

セメント種類を考慮した地下鉄トンネルに用いるコンクリートの発現強度調査

東京地下鉄株式会社
東京地下鉄株式会社
東京地下鉄株式会社
株式会社太平洋コンサルタント

正会員 ○富樫 真美
正会員 新井 泰
岡ノ谷 圭亮
赤塚 久修

1. 目的

一般にコンクリート構造物の施工において、型枠の脱型時期はコンクリート標準示方書（施工編）（以下、示方書）の圧縮強度 f_c を標準としている。しかし、近年のセメントの多様化や型枠の転用による工程短縮化への対応に伴い、若材齢時における型枠の脱型時期は、構造物の品質確保の観点から慎重に設定する必要があると考えられる。

本調査では、地下鉄トンネル工事におけるコンクリート強度管理の合理化を目的として、施工現場から採取したコンクリートの若材齢時の特性値に着目し、コンクリート強度の発現傾向をセメント種類ごとに分析した。

2. 試験概要

試験体概要を表-1に示す。試験体は地下鉄A駅（硬質地盤）、地下鉄B駅（軟弱地盤）の施工現場で採取し、セメントは普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、高炉セメントB種の3種類について調査した。なお、地下鉄トンネルは周囲に地下水が存在しており湿潤環境になりやすいこと、今回採取した時季（1月、2月）の地下鉄トンネル内の平均温度は20℃前後であることを鑑みて、材齢1日は保存場所の関係から20℃で気中養生、2日以降は脱型後20±2℃の水中で標準養生として、所定の材齢に応じて圧縮強度および静弾性係数の測定を実施した。

表-1 試験体概要

コンクリート	セメント	配合名	W/C	寸法	材齢	数量	現場
普通 コンクリート	普通ポルトランドセメント	24-15-20N	55%	φ100mm ×200mm	1日、2日、3日、4日、5日、6日、7日、14日、28日	各水準27本 (各3本×9材齢)	A駅
	早強ポルトランドセメント	24-15-20H					
	高炉セメントB種	24-15-20BB					B駅

3. 試験結果と考察

(1) 材齢と圧縮強度の関係

セメント種類ごとの材齢と圧縮強度の関係（材齢7日まで）を図-1に、セメント種類ごとの圧縮強度の平均値を表-2に示す。

示方書記載の基礎・梁側・柱および壁の型枠脱型時強度（5N/mm²）に対して、いずれも材齢1日で上回っており、材齢2日では倍以上の値を示した。このことから、材齢1日の養生状況が型枠脱型時期に大きく影響してくることがわかる。また、材齢2日までの養生状況を適切な条件に定めることに特に注意することで、早期に十分な強度の発現が期待でき、型枠脱型を合理的に行うにはコンクリートの初期養生状況が重要であることがわかる。なお、高炉セメントB種における材齢1日の圧縮強度は、他のセメント種類と比べて5.65N/mm²と小さく、示方書記載の型枠脱型時強度と値が近しく圧縮強度の増加割合も緩やかなため、脱型時期の設定は慎重に行う必要があると考えられる。

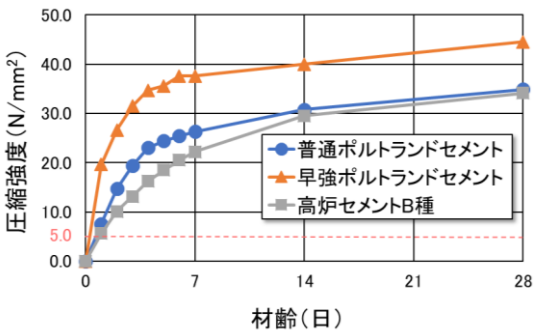


図-1 材齢と圧縮強度の関係

キーワード 型枠脱型, 圧縮強度, 静弾性係数, ポルトランドセメント, 地下鉄トンネル

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野3丁目19-6 東京地下鉄(株) 鉄道本部改良建設部 TEL 03-3837-7132

表-2 圧縮強度試験結果

コンクリート	セメント種類	材齢 (日)									
		圧縮強度の平均値 (N/mm ²)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	14	28
普通 コンクリート	普通ポルトランドセメント	0.0	7.58	14.7	19.4	23.0	24.4	25.4	26.3	30.8	34.9
	早強ポルトランドセメント	0.0	19.6	26.6	31.5	34.7	35.6	37.6	37.6	40.0	44.5
	高炉セメントB種	0.0	5.65	10.1	13.1	16.2	18.5	20.5	22.2	29.5	34.1

(2) 材齢と静弾性係数の関係

セメント種類ごとの材齢と静弾性係数の関係 (材齢 7 日まで) を図-2 に、セメント種類ごとの静弾性係数の平均値を表-3 に示す。

静弾性係数の経時変化は圧縮強度とおおよそ同様の傾向を示し、増加割合はセメント種類によらず材齢 3 日まで比較的大きいことがわかる。このことから、静弾性係数においては、材齢 3 日までの養生状況が支配的であると考えられる。

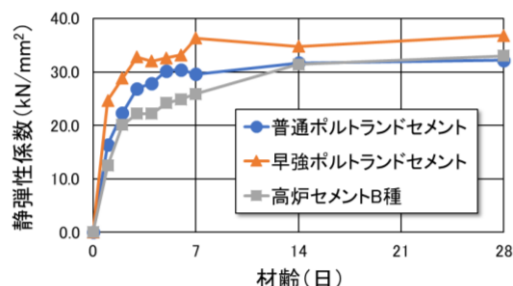


図-2 材齢と静弾性係数の関係

表-3 静弾性係数試験結果

コンクリート	セメント種類	材齢 (日)									
		静弾性係数の平均値 (kN/mm ²)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	14	28
普通 コンクリート	普通ポルトランドセメント	0.0	16.4	22.3	26.9	27.9	30.2	30.4	29.6	31.7	32.2
	早強ポルトランドセメント	0.0	24.7	28.8	32.8	32.0	32.6	33.2	36.3	34.8	36.8
	高炉セメントB種	0.0	12.5	20.1	22.2	22.2	24.2	24.9	25.9	31.4	33.0

(3) 圧縮強度と静弾性係数の関係

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-3 に示すとともに、前記の圧縮強度および単位容積質量の平均値を文献²⁾で示されている静弾性係数推定式に当てはめて算定した値を併記した。

図-3 より、材齢 1 日の高炉セメント B 種を除き、すべてのセメント種類および材齢で推定値を上回っており、上昇傾向は概ね推定値と同じである。このことより、推定よりも安全側の結果であり、実験値に大幅な異常値はないことがわかる。

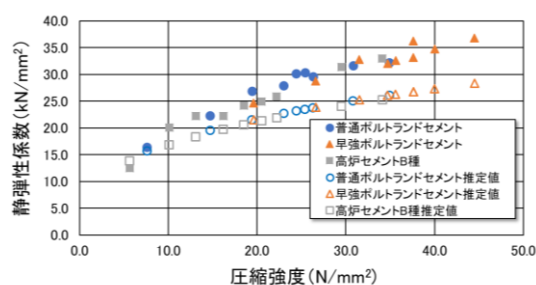


図-3 圧縮強度と静弾性係数の関係

4. まとめ

本調査では、コンクリートの若材齢時の特性値に着目し、セメント種類ごとにコンクリート強度の発現傾向を分析した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- 1) 型枠脱型時期はセメント種類に関わらず材齢 1 日の養生状況が大きく影響する。
- 2) 特に高炉セメント B 種を使用した場合は、初期の養生条件を適切に定めることが重要である。

東京地下鉄株式会社では、従来より型枠脱型時期を日数で規定しており、その日数はセメント種類に応じて使い分けている。この場合、本調査の当該日数における圧縮強度が示方書で規定されている型枠脱型時強度を上回っていれば合理的であると判断され、結果的にセメント種類によらず、その条件が満足されていることを確認できた。

今回は、試験体の養生方法を標準養生にて行ったが、今後は施工現場により近い環境条件で試験体を養生した場合についても同様の調査を重ね、構造物の品質向上と合理的な工程短縮の両立を図っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 土木学会：2017 年度制定コンクリート標準示方書（施工編），pp.157, 2018.3.
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 2010，pp.50-51, 2010.3.