められるという基本的特性を有しているが、その締固め機構に関しては十分に究明されていないのが現状である。

振動ローラによる締固め機構を解明する第一ステップとして、RCCの振動締固めの基本的特性を把握する目的で振動テーブル上においてRCCの振動締固め実験を行った。振動要因は、振動数、変位振幅とし、振動締固め前後のフレッシュなRCCの密度および沈下量を測定した。本報告は、これらの結果を基に、RCCの締固め性状におよぼす要因の影響について述べたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントはN社製の中熱ポルトランドセメント（比重3.20）、フライアッシュはD社製のフライアッシュ（比重2.17）、混和剤はN社製遅延型減水剤を結合材量の0.25%使用した。細骨材は天然砂で比重2.64、吸水率2.13、粗粒率は2.89、粗骨材は、碎石で比重2.65、吸水率0.85%であり、粗骨材の最大寸法は80mmとした。

配合は既に報告したRCCの配合に準じた¹⁾。RCCの配合を表-1に示す。練りませ方法は、可傾式ミキサを用い、250ℓのコンクリートを3分間練りませ、試験に供した。

表-1 配 合

G _{max} (mm)	W	F	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
	C+F (%)	C+F (%)		C+F	W	S	G	Ad.
80	83	30	32	120	100	711	1518	0.3

2.2 振動テーブル (VT試験機)

振動テーブルは、本実験条件を満足するとともに振動数、変位振幅、加速度を任意に設定・制御できることを条件に製作した。VT試験機は油圧装置、加振装置および制御装置から成り、搭載重量250kgにて、20Gの加振性能を有しており（最大振幅±10mm、周波数範囲10~100 Hz）、従来のVC試験機の性能を満たすものである。VT試験機を図-1に示す。

2.3 要因と水準

実験は、振動成分（振動数、変位振幅）がRCCの締固め性状におよぼす影響を試験することを目的として、振動数を10~70Hz、変位振幅を0.5~1.0mmまで変化させた。又、載荷重量の影響を調べるために、載荷重量0および20kgにおける試験も実施した。要因と水準を表-2に示す。

2.4 試験方法

(1) RCCの充填方法

試験に際し、RCCの締固め前の密度（初期密度）を同一にした。そのために使用する大型容器（φ48×h40cm）に充填するRCCは、その高さおよび重量が一定となるようにし、初期密度が2130kg/m³程度を目標とした。

(2) VT試験方法

大型VC試験に準じて実施し、正弦波で上下方向に加振した。試

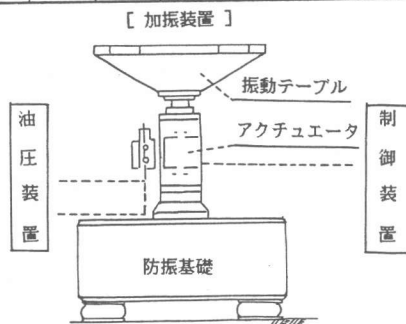


図-1 VT試験機

表-2 要因と水準

要 因	水 準
振動数 (Hz)	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70
変位振幅(mm)	0.5, 0.75, 1.0
載荷重量(kg)	0, 20

験中は、RCCの沈下量の経時変化を測定した。試験開始後、大型VC値に相当する時間を測定し、その後連続して加振し、設置した変位計によって沈下量に変化が見られないと判断した時点（約10分後）で試験を終了した。又、振動締固めの前後の大型容器内のRCCの高さを測定し、締固め前後のRCCの密度を算定した。載荷重量が0 kgの条件では、沈下量の経時変化は測定できないため、各試験条件において加振開始後、その締固め状態を目視観察した。RCCが十分に締固まったと判断された場合はその時点で試験を終了し、締固まったと判断できない場合は、試験を続けて、沈下が進まないと判断された時点で試験を終了し、その時の沈下量を測定した。本試験では、フルサイズ（ $G_{max}=80\text{mm}$ ）のRCCを用いた。又、試験に供するフレッシュなRCCの品質を確認するために40mm以下のコンクリートについて小型VC試験等を実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 載荷重量の影響

VT試験において、載荷重量が無い場合の結果を図-2, 3に、載荷重量20kgの場合を図-4, 5に示す。密度増加率（ Δr ）は、試験後の密度増加量を初期密度で除した値である。載荷重量が無い条件（載荷重量0 kg）では、図-2から、振動数が高くなるにつれて Δr は増加し、40~50Hzで最大となり、60~70Hzでは小さくなる傾向を示した。変位振幅は、大きくなるにつれて密度は増加する傾向が見られ、20Hzの場合にその差は顕著に現われている。又、振動数が10Hzの場合は、変位振幅の値にかかわらず密度の増加は見られず、20Hz、0.5 mmの条件でも同様であり、これらの振動条件ではRCCを締固める能力が不足していることを示している。

図-3は、横軸に加速度（ α ）、縦軸に密度増加率（ Δr ）を示した。加速度が大きくなるに従い Δr は増加するが、8 G以上では小さくなる傾向を示す。このことは、ある程度の振動はRCCに締固める効果を与え、過度の振動はRCCの締固めを妨げる作用を及ぼすことを示していると考えられる。

載荷重量20kgの場合は、振動数が高くなるに従い、 Δr は増加し、30、40Hz以上ではほぼ一定の密度増加率であった。これは、載荷重量0 kgの条件と同じ傾向であるが、高い振動数において異なる挙動を示している。図-5から、加速度が増加するに従い Δr は増加するが、60~70Hzにおいても載荷重量0 kg条件で見られたような Δr が小さくなる傾向は見られなかった。これは、RCC表面に載荷することによって、締固められたRCCをゆるめる作用を妨げる効果を与えていることを意味している。又、 Δr は、2 G程度までは急激に増加し、それ以上では変化は少なくほぼ一定の値になることから、振動テーブル上でRCCを締固める条件として、加速度2 G程度以上必要であることを示唆している。

3.2 沈下性状

各振動条件におけるRCCの沈下の経時変化測定結果の例を図-6~10に示す。図-6~8は、変位振幅毎に振動数を変えた場合の例を、図-9, 10は振動数毎に変位振幅を変えた場合の例を示した。横軸（振動時間）は片対数で表した。縦軸の沈下率とは、各振動時

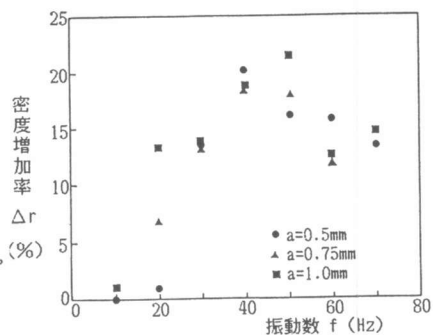


図-2 振動数と密度増加率の関係
(載荷重量0 kg)

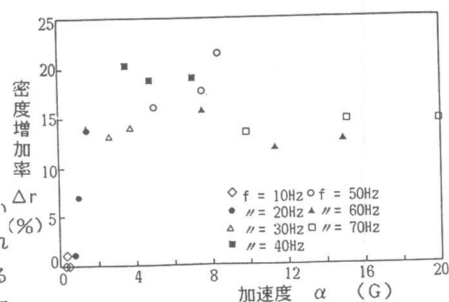


図-3 加速度と密度増加率の関係
(載荷重量0 kg)

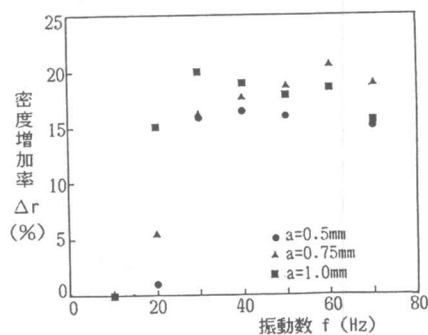


図-4 振動数と密度増加率の関係
(載荷重量20 kg)

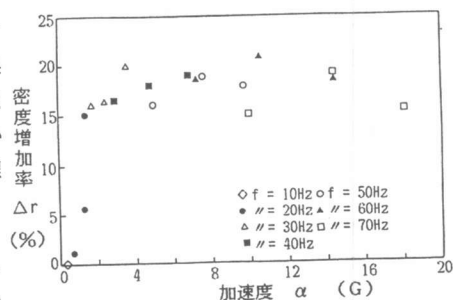


図-5 加速度と密度増加率の関係
(載荷重量20 kg)

間において測定した沈下量を初期高さ（振動を加える前のRCC試料高さ）で除した値である。沈下率経時変化は、試験条件によって異なるが、振動時間50～100秒程度までは片対数グラフ上で直線的に変化し、それ以後は水平になる傾向を示している。これは、RCCにある程度以上の振動が与えられると沈下し始め、沈下が進むにつれてある一定の沈下率に収束することを意味している。

変位振幅が一定の場合、振動数が高くなるに従い沈下率が大きくなり、振動時間の初期から沈下率に差が見られることから、沈下率経時変化には振動数が影響を与えることがわかる。同一振幅においては、振動数が高くなると同一時間内にRCCに与える振動回数が多くなることになり、その結果沈下率が大きくなると考えられる。変位振幅0.5mm, 0.75mmとも振動数が20Hzの場合は沈下がほとんど見られず、締固めに与える効果は少ないことがわかる。変位振幅が大きくなるに従い、各振動数における沈下率経時変化の差は小さくなる傾向を示し、沈下性状に及ぼす振動数の影響は少なくなると考えられる。

振動数が同じ条件では、変位振幅が大となると沈下率が大きくなり、加振の初期からその差が現れており、変位振幅の大きさが締固めに効果を与えることがわかる。又、振動数が高くなると、変位振幅が沈下率に与える影響は少なくなる傾向を示しており、振動数60Hzでは、沈下率経時変化の形状が重なる様子が見られる。

本実験のような場合の沈下率経時変化は双曲線で近似され、次式で表される。²⁾

$$y = t / (A t + B)$$

ただし、 y ：沈下率（%）、 t ：振動時間（秒）、 A 、 B ：定数

図-9に示すように沈下率経時変化は上式で良く近似できることがわかる。又、上式の定数 A 、 B は沈下率曲線の形状を決定するものであり、 A は沈下率の最終値（振動時間が無限のときの沈下率： $1/A$ ）を示し、 B は沈下率曲線の形状を決めるものであると言える。本実験で得られた沈下率経時変化を上式で近似し、それぞれ A 、 B を算出した。図-11、12は、振動数と A 、 B の関係を変位振幅毎に示したものである。 A は、振動数が高くなるに従い小さくなり、0.06～0.07に収束する傾向が見られる。同一振動数においては、変位振幅が大きいと A は小さくなり、変位振幅が大きい方が沈下率が大きくなり、締固め効果が大きいことを示している。又、定数 B も A と同様の傾向を示し、振動数が高くなると小さくなる傾向を示す。同一振動数では、変位振幅の大きい方が、同一変位振幅では、振動数の高い方が沈下が速い（締固め効果が高い）ことを示していると考えられる。このように、定数 A 、 B を用いることによって沈下性状を表すことができると考えられる。

3.3 締固め性状

各実験条件において測定した大型VC値は、振動数が高くなるに従い、又、変位振幅が大きくなるに従い小さくなる傾向を示した。

大型VC値を測定した時のRCCの密度を算定し、加速度との関係を図-13に示す。大型VC値の時の密度をVC値密度と呼ぶことにする。加速度が大きくなるに従いVC値密度は急激に増加し（2Gまで）、それ以後は、ほぼ一定となることがわかる。

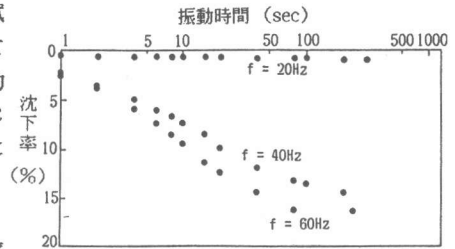


図-6 沈下率経時変化（変位振幅 0.5mm）

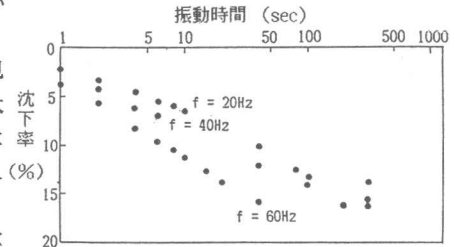


図-7 沈下率経時変化（変位振幅 0.75mm）

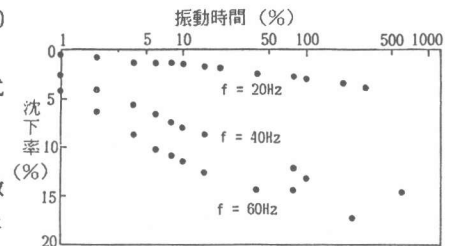


図-8 沈下率経時変化（変位振幅 1.0mm）

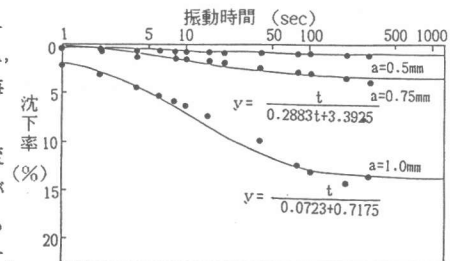


図-9 沈下率経時変化（振動数20Hz）

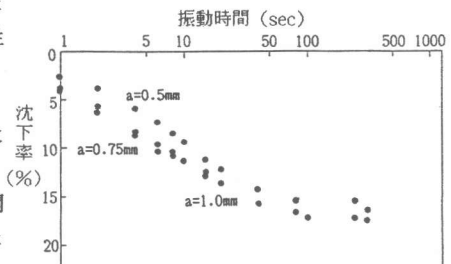


図-10 沈下率経時変化（振動数60Hz）

図-14にVC値沈下率（VC値の時の沈下率）と密度比（VC値密度を理論密度で除した値）の関係を示す。黒丸はVC値の測定ができなかったケースであり、振動を与えてもモルタル分がRCC表面まで現われなかったことを意味する。沈下率0のデータは、加振前後で密度の変化が生じなかったケースである。密度比は、VC値沈下率が大きくなるに従い増加する傾向を示し、VC値沈下率が10%以上になるとVC値の測定が可能となる。又、その時の密度比は95%以上である。従って、振動テーブルを用いてRCCを締固める場合は、加速度2G程度以上を与え、VC値沈下率10%以上となる必要があると考えられる。振動ローラを用いてRCCを締固める場合は、振動圧力との相乗作用があるために、コンクリート下層部において必要とされる加速度は0.2G程度以上であるが、振動テーブルのような加速度のみを与える場合は、その10倍程度の加速度が必要であることを示唆している。

4. 結 論

本実験で使用したRCC（Gmax=80mm、小型VC値10秒程度）において、RCCの振動締固め性状を把握するために振動テーブルを用い、振動成分B（振動数、変位振幅）を変えて実施した実験結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) RCCを締固める条件としては、加速度が2G程度以上必要であるが、載荷重量が無い場合には、振動数40~50Hz、加速度8G程度の場合に最も良く締固まり、それ以上の過振動を与えると締固めを妨げる原因となる。
- (2) RCCの沈下性状から、同一変位振幅の場合は振動数が高くなるほど、同一振動数の場合は変位振幅が大きいかほど締固め効果大きい。又、沈下性状は沈下率曲線で表わすことができ、沈下の過程を定数A、Bで説明できる。
- (3) VC値の判定が可能な条件は、加速度が2G以上、VC値沈下率が10%以上であり、そのときの密度比は95%以上となる。

今後は、締固め性状と振動成分との関係を更に検討するとともに、エネルギー的な面からも検討する予定である。

最後に本実験に協力していただいた関係者に心から謝意を表します。

（参考文献）

- 1) 青柳他“ローラーコンパクテッドコンクリートへのフライアッシュの適用に関する研究”第6回コンクリート工学年次講演会 1984
- 2) 栗田他“RCDコンクリートの振動締固め性状に関する一研究”
土木学会第37回年次学術講演会 昭和56年10月
- 3) 栗田他“RCDコンクリートの締固め性状に関する一研究”
清水建設研究所報第38号 昭和58年10月

清水建設研究所報第38号 昭和58年10月

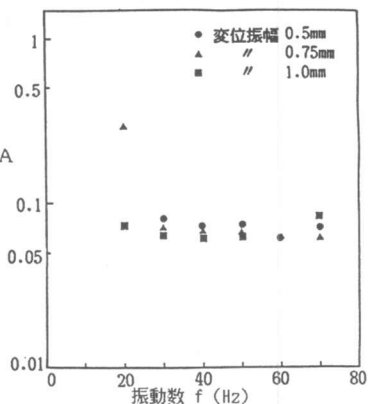


図 - 11 振動数とAとの関係

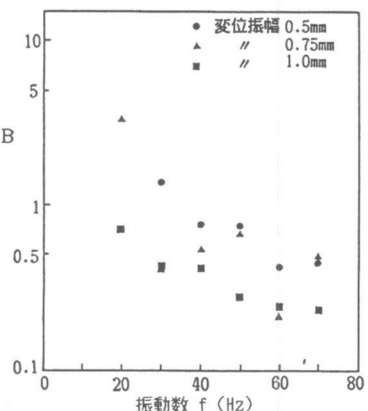


図 - 12 振動数とBとの関係

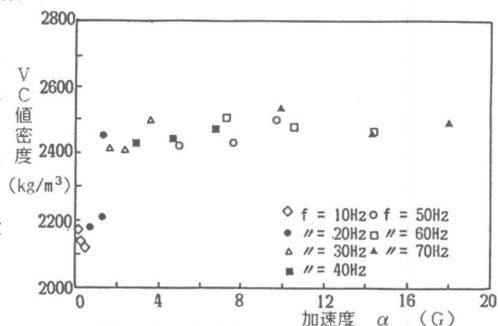


図 - 13 加速度とVC値密度の関係

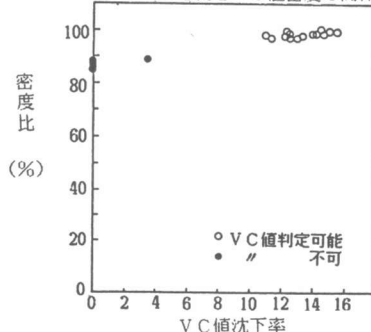


図 - 14 VC値沈下率と密度比の関係