

JCI-TC143A

コンクリート構造のせん断力に対する包括的照査技術研究委員会  
第1回 FEM-WG 議事録

日時：2014(H26)年12月11日(木) 14:00~16:00  
場所：JCI 第4会議室 (11F)  
出席：齊藤幹事，牧委員 (WG 主査)，櫻井委員，鈴木委員

配布資料：

- ① JCI せん断委員会・WG 検討内容メモ (委員会)
- ② JCI せん断委員会 FEMWG メモ (牧)

- 1) 非線形有限要素解析による RC はり部材の損傷評価，土木学会論文集 E2，67-2，2011 (牧)
- 2) 非線形有限要素解析による RC 面部材の損傷指標と耐力評価，土木学会論文集 E2，68-3，2011 (牧)
- 3) 3次元有限要素法を用いた鉄筋コンクリート耐震壁の消費エネルギーと損傷指標に関する研究，日本建築学会技術報告集，19-41，2013 (鈴木)
- 4) 既存 RC 造校舎の実大実験に関する3次元 FEM 解析による耐震性能評価(その1) FEM 解析による実験結果の再現性，日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)，2006.9 (櫻井)
- 5) 既存 RC 造校舎の実大実験に関する3次元 FEM 解析による耐震性能評価(その2) 内部損傷状態の把握とひび割れ幅評価，日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)，2006.9 (櫻井)

<以上，課題1「損傷指標の適用」に関する資料>

- 6) FEM 解析を用いた大開口を有する RC 梁の構造性能評価，大林組技術研究所報，No. 73，2009 (鈴木)
- 7) 収縮・クリープを考慮した FEM による RC 柱の長期・短期性能評価に関する研究(その1) RC 柱の収縮・クリープ解析モデルの構築，日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)，2011.8 (櫻井)
- 8) 収縮・クリープを考慮した FEM による RC 柱の長期・短期性能評価に関する研究(その2) 収縮・クリープを考慮した RC 柱の短期解析，日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)，2011.8 (櫻井)
- 9) 1/4PCCV の耐圧限界挙動に関する非線形有限要素解析 — ラウンドロビン試験前・試験後解析 —，大林組技術研究所報，No. 66，2003 (櫻井)
- 10) 断面の部位別に時間依存挙動を考慮した線材モデルによる PC 橋梁の長期たわみ解析，土木学会論文集 E2，69-2，2013 (牧)

<以上，課題2「初期応力問題」に関する資料>

- 11) 損傷履歴を考慮した修復部材の性能評価に関する一考察，土木学会論文集 E，65-4，2009 (牧)

<以上，課題3「性能評価」に関する資料>

- 12) 有開口 RC 耐震壁の開口高さによる耐力低減率に関する・・・(鈴木)
- 13) 開口を有する CES 造耐震壁の構造性能に関する実験報告書 (鈴木)

<以上，「その他の課題」に関する資料>

## 議 事：

### 1. WG の趣旨と検討課題について

資料①に基づき、牧 WG 主査より本 WG の趣旨について説明があった。

### 2. 材料損傷に基づく耐荷機構の評価について（課題 1）

1) 資料②および文献 1), 2) に基づき、牧 WG 主査より土木分野における損傷評価の状況と事例について紹介され、本 WG で検討したい内容の案が説明された。

- ・材料損傷に基づく 2 つの平均化指標 → 2 次元問題については前回委員会で話題提供済み。
- ・現状の問題点として、3 次元問題への適用（現在検討中）、部材あるいは要素寸法と平均化領域の寸法との関係性などが挙げられる。
- ・今後は、建築部材も含め、各種 3 次元問題への適用について検討してはどうか（形状が 3 次元、荷重や支持条件が 3 次元など）

2) 文献 3) に基づき鈴木委員より、建築分野における損傷評価の状況と事例について紹介された。

- ・原発建屋の評価を行うことを目的として、既往の耐震壁実験（ボックス型、円筒型）の 3 次元 FEM 解析を積層シェル要素に基づいて行い、ひずみエネルギー（全積層および全要素の総和）による損傷評価を試みている。
- ・ひずみエネルギーの考え方は、文献 1), 2) で用いているものも類似している。「要素数で総和をとるか、近隣積分点との平均化処理を行うか」、「エネルギーの絶対値を用いるか、正規化した無次元量で表すか」といった点に違いがあるが、本質的には同じ発想でやっていると考えられる。

3) 文献 4), 5) に基づき櫻井委員より、建築分野における損傷評価の状況と事例について紹介された。

- ・実大校舎の載荷実験に対する FEM 解析を通じて、「目で見える」損傷指標である残留ひび割れ幅を評価することを試みている。要素のクラックひずみに要素代表長さを乗じて、ひび割れ幅に変換している。2mm 以下のひび割れは、実測値と概ね対応し、耐震性能評価のための指標となり得る。
- ・FEM 解析の結果からひび割れ幅の評価を行うのは困難であると考えられるが、特に既設建造物の状態を評価する工学的指標ではあると言える。
- ・これまで耐荷力に注目して、コンクリートの圧縮破壊に関連する指標を強調してきたが、引張側の損傷（ひび割れ）を適切に評価できることは、耐力よりも手前の損傷状態を評価する上では重要であり、今後検討する余地があるのではないかと。

4) 以上の事例紹介および議論に基づき、課題 1 について以下のように進めることとなった。

- ・土木、建築の双方で、共通の部材を解析し、文献 1) で提案されている指標の適用を試みることから始める。その際、JCI 選定耐震壁供試体（文献 2) の #1, #2 あたり）を対象とする。
- ・上記に加えて、有開口壁や袖壁付き柱など、櫻井委員や鈴木委員が既に解析を実施した部材を対象として、牧・土屋両委員も解析を実施し、既往の指標を適用してみる。櫻井委員と鈴木委員が解析対象を選定し、土木側委員へ資料を送付する。
- ・文献 1) の損傷指標を算定する際のフローを牧が作成し、櫻井・鈴木両委員へ送付する。

### 3. 時間依存問題（初期値問題）（課題2）

- 1) 資料②に基づき、牧WG主査より土木構造物における問題点と本課題の意味について説明された。
  - ・橋梁の過大な長期たわみが問題となり、これを予測する手法として、断面内の収縮ひずみやクリープ係数の分布を考慮するファイバーモデル解析が実施された（文献10）。また、地下鉄駅舎やダクトなどのボックスカルバート、あるいは擁壁などの抗土圧構造物では、比較的大きな常時荷重（土圧）を受けており、長期変形が問題になっている構造物がある。
  - ・FEM解析を行う際に、収縮ひずみを初期ひずみとして与える解析は行われるが、例えば収縮ひずみをどう分布させるか等についての検討はあまりなく、部材全域に均一に与えることが多い。収縮ひずみやその分布を考慮した場合に、せん断力下での耐荷機構にどのような影響があるのかを定量的に示すことが重要である。長期持続荷重を受ける地中構造物の損傷と変形に関しては、土屋委員がすでに検討を開始している。
  - ・建築構造物では、そのような長期の変形が問題になることはほとんどないと思われる。
- 2) 文献6)に基づき鈴木委員より、文献7)～9)に基づき櫻井委員より、それぞれ建築分野における解析事例について紹介された。
  - ・文献7),8)では、軸圧縮力を1400日間作用させた後に水平加力を行った柱試験体のFEM解析を行っている。収縮・クリープの影響は初期応力として短期構成則へ反映させることで、破壊性状を概ね模擬できることを確認している。実験では、長期軸力から短期水平載荷への移行時に一旦除荷しているが、解析ではこれを連続的に行うことで、耐力が低下することが確認された。
- 3) 以上の事例紹介および議論に基づき、建築分野ではそれほど大きな問題とはなっていない現状もふまえ、課題2については土屋・牧両委員が主として検討することとなった。

### 4. 構造物の性能評価（課題3）

- 1) 資料②に基づき、牧WG主査より土木分野における「構造物の」照査方法に関する現状と本課題の意味について説明された。
  - ・非線形FEMによるRC構造物の性能照査法が、2012年版土木学会コンクリート標準示方書に盛り込まれた。また、材料劣化を生じた構造物や、劣化や地震等による損傷を修復した構造物の性能評価法の構築が課題である。前者についてはだいぶ事例が増えてきたが、後者に対してFEMを適用した事例はほとんどない（文献11）。

### 5. その他の課題について

- 1) 文献11),12)に基づき、鈴木委員より上記1～3以外で取り組みたい課題について説明された。
  - ・内容的には、マクロ式WGの検討課題に近いのではないか。
  - ・最終的にはマクロ式へと発展させることが狙いだが、それ以前に、開口の位置や大きさによって、材料の損傷がどの位置でどのような順番で生じるのかを明らかにし、それをパターン化することでマクロ式へと発展できるのではないか。
  - ・上記の観点では、課題1の損傷評価をまず検討するのがよいと思われる。

以上