

(106) トラス式鋼製岸壁の振動性状

運輸省港湾技術研究所 正会員 稲富隆昌
 運輸省第二港湾建設局 正会員 豊田奉節
 運輸省港湾技術研究所 正会員 風間基樹
 運輸省港湾技術研究所 大塚幸治

1. まえがき

岸壁を耐震設計する場合、地震外力である土圧と慣性力は、設計震度に応じて決定される。この場合、地震時土圧は、震度に対して2次関数的に大きくなり、慣性力も岸壁の質量に比例して増大する。したがって、耐震性を有し、かつ経済的な岸壁を建設するには、岸壁に作用する土圧を減少させ、かつ慣性力、すなわち岸壁の重量をできるだけ小さくすることが望まれる。

次に、岸壁の支持機構を検討すると、重力式岸壁は、岸壁本体と基礎地盤の間の摩擦力あるいは基礎地盤の支持力によって地震外力に抵抗するが、地震の規模によっては、岸壁は一方に滑動する可能性がある。また、矢板式岸壁は、矢板根入れ部の受働土圧と控え工の抵抗力によって、地震外力に抵抗するが、抵抗力の低下とともに残留変形が進むと考えられる。直杭式棧橋は、地震による被害が皆無に近く、耐震的な岸壁である。しかし、地震時の動的変形量が大きいので、その値を小さくする必要がある。これら既往の岸壁の動的特性を検討すると、重量が比較的小さい杭式棧橋を基本にした耐震的な岸壁が考えられる。すなわち、直杭式棧橋は、杭の横抵抗力で地震外力に抵抗するため、地震時の動的変形量が大きくなる。そこで、地震外力を杭の横抵抗力ではなく、軸力によって抵抗させる。

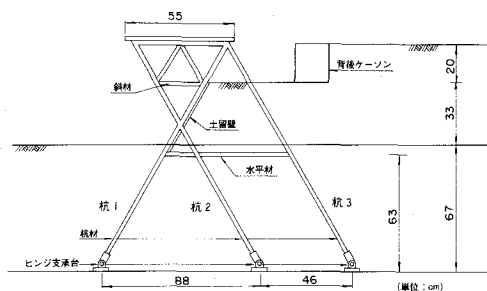
本報告は、地震外力の低減と支持機構の工夫を考慮して提案された斜杭を有するトラス式鋼製岸壁の動的特性を模型振動実験および数値解析で検討したものである。

2. 実験および数値解析の内容

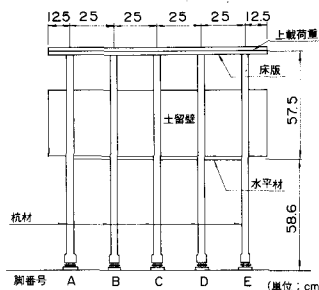
2.1 実験の内容

トラス式鋼製岸壁の模型を図-1に示す。トラス模型の基本構造は、上部工と3本の斜杭である。斜杭は、上部工の海側から鉛直線に対して陸側に 30° の角度で傾斜した杭(杭2という)と上部工の陸側からそれぞれ海側と陸側に 30° の角度で傾斜した杭(杭1、杭3という)である。本岸壁は、1. まえがきで述べたように、以下の構造的特徴に期待している。

- ①岸壁に作用する土圧は、土留壁を傾斜させて軽減させる。土留壁は斜杭(杭1)間に取り付ける。
- ②土圧合力は、杭1と杭2の交点、上部工の慣性力は、杭1と杭3の交点に集中させ、地震外力を杭の横抵抗ではなく、軸方向で抵抗させる。トラス模型はアルミ製で、文献1)に示された相似則に沿って、実物の $1/20$ で製作した。しかし、模型地盤は、実験の主眼をトラス模型の基本的な振動性状把握に置いたため、乾燥砂で製作し



(側面図)



(正面図)

図-1 トラス式鋼製岸壁模型

た。模型は幅1.5m、長さ3m、高さ1.2mの振動箱に製作した。トラス模型の杭下端は図-1に示すようにヒンジ構造にして、振動箱の底面に設置した。杭下端をヒンジにした理由は、杭の根入れ長を十分に確保した状況を再現するためである。模型地盤は秋田港で採取された砂で、最大粒径4.76mm、均等係数1.98、土粒子比重2.77、内部摩擦角40~43度であった。砂の単位体積重量は、実験ケースによって若干、差はあったが、平均で1.6tf/m³であった。板たき法によって求めた地盤のせん断波速度は、海側地盤で約82m/s、埋土側地盤で約107m/sであった。

実施した実験は、(a)上部工水平載荷試験および自由振動実験、(b)埋立て完了時の杭ひずみの測定、(c)正弦波加振実験、(d)地震波加振実験である。入力地震波は、1968年十勝沖地震の際、八戸港で観測された地震波である。

2.2 数値解析の内容

(1) 静的解析法

トラス模型は梁でモデル化し、地盤中の杭材は弾性床上の梁として取り扱った。地盤反力係数は、まず、鉛直杭の変位と反力の関係からChangの公式で求めた。斜杭の地盤反力係数は、鉛直杭の地盤反力係数に久保の研究成果²⁾を適用して求めた。土留壁の土圧は、土圧を直接計測できなかったもので、現行設計法にしたがって三角形分布で与えた。

(2) 動的解析法

トラス模型の動的挙動は、2次元有限要素法プログラムFLUSH³⁾で解析した。解析定数は、解析モデルが2次元モデルであるため、トラス模型の断面定数は奥行き1mに換算して入力した。砂のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性データは、実測値が無いので既往の研究成果⁴⁾を利用した。相似則によると動的ひずみも縮尺されるが、今回は厳密な相似模型ではなく、かつ時間縮尺を変化させた振動実験も実施しているため、模型を小さな実物として考え、ひずみは特に変化させなかった。

3. 実験および数値解析の結果

(1) トラス模型の上部工に作用する静的外力は、図-2に示されるように杭1と杭3の軸力で抵抗され、杭2の抵抗割合は小さいことがわかった。なお、土留壁も軸力の一部を分担していた。

(2) 裏埋め地盤からの土圧外力は、図-3に示すように、主に杭1と杭2の軸力で支持されることが確認された。

(3) トラス模型の自由振動実験結果によると、トラス模型の固有振動数は約59Hz、減衰定数は約3%であった。自由振動時も、水平載荷試験結果と同じく杭1と杭3の軸方向力で抵抗されることを確認した。

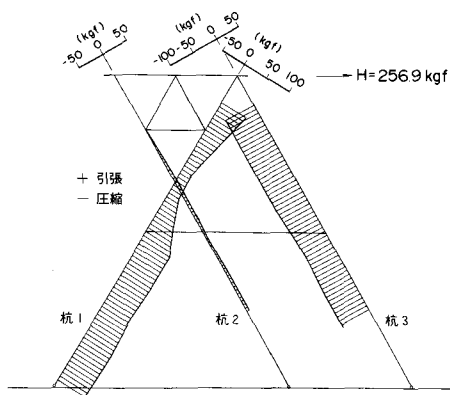


図-2 陸側引っ張り水平載荷試験結果(軸力)

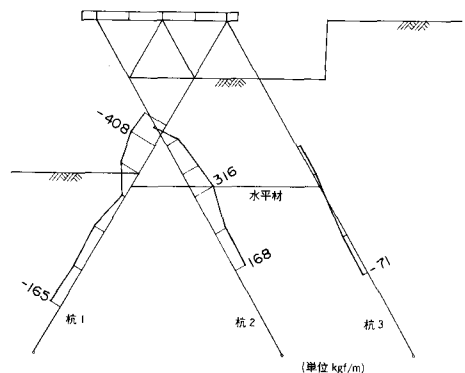


図-3 裏埋め土圧による軸力分布

(4) 入力加速度(AH17)に対する模型上部工(AH01)の動的応答は、図-4 (正弦波加振実験) および図-5 (地震波加振実験) の実験結果からわかるように、外力の振動数が海側地盤(AH11)および埋土側地盤(AH15)の固有振動数(約28Hz)、あるいはトラス模型の固有振動数に近づくに卓越する。正弦波加振実験で、地盤ならびにトラス模型の応答が卓越するときの模型全体の加速度分布を示したのが、図-6、7である。3本の斜杭は、地盤の影響を受けて振動していることがわかる。

(5) 図-8は、地盤の共振時(28Hz)の正負の軸力分布を示したものである。図中の編掛け部分は、上部工の慣性力が陸側を向いたときの軸力を示す。外力は主として、杭1と杭3の軸力で抵抗されていることがわかる。一方、トラス模型の共振振動数に近い64Hzのときの正負の軸力は、図-9に示すが、杭2の挙動は地盤の共振時と異なり、応分の抵抗を示していた。これは、トラス模型が一次モードで応答しようとするとき、地盤の応答モードが図-7でわかるように2次モード的であるため、トラス模型の応答が複雑になったためと考えられる。また、地震時には地盤の応答による曲げひずみも生じてくることがわかった。

(6) 埋立て完了時のトラス模型に発生する軸力、ひみ等を、傾斜した土留壁に常時土圧、あるいは静止

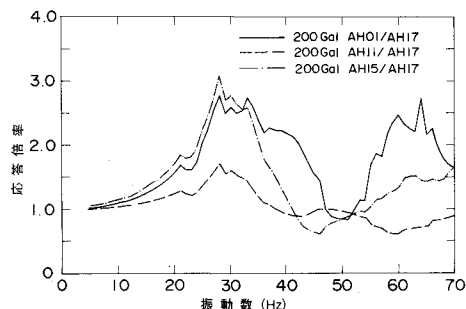


図-4 加速度応答曲線(200Gal正弦波加振実験)

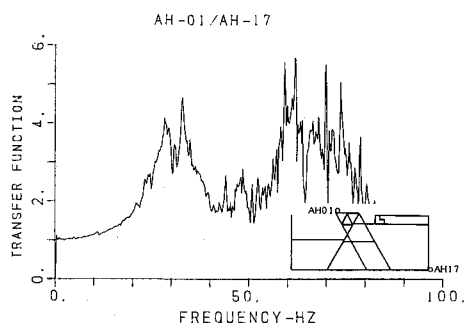


図-5 加速度伝達関数(250Gal地震波加振実験、時間縮尺1/10)

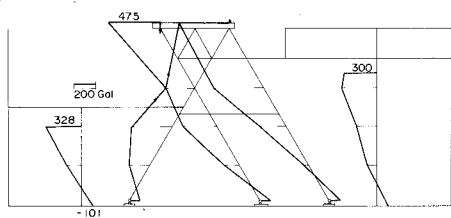


図-6 地盤の共振時の加速度分布(200Gal 正弦波加振実験、28Hz)

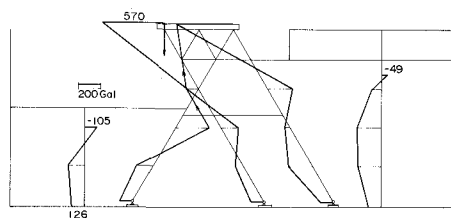


図-7 トラス模型の共振時の加速度分布(200Gal 正弦波加振実験、64Hz)

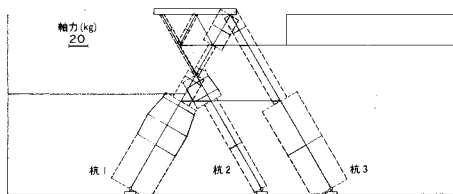


図-8 地盤の共振時の軸力分布(200Gal 正弦波加振実験、28Hz)

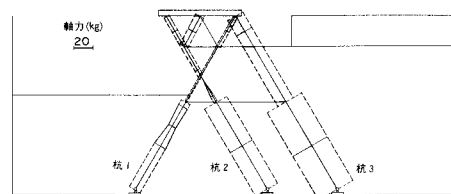


図-9 トラス模型の共振時の軸力分布(200Gal 正弦波加振実験、64Hz)

土圧を作用させ、杭2と杭3の斜杭にSpangler⁵⁾による土荷重を作用させて解析すると、絶対値は図-3に示した実測結果の方が大きかったが、定性的には類似した結果を示した。実測結果が解析結果に比べ、大きかった理由は、地盤作製時の締め固め荷重等により、杭に残留ひずみが生じたためと考えられる。

(7) 水平載荷試験の解析結果は、図-10に示すように実験結果をほぼ定量的に捉えることができた。一方、図-11~13は、動的解析結果と実験結果を比較した例である。解析結果は、実験結果を比較的よく説明できたが、実験ケースによっては、その一致度が良くない場合もあった。低拘束圧下の地盤定数等についての検討が必要と考えられる。

(8) 実験および解析結果から、トラス式鋼製岸壁は、主として斜杭の軸力で外力に抵抗することが確認された。なお、耐震設計は、地震動の卓越振動数、および地盤あるいは岸壁の固有振動数の大きさを考慮して行うことが重要である。

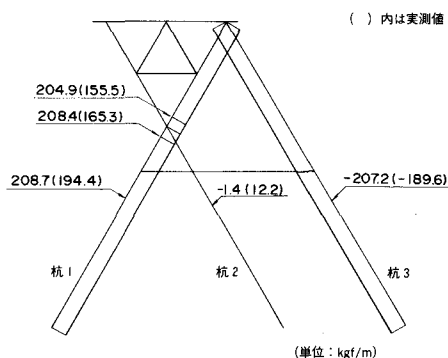


図-10 軸力の解析結果(陸地引っぱり水平載荷試験、土留板無し)

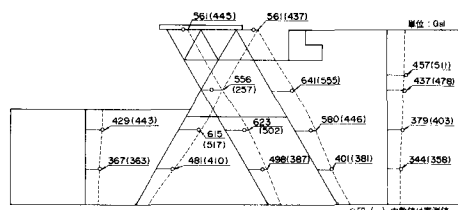


図-11 加速度の解析結果(250Gal地震波加振実験、時間縮尺1/5)

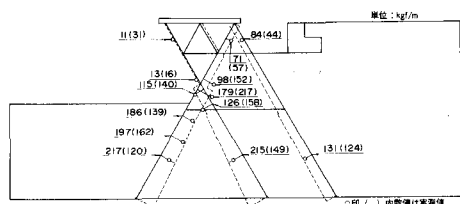


図-12 軸力の解析結果(250Gal地震波加振実験、時間縮尺1/5)

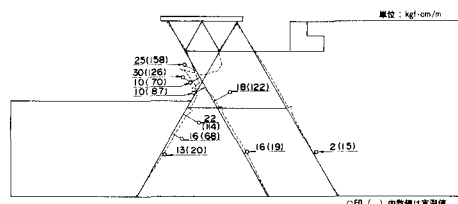


図-13 曲げモーメントの解析結果(250Gal地震波加振実験、時間縮尺1/5)

4. あとがき

トラス式鋼製岸壁は、その重量が既往の岸壁と比較し、軽量であるため、粘土地盤に建設することも可能である。このような場合、砂地盤と異なり、斜杭に作用する粘土地盤からのネガティブフリクションあるいは圧密沈下などの影響も考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 井合 進: 1 G場での地盤・構造系の模型振動実験の相似則について、第19回地震工学研究発表会講演概要、1987年7月、pp.341~344。
- 2) 久保浩一: くいの横抵抗に関する実験的研究(その3) - 斜ぐいおよび頭部固定ぐい -、運輸技術研究所報告、Vol.12、No.2、1962、pp.181~205。
- 3) Lysmer, J., Udaka, T., Tsai, C-F, and Seed, H.B.: FLUSH - A Computer Program of Approximate 3-D Analysis of Soil-Structure Interaction Problems, Report No.EERC75-30, Univ. of Calif., Berkeley, 1975。
- 4) 北澤壮介、檜垣典弘、野田節男: 沖縄県および奄美大島の大地震時における地盤加速度、港湾技研資料、No.396、1981。
- 5) Spangler, M.G.: Underground Conduits - Appraisal of Modern Research - , Trans. A.S.C.E., 1948。