

# 論文 低発熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの柱構造体強度の検討

梅本宗宏<sup>\*1</sup>・篠崎 徹<sup>\*2</sup>・板谷俊郎<sup>\*1</sup>・平賀友晃<sup>\*3</sup>

**要旨:**柱部材の実大試験体を季節ごとに打設し、低発熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの柱構造体強度に関して、強度発現および品質を確認した。実験の結果、低発熱ポルトランドセメントは、コア圧縮強度が80~100MPa程度でS値がほとんど5MPa以下であるのに対し、普通ポルトランドセメントは、コア強度が80MPa程度でS値が15MPa程度となる。S値は打ち込みから28日間の平均養生温度に大きく影響され、調合設計時には平均養生温度に応じたS値を採用する必要がある。実大試験体におけるコア圧縮強度の標準偏差は、変動係数が8%以下であった。

**キーワード:**高強度コンクリート、低発熱ポルトランドセメント、コア圧縮強度

## 1. はじめに

近年、設計基準強度60MPaクラスの実用的な高強度コンクリートの開発と構造・施工技術の向上によって、20~40階建ての高層RC造建築物が数多く建設されるようになり、さらなる高層化の要求から100MPaクラスの超高強度コンクリートの実用化への研究が進められている。これらの高強度コンクリートでは、部材の大型化やコンクリートの自己発熱の影響が強度の増進を阻害する事などが指摘[1]され、発熱性状を改善できる高ビーライト系の低発熱ポルトランドセメントの高強度コンクリートへの適用が検討され始めている[2]。一方、建設省総プロ(NewRC)報告書[3]では、構造体コンクリート強度(材齢91日コア圧縮強度)と標準水中養生供試体材齢28日圧縮強度の差(以下S値)を調合に組み込むことを規定しているが、現状では各現場ごとの個別実験対応が求められており、低発熱ポルトランドセメントでは実大部材レベルでの実験データも非常に少ない。

本研究では、低発熱ポルトランドセメントを用いた設計基準強度60~100MPaクラスの調合におけるS値の基礎資料の収集を目的に、柱部材の実大試験体における打込み実験を実施し、得られた柱構造体の圧縮強度、品質およびS値について検討した結果について報告する。

## 2. 実験概要

実験は、季節変動を考慮して、夏期(8月)、冬期(12月)および標準期(10月)の3回実施した。

### 2.1 使用材料および調合

表-1に、使用材料を示す。本実験では、低発熱ポルトランドセメント(以下LH)とともに60MPaクラスの比較用に普通ポル

表-1 使用材料

セメント	低発熱ポルトランドセメント、比重3.20 普通ポルトランドセメント、比重3.16
細骨材	鹿島産陸砂、比重2.60、FM2.60 葛生産碎砂、比重2.66、FM2.70 7:3で混合
粗骨材	岩瀬産碎石、比重2.64、FM6.68、実績率60%
混和材	シリカフューム、比重2.2、比表面積200000cm <sup>2</sup> /g
混和剤	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)

\*1 戸田建設(株)技術研究所研究第3室(材料)、工修

\*2 戸田建設(株)技術研究所研究第3室(材料)プロジェクトサブマネージャー

\*3 戸田建設(株)技術研究所室長、工博

トランドセメント(以下OPC)を併せて用いた。表-2に、実験に用いた低発熱ポルトランドセメントおよび普通ポルトランドセメントの物性を示す。表-3に、調合を示す。水結合材比が25・22%では混和材にシリカフュームを使用した調合(以下SF)とし、セメント重量の10%をシリカフュームに置換した。各セメント(LH・OPC)とも水結合材比の27・30%は、目標スランプを25cm、空気量を3%、LHの25%は、スランプフロー65cm、空気量3%、シリカフュームを加えたSF25・22%は、スランプフロー65cm、空気量1%に設定した。

## 2.2 試験体

図-1に、試験体の形状を示す。試験体は、柱部材を想定した断面寸法850×850mmで高さ3000mmの実大試験体、および柱の中間部を想定し上下端部を断熱材で覆った高さ1000mmの模擬試験体の2種類とし、共に無筋とした。表-4に、実験時期と調合の組み合わせを示す。各セメントとも、水セメント比27%で実大試験体および模擬試験体を実施し、他は実大試験体のみ実験に供した。

## 2.3 試験項目および実験手順

コンクリートの製造は、レディーミキストコンクリート工場の強制2軸練りミキサ(容量3m<sup>3</sup>)を使用した。1バッチの練り量を2m<sup>3</sup>とし、モルタル先練り後、粗骨材を投入した。コンクリートは、トラックアジテータ車を用い、約25分で実験場所に運搬した。試験体は、バケットを用いて打込み、打上がり高さ約50cmごとに棒状バイブレータで締固めた。型枠は、材齢5日で脱型し、以後試験体は特別な養生は行わなかった。表-5に、試験項目を示す。円柱供試体の温度追従養生は、実大試験体の中央の温度に追従させた水槽の中で封緘養生を行った。断熱養生は、φ10×20cmの供試体をポリスチロール製(厚さ

表-2 セメントの物性

項目		L H		O P C	
比重		3.20		3.16	
比表面積(cm/g)		4150		3320	
凝結(h-min)	始発	終結	2-30	3-30	2-30 3-35
圧縮強さ (MPa)	3日		12.3		15.7
	7日		17.8		26.8
	28日		40.9		43.0
水和熱(cal/g)	7日	28日	60.6	73.1	- -
C <sub>3</sub> S (%)		35		-	
C <sub>3</sub> A (%)		3		-	

表-3 コンクリートの調合

調合番号	W/B (%)	s/a (%)	水 (kg)	セメント (kg)	沙利 (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	混和剤 (C×%)
SF22	22	46.7	155	634	70	519	222	850 1.60
SF25	25	49.1	155	558	62	570	244	850 1.36
LH25	25	43.1	165	660	-	508	218	850 1.28
LH27	27	44.3	165	612	-	499	214	903 0.95
LH30	30	43.1	165	550	-	500	215	950 0.78
OPC27	27	44.0	165	612	-	494	212	903 1.80
OPC30	30	42.9	165	550	-	497	213	950 1.45

[NOTE]W/B:水結合材比=W/(C+SF)、s/a:細骨材率、沙利:シリカフューム、混和剤の添加量は標準期の値

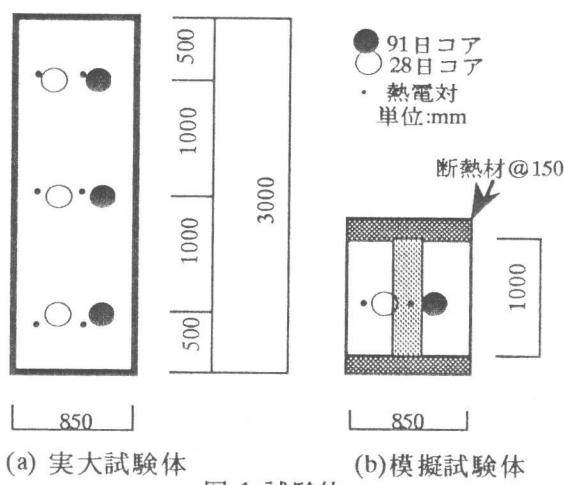


図-1 試験体

表-4 実験時期と調合の組み合わせ

調合	SF22	SP25	LH25	LH27	LH30	OPC27	OPC30
夏期				◎		◎	
冬期				◎	○	◎	○
標準期	○	○	○	○	○	○	○

[NOTE]◎:実大および模擬試験体、○:実大試験体のみ

150mm)の箱の中で封緘養生を行った。温度追従・断熱養生とも材齢5日まで所定の養生を行い、以後は現場封緘養生とした。コアは材齢28日・91日で打上がり高さ方向に3カ所ずつ採取し、1カ所から4個の供試体を作成した。また、コンクリート温度は、コア採取と同じ高さの中心と表層部に熱電対を取り付けて測定した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 フレッシュコンクリート

表-6にフレッシュコンクリートの受け入れ試験結果を示す。スランプに、ややばらつきがあり、目標の空気量を下回ったものが多いが、ワーカビリティーは良好で、脱型後の表面の気泡も少なかった。

#### 3.2 温度履歴

図-2に、実大試験体の中心部の温度履歴測定結果の一例(標準期)を示す。各季節とも低発熱ポルトランドセメントの方が普通ポルトランドセメントを用いたものより最高温度で約14~23°C低く、最高温度到達時間が数時間程度遅くなっている。標準期では、低発熱ポルトランドセメントを使用した調合は、最高温度が60°C前後であり最高温度によるコア強度の低下[4]の可能性が少ない程度に抑えることができた。

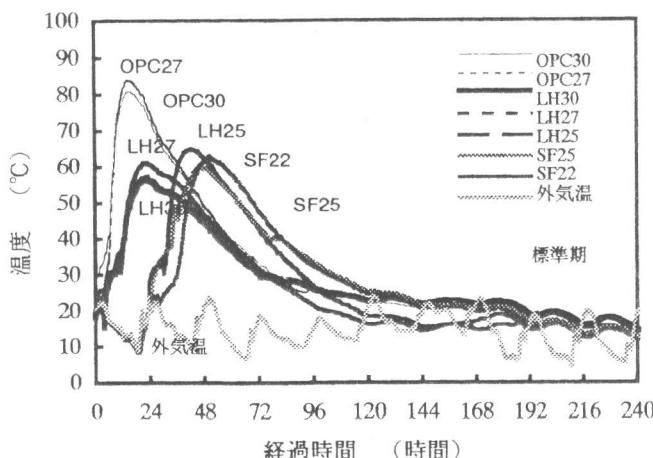


図-2 温度履歴測定結果の一例(標準期)

表-5 試験項目

試験対象	試験項目
フレッシュコンクリート	スランプ・スランプフロー試験、Lフロー試験 空気量、コンクリート温度、単位体積質量
硬化コンクリート	圧縮強度 ( $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ) 標準水中・封緘・水中・温度追従・断熱養生 コア強度 (材齢28・91日)、温度履歴測定

表-6 フレッシュコンクリートの受け入れ試験結果

調合	スランプ(cm)	スランプフロー(cm)	L-J-R停止時間(s)	L30cm速度(cm/s)	空気量(%)	温度(°C)
夏期	LH27	27.0	62.0	29.5	4.9	1.2 32.5
	OPC27	23.5	44.0	21.7	6.0	2.1 38.1
冬期	LH27	23.5	43.5	30.0	4.3	2.6 16.0
	LH30	25.0	53.0	30.5	9.4	2.2 15.0
標準期	OPC27	22.5	38.0	29.0	2.8	1.5 18.0
	OPC30	26.0	66.5	119.0	9.4	0.9 18.0
標準期	SF22	-	60.0	64.7	2.5	1.7 23.0
	SF25	-	57.0	37.7	2.6	1.8 23.0
	LH25	-	66.5	62.8	3.6	1.8 21.5
	LH27	24.5	48.0	15.0	4.6	3.0 23.0
	LH30	23.0	44.0	12.6	6.4	2.7 23.0
	OPC27	24.0	46.5	23.7	7.7	1.6 28.0
	OPC30	23.0	43.5	26.6	5.4	1.6 26.0

[NOTE] L30cm速度:L-J-R試験の0~30cm間のL-J-R速度

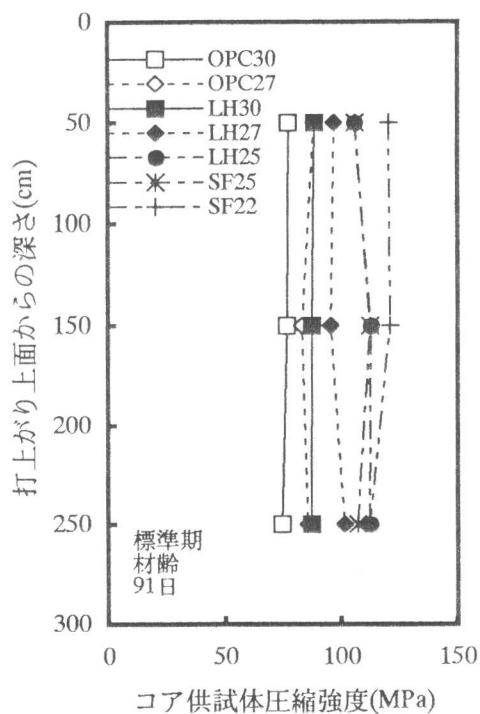


図-3 打込み上面からの深さとコア供試体圧縮強度の関係の一例

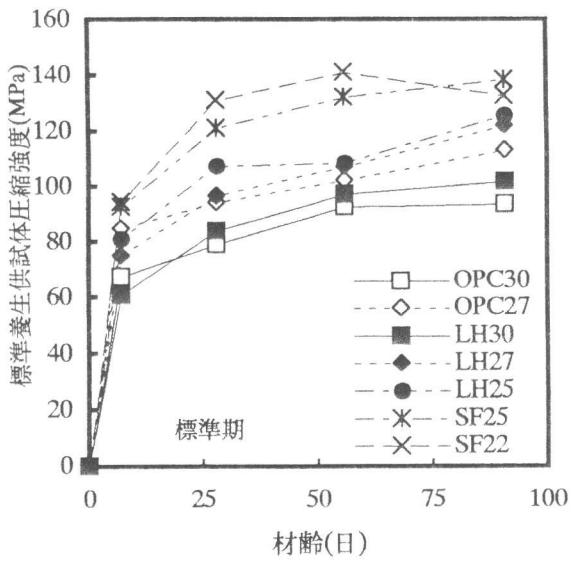


図-4 標準養生供試体圧縮強度と材齢の関係

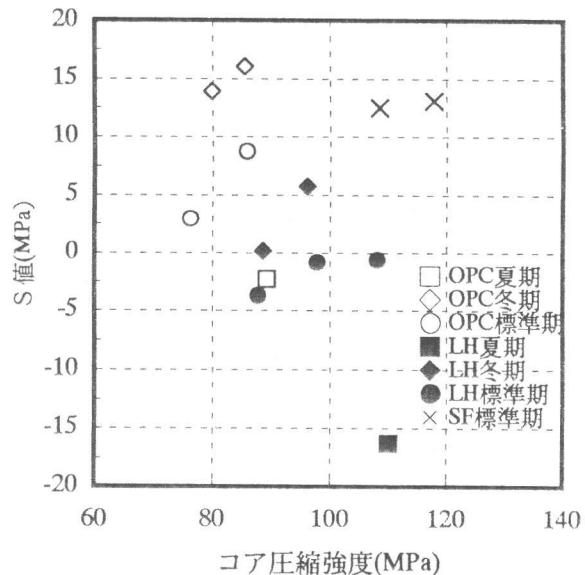


図-5 S値と材齢91日コア圧縮強度の関係

### 3.3 圧縮強度

図-3に、打込み上面からの深さとコア供試体圧縮強度の関係の一例を示す。コア強度は各調合において上下の差は小さく、図には示していないが、コア供試体の上下の比重差も小さく均質であった。図-4に、標準養生供試体圧縮強度と材齢の関係の一例(標準期)を示す。低発熱ポルトランドセメントを用いたものは、普通ポルトランドセメントに比較して7日強度は低いものの、28日以後も強度の増進が大きい。

### 3.4 コア圧縮強度とS値の関係

図-5に、S値と材齢91日の実大試験体コア供試体圧縮強度の平均値（以下コア圧縮強度）の関係を示す。両セメントとも、冬期にS値が大きくなる傾向がある。低発熱ポルトランドセメントは、コア圧縮強度が80~100 MPa程度でS値がほとんど5 MPa以下であり、シリカフュームを用いた調合は、コア圧縮強度が110 MPa程度で15 MPa程度のS値となる。それに対し、普通ポルトランドセメントでは、コア圧縮強度が80 MPa程度でS値が15 MPa程度となる。図-6に、S値と打込みから28日間の平均養生温度との関係を示す。図-6の同一調合に注目すると、セメントの種類にかかわらず、S値は打込みから28日間の平均養生温度に大きく影響を受け、平均養生温度が低いほどS値が大きくなる傾向がある。したがって、調合設計時には、使用材料と平均養生温度に応じたS値を採用する必要があると考えられる。

### 3.5 構造体コンクリートの標準偏差

図-7に、実大試験体のコア圧縮強度と同一試験体内のコア圧縮強度の標準偏差の関係を示す。コア圧縮強度が大きくなれば、標準偏差が大きくなる傾向があり、変動係数が8%以下に収まっ

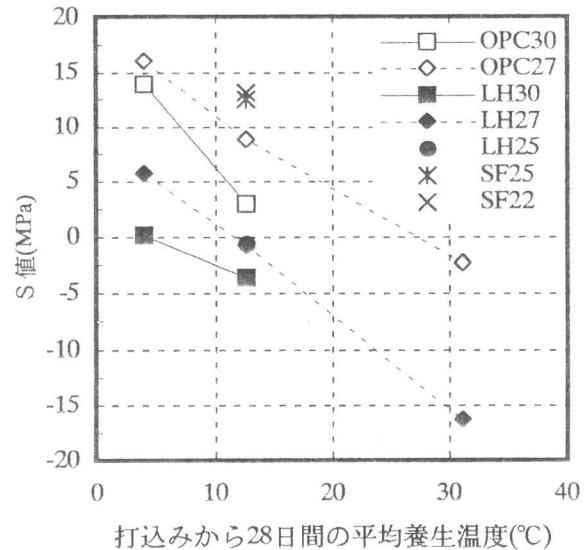


図-6 S値と打込みから28日間の平均養生温度(°C)の関係

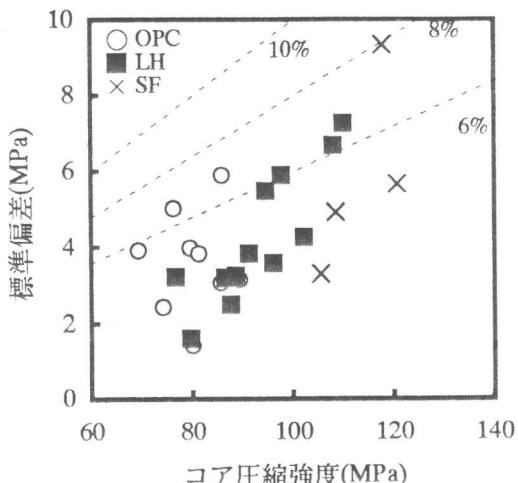
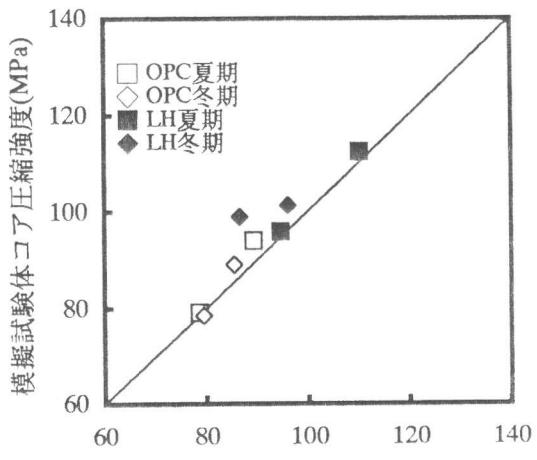


図-7 コア圧縮強度と標準偏差の関係



実大試験体コア圧縮強度(MPa)

図-8 実大試験体と模擬試験体のコア圧縮強度の関係

ている。したがって、調合設計時における構造体コンクリートの標準偏差は、コア圧縮強度の変動係数8%の値が考えられる。

### 3.6 実大試験体と模擬試験体

図-8に、実大試験体のコア圧縮強度と模擬試験体のコア圧縮強度の関係を示す。ばらつきはあるものの、模擬試験体のコア圧縮強度は実大試験体の強度にほぼ一致した。

### 3.7 コア圧縮強度と各種養生供試体強度

図-9に、実大試験体のコア圧縮強度と温度追従養生および断熱養生供試体圧縮強度の関係を示す。ばらつきはあるものの、温度追従養生供試体はコア圧縮強度と一致している。断熱養生供試体は、普通ポルトランドセメントでは良い一致を見たが、低発熱ポルトランドセメントでは、コア圧縮強度を下回ったものもあり、シリカフュームを使用したものは、コア圧縮強度を上回った。これは、温度追従養生の温度履歴は追従位置の履歴にほぼ一致したのに対し、断熱養生では、最高温度で5~10°C低くなったことが影響していると思われる。

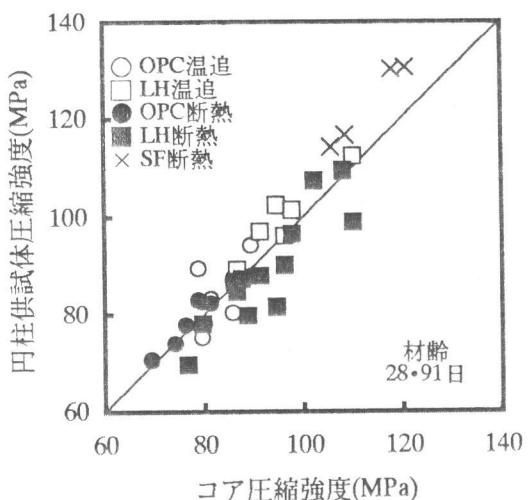


図-9 コア圧縮強度と円柱供試体圧縮強度の関係

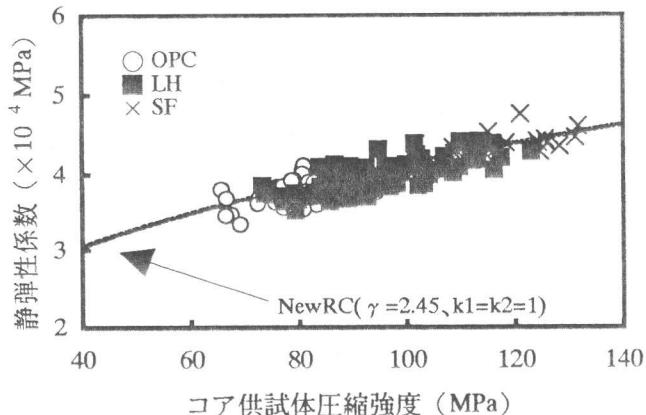


図-10 コア供試体圧縮強度と静弾性係数の関係

### 3.8 静弾性係数およびポアソン比

図-10に、コア供試体圧縮強度と静弾性係数の関係を、図-11に、コア供試体圧縮強度とポアソン比の関係を示す。静弾性係数は、NewRC提案式をやや下回るもの、セメント種類に関わらず同様の式で近似でき、ポアソン比は、圧縮強度やセメントの種類にかかわらず、0.19～0.21の間に分布している。

## 4.まとめ

- 本報では、低発熱ポルトランドセメントを使用した高強度コンクリートの構造体強度について、柱部材の実大試験体を用いてコア供試体圧縮強度のと品質について確認し、S値に関して考察を行った。本研究の結果をまとめると以下のようになる。
- (1)低発熱ポルトランドセメントは、コア強度が80～100MPa程度でS値がほとんど5MPa以下であり、シリカフュームを用いた調合は110MPaで15MPa程度のS値が必要となるのに対し、普通ポルトランドセメントでは、コア強度が80MPa程度でS値が15MPa程度となる。
  - (2)S値は打込みから28日間の平均養生温度に大きく影響を受け、調合設計時には、平均養生温度に応じたS値を採用する必要がある。
  - (3)実大試験体におけるコア供試体圧縮強度の標準偏差は、コア強度の平均値の変動係数が8%以下であった。

### [謝辞]

本研究を行うにあたり、協力をいただきました竹本油脂㈱およびつくば秩父生コン㈱に謝意を表します。

### [引用文献]

- [1]一瀬賢一ほか：各種養生した高強度コンクリートの強度発現性状の比較(NewRC実大施工実験その27)、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、A、pp.351-352、1992.8
- [2]依田和久ほか：高流動・高強度コンクリートの実構造物への適用に関する実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、PP.221-226、1993.6
- [3]NewRC高強度コンクリート分科会報告書、平成2年～4年、国土開発技術研究センター
- [4]杵田佳寛ほか：高強度コンクリートを用いた構造体コンクリートの強度管理方法に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、A、pp.837-838、1991.9