

V-12

特厚高強度RCセグメントの配合及び製造管理方法の検討

鹿島建設㈱技術研究所 正会員 高田 和法
 東京ガス㈱生産技術部 正会員 小松原 徹
 東京ガス㈱生産技術部 正会員 岩崎 淳
 鹿島建設㈱東京支店 正会員 早川 康之

1. はじめに

東京ガス㈱扇島工場に建設中の受入れ配管シールドトンネルは、シールド外径8.9mの大断面海底トンネルであり、厚さ55cmのRCセグメントには高い強度と水密性が要求されている。セグメント用コンクリートの設計基準強度は土質条件に応じて450, 530及び600kgf/cm²であり、セメントには耐海水性を考慮して普通セメントの50%を高炉スラグ微粉末で置換したものをを用いた。本稿では過去に例のない $f_{ck}=600\text{kgf/cm}^2$ の高強度RCセグメントの配合設計及び製造管理方法について検討した結果を報告する。なお、セグメントは複数のメーカーにて製造し、材料や製造設備の違いにより配合や製造方法が若干異なるが、ここでは紙面の都合上代表的なメーカーに関する検討結果を報告する。

2. RCセグメントの要求品質と製造仕様

表-1にセグメント用コンクリートの要求品質を示す。配合強度の保証材齢はセグメントの製造から納品までの最小日数を考慮して56日とした。また、今回のような特厚のRCセグメントでは、養生温度を適切にコントロールしなければ温度応力に起因するひび割れ発生の危険性があることが解析によって示唆されたため、その解析結果を基に次のような養生仕様を各メーカーに統一して規定し、これを遵守した上で配合選定のための試験を行った。

表-1 コンクリートの要求品質

設計基準強度	600kgf/cm ²
配合強度(56日)	690kgf/cm ²
脱型時強度	150kgf/cm ²
施工性	良好

養生仕様の概要：常圧蒸気養生を行う場合には①前置き時間は3時間以上とする、②養生温度の上昇及び降下は1時間当たり20℃以下とする、③最高温度は35℃以下とする、④最高温度の維持時間は脱型時強度が得られる範囲で短くする。また、水温の低くなる冬季においては、水中養生は脱型後24時間の気中冷却の後開始することを基本とし、それよりも早期に開始する場合には水温を15℃以上に制御することとする。7日間の水中養生の後は納品まで気中にて養生を行う。

3. 実験概要

上述のような養生仕様のもと、脱型時強度150kgf/cm²及び材齢56日強度690kgf/cm²を満足し、かつ良好なワーカビリティを有するコンクリートの配合と養生方法を選定するため、以下の実験を行った。表-2に検討したコンクリートの配合を示す。コンクリートは容量100ℓの強制2軸ミキサーを用いて図-1に示す手順で練り混ぜ、スランプ、空気量及びコンクリート温度を測定した後φ10×20cmの円柱型枠に打設して強度試験用供試体を作製した。打設後の供試体は直ちに常圧蒸気養生槽に入れ、製品製造時を想定

表-2 コンクリートの配合

粗骨 大 材 寸 法 mm	ス の ラ 目 ン 標 ブ cm	空 目 気 標 量 の %	水 比 結 合 材 %	細 骨 材 率 %	単位量 kg/m ³					
					水 W	セ メ ン ト C	高 炉 ス ラ グ S g	細 骨 材 S	粗 骨 材 G	混 和 剤
20	3	1.5	27	41	145	269	269	717	1062	9.5
20	3	1.5	31	42	140	225	225	770	1095	10.3
20	3	1.5	35	43	139	199	199	811	1107	7.0

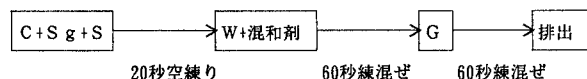


図-1 練り混ぜ手順

した蒸気養生を行った。蒸気養生のパターンは図-2に示す通りであり、4通りを選んで検討した。各パタ

ーンとも製造工程のサイクルを考慮して、脱型は打設後21時間とし、脱型直前まで蒸気養生槽にて養生を行った。脱型後は3時間の自然冷却(気温約5℃)の後20℃で7日間水中養生を行い、以後材齢56日まで気中養生を行った。圧縮強度はそれぞれ材齢21時間、28日及び56日で測定した。

4. 実験結果及び考察

(1)水結合材比の検討

表-3に各配合のフレッシュコンクリートの試験結果と養生パターンCにおける圧縮強度を示す。これを基に、21時間強度及び56日強度と結合材水比との関係

を表す回帰式を求めると式(1)(2)の通りである。これより、 $f_c(21h) \geq 150 \text{ kgf/cm}^2$ を満足する水結合材比は31%以下、 $f_c(56d) \geq 690 \text{ kgf/cm}^2$ では34%以下となり、養生パターンCにおいて両方を満足するためには水結合材比を31%以下とする必要があることがわかった。また、RCセグメントは鉄筋が密に配筋され、かつ、高い寸法精度が要求されるため、打込み、締固め及び仕上げのしやすさはコンクリートの配合選定の上で重要な要因となる。この点において、検討した3種類の配合のうち水結合材比27%のコンクリートは施工

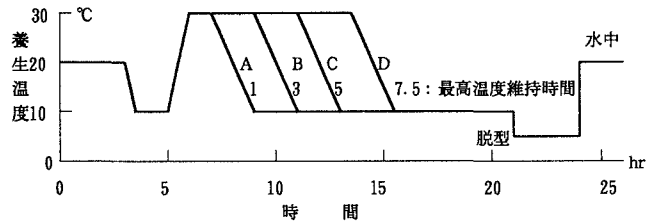


図-2 蒸気養生のパターン

表-3 各配合の試験結果(養生パターンC)

水結合 材比%	スラン プ cm	空気 量%	温度 ℃	圧縮強度 kgf/cm^2		
				21時間	28日	56日
27	0.7	1.8	17	206	750	763
31	3.0	1.5	17	158	700	722
35	3.7	1.4	18	115	656	687

性に著しく劣り、適切な締固め及び表面仕上げを行うためのワーカビリティを確保するためには、31%程度が低水セメント比の限界と判断された。

(2)養生パターンの検討

表-4に水結合材比31%のコンクリートの各養生パターンにおける圧縮強度試験結果を示す。最高養生温度が30℃と一定でもその維持時間を変えて積算温度を変化させることによって、コンクリートの初期強度、長期強度は共に顕著な影響を受け、積算温度の増加に伴って21時間強度は増大し、28及び56日強度は低下することがわかった。

一般的にコンクリート二次製品では脱型時強度に配慮した蒸気養生が行われるが、それによる初期ひび割れの危険性や長期強度の低下に対しても注意が必要であるといえる。

5. おわりに

以上の検討の結果、本工事に使用する $f_{ck}=600 \text{ kgf/cm}^2$ のセグメントは水結合材比31%の配合と養生パターンCの組み合わせをもって製作することとし、実型枠への打設実験によって施工性を確認した後、製作を開始した。また、 $f_{ck}=450$ 及び 530 kgf/cm^2 のコンクリートについても同様の検討を行い、別途異なる配合と養生パターンの組み合わせを得た。製造開始後は製品に有害なひび割れもなく、コンクリートの圧縮強度も要求品質を満足している。

一般的に、コンクリート二次製品では最高温度が45～65℃程度の蒸気養生が行われるが、部材厚が40cm程度を越えると促進養生及びその後の環境条件によって温度ひび割れ発生の危険性が増大するため、蒸気養生温度を35℃以下に制限した条件で高強度コンクリートの配合及び養生方法を検討、実施したものである。なお、供試体強度だけでなく、セグメント内部の温度履歴と強度に着目した管理を行えば、積算養生温度はさらに低減する余地があると思われる。同種工事の参考になれば幸いである。