

ニューマチックケーソン工法を用いた大深度立坑のコンクリート品質に関する研究

早稲田大学 正会員 岩波 基
(株)熊谷組 正会員 ○中出 剛

1. はじめに

ニューマチックケーソン工法の無人化施工が 2000 年頃から一般化し、大深度の施工にも対応できるようになった。そこで、作業エリアが小さく、施工速度が早いニューマチックケーソン工法が採用される大深度立坑が増えた。現在、大深度立坑の構築にニューマチックケーソン工法を用いる場合は、以前の用途である橋梁基礎と異なり、シールド工事施工のため内部の仕切り壁を設けることができず内空をあけておくため、側壁が厚くなる。これにより、3 日で型枠を外して沈下を行うために早強セメントを用いると温度応力ひび割れが生じる結果となった。そのため、温度応力を低減するために低熱高炉セメントが使われるようになったが、脱枠を材齢 3 日で行うことは続けられている。したがって、打ち込み後のコンクリート強度が型枠を外す目安とされる圧縮強度 10N/mm^2 を満たさない可能性がある。

そこで、本研究では、低熱高炉セメントを採用したニューマチックケーソンのコンクリートが型枠を外す材齢 3 日の時点での発現強度を推定し、作業荷重や沈下挙動によって品質劣化を生じる可能性について検討することを目的とする。

2. 検討対象

今回の検討対象は石神井川立坑とした。石神井川立坑は、白子川地下調節池事業の到達立坑で、石神井川と都道環状八号線の交差点付近、同区高松三丁目地内にある内径 19.5m、深さ 46.5m の立坑である。構築にはニューマチックケーソン工法が採用され、平成 25 年度に完成した。

2.1 構造概要

図-1 に石神井川立坑の施工時の構造一般図を示す。図に示したように外径が 25.1m で、掘削深さ 50.9m、底版厚さ 3m で側壁厚さ 2.8m の構造である。



図-1 一般構造図

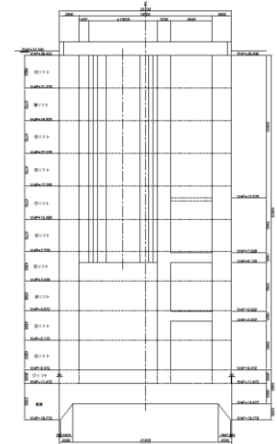


図-2 打設リフト

2.2 打設リフト

図-2 に示したように刃口打設後、側壁を 11 リフトに分割して打設する。

3. 解析条件

3.1 解析モデル

図-3 に解析モデルを示す。対称性から 3 次元 FEM の 1/4 モデルを用いて解析する。

3.2 主な解析条件

外気温は当核施設に最も近い東京観測所における日平均気温データ（1971～2000）をサインカーブで近似して設定する。

近似式； $T(t) = 16.0 + 11.0 \times \sin((t-120) \times 2\pi/365)$

コンクリートの打設温度は、練混ぜ時や、運搬時、ポンプ圧送時における温

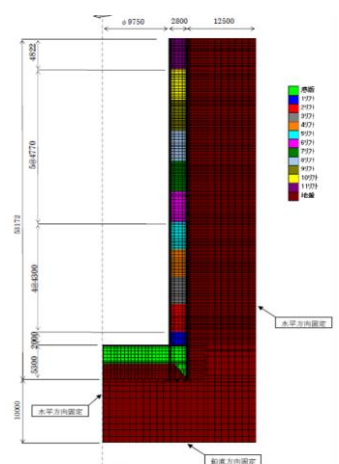


図-3 解析モデル

キーワード 大深度立坑、ニューマチックケーソン、低熱高炉セメント、初期コンクリート強度

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組 土木設計部 TEL 03-3235-8622

度上昇の影響を考慮し、ひび割れ制御指針 2008 に準じて、外気温+5℃を標準とした。地盤初期温度は、東京都の年平均気温 15.4℃とする。

低熱高炉セメント（MKC）の強度発現特性は試験に準じて下式で算定した。

圧縮強度 $f'_c(te) = \frac{te - sf}{a + b \cdot (te - sf)} d \cdot f'_{ck}$
 $a:10.10, \quad b:0.781, \quad sf:0.50, \quad d:1.51$

低熱高炉セメント（MKC）の断熱温度上昇特性を表-1に、地盤の物理特性および熱特性を表-2に、温度解析境界条件を表-3に示す。

4. 解析結果

4.1 温度解析結果

図-4 にリフトごとの最低温度となった箇所の温度履歴を示す。なお、リフト 11 は脱枠後に表面補強を行ったことが判明したため図には記載していない。図-4 からわかるように6～8リフトでは最高温度が20℃以下であり、その後も20℃を上回るのが、必要な強度が発現した後であることが分かる。したがって、脱枠する時点で、強度発現が十分かを確認する必要性が高いものと考えられる。

4.1 現強度推定結果

図-5 に上記の式で算出した1～10リフトの材齢3日までの強度の経時変化を示す。これを見ると4リフトと7リフトだけが型枠を外して問題が生じにくいと判断される10N/mm²にコンクリートの圧縮強度が達しているがそれ以外は、大きく10N/mm²を下回っていることが分かる。

5. おわりに

本報告では、石神井川立坑を例にしてニューマチックケーソン工法で構築する立坑に低熱高炉セメントを採用した場合の強度発現について検討した。その結果、通常のニューマチックケーソン工法においてコンクリート打設後一般的に3日で型枠を外す

ことで工程を考えることが多かったが、その時点で、基準とされてきた圧縮強度 10N/mm²を確保することが出来ない可能性が高いことが分かった。実際の現場では、立坑コンクリートの品質を確保するために脱枠する材齢を十分遅くしているものと思われるが、低熱高炉セメントの初期材齢の強度はばらつきが大きく、脱枠した後での養生が困難であるため、コンクリート温度が低い場合の材齢と強度の関係が明確になるよう試験練り時点において、多くのケースで詳細なデータにより配合と施工計画を立案することが必要であると考えられる。

表-1 断熱温度上昇特性

記号	セメントの種類	打込みの温度(℃)	$T = K(1 - \exp(-\alpha t))$			
			$K = aC + b$		$\alpha = cC + h$	
			a	b	c	h
MKC	低熱高炉セメント	10	0.071	16.2	0.0021	-0.359
		20	0.07	16.7	0.0026	-0.259
		30	0.069	17.1	0.0030	-0.148

表-2 地盤の物理特性および熱特性

項目	条件	備考
密度 ρ	1850 kg/m ³	設計用土質定数全地層の平均値
弾性係数 E	120 N/mm ²	
ポアソン比 ν	0.4	「ひび割れ制御指針2008」に準拠
比熱	1.40 kJ/kg℃	
熱伝導率	1.7 W/m℃	

表-3 温度解析境界条件

境界位置	熱伝達率 η (W/m ² ℃)
外気	14
コンクリート上面	14 (散水養生)
コンクリート側面	養生中 8 (合板型枠 (期間: 3日間))
	養生後 14

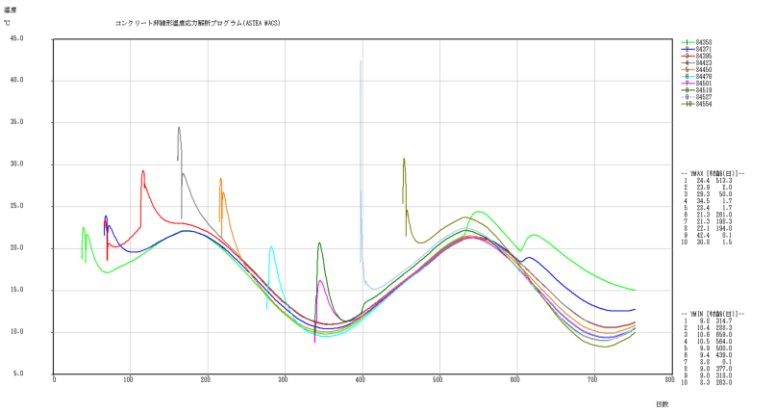


図-4 最低温度履歴

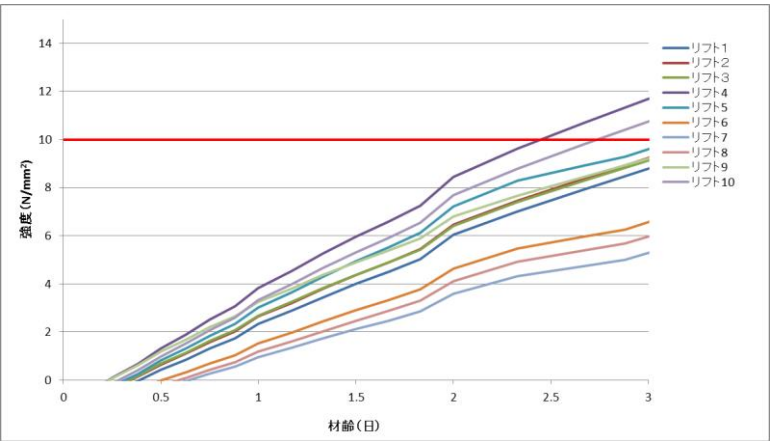


図-5 材齢に対する推定圧縮強度