

# 鋼矢板式護岸の振動模型実験及び 地震時変位予測

水谷 崇亮<sup>1</sup>・穴井 啓二<sup>2</sup>・中村 滋<sup>3</sup>・東畑 郁生<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東京大学大学院後期博士課程 工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

<sup>2</sup>正会員 不動建設株式会社 ジオエンジニアリング事業本部 (〒110 東京都台東区台東1-2-1)

<sup>3</sup>学生会員 東京大学 工学部土木工学科

<sup>4</sup>正会員 東京大学大学院教授 工学系研究科社会基盤工学専攻

1G 場での振動模型実験を行って地震時の鋼矢板式護岸の挙動を観察し、矢板の変位の簡単な予測手法について検討した。実験結果から、矢板の根入れが十分でない場合には矢板の変位は大きくなり背後地盤の沈下量も増大し、矢板背後の構造物等の被害の増加が予測されることがわかった。また、弾性梁理論を利用した矢板の変位予測手法により矢板の変位をおおよそ予測できることが確認されたが、弾性梁理論では矢板の変位の時間的な変動を求められないため、これについては別途考慮する必要があることがわかった。

*Key Words : Sheet Pile, Model Test, Deformation, Liquefaction, Earthquake*

## 1. はじめに

背後地盤の液状化が原因と考えられる矢板式護岸の被害が、宮城沖地震、日本海中部地震など多くの地震で確認され報告されている。被害パターンとしては、矢板のはらみだし、背後地盤の沈下などが中心である。最近では、地盤の液状化現象やそれにより引き起こされる現象について数多くの研究が行われており、港湾施設関連では、例えば重力式の護岸についての模型実験や数値解析など様々な研究が行われている。しかしながら、鋼矢板式護岸については、地震時また地震による背後地盤液状化時の挙動についてこれを特に対象とした研究は比較的少なく、さらに模型実験を行った研究例は特に少ないようである。

筆者らは、矢板式護岸の地震時、特に背後地盤の液状化による挙動に着目し、さまざまな地盤形状の模型地盤を作製して模型実験を行った。また、簡単な矢板変位の予測手法として、弾性梁理論を用いた変位予測手法について検討を加えた<sup>1)</sup>。本稿ではその一部について報告する。

## 2. 実験概要

図1に実験に用いた鋼矢板式護岸のモデルを示す。土槽は2m×2m 深さ60cmで、矢板模型には厚さ2mmのアルミニウム板を用いた。地盤材料としては支持層及び液状化層には豊浦標準砂を、地表面の不飽和層には碎石を用いた。

モデル地盤の作製にあたっては、まずはじめに土槽

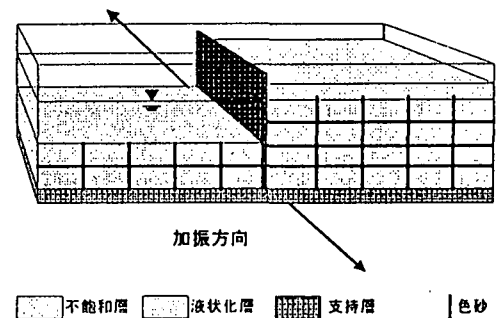


図-1 実験モデル

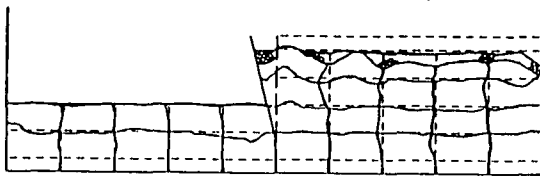
を振動台上にセットし、土槽内に矢板をたてこむ。矢板の下端部の拘束条件は、実験ケースによって自由端、固定端と変化させた。支持層は、土槽底板と液状化層が直接に接しないように、また土槽底部の様々な実験器材を覆い隠すためのもので、乾燥砂を投入後振動台で加振して締め固め、密な地盤を作製した。この層が実際に矢板模型を支持しているわけではないが、原地盤との対応を考えて支持層と呼ぶことにする。支持層の上には液状化層として水中落下法により緩い地盤を作製した。また、図1には描かれていないが、実験ケースによっては液状化層の上に碎石により非液状化層を作製した。

地盤作製後、10Hzの正弦波を入力して10秒間加振した。液状化層の完全液状化を達成するためにやや大きめの加速度を入力した。加振方向は模型矢板に平行な方向とし、振動による影響が矢板に働かないように

表-1 実験ケース

ケース	地盤条件				加振条件		矢板の拘束条件
	液状化層		不飽和層		最大加速度 (G)	振動数 (Hz)	
	$e$	$\gamma_{sat}$ (gf/cm <sup>2</sup> )	$e$	$\gamma_{sat}$ (gf/cm <sup>2</sup> )			
1	0.77	1.93	0.83	1.39	0.40	10	固定
2	0.74	1.95	0.76	1.45	0.35	10	自由
3	0.81	1.91	-	-	0.30	10	固定

(a) ケース 1



(b) ケース 2

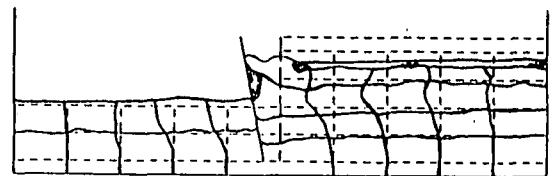


図-2 加振後の地盤の最終状態

して地盤の液状化の影響のみを観察できるようにした。

本稿では様々なモデル地盤のなかから3つの実験ケースについて報告する。ケース1は矢板が支持地盤に十分深く根入れされている場合、ケース2は矢板の根入れが十分でない場合を想定している。また、弾性梁理論による矢板の変位予測手法の検討のために、ケース3として不飽和層のないモデル地盤を作製した。表1に各実験ケースの地盤条件等を示す。

地盤内には間隙水圧計・加速度計を設置し、模型矢板にはひずみゲージを貼付して曲げモーメントを計測できるようにした。また、地盤内に染色砂を配置して地盤内の変位の様子を土槽側壁の亚克力板をとおして観察できるようにした。染色砂は豊浦標準砂を市販されている染料で黒く染めたもので、密度・最大最小間隙比・粒径分布等について標準豊浦砂と差異のないことが確認されている<sup>2)</sup>。

### 3. 実験結果

#### (1) 矢板・背後地盤の変位・沈下

図2に加振後の地盤の最終状態を示す。図から矢板及び矢板背後地盤が海側へ変位し、背後地盤が沈下している様子がわかる。また、ケース1, 2を比較すると、変位・沈下のいずれについてもケース1よりも矢板の下端部が自由端となっているケース2の場合の方が大きくなっていることがわかる。

次に矢板頭部的変位量と矢板背後地盤の沈下量の変

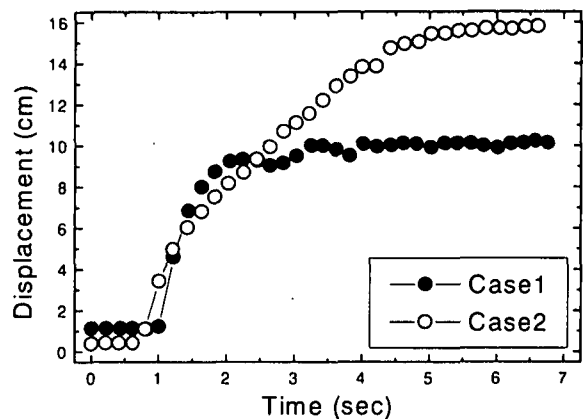


図-3 矢板頭部的変位

化の様子をそれぞれ図3, 4に示す。矢板の下端が固定されているケース1では、矢板の変位・背後地盤の沈下のいずれも加振後すぐにピークに達し、その後安定している。一方ケース2では、特に背後地盤の沈下量でその傾向が顕著であるが、加振直後にいったん急激に変形した後、その状態で安定せずさらに徐々に変形が進んでいく。はじめの急激な変形は、背後地盤の液状化に伴う土圧の増加による矢板の変形に、その後のゆっくりとした変形は、矢板を含む護岸全体の海側への前進にそれぞれ対応している。

以上より、矢板の根入れが十分でなく矢板の下部がしっかり固定されていない護岸では、背後地盤の液状化によって矢板が前傾するとともに護岸全体が海側へ前進し、最終的に発生する護岸の変位・背後地盤の沈

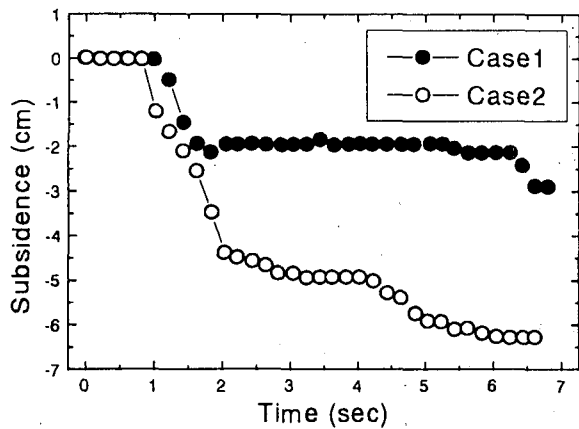


図-4 背後地盤の沈下量

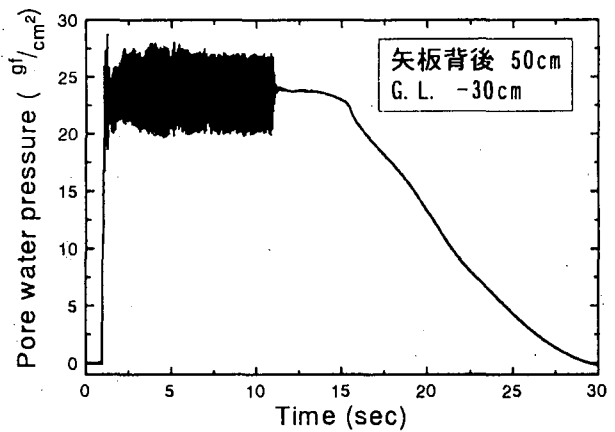


図-6 過剰間隙水圧

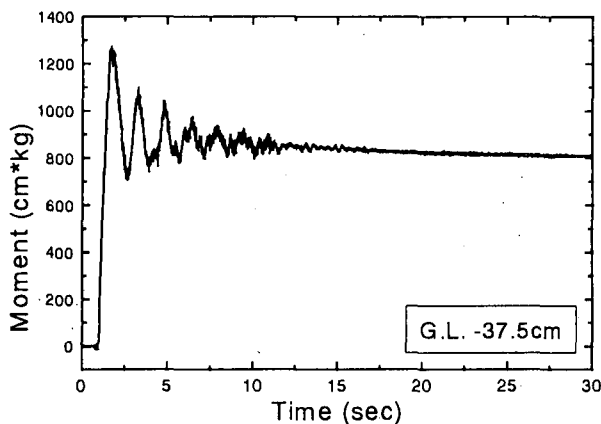


図-5 矢板に発生する曲げモーメント

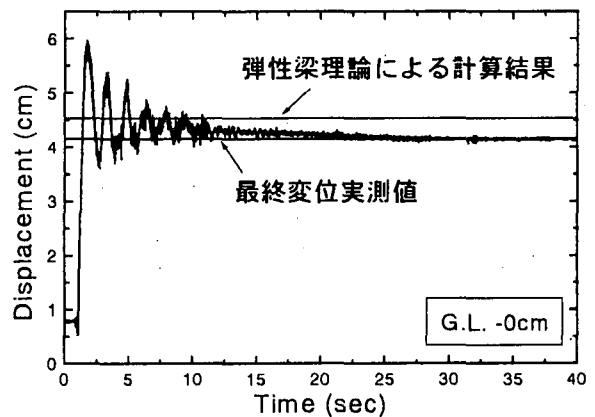


図-7 矢板の変位予測

下量は大きくなる。従って、護岸背後の構造物等の被害も大きくなると予想される。

## (2) 矢板の振動

本実験では加振方向を矢板に平行にしたにも関わらず矢板が振動する現象が観察された。図5にケース3で計測された矢板の曲げモーメントを示す。

この現象が起こる原因として、背後地盤の急激な液状化が挙げられる。図6にケース3で計測された過剰間隙水圧の経時変化を示してある。図より加振直後に過剰間隙水圧が急激に上昇し地盤が液状化している様子が分かる。従って、背後地盤の急激な液状化により土圧が急増し、矢板は衝撃荷重を受けた場合と同様な状態となり、振動を開始するものと考えられる。

## (3) 背後地盤内の過剰間隙水圧

図8にケース1, 2における背後地盤内の過剰間隙水圧比の経時変化を示す。ここで示した過剰間隙水圧比は、計測された過剰間隙水圧をその地点での初期有効上載圧で除したものである。図では左側の列から矢板の25cm 背後、50cm 背後、75cm 背後の地点での測定値を表している。また、各列の上段は地盤の浅い地点

(G.L.-15cm)、下段は深い地点(G.L.-35cm)で得られたデータである。

ケース1, 2いずれの場合も、どの計測点においても加振直後に過剰間隙水圧がいったん減少する様子が見られる。各地点での減少量の大きさを比較すると、矢板に近い地点ほど、また地表面に近い浅い地点ほど減少量が大きい。ケース1ではその後間隙水圧は再上昇し液状化状態を保つが、ケース2ではその後も間隙水圧の低い状態が続く。

図8と図3, 4を考えあわせると、矢板の下端が固定されているケース1の場合、加振直後に矢板が大きく変位し、背後地盤に加わる拘束圧が減少することにより背後地盤内の過剰間隙水圧が一時的に低下するが、その後、矢板の変位が一定を保つと過剰間隙水圧も再上昇し、その状態で完全液状化状態を保っているということがいえる。しかしながら、矢板が自由であるケース2では、加振後急激に矢板が変位して落ちついた後でも加振中に矢板はゆっくり海側へ前進していくので、背後地盤の間隙水圧もなかなか上昇せず、値の低い状態が続く。以上、ケース1とケース2の比較から、矢板の変位の仕方によって間隙水圧の低下量と低下する範囲に相違があり、矢板の変位が大きい場合は間隙水

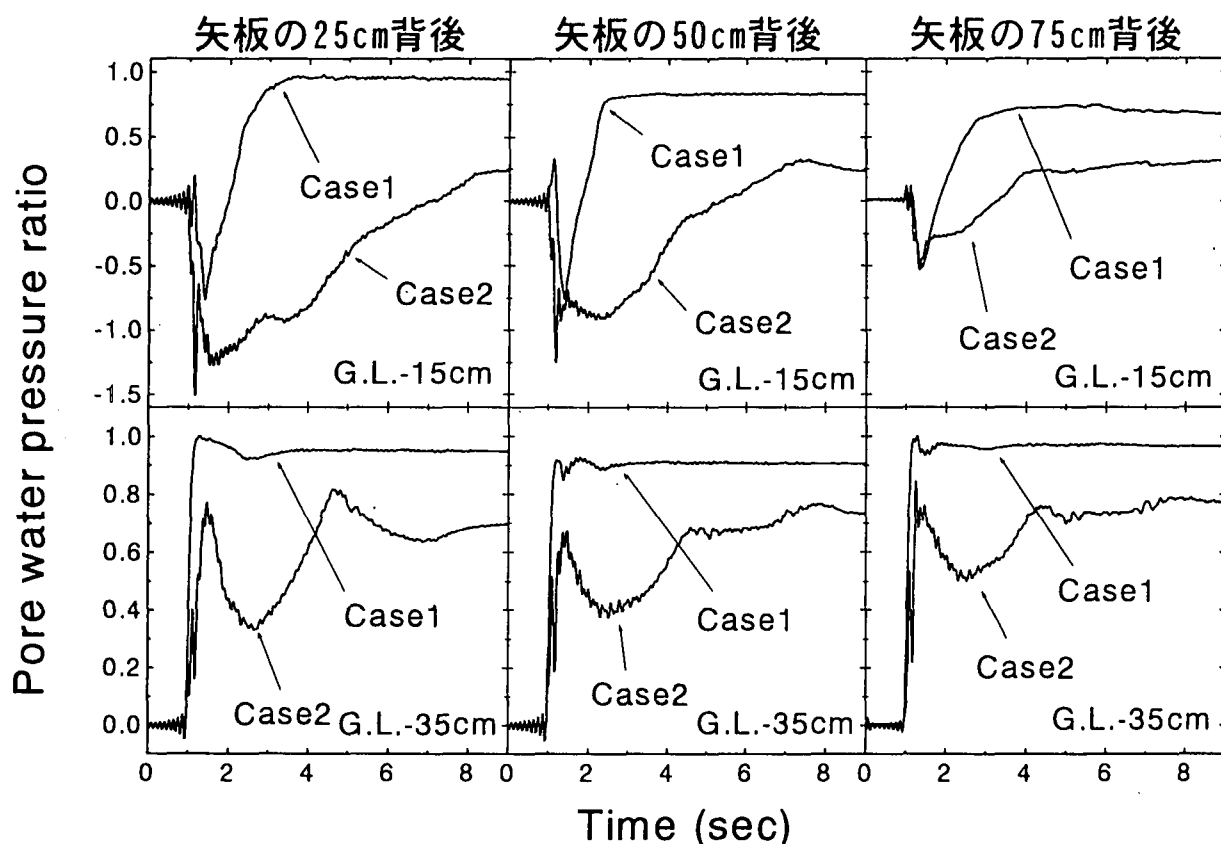


図-8 過剰間隙水圧比の経時変化

圧の低下量、低下する範囲ともに大きくなることわかる。

#### 4. 弾性梁理論による矢板変位の予測

完全液状化時に背後地盤から矢板に加わる土圧分布は、土圧係数が1.0となることから簡単に推定できる。そこで、矢板を弾性梁と考え、弾性梁理論を適用して矢板の変位を計算した。ケース3では矢板の下端は固定端なので、矢板を片持ち梁として変位を計算した。

図7にケース3の矢板の変位時刻歴と最終変位実測値、弾性梁理論による計算結果を示す。図3, 4では実験中に撮影した連続写真から読みとった値を示したが、図7に示した矢板変位の時刻歴は、計測された矢板の曲げモーメント分布から変位を推定して求めた後、最終変位実測値によって補正したものである。

図から弾性梁理論により矢板の変位が概ねうまく推定されており、矢板が推定値を中心に振動している様子が分かる。ただし、矢板の振動による変位の時間的変動はかなり大きく、変位予測に当たってはこれらの要素は別途考慮する必要があると考えられる。

尚、加振終了後(10秒以降)に矢板の変位が減少しているのは、背後地盤の間隙水圧が消散し、地盤が強度を回復して矢板に加わる土圧が低下するため、矢板が自

身の剛性で背後地盤を押し戻しているものと思われる。

#### 5. まとめ

矢板式護岸の模型実験を行って変位予測手法について検討した。その結果、次のようなことがわかった。

1. 矢板の根入れが十分でない場合、護岸の変位及び背後地盤の沈下量は増加し、その結果、護岸背後の構造物の被害の拡大が予想される。
2. 矢板の変位に伴って背後地盤内の過剰間隙水圧の低下がみられる。その減少量の大きさや減少する範囲は矢板の変位の大きさに関係している。
3. 加振方向が矢板に平行でも、背後地盤の急激な液状化に起因する矢板の振動がみられる。
4. 弾性梁理論を用いた簡単な変位予測手法で矢板の変位をおおよそ予測することができる。ただし、この手法では変位の時間変動を予測できないため、変位予測時には3で述べた矢板の振動を別途考慮しておく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 水谷崇亮, 鋼矢板式護岸で支持された地盤の振動と液状化の模型実験, 修士論文, 東京大学, 1997.
- 2) 豊田浩史, 液状化地盤の側方流動模型実験と動的予測手法の開発, 博士論文, 東京大学, 1995.