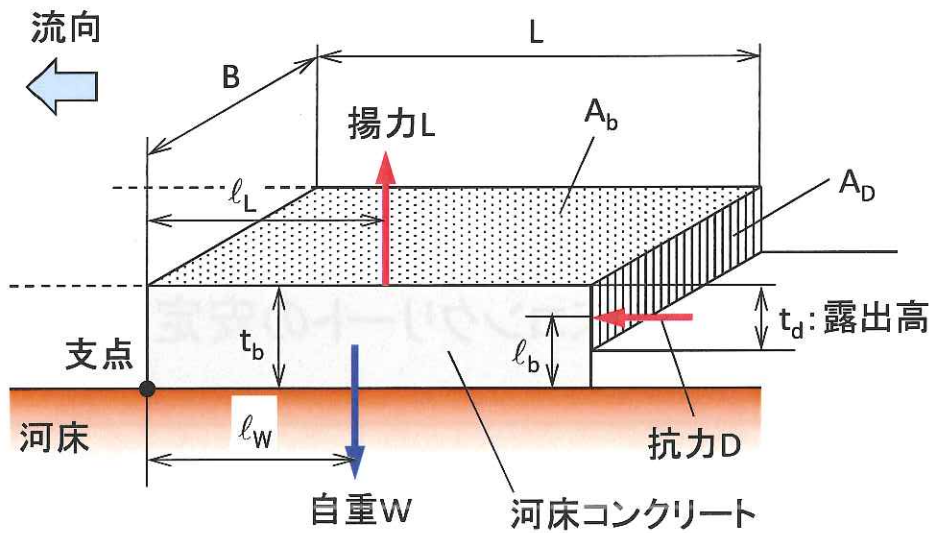


参考資料3 河床コンクリートの安定性照査

1. 検討内容

河床コンクリートの局所的な破損により、前面に段差が生じた場合（河床コンクリート前面が局部的に露出した場合）の安定性検討を行った。

安定性の照査手法は、第3回検討会で示した河床の「めくれモデル」を踏襲した（下図および次ページ）。



$$\text{めくれに対する安全率} = F = \frac{\text{自重によるモーメント}}{\text{揚力・抵抗力によるモーメント}} = \frac{W \cdot l_W}{L \cdot l_L + D \cdot l_b}$$

図. めくれに対する安定性検討の概念図

(3) 「めくれ」モデル

POINT

流体力による「めくれ」を対象とし、部材を単体として扱うことのできる法覆工では、単独に設置された部材について、流体力によりめくれが生じる条件を照査する。

1) 安定条件とモデル図

① 破壊要因

法面勾配が1:1.5よりも緩く、背面からの土圧・水圧を受けない状態を想定しており、流体力による破壊が主要因となる。

② 主な破壊形態

流体力の作用によって一点を支点として部材がめくれる。

③ 設置状態

モデル図に示すように、小口が保護されていない状態で設置されていると想定する。

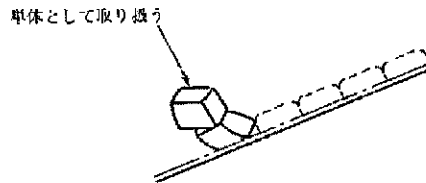


図5-14 破壊形態が「めくれ」であり、単体として取り扱う法覆工のモデル図

2) 基本式

① 基本式の考え方

「めくれ」モデルでは、法覆工の部材の重量（あるいは控え厚）は式(5.12)に示すように、上流端に置かれた部材が流体力によって回転しないような設計を行う。

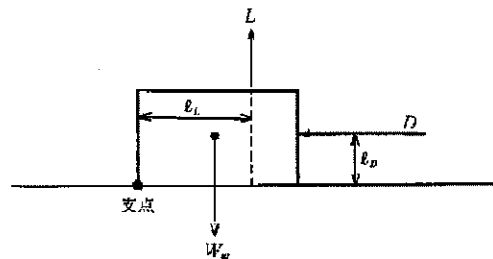


図5-15 めくれモデルのつりあい

$$W_w \cdot \cos\theta \cdot l_b / 2 \geq L \cdot l_c + D \cdot l_c \quad \dots\dots\dots (5.12)$$

ここで、 W_w ：法覆工の水中重量 $W_w = (\rho_b - \rho_w) \cdot g \cdot K_V \cdot A_b \cdot l_b$ (kgf) 【N】

θ ：法面の傾き

l_b ：上流端の部材の流下方向長さ (m)

l_c ：上流端の部材の揚力に対する回転半径 (m)

2. 検討結果

検討条件として以下の条件を設定し、安定性の検討を行った。

・河床コンクリートの寸法：

①B×L=30cm×30cm

②B×L=50cm×50cm

③B×L=100cm×100cm

※厚さはいずれも 15cm を想定した

・露出高：1cm, 5cm, 10cm, 15cm (完全露出)

次ページ以降に検討結果を示す。

計算結果では、想定される流速が $V=2.5\sim 3.9\text{m/s}$ であるのに対し、流速が 3m 程度を越えるとめくれ安全率が 1.0 を下回る（めくれが生じる）結果となる。このことから、被災時に河床コンクリートがめくれ、下流まで流されたことは十分に考えられるものと判断できる。

また、河床コンクリート前面に生じた段差（露出高）を変化させた場合、めくれが生じる流速は、いずれの場合も 3.0m 程度となる。このことから、河床コンクリート前面に働く抗力よりも、河床コンクリート全体に働く揚力の方が河床コンクリートの安定上支配的であることがわかる。すなわち、河床コンクリートのめくれに対する安全性確保は、河床コンクリートを一体化する方法が有効であることが示唆される。

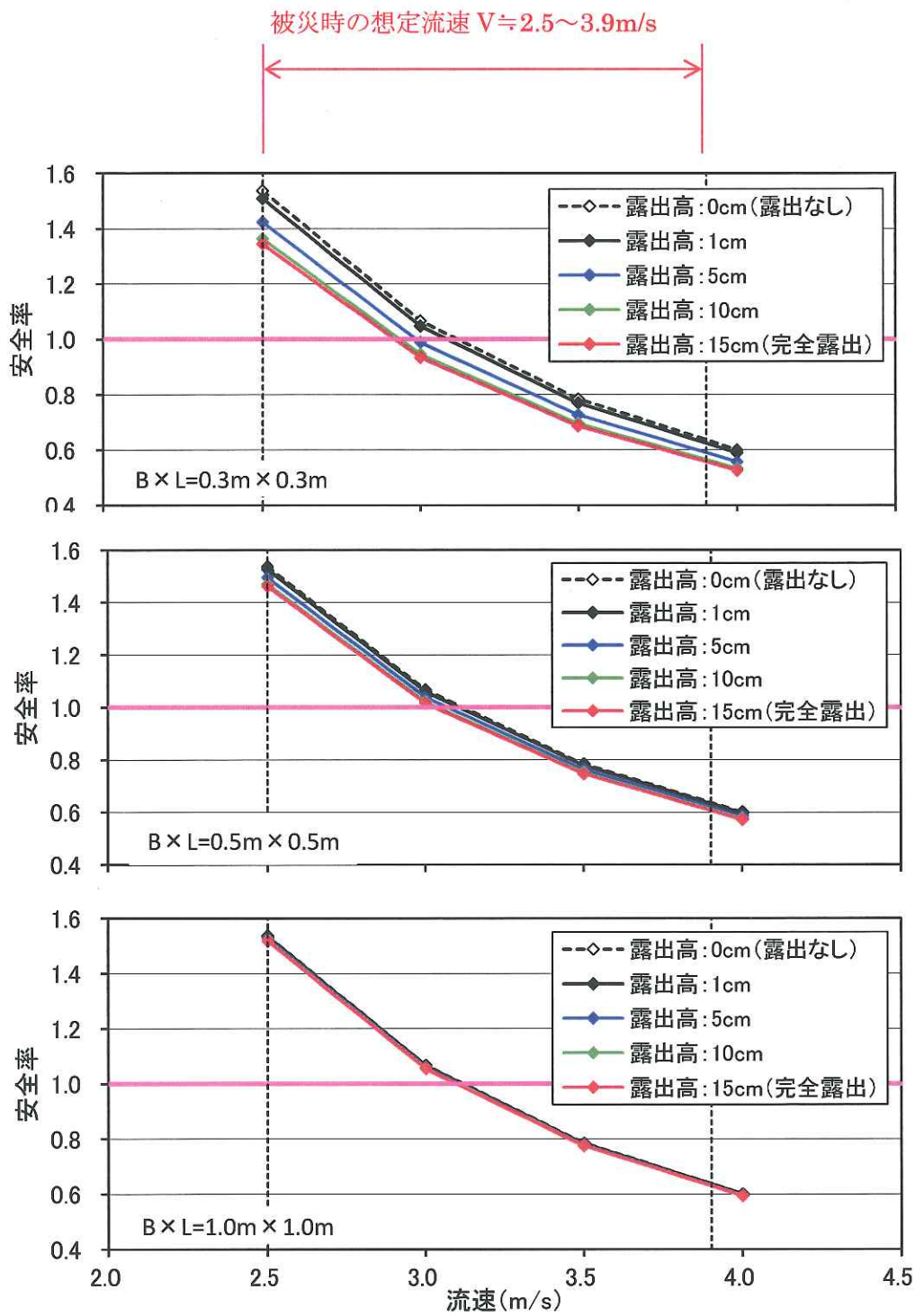


図. 流速とめくれに対する安全率の関係

表. 計算結果一覧表 (B×L=0.3m×0.3m)

	露出高: 0.0m (露出なし)				露出高: 1.0m				露出高: 5.0m				露出高: 10.0m				露出高: 15.0m (完全露出)			
Vm: 平均流速 [m/s]	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00
B: 幅 (流行直方向) [m]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
L: 長さ (流行直方向) [m]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
tb: 傾き [m]	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
td: 段差 [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15
ρb: 法覆工の密度 [kg/m³]	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
ρw: 水の密度 [kg/m³]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
g: 重力加速度 [m/s²]	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
Kv: 体積補正係数	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
θ: 傾き [度]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
rb: 流下方向の長さ [m]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
rl: 橋力に対する回転半径 [m]	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
rD: 抗力に対する回転半径 [m]	0.150	0.150	0.150	0.150	0.145	0.145	0.145	0.145	0.125	0.125	0.125	0.125	0.100	0.100	0.100	0.100	0.075	0.075	0.075	0.075
Hd: 設計水深 [m]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ks: 相当粗度 [m]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
α: 係数	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
V0: 代表流速 [m/s]	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00
Vd: 設計流速 [m/s]	2.19	2.63	3.06	3.50	2.19	2.63	3.06	3.50	2.19	2.63	3.06	3.50	2.19	2.63	3.06	3.50	2.19	2.63	3.06	3.50
CD: 抗力係数	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
CL: 揚力係数	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Ab: 上方投影面積 [m²]	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
AD: 抗力に対する投影面積 [m²]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.003	0.003	0.015	0.015	0.015	0.015	0.030	0.030	0.030	0.030	0.045	0.045	0.045	0.045
L: 揚力 [N]	112.02	161.30	219.55	286.76	112.02	161.30	219.55	286.76	112.02	161.30	219.55	286.76	112.02	161.30	219.55	286.76	112.02	161.30	219.55	286.76
D: 抗力 [N]	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15	3.10	4.22	5.51	10.77	15.51	21.11	27.57	32.31	42.22	55.15	72.17	82.72	107.17	138.33	172.17
Ww: 法覆工の水重量 [N]	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17	172.17
Mr: 抵抗モーメント [N·m]	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82	25.82
Md: 転倒モーメント [N·m]	16.80	24.20	32.93	43.01	17.11	24.65	33.55	43.81	18.15	26.13	35.57	46.46	18.86	27.30	37.16	48.53	19.23	27.69	37.68	49.22
F: 安全率	1.54	1.07	0.78	0.60	1.51	1.05	0.77	0.59	1.42	0.99	0.73	0.56	1.36	0.95	0.70	0.53	1.34	0.93	0.69	0.52

表. 計算結果一覧表 (B×L=0.5m×0.5m)

	露出高:0.0cm(露出なし)					露出高:0.5cm					露出高:1.0cm					露出高:1.5cm(完全露出)				
	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00
Vm: 平均流速 [m/s]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
B: 堰(流行方向)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
L: 長さ(流行方向)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
tb: 長さ	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
td: 長さ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ρb: 法礫工の密度 [kg/m ³]	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
ρw: 水の密度 [kg/m ³]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
g: 重力加速度 [m/s ²]	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
Kv: 体積補正係数	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
θ: 傾き [度]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
rb: 堰下方向の長さ [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
rl: 揚力に対する回転半径 [m]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
rd: 抗力に対する回転半径 [m]	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Hd: 設計水深 [m]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ks: 相当粗度 [m]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
α: 係数	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
V0: 代表流速 [m/s]	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00	2.50	3.00	3.50	4.00
Vd: 設計流速 [m/s]	2.19	2.63	3.08	3.50	2.19	2.63	3.08	3.50	2.19	2.63	3.08	3.50	2.19	2.63	3.08	3.50	2.19	2.63	3.08	3.50
CD: 抗力係数	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
CL: 揚力係数	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Ab: 上方投影面積 [m ²]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
AD: 抗力に対する投影面積 [m ²]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
L: 揚力 [N]	311.16	448.07	609.87	796.57	311.16	448.07	609.87	796.57	311.16	448.07	609.87	796.57	311.16	448.07	609.87	796.57	311.16	448.07	609.87	796.57
D: 抗力 [N]	0.00	0.00	0.00	0.00	3.59	5.17	7.04	9.19	17.95	25.85	35.18	45.96	58.90	70.37	81.91	91.91	53.85	71.55	105.55	137.87
Ww: 法礫工の水中重量 [N]	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24	478.24
Mr: 抵抗モーメント [N·m]	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56	119.56
Md: 転倒モーメント [N·m]	77.79	112.02	152.47	199.14	78.31	112.77	153.49	200.47	50.03	115.25	156.87	204.89	81.38	117.19	159.50	208.33	81.83	117.83	160.38	209.48
F: 安全率	1.54	1.07	0.78	0.60	1.53	1.06	0.78	0.60	1.49	1.04	0.76	0.58	1.47	1.02	0.75	0.57	1.46	1.01	0.75	0.57

表、計算結果一覧表 (B×L=1.0m×1.0m)

	露出高:0.0em(露出なし)			露出高:1.0em			露出高:5.0em			露出高:10.0em			露出高:15.0em(完全露出)						
	2.50	3.00	3.50	4.00	4.00	4.00	3.50	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50	4.00	3.50	3.00	2.50	3.00	3.50	4.00
Vm: 平均流速 [m/s]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B: 幅(流行直角方向) [m]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L: 長さ(流行方向) [m]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
tb: 厚さ [m]	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
td: 段差 [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15
ρb: 法覆工の密度 [kg/m3]	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
ρw: 水の密度 [kg/m3]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
g: 重力加速度 [m/s ²]	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
Kv: 体積補正係数	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
tb: 流下方向の長さ [m]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
rl: 撓力に対する回転半径 [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
rd: 撓力に対する回転半径 [m]	0.150	0.150	0.150	0.150	0.145	0.145	0.145	0.125	0.125	0.125	0.100	0.100	0.125	0.100	0.100	0.100	0.075	0.075	0.075
Hd: 設計水深 [m]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Ks: 相当粗度 [m]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
α: 係数	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
V0: 代表流速 [m/s]	2.50	3.00	3.50	4.00	4.00	4.00	4.00	3.50	3.00	3.00	2.50	2.00	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
Vd: 設計流速 [m/s]	2.19	2.63	3.06	3.50	3.50	3.50	3.06	2.63	2.19	2.19	1.76	1.33	3.50	3.06	2.63	2.19	1.76	1.33	0.90
CD: 抗力係数	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
CL: 揚力係数	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Ab: 上方投影面積 [m ²]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
AD: 撓力に対する投影面積 [m ²]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.050	0.050	0.050	0.100	0.100	0.050	0.100	0.100	0.100	0.150	0.150	0.150
L: 撓力 [N]	1244.63	1792.27	2439.48	3186.26	1244.63	1244.63	1792.27	2439.48	3186.26	3186.26	1244.63	1244.63	1792.27	2439.48	3186.26	1244.63	1792.27	2439.48	3186.26
D: 撓力 [N]	0.00	0.00	0.00	0.00	7.18	10.34	14.07	18.38	22.69	27.00	31.31	35.62	40.00	44.31	48.62	52.93	57.24	61.55	65.86
Ww: 法覆工の水中重量 [N]	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95	1912.95
Mr: 転倒モーメント [N·m]	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48	956.48
Md: 転倒モーメント [N·m]	622.32	896.14	1219.74	1583.13	622.32	622.32	896.14	1219.74	1583.13	1966.46	1219.74	1219.74	1583.13	1966.46	2349.80	1966.46	1583.13	1219.74	896.14
F: 安全率	1.54	1.07	0.78	0.60	1.53	1.07	0.78	0.60	0.53	0.60	0.52	0.45	0.60	0.52	0.45	0.45	0.38	0.31	0.24