鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触を考慮したコンクリートの 締固めにおける再振動に関する一考察

INVESTIGATION OF REVIBRATING CONDITIONS WHEN DEFORMED BARS ARE IN CONTACT WITH INTERNAL VIBRATOR

中田 善久*, 大塚 秀三**, 宮田 敦典***, 新妻 尚祐****

*Yoshihisa NAKATA, Shuzo OTSUKA, Atsunori MIYATA
and Naohiro NIITUMA*

The purpose of this study is to obtain appropriate conditions of concrete revibration when placing on the consolidated fresh concrete. In this experimental study, the effect of revibrating conditions on compressive and bond strength were investigated. Parameters included timing from mixing to revibrating, duration of revibrating, distance of revibrating point and duration of contact between deformed bar and internal vibrator. As a result, compressive and bond strength of revibrated specimens showed an increase when timing from mixing to revibrating increased. But bond strength of revibrated specimens with deformed bar in contact with internal vibrator showed a decrease when timing from mixing to revibrating and duration of the contact increased. This paper also proposed an appropriate method of revibrating when placing on the consolidated fresh concrete on the basis of the experimental results.

Keywords: *Revibrating, Compaction, Concrete, Steel Deformed Bar, Internal Vibrator, Contact*

再振動, 締固め, コンクリート, 異形鉄筋, コンクリート棒形振動機, 接触

1. はじめに

構造体コンクリートの品質は、コンクリート工事における運搬、打込みおよび締固めの一連の作業の良否により大きく左右されることは言うまでもない。日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事2009」¹⁾(以下、JASS 5という)の7節「コンクリートの運搬・打込みおよび締固め」において、施工に関する重要な事項が記述されている。この中で、コンクリートの運搬において「コンクリートの練混ぜから打込み終了の時間の限度は、外気温が25℃未満のときは120分、25℃以上のときは90分とする。」と記述され、打込みにおいて「打重ね時間間隔の限度は、コールドジョイントが生じない範囲として定め、工事監理者の承認を受ける。」と記述されている。また、打重ね時間間隔の限度は、「一律に定めることはできないが、一般的には、外気温が25℃未満のときは150分、25℃以上のときは120分を目安とし、先に打ち込んだコンクリートの再振動可能時間以内とする。」と解説されている。さらに、締固めにおいて「公称棒形45mmの棒形振動機の長さは60～80cmであるので、1層の打込み厚さはそれ以下にする。振動機の先端を先に打ち込んだコンクリートの層に入れるのは、コールドジョイントを防止するためである。」と解説されている。一方、土木学会「2007年制定 コンクリート標準示方書〔施工編：標準施工〕」²⁾の7章「運搬・打込み・締固めおよび仕上げ」にも、JASS 5と同

様な事項が記述されている他に、「再振動を行なう場合には、コンクリートの締固めが可能な範囲でできるだけ遅い時期がよい。」と記述されている。このように、コンクリートの締固めにおける再振動は、一般的に、コールドジョイント防止を目的として再振動可能時間以内（できるだけ遅い時期）に行なうこととなっている。

棒形振動機による締固めの要領としてJASS 5¹⁾に「振動機の先端は、鉄骨・鉄筋・埋込み配管・金物・型枠などになるべく接触させない。」と解説されており、これは、配筋や型枠などの乱れを防止する意味である。しかし、梁や壁などのように比較的小さい部材のときに配筋が過密となり、施工上、鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触は避けにくい状況がある。特に、打重ね部分において再振動を行うときにこの接触状況が更に厳しくなり、このことが構造体コンクリートの品質に及ぼす影響について検討された既往の研究は、見当たらない。

そこで、本研究は、コンクリートの再振動における鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触が構造体コンクリートの品質および異形鉄筋の付着性状に及ぼす影響を明らかにし、さらに、最適な再振動の施工要領を考察するために行ったものである。ここでは、再振動における振動の有無が圧縮強度に及ぼす影響、再振動における振動距離と振動時間が異形鉄筋の付着性状に及ぼす影響および再振動におけるコンクリート棒形振動機と鉄筋の接触が異形鉄筋の付着性状に

* 日本大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

** ものづくり大学技能工芸学部建設学科
准教授・博士(工学)

*** 日本大学理工学部建築学科 助手・修士(工学)

**** 新妻鋼業 代表取締役社長

Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Building Technologists, Monotsukuri Institute of Technologists,
Dr. Eng.
Research Assist., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University,
M. Eng.
NIIDUMA KOGYO CO., LTD.

図2 既往の研究^{8)~18)}における再振動までの時間と水セメント比の関係

図3 既往の研究^{8)~18)}における再振動までの時間と加振時間の関係

図4 再振動までの時間(180分以内)と無振動供試体に対する圧縮強度比の関係

度増加すると報告されている。また、わが国において、締固めにおける再振動に関する多くの報告^{8)~18)}がされているものの、再振動がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響について検討しているものがほとんどである。この中で、鉄筋とコンクリートの付着まで行なっている報告は極めて少なく、小林らの報告⁸⁾と新見らの報告^{9), 10)}のみである。しかし、これらの報告は、再振動における丸鋼とコンクリートの付着を検討したものであり、締固めにおける再振動が異形鉄筋とコンクリートの付着までを検討されていないのが現状である。

この再振動の方法は、大きくコンクリート棒形振動機と振動テーブルに大別できる。既往の研究^{8)~18)}における再振動までの時間と水セメント比の関係を図2に示す。また、既往の研究^{8)~18)}における再振動までの時間と加振時間の関係を図3に示す。これらは、既往の研究^{8)~18)}において行われた再振動を行う時間、水セメント比および加振時間の全てのデータを示しており、再振動を行う時間が最大720分までであり、加振時間が最大90秒までが検討されていることがわかる。このように、再振動までの時間および加振時間は、実験的に行なわれているため、JASS 5¹⁾における打重ね時間間隔および加振時間に比べて過大に設定しているものが多く、実務で行われている範囲が強度性状に及ぼす傾向が不明確である。そのため、再振動までの時間を180分以内に限定し、さらに、コンクリート棒形振

図5 再振動までの時間(180分以内)と無振動供試体に対する付着強度比の関係

動機の場合は加振時間を20秒以内のものについて調べた。再振動までの時間(180分以内)と無振動供試体に対する圧縮強度比の関係を図4に示す。コンクリート棒形振動機を用いて再振動を行なった場合、無振動供試体に対する圧縮強度比は、小林らの報告⁸⁾と新見らの報告^{9), 10)}によると再振動までの時間が経過するにつれて、ほとんどが大きくなる傾向を示している。しかし、これらの報告^{8)~10)}は水セメント比が比較的大きく、現在の仕様に対応しているとはいえない。また、振動テーブルを用いて再振動を行なった場合、無振動供試体に対する圧縮強度比が再振動までの時間が経過するにつれて、ほとんどが大きくなる傾向を示している。そのため、締固めにおける再振動は、有効な方法という認識が高い。この中で、無振動供試体に対する圧縮強度比

が小さくなっているのは、高橋ら¹¹⁾の報告であり、加振時間が著しく長くなっているためである。

再振動までの時間(180分以内)と無振動供試体に対する付着強度比の関係を図5に示す。これは、コンクリート棒形振動機を用いて再振動を行なった場合のみであり、丸鋼の結果であるが、無振動供試体に対する付着強度比の傾向は不明である。

そこで、本研究は、打重ねを行うときの最適な再振動方法を明らかにするために、再振動までの時間を再振動可能時間の目安となる150分までを対象として、再振動の有無が圧縮強度に及ぼす影響を調べ、さらに再振動における振動距離と振動時間および鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触が異形鉄筋の付着性状に及ぼす影響について検討したものである。本論文は、その最初のステップであり、水セメント比が異なる2種類のコンクリートの実験結果からコンクリートの打重ねにおける再振動の方法について検討したものである。なお、本研究で取扱う「再振動」は、吉本ら¹²⁾のように「再振動」というのは、もともと、打込み後に振動締固めを行なったコンクリートに対する2度目の振動という意味で用いられた言葉であるが、再振動の効果を考えるうえで問題になるのは、その振動が2度目であるという点ではなく、打込み後、一定時間経過したのちの振動という点である。」と同様に、打込み後、時間が一定時間経過したのちの振動を「再振動」として扱っている。

表 1 コンクリート供試体の作製方法

W/C (%)	締固め方法	供試体寸法 (mm)	練混ぜ開始からの時間(分)						
			直後		20	45	90	120	150
55	突き棒	φ 100×200	練混ぜ直後に試料を採取、2層詰め 各層8回突き、木づちによりたたく		静置した試料から各々の時間において採取 2層詰め、各層8回突き、木づちによりたたく				
	振動テーブル	φ 100×200	練混ぜ直後に試料を採取、2層詰め 各層8回突き、木づちによりたたく	15秒 加振	15秒 加振	15秒 加振	15秒 加振	15秒 加振	
35	コンクリート 棒形振動機	φ 150×300	練混ぜ直後に試料を採取、3層詰め 各層18回突き、木づちによりたたく	15秒 加振	—	15秒 加振	15秒 加振	15秒 加振	

※供試体数：各3体

表 2 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・性状・主成分
セメント	普通ポルトランド セメント	密度：3.16g/cm ³ 比表面積：3,300cm ² /g
水	上水道水	埼玉県行田市
細骨材	栃木県産栃木市 尻内町産陸砂	表乾密度：2.61g/cm ³ 粗粒率：2.75
粗骨材	栃木県産栃木市 尻内町産石灰岩砕石	表乾密度：2.61g/cm ³ 粗粒率：6.64
化学 混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸塩 オキシカルボン酸塩
	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物

表 3 コンクリートの調査

W/C (%)	SL ^{※1} 、SF ^{※2} (cm)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
				W	C	S	G	Ad
55	SL=18	4.5	47.6	182	331	830	924	3.972
35	SF=60	4.5	50.1	170	486	825	831	8.262

※1 スランプ、※2 スランプフロー

3. 再振動における振動の有無が圧縮強度に及ぼす影響

3.1 実験概要

(1) 実験の要因と水準

再振動における振動の有無が圧縮強度に及ぼす影響を明らかにするために、再振動の締固め方法および練混ぜ開始からの時間を変えて実験を行った。コンクリート供試体の作製方法を表1に示す。コンクリートは、練混ぜ直後に採取し、JIS A 1132：2006に準拠し、突き棒を用いて締固めを行った。加振する時間は、練混ぜ直後、再振動として練混ぜ開始後20、45、90、120および150分の6水準とし、振動機に振動テーブルおよび棒形振動機の2水準とした。なお、加振する時間の練混ぜ開始後20分は、テーブル振動機の場合のみ行った。振動テーブルを用いた再振動は、φ100×200mmの鋳物製型枠に直接、振動テーブル(振動数6,000vpm、周波数200Hz)により再振動を行った。コンクリート棒形振動機を用いた再振動は、φ150×300mmの鋳物製型枠に、呼び径40mm(直径43mm、振動数12,000vpm、振動数200Hz)の高周波パイプレータをコンクリートの打込み面から約280mmの深さまで挿入して再振動を行った。なお、いずれの再振動も加振時間を15秒の一定とした。

また、コンクリートを採取する時間ごとの圧縮強度と再振動を行ったコンクリートの圧縮強度の関係を調べるために、コンクリートを採取する時間を、練混ぜ直後、練混ぜ開始後20、45、90、120および150分の6水準とし、突き棒を用いて締固めを行った。

コンクリートのブリーディング量はJIS A 1123：2012に準拠して測定し、凝結時間はJIS A 1147：2007に準拠して測定した。ま

た、コンクリートの圧縮強度は、JIS A 1108：2006に準拠して材齢28日において測定した。

(2) コンクリートの使用材料および調査

コンクリートの使用材料を表2に示し、コンクリートの調査を表3に示す。ここでは、凝結時間が異なるW/C=55%およびW/C=35%の2水準とした。また、練混ぜ直後におけるフレッシュコンクリートの目標値は、スランプを18±2.5cm、スランプフローを60±10cm、空気量を4.5±1.5%とし、目標値を満足するように化学混和剤の添加量で調節した。

3.2 実験結果および考察

(1) フレッシュコンクリートの性状

練混ぜ開始からの時間とスランプおよびスランプフローの関係を図6に示し、練混ぜ開始からの時間と空気量の関係を図7に示す。ここでは、コンクリートを練混ぜ直後に採取して静置させた試料の経時変化について検討を行った。なお、試料は、採取直後に再度かくはんして測定を行った。練混ぜ直後におけるスランプ、スランプフローおよび空気量は、目標値をいずれも満足する結果となった。

(2) ブリーディング量および凝結時間

練混ぜ開始からの時間とブリーディング量の関係を図8に示す。本実験に用いたコンクリートのブリーディング量は、収縮ひび割れの抑制のための目標値¹⁹⁾である0.3cm³/cm²以下をいずれも満足する結果となった。ブリーディング量は、W/C=35%のとき練混ぜ開始後300分程度に、W/C=55%のとき練混ぜ開始後330分程度に認められなくなった。また、本実験における試験室の温度が25℃未満であったため、JASS 5¹⁾に解説されている外気温が25℃未満の打重ね時間間隔の限度の目安の150分におけるブリーディング量は、W/C=35%のとき最終的なブリーディング量の約80%であり、W/C=55%のとき約66%であった。

練混ぜ開始からの時間と貫入抵抗値の関係を図9に示す。始発時間は、いずれも練混ぜ開始後150分以降であり、本実験における再振動を行う時間は、始発時間前の範囲となった。

(3) 圧縮強度

練混ぜ開始からの時間と圧縮強度の関係を図10に示す。振動テーブルおよびコンクリート棒形振動機による再振動を行ったコンクリートの圧縮強度は、練混ぜ開始からの時間が長くなると大きくなる傾向を示した。これは、再振動の作業中にブリーディングは目視により認められなかったものの、コンクリート中の水分の蒸発およびブリーディングによる見掛けの水セメント比が小さくなったこと、さらに、再振動により再振動を行う時間までに生じた骨材下面の空隙、ブリーディング水および水みちが取り除かれたこと²⁰⁾が影響したためと考えられる。また、練混ぜ直後において、振動テーブ

図6 練混ぜ開始からの時間とスランプおよびスランプフローの関係

図7 練混ぜ開始からの時間と空気量の関係

図8 練混ぜ開始からの時間とブリーディング量の関係

図10 練混ぜ開始からの時間と圧縮強度の関係

図9 練混ぜ開始からの時間と貫入抵抗の関係

図11 練混ぜ開始からの時間と練混ぜ直後に採取した供試体に対する圧縮強度比の関係

ルおよびコンクリート棒形振動機による再振動を行ったコンクリートの圧縮強度は、突き棒による締固めを行ったコンクリートに比べて小さくなる傾向を示し、これは、松本ら²¹⁾の結果と同様の傾向であった。しかし、いずれの低下量も、1997年のJASS 5²²⁾に解説されている締固めなどの影響を考慮した構造体コンクリートの強度と供試体の強度の差の $\Delta F=3\text{N/mm}^2$ 以下であった。突き棒による締固めを行ったコンクリートの圧縮強度は、練混ぜ開始からの時間が長くなると、ばらつきがあるものの練混ぜ直後に採取した供試体といずれもほぼ同等の値を示し、再振動を行ったコンクリートの圧縮強度は、練混ぜ開始からの時間が長くなると、これより大きくなる傾向を示した。

練混ぜ開始からの時間と練混ぜ直後に突き棒による締固めを行った供試体に対する圧縮強度比(以下、圧縮強度比という)の関係を図11に示す。なお、図中には、吉本ら¹²⁾の結果を比較して示している。練混ぜ直後において、振動テーブルおよびコンクリート棒形振動機による再振動を行ったコンクリートの圧縮強度は、練混ぜ直後に突き棒による締固めを行ったコンクリートに比べて5%程度以内で小さくなる傾向を示し、これは、吉本ら¹²⁾の結果と異なる傾向で

あった。しかし、振動テーブルおよびコンクリート棒形振動機による再振動を行ったコンクリートの圧縮強度の練混ぜ開始からの時間が長くなると大きくなる傾向は、吉本ら¹¹⁾の結果と同様であり、本実験において10%程度の範囲で大きくなる傾向を示した。

3.3 実験結果のまとめ

再振動における振動の有無が圧縮強度に及ぼす影響を調べた結果、これまでの研究^{8)~18)}のように再振動可能時間の目安である150分程度に再振動を行うと5~10%程度の圧縮強度が大きくなる傾向を示した。

4. 再振動における振動距離と振動時間が異形鉄筋の付着性状に及ぼす影響

4.1 実験概要

(1) 実験の要因と水準

再振動における振動距離と振動時間が異形鉄筋の付着強度に及ぼす影響を明らかにするために、打込み方向に対する鉄筋の方向、加振距離、加振時間および練混ぜ開始から再振動までの時間を変えて実験を行った。実験概要を表4に示す。鉄筋の方向は、コンクリ

トの打込み方向に対して平行方向および直交方向の2水準とした。加振距離は、平行方向において鉄筋から100mmおよび300mmの2水準とし、直交方向において鉄筋から100mmの1水準とした。また、練混ぜ開始から再振動までの時間は、練混ぜ直後、練混ぜ開始後45、90、120および150分とし、いずれも加振時間を5、15および60秒の3水準とした。

(2) コンクリートの使用材料および調査

コンクリートの使用材料および調査は、3.1(2)と同様のものとした。

(3) 試験体の概要

試験体の概要を図12に示す。試験体は、鉄筋(D19, SD295A)が埋込み深さが150mmとなるように型枠に設置した。また、コンクリートは練混ぜ直後に打ち込み、締固めを3.1(2)と同様なコンクリート棒形振動機を用いて5秒の一定とした。その後、所定の時間において、所定の位置にコンクリート棒形振動機を挿入し再振動を行った。試験体は、打込みから48時間後に脱型し、試験体の寸法がJCI-SPC15²³⁾と同様に150×150×150mmとなるようにコンクリート切断機を用いて切断し成形した。

(4) 付着強度の算出

付着強度試験は、材齢28日においてJCI-SPC15²³⁾に準じて行い、載荷速度を372N/secとした。付着強度は、(1)式により算出した。

表4 実験概要

W/C (%)	鉄筋の方向	加振距離 (mm)	練混ぜ開始から再振動までの時間(分)				
			直後	45	90	120	150
			加振時間(秒)				
55	平行	100	5	5	5	5	5
			15	15	15	15	15
			60	60	60	60	60
		300	5	5	5	5	5
			15	15	15	15	15
			60	60	60	60	60
35	直交	100	5	5	5	5	5
			15	15	15	15	15
			60	60	60	60	60
		300	5	5	5	5	5
			15	15	15	15	15
			60	60	60	60	60

※試験体数：各3体

$$\tau = \frac{P_{\text{max}}}{\phi \cdot L} \quad (1)$$

ここに、 τ ：付着強度(N/mm²)

P_{max} ：最大引張荷重(N)

L ：鉄筋の埋込み長さ(mm)

ϕ ：鉄筋周長(mm)

4.2 試験結果および考察

練混ぜ開始から再振動までの時間と付着強度の関係を図13に示す。付着強度は、練混ぜ開始から再振動までの時間が長くなるといずれも大きくなる傾向を示した。これは、3.2(3)の圧縮強度と同様な理由と考えられ、コンクリート中の水分の蒸発およびブリーディングによる見掛けの水セメント比が小さくなったこと、再振動までに発生した鉄筋周囲の空隙、ブリーディング水および水みちが再振動によって取り除かれたこと²⁰⁾が影響したためと考えられる。また、打込み方向に対する鉄筋の方向について、直交方向の付着強度は、平行方向に比べて小さくなる傾向を示し、練混ぜ開始から再振

図12 試験体の概要

図13 練混ぜ開始から再振動までの時間と付着強度の関係

図 14 練混ぜ開始から再振動までの時間と練混ぜ直後に再振動を行った供試体に対する付着強度比の関係

動までの時間が同一の付着強度は、加振時間が長くなると小さくなる傾向を示した。また、直交方向の付着強度の方が加振時間が長くなると小さくなる傾向を顕著に示した。これは、打込み方向に対して直交方向に設置された鉄筋の下面に、コンクリートの沈下および気泡などによる空隙、ブリーディング水および水みちによる脆弱部の総面積が、平行方向の鉄筋に比べて大きくなるためと考えられる。さらに、過度な振動により、試験体内部のコンクリートが不均一になったこと²⁴⁾が付着強度に影響しているものと考えられる。

打込み方向に対する鉄筋の方向が平行の場合、練混ぜ直後に対する付着強度の変化量は、加振距離 100mm の付着強度の変化量が加振距離 300mm に比べて大きくなる傾向を示した。これは、コンクリート棒形振動機による振動の伝搬距離が影響したためと考えられる。

練混ぜ開始から再振動までの時間と練混ぜ直後に再振動を行った供試体に対する付着強度比（以下、付着強度比という）の関係を図 14 に示す。付着強度比は、3.2(3)の圧縮強度と同様に、練混ぜ開始から再振動までの時間が長くなるほど、いずれも大きくなる傾向を示した。また、付着強度比は、打込み方向に対する鉄筋の方向が平行方向の場合、練混ぜ開始から再振動までの時間 150 分のとき、ばらつきがあるものの 1.1 程度を超えるものもあり、3.2(3)の圧縮強度より若干大きくなる傾向を示した。加振距離が 300mm の場合、W/C=55% のとき、付着強度比は、加振時間が短いほど大きくなる傾向を示し、W/C=35% のとき、この傾向と逆の傾向を示した。これは、W/C が小さく、セメント量が多い高強度コンクリートで加振距離が長い場合、加振時間を長くしなければ付着強度比が向上しないことを示唆していると考えられる。また、打込み方向に対する鉄筋の方向が直交方向の場合、加振時間による付着強度比は明確な傾向が見られなかったが、これは、練混ぜ開始直後の結果のばらつきの影響によるものと考えられる。

4.3 実験結果のまとめ

再振動における振動距離と振動時間が異形鉄筋の付着強度に及ぼす影響を再振動可能時間の目安である 150 分程度について調べた結

表 5 実験概要

W/C (%)	鉄筋の方向	再振動におけるコンクリート棒形振動機と接触開始時間(分)				
		直後	45	90	120	150
55	平行	5	5	5	5	5
		15	15	15	15	15
		30	30	30	30	30
		90	90	90	90	90
35	直交	5	5	5	5	5
		15	15	15	15	15
		30	30	30	30	30
		90	90	90	90	90

※試験体数:各3体

果、次のことがいえる。

- (1) 付着強度は、練混ぜ開始から再振動までの時間が長くなると大きくなる傾向を示し、付着強度比が 1.1 程度となった。
- (2) 打込み方向に対する鉄筋の方向について、直交方向の付着強度は、平行方向に比べて小さくなる傾向を示し、加振時間が長くなると小さくなる傾向を示した。
- (3) 付着強度比は、W/C=35% のとき加振距離 300mm の場合に、加振時間が長くなると大きくなる傾向を示した。

5. 再振動における鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触が異形鉄筋の付着性状に及ぼす影響

5.1 実験概要

(1) 実験の要因と水準

再振動における鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触が鉄筋の付着性状に及ぼす影響を明らかにするために、打込み方向に対する鉄筋の方向、鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触時間および接触開始時間を変えて実験を行った。実験概要を表 5 に示す。鉄筋の方向は、コンクリートの打込み方向に対して平行方向および直交方向の 2 水準とした。鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触時間は、表

5に示すような水準として最大90 秒とした。また、鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触開始時間は、3.1(1)と4.1(1)と同様とした。

(2) コンクリートの使用材料および調査

コンクリートの使用材料および調査は、3.1(2)と同様のものとした。

(3) 試験体の概要

試験体の概要を図15に示す。試験体は、鉄筋(D19、SD295A)の埋込み長さを150mmで型枠に設置し、試験体の寸法はJCI-SPC15²³⁾と同様にW150×H150×D150mmとした。無接触を含む全ての試験体へのコンクリートの打込みは、練上り直後に行い、鉄筋を設置した後に一層に打ち込んでから突き棒で20回突き、型枠の外側を木槌で10回叩いた。また、鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触は、図15のように供試体上面から200mmの位置で鉄筋へ直角に行った。鉄筋とコンクリート棒形振動機の固定は、振動のみを鉄筋に伝播させるためゴムチューブを巻き付けた。なお、支持台は、正確な配筋を想定した鉄筋の揺れを抑えるもので、鉄筋の直交および平行を確保するために設置し、鉄筋は2点で固定した。コンクリート棒形振動機は、3.1(1)と同様なものを用いた。

(4) 付着強度の算出

付着強度試験および付着強度の算出は、4.1(4)と同様とし、材齢28日において行った。

5.2 結果および考察

接触開始時間と付着強度の関係を図16に示す。付着強度は、鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触開始時間が遅くなるといずれも小さくなる傾向を示し、接触時間が長くなるとその傾向が顕著となった。これは、鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触により鉄筋

図15 試験体の概要

が振動して鉄筋の周囲において空隙が発生し、付着が脆弱になったためと考えられる。この傾向は、これまでの前章3. および前章4.のように練混ぜ開始から再振動までの時間が長くなると、強度に有利に働いていた傾向と大きく異なる傾向を示した。また、接触開始時間が早く、接触時間が短い場合の付着強度は、無接触よりも大きくなる傾向を示した。このことは、コンクリートハンドブック²⁵⁾にも記述されているが、コンクリート棒形振動機の振動が鉄筋を伝搬して間接的にコンクリートを再振動させたためと考えられる。接触開始時間が遅く、接触時間が長い場合の付着強度は、無接触よりも小さくなるものもあった。すなわち、鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触が接触開始時間90分を超える場合、接触時間により付着強度を低下させる危険性を示唆している。

直交方向の付着強度は、同一の接触時間のとき平行方向に比べて小さくなる傾向となった。これは前述したように、コンクリート振動機の振動が鉄筋を伝搬して間接的にコンクリートを再振動させたためであり、直接的に締固めを行った場合と異なり、鉄筋の脆弱部の面積が大きい平行方向のように付着強度の向上にまではつながらなかったと考える。また、水セメント比の違いによる傾向は、見られなかった。

5.3 実験結果のまとめ

再振動における鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触が異形鉄筋の付着性状に及ぼす影響を再振動可能時間の目安である150分程度について調べた結果、次のことがいえる。

- (1) 付着強度は、鉄筋とコンクリート振動機の接触開始時間が遅くなるといずれも小さくなる傾向を示し、接触時間が長くなるとその傾向が顕著となった。
- (2) 接触開始時間が早く、接触時間が短い場合の付着強度は、無接触よりも大きくなる傾向を示した。
- (3) 接触開始時間が遅く、接触時間が長い場合の付着強度は、無接触よりも小さくなる傾向を示した。
- (4) 直交方向の付着強度は、平行方向に比べて小さい傾向となった。

今回の実験において鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触距離を200mmと一定にしているが、今後はこの影響について検討しなければならない。

6. 鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触を考慮したコンクリートの締固めにおける再振動に関する一考察

これまでに再振動における振動の有無が圧縮強度に及ぼす影響、再振動における振動距離と振動時間が異形鉄筋の付着性状に及ぼす

図16 接触開始時間と付着強度の関係

表6 コンクリートの締固めにおける再振動が構造体に及ぼす傾向

影響要因	構造体に及ぼす傾向
振動の有無が圧縮強度に及ぼす影響	・練混ぜ直後から再振動までの時間および振動時間が長くなると圧縮強度が大きくなる傾向
振動距離と振動時間が異形鉄筋の付着性状に及ぼす影響	・練混ぜ直後から再振動までの時間が長くなると付着強度が大きくなる傾向 ・鉄筋との加振距離が短いほど付着強度が大きくなる傾向 ・加振時間が短いと付着強度が大きくなる傾向 ただし、W/Cが小さい場合は鉄筋との加振距離が大きいつき加振時間を長くすると付着強度が大きくなる傾向
鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触が異形鉄筋の付着強度に及ぼす影響	・練混ぜ直後から再振動までの時間が長くなると付着強度が小さくなる傾向 ・練混ぜ直後から再振動までの時間が短いとき鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触時間が短いと付着強度が小さくなる傾向 ・練混ぜ直後から再振動までの時間が長いとき鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触時間が長くなると付着強度が小さくなる傾向

影響および再振動における鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触が異形鉄筋の付着性状に及ぼす影響について検討した結果からコンクリートの締固めにおける再振動が構造体に及ぼす傾向をまとめると表6のようになる。このことから、JASS 5¹⁾において打重ね時間間隔の限度は、「一律に定めることはできないが、一般的には、外気温が25℃未満のときは150分、25℃以上のときは120分を目安とし、先に打ち込んだコンクリートの再振動可能時間以内とする。」と解説されている点に補足するのであれば、「コンクリートの締固めにおける再振動を行なう時期は再振動可能時間で遅い方がよい。また、この場合、鉄筋とコンクリート棒形振動機はできるだけ接触させないようにし、やむを得ず接触したときは、できるだけこの接触時間を短くする。」ことが考えられる。

もう1点として、「振動機の先端は、鉄骨・鉄筋・埋込み配管・金物・型枠などになるべく接触させない。」と解説されている点に補足するのであれば、「鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触は、鉄筋の位置が確実に固定されている場合、再振動時間が短いとき、鉄筋と付着性状に有利に働くため、再振動を行なう時期はできるだけ早い時期に行うとよい。」ことが考えられる。

以上のように、鉄筋とコンクリート棒形振動機の接触がコンクリートの締固めにおける再振動の施工要領について考察した。このことは、あくまで既往の研究と本実験結果から考えたものであり、今後は、コンクリートの種類、凝結速度、温度および鉄筋とコンクリート棒形振動機との距離などを検討しなければならない。

謝辞

本研究では、故毛見虎雄博士（前足利工業大学工学部建築学科教授）より示唆に富むご助言を賜りました。また、実験およびデータ整理に際して坂本英之君（現；大林組）をはじめとした、日本大学理工学部建築学科およびものづくり大学技能工芸学部建設学科の学生より多大なご協力を頂きました。ここに付記して深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，2009.2
- 2) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕2007年制定，2012.12
- 3) 坂本英之，中田善久，大塚秀三，毛見虎雄：締固めにおける棒形振動機と鉄筋の接触がコンクリートと鉄筋の付着強度に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.383-388，2011

- 4) 坂本英之，中田善久，大塚秀三，毛見虎雄：締固め作業によるコンクリートと鉄筋の付着強度比に関する一考察，日本コンクリート工学会コンクリートと補強材の付着挙動構成則に関するシンポジウム論文集，pp.289-294，2011.9
- 5) JIS A 5308：2009 レディーミクストコンクリート，2009
- 6) 毛見虎雄：コンクリートの施工法－その移り変り－（その12）建築物におけるコンクリート施工計画の移り変り，コンクリート工学，Vol.19，No.6，pp.60-68，1981
- 7) Vollick C.A:Effects of Revibrating Concrete,Jour. A.C.I “5803”，pp.721-732，1958
- 8) 小林制，金子操：鉄筋を利用した再振動工法に関する研究 コンクリート付着強度に関する研究，日本建築学会論文報告集，第63号，pp.233-236，1959.10
- 9) 新見芳男：コンクリートの再振動と鉄筋附着強度 第1報，日本建築学会関東支部，第27回研究発表会，pp.97-100，1960.1
- 10) 新見芳男：コンクリートの再振動と鉄筋附着強度 第2報，日本建築学会関東支部，第28回研究発表会，pp.41-44，1960.6
- 11) 高橋久雄，中根淳：コンクリートの締固め性状に関する研究：第5報・再振動および長時間振動の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.85-86，1970.9
- 12) 吉本彰，白上博明：再振動コンクリートにおける強度増大の機構，セメント・コンクリート，No.365，pp.8-14，1977.7
- 13) 竹村和夫，阿部康俱：再振動締固めによる強度の増進効果について，セメント技術年報，Vol.39，pp.249-252，1985.2
- 14) 竹内資雄，渡辺健治，小野博宣，大津武：打設後の再振動がコンクリートの強度発現に及ぼす影響，日本建築学会東海支部研究報告集，第41号，pp.17-20，2003.2
- 15) 坂井映二，三上貴正：圧縮強度からみた再振動締固めの有効性の基礎的考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1分冊，pp.1199-1200，1993.7
- 16) 因幡芳樹，金子樹，守屋健一，渡辺創一郎：エコセメントを用いたコンクリートの打重ね時間間隔に関する実験的研究 その3 打重ね部の付着強度，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1分冊，pp.439-440，2007.7
- 17) 加藤淳司，水田実：コンクリートの再振動締固めの実施工適用性に関する研究 その1 適用範囲、施工性、実施時期判断基準、得られる効果についての室内実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1分冊，pp.673-674，2010.9
- 18) 水田実，加藤淳司：コンクリートの再振動締固めの実施工適用性に関する研究 その2 壁状模擬試験体による再振動締固め効果等の確認実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1分冊，pp.675-676，2010.9
- 19) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説，2006.2
- 20) 技報堂出版：ネビルのコンクリートパイプ，pp.295-296，2006.2
- 21) 松本雅之，梶田佳寛，阿部道彦，高塩美佐子，新屋栄一：高強度コンクリートの圧縮強度試験方法の標準化に関する研究 その6 型枠の種類，締固め方法の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1分冊，pp.1252-1253，1990.10
- 22) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，1997.1
- 23) (社)日本コンクリート工学協会：JCI 規準集2004(1997～2002年度)；(15)ポリマーセメントモルタルの鉄筋に対する付着強さ試験方法(案)，pp.254-255，2004
- 24) 張文博，李柱国，李潔勇，吉村貢：硬化コンクリートの力学性能に及ぼす振動締固めの影響に関する実験的考察，日本建築学会中国支部研究報告集，第33巻，pp.1-4，2010.3
- 25) 吉田徳次郎：コンクリートハンドブック，p.116，1949

INVESTIGATION OF REVIBRATING CONDITIONS WHEN DEFORMED BARS ARE IN CONTACT WITH INTERNAL VIBRATOR

Yoshihisa NAKATA^{}, Shuzo OTSUKA^{**}, Atsunori MIYATA^{***}
and Naohiro NIITUMA^{****}*

^{*} Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University, Dr. Eng.

^{**} Assoc. Prof., Dept. of Building Technologists, Monotsukuri Institute of Technologists, Dr. Eng.

^{***} Research Assist., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University, M. Eng.
^{****} NIIDUMA KOGYO CO., LTD.

This paper deals with the revibrating conditions for concrete compaction taking account of contact between steel deformed bar and internal vibrator. Timing of revibrating applicable to the consolidated fresh concrete is limited to avoid unexpected cold joint as specified in JASS 5. In general, timing from mixing to revibrating is recommended to be as late as possible.

Compaction conditions with a rod vibrator commented by JASS 5 are that the rod vibrator should not be in contact with the steel, embedded pipes, metal fastenings and formworks. This is to avoid unintended rearrangement of reinforcements and formworks while in reality, reinforcing steel arrangements are particularly crowded at relatively small elements such as walls and beams and the contact between vibrator and the reinforcing steel is unavoidable during construction. Particularly, when revibration is performed at the joint of concretes with different placement times, the contact becomes tighter and unfortunately, existing studies dealing with the effects of the contact on the quality of concrete in structures are very few.

So this study aimed to explain appropriate conditions of revibrating applicable to the consolidated fresh concrete taking account of contact between steel deformed bar and internal vibrator. In this experiment, the effects of revibrating on compressive strength and bond strength were investigated. Parameters included difference in timing from mixing to revibrating, duration of revibrating, distance of revibrating point and duration of contact between steel deformed bar and internal vibrator.

The main contents of this paper are as follows : ① Influence of revibrating on compressive strength. ② Influence of distance of revibrating point and duration of revibrating on bond behavior. ③ Influence of contact between steel deformed bar and internal vibrator in revibrating on bond behavior.

The major findings of this study can be summarized as follows.

- (1) Compressive strength and bond strength of the revibrated specimens tended to increase when timing from mixing to revibrating increased.
- (2) Bond strength of the revibrated specimens tended to decrease when duration of revibrating increased.
- (3) Bond strength perpendicular to the placing direction was smaller than that parallel to the placing direction.
- (4) Bond strength of revibrated specimens subjected to the contact between steel deformed bar and internal vibrator tended to decrease when timing from mixing to revibrating and duration of contact increased.

This paper showed appropriate conditions of revibrating when applied to the consolidated fresh concrete on the basis of experimental results. If it can be possible to compensate for JASS 5, timing from mixing to revibrating should be as late as possible. Also in this case, duration of contact of between steel deformed bar and internal vibrator should be as short as possible. If steel deformed bars are sufficiently fixed, timing for mixing to revibrating should be as fast as possible because the contact between steel deformed bar and internal vibrator may pose favorable effects on the bond behavior.

Revibration compaction conditions, when a rod vibrator is in contact with the steel reinforcements, were discussed as above. The conclusions are derived from the limited data from the present experiments and existing literatures. Hence further study is needed regarding the type of concrete, setting speed, ambient temperature and distance from vibrator and reinforcing steel.

(2014年2月10日原稿受理, 2014年6月13日採用決定)