

High Volume Binder Concrete(HVBC)の開発に関する研究

日大生産工(院) ○寺嶋 天志 日大生産工 鶴澤 正美

1. 緒言

高炉セメントは環境負荷低減に貢献できるセメントとして知られ、広く公共工事などのコンクリート構造物として使用されている。本研究はこの高炉セメントを超える環境負荷低減を実現するコンクリートの開発を目標としており、その方策として①セメント量のさらなる低減、②ポゾラン活性や水和活性のある混和材を大量使用する、2つの方針で研究を進めている。これによって得られたコンクリートを High Volume Binder Concrete, 略して HVBC と命名した。高炉セメントは特にマリンコンクリートの分野でも多用されている。耐海水性が高いと一般に言われており、高炉スラグ微粉末(以下 BFS と略記)が潜在水硬性を発現し硬化体を高強度化することで緻密性を上げ、水密性を向上させることが主因といわれている。

一方、フライアッシュ(以下 FA と略記)は火力発電所で発生する燃焼灰である。セメントに混和した場合、ポゾラン反応による強度増進が期待できる。FA は我が国においては、東日本大震災の影響より石炭火力発電に頼るところが多く⁵⁾、その用途拡大の検討は重要である。

高炉セメントは製品用途として 65°Cの蒸気養生による促進養生を行うのが一般的である。蒸気養生による高炉セメントの研究は多くあるが、さらにこれに FA を添加した研究例は今のところ見出だされていない。さらに C-S-H の生成が、セメント、BFS、FA と段階的に進むため、セメント材料科学的にも興味深い材料配合となる。

本研究は、「従来の蒸気養生条件がそのまま適用できるか確認する」、「セメントの最低配

合量を圧縮強度によって探索する」、「耐海水性を検討する」という目的で行った。

2. 実験概要

使用材料として、セメントは普通ポルトランドセメント、BFS はエスメント(石膏なし)、FA (II種)を使用した。JIS R 5201 に準拠し、セメント標準砂(S)と水道水(W)、セメント(C)に内割で BFS、FA を表 2 に示す 9 種類配合した。減水剤は使用していない。供試体は 40×40×160mm の角柱型とした。

2.1 蒸気養生における最適温度条件の探索

表 1 に示す配合のうち、FA 含有率 10%の供試体を対象として実験を行った。練り混ぜ後、24

表 1. 各供試体の配合比と CO₂ 排出量
(各試料には同一量の珪砂を含む)

No.	C(%)	BFS(%)	FA(%)	CO ₂ 排出量 (g/l)	相対値
1	60	40	0	262.7	100
2	60	30	10	260.9	99.3
3	60	20	20	259.2	98.6
4	50	50	0	225.5	85.8
5	50	40	10	223.9	85.2
6	50	30	20	222.3	84.6
7	40	60	0	188.1	71.6
8	40	50	10	186.7	71.1
9	40	40	20	185.6	70.6

表 2. 供試体の配合表

No.	C(g)	FA(g)	BFS(g)	W(g)	S(g)
1	270.0	0.0	180.0	225.0	1350.0
2	270.0	45.0	135.0		
3	270.0	90.0	90.0		
4	225.0	0.0	225.0		
5	225.0	45.0	180.0		
6	225.0	90.0	135.0		
7	180.0	0.0	270.0		
8	180.0	45.0	225.0		
9	180.0	90.0	180.0		

時間湿空養生を行い完全に硬化させてから脱型。これを図1に示す温度条件で蒸気養生し、養生庫内を40, 35, 30°Cまで放冷させた。その後、温度20°C、湿度約60%で14日間気中養生を行い、圧縮強度試験を行った。

2.2 蒸気養生の圧縮強度

表2に示す配合で9種類の供試体を作製、硬化、脱型、蒸気養生を行った後30°Cまで放冷し上記と同様の条件で気中養生を行った。気中養生の材齢はそれぞれ1, 7, 14, 28日とした。その後、圧縮強度を測定した。

2.3 耐海水性

表2に示す9種の供試体を3組作製、硬化、脱型、蒸気養生を行った後、3組をそれぞれ7, 14, 28日の気中養生を行い、海水浸透面以外の面にエポキシ樹脂を塗布して実験用海水(塩分濃度10%)に沈めた。28日後に取り出し、海水浸透面に対し垂直に割裂し断面に硝酸銀水溶液を噴霧して、海水浸透面からの変色部の長さを測定した。

3. 実験結果

3.1 蒸気養生における最適温度条件の探索

図2は供試体番号2, 5, 8の供試体について、蒸気養生槽から40°C, 35°C, 30°C以下で取り出した場合の圧縮強度を示した結果である。いずれの供試体も35°C以上で取り出した場合に強度が大きくして低下している。これは供試体を高温の蒸気養生槽から室温の気中に取り出した際に生じる温度応力の影響で、供試体内部に微細なひび割れが生じることが原因であると考えられる。また養生終了温度35°Cから40°C間についてBFS含有率で比較した場合、BFS30%と40%については大きな変化がないのに対して、BFS50%配合の供試体は強度低下が見られた。BFSはガラス質であるためセメントに比べて熱膨張係数が大きく⁴⁾、温度変化により硬化体内に引張応力が生じクラックが発生するため強度低下を招いたと推察している。これを踏まえ、今後の研究で蒸気養生を

行う場合の養生槽からの取り出し温度は30°C以下にすることとした。

3.2 蒸気養生の圧縮強度

図3~図5は9種の供試体についてセメント含有量60, 50, 40%の3水準で圧縮強度を示したグラフである。出荷材齢14日を基準に考察すると、まずBSF40%でFAが0%の場合が市販の高炉セメントB種と同等となる。概ね58N/mm²の強度を発現している。FA添加量を増やすと強度は低下し10%で52N/mm²、20%では43N/mm²となった。これを基本にセメント配合量を減らすと、図4はセメント配合量が50%の場合であるが、FA0%の時の圧縮強度は51N/mm²とFA10%配合の時とほぼ同等の圧縮強度を示している。FA添加量を増やすと圧縮強度は低下する傾向は図3と同じである。さらにセメント量を減じたセメント量40%(図5)では、FA0%の時の圧縮強度は46N/mm²と低下したが材齢28日では出荷目標強度の50

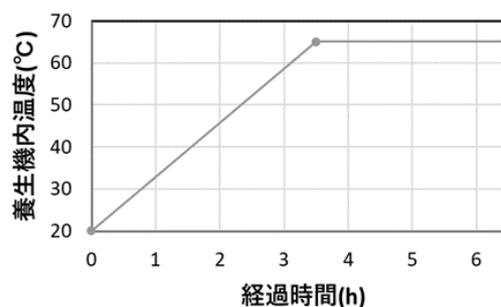


図1. 蒸気養生槽内の温度変化

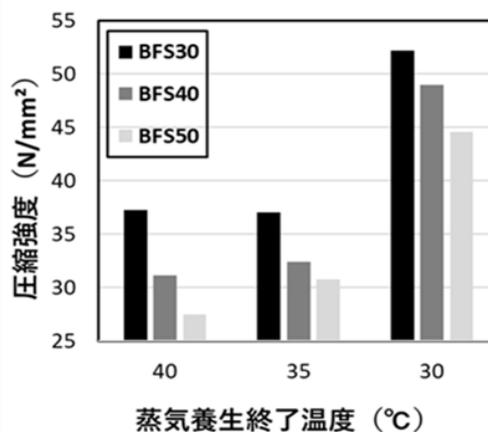


図2. 圧縮強度と蒸気養生終了温度(取り出し温度)

N/mm²を超える結果が得られている。また FA の含有量 0~10%間と 10~20%間で比較すると、後者の方が顕著に圧縮強度の低下が見られた。

3.3 耐海水性試験

図 6~8 は 9 種の供試体の耐海水性試験の結果を 7, 14, 28 日の気中養生期間別にまとめたグラフである。養生期間で比較をすると長期材齢ほど浸透長さが短くなっており、耐海水性が向上している。また、BFS の活性が見える 14 日養生では、セメント及び BFS の含有量に関わらず浸透長さはほぼ一定であった。対して、FA の活性が見える 28 日養生では、セメント及び FA 含有量に応じて浸透長さにバラツキがあることから、含有量による耐海水性への影響は BFS<FA であると考えられる。28 日時点での見解では、セメント 50%含有の供試体については FA 含有量に関わらず浸透深さに大きな差が見られなかったことから、長期使用を考えると耐海水性の観点からはセメント含有量は 50%が適切とした。

本研究から得られた最大の成果としては、製品用途である蒸気養生条件においては、セメント量を 40%にまで低下させても適度な圧縮強度が得られたことである。これは新しい知見であり、セメント量を 40%とした場合には、高炉セメント B 種に比べて約 30%の CO₂の低減が実現できる(表 1)。すなわち HVBC の構想は、SDGs の観点から土木・建築業界における重要な研究であり、まだ十分な検討をしていないが実現の可能性がある研究と考えている。圧縮強度が発現できることが判明すれば、それを短期で発現させる方策を考えていく計画である。耐海水性については EPMA を用いた拡散係数の測定までを視野に入れている。

4. まとめ

1) 蒸気養生取り出し温度について、35℃以上で取り出した場合に大幅な強度低下が見られた。これは BFS の熱膨張係数が大きいためである。取り出す際には 30℃以下まで放冷す

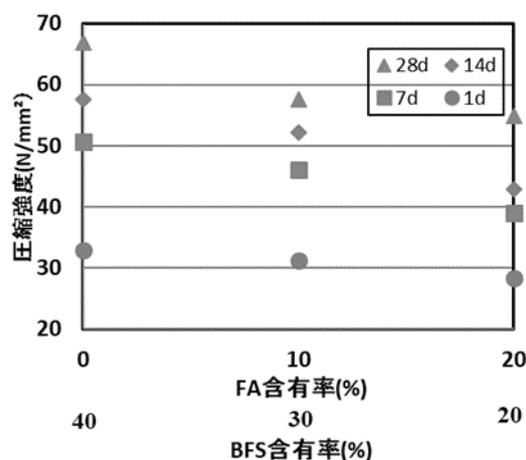


図 3. セメント含有率 60%の圧縮強度

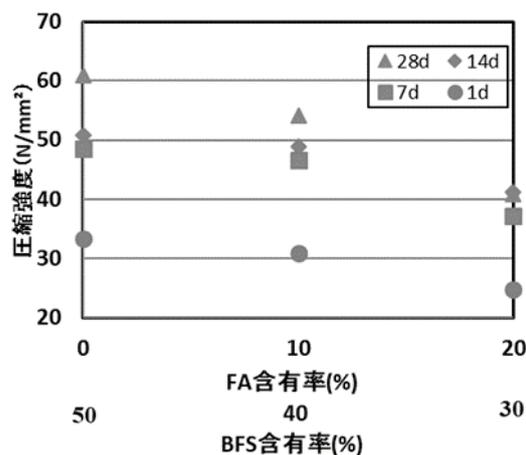


図 4. セメント含有率 50%の圧縮強度

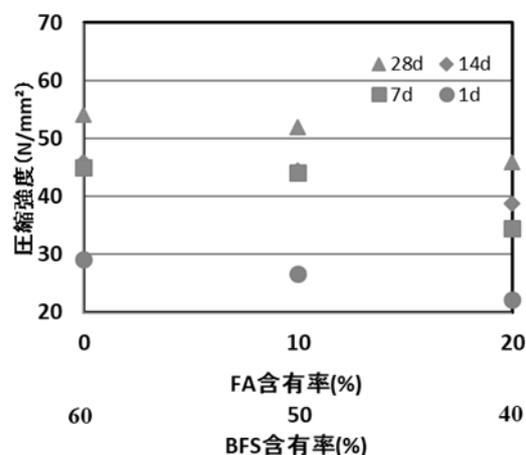


図 5. セメント含有率 40%の圧縮強度

2) セメント含有量で比較した場合、いずれの配合についても FA 含有量 20% で大きな強度低下が見られたことから、HVBC 最適ることが HVBC では重要である。

配合は FA0~10% である。

3) セメント含有量を 40% まで低下させても適度な強度発現が得られている。この配合は高炉セメント B 種に比較して約 30% の CO₂ 排出量の低下となる (表 1. 参照)。

4) 耐海水性について、長期材齢ほど耐海水性の向上が見られた。含有量による耐海水性への影響は含有量によるバラツキも考慮して BFS<FA であった。C50% 含有では FA 含有量によるバラツキがなかったことから、28 日養生の時点ではセメント含有量 50% が最適であると考ええる。

参考文献

- 1) セメントの常識, セメント協会, (2017).
- 2) 菅林恵太, 社会資本 LCA に基づいた建設工事を対象とする環境影響評価, こうえいフォーラム, 第 22 号, pp.61-67, (2014).
- 3) 土木学会, 循環型社会に適合した FA コンクリートの最新利用技術—利用拡大に向けた設計施工指針試案—, コンクリートライブラリー132, pp.304, (2010).
- 4) 細田暁ほか, BFS 微粉末を用いたコンクリートの力学的特性に対する微視的溫度応力の影響, 土木学会論文集, 63 卷 4 号, pp.549-561, (2007).
- 5) 日本フライアッシュ協会, 石灰灰ハンドブック第 6 版, pp. I -1, (2015).
- 6) 世森裕女佳, 日本大学大学院生産工学研究科土木工学専攻修士論文, (2017).

最後に

本研究は産学共同研究成果の一部である。コンクリート製品における配合や加熱養生条件には未解明な点も多く、本研究で種々の観点で改善提案をしていきたい。

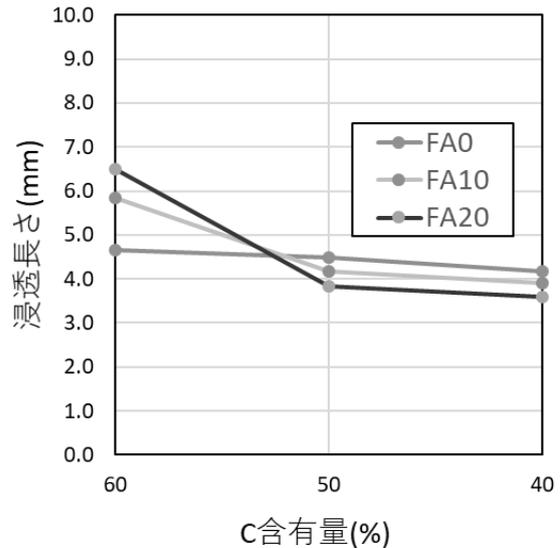


図 6.7 日養生した供試体の塩分浸透

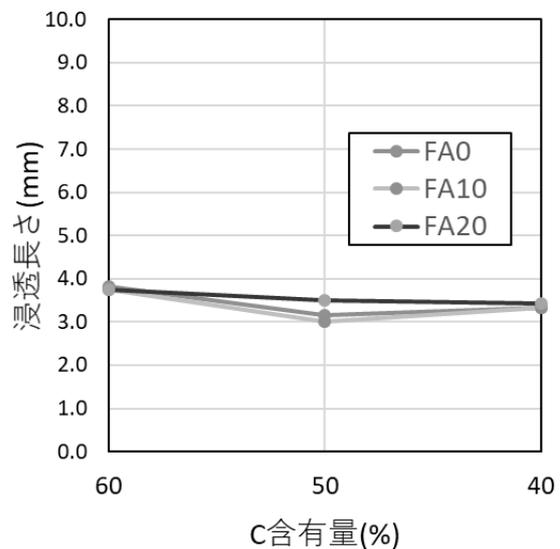


図 7.14 日養生した供試体の塩分浸透

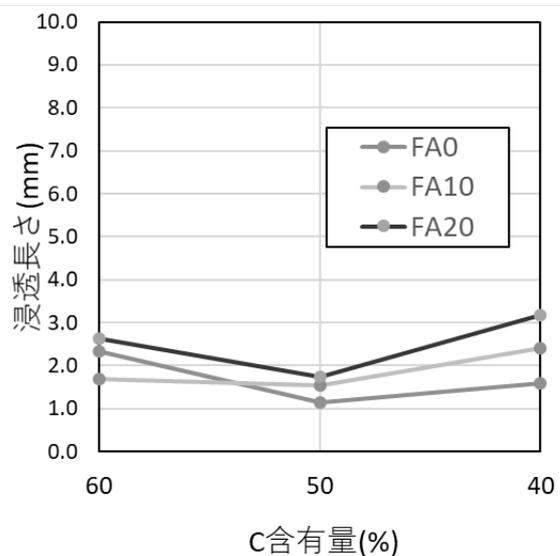


図 8.28 日養生した供試体の塩分浸透