

柱状レヤー工法による重力式コンクリートダム の温度応力解析の検討

緒方英彦* 服部九二雄* 野中資博** 長束 勇*** 青山咸康****

* 鳥取大学農学部, 〒 680-8553 鳥取市湖山町南 4-101.

** 島根大学生物資源科学部, 〒 690-8504 松江市西川津町 1060.

*** 独立行政法人 農業工学研究所造構部, 〒 305-8609 つくば市観音台 2-1-6.

**** 京都大学大学院農学研究科, 〒 606-8502 京都市左京区北白川追分町.

要 旨

本研究では、高炉セメントを用いた柱状レヤー工法による重力式コンクリートダムを対象に、これまでコンクリートダムの温度応力解析では考慮されることがなかった自己収縮が解析結果に及ぼす影響、柱状レヤー工法における解析モデルおよび外気温の適切な設定方法について検討を行った。その結果、次のことが明らかになった。①自己収縮は重力式コンクリートダムの温度応力解析に大きな影響を及ぼす。②柱状レヤー工法で打設する場合においても、二次元平面ひずみ解析により、実用上十分な解析結果を得ることができる。③提案する外気温推定モデルを用いることで、外気温の変動を考慮に入れた温度応力解析を行うことができる。

キーワード： 柱状レヤー工法、重力式コンクリートダム、温度応力、二次元平面ひずみ解析、自己収縮、外気温

1. はじめに

重力式コンクリートダムでは、コンクリートの温度応力に起因する温度ひび割れの発生を抑制するために温度規制計画が立てられる。温度応力は、セメントの水和熱や外気温の影響による温度上昇時の膨張と温度下降時の収縮であるコンクリートの体積変化が内的および外的に拘束されることで発生する。温度ひび割れの主要因は、セメントの水和熱や外気温の影響により起こる温度応力である。しかし、温度による体積変化と同様に外荷重に関係なく発生する体積変化には、湿潤時の膨張および乾燥時の収縮、コンクリート自体の自己収縮があり、実際のコンクリート構造物に発生する応力は、これらの体積変化が複合的に関係したものである。特に自己収縮は、セメントの水和と密接な関係があり、コンクリート標準示方書〔施工編〕における「セメントの水和に起因するひび割れ照査」では、温度応力だけでなく、セメントの水和に伴う自己収縮を含めたひび割れ照査を行うために、温度ひび割れ指数を拡張したひび割れ指数が使用されている（土木学会, 2002）。

自己収縮は、セメントの種類により異なり、高炉セメント B 種を用いたセメントペーストの自己収縮応力は、普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、高ピーライト系セメント、フライアッシュセメント B 種よりも大きくなることが報告されている（日本コンクリート工学協会, 1996）。そして、自己収縮が他のセメントよりも大きい高炉セメントに関しては、高炉スラグの置換率と粉末度が高いほど自己収縮は大きくなる傾向を示す（日本コンクリート工学協会, 1996）。高炉セメントは、近年のダムコンクリートにも用いられることが多くなっており、一般のコンクリート構造

物と同様にコンクリートダムにおいても自己収縮を考慮に入れた発生応力を算定し、温度規制計画を検討する必要がある。

一方、温度規制計画のための温度応力解析を精度よく行うためには、簡便法である H/L 法や簡易法である拘束度マトリックス法（農林水産省農村振興局, 2003）よりも諸条件を適切に考慮することができる有限要素法が適当である。しかし、有限要素法で解析を行う場合においても、解析モデルおよび解析パラメータの設定方法により結果の精度は異なる。解析モデルは、ダム横断面の二次元平面ひずみ解析が一般的である。ところが、重力式コンクリートダムの打設工法は、施工技術の進歩や高炉セメントなどの混合セメントの利用およびコンクリート配合の検討を踏まえて種々のものが開発されており、各打設工法に適した解析モデルを検討しておく必要がある。また、解析パラメータは、事前に得られる限られた情報をもとに設定することになり、この中でも外気温は、施工現場の位置や地形により異なることから、その正確な値を把握することは不可能である。一般には、過去の気象データを統計処理して得た年周期の sin カーブが用いられる。しかし、外気温には変動があり、この変動によりコンクリートは体積変化を起こし、結果として温度応力の予測にも影響を及ぼすことから、年周期の sin カーブ近似だけでは適切とは言えない。外気温はできるだけ現実的なものを用いるべきであり、これにより精度の高い温度応力解析を行うことができる。

本研究では、以上のことを踏まえ、近年施工実績が増えている高炉セメントを用いた柱状レヤー工法による重力式コンクリートダムを対象に、これまでコンクリートダムの温度応力解析では考慮されることがなかった自己収縮が解析結果に及ぼす影響、柱状レヤー工法における解析モデルおよび外気

Table 1 コンクリートの示方配合
Mix proportion of concrete

配合	G_{max} (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
						W	C	S	G	AE1 (g/m ³)	AE2 (g/m ³)
外部コンクリート	150	3 ± 1	3 ± 1	47.6	23	100	210	471	1665	525	59
内部コンクリート	150	3 ± 1	3 ± 1	66.7	25	100	150	525	1662	375	15

AE1: AE 減水剤遅延形Ⅰ種 (ボツリス No.8)

AE2: AE 剤Ⅰ種 (マイクロエア-202)

Table 2 解析パラメータ
Parameters used for analysis

項目		単位	外部コンクリート	内部コンクリート
熱伝導率 κ		W/m · K	1.642	1.626
密度 ρ		kg/m ³	2412	2436
比熱 c		kJ/kg · K	0.871	0.825
断熱温度上昇定数 $T = K(1 - e^{-\alpha t/24})$	K	°C	21.63	14.49
	α		0.431	0.631
ヤング率 $E(t)$ $E(t) = \phi(t) \times \alpha \times F_c(t)^\beta$	α		5,940	
	β		0.4	
	$\phi(t)$		$t \leq 3: 0.73, t \geq 5: 1.0, 3 \leq t \leq 5: \text{直線補間}$	
	a		10.55	18.37
圧縮強度 $F_c(t)$ (JSCE 実験式) $F_c(t) = t/(a + bt) \times F_c(i) \times d$	b		0.88	0.79
	$F_c(91), i = 91$	N/mm ²	41.3	32.5
	d		1	1
	α		0.14	
引張強度 $F_t(t)$ $F_t(t) = \alpha \times F_c(t)^\beta$	β		0.88	
			0.167	
ボアソン比 ν			0.167	
線膨張係数 α		$\mu/^\circ\text{C}$	10	

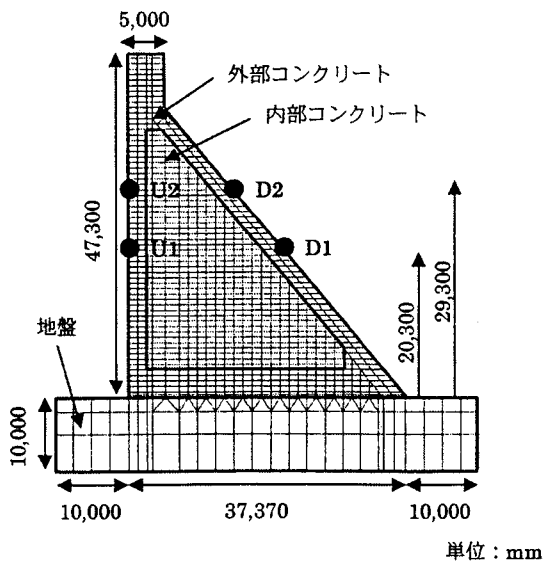


Fig.1 重力式コンクリートダムの横断面
Cross section of concrete gravity dam

温の適切な設定方法について検討を行った。

2. 重力式コンクリートダムの概要

本研究では、柱状レーヤ工法による重力式コンクリートダムを対象としている。柱状レーヤ工法は横継目だけを設け、縦継目なしでダムの上下流方向を一体的に打設する工法である。各柱状ブロックはほぼ15m間隔で打設され、ダム中央部に位置する横断面の形状はFig.1に示すとおりである。この断面を有する幅15mの柱状ブロックを解析対象としている。打設リフト数は52であり、打設高さは0.75mと1.50mの2種類である。解析対象とした柱状ブロックの打設期間は、ある年の9月中旬から翌年の11月中旬までの約1年2ヶ月である。

外部コンクリートおよび内部コンクリートの示方配合をTable 1に示す。セメントは、両コンクリートとも高炉セメントB種であり、高炉スラグ置換率52.4~53.1%、比表面積3,330~3,400cm²/g、石膏量2.45~2.58%である。高炉スラグは、ほぼ完全なガラス質の水砕スラグである。

本研究で対象にした柱状ブロックの上下流面には、いくつかの水平ひび割れと鉛直ひび割れが発生している。Fig.1に示すU1, U2, D1, D2は、ひび割れが発生した位置を示しており、上流面のU1, U2は柱状ブロックにおけるダム軸方向のほぼ中央に発生した鉛直ひび割れ、下流面のD1, D2はリフト継目付近に発生した水平ひび割れである。ひび割れが発生したリフトの打設日は、U1とD1のリフトが6月1日、U2とD2のリフトが7月22日であり、ひび割れが発見されたのは、U1が10月30日、U2が10月31日、D1, D2が10月15日である。ここで、打設日とひび割れ発見日は同年である。本研究で行う解析結果の検討は、このU1, U2, D1, D2の位置で行うことにする。

3. 温度応力解析における自己収縮の影響

温度応力解析は有限要素法で行う。まず、一般的な解析方法であるダム横断面の二次元平面ひずみ解析を行い、自己収縮が解析結果に及ぼす影響を検討する。解析領域はFig.1に示すとおりである。代表的な解析パラメータをTable 2に示す。ほとんどの解析パラメータは試験値である。打設温度はリフトにより異なり、10~25℃の範囲にある。また、全てのコンクリート表面は熱伝達境界とし、型枠設置箇所は熱伝達係数を8W/m²·K、露出面は14W/m²·Kとしている。ここで、ダムでは十分な湿潤養生が行われ、ダム表面は湿潤状態にあるので乾燥収縮は考慮していない。クリープは、有効弾

Table 3 コンクリートの自己収縮ひずみの参考値 ($\times 10^{-6}$)
Reference value of autogenous shrinkage strain in concrete

W/C (%)	材齢 (日)					
	1	3	7	14	28	90
50	0	30	80	90	100	120
40	0	70	100	110	120	170
30	50	100	170	210	250	280
20	100	320	360	380	400	470

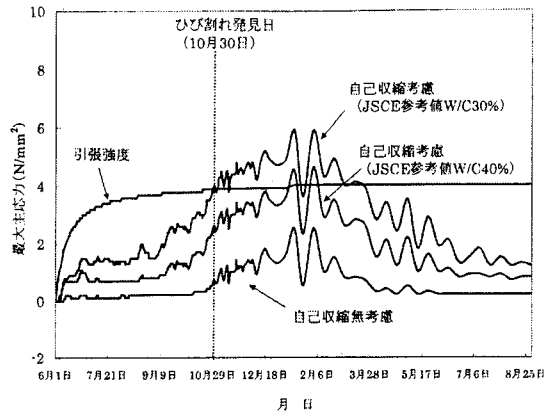


Fig.2 上流面 U1 における解析結果
Analytical result on upstream side U1

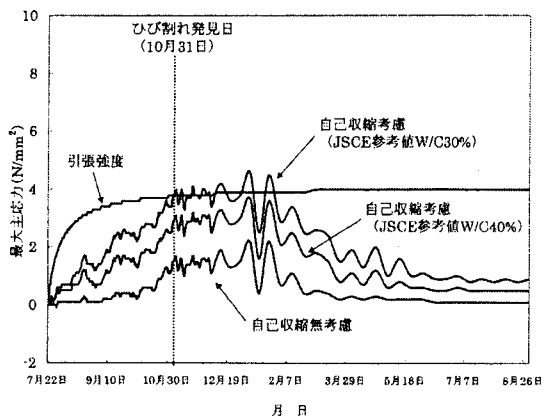


Fig.3 上流面 U2 における解析結果
Analytical result on upstream side U2

性係数法で考慮している。

外部・内部コンクリートとも自己収縮ひずみの試験値は得られていないことから、コンクリート標準示方書〔設計編〕に示された Table 3 の JSCE 参考値 (土木学会, 1996) を利用して自己収縮ひずみを設定することにした。設定した自己収縮ひずみは、高炉スラグの置換率、比表面積、石膏量を既往の研究結果 (日本コンクリート工学協会, 2002) に照らし合わせて、JSCE 参考値における W/C が 40% の場合と 30% の場合の 2 種類とした。ここで、材齢 90 日以降の自己収縮ひずみについては、材齢 90 日以降一定として解析に考慮した。

自己収縮を考慮に入れた 2 つの解析と自己収縮を考慮に入れない場合の解析を行い、自己収縮が温度応力解析結果に及ぼす影響を検討した。外気温は、Fig.8 に示す実測外気温を用いている。

U1、U2、D1、D2 の位置における解析結果を Fig.2～Fig.5 に示す。いずれの位置においても自己収縮が大きいほど発生

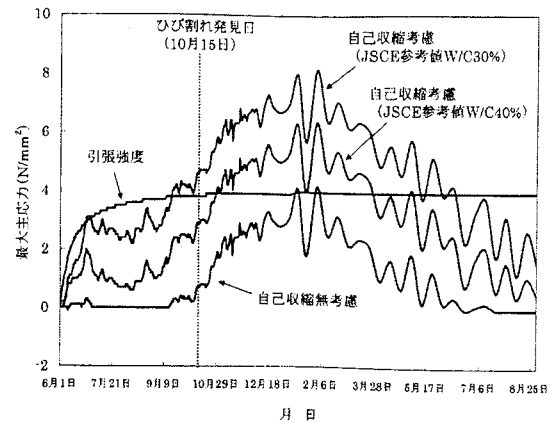


Fig.4 下流面 D1 における解析結果
Analytical result on downstream side D1

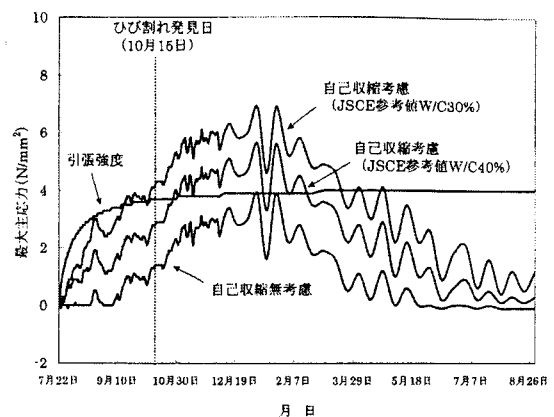


Fig.5 下流面 D2 における解析結果
Analytical result on downstream side D2

応力は大きくなり、コンクリートダムにおいても自己収縮がひび割れの発生に大きな影響を及ぼすことがわかる。

自己収縮考慮 (JSCE 参考値 W/C30%) の場合は、ひび割れ発見日付近で発生応力が引張強度を上回っており、コンクリートの引張強度と最大主引張応力度の比で表されるひび割れ指数が 1.0 以下になることから、解析的にもこの時期にひび割れが高い確率で発生することがわかる。コンクリート標準示方書〔施工編〕にある安全係数とひび割れ発生確率の図 (土木学会, 2002) を参照するならば、この時のひび割れ発生確率は 85% 以上である。また、自己収縮考慮 (JSCE 参考値 W/C40%) の場合もひび割れ発見日では発生応力が引張強度を上回らないまでも、ひび割れ指数が 1.3 以下になり、ひび割れの発生が十分に予測される。この時のひび割れ発生確率は 45% 以上である。一方、自己収縮を考慮しない場合は、発生応力が引張強度を大きく下回っており、ひび割れの発生を予測することは難しいことがわかる。

本研究では、外部・内部コンクリートとも自己収縮ひずみの試験値は得られていないことから、JSCE 参考値を利用して設定した。実際の自己収縮が、JSCE 参考値における W/C40% と 30% のどちらに近いかは不明である。しかし、いずれにしても自己収縮を考慮することでコンクリートダムに発生するひび割れを適切に検討することができる。

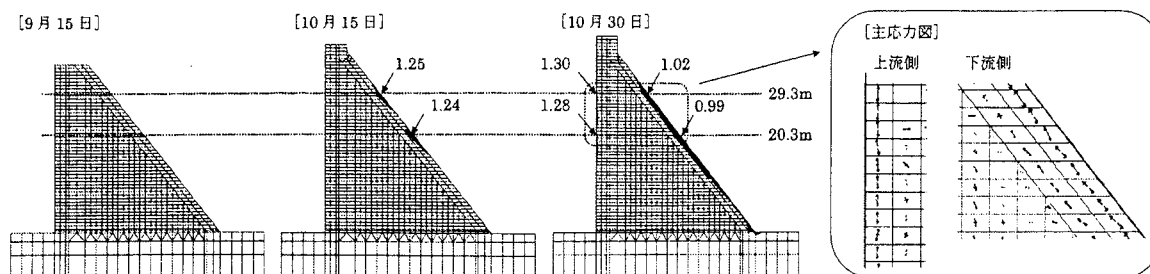


Fig.6 二次元平面ひずみ解析におけるひび割れ指数分布
Distribution of crack index on 2-dimensional plane strain analysis

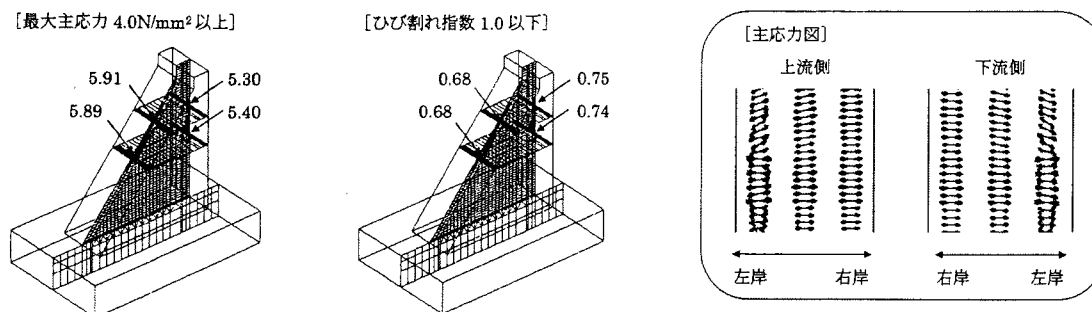


Fig.7 三次元解析結果
Result of 3-dimensional analysis

自己収縮の試験方法としては、「セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法(案)(JCI-1996)」がある。この試験におけるコンクリート供試体の寸法は、供試体の幅と高さが等しく、かつ、粗骨材最大寸法 G_{max} の3倍以上、長さは幅または高さの3.5倍以上である。外部・内部コンクリートの G_{max} は150mmであることから、450mm以上の幅と高さで、長さが1,575mm以上の供試体を作製して試験を行わなければならない。ダムコンクリートにおける自己収縮試験方法の検討は、未だ十分に行われていない。しかし、本研究により、自己収縮が一般のコンクリート構造物と同様にコンクリートダムの温度応力解析においても大きな影響を及ぼすことが明らかになったことから、ダムコンクリートを対象にした自己収縮試験方法および温度規制計画における自己収縮の取扱方は、早急に解決しなければならない課題である。

4. 解析モデルの検討

ダム横断面の二次元平面ひずみ解析で、自己収縮をJSCE参考値の $W/C40\%$ を設定した場合におけるひび割れ指数が1.45以下の時系列分布をFig.6に示す。ひび割れ指数が1.45以下は、ひび割れ発生確率25%以上である。図からは、下流面のD1, D2に水平ひび割れが発見された10月15日にD1, D2付近のひび割れ指数が1.45以下になり、その後、上流面のU1, U2に鉛直ひび割れが発見された10月30日にU1, U2付近のひび割れ指数が1.45以下になっていることがわかる。

このように、柱状レー工法で打設する場合においても、二次元平面ひずみ解析により、実用上十分な解析結果を得る

ことができる。しかし、主応力図に見られるように、上下流面とも主応力が上下方向を示していることから、二次元平面ひずみ解析で検討しているのは水平ひび割れになる。下流面は実際と一致するが、上流面は実際と一致しない。このように二次元平面ひずみ解析では、全てのひび割れの方向を正確に予測することは難しい。しかしながら、少なくともひび割れが発生しやすい位置と時期を特定することは十分可能であると考えられる。

一方、三次元解析の結果をFig.7に示す。図に示すのは10月30日の結果である。三次元解析でもJSCE参考値における $W/C40\%$ の自己収縮を考慮しており、解析条件は二次元平面ひずみ解析の場合と同じである。ただし、隣接するブロックの打設スケジュールを考慮に入れて隣接ブロック面の熱伝達境界と拘束条件を設定している。熱伝達境界は、隣接ブロックが未打設であれば型枠設置箇所において熱伝達係数を $8W/m^2 \cdot K$ 、露出面において $14W/m^2 \cdot K$ とし、既設であれば熱伝達係数を $0.108W/m^2 \cdot K$ と極端に小さくした疑似断熱面としている。拘束条件は、隣接ブロックが未打設であれば無拘束とし、既設であればダム軸方向だけを拘束している。

最大主応力分布とひび割れ指数分布は、引張強度を超える $4.0N/mm^2$ 以上とその時のひび割れ指数1.0以下を示している。三次元解析の結果は、二次元平面ひずみ解析結果とほぼ同じであり、ひび割れが発見された位置で発生応力が引張強度を上回っており、解析的にひび割れの発生を予測することができる。しかし、主応力図に見られるように、上下流面とも主応力がダム軸方向を示していることから、三次元解析で検討しているのは鉛直ひび割れになる。解析対象をより現実

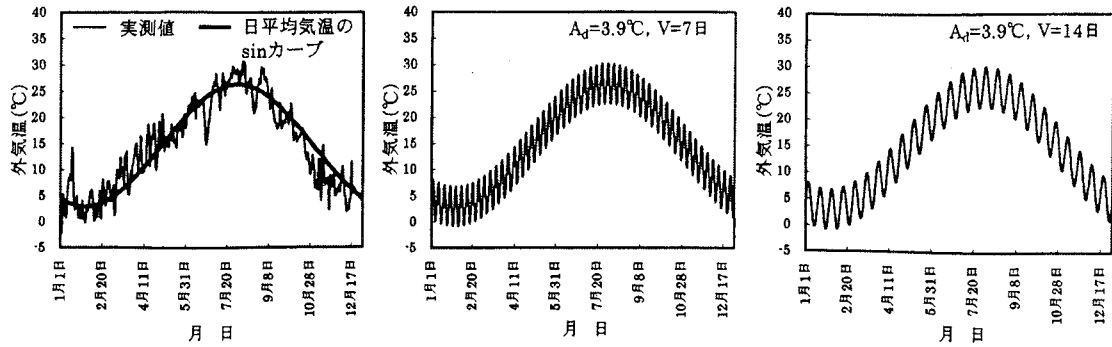


Fig.8 実測外気温と想定外気温
Measurement air temperature and assumed air temperature

的にモデル化できる三次元解析であっても、現時点において十分な精度を有する解析結果を得ることは難しいと考えられる。なお、主応力図が非対称であるのは、解析対象とした柱状ブロックに隣接するブロックの打設スケジュールが左右で異なるためである。

三次元解析は、二次元平面ひずみ解析よりも解析対象をより現実的にモデル化できる。しかし、三次元解析は解析データの作成が煩雑であり、作業性は二次元平面ひずみ解析に著しく劣る。本研究から、柱状レーヤ工法で打設する場合においても、二次元平面ひずみ解析で実用上十分な結果が得られることが明らかになったことから、まず二次元平面ひずみ解析を行い、必要に応じて三次元解析を行った方がよいと考えられる。

5. 外気温推定モデル

重力式コンクリートダムの温度応力解析で用いる外気温は、一般に式(1)に示す過去の気象データを統計処理して得た年周期のsinカーブである(農林水産省農村振興局, 2003)。

$$T(t) = T_a + \frac{T_s}{2} \times \sin \left\{ (t - t_o) \times \frac{2\pi}{365} \right\} \quad (1)$$

$T(t)$: 外気温(日平均気温)($^{\circ}\text{C}$), T_a : 年平均気温($^{\circ}\text{C}$), T_s : 年間の振幅($^{\circ}\text{C}$), t : 1月1日から打設月までの日数(日), t_o : 1月1日から年平均気温までの日数(日)

本研究で解析対象にした重力式コンクリートダムに適用した場合は、式(2)のようになる。この式は、過去10年間の気象データから求めたものである。

$$T(t) = 14.7 + 11.7 \times \sin \left\{ (t - 121) \times \frac{2\pi}{365} \right\} \quad (2)$$

実測外気温と式(2)で求められる日平均気温のsinカーブの関係をFig.8に示す。実測外気温と日平均気温のsinカーブは、全体的な傾向はほぼ一致している。しかし、日平均気温のsinカーブが滑らかであるために、外気温の変動までは表せない。

外気温の変動は、コンクリートの体積変化を起し、結果として発生する温度応力にも影響を及ぼす。外気温の変動が温度ひび割れの発生に及ぼす影響は無視できず、外気温はできるだけ現実的なものを用いるべきである。そこで、外気温

の変動を考慮するために、式(3)で表される外気温推定モデルを提案する。これは、式(1)で得られる日平均気温のsinカーブに外気温の変動のsinカーブを組み合わせたものである。

$$T_d(t) = T(t) + A_d \times \sin \left(2\pi \times \frac{t_d}{V} \right) \quad (3)$$

$T_d(t)$: 外気温(日平均気温)($^{\circ}\text{C}$), t : 1月1日から打設月までの日数(日), $T(t)$: 日平均気温の基準値($^{\circ}\text{C}$)(式(1)から求める), A_d : 変動の振幅($^{\circ}\text{C}$), V : 振幅の周期(日), t_d : 振幅の周期内経過時間(日)

この外気温推定モデルでは、外気温の変動を表すために変動の振幅 A_d と振幅の周期 V を設定しなければならない。 A_d は、式(4)、式(5)で求めることにする。

$$A_d = T_{ave} + SD \quad (4)$$

$$T_{ave} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k |T_m(t) - T(t)| \right\} \quad (5)$$

T_{ave} : $T_m(t)$ と $T(t)$ の差の絶対値における平均値($^{\circ}\text{C}$), SD : $T_m(t)$ と $T(t)$ の差の絶対値における標準偏差($^{\circ}\text{C}$), $T_m(t)$: 過去の気象データから得られる実測外気温($^{\circ}\text{C}$), $T(t)$: 日平均気温のsinカーブから得られる外気温($^{\circ}\text{C}$), k : 外気温の日数(日), n : 外気温の年数(年)

本研究で解析対象にした重力式コンクリートダムの場合は、過去10年間の気象データから T_{ave} が 2.1°C , SD が 1.8°C になり、 A_d は 3.9°C になる。

次に V については、外気温の変動の周期を求めることは現実的に困難であり、コンクリートダムの打設は長期に及ぶことを踏まえて、今回は7日と14日の2つを設定することにした。

A_d を 3.9°C とし、 V を7日と14日とした場合の外気温をFig.8に示す。提案する外気温推定モデルにより、外気温の変動を実用上十分に考慮できることがわかる。ただし、 V の設定を定量的に行うための検討は残されている。しかし、現時点では過去の気象データと比較し、総合的に判断して設定してもよいと考えられる。

それぞれの外気温を用いて二次元平面ひずみ解析を行った結果をFig.9, Fig.10に示す。Fig.9は下流面D1の結果で

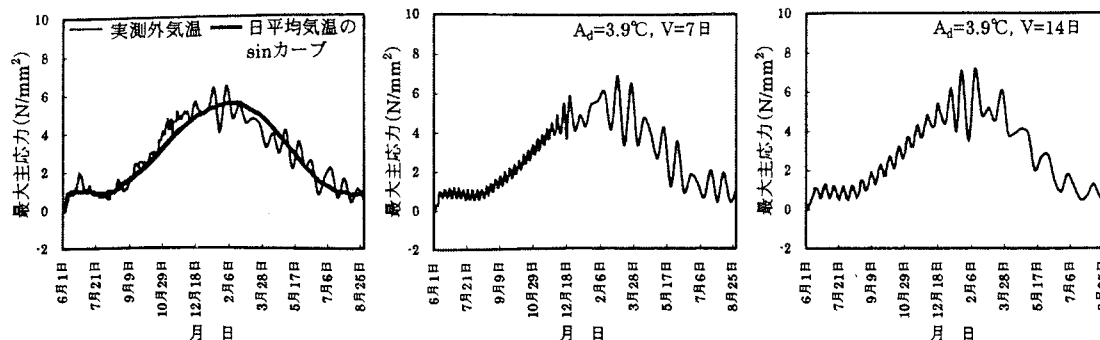


Fig.9 下流面 D1 における外気温を変えた場合の解析結果
Analytical result on downstream side D1 when air temperature is changed

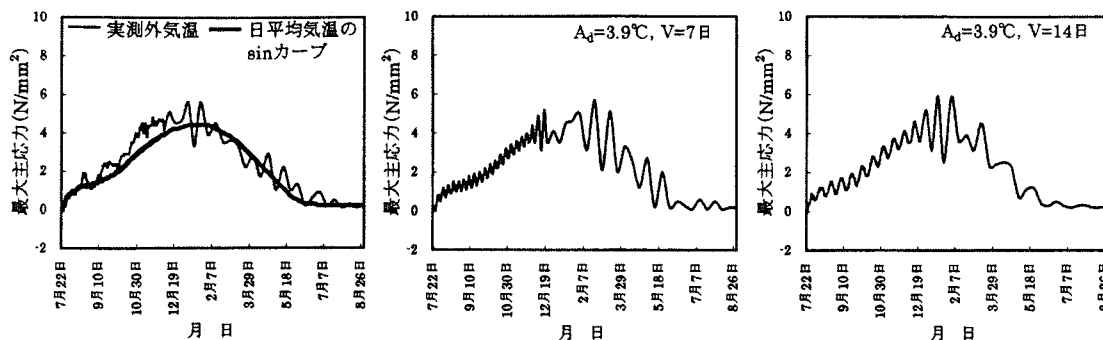


Fig.10 下流面 D2 における外気温を変えた場合の解析結果
Analytical result on downstream side D2 when air temperature is changed

あり, Fig.10 は下流面 D2 の結果である. この解析での自己収縮は, JSCE 参考値における $W/C40\%$ を設定している.

外気温の変動を考慮した解析結果では, 実測外気温の結果と同様に外気温の変動により生じる起伏を表すことができ, 発生応力のピークもほぼ近い値を得ることができる. このことから, 提案する外気温推定モデルにより, より現実的な温度応力解析が行えるようになることがわかる.

6. まとめ

本研究によって得られた結果は, 以下のようにまとめられる.

- (1) 自己収縮は重力式コンクリートダム の温度応力解析に大きな影響を及ぼす. したがって, 重力式コンクリートダムに発生する温度ひび割れを適切に検討するためには, 自己収縮を考慮に入れる必要がある. 特に, 他のセメントよりも自己収縮が大きい高炉セメントを用いる場合は, 高炉スラグの置換率や粉末度を踏まえて, 適切に自己収縮を設定しなければならない.
- (2) 二次元平面ひずみ解析では, ひび割れが発生しやすい位置と時期を特定することは十分可能である. したがって, 柱状レー工法で打設する場合においても, 二次元平面ひずみ解析により, 実用上十分な解析結果を得ることができる. ただし, ひび割れ の方向を正確に予測することは難しい.
- (3) 解析対象をより現実的にモデル化できる三次元解析では, 二次元平面ひずみ解析と同様にひび割れが発生しやすい位

置と時期を特定することは十分可能である. ただし, ひび割れ の方向を正確に予測することは難しい.

- (4) 三次元解析は解析データの作成が煩雑であり, 作業性は二次元平面ひずみ解析に著しく劣ることから, まず二次元平面ひずみ解析を行い, 必要に応じて三次元解析を行った方がよい.
- (5) 提案する外気温推定モデルを用いることで, 外気温の変動を考慮に入れた重力式コンクリートダム の温度応力解析を行うことができる.

引用文献

- 土木学会 (2002): 2002 年制定コンクリート標準示方書 [施工編], p.41-44.
土木学会 (1996): コンクリート標準示方書 [設計編], p.26-29.
日本コンクリート工学協会 (1996): 自己収縮研究委員会報告書, p.22-25.
日本コンクリート工学協会 (2002): コンクリートの自己収縮研究委員会報告書, p.112-113.
農林水産省農村振興局 (2003): 土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書 [コンクリートダム編], p. III 57-III 90.

[2004. 2. 20. 受稿, 2004. 5. 27. 閲読了]
[この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内, 農業土木学会論文集編集委員会にて)は, 2005 年 2 月 24 日まで受付可.]

Examination of Thermal Stress Analysis in Concrete Gravity Dam by Block Layer Construction Method

OGATA Hidehiko* , HATTORI Kunio* , NONAKA Tsuguhiro** , NATSUKA Isamu*** and AOYAMA Shigeyasu****

* Faculty of Agriculture, Tottori University, 101-4 Minami Koyama-cho, Tottori, 680-8553, JAPAN.

** Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University,
1060 Nishikawatsu, Matsue, 690-8504, JAPAN.

*** Department of Geotechnical Engineering, National Institute for Rural Engineering,
2-1-6 Kannondai, Tsukuba, 305-8609, JAPAN.

**** Graduate School of Agricultural Sciences, Kyoto University,
Oiwake-cho, Kitashirakawa, Sakyou-ku, Kyoto, 606-8502, JAPAN.

Abstract

In this research, the concrete gravity dam by the block layer construction method that uses Portland blast-furnace slag cement is targeted. The autogenous shrinkage that has never been considered in the thermal stress analysis of the concrete gravity dam was examined. Moreover, an appropriate setting method of the analytical modeling and the air temperature in the block layer construction method was examined. As a result, the following was clarified. The autogenous shrinkage exerts a big influence on the thermal stress analysis of the concrete gravity dam. Even when the concrete gravity dam is placed by the block layer construction method, an enough analytical result is obtained by 2-dimensional plane strain analysis. The thermal stress that takes the change of the air temperature into consideration can be analyzed by using the proposed air temperature estimating model.

Key words : Block layer construction method, Concrete gravity dam, Thermal stress, 2-dimensional plane strain analysis, Autogenous shrinkage, Air temperature