

# 構造物の劣化のモデル化とメンテナンス技術の向上に資する 大規模数値解析



## 研究目的

土木建設分野におけるコンクリート部材の安全のために、効率的かつ効果的な維持管理手法の開発が急務である。そのためには、コンクリートの破壊・劣化現象の理解および数理モデル化が必要である。

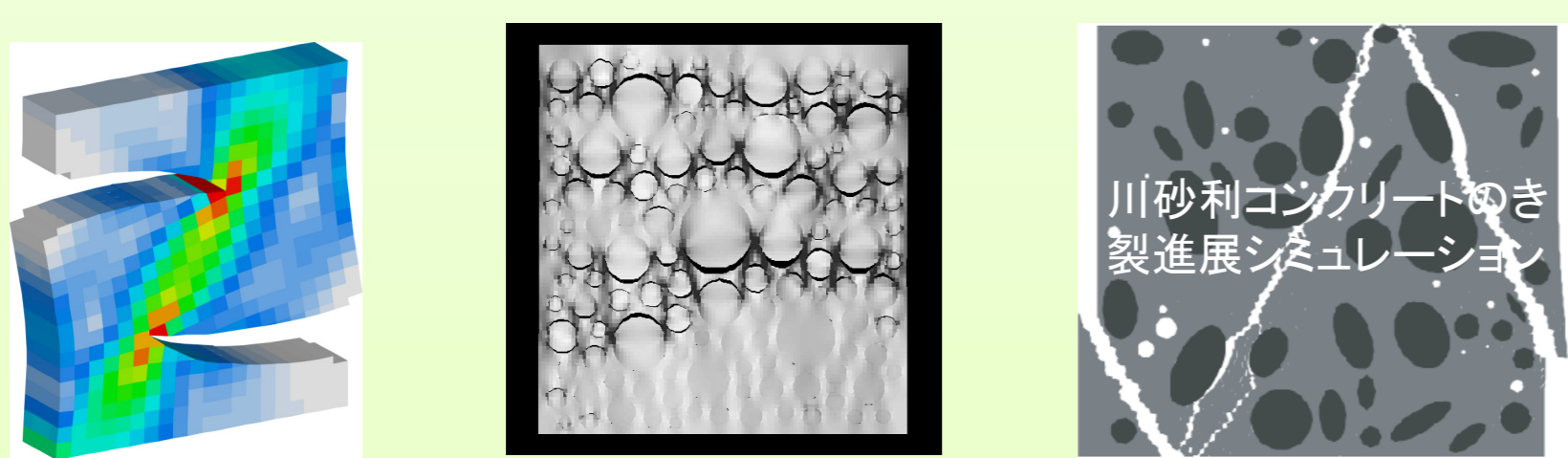
破壊・劣化現象の解明から、プロアクティブなメンテナンス手法の構築までを視野に入れた、包括的なモデル化・シミュレーションの開発、およびその高度化を本研究の目的とする。

## 最終目標

土木構造物において、現在の対症療法的な維持管理計画ではなく、プロアクティブなものへと繋げるためには、劣化のモデル化・シミュレーションが必要である。ただし、これは物理・化学問題を時間・空間のマルチスケールへ拡張した、非常に複雑かつ大規模な問題を解くことになる。この問題を短時間に、かつ高い精度で解くことができれば、現場毎に効率的な検査方法が提案できる。また、次世代の設計に活かすこともでき、土木建設工学における全く新しい維持管理技術を提案できる。

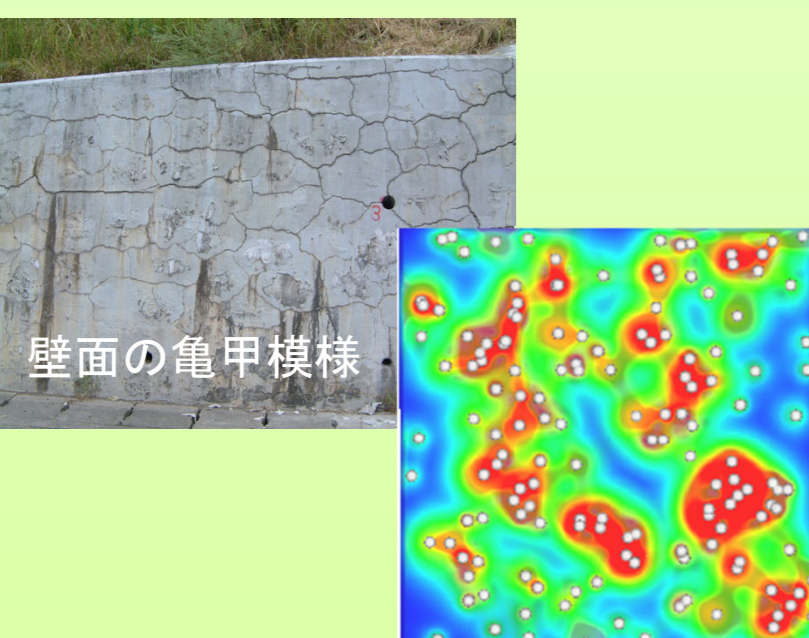
### 劣化のメカニズム解明のための数値解析

#### 1. コンクリートのき裂発生モデルとき裂進展シミュレーションの高度化



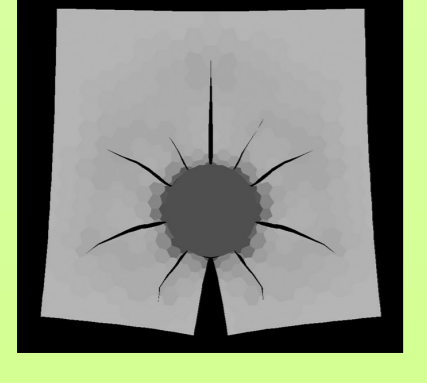
有限要素法(FEM), 拡張有限要素法(X-FEM), 有限被覆法(FCM)等のモデル化手法を用いて、コンクリート中のき裂進展解析を実施する。ここでは、コンクリート中の骨材分布を考慮し、破壊力学に基づくき裂発生・進展のモデル化を行う。これを大規模数値シミュレーションへと発展させる。陰的解法であるが、数千万要素規模の解析を目標とした。

#### 2. アルカリシリカ反応(ASR)による材料劣化のモデル化



アルカリシリカ反応(ASR)による骨材膨張と、骨材膨張に伴うひび割れをモデル化する。ASRはアルカリイオンの非定常拡散解析、ひび割れは損傷モデルを導入した非線形有限要素解析によって行い、これらを分離型時差解法によって連成している。左図に示すようなコンクリート壁の亀甲を表現するために、数千万ボクセル規模の解析を予定している。

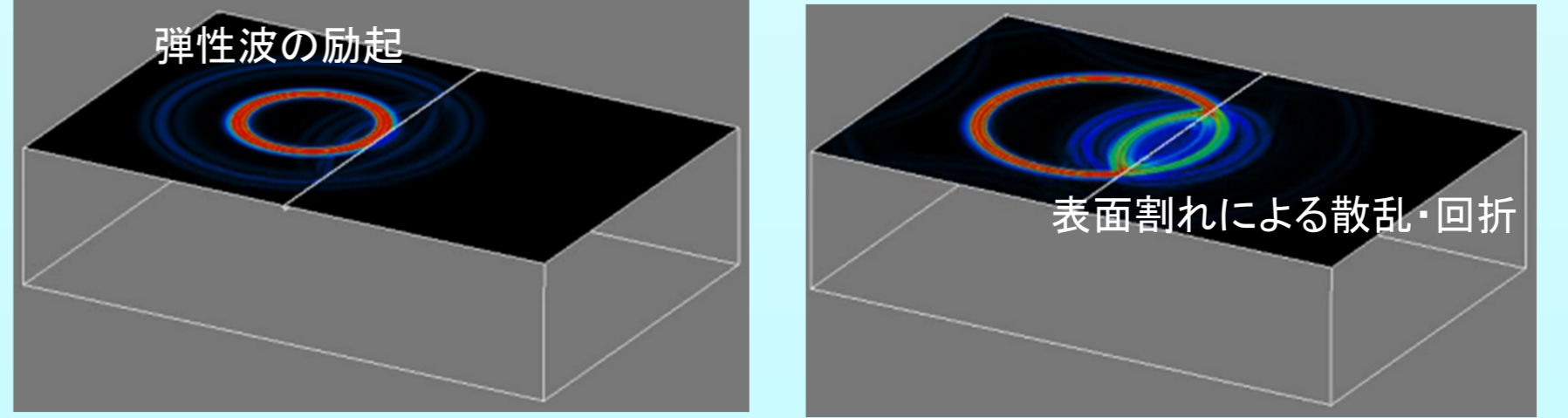
#### 3. 鉄筋コンクリートにおける鉄筋膨張による割れの発生モデル化



コンクリート、鉄筋、そして両材料間を付着領域として3相に分け、コンクリート材料中への塩化物イオンの拡散問題と鉄筋膨張に伴うき裂進展を含む力学問題の連成解析を実施する。非定常拡散解析と非線形有限要素解析を連成させて解く。数百万から数千万要素規模の解析を予定している。

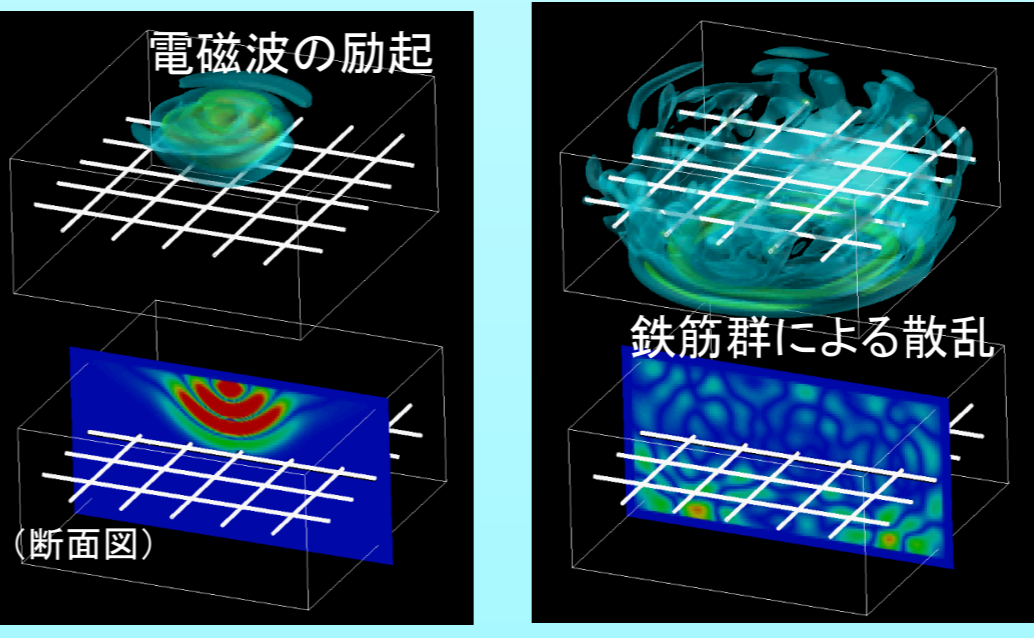
### プロアクティブなメンテナンスに資する数値解析

#### 1. き裂・表面割れの非破壊評価のための弾性波探査のモデル化



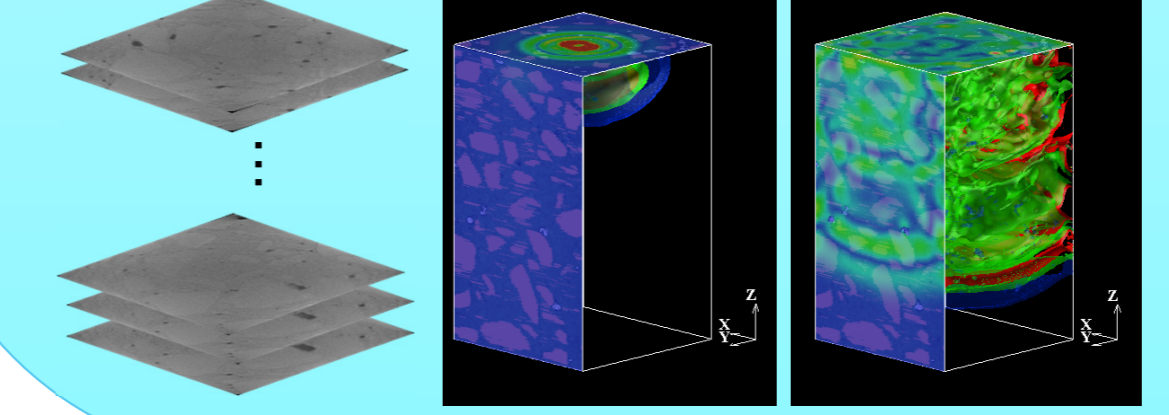
上図は、動弾性有限積分法(Elastodynamic FIT: EFIT)による弾性波の伝搬解析の例。表層のき裂の深さを弾性波の透過振幅から推定する。EFITは陽解法であるので、並列化効率が良好であることが、H23,H24年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点で示された。H25年度は現実的な形状・大きさをモデル化するための大規模計算を予定している(数十億ボクセル規模)。

#### 2. 鉄筋および塩ビ管の非破壊評価のための電磁波検査のモデル化



左図は、電磁界有限積分法(Electromagnetic FIT: EMFIT)による床版の電磁波の伝搬解析の例。鉄筋や塩ビ管の位置・分布形態を電磁波の散乱波形から映像化する。EMFITは陽解法であり、EFITと同じスキームでコーディングされているため、並列化効率は良好である。H25年度は現実的なモデル化のための大規模計算を予定している(数十億ボクセル規模)。

#### 3. 強度評価のための非線形超音波の適用

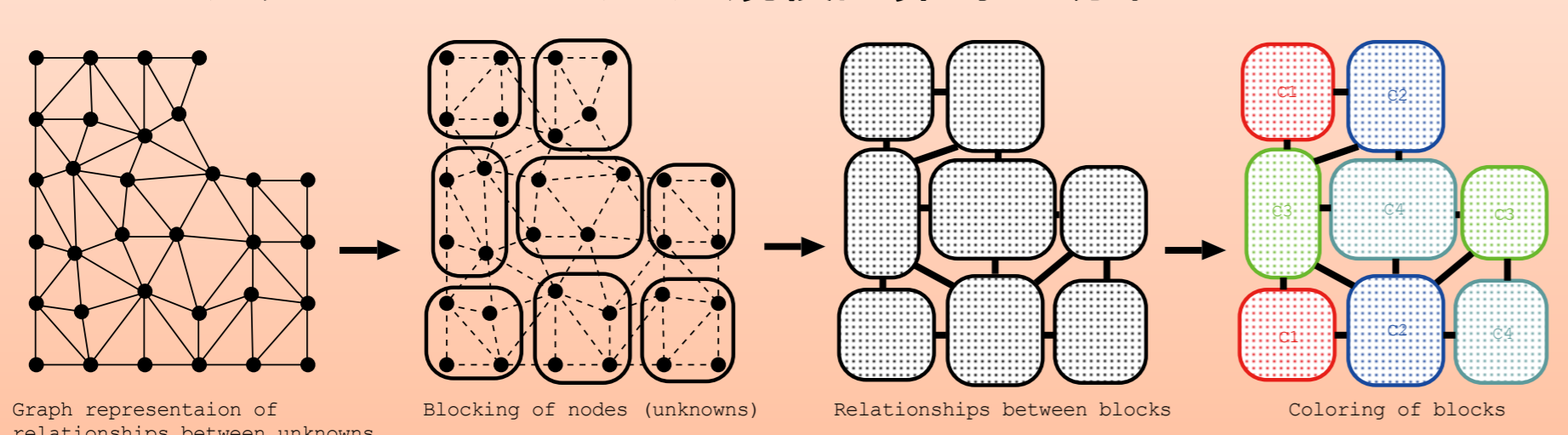


微小き裂群の開閉口に伴う非線形超音波を検出することで、コンクリート自身の強度・健全性を評価する。材料非線形性を考慮した動的有限要素解析の適用を予定。

検査を高度化・効率化するためのデータ・知見を提供

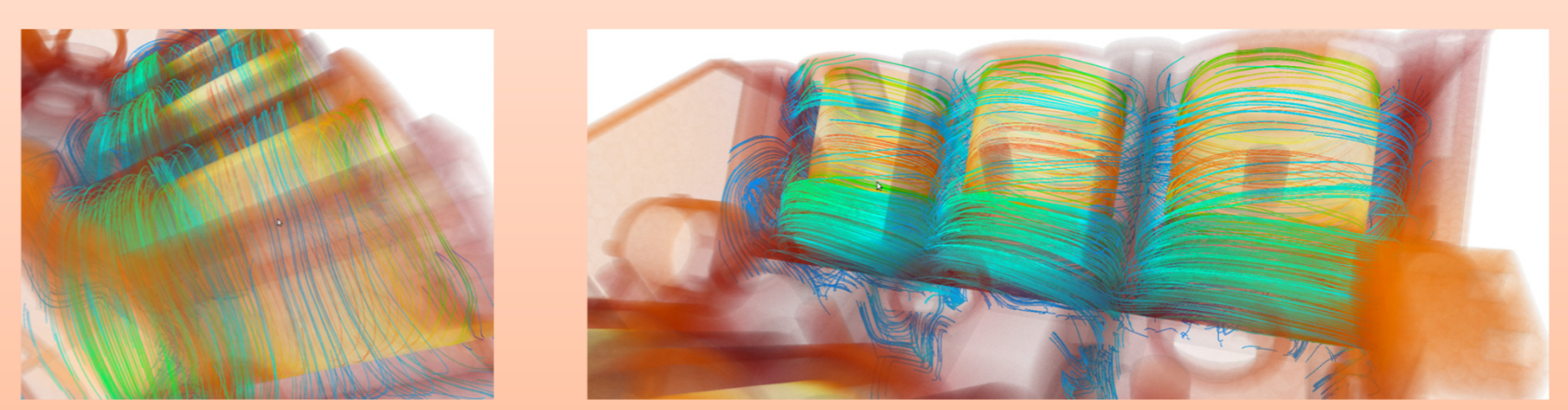
大規模シミュレーションを高度化・効率化するための技術・ノウハウを提供

#### 1. プログラムチューニング・大規模計算時の効率化



高性能線形ソルバに関する技術を提供し、スレッド並列・プロセス並列に対応した陰的解法による大規模計算の高度化を行う。上図は、マルチスレッドICCGソルバで利用される代数的ブロック化多色順序付けの概念図。

#### 2. 計算の入出力に関わる大規模データのハンドリングと高度化



膨大な入力・出力データを効率的に扱うための技術を提供する。また、計算結果を3次元的に可視化し、視覚的にわかりやすく描画するため技術の実装をサポートする。上図は、有限要素法の計算結果を可視化(応力テンソルの超流線の表示)した例。

### プログラム高度化および数値データの効率的な処理

研究拠点: 京都大学, 研究分野: 超大規模数値計算系応用分野  
 研究体制: 京都大(牛島, 小山田, 岩下), 中央大(樫山), 東北大(京谷, 寺田, 加藤, 高瀬), 岐阜大(永井), 九州大(浅井), 茨城大(車谷), 産総研(松本), 水資源機構(藤岡), 愛媛大(中畑)