

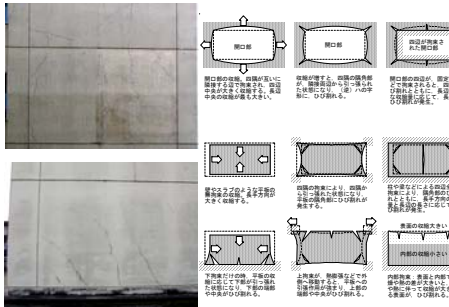


# 建築材料のひび割れ制御法の開発

## ★ひび割れ制御法の概要

建築材料自体の収縮あるいは膨張の体積変化と、建築材料が設置されたときの拘束状態との釣り合いを考える。

ひび割れを発生させないための制御法とともに、あえてひび割れを発生させる制御法を開発。



## ★あえてひび割れを発生させる制御法

### ★ひび割れの模様化の解析

弾性バネのネットワークを考え、弾性バネの弾性係数を0にすることで、ひび割れを表現し、そのひび割れパターン形成を、建築材料のテクスチャの一つとして、ひび割れ模様と見なす数値解析手法。

空隙モデルを設定しないとひび割れ形成時のひび割れ局所化が表現できない。このため、乱数発生による空隙モデル生成を開発し、空隙の配置で、ひび割れ局所化を表現。

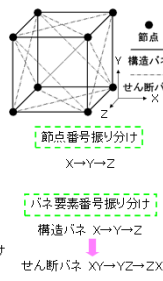
### 変形解析の概要：立体トラスモデル

#### ★立体トラス線形解析

立体トラスによるピン接合の軸力のみ作用する単純弾性バネの静的線形解析(変位法)で、収縮と膨張を区別しない。

#### ★格子型のバネ要素構成

立体トラスの組み方は、格子型。稜線のバネ要素は、構造バネ。面内筋交いのバネ要素は、せん断バネ。基本格子は、節点8個で、構造バネ12本、せん断バネ12本の不静定構造体。基本格子を重複して、対象モデルを構築。プログラミングでは、節点と要素の番号付けを規則化して、大規模モデルに対応。



## ★有害なひび割れを発生させないための制御法

構造材料としてのコンクリートを主体に、コンクリートの耐久性や耐用性を劣化させる有害ひび割れを発生させないよう制御するための、表計算ソフトExcelでの計算シート群を開発。

↓  
Excel計算シート群は、便利・簡単をコンセプトにして、「Convenient and Easy Concrete Engineering Calculation Tool (便利で簡単なコンクリート工学計算ツール)」を略して、造語「Convy;コンビイ」と名付けている。

### ■コンビイで取り扱ったひび割れ関連の各種コンクリート工学モデル

- ★コンビイ物性の計算シート群
1. 積算温度、材齢換算の積算温度、相当材齢、有効材齢の計算
  2. 未反応核モデルによる水和反応率(水化度)の計算
  3. ボルトランドセメントの化学成分に対する鉱物組成の計算
  4. 任意材齢の相組成容積、圧縮強度、引張強度、ヤング係数の計算

### ★コンビイ変形の計算シート群

1. 収縮歪みとクリープ歪みとクリープ係数の計算
2. 変動クリープでのクリープ変形の計算
3. step by step法での拘束収縮応力とひび割れ発生確率の計算
4. クリープ変形とリラクゼーション(=応力緩和)の関係の計算
5. 膨張材を考慮したstep by step法での拘束収縮応力の計算
6. 修正ベース・マレー法による収縮ひび割れ幅の計算
7. 大野法による収縮ひび割れ幅の計算

**ステップ1:** 節点座標と節点番号付け、バネ定数、節点変位を拘束する支点条件、温度変化量を設定する。

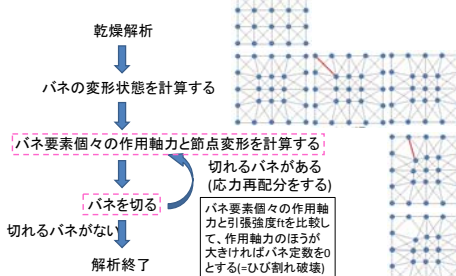
**ステップ2:** 作用力に対する節点の变形拘束力 $[F]_{n \times 1}$ と、変形を拘束したときに作用力によって生じる力学量 $[A]_{m \times 1}$ を計算する。ここで、バネ要素 $m$ に、温度変化 $\Delta T$ や水分逸散変化 $\Delta W$ が生じたとき、バネ定数 $E_m$ 、バネ断面積 $A_m (=1)$ 、熱膨張係数 $\alpha_m$ 、水収縮係数 $\beta_m$ (膨張を正)とすると、フック法則の軸方向力 $F_{m \times 1} = E_m A_m (\alpha_m \Delta T_m + \beta_m \Delta W_m)$ が、バネ要素端力 $[A]_{m \times 1}$ になり、節点変形拘束力 $[F]_{n \times 1}$ が作成される。

**ステップ3:** 仮想仕事の原理を適用し、全体座標系の全体剛性マトリックス $[S]_{n \times n}$ と、単位変位を与えたときに生じる力学量 $[A]_{m \times n}$ を求める。

**ステップ4:** 釣合方程式 $[S]_{n \times n} \cdot [D]_{n \times 1} = -[F]_{n \times 1}$ を解き、未知変位 $[D]_{n \times 1}$ を得る。

**ステップ5:** 重ね合せ $[A]_{m \times 1} = [A]_{m \times n} \cdot [D]_{n \times 1}$ により、求める力学量 $[A]_{m \times 1}$ を得る。

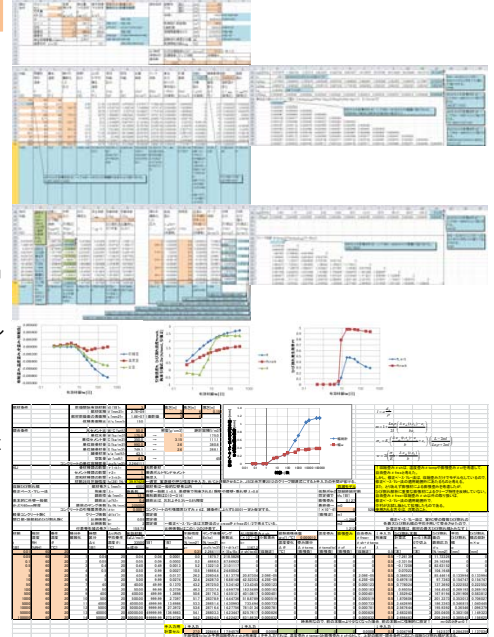
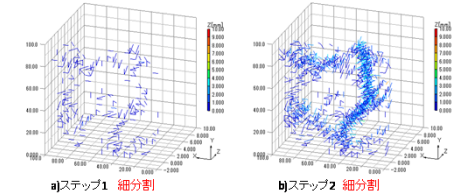
### 変形・ひび割れ解析手順



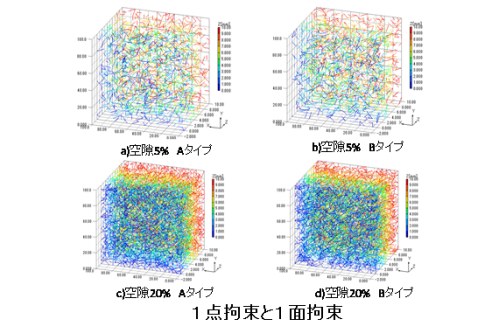
### ひび割れ局所化の形成過程結果

同じ解析条件 拘束条件 5面拘束 空隙率 5%

空隙モデルを導入すると不均一拘束に伴い、破壊部分が局所化し、ステップへの変化で、よりひび割れの局所化して形成過程が解析できている。

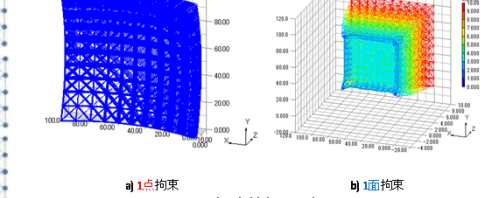


### 空隙の初期設定はバネ弾性係数0配置の設定



平板を拘束せず1面に表面の収縮が大きいため、反り解析できた。

表面のみを拘束したため、ひび割れは発生せず、表面よりも表面が小さく収縮している。

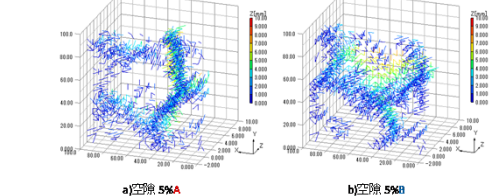


### 空隙状況の違い

同じ解析条件 拘束条件 5面拘束 要素分割 粗分割

中心部分を除き周りに局所的なひび割れが起こっている。

中心部分に局所的なひび割れが起こっている。



### 均質組織構造と、空隙を含めた不均質組織構造

均一構造のため、収縮拘束が強い表面の枠部分が上下左右対称に破壊している。

粗分割でも、ひび割れの局所化の形成状況がある程度わかる。

