

V-82 水和反応と乾燥による コンクリートの熱定数の変化

安藤建設(株) 正会員 ○石黒 和浩
正会員 相 龍介
富谷 潤一

1. はじめに

コンクリートの熱伝導解析に用いるコンクリートの熱定数(熱伝導率, 比熱)は, 一般的に材令に関係なく一定値とする場合が多い。またそこで用いられる値は, コンクリートが十分硬化している状態での値である。実際のコンクリートでは, 練り上がり直後の状態から硬化するまでにその状態が変化するように熱定数も変化するものと考えられる。さらに熱伝導解析では, 材令7日程度でほとんどの温度の変化は終了するので, 若材令での熱定数の値が重要となる。

本報告ではコンクリートの熱定数は, コンクリートを構成している物質それぞれの熱定数と体積比率によって決定されると仮定し, 熱伝導率・比熱の履歴を計算シミュレーションにて求めたものである。

またコンクリートを構成している物質の体積変化は, 水和反応と乾燥によって引き起こされると考えている。

2. コンクリート構成要素の変化

コンクリートを構成している物質の体積比率の変化の原因を, 水和反応によるセメント・水の消費およびセメント水和物の生成によるものと, コンクリートの乾燥による水分の消散の二つに大きく分けて考える。

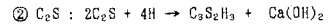
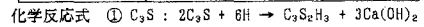
水和反応として C_3S ($C:CaO, S:SiO_2$ と略記)によるものと C_2S によるものに大別し, 反応速度を考えるためにこの反応を可逆反応とした。(表-1参照)コンクリートの乾燥による水分の消散については, 拡散方程式を差分法で解いている後藤らの研究によった。以上の考え方にに基づき, パソコンによる計算シミュレーションを行った。計算のフローチャートを図-1に, コンクリートの配合を表-2に, 計算結果を図-2に示す。

3. 熱伝導率

熱伝導率の推定では熱流と電流の類似性を仮定し理論展開する場合が多く電気伝導率を推定するMaxwellの式が

表-1 セメントの水和反応

	化学式	分子量	モル濃度
セメント成分	$C_3S(60\%)$	225	Nc_1
	$C_2S(40\%)$	170	Nc_2
水分	H_2O	18	Nw
セメント生成物	$C_3S_2H_3$	340	Np_1
	CH	75	Np_2



反応速度 ① $V_1 = K_{11} * Nc_1^2 * Nw^6 - K_{12} * Np_1 * Np_2^3$

② $V_2 = K_{21} * Nc_2^2 * Nw^4 - K_{22} * Np_1 * Np_2$

$K_{11}, K_{12}, K_{21}, K_{22}$: 反応速度定数

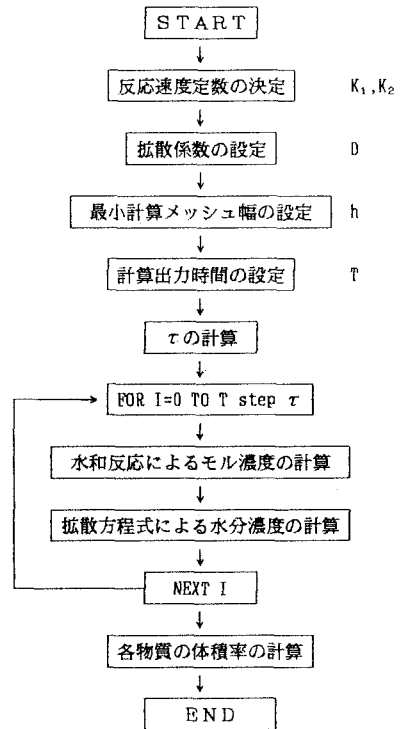


図-1 コンクリート中の構成要素体積率計算フローチャート

基礎となっている。Maxwellの式は2相系材料の連続相に球状分散相が互いに影響しないように十分離れて分布している際の電気伝導率を推定したものである。そのため、Maxwellの式は粒子間の間隙が大きい時にのみ電気伝導率や熱伝導率の推定が可能となる。Euckenの式はMaxwellの式をn個分散相と1個の連続相の材料へ適用できるように一般化したものである。

コンクリートについても、Euckenの式を適用した。

$$K = K_c * \frac{1 - 2\phi_1 \frac{K_c - K_1}{2K_c + K_1} - 2\phi_2 \frac{K_c - K_2}{2K_c + K_2}}{1 + \phi_1 \frac{K_c - K_1}{2K_c + K_1} + \phi_2 \frac{K_c - K_2}{2K_c + K_2}}$$

K : 材料の熱伝導率 K₁, K₂ : 分散相の熱伝導率
K_c : 連続相の熱伝導率 φ₁, φ₂ : 分散相の体積比率

計算シミュレーションの結果を用いて上式にて熱伝導率を求め、その履歴を図-3に示す。

4. 比熱

比熱については、単純にコンクリートを構成している物質の体積比率とそれぞれの比熱の積の和で表される。

$$C_{con} = \phi_w * C_w + \phi_c * C_c + \phi_s * C_s + \phi_a * C_a$$

C_{con} : コンクリートの重量比熱

φ_{w, c, s, a} : 水, セメント, 骨材, 空気 の体積比率

C_{w, c, s, a} : 水, セメント, 骨材, 空気 の重量比熱

計算シミュレーションの結果を用いて上式にて比熱を求め、その履歴を図-4に示す。

5. まとめ

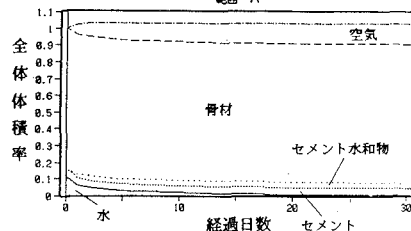
既存の資料と照らし合わせた結果、いくつかのパラメーターが決定されれば、計算シミュレーションは十分可能だと思われる。今後は、不確かなパラメーターを抽出するための実験計画を検討したい。

表-2 コンクリートの配合表

W/C (%)	S/a (%)	スランプ (cm)	単位容積重量 (kg/m ³)				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
63.0	42.0	8.0	216	136	833	1148	0.22

*ただしセメントは、高炉B種を使用

コンクリート中の体積の変動
範囲 A



*大きなコンクリート体の表面から10cmまでの範囲を範囲Aとしてとめている。また、他の範囲として10cm~20cmを範囲B, 20cm~30cmを範囲C, 30cm~40cmを範囲D, 40cm以上を範囲Eとしそれぞれもっているが、ここでは省略した

図-2 コンクリート中の体積の変動

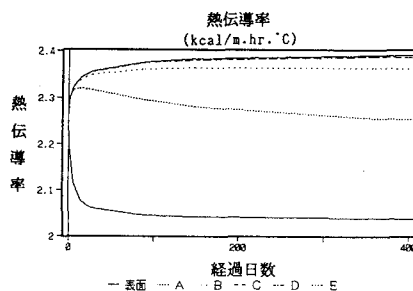


図-3 熱伝導率の履歴

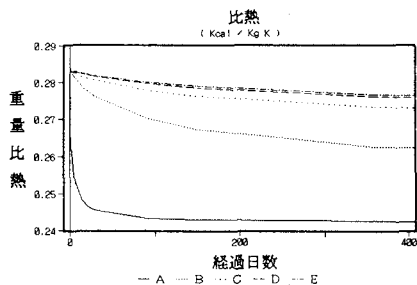


図-4 比熱の履歴

<参考文献> 1)A.M.Neville:Properties of Concrete、技報堂出版株式会社、2)Keith.J.Laidler:Reaction Kinetics Vol.1、産業図書株式会社、3)大久保 俊治:土の熱伝導率の推定について、土の熱的性質に関するシンポジウム 土質工学会、4)井畔 瑞人:Euchen式による飽和土の熱定数とその凍土試験への応用、土の熱的性質に関するシンポジウム 土質工学会、5)後藤 幸正:乾燥過程におけるコンクリート内部の含水状態について、セメント技術年報 昭和59 P175、6)G.S.Campbell:パソコンで学ぶ土の物理学、鹿島出版