

板厚が薄い鋼管の補剛リブ溶接部の簡易曲げ疲労試験

名古屋大学 学生会員 ○村井啓太 正会員 藤嶋祐太 山田健太郎 石川敏之
名城大学 正会員 小塩達也 山田吾吾

1. 目的

2008年1月に愛知県常滑市でF-1型標識柱が、標識を取り付けた梁部の根元の補剛リブ止端から発生した疲労き裂により破断し、梁部が道路上に落下した。現地は、中部国際空港の前島で、風の強い場所であり、風による振動の繰返し疲労破壊の原因と考えられている。

これまで、橋梁振動による照明柱、標識柱の破壊に対する検討では、比較的太径(100mmφ以上で板厚 $t=4.5\sim 8\text{mm}$)の鋼管のリブの疲労試験は行われたが、破断した細径(100mmφ程度で $t=3.2\sim 4.5\text{mm}$)の実験例は少ないため、疲労試験を行って疲労挙動を確認した。この疲労試験では、偏心おもりを回転させる市販の加振機を用いた新しい方式の疲労試験を行うことで、試験時間の短縮とコスト削減を可能とした。

2. 疲労試験方法と疲労試験体

疲労試験には、F-1型標識柱の梁部材をモデル化して、図-1に示すように加振機を柱頭に取り付け、片持ち式で行った。試験体の固有振動数以下で疲労試験するため、載荷速度は、15Hz程度となったが、一般の疲労試験に比べて高速の実験が可能となった。

疲労試験では、鋼管下部を載荷フレームに高力ボルトで固定し、加振機を取り付けた補助板を自由端にUボルトで固定した。なお、Uボルトを締める際の鋼管の変形を拘束するため、鋼管内部に円形の木材片を挿入した。実験は一部を除いて、応力比 $R=-1$ (両振り)で試験した。

試験体には、STK400、100mmφの鋼管($t=3.2, 3.5, 4.5\text{mm}$)を用いた。板厚12mmのリブのすみ肉溶接では、溶接順序を図-2に示す方法を用いた。溶接の始末端をリブ端に置かないためには、まわし溶接部は、溶接順序Cにするのが標準だが、今回は(社)全国道路標識・標識業協会中部支部の製作方法Aと、より簡略化したBで溶接した。(その後、協会は溶接順序Cに変更した。)また、亜鉛メッキ加工の影響を見るために、亜鉛メッキしないものも疲労試験した。

試験体には、図-1に示すように、まわし溶接止端から50と150mm離れた位置にひずみゲージを貼付し、この2点よりまわし溶接止端位置へ線形外挿した応力を公称応力と定義した。また、疲労実験では、図-3に示すように、0.04mmφの被覆銅線を用いることで、溶接止端に疲労き裂が発生した段階(Ntoe)、まわし溶接部から疲労き裂が分岐した段階(Nb)、疲労き裂が溶接止端から15mmまで進展した段階(N15)を区別した。疲労試験はN15の段階で終了した。

3. 疲労き裂の発生と進展状況

疲労き裂は、2体を除いてリブ端のすみ肉溶接止端から発生した。残りは、すみ肉溶接の内部欠陥とルート

連絡先 〒464-8603 名古屋大学環境学研究科都市環境学専攻(土木) TEL 052-789-4620

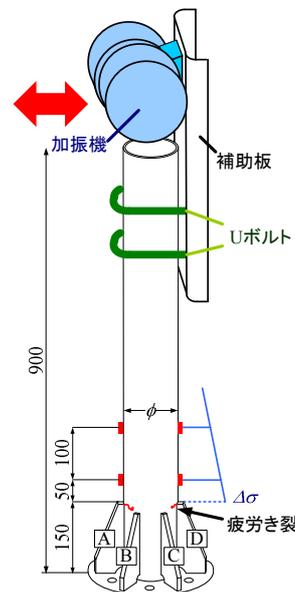


図-1 振動加振機を用いた疲労試験方法

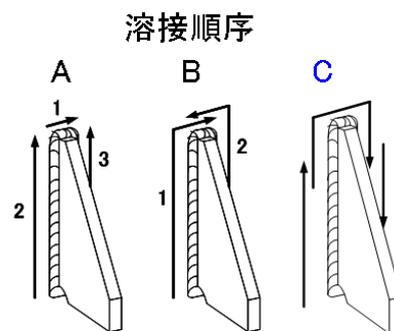


図-2 補強リブの溶接順序

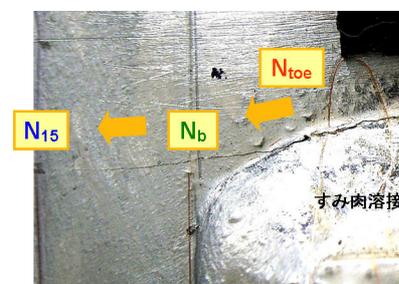


図-3 疲労き裂の進展挙動

から疲労き裂が発生，進展して破断した．図-4 に $t=3.5\text{mm}$ の試験体の破面を示す．破面には， N_{toe} で行ったダイマーキングと，ビーチマークが見える．まわし溶接部から発生した疲労き裂が両側に進展し，管厚が小さいため，き裂発生後，疲労き裂が鋼管を貫通していることがわかる．

4. 疲労寿命のまとめ

疲労強度の結果を図-5, 6 に S-N 線図として示す．縦軸は外挿して求めたリブのすみ肉溶接止端の公称応力範囲，横軸は N_b と N_{15} の繰返し数を示している．いずれの S-N 線図もデータのばらつきが大きい結果となった．

まず，図-5 では， $t=3.2, 3.5\text{mm}$ の試験体で，応力範囲 $\Delta\sigma$ を 80MPa 程度とした試験体では， 10^7 万回の繰返し载荷で破断しなかった．同様に， $\Delta\sigma=120\text{MPa}$ で载荷したものが3体破断していない．それに比べて， $t=4.5\text{mm}$ の試験体は， $\Delta\sigma=120\text{MPa}$ 程度で疲労き裂が発生，進展している．また，疲労き裂が発生した試験体を比較しても，板厚が小さいと疲労寿命が長いという板厚効果を示している．さらに，全体として亜鉛メッキしたものが溶接のままに比べて短寿命側であり，溶接 B のものが他の試験体より短寿命側である傾向も見られた．JSSC の疲労強度等級と比較すると， N_b の下限値は，F 等級程度となる．

図-6 には， N_{15} のデータを示す． N_b と同様の結果であり，疲労き裂が鋼管を進展する分だけ，疲労寿命が長くなり，1 体を除くと JSSC の E 等級程度となった．同図には，過去の実験値の一部を載せている．1992 年の山田らの実験¹⁾は， $t=4.5\text{mm}$ のリブ付き鋼管を引張で行ったもの，2003 年の山田聡らの実験²⁾は標識柱の実物を曲げ疲労試験したものであるが，今回の実験値に比べて 2 等級程度寿命が短い結果となっている．

3. まとめ

照明柱や標識柱などは，橋の振動や風による強制振動を受けて疲労破壊することがある，疲労を未然に防止するためには，振動による応力範囲を計測や解析によって把握するとともに，こういった構造物に用いられる溶接継手の疲労強度を求める必要がある．ここでは，市販の振動加振機を用いて簡易な曲げ疲労試験を行うシステムを開発した．その疲労試験システムを用いて，比較的板厚の薄い $t=3.2, 3.5, 4.5\text{mm}$ の鋼管のリブの疲労試験を行った．

【謝辞】本研究は，科学研究費(柱の曲げおよびねじり疲労試験機の開発：代表者山田健太郎)の補助を受けた．試験体は，(社)全国道路標識・標識業協会中部支部で製作され，疲労試験では(株)三陽商会澤木晋一氏の協力を得たことを付記する．

【参考文献】 1)山田・近藤・小林・宮本・荒木：鋼管柱基部の疲労強度，構造工学論文集，Vol.38A，pp.1045～1054，1992 年 3 月． 2)山田・酒井・山田：撤去した標識柱基部の疲労強度とその補修方法に関する一考察，構造工学論文集，Vol.49A，pp.725～734，2003 年 3 月．

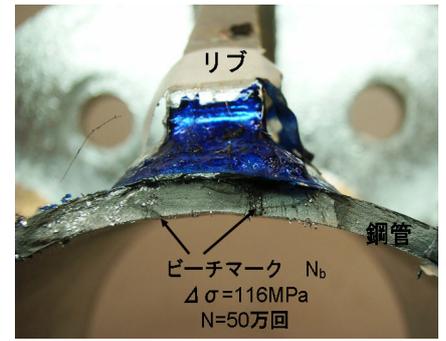


図-4 すみ肉溶接止端から発生した疲労き裂の進展状況の例

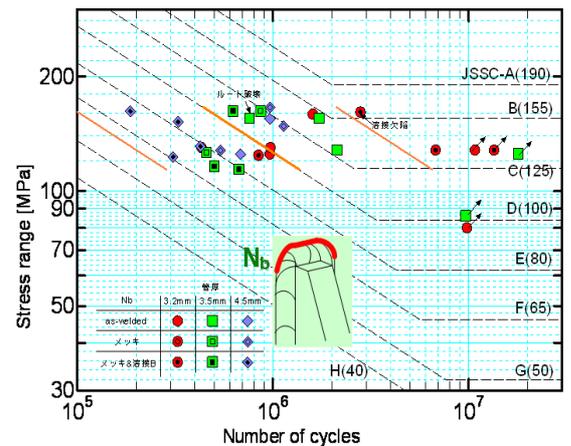


図-5 N_b で整理した S-N 線図

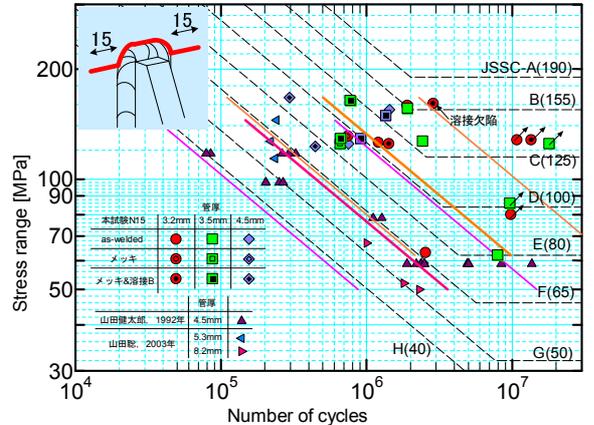


図-6 N_{15} で整理した S-N 線図と過去の実験値との比較