

高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートの火力発電所土木設備への適用について（その２） －コンクリートの極低温特性について－

東京電力富津火力建設所	正会員	土山 滋郎
鹿島・清水共同企業体	正会員	坂田 博之
鹿島技術研究所	正会員	高田 和法
清水建設土木本部	正会員	名倉 健二
新日本製鐵	正会員	高野 良広

１．はじめに

コンクリート用スラグ粗骨材は、1977年にJIS A 5011にて規格化され、一般的な構造物に用いる場合の品質基準や特性が明らかにされている。しかし、LNG地下タンクや極寒冷地で適用する場合のコンクリートの強度特性および凍結融解抵抗性を検討した例はほとんどなく、天然粗骨材との相違等のデータがないのが現状である。ここでは、発電設備の燃料貯蔵施設となるLNG地下タンクの底版への高炉スラグ粗骨材の適用に際して、-18～+5℃の凍結融解試験の他に最低温度を-70℃とした場合の凍結融解試験および強度試験を実施し、天然粗骨材を用いたコンクリートと比較した結果についてとりまとめたものである。

表－１ 使用材料

使用材料	記号	摘 要	
セメント	MBF	フライアッシュ混入三成分系セメント	密度 2.84g/cm ³ ，比表面積 3,960cm ² /g
細骨材	S	富津市高溝産山砂	表乾密度 2.60g/cm ³ ，吸水率 1.70%，粗粒率 2.73
粗骨材	Gn	津久見産石灰砕石	表乾密度 2.71g/cm ³ ，吸水率 0.71%，G _{max} 20mm
	Gs	高炉スラグ砕石	表乾密度 2.58g/cm ³ ，吸水率 2.68%，G _{max} 20mm
混和剤	AD	AE減水剤	リグニンスルホン酸系 AE減水剤遅延形

２．試験概要

試験に用いたコンクリートの使用材料を表－１に、コンクリートの配合を表－２に示す。セメントには温度ひび割れ制御を目的として、フライアッシュ混入三成分系低発熱セメントを用いた。また、空気量は高炉スラグ粗骨材が内部に空隙を有するため、骨材

表－２ コンクリートの配合

配合 No.	f'ck(91) (N/mm ²)	スラップ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位置 (kg/m ³)					
						W	C	S	Gn	Gs	AD
MBF-50	24	15 ±2.5	55.0	48.0	4.5	158	285	868	491	467	0.712
MBF-0				45.0	±1.5	149	270	828	1060	—	0.738

修正係数を用いて読み値から1.0%を減じた値とした。試験ケースを表－３に示す。

表－３ 試験ケース及び試験方法

	項 目	試験内容	供試体寸法	供試体養生方法	供試体の空気量
1	凍結融解抵抗性試験	JSCE-G 501-1986	100×100×400mm	14日水中養生	MBF-50 : 4.0% MBF-0 : 4.5%
2	極低温下 (-70℃～+16℃) 凍結融解抵抗性試験	極低温 (-70℃) ※ ¹ ～常温 (+16℃) ※ ² 間の凍結融解を5サイクル実施。サイクルは熱衝撃を緩和するため、1サイクル/日とする。 〈測定項目〉 ・動弾性係数 ・凍結融解後の圧縮強度	・動弾性係数 100×100×400mm ・圧縮強度 φ100×h200mm	・動弾性係数 28日水中養生 5日で凍結融解 ・圧縮強度 36日水中養生 5日で凍結融解 (材齢41日)	・動弾性係数 MBF-50 : 4.5% MBF-0 : 4.1% ・圧縮強度 MBF-50 : 4.5% MBF-0 : 4.1%
3	極低温 (-70℃) 条件下における圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度試験	供試体を極低温 (-70℃) に冷却。供試体が極低温の状態で圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度試験を実施。	・圧縮・静弾性 φ100×h200mm ・割裂引張強度 φ150×h200mm	・圧縮・静弾性 28日水中養生 ・割裂引張強度 29日水中養生	MBF-50 : 4.0% MBF-0 : 4.5%

キーワード：高炉スラグ粗骨材，極低温，凍結融解抵抗性

連絡先：〒293-0011 千葉県富津市新富25番地 TEL：0439-87-3121 FAX：0439-90-5431

- ※ 1) 極低温 (−70℃) への冷却方法は、図−1 に示すように、水の入った鋼製容器中に供試体を挿入し、変性アルコール溶液中に入れ、液体窒素を注入することにより冷却した。
- ※ 2) 常温 (+16℃) への昇温方法は気中へ放置することとした。

3. 試験結果

(1) 凍結融解抵抗性試験

図−2 に相対動弾性係数と凍結融解サイクル数の関係を示す。図より、MBF-50 は MBF-0 とほぼ同様の低下傾向を示し、両方とも相対動弾性係数は 80% 以上を満足する結果となった。

(2) 極低温条件下 (−70℃~+16℃) の凍結融解抵抗性試験

本検討における凍結融解抵抗性試験は、LNG 地下タンクの供用期間 50 年の間に実施する開放点検を想定したものである。なお、極低温条件である −70℃ は既設 LNG 地下タンクのコンクリート温度の実測値から設定した。

図−3 に極低温条件下での相対動弾性係数と凍結融解サイクル数の関係を示す。図より、MBF-0 は MBF-50 とほぼ同様の低下傾向を示しており、天然粗骨材を用いたコンクリートと高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性に差異はないと考えられる。また、実際の開放点検時のコンクリート温度変化に対して 1 サイクル/日という急激な温度変化であるにも関わらず、相対動弾性係数は 70% 以上を満足する結果となった。

表−4 に凍結融解試験終了後の圧縮強度試験結果を示す。比較のために 41 日水中養生供試体についても試験を実施した。表より、MBF-50 では水中養生と比較して強度が約 10% 低下しているが、設計基準強度 $f'_{ck}(91)=24(\text{N/mm}^2)$ に対しては十分な強度が得られた。

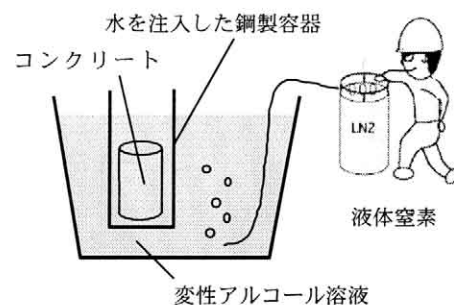
(3) 極低温下 (−70℃) 条件下での強度試験

表−5 に極低温条件下での材齢 28 日での強度試験結果を示す。比較するために同材齢の水中養生供試体を常温で試験した結果についても示す。

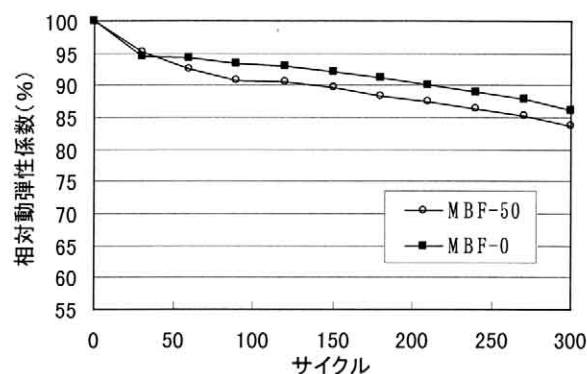
表−5 から、MBF-50 および MBF-0 とともに極低温下では常温下に対して圧縮、引張強度が約 2 倍、弾性係数が約 1.5 倍であり、極低温下で両者に差異はないと考えられる。

4. 結論

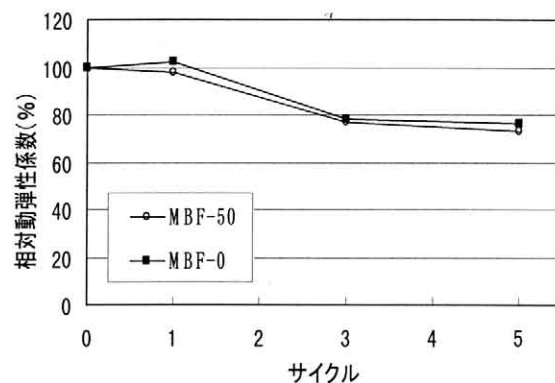
高炉スラグ粗骨材コンクリートの極低温条件下での強度、弾性係数および凍結融解抵抗性を明確に評価できた。これにより、LNG 地下タンクのような極低温環境となる構造物についても高炉スラグ粗骨材コンクリートは適用可能であることが確認された。



図−1 極低温への冷却方法



図−2 凍結融解試験結果



図−3 極低温の凍結融解試験結果

表−4 極低温で凍結融解後の圧縮強度試験結果

配合 No.	養生方法 (41 日)	圧縮強度 (N/mm ²)
MBF-50	水中養生	38.2
	凍結融解後	35.5
MBF-0	水中養生	32.7
	凍結融解後	33.8

表−5 極低温条件下での強度試験結果

配合 No.	温度条件 (℃)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)
MBF-50	+16	22.0	2.01	3.131
	−70	50.1	4.11	4.652
MBF-0	+16	20.6	1.94	3.158
	−70	43.0	3.96	4.510