

地震の上下動成分がケーソンの安定におよぼす影響について

運輸省港湾技術研究所 正員 土田 肇
倉田栄一

1. はじめに

地震動には水平動成分と共に上下動成分があり、上下動成分が地震時の構造物の安定に影響を有することは、特に説明を要しないであろう。実際の構造物の設計では、設計条件とし上下動を考慮しているものと、直接には上下動を設計条件として考慮していないものがある。しかし、設計条件として上下動を規定しない設計法においても、何らかの形で上下動成分を無視したことを補償し、総合的には妥当な設計結果が得られることを意図していると考えてよい。したがって、最終的な設計法をどのような形にまとめるかは別として、上下動の影響を適切に評価しておくことは耐震設計法の合理化において重要と考えられる。このことは、上下動の影響を受けやすい構造物（たとえば、重力式岸壁）と比較的上下動の影響の少ない構造物（たとえば、杭式さん橋）との耐震性を比較するとき、特に重要である。

地震の上下動成分に関しては、第1に上下動成分の最大加速度と水平動成分の最大加速度との比率がどの程度かを知る必要がある。第2に上下動成分の最大加速度が水平動成分の最大加速度と全く同一瞬間に発生することはまれであるから、この両最大加速度がずれて発生することによる影響がどの程度かを知る必要がある。本報告では、これら2点について、現在までに得られている強震記録をもとに検討を加えた。この報告では、第2の点に関しては剛体のすべり出しに対する安全率を仲立ちとして検討したので、上記のごとき表題とした。したがって、この報告が地震時のケーソンの安定全般を論ずるものではない。また、この報告における検討は、完全に震度法の範ちゅうにとどまるものであり、物体の動的な応答は考察に含まれていない。

2. 上下最大加速度と水平最大加速度

わが国の港湾地域で昭和46年1月5日までに得られた強震記録のうち、水平1成分の最大加速度が10ガルをこえる記録152本について、水平2成分の最大加速度のうち大きいものと、上下成分の最大加速度をプロットしたものが図-1である。これらの記録はすべてSMA-C-B2強震計により記録されたものである。また、上下成分の最大加速度と水平2成分の最大加速度のうち大きいものとの比をとり、度数分布図化したものが図-2である。図-2では比をとるのに用いた水平最大加速度のある範囲ごとの度数もわかるようにしてある。これによると、水平最大加速度が100ガル以上で、上下、水平両最大加速度の比が1.0以上となっている記録が1本、また、比が0.55~0.65の範囲のものが1本ある。比が1.0以上のものは、昭和43年3月30日に和歌山市付近で発生した局発地震を、和歌山港に設置した強震計（和歌山-S）で記録したもので、各成分の最大加速度は、NS：176ガル、EW：258ガル、UD：405ガルであった。したがって上下・水平両最大加速度の比は1.57である。この記録の結果は図-1にはプロットされていない。比の値が0.55~

0.65のものは、1968年十勝沖地震の本震を青森港に設置した強震計（青森-S）で記録したもので、各成分の最大加速度は、NS：213ガル、EW：180ガル、UD：131ガルであつた。

前記2本の記録および水平最大加速度50ガル以下の記録のうちの少数を除けば、上下最大加速度は水平最大加速度の $\frac{1}{2}$ 以下となつている。ここで云う水平最大加速度は、水平2成分の最大加速度のうち大きいものである。しかし、水平加速度は各瞬間における2成分の水平加速度のベクトル和であり、このようにして求めた水平加速度の最大値は、前記の水平成分の最大加速度よりも大きいのが普通であり、極端な場合に両者が一致する。この合成した水平加速度の最大値と図-1および2で用いている水平最大加速度の差は、水平最大加速度に対する上下最大加速度の比率をさらに小さくする方向にある。

2. 上下水平加速度比に影響する要因について

図-1、2で明らかなように、上下最大加速度と水平最大加速度との比は、極めて小数の例外を除けば、主として0.1～0.5の範囲に分散している。もし、この比に影響を及ぼす要因が存在すれば、それを考慮することにより、より合理的な設計が可能となる。このような観点から、地震のマグニチュード、震央距離、地盤条件などと、上下水平最大加速度比との関係を調べた。しかしながら、今回検討されたデータでは、これらの要因と上下最大加速度と水平最大加速度との比の間には明確な相関性は認められなかつた。

3. ケーソンのすべり出しに対する安全率

剛な地盤上に、ケーソンすなわち剛体があり、これに水平および上下方向に加速度が作用した場合を考える。（図-3）このとき、ケーソンのすべり出しに対する安全率は次式で表わされる。

$$S F = \frac{\mu (1 - K_v)}{K_h}$$

ここに、SF：安全率、 μ ：ケーソンと地盤の間のまさつ係数、 K_h および K_v ：水平および上下方向加速度を重力の加速度で割つたもの。いま、 $\mu = 0.6$ （以後この報告では常に $\mu = 0.6$ とする）、 $K_h = 0.25$ 、 $K_v = K_h/2$ とすれば、安全率は2.1となり、通常図-3に示されるような状況では十分な安全率が維持できることがわかる。しかし、ここでは構造物の安定に及ぼす上下動の影響を、最も単純化した形で調べるために、図-3の状況について検討を進めることにする。

上下動と水平動の最大が同時に発生すると考えるのは、設計上最も安全側となる考え方である。この場合には、問題は極めて単純化される。この場合に関して問題となるのは、上下動と水平動の最大加速度（または設計震度）の比率をいくらにとるか云うことである。今回の検討によれば、極く小数の場合を除けば、 $K_v = K_h/2$ とすることは、観測結果の最大包らく線をとることになる。最大包らく線をとるか、平均値的なものをとるかは、対象とする構造物の重要度に関係して定められるべきであろう。

次に、水平動および上下動の最大加速度が時間的にずれて発生することの影響を調べた。まず、表-1に示す6本の強震記録について、水平2成分および上下成分を0.01秒間隔で読みとり、水平2成分のベクトル和を求め、各瞬間における水平加速度を求めた。このようにして求めた水平加速度の最大値をHOR(MAX)として表-1に示す。また各成分の最大加速度も同時に示す。次に各記録の合成した水平加速度が250ガルとなるよう、それぞれの記録に定数を乗じた。その結果得られた記録について、各瞬間における水平合成加速度と上下動の加速度とを用いて前式により安全率を求め、各記録について最小安全率を捜した。これをSF(A)とし表-1に示す。計算の過程から明らかのように、ここで求めた最小安全率には、水平動および上下動の最大加速度が同一瞬間に発生しないことによる影響が考慮されている。次に $K_h = 0.25$ とし、各記録の上下動の最大値(ただし、水平動の最大値が250ガルとなるような定数を乗じたもの)を重力の加速度で割つたものを K_v として安全率を求めた。これをSF(B)として表-1に示す。これは、水平動と上下動の最大加速度が同一瞬間に生ずると考えたものである。

SF(A)とSF(B)を比較すると、当然ながらSF(A)はSF(B)よりも大きい。しかし両者の差は意外に小さいことがわかる。これは、図-3に示すような状況では、もともと上下動による影響が小さいためである。ちなみに、 $K_h = 0.25$ 、 $K_v = 0.3 K_h$ として求めた安全率は、2.222であり、 K_h を変えずに $K_v = 0$ としたときの安全率は2.400で、両者の差は0.178にすぎない。そこで、ここで求めた差とSF(A)とSF(B)との差との比率を求めてみる。これを仮りに、相対変動量として表-1に示す。このようにすると、水平動および上下動の最大加速度が同一瞬間に発生しないことの影響の大きいことがわかる。

上下動成分が構造物の安定に及ぼす影響、および水平動と上下動の最大加速度が時間的にずれて発生することの影響は、ケーソンが水中にある場合および土圧の作用を受ける場合にはより著しくなる。この点に関しては今後検討を継続中である。

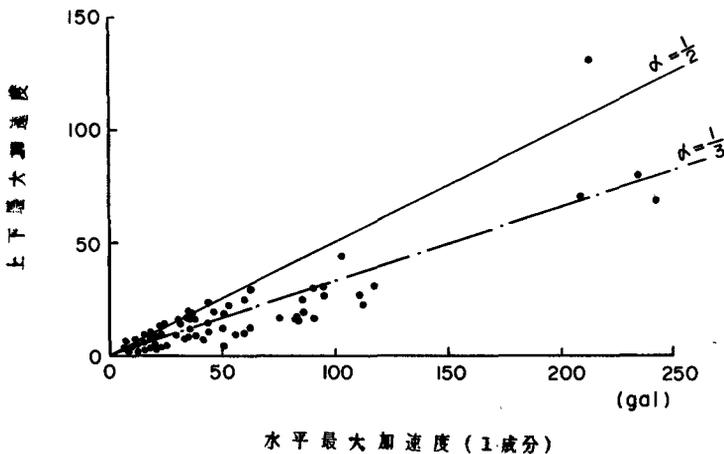


図-1 水平最大加速度と上下最大加速度

記録番号	発震年月日	観測地点	HOR. (MAX)	NS (MAX)	EW (MAX)
S-235	1968-5-16	青森-S	232.3	207.7	179.9
S-252	1968-5-16	八戸-S	259.2	232.7	180.6
S-537	1970-4-1	宮古-S	117.3	114.7	88.7
S-577	1971-1-5	四日市千歳-S	97.3	86.6	79.5
S-578	1971-1-5	名古屋造函-S	61.7	45.5	53.3
S-585	1971-1-1	衣浦-S	81.3	81.3	76.0

SF(A)	SF(B)	相対変化量 (%)
2.32	2.12	112
2.27	2.18	51
2.25	2.15	56
2.26	2.13	73
2.26	2.21	28
2.34	2.19	84

表-1. 水平動と上下動の最大加速度とすべり出しに対する安全率

(単位 加速度: GAL)

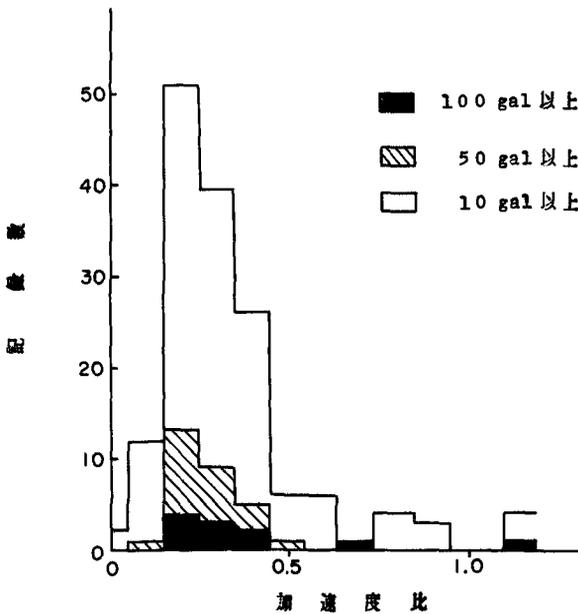


図-2. 上下, 水平最大加速度比の度数分布図

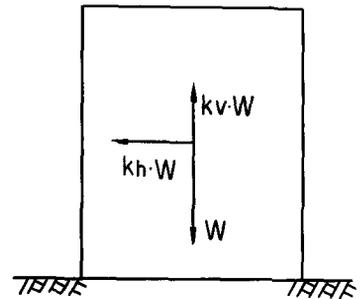


図-3. ケ-ソンに作用する地震力