

豊後高田市第2配水池・耐震補強工事

(株)安部日鋼工業	○小城 誠
(株)安部日鋼工業	上村 剛史
(株)安部日鋼工業	正会員 中原 晋
豊後高田市上下水道課	都甲 博明

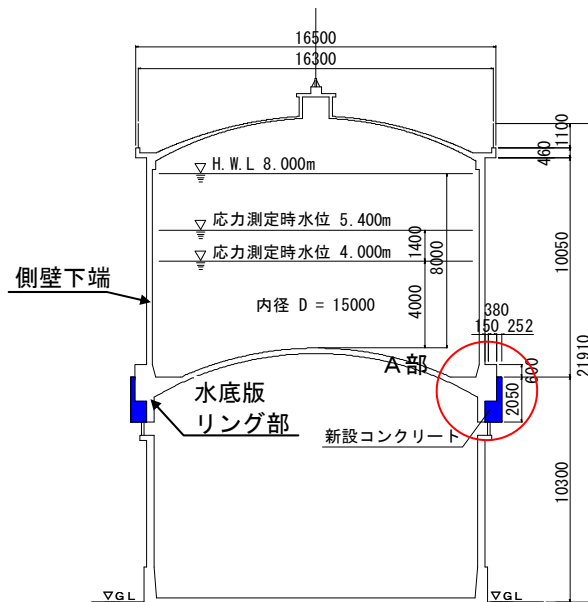
1. はじめに

豊後高田市第2配水池は、給水人口7,840人の市民生活にとって重要なライフラインであり、必要不可欠な社会基盤である。本配水池は、築24年経過しており、過去にひび割れ補修や鋼板補強を行った経緯がある(写真—1)。そのような現状をふまえて、今回、劣化係数を0.90(残留プレストレス量が有効プレストレス量の90%)とし、耐震診断が行われた。その結果、水底版ドームリング部のプレストレス量が不足していたため、追加プレストレスを導入し補強を行った(図—1, 図—2)。

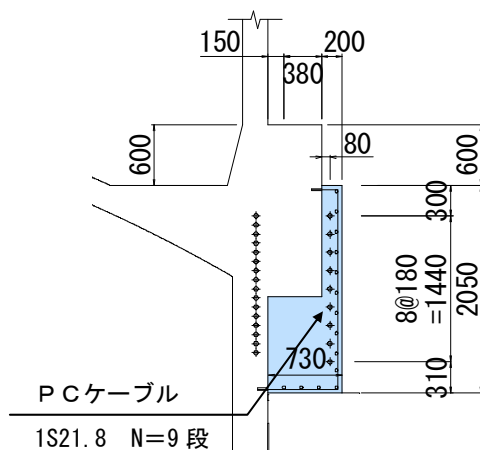
本稿では、残留プレストレス量の推定と新設コンクリートの温度ひび割れ制御対策について報告を行うものである。

2. 工事の概要

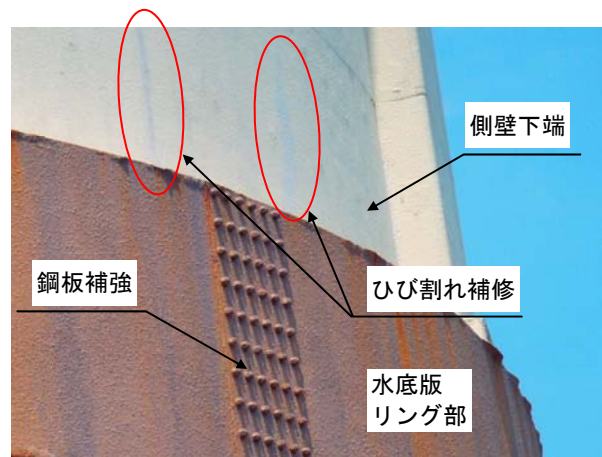
工 事 名：上水道第2配水池耐震改修工事
 発 注 者：大分県豊後高田市
 工事場所：大分県豊後高田市美和地内
 工 期：平成25年8月1日～平成26年1月31日
 構造形式：水底ドーム型P C円筒形高架タンク
 工 種：
 鋼板撤去工 1式
 コンクリート工 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$
 P C工 1S21.8 N=9段
 コンクリートひび割れ補修 1式
 外装全面改修 1,200m²
 付帯設備撤去、復旧 1式



図—1 構造断面図



図—2 A部 補強断面図



写真—1 A部 ひび割れ補修, 鋼板補強

3. 課題・対策とその結果

3.1 残留プレストレス量の推定

【課題】 今回の設計時には、劣化係数を0.90と定めて耐震診断がなされていたが、実構造物の残留プレストレス量が90%を下回った場合、構造物の耐震性を確保できない可能性があった。

【対策】 現有作用応力の計測を行い、計測値とFEMの解析値を比較することにより、残留プレストレス量を推定した。

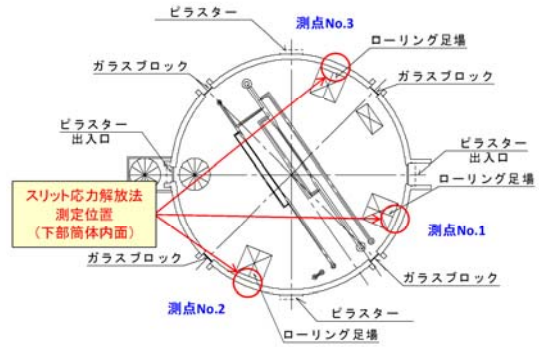
(1) 現有作用応力の計測

計測方法は、供用中の構造物であることから、躯体に与える影響の少ないスリット応力解放法（写真—2）を採用した。スリット応力解放法は、応力方向に対して垂直にスリットを切削し、前後の画像をスキャナで取得し、デジタル画像相関法により求めた解放ひずみ分布をFEMの逆解析とフィッティングさせることにより、現有作用応力を推定する方法である。

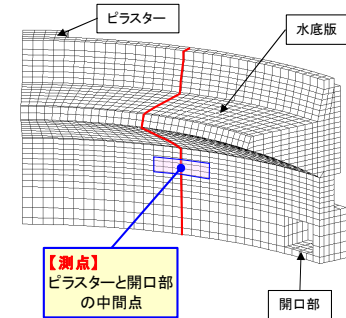
計測箇所は、水底版リング部内側の、定着柱（ピラスター）と開口部の中心位置3箇所で行った（図—3、図—4）。



写真—2 スリット応力解放法 施工状況



図—3 計測箇所平面図



図—4 計測箇所断面図

(2) 現有作用応力の計測結果

計測した解放ひずみ分布を基にしてコンクリート部材の現有作用応力を推定した（表—1、図—5）。

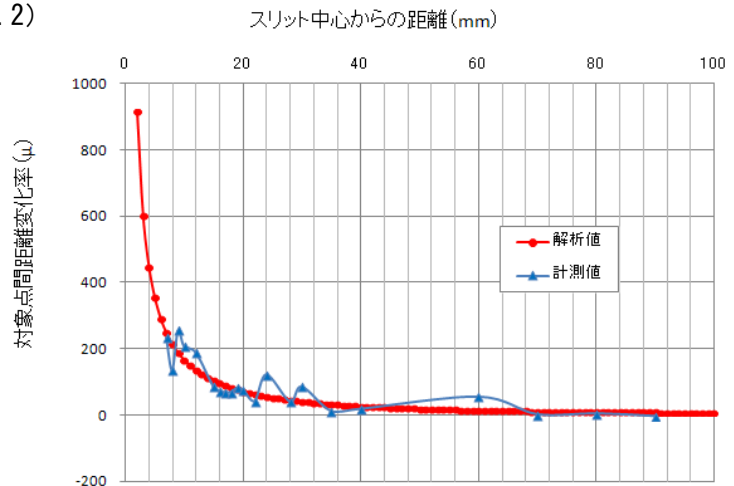
全ての測点で引張応力が作用していることが解った（表—2）。

表—2 水底版ドームリング部の応力度

測点No.	計測時水位	現有作用応力
	(m)	σ (N/mm ²)
1	5.4	2.11±0.27 (引張)
2	4.0	0.69±0.18 (引張)
3	4.5	1.39±0.36 (引張)

表—1 解析値と計測値の比較（測点 No. 2）

スリット中心からの距離 X(mm)	解析値 (-0.69N/ε1(μ))	計測値 (-0.69N/ε2(μ))	ε2/ε1 (%)
2	914.5	-	-
3	603.2	-	-
4	447.4	-	-
5	354.1	-	-
6	291.8	-	-
7	247.2	235.8	95.4
8	213.7	136.0	63.6
9	187.5	256.4	136.7
10	166.7	210.2	126.1
11	149.6	-	-
12	135.2	189.9	140.4
13	123.1	-	-
14	112.8	-	-
15	103.7	86.5	83.4
16	95.8	74.3	77.5
17	88.9	69.2	77.9
18	82.7	70.2	84.9
19	77.2	82.9	107.5
20	72.2	76.9	106.5
標準偏差 Ste(%)		0~20mm区間 25.69	
平均値 σ (N/mm ²)		-0.69	
誤差 $\Delta = \sigma Ste$ (N/mm ²)		-0.18	



図—5 対称点間距離変化率分布（測点 No. 2）

(3) 内部拘束応力（クリープ、乾燥収縮等）の補正

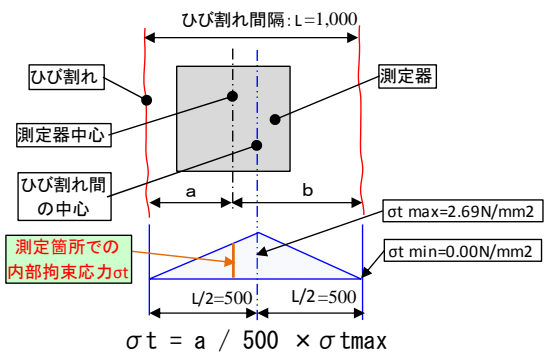
FEM解析の載荷荷重は、死荷重として躯体自重、静水圧（計測時の水位）およびPC鋼材による縦締め・横締めのプレストレス力を考慮した。水底版部の横締めは、有効プレストレス量を劣化係数1.0, 0.8, 0.6と低減させて行った。しかし、FEM解析値は、内部拘束応力を考慮していないため、現有作用応力の計測値との整合性が取れない。そこで、以下の条件で内部拘束応力の補正（表—3）を行った。

条件1：内部拘束応力は、引張強度に達するとひび割れを発生させる。

条件2：ひび割れ間の中央における内部拘束応力は、最大で引張強度とする。

$$\sigma_t = 0.23 \times c_k^{2/3} = 0.23 \times 40^{2/3} = 2.69 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

条件3：ひび割れが発生していない箇所は、ひび割れからの距離に比例した内部拘束応力の値とする（図—6）。



図—6 内部拘束応力補正概要図

表—3 各測点の内部拘束応力補正值

	記号	単位	測定No.		
			No. 1	No. 2	No. 3
ひび割れ間隔	L	mm	1000	—	1100
測定器中心からひび割れまでの距離	a	mm	500	300	400
	b	mm	500	—	700
測定器中心での内部拘束応力度	σ_t	N/mm ²	2.69	1.61	2.15

(4) 残留プレストレス量の推定

内部拘束応力の補正值を加えたFEM解析値と現有作用応力を以下に示す。

表—4 各測点のFEM解析値と現有作用応力の比較

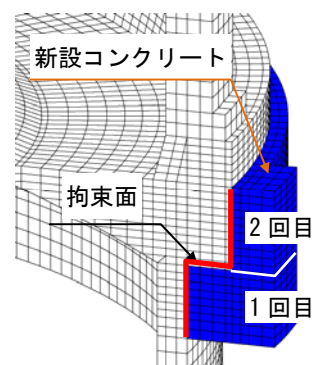
測点No.	係数	単位	No. 1			No. 2			No. 3		
			劣化係数 (変数 α)			劣化係数 (変数 α)			劣化係数 (変数 α)		
			1.0	0.8	0.6	1.0	0.8	0.6	1.0	0.8	0.6
躯体自重	1.0	N/mm ²	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
水位自重+静水圧	1.0	N/mm ²	1.32	1.32	1.32	1.02	1.02	1.02	1.13	1.13	1.13
縦締め	1.0	N/mm ²	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38
横締め (側壁部)	1.0	N/mm ²	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
横締め (水底版部)	変数 α	N/mm ²	-2.33	-1.86	-1.4	-2.33	-1.86	-1.4	-2.33	-1.86	-1.4
FEM解析値 (上記計)		N/mm ²	-1.08	-0.61	-0.15	-1.38	-0.91	-0.45	-1.27	-0.8	-0.34
内部拘束応力	-	N/mm ²	2.69	2.69	2.69	1.61	1.61	1.61	2.15	2.15	2.15
合成応力		N/mm ²	1.61	2.08	2.54	0.23	0.7	1.16	0.88	1.35	1.81
現有作用応力	-	N/mm ²	2.11±0.27 (引張)			0.69±0.18 (引張)			1.39±0.36 (引張)		

FEM解析値と現有作用応力を比較すると、全ての測点で劣化係数0.80（有効プレストレス量の80%）で良好な関係が得られた。したがって、残留プレストレス量は80%であると推定でき、追加プレストレス導入による補強を行った。

3. 2 新設コンクリートのひび割れ制御

【課題】新設コンクリート（2回打設）は、既設構造物と3方向で外部拘束を受ける（図—7）ことと、コンクリート強度が40N/mm²と高強度であることより、温度応力によるひび割れが発生すると推測された。

【対策】温度応力解析を行い、コンクリート配合の修正および緊張力導入時期を調整し、新設コンクリートのひび割れを制御した。



図—7 拘束境界図

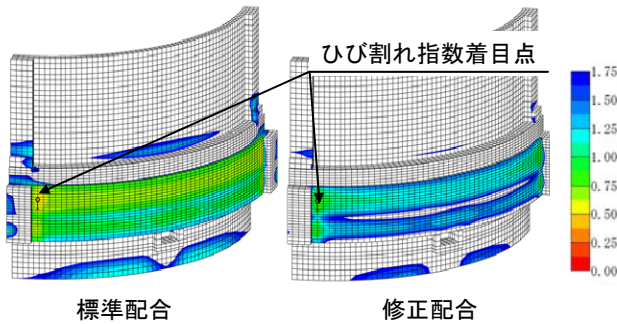
(1) コンクリート配合の修正

ワーカビリティを改善してコンクリートの充填性を向上させる高性能AE減水剤と、材齢初期のコンクリート収縮を抑制する膨張材を使用し、単位セメント量を47kg/m³および単位水量を18kg/m³低減した(表—5)。

(2) 温度応力解析

標準配合および修正配合で温度応力解析を行った結果を示す(図—8, 図—9, 図—10)。

コンクリートの最高温度は、24時間後に標準配合で49.9℃, 修正配合で45.5℃を示し約5℃下がることを確認した。また、ひび割れ指数は、52日後に標準配合で0.49, 修正配合で0.74を示しひび割れ発生の抑制効果がある事を確認した。



図—9 最小ひび割れ指数分布図

(3) 緊張力導入時期の調整

修正配合のひび割れ指数履歴より、2回目打設後7日目にひび割れ指数が1.0以下となる。そのため、ひび割れ指数1.0以上を確保するために、5日目に緊張力を導入した(図—10)。

(4) ひび割れ発生状況

1回目コンクリート部のひび割れは、約9.0mピッチで6本発生したが、いずれも0.05mm以下のひび割れであり、2回目コンクリート部にはひび割れは発生しなかった。また、ひび割れ指数が最小となる60日目の目視観察でも変状はみられなかった(写真—3)。このことより、上記対策を行うことで、ひび割れを制御できたと考える。

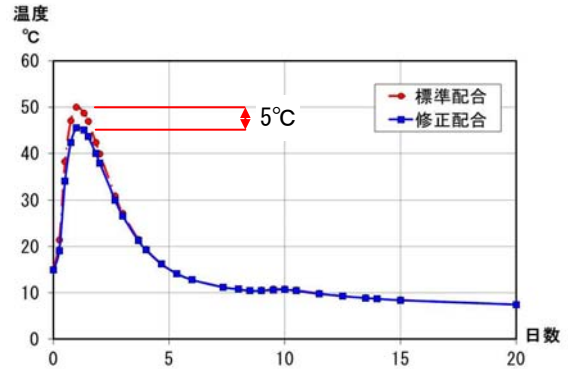
4. おわりに

PC構造物の維持管理には、残留プレストレス量の把握が必要不可欠と考えられる。本工事では、設計図書が現存していたために、計測値とFEM解析値の比較により、残留プレストレス量を求められたが、無い場合には、計測値のみで判断しなければならない。計測値から内部拘束応力を抽出し、直接残留プレストレス量が求められる計測方法の開発・確立が待たれるところである。また、ひび割れに関しては、従来、配合・材料・養生方法等いろいろな対策が取られているが、今回行った、ひび割れ指数の低下時期と緊張力導入時期の調整も、1つの有効な方法ではないかと考えている。

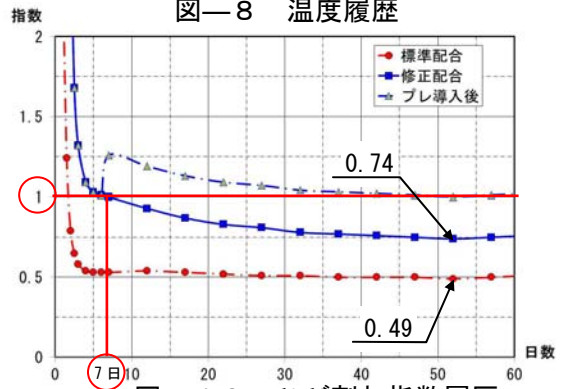
本稿が、今後の補修・補強工事の一助となれば幸いである。

表—5 標準配合と修正配合の比較

		W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	W/C (%)
標準配合	40-12-20 AE減水剤	178	468	38.0
修正配合	40-12-20 高性能AE減水剤 +膨張材	160	421	38.0



図—8 温度履歴



図—10 ひび割れ指数履歴



写真—3 完成写真