

Ⅲ-144

基礎捨石材に石灰岩を用いた場合の強度・変形特性について

東洋建設(株) 技術研究所 正会員 ○佐藤 毅
 " " " 三宅 達夫
 東洋建設(株) " " 西野 弘造

1. はじめに

防波堤等における基礎捨石材として一般的に用いられている礫材は、花崗岩や硬質砂岩等である。しかし、地域によってはこのような礫材が採出にくく、今まであまり使用されたことのない石灰岩を用いなくてはならない状況が発生してきている。そこで、筆者らは大型三軸試験による石灰岩の基礎捨石材への適用性に関する研究を始めた。石灰岩の適用性に関しては、石灰岩の材質としての強度・変形特性や海水に浸った状態での長期耐久性、地震時安定性等、多くの項目を調査しなくてはならない。本論文では、この中で特に、捨石マウンドが波力を受けるケーソンによって繰返し載荷されることを考え、石灰岩の繰返し載荷による強度・変形特性を調べた結果について報告する。

2. 実験試料および方法

実験に用いた試料は、青森県下北郡東通村産の石灰岩である。実験に際して想定した捨石材の粒度分布は、図-1に示した八戸港において調査した捨石重量と捨石材の中間径の関係から求めた粒度分布と既往の研究結果¹⁾の平均的な粒度分布を参考にして決定した。また、実験で使用了大型三軸試験の供試体寸法はφ300mm×高さ600mmであるため、実験試料は、捨石材の粒度分布に対して縮尺1/20の相似粒度(10mm~40mm)のものをを用いた。図-2および表-1に、想定した捨石材と実験試料の粒度分布と物理特性を示す。

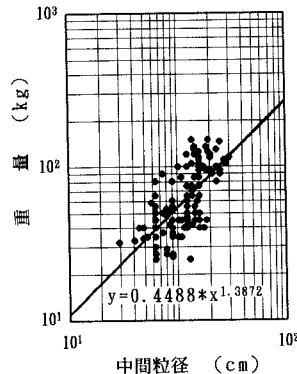


図-1 捨石重量と中間径の関係

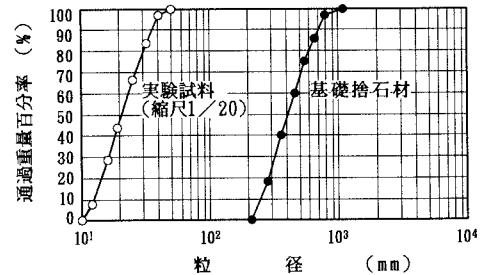


図-2 基礎捨石材と実験試料の粒度分布

表-1 基礎捨石材と実験試料の粒度分布の物理特性

	60%粒径 $D_{60}(\text{mm})$	30%粒径 $D_{30}(\text{mm})$	10%粒径 $D_{10}(\text{mm})$	均等係数 U_c	絶乾比重	吸水率(%)
基礎捨石材	460	322	246	1.87	—	—
実験試料(縮尺1/20)	23.1	14.3	12.5	1.85	2.671	0.455

護岸ケーソンに作用する水平波力とケーソン底面に作用する上、下方向の揚圧力により、捨石マウンド材には地盤反力が繰返し作用すると考えられる。実験では、この地盤反力が繰返し作用することに対する石灰岩の強度・変形挙動を調べるため、繰返しせん断試験を行った。

試験に際し、ケーソンに作用する波力や地盤反力の算定は、港湾施設に関する設計基準²⁾により行い、それに必要な護岸構造物の寸法や最大波高等の設定条件は、石灰岩の産地に近い八戸港外港部の数値³⁾を参考にした。

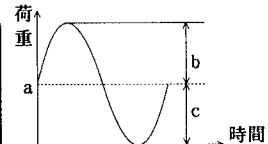
なお、捨石マウンドに作用する繰返し荷重は、ケーソン自重による初期せん断力がマウンドに作用した状態で載荷されることから、実験では、拘束圧 $\sigma_3=1.0\text{kgf/cm}^2$ で圧密後、ケーソン接地圧まで荷重制御で排水せん断し、その後、軸荷重制御での排水繰返しせん断を行った。表-2に繰返しせん断試験における荷重条件を示す。試験は片振り状態での繰返しであり、表中の荷重タイプAはケーソン後趾、荷重タイプBはケーソン前趾における地盤反力に対応する。また、荷重タイプCではケーソン接地圧を中心にこれと等しい値で繰返しを行った。なお、繰返しは周波数0.05Hzの正弦波、繰返し回数は20、100、200回の3種類で行い、さらに繰返し後、軸ひずみ速度0.1%/minで排水せん断試験を行った。

C/D試験は拘束圧 $\sigma_3=1.0, 2.0, 4.0\text{kgf/cm}^2$ について行い、ひずみ速度は0.1%/minであった。なお、C/D試験および繰返しせん断試験とも供試体密度は一定とし、間隙比は0.75を目標にした。

3. 実験結果

表-2 繰返しせん断試験の荷重条件

荷重タイプ	荷重振幅(kg/cm^2)		
	a	b	c
A	1.74	1.92	0.38
B	1.74	0.93	1.74
C	1.74	1.74	1.74



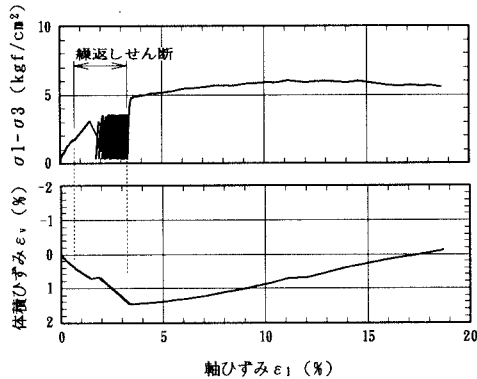


図-3 繰返しせん断試験結果の代表例
(荷重タイプB、繰返し200回)

繰返し試験における軸差応力～軸ひずみ、体積ひずみ～軸ひずみ関係についての代表例を図-3に示す。

実験結果はどのケースも同様の傾向を示し、繰返しによって体積ひずみは収縮し、その後のせん断では体積ひずみは膨張し正のダイレイタンスを示している。

図-4に繰返し回数と繰返し後のせん断によって求めた接線角 ϕ_0 の関係を示す。なお、図中の繰返し回数ゼロにはCD試験結果をプロットした。図より、どの荷重タイプも $\phi_0 = 46.2^\circ \sim 49.4^\circ$ の範囲にあり、繰返し後の強度は、花崗岩や硬質砂岩等に関する既往の研究結果¹⁾と同等の強度を発揮している。また、これらの ϕ_0 はCD試験結果よりも大きい値を示している。さらに、図-5に繰返し後のせん断試験における破壊時のダイレイタンス比 $-(d\varepsilon_1/d\varepsilon_v)f$ と繰返し回数との関係を示す。図-5は図-4と同様に、繰返し回数ゼロにはCD試験結果をプロットした。図より、繰返し回数が増えるほど $-(d\varepsilon_1/d\varepsilon_v)f$ は大きく、正のダイレイタンスを強く示している。また、繰返し回数100回あたりから $-(d\varepsilon_1/d\varepsilon_v)f$ の増加率は小さくなり、ある値に漸近するかの傾向を示している。これらのことから、捨石マウンドが繰返し荷重を受けることによって体積が収縮し、締められる傾向にあると考えられる。

一方、図-4から、繰返し回数 N と3つの荷重タイプの ϕ_0 の値を双曲線で近似し、無限回数の繰返し($N \rightarrow \infty$)による ϕ_0 の変化を双曲線の漸近線から予測した。その結果、 $N \rightarrow \infty$ における ϕ_0 は 47.79° となり、繰返し回数200回における ϕ_0 の平均値 47.6° とほぼ等しい。

また、繰返し載荷による捨石マウンド材の変形に関して、圧密後から繰返しせん断までの体積ひずみと繰返し回数の関係を図-6に示す。図よりどの荷重タイプにおいても体積ひずみは回数とともに増加する傾向にあり、繰返し回数200回における体積ひずみは石灰岩で1.4～2.1%となっている。繰返し回数の増加にともない体積ひずみが増加し続けるかどうかには今回は今回の実験ケースだけでは判断できない。今後、繰返し回数を増やした実験ケースを行う必要がある。

4. あとがき

今回の報告では、基礎捨石材としての石灰岩の適用性についてその可能性を確認した。今後は、さらに多くのケースに関して実験を行い、石灰岩の強度・変形特性や長期耐久性、地震時安定性等を調査していく予定である。

<参考文献>

- 1) 莊司喜博：「大型三軸圧縮試験による捨石材のせん断特性に関する考察」港湾技術研究所報告1983年
- 2) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、1989年改定版
- 3) 防波堤構造集一覽：港湾技術研究所報告 1986年

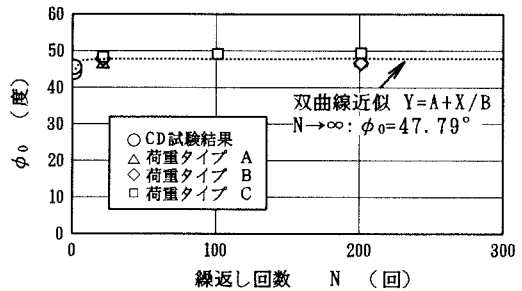


図-4 繰返し回数と接線角 ϕ_0 の関係

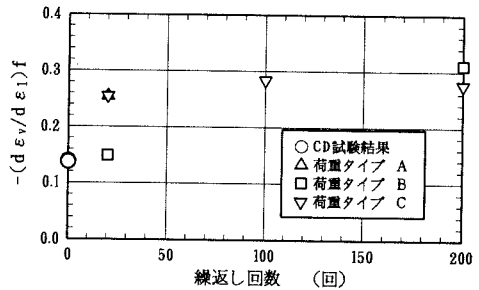


図-5 繰返し回数と $-(d\varepsilon_1/d\varepsilon_v)f$ の関係

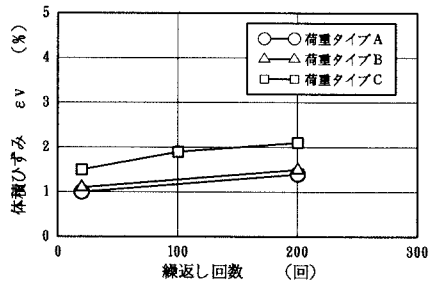


図-6 繰返し回数と体積ひずみの関係