

動的解析に基づくケーソン基礎のロッキング振動特性

(株)白石 正会員 佐々木 智 大石 雅彦
 東京工業大学大学院 フェロー 川島 一彦
 日本圧気技術協会 浅間 達雄

1. まえがき

従来、ケーソン基礎の耐震設計は静的な慣性力と地盤バネによる復元力の釣り合いに基づいて行われてきた。しかし、大地震時にはケーソン基礎には大きな地震力が作用し、L2レベルの耐震性を照査するためには動的な照査が不可欠である。本研究では、橋梁を支持する一般的なケーソン基礎を対象にロッキング中心位置に着目して非線形動的解析により検討した。

2. ロッキング振動とロッキング中心距離

対象構造物および解析方法は、参考文献¹⁾に示したため割愛する。ケーソンの頂部および底面における変位応答を示すと、図-1のようになる。最大変位は、ケーソン頂部では0.19m、ケーソン底面では0.01mであり、ケーソンは剛体的にロッキング振動していることが分かる。ロッキング振動では、ロッキング中心がどこにあるかが重要である。ケーソン頂部、底部に生じる応答変位をそれぞれ u_T 、 u_B と表わすと、ケーソン底面からロッキング中心までの距離 h_R （以下、ロッキング中心距離と呼ぶ）は、 $u_T \cdot u_B$ の符号と u_T 、 u_B の大小によって、図-2に示すように、以下の3モードに分けられる。

- 1) u_T 、 u_B が同位相であり、 $|u_T| > |u_B|$ の場合
- 2) u_T 、 u_B は同位相であるが、 $|u_T| < |u_B|$ の場合
- 3) u_T 、 u_B が逆位相の場合

$$u_T = \alpha \cdot u_B \quad (1)$$

と置くと、上記のモード1, 2, 3は、それぞれ、 $\alpha = 1, 0, \alpha < -1$ の場合に相当する。モード3の場合には、 $\alpha < -1$ であるが、モード1及び2の場合には $\alpha > -1$ であれば、ロッキング中心距離 h_R は次式によって与えられる。

$$h_R = \frac{h}{\alpha - 1} \quad (2)$$

ここで、 h はケーソンの高さであり、 h_R はケーソン底面から下方を正と定義している。 h_R の関係を示すと、図-3のようになる。モード1は $\alpha = 1$ の場合であるが、 α が1に漸近すると h_R は $+\infty$ になる。また、モード2は $0 < \alpha < 1$ の場合であるが、 α が1に漸近すると h_R は $-\infty$ になる。

このような点を念頭に置いて、式(1)、(2)によってケーソンのロッキング中心距離 h_R を求めると、図-4のようになる。ロッキング中心距離 h_R は一定ではなく、時間とともに変化し、 $-\infty$ から $+\infty$ の間を規則的に繰り返す。これは、上述したように、応答に伴ってロッキングモードがモード1～モード3の間を移り変わるためである。これを時

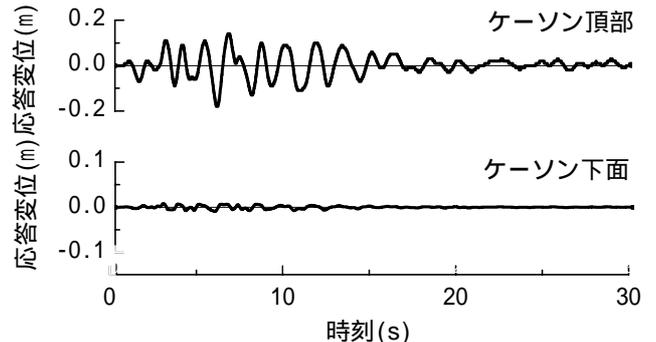
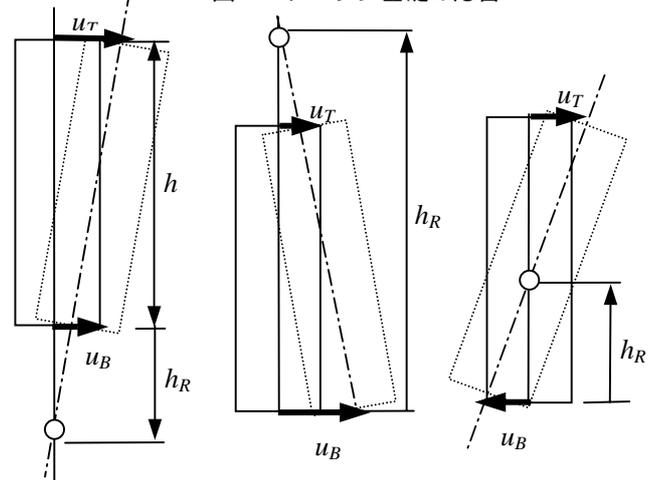


図-1 ケーソン基礎の応答



(a) モード1 ($\alpha = 1$ の場合) (b) モード2 ($0 < \alpha < 1$ の場合) (c) モード3 ($\alpha < -1$ の場合)

図-2 ロッキング振動モードとロッキング中心

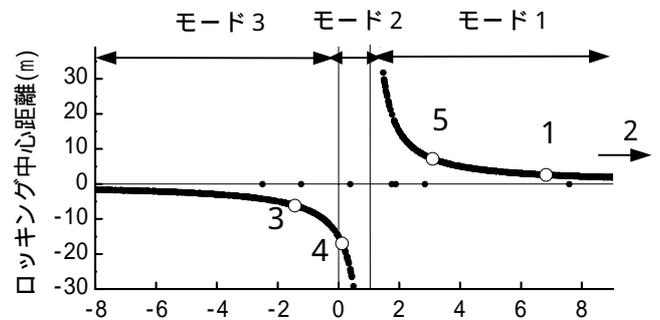


図-3 ロッキング中心距離 h_R と の関係

キーワード ケーソン基礎、ロッキング中心距離、非線形動的解析

連絡先 〒101-8588 東京都千代田区神田岩本町 1-14 TEL 03-3253-9118 FAX03-3253-7427

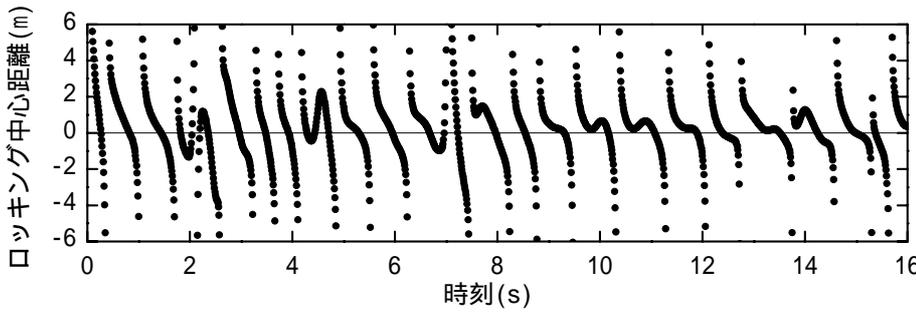


図-4 ケーソン基礎のロッキング中心距離 h_R

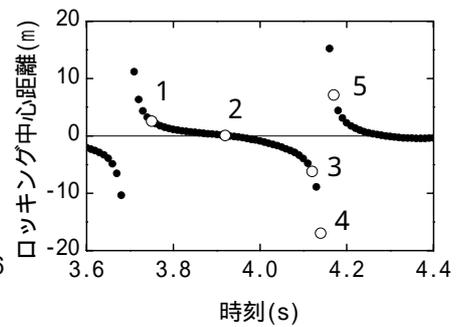


図-6 3.6~4.4 秒間のロッキング中心距離 h_R

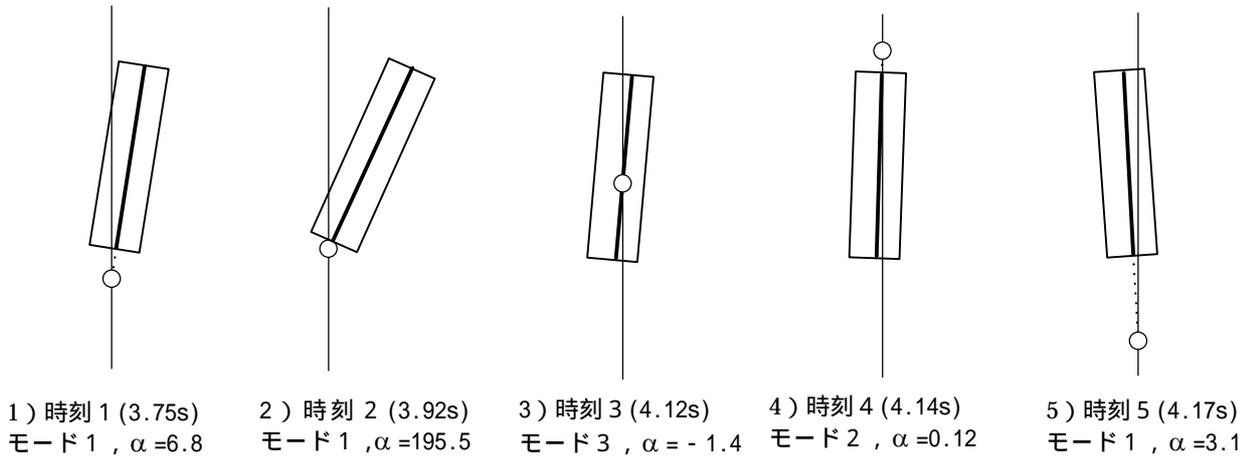


図-5 ケーソン基礎の変位

刻 3.75(時刻 1) ~ 4.17s(時刻 5)に着目して、ケーソンのロッキング応答を示した結果が、図-5 である。時刻 1 (3.75s)では、 $\alpha = 6.8$ となり、モード 1 の応答に相当する。ロッキング中心距離 h_R は 2.6m である。前述した図-3 には、この時の α と h_R の関係を示している。時刻 2 (3.92s)になると、ロッキング中心距離 h_R は 0.08 とほぼ 0 に、また、 α は 195.5 と $+\infty$ に漸近していく。この後、 α は $+\infty$ から $-\infty$ に変化し、時刻 3 (4.12s)になると、 $\alpha = -1.4$ となり、モード 3 の応答となる。ロッキング中心距離 h_R は -6.2m となり、ロッキング中心はケーソン頂部 ($h_R = -15m$) と底面 ($h_R = 0m$) の間にある。時刻 4 (4.14s)になると、 $\alpha = 0.12$ となり、モード 2 の応答となる。ロッキング中心距離 h_R は -17.0m、すなわち、ロッキング中心がケーソン頂部から 2m 上の位置になる。さらに、時刻 5 (4.17s) になると $\alpha = 3.1$ となるから、モード 1 の応答に相当し、ロッキング中心距離 h_R は 7.1m である。

以上をまとめると、式(1)の α は 6.8(時刻 1) から、195.5(時刻 2) の後、 $+\infty$ から $-\infty$ へと不連続に変化し、さらに -1.4(時刻 3)、0.12(時刻 4)、3.1(時刻 5)と変化して、1 サイクルを終える。したがって、図-2 で定義したロッキング振動モードで見ると、モード 1 (時刻 1, 2) モード 3 (時刻 3) モード 2 (時刻 4)と変化し、時刻 5 ではモード 1 にもどってくる。これは、ケーソン頂部に比較して常にケーソン底面の応答の位相が進んでいるためである。これを図-6 に示すように、ロッキング中心距離 h_R という観点から整理すると、時刻 1 ではケーソン底面下 2.6m ($h_R = 2.6m$) であるが、時刻 2 ではほぼ底面深さ ($h_R = 0.08m$) となり、その後さらにロッキング中心は上に移り、時刻 3 では、底面から 1.4m 上 ($h_R = -1.4m$)、時刻 4 では頂部から 2m 上 ($h_R = -17m$) と変化する。その後、ロッキング中心はケーソン頂部からさらに上に移動し、 ∞ ($h_R = -\infty$) から $-\infty$ ($h_R = \infty$) に不連続に変化した後、時刻 5 では再びケーソン底面下の 7.1m ($h_R = 7.1m$) にもどってくる。ロッキング中心がケーソン頂部の上部 $+\infty$ となった後、ケーソン底面から下方 ∞ へと不連続に変化するの、上述したように、振動モードがモード 2 からモード 1 に変化するためである。以上の過程を繰り返す結果、ロッキング中心距離 h_R は図-4 に示したように、 $-\infty$ から ∞ の間を規則的に変化する。

3. まとめ

橋梁を支持する高さ 15m、底面 5.7 × 10.7m のケーソン基礎を対象として、兵庫県南部地震における地震動記録を作用させ動的解析を実施した結果、ロッキング中心は「ケーソン底面より下方」「ケーソン頂部と底面の間」「ケーソン頂部より上方」へと変化し、この過程を繰り返す。

参考文献 1)大石, 佐々木, 川島, 浅間: 動的解析に基づくケーソン基礎と地盤の地震応答, 第 58 回年次学術講演会, 2003.