

大阪大学大学院 学生員 ○橋本保則

大阪大学大学院 学生員 中村圭吾

大阪大学大学院 正会員 大倉一郎

三井造船㈱ 正会員 祝 賢治

ショーボンド建設㈱

松上泰三

1. はじめに

近年、高速道路の高架橋に設置されている標識柱の基部に図-1に示すような疲労亀裂がリブのまわし溶接止端から発生していることが報告されている^{1) 2)}。これは風や大型車の通行による振動が原因とされ、疲労亀裂が進展すると標識柱の転倒につながるため大変危険である。これまで著者らは、鋼板の疲労亀裂に炭素繊維シートを適用する補修方法について検討してきた³⁾。今回は標識柱基部の疲労亀裂の補修に炭素繊維シートを適用することの可能性を調べる。

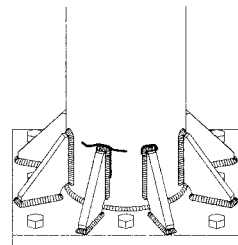


図-1 標識柱基部の疲労亀裂

2. 疲労試験

2.1 試験体

炭素繊維シートを付着した試験体を図-2に示す。試験体は実際の標識柱基部と同じ寸法である。炭素繊維シートの大きさは付着長さ 230mm×幅 60mm とし、全リブ間に付着している。この大きさは構造上可能な大きさである。使用した鋼材、エポキシ樹脂および炭素繊維シートの材料特性を表-1に示す。

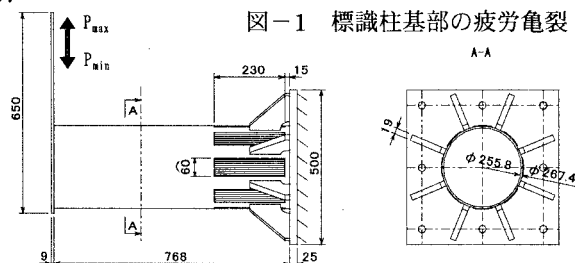


図-2 試験体

表-1 材料特性

(1) 鋼材

使用鋼材	鋼管	リブ
	一般構造用炭素鋼鋼管 (STK400)	SM400A
実測板厚 (mm)	5.8	19.0
降伏応力 (MPa)	411.96	255.25
引張強さ (MPa)	458.82	426.64
伸び (%)	36.7	30.6
ヤング率 (GPa)	208.6	196.2

(2) 炭素繊維シート

炭素繊維目付け (g/m ²)	309.5
密度 (g/cm ³)	1.83
炭素繊維シートの1層の換算厚さ (mm)	0.169
引張強さ (MPa)	4020
ヤング率 (GPa)	437.3

(3) エポキシ樹脂

	I	II
引張強さ (MPa)	53.9	41.0
ポアソン比	0.42	0.35
ヤング率 (GPa)	3.34	3.13
引張せん断強さ (MPa) [JIS K 6850]	16.9	22.7

I : 試験体 A2, A6, B2 II : 試験体 A10

2.2 試験方法

疲労試験は図-2に示すように鋼管先端に繰返し荷重を載荷した。荷重条件を表-2に示す。実際の振動を想定した両振り試験と、その比較として片振り試験を行った。両振り試験では積層数をパラメータとしており、荷重範囲は片振り試験の2倍である。表中の $\Delta\sigma_n$ は、構造力学により計算される炭素繊維シートが無いとした場合のリブ先端での応力範囲である。

表-2 荷重条件

試験体	積層数	荷重形式	荷重P (kN)		荷重範囲 ΔP (kN)	応力範囲 $\Delta\sigma_n$ (MPa)
			上限荷重	下限荷重		
A0	なし	両振り	53.0	-53.0	106.0	208.2
A2	2層	両振り	53.0	-53.0	106.0	208.2
A6	6層	両振り	53.0	-53.0	106.0	208.2
A10	10層	両振り	53.0	-53.0	106.0	208.2
B0	なし	片振り	58.8	5.88	53.0	104.1
B2	2層	片振り	58.8	5.88	53.0	104.1

3. 試験結果

3.1 応力集中の低減

試験体 A に関して、リブ先端の応力分布を図-3に示す。繰返し回数 1000 回における $P=53.0\text{kN}$ に対する応力分布である。最初に亀裂が発生したリブについてプロットし、まわし溶接止端の位置まで応力を直線で外挿している。溶接止端での応力集中度を表-3に示す。

表-3 応力集中度

試験体	σ/σ_n
A0	2.70
A2	3.43
A6	3.36
A10	2.65

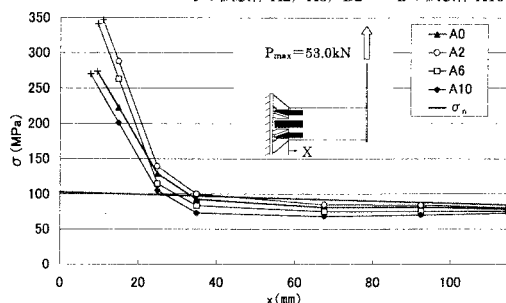


図-3 リブ先端の応力分布

まわし溶接止端から離れた位置では 10 層付着で 80% 程度まで応力が低下している。しかし、まわし溶接止端において A2 および A6 では A0 よりも大きな応力が発生し、A10 では A0 と同程度の応力が発生している。したがって、まわし溶接止端では炭素繊維シートを付着して得られる程度の応力低下よりも個々の溶接形状による応力集中の大きさが非常に影響する。

3.2 疲労寿命の改善効果

全ての試験体において、疲労亀裂は図-1 と同じようにリブのまわし溶接止端から発生し、円周方向に伝播する亀裂と隅肉溶接に沿って伝播する亀裂がみられた。亀裂の伝播によって鋼管が破壊状態に近くなると炭素繊維シートがはく離をした。最終的には円周方向の疲労亀裂によって試験体が破壊に至った。

円周方向の疲労亀裂が炭素繊維シートに到達する時の繰返し回数を疲労亀裂発生寿命 N_i と定義する。破断寿命を N_f 、疲労亀裂が炭素繊維シート付着区間を伝播する寿命を疲労亀裂伝播寿命 $N_p (=N_f-N_i)$ とし、これらの結果を表-4 に示す。

S- N_i 関係を図-4 に、S- N_f 関係を図-5 に示す。両図には JSSC 疲労設計指針の設計 S-N 線図も載せている。図-5 には無収縮モルタル充填による補強方法⁴⁾の結果も示す。モルタルが充填されていない試験体を C0、モルタルが充填された試験体を C1 とする。この方法では約 3 倍寿命が改善される。ただし、これは片振り試験によって得られた結果である。

表-4 疲労寿命(×10⁴回)

	N_i	N_p	N_f
A0	2.0	8.0	10.0
A2	2.1	12.4	14.5
A6	2.5	15.4	17.9
A10	3.4	21.6	25.0
B0	30.0	226.0	256
B2	67.4	406.6	474

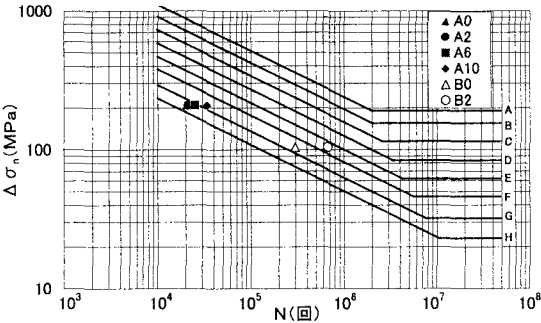


図-4 S- N_i 関係

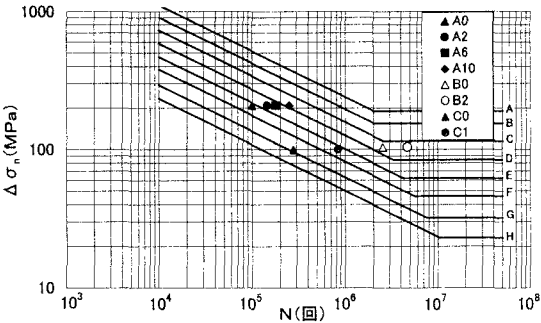


図-5 S- N_f 関係

炭素繊維シートの積層数が増えるに従って疲労寿命は改善される。破断寿命 N_f が大きく改善される理由は、疲労亀裂伝播寿命を改善する効果が大きいためである。本研究の両振り試験による結果では 10 層付着で破断寿命が 2.5 倍改善され、モルタル充填による方法と同程度の効果であった。

図-5 において、A0 は B0 よりも破断寿命が 2 等級も低い疲労強度となっている。これは片振り試験では鋼管の片側から疲労亀裂が発生するのに対して、両振り試験では鋼管の両側から疲労亀裂が発生するためである。したがって、片振りの疲労試験の結果で標識柱基部の疲労強度を推定することは大変危険側の評価となるので注意を要する。

参考文献

1) 源野博好：門型標識柱の損傷と対策、阪神高速道路公団技報 10 号，pp.143-150，1991 年 3 月。
2) 吉川実・秦栄次・祝賢治・北村隆理：門型標識柱の柱基部に生じる亀裂の補修・補強構造とその評価，I 部門，pp.424-425，1994 年 9 月。
3) 大倉一郎，福井唯夫，中村圭吾，松上泰三，祝賢治：炭素繊維シートの鋼板疲労亀裂補修への適用，鋼構造年次論文報告集，第 8 巻，pp.689-696，2000。
4) 時讓太・宮脇潔・奥西史伸・石井博典：モルタル充填による既設門型標識柱の基部補強方法，土木学会第 56 回年次学術講演会，pp.204-205，2001 年 10 月。