

論文 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

坂本 英之^{*1}・中田 善久^{*2}・大塚 秀三^{*3}・毛見 虎雄^{*4}

要旨:本研究は,コンクリート工事の締固め作業中に起こり得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について検討したものである。その結果,付着強度は,コンクリートの打込み後から棒形振動機と鉄筋を接触させるまでの時間間隔および棒形振動機と鉄筋の接触させた時間によって変化し,その変化する度合はフレッシュコンクリートの性状によって異なることを明らかにした。さらには,この付着強度がモデル部材を想定し算出された付着強度に比べ,概ね上回ることを明らかとし,構造体の品質として確保すべき付着強度の性能を著しく損なわない可能性が示唆された。

キーワード:締固め,鉄筋,コンクリート,付着強度,設計基準強度,付着信頼強度

1. はじめに

コンクリート工事の締固めは,コンクリートを密実にすることやコンクリートを型枠内へ隅々まで充填させることを目的として行われる。しかし,締固めを過度に行うことは,材料分離や配筋の緩みを招き,鉄筋コンクリート構造物の品質を低下させる可能性がある。建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009¹⁾(以降 JASS5 と称す)では,コンクリート工事の締固めに関する注意点の一つとして棒形振動機の先端を鉄骨,鉄筋,埋込み配管および金物,型枠などになるべく接触させないことと解説されている。しかしながら,実施工では,鉄筋の過密配筋や小部材など棒形振動機と鉄筋の接触が避け難い場合があり,2層打ちとする場合,2層目の打込み後に締固めを行うときに振動機と鉄筋の接触が考えられ,硬化しつつある1層目のコンクリートと鉄筋の付着強度に影響するものと考えられる。ここで,既往の研究において,江藤ら²⁾は,鉄筋を固定してコンクリート側をテーブルパイププレートによって振動させた場合の付着強度を検討し,8時間まで継続加振し続けても増大する傾向を示したと報告している。これに対し,実施工を想定した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を検討した例は,筆者らの把握する限り見当たらない。また,鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説³⁾(以降,靱性保証型設計指針と称す)では,付着強度が低下したときにコンクリートが圧壊し曲げ強度が低下する可能性があるとしている。そのため,付着に対する設計では,付着劣化に伴う曲げ強度・せん断強度の低下を防ぐために確認することとされている。

そこで,本研究では,鉄筋コンクリート構造物の縦配筋および横配筋を想定し,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を実験的に明らかとすることを目的とした。さらには,実験で得られた付着強度を用いて柱および梁をモデルとして,靱性保証型設計指針に基づき,構造性能に及ぼす影響についても検討した。

ここでは,棒形振動機と鉄筋を接触させた時間(以降,接触時間と称す),コンクリートの打込み後から棒形振動機と鉄筋を接触させるまでの時間間隔(以降,接触開始時間と称す)を変化要因として,フレッシュコンクリートの性状および強度性状の違いがコンクリートと鉄筋の付着強度に及ぼす影響について述べる。

2. 棒形振動機と鉄筋を接触させたときのコンクリートと鉄筋の付着強度の検討

2.1 実験概要

(1) 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1に示す。調合およびフレッシュコンクリートの性状は,水セメント比(以降,W/Cと称す)を55%および35%の2水準とし,W/C=55%ではスランプ(以降,SLと称す)を8cmおよび18cmの2水準,W/C=35%ではスランプフロー(以降,SFと称す)を60cmの1水準とした。鉄筋方向は,コンクリートの打込み方向に対する方向とし,水平方向および垂直方向を検討した。なお,鉄筋の垂直方向は,W/C=55%,SL=18cmの材齢28日についてのみ実施し,同調合の水平方向と比較した。

(2) コンクリートの使用材料

コンクリートの使用材料を表-2に示す。

*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

*3 ものつくり大学 技能工芸学部建設技能工芸学科 専任講師 修士(工学) (正会員)

*4 (前)足利工業大学 工学部建築学科 教授 工博 (名誉会員)

表 - 1 実験の要因と水準

| 鉄筋方向 | W/C (%) | SLorSF (cm) | 試験材齢 (日) | 接触開始時間(分) | | | | |
|-----------------|---------|-------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | | | | 0 | 45 ² | 90 | 120 ² | 150 |
| | | | | 接触時間(秒) | | | | |
| 水平 | 55 | SL = 8 | 7 | 無接触 | | | | |
| | | SL = 18 | | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| | 35 | SF = 60 | 28 | 15 ¹ | 15 ¹ | 15 ¹ | 15 ¹ | 15 ¹ |
| 垂直 ¹ | 55 | SL = 18 | 28 | 90 ³ | 90 ³ | 90 ³ | 90 ³ | 90 ³ |

1: W/C=55%,SL:18cm,材齢28日のみ検討
 2: W/C=55%,SL:18cm,材齢28日[水平・垂直]のみ検討
 3: 鉄筋の水平方向のみ検討

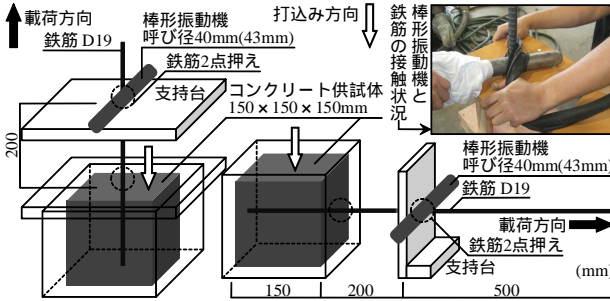


図 - 1 試験体の概要

(3) 試験概要

a) 試験体の概要

試験体の概要を図 - 1 に示す。試験体の寸法は、W150 × H150 × D150mm とし、鉄筋 (D19, SD295A) の埋込み長さを 150mm で型枠に設置した。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、練上がり直後に行い、鉄筋を設置した後に一層で打込んでから突き棒で 20 回突き、型枠の外側を木槌で 10 回叩いて締固めた。また、棒形振動機と鉄筋の接触は、コンクリート供試体の中で行わず、供試体上面から 200mm の位置で鉄筋へ直角に行った。棒形振動機と鉄筋の固定は、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 2 点押えは、鉄筋の垂直および水平を確保するために設置した。

b) 棒形振動機の概要

棒形振動機は、周波数 12000vpm、振動数 200Hz の高周波のバイブレータであり、呼び径 40mm (直径 43mm)、振幅 1.5mm と一般的な建築工事に使用されているものである。

c) 試験項目および方法

付着強度試験は、JCI - SPC15⁴⁾ に準じて行い、載荷速度を 372N/sec、試験材齢を材齢 7 日および 28 日とした。また、付着強度は、式 (1) により算出した。

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

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)

d : 鉄筋周長 (mm)

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 | 密度: 3.16g/cm ³ |
| | ポルトランドセメント | 比表面積: 3,290cm ² /g |
| 水 | 上水道水 | |
| 細骨材 | 栃木県栃木市 | 表乾密度: 2.61g/cm ³ |
| | 尻内町産陸砂 | 粗粒率: 2.75, 吸水率: 2.30% |
| 粗骨材 | 栃木県栃木市 | 表乾密度: 2.70g/cm ³ |
| | 尻内町産石灰岩碎石 | 粗粒率: 6.64, 吸水率: 0.63% |
| 化学混和剤 | AE減水剤 | リゲニンスルホン酸塩、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 コンクリートの調合

| 鉄筋方向 | W/C (%) | SL or SF (cm) | s/a ¹ (%) | かさ容積 ² (m ³ /m ³) | 単位量 (kg/m ³) | | | | |
|------|---------|---------------|----------------------|---|--------------------------|-----|-----|-----|-------------------|
| | | | | | W | C | S | G | Ad ³ |
| 水平 | 55 | SL = 8 | 44.6 | 0.62 | 167 | 304 | 846 | 972 | 3.42 ⁴ |
| | 55 | SL = 18 | 44.6 | 0.62 | 185 | 336 | 773 | 972 | 3.78 ⁴ |
| | 35 | SF = 60 | 41.7 | 0.62 | 170 | 486 | 686 | 972 | 5.47 ⁵ |
| 垂直 | 55 | SL = 18 | 46.2 | 0.62 | 172 | 313 | 825 | 972 | 3.13 ⁴ |

1 s/a: 細骨材率 2 単位粗骨材かさ容積
 3 Ad: 化学混和剤 4 AE減水剤 5 高性能AE減水剤

その他の試験項目は、ブリーディング試験、圧縮強度試験および引張割裂強度試験を当該JISに準じて行った。

d) コンクリートの調合

コンクリートの調合を表 - 3 に示す。鉄筋方向の検討として使用した W/C=55%, SL=18cm のコンクリートは、細骨材率を 44.5 ~ 46.5% の範囲に設定し、SL を単位水量によって調整した。フレッシュコンクリートの目標値は、コンクリートの練上り時において、SL を 18 ± 1.5cm、8 ± 1.5cm、SF を 60 ± 5.0cm、空気量を 4.5 ± 1.0% となるように調整した。

2.2 結果および考察

(1) フレッシュコンクリートの性状

練上り時の SL、SF および空気量は、目標値を満足した。練上りからの経過時間とブリーディング量の関係を図 - 2 に示す。W/C=55% のブリーディング量は、0.25cm³/cm² 以下であり、鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針⁵⁾ の規定値 0.3cm³/cm² 以下となった。

(2) 圧縮強度および割裂引張強度試験結果

コンクリートの圧縮強度および割裂引張強度試験結果を表 - 4 に示す。W/C=55% の SL=8cm および SL=18cm の圧縮強度および割裂引張強度は、材齢 7 日および 28 日ともフレッシュコンクリートの性状に関らずほぼ同等であった。また、材齢 28 日の割裂引張強度の増進は、圧縮強度の増進に比べ停滞する傾向を示した。

(3) 付着強度

a) 接触開始時間による影響

接触開始時間と付着強度の関係を図 - 3 に示す。付着強度は、接触開始時間の経過に伴い減少する傾向を示した。

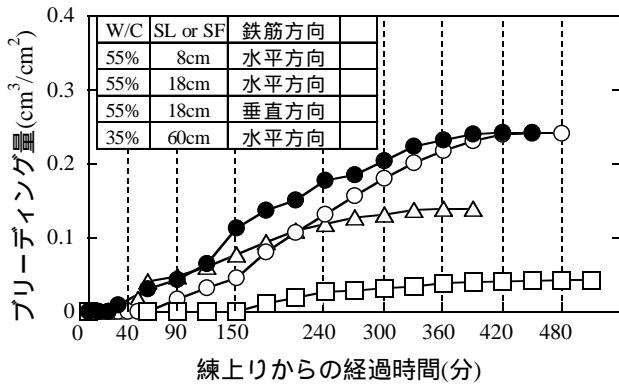


図 - 2 練上りからの経過時間とブリーディング量の関係

表 - 4 コンクリートの圧縮強度および割裂引張強度試験結果

| 鉄筋方向 | W/C (%) | SL or SF (cm) | 圧縮試験強度 (N/mm ²) | | 割裂引張強度 (N/mm ²) | |
|------|---------|---------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| | | | 材齢7日 | 材齢28日 | 材齢7日 | 材齢28日 |
| 水平 | 55 | SL = 8 | 22.9 | 38.1 | 2.7 | 3.5 |
| | | SL = 18 | 24.0 | 35.6 | 2.8 | 3.4 |
| | 35 | SF = 60 | 54.7 | 68.4 | 4.4 | 4.5 |
| 垂直 | 55 | SL = 18 | — | 36.2 | — | 2.9 |

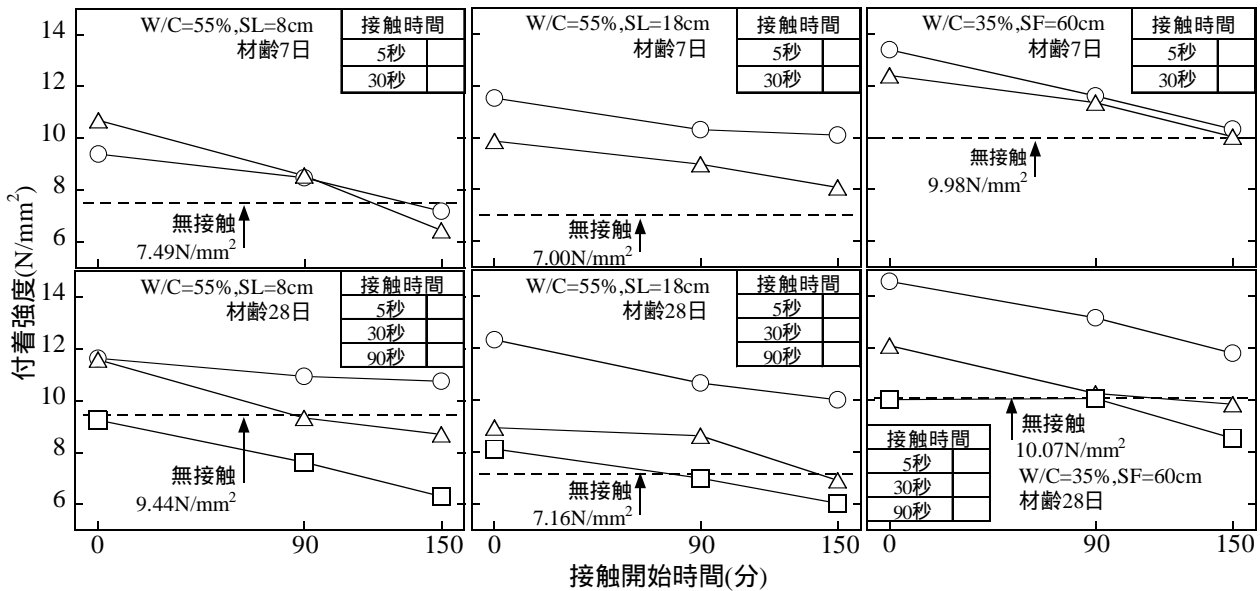


図 - 3 接触開始時間と付着強度の関係

また、接触開始時間150分、接触時間30秒の付着強度は、接触開始時間0分、無接触の付着強度を概ね下回る傾向を示した。これは、棒形振動機と鉄筋の接触により鉄筋が振動し、鉄筋の側面においてセメントペーストが粗になり、鉄筋とセメントペーストの付着が脆弱になったためと考えられる。W/C=35%、SF=60cmの付着強度は、W/C=55%、SL=18cmおよび8cmよりも2～2.5N/mm²程度大きくなる傾向を示した。これより、付着強度は、圧縮強度の増加に対して小さいといえ、既往の研究⁹⁾と同様の傾向を示した。また、接触時間5秒、W/C=55%の付着強度は、無接触を上回り、SL=18cmにおいて同じW/CのSL=8cmより大きくなる傾向を示した。これは、SL=18cmのセメントペーストがSL=8cmよりも多いことで、鉄筋側面の凸凹に集中しやすくなったためと考えられる。また、接触時間30秒および90秒、W/C=55%の付着強度は、SLの違いに関らず概ね同等となった。これは、前述した棒形振動機と鉄筋の過度な接触により鉄筋の側面においてセメントペーストが粗になったためと考えられる。これらより、付着強度は、W/Cの影響だけでなく、調合の影響が大きいと考えられる。

b) 材齢による影響

棒形振動機と鉄筋の接触による付着強度は、材齢7日に比べ材齢28日の方が大きくなった。接触開始時間の経過に伴った付着強度の減少する割合は、材齢に関わらず概ね同程度となる傾向を示した。

c) 接触時間による影響

接触時間と付着強度の関係を図 - 4に示す。若干のばらつきはあるものの、付着強度は、接触時間5秒で最も大きくなり、接触時間が長くなるのに伴い小さくなる傾向を示した。これより、適度な時間内での棒形振動機と鉄筋の接触は、付着強度を向上させる可能性を示唆していると考えられる。また、W/C=35%、SF=60cmにおける無接触の付着強度は、W/C=55%の接触時間5秒とほぼ同等となる傾向を示した。これより、高強度で流動性が大きい高流動コンクリートは、棒形振動機と鉄筋の接触に関わらず十分な付着強度を得られることが示唆された。

d) 鉄筋方向による影響

鉄筋方向の違いにおける接触開始時間と付着強度の関係を図 - 5に示す。水平方向の付着強度は、接触時間5秒で概ね大きくなり、垂直方向については、接触時間に関ら

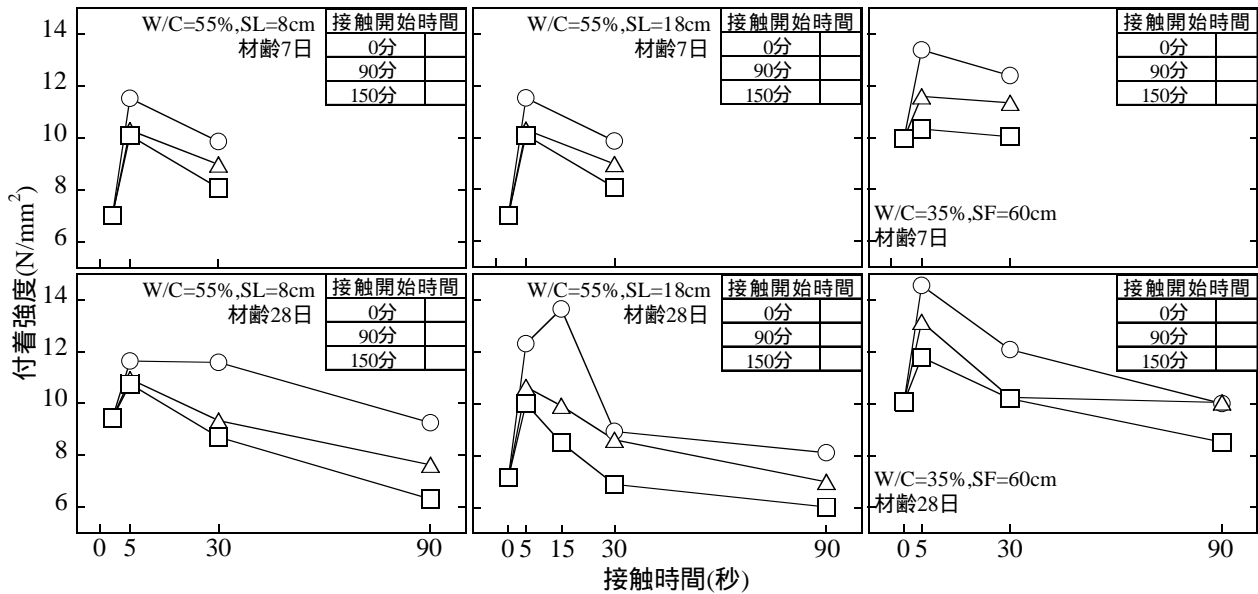


図 - 4 接触時間と付着強度の関係

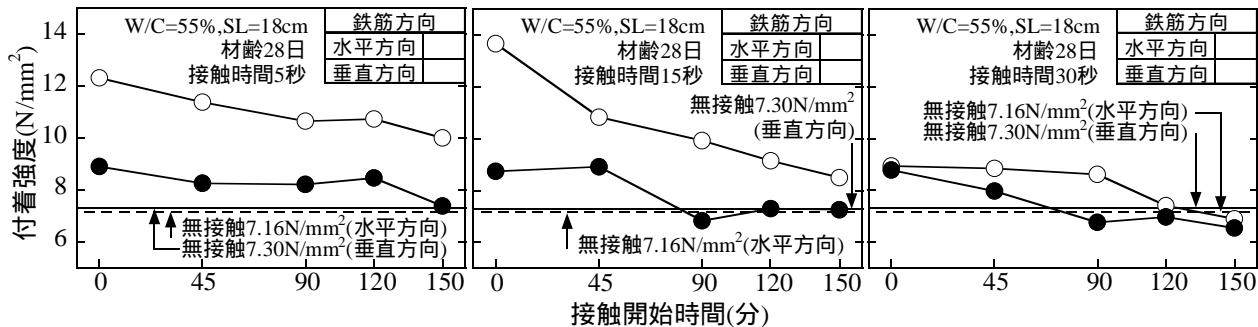


図 - 5 鉄筋方向の違いにおける接触開始時間と付着強度の関係

ず概ね同等となる傾向を示した。ここで、水平方向は、前述した鉄筋の過度な振動によるセメントペーストの組密の影響が考えられる。また、垂直方向では、前述したセメントペーストの組密の影響に加えて、鉄筋下面のブリーディングの影響によって明確な差を示さなかったものと考えられる。接触開始時間0分の時の付着強度は、無接触に比べて2～4N/mm²程度大きい傾向を示した。棒形振動機と鉄筋の接触は、無接触に対して鉄筋の側面にセメントペーストを集中させ、結果として付着強度を向上させることを示唆しているものと考えられる。

(4) 付着強度に及ぼす圧縮強度の影響

a) 接触時間と接触開始時間による影響

接触開始時間と圧縮強度に対する付着強度(以降、付着強度/圧縮強度と称す)の関係を図-6に示す。なお、各材齢における圧縮強度試験は、標準養生した100mm×200mmの供試体を用いた。ここでは、普通強度および高強度のコンクリートについて圧縮強度に対する付着強度の増加量を検討した。W/C=55%の付着強度/圧縮強度は、W/C=35%に比べて大きく、材齢の経過に伴い10%程度小さくなる傾向を示した。これは、普通強度において圧縮強度に対する付着強度の増加量が小さく、高強度にお

いて圧縮強度に対する付着強度の増加量が大きいことが考えられる。また、W/C=35%の付着強度/圧縮強度は、材齢に関わらず20%程度を示した。これより、W/C=35%の付着強度/圧縮強度は、W/C=55%に比べ棒形振動機と鉄筋の接触による影響を受けにくく、圧縮強度の増加に対する付着強度の増加があまり見られない結果を示した。

b) 鉄筋方向による影響

ここでは、普通強度のコンクリートにおいてコア供試体の圧縮強度が粗骨材下端のブリーディングの影響で採取方向により異なる⁷⁾と報告され、本実験では、異なる2つの鉄筋方向の付着強度を検討した。今回は、2つの鉄筋方向に対して同一の圧縮強度試験体で比較するために、打込み方向の同じ圧縮強度試験のコンクリートを使用した。W/C=55%、SL=18cmにおける付着強度/圧縮強度は、水平方向に比べ垂直方向で減少する傾向を示した。これは、前述したように水平方向ではセメントペーストの組密による影響と、垂直方向ではこれに加えて、鉄筋下面のブリーディングの影響によるものと考えられる。これより、付着強度と圧縮強度の関係は、圧縮強度試験におけるコンクリートの打込み方向が影響すると思われる。今後、検討する必要があると思われる。

3. モデル部材より構造計算した付着強度と棒形振動機と鉄筋の接触による付着強度の比較検討

3.1 構造計算による検討概要

本検討では、柱部材および梁部材をモデル部材として、靱性保証型設計指針²⁾に基づき、コンクリートの設計基準強度(以降、 F_c と称す)から付着強度(以降、付着信頼強度と称す)を算出し、これに対する前項の棒形振動機と鉄筋の接触による付着強度の実験結果を比較検討した。

3.2 付着信頼強度の算出

(1) モデル部材とした柱部材および梁部材の概要

柱部材および梁部材の概要と付着信頼強度を表-5に示す。モデルとした柱部材は、断面500×500mmに主筋8-D19とフープをD10@100とした。同様に梁部材は、断面300×500mmの上端筋および下端筋に主筋3-D19とスターラップをD10@200とした。

(2) モデル部材における付着信頼強度の算出

モデル部材における柱および梁部材の1段目主筋の付着信頼強度は、式(2)より算出する。

$$= t \{ (0.086bi + 0.11) \sqrt{F_c} + kst \} \quad (2)$$

ここで、 t は、上端筋に対する付着強度低減係数で式(3)より算出する。

$$t = \begin{cases} 0.75 + F_c/400 & (\text{梁の上端主筋}) \\ 1 & (\text{上記以外の主筋}) \end{cases} \quad (3)$$

bi は、割裂線長さ比で式(4)~(6)より算出する。

$$bi = \min(b_{si}, b_{ci}) \quad (4)$$

$$b_{si} = (b - N_1 d_b) / N_1 d_b \quad (5)$$

$$b_{ci} = \left\{ 2(d_{cs} + d_{ct}) - d_b \right\} / d_b \quad (6)$$

b : 部材の幅(mm), N_1 : 1段目主筋の本数(本),

d_{cs} : 側面かぶり厚さ(mm), d_{ct} : 底面かぶり厚さ(mm)

kst は、横補強筋の効果で式(7)より算出する。

$$kst = \begin{cases} (56 + 47N_w/N_1)(b_{si} + 1)p_w & (b_{ci} > b_{si} \text{ のとき}) \\ 146A_w/(d_b S) & (b_{ci} < b_{si} \text{ のとき}) \end{cases} \quad (7)$$

N_w : 1組の横補強筋の足の数(本), p_w : 横補強筋比,

A_w : 横補強筋1本の断面積(mm²),

S : 横補強筋間隔(mm)

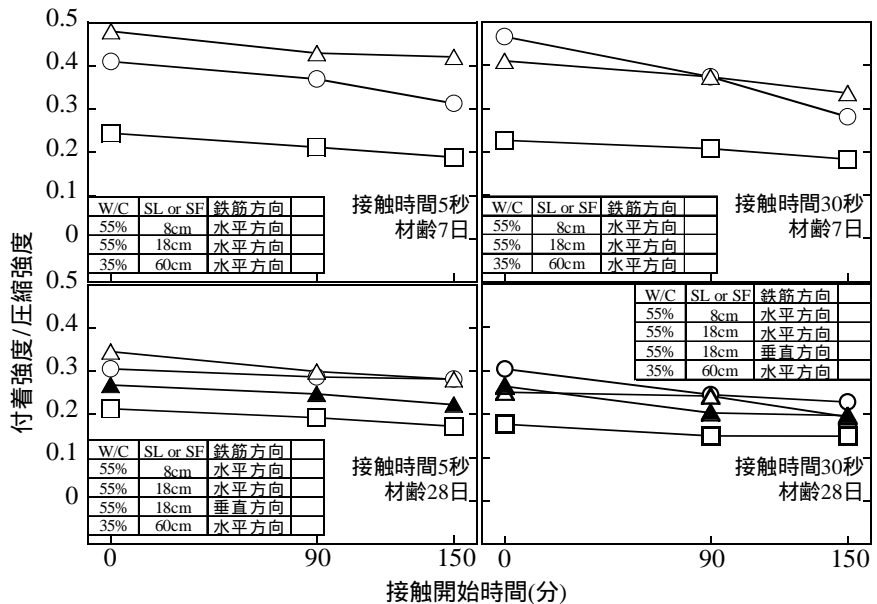


図-6 接触開始時間と圧縮強度に対する付着強度の関係

表-5 柱部材および梁部材の概要と付着信頼強度

| | 柱部材 | | | | 梁部材 | | | |
|------------------------------------|---------|---------|---------|--------|------------------------------------|---------|---------|--------|
| | 断面(mm) | 主筋 | フープ | 横補強筋比 | 断面(mm) | 上・下端筋 | スターラップ | 横補強筋比 |
| | 500×500 | 8-D19 | D10@100 | 0.0029 | 300×500 | 3-D19 | D10@200 | 0.0014 |
| 設計基準強度 F_c (N/mm ²) | W/C=55% | SL=8cm | 21 | | 設計基準強度 F_c (N/mm ²) | W/C=55% | SL=18cm | 21 |
| | W/C=35% | SF=60cm | 42 | | | W/C=55% | SL=18cm | 4.64 |
| 付着信頼強度 τ (N/mm ²) | W/C=55% | SL=8cm | 6.11 | | 付着信頼強度 τ (N/mm ²) | 上端筋 | W/C=55% | 3.72 |
| | W/C=35% | SF=60cm | 7.58 | | | 下端筋 | SL=18cm | 4.64 |

前項の実験結果との比較において、 $F_c=21\text{N/mm}^2$ では、 $W/C=55\%$ 、 $SL=8\text{cm}$ および 18cm の2水準、 $F_c=42\text{N/mm}^2$ では、 $W/C=35\%$ 、 $SF=60\text{cm}$ の1水準を対象とした。付着信頼強度は、柱部材での $W/C=55\%$ のときに 6.11N/mm^2 、 $W/C=35\%$ のときに 7.58N/mm^2 となり、同様に梁部材での $W/C=55\%$ については、上端筋のときに 3.72N/mm^2 、下端筋のときに 4.64N/mm^2 となった。

(3) 付着信頼強度と付着強度の比較

構造計算の検討における接触開始時間と付着強度の関係を図-7に示す。柱部材を想定した $W/C=55\%$ の棒形振動機と鉄筋の接触による付着強度は、接触開始時間150分の接触時間90秒において付着信頼強度を下回り、付着強度の性能を損なう結果を示した。また、同じく $W/C=35\%$ の棒形振動機と鉄筋の接触による付着強度は、 $W/C=55\%$ に比べ付着信頼強度を大きく上回る傾向を示した。 $W/C=35\%$

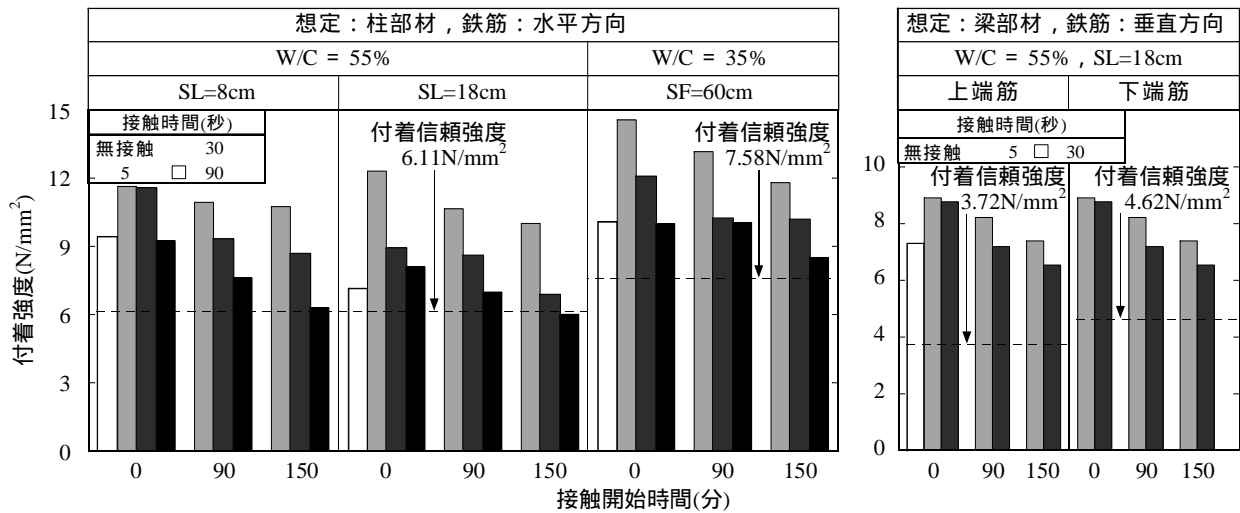


図-7 構造計算の検討における接触開始時間と付着強度の関係

の付着強度は、接触開始時間150分、接触時間90秒において付着信頼強度を約1.0N/mm²程度上回り、付着強度の性能を損なわないことを示した。これより、高強度・高流動コンクリートは、普通強度のコンクリートと異なり、棒形振動機と鉄筋の接触において無接触や長時間の接触に関わらず付着信頼強度を満足すると考えられる。

梁部材を想定した普通強度のコンクリートにおける垂直方向の付着強度は、上端筋および下端筋で付着信頼強度を上回り、接触開始時間150分において上端筋で2N/mm²、下端筋で1.5N/mm²程度上回った。また、普通強度のコンクリートにおける垂直方向の付着強度は、練上りからの経過時間すなわち接触開始時間150分までに棒形振動機と鉄筋が30秒程度接触しても付着信頼強度を上回り、著しい低下を見せなかった。

4. まとめ

本研究は、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を実験的に明らかにし、実験で得られた付着強度を用いて柱および梁部材をモデル部材として、靱性保証型設計指針に基づき、構造性能に及ぼす影響について検討したものである。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 普通強度コンクリートおよび高強度コンクリートにおいて、棒形振動機と鉄筋の接触時間が30秒程度までであれば、付着強度が向上する傾向を示した。また、棒形振動機と鉄筋の接触時間が90秒程度のような過度な接触を行うと、付着強度は低下する傾向を示した。
- (2) 普通強度コンクリートの付着強度は、高強度コンクリートの付着強度に比べ、付着信頼強度に対する安全率が小さくなる傾向を示した。
- (3) 普通強度コンクリートおよび高強度コンクリートのいずれのコンクリートも、接触開始時間すなわち練混ぜ

からの経過時間が150分になると、棒形振動機と鉄筋の接触時間が90秒程度のように過度な接触を行うと、付着強度は著しく低下する傾向を示した。

以上の結果から、現場において、接触開始時間すなわち練混ぜからの経過時間を考慮して、棒形振動機と鉄筋の接触時間が著しく長くないように施工することが重要といえる。

謝辞

本実験を行うにあたり、日本大学理工学部中田研究室およびものづくり大学技能工芸学部大塚研究室の学生より多大な協力を頂きました。ここに記して深謝致します。

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, pp.264-266, 2009
- 2) 江藤芳武ほか:凝結硬化時に継続振動を受ける鉄筋コンクリートの付着強度に関する研究,土木学会論文集, No. 544, Vol. 32, pp. 223-234, 1996. 8
- 3) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説, pp.175-179, 1999. 8
- 4) (社)日本コンクリート工学協会:JCI規準集2004(1977~2002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
- 5) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, 2006
- 6) 飯塚信一ほか:高強度コンクリートを用いたRCはりの付着割裂強度,日本建築学会学術講演梗概集, No.2977, pp.289-290, 1990.9
- 7) 大木崇輔ほか:コア採取位置および採取方向の違いが高強度コンクリートのコア強度に及ぼす影響,コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.423-428, 2008