

第4章 人工リーフ模型の設定方法

4.1 マウンド材

マウンド材は、石を用いることとする。マウンド材の大きさは、現地量で 10～500kg/個に相当するものを使用することを標準とする。

使用する石についてふるい分け試験を実施して粒径加積曲線を作成する。石のふるい分け試験では、全部通過するふるいと全部残留するふるいの間に 1 つ以上ふるいの種類があることが望ましい。なお、粒径加積曲線は報告書に表示する必要はないが、データとして保管しておくこととする。

解 説

(1) マウンド材の設定

マウンド材の標準を設定することで、実験方法の統一を図ることが目的の 1 つであり、現地で使用されている粒径範囲を含めることにより、ブロック孔やブロック同士の目地より小さな粒径のものが抜け出すかどうかを確認する目的もある。

(2) マウンド材の大きさ

「人工リーフの設計の手引き」¹⁾を参考として、マウンド材の大きさは 10～500kg/個に相当とするものを標準とした。石を球形状と考えると単位体積重量を 2.7g/cm^3 で計算すると、粒径は現地量で約 192mm～708mm、実験縮尺を 1/50 とした場合は粒径が約 3～14mm 程度の石となる。

マウンド材の粒径の目安を設定したことで、人工リーフ堤体マウンドの透水性が高いことにより前章「3.5 還流施設（戻り流れ）」で示した戻り流れによる効果が実験毎に異なることを最小限に抑える。

(3) 粒径加積曲線例

図-4.1 は、国総研で実験用マウンド材とした市販の単粒度碎石 7 号の粒径加積曲線と 10～500kg/個の範囲の粒径を比較した例である。縦軸は通過質量百分率(%)、第 1 横軸は縮尺を 1/50 とした場合の模型量の粒径(mm)、第 2 横軸は現地換算量の粒径(m)としている。図-4.1 は、ふるいの目の都合上粒径加積曲線が 10～500kg/個の範囲を粒径が小さい方にならされているが、ブロック孔やブロック同士の目地より石の抜け出しが発生しやすい悪条件であるので安定性を見る実験としては問題ない。

(4) マウンド材の抜け出し・流出による影響

人工リーフは被覆ブロックのみで構成されるのではなく、マウンドとの複合体である。マウンド内に及ぼす水理現象により細粒分が流出することで、マウンド内に局部的に空洞が生じるとブロックに作用する流体力の増大を助長する不陸の発生につながる懸念がある。

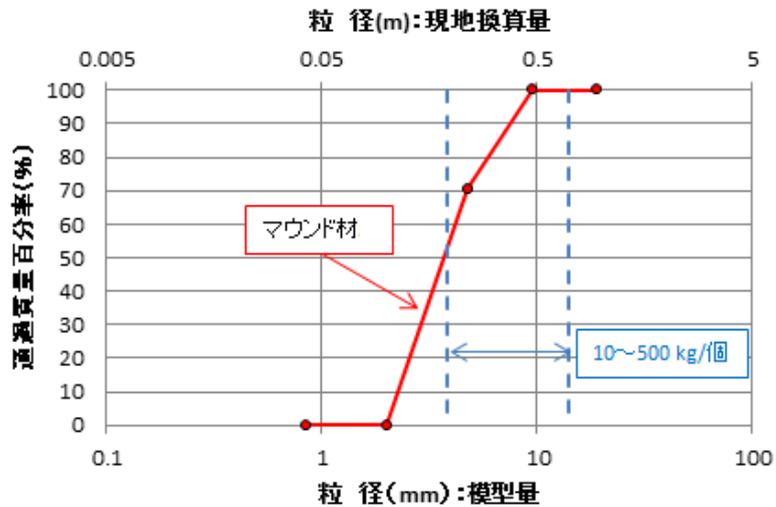


図-4.1 現地量に換算した粒径におけるマウンド材の粒径加積曲線
 (実験縮尺 S=1/50、使用したふるい : 19mm,9.5mm,4.75mm,2mm,0.85mm)

4. 2 被覆ブロックの配置とクリアランス

被覆ブロックのクリアランスは、そのブロックの形状に対して現場の施工で必要となる大きさ以上となるように設置する。

解 説

被覆ブロックのクリアランスは、施工性（吊り具の装着等）により決まるものである。実験においてはブロック同士の摩擦が過大に作用することがあり、そのために散乱が生じにくくなることがある。これを避けるためブロック同士が完全に接しないように留意する必要がある。

4. 3 ブロック質量の種類

被覆ブロックの所要質量算定式であるブレブナー・ドネリー式の安定数 N_s の算定図上の N_s 算定線を引くためには、被災限界を確認できる十分な実験結果が必要となり、現地で被災しないブロック質量を示すことが重要である。

また、 N_s の信頼性向上を図る意味合いでスケール効果をみるが、現地換算量を変えたものでブロック質量を2種類以上実験する等の方法が考えられる。

解 説

実験実態調査によると、実験に用いられたブロック模型の質量は 10g~300g の範囲に含まれていた。ブロック模型 11 種類が 50g 以下、ブロック模型 17 種類が 100g 以下のブロック質量で実施されていた。

4. 4 人工リーフ模型の製作上の留意点

マウンドとブロック配列は初期状態がケースごとに均一となるようにすることを標準とする。

水路側壁沿いの被覆ブロックは側壁の影響によりブロックが散乱しやすいので、両側の側壁沿い1列分を固定する。

解 説

1 ケースごとに人工リーフ断面を作り直すかどうかの判断材料として、マウンド材の抜け出しの有無を確認することがある。各実験ケース終了後に変状が認められない場合は、そのまま次の実験ケースを実施してもよい。

側壁沿い1列分のブロック固定は、比重の大きいブロックを製作して並べる方法等が考えられる。

補足②：模型ブロックの比重・密度・質量

報告書には安定数 N_s を算定するときに使用する模型ブロック質量を記載し、個々の模型ブロックの測定結果は記載する必要はないが、データを保管しておくこととする。

(1) モルタル製模型ブロックの密度算定方法

以下に参考として、モルタル製模型ブロックの密度算定方法を2種類示す。

<方法1>

- ① 模型ブロック脱型後、気中にて養生を行う。
- ② 水中にて24時間吸水させる。
- ③ 模型を水中より取り出し、吸水性の布を使用して目視で確認できる水膜を拭い去り、表乾状態（表面乾燥飽水状態）とする。
- ④ 模型の質量 m_1 を0.1gの桁まで測定する。
- ⑤ 図-4.2に示すように模型を金網かごに入れ、水中で模型が入った状態で金網かごの見かけ質量 m_2 を0.1gの桁まで測定する。
- ⑥ 金網かごの水中における見かけ質量 m_3 を0.1gの桁まで測定する。
- ⑦ 下記に示す(a)式により、模型ブロック密度 ρ_r (=表乾密度 D_s) を算定する。

$$D_s = \frac{m_1}{\left[\frac{m_1 - (m_2 - m_3)}{\rho_w} \right]} = \frac{m_1 \times \rho_w}{m_1 - m_2 + m_3} \dots (a)$$

ここに、 D_s ：表乾密度 (g/cm³)

m_1 ：表乾状態における模型質量 (g)

m_2 ：模型と金網かごの水中の見掛け質量 (g)

m_3 : 金網かごの水中の見掛け質量 (g)

ρ_w : 水の密度 (g/cm^3) ($\rho_w = 1.0\text{g/cm}^3$) とする。

<方法 2>

①～④は<方法 1>と同様。

⑤ 図-4.3 に示すように模型を金網かごに入れ、水中に金網かごと模型が入った状態で質量 m_2 を 0.1g の桁まで測定する。

⑥ 水中に金網かごが入った状態で質量 m_3 を 0.1g の桁まで測定する。

⑦ 下記に示す(b)式により、模型ブロック密度 ρ_r (=表乾密度 D_s) を算定する。

$$D_s = \frac{m_1}{\left[\frac{m_2 - m_3}{\rho_w} \right]} = \frac{m_1 \times \rho_w}{m_2 - m_3} \dots (b)$$

ここに、 D_s : 表乾密度 (g/cm^3)

m_1 : 表乾状態における模型質量 (g)

m_2 : 模型と金網かごが水中にあるときの見掛け質量 (g)

m_3 : 金網かごが水中にあるときの見掛け質量 (g)

ρ_w : 水の密度 (g/cm^3) ($\rho_w = 1.0\text{g/cm}^3$) とする。

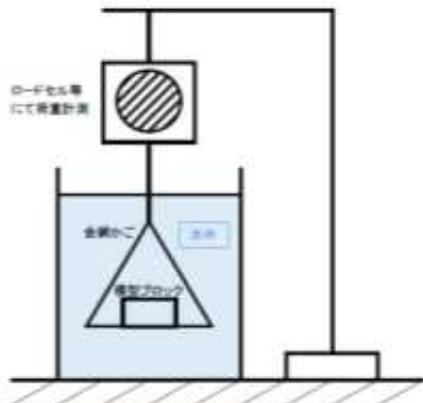


図-4.2 金網かごと模型ブロックの測定
イメージ

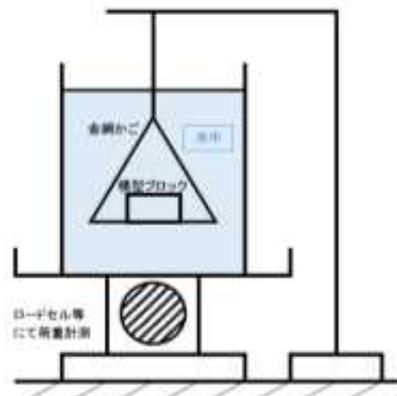


図-4.3 金網かごと模型ブロックの測定
イメージ

(2) 安定数 N_s を算定するときに使用する模型の質量と密度の算定方法

以下に参考として、ブレブナー・ドネリー式の安定数 N_s を算定するときに、使用する模型の質量と密度の算定方法例を示す。

- ① 水理模型実験で使用する模型全数について、模型の質量と密度を測定・算定する。
- ② 模型の質量と密度ともに、模型全数の平均値が目標値の $\pm 3\%$ の範囲にあり、そのばらつきが平均値の $\pm 3\%$ 以内に入っているものを合格とし、水理模型実験に使用する。

③ 合格した模型全数の質量と密度の平均値を使用して、安定数 N_s を算定する。

以下に、模型の質量と密度の測定・算定例を示す。

- 模型質量：実機質量の縮尺 1/50 の模型質量の目標値が 20g の場合
 - ・ 模型全数の平均値が $20g \pm 3\% = 19.4 \sim 20.6g$ に入ること。
 - ・ たとえば模型全数の平均値が 20.2g の場合、全ての模型ブロックが $20.2g \pm 3\% = 19.6 \sim 20.8g$ に入ること。
- 密度：目標値 $2.30g/cm^3$ の場合
 - ・ 模型全数の平均値が $2.30g/cm^3 \pm 3\% = 2.23 \sim 2.37g/cm^3$ に入ること。
 - ・ たとえば模型全数の平均が $2.37g/cm^3$ の場合、全てのブロックが $2.37g/cm^3 \pm 3\% = 2.30 \sim 2.44g/cm^3$ に入ること。

補足③：模型ブロックの摩擦抵抗

模型ブロックの材質は原則モルタル材とする。しかし、他の材質で比重を合わせた模型において摩擦抵抗の測定を行い、モルタル模型と比較して大きく違いがないことを確認できれば使用可能とする。

解 説

ブロックの摩擦力はブロック形状（底面突起の有無）によって異なるので、模型ブロックのマウンド材に対する摩擦係数を求めることを標準とする。摩擦係数は、ブロックの波浪安定性能に関わってくる性能値として示すことも考えられる。

以下に、模型ブロックの摩擦抵抗の測定事例を示す。

①模型ブロックの摩擦抵抗 測定事例（1）

1. 測定方法

測定位置の写真を図-4.4 に示す。測定は以下のようにして行った。

- ① アクリル製の容器に石を入れ、水平にならす。
- ② 石の天端面まで水を張る。
- ③ ブロックを水平に引っ張る。図-4.4 に示すようにこの測定例では、ブロックを 3 個設置して釣り糸で 3 個まとめて水平に引っ張った。
- ④ 容器に少しずつおもり（鉛の粒）を入れていき、徐々に荷重を大きくする。その際、入れた鉛の重さを測ることで荷重を求める。
- ⑤ ブロックの変位を測定する。図-4.4 に示すようにこの測定例では、レーザー変位計によりブロックの変位を測定した。
- ⑥ 測定は 3 回行う。

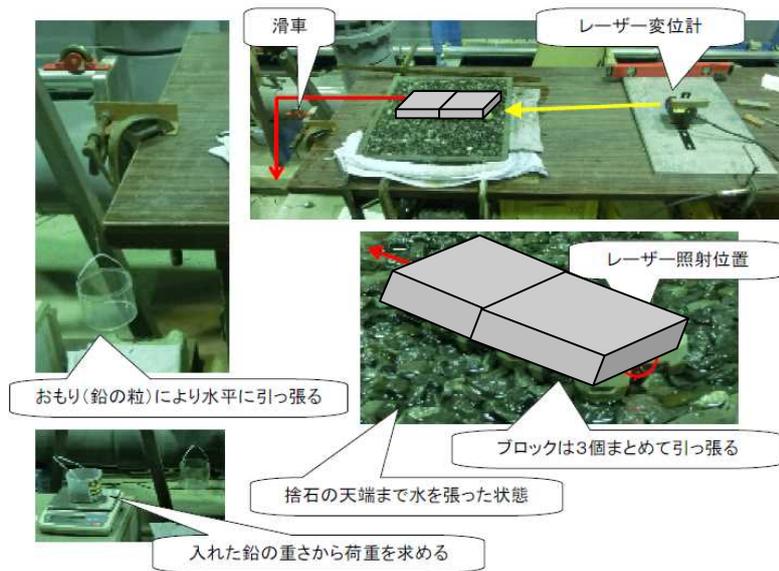
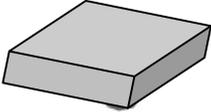


図-4.4 測定装置および試験状況

実験に用いたブロックの諸元を表-4.1 に示す。

表-4.1 ブロック諸元

ブロック種類	規格	質量 (実測値) ※
	2t 型 1/50	15.5 g

※実験で用いた3個のブロックの平均値

実験に用いた石の諸元を表-4.2 に、質量加積百分率を図-4.5 に示す。

表-4.2 石の諸元

規格	密度 (実測値)	空隙率 (実測値)
(現地量) 100~500 kg/個 (模型量) 0.8~4.0 g/個	2656 kg/m ³	39.3 %

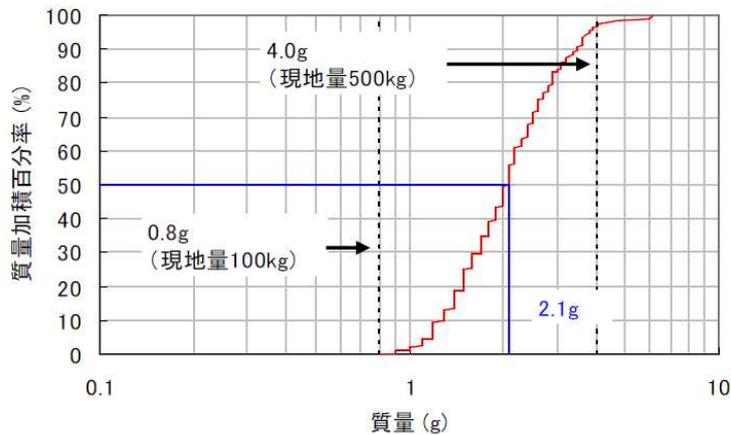


図-4.5 石の質量加積百分率

2. 測定結果

測定結果の例を図-4.6に示す。横軸はレーザー変位計で測定した変位、縦軸は摩擦係数 μ (c)式)である。以下の整理では、変位が10mmとなったときの摩擦係数を用いた。

$$\mu = \frac{F}{mg} \quad \dots(c)$$

ここに、 μ ：摩擦係数、 F ：引っ張り荷重(N)、 m ：ブロック質量(kg)、 g ：重力加速度(m/s^2)である。

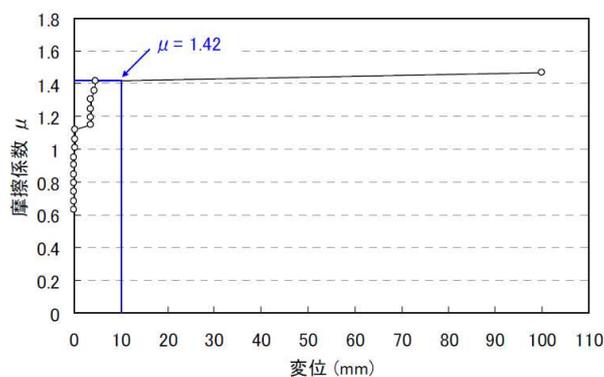


図-4.6 測定結果 (1回目)

摩擦係数の一覧を表-4.3に示す。

表-4.3 摩擦係数測定結果

ブロック種類・大きさ		1回目	2回目	3回目	平均
ブロックA	2t型 1/50	1.42	1.67	1.09	1.39

②模型ブロックの摩擦抵抗 測定事例（２）

石でマウンドを形成し、その上にブロック模型を載せ、ウインチで引っ張った。ロードセルの性能によるが、ある程度大きなサイズの模型が必要である。以下に、間瀬ら（2013）²⁾より摩擦抵抗測定方法部分を引用する。

1. 測定方法

水槽内に水を張らずにマウンドとブロック模型を設置し、ウインチで等速に引っ張ることにより、引っ張りチェーン間に挿入したロードセルで変動張力を測定する。ブロックが滑り出す直前の移動限界値（最大摩擦力） F を mg で割り、静止摩擦係数 μ を求めた。 F には移動限界の5回測定平均を使用した。また、ばねばかりの値は kg で読み取るため、 F は読み取り値に重力加速度 g をかけて N 表示に換算した。 m はブロックあるいはブロックと碎石（中詰石）を加えた質量で、 g は $9.8(m/s^2)$ を採用した。

$$\mu = \frac{F}{mg}$$

ここに、 μ ：静止摩擦係数、 F ：移動限界の5回測定平均(N)、 m ：ブロックあるいはブロックと碎石（中詰石）を加えた質量(kg)、 g ：重力加速度(m/s^2)である。

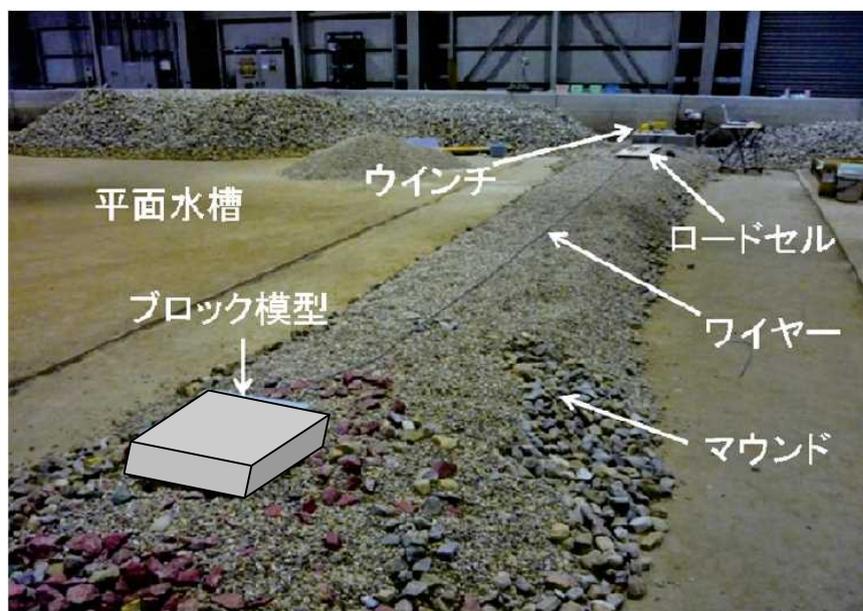


写真-4.1 測定装置および試験状況（参考文献4）に一部加筆）

参考文献

- 1) 社団法人全国海岸協会、監修国土交通省河川局海岸室・国土技術政策総合研究所海岸研究室（2004）：「人工リーフの設計の手引き（改訂版）」，pp.66-83.
- 2) 間瀬肇・平石哲也・川田達也・行本卓夫・徳永誠之（2013）：偶発波浪荷重対策としてのカウンターウェイトブロックの開発，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.67, No.2, pp.696-700.