

1) FS-1185-11 Fatigue of Welding Structure – A New Theory of fatigue initiation and propagation

九州大学 豊貞 雅宏

疲労き裂の発生や伝播には塑性仕事が半サイクルごとに連続してなされなければならない。この観点から外力や残留応力が作用する2次元の任意応力分布下におけるき裂結合モデルを用いたき裂開口現象シミュレーションがなされている。すなわち、仮想き裂部のCODが活固有変位であることを考慮し、塑性域に生じた固有変位は再度塑性にならない限り、変化しないことを利用した定式化がなされている。このモデルより、き裂開口型き裂の場合の圧縮塑性域寸法と、負荷過程中にき裂先端に引張り塑性域が生じ拡大する瞬間の荷重から最大荷重にいたる荷重範囲に対応する応力拡大係数範囲 ΔK_{RPG} との間には、単調増加過程における小規模降伏条件下での関係と同様の関係があることを突き止め、 ΔK_{RPG} がき裂伝播速度を律していると仮定している。

さらに、き裂の発生は転位論に基づき、すべり線に沿って発生し、最初の結晶粒界に達するまでは完全なせん断き裂として進展し、それ以降はき裂の進展に伴い徐々に開口型に遷移すると仮定されている。そしてせん断き裂は圧縮荷重だけではなく、引張荷重も受け持ち、き裂自身による応力の再配分が生じないと仮定している。したがってせん断き裂先端の繰返し塑性域先端位置が決まり、これより等価な ΔK_{RPG} が与えられる。切欠きを有する超薄板試験片を用いた疲労試験により、せん断き裂状態のき裂伝播速度が計測され、上記等価 ΔK_{RPG} で切欠底での結晶粒内の発生・成長曲線が定量的に評価できることを明らかにしている。

上記のモデルに基づくプログラムをFLARPと称した。さらにFLARPを3次元問題へ適用するため、等価分布応力(EDS)の概念を提案している。EDSを用いることで実構造物の外力や溶接残留応力に伴うき裂深さと応力拡大係数のそれぞれの関係を、無限板における直線き裂へと置き換えることで任意の問題への適用ができる。溶接残留応力を含む試験片にブロック荷重や応力比を変えた一定振幅荷重を付与した疲労試験を実施し、EDSを用いたFLARPの計算結果がよく一致することが示された。FLARPによって残留応力の影響を考慮し、多様な負荷状態の疲労き裂発生および伝播寿命を高精度に予測できることを示した。

き裂発生の定義、解析に必要な材料特性、伝播特性を取得するために用いた試験片、結晶粒が寿命に与える影響等について質疑があった。

2) FS-1186-11 FRP 接着による疲労耐久性の向上について

首都大学東京 中村一史

土木分野において試験的に適用され始めている FRP 接着による補修・補強技術のうち、疲労耐久性の向上に関する研究開発の状況を概観し、研究事例として、面外ガセット溶接止端部から発生した疲労き裂の CFRP 板接着による補修方法について紹介した。検討の結果、面外ガセットに対して、CFRP 板の中央部にスリットを入れて積層接着して補修することで、疲労寿命が大幅に改善されることが疲労試験から明らかになった。さらに、線形 FE 解析によって算出された K 値を用いて、線形破壊力学に基づく疲労寿命の予測を試みた結果、回し溶接部の接着状態が K 値の評価に大きな影響を及ぼすこと、また、その部分のはく離を半分程度考

慮すれば、疲労寿命が安全側に評価されることが示された。

適用範囲、剥離の影響、応力低減効果の評価方法、解析における接着剤の考慮等について質疑があった。

3) FS-1187-11 ホットスポット応力計測用特殊センサの開発と溶接継手に対する適用事例

共和電業 上杉 太郎

鋼溶接構造物の疲労寿命は、一般に公称応力と該当継手等級の S-N 線図により評価されるが、公称応力が測定あるいは定義できないような場合には、ホットスポット応力を用いて評価することができる。その場合、定義に基づく 2 点の応力値とそれらを用いた外挿処理が必要となり、2 枚のひずみゲージを溶接近傍に正確に貼付する作業が煩わしい。そこで今般、ホットスポット応力を 1 枚のゲージで計測可能とするホットスポットセンサを開発し、鋼床版に試適用してその実用性を検証した。その結果、実橋において今般開発のホットスポットセンサを適用することで容易に計測できることを確認できた。

設計曲線の取り扱い、個々のひずみ値、ゲージ長の影響、幅方向の分布、ゲージの貼り方、0.3 t 法等について質疑があった。

4) FS-1188-11 添え板ボルト締めストップホール法による主桁横交差部の疲労き裂の補修

法政大学 森 猛

主桁・横桁交差部の主桁ウェブに生じた疲労き裂に対して、添え板ボルト締めストップホール法により補修した場合の疲労強度を明らかにする目的で、交差部を模擬した部分を含む桁試験体の疲労試験を行っている。また、この補修部の疲労破壊起点を明らかにする目的で、桁試験体補修部を模擬した小型平板試験体の疲労試験も行っている。さらに、添え板ボルト締めストップホール法の補修効果とストップホール法あるいはボルト締めストップホール法の効果を疲労試験を行うことにより比較している。そして、添え板ボルト締めストップホール法による補修部の疲労強度は、ボルト締めストップホール法よりも高く、高力ボルト摩擦接合継手と同程度であるという結果を示している。

摩擦の影響、添え板の面積の効果、き裂位置とワッシャーの位置関係、初期締結力、面外応力に対する効果、実機におけるき裂の有無、フレットングの防止方法、補修の時期等について質疑があった。

5) FS-1189-11 面外曲げとせん断を受ける溶接継手の疲労き裂進展挙動について

名古屋大学 舘石 和雄

面外曲げとせん断を受ける十字溶接継手の疲労き裂進展挙動について考察した。まず、溶接残留応力の再配分挙動について解析と実験とにより検討し、き裂が板厚方向に進展する場合、板厚の 6 割程度進展すると残留応力が消失することを示した。この点を考慮した疲労き裂進展解析により、面外曲げを受ける場合の溶接継手は、1)溶接止端部から発生した主き裂進展によって破断する場合、2)主き裂は停留するが背面から発生するき裂の発生により破断する場合、3)き裂が停留する場合の 3 つに大別できることを示した。また、き裂の停留条件についても考察した。

き裂停留のメカニズム、残留応力に伴う K 値、試験の制御方法等について質疑があった。