

III-253 大水深捨石マウンドの締固め効果に関する一考察

鹿島建設㈱

石川陸男

鹿島建設㈱

太田勝矢

鹿島建設㈱ ○正会員

岩村栄世

鹿島建設㈱

松浦一雄

1. まえがき

大水深でかつ大規模な捨石マウンドを有するケーソン基礎構造物においては、構造物の安定性確保が重要な課題の1つである。この安定性確保の目的で重錘を海中自由落下させて、捨石マウンドを締固める工法があるが、この締固め効果を定量的に把握した研究成果は少ない。そこで、支持力、沈下量に及ぼす締固め効果の影響を把握することを目的に、重錘の加速度の経時変化および重錘落下高、貫入量を測定し、これらとケーソン設置後の沈下計測結果をもとに解析を行ったので、その概要を報告する。

2. 実験概要

実験は、図-1に示す2基の捨石マウンドのうち、Aマウンドの1・2層、Bマウンドの1層の各中央部を対象に行った。捨石の基盤となる岩盤は、砂岩、頁岩の互層であり、この上に捨石投入均し台船を用いて1層 3.5~4mに 5~200kg/個の捨石を投入数均した後、水中重量36t、底面積3m×3mの鋼製重錘を用いて締固めを行った。

締固め手順は、同一箇所を2回連続して締固めた後順次隣に移動して全域の締固めを行い、これを2回繰返した後最後の押え（落下高0m）を行った。重錘落下高は2, 3, 4mと3種類に変化させた。（表-1参照）

測定は、重錘本体に取付けた加速度計とひずみゲージにより重錘の加速度の経時変化および着底時間を、またワイヤーに取付けたスケールを測量槽よりレベルにて読取り、落下高および貫入量を測定した。（図-2参照）

3. 実験結果

今回、重錘の加速度、落下高、貫入量について各々 384個の測定を行い、このうち 366個の有効データが得られた。またこれらのデータをもとに以下の解析と考察を行った。

(1) 加速度・速度・変位の経時変化

得られた加速度記録を時間で積分し速度、変位の経時変化を求めた。

1例を図-3に示す。この経時変化記録より以下のことが判明した。

- ①落下直後の加速度は、重錘の抵抗係数、仮想質量係数の他に重錘吊下げ用ワイヤー巻取りドラムの慣性力、ワイヤーの伸び、滑車の摩擦等の影響を受け、ゆるやかな増加を示す。
- ②重錘の落下が進むにつれて海水抵抗が増し、加速度が減少してくる。
- ③着底速度は海水のクッション作用を受け、最大速度より小さくなる。
- ④着底時の加速度は、締固め回数が増し捨石マウンドが締固まるに従い鋭く大きな値を示す。

(2) 重錘落下高と着底速度の関係

重錘落下時の運動方程式より落下高 h の時の着底速度 v を(1)式によって表し、この式中の抵抗係数 C_D 、仮想質量係数 C_M を求めることとした。図-3 加速度・速度・変位の経時変化

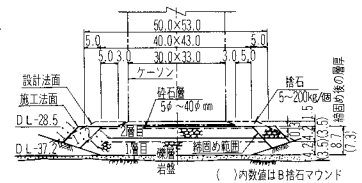


図-1 A, B 捨石マウンド

表-1 締固め方法

	締固め方法及び回数	落下高
Case 1	2回+2回+1回（押え）	2m
Case 2	2回+2回+1回（押え）	3m
Case 3	2回+2回+1回（押え）	4m

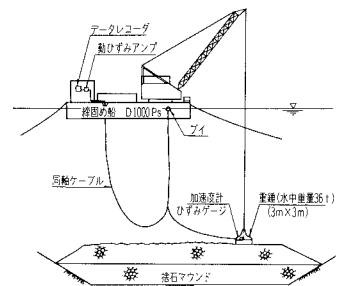
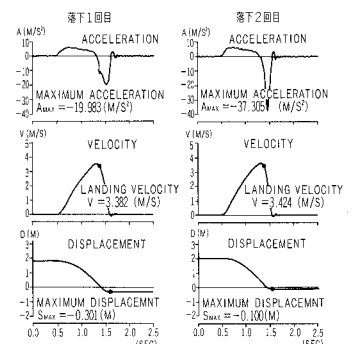


図-2 測定方法



$$v = \sqrt{\frac{2(WH - g \cdot r \cdot w \cdot V_H)}{C_D \cdot A_H \cdot r \cdot w}} \times [1 - \exp\left(-\frac{h \cdot C_D \cdot A_H \cdot r \cdot w}{(WH/g + C_H \cdot r \cdot w \cdot V_H)}\right)] \text{-----(1)}$$

重錘の加速度記録の積分より得られた着底速度と(1)式を比較して、未知数である抵抗係数 C_D と仮想質量係数 C_M を最小2乗法にて求めると、図-4に示すように今回の重錘形状に対し $C_D=3$, $C_M=12$ という値がもっとも良い近似を示すことが判明した。

(3) 重錘落下高と動力学的支持力の関係

支持力については、Hileyの杭の動力学的支持力公式と同様にエネルギーの平衡方程式をたて、動力学的支持力 R_D を(2)式によって表した。

$$R_D = \frac{ef \cdot E}{S_R + SE/2} \times \frac{WH}{WH + WG} = \frac{ef}{S_R + SE/2} \times \frac{(WH \cdot v^2 / 2g)}{WH + WG} \times \frac{WH}{WH + WG} \text{-----(2)}$$

上記(2)式を用いて得られた結果を図-5に示す。しかし、これは $3m \times 3m$ の矩形重錘を用いて得られた結果であり、実際のケーソンに適用する場合には載荷幅、法面等の影響を考慮する必要がある。

(4) 重錘落下高と変形係数の関係

重錘着底時の運動方程式より、地盤を集中バネとした時の沈下量と等方弾性体とした捨石マウンドに分布荷重が作用した時の沈下量とが等しいという仮定のもとに、変形係数 E_D を(3)式によって表した。

$$E_D = \frac{T}{B(B+2T \tan \phi)} \times \frac{v^2}{\delta \max^2} \times \left(\frac{WH}{g} + C_H \cdot r \cdot w \cdot V_H \right) \text{-----(3)}$$

上記(3)式を用いて得られた結果を図-6に示す。またケーソン設置後の沈下計測結果より逆算して求めた捨石マウンドの変形係数経時変化記録を図-7に示す。これはある時刻の沈下量を求めるために用いるみかけ上の変形係数であり、その時刻での実際の変形係数とは異なるものである。(3)式より得られた締固め終了時の変形係数 $E_D=1,500t/m^2$ と沈下計測結果より得られたケーソン設置時の変形係数 $E_D=1,450t/m^2$ とは良い近似を示している。しかし、これらは主に捨石のかみ合せのずれによって生ずる塑性沈下量を変形係数 E_D で代用して表した場合の結果であり、一般に確められている値より1桁程度小さな値となっている。

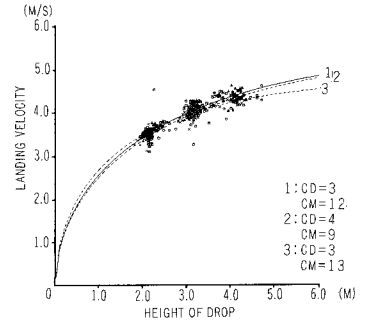


図-4 着底速度

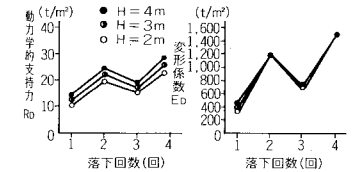


図-5 動力学的支持力 図-6 変形係数

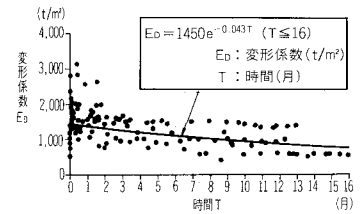


図-7 変形係数経時変化

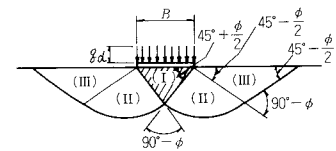


図-8 マウンド重量 W_0
(ハッチングの部分)

表-2 記号の説明

記号	単位	説明	記号	単位	説明	記号	単位	説明	記号	単位	説明
g	m/s^2	重力加速度	C_D	—	抵抗係数	S_R	m	重錘貫入量	ϕ	度	捨石の内摩擦角
v	m/s	重錘着底速度	C_M	—	仮想質量係数	S_E	m	地盤・捨石マウンドの弾性変形量	γ_s	t/m^3	捨石の単位体積重量
h	m	重錘落下高	γ_w	ts/m^3	海水密度	W_0	t	重錘着底後、重錘と一体となって動くマウンドの重量(図-8参照) $W_0 = \frac{B^3}{6} \tan(45^\circ + \frac{\phi}{2}) \gamma_s$	E_D	t/m^2	捨石マウンドの変形係数
A_H	m^2	重錘底面積	R_D	t/m^2	動力学的支持力	B	m	重錘最小幅	T	m	捨石マウンドの厚さ
V_H	m^3	重錘体積	ef	—	エネルギー効率				$\delta \max$	m	重錘最大沈下量 $\delta \max = S_R + S_E$
W_H	t	重錘重量	E	tm	打撃エネルギー						

4. あとがき

大小の捨石の複雑な噛み合せによって成立っている捨石マウンドの支持力、沈下量の推定を、締固め時の加速度をもとに多くの仮定を用いて解析しているだけに十分な結果であるとはいえないが、ある程度定量的な把握はできたと考えている。今後ますます大規模化、大水深化する海洋土木工事の発展のためにも、捨石マウンドの支持力、沈下量に関する研究は不可欠であり、実証実験を含めた今後の研究成果に期待したい。

[参考文献] 1) 中村他「海中落体の着底衝撃に関する研究」第22回海洋工学講演会論文集 1975

2) 能町他「落錐による水底地盤の締固めに関する考察」第34回年次学術講演会 1979