

川崎製鉄株式会社

○ 近藤伸治

同

三好弘高

運輸省港湾技術研究所

沢口正俊

1. まえがき

組杭式鋼矢板工法は主として埋立地の護岸を対象として開発されたものであるが、その構造は図-1に示すように一定の間隔で配列された2本のH杭（または鋼管）から成る組杭によつて鋼矢板壁を支えようとするものである。

組杭式鋼矢板壁を埋立護岸として施工するにあつては組杭を打設後腹起しを取付け、その腹起しを導材として鋼矢板を打込み直ちに腹起しと鋼矢板を結合する。したがつて堅固な組杭と腹起しを導材として鋼矢板を打込むため施工精度がきわめて良く、しかも鋼矢板壁と組杭の結合も簡単かつ迅速に行なうことができるので施工期間における波浪による倒壊の危険が少ない。組杭式鋼矢板工法はこれらの施工上の優れ点を有している反面、鋼矢板のすぐ背後に組杭が直接結合されているため設計上種々問題がある。それらは鋼矢板と組杭の土圧分担の割合、組杭の水平力に対する抵抗力および腹起しに生ずる二次的な応力の評価などである。本報告はこれらの内から鋼矢板と組杭の土圧分担の問題に注目して模型実験を行なつた結果の概要を述べるものである。

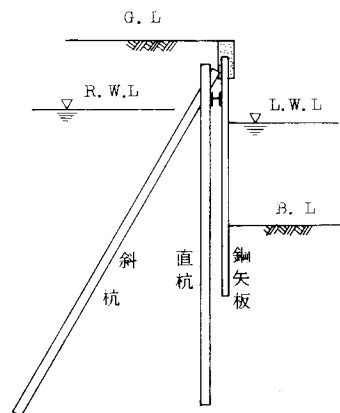


図-1 組杭式鋼矢板工法

2. 実験方法

模型実験は幅2.0m、長さ2.2m、高さ2.0mの実験槽に図-2に示すように矢板と組杭を配置して行なつた。実験体には図-2に示すような鋼板を用い、その大きさについては川崎製鉄千葉製鉄所で施工された埋立護岸の1/10程度を考えた。実験の種類としては表-1に示すように組杭のない場合を1回、組杭間隔を16cm、28cm、40cmとした場合について各2回の合計7回とした。また土圧の載荷方法には前面掘削と背面埋立の2つの方式を採用した。

実験に用いた砂は黒っぽい湘南砂でその性質は表-2のとおりである。表-2における内部摩擦角 $\phi=42^\circ$ は三軸圧縮試験によつて求めた値であるが、この値は砂の搬入状況や相對密度($D_r=49.1\%$)からみて一般的に考えられる値よりやや大きい。ちなみにこの砂の安息角 α を測定したところ $\alpha=30^\circ$ であつた。

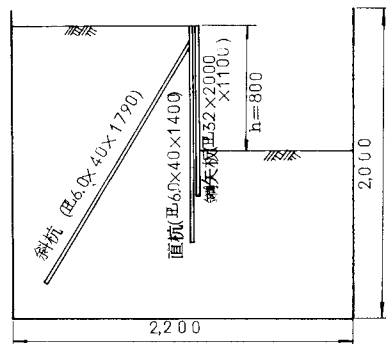


図-2 実験槽および実験体

3. 実験結果および考察

表 - 1 実験の種類

No	施工法	組杭間隔	備考
1	前面掘削	—	組杭なし
2	"	16 cm (4B)	組杭あり
3	"	28 cm (7B)	"
4	"	40 cm (10B)	"
5	背面埋立	16 cm (4B)	"
6	"	28 cm (7B)	"
7	"	40 cm (10B)	"

(1) 曲げモーメント分布と土圧分布

曲げひずみ測定値から曲げモーメント分布を描き、それらを5点微分法により2回微分して土圧分布を求めた。図3～5はその1例として組杭間隔 λ を杭幅Bの7倍とした実験3(前面掘削)と実験6(背面埋立)の結果を一緒に示したものである。図3～5において実線は前面掘削、点線は背面埋立方式の結果を示すが、これらを比較すると土圧分布はやゝ異なるが土圧合力はほとんど差がないことがわかる。

表 - 2 実験砂の性質

比重 (Gs) g/cm^3	2.731
乾燥密度 (rd) g/cm^3	1.57
相対密度 (Dr) %	49.1
均等係数 (U_c)	2.07
有効径 (D_{10})	0.167
内部摩擦角 (ϕ) 度	42 ($rd=157$)

(2) 全土圧

実験結果をもとに土圧分担比について検討するに先立ち構造物全体に作用する土圧合力の和すなわち全土圧を求める必要がある。この全土圧についてはこの場合つぎの3通りが考えられる。それらは矢板だけの実験(1)から得た土圧合力 P_I 、組杭がある場合の矢板と組杭の土圧合力の総和 P_{II} 、および内部摩擦角から計算した

P_{III} 、である。なお P_{II} の計算において斜杭の土圧は水平成分のみを考えた。全土圧の計算結果は表-3のとおりである。この表より全土圧は考え方の違いによりかなり異なつた値となるが以後の考察では実験値を重視して P_I を全土圧の値として検討することとする。

(3) 組杭間隔と杭1本当りの土圧合力

図-6に組杭間隔と直杭および斜杭1本当りの土圧合力との関係を示した。図-6より前面掘削、背面埋立に

関係なく組杭間隔 λ は杭幅Bの7倍以上となると土圧合力はほぼ一定値となることがわかる。すなわち今回の実験では杭幅の7倍以上

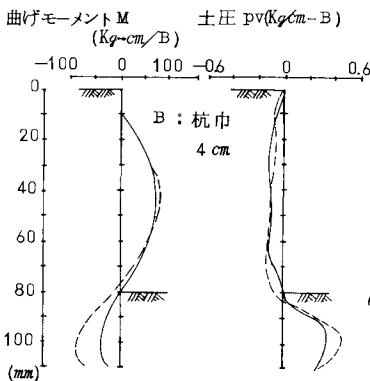


図 - 4 直杭の M と pv

曲げモーメント $M(Kg\cdot cm/B)$ 土圧 $ps(Kg/cm \cdot B)$

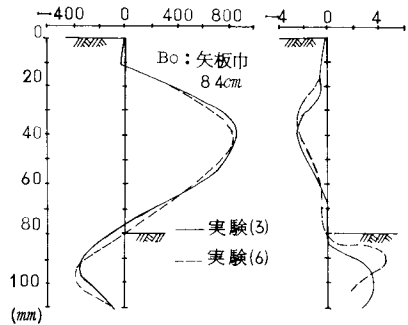


図 - 3 矢板の M と ps

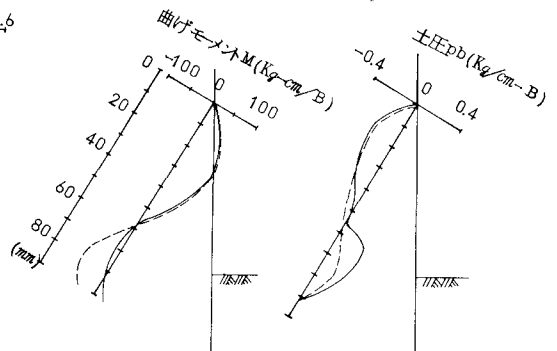


図 - 5 斜杭の M と pb

では互いになりの杭の影響を受けない結果となつた。参考として Streck の実験結果から計算したデータを併記した。

(4) 組杭間隔と土圧分担比

表-3の実験2~7に示す矢板および組杭の土圧合力

についてPIを基準として土圧分担比を計算すると表-4のようになる。この結果組杭間隔によつて矢板の分担比は異なり、矢板にかかる土圧は組杭によつて20~40%減少していることがわかる。

参考のため土圧分担比について斜め控え杭式の設計で用いられている2つの方法(石黒式と大島・杉山式)で計算してみた。その結果も表-4に示した。計算は内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ 、壁面摩擦角 $\delta=15^\circ$ 、主働崩壊角 $\zeta=60^\circ$ という条件で行なつた。これらの理論値と実験結果とを比較すると斜杭の分担比に関して理論値の方が実験結果に比べてかなり大きい結果となつているようである。

(5) 土圧分担比に関する一考察

土圧分担比の計算方法については前述したように今までに石黒式や大島・杉山式などが提案されている。しかしながらこれらの方法はいずれも鋼矢板の背後にある杭が比較的密に配列されている斜め控え杭式を対象としているため、組杭式のように杭間隔を2~4mとするものにもそのまま用いるには問題がある。すなわち組杭式の場合は組杭間隔が広いと背後の土のうち組杭と組杭の中間部のものに対して杭の存在による影響が直接伝達されない点である。このことは模型実験から得られた組杭1本当たりの土圧が杭間隔が広がると一定値に近づくことからも推定できる。

したがつて組杭式の土圧分担比の理論計算法を考えるにあつては背後の土を組杭の附近と組杭から離れた杭中間部とに分けて考える方が合理的であると思われる。そこでここでは組杭の位置を支点とする平面的なアーチングを基本として図-7に示すような直線的な崩壊形状を仮定して土圧分担比を試算してみた。その結果図-7に示す角度 θ を安息角の $\frac{1}{2}$ に相当する 7.5° としたとき土圧分担比が実験値とかなり良く一致した。(図-8)この角度 θ は土の内部摩擦角、壁高、組杭間隔などによつても異なるであろうが現段階では理論的にも実験的にもまだ明らかではない。

5. まとめ

以上において述べたように組杭式鋼矢板工法の設計上の問題

表-3 全土圧計算値

No	組杭間隔	施工法	土圧合力			全土圧 (Kg/cm)
			矢板	直杭	斜杭	
1	—	前面掘削	1.540	—	—	PI=1.340
2	4B	"	0.833	0.440	0.551 (0.304)	PI=(1.577)
3	7B	"	0.937	0.341	0.290 (0.251)	(1.529)
4	10B	"	1.063	0.236	0.235 (0.204)	(1.503)
5	4B	背面埋立	0.786	0.438	0.400 (0.347)	(1.571)
6	7B	"	0.891	0.336	0.309 (0.268)	(1.491)
7	10B	"	0.999	0.242	0.222 (0.194)	(1.435)
8	クローン土圧				0.420 0.300	PI=0.947 1.461

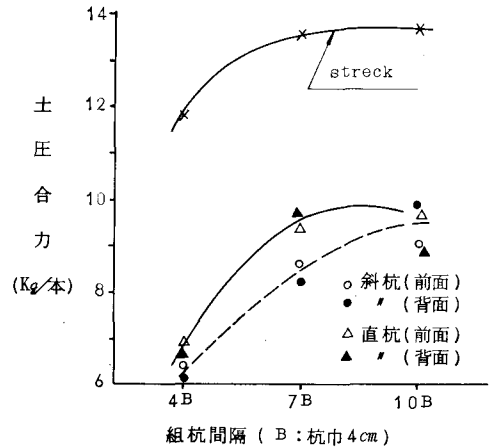


図-6 杭1本当たりの土圧合力

表-4 土圧分担比

	施工法	組杭間隔	土圧分担比		
			矢板	直杭	斜杭
実験値	前面掘削	4B	0.62	0.33	0.26
		7B	0.70	0.25	0.22
		10B	0.79	0.18	0.18
	背面埋立	4B	0.59	0.33	0.30
		7B	0.67	0.25	0.22
		10B	0.75	0.18	0.16
理論値	石黒式	4B	0.11	0.18	1.41
		7B	0.18	0.17	1.30
		10B	0.24	0.16	1.22
	大島式	4B	0.68		0.40
		7B	0.71		0.38
		10B	0.73		0.37

である土圧分担比については今回の模型実験によりかなりの成果が得られた。しかしながらこの結果から直ちに一般的な土圧分担特性を論ずるには地盤条件、杭の断面剛性、斜杭の傾斜角等を変えた諸実験や、理論的な面からの研究などをさらに総合的に検討する必要があると思われる。

ここで本報告の内容について要約するとつぎのようである。

① 模型実験では前面掘削と背面埋立の2つの方式で土圧をかけたがそれらの間に土圧分布の大きな差はない。

② 土圧分担比を矢板だけの場合にかかる土圧を基準としてみると矢板 0.6~0.8、直杭で 0.2~0.3、および斜杭で 0.2~0.3 という結果を得た。すなわち矢板に作用する土圧は組杭によつて 20~40% 低減され、組杭の効果が十分みとめられる。

③ 組杭 1 本当りに作用する土圧は組杭間隔が杭幅の 7 倍を越えると一定値に近ずいた。

④ 土圧分担比について平面的なアーチングを考えそのアーチ形状を護岸法線と直角な線に対して角度 θ をなす直線と仮定して理論的に検討した。その結果 $\theta = 7.5^\circ$ とすると実験値とほぼ一致した。しかしながらこの角度 θ については明確な根拠がないため今後理論的あるいは実験的にさらに研究する必要があると思われる。

おわりに本報告に関して多大なる御協力をしていただいた運輸省港湾技術研究所の前設計基準課長片山猛雄氏、および前土質部基礎工研究室宮本六男技官に深く感謝する次第である。

主な参考文献 Leonards “Foundation Engineering” McGraw Hill 1970
 石黒 健 “鋼矢板工法” 山海堂 1968
 大島実、杉山道彦 “斜め控え杭式鋼矢板壁の設計について” 土と基礎 Vol.13 No.3 1965
 石井靖丸訳 “チェボタリオフの土質工学” 技報堂 1966

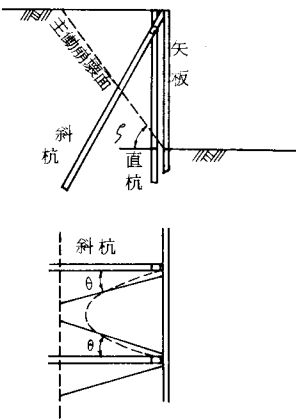


図-7 アーチングの仮定

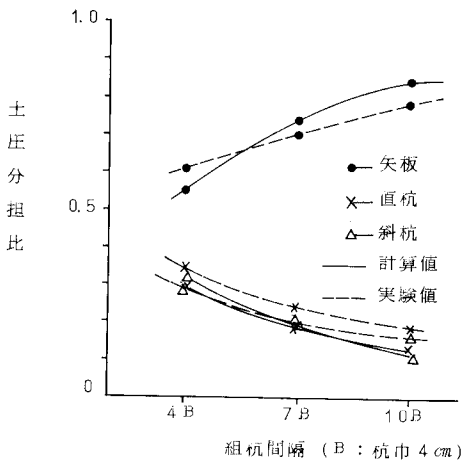


図-8 実験値と計算値の比較