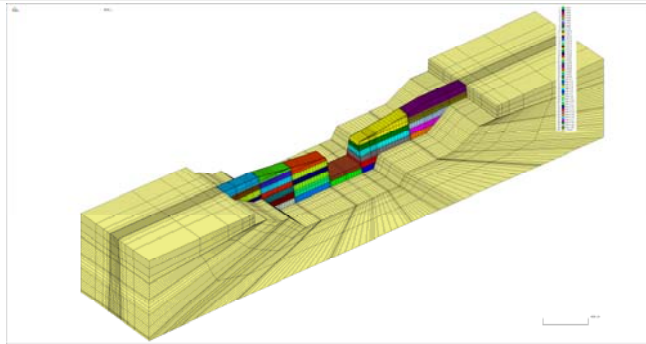


## 温度応力解析始めてみました



## なぜ温度応力解析をおこなうのか？

土木工事共通仕様書「マスコンクリート」に明記されている

- 検討結果にもとづき設定
- 打込み区画の大きさ
- リフト高さ
- 継目の位置および構造
- 打込み時間間隔

設計時は配合計画と打設時期、打設順序が不明

設計時に仮定で計算、対策工の予算化

施工計画に基づき照査

できれば、設計者が照査して欲しい。(設計条件、モデル設定を合わせるため)

## 技術士第二次試験に出題

令和6年度 建設部門 鋼構造及びコンクリート

選択科目Ⅱ-1-4

コンクリート構造物の温度ひび割れの発生メカニズムについて説明せよ。また、温度ひび割れの抑制対策を2つ挙げ、それぞれについて目的と留意点を述べよ。

## 解析ソフト

3次元FEM解析

ASTEAMACS

- (株)計算力学研究センター
- 約300万円+年間保守料(5%)
- オプションも含む(ASEソルバーは、計算時間短縮のため追加した方がよい)

JCMAC3

- 日本コンクリート工学会
- 約30万円(年額)

なお、(株)計算力学研究センターさんからは、一切供与を受けておりません。

## FEMソフトの構成

### プリプロセッサ

- 入力データの作成

### ソルバー

- 計算機能本体、各種構成則

### ポストプロセッサ

- 解析結果出力

パソコン、メモリー、グラフィックは可能な限り大規模、高性能なもの  
計算時間は1秒でも短縮した方がよい  
モニターも大きな方が作業性高い

結構重要です

## 適用指針

土木学会 コンクリート標準示方書 2022

日本コンクリート工学会 ひび割れ制御指針 2016

日本建築学会 温度ひび割れ制御設計・施工指針 2019

## 温度応力解析の特徴

### モデル作成は優しい

- コンクリート標準示方書2022 P.336

### 入力データは設定しやすい

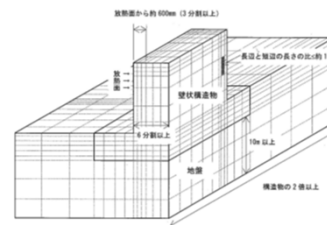
- 使用セメント、単位セメント量、単位水量で決定

### 計算は早い

### 結果の判断はわかりやすい

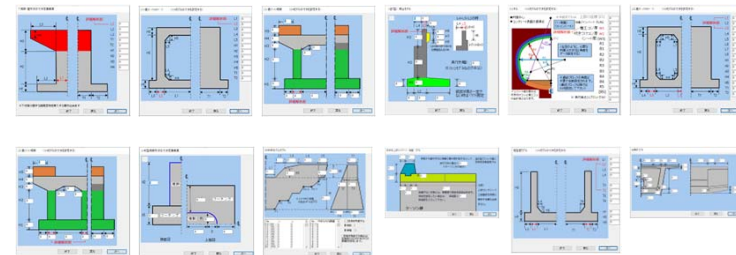
- ひび割れ指数で評価
- ただし建築学会はひび割れ指数の逆数で判断

### 鉄筋はモデル化しない



解説 図 3.1.1 温度解析におけるメッシュ分割の例 (壁状構造物の断面図)

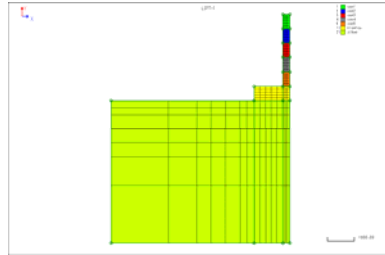
## 初心者モード(モデル自動作成)が親切



## 自分で最初から作成する場合

### 2次元メッシュ作成

- CADで形を作成DXFデータ
- 2次元メッシュ作成



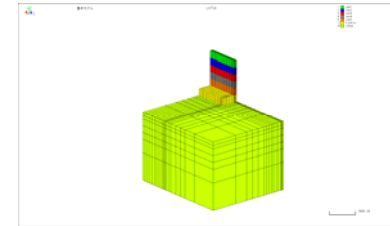
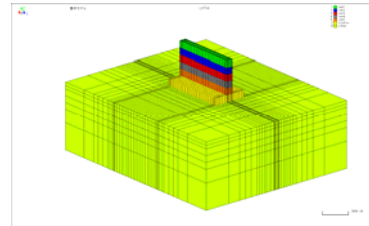
## クォーターモデル作成

### 2次元メッシュを押し出して3次元データ作成

既存コンクリート上に高さ5m,幅1mのコンクリートを打設するモデル、打設高さ1m@5回

X方向、Y方向対称なので、全体の1/4で計算

左右対称の場合は1/2モデルで計算



## 平均気温データ

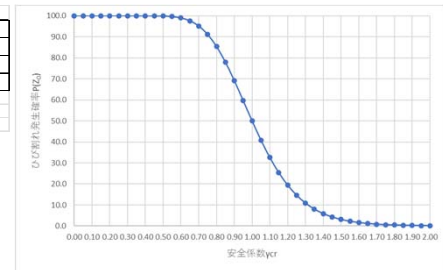


## ひび割れ照査、ひび割れ指数

表2.1.2 一般的な配筋の構造物における標準的なひび割れ発生確率と安全係数  $y_{cr}$

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 $y_{cr}$
ひび割れを許さない場合	5%	1.45以上
ひび割れの発生を許すも限られた場合	15%	1.25以上
ひび割れの発生を許す場合、ひび割れ幅が拡大しないように制限しない場合	50%	1.00以上

$V_{cr}=15\%$ とする場合の注で、入念な施工、管理が必要  
 ばらつきを考慮する良質な施工の場合、変動係数を1/3下げることが可能、安全係数の削減が可能  
 施工実績等による独自のひび割れデータがない場合、変動係数を  $V_{cr}=20\%$  とする



## VR、VSが変わった場合の安全係数

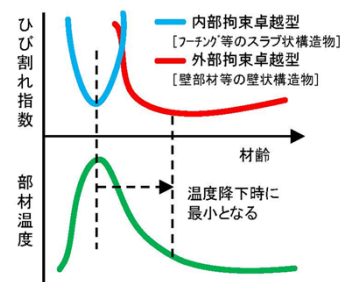
$V_R=V_S=20\%$

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 $\gamma_{cr}$
ひび割れを防止したい場合	5(%)	1.63以上
ひび割れの発生をできる限り制限したい場合	15(%)	1.35以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50(%)	1.00以上

$V_R=V_S=10\%$

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 $\gamma_{cr}$
ひび割れを防止したい場合	5(%)	1.26以上
ひび割れの発生をできる限り制限したい場合	15(%)	1.16以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50(%)	1.00以上

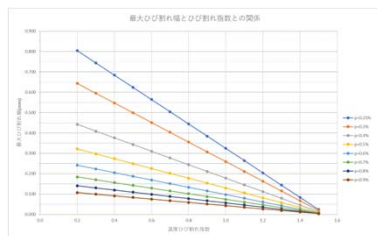
## ひび割れの評価



内部拘束卓越型か外部拘束卓越型かにより対策は判断する

内部拘束卓越型は無視する

## 最大ひび割れ幅の算出



温度ひび割れ指数から最大ひび割れ幅を算出し、許容ひび割れ幅以下になるように鉄筋を増やす

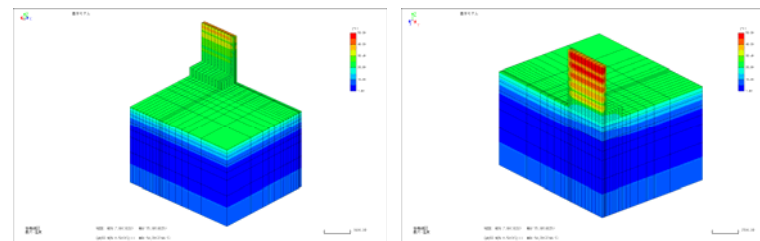
許容ひび割れ幅は0.3~0.5mmが多い

コンクリート標準示方書2022設計編p.157では、鋼材腐食に対するひび割れ幅の設計限界値は、 $0.005c$ ( $c$ はかぶり(mm))ただし、0.5mmが上限

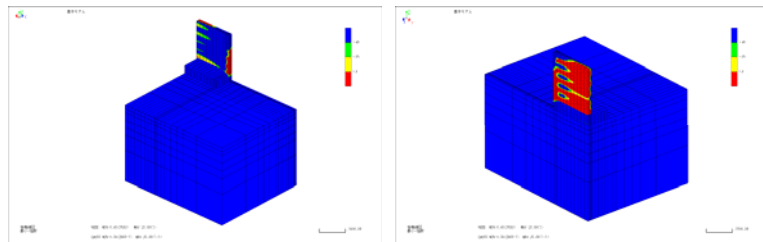
温度ひび割れ指数が0.6でも鉄筋比0.3%以上あればOKとなる

## 解析結果(最大温度)

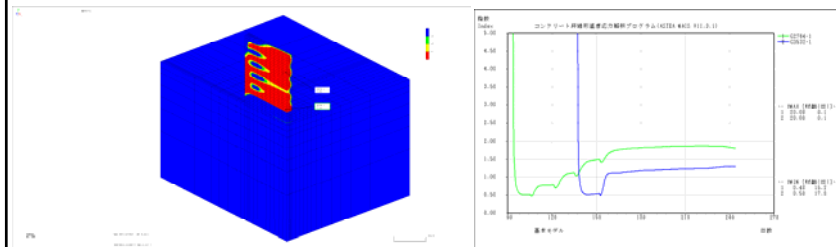
高炉セメントB種 320kg/m<sup>3</sup>  
水セメント比 55%  
コンクリート打設は4月、5月、6月、2週間毎



## 解析結果(最小ひび割れ指数)

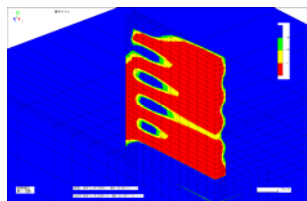


## 解析結果 ひび割れ指数グラフ

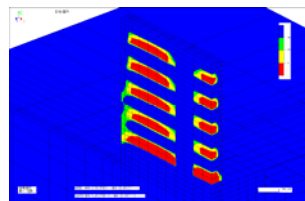


## 目地の効果

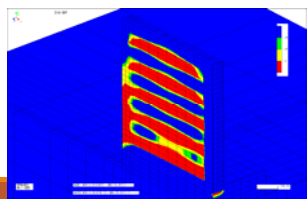
目地なし



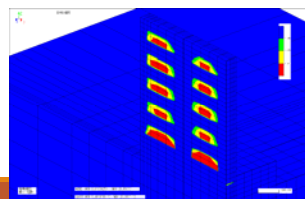
目地2箇所



目地1箇所

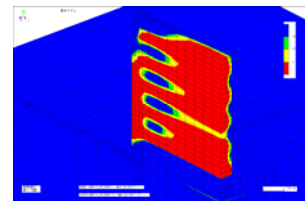


目地3箇所

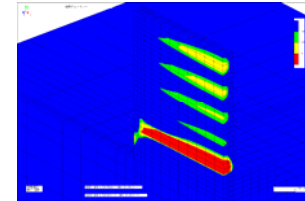


## セメント種類の違い(ひび割れ指数)

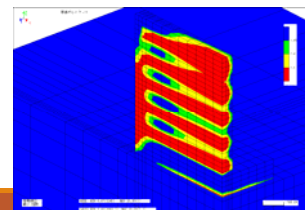
高炉B



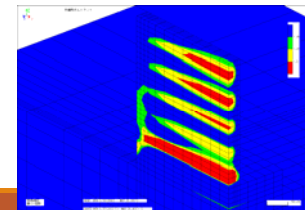
低熱



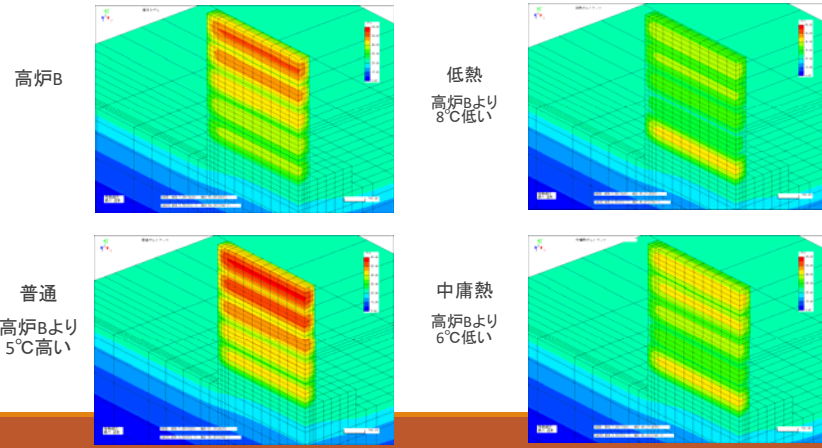
普通



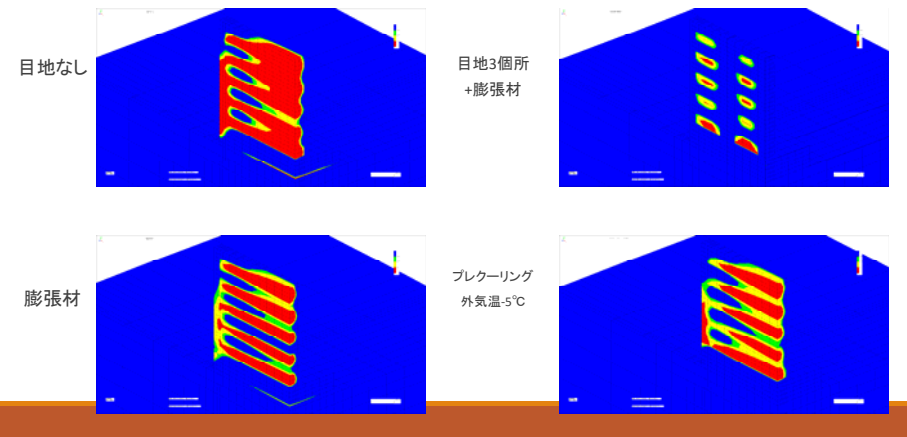
中庸熱



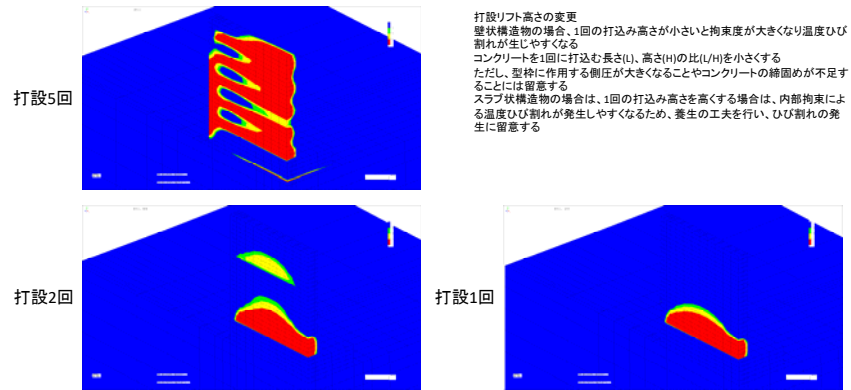
## セメント種類の違い(最高温度)



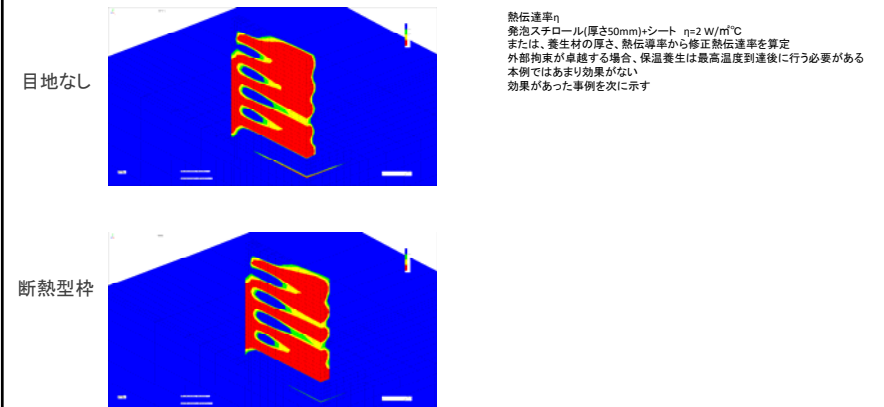
## その他の対策



## その他の対策

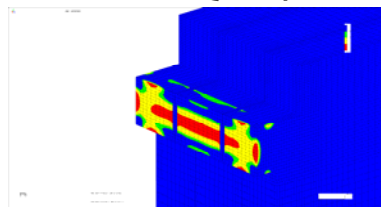


## その他の対策

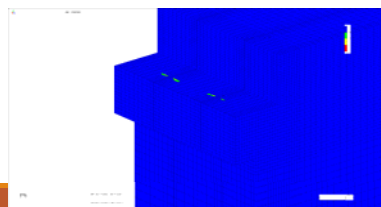


## その他の対策

内部拘束による温度ひび割れを制御するのに効果がある

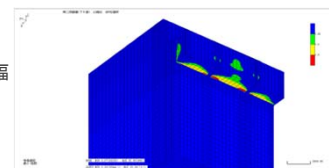


断熱型枠

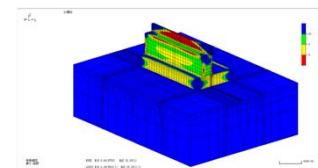


## 解析例

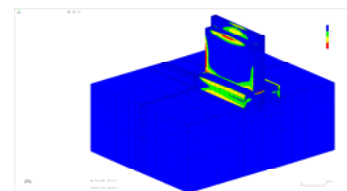
橋台拡幅



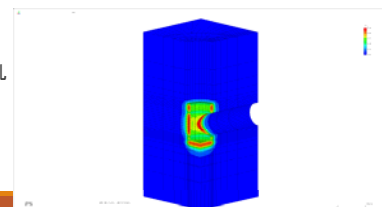
橋台



橋台



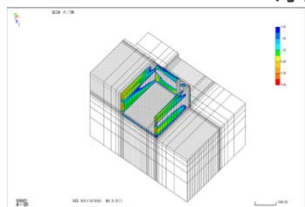
人孔



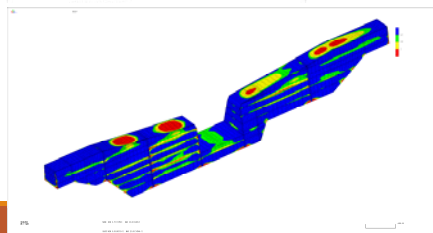
## 解析例

日本下水道事業団  
事業団の内部資料による検討が必要  
検討方法はコンクリート標準示方書と同じ  
検討箇所、モデル化方法は定義あり  
ひび割れ指数、ひび割れ幅の限界値は設定されている  
対策工の指定があり、膨張材、低発熱セメントも記載あり  
設計時検討はあり、施工時に条件を変えてチェック

雨水ポンプ場



砂防ダム



## 解析例

雨水調整水槽

