

ルート疲労破壊を防止するモジュラー型伸縮装置の溶接詳細

法政大学大学院	正会員	○山崎 信宏	法政大学	フェロー	森 猛
法政大学 (当時)	非会員	長島 和俊	日本 casting (株)	正会員	原田 孝志
日本 casting (株)	非会員	三瓶 太一	日本 casting (株)	正会員	石山 昌幸

1. はじめに

道路橋に用いられる伸縮装置の一つであるモジュラー型伸縮装置のミドルビームとサポートビームの接合は、完全溶け込み溶接で行われている (図 1 参照)。すみ肉溶接から完全溶け込み溶接へ変更したことで、ルートを起点とした疲労破壊を防止している。しかし、完全溶け込み溶接は、製作とその管理に多くの手間を要する。そこで、施工が比較的容易な部分溶け込み溶接でルート破壊を防止することを考えた。本研究では、モジュラー型伸縮装置溶接部を模擬した試験体の疲労試験を行い、疲労破壊の起点が、有効切欠き応力概念で整理できることを確かめた上で、溶接脚長と溶け込み深さ、そして止端の曲率半径をパラメータとした有効切欠き応力の解析を行い、ルート疲労破壊を防止できる部分溶け込みの溶接詳細を示す。

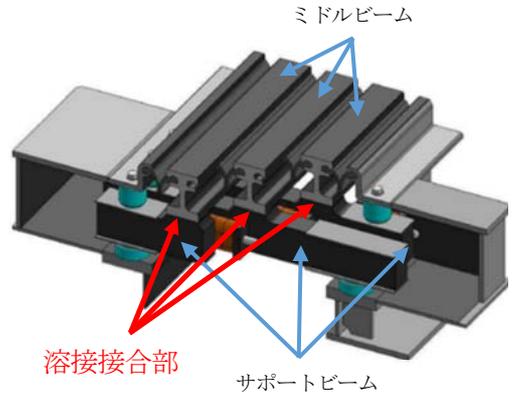


図 1 溶接タイプのモジュラー型伸縮装置

2. 試験体

試験体は、AW 試験体 2 体 (AW1, AW2) と FW 試験体 3 体 (FW1, FW2, FW3) である。AW 試験体は溶接のまま、FW 試験体は溶接部全体あるいは止端のみを仕上げている (写真 1 参照)。溶接脚長は、いずれの試験体とも 6mm である。また、止端の曲率半径は AW 試験体で 1mm 程度、FW1 試験体で 3mm 程度、FW2 試験体では 4.5mm 程度、そして FW3 試験体で 8.5mm 程度であった。ミドルビームは、幅 90mm、高さ 125mm の形鋼であり、その長さは 1,000mm である。サポートビームは、幅 60mm、高さ 110mm の矩形の鋼材であり、その長さは 290mm である。サポートビームの長手方向中央部には、ミドルビームを接合するため、高さ 18mm の突起を設けている。その突起部に長さ 1,000mm のミドルビームをすみ肉溶接で接合している。試験体の形状と寸法を図 2 に示す。ミドルビームに用いた鋼材は EN 規格の S355J2+N (JIS SM490YB 相当)、サポートビームでは SM490C である。

3. 疲労試験

疲労試験は、動的能力 300kN の電気油圧サーボ式材料試験機を用いて三点曲げで行った。試験体は、ミドルビーム長手方向側溶接部に引張あるいは圧縮応力が作用するように試験装置に設置した (写真 2 参照)。ミドルビームに輪荷重が作用した場合、溶接部に生じる応力は圧縮となるのが通常である。しかし、溶接部に生じる残留応力の影響を考慮し、また安全側の疲労強度が得られるように、引張応力を作用させる試験も行っている。ここでは、溶接部に引張応力を作用させる試験を正曲げ試験 (AW1, FW1, FW2)、圧縮応力を作用させる試験を負曲げ試験 (AW2, FW3) と呼ぶ。図 1 に示したように、ミドルビームとサポートビームは十字梁となっている。したがって、ここで行うようなミドルビー

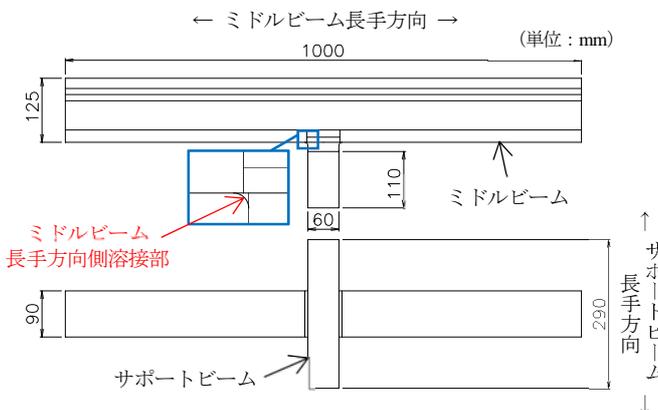


図 2 試験体の形状と寸法

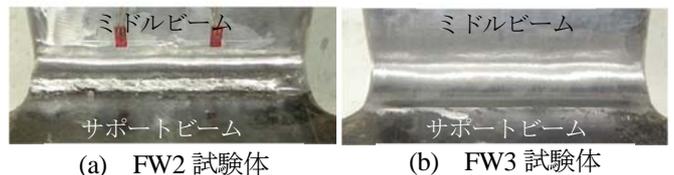


写真 1 試験体の溶接部形状 (ミドルビーム長手方向側)

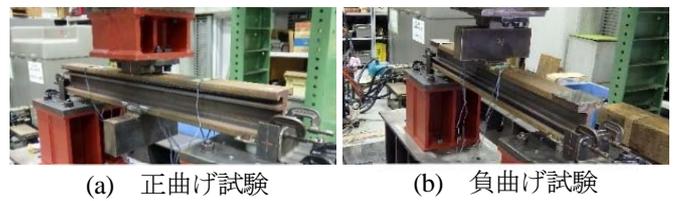


写真 2 試験体の設置状況

キーワード：伸縮装置, モジュラー型, ルート疲労破壊, 有効切欠き応力, 溶接詳細

連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学大学院デザイン工学研究科 TEL：042-387-6287

ムのみに曲げを与える試験では応力性状を十分に再現できていない可能性もある。ただし、疲労破壊の起点や疲労強度について検討するという意味では有用と考えている。疲労試験の結果を表 1 に示す。AW1・2 試験体と FW1 試験体は止端破壊、FW2・3 試験体ではルート破壊が生じた。

表 1 疲労試験結果と解析結果

試験体名称	曲率半径 (mm)	疲労試験結果		解析結果	
		き裂発生位置	試験回数 (×10 ⁴ 回)	有効切欠き応力 (N/mm ²)	
				止端	ルート
正曲げ	AW1	1.0	溶接止端	22.2	534.5
	FW1	3.0	溶接止端	114.9	374.3
	FW2	4.5	ルート	179.6	344.2
負曲げ	AW2	1.0	溶接止端	210.6	633.3
	FW3	8.5	ルート	86.5	360.8

4. 試験体の有効切欠き応力

試験体モデル (図 3 参照) を対象に 3 次元弾性 FEM 解析により有効切欠き応力を求めた。国際溶接学会の疲労設計指針では、有効切欠き応力により、継手の形式などによらず一つの疲労強度曲線で疲労照査が行えるとしている。鋼材の弾性係数は 2.0×10⁵N/mm²、ポアソン比は 0.3 とし、着目部 (止端とルート) 近傍のソリッド要素の寸法は 0.1mm とした。解析で求めた有効切欠き応力を表 1 に示す。止端破壊した AW1・2 試験体は、ルートに比べて止端の応力が高い。それに対してルート破壊した FW2・3 試験体では、ルートの応力が止端よりも高くなっている。このように、有効切欠き応力によって疲労破壊の起点を特定することが可能である。なお、FW1 試験体は止端破壊したものの、ルートの応力が止端よりも高い。しかし、その差は FW2・3 試験体に比べて小さい。

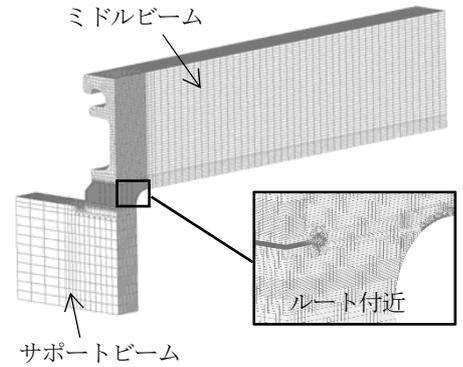


図 3 要素分割の例

5. ルート疲労破壊を防止する溶接詳細の検討

ここでは、溶接脚長と溶け込み深さ、そして止端の曲率半径をパラメータとして、止端とルートの有効切欠き応力を求め、それぞれの位置での応力集中係数 (有効切欠き応力/公称応力) がどのように変化するか、すなわち止端の曲率半径ごとにルート疲労破壊を防止できる溶接脚長と溶け込み深さを明らかにする。以後、止端の曲率半径を ρ 、溶接脚長を S 、溶け込み深さを Pw 、そして応力集中係数を α と記す。 ρ は 1, 3, 5, 10, 15mm の 5 種類、 S は 6, 10, 15mm の 3 種類、 Pw は 0, 5, 10, 15, 20mm の 5 種類とし、これらを組合せた 60 モデルの解析を行った。 ρ ごとに求めた止端とルートの α を S あるいは Pw の関係で整理した結果、 α を整理するパラメータとして $S+Pw$ が適していると判断した。図 4 に止端の α と $S+Pw$ の関係を示す。 ρ が大きいほど α は低くなっているものの、 $S+Pw$ による顕著な変化は見られない。図 5 はルートの α と $S+Pw$ の関係を示している。図中の破線は最小二乗法で求めた両者の関係である。多少のばらつきはあるものの、 ρ の大きさによらず、ほぼ一つの関係で表すことができる。ルートの α が止端の α よりも小さくすることができれば、ルート破壊を防止できるということになる。ここでは安全を考慮し、止端の α の 70% とルートの α を比較することとした。その結果を図 6 に示す。 ρ を 10mm とした場合にルート破壊を防止できると考えられる $S+Pw$ は 27.8mm、 ρ が 15mm の場合では 31.7mm となる。

6. まとめ

モジュラー型伸縮装置溶接部の疲労き裂の起点は、有効切欠き応力概念により特定できる。ルート疲労破壊は、溶接脚長と溶け込み深さを大きくすることで防止できる。その評価は、溶接脚長+溶け込み深さをうければよい。ルート疲労破壊を防止するための溶接詳細として、止端の曲率半径を 15mm に仕上げた場合、溶接脚長+溶け込み深さを 32mm 程度以上とすればよい。

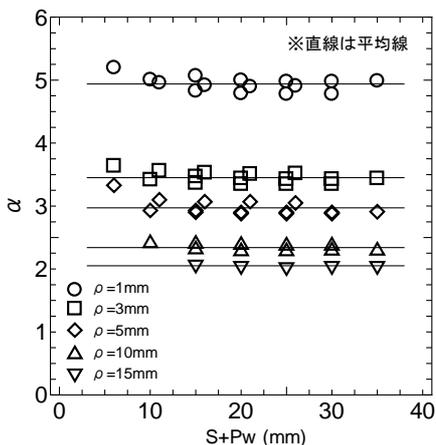


図 4 止端の α と $S+Pw$ の関係

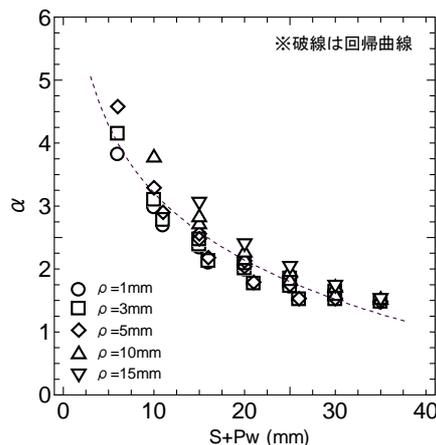


図 5 ルート α と $S+Pw$ の関係

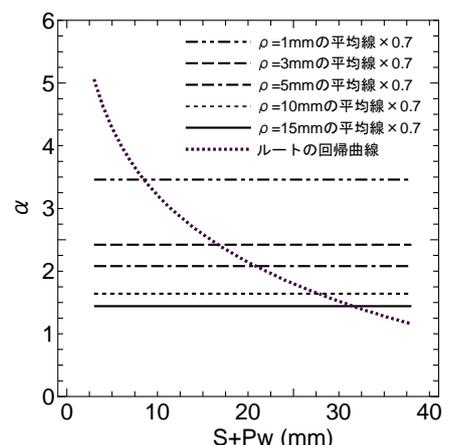


図 6 α と $S+Pw$ の関係