

III - 304

ケーソン岸壁—地盤系の地震応答への上下動の影響に関する模型振動実験

運輸省港湾技術研究所 正会員 野津厚
 五洋建設(株) 正会員 三藤正明
 東北大学工学部 正会員 風間基樹
 運輸省港湾技術研究所 正会員 稲富隆昌

1. はじめに

南関東地域などで予想される直下型大地震では、通常の地震と異なり、強大な上下動が発生することが予想される。現行の港湾構造物の設計法では、上下動は地震外力として明確なかたちで取り入れられていないが、こうした現状は十分であろうか。本研究ではケーソン岸壁を取り上げ、水平動とともに上下動が加わった場合の構造物—地盤系の模型振動実験を行った。結果は、上下動が設計上無視できぬ存在であることを示唆している。

2. 実験方法

ケーソン岸壁—地盤系の模型の平面図と断面図をFig.1、Fig.2に示す。模型全体は振動台の上に設置されている。ケーソン模型は3体から構成され、このうち両側はダミーケーソンである。裏込め地盤は乾燥した相馬砂である。その粒度は、細砂76%、粗砂23%、また、砂粒子の密度Gsは2.614であった。ケーソンの重量は約270(kgf)、裏ごめの乾燥単位体積重量は1.32-1.37(tf/m³)であった。Fig.1、Fig.2に示すように、計測項目は加速度13ヶ所(各ヶ所2成分ずつ)、土圧7ヶ所、荷重6ヶ所(各ヶ所2成分ずつ)、変位4ヶ所、合計49チャンネルである。

いまFig.2に示すような座標軸をとり、入力加速度のx成分を A_x 、y成分を A_y と書くことにする。また、上下最大加速度 $\max|A_y|$ と水平最大加速度 $\max|A_x|$ との比 $\max|A_y|/\max|A_x|$ を上下水平最大加速度比と定義する。上下動の振幅が異なるばあいのケーソン岸壁—地盤系の地震応答を比較するために、上下水平最大加速度比が0、1/2、1の場合について、それぞれ50Galから600Galまでの水平最大加速度にたいする実験を行った。

用いた入力波は、釧路沖地震(1993年1月15日)の際に釧路港で観測された強震記録である(Fig.3)。以後この波形を釧路波とよぶ(水平方向の加振には東西成分を用いた)。加振に際しては、水平最大加速度と上下水平最大加速度比が所要の条件をみたすように、釧路波の水平成分と鉛直成分をそれぞれ拡大/縮小した。また実物と模型の長さの縮尺比は1/10とし、時間の相似比は1G場の相似則¹⁾に従い0.178に設定している。したがって、加振に際しては加速度波形を時間軸方向に0.178倍に縮小した。

3. 実験結果

ケーソンの残留変位量と上下水平最大加速度比との関係をFig.4に示す。ここにケーソンの残留変位量とはFig.2の変位計H2で計測された加振一回ごとの変位量である。Fig.4の横軸は入力加速度の水平成分の最大値である。ただしこの最大値はケーソンを海側へ滑らそうとする慣性力が働く方向の最大値である($\max(-A_x)$ 、Fig.5、6も同様)。Fig.4からわかる

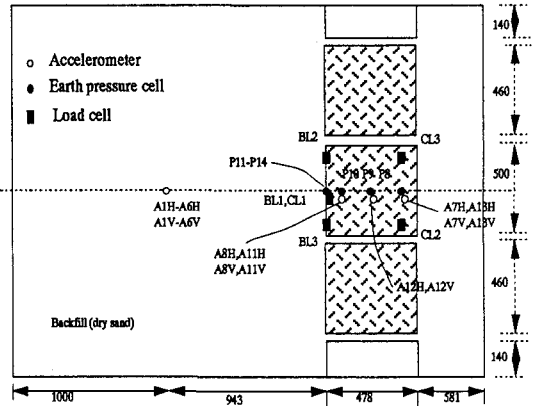


Fig.1 Sensor Installation (Plain View)

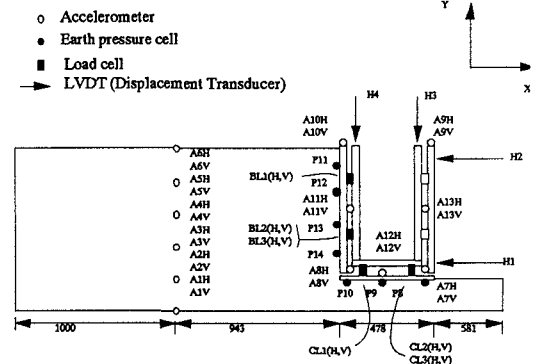


Fig.2 Sensor Installation & Co-ordinate System (Cross section)

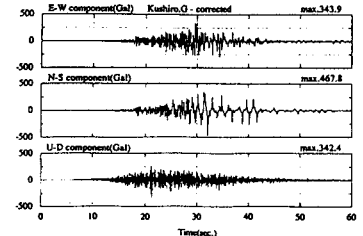


Fig.3 Accelerogram of the 1993 Kushiro-oki Earthquake in Kushiro Port

ように、300gal以上の高い入力加速度レベルにたいしては、上下水平最大加速度比が大きいほど残留変位量は大きい。また最小自乗法によって、原点をとる直線で各データを近似すると、上下水平最大加速度比が1の場合、水平動のみの場合に比べて、直線の傾きは39%大きい。

つぎに、最大土圧合力と上下水平最大加速度比との関係をFig.5に示す。ここで言う最大土圧合力とは、土圧合力の動的成分の最大値である。Fig.5からわかるように、上下水平最大加速度比が大きいほど最大土圧合力は大きい。

また最大摩擦力と上下水平最大加速度比との関係をFig.6に示す。ここで言う最大摩擦力とは、ケーソン底面と砂地盤との間に働く摩擦力の動的成分のうち、ケーソンの滑動をくい止める方向に働くものの最大値である。Fig.6からわかるように、上下水平最大加速度比が大きいほど最大摩擦力も大きかった。

4. 上下動の効果のメカニズムに関する一考察

加振の際にケーソン模型に働く力を図示するとFig.7のようなになる。このうち慣性力のx成分とy成分をそれぞれ I_x 、 I_y と書くことにする。 I_x が正のとき（すなわちケーソンが滑動しようとするとき）、もしも I_y が正であれば、垂直効力 N が減少してそのぶん摩擦力 F が減少する。したがってこのとき上下動は危険側に作用することになる。

鉋路波はランダム波であるから、 I_y が極大となる時刻であっても、ある場合には $I_y > 0$ であり、ある場合には $I_y < 0$ である。すなわち、加振開始から終了までの間に、上下動はあるときには安全側にあるときには危険側に働く。したがって、ある瞬間には、上下動がない場合と比較して、大きな摩擦力が働くことがある。それが、図のような最大摩擦力と上下水平最大加速度比の関係となって現われていると考えられる。一方、トータルとして上下動が安全側に働くか危険側に働くかは直感的には明らかでないが、本実験の結果は、（少なくとも鉋路波に関しては）上下動が危険側に働くことを示している。しかも上下動の効果はかなり大きなものとなっている。

5. 結論

水平、上下二方向同時入力によるケーソン岸壁の模型振動実験を実施し、上下動の効果を検討した。その結果、上下動成分は危険側に働き、上下水平最大加速度比がおおきほどケーソンの残留変位量は大きかった。また上下水平最大加速度比が1の場合の残留変位量は、上下動がない場合に比べて39%大きかった。この結果は、上下動が重力式構造物の設計上無視できぬ存在であることを示している。

6. おわりに

今回の模型振動実験では、裏込めが乾燥砂であることや海水が存在しないことなど、現象を単純化しているが、上下動の効果も大きいことが推察された。今後は実際のケーソン岸壁により近い模型での実験を行うことが望まれる。また、上下動の性質（水平動との振幅比、周期特性、水平動との位相差）の解明はもとより、構造物の被害にたいする上下動の効果のメカニズムについてさらに掘り下げることも課題である。

参考文献

- 1) Iai, S.: Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model in 1G Gravitational Field, Report of the Port and Harbour Res. Inst., Vol. 27, No. 3, pp. 3-24, 1988.

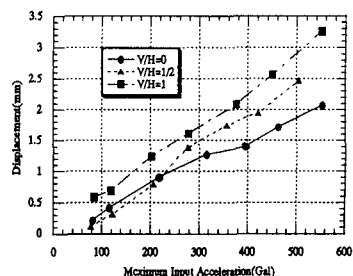


Fig.4 Permanent Displacement of Caisson

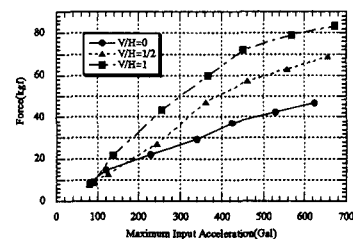


Fig.5 Maximum Dynamic Earth Pressure

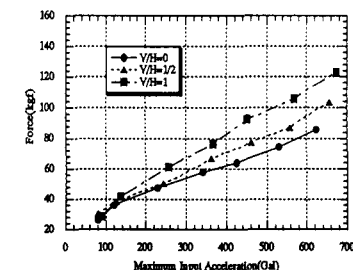


Fig.6 Maximum Dynamic Friction

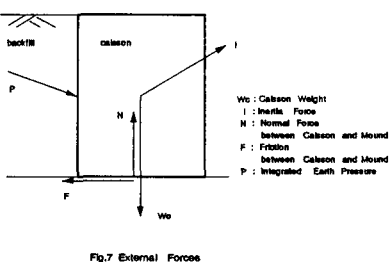


Fig.7 External Forces