

報告

[1042] 超高層 RC 造に用いた高強度 PCa 部材の品質

梅本宗宏¹・佐治 昭²・寺井靖人²・平賀友晃³

1. はじめに

近年、高強度コンクリートを使用した超高層 RC 造が数多く建てられる中、現場作業の省力化、施工の合理化および躯体精度・品質の向上を目的として、構造部材のプレキャスト（以下 PCa と略記）化が進められている。従来の PCa 部材では、現場に比べ品質の安定した工場で生産され、必要な設計基準強度を得るための調合強度よりも、脱型強度を得るために必要な調合強度が大きくなることが多く、構造体のコンクリート強度管理に、蒸気養生の影響や、その後の養生について考慮した実施の報告は少なかった。しかし、コンクリート強度が蒸気養生の影響により低下すること[1]や、最近では、高強度コンクリートにおける蒸気養生の影響に[2,3]について報告されており、筆者らも、高強度コンクリートの蒸気養生の影響および品質管理方法について、数年前から検討してきた[4,5]。本報告では、地域の異なる複数の現場において実施した結果をもとに、実施工時の変動を踏まえて、PCa 部材に用いた高強度コンクリートの品質について報告する。

2. 施工概要

今回のデータに用いたコンクリートは、地域の異なる超高層 RC 造建物の 2 現場で、部分 PCa 大梁・合成床用薄肉 PCa 板の製作に用い、現場打ちコンクリートと同じレディーミクストコンクリート工場で製造した。表-1 に、A、B、C の各工場毎の概要およびコンクリートの使用材料を示す。コンクリートの調合は、試し練り、蒸気養生の影響に関する実験結果[4]および実大施工実験結果を踏まえ、以下の式を満足するように定めた。各工場毎の調合表を表-2 に示す。

蒸気養生は、事前検討の結果から、蒸気養生サイクルを、前養生 20°C・3 時間、昇温 20°C/h、最高温度 50°C・3 時間、降温 10°C/h とした。PCa 部材は、ほぼ毎日製作し、10~15m³/日程度の打設に対して所定の品質管理試験を実施した。

$$F_{28} \geq (F_c + T + K\sigma) / \alpha \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

- F₂₈ : 調合強度 (kgf/cm²)
- F_c : 設計基準強度 (kgf/cm²)
- F_c + T : 気温補正強度 (kgf/cm²)
- K : 正規偏差 (K=2~2.5)
- σ : 標準偏差 (kgf/cm²)
- α : 補正係数 (α=0.9)

表-1 工場毎の概要および使用材料

プラント	A	B	C
施工場所	香川県綾歌郡宇多津町		札幌市
PC 製造形態	現場サイト工場		PC工場
設計基準強度	420~360	360~270	360~270
セメント	普通 ポルトランドセメント	普通 ポルトランドセメント	普通 ポルトランドセメント
細骨材	室木島沖海砂 笠岡産砕砂	室木島沖海砂 土器川産砕砂	幌延産陸砂
粗骨材	笠岡産砕石	土器川産砕石	当別産川砂利
混和剤	高性能 AE減水剤 (7メチルノルボン系)	高性能 AE減水剤 (7メチルノルボン系)	高性能 AE減水剤 (7メチルノルボン系)

* 1 戸田建設（株）技術研究所建築技術研究開発室、工修（正会員）
 * 2 戸田建設（株）建築工事技術部技術課主任
 * 3 戸田建設（株）技術研究所材料施工室室長、工博（正会員）

表-2 コンクリートの調合

工場	Fc+T (kgf/cm ²)	スランプ ^o (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	水 (kg)	セメント (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	Add (kg)
A	420	12±2.5	4.0±1.0	33.0	37.0	157	476	615	1077	10.948
	405	12±2.5	4.0±1.0	34.0	37.0	157	462	619	1082	10.626
	390	12±2.5	4.0±1.0	35.0	38.0	157	449	606	1072	9.878
	375	12±2.5	4.0±1.0	36.0	39.0	157	436	660	1063	9.592
	360	12±2.5	4.0±1.0	37.0	39.0	157	424	666	1067	8.904
B	405	12±2.5	4.0±1.0	32.0	35.0	156	488	584	1106	6.300
	390	12±2.5	4.0±1.0	33.0	36.0	156	473	602	1098	6.100
	375	12±2.5	4.0±1.0	34.0	36.0	157	462	607	1100	6.000
	360	12±2.5	4.0±1.0	35.0	37.0	157	449	625	1090	5.837
	345	12±2.5	4.0±1.0	37.0	38.0	157	424	650	1087	5.500
	300	12±2.5	4.0±1.0	42.0	41.0	158	376	717	1056	4.900
C	360	12±2.5	4.5±1.0	34.3	39.5	142	414	716	1082	2.898
	330	12±2.5	4.5±1.0	35.7	39.9	141	395	732	1085	2.765
	300	12±2.5	4.5±1.0	37.2	40.3	140	376	745	1090	2.633

Fc+T: 気温補正強度、W/C: 水セメント比、s/a: 細骨材率、Add: 高性能A E減水剤

3. フレッシュコンクリートの品質

コンクリートの受け入れ試験は、コンクリートの品質が安定するまでは各運搬車毎に実施し、品質が安定してからは、1日1回の試験とした。図-1、図-2に各工場毎のスランプおよび空気量の試験結果を示す。各工場とも変動は小さく、表-2に示す管理基準内にあった。

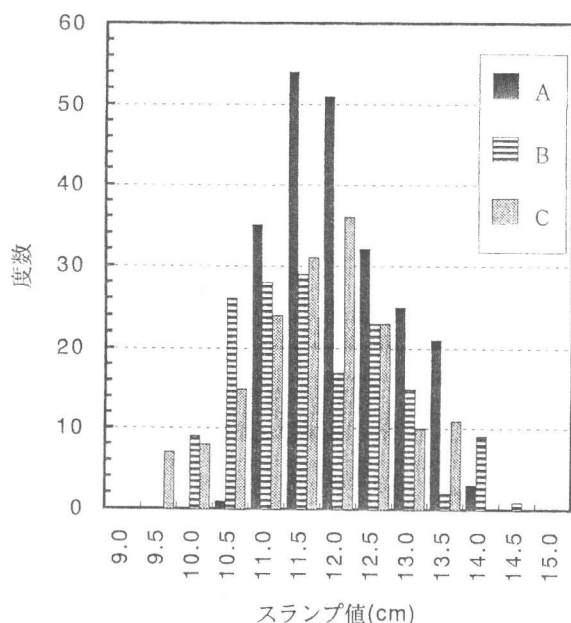


図-1 スランプ試験結果

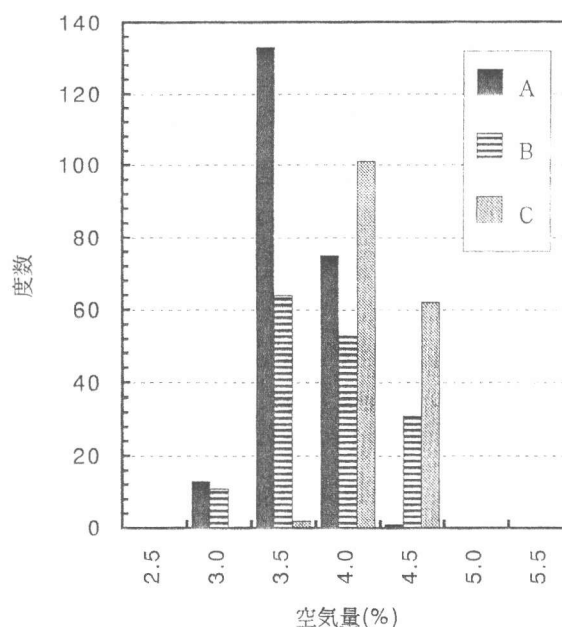


図-2 空気量試験結果

4. 硬化コンクリートの品質

4.1 管理用供試体の品質結果

表-3に、各工場で得られた圧縮強度結果を示す。使用するコンクリートの変動係数は、各工場とも5~7%の範囲で安定した結果が得られた。構造体コンクリートの変動係数は、使用するコンクリートに比べ、サイト工場に供給したA、B工場で大きく、C工場では安定していた。

表-3 圧縮強度結果（管理材齢28日）

工場	水セメント比 (%)	使用するコンクリート*				構造体コンクリート**			
		試験回数 (回)	平均 (kgf/cm ²)	標準偏差 (kgf/cm ²)	変動係数 (%)	試験回数 (回)	平均 (kgf/cm ²)	標準偏差 (kgf/cm ²)	変動係数 (%)
A	33.0	44	650.0	38.5	5.9	44	597.6	56.3	9.4
	34.0	22	663.6	28.4	4.3	22	550.1	67.3	12.2
	35.0	66	637.3	42.3	6.6	66	560.7	46.9	8.4
	36.0	15	653.7	29.5	4.5	15	577.5	43.3	7.5
	37.0	75	579.3	41.2	7.1	75	528.1	43.9	8.3
B	32.0	34	600.9	27.7	4.6	34	497.9	40.4	8.1
	33.0	23	618.4	28.7	4.6	23	533.5	39.8	7.5
	34.0	37	604.2	25.0	4.1	37	509.4	29.7	5.8
	35.0	3	582.7	54.2	9.3	3	510.3	23.0	4.5
	37.0	34	526.0	24.2	4.6	34	445.6	33.5	7.5
C	42.0	28	500.1	28.5	5.7	28	439.8	46.0	10.5
	34.3	81	493.0	29.4	6.0	16	566.1	32.1	5.7
	35.7	25	461.0	29.2	6.3	25	496.6	29.0	5.8
	37.2	46	453.5	30.0	6.6	46	469.8	36.6	7.8

*：標準養生、**：蒸気養生後現場水中養生

4. 2 強度式

図-3に、セメント水比に対する標準養生28日強度の関係の一例（A工場）を示す。AおよびB工場では、設計基準強度が300kgf/cm²以上の実績がほとんどなく、設計式に5%程度の安全を見込んでいたため、実績の回帰式が安全側にあった。C工場では、過去の出荷実績もあり、ほぼ設計式に近い回帰式が得られた。

4. 3 蒸気養生の影響に関する考察

図-4に、打込みから28日間の平均養生温度と標準養生に対する蒸気養生後の供試体の強度比の関係を示す。この図では、強度比が、各養生温度において、ほぼ同程度の範囲に分布している。これは、蒸気養生後のコンクリートの強度発現に対する、その後の養生温度による影響は小さく、その後の養生温度にかかわらずほぼ一様の蒸気養生の影響を受けるといえる。また、設計時の補正係数（ $\alpha = 0.9$ ）を下回ったものや、工場毎の違いがあるので、工場毎に事前に検討する必要が考えられる。

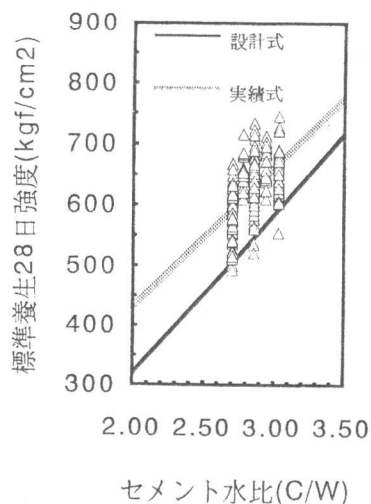


図-3 セメント水比と標準養生28日強度の関係の一例（A工場）

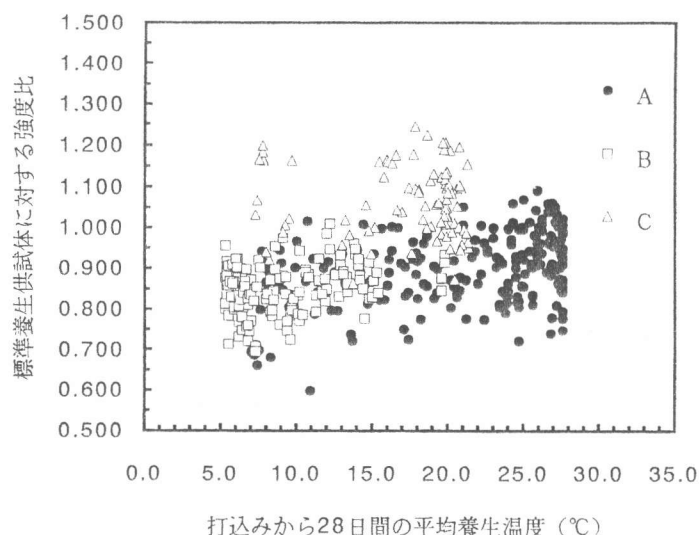


図-4 打込みから28日間の平均養生温度と蒸気養生後供試体の強度比の関係

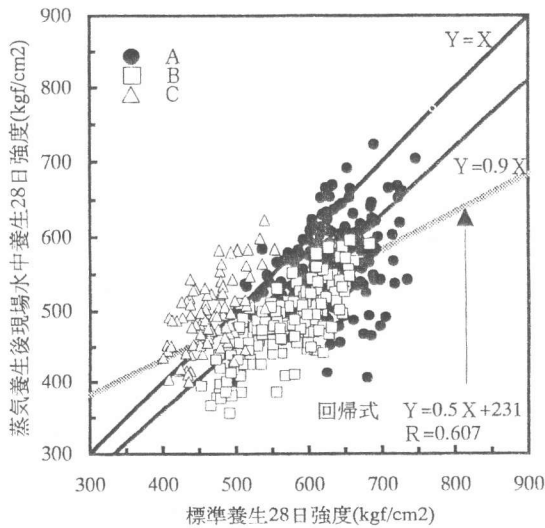


図-5 標準養生28日強度と蒸気養生後現場水中養生28日強度の関係

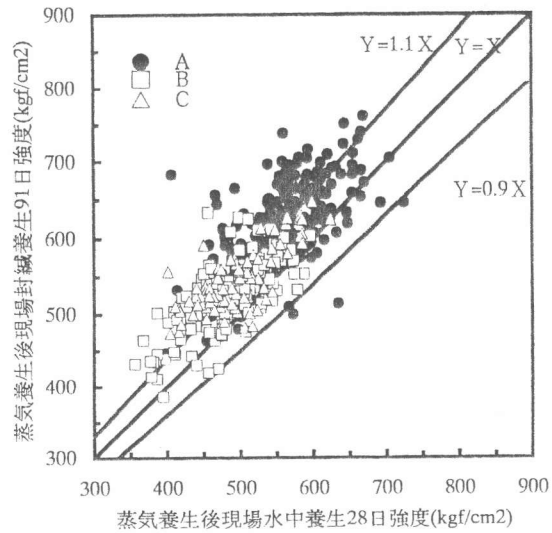


図-6 蒸気養生後現場水中養生28日強度と蒸気養生後現場封緘養生91日強度の関係

図-5に、標準養生28日強度と蒸気養生後現場水中養生28日強度の関係を示す。工場毎や全体のばらつきは大きいものの、蒸気養生後供試体の強度が、標準養生に比べ高強度ほど低下率が大きくなる弱い傾向があり、標準養生強度が500kgf/cm²を越える範囲においては、10%を越えて低下したものも多い。図-6に、蒸気養生後現場水中養生28日強度と蒸気養生後現場封緘養生91日強度の関係を示す。材齢28日から91日にかけて、ほぼ10%程度の強度の増進がみられた。

5. まとめ

本報告では、実施工時における、PCa部材に用いた高強度コンクリートの品質結果と、蒸気養生の影響について若干の考察を行った。本報告で得られた結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 各工場で得られた試験結果は、フレッシュコンクリート、硬化コンクリートとも要求する品質を満足することができたが、設計時の補正係数を下回るものも多く見受けられた。
- 2) 蒸気養生した高強度コンクリートの強度発現は、標準養生に比べ高強度ほど低下率が大きくなる弱い傾向があり、標準養生強度が500kgf/cm²を越える範囲においては、10%を越えて低下したものも多い。また、蒸気養生後のコンクリートの強度発現に対する、その後の養生温度の影響は小さいものの、材齢28日から91日にかけて、ほぼ10%程度の強度の増進がみられた。

[参考文献]

- 1) 鈴木宣夫・福士 勲：蒸気養生コンクリートの調合設計に関する一実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp125-126、1976.10
- 2) 瀬口健夫ほか：遠心成形プレキャストコンクリート柱のコンクリート強度分布、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp323-234、1989.10
- 3) 白石清隆ほか：高強度プレキャストコンクリートの促進養生条件と強度性状（その2．冬期実験における強度性状）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp1091-1092、1993.9
- 4) 寺井靖人ほか：PCa部材と機械式継手を用いた超高層RC造の施工性の検討（その2 PCa部材に関する検討）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp897-898、1992.8
- 5) 梅本宗宏ほか：PCa部材と機械式継手を用いた超高層RC造の施工性の検討（その3 コンクリートの品質）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp899-900、1992.8