

情報板が設置された曲線を有する角型溶接構造支柱の振動特性の検討

中央大学大学院 学生会員 ○瀬戸大輔 中央大学 正会員 平野廣和 中央大学 正会員 佐藤尚次
(株) むらじ 正会員 連重俊 中日本高速道路 (株) 正会員 山本浩司

1. はじめに

道路情報板は、利用者に道路情報を伝える重要な高速道路付属物である。情報板には、張り出し構造の支柱を持つ物があり、中日本高速道路管内でも 6,000 本余りが設置されている。これらの支柱は、交通振動、風荷重等が要因となる疲労問題等を考慮し、数々の形式が採用されている。その中から道路会社の日常点検で指摘されている揺れやすい支柱で曲線形状を有する角型溶接構造支柱（以下、逆 L 型柱）に着目し、筆者らは現地振動計測と固有値解析を行ってきた¹⁾²⁾。この検討結果から計測値に比べ、解析値の固有振動数が高い傾向を掴んでいる。

以上から本報では、現地計測データを構造減衰に着目して再確認する。次に有限要素法による構造解析で、支柱長さを変化させ、固有値の比較を行う。これらにより逆 L 型柱の動的な問題に関する注意事項を明らかにする。

2. 対象とする情報板支柱

写真-1 は、本報で検討する逆 L 型の B 型情報板である。支柱の構造は、図-1 に示すように高さ 7,300mm、断面 350mm×350mm、板厚 9mm、角型溶接構造である。情報板は、高さ 1,950mm、幅 4,810mm、奥行き 1,000mm、質量は 1,500kg である。また、基礎は土工部に設置されており、場所打ち杭工法が採用されている。図-2 に示すように、幅 400mm、板厚 12.7mm の H 型鋼で根入れ深さは 5,500mm である。杭上部 1,500mm には進行方向に幅 838mm の抵抗板が付いている。また、根巻きコンクリートは高さ 350mm、幅 850mm であり、地中に全体が埋まっている。

3. 現地計測による検討

(1) 計測概要

動的挙動を把握するために、加速度計により応答加速度を計測する。設置箇所は、情報板内部の先端部分とし、座標軸は車両進行方向を X、横断方向を Y、鉛直方向を Z とする。ここでのサンプリング周波数は 100Hz、1 回の計測時間を 100 秒とし、以下の 2 種類の計測を行う。

- ① 車両通行による外力（以下、交通振動）
 - ② X、Y、Z 各々の方向に人力で加振（以下、人力加振）
- ここで人力加振は、成人男性 2 名が情報板内部に入り、最も揺れが増幅する周期で重心移動によって加振し、これを計 20 回程度繰返す。また加速度の計測開始は 10 回加振後とし、最大振幅到達後の自由減衰時加速度を二重積分して求めた変位より減衰定数を推定する。

(2) 固有振動数

交通振動時の応答加速度を高速フーリエ変換することでパワースペクトルを算出し、卓越振動数を算出する。ここで 1Hz～10Hz の範囲でバンドパスフィルターをかけ、窓関数はハンニングを使用する。

図-3 に加速度パワースペクトルを示す。X 方向は 1.52Hz、Y 方向は 1.84Hz、4.88Hz、Z 方向は 1.84Hz が卓越している。1.52Hz は、X 方向が卓越する 1 次振動数、

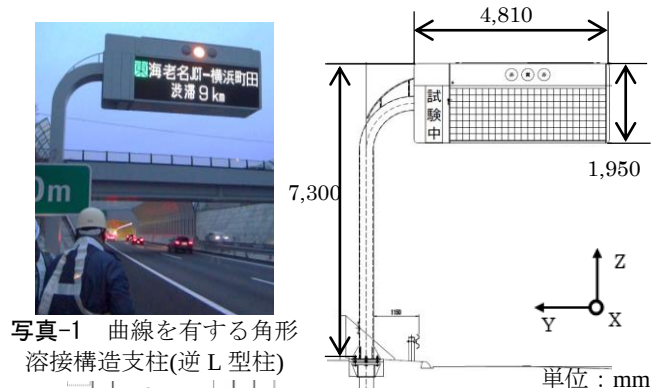


写真-1 曲線を有する角型溶接構造支柱(逆 L 型柱)

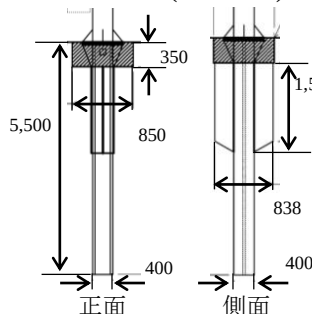


図-2 鋼製杭基礎構造

1.84Hz は Y 方向、Z 方向が卓越する 2 次振動数である。Y 方向の 4.8Hz 付近の小さなピークは、3 次振動数であるといえる。

(3) 減衰定数

情報板先端部の相対変位波形に減衰曲線を合わせ、減衰率を算出する。式(1)を用いて、人力加振時変位波形の極大値を結ぶ包絡線に近似する減衰定数を、最小二乗法により算出する³⁾。

$$y = A \times e^{-\omega h t} \quad (1)$$

ここで、 y は減衰曲線、 A は初期変位、 ω は角振動数、 t は時間をそれぞれ表す。

図-4 に相対変位に近似した減衰曲線を示す。全方向で最大振幅発生時か揺れが収まるまでに 50 秒程要している。減衰定数は、X 加振時で 0.9%、Y、Z 加振時で 0.8% となっている。表-1 に得られた減衰定数と著者らの既往の研究²⁾で得られた F 型柱の減衰定数を併せて示

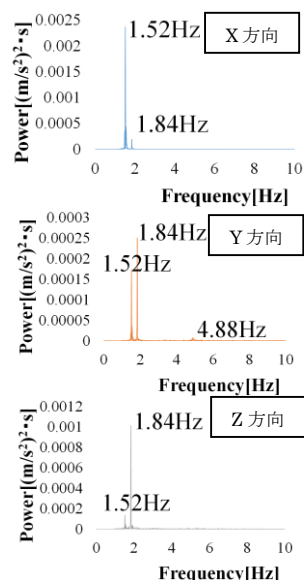


図-3 加速度パワースペクトル図

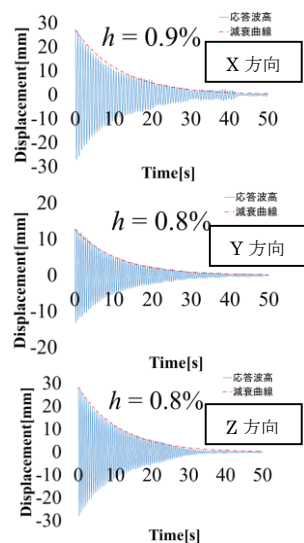


図-4 先端部変位と減衰曲線

キーワード 情報板支柱、現地計測、構造解析、振動減衰

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL:03-3817-1816 FAX:03-3817-1803

す。逆 L 型柱の減衰定数は小さく、特に Y、Z 方向加振時は F 型柱の半分程度である。これより、逆 L 型柱は揺れが収まりにくい構造であることがわかる。

4. 構造解析による検討

汎用構造解析ソフト ADINA を用いて固有値解析を行う。表-2 に解析条件を示す。境界条件は、ベースプレートを変位、回転とも全方向固定とし、他に拘束点は設けない。また、支柱と情報板の接合は、接触面全体を接合部として簡略化を施している。

(1) 固有値解析

図-5 に基部完全固定でモデル化しての固有値解析結果を示す。1 次モードは 1.60Hz で、X 方向に対して支柱を軸にねじる挙動、2 次モードは 2.08Hz で情報板先端部が上下し、支柱が Y 方向に動く挙動、3 次モードは 5.80Hz で 2 次モードと相似しているが、より基部近くまで Y 方向に動く挙動である。

表-3 に固有値解析結果（解析値）と現地計測で求めた卓越振動数（計測値）の比較を示す。なお、参考²⁾に F 型柱での（計測値／解析値）の値を併記する。計測値は解析値と比べて小さい値となっており、特に 2 次、3 次モードでは 88.5%、84.3%と大きく乖離する結果となっている。一方で、F 型柱は全モードにおいて 95%～105%の間であり、解析が実現象を再現できている。

(2) 支柱高さをパラメータとする解析

前述のように現地計測で求めた卓越振動数と固有値解析結果の差異が見られるが、この原因が基部完全固定としている境界条件にあり、杭基礎の一部が上部構造と共に振動しているという仮説を立てる。支柱の高さをパラメータとする解析を行い、固有値の変化の比較を行う。これを検証するために解析上で支柱の高さを順次変化させ、基礎部分の挙動を再現する。具体的には、支柱の直線部分を同じ断面で一定の長さ延長することを繰り返す。図-6 は、支柱長さをパラメータとした固有振動数の結果である。青が 1 次、緑が 2 次、赤が 3 次の回帰直線を示しており、高次モードほど負の傾きが大きく、支柱高さの影響を受けやすいことが分かる。支柱高さが 7.8m の時、つまり実際の構造物より 50cm だけ支柱が高い構造として解析した時に 1 次固有振動数が一致し、2 次、3 次の固有振動数も近接した。

5. おわりに

逆 L 型柱は、従来の F 型柱と比較して減衰定数は小さく、特に Y、Z 方向加振時は F 型柱の半分程度であることから、揺れが収まりにくい構造であることがわかった。特に固有振動数が近い 1 次モードと 2 次モードが近接していることから両者が同時に現れて振動していると考えられる。これは、道路会社が実施する日常点検などからの報告を裏付ける結果となっている。

次に固有値解析において支柱高さを 50cm 高くすることで計測値に近い固有値になることから、支柱と杭基礎部分が同時に振動していることが考えられる。なお、写真-2 は、Z 方向人力加振時に基部周辺の土間コンクリートを撮影したものでクラックが発生している。さらに人力加振時に Y 方向に 1～2mm 程度開閉していることから、上部構造の挙動が影響していると考えられる。ところで杭基礎の設計計算では杭頭変位は数 mm 程度許容されているが、一般的には根巻きコンクリートの土圧で拘

表-1 減衰定数一覧

加振方向	逆 L 型柱	F 型柱
X	0.9	1.2
Y	0.8	1.5
Z	0.8	1.6

表-2 固有値解析の諸条件

要素数	4,493
メッシュ幅	50mm
情報板質量	1,500kg
境界条件	基部固定
ヤング率[Pa]	2.05×10^{11}
ポアソン比	0.3
密度 [kg/m ³]	支柱 7,850 情報板 177

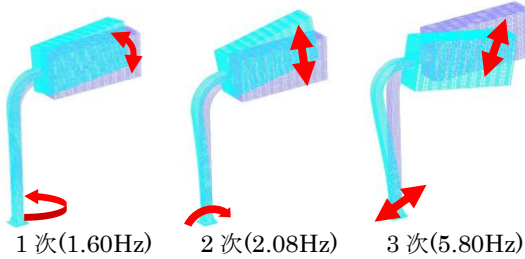


図-5 固有値解析結果

表-3 固有振動数の比較

モード	解析値[Hz]	計測値[Hz]	計測値/解析値	
			逆 L	F
1 次	1.60	1.52	95.0%	103%
2 次	2.08	1.84	88.5%	95.9%
3 次	5.80	4.89	84.3%	98.5%

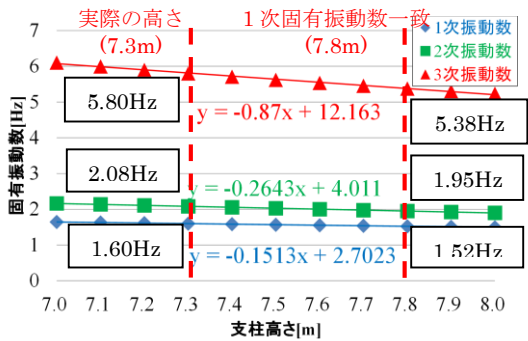


図-6 支柱高さによる固有振動数の変化



写真-2 土間コンクリートのクラック

束されて打ち消されている。よって杭挙動により周辺盛土の緩みが懸念される。これに対し一体で挙動することで支柱基部の曲げモーメント集中部の応力緩和も考えられる。これらは、総合的に評価することになるので、今後逆 L 型柱は継続的な評価をすることが必要である。謝辞：本研究を行うに際し、中日本ハイウェイエンジニアリング東京(株)の協力を得たので、ここに謝意を表す。参考文献

1) 瀬戸他：土工部に設置された鋼製杭基礎を有する角型支柱情報板の振動特性に関して、土木学会第 71 回年次学術講演会，I-087，2016。
2) 瀬戸他：LED 情報板が設置された角型支柱の振動減衰特性の検討，土木学会関東支部第 44 回技術研究発表，I-05，2017
3) 田村他：RD 法による構造物のランダム振動時の減衰評価，日本建築学会構造系論文報告集，第 454 号，1993。