

大阪大学大学院 学生員 喜多伸明 大阪大学大学院 正会員 大倉一郎
大阪大学工学部 学生員 三井造船(株) 正会員 酒井正和 ショーボンド建設(株) 正会員 小俣富士夫

1. はじめに

近年、高架の高速道路に設置されている門型標識柱の基部に図-1に示すような疲労亀裂がリブのまわし溶接の鋼管側止端から発生している。この疲労亀裂は主に大型車の通行によって生じる橋梁振動が原因である¹⁾。この疲労亀裂が進展すれば標識柱が転倒し、交通車両を巻き込んだ事故を引き起こしかねない。

本研究では、炭素繊維シートと無収縮モルタルで門型標識柱基部を補強した場合の疲労寿命の改善効果を疲労試験によって明らかにする。

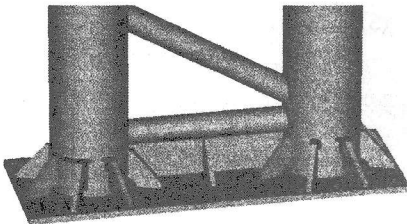


図-1 門型標識柱基部の疲労亀裂

2. 疲労試験

炭素繊維シートと無収縮モルタルで補強された試験体を図-2に示す。これは実際の門型標識柱の基部と同じ構造である。鋼管先端に繰返し荷重を載荷した。試験体の一覧を表-1に示す。試験体 A シリーズには片振り荷重を与えた。試験体 B シリーズと C シリーズには実際の門型標識柱の挙動を考慮して両振り荷重を与えた。試験体 B シリーズでは炭素繊維シートの積層数を変えた。試験体 C シリーズには無収縮モルタルを充填した。

図-2に示す炭素繊維シートの付着長さ 230 mm は炭素繊維シートと鋼板が完全合成となるために必要な長さであり²⁾、その幅 60 mm はリブのすみ肉溶接に重ならないような大きさである。無収縮モルタルを充填する鋼管の内面は黒皮のままである。各材料の材料特性を表-2に示す。

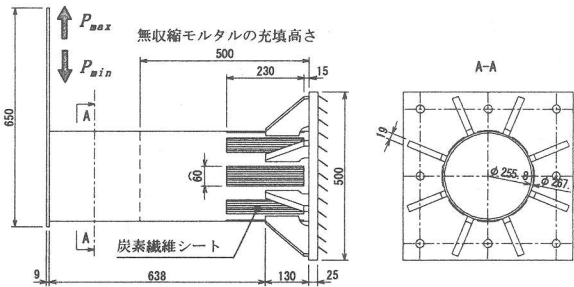


図-2 試験体

表-1 試験体の一覧

試験体	炭素繊維シート	無収縮モルタル	載荷形式	荷重 P (kN)		荷重範囲 ΔP (kN)
				P_{max} (kN)	P_{min} (kN)	
A0	なし	なし	片振り	58.8	5.88	53.0
A2	2層	なし	片振り	58.8	5.88	53.0
B0	なし	なし	両振り	53.0	-53.0	106.0
B2	2層	なし	両振り	53.0	-53.0	106.0
B6	6層	なし	両振り	53.0	-53.0	106.0
B10	10層	なし	両振り	53.0	-53.0	106.0
C0	なし	有り	両振り	53.0	-53.0	106.0
C10	10層	有り	両振り	53.0	-53.0	106.0

表-2 材料特性

(a) 鋼材				(b) 炭素繊維シート	
	鋼管		リブ	炭素繊維目付け(g/m ²)	309.5
	A・Bシリーズ	Cシリーズ		密度(g/cm ³)	1.83
使用鋼材	STK400	STK400	SM400A	炭素繊維シート1層の換算厚さ(mm)	0.169
実測板厚(mm)	5.8	5.8	19.0	引張強度(MPa)	4020
降伏応力(MPa)	412.0	411.9	255.3	ヤング率(GPa)	437.3
引張強度(MPa)	458.8	458.5	426.6	(d) 無収縮モルタル	
伸び(%)	37	39	31	材齢	39日 ^{*1)} 101日 ^{*2)}
ヤング率(GPa)	208.6	225.7	196.2	圧縮強度(MPa)	51.8 53.0
(c) エポキシ樹脂				引張強度(MPa)	4.26 5.20
試験体	A2, B2, B6	B10	C10	ヤング率(GPa)	19.8 20.6
引張強度(MPa)	53.9	41.0	44.0	ポアソン比	0.246 0.229
ポアソン比	0.42	0.35	0.37	*1: 疲労試験開始時 *2: 疲労試験終了時	
ヤング率(GPa)	3.34	3.13	3.07		
引張せん断強さ(MPa) [JIS K 6850]	16.9	22.7	23.3		

3. 試験結果

3.1 破壊形式

全ての試験体において、図-1と同じようにリブのまわし溶接の鋼管側止端から疲労亀裂が発生し、円周方向に伝播する亀裂とすみ肉溶接に沿って伝播する亀裂が観察された。鋼

管の疲労亀裂が炭素繊維シートの下を伝播し、試験体が破壊状態に近くなると炭素繊維シートが鋼管から完全にはく離した。無収縮モルタルは早期に付着切れを生じた。試験体 C0 で 4 万回、試験体 C10 で 2 回であった。鋼管の円周方向の疲労亀裂がつながって試験体が破壊した。

表-3 破壊寿命 N_f

試験体	$\Delta\sigma_{cmp}$ (MPa)	$N_f(\times 10^4[回])$
A0	103.0	256
A2	95.8	474
B0	206.0	10.0
B2	191.7	14.5
B6	168.0	17.9
B10	149.3	25.0
C0	206.0	19.7
C10	152.5	52.4

3.2 疲労寿命の改善効果

試験体が破壊した時の繰返し回数 N_f を表-3 に示す。破壊寿命 N_f の改善効果は無補強の試験体 B0 と比較して、炭素繊維シート 10 層の試験体 B10 で 2.5 倍、無収縮モルタルを充填した試験体 C0 で約 2 倍、両者を併用した試験体 C10 で約 5 倍である。

3.3 炭素繊維シートと無収縮モルタルで補強された標識柱基部の疲労強度

表-3 に示す $\Delta\sigma_{cmp}$ は、鋼管と炭素繊維シートとの合成断面に対して構造力学によって算出されるリブ先端位置の応力範囲である。無収縮モルタルは早期に付着切れしたので、その剛性を $\Delta\sigma_{cmp}$ に考慮していない。破壊寿命 N_f に関して、 $\Delta\sigma_{cmp}$ で整理した S-N 線図を図-3 に示す。図中には JSSC 疲労設計指針の設計 S-N 線図も載せている。試験体 B シリーズに関して、 $\Delta\sigma_{cmp}$ で表した標識柱基部の疲労強度は JSSC 疲労設計指針の F 等級である。

無収縮モルタルを充填した試験体 C シリーズに関して、 $\Delta\sigma_{cmp}$ で表した標識柱基部の疲労強度は JSSC 疲労設計指針の E 等級である。無収縮モルタルの付着が切れても試験体 C シリーズの N_f は改善される。この理由を次に述べる。

試験体 C10 に関して、無収縮モルタルの付着が切れている繰返し回数 1000 回におけるリブ前方の応力分布を図-4 に示す。図中のリブ f とリブ g 前方の $P=53.0\text{kN}$ に対する応力分布である。リブのまわし溶接止端の位置まで直線外挿した応力を + で示す。リブ g では応力集中が高い状態にあるのに対し、リブ f では無収縮モルタルの付着が切れても応力集中が抑えられている。したがって、リブ f 近傍では無収縮モルタルによって鋼管の面外変形が抑制されていることが考えられる。このことが、無収縮モルタルの付着が切れても標識柱基部の破壊寿命 N_f が改善される理由であると考えられる。

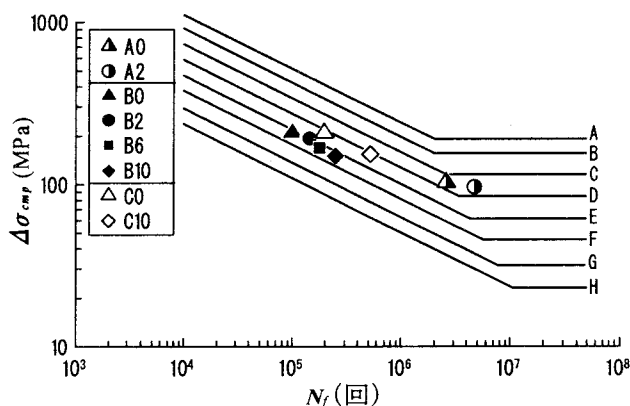


図-3 $\Delta\sigma_{cmp}$ - N_f 関係

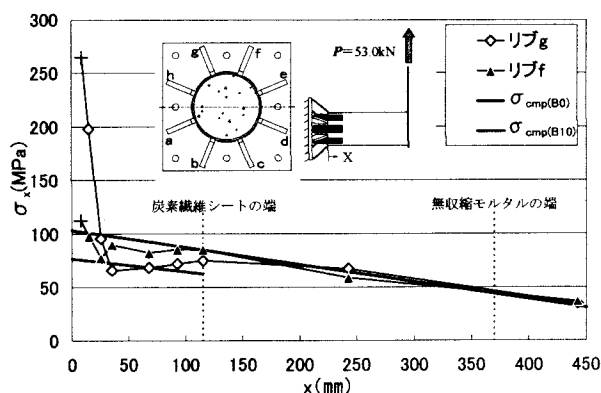


図-4 試験体 C10 のリブ前方の応力分布

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。
- 2) 大倉一郎，福井唯夫，中村圭吾，松上泰三：炭素繊維シートによる鋼板応力の低下とはく離せん断応力，土木学会論文集，No.689/I-57，pp.239-249，2001。