

土木研究所資料

首都圏外郭放水路第5立坑流入施設の 水理模型実験報告書

平成10年3月

建設省土木研究所
河川部都市河川研究室

Copyright © (1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



土木研究所資料
第3540号1998年3月

首都圏外郭放水路第5立坑流入施設の 水理模型実験報告書

都市河川研究室 室長 末次忠司
研 究 員 大谷 悟
" 小林裕明
交流研究員* 秋山真吾

要 旨

本報告書は、首都圏外郭放水路第5立坑流入施設における漸縮水路の鉛直勾配や漸縮水路下流端の開口幅を変化させて、施設各部におけるエネルギー損失、立坑底面に作用する圧力、騒音特性、流入水による沈澱物のフラッシュ効果を把握するために実施した水理模型実験結果を整理・分析し、とりまとめたものである。

キーワード：首都圏外郭放水路，流入施設，損失水頭，衝撃圧，騒音，フラッシュ

* 交流研究員在職期間(平成9年4月から平成10年3月まで)

目 次

第1章 概要	1
1.1 首都圏外郭放水路の概要	1
1.2 模型実験の目的	1
第2章 水理模型実験の装置と方法	3
2.1 実施設の形状	3
2.2 模型縮尺	3
2.3 実験条件及び実験ケース	9
2.3.1 実験条件及び実験ケース	9
2.3.2 連絡管路流入部形状の設定	12
2.4 測定項目	14
第3章 流況の観測結果	17
3.1 実験目的	17
3.2 実験概要	17
3.3 データ整理	17
3.4 実験結果	17
3.4.1 流入水路部での流況	17
3.4.2 らせん流の形成状況	19
3.4.3 連絡管路流入部での流況	19
3.4.4 フラッシュ効果	21
3.4.5 流速及び流向の計測結果	21
第4章 損失水頭の計測結果	37
4.1 実験目的	37
4.2 実験概要	37
4.3 データ整理	37
4.4 実験結果	37
4.4.1 開水路状態時の損失水頭	37
4.4.2 圧力状態時の損失水頭	38
第5章 立坑底面に作用する衝撃圧の計測結果	47
5.1 実験目的	47
5.2 実験概要	47
5.3 データ整理	47
5.4 実験結果	48
第6章 騒音の計測結果	53
6.1 実験目的	53
6.2 実験概要	53
6.3 データ整理	54
6.4 実験結果	54
第7章 結論	58
7.1 本報告書の結論	58
7.2 今後の検討課題	59
参考文献	61

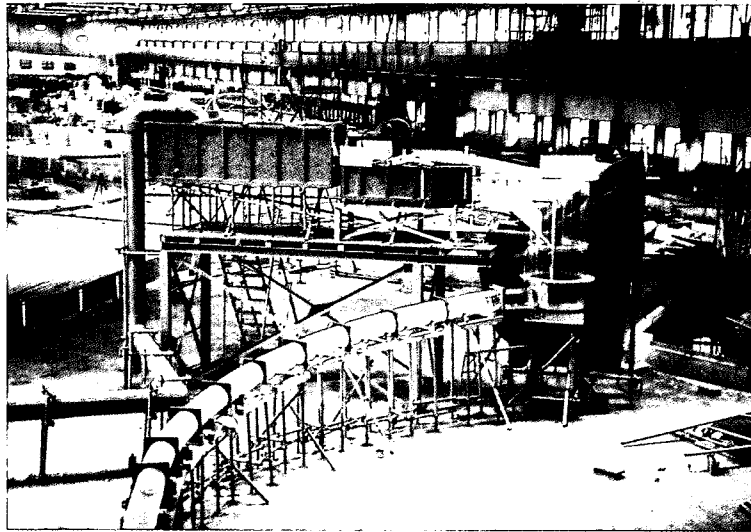


写真-1 模型施設の設置状況

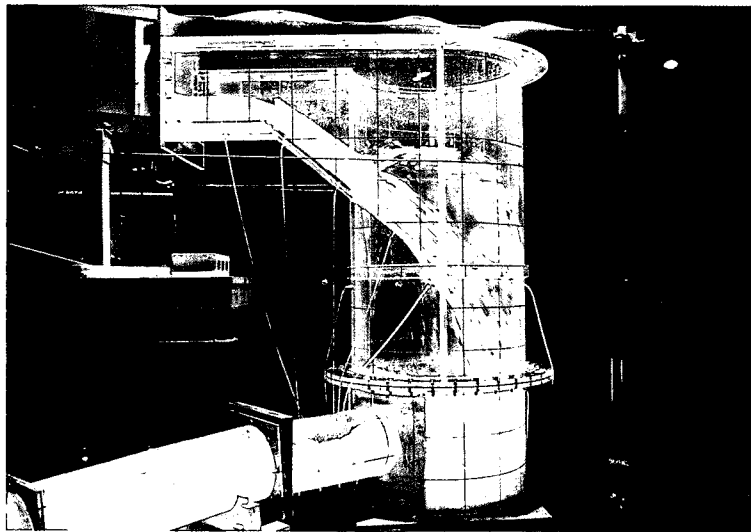


写真-2 全体の流況
(case2, β 40° e 2.4m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$)

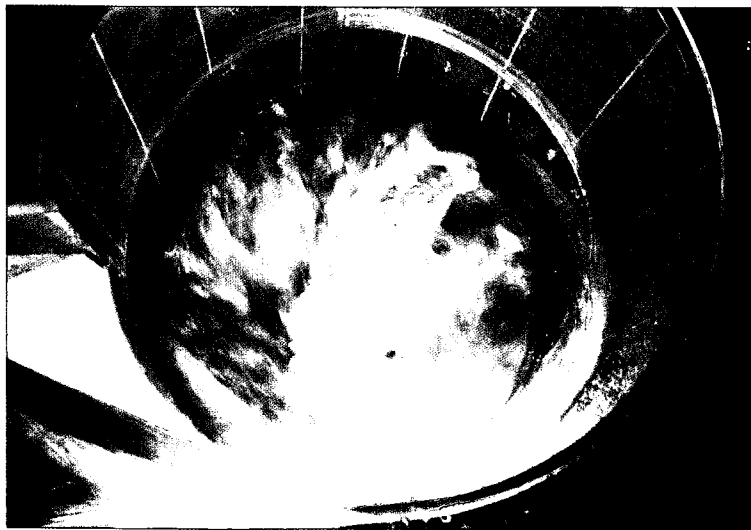


写真-3 立坑内の流況
(case2, β 40° e 2.4m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$)

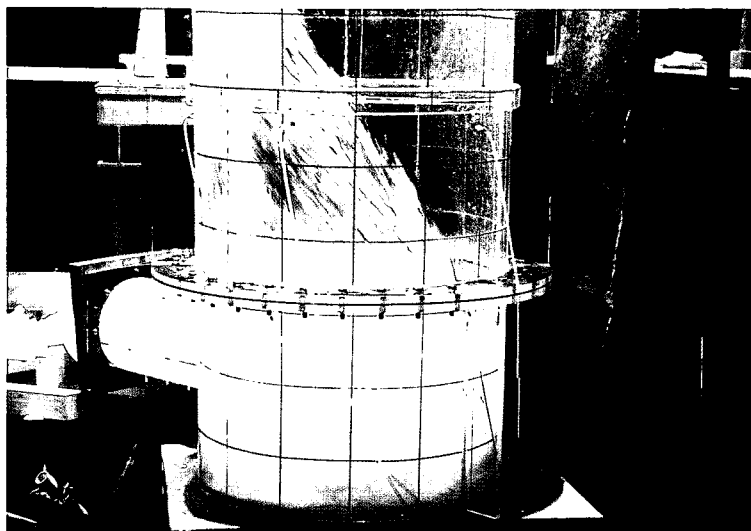


写真-4 立坑下部の流況
(case2, β 40° e 2.4m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$)

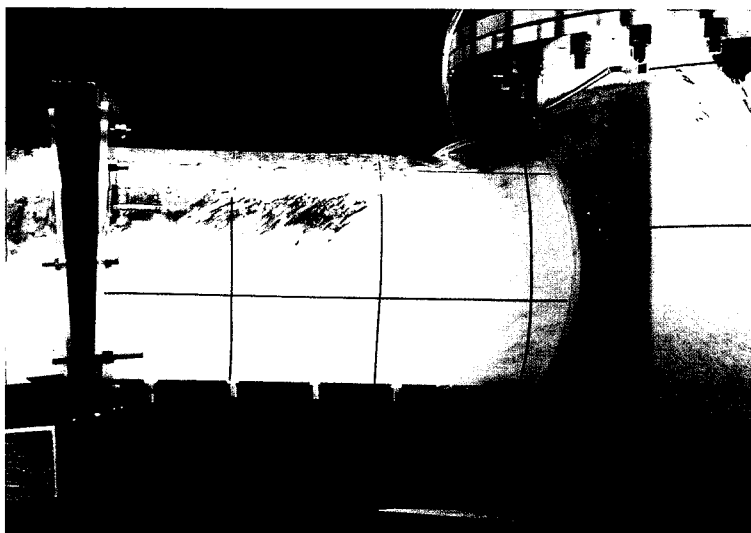


写真-5 連絡管路流入部の流況
(case2, β 40° e 2.4m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, ベルマウス)



写真-6 圧力状態時の流況
(case7, β 30° e 2.4m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$)



写真-7 立坑上部の流況
(case7, β 30° e 2.4m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$)

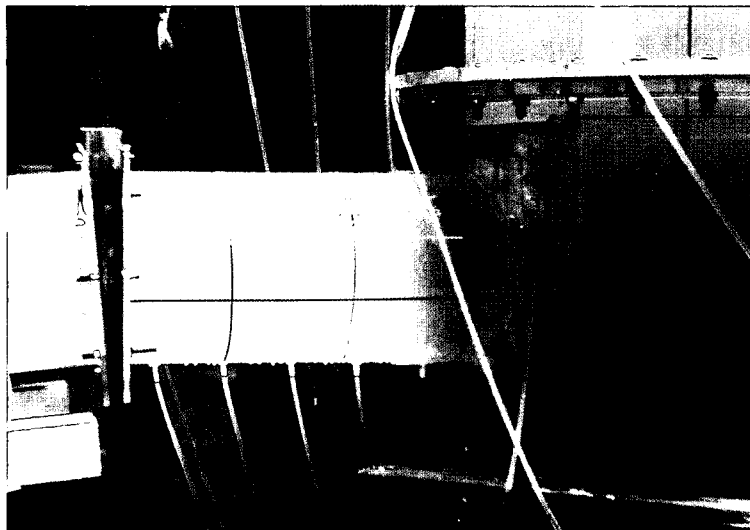


写真-8 連絡管路流入部の流況
(case7, β 30° e 2.4m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, ペルマウス)

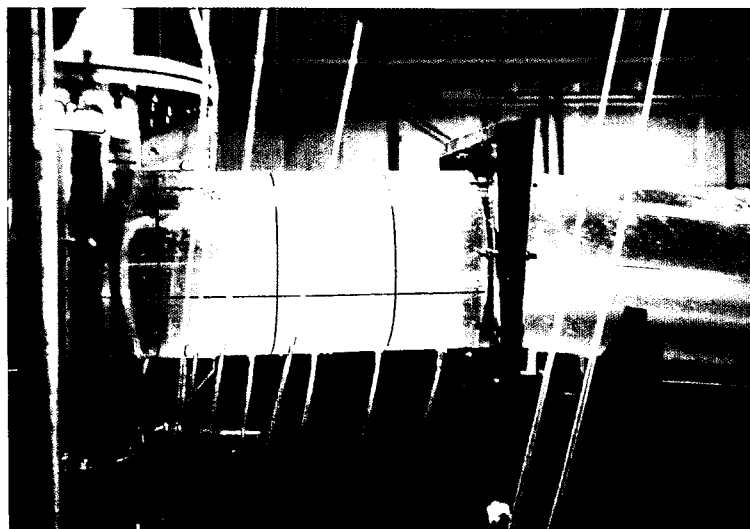


写真-9 連絡管路流入部の流況
(case11, β 30° e 2.4m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, ペルマウス無)

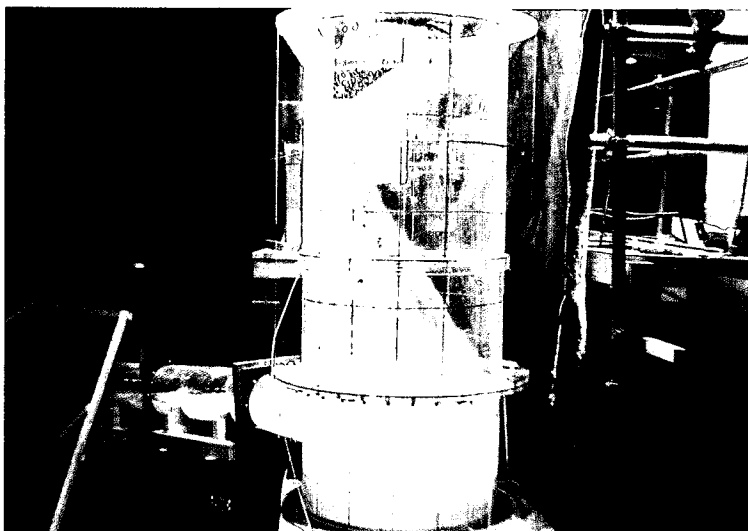


写真-10 全体の流況
(case16, β 30° e 1.2m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$)

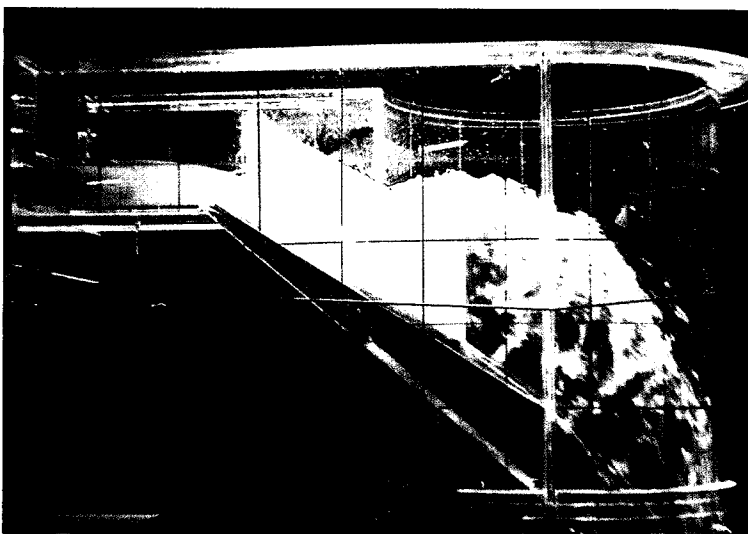


写真-11 漸縮水路下流部における跳水の状況
(case16, β 30° e 1.2m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$)

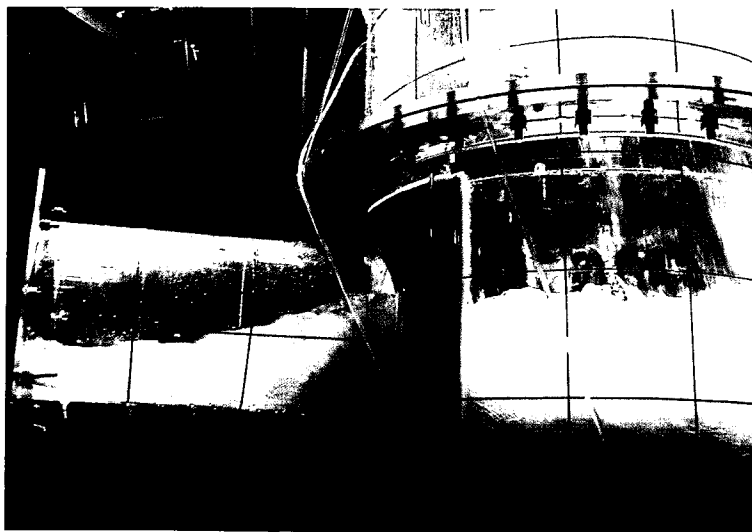


写真-12 土砂のフラッシュ状況
(case18, β 30° e 1.2m, $Q \approx 20\text{m}^3/\text{s}$, ベルマウス)

第1章 概要

1.1 首都圏外郭放水路の概要

中川・綾瀬川流域では、急激な市街化に伴い人口や資産価値が増加するとともに、その地形特性からひとたび水害が発生すると甚大な被害を被る恐れがある。これに対処するため、江戸川と中川、倉松川、大落古利根川の間を結ぶ新たな放水路を建設する首都圏外郭放水路建設事業が進められている。

本放水路は、延長約 6.3km で、地下トンネル部は国道 16 号の地下約 50m の洪積層を貫くように設けられる。計画流量 $200\text{m}^3/\text{s}$ (流入時差を考慮) は放水路最下流に設けられる排水機場を介して江戸川へ排水される。地上河川からの分流量と主な諸元を図 1-1 に示す。無降雨時には放水路内を空にして管理するので、洪水初期には流入水が放水路内にある程度貯留され、放水路内水位が排水機場の調圧水槽敷高を越えるとポンプ排水が行われる。したがって、ポンプ排水時には、水路内は圧力流れの状態となり動水勾配が形成される。

地上の 3 河川から分流する洪水は流入立坑により放水路へ導かれるが、洪水初期には高落差を安定して流下させ、かつ、落下時に構造物に損傷を及ぼさないようにする必要がある。一方、圧力流れ時には立坑内水位が上昇しており、施設の設計にあたっては、計画流量を安全に流下させるのはもとより、立坑内水位の背水効果が上流の越流堰まで及ばないような構造にしなければならない。また、排水ポンプが急停止してサージングが発生した場合でも各流入立坑および途中 2 箇所設ける予定のサージタンク(発進立坑を転用したもの)の水位が地盤高を越えないようにする必要がある。その他にも、排水による江戸川本川の流れや河床への影響、流入立坑での落下水による騒音や振動、トンネル内空気の排除等について水理的検討を要する。

第 5 立坑には、大落古利根川の洪水(計画流量 $85\text{m}^3/\text{s}$)を地下河川に流入させるための流入施設が計画されている。設置位置は立坑用地等の制約により大落古利根川と国道 16 号線との交差部から上流約 360m 左岸側に予定されており、放水路本管と第 5 立坑とは内径 6m の連絡管により接続される。

1.2 模型実験の目的

平成 4 年度から 5 年度にかけては、倉松川、中川の流入立坑の開水路流れ時の減勢効果や圧力流れ時の損失特性について水理模型実験を行い、その結果を用いて大落古利根川を含む 3 本の流入立坑の水理設計を行った。平成 5 年度には倉松川と中川の立坑が本管と交わる合流部の水理模型実験を行うとともに、首都圏外郭放水路の全体を歪み模型で再現して圧力流れ時の動水勾配、非定常的流れ時の様子や排水ポンプ急停止時のサージングについて水理模型実験を行った。また、平成 6 年度から 8 年度には倉松川および中川に分流部形状に関する水理模型実験を行った。平成 9 年度には、大落古利根川の流入立坑(第 5 立坑)に関する水理模型実験を行った。これまで、大断面の渦流式立坑は設計実績が無く、漸縮水路鉛直角度、漸縮水路下流端開口幅、連絡管路流入部の形状を変えることによる流況やエネルギー損失等に及ぼす影響を把握するために 1/20 のアクリル製無歪み模型を用いて実験を実施した。

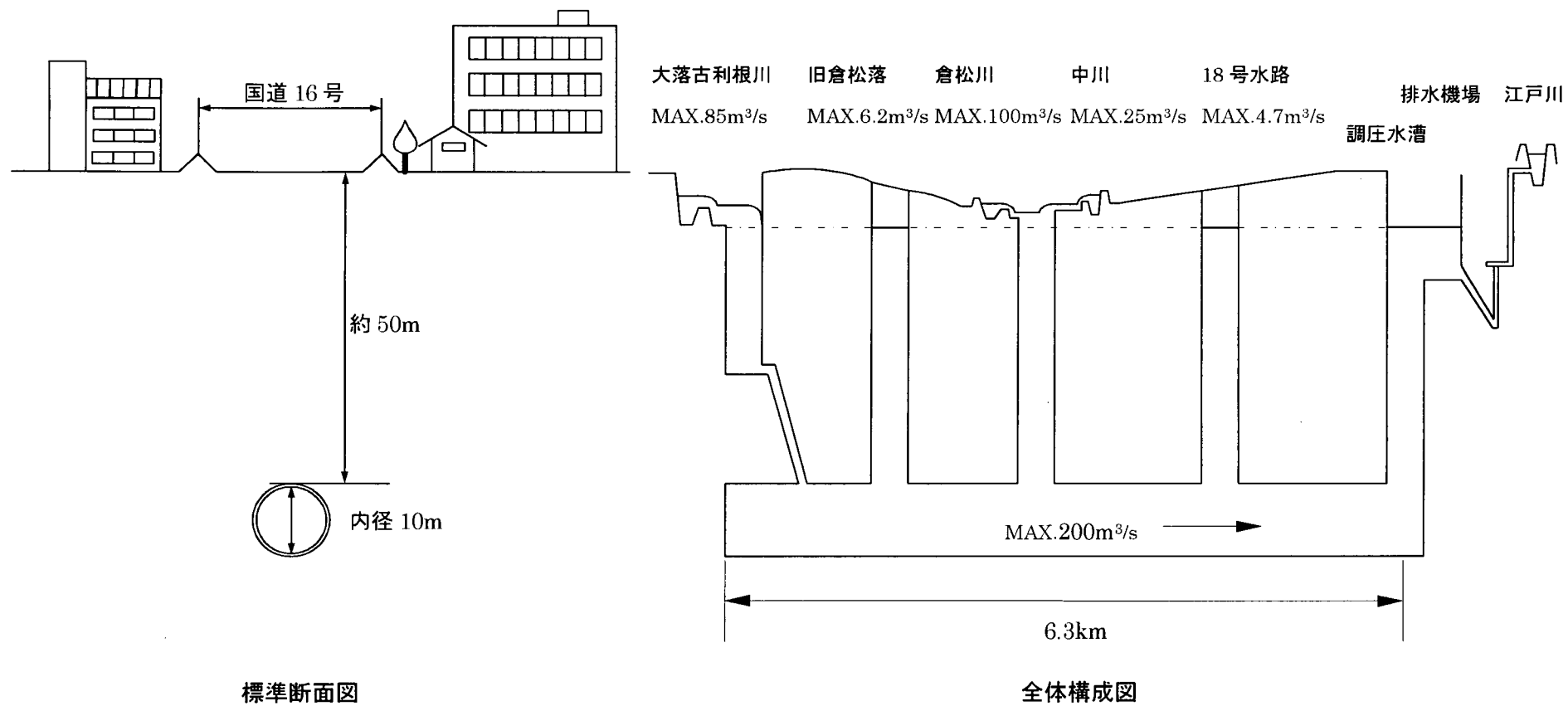


図 1-1 首都圏外郭放水路の概要図

第2章 水理模型実験の装置と方法

2.1 実施設の形状

第5立坑は大落古利根川の洪水の一部を流入させる施設で、当初設計案では立坑内にドライエリアが設置される計画になっていたため、直径22.8mの立坑内に直径8.5mのドロップシャフトを設置し、それを用いて河川水を流入させる計画であった。流入形状は、小流量流入時には安定した流況と高い減勢効果が得られ、計画流量流入時にはエネルギー損失の少ない複断面型渦流式である。前設計形状を図2-1に示す。

しかし、立坑管理用のドライエリアを設置する必要性が無くなったことにより、立坑径を小さくできるとともに、立坑の全断面を用いて河川水を流入させることが可能となった。これにより立坑掘削土砂量を少なくすることと、立坑全断面を用いることにより埋戻し用のコンクリート量を少なくすることが可能となり、建設コストをかなり軽減することができる。

しかし、ドロップシャフトをなくすことにより、立坑内水位が高い状態での損失を軽減することは期待できるものの、立坑内水位が低い小流量流入時の流況や落下水による騒音や立坑底面に作用する衝撃圧に悪影響を与える可能性がある。これまで、直径17.5mという大断面の流入施設の検討および設計実績は無く、また、立坑内での流況は非常に複雑であり数値計算により損失等を算定することは出来ないので模型実験を行わざるを得ない。

なお、今回対象とした立坑形状は現時点での計画によるものであり、今後のトンネル施工技术の進捗等により、形状が変更になる可能性はある。

今回の施設計画平面図および断面図を図2-2、図2-3に、連絡管路計画縦断図を図2-4に示す。また、図2-5に複断面型渦流式立坑の模式図を示す。表2-1には設計形状と前形状の諸元を示す。

表 2-1 流入立坑の形状(数値は現地値)

	設計形状	前形状
立坑径(m)	17.5	22.8
ドロップシャフト径D(m)	17.5	8.5
落水高さH(m)*	37.1	37.1
導水路幅B(m)	8.5	8.5
漸縮水路下流端開口幅e(m)	2.4	2.4
漸縮水路長さL'(m)	16.6	14.4
漸縮水路鉛直角 $\beta(^{\circ})$	30	30
落差高Z'(m)	9.6	8.3
段差 ΔZ (m)	3.7	3.7
設計流量Q(m ³ /s)	85	85

*漸縮水路上流端から立坑底面までの鉛直距離

2.2 模型縮尺

実験は、透明アクリル製の縮尺 1/20 の無歪み模型を用いて行った。模型の寸法を表 2-2 に示す。また、実験における相似則はフルードの相似則に従うものとして、各物理量を表 2-3

A-A 断面图

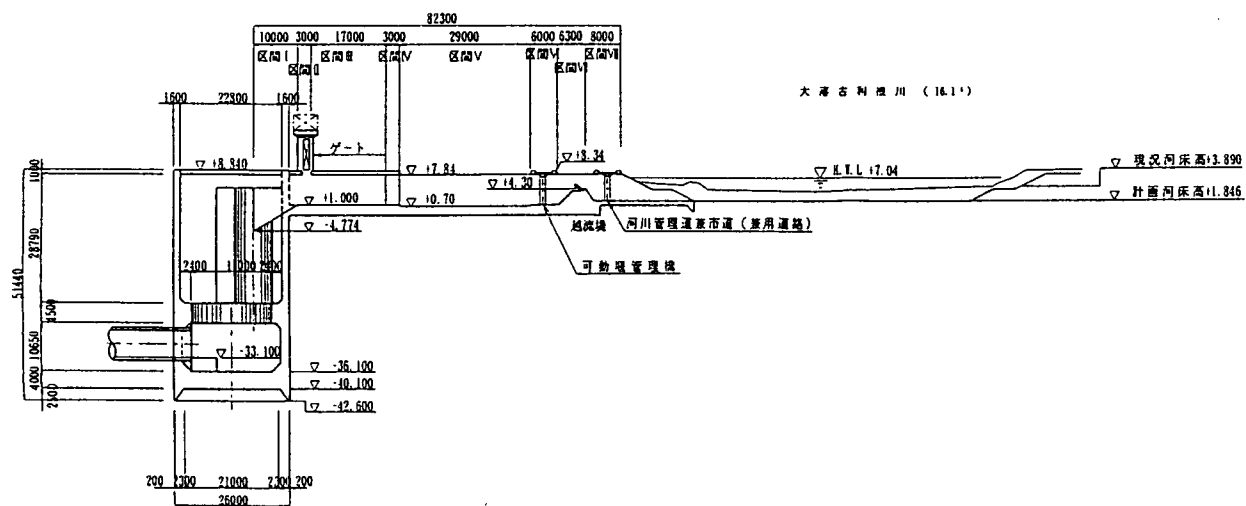


図 2-1 前設計形状

—— 大落古利根川

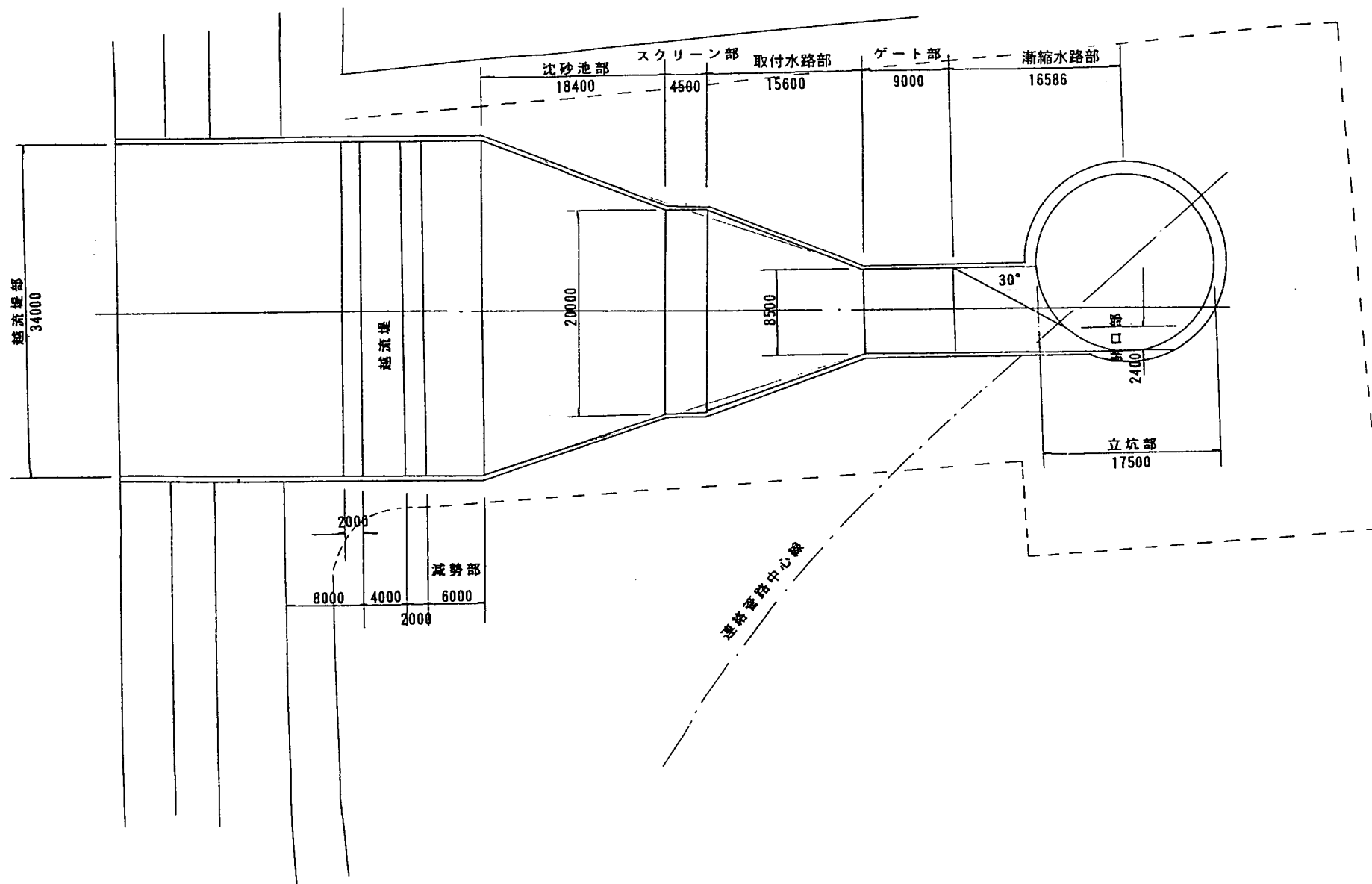


図 2-2 第 5 立坑流入施設平面図

図 2-3 第 5 立坑流入施設断面図

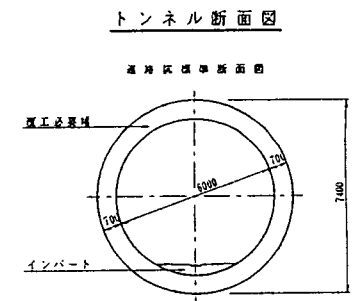
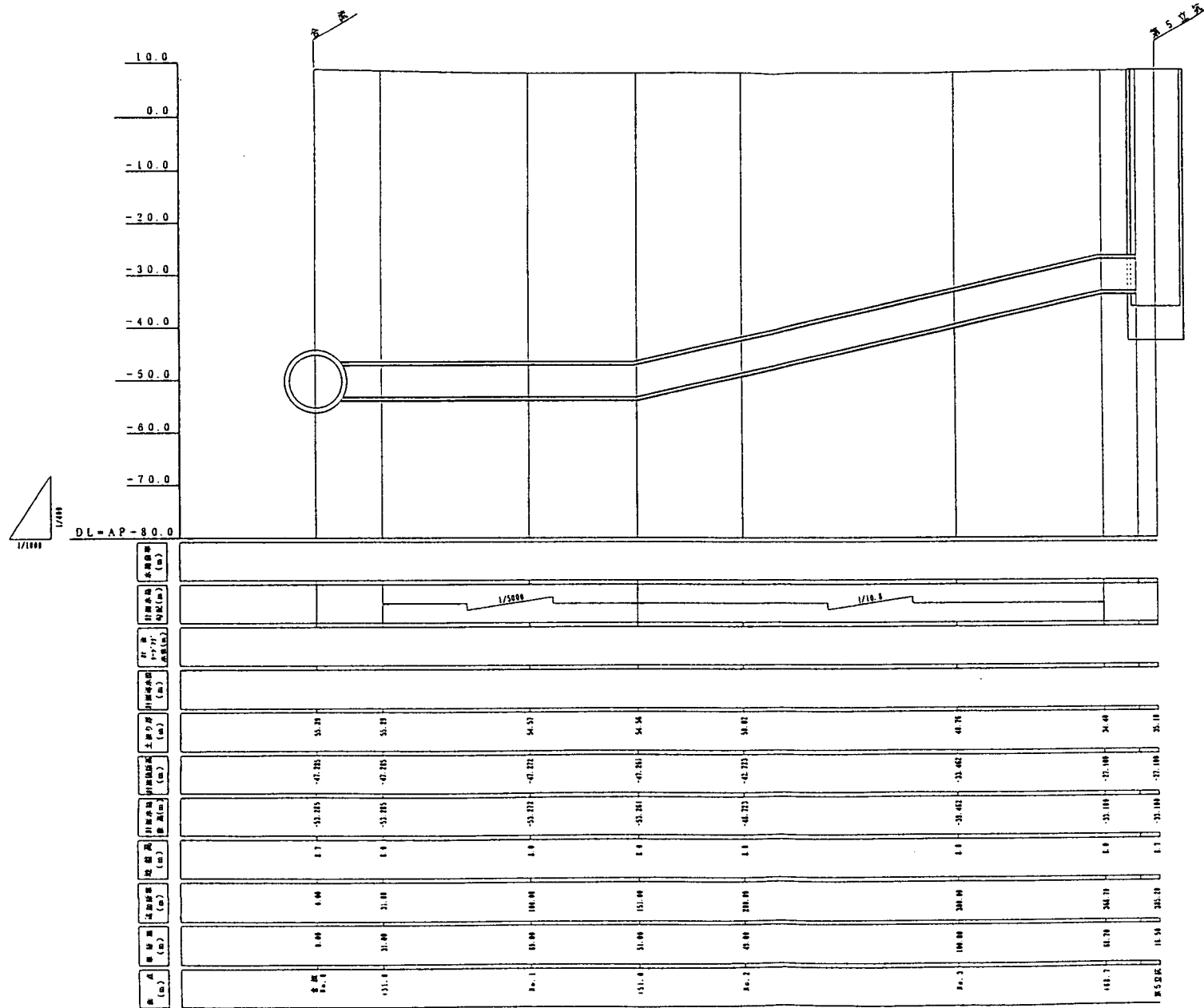


図 2-4 連絡管路計画縦断図

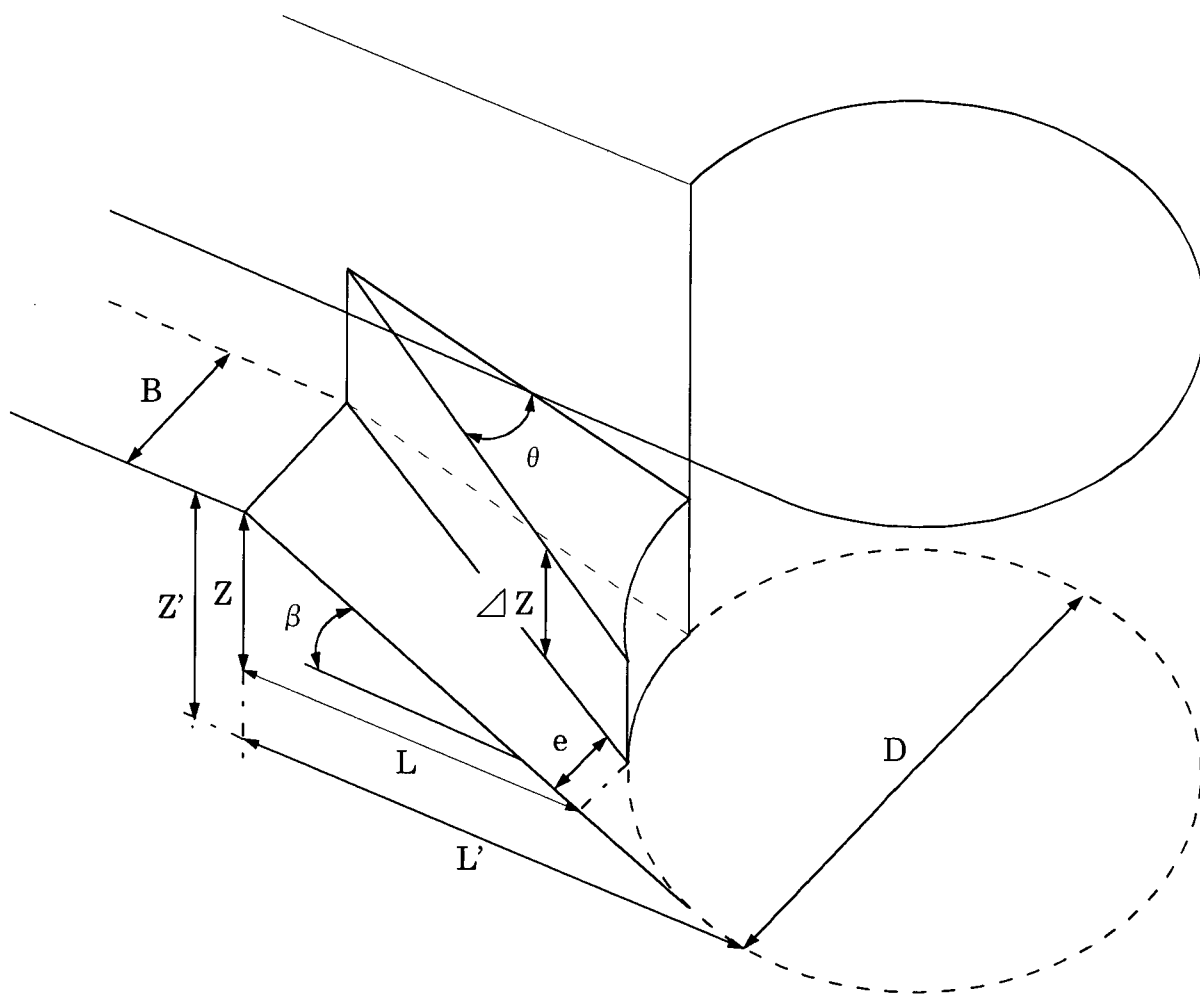


図 2-5 複断面型渦流式立坑の模式図

に示す縮尺で置き換えて実験を行った。アクリルの粗度係数は一般に 0.009～0.010 程度と言われており、現地値に換算すると約 0.015 で、コテ仕上げのコンクリート面とほぼ等しい粗度を再現することができる¹⁾。模型は流入水路部から放水路本管取付部及び本管の一部までを再現して実験を行った。実験施設の全体図を図 2-6 および写真-1 に示す。

表 2-2 流入立坑の形状(数値は模型値)

立坑径(cm)	87.5
ドロップシャフト径 D (cm)	87.5
落水高さ H (cm) *	74.2
導水路幅 B (cm)	42.5
漸縮水路下流端開口幅 e (cm)	12.0
漸縮水路長さ L' (cm)	83.0
漸縮水路鉛直角 β (°)	30
落差高 Z' (cm)	48.0
段差 ΔZ (cm)	18.5
設計流量 Q (ℓ/s)	47.5

*漸縮水路上流端から立坑底面までの鉛直距離

表 2-3 各物理量の縮尺

物理量	縮尺
管径	1/20
流速	1/4.47
流量	1/1,789
粗度係数	1/1.65

2.3 実験条件および実験ケース

2.3.1 実験条件および実験ケース

模型形状、流量、立坑内水位を表 2-4 に示すとおりに変化させて、それぞれのケース(合計 24 ケース)に対して定常状態の実験を行った。模型形状は、漸縮水路の鉛直角度 β を 3 角度(40°, 30°, 20°)、漸縮水路下流端開口幅 e を 2 形状(2.4m, 1.2m)、連絡管路流入部形状を 2 形状(円形ベルマウス, 円柱形)とそれぞれ変化した。

段差 ΔZ (複断面高さ)は、木内ら²⁾が求めた下記に示す回帰式を用いて算定した。実験に用いた各形状の複断面部模型の寸法を表 2-5 に示す。

$$\begin{aligned} \frac{h}{D} &= \frac{5S}{3} - 0.93 \quad (0.93 \leq S \leq 3.2) \\ \frac{h}{D} &= \frac{2S}{3} \quad (0 \leq S \leq 0.93) \end{aligned} \quad (2-1)$$

$$S = \frac{1}{D} \left(\frac{(Q/e \cos \beta)^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

ここで、h:漸縮水路下流端水深、D:立坑径、Q:流量、e:開口幅、 β :漸縮水路鉛直角

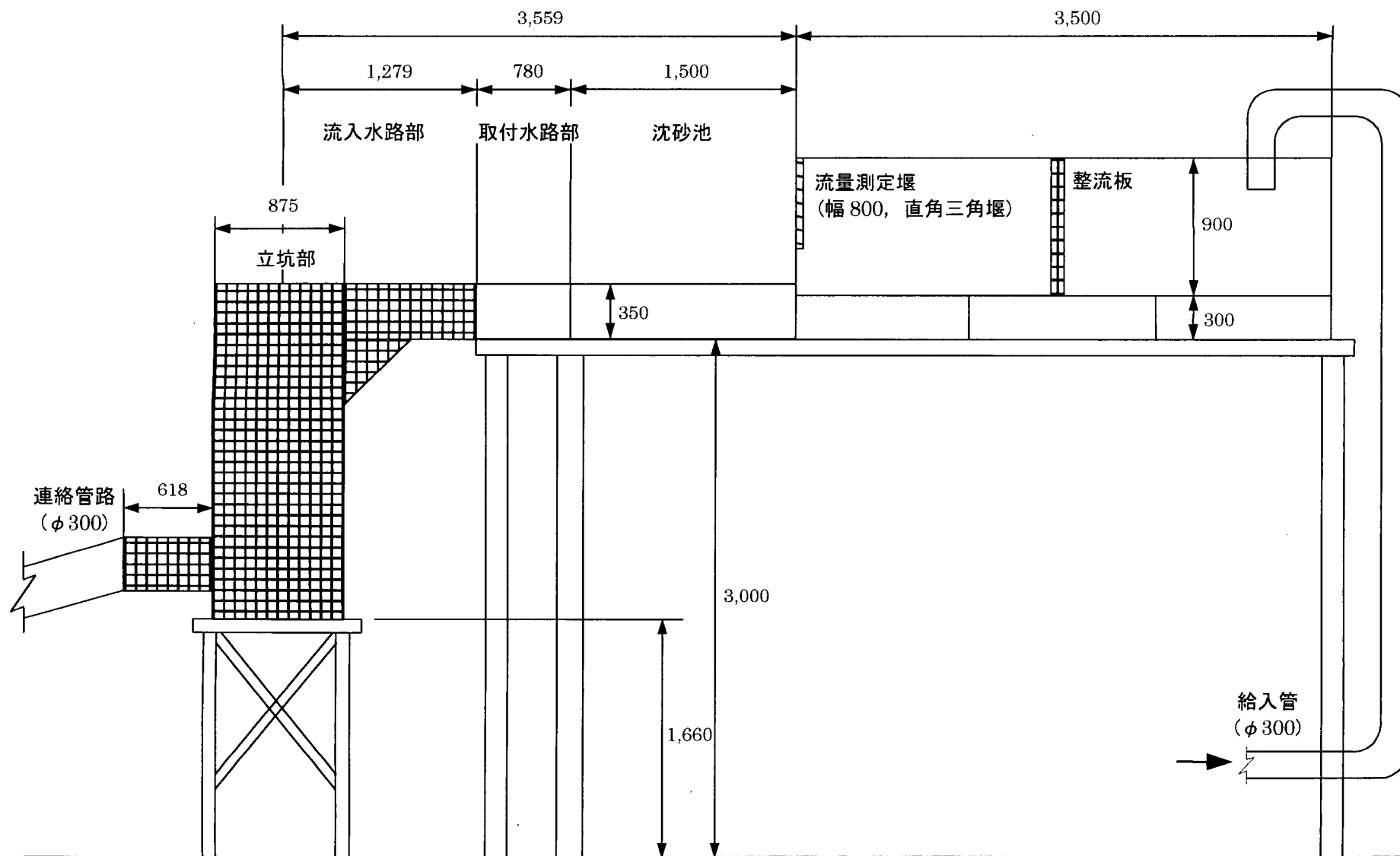


図 2-6 実験施設の全体図

単位 (mm)

表 2-4 実験ケース

ケース No	模型形状	実験条件						計測項目				
		漸縮水路形状			連絡管路 流入部	流 量 (m³/s)	立坑内水位	流況 観察	フラッシュ 効果	衝撃圧測定	騒音 計測	
		鉛直角 (°)	開口幅 e (m)	複断面角度 (°)								
1	β 40 e 2.4	40	2.4	30	ヘルマウス	85	A.P.+4.081m	-	-	-	-	
2						85	下流端開放	○		○	○	
3						6	下流端開放	-	○	-	-	
4						40	下流端開放	-	-	○	-	
5	β 40 e 1.2		1.2	31		85	A.P.+4.081m	-	-	-	-	
6						85	下流端開放	○	-	○	○	
7						6	下流端開放	-	○	-	-	
8						40	下流端開放	-	-	○	-	
9	β 30 e 2.4	30	2.4	30		85	A.P.+4.081m	○	○	-	○	
10						85	下流端開放	○	○	○	○	○
11						40	下流端開放	○	○	○	○	○
12						6	下流端開放	○	○	○	○	○
13	β 30 e 2.4		30	円柱	85	A.P.+4.081m	○	○	-	-		
14					85	下流端開放	○	○	○	○	○	
15					40	下流端開放	○	○	○	○	○	
16					6	下流端開放	○	○	○	○	○	
17	β 30 e 1.2	30	1.2	31	85	A.P.+4.081m	-	-	-	-		
18					85	下流端開放	○	-	○	○		
19					40	下流端開放	-	-	○	-		
20					6	下流端開放	-	○	○	-		
21	β 20 e 2.4	20	2.4	30	85	A.P.+4.081m	-	-	-	-		
22					85	下流端開放	○	-	○	○		
23					6	下流端開放	-	○	-	-		
24					40	下流端開放	-	-	○	○		
25	β 20 e 1.2		20	1.2	31	85	A.P.+4.081m	-	-	-	-	
26						85	下流端開放	○	-	○	○	
27						6	下流端開放	-	○	-	-	
28						40	下流端開放	-	-	○	○	

表 2-5 複断面部模型の寸法

	$\beta 40^\circ$ e 2.4m	$\beta 40^\circ$ e 1.2m	$\beta 30^\circ$ e 2.4m	$\beta 30^\circ$ e 1.2m	$\beta 20^\circ$ e 2.4m	$\beta 20^\circ$ e 1.2m
漸縮水路下流端 開口幅 e (cm)	12	6	12	6	12	6
漸縮水路長さ L (cm)	52.8	60.8	52.8	60.8	52.8	60.8
漸縮水路鉛直角 $\beta (^\circ)$	40	40	30	30	20	20
落差高 Z (cm)	44.3	44.3	30.5	30.5	19.2	19.2
段差 ΔZ (cm)	20.1	31.9	18.5	29.4	17.5	27.8

流量は、計画流量である $85\text{m}^3/\text{s}$ とその約半分の $40\text{m}^3/\text{s}$ 、さらに小流量時のらせん流の形成状況を見るために、実験上で再現可能である最小流量の $6\text{m}^3/\text{s}$ の 3 流量で実施した。流量の制御は、給水管上流側に設置してあるバルブを調節することにより行い、流量測定は量水槽下流端に設置してある直角三角堰により行った。

立坑内水位は、放水路本管が定常運転水位となる時の連絡管路上流端計画動水位を A.P.+4.081m に設定した立坑内水位が高い状態(以降、圧力状態という)と、放水路本管下流端バルブを開放状態にして立坑内水位が低い状態(以降、開水路状態という)の 2 水位を設定した。なお、連絡管路上流端の計画動水位 A.P.+4.081m は、放水路下流に設置される調圧水槽の出口水位を A.P.+0.173m とした場合の動水位である。立坑内水位の制御は、放水路本管下流側に設置してあるバルブの開度を調節することにより行った。ここで、A.P.とは荒川本川河口の潮位を意味する。

実際の放水路運用時には立坑内水位が低い状態(開水路状態)で計画流量の $85\text{m}^3/\text{s}$ が流入する確率は低いと考えられるが、ここでは安全側を見込んで実験を行った。

また、立坑と放水路本管を接続する連絡管路の形状、勾配は計画案と同様に設定した。

2.3.2 連絡管路流入部形状の設定^{3)~5)}

立坑と連絡管路の接合部には連絡管路掘進のためのコンクリート壁が設置されるため、その壁を利用してベルマウスを設置することが可能となる。

連絡管路の入口は、管路断面に立坑からの流れを滑らかに導き、キャビテーションによる圧力低下を防ぐような形状とする必要があるため、矩形または円形の開口部からの自由流水脈の形状に一致させることを基本に一般的には設計が行われる。この自由流水脈の形状を簡単な曲線で近似させたものがベルマウス曲線と呼ばれるものであり、一般には次の楕円曲線で表される。

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1 \quad (2-2)$$

ここで、X,Y はベルマウス型終端断面の長円中心を原点とし、それぞれ連絡管路軸と平行および垂直にとられた座標であり、a および b は円形ベルマウスでは連絡管路の直径 D、矩形ベルマウスでは連絡管路の高さあるいは幅 D を用いて、 $a=\alpha D$ 、 $b=\beta D$ として標準化される。この α および β に関しては種々検討されているが、 $\alpha=0.5\sim 1.0$ 、 $\alpha/\beta=3\sim 4$ のものが大部分を占めている。

流入による損失水頭 h_e は、流入損失係数 k_e 、ベルマウス終端断面での平均流速 U に対して次式で計算される。

$$h_e = k_e \frac{U^2}{2g} \quad (2-3)$$

ただし、流入口付近の流れは局所急変流であり、エネルギー損失の定量的評価は困難であるため、実験的な取扱いが必要になる。条件を変えて行った既往の実験結果をみると、流入損失係数は明らかな傾向を持たず、不規則に変化しているが値は非常に小さい。大口径管路では、円形ベルマウスについては $k_e=0.01$ 、矩形ベルマウスについては $k_e=0.04$ 程度であり、一方、小口径管路については $k_e=0.03\sim0.10$ (円形)、 $0.05\sim0.20$ (矩形)である。

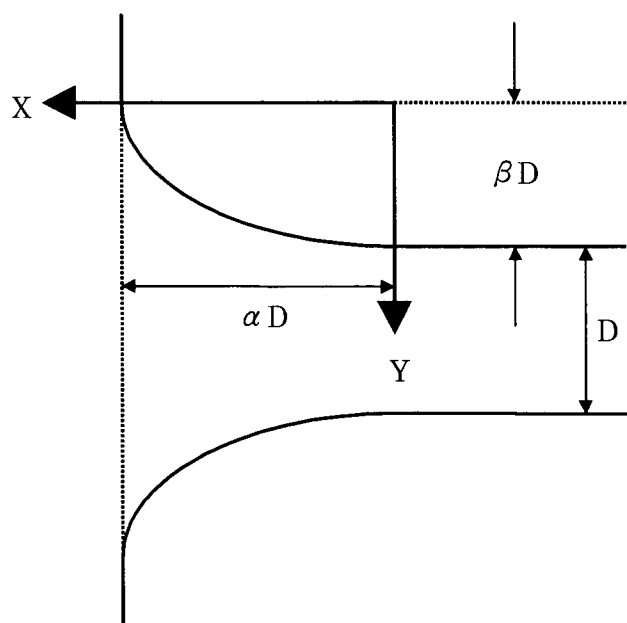


図 2-7 ベルマウスの模式図

一方、ベルマウス内の圧力分布は、次式の圧力降下係数 C_d を用いて表される

$$C_d = \frac{(H-P)}{\left(\frac{U^2}{2g}\right)} \quad (2-4)$$

ここで、
 H : 連絡管路入口上流の全水頭
 P : 壁面に作用しているピエゾ水頭
 $U^2/2g$: ベルマウス終端断面の速度水頭

この圧力降下係数は、ベルマウス内の流れが急変流であるために、損失係数同様に実験によらなければ求めることはできない。

代表的なベルマウス形状とその圧力降下係数の既往実験結果を表 2-6 に示す。このうち円形については No.1 が、矩形については No.8 の形状がもっとも多く使われているが、最近では複合楕円形状も用いられるようになってきている。

表 2-6 ベルマウス形状と圧力降下係数の最大値

断面形状	No.	ベルマウス形状		圧力降下係数	隅取面積 (%)		型式
		α	β	C_{dmax}	入口	出口	
円形	1	1.00	1/3	1.08			
	2	0.75	0.25	1.09			
	3	0.60	0.20	1.08			
	4	0.50	0.15	1.19			
	5	0.80	0.15	1.16			
矩形	6	1.00	1/3	1.19	0.5	5.0	4 面
	7	0.60	0.20	1.28	0.5	5.0	4 面
	8	1.00	0.25	1.16	0.5	4.0	4 面
	9	1.00	0.25	1.16	4.0	4.0	4 面
	10	1.00	0.25	1.16	8.0	4.0	4 面
	11	1/3	1/3	1.14	0.0	0.0	3 面
	12	2/3	2/3	1.20	0.0	0.0	1 面

圧力降下係数 C_d を表す式を書き直すと以下のようになる。

$$\begin{aligned}
 H &= P + C_d \frac{U^2}{2g} \\
 &= P + \frac{U^2}{2g} + (C_d - 1) \frac{U^2}{2g} \quad (2-5)
 \end{aligned}$$

この式はエネルギー保存式に近い形をしており、実際、右辺の P がベルマウス終端断面に作用しているピエゾ水頭ならば、 $P + U^2/2g$ はベルマウス終端位置での全水頭を表し、 $(C_d - 1)U^2/2g$ が損失水頭になる。つまり、 $(C_d - 1)$ はベルマウス部分の損失係数に相当する。

そこで、ベルマウス内の圧力分布について考えると、圧力は場所によって大きく変化し、ベルマウス終端部よりも手前で最も低下することが実験により確かめられている。つまり、表 2-6 に示された圧力降下係数 C_{dmax} は最も圧力が低下した場所での係数であるため、終端部における係数は若干小さくなるものと思われる。

今回の実験では、ベルマウスの形状として一般的によく用いられている $\alpha : \beta = 1 : 1/3$ の円形ベルマウスを採用した。実験に用いた連絡管路流入部の形状を図 2-8 に示す。

2.4 測定項目

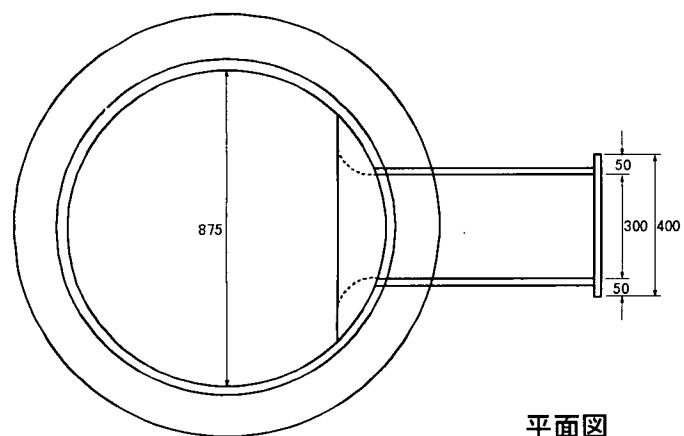
実験においては、以下に示す項目に関して観測および計測を行った。

- 1) 流況観測
- 2) 損失水頭の計測
- 3) 立坑底面に作用する衝撃圧の計測
- 4) 立坑上部での騒音計測

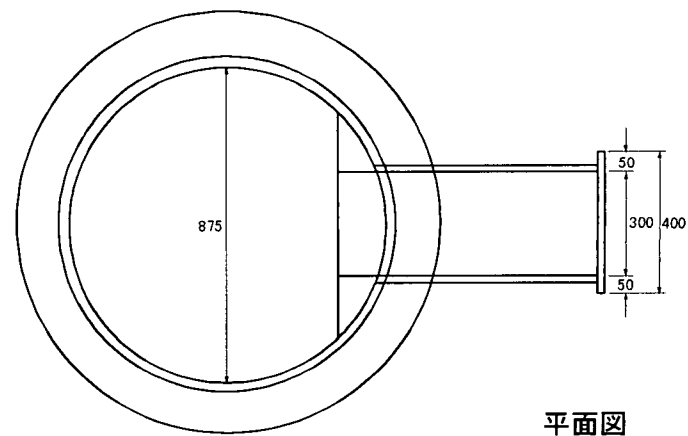
測定項目の内容および測定方法を以下に示す。

1) 流況観測

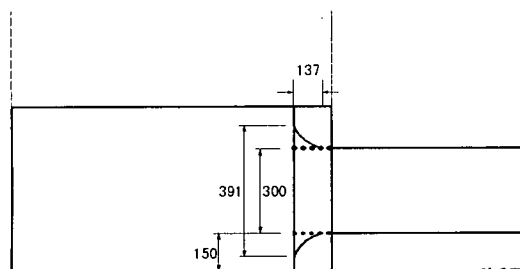
取付水路、ゲート部、漸縮水路、立坑底面付近、立坑、連絡管路における流況観測を写真・ビデオ撮影により行った。観測にはトレーサー(スラッジライト)を用いて、観測結果はスケッチに整理した。



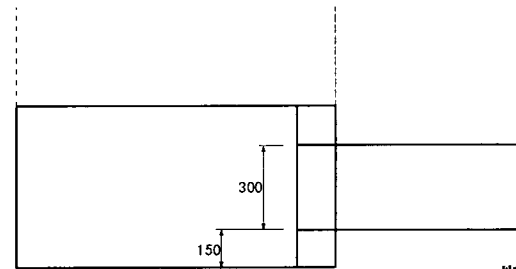
平面図



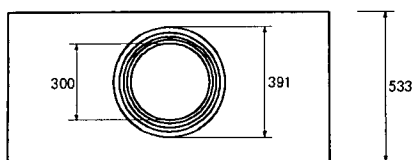
平面図



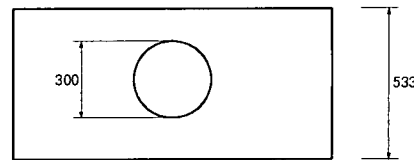
断面図



断面図



正面図



正面図

ベルマウス設置

ベルマウス無

単位：mm

図 2-8 連絡管路流入部の形状

洪水による立坑底面の沈殿物質のフラッシュ効果を見るために、地下河川に流入する土砂を想定して、スラッジライト(現地換算粒径 18 mm、比重 1.8)を用いた。それを立坑底面に一様に 3.5 cm 程度(現地換算で約 0.7m)の厚さで敷き詰め、通水後の堆積位置や連絡管路への流下状況を観測した。

また、漸縮水路形状の違いがらせん流に及ぼす影響を見るために、ゲート部、漸縮水路部において電磁流速計を用いて流速および流向測定を行った。

2) 損失水頭の計測

流入施設各部の損失を計測するために、取付水路、漸縮水路、立坑底面、立坑、連絡管路の各部に設置したマノメータにより水圧を計測した。マノメータとしては内径 3~5 mm 程度のビニールパイプを用いた。マノメータの計測精度は模型上で 0.5 mm(現地換算で 10 mm)程度である。また、取付水路、漸縮水路ではポイントゲージによる水位観測および電磁流速計による流速測定を補足的に行った。

3) 立坑底面に作用する衝撃圧の計測

流況をみながら、立坑底面の落水箇所に圧力センサーを 4 個設置して、作用する圧力を計測した。データはパソコンにより A/D 変換し、記録した。使用したセンサーの計測範囲は 0~1.0 kg/cm で、サンプリングレートは 20Hz である。

4) 立坑上部での騒音計測

立坑上部 5.0 cm(現地換算 1.0m)の位置に普通騒音計(1/3 オクターブバンドフィルタ付)を設置して、ALL-PASS 値の計測および周波数分析を行った。

第3章 流況の観測結果

3.1 実験目的

流入水路部における流れの状況や立坑内におけるらせん流の形成状況・落水位置、流水に伴う連行空気の挙動、立坑底面に堆積することが予想される土砂の洪水によるフラッシュ状況を把握するために流況観察を行った。

3.2 実験概要

流況の観察は、取付水路、ゲート部、漸縮水路、立坑内、立坑底面、連絡管路上流部における流況を写真・ビデオ撮影することにより行った。流線の追跡にはトレーサー(スラッジライト)を用いた。

漸縮水路形状の違いがらせん流に及ぼす影響をみるために、ゲート部、漸縮水路部において電磁流速計を用いて流速および流向測定を行った。計測箇所は、いずれも水路中央において、水深方向に3ポイント(水面、平均水深、河床)で計測したが、漸縮水路下流端においては水深方向に10 cmピッチで計測した。流速・流向の計測位置を図3-1に示す。しかし、開水路状態時には流況の乱れが大きく、鉛直方向流速成分の計測が困難なケースがあり、それらについては水平方向のみの計測を行い、流速ベクトルに整理するときは、流向が水路床と平行であると仮定して、流下方向の合成流速値に変換した。

また、洪水による立坑底面の沈澱物質のフラッシュ効果をみるために、立坑底面に堆積する土砂を想定して、スラッジライト(現地換算粒径18 mm、比重1.8)を用いて実験を行った。スラッジライトを立坑底面に一様に3.5 cm程度(現地換算で約0.7m)の厚さで敷き詰め、通水後の堆積位置や連絡管路への流下状況を観測した。通常、立坑底面に堆積する土砂はシルト質で粒径は非常に小さいと考えられる。その粒径は約0.1~0.5 mmと非常に細かく、これに模型縮尺の1/20を掛けると、その粒径は0.005~0.025 mmとなり、このような材料を模型実験に用いることはできない。そこで、一般に河川水理模型実験で用いられているスラッジライトを土砂として与え、立坑底面の土砂の巻き上がり状況や連絡管路への流下状況について観察した。土砂の動きについて、現地と模型とで相似性の一致を図るには、立坑底面での掃流力や沈降速度を一致させる必要があるが、現地の河床材料が非常に細かいことや立坑底面付近での流況の乱れがかなり大きいため、一致させることは非常に困難である。そこで、スラッジライトの流下状況や堆積状況を各実験ケース間で相対的に比較するにとどめる。

3.3 データ整理

流況観察結果はスケッチに整理した。また、流速・流向の計測結果はベクトル図に整理した。

3.4 実験結果

3.4.1 流入水路部での流況

開水路状態において、漸縮水路下流端では流下断面が急縮することにより、左岸側(複断面

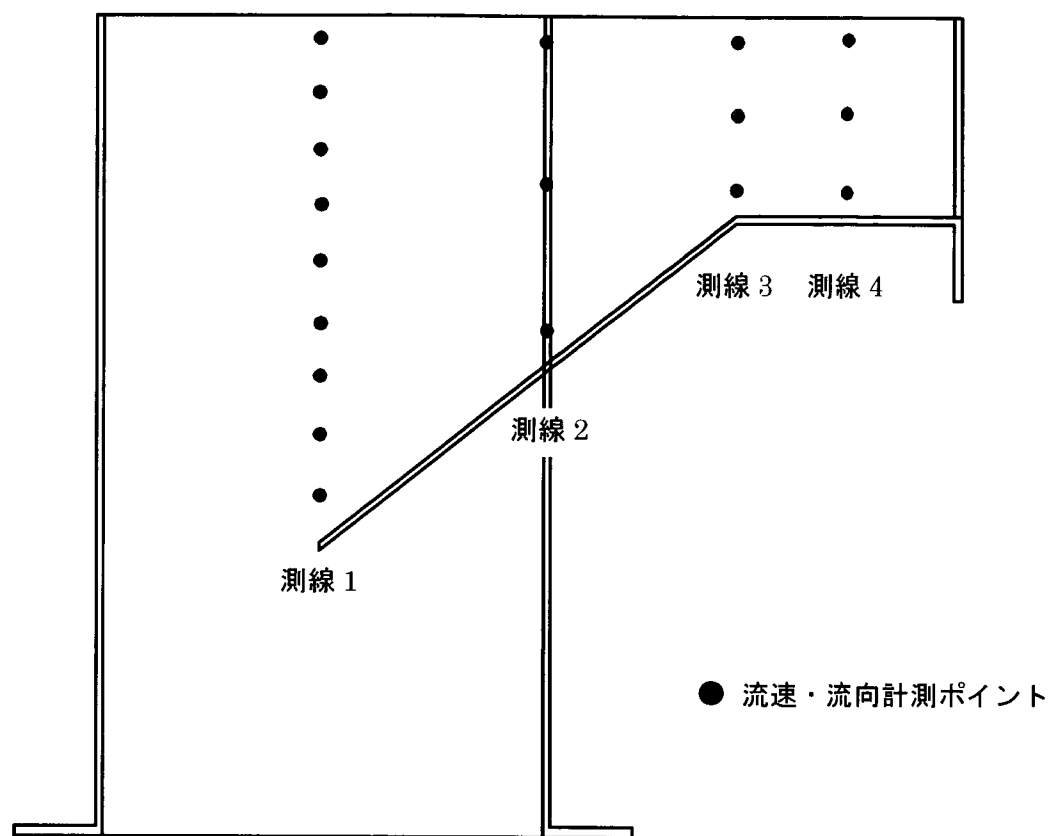


図 3-1 流速・流向計測位置図

側)壁面に衝突した流水が流向を変えて立坑内壁に向かい、立坑接線方向の流れおよび立坑内壁と衝突することにより跳水が発生した。この状況は、すべてのケースにおいてみられ、開口幅を狭めることによりこの状況はより顕著になる(写真-11)。

また、開水路状態、圧力状態ともに $\beta 20^\circ$ e 1.2m の形状では漸縮水路下流端での流下能力不足のため、堰上げが生じ、流入水路部において A.P.+4.081m を越える水位が生じており、この形状は不適である。

3.4.2 らせん流の形成状況

洪水初期の立坑内水位が低い状態においては、流入に伴う騒音や立坑底面に作用する衝撃圧を抑制することが求められる。

今回の実験においては、ドロップシャフト径が小さい場合と異なり、落下水が束状ではなく、落下方向に向かって扇状に拡がって流下する現象がみられた。この扇状落下は流況だけでなく、立坑底面の衝撃圧や騒音にも影響を及ぼしている。良好ならせん流を形成させることは、立坑内壁との摩擦損失が増加するという点で有効な減勢手段である。そこで、らせん流の形成状況の指標として、図 3-2 に示すように立坑中心と開口幅 2.4m の時の漸縮水路下流端の中央を結ぶ線を基準としてらせん流の落下位置の最大角度 $\phi_{\max}$ 、最小角度 $\phi_{\min}$ 、および、らせん流の落水幅を立坑円周方向の距離として求めたものを表 3-1 に示す。

流量 $6\text{m}^3/\text{s}$ の場合、鉛直角を 40° から 30° と緩やかにすることで最大角度 $\phi_{\max}$ は約 10° 大きくなるが、さらに 20° と緩やかにしても増加が 2° 程度であり、あまり差はみられない。また、開口幅を半分にすることで各ケースとも回転角度は若干大きくなる傾向がみられるが、大きな差異はみられなかった。

計画流量 $85\text{m}^3/\text{s}$ の場合も各ケース間で $6\text{m}^3/\text{s}$ の場合と同様の傾向を示し、鉛直角を 40° から 30° と緩やかにすることで最大角度 $\phi_{\max}$ は約 20° 大きくなる。

3.4.3 連絡管路流入部での流況

圧力状態におけるベルマウス無のケースでは、立坑内の気泡が連絡管路下流へと流下せず、連絡管路上流端上部に留まってしまうが、ベルマウス設置のケースでは気泡のほとんどが下流側に流下した(写真-8, 写真-9)。気泡は、開水路状態から圧力状態に移る過程において連行されたものが封入されたもので、定常状態の圧力流れにおいては空気の連行はほとんど見られなかった。

今回の流入施設形状は従来のドロップシャフトに連絡管路が直接接続した形状をしており、立坑底面においては、いずれの形状においても立坑円周方向反時計回りの卓越した流れが存在する。また、立坑に沿って落下した水が立坑底面に達した後上方に向かう流れとなり、円周方向の流れと複合して連絡管路に流入するので、連絡管路流入部においては空気の連行も伴い乱れた流況となっている(写真-5)。

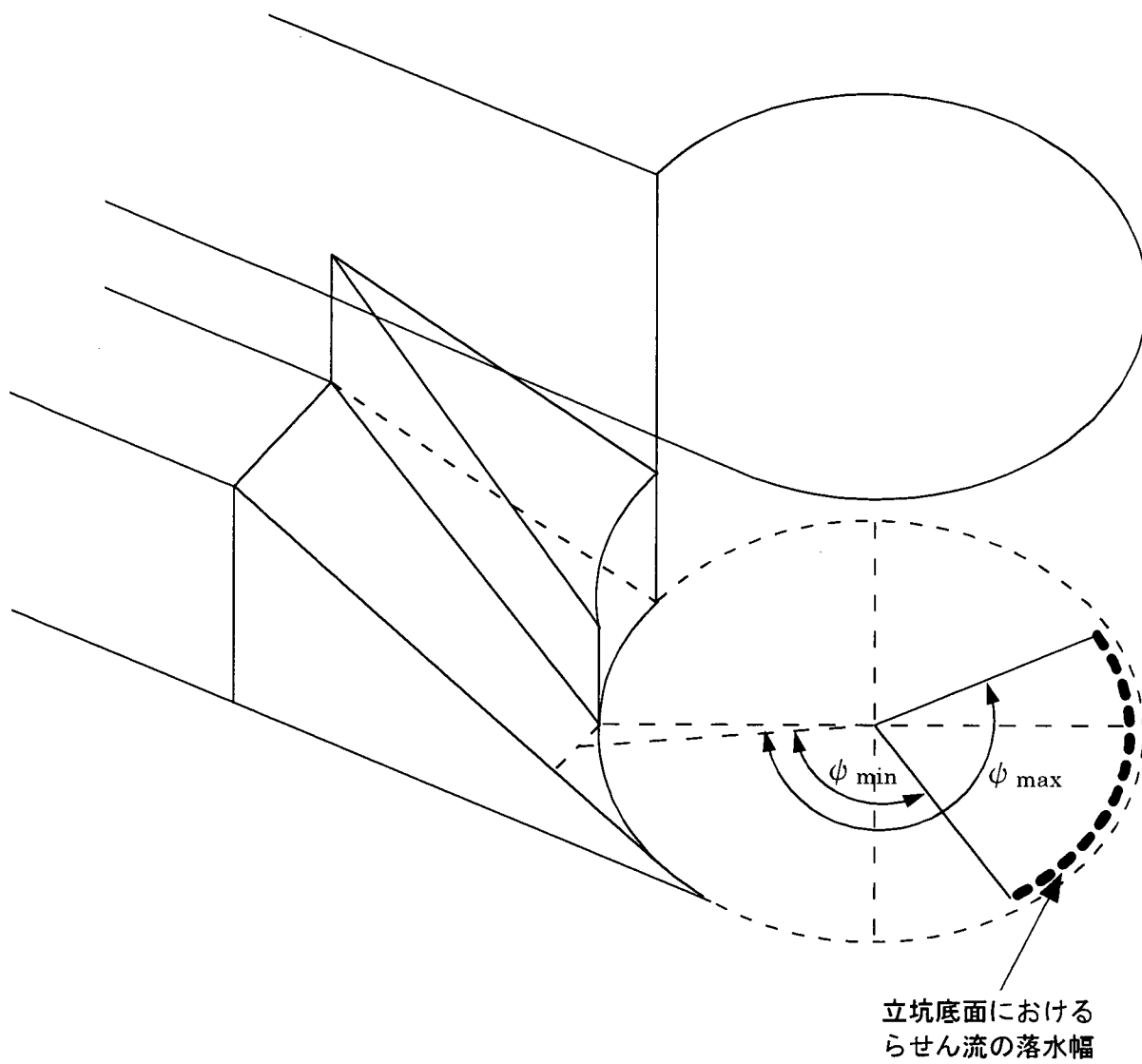


図 3-2 らせん流の回転角度の定義

3.4.4 フラッシュ効果

開水路状態

開水路状態の場合、流量が $6 \text{ m}^3/\text{s}$ のケースでは、らせん流の落下位置では流況が大きく乱れてスラッジライトは流下してしまうが、落下位置以外では残留していた。流量を徐々に増加させ、 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上になると敷き詰めたスラッジライトは大きく巻き上がり、そのほとんどは連絡管路へと流下していった(写真-12)。ケース間での比較では、らせん流の落下位置の違いによりスラッジライトの残留位置が若干異なる他、大きな差異はみられなかった。

圧力状態

圧力状態のケースでは、模型上流端よりスラッジライトを給砂しながら観測を行った。ベルマウス無しのケースでは、給砂量のほとんどが立坑内に堆積するが、ベルマウス設置のケースでは、立坑の中央付近でのみ堆積がみられたが、給砂量のほとんどは連絡管路へと流下していき、ベルマウスを設置することによる土砂排出効果は大きいと言える。

3.4.5 流速および流向の計測結果

流入水路部における流速がらせん流形成に及ぼす影響をみるために、表 2-4 に示すケースにおいて、図 3-1 に示す位置にて電磁流速計を用いて流速および流向測定を行った。

開水路状態

表 3-2 に流速の測定結果を、図 3-12、図 3-13 にケース 8、ケース 16 の流速ベクトル図を示す。各ケースとも漸縮水路を流下するにしたがい流速は大きくなり、大きいものでは合成流速で 14 m/s になるケース(ケース 5、ケース 6)もみられた。らせん流の形成と関連の深い流速の水平方向成分 V_H (測線 2 での値)でみると、漸縮水路鉛直角 β が大きくなるにしたがい増加する傾向がみられるが、流量の違いによる V_H の明瞭な傾向はみられなかった。開口幅 e の違いでは、幅が広い方(2.4 m)が大きくなる傾向がみられる。なお、 $\beta 20^\circ$ $e 1.2 \text{ m}$ のケースでは、漸縮水路下流端における流下能力不足のため堰上げが生じて他の形状と比較して、流速が極端に小さくなっている。

また、水平成分の平均流速 $\overline{V_H}$ (測線 2 での値)と落水幅の関係を図 3-14 に示す。データ数は少ないが、流速が大きくなるにしたがい、落水幅も大きくなる傾向がみられる。

圧力状態

表 3-3 に流速の測定結果を、図 3-15～図 3-20 に流速ベクトル図を示す。

立坑内では開水路状態時と同様に反時計回りの流れとなっており、漸縮水路における合成流速は各ケースとも開水路状態と比較すると大分小さくなるが、それでも最大で約 $5 \sim 6 \text{ m/s}$ の流速となる。水深方向の流速分布は河床付近で小さく、水面に近くなるにしたがい大きくなる。測線 1 での V_H は開水路時と同様に鉛直勾配 β が大きくなるにしたがい増加するが、開口幅の違いが V_H に及ぼす明瞭な関係はみられなかった。

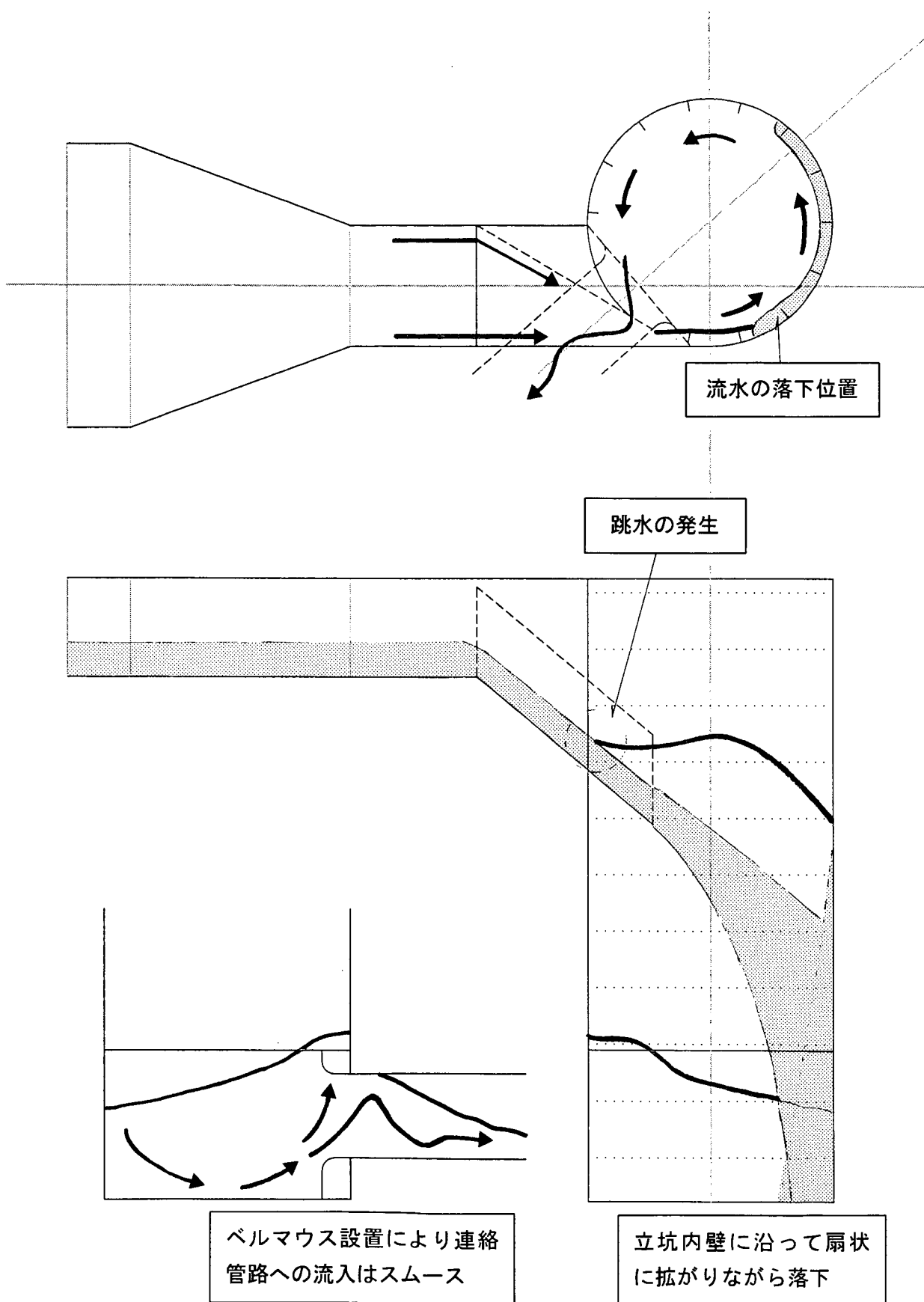


図 3-3 実験ケース 2 流況図
 ($\beta 40^\circ$ $e 2.4\text{m}$, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態)

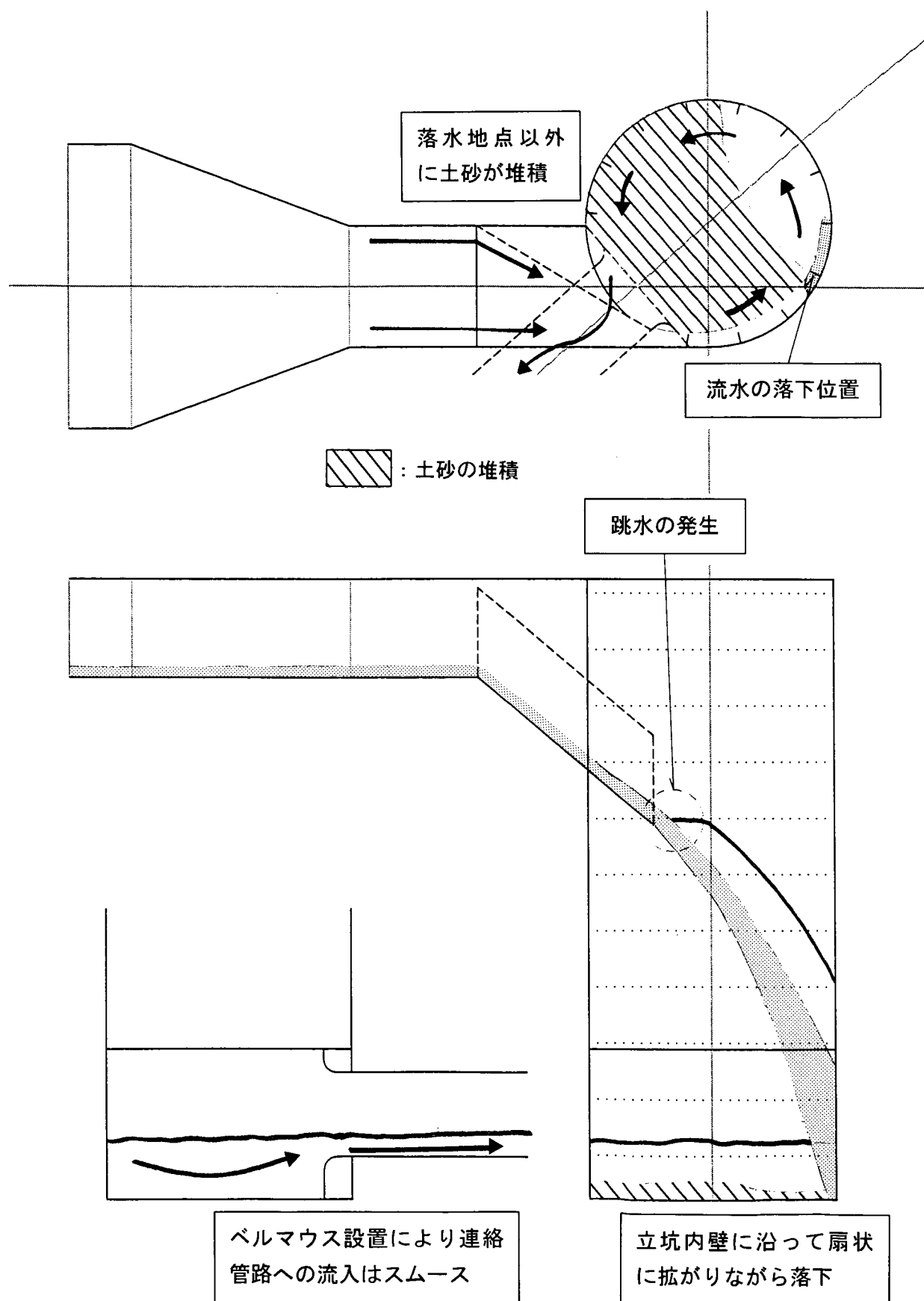


図 3-4 実験ケース 2 流況図
 ($\beta 40^\circ$ $e 2.4\text{m}$, $Q=6\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態)

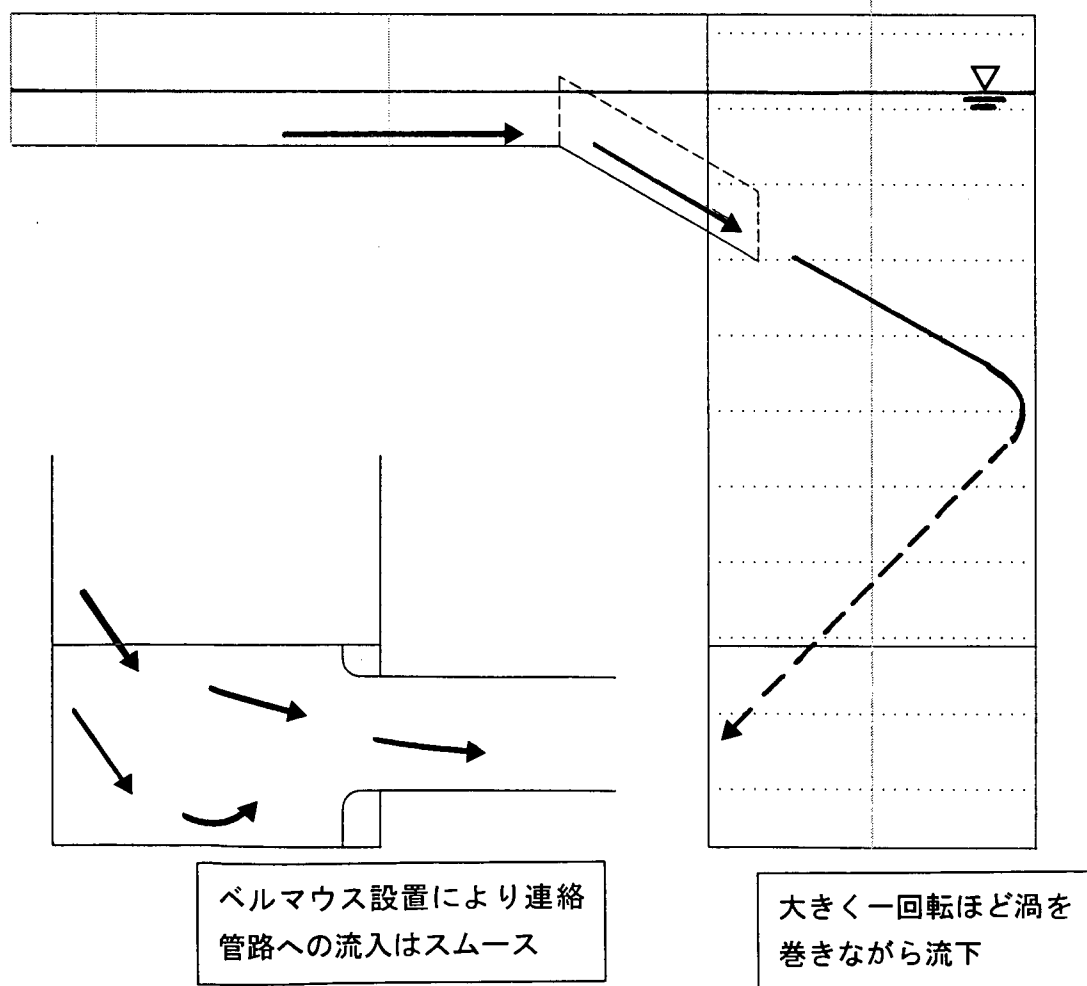
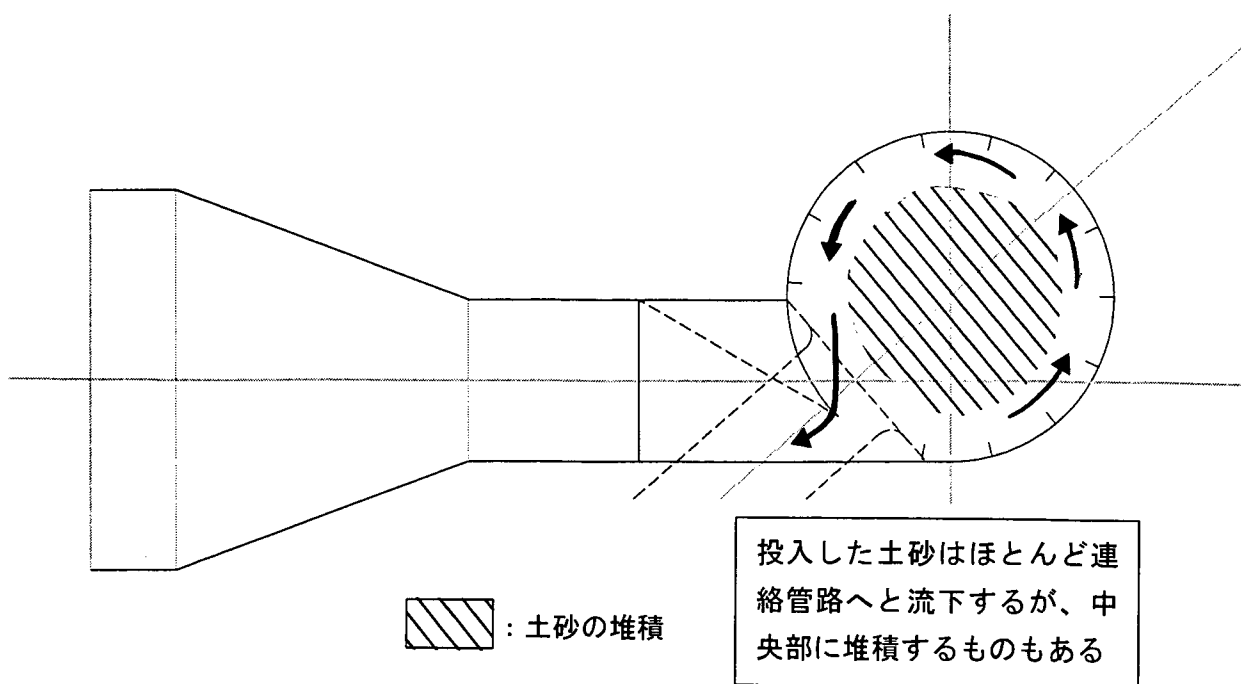


図 3-5 実験ケース 7 流況図
 ($\beta 30^\circ$ $e 2.4\text{m}$, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 圧力状態)

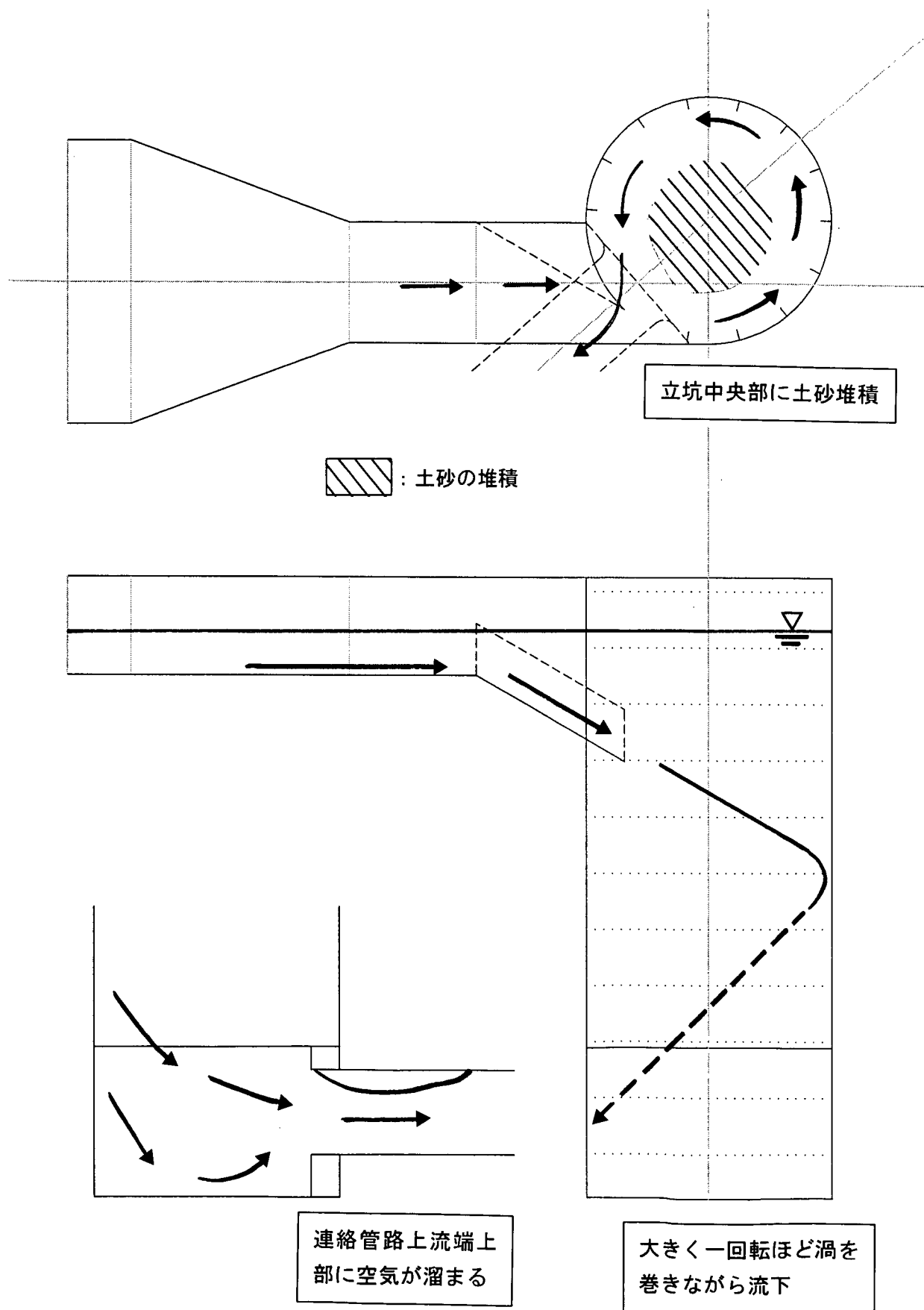


図 3-6 実験ケース 11 流況図
 ($\beta 30^\circ$ $e 2.4\text{m}$, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, ベルマウス無, 圧力状態)

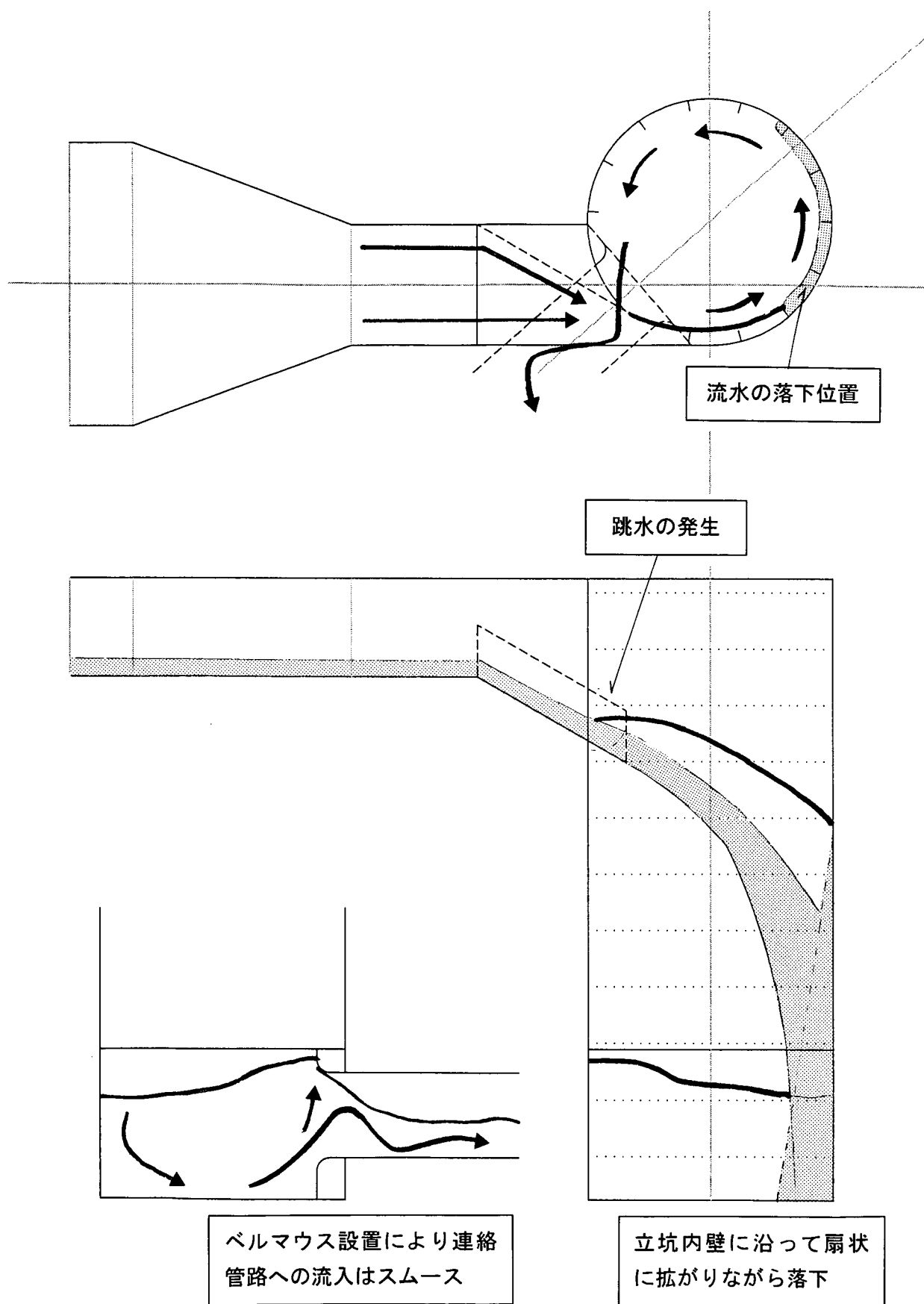


図 3-7 実験ケース 9 流況図
($\beta 30^\circ$ $e 2.4\text{m}$, $Q=40\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態)

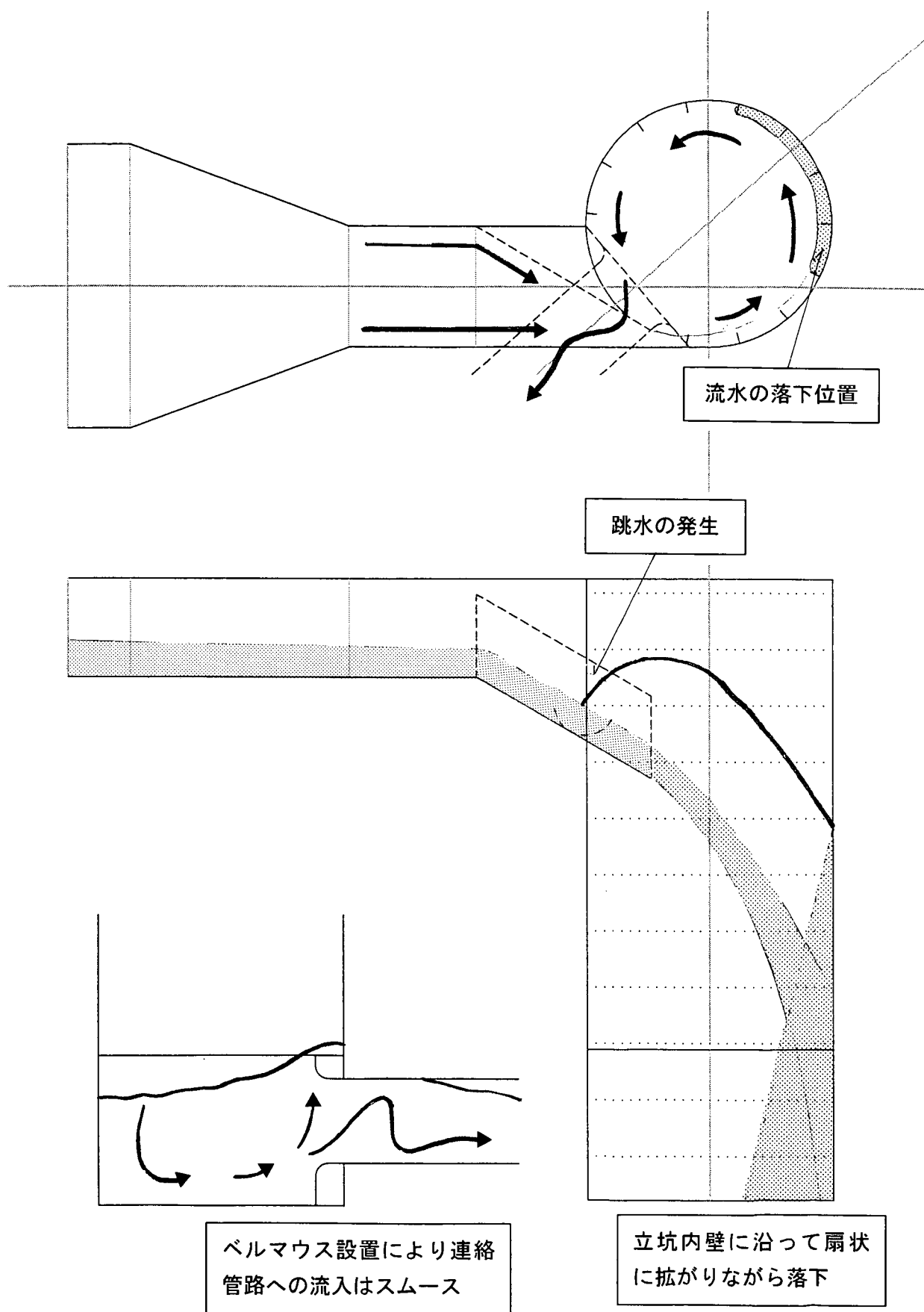


図 3-8 実験ケース 16 流況図
 ($\beta 30^\circ$ $e 1.2\text{m}$, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態)

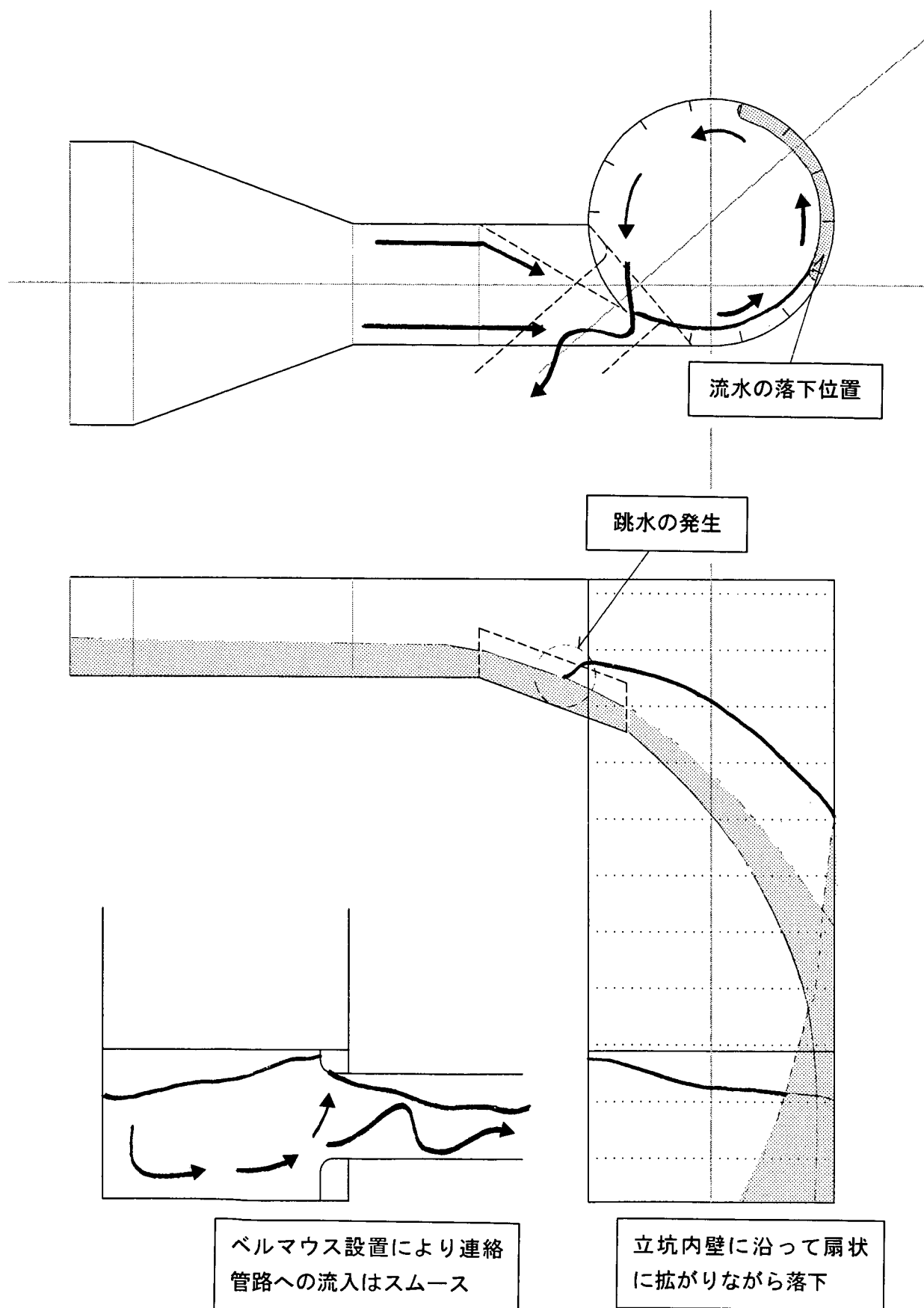


図 3-9 実験ケース 20 流況図
($\beta 20^\circ$ $e 2.4\text{m}$, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態)

表3-1 らせん流の回転角度と落水幅

形状	$6\text{m}^3/\text{s}$			$40\text{m}^3/\text{s}$			$85\text{m}^3/\text{s}$		
	最小角度 $\psi_{\min} (^{\circ})$	最大角度 $\psi_{\max} (^{\circ})$	落水幅 (m)	最小角度 $\psi_{\min} (^{\circ})$	最大角度 $\psi_{\max} (^{\circ})$	落水幅 (m)	最小角度 $\psi_{\min} (^{\circ})$	最大角度 $\psi_{\max} (^{\circ})$	落水幅 (m)
$\beta 40\text{e}2.4$	72	125	8.09	—	—	—	60	183	18.77
$\beta 40\text{e}1.2$	72	130	8.85	—	—	—	59	185	19.23
$\beta 30\text{e}2.4$	85	136	7.78	79	107	4.27	76	202	19.23
$\beta 30\text{e}2.4\text{無}$	85	136	7.78	79	107	4.27	76	202	19.23
$\beta 30\text{e}1.2$	100	138	5.80	—	—	—	102	204	15.57
$\beta 20\text{e}2.4$	92	134	6.41	—	—	—	100	203	15.72
$\beta 20\text{e}1.2$	98	144	7.02	—	—	—	116	206	13.74

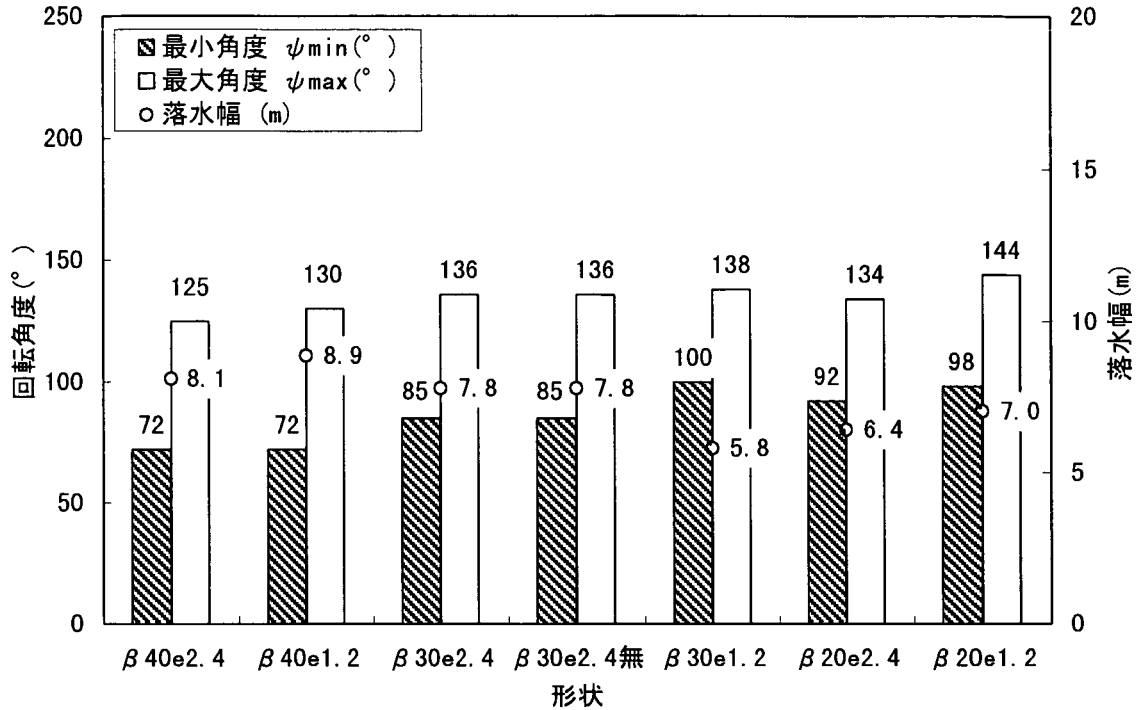


図3-10 らせん流の回転角度と落水幅 ($Q=6\text{m}^3/\text{s}$)

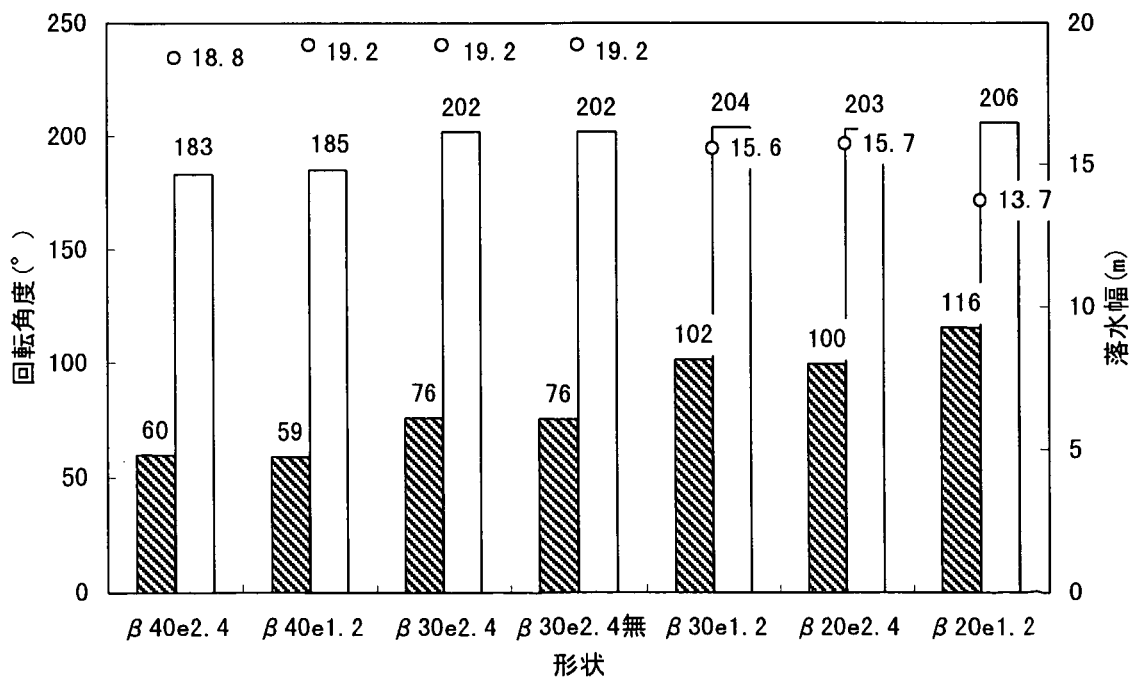


図3-11 らせん流の回転角度と落水幅 ($Q=85\text{m}^3/\text{s}$)

表3-2 流速測定結果(開水路状態)

ケースNo.	β (°)	e (m)	流量 (m ³ /s)	測線No.	流速水平成分V _H (m/s)			水平成分平均 流速V _H (m/s)
					水面	中央	河床	
2	40	2.4	85	1	8.96	8.47	7.52	8.32
				2	9.26	9.41	10.00	9.56
				3	7.12	7.38	5.54	6.68
				4	4.98	5.47	5.48	5.31
40			1	9.10	10.04	9.07	9.41	
			2	6.82	6.58	7.69	7.03	
			3	4.19	4.60	5.04	4.61	
			4	4.32	4.29	4.25	4.29	
1.2		85	1	9.81	10.80	11.42	10.68	
			2	11.56	8.91	7.89	9.45	
			3	6.08	5.45	2.61	4.71	
			4	5.34	5.50	5.45	5.43	
		40	1	9.46	10.71	12.63	10.93	
			2	9.19	9.40	9.69	9.43	
			3	4.37	5.20	5.37	4.98	
			4	4.26	4.36	3.92	4.18	
30	2.4	85	1	—	—	—	—	
			2	8.99	9.83	9.02	9.28	
			3	6.42	7.68	2.85	5.65	
			4	4.64	5.45	5.39	5.16	
		40	1	—	—	—	—	
			2	7.93	10.58	10.53	9.68	
			3	4.47	5.79	4.39	4.89	
			4	3.79	4.03	3.86	3.89	
	2.4	85	1	—	—	—	—	
			2	9.03	8.59	8.98	8.87	
			3	6.23	6.61	3.03	5.29	
			4	4.86	6.48	5.52	5.62	
		40	1	—	—	—	—	
			2	8.53	10.87	10.32	9.91	
			3	4.86	5.84	4.32	5.01	
			4	3.99	4.10	3.65	3.91	
6	1	—	—	—	—			
	2	—	—	—	—			
	3	—	—	—	—			
	4	—	2.51	—	2.51			
1.2	85	1	—	—	—	—		
		2	6.50	7.70	8.13	7.44		
		3	6.49	8.52	5.78	6.93		
		4	5.11	5.52	5.27	5.30		
40	1	—	—	—	—			
	2	9.92	10.05	9.82	9.93			
	3	6.18	6.86	5.56	6.20			
	4	4.12	4.31	3.94	4.12			
6	6	1	—	1.98	—	1.98		
		2	—	—	—	—		
		3	—	—	—	—		
		4	—	—	—	—		
20	2.4	85	1	—	—	—	—	
			2	8.29	8.30	8.18	8.26	
			3	6.64	8.11	6.59	7.11	
			4	5.92	5.61	5.17	5.57	
		40	1	—	—	—	—	
			2	8.32	8.94	8.48	8.58	
			3	5.60	6.68	7.17	6.48	
			4	4.02	4.28	4.12	4.14	
	1.2	85	1	—	—	—	—	
			2	2.67	2.77	2.66	2.70	
			3	2.78	2.95	3.05	2.92	
			4	2.67	2.77	2.66	2.70	
		40	1	—	—	—	—	
			2	2.94	3.35	3.72	3.34	
			3	4.29	4.28	2.01	3.53	
			4	3.77	3.99	3.83	3.86	

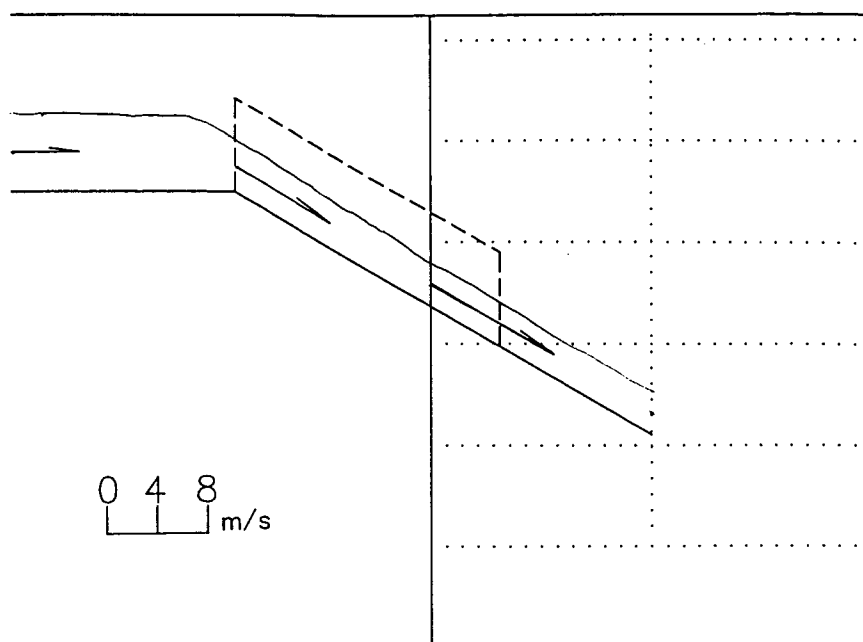


図 3-12 実験ケース 8 流速ベクトル図
($\beta 30^\circ$ $e 2.4\text{m}$, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態)

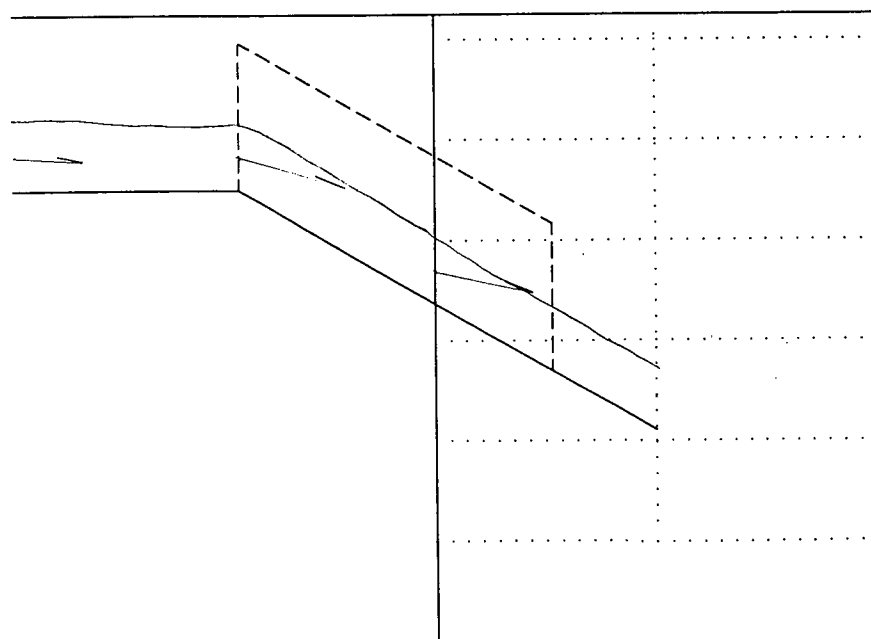


図 3-13 実験ケース 16 流速ベクトル図
($\beta 30^\circ$ $e 1.2\text{m}$, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態)

表3-3 流速測定結果(圧力状態)

ケースNo.	β (°)	e (m)	流量 (m3/s)	測線No.	流速水平成分 V_H (m/s)			水平成分平均 流速 V_H (m/s)
					水面	中央	河床	
1	40	2.4	85	1	—	—	—	3.98
				2	3.49	3.83	1.58	2.97
				3	3.60	4.09	0.41	2.70
				4	3.08	3.52	3.52	3.37
4		1.2	85	1	—	—	—	3.66
				2	4.42	3.68	2.93	3.67
				3	3.69	4.35	3.09	3.71
				4	3.28	3.65	3.87	3.60
7	30	2.4	85	1	—	—	—	3.79
				2	4.54	4.53	4.16	4.41
				3	4.62	5.02	0.31	3.32
				4	5.08	4.95	4.92	4.98
11		2.4	85	1	—	—	—	3.76
				2	3.52	3.84	2.98	3.45
				3	3.50	3.58	2.17	3.08
				4	3.19	5.38	3.85	4.14
15		1.2	85	1	—	—	—	4.33
				2	4.50	4.15	3.13	3.93
				3	2.98	3.79	1.54	2.77
				4	3.28	3.36	3.50	3.38
19	20	2.4	85	1	—	—	—	3.23
				2	4.98	4.96	4.66	4.87
				3	4.39	4.75	4.91	4.68
				4	5.28	5.31	4.87	5.15
22		1.2	85	1	—	—	—	4.47
				2	3.65	3.30	3.10	3.35
				3	2.63	2.85	2.89	2.79
				4	2.37	2.36	2.40	2.38

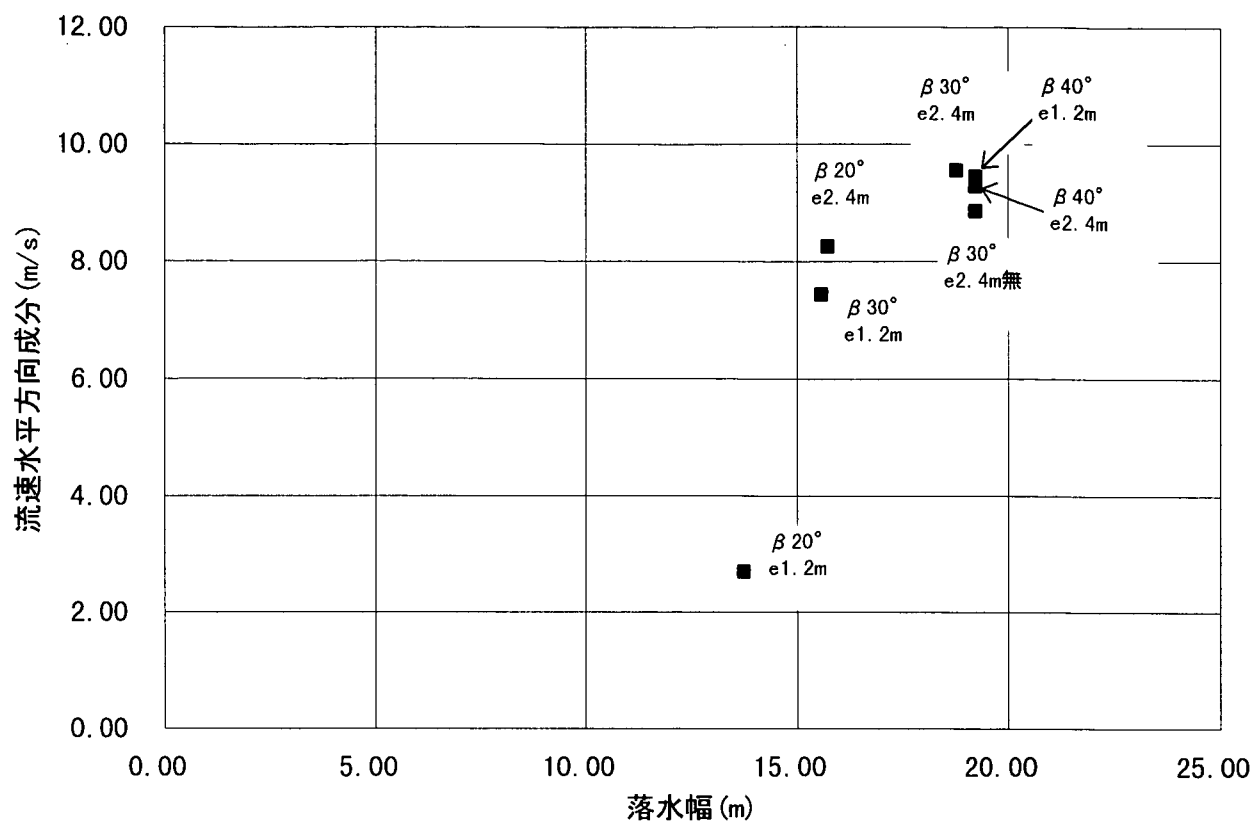


図3-14 落水幅と流速水平方向成分の関係

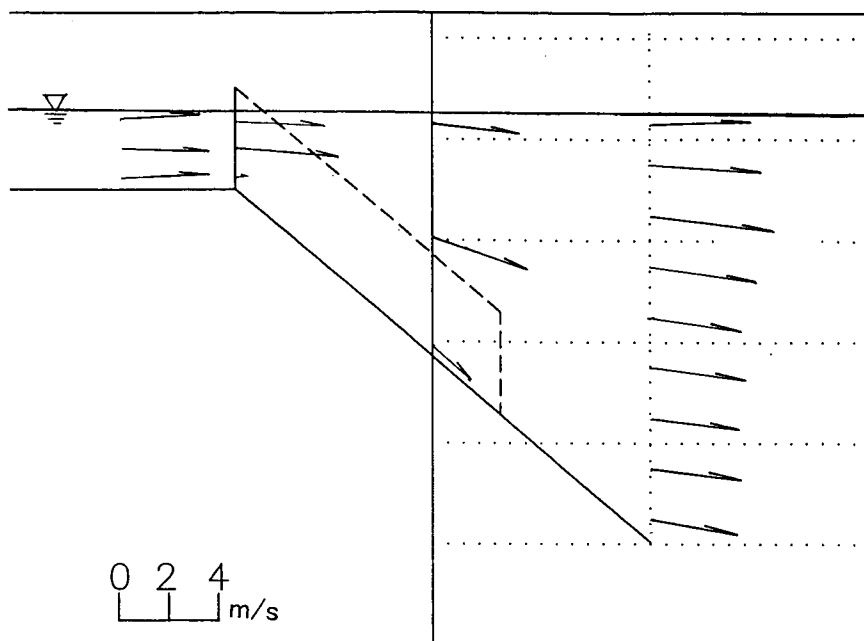


図 3-15 実験ケース 1 流速ベクトル図
($\beta 40^\circ$ $e 2.4m$, $Q=85m^3/s$, 圧力状態)

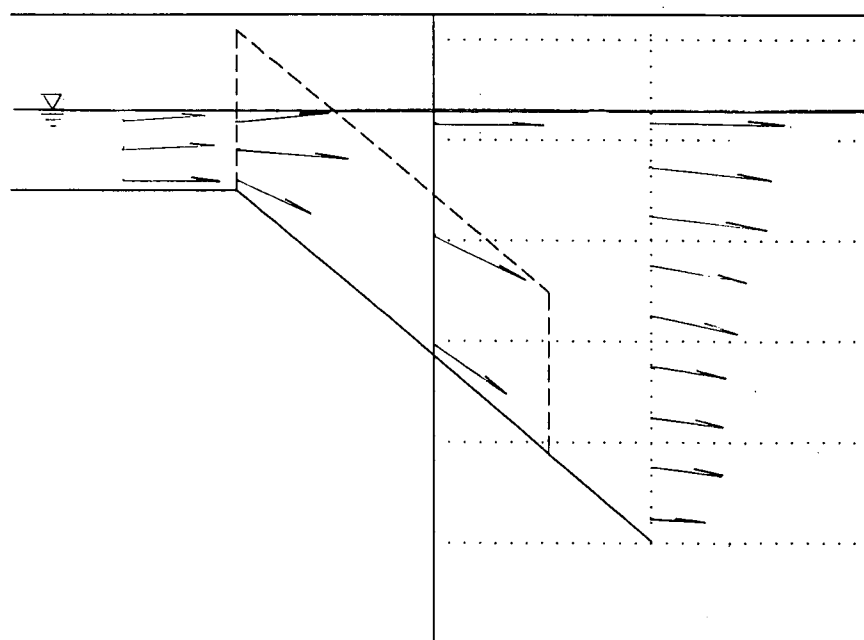


図 3-16 実験ケース 4 流速ベクトル図
($\beta 40^\circ$ $e 1.2m$, $Q=85m^3/s$, 圧力状態)

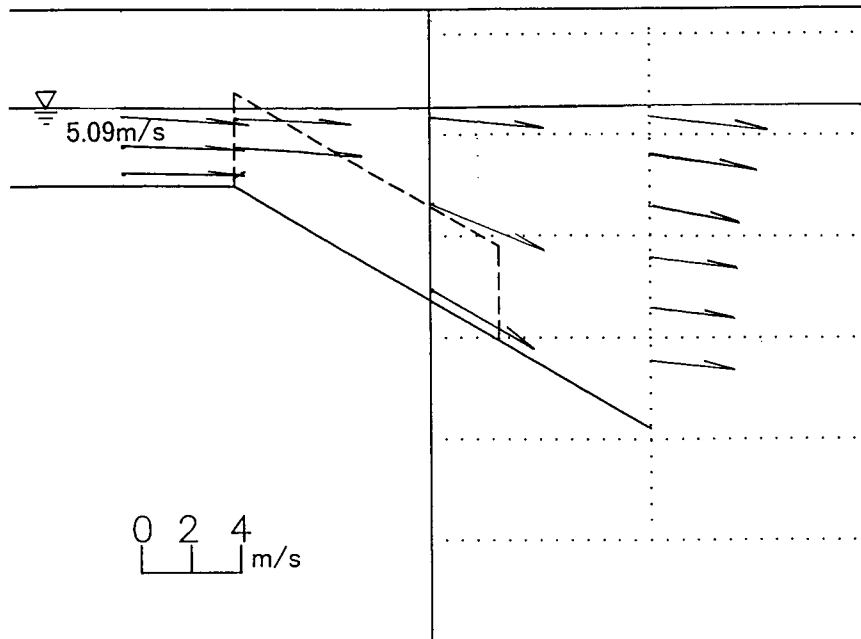


図 3-17 実験ケース 7 流速ベクトル図
($\beta 30^\circ$ $e 2.4\text{m}$, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 圧力状態)

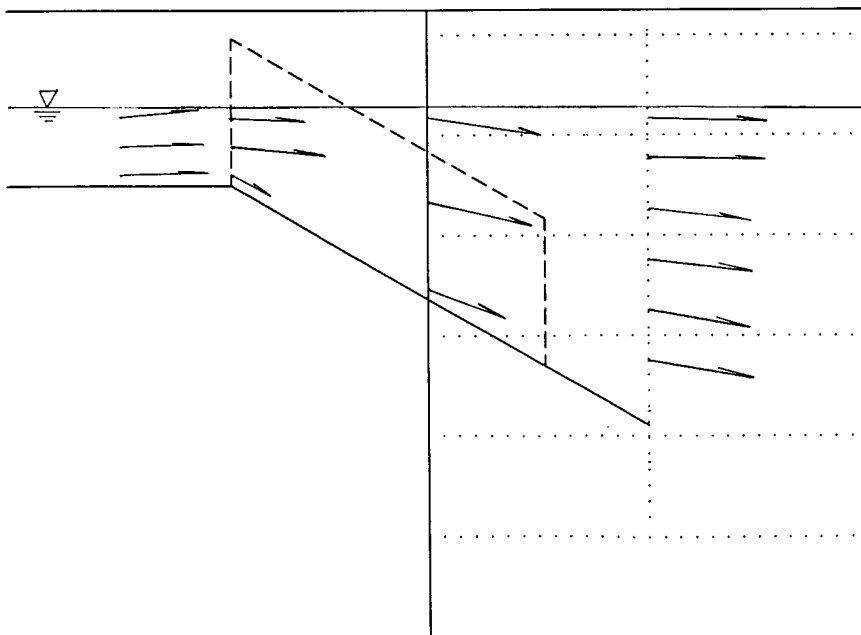


図 3-18 実験ケース 15 流速ベクトル図
($\beta 30^\circ$ $e 1.2\text{m}$, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 圧力状態)

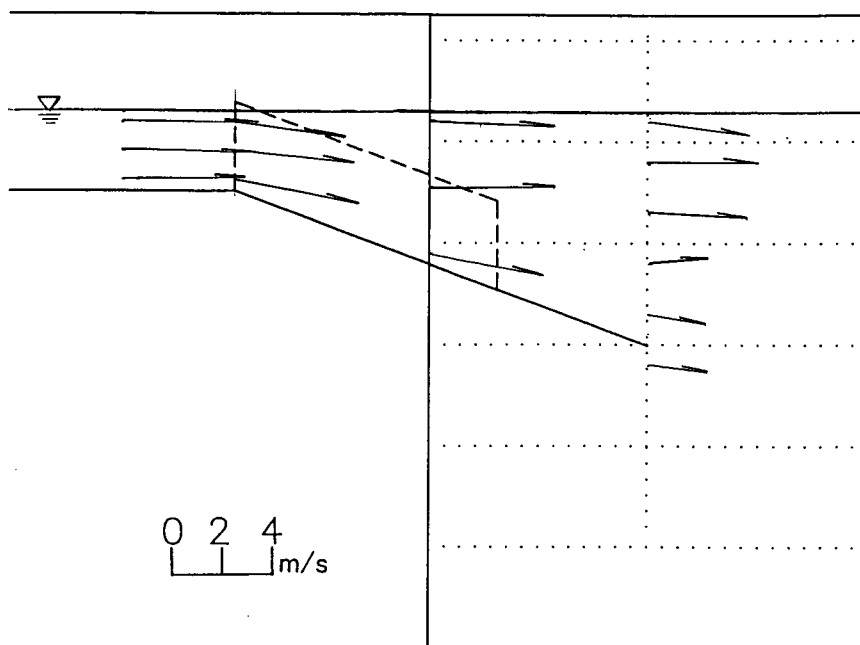


図 3-19 実験ケース 19 流速ベクトル図
 ($\beta 20^\circ$ e 2.4m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 圧力状態)

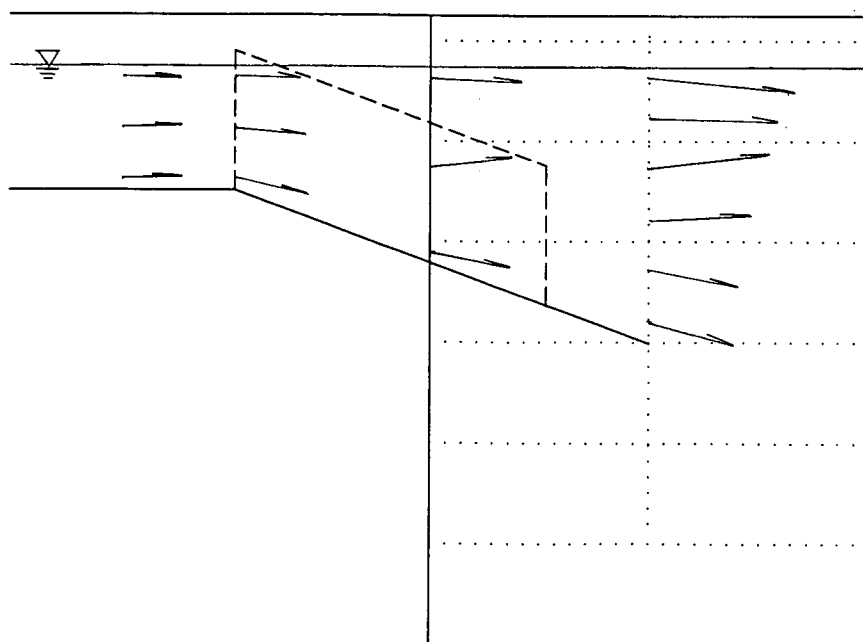


図 3-20 実験ケース 22 流速ベクトル図
 ($\beta 20^\circ$ e 1.2m, $Q=85\text{m}^3/\text{s}$, 圧力状態)

第4章 損失水頭の計測結果

4.1 実験目的

各流入施設における損失を軽減することで動水勾配を緩くし、放水路最下流端に設置される排水機場に接続する調圧水槽水位を高くすれば、排水ポンプを回すためのガスタービンエンジンで消費される燃料費を軽減させることができる。

ここでは漸縮水路鉛直角や連絡管路流入部形状の違いによる損失水頭の変化を把握することを目的とする。

4.2 実験概要

取付水路、漸縮水路、立坑、立坑底面、連絡管路の各部に設置したマノメータによりピエゾ水頭を計測した。マノメータは内径 3～5 mm 程度のビニールパイプを用いた。マノメータの計測精度は水位が安定した状態では模型上で 0.5 mm (現地換算で 10 mm) 程度であるが、圧力状態時にはマノメータの水位が 7.0 cm 程度変動していたケースがみられた。それらのケースにおいては平均的な水位になった時点で瞬時に水位読み取り板に水位を写しとり、後からその値を読み取った。また、取付水路、漸縮水路ではポイントゲージによる水位計測を補足的に行った。マノメータの設置位置および水位測定個所を図 4-1 に示す。

4.3 データ整理

各位置におけるマノメータの水位によりピエゾ水頭を求めた。各地点における全水頭 E はピエゾ水頭 H に速度水頭 $V^2/2g$ を加えて求めた。速度水頭を算定する際の流速は流量を各地点における流下面積で割ることにより求めた。

$$E_i = H_i + \frac{V_i^2}{2g} \quad (i = A, B, C) \quad (4-1)$$

また、流入施設各部における損失を求めるために、図 4-1 に示す 3 断面を設定し、その区間における損失水頭を求めた。

$$\Delta E_{CB} = E_C - E_B = K_{CB} \frac{V_C^2}{2g} \quad (4-2)$$

$$\Delta E_{BA} = E_B - E_A = K_{BA} \frac{V_A^2}{2g} \quad (4-3)$$

以上の方法によりピエゾ水頭および全水頭を求めて水位縦断図に整理した。以降の図中もしくは表中にある「無」とはベルマウスを設置しない形状をあらわす。

4.4 実験結果

4.4.1 開水路状態時の損失水頭

開水路流れで流量 $85\text{m}^3/\text{s}$ の時のピエゾ水頭縦断図を図 4-2～4 に示す。各グラフの横軸の横距とは、連絡管路の水平部分の下流端(図 2-6 の網掛け部分の左端)からの距離である。また、立坑底面のプロットデータは M6～M8 の値である。

各ケースとも立坑内の乱れの影響が連絡管路にまでおよび、連絡管路内流下方向のピエゾ水頭の変動が大きい。ケース 12 およびケース 16 においてピエゾ水頭が管路底面よりも低く出ているのは、管路内の流れが上向きとなり、その影響を受けたことにより圧力が低下したものである。

開水路流れ時のゲート部での全水頭(C 断面)と連絡管路の全水頭(A 断面)との差を図 4-5 に示す。ケース 2 における損失が他のケースと比べて極端に小さくなっているが、これは立坑に沿った流れが立坑底部においてあまり減勢されずに勢いを持ったまま連絡管路に流入することによるものと思われる。

よって、損失水頭を指標とした開水路流れにおける減勢効果という点では、ケース 2 の形状は他の形状と比較して劣ると言える。

4.4.2 圧力状態時の損失水頭

ゲート部水位を A.P.+4.081m に設定して行った圧力状態時で流量 $85\text{m}^3/\text{s}$ の時の全水頭縦断図を図 4-6～9 に示す。なお、立坑底面のプロットデータは M6～M8 のものである。

流入施設各部における損失水頭を比較するために、連絡管路(A 断面)、立坑下部(B 断面)、ゲート部(C 断面)間の全損失水頭差を示したものが図 4-10 である。連絡管路でのピエゾ水頭値は、最下流側の 2 個のマノメータ(M1, M2)の読みの平均を用い、また、立坑下部でのピエゾ水頭は立坑円周上に設けてある 5 個のマノメータ(M11-1～M11-5)の読みの平均を用いた。立坑下部における流速は、流量を立坑円周方向の立坑断面積で割ることにより求めた。

e 2.4m の形状のケース間で比較すると、漸縮水路鉛直角 β が緩やかになるにしたがい全損失水頭は 1.5 倍程度増加する。また、開口幅 e が半分になると、全損失水頭は 1.8～2.7 倍に増加する。開口幅 e が狭まることによる損失水頭の増加のほとんどはゲート部～立坑下部での損失水頭の増加によるものである。ベルマウスの有無による立坑下部～連絡管路間の損失水頭の差は約 1m とかなり大きな差がみられ、ベルマウスを設置することによる損失水頭の低減効果はかなり大きいことがわかる。これは、ベルマウス無の形状においては連絡管路流入部での流況の乱れがかなり大きいことと、連絡管路上部に停滞している気泡の影響を受けてロスが生じた結果によるものと思われる。

平成 7 年度に実施した前形状($\beta 30^\circ$ e 2.4m, 図 2-1, 表 2-1 参照)での損失水頭もあわせて図 4-10 に示す。前形状での全損失水頭が 1.1m であったのに対し、今回の形状の中で最も損失の少なかった形状($\beta 40^\circ$ e 2.4m)では 0.6m と約半分になる。

したがって、圧力状態における全損失水頭でみた場合に有利な形状は $\beta 40^\circ$ e 2.4m で、次に $\beta 30^\circ$ e 2.4m となる。

また、各実験ケースでの損失係数 K を比較したものを表 4-1, 図 4-11 に示す。

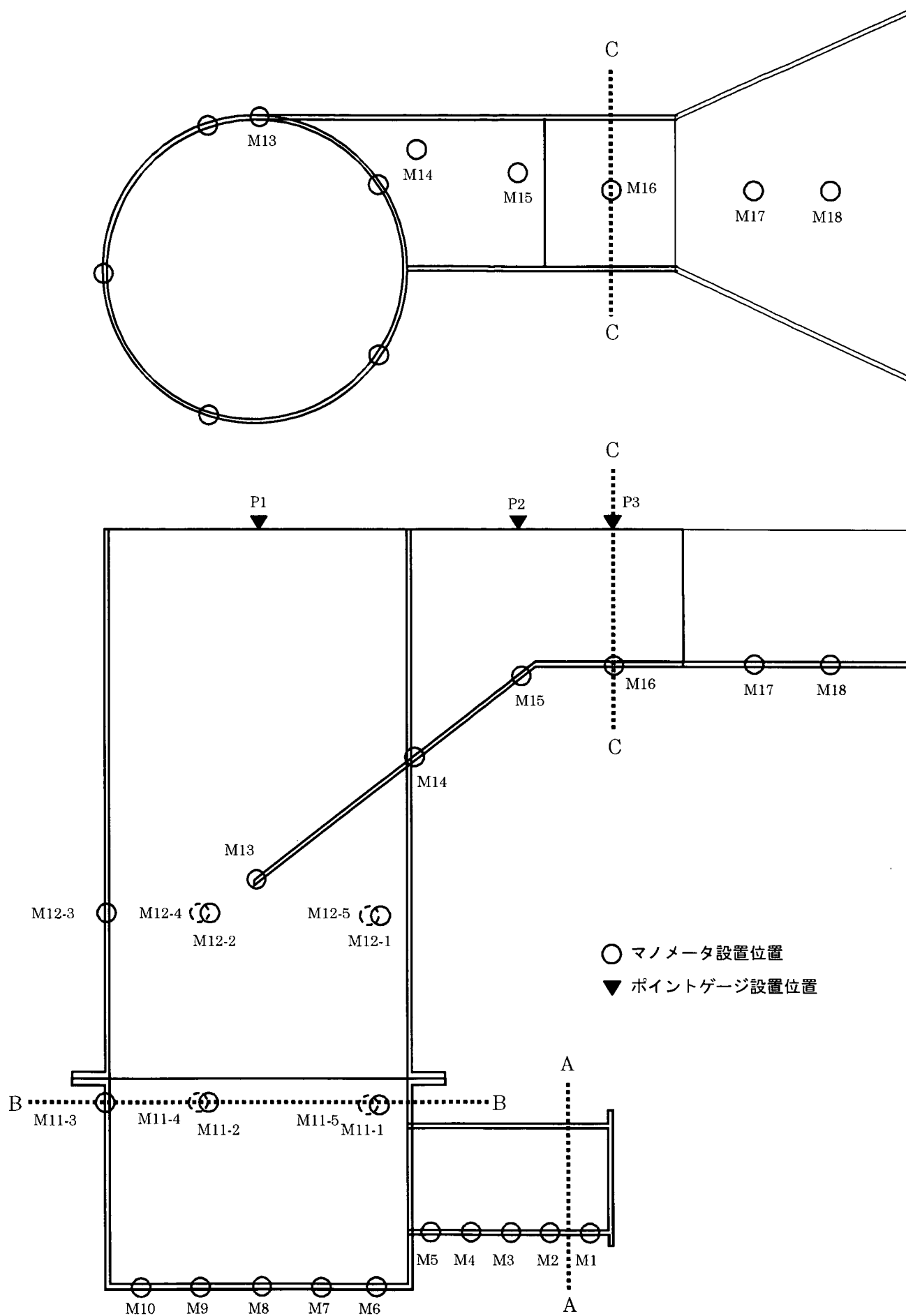


図 4-1 マノメータ等設置位置

ピエゾ水頭
A. P. (m)

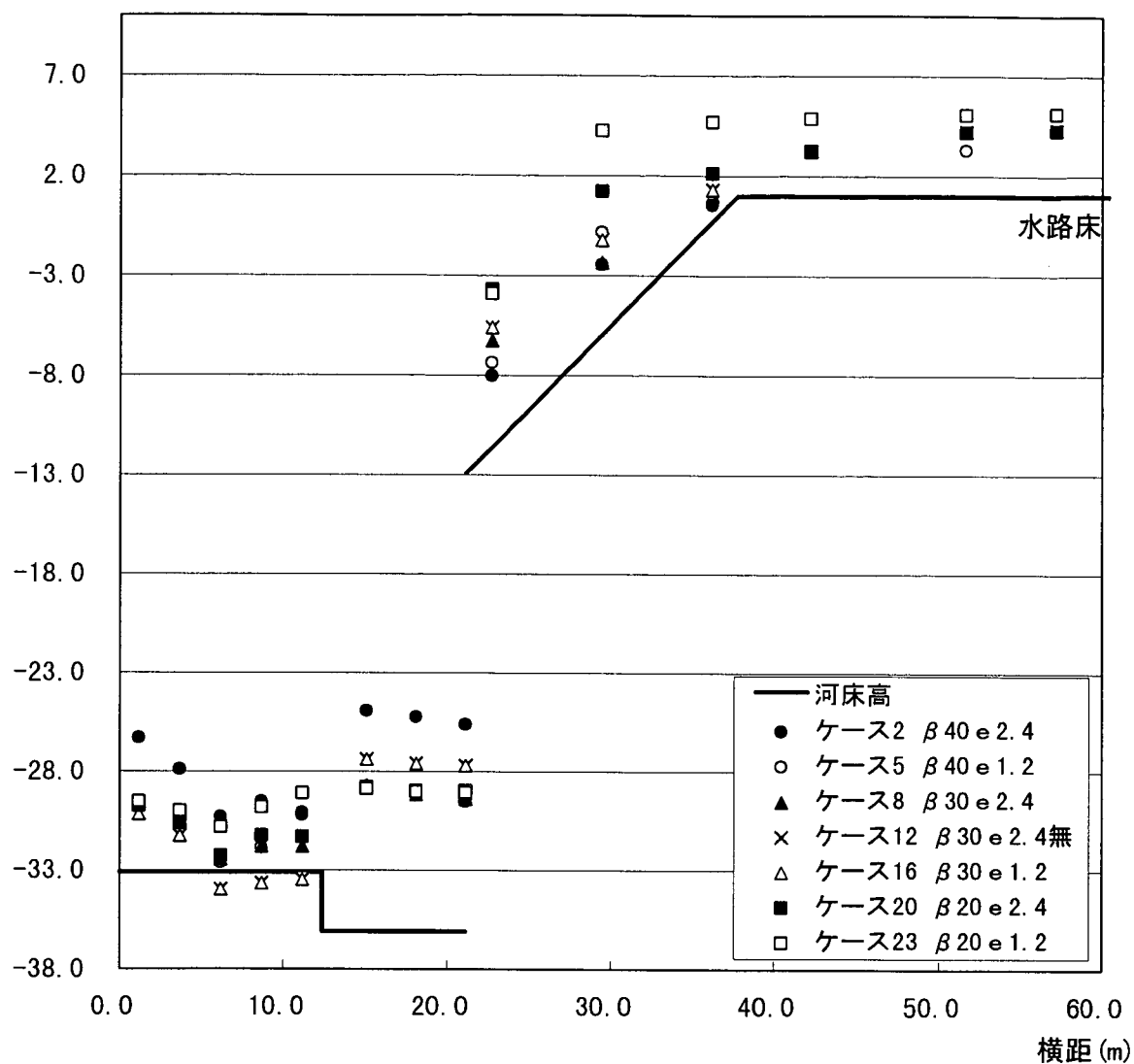


図4-2 形状別ピエゾ水頭縦断図
流量 $85\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態

ピエゾ水頭

A. P. (m)

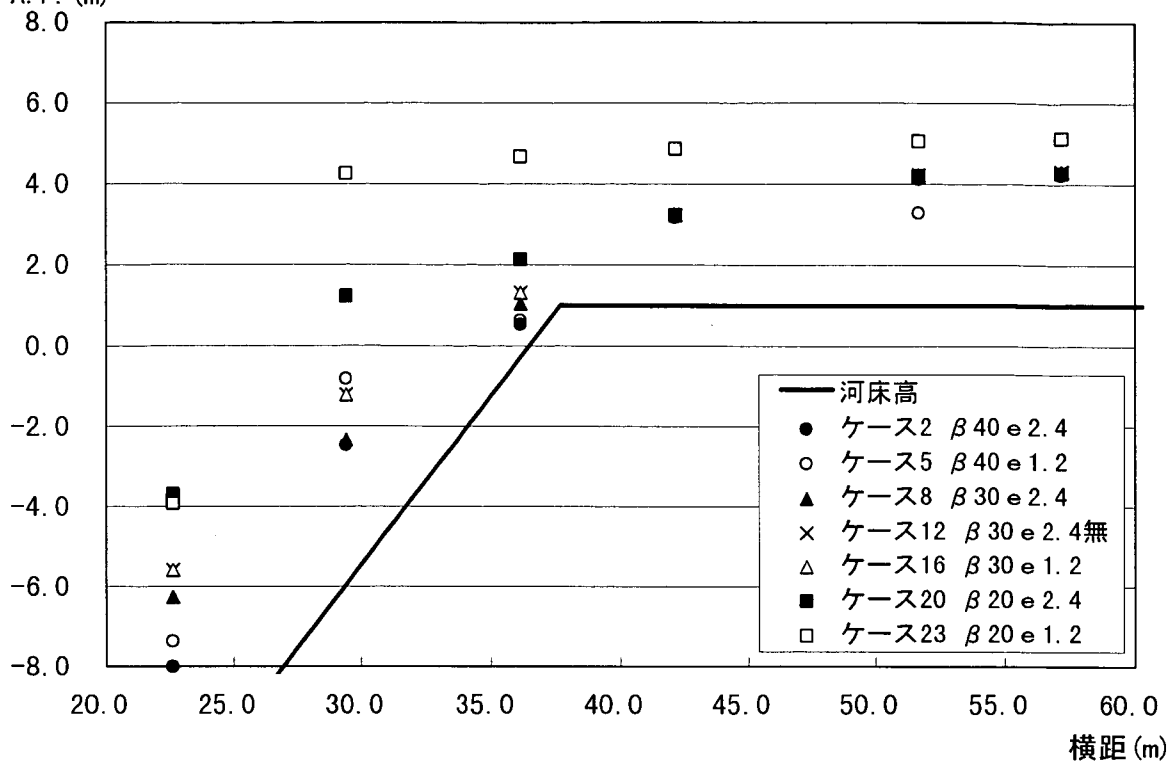


図4-3 形状別ピエゾ水頭縦断面図(流入水路部～漸縮水路)

流量 $85\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態

ピエゾ水頭

A. P. (m)

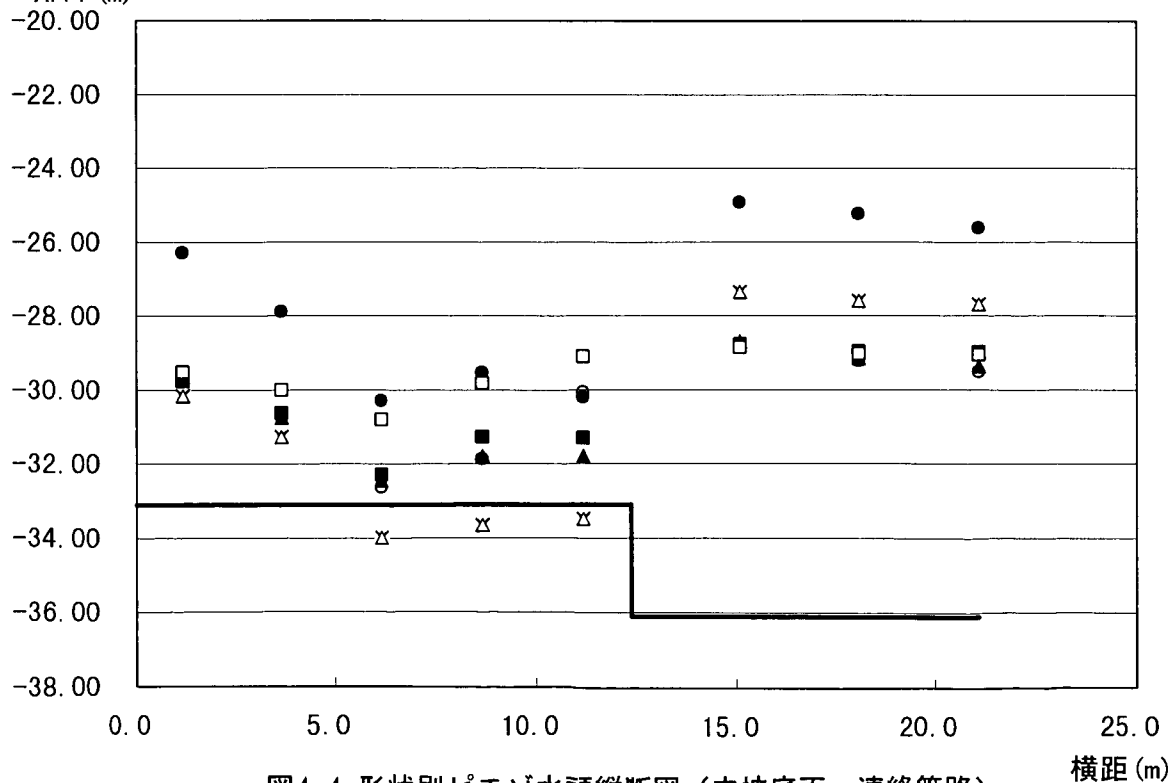


図4-4 形状別ピエゾ水頭縦断面図(立坑底面～連絡管路)

流量 $85\text{m}^3/\text{s}$, 開水路状態

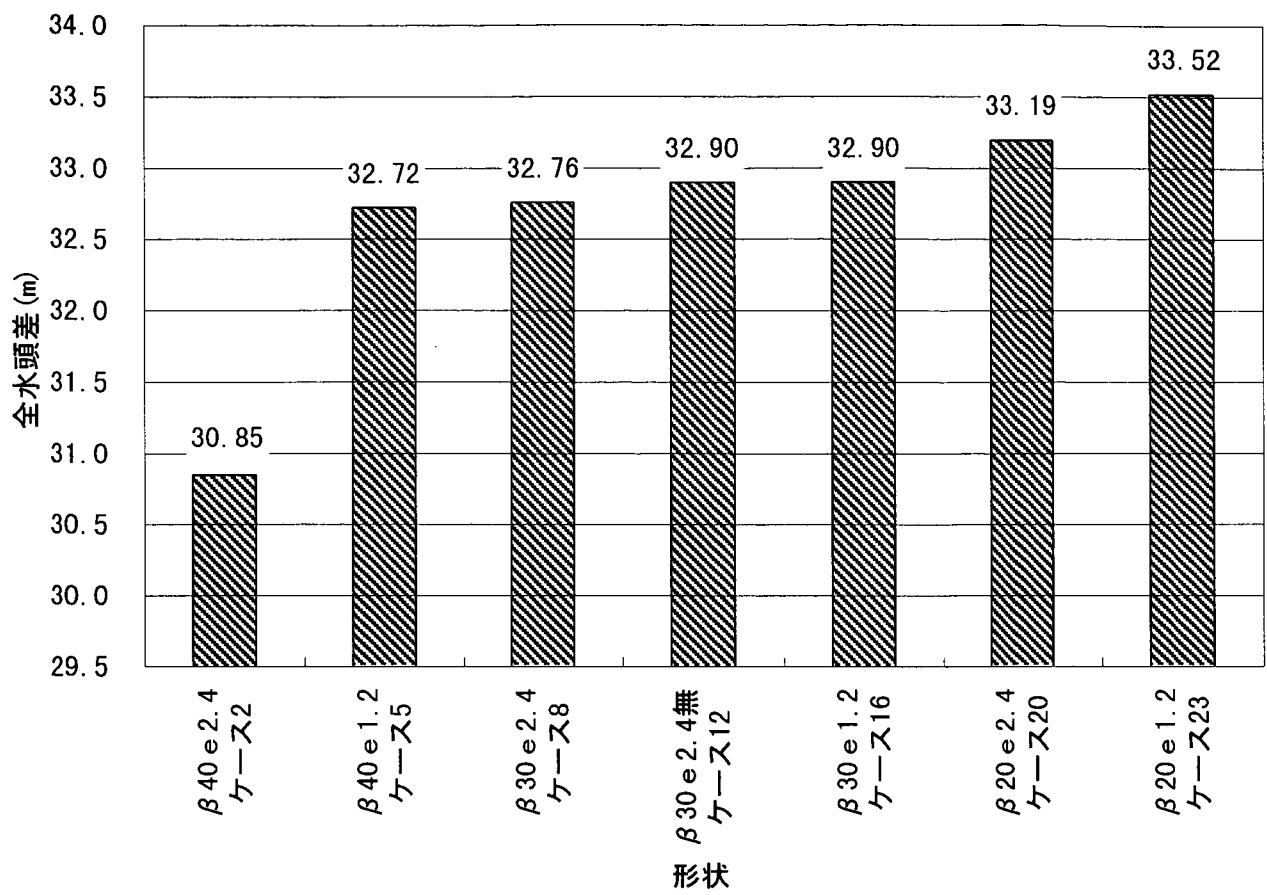


図4-5 開水路流れ時の全水頭差 (ΔE_{CA})

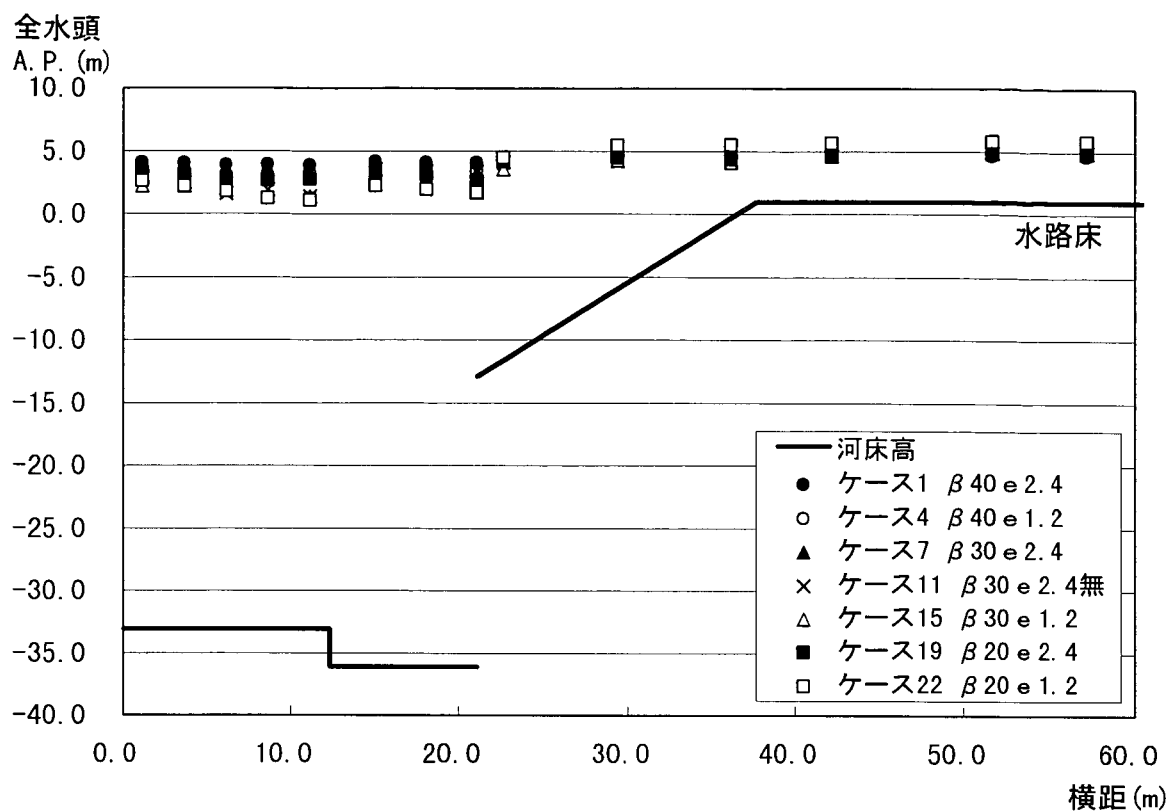


図4-6 形状別全水頭縦断図
流量 $85\text{m}^3/\text{s}$, 立坑内水位A. P. 4. 081

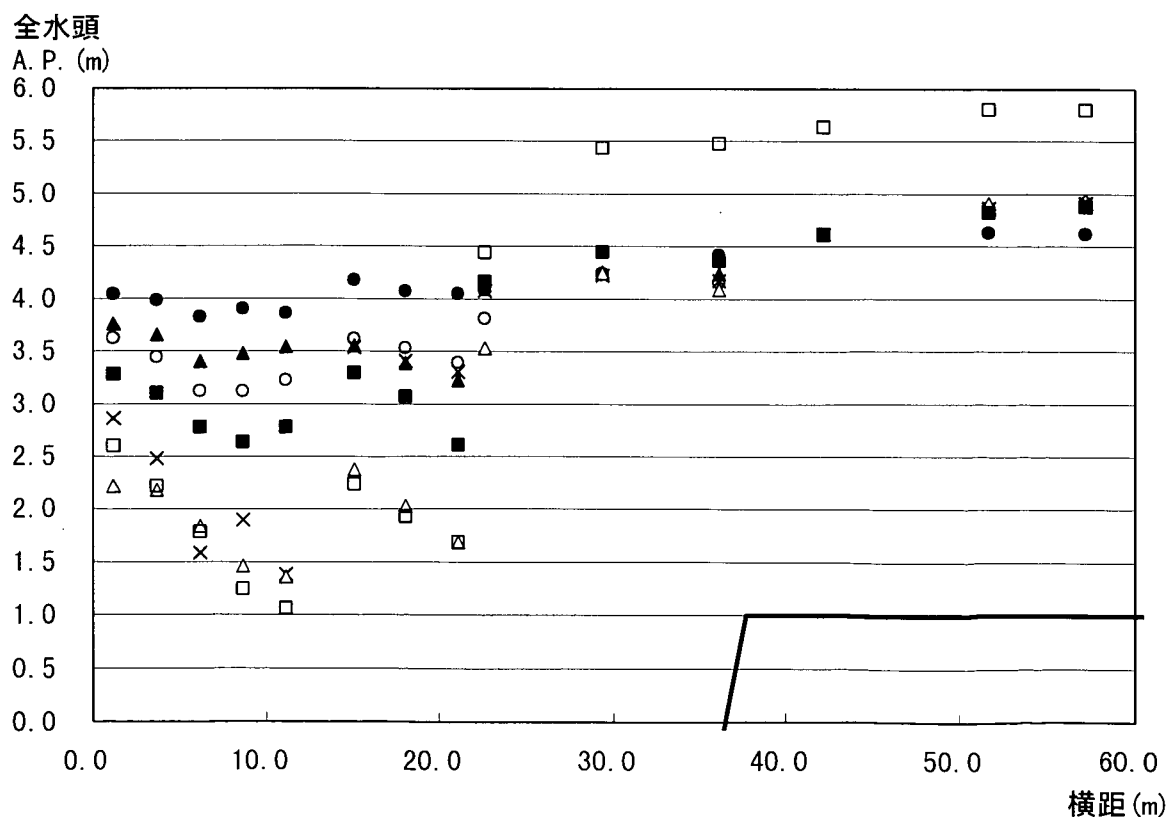


図4-7 形状別全水頭縦断図 (A. P. +0. 00~6. 00拡大図)
流量 $85\text{m}^3/\text{s}$, 立坑内水位A. P. 4. 081

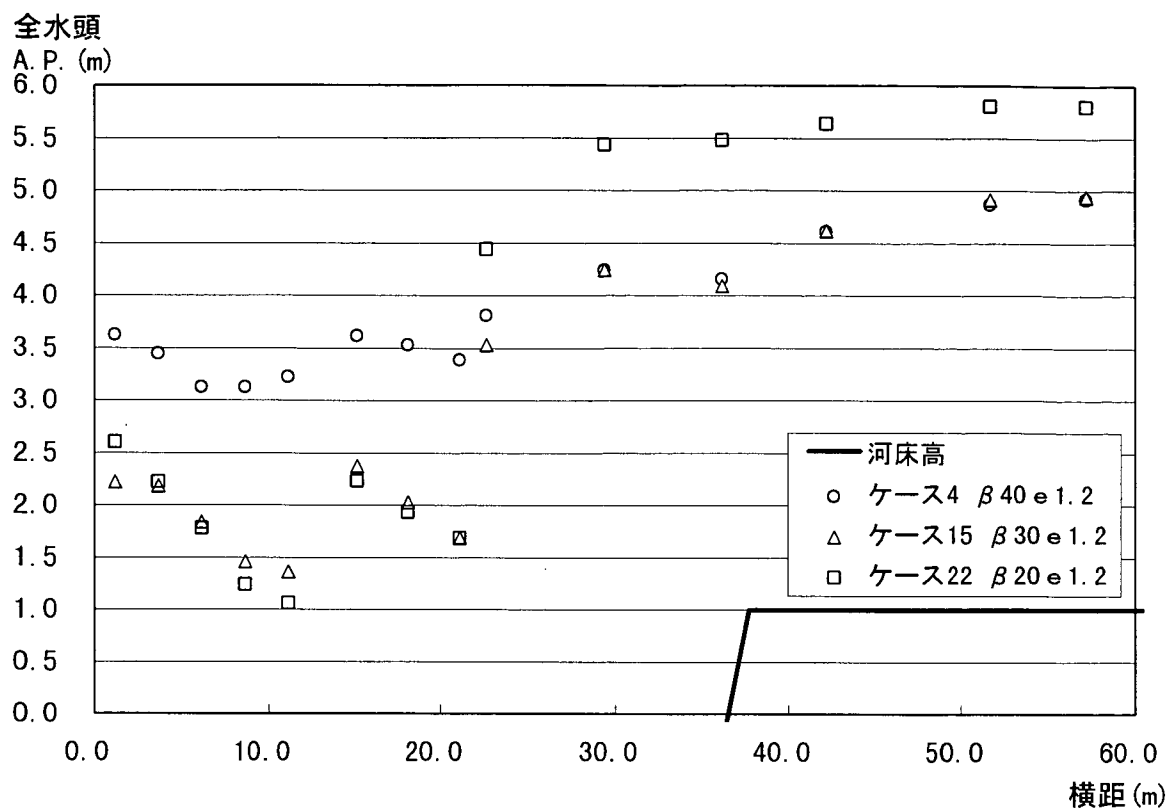


図4-8 形状別全水頭縦断面図(開口幅1.2m)
流量 $85\text{m}^3/\text{s}$ 、立坑内水位A. P. +4.081

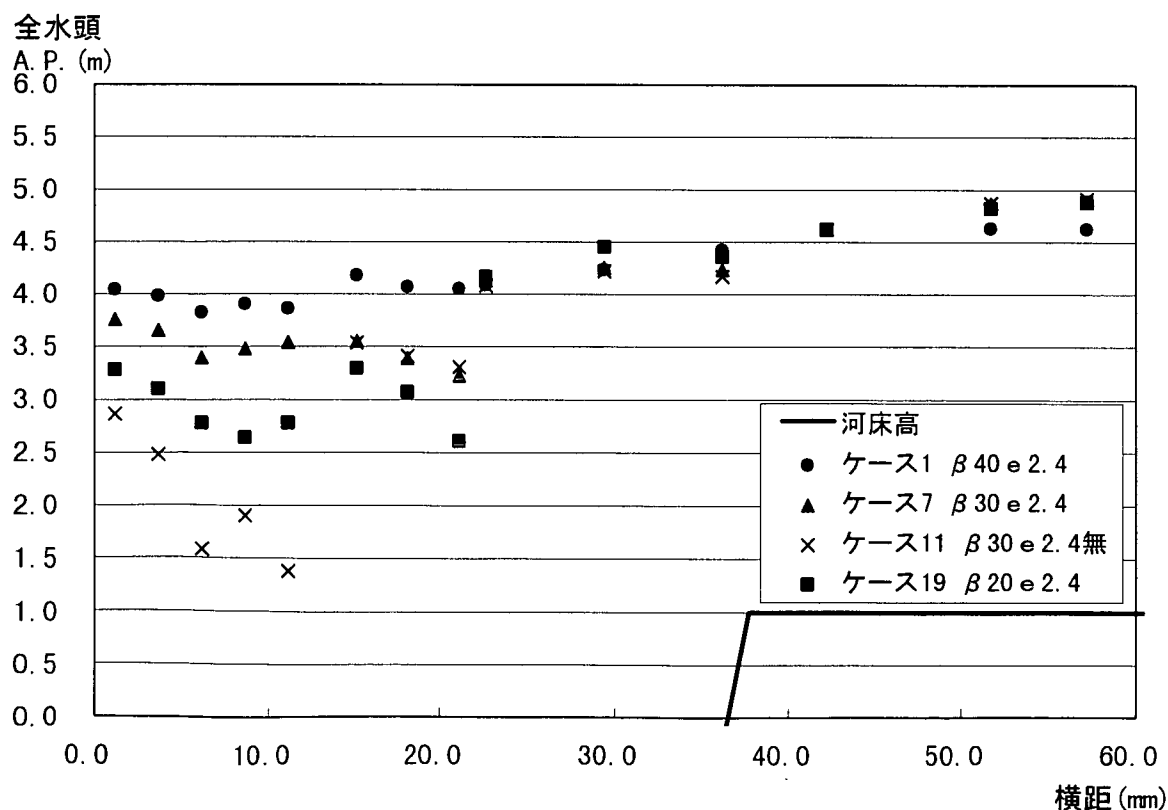


図4-9 形状別全水頭縦断面図(開口幅2.4m)
流量 $85\text{m}^3/\text{s}$ 、立坑内水位A. P. +4.081

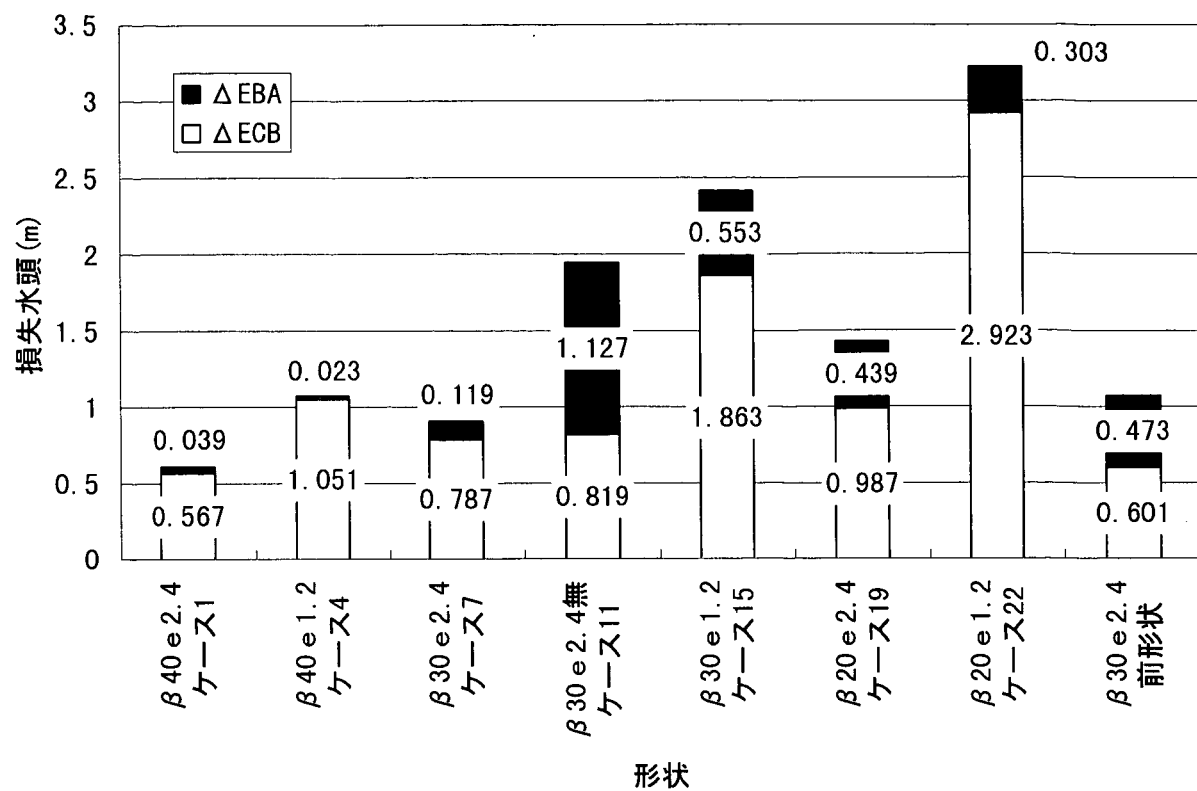


図4-10 圧力流れ時の損失水頭

表4-1 形状別損失係数

		実験ケース 1	実験ケース 4	実験ケース 7	実験ケース11	実験ケース15	実験ケース19	実験ケース22
		$\beta 40 \text{ e } 2.4$	$\beta 40 \text{ e } 1.2$	$\beta 30 \text{ e } 2.4$	$\beta 30 \text{ e } 2.4 \text{ 無}$	$\beta 30 \text{ e } 1.2$	$\beta 20 \text{ e } 2.4$	$\beta 20 \text{ e } 1.2$
ピエゾ水頭 A. P. (m)	地点A(連絡管路上流)	3.55	3.07	3.25	2.21	1.74	2.73	1.95
	地点B(立坑下端)	4.04	3.55	3.82	3.79	2.75	3.62	2.71
	地点C(ゲート部)	4.08	4.06	4.08	4.08	4.08	4.08	5.37
流速 (m/s)	V_A (連絡管路上流)	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01
	V_B (立坑下端)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
	V_C (ゲート部)	3.25	3.27	3.25	3.25	3.25	3.25	2.29
速度水頭 (m)	$V_A^2/(2g)$ (連絡管路上流)	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
	$V_B^2/(2g)$ (立坑下端)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	$V_C^2/(2g)$ (ゲート部)	0.54	0.54	0.54	0.54	4.62	0.54	0.27
全水頭 A. P. (m)	E_A (連絡管路上流)	4.01	3.53	3.71	2.67	2.20	3.19	2.41
	E_B (立坑下端)	4.05	3.55	3.83	3.80	2.75	3.63	2.71
	E_C (ゲート部)	4.62	4.60	4.62	4.62	4.62	4.62	5.64
ピエゾ水頭差 (m)	地点C—地点B	0.04	0.51	0.26	0.29	1.33	0.46	2.66
	地点B—地点A	0.49	0.48	0.57	1.58	1.01	0.89	0.76
全水頭差 (m)	$\Delta E_{CB} = E_C - E_B$	0.57	1.05	0.79	0.82	1.86	0.99	2.92
	$\Delta E_{BA} = E_B - E_A$	0.04	0.02	0.12	1.13	0.55	0.44	0.30
損失係数	K_{CB}	1.06	1.93	1.46	1.52	0.40	1.84	10.94
	K_{BA}	0.09	0.05	0.26	2.44	1.20	0.95	0.66

損失係数

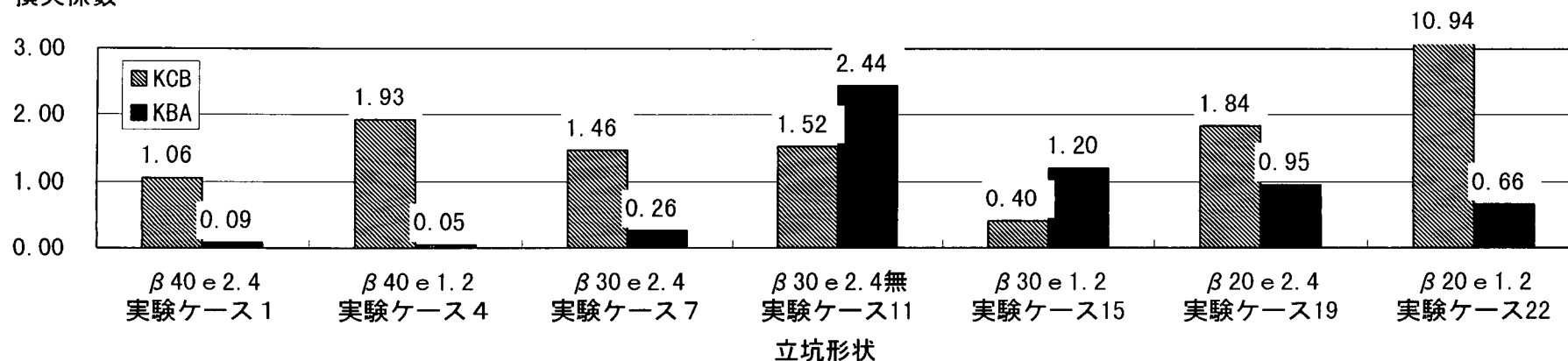


図4-11 形状別損失係数

第5章 立坑底面に作用する衝撃圧の計測結果

5.1 実験目的

第5立坑では、立坑底面が約 A. P. -36.1m、圧力時の立坑内水位が A. P. +4.081m に計画されており、洪水のピーク時には約 40m の静水圧が立坑底面に作用する。そのため、立坑底面から延びる連絡管路の構造は、最大 6.0kg/cm² の内水圧に耐えられる設計となっている。しかし、漸縮水路下流端と立坑底面との間には 30m 近い落差があり、特に立坑底面に水がほとんど溜まっていない状態では、底面に衝撃圧が作用することが予想される。また、流入水や流下物により、底面部分が損傷を受けたり摩耗する恐れもある。

本実験では、衝撃圧が特に問題となる立坑内水位が低い状態(開水路状態)を対象に、衝撃圧データを整理し、立坑形状、流量が衝撃圧特性に与える影響について検討した。

5.2 実験概要

衝撃圧の計測は、立坑底面に設置した圧力センサーを用いて行った。センサーの設置に当たっては、まず初めに立坑内の流況観察を行い、流水が激しく衝突している地点を目視により数箇所選定した。その中から、衝撃圧が特に大きくなると思われる地点を実験ケース毎に4ポイント(流量 6m³/s の場合は3ポイント)選び、各ポイントにいて計測を行った。センサーの設置位置、および実験ケース毎のデータ整理ポイントを、図 5-1、表 5-1 に示す。ただし、立坑底面に作用する衝撃圧は大きく変動しているため、計測時間を 10 秒、データのサンプリング周波数を 20Hz とし、同じ条件の実験を 3 回繰り返し行った。

5.3 データ整理

図 5-2 は、圧力センサーによって計測された衝撃圧の時系列データ(ケース8)を、圧力水頭に換算して表示したものである。各設定ポイントについて得られたデータから、立坑底面に作用する水頭の最大値、最小値を実験ケース毎に求め、さらにこれらの差を変動量として定義した。なお、圧力水頭の基準は、立坑底面をゼロとしている。

変動量=計測データ最大値-計測データ最小値

ただし、計測データには極端に大きな値や小さな値が含まれており、単純に最大値と最小値の差として定義した変動量は過大評価されている可能性がある。そこで、データ計測時間 10 秒における圧力水頭の平均値、さらに標準偏差を次式より求めた。

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (5-1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2} \quad (5-2)$$

ここに、 N : サンプル数 (=200)、 μ : 平均値、 X_i : 瞬時値、 σ : 標準偏差
以上のように定義した諸量を、3 回の実験についてそれぞれ求め、全体としての平均値と

併せて実験ケース毎に整理した（付表 5-1～5-9、付図 5-1～5-5）。ただし、付図に関しては全体の平均値のみを表示した。なお、以降の検討では、圧力水頭の最大値が最も大きいポイントにおける諸量（最大値、最小値、変動量）を、その実験ケースの代表値として用いた。例えば、付図 5-1 に示したケース 2 については、ポイント 1 の値を衝撃圧として代表させた。

5.4 実験結果

衝撃圧に対する立坑の構造的安全性を検証する場合、一つの指標になるのは、圧力状態において立坑底面に作用する静水圧（以降：最大静水圧）の大きさである。5.1 で述べたように、連絡管路の構造は最大静水圧に耐えうる設計になっている。そのため、立坑底面に作用する衝撃圧の大きさが最大静水圧の値を越えなければ、衝撃圧の絶対値に対して立坑の構造的安全性は確保されるが、維持管理上、また施設を長期間にわたって供用できるように、衝撃圧が小さくなる施設形状について検討を行った。

表 5-2 は、衝撃圧の最大値を実験ケース毎に比較したものである。最大静水圧を水頭に換算すると、約 40m になることから、立坑底面に作用する衝撃圧は全てのケースにおいてこの値を下回り、衝撃圧の絶対値に対して立坑の構造的安全性が確保されていることがわかった。

表 5-2 衝撃圧（圧力水頭）最大値の比較

実験ケース	2	3	5	6	8	9	10	12	13
水頭最大値	27.36	23.24	25.76	22.47	16.64	21.46	10.41	23.84	17.23
実験ケース	14	16	17	18	20	21	23	24	---
水頭最大値	5.05	24.42	23.00	5.76	24.24	22.68	29.42	20.28	---

単位(m)

図 5-3 は、衝撃圧の最大値、最小値、および変動量を、立坑形状、流量別に比較したものである。ただし、図中には前回の実験で検討した小口径立坑（内径 425 mm）の結果も併せて表示した。鉛直角 β 毎に衝撃圧の最大値を比較すると、 β 40°（ケース 20、23）の場合が最も大きく、次に β 20°（ケース 2、5）、 β 30°（ケース 8、13、16）の順になった。この理由として、 β 20° のケースについては、今回の実験で検討した立坑の内径が 875 mm（現地 17.5m）と比較的大きいために、立坑底面まで十分にらせん流が形成されず、途中から自由落下に近い形で底面に当たっていたことが、 β 40° のケースについては、漸縮水路下流端から立坑底面までの距離が短く、しかも鉛直角が急なために、立坑内に流入した水が十分広がりきれず、 β 30° のケースに比べてエネルギーの減勢が弱かったことがそれぞれ考えられる。

一方、開口幅 e を変化させた場合には、衝撃圧特性の変化に明確な傾向は見られなかった。開口幅 e を 2.4m から 1.2m に狭めると、漸縮水路下流端に発生する跳水が顕著になるが、立坑内の流れが非常に複雑なために、 β によって傾向が変わっている。また、流量の影響については、40m³/s の結果は 6m³/s よりもかなり大きくなっているが、40m³/s と 85m³/s の間にはそれほど差が見られなかった。これは、流量が増加してくると立坑底面にある程度水が溜まり、それがウォータークッションの役割をして衝撃を吸収するためと思われる。

今回の実験結果を小口径立坑の実験結果と比較すると、衝撃圧の最大値にはあまり大きな差は見られなかった。この理由としては、今回の実験で対象とした大口径立坑は立坑内に形成されるらせん流が不十分であるものの、漸縮水路下流端で跳水が発生し、落下水が扇状に拡がったためである。ただし、流量が $85\text{m}^3/\text{s}$ のケースでは 20m 前後、 $40\text{m}^3/\text{s}$ のケースでは 15m 前後の衝撃圧の変動がそれぞれ生じており、立坑の振動問題に関しては注意する必要がある。

また、らせん流の落水幅を横軸に、衝撃圧を縦軸にプロットすると、図 5-4 に示すような反比例の関係が見られた。つまり、らせん流の落水幅が大きいほど、立坑底面に作用する衝撃圧が小さくなっている。

最後に、立坑底面の摩耗について説明する。上述したように、大口径立坑では落下水が扇状に拡がり、立坑底面付近では水脈厚が薄くなっているため、一箇所に大きな水圧が作用することはほとんどない。そのため、立坑底面の摩耗に関しては、小口径立坑よりもむしろ安全と考えられる。

以上の結果より、今回の実験で検討した大口径立坑は、立坑底面に作用する衝撃圧の面では特に問題はなく、形状としては鉛直流入角 $\beta\ 30^\circ$ 、開口幅 $e\ 2.4\text{m}$ のケースが最適である。

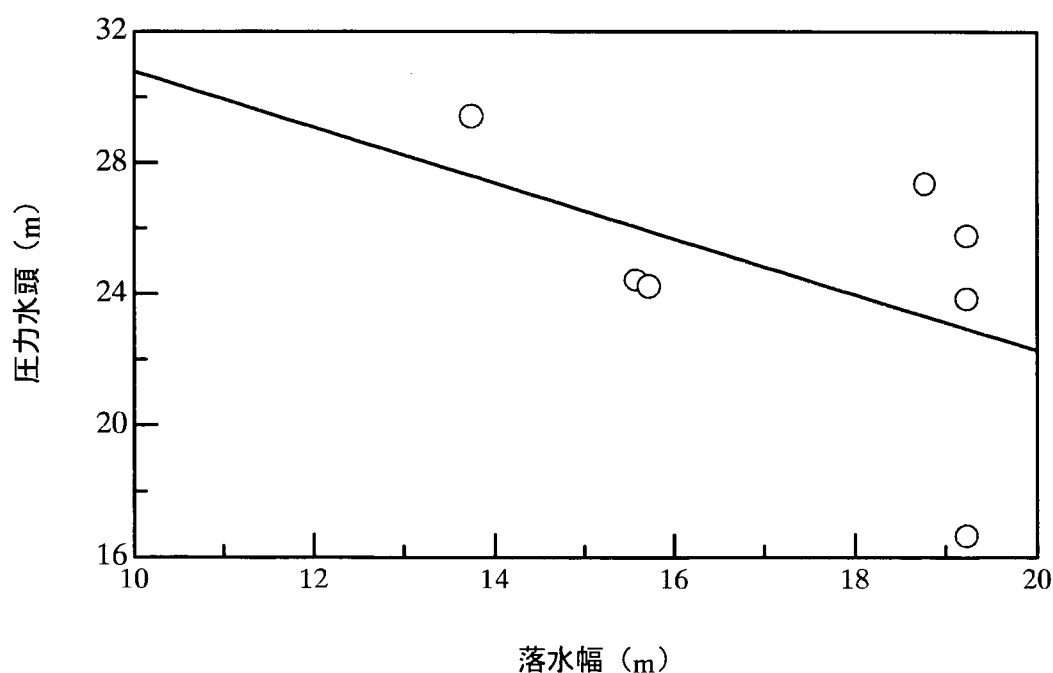


図 5-4 落水幅と衝撃圧の関係

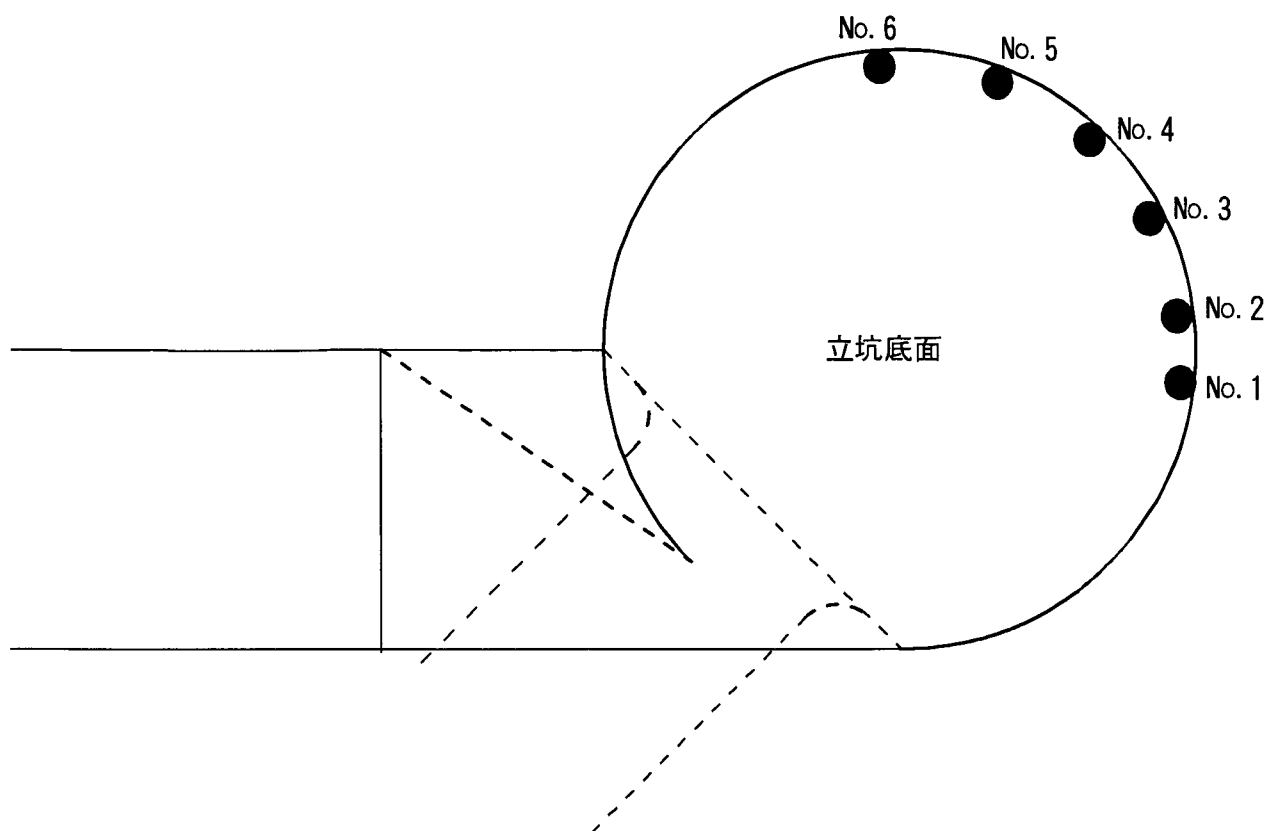


図 5-1 圧力センサーの設置位置

表 5-1 圧力データ整理ポイント

ケース	形状	流量 (m ³ /s)	ポイント 1	ポイント 2	ポイント 3	ポイント 4
2	β 40e2. 4	85	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
3		40	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
5	β 40e1. 2	85	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
6		40	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
8	β 30e2. 4	85	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
9		40	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
10		6	No. 1	No. 2	No. 3	---
12	β 30e2. 4 無	85	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
13		40	No. 1	No. 2	No. 4	No. 5
14		6	No. 1	No. 2	No. 3	---
16	β 30e1. 2	85	No. 2	No. 3	No. 5	No. 6
17		40	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
18		6	No. 1	No. 2	No. 3	---
20	β 20e2. 4	85	No. 1	No. 4	No. 5	No. 6
21		40	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
23	β 20e1. 2	85	No. 1	No. 3	No. 5	No. 6
24		40	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5

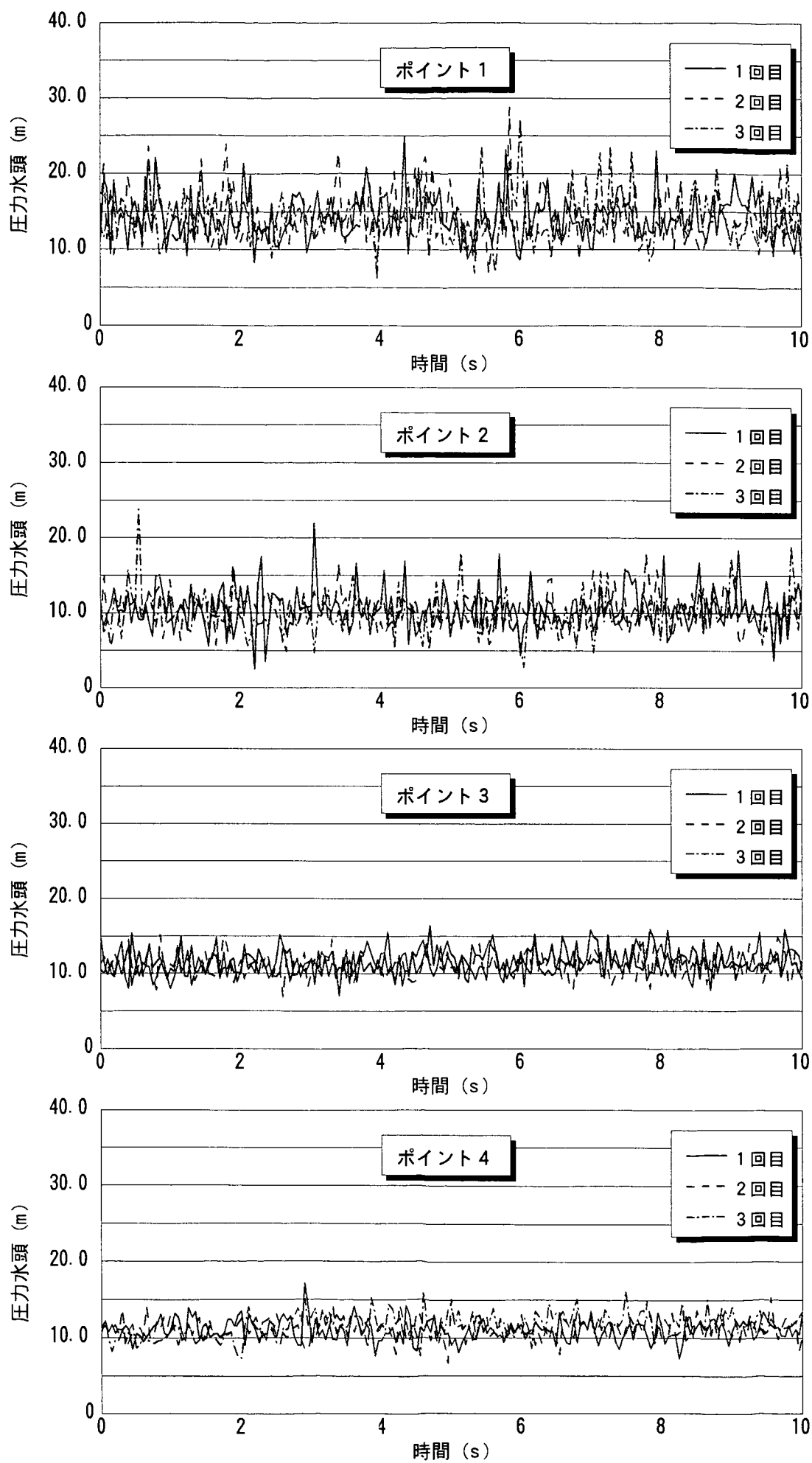


図 5-2 水圧データの時系列

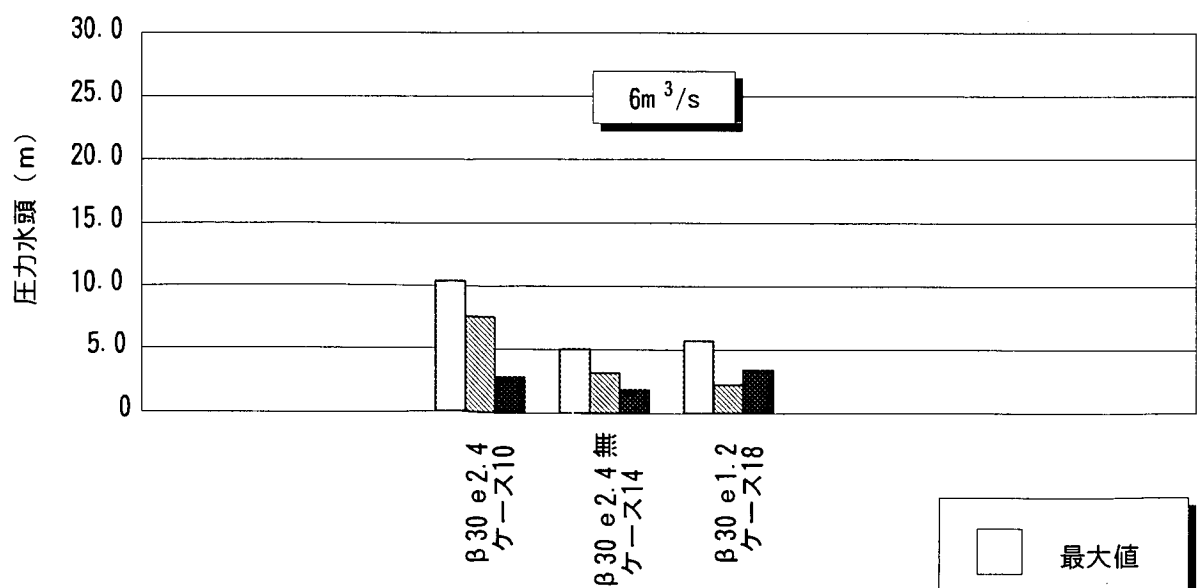
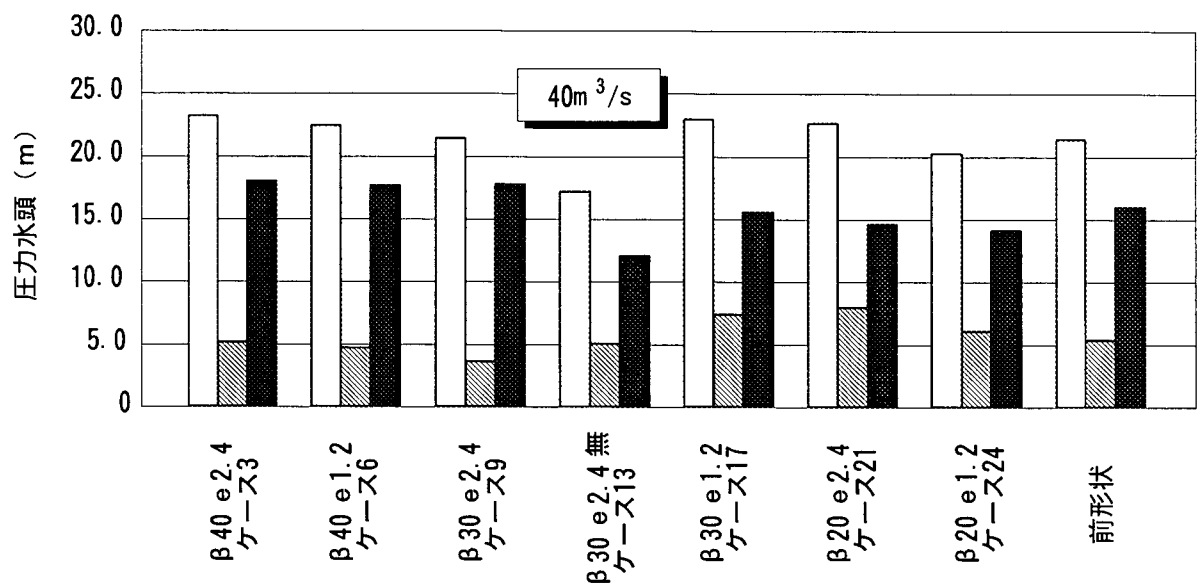
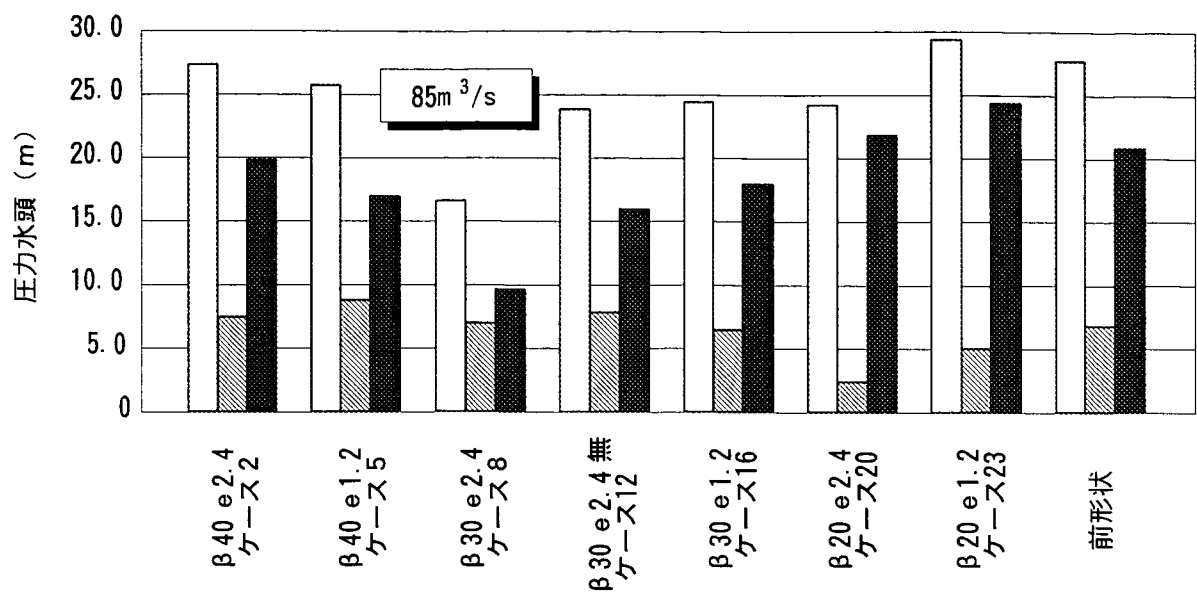
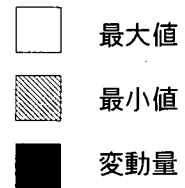


図 5-3 立坑底面に作用する衝撃圧



第6章 騒音の計測結果

6.1 実験目的

第5立坑の構造は、漸縮水路下流端から立坑底面までの落差距離が約30mと大きく、さらに第3立坑について計画流量が多いために、立坑底面に水の溜まっていない洪水流入の初期段階において、特に大きな騒音が発生すると予想されている。また、周辺には民家も建設されていることから、立坑の騒音特性を十分把握しておく必要がある。

本実験では、特に大きな騒音の発生が予想される洪水流入の初期段階（開水路状態）を主な対象に、立坑形状、流量、立坑内水位が立坑上部から発生する騒音のレベル、周波数特性に与える影響について検討した。

6.2 実験概要

騒音の計測は、普通騒音計を用いて行った。騒音計を立坑模型上端部から5.0cm（現地換算1.0m）の位置に固定し（図6-1）、1/3フィルターをかけて周波数成分（20Hz～20KHz）毎に10秒間計測した。なお、実験ではポンプを稼働させただけの状態の騒音（暗騒音）も併せて計測した。

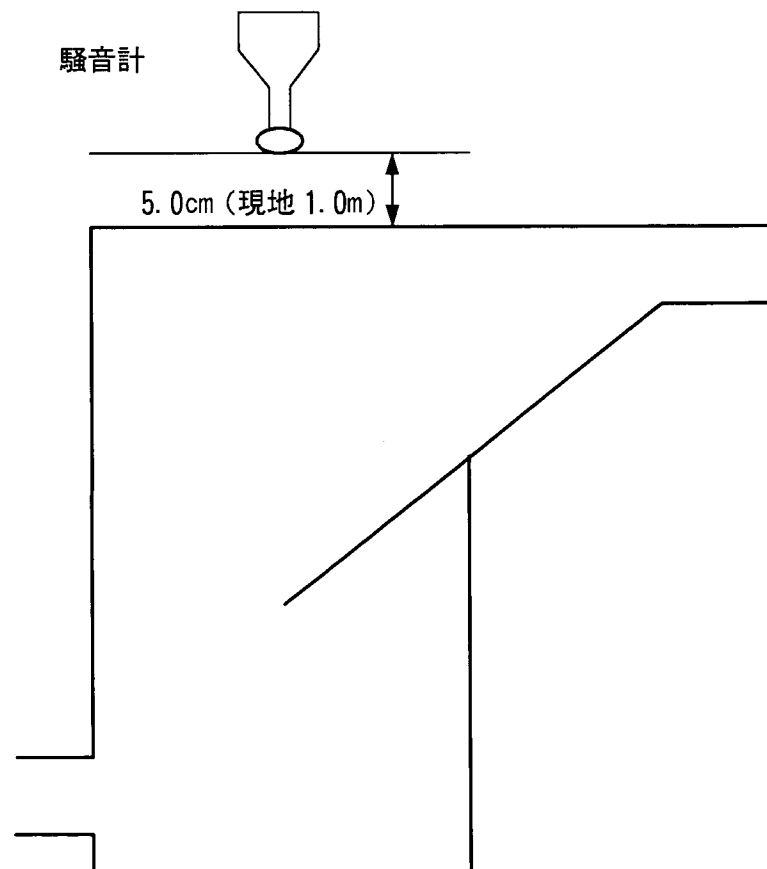


図 6-1 騒音計設置状況

6.3 データ整理

騒音の評価には音のA特性を用い、実験ケース毎に等価騒音レベル L_{Aeq} 、等価騒音レベルの最大値 L_{Amax} をそれぞれ求めた。さらに、騒音レベルに換算した計測値から暗騒音を差し引き、立坑部分で発生する正味の騒音レベルを算出した。ただし、音のA特性とは、人間の耳の周波数に対する感度の違いを考慮した周波数補正特性である。以下、各騒音レベルについて説明する。

・等価騒音レベル： L_{Aeq}

ある時間 T 間の変動騒音の大きさを、その時間内の全エネルギーと等しいエネルギーを持つ定常騒音レベルに換算したもの

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right) \quad (6-1)$$

ここに、 $P_A(t)$ ：音のA特性、 P_0 ：基準音圧($=2.0 \times 10^{-5}$)、 T ：実測時間($t_2 - t_1 = 10.0 \text{ sec}$)

・騒音レベルの最大値： L_{Amax}

測定時間内のサンプリングする、騒音レベルの最大値

ただし、計測値の騒音レベルを L_1 、暗騒音の騒音レベルを L_2 とすると、両者の差 L' は次式により与えられる。

$$L' = 10 \log(10^{L_1/10} - 10^{L_2/10}) \quad (6-2)$$

6.4 実験結果

図 6-2-1 は、立坑上部で計測されたA特性の騒音レベルを、流量 $85 \text{ m}^3/\text{s}$ 、開水路状態の実験ケースについて、立坑形状別に比較したものである。ただし、図中には暗騒音状態における騒音レベルも併せて表示した。等価騒音レベルは全体的に $85 \text{ dB} \sim 88 \text{ dB}$ の値となり、鉛直角 β による差はほとんど見られなかった。しかし、開口幅 e との関係で見ると、 $e2.4 \text{ m}$ のケースよりも $e1.2 \text{ m}$ のケースの方が騒音レベルが若干大きくなる傾向が見られた。これは、漸縮水路下流端で発生する跳水が、 $e1.2 \text{ m}$ のケースの方が顕著となり、落下水脈が乱れることが影響していると思われる。また、図 6-2-2 は、 $\beta 30^\circ$ 、 $e2.4 \text{ m}$ 、ベルマウス設置のケースについて、流量、立坑内水位と騒音レベルの関係を示したものである。流量が $6 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 40 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 85 \text{ m}^3/\text{s}$ と増加すると、それにともなって騒音レベルも上昇するが、 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ と $85 \text{ m}^3/\text{s}$ の間にはそれほど大きな差は見られなかった。これは、衝撃圧の結果でも説明したように、立坑底面に溜まった水がウォータークッションの役割を果たし、騒音の発生を押さえているためである。また、圧力状態のケースでは、騒音レベルが大幅に低下した。

一方、図 6-3-1 は、流量 $85 \text{ m}^3/\text{s}$ 、開水路状態のケースについて、図 6-3-2 は、 $\beta 30^\circ$ 、 $e2.4 \text{ m}$ のケースについて、立坑形状、流量、立坑内水位別に騒音の周波数特性をそれぞれ比較したものである。騒音レベルの計測結果と同様に、立坑形状の違いによる明瞭な傾向は見られな

かった。流量を変化させた場合も、 $40\text{m}^3/\text{s}$ と $85\text{m}^3/\text{s}$ の間には周波数特性に大きな差はなかった。ただし、流量が $6\text{m}^3/\text{s}$ から $40\text{m}^3/\text{s}$ に増加すると、騒音レベルが全体的に大きくなるとともに、 110dB 以下の低周波域における騒音レベルの特性が変化した。また、立坑内水位が圧力状態から開水路状態に変化した場合も、騒音レベルが全体的に大きくなるが、特に 100dB 以下の低周波域で上昇が大きかった。なお、付図 6-1～6-7 に、全ての実験ケースについて騒音の周波数特性を示す。

また、図 6-4 は、らせん流の落水幅と等価騒音レベルの関係をプロットしたものであるが、落水幅と衝撃圧の関係と同様、両者は反比例していることがわかる。

以上の結果より、騒音の発生を抑制する最適な立坑形状を騒音レベルの絶対値で評価すると、 $\beta 40^\circ$ 、 $e2.4\text{m}$ のケースとなる。

ただし、音に関する模型実験の場合、実験結果を現地データに換算するためには、実際の音源に関する周波数特性を把握する必要がある。今回得られた騒音レベル、周波数特性をそのまま評価に用いることはできない。そこで、東京都環七地下河川の立坑部分において昨年計測した、実際の河川水が流入する時に発生する騒音特性と、同じく環七地下河川の模型実験から求められた模型上での騒音特性を比較し、実験結果から現地データへの換算式を求めることが今後の課題である。

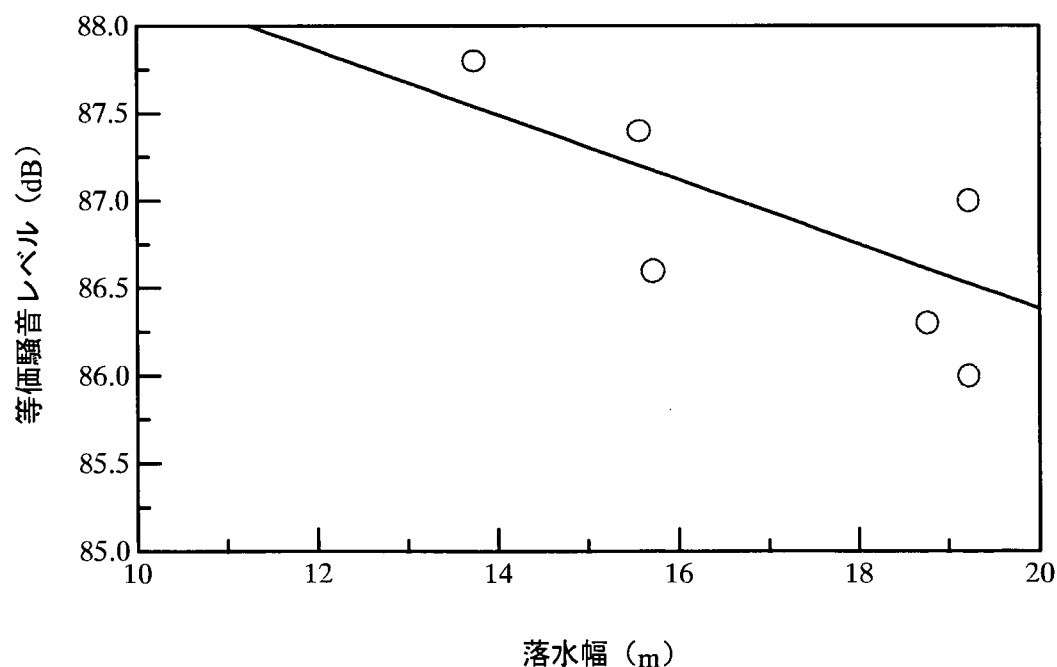


図 6-4 落水幅と等価騒音レベルの関係

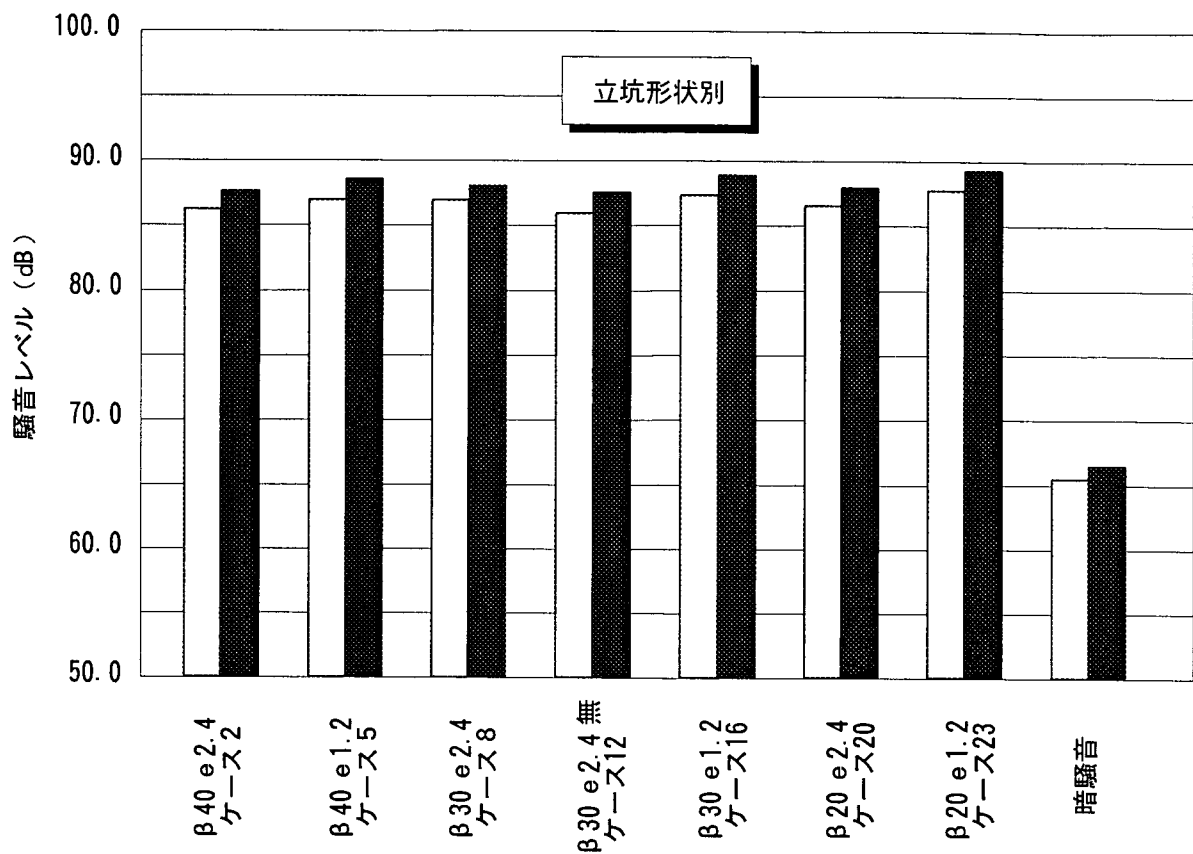


図 6-2-1 騒音レベルの最大値の比較（立坑形状別）

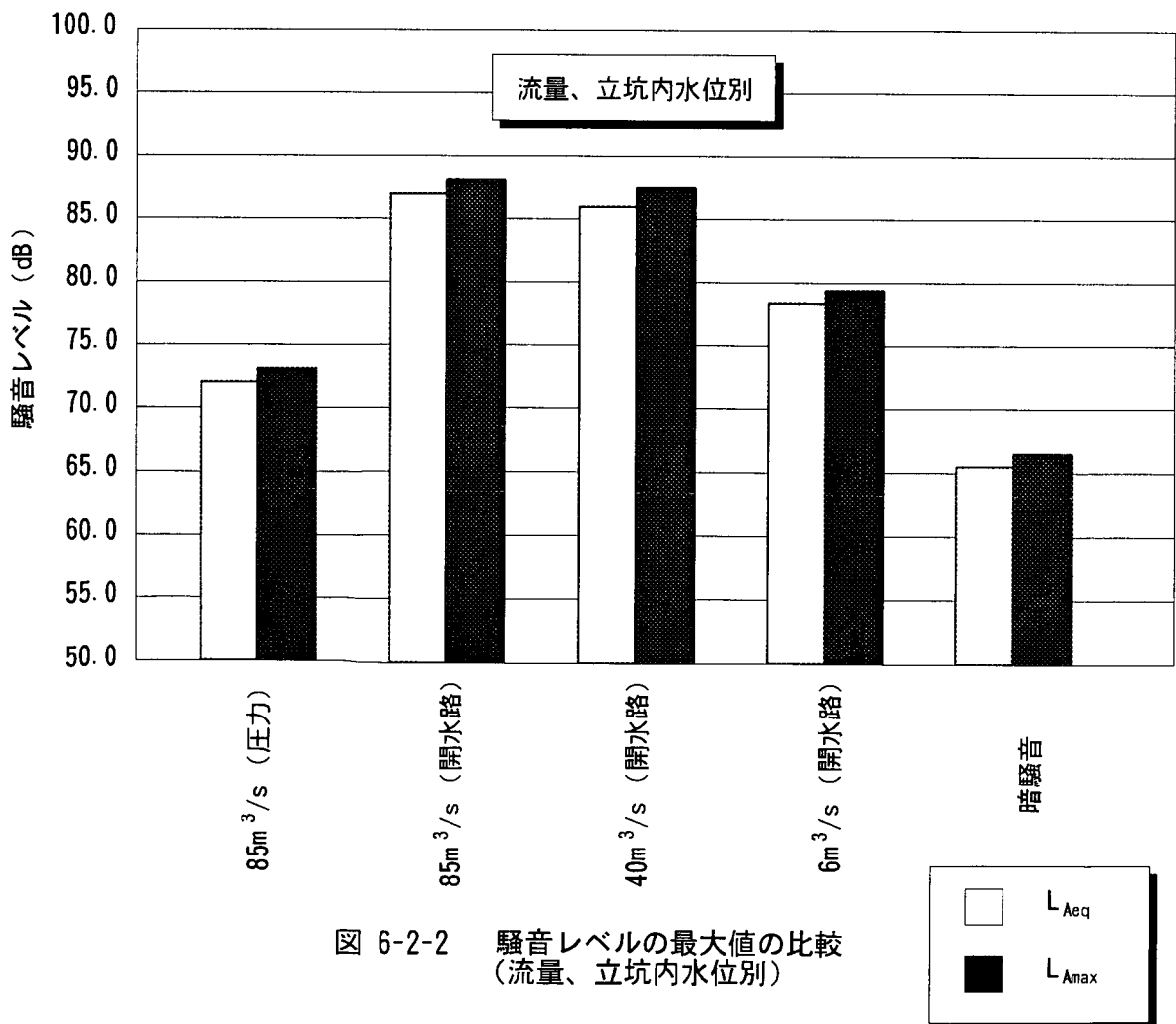


図 6-2-2 騒音レベルの最大値の比較（流量、立坑内水位別）

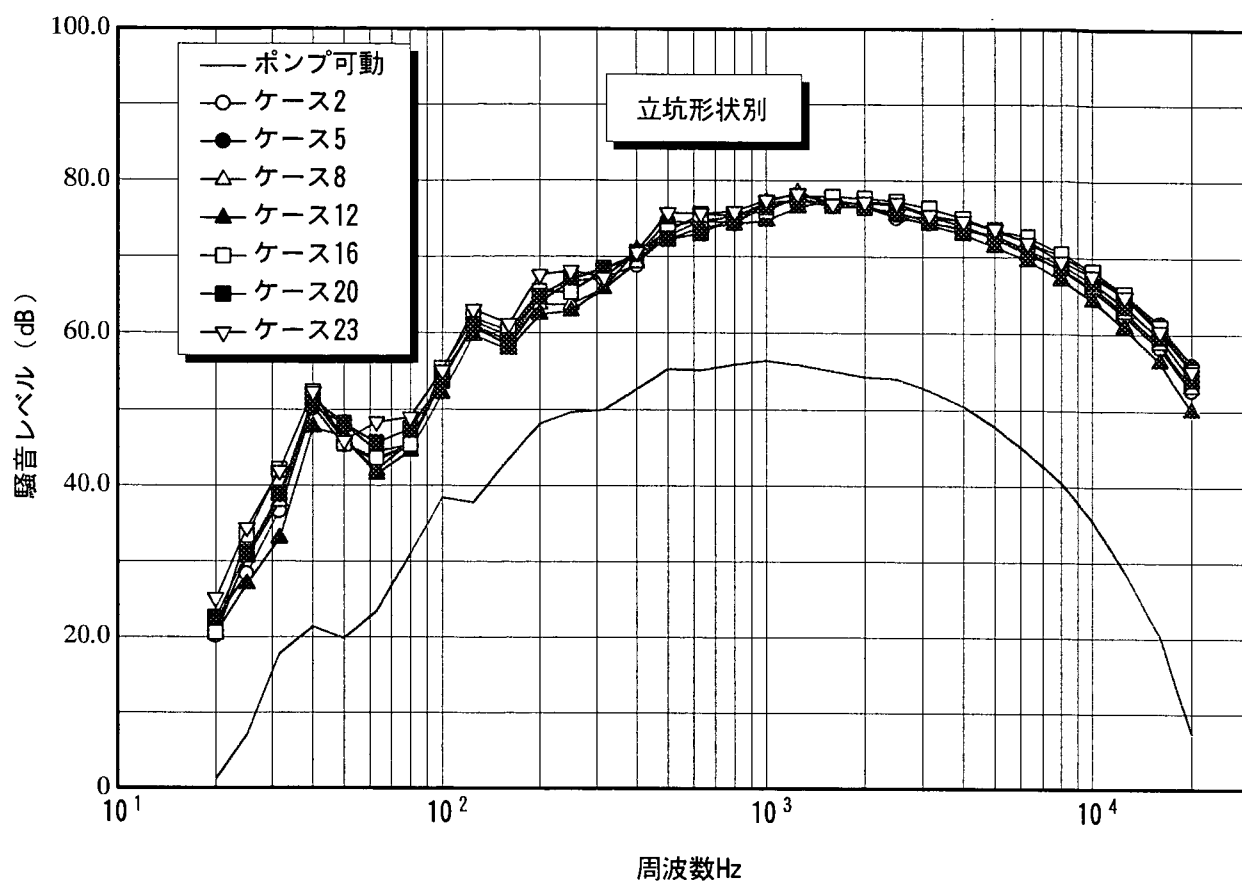


図 6-3-1 騒音レベルの周波数特性の比較（立坑形状別）

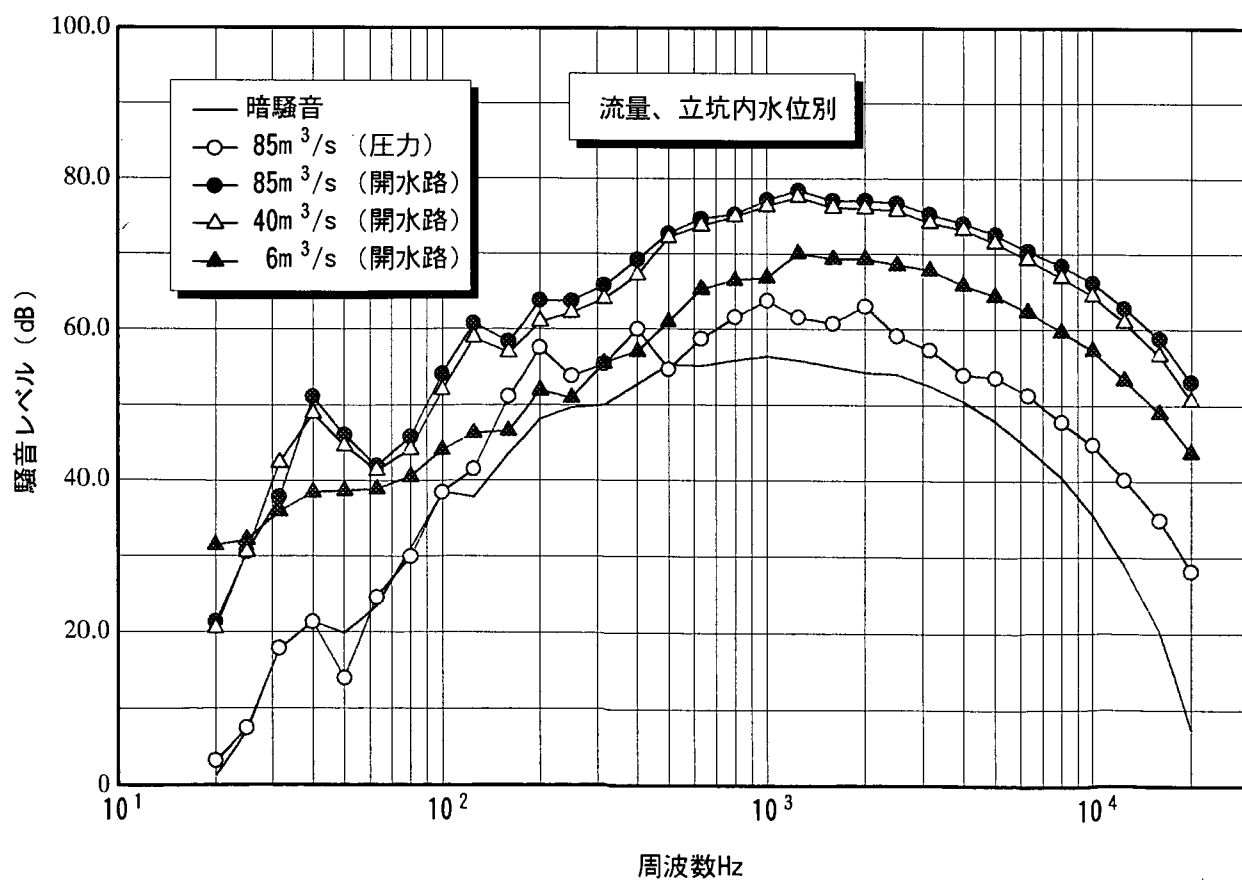


図 6-3-2 騒音レベルの周波数特性の比較（流量、立坑内水位別）

第7章 結論

7.1 本報告書の結論

今回の各実験項目の計測結果(いずれも流量 $85\text{m}^3/\text{s}$ のケース)を図 7-1～7-5 に示す。図において、斜線の形状は各検討項目において優れた形状を示し、網掛けの形状はその次に良好なものを示している。今回の検討により得られた知見を以下にまとめる。

流況

開水路流れ時において、漸縮水路下流端では流下断面が急縮することにより、左岸側(複断面側)壁面に衝突した流水が流向を変えて立坑内壁に向かい、立坑接線方向の流れおよび立坑内壁と衝突することにより跳水が発生した。この状況は、すべての形状において同様にみられ、開口幅を狭めることによりこの状況はより顕著になる。跳水自体は有効な減勢現象であるが、漸縮水路右岸側に沿った流れを阻害することになり良好ならせん流の形成を妨げる。この対処としては、漸縮水路長を延長し、水平角度 θ を小さくすることにより緩和することができると考えられる。

損失水頭

圧力状態時の全損失水頭が最も小さかった形状は漸縮水路鉛直角 $\beta 40^\circ$ 開口幅 $e 2.4\text{m}$ であり、前形状の全損失水頭と比較しても小さな結果となった。

連絡管路流入部にベルマウスを設置することにより、流量 $85\text{m}^3/\text{s}$ 、漸縮水路鉛直角 $\beta 30^\circ$ 開口幅 $e 2.4\text{m}$ の場合、連絡管路流入部での損失を約 1m 低減させることができる。また、沈澱物質のフラッシュや連行空気の排出においても大きな効果がみられた。今回はベルマウスとして一般的な $1:1/3$ の形状のものをを用いたが、連絡管路流入部の隅切りを行うだけでも大きな効果が得られるものと考えられる。

衝撃圧

開水路流れ時において、立坑底面に作用する衝撃圧が最も小さかった形状は、漸縮水路鉛直角 $\beta 30^\circ$ 開口幅 $e 2.4\text{m}$ であった。大口径立坑の場合、小口径立坑に比べて立坑内部に形成されるらせん流は不十分であるが、流入部からの流れが広く分散し、落下水脈が薄くなるため、立坑底面に作用する衝撃圧は小口径の場合とほぼ同じ程度となり、圧力状態時に作用する最大静水圧に比べても十分に小さくなった。また、衝撃圧の大きさは、らせん流の落水幅に反比例する傾向が見られた。

騒音

開水路状態において、立坑部分で発生する等価騒音レベルが最も小さかったのは、漸縮水路鉛直角 $\beta 40^\circ$ 開口幅 $e 2.4\text{m}$ であった。ただし、形状の違いによる差は非常に小さかった。また、らせん流の落水幅との関係も、それほど明確には見られなかった。

今後は、実験により得られた等価騒音レベルの周波数特性を基に、現地での騒音特性を評価することが必要である。

その他

開水路流れ時には、 10m/s を越える高流速の流水が側壁や立坑底面に繰り返し作用するため、供用開始後は水衝りの激しい箇所においては表面の摩耗状況等に細心の注意を払う必要

がある。

複断面型渦流式流入施設を設計する際には、開水路時に設計流量を低水路のみで流下させることができる複断面部の高さを求める必要があるが、今回の実験において $\beta 20^\circ$ e 1.2m の形状では開水路状態時にもかかわらず、漸縮水路下流端での流下能力不足のため堰上げが生じ、複断面部の上部に流水が乗り上げるという現象がみられた。したがって、式(2-1)は条件によっては適応できない場合があり、今回の実験データ等を加えて適用範囲を明確にしていく必要がある。

以上の検討結果より、圧力状態時の損失を重視した場合は、漸縮水路鉛直角度 $\beta 40^\circ$ ，開口幅 e 2.4m，連絡管路流入部にベルマウス設置のものが最適な形状である。また、立坑底面に作用する衝撃圧を重視した場合には、漸縮水路鉛直角度 $\beta 30^\circ$ ，開口幅 e 2.4m，連絡管路流入部にベルマウス設置のものが最適な形状となる。形状の選択に際しては、建設コストや施工性も考慮に入れた総合的な評価が必要になる。

7.2 今後の検討課題

漸縮水路下流端で発生した跳水を抑えるために、漸縮水路部の水平角度を緩くするなどの改良が必要になると考えられる。また、大落古利根川が所定の水位になった時に越流部よりスムーズに洪水を取り込むことが可能かどうかを模型実験等により確認する必要がある。

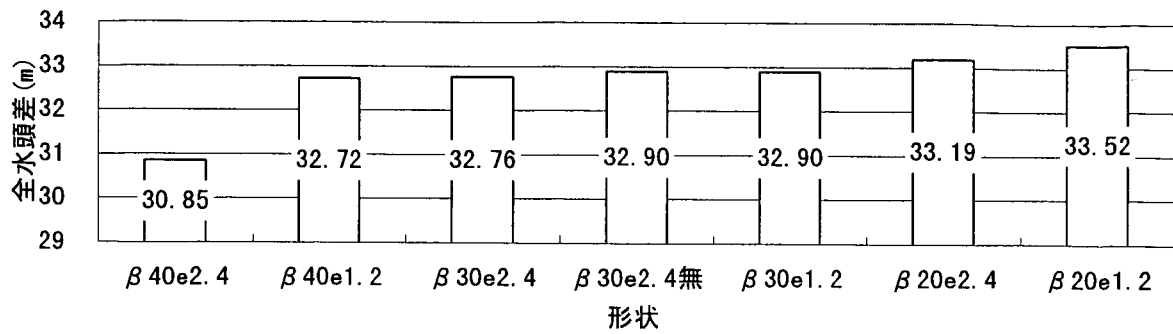


図7-1 開水路流れ時の全水頭差 (ΔE_{CA})

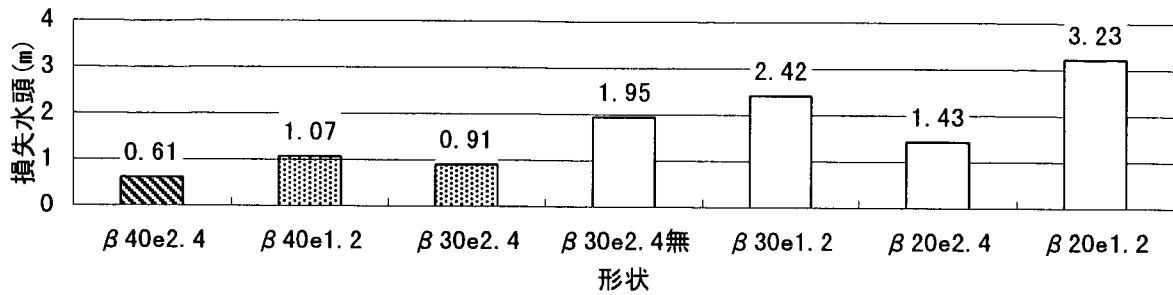


図7-2 圧力流れ時の全損失水頭 (ΔE_{CA})

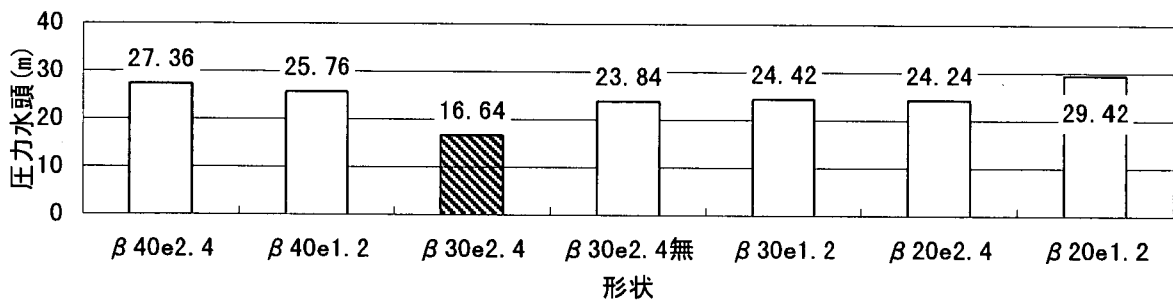


図7-3 衝撃圧

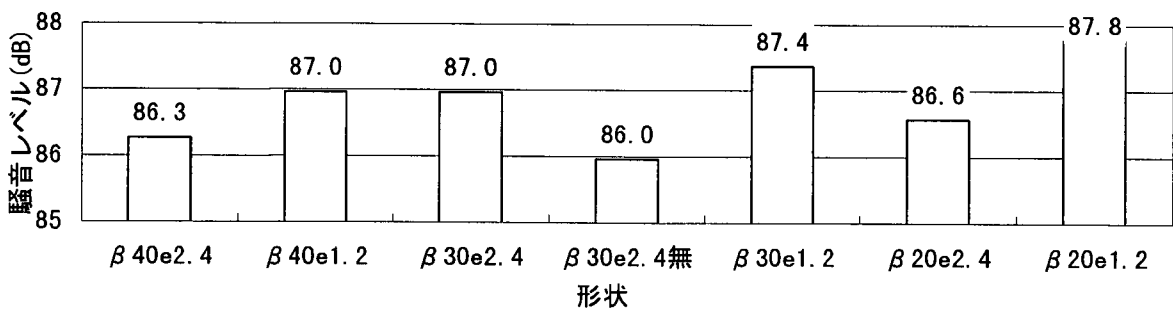


図7-4 等価騒音レベル

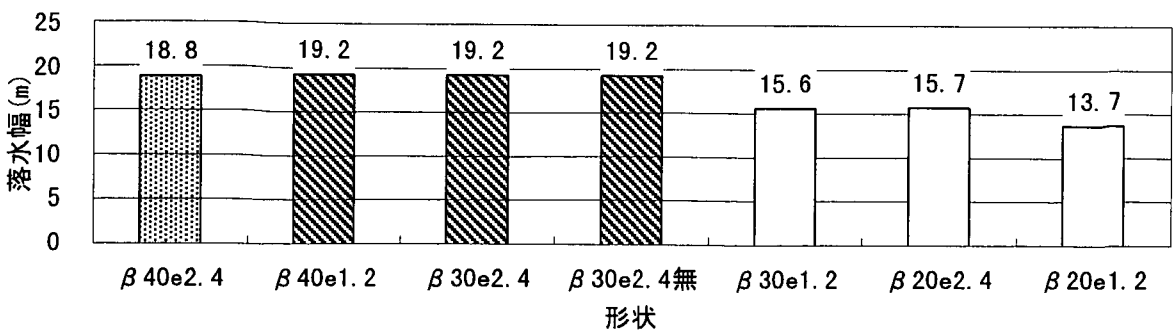


図7-5 落水幅

参考文献

- 1)土木学会：水理公式集－昭和 60 年版－，1985
- 2)栗城稔，木内豪，田中義人：首都圏外郭放水路の流入立坑に関する水理模型実験，土木研究所資料第 3243 号，1994
- 3)藤本成：洪水吐の機能設計，土木研究所資料第 977 号，1974
- 4)勝木和徳：1 面ベルマウス型式のオリフィスについて－その形状と水理特性－，土木研究所資料第 1212 号，1977
- 5)(財)ダム技術センター：多目的ダムの建設-昭和 62 年版-第 4 巻設計Ⅱ，(財)全国建設研修センター，pp.344-345，1987

付表・付図

付表3-1 形状別ピエゾ水頭(単位 : m)

開水路状態, 流量85.0m³/s

位置	単距離 (m)	横距* (m)	河床高 A. P. (m)	ケース2 β 40e2.4	ケース5 β 40e1.2	ケース8 β 30e2.4	ケース12 β 30e2.4	ケース16 β 30e1.2	ケース20 β 20e2.4	ケース23 β 20e1.2	マノメータ No.	備考
連絡 管路	0.00	0.00	-33.10									
	1.16	1.16	-33.10	-26.30	-29.60	-29.64	-30.16	-30.16	-29.76	-29.52	M1	地点A
	2.50	3.66	-33.10	-27.90	-30.66	-30.74	-31.26	-31.26	-30.62	-30.00	M2	
	2.50	6.16	-33.10	-30.30	-32.64	-32.44	-33.98	-33.98	-32.28	-30.80	M3	
	2.50	8.66	-33.10	-29.54	-31.88	-31.78	-33.66	-33.66	-31.26	-29.82	M4	
	2.50	11.16	-33.10	-30.22	-30.08	-31.78	-33.48	-33.48	-31.30	-29.10	M5	
	1.20	12.36	-33.10									
立坑 底面	0.00	12.36	-36.10									
	2.75	15.11	-36.10	-24.94	-28.88	-28.68	-27.36	-27.36	-28.78	-28.86	M6	
	3.00	18.11	-36.10	-25.24	-29.22	-29.16	-27.60	-27.60	-28.96	-29.04	M7	
	3.00	21.11	-36.10	-25.62	-29.52	-29.36	-27.68	-27.68	-28.98	-29.06	M8	
	3.00	24.11	-36.10	-25.70	-29.72	-29.40	-28.34	-28.34	-28.86	-28.90	M9	
	3.00	27.11	-36.10	-23.68	-27.42	-27.62	-25.72	-25.72	-27.90	-28.50	M10	
	2.75	29.86	-36.10									
漸縮 水路	0.00	0.00	-12.92									
	1.53	1.53	-11.63	-8.02	-7.38	-6.26	-5.58	-5.58	-3.70	-3.92	M13	
	6.76	8.29	-5.96	-2.48	-0.84	-2.34	-1.22	-1.22	1.22	4.26	M14	
	6.76	15.05	-0.29	0.52	0.62	1.04	1.32	1.32	2.14	4.68	M15	
ゲ ー ト	1.53	16.59	1.00									
	4.50	21.09	1.00	3.18	3.18	3.24	3.24	3.24	3.24	4.86	M16	地点C
	4.50	25.59	1.00									
取 付 水 路	5.00	30.59	1.00	4.12	3.28	4.20	4.22	4.22	4.20	5.06	M17	
	5.50	36.09	1.00	4.22	4.26	4.30	4.32	4.32	4.28	5.14	M18	
	5.00	41.09	1.00									

* 連絡管路、立坑底面の横距は連絡管路の水平部分の下流端(図2-6の網掛け部分の左端)からの追加距離であり、
漸縮水路、ゲート、取付水路の横距は漸縮水路下流端からの追加距離である

付表3-2 形状別流速(単位: m)

位置	単距離 (m)	横距* (m)	河床高 A. P. (m)	開水路状態, 流量85.0m ³ /s								備考
				ケース2 β 40e2.4	ケース5 β 40e1.2	ケース8 β 30e2.4	ケース12 β 30e2.4	ケース16 β 30e1.2	ケース20 β 20e2.4	ケース23 β 20e1.2	マノメタ No.	
連絡 管路	0.00	0.00	-33.10									
	1.16	1.16	-33.10	3.01	4.96	5.03	6.17	6.17	3.01	4.83	M1	地点A
	2.50	3.66	-33.10	3.27	6.36	6.38	6.56	6.56	6.34	5.77	M2	
	2.50	6.16	-33.10	6.57	9.52	8.34	—	—	7.77	6.40	M3	
	2.50	8.66	-33.10	4.86	7.01	6.90	—	—	6.56	5.37	M4	
	2.50	11.16	-33.10	6.34	5.96	6.90	—	—	6.58	4.24	M5	
	1.20	12.36	-33.10									
立坑 底面	0.00	12.36	-36.10									
	2.75	15.11	-36.10	0.60	0.92	0.90	0.76	0.76	0.91	0.92	M6	
	3.00	18.11	-36.10	0.61	0.97	0.96	0.79	0.79	0.93	0.95	M7	
	3.00	21.11	-36.10	0.64	1.01	0.99	0.79	0.79	0.94	0.95	M8	
	3.00	24.11	-36.10	0.64	1.05	1.00	0.86	0.86	0.92	0.93	M9	
	3.00	27.11	-36.10	0.54	0.77	0.79	0.64	0.64	0.81	0.88	M10	
	2.75	29.86	-36.10									
漸縮 水路	0.00	0.00	-12.92									
	1.53	1.53	-11.63	7.51	12.76	23.24	15.34	15.34	39.81	108.05	M13	
	6.76	8.29	-5.96	5.04	3.49	13.70	7.72	7.72	6.64	3.03	M14	
	6.76	15.05	-0.29	10.61	9.45	9.44	7.44	7.44	5.91	2.47	M15	
ゲ ー ト	1.53	16.59	1.00									
	4.50	21.09	1.00	4.59	4.59	4.46	4.46	4.46	4.46	2.59	M16	地点C
	4.50	25.59	1.00									
取 付 水 路	5.00	30.59	1.00	3.07	4.20	2.99	2.98	2.98	2.99	2.36	M17	
	5.50	36.09	1.00	2.84	2.81	2.78	2.76	2.76	2.79	2.21	M18	
	5.00	41.09	1.00									

* 連絡管路、立坑底面の横距は連絡管路の水平部分の下流端(図2-6の網掛け部分の左端)からの追加距離であり、
漸縮水路、ゲート、取付水路の横距は漸縮水路下流端からの追加距離である

付表3-3 形状別速度水頭(単位 : m)

開水路状態, 流量85.0m³/s

位置	単距離 (m)	横距* (m)	河床高 A. P. (m)	ケース2 β 40e2. 4	ケース5 β 40e1. 2	ケース8 β 30e2. 4	ケース12 β 30e2. 4	ケース16 β 30e1. 2	ケース20 β 20e2. 4	ケース23 β 20e1. 2	マノメータ No.	備考
連絡 管路	0.00	0.00	-33.10									
	1.16	1.16	-33.10	0.46	1.26	1.29	1.94	1.94	0.46	1.19	M1	地点 A
	2.50	3.66	-33.10	0.54	2.06	2.08	2.19	2.19	2.05	1.70	M2	
	2.50	6.16	-33.10	2.20	4.62	3.54	—	—	3.08	2.09	M3	
	2.50	8.66	-33.10	1.21	2.51	2.43	—	—	2.19	1.47	M4	
	2.50	11.16	-33.10	2.05	1.81	2.43	—	—	2.21	0.92	M5	
	1.20	12.36	-33.10									
立坑 底面	0.00	12.36	-36.10									
	2.75	15.11	-36.10	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	M6	
	3.00	18.11	-36.10	0.02	0.05	0.05	0.03	0.03	0.04	0.05	M7	
	3.00	21.11	-36.10	0.02	0.05	0.05	0.03	0.03	0.04	0.05	M8	
	3.00	24.11	-36.10	0.02	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	M9	
	3.00	27.11	-36.10	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	M10	
	2.75	29.86	-36.10									
漸縮 水路	0.00	0.00	-12.92									
	1.53	1.53	-11.63	2.88	8.30	27.55	12.00	6.42	80.86	595.70	M13	
	6.76	8.29	-5.96	1.30	0.62	9.57	3.04	1.82	2.25	0.47	M14	
	6.76	15.05	-0.29	5.74	4.56	4.54	2.82	4.14	1.78	0.31	M15	
ゲ ー ト	1.53	16.59	1.00									
	4.50	21.09	1.00	1.07	1.07	1.02	1.02	4.26	1.02	0.34	M16	地点 C
	4.50	25.59	1.00									
取 付 水 路	5.00	30.59	1.00	0.48	0.90	0.46	0.45	0.45	0.46	0.28	M17	
	5.50	36.09	1.00	0.41	0.40	0.39	0.39	0.39	0.40	0.25	M18	
	5.00	41.09	1.00									

* 連絡管路、立坑底面の横距は連絡管路の水平部分の下流端(図2-6の網掛け部分の左端)からの追加距離であり、
漸縮水路、ゲート、取付水路の横距は漸縮水路下流端からの追加距離である

付表3-4 形状別全水頭(単位 : m)

開水路状態, 流量85.0m³/s

位置	単距離 (m)	横距* (m)	河床高 A. P. (m)	ケース2 β 40e2. 4	ケース5 β 40e1. 2	ケース8 β 30e2. 4	ケース12 β 30e2. 4	ケース16 β 30e1. 2	ケース20 β 20e2. 4	ケース23 β 20e1. 2	マノメータ No.	備考
連絡 管路	0.00	0.00	-33.10									
	1.16	1.16	-33.10	-25.84	-28.34	-28.35	-28.22	-28.22	-29.30	-28.33	M1	地点A
	2.50	3.66	-33.10	-27.36	-28.60	-28.66	-29.07	-29.07	-28.57	-28.30	M2	
	2.50	6.16	-33.10	-28.10	-28.02	-28.90	-33.10	—	-29.20	-28.71	M3	
	2.50	8.66	-33.10	-28.33	-29.37	-29.35	-33.10	—	-29.07	-28.35	M4	
	2.50	11.16	-33.10	-28.17	-28.27	-29.35	-33.10	—	-29.09	-28.18	M5	
	1.20	12.36	-33.10									
立坑 底面	0.00	12.36	-36.10									
	2.75	15.11	-36.10	-24.92	-28.84	-28.64	-27.33	-27.33	-28.74	-28.82	M6	
	3.00	18.11	-36.10	-25.22	-29.17	-29.11	-27.57	-27.57	-28.92	-28.99	M7	
	3.00	21.11	-36.10	-25.60	-29.47	-29.31	-27.65	-27.65	-28.94	-29.01	M8	
	3.00	24.11	-36.10	-25.68	-29.66	-29.35	-28.30	-28.30	-28.82	-28.86	M9	
	3.00	27.11	-36.10	-23.67	-27.39	-27.59	-25.70	-25.70	-27.87	-28.46	M10	
	2.75	29.86	-36.10									
漸縮 水路	0.00	0.00	-12.92									
	1.53	1.53	-11.63	-5.14	0.92	21.29	6.42	6.42	77.16	591.78	M13	
	6.76	8.29	-5.96	-1.18	-0.22	7.23	1.82	1.82	3.47	4.73	M14	
	6.76	15.05	-0.29	6.26	5.18	5.58	4.14	4.14	3.92	4.99	M15	
ゲ ー ト	1.53	16.59	1.00									
	4.50	21.09	1.00	4.25	4.25	4.26	4.26	4.26	4.26	5.20	M16	地点C
	4.50	25.59	1.00									
取 付 水 路	5.00	30.59	1.00	4.60	4.18	4.66	4.67	4.67	4.66	5.34	M17	
	5.50	36.09	1.00	4.63	4.66	4.69	4.71	4.71	4.68	5.39	M18	
	5.00	41.09	1.00									

* 連絡管路、立坑底面の横距は連絡管路の水平部分の下流端(図2-6の網掛け部分の左端)からの追加距離であり、
漸縮水路、ゲート、取付水路の横距は漸縮水路下流端からの追加距離である

付表3-5 形状別ピエゾ水頭(単位 : m)

立坑内水位A. P. +4.081m, 流量85.0m³/s

位置	単距離 (m)	横距* (m)	河床高 A. P. (m)	ケース1 β 40e2.4	ケース4 β 40e1.2	ケース7 β 30e2.4	ケース11 β 30e2.4	ケース15 β 30e1.2	ケース19 β 20e2.4	ケース22 β 20e1.2	マノメータ No.	備考
連絡 管路	0.00	0.00	-33.10									
	1.16	1.16	-33.10	3.58	3.16	3.30	2.40	1.76	2.82	2.14	M1	地点A
	2.50	3.66	-33.10	3.52	2.98	3.20	2.02	1.72	2.64	1.76	M2	
	2.50	6.16	-33.10	3.36	2.66	2.94	1.12	1.38	2.32	1.32	M3	
	2.50	8.66	-33.10	3.44	2.66	3.02	1.44	1.00	2.18	0.78	M4	
	2.50	11.16	-33.10	3.40	2.76	3.08	0.92	0.90	2.32	0.60	M5	
立坑 底面	1.20	12.36	-33.10									
	0.00	12.36	-36.10									
	2.75	15.11	-36.10	4.16	3.60	3.54	3.52	2.36	3.28	2.22	M6	
	3.00	18.11	-36.10	4.06	3.52	3.38	3.40	2.02	3.06	1.92	M7	
	3.00	21.11	-36.10	4.04	3.38	3.22	3.30	1.68	2.60	1.68	M8	
	3.00	24.11	-36.10	4.02	3.38	3.20	3.16	1.68	2.62	1.80	M9	
立坑	3.00	27.11	-36.10	4.06	3.48	3.38	3.38	2.04	3.00	2.10	M10	
	2.75	29.86	-36.10									
	—	—	-25.24	4.04	3.44	4.04	3.92	2.70	3.88	2.98	M11-1	地点B
	—	—	-25.24	4.10	3.68	3.80	3.78	2.82	3.64	2.72	M11-2	
	—	—	-25.24	4.08	3.58	3.74	3.72	2.66	3.50	2.56	M11-3	
	—	—	-25.24	4.06	3.56	3.74	3.74	2.66	3.48	2.52	M11-4	
	—	—	-25.24	3.94	3.48	3.80	3.80	2.90	3.62	2.76	M11-5	
	—	—	-14.92	3.88	3.06	3.84	3.74	2.90	3.58	2.68	M12-1	
	—	—	-14.92	3.76	2.82	3.66	2.74	2.68	3.40	2.58	M12-2	
	—	—	-14.92	3.78	2.78	3.86	3.84	2.96	3.60	2.88	M12-3	
	—	—	-14.92	3.82	3.02	3.92	3.92	3.12	3.72	2.44	M12-4	
	—	—	-14.92	3.90	3.26	3.96	3.92	3.10	3.76	2.94	M12-5	
漸縮 水路	0.00	0.00	-12.92									
	1.53	1.53	-11.63	3.98	3.66	3.92	3.86	3.12	3.64	2.98	M13	
	6.76	8.29	-5.96	4.04	4.04	3.96	3.92	3.94	3.98	5.12	M14	
	6.76	15.05	-0.29	3.94	3.66	3.76	3.68	3.62	3.90	5.26	M15	
ゲート	1.53	16.59	1.00									
	4.50	21.09	1.00	4.08	4.06	4.08	4.08	4.08	4.08	5.37	M16	地点C
	4.50	25.59	1.00									
取付 水路	5.00	30.59	1.00	4.16	4.48	4.48	4.48	4.54	4.42	5.58	M17	
	5.50	36.09	1.00	4.20	4.58	4.54	4.58	4.62	4.54	5.60	M18	
	5.00	41.09	1.00									

* 連絡管路、立坑底面の横距は連絡管路の水平部分の下流端(図2-6の網掛け部分の左端)からの追加距離であり、
漸縮水路、ゲート、取付水路の横距は漸縮水路下流端からの追加距離である

付表3-6 形状別流速(単位 : m)

立坑内水位A. P. +4.081m. 流量85.0m³/s

位置	単距離 (m)	横距* (m)	河床高 A. P. (m)	ケース1 β 40e2. 4	ケース4 β 40e1. 2	ケース7 β 30e2. 4	ケース11 β 30e2. 4	ケース15 β 30e1. 2	ケース19 β 20e2. 4	ケース22 β 20e1. 2	マノメータ No.	備考
連絡 管路	0.00	0.00	-33.10									
	1.16	1.16	-33.10	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	M1	地点 A
	2.50	3.66	-33.10	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	M2	
	2.50	6.16	-33.10	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	M3	
	2.50	8.66	-33.10	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	M4	
	2.50	11.16	-33.10	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	M5	
立 坑 底 面	1.20	12.36	-33.10									
	0.00	12.36	-36.10									
	2.75	15.11	-36.10	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	M6	
	3.00	18.11	-36.10	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	M7	
	3.00	21.11	-36.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	M8	
	3.00	24.11	-36.10	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	M9	
立 坑	3.00	27.11	-36.10	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	M10	
	2.75	29.86	-36.10									
	—	—	-25.24	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M11-1	地点 B
	—	—	-25.24	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M11-2	
	—	—	-25.24	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M11-3	
	—	—	-25.24	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M11-4	
	—	—	-25.24	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M11-5	
	—	—	-14.92	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M12-1	
	—	—	-14.92	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M12-2	
	—	—	-14.92	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M12-3	
	—	—	-14.92	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M12-4	
	—	—	-14.92	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	M12-5	
漸 縮 水 路	0.00	0.00	-12.92									
	1.53	1.53	-11.63	1.43	1.70	2.05	2.06	2.84	3.21	5.35	M13	
	6.76	8.29	-5.96	1.93	1.98	2.41	2.43	2.44	3.03	2.49	M14	
	6.76	15.05	-0.29	3.06	3.11	3.06	3.10	3.04	3.00	2.07	M15	
ゲ ー ト	1.53	16.59	1.00									
	4.50	21.09	1.00	3.25	3.27	3.25	3.25	3.25	3.25	2.29	M16	地点 C
	4.50	25.59	1.00									
取 付 水 路	5.00	30.59	1.00	3.03	2.75	2.75	2.75	2.71	2.80	2.09	M17	
	5.50	36.09	1.00	2.86	2.56	2.59	2.56	2.53	2.59	1.99	M18	
	5.00	41.09	1.00									

* 連絡管路、立坑底面の横距は連絡管路の水平部分の下流端(図2-6の網掛け部分の左端)からの追加距離であり、
漸縮水路、ゲート、取付水路の横距は漸縮水路下流端からの追加距離である

付表3-7 形状別速度水頭(単位: m)

立坑内水位A. P. +4.081m. 流量85.0m³/s

位置	単距離 (m)	横距* (m)	河床高 A. P. (m)	ケース1 β 40e2. 4	ケース4 β 40e1. 2	ケース7 β 30e2. 4	ケース11 β 30e2. 4	ケース15 β 30e1. 2	ケース19 β 20e2. 4	ケース22 β 20e1. 2	マ/メ- No.	備考
連絡 管路	0.00	0.00	-33.10									
	1.16	1.16	-33.10	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	M1	地点A
	2.50	3.66	-33.10	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	M2	
	2.50	6.16	-33.10	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	M3	
	2.50	8.66	-33.10	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	M4	
	2.50	11.16	-33.10	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	M5	
立坑 底面	1.20	12.36	-33.10									
	0.00	12.36	-36.10									
	2.75	15.11	-36.10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	M6	
	3.00	18.11	-36.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M7	
	3.00	21.11	-36.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M8	
	3.00	24.11	-36.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M9	
立坑	3.00	27.11	-36.10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	M10	
	2.75	29.86	-36.10									
	—	—	-25.24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M11-1	地点B
	—	—	-25.24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M11-2	
	—	—	-25.24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M11-3	
	—	—	-25.24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M11-4	
	—	—	-25.24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M11-5	
	—	—	-14.92	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M12-1	
	—	—	-14.92	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M12-2	
	—	—	-14.92	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M12-3	
	—	—	-14.92	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M12-4	
	—	—	-14.92	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	M12-5	
漸縮 水路	0.00	0.00	-12.92									
	1.53	1.53	-11.63	0.10	0.15	0.21	0.22	3.53	0.52	1.46	M13	
	6.76	8.29	-5.96	0.19	0.20	0.30	0.30	4.24	0.47	0.32	M14	
	6.76	15.05	-0.29	0.48	0.49	0.48	0.49	4.09	0.46	0.22	M15	
ゲ ー ト	1.53	16.59	1.00									
	4.50	21.09	1.00	0.54	0.54	0.54	0.54	4.62	0.54	0.27	M16	地点C
	4.50	25.59	1.00									
取 付 水 路	5.00	30.59	1.00	0.47	0.39	0.39	0.39	0.37	0.40	0.22	M17	
	5.50	36.09	1.00	0.42	0.33	0.34	0.33	0.33	0.34	0.20	M18	
	5.00	41.09	1.00									

* 連絡管路、立坑底面の横距は連絡管路の水平部分の下流端(図2-6の網掛け部分の左端)からの追加距離であり、
漸縮水路、ゲート、取付水路の横距は漸縮水路下流端からの追加距離である

付表3-8 形状別全水頭(単位: m)

立坑内水位A. P. +4.081m. 流量85.0m³/s

位置	単距離 (m)	横距* (m)	河床高 A. P. (m)	ケース1 β 40e2. 4	ケース4 β 40e1. 2	ケース7 β 30e2. 4	ケース11 β 30e2. 4	ケース15 β 30e1. 2	ケース19 β 20e2. 4	ケース22 β 20e1. 2	マノメ-タ No.	備考
連絡管路	0.00	0.00	-33.10									
	1.16	1.16	-33.10	4.04	3.62	3.76	2.86	2.22	3.28	2.60	M1	地点A
	2.50	3.66	-33.10	3.98	3.44	3.66	2.48	2.18	3.10	2.22	M2	
	2.50	6.16	-33.10	3.82	3.12	3.40	1.58	1.84	2.78	1.78	M3	
	2.50	8.66	-33.10	3.90	3.12	3.48	1.90	1.46	2.64	1.24	M4	
	2.50	11.16	-33.10	3.86	3.22	3.54	1.38	1.36	2.78	1.06	M5	
立坑底面	1.20	12.36	-33.10									
	0.00	12.36	-36.10									
	2.75	15.11	-36.10	4.18	3.62	3.56	3.54	2.38	3.30	2.24	M6	
	3.00	18.11	-36.10	4.07	3.53	3.39	3.41	2.03	3.07	1.93	M7	
	3.00	21.11	-36.10	4.05	3.39	3.23	3.31	1.69	2.61	1.69	M8	
	3.00	24.11	-36.10	4.03	3.39	3.21	3.17	1.69	2.63	1.81	M9	
立坑	3.00	27.11	-36.10	4.08	3.50	3.40	3.40	2.06	3.02	2.12	M10	
	2.75	29.86	-36.10									
	—	—	-25.24	4.05	3.45	4.05	3.93	2.71	3.89	2.99	M11-1	地点B
	—	—	-25.24	4.11	3.69	3.81	3.79	2.83	3.65	2.73	M11-2	
	—	—	-25.24	4.09	3.59	3.75	3.73	2.67	3.51	2.57	M11-3	
	—	—	-25.24	4.07	3.57	3.75	3.75	2.67	3.49	2.53	M11-4	
	—	—	-25.24	3.95	3.49	3.81	3.81	2.91	3.63	2.77	M11-5	
	—	—	-14.92	3.89	3.07	3.85	3.75	2.91	3.59	2.69	M12-1	
	—	—	-14.92	3.77	2.83	3.67	2.75	2.69	3.41	2.59	M12-2	
	—	—	-14.92	3.79	2.79	3.87	3.85	2.97	3.61	2.89	M12-3	
	—	—	-14.92	3.83	3.03	3.93	3.93	3.13	3.73	2.45	M12-4	
	—	—	-14.92	3.91	3.27	3.97	3.93	3.11	3.77	2.95	M12-5	
漸縮水路	0.00	0.00	-12.92									
	1.53	1.53	-11.63	4.08	3.81	4.13	4.08	3.53	4.16	4.44	M13	
	6.76	8.29	-5.96	4.23	4.24	4.26	4.22	4.24	4.45	5.44	M14	
	6.76	15.05	-0.29	4.42	4.15	4.24	4.17	4.09	4.36	5.48	M15	
ゲート	1.53	16.59	1.00									
	4.50	21.09	1.00	4.62	4.60	4.62	4.62	4.62	4.62	5.64	M16	地点C
	4.50	25.59	1.00									
取付水路	5.00	30.59	1.00	4.63	4.87	4.87	4.87	4.91	4.82	5.80	M17	
	5.50	36.09	1.00	4.62	4.91	4.88	4.91	4.95	4.88	5.80	M18	
	5.00	41.09	1.00									

* 連絡管路、立坑底面の横距は連絡管路の水平部分の下流端(図2-6の網掛け部分の左端)からの追加距離であり、
漸縮水路、ゲート、取付水路の横距は漸縮水路下流端からの追加距離である

付表 5-1 圧力変動一覧表

CASE 2		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	25.351	22.402	16.348	17.558
	最小値	8.691	2.930	8.359	7.715
	変動量	16.660	19.473	7.989	9.843
	標準偏差	3.035	2.816	1.614	1.409
	平均値	14.716	10.897	11.638	11.442
2回目	最大値	29.180	18.359	15.820	15.742
	最小値	7.324	5.215	7.246	7.090
	変動量	21.856	13.144	8.574	8.653
	標準偏差	3.337	2.344	1.567	1.397
	平均値	14.526	10.766	11.468	11.614
3回目	最大値	27.558	24.160	16.812	16.650
	最小値	6.484	3.164	7.446	7.744
	変動量	21.074	20.996	9.366	8.905
	標準偏差	3.201	2.620	1.681	1.598
	平均値	14.473	10.476	12.161	12.067
平均値	最大値	27.363	21.641	16.327	16.650
	最小値	7.500	3.770	7.684	7.516
	変動量	19.863	17.871	8.643	9.134
	標準偏差	3.191	2.593	1.620	1.468
	平均値	14.572	10.713	11.756	11.708

CASE 3		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	24.278	7.637	16.309	10.234
	最小値	3.886	2.246	4.043	3.594
	変動量	20.391	5.390	12.266	6.641
	標準偏差	2.713	0.829	2.320	1.139
	平均値	12.003	4.793	8.513	6.120
2回目	最大値	23.008	6.621	14.942	8.946
	最小値	6.270	2.519	3.203	3.183
	変動量	16.738	4.102	11.738	5.762
	標準偏差	2.689	0.793	2.300	1.073
	平均値	11.935	4.667	8.492	6.200
3回目	最大値	22.422	8.066	15.274	9.902
	最小値	5.410	1.133	4.317	3.262
	変動量	17.011	6.934	10.957	6.641
	標準偏差	2.838	0.844	2.132	1.096
	平均値	12.066	4.732	8.474	6.215
平均値	最大値	23.236	7.441	15.508	9.694
	最小値	5.189	1.966	3.854	3.346
	変動量	18.047	5.475	11.654	6.348
	標準偏差	2.747	0.822	2.251	1.102
	平均値	12.001	4.731	8.493	6.178

付表 5-2 圧力変動一覧表

CASE 5		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	22.774	25.410	26.386	18.359
	最小値	8.594	10.176	9.531	4.707
	変動量	14.180	15.234	16.855	13.652
	標準偏差	2.284	2.672	2.864	2.667
	平均値	13.823	15.327	14.567	12.217
2回目	最大値	20.000	25.469	23.926	20.957
	最小値	7.637	8.379	8.770	5.274
	変動量	12.363	17.090	15.156	15.683
	標準偏差	2.160	2.654	2.730	2.821
	平均値	13.531	15.136	14.795	12.450
3回目	最大値	23.301	23.125	26.973	23.672
	最小値	9.687	9.863	8.047	6.484
	変動量	13.614	13.262	18.926	17.188
	標準偏差	2.020	2.526	2.647	3.130
	平均値	13.701	15.197	14.698	12.773
平均値	最大値	22.025	24.668	25.762	20.996
	最小値	8.639	9.473	8.783	5.488
	変動量	13.386	15.195	16.979	15.508
	標準偏差	2.155	2.617	2.747	2.873
	平均値	13.685	15.220	14.687	12.480

CASE 6		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	22.168	10.664	21.348	22.363
	最小値	4.180	1.406	5.313	3.633
	変動量	17.988	9.258	16.035	18.730
	標準偏差	3.427	1.103	3.023	3.352
	平均値	13.392	4.883	10.582	9.953
2回目	最大値	22.363	8.886	22.578	21.894
	最小値	4.863	1.367	5.254	4.218
	変動量	17.500	7.519	17.325	17.676
	標準偏差	3.251	1.050	2.478	3.444
	平均値	12.688	4.887	10.361	10.209
3回目	最大値	22.871	8.477	22.969	18.379
	最小値	5.195	1.855	4.199	1.386
	変動量	17.676	6.622	18.770	16.993
	標準偏差	3.572	1.057	3.229	3.277
	平均値	12.895	4.882	10.459	10.018
平均値	最大値	22.467	9.342	22.298	20.879
	最小値	4.746	1.543	4.922	3.079
	変動量	17.721	7.799	17.377	17.800
	標準偏差	3.416	1.070	2.910	3.358
	平均値	12.992	4.884	10.467	10.060

付表 5-3 圧力変動一覧表

CASE 8		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	16.230	10.137	16.270	15.004
	最小値	0.098	0.176	6.680	0.094
	変動量	16.133	9.961	9.590	14.910
	標準偏差	3.134	1.427	1.686	10.347
	平均値	3.872	4.198	10.879	5.606
2回目	最大値	11.386	9.218	16.738	15.981
	最小値	0.019	0.313	6.875	0.016
	変動量	11.367	8.906	9.863	15.965
	標準偏差	2.078	1.504	1.751	2.925
	平均値	3.153	4.273	10.588	4.788
3回目	最大値	11.953	10.137	16.914	15.981
	最小値	0.019	0.313	7.461	0.023
	変動量	11.934	9.824	9.454	15.958
	標準偏差	2.218	1.437	1.553	3.272
	平均値	2.817	4.328	10.757	5.139
平均値	最大値	13.190	9.831	16.641	15.655
	最小値	0.045	0.267	7.005	0.044
	変動量	13.145	9.563	9.635	15.611
	標準偏差	2.477	1.456	1.663	5.514
	平均値	3.281	4.266	10.741	5.178

CASE 9		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	18.359	9.629	9.629	22.598
	最小値	5.606	3.438	3.438	3.554
	変動量	12.754	6.191	6.191	19.043
	標準偏差	1.710	1.242	1.223	3.421
	平均値	11.345	6.460	6.387	10.174
2回目	最大値	18.301	12.246	10.332	21.660
	最小値	3.672	3.906	4.218	4.414
	変動量	14.629	8.340	6.114	17.246
	標準偏差	1.905	1.434	1.360	3.390
	平均値	13.323	6.825	6.847	10.295
3回目	最大値	19.141	10.859	10.859	20.117
	最小値	9.414	3.867	4.297	2.969
	変動量	9.726	6.992	6.562	17.148
	標準偏差	1.394	1.141	1.111	3.260
	平均値	14.141	6.543	6.555	10.400
平均値	最大値	18.600	10.911	10.273	21.458
	最小値	6.231	3.737	3.984	3.646
	変動量	12.370	7.174	6.289	17.812
	標準偏差	1.670	1.273	1.232	3.357
	平均値	12.936	6.609	6.596	10.289

付表 5-4 圧力変動一覧表

CASE 10		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	10.254	2.969	3.066	8.262
	最小値	7.715	0.957	1.114	6.172
	変動量	2.538	2.012	1.953	2.090
	標準偏差	0.409	0.311	0.301	0.222
	平均値	8.688	1.828	1.893	7.378
2回目	最大値	10.176	2.500	2.598	8.008
	最小値	7.519	0.859	1.054	6.738
	変動量	2.657	1.641	1.543	1.270
	標準偏差	0.452	0.271	0.257	0.184
	平均値	8.752	1.773	1.803	7.385
3回目	最大値	10.801	2.774	2.695	7.969
	最小値	7.422	1.094	1.172	6.718
	変動量	3.379	1.680	1.523	1.250
	標準偏差	0.509	0.277	0.289	0.175
	平均値	8.572	1.793	1.835	7.399
平均値	最大値	10.410	2.747	2.786	8.079
	最小値	7.552	0.970	1.113	6.543
	変動量	2.858	1.778	1.673	1.537
	標準偏差	0.457	0.286	0.282	0.194
	平均値	8.671	1.798	1.844	7.387

CASE 12		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	21.211	14.738	19.394	15.203
	最小値	8.125	8.019	10.078	5.594
	変動量	13.086	6.719	9.316	9.610
	標準偏差	2.607	1.372	1.393	1.270
	平均値	14.078	11.069	13.211	12.130
2回目	最大値	24.297	21.106	19.707	16.121
	最小値	7.598	8.039	8.614	8.738
	変動量	16.699	13.066	11.094	16.446
	標準偏差	3.022	2.185	1.536	1.322
	平均値	14.575	10.873	13.406	11.899
3回目	最大値	26.016	21.340	18.477	17.938
	最小値	7.851	8.019	10.450	5.106
	変動量	18.165	13.321	8.027	12.832
	標準偏差	2.760	1.972	1.479	2.393
	平均値	14.237	11.203	13.559	11.331
平均値	最大値	23.841	19.061	19.193	16.421
	最小値	7.858	8.026	9.714	6.479
	変動量	15.983	11.035	9.479	12.962
	標準偏差	2.796	1.843	1.469	1.662
	平均値	14.296	11.048	13.392	11.787

付表 5-5 圧力変動一覧表

CASE 13		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	16.992	14.176	12.637	12.910
	最小値	5.019	4.019	2.734	6.797
	変動量	11.973	10.157	9.902	6.114
	標準偏差	1.838	1.932	1.364	1.193
	平均値	9.816	6.432	8.220	9.295
2回目	最大値	16.797	14.293	12.637	12.910
	最小値	5.547	4.078	5.645	6.797
	変動量	11.250	10.214	6.992	6.114
	標準偏差	1.811	1.741	1.247	1.075
	平均値	9.474	6.676	8.288	9.263
3回目	最大値	17.890	11.910	12.266	12.734
	最小値	4.746	0.504	5.234	6.973
	変動量	13.144	11.406	7.031	5.762
	標準偏差	1.817	2.265	1.227	1.236
	平均値	9.761	5.559	8.261	9.354
平均値	最大値	17.226	13.460	12.513	12.852
	最小値	5.104	2.867	4.538	6.855
	変動量	12.122	10.593	7.975	5.996
	標準偏差	1.822	1.979	1.279	1.168
	平均値	9.684	6.222	8.256	9.304

CASE 14		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	4.863	5.058	4.649	4.394
	最小値	3.145	3.125	2.890	2.012
	変動量	1.718	1.934	1.758	2.382
	標準偏差	0.302	0.287	0.248	0.242
	平均値	4.108	3.977	3.811	3.774
2回目	最大値	5.000	5.078	4.297	4.766
	最小値	3.496	3.203	2.871	2.969
	変動量	1.504	1.875	1.426	1.797
	標準偏差	0.269	0.268	0.223	0.230
	平均値	4.217	4.005	3.661	3.737
3回目	最大値	5.234	5.019	4.550	4.550
	最小値	3.282	3.262	3.047	3.164
	変動量	1.953	1.758	1.503	1.386
	標準偏差	0.287	0.268	0.220	0.243
	平均値	4.166	3.999	3.739	3.769
平均値	最大値	5.033	5.052	4.499	4.570
	最小値	3.307	3.197	2.936	2.715
	変動量	1.725	1.855	1.562	1.855
	標準偏差	0.286	0.274	0.230	0.238
	平均値	4.163	3.993	3.737	3.760

付表 5-6 圧力変動一覧表

CASE 16		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	23.906	26.054	18.183	9.434
	最小値	6.582	6.758	6.211	4.434
	変動量	17.324	19.297	11.972	5.000
	標準偏差	3.181	3.529	2.326	0.838
	平均値	14.335	14.457	10.836	6.506
2回目	最大値	24.629	23.711	17.149	9.336
	最小値	6.738	6.973	5.430	4.550
	変動量	17.890	16.738	11.719	4.786
	標準偏差	2.962	3.022	2.015	0.821
	平均値	14.815	14.007	10.769	6.893
3回目	最大値	23.398	23.496	19.121	9.531
	最小値	7.187	5.683	5.293	2.969
	変動量	16.211	17.813	13.828	6.562
	標準偏差	2.956	3.067	2.117	0.912
	平均値	14.652	14.423	10.571	7.034
平均値	最大値	23.978	24.421	18.151	9.434
	最小値	6.836	6.471	5.645	3.984
	変動量	17.142	17.949	12.506	5.449
	標準偏差	3.033	3.206	2.153	0.857
	平均値	14.601	14.295	10.725	6.811

CASE 17		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	22.813	10.683	10.782	21.406
	最小値	8.047	3.828	2.207	7.558
	変動量	14.766	6.855	8.574	13.848
	標準偏差	2.930	0.961	1.568	2.746
	平均値	14.596	6.121	5.870	14.069
2回目	最大値	23.789	8.926	11.133	23.906
	最小値	6.992	3.379	2.598	7.500
	変動量	16.797	5.546	8.535	16.406
	標準偏差	3.124	0.931	1.644	2.792
	平均値	14.679	6.042	6.075	14.469
3回目	最大値	22.383	9.453	11.074	22.422
	最小値	7.187	3.614	2.715	7.578
	変動量	15.196	5.839	8.359	14.843
	標準偏差	2.852	0.924	1.672	2.777
	平均値	14.448	6.045	5.837	14.157
平均値	最大値	22.995	9.687	10.996	22.578
	最小値	7.409	3.607	2.507	7.546
	変動量	15.586	6.080	8.490	15.033
	標準偏差	2.968	0.939	1.628	2.772
	平均値	14.574	6.069	5.927	14.232

付表 5-7 圧力変動一覧表

CASE 18		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	5.703	1.602	4.258	4.434
	最小値	2.402	0.254	1.270	2.578
	変動量	3.301	1.348	2.988	1.855
	標準偏差	0.578	0.281	0.340	0.189
	平均値	3.727	0.875	2.267	3.208
2回目	最大値	5.469	2.890	4.023	3.594
	最小値	2.110	0.390	1.270	2.617
	変動量	3.359	2.500	2.754	0.977
	標準偏差	0.604	0.372	0.336	0.158
	平均値	3.887	1.362	2.282	3.192
3回目	最大値	6.094	2.637	3.398	3.633
	最小値	2.383	0.722	1.446	2.774
	変動量	3.710	1.914	1.953	0.859
	標準偏差	0.535	0.334	0.309	0.151
	平均値	3.804	1.625	2.286	3.184
平均値	最大値	5.755	2.376	3.893	3.887
	最小値	2.298	0.455	1.328	2.656
	変動量	3.457	1.921	2.565	1.230
	標準偏差	0.572	0.329	0.328	0.166
	平均値	3.806	1.287	2.278	3.194

CASE 20		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	24.774	21.289	25.371	9.902
	最小値	2.078	6.426	8.926	3.730
	変動量	22.695	14.863	16.446	6.172
	標準偏差	4.8849	2.136	2.452	0.895
	平均値	13.292	12.391	14.683	6.522
2回目	最大値	23.973	19.355	23.614	10.703
	最小値	3.309	8.027	8.359	1.114
	変動量	20.664	11.328	15.254	9.590
	標準偏差	4.537	2.113	2.621	1.178
	平均値	13.011	12.574	14.715	6.453
3回目	最大値	23.973	19.199	23.438	8.730
	最小値	1.902	5.566	8.946	4.278
	変動量	22.070	13.633	14.492	4.453
	標準偏差	4.822	2.150	2.670	0.820
	平均値	13.555	12.956	14.722	6.362
平均値	最大値	24.240	19.948	24.141	9.779
	最小値	2.430	6.673	8.743	3.041
	変動量	21.810	13.275	15.397	6.738
	標準偏差	4.748	2.133	2.581	0.964
	平均値	13.286	12.640	14.707	6.446

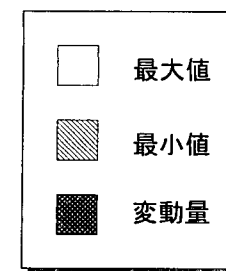
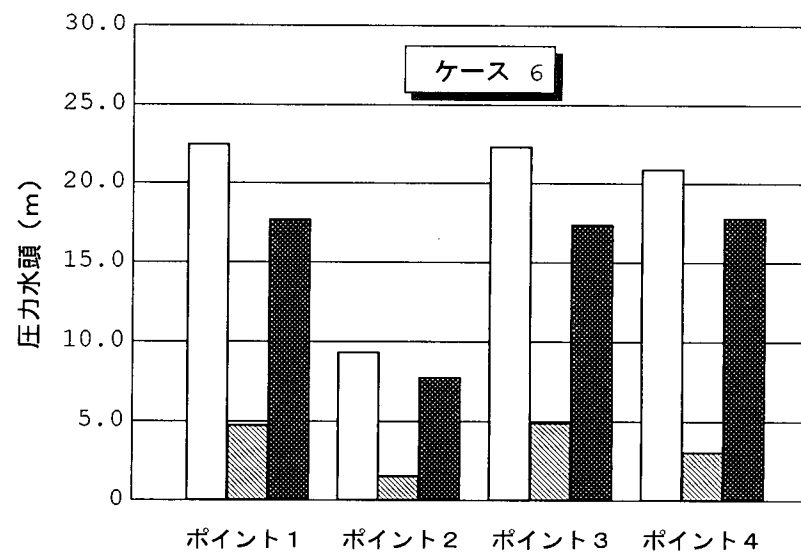
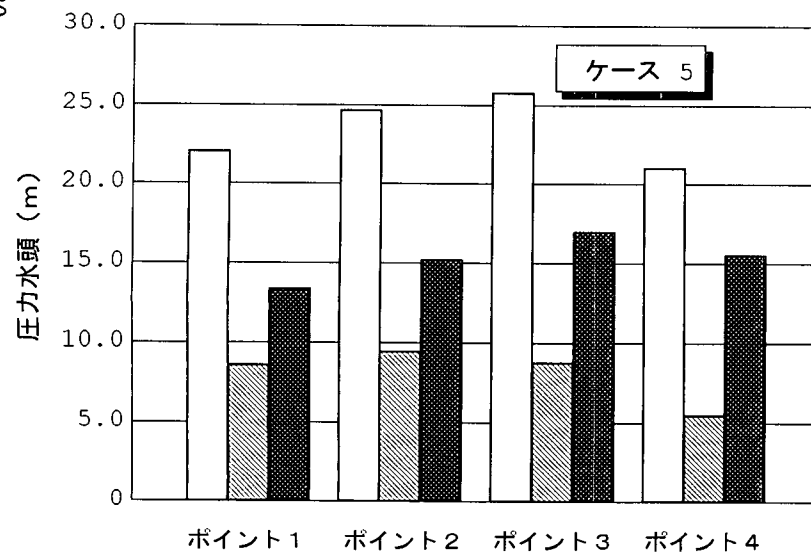
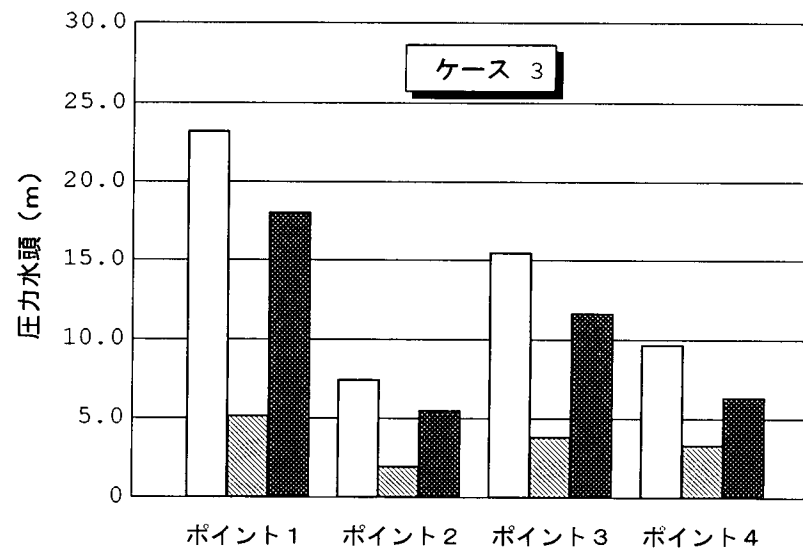
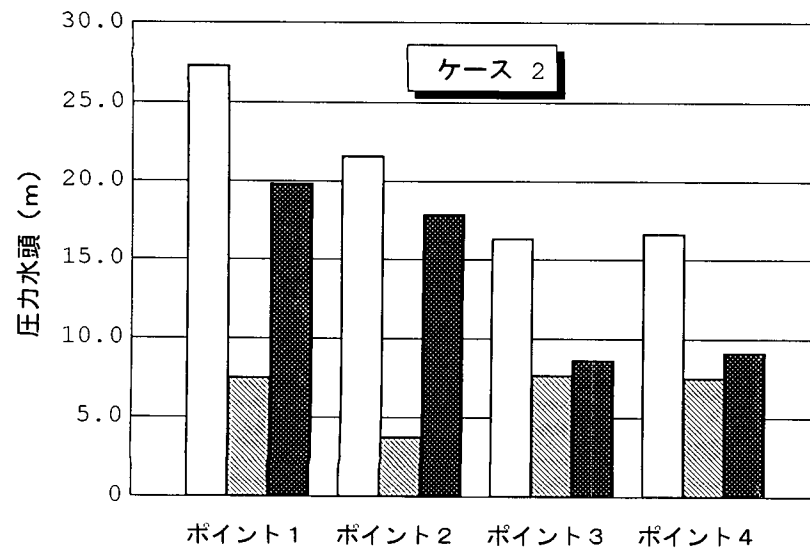
付表 5-8 圧力変動一覧表

CASE 21		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	25.488	17.050	19.348	19.844
	最小値	4.394	1.172	8.019	10.840
	変動量	21.094	15.878	11.329	9.004
	標準偏差	2.895	2.894	2.698	1.111
	平均値	11.443	8.704	11.559	12.933
2回目	最大値	21.367	23.848	24.191	16.016
	最小値	5.137	0.137	8.019	10.430
	変動量	16.230	23.711	16.172	5.586
	標準偏差	2.778	3.194	2.743	1.064
	平均値	11.661	8.951	11.057	12.838
3回目	最大値	20.430	25.137	24.504	16.738
	最小値	5.840	0.782	8.000	9.687
	変動量	14.590	24.355	16.504	7.051
	標準偏差	2.618	3.185	3.085	1.001
	平均値	11.493	9.222	11.669	12.722
平均値	最大値	22.428	22.012	22.681	17.533
	最小値	5.124	0.697	8.013	10.319
	変動量	17.305	21.315	14.668	7.214
	標準偏差	2.764	3.091	2.842	1.059
	平均値	11.533	8.959	11.428	12.831

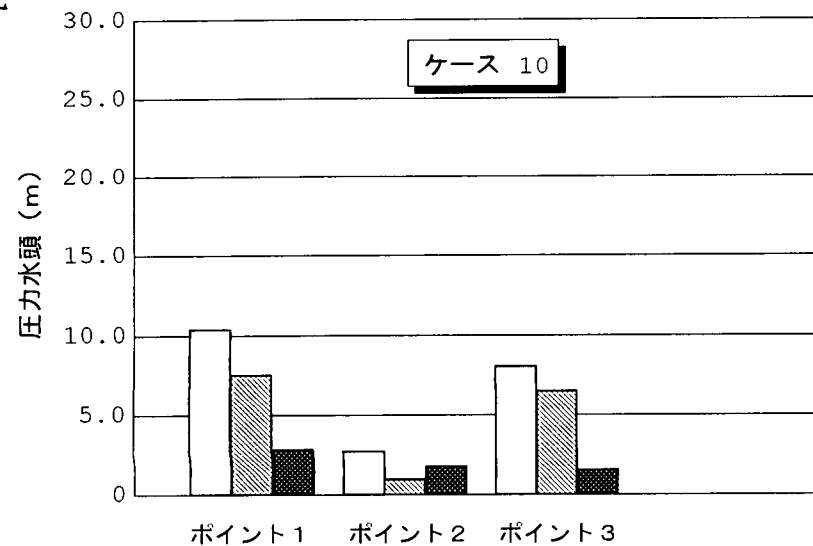
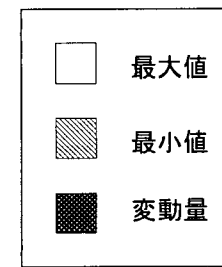
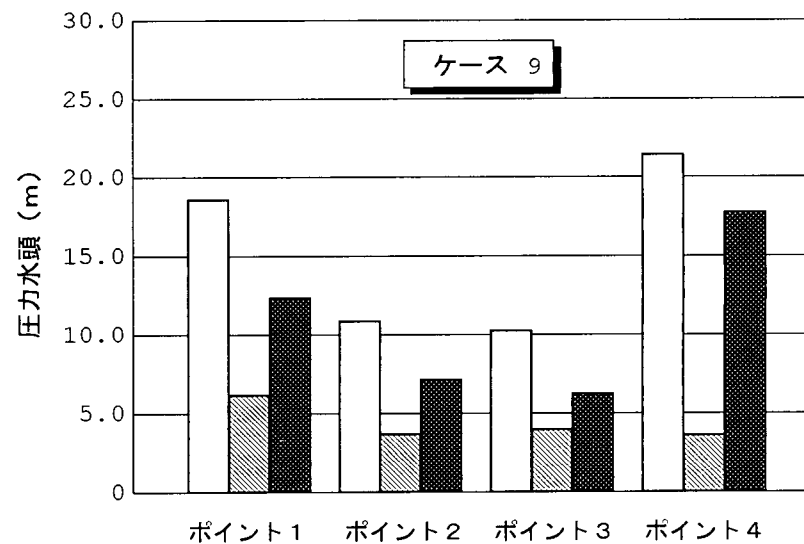
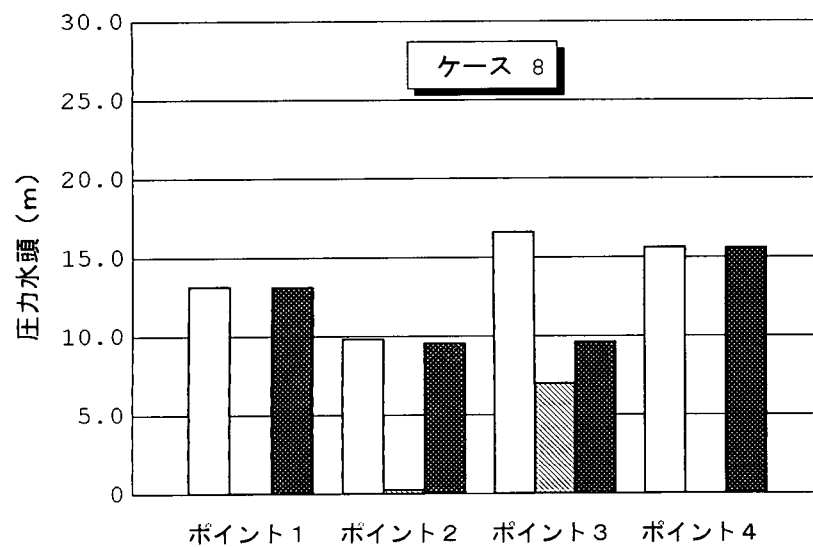
CASE 23		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	22.629	29.180	21.711	16.778
	最小値	8.058	7.285	8.019	5.840
	変動量	14.570	21.895	13.692	10.938
	標準偏差	3.331	4.532	4.159	1.931
	平均値	12.760	17.185	13.184	10.558
2回目	最大値	22.258	29.492	24.738	16.133
	最小値	8.019	5.645	8.058	5.390
	変動量	14.238	23.847	16.680	10.742
	標準偏差	3.009	4.174	3.974	2.083
	平均値	12.625	16.947	13.014	10.105
3回目	最大値	25.110	29.590	21.965	18.867
	最小値	8.098	2.266	8.019	5.254
	変動量	17.012	27.324	13.946	13.614
	標準偏差	3.906	4.455	3.285	2.250
	平均値	14.256	16.764	12.312	10.574
平均値	最大値	23.332	29.421	22.805	17.259
	最小値	8.058	5.065	8.032	5.495
	変動量	15.274	24.355	14.773	11.765
	標準偏差	3.415	4.387	3.806	2.088
	平均値	13.213	16.965	12.837	10.412

付表 5-9 圧力変動一覧表

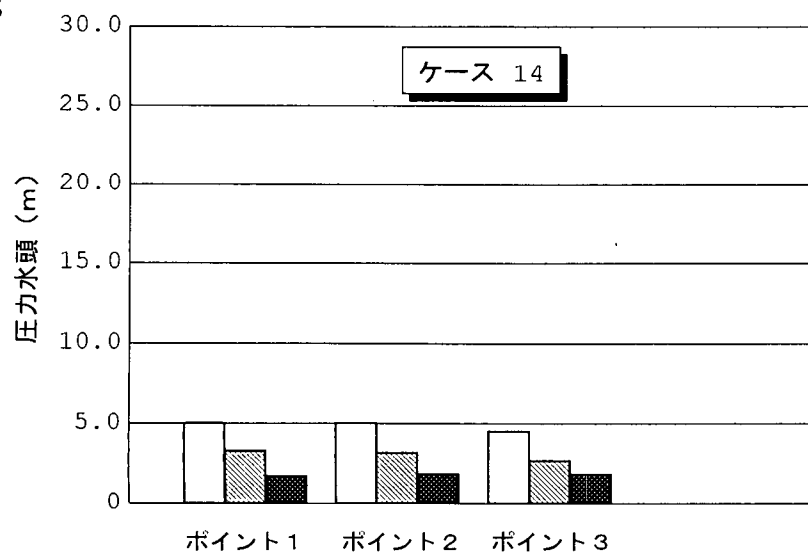
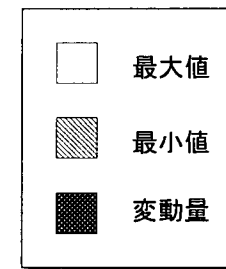
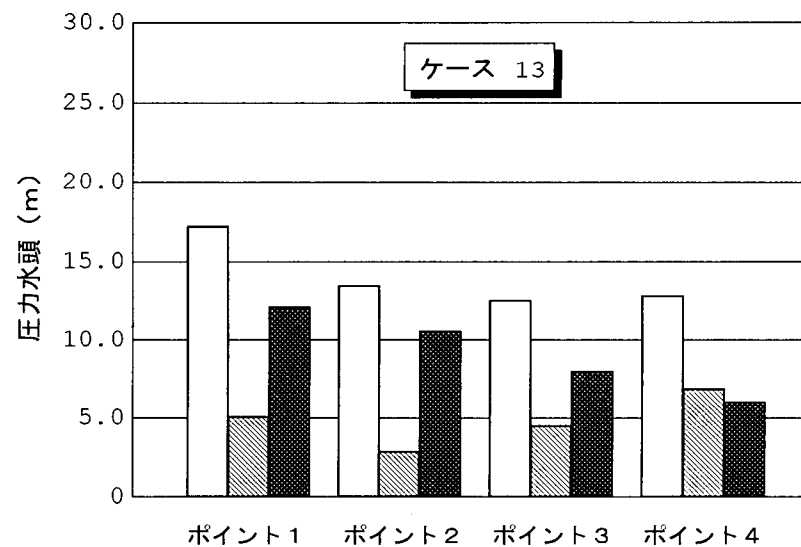
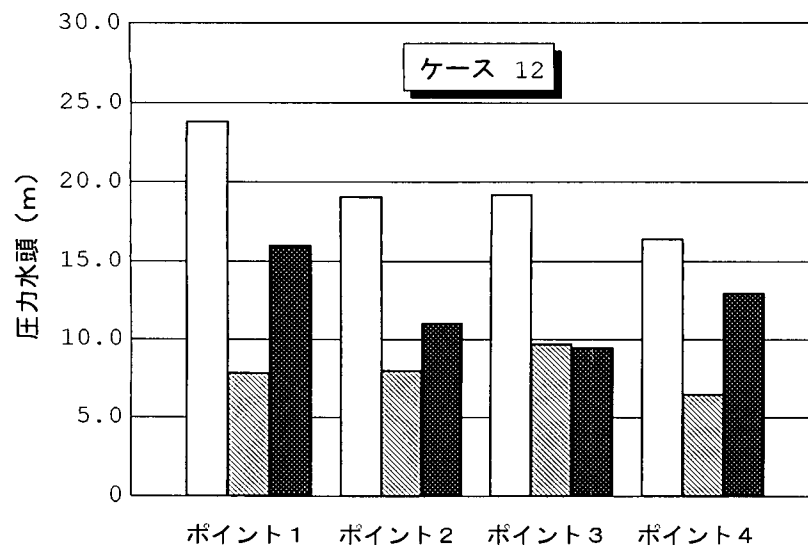
CASE 2 4		立坑底面部を0とした圧力水頭(m)			
		ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
1回目	最大値	15.019	12.500	20.782	16.133
	最小値	0.058	0.957	5.058	4.805
	変動量	14.961	11.543	15.723	11.328
	標準偏差	3.652	2.107	3.682	1.935
	平均値	6.291	6.098	13.006	8.303
2回目	最大値	20.039	13.242	20.039	13.203
	最小値	0.019	0.313	6.133	4.707
	変動量	20.020	12.930	13.906	8.496
	標準偏差	4.522	2.248	2.926	1.709
	平均値	7.639	6.172	12.995	8.017
3回目	最大値	19.434	12.090	20.019	16.523
	最小値	0.117	0.078	7.187	3.614
	変動量	19.317	12.011	12.832	12.910
	標準偏差	4.880	2.391	2.722	2.106
	平均値	9.011	6.293	14.528	8.369
平均値	最大値	18.164	12.611	20.280	15.286
	最小値	0.065	0.449	6.126	4.375
	変動量	18.099	12.161	14.154	10.911
	標準偏差	4.351	2.249	3.110	1.917
	平均値	7.647	6.187	13.510	8.230



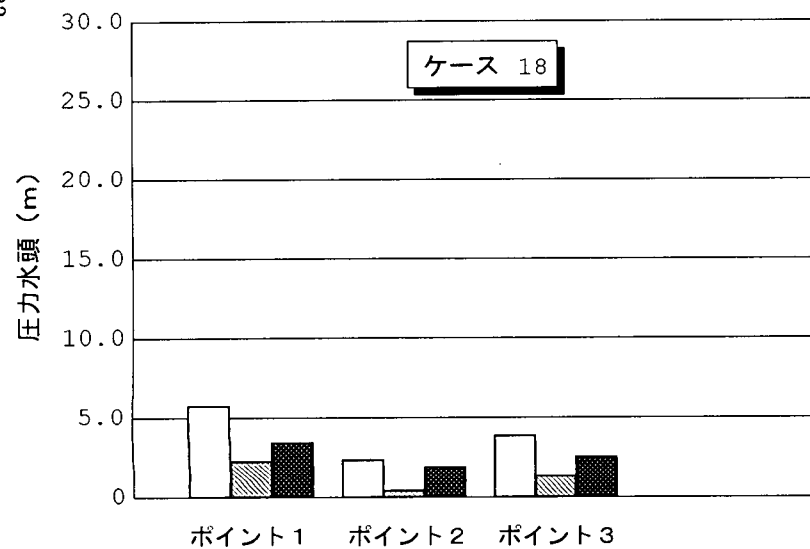
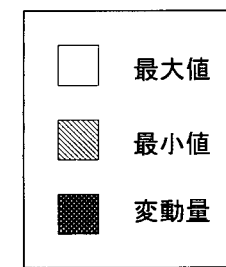
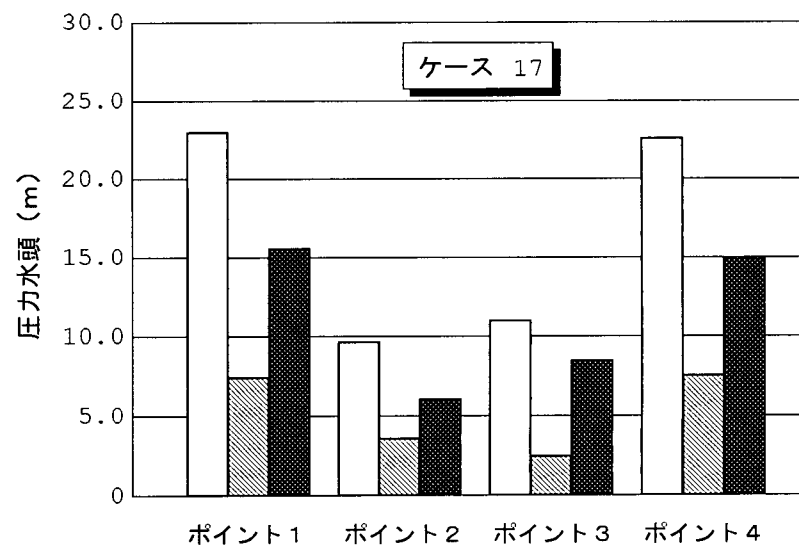
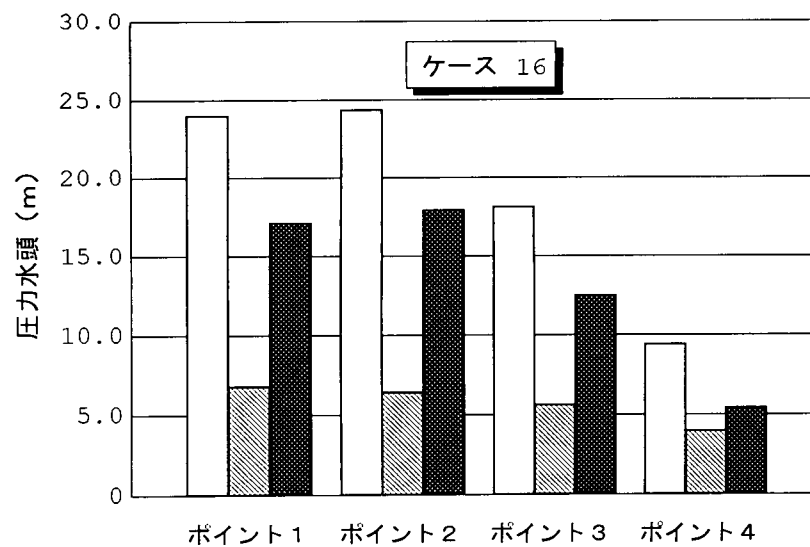
付図 5-1 衝撃圧計測結果 (β 40)



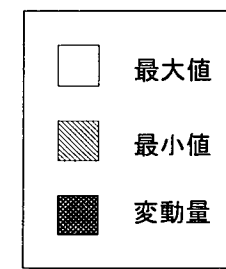
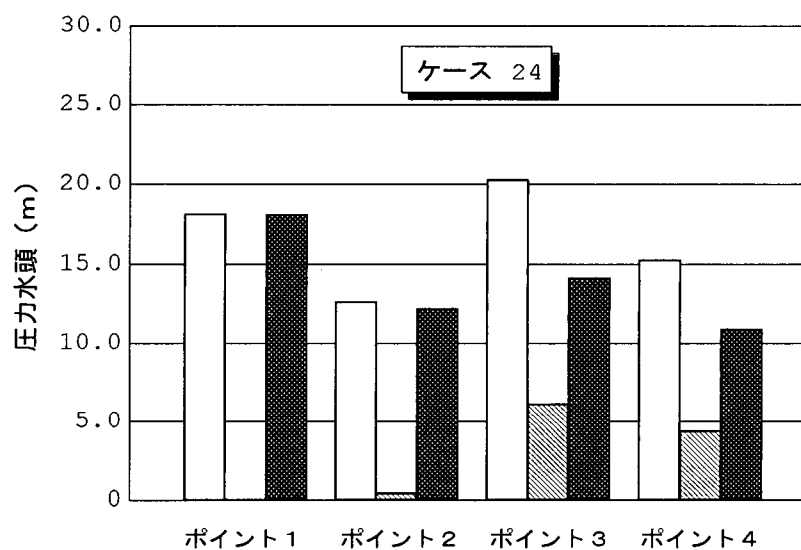
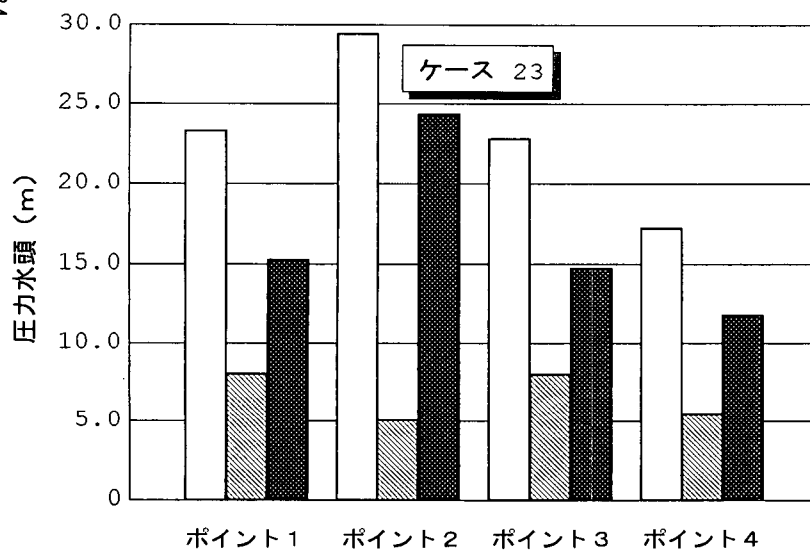
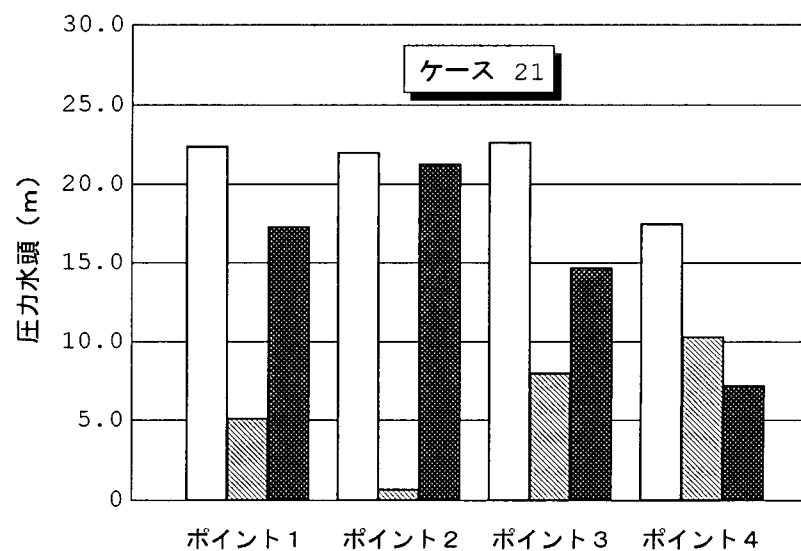
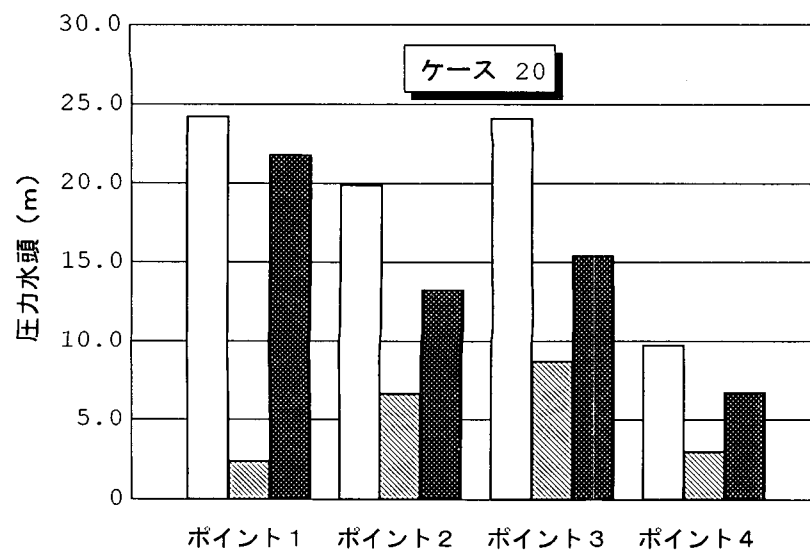
付図 5-2 衝撃圧計測結果 (β 30)



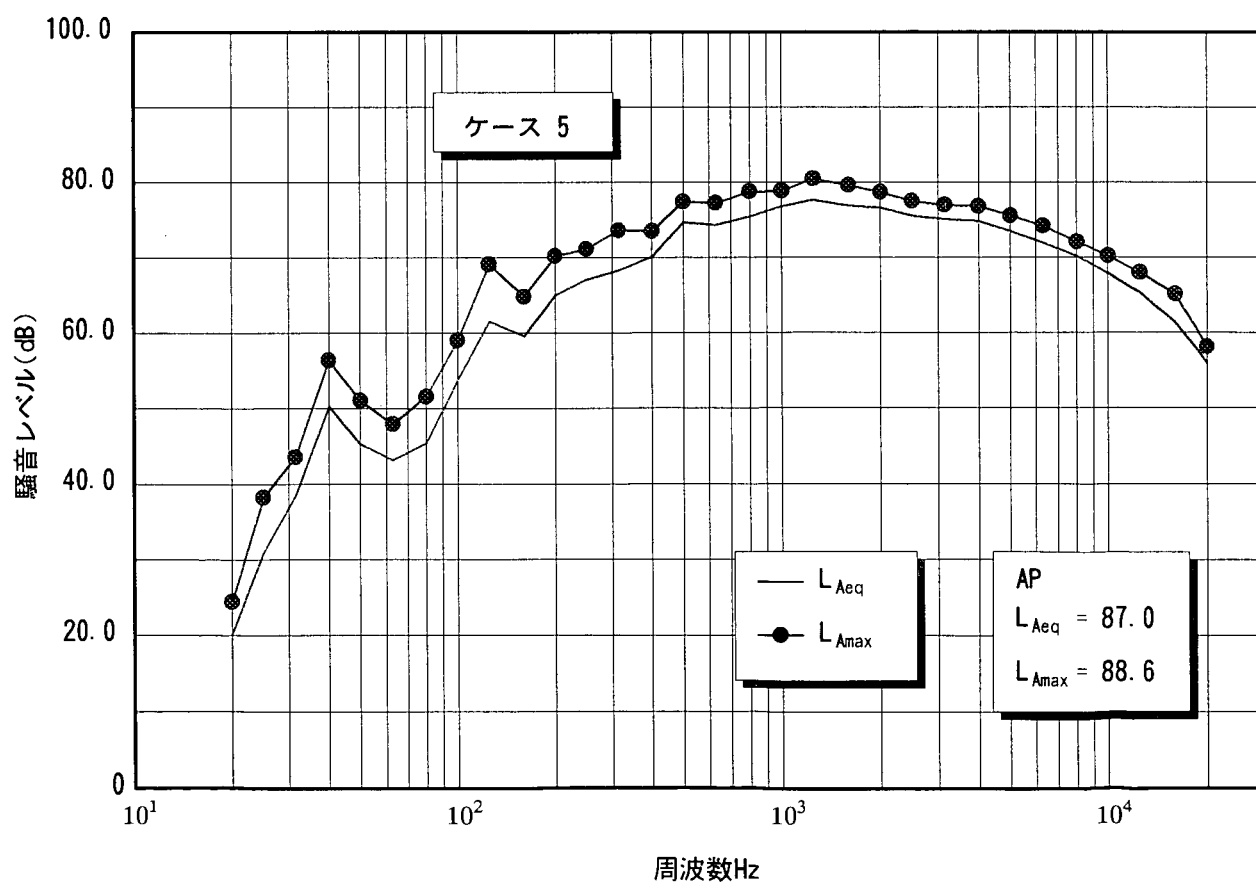
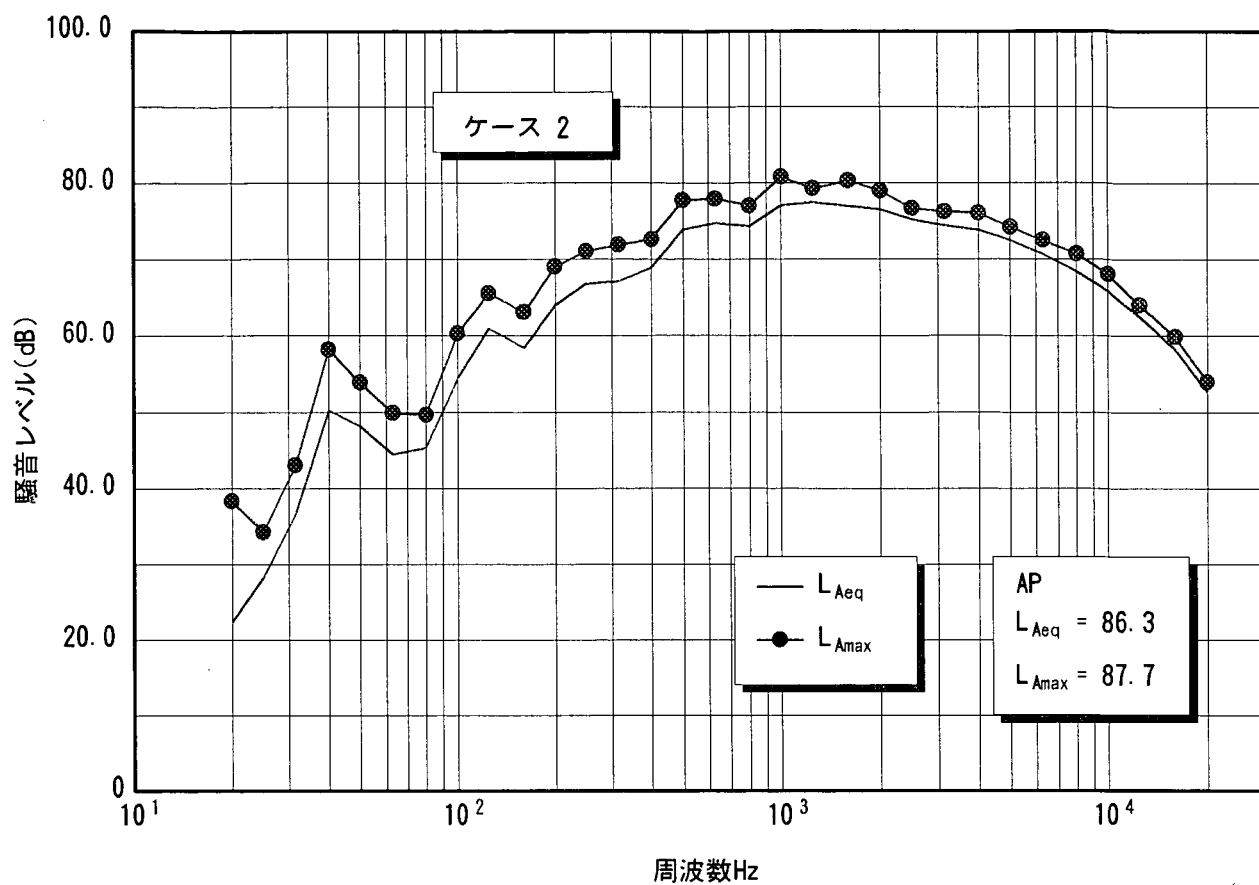
付図 5-3 衝撃圧計測結果 (β30直)



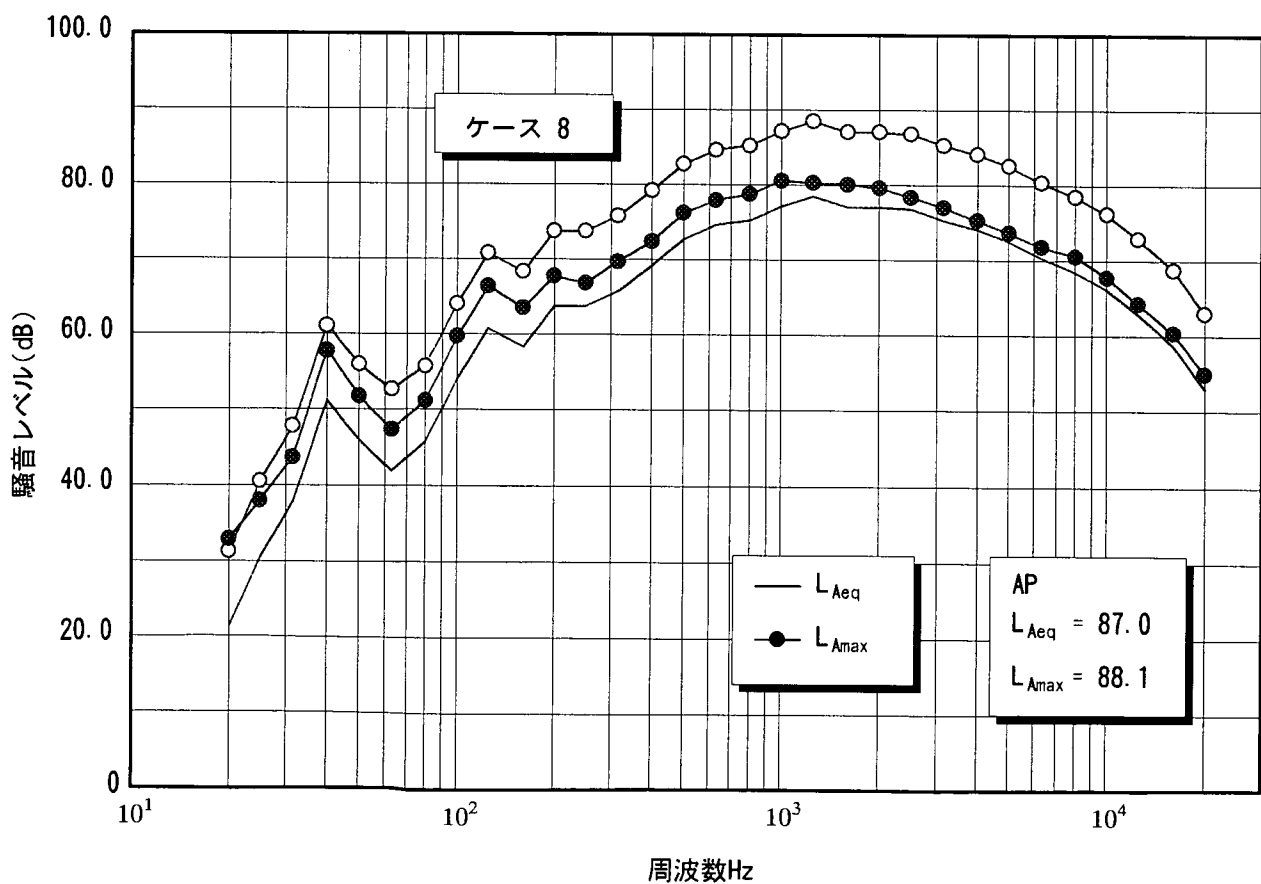
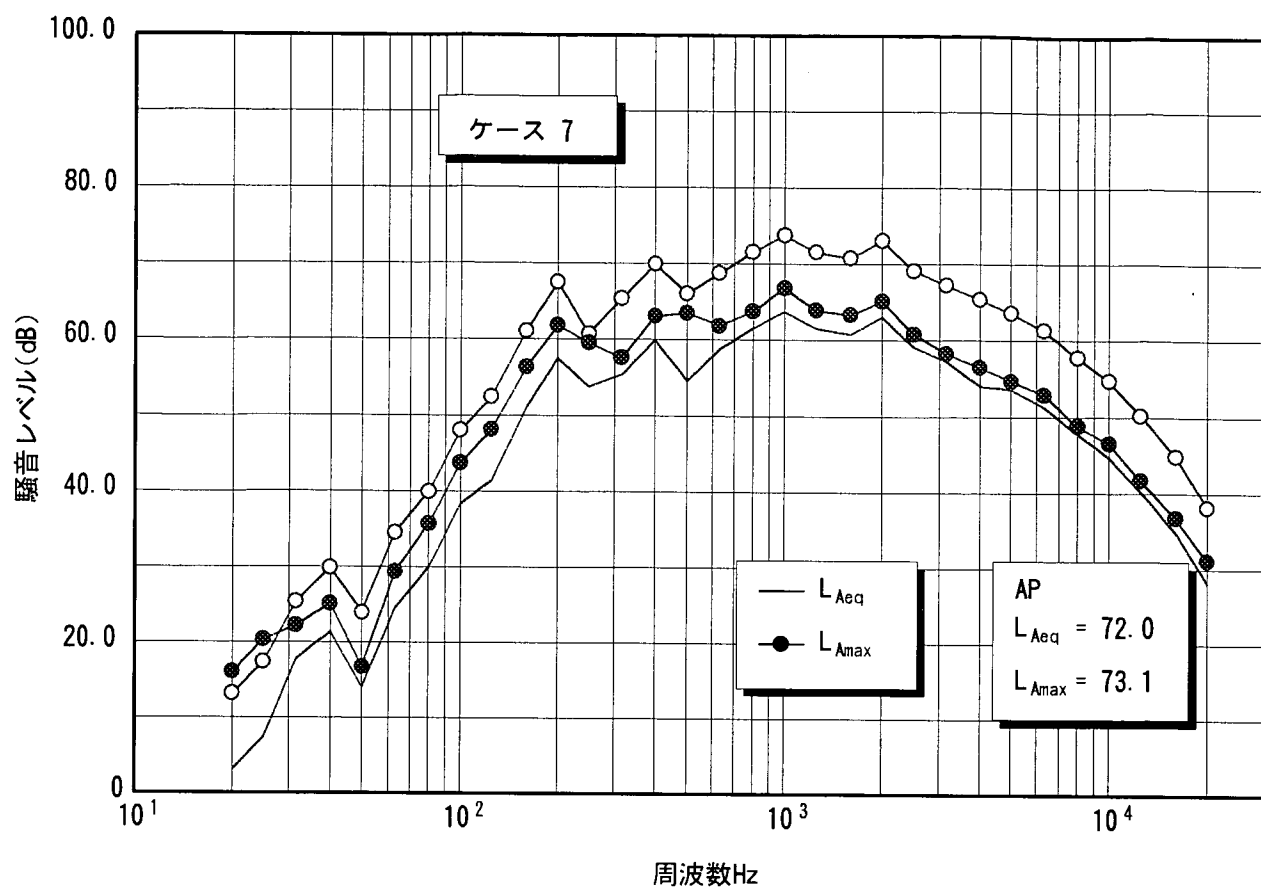
付図 5-4 衝撃圧計測結果 (β30)



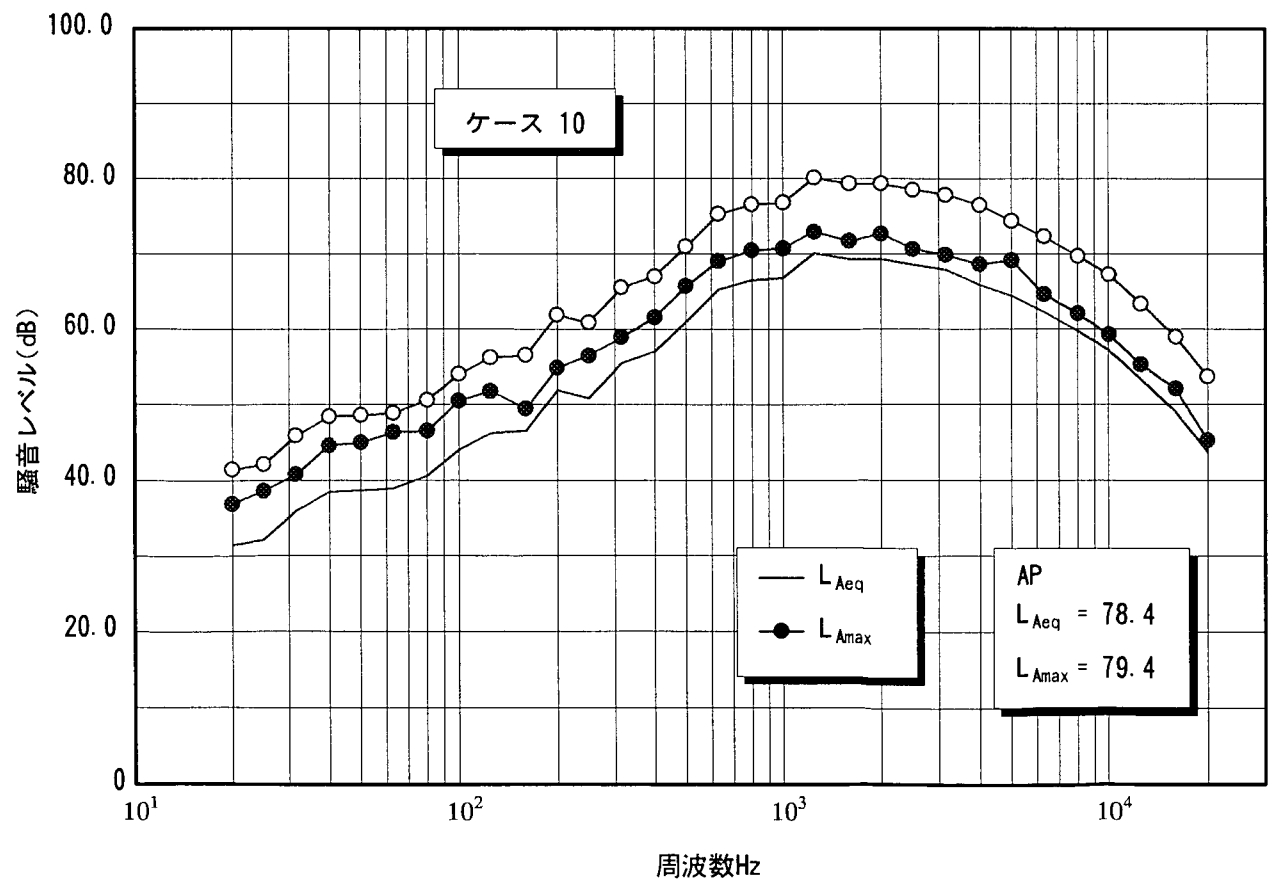
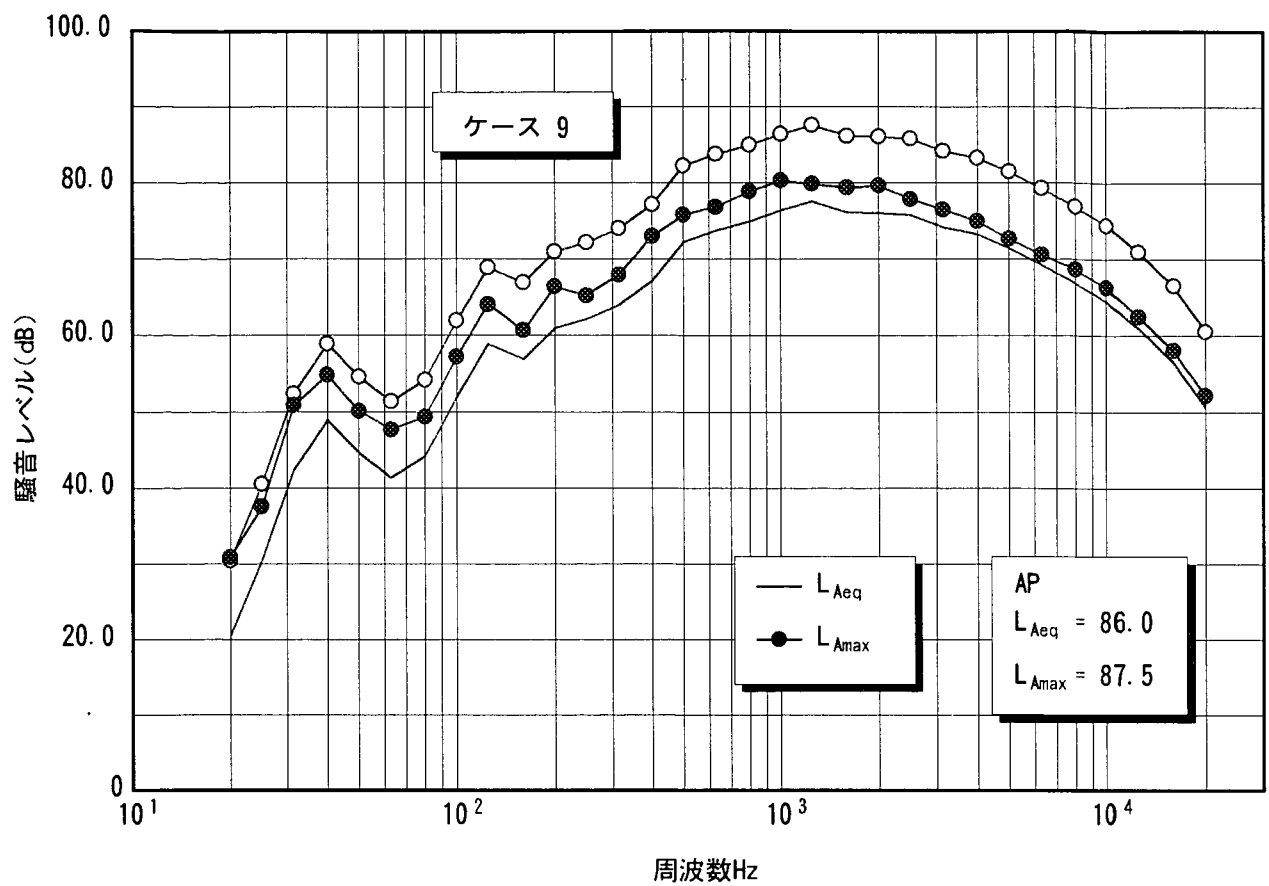
付図 5-5 衝撃圧計測結果 (β 20)



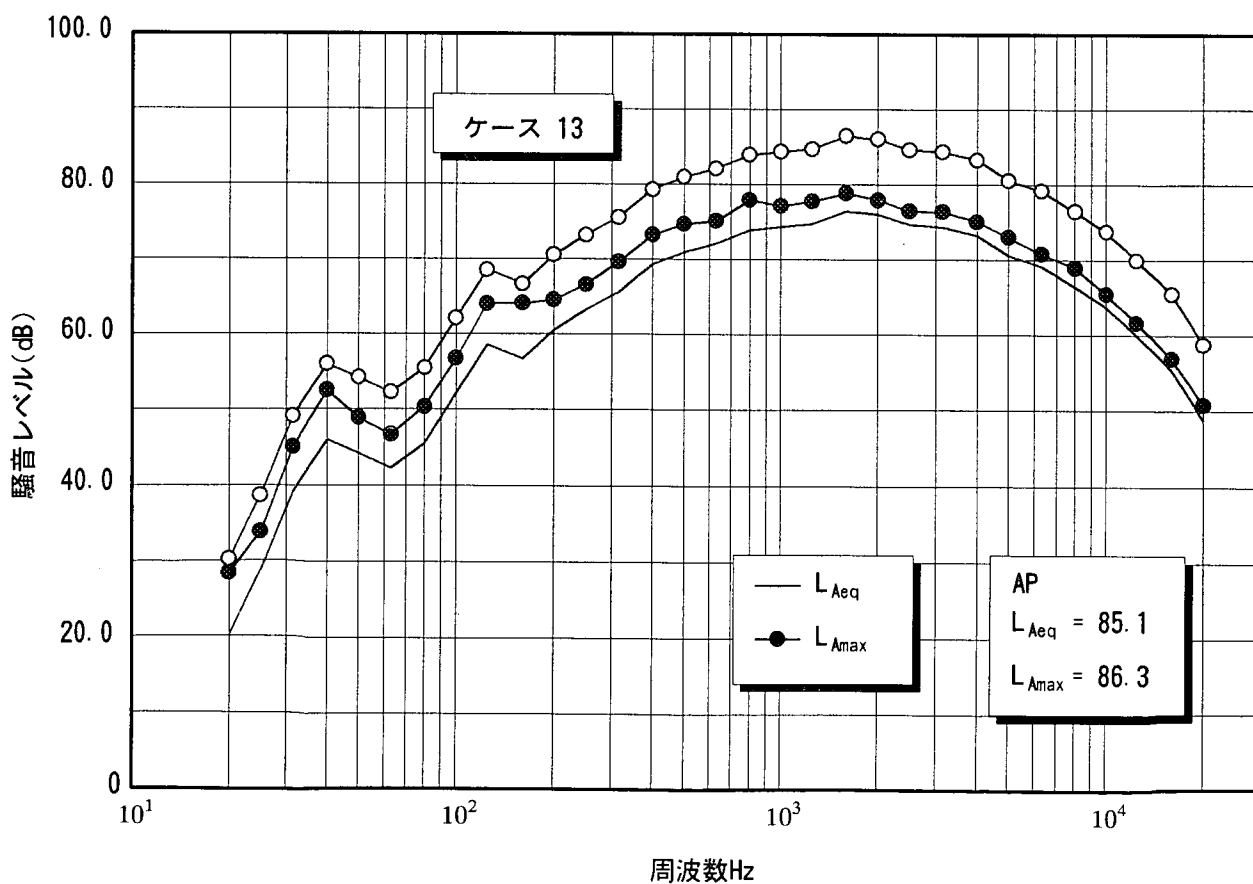
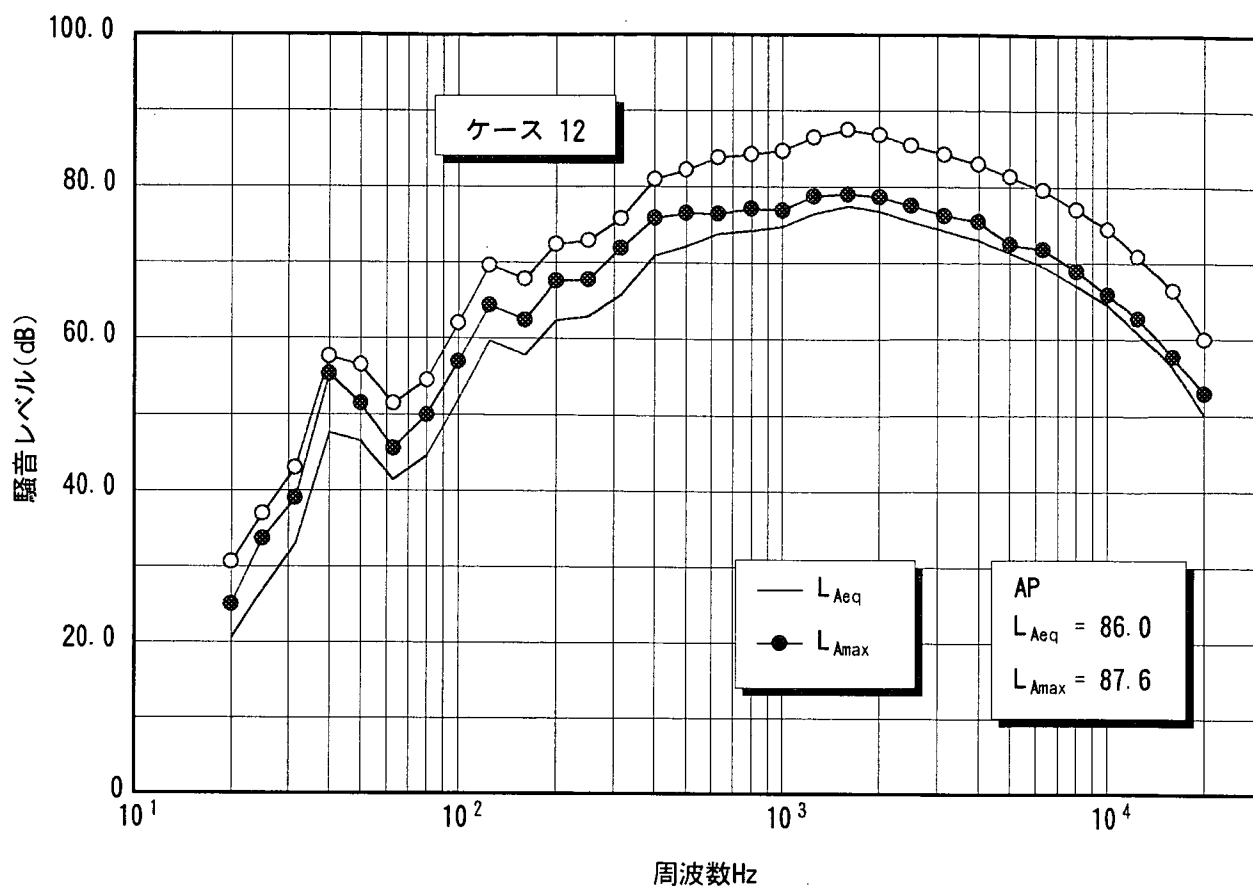
付図 6-1 騒音レベルの周波数分析結果



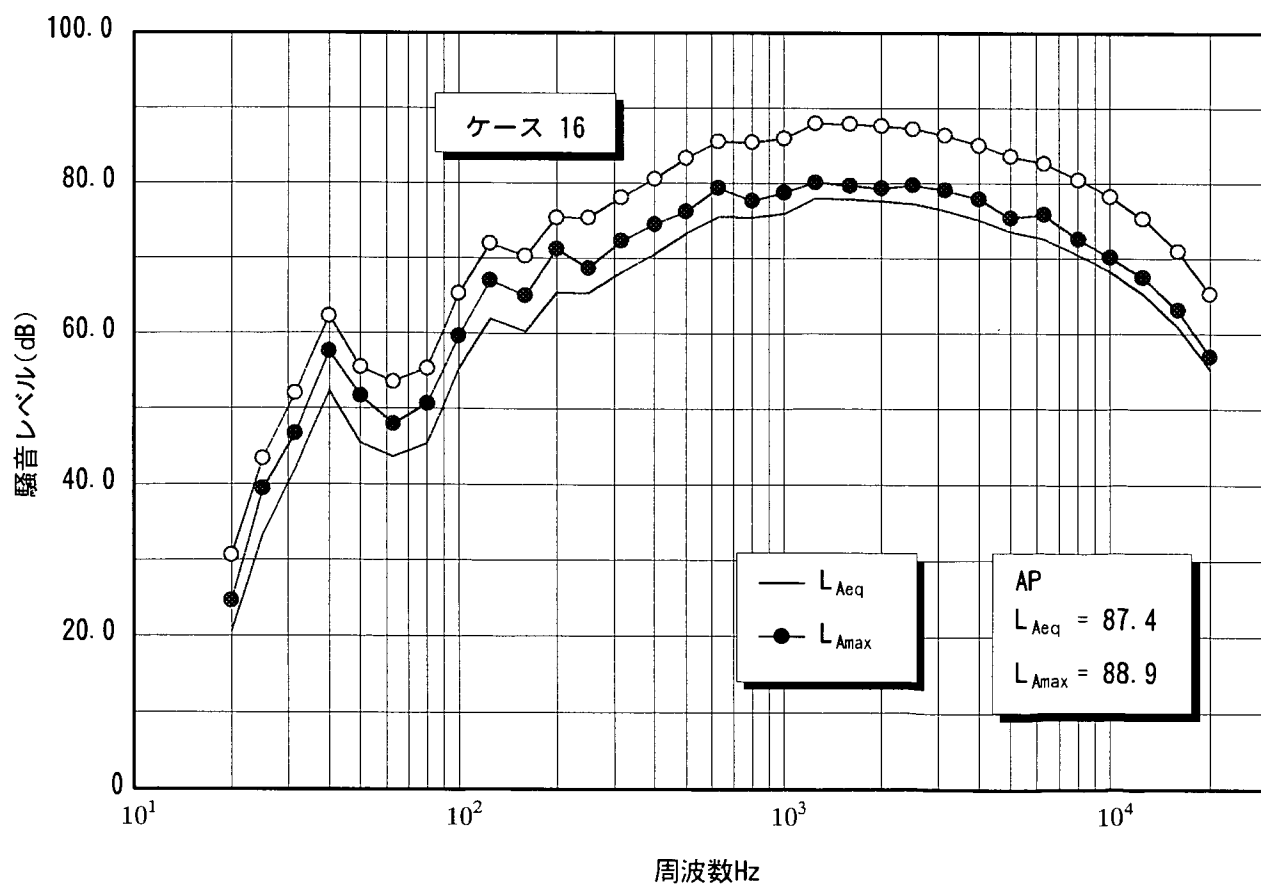
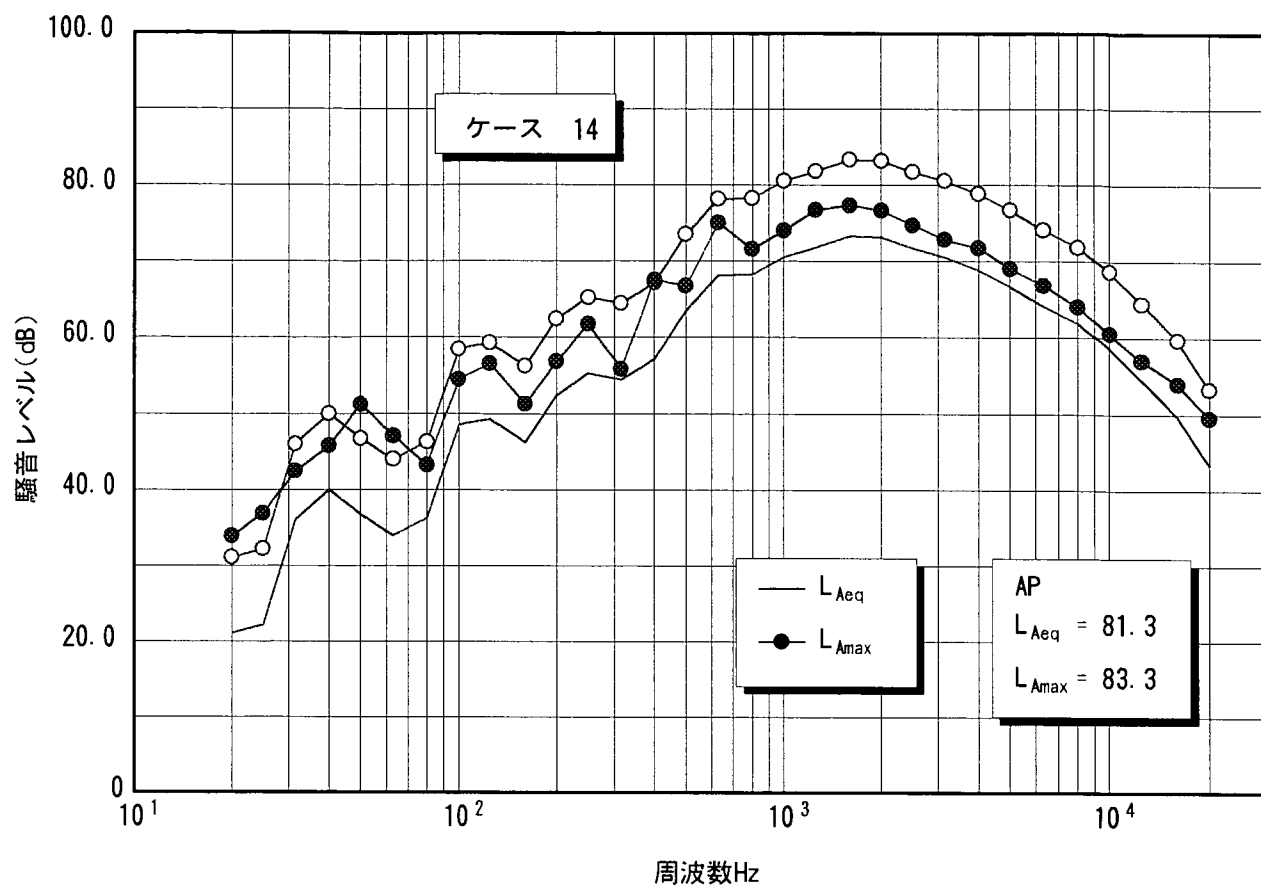
付図 6-2 騒音レベルの周波数分析結果



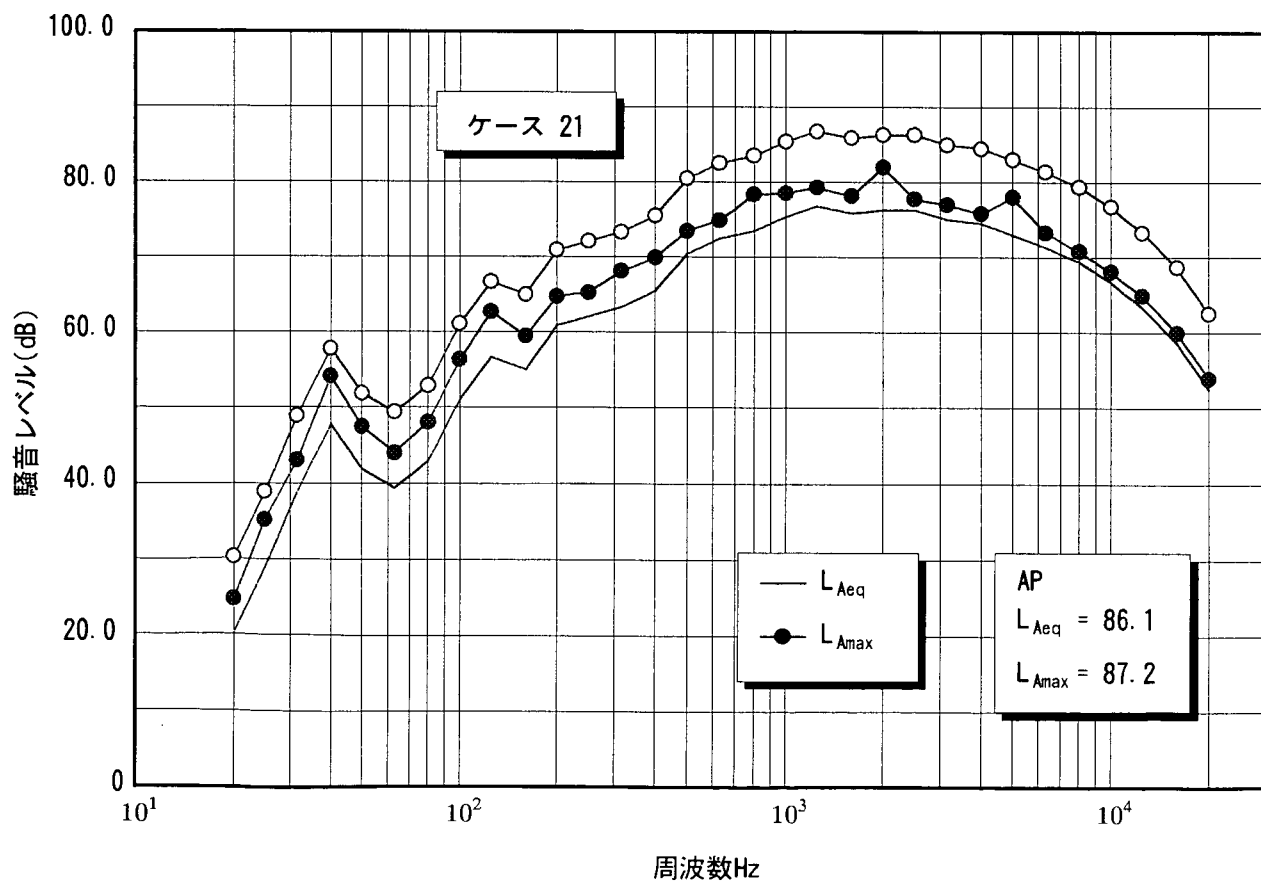
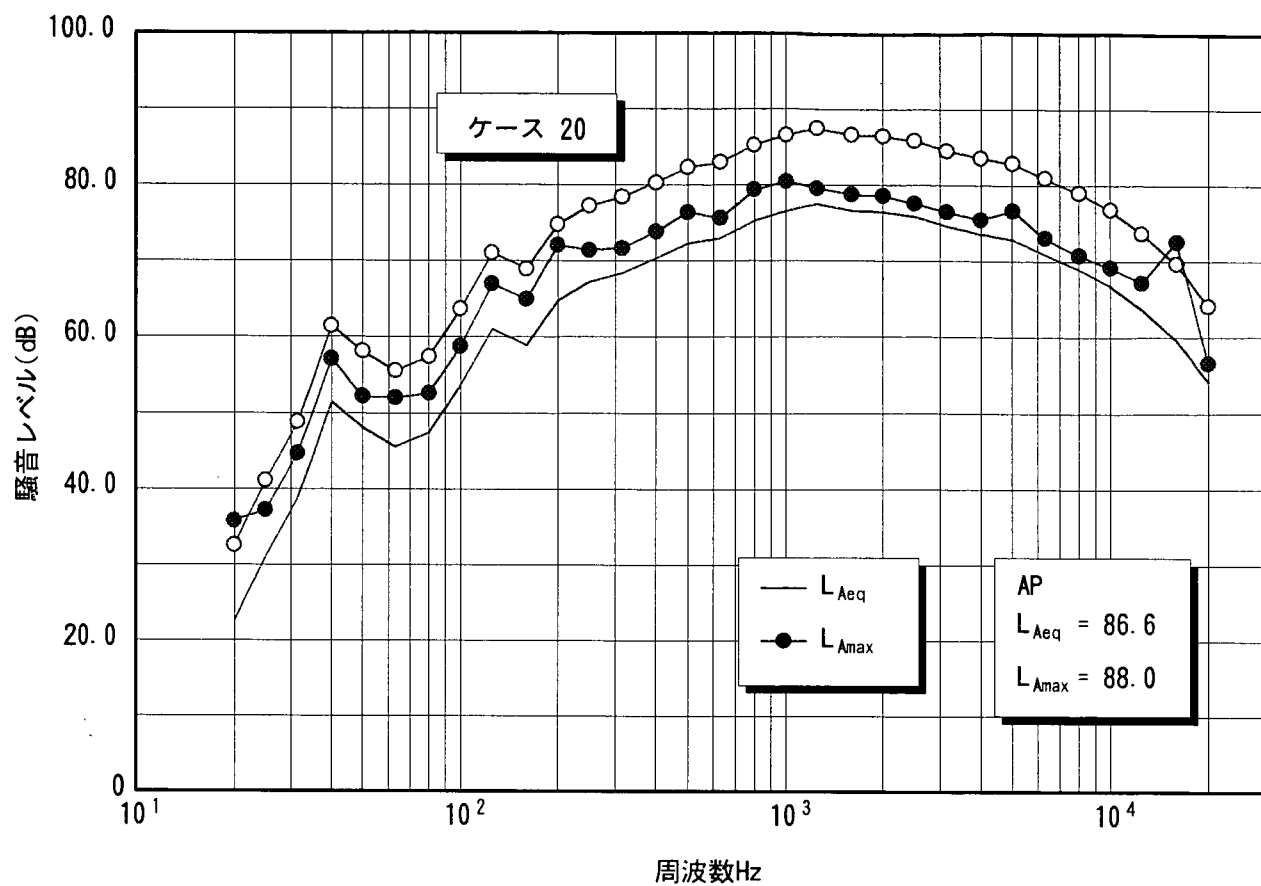
付図 6-3 騒音レベルの周波数分析結果



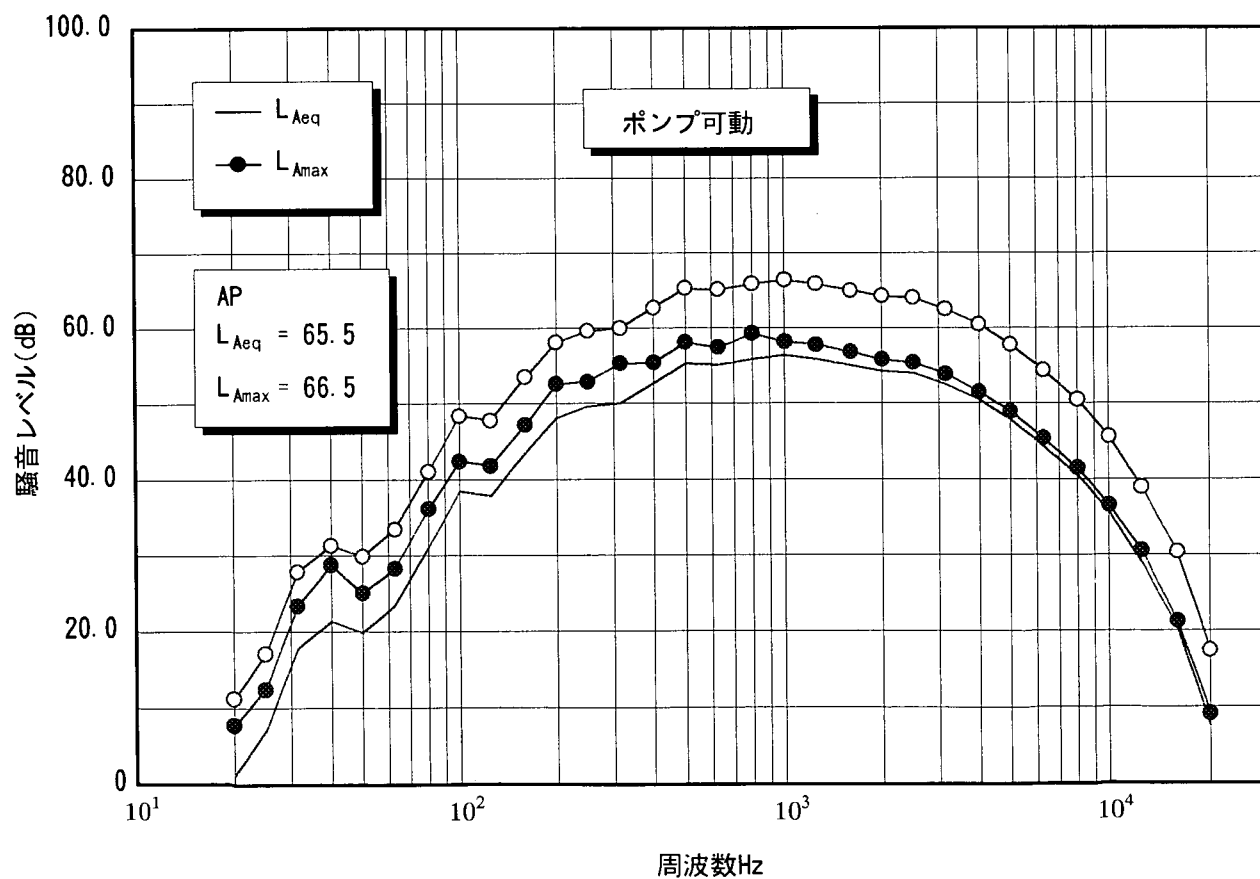
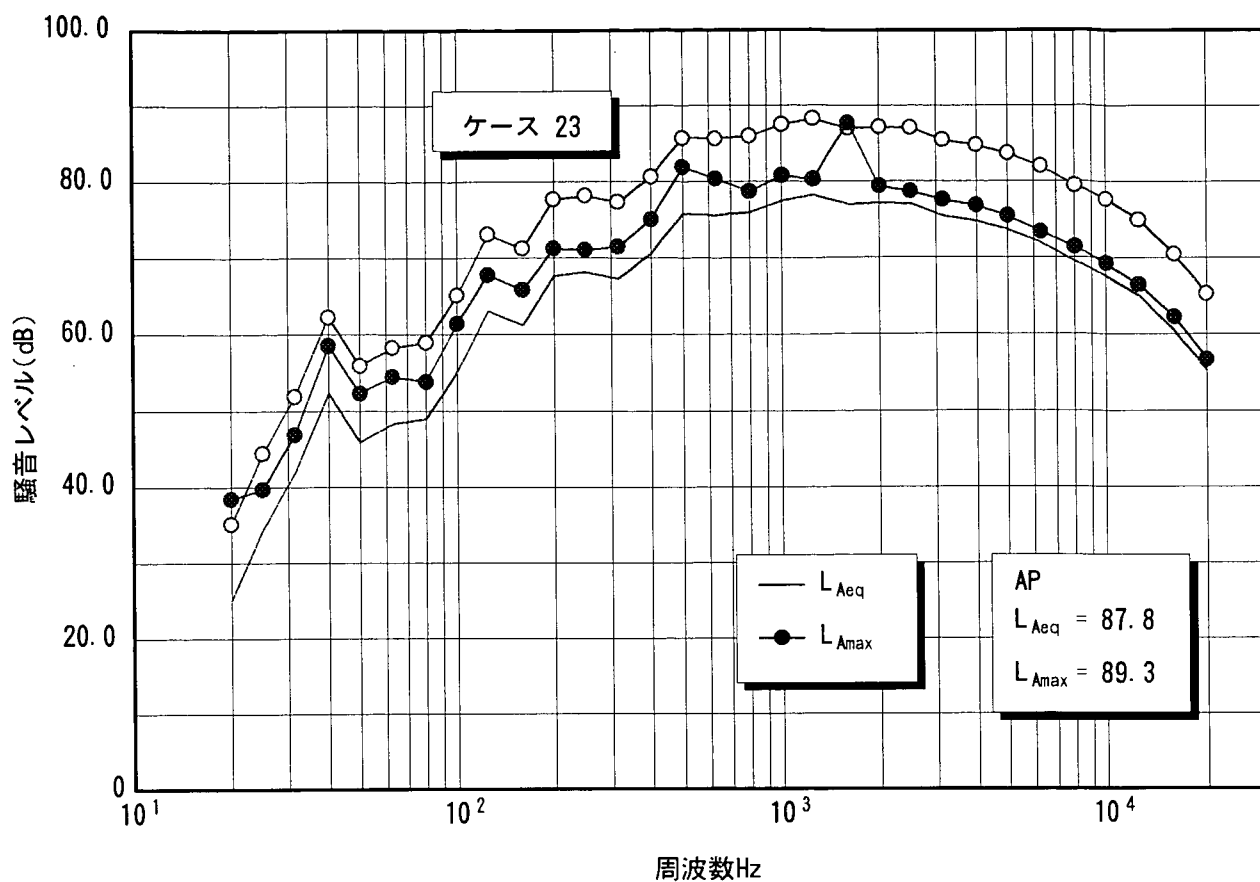
付図 6-4 騒音レベルの周波数分析結果



付図 6-5 騒音レベルの周波数分析結果



付図 6-6 騒音レベルの周波数分析結果



付図 6-7 騒音レベルの周波数分析結果