

「二軸・多軸疲労強度と破壊に関する海外の研究動向の調査」

Recent researches on biaxial or multi-axial fatigue strength and fracture

結城良治*

Ryoji YUUKI

1. はじめに

60年度の三好研究助成金の援助により、昭和60年12月12日から12月24日にかけて、英国に渡った。今回の旅行の目的は、二軸/多軸疲労の分野では世界の第一人者として知られているシェフィールド大学のK.J. Miller教授の研究室に滞在し、研究の交流を図り、今後の研究動向を調査することであった。また、同教授の主催の下に、同地で開催された第2回二軸/多軸疲労国際会議に出席し、研究発表および日本の活動状況の報告を行うとともに、世界の研究動向を調査することもできた。以下に英国および世界の二軸/多軸疲労の最近の研究動向について紹介する。

2. 二軸/多軸疲労とは

昨年8月の日航ジャンボ機の事故以来、金属疲労という言葉がマスコミを通じて一般に良く知られるようになった。人間に限らず、金属等の固体も繰り返しのストレス(stress)が加わると疲労(fatigue)が蓄積し、一気に破壊に至ることがある。しかし、金属疲労の研究の多大な蓄積と破壊力学の発展に伴い、最近では材料試験および現象解明の段階から、この疲労破壊をコントロールし、実際の構造物・機器の疲労寿命を予測できる段階に達しつつある。

この際、実際の構造物は二軸ないし多軸の複雑な力を受けるため、従来行われてきた単純な試験片を用いた単軸負荷の疲労試験に加えて、構造物の疲労試験ないし構造物の負荷状態をシミュレートした二軸ないし多軸負荷の疲労試験による検証が必要となってきた。特に十数年前、ある種の二軸応力条件下では、単軸負荷の場合と異なり、疲労強度が低下し、疲労き裂が加速する現象が報告されて以来、疲労の研究の重要な課題の一つとして注目されている。

本研究室でも、10年前に高サイクル二軸荷重疲労試験機(生研リーフレット, No. 114参照)を開発し、各種の二軸応力下の疲労き裂伝播特性に関する一連の研究を

行ってきた。特に本研究室で行った疲労き裂伝播特性に及ぼす二軸応力の影響に関する組織的な実験および詳細な破壊力学的解析は、従来多様な結論が導かれ、混乱が生じていた二軸応力効果について統一的な見解を示し、第1回の二軸/多軸疲労の国際会議に発表して高い評価を受けた。

3. シェフィールド大学ミラー研究室

1979年ICM3国際会議のとき以来、6年ぶりにシェフィールド大学を訪れた。旧知の間柄であるミラー教授とブラウン助教授が暖かく迎えてくれ、ちょうどクリスマスホリデーにはいったので学生寮(Ranmoor House)に泊めていただいた。シェフィールド大学のミラー教授は、英国およびヨーロッパの疲労および破壊の研究の第一人者として、国際雑誌Fatigue & Fracture of Engineering Materials and Structuresを発行するなど多方面に活躍しているが、特に二軸/多軸疲労に力を入れ、国際的な組織を作ろうとしている。

ミラー教授の研究室を6年ぶりに訪れて、その設備の充実ぶりに驚いた。まず目を引いたのは、最新の大型の油圧サーボ式疲労試験機であり、中空円筒試験片に軸力とねじりおよび内圧と外圧を繰り返し負荷できる。シエンク社製で1億円以上するそうである。この装置により、あらゆる組み合わせの二軸応力条件が実験できる。

さらに当研究室と同タイプ(ただし垂直型)の十字形平板試験片に面内の任意の二軸荷重が負荷できる疲労試験機(MAYES社製)が3台も設置され、切欠からの疲労き裂伝播および高温におけるクリープ・疲労き裂伝播などの研究が行われていた。さらに引張り-ねじり疲労試験機2台および通常の単軸油圧サーボ疲労試験機2台も使って、二軸疲労の広範囲な研究が精力的に行われており、あらためて二軸疲労研究の重要性を認識させられた。また原子力に関連する熱衝撃やFRPなどの先端素材の破壊実験にも着手していた。

同研究室のBrown助教授と互いにデータをもちより十分な討議が出来た。特に疲労き裂伝播特性に及ぼす二軸応力の影響に関して、本研究室の結果とミラー研究室

*東京大学生産技術研究所 第1部

の結果をつきあわせ、負荷応力が高くなると二軸応力が生じることが合意できた。また今後、微小き裂や高温き裂に関するこの種の研究が重要であることを話し合った。Brown 助教授とは、年齢も近く研究内容も似ているので、今回の旅行中彼との論議が特に有意義であった。またミラー教授を助け、実質的な研究を指導し、ミラー教授の編集する本や雑誌の出版や国際会議の運営などの献身的な活動に感心した。彼の労をねぎらうと、「私には二つの名前がある。Miller & Brown だ」というジョークがかえってきた。

Miller 教授の趣味は山歩きであり、かつてヒマラヤまで出かけた人であるが、おかげで 12 月の英国の山登りをするはめになった。千メートル弱の低い山 (Derbyshire Peak) ではあるが、前夜の雨のためぬかるんだ山道をミラー教授らと登った。教授は高齢にもかかわらず、ワイシャツ姿にリュックをしょって、息も切らせず喜々として登っていく様子が印象的であった。

4. 第 2 回二軸/多軸疲労国際会議

この会議の第 1 回は 1982 年 12 月サンフランシスコで開かれ、ミラー教授とブラウン助教授の編集により、ASTM STP853 として論文集が出版されている。第 2 回の会議には、11 カ国 70 人の参加者がおり、約 48 編の論文が報告され、朝 9 時から夜 9 時まで、熱心な議論が続けられた。この会議で、ミラー教授を中心とした英国の研究グループとイリノイ大学を中心とする米国の研究グループの活動が目をつけた。特にイリノイ大学では、中空円筒試験片に軸力とトルクおよび内圧・外圧を負荷する新しい疲労試験機を駆使し、広範囲な二軸応力条件下の疲労強度データが報告され、その低サイクル疲労寿命予測式が提案された。

今回の会議では、サイクル中主応力ないし主ひずみの方向が変化する非比例負荷での材料の挙動および疲労寿命に関する研究および高温でのクリープ・疲労の問題に関する研究の発表が活発であった。まだき裂伝播の問題には結びついていないが、今後の破壊力学の重要な課題となろう。また今回、GFRP などの複合材料の二軸疲労の報告が数件みられ、まだ定性的な議論に終わっている印象が強かったが、直交異方性を有する複合材の二軸疲労

は応用上重要となると思われる。

今回の会議では、「二軸応力下の腐食疲労き裂伝播」と題する講演を行った。本研究では、海水中の腐食疲労き裂伝播に及ぼす二軸応力の影響を実験的に調べ、室温大気中とは異なる二軸応力効果が生じることを初めて明らかにした。海洋構造物の寿命評価に際し、重要なデータであるため、多くの議論を呼んだ。なお、この会議の内容は、近く単行本として出版される予定である。

この会議に出席して、自分自身で感じた今後の研究動向をまとめると、

- 1) 二軸・多軸疲労の研究の組織化と国際協力
- 2) 非比例負荷を含むすべての応力条件に適用できる理論の一般化
- 3) 疲労強度と低サイクル疲労アプローチとき裂伝播を対象とする破壊力学的アプローチとの結合、特に微小き裂の発生・成長
- 4) 腐食環境・高温下の二軸・多軸疲労強度と疲労き裂伝播
- 5) 複合材料の二軸疲労強度と破壊
- 6) 変動荷重およびランダム荷重下の二軸疲労強度と疲労き裂伝播

日本からのこの会議への出席は、私 1 人であり、残念ながら、国内では個々には研究が進められているが、「二軸・多軸疲労」という共通の意識が薄く、組織的な研究が行われていない。今後は、異なる分野の研究者が協力して、この分野の研究を進める必要性を強く感じた。また、二軸・多軸疲労では調べる要因があまりにも多く、試験片および実験のコストが高価であるため、国際協力が今後ますます必要となろう。現に、この会議後、2～3 のラウンドロビンテストが国際協力の下に開始された。

5. おわりに

今回の旅行では、シェフィールド大学のミラー教授、ブラウン助教授のお世話になり、二軸疲労に関する精神的な研究に触れ、その重要性を再認識させられた。また、国際会議にも出席でき、世界の最新の動向を知ることができた。このような機会を与えていただいた奨励会・三好助成会に感謝いたします。

(三好研究助成報告書 1986 年 6 月 13 日受理)