

第3章 ヨシ原を守る航走波対策工

3.1 航走波がヨシ原に与える影響

荒川下流部において、航走波対策工を検討するために、航走波が与えるヨシ原(河岸)への影響を把握する。

【解説】

1. 航走波について

船舶(タンカー等)が航行すると、背後には写真 3.1.1 のような航走波が発生する。航走波は押し波と引き波の重ね合わせであり、引き波は船体の後方に、また、押し波は船体より斜め後方に伝播する。

荒川の現地観測結果では、この押し波が河岸に達し、ヨシや河岸へ作用するのが確認できた。また、発生する波は船種(船の形状)、船速によって変化し、船体が大きいほど、また、船速が早いほど、発生する波は大きくなる。



写真 3.1.1 航走波の伝播(タンカー 9ノット航行時) 図 3.1.1 航走波のスケッチ



写真 3.1.2 航走波の伝播(水上バス 9ノット航行時)



写真 3.1.3 航走波の伝播(プレジャーボート 17ノット航行時)

- ・タンカーの様な、喫水面積が大きい船の場合は、発生する波が大きい。
- ・プレジャーボートのような小型で、水面上を滑走するような船の場合は、速度が速くても発生する波は小さい。

図 3.1.2 は、水上バス 9 ノット航行時の解析による平面分布を示したものである。引き波、押し波の平面分布が再現されている。

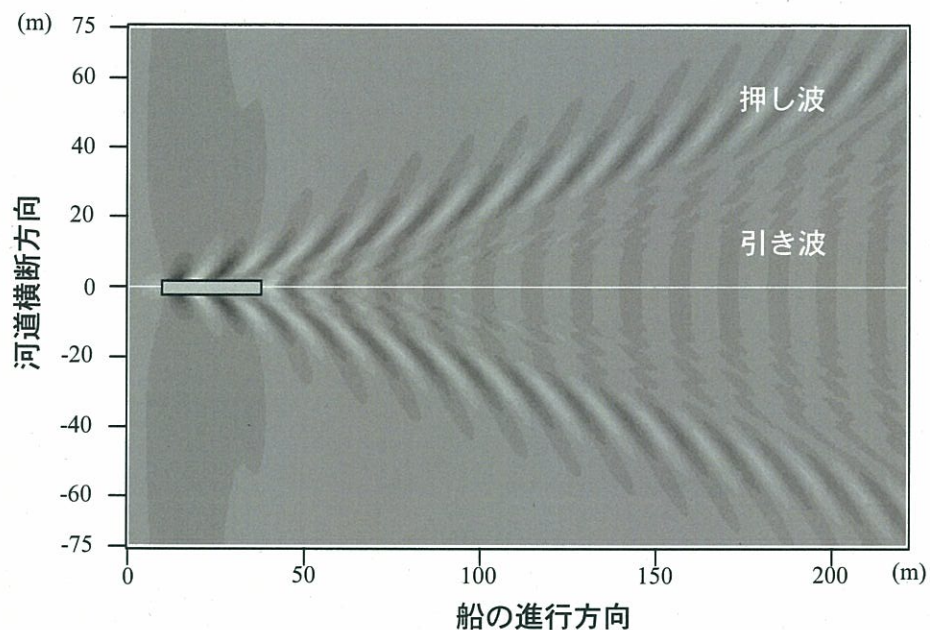


図 3.1.2 航走波解析結果 (水上バス 9 ノットの場合)

発生した航走波は、減衰しながら伝播し河岸に達する。そのため、航路から 70m 地点の最大波高は、同 10m 地点よりも小さくなっている。

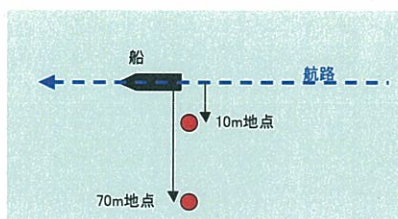
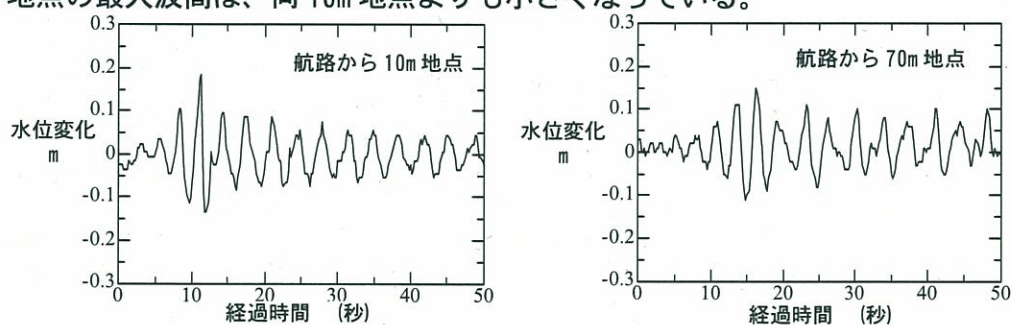


図 3.1.3 航路から距離 10m、70m 地点の航走波波形 (平成 13 年度小松川地先実測)

2. 河岸形状と波の減衰について

荒川の河岸形状を大別すると、最深部まで一様な勾配の河岸（以下、一様勾配河岸）と、途中で勾配が急変する河岸（以下、ステップ状河岸）に分けることができる。

荒川下流部における一様河岸及びステップ状河岸の地形特性を整理すると図 3.1.4、図 3.1.5 のようになる。

表 3.1.1、および表 3.1.2 に一様河岸とステップ状河岸におけるヨシ原の状況を示す。

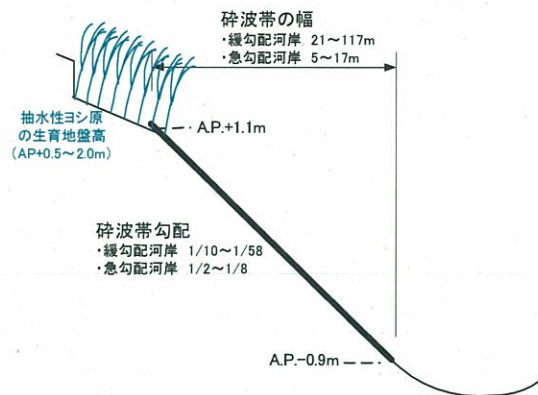


図 3.1.4 一様勾配河岸（緩、急勾配）の地形条件

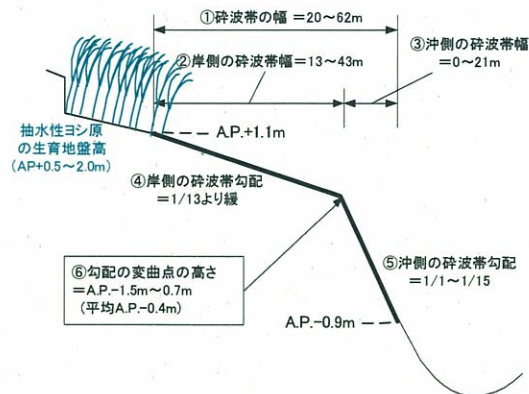


図 3.1.5 ステップ状河岸の地形条件

表 3.1.1 一様河岸の地形条件とヨシ原の状況

No.	場所名(仮称)	左右岸	ヨシ原の平面位置	碎波帯の諸元		コメント
				碎波帯勾配	碎波帯幅	
1	中土手	左岸	水裏部	1/55	110m	消波ブロックに囲まれた静穏域に形成された全て抽水型のヨシ原
6	押上線右岸	右岸	凹地	1/13	27m	橋梁のため、高水敷造成が出来ない場所にヨシ原が残存したもの
8	四つ木下右岸	右岸	直線部	1/10	21m	寄州に成立するヨシ原で抽水帯は前面5~10m程度
9	四つ木上右岸	右岸	水衝部	1/8	17m	寄州に成立するヨシ原で抽水帯は前面6m程度
13	堀切菰蒲園	左岸	水裏部	1/17	35m	緩岸されていない河岸及びその前面に形成されたヨシ原
21	千住新橋右岸	右岸	水裏部	1/12	24m	抽水帯をほとんど欠く帯状のヨシ原
24	扇大橋左岸	左岸	水裏部(先端)	1/8	17m	寄州に形成されたヨシ原、抽水帯は4m程度
25	小台	右岸	水衝部	1/7	14m	かご+巨石護岸の前面に成立
26	王子線	左岸	水衝部	1/11	22m	人工的に高水敷高を下げ、半抽水ヨシ原を形成、ただし、護岸は直
27	鹿浜橋左岸	左岸	孤立して突出(水裏部)	1/2	5m	橋下の旧高水敷が残る場所に立地
29	川口左岸	左岸	水衝部	1/4	9m	旧高水敷を基盤にした抽水~半抽水性ヨシ原
30	JR東北線上左岸	左岸	水裏部	1/26	53m	水裏側の寄州に形成された小規模の抽水型ヨシ原
31	戸田左岸	左岸	水衝部	1/5	10m	寄州として発達したヨシ原だが、現状では先端部洗掘

色分け
 : 今後、減退傾向が予想されるヨシ原
 : 今後、現状維持が予想されるヨシ原
 : 今後、拡大傾向が予想されるヨシ原

表 3.1.2 ステップ状河岸の地形条件とヨシ原の状況

No.	場所名(仮称)	左右岸	ヨシ原の平面位置	碎波帯の諸元						コメント
				岸側の碎波帯勾配	沖側の碎波帯勾配	碎波帯幅	岸側の碎波帯幅	沖側の碎波帯幅	変曲点の高さ	
2	下平井	右岸	水裏部	1/252	1/15	62m	41m	21m	0.7 m	平成12年度に完成した低水護岸上に生育したヨシ原、抽水部分は僅か
3	東四つ木ワンド	左岸	直線部	1/55	1/9	52m	43m	9m	0.0 m	自然のヨシ原に手を加え保全を図ったもの
4	東四つ木	左岸	凹地	1/20	1/8	34m	27m	7m	0.0 m	寄州に成立する大部分が抽水型のヨシ原
5	木根川橋右岸	右岸	水裏部	1/31	1/4	27m	21m	6m	0.5 m	寄州に成立するヨシ原で抽水帯は前面5m程度。ガマを混ぜる。
7	墨田人工ヨシ原	右岸	凹地	1/26	1/5	38m	34m	4m	-0.1 m	平成11年度完成の人工ヨシ原
10	押上線左岸	左岸	凹地(前面は水衝傾向)	1/28	1/8	44m	39m	5m	-0.4 m	橋梁の関係で高水敷造成が行われなかった箇所に残存するヨシ原
11	四つ木下左岸	左岸	直線部	1/25	1/5	32m	27m	5m	0.0 m	上流側にグラウンドを造成したために河岸に寄州が形成されたもの
12	四つ木上左岸	左岸	直線部	1/15	1/1	24m	24m	-	-0.4 m	グラウンドの前面に細長く存在する。抽水~半抽水のヨシ原
14	墨田	右岸	直線部	1/22	1/4	34m	34m	-	-0.9 m	矢張護岸の前面に直線的に形成された州の上に形成、抽水型
15	堀切橋下流左岸	左岸	直線部	1/19	1/5	20m	13m	7m	0.5 m	やや緩やかな樹状の場所に成立した抽水性~半抽水性のヨシ原
16	堀切橋左岸	左岸	凹地(前面は水衝傾向)	1/19	1/2	41m	41m	-	-1.4 m	堤防跡まで広がる半抽水型のヨシ原、抽水型は上流部を除きほぼ流失
17	堀切橋右岸	右岸	水裏部	1/15	1/3	31m	31m	-	-1.0 m	旧高水敷を基盤にするヨシ原、半抽水部は混ざりもの多い
18	東武鉄橋右岸	右岸	孤立して突出(水裏部)	1/14	1/2	26m	26m	-	-1.0 m	橋下に大きなヨシ原があり、下流側に細い抽水性ヨシ原が続く
19	足立三日月ワンド	左岸	水衝部	1/13	1/3	27m	27m	-	-0.9 m	自然河岸が浸食され、堆積物上にヨシ原が成立
20	千住新橋ワンド	左岸	水衝部	1/13	1/2	21m	21m	-	-1.5 m	人工ワンドの前面に人為的に整備されたヨシ原
22	西新井左岸	左岸	水裏部	1/29	1/7	42m	36m	6m	-0.2 m	旧高水敷を保存した荒下最大のヨシ原
23	西新井右岸	右岸	水衝部	1/15	1/5	33m	33m	-	-1.3 m	旧高水敷を保存した荒下最大のヨシ原
28	芝川水門上	左岸	直線部	1/17	1/1	24m	22m	2m	-0.2 m	高水敷先端部を切り下げてヨシ原を人為的に確保(すべて半抽水)

色分け
 : 今後、減退傾向が予想されるヨシ原
 : 今後、現状維持が予想されるヨシ原
 : 今後、拡大傾向が予想されるヨシ原

一様勾配河岸でヨシ原の状況と河岸形状の関係をみると、1/10 程度を境に、地形勾配が急で、碎波帯の横断方向の幅が短い箇所ほど、ヨシ原が減退傾向にあることがわかる。（表 3. 1. 1）

また、ステップ状河岸では一様勾配河岸と比べて、碎波帯幅が広い場合でも、減退傾向にあるヨシ原が多い。これは、一様勾配河岸と比較して、船舶が岸近くを通るため、航走波が河岸へ達するまでにあまり減衰することなく、ヨシ原に作用するためと考えられる。

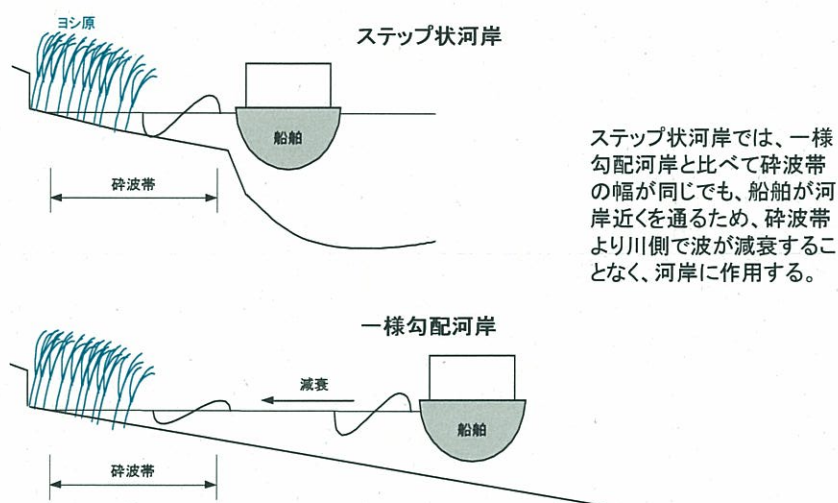
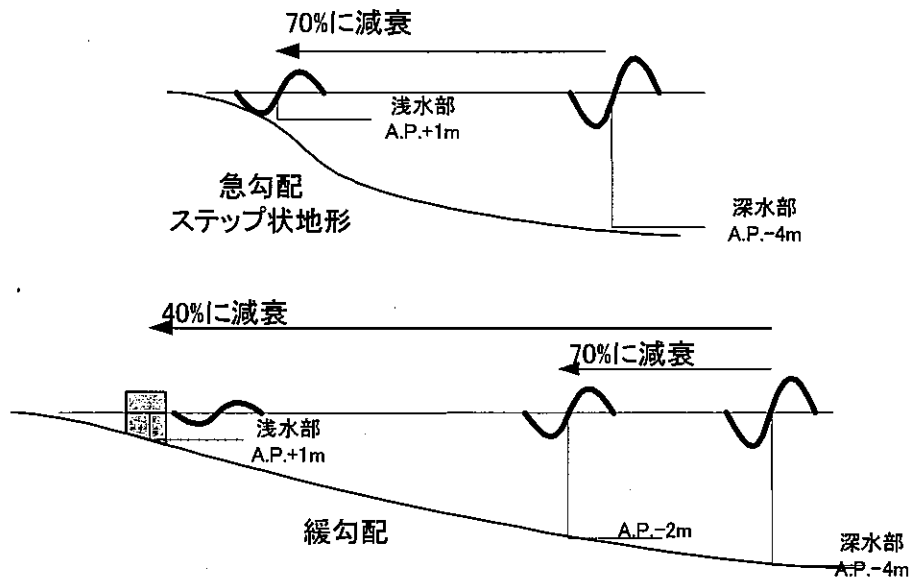


図 3. 1. 6 ステップ状河岸での航走波の作用

下図は、荒川下流部における航走波波高の実測データをもとに、航走波が河岸部に到達する際の波高減衰を河岸形状別に整理したものである。

これより、急勾配河岸やステップ状河岸では、河岸部の波高は深水部の波高の約70%程度に減衰し、緩勾配河岸では約40%程度まで減衰する。



(平成12年度、13年度現地観測結果より)

図 3.1.7 地形条件による航走波波高の減衰

(砕波帯の考え方について)

対策工を設置する河岸前面付近の地形条件を把握する際のパラメータとして、砕波帯を用いる。

この際、荒川下流部で航行頻度が高く、また、発生する波も大きいタンカーを対象として、平成12年に実施した現地観測で得られた最大波高とその際の周期を用いて、砕波帯の設定を行った。

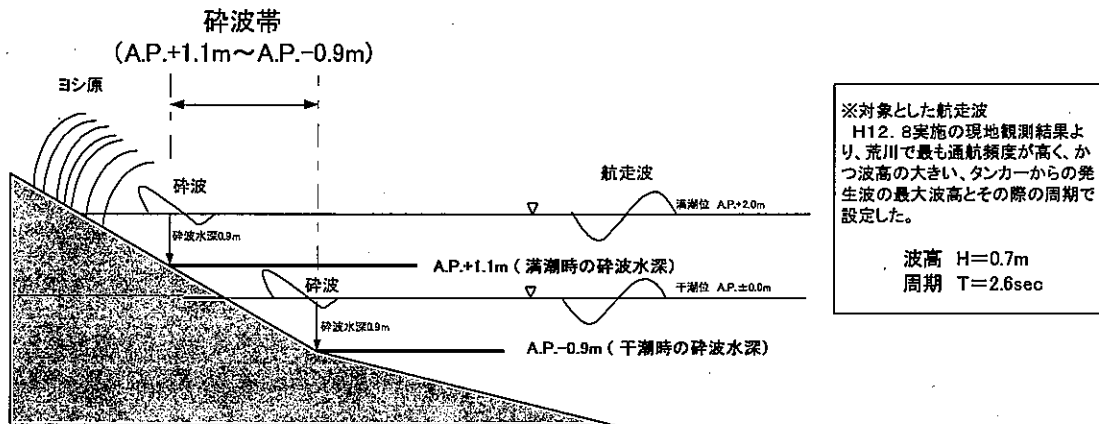


図 3.1.8 計画波浪の砕波帯の設定

(参考) 砕波水深 0.9m の設定根拠

- ・波高 $H=0.7\text{m}$ (タンカーの最大波高)
 - ・周期 $T=2.6\text{sec}$ (最大波高発生時の周期)
- 微小振幅波理論に基づいた沖波波長 $L=1.56T^2=10.5\text{m}$
- ・ $H/L=0.7 \div 10.5=0.07$
 - ・海底勾配 $=1/10$ (河岸勾配の平均的な値)
- $\therefore hb/H=1.30$ $\therefore$ 砕波水深 $hb=1.30 \times 0.7=0.91 \approx 0.9\text{m}$

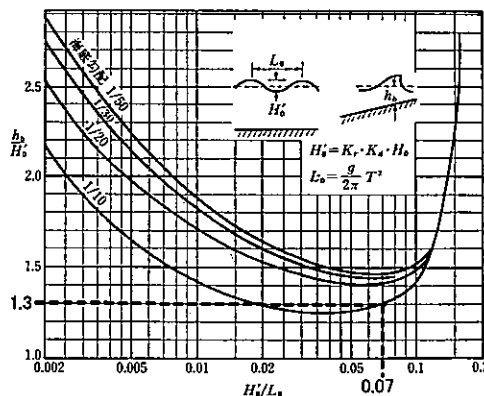


図 波形勾配と砕波水深との関係
(海岸保全施設築造基準解説 p. 51)

3. ヨシ原の減退メカニズム

(1) 航走波の影響範囲とヨシの生育状況

荒川下流部で実際に行った航走波の観測結果から満潮時にヨシ原内に侵入する航走波の距離(ヨシによる減衰効果を考慮しない距離)を図 3. 1. 9 に整理した。図中の「ヨシ原の固有番号」とは、平成 12 年度に荒川下流部で確認されたヨシ原を示すものであり、P. 18 に示す 31 箇所のヨシ原の番号に該当する。

しかし、ヨシ原内への航走波の侵入距離に関しては距離が小さいヨシ原において縮小傾向が認められたが、維持あるいは拡大傾向が予測されるヨシ原とそれほど顕著な差異は認められなかった。

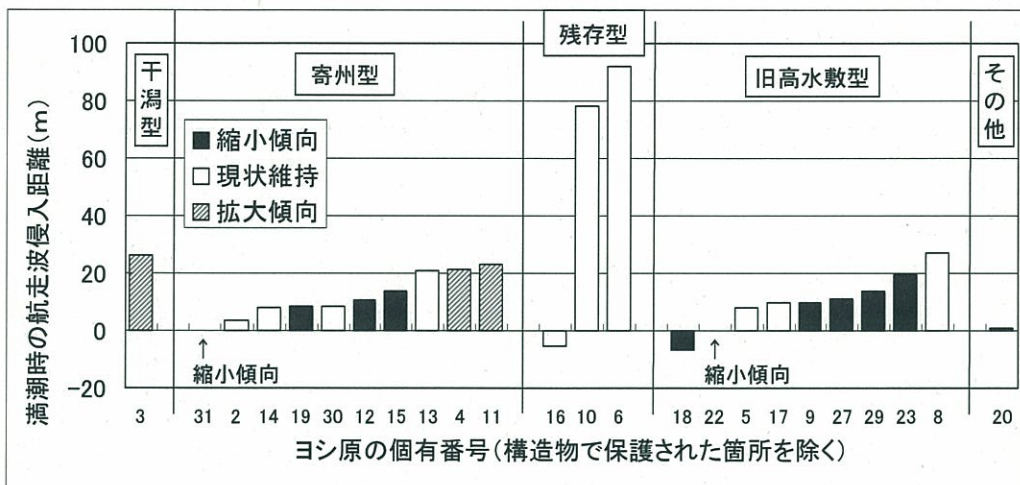


図 3. 1. 9 ヨシ原内への満潮時航走波侵入距離とヨシ原の増減予測

出典：『荒川下流域におけるヨシ原の形成と保全のプロセス』

田畑和寛、大手俊治、江上和也、平田真二、福岡捷二

河川技術論文集 第7巻 2001年6月

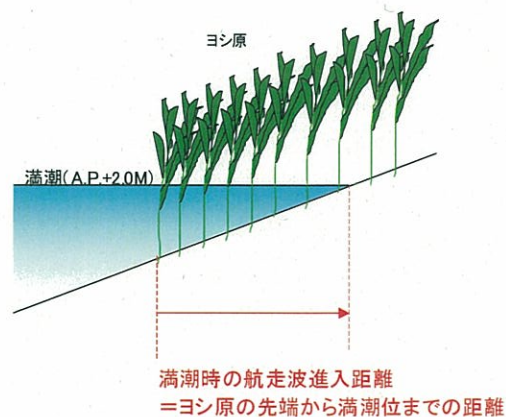


図 3. 1. 10 満潮時の航走波進入距離の定義

ヨシ原の増減予測は、満潮時の航走波の侵入距離よりも、むしろ干潮時と満潮時における侵入距離の差と高い相関を図 3. 1. 11 に示した。これは、干潮時と満潮時の侵入距離の差（図 3. 1. 11 の Y 軸）が小さいヨシ原に今後減退が予測されるヨシ原が多い結果となっている。

すなわち勾配が急で波の影響を受ける範囲が集中する箇所において減退傾向が大きいことを示している。よって、航走波によるヨシ原への影響を検討するにあたっては、波の大きさだけでなく、ヨシ原前面の地形勾配、波を受ける頻度を考慮することが重要であると考えられる。

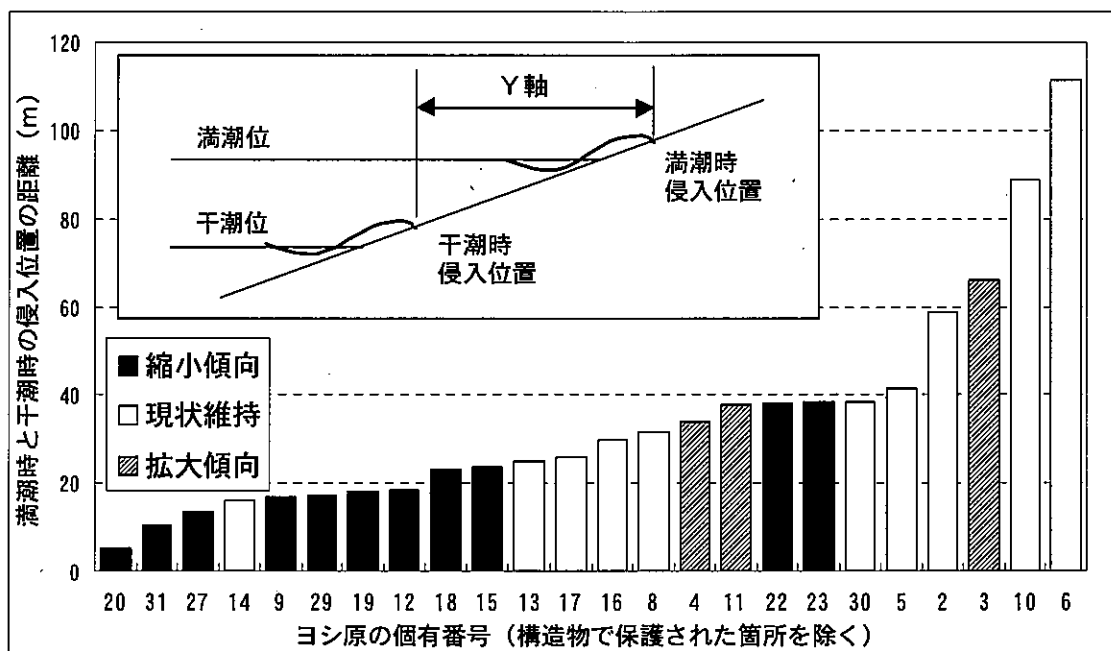


図 3. 1. 11 干満による航走波の影響範囲とヨシ原の増減予測

出典：『荒川下流域におけるヨシ原の形成と保全のプロセス』
田畑和寛、大手俊治、江上和也、平田真二、福岡捷二
河川技術論文集 第7巻 2001年6月

(2) 航走波の直接作用によるヨシ原の減退

船舶航行により発生した航走波が河岸部のヨシ原に到達し、波により河岸部が侵食される。この結果、ヨシ原の根元の土砂が洗掘を受け、ヨシ原の根付きが悪くなることにより、ヨシ原が減退する。

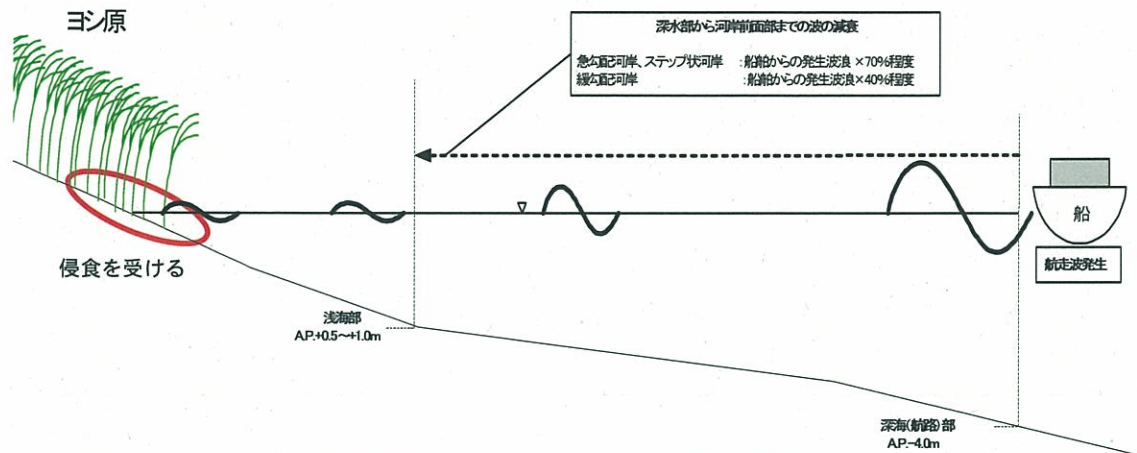


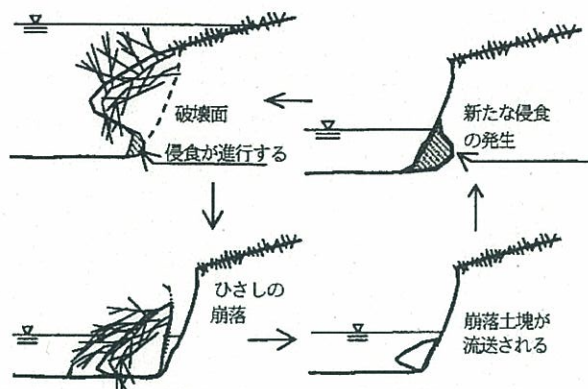
図 3. 1. 12 航走波とヨシ原の関係



写真 3. 1. 4. ヨシ原の侵食状況 (根系の露出)

(3) 基盤の侵食に伴うヨシ原の減少

ヨシ原の根に直接波が当たらない場合でも、根より低い河岸が侵食を受けて浜崖が形成され、河岸部が崩壊・流出することによってヨシ原が減退する場合もある。



出典:ヨシを用いた水際保護の研究, 福岡捷二, 福田朝生, 永井慎也, 小谷哲也, 富田紀子
水工学論文集, 第47巻, 2003年2月

図 3.1.13 基盤の侵食による河岸侵食



写真 3.1.5 基盤が侵食されたヨシ原の状況

さらに、図 3.1.14 に示すように、崩落した河岸に対して、その波の伝播方向の下手側では、上手側地形の影響を受け周期的な河岸形状となる場合もある。図 3.1.14 右図のように、河岸部のヒサシ状河岸の崩落により、崩落箇所より下手側では流速が低下し侵食が抑えられるが、流速が回復するエリアでは侵食が起こりやすくなる。

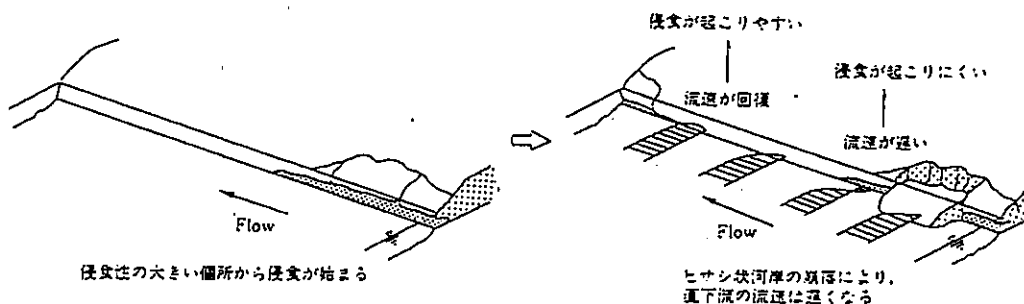
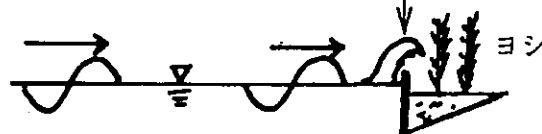


図 3.1.14 周期的河岸形状の発生メカニズム

また、図 3.1.15 のように、満潮時に航走波が対策工を越えてヨシ原に波が直接入り込んだ場合、その引き波により対策工の隙間からの土砂の吸い出しが予想される。対策工の隙間間隔や高さを管理し土砂の吸い出し防止を図る必要がある。

(A) 満潮時

波の直接の突っ込み



(B) 干潮時

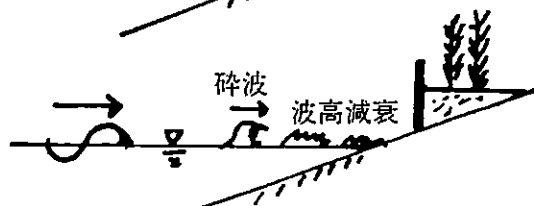


図 3.1.15 航走波による対策工への波の突っ込みによる侵食メカニズム

3.2 外力条件の設定

荒川下流部における航走波対策工（消波対策工）検討の外力条件は以下の通りとする。

①計画波浪（船舶からの発生波浪）

波高 $H=0.3\text{m}$ 、周期 $T=2.5\text{sec}$ 、波長 $L_0=1.56T^2=9.8\text{m}$

②計画水位

朔望平均満潮位 A. P. $+2.0\text{m}$

③波の変形

現地モニタリングもしくは数値シミュレーションにより求めることを原則とする。

④施設の目標透過率（暫定^{※1}）

計画水位時（＝朔望平均満潮位時）の透過率 $=0.7$

なお、広島大学の研究結果^{※2}では、小松川地先を対象に航走波エネルギーと離岸堤（木工沈床工）背後の河岸侵食の状況を比較検討している。

この結果、河岸が一日に受ける航走波のエネルギーが $5.0 \times 10^4 \text{Nm/m}$ 以上の場所では河岸侵食が顕著になることから、離岸堤（＝木工沈床工）の天端高は堤体背後のエネルギーが $5.0 \times 10^4 \text{Nm/m}$ 以下に抑えられる A. P. 1.8m 程度必要であるとしている。

※1 小松川地先における消波対策工背後の地形変動状況より、対策工の波の透過率が 0.7 程度であれば、河岸が前進傾向であることから設定したが、今後、ヨシ原の生育状況を見て判断する精査する必要があることから、現段階では暫定値とする。

※2 「河川における離岸堤周りの航走波の観測と解析」

土木学会第 59 回年次学術講演会（平成 16 年 9 月）

福田朝生、福岡捷二、渡邊明英、石鉢盛一朗

【解説】

1. 検討項目

船舶から発生した波が、ヨシ原に達するまでの波浪変形過程は以下のように考えられる。消波対策工法の諸元設定にあたっては、①～④について伝播波の状況を把握する必要がある。

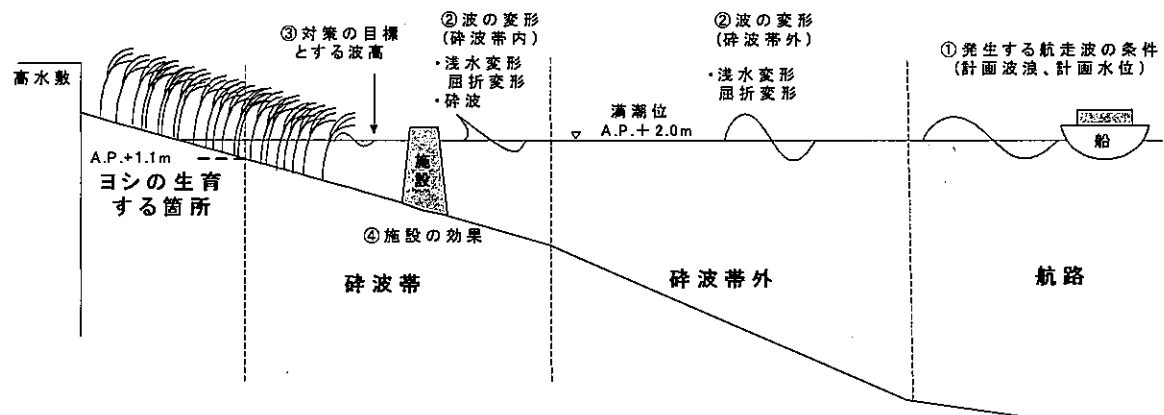


図 3.2.1 横断形状による航走波の伝播過程

①計画波浪、計画水位

河岸部に作用する外力として、波高が大きくかつ発生頻度が多いものを外力条件として整理する。

②波の変形

船舶の近傍で発生した波が、河岸部へ伝播するまでの波高減衰を考慮する。

③目標とする波高 (波エネルギー)、透過率

河岸地形の安定、ヨシの生育条件等を満足すべき波高 (波エネルギー)、または透過率を設定する。

④施設の効果

河岸の地形勾配等を考慮し、航走波消波対策工により波高 (波エネルギー) を減衰させ、目標波高 (波エネルギー)、目標透過率まで低減を図る。

2. 計画波浪

施設検討上の計画波浪（船舶から発生する波浪）は、波高が大きく、かつ発生頻度が高い、タンカーからの発生波を対象とする。

平成 12 年 8 月に実施した航走波現地観測結果より、波高、周期の最大波高及び平均波高は以下であった。

表 3.2.1 波浪の整理

	波高	周期 (sec)
最大値	66cm	4.2sec
平均値	29cm	2.5sec

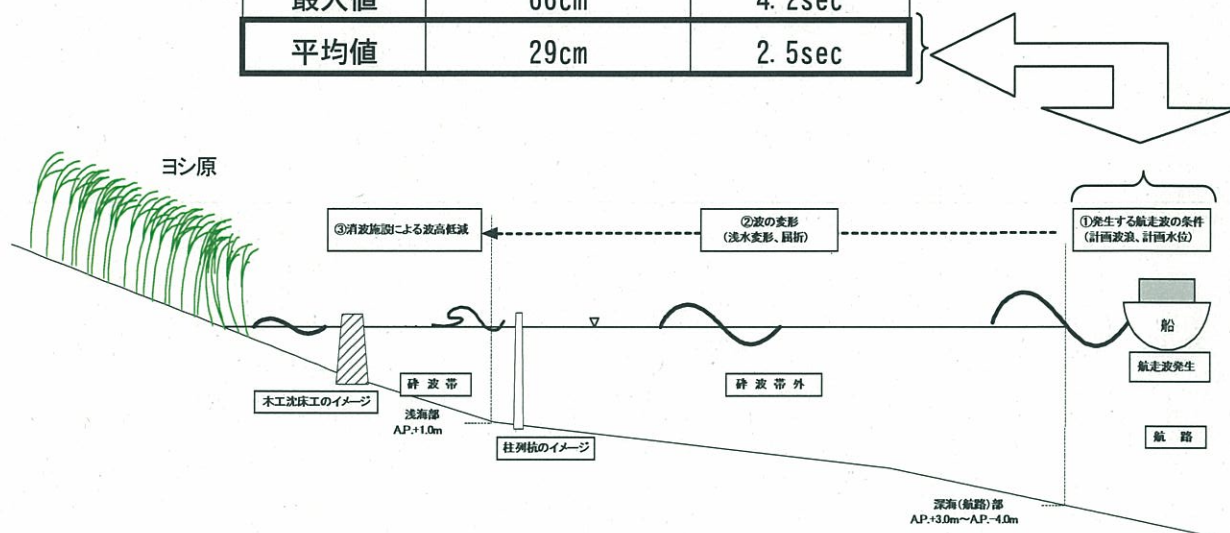


図 3.2.2 計画波浪の設定

船舶（タンカー）付近で発生した航走波は、発生直後もっとも大きく、その後、伝播するとともに波高は低減する。

荒川下流における航走波の計画波の波高は、深水部（航路）付近の最大平均波高として、約 0.3m とする。

よって、外力条件の航走波諸元は下記のように設定する。

波高	H=0.3m	(≒タンカー付近発生波の最大平均波高)
周期	T=2.5sec	(≒平均波発生時の周期)

※タンカー付近における発生波として航路からの距離 10m までの実測データを平均

航路から距離 10m までのデータ：
最大波平均波高 0.3m

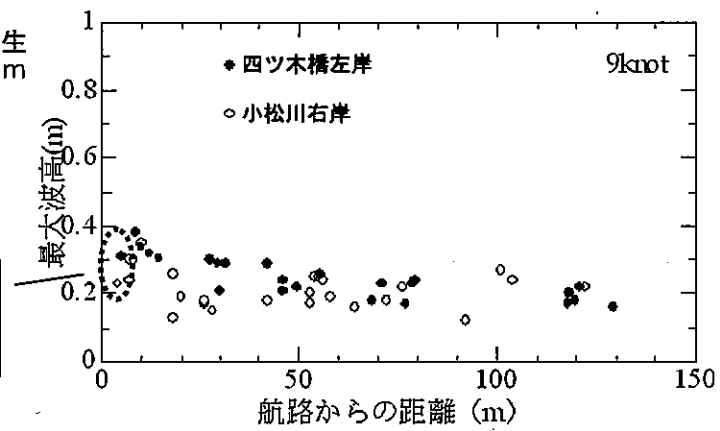


図 3.2.3 航走波最大波高観測結果（平成 15 年現地観測結果）

3. 計画水位 (潮位)

ヨシ原の減退・縮小は、ヨシ原先端部が波・流れによって洗掘され、根が浮き上がることによって発生する。

平成 13 年度のモニタリング調査結果より、河岸水際部に達する波のエネルギーは満潮時に最大となることが確認されたため、この時の波エネルギーの作用を低減することを目的として、朔望平均満潮位 A. P. +2. 0m を施設検討上の計画水位とする。

ただし、水位が満潮位となるのは、一日でごく限られた時間であるため、河岸に作用するエネルギーを検討する際には、常に満潮位を想定すると河岸に作用するエネルギーを過大に評価することとなる。そのため、潮位変動を考慮に入れて検討する必要がある。

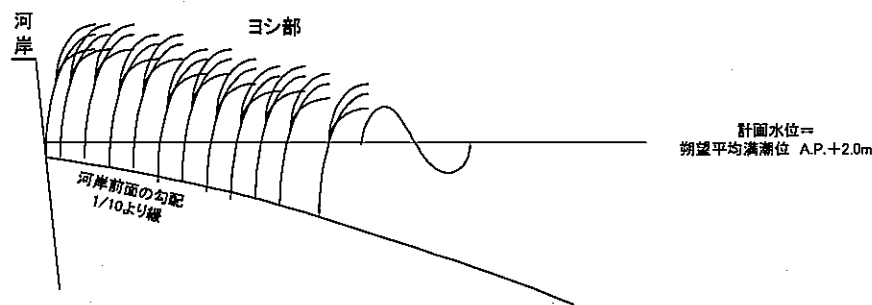


図 3.2.4 ヨシの生育する地形条件と水位の関係

参考) 小松川地先での計画水位 (潮位) 設定の考え方

対象地区の平均干潮位と平均満潮位を整理する必要がある。2 章で示したように保全対象種を抽水性ヨシ原とした場合、この高さのエリアは魚類の生息場や干潟環境にとって極めて貴重な空間となっている。

保全空間を設定するには、河岸部と対策工との離岸距離を設定する必要があり、河岸部の地形勾配と合わせて航走波対策工の設置水深が決まる。

また、小松川地先の現地実験（木工沈床工タイプ）から航走波対策工天端高以下の水位 (潮位) 条件では透過率は極めて小さく (0.3 程度) なることから、十分な効果がある航走波対策工の場合、施設の天端高以下の水位 (潮位) は対象とする必要がないと考えられる。

よって、検討では、下図のように施設天端高から平均満潮位を対象とする。

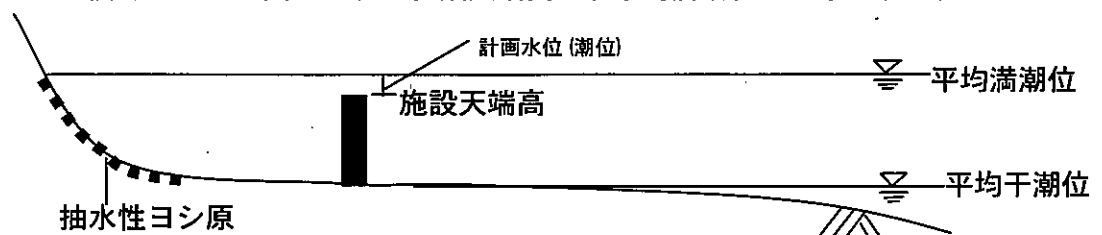


図 3.2.5 計画水位 (潮位) の設定

4. 波の変形

(1) 波高の低減

発生した波浪が河岸に達するまでの波の変形は、河道形状によって異なることから、現地モニタリングもしくは地形条件を組み込んだ数値シミュレーションによって、現地の波の変形特性を把握することを基本とする。

これらが困難である場合には、現地の河道形状から判断して、既往の現地観測結果から求められる下図をもとに設定することも可能とする。ただし、波の低減効果は地形条件に大きく左右されるものであることから、低減効果が過大とならないよう取り扱いには十分注意する必要がある。

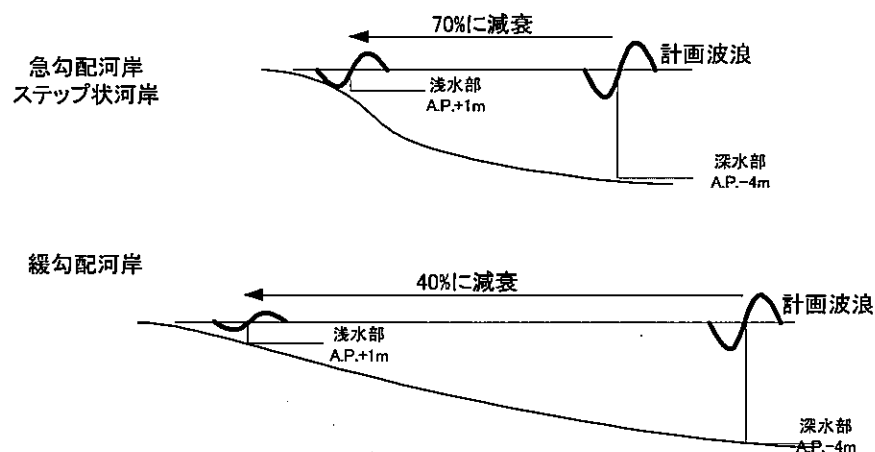


図 3.2.6 河岸形状に応じた波高の低減状況
(河岸形状は図 3.1.4, 図 3.1.5 を参照)

(2) 河岸前面の波長

現地観測結果を用いて沖波波長及び河岸前面波長を計測した。

深水部(航路)の波長(L_0)は、沖波周期より算出すると、約 18m($=1.56 \times 3.4^2$)となる。

また、現地観測より得られた河岸前面(≒消波施設前面)の波長は、約 7~8mであった。これに対し、微小振幅波理論に基づいて算出した波長は約 12mであり、実測値は、微小振幅波理論で求まるものよりも 30%ほど短くなった。

ただし、河岸前面の様な浅水部での波長は水深、周期によって異なり、実測が困難である。また、波長を長くとらえることは、波による河岸への影響が高めに見積もられることから安全側の処理となる。よって、河岸前面の波長は微小振幅波理論により求めることとする。

表 3.2.2 現地観測による波長変化

	沖 波		河岸前面波長(水深 1.5m 前後)	
	周期	波長	現地観測結果	微小振幅波理論
あらかわ号 速度 約 10 ノット	約 3.4 秒	18m	約 7~8m	約 12m

(参考) 微小振幅波理論に基づく河岸前面での波長の算出例

海岸工学における微小振幅波理論より、浅海(水深が沖波の波長の 1/2 より浅い水深域)における波長を表 3.2.3 より求める。

周期: 3.4sec、消波施設(木工沈床工)の設置水深が消波施設設置地盤高 A. P. +0.5m の場合、満潮時(A. P. +2m)水深は 1.5m となり、次表(3秒と4秒の内挿)より、波長(L) $\approx 12.0\text{m}$ となる。

表 3.2.3 周期—水深—波長—波速の関係(微小振幅波理論)

水深(m)	3.0		4.0		5.0		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0	
	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)
0.5	6.39	2.13	8.67	2.17	10.92	2.18	13.16	2.19	15.39	2.20	17.62	2.20	19.84	2.20	22.06	2.21
1.0	8.69	2.90	11.99	3.00	15.23	3.05	18.43	3.07	21.61	3.09	24.78	3.10	27.94	3.10	31.09	3.11
1.5	10.21	3.40	14.37	3.59	18.40	3.68	22.36	3.73	26.29	3.76	30.19	3.77	34.08	3.79	37.95	3.80
2.0	11.30	3.77	16.22	4.05	20.94	4.19	25.57	4.26	30.14	4.31	34.67	4.33	39.18	4.35	43.68	4.37
2.5	12.09	4.03	17.71	4.43	23.08	4.62	28.31	4.72	33.46	4.78	38.56	4.82	43.62	4.85	48.67	4.87
3.0	12.67	4.22	18.95	4.74	24.92	4.98	30.71	5.12	36.39	5.20	42.01	5.25	47.58	5.29	53.13	5.31
3.5	13.09	4.36	19.98	5.00	26.52	5.30	32.84	5.47	39.02	5.57	45.13	5.64	51.18	5.69	57.19	5.72
4.0	13.39	4.46	20.85	5.21	27.93	5.59	34.75	5.79	41.42	5.92	47.98	6.00	54.48	6.05	60.92	6.09
4.5	13.60	4.53	21.57	5.39	29.18	5.84	36.49	6.08	43.61	6.23	50.61	6.33	57.53	6.39	64.40	6.44
5.0	13.75	4.58	22.18	5.55	30.29	6.06	38.07	6.34	45.63	6.52	53.05	6.63	60.38	6.71	67.64	6.76
6.0	13.91	4.64	23.11	5.78	32.17	6.45	40.84	6.81	49.24	7.03	57.47	7.18	65.57	7.29	73.58	7.36
7.0	13.99	4.66	23.75	5.94	33.67	6.73	43.19	7.20	52.39	7.48	61.37	7.67	70.20	7.80	78.92	7.89
8.0	14.02	4.67	24.19	6.05	34.86	6.97	45.19	7.53	55.16	7.88	64.86	8.11	74.38	8.26	83.77	8.38
9.0	14.03	4.68	24.47	6.12	35.81	7.16	46.91	7.82	57.61	8.23	68.01	8.50	78.19	8.69	88.22	8.82
10.0	14.03	4.68	24.65	6.16	36.56	7.31	48.37	8.06	59.78	8.54	70.85	8.86	81.68	9.08	92.32	9.23
11.0	14.04	4.68	24.77	6.19	37.15	7.43	49.62	8.27	61.72	8.82	73.44	9.18	84.89	9.43	96.12	9.61
12.0	14.04	4.68	24.84	6.21	37.60	7.52	50.69	8.45	63.44	9.06	75.80	9.48	87.85	9.76	99.67	9.97
13.0	14.04	4.68	24.89	6.22	37.95	7.59	51.60	8.60	64.98	9.28	77.96	9.74	90.59	10.07	102.98	10.30
14.0	14.04	4.68	24.91	6.23	38.22	7.64	52.38	8.73	66.35	9.48	79.93	9.99	93.14	10.35	106.07	10.61
15.0	14.04	4.68	24.93	6.23	38.42	7.68	53.03	8.84	67.58	9.65	81.73	10.22	95.51	10.61	108.98	10.90
16.0	14.04	4.68	24.94	6.23	38.57	7.71	53.58	8.93	68.66	9.81	83.39	10.42	97.71	10.86	111.71	11.17
17.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.68	7.74	54.04	9.01	69.63	9.95	84.90	10.61	99.77	11.09	114.29	11.43
18.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.77	7.75	54.42	9.07	70.49	10.07	86.29	10.79	101.68	11.30	116.71	11.67
19.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.83	7.77	54.74	9.12	71.25	10.18	87.56	10.95	103.47	11.50	119.00	11.90
20.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.87	7.77	55.00	9.17	71.92	10.27	88.72	11.09	105.14	11.68	121.16	12.12
22.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.93	7.79	55.39	9.23	73.03	10.43	90.76	11.35	108.14	12.02	125.12	12.51
24.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.96	7.79	55.65	9.28	73.89	10.56	92.46	11.56	110.76	12.31	128.66	12.87
26.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.98	7.80	55.83	9.30	74.54	10.65	93.86	11.73	113.04	12.56	131.83	13.18
28.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.98	7.80	55.94	9.32	75.03	10.72	95.02	11.88	115.01	12.78	134.66	13.47
30.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	55.92	9.34	75.40	10.77	95.97	12.00	116.72	12.97	137.19	13.72
35.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.11	9.35	75.96	10.85	97.64	12.20	120.03	13.34	142.38	14.24
40.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.14	9.36	76.22	10.89	98.61	12.33	122.26	13.58	146.25	14.63
50.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36	76.39	10.91	99.46	12.43	124.71	13.86	151.16	15.12
60.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36	76.42	10.92	99.72	12.46	125.71	13.97	153.68	15.37
70.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36	76.42	10.92	99.79	12.47	126.10	14.01	154.91	15.49
深水波	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36	76.43	10.92	99.82	12.48	126.34	14.04	155.97	15.60

5. 施設の透過率について

小松川地先の航走波対策工付近の地盤高は、A. P. +0. 5m 程度である。

また、試験的に施工された航走波対策工（木工沈床工タイプ消波対策工）の天端高は A. P. 1. 4～2. 0m であり、施設の平均天端高は A. P. +1. 70m となっている。

現地観測結果より、水位（潮位）が消波施設天端高より低い場合（ $d/H_i \leq 0$ ）の平均透過率は 0. 3 程度であり、水位（潮位）が消波施設天端高（平均 A. P. +1. 70m）より高い場合（ $d/H_i > 0$ ）になると平均透過率は 0. 7 程度まで大きくなる（図 3. 2. 7）。

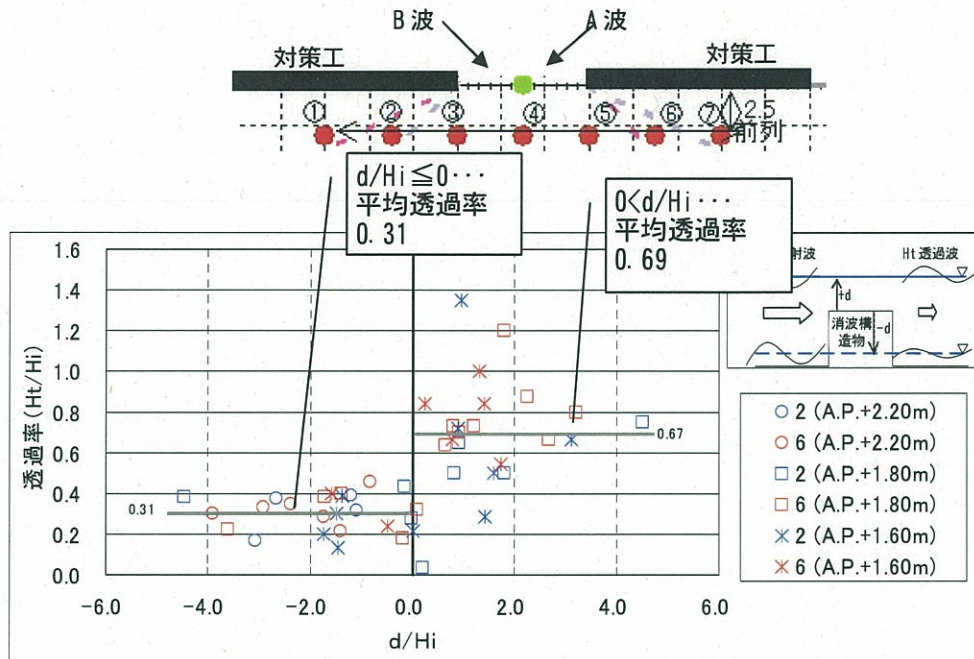


図 3. 2. 7 水位 (潮位) 条件と航走波対策工天端高による透過率の変化 (小松川地先)
H15 年観測結果

$d/H_i < 0$ の露堤状態では平均透過率 0. 31、 $d/H_i \geq 0$ の潜堤状態では平均透過率 0. 69 となっている。

図の凡例にある 2, 6 は上図の対策工背後の地点番号を意味し、A 波の場合は⑥地点、B 波の場合は②地点の波高データを用いた。A. P. 表示は観測時の潮位条件を意味している。

下図は小松川地先における河岸地形の変動量を示したものである。これより、波のエネルギーが大きい朔望平均満潮位時において施設の透過率が 0.7 である条件下で、河岸地形は概ね前進（堆積）傾向にあることがわかる。

よって、施設の目標透過率は計画水位時 0.7 とする。

ただし、本目標透過率は限られた条件で行われた観測結果より導かれたものであるため、対象地点を想定した模型実験や、今後、継続して実施する背後河岸のヨシ原モニタリング調査結果をふまえて、ヨシが生育していくために確保すべき施設の透過率について精査していく必要がある。

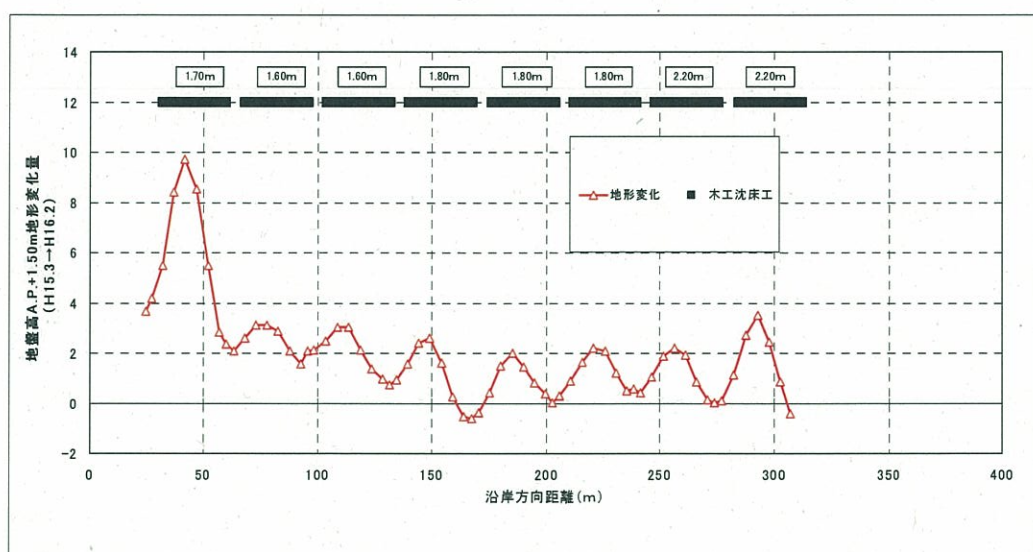


図 3.2.8 小松川地先における河岸地形変動量（H15.3 から H16.2 までの変化量）

(参考) 航走波対策工の模型実験

荒川下流部でこれまで施工された、木工沈床工タイプと柱列杭工タイプを対象に実施した模型実験結果を参考に示す。

(1) 木工沈床工

木工沈床工の形状（天端幅及び天端高）の違いによる、消波効果（波の透過率）を把握するために、模型実験を行った。

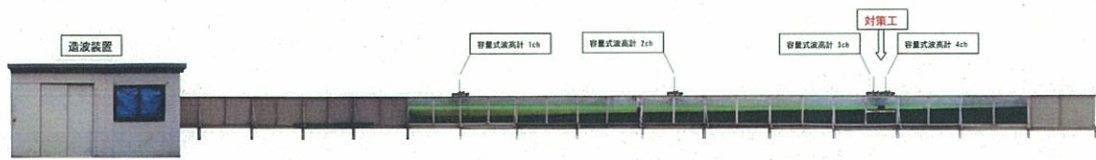
実験ケースは下記に示す木工沈床工の天端幅 4 パターン、天端高 2 パターン及び潮位条件 3 パターンの組み合わせとし、潮位条件毎に施設無しの場合のケースも設定した。

①実験ケース・・・ 計 27 ケース

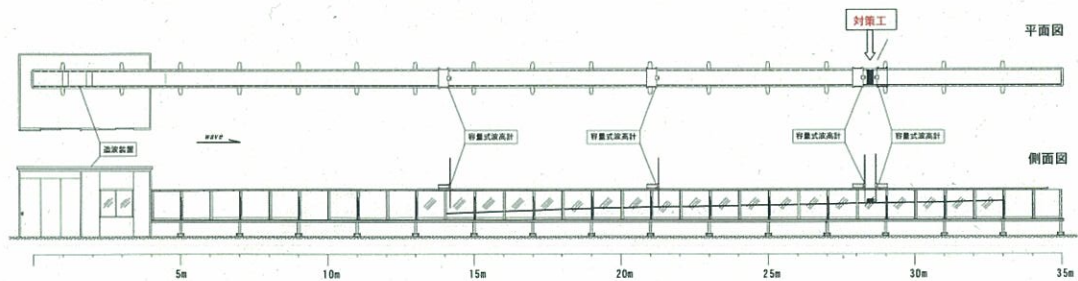
- ・ 潮位条件 1.5、1.7、2.0m (3パターン)
- ・ 施設条件 天端幅 1.50、1.75、2.00、2.25m (4パターン)
- 天端高 1.7、2.0m (2パターン)
- (施設無しのパターンも実施した)
- ・ 波浪条件 波高 0.3m、周期 2.6sec 一定
- (荒川下流部 航走波の計画波浪)

表 3.2.4 実験ケース

実験 No.	潮位 (m)	木工沈床工		波高 (m)	周期 (sec)
		天端幅 (m)	天端高 (m)		
k 01	1.5	無施設	無施設	0.3	2.6
k 02	1.5	1.50	1.7	0.3	2.6
k 03	1.5	1.50	2.0	0.3	2.6
k 04	1.5	1.75	1.7	0.3	2.6
k 05	1.5	1.75	2.0	0.3	2.6
k 06	1.5	2.00	1.7	0.3	2.6
k 07	1.5	2.00	2.0	0.3	2.6
k 08	1.5	2.25	1.7	0.3	2.6
k 09	1.5	2.25	2.0	0.3	2.6
k 10	1.7	無施設	無施設	0.3	2.6
k 11	1.7	1.50	1.7	0.3	2.6
k 12	1.7	1.50	2.0	0.3	2.6
k 13	1.7	1.75	1.7	0.3	2.6
k 14	1.7	1.75	2.0	0.3	2.6
k 15	1.7	2.00	1.7	0.3	2.6
k 16	1.7	2.00	2.0	0.3	2.6
k 17	1.7	2.25	1.7	0.3	2.6
k 18	1.7	2.25	2.0	0.3	2.6
k 19	2.0	無施設	無施設	0.3	2.6
k 20	2.0	1.50	1.7	0.3	2.6
k 21	2.0	1.50	2.0	0.3	2.6
k 22	2.0	1.75	1.7	0.3	2.6
k 23	2.0	1.75	2.0	0.3	2.6
k 24	2.0	2.00	1.7	0.3	2.6
k 25	2.0	2.00	2.0	0.3	2.6
k 26	2.0	2.25	1.7	0.3	2.6
k 27	2.0	2.25	2.0	0.3	2.6

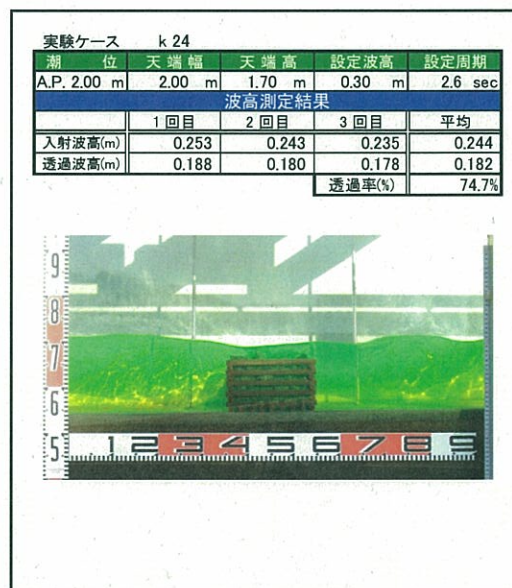


写真一 実験水路全景（小松川地区）



図一 実験水路概要図（小松川地区）

図 3. 2. 9 実験施設の概要



（1 ケース 3 回計測）

図 3. 2. 10 計測状況

②実験結果

[天端幅と透過率の関係]

- ・ 天端幅が広いほど、また、天端高が高いほど波の透過率は低くなるのが確認できる。
- ・ 潮位 A. P. 1.5m の場合には、天端高 A. P. 1.7m、A. P. 2.0m の施設とも水面上に天端が現れることから透過率はほぼ同じとなる。
- ・ 荒川下流部における航走波対策工の計画潮位 (A. P. +2.0m) 時、木工沈床タイプの標準断面 (天端高 A. P. +1.7m、天端幅 2.0m) での透過率は、実験結果では 75% 程度であり、施設の目標透過率とほぼ一致する。

表 3.2.5 実験結果の一覧

実験 No.	潮位 (m)	木工沈床工		波高 (m)	周期 (sec)	入射波 (m)	透過波 (m)	透過率 (%)
		天端幅 (m)	天端高 (m)					
k 01	1.5	無施設	無施設	0.3	2.6	0.237	0.233	98.2%
k 02	1.5	1.50	1.7	0.3	2.6	0.184	0.060	32.7%
k 03	1.5	1.50	2.0	0.3	2.6	0.187	0.061	32.8%
k 04	1.5	1.75	1.7	0.3	2.6	0.177	0.056	31.8%
k 05	1.5	1.75	2.0	0.3	2.6	0.176	0.055	31.4%
k 06	1.5	2.00	1.7	0.3	2.6	0.195	0.048	24.6%
k 07	1.5	2.00	2.0	0.3	2.6	0.196	0.047	24.0%
k 08	1.5	2.25	1.7	0.3	2.6	0.226	0.040	17.9%
k 09	1.5	2.25	2.0	0.3	2.6	0.205	0.037	18.2%
k 10	1.7	無施設	無施設	0.3	2.6	0.262	0.253	96.5%
k 11	1.7	1.50	1.7	0.3	2.6	0.198	0.120	60.5%
k 12	1.7	1.50	2.0	0.3	2.6	0.210	0.063	30.0%
k 13	1.7	1.75	1.7	0.3	2.6	0.205	0.104	50.8%
k 14	1.7	1.75	2.0	0.3	2.6	0.201	0.059	29.4%
k 15	1.7	2.00	1.7	0.3	2.6	0.240	0.107	44.4%
k 16	1.7	2.00	2.0	0.3	2.6	0.189	0.043	22.6%
k 17	1.7	2.25	1.7	0.3	2.6	0.234	0.072	30.6%
k 18	1.7	2.25	2.0	0.3	2.6	0.231	0.041	17.7%
k 19	2.0	無施設	無施設	0.3	2.6	0.238	0.228	95.7%
k 20	2.0	1.50	1.7	0.3	2.6	0.256	0.222	86.6%
k 21	2.0	1.50	2.0	0.3	2.6	0.297	0.152	51.3%
k 22	2.0	1.75	1.7	0.3	2.6	0.239	0.204	85.5%
k 23	2.0	1.75	2.0	0.3	2.6	0.300	0.137	45.6%
k 24	2.0	2.00	1.7	0.3	2.6	0.244	0.182	74.7%
k 25	2.0	2.00	2.0	0.3	2.6	0.295	0.118	40.0%
k 26	2.0	2.25	1.7	0.3	2.6	0.264	0.173	65.7%
k 27	2.0	2.25	2.0	0.3	2.6	0.323	0.088	27.3%

木工沈床工の透過率 潮位～天端高～天端幅

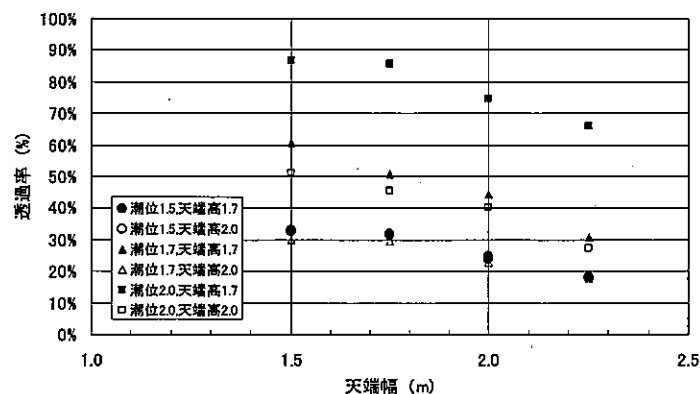


図 3.2.11 木工沈床工天端幅と透過率の関係

〔天端水深～透過率の関係〕

- ・ 天端が水位より高い場合（天端が水面上に現れる場合）、透過率は 20～30％程度とほぼ一定値を示す。
- ・ 天端が水位と同じ高さの場合は、透過率は 30～60％の範囲となる。
- ・ 天端が水位より低い場合（天端が水面下にある場合）は、透過率が 65～85％の範囲となる。

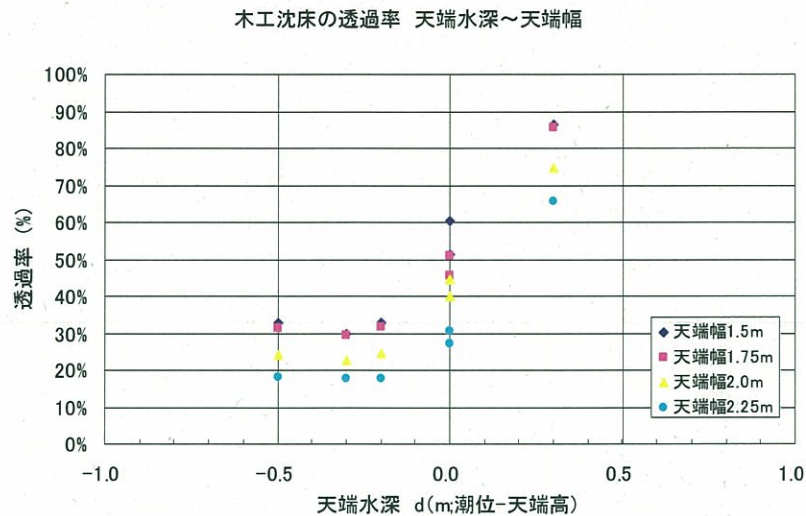


図 3.2.12 木工沈床工の天端水深と透過率の関係

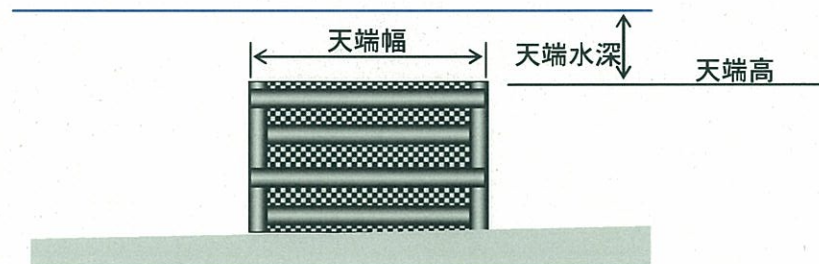


図 3.2.13 木工沈床工の諸元

(2) 柱列杭工

柱列杭工の天端高、配列の違いや、板や捨石を併用した場合の消波効果（波の透過率）を把握するために、模型実験を行った。

①実験ケース

表 3.2.6 柱列杭工の模型実験ケース

ケース No	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6
対策工	単列配設（状況）	千鳥配設	複列配設	単列配設+板工	単列配設+マウンド工	複列配設+マウンド工
検討目的	単列に配設した場合の隙間と透過率の関係を把握	単列配設の隙間を解消するために隙間部分の背後に1列配設した場合の透過率を把握	単列に2列配設した場合の透過率の把握	単列に板工を配設した場合の透過率の把握 板工の効果的な配置位置の把握	単列杭の前後に捨石を配設した場合の透過率の把握 捨石工の効果的な配置位置の把握	複列杭の間に捨石を配設した場合の透過率の把握
水理条件	波高 30cm、周期 2.5sec 潮位 H AP+1.5, 1.7, 2.0m	波高 30cm、周期 2.5sec 潮位 H AP+1.5, 1.7, 2.0m	波高 30cm、周期 2.5sec 潮位 H AP+1.7m	波高 30cm、周期 2.5sec 潮位 H AP+1.7m	波高 30cm、周期 2.5sec 潮位 H AP+1.7m	波高 30cm、周期 2.5sec 潮位 H AP+1.7m
対策の 変更条件	隙間 d 0.04, 0.07, 0.10m 杭高 Z AP+1.5, 2.0m	隙間 d 0.07m 杭高 Z1 AP+1.5, 2.0m 杭高 Z2 AP+1.5, 2.0m	隙間 d 0.07m 杭高 Z AP+1.5, 2.0m 杭間隔 D 2.0m	隙間 d 0.07m 杭高 Z AP+1.5, 2.0m 板工 配置条件 5	隙間 d 0.07m 杭高 Z AP+1.5, 2.0m AP+1.0, 1.5m マウンド高 z 1.0, 2.0, 4.0m マウンド幅 b1 1.0m マウンド幅 b2 1.0m	隙間 d 0.07m 杭高 Z AP+1.5, 2.0m 杭間隔 D 2.0m マウンド高 2.0m
ケース数	9 ケース	7 ケース	2 ケース	6 ケース	10 ケース	2 ケース
概要図	対策工設置地盤高 AP+0.0m 杭径 $\phi=20$ cm 					

②実験結果（概要）

柱列杭の天端高の違いによる透過率を、対策手段別に整理を行った。

これより、杭の天端高はどの対策手段においても A. P. +1. 50m よりも A. P. +2. 00mの方が効果的である。

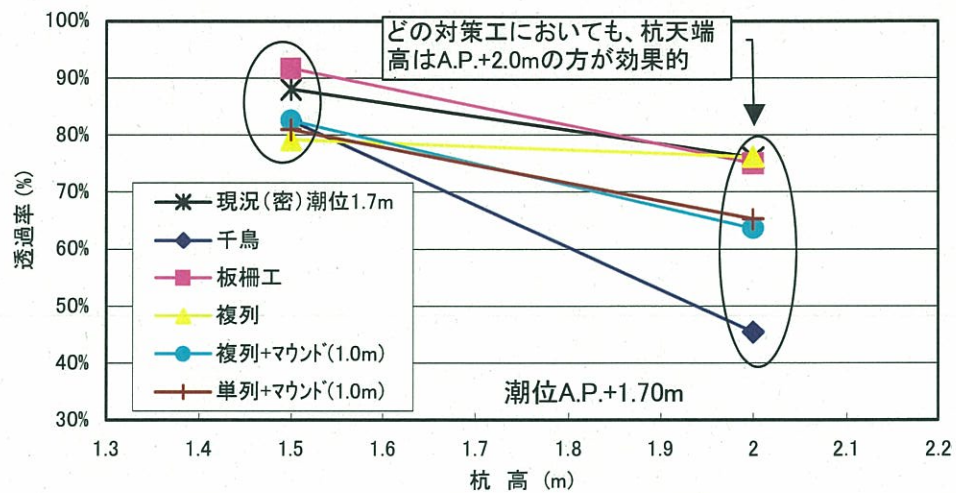


図 3. 2. 14 柱列杭の天端高と波の透過率の関係

(参考) 航走波エネルギーと河岸侵食の関係の算定事例

ここでは、航走波が河岸侵食に及ぼす影響について、平成 15 年度の小松川地先で実施した航走波調査結果に基づいてとりまとめる。

(1) 航走波による波エネルギーの考え方

河岸侵食量と波の関係を把握するために航走波の波エネルギーを算出する。荒川下流の小松川地先では、河岸侵食に影響を与えている航走波は、河岸侵食状況から判断し、消波施設天端高以上の水位(潮位)条件で河岸部に作用する航走波を対象にする。

観測時の水位及び航行船舶数より波エネルギーを算出する。

実績の船舶航行数が観測結果より 14 隻(上り、下りの 1 日の合計)であり、航走波の典型的な波高分布より、波高を 60 秒間(下右図)で減衰させて波エネルギーを算出する。波エネルギー算出対象時間は約 14 分間(14 波)である(下左図)。

条件：①満潮位(A. P. +2.00m)付近に 14 隻のタンカーが航行する。

：②タンカーの航行により発生する沖波条件は、 $H_0=0.3\text{m}$ 、 $T=2.5\text{s}$ とする。

(木工沈床工天端高：A. P. +1.7m～A. P. +2.0m)

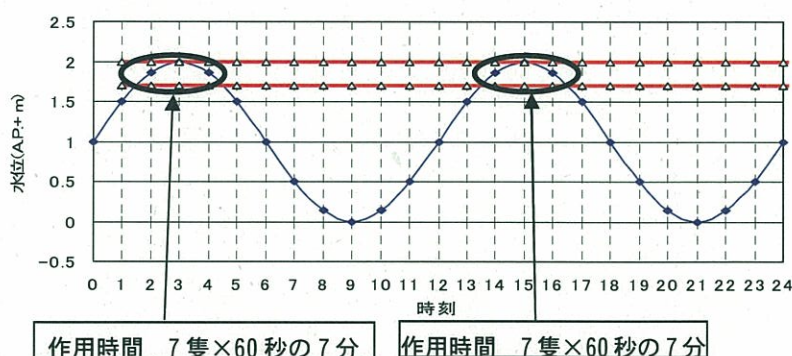


図 航走波の波エネルギー算定の考え方

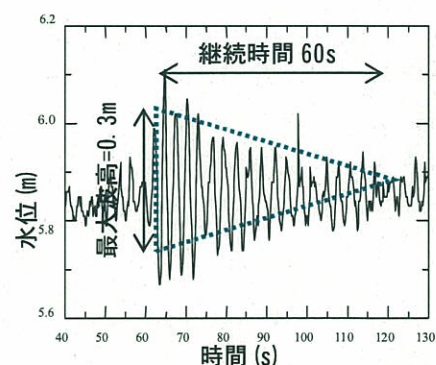


図 航走波の波群

(2) 波エネルギーと河岸侵食の関係

河岸侵食量と波エネルギーの関係を把握するために、地形条件、施設条件を考慮できる波浪変形シミュレーション(非定常緩勾配方程式)によって消波施設背後の最大波高分布の再現計算を行い、その再現結果をもとに航走波の波エネルギーの算出を行った。

計算に際しては、小松川地先の消波対策工(木工沈床工)の透過率を航走波調査結果に基づいて以下のように定めた。

※ 木工沈床工の透過率・・

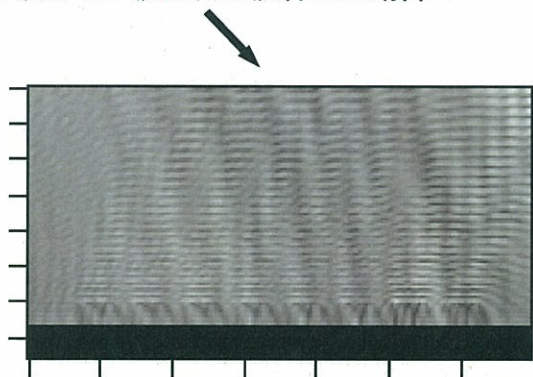
①木工沈床工天端高	A. P. +2. 20m	透過率 0. 30
②	"	A. P. +1. 80m 透過率 0. 50
③	"	A. P. +1. 70m 透過率 0. 55
④	"	A. P. +1. 60m 透過率 0. 60

※ 波浪条件・・・・計画波($H=0.3\text{m}$ 、 $T=2.5\text{s}$)

※ 潮位条件・・・・観測時の平均潮位 A. P. +1. 70m

※ 航行船舶数・・・・上流から下流方向に 7 隻、下流から上流に 7 隻の合計 14 隻分を対象。

上流から下流方向に航行した場合



下流から上流方向に航行した場合

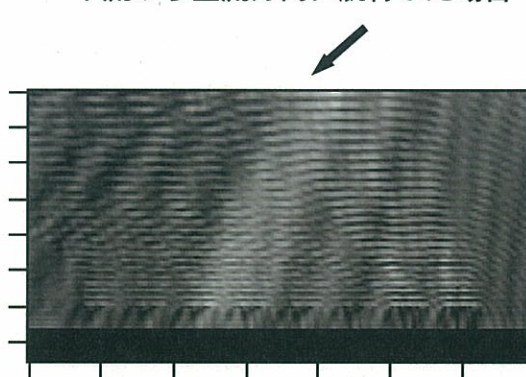


図 3. 2. 15 波浪変形計算結果 平面分布図 ($H_0=0.3\text{m}$, $T=2.5\text{s}$)

次に、図 3. 2. 17 に波浪計算結果から算出した波エネルギー及び地形変化量 (地盤高 A. P. +1. 50m) を図示した。

ここで、エネルギーの算出式は以下を用いた。

$$E = \sum \frac{1}{8} \rho g H_T^2 C_g dt \dots\dots\dots (1)$$

$$C_g = \sqrt{gh} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、
E : 航走波エネルギー (Nm/m)
ρ : 水の密度 (kg/m³)
g : 重力加速度 (m/s²)
Ht : 離岸堤透過波高 (m)
Cg : 群速度 (m/s)
h : 水深 (m)

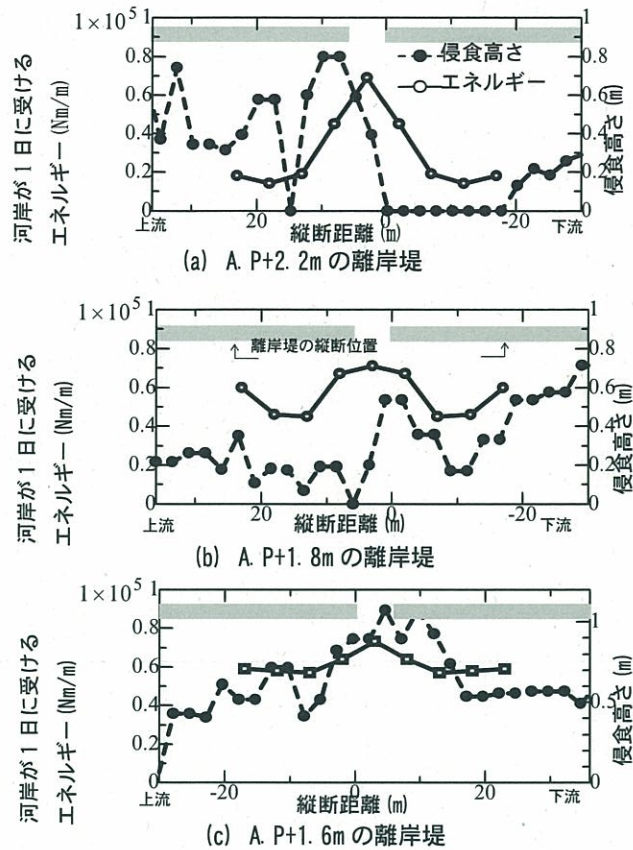
平成 15 年 8 月の現地観測波高より算出した波エネルギー分布とシミュレーション結果は天端高 A. P. +2. 20m の開口部を除きほぼ同様の結果となっている。

(他の開口部では観測未実施)

また、波エネルギーと地形変化量の関係は、福田らの結果¹とあわせて考えると以下のとおりである。

- ①開口部背後では波エネルギーが大きく、堆積量は少なくなっている。(図 3. 2. 17)
- ②施設背後の中央部付近では波エネルギーが小さく、堆積が進みトンボ口地形が見られる。(図 3. 2. 17)
- ③1 日あたりの波エネルギーを 5.0×10^4 (Nm/m) 以下にすれば地形は安定すると推察される。(図 3. 2. 16)
- ④天端高 A. P. +1. 80m の消波施設背後では波エネルギーは 5.0×10^4 (Nm/m) 以下になると考えられる。

なお、天端高 A. P. +1. 70m の消波施設は平成 13 年に完工しており、他の施設よりも完成後の期間が 2 年ほど長いと、堆積量が多くなっていると考えられる。



出典：河川における離岸堤周りの航走波の観測と解析
 福田朝生、福岡捷二、渡邊明英、石鉢盛一郎 土木学会第59回年次講演会(平成16年9月)

図 3.2.16 河岸位置のエネルギーと侵食高さ

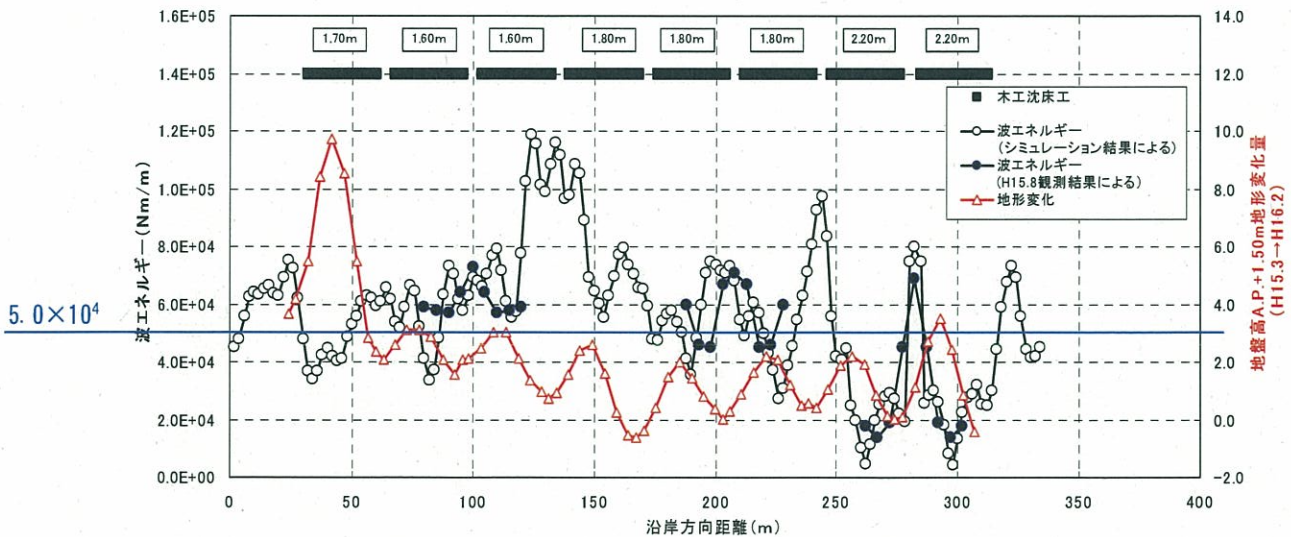


図 3.2.17 波エネルギーと河岸地形変化量の関係

(参考) 非定常緩勾配方程式

- ・ 海域の波浪変形計算モデルでは、最も適用範囲の広いモデルの一つとされている。
 - ・ 浅海域で考えられる主要な波の変形である屈折・浅水変形、回折、反射、砕波を全て同時に扱うことが可能なモデルである。
- 消波施設や開口部周辺での波の変形が再現可能。

表 波浪変形計算の一覧と適用範囲

計算手法 (参考文献例)	浅 水 変 形	屈 折	回 折	反 射	砕 波 モ デ ル	任 意 水 深	流 れ の 影 響	不 規 則 性	有 限 振 幅 性	計 算 領 域			備 考
										広	中	狭	
波向線法(屈折図法) (Keller, 1958)	◎	◎	×			◎	○	○	△	○	○	○	波速に有限振幅性を含める
エネルギー方程式 (Karlson, 1969)	◎	◎	▽	△	○	◎	○	◎	×	○	○	○	
ホルムヘルツ方程式 (Gaillard, 1984)	○	○	◎	◎	×	◎	×	○	×			○	領域ごとに一樣水深のみ
高山の方式 (高山, 1981)			◎	◎	×	◎	×	◎	×		○	○	一樣水深のみ
緩勾配方程式 (Berkhoff, 1972)	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	○	△			○	
非定常緩勾配方程式 (渡辺, 丸山, 1984)	◎	◎	◎	◎	○	◎	○		×			○	砕波モデル・境界条件処理が容易
数値波動解析法 (伊藤・谷本, 1971.)	○	◎	◎	◎		◎			×				
非定常緩勾配不規則 波 方 程 式 (窪 ら, 1991)	◎	◎	◎	◎	○	◎		◎	×			○	
放物型方程式 (Radder, 1967)	◎	◎	◎	△	○	◎	○	○	△	○		○	
非線形長波方程式 (Kellerら, 1960)	◎	◎	◎	◎	○	×		◎	◎			○	鉛直加速度が無視される 浅海域に限定される
ブシネスク方程式 (Peregrine, 1967)	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎			○	原方程式は浅海域に限定される
ガラーキン法 (灘岡・中川, 1993ab)	◎	◎	◎	◎		◎		◎	◎			○	
非線形緩勾配波動方 程 式 (磯部, 1994)	◎	◎	◎	◎		◎		◎	◎			○	

◎：基本形で適用可能 ○：応用形で一般的適用可能 △：応用形で部分的適用可能

▽：基本理論では考慮されていないが実用上適用可能

空白：研究により適用できる可能性あり ×：適用不可能

計算領域＝広：深海から浅海を含む程度、中：構造物周辺の海域程度、狭：港内程度

出典：「海岸波動 【波・構造物・地盤の相互作用の解析法】」

土木学会 海岸工学委員会 研究現況レビュー小委員会

3.3 航走波対策工法の選定の考え方

航走波対策工は、河床地形、航走波および底質粒径条件等を把握した上で、所要の消波機能を有する工法を選定する。

【解説】

1. 航走波対策工法

航走波対策工法のうち主に消波対策工として考えられる施設をピックアップし、定性的な比較検討を表 3.3.1 に示す。

なお、荒川下流部では、これまでに以下の 3 工種について試験施工を行い、消波効果、河岸部の堆積効果(維持・安定)、ならびに環境変化等についての知見の蓄積を行い、航走波対策工へのフィードバックを図っている。

工法の選定では次頁の表に示すように、景観や施工性など総合的な評価を行う必要がある。

- ① 木工沈床工タイプ ・ ・ ・ 小松川地先 施工済み
- ② 柱列杭工タイプ ・ ・ ・ 四ツ木地先 施工済み
- ③ 捨石工(潜堤)タイプ ・ ・ ・ 新河岸地先 施工済み
- ④ 幅広沈床工
- ⑤ 突堤

消波対策工検討フロー

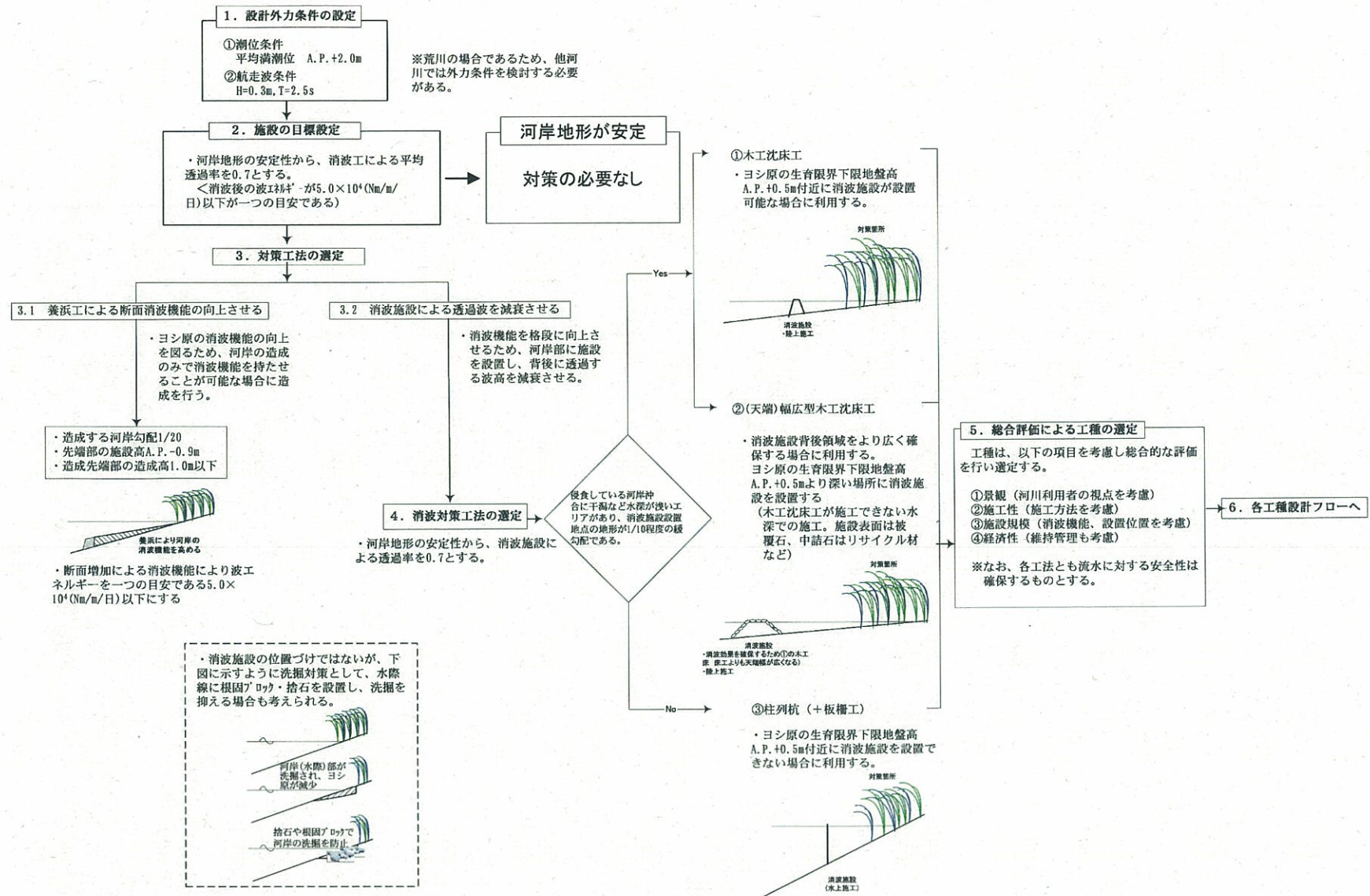
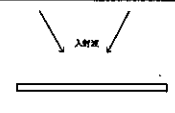
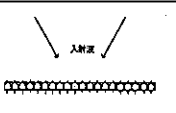
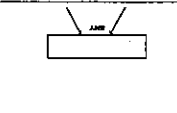
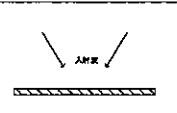
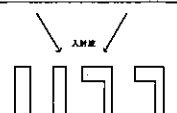
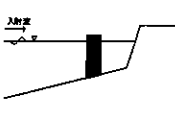
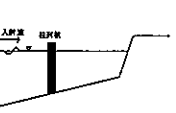
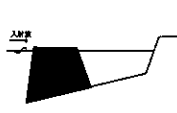
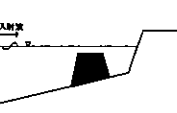


図 3.3.1 消波対策工選定フロー

表 3.3.1 航走波対策施設の整理と荒川への適応性について（定性評価）

	消 波 対 策 工				
	①木工沈床工	②柱列杭工	③幅広沈床工	④捨石工（潜堤）	⑤突堤
平面図					
断面図					
工法の概要	河岸と平行に一定間隔で一文字に並べ、透過波高を減衰させる。	河岸前面に杭を打設し、透過波を減衰させる。	河岸から距離を離して河岸に平行に施設を設置し透過波高を減衰させる。設置水深が深くなる。	木工沈床工や幅広沈床工の天端高を低くし、堤体を水面下に没し潜堤としたもの。入射波を天端上で砕波させ波高を減衰させる。	河岸から直角に突き出した施設を設置して河岸部に到達する波を遮蔽する。
材 料	木材、建設再生材など	木材	中詰：建設再生材 被覆：根固石、捨石	中詰：建設再生材 被覆：根固石、捨石 または、 木材、建設再生材	中詰：建設再生材 被覆：根固石、捨石
消波効果	天端高、天端幅を確保すれば消波効果は得られる。 （開口部対策は必要） ◎	杭間隙間を小さく施工することで波は遮蔽され、背後は静穏域となる。 （開口部対策は必要） ◎	天端高、天端幅を確保すれば消波効果は得られる。 （開口部対策は必要） ◎	天端水深を小さくし、潜堤上で砕波させることができる。H.W.L.付近の消波が課題である △	入射波の波向きに対し、突堤背後領域は静穏域となるが、前面からの波は入射する。 ×
施工性 （工区により施工方法を工夫する必要がある）	実績が多く問題は少ない ＜締切陸上施工＞ ◎	同左 ＜締切無し陸上・水上施工＞ ◎	同左 ＜締切水上施工＞ ◎	同左 ＜締切陸上施工＞ ◎	同左 ＜締切陸上・水上施工＞ ◎
構造安定性 （出水時等）	問題ない ◎	問題ない ◎	被覆材重量を確保すれば問題ない ◎	水深が深く、水衝部では安定性が課題。 ○	被覆材重量を確保すれば問題ない ◎
環境面 （生物、生態）	開口部以外には横断方向の移動ができなくなる。 △	開口部以外には横断方向の移動ができなくなる。 △	開口部以外には横断方向の移動ができなくなる。 △	開口部以外には横断方向の移動ができなくなる。 △	縦断（上下流）方向の移動ができなくなる ○
景観 （水際線の人の視点）	干潮時には構造物が現れるため、利用者に圧迫感を与える。 天端高A.P.+1.80m程度 ○	干潮時に壁が現れるため、河岸部の利用者に圧迫感を与える。 天端高A.P.+2.00m程度 ×	水際線からの距離があるため、利用者への圧迫感を抑えられる。 天端高A.P.+1.80m程度 ◎	干潮時には構造物が現れるが、干出時間が短いため、利用者への圧迫感は少ない。 天端高A.P.+1.50m程度以下 ◎	干潮時には構造物が現れるため、利用者に圧迫感を与える。 天端高A.P.+2.00m程度 ×
施設規模	問題ない ◎	問題ない ◎	設置水深が深くなるため施設規模が大きくなる。 △	景観のために高さを下げた場合、天端幅を広くする必要があり施設規模が大きくなる ○	問題ない ◎
経済性	陸上施工のため安価に実施可能 ○	締切無し陸上施工時は安価に実施可能 ◎	水上施工のため費用がかさむ △	陸上施工のため安価に実施可能 ○	陸上施工の場合は費用を抑えられる ○
付記条件での評価	○	◎	△	○	○
総合得点・評価 ◎1番目 ○2番目	17/21	16/21	15/21	14/21	13/21
	◎	○	△	△'	△'

※各項目の評点は◎3点、○2点、△1点、×0点とした。

2. 河岸設計断面の設定

現地状況、およびヨシ原環境調査より、ヨシ原が拡大傾向または現状維持傾向となっている事例を参考に望ましい河岸設計断面を設定する。

なお、ヨシ原に達するまでの消波効果を評価するために、河岸前面の碎波帯の諸元を整理した。

(現状維持のヨシ原：寄州型の碎波帯形状) 碎波帯幅 約 40m
碎波帯勾配 約 1/20

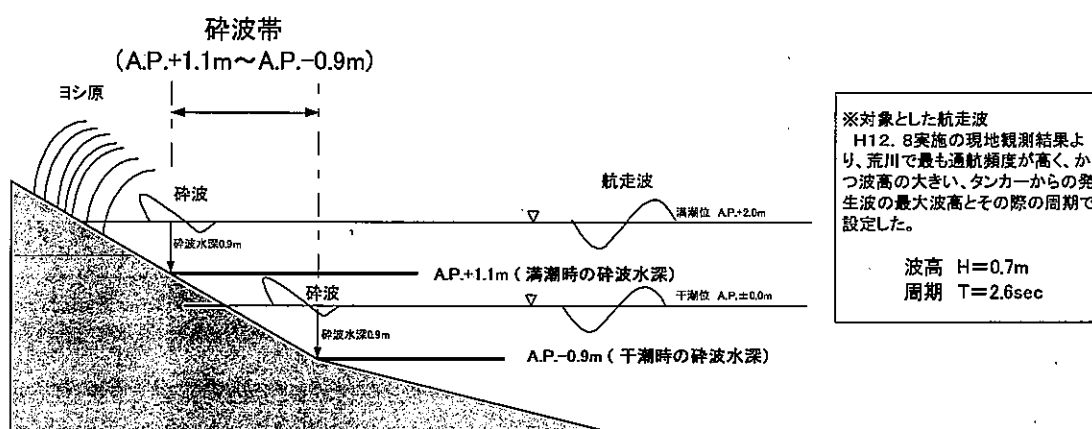


図 3.3.2 寄州型ヨシ原の碎波帯諸元

表 3.3.2 良好な寄州型ヨシ原の地形条件の整理

No.	場所名(仮称)	岸	ヨシ原の平面位置	碎波帯幅	碎波帯勾配
2	下平井	右岸	水裏部	41m	LEVEL
4	東四つ木	左岸	凹地	27m	1/20
11	四つ木下左岸	左岸	直線部	27m	1/25
13	堀切菖蒲園	左岸	水裏部	35m	1/17
14	墨田	右岸	直線部	34m	1/22
30	JR東北線上左岸	左岸	水裏部	53m	1/26
平均				36m	1/22

※ 網掛けは、拡大傾向を示すヨシ原、白は、現状維持のヨシ原

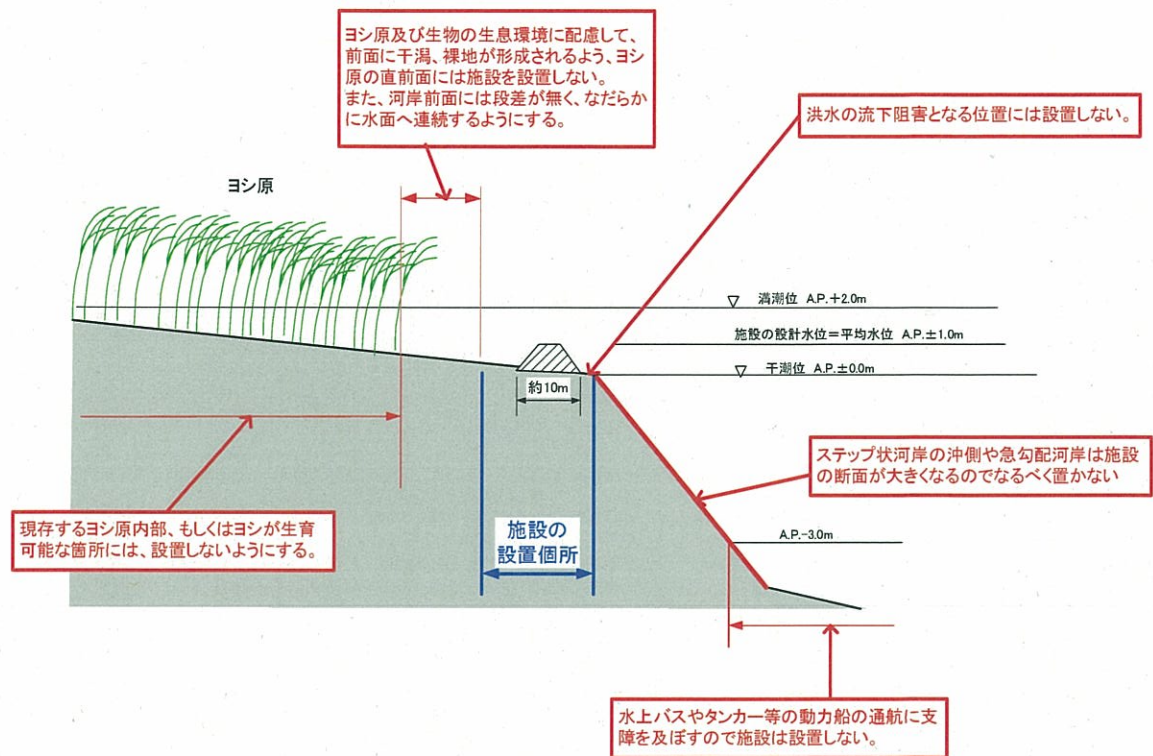


図 3.4.2 横断方向の施設設置位置の考え方

(2) 平面配置

平面配置については、設置個所の条件を見極め、所定の効果を得ながら、環境等に配慮した配置が望まれる。

施設の平面配置に関する基本的な考え方および周辺環境への定性的な影響は以下のように整理される。

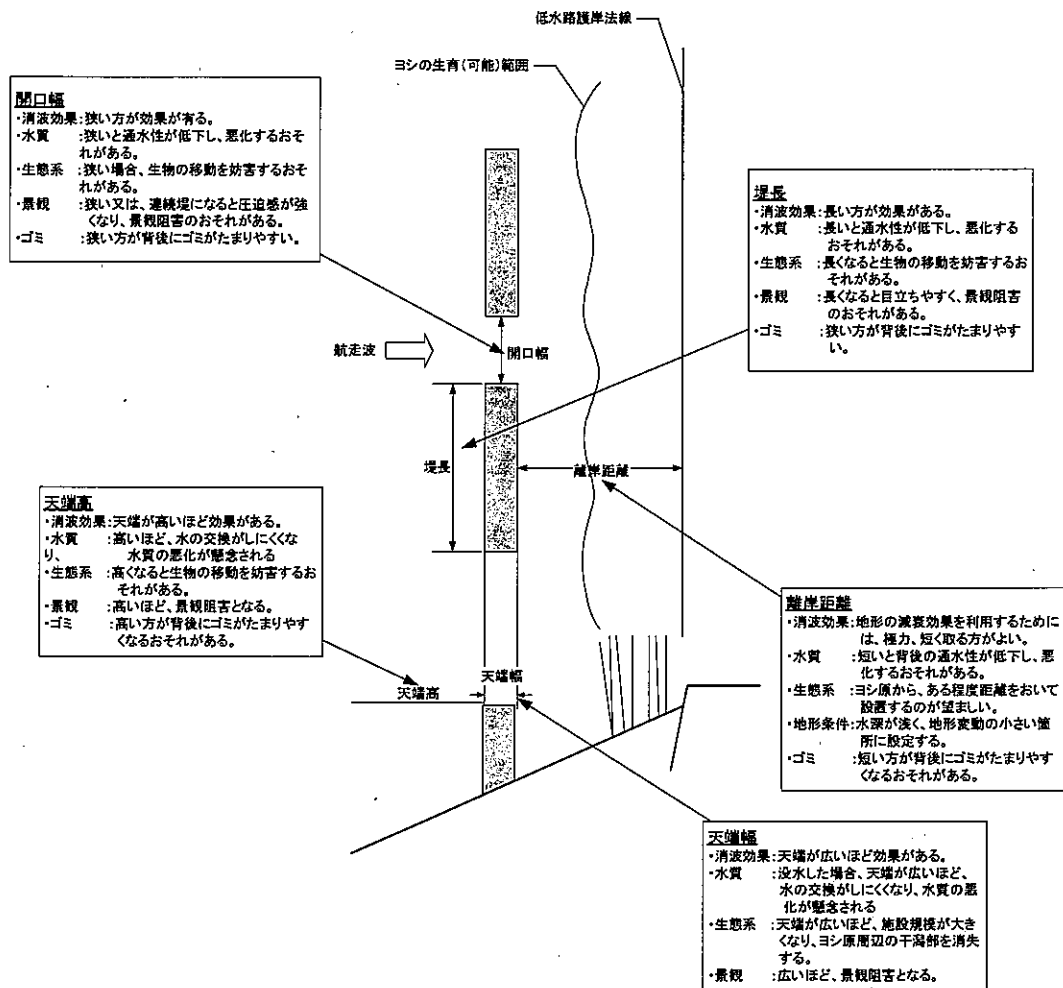


図 3.4.3 施設の平面配置と天端高の基本的な考え方

3.5 航走波対策工法（消波対策工）の諸元

河岸部やヨシ原を保全・再生するために、航走波を消波させる必要がある。

これまでのモニタリング調査結果等を踏まえ、航走波対策工のうち、消波機能が主となる消波対策工（木工沈床工タイプ）について、所要の減衰効果を発揮するための構造諸元を整理する。

【解説】

1. 消波対策工（木工沈床工タイプ）

(1) 天端高

対策工（木工沈床工タイプ）の天端高は A. P. +1.7~2.0m を基準とする。

- 小松川地先航走波現地調査結果より、航走波のエネルギーは満潮時に最大となることが分かっている。そのため、対策工（木工沈床工タイプ）の天端高は満潮位を設計水位として設定する必要がある。しかし、荒川では潮汐の干満差が最大 2m もあるため、満潮時を対象として設定した施設天端は、干潮時には壁状に河岸前面に突出することになり、景観的に優れない。よって、対策工（木工沈床工タイプ）の天端高は、満潮時に必要最低限の消波効果を有し、かつ景観面を考慮した、極力低いものとするのが望ましい。
- 平成 13、15 年度航走波現地調査結果より、対策工（木工沈床工タイプ）天端高は A. P. +1.7m 以上であれば消波効果は大差がなく、満潮時においてもある程度の効果が得られることが確認された。
- 天端高を A. P. +1.7m 以上とすることにより、水際に生育する抽水性ヨシ原の基部へ波が直接作用するのを防止することができる。
- 平成 15 年度の現地観測結果に基づく、河岸の侵食状況と波のエネルギーの関係より、施設背後の河岸侵食を防ぐためには、沈床工天端高は 1.8m 以上が望ましいとされたが、平成 12 年度施工区間の天端高 1.7m の堤体背後も目立った侵食は見られないため、基準値の下限は 1.7m とする。
- 今回の基準は、河岸勾配が緩い小松川地先での航走波現地調査結果を元に設定したものである。そのため、小松川よりも河岸勾配が急な地点では、河岸に達する波高は大きくなることが予想されるため、より高い天端高の設定が必要となる。ただし、A. P. +2.0m の満潮位の発生頻度はさほど高くないこと、航走波現地調査結果より、天端高が水面下 10cm 程度でも消波効果が見られることを考慮すれば、天端高の上限は A. P. +2.0m と考えて良い。

木工沈床工の透過率 潮位～天端高～天端幅

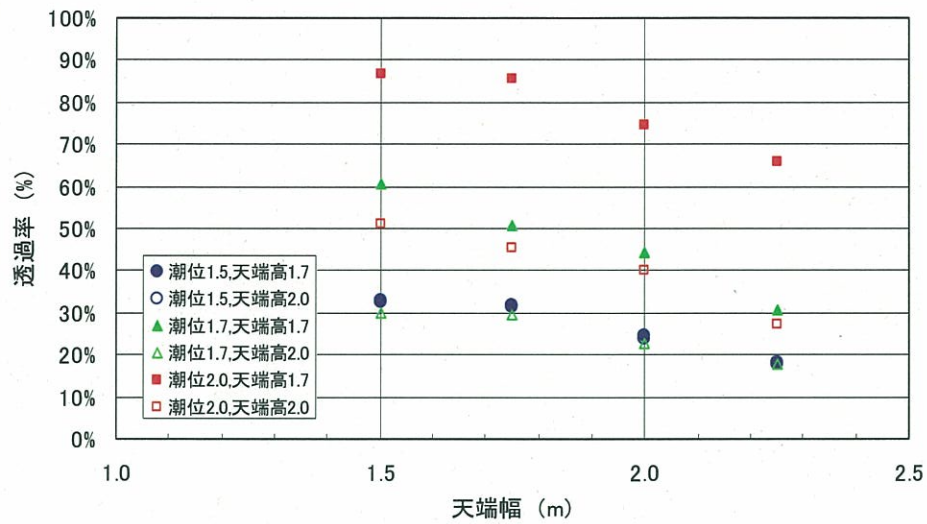


図 3.5.1 木工沈床工天端幅と透過率の関係（模型実験結果より）

- 天端幅の違いによる波の透過率の関係を示した図。天端高 2.0m と設定すれば、満潮時（A. P. +2.0m）の際（図中□）、天端幅 2.0m でも波高透過率は 40%程度に抑えられる。

平成 13、15 年度のモニタリング調査では、天端高 AP+1.7m 以上であれば、河岸前面にトンボ口状に土砂の堆積が見られ、ある程度の消波効果が見込めることが確認できた。今後は、小松川地先の他工区における地形条件や施設条件等の相違による消波効果を検証していく必要があると考える。

(2) 天端幅

対策工(木工沈床工タイプ)の天端幅は 2.0m を基準とする。

- 現地調査結果より、木工沈床工の単体幅 2.0m を天端幅とした場合、ある程度の消波効果が得られた。
- 海岸における潜堤の機能と同様、天端を広くとれば、消波効果が増し、天端高を低く抑えられると考えられるが、施工性・経済性が劣り、また幅広に人工物を置くことになり、環境面への影響も懸念される。

以上の検討結果より、天端幅の基準を 2.0m とする。

(3) 堤長

対策工(木工沈床工タイプ)の堤長は、30m を基準とする。

- 改訂 海岸保全施設築造基準解説 p. 215 より、「設置水深が 3m のときには、堤長 (l) が、 $l/L=1.2\sim 1.6$ 及び 3.2 以上の時に波高の低下が顕著であり、この値は海底勾配が緩いほど大きい傾向にある」とされていることから、河岸前面の計画波浪の波長 $L \approx 10\text{m}$ (設定根拠は p. 23 参照) の 3 倍程度として設定した。
- 堤長を 30m とした場合、堤体背後へ砂の堆積が見られた。また、現地観測結果より、A.P. +1.7m 以上の天端高を有する対策工(木工沈床工タイプ)であれば、ある波を十分に低減させることができる。
- 平成 16 年度の現地調査結果より、堤長を 10m、20m とした区間では、隣接する開口部からの透過波高が堤体背後に広く達していたため、堤長はこれ以上に長くとり、回折波の影響を最小限にする必要がある。

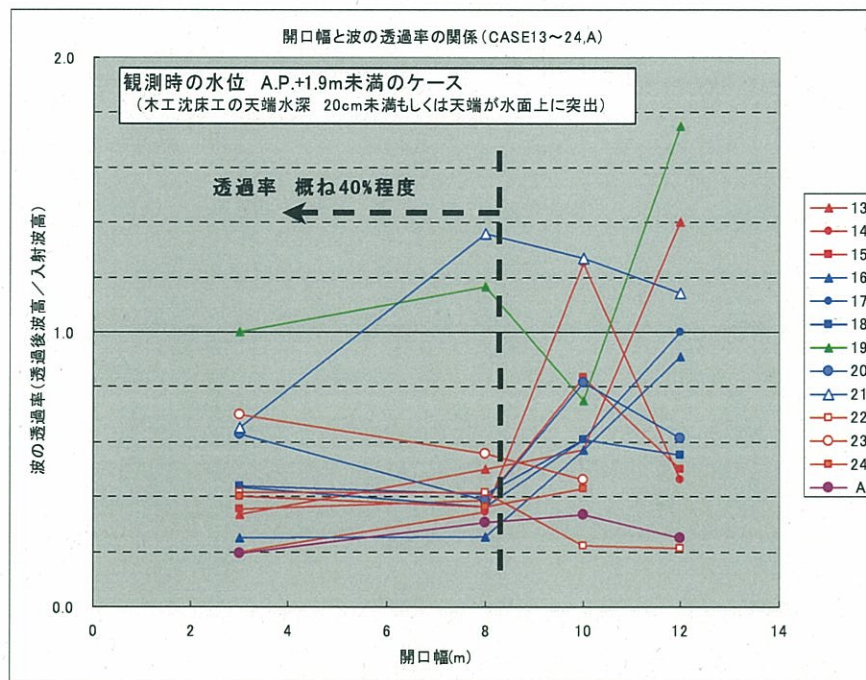
以上の検討結果より、堤長の基準を 30m とする。

(4) 開口幅

対策工（木工沈床工タイプ）の開口幅は、8m以下を基準とする。

- 平成 16 年度の現地観測結果では、開口幅が 8m 程度であれば波浪低減効果が高いことがわかった。
- 改訂 海岸保全施設築造基準解説 p. 215 より、「開口部背後の波高は、開口幅 l' によってほとんど規定され、 $l' = 0.6L$ で開口部背後の波高低下が見られる」とされている。これに従うと、河岸前面の計画波浪の波長は $L \approx 10\text{m}$ であるので 6m 未満とする必要があることとなる。

以上の検討結果より、開口幅の基準はモニタリング調査結果をふまえて、8m 以下とする。ただし、現地のヨシ原や河岸、河道特性の状況に応じて、より消波効果が望めるよう、今後背後のヨシ原のモニタリング結果も踏まえながら、精査する必要がある。



図中 色：船速の違い (赤：船速 9knot 青：船速 12knot 緑：16knot 黒：20knot)
形：航行位置の違い (▲：左岸寄り航行 ●：中央を航行 ■：右岸寄り航行)

図 3-2 開口幅と波の透過率の関係（平成 16 年度現地観測結果より）

- 小松川地先の第 3 工区（木工沈床工天端高=A. P. +1. 7m）で、開口幅が異なる地点での開口部背後の波の低減率を示したもの。開口幅 8. 0m 以下であれば波の透過率は概ね 40%程度で一定となる。

(5) 設置水深

対策工(木工沈床工タイプ)の設置水深は、A. P. +0. 5m 以深を基準とする。

- ヨシ原の生育の妨げとならないよう、ヨシの生育限界地盤高 A. P. +0. 5m よりも深い箇所に設置することを基準とする。
- 施設の設置により治水面での弊害を引き起こす恐れがある場合及び、施工上陸上施工を行う場合には、調整の上設定する必要がある。
- 小松川での試験施工のモニタリング結果を踏まえ、設置水深の精査を行う。

以上の検討結果より、設置水深の基準を A. P. +0. 5m 以深とする。

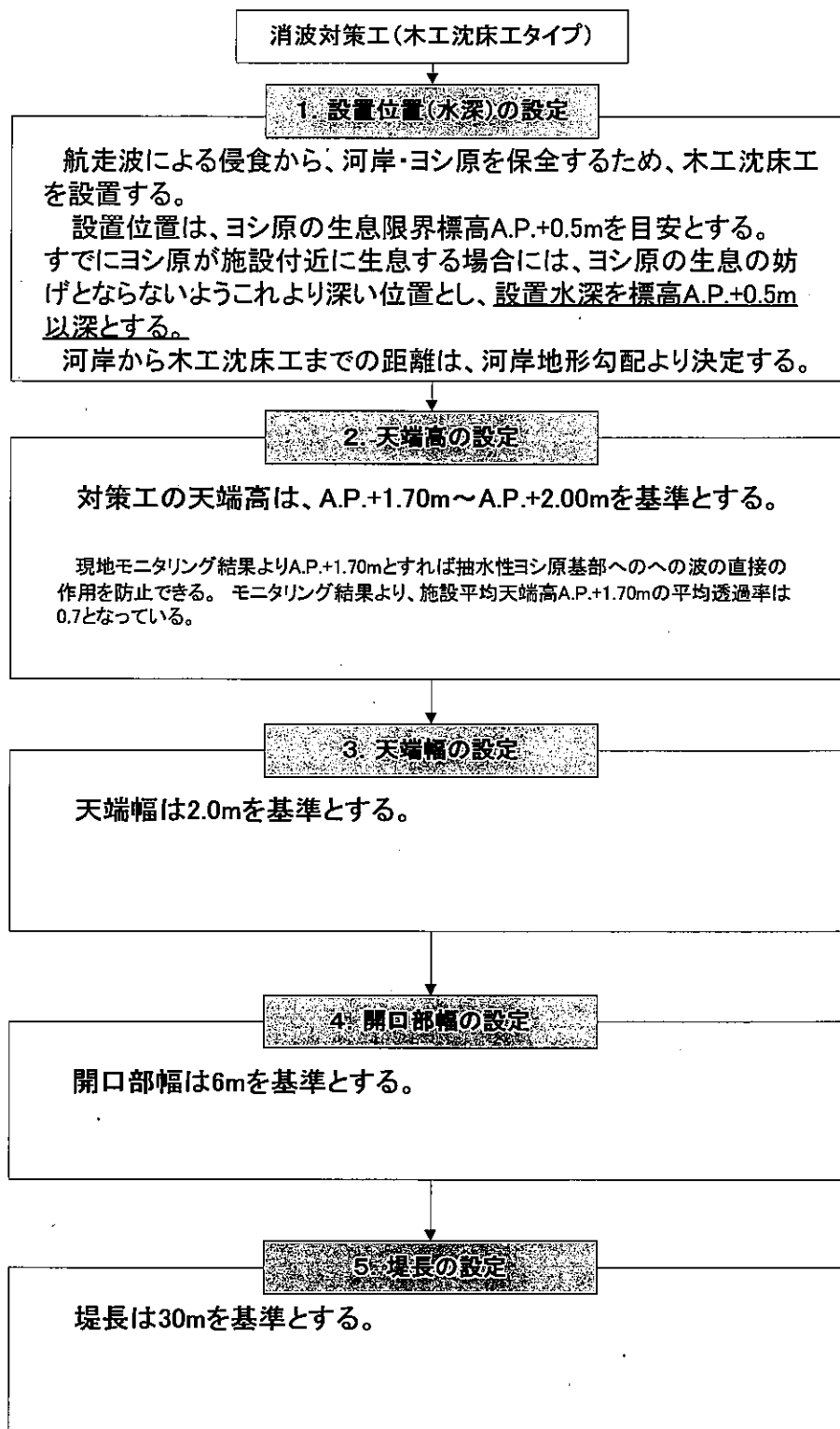


図 3.5.3 消波対策工(木工沈床工タイプ) 実施設計フロー

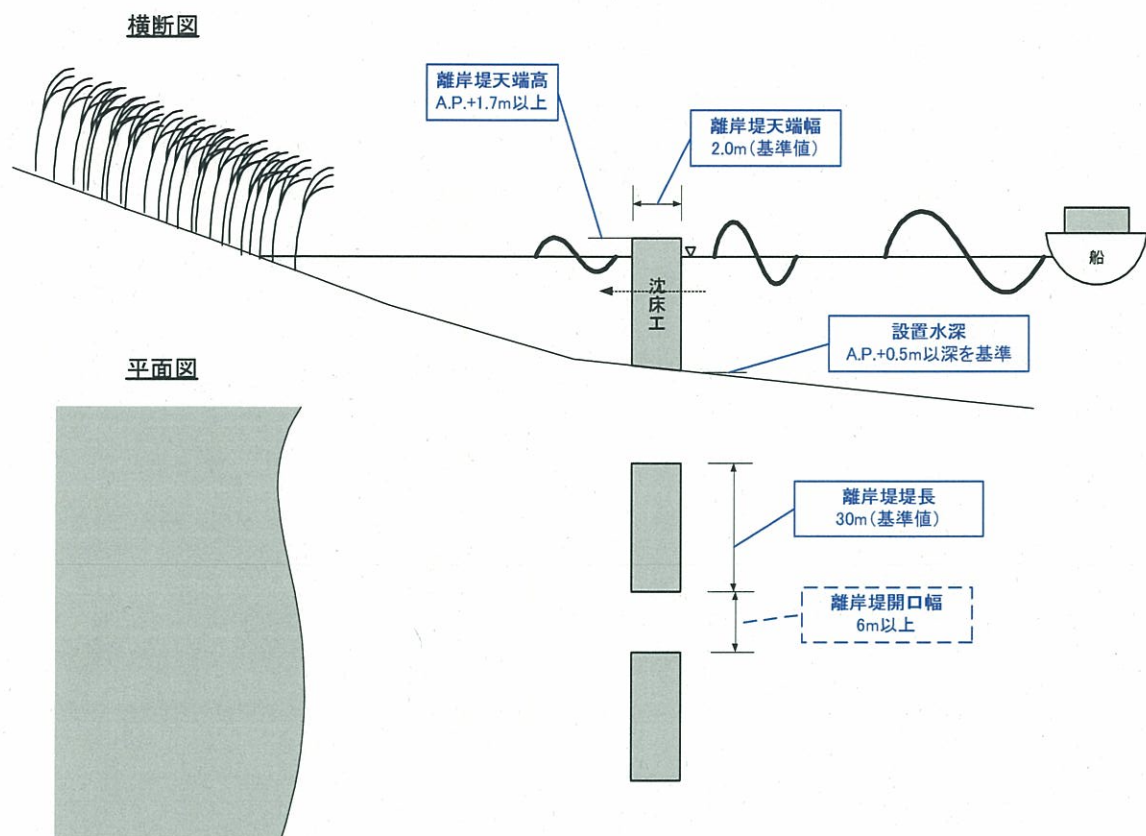


図 3.5.4 消波施設(木工沈床工) 諸元の基準値

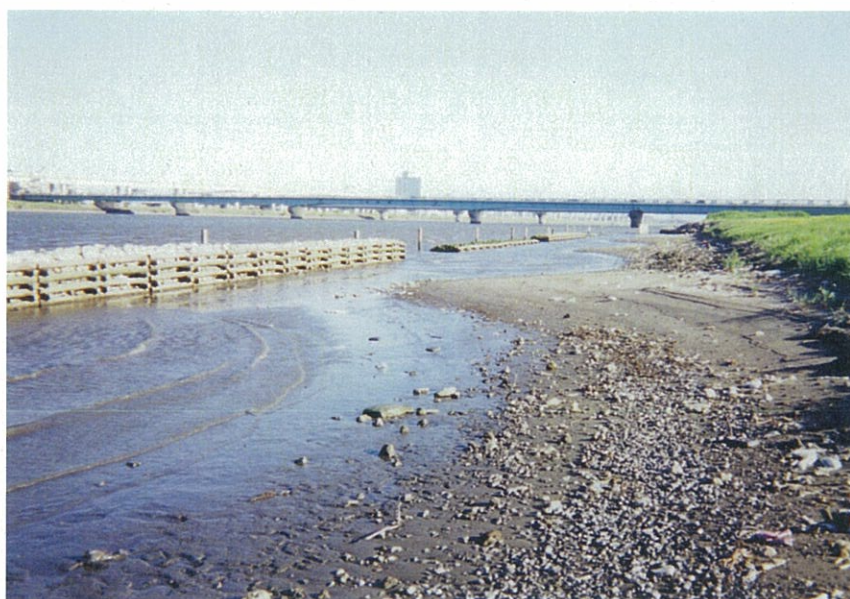


写真 3.5.1 小松川地先の消波施設(木工沈床工)

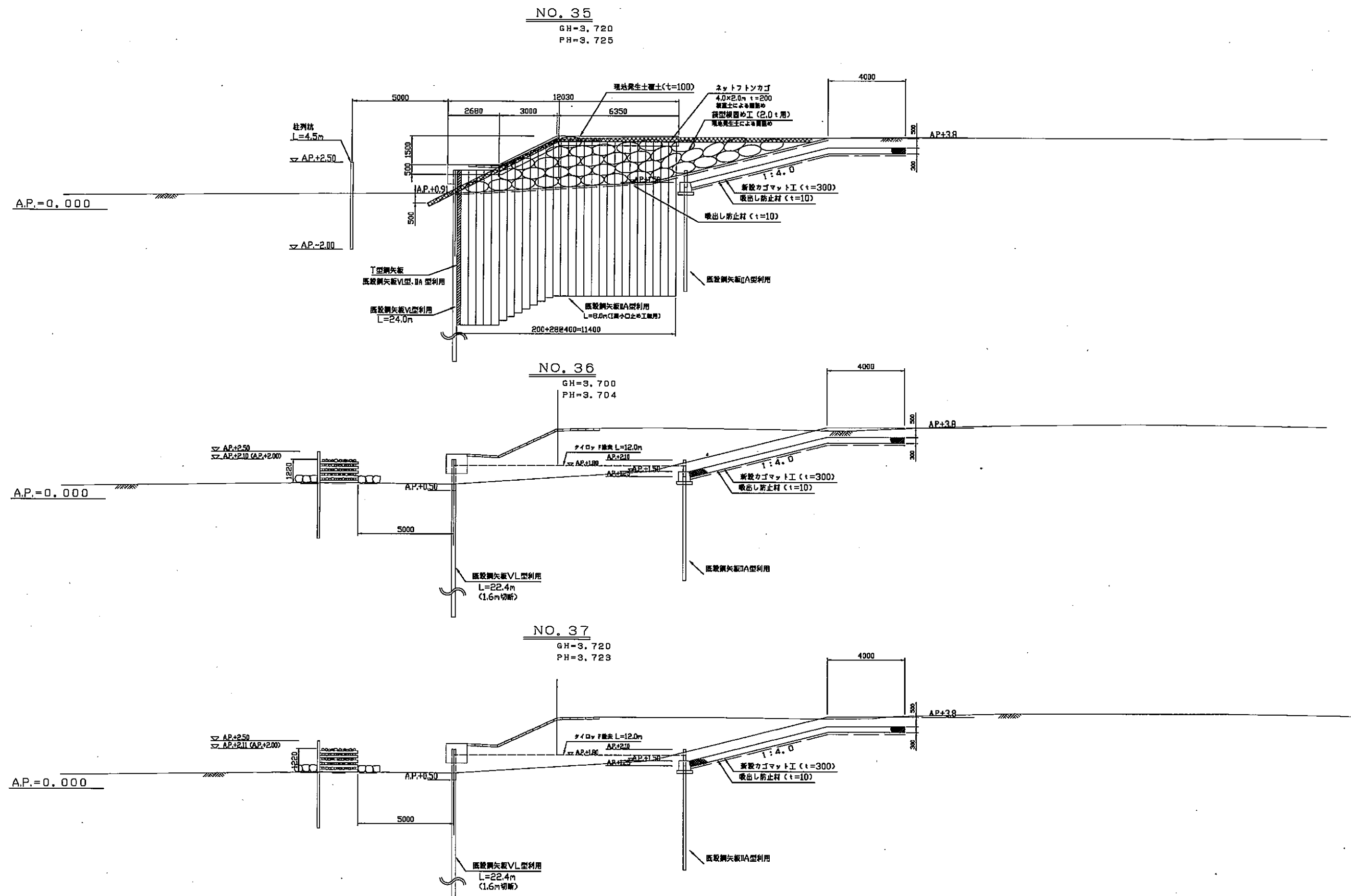


図 3.5.6 小松川地先木工沈床工 断面図 (縮尺 1:1,000)

2. 消波対策工 (柱列杭タイプ)

(1) 天端高

対策工 (柱列杭タイプ) の天端高は A. P. + 2. 0m を基準とする。

- 平成 16 年度に実施した四つ木地先をモデル地形とした模型実験結果より、消波施設背後のヨシ原を保全していくために、施設が有すべき波の透過率 0. 7 を満足するためには、柱列杭の天端高は A. P. +2. 0m は必要であることがわかったことからこれを基準とする。
- 開口部に設ける副堤も同じとする。

以上の検討結果より、天端高の基準を A. P. +2. 0m とする。

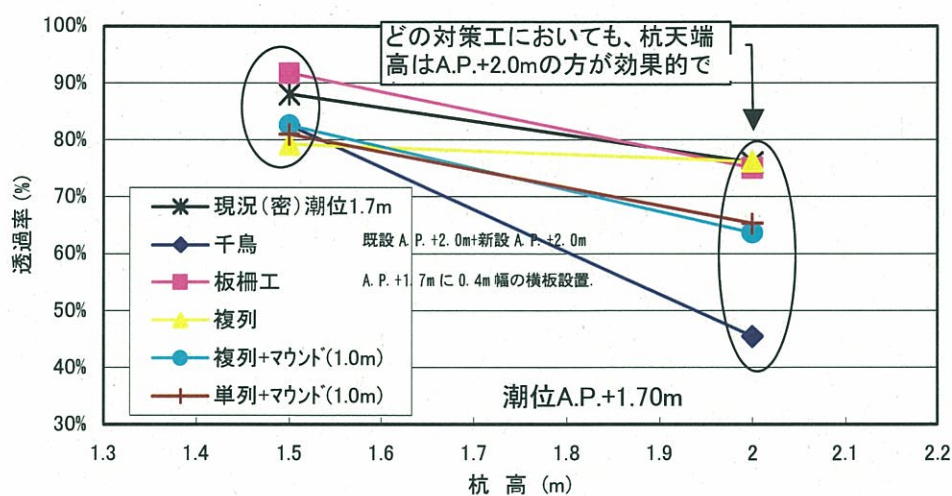


図 3. 5. 7 柱列杭各種対策工の杭高による透過率 (平成 16 年度模型実験結果より)

(2) 堤長

対策工 (柱列杭タイプ) の堤長は、30mを基準とする。

- 施設の平面的な配置は、一般に対策工の設置水深と波長によって規定されるものである。このため、木工沈床工タイプと同様に、ヨシの生育地盤高を考慮して施設の設置水深を決めれば、施設位置での波長も同じとなる。よって、平面的な配置を決定する上での必要諸元は、木工沈床工タイプと同じとなる。よって、堤長の標準は木工沈床工と同じとする。

以上より、堤長の基準を 30m とする。

(3) 開口幅

対策工 (柱列杭タイプ) の開口幅は、6mを基準とする。また、原則として副堤を設置する。

- 堤長と同様の理由により、開口幅の標準は木工沈床工と同じとする。
- 開口部からの波の進入を極力防ぐために、副堤を設置する。副堤の天端高は柱列杭本堤と同じとする。

以上より、開口幅の基準を 6m とする。

(4) 杭の隙間の制限

対策工 (柱列杭タイプ) の杭は、直径 20cm 程度の木材を用いる場合、4cm 以下とする。

- 平成 16 年度の模型実験結果より、杭の直径が 20cm 程度である場合に、杭の隙間が 4cm であれば波の透過率が 65%程度となり、目標とする波の透過率 0.7 を下回る。
- ただし、杭の隙間は狭いほど消波効果は大きくなるため、基本的に杭は隙間なく打設することを目標とする。

以上より、杭の隙間は杭の直径が 20cm 程度の場合、杭と杭の隙間は 4cm 未満とする。

(5) 設置水深

対策工 (柱列杭タイプ) の設置水深は、A. P. +0. 5m 以深を基準とする。

- 木工沈床工タイプと同じ考え方による。



写真 3. 5. 2 四つ木地先の柱列杭

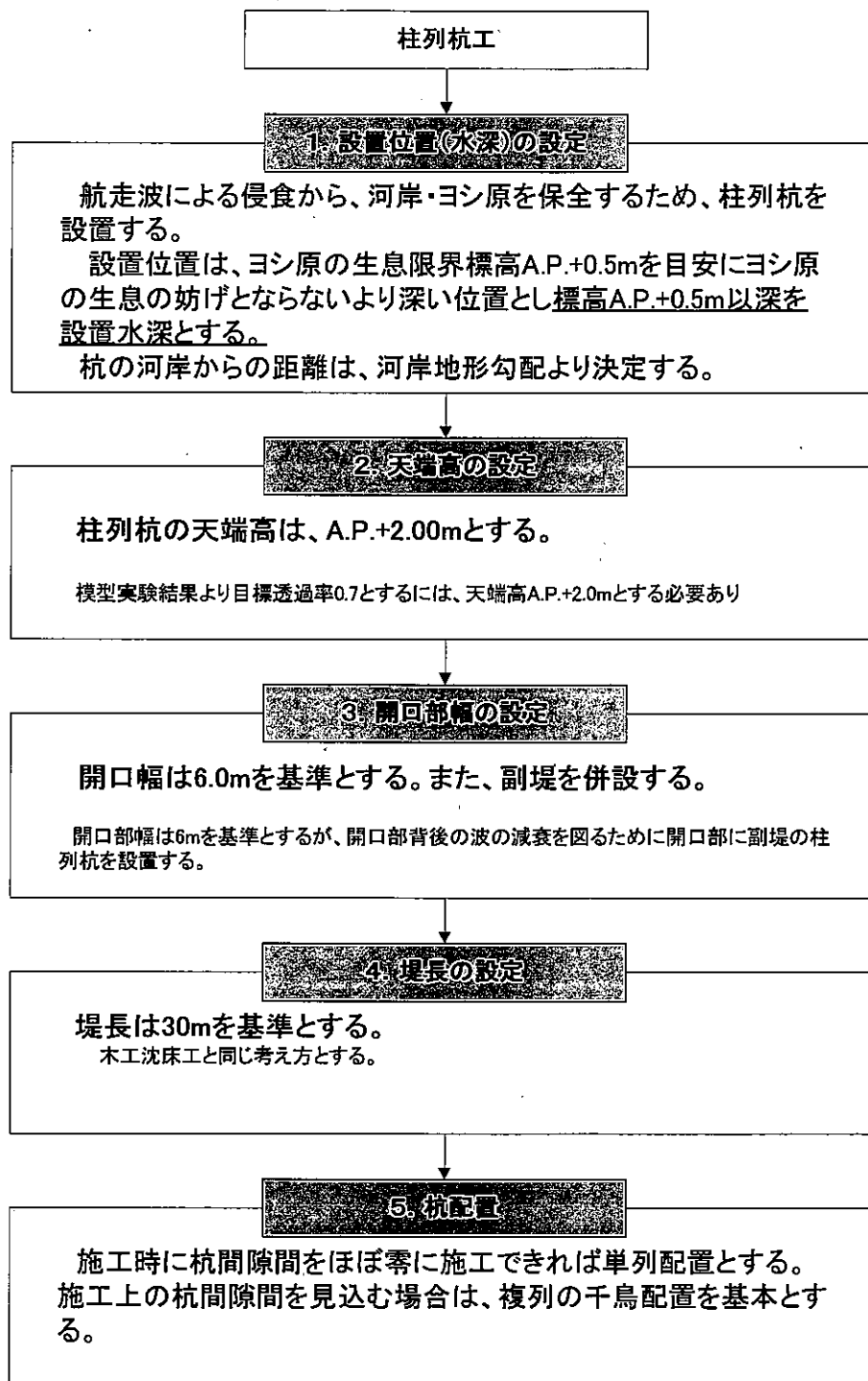
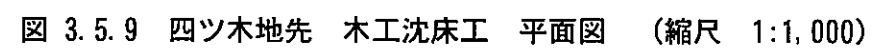


図 3.5.8 柱列杭実施設計フロー

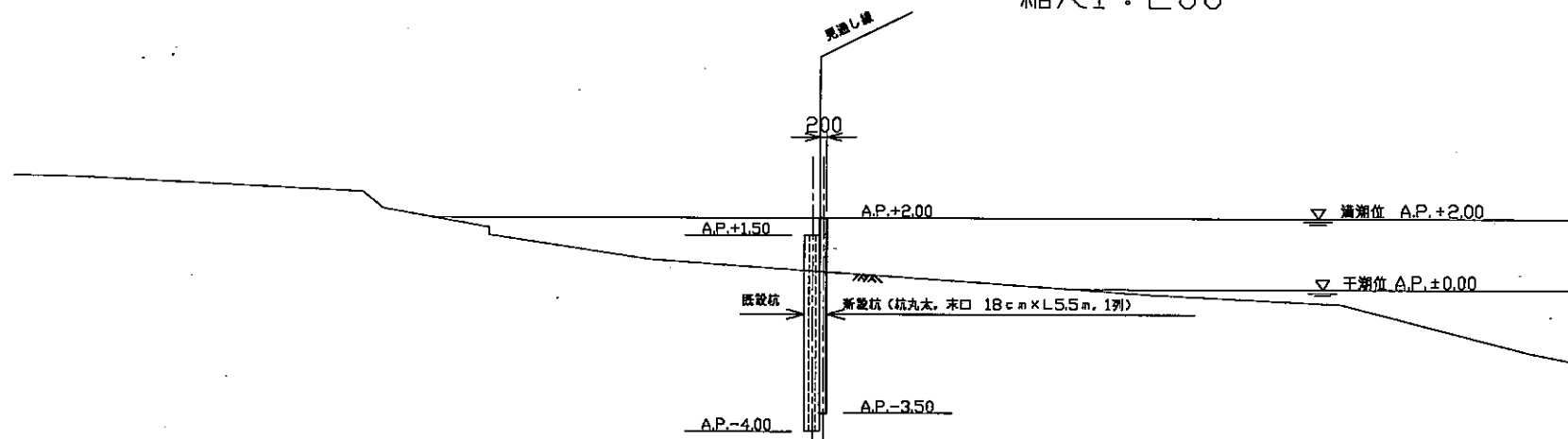
施 工 範 圍 L=684.7m



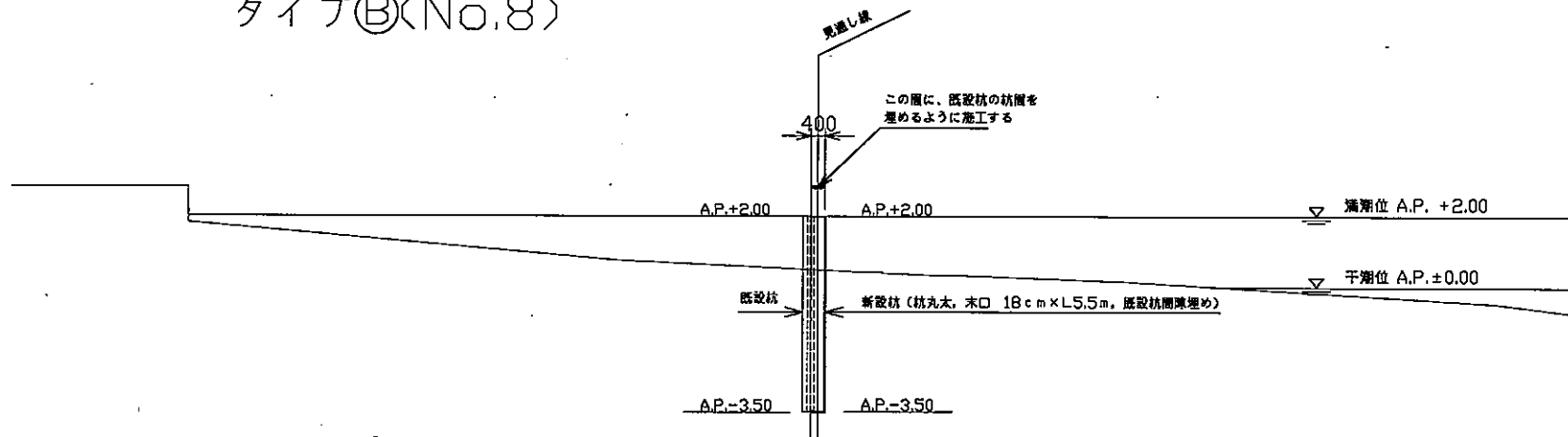
標準断面図

タイプ①(No.2)

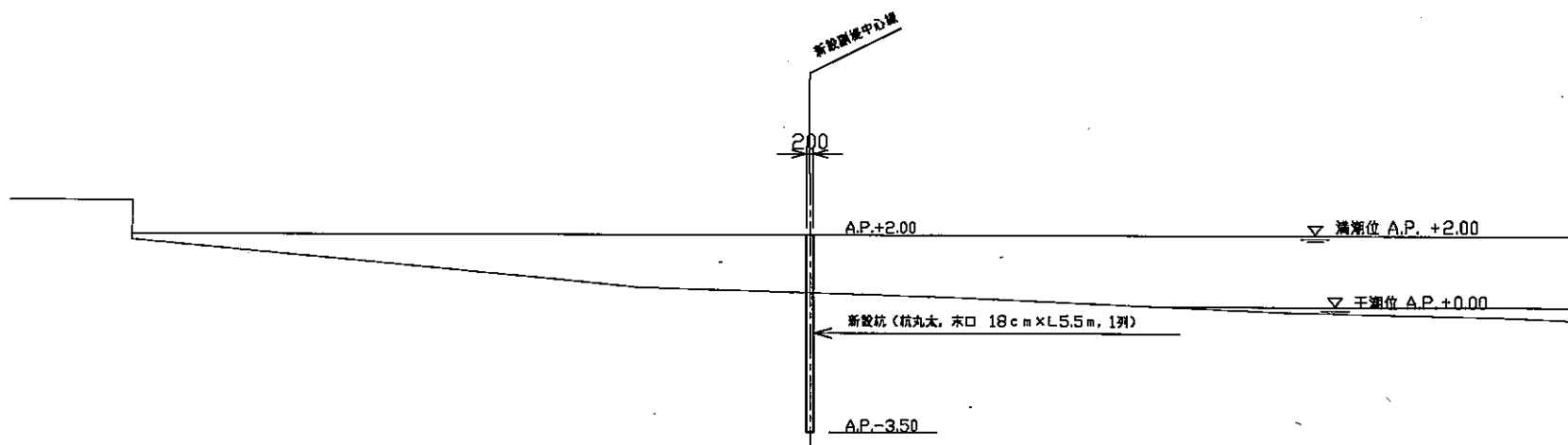
縮尺1:200



タイプ②(No.8)



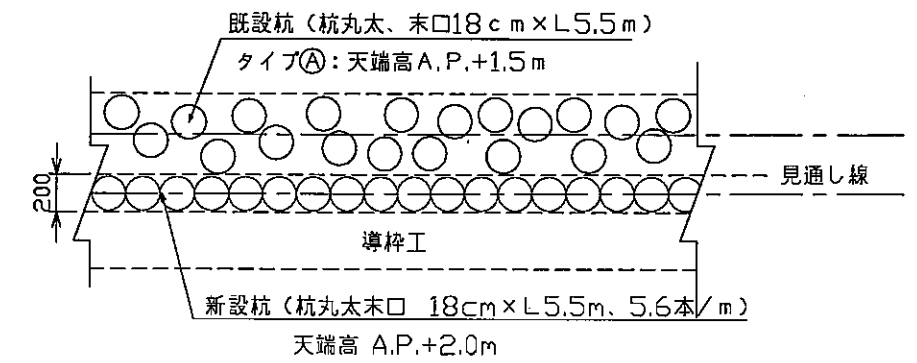
タイプ③(No.11)



杭配置図

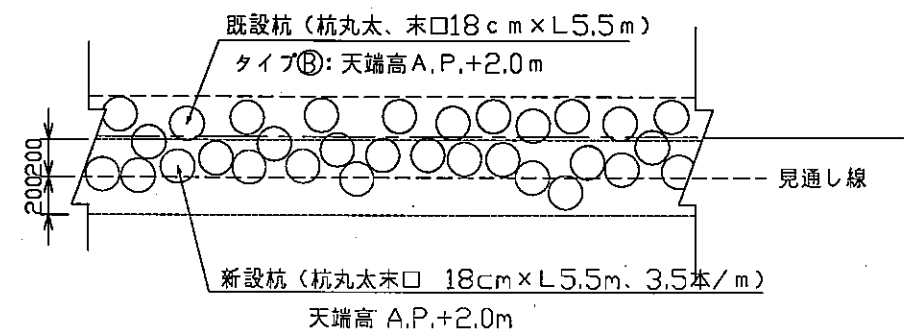
縮尺1:40

タイプ①
(岸側)



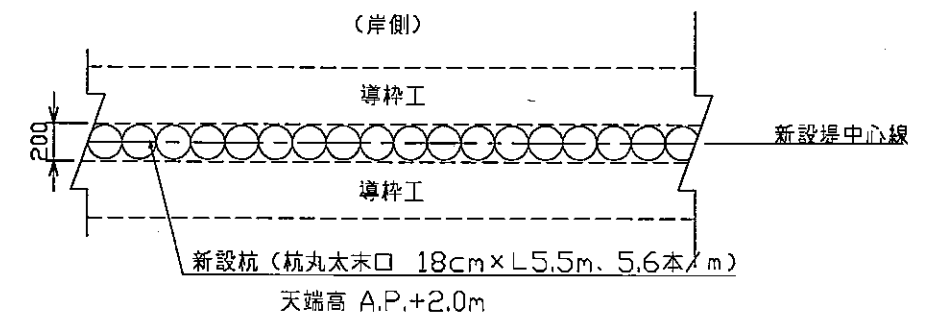
(川中心側)

タイプ②
(岸側)



(川中心側)

タイプ③
(岸側)



(川中心側)

図 3.5.10 四ツ木地先 柱列杭 標準断面図