

新しい鋼製プレハブ護岸工法の開発と実施例

Development and Execution of New Prefabricated Steel Bulk-head Construction Method

肱 黒 和 彦*

Kazuhiko Hijikuro

神 原 幸 治**

Koji Kanbara

富 永 真 生***

Masanari Tominaga

長 野 昌 雄****

Masao Nagano

新 村 和 規*****

Kazunori Niimura

Synopsis:

In reclaiming coastal industrial lands at Mizushima Works, it has been aimed at to develop a new construction method with the full utilization of steel products in addition to the efforts for making the best selection of a design and execution method of bulk-head structure. And some new techniques were successfully developed such as "Corrugated Pipe Cellular Cofferdam" and "Interlocked Steel Pipe Piling" methods.

Another addition is the new one as described in the heading, which is characterized by simple structural design, easy fabrication and quick execution. This method can be applied at a low cost not only to bulk-head but to several structures such as breakwaters, spurdikes and general retaining walls.

This paper introduces the design and execution of three types of prefabricated steel bulk-head at Mizushima Works together with test results and soil measurement data.

1. はじめに

水島製鉄所における護岸および岸壁の建設は、昭和37年4月に始まり昭和50年3月に全工事を終了した。このうち、原料の受け入れあるいは製品の出荷の岸壁は延長5500m、土留用護岸は16000m

で総延長21500mとなっている。一般に、臨海工業用地造成のために海面を埋め立てるときの土留護岸や岸壁などの港湾構造物を計画・設計する場合には、その構造物が要求される使用目的のほか、に現地の上質、気象、海象などの自然条件や、材料の需給、施工法、周辺地域との関連などを考慮しなければならない。たとえば、施工法について

* エンジニアリングセンター建設開発部土木技術室部長
*** エンジニアリングセンター建設開発部土木技術室課長
***** エンジニアリングセンター建設開発部土木技術室掛長

** 水島製鉄所土建部土木課課長
**** 水島製鉄所土建部土木課掛長

水深と潮汐を例にとると、

- (1) 水深が浅く干潮時には干潟となる場合
- (2) 干潮時においても作業船のキッ水が十分とれるほど深い場合
- (3) 水深が(1)と(2)の間の場合

によって施工法がおのずからことになってくる。すなわち、(1)では、あらかじめ土砂をまき出して陸上施工とすることができ、(2)では作業船を駆使した海上施工で問題はないが、(3)では干潮時に作業船が使えず満潮時の限られた時間帯のいわゆる潮間作業となり、しかも年々大型化した作業船、機械が使えないなど急速施工をさまたげるうらみがある。

ここに紹介する“鋼製プレハブ護岸”は、構造体の大部分をあらかじめ陸上で製作することによって海上作業の工程、時間をへらし、工費の削減と施工のスピードアップなどをねらって開発されたものである。本護岸工法は昭和47年より実用化に着手し、48年から50年にかけて **Fig. 1** に示す場所 (K・H-A, B, C) で実施した。

以下に水島製鉄所の代表的な港湾構造物を紹介し、ついで当護岸工法について設計、施工法とそれともなっておこなった各種の強度試験および現場計測の結果を報告する。

2. 水島製鉄所の代表的港湾構造物

岸壁・護岸などの港湾構造物を設計・施工するにあたっては

- (1) 今すぐ岸壁を新設する部分については、その必要目的に応じて築造する。
- (2) 将来岸壁となるが、とりあえず土留護岸を必要とする部分は、岸壁条件と構造を予測して自立式鋼管矢板護岸¹⁾や組ぐい式鋼管矢板護岸²⁾などを先行しておく。
- (3) 単に護岸としての機能をもたせる場合は、組ぐい式⁴⁾や2重鋼管矢板式³⁾などの構造とする。
- (4) 将来なんらかの要請があるであろうが、現在は土地造成のための護岸が必要な部分についてはコルゲートセル工法⁶⁻⁸⁾を採用する。などが基本的な考え方⁹⁾であった。さらに、でき

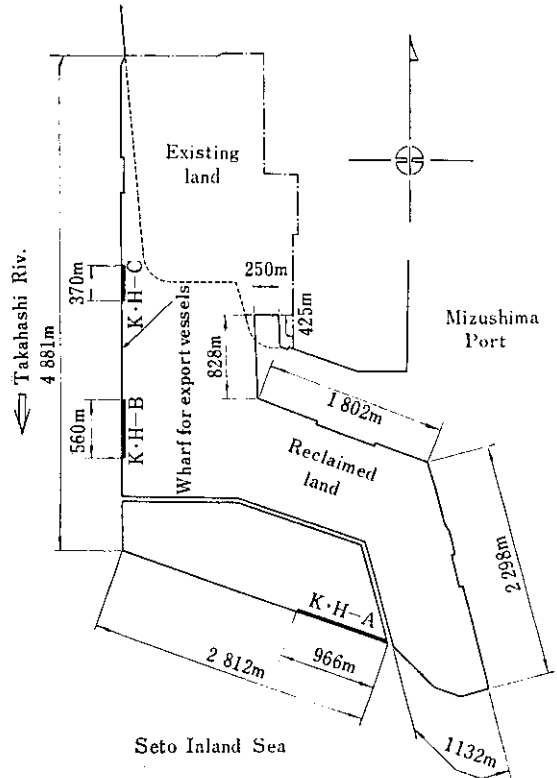
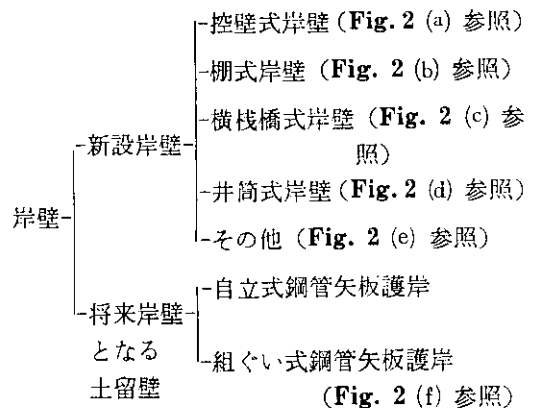


Fig. 1 Location of construction sites for pre-fabricated steel revetment in Mizushima Works

るだけ新しい独自の構造・工法の研究開発をめざすことの重要さは言うまでもない。

当所の岸壁・護岸を構造別に分類すると次のようになる。



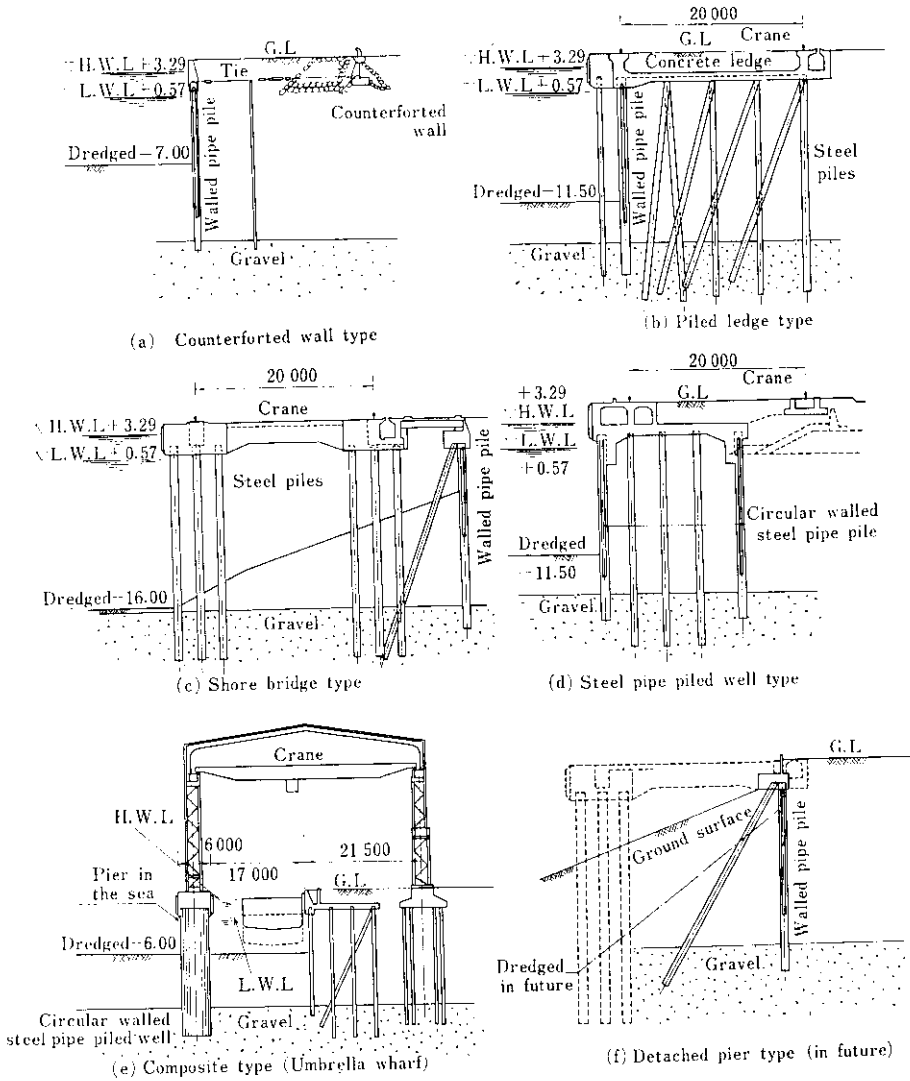


Fig. 2 Typical cross sections of wharves in Mizushima Works

- 護岸
 - 石積護岸 (Fig. 3 (a) 参照)
 - 控壁式護岸 (Fig. 3 (b) 参照)
 - 永久護岸
 - 組ぐい式護岸 (Fig. 3 (c) 参照)
 - 2重鋼矢板式護岸 (Fig. 3 (d) 参照)
 - 鋼製プレハブ護岸
 - 仮設護岸
 - コルゲートセル護岸 (Fig. 3 (e) 参照)
 - 組合せ簡易護岸 (Fig. 3 (f) 参照)

以上の構造物について、水島製鉄所の代表的な岸壁・護岸を Fig. 2, Fig. 3 に示す。

これらの実績からわかるように、岸壁・護岸構造物として一般的な構造体はほとんどすべて施工されているが、この中には鋼管矢板井筒工法¹⁰⁻¹⁴やコルゲートセル工法、あるいは本報告の鋼製プレハブ護岸工法¹⁵などまったく新しい工法も採用されている。

構造体を設計するうえでは種々の検討事項があるが、端的にいえば、土留壁体にかかる土圧、水圧をいかなる機能において止め得るかということであろう。これを大別すれば、土留壁にかかる

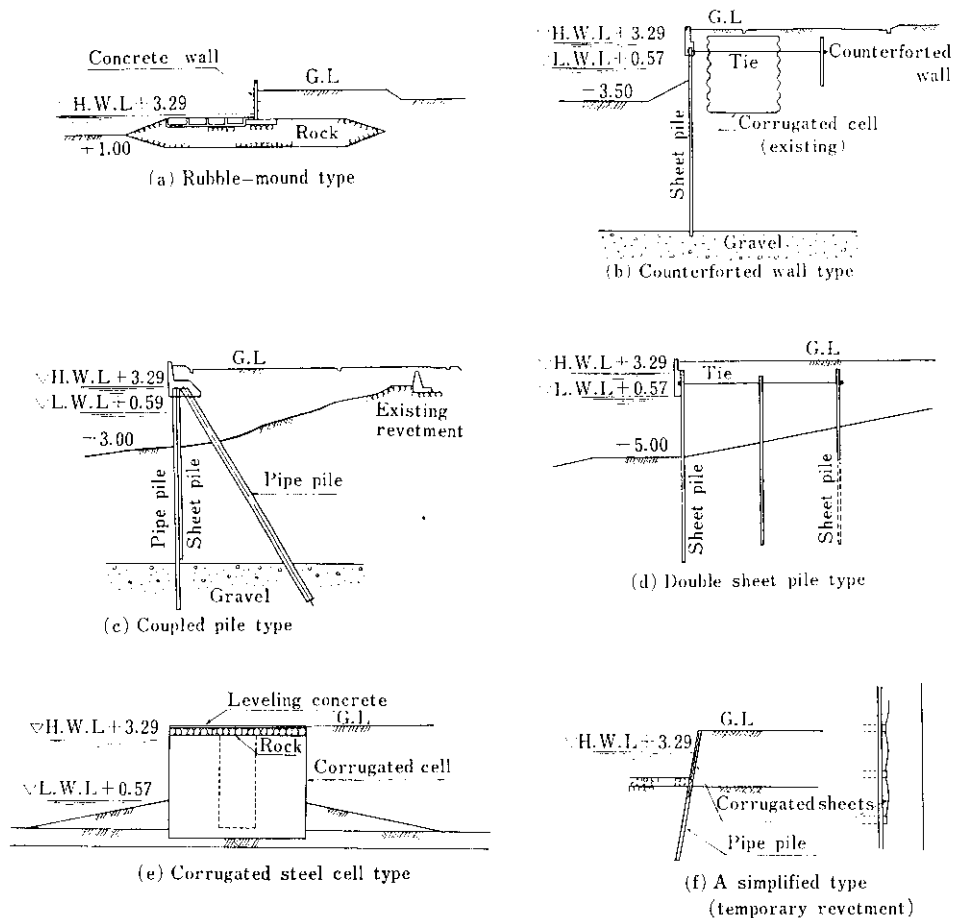


Fig. 3 Typical cross sections of revetments in Mizushima Works

力に対して、

- (1) 土留壁体重量と下部の地盤支持力で抵抗する重力式
- (2) 背後壁体の受働反力で抵抗する控壁式
- (3) くいの支持力で抵抗する柵式および組ぐい式

の3つのタイプになる。

鋼製プレハブ護岸はこの(1)と(2)の機能を併せ持った独特な構造形式といえるものである。

3. 鋼製プレハブ護岸

3.1 構造概要

鋼製プレハブ護岸とは、H形鋼を主体とした鋼製ブロックと、土留用鋼矢板から成り立つものである (Fig. 4 参照)。

ブロックを構成するフレームは、土留用鋼矢板の反力点としての前面腹起こしと前面親柱 (F_A)、これらからの反力伝達用の斜材、水平材 (F_C) および反力体としての背面壁体 (F_B) で成り立っている。これらを陸上で組立て、運搬、据付後前面鋼矢板を打つ工法を総称して鋼製プレハブ護岸工法という。護岸を築造するときの問題として、安定性は当然のことながら経済性、施工性も大きなウエイトを持って来る。これが沖合海面で施工されるとなればなおさらである。控壁式構造とする場合にはまず海面以上でマウンド砂をおき、ここに控壁を作って前面土留壁を引張らなければならない。このときには土量の無駄と潮間作業が避けられない。また、ケーソン式とした場合には大きなケーソンヤードと重機を必要とし、施工スピードもあがらない。いずれにしても施工中長期に

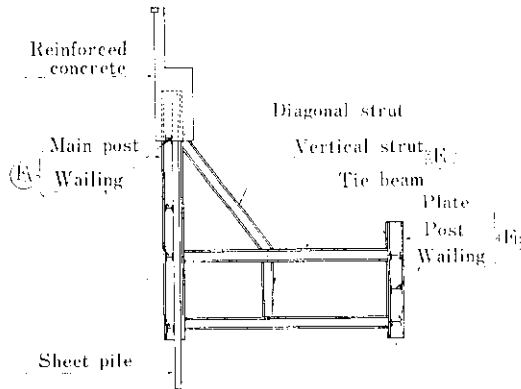


Fig. 4 Steel block members and connecting structures

わたる波浪の影響はさけられない。

このような難点を解消し、海上作業をできるだけ少なく、無駄な土砂の移動をなくし、手近な重機を用いる範囲で作業ができ、施工がはやい点にこの『鋼製プレハブ護岸』の特長がある。

3.2 実施例

(1) K・H-A型

これは、当所南端部における既設コルゲートセル護岸延長上の海上で、水深の深い場所に永久護岸として築造したもので、次の点であると述べるK・H-B型、K・H-C型とことなる。

- (a) 構造が比較的大きい。
- (b) 鋼製ブロックの海側部(F_A) (Fig. 4 参照) に鋼矢板の支承部となる腹起しH形鋼が鋼矢板前面に取り付けてある。
- (c) 鋼矢板はそれぞれのブロック内に打ち込み閉合するため、ブロックはそれぞれ独立したものとなる。
- (d) 鋼製ブロック間の継手パイプは大きく、かつ F_A のみに取り付けられてあり、継手がフレキシブルである。

(2) K・H-B型

施工位置は Fig. 1 に示したように高梁川の下流にあって、ここは昭和44年に施工した旧石積堤ののりじりにあたるため、従来の標準的なくいあるいは鋼矢板等を設計上必要な長さまで打ち込むことができない状況であった。したがって、捨石の上部に鋼製ブロックを置き、鋼矢板は捨石天端

で打ち止める構造とした。また本構造は、

- (a) 鋼製ブロック間の継ぎ手は陸側部材 (F_B) にも取り付けられてあり、波浪などによるねじれ、移動に対する抵抗が大きい
- (b) 鋼矢板は F_A を導材として連続して打ち込み、鋼製ブロックと鋼矢板の結合は現場でUボルトによっておこなう
- (c) したがって、Uボルトの取付け深さは施工性を考慮して干潮位までにとどめるよう設計上の配慮が必要である

などの特徴を有し、K・H-A型をやや小型化したものである。

(3) K・H-C型

K・H-B型をさらに小型化して、水深の浅い高梁川沿いの輸出岸壁の上流側に施工したものである。鋼製ブロックは F_A と F_B を連結して一体とする F_C をさらにシンプルにし、部材も小さなものを用いて軽量化をはかった。

鋼矢板の固定方法、鋼製ブロック間の連結方法などはK・H-B型とほぼ同じであるが、ブロックの重量が軽いため、前述のK・H-A、B型に比べて1ブロックを長くして3スパン一体とした。

以上の各護岸における代表的な土質を Fig. 5 に、また構造図と鋼材重量を Fig. 6 にそれぞれ示した。

4. 設 計

4.1 設計の考え方

本構造は Fig. 6 に示すように前面には土留壁の鋼矢板、背面にはアンカーの役目をする控板、そしてこれらを一体とするための連結材からなっており、そのプロポーションからセルラーブロック的な構造といえよう。ただし中間の隔壁や底版がないため、一般的な重力式護岸としての安定計算はできない。したがって、本護岸の構造安定計算にあたっては設計手法の原点にもどり、本構造が護岸としての機能を失うと予想される要因、すなわち、滑動、転倒、地盤支持力、沈下、円弧すべり、部材応力などについて安全性を検討

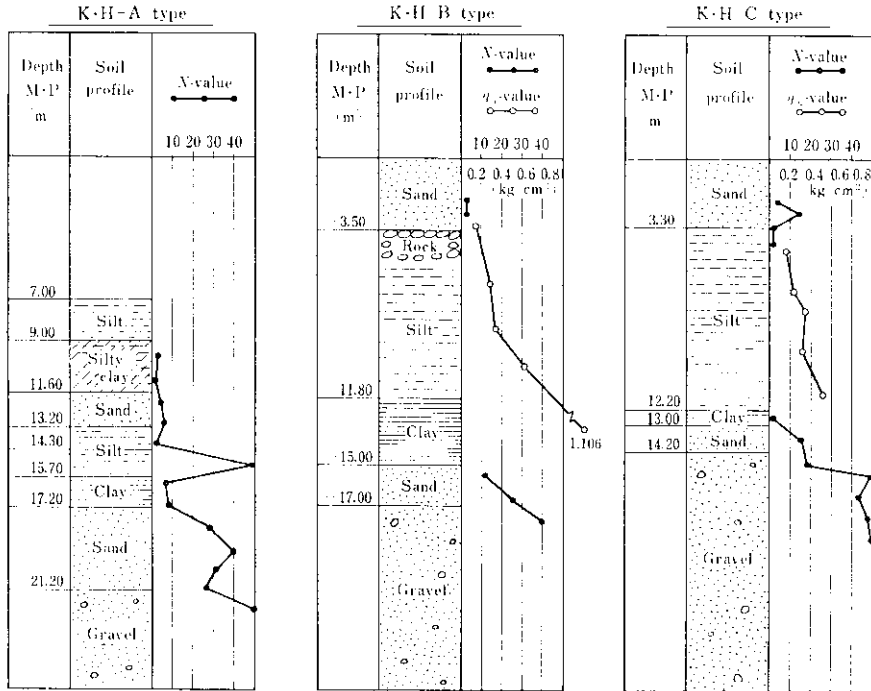


Fig. 5 Results of geotechnical investigation at each construction site (M·P: Mizushima Pale)

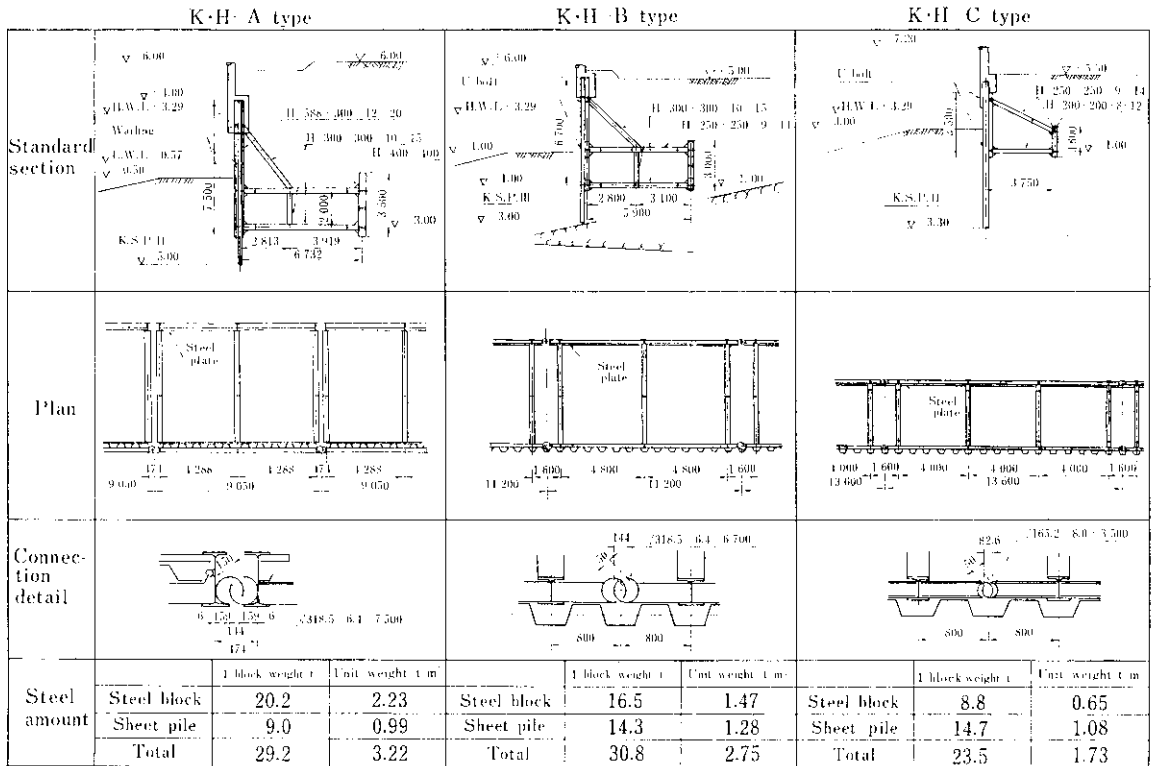


Fig. 6 Comparison of K-H-A, K-H-B and K-H-C type revetments

前述(3)と表裏一体のものと考えられるが、地盤支持力の不足によって護岸本体および護岸下部地盤を含めた広い範囲の土塊が護岸前面へすべり出す現象で、土の力学的強度、物理的性質を十分把握したうえで施工の段階別にこまかく検討をおこなった。

(6) 部材応力

部材応力を検討するうえで、土圧、水圧、土かぶり圧、地盤反力などの外力によって発生する応力のほかに、鋼製ブロックの製作、吊り上げ、運搬中におこる内部応力などについてもあとののべるような強度試験、計測を実施した。

4.2 接合部の強度試験

鋼製ブロックは F_A と F_B を F_C によって一体としたものである (Fig. 4 参照) が、その接合部は Fig. 7 に示すようにボルト締めとし、部分的にすみ肉溶接で補強した。

接合部は、設計上、曲げおよび引張を同時に受け、 F_C のエンドプレートと F_A, F_B の H 形鋼フランジ部が局部変形して強度が低下する恐れがあったため、まず、鋼製ブロックを 1 基製作し、現場で水平加力試験 (A test) をおこない、一方これと並行して実物大の接合部テストピース (B-1, B-2) を作って、当社鋼構造所研究所で曲げおよび引張試験 (B test) をおこなった。Table 1 にその結果を示す。同表で B-1 は実物と同一の

Table 1 Results of tensile and bending test for the connection

	Tensile strength (t)	Bending moment (t·m)
A test	180	
B test (B-1)	176.5	>15
B test (B-2)	115	>15

ものであり、B-2 はボルト締めだけのものである。

B-2 において、ボルトの設計耐力 (23t/本 × 6本 = 138t) に対して、試験結果は 115t でありおよそ 15% の耐力低下がみられた。この理由としては、エンドプレート、H 形鋼フランジの肉厚あるいはリブプレートなどが不足しているためと思われる。今回施工した接合部は B-1 であり、設計耐力 100t、曲げモーメント 15t·m に対して十分安全であることを確認した。

5. 施 工

本護岸の施工にあたって、なされるべき作業は Fig. 8 に示す 3 項目である。一つは水質汚濁等環境保全に伴う必要措置と、次に設計・施工上求められる在来地盤の処理、改良対策であり、今一つは護岸本体の築造である。

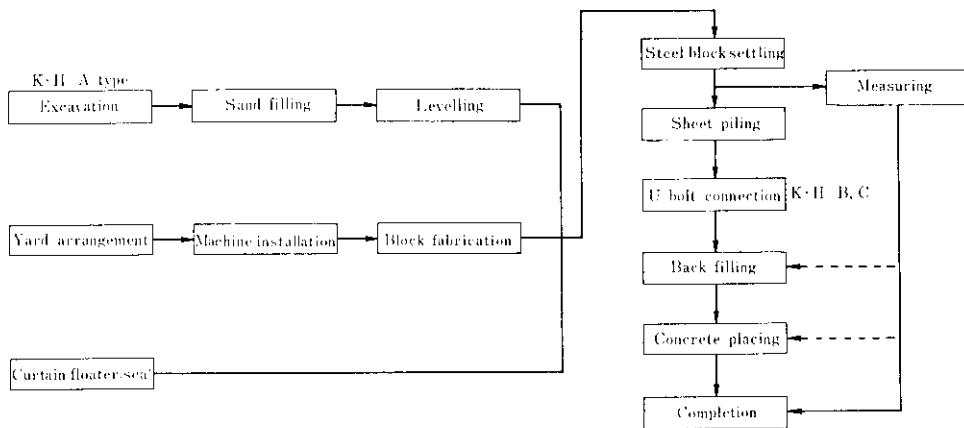


Fig. 8 Flow chart for the construction of prefabricated steel revetment

5.1 鋼製ブロック製作

プレハブ工法であるということは、いうまでもなく厳密な原寸切りがおこなわれた部材を用いて簡単に組み立てられるということを意味する。

完全にコンピューター化されたH型精密せん断工場において切断、穴あけされた画一的な部材をボルト接合のみによって強度上問題のないブロックに作る事ができれば、品質的にも良く、組立ても単純でスピーディーであることは当然である。

今回実施したプレハブ護岸の鋼製ブロックは、**Fig. 9**に示すように、あらかじめ加工された部材を組み合わせて、 F_A 、 F_B 、 F_C の3フレームをつくり、さらにこれらを**Photo. 1**に示すような移動式の組立治具で立体的に組み立ててできたものである。**Photo. 2**に鋼製ブロック組立てヤードを示す。

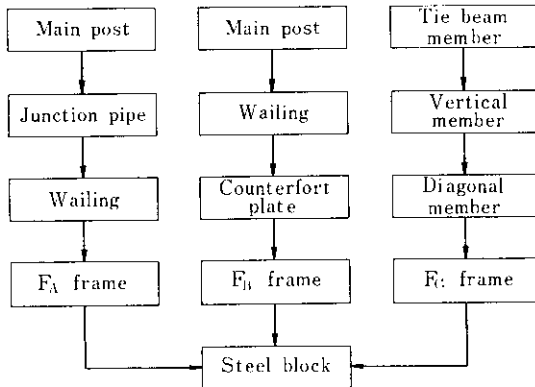


Fig. 9 Flow chart for the fabrication of steel block

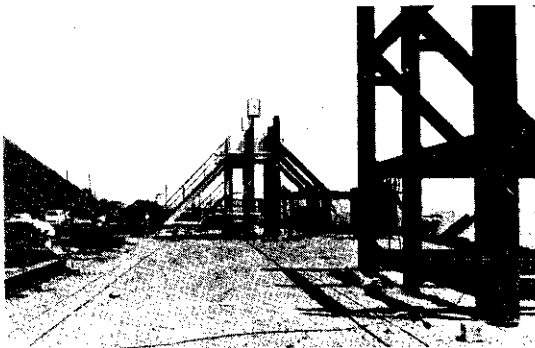


Photo. 1 Equipments for the fabrication of steel blocks

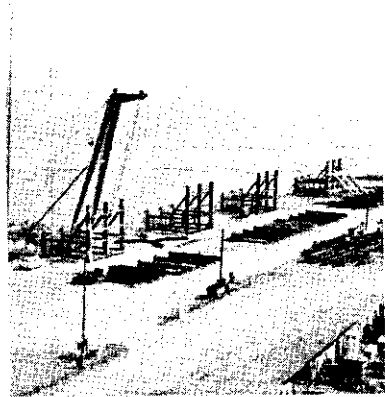


Photo. 2 Air view of fabricating yard and completed steel blocks

5.2 現場施工

5.2.1 事前工事

工事をおこなおうとする場所の状況は、水深、海底の状況、土質等が千差万別であり、それぞれの状況に応じてとられるべき事前の作業内容・工法もおのずとことになってくる。

K・H-A型の場合は、在来水深M・P(Mizushima Pale, 水島港基準面)-5~-7mで、海底には1~2m厚さの浮泥が推積していたため、-7mまで良質砂と置き換えた。一方、K・H-B型、K・H-C型の場合は、砂層であったためならしをおこなうだけにとどめた。

5.2.2 据付け

組立てが終わった鋼製ブロックは、起重機船、クレーンなどによって取り込み、台船に積んで施工位置まで海上運搬した。**Photo. 3, 4**は鋼製ブロックの運搬および据付け状況を示す。このような構造体にとっては、吊り上げ時の安定と応力発生の程度が問題になるので、中央にしぼり込むような吊り方をさせて写真のような吊り上げ治具をもちいて取り込み、据付けをおこなった。ブロック据付け完了の状態を**Photo. 5, 6**に示す。

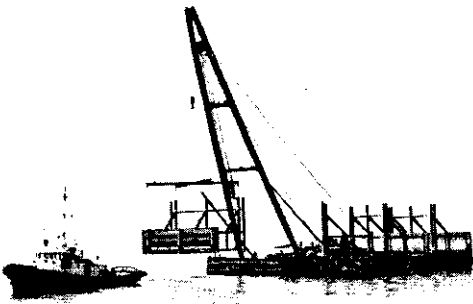


Photo. 3 Transportation of steel blocks to construction site on the sea

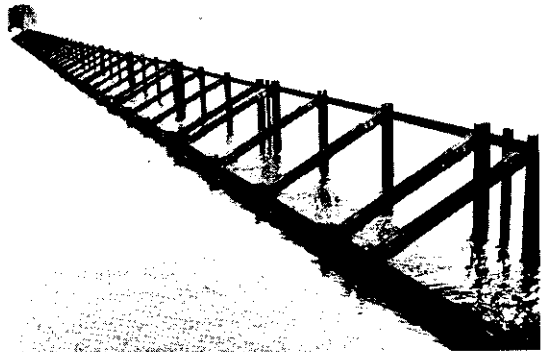


Photo. 6 Simplified steel blocks settled in the sea (K·H C type)



Photo. 4 Hanger of steel block at work

5・2・3 鋼矢板打および腹付け

据付け後ただちに1次腹付けとして F_B の前後に土砂を投入しておき、ブロックの安定および鋼矢板打設後から2次腹付け完了までの波浪等に対処させた。

鋼矢板はブロックの一部としてあらかじめ取り付けられた腹起こしの間に打設する K·H-A 型と、腹起こしを導材として打設し U ボルトで締結する K·H-B 型、K·H-C 型があるが、いずれも単純な作業である。つづいて背面盛土は、護岸体の沈下、移動、傾きなどの状況をみながら、段階的に施工した。Photo. 7 は鋼矢板打設ならびに背面盛土、Photo. 8 は K·H-A 型での鋼矢板打設後の矢板端部、Photo. 9 は U ボルト締結の状況をそれぞれ示す。

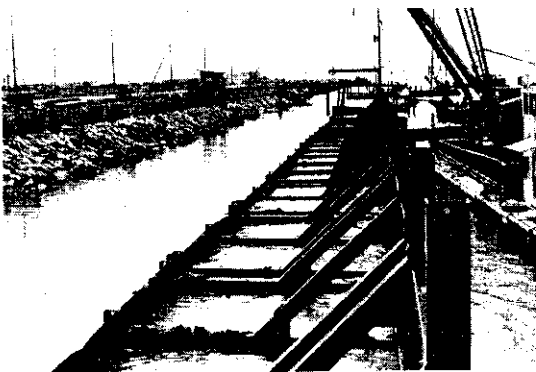


Photo. 5 Steel blocks settled in the sea (K·H-B type)

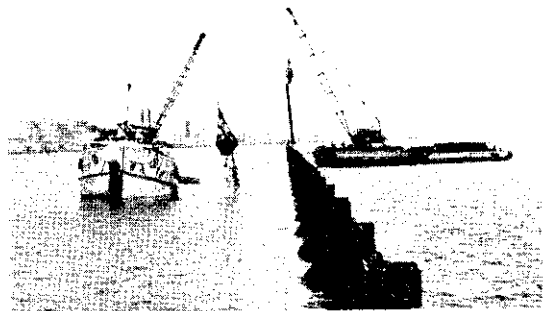


Photo. 7 Soil filling behind steel blocks and sheet pile driving behind

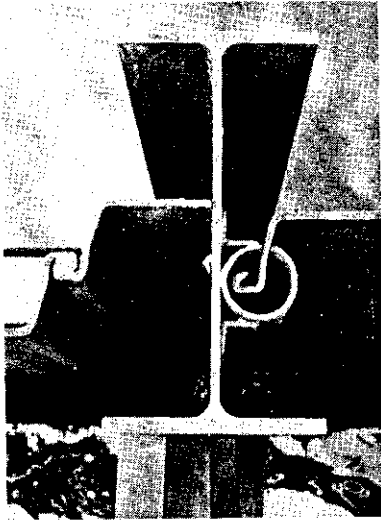


Photo. 8 Driven sheet piles in the case of K·H A type; the first sheet pile is cut in two pieces and welded to the main post (left side), and another end is driven into a small slit pipe (right side)



Photo. 9 Driven sheet piles fixed to steel blocks by U bolts (K·H B type)

5.2.4 上部工

背面盛土が完了した時点で上部にコンクリートを打設して仕上げる。Fig. 5 に示したように下部地盤が軟弱粘性土層であるため、圧密による沈下はさげられない。したがって、本護岸では常に観測をおこないながら沈下がおちつくの待ち、不等沈下もほとんどなくなったと判断された時期にコンクリートを打設した。

5.3 吊り上げ時の発生応力

フラットな製作ヤードで作られたブロックが、吊り上げられ据付けられたとき、破壊したり大きな内部応力が残留したりしては部材設計が成り立たなくなってしまう。このために据付け地盤の床面ならしを十分おこなったことは先に述べたとおりであるが、吊り上げ時にどのような応力が各部材に発生するかを別途測定した、非常に数多い測定の内容を要約すれば、吊り上げ用治具を用いた均等な4点吊りの場合と、局部的におこるであろう1点利きを想定した1点吊りの2種に大別できる。結果はTable 2 にそれぞれ σ_2 、 σ_3 として示したように、許容応力を1400kg/cm²とすればいずれも30~10%の範囲であり、完成時の計算部材応力の方がはるかに大きいという結果が出た。したがって、しほりあげるような吊り方をやめ、治具を使って静かに吊り降しをおこなえば、ブロックの取り込み、据付けには心配するような問題は発生しないとみてよい。Photo. 10 にK·H·C型の状況を示す。

Table 2 Comparison of stresses in revetments in completed (σ_1) vs. hung (σ_2 , σ_3) states (kg/cm²)

Frame	Member	K·H-A type			K·H-B type			K·H-C type		
		σ_1	σ_2	σ_3	σ_1	σ_2	σ_3	σ_1	σ_2	σ_3
F _A	Sheet pile	157	---	---	299	---	---	163	---	---
	Main post	177	53	248	392	---	---	151	16	66
	Wailing	1 079	137	448	220	---	---	1 054	202	211
F _B	Wailing	512	125	368	123	---	---	1 067	85	137
F _C	Diagonal strut	628	11	120	171	---	---	406	237	575
	Tie	912	50	143	225	---	---	807	78	364

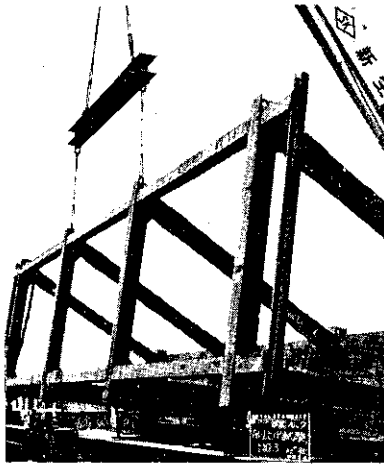


Photo. 10 Hanging test in the case of K·H-C type

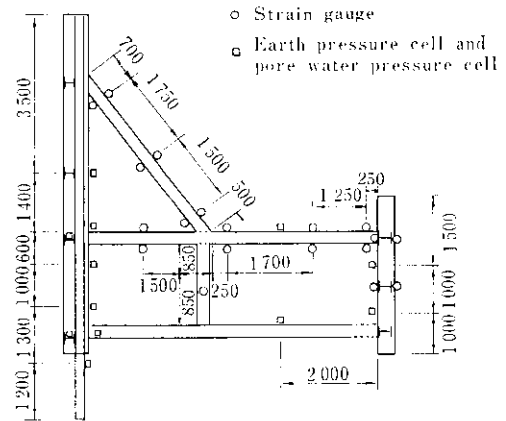


Fig. 10 Positions of attached gauges

6. 現場計測

6-1 目的および計測項目

鋼製プレハブ護岸の特殊性については3.で述べた。また、4.に記述した方法で安定計算をおこない3ヶ所の護岸で実施したが、本構造の設計方法の妥当性をチェックするために、この構造がうける外力や部材応力を測定し、さらにどのような挙動を示すかなどを観測した。同時に工事の進行につれて刻々と変化する現場の状況と構造の挙動をとらえて弾力的な施工管理をおこなう“情報化施工^{16,17)}”をあわせておこなった。

設計上の問題としては、

- (1) 鋼製ブロックのフレーム F_A , F_B に作用する水平方向の上圧と、それにより発生する各部材の曲げ応力ならびに軸力
- (2) 同じく F_G にかかる上載荷重と地盤の反力および部材の曲げ応力と軸力
- (3) 鋼欠板に作用する上圧と曲げ応力
- (4) 護岸の沈下その他

などがあり、これらを定量的にとらえるために差動トランス型の土圧計、開けき水圧計、ひずみ計、傾斜計などを取り付けて観測をおこなった。計測には応力、土圧などをデジタル量として自動的にプリントアウトする自動計測器を用いた。

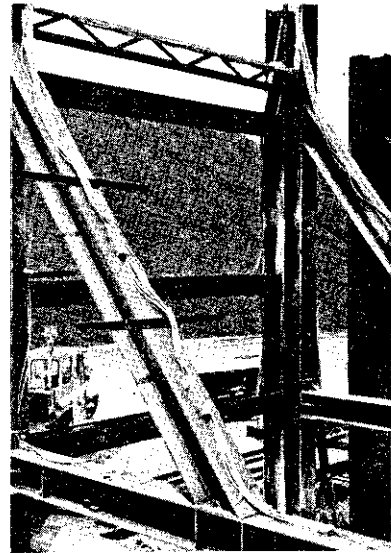


Photo. 11 Gauges fastened to steel block for measuring stresses of main members

Fig. 10, Photo. 11 に K·H-A 型護岸の計器取り付け位置および状況を示す。

6-2 計測結果と考察

Fig. 11 は、K·H-A 型で +5m まで背面盛土したときの土圧分布を設計値と対比したもので、同じく Fig. 12 は各部材の応力分布の状態を示したものである。これらの計測データより、

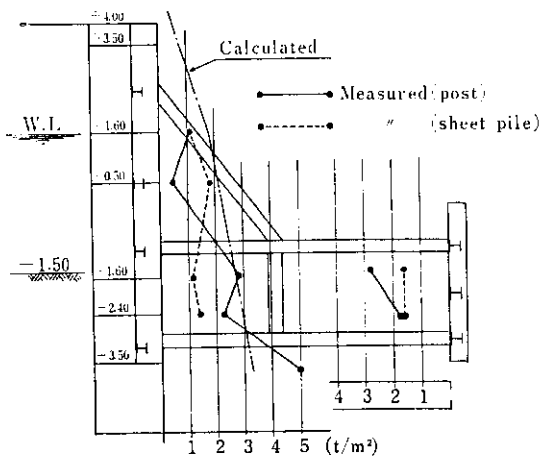


Fig. 11 Calculated and measured earth pressure on K·H-A revetment

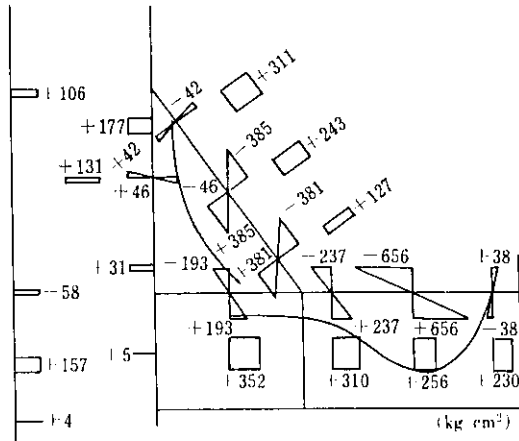


Fig. 12 Measured stresses in block members

- (1) 鋼矢板と F_A に作用する土圧はほぼ3角形分布を示すと思われるが、その値は設計土圧係数 $K_a=0.29$ ($\phi=30^\circ, \delta=15^\circ$) とした計算値に比べ30~50%小さい値を示している。
- (2) 控部の F_B にかかる土圧は、当初受動的な大きい値を示すことも予想したが、前面の土圧分布とほとんど同じ傾向を示しており、このことは本構造が控壁式護岸のタイプではなくセルラーブロック的な構造であることを示していると思われる。
- (3) F_C の水平部材応力が海側より背面に行くにしたがい減少している。このことは、水平

部材が内部土砂とのまさつによっても抵抗していることをあらわしている。

などが明らかとなった。

Table 2 に、K·H-A, B, C型で計測した部材応力の最大値を示す。

沈下および水平移動については、ブロック据付け直後より定期的に観測をつけ、最終仕上げコンクリートの打設にかかった昭和49年末の時点で、沈下はK·H-A型で50~90cm, K·H-B型で50~80cm, K·H-C型で100~120cmで、これらは当初予定した軟弱粘性土の圧密沈下量とほぼ一致し、沈下量のバラツキは地盤の相異によるものである。法線の移動については、ある程度前後に移動することを予想してあらかじめ後方へひかえて据付けたこともあって、特に問題は生じなかった。なお、最終仕上げコンクリートは、これらの沈下移動がほぼおちついた時点に施工したことはいうまでもない。

7. おわりに

水島製鉄所の護岸線延長21.5kmのうちのおよそ9%にあたる部分に今回新しく鋼製プレハブ護岸工法を採用した。K·H-A型は比較的深い場所で構造も大きく、K·H-C型は小型で干潮時には陸地となる非常に浅い場所に、そしてK·H-B型は構造・水深ともにK·H-A, B型の中間のものであった。ただ施工した地盤がいずれも軟弱な沖積シルト層あるいは粘土層からなっており、これが設計・施工上の最大の問題点でもあった。

なかでも地盤支持力と圧密沈下はその最たるもので、支持力不足から局部的に陥没するというトラブルも経験した。幸い、護岸完成が昭和50年3月までというゆっくりにした工期であったため、沈下のおさまるのを待ちつつ慎重に施工した。Fig. 13に本工事の実績工程を示す。

プレハブ護岸は構造そのものには全く問題はなく、従来のセルラーブロック、ケーソンなどと同様、施工する地盤の土質工学的特性を十分把握し、その地盤に応じてそれなりの事前処理をしておけば、設計上十分安定していることがわかった。

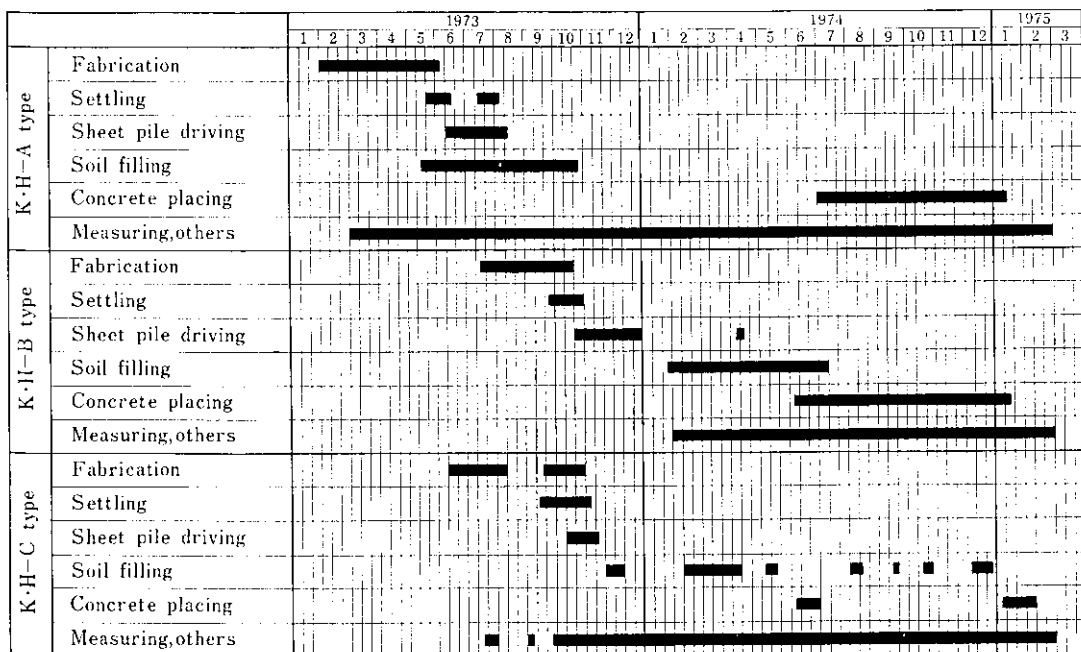


Fig. 13 Actual time schedules for 3 types of prefabricated steel revetments construction work

冒頭でもふれたように、本工法は潮汐、波浪などの影響を受けるきびしい自然条件のもとで、できるだけ早く経済的かつ能率的に護岸を建設するために開発したものであるが、そのねらいとするところは、単に護岸だけではなくさらに大型化して岸壁としたり、防波堤・水制などの港湾、河川工作物に应用することにもある。

最後に本工法の実施にあたり、開発当初から御指導をいただいた当社上野長三郎顧問また今回の各種計測および設計・施工にあたって終始御協力をいただいた臨海エンジニアリング㈱、東亜建設工業㈱、鹿島建設㈱、株銭高組および当社鋼構造研究所の関係各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 小松, 肱黒, 富永: 土木施工, 6 (1965) 1
- 2) 小松, 肱黒, 越後: 施工技術, 2 (1969) 3
- 3) 新村, 木村, 尾崎: 第9回土質工学研究発表会講演集, (1974), 773
- 4) 肱黒, 富永, 橋本: 第10回土質工学研究発表会講演集, (1975), 541
- 5) 富永, 新村, 木村: 第10回土質工学研究発表会講演集, (1975), 835
- 6) 小松, 肱黒, 長野: 土木施工, 5 (1964) 4
- 7) 北島: 土と基礎, 14 (1966) 12
- 8) 小松, 嶋, 間瀬, 加藤: 川崎製鉄技報, 1 (1969) 1
- 9) 小松, 肱黒, 広瀬: 港湾, (1971) 3
- 10) 肱黒, 富永, 新村: 川崎製鉄技報, 2 (1970) 3, 334
- 11) 肱黒, 富永, 新村: 第17回橋梁・構造工学研究発表会講演集, (1970), 89
- 12) 肱黒, 富永, 長野: 施工技術, 4 (1971) 2
- 13) 肱黒, 富永, 中西, 小城: 橋梁と基礎, 5 (1971) 12
- 14) 肱黒, 長野, 藤井, 紙居: 施工技術, 5 (1972) 4

- 15) 長野, 新村, 吉倉: 第9回土質工学研究発表会講演集, (1974), 833
- 16) 富永, 長野, 中田: 第8回土質工学研究発表会講演集, (1973), 729
- 17) 神原, 富永, 剣持: 第10回土質工学研究発表会講演集, (1975), 879

