

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04562

研究課題名（和文）再振動締固め法を用いた高耐久コンクリートの作製技術の構築

研究課題名（英文）Construction of manufacturing techniques for highly durable concrete using the re-vibration compaction method

研究代表者

添田 政司（Soeda, Masashi）

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：50148871

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：コンクリートの再振動の明確な実施時期や方法に関する情報が少なく、現場では感覚と経験に基づいた加振が行われている。本研究は、最適な再振動締固めの実施時期、加振時間、実施時期の判定法を提案することを目的とした。コンクリートの抵抗値が $17 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ に到達した時期に再振動を行うのが最も効果的であり、加振時間は5～10s程度で行うことでコンクリートの品質は向上する結果となった。一方で、再振動の実施時期が遅い場合や加振時間が長くなると、再振動によるコンクリートの品質の改善が期待できなかった。本結果を基に実現現場の床版コンクリート打設にて再振動を実施し、コンクリート品質の向上を確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリート構造物の初期欠陥や不具合が後を絶たず、コンクリート品質確保が課題となっている。本研究は、コンクリート品質を施工段階で確保することが期待される再振動締固め法に着目した。再振動締固めの実施時期や加振時間、実施のタイミングを判定する手法を提示することで、課題とされる建設時のコンクリート構造物の品質確保の問題解決に寄与することが期待される。

研究成果の概要（英文）：There is no clear information on when and how to re-vibrate concrete, and on-site vibration is performed based on feeling and experience. The purpose of this study was to propose the optimum method for determining the re-vibration compaction implementation time, vibration time, and implementation time. It is most effective to re-vibrate when the resistance value of the concrete reaches $17 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$, and the vibration time is about 5 to 10s, which improves the quality of the concrete. rice field. On the other hand, if the re-vibration was carried out late or the vibration time was long, improvement in the quality of concrete by the re-vibration could not be expected. Based on this result, it was possible to confirm the improvement of concrete quality by re-vibrating at the floor slab concrete placement at the realization site.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：再振動締固め N式貫入深さ 高耐久 気泡間隔係数 ブリーディング

による落下高さは、500、750、1000mmとした。検討1での最適な再振動の実施時期は、落下高さ1000mmでN式貫入深さ試験を実施した際の貫入深さが100mmに達した時期であったことから、貫入深さが100mm付近に達した際に5秒、10秒、15秒の3水準で再振動を実施した。再振動を行った際の落下高さごとのコンクリート抵抗値の平均は、 $15.1 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ （以降、コンクリート抵抗値 $15 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ で示す。）であった。なお、100mm付近を再振動の実施時期としているため、最適な再振動の実施時期で実施されたコンクリート抵抗値 $17 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ と若干ではあるが異なっている。また、再振動時の加振時間は、5秒、10秒、15秒で実施する供試体と再振動なしの計4体の供試体を作製した。振動エネルギー量は、加速度センサを用いて図-1に示す位置に設置して測定を行った。打設終了後は、硬化を確認して、28日間の水中養生を行った。測定項目は、ブリーディング水量、四点電極法による比抵抗とした。

コンクリート床版における再振動の適用性についての実地試験

コンクリートは、水セメント比53%とし、練りあがり直後におけるスランプおよび空気量は示す通りである。この配合は、実橋で床版打設を行ったものと同様である。供試体は、橋梁床版を模擬して床版厚230mmおよび330mmの2種類作製した。供試体の寸法は1192×1192×230mm、1067×1192×330mmである。図-2,3には、供試体の平面図をそれぞれ示す。打込みは、トラックミキサから直接行い、初期締固めは、平面図に示すパイプレータの挿入位置において棒状パイプレータ（孔径30mm）を床版厚230mmは深さ200mm、床版厚330mmは深さ300mmの位置まで挿入して、5秒間加振を行った。また、ブリーディング率の測定は、コンクリートの打ち込み終了後に速やかに表面をコテで成形し、平面図に示す箇所にて、ブリーディング水の採取を行った。再振動は、貫入深さ試験による貫入深さが100mmに達した時期に5秒、15秒の加振で行った。パイプレータの挿入位置は、平面図に示す位置とした。振動エネルギーの測定は、加速度センサを用いて行った。加速度センサの設置は、平面図に示す様に、5秒間再振動の範囲の型枠に3箇所、15秒間再振動の範囲の型枠に3箇所とし、パイプレータから伝搬される振動エネルギーの測定を行った。圧縮試験は、図-3,4に示す位置よりコンクリートコア（φ75mm）を採取し、材齢36日目にて試験を実施した。

4. 研究成果

再振動の最適な実施時期の検討

水セメント比45、56%のブリーディング量は、再振動の実施時期が遅いものほど、骨材やアルミパイプの下部に既に蓄積されている余剰水が多いことから、ブリーディング量も多くなると予想されたが、実際のブリーディング量は、コンクリート抵抗値が $17 \times 10^{-3} > 10 \times 10^{-3} > 30 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2 >$ 再振動なしの順で多くなる傾向を示した。参考値として、JISA1123試験によるブリーディング量は、水セメント比45%で $0.075 \text{cm}^3/\text{cm}^2$ 、水セメント比56%で $0.225 \text{cm}^3/\text{cm}^2$ であった。次に、再振動によってブリーディング水の増加が、気泡間隔係数および骨材分布等と与える影響について検討を行った。空気量は、再振動なしと比べてコンクリート抵抗値 $17 \times 10^{-3} > 10 \times 10^{-3} > 30 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ の順で減少する結果を示し、再振動による実質の空気量の低減を確認できた。一方の、気泡間隔係数は、空気量と同様に再振動なしと比べてコンクリート抵抗値 $17 \times 10^{-3} > 10 \times 10^{-3} > 30 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ の順で減少している。いずれも再振動を実施したコンクリートでは、十分な耐凍害性を確保するための目安とされる気泡間隔係数 $250 \mu\text{m}$ 以下を満足する結果が得られた。気泡直径 $25 \sim 250 \mu\text{m}$ の範囲では、いずれの供試体も空気量の増減は極めて小さかったのに対し、 $250 \sim 1000 \mu\text{m}$ の気泡直径では、コンクリート抵抗値 10×10^{-3} 、 $17 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ において明確な減少を確認することができた。再振動による内部空気量の減少量は、ブリーディング量が多いものほど増加しており、ブリーディング水の上昇に伴って排出されると推察できる。さら

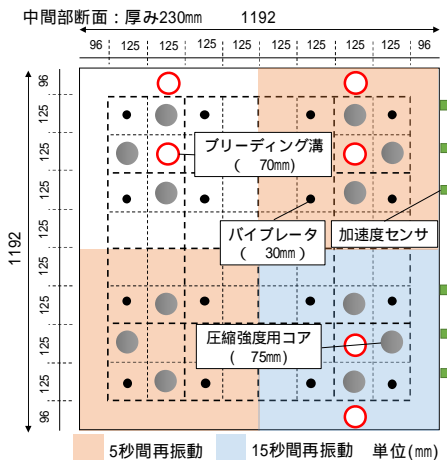


図-2 供試体平面図(床版厚 230mm)

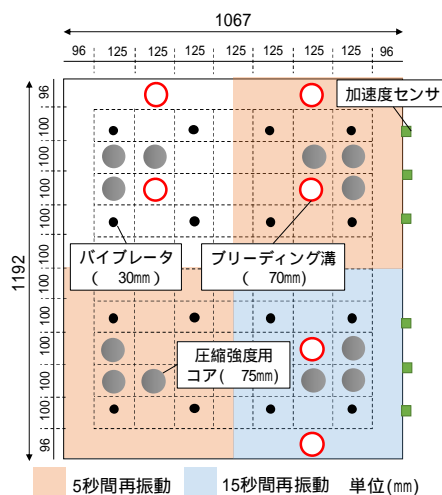


図-3 供試体平面図(床版厚 330mm)

に、250 μ m以下の微細な空気は再振動を行っても減少しておらず、むしろ粗大な空気のみを排出されていることから、再振動は、耐凍害性を低減することなく、むしろコンクリートの品質を確保する上で有効な方法とも言える。

次に、物質移動抵抗性に影響を及ぼすとされる細孔構造について検討を行った結果から、実質の単位水量が低下したことで、緻密な組織になることを確認できた。以上のことから、今回の検討を行った範囲では、コンクリート抵抗値 $17 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ を示した時期に再振動を実施することで、耐凍害性を確保する上で必要な 25 μ m から 250 μ m の範囲のエントレインドアを消失させることなく、最も骨材下部に蓄積したブリーディング水が除去される結果が得られた。さらに、ブリーディングの増加により実質の水セメント比が低下することによって、高耐久のコンクリートを作製できることが分かった。

材齢 1, 36 週における測定位置ごとに得られた比抵抗分布の結果では、バイブレータ挿入位置を中心として離れるにつれて減少傾向にあることが分かった。ただし、コンクリート抵抗 $30 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ 程度での比抵抗は、むしろ再振動なしよりも低下していた。これは、再振動時に既に、コンクリートの流動性が低下していたため、バイブレータの引抜き痕が十分に充填されなかった可能性や余剰水がバイブレータ跡に蓄積して、粗な組織となった可能性がある。一方で、コンクリート抵抗値 $17 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ の比抵抗値は、全体的に高くなっており、効果的な再振動の実施時期であるとも言えるとともに、広範囲に渡って再振動の効果が付与されているのが分かる。

以上のことから、再振動の実施時期は、N 式貫入深さ測定によりコンクリート抵抗値 $17 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ を示した際に、再振動の付与効果が最も期待でき、滞りなく施工もできるための現実的なタイミングの 1 つの目安になると思われる。ただし、コンクリート抵抗値 $30 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ 程度で再振動を実施すると、むしろ再振動なしよりもコンクリートの品質の低下が懸念された。

最適な加振時間に関する検討

図-5 には、ブリーディング量の経時変化を示す。ブリーディング量は、加振時間 5 秒 > 10 秒 > 15 秒 > 再振動なしの順で増加する結果となった。参考値として、JIS A1123 試験によるブリーディング量は、 $0.098 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ であった。また、ブリーディングは、再振動実施直後から増加する傾向を示した。特に 15 秒間の加振を行ったものは、再振動なしと同等程度のブリーディング量となった。これは、加振時間が長くなると、材料分離によって、引抜き後のバイブレータ痕が形成され易くなるため、その挿入痕に余剰水が集積したと思われる。そのため、挿入痕に集積したブリーディング水を採取することができれば、最終ブリーディング量は、加振時間による大きな差は、あまりないものと推察している。一方の、5 秒、10 秒間の加振を行った場合のブリーディング量は、再振動なしと比べて顕著に増加する結果を示した。ただし、両者には、明確な違いは確認できなかった。

総振動エネルギー量は、加振時間が長いもの程、大きくなっていったが、1 秒間あたりの振動エネルギー量では、逆に加振時間が短いもの程、大きくなっていった。このことから、振動伝搬エネルギー量は、加振時間に伴ってバイブレータ挿入位置において材料分離が生じはじめ、徐々に減衰していくと考えられた。バイブレータ挿入位置から 100mm における加振時間 15 秒の振動波形を確認したところ、時間の経過に伴い振幅が減少傾向にあることが確認された。

図-6 には、材齢 1, 4 週間における各測定位置の比抵抗値の平均とブリーディング量の関係を示す。比抵抗は、シリーズ 1 の結果と同様に、ブリーディングが多い加振時間 5 秒 > 10 秒 > 15

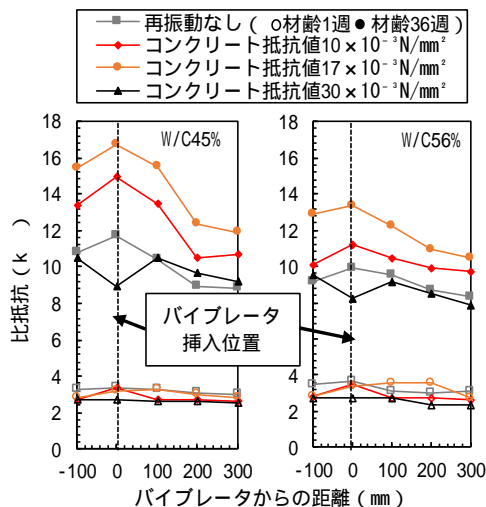


図-4 比抵抗分布

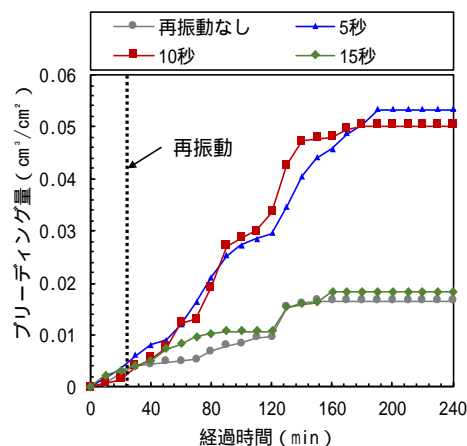


図-5 ブリーディング量の経時変化

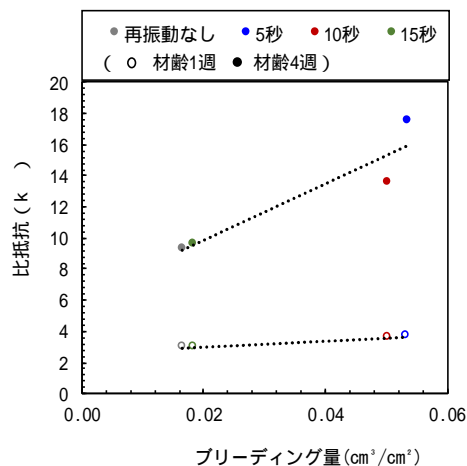


図-6 比抵抗とブリーディングの関係

秒>の順で大きくなる結果となった。また比抵抗値は、パイプレータ挿入位置を中心から離れるにつれて減少傾向にあり、加振時間が15秒になると、比抵抗値は、パイプレータ挿入位置においてむしろ再振動なしよりも低下しており、材料分離によってパイプレータ痕が粗になり、比抵抗値が低下していた。

以上の結果より、再振動時の加振時間は5秒～10秒で最もブリーディング水が増加し、比抵抗値が増加することが分かった。また、再振動の場合には、フレッシュコンクリートとは異なり、既に凝結が始まっているため、加振時間が15秒程度と長くなると、材料分離が生じる危険性が懸念された。

コンクリート床版における再振動の適用性についての実地試験

図-7には、橋梁床版の中央部模擬供試体および端支点部模擬供試体のブリーディング率の経時変化を示す。ブリーディング率は、いずれの供試体においても、再振動を実施することで増加する結果を示した。これは、再振動によって骨材や鉄筋下部に蓄積されていた余剰水がブリーディング水として排出されたため大きくなったと考えられた。また、再振動時の加振時間については、5秒間再振動を実施したものが高いブリーディング率を示した。再振動15秒では、加振時間が長くなると、材料分離によって、引抜き後のパイプレータ痕が形成され易くなるため、その挿入痕に余剰水が集積したと思われる。

図-8には、材齢35日目の圧縮試験の結果を示す。圧縮強度は、再振動なし<再振動15秒間<再振動5秒間の順で増加した。圧縮試験の結果からも再振動15秒間では、材料分離の発生等が原因で5秒間のものと比べ強度が低下していることが確認された。この結果は、異なる配合で実施した室内施設の結果と同様であった。しかし、5秒、15秒共に再振動を行うことで強度は増加している。

以上の結果から、再振動は、実構造物を模擬したコンクリートにおいてもN式貫入深さが100mmを示した際に、5秒間の加振をすることで、再振動の付与効果が最も得られることが示された。また、再振動の場合には、フレッシュコンクリートの締固めとは異なり、既に凝結が始まっているため、加振時間が15秒程度と長くなると、品質が低下する恐れが懸念された。

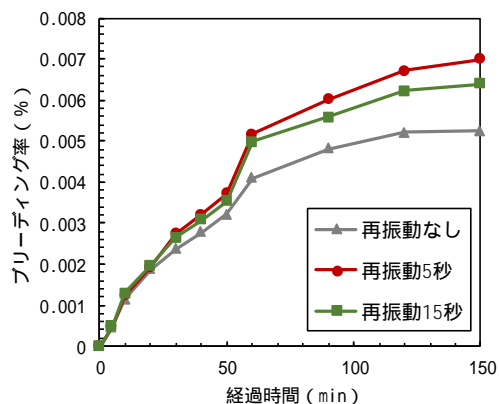


図-7 ブリーディング率(床版厚 230mm)

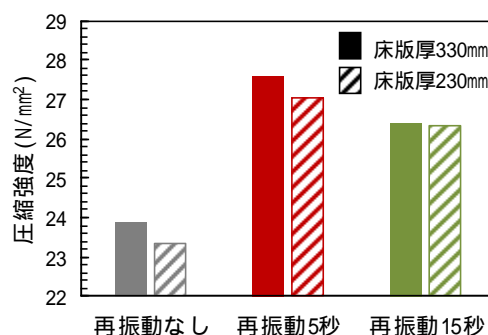


図-8 コア採取による圧縮強度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 佐藤悠士朗, 樫原弘貴, 添田政司, 深見桜	4. 巻 31
2. 論文標題 コンクリートの最適な再振動の実施に向けた実験的検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学論文集	6. 最初と最後の頁 11-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/crt.31.11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 佐藤悠士朗, 深見桜, 樫原弘貴, 添田政司	4. 巻 28
2. 論文標題 再振動締固めによる長期的な塩害劣化抵抗性の向上効果に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 プレストレストコンクリート工学会, シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 169-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 佐藤悠士朗, 樫原弘貴, 添田政司, 深見 桜	4. 巻 41
2. 論文標題 コンクリート抵抗値による最適な再振動締固め実施時期の判断手法の適用性に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1283-1288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岡部倅大, 庄野克也, 樫原弘貴, 添田政司
2. 発表標題 コンクリート床版における再振動の適用性についての実地試験
3. 学会等名 土木学会全国大会 第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	樋原 弘貴 (Hazehara Hirotaka) (70580182)	福岡大学・工学部・准教授 (37111)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------