

二重矢板壁式護岸の挙動について

内藤 和章 土屋 幸三郎
(本社技術本部土木技術部)

芳賀 孝成

Behavior of Double Sheet Pile Revetment

Kazuaki Naito Kozaburo Tsuchiya
Takashige Haga

Abstract

The double sheet pile cofferdam construction method consists of driving sheet piles in two rows and filling soil between the rows for stabilization against external forces through the rigidity of the sheet piles and shearing resistance of the filled soil. Being of advantage both in implementation and economy compared with other methods of construction, this is being used frequently for temporary cofferdams, revetments and the like.

However, the behaviors of this type of construction have not yet been clarified and the thinking regarding conventional tie rod-anchored steel sheetpiling and cells on rock has been followed in carrying out design. Therefore, in order to gain a concept of the behaviors of the construction to aid in establishment of a design method, measurements were carried out on sheet piles, tie rod and other installations, which were compared with several examples of analysis.

概 要

二重矢板壁式護岸工法や二重矢板締切り工法は矢板を二列に打設し、矢板間に土砂を中詰めして、矢板の剛性と中詰土のせん断抵抗によって外力に対して安定を図るものである。他工法と比較して施工性、経済性などについて有利なため、仮締切り堤、護岸などに多く採用されている。

しかし、この構造体の挙動に関しては、いまだ明確にされておらず、そのため設計に際しては、従来のタイロッド式鋼矢板壁や岩盤上のセルの考え方を準用した設計方法が適用されている。

そこで、同構造体の挙動を把握して設計方法の確立に役立てるため、矢板およびタイロッドなどについて諸計測を行い、その計測結果と、2,3の解析例とを比較検討した。

1. 序

本実験は、埋立て造成工事にもなる護岸において実施された。その総護岸延長は950mであり、埋立て造成用の外郭施設であるとともに、将来は水深を-4.0mに確保し、小型船舶の離接岸用にも使用される。護岸の構造形式は、550mがケーソン式護岸、400mが二重矢板壁式護岸である。

二重矢板壁式護岸は、施工性、経済性にすぐれているが、その挙動に関しては、いまだ明確にされていない。

そこで、本護岸の施工に当り、施工区間の1箇所に延長50mの計測区間を設け、二列に打設した矢板の内

側に山砂を中詰めした時、および中詰め終了後、背面に山砂を裏詰めした時の矢板の応力、変位、タイロッド張力および周辺土の沈下などを実測し、タワミ曲線法、連続バリによる解法、沢口の方法、FEMによる解析法などによる計算結果との比較検討を行った。

2. 計測場所および土質概要

計測区間は、図-1に示す施工区間内の試験工区と記した50mであり、図-2に二重矢板式護岸の標準断面図を示す。

本地区の土質は、図-3に示すとおり旧海底面より約20mの厚さに軟弱沖積層が発達し、その下部は沖積世の比較的締ったシルト混り砂層となっている。また

沖積層の下部には、N値10程度の洪積世の粘土層を厚さ約4mはさみ、それ以深は、N値50以上の非常に締った砂層（成田層）が存在している。

旧海底面の上部には、厚さ2～3mのヘドロが堆積し、AP-6m～AP-15mまではN値0～5程度のシルト混り砂層、AP-15m～AP-25mまではN値4～5程度のシルト層の沖積層となっている。土質試験結果は図-4(a)、図-4(b)に示す。

3. 計測方法

3.1. 計測項目および計測方法

矢板は、前面矢板にはKSPⅣ型、背面矢板にはKSPⅢ型を使用しており、矢板長は29mである。この矢板の断面性能を表-1に示す。応力・傾斜計測矢板は、矢板にひずみゲージおよび傾斜測定用パイプを取付けたものである。

計測項目を以下の(1)～(5)に示す。

(1) 応力

応力は矢板腹部および継手部にひずみゲージを貼付け、ひずみを測定して求めた。

(2) 矢板変位

矢板頭部変位はトランシットにより測定し、矢板地中部変位は傾斜計から得た傾斜角から算出した。

(3) タイロッド張力

矢板を連結するタイロッドの張力は、背面矢板側の

型式	寸法			断面積 cm ²	断面二次モーメント cm ⁴	断面係数 cm ³
	W mm	h mm	t mm			
KSP-Ⅲ	400	130	13.0	76.4	17400	1340
KSP-Ⅳ	400	160	16.0	96.9	34400	2150

注) 断面二次モーメント、断面係数は壁幅1m当り

表-1 矢板の断面性能 (カタログ値)

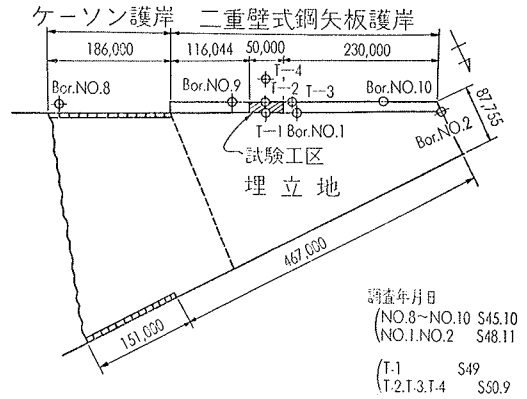


図-1 試験場所およびボーリング位置

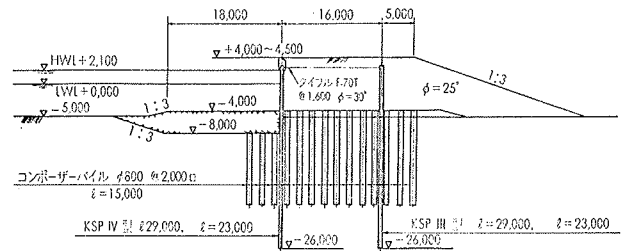


図-2 標準断面図

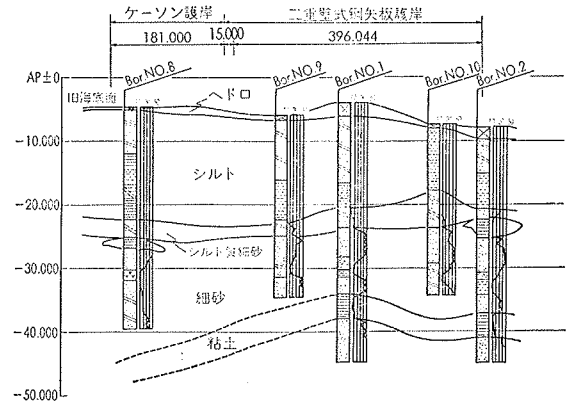


図-3 土質断面図

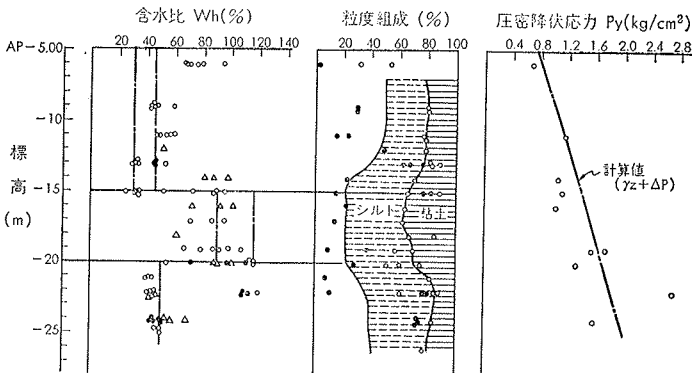


図-4(a) 含水比, 粒度組成, 圧密降伏応力

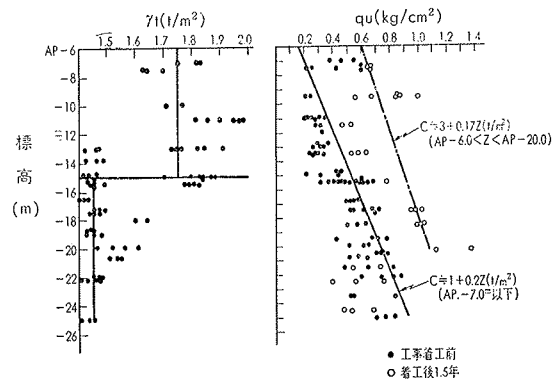


図-4(b) 湿潤重量, 一軸圧縮強さ

タイロッド定着位置にセンターホール型のロードセルを設置して測定した。

計測器の数量および配置を図一5に示す。

3.2. 施工

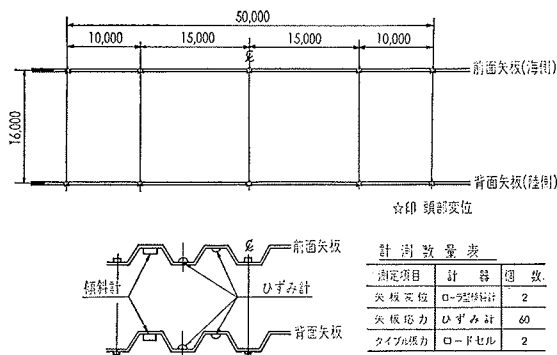
当工区の工種は大別すると、地盤処理工、矢板打設工、前面捨石工、背面土丹投入工、中詰め工、裏込め土工であり、図一6に計測矢板付近の計測時における施工状況を示す。

4. 計測結果

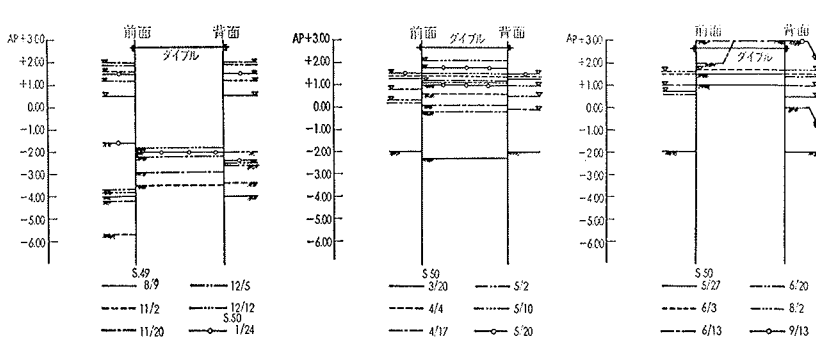
4.1. 矢板変位

図一7は、矢板変位分布の経時変化を示したものであるが、壁体内の中詰め施工にともなう矢板の変位は中詰め土の立上りにしたがいは増大し、二重壁の外側にほぼ対称に変形している。

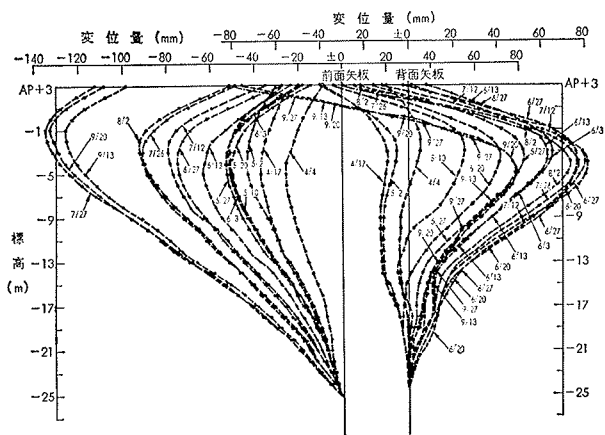
図一8は、中詰め施工完了時の矢板変位を初期値として、背面裏込めによる変位の増加分布を示したものであるが、前面矢板は海側、背面矢板は壁体側に変形しており、変位の増加分布は



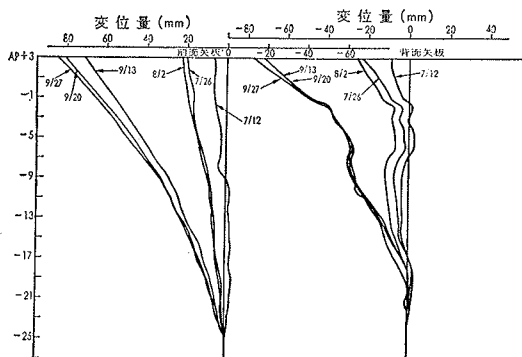
図一5 計測器数量および配置



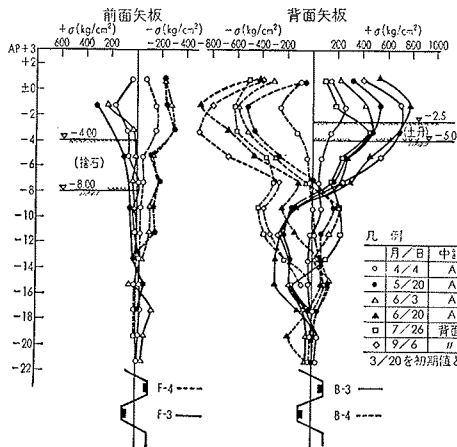
図一6 計測時施工状況



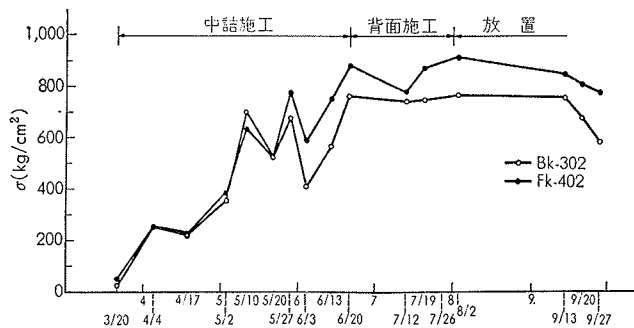
図一7 矢板変位分布



図一8 裏込めによる増加変位分布



図一9 矢板の応力分布経時変化



図一10 矢板応力最大値経時変化

ほぼ直線的でかなり深部まで及んでいる。矢板頭部における変位は、前面、背面矢板ともほぼ等しく増加している。

4.2. 矢板応力

図-9は、矢板の応力分布経時変化を示したものであり、捨石などの影響で海底面付近において、応力が大きく発生している。

また図-10は、応力最大値の経時変化を示したものであり、中詰め施工時に最も応力が増大している。なお、背面裏込め工終了後の背面矢板の最大応力値は約800 kg/cm²に達している。

5. 解析

5.1. 中詰め土による影響

中詰め土による矢板の変位およびモーメント分布の計算は、タワミ曲線法、連続バリ解法、およびFEMによって行った。計算に使用した土の諸定数は、図-11に示すとおりである。

図-12は、矢板の変位量に関するそれぞれの計算値を実測値と比較したものであり、前面矢板ではタワミ曲線法および連続バリ解法による計算値は実測値に比較して過少である。背面矢板では矢板上部で連続バリ解法の計算値が実測値とよく近似しているが、下部においては前面矢板と同様に実測値に対し過少な値を示している。タワミ曲線法および連続バリ解法による計算値が実測値と一致しないのは、計算時の土質定数のとり方にも問題はあろうが、これに加えて実際には矢板下端部の回転、中詰め土および地盤の側方流動などの現象が考慮されていないことが原因として考えられる。

FEM解析は、盛土による荷重増加を各節点の荷重に換算して行った。これによると、矢板の変位形状は、実測結果および前記の解析による計算値の変位形状と異なり、矢板全部に変位が分布している。

そして、このFEMによる計算値の変位量そのものも実測値のそれとかなりの差異が認められ、特に矢板上部において両者の差は明確である。この計算法では地盤の側方流動は加味できるが、矢板の曲げ剛性、矢板と地盤のずれなどを考慮することがむずかしい。計算手法として改良していかなければならない点であろう。

図-13は曲げモーメント分布の計算値を示したものであり、背面矢板の実測値と比較すると、矢板上部においてよく近似している。

図-14はタイロッド張力の実測値を計算値と対比したものであり、中詰め施工開始より終了までに実測値は約8 t/本増加している。しかし計算値はタワミ曲線法で18 t/本、連続バリ解法で13.6~17.5 t/本と実測値と比較してかなり大きな値を示している。

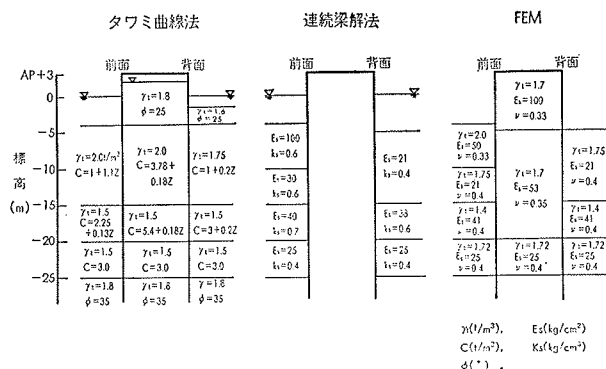


図-11 計算条件

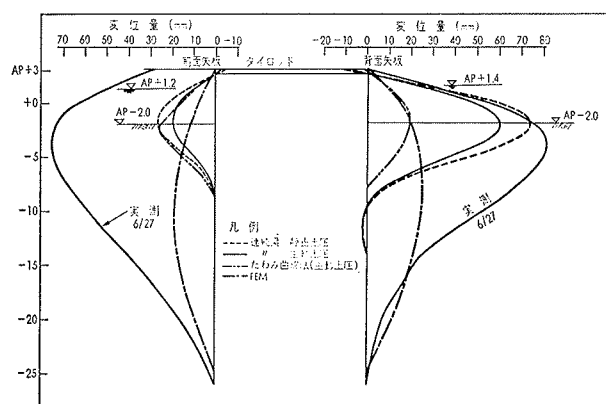


図-12 矢板変位計算値

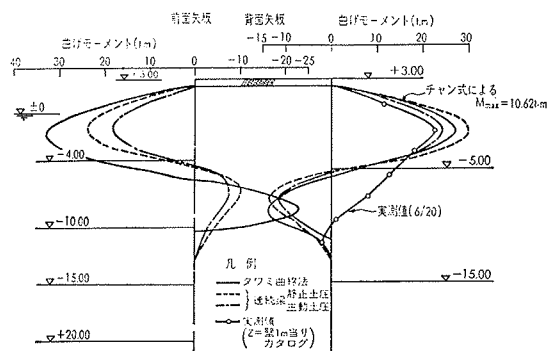


図-13 曲げモーメント計算値

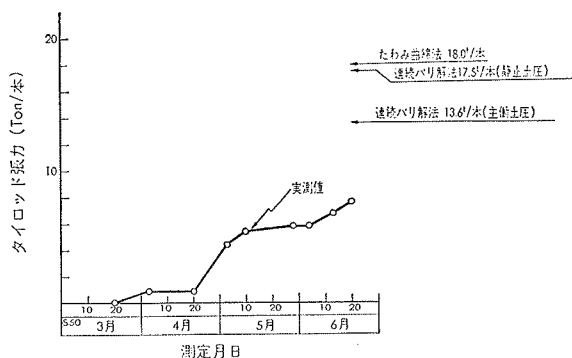


図-14 タイロッド張力

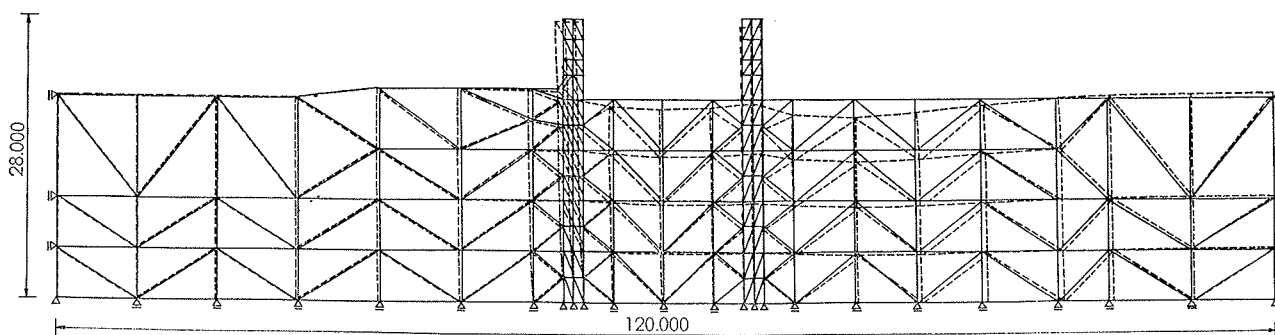


図-16 FEMによる変位計算結果(裏込め土)

5.2. 裏込め土による影響

裏込め土による影響に関しては、沢口式およびFEMにより解析を行った。沢口による方法は二重壁式構造物のモーメントおよび変位を、二重壁部の任意点のスライスの応力状態の釣合い方程式より求めるものである。図-15は曲げモーメントの計算値と実測値を比較したものであるが、実測値は計算値の約1/2~1/3である。またFEMによる変位図-16を図に示すが、矢板の変位は実測値にあまり近似していない。

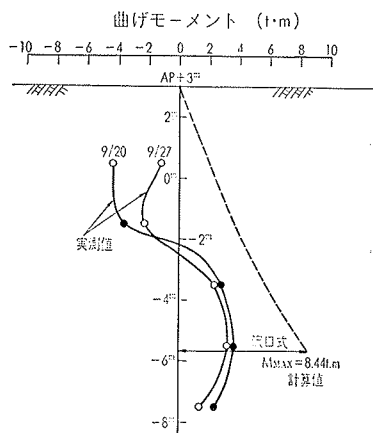


図-15 曲げモーメント計算結果(沢口式)

5.3. 矢板継手部の噛み合せ効果

変位の計算値は、どの計算方法においても実測値より過少である。これは、一つには計算に使用した断面二次モーメント(壁1m当りのカタログ値)が実際よりも過大に評価されていることが一因としてあげられる。

矢板は、単材を交互に噛み合せて地中に打設されて一体とされるが、実際の矢板の継手部は最大剪断応力に抵抗し得る摩擦力を十分発揮できず、断面二次モーメントの減少を招いていると思われる。

ここで、実測値から矢板の断面二次モーメントを計算した値とカタログ値を比較してみると、計算値は、前面矢板ではカタログ値の0.6~0.8倍、背面矢板では0.5~0.8倍と減少している。

6. まとめ

(1) 中詰め土の施工による矢板の変位分布は、二重

壁の外側に変形し、かなり深部まで変位が認められる。また、捨石などの天端付近での変位は前面で約75mm、背面で約78mmである。

- (2) 矢板応力の変化は中詰め施工時に顕著に増加し、応力の最大値は海底面付近で発生している。
- (3) 矢板変位の計算値は、どの計算方法においても実測値と比較して過少になるが、変位形状は連続バリ解法が近似している。
- (4) 矢板の曲げモーメント分布は、タワミ曲線法、連続バリ解法とも実測値と同様の性状を示し、その最大値も近似している。
- (5) 背面裏込め土によるモーメントの増加は、沢口の方法で求められる計算値の約1/2~1/3である。
- (6) 矢板継手部の噛み合せ効果を断面二次モーメントで表わすと、実測値はカタログ値の約70%程度である。

今回の二重矢板護岸の計測結果と各種の解析法とを比較してみると解析結果と実際とのへだたりは大きく土質常数のとり方にも問題はあると思うが解析法そのものもまだ不完全であるという感が大きい。信頼できる設計法がないのは二重縮切り構造物の複雑性に起因しており、中詰土のせん断抵抗、矢板と地盤の複合体としての挙動、矢板根入れ地盤の横抵抗などが相互に影響し合っている実際の現象を総合的にとらえて解析しなければならないからである。

二重縮切り工法はこれまでの数多くの施工実績に基づいた信頼性や経済性から縮切りや護岸に今後も多く採用されるものと考えられるが、施工時および竣工後の二重縮切り構造物の安全性を検討するために本報告に述べたような現場実測を数多く行くと共に各方面から研究を進めてゆく必要がある。

参考文献

沢口：二重壁構造物の設計法の一提案