紹介

5th International Conference on Durability Analysis of Composite Materials (DURACOSYS 2001) 報告

宮野 靖^{*1}, 川越 誠^{*2}, 森井 亨^{*3}, 河井 昌道^{*4}

複合材料学会主催の 5th International Conference on Durability Analysis of Composite Materials (DURACOSYS 2001) が平成 13 年 11 月 6 日 (火) から 9 日 (金) までの 4 日間にわたって東京理科大学の神楽坂キャンパス内の 1 号館 17 階における会議室で開催された。

DURACOSYS は 1990 年にベルギーのブリュッセルで第 1 回が開催され、その後第 2 回が 1995 年に同じくブリュッセルで、第 3 回が 1997 年に米国のバージニアで、第 4 回が 1999 年に再びブリュッセルで開催された。

DURACOSYS は、複合材料の耐久性解析に関して様々の角度から議論をする場を提供してきた国際会議で、この方面の研究が盛んになるにつれ、研究推進の中核的役割を果たすようになってきている。

今回は、11 月 6 日の夕方 6 時 30 分からの Welcome Reception に始まって 7 日朝から 9 日の夕方まで、この会議の特徴である One Room Session でびっしりと中身のある議論が続いた。

講演は 2 日目の 11 月 7 日から 3 日間にわたったが、招待講演 4 件、基調講演 5 件、口頭発表 25 件、ポスター発表付の短い口頭発表 12 件、ポスター発表 14 件 (うち 1 件は招待発表) の 60 件の発表が行われた。

参加者は、海外からフランス 8 名、米国 5 名、ベルギー 3 名、スウェーデン 3 名、ポルトガル 2 名、デンマーク、ドイツ、イスラエル、イタリア、ポーランド、スペイン、英国から各 1 名の合計 28 名に加えて国内から 52 名の合計 80 名であった。

11 月 7 日の朝 9 時から開会式があり、会議を主催した本会の会長で会議のオーガナイザーでもある東京理科大学の福田博教授の司会の下に、ホスト校である東京理科大学の岡村弘之学長代行が歓迎の挨拶をされ、オーガナイザーの一人である金沢工大の宮野が開会を宣した。続いて、この会議の生みの親であり今回のオーガナイザ

ーでもあるベルギーの Free University of Brussels の Albert Cardon 教授と米国 Virginia Tech の Ken Reifsnieder 教授が和やかに再会を喜ぶスピーチをして式を終え、引き続いて講演会に入った。

3 日間の講演については、その概要の報告を参加者の中から 3 人の方をお願いしたところ、快く引き受けてくださった。以下にその報告を掲載する。

3 日間の講演を終えた最終日である 11 月 9 日の夕方 6 時 30 分から、講演会場を離れた品川プリンスホテルの 39 階のレストランでバンケットが開かれ、活発な議論を尽くした後の充足感に浸りながら、和やかに美味しい本格的なフランス料理を楽しんだ。

最後に、この国際会議のオーガナイザーの一人であり、運営委員長として完璧に仕切られた東京理科大学の福田博先生および事務局として細やかな配慮をされた荻原慎二先生にこの紙面をお借りして心から感謝の意を表する。

(宮野 靖)

DURACOSYS 2001 第 2 日目 (11 月 7 日)

第 2 日は午前中に招待講演 1 件、キーノート講演 1 件、ポスター付口頭発表 (短い口頭発表と別室でのポスター発表を併用したもの) 6 件、昼食をはさんでポスター発表 8 件、午後にキーノート講演 1 件、口頭発表 9 件 (予定 10 件のうち 1 件はキャンセル) の計 26 件の興味深い講演・発表があった。以下に概要を記す。

本会議の冒頭を飾る招待講演として菊川廣繁氏 (日本航空機開発協会) により損傷進展が予測可能な航空機複合構造の設計方法論に関する広範で詳細なレビューがあった。引き続き、武田展雄教授 (東京大学) により最初のキーノート講演がなされ、小径の FBG (Fiber Bragg Grating) センサーを光ファイバーに結合して損傷のモニタリング機能を高めたスマート CFRP の講演があり、多くの聴衆の関心を引いた。その後、ベルギー、イスラエル、ポルトガル、日本の研究者が短い口頭発表で各々の研究概要を示した。クリープに関する 2 件

^{*1} Yasushi MIYANO: 金沢工業大学, ^{*2} Makoto KAWAGOE: 富山県立大学, ^{*3} Tohru MORII: 湘南工科大学, ^{*4} Masamichi KAWAI: 筑波大学

の他は水、酸・アルカリ環境下での（主に FRP の）耐久性評価に関する内容であった。

奇麗な和食弁当の昼食を済ませた後、別室のポスター前で熱心な議論が交わされた。日本ウエザリングテストセンターによる複合部材の耐候性試験の成果が招待ポスターとして示された。短い口頭発表に付された分も含めポスターは総じて多彩な内容であったが、環境強度の発表が多く、疲労に触れたものは意外に少なかったように思われる。

午後は Baptiste 氏 (ENSAM, 仏国) による損傷のモデル化に関するキーノート講演で始まり、引き続いて材料キャラクター化のセッションでは GFRP 製スタック (煙突) の興味深い腐食挙動 (プリスタ形成) (藤井, セイコー化工機), ガラス繊維ロービング複合材の吸水特性に及ぼすバインダの影響 (森井, 湘南工科大) に関する発表があった。ブレイク後の応用のセッションではポリイミドをベースとした SST 用の耐熱性高分子複合材の疲労特性 (平野, 産総研), 燃料電池用の高分子複合膜の耐久性 (Reifsnider, 米国 Virginia 工科大), ジェットエンジンのファンブレード用 PMC の最適化設計 (Sancaktar, 米国 Akron 大) について最近の研究成果が報告された。初日最後のセッションとして試験法が取り上げられ、誘電緩和スペクトル測定による接着部材の耐久性 (吸水劣化) の評価法 (Banks, 英国 Strathclyde 大), 信頼性工学に基づくラミネートの安全係数決定法 (Perreux, 仏国 Mecanique Appliquee 研), 複合材料の構造解析における X 線ミクロトモグラフィとウェーブレット変換による高精度化技法 (Pyrz, デンマーク Aalborg 大) が紹介され、最後に疲労過程中的ラミネートにおける損傷機構の解析法 (Dzenis, 米国 Nebraska-Lincoln 大) に関する発表が行われ、第2日のプログラムを終了した。上記のどの講演・発表も高いレベルにあることを実感したが、個人的には燃料電池複合膜の耐久性や誘電緩和スペクトルの応用に関するものが面白いと感じた。(川越 誠)

DURACOSYS 2001 第3日目 (11月8日)

第3日は9時30分からフランス ENSMA の Henaff-Gardin による招待講演から始まった。講演は, “Matrix cracking development in CFRP laminates induced by cyclic loadings: experiments and analyses” と題して, CFRP 積層板における引張疲労荷重下および熱サイクル下での 90° 層でのクラックの発生挙動に関する内容の講演であった。90° 層の厚さおよび位置の異

なるクロスプライ積層板を用い, 90° 層におけるトランスバース・クラックの進展挙動を, 積層板の端面を顕微鏡によって観察することにより得られるクラック密度と, X 線を用いて 2 次的に, 特に試験片幅方向へのトランスバース・クラックの進展を観察した結果とを比較し, 引張疲労荷重下と熱サイクル下でのクラック進展挙動の類似性を議論した。またシア・ラグ解析により得られたき裂進展挙動と実験結果を比較することにより議論した。さらに, 同様の手法を擬似等方性積層板にも適用した結果を報告した。

引き続き2件目の招待講演として, Virginia Tech の Lesko により “Designing for FRP composites durability in the civil infrastructure” と題して講演が行われた。近年アメリカでは日本に比べて橋梁などのインフラに複合材料が用いられることが多くなっているが, その設計について AASHTO (The American Association of State Highway Transportation Officials) で用いられている耐荷重ファクタによる設計 (Load Resistance Factor Design; LRFD) を拡張した設計手法に関する講演が行われた。LRFD では, 荷重の確率分布と材料の強度分布を比較することにより設計されるが, Lesko らはこれに実使用環境での劣化に関する因子を盛り込み, これを用いた設計手法に関して詳細な説明がなされた。

コーヒー・ブレイクをはさみ, 引き続き基調講演として東京大学の影山により, “Interfacial properties control the durability of externally repaired infrastructures with composite materials” と題した講演が行われた。ここでは, 鉄製の梁を CFRP で補強した際の疲労特性および海水環境での耐久性について, き裂を設けた試験片でのき裂進展挙動から検討した結果が報告された。

これらの講演に続いて午前中の最後として, 午後行われるポスターセッションの一部に関する簡単なプレゼンテーションが行われた。ここでは, 海洋環境での劣化, モード II 破壊に及ぼす温度の影響, RTM における光ファイバーセンサを用いたモニタリング, CFRP ロールの高サイクル疲労, 疲労荷重下でのき裂進展, 複合材料の耐久性に関するデータベースの, 計6件のポスターに関する簡単な内容説明がなされ, これに続き昼食とこの時間を利用したポスターセッションが行われた。

昼食は, 会場そばのホテルにてとることとなっていたが, その移動の途中, 東京理科大学の近代科学資料館前にて記念写真の撮影を行った。参加者全員が必ずしも揃

図 1 3日目の昼食前に東京理科大学の近代科学資料館の前で記念撮影

図 2 2日目の開会式で挨拶する Virginia Tech の Reifsnider 教授

っていた訳ではなかったが、カメラのフレームをはみ出さんばかりの人数であふれており、本会議の盛況ぶりがわかる一光景であった。昼食時には、福田委員長の配慮で委員や特別講演者は別々のテーブルに座ったが、それぞれのテーブルで研究の話のみならず様々な会話でどのテーブルにもにぎわい、時間が経つのが早く感じられた。昼食時間がポスターセッションの時間も兼ねていたが、昼食が終わった時には残り時間はすでに30分を切っていた。ポスターセッションでは、上述の6件に加え、8件（プログラムでは10件であったが、2件がキャンセルとなった）のポスターが掲示されていたが、わずかな残り時間でもその間にポスターを前にして活発な議論が行われた。

ポスターセッションに引き続き、疲労に関するセッションが行われ、ここでは4件の発表が行われた。フランス LISMA の Chevalier は、繰り返し荷重下での複合材の損傷進展および破壊を予測する3次元モデルに関して講演した。ここでは、負荷形式およびその方向を考慮した損傷進展、破壊モデルを提案し、その結果をガラス/エポキシ複合材、炭素繊維/エポキシ複合材の実験結果と比較することにより、その有効性を議論した。またスウェーデン・KTH の Gamstedt は、引張疲労荷重下での損傷の進展およびその散逸に関する理論を提案し、荷重の低下を熱の発散等に基づくものと損傷の発生に基づくものに分類して取り扱うモデルを提案した。その手法を実験結果に適用し、ガラス繊維・炭素繊維のハイブリッド材の損傷進展挙動を検討した結果を報告した。拓殖大学の笠野は、曲げ疲労荷重下での CFRP の寿命予測に関して、損傷進展を考慮した損傷関数を導入したモデルを提案し、多段荷重による疲労試験結果にこれを適

用した結果を報告した。本セッションの最後の講演であるポルトガル・ポルト大学の Marques も、同様に損傷進展を表す関数を導入した疲労挙動評価法を提案し、実験結果に適用することによりその有効性を議論した。第3日目の最後のセッションでは、環境の影響に関して4件の講演が行われた。防衛大学の工藤は、GFRP の曲げ特性に関して、屋外暴露試験および促進暴露試験の結果を比較し、また暴露による曲げ強度低下を予測する手法を提案し、その有効性についても議論した。また京都大学の北條は、エポキシ樹脂複合材の層間破壊靱性に及ぼす温度および繊維の影響について、炭素繊維およびアラミド繊維を強化材とした複合材を用いて検討した結果を報告した。強化プラスチック協会の北村は、種々の樹脂の耐酸性を評価したデータに関する信頼性解析を行った結果を報告した。最後に東京工業大学の根岸は、硫酸中でのエポキシ樹脂の劣化に及ぼす硬化剤量の影響について検討した結果を報告した。

第3日も朝早くから午後6時過ぎまでと長時間であったが、講演中のみならずコーヒー・ブレイクの際や昼食時にも活発な議論がなされ、非常に盛況のうちに第3日目の幕を閉じた。（森井 亨）

DURACOSYS 2001 第4日目（11月9日）

会議最終日には、招待講演、キーノート講演、および一般講演を合わせて11件の講演があった。

招待講演（1件）とキーノート講演（2件）は、以下の内容で行われた。J. Weitsman の招待講演は、同氏の急病のため、K.L. Reifsnider によって代講された。講演内容は、高分子系複合材料の性能に与える吸水の影響をレビューしたもので、静的強度、疲労強度、破壊靱性

の吸水による変化、その影響の大きさが材料システムに大きく依存することなどが例示された。また、1) 高分子鎖の時間依存運動が顕著になる場合や繊維・マトリックス界面にき裂のような損傷を伴う場合、吸水による重量変化が古典的な拡散方程式によって記述できないこと、2) 流体拡散と粘弾性クリープの時間スケールが同程度であることから両者の連成を無視することができないことなどについても詳細な説明がなされた。V.M. Karbhari によるキーノート講演では、土木構造物に应用される複合材料の耐久性を評価するための試験法が詳しく解説され、併せて代表的な試験結果が報告された。まず、1) コンクリート構造物の FRP を用いた補強・補修効果と有効期間等に関して不明なことが多いこと、また 2) 種々の方法を選択する際に参照できるデータベースが十分には整備されていないことなど、今後取り組むべき問題点が指摘された。次に、基礎的な耐久性を調べる方法として内圧による FRP の破裂試験 (NOL パースト試験) やショートビームのせん断試験の説明があり、種々の環境下で行った試験結果が示された。また、負荷条件の時間的変動や暴露条件の違いなどの複合効果によって耐久性の大きく変化することが実地試験の結果に基づいて示された。Y. Miyano のキーノート講演では、一方向 CFRP の繊維方向引張強度の時間-温度依存性を時間-温度重ね合わせ原理に基づいて予測できることが報告された。まず、一方向 CFRP の繊維方向引張強度に関するマスター曲線を求める方法が Rosen モデルの拡張に基づいて提案された。次に、種々の温度における一定ひずみ速度引張試験の結果に基づいて引張強度の時間-温度依存性が明らかにされた。最後に、提案された方法によって一方向 CFRP の引張強度の時間-温度依存性を精度良く予測できることが実験結果との比較に基づいて示された。

一般講演では、力学と疲労のセッションに分けて計 8 件 (各セッション 4 件) の発表があった。M. Kawai は、一方向 CFRP の高温における非主軸レラクセーション挙動を報告した。また、修正 Gates-Sun モデルを提案し、実験結果との比較に基づいてその適用性を明らかにした。J. Renard は、トランスバース負荷を受ける SiC (連続)/Ti 複合材料の局所的な損傷発生について議論し、繊維/マトリックス界面のはく離開始応力が成形残留応力を考慮した FEA によって精度よく予測できることを示した。H. Takayanagi は、FW によって成形した GFRP パイプと CFRP パイプに生じる熱応力と熱ひずみの詳細解析を行い、温度変動に対する FW-FRP パイプの最適設計条件を議論した。G. Verchery は、擬似等方積層板の初期プライ破損に基づく強度の非対称性を種々の積層様式に対して調べ、併せて試験結果と理論予測を比較した。S.D. Pandita は、ガラス繊維を用いた平織複合材料の疲労強度が試験片の温度上昇によって大きく低下することを非主軸荷重条件について報告した。温度上昇が大きくなる高繰返し速度の疲労に対しては、ビニルエステル樹脂を用いた場合よりも高剛化エポキシ樹脂を用いた場合の方が疲労強度の低下が著しくなることも示された。I. Nishizaki は、プルトルージョン法によって成形した CFRP と CF/GF ハイブリッド材の疲労強度を詳細に調べ、これらの FRP を土木分野で応用する際に求められる疲労安全率を評価した。T. Tanimoto は、セラミック粒子 (BN) を分散させた中間層を加えることによって擬似等方積層板の疲労強度が大きく向上することを明らかにし、併せてそのメカニズムを議論した。A. Vautrin は、湿熱負荷条件下における厚肉複合材料パイプの内部応力場に対して閉形式の近似解析法を提案し、その有効性と熱疲労損傷解析への応用性を議論した。

(河井昌道)