

# Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートの施工実験

## Construction Tests for Fc150N/mm<sup>2</sup> Class High-Strength Concrete

河野政典\* 起橋孝徳\* 小竹琢雄\*\* 飯塚宏行\*\*

### 要 旨

Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートの施工性を確認するため、コンクリートバケットによる打設とポンプ圧送の実験を行った。バケット打設実験の結果、バケットのコンクリート排出流下部分に泥水の吸引や圧送等で用いられる耐圧ホースを用いれば、4.0m<sup>3</sup> の柱部材の打設は約 25 分で完了することを確認した。ポンプ圧送実験の結果、圧力損失は普通コンクリートの 18.5 倍であるものの、所要能力のポンプ車の選定により、圧送速度 15m<sup>3</sup>/h で、鉛直方向 10m+水平方向 50m 配管の圧送が可能であり、Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートが適用される低層階部分へのポンプ圧送は十分可能であることを確認した。また、バケット打設およびポンプ圧送によるフレッシュコンクリート、圧縮強度への影響はないことを確認した。

キーワード：Fc150N/mm<sup>2</sup>、高強度コンクリート、バケット打設、ポンプ圧送

### 1. まえがき

近年、都心部の集合住宅では、土地の高度利用から、超高層化が進みつつあり、また、平面設計の自由度、快適な平面空間を確保するために大スパン化が望まれている。そのため都心部では、超高層の鉄筋コンクリート造集合住宅に 100N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートを適用する事例が増えつつある<sup>1)</sup>。当社においても、設計基準強度（以下、「Fc」と称す）100N/mm<sup>2</sup> の高強度コンクリートを、都内の地上 41 階建て鉄筋コンクリート造集合住宅の 1、2 階の柱部材に適用した<sup>2)</sup>。

今後、さらなる高強度化への要求に応えるため、Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートの実用化に向けた研究開発に着手し、平成 19 年度に Fc150N/mm<sup>2</sup> の強度発現が得られる材料選定を行い<sup>3)</sup>、平成 20 年度にはその材料を用いた実機試験を実施し、生コンプラントにおいて Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートの製造、出荷が可能であることを確認した。

一方、現場での主なコンクリート打設方法は、ポンプ圧送とコンクリートバケットによる打設の 2 種類であり、ポンプ圧送はバケット打設に比べ大量打設が可能である。しかし、高強度コンクリートにおいては、単位セメント量が多く、フレッシュコンクリートの粘性が大きいため、ポンプ圧送での圧送抵抗が大きく、ポンプへの負荷が大きい。粘性の大きいコンクリート、すなわち、強度が大きいコンクリートほど、低層階の柱部材に用いられるので、打設量が限られ、揚重時間も掛からないことから、バケット打設を採用するケースが多い。しかしながら、高

い強度のコンクリートほど、打込み直後から表層部分が急激に乾燥するため、ポンプ圧送のように連続打設が望まれている。また、Fc80N/mm<sup>2</sup> 以上のコンクリートには、火災時の爆裂抑制対策の一つとして、有機繊維をコンクリートに混入するケースがある。繊維を混入した場合、さらにコンクリートの流動性が低下するため、アジテータ車からのバケットへの積込み、サニーホースなどを取付けたバケットからの排出に時間を要する。このことから、条件によっては 4.0m<sup>3</sup> 程度の Fc100N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリート柱部材の打設に、約 20~30 分程度の時間を要することとなる<sup>2)</sup>。Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートの粘性はさらに大きくなるため、Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートを実現場に適用するには、事前に現場での施工性を確認し、その結果を踏まえた打設計画が必要となる。

そこで、平成 21 年度においては、Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートの施工性を確認するため、コンクリートバケットによる打設実験と 75m の水平配管によるポンプ圧送実験を行った。本報では、これらの実験結果について報告する。

### 2. バケット打設実験

#### 2.1 実験要因と水準

バケット打設実験では、バケットのコンクリート排出流下部分の仕様を実験要因とし、施工性の比較やフレッシュコンクリート性状および圧縮強度発現への影響について検討した。バケットの排出流下部分には、普通コン

\*技術研究所 \*\*東日本支社建築工務部

クリークの打設で用いられることの多いサニーホースと、泥水の吸引や圧送等で用いられる耐圧ホース（以下、「コンクリートホース」と称す）の2種類を用いた。実験は、夏期（8月）に行った。

2.2 コンクリートの使用材料と調合

コンクリートの使用材料を表-1に、調合を表-2に示す。セメントには低熱ポルトランドセメントにシリカフュームをセメント工場において10%（内割り）プレミックスしたシリカフュームセメントを使用した。また、火災時のコンクリートの爆裂を防止するために、ポリエステル繊維を0.2vol%添加した。

コンクリートの水セメント比を14%とし、繊維混入後のスランプフロー値 50±7.5cm、空気量 2.0%以下をフレッシュコンクリートの目標値とした。

2.3 打設方法と試験項目

コンクリートバケットには積載容量が2.5m<sup>3</sup>のものを用いた。実験では、バケットにコンクリートを2.0m<sup>3</sup>積込み、1.0×1.0×高さ1.0mの型枠にコンクリートを打設した。バケットの排出先に取付けたサニーホースの径は7インチ、コンクリートホースの径は125A（5インチ）で、長さは両者とも3.5mとした。

測定・試験項目を表-3に示す。バケット打設に関する測定・試験項目として、打設時間の測定、バケット流下後のコンクリート試料を採取してフレッシュコンクリート試験、圧縮強度試験を実施した。また、型枠に打設したコンクリートの上下面に厚さ200mmの断熱材を設置し、模擬柱部材とし、材齢91日の構造体コンクリート強度を確認した。

2.4 実験結果と考察

a. 打込み時間

バケット打設実験に用いたコンクリートのフレッシュ状況を写真-1に、バケットによる打設状況を写真-2に示す。打設時間を測定した結果、アジテータ車からバケットへのコンクリート2.0m<sup>3</sup>分の積込み時間は約4分であった。Fc150N/mm<sup>2</sup>級コンクリートの粘性が非常に大きいため、アジテータ車のシュートからの流下に時間を要した。

型枠1.0m<sup>3</sup>分の流下打込み時間は、サニーホースによる打込みでは約5.5分で、コンクリートホースでは約1.3分であった。サニーホースは通常、コンクリートが流動する部分は閉じた状態にあり、コンクリートはサニーホースを押し広げながら、内側を沿うように流下する。コンクリートは自由落下することが無いので、普通コンクリートの打設ではコンクリートの分離を防ぐ効果が期待できるが、Fc150N/mm<sup>2</sup>級コンクリートの粘性が非常に大きいため、サニーホース内の粘性抵抗が大きく流下に時間を要したと考えられる。

一方、コンクリートホースはサニーホースと異なり、コンクリートが排出する筒先まで開放状態にあり、粘性

表-1 コンクリートの使用材料

種別	記号	銘柄・産地等	物性値
セメント	C	シリカフュームプレミックス	密度:3.08cm <sup>3</sup> /g
		低熱ポルトランドセメント (シリカフュームセメント)	比表面積:6350cm <sup>2</sup> /g シリカフューム内割り10%
細骨材	S	桜川産 硬質砂岩砕砂	密度:2.60cm <sup>3</sup> /g F.M.2.85
粗骨材	G	桜川産 硬質砂岩砕石	密度:2.64cm <sup>3</sup> /g 実積率:60.0%
化学 混和剤	Add	高性能減水剤	ポリカルボン酸系 密度:1.07cm <sup>3</sup> /g
添加材	PET	ポリエステル繊維	密度:1.39cm <sup>3</sup> /g 径:0.017mm、長さ:10mm

表-2 調合

W/C (%)	S/A (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				Add Cx(%)	PET (vol%)
		W	C	S	G		
14.0	32.9	155	1108	398	824	2.25	0.2

表-3 バケット打設実験の測定・試験項目

測定・試験項目	試験方法	備考	
フレッシュ	スランプフロー	JIS A 1150	
	空気量	JIS A 1128	
	コンクリート温度	JIS A 1156	
硬化	圧縮強度	JIS A 1108	現場着荷卸:標準水中 材齢7,28,56,91日 バケット流下後:標準水中 材齢56日
		JIS A 1107	模擬柱部材コア供試体 材齢91日
打設時間	ストップウォッチ	バケットへの積込み時間 バケット移動時間 打込み時間	

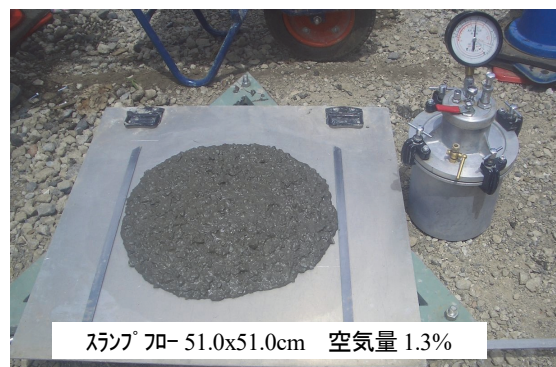


写真-1 現場着荷卸試験時のフレッシュ状況

が大きい場合でも、ある程度の速さで打込みが可能であった。

b. 柱部材の打設時間の検討

打設時間の測定結果から、4.0m<sup>3</sup>の柱部材を想定し打



写真-2 バケツ打設状況

設所要時間を検討した。設定条件と打設時間の検討結果を図-1に示す。バケツ1回の打込み量を2.0m<sup>3</sup>とし、2回の打込み、また、バケツの1回の移動時間は低層階を想定し、3分間とした。検討の結果、コンクリートホースによる打設は、サニーホースを用いた場合よりも打設時間は速いものの、柱1本の打設完了までに25分の時間を要すると考えられる。

なお、Fc150N/mm<sup>2</sup>級コンクリートのアジテータ1車分(4.0~5.0m<sup>3</sup>)の生コンプラントでの製造出荷(練混ぜ、繊維添加、出荷時のフレッシュコンクリート性状確認)には、20~25分の時間を要する。そのため、柱の打設時間が25分程度であれば施工上、バケツによる打設方法がクリティカルとはならない。ただし、バケツ移動時間により打設時間が変動するため、実施工においてはバケツ移動時間を考慮した打設計画が必要である。

c. フレッシュコンクリートの性状と圧縮強度

バケツ打設前後のフレッシュコンクリートの性状と圧縮強度の比較を表-4に示す。バケツ打設により空気量が微増したものの、圧縮強度に大きな違いはみられなかった。

荷卸時に採取した標準水中供試体と、コンクリートホースで打設した模擬柱部材から採取したコア供試体の圧縮強度を図-2に示す。模擬柱の打込み時のコンクリート温度は37℃で、打設後の部材中心部の最高温度は82℃に達したが、コア強度は材齢28日以降も増進し、コア91日強度は165N/mm<sup>2</sup>であった。標準水中56日とコア91日強度の差は-0.3N/mm<sup>2</sup>であり、コア91日強度が、標準水中56日強度を上回ったことから、コンクリートの管理材齢を56日とした場合、調合設計に必要な夏期の強度補正值は、0N/mm<sup>2</sup>で対応できることを確認した。

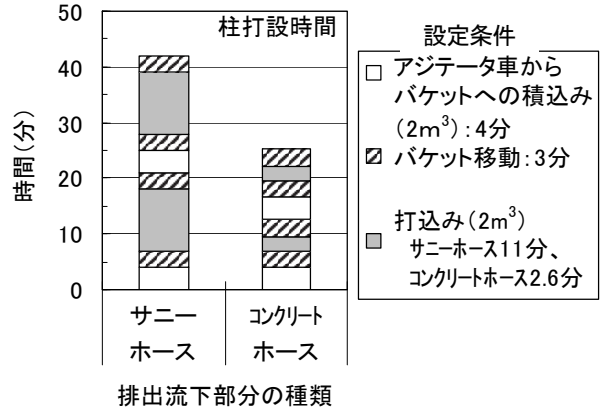


図-1 4m<sup>3</sup>柱部材の打設時間

表-4 フレッシュコンクリートの性状と圧縮強度の比較

	出荷後経過時間	フレッシュ性状		圧縮強度(56日標水)(N/mm <sup>2</sup> )
		スランプフロー(cm)	空気量(%)	
現着荷卸	90分	51.0 x 51.0	1.3	165.0
コンクリートホース	105分	53.0 x 52.5	1.8	164.3
サニーホース	125分	50.7 x 50.5	1.6	163.0

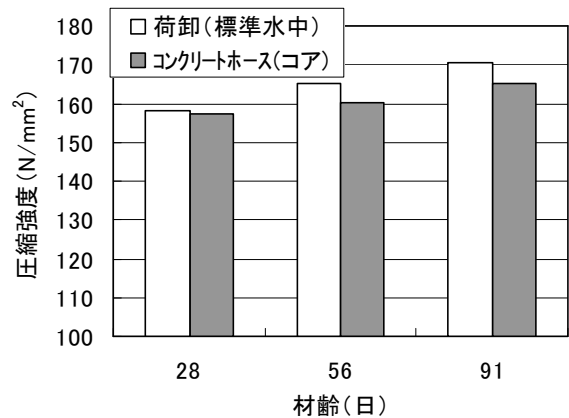


図-2 標準水中供試体とコンクリートホースを用いて打設した模擬柱のコア強度

3. ポンプ圧送実験

3.1 実験要因と水準

ポンプ圧送では、圧送速度を実験要因とし、管内圧力、フレッシュコンクリート性状および圧縮強度発現への影響について検討した。圧送速度は、10、20m<sup>3</sup>/hの2水準とした。前述のように、Fc150N/mm<sup>2</sup>級コンクリートのアジテータ1車分(4.0~5.0m<sup>3</sup>)の製造出荷には20~25分の時間を要するため、1時間あたりの出荷量は15m<sup>3</sup>程度に限られる。そのため、現場では15m<sup>3</sup>/h程度

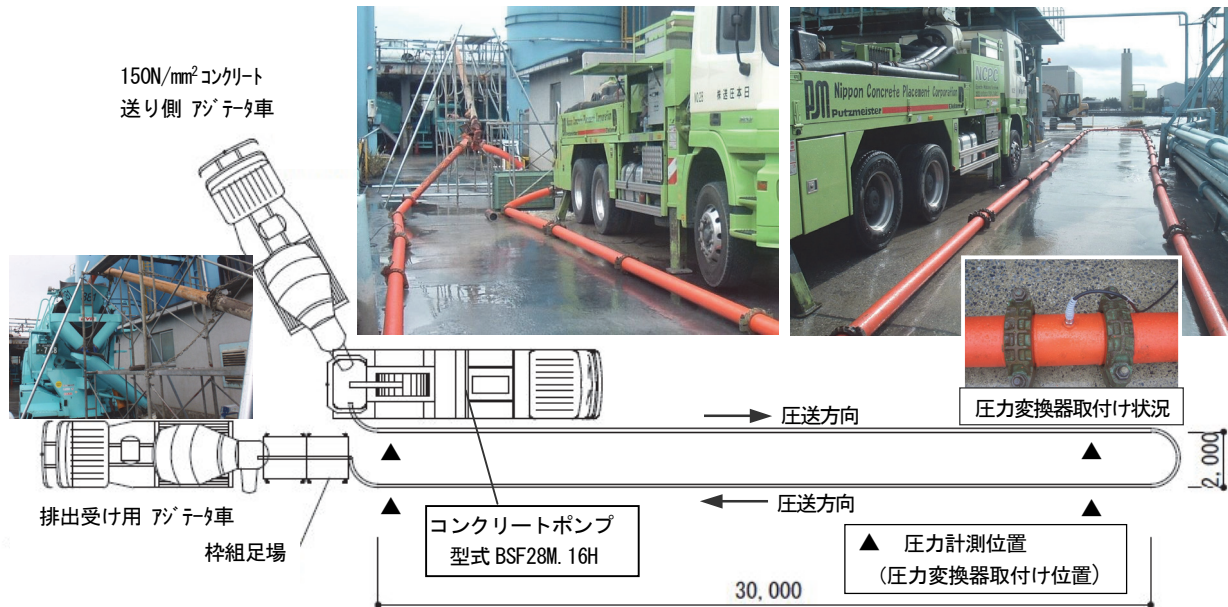


図-3 ポンプ圧送実験の配管概要

の速度で圧送できれば、アジテータ車の待ちがなく、スムーズに打設できることとなる。このことから、圧送速度の水準の上限を 20m³/h とした。なお、コンクリートの使用材料(表-1)および調合(表-2)については、バケット打設実験と同様とし、実験は標準期(11月)に行った。

3.2 圧送方法と試験項目

ポンプ車には、最大理論吐出圧が 13.0N/mm² のピストン式超高压ポンプ車(型式 BSF28M.16H)を用いた。ポンプの仕様を表-5に、圧送実験の配管概要を図-3に示す。圧送距離は約 75m、ポンプ車側 30m の輸送管には呼び径 125A の H 管(高压配管 使用圧力 12.0N/mm²)を、それ以降の吐出側には 125A の M 管(中高压配管 使用圧力 7.0N/mm²)を用いた。

測定・試験項目を表-6に、輸送管内の圧力計測位置を図-3に示す。各圧送速度で圧送を行った後、筒先からコンクリート試料を採取し、フレッシュコンクリート試験、圧縮強度試験を実施した。輸送管内の圧力は、図-3中の写真に示すように圧力変換器を輸送管に取付け、ポンプ車から 5.5、30、41、65m の輸送管位置で計 4 箇所測定した。

3.3 実験結果と考察

a. 圧送圧力

圧送距離と管内圧力との関係を図-4に示す。圧送速度 20m³/h でのピストン前面圧力は約 11.0N/mm² で、一般強度のコンクリートの場合(同一圧送条件で 1.0N/mm² 程度)に比べて非常に大きい値を示した。また、30m 以降の筒先側での最大圧力値は 4~5N/mm² 程度であった。H 管と M 管の使用圧力の許容値はそれぞれ 12.0N/mm²、7.0N/mm² であり、使用範囲の上限に近

表-5 ポンプ仕様

ピストン式超高压ポンプ車	
型式	BSF28M.16H (P社製)
最大理論吐出量(m³/h)	108(高压)/160(低压)
最大理論吐出圧(N/mm²)	13.0(高压)/8.5(低压)
コンクリートシリンダ径(φ)	230
ストローク長(mm)	2100

表-6 ポンプ圧送実験の測定・試験項目

測定・試験項目	試験方法	備考
フレッシュ	スランプフロー	JIS A 1150 現場着荷卸、
	空気量	JIS A 1128 圧送筒先
	コンクリート温度	JIS A 1156 実験終了後荷卸
硬化	圧縮強度	JIS A 1108 現場着荷卸: 標準水中、簡易断熱*1 材齢 28、56、91 日 圧送後、実験終了後荷卸: 標準水中、材齢 56 日
		ピストン 前面圧力
圧送 圧力	管内圧力	圧力変換器 定格容量 20MPa × 1 台 10MPa × 2 台 5MPa × 1 台 データロガー収録

\*1 簡易断熱(養生): 厚さ 20cm の断熱材(発砲スチロール等)で 6 面覆った養生槽での養生方法。供試体を断熱材で覆うことにより供試体の温度が柱構造部材の内部温度履歴に近いものとなり、簡易断熱養生供試体で構造体コア強度と同等の結果が得られる。

い輸送管の選定であった。実際の施工に際しては、以降に示す水平管内圧力損失のデータを参考に、管内圧力を算出して輸送管のグレードを決定することとなるが、今回の圧送条件で Fc150N/mm<sup>2</sup> 級コンクリートの圧送が可能であることを確認した。

吐出量（圧送速度）と水平管内の圧力損失との関係を図-5に示す。同図には、日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」<sup>4)</sup>（以下、「ポンプ施工指針」と称す）において、普通コンクリートのスランブ 21cm の圧力損失である標準圧力損失値 (K) と、既往文献で報告されている鳴瀬ら<sup>5)</sup> の Fc150N/mm<sup>2</sup> 級コンクリートの圧力損失値を併せて示す。実験の圧力損失は、水平2区間の平均値とした。圧送速度（吐出量）が大きいほど圧力損失が大きくなり、Fc150N/mm<sup>2</sup> 級コンクリートでは、標準圧力損失の約 18.5 倍になることが確認された。

鳴瀬らの実験値と比較すると、本実験で得られた圧力損失値はやや大きい傾向にあった。これは、鳴瀬らの実験で使用しているセメントが、低熱ポルトランドセメントに 15%以上のシリカフェームをプレミックスしたシリカフェームセメントであるため、本実験で使用したセメントよりシリカフェームの置換率が大きく、よりシリカフェームの粘性低減効果が発揮されたものと考えられる。

b. 圧送負荷の試算

圧力損失を標準値の 20 倍とし、ポンプ施工指針の算出式、式 (1) を用いて吐出量（圧送速度）15m<sup>3</sup>/h の場合における圧送負荷を求めた。配管条件と算出結果を表-7に示す。ここで、圧送負荷の算定開始点は、本実験で圧力計測を行ったポンプ車から 5.5m の位置とした。表-7に示す鉛直方向 10m+水平方向 50m の配管条件での圧送負荷は、7.6N/mm<sup>2</sup> で、ポンプ車から 5.5m の位置で計測された 8.0N/mm<sup>2</sup> より小さく、本条件での圧送が可能であることが確認された。Fc150N/mm<sup>2</sup> 級コンクリートの打設は低層階の柱部材に限られるため、実施工でのポンプ圧送は十分可能と考えられる。

$$P = K(L + 3B + 2T + 2F) + WH \times 10^{-3} \quad (1)$$

ここに、

P: コンクリートポンプに加わる圧送負荷 (N/mm<sup>2</sup>)

K: 水平配管の管内圧力損失 (N/mm<sup>2</sup>/m)

L: 直管の長さ (m)

B: ベント管の長さ (m)

T: テーパー管の長さ (m)

F: フレキシブルホースの長さ (m)

W: フレッシュコンクリートの単位容積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

H: 圧送高さ (m)

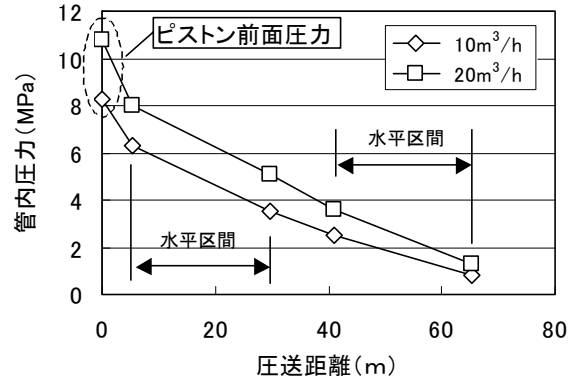


図-4 圧送距離と管内圧力の関係

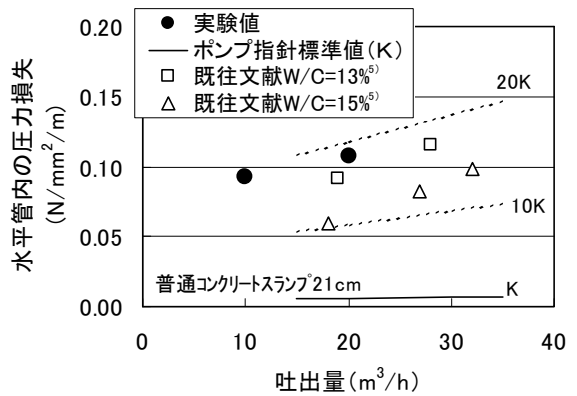


図-5 吐出量と水平管内の圧力損失の関係

表-7 圧送負荷の試算

項目		配管条件(入力値)	
水平配管の管内圧力損失 [吐出量 15m <sup>3</sup> /h の標準圧力損失 K 値 <sup>2)</sup> : 0.0054 N/mm <sup>2</sup> /m]		0.108 N/mm <sup>2</sup> /m = 0.0054 N/mm <sup>2</sup> /m × 20	
水平配管	直管(125A)の長さ	42 m	水平距離 50 m
	テーパ管(125A→100A)の長さ	1.0 m	
	フレキシブルホース(100A)の長さ	7.0 m	
ベント管の長さ		3.3 m = 1.65m × 2 本	
フレッシュコンクリートの単位容積重量		24.0 kN/m <sup>3</sup>	
圧送高さ		10 m	

P 圧送負荷の計算値: 7.6 N/mm<sup>2</sup>

計算値 7.6 N/mm<sup>2</sup> < 測定値<sup>\*3</sup> 8.0 N/mm<sup>2</sup>

\*2 ポンプ施工指針に示されている普通骨材・配管 125A および 100A におけるスランブ 21cm のコンクリート

\*3 圧送速度 20m<sup>3</sup>/h におけるポンプ車から 5.5m の輸送管位置での圧力測定値

表-8 フレッシュコンクリート性状の比較

	出荷後 経過時間	フレッシュ	
		スランブ 70-(cm)	空気量(%)
現着荷卸	30 分	55.0 x 54.0	1.9
圧送後	10m <sup>3</sup> /h	60 分	57.0 x 56.0
	20m <sup>3</sup> /h	75 分	55.5 x 54.0
経時(荷卸)試験 <sup>*4</sup>	90 分	54.5 x 53.0	1.8

\*4 圧送を行っていない試料

c. フレッシュコンクリートの性状

圧送前後のフレッシュコンクリートの性状を表-8に示す。スランプフロー、空気量は圧送前（荷卸）とほぼ同じで、圧送による影響はみられなかった。

d. 圧縮強度

材齢 56 日の圧縮強度試験結果を図-6に示す。圧送後の圧縮強度は、圧送前（荷卸）とほぼ同じであった。また、構造体を模擬した簡易断熱養生供試体の圧縮強度は 172N/mm<sup>2</sup> であり、Fc150N/mm<sup>2</sup> を満足することを確認した。

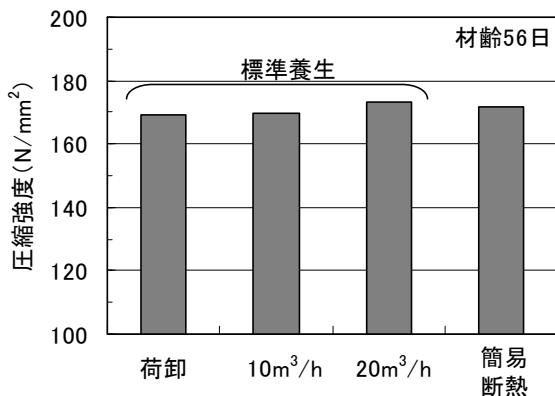


図-6 材齢 56 日の圧縮強度試験結果

4. まとめ

Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートのバケット打設実験とポンプ圧送実験から得られた結果を以下に示す。

- i. コンクリートホースを取付けたバケットからのコンクリート流下打込み時間は、1.0m<sup>3</sup>あたり 1.3 分で、4.0m<sup>3</sup>の柱部材の打設完了までに 25 分の時間を要する
- ii. バケット打設により、フレッシュコンクリートの空気量は微増したが、圧縮強度に大きな違いはみられない
- iii. ポンプ圧送における管内圧力損失は、日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」で標準値として示されている普通コンクリートのスランプ 21cm、配管 125A の値の 18.5 倍であった
- iv. 実施工における Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートのポンプ圧送は十分可能である
- v. 圧送速度 20m<sup>3</sup>/h までの範囲においては、フレッシュコンクリート性状および圧縮強度に影響はみられない

5. あとがき

今回の施工実験により Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートは、バケットによる打設およびポンプ圧送ともに

可能であることが確認できた。現場の状況に応じて施工法の選択が可能となった。

バケット打設実験に際しては、高松一丁目工事所の関係各位の協力を得た。ポンプ圧送実験に際しては、関東宇部コンクリート工業(株)大井工場、同豊洲工場、日本圧送(株)、並びに、(株)フローリックの関係各位の協力を得た。ここに付記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 例えば 黒岩秀介、河合邦彦、小田切智明、嵐山正樹、「Fc130N/mm<sup>2</sup> の高強度コンクリートを用いた超高層集合住宅の施工」、コンクリート工学、Vol.42、No10、pp.44-49、2004.10
- 2) 河野政典、起橋孝徳、吉本竜也、飯塚宏行、「Fc100N/mm<sup>2</sup> 高強度コンクリートの超高層集合住宅への適用」、奥村組技術研究年報、Vol.35、pp.125-130、2009.7
- 3) 起橋孝徳、河野政典、上西 隆、小竹琢雄、「Fc150N/mm<sup>2</sup> 級高強度コンクリートの調査に関する研究—骨材種類や混和材料が圧縮強度や収縮に及ぼす影響—」、奥村組技術研究年報、Vol.34、pp.129-134、2008.7
- 4) 日本建築学会、「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」、2009.11
- 5) 鳴瀬浩康、石中正人、中瀬博一、藤井和俊、「設計基準強度 150N/mm<sup>2</sup> 級超高強度コンクリートのポンプ圧送性に関する実験的研究」、日本建築学会技術報告集、第 15 巻、第 30 号、pp.359-362、2009.6