

固化処理土中詰二重矢板式構造物の挙動の推定

Simulation of premixed-soil-filled double sheet pile walls' behavior

南部俊彦*, 菊池喜昭**, 北詰昌樹***, 鈴木操****, 岡田哲一*****

Toshihiko NANBU, Yoshiaki KIKUCHI, Masaki KITAZUME, Misao SUZUKI, Tetsuichi OKADA

* 工修 NKK 基盤技術研究所 都市工学研究部 (〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町 1-1)

** 工修 独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 基礎工研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

*** 工博 独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 地盤改良研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

**** 工修 NKK 基盤技術研究所 都市工学研究部 (〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町 1-1)

***** 東亜建設工業株式会社 土木本部 技術開発部 (〒102-8451 東京都千代田区四番町 5)

Double sheet pile walls filled with premixed soil are proposed; the considered soil for filling is from treated dredged soil or treated construction waste soils. To evaluate the behavior of this structure, loading tests of centrifuge model were conducted. Size of the test models are 1/50 of actual structures. 2D elasto-plastic finite element analysis simulating the test model was conducted. From these studies, it was found that the 2D-finite-element method employed was suitable for simulating the behavior of the test model. And, numerical analysis of full-size structure was conducted by the verified analysis method.

Key Words: double steel sheet pile wall, premixed-soil, centrifuge model test, numerical analysis

キーワード: 二重矢板式構造物, 固化処理土, 遠心模型実験, 数値解析

1. はじめに

昨今の建設工事においては、副産物の有効利用、資源の再利用、天然資源の使用量抑制などの技術開発が強く求められている。そこで、港湾工事で発生した浚渫土等の建設発生土を固化処理したものを中詰した二重矢板式護岸構造を提案した。図-1 にこの構造のイメージ図を示す。

従来、二重矢板式構造物の中詰材には内部摩擦角の大きい天然の良質砂や碎石が用いられてきたが、本提案構造では浚渫土のような内部摩擦角がほとんど 0 に近い土を固化処理して用いる。固

化処理土は、固化材量により容易に強度を制御できることから、外力に対して十分なせん断強度を持つように設定すればせん断抵抗材料として十分機能させることが出来る。また、固化処理土を中詰に用いることによって、従来よりも護岸断面を小さくすることが可能となれば、建設費の低減を図ることができるものと考えられる。

この構造物を実現するための設計上の課題は、主として中詰に固化処理土を入れたときの構造物の力学的挙動が未解明な点である。そのため、外力に対する構造物の変形や矢板の曲げモーメントなどを推定することができず、構造物の幅、矢板の断面や根入れ長さなどを適切に決めることができない。

従来の二重矢板式構造の設計は、慣用的には鋼矢板セル式係船岸および矢板式係船岸の設計法を準用¹⁾して行われているのが実状である。変位については、慣用的には検討していないが、大型の永久構造物では検討が重要であり、沢口²⁾により提案された方法や、大堀ら³⁾により提案された方法などで計算が行われている。前者は、地盤より上は矢板と一様弾性を持つ中詰土の複合構造として、地中部は弾性の水平地盤ばねで支持された矢板としてモデル化し、水平方向の力のつりあい条件から計算する方法である。後者は、基本的には前者と同じ考え方であるが、中詰土のせん断時の応力ひずみ関係の非線形性を考慮している。ただし、これらの方法はいずれも中詰土は砂などの粒状体を考えているため、そ

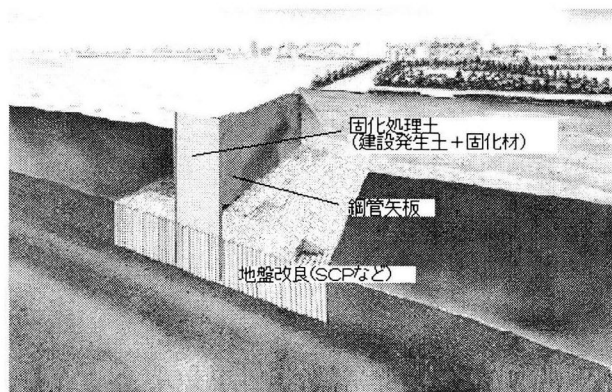


図-1 固化処理土中詰二重矢板式護岸のイメージ図

のことを前提とした簡略化がなされている。

以上のことから、固化処理土を中詰した二重矢板式構造物の力学的特性を明らかにするため、実大の1/50の模型を用いて遠心模型実験を実施した。また、遠心模型実験を再現できる二次元弾塑性FEMモデルを作成し、同手法により本構造物の挙動特性を検討した。本論文では、これらの実験および解析により検討した固化処理土中詰二重矢板式構造物の抵抗特性について述べ、次いで、同解析手法を実大構造物に適用し、その挙動解析を行った事例を示す^{4)~7)}。

2. 遠心模型実験

2.1 実験概要

固化処理土を中詰に用いた場合の二重矢板式護岸の構造特性を把握するために、50gの遠心加速度場で図-2のような模型の静的水平載荷実験を行った。模型は、サンドコンパクションパイル工法により改良率78.5%で改良された海底地盤に、水深10mの砂中詰護岸を設計水平震度0.2で設計した断面を想定した。実験の概要を以下に示す。

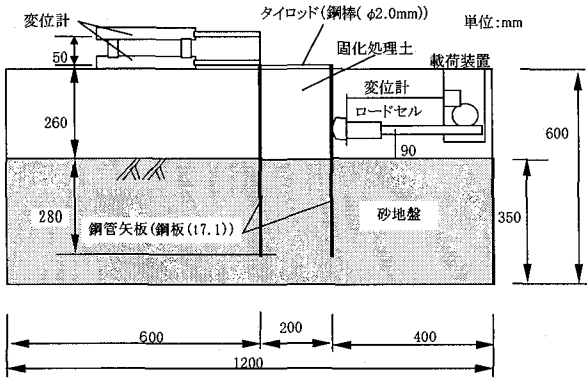


図-2 実験の概要

模型作製の手順としては、実物との単位奥行きあたりの曲げ剛性が相似則を満たす2枚の矢板を、土槽の底から7cm浮かせた状態に設置し、乾燥状態の豊浦標準砂を自然落下させて海底地盤作製後、中詰材料を投入した。

中詰材は、笠岡粘土を早強ポルトランドセメントと水道水で混練し、打設、固化した（一軸圧縮強さ590kN/m²以上）ものと、乾燥状態の豊浦標準砂を自然落下により相対密度が約30%程度になるように投入したものの2種類とした。

荷重は、遠心模型が所定の50gの遠心力場に到達した後に、背面土圧と水圧の合力を想定した集中荷重（奥行き方向は線荷重）を、海底地盤面より上方の壁高の約1/3(=90mm)の高さに一方向に作用させた。載荷は変位制御とし載荷速度は0.6mm/minとした。

実験では、①中詰材料の違い、②固化処理土と矢板の付着性状の違い、③海底地盤条件の違いに着目し、表-1に示す実験ケースを行った。中詰に固化処理土を用いたものをシリーズAとし、砂を用いたものをシリーズBとする。これらのシリーズに対してそれぞれの海底地盤がやや軟らかいケース（相対密度で約40%）と

普通のケース（相対密度で約80%）を設定した。また、固化処理土の付着の影響を検討するため、固化処理土と接触する部分の矢板表面の状態を、ケースA2-10では通常の切削加工したままとし、ケースA2-20では100%近く付着がとれるよう中詰材位置の矢板表面に突出部10mmのL型の突起を深度方向に20mm間隔で設置したものとした。なお、砂を中詰したケースでは、ともに通常切削加工したままである。

表-1 実験ケース

中 詰	ケース		A2-10	A2-20	B2-10	B2-20
	種類		固化処理土	固化処理土	砂	砂
	矢板と固化処理土との付着		通常	100%に近い	-	-
	密度	ρ_t (g/cm ³)	1.558	1.589	1.467	1.399
	一軸圧縮強度	q_u (kN/m ²)	600	869	-	-
	変形係数	E_{50} (kN/m ²)	252,000	172,000	-	-
	相対密度	D_r (%)	-	-	48	25
海底地盤	間隔		(cm)	20	20	20
	海底地盤の種類		やや軟い	普通	やや軟い	普通
	密度	ρ_t (g/cm ³)	1.432	1.579	1.443	1.564
	相対密度	D_r (%)	36	83	40	78

今回の遠心模型実験では、あらかじめ中詰土を1g場で詰めたものに遠心力50gを与えた。したがって、この実験のイメージでは、中詰はあらかじめ軽い材料ですべて施工した上で急激に中詰の重量を重くするような施工をしたことになっている。そのため、固化処理土と矢板の付着面を通常の切削加工の状態としたケースA2-10において、所定の遠心加速度場に達する前に、固化処理土と矢板の間にずれ（付着切れ）が生じていることが観察された。

実施工で固化処理土を中詰にする場合には、施工の関係から一般的には、一日に1m~2mずつ盛り立てていき、その度ごとに固化するまでの間液圧に近い荷重が壁に作用するものの、翌日の施工までには、前日施工した部分が固化しているため、次の施工による荷重の増をほとんど考慮しなくてよい状況が生じると考えられる。遠心模型実験装置でこのような1g場での施工過程を忠実に再現することも可能であるが、実験手順が煩雑となるため、今回の実験においては施工過程のシミュレーションは簡略化した。実施工においては、少なくとも施工過程で矢板と固化処理土との付着切れを起こすことは生じにくいものと思われる。なお、付着を完全としたケースA2-20では、所定の50gの遠心力場に達してもずれは生じなかった。

2.2 実験結果

図-3に4ケースの実験の水平載荷荷重と海側天端の水平変位の関係を示す。ここでは、水平荷重を受けたときの構造物の挙動を把握するため、遠心加速度50g場での水平荷重載荷直前の変位からの増分を示した。ここで、港湾の技術基準⁹⁾に従って計算すると、背面土圧と水圧の合計の常時相当荷重は1940N、設計水平震度0.2の地震時相当荷重は4070Nである。実験では各ケースともに設計荷重の2倍程度の荷重を与えたが、矢板の応力度は弾性範囲にあり降伏には到らなかった。

図から海底地盤の相対密度が40%程度の中詰が固化処理土のケースA2-10と、砂のケースB2-10では、固化処理土中詰の変位

のほうが砂中詰に比べてやや大きくなっていることがわかる。中詰が固化処理土のケース A2-10 は矢板との付着はほとんどなく、壁面の摩擦だけが生じていると考えられる条件のものである。海底地盤の相対密度が砂中詰のほうがやや大きいことを考慮すると、付着がほとんどない状態であれば、中詰材の違いによる差はほとんどないものと思われる。

これに対し、海底地盤の相対密度が80%程度のA2-20とB2-20を比較すると、水平荷重が4800N程度以下では、固化処理土中詰の変位の方が40%程度小さくなっているが、A2-20のケースでは、水平荷重が4800Nあたりで、海側矢板の地盤面より上のひずみが急激に変化し、この荷重以上ではA2-20とB2-20で水平変位がほぼ同じになっている。試験終了後A2-20の試験体を調べると、海側矢板の海底地盤面付近から斜め上に向かったクラックと突起の頂部付近に沿ったクラックが確認された。このことから、A2-20では水平荷重4800Nあたりの荷重で固化処理土が比較的広い範囲にわたりせん断破壊したものと考えられる。A2-20のケースは壁と固化処理土間の付着を十分に取ったものであり、固化処理土と矢板の付着が完全にあったものと考えられ、中詰土も健全であったと考えられる。したがって、付着が完全な状態にあり、中詰土が健全であれば、同じ水平荷重に対する中詰が固化処理土の場合の変位は、中詰が砂の場合の変位に比べて小さくなるものと考えられる。

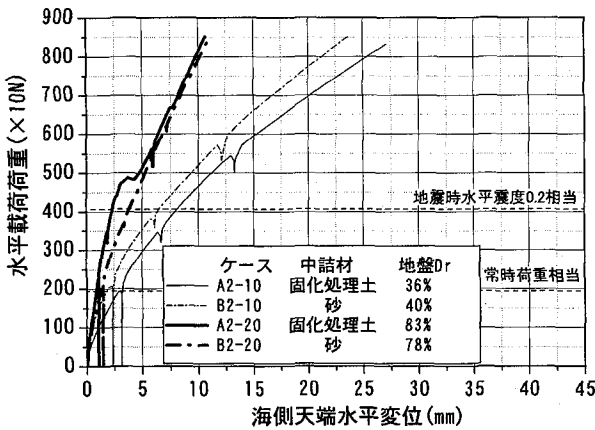


図-3 載荷荷重と海側矢板先端変位との関係

3. 遠心模型実験の解析

2章で報告した遠心模型実験を再現し、二重矢板式護岸の挙動を数値計算で推定する方法を検討するため、二次元の弾塑性FEM解析を行った。

3.1 弾塑性FEM解析

解析には、地盤・構造物系の汎用解析プログラム(NAPG/2D ver3.5)⁹⁾を使用した。解析対象範囲を土槽全体とし、土槽側面は水平方向を固定、土槽下面は水平方向、鉛直方向ともに固定の境界条件とした。海底地盤と中詰土は、8 節点アイソパラメトリック要素でモデル化し、Mohr-Coulomb の破壊規準に従う弾塑性体

とした。このとき、海底地盤の内部摩擦角φは、豊浦標準砂を用いて同じ方法で作製した地盤の間隙比と内部摩擦角の関係⁹⁾から推定し、相対密度が77～83%の範囲ではφ=40°、相対密度が23～40%ではφ=35°とした。海底地盤の弾性係数Eは、港湾の技術基準⁷⁾で例示されているマイヤホフが提案したN値と相対密度Drとの関係式 $D_r = 21\sqrt{100N/(p_{v0} + 70)}$ (%) (ただし、 p_{v0} : 有効土被り圧 (kN/m²) と、道路橋示方書¹⁰⁾で提案している弾性係数EとN値との関係式 $E = 2800N$ (kN/m²) を参考に、次式のような関係があるものとした。

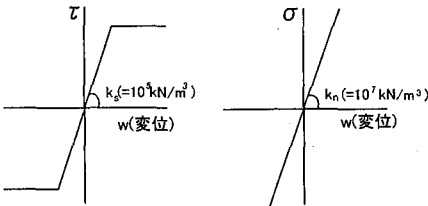
$$E = \alpha \left(\frac{D_r}{21} \right)^2 (p_{v0} + 70) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1)$$

ただし、ここではαは別途実施した模型矢板1枚の水平載荷実験の結果を最もよく再現するように、パラメトリックに解析を行って推定した。その結果より、二重矢板式構造物の実験の解析では、相対密度80%付近の地盤の実験ケースには(1)式のαに28を、相対密度40%付近の地盤の実験ケースでは42を用いて地盤の弾性係数を算出し解析を行った。ただしαは今回の実験から推定された実験係数的な値であり、一般化するには更に検討を加える必要がある。

中詰固化処理土はc材として取り扱い、粘着力cは一軸圧縮強さの平均の1/2を用いた。弾性係数は、一軸圧縮試験の応力ひずみ関係から求めたピーク強度の1/2のときの割線係数(E_{50})を用い、深さ方向に一律に与えた。

中詰砂の内部摩擦角φは、海底地盤と同様の方法でφ=35°とした。弾性係数は、海底地盤と同様な方法で推定した。

矢板とタイロッドは線形梁要素とし、ともに断面剛性を与えた。矢板と中詰土および矢板と海底地盤との間には固化処理土との付着または砂との摩擦を表現する非線形ジョイント要素を配置した。ジョイント要素の特性を図-4に示す。ジョイント要素の平行方向に働くせん断応力に対しては、せん断応力τが $\tau = f + \sigma \tan \phi$ (f: 固化処理土と矢板との付着、砂の場合0、σ: 計算の過程で算出される水平方向の応力、φ: 固化処理土の場合0、砂の場合内部摩擦角)以下であれば弾性、それを越えれば完全塑性の条件とした。固化処理土と矢板との付着は、ここでは便宜的に、一軸圧縮強さ $q_u (=590 \text{ kN/m}^2)$ との比で考え、付着力 $f = \beta q_u$ (βは定数、0～0.5)で与えた。ジョイント要素の垂直方向については、中詰の解析時に矢板と中詰材の間は圧縮状態になり荷重載荷時にも圧縮状態のままであること、海底地盤にはMohr-Coulombの破壊規準に従う弾塑性体要素を用いていることから、引張側に剥離は考慮していない。また、これまでの解析ではジョイント要素に引張りが生じていない。



(a)ジョイント要素に平行方向 (b)ジョイント要素に垂直方向
図4 ジョイント要素の特性

表-2 解析に用いた物性値

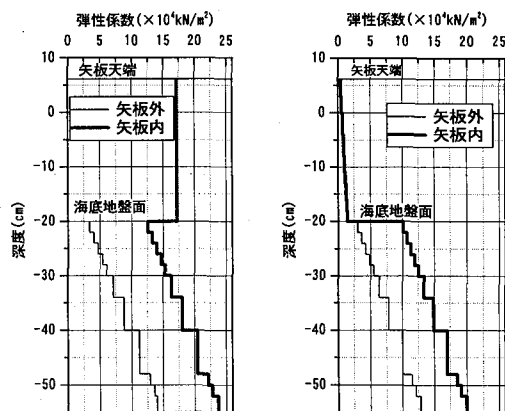
ケース			A2-10	A2-20	B2-10	B2-20
中詰材種類			固化処理土		砂	
海底地盤	堤体幅	B cm	20	20	20	20
	相対密度	Dr %	36	83	40	78
	密 度	ρ g/cm ³	1.432	1.579	1.443	1.564
	内部摩擦角	ϕ deg.	35	40	35	40
	ポアソン比	ν	0.333	0.333	0.333	0.333
中詰材	一軸圧縮強さ	q_u kN/m ²	600	836	-	-
	弾性係数	E kN/m ²	25,200	17,200	-	-
	相対密度	Dr %	-	-	48.2	24.7
	密 度	ρ g/cm ³	1.558	1.589	1.467	1.399
	内部摩擦角	ϕ deg.	-	-	35	35
	粘着力	c kN/m ²	$q_u/2$	$q_u/2$	-	-
	ポアソン比	ν	0.350	0.350	0.333	0.333
矢板/固化土	付着強さ	f kN/m ²	0~0.1 q_u	0~0.5 q_u	-	-
矢板/砂	壁面摩擦角	θ deg.	-	-	15	15

図-7に全ケースの載荷荷重と海側矢板の天端変位との関係を示す。ただし、ここでは、遠心力が50gになったときの変位を0であるとして示している。

図-7の(a),(c)は、ケース A2-10 および A2-20 について実験結果と解析結果を比較したものである。これらのケースは中詰が固化処理土の解析結果である。

(a)A2-10

(b)B2-10



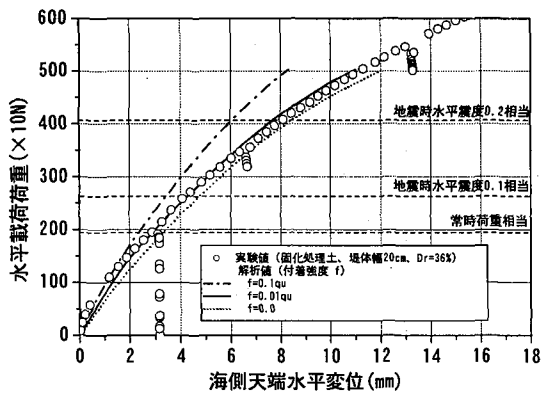
(a)A2-20

(b)B2-20

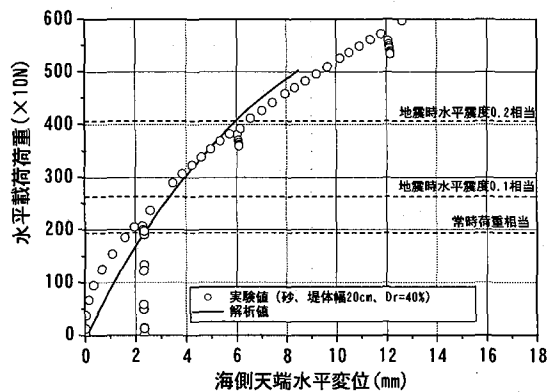
図-6 解析に用いた海底地盤と中詰土の弾性係数

図-7(c)は、突起により中詰と矢板の間の付着力 f を十分にしたケースである。この解析では $f=0.5 q_u, 0.01 q_u, 0$ の3つの条件で解析を行った。実験結果と解析結果を比較すると、実験結果は水平荷重が4800Nになるまでは、付着力が十分働いており、この荷重付近で付着力がほぼ0になったと考えられるような挙動をしている。解析では、突起の形状そのもののモデル化は行っていないため中詰の破壊までは再現できていないが、付着力を0にすることでこのような現象を再現できるものと考えられる。

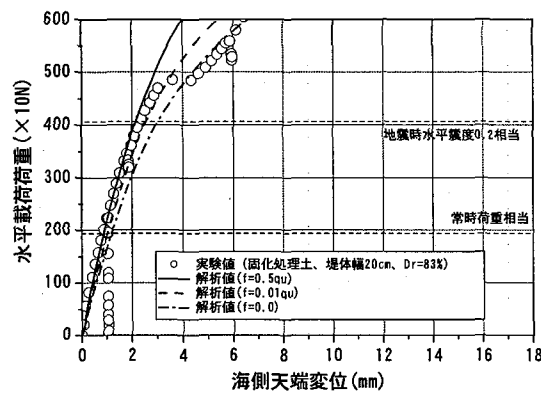
以上の結果から、本解析モデルにより実験の現象を概ね再現できることがわかった。そこで、実験では確認、考察できなかった事項について、提案する解析手法を用いて検討した。



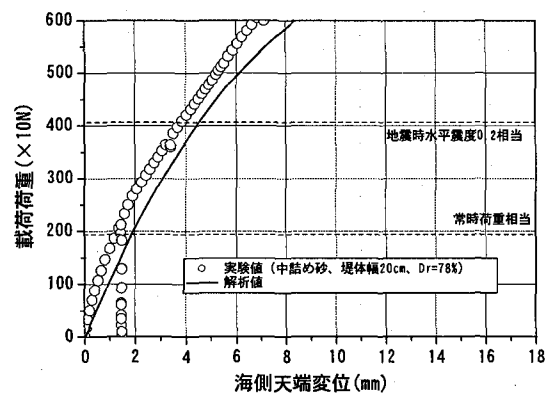
(a) A2-10



(b) B2-10



(c) A2-20



(d) B2-20

図7 載荷荷重と海側矢板天端変位との関係

(1) 外力形状の違い

今回の実験では、本来、土圧および水圧分布を分布荷重として考えるべきところを実験の載荷条件から外力を集中荷重として作用させている。この載荷条件の違いが構造物に与える影響について検討するために、中詰が固化処理土のケース A2-20 と中詰が砂のケース B2-20 の解析モデルに図8に示すような分布荷重をあたえ、集中荷重載荷時の二重矢板の挙動と比較した。比較にあたっては、両ケースとも海底地盤は固化処理土中詰のケース A2-20 の物性値を用い、矢板と中詰材の接触部には中詰材の材質によらず壁面摩擦角 15° の摩擦力が作用するものとし、中詰材のせん断剛性以外は同条件として比較を行った。

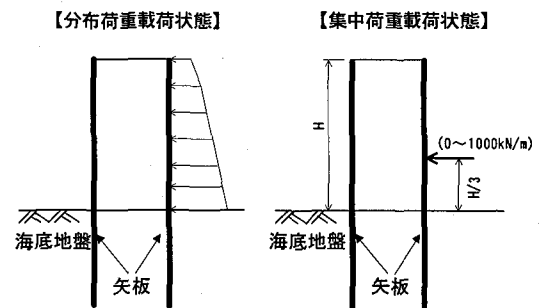


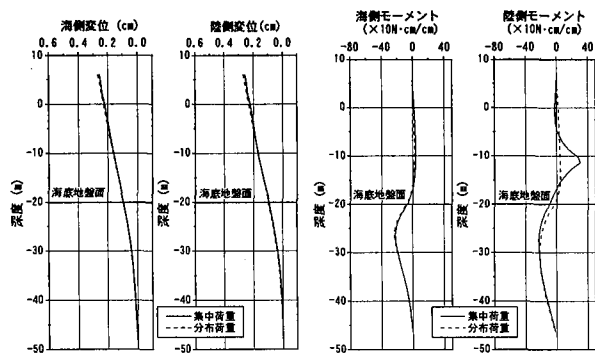
図8 載荷荷重の概念図

図9に固化処理土中詰時の変位分布および曲げモーメント分布の比較を示す。また、図10に砂中詰時の変位分布および曲げモーメント分布の比較を示す。いずれも地震時水平震度0.2相当の荷重載荷時の変位分布であり、遠心場が50gになったときからの増分を示している。図10の砂を中詰したケースを見ると、陸側矢板の最大曲げモーメントの値はほぼ同じであるが、矢板天端変位は、集中荷重に比べ分布荷重とした場合の方が20%程度大きいことがわかる。図9の中詰を固化処理土とした場合では、載荷状態による差はほとんど見られない。砂のような材料は、上部ほどせん断弾性係数が小さいために載荷状態によって違いが生じているが、固化処理土の場合には、中詰上部のせん断剛性は十分大きいと考えられるため、分布荷重を考えたときでも天端変位の違いはあまりないものと考えられる。したがって、遠心模型実験で分布荷重を想定した場合には、中詰を砂にした実験ケースの水平変位量は、今回の実験結果よりも大きくなることが推測される。

(2) 中詰材の違い

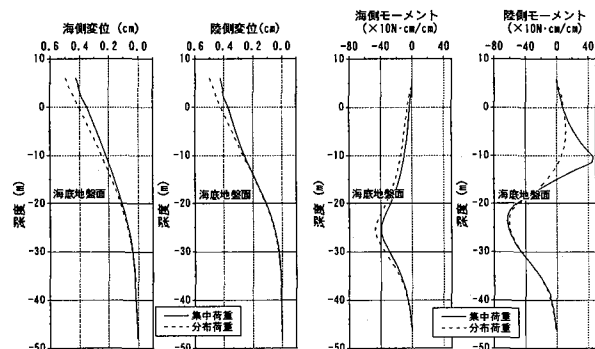
今回の実験において、相対密度が40%程度の軟らかい海底地盤のケース A2-10 とケース B2-10 の比較からは、中詰材のせん断剛性の大きさによる顕著な差は確認できなかった。これは、ケース A2-10 と B2-10 においては海底地盤が軟らかく、二重矢板構造の地盤への固定度が低いために、海底地盤の変形が支配的になっていったということが考えられる。

これに対し相対密度が80%程度の普通地盤のケース A2-20 とケース B2-20 の比較では、構造物の挙動に顕著な差が認められる。しかし、付着の状態がケース A2-10 とは異なるため、中詰材のせ



(a) 変位分布 (b) 曲げモーメント分布

図-9 集中荷重と分布荷重の比較 (固化処理土中詰)



(a) 変位分布 (b) 曲げモーメント分布

図-10 集中荷重と分布荷重の比較 (砂中詰)

せん断剛性のみの比較にはなっていないと考えられる。中詰材のせん断剛性のみの影響を検討するため、ケース A2-20 およびケース B2-20 を対象に、中詰材のせん断剛性以外を同条件とした比較解析を行った。両ケースの海底地盤の物性値を共通にし、矢板と中詰の接触面には中詰材の材質によらず壁面摩擦角 15° の摩擦力が作用するものとした。

図-11 に中詰を固化処理土とした場合と砂の場合の水平載荷荷重と海側矢板天端水平変位の関係を比較して示す。地震時水平震度 0.2 の荷重レベルで比較すると、中詰を固化処理土にしたケースの変位は、中詰を砂にした場合に比べ、60%程度の値になっていることがわかる。

また、矢板と中詰の接触面を同じ摩擦力とした堤体幅が 16cm の固化処理土中詰二重矢板式構造物の解析結果を同図に示すが、堤体幅 20cm の砂中詰二重矢板式構造物の水平変位量は、堤体幅を 16cm とした固化処理土中詰二重矢板式構造物とほぼ同じレベルにあることがわかる。

以上のことから、中詰材にせん断剛性の高い固化処理土を用いると、海底地盤の相対密度が 80% 程度の地盤においては、同じ堤体幅の砂中詰の二重矢板式構造物よりも水平変位量が小さくなることがわかる。

(3) 固化処理土の付着力の違い

固化処理土と矢板の付着力をパラメータとする解析結果を

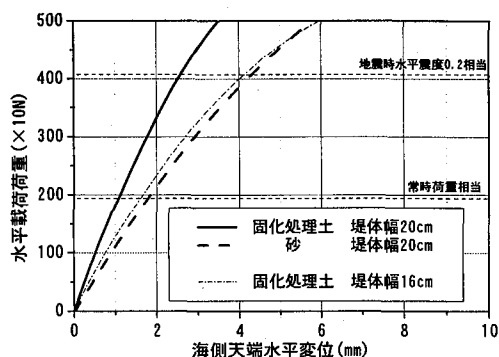


図-11 相対密度 80% の地盤における比較

示した図 7(a) および (c) からは、海底地盤の相対密度の大きさに関らず、付着力が大きいほど構造体の水平変位量は小さくなることがわかる。前述したように、海底地盤の相対密度が 40% 程度のケース A2-10 とケース B2-10 の実験結果の比較からは、中詰材のせん断剛性の大きさによる顕著な差は認められなかったが、この解析結果からケース A2-10 は、遠心場が 50g に到達したときに中詰材と矢板の付着切れが生じていなければ今回の実験結果よりも水平変位量は小さくなるものと推察される。実験ケース A2-10 での付着力を $0.1q_u$ 程度に仮定した場合には、図 7(a) に示すように、実験結果に近い付着力 $0.01q_u$ の結果に比べ、矢板天端の水平変位量が 20% 程度小さくなるものと考えられる。

4. 実規模モデルへの適用

遠心模型実験に対する解析で用いた手法により、地盤を SCP 改良地盤とした実大規模の二重矢板式構造物の挙動解析を試みた。

図-12 に想定断面を示す。改良率 78.5% の SCP 地盤に水深 10m、堤体幅が 14m の固化処理土中詰二重矢板式護岸を想定した。比較のため、中詰に砂を用いた場合の計算も行った。

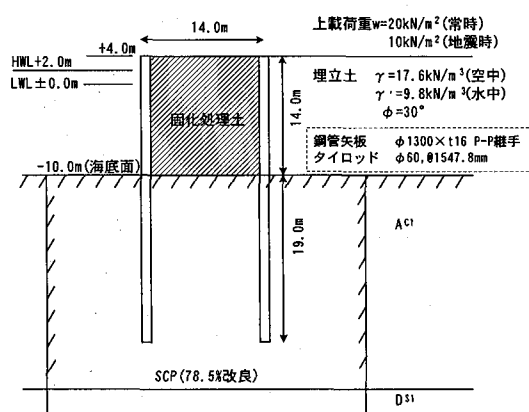


図-12 地盤条件と断面の仮定

解析モデルを図-13 に示す。モデル化にあたっては 3 章に示した解析手法に従った。海底地盤の弾性係数 E は、SCP 改良地盤の砂杭杭芯で実測された N 値の深度分布¹¹⁾を用いて、各深度で $E=2800N$ (kN/m^2)¹⁰⁾として設定した。二重矢板内の海底地盤の弾性係数については、この N 値を用いてマイヤホフが提案した N

値と相対密度 D_r との関係式から相対密度 D_r を逆算し、この D_r と中詰材の自重をもとに3章の(3)式により $\alpha=28$ として設定した。中詰を砂とした場合の海底地盤の弾性係数は、固化処理土中詰の場合と同じものとした。また、中詰材の砂の弾性係数については海面上から砂が投入されることからゆる詰を想定し、相対密度 $D_r=40\%$ 、 $\alpha=42$ として設定した。解析に用いた中詰材および海底地盤の弾性係数を図-14に、材料定数の一覧を表3に示す。なお、ここではすべての海底地盤を SCP 改良地盤とした。

固化処理土と鋼管矢板の接触状態は、ここでは実験からの考察より、砂中詰時と同条件の摩擦力（付着力 $f=0.01 q_u$ 相当）が働くものとした。実際には、実験のように施工完了時の付着切れは生じにくいと考えられるので、中詰材と壁面の付着強度としては、もっと大きく設定できるものと考えられるが、その大きさについては今後実大実験等での確認が必要と思われる。

解析の手順としては、初めに、海底地盤の要素に自重分の初期応力を与え、鋼管矢板要素および中詰の要素を設置した後に、中詰施工時の解析を行った。固化処理土の中詰施工時は、2章でもふれたように、固化するまでの間は液圧に近い荷重が壁に作用すると考えられるが、1日の施工スピードは1~2mであり、翌日の施工までには前日施工した部分が固化すると考えられるため、解析では、中詰全体が固化した状態に自重を与えるものとした。砂を中詰する場合も矢板天端まで投入された状態に自重を与えるものとした。

載荷荷重は、中詰の計算終了後に、図-15に示すように港湾の技術基準¹⁾から算出した常時および地震時の背面側の水平土圧、鉛直土圧および水圧を分布荷重として陸側矢板に作用させた。地震時の荷重としては、背面の荷重の他、中詰の慣性力（=自重×地震時の水平震度）を海側矢板に作用させた。

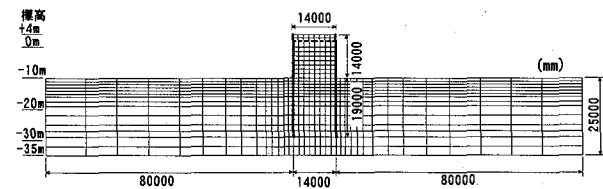


図-13 二次元FEMモデル

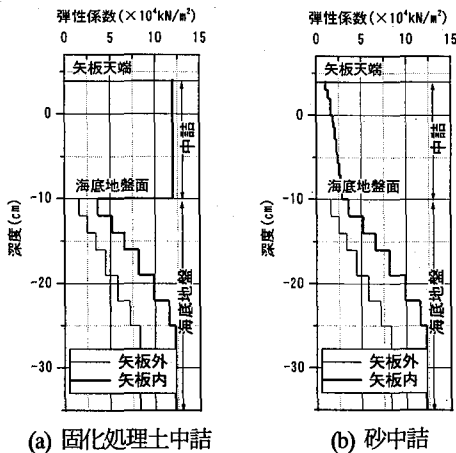
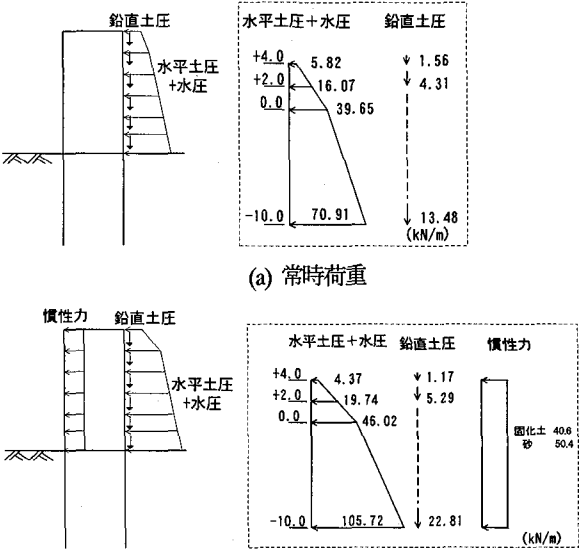


図-14 中詰と海底地盤の弾性係数

表3 解析に用いた物性値

		海底地盤	中詰	
		SCP	固化処理土	砂
気中重量	(kN/m ³)	16.8	14.2	17.7
水中重量	(kN/m ³)	7.0	4.4	7.8
弾性係数	(kN/m ²)	15400~81300	118000	10500~28500
ポアソン比		0.375	0.350	0.375
粘着力	(kN/m ²)	0	245	0
内部摩擦角	(°)	30	0	30



(a) 常時荷重

(b) 地震時荷重（水平震度0.2）

図-15 載荷重

図-16(a)に中詰終了時の矢板の曲げモーメント分布および変位分布を示す。図から、砂を中詰に用いた時には、矢板がはらみ出し、海底地盤から上方で800 kN・m/m程度の曲げモーメントが発生しているが、固化処理土を中詰した時は、矢板のはらみ出しが小さくほとんど曲げモーメントが発生していないことがわかる。

図-16(b) (c)に常時荷重載荷時および地震時荷重載荷時の矢板の曲げモーメント分布および変位分布を示す。なお、変位量および曲げモーメント量は、矢板を設置したときからの累積量である。これらの図から、常時荷重での固化処理土中詰の矢板天端の変位量は、砂中詰に比べて30%程度、陸側矢板の曲げモーメントの最大値は、40%程度小さいことがわかる。また、地震時荷重載荷時も固化処理土中詰の矢板天端の変位量は、砂中詰に比べて30%程度、陸側矢板の曲げモーメントの最大値は、20%程度小さいことがわかる。

5. 結論

固化処理土を中詰した二重矢板式構造物の力学的特性を明らかにするため、遠心模型実験を実施した。また、遠心模型実験を再現できる二次元 FEM モデルを作成し、中詰土に固化処理土を用いた場合の二重矢板式構造物の挙動特性を検討した。今回の検討内容はすべての条件を網羅しているわけではないが、我国の港

湾において一般的な沖積粘土層を SCP 改良した地盤を考えており、また、構造物の寸法も現在通常用いられている規模のものを大きく逸脱しない範囲で実験した結果である。本研究から得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 矢板と固化処理土の付着性状を考慮した2次元弾塑性 FEM 解析により、遠心模型実験結果を再現することが可能である。
- 2) 固化処理土を中詰した二重矢板式構造物では、固化処理土と壁面の付着力が大きいほど、天端の水平変位量は小さくなる。
- 3) 壁面の付着力がほとんどない場合、二重矢板構造物の天端水

平変位量は、相対密度が40%程度の地盤においては、砂を中詰した場合とほぼ同等であるが、相対密度が80%程度の地盤においては、砂を中詰した場合に比べ小さくなる。

4) 実規模を想定した計算では、固化処理土と壁面の付着がほとんどない状態でも、砂中詰と比較し、天端の水平変位で30%程度、曲げモーメントの最大値で20~40%程度小さくなる。

なお、本文は、1998 年~2000 年までの3 年間、港湾技術研究所、東亜建設工業株式会社、日本鋼管株式会社の共同研究として実施されたものをまとめたものである。

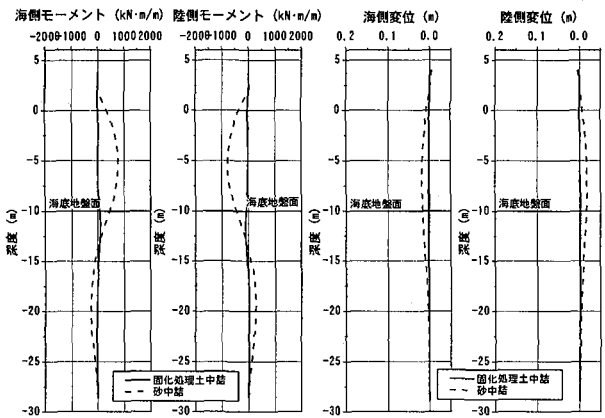
謝辞

本研究実施にあたり、遠心模型実験では、港湾技術研究所地盤改良研究室の中村 健研究官、森永真朗研究員、東亜建設工業(株) 木下哲哉氏に多大なご協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

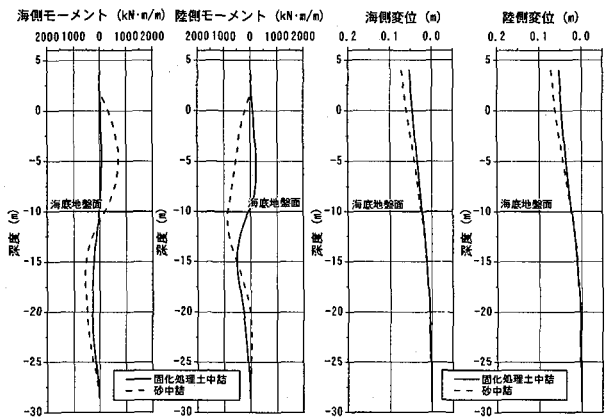
参考文献

- 1) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、1999 年5 月
- 2) Sawaguchi, M : Lateral Behavior of a Double Sheet Pile Structure, Soil and Foundations, Vol.14, No.1, pp.45-59, 1974.
- 3) 大堀晃一, 荘司喜博, 高橋邦夫, 上田 寛, 原 道秀, 川井 豊, 塩田啓介：二重矢板式構造物の力学的特性に関する研究, 港湾技術研究所報告 Vol.23 , No.1, pp.103-151, 1984.
- 4) 北詰昌樹, 菊池喜昭, 木下哲哉, 鈴木操：固化処理土の二重矢板式構造物への適用性検討 (その1. 遠心模型実験), 第35 回地盤工学研究発表会, pp.2011-2022, 2000.
- 5) 菊池喜昭, 北詰昌樹, 南部俊彦, 山村和弘：固化処理土の二重矢板式構造物への適用性検討 (その2. 遠心模型実験の解析), 第35 回地盤工学研究発表会, pp.2023-2024, 2000.
- 6) 菊池喜昭, 北詰昌樹, 鈴木操, 南部俊彦, 岡田哲一：固化処理土を中詰した二重矢板式構造物の抵抗特性に及ぼす壁面付着の影響, 第36 回地盤工学研究発表会, pp.1901-1902, 2001.
- 7) 菊池喜昭, 北詰昌樹, 鈴木操, 岡田哲一：固化処理土中詰二重矢板式構造物の構造特性, 港湾技研資料, No.997, 2001.
- 8) 関口宏二, 南部俊彦, 田中征登, 高野護国：地盤~構造物系の汎用解析プログラム NAPG/2D, NKK 技報, No.144, pp.109-116, 1993.
- 9) 寺師昌明, 北詰昌樹：砂地盤の支持力に及ぼす複数基礎の干渉効果, 港湾技術研究所報告, Vol.23, No.2, pp.413-436, 1984.
- 10) 日本道路協会：道路橋方書・同解説 IV 下部構造編, 1994 年2 月
- 11) 関口宏二, 南部俊彦：二重矢板壁の実大水平載荷試験の有限要素解析, 第28 回土質工学研究発表会, pp.1905-1908, 1993.

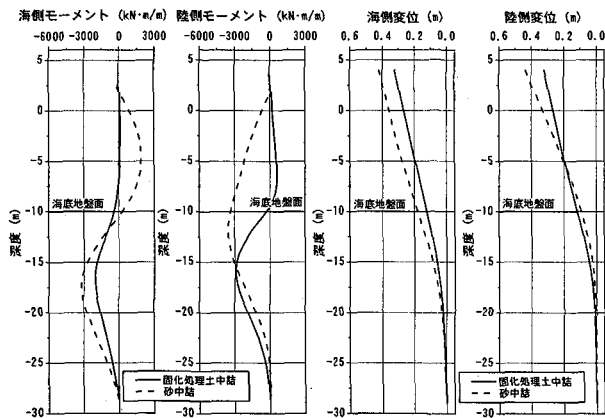
(2001 年9 月14 日受付)



(a) 中詰時



(b) 常時荷重載荷時



(c) 地震時荷重載荷時

図-16 解析結果