

超高強度コンクリートを用いたプレキャスト部材製造時の 極初期における構造体強度

Examination of Structural Strength in the Early Age of the Precast Member using Ultra High Strength Concrete

立松 和彦* 新田 稔*²

要 旨

設計基準強度（Fc）60N/mm²を超えるような超高強度コンクリートを用いる超高層RC造住宅の建設においては、プレキャストの柱および梁部材を現場で組み立てる工法が主流である。しかし、プレキャスト部材の製造においては、製造サイクル上、その脱型時強度がネックになることがある。そこで、プレキャスト部材における極初期の強度発現を把握するために実験を行った。その結果、Fc70,100の初期材齢においても簡易断熱養生は平均的な構造体強度の指標となり得ること、積算温度と圧縮強度は良好な相関を示すことなどがわかった。

キーワード：超高強度コンクリート／プレキャスト／構造体強度／脱型時強度／積算温度

1. はじめに

近年、設計基準強度（Fc）60N/mm²を超えるような、いわゆる超高強度コンクリートによる超高層RC造住宅が数多く建設されている。それらの多くは、プレキャストの柱および梁部材を現場で組み立て、その接合部のみ場所打ちコンクリートを打設している。このことは、構造体コンクリートの品質の大部分は、プレキャスト部材の製作段階で決まることを意味する。もちろん、プレキャスト部材にすることで、現場打設及び養生に起因する品質の変動を小さくできることや工程の面などでのメリットも生じる。一方、その製造においては、製造サイクル上、脱型時強度がネックになることがある。プレキャスト部材では、長期材齢での強度発現だけでなく、初期の強度発現を把握しておくことも重要であるが、超高強度コンクリートでの研究・報告事例¹⁾は非常に少ない。

本報告は、Fc70、同100N/mm²クラスの超高強度コンクリートの柱模擬部材による、材齢15h・20h・40hの極初期における構造体強度を検証した結果についてまとめたものである。

2. 概 要

2.1 使用材料および調合

セメントは3成分系特殊セメント（略称；VKCセメント）を、骨材は粗骨材・細骨材とも硬質砂岩の碎石・砕砂を使用した。混和剤は、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤を用いた。調合は、Fc70がW/C33.5%、Fc100がW/C22.0%、単位水量はともに155kg/m³である。目標

表－1 試験項目

試験項目	詳 細
(1) フレッシュコンクリート	スランプフロー、空気量、コンクリート温度、推定W/C
(2) 硬化コンクリート	
a) シリンダー圧縮強度	標準水中養生－材齢28day, 91day 簡易断熱養生－材齢15h, 20h, 40h, 28day, 91day
b) コア圧縮強度	中央・コーナー部：材齢15h, 20h, 40h
c) コンクリート表面の反発度	脱型した面の中央：コア採取直前
d) コンクリートブロックの内部温度	中央・コーナー部

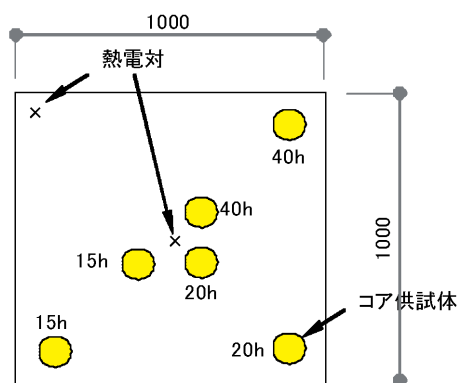
スランプフローおよび空気量は、Fc70が55cm・3%、Fc100が65cm・2%である。

2.2 試験項目など

表－1に試験項目を示す。水セメント比ごとに幅1.0m×奥行き1.0m×高さ0.7mの柱模擬部材（コンクリートブロック）を1体作製した。ブロックの上下は厚さ20cmのスチロールを配置して、上下の断熱性を確保した。簡易断熱養生の供試体は、作製直後に周囲厚さ20cmのスチロール養生箱内に設置した。試験材齢15h, 20h, 40h用の養生箱はそれぞれ別個の物とした。コア供試体は鉛直方向に採取し、3分割して試験に供した。コンクリート表面の反発度は、N型リバウンドハンマーを用いて水平方向に16点打撃した。コンクリートブロックの内部温度は、T熱電対を打込んで測定した。

*技術研究所建築研究グループ

*²東京本店機材プレハブ工場



図－１ 柱模擬部材の平面概略図

表－２ フレッシュ試験結果

試験項目 \ 試料		Fc70 W/C33.5%	Fc100 W/C22.0%
スランブフロー	cm	55.5×52.5	67.5×66.0
50cmフロー時間	sec	11.97	7.52
空気量	%	3.8	1.7
コンクリート温度	℃	21.0	22.0
推定W/C	%	36.0	23.3

2.3 柱模擬部材および試験手順

柱模擬部材の平面図を図－１に示す。所定の材齢で強度試験ができるように、各材齢の約１時間前に型枠の１側面を脱型して反発度を測定し、コアを２本（中央・コーナー）採取している。例えば、材齢１４時間で図の左面のみを脱型して上部の断熱材を外し、側面の反発度測定後に１５時間用のコアを採取している。採取後は上面の断熱材のみ元に戻している。この手順を順次、繰り返した。

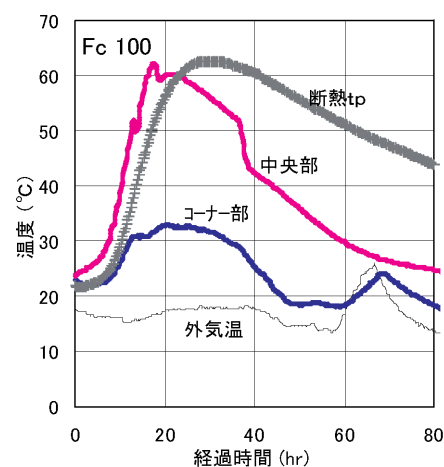
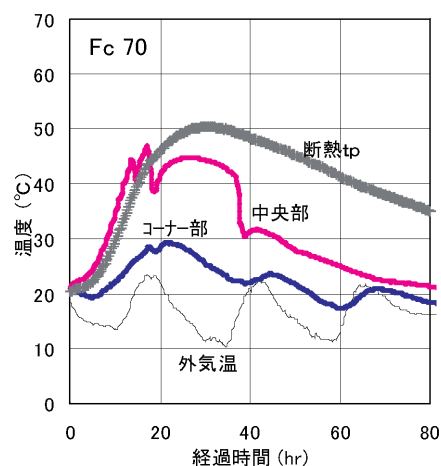
3. 結果及び考察

3.1 フレッシュ試験結果

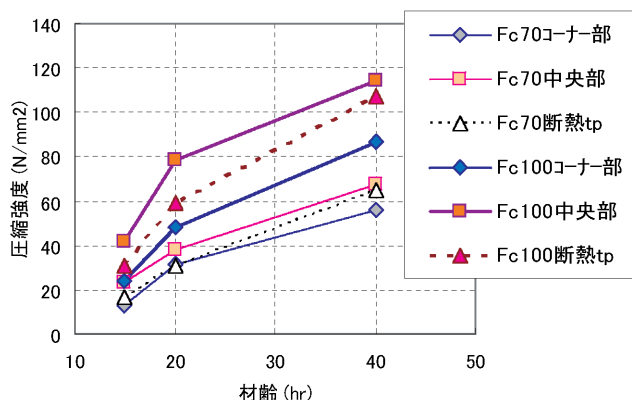
表－２にフレッシュ試験の結果を示す。高周波加熱乾燥法で推定したW/Cは、Fc70, Fc100ともやや大きな値であった。

3.2 温度測定結果

図－２に温度測定結果を示す。簡易断熱養生供試体の温度も併せて示した。材齢15h, 20hでは、Fc70, Fc100とも温度上昇の途上であることがわかる。中央部の最高温度はFc70で47℃、Fc100で62℃であった。今回の条件と近いW/Cおよび温度条件（コンクリート温度21～25℃）で、脱型しない場合の中央部最高温度を比較すると、Fc70で約13℃、Fc100で約10℃低くなっている。実際の部材製造において材齢１日で脱型する場合は今回のように、最高温度の抑制も可能と考えられる。



図－２ 温度測定結果



図－３ 強度試験結果

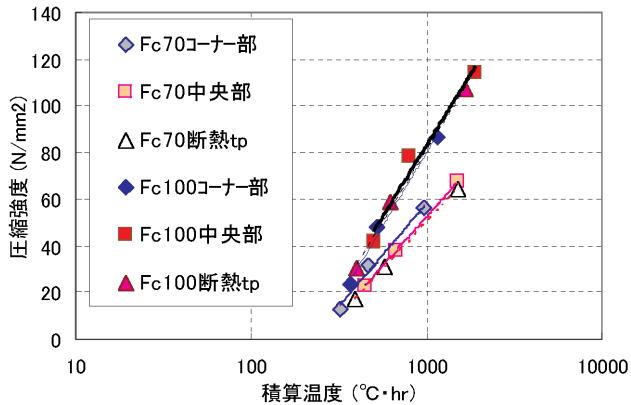
3.3 強度試験結果

表－３および図－３に、強度関係の試験結果一覧を示す。標準養生の28日強度は、それまでの実験をもとに定めていた調合強度式による値をFc70, Fc100とも数N/mm²上回っていた。コア強度と簡易断熱tp強度の関係では、Fc70の20hを除いて、中央コア>簡易断熱tp>コーナーコアであり、Fc70, 100の初期材齢においても簡易断熱養生

表－3 強度関連の試験結果

試験項目 \ 試料		Fc70 W/C33.5%		Fc100 W/C22.0%	
シリンダー強度	標準養生				
	28day	96.6		132	
	91day	110		142	
	簡易断熱養生				
	15h	16.8		30.5	
	20h	31.0		58.9	
	40h	64.6		107	
	28day	91.2		141	
	91day	97.3		140	
コア強度		中央	コーナー部	中央	コーナー部
	15h	22.9	12.6	41.5	23.5
	20h	37.9	31.4	78.3	47.9
	40h	67.3	56.2	114	86.4
	反発度		16点の平均		16点の平均
15h		21.6		33.4	
20h		26.8		38.4	
40h		34.1		46.0	

備考) 強度は、それぞれ3本の平均を示す。[N/mm²]



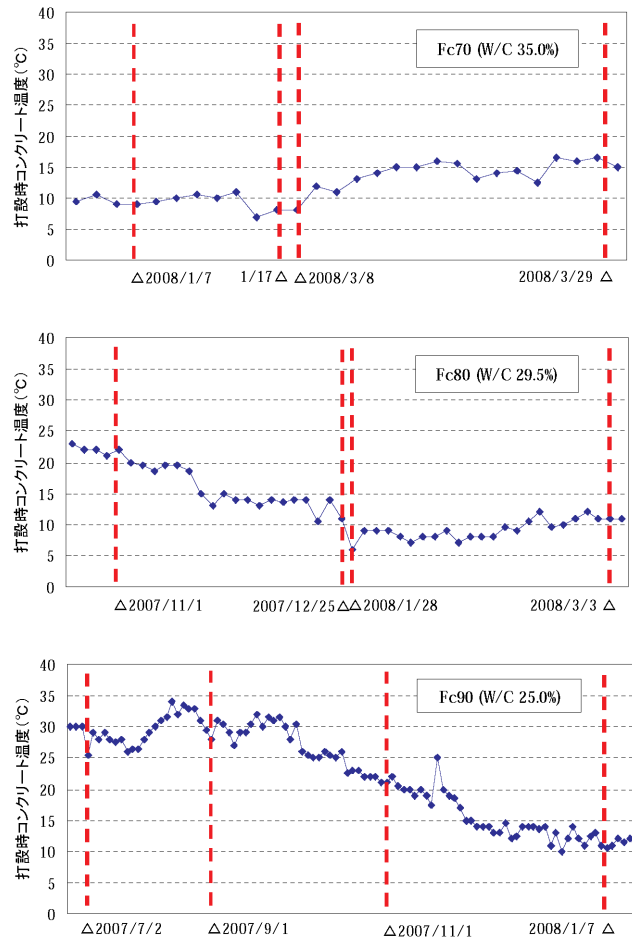
図－4 積算温度と強度の関係

生は平均的な構造体強度の指標となり得ることを示している。

一方、部材型枠の脱型時所要強度を15N/mm²とすると、Fc70の15hでは、中央部コアおよび簡易断熱tpでは15N/mm²を上回っているが、コーナー部コアでは12.6N/mm²であり、所要強度に達していない。すなわち、簡易断熱養生tpの強度だけで表層部分の構造体強度を判断するには注意が必要ながわかる。そこで、積算温度との関係を検討した。ここでいう積算温度は、0℃を基準とし、1時間ごとのコンクリート温度を積算した、℃・hrである¹⁾。図－4に結果を示す。Fcごとに、コアの中央・コーナーおよび簡易断熱tpの積算温度と圧縮強度は良好な相関を示した。データを蓄積すれば部材の製造管理にも活用が可能と考えられる。

4. 実製造時の脱型時強度

平成19年6月下旬から平成20年3月末まで、Fc70、80、

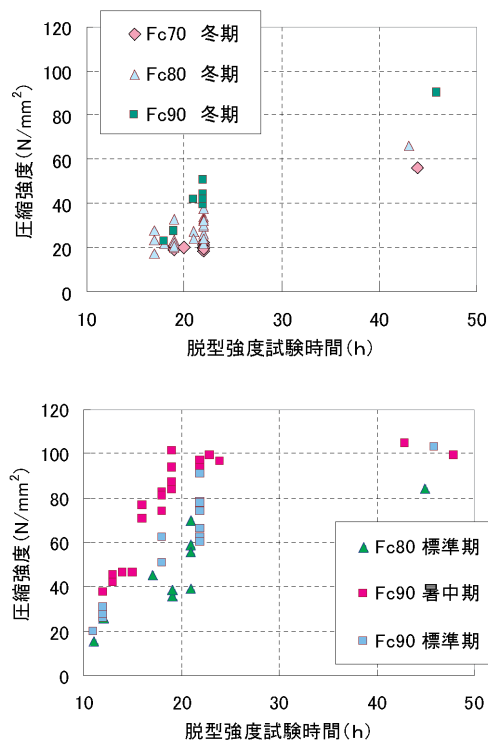


図－5 実部材製造時のコンクリート温度

90N/mm²の柱部材（断面寸法は約1m角）を製造した。その際の、打設時のコンクリート温度、脱型強度試験材齢（h）、脱型時強度（簡易断熱養生テストピースによる）について検討した。まず、図－5に実部材製造時のコンクリート温度をFcごとに示す。Fc70は冬期、Fc80は標準期および冬期、Fc90は暑中期、標準期および冬期の製造である。また、脱型は基本的に翌日であるが、時間としては標準期・暑中期の最短で11～12時間、冬期では16～17時間である。休日などが入ると、45時間から90時間のこともある。

図－4のような積算温度で検討するデータをとっていないので、製造時のコンクリート温度をもとにして、脱型強度試験時の材齢と強度の関係を分析することにした。わかりやすくするためにここでは、製造時のコンクリート温度12℃以下を「冬期」、標準期は20±2℃、「暑中期」は30℃以上、とした。図－6は脱型強度試験時間と強度との関係を示したものである。

図－6から、脱型時の所要強度として、例えば「材齢15時間で15N/mm²（あるいは20N/mm²）以上」とすると、



図－6 脱型強度試験時間と強度

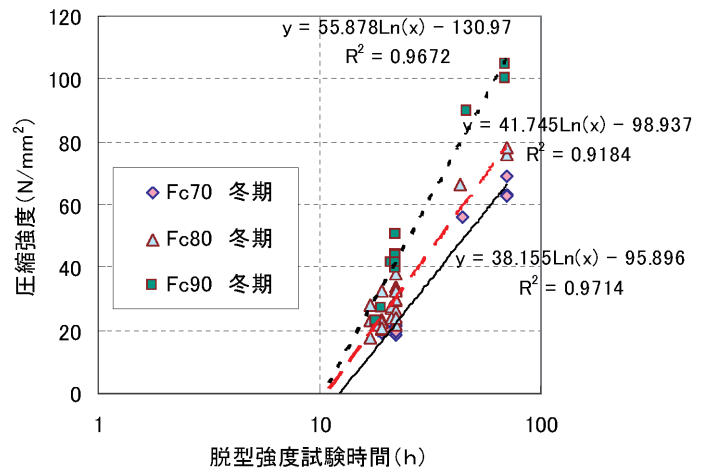
標準期・暑中期はFc70、80、90N/mm²のいずれも問題になる危険性は小さいが、冬期ではFcによっては所要強度に達していない場合があり得ることがわかる。

そこで、図－7のように、冬期のデータを対数で近似すると、脱型強度試験時の材齢と強度との間にはFcごとに良好な相関が認められた。この相関関係から、脱型時の所要強度を15N/mm²として材齢を計算すると、Fc70では18.2時間、Fc80では15.4時間、Fc90では13.6時間となる。すなわち、冬期のFc70およびFc80では15時間で15N/mm²以上の強度を発現することは難しいことがわかる。前述の構造体強度の検討結果と併せて考えると、表層部の構造体強度として必要な15N/mm²を満足させるために、管理用tpの簡易断熱養生の強度で20N/mm²程度を脱型時の所要強度とすることが望ましいと考えられる。

5. おわりに

Fc70、100N/mm²クラスの超高強度コンクリートを用いたプレキャスト部材の、材齢15h・20h・40hの極初期における構造体強度に関する検討を行った。また、実部材製造時の脱型時強度についてもデータを分析した。結果をまとめると以下の通りである。

- 1) Fc70,100の初期材齢においても簡易断熱養生は平均的な構造体強度の指標となり得る。



図－7 脱型強度試験時間と強度

- 2) 簡易断熱養生tpの強度だけで表層部分の構造体強度を判断するには注意が必要である。
- 3) 0℃を基準とし、1時間ごとのコンクリート温度を積算した、℃・hrで求めた積算温度とコア強度および簡易断熱tp強度はFcごとに良好な相関を示した。データを蓄積すれば部材の製造管理にも活用が可能と考えられる。
- 4) 実部材製造時の脱型時強度については、冬期の場合に脱型時強度が下回る恐れがあるが、脱型時強度の材齢と強度との間にはFcごとに良好な相関が認められた。この相関関係をもとにすれば適切な管理が可能になる。

[参考文献]

- 1) 松田、西本、蓮尾、河上：初期に温度履歴を受けたコンクリートの若材齢強度の評価手法に関する検討、三井住友建設技術研究所報告 第3号、pp.179-184, 2005.9
- 2) 立松和彦、山崎順二：簡易断熱養生による高強度コンクリートの構造体強度の品質管理およびS値、日本建築学会技術報告集 第15号、pp.11-14, 2002.6