

大規模面状地中構造物躯体の温度応力解析による生コンクリート配合の検討および施工

戸田建設株式会社 正会員 ○中川晋太郎
 戸田建設株式会社 正会員 山本 正幸
 戸田建設株式会社 正会員 榎木 正人
 戸田建設株式会社 正会員 柴田 靖

1. はじめに

西部処理場北系水処理施設は設計水量50,000m³/日の能力を有する水処理施設であり、最初沈澱池、生物反応槽、最終沈澱池、ろ過池・塩素混和池の4施設にて構成される。当該施設の躯体は大規模面状地中構造物であり、打設量約45,000m³のマスコンクリートとなっている。構造物に有害なひび割れが発生しないように、コンクリート材料の配合を検討し、綿密な打設・養生計画を立てて入念に施工を行い、水密性を確保する必要がある。本報では、設計で求められたひび割れ指数1.2を満足するために、実際の施工に即した解析条件で温度応力解析を行い、生コンクリートの配合を設定した結果について報告する。

2. 準拠指針および解析コード

1) 準拠指針

- ・『2012 年制定コンクリート標準示方書（設計編）』（土木学会）
- ・『マスコンクリートのひび割れ制御指針2016』（日本コンクリート工学会）

2) 解析コード

- ・3次元有限要素法(FEM解析)

使用ソフト：ASTEAMACS Ver.9.2.4 (株)計算力学研究センター

3. 解析条件

1) 解析モデル

解析モデルは当初設計時と同様のものを用い、軸方向および直角方向には温度・応力分布は対称であると考え、1/4モデルを採用した。またモデルの作成に当たり、『マスコンクリートのひび割れ制御指針2016』に準拠して要素分割を行った。最終沈澱池の解析モデルを図-1に示す。

2) 解析ケース・コンクリート配合

本解析における解析ケースおよび各ケースの配合は、配合計画書に基づき表-1のように決定した。

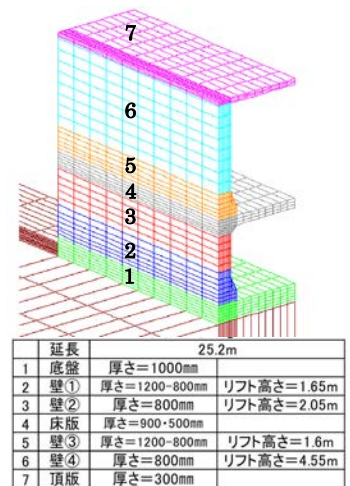


図-1 解析モデル(最終沈澱池)

表-1 解析ケースおよびコンクリート配合

解析ケース	セメントの種類	膨張材	コンクリート配合	呼び強度(N/mm ²)	単位置量(kg/m ³)		水結合材比 W/(C+E) (%)	管理基準材齢(日)
					セメント C	膨張材 E		
①	高炉セメント B種	-	24-12-20BB	24	315	-	0.55	28
②		有			315	20	0.515	
③	低熱セメント	-	30-12-20L	30	315	-	0.54	56
④		有			315	15	0.515	

キーワード 面状地中構造物, 温度応力解析, マスコンクリート, 3次元有限要素法

連絡先 〒550-0005 大阪府西区西本町 1-13-47 戸田建設大阪支店土木工事部 TEL 06-6531-7981

4. 解析結果

1) 解析結果の評価について

コンクリート配合は、温度応力解析の結果算出されたひび割れ指数によって評価することとし、解析前に提示されている条件から、ひび割れ指数が1.2以上となる配合を躯体のコンクリートとして採用した。

なお、ひび割れ指数は、『2012年制定 コンクリート標準示方書(設計編)』に準拠し、下式にて求めた。

$$\text{ひび割れ指数 } I_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma(t) \geq \gamma_{cr}$$

ここに、 $\sigma(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリートの最大主引張応力度 (N/mm²)

$f_{tk}(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリートの引張強度 (N/mm²)

γ_{cr} : ひび割れ発生危険度およびひび割れ指数の精度に係わる安全係数

2) 解析結果

最終沈殿池の打設日程、外気温・コンクリート温度および解析結果を表-2に示す。リフト割に応じて、高炉セメント+膨張材、低熱セメント、低熱セメント+膨張材の3種類を決定配合とした。

表-2 解析結果(最終沈殿池)

	リフト数	リフト	日付	外気温	Con温度	最小ひび割れ指数			
						ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
最終沈殿池	7	1	3 5	7.9	12.9			2.00	3.71
		2	4 10	14.6	19.6	0.40	0.48	0.87	1.41
		3	10 5	22.8	27.8	0.44	0.51	0.87	1.25
		4	11 25	12.4	17.4	0.62	0.78	1.28	2.58
		5	1 25	5.7	10.7	0.49	0.61	0.97	2.04
		6	4 15	14.6	19.6	0.64	0.83	1.29	2.36
		7	5 25	21.6	26.6	0.73	1.23	1.28	3.69

赤字 : 決定配合
 赤字 : ひび割れ指数1.2以上

5. 工程計画

以上の解析結果を基に工程計画を立案した。一般的に用いられる高炉セメント等においては強度発生推定式が存在するが、低熱セメント+膨張材の配合については強度発生推定式が存在しない。また、各生コンプラントの使用する骨材等や現場の諸条件によっても異なった値となることから、実際に使用する各生コンプラントのコンクリートを用いて圧縮強度試験を行った。試験結果と高炉セメントの算定値を合わせて図-2に示す。表-3に示す脱型必要強度が発現するまでの養生期間が一般的に使用する高炉セメントの約2~3倍必要であることが分かったため、この検討結果を工程計画に反映させた。

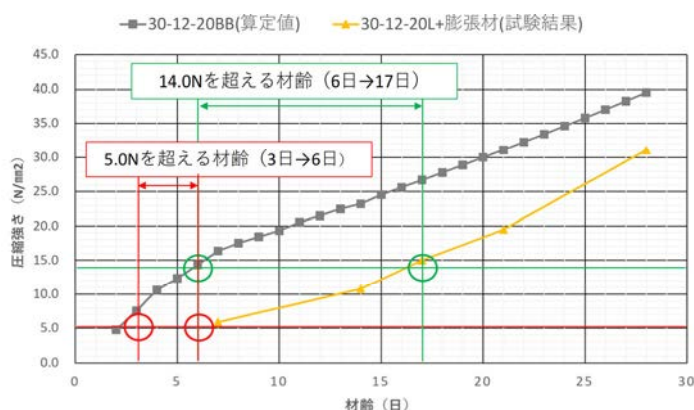


図-2 コンクリート強度と材齢の関係について

表-3 型枠脱型に必要な圧縮強度

部材面の種類	コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)
フーチング側面	3.5
柱・壁・はりの側面	5.0
スラブ・はりの底面、アーチの内面	14.0

6. 施工実績

実際に各種コンクリートを打設した結果、高炉セメントを用いた躯体に関しては少なからず温度ひび割れが発生したのに対し、低熱セメント、または、低熱セメント+膨張材の配合では躯体に温度ひび割れの発生は確認されなかった。このことから、高炉セメントと比較し、低熱セメントを用いたコンクリートは水和熱が低く、コンクリートの温度ひびわれ対策としてコンクリート材料での制御を可能としたといえる。しかしながら、施工に際しては左官押えのタイミングの一つとされる水の引きが非常に遅くなるため、施工の終了時刻が非常に遅延するという一面もみられた。

7. まとめ

低熱セメントを用いたコンクリートの使用により、確実に温度ひび割れを抑制することはできるが、強度発現が遅延するため、事前に工程計画を見直し、場合によっては発注者と工期設定についてあらかじめ協議しておく必要があると考える。