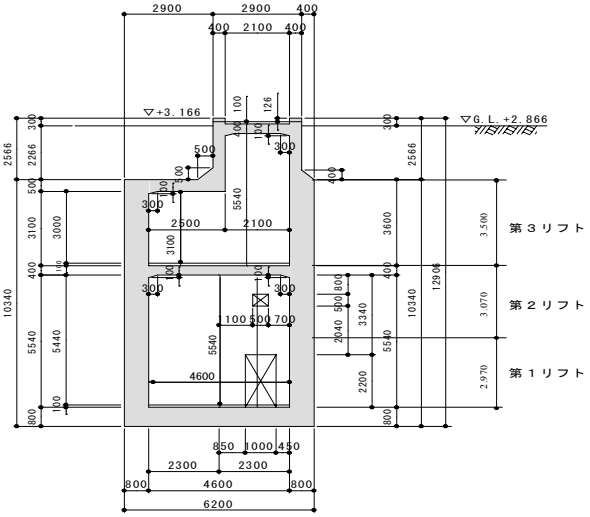
低発熱セメントと配力筋による壁コンクリートのひび割れ制御対策

戸田建設株式会社　正会員　○山本剛志　沖田佳隆　内藤欣雄
日本鉄道建設公団　丸山　修　宇部三津男

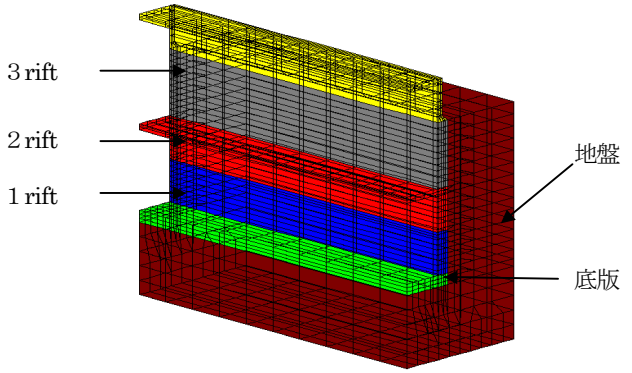
1. はじめに

本工事は、みなとみらい 21 線の馬車道駅に附帯する３箇所の出入口（第１～第３）を建設する工事である。躯体はボックスカルバートおよびU型擁壁構造となっていた。このうち、第１出入口は地下水位が高く、地下 13mより設けられるため、壁厚の厚い構造（ｔ＝800㎜）となっていた（図－1 参照)。構造上の特徴として、階段部と通路部で構成されていることから断面変化部が多く、ひび割れが発生しやすい構造であり、漏水の発生を伴うことも懸念された。

工事着手前の設計照査の段階で、壁コンクリートのひび割れ制御対策として、有効と考えられる「誘発目地」の設置を検討したが、断面変化部が多く、有効な間隔で設けることができないことから、「フライアッシュ混合マスコン型高炉セメント(以下､低発熱セメント)」＋「配力筋の増加」で対処した。ここでは、特に配力筋の効果に着目し、実証施工した結果を報告する。



図－1　概要図



図－２　解析モデル図

2. 事前解析と対策

温度ひび割れ照査は、原設計配合である高炉セメントＢ種の諸条件を用い、非線形３次元有限要素法温度応力解析を実施した（図－２)。

表―１に示すように、原設計配合である高炉セメントＢ種ではひび割れ指数、ひび割れ幅ともに制御目標値を超過し、有害なひび割れの発生が懸念された。そこで、表－２に示す温度ひび割れ制御対策の中から対策別に､効果､施工性､経済性などについて優位性を検討し、駅部本体で使用した低発熱セメントを用いることとした。

低発熱セメントを用いた場合、表―２に示すように概ね制御目標値以下となったが、ひび割れ幅の低減に効果のある配力筋比は 0.13%（D13@250）であり、土木学会コンクリート標準示方書［施工編］の最大ひび割れ幅とひび割れ指数の関係図表にある鉄筋比（0.25～0.95%）に比べ少ない。したがって、配力筋の効果が予測通り発揮されない場合、ひび割れ幅は目標値を超過することが懸念された。そこで、0.2㎜ 以下のひび割れ幅にするために必要な配力筋比を求めた結果、0.2%程度以上（D10@250:現配力筋の鉛直方向間隔 250㎜ 間に D10 以上を配置する）必要と予測された。

表-1　解析結果一覧表（高炉Ｂ種、低発熱：施工時期３～６月）

	コンクリート温度（℃）		ひび割れ指数		ひび割れ幅(㎜)	
セメント	高炉Ｂ種	低発熱	高炉Ｂ種	低発熱	高炉Ｂ種	低発熱
壁1rift	41.0	28.7	0.93	1.39	0.36	0.21
壁2rift	44.5	31.3	0.82	1.38	0.39	0.22
壁3rift	55.4	40.7	1.00	1.47	0.33	0.19
目標値	－		1.45		0.20	

表－2　ひび割れ制御対策工選定一覧表

		効果	施工性	経済性	工期	適用可否	
温度上昇の緩和	低発熱セメントの使用	○	○	△	△	可	6点
	プレ・ポストクーリング	○	△	×	△		4点
	高性能AE減水剤の使用	○	○	△	△	可	6点
拘束度の低減	誘発目地	○	○	△	○	可	7点
	施工目地	○	×	○	△		5点
	膨張材の使用	○	△	△	△		5点
温度勾配緩和	合板型枠	△	△	○	△		5点
	養生マット・養生期間	△	×	○	○		5点
その他	配力鉄筋の検討	○	○	△	○		7点

（適用における評価基準　：　○=2点　△=1点　×=0点　合計点で評価）

キーワード：　低発熱セメント，ひび割れ制御，温度応力解析，ひび割れ制御鉄筋
連　絡　先　：　横浜市中区本町 4-43　TEL 045-228-6068/ FAX 045-228-6068

3. ひび割れ制御対策の検証

1) ひび割れ制御対策の検証

ひび割れ制御対策として、低発熱セメントおよび配力筋を増加させることを選定したが、配力筋量による効果は、壁厚の厚い第１出入口の第１リフトで検証することとした。実験ケースを次に示す。

①原設計配筋（配力筋比 0.13%）

②配力筋比 0.20%（D10@250：原設計の 1.5 倍）

③配力筋比 0.27%（D10@125：写真-2 の←位置、溶接金網φ6＃50：原設計の 2.0 倍）

以上の実験ケースを同一壁厚、同一リフトで対策ブロック毎に分割し、ひび割れ幅や本数の測定結果からひび割れ制御効果を検証することとした。その結果を踏まえ、以後の施工にフィードバックした。

2) 検証結果

①低発熱セメントのみで 0.2mm 程度に制御可能と予測された区間に対して予測値の 1.5 倍のひび割れが発生した。

②鉄筋比が原設計の２倍となる溶接金網と D10@125 の増加区間ではひび割れの発生は見あたらなかった。

③鉄筋比が 1.5 倍となる D10@250 増加区間では、予測通り 0.1mm 程度のひび割れ幅となった。

写真－1　配力筋比 0.13%（D13@250）

写真－2　配力筋比 0.27%（D10,D13@250）

表－4　ひび割れ測定結果

低熱セメント使用区間　第１リフト　（施工時期３月 28 日）

壁厚	対策	ひび割れ幅	
		実測値	予測値
800mm	なし（鉄筋比１倍）	0.3mm	0.21mm
	溶接金網φ6#50(鉄筋比２倍)	なし	0.12mm
	D10@250(鉄筋比 1.5 倍)	0.1mm	0.13mm
	D10@125(鉄筋比２倍)	なし	0.12mm

高炉セメントＢ種区間　（施工時期 10、11 月、２月）

壁厚	時期	対策	ひび割れ
			実測値
600mm	11 月	溶接金網φ6#50（鉄筋比２倍）	なし
600mm	２月	D10@125（鉄筋比２倍）	なし

4. 他出入口への適用

壁厚が薄い（600mm）第２、第３出入口では、原設計通り高炉Ｂ種セメントによる配合で打設した。ただし、これらの出入口も先に述べた第１出入口と同様、壁の配力筋量が少ないことから、第１出入り口の配力筋増対策の検証結果を基に、鉄筋比を２倍に増加した。その結果、壁厚 600mm である他の出入り口部においても、第１出入り口と同様に上手く制御できた。

5. まとめ

部材厚 600～800mm の壁コンクリートにおいて行った配力筋量の違いによる実証実験および実験結果を反映させた施工結果から得られた知見を以下に述べる。

①壁コンクリートのひび割れ制御を精度良く行うには、鉄筋比 0.3%程度以上とすることが必要である。

②本工事で採用したように、細径の鉄筋（鉄筋径 10mm）を分散させることが、精度良く制御することに繋がる。

③細い溶接金網でも、細径鉄筋の代替え使用が可能である。ただし、鉄筋径 10mm の鉄筋と比較するとφ6mm＃（編目）50mm は経済性において不利となる。D10@125 と同等の経済性の溶接金網を用いるのであれば、φ6mm＃（編目）100mm となる。

最後に、今回の検討・施工・まとめ等に多大なご協力を頂いた関係者の皆様に深く感謝いたします。

参考文献　1) 2002 年制定　コンクリート標準示方書［施工編］平成 11 年制定】土木学会

2) マスコンクリートのひび割れ制御指針　日本コンクリート工学協会　昭和 61 年３月