

シールド工事中大深度円形立坑におけるニューマチックケーソンの脱枠時の強度に関する検討

早稲田大学 学生会員 ○宮崎 雄介
早稲田大学 正会員 岩波 基
熊谷組 正会員 山口 哲司

1. 目的

大深度シールド工事中立坑におけるニューマチックケーソン工法では温度応力を低減するために、低熱高炉セメント(以後、MKC と称す)を用いるが、早強ポルトランドセメントを用いた一般的なニューマチックケーソン工法と同様に脱型を3日で行っている。このような若材齢では強度が十分に発現していないため、ケーソンにダンプやバックホウなどの工事用重機が衝突した際に、コンクリートが破壊する可能性がある。

そこで、本研究では立坑用ニューマチックケーソン工法において、材齢3日でのコンクリートの強度発現と若材齢のMKCによる構造物が衝突荷重によって破壊する可能性について検討する。この時、若材齢の圧縮強度はケーソン内部と外部で分け、材齢が3日、4日、6日の場合について検討を行う。なお、平成24年度道路橋示方書¹⁾より衝突荷重を静的な荷重として設計構造解析に用いられる集中1000kNとした。

2. 構造概要

図-1に示すように、外径25m、掘削深さ50m、底版厚さ3mで側壁厚さが3mのケーソンの側壁を、11リフトに分割して打設する。

3. 解析条件

(1) 解析モデル

図-2の三次元FEMの1/4モデルより、コンクリートの強度発現を算定し、図-3のモデルより衝突荷重によるコンクリート破壊の算定を行う。また、鉛直主鉄筋は直径32mmの鉄筋とした。

(2) 主な解析条件

外気温は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設定する。
MKCの強度変形特性を表-1、断熱温度上昇特性を表-2に示す。
衝突荷重による算定は、材齢3日、4日、6日について行い、そのときの圧縮強度を表-3に示す。それぞれの場合について解析を行う。

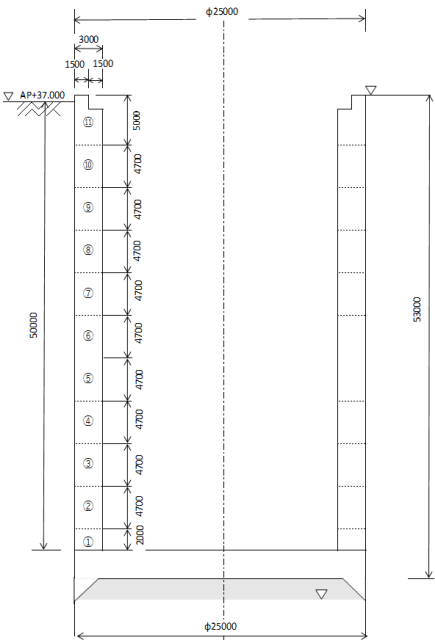


図-1 一般構造図

表-1 強度変形特性

項目		条件				備考	
強度・ 変形特性	圧縮強度	圧縮強度 N/mm ²	a	b	sf	d	ひび割れ制御指針 2008より
		$f'_c(te) = \frac{t_e - S_f}{a + b \cdot (t_e - sf)} \cdot d' \cdot f'_{ck}$	10.1	0.781	0.500	1.51	
	引張強度 N/mm ²	$f(te) = 0.265 \cdot f'_c(te)^{0.715}$				MKC技術資料より 近似式を設定	
		有効ヤング係数 Ec N/mm ²	$Ec(te) = 5300 \cdot f'_c(te)^{0.525}$				MKC技術資料より 近似式を設定
			ポアソン比	0.2			
		線膨張係数	$10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$				2007年制定より

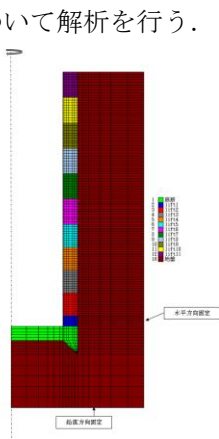


図-2 温度解析モデル

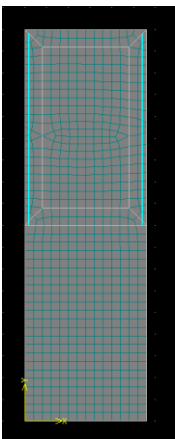


図-3 衝突荷重解析モデル

表-2 断熱温度上昇特性

記号	セメントの種類	打ち込みの温度	T=K(1-exp(-at))			
			K=aC+b		a=gC+h	
			a	b	g	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	0.003	-0.148

表-3 各材齢における圧縮強度

材齢 (日)	3	4	6
圧縮強度(外部) (N/mm ²)	5	7	10
圧縮強度(内部) (N/mm ²)	6	9	14

4. 解析結果

(1)材齢 3 日でのコンクリート強度

図-4 に材齢 3 日における MKC の強度を示す．脱型の目安である圧縮強度 10kN/mm²を下回るリフトがあることが分かる．

(2)衝突荷重によるコンクリートの破壊の検討

それぞれの材齢における解析結果を図-3 から図-5 に示す．

図からわかるように材齢が大きくなると全体的にひび割れが少なくなっていることが分かる．また，材齢 3 日，4 日のとき，荷重をかけた位置にひび割れが発生しているが，材齢 6 日になると荷重位置にひび割れが発生しないことが分かる．

また，表-4 に各材齢における最大圧縮応力を示す．圧縮強度が大きいほど衝突荷重が分散せず集中するため，圧縮応力も大きくなると考えられる．

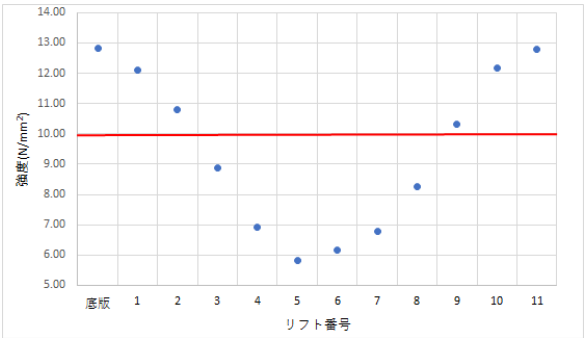


図-4 材齢 3 日における各リフトの圧縮強度

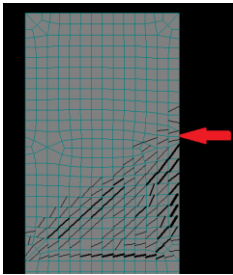


図-3 材齢 3 日

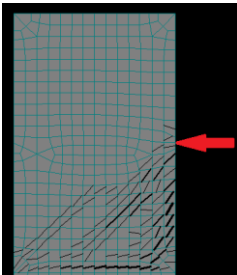


図-4 材齢 4 日

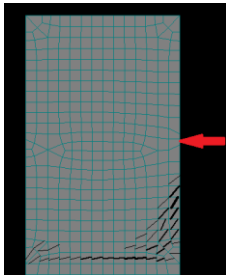


図-5 材齢 6 日

表-4 各材齢における最大圧縮応力

材齢 (日)	3	4	6
最大圧縮応力 (N/mm ²)	4.97	6.07	6.20

5. おわりに

本研究ではニューマチックケーソンの脱枠時期に必要なとされている 10N/mm² の根拠を確認するための検討を行った．その結果，以上の若材齢における MKC を採用したニューマチックケーソン側壁に作用する衝突荷重によるコンクリートの破損の有無について確認する解析を行ったところ，10N/mm² の強度が発現してもひび割れが生じることが分かった．しかし，ケーソンの脱型の目安である材齢 3 日時におけるひび割れは図-3 からわかるように広範囲にひび割れが生じている．一方，材齢 6 日で 10N/mm² の強度が発現していると荷重位置にひび割れが発生しない．このことから衝突荷重は若材齢の MKC を用いた側壁コンクリートへ悪影響を及ぼす可能性が高い．したがって，大深度シールド工事用立坑におけるニューマチックケーソン工法に MKC を採用する際には，養生期間が十分に取るとともに表面コンクリートの強度を確認する方法の開発が必要である．

参考文献

1)日本道路協会：道路橋示方書 I 共通編 III コンクリート橋編，2012

キーワード 大深度，ニューマチックケーソン，MKC

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 西早稲田キャンパス 51 号館 1608 室 TEL 03-5286-3402