

国際協力事業団

中華人民共和国
遼寧省水利庁

中華人民共和国

遼寧省大凌河白石ダム工事に関する実験計画調査

主報告書

II

1997年9月

JICA LIBRARY



J 1140313 (6)

日本工営株式会社

農 調 農
JR
97-48

国際協力事業団

中華人民共和国
遼寧省水利庁

中華人民共和国

遼寧省大凌河白石ダム工事に関する実験計画調査

主報告書

II

1997年9月

日本工営株式会社



1140313(6)

中華人民共和国
遼寧省大凌河白石ダム工事に関する実験計画調査
最終報告書 II

目 次

3.4	ダムコンクリート温度応力解析	
3.4.1	検討目的	170
3.4.2	検討フロー	171
3.4.3	解析手法	172
	(1) 温度履歴解析	172
	(2) 温度応力解析	176
	(3) 解析フロー	184
3.4.4	解析条件の設定	185
	(1) 熱定数	185
	(2) 漸熱温度上昇式	185
	(3) 弾性定数	186
	(4) 外気温	187
	(5) 貯水池水温	188
	(6) 打込み温度	189
	(7) リフトスケジュール	190
3.4.5	検討断面の設定	194
3.4.6	非越流部の温度応力解析	196
	(1) 検討ケースの設定	196
	(2) 解析スケジュール	197
	(3) 解析モデル	199
	(4) 解析結果	201
	(5) コンクリートクラック抑制対策の検討	215
3.4.7	洪水吐部の温度応力解析	218
	(1) 検討ケースの設定	218
	(2) 解析スケジュール	219
	(3) 解析モデル	221
	(4) 解析結果	223
	(5) コンクリートクラック抑制対策の検討	236
3.4.8	底孔部の温度応力解析	239
	(1) 検討ケースの設定	239
	(2) 解析スケジュール	240
	(3) 解析モデル	243
	(4) 解析結果	248
	(5) コンクリートクラック抑制対策の検討	267
3.4.9	コンクリートクラック抑制対策についての提案	270
3.4.10	温度計測管理についての提案	274

・参考資料 1(非越流部の温度応力解析(追加解析))	-----	287
・参考資料 2(底孔部の岩着コンクリートクラック発生の原因分析)	---	306
・参考資料 3(日本で建設されたダムの温度ひびわれ抑制対策の実施例)	---	314
・添付資料(解析結果)	-----	321

3.4 ダムコンクリート温度応力解析

3.4.1 検討目的

白石ダム地点付近の気象特性は、近傍の義県気象観測所の過去10年間のデータによると、年間平均気温 8.6°C 、1月の平均気温 -9.0°C 、7月の平均気温 23.5°C で、平均気温の年振幅が 16.3°C となっており、日本における寒冷地でRCD工法により建設されたコンクリートダムである、玉川ダム（秋田）地点の年振幅 12.2°C 、札内川ダム（北海道）の年振幅 13.2°C に比べ、気象条件の激しいことが特徴的である。このような気象条件の激しい地方の多くのコンクリートダムにおいて、コンクリートのクラックの抑制は大きな課題となっている。温度応力によるクラックの発生は、漏水を生じる可能性があり、さらに浸透水の凍結融解作用によりクラックが拡大されることが考えられる。

そして、白石ダムの打設工法は、RCD工法を基本としていることから、コンクリートの温度応力によるクラック発生に対して、従来のダムコンクリート、打設工法に比べ、断熱温度上昇が小さい点は有利であるが、上下流方向のレアー長が長くなる点は不利である。また、白石ダムの構造的な特徴は、底孔部が12門も配置されており、その開口部まわりに外気温の変化に伴う温度勾配が生じ、温度応力によるクラックが生じる懸念がある。

以上のことから、ダム施工時のコンクリート温度応力解析を行い、コンクリートの水和熱に起因する温度ひびわれを抑制する対策を検討するものである。

3.4.2 検討フロー

検討フローは、図-3.4.1に示す。

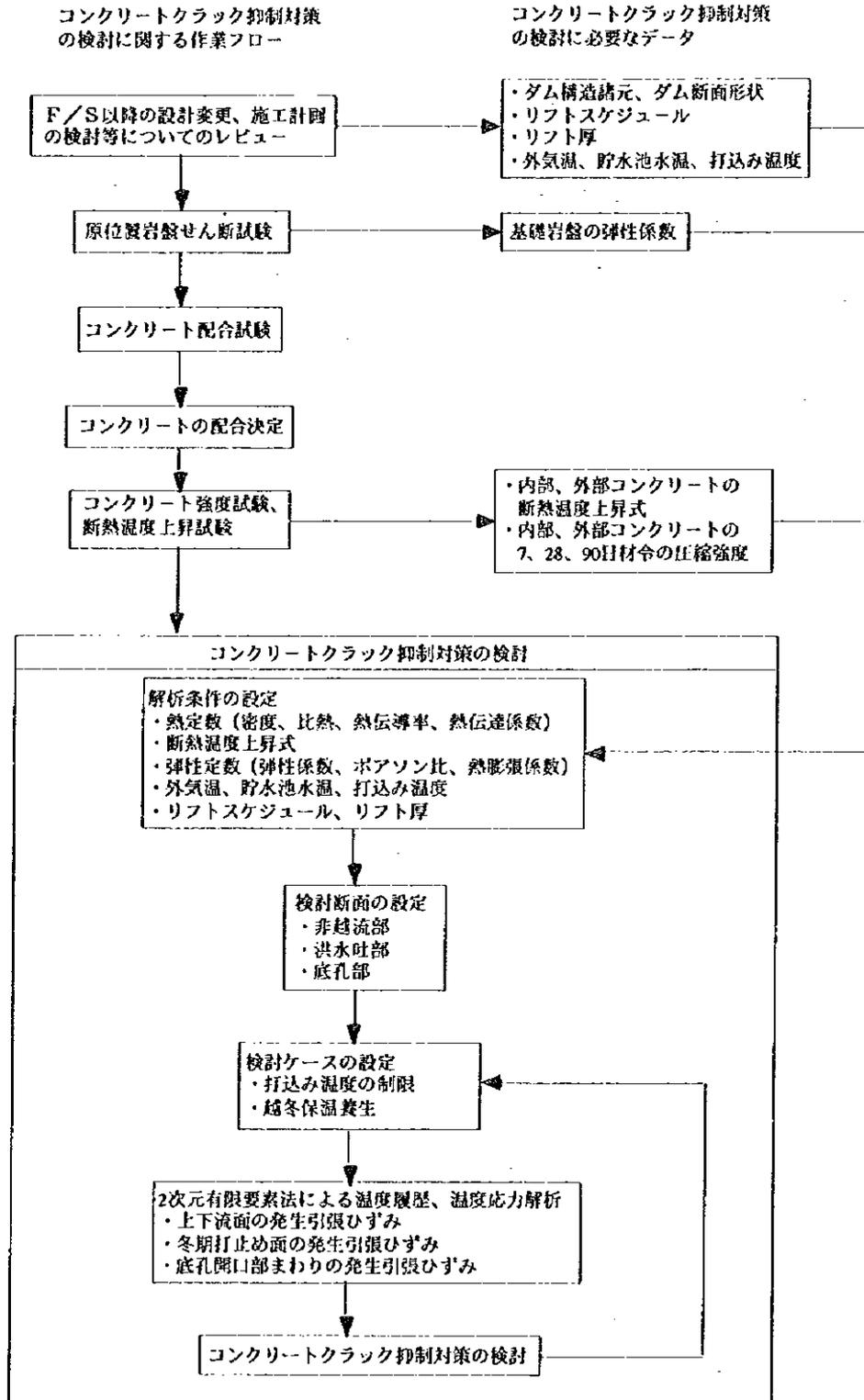


図-3.4.1 検討フロー

3.4.3 解析手法

温度履歴解析は、リフトの打設工程、コンクリートの水和熱による発熱過程、外気温あるいは貯水池水温による放熱過程を考慮した、有限要素法による2次元非定常熱伝導解析により行なう。

温度応力解析については、有限要素法による平面応力状態での2次元熱応力解析によるものとし、以下の点を考慮し解析を行なう（底孔部の横断面モデルのみ平面歪状態）。

- ・リフトの打設工程に従って、時間刻みごとの温度応力解析を行なう。
- ・コンクリートの硬化過程を考慮し、また、クリープの影響を考慮した有効弾性係数を用いる。

(1) 温度履歴解析

1) 熱伝導の法則（フーリエの法則）

物体中に温度差があると、温度の高い方から低い方へと熱は流れる。これを式に表したのがフーリエの法則である。すなわち、物体内の単位面積を単位時間に移動する熱量 q （熱流束）は、熱の流れる方向の温度勾配 dT/dx （ T ：温度、 x ：熱の流れる方向にとった座標）に比例し、

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (3.4.1)$$

と書くことができる。上式で、温度の減少する方向に熱が流れることを考えて負号を付けている。また、式(3.4.1)の比例定数 λ は熱伝導率と呼ばれ、物質における熱の伝わりやすさの程度を表す。

2) 熱伝導方程式（基礎方程式）

物体内の任意の位置（ x 、 y 、 z ）に、図-3.4.2に示すような辺長 dx 、 dy 、 dz を有する微小直六面体を考える。位置（ x 、 y 、 z ）、時刻 t における温度を $T(x, y, z, t)$ と置き、式(3.4.1)のフーリエの法則を用いて微小時間 dt の間にA面から流入する熱量 $(dq_x)_{in}$ を求めると

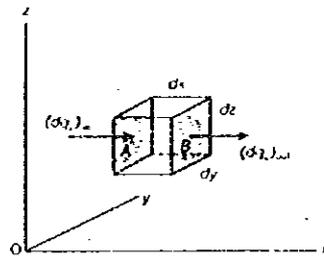


図-3.4.2 物体内で考えた微小直六面体

$$(dq_x)_{in} = -\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) dy dz dt \quad (3.4.2)$$

となる。またB面から流出する熱量 $(dq_x)_{out}$ は、

$$(dq_x)_{out} = - \left[\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] dy dz dt \quad (3.4.3)$$

となる。

式(3.4.2)、(3.4.3)より、x方向の熱の出入りにより微小直六面体に蓄積される熱量は、

$$(dq_x)_{in} - (dq_x)_{out} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx dy dz dt \quad (3.4.4)$$

となる。

同様に、y方向、z方向の熱の出入りにより微小直六面体に蓄積される熱量は、

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) dx dy dz dt \quad (3.4.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) dx dy dz dt \quad (3.4.6)$$

となる。

一方、単位時間に単位体積あたりに供給される熱量（発熱率）を \dot{Q} とすれば、時間 dt における微小直六面体内での総発熱量は、

$$\dot{Q} dx dy dz dt \quad (3.4.7)$$

と与えられる。

したがって、時間 dt 間に微小直六面体内に蓄積される熱量は式(3.4.4)から(3.4.7)の和をとることにより、

$$\left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{Q} \right] dx dy dz dt \quad (3.4.8)$$

となる。

このように蓄積された熱量により、微小直六面体内の温度は上昇する。いま、物体の比熱を c 、密度 ρ 、温度上昇を dT とすると、 $\rho c dT dx dy dz$ は式(3.4.8)に等しくなければならない。したがって、次式のような非定常熱伝導方程式が得られる。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{Q} \quad (3.4.9)$$

本解析は、2次元温度履歴解析であるため、 $dT/dz = 0$ より次式の基礎方程式となる。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \dot{Q} \quad (3.4.10)$$

3) 境界条件、初期条件

熱伝導方程式を解くには、定常、非定常のいずれの場合も位置に関する境界条件が必要である。非定常の場合には、さらに時間に関する初期条件が必要である。

(a) 境界条件

- ・境界上で温度が規定される場合

$$T = T_0 \quad (3.4.11)$$

ただし、 T_0 は、規定温度。

- ・境界上で熱伝達がある場合

$$q = h(T - T_c) \quad (3.4.12)$$

ただし、 h は熱伝達係数、 T_c は外部温度。

固体表面とこれに触れる流体との間に温度差があるとき、両者の間に生ずる熱移動を熱伝達という。

(b) 初期条件

位置 r 、時刻 t における温度を $T(r, t)$ と表すとき、初期条件は以下のとおりとなる。

$$T(r, 0) = T_1 \quad (3.4.13)$$

ただし、 T_1 は初期温度。

4) 有限要素法による定式化

非定常熱伝導問題に対する有限要素式を変分法を用いて導出する。導出する上で、解析対象を有限な要素に分割し、要素内の温度分布を次のように表現する。

$$T(x, y, t) = [N(x, y)]\{\Phi(t)\} \quad (3.4.14)$$

ここで、 $[N]$ は節点温度と要素内温度とを結びつける内挿関数マトリックスであり、 $\{\Phi\}$ は時刻 t における要素の節点温度ベクトルを表わす。

そして、基礎方程式(3.4.10)および境界条件(3.4.12)に等価な変分問題は、汎関数：

$$I = \int_V \left[\frac{1}{2} \lambda \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right\} - \left(\dot{Q} - \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \right) T \right] dV + \int_S \frac{1}{2} h (T^2 - 2T_c T) dS \quad (3.4.15)$$

を最小とする問題となる。

式(3.4.15)で与えられる汎関数 I の中で、ある要素に関連している値を F とすれば、 F は次のように与えられる。

$$I^e = \int_{V^e} \left[\frac{1}{2} \lambda \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right\} - \left(\dot{Q} - \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \right) T \right] dV + \int_{S^e} \frac{1}{2} h (T^2 - 2T_c T) dS \quad (3.4.16)$$

式(3.4.16)に式(3.4.14)を代入すると次式が得られる。

$$\begin{aligned}
I^e = & \{\Phi(t)\}^T \int_{V^e} \left[\frac{1}{2} \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} \right) \right] \{\Phi(t)\} \\
& - [N]^T \left(\dot{Q} - \rho C [N] \frac{\partial \{\Phi(t)\}}{\partial t} \right) \Gamma dV \\
& + \{\Phi(t)\}^T \int_{S^e} \frac{1}{2} h [N]^T ([N] \{\Phi(t)\} - 2T_c) dS
\end{aligned} \tag{3.4.17}$$

ここで、 $\{\Phi(t)\}$ について変分をとると次のようになる。

$$\begin{aligned}
\delta I^e = & \delta \{\Phi(t)\}^T \int_{V^e} \left[\lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} \right) \right] dV \{\Phi(t)\} \\
& - \delta \{\Phi(t)\}^T \int_{V^e} \dot{Q} [N]^T dV + \delta \{\Phi(t)\}^T \int_{V^e} \rho C [N]^T [N] dV \left\{ \frac{\partial \Phi(t)}{\partial t} \right\} \\
& + \delta \{\Phi(t)\}^T \int_{S^e} h [N]^T [N] dS \{\Phi(t)\} - \delta \{\Phi(t)\}^T \int_{S^e} h T_c [N]^T dS
\end{aligned} \tag{3.4.18}$$

変分法の考えから $\delta I^e = 0$ と置くことにより、非定常熱伝導問題に対する要素の有限要素式が次のように求められる。

$$[k] \{\Phi\} + [C] \left\{ \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right\} = \{f\} \tag{3.4.19}$$

$$\begin{aligned}
[k] = & \int_{V^e} \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} \right) dV \\
& + \int_{S^e} h [N]^T [N] dS \\
[C] = & \int_{V^e} \rho C [N]^T [N] dV \\
\{f\} = & \int_{V^e} Q [N]^T dV + \int_{S^e} h T_c [N]^T dS
\end{aligned}$$

式(3.4.19)を全要素で組み立てると、次の有限要素式で表現できる。

$$[K] \{\Phi\} + [C] \left\{ \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right\} = \{F\} \tag{3.4.20}$$

- $\{\Phi\}$: 節点温度ベクトル
- $[K]$: 熱伝導マトリックス
- $[C]$: 熱容量マトリックス
- $\{F\}$: 熱流束マトリックス

(2) 温度応力解析

1) 温度応力の発生機構

すべての材料は温度変化によって体積変化（温度が上昇すれば膨張し、温度が下降すれば収縮する）を生じる。そこで何らかの原因で体積変化が拘束されると応力が発生する。この応力を温度応力と呼ぶ。一般にこのような体積変化の拘束は、便宜上、外部拘束と内部拘束に区別できる。

なお、有限要素法は、外部拘束と内部拘束の双方を考慮した解析ができる。

(a) 外部拘束

外部拘束とは、打設したコンクリートの体積変化が基礎岩盤や硬化冷却したコンクリート（既設堤体）によって拘束される場合をいう。

いま、図-3.4.3のようにコンクリートに一樣な温度降下が生じた場合、体積変化の拘束がなければコンクリートは一点鎖線のように収縮する。しかし、基礎岩盤や既設堤体はそれと同様に収縮することはできないから、実際の収縮は実線のようなになる。従って、一点鎖線と実線との差で表される変形量に相当する引張応力が発生することになる。このような変形の拘束が外部拘束である。

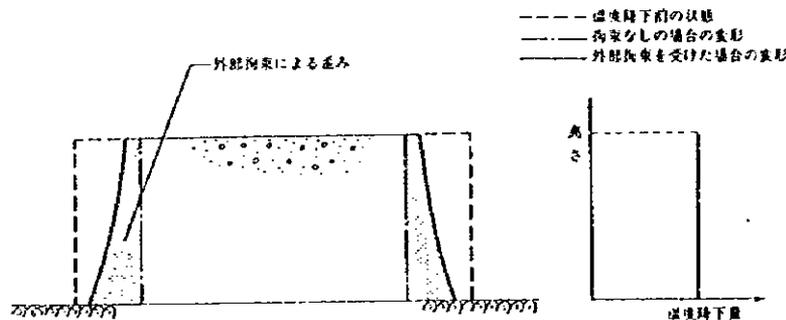


図-3.4.3 外部拘束の概念図

以上より、外部拘束とはコンクリートが冷却する過程で問題となる拘束であり、コンクリートが最高温度から最終安定温度に至るまでの温度降下に対し、その外部拘束により引張応力が発生する。

(b) 内部拘束

内部拘束とは、コンクリートの各部分が異なった温度変化を示す場合に、その温度変化によって生じるそれぞれの部分の異なった体積膨張または体積収縮が互いにその変形を拘束し合う場合を言う。このため、外部拘束に比べて温度応力の発生機構は同じであるが、若干複雑となる。

いま、図-3.4.4のようにコンクリートの各部分が異なった温度降下を示した場合、体積変化の拘束がなければコンクリートは一点鎖線のように収縮するが、コンクリートの各部の変形は任意には起こり得ないから、実際の変形は実線のようなになる。

したがって、一点鎖線と実線との差で表される変形量に相当する応力がそれぞれの部分に発生することになる。このような変形の拘束が内部拘束である。

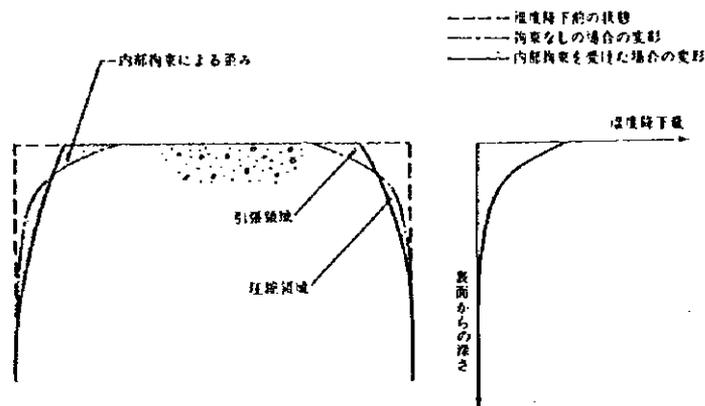


図-3.4.4 内部拘束の概念図

以上より、内部拘束によって発生する温度応力が引張応力であるか圧縮応力であるかは、温度変化が温度上昇であるか温度降下であるかには直接関係がなく、周囲の部分との相対的な温度変化の差によって定まることになる。

内部拘束による温度応力は次のような場合に発生する。

- a. 打込まれて間もないコンクリートの内部と表面部の温度上昇量の差。
- b. 外気にさらされたコンクリートの表面と内部の冷却速度の差。

2) 温度応力の基礎式

(a) 平衡方程式

三次元物体中の任意な応力状態は、応力の対称条件

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}, \quad \tau_{zx} = \tau_{xz} \quad (3.4.21)$$

のもとで、3個の垂直応力成分 ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) と6個のせん断応力成分 ($\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}, \tau_{zx}, \tau_{xz}$) で表現できる。すなわち対称条件を考慮すると独立な応力成分は6個となる。

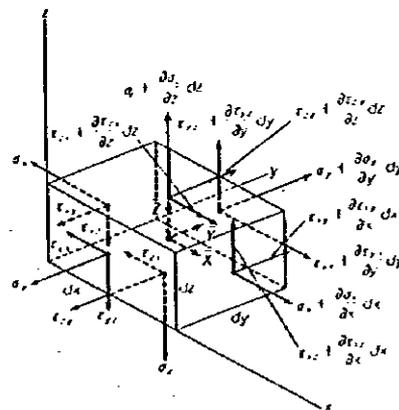


図-3.4.5 微小六面体に作用する応力

ここで、図-3.4.5の微小直六面体から、応力に関する平衡方程式を求める。そこでx方

向の力を考えると、表面力の6成分と物体力の1成分があり、和をとると

$$\begin{aligned} (\sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx) dy dz - \sigma_x dy dz + (\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy) dz dx - \tau_{yx} dz dx \\ + (\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz) dx dy - \tau_{zx} dx dy + \bar{X} dx dy dz = 0 \end{aligned} \quad (3.4.22)$$

となり、 $dx dy dz$ で割れば、

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \bar{X} = 0 \quad (3.4.23)$$

が得られる。 y 方向、 z 方向についても同様な式が得られ、式(3.4.21)の応力の対称条件を考慮すれば、次式のようなになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \bar{X} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \bar{Y} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \bar{Z} = 0 \end{aligned} \quad (3.4.24)$$

本解析は、2次元問題であるので、 $\tau_{yz} = \tau_{zy} = 0$ となり、平衡方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \bar{X} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \bar{Y} = 0 \end{aligned} \quad (3.4.25)$$

(b) ひずみ-変位関係式

2次元問題でのひずみ-変位関係式は次のようになる。

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (3.4.26)$$

(c) 応力-ひずみ関係式

温度 T だけ上昇あるいは下降する物体の全ひずみは、自由膨張あるいは自由収縮による熱ひずみと、物体中の応力状態によるひずみとの和により表わすことができる。このうち、熱ひずみは、等方性材料の場合には、 x 、 y 、 z 方向に同一の値をもつことから、せん断ひずみ成分を持たない。一方、後者の応力状態によるひずみは、等方弾性体のフックの法則を用いて表わすことができる。

したがって、応力-ひずみ関係式は次式で表わされる。

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] + \alpha T$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)] + \alpha T \\
\varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] + \alpha T \\
\gamma_{xy} &= \frac{1}{G} \tau_{xy}, \quad \gamma_{yz} = \frac{1}{G} \tau_{yz}, \quad \gamma_{zx} = \frac{1}{G} \tau_{zx}
\end{aligned}
\tag{3.4.27}$$

E : ヤング係数
ν : ポアソン比
G : せん断弾性係数

そして、本解析は2次元問題で、応力が一平面に平行に生じ、この面に垂直な応力成分がすべて0とみなせる平面応力状態として取り扱うため、応力-ひずみ関係式は以下に示される。

$\sigma_z = 0$ と仮定でき、式(3.4.27)に代入すると次式となる。

$$\begin{aligned}
\varepsilon_x &= \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_y) + \alpha T \\
\varepsilon_y &= \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu \sigma_x) + \alpha T \\
\varepsilon_z &= -\frac{\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y) + \alpha T \\
\gamma_{xy} &= \frac{1}{G} \tau_{xy}
\end{aligned}
\tag{3.4.28}$$

3) 境界条件

(a) 力学的境界条件

物体の境界Sで、表面力 $T = (T_x, T_y)$ が与えられるとすると、力学的境界条件は次式で表わせられる。

$$T_x = T_x, \quad T_y = T_y \quad (\text{S上において}) \tag{3.4.29}$$

(b) 幾何学的境界条件

物体の境界S上で、変位 $U = (U_x, U_y)$ が与えられるとき、幾何学的境界条件は次式で表わせられる。

$$U = U_x, \quad U = U_y \quad (\text{S上において}) \tag{3.4.30}$$

4) 有限要素法による定式化

(a) 仮想仕事の原理に基づく離散化

構造体が与えられた物体力および境界条件のもとでつり合っているとすると、平衡方程式と力学的境界条件が成り立っている。この平衡方程式と力学的境界条件式を仮想仕事の原理に基づき離散化を行なう。すると、式(3.4.25)、式(3.4.29)を満足した状態で、任意の微小な仮想変位 $\delta u, \delta v$ を構造体を与えることを考える。

$$\begin{aligned}
 & - \int_V \left[\left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \bar{X} \right) \delta u + \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \bar{Y} \right) \delta v \right] dV \\
 & + \int_S \left[(T_x - \bar{T}_x) \delta u + (T_y - \bar{T}_y) \delta v \right] dS = 0
 \end{aligned} \tag{3.4.31}$$

ここで、 dV 、 dS は、それぞれ物体の微小体積要素と表面の微小面積要素を表わす。なお、仮想変位は S 上の幾何学的境界条件を乱さないものとする。すなわち、

$$\delta u = 0, \quad \delta v = 0 \quad (S \text{ 上において}) \tag{3.4.32}$$

を拘束条件として与えておく。グリーンンの定理を用いて部分積分を行なえば、式(3.4.31)の左辺の第一項は、

$$\int_V \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \delta u dV = \int_S \sigma_x n_x \delta u dS - \int_V \sigma_x \frac{\partial \delta u}{\partial x} dV \tag{3.4.33}$$

のように示すことができる。他の応力を空間座標によって微分した項も同様に部分積分して、次のように示すことができる。

$$\begin{aligned}
 & \int_V (\sigma_x \delta \epsilon_x + \sigma_y \delta \epsilon_y + \tau_{xy} \delta \gamma_{xy}) dV \\
 & - \int_V (\bar{X} \delta u + \bar{Y} \delta v) dV - \int_S (\bar{T}_x \delta u + \bar{T}_y \delta v) dS = 0
 \end{aligned} \tag{3.4.34}$$

よって、

$$\int_V \delta \{\epsilon\}^T \{\sigma\} dV - \int_V \delta \{U\}^T \{\bar{F}\} dV - \int_S \delta \{U\}^T \{\bar{T}\} dS = 0 \tag{3.4.35}$$

$\{\sigma\}$: 応力ベクトル
 $\{\epsilon\}$: ひずみベクトル
 $\{U\}$: 変位ベクトル
 $\{F\}$: 単位体積あたりの物体力ベクトル
 $\{T\}$: 単位面積あたりの表面力ベクトル
 で表わせられる。

(b) ひずみ-変位関係式

式(3.4.26)より、一般に、ひずみベクトル $\{\varepsilon\}$ は変位ベクトル $\{U\}$ を用いて、

$$\{\varepsilon\} = [A] \{U\} \quad (3.4.36)$$

で与えられる。ここで $[A]$ は、微分演算子を含むマトリックスである。

(c) 応力-ひずみ関係式

式(3.4.28)より、応力-ひずみ関係式は次のように導くことができる。すなわち、全ひずみベクトル $\{\varepsilon\}$ を弾性ひずみベクトル $\{\varepsilon_e\}$ と熱ひずみベクトル $\{\varepsilon_t\}$ の和として、

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_e\} + \{\varepsilon_t\} \quad (3.4.37)$$

と表わす。フックの法則から次式のように表わせる。

$$\{\sigma\} = [D^e] \{\varepsilon_e\} \quad (3.4.38)$$

$$[D^e] = \frac{E(t)}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$$

$[D^e]$: 弾性応力-ひずみマトリックス
 $E(t)$: 材令 t 日での弾性係数
 ν : ポアソン比

よって、応力-ひずみ関係式

$$\{\sigma\} = [D^e] (\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_t\}) \quad (3.4.39)$$

が得られる。

(d) 有限要素式

物体を有限要素に分割し、有限要素内部の変位ベクトル $\{U\}$ は未知量である節点ベクトル $\{d\}$ を用いて、

$$\{U\} = [N] \{d\} \quad (3.4.40)$$

と表わすことができる。ここで $[N]$ は形状関数マトリックスと呼ばれている。式(3.4.40)を式(3.4.36)に代入すれば、要素内のひずみベクトル $\{\varepsilon\}$ は、節点変位ベクトル $\{d\}$ を用いて、

$$\{\varepsilon\} = [A][N] \{d\} = [B] \{d\} \quad (3.4.41)$$

と表わすことができる。ここで[B]はひずみ-変位マトリックスと呼ぶ。式(3.4.35)に式(3.4.39)~式(3.4.41)を代入すると、

$$\int_{V^e} \delta\{d\}^T [B]^T [D^e] ([B] \{d\} - \{\epsilon^l\}) dV - \int_{S^*} \delta\{d\}^T [N]^T \{\bar{T}\} dS - \int_{V^e} \delta\{d\}^T [N]^T \{\bar{F}\} dV = 0 \quad (3.4.42)$$

が得られる。ここでV^e、S^{*}は要素の体積および力学的境界条件の与えられる要素の面積を表わす。上式を整理すると、

$$\begin{aligned} & \delta\{d\}^T \int_{V^e} [B]^T [D^e] [B] dV \{d\} \\ & = \delta\{d\}^T \int_{S^*} [N]^T \{\bar{T}\} dS + \delta\{d\}^T \int_{V^e} [N]^T \{\bar{F}\} dV \\ & + \delta\{d\}^T \int_{V^e} [B]^T [D^e] \{\epsilon^l\} dV \end{aligned} \quad (3.4.43)$$

が得られる。δ{d} は任意の仮想節点ベクトルであるから、上式が成り立つためには

$$\begin{aligned} & \int_{V^e} [B]^T [D^e] [B] dV \{d\} \\ & = \int_{S^*} [N]^T \{\bar{T}\} dS + \int_{V^e} [N]^T \{\bar{F}\} dV \\ & + \int_{V^e} [B]^T [D^e] \{\epsilon^l\} dV \end{aligned} \quad (3.4.44)$$

が必要である。したがって、要素の平衡方程式は次式のように表わせられる。

$$[k] \{d\} = \{f_s\} + \{f_v\} + \{f_t\} \quad (3.4.45)$$

- [k] : 要素の剛性マトリックス
 {f_s}、{f_v} : 表面力および体積力による節点荷重ベクトル
 {f_t} : 熱ひずみによる見かけの節点荷重ベクトル

$$\begin{aligned} [k] &= \int_{V^e} [B]^T [D^e] [B] dV \\ \{f_s\} &= \int_{S^*} [N]^T \{\bar{T}\} dS \\ \{f_v\} &= \int_{V^e} [N]^T \{\bar{F}\} dV \\ \{f_t\} &= \int_{V^e} [B]^T [D^e] \{\epsilon^l\} dV \end{aligned}$$

式(3.4.45)をすべての要素について求め、これらをたし合わせるにより体系全体の平衡方程式が次式のように得られる。

$$[K]\{d\} = \{F\} \quad (3.4.46)$$

(3) 解析フロー

温度応力解析フローは、図-3.4.6に示すとおりである。2次元FEM温度履歴解析を行い、各時刻歴毎の堤体内の温度分布を求める。そして、各時刻歴毎において、今回ステップと前回ステップの温度差 $\Delta T_i = T_{i,t} - T_{i,t-\Delta t}$ から、堤体内の各節点の温度荷重を算定し、2次元FEM温度応力解析を行い、堤体内のひずみ及び応力分布を求める。

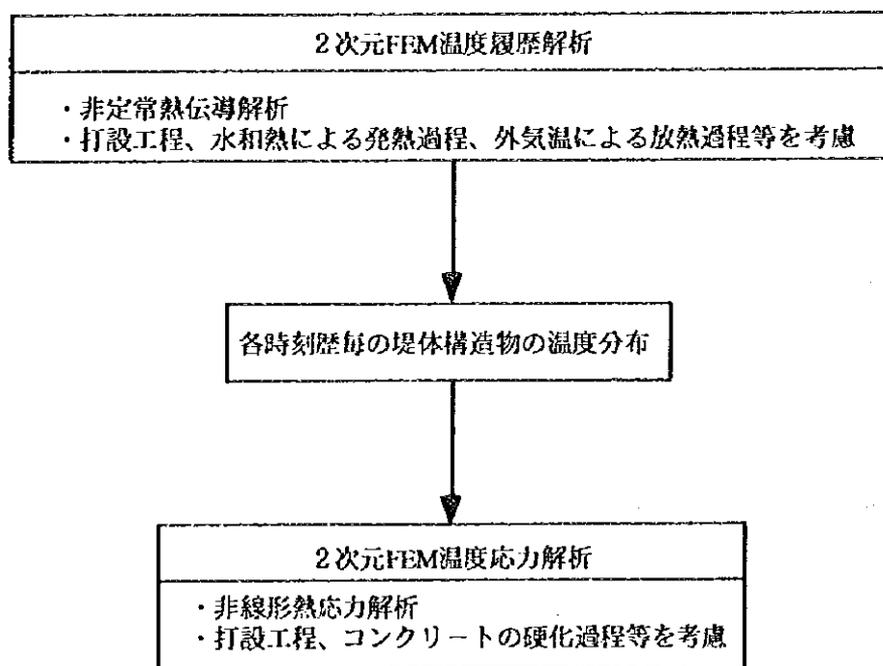


図-3.4.6 温度応力解析フロー

3.4.4 解析条件の設定

(1) 熱定数

内部、外部コンクリート及び基礎岩盤の密度、比熱、熱伝導率、熱伝達係数は、既往文献資料等から一般的な値を設定し、表-3.4.1に示す。

表-3.4.1 熱定数一覧表

	密度 (kg/m ³)	比熱		熱伝導率		熱伝達係数	
		(0.25kcal/m ² ·°C)	(0.1kcal/m ² ·°C)	(0.20W/m·h·°C)	(0.1W/m·h·°C)	(0.12W/m ² ·h·°C)	(0.12W/m ² ·h·°C)
コンクリート	2.3	0.25	1.05	2.0	8.37	12.0 (散水養生) 30.0 (灌水時) 0.8 (灌水越冬養生) 0.49~0.95 (越冬保温養生)	30.2 (散水養生) 125.5 (灌水時) 3.3 (灌水越冬養生) 2.04~3.98 (越冬保温養生)
基礎岩盤	2.7	0.204	0.85	1.47	6.15	12.0	50.2

※コンクリートの熱定数は、「多目的ダムの建設 設計編I編」のコンクリートの一般値より設定。

※基礎岩盤(玄武岩質安山岩)は、「多目的ダムの建設 設計編I編」の玄武岩の値より設定。

※散水養生の熱伝達係数は、「コンクリート標準示方書施工編」より設定。

灌水越冬養生時の熱伝達係数の算定は、以下に示す。

- ・灌水水深 : h=2.25~3.75m
 - ・氷の熱伝導率 : λ=1.9 (Kcal/m·h·°C) (伝熱工学資料より)
 - ・外気にふれる面の熱伝達係数 : β=12 (Kcal/m²·h·°C)
- $\eta = 1 / (1/\beta + h/\lambda) = 1 / (1/12 + 2.25/1.9) = 0.8$ (Kcal/m²·h·°C)

越冬保温養生時の熱伝達係数は、中国側の初步設計(第三冊)に基づいて、表-3.4.2に示すように設定する。

表-3.4.2 越冬保温養生時の熱伝達係数一覧表

ロック・ウール・カバー			発泡スチロール板		
厚さ (cm)	β (Kcal/m ² ·h·°C)	β (KJ/m ² ·h·°C)	厚さ (cm)	β (Kcal/m ² ·h·°C)	β (KJ/m ² ·h·°C)
5cm	0.95	3.98	3cm	0.95	3.98
10cm	0.49	2.04	6cm	0.49	2.04

(2) 断熱温度上昇式

内部、外部コンクリートの断熱温度上昇式は、次式に示す。その定数は、断熱温度上昇試験の結果から設定し、表-3.4.3に示す。

$$\text{断熱温度上昇式} : T (^{\circ}\text{C}) = K (1 - \exp(-\alpha t^{\beta}))$$

表-3.4.3 断熱温度上昇式の定数一覧表

コンクリートの区分	単位セメント量(kg/m ³)	K (°C)	α (1/H)	β
外部コンクリート	105.0	18.4	0.359	0.70
内部(RCD)コンクリート	66.0	16.0	0.307	0.63

(3) 弾性定数

コンクリートの有効弾性係数は、コンクリート標準示方書施工編に基づき、圧縮強度の推定式を作成して推定する。圧縮強度の推定式は、圧縮強度試験により得られた、内部、外部コンクリートの7日、28日、90日材令の圧縮強度等から作成する。圧縮強度一覧表は表-3.4.4に示す。コンクリートのポアソン比及び熱膨張係数は、既往文献資料等から設定する。基礎岩盤の弾性係数及びポアソン比は、原位置岩盤せん断試験の結果等から設定する。基礎岩盤の熱膨張係数は、安全側に配慮して、考慮しないものとする。

弾性定数の物性値一覧表は、表-3.4.5に示す。

$$E_c(t) = \psi(t) \times 15000 \times \sqrt{f_c(t)}$$

$E_c(t)$: 材令 t 日における有効弾性係数(kgf/cm²)
 $\psi(t)$: クリープの影響による補正係数
 $\psi(t)=0.73$ (材令3日まで)、 $\psi(t)=1.00$ (材令5日以降)
 $f_c(t)$: 材令 t 日における圧縮強度(kgf/cm²)
 $f_c(t)=f_c(90) \times t / (a+b \times t)$

表-3.4.4 内部、外部コンクリートの7日、28日、90日材令の圧縮強度一覧表

	内部 (RCD) コンクリート		外部コンクリート	
	(MPA)	(kgf/cm ²)	(MPA)	(kgf/cm ²)
7日材令圧縮強度	9.11	92.9	10.2	104.0
28日材令圧縮強度	15.1	154.0	18.9	192.7
90日材令圧縮強度	24.6	250.9	26.9	274.3

表-3.4.5 弾性定数の物性値一覧表

	弾性定数の種類	内部(RCD)コンクリート	外部コンクリート
コン ク リ ー ト	圧縮強度 $f_c(t) = t / (a+bt) \times f_c(90)$	a=18.3 b=0.8 $f_c(90)=24.6(\text{MPa})$ =250.9(kgf/cm ²)	a=14.6 b=0.84 $f_c(90)=26.9(\text{MPa})$ =274.3(kgf/cm ²)
	引張強度 $f_t(t) = c \sqrt{f_c(t)}$	c=1.4	
	弾性係数 $E_c(t) = \psi(t) \times 15,000 \sqrt{f_c(t)}$ (kgf/cm ²)	$\psi(t) = 0.73$ (材令3日まで) $\psi(t) = 1.0$ (材令5日以降)	
	ポアソン比	$\nu = 0.2$	
	熱膨張係数 (1/°C)	$\alpha = 10 \times 10^{-6}$	
岩 盤	弾性係数	E=6,860(MPA) =70,000(kgf/cm ²)	
	ポアソン比	$\nu = 0.3$	

※岩盤の熱膨張係数は考慮しない。

(4) 外気温

白石ダム地点の外気温は、近傍の義県気象観測所の外気温データを用いる。表-3.4.6に示す義県気象観測所の過去10年間の月別平均気温から、表-3.4.7及び図-3.4.7に示すように白石ダム地点の外気温をSIN波で近似し設定する。SIN波の近似式は4月開始からの場合、次に示すとおりである。

$$\text{外気温 SIN 波} : T (^{\circ}\text{C}) = 8.6 + 16.3 \text{ SIN} (2\pi / 365 \times (t + 350))$$

表-3.4.6 義県気象観測所の月別平均気温 (1987年~1996年の10年間の平均値)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
月別平均気温	-9.0	-5.5	1.2	10.0	17.1	21.2	23.5	23.2	17.4	10.3	0.4	-6.7	8.6
月別最高気温	6.3	10.4	18.2	26.9	32.5	33.1	32.7	32.8	30.7	25.5	17.7	8.6	23.0
月別最低気温	-20.9	-19.5	-12.4	-4.2	3.8	10.7	14.7	13.3	3.4	-3.4	-13.6	-18.9	-3.9

単位: °C

表-3.4.7 白石ダム地点の外気温SIN波近似値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
月別平均気温	-9.0	-5.5	1.2	10.0	17.1	21.2	23.5	23.2	17.4	10.3	0.4	-6.7	8.6
SIN波近似モデル	-7.6	-5.4	0.6	8.7	16.8	22.7	24.8	22.6	16.6	8.5	0.4	-5.5	8.6

単位: °C

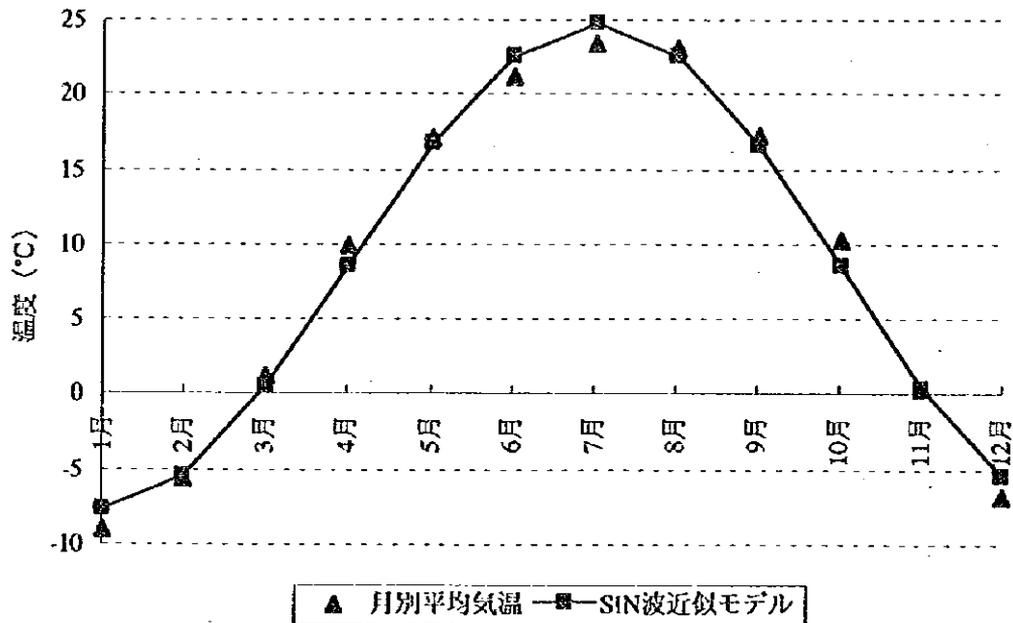


図-3.4.7 白石ダム地点の外気温SIN波モデル

(5) 貯水池水温

堤体上流面は、湛水時において貯水池水温による境界条件を考慮する。よって、貯水池水位（計画）及び貯水池水温（推定値）は、表-3.4.8~3.4.9に示す中国側の提供資料に基づいて設定する。

表-3.4.8 貯水池水位（計画）

単位：m

年	月											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105.5	107.2
2000	109.00	111.00	113.50	116.80	118.00	119.20	121.20	123.00	123.50	123.01	122.51	121.99
2001	124.43	123.99	123.26	122.94	121.21	118.88	121.04	122.53	123.10	123.01	122.51	121.99
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

表-3.4.9 貯水池水温（推定値）

単位：℃

深さ (m)	月											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0.52	1.42	1.40	8.50	15.35	19.35	21.48	21.93	16.25	8.25	2.73	0.80
5	1.41	2.00	2.00	7.00	11.47	15.14	15.62	21.70	16.25	8.25	3.00	1.52
10	1.80	2.52	3.00	5.91	8.59	10.75	10.88	19.80	15.70	8.25	3.73	2.00
15	2.41	3.22	3.60	5.20	7.00	9.86	10.21	15.80	14.45	8.25	3.73	2.62
20	3.00	3.82	4.00	5.00	6.50	7.51	7.74	10.97	11.06	8.23	3.83	3.20
25	3.51	4.00	4.00	5.00	6.20	6.70	6.74	9.56	10.00	7.90	3.83	3.62
30	3.64	4.00	4.00	5.00	6.00	6.70	6.74	7.87	7.93	6.50	3.93	3.80
35	3.65	4.00	4.00	5.00	6.00	6.70	6.74	6.87	6.40	5.50	4.00	3.90
40	3.71	4.00	4.00	5.00	6.00	6.70	6.74	6.87	6.40	5.50	4.00	3.90

(6) 打込み温度

打込み温度は、バッチャープラント等の機械設備の発する機械熱を考慮して、外気温に2°C加えた値を用いる。

ブレーキングを実施する検討ケースの場合、初步設計(第三冊)によると、打込み温度の規制値は15°Cと設定されており、この点を考慮し、外気温+2°Cにより算定した打込み温度が15°C以上となる場合は、打込み温度を15°Cと設定する。

さらに、追加検討ケースとして、打込み温度の規制値はある標高以上で18°Cとし、それ以下では15°Cの場合についても設定する。後述する各検討ケースでの月別の打込み温度を表-3.4.10に示す。

表-3.4.10 打込み温度一覧表

単位: °C

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
月別平均気温		-9.0	-5.5	1.2	10.0	17.1	21.2	23.5	23.2	17.4	10.3	0.4	-6.7
ケース1	打込み温度(規制値なし)	-	-	-	12.0	19.1	23.2	25.5	25.2	19.4	12.3	-	-
ケース2~4	打込み温度(規制値あり)	-	-	-	12.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	12.3	-	-
ケース5	非越流部 H≤8m	-	-	-	12.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	12.3	-	-
	H>8m	-	-	-	12.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	12.3	-	-
	洪水吐部 H≤12m	-	-	-	12.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	12.3	-	-
	H>12m	-	-	-	12.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	12.3	-	-
	底孔部 H≤20m	-	-	-	12.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	12.3	-	-
	H>20m	-	-	-	12.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	12.3	-	-

(7) リフトスケジュール

1) 非越流部 (BL.27) のリフトスケジュール

中国側の提供資料により、非越流部(BL.27)のリフトスケジュールは、表-3.4.11~3.4.12に示す。

表-3.4.11 非越流部 (BL.27) のリフトスケジュール (リフト1~30)

リフト	コンクリート区分	打設日	標高(m)	リフト厚(m)
1	外部コンクリート	1997.4.1	~EL.88.50	
2	外部コンクリート	1997.4.5	EL.88.5~EL.90.00	1.50
3	外部コンクリート	1997.4.9	EL.90.00~EL.91.25	1.25
4	内部(RCD)コンクリート	1997.4.16	EL.91.25~EL.92.00	0.75
5	内部(RCD)コンクリート	1997.4.23	EL.92.00~EL.92.75	0.75
6	内部(RCD)コンクリート	1997.4.30	EL.92.75~EL.93.50	0.75
7	内部(RCD)コンクリート	1997.5.7	EL.93.50~EL.94.25	0.75
8	内部(RCD)コンクリート	1997.5.14	EL.94.25~EL.95.00	0.75
9	内部(RCD)コンクリート	1997.5.21	EL.95.00~EL.95.75	0.75
10	内部(RCD)コンクリート	1997.6.1	EL.95.75~EL.96.50	0.75
11	内部(RCD)コンクリート	1997.6.10	EL.96.50~EL.97.25	0.75
12	内部(RCD)コンクリート	1997.6.20	EL.97.25~EL.98.00	0.75
13	内部(RCD)コンクリート	1997.7.1	EL.98.00~EL.98.75	0.75
14	内部(RCD)コンクリート	1997.7.15	EL.98.75~EL.99.50	0.75
15	内部(RCD)コンクリート	1997.8.1	EL.99.50~EL.100.25	0.75
16	内部(RCD)コンクリート	1997.8.15	EL.100.25~EL.101.00	0.75
17	内部(RCD)コンクリート	1997.9.1	EL.101.00~EL.101.75	0.75
18	内部(RCD)コンクリート	1997.9.15	EL.101.75~EL.102.50	0.75
19	内部(RCD)コンクリート	1997.9.23	EL.102.50~EL.103.25	0.75
20	内部(RCD)コンクリート	1997.10.1	EL.103.25~EL.104.00	0.75
21	内部(RCD)コンクリート	1997.10.6	EL.104.00~EL.104.75	0.75
22	内部(RCD)コンクリート	1997.10.12	EL.104.75~EL.105.50	0.75
23	内部(RCD)コンクリート	1997.10.18	EL.105.50~EL.106.25	0.75
24	内部(RCD)コンクリート	1997.10.24	EL.106.25~EL.107.00	0.75
25	内部(RCD)コンクリート	1998.7.1	EL.107.00~EL.107.75	0.75
26	内部(RCD)コンクリート	1998.7.10	EL.107.75~EL.108.50	0.75
27	内部(RCD)コンクリート	1998.7.20	EL.108.50~EL.109.25	0.75
28	内部(RCD)コンクリート	1998.8.1	EL.109.25~EL.110.00	0.75
29	内部(RCD)コンクリート	1998.8.10	EL.110.00~EL.110.75	0.75
30	内部(RCD)コンクリート	1998.8.20	EL.110.75~EL.111.50	0.75

表-3.4.12 非越流部 (BL.27) のリフトスケジュール (リフト31~54)

リフト	コンクリート区分	打設日	標高(m)	リフト厚(m)
31	内部(RCD)コンクリート	1999.4.1	EL.111.50~EL.112.25	0.75
32	内部(RCD)コンクリート	1999.4.10	EL.112.25~EL.113.00	0.75
33	内部(RCD)コンクリート	1999.4.20	EL.113.00~EL.113.75	0.75
34	内部(RCD)コンクリート	1999.5.1	EL.113.75~EL.114.50	0.75
35	内部(RCD)コンクリート	1999.5.10	EL.114.50~EL.115.25	0.75
36	内部(RCD)コンクリート	1999.5.20	EL.115.25~EL.116.00	0.75
37	外部コンクリート	1999.6.1	EL.116.00~EL.117.00	1.00
38	外部コンクリート	1999.6.5	EL.117.00~EL.118.00	1.00
39	外部コンクリート	1999.6.10	EL.118.00~EL.119.00	1.00
40	外部コンクリート	1999.6.15	EL.119.00~EL.120.00	1.00
41	外部コンクリート	1999.6.20	EL.120.00~EL.121.00	1.00
42	外部コンクリート	1999.6.25	EL.121.00~EL.122.00	1.00
43	外部コンクリート	1999.9.1	EL.122.00~EL.123.00	1.00
44	外部コンクリート	1999.9.5	EL.123.00~EL.124.00	1.00
45	外部コンクリート	1999.9.10	EL.124.00~EL.125.00	1.00
46	外部コンクリート	1999.9.15	EL.125.00~EL.126.00	1.00
47	外部コンクリート	1999.9.20	EL.126.00~EL.127.00	1.00
48	外部コンクリート	1999.9.25	EL.127.00~EL.128.00	1.00
49	外部コンクリート	1999.10.1	EL.128.00~EL.129.00	1.00
50	外部コンクリート	1999.10.5	EL.129.00~EL.130.00	1.00
51	外部コンクリート	1999.10.10	EL.130.00~EL.131.00	1.00
52	外部コンクリート	1999.10.15	EL.131.00~EL.132.00	1.00
53	外部コンクリート	1999.10.20	EL.132.00~EL.133.00	1.00
54	外部コンクリート	1999.10.25	EL.133.00~EL.134.30	1.30

2) 洪水吐部 (BL.11) のリフトスケジュール

中国側の提供資料により、洪水吐部 (BL.11) のリフトスケジュールは、表-3.4.13 に示す。

表-3.4.13 洪水吐部 (BL.11) のリフトスケジュール

リフト	コンクリート区分	打設日	標高(m)	リフト厚(m)
1	外部コンクリート	1998.4.1	EL.84.00~EL.84.75	0.75
2	外部コンクリート	1998.4.5	EL.84.75~EL.85.75	1.00
3	外部コンクリート	1998.4.10	EL.85.75~EL.86.75	1.00
4	内部(RCD)コンクリート	1998.5.20	EL.86.75~EL.87.50	0.75
5	内部(RCD)コンクリート	1998.5.25	EL.87.50~EL.88.25	0.75
6	内部(RCD)コンクリート	1998.5.31	EL.88.25~EL.89.00	0.75
7	内部(RCD)コンクリート	1998.6.5	EL.89.00~EL.89.75	0.75
8	内部(RCD)コンクリート	1998.6.10	EL.89.75~EL.90.50	0.75
9	内部(RCD)コンクリート	1998.6.15	EL.90.50~EL.91.25	0.75
10	内部(RCD)コンクリート	1998.6.20	EL.91.25~EL.92.00	0.75
11	内部(RCD)コンクリート	1998.6.25	EL.92.00~EL.92.75	0.75
12	内部(RCD)コンクリート	1998.6.30	EL.92.75~EL.93.50	0.75
13	内部(RCD)コンクリート	1998.7.8	EL.93.50~EL.94.25	0.75
14	内部(RCD)コンクリート	1998.7.16	EL.94.25~EL.95.00	0.75
15	内部(RCD)コンクリート	1998.7.24	EL.95.00~EL.95.75	0.75
16	内部(RCD)コンクリート	1998.7.31	EL.95.75~EL.96.50	0.75
17	内部(RCD)コンクリート	1998.8.8	EL.96.50~EL.97.25	0.75
18	内部(RCD)コンクリート	1998.8.16	EL.97.25~EL.98.00	0.75
19	内部(RCD)コンクリート	1998.8.24	EL.98.00~EL.98.75	0.75
20	内部(RCD)コンクリート	1998.8.31	EL.98.75~EL.99.50	0.75
21	内部(RCD)コンクリート	1998.9.7	EL.99.50~EL.100.25	0.75
22	内部(RCD)コンクリート	1998.9.14	EL.100.25~EL.101.00	0.75
23	内部(RCD)コンクリート	1998.9.22	EL.101.00~EL.101.75	0.75
24	内部(RCD)コンクリート	1998.9.30	EL.101.75~EL.102.50	0.75
25	内部(RCD)コンクリート	1998.10.7	EL.102.50~EL.103.25	0.75
26	内部(RCD)コンクリート	1998.10.15	EL.103.25~EL.104.00	0.75
27	内部(RCD)コンクリート	1998.10.23	EL.104.00~EL.104.75	0.75
28	内部(RCD)コンクリート	1998.10.31	EL.104.75~EL.105.50	0.75
29	内部(RCD)コンクリート	1999.4.6	EL.105.50~EL.106.25	0.75
30	内部(RCD)コンクリート	1999.4.12	EL.106.25~EL.107.00	0.75
31	内部(RCD)コンクリート	1999.4.18	EL.107.00~EL.107.75	0.75
32	内部(RCD)コンクリート	1999.4.24	EL.107.75~EL.108.50	0.75
33	内部(RCD)コンクリート	1999.4.30	EL.108.50~EL.109.25	0.75
34	内部(RCD)コンクリート	1999.5.5	EL.109.25~EL.110.00	0.75
35	内部(RCD)コンクリート	1999.5.10	EL.110.00~EL.110.75	0.75
36	外部コンクリート	1999.5.15	EL.110.75~EL.111.50	0.75
37	外部コンクリート	1999.5.20	EL.111.50~EL.112.25	0.75
38	外部コンクリート	1999.5.25	EL.112.25~EL.113.00	0.75
39	外部コンクリート	1999.5.28	EL.113.00~EL.115.00	2.00

3) 底孔部 (BL.20) のリフトスケジュール

中国側の提供資料により、底孔部 (BL.20) のリフトスケジュールは、表-3.4.14に示す。

表-3.4.14 底孔部 (BL.20) のリフトスケジュール

リフト	コンクリート区分	打設日	標高(m)	リフト厚(m)
1	外部コンクリート	1996.10.9	EL.87.80~EL.88.30	0.50
2	外部コンクリート	1996.10.12	EL.88.30~EL.89.05	0.75
3	外部コンクリート	1996.10.16	EL.89.05~EL.89.75	0.70
洪水養生開始	-	1996.11.16	-	-
洪水養生終了	-	1997.3.1	-	-
4	内部(RCD)コンクリート	1997.4.1	EL.89.75~EL.90.50	0.75
5	内部(RCD)コンクリート	1997.4.10	EL.90.50~EL.91.25	0.75
6	内部(RCD)コンクリート	1997.4.20	EL.91.25~EL.92.00	0.75
7	内部(RCD)コンクリート	1997.5.1	EL.92.00~EL.92.75	0.75
8	内部(RCD)コンクリート	1997.5.10	EL.92.75~EL.93.50	0.75
9	内部(RCD)コンクリート	1997.5.20	EL.93.50~EL.94.25	0.75
10	外部コンクリート	1997.6.1	EL.94.25~EL.95.00	0.75
11	外部コンクリート	1997.6.10	EL.95.00~EL.96.00	1.00
12	外部コンクリート	1997.6.20	EL.96.00~EL.98.00	2.00
13	外部コンクリート	1997.7.10	EL.98.00~EL.100.00	2.00
14	外部コンクリート	1997.7.25	EL.100.00~EL.101.50	1.50
15	外部コンクリート	1997.8.10	EL.101.50~EL.103.00	1.50
16	外部コンクリート	1997.9.10	EL.103.00~EL.105.00	2.00
17	外部コンクリート	1997.10.10	EL.105.00~EL.107.00	2.00
18	外部コンクリート	1998.6.30	EL.107.00~EL.109.50	2.50
19	外部コンクリート	1998.7.30	EL.109.50~EL.112.00	2.50
20	外部コンクリート	1999.4.1	EL.112.00~EL.114.00	2.00
21	外部コンクリート	1999.4.16	EL.114.00~EL.116.00	2.00
22	外部コンクリート	1999.5.1	EL.116.00~EL.117.85	1.85
23	外部コンクリート	1999.5.16	EL.117.85~EL.120.00	2.15
24	外部コンクリート	1999.6.1	EL.120.00~EL.122.00	2.00
25	外部コンクリート	1999.6.16	EL.122.00~EL.124.00	2.00
26	外部コンクリート	1999.7.1	EL.124.00~EL.126.00	2.00
27	外部コンクリート	1999.7.16	EL.126.00~EL.128.00	2.00
28	外部コンクリート	1999.8.1	EL.128.00~EL.130.00	2.00
29	外部コンクリート	1999.8.16	EL.130.00~EL.132.00	2.00
30	外部コンクリート	1999.9.1	EL.132.00~EL.133.15	1.15
31	外部コンクリート	1999.9.16	EL.133.15~EL.134.30	1.15

※洪水養生は、EL.89.75mまでの岩着 (外部) コンクリートに適用。

3.4.5 検討断面の設定

検討断面は、非越流部、洪水吐部、底孔部の最大断面を選定し、図-3.4.8に示す断面とする。

- ・非越流部 BL.27（上下流断面）
- ・洪水吐部 BL.11（上下流断面）
- ・底孔部 BL.20（岩着部上下流断面、横断面）

非越流部は、最大断面となる箇所を選び検討断面とする。洪水吐部は、レアー長が最大となる箇所を選び検討断面とする。非越流部、洪水吐部の検討断面は、上下流方向の断面とし、温度応力の着目点としては、以下のものが挙げられる。

①長期問題

堤体内のダムコンクリートは、堤体完成後長期にわたり温度降下を続け、最終的には外気温等の外部温度と平衡状態となる最終安定温度に至る。この際、堤体内部の最高上昇温度から最終安定温度に至るまでの最終降下量により、基礎岩盤の外部拘束及び堤体内の最終温度降下量分布による温度応力が発生することとなる。この温度応力を検討の対象とするのが長期問題である。

②中期問題

中期問題は、ダム堤体の立ち上がり途中に、越冬ブロックの発生等によって、ある程度長期にわたりコンクリート打設が休止されて放置ブロックが生ずる場合、その間の放置ブロックの温度変化による温度応力の発生を検討するものである。

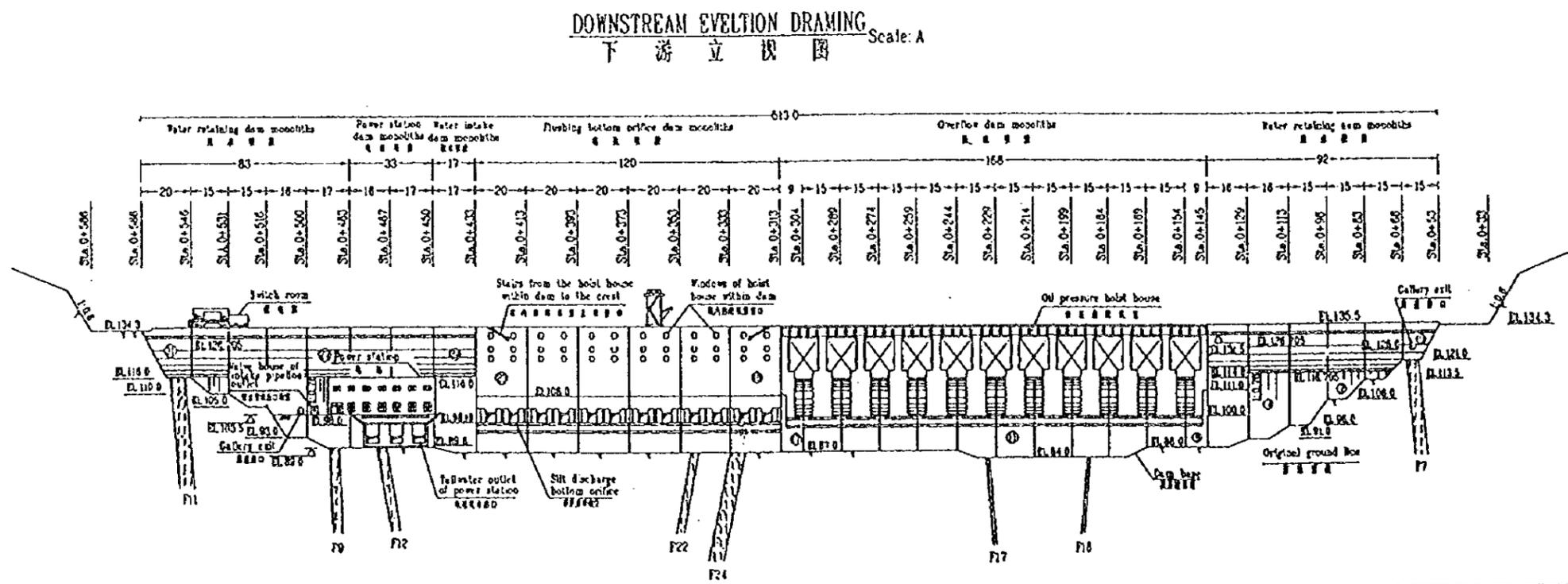
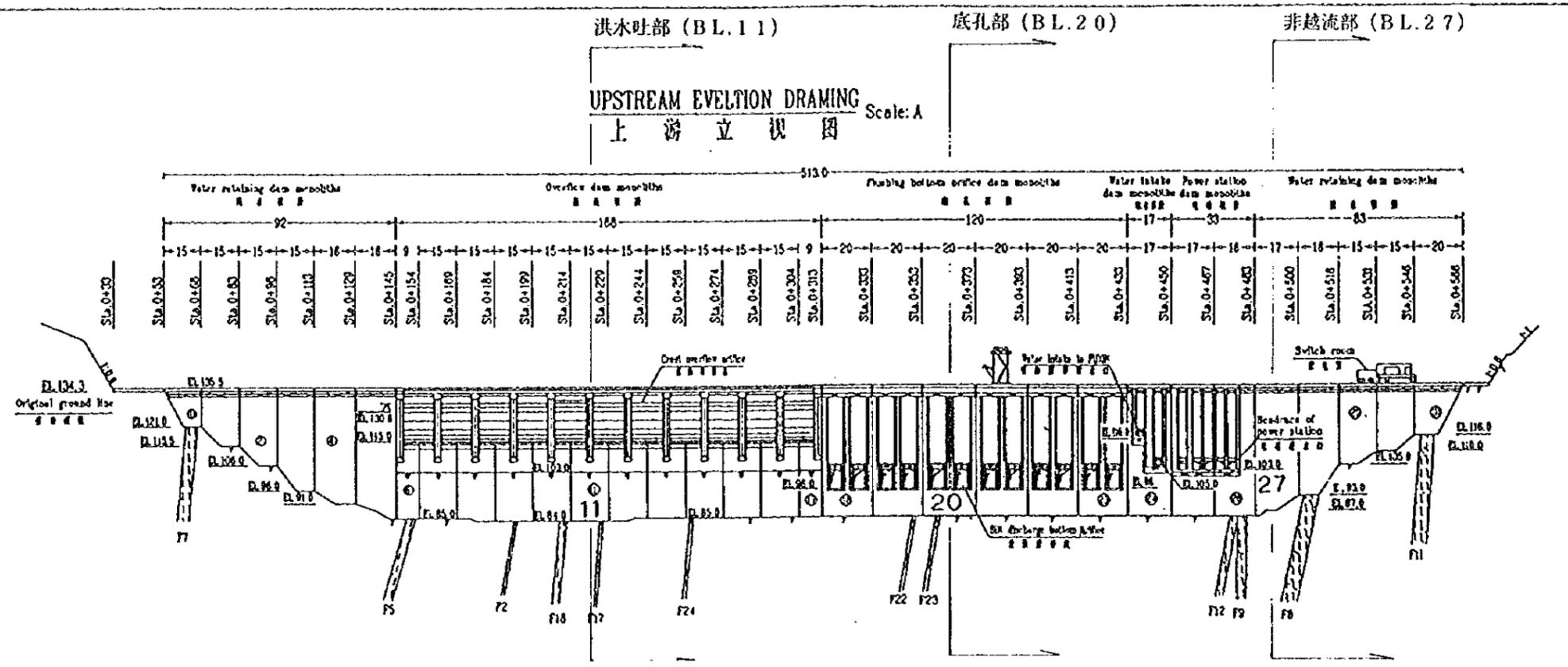
③上下流面問題

ダム堤体の上下流面は、打設当初から露出されることから、外気温の変化に伴い表層付近に温度勾配が生じたり、堤体完成後徐々に堤体内部が温度降下し最終安定温度に至っても、季節変化を受ける外気温との温度差により、温度勾配が生じる。この上下流面に発生する温度応力に関する検討を上下流面問題という。上下流面問題は、施工中から完成後までの短期から長期にわたる時期がその検討対象時期となるが、最も検討を要する時期は、打設後最初に迎える低温期であると考えられる。

底孔部は、底孔の開口部まわりの発生応力が対象となることから、ダム軸方向の断面を検討断面とする。また、レアー長の長い岩着付近コンクリートについても、上下流断面を検討断面とする。温度応力の着目点としては、以下のものが挙げられる。

①開口部問題

底孔の開口部は、打設当初から露出されることから、外気温の変化に伴い開口部まわりに温度勾配が生じる。この開口部まわりに発生する温度応力に関する検討を、ここでは開口部問題と呼ぶ。開口部問題は、施工中から完成後までの短期から長期にわたる時期がその検討対象時期となるが、最も検討を要する時期は、打設後最初に迎える低温期であると考えられる。



Scale: A
0 10 20 30 40 50m

图-3.4.8 检讨断面

INVESTIGATION AND DESIGN RESEARCH INSTITUTE OF WATER RESOURCES AND HYDROPOWER/LOADING PROVINCE 辽宁省水利水电勘测设计研究院		
BASHI RESERVOIR PROJECT 白石水库工程	CIVIL WORK 水工部分	FOR TENDER DRAWING 招标图
SUBMITTED 提交 DRAWN 制图 CHECKED 校核 DESIGNED 设计 DRAWN 制图	EVELTION DRAWING FOR UPSTREAM AND DOWNSTREAM 大坝上、下游立视图	
DATE 日期 DRAWING NO. 3101-A-1-1		

3.4.6 非越流部の温度応力解析

(1) 検討ケースの設定

検討の着目点としては、以下の項目が挙げられる。

- ・岩着コンクリートにおける温度応力(最大レアー長である岩着コンクリートにおいて、基礎岩盤の外部拘束により発生)
- ・越冬面コンクリートにおける温度応力(ダム堤体の立ち上がり途中に、越冬によりある程度長期にわたり放置される越冬面コンクリートにおいて、外気温の変化に伴い表層付近に温度勾配が生じ、内部拘束により発生)
- ・上下流面の外部コンクリートにおける温度応力(打設当初から露出されることから、外気温の変化に伴い表層付近に温度勾配が生じ、内部拘束により発生)

よって、最適な温度ひびわれ対策工法の検討を行うため、表-3.4.15に示す検討ケースを設定する。

表-3.4.15 検討ケース(非越流部(BL.27)の温度応力解析)

検討ケース	打込み温度規制値	越冬保温養生の熱伝達係数	
		(Kcal/m ² ・h・°C)	(KJ/m ² ・h・°C)
ケース1	特になし	対策なし	
ケース2	上限一律15°C	対策なし	
ケース3	上限一律15°C	0.95	3.98
ケース4	上限一律15°C	0.49	2.04
ケース5	上限 (H≤8m→15°C, H>8m→18°C)	0.95	3.98

(2) 解析スケジュール

非越流部の解析ブロック (BL.27) の解析スケジュールは、表-3.4.16に示す。各箇所の越冬保温養生期間は、図-3.4.9に示す。

表-3.4.16 非越流部 (BL.27) の解析スケジュール

引分	コンクリート区分	打設日	標高(m)	引分高(m)	解析厚(m)	外気温(°C)	打込み温度(°C) 温度規制なし	打込み温度(°C) 上限15°C	打込み温度(°C) 上限15~18°C
2	外部コンクリート	1997.4.5	EL.88.5~EL.90.00	1.50	187	5.5	7.5	7.5	7.5
3	外部コンクリート	1997.4.9	EL.90.00~EL.91.25	1.25	191	6.6	8.6	8.6	8.6
4	内部(RCD)コンクリート	1997.4.16	EL.91.25~EL.92.00	0.75	198	8.6	10.6	10.6	10.6
5	内部(RCD)コンクリート	1997.4.23	EL.92.00~EL.92.75	0.75	205	10.6	12.6	12.6	12.6
6	内部(RCD)コンクリート	1997.4.30	EL.92.75~EL.93.50	0.75	212	12.5	14.5	14.5	14.5
7	内部(RCD)コンクリート	1997.5.7	EL.93.50~EL.94.25	0.75	219	14.4	16.4	15.0	15.0
8	内部(RCD)コンクリート	1997.5.14	EL.94.25~EL.95.00	0.75	226	16.2	18.2	15.0	15.0
9	内部(RCD)コンクリート	1997.5.21	EL.95.00~EL.95.75	0.75	233	17.8	19.8	15.0	15.0
10	内部(RCD)コンクリート	1997.6.1	EL.95.75~EL.96.50	0.75	244	20.2	22.2	15.0	15.0
11	内部(RCD)コンクリート	1997.6.10	EL.96.50~EL.97.25	0.75	253	21.8	23.8	15.0	18.0
12	内部(RCD)コンクリート	1997.6.20	EL.97.25~EL.98.00	0.75	263	23.3	25.3	15.0	18.0
13	内部(RCD)コンクリート	1997.7.1	EL.98.00~EL.98.75	0.75	274	24.3	26.3	15.0	18.0
14	内部(RCD)コンクリート	1997.7.15	EL.98.75~EL.99.50	0.75	288	24.9	26.9	15.0	18.0
15	内部(RCD)コンクリート	1997.8.1	EL.99.50~EL.100.25	0.75	305	24.3	26.3	15.0	18.0
16	内部(RCD)コンクリート	1997.8.15	EL.100.25~EL.101.00	0.75	319	22.8	24.8	15.0	18.0
17	内部(RCD)コンクリート	1997.9.1	EL.101.00~EL.101.75	0.75	336	19.9	21.9	15.0	18.0
18	内部(RCD)コンクリート	1997.9.15	EL.101.75~EL.102.50	0.75	350	16.8	18.8	15.0	18.0
19	内部(RCD)コンクリート	1997.9.23	EL.102.50~EL.103.25	0.75	358	14.8	16.8	15.0	16.8
20	内部(RCD)コンクリート	1997.10.1	EL.103.25~EL.104.00	0.75	366	12.6	14.6	14.6	14.6
21	内部(RCD)コンクリート	1997.10.6	EL.104.00~EL.104.75	0.75	371	11.3	13.3	13.3	13.3
22	内部(RCD)コンクリート	1997.10.12	EL.104.75~EL.105.50	0.75	377	9.6	11.6	11.6	11.6
23	内部(RCD)コンクリート	1997.10.18	EL.105.50~EL.106.25	0.75	383	7.9	9.9	9.9	9.9
24	内部(RCD)コンクリート	1997.10.24	EL.106.25~EL.107.00	0.75	389	6.2	8.2	8.2	8.2
25	内部(RCD)コンクリート	1998.7.1	EL.107.00~EL.107.75	0.75	639	24.3	26.3	15.0	18.0
26	内部(RCD)コンクリート	1998.7.10	EL.107.75~EL.108.50	0.75	645	24.8	26.8	15.0	18.0
27	内部(RCD)コンクリート	1998.7.20	EL.108.50~EL.109.25	0.75	658	24.9	26.9	15.0	18.0
28	内部(RCD)コンクリート	1998.8.1	EL.109.25~EL.110.00	0.75	670	24.3	26.3	15.0	18.0
29	内部(RCD)コンクリート	1998.8.10	EL.110.00~EL.110.75	0.75	679	23.4	25.4	15.0	18.0
30	内部(RCD)コンクリート	1998.8.20	EL.110.75~EL.111.50	0.75	689	22.1	24.1	15.0	18.0
31	内部(RCD)コンクリート	1999.4.1	EL.111.50~EL.112.25	0.75	913	4.4	6.4	6.4	6.4
32	内部(RCD)コンクリート	1999.4.10	EL.112.25~EL.113.00	0.75	922	6.9	8.9	8.9	8.9
33	内部(RCD)コンクリート	1999.4.20	EL.113.00~EL.113.75	0.75	932	9.7	11.7	11.7	11.7
34	内部(RCD)コンクリート	1999.5.1	EL.113.75~EL.114.50	0.75	943	12.8	14.8	14.8	14.8
35	内部(RCD)コンクリート	1999.5.10	EL.114.50~EL.115.25	0.75	952	15.1	17.1	15.0	17.1
36	内部(RCD)コンクリート	1999.5.20	EL.115.25~EL.116.00	0.75	962	17.6	19.6	15.0	18.0
37	外部コンクリート	1999.6.1	EL.116.00~EL.117.00	1.00	974	20.2	22.2	15.0	18.0
38	外部コンクリート	1999.6.5	EL.117.00~EL.118.00	1.00	978	21.0	23.0	15.0	18.0
39	外部コンクリート	1999.6.10	EL.118.00~EL.119.00	1.00	983	21.8	23.8	15.0	18.0
40	外部コンクリート	1999.6.15	EL.119.00~EL.120.00	1.00	988	22.6	24.6	15.0	18.0
41	外部コンクリート	1999.6.20	EL.120.00~EL.121.00	1.00	993	23.3	25.3	15.0	18.0
42	外部コンクリート	1999.6.25	EL.121.00~EL.122.00	1.00	998	23.8	25.8	15.0	18.0
43	外部コンクリート	1999.9.1	EL.122.00~EL.123.00	1.00	1066	19.9	21.9	15.0	18.0
44	外部コンクリート	1999.9.5	EL.123.00~EL.124.00	1.00	1070	19.1	21.1	15.0	18.0
45	外部コンクリート	1999.9.10	EL.124.00~EL.125.00	1.00	1075	18.0	20.0	15.0	18.0
46	外部コンクリート	1999.9.15	EL.125.00~EL.126.00	1.00	1080	16.8	18.8	15.0	18.0
47	外部コンクリート	1999.9.20	EL.126.00~EL.127.00	1.00	1085	15.5	17.5	15.0	17.5
48	外部コンクリート	1999.9.25	EL.127.00~EL.128.00	1.00	1090	14.2	16.2	15.0	16.2
49	外部コンクリート	1999.10.1	EL.128.00~EL.129.00	1.00	1096	12.6	14.6	14.6	14.6
50	外部コンクリート	1999.10.5	EL.129.00~EL.130.00	1.00	1100	11.5	13.5	13.5	13.5
51	外部コンクリート	1999.10.10	EL.130.00~EL.131.00	1.00	1105	10.1	12.1	12.1	12.1
52	外部コンクリート	1999.10.15	EL.131.00~EL.132.00	1.00	1110	8.7	10.7	10.7	10.7
53	外部コンクリート	1999.10.20	EL.132.00~EL.133.00	1.00	1115	7.3	9.3	9.3	9.3
54	外部コンクリート	1999.10.25	EL.133.00~EL.134.30	1.30	1120	5.9	7.9	7.9	7.9
躯体	打設完成3年後	2002.10.24	-	-	2215	5.9	-	-	-

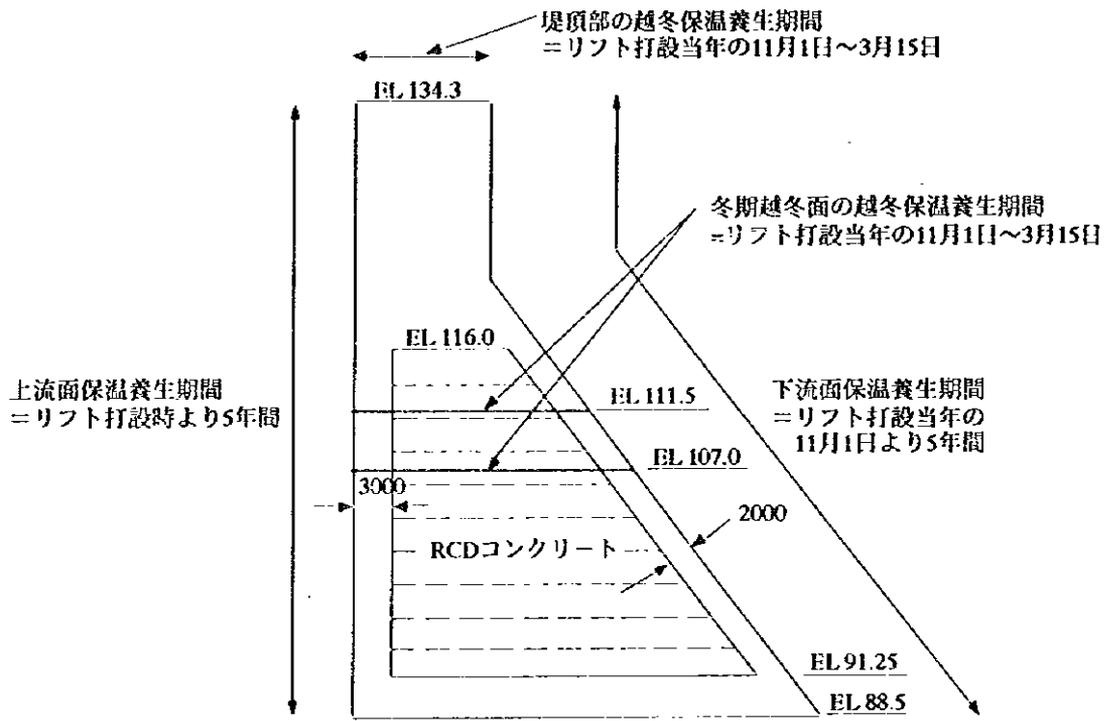


図-3.4.9 非越流部の各箇所越冬保温養生期間

(3) 解析モデル

非越流部 (BL.27) の温度履歴解析モデル概念図は図-3.4.10 に示し、温度応力解析モデル概念図は図-3.4.11 に示す。解析メッシュ図は図-3.4.12 に示す。解析期間は1996年10月～2002年10月の6年間（堤体打設完了後3年間）とする。解析時間刻みは、 $\Delta t = 1$ 日とする。

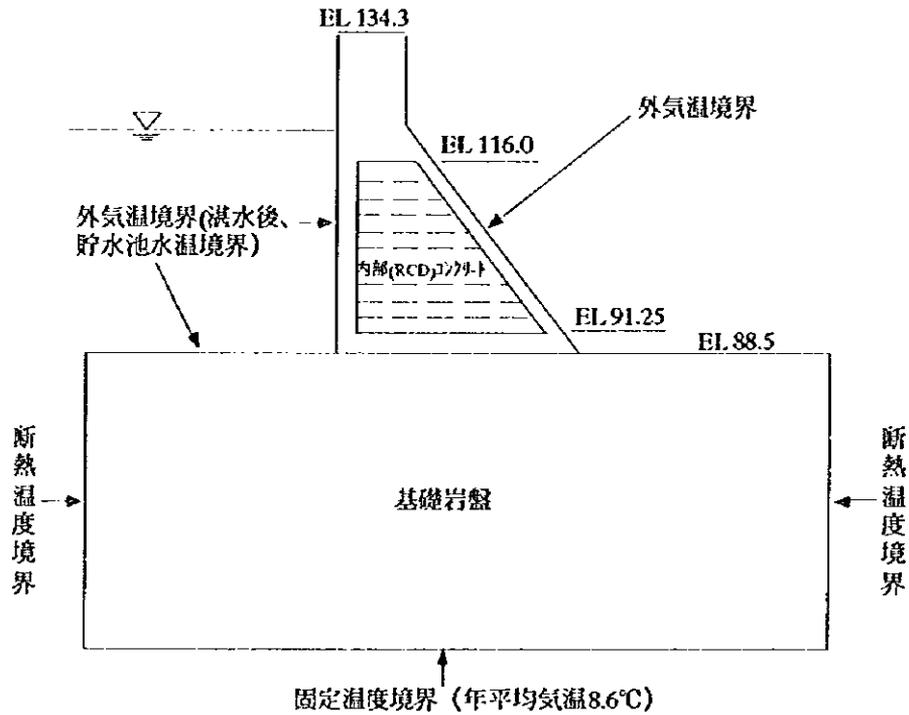


図-3.4.10 非越流部 (BL.27) の温度履歴解析モデル概念図

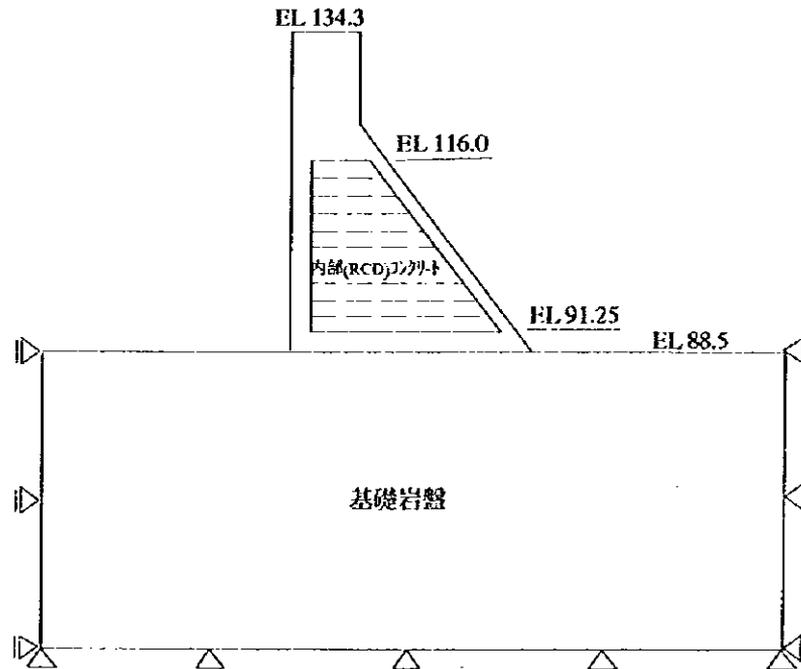


図-3.4.11 非越流部 (BL.27) の温度応力解析モデル概念図

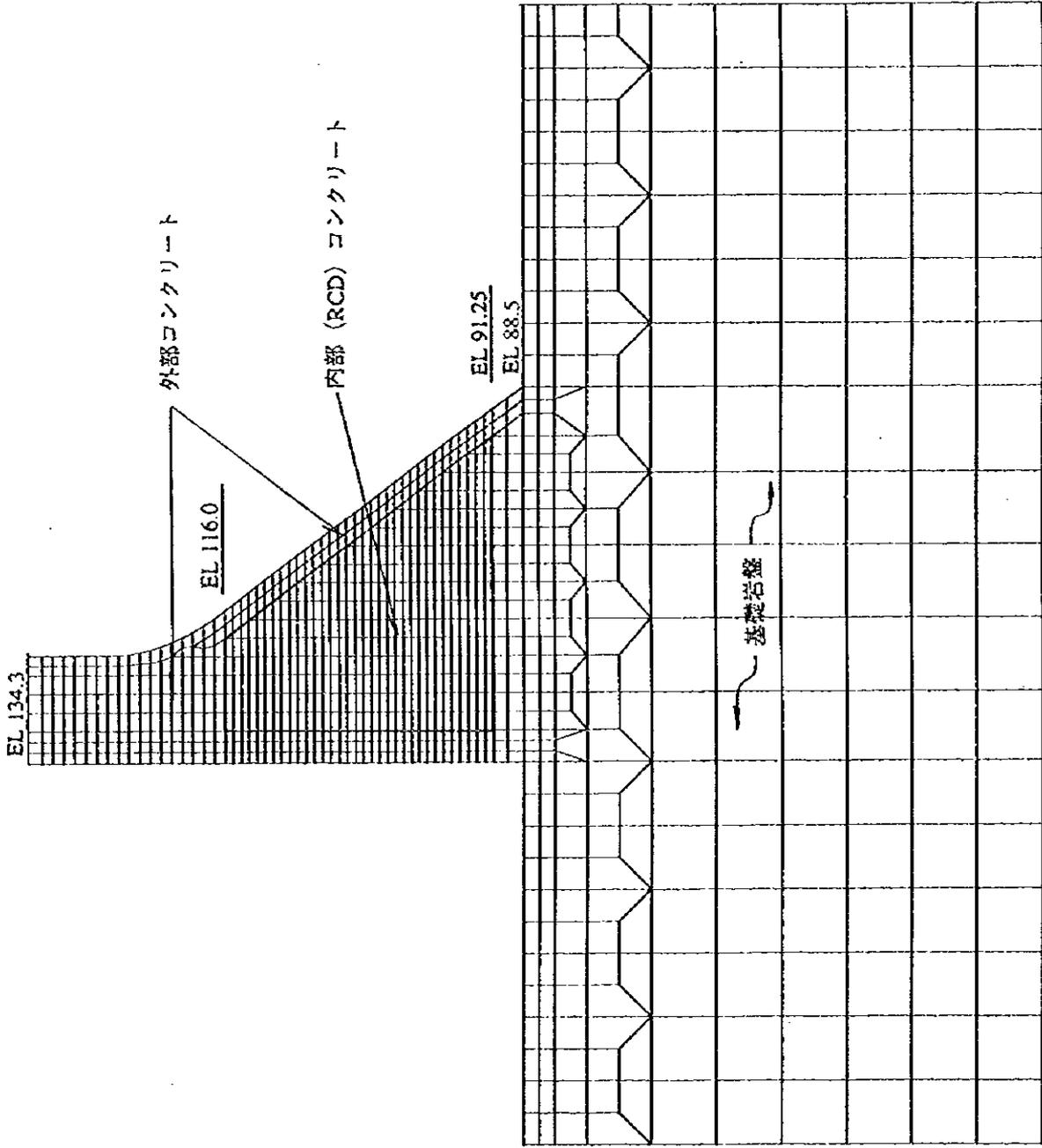


図-3.4.12 解析メッシュ図 (非越流部)

FOR STRUCTURE
 0 20.0 M
 (1 : 500)

LEGEND
 TOTAL ELEMENTS = 1023
 TOTAL NODES = 1103

(4) 解析結果

(a) 最高温度

各ケースの各箇所での最高温度及びその発生箇所での最低温度、温度降下量は、表-3.4.17に示すとおりである。図-3.4.13~3.4.19に各箇所のケース別の比較図を示す。

表-3.4.17 各ケースの各箇所での最高温度一覧表 (非越流部 BL.27)

ケース	打込み温度 規程値	越冬保温養生の 熱のガバナンス (Kcal/m ² ・h・℃)	温度項目	岩着部	堤体中央部	上流側	下流側	越冬面	越冬面	堤頂部
				岩着部 RCDのガット 3リフト EL.91.25	堤体中央部 RCDのガット 13リフト EL.95.75	上流側 外部のガット 26リフト EL.108.5	下流側 外部のガット 26リフト EL.108.5	越冬面 RCDのガット 24リフト EL.107.0	越冬面 RCDのガット 30リフト EL.111.5	堤頂部 外部のガット 40リフト EL.120.0
ケース1	特になし	対策なし	最高温度	19.0	29.2	30.0	29.4	26.3	24.9	33.8
			最低温度	8.1	9.0	-1.1	0.8	-6.5	-6.6	5.3
			温度降下量	10.9	20.2	31.1	28.6	32.8	31.5	28.5
ケース2	上限一律15℃	対策なし	最高温度	18.6	26.7	27.0	26.5	23.4	22.7	29.8
			最低温度	8.0	8.9	-1.2	0.8	-6.5	-6.6	5.2
			温度降下量	10.6	17.8	28.2	25.7	29.9	29.3	24.6
ケース3	上限一律15℃	0.95	最高温度	18.3	26.7	26.9	26.5	23.5	22.7	29.9
			最低温度	8.4	9.6	3.7	4.7	1.6	1.3	7.0
			温度降下量	9.9	17.1	23.2	21.8	21.9	21.4	22.9
ケース4	上限一律15℃	0.49	最高温度	18.3	26.7	26.9	26.5	23.7	22.7	29.9
			最低温度	9.1	10.3	6.7	6.8	2.2	1.9	8.4
			温度降下量	9.2	16.4	20.2	19.7	21.5	20.8	21.5
ケース5	上限15~18℃	0.95	最高温度	18.3	27.0	27.6	27.1	24.0	23.1	31.0
			最低温度	8.4	9.6	3.8	4.7	1.6	1.3	7.0
			温度降下量	9.9	17.4	23.8	22.4	22.4	21.8	24.0

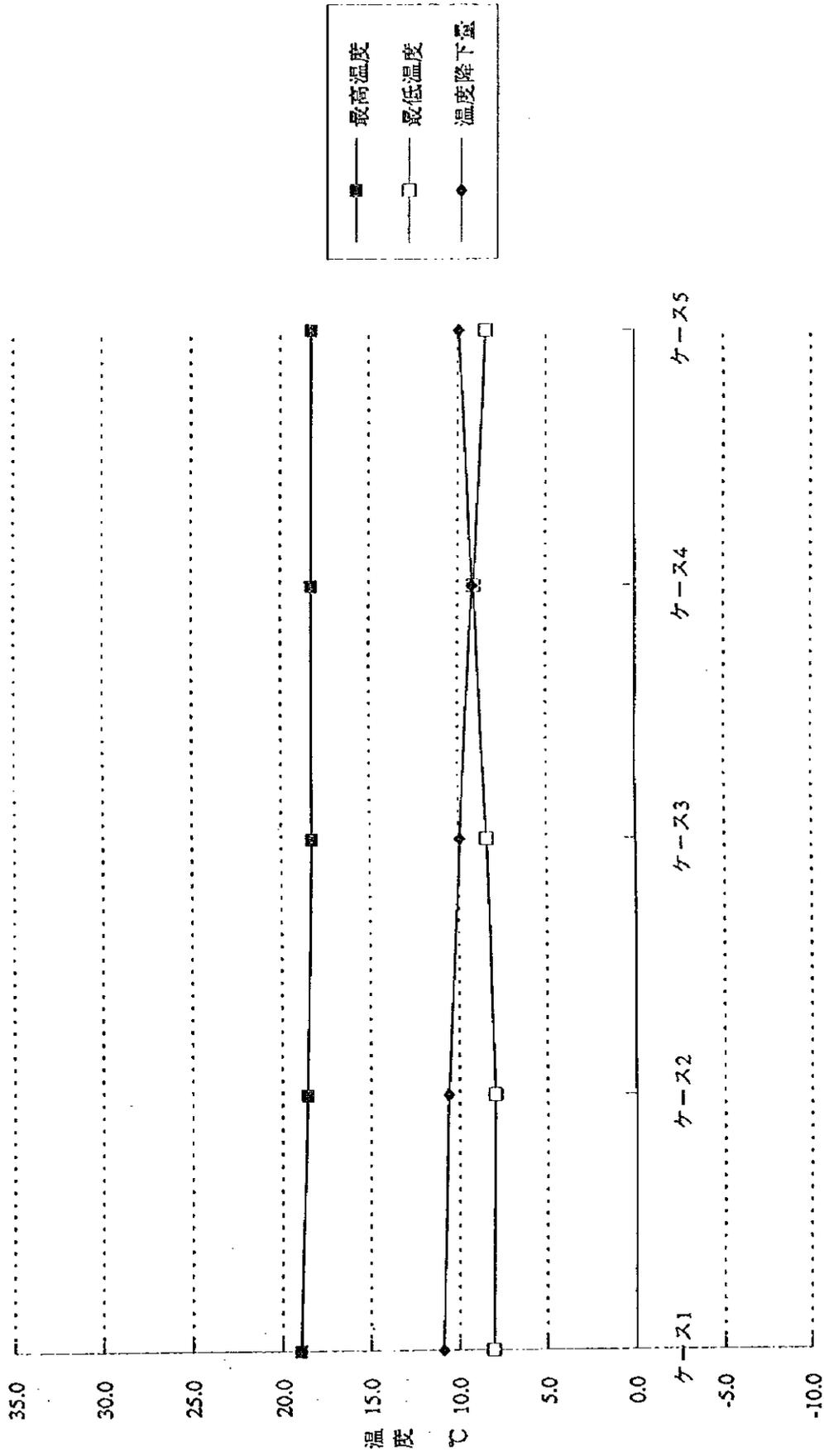


図-3.4.13 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量（非越流部、岩着部）

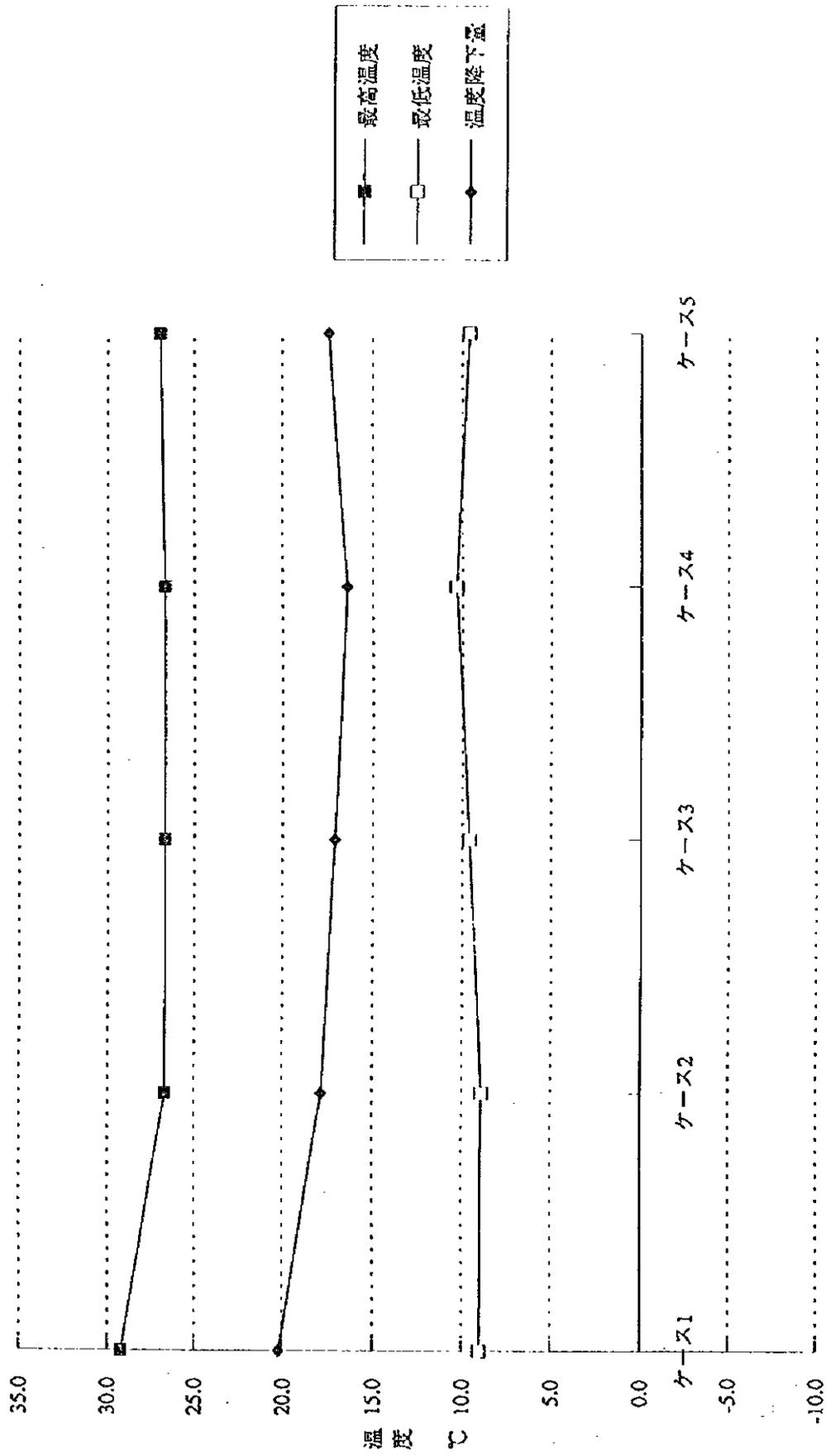


図-3.4.14 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量（非越流部、堤体中央部）

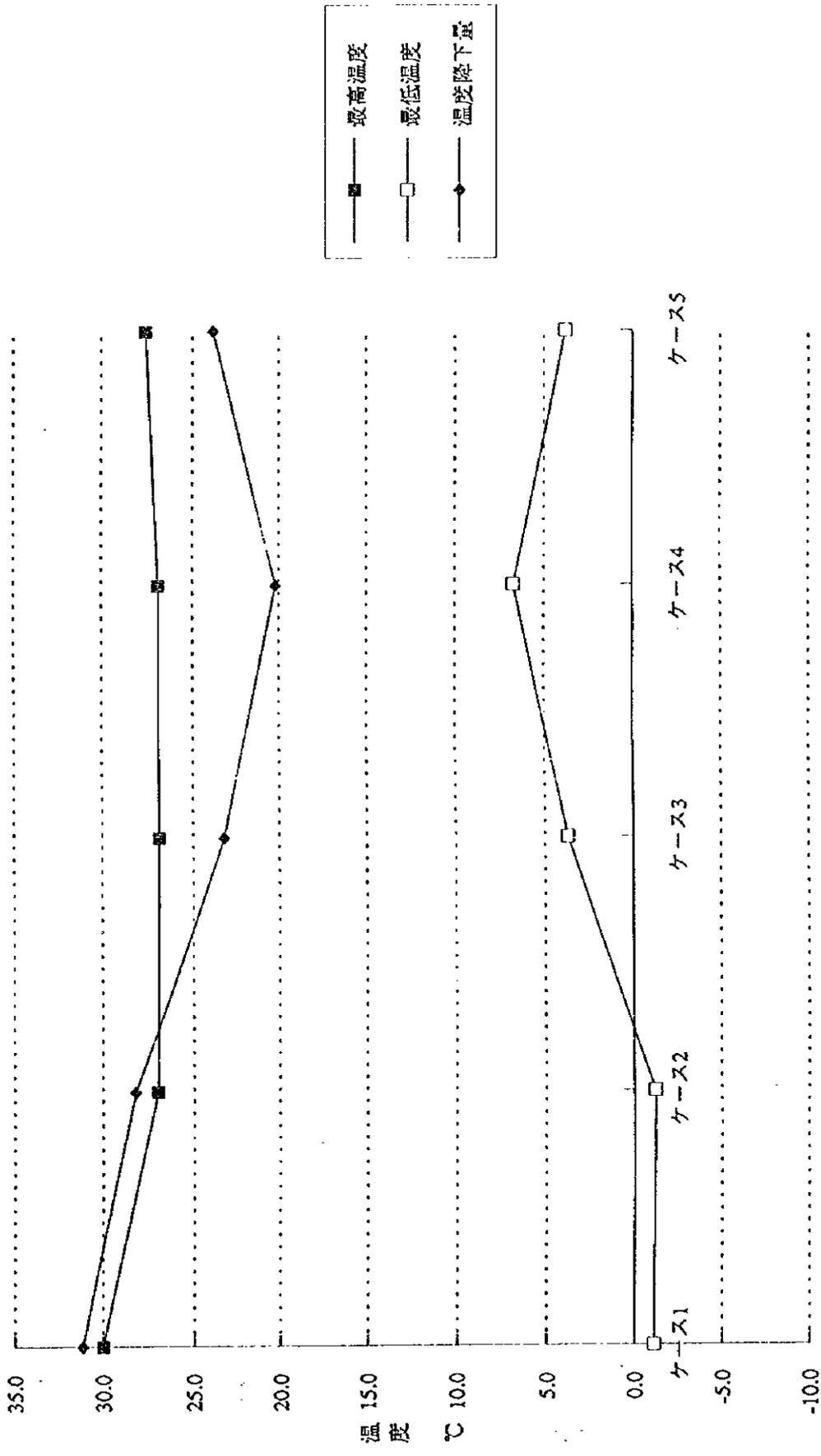


図-3.4.15 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (非越流部、上流側)

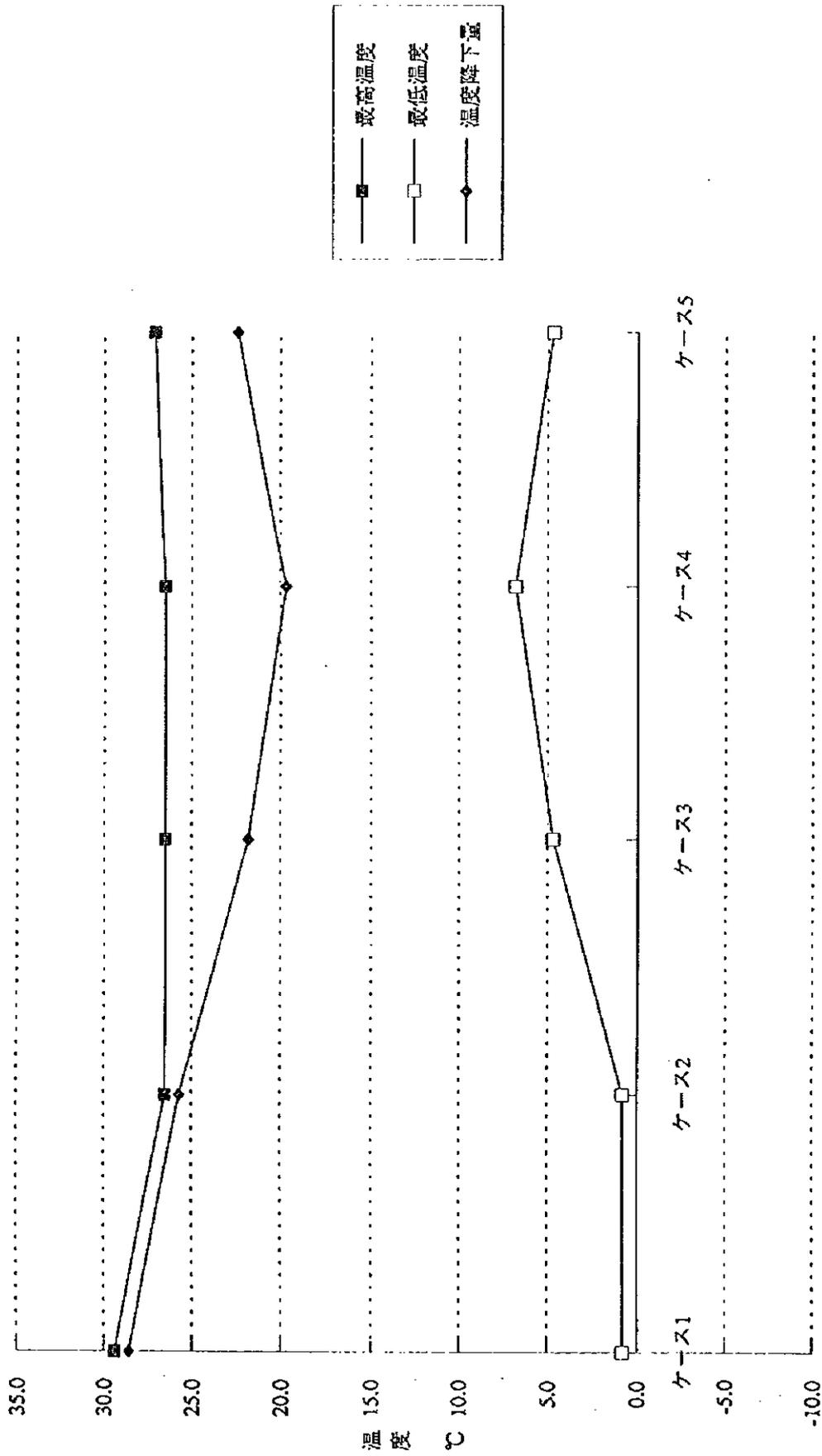


図-3.4.16 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (非越流部、下流側)

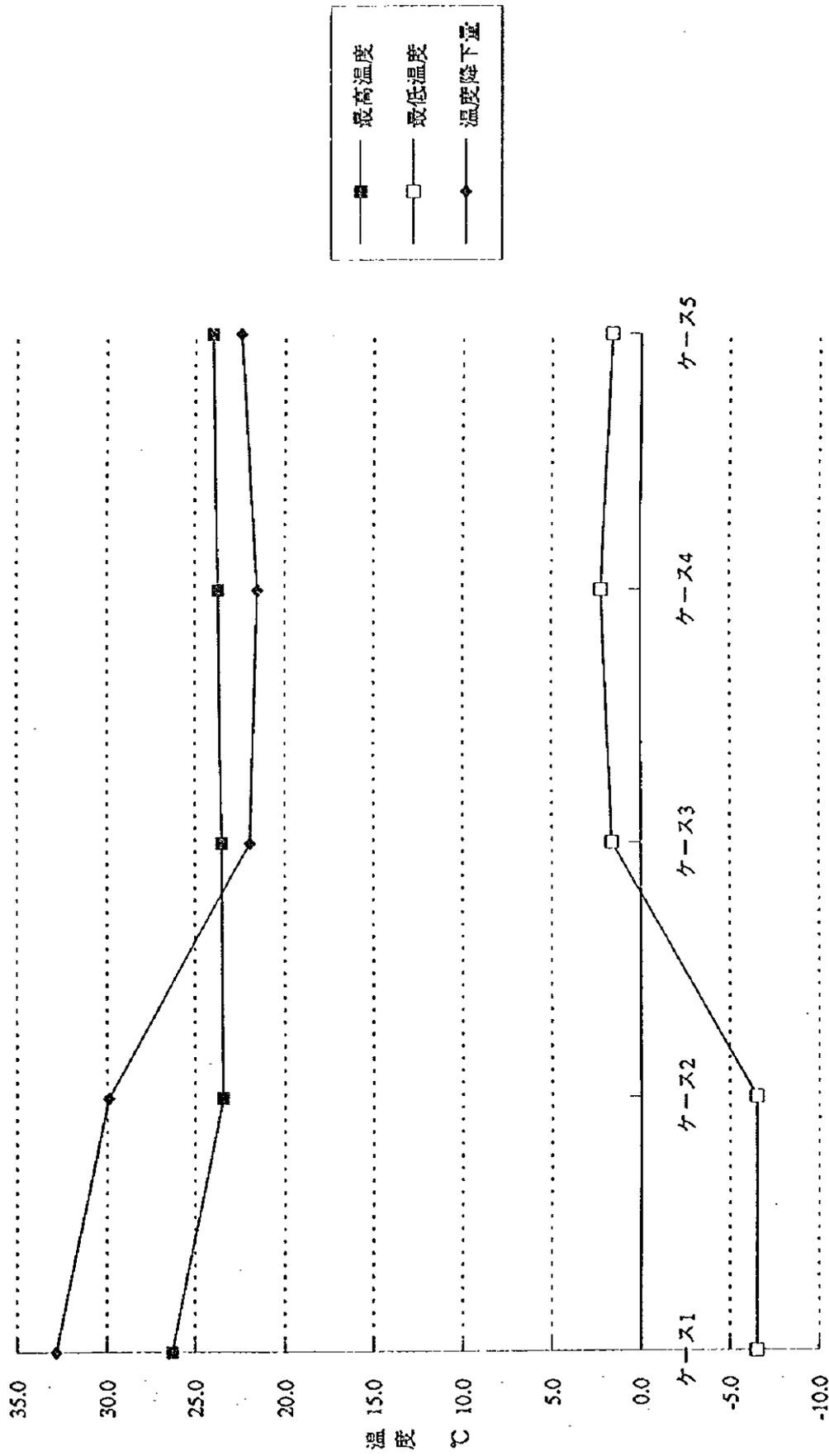


図-3.4.17 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量（非越流部、越冬面、24リフト）

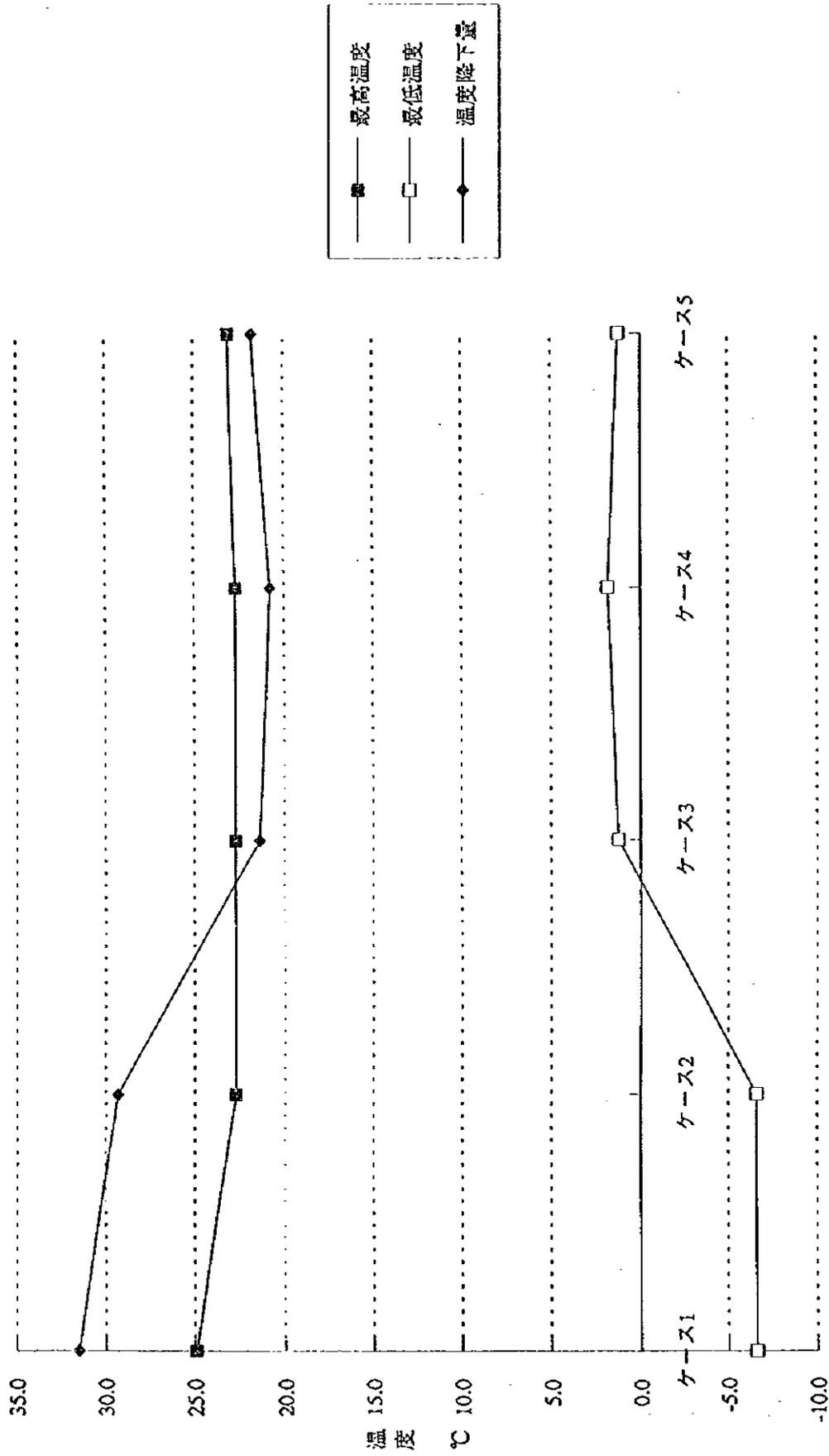


図-3.4.18 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (非越流部、越冬面、30リフト)

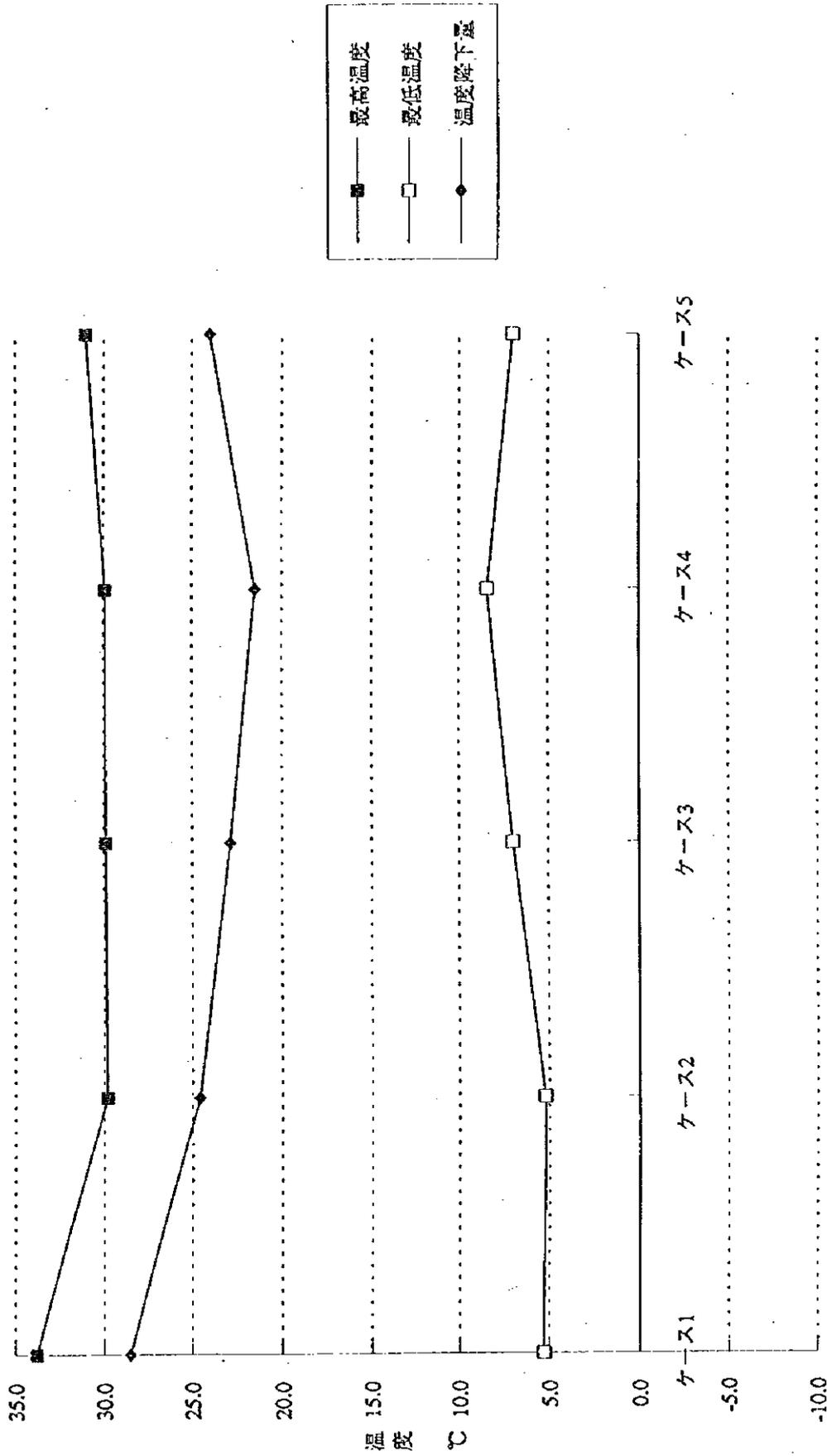


図-3.4.19 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (非越流部、堤頂部)

(b) 最大引張ひずみ

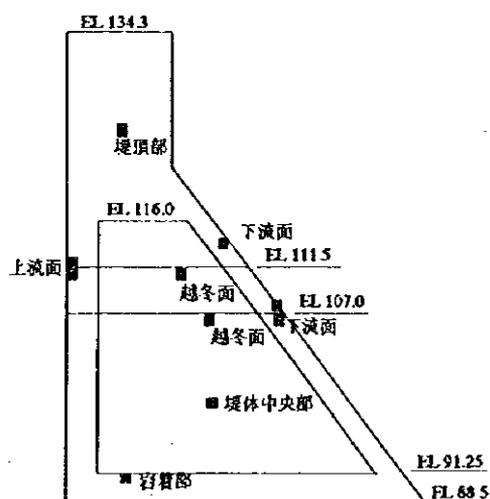
各ケースの各箇所での最大引張ひずみは、表-3.4.18に示すとおりである。各ケースの最大引張ひずみ分布図は、図-3.4.20~3.4.24に示す。

表-3.4.18 各ケースの各箇所での最大引張ひずみ一覧表 (非越流部BL.27)

単位: $\times 10^4(\mu)$

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱フラックス (Kcal/m ² ・h・°C)	岩着部 岩着コンクリート EL.90.00 ~91.25 377ト	堤体中央部 RCDコンクリート EL.99.5 ~100.25 157ト	上流面 外部コンクリート EL.110.75 ~111.5 307ト	上流面 外部コンクリート EL.111.5 ~112.25 317ト	下流面 外部コンクリート EL.106.25 ~107.0 247ト
ケース1	特になし	対策なし	27	82	152	146	154
ケース2	上限一律15°C	対策なし	29	70	140	128	127
ケース3	上限一律15°C	0.95	23	52	81	69	68
ケース4	上限一律15°C	0.49	21	45	56	45	41
ケース5	上限15~18°C	0.95	22	52	86	77	75

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱フラックス (Kcal/m ² ・h・°C)	下流面 外部コンクリート EL.107.0 ~107.75 257ト	下流面 外部コンクリート EL.111.5 ~114.5 31~347ト	越冬面 RCDコンクリート EL.106.25 ~107.0 247ト	越冬面 RCDコンクリート EL.110.75 ~111.5 307ト	堤頂部 外部コンクリート EL.121.0 ~125.0 42~457ト
ケース1	特になし	対策なし	205	151	80	171	104
ケース2	上限一律15°C	対策なし	122	139	81	98	105
ケース3	上限一律15°C	0.95	59	77	39	41	82
ケース4	上限一律15°C	0.49	32	52	35	36	72
ケース5	上限15~18°C	0.95	78	83	39	53	80



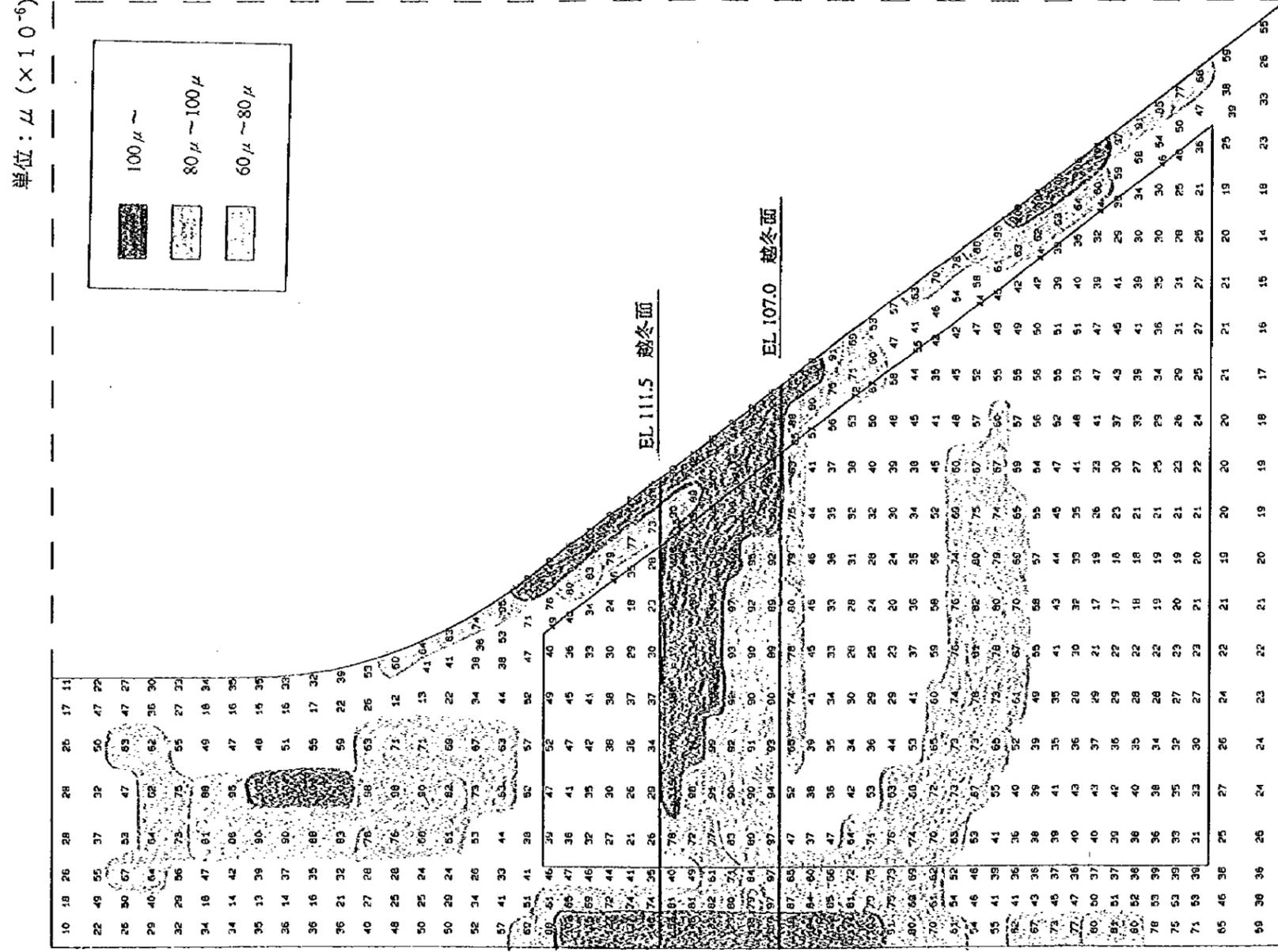


図-3.4.20 ケース1の最大引張ひずみ分布図(非越流部)

0 (1 : 200) 10.0 M

FOR STRUCTURE

THERMAL STRESS ANALYSIS IN HAKUSEKI (HIETSURYUBU : Case2)

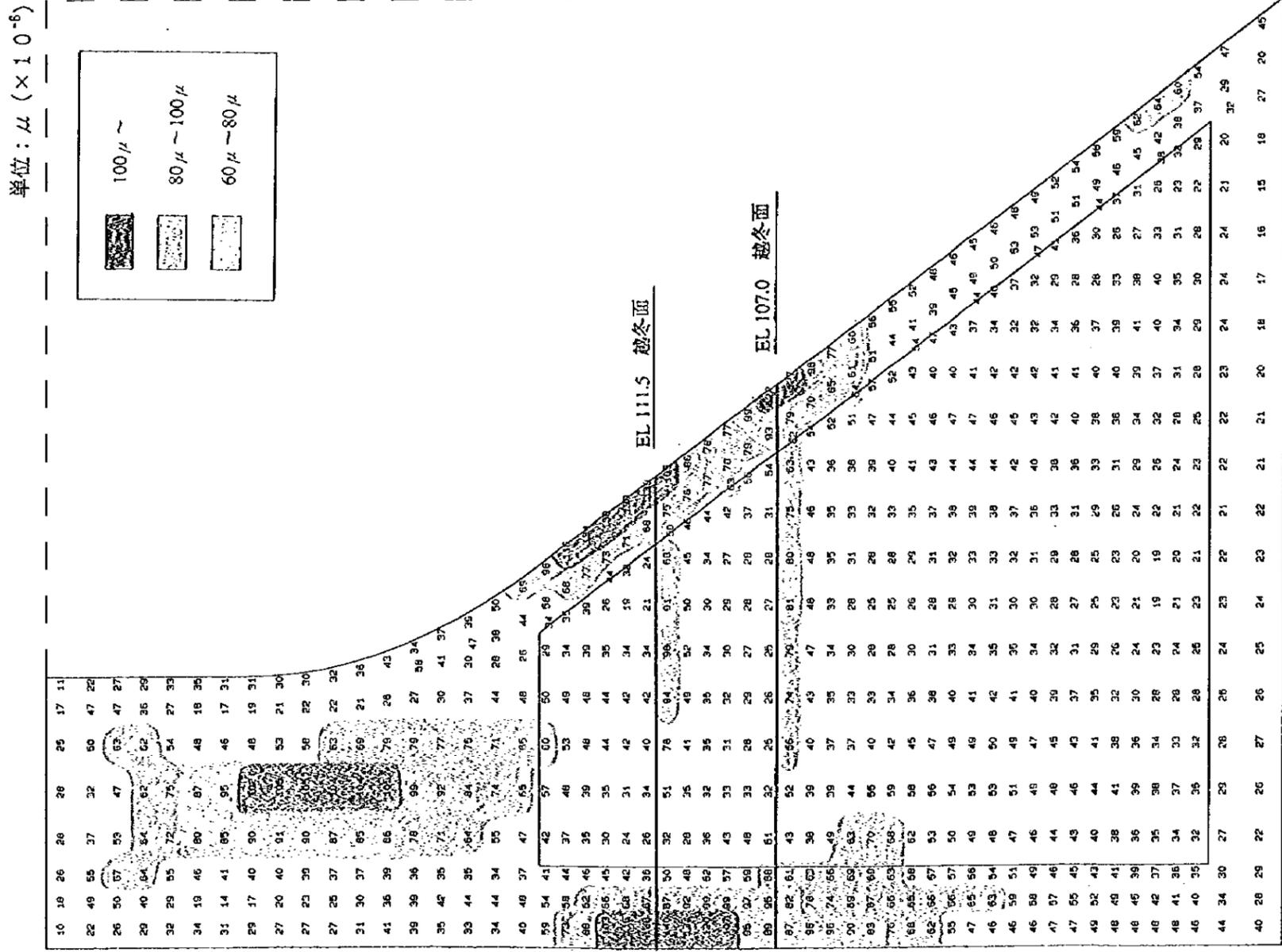


図-3.4.21 ケース2の最大引張ひずみ分布図(非越冬部)

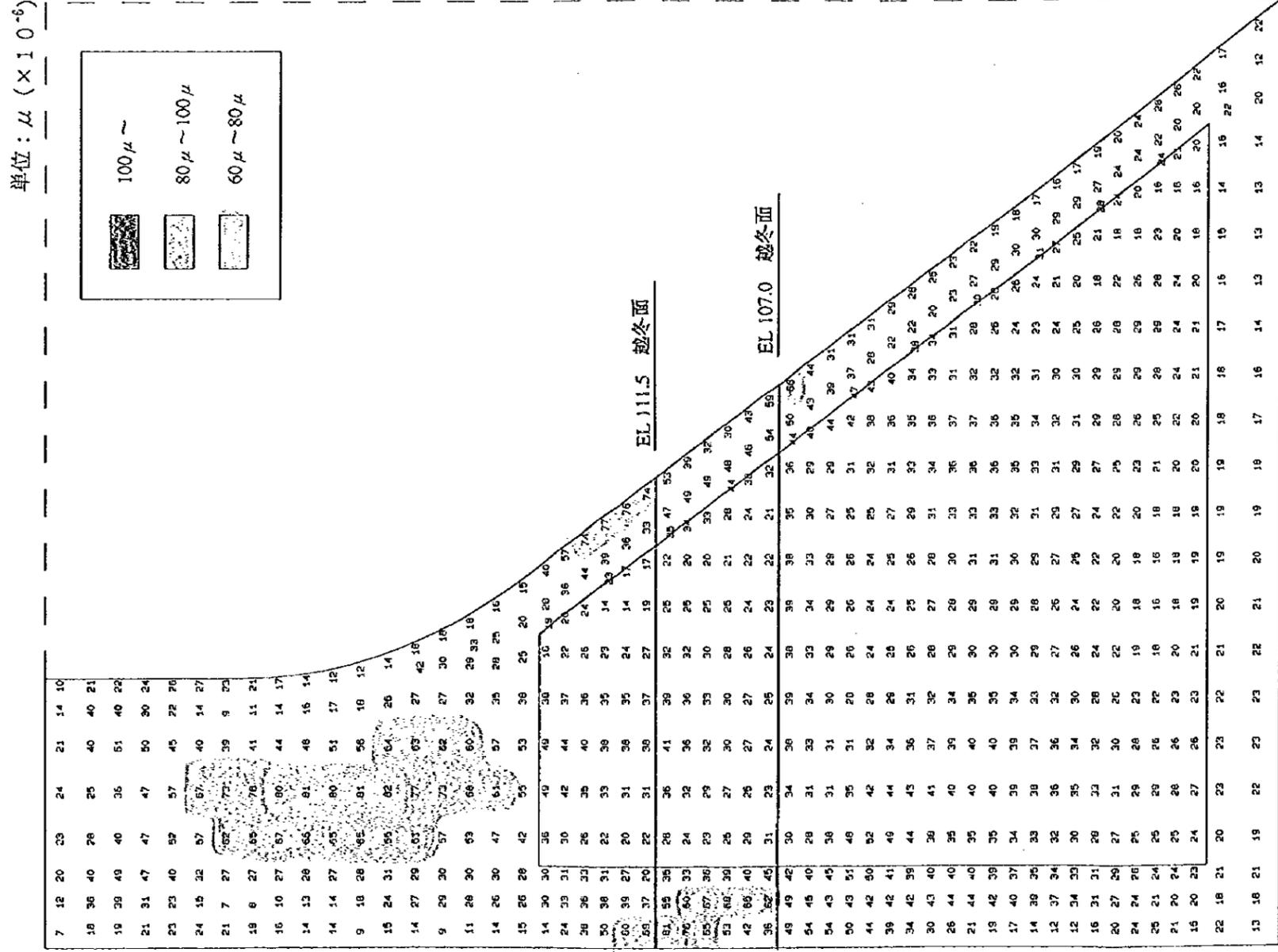


図-3.4.22 ケース3の最大引張ひずみ分布図(非越流部)

0 (1 : 200) 10.0 M

FOR STRUCTURE

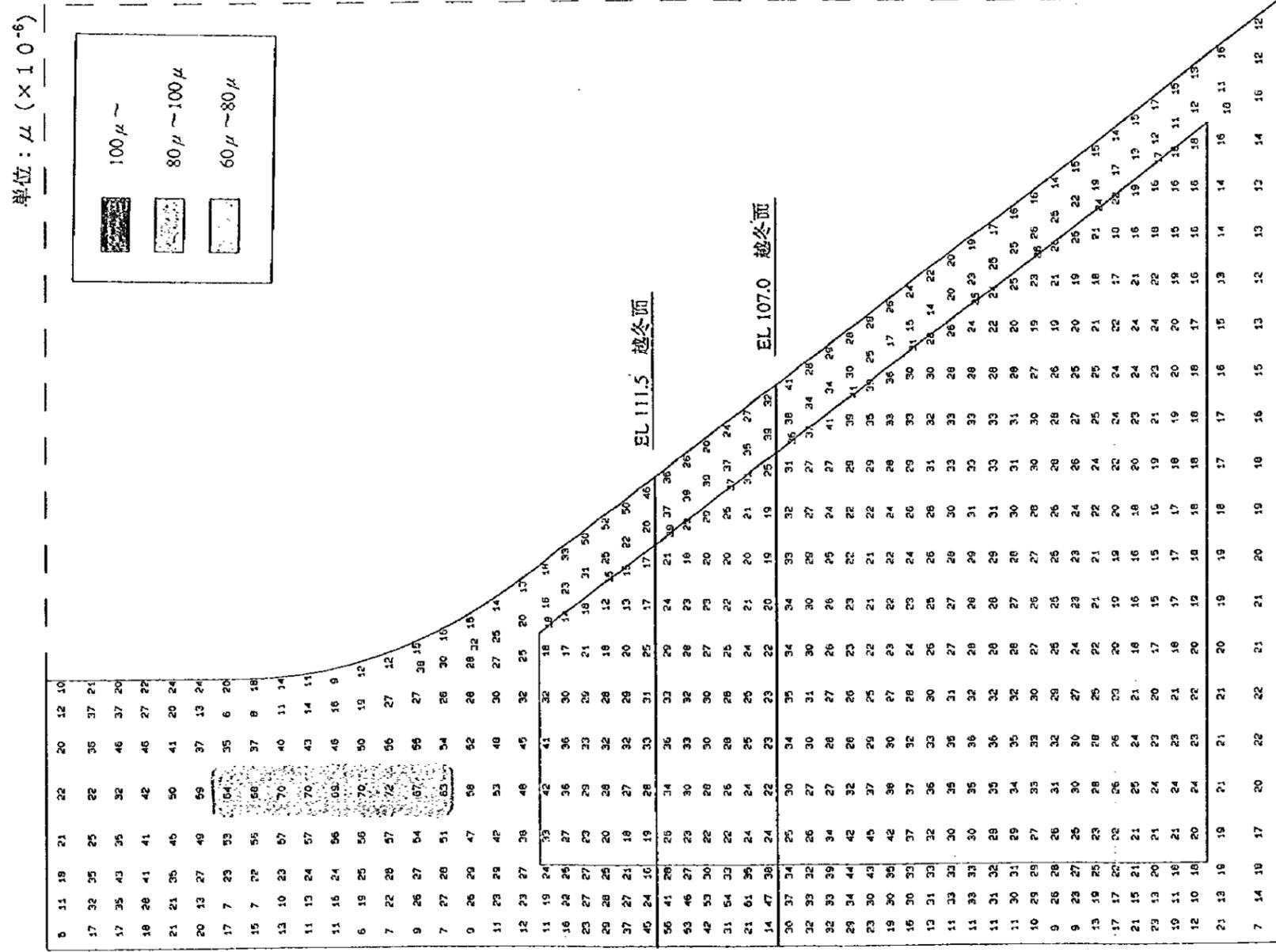


図-3.4.23 ケース4の最大引張ひずみ分布図(非越冬部)

THERMAL STRESS ANALYSIS IN HAKUSEKI (HIETSURYUBU : Case5)

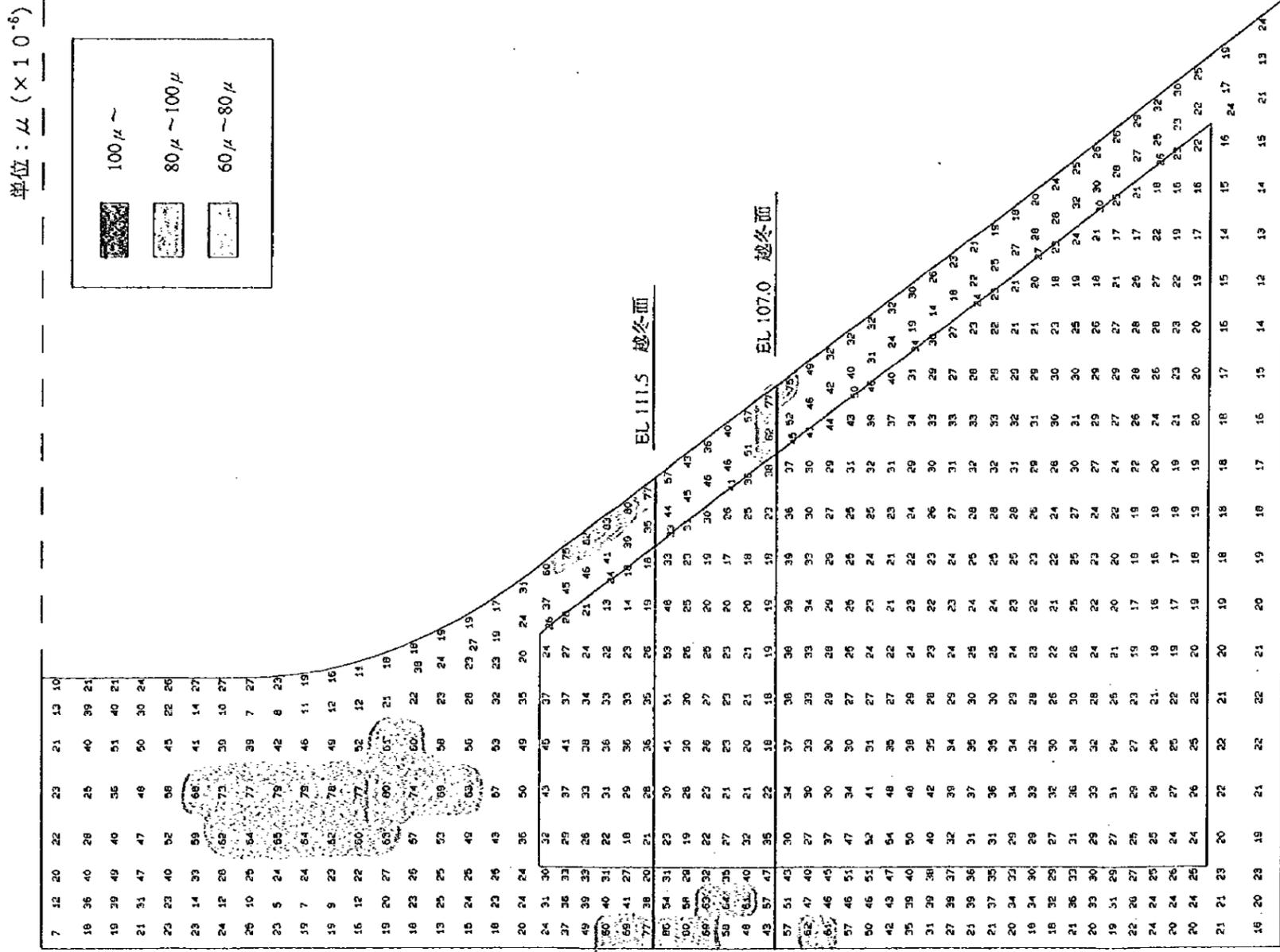


図-3.4.24 ケース5の最大引張ひずみ分布図(非越流部)



(5) コンクリートクラック抑制対策の検討

温度応力解析結果から、打込み温度の制限、冬期打止め面の保温養生、上下流面の保温養生などの対策工法を比較検討し、適切なコンクリートクラックの抑制対策工法を選定する。

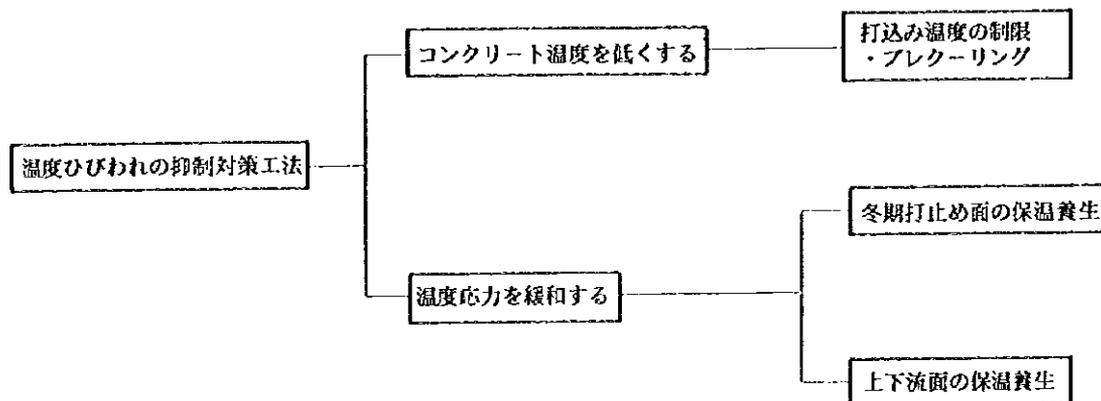


図-3.4.25 コンクリートクラック抑制対策方法の分類

非越流部 (BL.27) の堤体コンクリートにおける温度応力解析結果について、コンクリートの許容引張ひずみを一般的な値である 100×10^{-6} (100μ) として評価すると、次のことがいえる。

- ・岩着コンクリートについては、特に対策を行わない場合 (ケース1) においても、最大引張ひずみが 27μ であり問題ないことがわかった。
- ・堤体中央部の内部(RCD)コンクリートについては、特に対策を行わない場合 (ケース1) においても、最大引張ひずみが 82μ であり問題ないことがわかった。
- ・上流面の外部コンクリートについては、特に対策を行わない場合 (ケース1) には、20～35リフト (EL.103.25～115.25) の広い範囲で 100μ 以上の引張ひずみが生じ、最大で 152μ の引張ひずみが生じており、何らかの対策を行う必要がある。
- ・下流面の外部コンクリートについては、特に対策を行わない場合 (ケース1) には、9～13リフト (EL.95.0～98.75) 及び23～37リフト (EL.105.5～117.0) の広い範囲で 100μ 以上の引張ひずみが生じ、最大で 205μ の引張ひずみが生じており、何らかの対策を行う必要がある。
- ・1997年打設のコンクリート越冬面については、特に対策を行わない場合 (ケース1) においても、最大引張ひずみが 80μ であり問題ないことがわかった。
- ・1998年打設のコンクリート越冬面については、特に対策を行わない場合 (ケース1) には、広い範囲で 100μ 以上の引張ひずみが生じ、最大で 171μ の引張ひずみが生じており、何らかの対策を行う必要がある。
- ・堤頂部の外部コンクリートについては、特に対策を行わない場合 (ケース1) には、44～47リフト (EL.123.0～127.0) の広い範囲で 100μ 以上の引張ひずみが生じ、最大で 104μ の引張ひずみが生じており、何らかの対策を行う必要がある。

以上より、上下流面、1998年打設のコンクリート越冬面、堤頂部に温度応力的に問題が生じることから、打込み温度の制限 (プレヒーティングの実施) 及び越冬保温養生の対策を行った結果、次のことがわかった。

上流面の外部コンクリート

- ・ブレーキング（打込み温度規制値=15°C）を実施すると、引張ひずみ 100 μ 以上の範囲は小さくなり、最大引張ひずみは 152 μ から 140 μ に低減した（ケース2）。
- ・ブレーキング（打込み温度規制値=15°C）の実施に加え、越冬保温養生（ $h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ ）を行った場合、引張ひずみ 100 μ 以上の発生箇所はなくなり、最大引張ひずみは 140 μ から 81 μ に低減した（ケース3）。
- ・さらに、 $h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ となる越冬保温養生を行った場合、最大引張ひずみは 81 μ から 56 μ に低減した（ケース4）。
- ・ブレーキングの打込み温度を $H \leq 8\text{m} \rightarrow 15^\circ\text{C}$ 、 $H > 8\text{m} \rightarrow 18^\circ\text{C}$ とした場合（ケース5）、上限一律 15°Cの場合（ケース3）と比べ、温度応力的に大きな差異はないことがわかった。

下流面の外部コンクリート

- ・ブレーキング（打込み温度規制値=15°C）を実施すると、引張ひずみ 100 μ 以上の範囲は小さくなり、最大引張ひずみは 205 μ から 122 μ に低減した（ケース2）。
- ・ブレーキング（打込み温度規制値=15°C）の実施に加え、越冬保温養生（ $h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ ）を行った場合、引張ひずみ 100 μ 以上の発生箇所はなくなり、最大引張ひずみは 122 μ から 77 μ に低減した（ケース3）。
- ・さらに、 $h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ となる越冬保温養生を行った場合、最大引張ひずみは 77 μ から 52 μ に低減した（ケース4）。
- ・ブレーキングの打込み温度を $H \leq 8\text{m} \rightarrow 15^\circ\text{C}$ 、 $H > 8\text{m} \rightarrow 18^\circ\text{C}$ とした場合（ケース5）、上限一律 15°Cの場合（ケース3）と比べ、温度応力的に大きな差異はないことがわかった。

1998年打設のコンクリート越冬面

- ・ブレーキング（打込み温度規制値=15°C）を実施すると、引張ひずみ 100 μ 以上の発生箇所はなくなり、最大引張ひずみは 171 μ から 98 μ に低減した（ケース2）。
- ・ブレーキング（打込み温度規制値=15°C）の実施に加え、越冬保温養生（ $h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ ）を行った場合、最大引張ひずみは 98 μ から 41 μ に低減した（ケース3）。
- ・さらに、 $h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ となる越冬保温養生を行った場合、最大引張ひずみは 41 μ から 36 μ に低減した（ケース4）。
- ・ブレーキングの打込み温度を $H \leq 8\text{m} \rightarrow 15^\circ\text{C}$ 、 $H > 8\text{m} \rightarrow 18^\circ\text{C}$ とした場合（ケース5）、上限一律 15°Cの場合（ケース3）と比べ、温度応力的に大きな差異はないことがわかった。

堤頂部の外部コンクリート

- ・ブレーキング（打込み温度規制値=15°C）を実施しても、引張ひずみは低減しなかった（ケース2）。
- ・越冬保温養生（ $h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ ）を行った場合、引張ひずみ 100 μ 以上の発生箇所はなくなり、最大引張ひずみは 105 μ から 82 μ に低減した（ケース3）。
- ・さらに、 $h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ となる越冬保温養生を行った場合、最大引張ひずみは 82 μ から 72 μ に低減した（ケース4）。

- ・ブレーキングの打込み温度を $H \leq 8m \rightarrow 15^{\circ}C$ 、 $H > 8m \rightarrow 18^{\circ}C$ とした場合（ケース5）、上限一律 $15^{\circ}C$ の場合（ケース3）と比べ、温度応力的に大きな差異はないことがわかった。

以上のことから、ブレーキング（打込み温度規制値 = $15^{\circ}C$ 、 $15 \sim 18^{\circ}C$ ）を実施し、越冬保温養生として発泡スチロール板 $3cm$ ($h=0.95(Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C)$)相当の養生材を使用すれば、堤体内の各箇所の引張ひずみは、コンクリートの許容引張ひずみ（ 100μ ）以下となり、温度応力によるクラック発生の可能性は少ないものと思われ、特に温度応力的に問題ないことがわかった。

また、ケース3（打込み温度規制値 = $15^{\circ}C$ ）とケース5（打込み温度規制値 = $15 \sim 18^{\circ}C$ ）を比較すると、温度応力的には大きな差異がなかったことから、経済性、施工性等を勘案して、打込み温度規制値は、一律 $18^{\circ}C$ を採用する。

よって、非越流部のコンクリートクラック抑制対策は、以下の方法を採用する。

- ・ブレーキング（打込み温度規制値 = $18^{\circ}C$ ）の実施
- ・上流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板 $3cm$ ($h=0.95(Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C)$)相当の養生材の使用
- ・下流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板 $3cm$ ($h=0.95(Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C)$)相当の養生材の使用
- ・越冬面の越冬保温養生は、発泡スチロール板 $3cm$ ($h=0.95(Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C)$)相当の養生材の使用

非越流部のコンクリートクラック抑制対策の概念図は、図-3.4.26に示す。

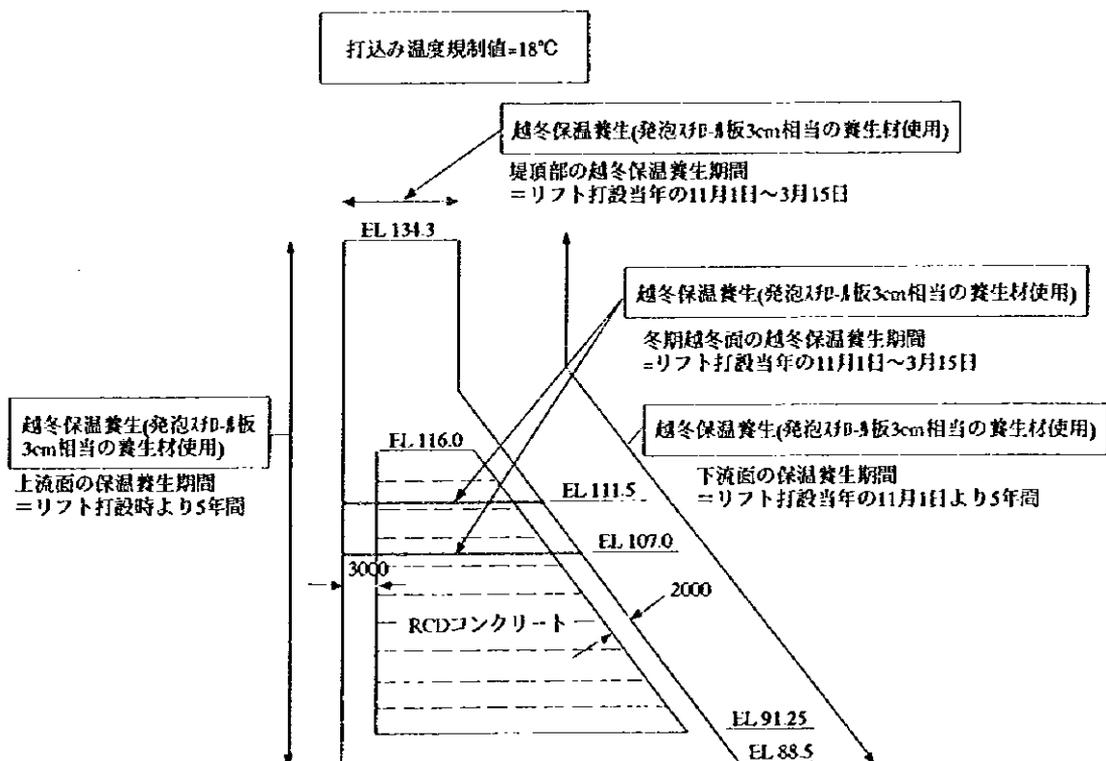


図-3.4.26 非越流部のコンクリートクラック抑制対策の概念

3.4.7 洪水吐部の温度応力解析

(1) 検討ケースの設定

検討の着目点としては、以下の項目が挙げられる。

- ・岩着コンクリートにおける温度応力(最大レアー長である岩着コンクリートにおいて、基礎岩盤の外部拘束により発生)
- ・越冬面コンクリートにおける温度応力(ダム堤体の立ち上がり途中に、越冬によりある程度長期にわたり放置される越冬面コンクリートにおいて、外気温の変化に伴い表層付近に温度勾配が生じ、内部拘束により発生)
- ・上下流面の外部コンクリートにおける温度応力(打設当初から露出されることから、外気温の変化に伴い表層付近に温度勾配が生じ、内部拘束により発生)

よって、最適な温度ひびわれ対策工法の検討を行うため、表-3.4.19に示す検討ケースを設定する。

表-3.4.19 検討ケース(洪水吐部(BL.11)の温度応力解析)

検討ケース	打込み温度規制値	越冬保温養生の熱伝達係数	
		(Kcal/m ² ・h・°C)	(KJ/m ² ・h・°C)
ケース1	特になし	対策なし	
ケース2	上限一律15°C	対策なし	
ケース3	上限一律15°C	0.95	3.98
ケース4	上限一律15°C	0.49	2.04
ケース5	上限 (H≤12m→15°C, H>12m→18°C)	0.95	3.98

(2) 解析スケジュール

洪水吐部の解析ブロック (BL.11) の解析スケジュールは、表-3.4.20に示す。各箇所の越冬保温養生期間は、図-3.4.27に示す。

表-3.4.20 洪水吐部 (BL.11) の解析スケジュール

77	ブロック区分	打設日	標高(m)	77高(m)	解析77高	外気温(°C)	打込み温度(°C) 温度規制なし	打込み温度(°C) 上限15°C	打込み温度(°C) 上限15~18°C
1	外部ブロック	1998.4.1	EL.84.00~EL.84.75	0.75	183	4.4	6.4	6.4	6.4
2	外部ブロック	1998.4.5	EL.84.75~EL.85.75	1.00	187	5.5	7.5	7.5	7.5
3	外部ブロック	1998.4.10	EL.85.75~EL.86.75	1.00	192	6.9	8.9	8.9	8.9
4	内部(RCD)ブロック	1998.5.20	EL.86.75~EL.87.50	0.75	232	17.6	19.6	15.0	15.0
5	内部(RCD)ブロック	1998.5.25	EL.87.50~EL.88.25	0.75	237	18.7	20.7	15.0	15.0
6	内部(RCD)ブロック	1998.5.31	EL.88.25~EL.89.00	0.75	243	20.0	22.0	15.0	15.0
7	内部(RCD)ブロック	1998.6.5	EL.89.00~EL.89.75	0.75	248	21.0	23.0	15.0	15.0
8	内部(RCD)ブロック	1998.6.10	EL.89.75~EL.90.50	0.75	253	21.8	23.8	15.0	15.0
9	内部(RCD)ブロック	1998.6.15	EL.90.50~EL.91.25	0.75	258	22.6	24.6	15.0	15.0
10	内部(RCD)ブロック	1998.6.20	EL.91.25~EL.92.00	0.75	263	23.3	25.3	15.0	15.0
11	内部(RCD)ブロック	1998.6.25	EL.92.00~EL.92.75	0.75	268	23.8	25.8	15.0	15.0
12	内部(RCD)ブロック	1998.6.30	EL.92.75~EL.93.50	0.75	273	24.3	26.3	15.0	15.0
13	内部(RCD)ブロック	1998.7.8	EL.93.50~EL.94.25	0.75	281	24.7	26.7	15.0	15.0
14	内部(RCD)ブロック	1998.7.16	EL.94.25~EL.95.00	0.75	289	24.9	26.9	15.0	15.0
15	内部(RCD)ブロック	1998.7.24	EL.95.00~EL.95.75	0.75	297	24.8	26.8	15.0	15.0
16	内部(RCD)ブロック	1998.7.31	EL.95.75~EL.96.50	0.75	304	24.4	26.4	15.0	18.0
17	内部(RCD)ブロック	1998.8.8	EL.96.50~EL.97.25	0.75	312	23.7	25.7	15.0	18.0
18	内部(RCD)ブロック	1998.8.16	EL.97.25~EL.98.00	0.75	320	22.7	24.7	15.0	18.0
19	内部(RCD)ブロック	1998.8.24	EL.98.00~EL.98.75	0.75	328	21.4	23.4	15.0	18.0
20	内部(RCD)ブロック	1998.8.31	EL.98.75~EL.99.50	0.75	335	20.1	22.1	15.0	18.0
21	内部(RCD)ブロック	1998.9.7	EL.99.50~EL.100.25	0.75	342	18.6	20.6	15.0	18.0
22	内部(RCD)ブロック	1998.9.14	EL.100.25~EL.101.00	0.75	349	17.0	19.0	15.0	18.0
23	内部(RCD)ブロック	1998.9.22	EL.101.00~EL.101.75	0.75	357	15.0	17.0	15.0	17.0
24	内部(RCD)ブロック	1998.9.30	EL.101.75~EL.102.50	0.75	365	12.9	14.9	14.9	14.9
25	内部(RCD)ブロック	1998.10.7	EL.102.50~EL.103.25	0.75	372	11.0	13.0	13.0	13.0
26	内部(RCD)ブロック	1998.10.15	EL.103.25~EL.104.00	0.75	380	8.7	10.7	10.7	10.7
27	内部(RCD)ブロック	1998.10.23	EL.104.00~EL.104.75	0.75	388	6.5	8.5	8.5	8.5
28	内部(RCD)ブロック	1998.10.31	EL.104.75~EL.105.50	0.75	396	4.3	6.3	6.3	6.3
29	内部(RCD)ブロック	1999.4.6	EL.105.50~EL.106.25	0.75	553	5.8	7.8	7.8	7.8
30	内部(RCD)ブロック	1999.4.12	EL.106.25~EL.107.00	0.75	559	7.5	9.5	9.5	9.5
31	内部(RCD)ブロック	1999.4.18	EL.107.00~EL.107.75	0.75	565	9.2	11.2	11.2	11.2
32	内部(RCD)ブロック	1999.4.24	EL.107.75~EL.108.50	0.75	571	10.8	12.8	12.8	12.8
33	内部(RCD)ブロック	1999.4.30	EL.108.50~EL.109.25	0.75	577	12.5	14.5	14.5	14.5
34	内部(RCD)ブロック	1999.5.5	EL.109.25~EL.110.00	0.75	582	13.8	15.8	15.0	15.8
35	内部(RCD)ブロック	1999.5.10	EL.110.00~EL.110.75	0.75	587	15.1	17.1	15.0	17.1
36	外部ブロック	1999.5.15	EL.110.75~EL.111.50	0.75	592	16.4	18.4	15.0	18.0
37	外部ブロック	1999.5.20	EL.111.50~EL.112.25	0.75	597	17.6	19.6	15.0	18.0
38	外部ブロック	1999.5.25	EL.112.25~EL.113.00	0.75	602	18.7	20.7	15.0	18.0
39	外部ブロック	1999.5.28	EL.113.00~EL.115.00	2.00	605	19.4	21.4	15.0	18.0
	躯体打設完成3年後	2002.5.27	-	-	1700	-	-	-	-

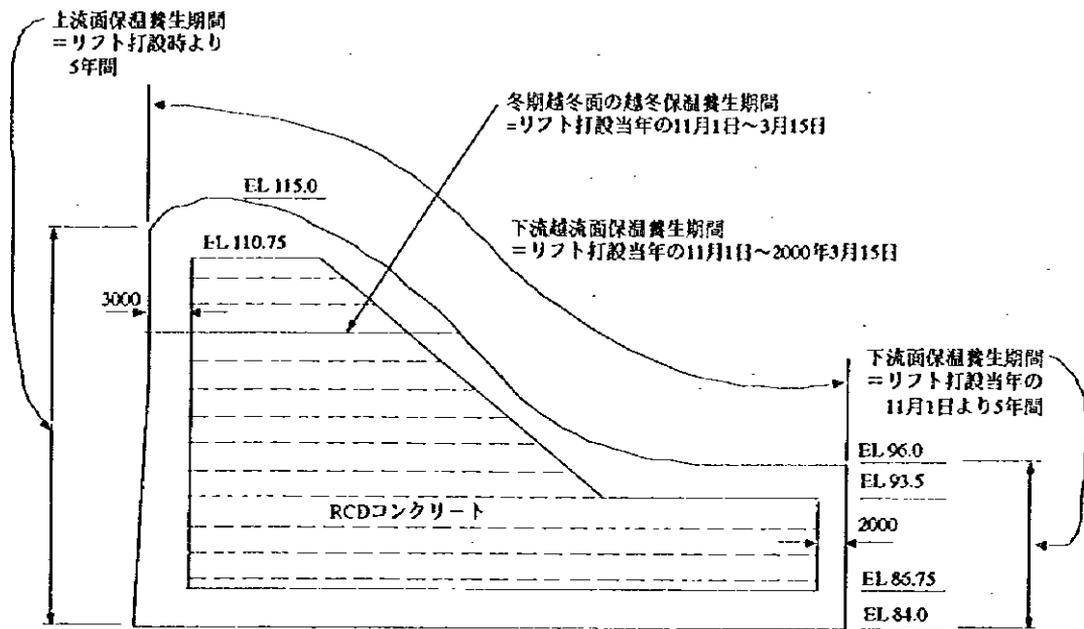


図-3.4.27 洪水吐部の各箇所の越冬保温養生期間

(3) 解析モデル

洪水吐部 (BL.11) の温度履歴解析モデル概念図は図-3.4.28 に示し、温度応力解析モデル概念図は図-3.4.29 に示す。解析メッシュ図は図-3.4.30 に示す。解析期間は 1997 年 10 月～2002 年 6 月の 4 年 9 カ月間 (堤体打設完了後 3 年間) とする。解析時間刻みは、 $\Delta t = 1$ 日とする。

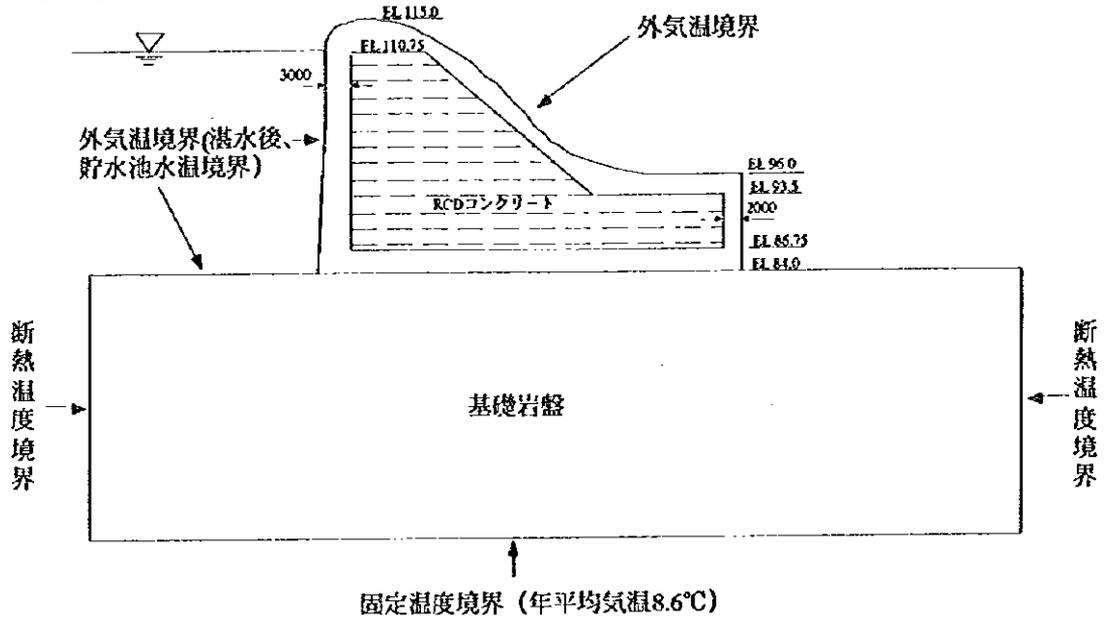


図-3.4.28 洪水吐部 (BL.11) の温度履歴解析モデル概念図

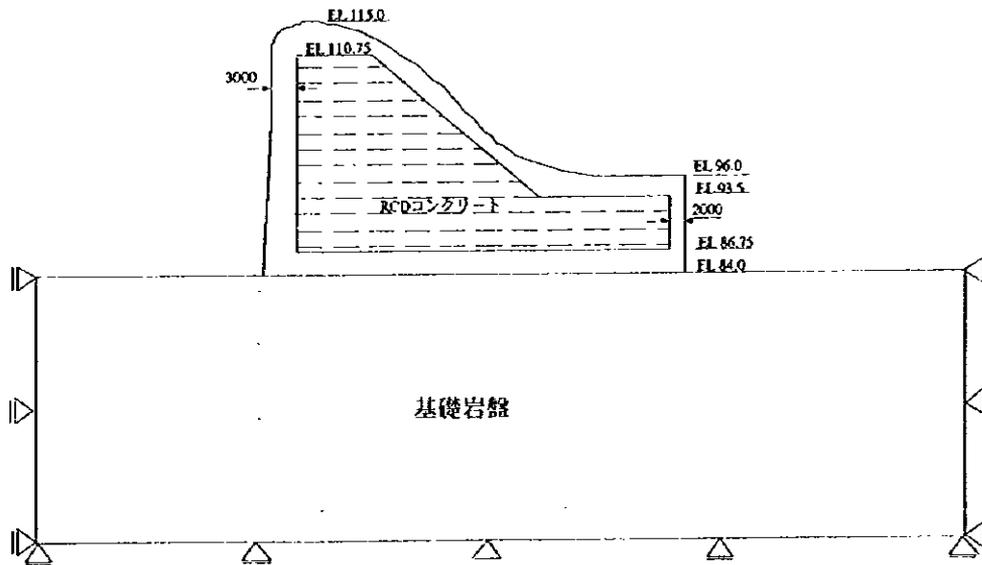


図-3.4.29 洪水吐部 (BL.11) の温度応力解析モデル概念図

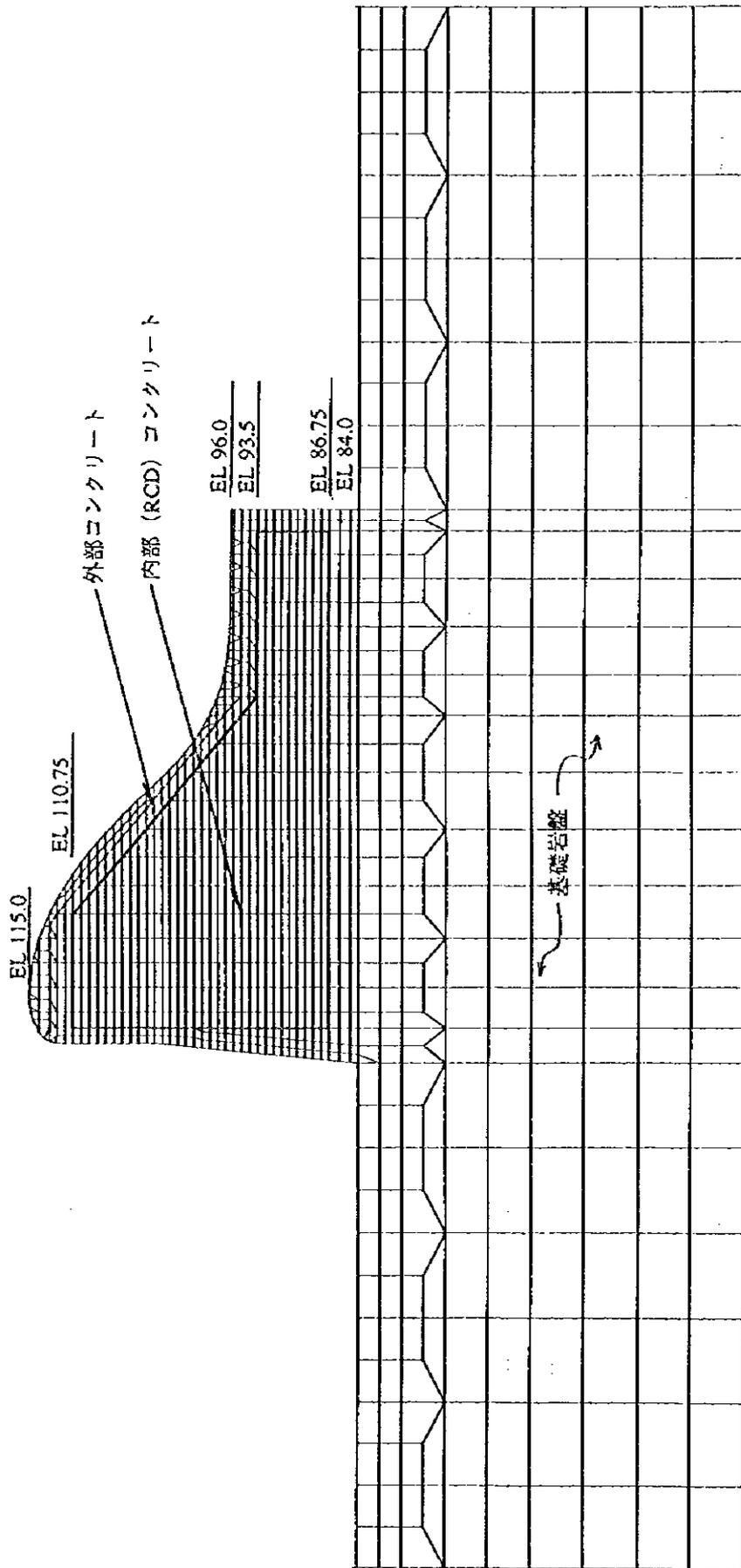


図-3.4.30 解析メッシュ図 (洪水吐部)

FOR STRUCTURE

0 20.0 M
 (1 : 500)

LEGEND
 TOTAL ELEMENTS = 1082
 TOTAL NODES = 3147

(4) 解析結果

(a) 最高温度

各ケースの各箇所での最高温度及びその発生箇所での最低温度、温度低下量は、表-3.4.21に示すとおりである。図-3.4.31~3.4.36に各箇所のケース別の比較図を示す。

表-3.4.21 各ケースの各箇所での最高温度等一覧表 (洪水吐部 BL.11)

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱のかけかた (Kcal/m ² ・h・℃)	温度項目	岩着部	堤体中央部	上流側	下流側	下流側	越冬面
				岩管のかけ EL.85.75 3リフト	RCDのかけ EL.92.75 11リフト	外部のかけ EL.105.5 23リフト	外部のかけ EL.96.5 16リフト	外部のかけ EL.105.5 23リフト	RCDのかけ EL.105.5 23リフト
ケース1	特になし	対策なし	最高温度	21.9	32.4	21.0	31.0	21.0	18.4
			最低温度	5.7	2.9	-7.2	-0.5	-6.6	-6.5
			温度低下量	16.2	29.5	28.2	31.5	27.6	24.9
ケース2	上限一律15℃	対策なし	最高温度	20.7	29.1	20.9	27.9	20.8	17.9
			最低温度	5.6	2.8	-7.2	-0.6	-6.7	-6.6
			温度低下量	15.1	26.3	28.1	28.5	27.5	24.5
ケース3	上限一律15℃	0.95	最高温度	20.7	29.1	19.4	27.9	20.9	18.5
			最低温度	6.9	3.5	-0.9	-0.4	-1.0	1.4
			温度低下量	13.8	25.6	20.3	28.3	21.9	17.1
ケース4	上限一律15℃	0.49	最高温度	20.7	29.1	19.2	27.9	21.1	19.0
			最低温度	7.5	3.8	1.4	-0.3	-0.9	2.1
			温度低下量	13.2	25.3	17.8	28.2	22.0	16.9
ケース5	上限15~18℃	0.95	最高温度	20.7	29.1	19.5	28.5	20.9	18.7
			最低温度	6.9	3.5	-0.8	-0.4	-1.0	1.4
			温度低下量	13.8	25.6	20.3	28.9	21.9	17.3

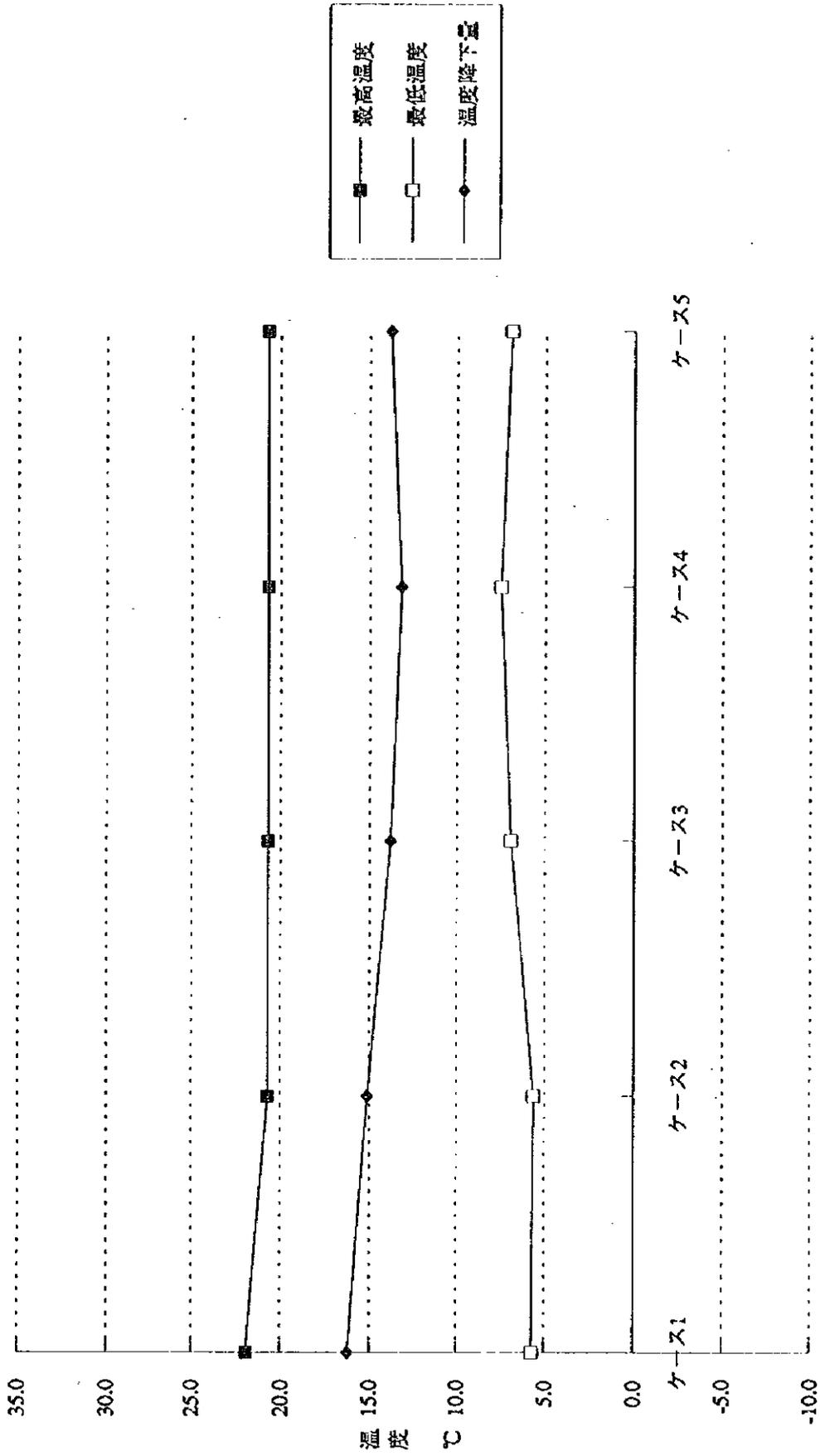


図-3.4.31 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (洪水吐部、岩着部)

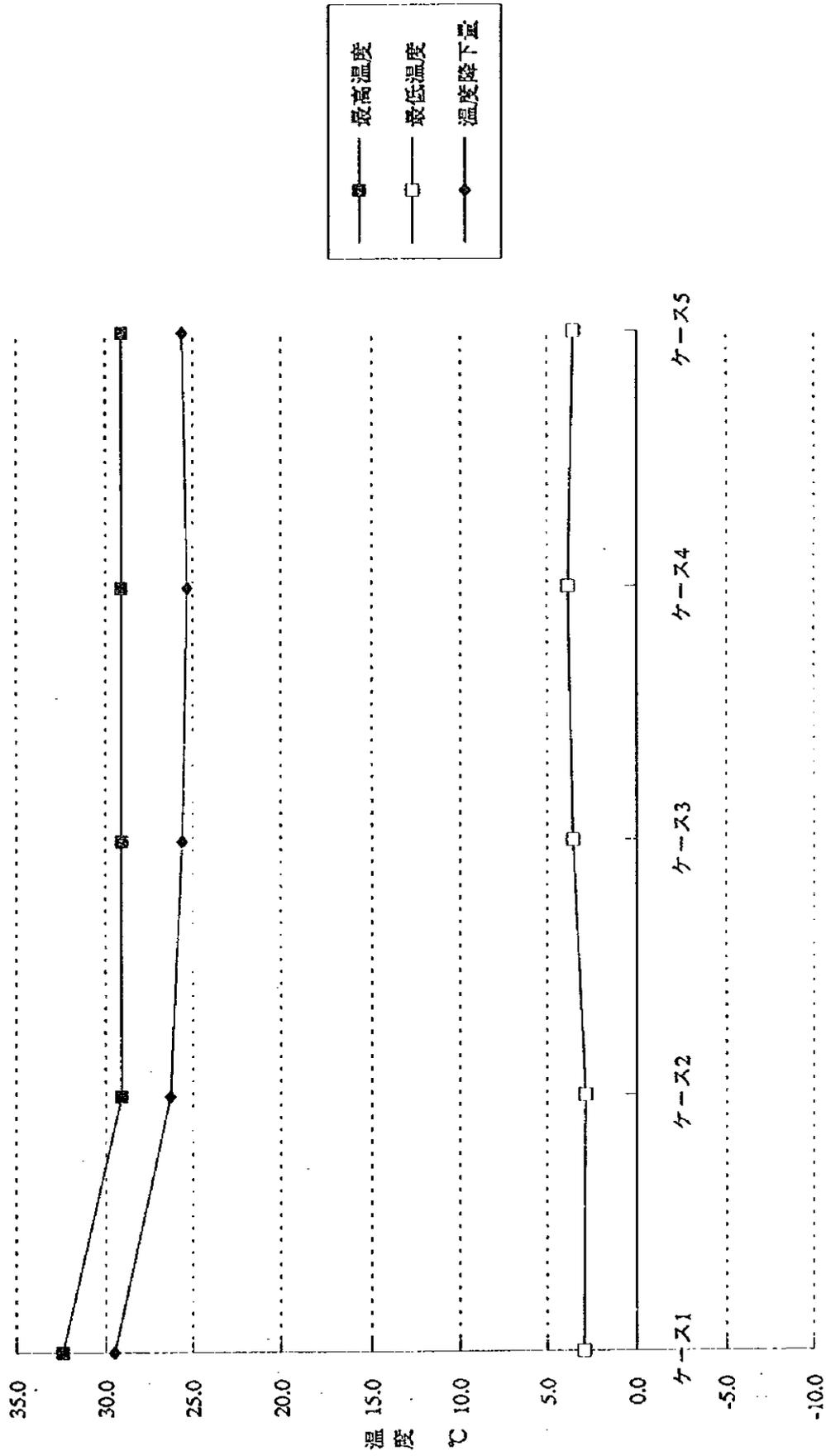


図-3.4.32 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量（洪水吐部、堤体中央部）

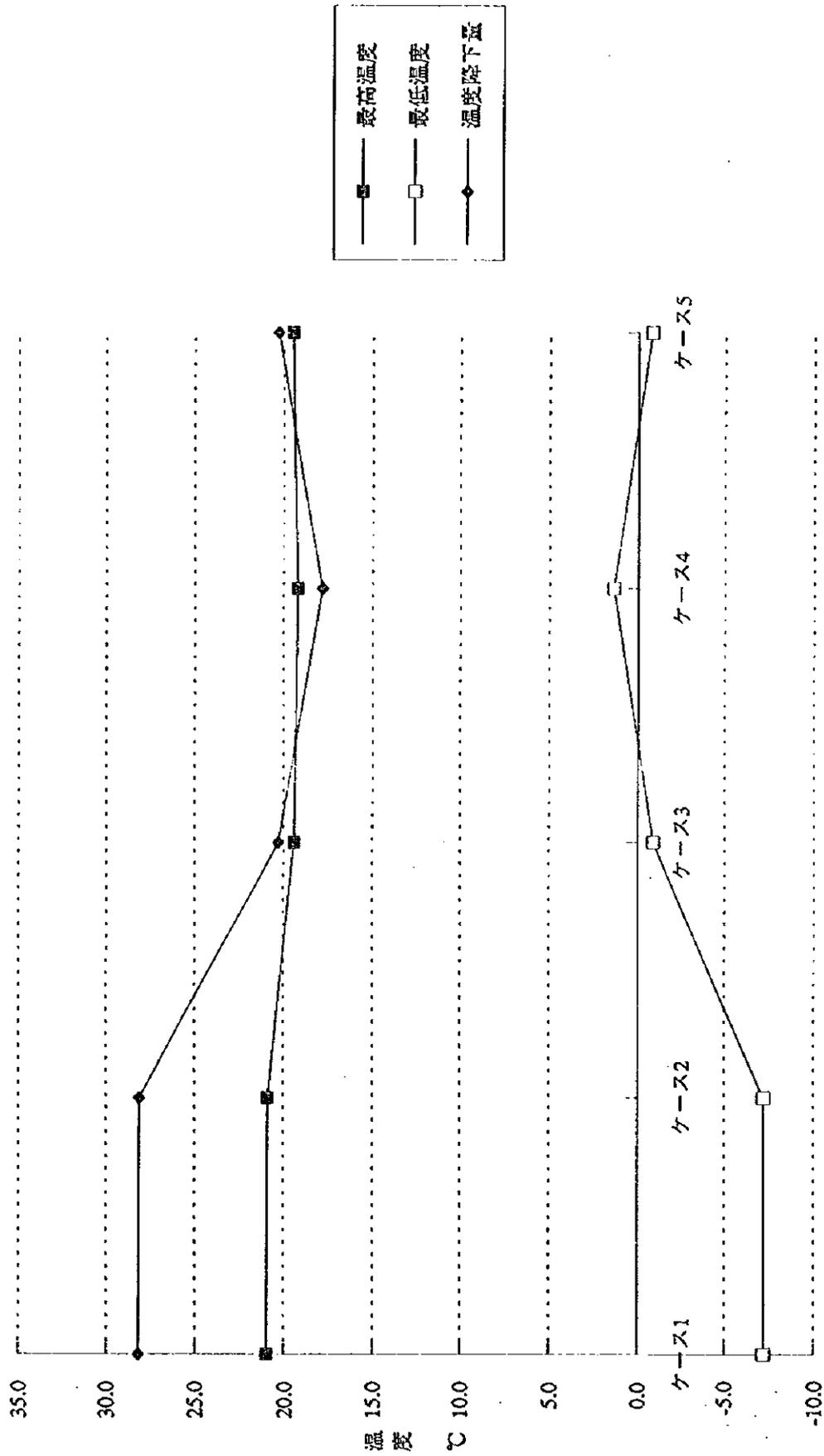


図-3.4.33 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量（洪水吐部、上流側）

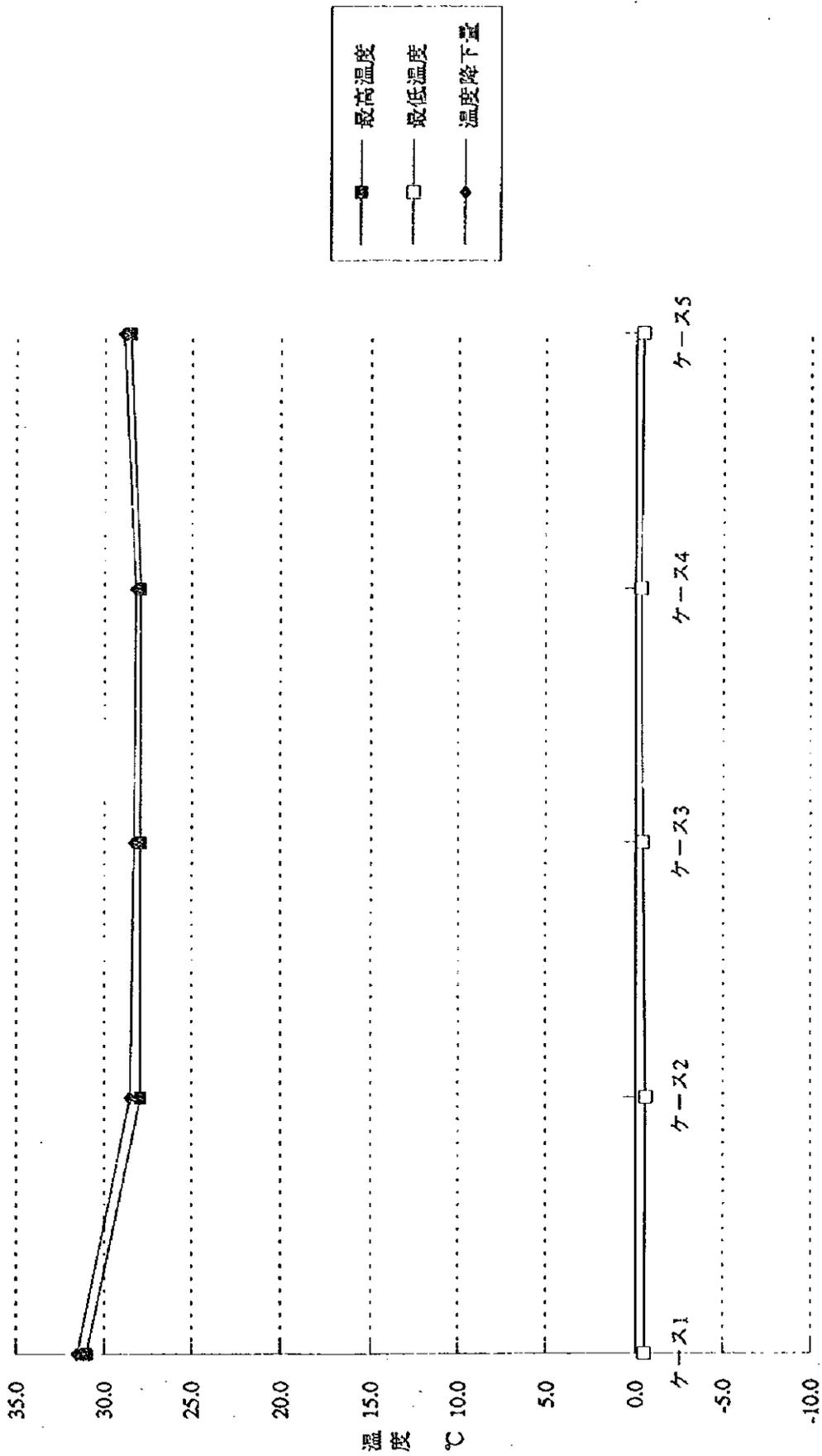


図-3.4.34 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (洪水吐部、下流側、16リフト)

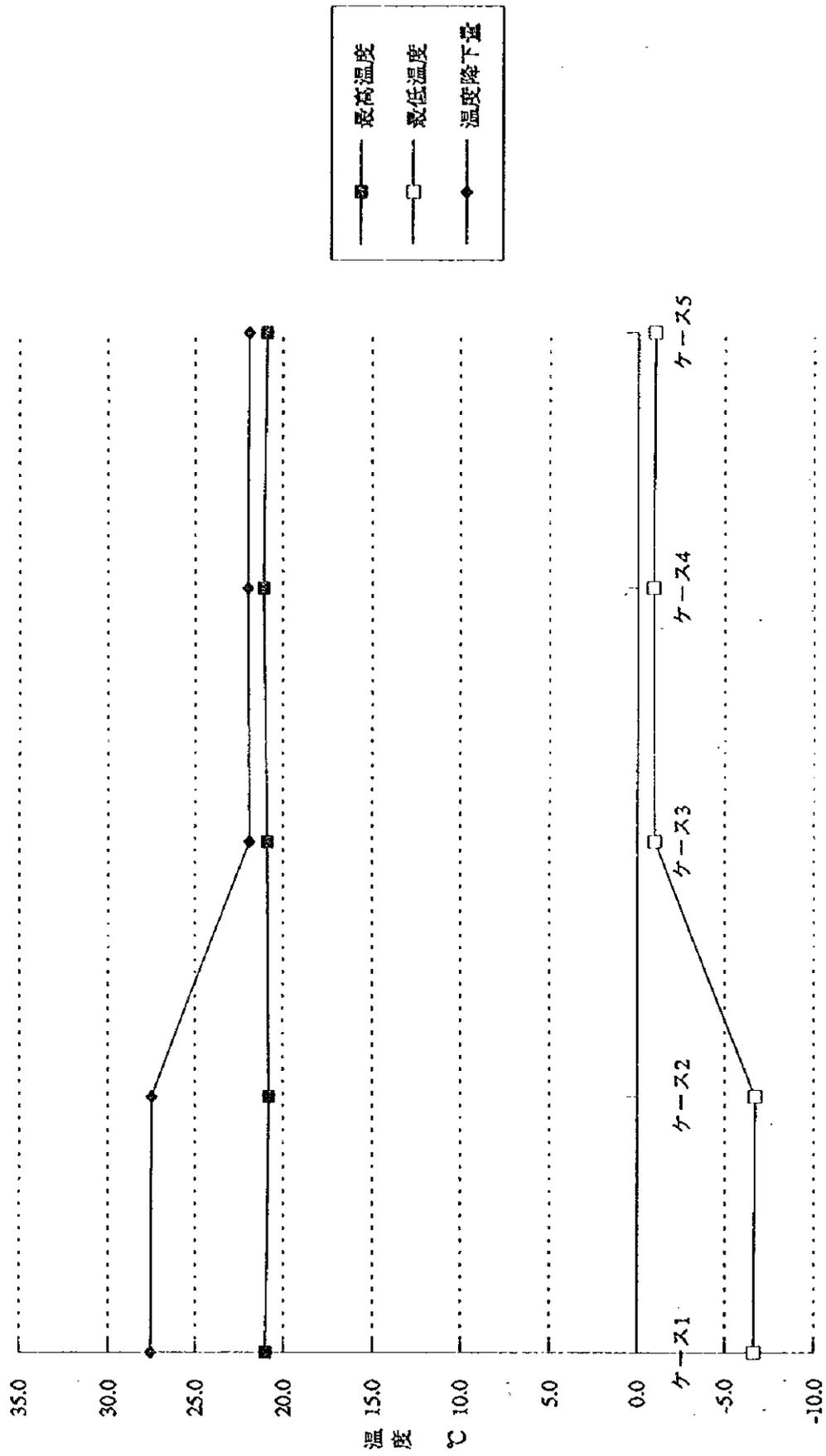


図-3.4.35 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (洪水吐部、下流側、28リフト)

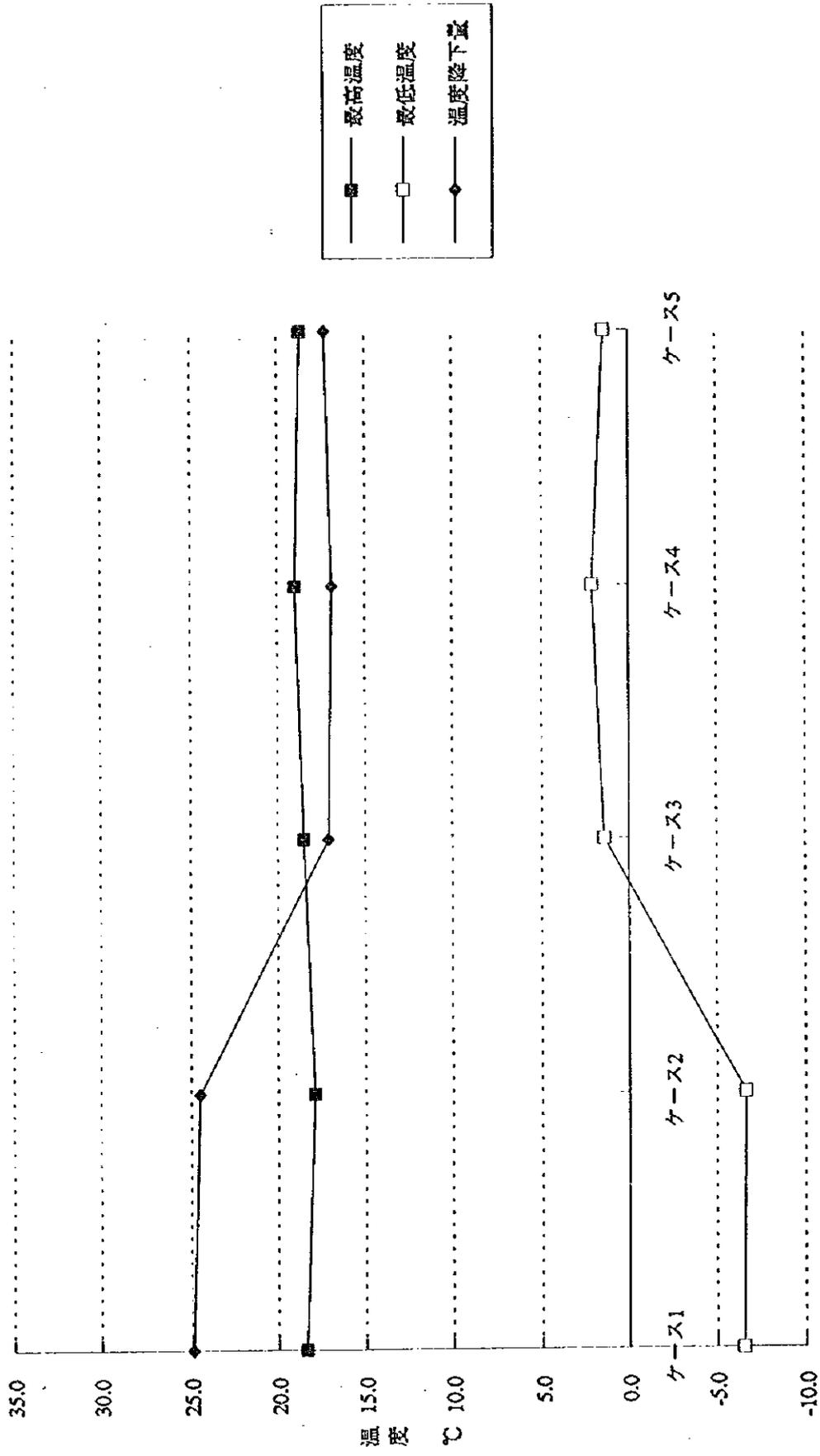


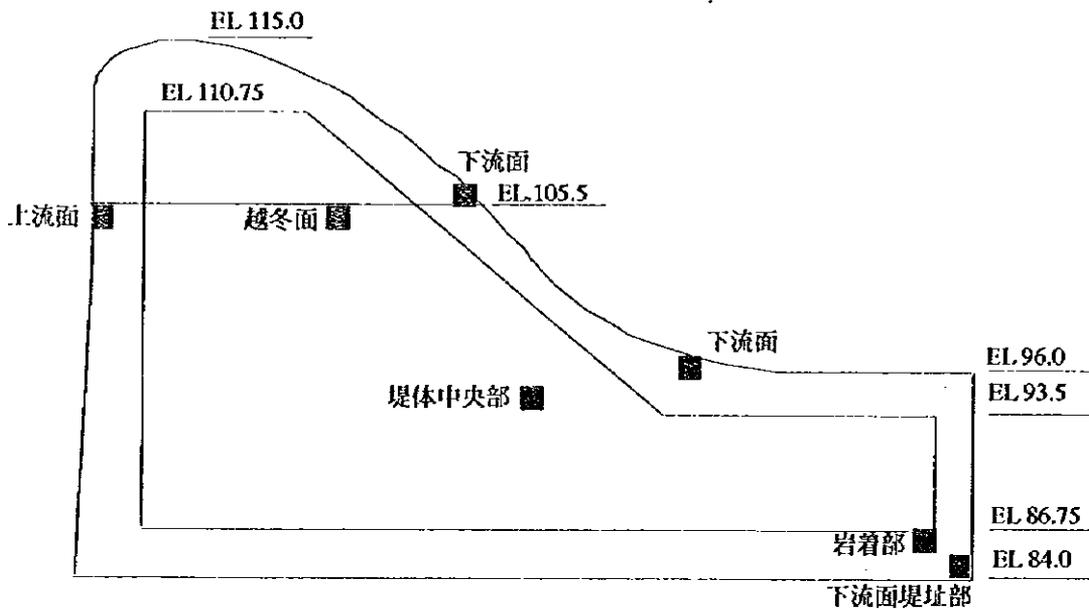
図-3.4.36 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (洪水吐部、総冬面)

(b) 最大引張ひずみ

各ケースの各箇所での最大引張ひずみは、表-3.4.22に示すとおりである。各ケースの最大引張ひずみ分布図は、図-3.4.37~3.4.41に示す。

表-3.4.22 各ケースの各箇所での最大引張ひずみ一覧表（洪水吐部BL.11）

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱供給量 (Kcal/m ² ・h・℃)	岩着部 RCDコンクリート EL.85.75 ~86.75 377ト	堤体中央部 RCDコンクリート EL.93.5 ~96.5 13~1677ト	上流面 外部コンクリート EL.104.75 ~105.5 2377ト	下流面堤趾部 外部コンクリート EL.84.0 ~84.75 197ト	下流面 外部コンクリート EL.96.5 ~97.25 1777ト	下流面 外部コンクリート EL.105.5 ~106.25 2977ト	越冬面 RCDコンクリート EL.104.75 ~105.5 2877ト
ケース1	特になし	対策なし	48	61	129	130	148	135	76
ケース2	上限一律15℃	対策なし	40	57	120	87	53	134	76
ケース3	上限一律15℃	0.95	34	44	79	72	51	103	42
ケース4	上限一律15℃	0.49	31	39	63	64	50	101	40
ケース5	上限15~13℃	0.95	35	45	85	74	44	103	41



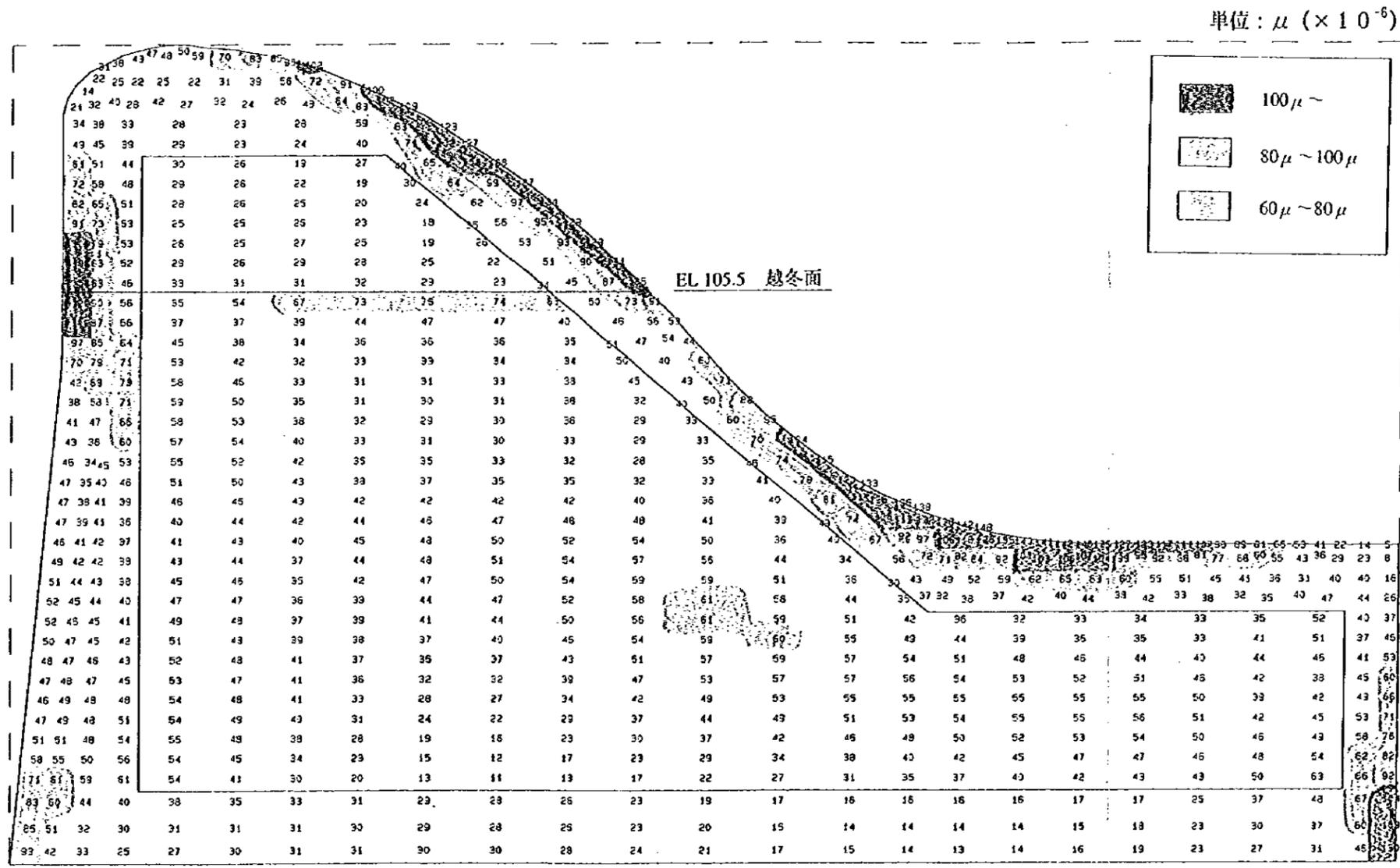


図-3.4.37 ケース1の最大引張ひずみ分布図 (洪水吐部)

FOR STRUCTURE 0 10.0 M (1 : 200)

THERMAL STRESS ANALYSIS IN HAKUSEKI (KOUZUIBAKI : Case5)

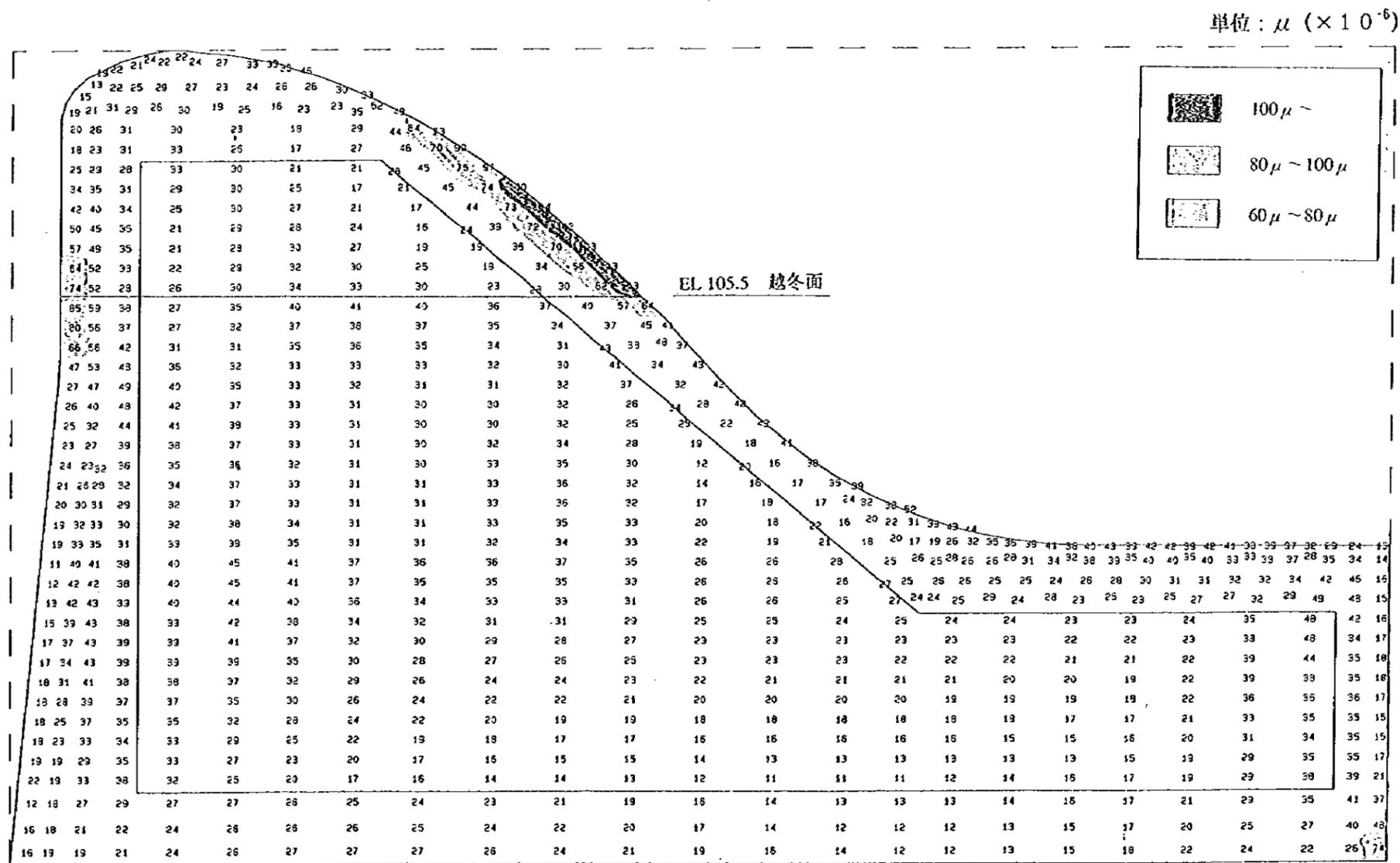
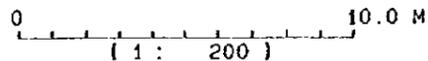


図-3.4.41 ケース5の最大引張ひずみ分布図(洪水吐部)

FOR STRUCTURE





(5) コンクリートクラック抑制対策の検討

温度応力解析結果から、打込み温度の制限、冬期打止め面の保温養生、上下流面の保温養生などの対策工法を比較検討し、適切なコンクリートクラックの抑制対策工法を選定する。

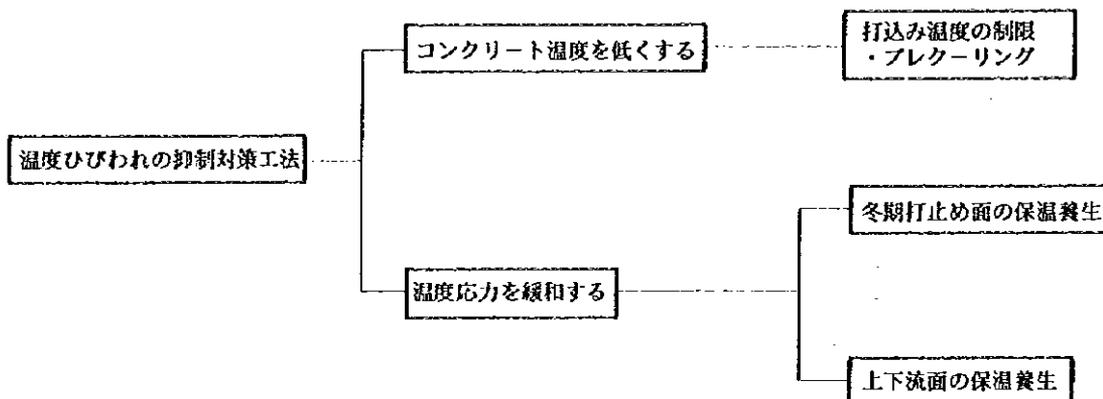


図-3.4.42 コンクリートクラック抑制対策方法の分類

洪水吐部 (BL.11) の堤体コンクリートにおける温度応力解析結果について、コンクリートの許容引張ひずみを一般的な値である 100×10^{-6} (100μ) として評価すると、次のことがいえる。

- ・岩着コンクリートについては、特に対策を行わない場合 (ケース1) においても、最大引張ひずみが 48μ であり問題ないことがわかった。
- ・堤体中央部の内部(RCD)コンクリートについては、特に対策を行わない場合 (ケース1) においても、最大引張ひずみが 61μ であり問題ないことがわかった。
- ・上流面の外部コンクリートについては、特に対策を行わない場合 (ケース1) には、27～31 リフト (EL.104.0～107.75) の範囲で 100μ 以上の引張ひずみが生じ、最大で 129μ の引張ひずみが生じており、何らかの対策を行う必要がある。
- ・下流面の外部コンクリートについては、特に対策を行わない場合 (ケース1) には、広い範囲で 100μ 以上の引張ひずみが生じ、最大で 148μ の引張ひずみが生じており、何らかの対策を行う必要がある。
- ・越冬面については、特に対策を行わない場合 (ケース1) においても、最大引張ひずみが 76μ であり問題ないことがわかった。

以上より、上下流面に温度応力的に問題が生じ、打込み温度の制限 (ブレーキングの実施) 及び越冬保温養生の対策を行った結果、次のことがわかった。

上流面の外部コンクリート

- ・ブレーキング (打込み温度規制値 = 15°C) を実施すると、引張ひずみ 100μ 以上の範囲は若干小さくなり、最大引張ひずみは 129μ から 120μ に若干ながら低減した (ケース2)。
- ・ブレーキング (打込み温度規制値 = 15°C) の実施に加え、越冬保温養生 ($h=0.95(\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$) を行った場合、引張ひずみ 100μ 以上の発生箇所はなくなり、最大引張ひずみは 120μ から 79μ に低減した (ケース3)。

- ・さらに、 $h=0.49$ (Kcal/m²・h・°C)となる越冬保温養生を行った場合、最大引張ひずみは79 μ から63 μ に低減した(ケース4)。
- ・プレクーリングの打込み温度を $H \leq 12m \rightarrow 15^\circ\text{C}$ 、 $H > 12m \rightarrow 18^\circ\text{C}$ とした場合(ケース5)、上限一律15°Cの場合(ケース3)と比べ、温度応力的に大きな差異はないことがわかった。

下流面の外部コンクリート

- ・プレクーリング(打込み温度規制値=15°C)を実施すると、引張ひずみ100 μ 以上の範囲は小さくなり、最大引張ひずみは148 μ から134 μ に低減した(ケース2)。
- ・プレクーリング(打込み温度規制値=15°C)の実施に加え、越冬保温養生($h=0.95$ (Kcal/m²・h・°C)を行った場合、引張ひずみ100 μ 以上の発生箇所は限られた範囲となり、最大引張ひずみは134 μ から103 μ に低減した(ケース3)。
- ・さらに、 $h=0.49$ (Kcal/m²・h・°C)となる越冬保温養生を行った場合、最大引張ひずみは103 μ から101 μ に若干ながら低減した(ケース4)。
- ・プレクーリングの打込み温度を $H \leq 12m \rightarrow 15^\circ\text{C}$ 、 $H > 12m \rightarrow 18^\circ\text{C}$ とした場合(ケース5)、上限一律15°Cの場合(ケース3)と比べ、温度応力的に大きな差異はないことがわかった。

以上のことから、プレクーリング(打込み温度規制値=15°C、15~18°C)を実施し、越冬保温養生として発泡スチロール板3cm($h=0.95$ (Kcal/m²・h・°C)相当の養生材を使用すれば、下流面を除く堤体内の各箇所の引張ひずみは、コンクリートの許容引張ひずみ(100 μ)以下となり、温度応力によるクラック発生の可能性は少ないものと思われ、特に温度応力的に問題ないことがわかった。

さらに、越冬保温養生として発泡スチロール板6cm($h=0.95$ (Kcal/m²・h・°C)相当の養生材を使用すると、30~33リフト(EL.106.25~109.25m)の下流面における最大引張ひずみは101 μ で、おおむね許容引張ひずみ(100 μ)程度となった。この下流面の箇所は、越流面であり水密性の保持の観点から、越冬保温養生として発泡スチロール版6cm($h=0.95$ (Kcal/m²・h・°C)相当の養生材を使用し、さらに補強筋を配筋するなどし、十分な温度ひびわれ抑制対策を行う必要があるものと判断される。

また、ケース3(打込み温度規制値=15°C)とケース5(打込み温度規制値=15~18°C)を比較すると、温度応力的には大きな差異がなかったことから、経済性、施工性等を勘案して、打込み温度規制値は、一律18°Cを採用する。

よって、洪水吐部のコンクリートクラック抑制対策は、以下の方法を採用する。

- ・プレクーリング(打込み温度規制値=18°C)の実施
- ・上流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95$ (Kcal/m²・h・°C)相当の養生材の使用
- ・下流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板6cm($h=0.49$ (Kcal/m²・h・°C)相当の養生材の使用
- ・越冬面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95$ (Kcal/m²・h・°C)相当の養生材の使用
- ・29~34リフト(EL.105.5~110.0m)の下流面に補強筋の配筋

洪水吐部のコンクリートクラック抑制対策の概念図は、図-3.4.43に示す。

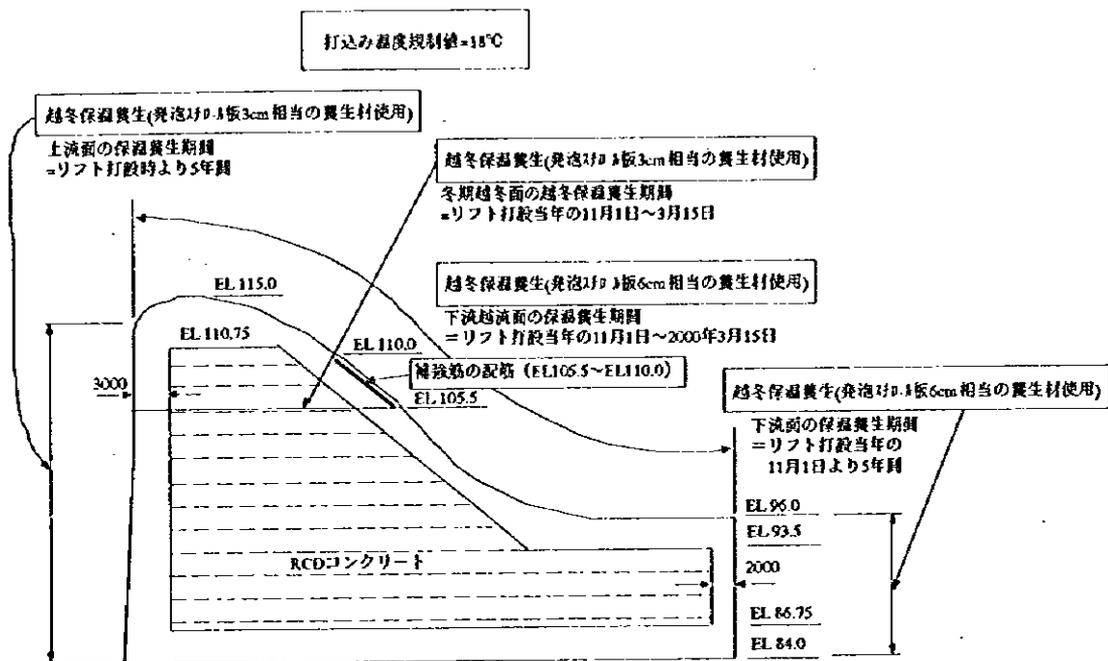


図-3.4.43 洪水吐部のコンクリートクラック抑制対策の概念図

3.4.8 底孔部の温度応力解析

(1) 検討ケースの設定

検討の着目点としては、以下の項目が挙げられる。

- ・1996年に打設した岩着コンクリート (EL.87.8m~EL.89.75m) の上に越冬後、打設を再開するRCDコンクリートにおける温度応力 (既打設コンクリートの外部拘束により発生)
- ・上下流面の外部コンクリートにおける温度応力 (打設当初から露出されることから、外気温の変化に伴い表層付近に温度勾配が生じ、内部拘束により発生)
- ・底孔の開口部まわりの外部コンクリートにおける温度応力 (打設当初から露出されることから、外気温の変化に伴い表層付近に温度勾配が生じ、内部拘束により発生)

上記の点を考慮して、岩着付近コンクリートの解析モデル (上下流方向) と横断面の解析モデル (ダム軸方向) を作成する。

よって、最適な温度ひびわれ対策工法の検討を行うため、表-3.4.23~3.4.24に示す検討ケースをそれぞれ設定する。

表-3.4.23 検討ケース (底孔部(BL20)の岩着付近コンクリートの温度応力解析)

検討ケース	打込み温度規制値	底孔開口部の外部コンクリート (EL.94.25~96.00m)	越冬保温養生の熱伝達係数	
			(Kcal/m ² ・h・°C)	(KJ/m ² ・h・°C)
ケース1	特になし	1リフト打設 (リフト高=1.75m)	対策なし	
ケース2	15°C	2リフト打設 (リフト高=0.75,1.0m)	対策なし	
ケース3	15°C	2リフト打設 (リフト高=0.75,1.0m)	0.95	3.98
ケース4	15°C	2リフト打設 (リフト高=0.75,1.0m)	0.49	2.04

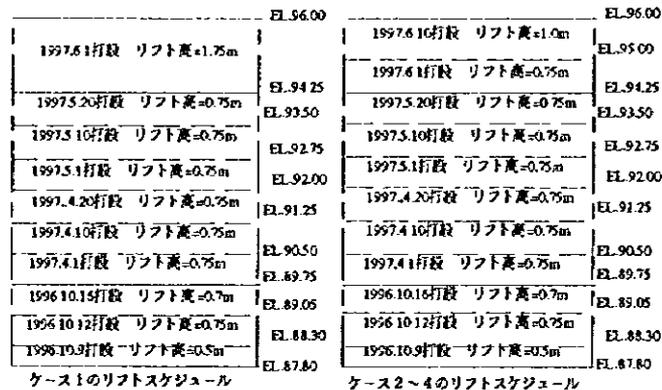


図-3.4.44 底孔部岩着付近コンクリートの各ケースのリフトスケジュールの模式図

表-3.4.24 検討ケース (底孔部(BL20)の横断面の温度応力解析)

検討ケース	打込み温度規制値	越冬保温養生の熱伝達係数	
		(Kcal/m ² ・h・°C)	(KJ/m ² ・h・°C)
ケース1	特になし	対策なし	
ケース2	上限一律15°C	対策なし	
ケース3	上限一律15°C	0.95	3.98
ケース4	上限一律15°C	0.49	2.04
ケース5	上限 (H≤20m→15°C, H>20m→18°C)	0.95	3.98

(2) 解析スケジュール

底孔部の解析ブロック (BL.20) の解析スケジュールは、岩着付近コンクリート解析モデルと横断面解析モデルに分け、表-3.4.25~3.4.27 に示す。各箇所の越冬保温養生期間は、図-3.4.45 に示す。

表-3.4.25 底孔部の岩着付近コンクリート解析モデル (ケース1) の解析スケジュール

リフト	コンクリート区分	打設日	標高(m)	リフト高(m)	解析スラフ*	外気温(°C)	打込み温度(°C) 温度規制なし
1	外部コンクリート	1996.10.9	EL.87.80~EL.88.30	0.50	192	10.1	12.1
2	外部コンクリート	1996.10.12	EL.88.30~EL.89.05	0.75	195	9.3	11.3
3	外部コンクリート	1996.10.16	EL.89.05~EL.89.75	0.70	199	8.2	10.2
	湛水養生開始	1996.11.16	-	-	230	-0.1	-
	湛水養生終了	1997.3.1	-	-	335	-2.8	-
4	内部(RCD)コンクリート	1997.4.1	EL.89.75~EL.90.50	0.75	366	4.7	6.7
5	内部(RCD)コンクリート	1997.4.10	EL.90.50~EL.91.25	0.75	375	7.2	9.2
6	内部(RCD)コンクリート	1997.4.20	EL.91.25~EL.92.00	0.75	385	10.0	12.0
7	内部(RCD)コンクリート	1997.5.1	EL.92.00~EL.92.75	0.75	396	13.0	15.0
8	内部(RCD)コンクリート	1997.5.10	EL.92.75~EL.93.50	0.75	405	15.4	17.4
9	内部(RCD)コンクリート	1997.5.20	EL.93.50~EL.94.25	0.75	415	17.8	19.8
10	外部コンクリート	1997.6.1	EL.94.25~EL.96.00	1.75	427	20.4	22.4
	堤体打設完成3年後	2000.6.9	-	-	1531	16.3	-

表-3.4.26 底孔部の岩着付近コンクリート解析モデル (ケース2~5) の解析スケジュール

リフト	コンクリート区分	打設日	標高(m)	リフト高(m)	解析スラフ*	外気温(°C)	打込み温度(°C) 温度規制なし	打込み温度(°C) 上限15°C
1	外部コンクリート	1996.10.9	EL.87.80~EL.88.30	0.50	192	10.1	12.1	12.1
2	外部コンクリート	1996.10.12	EL.88.30~EL.89.05	0.75	195	9.3	11.3	11.3
3	外部コンクリート	1996.10.16	EL.89.05~EL.89.75	0.70	199	8.2	10.2	10.2
	湛水養生開始	1996.11.16	-	-	230	-0.1	-	-
	湛水養生終了	1997.3.1	-	-	335	-2.8	-	-
4	内部(RCD)コンクリート	1997.4.1	EL.89.75~EL.90.50	0.75	366	4.7	6.7	6.7
5	内部(RCD)コンクリート	1997.4.10	EL.90.50~EL.91.25	0.75	375	7.2	9.2	9.2
6	内部(RCD)コンクリート	1997.4.20	EL.91.25~EL.92.00	0.75	385	10.0	12.0	12.0
7	内部(RCD)コンクリート	1997.5.1	EL.92.00~EL.92.75	0.75	396	13.0	15.0	15.0
8	内部(RCD)コンクリート	1997.5.10	EL.92.75~EL.93.50	0.75	405	15.4	17.4	15.0
9	内部(RCD)コンクリート	1997.5.20	EL.93.50~EL.94.25	0.75	415	17.8	19.8	15.0
10	外部コンクリート	1997.6.1	EL.94.25~EL.95.00	0.75	427	20.4	22.4	15.0
11	外部コンクリート	1997.6.10	EL.95.00~EL.96.00	1.00	436	22.0	24.0	15.0
	堤体打設完成3年後	2000.6.9	-	-	1531	16.3	-	-

表-3.4.27 底孔部の横断面解析モデル (BL20) の解析スケジュール

リフト	コンクリート区分	打設日	標高(m)	リフト高(m)	解析行ア	外気温(℃)	打込み温度(℃) 温度規制なし	打込み温度(℃) 上限15℃	打込み温度(℃) 上限15~18℃
1	外部コンクリート	1996.10.9	EL.87.80~EL.88.30	0.50	192	10.1	12.1	12.1	12.1
2	外部コンクリート	1996.10.12	EL.88.30~EL.89.05	0.75	195	9.3	11.3	11.3	11.3
3	外部コンクリート	1996.10.16	EL.89.05~EL.89.75	0.70	199	8.2	10.2	10.2	10.2
	湧水養生開始	1996.11.16	-	-	230	-0.1	-	-	-
	湧水養生終了	1997.3.1	-	-	335	-2.8	-	-	-
4	内部(RCD)コンクリート	1997.4.1	EL.89.75~EL.90.50	0.75	366	4.7	6.7	6.7	6.7
5	内部(RCD)コンクリート	1997.4.10	EL.90.50~EL.91.25	0.75	375	7.2	9.2	9.2	9.2
6	内部(RCD)コンクリート	1997.4.20	EL.91.25~EL.92.00	0.75	385	10.0	12.0	12.0	12.0
7	内部(RCD)コンクリート	1997.5.1	EL.92.00~EL.92.75	0.75	396	13.0	15.0	15.0	15.0
8	内部(RCD)コンクリート	1997.5.10	EL.92.75~EL.93.50	0.75	405	15.4	17.4	15.0	15.0
9	内部(RCD)コンクリート	1997.5.20	EL.93.50~EL.94.25	0.75	415	17.8	19.8	15.0	15.0
10	外部コンクリート	1997.6.1	EL.94.25~EL.95.00	0.75	427	20.4	22.4	15.0	15.0
11	外部コンクリート	1997.6.10	EL.95.00~EL.96.00	1.00	436	22.0	24.0	15.0	15.0
12	外部コンクリート	1997.6.20	EL.96.00~EL.98.00	2.00	446	23.4	25.4	15.0	15.0
13	外部コンクリート	1997.7.10	EL.98.00~EL.100.00	2.00	466	24.8	26.8	15.0	15.0
14	外部コンクリート	1997.7.25	EL.100.00~EL.101.50	1.50	481	24.7	26.7	15.0	15.0
15	外部コンクリート	1997.8.10	EL.101.50~EL.103.00	1.50	497	23.3	25.3	15.0	15.0
16	外部コンクリート	1997.9.10	EL.103.00~EL.105.00	2.00	528	17.7	19.7	15.0	15.0
17	外部コンクリート	1997.10.10	EL.105.00~EL.107.00	2.00	558	9.9	11.9	11.9	11.9
18	外部コンクリート	1998.6.30	EL.107.00~EL.109.50	2.50	821	24.3	26.3	15.0	18.0
19	外部コンクリート	1998.7.30	EL.109.50~EL.112.00	2.50	851	24.4	26.4	15.0	18.0
20	外部コンクリート	1999.4.1	EL.112.00~EL.114.00	2.00	1096	4.7	6.7	6.7	6.7
21	外部コンクリート	1999.4.16	EL.114.00~EL.116.00	2.00	1111	8.9	10.9	10.9	10.9
22	外部コンクリート	1999.5.1	EL.116.00~EL.117.85	1.85	1126	13.0	15.0	15.0	15.0
23	外部コンクリート	1999.5.16	EL.117.85~EL.120.00	2.15	1141	16.9	18.9	15.0	18.0
24	外部コンクリート	1999.6.1	EL.120.00~EL.122.00	2.00	1157	20.4	22.4	15.0	18.0
25	外部コンクリート	1999.6.16	EL.122.00~EL.124.00	2.00	1172	22.9	24.9	15.0	18.0
26	外部コンクリート	1999.7.1	EL.124.00~EL.126.00	2.00	1187	24.4	26.4	15.0	18.0
27	外部コンクリート	1999.7.16	EL.126.00~EL.128.00	2.00	1202	24.9	26.9	15.0	18.0
28	外部コンクリート	1999.8.1	EL.128.00~EL.130.00	2.00	1218	24.2	26.2	15.0	18.0
29	外部コンクリート	1999.8.16	EL.130.00~EL.132.00	2.00	1233	22.5	24.5	15.0	18.0
30	外部コンクリート	1999.9.1	EL.132.00~EL.133.15	1.15	1249	19.7	21.7	15.0	18.0
31	外部コンクリート	1999.9.16	EL.133.15~EL.134.30	1.15	1264	16.3	18.3	15.0	18.0
	躯体打設完成3年後	2002.9.15	-	-	2359	16.3	-	-	-

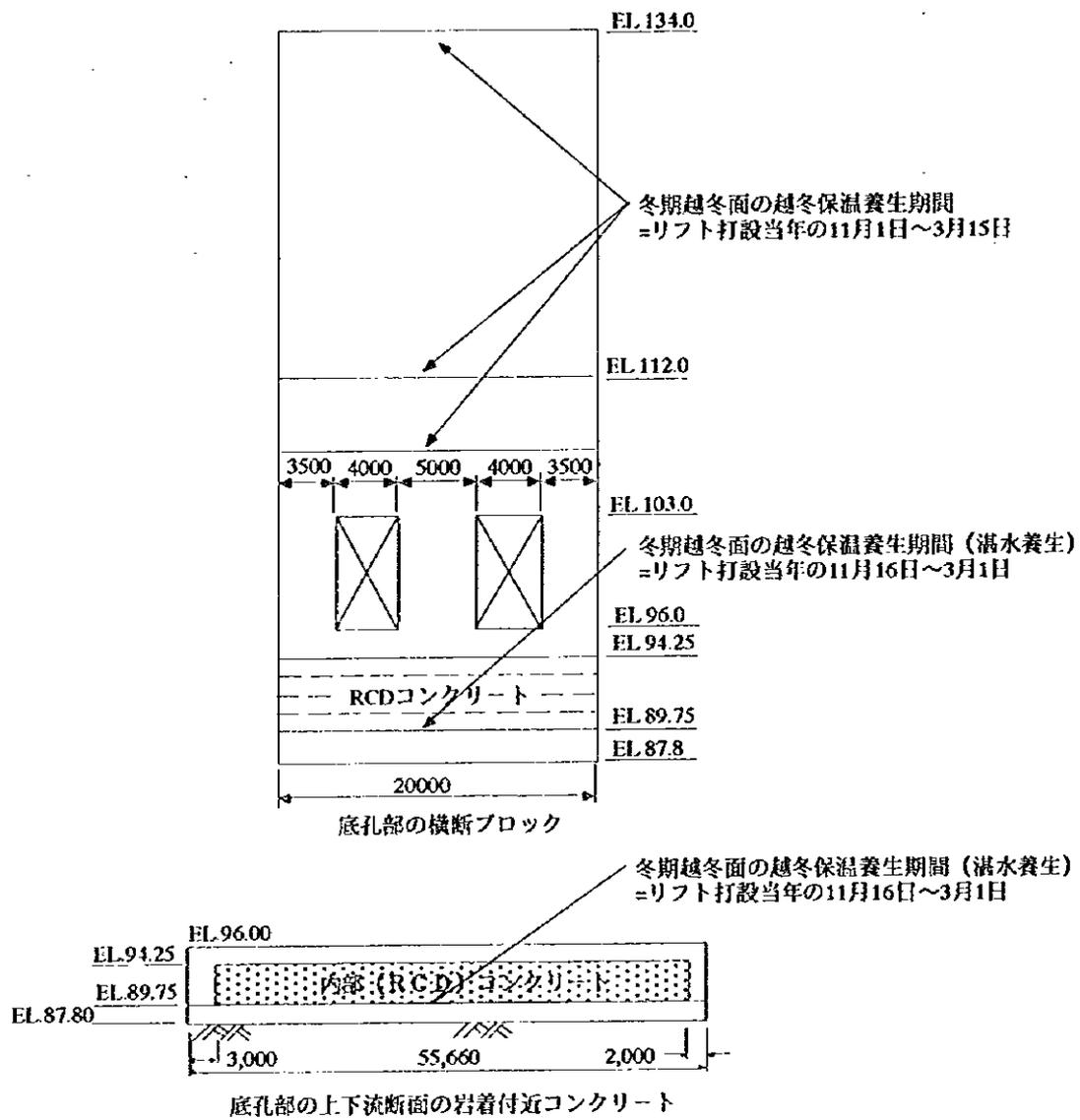


図-3.4.45 底孔部の各箇所の越冬保温養生期間

(3) 解析モデル

底孔部のモデル化は、図-3.4.46に示すように、レアー長が長く底孔開口部からの外気温変化の影響を受ける、岩着付近コンクリート（上下流方向）と、底孔開口部まわりの横断面（ダム軸方向）について行う。それぞれの温度履歴解析モデル、温度応力解析モデル概念図は図-3.4.47～3.4.49に示し、解析メッシュ図は図-3.4.50～3.4.51に示す。解析期間は、岩着付近コンクリート解析モデルについては1996年4月～2000年6月の約4年間とし、横断面解析モデルについては1996年4月～2002年9月の約6年9カ月間（堤体打設完了後3年間）とする。解析時間刻みは、それぞれのモデルとも $\Delta t = 1$ 日とする。

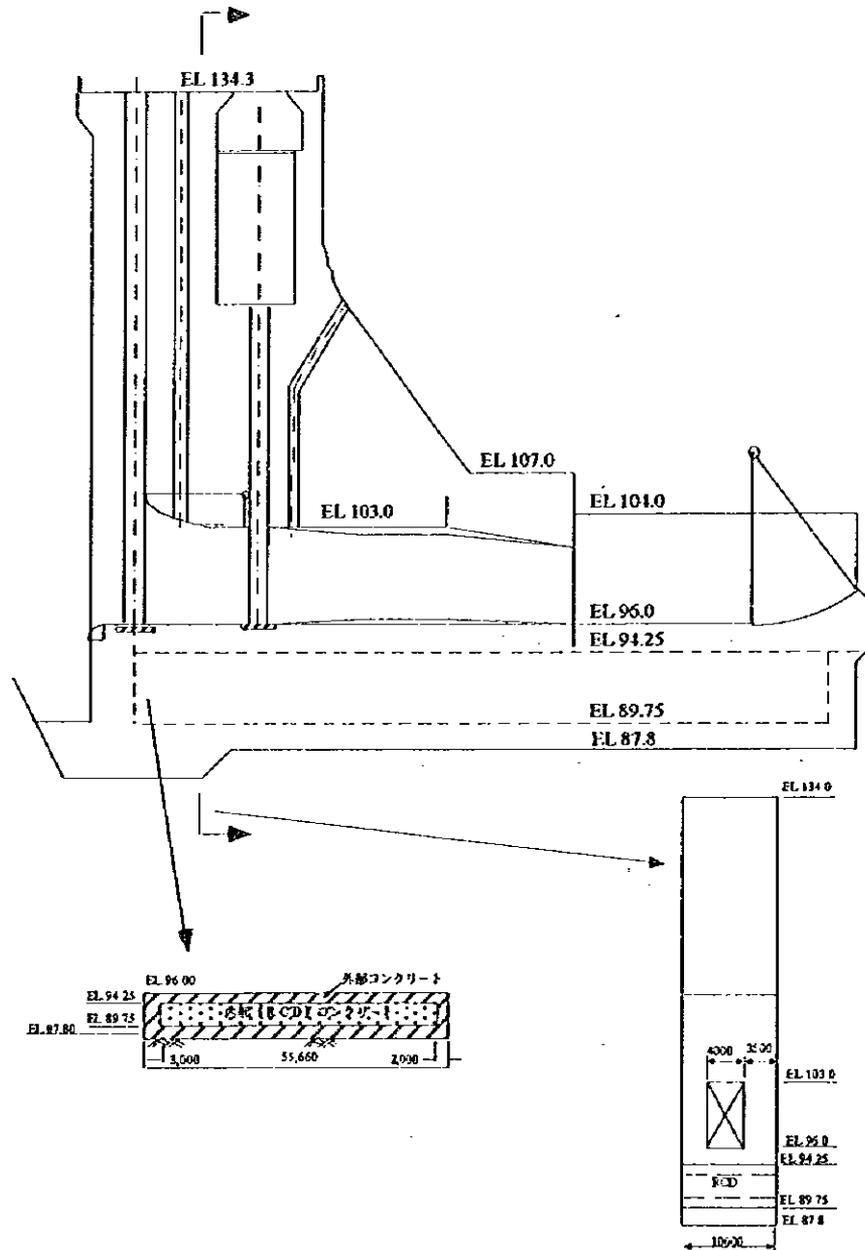


図-3.4.46 底孔部のモデル化概念図

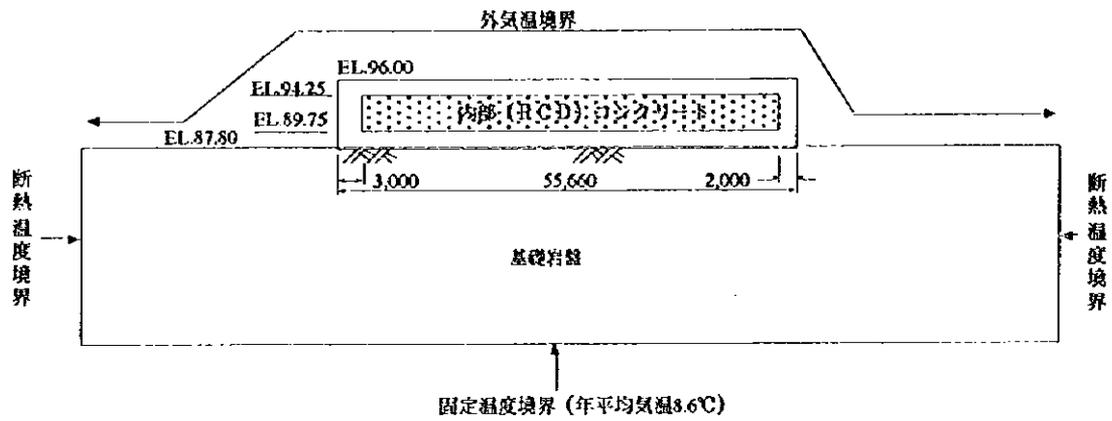


図-3.4.47 底孔部 (BL.20) の岩着付近コンクリートの温度履歴解析モデル概念図

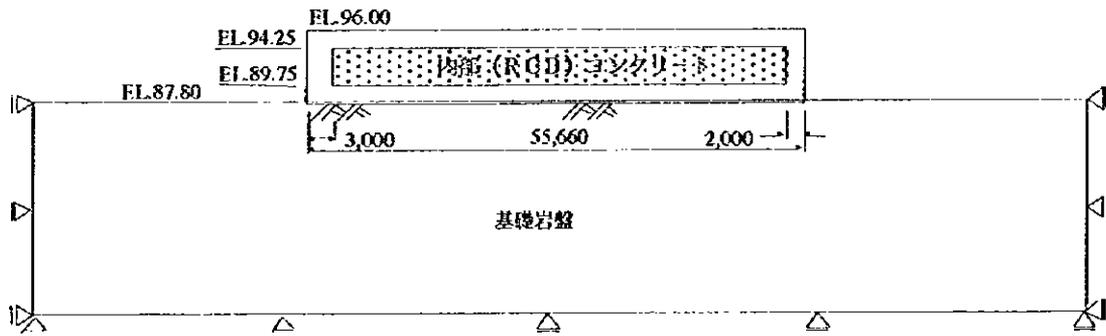


図-3.4.48 底孔部 (BL.20) の岩着付近コンクリートの温度応力解析モデル概念図

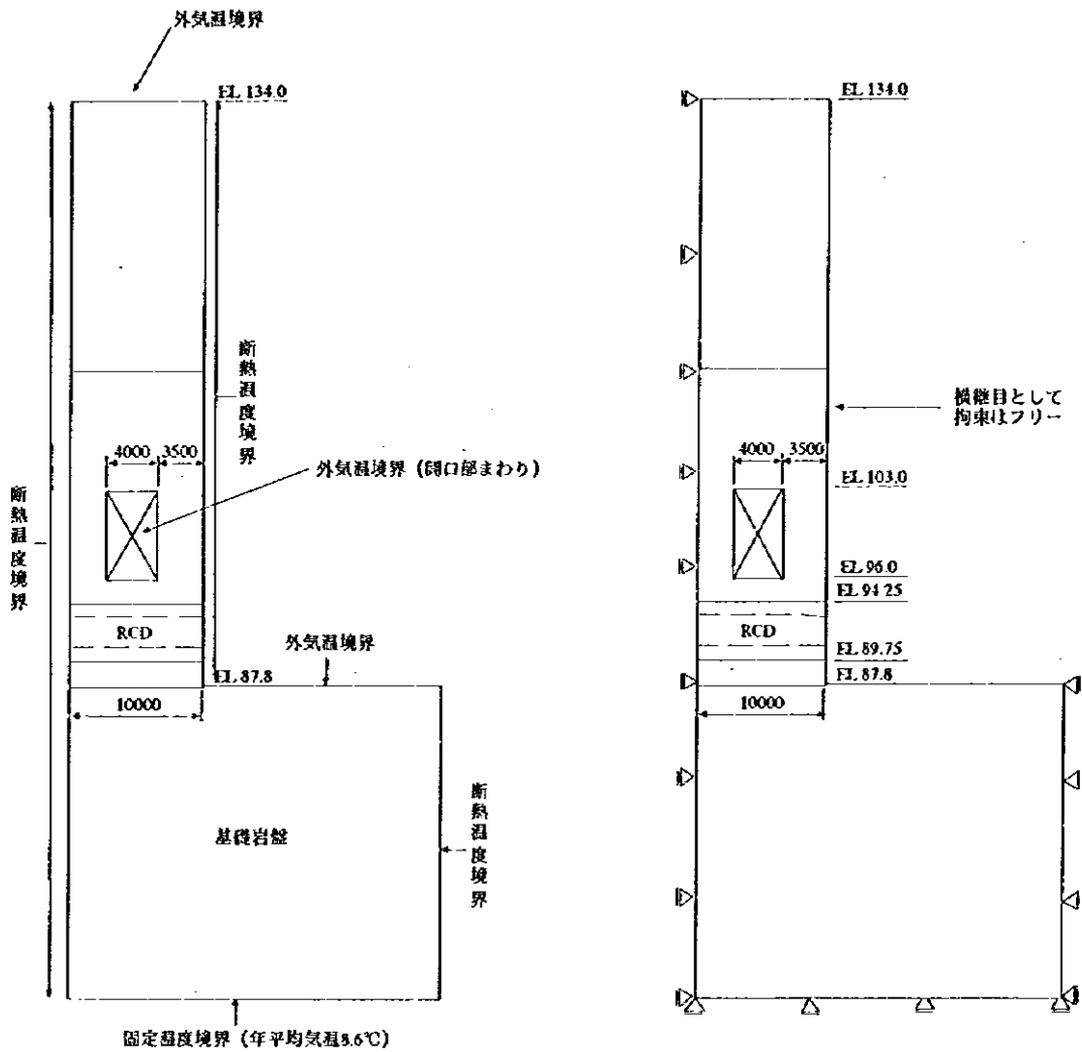


図-3.4.49 底孔部 (BL.20) の横断面の温度履歴、応力解析モデル概念図

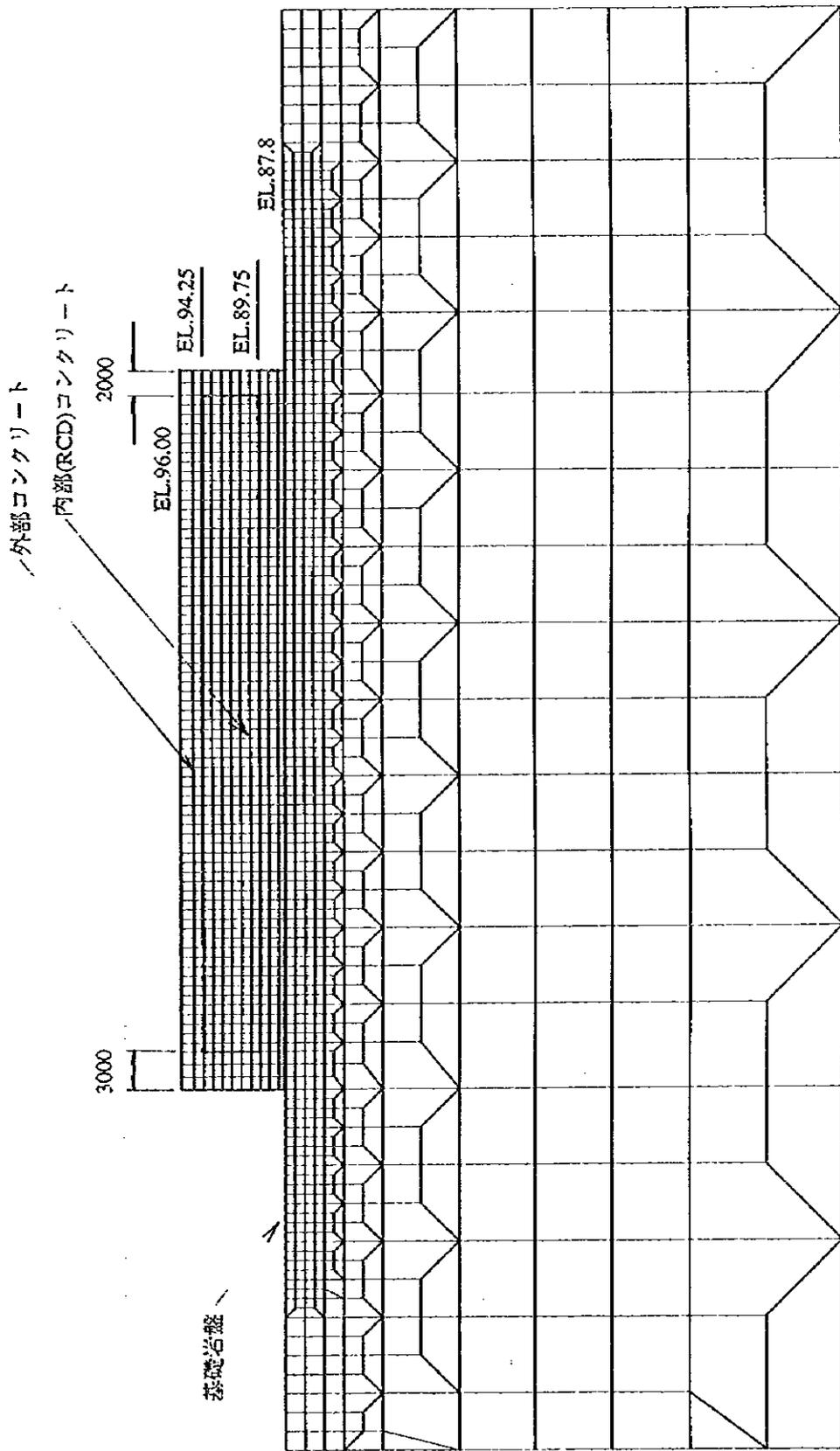


図-3.4.50 解析メッシュ図 (底孔部の岩着付近コンクリート解析モデル)

FOR STRUCTURE 0 20.0 M (1 : 500) LEGEND TOTAL ELEMENTS = 1772 TOTAL NODES = 1863 FIG INPUT DATA M.F.S.H.F.S.

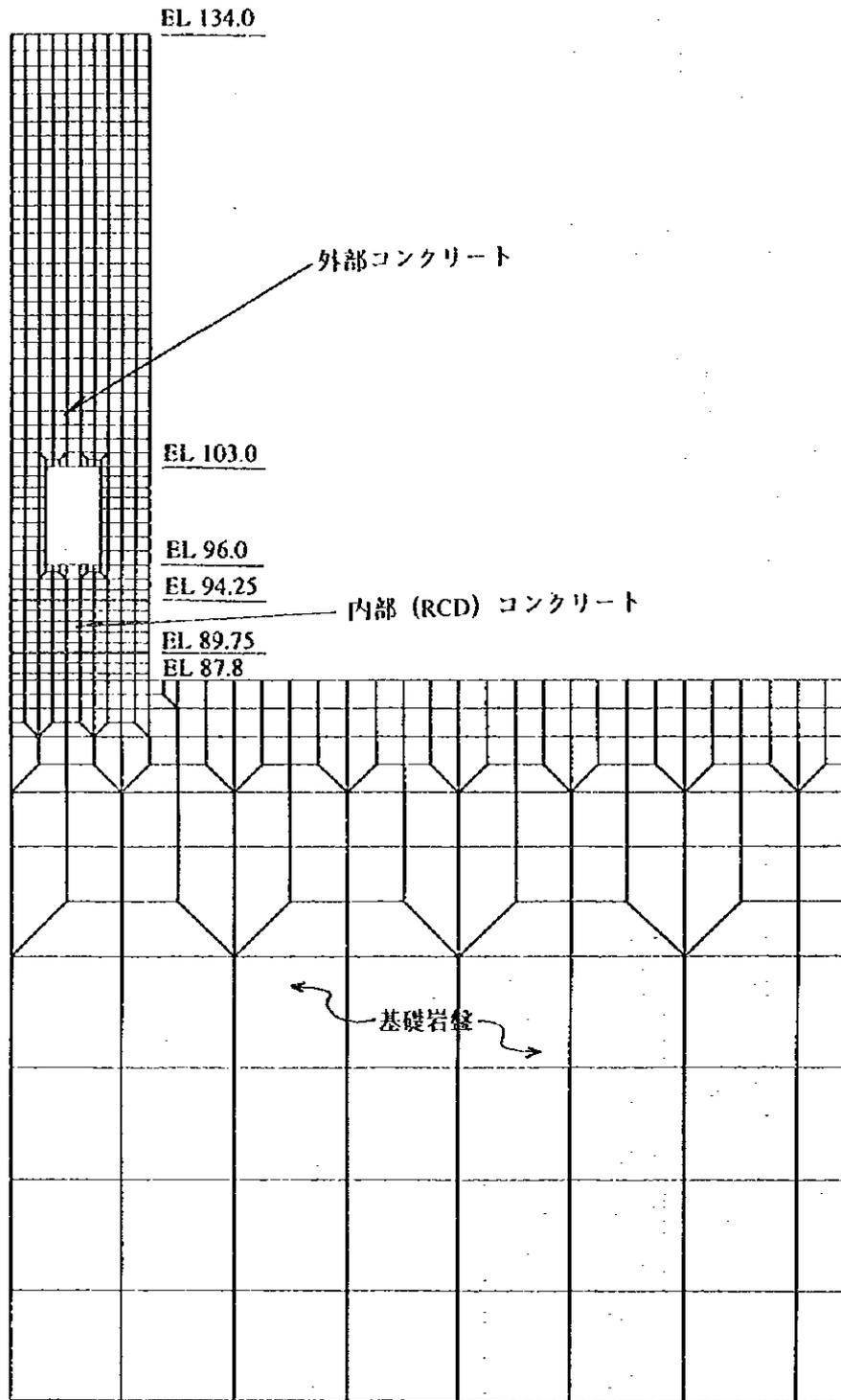
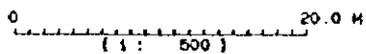


図-3.4.51 解析メッシュ図 (底孔部の横断面解析モデル)

FOR STRUCTURE



LEGEND
TOTAL ELEMENTS = 684
TOTAL NODES = 781

(4) 解析結果

(a) 最高温度

岩着付近コンクリート解析モデル及び横断面解析モデルについての各ケースの各箇所で
の最高温度及びその発生箇所での最低温度、温度低下量は、表-3.4.28~3.4.29に示すと
おりである。図-3.4.52~3.4.59にそれぞれのモデルについての各箇所のケース別の比較図を
示す。

表-3.4.28 各ケースの各箇所で最高温度一覧表（底孔部の岩着付近コンクリート解析モデル）

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱フラックス (Kcal/m ² ・h・℃)	温度項目	岩着部 岩着コンクリート EL.87.8	内部コンクリート中心 RCDコンクリート FL.93.5	開口部下部 外部コンクリート EL.95.0	上下波面 外部コンクリート EL.92.0
ケース1	特になし	対策なし	最高温度	24.3	24.6	30.2	24.6
			最低温度	4.2	2.1	-2.4	-7.0
			温度低下量	20.1	22.5	32.6	31.6
ケース2	上限一律15℃	対策なし	最高温度	24.3	22.1	25.5	24.5
			最低温度	4.2	2.1	-2.4	-7.0
			温度低下量	20.1	20.0	27.9	31.5
ケース3	上限一律15℃	0.95	最高温度	24.3	22.1	25.5	24.5
			最低温度	4.2	5.2	2.5	-1.0
			温度低下量	20.1	16.9	23.0	25.5
ケース4	上限一律15℃	0.49	最高温度	24.3	22.1	25.5	24.5
			最低温度	4.2	6.8	5.0	1.9
			温度低下量	20.1	15.3	20.5	22.6

※ケース1は、底孔開口部下部の外部コンクリート（1.75m）は1回打設

※ケース2~4は、底孔開口部下部の外部コンクリート（1.75m）は2回打設

表-3.4.29 各ケースの各箇所で最高温度一覧表（底孔部の横断面解析モデル）

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱フラックス (Kcal/m ² ・h・℃)	温度項目	開口部下部 外部コンクリート EL.96.0 11リフト	開口部中心側 外部コンクリート HL.100.0 13リフト	開口部横断目側 外部コンクリート EL.100.0 13リフト	開口部上部 外部コンクリート EL.105.0 16リフト
ケース1	特になし	対策なし	最高温度	28.8	35.0	35.0	27.6
			最低温度	-3.3	-4.4	-1.8	-5.8
			温度低下量	32.1	39.4	36.8	33.4
ケース2	上限一律15℃	対策なし	最高温度	25.6	28.9	29.0	24.6
			最低温度	-3.3	-4.4	-1.8	-5.8
			温度低下量	28.9	33.3	30.8	30.4
ケース3	上限一律15℃	0.95	最高温度	25.6	28.9	29.0	24.6
			最低温度	3.0	1.3	3.6	-0.2
			温度低下量	22.6	27.6	25.4	24.8
ケース4	上限一律15℃	0.49	最高温度	25.6	28.9	29.0	24.6
			最低温度	5.5	4.5	6.1	3.1
			温度低下量	20.1	24.4	22.9	21.5
ケース5	上限15~18℃	0.95	最高温度	25.6	28.9	29.0	24.5
			最低温度	3.0	1.3	3.6	-0.2
			温度低下量	22.6	27.6	25.4	24.7

※すべてのケースにおいて、底孔開口部下部の外部コンクリート（1.75m）は2回打設

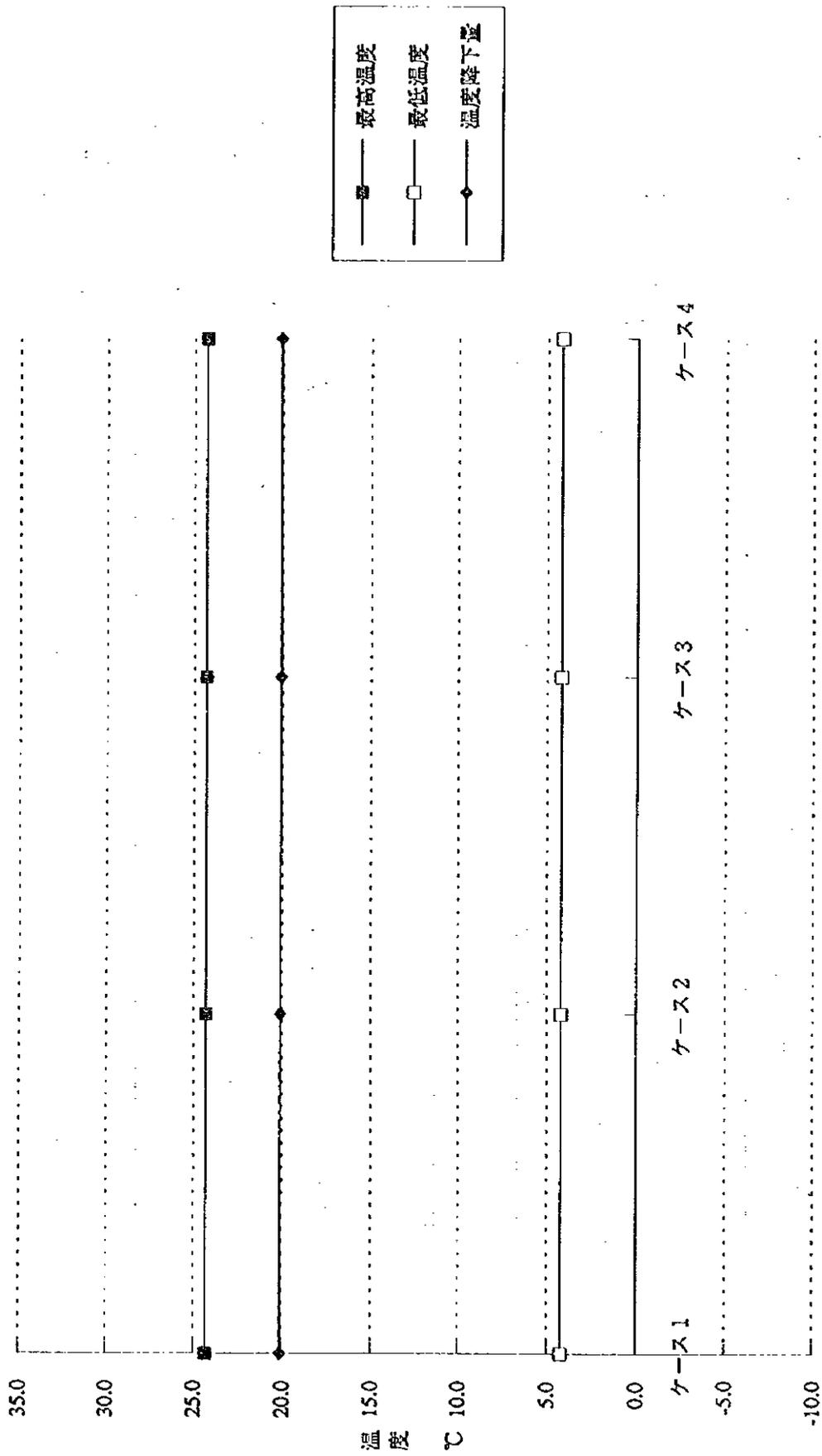


図-3.4.52 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (底孔部、岩着付近、岩着部)

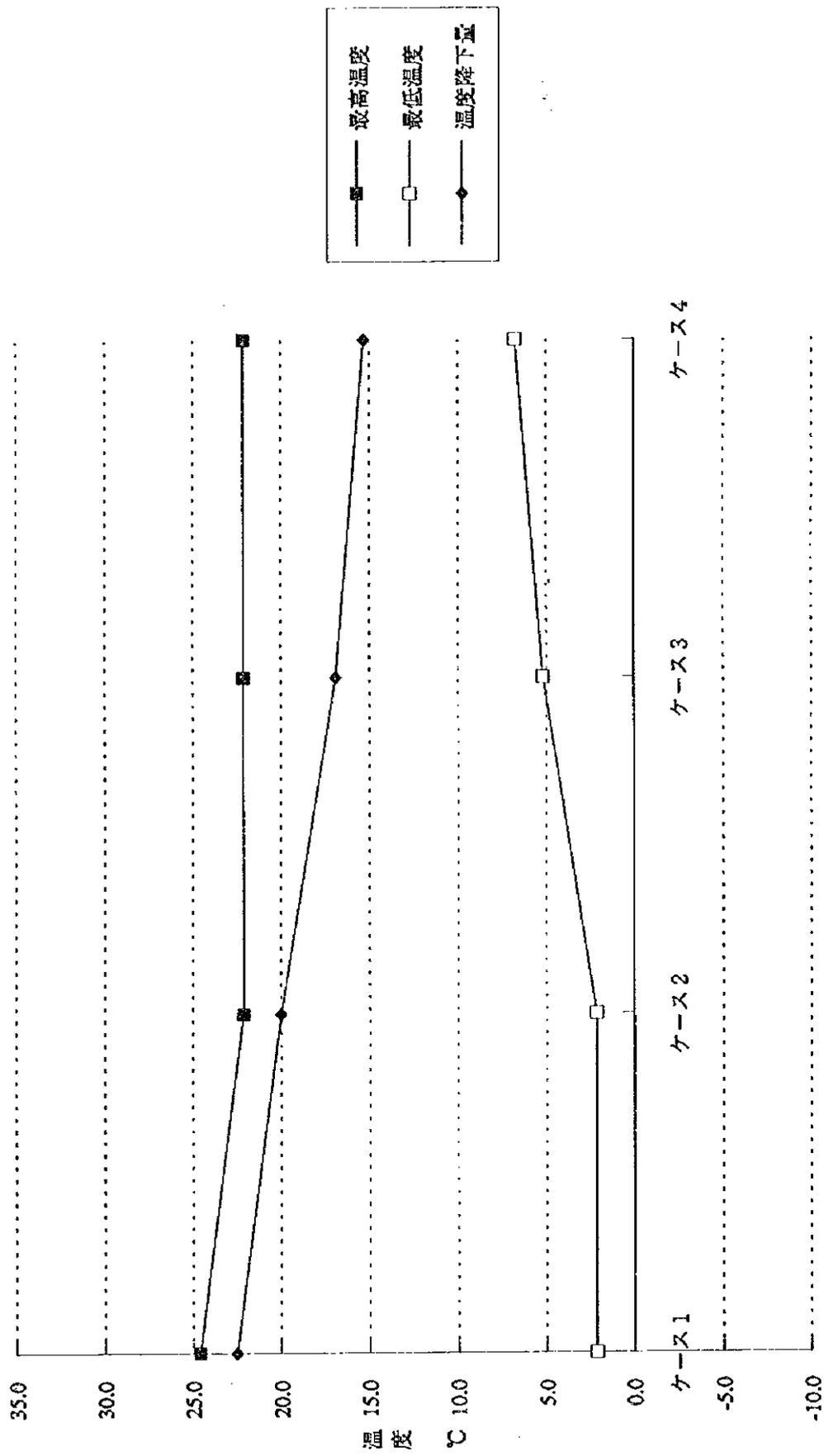


図-3.4.53 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量（底孔部、岩着付近、内部コンクリート）

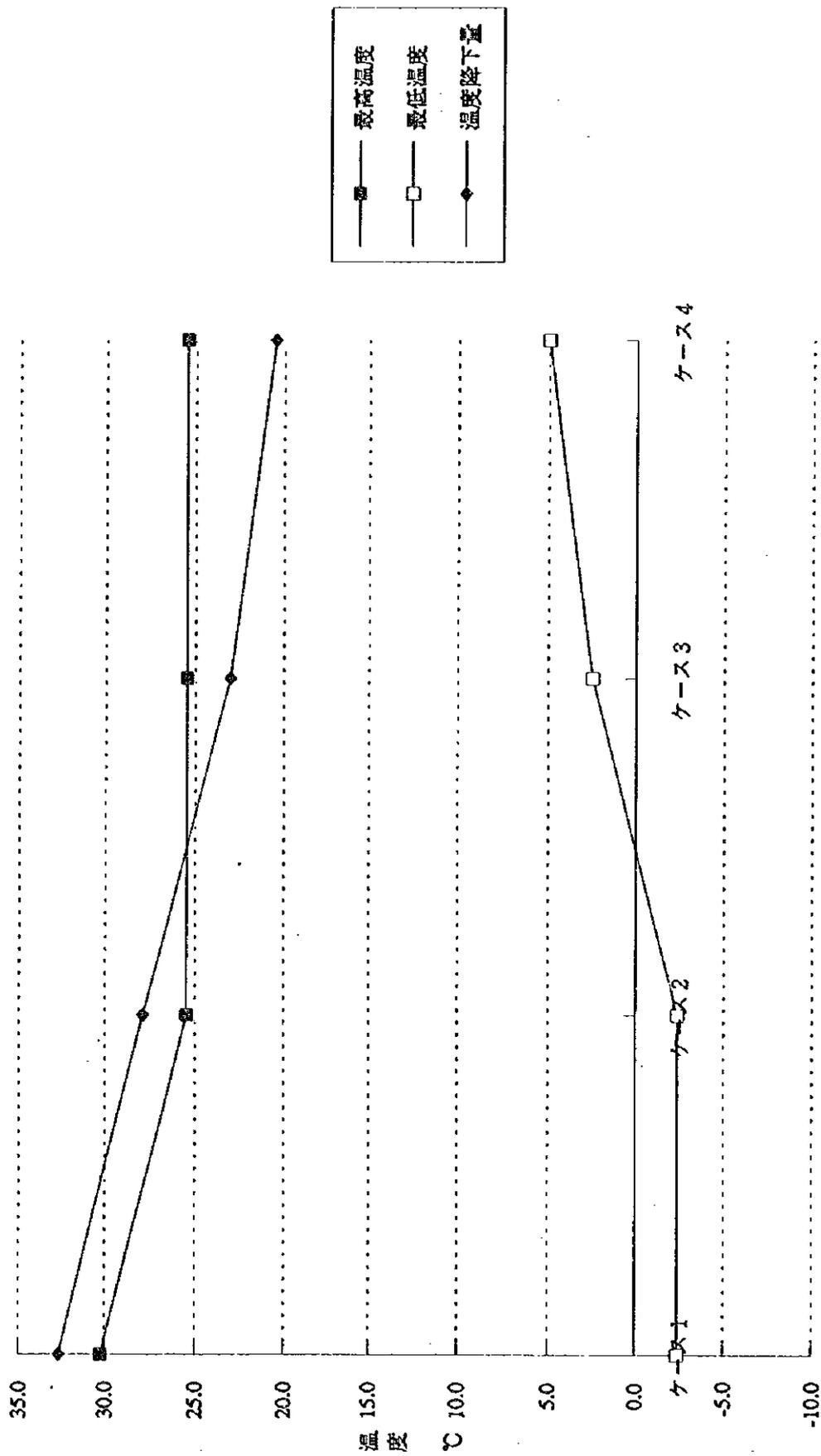


図-3.4.54 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (底孔部、岩着付近、開口部下部)

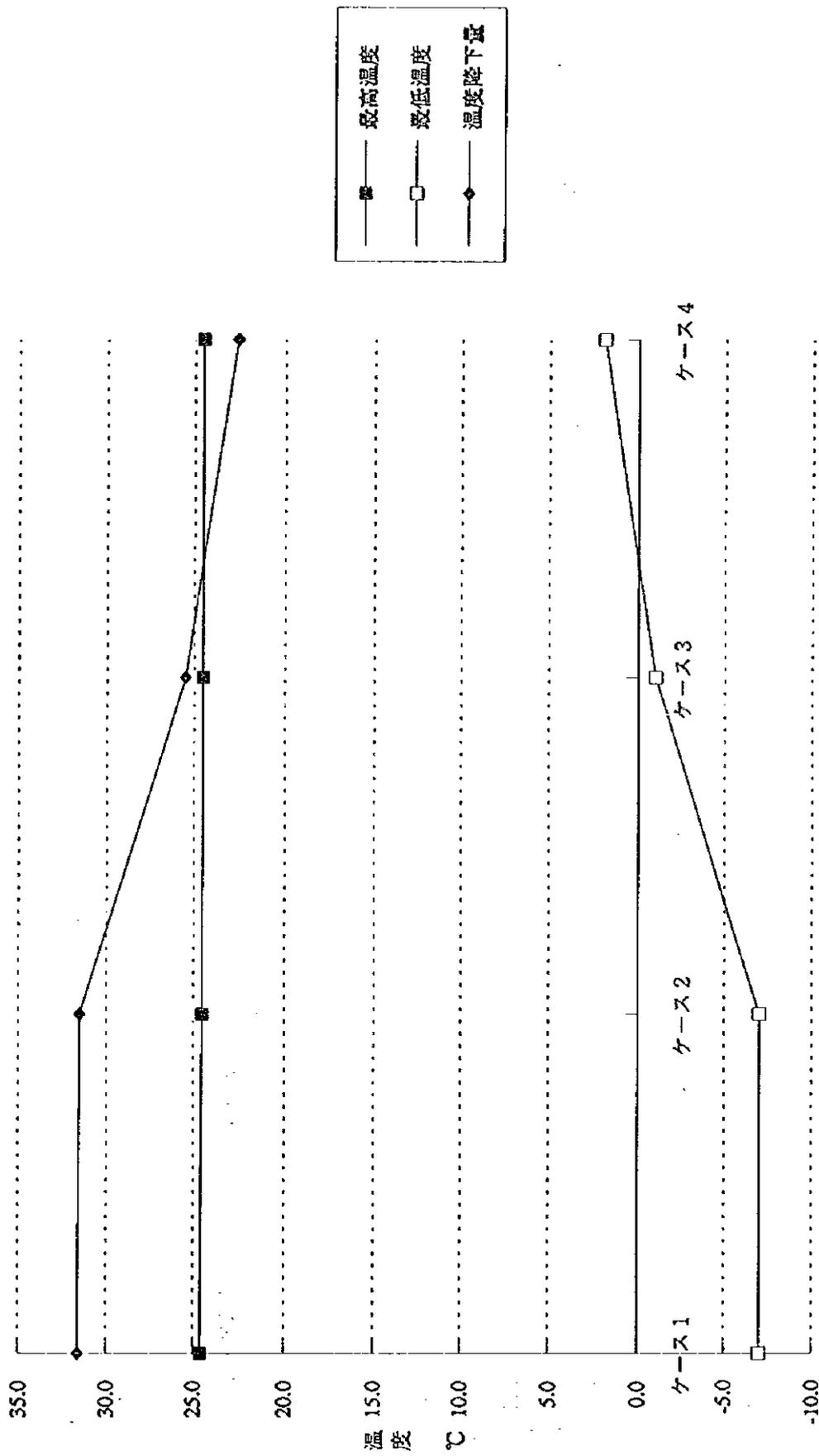


図-3.4.55 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (底孔部、岩着付近、上下流面)

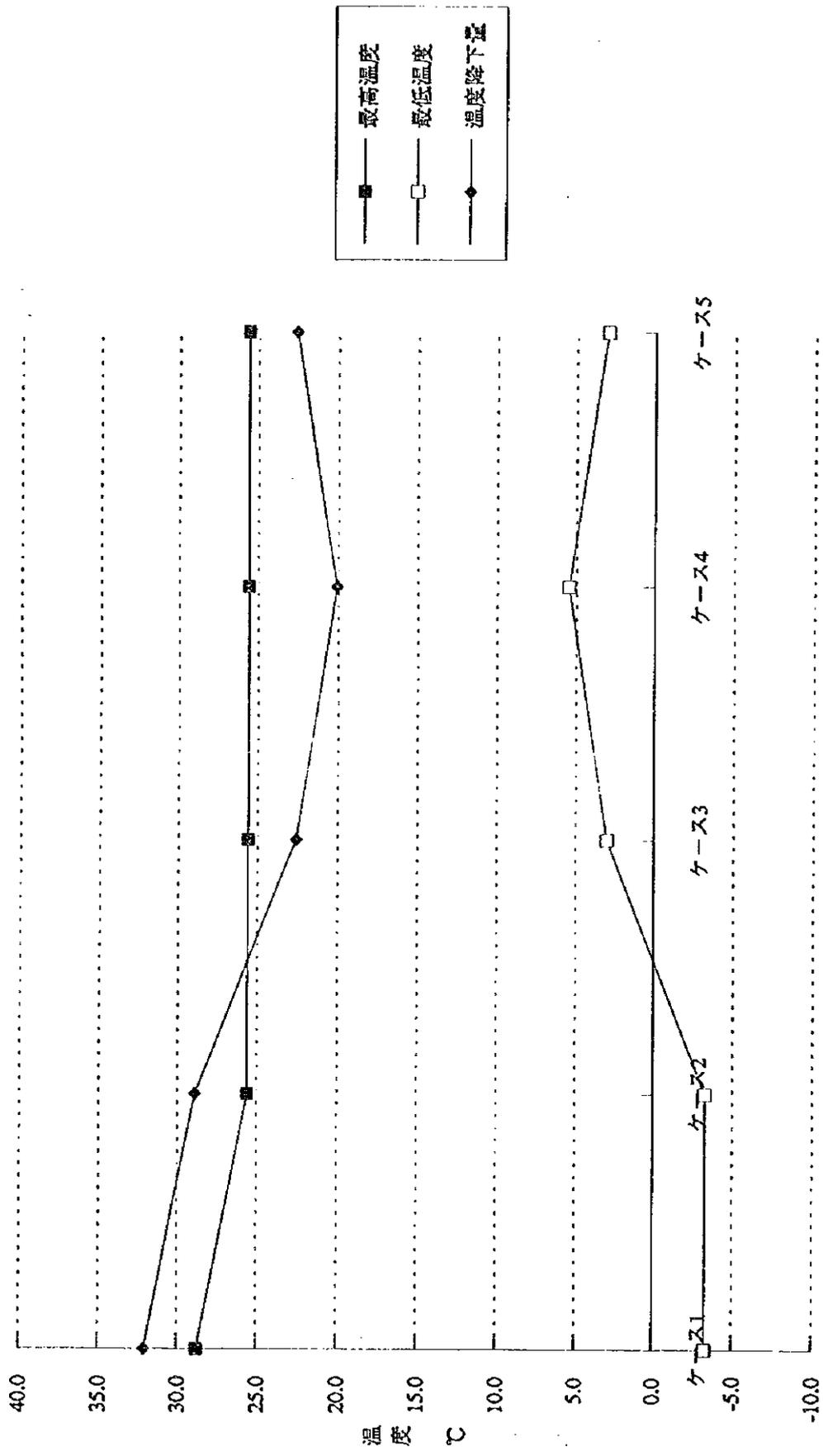


図-3.4.56 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量（感孔部、横断、開口部下部）

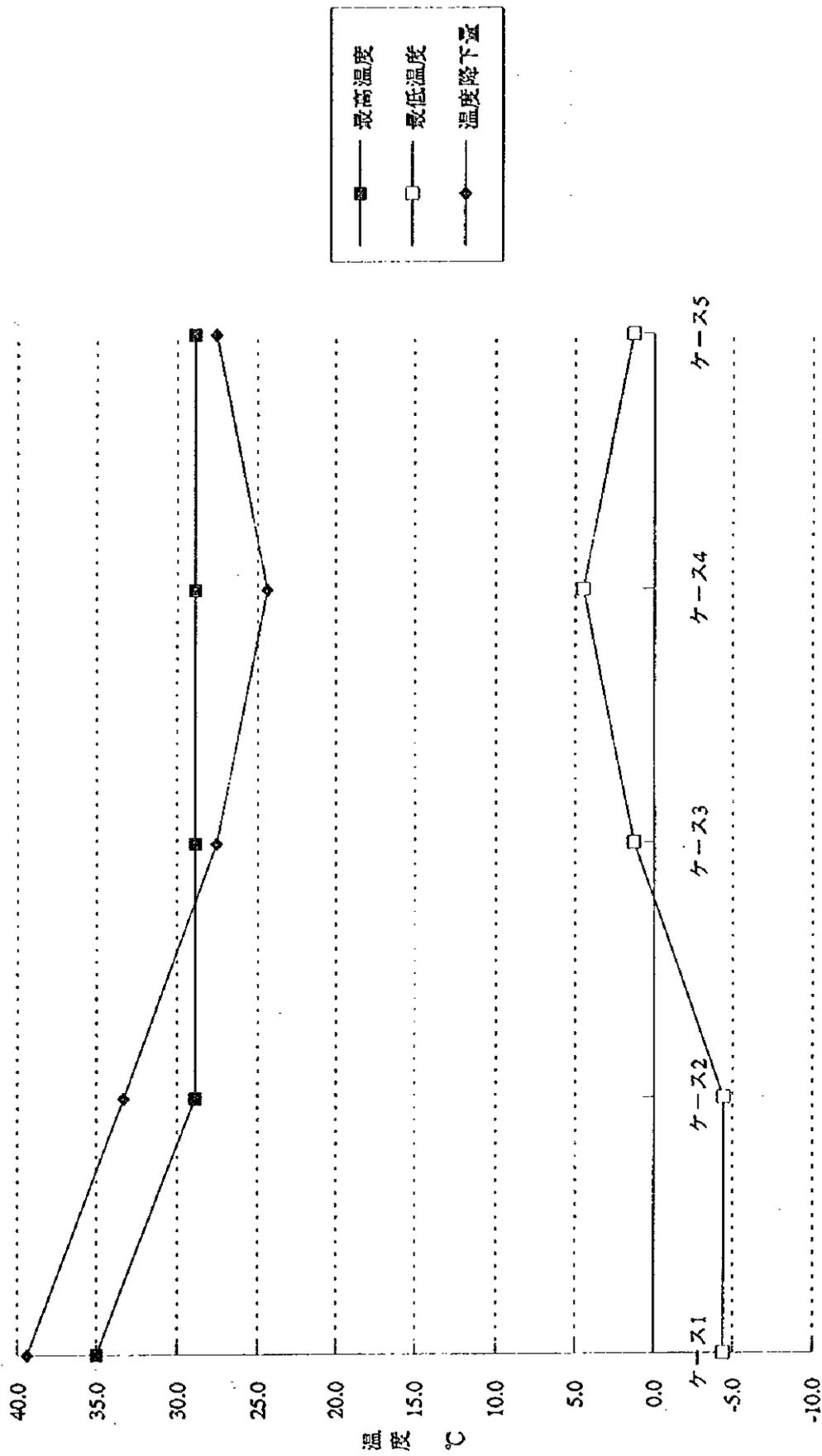


図-3.4.57 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (底孔部、横断、開口部中心側)

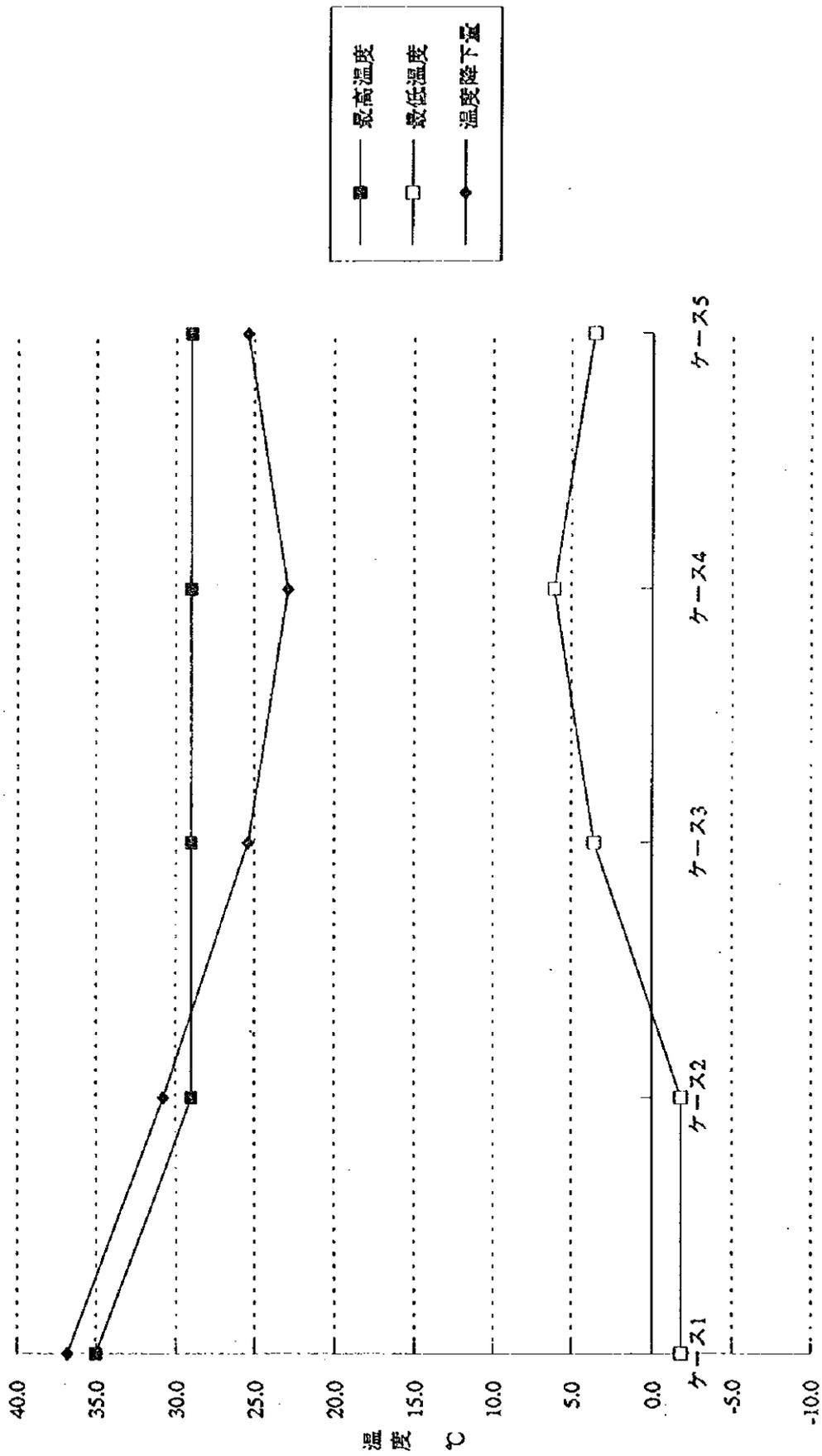


図-3.4.58 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (底孔部、横断、開口部横継目側)

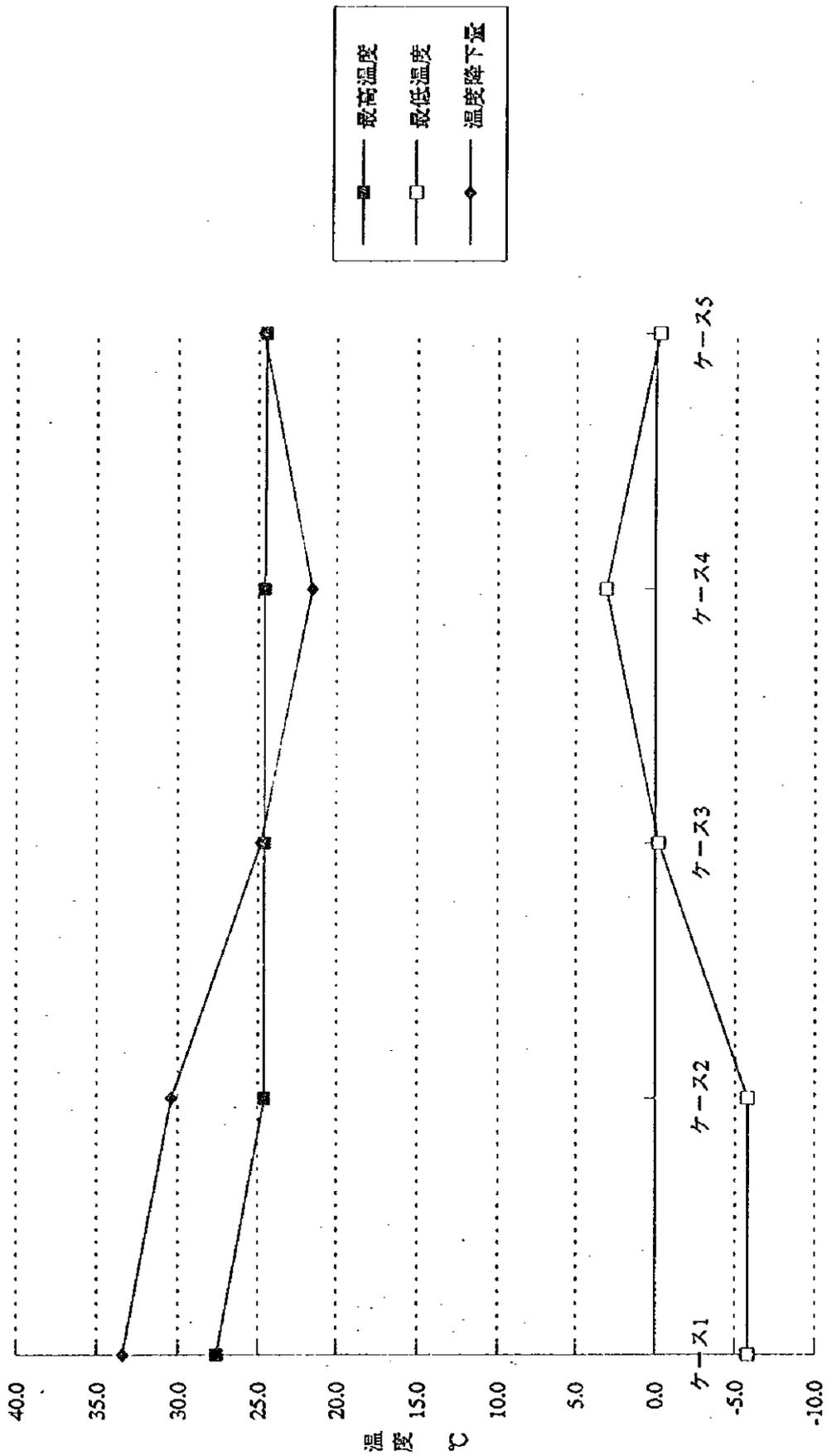


図-3.4.59 各ケースの最高温度、最低温度、温度降下量 (底孔部、横断、開口部上部)

(b) 最大引張ひずみ

岩着付近コンクリート解析モデル及び横断面解析モデルについての各ケースの各箇所での最大引張ひずみは、表-3.4.30~3.4.31に示すとおりである。それぞれのモデルについての各ケースの最大引張ひずみ分布図は、図-3.4.60~3.4.68に示す。

表-3.4.30 各ケースの各箇所での最大引張ひずみ一覧表(底孔部の岩着付近コンクリート)

単位: $\times 10^{-4}(\mu\epsilon)$

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱エネルギー ($\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	岩着部 岩着コンクリート EL.87.8 ~89.75	内部コンクリート中心 RCDコンクリート EL.89.75 ~94.25	開口部下部 外部コンクリート EL.94.25 ~96.0	上下流面 外部コンクリート 上下流面
ケース1	特になし	対策なし	72	88	180	158
ケース2	上限一律 15°C	対策なし	72	50	110	144
ケース3	上限一律 15°C	0.95	72	37	63	112
ケース4	上限一律 15°C	0.49	72	33	40	98

※ケース1は、底孔開口部下部の外部コンクリート(1.75m)は1回打設

※ケース2~4は、底孔開口部下部の外部コンクリート(1.75m)は2回打設

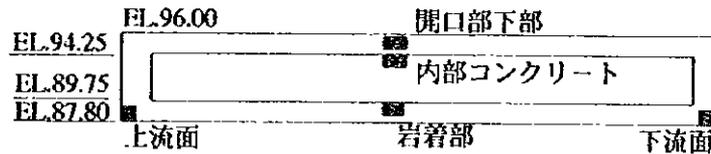
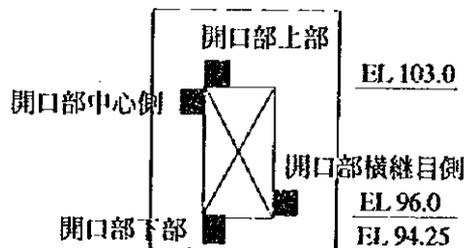


表-3.4.31 各ケースの各箇所での最大引張ひずみ一覧表(底孔部の横断面解析モデル)

単位: $\times 10^{-4}(\mu\epsilon)$

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱エネルギー ($\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	開口部下部 外部コンクリート EL.95.0 ~96.0 11割	開口部中心側 外部コンクリート EL.101.5 ~103.0 15割	開口部横継目側 外部コンクリート EL.96.0~ ~EL.98.0 12割	開口部上部 外部コンクリート EL.103.0 ~105.0 16割
ケース1	特になし	対策なし	180	125	100	207
ケース2	上限一律 15°C	対策なし	114	137	94	226
ケース3	上限一律 15°C	0.95	47	70	75	130
ケース4	上限一律 15°C	0.49	47	55	75	97
ケース5	上限 $15\sim 18^\circ\text{C}$	0.95	47	68	75	136

※すべてのケースにおいて、底孔開口部下部の外部コンクリート(1.75m)は2回打設



THERMAL STRESS ANALYSIS IN HAKUSEKI (Basic Case)

単位: μ ($\times 10^{-6}$)

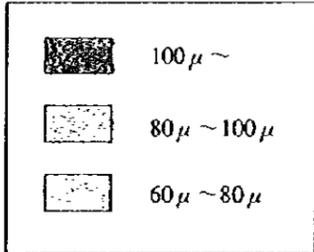
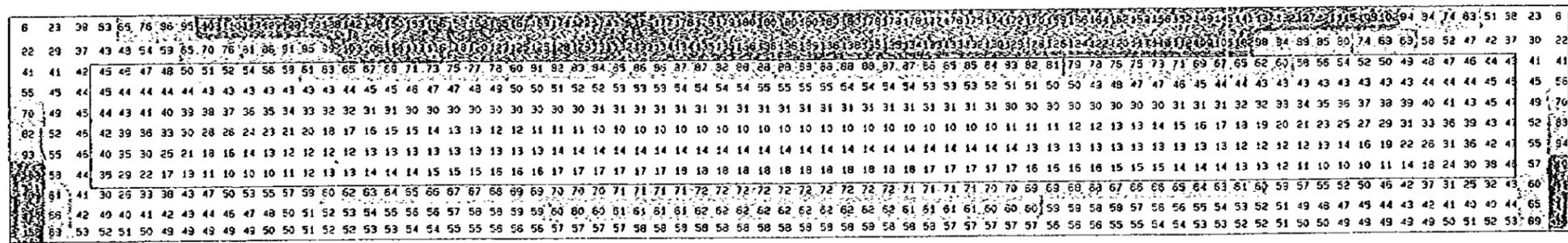


図-3.4. 60 ケース 1 の最大引張ひずみ分布図 (底孔部の岩着付近コンクリート解析モデル)

FOR STRUCTURE

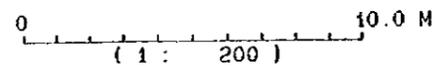


FIG SAFETY FACTOR (300)

THERMAL STRESS ANALYSIS IN HAKUSEKI (Case2)

単位：μ (×10⁻⁶)

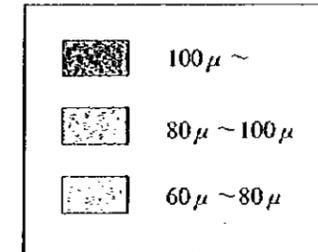
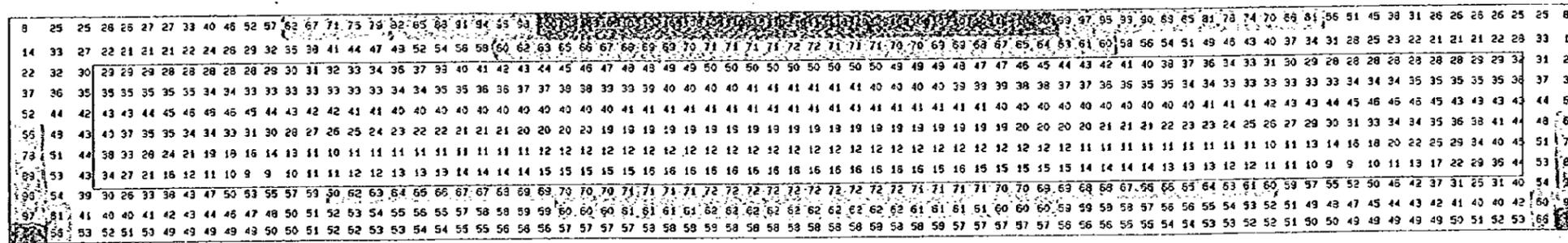


図-3.4. 61 ケース2の最大引張ひずみ分布図 (底孔部の岩着付近コンクリート解析モデル)

FOR STRUCTURE

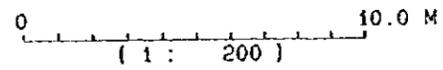


FIG SAFETY FACLOB (300)

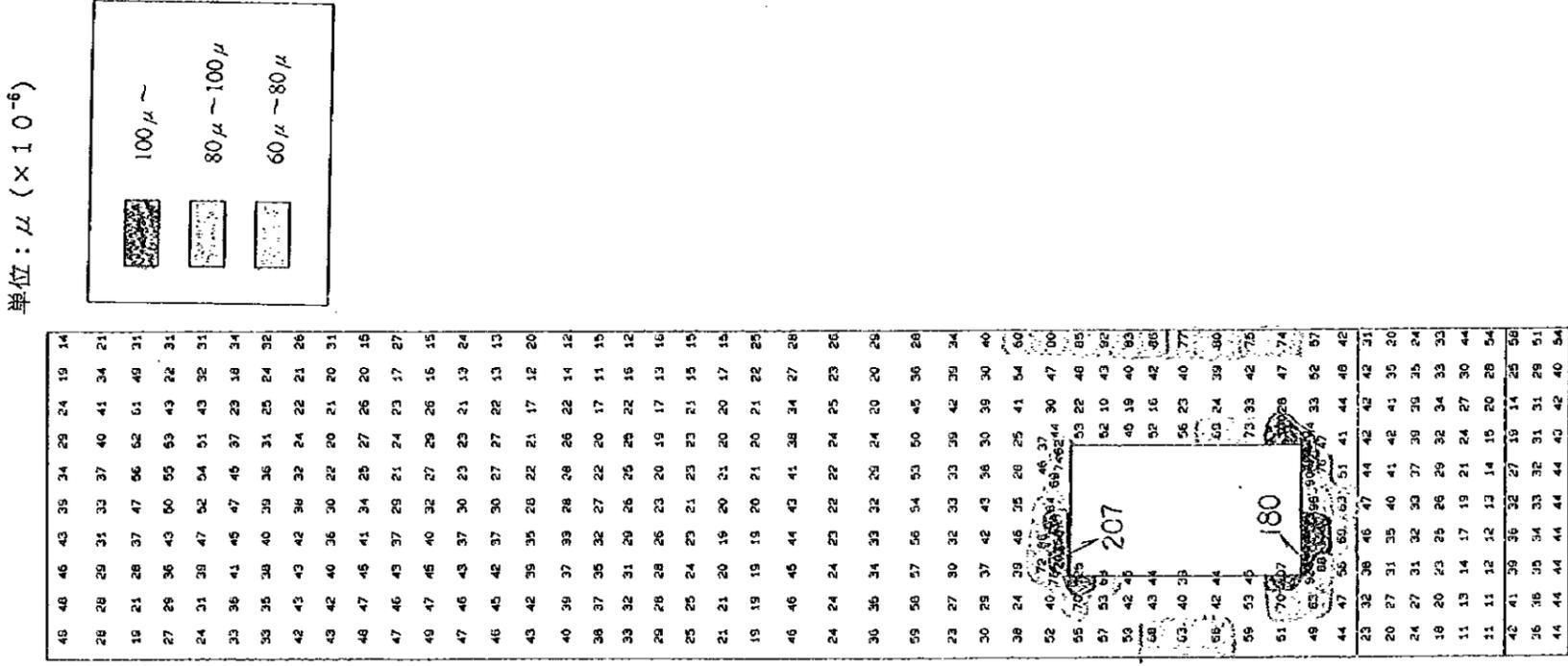


図-3.4.64 ケース1の最大引張ひずみ分布図(底孔部の横断解析モデル)

FOR STRUCTURE 0 (1 : 200) 10.0 M

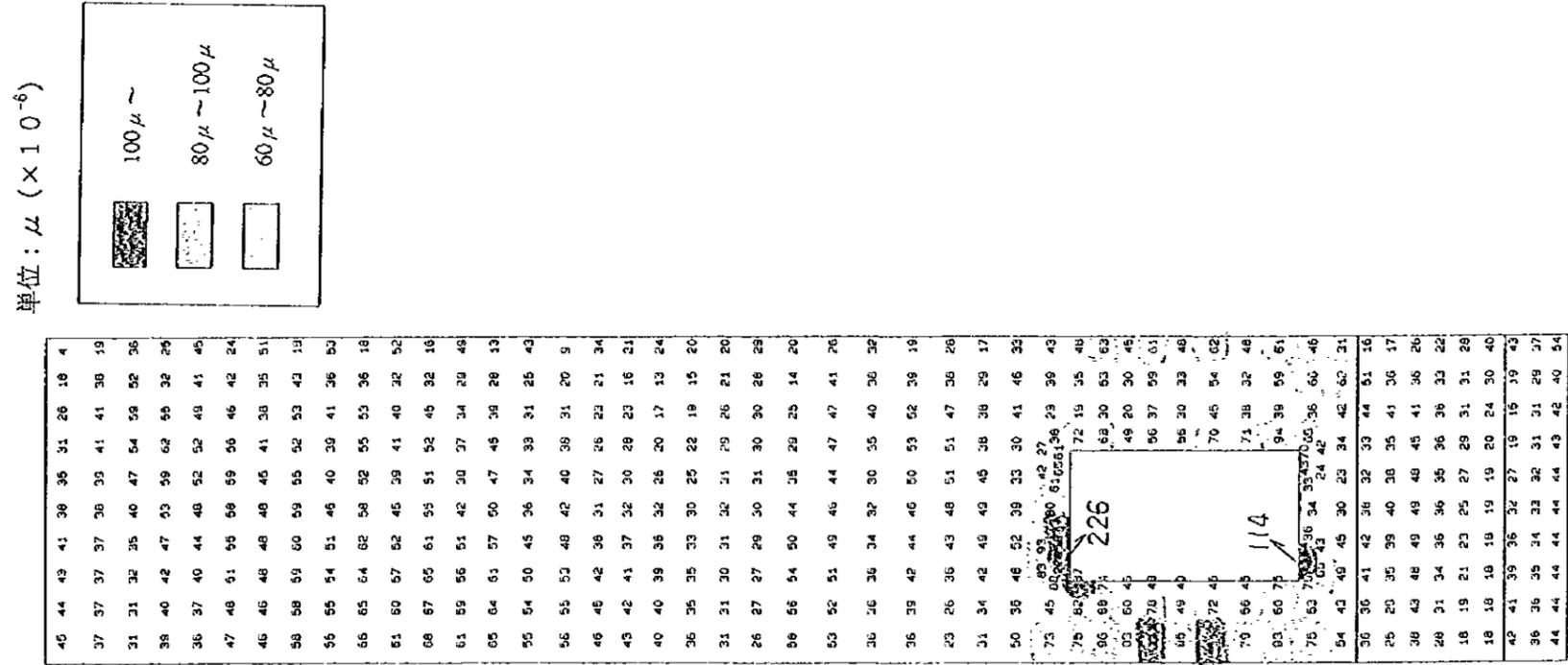


図-3.4.65 ケース2の最大引張ひずみ分布図 (底孔部の横断解析モデル)

FOR STRUCTURE 0 10.0 M (1 : 200)

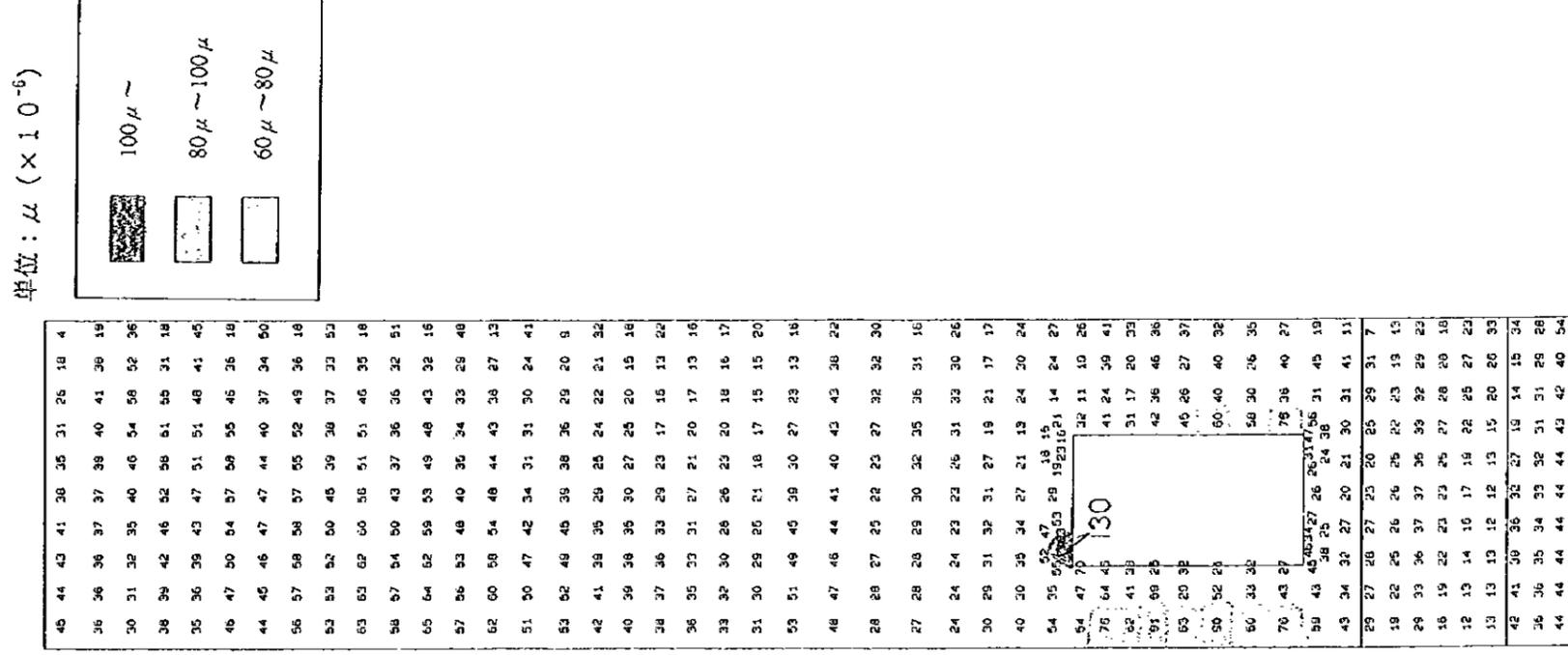


図-3.4.66 ケース3の最大引張ひずみ分布図(底孔部の横断解析モデル)

FOR STRUCTURE 0 10.0 M (1:200)

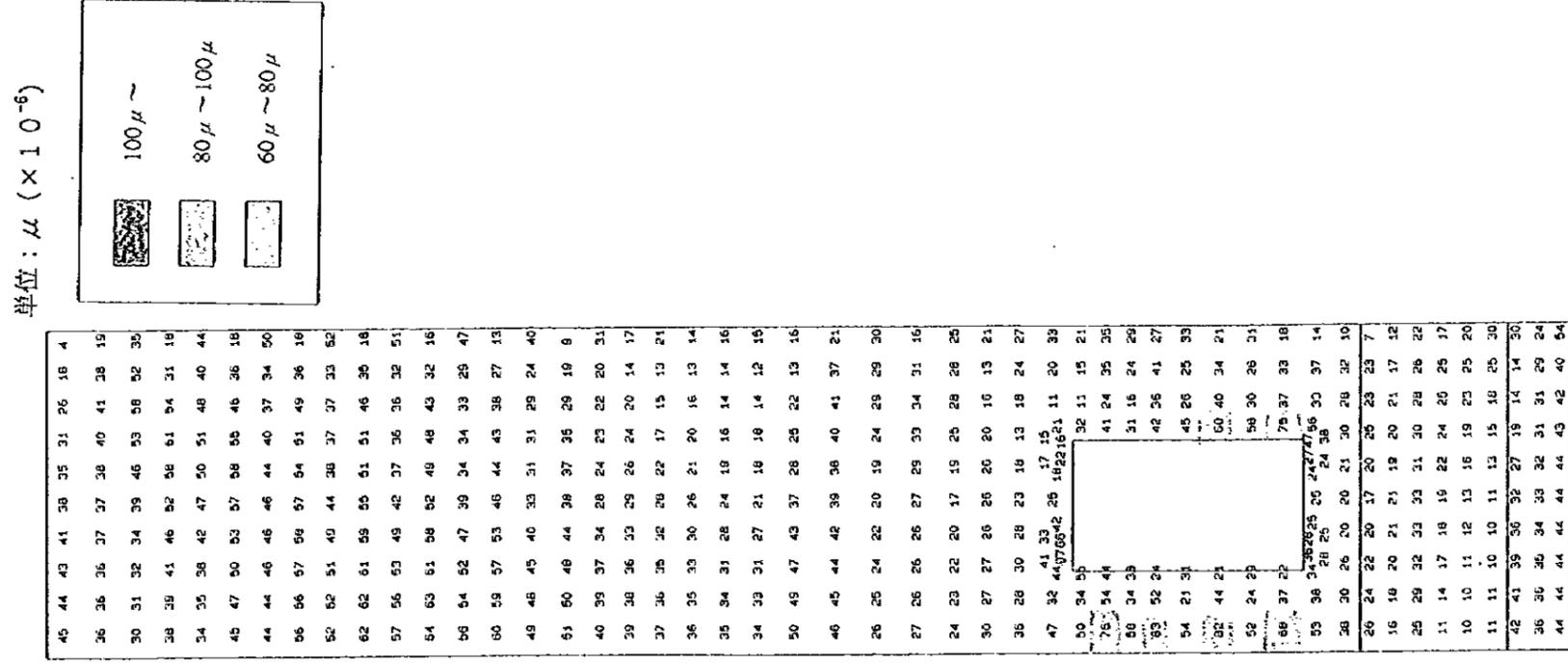


図-3.4.67 ケース4の最大引張ひずみ分布図(底孔部の横断解析モデル)

FOR STRUCTURE 0 10.0 M
 (1 : 200)

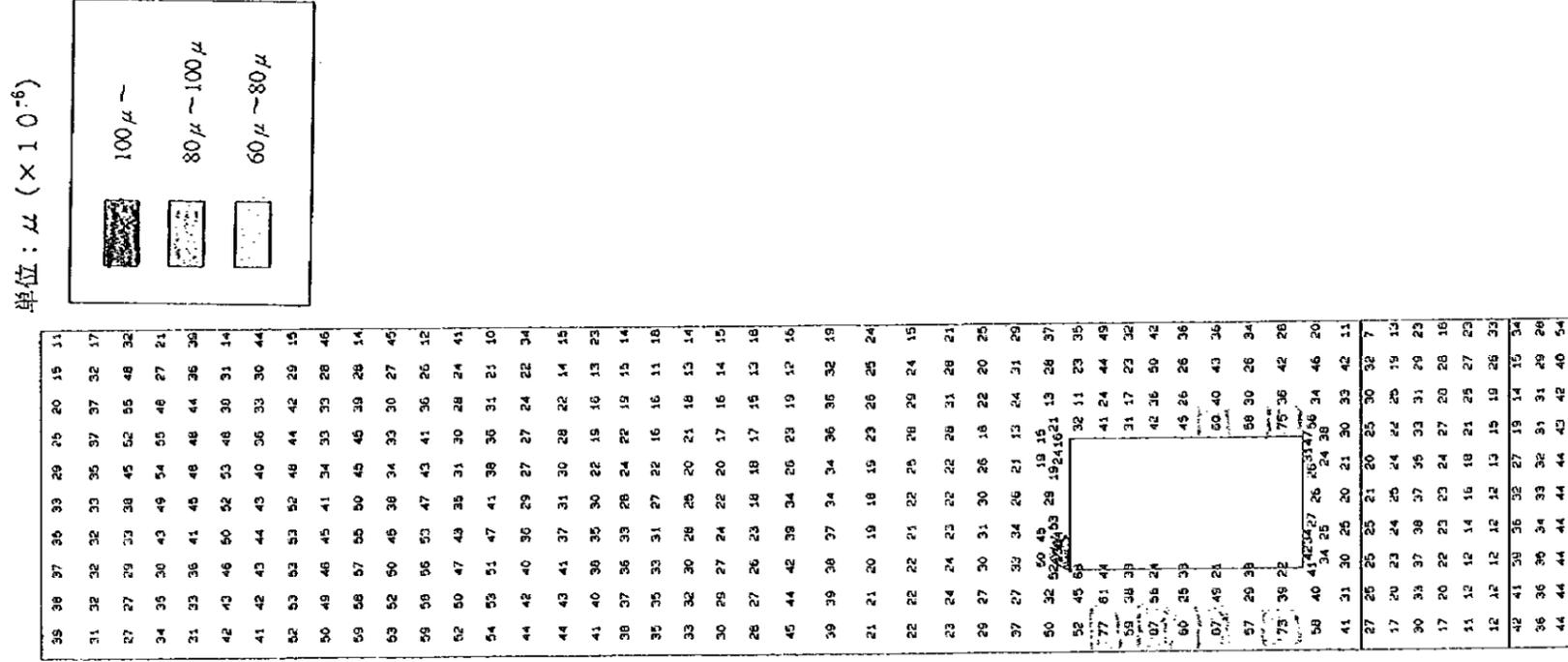


図-3.4.68 ケース5の最大引張ひずみ分布図 (底孔部の横断解析モデル)

FOR STRUCTURE 0 10.0 M (1 : 200)

(5) コンクリートクラック抑制対策の検討

温度応力解析結果から、打込み温度の制限、冬期打止め面の保温養生、底孔の開口部の保温養生などの対策工法を比較検討し、適切なコンクリートクラックの抑制対策工法を選定する。

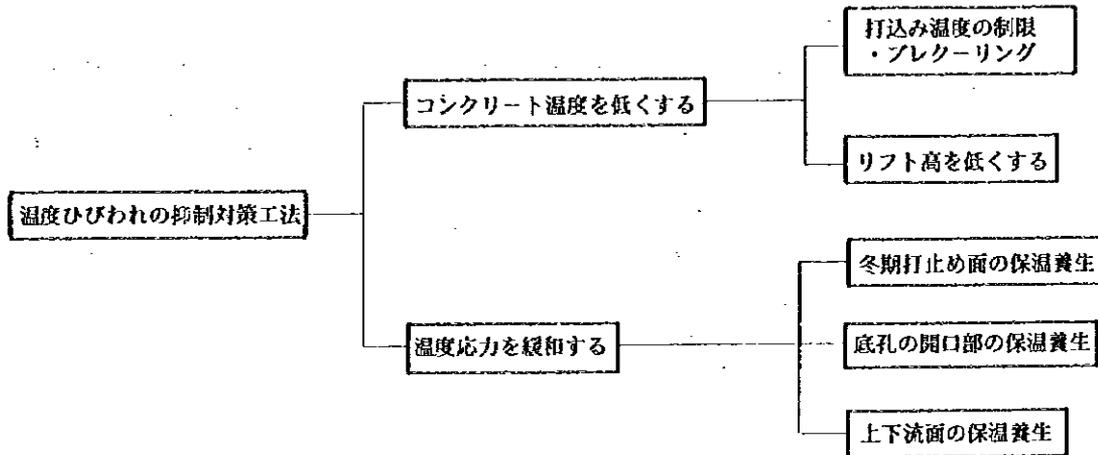


図-3.4.69 コンクリートクラック抑制対策方法の分類

底孔部（上下流面）の岩着付近コンクリートにおける温度応力解析結果について、コンクリートの許容引張ひずみを一般的な値である 100×10^{-6} (100μ) として評価すると、次のことがいえる。

- ・1996年に打設された岩着コンクリートの最大引張ひずみは、 72μ であり問題ないことがわかった。
- ・越冬後、打設を再開するリフト（RCDコンクリート）の最大引張ひずみは、 16μ であり問題ないことがわかった。
- ・底孔開口部における外部コンクリート（EL.94.25m～EL.96.00m）については、特に対策を行わない場合（ケース1）には、広い範囲で 100μ 以上の値が生じており、最大で 180μ の引張ひずみが生じており、何らかの対策を行う必要がある。
- ・上下流面の外部コンクリートについては、EL.87.8m～90.5mの範囲に 100μ 以上の引張ひずみが生じており、最大で 158μ の引張ひずみが堤体堤址部において生じており、何らかの対策を行う必要がある。

以上より、底孔開口部における外部コンクリート（EL.94.25m～EL.96.00m）、上下流面の外部コンクリートに温度応力的に問題が生じ、打込み温度の制限（ブレーキングの実施）及び越冬保温養生の対策を行った結果、以下のことがわかった。

底孔開口部における外部コンクリート

- ・ブレーキングの実施（打設温度規制値= 15°C ）及び外部コンクリート（EL.94.25m～EL.96.00m）の厚さ1.75mの打設を1リフト打設から2リフト打設に変更した場合、引張ひずみ 100μ 以上の範囲は小さくなり、最大引張ひずみは 180μ から 110μ に低減し、効果があることがわかった（ケース2）。
- ・上記の対策に加え、越冬保温養生（ $h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ）を行った場合、引張ひずみ

100 μ 以上の発生箇所はなくなり、最大引張ひずみは110 μ から63 μ に低減した(ケース3)。

- ・さらに、 $h=0.49$ (Kcal/m²・h・°C)となる越冬保温養生を行った場合、最大引張ひずみは63 μ から40 μ に低減した(ケース4)。

上下流面の外部コンクリート

- ・ブレーキングの実施(打設温度規制値=15°C)及び外部コンクリート(EL.94.25m~EL.96.00m)の厚さ1.75mの打設を1リフト打設から2リフト打設に変更した場合、引張ひずみ100 μ 以上の範囲は小さくなり、最大引張ひずみは158 μ から144 μ に低減した(ケース2)。
- ・上記の対策に加え、越冬保温養生($h=0.95$ (Kcal/m²・h・°C))を行った場合、引張ひずみ100 μ 以上の発生箇所は限られた範囲となり、最大引張ひずみは144 μ から112 μ に低減した(ケース3)。
- ・さらに、 $h=0.49$ (Kcal/m²・h・°C)となる越冬保温養生を行った場合、引張ひずみ100 μ 以上の発生箇所はなくなり、最大引張ひずみは112 μ から98 μ に低減した(ケース4)。

次に、底孔部(横断面)の開口部まわりの温度応力解析結果について、コンクリートの許容引張ひずみを一般的な値である 100×10^{-6} (100 μ)として評価すると、次のことがいえる。

- ・特に対策を行わない場合(ケース1)、開口部まわりに引張ひずみ100 μ 以上の引張ひずみが角部に生じ、最大で207 μ の引張ひずみが生じており、何らかの対策を行う必要がある。

以上より、底孔の開口部まわりに温度応力的に問題が生じ、打込み温度の制限(ブレーキングの実施)及び越冬保温養生の対策を行った結果、次のことがわかった。

開口部まわりの外部コンクリート

- ・ブレーキング(打込み温度規制値=15°C)を実施すると、引張ひずみ100 μ 以上の範囲は若干小さくなったが、最大引張ひずみの値は変わらなかった(ケース2)。
- ・ブレーキング(打込み温度規制値=15°C)の実施に加え、越冬保温養生($h=0.95$ (Kcal/m²・h・°C))を行った場合、引張ひずみ100 μ 以上の発生箇所は限られた範囲となり、最大引張ひずみは226 μ から130 μ に低減した(ケース3)。
- ・さらに、 $h=0.49$ (Kcal/m²・h・°C)となる越冬保温養生を行った場合、引張ひずみ100 μ 以上の発生箇所はなくなり、最大引張ひずみは130 μ から97 μ に低減した(ケース4)。
- ・ブレーキングの打込み温度を $H \leq 20m \rightarrow 15^\circ C$ 、 $H > 20m \rightarrow 18^\circ C$ とした場合(ケース5)、上限一律15°Cの場合(ケース3)と比べ、温度応力的に大きな差異はないことがわかった。

以上のことから、ブレーキング(打込み温度規制値=15°C、15~18°C)を実施し、越冬保温養生として発泡スチロール板3cm($h=0.95$ (Kcal/m²・h・°C))相当の養生材を使用すれば、上下流面の堤址部及び開口部上部を除く堤体内の各箇所の引張ひずみは、コンクリートの許容引張ひずみ(100 μ)以下となり、温度応力によるクラック発生の可能性は少ないものと思われ、特に温度応力的に問題ないことがわかった。

さらに、越冬保温養生として発泡スチロール板 6cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材を使用すると、上下流面の堤址部及び開口部上部における最大引張ひずみは、許容引張ひずみ(100 μ)以下となり、温度応力によるクラック発生の可能性は少ないものと思われ、特に温度応力的に問題ないことがわかった。

また、ケース3(打込み温度規制値=15 $^\circ\text{C}$)とケース5(打込み温度規制値=15~18 $^\circ\text{C}$)を比較すると、温度応力的には大きな差異がなかったことから、経済性、施工性等を勘案して、打込み温度規制値は、一律18 $^\circ\text{C}$ を採用する。

よって、底孔部のコンクリートクラック抑制対策は、以下の方法を採用する。

- ・プレクーリング(打込み温度規制値=18 $^\circ\text{C}$)の実施
- ・上流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板 3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・下流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板 3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・上下流面の堤址部の越冬保温養生は、発泡スチロール板 6cm($h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用(埋め戻し土等により対処)
- ・越冬面の越冬保温養生は、発泡スチロール板 3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・開口部の越冬保温養生は、発泡スチロール板 6cm($h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用(上下流面の開口部に扉を設置するなどにより対処、底孔開口部内の温度管理は3 $^\circ\text{C}$ 以上とし、3 $^\circ\text{C}$ 以下となる場合は練炭等による給熱養生が必要)

底孔部のコンクリートクラック抑制対策の概念図は、図-3.4.70に示す。

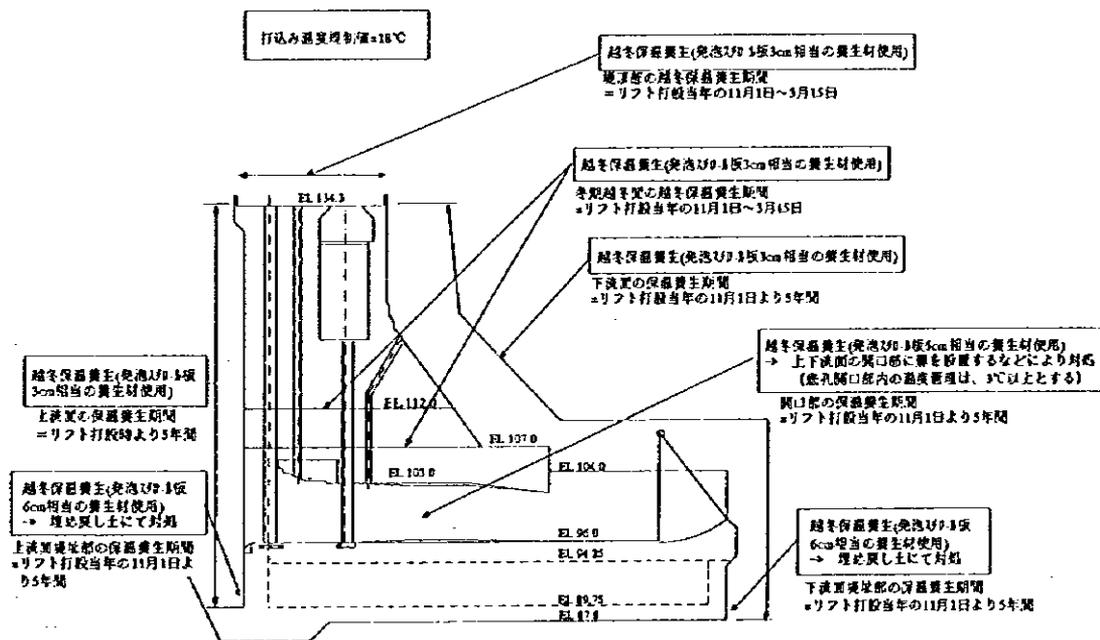


図-3.4.70 底孔部のコンクリートクラック抑制対策の概念図

3.4.9 コンクリートクラック抑制対策についての提案

検討の結果、本ダム堤体の温度応力的な特徴は、次に示すとおりである。

- ・本ダム堤体に使用するコンクリートは、外部コンクリートでフライアッシュ比30%、内部(RCD)コンクリートでフライアッシュ比49.2%による配合により、低発熱であるという特徴を有している（外部コンクリートの $K=18.4^{\circ}\text{C}$ 、内部(RCD)コンクリートの $K=16.0^{\circ}\text{C}$ ）。
- ・そのため、プレクーリングなしの場合でも、堤体内の最高温度は、非越流部で 33.8°C 、洪水吐部で 32.4°C 、底孔部で 35.0°C と、それほど高い温度とはなっていない。
- ・よって、岩着部及び堤体中央部において、特に対策を行わなくても、発生した最大引張ひずみは 100μ （許容引張ひずみ）以下であり、温度応力上、特に問題はない結果となっている。
- ・一方、本ダム堤体の建設地点の気象特性は、近傍の義県気象観測所の過去10年間のデータによると、年間平均気温 8.6°C 、1月の平均気温 -9.0°C 、7月の平均気温 23.5°C で、平均気温の年振幅が 16.3°C となっており、日本における寒冷地でRCD工法により建設されたコンクリートダムである、玉川ダム（秋田）地点の年振幅 12.2°C 、札内川ダム（北海道）の年振幅 13.2°C に比べ、気象条件の激しいことが特徴的である。
- ・よって、外気温変動の影響を大きく受ける、上下流面、越冬面、底孔開口部において、特に対策を行わない場合、発生した最大引張ひずみは 100μ （許容引張ひずみ）以上の値を有し、温度応力上、問題となる結果となっている。
- ・さらに、解析に用いた外気温は月別平均気温であり、冬期（1月）に着目すると、平均気温 -9.0°C に対し、最低気温は -20.9°C になっていることから、ここで得られた解析結果より厳しい状況も想定される。

以上のことから、白石ダムの建設にあたって、温度ひびわれ抑制に十分な対策を施す必要があると判断される。そこで、温度ひびわれ抑制対策は、気象条件が厳しい点等を考慮して、第一にコンクリートの温度を極力下げる対策工法（プレクーリングの実施、コンクリートを適当な厚さのリフトで打設）を行うこととし、次にコンクリート表面部の急冷を防止する対策工法（越冬保温養生）を行うことを基本とする。

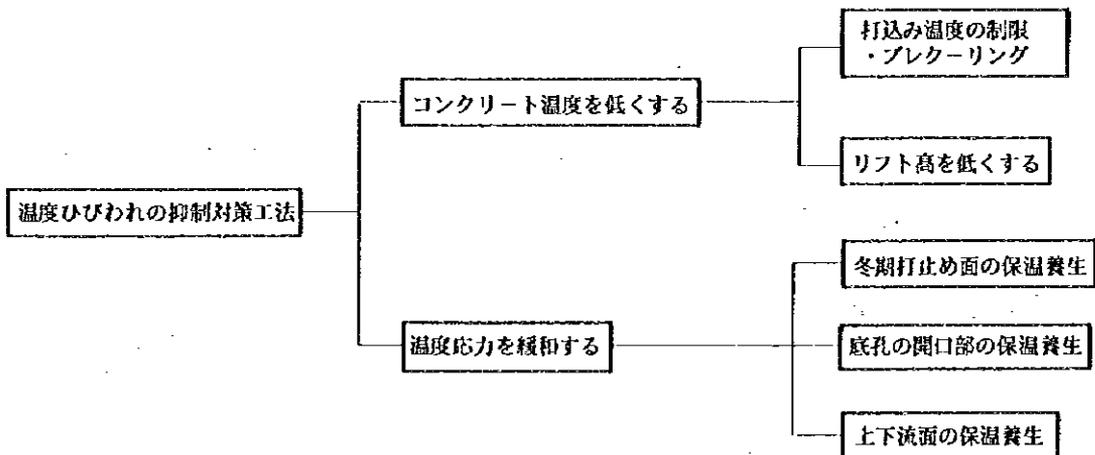


図-3.4.71 コンクリートクラック抑制対策方法の分類

前述した検討結果から、各堤体構造物のコンクリートクラック抑制対策について、以下に示すとおり提案する。

(1) 非越流部コンクリートクラック抑制対策

非越流部のコンクリートクラック抑制対策は、以下に示すとおりである。

- ・プレクーリング（打込み温度規制値=18°C）の実施
- ・上流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・下流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・越冬面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用

非越流部のコンクリートクラック抑制対策の概念図は、図-3.4.72 に示す。

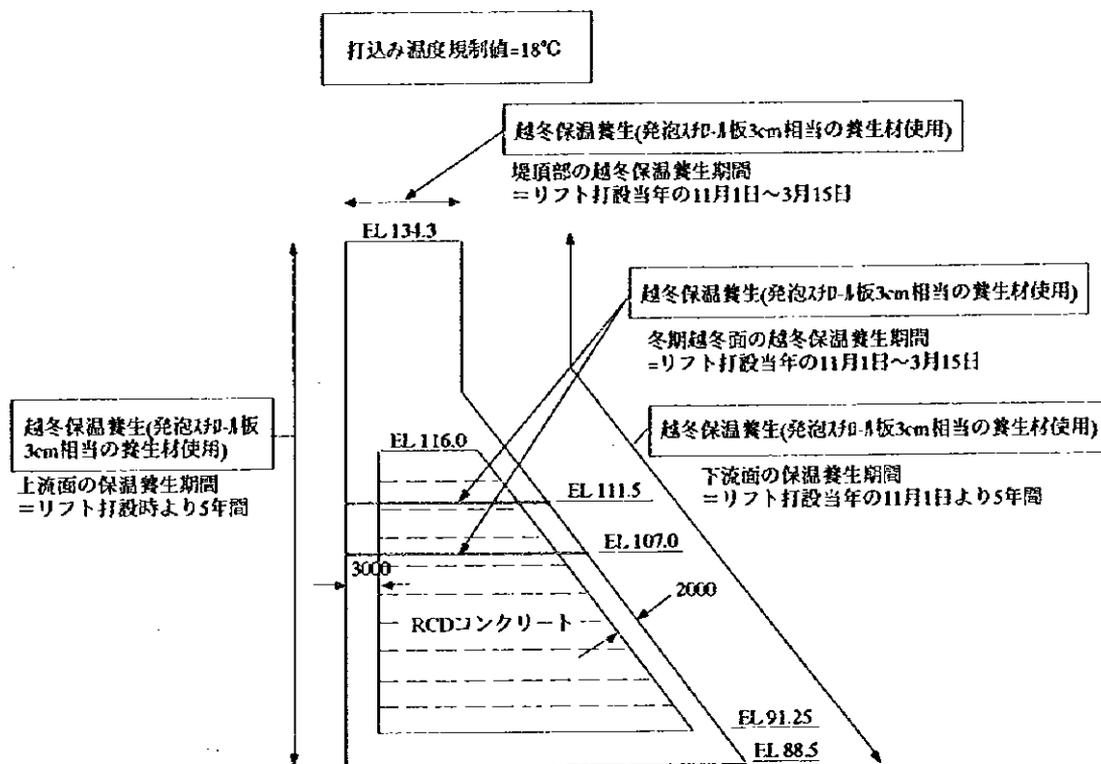


図-3.4.72 非越流部のコンクリートクラック抑制対策の概念図

(2) 洪水吐部コンクリートクラック抑制対策

洪水吐部のコンクリートクラック抑制対策は、以下に示すとおりである。

- ・ブレーキング（打込み温度規制値=18°C）の実施
- ・上流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板 3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・下流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板 6cm($h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・越冬面の越冬保温養生は、発泡スチロール板 3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・29~34 リフト (EL.105.5~110.0m) の下流面に補強筋の配筋

洪水吐部のコンクリートクラック抑制対策の概念図は、図-3.4.73 に示す。

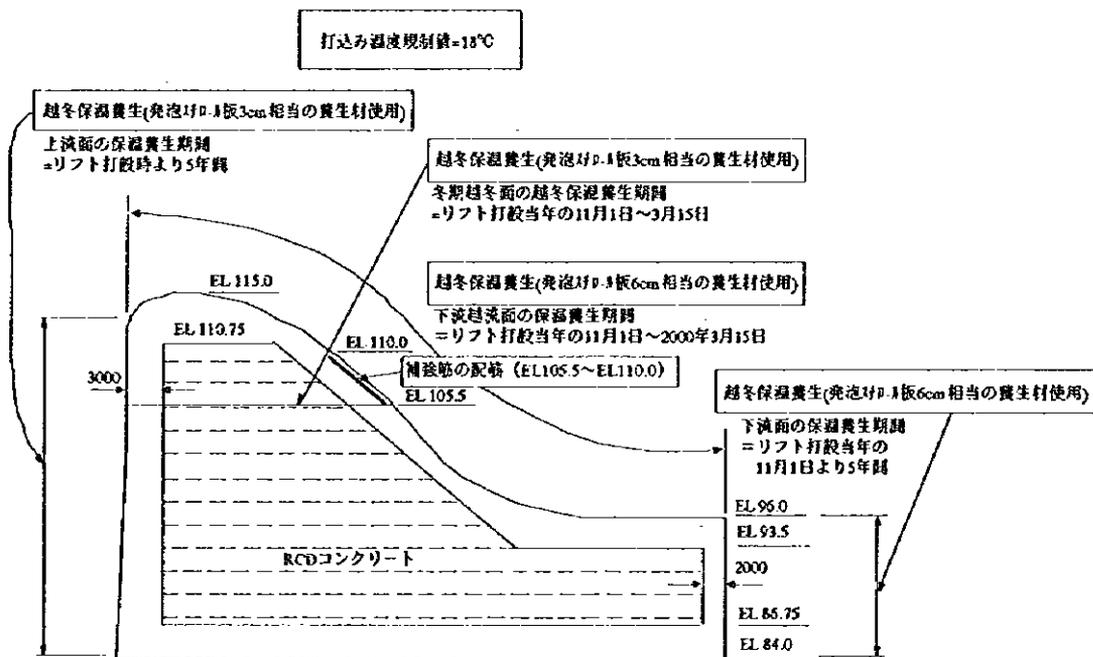


図-3.4.73 洪水吐部のコンクリートクラック抑制対策の概念図

(3) 底孔部コンクリートクラック抑制対策

底孔部のコンクリートクラック抑制対策は、以下に示すとおりである。

- ・ブレーキング（打込み温度規制値=18°C）の実施
- ・上流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・下流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・上下流面の堤址部の越冬保温養生は、発泡スチロール板6cm($h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用（埋め戻し土等により対処）
- ・越冬面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用
- ・開口部の越冬保温養生は、発泡スチロール板6cm($h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)相当の養生材の使用（上下流面の開口部に扉を設置するなどにより対処、底孔開口部内の温度管理は3°C以上とし、3°C以下となる場合は練炭等による給熱養生が必要）

底孔部のコンクリートクラック抑制対策の概念図は、図-3.4.74に示す。

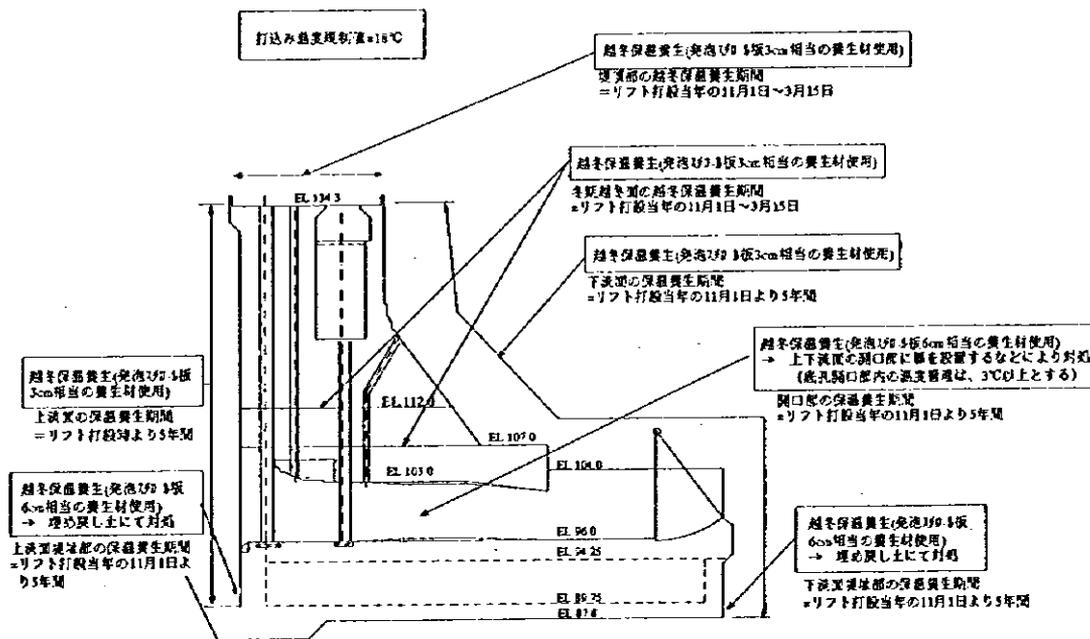


図-3.4.74 底孔部のコンクリートクラック抑制対策の概念図

また、底孔部において、1997年の後半から、BL.18の開口部2門を用いて、転流する計画となっており、クラック発生可能性がある。したがって、その開口部における越冬保温養生対策について、参考として、以下のものを挙げる。

- ・開口部まわりにシート等を貼り付け、その上にウレタン吹き付け等を行い保温養生する。
- ・コルゲートパイプ等を開口部に挿入し、管路とコンクリートとの間は、断熱効果のあるもの（むしろ等）をつめ、上流側では止水処理を施し保温養生する。

3.4.10 温度計測管理についての提案

(1) 温度計測管理の目的

白石ダムの温度ひびわれ抑制対策に対する施工管理として、まず打込み温度の管理が重要である。本報告書で提案する打込み温度の上限値 18°C以下となるよう、材料の貯蔵方法、冷却方法、コンクリートの運搬等に対し、留意する必要がある。

次に、堤体の表面と内部の温度降下量差による温度応力に対し制御する必要があり、保温養生材でコンクリート表面の温度を下げないことが温度管理の要点となる。

白石ダム堤体のコンクリート打設工事は、1996年～1999年の数年間にかけて行われるため、初年度における堤体の温度計測値から、温度ひびわれ抑制対策（越冬保温養生対策）の有効性について検討を行い、次年度以降の温度ひびわれ抑制対策（越冬保温養生対策）に反映させることができる。

したがって、温度計測管理は、越冬保温養生の養生材の厚さ、用いる時期に対する適切な管理に反映させることを目的とするものであり、具体的な方法については以下に提案する。

(2) 温度計測の管理フロー

温度計測の管理フローを図-3.4.75に示す。

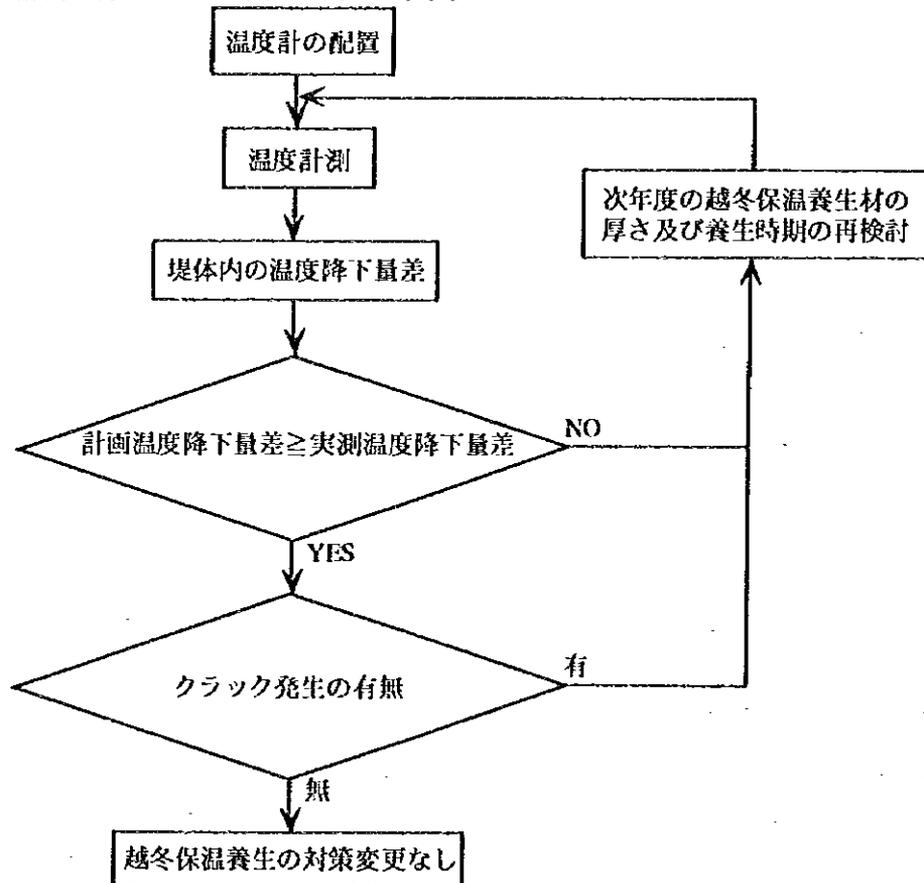


図-3.4.75 温度計測の管理フロー

(3) 埋設計器

コンクリート温度は埋設計器によって計測を行い、測定に用いる計器は温度計を考える。温度計には、熱電対型、Carlson型、Maibak型があるが、実績として最も多く用いられている熱電対型の温度計が良いと考える。

(4) 温度計の埋設方法

白石ダムで採用されているRCD工法では、コンクリート転圧及び目地切が行われるので、振動締め固めを妨げないことを考慮し、基本的には温度計の設置は床掘りによるのが良いと考える。

したがって、床掘りまたはコンクリート転圧時に型枠を用いた箱抜きを行い、温度計を設置し、モルタルを填充する。

(5) 温度計の配置

白石ダムは、RCD工法で連続打設が行われるので、計器の埋設が施工上妨げとなるのは望ましくない。したがって、計器は最小限のものを代表ブロックに対して埋設し、観測結果から堤体全体に対する推定が可能であるように配置する。

代表ブロックとしては、非越流部及び洪水吐部の最大断面である、BL.27とBL.11を選定する。温度計の配置は、堤体内の温度降下量差を把握できるように、温度変動の激しい堤体表面付近と堤体中心部とし、解析結果に基づいて、図-3.4.76~3.4.77に示すとおりとする。

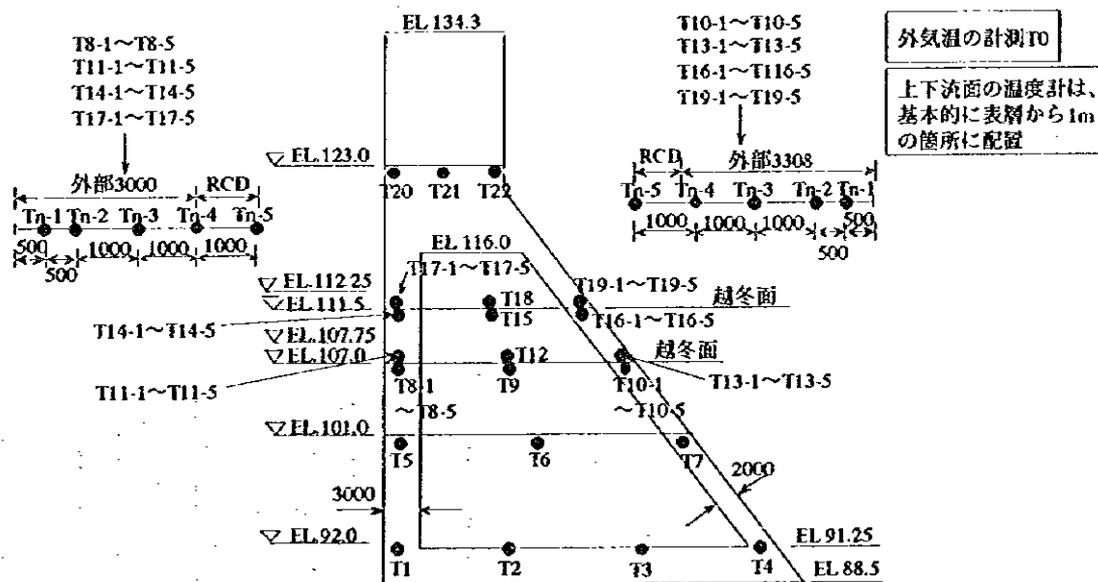


図-3.4.76 非越流部 (BL.27) の温度計配置図

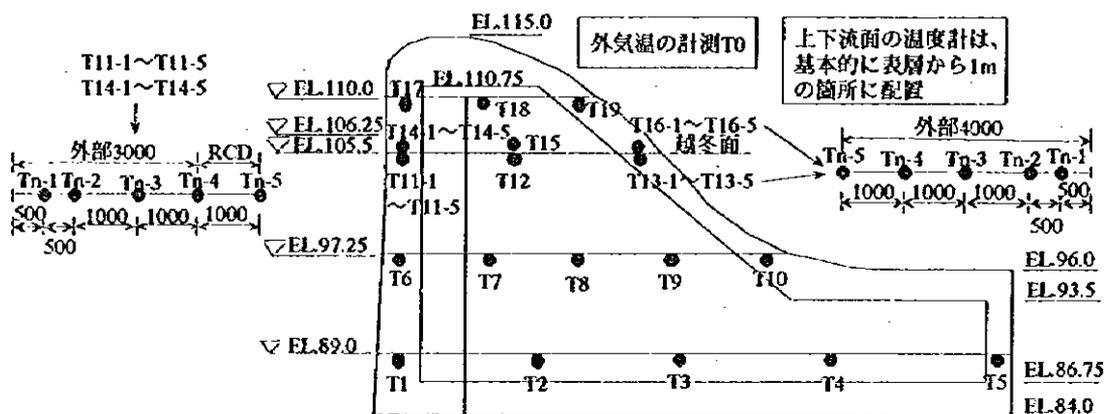


図-3.4.77 洪水吐部 (BL.11) の温度計配置図

(6) 温度計測の計画値

温度挙動について、解析結果どおりであるとすれば、温度応力的に問題ないものとする。そして、白石ダム堤体は、堤体内の温度降下量差に起因する内部拘束による温度応力が発生しているものと考えられる。

そこで、温度履歴解析により得られた温度降下量 (=最高温度-そのピーク以降の最低温度) から、堤体内の温度降下量差を求め、これを計画値とする。計画値は、打設年ごとに設定する。温度計測値が計画値を越える場合は、次年度からの越冬保温養生材の厚さ及び使用時期について再検討を行うことによって対応する。

堤体内の温度降下量は、打込み温度の規制値として18°Cを提案していることから、非越流部 (BL.27) 及び洪水吐部 (BL.11) とともに、ケース5 (打込み温度上限値18°C (H>8~12m)、越冬保温養生材として発泡スチロール3cm相当) の解析結果を用いる。

(a) 非越流部 (BL.27) における計画値

ケース5におけるT1~T22の温度履歴図は、図-3.4.78~3.4.81に示す。各温度計の温度降下量の解析結果は、表-3.4.32に示す。下記のTnはTn-2とする (n=8,10,11,13,14,16,17,19)。

表-3.4.32 各温度計の温度降下量の解析結果一覧表 (非越流部 BL.27)

計測期間	温度項目	温度計																					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22
~1998年3月31日	最高温度	21.2	18.8	18.8	21.9	24.3	23.8	24.3	10.2	11.2	10.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最低温度	5.2	17.8	16.0	3.6	5.8	18.1	6.1	-1.9	1.6	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	温度降下量	16.0	1.0	2.9	18.3	18.5	5.7	18.2	12.1	9.6	9.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998年4月1日~ 1999年3月31日	最高温度	17.6	17.8	15.9	16.5	18.2	17.4	18.0	25.1	24.0	24.7	27.0	25.9	26.7	23.6	23.1	23.7	-	-	-	-	-	-
	最低温度	3.6	14.4	13.0	3.0	4.9	16.3	4.4	3.5	12.4	4.5	2.9	11.1	4.3	-2.4	1.3	0.0	-	-	-	-	-	-
	温度降下量	14.0	3.4	2.9	13.5	13.3	1.1	13.6	21.6	11.6	20.2	24.2	14.8	22.4	26.0	21.8	23.8	-	-	-	-	-	-
1999年4月1日~ 2000年3月31日	最高温度	16.8	14.4	13.0	16.1	16.9	16.3	16.9	17.0	14.4	17.2	17.2	14.7	17.3	19.4	17.4	20.4	20.1	18.2	21.0	26.7	27.9	25.6
	最低温度	7.2	12.6	11.6	2.7	7.0	13.2	3.4	6.9	13.7	3.7	6.9	13.7	3.7	6.0	14.3	4.1	5.9	14.3	4.2	7.2	13.1	7.8
	温度降下量	9.6	1.8	1.4	13.4	9.9	3.1	13.4	10.1	0.8	13.5	10.3	1.0	13.6	13.4	3.1	16.3	14.3	3.9	16.8	19.5	14.8	17.8

単位: °C

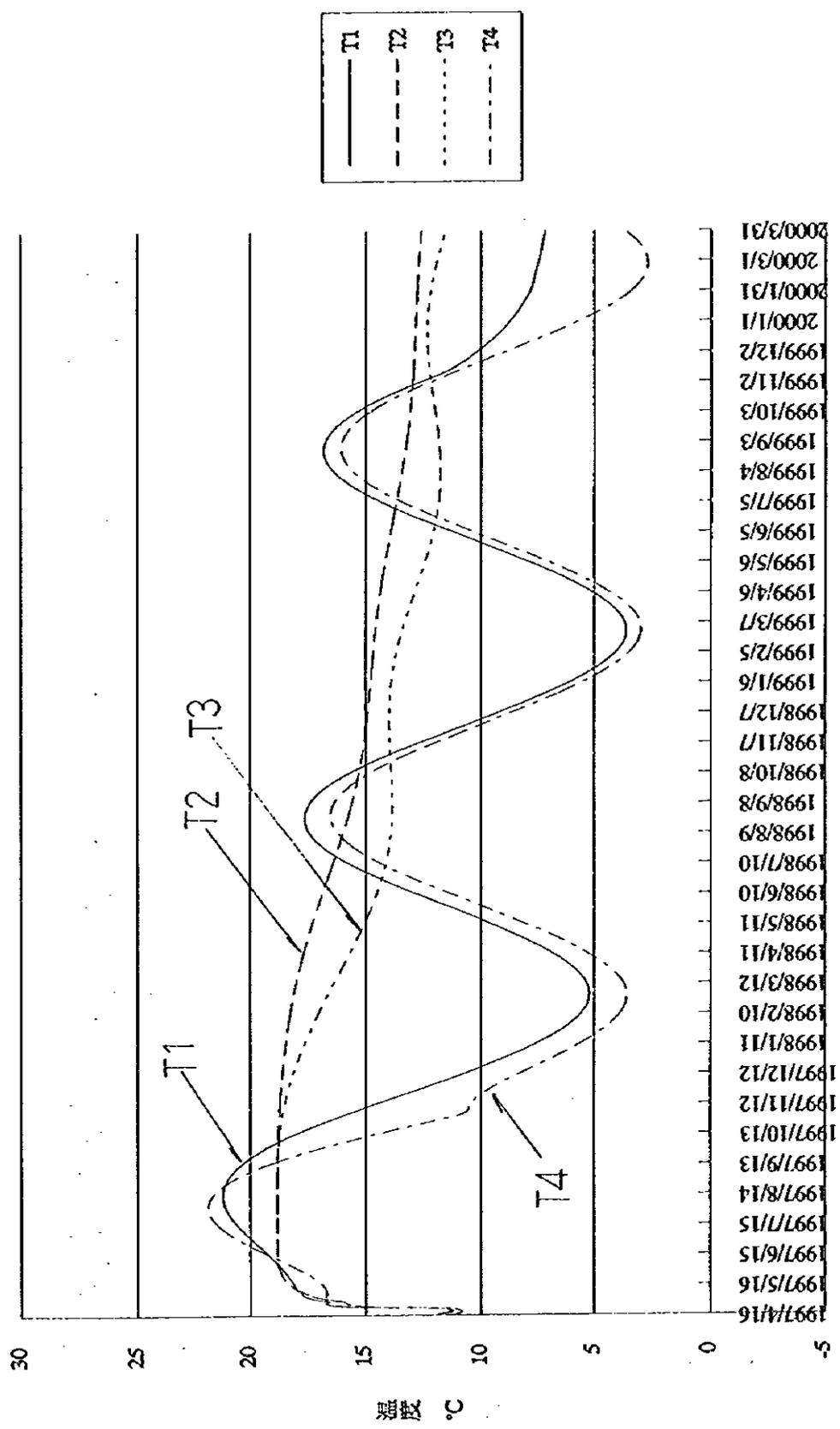


図-3.4.78 T1,T2,T3,T4の温度履歴図 (非越流部BL27、ケース5)

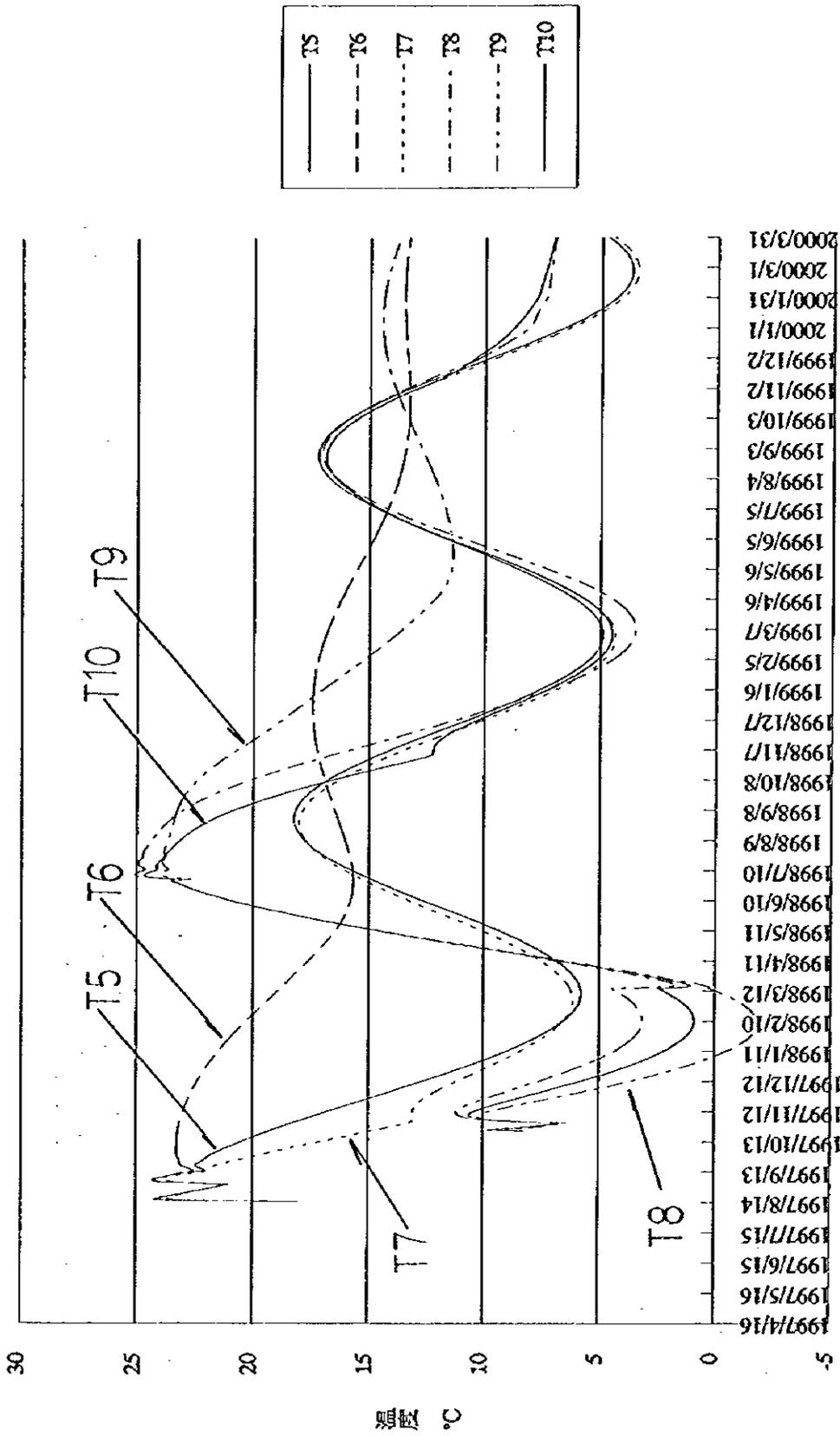


図-3.4.79 T5, T6, T7, T8, T9, T10の温度履歴図 (非超流部 BL.27、ケース5)

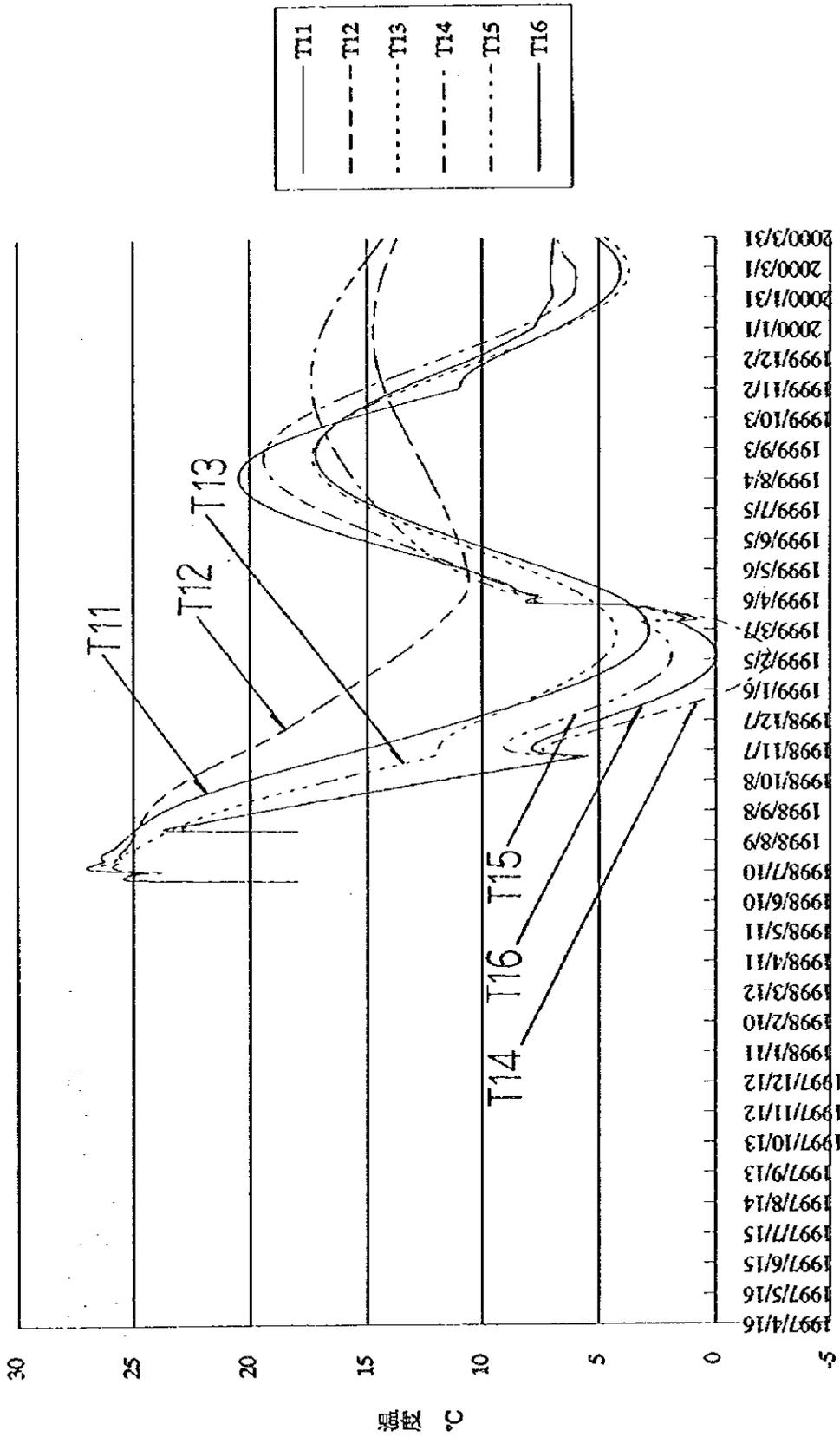


図-3.4.80 T11、T12、T13、T14、T15、T16の温度履歴図（非越流部BL27、ケース5）

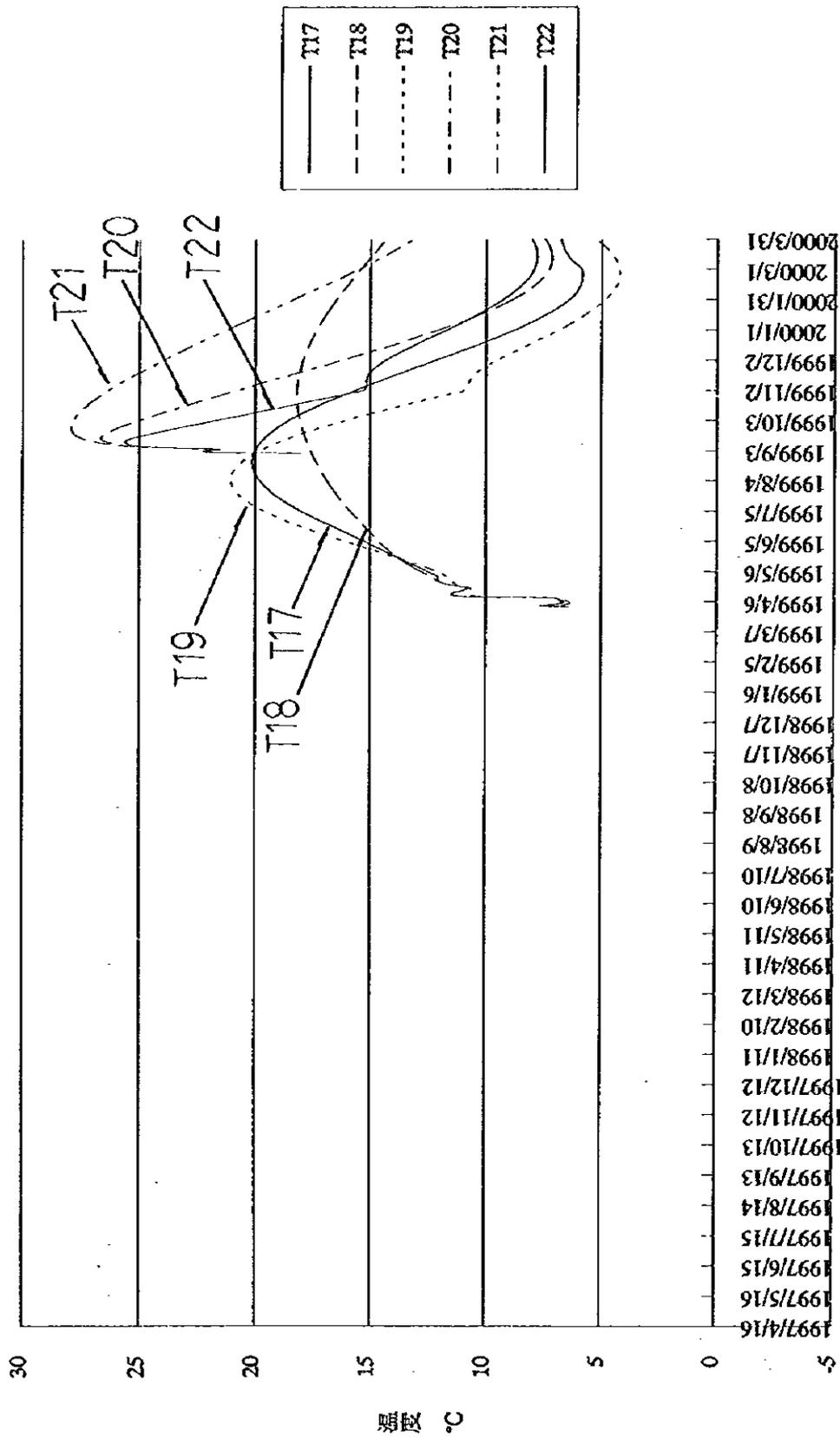


図-3.4.81 T17, T18, T19, T20, T21, T22の温度履歴図 (非越流部 BL-27、ケース5)

1997年に打設する堤体コンクリート（EL.88.5～EL.107.0）に配置する温度計の中で、外気温変動の影響が最も少ない温度計としてT6を選定する。そこで、堤体表面に配置する温度計T5、T7、T8、T9、T10の温度降下量とT6の温度降下量の差分を求め、堤体内の温度降下量差とし、この値を計画値とする。

同様に、外気温変動の影響が最も少ない温度計として、1998年に打設する堤体コンクリート（EL.107.0～EL.111.5）においてはT12を選定し、1999年に打設する堤体コンクリート（EL.111.5～EL.134.3）においてはT18を選定し、堤体内の温度降下量差を求め、計画値とする。

各温度計の計画温度降下量差は、表-3.4.33に示す。

表-3.4.33 各温度計の計画温度降下量差一覧表（非越流部 BL.27）

温度計比較	計画温度降下量差（℃）		
	～1998年3月31日	1998年4月1日～ 1999年3月31日	1999年4月1日～ 2000年3月31日
T5-T6	12.8	12.2	6.8
T7-T6	12.5	12.5	10.3
T8-T6	6.4	20.5	7.0
T9-T6	3.9	-	-
T10-T6	4.0	19.1	10.4
T11-T12	-	9.4	9.3
T13-T12	-	7.6	12.6
T14-T12	-	11.2	12.4
T15-T12	-	7.0	-
T16-T12	-	9.0	15.3
T17-T18	-	-	10.4
T19-T18	-	-	12.9
T20-T18	-	-	15.6
T21-T18	-	-	10.9
T22-T18	-	-	13.9

(b) 洪水吐部（BL.11）における計画値

ケース5におけるT1～T19の温度履歴図は、図-3.4.82～3.4.85に示す。各温度計の温度降下量の解析結果は、表-3.4.34に示す。下記のTnはTn-2とする（n=11,13,14,16）。

表-3.4.34 各温度計の温度降下量の解析結果一覧表（洪水吐部 BL.11）

計測期間	温度項目	温度計																		
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19
～1999年3月31日	最高温度	25.9	25.3	25.3	25.3	25.2	27.3	28.0	28.0	28.0	25.6	12.0	11.8	12.6	-	-	-	-	-	-
	最低温度	6.0	21.7	20.9	17.8	4.6	7.2	21.8	23.3	19.5	5.3	-2.0	1.7	1.2	-	-	-	-	-	-
	温度降下量	20.0	3.6	4.4	7.5	20.6	20.2	6.2	4.7	8.5	20.3	14.0	10.1	11.5	-	-	-	-	-	-
1999年4月1日～ 2000年3月31日	最高温度	18.6	21.6	20.9	17.8	16.8	18.9	21.7	23.3	19.5	20.0	20.1	18.7	22.0	20.6	19.0	22.4	23.6	24.4	23.6
	最低温度	8.1	17.5	16.8	13.4	3.1	8.2	16.9	18.2	14.6	2.9	7.5	15.6	3.8	7.2	15.0	3.8	4.3	10.7	3.3
	温度降下量	10.5	4.1	4.1	4.4	13.7	10.7	4.8	5.1	4.8	17.2	12.6	3.0	18.3	13.4	4.0	18.6	19.3	13.7	20.3

単位：℃

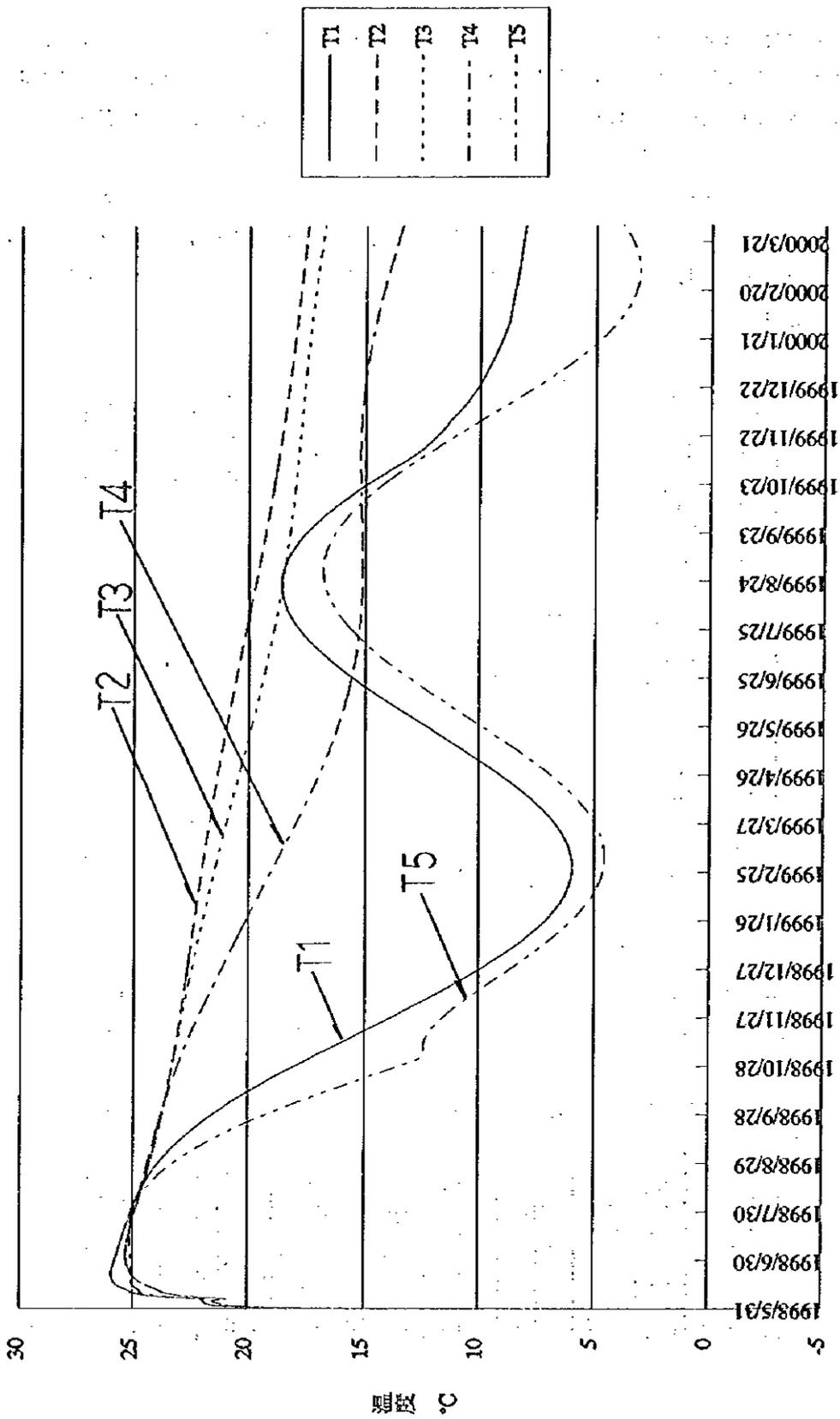


図-3.4.82 T1,T2,T3,T4,T5の温度履歴図 (洪水吐部BL11、ケース5)

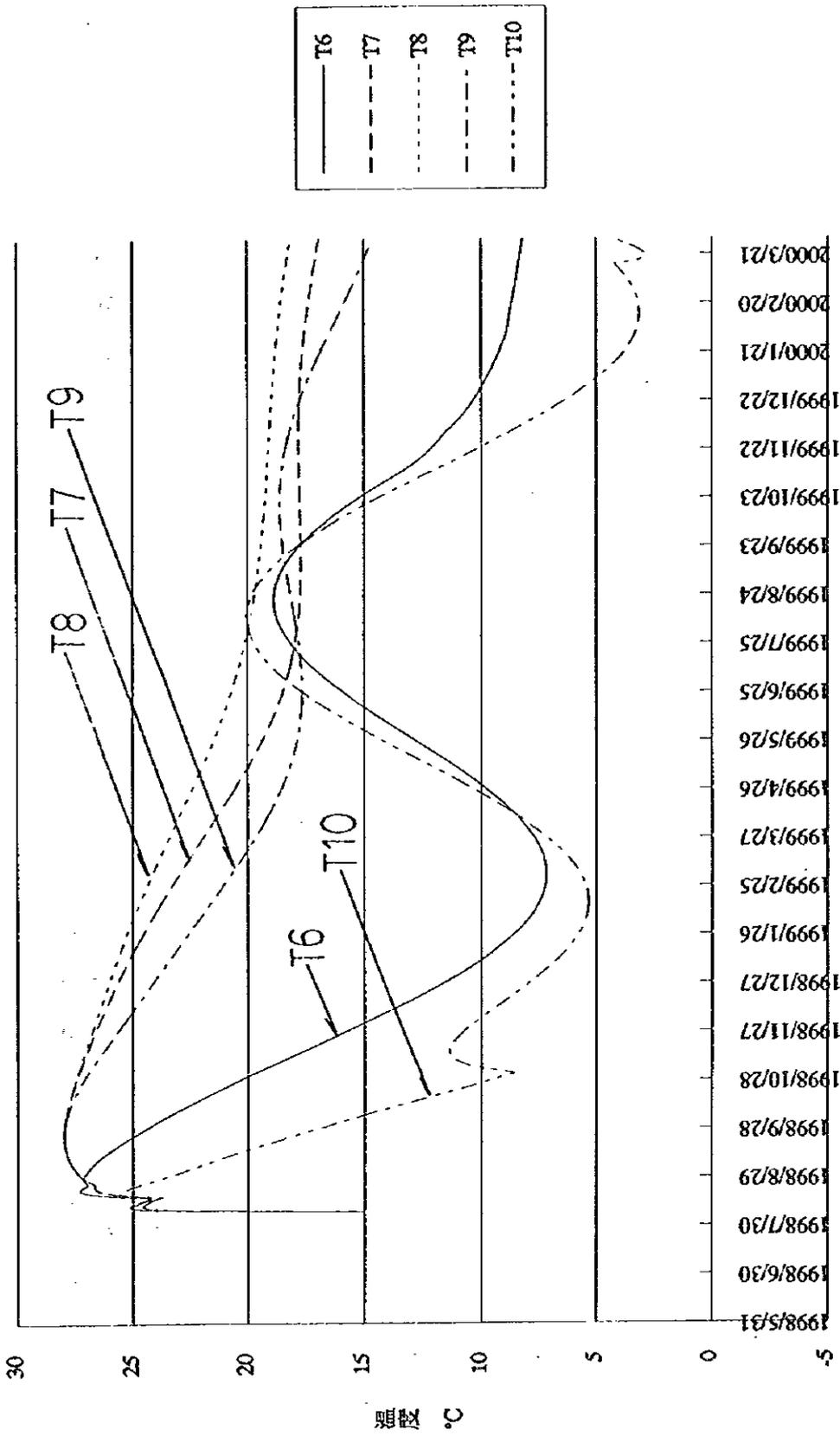


図-3.4.83 T6,T7,T8,T9,T10の温度履歴図 (洪水吐部 BL-11、ケース5)

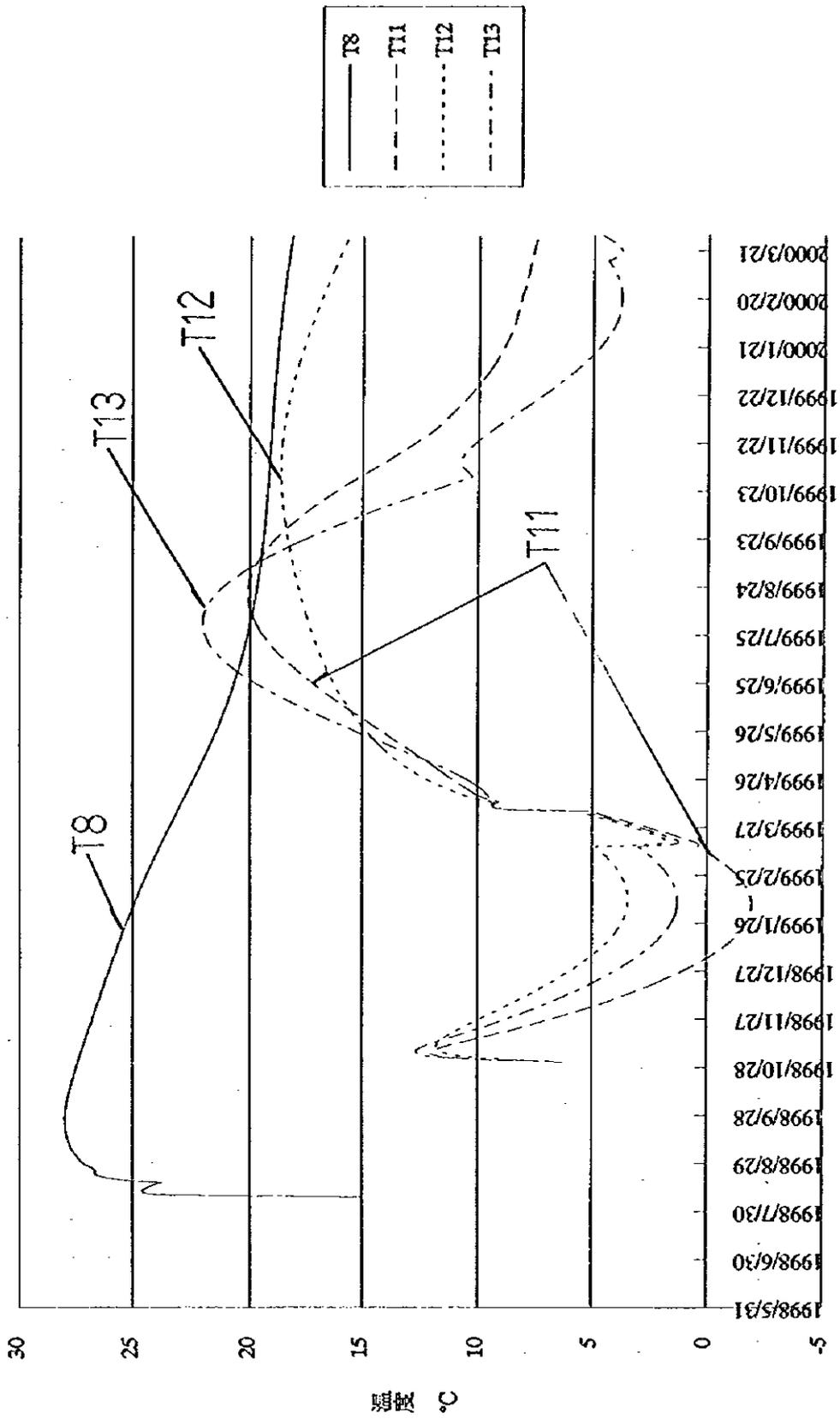


図-3.4.84 T8,T11,T12,T13の温度履歴図 (洪水吐部BL.11、ケース5)

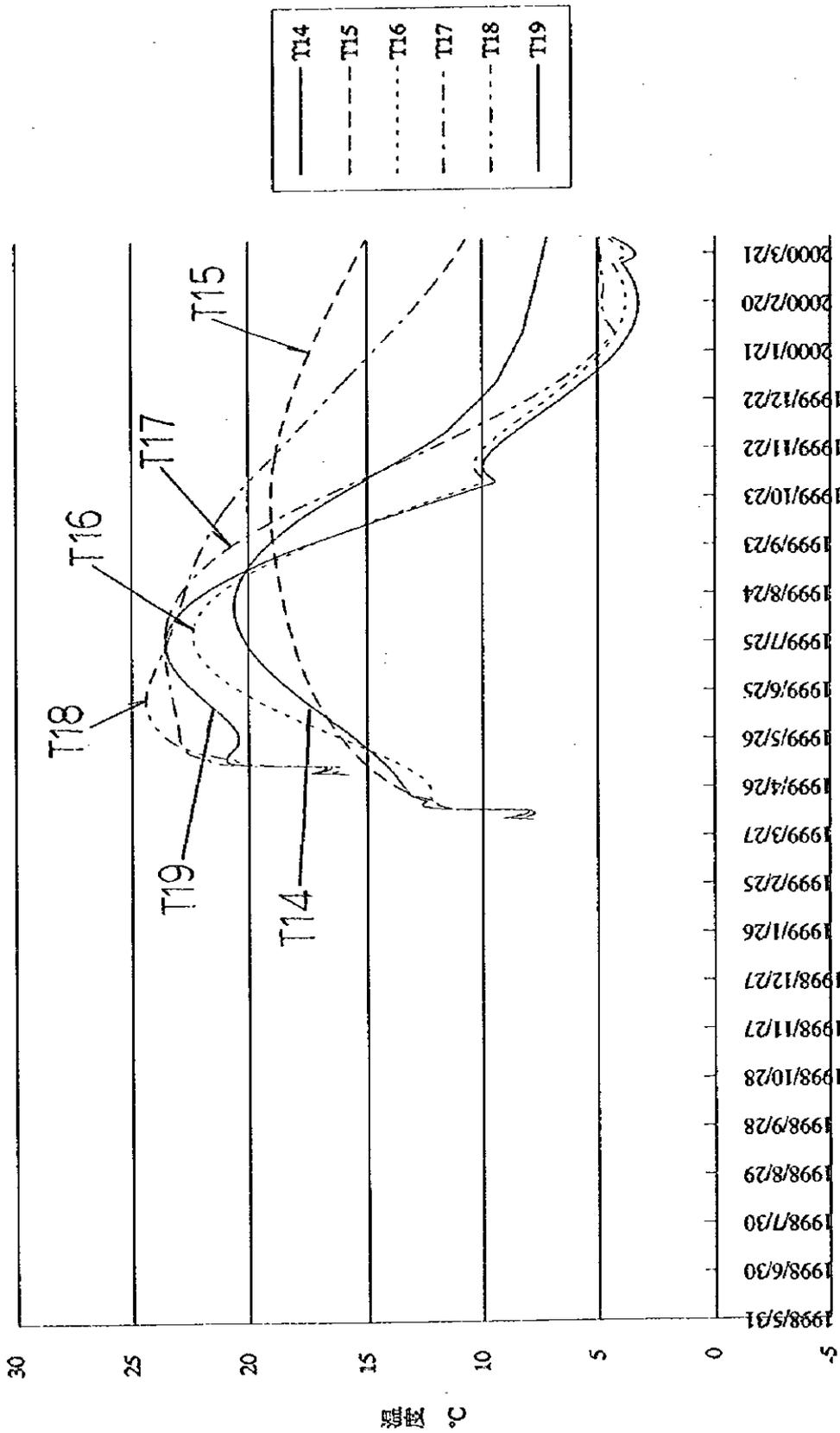


図-3.4.85 T14,T15,T16,T17,T18,T19の温度履歴図 (洪水吐部 BL.11、ケース5)

1998年に打設する堤体コンクリート（EL.84.0～EL.105.5）に配置する温度計の中で、外気温変動の影響が最も少ない温度計としてT8を選定する。そこで、堤体表面に配置する温度計T6、T10、T11、T12、T13の温度降下量とT8の温度降下量の差分を求め、堤体内の温度降下量差とし、この値を計画値とする。

同様に、外気温変動の影響が最も少ない温度計として、1999年に打設する堤体コンクリート（EL.105.5～EL.115.0）においてはT15を選定し、堤体内の温度降下量差を求め、計画値とする。

各温度計の計画温度降下量差は、表-3.4.35に示す。

表-3.4.35 各温度計の計画温度降下量差一覧表（非越流部 BL.11）

温度計比較	計画温度降下量差（℃）	
	～1999年3月31日	1999年4月1日～ 2000年3月31日
T6-T8	15.5	5.6
T10-T8	15.6	12.1
T11-T8	9.3	7.5
T12-T8	5.4	-
T13-T8	6.8	13.2
T14-T15	-	9.4
T16-T15	-	14.6
T17-T15	-	15.3
T18-T15	-	9.7
T19-T15	-	16.3