

## (68) 直下型地震に対する鋼矢板岸壁の耐震性に関する模型振動実験

五洋建設株式会社      ○佐々木武  
運輸省港湾技術研究所      菅野高弘  
運輸省港湾技術研究所      外山進一  
五洋建設株式会社      三藤正明

### 1.はじめに

近年、地震多発地域であるわが国でも、地震が頻繁に発生しており、特に直下型地震といわれる地震が発生し、大きな被害を受けている。わが国においては1993年1月の釧路沖地震、1995年1月の兵庫県南部地震、世界的に見ても1994年1月のロサンゼルスに被害をもたらしたノースリッジ地震に見られるような大規模な直下型地震が発生しており、広域にわたり壊滅的な打撃を受け、一時的に麻痺状態に陥った実例もある。直下型地震の特徴は上下動が卓越する点にあり、地震時の構造物の挙動は上下動の影響を強く受けることも予想される。

そこで、本実験では、水-地盤-構造物系を忠実に再現できる大型水中振動台を用いて、鋼矢板岸壁を対象とし、浮力、動水圧および上下動の影響を考慮した模型振動実験を行い、相互作用系の地震時挙動の把握と水平・上下2方向入力した場合における被害メカニズムの検証と耐震安全性を検討するものである。

### 2.模型振動実験概要

鋼矢板岸壁-水-地盤系の模型平面図、断面図を図-1に示す。模型は、振動台上に設置された鋼鉄製の土層(1.5m(横)×3.5m(縦)×1.5m(高さ))中に作製した。土層の前面および背面には、透水性があり、水の挙動は拘束されていない。水位は80cmとして実験を実施している。平面図に示すように、矢板模型は3つ用いており、中央に設置された模型を計測用とした。前面および背面地盤ともに相馬硅砂5号を使用し、水中自由落下により地盤を作製した。相馬硅砂5号の物理特性は、 $\rho_s=2.610$ 、 $e_{max}=1.105$ 、 $e_{min}=0.685$ である。

計測器は、地盤の応答および液化化現象を把握するため加速度計を水平・上下方向に8組、間隙水圧計を6個を設置した。さらに、タイロッドの張力計測、矢板天端の変位計測、および地表面沈下量の計測を実施し、相互作用系としての挙動を把握できるよう考慮した。次に、矢板模型の計測器設置位置を図-2に示す。矢板自体の挙動、作用する圧力から破壊モードを検証することを目的として、加速度計を水平・上下方向に2組、ひずみゲージを17個、間隙水圧計を6個、前面および背面に土圧計を合計11個設置した。

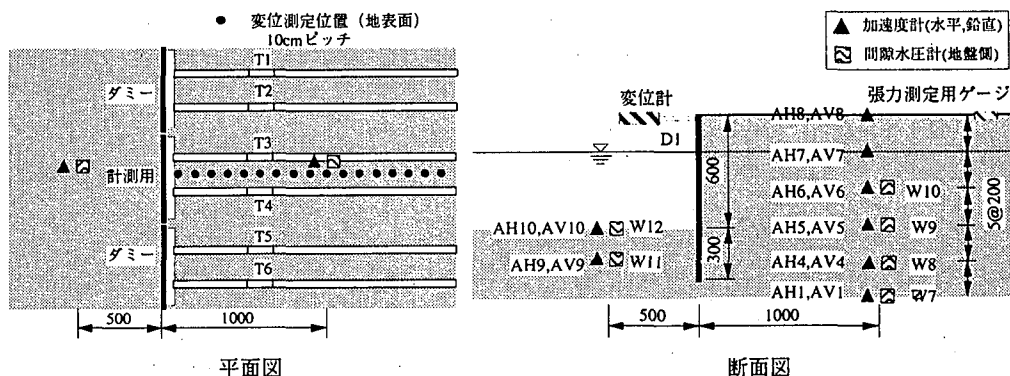


図-1 実験概要

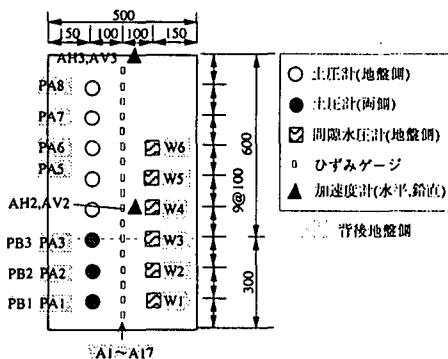


図-2 矢板模型計測器設置位置

### 3. 実験条件

振動実験は、1993年1月15日に発生した釧路沖地震で観測された波形（KUSHIRO）の東西成分と上下成分を用い、模型スケールは1/10としてモデル化して実施した。

表-1に実験ケースおよび加振条件を示す。実験は、気中実験1ケース、水中実験3ケースである。入力波形は模型スケールに合わせて相似則を適用し、時間間隔を1/5に圧縮したものをを用いた。入力波の時刻歴とスペクトルを図-3に示す。

表-1 加振条件

| 入力波形        | 地震波 (KUSHIRO) |       |         |         |
|-------------|---------------|-------|---------|---------|
|             | TEST          | CASE1 | CASE2   | CASE3   |
| 実験ケース       | TEST          | CASE1 | CASE2   | CASE3   |
| 加振方向        | 水平1方向         | 水平1方向 | 水平・上下   | 水平・上下   |
| 最大加速度 (Gal) | 100           | 100   | 100/50  | 100/100 |
|             | 200           | 200   | 200/100 | 200/200 |
|             | 300           | 300   | 300/150 | 300/300 |
|             | 400           | 400   | 400/200 | 400/400 |
|             | 500           | 500   | 500/250 | 500/500 |

加振は、水平方向の最大加速度を100～500Galの5段階とし、鉛直方向の最大加速度も条件に合わせて調整して入力した。模型は各実験ケースごとに作製し、加振は小加速度から大加速度に連続的に変化した。段階的な加振となるため、加振時に上昇する過剰間隙水圧が消散するよう十分な時間間隔を考慮し、実験ごとに変化する加振前の静止状態もチェックしている。

各実験ケースでの初期地盤の相対密度は、60～80%の比較的締まった地盤である。なお各実験の実験前には、最大加速度30～50GalのSWEEP加振を実施し、地盤の固有振動数を算出している。

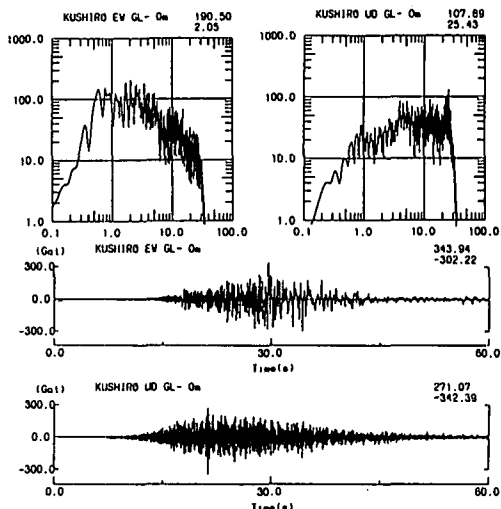


図-3 入力波 (KUSHIRO) の時刻歴 ( $\Delta T=1/11$ ) とスペクトル

### 4. 実験結果と考察

#### (1) 応答加速度

図-4、5に水平加速度100Gal、300Gal加振時における実験ケース別での水平最大応答と鉛直最小応答を示す。(ケーソンが前面上方に移動する際の加速度)

水平方向の応答は、100Gal入力時および300Gal入力時のTESTにおいては地表面に近づくにつれて前面および背面ともに増幅する傾向である。しかし、CASE1～CASE3の300Galを入力した場合においては、背後地盤の中間層と前面地盤において水平応答加速度が低下している。これは地盤が軟化していることを示し、その度合は特に地盤前面で激しくなった。鉛直応答については、全ての実験ケースにおい

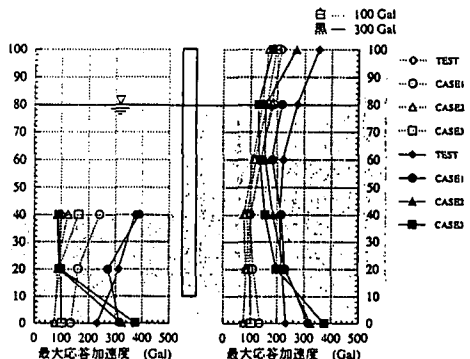


図-4 水平最大応答加速度

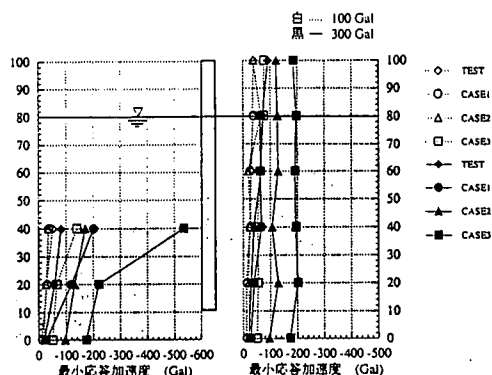


図-5 鉛直最小応答加速度

て入力は減衰されことなく上部へ伝達し、鉛直方向の入力と比例して応答も大きくなっている。

図-6に、CASE3の300Gal加振時の各部の水平応答加速度の時刻歴を示す。図より、300Gal加振時には全ての水平応答が長周期化し、最大応答加速度が低下している。前面地盤上は入力動の成分を伝達しないほどに軟弱化し、背後地盤の地震時土圧に対し、抵抗できないことが推測された。

## (2)過剰間隙水圧

図-7に過剰間隙水圧の最大値を示す。(図中には有効上載圧も合わせて示す。)背後地盤の過剰間隙水圧は、300Gal加振時において上昇している。その傾向は、上部から下部に向かい有効上載圧に近づくものである。一方、前面地盤では、CASE3の100Gal加振時において過剰間隙水圧は上昇し始め、300Gal加振時には完全に液状化している。この結果は、応答加速度により判断された地盤の軟弱化の傾向と合致するものである。また、CASE1～CASE3に向かい、

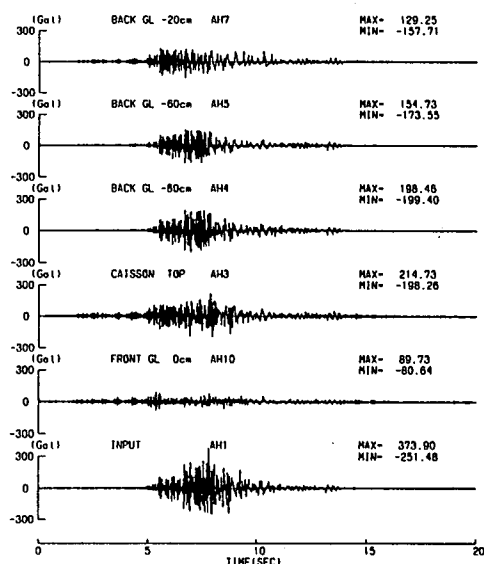


図-6 CASE3水平応答加速度 (300Gal加振時,  $\Delta T=1/5$ )

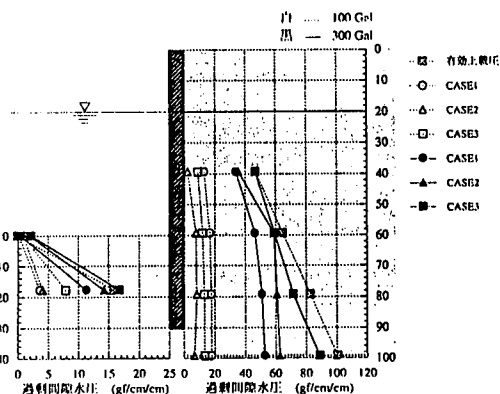


図-7 過剰間隙水圧の最大値

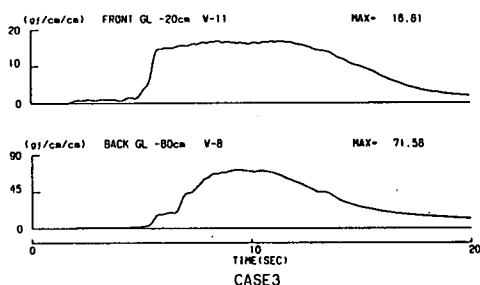
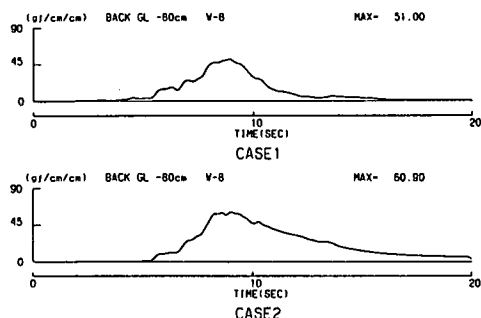


図-8 過剰間隙水圧の時刻歴 ( $\Delta T=1/5$ )

つまり上下動が大きくなるにつれて、過剰間隙水圧の最大値が大きくなる傾向が全ケースにおいて見られた。図-8にCASE1からCASE3の300Gal加振時における背後地盤（GL-80cm）および前面地盤（GL-20cm）の過剰間隙水圧の時刻歴を示す。鉛直方向の入力動の大きさに伴い、過剰間隙水圧の値が大きくなるのはもちろん、液状化している時間が長くなり、間隙水圧の消散にも時間がかかる傾向を示している。

### (3)地震時土圧とモーメント

図-9に各実験ケース300Gal加振時における、合力が最大となる時刻の地震時土圧分布を示す。（値には動水圧も含まれる。）また、図中には設計震度 $k=0.15$ とした場合の設計地震時土圧もあわせて記述している。図-10には、その時刻におけるモーメントを示す。地震時土圧は、前面地盤では比較的三角形分布に近い分布形状を示すが、最大値は1/2程度である。背後地盤においては実験値は地盤上部の方が大きくなる傾向があり、かなり設計値と異なる分布形状を示している。背後地盤の地震時土圧は上下動が大きくなるにつれ増幅されるが、前面ではそういった現象は見られず、逆に小さくなる傾向を示した。背後地盤の地震時土圧合力の作用位置は、三角形分布とした場合と比較すると矢板上部に位置している。矢板は地盤の変形に伴い移動しており、それらの要因によってこのような分布を示したものと考えられる。さらに、設計値から算出される合力と実験における合力を比較すると、破壊に近い現象が起きたと判断できるCASE2、CASE3において、背後地盤の主動土圧は比較的良い一致が見られるが、前面の受動土圧の合力は小さいものであった。地震時土圧とモーメントより、矢板が前面はらむ状況が確認できる。また、地震時のモーメント最大値は常時の1/2程度であった。

## 5.まとめ

今回の矢板岸壁模型振動実験により得られた結果を以下に示す。

- ①水の存在は地盤の軟化を促進させ、その傾向は入力レベルおよび上下動が大きくなるにつれて現れる。
- ②過剰間隙水圧の上昇、地盤の水平応答の長周期化の割合は、入力レベルおよび上下動が大きくなるにつれて高くなり、液状化現象には上下動の影響も含まれると考えられる。
- ③水平震度 $k=0.15$ とした場合の設計値と実験値の地震時土圧分布を比較したところ、分布形状は異なるが、破壊時の主動土圧合力は比較的良く一致した。
- ④破壊モードは、背後地盤が前面に向かって沈下し、矢板が沈下しながら前面にはらむものである。

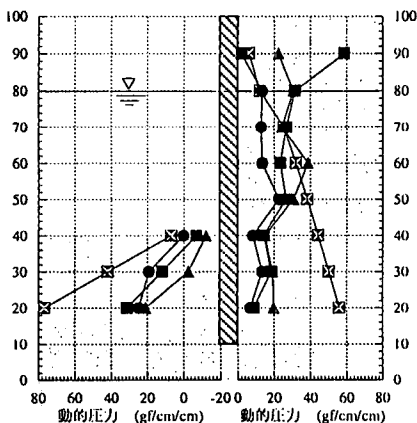


図-9 地震時土圧分布（300Gal加振時）

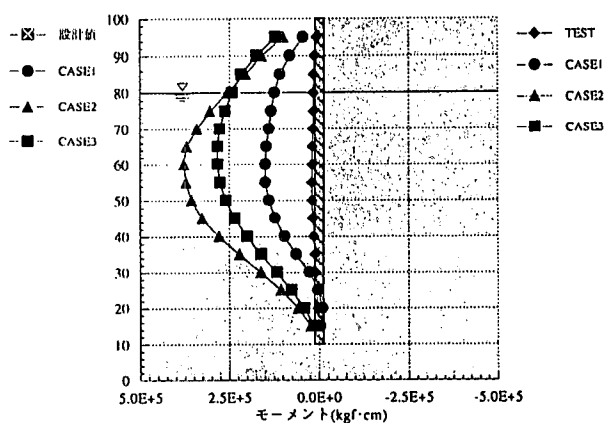


図-10 地震時モーメント（300Gal加振時）