

紫外線硬化型樹脂による補強対策を施した長柱の構造特性

○中央大学 学生員 佐藤武司 三井造船鉄構工事(株) 連 重俊
中央大学 正会員 平野廣和 愛知工業大学 青木徹彦

1. はじめに

阪神大震災の教訓をもとに橋梁の耐震性向上のために、種々の落橋防止対策が講じられてきている。振動系からの影響を考慮し、ゴムを主とした免震支承が橋梁支承部に導入されるに至った。しかし、それにより橋梁全体系での減衰が遅くなる傾向を示している。このような振動特性の変化と車両の走行に起因したくり返し起振の影響により、従来の静的荷重のみで設計された橋梁付属構造物の照明柱や標識柱等の長柱基部で、疲労亀裂が生じる事例が発見されてきている。本研究ではこのような長柱の振動特性を把握¹⁾し、さらに基部周辺の応力分布を確認し、紫外線硬化型樹脂²⁾の補強材を用いてこれらの被害に対処することを提案する。

2. 標識柱の疲労破壊対処法

基部は、応力集中の場であることから、ここに紫外線硬化型の FRP 樹脂を巻き付けることにより、疲労耐久性向上に対し評価する。モデルは、複雑な挙動を示すと考えられる、図-1 に示す F 型標準標識柱を対象とする。疲労亀裂の対処法は、図-2 の様に紫外線硬化型樹脂を巻き付け、補強することを考える。数値解析、実験により振動特性と応力発生状態を確認する。実機による大型振動台を用いた実験は、愛知工業大学耐震実験センターで行う。

3. 解析・実験条件

解析には、汎用構造解析用ソフト COSMOS/M を用いる。解析条件として表-1 の値を用いる。強制変位として、塔頂部へ、発生頻度の高い動きとされるボールの直径の約 1/3 の 100mm を与えた。なお、熱応力は考慮しない。実験条件として、1/1 モデルの F 型標識柱全体に対して、固有モードの1次・2次・3次モード方向の3方向に初期強制変位を与え自由振動実験を行う。実験では図-3・表-2 に示すように取り付けた加速度計・変位計により固有振動数、標識柱の軌跡を求め振動特性を把握する。また、補強リブ上端に取り付けたひずみゲージからひずみ、応力を把握する。

キーワード：F 型標識柱，紫外線硬化型樹脂，補強対策，
長柱寿命延伸補強

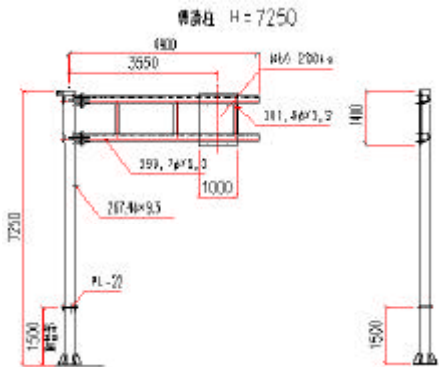


図-1 F 型標準標識柱のモデル

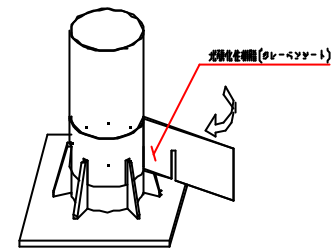


図-2 紫外線効果型樹脂補強モデル
表-1 解析パラメータ

標 識 柱 サ イ ズ	ボ ー ル 高 さ	7 2 5 0 m m
	標 識 部 の 幅	4 9 0 0 m m
	鋼 管 の 外 径	2 6 7 . 4 m m
	鋼 管 の 板 厚	9 . 3 m m
	基 部 の リ ブ 高 さ	2 0 0 m m
S t e e l 材 料 特 性	基 部 の リ ブ 幅	1 0 0 m m
	単 位 質 量	$8.02 \times 10^{-10} \text{ kg / mm}^2$
	弾 性 率	$2.1 \times 10^4 \text{ kg / mm}^2$
	ポ ア ソ ン 比	0.3
F R P 添 付 範 囲	リ フ ト 端 より 下	1 0 0 m m
	リ フ ト 上 端 より 上	1 0 0 ~ 3 0 0 m m
	厚 さ	1 . 0 m m
F R P シ ー ト 材 料 特 性	単 位 質 量	$2.04 \times 10^{-10} \text{ kg / mm}^2$
	弾 性 率	$7.4 \times 10^4 \text{ kg / mm}^2$
	ポ ア ソ ン 比	0.1

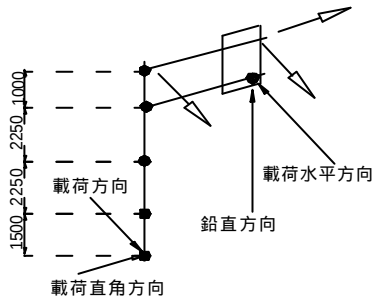


図-3 変位計・加速度計の取り付け位置

表-2 箱型変位計・加速度計・レーザー変位計の有無

荷 重 方 向			荷 重 鉛 直 方 向		
箱型変位計	加速度計	レーザー変位計	箱型変位計	加速度計	レーザー変位計
箱型変位計	加速度計		箱型変位計	加速度計	
箱型変位計	加速度計		箱型変位計	加速度計	
箱型変位計	加速度計		箱型変位計	加速度計	
箱型変位計	加速度計		箱型変位計	加速度計	
荷 重 水 平 方 向			鉛 直 方 向		
		レーザー変位計			レーザー変位計

連絡先：文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科
TEL 03-3817-1816

4. 解析・実験結果、考察

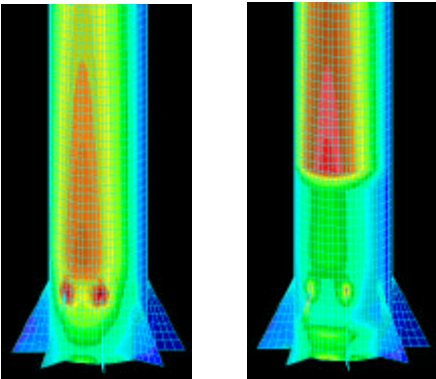
F 型標準標識柱は、1 次モードの面外に動くモード形状（ピッチング）の影響を受けながら振動するという特性を持ち、発生頻度の高いとされる動きにより、補強リブ上端に、一般構造用鋼材（SS400）の降伏応力の 22kgf/mm² 程度の応力が生じていることを確認した¹⁾。

補強リブ上端に生じる応力を、解析値と実際の振動実験で得られた実験値で比較する。ただ、今回の実験では、塔頂部の変位が解析で仮定した 100mm に達していなかったため、20.25mm の時について解析を再度行い比較した。この時の結果を表-3 に示す。これより、実験値は解析値よりも多少大きくなっているが、これは、溶接による熱応力も加わっているためと考えられる。解析値、実験値共に近い値が得られたので、塔頂部の変位が 100mm の場合にも同じような傾向が得られることが考えられる。なお最大主応力は以下の式で求めた。
最大主応力

$$s_{\max} = \frac{E}{1-\nu^2} (e_{\max} + \nu e_{\min})$$
$$= \frac{E}{2} \left[\frac{e_1 + e_2}{1-\nu} + \frac{1}{1+\nu} \sqrt{2\{(e_1 - e_3)^2 + (e_2 - e_3)^2\}} \right]$$

表-3 応力結果

塔頂部変位	ひずみゲージ				最大主ひずみ	最小主ひずみ	主ひずみ方向向きの角度	最大主応力実験値	最大主応力解析値
	(mm)	(μ)	(μ)	(μ)	(μ)	(μ)	(°)	(kgf/mm ²)	(kgf/mm ²)
2010	214	41	164	221	34	0.199		5.339	
2030	202	40	154	209	33	0.196		5.043	
2025	206	40	157	213	33	0.197		5.132	4.116
2025	212	42	161	219	35	0.190		5.290	4.116
2030	203	40	155	210	33	0.198		5.067	
2025	215	42	163	222	35	0.190		5.359	4.116
2025	215	42	164	222	35	0.194		5.361	4.116
2015	201	40	154	208	33	0.200		5.025	



無補強タイプ 紫外線硬化型樹脂補強タイプ
(幅 400mm)

図 - 4 応力分布図

次に、応力集中する基部周辺に、補強材を巻き付けた場合の静的解析を行う。補強材として光硬化型樹脂を用い、幅、厚み等をパラメータとした。リブ上端の溶接部が熱応力の影響もあり亀裂破壊が生じやすいこ

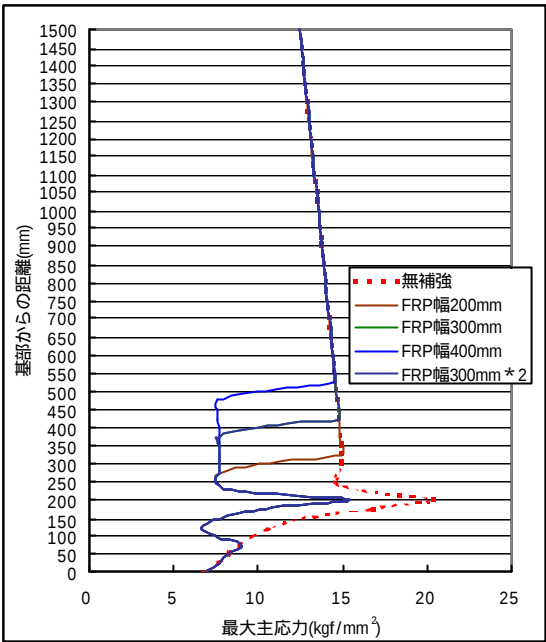


図-5 基部からの距離とリブ上の鉛直方向断面の応力の関

とを考慮して、リブ上端部より下へ 100mm の位置にシート下端がくるように巻き付ける。この時の応力分布図を図-4 に、リブの上端が応力集中する場合であることを考慮して、この断面を同一鉛直方向断面とした応力結果を図-5 に示す。結果より、基部補強リブの上端部分の応力が約 70%程度まで下がって、降伏応力には至らない程の応力まで下がっていることがわかる。この傾向はどの補強パターンについても同じである。これは、基部周辺の断面積が増加したことも考えられるが、応力集中する部分の引っ張り強度が増加したことによるものとも考えられる。

5. おわりに

本研究では、補強リブ上端の応力集中する部分の応力が、解析値・実験値共に同じような値を得ることができた。また、発生頻度が高いとされている変位で、この補強リブ上端に、一般構造用鋼材（SS400）の降伏点近くの応力が生じ、この部分に FRP 樹脂の補強材を巻き付けることにより、この応力が約 70%程度まで下がることも解析により把握できた。

本研究は、中央大学、愛知工業大学、三井造船鉄構工事(株)、(株)十川ゴム、中井商工(株)、大日本インキ化学工業(株)との共同研究の一部である。

参考文献 1)佐藤武司他：標識柱等の橋梁付属物の振動特性、土木学会第 29 回関東支部技術研究発表会、I-38、2002.3
2)野中他：紫外線硬化型樹脂の材料特性を生かした補修・補強対策