

前橋工科大学	学生会員	稲光	正修
前橋工科大学	正会員	土倉	泰
国土交通省	正会員	宮田	正史
国土交通省	正会員	菅野	高弘

1. はじめに：混成式防波堤を築造する際には、捨石マウンドが用いられる。従来の設計では、捨石マウンドを連続体としてとらえるため、捨石マウンド表面の不陸がケーソン本体に与える影響がどの程度であるか等を評価するための十分な方法は確立されていない¹⁾。そこで、本研究ではマウンドの捨石を球とみなした不連続体モデルを作成し、捨石マウンド上にケーソンを据え付ける際に見られるケーソン底版と捨石との接触状況の変化等を粒状要素法²⁾を用いて解析する。

2. 解析条件：本解析では、捨石をアルミ丸棒の粒子でモデル化した。図1のように半径0.5cmである87個の粒子を規則的に配置し、その上に図の上部中央左から0.26, 0.25, 0.27cmと半径を変化させた3個の粒子を載せて不陸のあるマウンドを作った。

粒子間を結ぶように描かれている線分は粒子に作用する力を表している。線分の長さは、接する粒子の半径の和となっており、力の作用方向に描かれている。マウンドの上に描いた横線は、ケーソン底版を想定したものである。また、下部の横線はマウンドを支える床を表していて現実の問題としては地盤に相当する。マウンドが簡単に崩れてしまうことがないように、床と接している粒子の回転を拘束するとともに、床と粒子との間の摩擦角は 48° とした。なお、粒子のヤング率は71GPa、ポアソン比は0.34、ケーソン側のヤング率は206GPa、ポアソン比は0.28、粒子間および粒子とケーソンの間の摩擦角は 16° とした。接触力の算定にはHertzの理論を適用した。床のヤング率に関しては、その値が結果に及ぼす影響を調べるため2通りに設定した。硬い場合として206GPa、極端に軟らかい場合として98kPaを採用した。以上の条件のもと、変位制御でケーソン底版をマウンドに押し付けて強制的に沈下させたときに生じる捨石の動きやマウンド内に伝達される力について2次元の粒状要素法で解析する。

3. 結果と考察：ケーソン据え付け時のマウンド支持機構を調べるために実物大の実験も行われている。但し、実験は陸上で行われており、マウンドは硬い反力床の上に作成されている。実験の最中に、捨石の割れるような音が頻繁に聞こえており、マウンド内にはかなり大きな力が伝達されているものと推察される。実際の混成防波堤を築造する海底が強固な地盤ではないと仮定すると、床の硬さが実験結果に及ぼす影響について何らかの評価が必要である。そこで、本研究の計算では、硬い床と軟らかい床の2通りの条件を設定して両者の比較を試みた。

キーワード：混成式防波堤、捨石マウンド、不陸、粒状要素法

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1 TEL 027-265-0111.

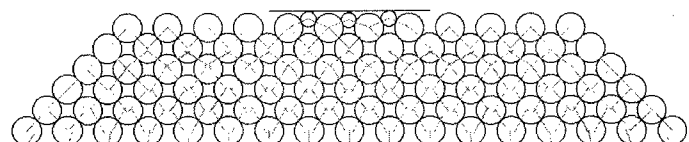


図1 捨石マウンドのモデル化

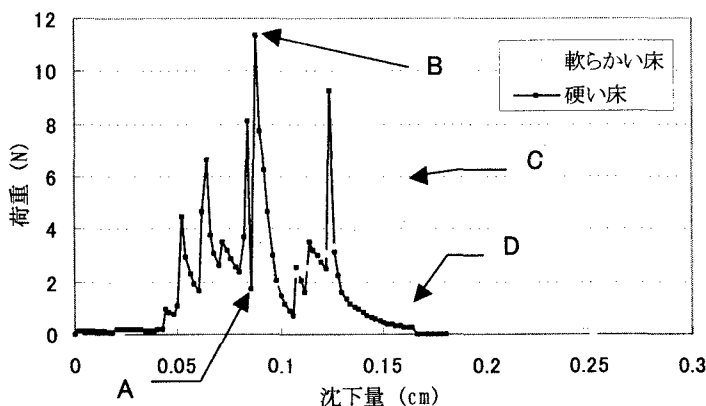


図2 荷重と沈下量の関係

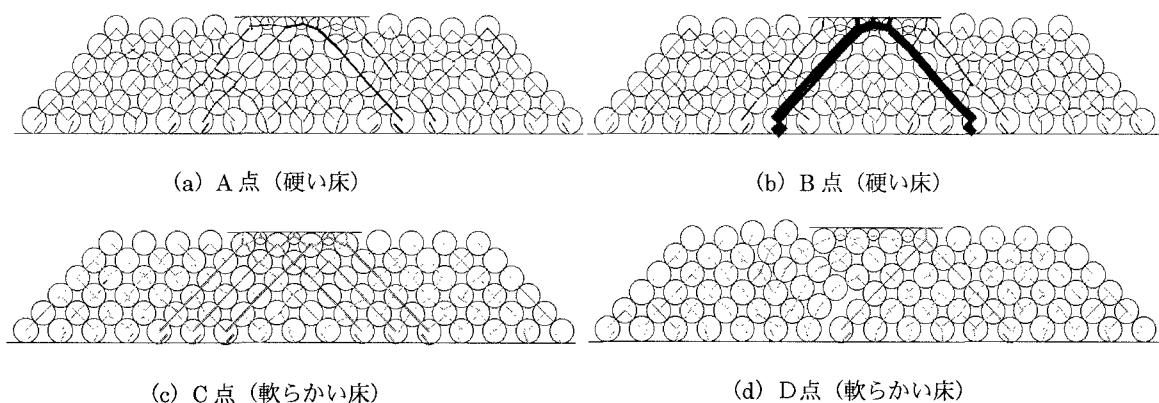


図3 粒子の位置の伝達分布状況

図2には解析をして得られたケーソン沈下量と底版に作用する荷重の合計値との関係を示した。床が硬い場合、グラフは鋸状の折れ線を描き、軟らかな場合は、比較的滑らかな曲線を描くことが注目される。図3(a)~(d)は、それぞれ図2のA~D各点における粒子の位置とマウンド内に伝達される力の分布状況を示している。線の太さは力の大きさに比例させて描いている。A、B点は床が硬い場合の解析結果で、B点は荷重が最大となる点であり、A点はその直前である。A点とB点の沈下量の差は0.002cmである。A点では作用している力が小さいが、B点に至るまでに大きな力の柱が形成されることが図の(b)よりわかる。このような

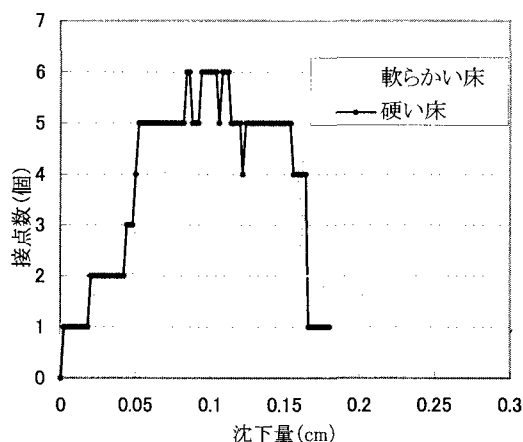


図4 接点数と沈下量の関係

図を計算の全過程を通して描くと、床が硬い場合には、荷重の大きくなっている点でB点のような大きな力の柱が形成されており、図2の鋸型の折れ線に合わせてこの柱の形成と崩壊が繰り返されているのがわかった。力が局所的に作用するため、座屈のような現象が多く生じているようである。図の(a)と(b)において底版両端の下2粒子~3粒子程度のところに大きな空隙ができているのは柱の座屈破壊を連想させる変形である。反力床を用いた実物大の実験においても、このような力の集中がマウンド内に生じている可能性がある。一方、C、D点は、床が軟らかい場合の解析結果で、C点では荷重がピークとなる。このとき力は分散して作用しているのが図(c)よりわかる。C点から沈下量が0.002cm増加したD点では、マウンドが破壊して一部の粒子は大きく移動している。図の(d)において、底版が沈んで見えるのは、左側の粒子が動いて盛り上がったためである。また、図4は底版と粒子との接点数が沈下量とともにどのように変化するかを示したものである。接点数の増加はマウンド上面の不陸の解消を表す。床の硬軟に関わらず、荷重がピークに達するまでに不陸は解消されていく様子がわかる。

4. まとめ：粒状要素法を用いて、モデル化した捨石マウンド上にケーソンを据え付けた場合に作用する力の分布状況や接触状況の変化を把握できた。硬い床を用いた場合には、粒子間に局所的に力が加わり座屈のような現象が多く生じることがわかった。今後、実際に小規模なマウンド模型を作り、本文で示した計算と対応する実験を行って、計算結果を検証したい。また、現実の設計に役立てるために、材質や粒径を実物にみあったものとした3次元解析を行いたいと考えている。

5. 参考文献： 1)宮田・菅野・長尾・篠原・近藤：均し制度がケーソン底版断面力に及ぼす影響，港湾技研資料No.945，pp.4-26，1999年9月。 2)岸野：新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析，土木学会論文集，No.406，pp.97-106，1989年6月。