

V-330

一次近似法に基づく不確定因子の影響を考慮した
マスコンクリートの温度応力解析

東京電機大学 大学院 学生員 ○潮田 和司 西松建設技術研究所 正会員 西田 徳行
東京電機大学 理工学部 正会員 松井 邦人 西松建設技術研究所 正会員 土橋 吉輝

1. はじめに

マスコンクリートの温度応力は、多くのパラメータに依存している。これらのパラメータはばらつきがあり、その影響を評価するためには確率変数として扱うことが望ましい。このような不確定因子の影響を評価する方法としてモンテカルロシミュレーションがしばしば利用されている。この方法では乱数の数に比例して解析回数が多くなり計算時間も増加する。ここで述べる一次近似法は同様の評価を近似的にはあるが効率的に行なうことができると考え、温度および温度応力のばらつきをこの方法で計算した。そしてシミュレーションの結果と比較し、その有効性について検討している。

2. 解析条件および解析モデル

温度解析・温度応力解析を行う場合多くのパラメータが含まれている。これらのパラメータの中には確定量として扱ってよいものと、確率量（変動因子）として扱ったほうがよいものに分けることができる。表-1に変動因子と思われるものの基準値（平均値）と標準偏差を示した。またその他の解析条件を表-2に示した。

解析モデルは図-1に示すように、岩盤の上に直接打設された半無限に広がっているマスコンクリートを対象とした。

3. 解析方法

温度解析には一次元差分法を、温度応力解析には Compensation-Line法を用いて解析した。

(1) 一次近似法

温度および温度応力は、これらに関する確率変数および、時間、空間の関数として表すことができる。確率変数を $\mathbf{b} = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 、空間を x 、時間を t とし、

$$Y = g(\mathbf{b}, x, t) \quad (1)$$

と表す。ただし、 Y 、 $\mathbf{b}$ は温度と温度に關係する確率変数、あるいは温度応力と温度応力に關係する確率変数とする。式(1)を平均値 $\bar{\mathbf{b}} = \{\bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_n\}$ のまわりでテーラー展開すると次のようになる。

$$Y = g(\bar{\mathbf{b}}, x, t) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial b_i} \right)_{\bar{\mathbf{b}}} (b_i - \bar{b}_i) + \dots \quad (2)$$

($\cdot$) $\bar{\mathbf{b}}$ は微分を $(\bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_n)$ で評価することを意味する。

展開を一次の項で打ち切ると、一次近似の平均値は次式で与えられる。

$$E(Y) \cong g(\bar{\mathbf{b}}, x, t) \quad (3)$$

また、一次近似の分散は、すべての i, j に関して b_i, b_j が無相関（独立）であれば、次のように表すことができる。

$$\text{Var}(Y) \cong \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial b_i} \right)_{\bar{\mathbf{b}}}^2 \cdot \text{Var}(b_i) \quad (4)$$

ただし、 $\text{Var}(b_i)$ は各確率変数の分散である。

一次近似法による温度あるいは温度応力解析は、表-1に示した各パラメータの基準値（平均値）と標準偏差を用いて、まず各パラメータの平均値における偏導関数 $\partial g / \partial b_i$ を計算し、そして式(3)、式(4)より温度あるいは温度応力の平均値と標準偏差を計算する。

(2) モンテカルロシミュレーション

モンテカルロシミュレーションは表-1に示した各パラメータの基準値（平均値）と標準偏差に従い、正規乱数を1000個発生させ、この1000組のパラメータにより、温度解析・温度応力解析を行う。そして1000個の解析結果よりそれぞれの平均値と標準偏差を計算する。

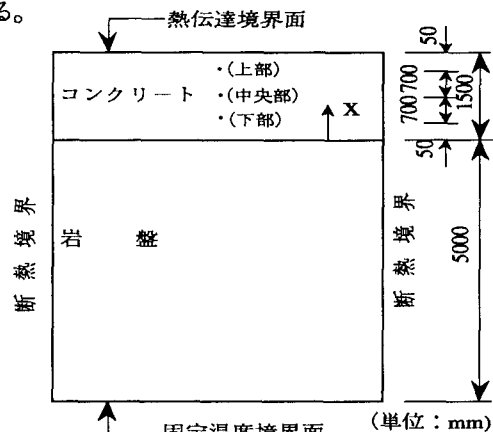


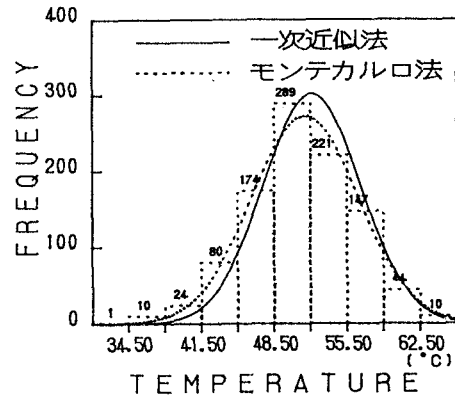
図-1 解析モデル

表－1 解析条件（変動因子の特性値）

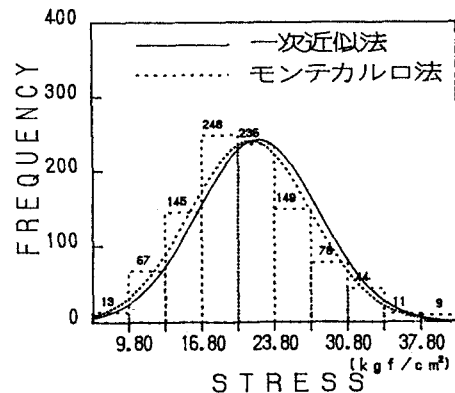
項	目	基準値	標準偏差
コンクリートの熱伝導率	(kcal/mh℃)	2.50	0.50
コンクリートの比熱	(kcal/kg℃)	0.31	0.031
断熱温度上昇実験定数	Q_{∞} (℃)	42.0	5.0
	γ	1.0	0.3
コンクリートと外気温の間の熱伝達率	(kcal/m ² h℃)	10.0	1.0
コンクリートの熱膨張係数	(1/℃)	10.0×10^{-6}	20.0×10^{-7}
材令91日のコンクリートの圧縮強度	(kgf/cm ²)	350.0	35.0
有効ヤング係数 $E_e(t)$ のばらつき; ϵ^*		0.0	0.1

表－2 その他の解析条件

項	目	定数
コンクリートの密度	(kg/m ³)	2312.0
岩盤の熱伝導率	(kcal/mh℃)	1.94
岩盤の密度	(kg/m ³)	2600.0
岩盤の比熱	(kcal/kg℃)	0.25
外気温	(℃)	20.0
固定温度境界面の岩盤温度	(℃)	15.0
コンクリートの打設温度	(℃)	20.0
岩盤の初期温度	(℃)	17.5
軸拘束係数: R_N		0.5
曲げ拘束係数: R_M (ピーク前)		1.0
曲げ拘束係数: R_M (ピーク後)		1.0



図－2 躯体中央部の温度分布（t＝2.5日）



図－3 躯体中央部の温度応力分布（t＝30日）

4. 温度・温度応力解析結果

解析は図－1に示すモデルに、表－1, 2の解析条件を用いて0日から30日まで解析を行った。解析の結果、温度に関しては、2.5日でコンクリート躯体中央部において最高温度に達し、温度応力に関しては、30日でコンクリート躯体中央部において最大引張応力となった。そして不確定因子の影響を調べるために、図－2には、2.5日目のコンクリート躯体中央部の温度分布を、図－3には、30日目のコンクリート躯体中央部の温度応力分布を示し、同時に一次近似法とモンテカルロシミュレーションの比較を行なった。図－2において、温度の標準偏差は、一次近似法では4.621℃、モンテカルロシミュレーションでは5.125℃であった。図－3において、温度応力の標準偏差は、一次近似法では5.775 kgf/cm²、モンテカルロシミュレーションでは5.812 kgf/cm²であった。これより、不確定因子の影響の評価は、一次近似法、モンテカルロシミュレーションのどちらの方法を用いても、ここに示した結果においてはほぼ等しいと言うことができる。

5. おわりに

一次近似法、モンテカルロシミュレーションを用いて不確定因子の影響を調べると、温度に関しても温度応力に関しても、0日から30日までの標準偏差の時刻歴は完全に一致しているとはいえないが、ほぼ同じような傾向を示すことがわかった。

したがって、一次近似法は不確定因子の影響を評価する方法として、効率的に解析を行なうことができるため、有効な方法であると思われる。