

（１）護岸には適切な粗度を設けることに関する改訂（赤字が追記部分です。）

① P29

護岸の力学的安定性の照査の手順

POINT

護岸の力学的安定性の照査は、設計条件の設定、設計外力の算定、構造諸元の照査の順に行う。

（１）護岸の設計までの手順

護岸の設計は、河道計画段階での堤防および河岸防護の必要性の検討を経た後に行う。護岸の設計に至るまでの手順を理解するために、まず河道計画段階の手順について簡単に説明する。

河道計画の検討を行う場合に、優先的に検討すべきものは、流下能力の確保と河道の安定性および河川環境の計画への取り込みである。具体的には、まず現況河道の特性と課題の把握を行う。これにより、現況河道の流下能力および河川環境特性、河道特性について十分に検討し、河道計画を策定するうえでの課題を整理し、改修の基本方針を明らかにする。その基本方針に沿って、河道の安定性、自然環境の保全・創出、維持管理の容易さなどを考慮して、河床勾配、低水路幅などの断面形状を設定する。

以上の河道計画を踏まえ、護岸の設計検討が進められる（図３－１参照）。まず、設計に必要な外力・設計条件等を明らかにするために、河道特性の把握を行う（２－１節参照）。河道計画で設定された河道の断面形状を、堤防や河岸の侵食に対する安全度という観点で見ると、断面によっては侵食に対する防護が必要となる箇所がある。堤防および低水河岸の防護の必要性は、この段階で判断される（２－２節参照）。

次の段階では、堤防および低水河岸の防護対策の検討が行われる。堤防および低水河岸の侵食防止を考える場合には、侵食の原因を十分整理・検討し、対象河川の特性に見合った合理的な対策を見いだすことが重要である（２－３節参照）。

以上の検討より、個別の護岸設計に入る。まず、自然環境保全・景観保全に関する機能、過去の施工実績、被災事例を考慮して、河道特性、洪水の状況等から判断して十分に侵食防止機能を発揮できる工種を設定する（２－４～２－５節参照）。

（２）護岸の力学的安定性の照査の手順

護岸の構造諸元を決定するには、過去の施工実績や類似河川での経験、試験施工、模型実験に基づく方法の他、本書に示す力学的安定性の照査法がある。それぞれの方法の適用範囲を理解したうえで結果を比較検討し、さらに、その他の安全性の照査、機能・施工性・経済性も考慮して構造諸元を決定する必要がある。護岸の表面形状が滑らかになると、護岸周辺の流速が大きくなり、護岸前面や周辺の侵食・洗掘力が増すなどして、設計対象護

岸自身や周辺の河川管理施設の構造に支障を及ぼす可能性があるので、ただ護岸に作用する流体力を下げれば良いといった一部条件を満足することに囚われた設計に頼って構造諸元を決定するのではなく、表面に適切な粗度をもった護岸とすることが必要である。

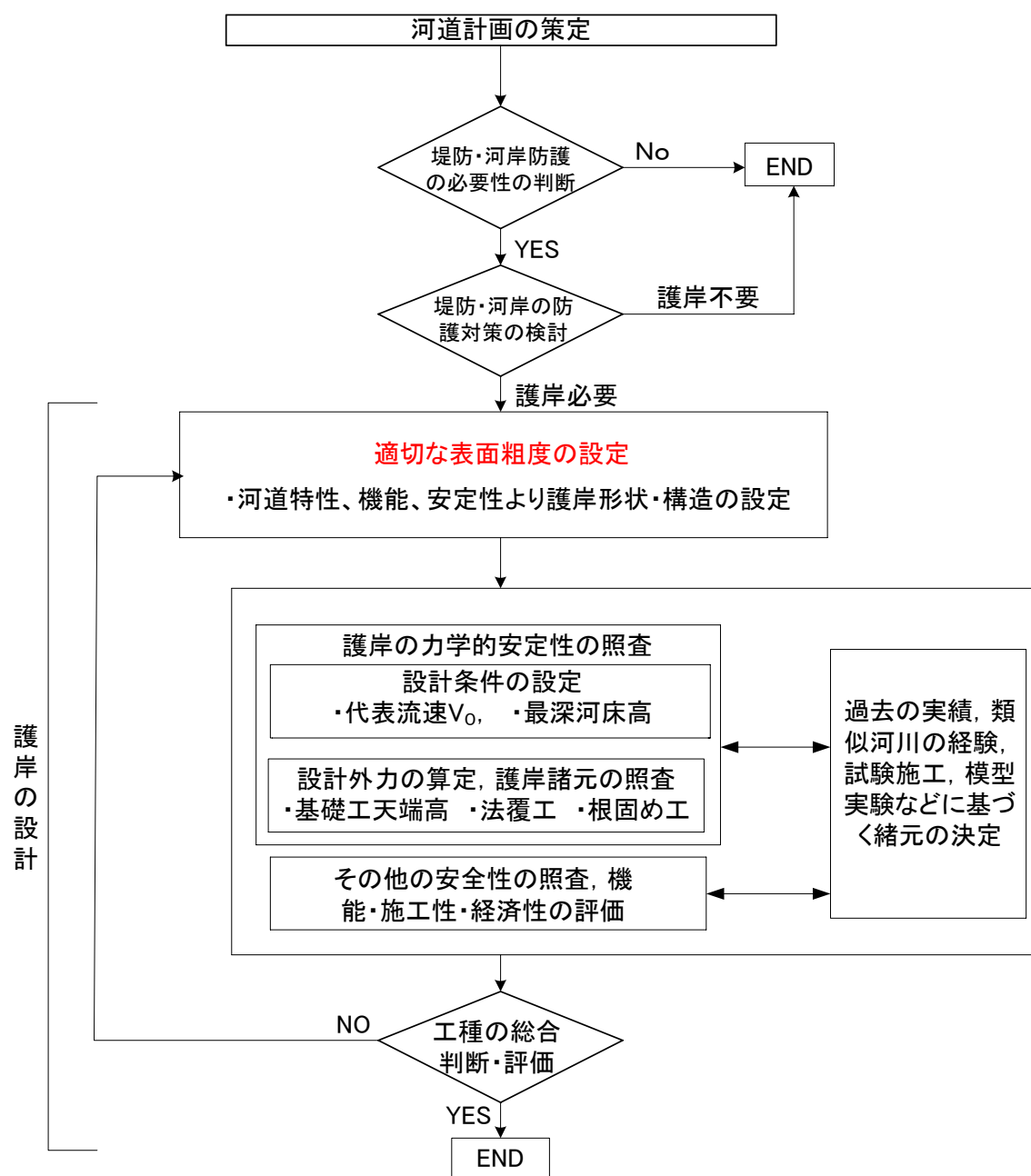


図 3.1 護岸の設計手順

力学的安定の照査については、大きく「設計条件の設定」と「設計外力の算定、護岸諸元の照査」に分けることができる。

「設計条件の設定」について、本書では、代表流速の算定と護岸前面の最深河床高の具体的な算定法を紹介している。代表流速とは、河道内の平均流速に護岸設置箇所の地形等を反映し、変換を行った力学設計のための流速である。最深河床高は、護岸の基礎高の決定や根固め工などの設計に必要なもので、本書では経年的河床変動データからの評価、既往研究成果からの評価、数値計算による評価、移動床模型実験による評価の4方法を示した。

「設計外力の算定、護岸諸元の照査」では、法覆工および付属工、基礎工、根固め工などの安定性検討を行う。本書では、設計で考慮すべき安定条件（滑動、転動など）、作用する外力（流体力、土圧など）と耐力との力学的なつりあい関係を「構造モデル」の導入により、各モデルごとに示し、設計者がモデル選択して護岸諸元を算定できる方法を採用した。

護岸の設計では以上に述べた検討結果を基本として、これに自然環境の保全・再生機能、景観、親水性、施工性、経済性、耐久性、対象河川における既往被災事例などの観点から検討を加え、総合的に判断して設置すべき工種と最終的に採用する諸元を決定することになる。

② P20

堤防および低水河岸の防護対策の検討のうち

2) 表面粗度

川幅・水深比の小さな中小河川では、護岸の表面粗度が河道の流下能力に与える影響が大きいので、流下能力の検討を含めて護岸の表面粗度を評価しなくてはならない。特に中小河川で多自然型川づくりを行った場合に河岸の粗度が大きくなっている場合には、河岸の粗度も流下能力の評価に考慮すべきである。

~~また、護岸の表面粗度が滑らかな場合には、護岸下流の河岸付近に早い流速が生じ、侵食発生の原因となる可能性がある。~~

また、護岸の表面形状が滑らかになると、護岸周辺の流速が大きくなり、護岸前面や周辺の侵食・洗掘力が増すなどして、設計対象護岸自身や周辺の河川管理施設の構造に支障を及ぼす可能性があるので、護岸の表面には適切な粗度を与える。適切な粗度の目安としては、例えば低水護岸や堤防護岸では、護岸設置区間の河床が有する代表的な粗度と同程度のものにするとといった考え方がある。但し、河床の状況によっては護岸構造が現実的なものとはならない場合がある。したがって、周辺も含めた河川管理施設等を与える影響や流下能力の確保、環境等の観点から総合的に判断する必要がある。

護岸表面の粗度評価方法の一例として、コンクリートブロックの突起形状、配置形状に着目した研究成果がある。本書では、「参考 4 護岸の粗度係数評価法」としてその方法を紹介する。

(2) 護岸粗度の設計流速への反映に関する改訂 (赤字が追記部分です。)

③ P35

4.2 代表流速 V_0 の求め方 のうち

2) 代表流速 V_0 、平均流速 V_m

堤防および低水河岸の護岸設計に用いる流速を代表流速 V_0 と定義する。本書に示す代表流速 V_0 の算定方法は、マンニングの平均流速公式で求めた平均流速 V_m で考慮されない要因を水理的に評価し、補正する補正係数 α を乗じ、

$$V_0 = \alpha \cdot V_m$$

として求める。

V_0 を求めるフローを図 4.1 に示す。

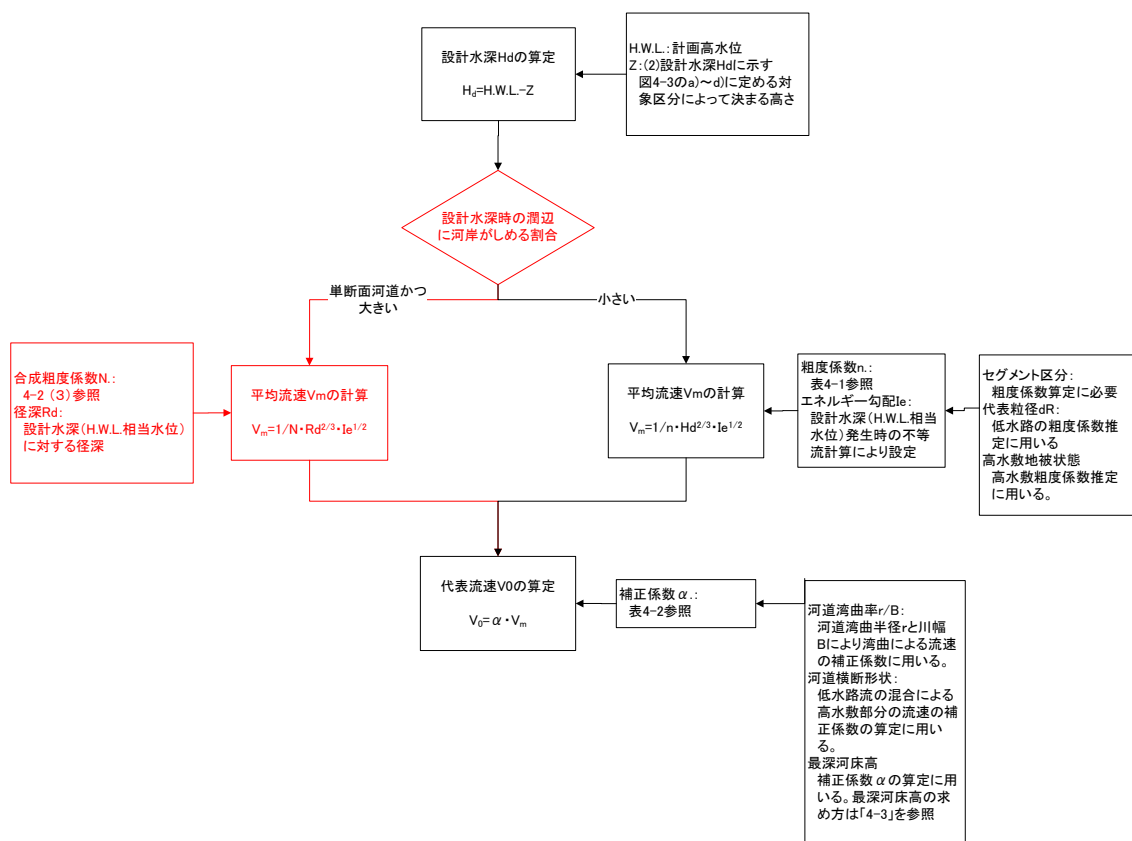


図 4.1 本書で示す代表流速 V_0 の算定フローチャート

ただし、低水路平面形状が変化に富む場合や、高水敷上の樹木群と堤防の間に速い流れが生じる場合等には、この手法では V_0 の評価が困難である。このような流れが複雑な場合は、二次元平面流計算、あるいは水理模型実験によって V_0 を算定することが望

ましい場合もある。

V_m は、高水護岸の場合は堤防のり尻部、低水護岸および堤防護岸の場合は低水路断面の平均流速を指す。(図 4.2 参照)

設計水深時の潤辺に河岸がしめる割合が小さな河川における平均流速 V_m は、設計対象護岸に応じて、堤防のり尻部あるいは低水路断面の平均流速としてマンシングの平均流速公式より算定する。

$$V_m = \frac{1}{n} \cdot H_d^{\frac{2}{3}} \cdot I_e^{\frac{1}{2}} \quad (4.2.1)$$

n : マンシングの粗度係数 ((3) 参照)

H_d : 設計水深 ((2) 参照)

I_e : エネルギー勾配

また、設計水深時の潤辺に河岸がしめる割合が大きな単断面の中小河川では、河岸のり面粗度が平均流速に有意な影響を及ぼすため、単断面の平均流速として以下の式により平均流速を算定する。

$$V_m = \frac{1}{N} \cdot R_d^{\frac{2}{3}} \cdot I_e^{\frac{1}{2}} \quad (4.2.2)$$

N : 設計水深に対する合成粗度係数 ((3) 参照)

R_d : 設計水深に対する径深

I_e : エネルギー勾配

$$R_d = \frac{A}{\sum S_i}$$

S_i : 同一粗度を持つ i 番目の潤辺部分の長さ

なお、河岸のり面に粗度を設定する際には、流下能力の検討など、河道計画と整合性をとることが重要である。すなわち、河岸のり面の粗度状態の想定が、河道計画と護岸設計で同様のものである必要がある。ただし、後述するように、粗度係数設定値は、合理的な範囲であれば、河道計画と護岸設計とで違うことは起こりうる。

注) 単断面の中小河川における低水路断面の平均流速算定にあたり、式 4.2.1、式 4.2.2 の適用は、側壁の影響がほぼみられなくなる川幅と設計水深との比が概ね 10 程度を目安とする。*) **)

*) 椿 東一郎 : 水理学 I , 森北出版株式会社, 1973

**) I.Nezu,H.nakagawa : Turbulence in Open-Channel Flows, IAHR

(3) 粗度係数の設定

流速算定に用いる粗度係数 n **あるいは** N は、設計対象地点の状況に応じた適切な値を用いることが重要である。

粗度係数の評価法には、既往の計画高水位相当の出水時のデータに基づき不等流計算などの方法によって逆算する方法と、既往研究成果を反映させた推定法がある。本書では、推定法を中心に粗度係数の評価法を紹介する。

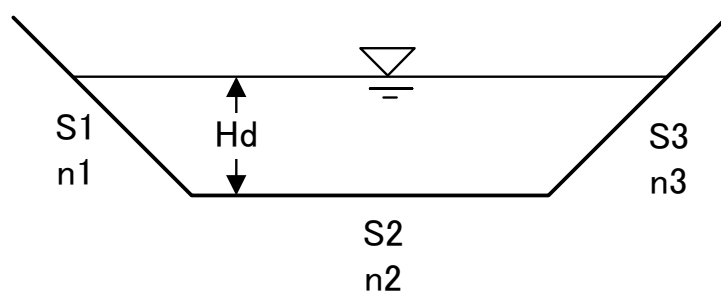
護岸設計に用いる粗度と河道計画に用いる粗度とは必ずしも同じ値である必要はない。河道計画では H 、 W 、 L の評価が重要であるため、実際に起こり得る範囲内で、大きな粗度をとることが安全側の評価となる。一方、護岸の設計では、流速の評価が重要であるため、実際に起こり得る範囲内で小さな粗度をとることが安全側となる。一般には、粗度の推定には設計水深 H_d を用いて評価する。その際、検討対象とする河岸の状況によって、評価方法が異なるので、これらを考慮して推定を行う。

なお、設計水深時の潤辺に河岸がしめる割合が大きな単断面の中小河川では、河岸のり面粗度が平均流速に大きく影響を及ぼす。

このような河川では、設定対象は合成粗度係数 N となり、建設省河川砂防技術基準（案）同解説（調査編）に示されている平均流速の公式レベル 1 a で用いられている方法により粗度係数の設定を行う。

$$N = \frac{\sum_{i=1}^m (n_i^{3/2} \cdot s_i)^{2/3}}{\left(\sum_{i=1}^m s_i \right)^{2/3}}$$

S_i, n_i : 同一粗度を持つ i 番目の潤辺部分の長さ と 粗度係数



また、中小河川などで低水路幅の半分程度以上の幅に根固め工が敷設されている場合には、根固め工の粗度を評価して、低水路の粗度係数とする。この方法は「参考5 根固め工の粗度係数評価法」を参照されたい。

⑤ P80

「滑動一群体モデル」のうち

②外力条件

群体として取り扱う法覆い工の表面に働く流体力を考えれば良い。また、流体力は、法覆工表面の相当粗度 k_s 高さでの設計流速 V_d を用いるが、この際、単体とは異なり乱れの影響は考慮しない。

設計流速 V_d は、流速分布式 $V_d = \{8.5 + 5.75 \log_{10}(y/k_s)\}u_*$ の式中の $y=k_s$ とすれば、 $V_d = 8.5u_*$ と表現できる。ここで、

$$u_* = \frac{Vo}{6.0 + 5.75 \log_{10}(H_d / k_s)}$$

より、

$$V_d = \frac{8.5Vo}{6.0 + 5.75 \log_{10}(H_d / k_s)}$$

相当粗度 k_s の値は、ブロック個々の形状によって異なるため、群で設置された部材を対象に実験により定めることが基本である***。

***) 護岸ブロックの水理特性試験法マニュアル (財団法人 土木研究センター)

(3) 護岸の性能試験法との整合性に関する改訂 (赤字が追記部分です。)

⑥ P79

「滑動—群体モデル」のうち

2) 基本式

①基本式の求め方

群体でも単体と同様に流体力に対する安定性検討は、滑動について行えば良く、式 (5.1) を基本式とした検討を行う。

~~ただし、揚力、抗力を評価する際の面積のとり方は異なり(図 5-11 参照)~~

図 5-11 は、代表的な投影面積の取り方である。ただし、揚力、抗力を評価する際の投影面積は、対象とする部材について対象とする設置条件（ここでは群体）の下、相当粗度 k_s や抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L を求める際に行った実験¹⁹⁾ で用いた面積の取り方と同じ方法で算定しなければならない。したがって、実験における投影面積の取り方が図 5-11 と異なる場合には、式(5.1)の投影面積は、実験と同じ取り方としなければならない。

$$L : \text{揚力} \quad L = \rho_w / 2 \cdot C_L \cdot A_b \cdot V_d^2 \quad (\text{kgf}) \quad [\text{N}]$$

$$D : \text{抗力} \quad D = \rho_w / 2 \cdot C_D \cdot A_D \cdot V_d^2 \quad (\text{kgf}) \quad [\text{N}]$$

ここに、 A_D : 群中ブロック 1 個の抗力に関する投影面積 (m^2)

A_b : ~~図 5-10 に示すように群中ブロック 1 個の突起部についての揚力に関する投影面積 (m^2)~~

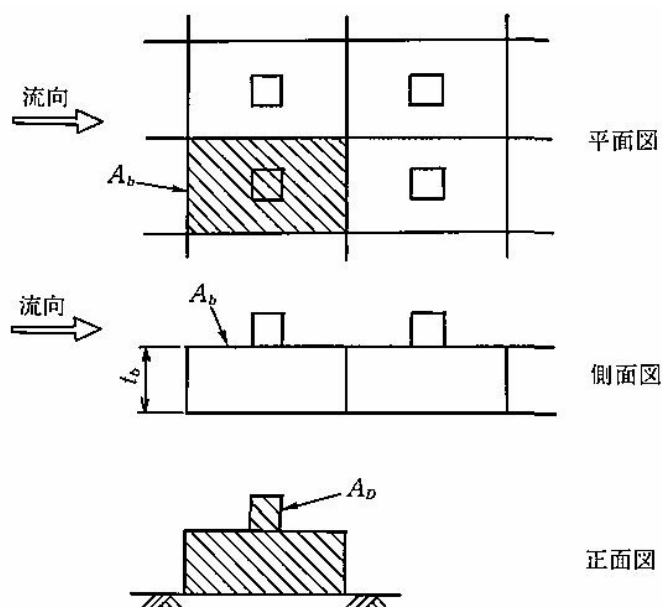


図 5-11 群中ブロック 1 個の揚力に関する投影面積の考え方

~~とする。~~

~~したがって、 C_L は A_g に対して、 C_D は A_D に対して評価された係数を用いる。以上は、面的に均等に施工された一体性を持つ法覆工に適用されるものであり、~~現地においては、施工上の問題、あるいは出水により部分的に段差等を生ずることが想定される。したがって、照査は、控え厚の計算値に対して 30～50%程度、割り増した値を採用することが望ましい。

⑦ P80

3)基本的に用いられる抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L について

抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L は法覆工の形状によって値が異なるので、個々の形状について実験により定めることが基本である。この場合、群で設置された部材を対象に測定された係数を用いる必要がある。この際、②外力条件のところでも述べた実験***)、すなわち対象とする部材について対象とする設置条件（ここでは群体）の下、相当粗度 k_s や抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L を求める際に行った一連の実験で得られた係数を用いる。また、流水が作用する部分（コンクリートブロックの突起形状）の形状が相似形であれば、抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L は同じである。

揚力係数 C_L については単体の場合と同様に、設計を行うのであれば、とりうる範囲の上限值と考えられる 1.0 程度を与えて、安全側の結果となる範囲での簡便な方法もある⁹⁾。

なお、抗力係数については、群中ブロック 1 個に作用する抗力 D を、せん断力 $\tau (= \rho_w u_*^2)$ で評価することにより定式化することもできる。すなわち、ブロックの上方からの投影面積 A_b を用いると、

$D = \tau A_b = p_w u_*^2 A_b$ と評価できるので、

$V_d = 8.5 u_*$ より、

$$D = p_w \frac{A_b}{8.5^2} V_d^2$$

となる。

これより C_D に換算すると、

$$C_D = \frac{2A_b}{8.5^2 \cdot A_D}$$

とみなせる。また、直接的に抗力係数 C_D でなく表面の相当粗度を求め、 D を評価しても良い。相当粗度は突起型粗度などによって算定されている事例も多く、これを参考にすることができる。

~~ここでは、風洞実験により得られたブロック内部の抗力係数 C_D 、および揚力係数 C_L の一例を示す。実験範囲は、「滑動＝単体」モデルの場合、図 5-7 と同様であり、前述同様の適用が可能である。~~

図 5-12 削除

***) 「護岸ブロックの水理特性試験法マニュアル」(財団法人 土木研究センター)

参 考 9

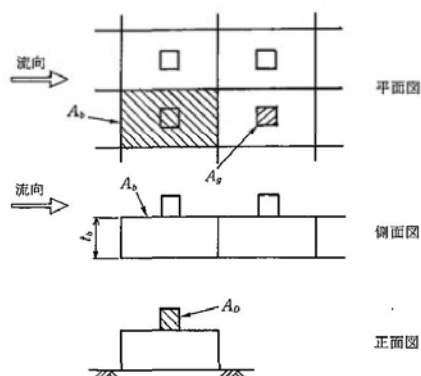
： H15.7 以前の「滑動－群体モデル」における抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L の考え方

護岸ブロックの水理特性試験法マニュアル（第2版）以前に求められた抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L を用いて「滑動－群体モデル」の検討を行う場合は、揚力、抗力の算定にあたり使用する投影面積のとり方が図 5-11 と異なっているため、試験法に応じた相当粗度 k_s や抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L と投影面積をセットで使用すること。

$$L: \text{揚力} \quad L = \rho_w / 2 \cdot C_L \cdot A_g \cdot V_d^2 \quad (\text{kgf}) \quad [\text{N}]$$

$$D: \text{抗力} \quad D = \rho_w / 2 \cdot C_D \cdot A_D \cdot V_d^2 \quad (\text{kgf}) \quad [\text{N}]$$

ここに、 A_D ：群中ブロック1個の抗力に関する投影面積 (m^2)



護岸ブロックの水理特性試験法マニュアル（第2版）以前の
「滑動－群体モデル」における投影面積の取り方

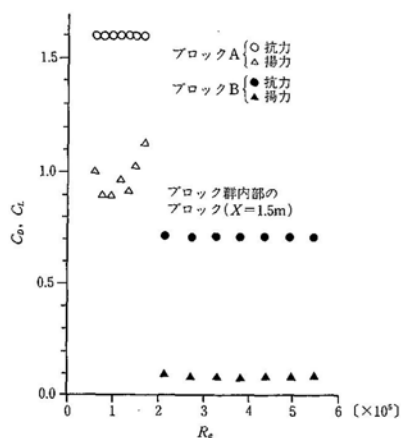


図 5-12 ブロック群内部の C_D 、 C_L

上記条件における抗力係数と揚力係数