H1-13

高炉セメントを用いたプレキャストコンクリートの水和反応へ及ぼす熱養生履歴の影響

The influence of heat curing history on to the hydration reaction of precast concrete with blast furnace cement

○荒川理加[1]，佐藤正己[2]，小泉公志郎[3]，梅村靖弘[2]

* Rika Arakawa[1],Masaki Sato[2],Koshiro Koizumi[3],Yasuhiro Umemura[2]

Abstract: Nowadays, blast furnace slag cement is also being used in precast（PCa）concrete products. In general, precast concrete products. In general, steam curing is carried out in curing PCa concrete. However, it is not clear about the impact on the hydration reaction and latent hydraulic properties of blast furnace slag（BS）. In this study, the authors examined BS reaction rate and cement reaction rate, amount of calcium silicate hydrate（C-S-H）, compressive strength development.

１．はじめに

CO_2 総排出量の削減が掲げられている社会情勢の中，建設業界では産業副産物である高炉スラグの有効利用が求められており，この内コンクリート混和材としての高炉スラグ微粉末(BS)のプレキャスト(PCa)コンクリート製品への利用が進んでいる．一般的に PCa コンクリート製品は 1 日 1 サイクルの標準蒸気養生が推奨されているが，生産効率の向上やコスト低減のため 1 日 2 サイクルの促進蒸気養生が工場で経験則的に行われている．しかし，PCa コンクリート製品を製造する際に行う蒸気養生履歴が，BS の水和反応に及ぼす影響については解明されていない. そこで本研究では, BS に及ぼす熱養生履歴の影響について明らかにするため，BS 反応率，セメント反応率，ケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)の生成量，圧縮強度発現性について検討した.

２．試験概要

本試験における使用材料を Table 1 に示す．水和反応分析用セメントペーストは OPC に対して BS を 45%内割置換し，水結合比(W/B) 50%として Table 2 に示す配合とした．作製後，温度調節器にて Table 2 の養生パターンで養生後，所定材齢まで室温 20℃で封かん養生を行った．材齢は 1,3,7,14,28 日とし，材齢に達した各試料は粉砕しアセトンを用いて水和停止を行った．また，コンクリートは N に対して BS を 45%内割置換率し，細骨材率(s/a) 45%として Table 3 に示す配合とした．スランプは 10.5±2.5cm, 空気量は 4. 5±1.5%に設定した．今回の実験において，生成した非晶質水和物は C-S-H であると仮定し，その他の水和物の生成量は後述する水酸化カルシウム(CH)量，炭酸カルシウム($CaCO_3$)量，BS 反応量，各未反応セメント鉱物量を用いて算出した．ただし，CH 残存量は TG-DTA を用いて 400～450℃ 付近の吸熱ピーク，質量減少量から求めた．また，水和停止を行った際に CH の一部に炭酸化が生じたため $CaCO_3$ 量を 600℃付近の吸熱ピーク，質量減少量から求めた．間隙水量は水和停止前の試料を用いて 105℃の乾燥炉に入れた際の質量減少量とした．XRD/リートベルト法(解析ソフト TOPAS (Bruker AXS)) と α-Al_2O_3 を使用した内部標準法により，各セメント鉱物と非晶質水和物，BS 反応量の定量を行った．なお BS 反応量の測定のため佐川らの手法 [1] をもとにセメント水和物を 900℃30 分間で焼成した試料を用いた．その定量値と CH 残存量，$CaCO_3$ 量，間隙水量から相組成を求めた．コンクリートの圧縮強度は JIS A 1108 に準じて行った．材齢は 1,3,7,14,28 日としφ100×200mm の円柱供試体を用いた.

Table 1.Materials

材料名	略号		材料の種類	備考
水	W		水道水	-
セメント	OPC		分析用セメント	密度=3.15g/cm³
セメント	B	N	普通ポルトランドセメント	密度=3.16g/cm³ 比表面積＝3300cm²/g
混和材	B	BS	高炉スラグ微粉末	密度=2.89g/cm³ 比表面積＝4380cm²/g
細骨材	S		山砂	表乾密度=2.64g/cm³ FM=2.21
粗骨材	G		石灰岩砕石	表乾密度=2.70g/cm³ FM=6.92
混和剤	SP		AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体
	AE		AE剤	変性ロジン酸化合物系

Table 2. Mix proportion of cement paste

W/B (%)	単位量(kg/m³)		
	W	OPC	BS
50	603	663	542

Table 3.Mix proportion of concrete

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					SP (B*%)	AE (B*%)
		W	B		S	G		
			N	BS				
50	45	161	177	145	817	1021	1.00	0.40

Table 4. Steam curing program

蒸気養生条件	前置時間	昇温速度	最高温度継続時間	降温速度
	(h)	(℃/h)	(h)	(℃/h)
①	2	15	4	4.5
②	0.5	15	4	4.5
③	2	30	4	4.5
④	2	15	2	4.5
⑤	2	15	4	-
⑥	0.5	30	2	-

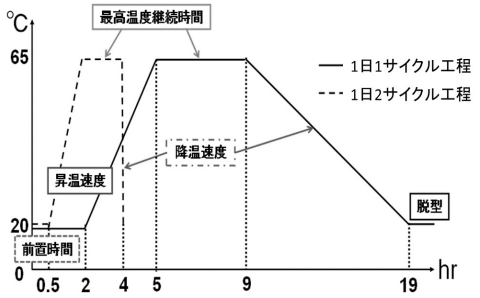

Fig 1.Steam curing program

1：日大理工・院(前)・土木　2：日大理工・教員・土木　3：日大理工・教員・一般

３．試験結果と考察

３．１ 圧縮強度

Fig 2 に圧縮強度試験の結果を示す．Fig 2 (a) は材齢 1,3,7 日，Fig 2 (b) は材齢 7,14,28 日の結果を示している．標準蒸気養生の①を基準として前置時間を短縮した②を比較すると材齢 1 日で約 20%大きいが，材齢の経過に伴い増加率が低下し，材齢 28 日では約 9%小さい結果となった．次に昇温速度を上げた③では①と比較して材齢 1 日で同等となったが，材齢 28 日においては約 5%小さくなった。最高温度継続時間を短縮した④では①と比較して材齢 1 日での強度は約 6%小さくなり，材齢が経過しても強度増進は低く材齢 28 日で約 4%小さくなった．さらに降温速度を上げた⑤では，材齢 1 日で①と同等であったが材齢 28 日では①よりも約 5%低い結果となった．また，促進蒸気養生である⑥では，①と比較して材齢 1 日で約 44%小さくなり，材齢が経過しても強度増進は低く材齢 28 日では他の養生工程 の中で最も低く約 11%小さくなった．

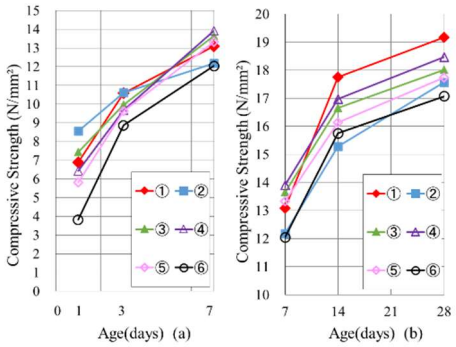

Fig 2. Compressive Strength

３．２ BS 反応率

Fig.3 に BS の反応率を示す．②を①と比較すると材齢 1 日では約 8%大きくなったが，材齢 28 日の反応率の増進は緩慢となり同等の値となった．同じく③では 材齢 1 日での反応率は同等となったが，材齢 28 日では約 3%小さくなった．④では材齢 1 日と材齢 28 日では同等の値となった．⑤では材齢 1 日では反応率は約 3%小さくなり，材齢 28 日では約 4%小さくなった．また⑥では，材齢 1 日では約 10%小さかったが，材齢の経過に伴い反応率は増加し材齢 28 日では約 6%大きい結果となった．

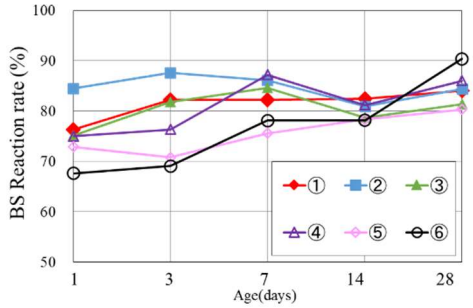

Fig 3.BS Reaction rate

３．３ セメント反応率

Fig 4 にセメントの反応率を示す．②を①と比較すると材齢 1 日での反応率は約 9%大きくなったが，材齢の経過と伴に反応率は低下し，材齢 28 日では約 7%小さい結果となった．同じく③では材齢 1 日では約 22%大きく，材齢 28 日では約 3%大きく最も高い反応率を示した．④，⑤，⑥では材齢 1 日と材齢 28 日では同等の値となった．

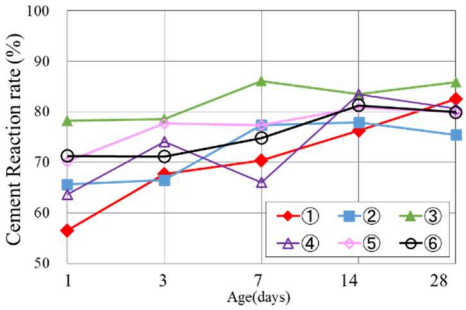

Fig 4.Cement Reaction rate

３．４ C-S-H の生成量

Fig 5 に C-S-H の生成量を示す．②と①を比較すると材齢 1 日では約 8%大きかったが，材齢が経過しても生成量は増進せず材齢 28 日では同等の値となった．同様に③，⑥では材齢 1 日で約 4%大きくなったが，材齢 28 日では同等の値となった．④，⑤では材齢 1 日で同等の値を示し，材齢が経過しても生成量は増加せず，材齢 28 日では同等の値となった．このことから，養生工程を変化させても生成量に大きな変化は見られなかった．

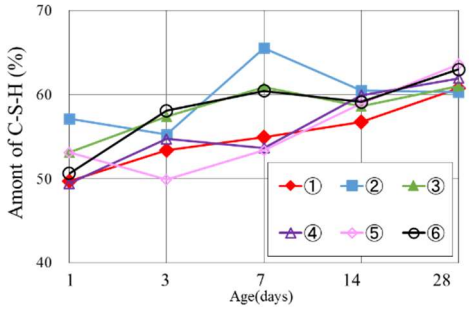

Fig 5.Amount of C-S-H

４．まとめ

本研究において，前置時間を短縮した場合，圧縮強度は材齢 1 日で標準蒸気養生と比較して高くなるが，材齢の経過に伴い増加率が減少し材齢 28 日では低くなった．この傾向は BS 反応率，セメント反応率，C-S-H の生成量と同様の結果となった．昇温速度を上げた場合，最高温度継続時間を短縮させた場合，降温速度を上げた場合の圧縮強度は材齢 1 日で標準蒸気養生と同等となり BS 反応率，C-S-H の生成量においても同様の結果となったことから大きな影響はないと言える．しかし，全ての養生工程を短縮した促進蒸気養生の場合では BS 反応率，セメント反応率ともに他の養生工程の中で最も低くなり，強度の低下に繋がることがわかった．

５．参考文献

［1］佐川孝広ほか：リートベルト法および選択溶解による高炉スラグの測定，コンクリート工学年次論文集，pp209-214，(2006)