

CFRD 被覆コンクリートスラブの温度ひび割れ制御に関する研究

京都大学工学部 学生員 安田悠佑 京都大学大学院工学研究科 正会員 小野統一
 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦邦征 京都大学大学院工学研究科 学生員 大島義信

1. はじめに

ロックフィルダムの遮水スラブにおけるひび割れ発生の予測は、ダムの機能上非常に重要である。しかし現在、ひび割れの予測法として利用されている有限要素法では多くの労力と時間がかかり、また簡易法として用いられているCP(CL)法では、適用範囲や係数の決定が不明確である。そこで本研究では、CP法に代わる簡易でかつ理論的な応力算定法の確立を目指し、「自己平衡応力を用いた温度応力算定法」^[1]を外部拘束がある場合へと拡張し、その手法の妥当性について検討を行う。

2. 自己平衡応力と複合断面モデル

2.1 自己平衡応力の定義

今、図1のような十分に長い一様断面部材を考え、その断面内に非線形温度分布 $T(y)$ (°C)が生じたとする。このとき線膨張係数を α (1/°C)とすれば、自由ひずみ ε_f は式(1)で定義される。

$$\varepsilon_f = \alpha \cdot T(y) \quad (1)$$

一方、部材の変形が「平面保持の法則」に従うならば、曲率を φ 、図心でのひずみを ε_0 としてひずみ分布 ε_R は式(2)に示す直線形状となる。

$$\varepsilon_R = \varepsilon_0 + \varphi \cdot y \quad (2)$$

その結果、曲線形状の自由ひずみ ε_f を直線形状 ε_R に補正する応力が部材内部に発生する。これを自己平衡応力と定義する(式(3))。

$$\sigma = E(\varepsilon_R - \varepsilon_f) \quad (3)$$

ただし σ を自己平衡応力(N/mm²)、 E を弾性係数(N/mm²)とする。

2.2 複合断面モデル

外部拘束を適切に表現するモデルとして、コンクリートスラブCS(被拘束体)とトランジションゾーンTZ(拘束体)を一体とした複合断面モデルを考える。このモデルにおける自己平衡応力を算定することにより、温度応力解析を行った。ただし、拘束体であるTZのヤング係数 E_2 を変化させることにより、外部拘束の程度を表現する。($E_2=0$ ・・・無拘束の状態、 $E_2=\infty$ ・・・スラブ底面を完全拘束)

3. 解析条件および解析結果

3.1 解析条件

与えた解析条件を表1に示す。また、与えた温度分布としては、スラブ部分については放物線近似、TZ部分については直線近似とした。入力値として用いたCS表面・中央・底面およびTZ底面の温度の時刻歴変化を図3に示す。以上の条件のもとで、CL法^[2]との比較を行った。ただし、CP法および本研究の手法におけるTZの弾性係数は 1.0×10^3 N/mm²と設定した。

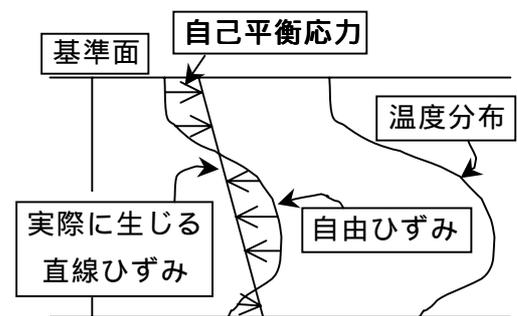


図1 自己平衡応力概念図

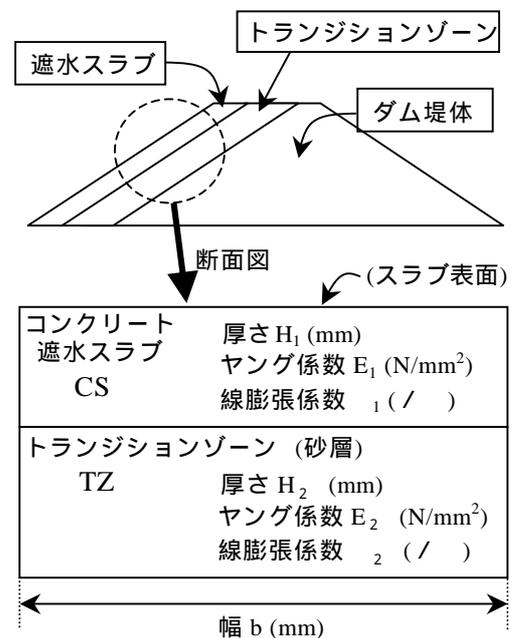


図2 複合断面モデル図

キーワード：温度ひび割れ，温度応力，自己平衡応力，複合断面

京都市左京区吉田本町 京都大学工学部地球工学科 複合構造デザイン分野 Tel・Fax 075-753-4791

3.2 解析結果

時刻歴でのスラブ表面の応力変化を図4に示す。材令が4日ごろまでは両手法の間に差はほとんどないが、材令4日以降でCP法の方がより大きな引張応力を示している。複合断面モデルと異なりCP法では、TZ部の変形を考慮していないため、スラブ表面での引張応力が大きくなったと思われる。すなわち、複合断面モデルにおけるTZ層の温度分布の決定が重要であることを示唆しており、今後FEM解析等における検討を重ねていく必要がある。次に、複合断面モデルにおいてTZ層の弾性係数 E_2 を変化させ、時刻歴のスラブ表面での発生応力を算定した。その結果を同じく図4に示す。これより、 E_2 が大きくなるにつれ最大引張応力は大きくなるが、 E_2 がある程度大きくなるとその値は収束することがわかった。また温度ひび割れ指数の変化を図5に示す。これより E_2 の値が大きくなるにつれてひび割れの確率が高く、またひび割れ発生危険性がある期間が長く続くことがわかった。また、温度分布についても様々な条件を変えて解析を行い、全体的に高温条件下において発生引張応力が大きく、またひび割れの危険性が高い、という傾向があることも分かった。

4. 結論および今後の課題

以下に本研究によって得られた知見をまとめる。

- ・ 複合断面モデルを用いることによって、外部拘束がある場合における「自己平衡応力を用いた算定法」による温度応力の算定が可能である。ただし、TZ層の温度分布について検討が必要である。
- ・ 拘束体のヤング係数の値が大きくなるにつれて、発生する引張応力も大きくなる。またひび割れ指数についても小さくなり、ひび割れの可能性が高くなる。ただし、いずれも収束値が存在する。

また今後の課題として以下が挙げられる。

- ・ 本研究では簡便な形状をもつ温度分布を用いて検討を行った。よって今後、伝熱解析による温度分布等をもとにより実際に近い温度応力の算定を行う必要がある。
- ・ 本研究のモデルは断面厚さ方向の一次元解析であるが、拘束体のヤング係数 E_2 を極めて大きく設定することにより、上下左右の拘束を含めた2次元・3次元的な拘束状態をも表現できると思われる。よって今後、実際の3次元的な拘束条件を加味し、本手法を3次元へと拡張していく予定である。

[参考文献]

[1] 新技術開発等研究委員会 CFRD 検討分科会報告書(案), ダム技術センター, 2000.3.
 [2] マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書, (社)日本コンクリート工学協会, 1985.11.

表1 解析データ

スラブ幅 b (mm)	7500
CS 厚さ H_1 (mm)	500
TZ 厚さ H_2 (mm)	1000
CS 線膨張係数 α_1 (/)	1.0×10^{-5}
TZ 線膨張係数 α_2 (/)	1.0×10^{-5}

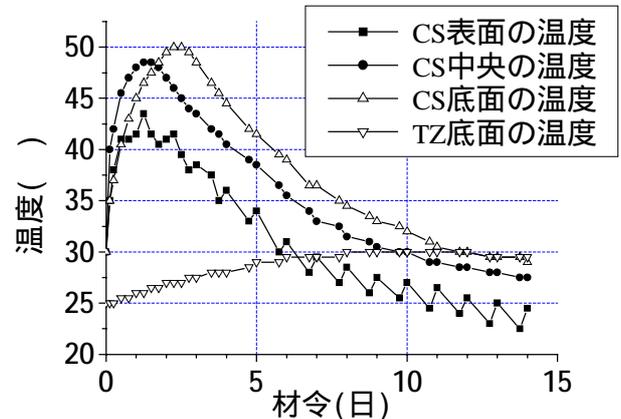


図3 温度分布

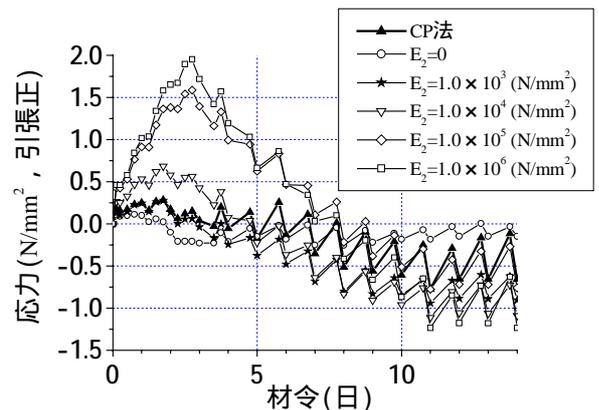


図4 スラブ表面での応力変化

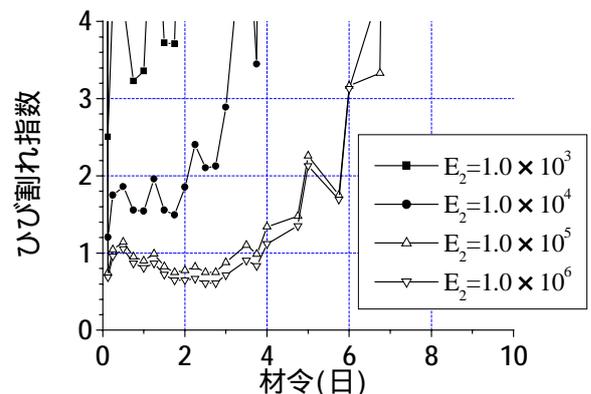


図5 ひび割れ指数の時刻歴変化