



海外研修助成

Overseas Training Promotion

XFEM 2013 (XFEM, GFEM and fictitious domain methods; recent developments and applications) に参加して

広島大学大学院工学研究院 機械システム・応用力学部門 助教 田中 智行



近年、製品開発や設計現場において計算機援用工学(Computer Aided Engineering: CAE)が活用されている。今後、計算機の高性能化とともにCAEはますます普及すると考えられ、より使いやすいCAEシステムや計算効率化のための並列化アルゴリズム、複雑な力学現象を解明するための新しい解析ツールの開発が必要とされている。これらのCAE技術は“計算力学”や“計算工学”と呼ばれる学術分野を基盤として発展しており、数値解析手法に関する基礎研究から、現象解明の大規模シミュレーションに至るまで幅広い研究が行われている。筆者は、CAE技術の中でも固体解析や構造解析でよく用いられている有限要素法(Finite Element Method : FEM)に関する基礎研究を行っている。

今回の海外研修助成で参加させていただいたXFEM 2013 (XFEM, GFEM and fictitious domain methods; recent developments and applications)は、2000年頃に新しく提案された数値解析手法である拡張有限要素法(Extended Finite Element Method : X-FEM)とその関連技術に関する国際的な研究集会であった。X-FEMの利用が大きく期待される技術分野として、例えばFEM解析用のモデル生成過程がある。機械部品の強度評価をする場合、3D-CADから出力した形状データをそのまま

用いてFEM解析のためのモデルを自動的に生成できれば解析作業を効率的に行える。しかし、複雑形状を持つ解析対象の場合、解析モデルの自動生成が困難となり、解析者が手作業でモデル修正をすることも多い。X-FEMではFEMの近似関数に拡充関数と呼ばれる新しい関数を追加することで物体形状を容易に表現することができる。また、構造物中に存在するき裂形状や異種材料界面、流体構造連成解析での物体境界面の取り扱いも容易になることから、産業応用にインパクトのある新技術として期待が高まっている。

XFEMカンファレンスは欧州の計算力学研究者のためのコミュニティであるECCOMASのテーマ別国際研究集会の一つに位置付けられている。この研究集会の目的として、産業応用に期待が持てる解析技術に対して集中的な研究討論の場を設け、研究やソフトウェア開発を促進する狙いがある。XFEMカンファレンスは隔年で開催されており、本会議の国際学術委員である日本人研究者からお誘いいただき参加することとなった。一つの研究テーマに絞った国際研究集会であるため、参加者100-200名程度の中規模な会議ではあるが、参加者のほとんどがX-FEM研究において世界の第一線で活躍する研究者ばかりである。ヨーロッパで開催される会議であることから欧米の研究者の参加が多く、日本人研究者は私を含め2名であった。

XFEM 2013は、2013年9月11-13日にフランスのリヨン市中心部で開催された。主催者であったフランス国立応用科学院リヨン校(INSA Lyon)は、計算力学分野の国際学術誌へ多数の論文投稿を行うなど、近年活発な研究活動を行っている組織である。写真1はXFEM 2013のポスター、写真2はビラである。それらに使われている写真はユネスコの世界遺産にも登録されているリヨン歴史地区の街並みである。会議は3日間で7件の特別講演と約70件の口頭発表が行われた。オープニン



写真1（左）：XFEM2013 のポスター
写真2（上）：XFEM 2013 のビラ



写真 3：市中心部を走るtram

グや特別講演などの主要なイベントは 100 名程度座れる大会議場で行われ、その他の口頭発表は複数の部屋に分かれて分科会形式で行われた。全ての口頭発表を見ることはできなかったが、配布された前刷りによると X-FEM の基礎理論に関する研究、固体解析や破壊力学解析、流体構造連成解析に関する研究について発表が多いようである。その他の講演者情報や講演内容、会場写真などは XFEM 2013 のホームページ (<http://xfem2013.sciencesconf.org/>) から閲覧可能である。

筆者らの研究グループでも、数年にわたり X-FEM の基礎研究を行ってきた。今回の講演では、"Analysis of two-dimensional crack problems using X-FEM and wavelet Galerkin method" というタイトルで新しい数値解析手法の一つであるウェーブレット FEM と X-FEM を組み合わせた破壊力学解析法の提案を行うものであった。この方法では、グリッド状に分割した計算格子を用いて複雑な形状を持つ構造物の固体 / 構造解析やき裂を含む構造物の強度評価を行うことができる。さらに、信号解析や画像処理などの分野で用いられているウェーブレット関数を FEM の近似関数として用いることで、計算コストを抑えつつ高精度な解析を行うことができる。本研究についていくつかの国際学術誌への投稿を行ってきたものの、筆者がやっとの思いでまとめた初めての研究内容であり、さほど主流の研究ではないと思っていたが、複数の著名な研究者から質疑をいただいたことは有難かった。現在は簡単な例題を用いて解析精度の検討などを行う基礎研究であるが、将来的に動的き

裂進展問題や弾塑性き裂解析、三次元解析などへ展開予定である。

他の分科会も聴講したが、筆者と同世代の欧米の研究者も多数参加しており X-FEM を用いた三次元の動的破壊力学解析、接触解析、損傷モデルを用いたき裂発生シミュレーションに関する研究など素晴らしい研究成果を挙げていることから、今後の研究活動の励みとなる経験であった。学術誌で発表されていない最新の研究内容も多く、新しい研究テーマ立ち上げのための良い情報収集の場となった。X-FEM の理論が提案されてから、十数年が経過し基礎研究から応用研究にシフトしている。汎用 FEM ソフトウェアとして用いられている ABAQUS や LS-DYNA にも X-FEM の解析機能が導入され、今後は現実的な問題を効率的に解くための応用研究が進んでいくものと思われる。現在、一般的に使用されている FEM 解析ソフトウェアの多くが欧米で開発されているように、計算力学分野の研究は日本と比較して欧米がリードしていると感じている。筆者も日本の CAE 技術を発展させるべく、努力する次第である。

最後にリヨン市の紹介をする。リヨン市はフランスの南東部に位置し、リヨン市を中心として人口約 150 万の都市である。気候も温暖で一年を通して過ごしやすい。治安も良く全体的に落ち着いた雰囲気のある街である。リヨン中心部には二つの川がゆったりと流れしており、川で挟まれた地域はリヨン歴史地区として世界遺産に登録されている。歴史地区は 12-15 世紀に造られたリヨン旧市街を保存してある地域であり、石畳の残る美しい街並みを残している。オペラハウス、大聖堂、市庁舎などを含む一帯は観光スポットとなっており多くの観光客が訪



写真 4：食事会の様子



れていた。リヨン市街には複数のメトロ、トラムの路線があり交通の便は非常に良い。空港からリヨン中心部の駅もトラムで行くことができる。写真3は街中心部を走るトラムである。会議終了後には、リヨン市の名物を食べるべく伝統料理店へ足を運ぶことができた。写真4は、料理店を訪れた際の食事会の様子である。リヨン風サラダ（サラダ・ベーコン・パン・落とし卵など）、クネル（川魚のすり身を焼いたもの）、リヨン地ビール（アルコール度数高め）などをいただくことができた。写真5はリヨン歴史地区の広場からリヨンのシンボルであるフルヴィエール大聖堂を眺めた写真である。旧市街から大聖堂までは徒歩やケーブルカーで行くことができる。丘を登る路地は軽食やお土産物などを販売するショッピング街となっていた。大聖堂のまわりにも古い建造物が多く残っておりここでも美しい景観を楽しむことができた。写真6は、大聖堂からリヨン市街地を撮影した画像であり、手

前側がリヨン歴史地区である。

最後に、本国際学会参加のため旅費の一部を助成していただいたスズキ財団に深く御礼申し上げます。



写真5：リヨン歴史地区から大聖堂を眺める



写真6：フルヴィエール大聖堂からのリヨン市街