

風による F 型標識柱の振動特性と疲労耐久性評価

名城大学 正会員 ○小塩 達也
名古屋大学 正会員 山田 健太郎

1. はじめに

常滑市内の海岸部に近い市道に設置された F 型標識柱において、設置後 2 年あまりで梁-柱部が切断破壊した。切断面の観察の結果、繰り返し荷重により溶接部に疲労き裂が生じて破壊に至ったことが予想された。本研究では、破壊した標識柱と同じ標識柱を現位置に再現し、破壊が生じた部分のひずみおよび各部の振動加速度を長時間測定した。測定結果から、破壊した標識柱に生じた現象を把握し、破壊原因について検証した。

2. 測定方法

図-1 に標識柱の概要図を示す。破壊は、梁側の溶接部分のみで生じていたため、柱部分はそのまま用い、梁部分を製作して現地に再現した。試験中の落下に備え、梁部には落下防止用ワイヤーを設置した。図-2 にひずみおよび加速度の測定位置を示す。疲労き裂の発生点であった梁-柱接合部の補強リブの廻り溶接部の近傍に 4 点のひずみゲージを設置した。また、梁先端に 2 方向(水平【道路方向】・鉛直)、柱上端に 2 方向(水平 2 成分)の加速度計をそれぞれ設置した。さらに、標識柱の南 5m、高さ 3m の位置に 3 杯式の風向風速計を設置し、ひずみ・加速度と同時に測定した。測定は、動ひずみ測定器を用いて 200Hz のサンプリング周波数で連続測定した。測定期間は、12 月末から 3 月中旬とした。

3. 測定結果

得られた振動加速度波形の一部を用いて、Random Decrement 法により自由振動波形を合成し、パワースペクトルおよびモード形状を求めた。図-3、図 4 に予想されるモード形状を示す。面外方向で 2.20Hz、5.54Hz、面内方向で、2.25Hz、6.35Hz が確認された。自由振動波形から求めた対数減衰率は 0.7%~1.55%であった。風速(10 分値)と振動加速度の 10 分最大値の関係を図-5 に示す。10 分最大値はほぼ風速の 2 乗に比例し、標識柱が風による加振力を受けて振動していることを示している。梁先端の加速度の 10 分最大値が最も大きいケースの波形を観察したところ、水平方向の加速度(A1-X)が大きい場合、最大値付近でランダムに変化する波形であったが、鉛直方向の加速度(A1-Z)が大きい場合、最大値に近い一定の振幅が継続して発生する定常振動的な波形が観察された。図-5 では、2 点の 10 分最大値は同程度であるが、繰り返し数が多い鉛直振動の方が、疲労損傷を大きな影響を与えられと考える。観測期間に得られたひずみ波形に対してレインフロー法による変動範囲の計数を行い、応力範囲頻分布を作成、疲労強度を日本鋼構造協会(JSSC)の疲労強度等級で E~G 等級まで仮定し、累積疲労被害則により疲労寿命を求めた。表 1 にひずみ測定位置 G1~G4 における疲労寿命の計算結果を示す。なお、名古屋大学にて実施した、標識柱の梁部を模した疲労試験結果

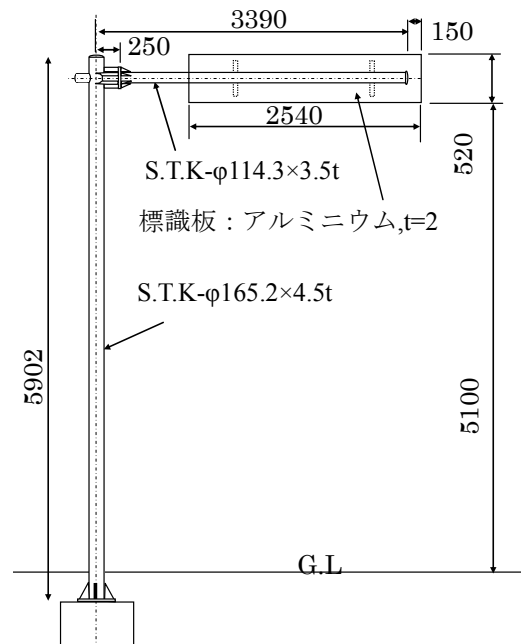


図-1 標識柱の概要図

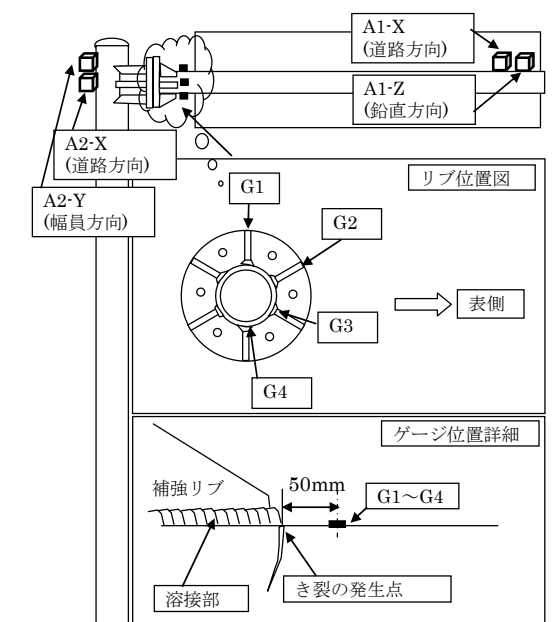


図-2 センサー設置位置

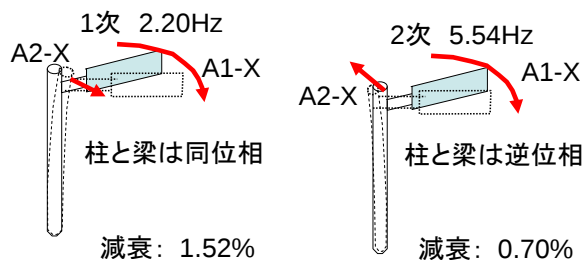


図-3 面外方向の振動モード

果によれば、止端から 50mm 位置での疲労強度は JSSC-F 等級であった。いずれも疲労寿命は 30 年以上であり、実際にき裂が生じた 2 年よりも大幅に長い結果となった。梁部の上下にある G1, G4 の方が、側面にある G2, G3 よりも疲労寿命が短く、疲労損傷には鉛直振動の影響が大きいことが分かる。G1 および G3 について、風速と 10 分間の疲労損傷度の関係を示す。風速が大きくなるにつれ疲労損傷が増加するが、G1 では風速 10.4m/s 付近をピークとしてとりわけ疲労損傷度が大きくなっている。10 分間の疲労損傷度が大きいケースについて、振動波形を観察したところ、6.35Hz の梁の鉛直振動がほぼ同じ振幅で数 10 秒間継続することが明らかになった。また、風速・風向の分析の結果によれば、現地では主として北北西、識面に対しておおむね正対する風向が卓越する。特定の風速下で風に対して垂直な面内の振動が継続的に生じていることから、風によって構造物回りに発生する周期的な圧力変動による振動、いわゆる渦励振が生じていることが予想される。疲労寿命の計算結果を見る限りは、再現した標識柱が元の破壊した標識柱の振動性状を再現できているとは言えないが、疲労の発生原因として渦励振が関与しているとすれば、渦励振による外力の大きさは構造物の表面性状の違いに敏感であることから、梁部設置した落下防止用ケーブル、梁部・柱部に設置したセンサー用ケーブルが風の乱れを誘発し、破壊した標識柱よりも加振力が小さくなっていることも考えられる。

アメダスデータによる各地の風速分布と現地観測結果を比較したところ、現地は中部地方整備局管内では最も風の強い地域であり、内陸部であれば、このような現象が発生する可能性は少ないが、全国的に見れば、風が強い海岸部で標識に風が正対するような条件では注意が必要であると考えられる。

まとめ

以上から、現地に設置されていた F 型標識柱は現地に特有の強い風を標識面の正面に受け、一定の風速下で渦励振により梁が継続的に鉛直振動を生じ、梁・柱の継手部分が疲労破壊に至ったものと考えられる。

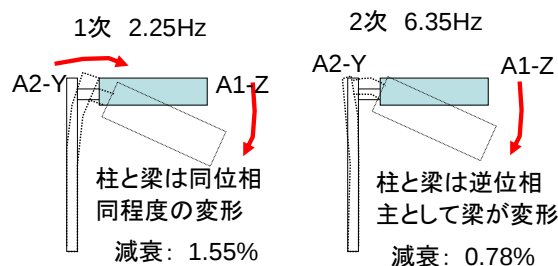


図-4 面内方向の振動モード

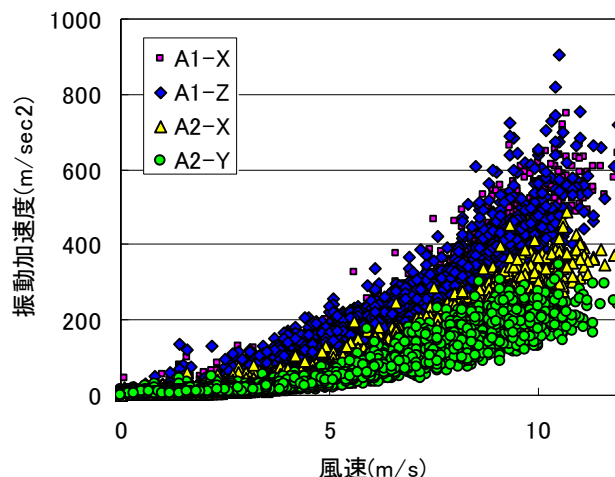


図-5 振動加速度の10分最大値と風速の関係

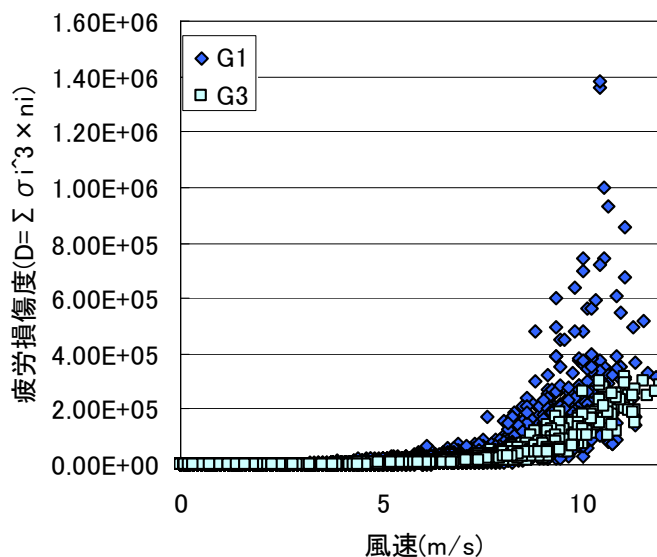


図-6 風速と10分間の疲労損傷度の関係

表 1 疲労寿命の計算結果

測定点 疲労強度	G1	G2	G3	G4
E 等級	124	173	201	128
F 等級	67	93	108	68
G 等級	30	42	49	31

単位：年

1 月～2 月の観測結果を基に計算