

土研式ブロックを用いた海岸堤防の根固め工について

建設省土木研究所 細 井 正 延
同 上 富 永 正 照

1. ま え が き

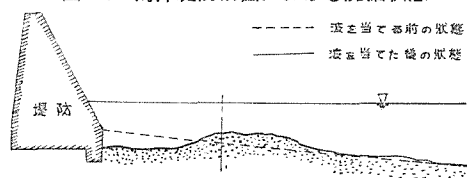
最近海岸構造物にテトラポット、6脚ブロックなどのコンクリートブロックが非常に多く用いられている。これらのブロックはそれぞれすぐれた特性をもち、適切に用いられれば非常に有効であると考えられるが、実際には必ずしも正しく用いられていないようである。とくに海岸堤防の根固め工の場合にその感が強く、十分な成果をあげていないことが多い。

土研式ブロックは土木研究所の横田所長の発案になるものであるが、根固め工に用いた場合、水理的にきわめて好結果が得られることが期待された。ここでは土研式ブロックの形状、根固め工として用いられた場合の水理的特性などを明らかにするとともに、施工例をあげてその単価、構造などの問題点を検討した。

2. 海岸堤防前面の洗掘と根固め工の機能

海岸堤防前面の底質は波によって常に移動しており、安定した海岸であっても、波の大きい場合には一時的に洗掘をうけることは一般によく知られた事実である。この現象は非常に複雑であって、多くの要素に関係するので現在もお十分に解明されていない。われわれの実験によると、堤防前面の洗掘状況は多くの場合図-1のよ

図-1 海岸堤防前面における洗掘状態



うになる。点線は波を当てる前の水底形状、実線は波を当てた後の形状である。これをみると堤防ののり先付近の洗掘がもっとも大きく、沖に行くにしたがってしだいに小さくなり、ついに堆積部が生ずる。したがって前面洗掘を防止するためには、この洗掘部を固いものでおおってやればよいように考えられるが、実際はこのようにすると、前に砂が堆積した部分が洗掘され、その沖側に堆積部が生ずる。この原因は堤防前面の底層部では離岸流が卓越しており、しかもその強さが場所的に変化することによるものと考えられる。すなわち、のり先きでは離岸流によって砂は沖に流出するのみで、補給がないからいちじるしく洗掘される。しかし、その他のところは離岸流の強さの分布によって定まる砂の流出量と補給量

との大小によって洗掘か堆積かが決定される。もちろん、この離岸流の強さの分布、その原因などについては明らかにされていないが、堤防前面にいちじるしい洗掘のおこるような場合、少なくとも堤防にごく近いところ（われわれが現実には設置する根固め工の巾よりずっと大きい）では離岸流がいちじるしく卓越しており、底質は沖に向かって輸送されていることは確実である。ただこのような底質の輸送は無限に続くものではなく、来襲する波が一定ならば、しだいに減少するようで、実験によると比較的短時間に水底の形状変化は非常に少なくなる。

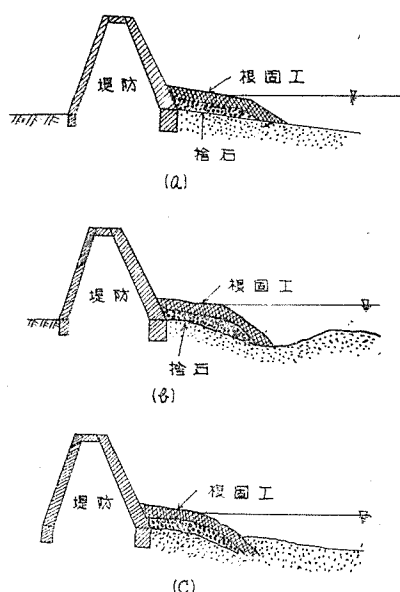
根固め工を設ける第一の目的はのり先きの洗掘を防止して基礎および被覆工を保護することである。最近テトラポットなどのコンクリートブロックが非常に多く根固めに使用されているが、その施工法をみると、ブロックを直接底質の土に置いたもの、捨石、そだ沈床などの基礎の上に置いたものなどがある。これらのブロックはそれを積んだ場合、もともと空けきが大きくなるようなねらいをもっているから、それ自身では移動しやすい底質の流出を押える能力はない。したがって、まったく基礎なしにこれらのブロックを使用することは根固め工の機能からみてあやまりであって、必ず底質の移動を防止し、また多少洗掘されても堤防の基礎の移動と堤体土の吸い出しを防止する機能をもつ基礎が必要である。

このような基礎をもった根固め工を設ければ、波をうけた場合、のり先きからの砂れきの流出は遮断されるから、必然的に根固め工の先端がいちじるしく洗掘されることによる。根固め工に用いられるコンクリートブロックはいずれもそれ自身安定であり、しかもそれらを積んだ場合相互にかみ合わせがよく、全体として安定であるといわれている。しかし、このことはあくまでも基礎の安定を前提としているのであって、この基礎が下から崩壊すれば、かみ合わせがよいという程度では不安定となるのをまぬがれない。

過去の経験によると、堤防前面のいちじるしい洗掘は一時的なものであって、高波の来襲が終わればふたたび埋め戻される場合が大部分である。この点を考慮して根固め工としての理想的な変形を考えてみると図-2のとおりである。

最初図-2(a)のような状態であった根固め工が高波を受けた場合先端は洗掘されるが、その洗掘量は堤防に近づくにつれて減少し、のり先き付近はほとんど洗掘されず、結局図-2(b)のように変形する。高波が去った

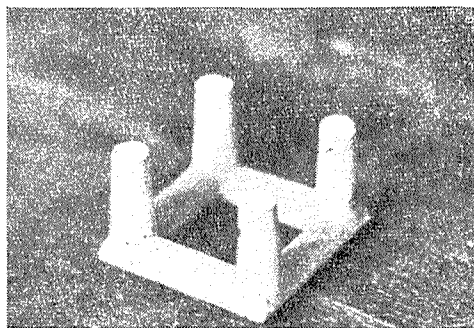
図-2 根固め工の変形



後は先端が埋め戻されて図-2(c)のような状態になる。

根固め工をこのように理想的に変形させるのにもっとも重要なことは、先端の洗掘によってブロックが散乱しないことである。そのためにはブロックを相互に鎖のようなもので連結するか、かみ合わせの状態をさらに徹底させることが必要である。ここで紹介する土研式ブロックはかみ合わせを完全にすることによって散乱を防ぎ、全体として十分な屈撓性をもたせることをねらいとしたものである。写真-1のようにやぐらこたつを逆にした

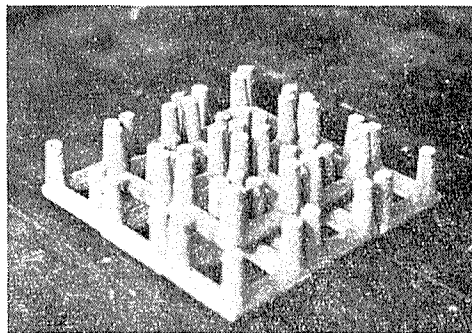
写真-1



ような形状をもち、写真-2のように通常2段に組合わせて使用される。これらの写真をみれば、1段目の4脚を2段目のブロックによって完全に押えているので、かみ合わせの状態が完全であることが理解されよう。

土木研究所では水理実験によって上述のような特性を確かめるとともに各地建と協力して実地に使用してその強度、耐久性などの検討を進めている。

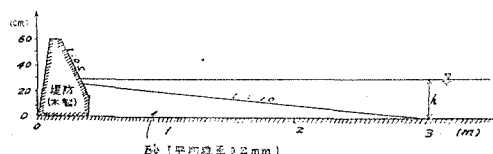
写真-2



3. 土研式ブロックを用いた根固め工の水理実験

実験に用いた造波水槽は長さ 17 m、高さ 0.6 m、巾 0.6 m の小型水槽で、その一端に図-3のような模型をつくって実験を行なった。波が小さくて砂が移動しにくいので、なるべく多く砂が移動するように境界条件を定めた。すなわち堤防の前のり勾配は 1:0.5、海底勾配 1:10 とした。また波は波高 10 cm、周期 1.0 sec、1.3 sec、1.6 sec の 3 種とし、堤防ののり先水深は 5 cm (造波部の水深 $h=30$ cm) および 3 cm ($h=27$ cm) としたが、実験の結果では波の性質および水位をこの程度に変えてもあまり大きな差はなかったで、以下比較的前面洗掘の大きかった周期 1.3 sec、 $h=30$ cm の場合の結果をのべる。

図-3 模型の形状



実験はまず根固め工のない場合について行ない、ついで写真-3(a)のように「ブロックのみを用いた場合、(b)のようにテトラポットのみを用いた場合、写真-4(a)のように砕石の基礎をもったブロックの場合、(b)のように砕石の基礎をもったテトラポットの場合の順に行なった。波をあてた時間は 1 時間であるが、大部分の変化は 30 分以内に起こり、それ以後の変化はきわめて少なかった。

写真-3(a)

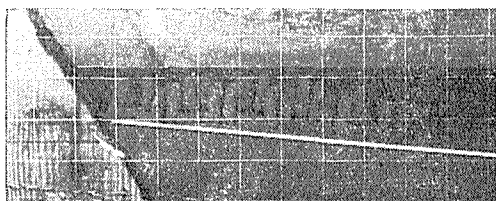


写真-3(b)

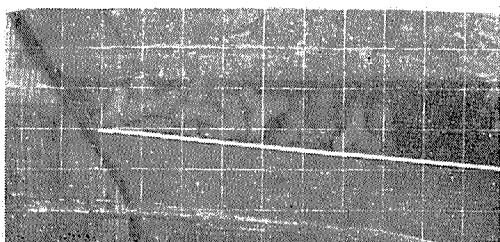


写真-4(a)

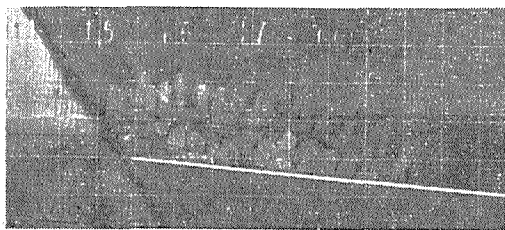


写真-4(b)



写真-5

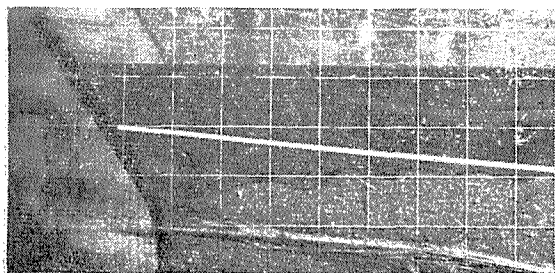


写真-7 は根固め工のない場合の実験結果である。洗掘状況はのり先においてもっとも大きく、沖に行くにつれてしだいに減少し、この写真には現われていないが、さらに沖側に堆積部が生じている。

写真-5 は砂の上に直接ブロックとテトラポットとを置いた場合である。ここに用いたブロックの重量は 110 g で、その形状寸法は 図-4 のとおりである。またテトラポットの重量は 110 g でその高さは 5.8 cm であった。また並べ方は 5 列 2 段で、テトラポットはなるべく密になるようにした。実験の結果はどちらも似たような状態で、根固め工がない場合に比較して洗掘状況はあまり差異がない。これは土研式ブロックもテトラポットも空げ

きが大きく、単独では砂を押える力を持たないことを示すものである。しかし根固め工の先端が特にいちじるしく洗掘されることがないので、ブロックが散乱することではなく、そのままの状態で沈下する。この状態はさきにのべたように根固め工として好ましいものではなく、堤土の吸い出し、基礎ブロックの移動などを防止する機能を十分に果たしていない。

写真-7 は碎石の基礎をおいた場合の実験結果であ

写真-6(a)

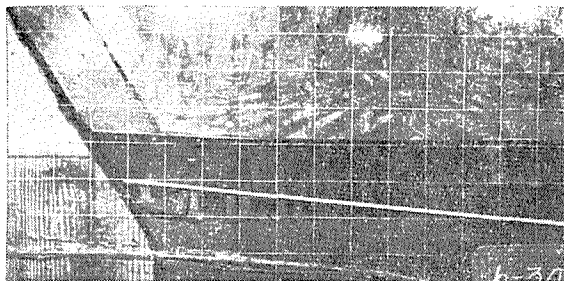


写真-6(b)

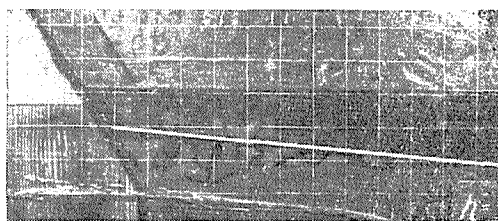
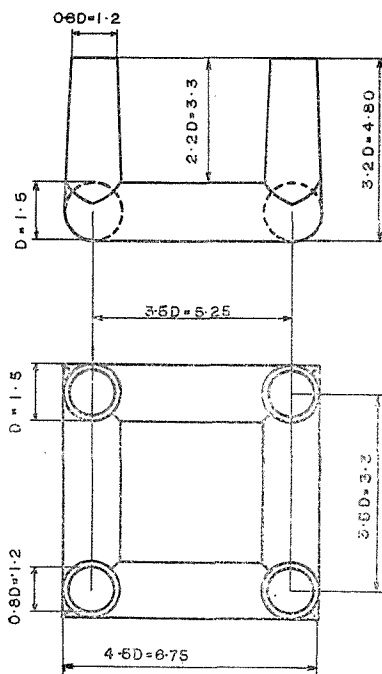


図-4 模型組合せブロックの形状
(単位 cm)



る。砕石の大きさは2~4cm程度で、厚さは5cmとした。ブロックは前の場合より1列多く6列2段である。これらの写真と写真-6とをくらべてみると、砕石基礎のある場合にはのり先きの洗掘がかなり緩和され、根固め工の先端が洗掘されていることがわかる。さきにのべたように堤防前面では離岸流がいちじるしいので、根固め工によってその下部の砂の流出が押えられれば、その先端には補給砂がなく、洗掘が大きくなるわけである。

写真-8はテトラポットの場合で波を当ててから15分後の状態であるが、のり先き付近はまだほとんど洗掘さ

写真-7(a)

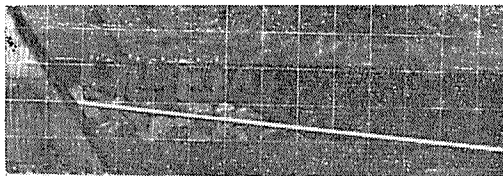


写真-7(b)

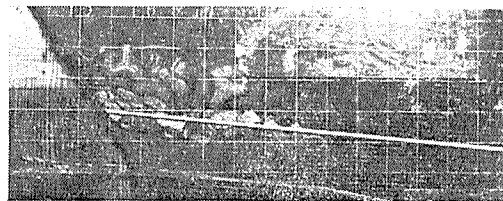
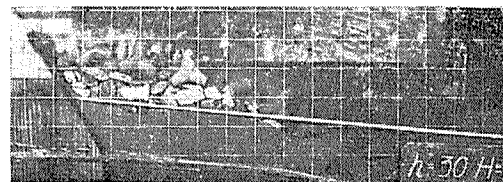


写真-8



れず、そのため根固め工の先端がいちじるしく洗掘され、テトラポットが沖側に移動している状況をよく示している。このように根固め工先端のテトラポットの移動は先端が洗掘されることにより生ずるものであるから、単に重量を大きくしたり、かみ合わせの状態をよくしたりする程度では避けられないものである。またテトラポットに限らず単にかみ合わせがよいという程度のブロックでもまったく同様である。この種のブロックでこの現象を避けるためには、ブロックを相互に連結しておくことが必要になる。

土研式ブロックの場合も先端のみがかなり洗掘され、ブロックが急傾斜しているが、組合わせが完全なために散乱するおそれはまったくなく、基礎の沈下にしたがってそのままの位置で沈下してゆく様子がみられる。

写真-7の(a)と(b)とをくらべてみると、とくにテトラポットの方が先端の洗掘がいちじるしいが、これはたまたま砕波のエネルギーがこの付近に集中したため

である。土研式ブロックの場合にも多少条件を変えればこのような現象を生ずるものと思われるが、その場合にもただ洗掘が多くなるだけで、写真-7(a)の場合と本質的な差はないと考えられる。

以上のように砕石の基礎をおけばのり先の洗掘は少なくなるが、それでもなお洗掘の傾向が残る。さきにのべたようにのり先の洗掘はできるだけ防がねばならないから、捨石の基礎をつくる場合、これを何段かに分けて、下部に行くほど捨石を小さくするなどの手段によって空けきをできるだけ少なくするとともに、堤体基礎との密着をよくして、基礎の移動を防止するようにしなければならない。

以上土研式ブロックの水理的特性を実験によって確かめたが、ブロックの良否は必ずしも水理的見地からのみきまるものではない。構造的にも堅固であること、単価が安いことなどもまた重要な要素である。土研式ブロックはその特質上各部分が比較的細くなる傾向があり、必要な強度をもたせるためには鉄筋をいれて補強しなければならない。したがって鉄筋の分だけ単価が高くなるし、また耐久性の点にも問題がでてくるであろう。しかし、土研式ブロックはかみ合わせが完全であるから、全体として非常に安定であり、同一条件なら他のブロックより小さいものを用いることができるであろう。今後さらに模型実験、実物実験などをくり返してこれらの点も明らかにしたいと考えている。

4. 施工例

鳥取県日吉津海岸では浸食防止のため海岸堤防が築造されているが、この根固め工に試験的に土研式ブロックが用いられた。この海岸は浜勾配が1/10、波高は最大4m程度で、波がいちじるしく荒いということはないが、最近海岸浸食がいちじるしく、堤防もかなりの被害を受けた。

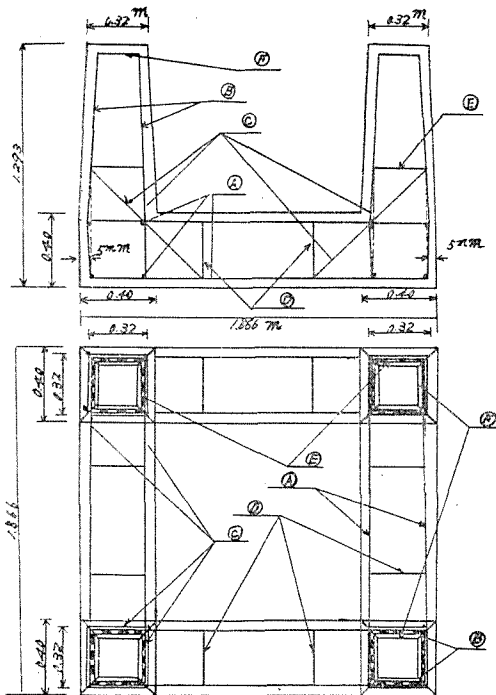
この根固め工に使用されたブロックの形状寸法は図-5のとおりで、重量は約3.5tである。また設置の状態は写真-9のように3列2段である。

ブロックの製作費は工事の実績によると1個約16000円となっている。この中では型枠費が約9000円であり、鉄筋費は約2000円である。型枠費が特に多いのはブロックの製作数が少ないので、木製型枠で3回使用としたためで、鉄製のものを用いて多量に製作すれば、型枠費は過去の実績から1m²当り200円とみれば十分で、したがってこのブロックの場合は13m²であるからブロック1個について2600円となる。それゆえに多量に用いる場合の単価は1個10000円程度と考えられる。

鉄筋の配置は外力を考慮して計算により決めたものではなく、経験的に定めたものであるから、今後の試験工

図-5 組合わせブロックの形状と配筋

(重量 3.5t)



記号	径 mm	長 m	本数	使用長	単位重量	使用 本数	総重量
A	9	1.80	16	400×1/2	0.49	8	15.68
B	9	1.25	16	500×1/4	0.49	4	9.80
C	9	1.00	16	400×1/4	0.49	4	7.84
D	6	1.28	8	550×1/4	0.22	2	2.42
E	6	1.20	4	550×1/4	0.22	1	1.10
F	6	0.96	4	400×1/4	0.22	1	0.88
計							37.72

≒37.7 kg

事の結果などから適当に増減されることになろう。しかし単価におよぼす影響は少ないと考えられる。

設置費は1個約3500円となっているが、これも多数設置する場合には多少安くなると思われる。

同程度の大きさのテトラポットの単価は約7000円、6脚ブロックは約9000円となっており、土研式ブロッ

写真-9(a)

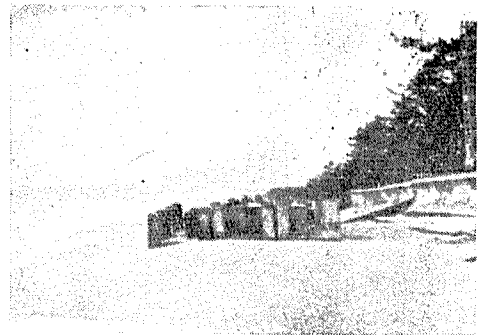
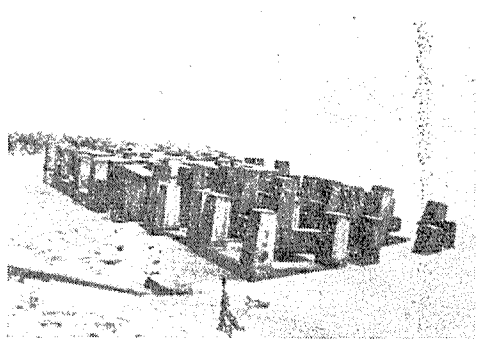


写真-9(b)



クはだいたい鉄筋の分だけ高くなっている。したがって組合わせブロックの場合、

- (1) 同条件である程度小さいものを使用できる。
- (2) 連結の手数がいらぬ。

などの好条件が単価の割高の分を、どの程度おぎなえるかが非常に重要な問題となろう。

以上日吉津海岸における施工例をのべたが、伊勢湾奥の海岸堤防においても根固め工として土研式ブロックが用いられている。ブロックの重量は2tと1.5tで沈床の基礎の上に3列2段に施工されている。

これらの工事は施工後あまり時間がたっていないのでまだ耐久性、強度などについて具体的な成果は得られていないが、今後の長期にわたる観測によって貴重な資料が得られるものと考えられる。