

画期的な耐疲労性能の「U字リブ構造」

土木学会技術開発賞を受賞



近年、道路や高架橋上の照明柱や標識柱などでは、橋梁の振動や風の影響などによる倒壊・折損・落下事故例が報告されており、高い疲労耐久性が求められていた。これは、鋼管ポールの基部に、金属疲労（繰り返し力を受けることにより、壊れてしまう現象）による亀裂が生じることが原因だ。

今回は、強度・機能に優れ、市場の高い評価を受けて採用が急速に増加している「U字リブ構造」を紹介する。今般、適用対象の拡大が期待される画期的な構造として、平成14年度の「土木学会技術開発賞」を首都高速道路公団と共に受賞した。

金属疲労に弱い従来構造

従来の鋼管ポールは、ベースプレートにポールを溶接固定し、補強のために「三角状」のリブ（添え板）を配置していた。しかし、高架橋などに設置された従来構造の鋼管ポールは、風や路面の振動により繰り返し力を受け、リブの溶接部付近に亀裂を生じることがあった。放置しておけば、鋼管ポール自体が倒壊してしまう恐れがあり、疲労しにくい構造が求められていた。（図）

これに対するソリューションが、新日鉄が開発した「U字リブ」構造だ。（図）（株）因幡電機製作所とヨシモトポール（株）との共有特許を取得）

シンプルで画期的なソリューション

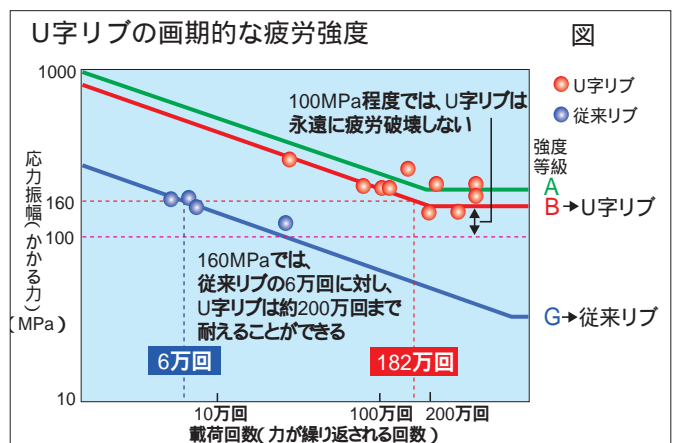
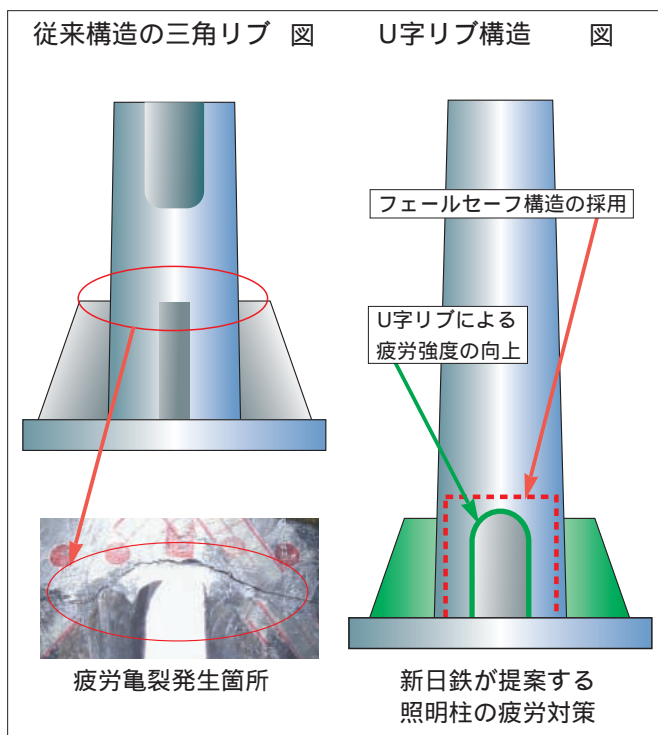
「U字リブ構造」は、従来の三角リブを、U字状に折り曲げ加工した板リブに置き換えたシンプルな形態だ。しかし、そのパフォーマンスは大きく違う。

従来の三角状リブと比較して、リブの上端への応力集中^()を大幅に低減する画期的な構造で、従来の疲労強度等級（G～H等級：（社）日本鋼構造協会）から、C～B等級以上に、5ランクも引き上げることに成功した。（図）

開発に携わった鉄鋼研究所主任研究員の杉本雅一は、次のように解説する。

「U字リブは、従来の三角リブと比較して疲労寿命（強度や機能が損なわれるまでの期間）が数十倍と驚異的です。なぜこのようなことが可能なのか、それは溶接部分に秘密があります。U字リブは、亀裂が生じていた部分（リブ上端の溶接止端部）に応力が集中しにくい構造であることに加え、溶接加工後の溶接部分への力の残り方が、三角リブとはまったく逆なのです。FEM解析や種々の測定により、三角リブの溶接部近傍には、疲労寿命を縮める“引張り残留応力”が内在していたのに対し、U字リブは疲労を抑制する“圧縮残留応力”が内在していることがわかりました」

() 突起物などの近くで、単位面積あたりに掛かる力=応力が増大する現象



高耐疲労補強構造

U字リブは溶接構造でありながらC～B等級の疲労強度を実現（参考）継ぎ手の強度等級

等級	B	F	G
継ぎ手	非溶接継手 シームレス鋼管	横突合わせ継手 (片面溶接)	ガゼット溶接継手

U字リブの「経済性」

杉本は、「U字リブ」工法の特長は、耐疲労性能だけでなく、その経済性にもあると言う。

「U字リブは、現在、おかげさまで全国各地の鋼管照明柱に採用され、その数はすでに2,500本にも及びます。その大きな理由は、特殊な材料や加工方法に頼ることなく、一般的な鋼板を使用したプレス加工・隅肉溶接のみという簡便な加工によって、疲労に強い構造を確保できることです」(杉本)

従来技術である三角リブと比較しても、製造コストを抑えて、格段の耐疲労性能を実現できる。実際、高架橋の照明柱では、U字リブ構造と同等の疲労性能を、三角リブを使用したまま鋼管の板厚を厚くすることで確保しようとする、5倍以上の板厚が必要とされ、実現不可能だ。

今後さらなる採用拡大が期待されるU字リブ

このように高い性能を誇るU字リブ。ライフサイクルコストや安全性確保の観点から耐疲労特性が重視され、ますます採用が増えている。

「U字リブは、一般的な照明柱に使用される以外にも、架線柱や信号柱、標識柱などその適用範囲が広く、今後さまざまな可能性を秘めています」と、鋼管営業部配管グループマネジャーの近藤哲己は言う。

「シンプルな構造ですから、現場設置・施工も従来と同様の手順で実施でき、加工精度の影響も少ないため、十分な耐久性・信頼性が確保できます。画期的な疲労強度向上の理由も理論・実験両面で説明されており、『納得のいく』技術として信頼を高めています」(近藤)

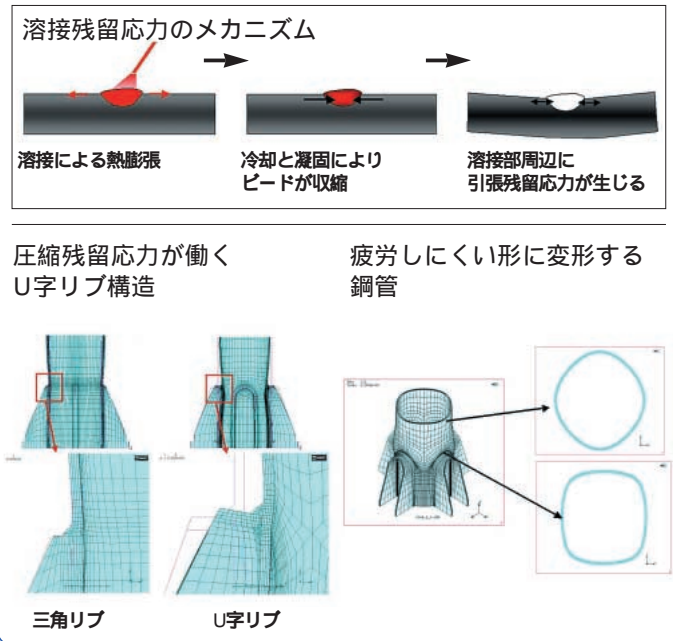
性能、信頼性、経済性などから、従来構造にとってかわるベストのソリューションと評価を受け、多くの道路照明柱の基部構造として採用が広がっているU字リブ。海外でも同様の問題が存在しており、適用範囲の拡大が期待される。

「今後この技術を国内外に紹介し、広い分野に向けたソリューションを提供していきます」(近藤)

「3次元思考」で驚異的な疲労強度を実現

通常、金属の疲労損傷は、「引張り応力」が金属に繰り返して作用した場合に生じる。しかし、U字リブの場合は通常は考えにくい「圧縮残留応力」が内在しているため、引張り応力が働いても、材料の表面が「圧縮応力状態」に保たれるため、疲労亀裂が発生しにくい。

普通、溶接すると、溶接で溶けた部分（溶接ビード）は冷却され固まる時に縮もうとする。そのため、溶接ビードのまわりが引っ張られた状態で固まり、「引張り残留応力」を生じ疲労寿命に悪い影響を与える。ところが、U字リブの場合、溶接ビードが縮もうとする力で鋼管の外側の表面が部分的に変形し、押し合うような形で固まり、疲労を抑制する「圧縮残留応力」が働く。平面にとらわれない「3次元思考」による構造的アプローチが成功のキーワードだ。



U字リブを囲む受賞者

・鉄鋼研究所加工技術研究開発センター 主任研究員 杉本 雅一（後列中央）
基本コンセプトを具現化しメカニズムを解明

「㈱日鉄テクノリサーチで疲労試験を実施し、当社の誇る溶接熱応力数値解析技術により実用化に至りました。専門家の常識を覆す仮説を立て、検証していくのは研究者冥利に尽きる楽しい作業でした。採用が拡大する中、あらためてU字リブが高く評価され、光栄です」

・鋼管営業部配管グループマネジャー 近藤 哲己（後列左）
市場ニーズの取り込み、本技術を適用した照明柱を企画

「首都高速道路公団、ヨシモトポール㈱のご支援で受賞できました。U字リブの採用数は現在2,500本を超え、ベストのソリューションとの評価を頂いています。今後、寿命延長、安全確保などで社会に貢献できる商品を引き続き開発していきます」

新日鉄の照明柱疲労対策メニュー

優れた強度をもつ「テーパ鋼管」：
完全溶接された電縫鋼管を使用し、溶接部での応力集中がほとんどなく凍結割れが起こらない。独自の「温間スピニング工法」により曲線形も製造可能。大きな力のかかる底部の肉厚を厚くした、振動等に強いポール形状を提案。

「共振現象」の防止対策：
ポールの外径と肉厚分布を最適化し、風や交通による路面の振動数と照明柱の固有振動数をずらす設計を提案。
フェールセーフ対策：
一部が破損しても安全性に支障がない、底部二重管などの対策を提案。