

## コンクリート構造分野

東京工業大学	二羽 淳一郎
神戸大学	三木 朋広
鉄道総合技術研究所	渡辺 健
東京工業大学	松本 浩嗣

1

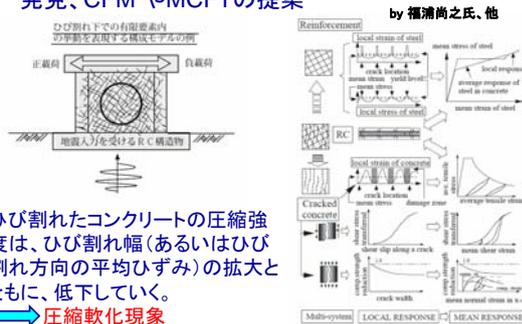
## 1. コンクリート構造分野における有限要素法の適用

- 1969年 Ngo & Scordelis によるRCはりのひび割れ解析がパイオニア
- 鉄筋とコンクリートの付着を表現するBond-Link要素の使用
- 1970年代、1980年代前半
  - 【基礎的研究】
  - ➡ ひび割れたコンクリートの力学挙動のモデル化  
コンクリートの構成則(平均応力-平均ひずみ関係)
  - 【応用的研究】
  - ➡ RC部材の非線形挙動の評価  
破壊メカニズムの推定

2

## 2. コンクリートの圧縮軟化挙動

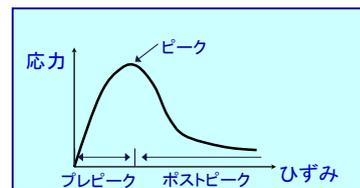
○1980年代後半 M.P. Collins による圧縮軟化挙動の発見、CFM やMCFTの提案



3

## 2. コンクリートの圧縮軟化挙動

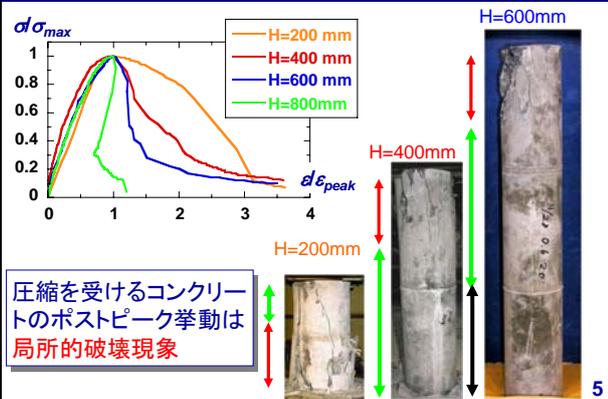
コンクリートの圧縮軟化における局所化現象



- プレピーク
  - ✓ 材料特性
- ピーク & ポストピーク
  - ✓ 材料特性 (圧縮強度、骨材種類)
  - ✓ 載荷条件 (横拘束, 載荷条件)
  - ✓ 寸法, 寸法比

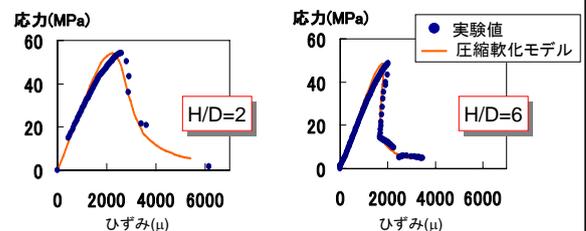
4

## 2. コンクリートの圧縮軟化挙動



5

## 2. コンクリートの圧縮軟化挙動

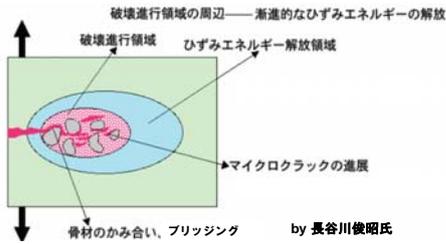


コンクリートの圧縮破壊の局所化現象を組み込んだ応力-ひずみ曲線の定式化

6

### 3. 破壊力学とエネルギー規準の導入

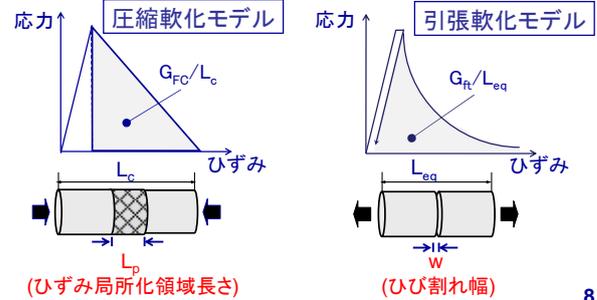
- 1980年代 コンクリートの破壊力学が欧州を中心に発展
- 微細ひび割れと破壊進行領域の存在
- コンクリートの破壊エネルギーと引張軟化曲線
- ➡ ひび割れ(破壊)を強度規準から、エネルギー規準へ



7

### 3. 破壊力学とエネルギー規準の導入

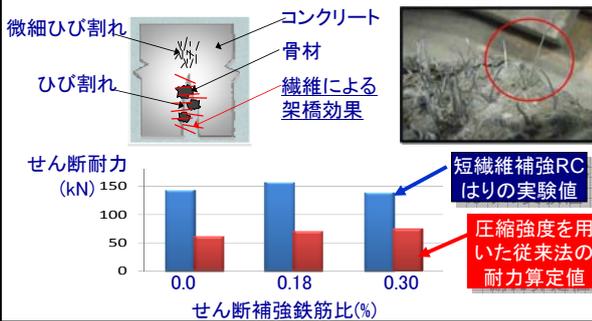
- ◆ ある領域の平均的なコンクリートの応力ひずみ関係
- ◆ 破壊エネルギーを利用した要素寸法依存性の解決



8

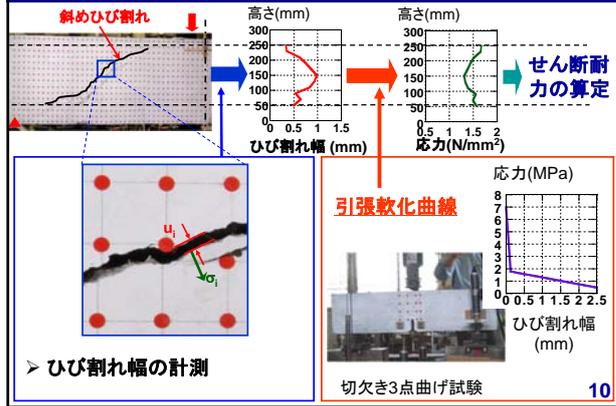
### 3. 破壊力学とエネルギー規準の導入

- ◆ 短繊維混入によるコンクリートの高靱性化
- ◆ 材料強度のみによるRC部材の耐力評価の限界



9

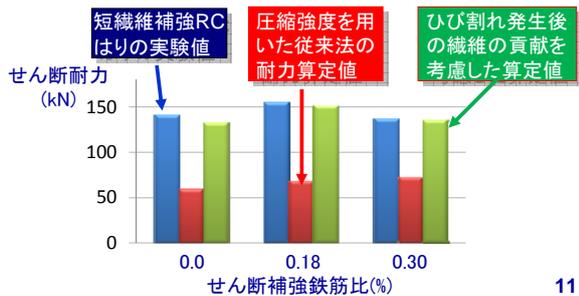
### 3. 破壊力学とエネルギー規準の導入



10

### 3. 破壊力学とエネルギー規準の導入

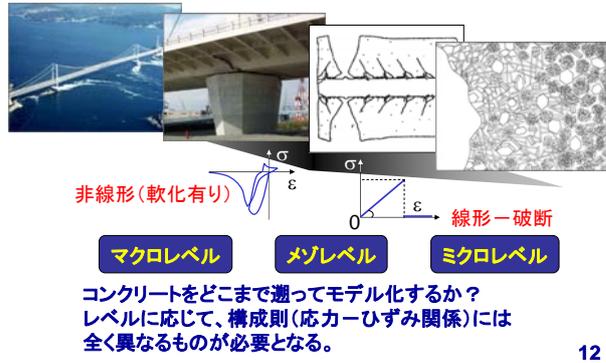
- ◆ 引張軟化曲線を利用した短繊維補強RC部材のせん断耐力評価



11

### 4. 3次元及び動的・非線形解析への拡張

#### 4.1 解析モデルのスケール



12

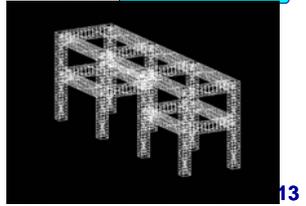
## 4.2 構造物の耐震性能評価

格子モデルによるコンクリート構造の非線形解析

→ 3次元の動的非線形解析に応用

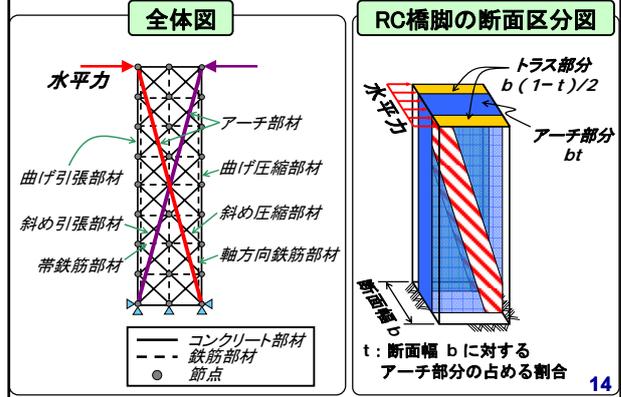
- ・材料非線形性を考慮した構成則
- ・1次元トラス要素に離散化して力の流れを容易に特定
- ・RC部材のせん断耐荷機構をトラスとアーチの組合せで表現し、シンプルかつ妥当な精度で耐震性能を予測

3D 格子モデル



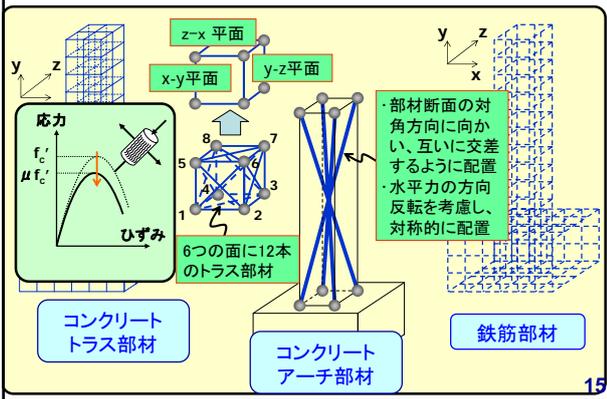
13

## 4.3 2次元格子モデル概念図



14

## 4.4 3次元格子モデル



15

## 5. その他の解析技術

### 5.1 画像解析を用いた実験評価

- ・コンクリートのひび割れ、主鉄筋の降伏などに起因するRCの変形挙動を非線形解析によって予測する。その際に、解析結果の妥当性を検証しておく必要がある。
- ・単に荷重-変位関係といった全体挙動だけでなく、コンクリート部材の局所的な変形やひずみを把握することで、いつ、どのような位置で、ひび割れや破壊等の挙動が生じているのかが確認できる。
- ・これと、解析的な検討を併せて行うことで、解析の精度検証と、実挙動確認を可能にする。

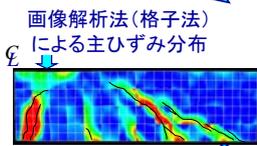
16

### 5.1 画像解析(格子法)を用いた実験評価

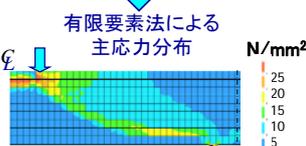
◆ RC部材の破壊進展評価および解析結果に対する検証ツール



RCはりの載荷実験



画像解析法(格子法)による主ひずみ分布



有限要素法による主応力分布

N/mm<sup>2</sup>

17

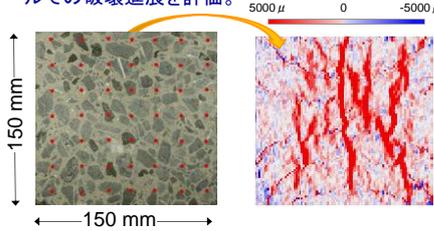
### 5.2 画像相関法による局所化ひずみの可視化

- ・ひび割れは実験中、目視可能。しかし、ひび割れに達していない局所化ひずみの集中はひび割れから類推できるものの、どのような領域に生じているのかを観察するのは非常に難しい。
- ・画像解析によって、非接触で局所化ひずみの集中を評価したい。

18

## 5.2 画像相関法による局所化ひずみの可視化

**画像相関法:** デジタル画像を用い、変形の前後を比較し、ピクセル群の最も相関のある領域(同じものと認識している箇所)に着目して、変位を求め、併せて有限要素を用いて、平面のひずみ挙動を把握する。メソスケールでの破壊進展を評価。



19

## 5.3 初期応力を考慮した解析

コンクリート分野における初期応力問題

- ① 温度応力(水和熱)
- ② 収縮
- ③ クリープ
- ④ プレストレス
- ⑤ 鉄筋腐食やASRに伴う膨張圧

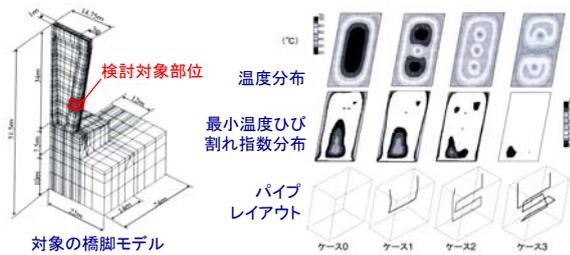


垂井高架橋 (PRC7径間連続ラーメン箱桁橋) のひび割れ損傷

20

## 5.3 初期応力を考慮した解析

【例】パイプクーリングによるコンクリート橋脚のひび割れ抑制に関する解析的研究(溝淵ら)

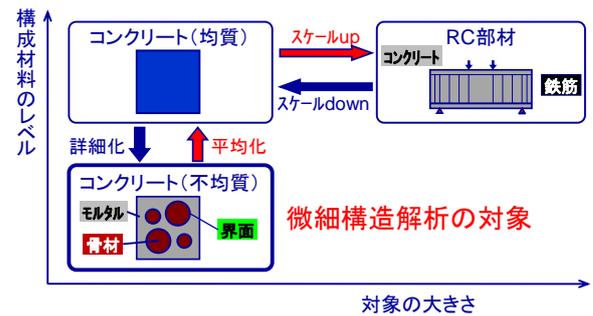


初期ひび割れの合理的な制御法が検討可能に

21

## 5.4 コンクリートの微細構造解析

コンクリート構成材料(骨材、モルタル、界面等)を詳細にモデル化

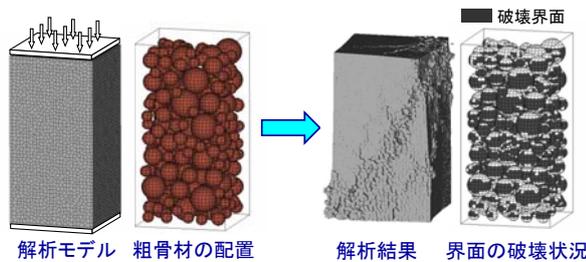


対象の大きさ

22

## 5.4 コンクリートの微細構造解析

【例1】剛体ばねモデル(RBSM)によるコンクリートの圧縮破壊解析(長井ら)

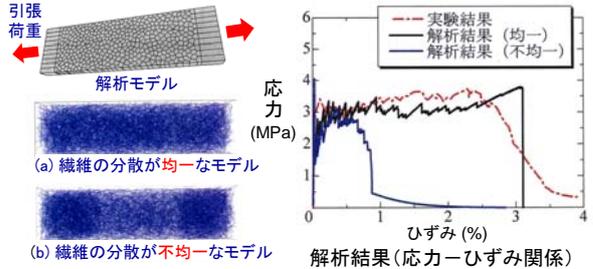


複雑な破壊現象を解析的に再現

23

## 5.4 コンクリートの微細構造解析

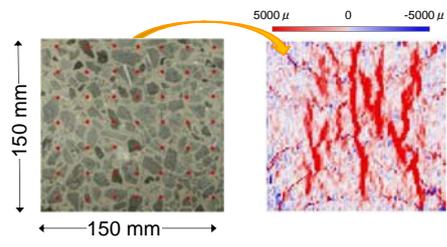
【例2】短繊維補強セメント系複合材料の解析(国枝ら)



繊維の配置や配向性等、施工にかかわる条件を検討。

24

力学現象解明への挑戦 —現状と課題—



ご静聴ありがとうございました。