

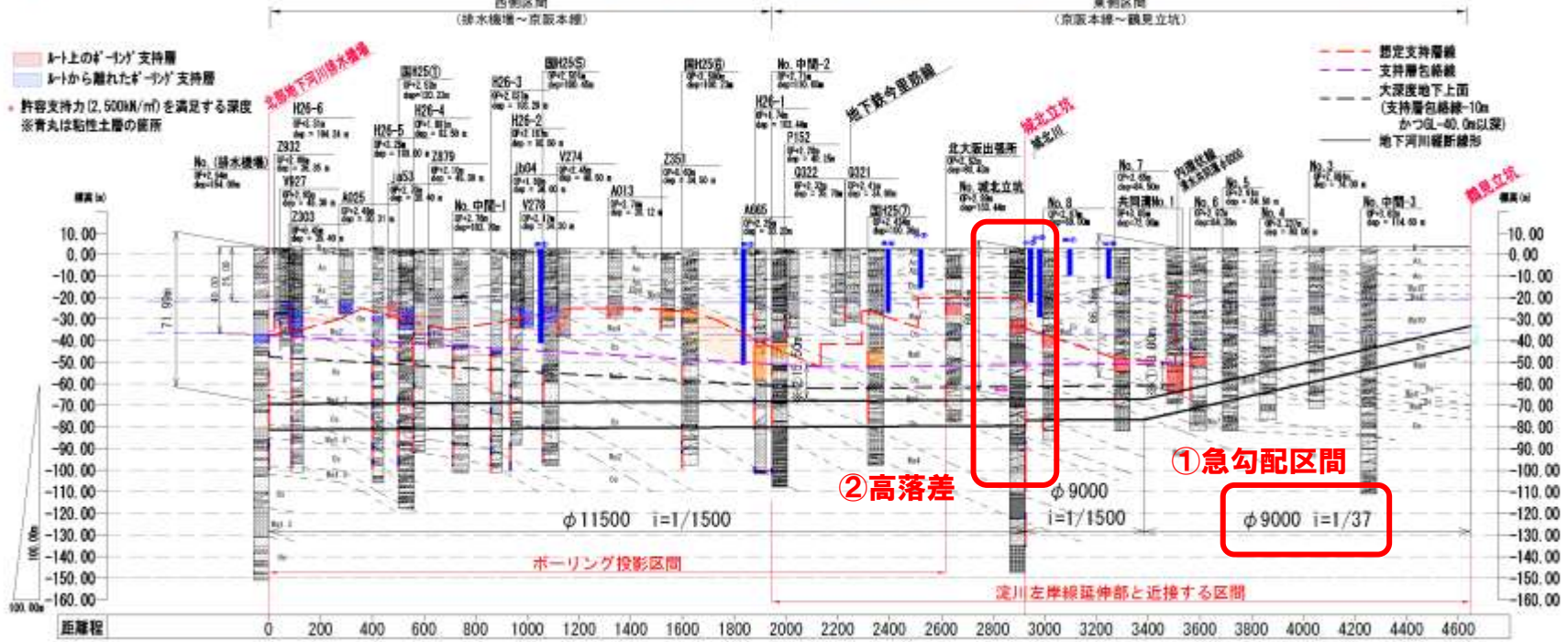
大阪府河川構造物等審議会
平成28年度 第1回 大深度地下使用検討部会

【大深度地下使用に伴う水理検討結果（急勾配区間）について】

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

水理検討経緯①

大深度地下深さの決定を踏まえ、地下河川の縦断線形を仮設定した結果、鶴見立坑から城北立坑の区間で約1/37の急勾配が生じます。
 また、地上河川(城北川)からの取水を予定している城北立坑においては、地上河川から約70mの高落差で地下河川に流入することとなります。
 以上2点の水理的課題に対する対応を検討する必要があります。



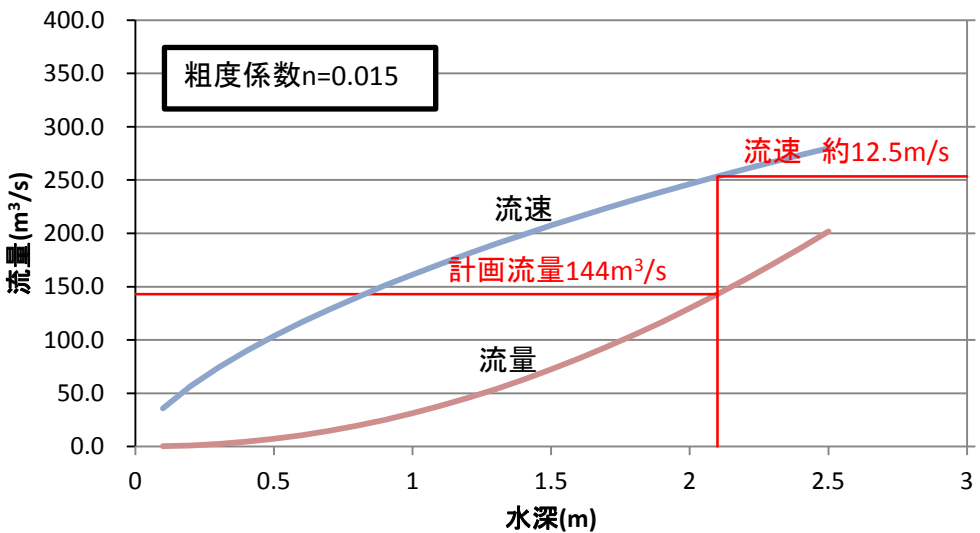
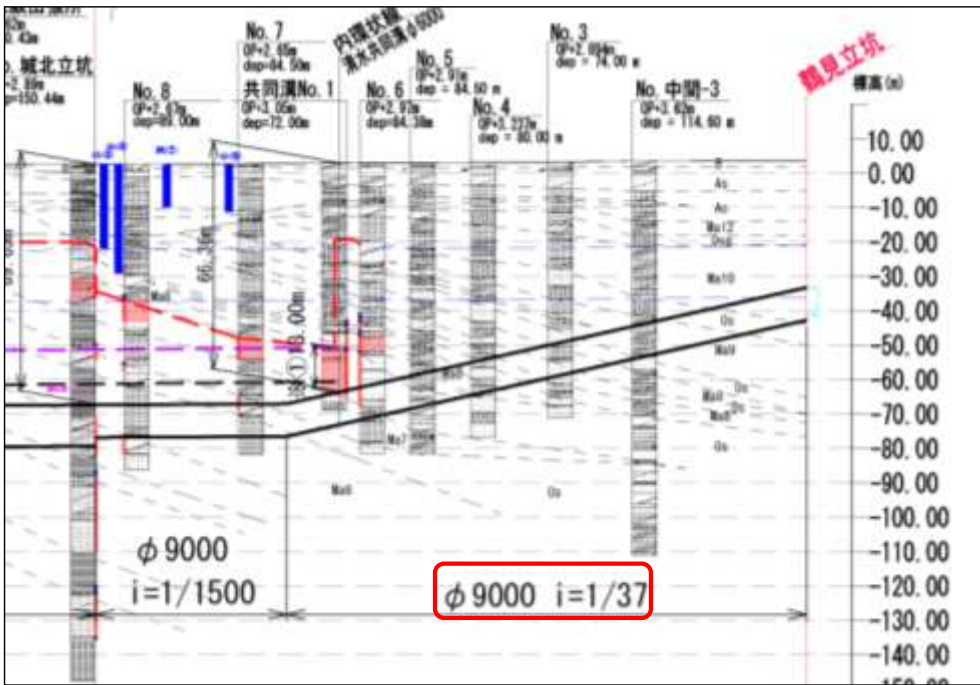
※①: 基礎杭の投入径2m+内径φ. 0m+セグメント厚0. 5m×2+維持管理等のための離隔1m=13. 0m
 ※②: 基礎杭の投入径1. 2m+内径φ. 1. 1. 5m+セグメント厚0. 5m×2+維持管理等のための離隔1m=15. 5m

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

水理検討経緯②

水理的な問題点のうち、急勾配区間における流速は、計画流量の144m³/sが流下した際に、約12.5m/sと推定されます(粗度係数n=0.015の場合)。

このような高流速では、管路に対する摩耗や負圧等による損傷の恐れがあることから、トンネル河川の設定流速の上限(7m/sec)を実験の目標値とします。



急勾配区間の諸元	
勾配 i	1/37
総落差 H(m)	34.1
区間延長 L(m)	1,260
内径 (m)	9.0

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験の目的

急勾配区間における水理学的課題と模型実験の目的は以下の通りです。

【急勾配区間における水理学的課題】

急勾配区間において発生する恐れのある高速流により、以下のような構造物への悪影響が想定される。

- 振動・騒音の発生
- 管路の摩耗量の増大
- 流況の乱れ
- 空気の混入 等



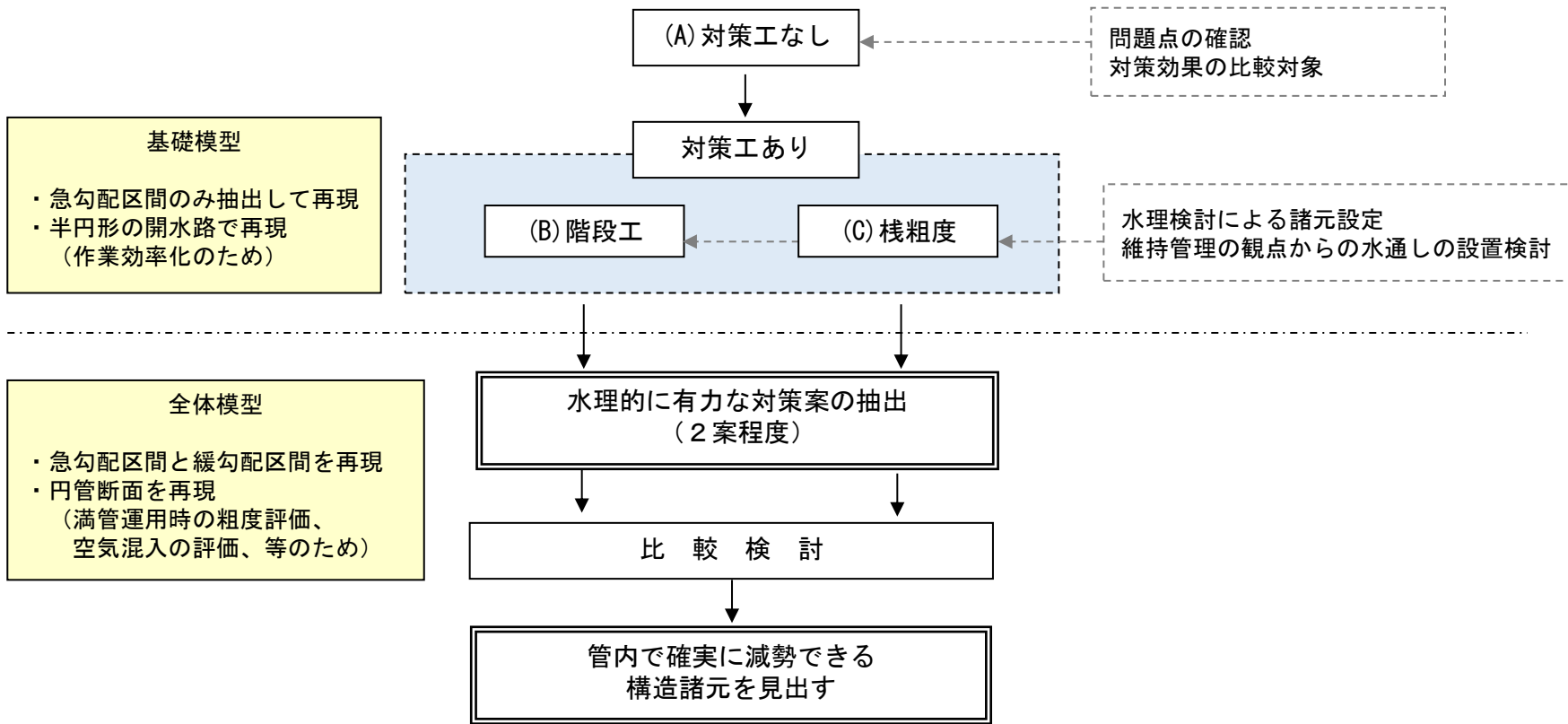
【水理模型実験(急勾配区間)の目的】

鶴見立坑から大深度区間への接続部で計画されている急勾配区間について、基礎的な水理模型実験を行うことによってその水理現象を把握し、管内で確実に減勢できる構造諸元を見出す。

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験フロー

実験フローとしては、効率性を重視して、まず急勾配区間を部分的に抽出した基礎模型で対策工案の減勢効果を確認した後、有力な対策工案について全体模型で管路流時の確認等を行います。



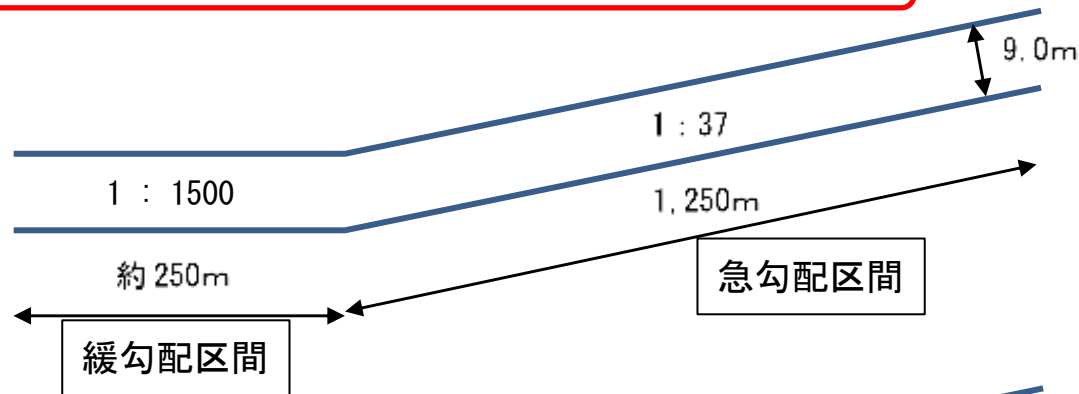
【急勾配区間の減勢構造・検討フロー】

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

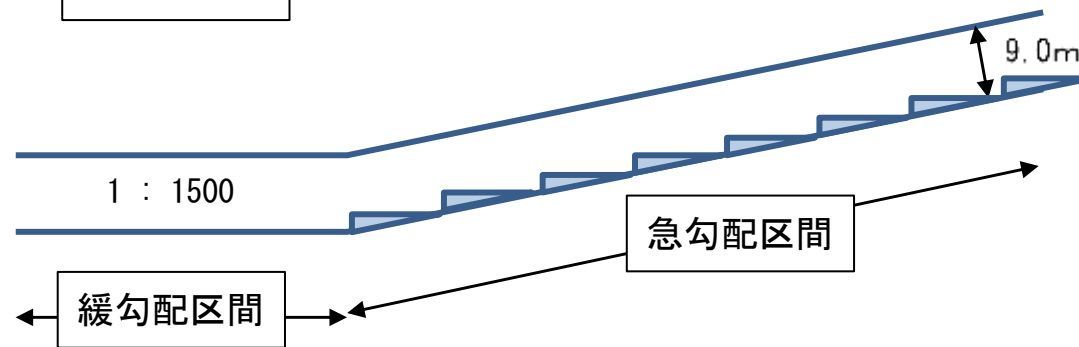
実験条件 ①実験ケースのイメージ

対策工(減勢工)は、階段工案、棧粗度案の2種類を検討します。

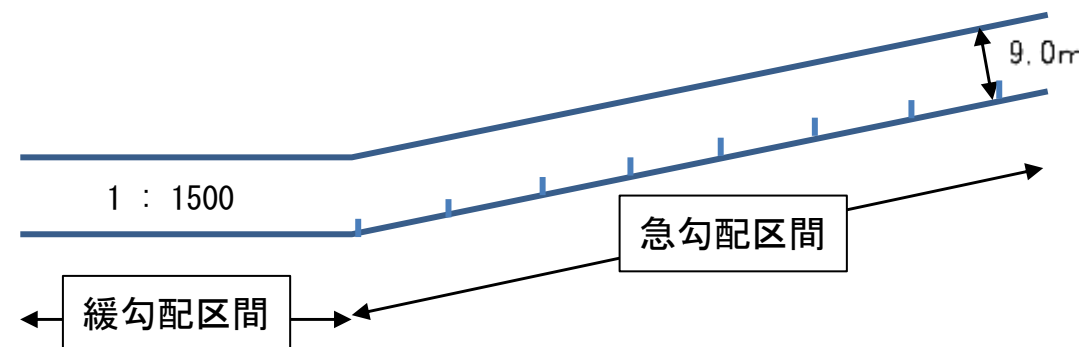
(A: 対策工なし)



(B: 階段工)



(C: 棧粗度)



1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

模型概要 ①模型縮尺

模型縮尺は、対象とする検討項目、現象の再現性等を考慮して、以下の通りとします。

- ・基礎模型 : 1/20
- ・全体模型 : 1/45

模 型	模型縮尺※	模型概要	主な検討項目
基礎模型	1/20	<ul style="list-style-type: none">・急勾配区間のうち300m区間を再現・円管断面のうち、下半分を再現 (付帯減勢工の改良作業のしやすさを考慮)・水路部模型材料: 防水合板+モルタル製	<ul style="list-style-type: none">・開水路時の減勢効果
全体模型	1/45	<ul style="list-style-type: none">・急勾配区間全体1260mとその下流の 緩勾配区間250mを再現・円管断面をそのまま再現・水路部模型材料: 透明アクリル製	<ul style="list-style-type: none">・管路時の損失・開水路→管路時の過渡状況・超過洪水時の確認

※模型縮尺はフルード相似則により決定。

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験条件 ②流量条件

実験流量は100%流量を基本と考えます(減勢工の設計対象流量)。
130%流量(超過洪水)では、完全減勢までは要求しないが、構造物の破壊を誘発するような現象が生じないことを確認します。

流量条件一覧

諸元	原寸	模型		
		1/45	1/20	
地下河川流量	130%	187.2	0.0138	0.1046
	100%	144.0	0.0106	0.0805
	75%	108.0	0.0080	0.0604
	50%	72.0	0.0053	0.0402
	25%	36.0	0.0027	0.0201

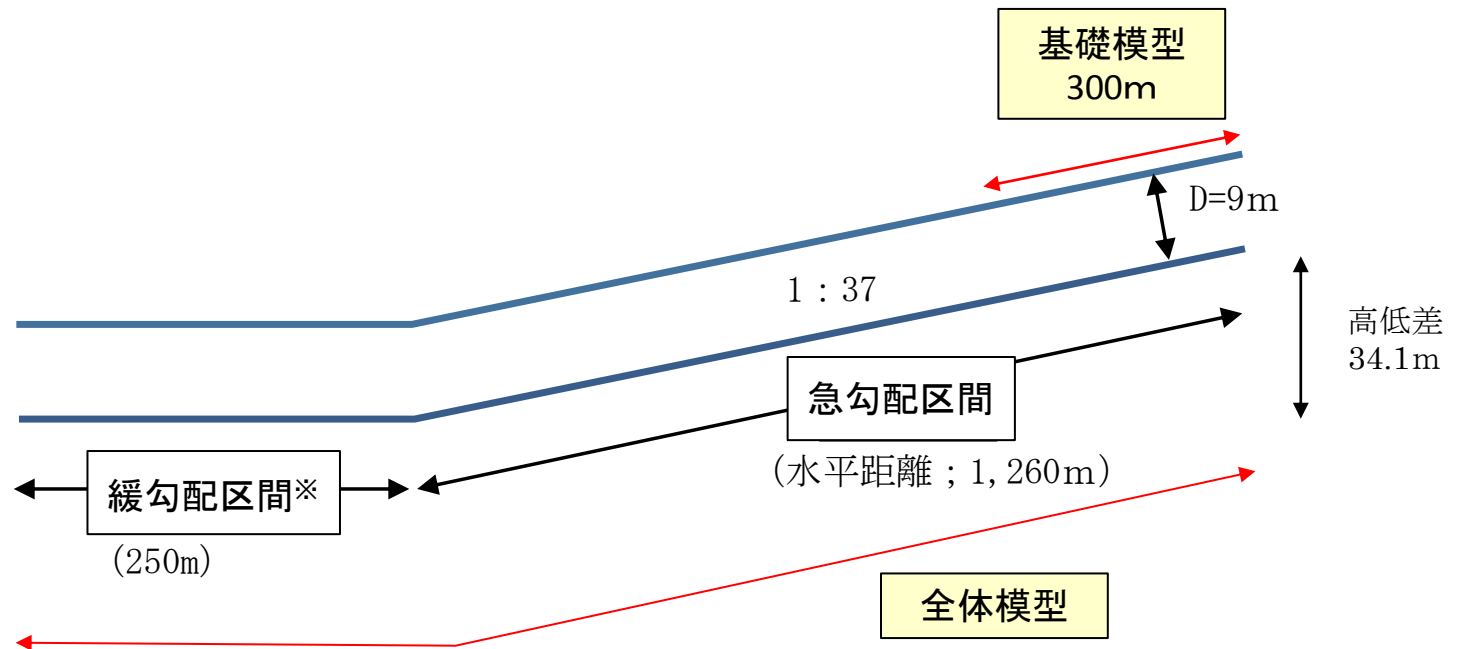
(単位: m³/s)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

模型概要 ②模型再現範囲

模型再現範囲は、以下の通りとします。

- ・基礎模型…急勾配区間: 300m (一部を抽出)
(断面は半円形の開水路で再現)
- ・全体模型…急勾配区間: 1,260m、緩勾配区間: 250m
(全体模型では模型下流端に水位調整用ゲートを設置)



模型再現範囲概略図(急勾配減勢工)

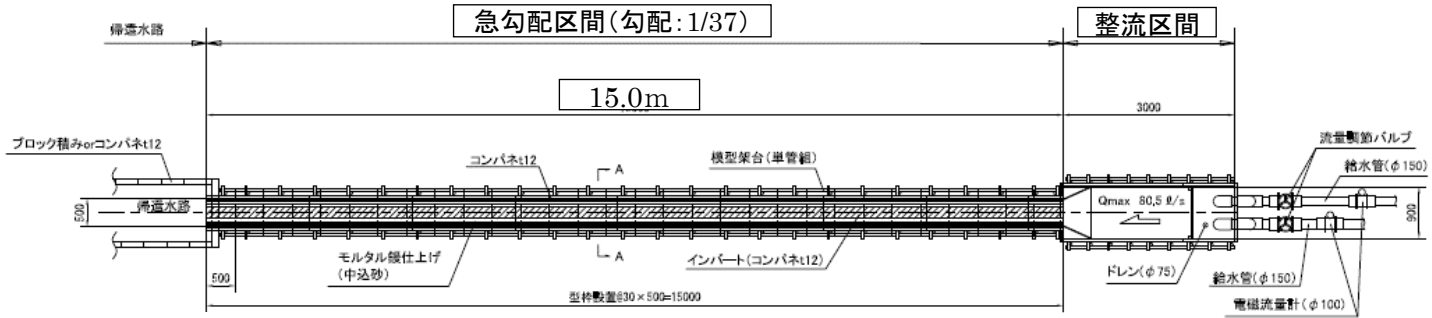
※模型上では緩勾配区間は水平として製作。

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

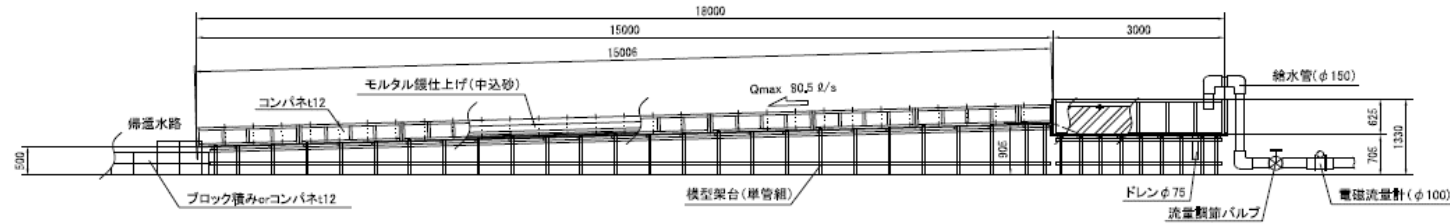
模型概要 ③基礎模型図

基礎模型の概要は以下の通りです。

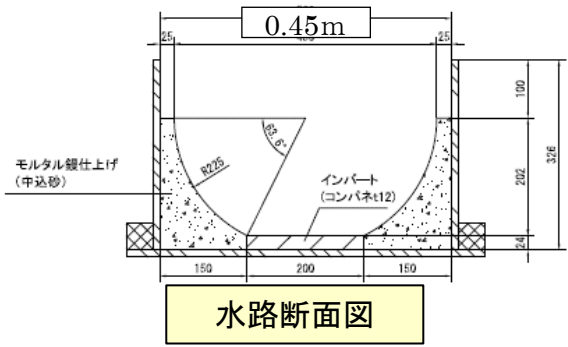
平面図



縦断面図



水路断面図



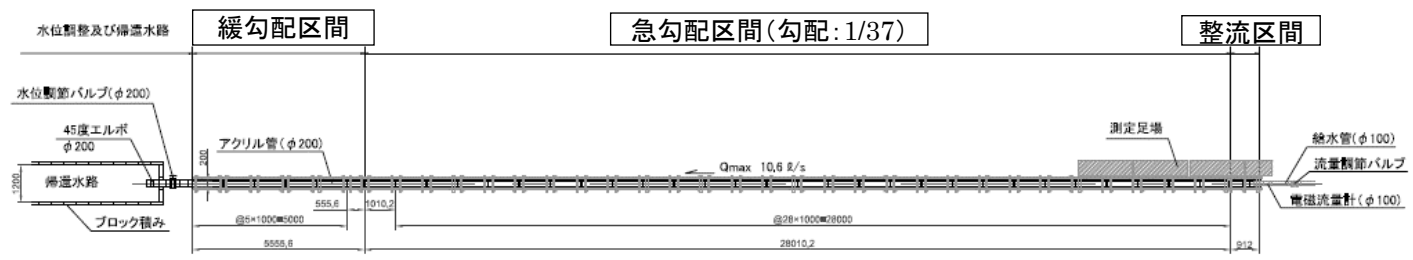
急勾配減勢工・基礎模型一般図(対策なし)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

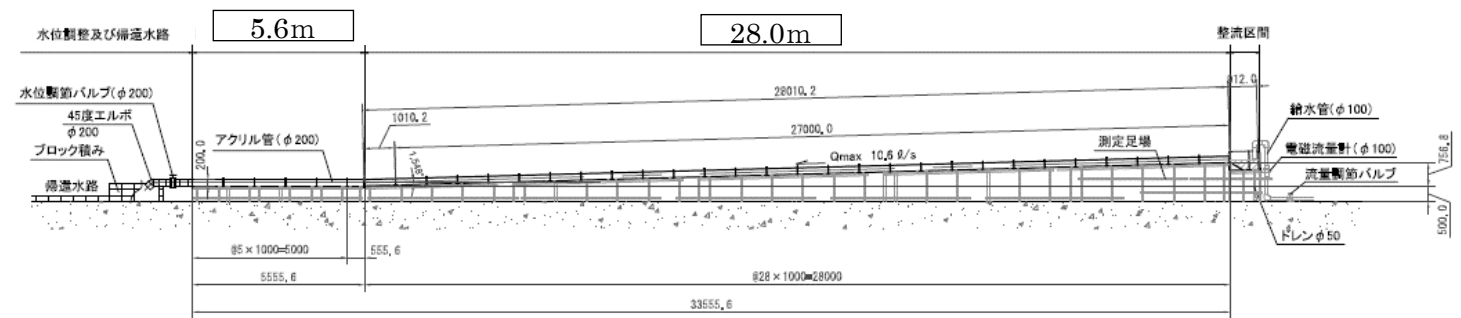
模型概要 ④全体模型図

全体模型の概要は以下の通りです。

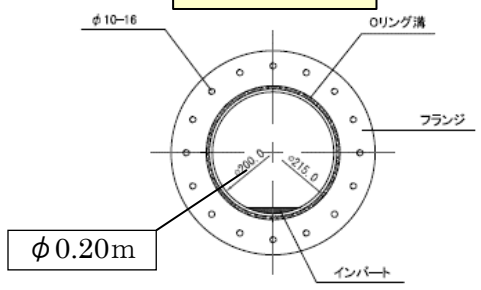
平面図



縦断図



水路断面図



急勾配減勢工・全体模型一般図(対策なし)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験検討項目・判定基準

実験で検討する項目、および判定基準は以下の通りです。

検 討 項 目		判 定 基 準	備 考
開水路時	流 速	<ul style="list-style-type: none"> 急勾配区間及びそれに接続する緩勾配区間で流速が制限値 (7m/s) ※¹以下となっているか。 1段1段で加速することなく、比較的早期に一樣流速 (減速状態) となるか。 	主に基礎模型で実施
	流 況	<ul style="list-style-type: none"> 急勾配区間において流れがスムーズか。(著しい水面変動が生じないか) 勾配変化後の流況が安定しているか。 	フルード数※ ³ が1.0付近では不安定で水面が波状となりやすい
	作用圧力	<ul style="list-style-type: none"> 対策工 (階段や棧) に構造上問題となる負圧 (-0.029MPa以下) ※²が発生していないか。 	基礎模型で実施
満管時	流水抵抗	<ul style="list-style-type: none"> 減勢構造が著しい阻害となっていないか (満管時の粗度が大きすぎないか)。 →排水機場地点での揚程高への影響 	全体模型で実施
その他	遷移状況	<ul style="list-style-type: none"> 地下河川の水位変化により、開水路～管路の過渡的な状況下で問題となる現象が生じないか。 	全体模型で実施
	維持管理面 (水抜き・点検)	<ul style="list-style-type: none"> 泥や水が溜まりにくい構造であるか。 点検が容易であるか (車両の通行等)。 	水通し構造付加の可能性

※¹ 河川砂防技術基準(案)同解説 設計編[I] トンネル構造による河川の設計流速に準拠する場合

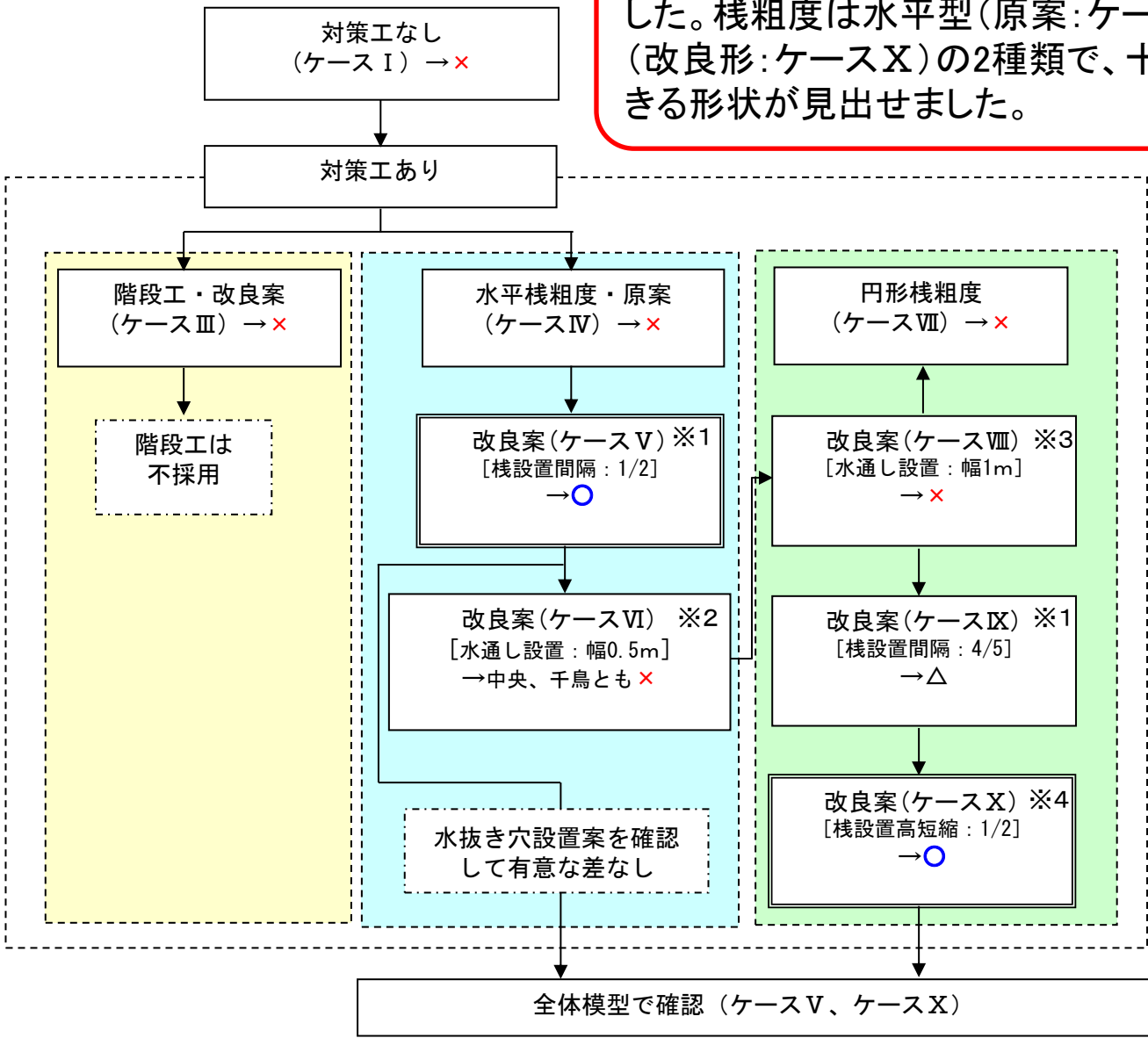
※² " ダム洪水吐きその他の放流設備・コンクリート面の設計許容圧力に準拠する場合

※³ フルード数 = $V/(gh)^{0.5}$; V: 流速、g: 重力加速度 (=9.8m/s²)、h: 水深、フルード数が1以上で射流、1以下で常流

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(基礎模型実験) ①

階段工案は十分な減勢ができず、不採用としました。棧粗度は水平型(原案:ケースV)と円形型(改良形:ケースX)の2種類で、十分な減勢ができる形状が見出せました。



※1: 流況を考慮して棧設置間隔を調整。

※2: 棧の上流側に水や泥を貯めないこと及び点検車両通行に必要な構造として、水通しを設置することを検討。

※3: 水通し設置による粗度の不足を補うため、管路側面に粗度を付加。

※4: 流況を考慮して棧設置高を短縮。

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(基礎模型実験) ②実験ケース

基礎模型実験で実施した実験ケースをまとめると以下のようになります。

実験ケース一覧表(基礎模型実験)

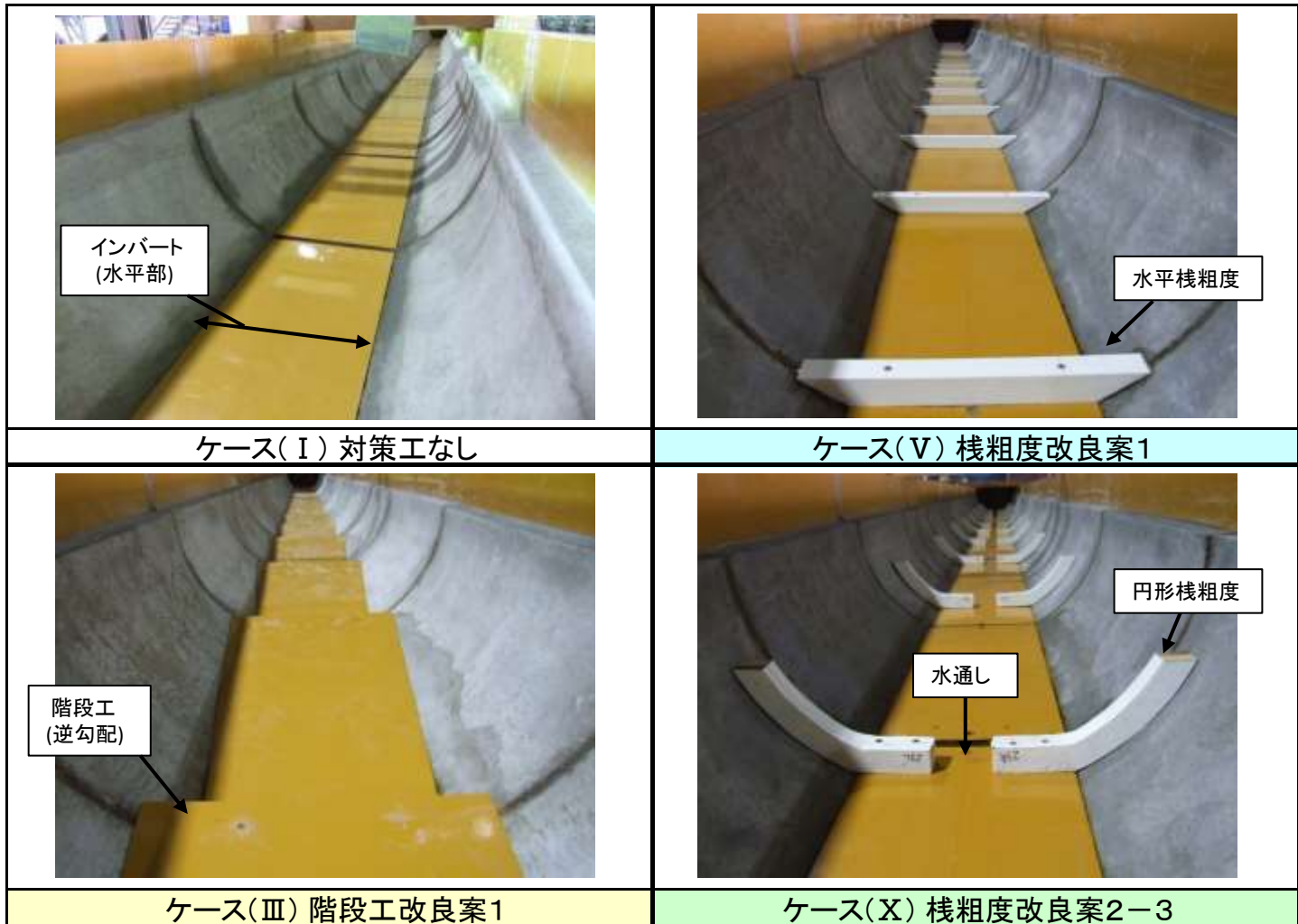
	ケース名	1段の高さ	階段水平区間 または 水平ピッチ	階段段数 または 棧粗度数	備考	評価
	ケース(I) 対策工なし	無	無	0	(case-0)	—
階段式	ケース(II) 階段工	50cm	18.5m	68	(case-1)ステップ: 水平	没
	ケース(III) 階段工改良案1	50cm	9.25m	136	(case-3)ステップ: 逆勾配	×
水平 棧粗度式	ケース(IV) 棧粗度	50cm	18.5m	68	(case-5)	×
	ケース(V) 棧粗度改良案1	50cm	9.25m	136	(case-7)	○
	ケース(VI) 棧粗度改良案1-1	50cm	9.25m	136	水平棧粗度 【水通しb=0.5m; 中央配置】	×
	ケース(VI-2) 棧粗度改良案1-2	50cm	9.25m	136	水平棧粗度 【水通し; 千鳥配置】	×
円形 棧粗度式	ケース(VII) 棧粗度改良案2	50cm	18.5m	68	円形棧粗度【水通しなし】	×
	ケース(VIII) 棧粗度改良案2-1	50cm	18.5m	68	円形棧粗度【水通しb=1.0m】	×
	ケース(IX) 棧粗度改良案2-2	50cm	14.8m	85	〃 (ピッチ4/5)	△
	ケース(X) 棧粗度改良案2-3	50cm	14.8m	85	〃 (ピッチ4/5) 棧設置高短縮(1/2)	○

- ・階段式の対策工について、ケースIII(改良案)を先行して確認し、減勢効果が認められなかったため、ケースII(原案)は廃案とした。
- ・円形棧粗度案は、大阪市の実験事例の実験事例に従い、改良案の1つとして設定した。

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(基礎模型実験) ③主な実験ケースの模型設置状況

主な実験ケースの模型設置状況を以下に示します。



1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(基礎模型実験)
 ④各ケースの実験結果(ケース I)

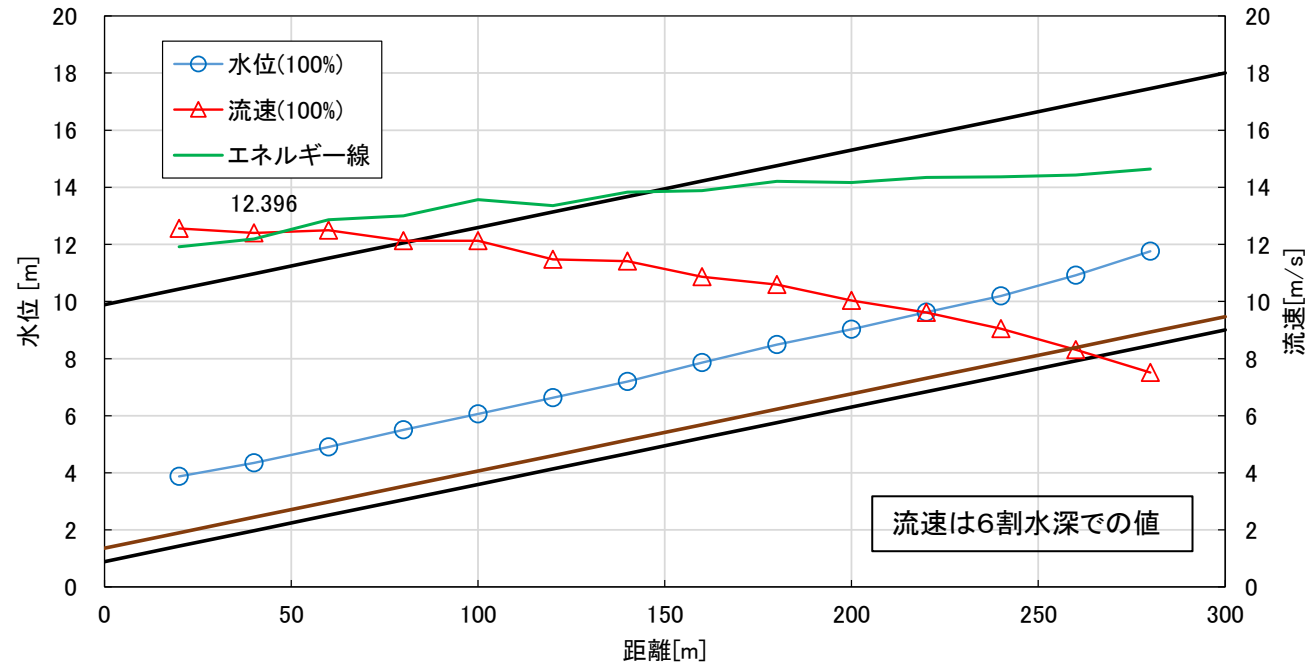
対策工なしでは12m/s以上の流速が発生し、
 減速するための対策工が必要です。



通水状況(Q:100%)

ケース I [対策工なし]
 【流量:100%】

- 流速が一定値になるまでの流下距離は約250m。
- 最大流速は12.5m/s程度まで達する。
- エネルギー線が水平に近く、エネルギーの損失が少ないことがわかる。

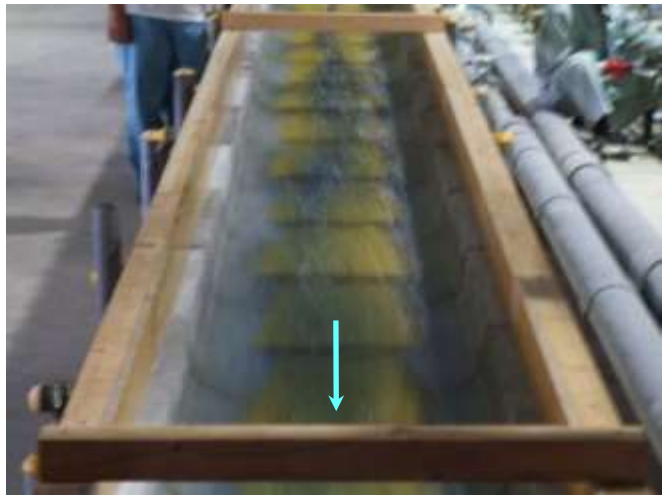


水位・流速・エネルギー線縦断図(Q:100%)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

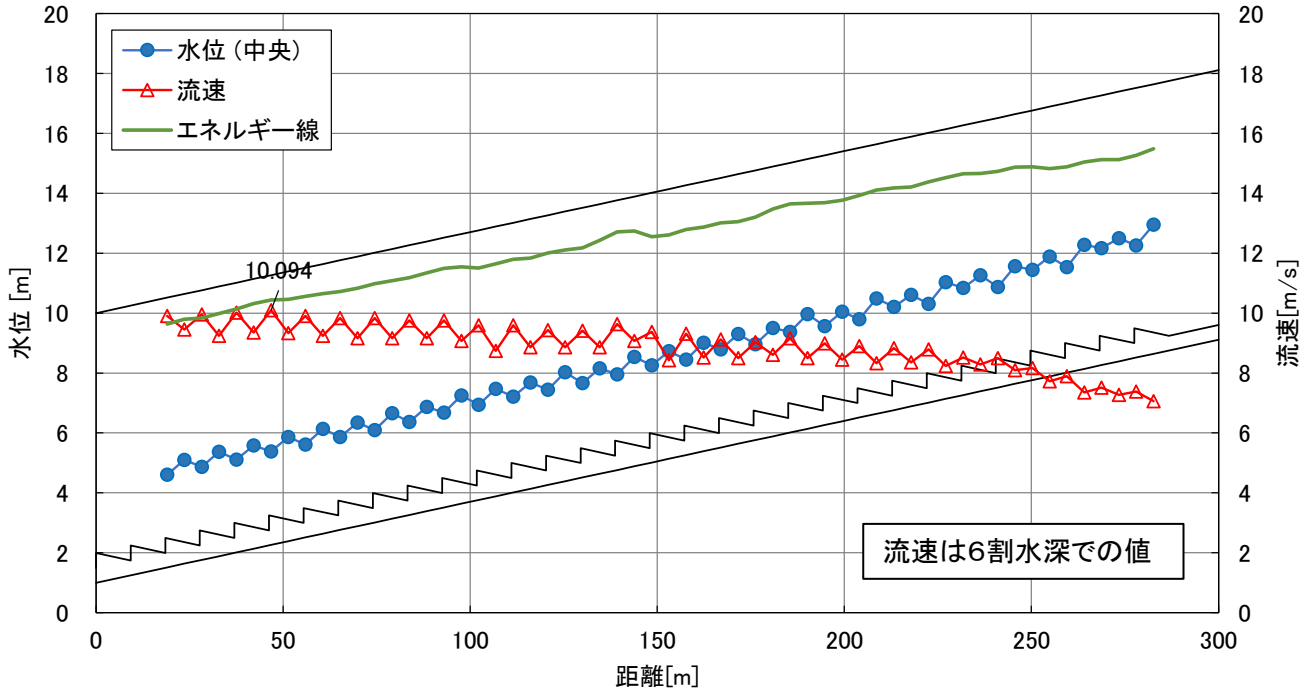
実験結果の概要(基礎模型実験)
 ⑤各ケースの実験結果(ケースⅢ)

階段工では10m/s以上の流速が発生し、減速する効果が十分ではありません。



通水状況(Q:100%)

- ケースⅢ[階段工改良案1]
 【流量:100%】
- 流速の最大値は、10m/sを越える。
 - 対策工なしに対する水位の上昇度合いが小さい。
 - 水面が波状となる度合は比較的小さい。
 - 棧粗度案に比べてエネルギー線が高く、減勢が十分されていないことがわかる。



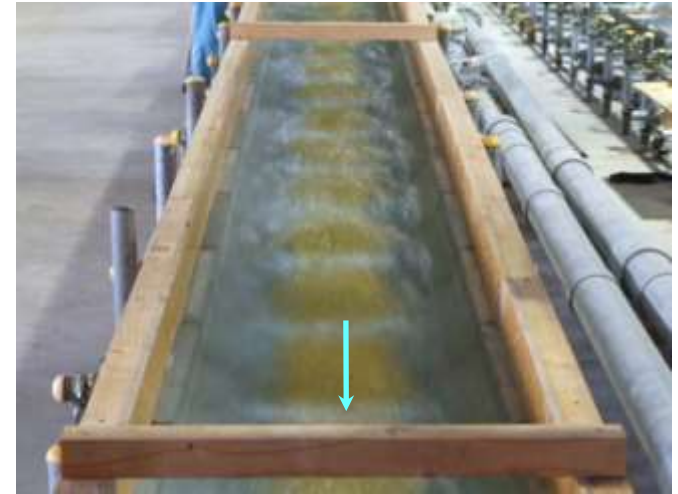
水位・流速・エネルギー線縦断図(Q:100%)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(基礎模型実験)

⑥各ケースの実験結果(ケースV)

水平棧粗度で設置間隔を原案の1/2にすると、流速を7m/s以下にすることができます。(候補案の一つ)

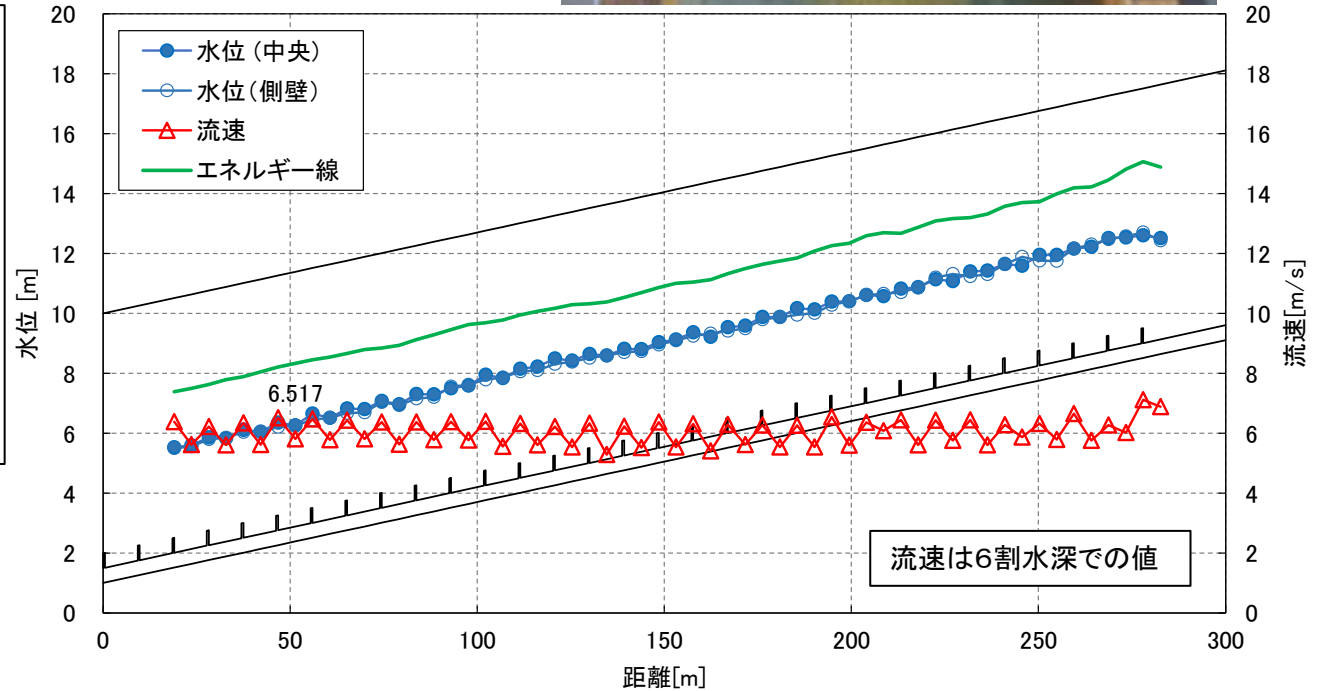


通水状況(Q:100%)

ケースV [水平棧粗度改良案]

【流量:100%】

- 流速の最大値は、6.5m/s程度に収まる。
- 水面が波状となる度合は小さい。
- エネルギー線が低く、勾配がほぼ一定であり、安定した減勢効果が得られている。



水位・流速・エネルギー線縦断図(Q:100%)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(基礎模型実験)
 ⑦各ケースの実験結果(ケースX)

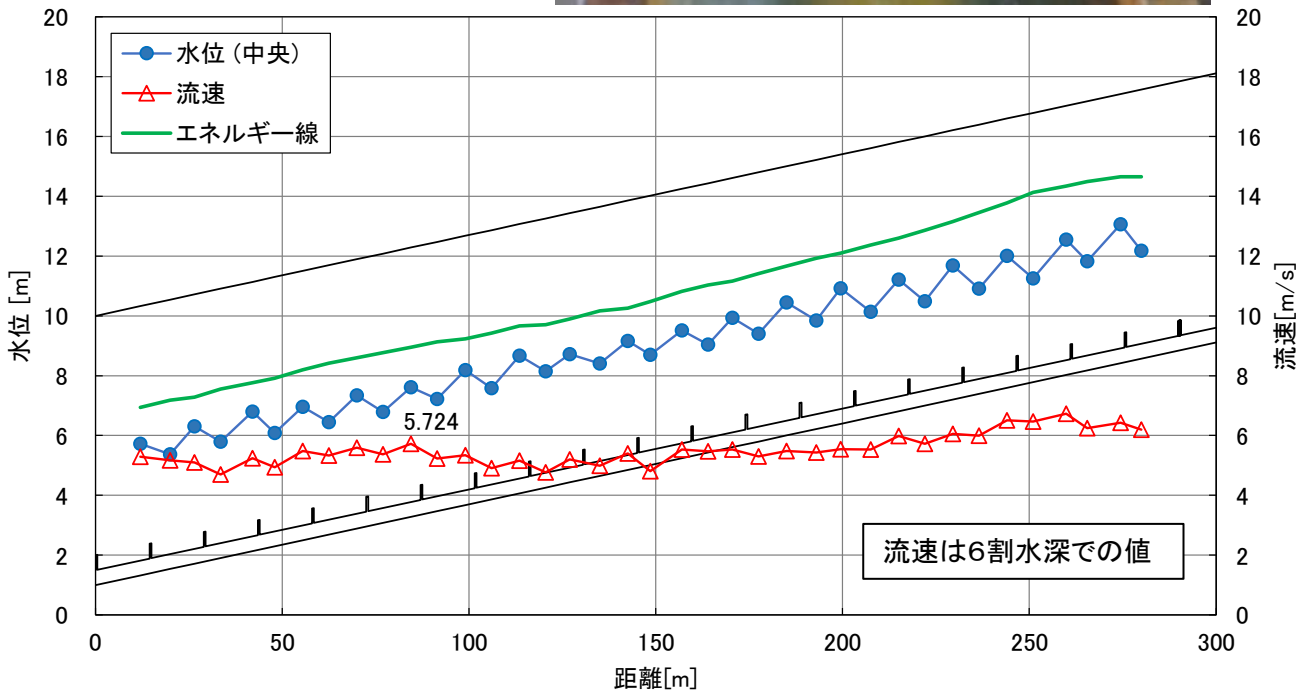
円形棧粗度で設置間隔を原案の4/5にした案でも、流速を7m/s以下にすることができます。(候補案の1つ)



通水状況(Q:100%)

ケースX [円形棧粗度改良案]
 【流量:100%】

- 流速の最大値は5.7m/s程度に収まる。
- 水面が波状となる度合はやや大きい。
- エネルギー線が低く、勾配がほぼ一定であり、安定した減勢効果が得られている。



水位・流速・エネルギー線縦断図(Q:100%)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(基礎模型実験)
 ⑧各ケースの実験結果比較(水位・流速)

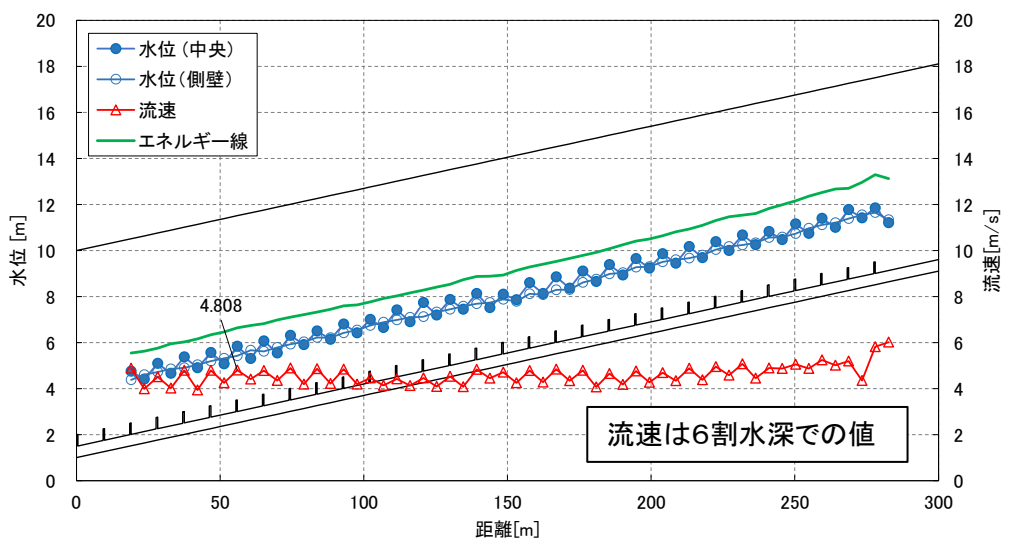
流量を50%とすると、水面の波立ちや、流速が大きくなる場合があります。

ケースV [水平棧粗度改良案]
 【流量:50%】

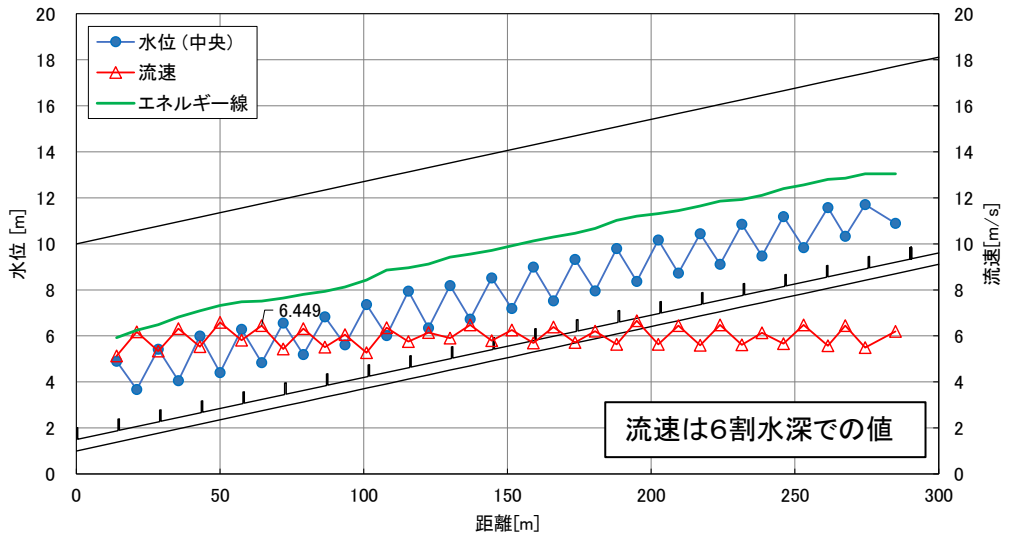
- 流量100%と比べて水面の波状度合いがやや大きくなる。
- 流速の最大値は、4.8m/s程度に収まる。

ケースX [円形棧粗度改良案]
 【流量:50%】

- 流量100%と同様に水面の波状度合いはやや大きい。
- 流速の最大値は、6.5m/s程度で流量100%時よりやや大きい。



水位・流速・エネルギー線縦断図(ケースV, Q:50%)



水位・流速・エネルギー線縦断図(ケースX, Q:50%)

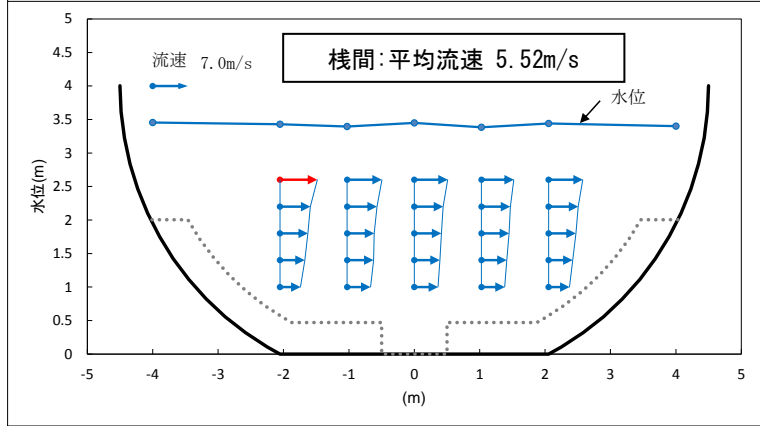
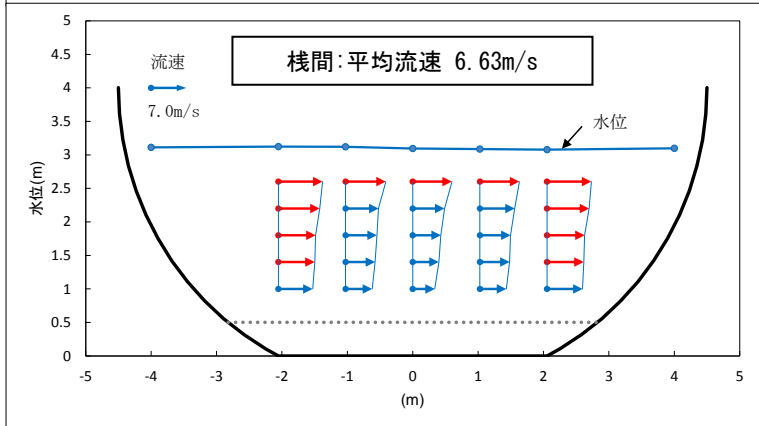
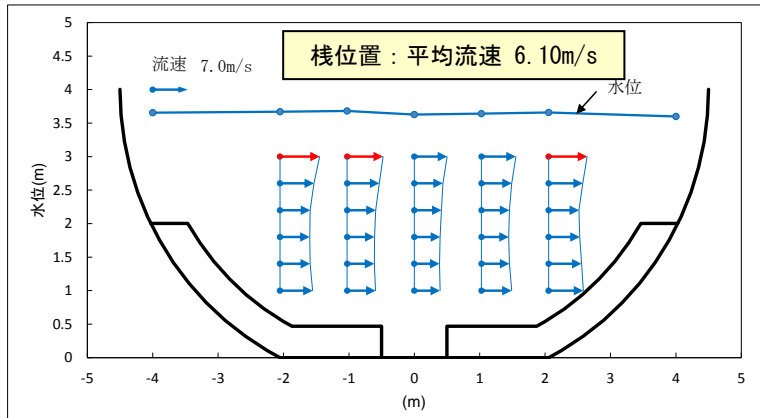
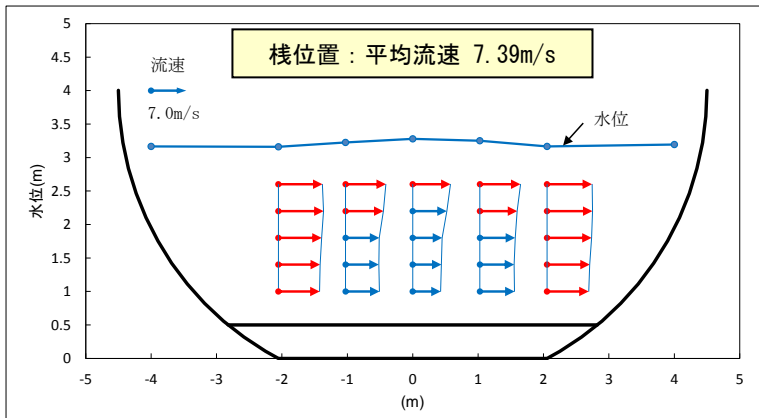
1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(基礎模型実験)
 ⑨各ケースの実験結果比較(流速分布)

断面の詳細流速分布を確認すると、流速が7m/sを越えている場所がありますが、平均的には7m/s以下となっています。

ケースV [水平棧粗度改良案]

ケースX [円形棧粗度改良案]



棧上では断面平均流速が7m/sをやや超えるが、流下方向に平均すると7m/s以下に収まる。

断面平均流速でも7m/s以下に収まる。

赤色は流速7.0m/s以上

代表断面の流速分布の比較(Q:100%)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

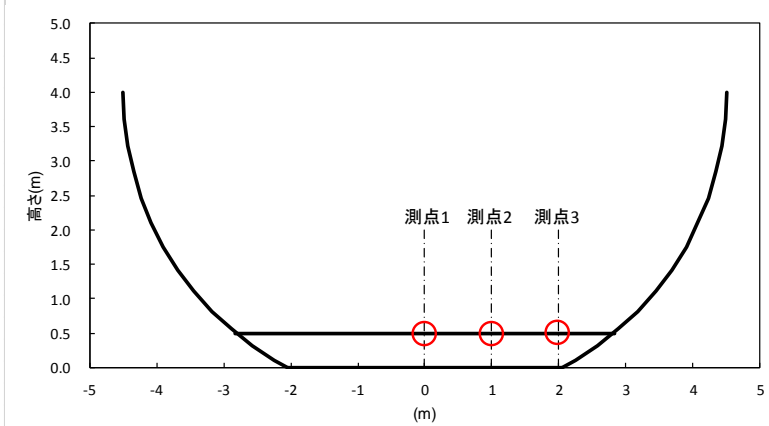
実験結果の概要(基礎模型実験)
 ⑩各ケースの実験結果比較(圧力分布)

いずれのケースも、棧粗度の背面に負圧が発生しますが、許容値以上で構造上問題ありません。

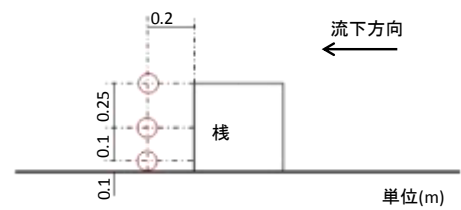
ケースV [水平棧粗度改良案]

測点	水頭(m)			圧力(Mpa)			圧力(kgf/cm ²)		
	測点1	測点2	測点3	測点1	測点2	測点3	測点1	測点2	測点3
0.50	0.140	0.280	0.320	0.0014	0.0027	0.0031	0.014	0.028	0.032
0.25	-0.020	-0.040	-0.140	-0.0002	-0.0004	-0.0014	-0.002	-0.004	-0.014
0.10	0.040	0.060	-0.100	0.0004	0.0006	-0.0010	0.004	0.006	-0.010

※コンクリート面の許容圧力は、大気圧-0.3kgf/cm² (-0.029MPa)以上



圧力水頭測定位置・断面図

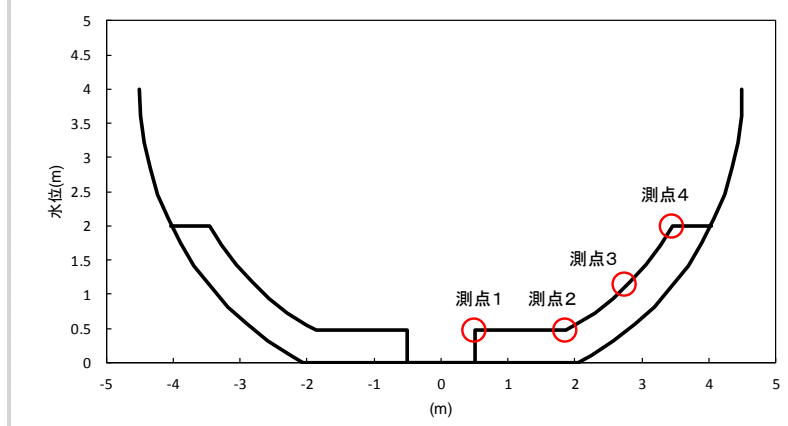


圧力水頭測定位置・縦断面

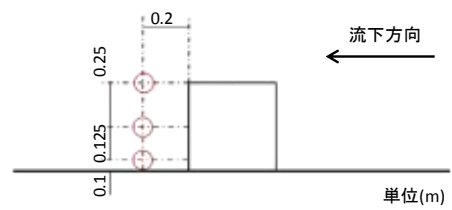
ケースX [円形棧粗度改良案]

測点	水頭(m)				圧力(Mpa)				圧力(kgf/cm ²)			
	測点1	測点2	測点3	測点4	測点1	測点2	測点3	測点4	測点1	測点2	測点3	測点4
0.50	-0.180	-0.140	-0.040	-0.120	-0.0018	-0.0014	-0.0004	-0.0012	-0.018	-0.014	-0.004	-0.012
0.25	-0.340	-0.180	-0.200	-0.240	-0.0033	-0.0018	-0.0020	-0.0024	-0.034	-0.018	-0.020	-0.024
0.10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000

※コンクリート面の許容圧力は、大気圧-0.3kgf/cm² (-0.029MPa)以上



圧力水頭測定位置・断面図



圧力水頭測定位置・縦断面

棧に作用する圧力の比較(Q:100%)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(全体模型実験)

①実験ケース

基礎模型実験で、流速を概ね7m/s以下にすることができたケースV(水平棧粗度)、X(円形棧粗度)を抽出し、更に全体模型実験で確認を行いました。

実験ケース一覧表(全体模型)

ケース名	1段の高さ	階段水平区間 または 水平ピッチ	階段段数 または 棧粗度数	備考
ケース(I) 対策工なし	無	無	0	
ケース(V) 水平棧粗度改良案	50cm	9.25m	136	水平棧粗度、水通しなし
ケース(X) 円形棧粗度改良案	50cm	14.8m	85	円形棧粗度、水通し幅1.0m 棧設置高短縮(1/2)



ケース I [対策工なし]



ケース V [水平棧粗度改良案]



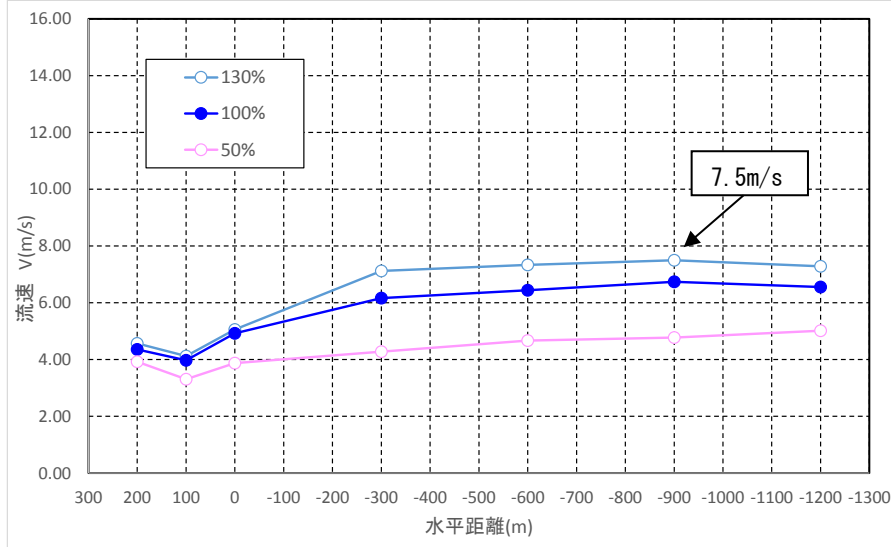
ケース X [円形棧粗度改良案]

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

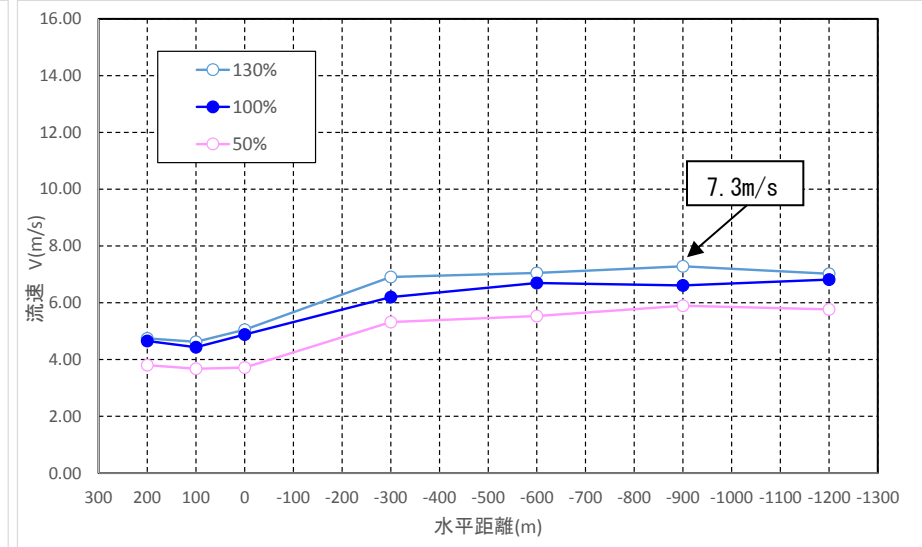
実験結果の概要(全体模型実験)

② 超過洪水時の流速分布

超過洪水時(Q:130%)には、ケースV [水平棧粗度改良案]、ケースX [円形棧粗度改良案]とも流速が7m/sをやや超えますが、構造物の損傷を引き起こすような程度ではないと考えられます。



ケースV [水平棧粗度改良案]



ケースX [円形棧粗度改良案]

※流速は、0.6m区間の中立粒子の移動を画像解析したもの(3回の平均値)

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(全体模型実験)

③勾配変化点付近の流況

勾配変化点(急勾配→緩勾配)では、水面がやや波立つ等の現象が生じますが、いずれの案でも顕著な問題は見られません。

	ケース(V)水平棧粗度案	ケース(X)円形棧粗度案
Q:100%		
Q:130%		
流況	<p>【流量100%】 勾配変化点で跳水が発生し、やや水面が波状となるものの比較的安定している。</p> <p>【流量130%】 やや波状度合いが大きくなる。 → <u>流況上の顕著な問題は見られない。</u></p>	<p>【流量100%】 水面の波状度合いがやや大きく、勾配変化点付近の跳水位置が明確ではない。</p> <p>【流量130%】 100%時より波状度合いは減少する傾向となる。 → <u>流況上の顕著な問題は見られない。</u></p>

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(全体模型実験)

④開水路流から管路流への遷移時の流況

いずれのケースでも、開水路流から管路流に遷移する際に空気が滞留する等の問題となる現象は生じていません。

開水路流→管路流遷移時の流況(Q:100%)

ケース I [対策工なし]



ケース V [水平栈粗度改良案]



ケース X [円形栈粗度改良案]

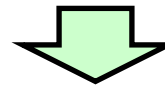


1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果の概要(全体模型実験)
 ⑤管路流時の急勾配区間の損失

100%流量が満管状態で流下した場合、対策工なしの状態に比べて、急勾配区間で0.70m~1.15mの損失水頭が発生します。

流量 Q		急勾配区間の損失 $\Delta H(m)$					
		ケース I : 対策工なし		ケース V : 水平棧粗度		ケース X : 円形棧粗度	
(%)	(m^3/s)	模型計測値	実物換算値	模型計測値	実物換算値	模型計測値	実物換算値
130	187.2	0.0295	1.328	0.0615	2.768	0.0735	3.308
100	144.0	0.0180	0.810	0.0335	1.508	0.0435	1.958
75	108.0	0.0115	0.518	0.0205	0.923	0.0215	0.968
50	72.0	0.0045	0.203	0.0065	0.293	0.0145	0.653
25	36.0	0.0020	0.090	0.0015	0.068	0.0035	0.158



模型上の粗度係数 $n=0.010$ 程度
 (原寸では $n=0.019$ 程度)

模型上の粗度係数 $n=0.014$ 程度
 (原寸では $n=0.027$ 程度)

模型上の粗度係数 $n=0.016$ 程度
 (原寸では $n=0.030$ 程度)

100%流量時で対策工なしに対し、
+0.70m程度の損失付加

100%流量時で対策工なしに対し、
+1.15m程度の損失付加

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

急勾配区間の付加粗度に関する対策の比較

急勾配区間の損失増分に対する対策費用増分を比較した結果、地下河川の内径増大よりポンプ能力増強の方がコスト面から有利と考えられます。

急勾配区間に設置した栈粗度により、満管時には損失水頭が増加することで、満管運用時に下流端ポンプ場の運転水位が低くなり、ポンプ場における揚程が大きくなる。



対策として以下の2案を比較。

- ①ポンプ場における揚程が大きくなる分、ポンプの動力を大きくする。
- ②トンネルの内径を大きくして動水勾配を通常深度と同程度にする。

費用増分の比較結果一覧(①ポンプ能力増強、②内径増大)

対策	管径(m)	粗度係数	流速(m/s)	水位差(m)	追加対策費用(億円)
ケース I	9.00	0.016	2.516	0.693	0.0
ケース V①	9.00	0.024	2.516	1.559	14.0
ケース V②	10.50	0.024	1.849	0.685	39.1
ケース X①	9.00	0.027	2.516	1.973	20.6
ケース X②	11.00	0.027	1.684	0.676	53.5

ケース I の粗度係数は計画値0.016を採用し、水理模型実験結果との差分0.003をケース V と X にも適用。
 シールドトンネルの単価は「流域別下水道整備総合計画指針と解説平成20年9月」の $Y=(1.06 \times 10^{-5} X^2 - 16.1 \times 10^{-3} X + 102) \times (111.2/102.1)$ を用いた。X:管径(mm)、係数はデフレータ(H26/H9)
 ポンプ設備費は寝屋川北部地下河川全体計画書の費用関数 $Y=0.16 \times P^{0.7} \times (111.2/100.8)$ を用いた。ここに、Y:ポンプ設備費(億円)、P:出力(KW)、なお計画の揚程は概数、カッコ内係数はデフレータ(H26/H6)。燃料(A重油)費用は、ポンプの運転時間を年間のべ100時間と想定したものである。(20年間の費用、なお、八尾型計画降雨で運転時間はのべ33時間程度)



ケース V、Xどちらでも①案(ポンプ増強)の方が費用増分が小さく、合理的である。

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

実験結果のまとめ

今後、下表に示す水理面に加え、維持管理面や水理機能以外の項目も含めて総合的に評価を行い、減勢工形状の詳細を決定していきます。

対策案の比較一覧表

項目		ケースV [水平棧粗度案]	評価	ケースX [円形棧粗度案]	評価
基礎模型実験 ($S=1/20$)	計画流量時 (100%)	棧上で断面平均流速が7.0m/sを若干超えるが、それ以外は7.0m/s以下に収まる。	△	断面平均流速で7.0m/s以下に収まる。	○
		水面の波状度合いは比較的小さい。	○	水面の波状度合いはやや大きい。	△
		棧の背面に負圧が発生するが、許容値(-0.029MPa)以上である。	○	同 左	○
	計画流量未満時 (50%流量時)	流速の最大値は4.8m/s(6割水深値)である。	○	流速の最大値は6.5m/s(6割水深値)である。	△
		水面の波状度合いはやや大きい。	△	水面の波状度合いはやや大きい。	△
全体模型実験 ($S=1/45$)	勾配変化点 (開水路時)	比較的安定しており、勾配変化点直下で跳水が発生する。	○	波状度合いがやや大きく、跳水位置が不明確。	△
	超過洪水時 (130%)	流速が7.0m/sをやや超える(7.5m/s)。	△	流速が7.0m/sをやや超える(7.3m/s)。	△
	満管時の付加損失 (100%)	対策工なしに対し、+0.70mの損失が付加する(ケースXより小さい)。	○	対策工なしに対し、+1.15mの損失が付加する(ケースVより大きい)。	△
	開水路流→管路流へ の変遷現象	開水路流から管路流に遷移する際に空気が滞留する等の問題となる現象は生じない。	○	同 左	○
その他	保守点検	水通し(切欠き)は設置できない。 → 水抜き穴(φ0.2m程度)の設置は可能。 → 点検時に車両の通行は困難。	△	2m幅の水通しを設置できる可能性がある。 → 点検時に車両の通行が可能。	○
総合評価		計画流量時においては円形棧粗度の方が流速低減効果が大きいですが、計画流量未満時には水平棧粗度の方が流速低減効果が大きい。 今後、施工面や維持管理面等の項目も含めて総合的に評価を行い、減勢工形状の詳細を決定していく。			

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

まとめ

水理模型実験による検証の結果、急勾配区間の減勢対策については、以下のようにまとめられます。

【水理模型実験(急勾配区間)のまとめ】

今後、維持管理面や水理機能以外の項目も含めて総合的に評価を行い、減勢工形状の詳細を決定していく必要があるが、少なくとも急勾配区間の管内で確実に減勢できる構造諸元が存在することを確認できた。

また、急勾配区間に設置する減勢工により発生する損失への対策は、地下河川の内径を増大するより、地下河川末端のポンプ施設を増強する方がコスト面から合理的である。

1. 大深度地下使用に伴う水理検討結果(急勾配区間)について

今後の実験予定

今後は以下の項目について、水理模型実験を進めていきます。

- 急勾配区間の詳細検討
維持管理の観点から見て最適な減勢構造の検討
- 高落差部の検討
 - (A) 計画流量が取水できる取水形状の検討
 - (B) 減勢形式の適性についての再検討
 - (C) 地下河川本管との合流構造についての検討