

V-206

温度ひびわれ抵抗性に立脚した混合セメントの鉱物組成設計

東京大学大学院 学生員 加藤佳孝
東京大学工学部 正会員 岸 利治

1. はじめに

マスコンクリート構造物の熱応力解析では、断熱温度上昇試験に基づく温度解析と積算温度法（マチュリティー法）による強度予測を行うのが一般的である。しかし解析精度の向上のためには、温度依存性を考慮した温度解析を行い、水和の進行に伴う物性の発現を水和の程度に基づいて予測することが望まれる。これまでに、温度依存性を考慮したコンクリートの水和発熱過程の定量化手法が鈴木らにより提案され¹⁾、セメントの水和発熱過程と熱伝導との連成を考慮した非線形温度解析が原田らにより確立された²⁾。これらの研究を受けて、筆者らはセメントの鉱物組成に基づいた水和発熱モデルを提案し³⁾⁴⁾、さらに水和発熱モデルから求まる各鉱物ごとの水和度を用いた若材令コンクリートの強度発現モデルを提案した⁵⁾。これらの構成モデルを熱応力解析と連成させることで鉱物組成に基づいた温度ひびわれ解析の枠組みが構築され、設計において実験を介すことなく適切な粉体を選定することが可能となる。本文では大型基礎マットを例にとり、鉱物組成に基づく熱応力解析を行い、温度ひびわれの視点に立った鉱物組成の検討を行った。

2. 混合セメントの鉱物組成設計

図1に温度ひびわれ解析のフローチャートを示す。まず水和発熱モデルを用いて構造物の温度解析を行う。セメントの鉱物組成、配合が主たる入力情報であり、構造物の温度履歴とセメント中の各鉱物の積算発熱量が算出される。続いて温度解析の結果に基づき熱応力解析を行う。コンクリートの強度発現は、構成鉱物の水和度と配合条件から強度発現モデルにより算出し、コンクリートの弾性係数は圧縮強度から算定している。ひびわれ発生確率はひびわれ指数によって評価し、1.1以上を選定の条件とした。検討の結果、条件が満たされなければ、使用粉体の組成変更を含めた配合の見直しを行い再度解析を実行する。要求性能を満足する鉱物組成をもって粉体の設計は終了する。条件を満足する配合・粉体は唯一とは限らず、複数の候補の中から何れを採用するかは他の物性を睨んで設計者が判断することとなる。自己充填コンクリート⁶⁾では自己充填性の要件より、粉体量のとり得る範囲が限定される。つまり、粉体量を減らすことにより発熱量の低減を図ることは困難であり、使用粉体の質を変更することで対処しなければならない⁶⁾。したがって、自己充填コンクリートでは特に鉱物組成に基づいた温度ひびわれ解析が有効となる。

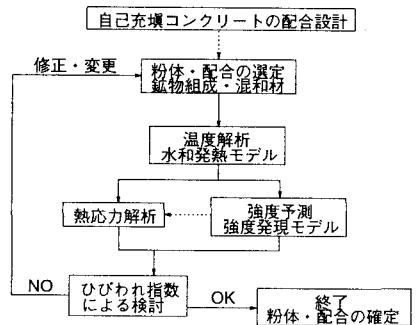


図1 温度ひびわれ解析の粉体選定フロー

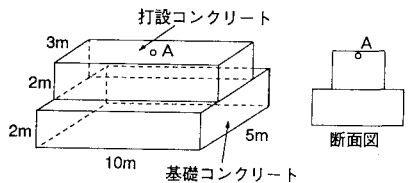


図2 解析対象構造物（大型基礎マット）

表1 解析で想定したセメントの鉱物組成

	C3A	C3S	C4AF	C2S
MC	4	46	12	31
LC	2.5	26	13	52

表2 解析条件

$V_w/V_p=0.8$ (V_w : 水の体積、 V_p : 粉体の体積)
砂 : コンクリート体積の28%
砂利 : コンクリート体積の30%
弾性係数: $E_c=40000 f_c'^{1/3}$ (Kg/cm ²) f_c' : 圧縮強度
外気温: 20℃
打ち込み温度: 25℃
コンクリートの熱伝導率: 65 (Kcal/m×day×℃)
コンクリートの熱伝達率: 120 (Kcal/m ² ×day×℃)
コンクリートの熱膨張係数: $1.0 \times 10^{-5}/℃$
ベースコンクリートの弾性係数: 3.0×10^4 (Kg/cm ²)
拘束条件: 完全拘束

3. 大型基礎マットにおける自己充填コンクリートの鉱物組成の検討

図2に示す大型基礎マットを例にとり、ベースマット上に新たに自己充填コンクリートを打ち継いだ場合を想定した。中庸熱セメント（MC）、低発熱セメント（LC）、重量比で中庸熱セメントに高炉スラグを80%置換したもの、フライアッシュを50%置換したものの4種類の解析例を示す。想定したセメントの鉱物組成を表1に、解析条件を表2に示す。解析した配合はコンクリート1m³当たりの粉体容積が約233 l一定であり、これは中庸熱セメント単味では単位セメント重量が約750kg/m³もの富配合である。熱応力解析を行った結果から、ひびわれ指数が最も厳しくなるのは図2中に示すAの位置であり、図3～図6に各粉体ごとのAの位置での応力履歴と強度発現を示す。中庸熱セメントでは応力が強度を大きく上回っており、温度ひびわれの発生危険度が極めて高い。低発熱セメントでは中庸熱セメントに比べてひびわれ指数は大きくなったが、要求を満足するまでには至らなかった。中庸熱セメントに高炉スラグを80%、フライアッシュを50%置換した場合で設定条件が満たされた。この両者が、検討を行った大型基礎マットにおける温度ひびわれの観点からの適切な粉体として選定されたことになる。なお、本解析では粉体の発熱と強度発現に視点を集中する意味でクリープを考慮しておらず、解析結果は実際よりも厳しいものとなっている。

4. まとめ

鉱物組成に基づいた温度ひびわれ解析を行うことで、実験を介することなく温度ひびわれの観点から要求性能を満足する粉体の選定が行えることを示した。今後各構成モデルの精度向上と併せて、3成分系へモデルを拡張する必要がある。

なお、本研究を遂行するにあたりご指導をいただいた東京大学前川宏一助教授に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木康範、辻幸和、前川宏一、岡村甫：コンクリート中に存在するセメントの水和発熱過程の定量化、土木学会論文集、第414号/V-12, pp155-164, 1990
- 2) 原田修輔、前川宏一、辻幸和、岡村甫：温度依存性を有するセメントの水和発熱過程と熱伝導との連成を考慮した非線形温度解析、土木学会論文集、第426号/V-14, pp167-176, 1991
- 3) T.Kishi, K.Ozawa, K.Maekawa: Multi-Component Model for Hydration Heat of Concrete Based on Cement Mineral Compounds, コンクリート工学年次論文報告集、第15巻第1号pp1211-1216, 1993
- 4) S.Santhikumar, T.Kishi, K.Maekawa: Heat Generation Model for Mixed Portland Cement, Blast Furnace Slag and Fly-Ash Concrete, Proceedings of the Fourth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, pp1449-1454, 1993
- 5) 加藤佳孝、岸利治：構成鉱物の水和に基づく若材令コンクリートの強度発現モデル、コンクリート工学年次論文報告集投稿中, 1994
- 6) 岡村甫、前川宏一、小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、1993

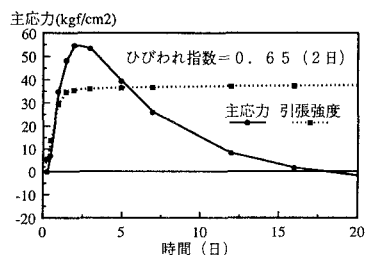


図3 主応力と引張強度（MC 100%）

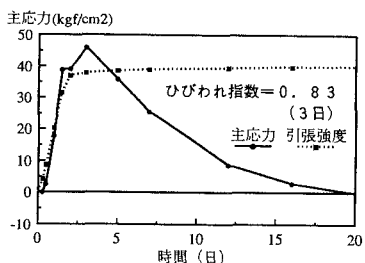


図4 主応力と引張強度（LC 100%）

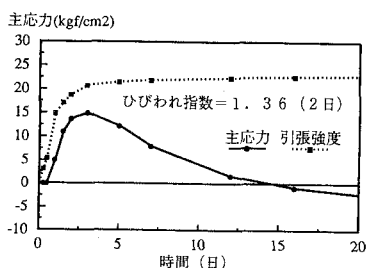


図5 主応力と引張強度（SG 80%）

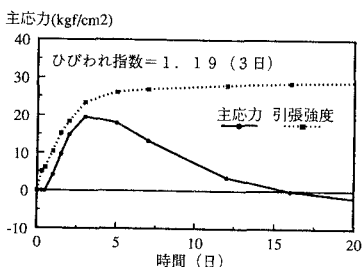


図6 主応力と引張強度（FA 50%）