

電力中央研究所 正会員 ○ 栗口 晃
 中部電力(株) 正会員 内田 敏久
 名古屋大学 正会員 田辺 忠顕

1. まえがき

コンクリート重力ダムの嵩上げ工事としては、過去いくつかの施工例があるが、新規に建設されるダムとは異った見地からの検討や、施工上留意すべきいくつかの問題点がある。

トダムは昭和9年に完成した高さ35mの重力式コンクリートダムであるが、新たに揚水発電所の上貯池ダムとして、その背面に新コンクリートを打継ぎ高さ10.2m嵩上げし、工事は昭和53年に完成した。

この嵩上げ工事に伴う問題点としては、新旧両堤体の一体性の問題ならびに背面に新コンクリートを打設することにより熱負荷を受けた場合の旧堤体上流面のひび割れ割削などが指摘された。

筆者らは工事に先立って、背面に打継ぐ新コンクリートの配合、施工工程を変えた場合の温度応力について解析結果を発表し、その結果にもとづいて嵩上げ工事に対する適切なコンクリートの配合、施工工程、施工方法等が決定された。その後ダムは完成し、実測結果が2年8ヶ月にわたって得られたので実測結果の一部と解析結果とを比較照合し報告する。

2. 解析結果

有限要素法を用いた二次元の非定常熱伝導解析を行って、堤体の温度応力の解析を実施した。この解析プログラムは、実際の現象を忠実にシミュレーションできるものであり、打設コンクリートの水化発熱過程、外気温の変化による放熱過程、コンクリートの硬化過程などの諸要素を取り入れたものである。

なお数値実験を実施したのは7ケースであり、(表-1参照)実際の打設工程にあった解析はケース7である。また、新旧両堤体内に埋設したカルソソ型ひずみ計の埋設位置を図-1に示す。

3. 解析に用いた諸定数

解析に用いたコンクリートの諸定数は、表-2に示した。このうち新堤体コンクリート単位セメント量 220 kg/m^3 および旧堤体コンクリートについては、各々実験によって求めた。その他の配合の諸定数は、実験結果にもとづいて外挿し、また、岩盤については理科年表等を参考にした。

4. 温度分布

打設高さ1.5mのマスコンクリートを打設した場合の材令の経過に伴う堤体内の実測値と解析値の経時変化の一例を図-2

に示した。これによると旧堤体上流面側で内貯へ2m程入った部位の実測値AA-2と解析値はほぼ等しい値を示しており、外気温の最高、最低時と実測値、解析値の最高、最低時では約2ヶ月程のずれが生じ、また、この

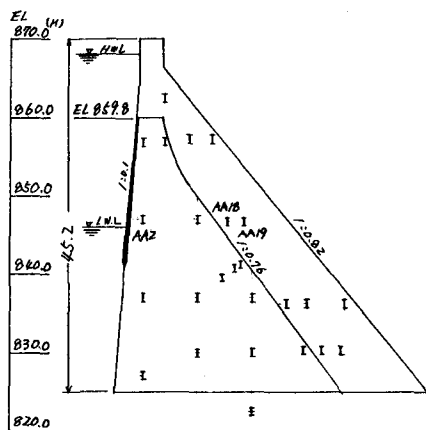


図-1 計器埋設位置

表-1 計算ケース

ケース	新堤体コンクリートの配合	新堤体打設工程	計算の初期条件	解析結果
1	$C=220 \text{ kg/m}^3$	1リフト1.5m、7日7リフト、工期7/10~7/20	外気温7℃、10月8日6ヶ月間変化させた場合の旧堤体温度と初期値	○ 14.2
2	外部 $C=220 \text{ kg/m}^3$ 内部 $C=170$	1.に同じ	1.に同じ	○ 14.7
3	$F/C \times F=0.2$ $C=180 \text{ kg/m}^3$, $F=27 \text{ kg/m}^3$	1.に同じ	1.に同じ	○ 14.8
4	$C=220 \text{ kg/m}^3$	1リフト1.5m、7日7リフト、14リフト7/10~7/20、15リフト以降7/21~7/26	1.に同じ	○ 14.8
5		旧堤体のみで年同気温変化させた場合の温度応力の計算	1.に同じ	○ 2.6
6		新堤体へ一体化した後、年同気温変化させた場合の温度応力の計算	1.に同じ	○ 9.7
7	外部 $C=220 \text{ kg/m}^3$ 内部 $C=170$	1リフト1.5m、7日7リフト、2リフト7/10~7/20、22リフト以降7/21~7/26	外気温7℃、10月8日6ヶ月間変化させた場合の旧堤体温度、土温と初期値	○ 14.8

時の温度差は約8℃であった。

表-2 解析に用いた諸定数

	新堤体コンクリート (kg/cm^3)			旧堤体岩盤	
	C=220	C=170	C=148 F=37	平均 77-1	
熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)	9.5	9.6	9.6	9.6	10.3
熱伝導率 ($\text{Kcal}/\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C}$)	2.4	2.4	2.4	2.16	2.0
比熱 ($\text{Kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$)	0.267	0.267	0.267	0.24	0.249
比重量 (kg/cm^3)	2.417	2.417	2.389	2.543	2.343
断面温度係数 ($^\circ\text{C}$)	$T=24.9(1-0.35-0.427)$ e	$T=19.2(1-0.35-0.427)$ e	$T=16.7(1-0.35-0.427)$ e		
弾性係数 $\times 10^5$ (kg/cm^2)	2.13	1.64	1.78	0.50	1.09

一方、新堤体内における実測値の位置は単位セメント量 $170 \text{ kg}/\text{m}^3$ のコンクリートであり、打設初期における最高温度は、実測値 AA-18 では 29°C 、解析値では 24°C であり、その差5℃程度であった。また、実測値 AA-19 と解析値は最高温度約 31°C で等しい値を示した。いずれの場合も打設後2~3ヶ月では実測値と解析値は若干の温度差はあるものの、6ヶ月以降はほぼ一致した結果が示された。

5. ひずみ分布

カールソン型ひずみ計によって得られた温度と同位置における鉛直方向ひずみの実測値と解析値の経時変化を図-3に示した。新堤体部分に関しては、温度と同様初期においては新コンクリート部分の発熱が影響している間は、多少解析値の方が上廻った値を示しているが、その後材令が経過するにしたがって両者はかなり良い一致を示している。また、解析で最も危険な部位であることが判明した旧堤体上表面については、内部へスクリューした位置での圧縮ひずみの最大値が3月中旬頃に実測値 50×10^{-6} に対し解析値では 40×10^{-6} であり、ほぼ等しい値が示された。

6. 応力分布

解析によって求められた実測位置での応力および旧堤体上表面での応力の経時変化は図-4に示した。この図から旧堤体上表面の引張応力は最大 $9.4 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 程度の値が示されており、ひずみの項でも示したように実測値と解析値がほぼ等しいことを考え合わせると妥当な値と思われる。表-1に示したケース6の値よりも減少しており旧堤体上表面にひび割れの危険性はないものと考えられる。

以上要するに、ダムの長期的経年変化もこの種の手法によって推測可能であることが判明した。

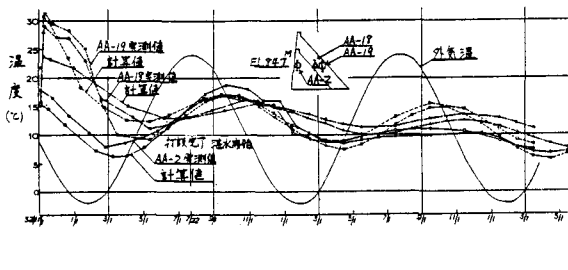


図-2 EL847M 附近における温度の経時変化

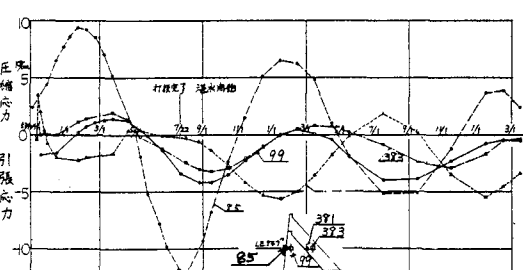


図-4 応力の経時変化

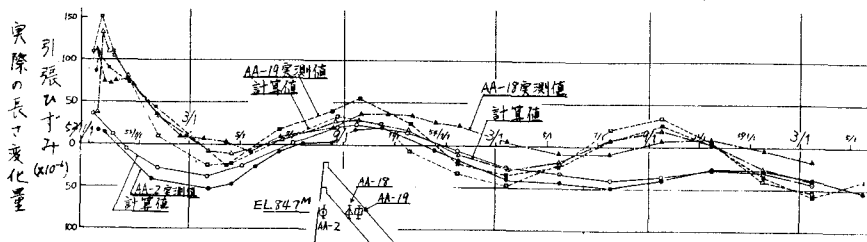


図-3 ひずみの経時変化

参考文献

- 1) 原口晃, 田辺忠顕, 阿部博俊: ユ32 回年次学術講演観覧集 (V-128)