

論 文

[1061] 高炉セメントB種を用いた高強度コンクリートの構造体強度に関する検討

大倉真人^{*1}・古賀一八^{*2}・今川信夫^{*3}・伊井敬二^{*4}

1. はじめに

近年、コンクリートの強度増進やワーカビリティーの改善、部材内部温度の抑制などを目的として、シリカフュームや高炉スラグ微粉末等の微粉材料がセメントの代替として使用されるようになってきている。また、コンクリート工事の省力化、ならびに、品質向上を目的として開発された高流動コンクリートにおいても、これら微粉材料を使用する例が多々見受けられる。

筆者らも、微粉材料の添加が高強度コンクリートの品質向上に有効であることを室内実験において確認している[1]。しかし、実施工にこれらの材料を使用しようとした場合、市中の生コン工場では微粉材料を貯蔵・計量する設備がなく、コンクリートの製造が困難となる場合が生じ得る。

本報告では、特殊な微粉材料を使用することなしに、高強度コンクリートの品質を改善する手法として、市中の生コン工場が常備する高炉セメントB種の高強度コンクリートへの適応性及び有効性について、構造体コンクリートの強度発現性状等の観点から検討したものである。

2. 実験概要

コンクリートの製造は生コン工場で行い、その後、実大柱試験体にコンクリートを打設した。所定の材令で、試験体から切取ったコア供試体と、各種養生を行った円柱供試体について圧縮強度試験を行い、比較検討した。また、実験は寒中期と暑中期について実施した。

表-1 コンクリートの調合

Mix-No	結合材 種別	スランプ cm	空気量 %	単位 水量 kg/m ³	結合材 水比 W/B %
N-40	N	20	3.0	170	40
N-35	N				35
BB-35	BB	23	3.0	170	35
BS-35	BB+SF				35
BB-30	BB				30

N:普通ポルト, BB:高炉B, SF:シリカフューム(セメントの内割りで15%)

*1 株長谷工コーポレーション技術研究所材料施工システム研究室研究員、工修 (正会員)

*2 株長谷工コーポレーション技術研究所材料施工システム研究室チーフ研究員、工修 (正会員)

*3 株長谷工コーポレーション大阪建設事業部建築技術部 (正会員)

*4 株長谷工コーポレーション大阪建設事業部建築技術部

(4) コンクリートの調合

コンクリートの調合を表-1に示す。なお、スランプ及び空気量は高性能AE減水剤及び助剤の添加量により調整した。

2.2 試験方法

(1) 試験体形状

試験体形状を図-1に示す。試験体中心部、外端から100, 250mmの位置に熱電対を埋込み、部材の内部温度履歴を測定した。

(2) コンクリートの打込み及び養生

コンクリートの打込みは、ポンプ車を使用して行い、柱の4隅および中央部の計5箇所について高周波バイブレーターで締固めを行った。また、コンクリート打込み後、7日間せき板を存置して、湿潤状態を保持した。

(3) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、図-1に示す位置から切取ったコア供試体ならびに円柱供試体について実施した。円柱供試体は、標準養生、現場水中養生、現場封かん養生、ならびに、図-2に示すような断熱養生を行なって比較検討した。

3. 試験結果

3.1 フレッシュコンクリート

出荷時に測定したフレッシュコンクリートの試験結果を表-2に示す。

表-2 フレッシュコンクリートの試験結果

Mix-No	試験 時 期	混和剤 B×wt%	スランプ cm	スランプ フリ- cm	空気量 %	コンクリート 温 度 ℃	プリ-ジ ング 量 cc/cm ²	凝結時間 時:分	
								始 発	終 結
N-40	寒 中	1.6	19.7	38.5	4.1	15.0	0.13	8:50	10:25
	暑 中		21.0	34.0	3.2	30.0	0.02	5:10	6:05
N-35	寒 中	1.9	22.5	44.5	4.0	16.0	0.00	7:15	9:10
BB-35	寒 中	1.8	21.0	36.8	4.1	13.0	0.09	8:45	11:00
	暑 中		22.0	33.5	4.6	29.5	0.03	6:50	8:10
BS-35	寒 中	3.0	20.0	32.3	3.8	14.0	0.00	17:00	20:50
BB-30	暑 中	2.1	23.0	45.5	2.6	29.0	0.00	12:00	13:50

3.2 温度測定結果

温度測定結果を表-3及び図-3に示す。部材内最高温度と打込み時のコンクリート温度の差を温度上昇量、温度上昇量を最高温度に達するまでに要した時間で除したもの温度勾配とした。

温度上昇量は、N-40とBB-35がほぼ同等であり、高炉セメントB種を使用することで、温度上昇を抑制することが可能であることを確認した。また、温度勾配も緩やかとなった。高炉セメントB種とシリカヒュームを併用すると、より一層、温度抑制に効果があることが認められ、表-2に示したように凝結が極度に遅延する問題があり、実工事での使用は、難しいと考える。

表-3 部材内部温度測定結果

Mix-No	測定位置	寒中期		暑中期	
		温度上昇量 °C	温度勾配 °C/hr	温度上昇量 °C	温度勾配 °C/hr
N-40	①	44.3	1.58	51.9	2.73
	②	41.0	1.52	48.5	2.69
	③	28.1	1.12	42.4	2.65
N-35	①	52.0	2.00	—	—
	②	49.1	1.89	—	—
	③	32.9	1.43	—	—
BB-35	①	43.1	1.05	53.4	2.14
	②	36.3	0.86	49.8	1.99
	③	24.4	0.63	42.0	1.68
BS-35	①	31.8	0.62	—	—
	②	27.5	0.61	—	—
	③	17.2	0.37	—	—
BB-30	①	—	—	59.3	2.28
	②	—	—	54.8	2.19
	③	—	—	47.3	1.89

①:部材中心, ②:外端~250mm, ③:外端~100mm

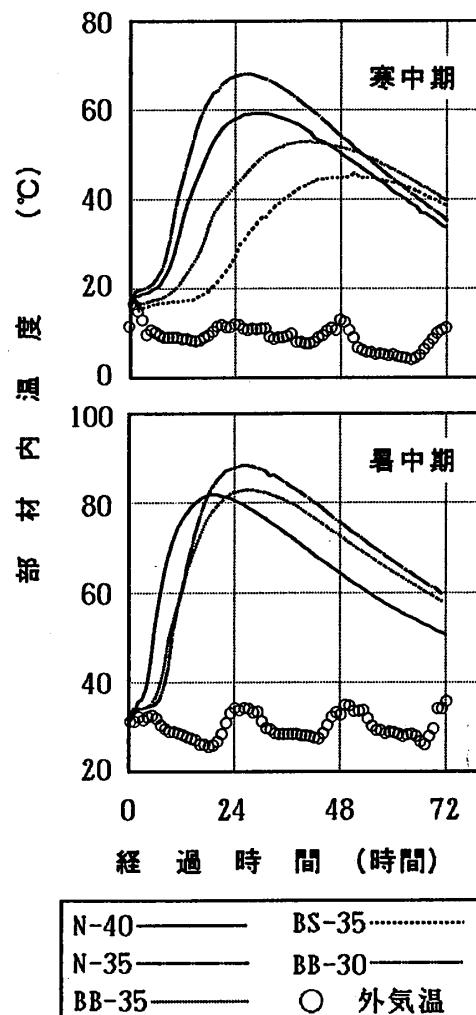


図-3 部材中心部の温度履歴

3.3 圧縮強度

コア供試体の圧縮強度試験結果を図-4に示す。また、コア供試体の91日強度に対する円柱供試体の圧縮強度比を表-4に示す。

(1) 寒中期と暑中期のコア強度の比較

図-4に示すように、寒中期と暑中期の材令91日のコア強度を比較すると、N-40は100kgf/cm²、BB-35は80kgf/cm²程度、寒中期の方が大きな値を示した。また、寒中期はコア強度が材令に伴い増加したが、暑中期は、材令28日以降の強度増加がほとんど認められなかった。これは、暑中期においては、材令初期で部材内部が高温になったためと考えられる。一般的に、高炉セメントは、長期に渡って強度が発現するとされている。しかし、今回の暑中期実験のように、若材令で高温が付与される条件下では、その効果は、あまり期待できないものと考えられる。

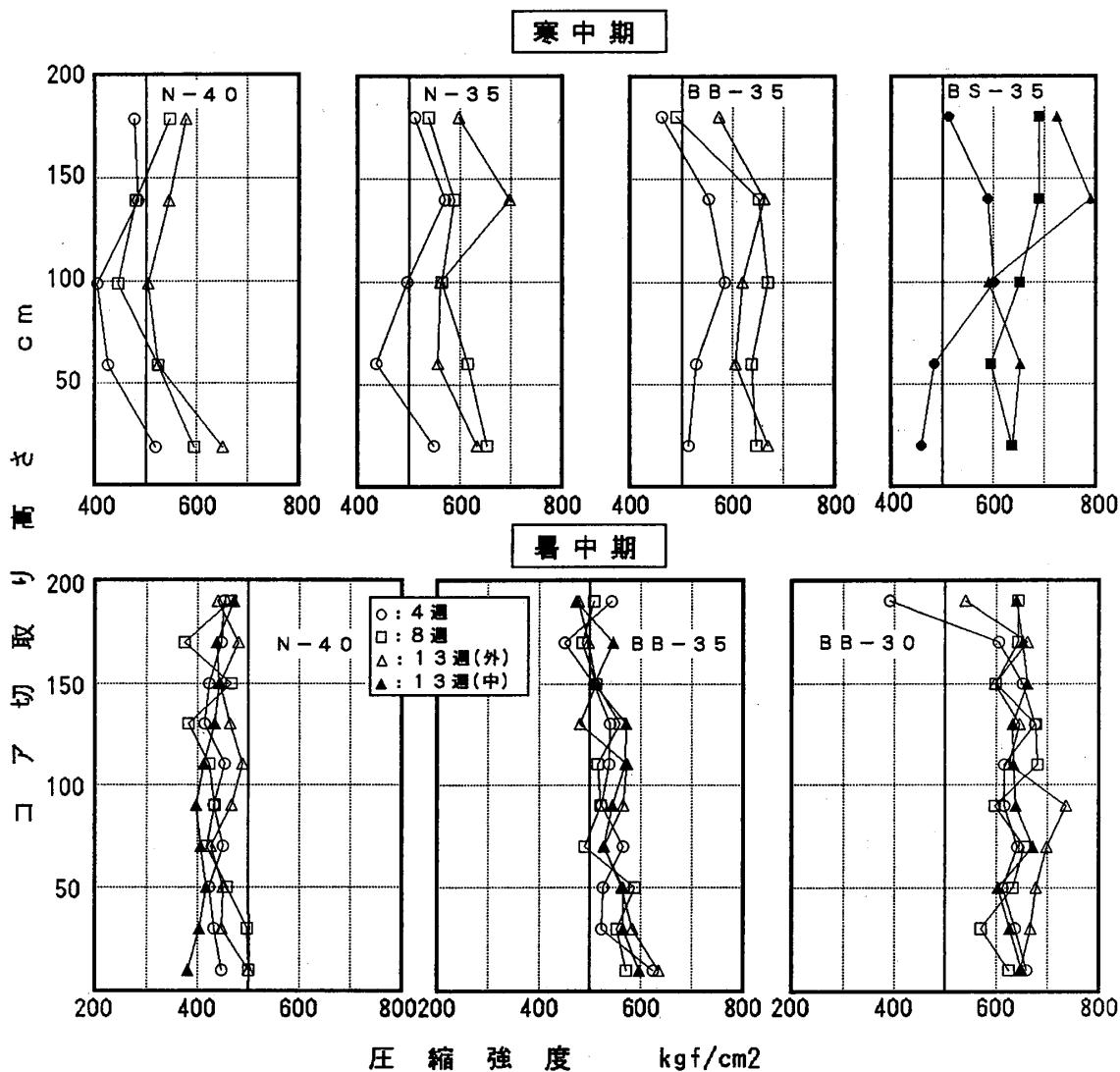


図-4 コア供試体圧縮強度試験結果

表-4 コア91日強度と円柱供試体の圧縮強度比 (コア91日/円柱供試体n日 %)

Mix-No	試験 時期	切取 位置	標準		現場水中		現場封かん			断熱養生		
			28日	56日	28日	56日	28日	56日	91日	28日	56日	91日
N-40	寒中	外端	93	83	105	91	110	100	100	123	117	111
	暑中	外端	82	78	79	73	88	83	87	114	101	102
N-35	寒中	外端	94	92	105	90	108	93	102	115	109	104
BB-35	寒中	外端	104	83	135	108	133	116	106	132	118	111
	暑中	外端	91	80	93	82	101	97	97	112	102	101
BS-35	寒中	外端	111	90	142	111	139	117	95	135	118	108
BB-30	暑中	外端	87	84	88	83	98	89	89	100	98	97
	中央	86	82	87	81	96	88	88	99	97	97	96

(2) 円柱供試体標準養生28日強度とコア強度の比較

建築工事においては、早期に強度を発現させたいとの要望が大きい。そこで、高炉セメントB種を使用したものも、普通ポルトランドセメントと同様に、標準養生28日強度を調合設計に用いることとした。そこで、コア強度が標準養生を28日間行った円柱供試体の強度を上回るかどうかを検討した。表-4に示したように、寒中期で高炉セメントB種を使用したものは、コア91日強度が標準養生28日強度を上回っている。しかし、普通ポルトランドセメントを使用したものは、5~10%程度コア強度が小さい値を示した。また、暑中期においては、高炉セメントB種を使用したもので9~14%、普通ポルトランドセメントを使用したもので18~25%程度、コア強度の方が小さな値を示した。

表-5に、標準養生を行った円柱供試体の圧縮強度を示す。材令28日の圧縮強度は、N-40とBB-35がほぼ同等であった。しかし、コア91日強度は、寒中期で約10%、暑中期で20%程度、BB-35がN-40を上回った。従って、標準養生28日強度が同一の場合は、高炉セメントB種を使用した方が、構造体の最終的な強度は大きくなると考えられる。

また、建設省総プロNewRCにおいては、調合強度は、設計基準強度に材令91日のコアの圧縮強度と標準養生供試体の材令28日の強度差（以下S値）を加えて、算出することを提案している[2]。従って、高炉セメントB種を使用することで、S値を小さくすることが可能である。

(3) 構造体コンクリートの強度管理手法について

従来、構造体コンクリートの強度は、現場水中養生や現場封かん養生を行った円柱供試体の圧縮強度で管理してきた。これは、構造物に打込まれたコンクリートの圧縮強度が、最終的にはこれら円柱供試体の圧縮強度を上回ることが前提となっている。そこで、コアの91日強度を構造体の最終的な強度として、円柱供試体の強度と比較した。

表-4に示したように、寒中期のコア91日強度は、現場水中28日ならびに現場封かん56日強度を上回っており、従来の手法で構造体の強度管理を行うことが可能と考えられる。一方、暑中期は全調合ともコア強度が、現場水中養生28日ならびに現場封かん養生56日強度を下回った。従って、従来の手法では、構造体コンクリートの強度を実際よりも大きく判定する危険性が高い。

構造体と円柱供試体の強度発現性状に差異が生じる主因は、両者の温度履歴が相違するためとされており[3]、部材の温度履歴を円柱供試体に付与する部材温度履歴追従養生が提案され、その有用性も確認されている[4]。しかし、この手法は、特殊な養生槽をコンクリート打設毎に用意する必要があり、品質管理が複雑である。そこで、簡易な養生方法として、コンクリートを

表-5 標準養生円柱供試体の圧縮強度 (kgf/cm²)

Mix-No	養生方法	寒中期			暑中期			
		7日	28日	56日	7日	28日	56日	91日
N-40	標準	453	601	674	426	563	593	616
N-35		480	648	663	—	—	—	—
BB-35		366	604	758	369	559	680	683
BS-35		345	615	754	—	—	—	—
BB-30		—	—	—	507	746	787	771

円柱型枠に詰めた後、図-2に示したような発泡スチロールとグラスウールで構成された断熱槽内で養生する断熱養生について検討することとした。

暑中期において、断熱養生を56日間行った供試体の圧縮強度は、コア91日強度の-8~+3%の範囲にあり、極めて高い近似性を得た。従って、部材内部が極度に上昇する条件下においては、断熱養生を採用することが可能である。しかし、打設される部材の寸法や放熱状態、使用する結合材種別によっては、発泡スチロールの厚さや養生槽の寸法を検討する必要があると思われる。

(4) 部材温度がコア強度に及ぼす影響

図-5に、温度上昇量及び温度勾配が、強度比(=コア91日強度/標準養生28日強度)に及ぼす影響を示す。

高炉セメントB種を使用したものも、普通ポルトランドセメントと同様に、強度比と温度上昇量・温度勾配には、負の相関が認められた。

4.まとめ

得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

図-5 部材温度とコア強度の関係

- ① 若材令で高温が付与される環境下においては、高炉セメントB種を使用しても長期材令に渡っての強度発現は、あまり期待できない。
- ② 部材内の温度上昇量ならびに温度勾配の抑制に、高炉セメントB種は有効に作用する。
- ③ 標準養生を行った円柱供試体の28日強度が同等であれば、高炉セメントB種を使用した方が普通ポルトランドセメントよりも、最終的な構造体コンクリートの強度は大きくなる。
- ④ 暑中期に高強度コンクリートを打設した場合の構造体コンクリートの強度は、断熱養生を行った円柱供試体の56日強度で管理することができる。

今回の実験で、市中の生コン工場が常備する高炉セメントB種で、設計基準強度500~600kgf/cm²程度の高強度コンクリートを製造することが可能であることが明かとなった。また、部材内部温度の抑制や構造体の強度発現など、その有用性を確認することができた。

最後に、本実験を遂行するうえで、多大なるご協力をいただきました、品川商事(株)、関西小野田レミコン工業(株)、花王(株)、山宗化学(株)の皆様に深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 古賀ほか：超高強度コンクリートのワーカビリティ改善・発熱低減に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14、No.1 pp.517-522、1992.5
- 2) 横田ほか：高強度鉄筋コンクリートを用いた施工実験のまとめと施工標準への反映 (New RC 実大施工実験 その13)、日本建築学会学術講演梗概集、A、pp.359-360、1992.8
- 3) 横田ほか：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研究、日本建築学会学術講演梗概集、A、pp.837-838、1991.9
- 4) 三井ほか：高強度コンクリート構造体の強度管理手法に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、A、pp.467-468、1992.8

