

加振ボックス充填試験による高密度配筋部位に充填されるコンクリートの品質

徳島大学大学院 ○三木 佑介
 徳島大学大学院 正会員 工博 橋本 親典
 徳島大学大学院 博(工) 渡辺 健
 徳島大学大学院 石丸 啓輔

Abstract : In the prestressed concrete structures having large steel-contents of the section, the initial default and durability are affected by the construction placement of fresh concrete and the quality of the surface concrete at the cover strongly. However it has not been proposed that the test method on the relationship between the construction placement and the quality of concrete filled up at the cover. In this paper, the experimental study was carried out in order to clarify the influence of the strength and apparent density of hardened concrete and the filling ability through obstacle for steel bars on the distance from the obstacle to inner vibrator using the help of the box shaped-filling ability test with inner vibrator with R1 type of the obstacle for steel bars (D10, 5nos). The results showed that the vibration at the near distance from the obstacle to inner vibrator is effective for the filling ability and the quality of cover concrete as compared with the vibration at the usual distance from the obstacle to inner vibrator.

Key words : Construction placement, Filling ability test, Inner vibrator, Strength, Apparent density

1. はじめに

土木学会コンクリート委員会第3種委員会の1つである「施工性能にもとづくコンクリートの照査・検査システム研究小委員会（341委員会）」では、フレッシュコンクリートの施工性能を現場で対応できる簡易な試験方法で、照査と検査をすることができるシステムを構築することを最終目的として、従来のスランブ試験に変わる新しいフレッシュコ

ンクリートの流動性と材料分離抵抗性を実験室のみならず現場の荷卸し時点においても照査・検査できる試験方法を検討している。1期目の活動が2008年11月～2011年3月で終了し、すでに委員会報告が刊行された¹⁾。2011年10月から2期目の活動が開始された。

1期目では、施工性能の照査および検査方法として、ボックス型充填試験装置と棒状バイブレータを用いた加振ボックス充填試験方法を提案した¹⁾。加振ボックス充填試験方法の概要を図-1に示す¹⁾。加振ボックス充填試験方法では、高流動コンクリートの充填性試験として用いられるボックス型容器を用い、初期状態としてコンクリートを充填しておくA室と流動障害をコンクリートが移動した後、充填されるB室のフレッシュコンクリートの洗い分析を行い、材料分離抵抗性を定量化する。この充填挙動は、実際の鉄筋コンクリート構造物のかぶりコンクリートを想定している。

コンクリート標準示方書では、コンクリートの横流しを禁止しているが、実際の現場において、狭

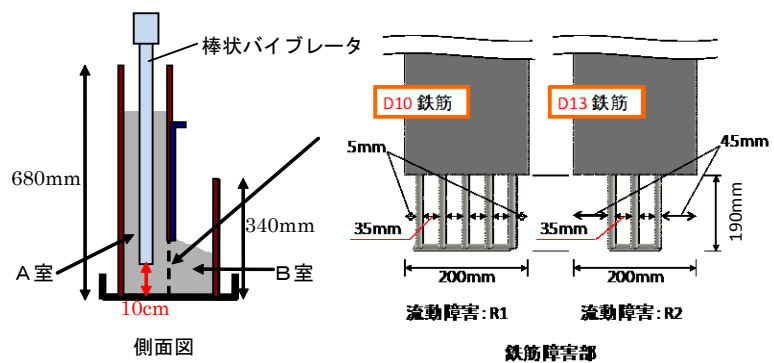


図-1 ボックス型試験装置および障害部分

隘なかぶり部に直接、棒バイブレータなどの内部振動機を挿入することは困難である。そのため、かぶりコンクリートは、かぶりの内側に在る内部コンクリートを振動によって、かぶりの外側空間に移動させ充填される。したがって、かぶりコンクリートは、常に、鉄筋間を通過したあとのコンクリートであり、鉄筋通過という履歴を受けている。341委員会で検討している加振ボックス充填試験方法では、この鉄筋通過によってフレッシュコンクリートの材料分離がどの程度発生するのかということのを定量化することによって、フレッシュコンクリートの流動性と材料分離抵抗性を同時に定量的に評価するものである。

ところで、材料的あるいは構造的に耐久性に富むコンクリートを製造、設計したとしても、施工中に、その性能を失うようであれば、当初の性能を発揮することができない。特に、かぶりコンクリートは、鉄筋通過という履歴を受けるため、その可能性が他の部位よりも大きい。しかしながら、長期耐久性を考える場合、かぶりコンクリートから外的要因が浸入してくるため、最も性能を発揮すべきコンクリートは、かぶりコンクリート、すなわち、表層のコンクリートである。

したがって、鉄筋通過という履歴後のコンクリートの品質を検討することは重要であり、通常の耐久性試験も、鉄筋通過後のコンクリートに対して行う方が、より現実的であると考えられる²⁾。しかしながら、実構造物を対象として施工報告や研究報告は多くあるが³⁾、鉄筋通過という履歴を考慮した室内実験方法を検討している例は少ない。実構造物レベルの実証実験が最も信頼が高いことは当然であるが、コンクリートの配合選定を性能照査として行う場合、すべてを実構造物で行うことは、現実的でないことは自明である。実物大規模のモデル実験を行うことはコストが相当に必要となる。

本研究では、より簡単に鉄筋通過という履歴を受けたコンクリートの品質評価を行う試験方法として、この加振ボックス充填試験方法で得られる鉄筋障害通過後のコンクリートを採取し、硬化後のコンクリートの圧縮強度と見掛けの密度について検討した。

また、高密度配筋部位が多いPC構造物を想定し、バイブレータと鉄筋の距離(加振距離)を変化させ、A室の中心にバイブレータを挿入し加振する標準加振と流動障害近傍で加振する近傍加振の違いが間隙通過性に与える影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 実験の構成

本研究で扱った鉄筋履歴を受けるコンクリートのレベルとしては、非常に狭隘な空間の充填を想定した流動障害R1で、普通コンクリートとフライアッシュⅡ種とⅣ種を用いたフライアッシュコンクリート(以後、FAコンクリートと称す)を対象とした。FAコンクリートを対象とした理由は、既往の研究で、同一スランプにおいてFAコンクリートの充填性能が普通コンクリートよりも良好になることが確認されているためである⁴⁾。

2.2 実験概要

(1) 使用材料

本研究で使用した材料の物理的性質を表-1、表-2に示す。粗骨材は最大寸法が13mmと20mmの2種類を1:1の割合で混ぜて使用した。

表-1 使用材料の物理的性質

	種類	岩種	最大寸法	産地	表乾密度* (g/cm ³)	吸水率(%)	粗粒率	実積率(%)
セメント	普通ポルトランドセメント				3.16			
細骨材	砕砂	砂岩	5mm	徳島県阿波市	2.57	1.77	2.63	55.12
粗骨材	砕石	安山岩	13mm	徳島県鳴門市	2.55	2.30	6.63	59.52
	砕石	安山岩	20mm	市	2.56	2.16	7.03	60.16
混和剤	高性能AE減水剤		ポリカルボン酸エーテル系化合物					
	AE減水剤		リグニルスルホン酸系化合物およびポリオール複合体					
	AE剤		アルキルエーテル系 高アルキルカルボン酸系(フライアッシュ専用)					

表乾密度*:セメントは単に密度を意味する。

表-2 フライアッシュの物理的性質

種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	強熱減量(%)	二酸化けい素(%)
Ⅱ種	2.31	3980	2.1	63.6
Ⅳ種	2.20	1610	0.90	64.8

(2) コンクリートの配合

本研究に用いたコンクリートの配合を表-3に示す。配合名の記号は、Nは普通セメントを用いた普通コンクリ

表-3 実験に供したコンクリートの配合

配合表	粗骨材最大寸法(mm)	目標スランブ(cm)	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量kg/m ³					空気量 (%)	混和剤(C×%)	
						W	C	FA	S	G		高性能AE減水剤*	AE剤**
N43	20	18±2.0	58	43	4.5	175	300	0	757	996	4	1.5	0.04
FⅡ43			62				47	4			1.7	0.48	
FⅣ43			64				45.4	6			2	0.56	

高性能AE減水剤* , C×%を意味する。

AE剤** : フライアッシュを用いたコンクリートには、フライアッシュ専用のAE剤を意味する。

ート, FⅡはFAⅡ種を20%セメントの内割り置換したFAコンクリート, FⅣは, FAⅣ種を20%セメントの内割り置換したFAコンクリートを意味する。配合は, 目標スランブを18±2cmとし, 練置きをして8±2cm程度までスランブロスさせて, 18±2cm, 12±2cm, 8±2cmの3種類の目標スランブにおいて, 加振ボックス充填試験およびタンピング試験を実施した。コンクリートの練混ぜ量の関係から, B室の硬化コンクリートの品質評価のためのシリンダー供試体の採取は, 目標スランブ18cmと8cmにおいて行い, 目標スランブ12cmでは採取しなかった。

(3) 試験方法

60リットルの二軸強制練りミキサーを使用し練り混ぜを行った後, 以下に示す試験を行った。

a) フレッシュ性状に関する試験

練り上がり直後に, フレッシュコンクリートのスランブと空気量を, スランブ試験(JIS A 1101)および空気量試験(JIS A 1128)に従い測定した。

b) 標準加振ボックス充填試験¹⁾

コンクリートの間隙通過性を評価するため, 図-1に示すボックス型容器およびE社製棒状バイブレータ {全長: 1015mm, 直径: 28mm, 振動数: 220~270Hz, モーター: 280W} を用いた試験を行った。容器は, 土木学会規準「高流動コンクリートの充填装置を用いた間げき通過性試験方法(案)(JSCE-F 511-2010)」のボックス型容器と同寸法である。まず, 流動障害を有するボックス型容器のA室にコンクリートを満たし, 棒状バイブレータを中心に挿入する。つまり鉄筋障害と棒状バイブレータの中心からの距離は70mmとなる。挿入深さは, 棒状バイブレータの先端が容器下端から100mmのところとし, 加振すると同時にシャッターを開け, B室に高さ300mmになるまで充填を行う。その際, 加振開始直後からB室の高さ190mmと300mmに充填するまでの時間を測定し, これをそれぞれ190mm充填時間, 300mm充填時間とする。流動障害部分をコンクリートが通過するのに要した時間を計測する。流動障害は, D10鉄筋を5本配置した障害R1とD13鉄筋を3本配置した障害R2の2種類である。障害R1は高密度配筋を想定し, 障害R2は通常の配筋を想定している。

流動障害R1の加振ボックス充填試験の計測を終わったあと, コンクリートの練舟に残ったコンクリートからφ100×200mmのシリンダー供試体3体, B室の充填されたコンクリートを上層, 中層, 下層の順に1.70程度ずつ採取し, シリンダー供試体を作製した。供試体は, 翌日脱砕し, 材齢28日まで20±2°Cの水槽内で水中養生し, そのあと, 圧縮強度試験(JIS A 1108)を行い, 材齢28日の圧縮強度と見掛けの密度を求めた。

c) 鉄筋近傍加振ボックス充填試験

標準加振ボックス充填試験と同様の装置を用いて, 同手順で鉄筋近傍加振ボックス充填試験を行った。相違点は, 本試験では, 棒状バイブレータをボックス中央より, 流動障害の鉄筋側に30mm近づけて挿入する点である。つまり鉄筋障害と棒状バイブレータの中心からの距離は40mmとした。流動障害はR1のみとした。充填試験終了後のシリンダー供試体用の試料の採取や硬化コンクリートの試験は, 標準加振ボックス充填試験と同様である。

3. 間隙通過速度

本研究では、190mm充填時間や300mm充填時間を個別に評価するのではなく、充填高さ190mmから300mmまでの充填する速度を間隙通過速度 V_{pass} と定義し、この間隙通過速度 V_{pass} を用いて間隙通過性を評価することとした。すなわち、間隙通過速度 V_{pass} とは1秒あたりの充填高さ (mm) を表わしたもので、式 (1) で定義した¹⁾。

$$V_{pass} = \frac{110\text{mm}(= 300\text{mm} - 190\text{mm})}{300\text{mm充填時間} - 190\text{mm充填時間}} \dots (1)$$

4. 実験結果および考察

4.1 フレッシュ性状

本研究で用いた各配合の練上がり時点のフレッシュ性状を表-4に示す。スランプおよび空気量とも目標範囲に入った。

表-4 フレッシュ性状

配合番号	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度(°C)
N	19.5	3.2	18.0
F II	17.5	4.0	18.8
FIV	17.5	6.5	20.0

4.2 間隙通過性

R 1 間隙通過速度 V_{pass} とスランプの関係を図-2に示す。

近傍とは鉄筋近傍加振ボックス充填試験を、標準とは標準加振ボックス充填試験を意味する。

配合の種類に関係なく、鉄筋近傍加振ボックス充填試験の V_{pass} が、標準加振の V_{pass} より相当に大きい。スランプ8cm前後の低スランプより、スランプ12cm以上の高スランプ領域で顕著である。鉄筋近傍で加振することにより、コンクリートが流動障害に入ろうとする直前に、粗骨材粒子群のアーチングが解消し、スムーズな間隙通過を可能にしたためと思われる。これに対して、スランプの大きさ、配合の種類に関係なく、標準加振は、粗骨材粒子群のアーチングが発生し、間隙通過に相当な時間を要する。FIVが最も V_{pass} が大きく、スランプ12cm以上では、12mm/s以上の速度である。

図-3にR 2 間隙通過速度 V_{pass} とスランプの関係を示す。標準加振を比較すると、R 2の V_{pass} は、R 1の V_{pass} より大きくなるが、FIVが最も大きい。これに対してF IIは、Nよりも V_{pass} が小さく、フライアッシュの種別が間隙通過性に与える影響は大きい。一方、標準加振であっても、 V_{pass} は、8mm/s以下であり、R 1での近傍加振における V_{pass} が相当に大きいことが明らかである。高密度配筋の部位の締固めに作業で、鉄筋に接触することなく、鉄筋近傍で加振することは、間隙通過性を向上させる効果が大いと思われる。

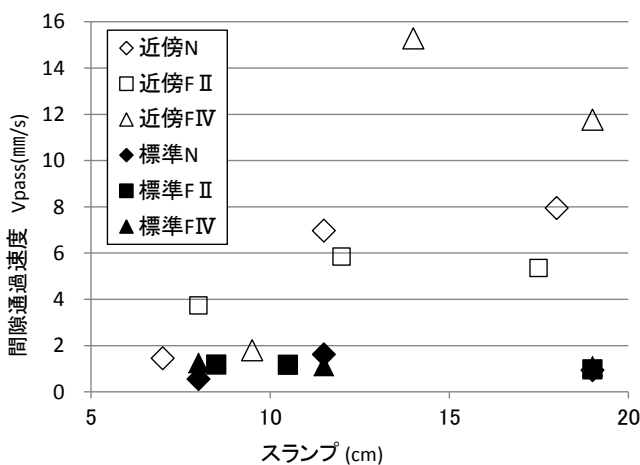


図-2 R 1 間隙通過速度とスランプの関係

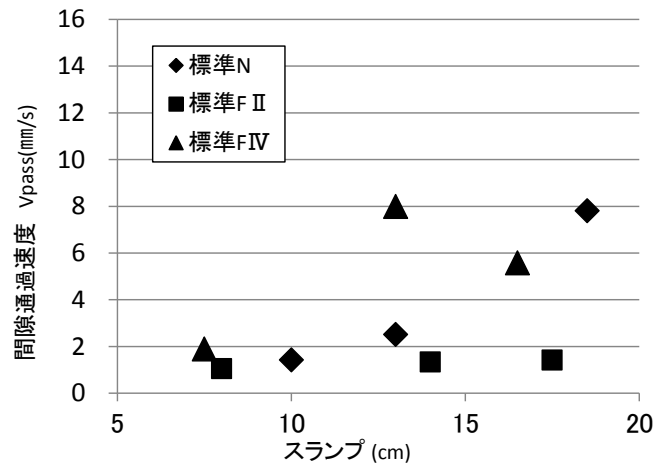


図-3 R 2 間隙通過速度とスランプの関係

4.3 鉄筋通過後のコンクリートの品質性状

鉄筋通過後のB室におけるコンクリートの圧縮強度と見掛けの密度は、それぞれの配合が異なるために、大きさが異なる。各配合で、加振ボックス充填試験に供していないコンクリートの圧縮強度ならびに見掛けの密度を基準として、Bの上層、中層および下層の圧縮強度、見掛けの密度の相対比を求めた。

図-4に加振方法・採取位置別の圧縮強度比と見掛けの密度比の相関関係を示す。相対比1.0の軸をx軸、y軸とすると、標準の上層は第3また第4象限に比較的分布し、中層は第1また第4象限に、下層は第1象限に分布した。下層、中層および上層の順に、材料分離の程度が定量的に評価できている。この傾向は、近傍加振においても同様である。従来のA室とB室の洗い分析では明確に評価できなかったB室での充填後の材料分離の程度が、硬化後の供試体の密度および圧縮強度性状によって明確に評価できることが明らかになった。

加振方法別に比較すると、近傍加振と比較して標準加振の方が、データがx軸、y軸ともに広く分布している。標準加振の V_{pass} が小さく、充填時間が長いため、分離が増大したものと思われる。一方、近傍加振は、鉄筋近傍で加振することによってアーチングの発生頻度と材料分離の程度が少なくなり、圧縮強度比や密度比があまりばらつかなかったと思われる。

興味深い点として、上層の材料分離しているデータの分布において、見掛けの密度比に比べて圧縮強度比は、1.0以下のものが少ないことである。これは、流動障害を通過したコンクリートのW/Cが練混ぜ直後のW/Cと大差がないことを意味する。骨材量は少ないが、モルタルの品質自体は低下していないと考えられる。

図-5に、3配合のうち、もっとも材料分離の程度が小さかった配合番号F IIの圧縮強度比と見掛け密度比の相関関係を示す。標準加振と近傍加振ともに、圧縮強度比が1.0以上であり、見掛け密度比が0.94以上である。配合番号F IIは、間隙通過速度 V_{pass} が小さく、長時間振動を受けており、材料分離が発生しやすいはずである。しかしながら、近傍・標準の振動条件に関係なく、材料分離していない。FA II種を用いたコンクリートは、充填という施工性は劣るが、材料分離抵抗性は最も高く、厳しい振動条件下でも材料分離しにくいコンクリートであると言える。充填時間が短い方が材料分離しにくいという一般的な原則が成り立たないコンクリートである。

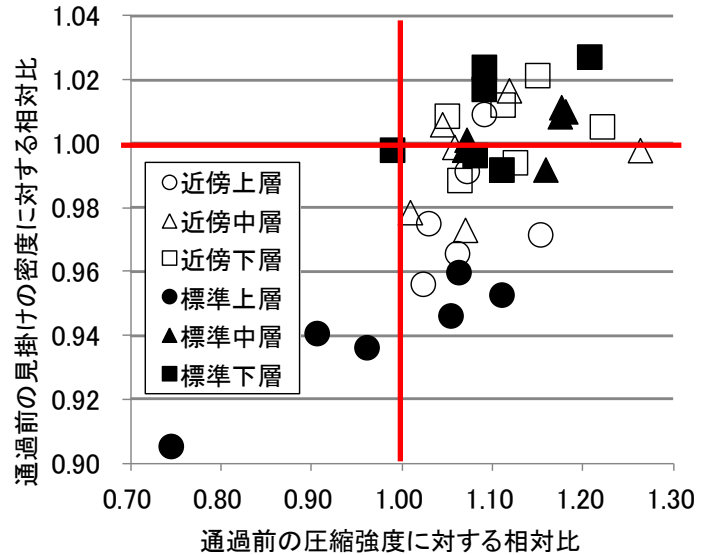


図-4 圧縮強度と見掛けの密度の相対比の相関関係

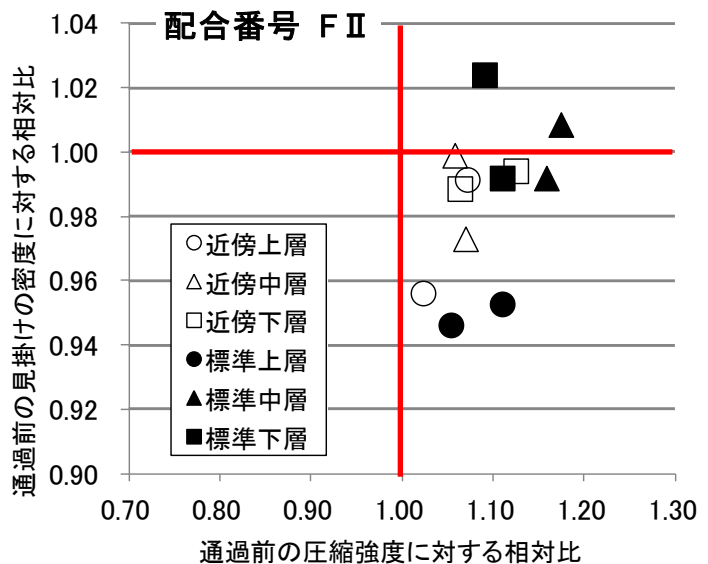


図-5 配合番号 F II の圧縮強度比と見掛けの密度比の相関関係

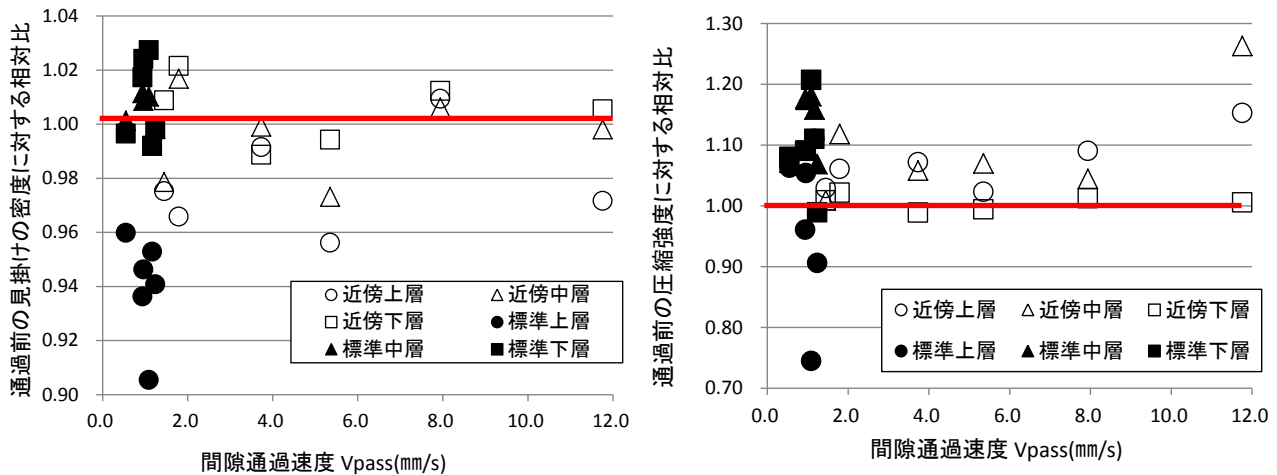


図-6 R 1 間隙通過速度 V_{pass} と見掛けの密度比と圧縮強度比の関係

図-6 に流動障害 R 1 の間隙通過速度 V_{pass} と見掛けの密度比および圧縮強度比の関係を加振方法・採取位置別に示す。スランブ 12 ± 2 cm では、B 室のコンクリートを採取してシリンダー供試体を作製していない。よって、図中のデータは、スランブ 18 ± 2 cm と 8 ± 2 cm における加振ボックス充填試験のときのみである。

間隙通過速度 V_{pass} は、加振方法別で大きく異なり、標準加振の場合、すべての配合で 1.0 mm/s 以下で相当に遅く、流動障害という履歴を受ける時間が長い。しかしながら標準加振では、上層のみが 0.96 以下の領域に分布し、中・下層は 1.0 付近以上の領域に分布する。つまり B 室の上層と中・下層間において材料分離が起こっている。この傾向は、近傍加振の間隙通過速度 V_{pass} が大きい場合は、上層でも 0.96 以上となり、材料分離の程度が減少している。標準加振の場合、B 室で締め固め過ぎによる材料分離が起こっていると考えられる。

鉄筋の近傍で締め固めを行うことは、PC 構造物のような高密度配筋の部位の締め固めに関して、間隙通過性を向上させ、材料分離を抑制することが可能であると思われる。

5. おわりに

本研究では、高密度配筋を想定した流動障害 R1 (D10×5本) を用いた加振ボックス充填試験を用い、バイブレータの加振距離の違いが間隙通過性と流動障害を通過したあとのコンクリートの圧縮強度と見掛けの密度に与える影響について実験的に検討した。その結果、鉄筋近傍(鉄筋とバイブレータの距離 40 mm) で振動締め固めを行うことにより、間隙通過性が向上し、鉄筋通過後の圧縮強度や見掛けの密度からコンクリートの品質が良くなることが確認できた。

参考文献

- 1) コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341委員会)委員会報告書, 土木学会コンクリート技術シリーズ94, 2011. 4
- 2) 構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書, 土木学会コンクリート技術シリーズ80, 2008. 4
- 3) 蔵重 勲, 西田 孝弘, 秋山 仁志, 岸 利治: 中規模柱試験体を対象とした非破壊評価による表層品質の要因分析, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 1, pp. 1835~1840, 2011. 7
- 4) 岸上 裕哉, 橋本 親典, 渡邊 健, 石丸 啓輔: タンピング試験による変形性と加振ボックス充てん試験による間隙通過性の相互関係に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 1, pp. 1247~1252, 2011. 7