

1. はじめに

本州四国連絡橋南備讃瀬戸大橋の南側アンカレイジの常時微動記録から鉛直並進振動の卓越振動を特定した。さらにこれまで微小地震記録の水平成分の解析結果から推定されている当該地盤の半無限弾性体モデルの結果と照合したところ両者は良好な一致を示した。

構造物等の耐震設計をする場合、当該構造物と基礎地盤との動的相互作用が問題になる。筆者は、地震時の動的相互作用モデルとして古典的な半無限弾性体理論の意義を認め、これまでいくつかの計算を進めてきた。そしてその実証モデルとして南備讃瀬戸大橋南側アンカレイジに着目し、本州四国連絡橋公団の支援を得て、その振動観測を継続している。そしてこれまでに、南備讃瀬戸大橋竣工前で当該アンカレイジが単独で自立している時期の微小地震観測結果の水平成分の分析によって、橋軸方向および橋軸直角方向2成分の、アンカレイジと地盤の連成振動の卓越振動の1次モードを特定した[1]。しかし2次モードの検出および鉛直並進振動の卓越振動の特定はできなかった。次にこのデータと半無限等方弾性体の動的応答理論による計算結果の照合を行い、地盤の弾性定数を推定した[2]。しかし水平1次モードの情報しかないため、ヤング率およびポアソン比の両者を同時に推定することができなかった。そのため現地資料実験結果が比較的安定していたポアソン比はそのまま仮定して、計測結果に何倍もの大きなばらつきが見られたヤング率のみを推定した。今回は鉛直振動の観測方法を改善強化することによりその卓越振動数を特定しこれによって動特性決定方法を完全なものにするるとともに、その推定結果の検証を行うことにする。

2. 観測される振動モード

動コイル型換振器(速度計)またはサーボ型換振器(加速度計)+増幅器+A/D変換器+記録装置 から成る計測システムを、対象アンカレイジ内の東側ケーブル定着室のコンクリート床面に設置する。

橋軸方向および橋軸直角方向のいずれについても、第1次モードは、7 Aアンカレイジの下方に回転中心をもつ、水平並進成分が支配的なモードである。これに対して第2次モードは、構造物の内部に回転中心をもつ、鉛直面内の回転が支配的なモードである。観測点の位置は、高さおよび橋軸方向の位置はほぼ第2次モードの節点にちかい。また橋軸直角方向には東側の端にちかい。このため、橋軸方向および橋軸直角方向のいずれについても、第2次モードは水平成分の計測にはほとんどかからない。また橋軸直角方向振動では第1次モードが鉛直成分にも検出されるのと対照的に、橋軸方向振動では第1次モードは鉛直成分には反映されないことが予想される。

3. 解析の結果

時刻歴データを観察して、状況が良好と見られる区間を各サンプルに対して1個ずつ指定してフーリエスペクトルを計算する。その結果は次のとおりである：

- 1) 橋軸直角方向成分および鉛直成分の両方に約1.7ヘルツの卓越がある。7 Aアンカレイジ単独自立時の解析結果との照合によって、1.7ヘルツの振動は橋軸直角方向鉛直面内の水平並進・ロッキング連成の第1次固有振動であると推定される。
- 2) 橋軸方向成分に1.9ヘルツの卓越がある。同様の理由によって1.9ヘルツの振動は橋軸方向鉛直面内の固有振動であると推定される。
- 3) 3成分とも5.5ヘルツに小さな卓越をもつ。5.5ヘルツの振動は、7 Aアンカレイジ単独自立時にも観測され、近傍の陸上部に発生源をもつことが確認されている。したがってこれまた7 Aアンカレイジの固有の振動とは関係がないと考えられる。

4) 7～9ヘルツに比較的広帯域の卓越がある。

5) 橋軸方向成分に3.0ヘルツの卓越がある。この卓越は、単独自立時には見いだされていないものである。しかしこの振動モードは本調査で取得されたデータだけでは特定できない。

6) 橋軸方向成分に4.0ヘルツの卓越がある。この卓越は他の2成分にも認められる。この卓越は、単独自立時にも見いだされていた。この振動モードも本調査で取得されたデータだけでは特定できない。その出現は固有振動ほどに確実ではないが、何らかの物理現象を反映しているものと考えられる。

7) 鉛直成分に3.5ヘルツの卓越がある。

これら5)から7)までの振動は1)から4)までの振動と比較すると、そのスペクトル密度は相対的に小さく、また必ずしも常に出現するわけではない。しかし、それでも適当なデータを用いれば、そのピークは明瞭に識別できるものである。

4. 固有振動数の推定

周波数分析の結果明瞭に固有振動が分離されたデータを選択収集して、平均操作を施し、固有振動数を決定する。水平成分の固有振動数の結果は、橋軸方向が1.94ヘルツ、橋軸直角方向が1.69ヘルツであり、これらは単独自立時よりもそれぞれ7%、4%の減少を示している。また上記の3.5ヘルツの卓越振動はそのまま鉛直方向の固有振動であると推測される。

5. 弾性波動論による地盤の弾性定数の同定

7Aアンカレイジと地盤との動的相互作用を、ここでは円柱状の剛体構造物と地盤との動的相互作用の理論解析結果を利用して考察する。

(1) 水平モードによる同定

計算の結果、ヤング率の推定値として90,000 kgf/cm² が得られる。なお本四公団が行った現地での弾性波検層の結果は、25,000～100,000 kgf/cm² となっている。したがって本調査の結果は、これら弾性波検層の結果と整合的であるが、その中のほぼ上限値に等しいものになっている。

次に周波数応答関数を計算すると、卓越振動数は見かけ上唯1個しかないという重要な結果が得られる。(厳密には7ヘルツ付近に第2次モードが存在する。しかしこのモードは減衰効果がきわめて大きいため、増幅はほとんど無視できる程度しか生じないのである。)

(2) 鉛直モードによる同定

鉛直方向の固有振動数も弾性波動論によって計算できる。半無限弾性体の動的応答理論を適用すると、その鉛直並進振動の卓越振動数 ω [rad/sec]は次式で与えられる：

$$\omega^2 = \frac{2}{1-\nu^2} \cdot \frac{R \cdot E}{M \cdot |C|}$$

ここに、Rは剛体の等価半径； Eと ν は地盤のヤング率とポアソン比； Mは剛体の質量； Cは弾性波動論によって計算される複素数値のコンプライアンス関数である[3]。

これに所要の数値を代入すると、固有振動数として3.75ヘルツが得られる。これにより、鉛直成分のみに見られる3.5ヘルツの卓越は、鉛直振動の固有振動である可能性が高い。またこのように高い精度で(推定誤差は約7パーセント)鉛直振動と水平・ロッキング振動の固有振動数が良好な対応を示すことは、弾性波動理論と本研究の計測結果が非常に良く整合していることを示している。

文献：[1] Earthq. Eng. Struct. Dyn. Vol.15(1987) pp.679-695; [2] Proc.9th WCEE(1989) III, pp.331-336; [3] 日本建築学会構造系論文集 349(1985) pp.50-57