

JCI-TC111A：コンクリート構造物のひび割れ進展評価手法に関する研究委員会

第2回解析WG議事録

日時：12月7日（水） 15時00分～18時00分

場所：日本コンクリート工学会 第3会議室

出席者（敬称略）：長井，坂，高橋，千々和，三木，山本，トウ・イ（中央大学学生，大下先生代理）

配布資料：

資料番号1 第1回解析WG議事録（案）

資料番号2 第2回解析WG資料

1. 前回議事録の確認

坂WG副主査より，前回議事録に基づいて，解析WGの目標，前回WG会議のフリーディスカッションの内容，ひび割れ発生現象の整理の図，各委員の宿題についての説明があり，その後，同資料に対する質疑とフリーディスカッションが行われた。また，この中で，高橋委員より実験主体の研究者の立場から解析WGの活動に対する意見をもらうとともに現在実施中のひび割れ間隔に着目したRC構造実験についての説明していただいた。質疑とフリーディスカッションの内容は以降でまとめて示す。

2. 話題提供（千々和委員，FEMにおけるひび割れ評価）

FEMによるひび割れ評価と題して話題提供をいただいた。要素寸法，アスペクト比が解析結果（変形・破壊モード，ひび割れの分布やひび割れ角度情報）に与える影響について，せん断破壊するRCはりの解析例，および材料-構造応答連成解析手法を用いた実橋の長期たわみ解析例を紹介しながらの解説であった。また，塩化物イオンの浸透問題など材料-構造応答連成解析に関する最新の研究成果についてもご紹介いただいた。

3. 資料番号2について

坂WG副主査より配布された資料の説明があった。同資料は①汎用FEMソフトのひび割れ進展解析への適用，②コンクリート構造物を対象とした各種解析手法の分類，③ひび割れ進展解析手法の対象スケールに関する，既往の文献での言及を整理したものである。

以下，質疑とフリーディスカッションの内容のまとめ

（前回議事録について）

- ・ 「4. 宿題」の中村（成）先生の分担範囲「佐藤先生他」とはどのような内容であったか。
- 佐藤良一先生の収縮に起因するひび割れ幅の簡易評価方法に関する一連の研究の調査であったと記憶している。次回WG会議で確認する。
- ・ （一般利用，共通検証が可能な汎用FEMソフトを用いたひび割れ進展の再現性の検証を行うという案に対して）三木先生の格子モデルは汎用ソフトに導入可能か。
- 三木先生：他の要素の影響を参照要素の構成モデルに導入する等のルーチンがあるが，ユーザーサブルーチンを利用することにより可能になると思われる。

- ・ 大学で自作しているプログラムを公開して他の人が使用できる状態か。
- 東大の DuCOM-COM3 等は企業との共同開発により、比較的新しい研究成果を取り込み、市販ソフトとして利用が可能な状態にある。
- RBSM は、ソルバー自体は難しくないが、Voronoi 分割、鉄筋配置等のインプットデータの作成手法が難しい。
- ・ ひび割れ進展を評価する意味は。そもそもひび割れ進展とは。

(高橋委員の現在行っている構造実験と実験主体の研究者の立場からの意見について)

- ・ 現在、ひび割れ間隔に着目した RC 柱の曲げ実験を行っている。曲げにより生じるひび割れ間隔が帯鉄筋の配筋状況に依存し、CEB-FIP のひび割れ間隔算定式の精度が低くなることに着目している。
- ・ 構造実験において微細ひび割れまでの詳細情報の評価は難しい。構造実験におけるひび割れ計測は見た目で判断する。供試体内のすべてのひび割れを把握できているかどうかは分からない。
- ・ 今回の実験ではひずみゲージを供試体表面に大量に貼付することで、ひずみの空間分布を計測することを試みている。
- ひび割れやひずみの分布の詳細情報の把握には画像解析が有効になってきている。
- ・ 解析に関する既往の論文において、何をもって解析がひび割れを妥当に再現していると判断しているのかが分かりづらい。
- ・ 実験で解析屋が欲しいデータが得られているか分からない。
- 解析屋の立場としては、供試体固定端の変位計測を行う等、解析の前提とする境界条件の詳細な情報がほしい。
- ・ FEM 解析を用いてひび割れを詳細に評価するよりも、実務的にはもっと簡易な手法により損傷度としてのひび割れを評価する手法がほしい。
- ・ マクロなひび割れ情報を精度よく予測するには、下のスケールレベルのひび割れ挙動の把握が必要。
- ・ どのように、下のスケールから最終的に実務で使うレベルまで積み上げるのか？お互いがどのレベルのひび割れを扱っているのか？を理解するための翻訳機能も本委員会のアウトプットの一つ。

(ひび割れ進展解析の課題)

- ・ 「進展」と「幅」はひび割れの異なる側面であるが、関連している。
- ・ ひび割れの進展と解放エネルギー、破壊エネルギーは関連しており、モード I の破壊エネルギーは定量化され軟化型構成モデルとしてモデル化されているものの、このモデルを使って、モード II, III の進展が正しく追えるのか。
- ・ 収縮、ASR 等により生じた微細ひび割れの方向性、分散性と、その後の地震等の力学作用によって生じる微細ひび割れのそれは異なる。このような異なる現象の異なる方向性をもつ微細ひび割れの進展は現状のモデルで再現できるのか。
- ・ 現象ごとに個別にひび割れを評価していく方向性と、下のスケールから統合的に評価していく方向性がある。

(解析の妥当性の評価)

- ・ 解析の妥当性の検証にはブラインド解析がいい。
- ・ 2年目に共通実験を実施する予定。
- ・ モード I については既にそのモデルは確立しているのではないかと。モード II, モード III および混合モード下におけるひび割れ進展についても検証する必要があるだろう。

(千々和委員の話題提供について)

- ・ RC 部材の耐力や破壊モード等は再現することができるが、ひび割れの角度や分布性状の再現は難しい。FEM ではひび割れは幅をもって分散して進展していく。
- ・ 実橋の材料-構造応答連成解析において、水分移動速度等の勾配が構造表面近傍で非常に大きくなるために、解の精度を考えると構造表面近傍の深さ方向には mm スケールの非常に細かい要素分割が必要になる。一方、計算負荷低減という観点から、橋軸方向には要素分割を粗くする必要があり、要素のアスペクト比は非常に大きくなる。したがって、shear lock 等の問題が大きくなるため、問題によってはその妥当性について注意する必要がある。
- ・ RC 要素として空間平均化構成則を用いる場合、もともと要素内に平均的に複数本ひび割れが生じることを前提としたモデルであり、ひび割れ一本一本を評価することは難しい。
- ・ FEM でも要素寸法を細かくして、鉄筋および付着を離散的に扱うことにより、ひび割れ一本一本を評価できるという報告もある。
- ・ FEM では、隣り合う要素間の連続性は節点情報のみであり、隣り合う要素が共有する線上(3次元では面)のひずみは一致していない。したがって、ひび割れが要素を跨ぐ場合の幅、方向性等の連続性はゆるくなっているはず。このことがひび割れ進展の再現に及ぼす影響はどの程度なのか。
- ・ 解析モデルのアップデートではなく、佐藤裕一先生(京都大学)が行っているような、現状の解析技術のまま解析結果のひび割れ描画基準の工夫で対応するという方向性もある。
- ・ 東大で開発中の塩化物の浸透解析では、ひび割れの発生と進展による物質移動の抵抗性の変化を、簡易的にひずみの関数として評価している。すなわち、ひずみがある量を超えるとその領域の空隙も平均的に物質移動の抵抗性を低下させるという方法をとっている。ただし、この場合要素寸法以下の局所的な劣化応答が卓越するようなケースを過小評価することも考えられるので、これに対応したモデルも現在開発中である。

(ひび割れ進展評価手法の分類について)

- ・ 既往の文献において、スケールの定義、解析手法の分類は、何を基準にするか、どの軸で整理するかによって異なる。本委員会では、基準、軸を明確にして再整理する必要があるか。

(前回議事録中の「ひび割れ発生現象の整理の図」について)

- ・ 縦軸をひび割れ幅のみで表すのではなく、ASR のような分散ひび割れ、力学作用による集中的なひび割れ等、ひび割れの性状ごとにも分類する必要があるのでは。
- ・ 作用ごとに、同じひび割れ幅でも、重要度が変わってくる。例えば、乾燥収縮によるひび割れなら実務上 0.3mm 程度で重大であるのに対し、地震に対してであれば 0.3mm 程度では軽微と判断できる。このことをどのようにマッピングするか。