

高剛性二重矢板壁の挙動特性の実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON STATIC BEHAVIOR OF DOUBLE SHEET-PILE WALL STRUCTURES WITH HIGH RIGIDITY PARTITIONS

水谷 太作*, 脇屋 泰士*, 芥川 博昭**, 高橋 邦夫***, 菊池 喜昭****

Taisaku MIZUTANI, Yasushi WAKIYA, Hiroaki AKUTAGAWA, Kunio TAKAHASHI and Yoshiaki KIKUCHI

*工修 川崎製鉄(株) 鋼構造研究所 (〒263 千葉市稲毛区長沼町 351)

** 川崎製鉄(株) 建材技術部 (〒100 東京都千代田区内幸町 2-2-3)

***工博 運輸省港湾技術研究所 土質部基礎工研究室長 (〒239 横須賀市長瀬 3-1-1)

****工修 運輸省港湾技術研究所 土質部主任研究官 (〒239 横須賀市長瀬 3-1-1)

New type double sheet-pile wall structures, which have steel structural partitions in their sand-fill part, are herein proposed.

Their static behavior and validity of reinforcement using partitions were examined through model tests. The results of this study are as follows:

- (1) Using partitions gives high loading capacity and diminished deformation to double sheet-pile wall structures.
- (2) The loading conditions affect the deformation of a double wall, and partitions are more effective when the main load acts on its front wall.
- (3) Rigidity and depth of partitions play a leading part in the behavior of these reinforced double wall structures.

Key Words: double sheet-pile wall, partition, cofferdam, quaywall, excavation, model test

1 緒言

二重矢板壁は、二列に打設した鋼矢板あるいは鋼管矢板の間に土砂を中詰して構成される構造物である。優れた施工性、耐荷力、止水性などの特徴から、港湾や河川でのドライワークのための仮締切堤や、護岸、係船岸、防波堤などの永久構造物に利用されている。

二重矢板壁の挙動特性および設計法については、中詰を有する構造物という類似性から、セル構造物の研究との関係が深い。古くは Terzaghi¹⁾や Cummings²⁾あるいは北島³⁾などの多くの研究者が、円筒形などの閉鎖断面から成るセル構造物を二重壁モデルに簡略化して、模型実験や理論的考察を行い、中詰砂のせん断耐力(せん断抵抗モーメント)の評価を行ってきた。

これらの成果は、セル構造物が外力に対して形状を保持できることを照査するために用いられるとともに、二重矢板壁の設計にも利用されてきた。中詰のせん断抵抗に加えて、滑動、転倒などの重力式壁体としての極限の安定性を検討することで、これらの構造物は設計されてきた。⁴⁾

しかし、円筒断面に中詰されたセル構造物が、セル殻のフープテンションによってセル殻と中詰砂が一体となって剛体的な挙動を示すのに対して、二重矢板壁の場合は曲げ変形、せん断変形が大きくなる特徴を持ってい

る。また、情報化施工の発達や設計の高度化にともなうて、極限の安定性のみならず、実際の変形を定量的に把握する手法が望まれるようになった。

こうした観点から、二重矢板壁を矢板と中詰砂と地盤との複合構造物として、サンドイッチ梁と同様な変形解析を行う「沢口の方法」⁵⁾や「大堀らの方法」⁶⁾が提案され、設計や解析に利用されるようになってきている。

このように、たわみ性に富む二重矢板壁の挙動を実態に近い形で評価できるようになった。しかしながら、一方では、近年のウォーターフロント開発などで軟弱地盤、大水深での工事が増加し、より高い耐荷力と変形量の抑制が二重矢板壁にも要求されるようになってきている。

これに応えるものとして、二重矢板壁の一体性を高め、曲げ変形を抑制するとともに、耐荷力の向上を図る「高剛性二重矢板壁」の研究を行っている。

本論文では、2章でその構造コンセプトを紹介するとともに、3章以降に模型実験でこれまでに確認された静的挙動特性について報告する。

2 高剛性二重矢板壁の構造

2.1 従来の高剛性化の方策

二重矢板式構造物の耐荷力を高め、変形量を低減するためには、次のような方法が一般に採られてきた。

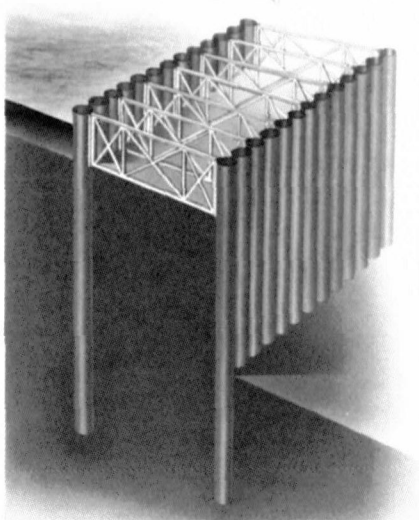


Fig.1(a) 高剛性二重矢板壁（トラス隔壁タイプ）

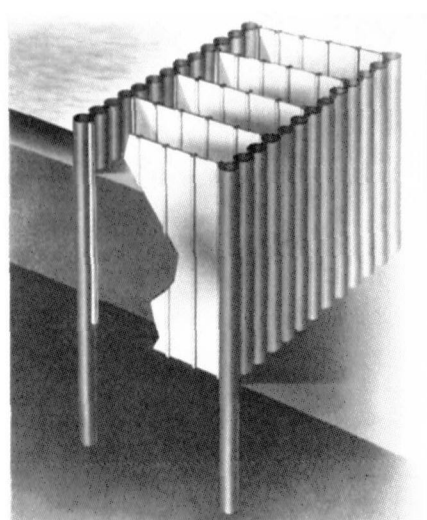


Fig.1(b) 高剛性二重矢板壁（パネル隔壁タイプ）

- ①二重矢板壁の壁体幅の増大
- ②矢板の曲げ剛性の増大
- ③地盤改良
- ④中詰材の強度向上（締め固めや礫材の利用など）

①～④の方法の効果についてはこれまでの研究でかなり明確になっているが、材料や施工の制約によって耐荷力の向上に限界があったり、不経済となることもある。一方、他工法との組み合わせなどの補強的な対処法としては次のようなものがある。

- ⑤二重矢板壁頭部のRC頂版固定⁷⁾
- ⑥鋼管矢板井筒型(中央防波堤外側処分場護岸のキングポスト)
- ⑦切梁の併用⁸⁾、アースアンカーの併用⁹⁾
- ⑧多段タイロッドの利用^{10),11)}
- ⑨中詰に繊維補強などの補強土工法を利用¹²⁾

上記⑥は二重矢板壁護岸の法線上の一部に高耐荷力の矩形の鋼管矢板井筒構造を配置して、平面的に変位を低減させるものである。

これら⑤～⑨の組み合わせ補強的な対処法についても、施工性や経済性ととともに、二重矢板式構造物としての挙動特性が必ずしも明確になっていないものもある。

2.2 新しい高剛性二重矢板壁の提案

上述の従来の知見を勘案すると、地盤の強度を高め、矢板自体の曲げ剛性を高めることを除くと、いかにして中詰部の強度を増加させるか、前後の矢板を連成させるかということであり、二列の矢板と中詰の複合構造である二重矢板壁の一体性を高め、全体剛性を向上させることに帰着する。

そこで、施工性、経済性などを考慮して、Fig.1(a),(b)に示すように中詰部に鋼製部材を配した「高剛性二重矢板壁」を考案した。

(a)は中詰部の天端からある程度の深さまでを鋼製トラスで連結するもの（トラス隔壁タイプ）で、頭部剛結効果と中詰部補強効果を併せ持ったものである。

また、(b)は中詰の深部にまでパネル状の壁体を隔壁として配置するもの（パネル隔壁タイプ）で、(a)に比べて二重矢板壁全体の一体性が高くなり、変形の低減が期待できる。

3 模型実験の概要

3.1 模型実験の目的

新しいタイプの高剛性二重矢板壁の挙動特性を把握するために、模型を用いた静的実験を実施した。

中詰部に隔壁を配置するという意味では、通常二重矢板壁においても、2列の矢板を打設後、なるべく早く中詰して壁体として安定させたいという理由から、鋼矢板による仕切り壁を用いて法線方向に小分割して施工を進めていくことが多い。しかし、この仕切り壁が二重矢板壁の変形挙動にどのような影響を与えているかは明確にはなっていない。

そこで、トラス隔壁、パネル隔壁に加えて、鋼矢板のように継手部がせん断ずれを起こすものを隔壁材とした場合についても検討するものとした。さらに、無隔壁の従来型模型、隔壁が非常に固い場合に相当すると思われる剛性の高い箱型のケーソンに近い模型などについても調査した。

これらの実験によって、隔壁の無い場合から剛体に至るまで、隔壁の剛性あるいは二列の本体矢板の連結の度合いによって、二重矢板壁の耐荷力、変形がどのように異なるかを把握し、統一的な設計手法の可能性を検討しようとするものである。

Table 1(a) 実験ケース(a) (仮締切堤タイプ；前面掘削実験)

	実験 ケース ^{a)}	模型タイプ	初期形状		掘削(cm)	壁体幅(cm)
			壁高(cm)	根入れ長(cm)		
高剛性二重壁	X-1, X-2	パネル隔壁	24	127	47	50
	Z-1, Z-2	トラス隔壁				
	J-1, J-2	継手ずれパネル隔壁				
従来型二重壁	K-1	隔壁なし	24	127	47	25
	Y-1, Y-2					50
	L-1					100
剛体模型	F-1	剛体+脚壁	24	127 (脚壁長80cm)	47	50
	G-1	剛体 (根入れ大)		127		
	H-1	剛体 (根入れ小)		47		

^{a)} 実験ケース：1は水圧荷重を前壁に，2は後壁に載荷する実験を示している。

Table 1(b) 実験ケース(b) (護岸タイプ：背面からのジャッキ載荷実験)

	実験ケース ^{b)}	模型タイプ	壁高(cm)	根入れ長(cm)	壁体幅(cm)
高剛性二重壁	JA1, JA2	トラス隔壁	71	80	50
	JB1, JB2	パネル隔壁			
	JC1, JC2	継手ずれパネル隔壁			
従来型二重壁	JD1, JD2	隔壁なし	71	80	50

^{b)} 実験ケース：1は3段ジャッキによる載荷，2は頭部集中載荷の実験を示している。

3.2 模型実験の概要

3.2.1 模型実験ケース

実験では，二重矢板壁の利用形態を考慮して，仮締切堤型と（埋立）護岸型の2つの実験方法を採用した。

仮締切堤型とは二重矢板壁を構築後，前面の排水と掘削を行うものである。また，護岸型は二重矢板壁を構築後，背面に土砂を埋め立てる形態のものである。

これまでの研究の多くは，背面からの土圧荷重が支配的な護岸型の二重矢板壁を対象としたものであったが，仮締切堤型の場合に前壁を止水壁と想定して水圧荷重を負荷した実験では，背面載荷の場合とは変形挙動にかなりの相違が見られた¹³⁾。

二重矢板仮締切堤では土圧に比べて水圧荷重が支配的であるが，前後両壁の水圧の分担は，現場の土質条件や止水壁の考え方などで異なってくる。今回は，前壁あるいは後壁の一方のみに水圧が全て負荷される理想的な2つの場合を比較する形で，二重矢板壁の隔壁の効果を検討した。

構造模型としては，上述のようにパネル隔壁，トラス隔壁，継手ずれ隔壁の3つの隔壁タイプの模型と，隔壁なし模型，剛体模型，剛体模型の下部に矢板壁の脚を剛結した模型の6種類を採り上げた。実験ケースをTable 1に示す。隔壁なしの従来型二重矢板壁は頭部をタイロッド連結したモデルであり，これ以外の模型ではタイロッドは用いていない。

3.2.2 模型実験方法

模型実験は，実物を参考にして約1/25の寸法縮尺で実施した。仮締切堤型の実験例をFig.2(a)に，護岸型の例をFig.2(b)に示す。

実験の簡便性，再現性を考慮して，水は用いずに乾燥砂での実験とした。そこで，締切堤タイプの実験では，水圧荷重は水位差による静水圧が矢板下端で0となる水圧分布を仮定し，これを深さ方向に多段に設置したワイヤーに分配して負荷した。

掘削施工は10cmピッチで実施し，前面水位低下量に相当する水圧荷重を負荷した後，前面地盤を掘削する。これを逐次繰り返す方法で実験を行っている。

一方，護岸タイプの実験では，背面から油圧ジャッキで逐次載荷した。この際，係船力や波力などをイメージした頭部集中載荷のケースと，背面の埋立地盤の主働土圧をイメージして深さ方向に3段のジャッキで分布荷重を模して載荷するケースを実施した。3段の荷重は，地盤面から上部の土圧を対象として，水平力と地盤面まわりの転倒モーメントを勘案して各ジャッキの載荷点と荷重比を設定し，荷重比を保ちながら漸増載荷する方式である。

実験には，鹿島産の6号珪砂を用いた。基本物性はTable 2に示すとうりである。

Table 2 鹿島6号珪砂の物理的性質

均等係数 U_c	2.1
最大乾燥密度 ρ_{dmax}	1.704 g/cm ³
最少乾燥密度 ρ_{dmin}	1.394 g/cm ³
土粒子比重 G_s	2.729 g/cm ³

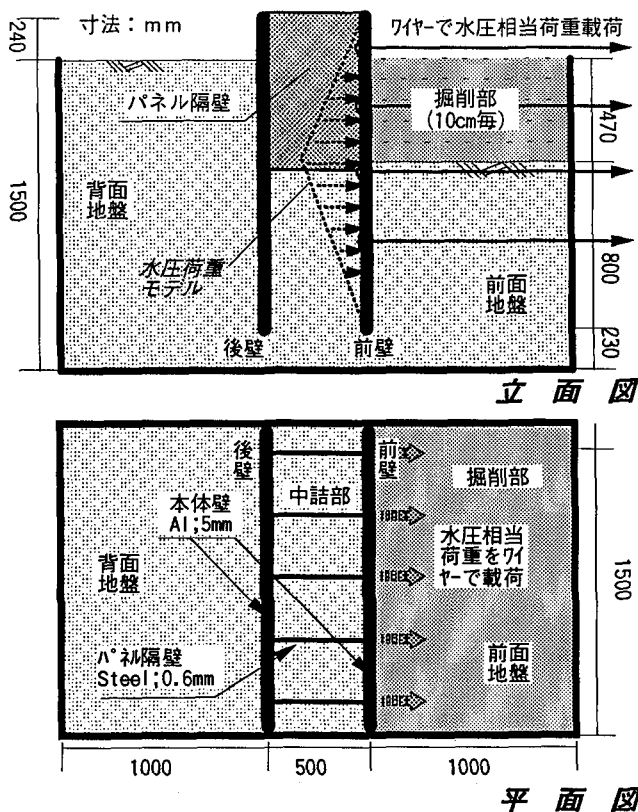


Fig.2(a) 仮締切堤型（前面掘削）の実験
（ケース X-1 〔ハネ隔壁タイプ〕）の例

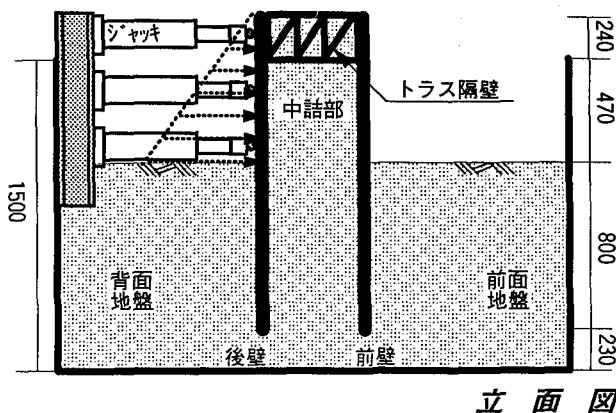


Fig.2(b) 護岸型（背面分布載荷）の実験
（ケース JA1 〔トラス隔壁タイプ〕）の例

模型壁体の構築は、所定の位置に壁模型を予め仮固定しておき、層厚を 10cm づつ管理しながら砂を巻き出す方法をとった。地盤作成完了後、模型壁の仮固定を解除し、矢板天端まで中詰砂の投入を行った。

模型地盤は、実験ケースや前面、背面、中詰部あるいは深さ方向などの部位によって多少のばらつきは見られるものの、投入砂量からの算定および地盤内に埋め込んだ計量升による測定からは、およそ 40～50% の相対密度を有する比較的緩い地盤となっており、参考とした実物の地盤を表現しうるものであった。

本体矢板の模型およびトラス模型には板厚 5mm のアルミ板を、パネル隔壁、継手ずれ隔壁には 0.6mm 厚の

亜鉛鉄板を用いた。また、剛体模型は 3.2mm 厚の鋼板を溶接で組立てた底のない補剛された箱状模型である。

トラス隔壁は、矢板頭部から海底面までに当たる 24cm の深さのもので、パネル隔壁、継手ずれ隔壁は矢板頭部から最終掘削後の地盤面までに当たる 71cm の深さのものである。

継手ずれ隔壁はパネル隔壁を 4 分割し、深さ方向の長孔にピンを差し込む形の継手部で連結したもので、引張圧縮力は伝達するが、せん断方向には容易にずれる構造である。

また、法線方向単位長さ当たりの隔壁剛性などを考慮して、各隔壁とも奥行き方向 30cm 間隔で配置している。

4 模型実験結果と考察

4.1 変位挙動

4.1.1 仮締切堤型（前面掘削型）実験の結果

Fig.3(a),(b)に前面掘削深さと前壁頭部水平変位（中詰完了時を 0 とした値）の関係を示す。また、参考のために曲げモーメントを積分して求めた変位分布を Fig.4 に例示する。この際、根入れ下端が後壁側へ変位しているが、側面ガラス部を通した観察とは一致せず、頭部変位を境界条件として数値積分した誤差の累積によるものと考えられる。

(1) 水圧荷重を負荷する矢板（前壁か後壁か）の違いによる変位挙動差

Fig.3(a)に示すように、いずれの構造形式も頭部水平変位は前壁に水圧荷重を負荷した場合の方が大きい。とくに、無隔壁のケース Y1, Y2 において、この差が顕著である。

この要因として、Fig.5 に示すように、前壁へ水圧荷重を載荷する場合、根入れ部も含めた中詰砂が引張状態となって剛性が低下し、後壁からの力を前壁深部へ伝達させる効果が小さくなり、後壁の反力も低下する現象が推定される。

隔壁がない場合は、前壁から後壁への荷重（引張力）の伝達は頭部のタイロッドのみを介して行われる。中詰部の軟化によって後壁は突出杭と同様に大きな変位を示し、小さな荷重分担しかできない。

逆に、水圧荷重が後壁に作用する場合には、中詰部が圧縮状態となり、中詰砂を介して比較的良好に前壁への荷重伝達が行われる。

隔壁を有する場合は、隔壁が引張力、圧縮力ともに伝達し、根入れ部における荷重分担が良好に行われる。このことから、水圧を作用させる矢板の違いによる挙動差が小さくなるものと考えられる。

(2) 構造形式の違いによる変位挙動差

1) 隔壁剛性の影響

Fig.3(a)および(b)に示したように、隔壁の剛性に応じて頭部変位量が変化する結果となっている。すなわち、無隔壁(Y), 継手ずれ隔壁(J), パネル隔壁(X), 剛体(H)の順で隔壁剛性が大きくなっており、これに応じて頭部水平変位が小さくなっている。

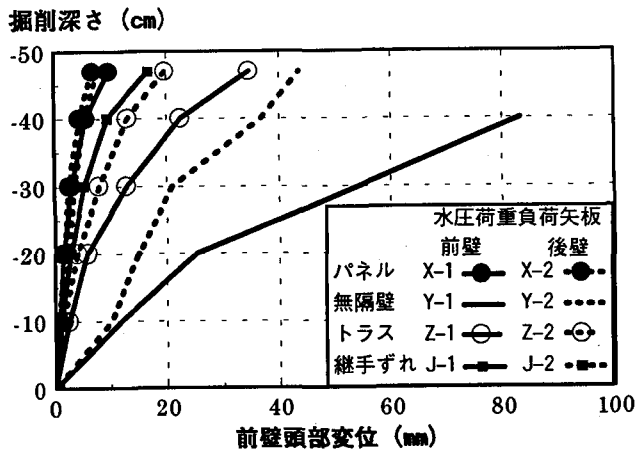


Fig. 3(a) 掘削深さと頭部水平変位の関係(a)
(隔壁タイプ、水圧荷重負荷矢板の比較)

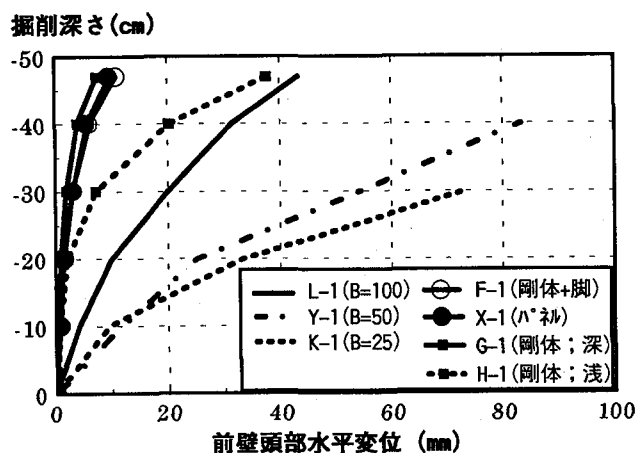


Fig. 3(b) 掘削深さと頭部水平変位の関係(b)
(壁体幅の比較、剛体モデルの結果)

また、頭部にトラス隔壁を用いたケース(Z)は、継手ずれ隔壁型(J)よりも変位量が大きくなっている。

2) 隔壁深さの影響 頭部にトラス隔壁を用いたケース(Z)は、継手ずれ隔壁型(J)よりも変位量が多い。これは、仮締切堤型の実験では水圧相当荷重を根入れ部にまで負荷しており、深いところでも変形しようとするために、隔壁の深さの影響が大きくなったものと考えられる。一方、後述する護岸型の実験で背面から頭部集中載荷をした場合(Fig.6)には、変位量の関係が逆転している。

3) 隔壁のずれ変形の影響 水圧を後壁に負荷した実験では、パネル隔壁(X2)と継手ずれ隔壁(J2)の変位量の差は小さい。この場合、圧縮された中詰砂がせん断力伝達を分担した結果、せん断変形があまり大きくなりず、継手ずれの影響が顕在化しなかったものと思われる。

4) 中詰部の剛性の影響 Fig.3(b)の剛体下部に壁杭を併設したケース(F1)とパネル隔壁(X1)を比較して、変位量にほとんど差がない。

このことから、力の伝達に必要な剛性の隔壁が設置された部分は、ほぼ剛体に近い挙動特性を示しているものと考えられる。

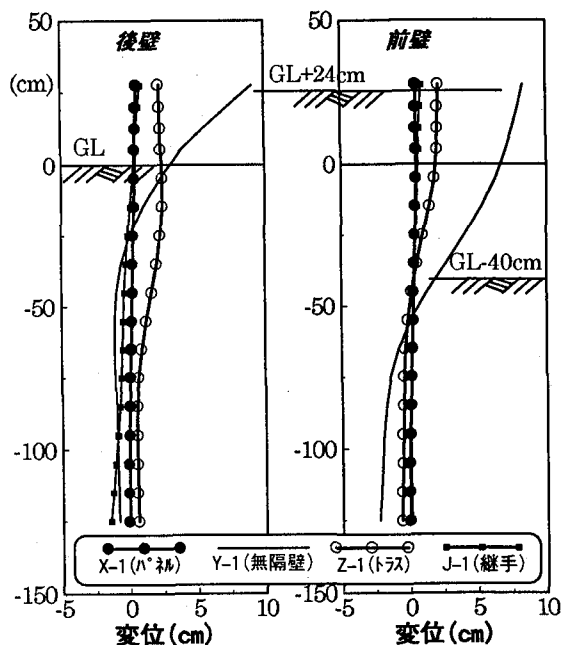


Fig. 4 変位分布の例 <ケース X-1, Y-1, Z-1, J-1>
(締切堤型実験; 前面掘削 40cm 時)

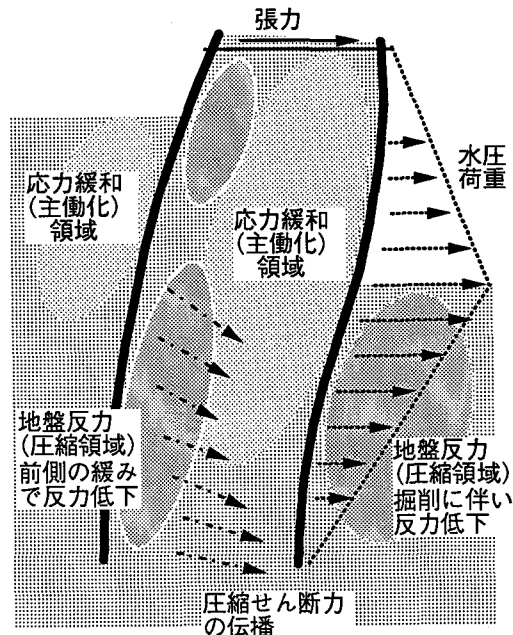


Fig. 5 無隔壁の場合の応力模式図

また、無隔壁で壁幅を変えたケース(K1,Y1,L1)の比較からは、壁幅が広くなれば変位が小さくなる結果が明確に得られている。

隔壁を設けることと壁幅を広げることが変位挙動に同じような効果を与えていることは興味深い。従来の設計では中詰部のせん断抵抗モーメントが壁幅Bの関数で示され、また、「大堀らの方法」でも中詰せん断力は $\tau = B G \theta$ (G; せん断弾性係数, θ ; せん断変形角) のように壁幅Bとの関係で整理されている。隔壁の評価の1つの方法を示唆するものと考えられる。

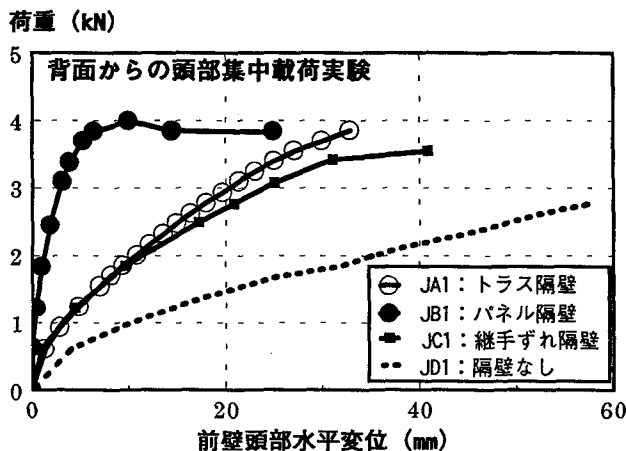


Fig. 6 荷重と前壁頭部水平変位の関係
(護岸型頭部集中載荷実験)

4.1.2 護岸型（背面載荷）実験の結果

背面からのジャッキ載荷実験について、Fig. 6（頭部集中荷重）および Fig. 7（分布荷重）に各ケースの荷重（合荷重）と頭部水平変位の関係を示す。

(1) 頭部集中載荷の場合（Fig. 6）

頭部集中荷重による場合は、隔壁の剛性増加にともなって頭部変位量が低下している。

無隔壁型(JD2)以外の実験ケースでは最大荷重にはあまり差がないが、変位量が明確に異なり、初期剛性も大きく異なっている。

パネル隔壁型(JB2)では、変位 10mm 程度で最大荷重に達してから後の挙動に異なる傾向が現れている。パネル隔壁として薄い板を用いたため、面外曲げ剛性がかなり小さな模型となっており、圧縮による隔壁の座屈が生じているものと考えられる。中詰砂が緩く、隔壁の面外変形に対する拘束が小さいことも影響していると思われる。

(2) 分布載荷の場合（Fig. 7）

パネル隔壁型(JB1)は初期剛性が非常に大きい。しかし、最大荷重は各ケースともあまり差がなく、隔壁の剛性を高めた効果が反映されない結果となっている。頭部集中載荷の場合に比べると、無隔壁型(JD1)の荷重が大きいことが特徴的である。

頭部集中載荷は水平力よりも転倒モーメントが卓越した外力系であるのに対して、分布荷重では滑動が卓越するモードになりやすいことが一因と考えられる。滑動モードで変形する場合は、中詰部が圧縮力を伝達すれば前壁、中詰部、後壁が並進的な水平移動をするため、中詰部の弾性変形以外には大きな相違がなくなってくる。

逆に、剛な隔壁では圧縮力が直接的に前壁に伝達されるが、中詰が砂のみの場合（無隔壁）には、中詰部が若干変形することによって前壁のより深いところへ力を分散させる効果が発揮されやすいことも考えられる。

壁幅、壁高、荷重系、抵抗力分布の4者のバランスで

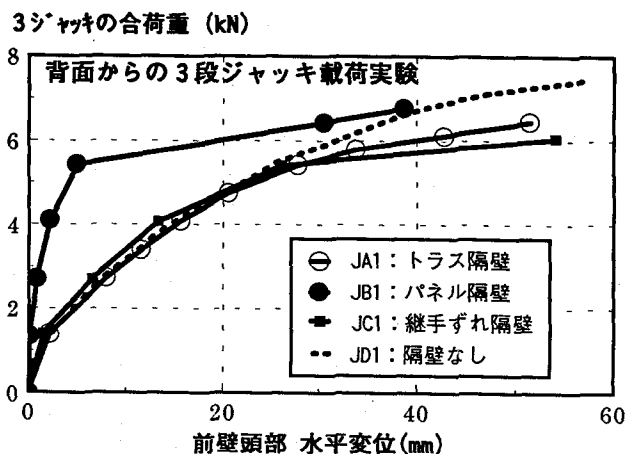


Fig. 7 荷重と前壁頭部水平変位の関係
(護岸型3段分布載荷実験)

変形モードが変化するものと考えられるが、これらによって隔壁の効果に相違が現れており、最適な構造を考えるうえでのポイントと言える。

4.2 曲げモーメント

変位量とともに矢板壁の曲げ応力は設計上の大きな評価項目である。ここでは、前壁および後壁に発生する最大曲げモーメントの状況を示す。

曲げモーメントは中詰完了時を0として掘削施工にともなう増減分で表示している。また、モーメント分布のグラフからも判るように深さ方向2箇所で正負の異なるモーメント値のピークが現れるが、絶対値で最大モーメントを評価した。

4.2.1 仮締切堤型（前面掘削型）実験の結果

前面の掘削深さと最大曲げモーメントの関係を Fig. 8, Fig. 9 に示す。また、参考までに水圧荷重前壁負荷実験の代表ケースの曲げモーメント分布を Fig. 10 に示す。

前壁に水圧荷重を負荷したケース群（Fig. 8, X1, Y1, Z1, J1）に関しては、頭部変位挙動と同様に前背面の矢板とも、パネル隔壁(X1)、継手ずれ隔壁(J1)で最大モーメントが小さく、トラス隔壁(Z1)、無隔壁(Y1)で大きな値となっている。

また、パネル隔壁、継手ずれ隔壁において、後壁のモーメントが非常に小さいことが特徴的である。板状の隔壁が入ることによって、中詰部が隔壁下端に深も含めて剛体的な挙動となり、後壁に曲げが発生しにくくなっているものと推定される。

一方、後壁に水圧荷重を負荷した場合（Fig. 9）は、構造形式による発生モーメントの大小関係は前面負荷の場合とほぼ同じであるが、全体的に発生モーメントが小さくなっている。

このことから、主要な荷重が後壁に負荷される状態の方が、構造系全体の荷重伝達や抵抗分担のバランスが

良く、局所的な変形の発生が低下することがわかる。

4.2.2 護岸型（背面載荷）実験の結果

背面からの載荷重と最大曲げモーメントの関係を Fig.11, Fig.12 に示す。

掘削型実験と同様に、パネル隔壁(JB), 継手ずれ隔壁(JC)で最大モーメントが小さく、トラス隔壁(JA), 無隔壁(JD)で大きな値となっている。

また、継手ずれ隔壁では前壁に比べて後壁のモーメントが小さいことが特徴といえる。

5 数値解析例

模型実験の結果を総括すれば、中詰部を介した前後壁間および地盤への荷重伝達の状況が耐荷力や変形を決定付ける大きな要因といえる。このことは、二重矢板壁の変形は、中詰部の応力～ひずみ特性を考慮して、前壁、後壁、中詰部、地盤の連成系で考えることの重要性を示唆するものである。

隔壁を用いてたわみ性を低減し、剛体に近づけていった場合の鉛直力による抵抗の吟味はこれからの課題であるが、ここでは水平力に着目して上述の連成系をモデル化した「大堀らの方法」を用いた解析例を紹介する。

解析は、軟弱な地盤と良好な地盤を対象に、前掲 Fig.1 に示した構造での仮締切堤の試設計検討を行ったものである。

構造モデルは模型実験とほぼ同じであるが、原海底面から突き出た部分には中詰を施さず、逆に排水して中詰部の水位が海底面となるように管理することを想定している。これは、隔壁のある部分は中詰が無くても十分な荷重伝達力が得られること、前壁よりも後壁に荷重を負荷させた方が変形挙動として有利であることなどの実験結果に通ずるものである。さらに、仮締切として中詰部の空間を貯水バッファーとして水位管理や漏水対策に有効活用できるとも考えている。

また、軟弱地盤の場合には、前面に $c = 20\text{tf}/\text{m}^2$ 程度の固化系の改良を想定している。

ここでのトラス隔壁やパネル隔壁の評価方法は、想定した隔壁部材構造モデルのみを取り出して、単位荷重を与えた変形解析を事前に実施し、荷重変形特性から、隔壁部の平均的な圧縮・引張剛性およびせん断剛性を算出した。この値を「大堀らの方法」の中詰部圧縮剛性 E_f 、せん断剛性 G として用いることで、隔壁の効果をとり入れた。

解析結果を Fig.13, Fig.14 に示す。なお、具体的な土質条件などは省略させていただいた。

模型実験結果 (Fig.4, Fig.10) と比較して、変位、曲げモーメントともに、定性的な特徴はほぼ表現できている。

定量的な評価は、鉛直力による抵抗の問題なども含めて今後詳細に検討してゆく必要があるが、高剛性二重矢板壁の解析手法としての可能性を示唆する結果であるといえる。

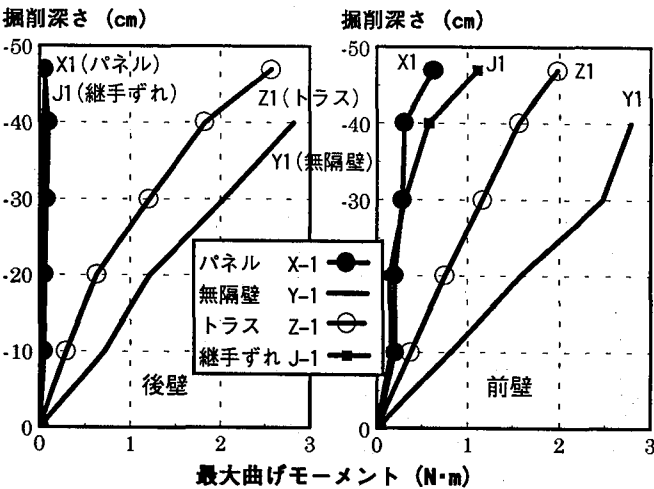


Fig.8 掘削深さと最大曲げモーメントの関係 (仮締切堤型実験：前壁に水圧)

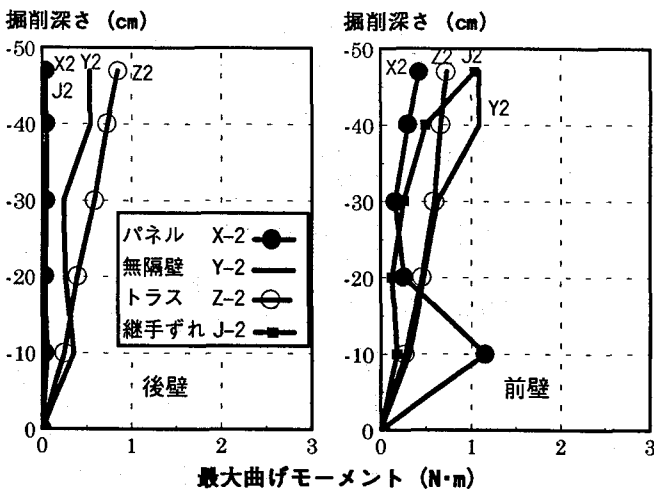


Fig.9 掘削深さと最大曲げモーメントの関係 (仮締切堤型実験：後壁に水圧)

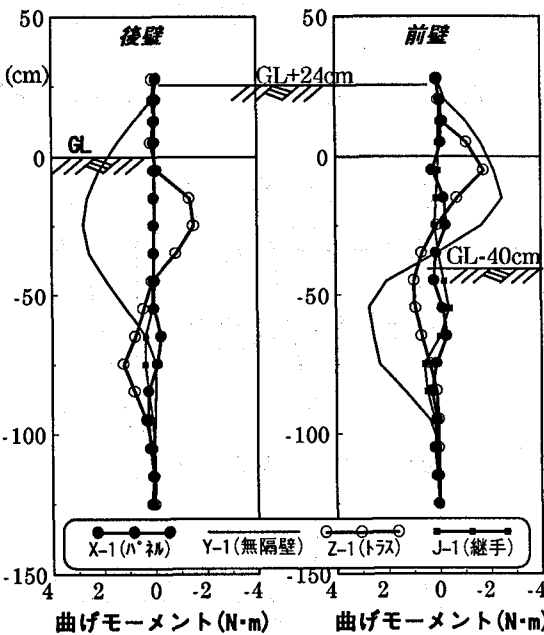


Fig.10 曲げモーメント分布の例 (前壁に水圧荷重負荷)

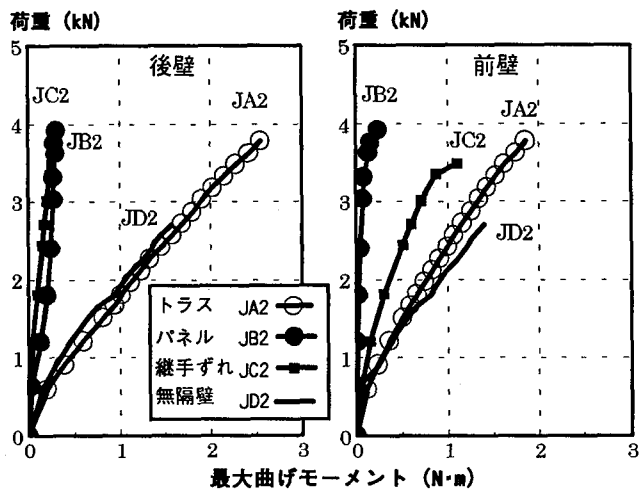


Fig. 11 荷重と最大曲げモーメントの関係
(護岸型頭部集中載荷実験)

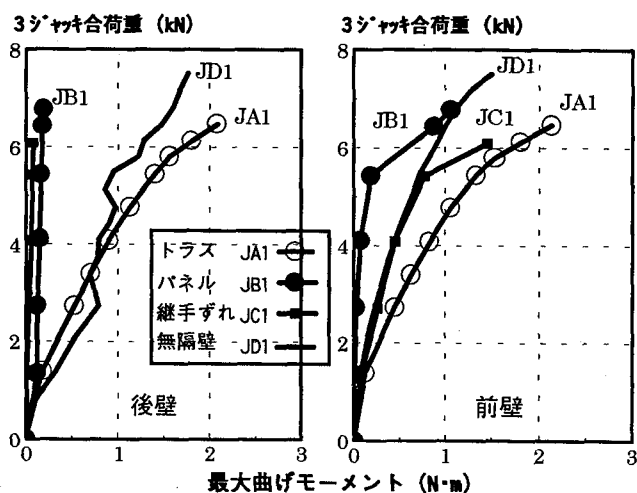


Fig. 12 荷重と最大曲げモーメントの関係
(護岸型3段分布載荷実験)

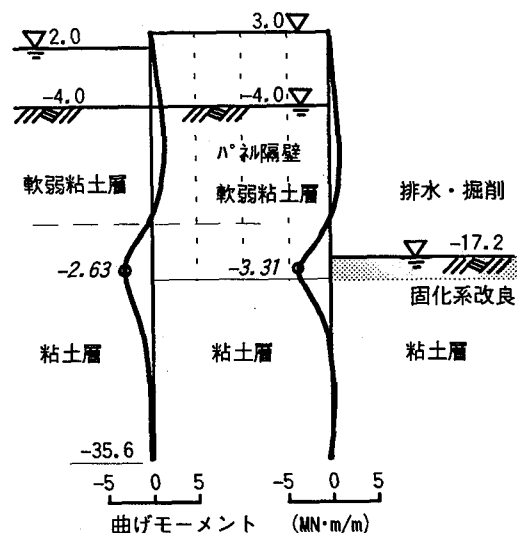
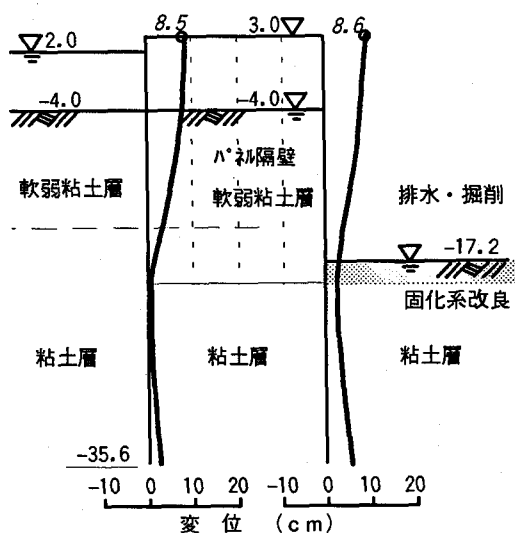


Fig. 13 「大堀らの方法」による設計計算結果 (軟弱地盤上のパネル隔壁型二重矢板仮締切堤)

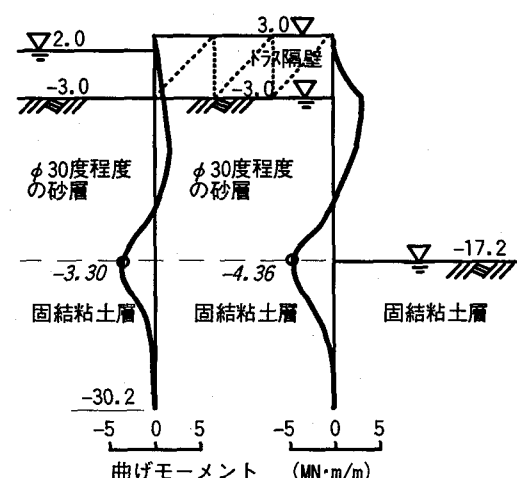
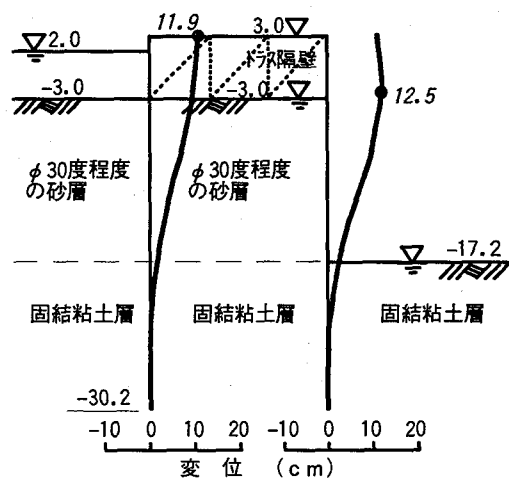


Fig. 14 「大堀らの方法」による設計計算結果 (良好な地盤上のトラス隔壁型二重矢板仮締切堤)

6 結言

大水深化、軟弱地盤への対応は、港湾分野での大きなニーズとなっている。これに応えるものの1つとして、二重矢板壁という在来工法の特徴を活かしながら、隔壁という形で工夫を加えた高剛性二重矢板壁という新しい構造物を提案した。

本論文では、その研究の中から、模型実験で得られた高剛性二重矢板壁の静的挙動特性を紹介した。

模型実験での主要な知見は、次のとおりである。

- ① 二重矢板壁の挙動は外力の作用の仕方などによって、抵抗機構が異なり、耐荷力、変形量に大きな差が生じる。とくに、従来の隔壁がない二重矢板壁では、前壁に支配的な荷重を受けた場合に小さな抵抗しか発揮できない。
- ② 二重矢板壁では、中詰部が圧縮、引張、およびせん断に対して十分な耐力を有していることが重要であり、中詰部に隔壁を配置する（高剛性二重矢板壁）ことで、耐荷力および剛性が向上する。
- ③ 隔壁をより深くまで設置するほど、全体剛性は高くなり、二重矢板壁の変形を低減させる効果が大きい。
- ④ 転倒モーメントが卓越する荷重系の場合は、中詰部のせん断力も大きくなり、隔壁のせん断剛性が重要であるが、滑動モードが卓越する場合には、引張・圧縮力の伝達が要点となり、せん断ずれを生じる矢板のような隔壁でも有効となる。
- ⑤ 隔壁を配置することで、変位の低減のみならず、矢板の曲げ応力を低減する効果も期待できる。
- ⑥ 隔壁部材の圧縮・引張剛性とせん断剛性を用いた「大堀らの方法」による計算は、模型実験での変形挙動特性を定性的に表現しており、本構造物の設計手法としての可能性を示唆するものであった。

今回の模型実験では簡便さから乾燥砂を用いた実験としたが、仮締切堤構造の場合にはドライアップにともなって過剰間隙水圧の上昇と有効応力の低下が生じ、状況によっては地盤や中詰土が軟化することも考えられる。また、掘削山留めを兼ねる場合には護岸とは異なっており、粘性土地盤での長期の締切工事ではクリープ変形なども考慮する必要があるかもしれない。

こうした点に関してはこれまでもあまり検討されていないが、本論文で採り上げた高剛性二重矢板壁では隔壁を用いることによって、かなり信頼性が高くなるものと考えられる。

今後、実験結果のより詳細な分析を行うとともに、有効応力解析などによって上記のような問題についても検討してゆきたいと考えている。

本論文では記述しきれなかったが、実験では矢板壁への作用土圧や中詰部のせん断ひずみの計測なども行っている。また、隔壁の構造や矢板壁への接合方法に関しても構造実験などを実施しており、別な機会に報告できればと考えている。

最後に、研究を進めるに際して有意義なご助言をいただいた運輸省第二港湾建設局他の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) K. Terzaghi : Stability and Stiffness of Cellular Cofferdams, Trans. ASCE, Vol.110, No.2253, pp.1083-1114, 1945.
- 2) E. M. Cummings : Cellular Cofferdams and Docks, ASCE Proc., WW-3, 1957.
- 3) 北島昭一：セル岸壁の安定性に関する研究，運輸技研報告，第12巻，第3号，1962.
- 4) たとえば，日本港湾協会，「港湾の施設の技術上の基準・同解説，改訂版（下巻）」，1989.
- 5) M. Sawaguchi : Lateral Behavior of a Double Sheet Pile Wall Structure, Journal of the Japanese Society of Soil Mech. and Foundation Eng., Vol.14, No.1, pp.45-59, 1974.
- 6) 大堀晃一，莊司喜博，高橋邦夫，上田寛，原道彦，川井豊，塩田啓介：二重矢板式構造物の力学特性に関する研究，港湾技術研究所報告，第23巻，第1号，pp.103-151, 1984.
- 7) 柳生忠彦，藤原辰彦：頭部剛結二重矢板式締切堤の水平載荷試験及び解析について，埋立と浚渫，No.145, pp.38-55, 1989.
- 8) たとえば，松岡國太郎編「仮締切り工の設計・施工ノウハウ」，1994，[近代図書]．
- 9) 小林道彦，鈴木義久，佐藤輝男：大規模二重矢板式山留め工による海底トンネルの施工，基礎工，Vol.20, No.8, pp.108-115, 1992.
- 10) 原道彦，石田昌弘，中尾巖：多段タイロッド式二重矢板壁の力学特性，第15回土質工学研究発表会講演集，pp.1529-1532, 1980.
- 11) 藤井喬，西平福宏：武豊火力発電所取水口二重締切りの例，土木施工，Vol.15, No.14, pp.143-149, 1974.
- 12) 久野悟郎，岩淵常太郎，長谷川徹，池畑伸一：矢板締切の補強に関する基礎的研究（その2），土木学会第48回年次学術講演会，pp.1152-1153, 1993.
- 13) 塩見雅樹，佐々木義昭，押田和雄，水谷太作，脇屋泰士：二重矢板壁を用いた掘削山留め兼用締切工に関する模型実験，土木学会第49回年次学術講演会，pp.1066-1067, 1994.

（1995年9月18日受付）