

水中不分離性高流動無収縮モルタル材（繊維入りマックスA Z ）の強度特性

(株)熊谷組 正会員 ○近森 真仁
(株)熊谷組 正会員 相見 秀毅
(株)熊谷組 正会員 吉田 健治

1. はじめに

筆者らは、洋上風力発電用モノパイルで使用されるグラウト接合に適用可能なグラウト材として、繊維入りの水中不分離性高流動無収縮モルタル材の開発を行ってきた。今回、同材料の中長期にわたる強度変化やその際の水中気中強度比について詳細な特性を明らかにするために、供試体打設条件・単位水量・洋上温度等をパラメータとした強度特性試験を実施した。

2. 強度試験

2.1 試験概要

- 下記条件毎に試験練りとφ50mm×高100mmの強度試験用供試体を作成し各諸条件毎に圧縮強度試験を行った。
- ① 供試体打設条件（気中充填、連続気中充填、水中充填）
 - ② 練上がり温度：20℃、25℃、30℃
 - ③ 単位水量（規定中央値、規定上限値（規定中央値＋5％増）、規定中央値＋10％増）
 - ④ 圧縮強度試験材令：7材令（1日、3日、7日、28日、35日、56日、91日）

2.2 試験方法

供試体作成方法について、「気中充填」は「JSCE-F506-2018 モルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験用円柱供試体の作り方（案）」に準拠した。「連続気中充填」は突き棒による気泡除去の作業を省略した。「水中充填」は「JSCE-F504-2018 水中不分離性コンクリートの圧縮強度試験用水中作成供試体の作り方（案）」に準拠した。

練上がり温度は下記に示す通りとした。

- ・温度条件（1）20℃：21℃±1℃
- ・温度条件（2）25℃：26℃±1℃
- ・温度条件（3）30℃：31℃±1℃

また上記の温度基準にて各供試体の養生場所を温度保持した上で所定期間封緘養生を行った。単位水量の規定中央値（標準水量）は5.7kg/袋。規定上限値は5%付加の6.0kg/袋である。本試験では更に単位水量を5%付加させた規定オーバー値6.3kg/袋の計3種の試験を実施した。表-1に試験条件一覧を示す。

2.3 試験結果

各種条件下での圧縮強度試験結果は表-2～4の通りである。

材令 28 日強度においていずれの温度条件においても気中充填・連続気中充填共に単位水量に関わらず50N/mm2以上の強度結果であった。水中充填においては温度条件20℃及び25℃で、かつ単位水量が6kg/袋以下であれば50N/mm2以上であったが、同様の温度条件で単位水量6.3kg/袋の場合では45～48N/mm2程度であった。温度条件30℃における水中充填のケースでは、単位水量に関わらず28～33N/mm2程度であった30℃での水中充填供試体による強度試験結果で単位水量に関わらず一様に強度が低い要因として水中充填作業の初弾であった為、作業手順が

表-1 試験条件				
絶対条件 (温度条件)	付帯条件			実験条件No.
	単位水量 (kg/袋)	打設条件	供試体 作成方法	
20℃ (21℃±1℃)	5.7 (中央値)	気中	気中充填	1
			連続気中充填	2
		水中	水中充填	3
	6.0 (上限値)	気中	気中充填	4
			連続気中充填	5
		水中	水中充填	6
	6.3 (オーバー値)	気中	気中充填	7
			連続気中充填	8
		水中	水中充填	9
25℃ (26℃±1℃)	5.7 (中央値)	気中	気中充填	1
			連続気中充填	2
		水中	水中充填	3
	6.0 (上限値)	気中	気中充填	4
			連続気中充填	5
		水中	水中充填	6
	6.3 (オーバー値)	気中	気中充填	7
			連続気中充填	8
		水中	水中充填	9
30℃ (31℃±1℃)	5.7 (中央値)	気中	気中充填	1
			連続気中充填	2
		水中	水中充填	3
	6.0 (上限値)	気中	気中充填	4
			連続気中充填	5
		水中	水中充填	6
	6.3 (オーバー値)	気中	気中充填	7
			連続気中充填	8
		水中	水中充填	9

表-2 温度条件20℃ 圧縮強度試験結果 (N/mm ²)										
単位水量 (kg/袋)	打設条件	作成方法	実験条件	材齢(日)						
				1	3	7	28	35	56	91
5.7	気中	気中	No.1	21.1	39.4	53.1	67.1	67	69.9	73.9
		連続気中	No.3	20.3	38	51.7	65.1	68.6	70.3	72.3
	水中	水中	No.4	16.7	34.8	46.8	58.3	60.9	65.3	68.4
6	気中	気中	No.5	17.2	35.2	48.3	62	64.5	65.8	68.4
		連続気中	No.6	17	34.6	47.4	59.5	62.8	65.8	67.4
	水中	水中	No.7	11.1	28.9	41.7	54.5	58	59.1	63.3
6.3	気中	気中	No.8	17	33.6	45.6	58	60.9	63.2	66.5
		連続気中	No.9	15	32.6	45.2	57.3	61.7	62.9	65.4
	水中	水中		8.8	26	38	48.6	52.5	52.7	56.5

表-3 温度条件25℃ 圧縮強度試験結果 (N/mm ²)										
単位水量 (kg/袋)	打設条件	作成方法	実験条件	材齢(日)						
				1	3	7	28	35	56	91
5.7	気中	気中	No.1	24.5	41.2	50.6	64.1	64.7	67.1	70.2
		連続気中	No.2	23.1	39.8	50.1	61.5	62.9	66.8	64.8
	水中	水中	No.3	18.4	33.6	45.1	56.7	56.9	61.6	62.1
6	気中	気中	No.4	20.4	36.3	46.4	59.4	58.7	64.7	64.4
		連続気中	No.5	20.4	35.9	44.7	56.7	55.9	61.2	64.1
	水中	水中	No.6	13.7	29.6	40	50.3	51.1	54.7	56.9
6.3	気中	気中	No.7	17.6	32.8	42.6	54.9	56.4	58.2	60.1
		連続気中	No.8	17.8	31.6	41	50.8	53.8	54.6	57.3
	水中	水中	No.9	11.2	26.3	34.9	45.8	46.3	50.2	49.7

キーワード：水中不分離性 高流動 無収縮モルタル マックスA Z

連絡先：〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組新エネルギー事業部 TEL 03-3235-8622

不慣れでモールド内充填の間隙が若干でも存在したと推察される。

また、材令 28 日時点での圧縮強度を 1 として、その後の強度発現伸び率を表-5～7 で示す。

この結果、材令 91 日強度においていずれの温度条件においても、かついずれの単位水量であっても、試験の結果、材令 28 日強度から材令 91 日強度に至る場合、5%以上の強度伸び率であった。

気中充填を 1 とした場合の水中充填との強度比について、表-8～9 に示す。

水中充填においては、温度条件及び単位水量条件に比例した強度比が確認できた。

即ち水中強度比：20℃＞25℃＞30℃であり、かつ水中強度比：5.7kg＞6.0kg＞6.3kg であった。

3. 強度試験まとめ

- 試験結果から得られた知見は以下の通り。
- ・材令 28 日から材令 91 日に掛けて 5%以上の強度伸び率がある。
 - ・マックス A Z を用いて水中打設充填作業を行う場合で最も現場条件に近いのは、連続気中充填であると推察される。

マックス A Z はセメント、特殊混和材、骨材、繊維等がプレミックスされており、現場練り混ぜ時の単位水量の計量は大変重要ではあるが、仮に標準水量から 10%規定オーバーして練り混ぜしても圧縮強度 50N/mm2 を確保できた。

・本試験での水中充填については、上記の現場水中打設充填作業の中で、局所的な悪条件を再現していると推察される。

この場合、単位水量の計量が強度発現に大きく作用しており、温度条件 20℃及び 25℃における単位水量が規定条件値の 6.0kg/袋までであれば圧縮強度 50N/mm2 を確保できる。

本試験から判断される事は、マックス A Z を現場練り混ぜ時に単位水量の計量を 10%増とした場合でも強度発現が著しく低いという事象は起こり得ないものの、水中打設充填の局所的な悪条件下では、強度発現が 10%程度低くなる可能性が考えられる。

4. おわりに

今後、洋上風力発電事業など再び海上土木工事が注目されており、水中不分離性や流動性、また疲労強度特性や靱性に優れた無収縮モルタル材の水中打設充填作業が増加するものと思われる。

関係諸氏の事業計画の一助となれば幸いである。

最後に、本試験にご尽力を頂いた株式会社ファテックの高嶋展浩氏に謝意を表する。

表-4 温度条件30℃ 圧縮強度試験結果 (N/mm ²)										
単位水量 (kg/袋)	打設条件	作成方法	実験条件	材齢(日)						
				1	3	7	28	35	56	91
5.7	気中	気中	No.1	25.4	38.1	45.4	55.5	54	58.7	58.8
		連続気中	No.2	24.9	38.3	46.5	55.9	55.3	60.1	58.7
	水中	水中	No.3	11.3	21.9	30.2	30	36.1	38.9	40.8
6	気中	気中	No.4	23.3	39	49.1	58.9	59.7	64.2	63
		連続気中	No.5	23.2	37.6	47.4	57.5	56.3	60.2	61.8
	水中	水中	No.6	8.7	15.8	22	28.2	28.3	32.7	32.9
6.3	気中	気中	No.7	20.2	34.8	45.5	54.9	55.6	59.1	61.4
		連続気中	No.8	21.2	34.8	43.1	53.5	53.6	56.4	58.2
	水中	水中	No.9	11.6	18.6	26.6	33.9	36	45.2	39.8

表-5 温度条件20℃ 長期材齢圧縮強度発現率								
単位水量 (kg/袋)	打設条件	作成方法	実験条件	材齢(日)				備考
				28	35	56	91	
5.7	気中	気中	No.1	1	1.00	1.04	1.10	
		連続気中	No.2	1	1.05	1.08	1.11	
	水中	水中	No.3	1	1.04	1.12	1.17	
6	気中	気中	No.4	1	1.04	1.06	1.10	
		連続気中	No.5	1	1.06	1.11	1.13	
	水中	水中	No.6	1	1.06	1.08	1.16	
6.3	気中	気中	No.7	1	1.05	1.09	1.15	
		連続気中	No.8	1	1.08	1.10	1.14	
	水中	水中	No.9	1	1.08	1.08	1.16	

表-6 温度条件25℃ 長期材齢圧縮強度発現率								
単位水量 (kg/袋)	打設条件	作成方法	実験条件	材齢(日)				備考
				28	35	56	91	
5.7	気中	気中	No.1	1	1.01	1.05	1.10	
		連続気中	No.2	1	1.02	1.09	1.05	
	水中	水中	No.3	1	1.00	1.09	1.10	
6	気中	気中	No.4	1	0.99	1.09	1.08	
		連続気中	No.5	1	0.99	1.08	1.13	
	水中	水中	No.6	1	1.02	1.09	1.13	
6.3	気中	気中	No.7	1	1.03	1.06	1.09	
		連続気中	No.8	1	1.06	1.07	1.13	
	水中	水中	No.9	1	1.01	1.10	1.09	

表-7 温度条件30℃ 長期材齢圧縮強度発現率								
単位水量 (kg/袋)	打設条件	作成方法	実験条件	材齢(日)				備考
				28	35	56	91	
5.7	気中	気中	No.1	1	0.97	1.06	1.06	
		連続気中	No.2	1	0.99	1.08	1.05	
	水中	水中	No.3	1	1.20	1.30	1.36	
6	気中	気中	No.4	1	1.01	1.09	1.07	
		連続気中	No.5	1	0.98	1.05	1.07	
	水中	水中	No.6	1	1.00	1.16	1.17	
6.3	気中	気中	No.7	1	1.01	1.08	1.12	
		連続気中	No.8	1	1.00	1.05	1.09	
	水中	水中	No.9	1	1.06	1.33	1.17	

表-8 水中・気中強度比									
温度条件	単位水量	材齢(日)							備考
		1	3	7	28	35	56	91	
20℃	5.7kg/袋	79.10%	88.30%	88.10%	86.90%	90.90%	93.40%	92.60%	
	6.0kg/袋	64.50%	82.10%	86.30%	87.90%	89.90%	89.80%	92.50%	
	6.3kg/袋	51.80%	77.40%	83.30%	83.80%	86.20%	83.40%	85.00%	
25℃	5.7kg/袋	75.10%	81.60%	89.10%	88.50%	87.90%	91.80%	88.50%	
	6.0kg/袋	67.20%	81.50%	86.20%	84.70%	87.10%	84.50%	88.40%	
	6.3kg/袋	63.60%	80.20%	81.90%	83.40%	82.10%	86.30%	82.70%	
30℃	5.7kg/袋	63.00%	80.10%	87.20%	89.50%	93.10%	88.10%	89.50%	
	6.0kg/袋	73.00%	79.70%	79.80%	83.00%	85.60%	81.30%	85.90%	
	6.3kg/袋	67.80%	76.40%	77.80%	82.30%	82.90%	77.80%	79.50%	

表-9 水中・気中（作成方法：連続気中）強度比									
温度条件	単位水量	材齢(日)							備考
		1	3	7	28	35	56	91	
20℃	5.7kg/袋	82.30%	91.60%	90.50%	89.60%	88.80%	92.90%	94.60%	
	6.0kg/袋	65.30%	83.50%	88.00%	91.60%	92.40%	89.80%	93.90%	
	6.3kg/袋	58.70%	79.80%	84.10%	84.80%	85.10%	83.80%	86.40%	
25℃	5.7kg/袋	79.70%	84.40%	90.00%	92.20%	90.50%	92.20%	95.80%	
	6.0kg/袋	67.20%	82.50%	89.50%	88.70%	91.40%	89.40%	88.80%	
	6.3kg/袋	62.90%	83.20%	85.10%	90.20%	86.10%	91.90%	86.70%	
30℃	5.7kg/袋	64.30%	79.60%	85.20%	88.90%	91.00%	86.00%	89.60%	
	6.0kg/袋	73.30%	82.70%	82.70%	85.00%	90.80%	86.70%	87.50%	
	6.3kg/袋	64.60%	76.40%	82.10%	84.50%	86.00%	81.60%	83.80%	