

温度荷重の簡易予測法に関する研究
その5 FEM 解析による地下部 RC 躯体の温度(解析法)

正会員 ○伊藤博夫*¹ 正会員 石川孝重*²
正会員 林 幸雄*³ 正会員 中島秀雄*⁴

温度荷重 基礎梁 地下壁 日射 相当外気温 地盤

1. はじめに

既報¹⁾では地上部分のRC躯体を対象として、RC規準付2.構造計算例1の3層建家(図1)をモデルとして、2次元又は1次元FEMによる非定常温度分布解析を行うとともに、周期定常解による簡易計算法との比較を行った。

本報告では、地下部分の躯体の温度を把握することを目的として、地盤を含めた2次元FEMによる非定常温度分布解析を行った。

地下部躯体は熱慣性の大きい地盤を介して年オーダーの気象変動の影響を受ける。ここでは、検討の第1ステップとして、実気象データでの把握を目的として、建築学会拡張アメダス気象データ²⁾の標準気象データ(東京)を用いて解析を行った。

パラメータは、①地下構造2タイプ、②地盤の熱物性3種、及び③地下壁の仕上げ仕様2種(2重ブロック壁及び1重壁)とした。

2. 解析モデル

解析モデルは2タイプ設定した。

①タイプ1:地下室の無い3層建家(図1)の基礎梁部分を対象にしたもので、図2のように右側が屋外、左側が建家側である。建家は土間コンクリートスラブを介して地盤に直接接しているものとした。

②タイプ2:地下室の有る場合を対象として、地下1階(階高5m)とその下部の基礎梁(せい3m)、基礎スラブ等を考慮したものである(図3)。

躯体諸元を表1に示す。

表1 躯体諸元

タイプ	部位	幅(m)又は厚さ(m)	せい(m)
1	基礎梁(FG1)	0.40	1.20
	土間コンスラブ(DS1)	0.20	-
2	1階梁(G1)	0.65	1.00
	地下1階外壁(WB1)	0.35	-
	地下1階床スラブ(SB1)	0.15	-
	基礎梁(FG2)	0.60	3.00
	基礎スラブ(MS)	0.50	-

3. 温度条件

(1)地表面:外気温、水平面全天日射量及び夜間ふく射を考慮して、式(1)より1日ピッチの相当外気温 T_{SAT} を作成した。

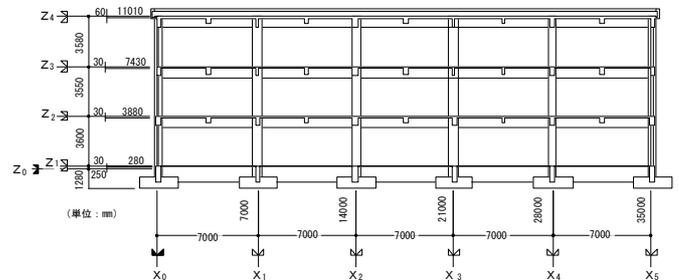


図1 RC 3層建家(建築学会RC規準付2.計算例)

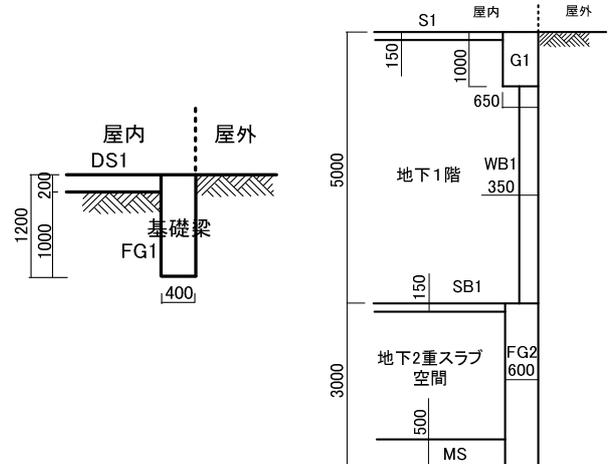


図2 タイプ1(基礎梁) 図3 タイプ2(地下室)

$$T_{SAT} = T + (\epsilon_1 \cdot J_h - \epsilon_2 \cdot J_n) / \alpha \quad (1)$$

ここに、 T :外気温(°C)、 ϵ_1 :地表面日射吸収率(=0.9)、 ϵ_2 :長波放射率(=0.9)、 J_h :水平面全天日射量(kJ/m²hr)、 J_n :夜間ふく射量(kJ/m²hr)、 α :地表面総合熱伝達率(=23.26W/m²K)

(2)1階、地下室及び地下2重スラブ空間(基礎梁):空調条件の冬22°C、夏26°Cをピークとする年間を通じてのsinカーブとした。

(3)表2に外気温、相当外気温の最高、最低及び年平均値を示す。図4に相当外気温及び室内温度履歴を示す。

外気温及び相当外気温の年平均は16.1°C及び19.2°Cで相当外気温が日射の影響で約3.1°C高めである。

表2 外気温、相当外気温及び室温

	外気温(°C)	相当外気温(°C)	室温(°C)
最高	30.8	38.1	26.0
最低	2.5	2.4	22.0
年平均	16.1	19.2	24.0

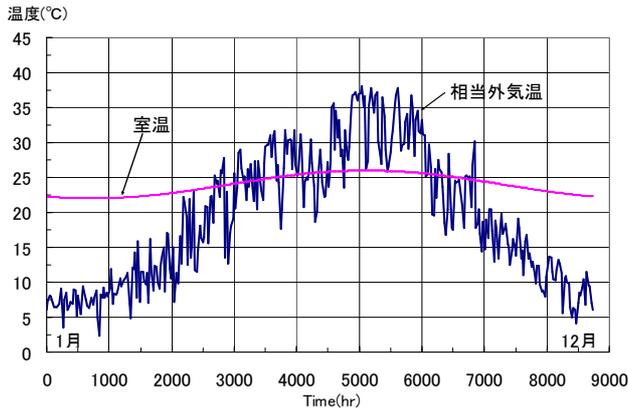


図4 相当外気温及び室温履歴

4. 地盤の熱物性

地盤の熱物性(熱伝導率 λ 及び比熱 c)は、地盤種別、密度、含水状態等の影響を受け複雑である。ここでは文献³⁾で行ったように中島らの提案式⁴⁾を用い、SI単位系(原文は工学単位系)に換算した下式を用いた。

$$\lambda = 1.21 \times 10^{-3} \cdot \gamma - 0.733 \quad (2)$$

$$c = 0.0335 \cdot \phi + 0.837 \quad (3)$$

ここに、 λ :土の熱伝導率(W/mK)、 γ :土の密度(kg/m³)、 c :比熱(kJ/kgK)、 ϕ :土の重量含水率(%)

地盤の γ と ϕ 及び飽和度の関係は(4)式⁵⁾で表される。

$$\gamma = \frac{\left(1 + \frac{\phi}{100 - \phi}\right) G_s \times \gamma_w}{1 + \frac{100\phi}{S_r(100 - \phi)} G_s} \quad (4)$$

ここに、 G_s :土粒子の比重、 S_r :土の飽和度(%)、 γ_w :水の密度(kg/m³)

上式をもとに、土粒子の比重を $G_s=2.7$ (一律)とし、飽和度が $S_r=100\%$ 及び 80% について $\phi-\gamma$ 関係を示したのが図5である。文献⁶⁾によれば地盤の飽和度は $100\% \sim 80\%$ が多い。又、地盤の密度 γ の範囲はおおよそ関東ローム土の 1250kg/m^3 から砂質土の 2100kg/m^3 程度の間にある。地下部は地下水位以深にあることが多いことを考え、本検討では飽和度 $S_r=100\%$ を基準に地盤定数を設定する。

地盤の温度伝播率 $a(=\lambda/c\gamma)$ を5段階に設定し、 ϕ 、 γ との関係を(2)及び(3)式を用いて求めたのが一点鎖線である。上記地盤は、 $a=0.0007\text{m}^2/\text{hr} \sim 0.0023\text{m}^2/\text{hr}$ の範囲にほぼ含まれる。

以上を参考にして、地盤の熱定数は a をパラメータとして、図中○印の3点の熱物性値を解析に用いることとした。熱物性を表3に示す。

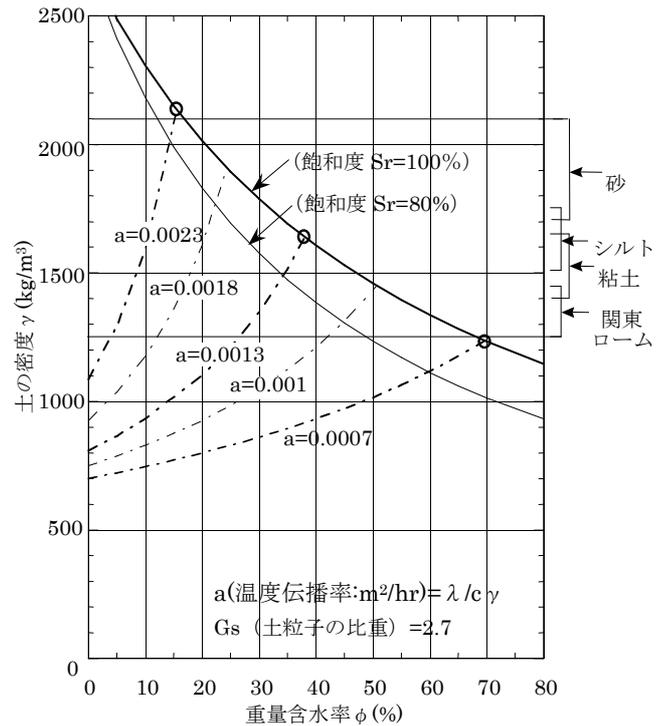


図5 地盤の $\phi-\gamma$ 関係及び温度伝播率

表3 熱物性

部位	温度伝播率 $a(\text{m}^2/\text{hr})$	熱伝導率 λ (W/mK)	比熱 c (kJ/kgK)	密度 γ (kg/m ³)	含水率 ϕ (%)	ケース
地盤	0.0023	1.85	1.36	2137	15.5	A23
	0.0013	1.26	2.11	1639	38.1	A13
	0.0007	0.762	3.17	1236	69.7	A07
コンクリート	0.0029	1.63	0.879	2300	-	-

5. まとめ

地下部躯体を設定し、相当外気温を作成するとともに、解析法及び地盤の熱物性についてパラメータを設定した。

本報告は日本建築学会温度荷重小委員会における活動の一部をまとめたものである。

【参考文献】

- 1) 建築学会: 温度変化を考慮した建築構造の設計、建築学会大会パネルディスカッション資料、2006.9
- 2) 建築学会: 拡張アメダス気象データ、2000.1
- 3) 伊藤博夫、石山祐二: 蓄熱槽を有する建物の地下部躯体の温度分布性状に関する研究、第2報 断熱材の厚さ及び地盤の熱物性の影響に関する検討、建築学会構造系論文集第478号、1995.12
- 4) 中島康孝、大橋一正、渡辺荘児他: 蓄熱材料における土壌の熱的特性に関する研究(その1)~(その4)、建築学会大会、1980.9~1983.9
- 5) 大崎順彦: 建築基礎構造、技報堂、1991.1
- 6) 北沢五郎、竹山謙三郎他: 東京地盤図、技報堂、1959

*1 伊藤構造環境研究所・工博
*2 日本女子大学 教授・工博
*3 鹿島建設(株)
*4 清水建設(株)

ITOH Structural and Environmental Engineering, Dr.Eng.
Prof., Japan Women's Univ., Dr.Eng.
Kajima Corporation
Shimizu Corporation