

マスコンクリートとなる風車基礎におけるコンクリート調合管理強度の確認

戸田建設(株) 正会員 ○佐藤 知之
戸田建設(株) 正会員 叶井 洋平

1. はじめに

地球温暖化防止の CO² 排出量削減に寄与し、地球環境に対して負荷の少ない再生可能エネルギーの需要が高まり、特に北海道は風力発電の好適地であることから、各地で風力発電所が建設されている。近年、より発電効率を高めるため、風車 1 基当たりの発電量増加・大型化により、風車支持物となる基礎コンクリートも高強度化・マスコンクリート化が進み、施工管理の難度が高くなるとともに、建設コストの増大が課題となっている。本稿では、風車基礎コンクリートにおける調合管理強度の設定と施工例を報告する。

2. 工事概要

表-1 に本工事の工事概要、図-1 に工事位置を示す。本工事では 4.3MW 級風車を 3 基建設する。

3. 風車基礎の概要

図-2 に風車基礎概要図を示す。風車基礎コンクリートの設計基準強度は、 $F_c = 36\text{N/mm}^2$ で、セメントは高炉 B 種を使用する。また、風車基礎は、フーチング部(直接基礎: 695m^3 、杭基礎: 550m^3)とペデスタル部 (145m^3) の 2 回に分けて打設する。本風車基礎の施工における適用基準は、『建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事』に従った。打設時期は、11 月中旬が最終打設となり、当該地の日平均気温から寒中コンクリートが適用される。

4. 調合管理強度(配合強度)の設定

本風車基礎コンクリートの調合管理強度は、JASS5 21 節マスコンクリートに従い、図-3 で設定した。ここで、コンクリートの構造体強度補正值 ($_{28}\text{SM}_{91}$) は、一般コンクリートの場合、コンクリートの打込みから 28 日までの期間の予想平均気温が 0°C 以上 13°C 未満で 6N/mm^2 であるが、断面寸法が大きいマスコンクリートは、セメントの水和反応による発熱が蓄積されて、コンクリートの平均養生温度は平均外気温よりも高くなるため、強度発現上有利となる。従って、マスコンクリートの構造体強度補正值 ($_{28}\text{SM}_{91}$) の標準値は、予想平均養生温度 0°C 以上より、 $_{28}\text{SM}_{91} = 3\text{N/mm}^2$ 以上と設定できる(表-2)。よって、一般のコンクリート構造物に比較してコンクリートの単位セメント量を低減でき、有害な温度ひび割れの抑制やコスト削減となり合理的となる。

5. 試験練り時の構造体強度補正值 ($_{28}\text{SM}_{91}$) の確認

構造物の品質基準強度を確保するため、マスコンクリートの構造体強度補正值 ($_{28}\text{SM}_{91}$) を試験練りで事前確認を行った。

キーワード マスコンクリート、風車基礎コンクリート、調合管理強度、構造体強度補正值

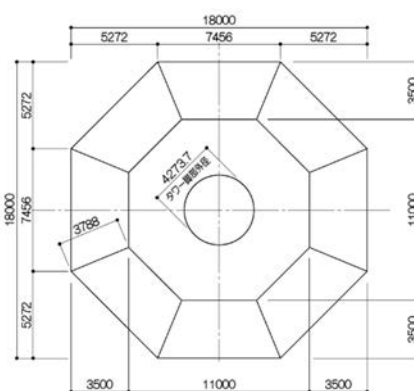
連絡先 〒060-8535 北海道札幌市中央区北 3 条東 2-2 戸田建設(株)札幌支店 TEL 011-231-9211

表-1 工事概要

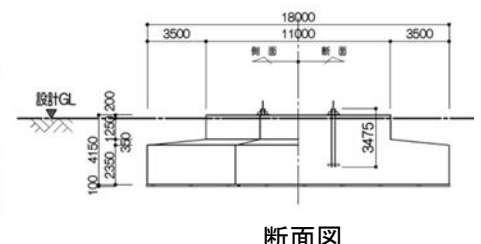
工事名	ユーラス伊達北黄金ウインドファーム建設工事
工事場所	北海道伊達市
工期	2021年4月12日～2022年10月20日
工事概要	4,300kwの風車3基を建設する。 風車基礎: 3基(直接基礎1基、杭基礎2基) 風車ヤード・工食用道路造成工事一式 風車電気工事一式、連系変電所一式 他



図-1 工事位置図



平面図



断面図

図-2 風車基礎概要図(直接基礎)

$$FM_m = F_q + {}_m\text{SM}_n \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここに FM_m : マスコンクリートの調合管理強度 (N/mm^2)

F_q : マスコンクリートの品質管理強度 (N/mm^2) で、設計基準強度または耐久設計基準強度のうち、大きい方の値とする。

${}_m\text{SM}_n$: マスコンクリートの構造体強度補正值 (N/mm^2)

図-3 調合管理強度の設定

表-2 構造体強度補正值 ($_{28}\text{SM}_{91}$) の標準値

セメントの種類	コンクリートの打込みから材齢28日までの予想平均養生温度 θ の範囲 ($^\circ\text{C}$)	
	$0 \leq \theta$	暑中期間
高炉セメントB種	3	6

試験練りは、設計基準強度 $F_c = 36\text{N/mm}^2$ に構造体強度補正值 ($_{28}SM_{91}$) を加えた調合管理強度 $FM (40\text{N/mm}^2)$ で実施した。

ここで、マスコンクリートとなる当工事の風車基礎コンクリートの構造体強度を再現するため、コンクリート内部用供試体は、『JASS5 T-606:2018 簡易断熱養生供試体による構造物コンクリート強度の推定方法』に従った。また、コンクリート表面用供試体は、冷蔵庫内養生(冷蔵庫内温度: 7°C 一定)を行い、両者の圧縮強度を構造体コンクリートの圧縮強度と設定した。また、平均養生温度を確認するため各供試体のコンクリート温度を測定した。

圧縮強度試験結果を表-3に示す。その結果、材齢 91 日での構造体コンクリートの圧縮強度の推定値は、簡易断熱 49.3N/mm^2 、冷蔵庫 51.1N/mm^2 であり、材齢 28 日で標準養生した供試体の圧縮強度は、 48.8N/mm^2 であったため、構造体強度補正值 ($_{28}SM_{91}$) は、それぞれ 0.5N/mm^2 、 2.3N/mm^2 と推定された。

よって、本工事では、マスコンクリートの構造体強度補正值 ($_{28}SM_{91}$) の標準値 3N/mm^2 を設定することで、構造体の品質基準強度を確保できると判断し、本風車基礎コンクリートの調合管理強度 (FM_m) 40N/mm^2 ($36\text{N/mm}^2 + 3\text{N/mm}^2 = 36\text{N/mm}^2$ 以上) を決定した。

また、供試体のコンクリート温度を図-4に示す。マスコンクリート内部を再現した簡易断熱養生供試体は、コンクリート温度が最高 50.5°C に達したのに対して、コンクリート表面用供試体のコンクリート温度は最高 21.6°C であった。

6. 実施工の結果と考察

風車基礎コンクリートは、11月14日に最終のフーチングコンクリートを打設した。その際、フーチングコンクリート中心部と表面部に熱電対を設置しコンクリート温度を測定するとともに外気温を測定した。その結果を図-5に示す。コンクリート打設後の旬の日平均気温は、11月下旬 3.9°C 、12月上旬 2.2°C で寒中コンクリートであった。コンクリート内部温度は、最高約 78.2°C 、コンクリート表面温度は、最高約 29.8°C であった。

圧縮強度試験結果を表-4に示す。その結果、材齢 28 日の標準養生供試体の圧縮強度 (47.9N/mm^2) であり、JASS5に示される構造体コンクリートの圧縮強度の判定基準(表-5)を $X_m (47.9\text{N/mm}^2) \geq FM_m (40\text{N/mm}^2)$ より満足した。ここで、材齢 91 日の現場封かん養生供試体の圧縮強度 (46.4N/mm^2) は、試験練り時の推定強度 (49.3N/mm^2 、 51.1N/mm^2) より低かったが、試験練り時気温(冷蔵庫内 7°C) より日平均気温が低くなったことが原因と推定される。

7. まとめ

本工事は、2021年度に風車基礎構築工事を、コンクリートの品質を確保し無事完了した。2022年度では風車組立工事を施工し、2022年度中の風力発電運転開始を目指す。本稿における実績が今後の同種工事におけるコンクリート品質管理の一助となれば幸いである。

表-3 供試体圧縮強度試験結果

材齢	養生方法		
	標準	簡易断熱	冷蔵庫
σ_7	31.5	30.2	28.1
σ_{28}	48.8	45.3	43.8
σ_{91}	—	49.3	51.1

表-4 実施工圧縮強度試験結果

材齢	養生方法	
	標準	現場封かん
σ_7	—	23.5
σ_{28}	47.9	40.5
σ_{91}	—	46.4

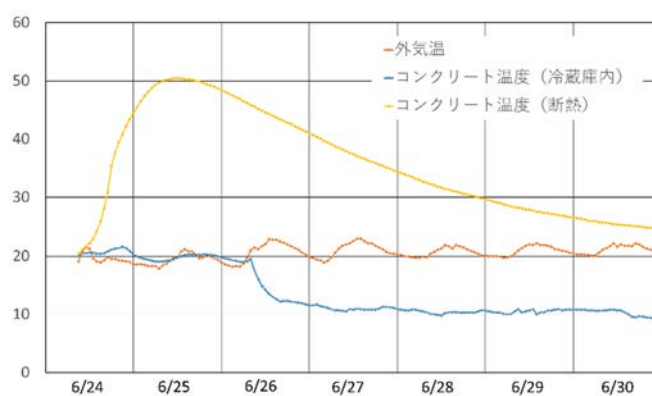


図-4 供試体コンクリート温度グラフ

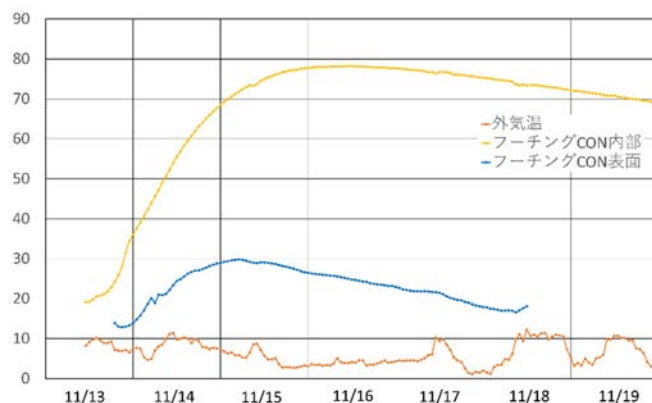


図-5 フーチングコンクリート温度グラフ

表-5 マスコンクリートにおける構造体コンクリート圧縮強度判定基準

供試体の養生方法	試験材齢	判定基準
標準養生	28日以上91日以内のm日	$X_m \geq FM_m$
構造体温度養生	28日以上91日以内のn日	$X_n \geq F_a + 3$
コア	28日以上91日以内のn日	$X_n \geq F_a + 3$

ただし、 X_m : 材齢m日での1回の試験における3個の供試体の圧縮強度の平均値 (N/mm^2)

X_n : 材齢n日での1回の試験における3個の供試体の圧縮強度の平均値 (N/mm^2)

FM_m : マスコンクリートの調合管理強度 (N/mm^2)

F_a : マスコンクリートの品質基準強度 (N/mm^2)