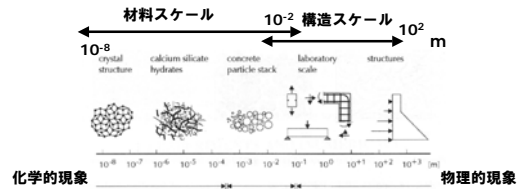


コンクリート分野での 数値シミュレーション技術の 現状と課題

名古屋大学大学院 社会基盤工学専攻
材料・形態学グループ 教授 中村光

コンクリートの特徴

- ◆ 空間スケール：マイクロ～マクロ
- ◆ 時間スケール：水和開始時～数10年
- ◆ 相変化：流体～固体
- ◆ 力学変化：弾性～塑性 硬化～軟化 連続体～不連続体



(出典：Jan G.M. van Mier : Fracture process of Concrete, CRC Press)

コンクリート分野の解析対象

- ◆ 構造解析
ひび割れ、耐荷力、耐震挙動、破壊挙動 等
- ◆ 物質移動解析
温度、水分拡散、塩化物イオン拡散 等
- ◆ 水和解析
細孔構造の生成、力学挙動の予測 等
- ◆ 流体解析
スランプ、フロー 等

非線形解析技術の発展史（ひび割れ）

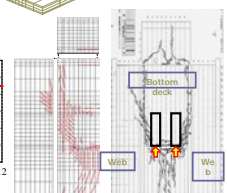
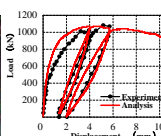
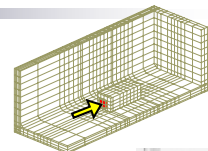
- 非線形解析黎明期：60年代後半
ひび割れモデル（離散ひび割れ、分布ひび割れ）等
- 材料モデル（平均化構成則）の構築期：70年代、80年代
テンションスティフニング、せん断伝達、圧縮強度軟化 等
- 構造全体挙動が解析可能に。特に壁のような鉄筋が平均的に配置されている構造物が解析可能に
- 破壊力学の適用期：80年代、90年代
破壊エネルギー、仮想ひび割れモデル、ひび割れ帯モデル 等
- ひび割れ進展や局所化（ひび割れ・圧壊）が支配的な破壊挙動を解析可能。特に、RC部材のせん断破壊や寸法効果（引張破壊エネルギー）、変形性能（圧縮破壊エネルギー）が解析可能に
- モデルおよび適用範囲の拡張期：90年代後半以降
ゾーニング、多方向ひび割れモデル、非局所理論 等

非線形有限要素解析の学協会での動き

- 1989年 JCI：鉄筋コンクリート構造の有限要素解析と設計法研究委員会
コンクリート構造物の設計にFEM解析を適用するためのガイドライン
- 2001年～2004年 土木学会コンクリート委員会
：コンクリート構造物の非線形解析技術小委員会
- 2002年 土木学会：コンクリート標準示方書耐震性能照査編
⇒ FEMによる非線形解析を原則とする
- 2007年 土木学会：コンクリート標準示方書設計編
⇒ 非線形解析の記述の充実
⇒ 非線形解析による構造解析（資料編）
- 2006年～ JCI：非線形有限要素解析法の利用に関する研究委員会
⇒ 有効利用方法の提示

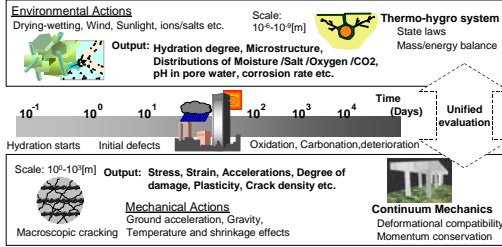
最新の非線形解析技術 実構造物レベルへ適用

コンピュータの性能向上とともに、既存のモデルを利用して、部材レベルから構造物レベルへの解析へと高度利用されるようになった



1/2スケールPC定着部の解析例

最新の非線形解析技術 マルチスケール統合解析システム

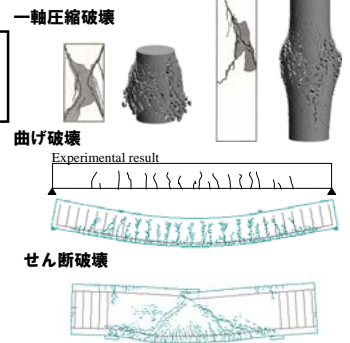


Maekawa, K., Ishida, T. and Kishi, T.: Multi-scale modeling of concrete performance, -Integrated material and structural mechanics, Journal of Advanced Concrete technology, JCI, Vol.1, No.2, pp.91-126, 2003.

セメントの水和反応から劣化までのコンクリート材料の挙動を時空間上で逐次解析する熱力学連成解析システムDuCOMと3次元非線形動的解析システムCOMを組み合わせることにより、各種劣化を考慮したコンクリート構造物の性能評価手法を構築

最新の非線形解析技術 剛体バネモデル

変位の不連続性を特徴とした手法である剛体ばねモデルを用い、ひび割れ進展や破壊時の挙動を忠実に再現



非線形解析の課題と目的

工学的利用の視点からの技術開発

実務者が望む有効活用のシナリオ (アンケート結果より)

①設計を合理化する場合、②現象・機構の解明、③実験を補完して評価式を構築する場合、④構造の創造、⑤補修・補強の計画

普及のためには、破壊挙動および耐力の評価、施工時点における初期ひび割れの制御が精度良くできること

- > 簡便さと実用性、既存の設計法に対する有利性
- > 非線形解析に対する信頼性の向上
- > 実験では困難な問題への適用
- > 荷重・変位などのマクロ指標だけでなく、ひずみ・応力などの局所指標が連続的に得られるという解析ならではの利点を活かした指標の構築

今後の展望と可能性 適用例

崩壊解析

崩壊過程をシミュレートするには、材料の破壊による不連続挙動や大変形挙動を適切に評価できることが前提

崩壊過程を知ることは、真の限界状態やある限界に至る過程や危険度を明らかにすることにつながり、過大な地震入力に対し合理的な設計に結びつく

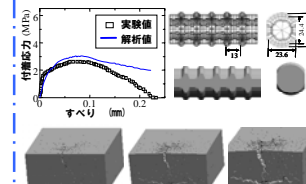


非線形有限要素解析法の利用に関する研究委員会報告書, JCI, 2008

構造細目解析

- 構造細目を直接照査する手法がない
- 定荷体の開発、継手の有効利用

メソスケール解析の確立と適用



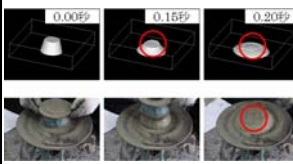
鉄筋のふし形状までモデル化した付着解析

今後の展望と可能性 適用例

施工（流動）解析

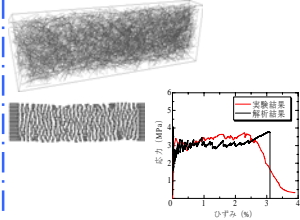
- ✓ 材料の多様化 (超強度コンクリート)
- ✓ 過密鉄筋などの施工条件
- ✓ 繊維補強材料
- ✓ 補修などへの応用

CIP法によるモルタルフロー解析例



材料設計解析

新たな複合材料開発が可能な解析手法
離散化した短繊維、マトリクス、および両者の界面をモデル化した高性能な繊維補強材料メソスケール解析手法例



シミュレーション技術の発展のために

No one believes the results of an analysis, except the person who performed it; everyone believes the results of an experiment, except the person who performed it.

- ✓ シミュレーション技術のメリットは
- ✓ 実験事実に対するシミュレーション
- ✓ シミュレーション技術のための実験

絶対軸である「空間」と「時間」を超越する手段
パラレルワールド移動機能付きタイムマシン