5

ISSN－0386－5878
土研資料第1950号
マイクロフィルム第　　号

土木研究所資料

寒河江ダム洪水吐き水理模型実験報告書

昭和58年3月

建設省土木研究所
ダム水工研究室

Copyright © 1982 fiscal year by P.W.R.I.
All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor transland into a machine language without the written permission of the Director 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，複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ま　え　が　き

本報告書は東北地方建設局の依頼により，昭和53年度から昭和57年度まで土木研究所において実施した寒河江ダム洪水吐きおよび選択取水設備の水理設計ならびに水理模型実験の検討結果をとりまとめたものである。

寒河江ダム洪水吐きは，ロックフィルのダム本体の右岸側隣接位置に配置され，流入部形状は扇形の正面越流型，導流部はシュート式，減勢工は水平水叩き型式によって構成される形状である。この中で大きな特徴は，貯水池の常時満水位維持および洪水時の非常用洪水吐きとして，直轄ダムでは初めてフラップゲート4門が採用され，その下流エプロンが階段形状となっていることである。

以上の検討は，昭和53年度が土木研究所の筑波移転年次のため筑波研究学園都市内の土木研究所ダム水理実験施設内に模型製作だけを実施し，昭和54年度から同所で本格的に実施された。同ダム洪水吐き等の水理設計にもとづく模型製作，実験計測，資料解析の主たるものは，土木研究所の実施計画により，株式会社建設技術研究所が行ったものである。

なお，本報告書は中沢がとりまとめたものである。

昭和58年 3 月

建設省土木研究所　ダム水工研究室
研究員　中　沢　顕　司

目　　次

第 1 章　ダムの計画概要 …… 1

第 2 章　洪水吐きの設計原案 …… 5
第 1 節　洪水吐きの設計経緯 …… 5
第 2 節　洪水吐きの設計原案形状 …… 15
2.1　オリフィス形状 …… 15
2.2　高越流頂形状 …… 15
2.3　低越流頂形状 …… 16
2.4　流入部掘削形状 …… 16
2.5　合流部および導流部形状 …… 16
2.6　減勢工形状 …… 17
第 3 節　水理模型実験 …… 17
3.1　模　　型 …… 17
3.2　相 似 律 …… 18
3.3　計測方法 …… 19
3.4　実験目的および内容 …… 19
3.5　実験結果 …… 19
第 4 節　減勢工実験 …… 27
4.1　実験内容 …… 29
4.2　実験結果 …… 29
第 5 節　高越流部抽出模型実験 …… 31
5.1　実験内容 …… 31
5.2　実験結果 …… 32

第 3 章　洪水吐きの改良設計案 …… 61
第 1 節　改良設計案形状 …… 61
1.1　流入部掘削形状 …… 61
1.2　高越流部形状 …… 61
1.3　低越流部形状 …… 70
1.4　オリフィス形状 …… 70
1.5　減勢工形状 …… 71

第 2 節　水理模型実験 …… 71
2.1　実験内容 …… 71
2.2　実験結果 …… 71
2.2.1　放流能力 …… 71
2.2.2　流入水路 …… 74
2.2.3　合 流 部 …… 76
2.2.4　減 勢 工 …… 79
2.3　改造実験結果 …… 80
2.3.1　中間導流壁および合流壁の検討 …… 80
2.3.2　階段エプロンのブロック形状の検討 …… 82
2.3.3　低越流頂の水面形の検討 …… 84
2.3.4　流入部の検討 …… 85
2.3.5　導流部の検討 …… 90
2.3.6　減勢工規模の検討 …… 90

第 4 章　オリフィス・低越流部の抽出実験 …… 111
第 1 節　オリフィスの抽出実験 …… 111
1.1　模　　型 …… 111
1.2　実験内容 …… 111
1.3　実験結果 …… 111
1.3.1　1面ベルマウス型放流管の実験結果 …… 111
1.3.2　4面ベルマウス型放流管の実験結果 …… 118
第 2 節　低越流部の抽出実験 …… 121
2.1　模　　型 …… 121
2.2　実験内容 …… 121
2.3　実験結果 …… 121

第 5 章　減勢工および下流河道実験 …… 145
第 1 節　固定床による河道実験 …… 145
1.1　模　　型 …… 145
1.2　実験内容 …… 153
1.3　実験結果 …… 155
1.3.1　A型副ダム減勢工の検討結果 …… 155
1.3.2　B型副ダム減勢工の検討結果 …… 159

1.3.3 副ダム減勢工の比較検討 …… 163
第 2 節 移動床による河道実験 …… 163
2.1 実験内容 …… 165
2.2 実験結果 …… 167
2.2.1 A型副ダム減勢工の検討結果 …… 167
2.2.2 B型副ダム減勢工の検討結果 …… 171
2.2.3 移動床での比較検討 …… 174
2.2.4 付帯構造物に対する検討 …… 174
2.3 ま と め …… 179
2.4 減勢工形状の補促実験 …… 180

第 6 章 フラップゲートの抽出実験 …… 217
第 1 節 平行流入による模型実験 …… 217
1.1 模 型 …… 217
1.2 相似律と実験内容 …… 217
1.3 実験結果 …… 222
1.3.1 放流特性 …… 222
1.3.2 圧力と水面形 …… 222
1.3.3 ゲート背面の需要空気量 …… 224
第 2 節 フラップゲートの部分検討実験 …… 227
2.1 実験内容 …… 227
2.2 検討結果 …… 228
2.2.1 スポイラー形状 …… 228
2.2.2 ピアカットの効果 …… 231
2.2.3 シュートブロック撤去による効果 …… 234
第 3 節 流入線形を変えた場合の検討 …… 237
3.1 模 型 …… 237
3.2 実験内容 …… 240
3.3 実験結果 …… 241
3.3.1 流入水路内の流速と流向 …… 241
3.3.2 放流能力 …… 242
3.3.3 ゲートスキンプレート面の水面形と圧力分布 …… 246
3.3.4 ゲート背面の需要空気量 …… 249
3.3.5 偏流に対する検討 …… 249

3.4 ま と め …… 252

第 7 章 選択取水設備 …… 289
第 1 節 実験概要 …… 289
1.1 実験目的 …… 289
1.2 実験装置および実験方法 …… 289
第 2 節 密度成層の無い場合 …… 296
2.1 予備実験 …… 296
2.2 本 実 験 …… 296
2.3 実験結果 …… 297
第 3 節 密度成層が有る場合 …… 298
3.1 予備実験 …… 298
3.2 実験内容 …… 300
3.3 実験結果 …… 300
3.4 実験考察 …… 304

第 8 章 結 論 …… 327

図　目　次

第1章

図1　最上川計画高水流量配分図 …… 1

図2　ダム位置図 …… 1

図3　寒河江ダム地点洪水調節図 …… 2

図4　貯水池容量曲線図 …… 2

第2章

図5　寒河江ダム計画平面図 …… 6

図6a　供水吐き設計原案形状図 …… 7

～6h

図7　越流部記号説明図 …… 16

図8　流入部流速測定位置図 …… 19

図9　流入部流速分布測定結果図 …… 21

図10　高越流部下流エプロン改造Ⅱ案形状図 …… 35

図11　高越流部下流エプロン改造Ⅲ案形状図 …… 36

図12a　減勢工水面形測定結果図（原案） …… 37

～12c

図13　減勢工形状図 …… 28

図14　減勢工水面形測定位置図 …… 29

図15a　減勢工水面形測定結果図（湾曲型） …… 40

～15c

図16a　バッフルエプロンの水面形および圧力分布図 …… 43

～16h

第3章

図17a　洪水吐き改良設計案形状図 …… 62

～17h

図18　貯水位－放流量の関係図 …… 73

図19　流入水路部流速測定位置図 …… 75

図20　流速測定結果 …… 92

図21　減勢部水面形状図 …… 92

図22　中間導流壁形状図 …… 80

図23　合流壁形状検討図 …… 80

図24　ブロック形状検討図 …… 82
図25　高越流部中央ピア合流壁形状図 …… 84
図26　低越流部ゲートピン変更図 …… 85
図27　低越流部水面形測定位置図 …… 85
図28　低越流頂水面形状図 …… 93
図29　境界ピア検討形状図 …… 87
図30　流入部の水面形・流速側定位置図 …… 87
図31a　流入部流速測定結果 …… 94
～31c
図32a　フラップゲート部水面形測定結果図 …… 97
～32d
図33　流入部最終案形状図 …… 101
図34　導流部シュートの水面形および圧力分布図 …… 102
第4章
図35　放流管形状Ⅰ（1面ベルマウス） …… 112
図36　放流管形状Ⅱ（4面ベルマウス） …… 112
図37　貯水位－ゲート開度－放流量の関係図 …… 115
図38　CとH/Dの関係図（1面ベルマウス） …… 115
図39　C^2 とD/Hの関係図（1面ベルマウス） …… 117
図40　1面ベルマウス管内圧力測定結果図 …… 126
図41　$C_d - X/L$ の関係（1面ベルマウス） …… 127
図42a　4面ベルマウス管内圧力測定結果図 …… 128
～42b
図43　$C_d - X/L$ の関係（4面ベルマウス） …… 129
図44　低越流頂の貯水位－ゲート開度－放流量の関係図 …… 122
図45　$C - H/H_d$ の関係図 …… 122
図46　低越流頂圧力測定位置図 …… 130
図47　低越流頂圧力測定結果図 …… 130
図48　低越流頂水面形測定結果図 …… 131
第5章
図49　洪水吐きおよび下流河道概要図 …… 146
図50　月岡堰堤概要図 …… 147
図51a　洪水吐き形状図 …… 148
～51d

図52　A型副ダム減勢工形状図 …… 155
図53a　河道内流速分布図（固定床） …… 183
～53b
図54　B型副ダム減勢工形状図 …… 159
図55　B型副ダム減勢工比較検討形状図 …… 160
図56　副ダム減勢工形状の型式別流速分布の比較図 …… 163
図57　副ダム減勢工形状の型式別水位縦断変化比較図 …… 164
図58　現地砂と実験砂の粒度分布 …… 166
図59　A型副ダム減勢工と移動床の関係図 …… 167
図60a　河床従断図（A型） …… 185
～60b
図61a　河道内の河床状況平面図（A型） …… 187
～61b
図62a　河床縦断図（B型） …… 189
～62b
図63a　河道内の河床状況平面図（B型） …… 191
～63b
図64a　推奨案の流況図 …… 193
～64c
図65　バケットカーブおよび波返し形状図 …… 181
図66　副ダム形状図 …… 181
図67a　減勢工内の波面変動図 …… 196
～67b
図68a　減勢工内の波面変動比較図 …… 198
～68b
第6章
図69　模型設計図 …… 218
図70　ピエゾ座標位置図 …… 220
図71　貯水位－放流量－倒伏角度の関係 …… 223
図72　H/H_d と C_F, C の関係 …… 223
図73a　圧力および水面形測定結果図 …… 254
～73c
図74　給気管内の風速変動図（θ =30°） …… 256
図75　倒伏角度(θ)と需要空気量（q_a）の関係 …… 224

図76　スポイラー検討形状図 …… 229
図77　ゲート開度と水脈分割の可能な越流水深の関係 …… 231
図78　ピアカット形状図 …… 231
図79　越流水深－倒伏角度－需要空気量の関係図 …… 232
図80　ピアカット有無による放流能力比較図 …… 233
図81　シュートブロック有無による放流能力比較図 …… 234
図82　C と H/H_d の関係 …… 235
図83　ゲート面上の水圧分布図 …… 257
図84　ゲート背面水位－越流水深の関係図 …… 258
図85　フラップゲート変更形状図 …… 238
図86　模型概要図 …… 239
図87　圧力測定位置図 …… 239
図88　水面形および流速測定位置図 …… 241
図89a ～ 89b　流入部流速測定結果図 …… 259
図90　貯水位－放流量－倒伏角度の関係図（$H_G = 3$ m） …… 243
図91　倒伏角度状態図 …… 245
図92a ～ 92b　水面形および圧力分布測定結果図 …… 261
図93　倒伏角度と諸荷重の関係 …… 248
図94　倒伏角度と需要給気量の関係 …… 264
図95　偏流防止改良案形状図 …… 265
第7章
図96　選択取水設備水理模型実験装置概要図 …… 290
図97a ～ 97b　選択取水設備模型 …… 291
図98　模型設置状態図 …… 292
図99　計測システム概要図 …… 292
図100　温度計設置位置図 …… 293
図101　躍層形成状態（ランプ10割点灯） …… 294
図102　取水口付近の平面流速測定位置図 …… 296
図103　取水口呑口流速測定位置図 …… 297
図104　取水口呑口流速分布検討図 …… 297
図105　取水口付近の流速分布 …… 311

図106　取水口付近の平面流速分布図 …… 312
図107　流況比較図 …… 313
図108　温度分布図（躍層形成状態） …… 313
図109　温度分布図（取水口A，$Q = 1.0\,l/s$） …… 315
図110　温度分布図（取水口B，$Q = 1.0\,l/s$） …… 316
図111　温度分布図（取水口B，$Q = 2.0\,l/s$） …… 317
図112　温度分布図（取水口B，$Q = 4.0\,l/s$） …… 318
図113　取水口Aでの給水口付近の流れ …… 301
図114　取水口Aでの貯水池内の流れ …… 301
図115　取水口Aでの取水口付近の流れ …… 301
図116　取水口Bでの給水口付近の流れ …… 302
図117　取水口Bでの貯水池内の流れ …… 302
図118　取水口Bでの取水口付近の流れ …… 302
図119　取水口Cでの取水口付近の流れ …… 303
図120　取水口Dでの取水口付近の流れ …… 303
図121　躍層の形成状態 …… 319
図122　流れの状態図(A) …… 305
図123　設定流量(Q)と見かけの流量(q)との関係 …… 306
図124　設定流量(Q)と主流方向の流量（Q_1）との関係 …… 306
図125　温度データーによる実験条件の再現性 …… 320
図126　表層取水時での取水層幅(δ)と密度成層の関係 …… 321
図127　中層取水時での取水層幅と密度成層の関係 …… 321

第8章

図128　実施設計形状1.　洪水吐き平面図 …… 331
図129　実施設計形状2.　洪水吐き上流面図 …… 332
図130　実施設計形状3.　オリフィス・クレスト部縦断面図 …… 333
図131　実施設計形状4.　フラップゲート縦断面図 …… 334
図132　実施設計形状5.　導流部縦断面図 …… 335
図133　実施設計形状6.　減勢工形状図 …… 336

表　目　次

第1章

表1　ダムおよび貯水池諸元 …… 3

第2章

表2　諸量の縮率の関係表 …… 18

表3　実験ケース一覧表 …… 20

表4　流入部流速測定結果数値表 …… 22

表5a　減勢部水面形測定結果数値表（原案） …… 51

～5c

表6a　減勢部水面形測定結果数値表（彎曲形状） …… 54

～6f

表7　抽出実験ケース一覧表 …… 32

第3章

表8　実験ケース一覧表 …… 72

表9a　貯水位－流量の関係数値表 …… 103

～9b　貯水位－流量の関係数値表 …… 71

表10a　減勢部水面形測定結果数値表（設計案） …… 104

～10b

表11　流入部実験内容一覧表 …… 86

表12　流入部流速測定結果数値表 …… 106

表13a　フラップゲート部水面形測定結果数値表 …… 107

～13b

表14　導流部シュートの水面形および圧力測定結果表 …… 104

表15　減勢部水面形測定結果数値表（改良案） …… 109

第4章

表16　諸量の縮率 …… 113

表17　実験ケース一覧表 …… 114

表18a　貯水位－放流量－ゲート開度の関係数値表（一面ベルマウス） …… 132

～18b

表19a　圧力測定結果数値表（1面ベルマウス） …… 134

～19h

表20　貯水位－放流量の関係数値表（4面ベルマウス） …… 136

表 21　放流能力検討結果 …… 117
表 22a　圧力測定結果数値表（4面ベルマウス） …… 137
～ 22b
表 23a　貯水位－放流量－ゲート開度の関係数値表（低越流頂） …… 139
～ 23b
表 24　圧力測定結果数値表（低越流頂） …… 141
表 25　低越流頂水面形測定結果数値表 …… 143
第5章
表 26a　河道横断指示表 …… 200
～ 26h
表 27　減勢工および下流河道実験ケース一覧表 …… 154
表 28　諸量の縮率 …… 155
表 29　河道内の水位横断および流速測定結果表（固定床，A型） …… 208
表 30a　河道内の水位横断および流速測定結果表（固定床，B型） …… 210
～ 30b
表 31a　河床変動測定結果表（A型） …… 213
～ 31b
表 32a　河床変動測定結果表（B型） …… 215
～ 32b
第6章
表 33　諸量の縮率 …… 219
表 34　フラップゲート実験内容一覧表 …… 219
表 35　ピエゾ標高－倒伏角度関係表 …… 221
表 36　貯水位－放流量－倒伏角度関係数値表 …… 266
表 37a　圧力および水面形測定結果表 …… 267
～ 37b
表 38a　風速変動測定結果 …… 269
～ 38b
表 39　実験ケース一覧表 …… 229
表 40　風速変動と計測時間 …… 232
表 41　越流水深－倒伏角度－需要空気量の測定結果表 …… 233
表 42　貯水位－放流量－倒伏角度関係数値表（ピアカット有） …… 271
表 43　貯水位－放流量－倒伏角度関係数値表（シュートブロック無） …… 272
表 44　実験ケース一覧表（流入角≒27°） …… 240

表45a　流入部流速測定結果数値表 …… 273
～45b
表46　貯水位－放流量－倒伏角度の関係数値表 …… 277
表47a　各倒伏角度時の最高点の座標値表 …… 244
～47b
表48　水面形測定結果数値表 …… 278
表49a　圧力測定結果数値表 …… 279
～49c
表50　各倒伏角度における荷重・モーメント・作用点の計算結果 …… 248
表51a　水面形測定結果数値表 …… 282
～51b
表52a　貯水位－放流量－倒伏角度関係数値表（最終案） …… 284
～52b
表53　$\cos\theta_G$ と $C'_F \cdot \cos\theta_G$ との関係 …… 250
表54　H/H_d と C_F/C'_F との関係 …… 251
表55a　ゲート面上の圧力分布測定結果 …… 286
～55b
第7章
表56　温度計仕様 …… 294
表57　サーミスター温度計番号と設置位置 …… 295
表58　取水口呑口流速測定結果数値表 …… 322
表59　実験流量と推定流量の比較 …… 298
表60a　取水口付近の平面流速分布測定結果数値表 …… 323
～60d
表61　実験ケース一覧表 …… 299
表62　取水口Bの流動幅 …… 302
表63　取水口Cの流動幅 …… 303
表64　取水口Dの流動幅 …… 304
表65　躍層形成までの熱収支 …… 304
表66　水理特性量一覧表 …… 305
表67　密度勾配(ε) …… 310

第１章　ダムの計画概要

寒河江ダムは図１に示すように，最上川の総合治水計画の一環として，最上川水系の左支川寒河江川の山形県西村山郡西川町地内（図２参照）に建設省直轄事業として建設中の中央コア型のロックフィル型式の多目的ダムである。

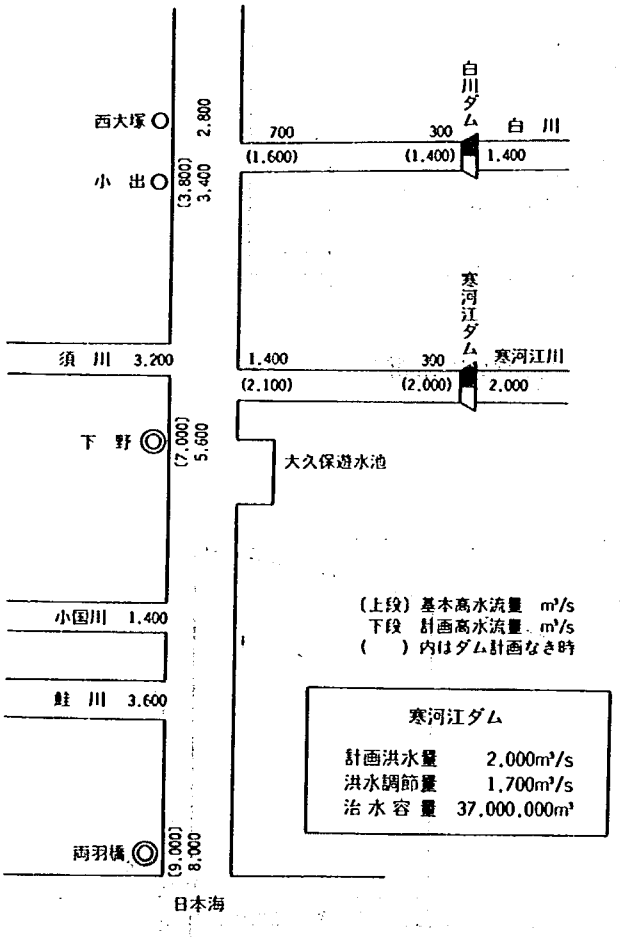


図１　最上川計画高水流量配分図

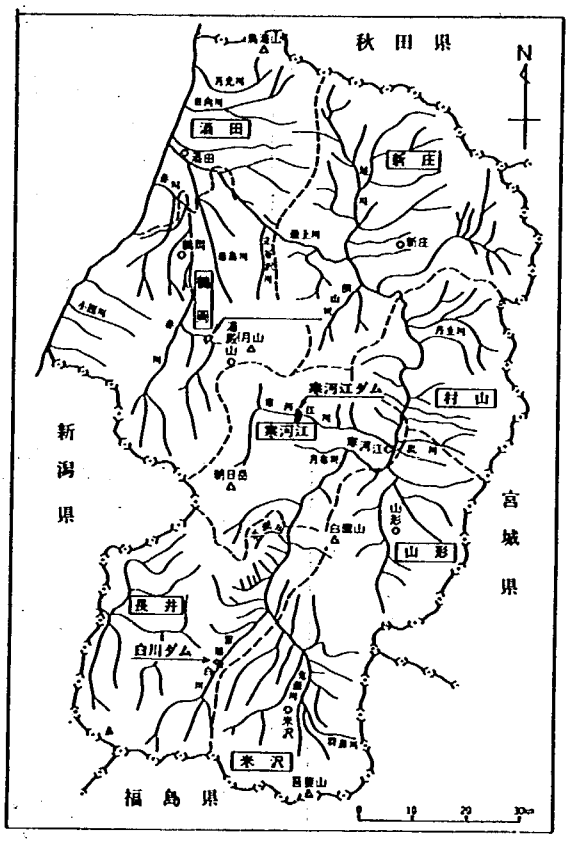


図２　ダム位置図

ダムの規模は，高さ115m，堤体積850万㎥，総貯水容量約１億900万㎥，流域面積231㎢の大ダムである。

同ダムは図３に示すように，ダムサイトの計画高水流入波形のピーク流量2,000㎥/sのうち1,700㎥/sをダムカットとする洪水調節を主目的とし，図４に示す貯水池の利水容量を使用し，河川維持用水，かんがい，都市用水および発電等の利水計画を含んでいる。

以上のダムおよび貯水池計画の詳細をまとめると表１に示す諸元のとおりである。

また，寒河江ダムの事業は，昭和37年に予備調査を開始し，昭和47年に実施計画調査に入り，昭和49年に工事事務所となり，昭和51年度から本工事が着工されている（寒河江ダム工事事務所資料参照）。

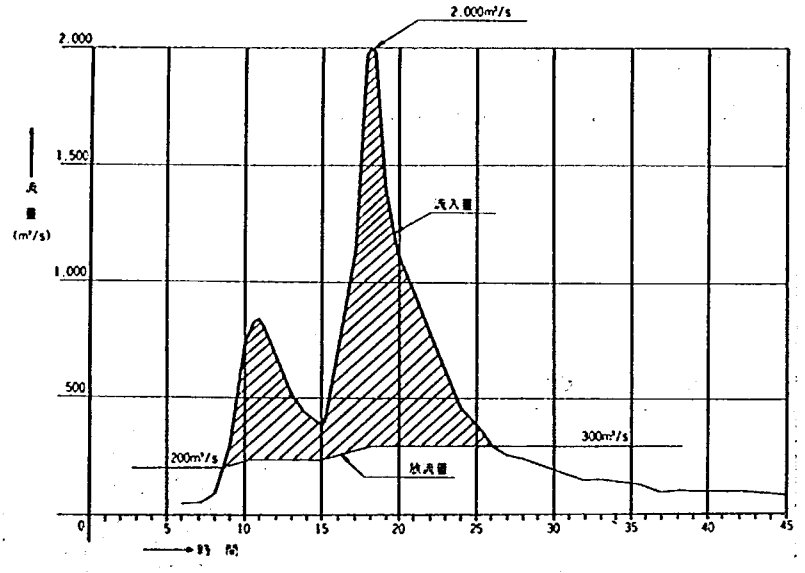


図３　寒河江ダム地点洪水調節図

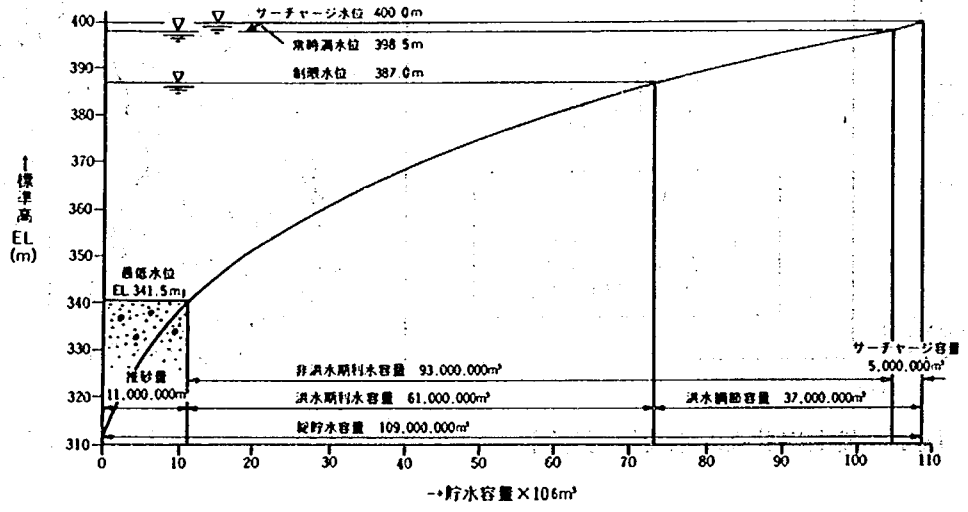


図４　貯水池容量曲線図

表1　ダムおよび貯水池諸元

河　川　名／最上川水系寒河江川
流域面積／231.0 ㎢
ダ　ム　名／寒河江ダム
目　　的／洪水調節，河川維持用水，かんがい，都市用水，発電
位　　置／山形県西村山郡西川町地内

貯水池		
湛水面積		3.4㎢
湛水延長		7.8㎞
設計洪水位標高		401.5m
サーチャージ水位標高		400.0m
常時満水位標高		398.5m
制限水位標高		387.0m
最低水位標高		341.5m
洪水調節水深		13.0m
発電利用水深	洪水期	45.5m
	非洪水期	57.0m
総貯水容量		109,000,000㎥
有効貯水容量		98,000,000㎥
堆砂容量		11,000,000㎥
洪水調節容量		37,000,000㎥
利水容量		61,000,000㎥
発電容量	洪水期	61,000,000㎥
	非洪水期	93,000,000㎥

治水（洪水調節）	
計画高水流量	2,000㎥/s
計画放流量	300㎥/s
調節流量	1,700㎥/s

ダム			
型式			中央コア型ロックフィルダム
堤頂標高			405.00m
堤高			115.00m
堤頂長			510.00m
堤頂幅			10.00m
堤体積	フィル堤体 8,500,000㎥	ロック	5,380,000㎥
		フィルター（細）	420,000㎥
		フィルター（粗）	790,000㎥
		コア	1,100,000㎥
		リップラップ	120,000㎥
		押え盛土（ロック）	690,000㎥
	洪水吐コンクリート		150,000㎥
法勾配	上流面		1：2.9
	下流面		1：2.1
掘削量	フィル部 2,022,000㎥	土砂	1,405,000㎥
		岩石	617,000㎥
	洪水吐 869,000㎥	土砂	368,000㎥
		岩石	501,000㎥
水門	クレストゲート（高越流頂）		高：3.0m／幅：14.0m／4門
	クレストゲート（低越流頂）		高：8.9m／幅：8.0m／2門
	オリフィスゲート		高：4.0m／幅：4.0m／2門
仮排水路（計画流量 1,100㎥/sec）	上段		内径：6.5m　延長：684m
	下段		内径：6.5m　延長：617m
地質			閃緑岩

第２章　洪水吐きの設計原案

第１節　洪水吐きの設計経緯

ダムの洪水吐きは，図５に示すダムサイトの彎曲河道地形を利用し，右岸山腹をショートカットして下流河道に放流できる位置が決定された。

ダム設計洪水流量は１／２００年確率流量，近傍流域からの洪水流量および地域別既往最大比流量の係数から求まる洪水流量のうち，最大となる比流量係数からつぎによって決定した。

$$Q = C \cdot A^{(A^{-0.05}-1)} = 34 \times 231^{(231^{-0.05}-1)} = 2{,}150 \ \mathrm{m^3/s} \qquad (1)$$

ここに，Q：流量（㎥／ｓ），C：地域係数（＝34），A：ダムの流域面積（＝231㎢）

また，寒河江ダムはフィルダムであるからダムの設計洪水流量は(1)式で求めたＱの 1.2 倍である 2,580 ㎥／ｓをまるめた 2,600㎥／ｓと決定した。

以上，ダムタイプがフィルタイプ型式，洪水吐きの配置計画，ダム設計洪水流量およびダム管理等を勘案して，洪水吐きの当初計画では，常用洪水吐きとして制限水位で計画最大放流量 300㎥／ｓ以上の放流能力を持つオリフィス，非常用洪水吐きとしてはダムの安全性およびダム管理に重点をおいた自由越流堤 150ｍを設け，その設計水深は３ｍ程度で 1,500㎥／ｓ，残りを中間位置のクレストで放流する案がダム事務所と土研との協議で了解された。その後，事務所のダムサイトの詳細な調査検討の結果，地形条件から長大自由越流提案は掘削量の増大につながるとの結論となった。そこで図 6a~6hに示すように，非常用洪水吐きおよび常時満水位維持の水位制御を考慮した越流タイプのフラップゲート２門を含めた扇形の正面越流型式の洪水吐き形状を設計原案として，土研側が事務所に提示し了解が得られた。

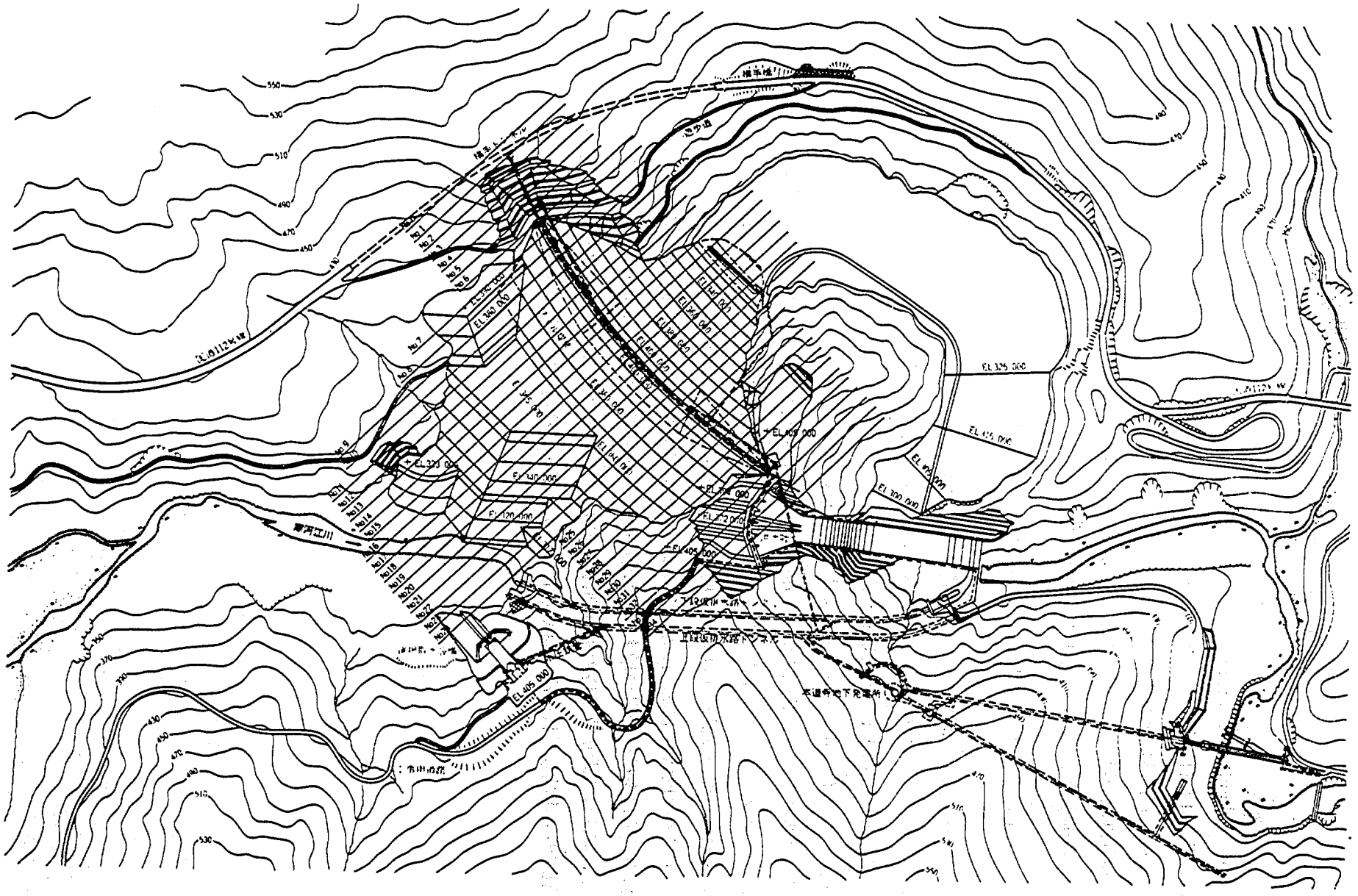


図５　寒河江ダム計画平面図

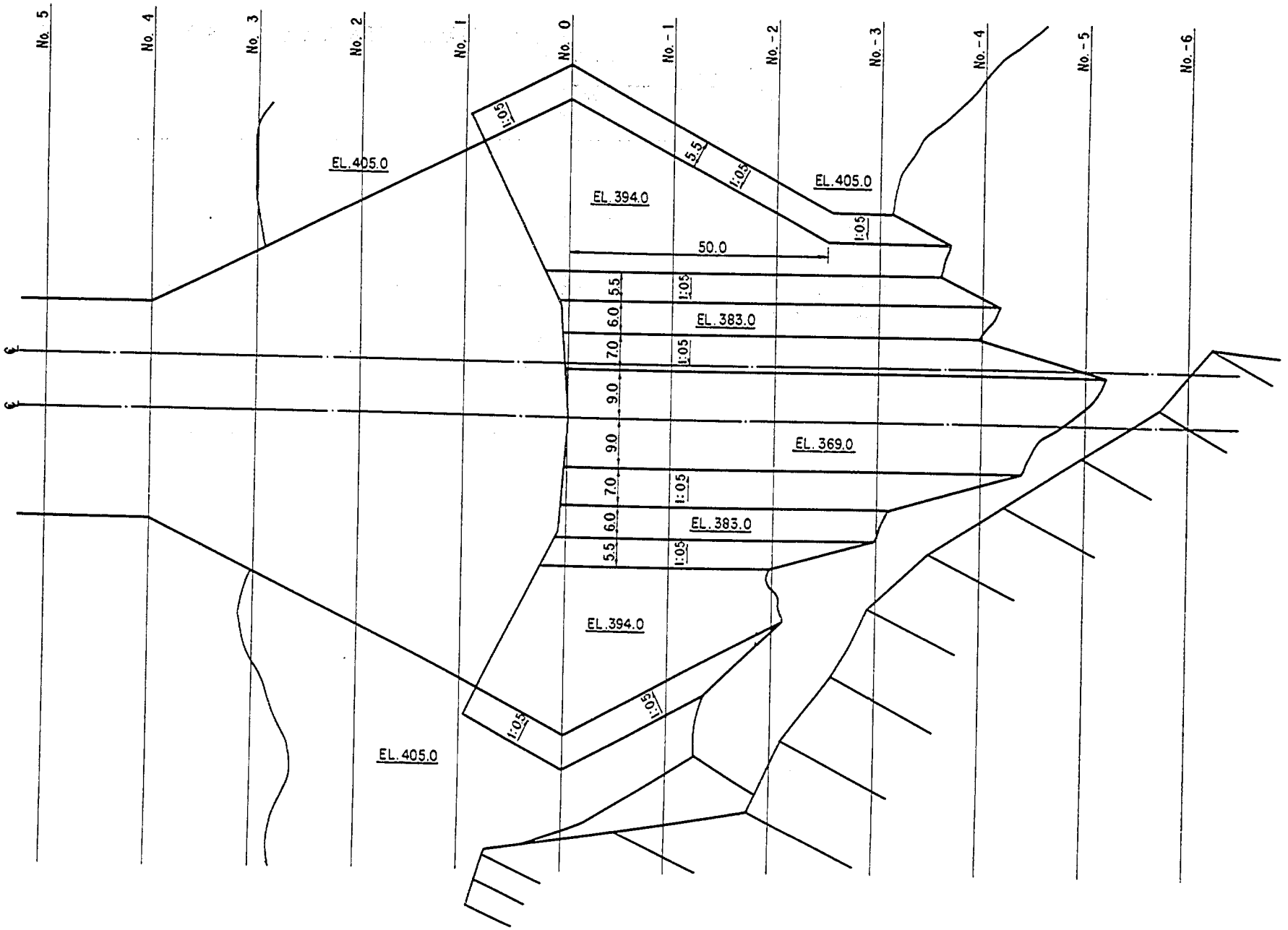


図６ａ　洪水吐き設計原案形状図

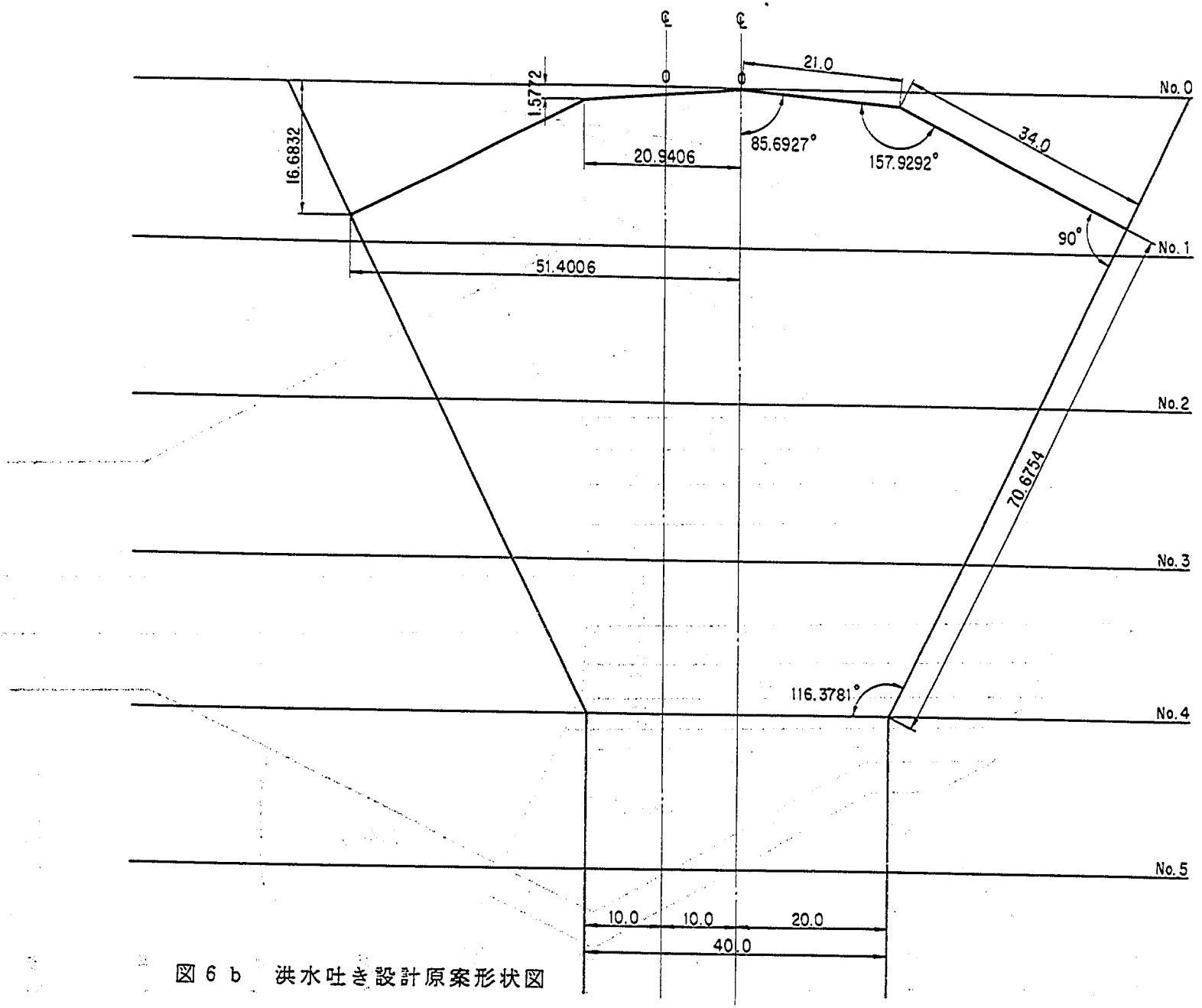


図６ｂ　洪水吐き設計原案形状図

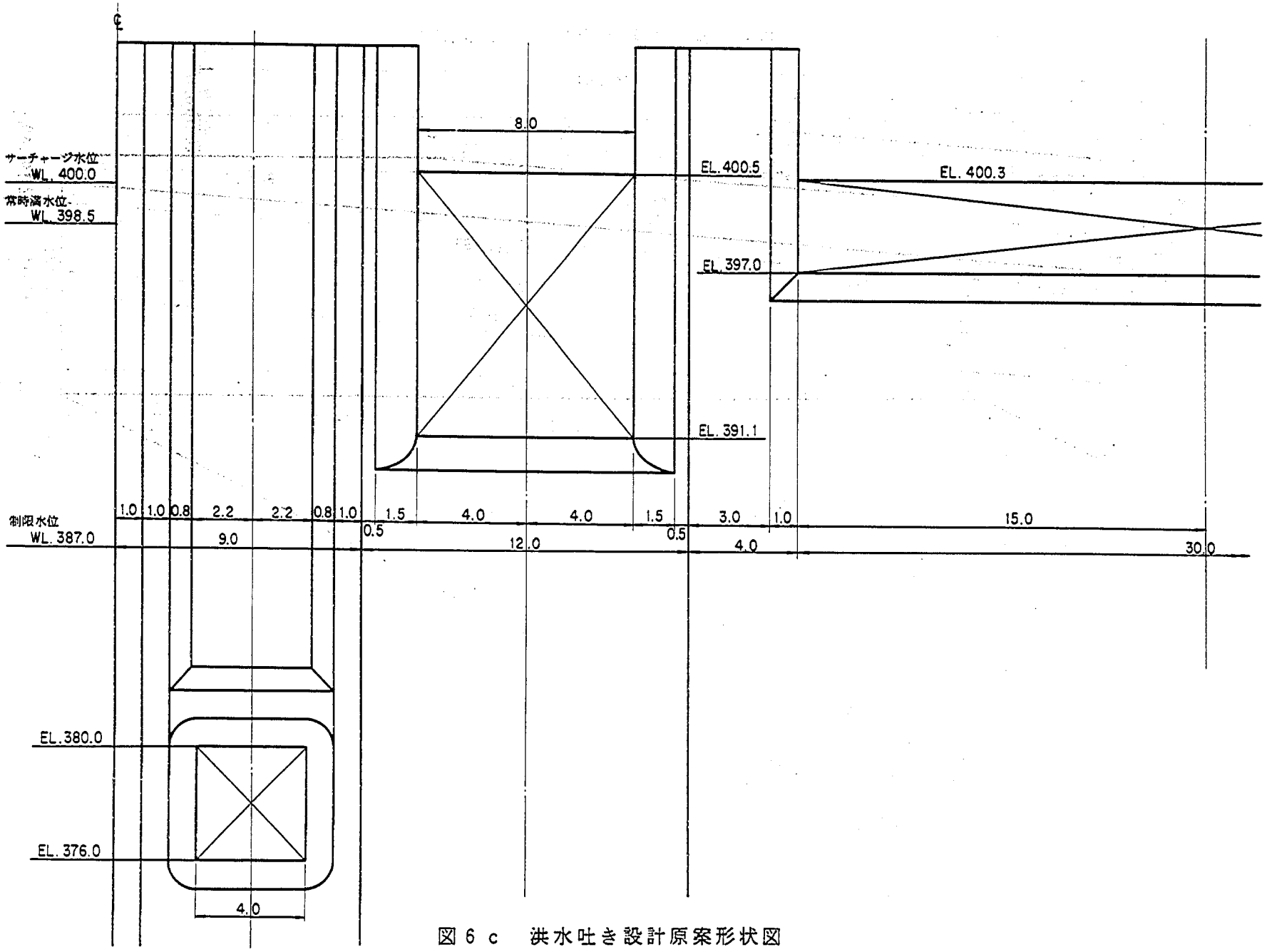


図６ｃ　洪水吐き設計原案形状図

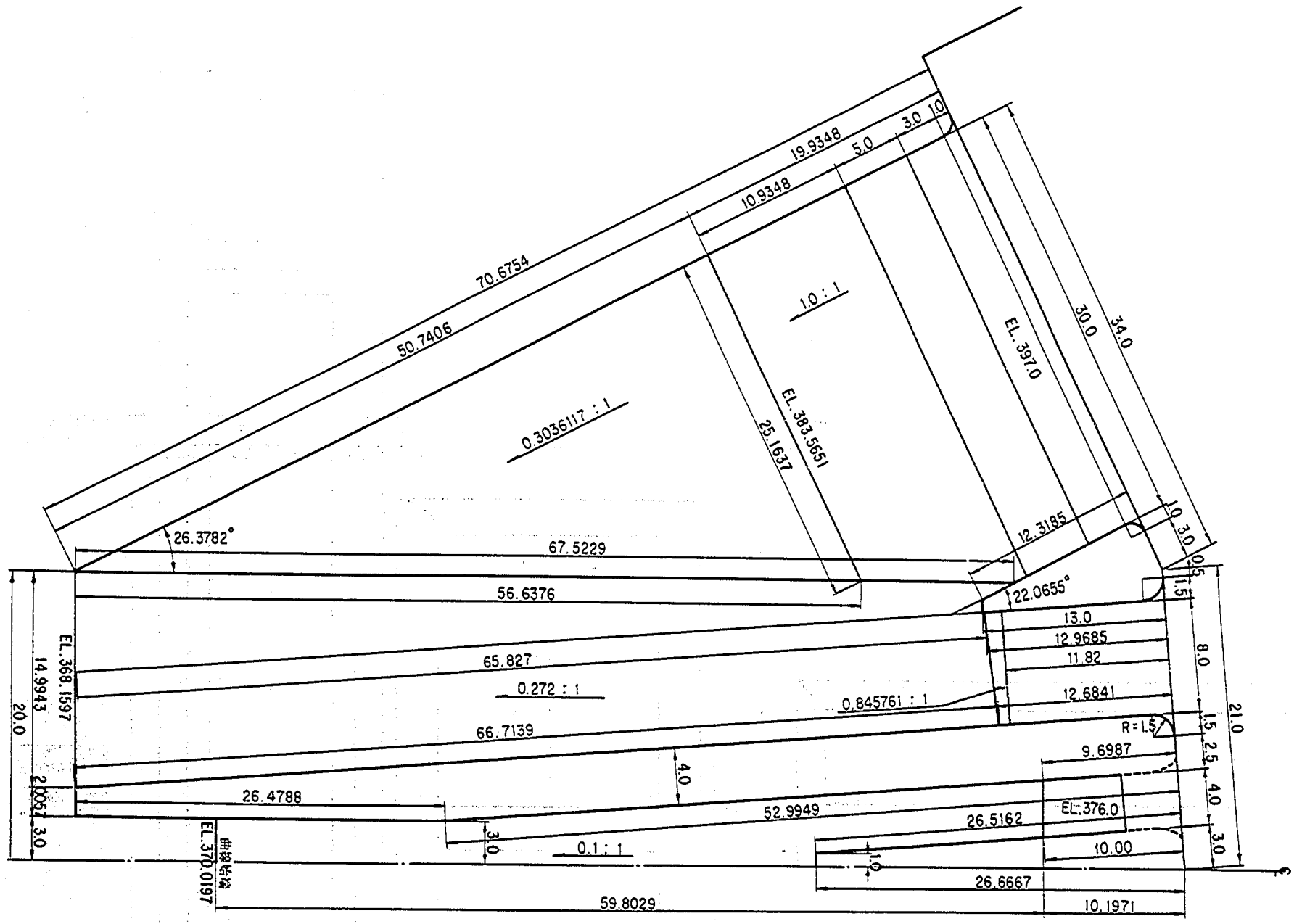


図６ｄ　洪水吐き設計原案形状図

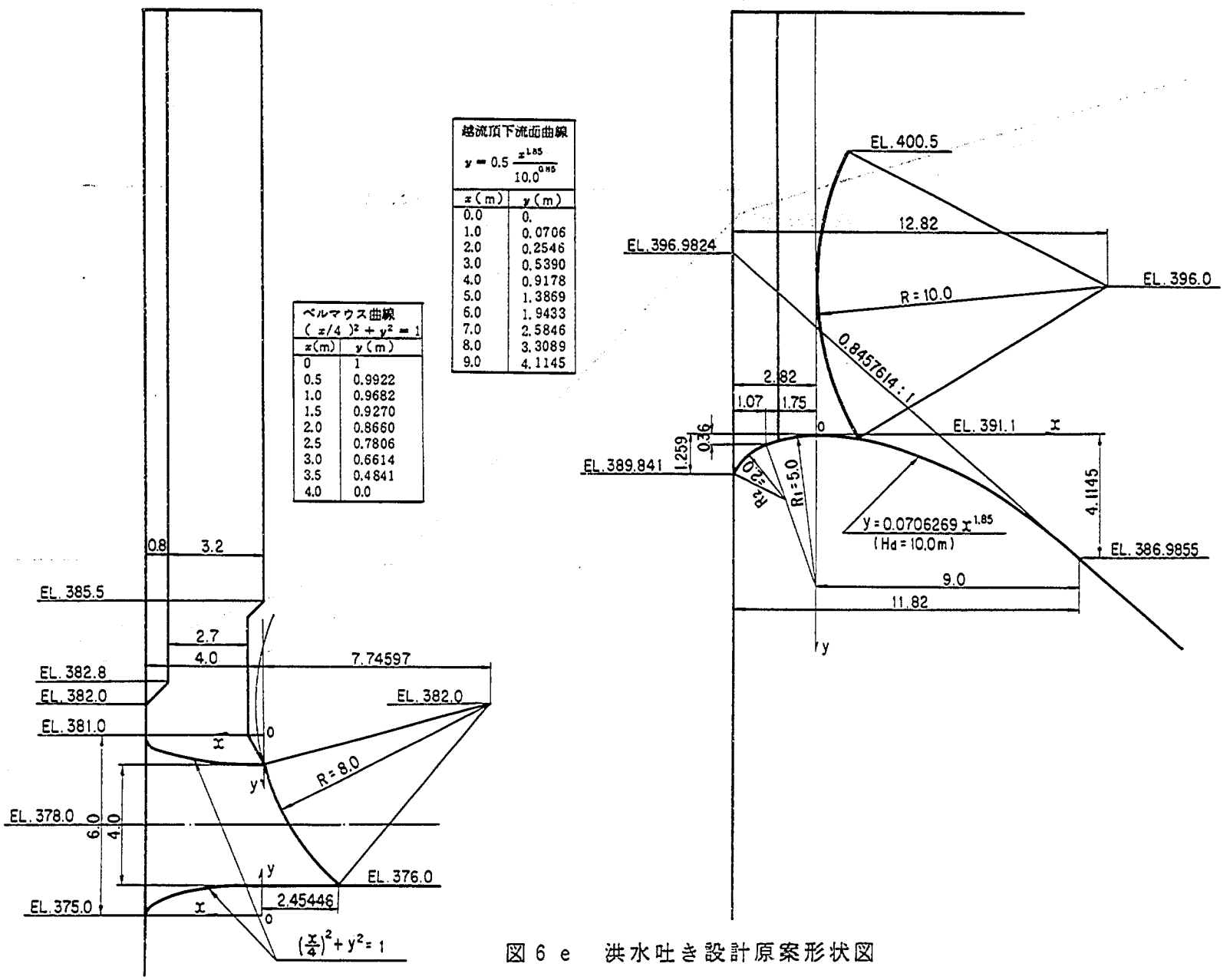
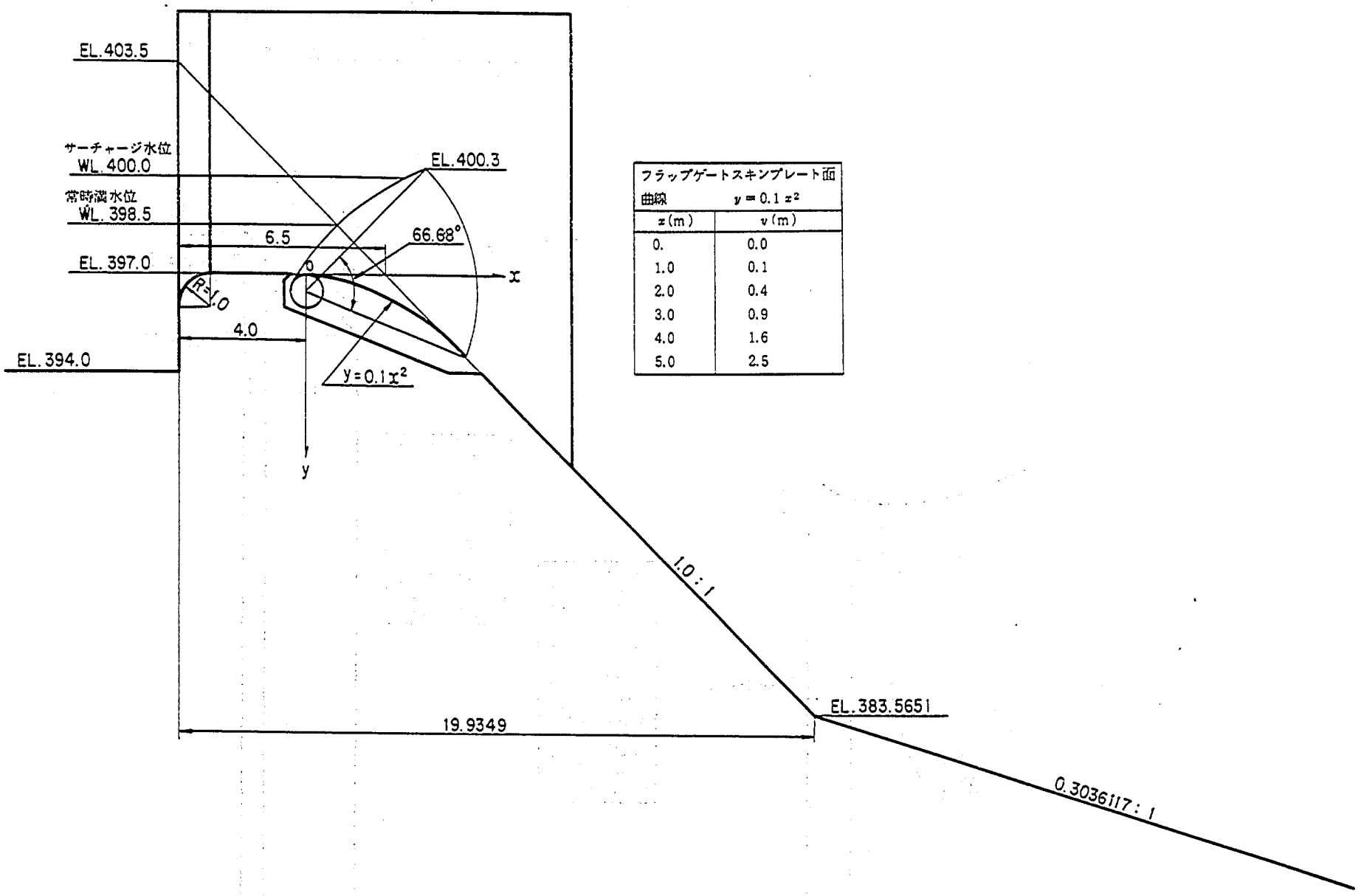
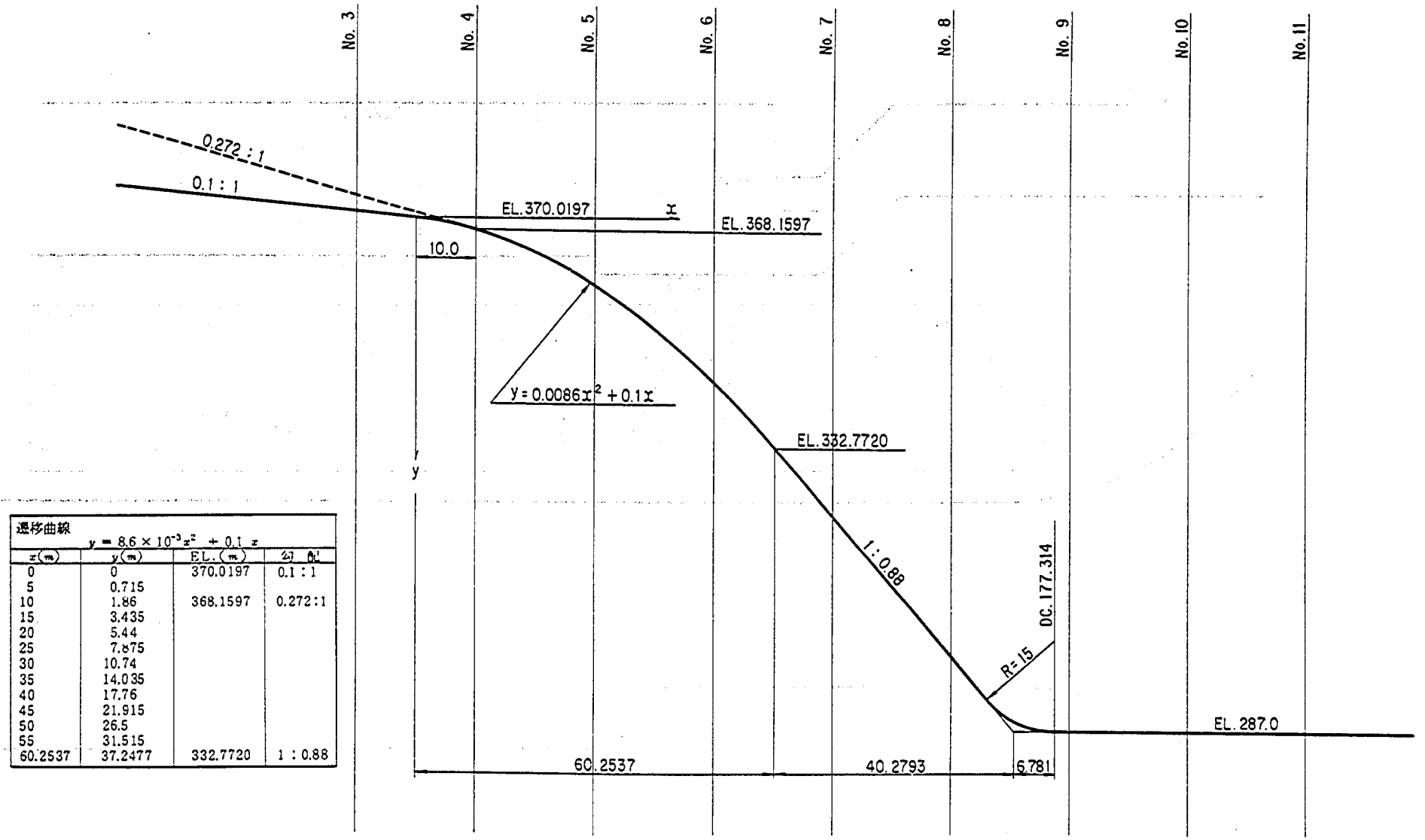


図６ｅ　洪水吐き設計原案形状図



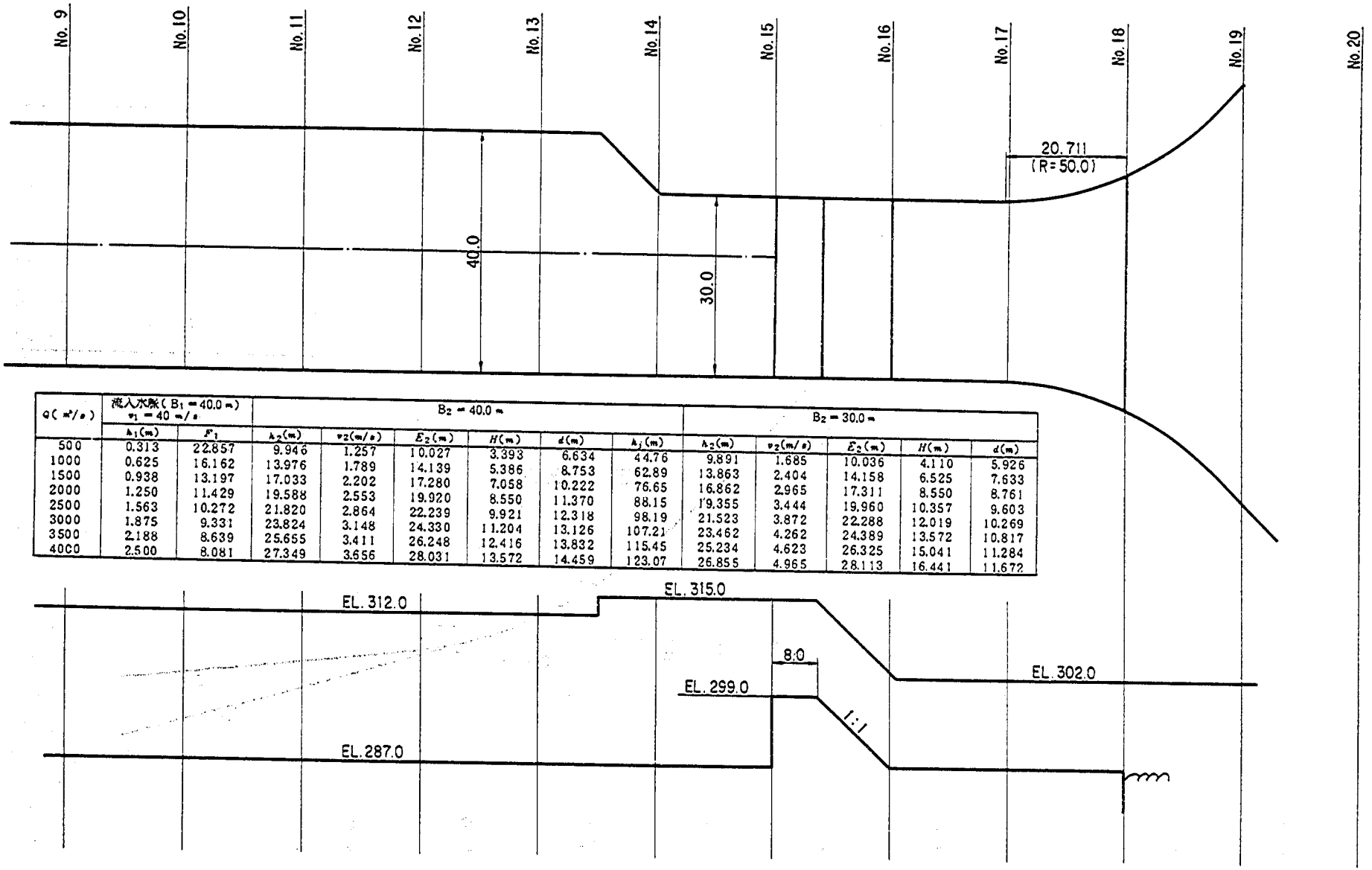
フラップゲートスキンプレート面曲線 $y=0.1x^2$	
x(m)	y(m)
0.	0.0
1.0	0.1
2.0	0.4
3.0	0.9
4.0	1.6
5.0	2.5

図６ｆ　洪水吐き設計原案形状図



退移曲線 $y = 8.6 \times 10^{-3}x^2 + 0.1x$			
x (m)	y (m)	EL. (m)	勾配
0	0	370.0197	0.1 : 1
5	0.715		
10	1.86	368.1597	0.272 : 1
15	3.435		
20	5.44		
25	7.875		
30	10.74		
35	14.035		
40	17.76		
45	21.915		
50	26.5		
55	31.515		
60.2537	37.2477	332.7720	1 : 0.88

図６ｇ　洪水吐き設計原案形状図



Q(m³/s)	流入水路 (B_1=40.0 m) v_1=40 m/s		B_2=40.0 m						B_2=30.0 m				
	h_1(m)	F_1	h_2(m)	v_2(m/s)	E_2(m)	H(m)	d(m)	h_j(m)	h_2(m)	v_2(m/s)	E_2(m)	H(m)	d(m)
500	0.313	22.857	9.946	1.257	10.027	3.393	6.634	44.76	9.891	1.685	10.036	4.110	5.926
1000	0.625	16.162	13.976	1.789	14.139	5.386	8.753	62.89	13.863	2.404	14.158	6.525	7.633
1500	0.938	13.197	17.033	2.202	17.280	7.058	10.222	76.65	16.862	2.965	17.311	8.550	8.761
2000	1.250	11.429	19.588	2.553	19.920	8.550	11.370	88.15	19.355	3.444	19.960	10.357	9.603
2500	1.563	10.272	21.820	2.864	22.239	9.921	12.318	98.19	21.523	3.872	22.288	12.019	10.269
3000	1.875	9.331	23.824	3.148	24.330	11.204	13.126	107.21	23.462	4.262	24.389	13.572	10.817
3500	2.188	8.639	25.655	3.411	26.248	12.416	13.832	115.45	25.234	4.623	26.325	15.041	11.284
4000	2.500	8.081	27.349	3.656	28.031	13.572	14.459	123.07	26.855	4.965	28.113	16.441	11.672

図 6 h　洪水吐き設計原案形状図

第2節　洪水吐きの設計原案形状

洪水吐きの設計原案における機能設計はつぎに示す各事項を勘案して選定したものである。

2.1　オリフィス形状

常用洪水吐きとしてのオリフィスはゲート修理や故障に備え2条とし，制限水位EL.387.0 mで管路流となり，その時2条での放流能力は，その水位で計画最大放流量 300m³/s の1割増しの330m³/s程度とする。

また，オリフィスの敷高は低圧放流設備（設計水深25m以下）とすることと制限水位を考慮してEL.376.0 mとした。

したがって，オリフィス吐口の必要断面積は次式によって与えられる。

$$Q = n \cdot C \cdot A \cdot \sqrt{2gH} \qquad (2)$$

ここに，Q ： 放流量（＝330m³/s），n：オリフィスの条数（$n=2$）

C ： 流出係数（過去の実験資料から$C=0.7$ と仮定）

A ： 吐口断面積（m²），g：重力加速度（＝9.8m/s²）

H ： オリフィス敷高から貯水位までの総水頭（EL.387.0 − EL.376.0 ＝11.0m

(2)式にそれぞれの値を代入して$A \fallingdotseq 16.0$m²が得られるから吐口断面は幅4.0m×高さ4.0m とした。したがって，設計洪水位EL.401.500 mでは$Q \fallingdotseq 500$m³/s の放流能力となる。また，オリフィスの管長はL＝4.0mとし，呑口ベルマウスは4面対称の $\left(\frac{x}{4}\right)^2 + y^2 = 1$ の長円形状とした。

2.2　高越流頂形状

非常用洪水吐きまた常時満水位維持用として，サーチャージ水位EL.400.0 mから3 m，常時満水位EL.398.500 mより1.5 m下りのEL.397.0 mを敷高としたフラップゲート付高越頂2門を設置した。

フラップゲートは径間幅B＝30mで，扉高は3.3 mとした。また，越流頂形状の上流側は半径R＝2.0 mの円弧とし，下流曲線は設計水頭が小さいことと堤体下流面勾配1：10のすりつけを考慮して，ここでは$y = 0.1x^2$を選定した。上流円弧の終端から下流曲線の始端までの間には維持管理とゲートの 引張応力を考慮して6.0m の水平部を設けた。

したがって，設計洪水位EL.401.500 mで高越流頂の放流能力は次式から

$$Q = C \cdot B \cdot H^{3/2} \qquad (3)$$

ここに，Q：放流量（m³/s），C：流量係数（C＝1.8 と仮定），B：越流幅（B＝30×2＝60 m），H：越流水深（H＝401.500 − 397.000 ＝4.5m）$Q \fallingdotseq 1{,}030$m³/s である。

2.3　低越流頂形状

オリフィスと高越流部での総放流量（500＋1030＝1,530㎥/s）とダム設計洪水流量2,600㎥/sとの差引流量約1,070㎥/sは低越流頂クレストゲート2門で処理する。したがって，(3)式に$C=2.0$，$B=8\times2$門$=16$m，$Q=1{,}070$㎥/sを代入して必要設計水深Hを求めると$H\fallingdotseq10.4$mとなり，クレスト敷高は401.500－10.4＝391.100 mとした。

そこで，低越流頂形状は設計水深$H_d\fallingdotseq10.0$ mのハロルドの標準越流頂形状として次式から求めた。

$$\frac{Y}{H_d}=0.5\left(\frac{X}{H_d}\right)^{1.85}$$

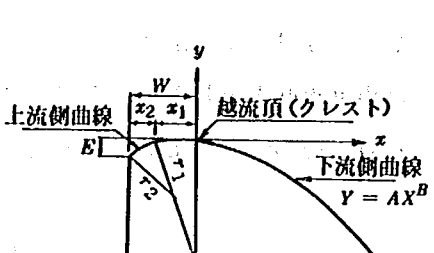


図7　越流部記号説明図

下流側曲線　$Y=0.5H_d^{-0.85}X^{1.85}$　（ただし，X，Yは頂点を原点とし，下流および鉛直下方を正とする）

上流側　$W=0.282H_d$，　$X_1=0.171H_d$

$E=0.126H_d$，　$X_2=0.107H_d$

$r_1=0.5H_d$，　$r_2=0.2H_d$

ここに示す越流部記号は図7に示す説明図のとおりである。

以上によって，求めた洪水吐きの形状は現地での掘削量を軽減するため平面形状を扇形とした。

2.4　流入部掘削形状

流入部の掘削形状は前述の各洪水吐きの敷高と接近流速を考慮し，掘削量が最小限となるように，図6 aに示す掘削形状とした。

2.5　合流部および導流部形状

合流部形状は，洪水吐きを配置する地形縦断でのダム軸から緩勾配面の終端距離をDC80.0m地点とし，オリフィスおよび低越流頂＋高越流頂からの放流水がD･C80.0 m地点でほぼ均等水深となる導水路断面とした。また，高越流頂は地形掘削量と平面合流を考慮して，図6 bに示すようにダム軸に対しては約27°の扇形に屈折した。さらに，洪水吐きの中心線は下流河芯とのすりつけを考慮して，事務所案より左岸側へ10m平行移動した。

合流部終端の導水路幅は現河道幅とのすりつけと単位幅流量をできるだけ小さくする意味から40.0mとし，下面遷移曲線は曲線の始端をD･C70.0 mとオリフィスの下流勾配0.1：1との交点標高EL･370.0197 mを原点とし，次に示す方法で求めたものである。

1. 原点での流速Vは，

$$V=C\sqrt{2g}\,(\mathrm{WL}-370.0197)$$

ここに，　$C = 0.9$，WL＝403,500mとして

$V = 23.055$m/secから設計流速（V_d）＝24m/sとした。

2.　$Y = \frac{1}{2} g \frac{X^2}{(Vd \cdot \cos\theta)^2} + \tan\theta X$

ここに，$\tan\theta = 0.1$だから$\theta = 5.7106°$，$V_d = 24$m/s

$Y = 8.592 \times 10^{-3} X^2 + 0.1X$から設計曲線を$Y = 8.6 \times 10^{-3} X^2 + 0.1X$とした。

したがって，遷移曲線形状は図6 gに示すとおりで，シュート部仕上げ勾配1：0.88 との交点はY＝60.2537，X＝37.2477となり交点標高はEL．332.772 mである。

2.6　減勢工形状

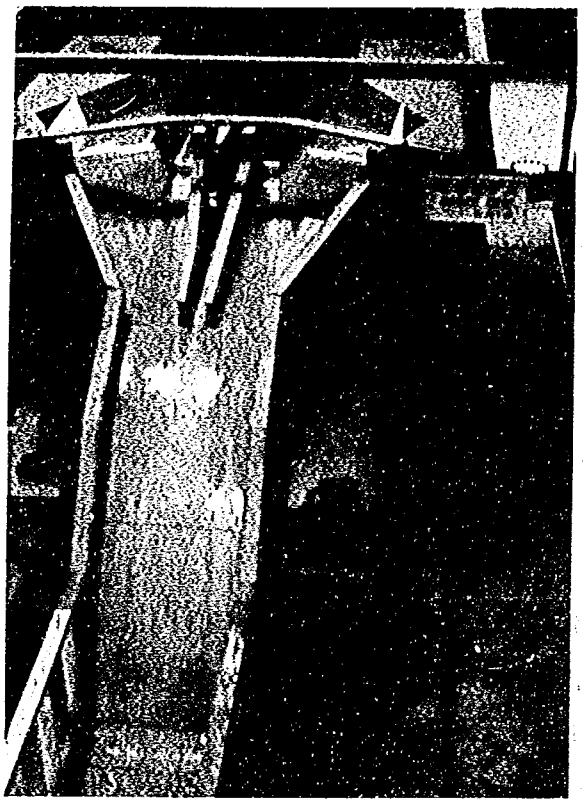
減勢工形状は直線型水平水叩き形式を採用し，減勢工始端D·C177.314mからD·C270.0 m区間の幅は導流部と等幅の40.0mで，D·C280.0m～D·C339.289 m 区間は30.0m，敷高は現河床の推定岩盤線からEL．287.000mとした。つぎに，減勢工のおおよその規模を決めるため，有効落差（EL．401.5－287.0＝114.50 mから求まる水叩き流入流速$V_1 = 0.9 \times \sqrt{2g \times 114.5} = 42.6 \fallingdotseq 40$m/s とし，$B$＝40or30mの2条件を直線水平水叩き跳水式に代入して求まる値（図6 hに示す数値表を参照）の平均値として，水平水叩き長さ$L \fallingdotseq 120$m，副ダム高D＝12.0mを選定した。

第3節　水理模型実験

3.1　模　　型

洪水吐き原案の水理模型は，図6a～6h に示した各形状について，実物との縮率を1／50とした幾何学的に相似な模型として製作した。

模型の製作範囲は，流入部での接近流速を無視できる程度の貯水槽，流入部掘削地形，　各洪水吐き形状，合流部，導流部および減勢工までである。模型は各部の製作方法や難易度により，米杉板，ラワン板，杉板，ラワン合板および杉正角を主材料とした木製加工とし，製作仕上げ精度は各断面に対して±1㎜以内で，表面はオイルペイント2～3回塗装によって平滑に仕上げたものである（写真№1参照）。



写真No. 1
設計原案模型全景
縮尺＝1／50

3.2 相 似 律

本実験で取り扱う水理現象は重力の作用が卓越しているものと考えられるから実物と模型との相似律は

表 2　諸量の縮率の関係表

諸量		次元 ($L-F-T$)	縮率	
			比	縮尺
幾何学的な量	水平 (x)	L	x_r	1：50
	鉛直(水深, 標高) (h)	L	h_r	1：50
	勾配 (h/x)	−	$h_r \cdot x_r^{-1}$	1：1
	面積 (A)	L^2	$h_r \cdot x_r$	1：2500
	体積 (V_m)	L^3	$h_r \cdot x_r^{-2}$	1：12500
流水に関する量	フルード数 (Fr)	−	1	1：1
	流速 (V)	LT^{-1}	$h_r^{1/2}$	1：7.07107
	流量 (Q)	$L^3 T^{-1}$	$x_r \cdot h_r^{3/2}$	1：176776695
	時間 (T)	T	$x_r \cdot h_r^{-1/2}$	1：7.07107
	流量係数 (C)	−	1	1：1

フルードの相似則によって規定される。したがって，フルードの相似則によって決定される基本水理量の関係は表2に示すとおりである。

3.3 計測方法

本実験での水理諸量の計測事項と計測方法はつぎのとおりである。

1) 流量は実験水槽への給水システムの途中に設置された電磁流量計（100φおよび300φの切換で精度±1%以内）のプリント出力の平均値とした。

2) 貯水位は貯水槽と連通している水位管の水面を1/10mm目盛バーニヤ付きポイントゲージで測定した。

3) 流速はプロペラ式流速計の10秒間の計測値3回の平均値とした。

4) 流況は目視と写真撮影により実施し，流況図を作成した。

3.4 実験の目的および内容

本実験の目的は，洪水吐きの水理的な最適形状およびダムの管理資料を収集するものであるが，ここでは流入部，合流部および減勢工における問題点の把握と改善手段について検討を加える。したがって実験は，順次上流側より検討を進めるものとし，これらの実験内容は表3の実験ケース一覧表に示すとおりである。

3.5 実験結果

洪水吐きの設計原案における各部の検討結果はつぎに述べるとおりである。

1. 流入部掘削形状の検討結果

流入水路の検討は貯水位を401.500 mとし，洪水吐きを全門全開状態で約2,600m³/sを放流した場合のダム軸より上流側65m地点の流速分布（図8および図6a参照）および流況観察により行った。流速分布の測定結果は図9および表4に示すとおりである。

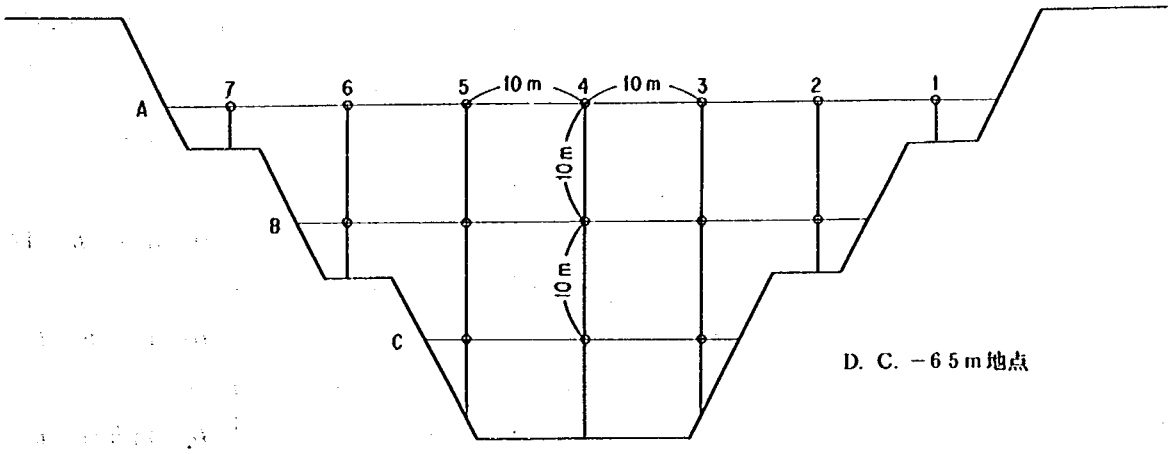


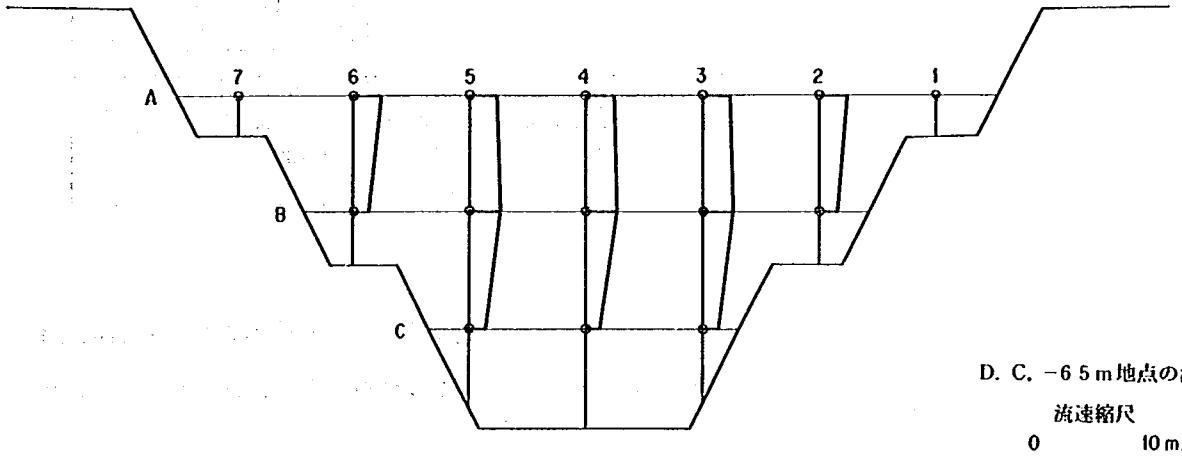
図8 流入部流速測定位置図

表3　実験ケース一覧表

検討事項	実験番号	実験条件	実験ケース数	測定項目			備考
				流況	流速	水面形	
貯水池	—	W. L. 401.5 m W. L.	2	○	○	—	
越流部	1	Q = 2600 m³/s	1	○	—	—	設計原案
	2	Q = 2600 m³/s Q = 2000 m³/s	2	○	—	—	実験原案
	3	Q = 2600 m³/s	1	○	—	—	
	4	Q = 2600 m³/s	1	○	—	—	
	5	Q = 2600 m³/s Q = 2000 m³/s	2	○	—	—	ブロックによる流水の流向規制
	6	Q = 2600 m³/s	1	○	—	—	
	7	Q = 2600 m³/s Q = 2000 m³/s	2	○	—	—	
	8	〃	2	○	—	—	
	9	〃	2	○	—	—	ブロックによる
	10	Q = 2600 m³/s Q = 2000 m³/s W. L. 398 m	3	○	—	—	エネルギーの減殺
	11	〃	3	○	—	—	改造最終案
減勢部	I	Q = 2600 m³/s Q = 2000 m³/s	2	○	—	○	D = 12 m　L = 120 m
	II	〃	2	○	—	○	D = 13.5 m　L = 110 m
	III	〃	2	○	—	○	D = 13.5 m　L = 90 m

この結果，流入水路内で流線の集中および渦流域は観察されず，流速の最大値も約2.5m/s 程度であることから，原案形状で問題がないものと判断できる。

実験番号	1
貯水位	401.57
流量	2617 m³/s

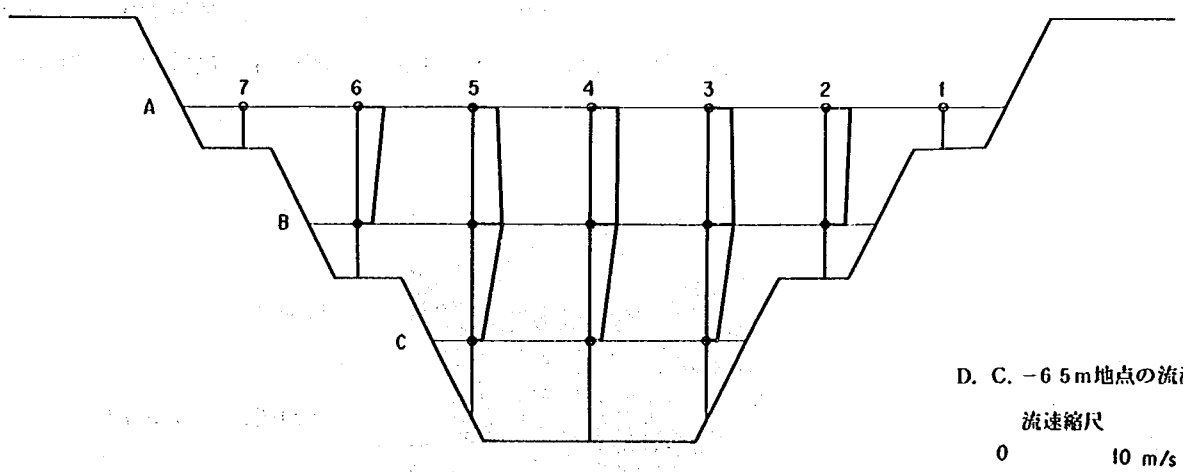


D. C. −65m地点の流測

流速縮尺

0 10 m/s

実験番号	2
貯水位	400.06
流量	2003 m³/s



D. C. −65m地点の流測

流速縮尺

0 10 m/s

図9　流入部流速分布測定結果図

表4　流入部流速測定結果数値表

貯水位	401.45 m
流　量	2590.83 ㎥/s

	1	2	3	4	5	6	7
A	—	2.507 m/s	2.417 m/s	2.371 m/s	2.417 m/s	2.524 m/s	—
B		1.590	2.616	2.653	2.478	1.384	
C			1.351	1.077	1.378		

貯水位	400.21 m
流　量	2005.27 ㎥/s

	1	2	3	4	5	6	7
A	—	2.064m/s	2.000m/s	2.000m/s	1.956m/s	2.053m/s	—
B		1.568	2.156	2.147	2.257	1.332	
C			0.788	0.858	0.689		

2.　合流部形状の検討結果

図6bに示した様に，本洪水吐きは扇形状でしかも各洪水吐きの放流量および流速の異なった設計条件となっているため，これらの放流水の合流処理が重要なポイントと考えられる。次に，設計原案で2,600 ㎥/s 放流時の流況観察結果を述べることとする。

1）設計原案での合流状態

①　オリフィス2門の合流は比較的良好であるが，センターピアの後方で互いに拡散した水脈の干渉によりひれ状の飛散水脈が見られる。

②　オリフィスと低越流頂からの放流水の合流状態は良好であり，この結果，設計における予測計算どおりに合流後の水脈の厚さがほぼ均等になっていることが確かめられた。しかし，高越流頂からの流水は左右両側のダム軸より下流80 m付近の導流壁に衝突し，流水の1部は導流壁外へ飛散する（写真№2参照）。



写真№2
合流部原案
Q = 2,600㎥/s の流況

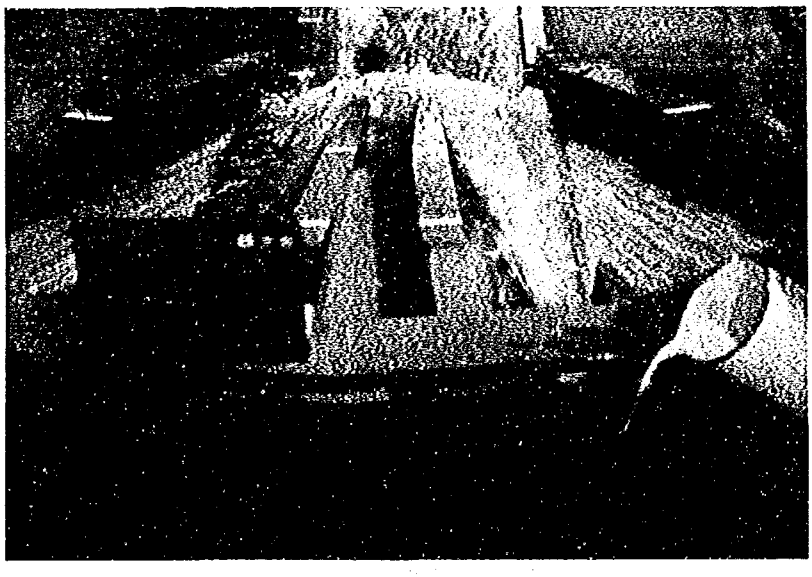
③　高越流部からの放流水は扇状の絞り傾斜エプロンで減勢されず，低越流部からの放流水に合流する量が少なく，ほとんどは低越流部からの流れの表面を乗り越え，中央に流線が集中している。

以上の結果から，設計原案では特に高低２種の越流部からの合流が問題であり，その原因は高越流部からの流れが減勢されずに合流することであることが判った。以後は，この合流処理形状数種での検討結果について記述する。

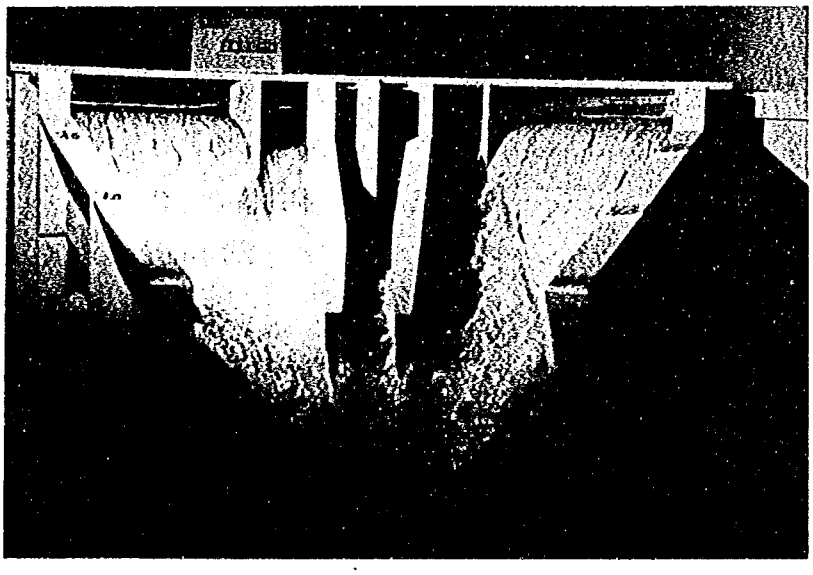
2）改造Ⅰ案

改造Ⅰ案は，高越流部下流の傾斜エプロン敷高を３m嵩上げし，エプロン上の流速を減ずる試みで行った形状である。

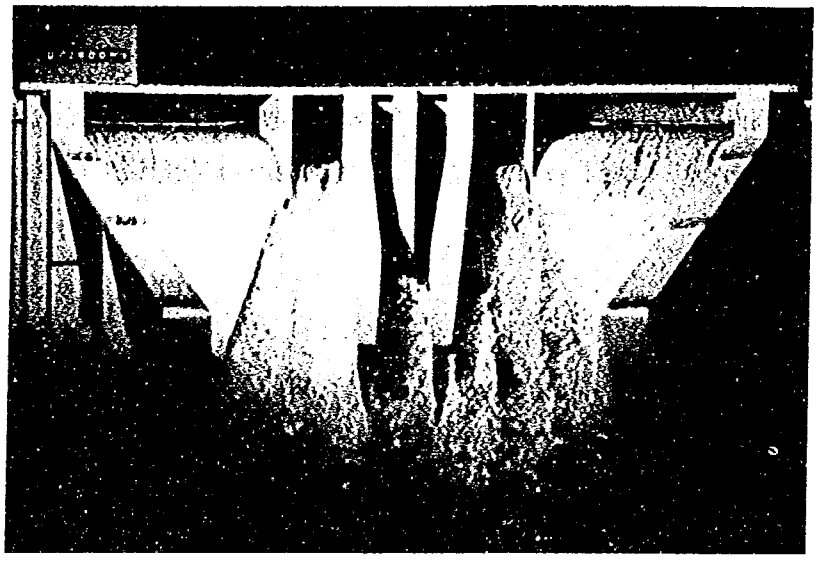
結果は流況写真№３で明らかなように，D.C下流80m付近での飛散が無くなり，合流状態はスムーズになったが，流線の中央への集中は解消されない。この後，改造Ⅰ案を基準とし，傾斜エプロン先端にデフ



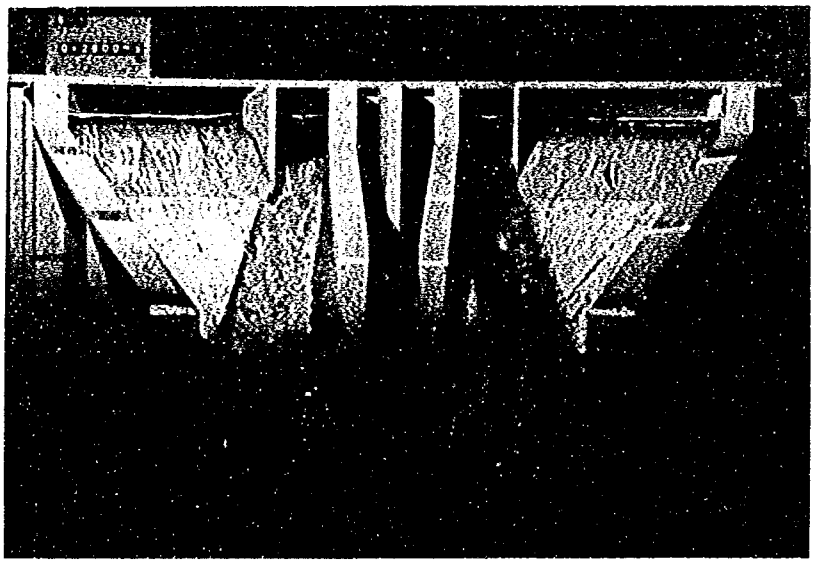
写真№３
合流部改造Ⅰ案
$Q = 2{,}600 m^3/s$ の流況



写真№４
改造Ⅰ案
デフレクター付
$Q = 2{,}600 m^3/s$ の流況



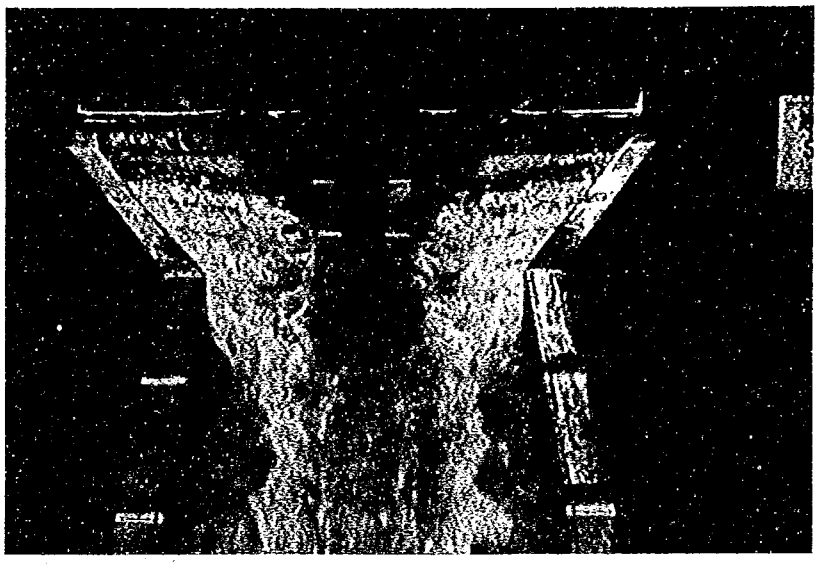
写真No. 5
改造Ⅰ案
補助構造物案
Q = 2,600㎥/sの流況



写真No. 6
改造Ⅰ案
補助構造物案
Q = 2,600㎥/sの流況



写真No. 7
改造Ⅰ案
補助構造物案
Q = 2,600㎥/sの流況



写真No. 8

改造Ⅱ案

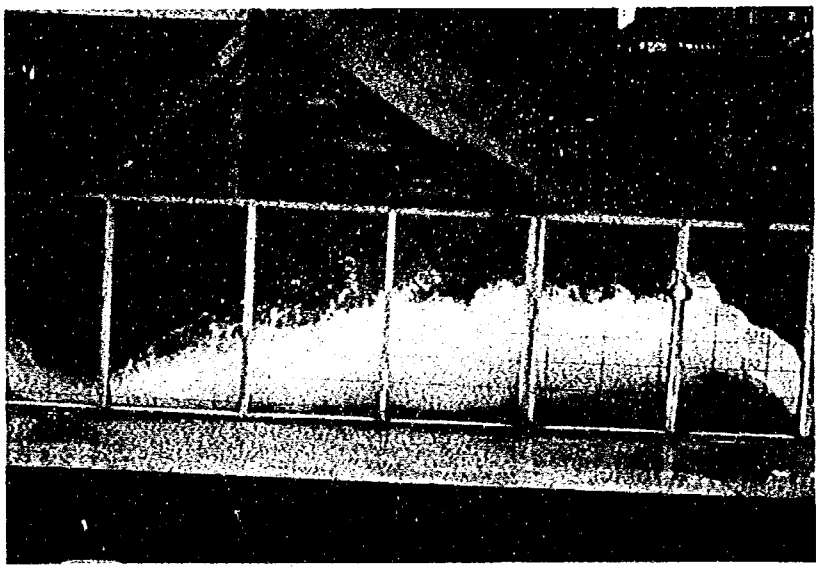
Q = 2,600㎥/s の流況



写真No. 9

改造Ⅲ案

Q = 2,600㎥/s の流況



写真No.10

減勢工原案

D = 12.0m

L = 120.0m

Q = 2,600㎥/s の流況

レクターを取付けた場合とオリフィスの導流壁に補助構造物を付加した形状（写真No.4～No.7参照）数種について検討を加えたが，流況写真で明らかなように流況的に多少の改善はされるが，根本的な改善手段は得られないことが判った。

3）改造Ⅱ案

Ⅰ案での検討結果から根本的には高越流頂からのエネルギーをエプロン上で減勢する必要性が明らかとなった。そこで，改造Ⅱ案は図10に示すように傾斜エプロンに帯状の段差を設け平均勾配を上下流方向だけでなく左右方向内側に向け，さらに減勢効果を期待した形状である。

検討結果は流況写真No.8に示すように，低越流頂からの放流水との合流が早められ，飛散水脈が少なくなりかなり減勢効果はあるが，シュート部始端で中央付近に流水が集中している。

4）改造Ⅲ案

改造Ⅲ案は図11に示すように，エプロン勾配を約1：2.7とし，エプロン上にシュートブロックおよびバッフルブロックを流れ方向に千鳥に配列し，減勢を高める形状である。

検討結果は流況写真No.9に示すように，バッフルブロックでの減勢効果が高められ，合流がスムーズになり，シュート部始端の横断水脈もほぼ均等流が得られる。

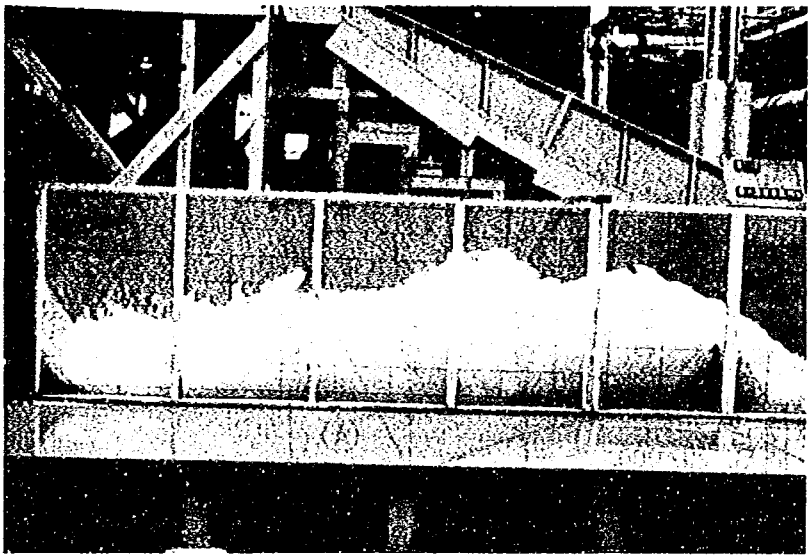
3. 減勢工形状の検討

減勢工形状の検討は合流部形状を改造Ⅲ案形状とし，副ダム高(D)および水平水叩き長(L)をパラメーターとして，次に述べる3ケースについて実施した。この場合，減勢工の対象流量はフィルダムであることを考慮して，2,600㎥/sとした。これらの減勢池内の水面形の測定結果は図12a～12cおよび表5a～5cに示すとおりである。

1）設計原案における$D=12.0$m，$L=120.0$mのケースでは2,600㎥/s放流時に水叩き始端から約20m範囲は露出射流となり，減勢池内の流況は水面変動が激しく，不安定となっている（写真No.10参照）。

2）$D=13.5$m，$L=110.0$mのケースでは流況写真No.11および図12bに示すように水叩き長さに余裕があり，シルによる背水効果があまり働かず，跳水始端のローラー渦も長円で形成されるため，水面変動の周期が不安定となっている。

3）$D=13.5$m，$L=90.0$mのケースでは跳水始端で形成されるローラー渦も周期的になり，図12cに示すように平均的な水面の変動量も小さくなっている。この規模で左右岸の水面高の差はあるが導流壁の高さは，EL.315.0＋途裕高程度が必要である。しかし，流況写真No.12に示すように，時々中央部で大きな水面変動が見られる。この原因として考えられるのは流況観察から，上流側合流部での合流状態に起因するものと思われる。

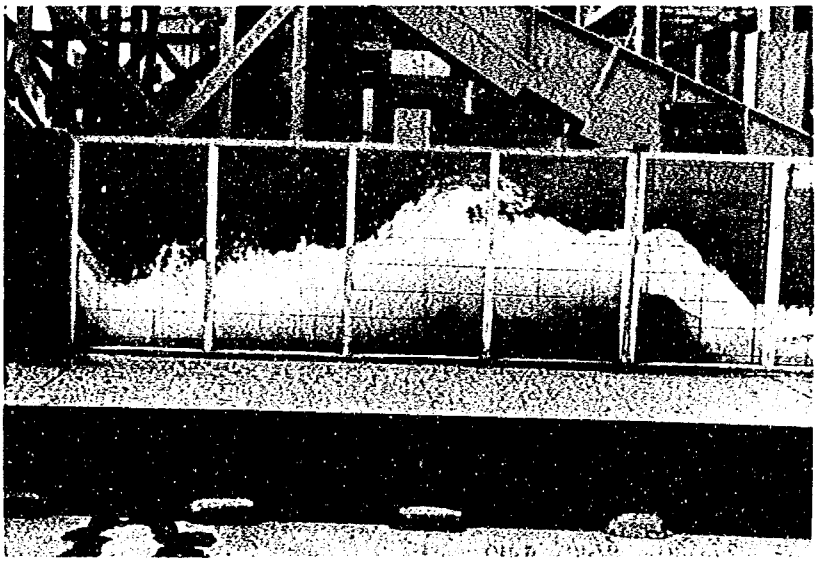


写真No.11

D = 13.5m

L = 110.0m

Q = 2,600m³/sの流況



写真No.12

D = 13.5m

L = 90.0m

Q = 2,600m³/sの流況

第4節　減勢工実験

設計原案における減勢工形状は直線型水平水叩き方式としたが，図5に示したように丁度減勢工の水叩き位置が河道左岸の張り出し地山となり，この地山をカットした場合，全体が滑動する恐れがあると予測された。そこでここでは減勢工形状を図13に示すようにこの地山に沿わせた彎曲平面形状とした場合の水理実験を実施した。

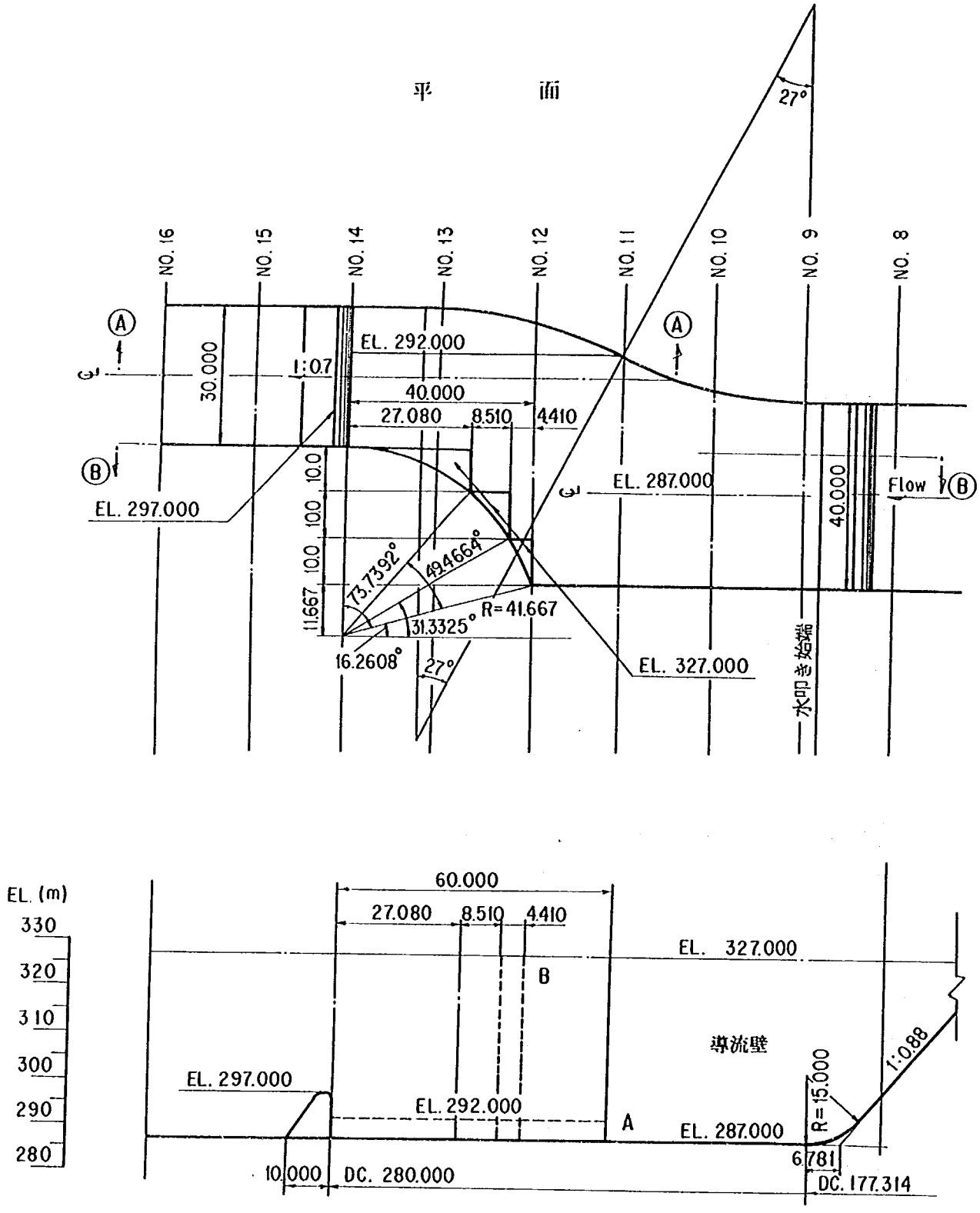

平面
NO. 16
NO. 15
NO. 14
NO. 13
NO. 12
NO. 11
NO. 10
NO. 9
NO. 8
27°
A
B
30.000
1:0.7
EL. 292.000
40.000
27.080
8.510
4.410
EL. 297.000
EL. 287.000
40.000
Flow
10.0
10.0
10.0
11.667
73.7392°
49.4664°
31.3325°
R=41.667
16.2608°
27°
EL. 327.000
水叩き始端
EL. (m)
330
320
310
300
290
280
60.000
27.080
8.510
4.410
EL. 327.000
B
導流壁
EL. 297.000
EL. 292.000
A
EL. 287.000
R=15.000
1:0.88
6.781
10.000
DC. 280.000
DC. 177.314

図13　減勢工形状図

4.1 実験内容

実験は第3節での全体模型のうち減勢工形状だけを改造し，流入部からシュート部までは原案形状の検討結果から得られた最良案形状として実施した。したがって，実験での相似律，実験方法および計測方法は第3節の水理実験と同様である。

ここでの検討内容は，対象流量を2,600㎥/s一定とし，副ダム位置はD.C280.0 mと300.0m，副ダム高(D)は8.0m，10.0m，12.0mおよび13.5m を組合せた6ケースについて行ったものである。

4.2 実験結果

前述した6ケースにおける減勢池内の水面形（測定位置は図14に示す各位置である）の測定結果は図15a～15 cおよび表6a～6f に示すとおりである。これらの検討結果をまとめるとつぎのとおりである。

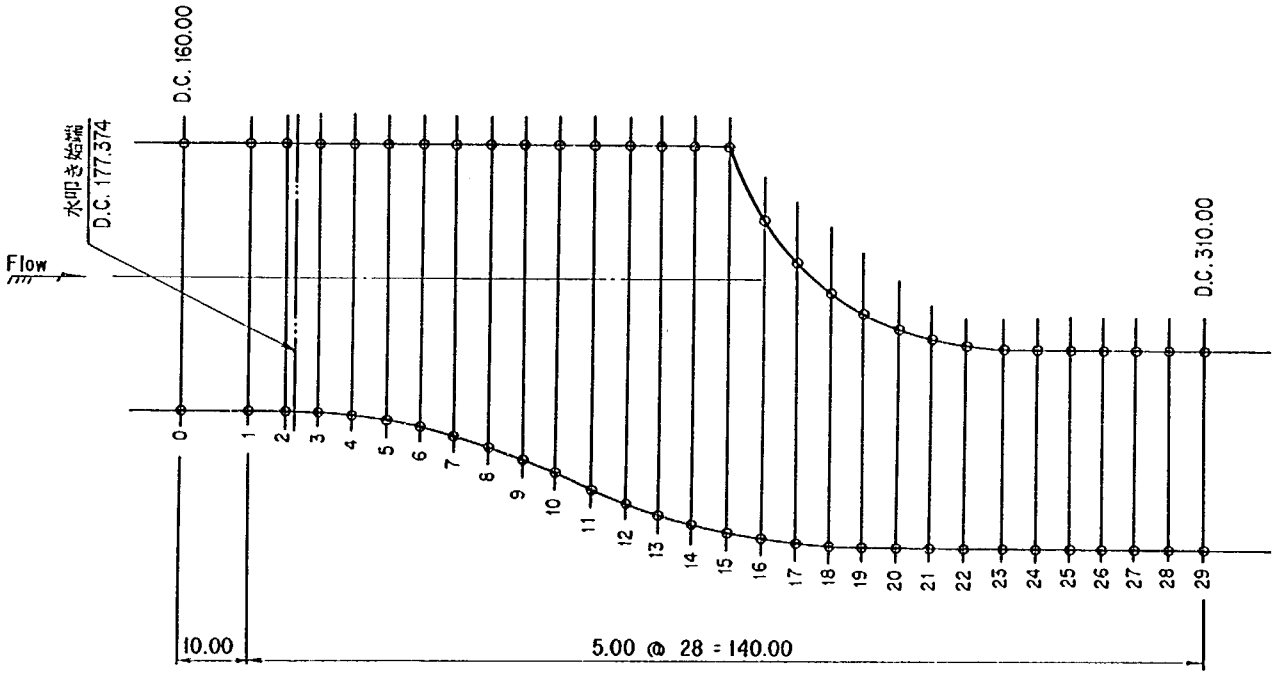
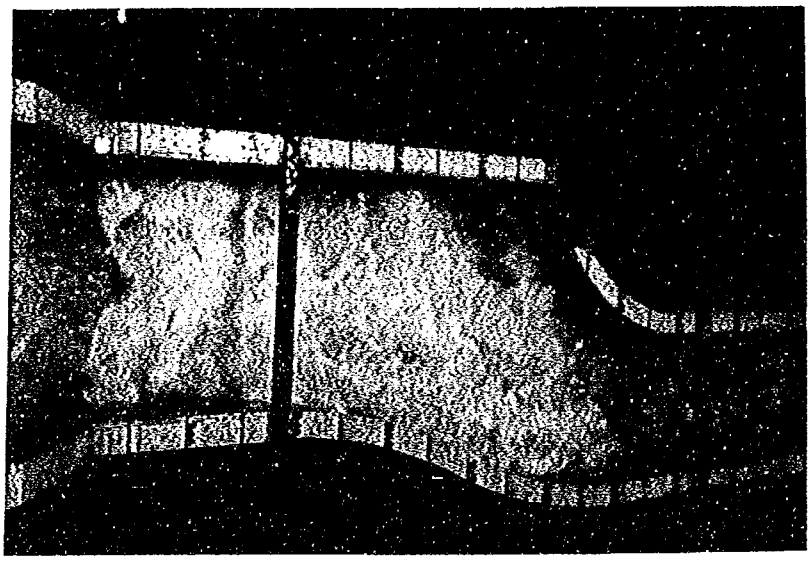


図14　減勢工水面形測定位置図

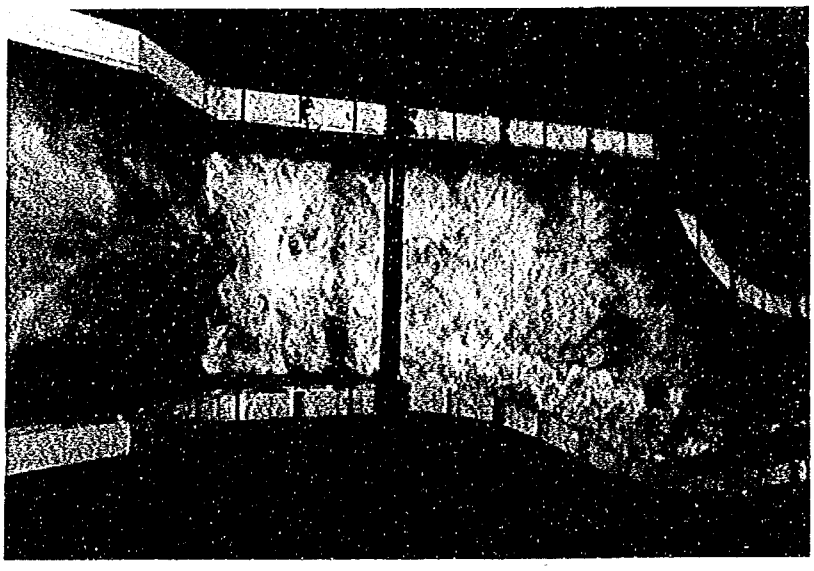
1）副ダム位置をD.C280.0 m一定とし，D＝13.5，12.0，10.0，8.0mの4ケースでは図15a～15bに示すように，D＝10.0mケースが減勢池内の水面変動が比較的穏やかで，水面形も低い位置で収まっている（写真No.13～No.16参照）。



写真No.13

D = 13.5m

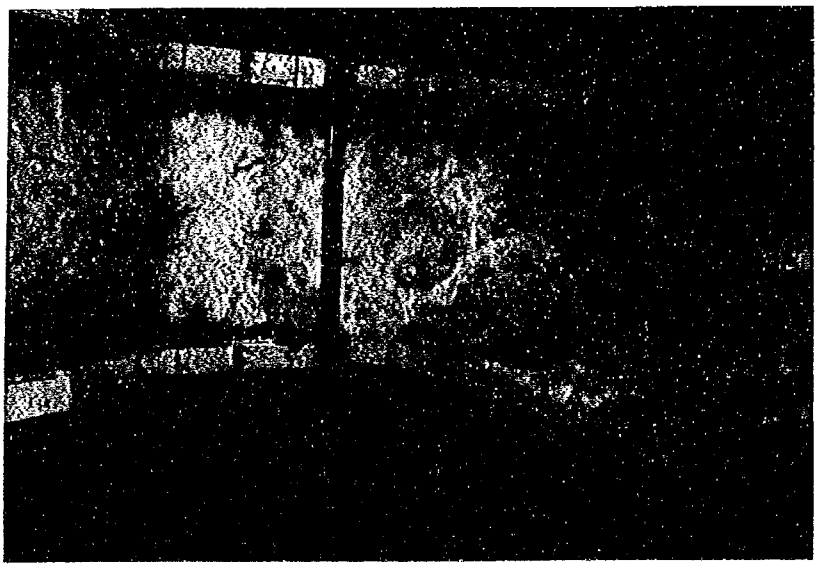
Q = 2,600㎥/s の流況



写真No.14

D = 12.0m

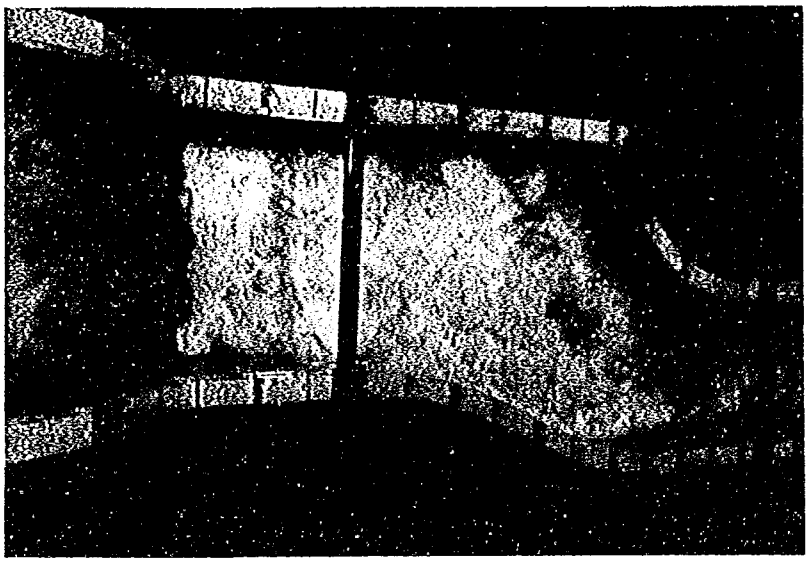
Q = 2,600㎥/s の流況



写真No.15

D = 10.0m

Q = 2,600㎥/s の流況



写真№16
$D = 8.0$m
$Q = 2{,}600$m³/s の流況

しかし，いずれのケースでも左岸円弧部の上流始端コーナー（表に示す横断測線番号№15付近）で直進流が円弧に衝突するため水面の盛り上がりが見られ，円弧による急変流が右岸に向かうため右岸導流沿いは左岸に比べ約5m程度の水面上昇が見られる。

2）副ダム位置をDC.300.0mとし，$D = 10.0$mのケースではDC.280.0mと$D = 10.0$mの組合せケースと流況的にはほとんど変らず，むしろ円弧コーナーの水面が若干上昇する。

3）副ダム位置をDC.280.0mに戻し，$D = 10.0$mで左岸円弧絞り形状を，施工が容易な段差絞りとしたケースでは図15cに示すように段差部での水面上昇が激しく，最下流段差では流線の剥離が見られる。

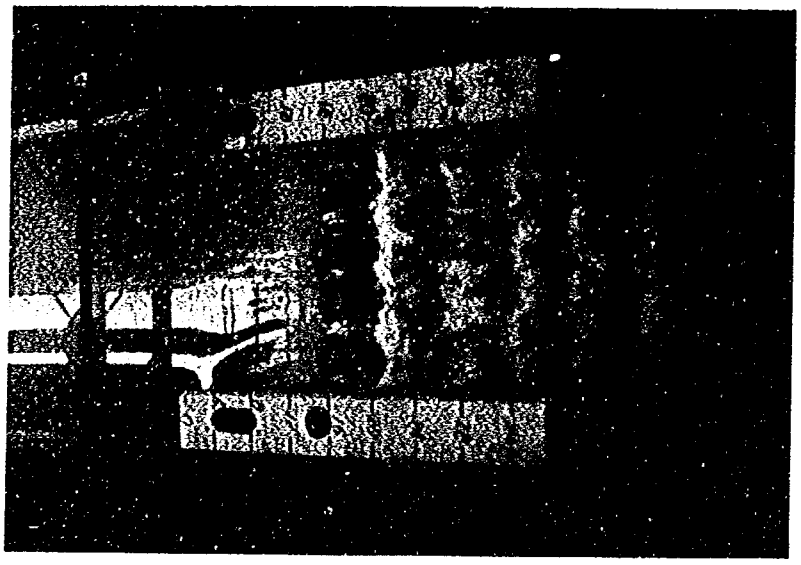
以上の検討範囲では減勢工形状を彎曲形状とした場合の規模として，水平水叩き長さ約100m，副ダムの高さは10m，導流壁高はEL.320m＋余裕高程度となる。しかし，左右水面の均等化を計る何らかの補助構造物を設置することにより，流況の改善と導流壁高を多少は下げることが可能と思われる。

第5節　高越流部抽出模型実験

高越流部のエプロン形状は第3節で検討した結果，エプロン上にシュートブロックおよびバッフルブロックの配列が必要と判断された。しかし，過去にこのような実施例としてはUSBR（米国内務省開拓局）の導水路に使用されているが，単位幅流量(q)としては10m³/s未満であり，寒河江ダムのように$q = 20$m³/s以上では実施例がない。したがって，設計資料を得るため，ここでは高越流頂のフラップゲートから下流合流部までのエプロン形状を1/20の拡大抽出2次元模型を製作し，水理実験を行った。

5.1　実験内容

高越流部の抽出模型（写真№17参照）はフラップゲートの径間を模型で100cmとし，他の形状はすべて実物の1/20の相似形で，エプロン上のバッフルブロック6列目までの2次元模型とした。模型の左右の導流ピアにはフラップゲート裏側に通気できるように給気孔を設けた。



写真No.17
$G_\theta = 0°$
貯水位 EL．398.56m
$Q \fallingdotseq 90 m^3/s$ の流況

実験は表7に示すように貯水位とフラップゲートの倒伏角度（G_θ）をパラメーターとし，エプロン縦断方向の水面形およびバッフルブロックに埋設したピエゾ管により水圧力を測定した。この場合の水面形はバッフルブロックに衝突した水脈が飛散するため，簡易波高計（1cm間隔の長さ20cmの2本の電極棒に通電し，両極が水にふれた時の電導率を100%，両極が空気中にある場合の電導率を0%とし，単位時間内の導通回数をカウントし，その回数によって水面にふれている率を算出するもの）の1分間計測3回の平均値として計測した。したがって，20%水面とは両極が計測中に水にふれる割合が20%である水面高を表わしている。

表7　抽出実験ケース一覧表

抽　出　模　型

No	貯水池水位	倒伏角度 G_θ
	EL　m	
1	398.50	0°
2	399.94	0°
3	401.50	0°
4	398.43	15°
5	400.16	15°
6	401.47	15°
7	401.52	30°
8	401.50	45°

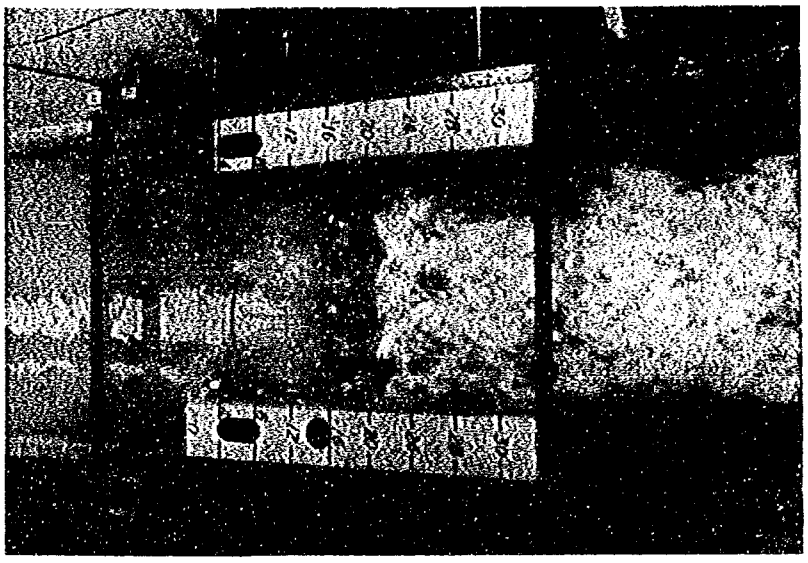
また，バッフルブロック（模型で高さ5cm）には下面5mmの位置から高さ方向に10mmピッチで計4点のピエゾ管を流線中央部2列のブロック1段おき（図16の黒印ブロック）に埋設し，ピエゾ管と水マノメーター板をビニールホースで接続し，基準高からの水柱高を計測し圧力値に換算した。

5.2　実験結果

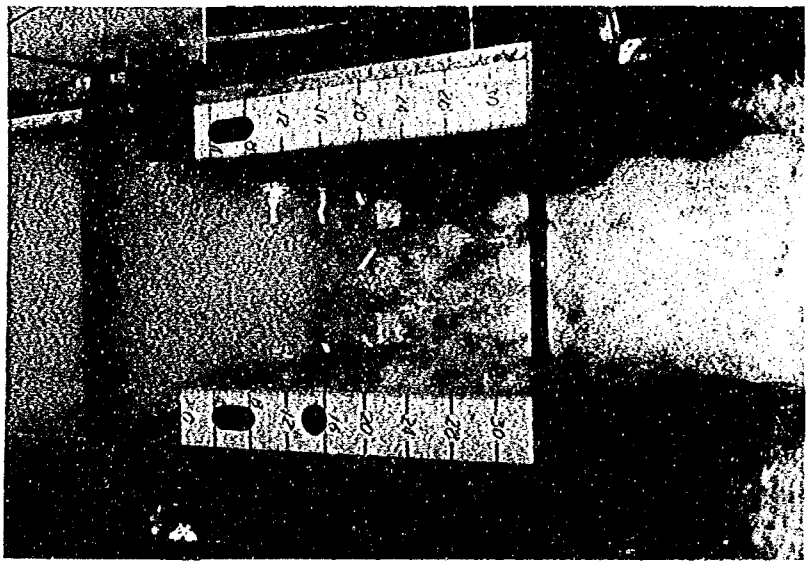
エプロン上に配列したバッフルブロックによる水面変化および圧力分布の測定結果は，まとめて図16a～16hに示すとおりである。これらの結果からつぎのことが明らかとなった。

1）貯水位が低い場合，いいかえれば単位幅放流量が少ない場合（写真No.17，18参照）1門当りの放流量で約260m³/s程度まではバッフルブロックによる減勢は効果的な流況を示す。しかし，設計洪水位EL．

401.50m（1門の放流量530m³/s）では流況写真No.19で明らかなように，上流から第2段ブロック目までは越流水脈がブロック高を上廻ることから，ブロック間の回転流の表面をすべる流れとなるため減勢効果が弱くなる。しかし，ブロックによる流水の干渉や分散効果によって，3段以後には減勢効果が見られる流況である。



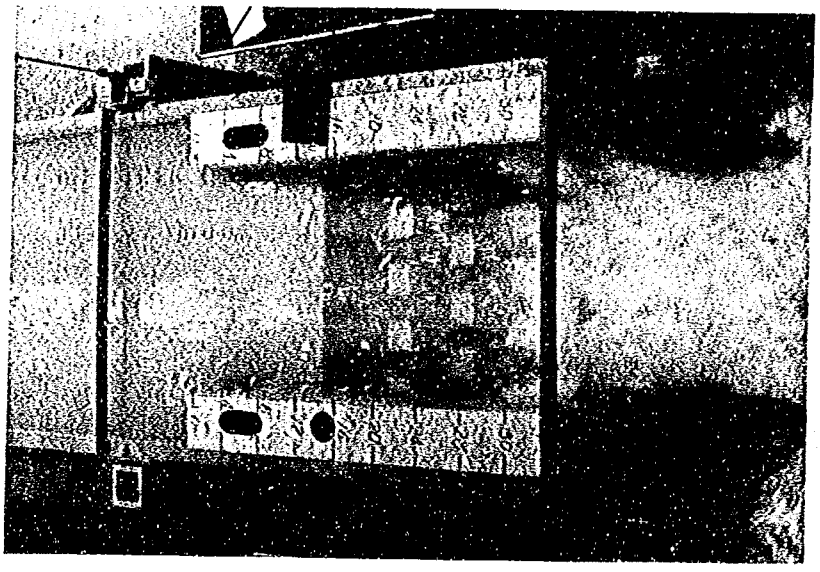
写真No.18
$G\theta = 0°$
貯水位EL．399.94m
$Q \fallingdotseq 260 m^3/s$ の流況



写真No.19
$G\theta = 0°$
貯水位EL．401.50m
$Q \fallingdotseq 530 m^3/s$ 流況

2） 水面形の測定結果の図16a～16hからも1)項の事象は裏付けられる。すなわち，$G\theta$ が一定ならばブロック高を上廻らない限界水深時に飛散水脈が最も高く，それより水深が大きいか小さい場合には飛散水脈は低くなる。また，この飛散水脈の高さはゲート起伏角と放流量によって，上流第1段ブロックに越流水脈が直接落下するケースが最も高くなる。

3）バッフルブロックに作用する圧力の測定結果は同じく図16a～16hに示すように，作用圧力が最大となるのはG_0=15°，Q≒460㎥/sのケースで上流から3段目のバッフルブロックで，流況写真№20から明らかなように放流水が直接あたっている。その最大値は10.51m水柱，ブロック面での平均値は10.045m水柱であることから，ブロックの設計圧力は安全率を考慮しなければ1.0kg/㎠程度を要するものと考えられる。



写真№20
G_0 =15°
貯水位EL・401.47m
Q≒460㎥/sの流況

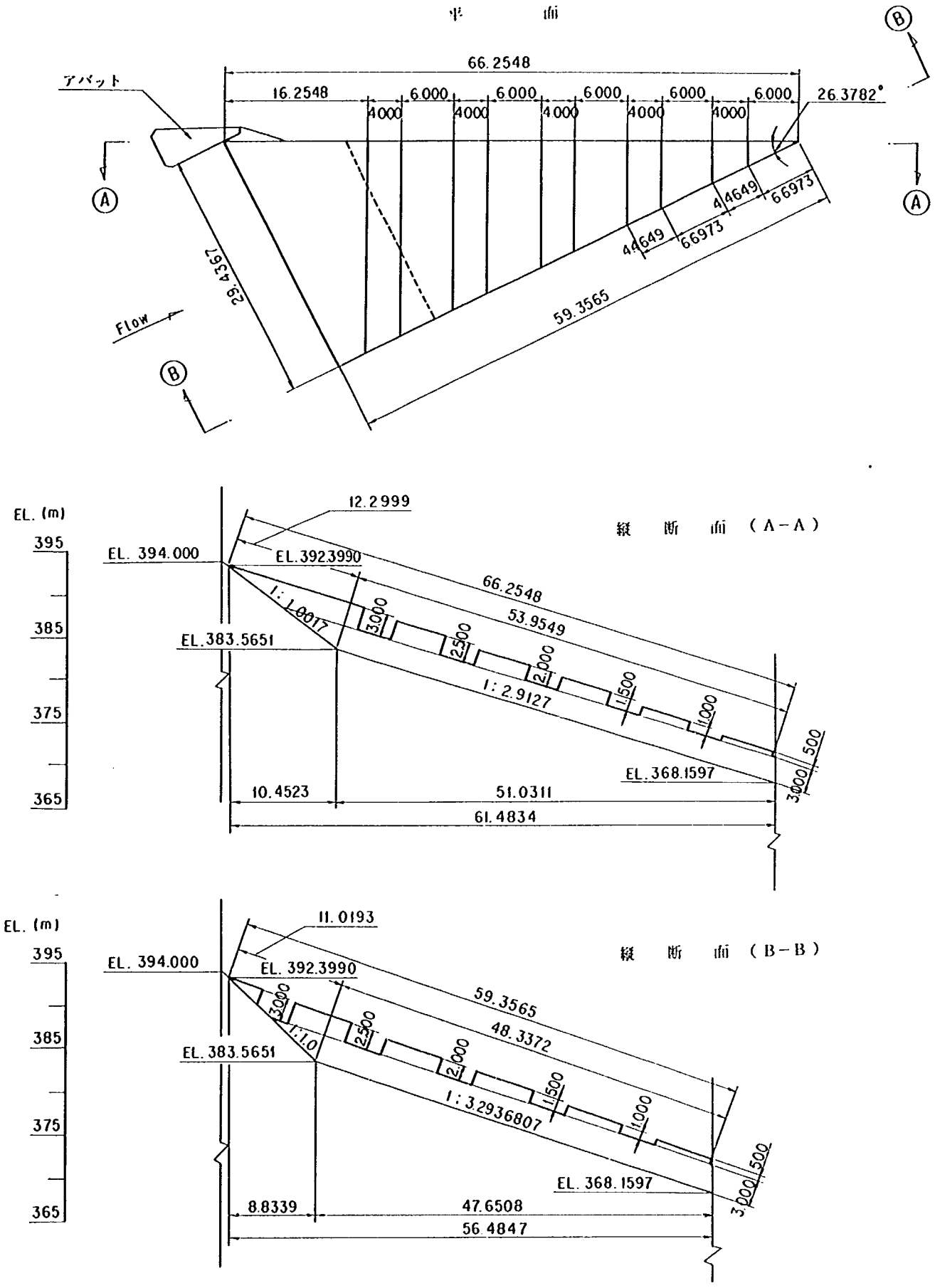


図10　高越流部下流エプロン改造Ⅱ案形状図

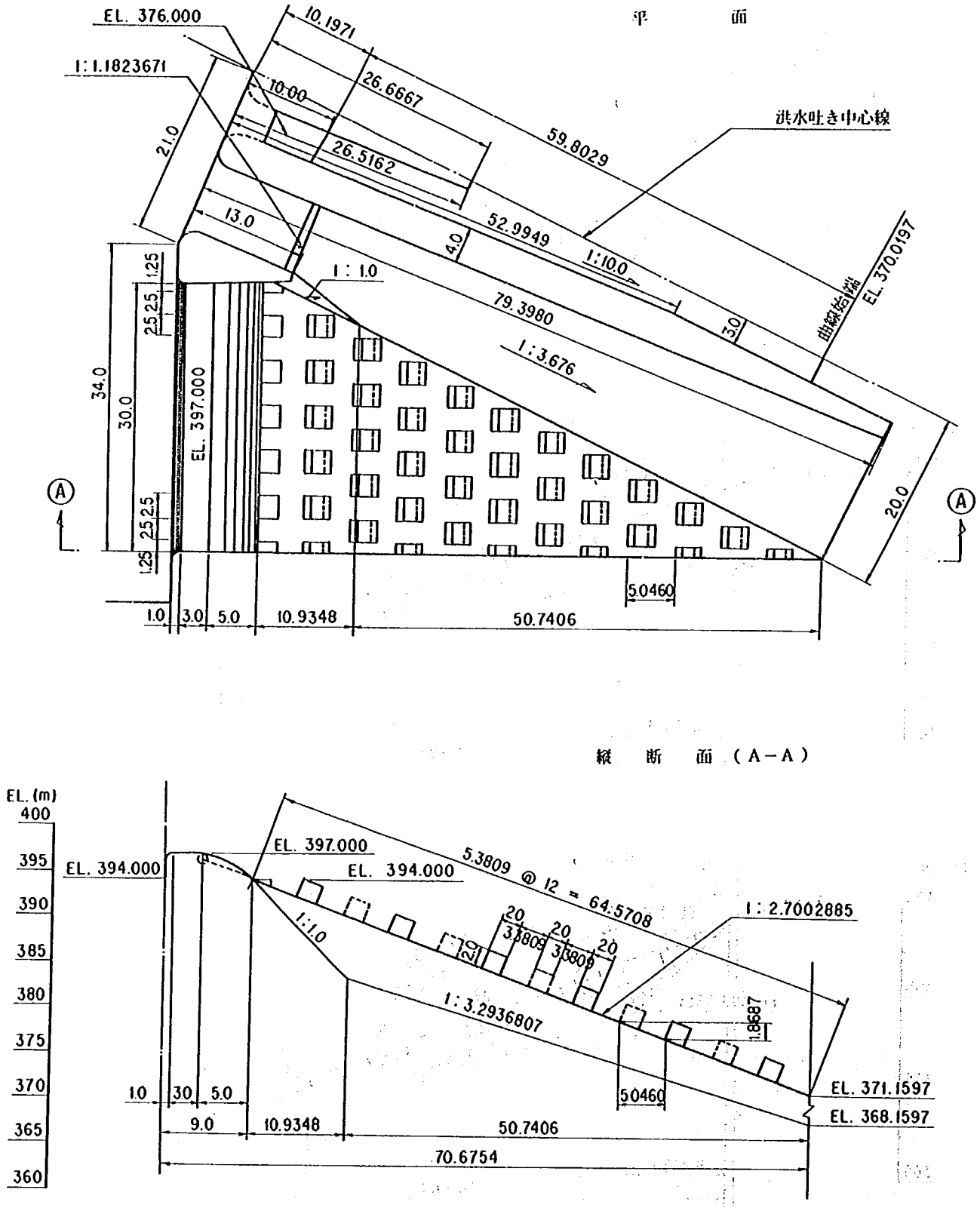


図11　高越流部下流エプロン改造Ⅲ案形状図

実験番号	I
副ダム高さ	12 m
水叩き長さ	120 m

凡例		
———	最高	2.600 m³/s
- - - - - -	平均	
—·—	最高	2.000 m³/s
—··—	平均	

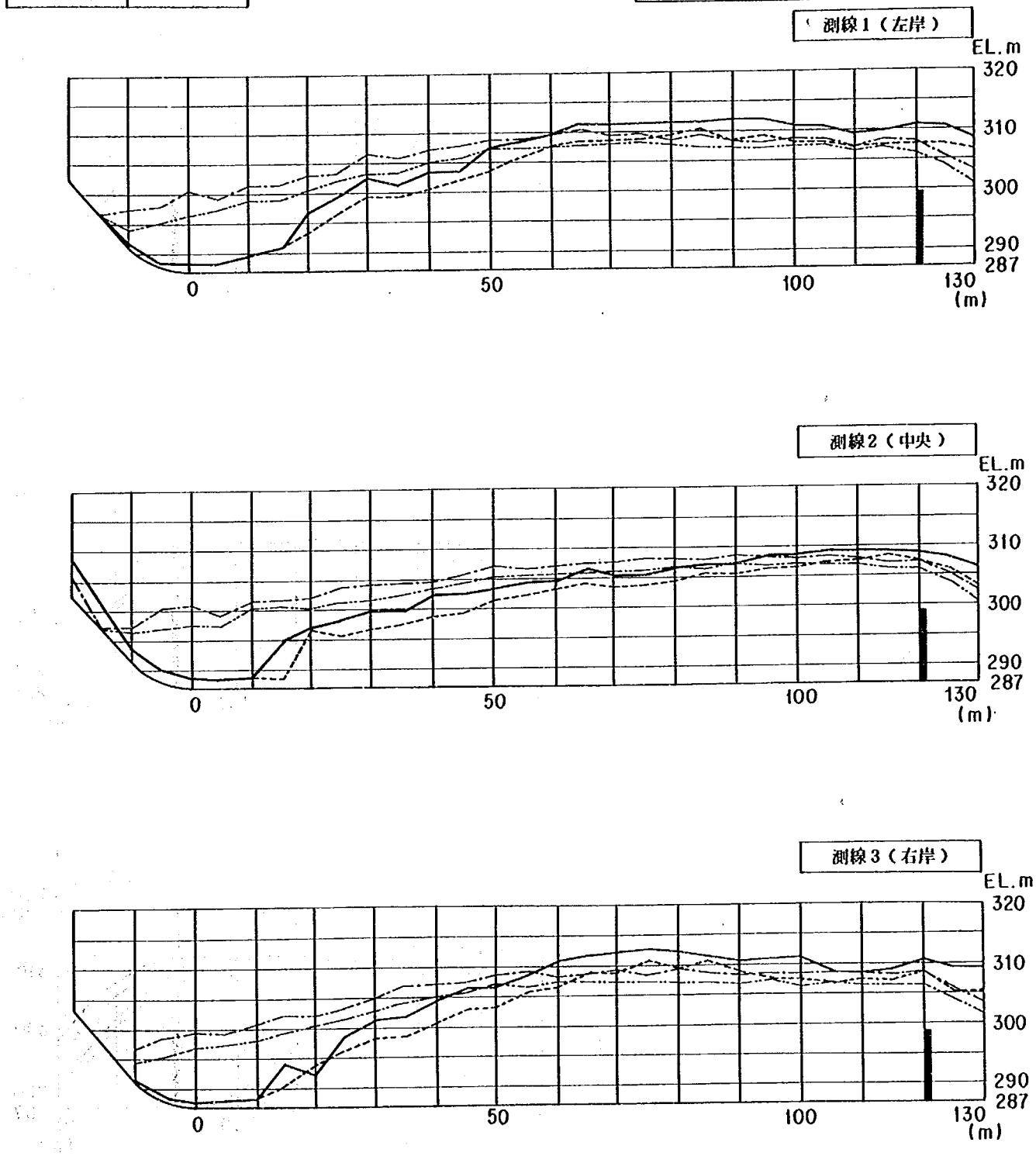


図12 a　減勢工水面形測定結果図（原案）

実験番号	Ⅱ
副ダム高さ	13.5 m
水叩き長さ	110 m

凡例		
———	最高	2.600 m³/s
- - - - - -	平均	
—·—	最高	2.000 m³/s
—··—	平均	

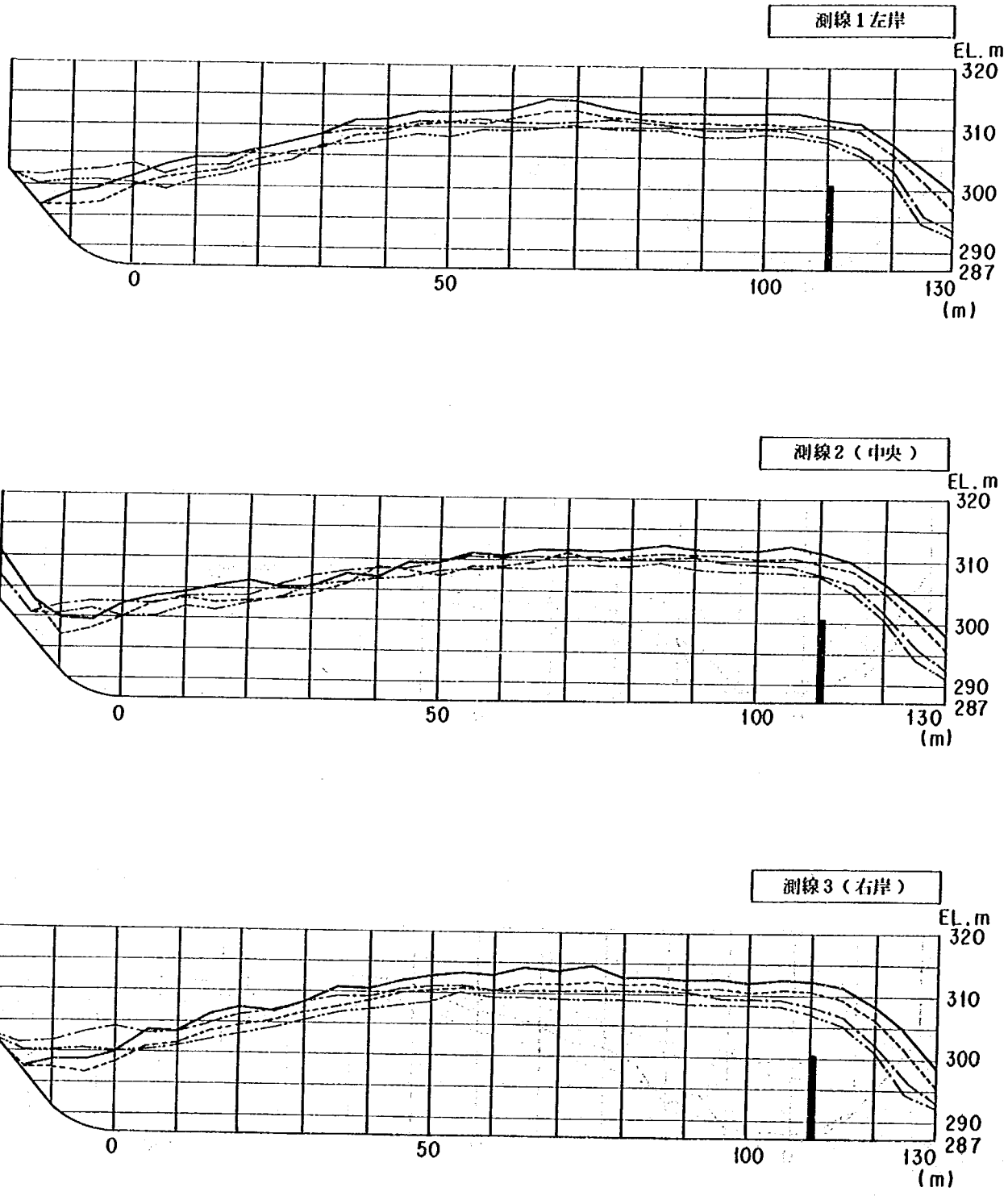


図12 b　減勢工水面形測定結果図（原案）

実験番号	Ⅲ
副ダム高さ	13.5 m
水叩き長さ	90 m

凡例		
———	最高	2.600 m³/s
- - - - - -	平均	
—·—	最高	2.000 m³/s
—··—	平均	

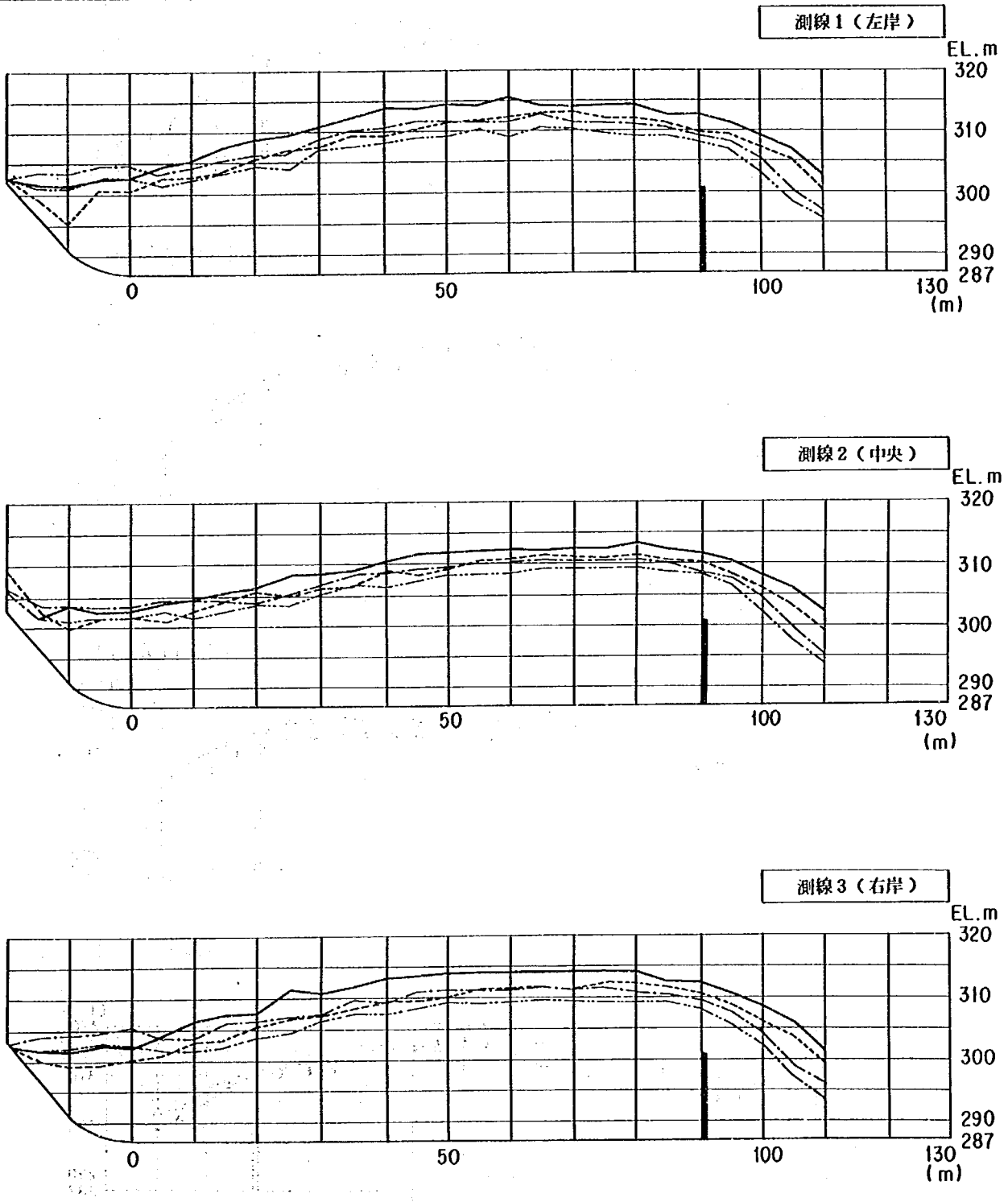


図12 c　減勢工水面形測定結果図（原案）

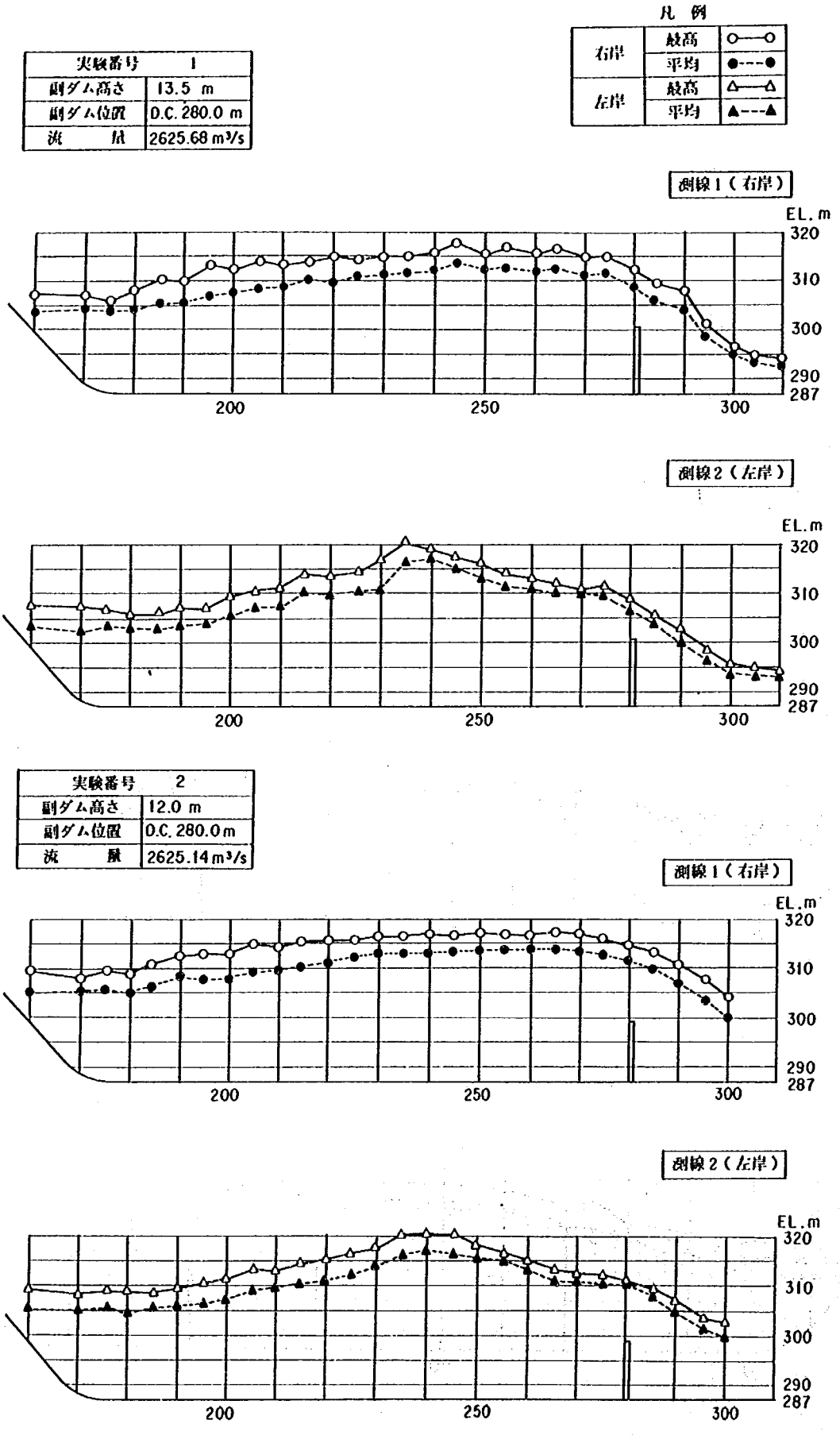


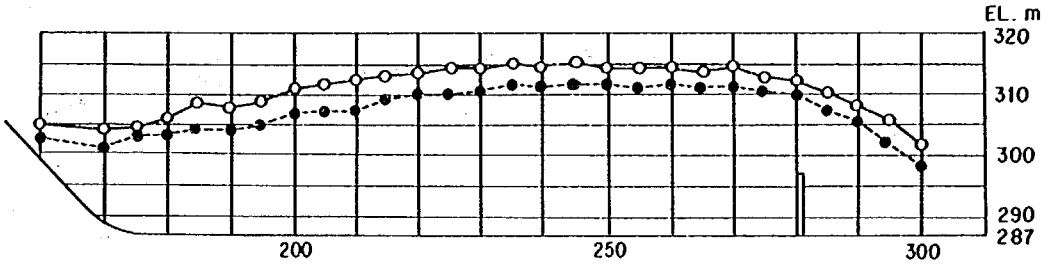
図15 a 減勢工水面形測定結果図（彎曲型）

凡 例

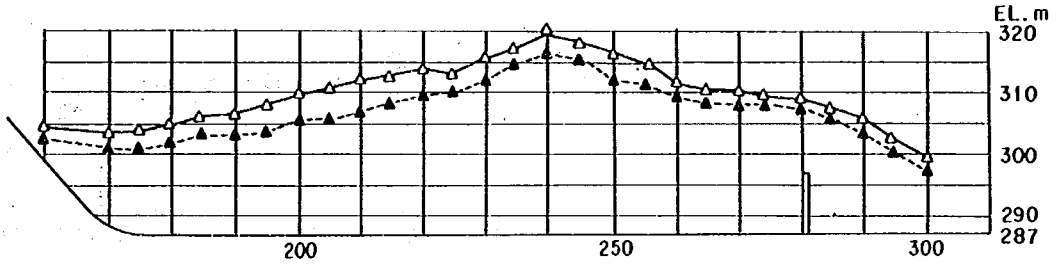
右岸	最高	○—○
	平均	●---●
左岸	最高	△—△
	平均	▲---▲

実験番号	3
副ダム高さ	10.0 m
副ダム位置	D.C. 280.0 m
流　　量	2618.17 m³/s

測線1（右岸）

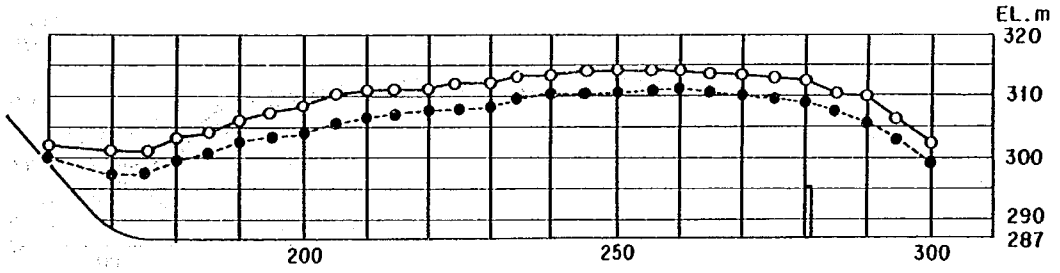


測線2（左岸）



実験番号	4
副ダム高さ	8.0 m
副ダム位置	D.C. 280.0 m
流　　量	2617.63 m³/s

測線1（右岸）



測線2（左岸）

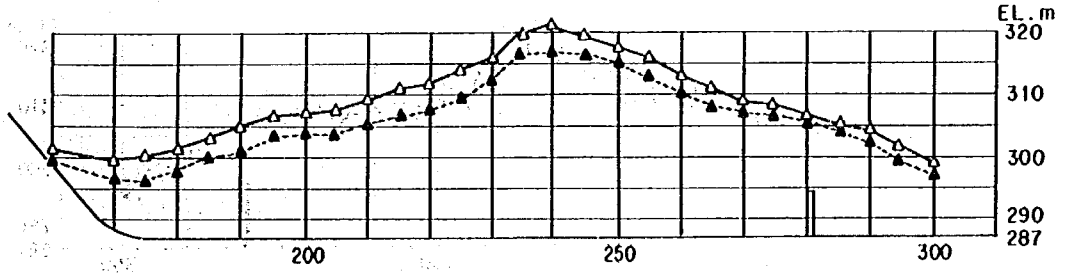


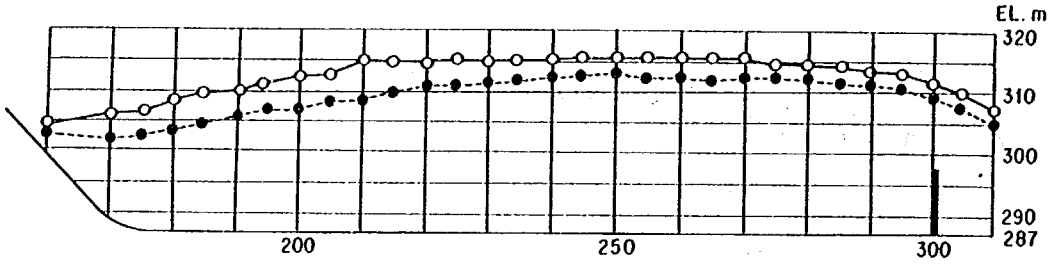
図15 b　減勢工水面形測定結果図（彎曲型）

実験番号	5
副ダム高さ	10.0 m
副ダム位置	D.C. 300 m
流　　量	2632.65 m³/s

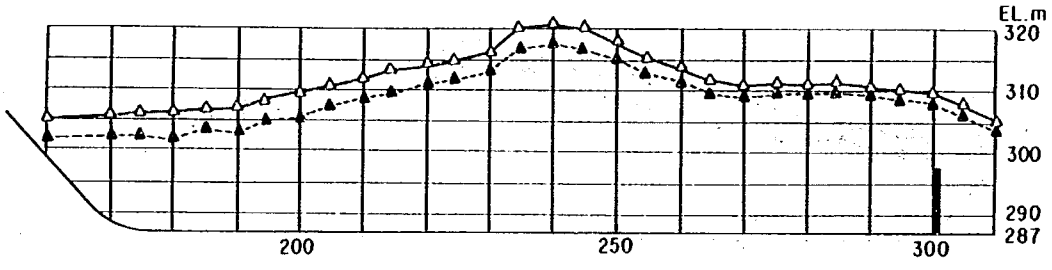
凡 例

右岸	最高	○——○
	平均	●- - -●
左岸	最高	△——△
	平均	▲- - -▲

測線1（右岸）

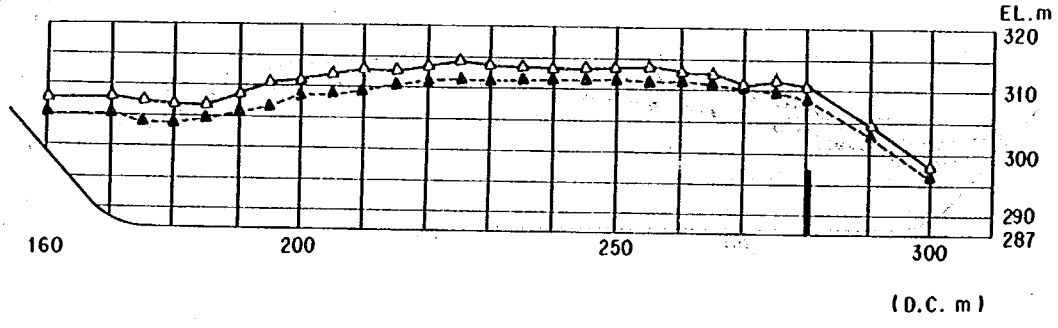


測線2（左岸）



実験番号	6
副ダム高	10.0 m
副ダム位置	D.C. 280 m
流量(m³/s)	

測線1（右岸）



測線2（左岸）

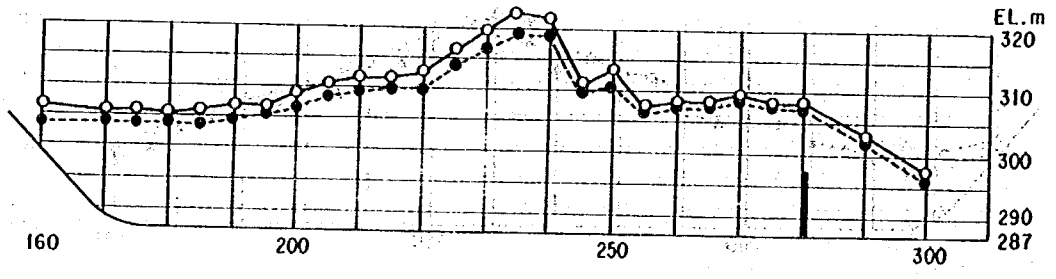


図15 減勢工水面形測定結果図（彎曲型）

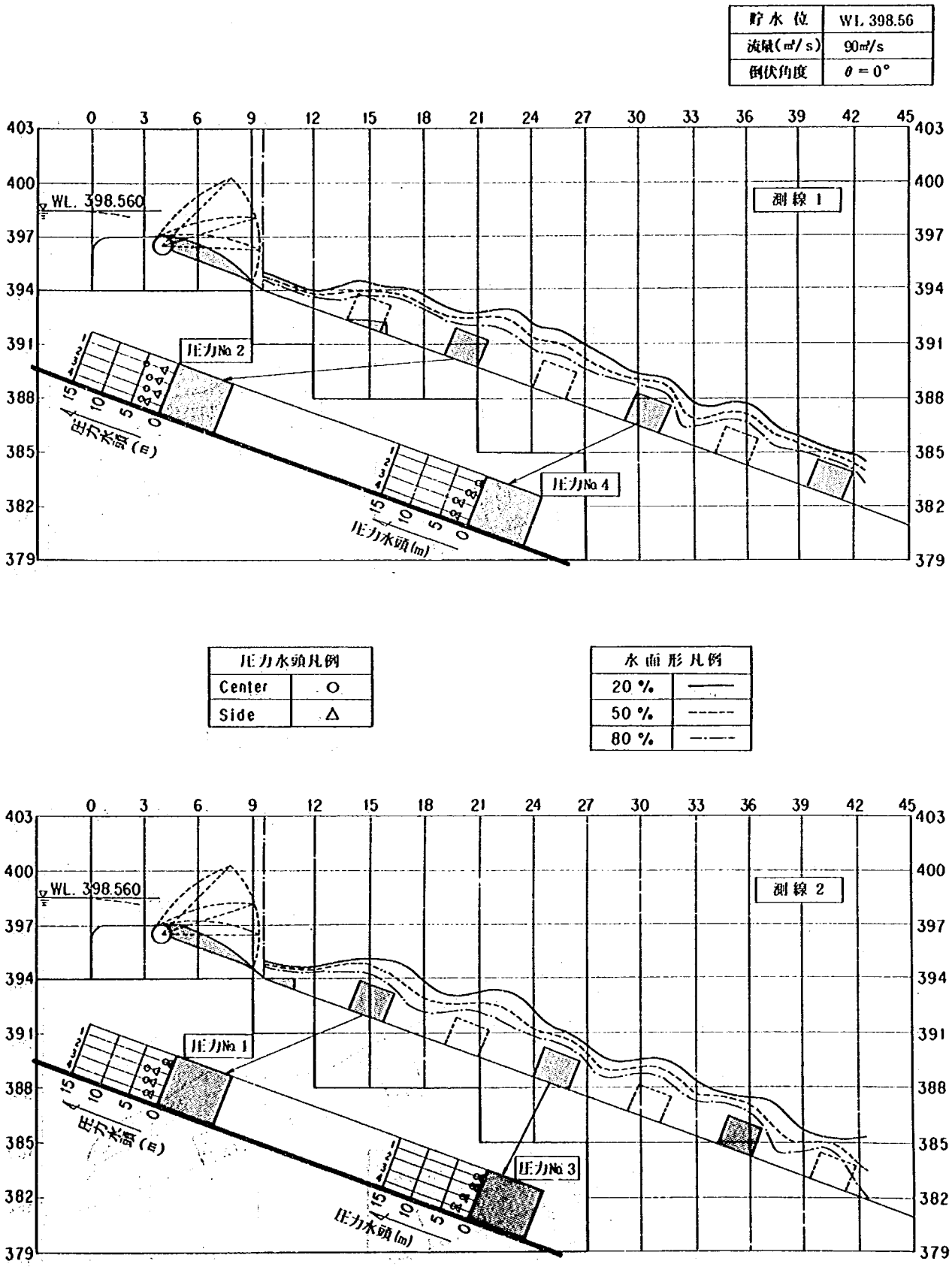


図16 a バッフルエプロンの水面形および圧力分布図

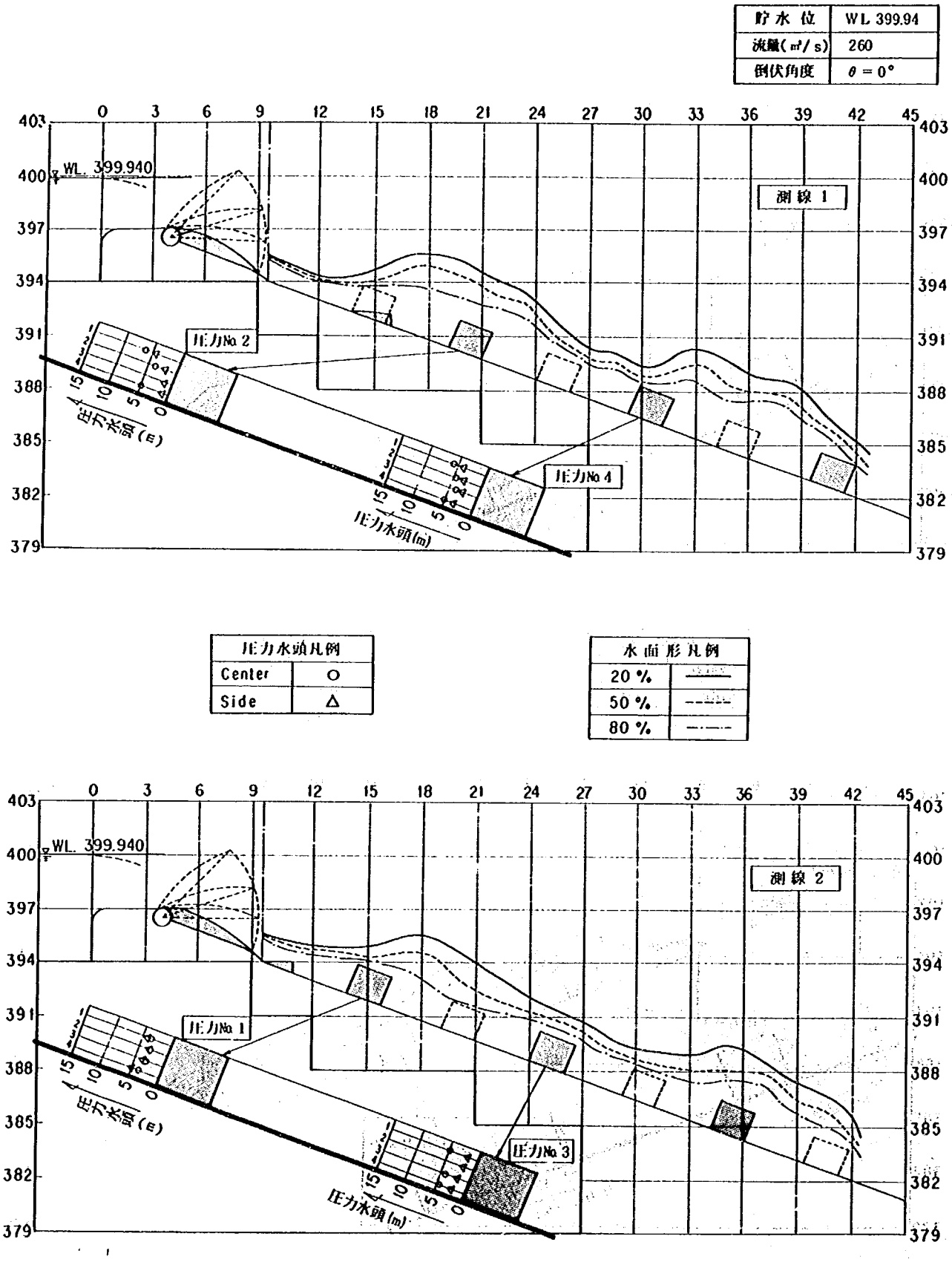


図16 b　バッフルエプロンの水面形および圧力分布図

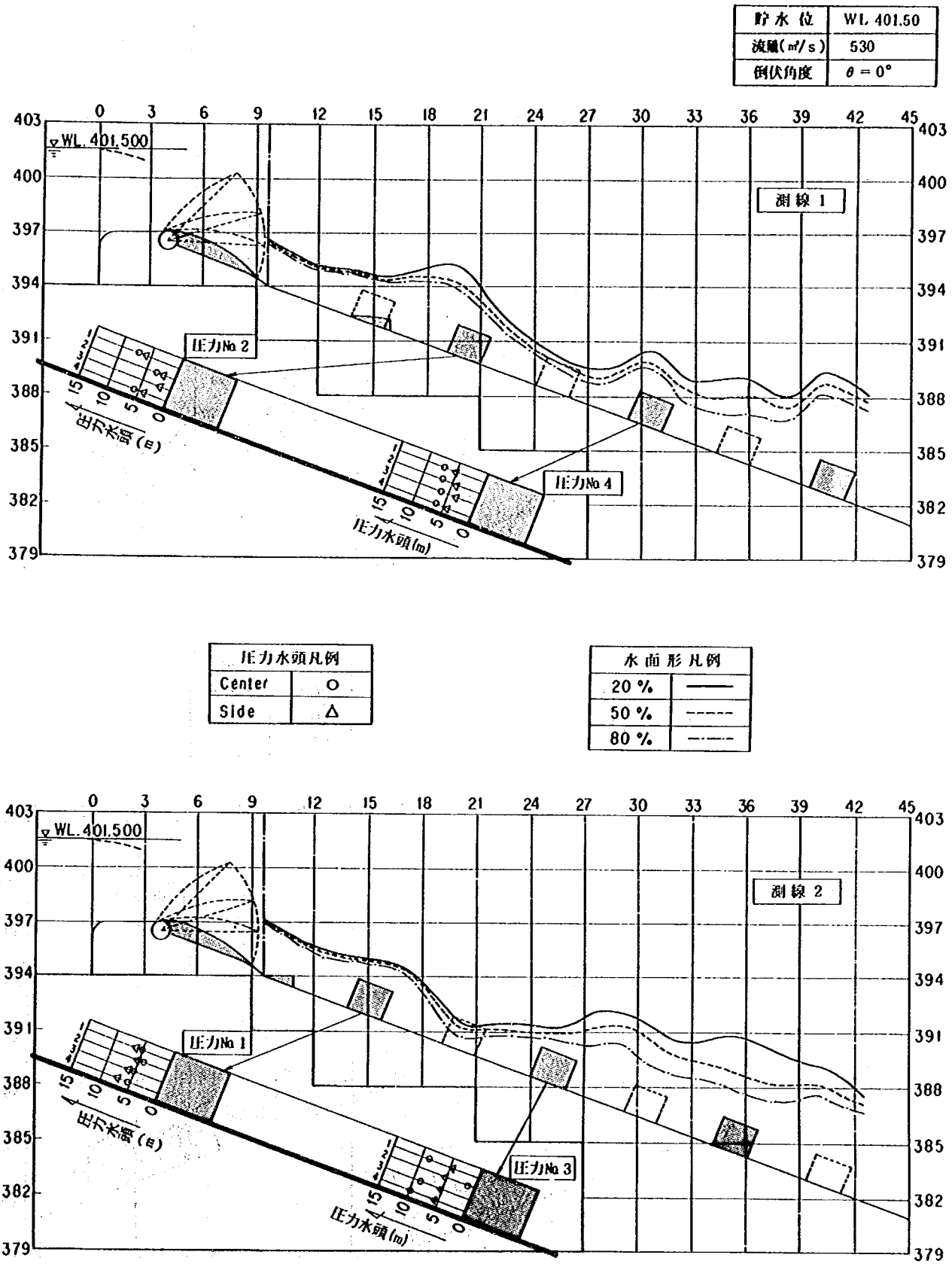


図16 c　バッフルエプロンの水面形および圧力分布図

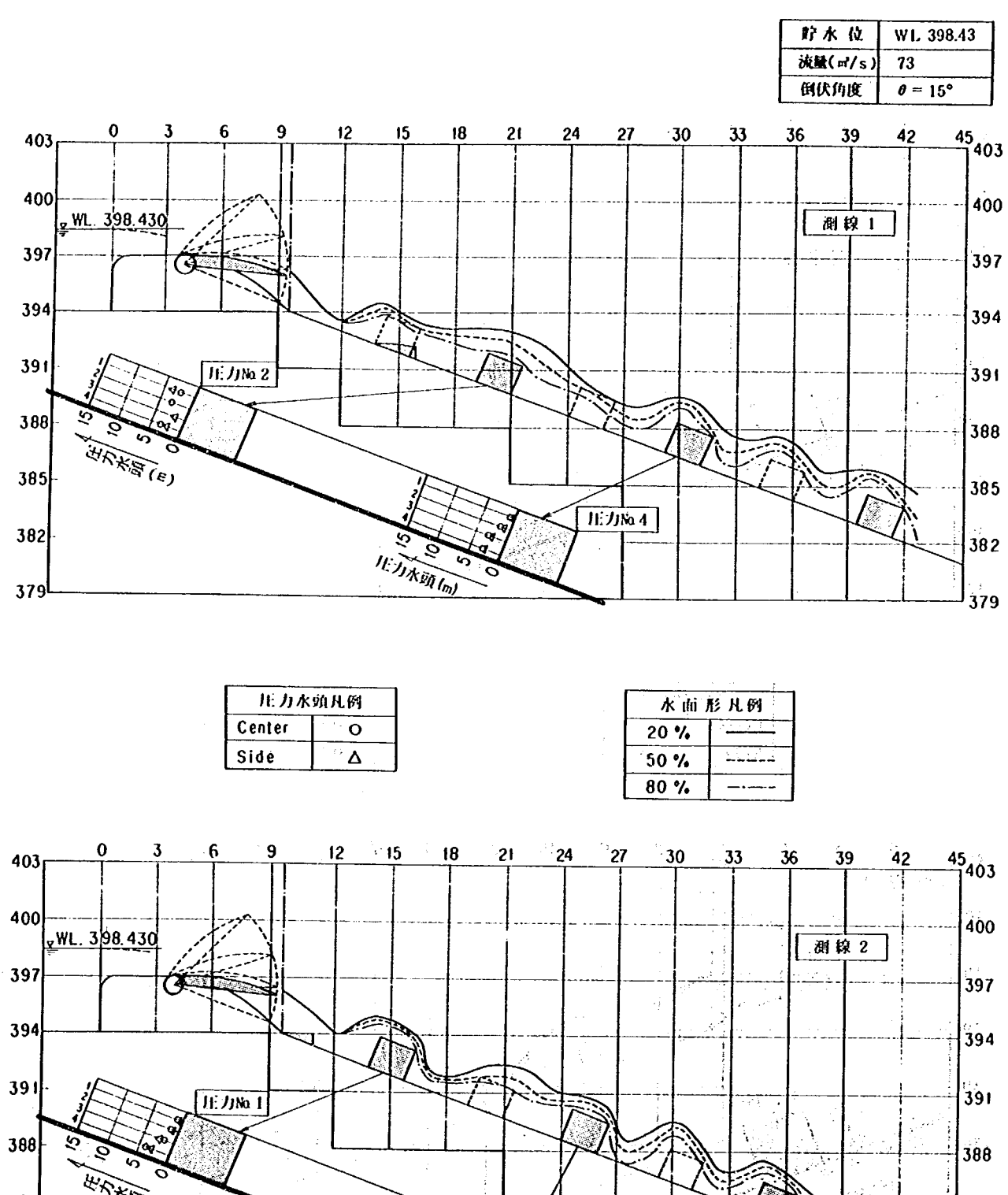


図16 d　バッフルエプロンの水面形および圧力分布図

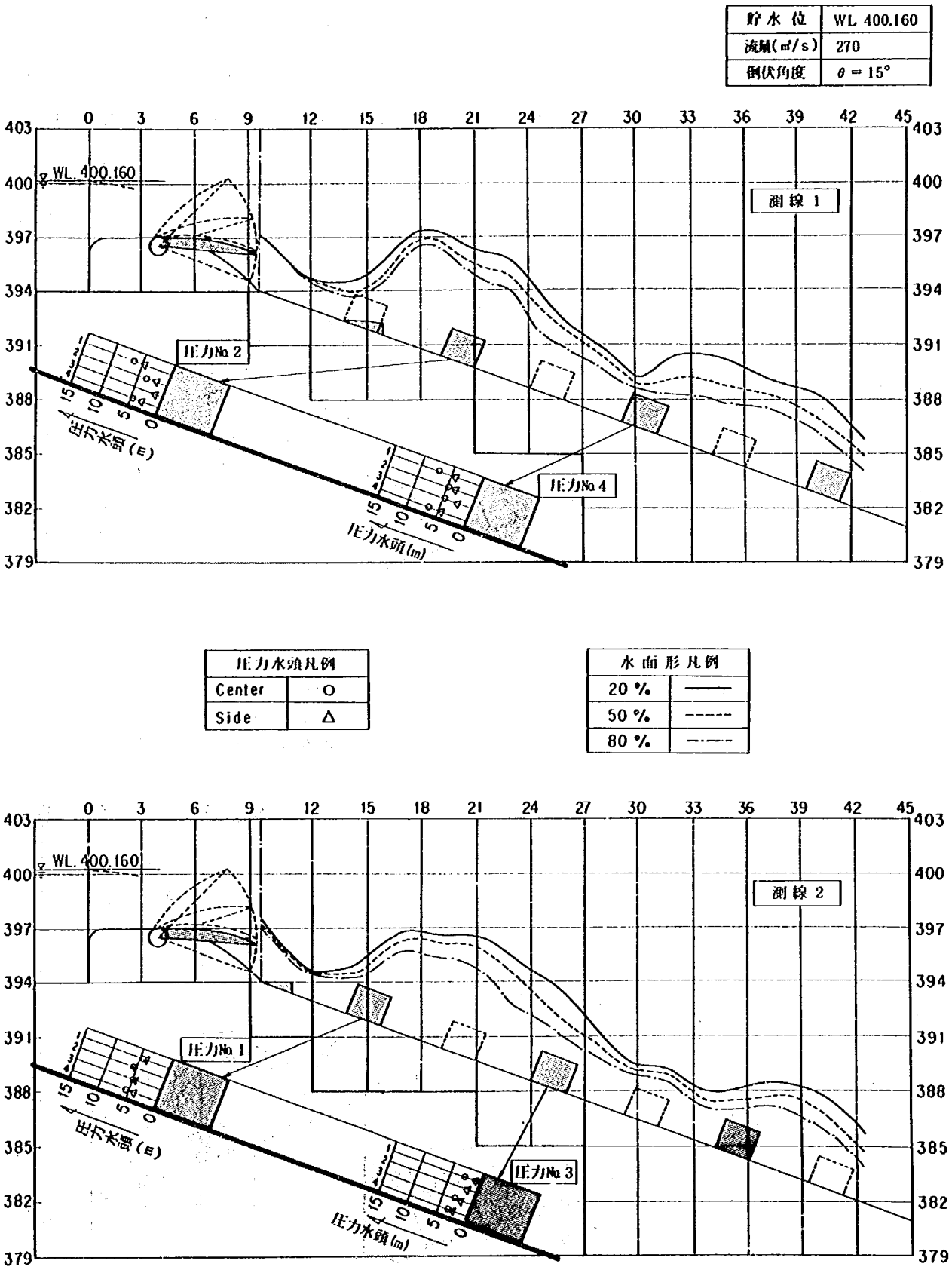


図16 e　バッフルエプロンの水面形および圧力分布図

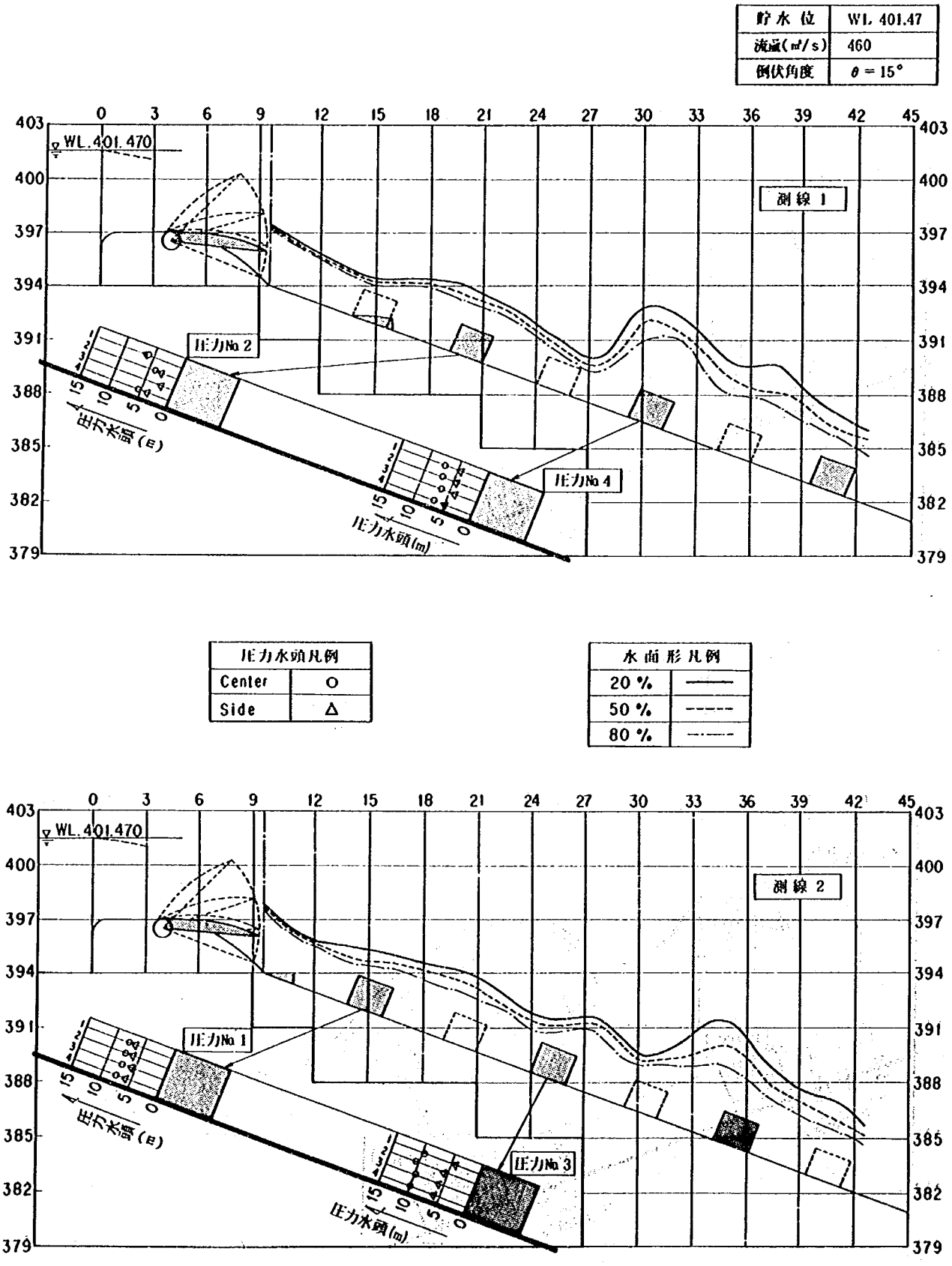
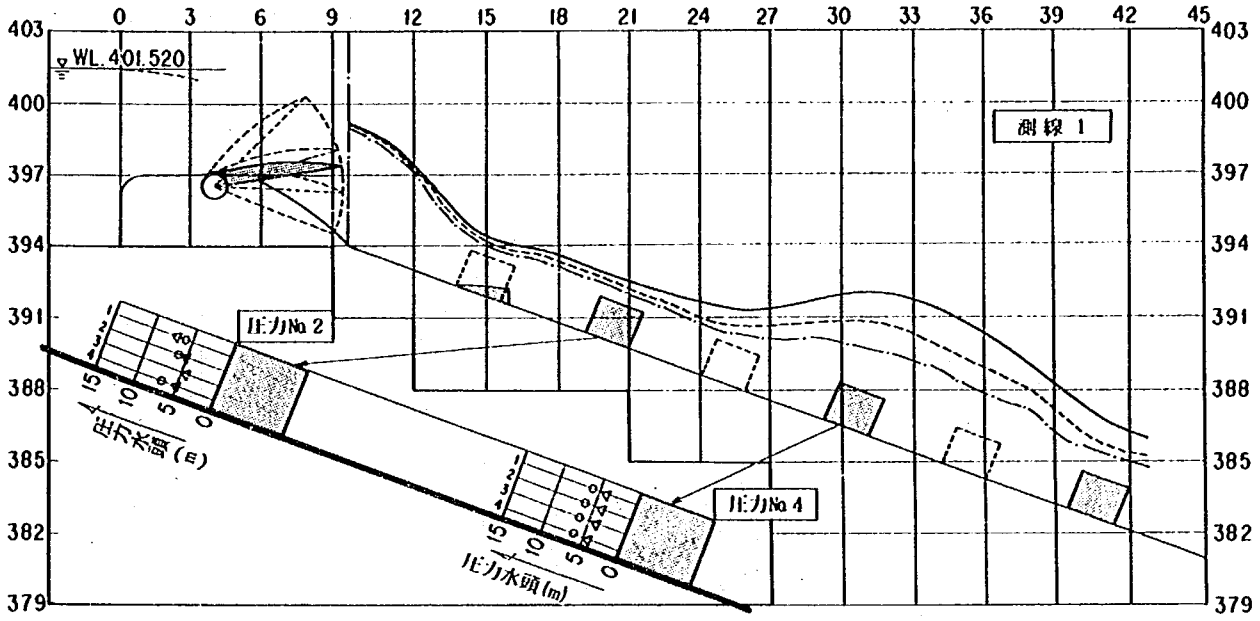


図16 f　バッフルエプロンの水面形および圧力分布図

貯水位	WL. 401.52
流量(m³/s)	420
倒伏角度	θ = 30°



圧力水頭凡例	
Center	○
Side	△

水面形凡例	
20 %	——
50 %	- - - - -
80 %	—·—·—

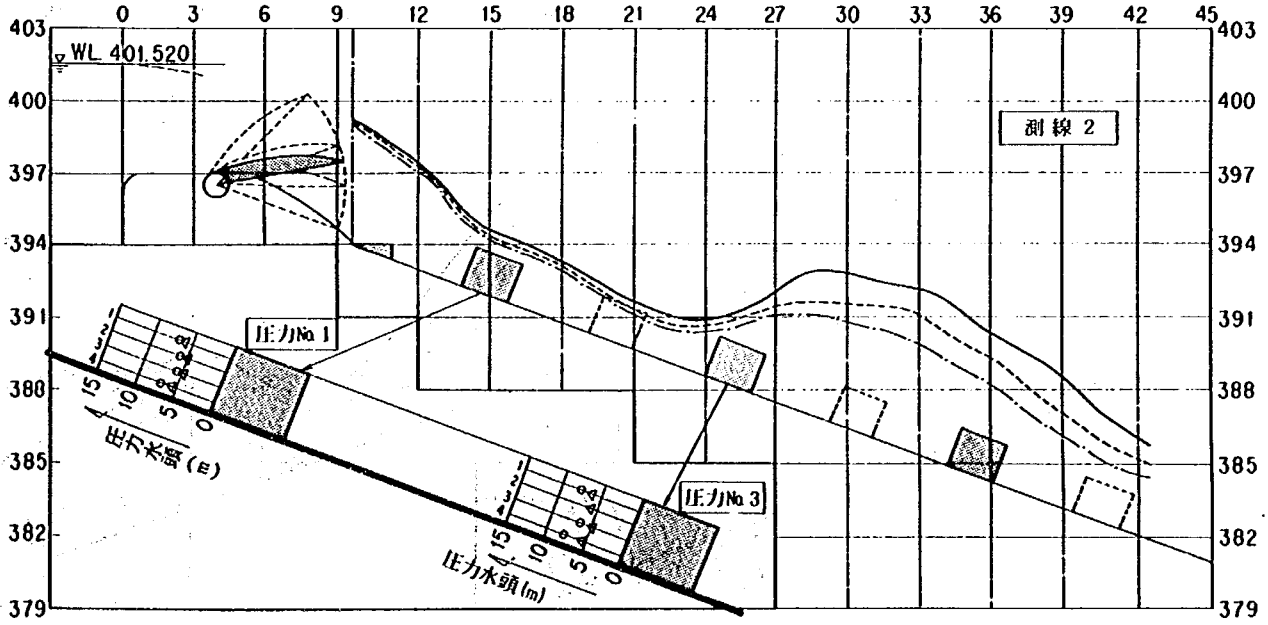


図16 g バッフルエプロンの水面形および圧力分布図

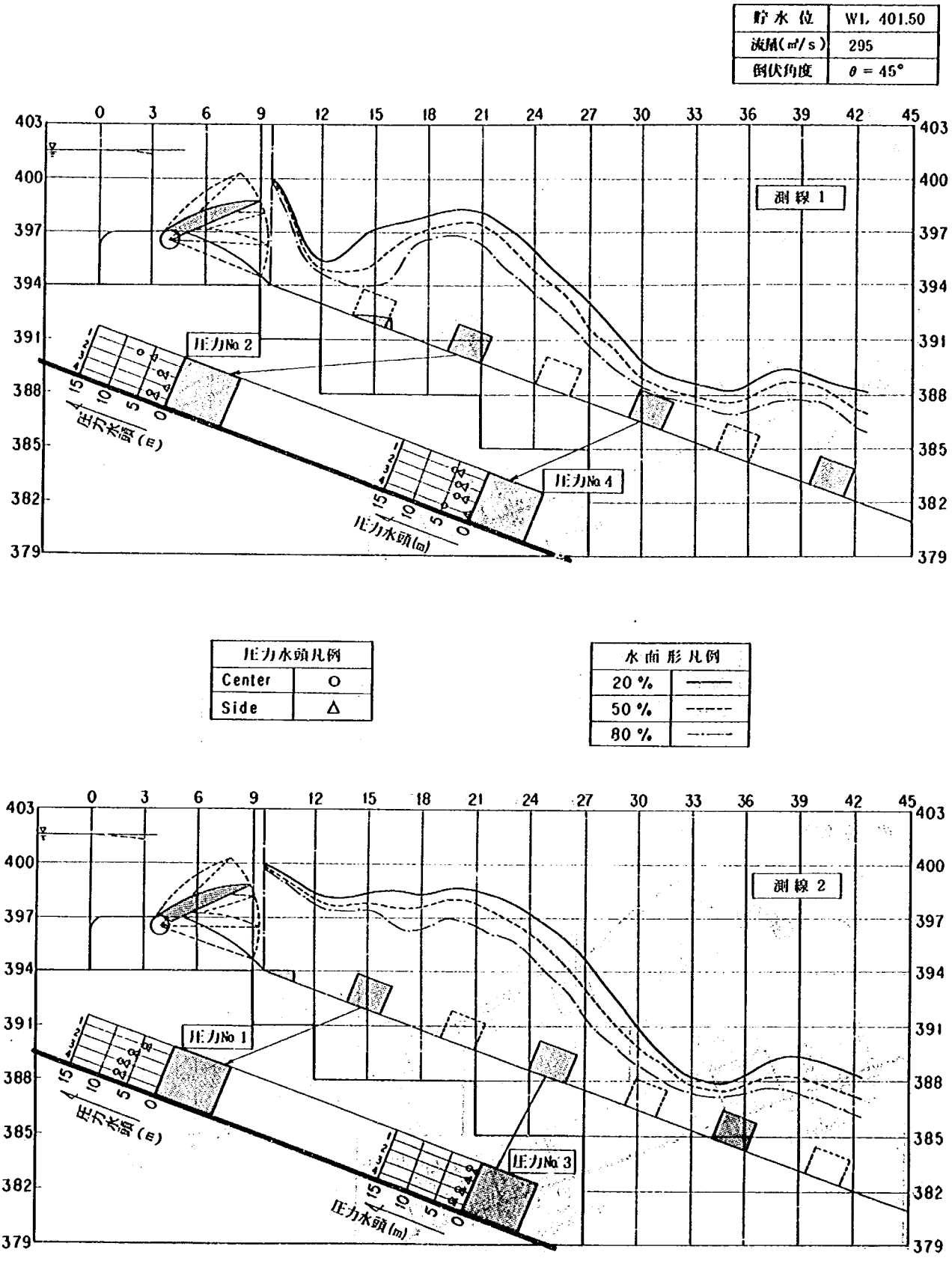


図16 h　バッフルエプロンの水面形および圧力分布図

表 5 a　減勢部水面形測定結果数値表

実験番号	I − 1
実条件	D = 12 m
	L = 120 m

貯水位 (WL.m)	流量 (Q. m³/s)
401.03	2616.11

測定位置(m)		測定結果 (EL.m)					
測番点号	測位定置	左岸		中央		右岸	
		最高	平均	最高	平均	最高	平均
1	−20	302.10	—	308.50	—	302.10	—
2	−15	296.65	—	301.70	—	296.70	—
3	−10	291.30	—	293.50	—	291.65	—
4	− 5	287.75	—	290.10	—	288.05	—
5	− 0	288.05	—	288.85	—	287.80	—
6	5	288.50	—	288.55	—	288.05	—
7	10	289.50	—	288.90	—	288.05	—
8	15	291.00	290.95	294.80	288.45	293.95	290.25
9	20	296.85	294.45	297.05	296.70	292.40	294.05
10	25	299.80	297.00	298.55	295.60	298.65	296.20
11	30	302.25	299.75	299.90	296.50	301.10	298.40
12	35	301.00	299.45	299.90	297.35	301.95	298.90
13	40	303.45	300.45	302.50	298.95	304.25	300.65
14	45	303.45	301.95	302.55	299.30	306.15	302.95
15	50	307.40	303.85	303.15	301.05	306.55	303.65
16	55	308.50	305.75	304.65	302.05	308.85	305.30
17	60	309.85	307.65	304.90	303.05	310.70	306.45
18	65	311.25	308.30	306.25	304.00	311.60	309.00
19	70	311.55	308.30	305.70	303.60	312.10	308.80
20	75	311.55	308.80	305.70	303.80	312.75	310.30
21	80	311.70	309.75	306.65	304.50	312.10	309.10
22	85	311.45	310.05	307.40	305.10	311.80	310.35
23	90	311.85	308.60	307.70	305.75	310.90	308.95
24	95	311.65	309.40	308.55	306.30	311.00	307.85
25	100	310.45	308.10	308.70	306.65	311.60	307.45
26	105	310.45	308.00	309.55	307.35	308.95	306.95
27	110	309.45	307.45	309.55	307.85	308.75	307.35
28	115	309.85	307.50	309.60	308.25	309.65	307.15
29	120	310.45	307.70	309.10	307.80	310.90	308.80
30	125	310.25	307.60	308.30	305.70	309.90	305.30
31	130	308.70	306.75	306.70	303.60	309.65	305.55

実験番号	I − 2
実条件	D = 12 m
	L = 120 m

貯水位 (WL.m)	流量 (Q. m³/s)
399.70	1998.37

測定位置(m)		測定結果 (EL.m)					
測番点号	測位定置	左岸		中央		右岸	
		最高	平均	最高	平均	最高	平均
1	−20	301.75	—	305.90	—	301.85	—
2	−15	296.05	—	297.35	—	296.00	—
3	−10	297.35	294.60	297.50	295.65	296.90	294.70
4	− 5	298.20	295.40	300.25	297.00	298.15	295.50
5	0	300.25	296.80	300.80	297.70	299.45	296.95
6	5	299.25	297.60	299.10	297.85	299.40	297.50
7	10	301.45	299.00	301.30	300.05	301.15	298.30
8	15	301.55	299.15	301.85	300.45	302.05	299.80
9	20	302.70	300.45	302.00	300.10	302.15	300.80
10	25	303.70	302.10	303.60	301.05	303.15	301.75
11	30	306.35	303.55	304.30	301.75	305.30	303.05
12	35	305.70	303.80	304.65	302.60	307.00	304.35
13	40	307.10	305.00	304.90	303.60	307.15	304.50
14	45	307.80	305.80	306.15	304.75	307.40	305.15
15	50	308.70	307.05	307.10	305.40	308.70	306.00
16	55	308.65	307.15	306.80	305.10	309.00	307.00
17	60	309.80	307.25	307.10	305.90	308.40	306.80
18	65	310.05	307.85	307.60	306.15	308.60	307.05
19	70	309.90	308.25	307.75	306.20	309.55	307.45
20	75	309.90	308.35	308.30	306.45	308.80	307.05
21	80	308.60	307.85	308.10	306.80	309.30	307.55
22	85	308.70	307.75	308.30	306.80	309.05	307.40
23	90	308.60	307.30	308.75	307.15	308.65	307.25
24	95	308.55	307.05	308.65	307.00	308.70	307.00
25	100	308.85	307.50	308.30	307.25	308.90	307.30
26	105	308.55	307.80	308.50	307.20	308.90	306.90
27	110	308.25	307.05	308.40	307.10	308.75	307.15
28	115	308.55	307.15	307.65	306.75	308.30	306.85
29	120	308.00	306.15	307.25	306.10	308.45	306.55
30	125	306.00	304.70	305.80	304.20	306.25	304.70
31	130	303.30	300.95	302.90	300.70	304.00	301.95

表５ｂ　減勢部水面形測定結果数値表

実験番号	Ⅱ－１
実条件	D = 13.5 m
	L = 110 m

貯水位(WL.m)
401.05

流量(Q.㎥/s)
2614.87

測定位置(m)		測定結果 (EL.m)					
		左岸		中央		右岸	
測点番号	測位定置	最高	平均	最高	平均	最高	平均
1	−20	302.00	—	310.55	—	302.55	—
2	−15	296.70	—	303.30	—	297.20	—
3	−10	298.70	296.75	299.90	297.40	298.15	297.10
4	− 5	299.80	297.60	299.65	298.05	298.75	296.80
5	0	301.50	299.65	302.20	300.00	299.95	298.15
6	5	303.05	301.10	303.55	302.40	303.10	300.50
7	10	304.55	301.95	304.50	303.00	303.45	301.65
8	15	304.75	302.75	305.10	302.70	305.30	303.25
9	20	305.80	304.45	306.05	302.55	307.40	304.40
10	25	307.25	305.10	305.05	303.20	306.70	305.05
11	30	308.50	306.45	305.85	304.05	308.20	306.60
12	35	310.80	308.10	307.60	305.85	310.55	307.65
13	40	311.10	308.70	307.10	308.90	310.65	308.75
14	45	312.45	310.40	309.55	308.70	311.80	309.75
15	50	312.50	310.50	309.65	307.50	312.15	310.10
16	55	312.85	310.45	310.40	308.50	312.65	310.65
17	60	312.90	311.20	310.10	308.70	312.80	310.55
18	65	314.55	312.50	311.20	309.55	314.10	311.45
19	70	314.50	312.65	311.45	310.05	313.55	311.45
20	75	313.05	311.60	311.40	309.70	314.30	311.80
21	80	312.55	311.15	311.90	310.40	312.65	311.45
22	85	312.15	310.85	312.25	311.00	312.80	311.50
23	90	312.35	310.95	311.70	310.50	312.45	310.70
24	95	312.50	310.30	311.60	310.50	312.60	311.15
25	100	312.50	310.70	311.75	310.20	311.95	310.10
26	105	312.20	310.40	312.35	310.50	312.50	310.80
27	110	311.30	310.05	311.20	309.60	312.45	310.20
28	115	310.65	309.75	309.80	308.30	311.25	309.35
29	120	307.35	305.60	306.35	304.90	308.00	305.75
30	125	303.20	301.75	302.45	300.20	304.10	301.30
31	130	299.80	296.30	298.20	295.80	299.80	295.70

実験番号	Ⅱ－２
実条件	D = 13.5 m
	L = 110 m

貯水位(WL.m)
399.65

流量(Q.㎥/s)
2005.26

測定位置(m)		測定結果 (EL.m)					
		左岸		中央		右岸	
測点番号	測位定置	最高	平均	最高	平均	最高	平均
1	−20	301.80	—	306.80	—	302.05	—
2	−15	301.90	299.90	300.55	—	301.65	300.30
3	−10	302.10	300.75	302.00	300.95	301.90	300.75
4	− 5	302.70	300.70	302.60	301.10	303.10	300.75
5	0	303.30	300.35	302.45	300.20	302.30	300.30
6	5	301.90	299.65	302.40	300.30	303.05	300.40
7	10	303.20	300.90	303.55	301.80	303.30	301.45
8	15	304.40	301.90	303.75	301.75	304.45	302.25
9	20	305.65	303.40	303.85	302.60	306.40	303.30
10	25	307.15	304.55	305.70	303.85	307.05	304.35
11	30	308.45	306.60	307.45	305.40	308.05	305.75
12	35	309.60	307.10	308.00	306.10	309.15	306.95
13	40	309.35	307.90	308.80	307.00	309.20	307.75
14	45	310.90	308.70	308.85	307.05	310.45	308.05
15	50	310.50	308.65	309.85	308.10	311.20	308.90
16	55	311.10	309.55	310.20	308.55	311.10	310.00
17	60	310.80	309.55	310.05	308.95	310.65	309.40
18	65	310.45	309.80	310.15	308.80	310.65	309.70
19	70	310.70	310.20	310.30	309.05	310.50	309.55
20	75	311.10	309.80	310.30	309.30	310.45	309.20
21	80	310.80	309.80	310.05	309.15	310.65	309.40
22	85	310.10	309.25	310.10	309.50	310.60	309.30
23	90	309.85	308.85	310.05	308.95	310.20	309.00
24	95	309.85	308.70	309.55	308.85	309.80	308.80
25	100	309.95	308.60	309.35	308.45	309.65	308.85
26	105	309.40	308.50	309.00	308.35	309.55	308.30
27	110	308.25	307.80	307.90	307.55	308.50	307.50
28	115	306.70	305.65	306.55	305.15	306.95	305.30
29	120	302.75	301.35	301.80	300.50	302.90	301.15
30	125	295.70	294.35	296.20	294.50	296.45	394.80
31	130	293.55	292.30	292.90	291.80	293.30	292.55

表 5 c　減勢部水面形測定結果数値表

実験番号	Ⅲ－1
実条件	D = 13.5 m
	L = 90 m

貯水位(WL.m)
401.03

流量(Q.m³/s)
2613.10

測定位置(m)		測定結果 (EL.m)					
		左岸		中央		右岸	
測点番号	測位定値	最高	平均	最高	平均	最高	平均
1	−20	302.40	—	309.05	—	302.20	—
2	−15	301.50	299.65	302.15	—	301.90	300.35
3	−10	301.05	299.15	301.75	299.90	301.15	299.50
4	5	302.70	300.30	303.40	301.30	302.25	299.50
5	0	302.30	300.70	302.70	301.40	302.45	300.15
6	5	304.50	302.50	303.95	301.80	304.05	301.00
7	10	305.50	302.70	304.75	302.45	306.20	303.00
8	15	307.10	303.35	305.75	304.00	307.15	303.85
9	20	308.95	305.65	306.50	304.05	307.80	305.20
10	25	309.70	307.00	308.45	305.25	311.05	306.85
11	30	310.95	307.75	308.45	306.65	310.50	307.45
12	35	312.50	309.45	309.05	306.80	311.90	308.20
13	40	313.90	309.25	310.30	308.90	313.30	309.60
14	45	313.65	310.55	311.55	308.80	313.90	309.80
15	50	314.70	311.95	312.00	309.50	314.00	310.50
16	55	314.05	311.40	312.00	310.15	314.35	311.05
17	60	315.25	312.55	312.80	310.85	314.00	311.30
18	65	314.55	312.85	312.55	311.05	314.10	311.55
19	70	314.55	313.00	312.80	311.05	314.60	311.25
20	75	314.40	312.20	312.80	311.15	314.45	312.10
21	80	314.50	312.30	313.30	311.45	314.25	312.35
22	85	312.80	311.05	312.35	310.80	313.35	311.40
23	90	312.90	309.95	311.80	310.15	312.40	310.65
24	95	311.30	309.55	310.40	308.85	310.35	308.70
25	100	309.60	307.80	308.15	306.45	308.50	306.25
26	105	307.10	305.05	306.00	303.00	306.00	303.60
27	110	302.75	300.25	302.20	299.35	301.85	299.90

実験番号	Ⅲ－2
実条件	D = 13.5 m
	L = 90 m

貯水位(WL.m)
399.64

流量(Q.m³/s)
2001.37

測定位置(m)		測定結果 (EL.m)					
		左岸		中央		右岸	
測点番号	測位定置	最高	平均	最高	平均	最高	平均
1	−20	302.05	—	306.00	—	302.25	—
2	−15	303.55	301.25	303.35	301.50	303.65	301.80
3	−10	303.70	300.95	303.80	301.00	304.25	302.05
4	5	304.35	302.45	303.65	301.75	304.80	302.60
5	0	304.70	302.75	303.85	301.80	305.05	302.45
6	5	303.55	301.45	304.20	302.05	303.95	301.80
7	10	304.30	302.15	304.25	301.75	303.95	301.60
8	15	305.00	303.35	304.80	302.95	305.65	302.55
9	20	306.15	304.60	305.70	303.55	306.55	303.95
10	25	306.25	304.20	305.05	303.50	307.05	304.30
11	30	308.90	307.00	306.35	305.30	307.80	306.35
12	35	310.30	307.65	308.40	306.70	309.90	307.15
13	40	310.60	308.10	308.75	306.65	309.90	307.70
14	45	311.05	309.10	309.45	307.75	310.90	308.50
15	50	311.75	309.50	309.85	308.55	311.35	309.15
16	55	311.10	310.10	310.20	308.60	311.20	309.05
17	60	311.35	309.90	310.65	308.90	311.10	309.55
18	65	312.05	310.25	310.65	309.40	311.35	309.75
19	70	311.85	310.45	310.15	309.10	311.25	309.70
20	75	311.45	309.90	310.10	309.50	311.30	309.40
21	80	311.20	309.55	310.30	309.10	310.30	309.40
22	85	310.35	309.50	310.00	308.85	310.20	309.40
23	90	309.70	308.70	308.80	308.10	309.05	308.05
24	95	308.40	307.35	307.15	306.30	307.40	305.90
25	100	305.40	303.50	304.05	302.95	304.65	302.70
26	105	300.90	298.60	299.45	297.85	299.15	297.05
27	110	297.10	295.55	295.50	294.30	296.10	293.80

表6 a　減勢部水面形測定結果数値表（湾曲形状）

副ダム高	13.5 m
副ダム位置	D.C 280.0 m

実験番号	1
貯水位	—
流量	2625.68 ㎥/s

測点番号	測点距離 D.C (m)	測定結果 (EL. m)			
		測線 1 (右岸)		測線 2 (左岸)	
		最高	平均	最高	平均
0	160	307.46	303.61	307.51	303.36
1	170	307.06	304.01	307.51	302.56
2	175	306.31	303.86	307.11	303.76
3	180	308.27	304.41	306.41	303.36
4	185	301.66	305.41	306.16	302.91
5	190	310.41	305.76	307.26	303.51
6	195	313.36	307.01	307.26	304.01
7	200	312.26	307.76	309.76	305.76
8	205	314.41	308.36	310.76	307.31
9	210	313.66	308.76	311.71	307.76
10	215	314.01	310.06	314.31	310.06
11	220	315.16	309.86	313.71	309.96
12	225	314.71	311.36	314.71	310.61
13	230	315.36	311.94	317.16	311.11
14	235	315.11	311.46	320.16	316.51
15	240	316.26	312.16	319.26	317.06
16	245	318.01	313.96	317.86	315.41
17	250	315.51	312.41	346.51	313.31
18	255	317.01	312.56	314.06	311.51
19	260	316.06	312.06	313.41	311.11
20	265	317.36	312.61	312.11	310.21
21	270	315.31	311.71	311.01	310.11
22	275	315.36	311.51	311.46	309.66
23	280	312.61	308.96	308.81	307.06
24	285	309.81	306.11	305.76	304.01
25	290	308.11	304.06	302.91	300.11
26	295	301.51	299.11	298.51	296.51
27	300	296.81	295.16	295.76	294.36
28	305	295.11	293.51	295.01	293.71
29	310	294.11	292.76	294.56	293.41

表6 b　減勢部水面形測定結果数値表（湾曲形状）

副ダム高	12.0 m
副ダム位置	D.C280.0 m

実験番号	2
貯水位	W.L — m
流量	2625.14 ㎥/s

測点番号	測点距離 D.C（m）	測定結果（EL. m）			
		測線1（右岸）		測線2（右岸）	
		最高	平均	最高	平均
0	160	309.93	306.38	309.58	305.58
1	170	308.13	305.78	308.43	305.28
2	175	309.93	305.78	309.18	305.73
3	180	309.18	305.38	308.83	304.93
4	185	310.98	306.53	308.58	305.53
5	190	312.68	308.58	309.53	306.13
6	195	312.93	307.93	310.43	306.28
7	200	312.88	307.93	311.58	307.38
8	205	315.03	309.63	313.38	309.03
9	210	314.63	310.08	313.33	309.68
10	215	315.53	310.63	314.78	310.88
11	220	315.98	311.53	315.53	311.33
12	225	316.83	312.58	316.63	312.58
13	230	316.83	313.03	317.78	314.08
14	235	317.03	313.33	320.78	306.78
15	240	316.88	313.43	320.83	317.53
16	245	317.28	313.78	320.78	316.93
17	250	317.33	314.03	318.63	315.83
18	255	317.23	313.98	316.98	315.03
19	260	317.08	313.98	315.43	313.43
20	265	317.43	313.98	313.38	311.08
21	270	317.23	313.83	312.73	311.13
22	275	316.13	313.03	312.48	310.48
23	280	314.88	311.83	311.23	309.63
24	285	313.38	310.13	309.73	308.28
25	290	311.03	307.33	307.23	304.78
26	295	307.48	303.73	303.73	301.43
27	300	304.13	300.48	302.93	299.98
28	305				
29	310				

表６ｃ　減勢部水面形測定結果数値表（湾曲形状）

副ダム高	10.0 m
副ダム位置	D.C 280 m

実験番号	3
貯水位	—
流量	2618.17 ㎥/s

測点番号	測点距離D.C（m）	測定結果（EL. m）			
		測線１（右岸）		測線２（左岸）	
		最高	平均	最高	平均
0	160	305.05	302.65	304.85	302.85
1	170	304.25	301.05	303.55	301.05
2	175	303.75	303.20	303.95	300.90
3	180	306.05	303.15	305.05	301.55
4	185	308.70	304.25	306.35	303.30
5	190	307.95	304.45	306.80	303.20
6	195	308.95	305.00	308.30	303.90
7	200	311.15	307.10	310.30	305.90
8	205	311.55	307.30	310.45	306.30
9	210	312.40	307.75	312.15	307.10
10	215	313.25	309.30	312.90	308.45
11	220	313.65	310.15	314.15	309.80
12	225	314.55	310.10	313.55	310.20
13	230	314.30	310.75	316.20	312.00
14	235	315.15	311.70	318.25	314.80
15	240	314.90	311.55	319.50	316.45
16	245	315.45	311.70	318.45	315.40
17	250	314.60	311.60	316.40	312.30
18	255	314.45	311.40	314.80	311.50
19	260	314.30	311.90	311.70	309.60
20	265	313.95	311.15	310.80	308.85
21	270	314.05	311.40	310.25	308.30
22	275	312.90	310.70	309.70	308.15
23	280	312.30	310.05	309.00	307.70
24	285	310.60	307.80	307.95	306.10
25	290	308.30	305.95	306.30	303.95
26	295	305.85	302.10	302.80	300.65
27	300	301.50	298.50	299.45	297.70
28	305				
29	310				

表6 d　減勢部水面形測定結果数値表（湾曲形状）

副ダム高	8.0 m
副ダム位置	D.C 280.0m

実験番号	4
貯水位	—
流量	2617.63 ㎥/s

測点番号	測点距離D.C（m）	測定結果（EL. m）			
		測線1（右岸）		測線2（左岸）	
		最高	平均	最高	平均
0	160	302.20	300.00	301.40	299.55
1	170	301.10	297.40	299.70	296.85
2	175	301.05	297.80	300.30	296.60
3	180	303.40	299.35	301.55	297.80
4	185	304.25	300.90	303.40	300.45
5	190	306.20	302.65	305.00	300.95
6	195	307.30	303.65	306.90	303.20
7	200	308.45	304.15	307.05	303.95
8	205	310.55	305.55	307.60	303.90
9	210	311.05	306.65	309.15	305.60
10	215	311.30	307.15	311.25	306.90
11	220	311.35	307.65	311.90	307.70
12	225	312.30	307.80	314.35	309.80
13	230	312.25	308.40	316.15	312.40
14	235	313.20	309.75	320.40	316.50
15	240	313.60	310.45	321.65	317.10
16	245	314.30	310.65	319.55	316.75
17	250	314.30	310.90	317.65	315.05
18	255	314.40	310.95	316.30	312.80
19	260	314.30	311.05	313.25	310.30
20	265	313.95	310.75	311.15	308.35
21	270	313.35	310.20	309.15	307.35
22	275	312.95	309.70	308.75	306.95
23	280	312.60	309.00	307.35	306.15
24	285	310.70	307.90	305.15	304.70
25	290	310.15	305.85	304.55	302.95
26	295	306.60	303.15	302.05	299.85
27	300	302.45	299.15	299.30	297.15
28	305				
29	310				

表６ｅ　減勢部水面形測定結果数値表（湾曲形状）

副ダム高	10.0 m
副ダム位置	D.C 300.0 m

実験番号	5
貯水位	—
流量	2632.65 ㎥/s

測点番号	測点距離 D.C（m）	測定結果（EL. m）			
		測線１（右岸）		測線２（左岸）	
		最高	平均	最高	平均
0	160	305.43	302.73	305.18	302.38
1	170	304.83	301.88	305.68	302.33
2	175	306.03	302.23	306.13	302.28
3	180	306.58	303.03	306.33	301.98
4	185	308.38	304.28	306.78	303.03
5	190	309.73	305.63	306.88	302.83
6	195	310.23	306.53	308.08	305.03
7	200	311.03	306.73	309.58	305.48
8	205	312.23	308.18	310.58	307.33
9	210	312.48	308.33	311.93	308.98
10	215	315.13	309.93	313.23	309.18
11	220	314.98	311.03	313.73	311.08
12	225	314.83	310.88	314.98	311.88
13	230	315.28	311.13	316.18	313.08
14	235	314.83	311.68	320.03	316.58
15	240	315.13	312.03	320.58	317.33
16	245	315.38	312.43	319.98	316.98
17	250	315.63	312.98	317.68	315.18
18	255	315.43	312.43	315.28	312.93
19	260	315.93	312.33	313.68	311.53
20	265	315.73	311.98	311.58	309.58
21	270	315.53	312.43	310.83	309.18
22	275	314.83	312.33	311.18	309.53
23	280	314.88	312.03	310.93	309.58
24	285	314.23	311.48	311.03	309.63
25	290	313.53	311.08	310.78	309.13
26	295	313.03	310.48	310.23	308.88
27	300	311.28	309.13	309.83	308.33
28	305	309.93	307.58	307.53	306.33
29	310	307.33	304.88	305.23	303.98

表６ｆ　減勢部水面形測定結果数値表（湾曲形状）

副ダム高	10.0 m
副ダム位置	280 m

実験番号	6
貯水位	—
流量	m³/s

測点番号	測点距離 D.C（m）	測定結果（EL. m）			
		測線１（右岸）		測線２（左岸）	
		最高	平均	最高	平均
0	160	307.60	305.05	306.35	303.10
1	170	307.75	305.10	305.65	303.70
2	175	307.15	304.05	305.75	303.10
3	180	306.60	303.95	305.25	303.55
4	185	306.95	304.60	305.85	303.55
5	190	308.85	306.10	306.90	304.45
6	195	310.20	306.85	306.80	305.15
7	200	311.00	308.35	308.80	306.45
8	205	312.00	308.95	310.40	308.15
9	210	312.75	309.55	311.45	309.25
10	215	312.60	310.45	311.95	309.70
11	220	313.35	311.10	312.65	309.80
12	225	314.35	311.75	316.35	313.85
13	230	313.60	311.35	319.80	316.75
14	235	313.75	311.65	322.35	318.85
15	240	313.30	311.75	321.85	318.60
16	245	313.10	311.65	311.10	309.35
17	250	313.70	311.85	313.10	310.35
18	255	313.85	311.80	307.60	306.85
19	260	312.75	311.65	308.85	307.65
20	265	312.85	311.45	308.85	307.75
21	270	311.00	310.45	309.75	308.20
22	275	311.50	309.75	308.35	307.70
23	280	310.60	308.60	308.35	307.35
24	285				
25	290	304.35	303.00	303.10	302.25
26	295				
27	300	297.35	296.10	297.10	295.55
28	305				
29	310				

第３章　洪水吐きの改良設計案

第２章の検討結果および現地での地質調査等から洪水吐き設計原案に対して，つぎに述べる主旨で改良設計を実施した。

1）流入部掘削形状は地質調査結果を踏まえて原案より掘削量を軽減する。

2）高越流部のフラップゲートは常満維持の放流操作を考慮し，ゲート１門当りの放流量を３００㎥/s以下とし，下流エプロンは減勢を考慮した階段形状とする。

3）低越流部形状は設計原案どおりとするが，下流すりつけ勾配はクレスト下流曲線とシュート部遷移曲線間に単一勾配直線を挿入する。

4）オリフィス形状は設計水頭がほぼ低圧管路域（２５ｍ以下）であることから，製作および施工が簡単な１面ベルマウス形状とする。

5）導流部末端のすりつけ形状は単一勾配の順傾斜面とする。

6）減勢工は現地調査結果から河道左岸の山腹カットが可能との判断から直線型水平水叩き形状とし，副ダム下流の減勢を考慮する。

第１節　改良設計案形状

前述した設計主旨を盛り込んだ洪水吐きの各部の改良設計案形状はつぎのとおりである。

1.1　流入部掘削形状

地質調査から原案掘削線を各洪水吐きに影響のない限度高まで引き上げる。そこで，過去の流入部形状実験における越流水深(H)と越流頂から水路敷高との標高差(W)との関係が$W/H > 0.2$を目安として，図17ａに示すように各洪水吐きに対する掘削敷高を決定した。

1.2　高越流部形状

高越流部に設置するフラップゲートは原案での放流能力が30ｍ径間２門で1,030㎥/ｓを14ｍ径間４門案とし，左右中央に２ｍ幅のピアを設置した。

したがって，高越流部幅は純径間で原案より４ｍ狭くなるが，越流頂水平部を６ｍから２ｍに減らすことによって流量係数を増大させカバーすることとした。

フラップゲートのスキンプレート形状は設計水深を３ｍとした場合のほぼ自由落下曲線に近い$y=0.08x^2$とし，ゲートピン中心（前面から3.5ｍ，EL.396.500ｍ）からゲート先端までの弦長は最大起伏角を45°とした場合のサーチャージ水位EL.400.000ｍに付加高を加算したEL.400.300ｍまでの斜長5.374ｍである。

フラップゲートより下流のエプロン形状は前章でバッフルブロック設置案によって減勢効果が高められ

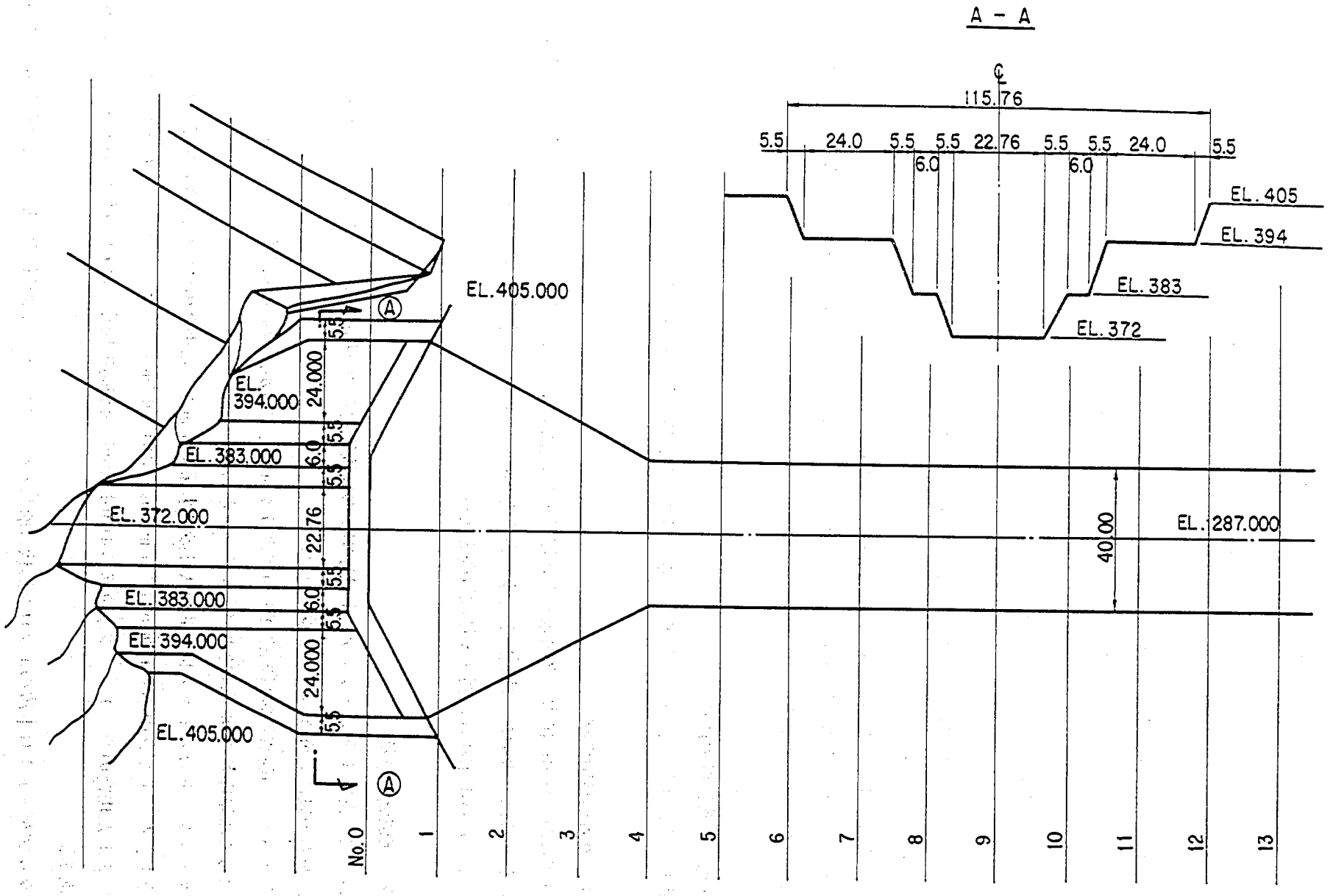


図17 a　洪水吐き改良設計案形状図

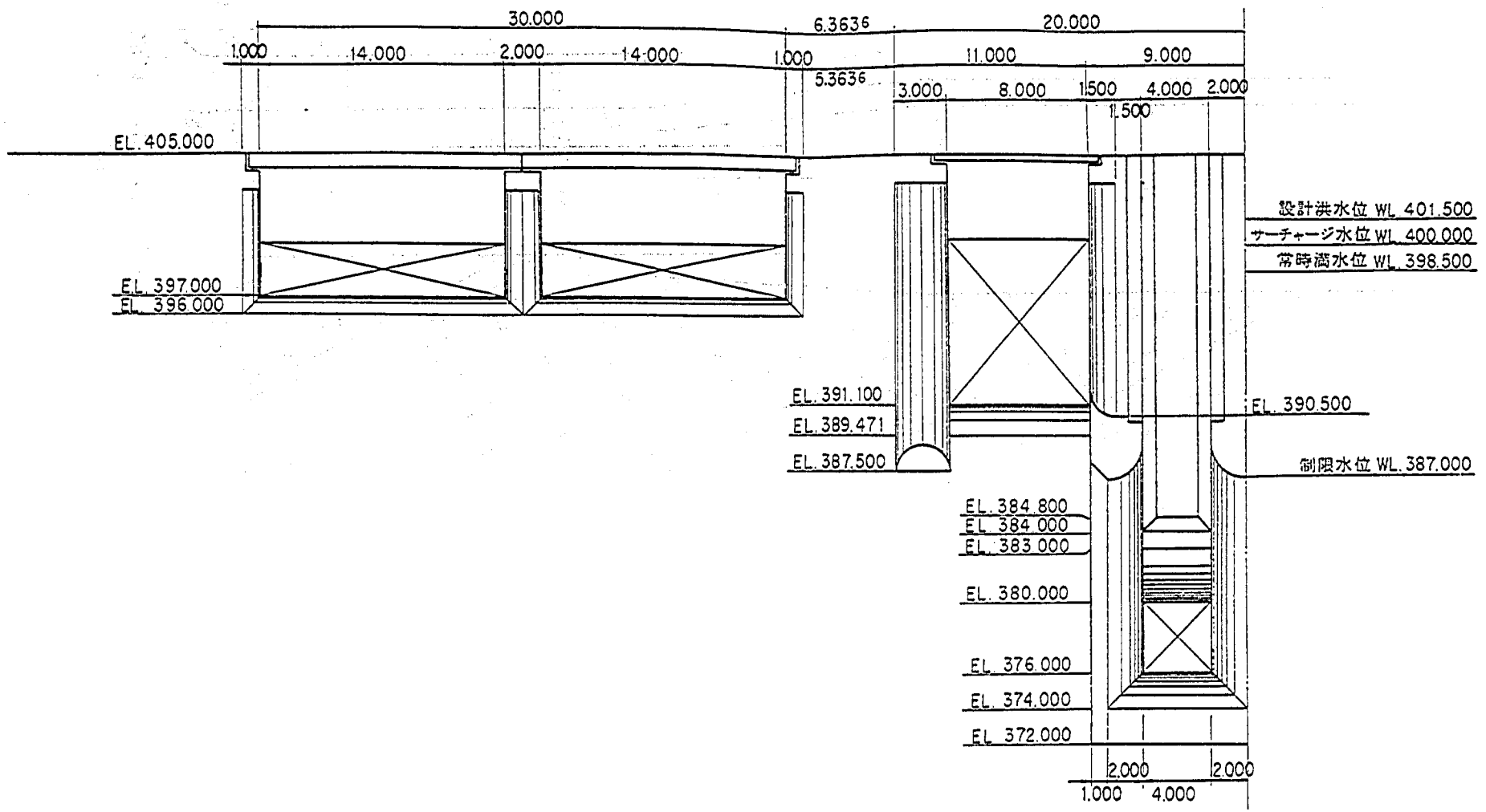


図17 b　洪水吐き改良設計案形状図

図17 c　洪水吐き改良設計案形状図

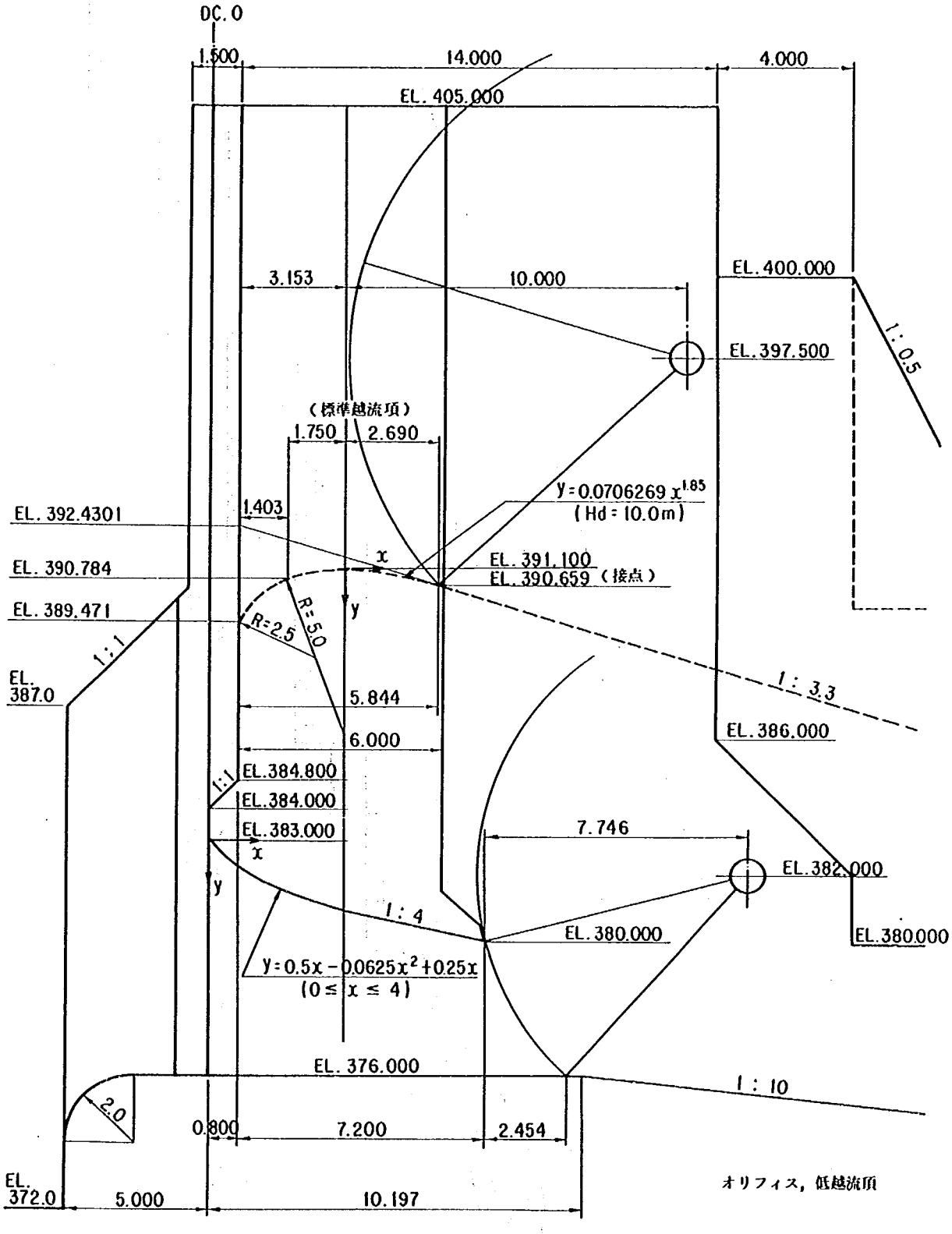


図17 d　洪水吐き改良設計案形状図

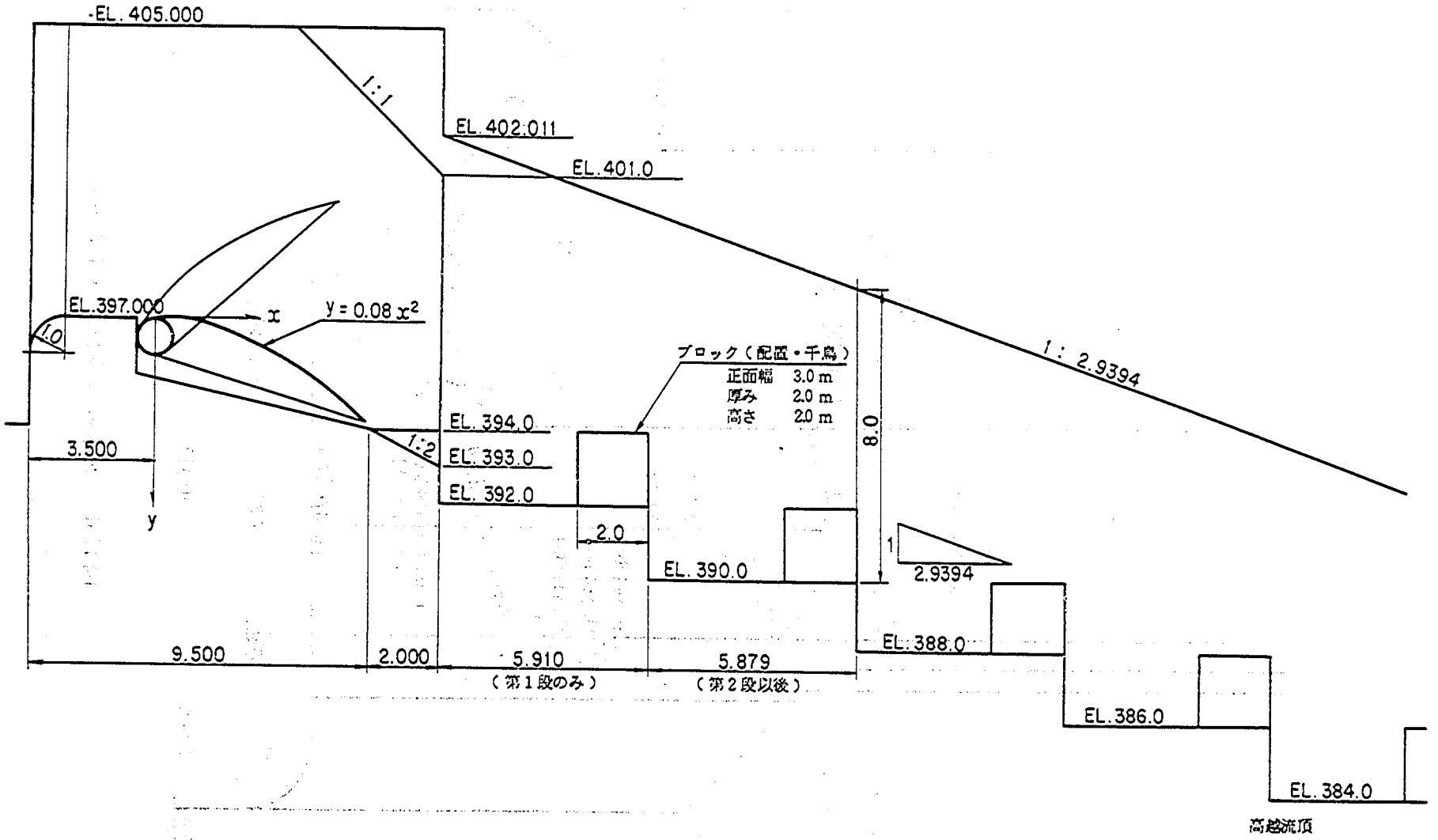


図17 e　洪水吐き改良設計案形状図

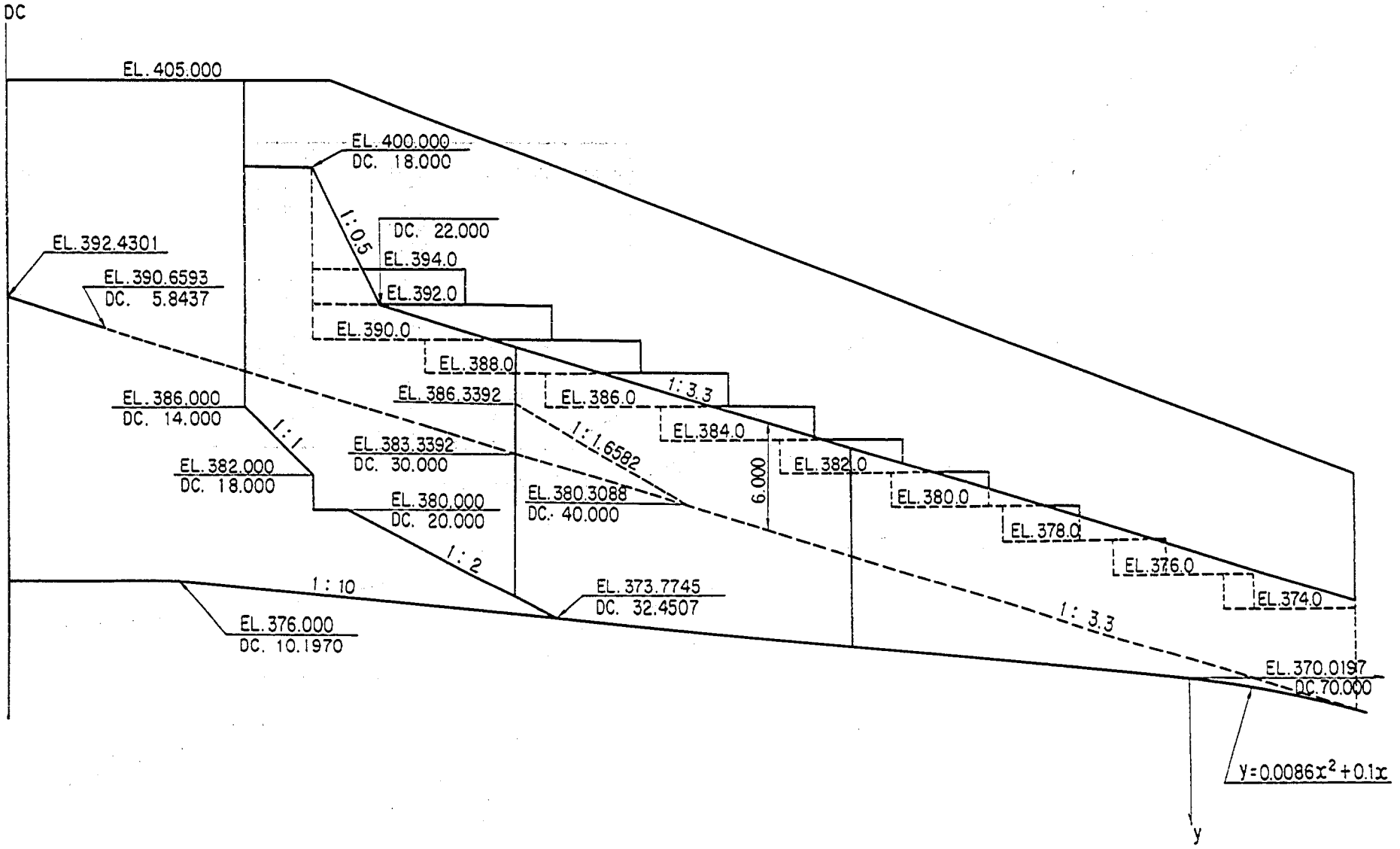
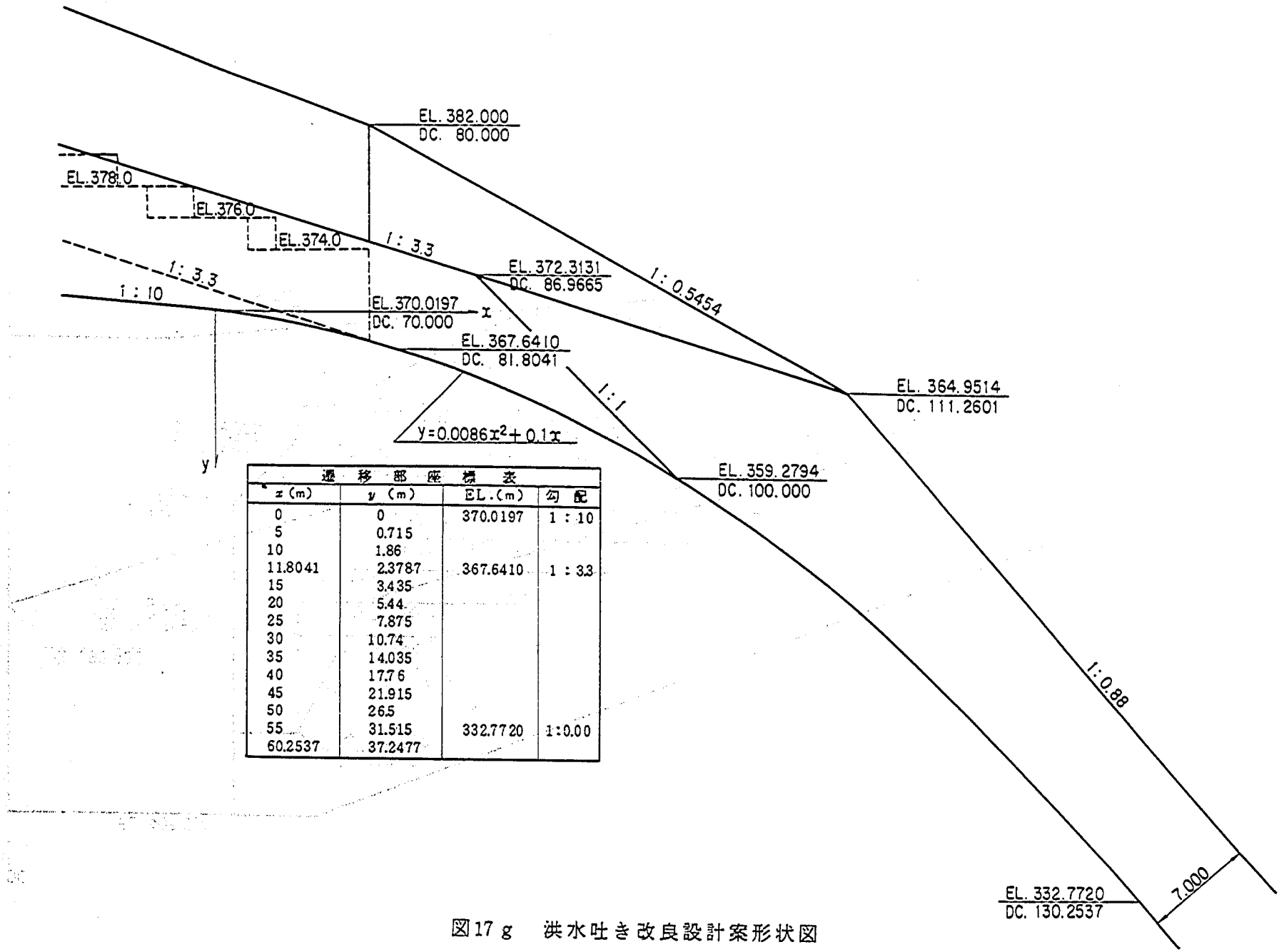


図17 f　洪水吐き改良設計案形状図



遷移部座標表

x (m)	y (m)	EL.(m)	勾配
0	0	370.0197	1 : 10
5	0.715		
10	1.86		
11.8041	2.3787	367.6410	1 : 3.3
15	3.435		
20	5.44		
25	7.875		
30	10.74		
35	14.035		
40	17.76		
45	21.915		
50	26.5		
55	31.515	332.7720	1:0.00
60.2537	37.2477		

図17ｇ　洪水吐き改良設計案形状図

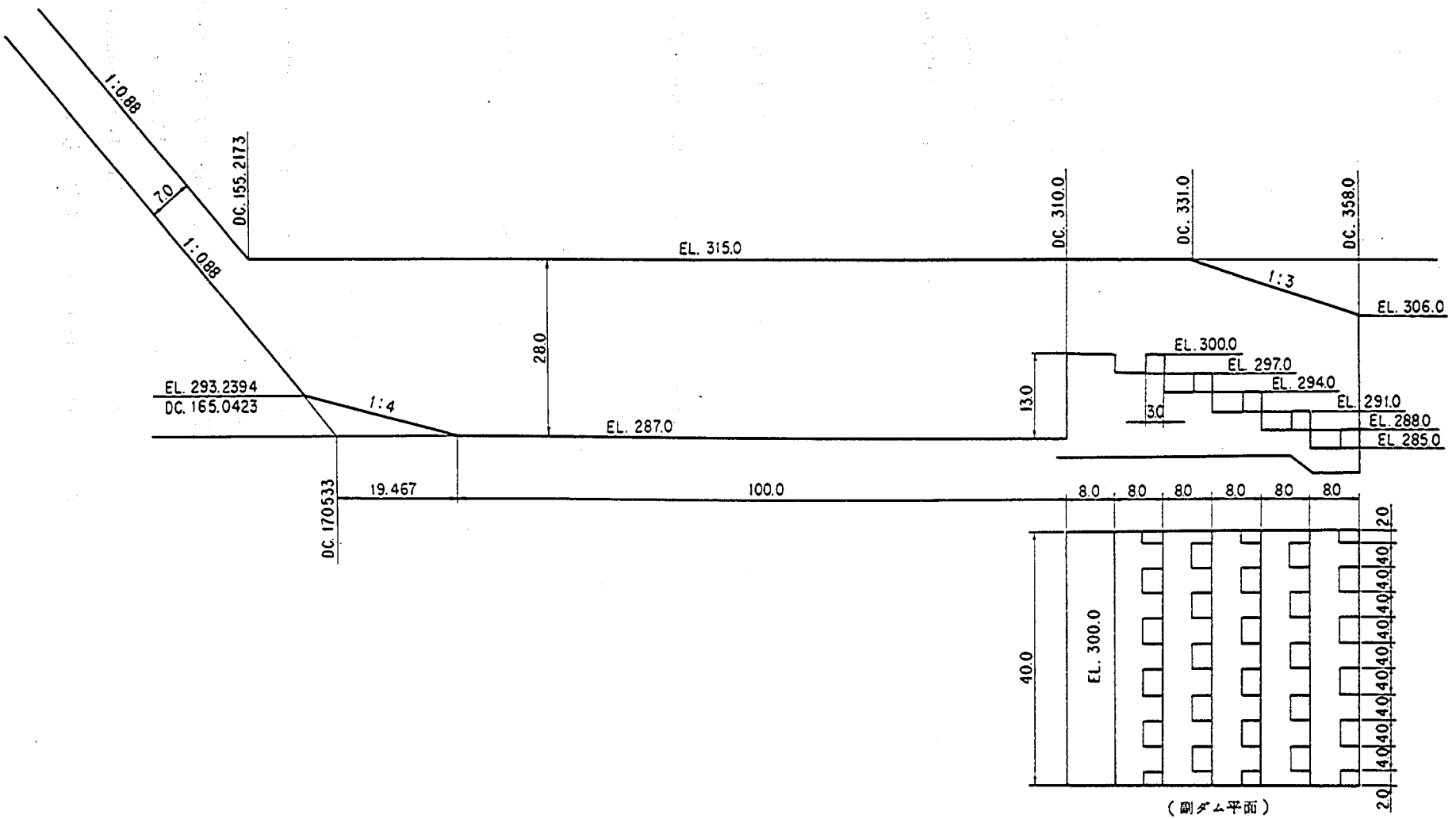


図17 h　洪水吐き改良設計案形状図

合流部での流況をかなり改善できたが，2,600m³/s 放流では合流状態が不安定であった。

そこで，さらに減勢効果を上げるためエプロンを階段形状とした。この階段はステップ高を 2 mとし，ステップ長さは設計洪水位での越流水がシュートブロック天端（EL.394.000m）から 2 mを落下する距離（X_m），$X = v \times \sqrt{2Y/g}$（$Y = 2.0$m，$v \fallingdotseq 9$ m/s ）から求まる$X \fallingdotseq 5.75$mを目安として等分した長さ約 5.9 m とした。このステップ上のバッフルブロックの大きさは 2 m× 2 m× 3 mとし，配例は千鳥とした。

以上の詳細な形状と寸法は図17 c，17 e に示すとおりである。

1.3 低越流部形状

低越流部形状は基本的に設計原案どおりであるが，下流面はクレスト下流曲線 $y = 0.0706268x^{1.85}$ とシュート部下面曲線 $y = 0.0086x^2 + 0.1x$ を同一原点とした場合に両曲線に接する直線勾配面（≒ 1 : 3.3）とした。したがって，クレスト面との接点はEL.390.659 であり，シュート下面との接点はEL.367.641 となる。また，下流導水路はDC.30 mまで幅 8 mとし，DC.50 mから下流を14 mの拡幅形状とした。ラジアルゲートピンはクレスト頂から10 mで標高EL.397.500mとし，ゲート半径は 10.500 m である。詳細については図17 b，17 d に示すとおりである。

1.4 オリフィス形状

オリフィスは，原案での吐口断面を変えずに設計水頭を考慮して 1 面ベルマウス形状（上面だけベルマウス形状）とした。

上面ベルマウス形状は過去の実験資料から管長を吐口高（$D = 4.0$ m）の 2 倍の 8.0 mとし次式によって与えた。

$$\frac{Y}{D} = \frac{1}{4}\sqrt{1-\left(1-\frac{X}{D}\right)^2} + \tan\theta\,\frac{X}{D} \quad (\text{ただし，}\ 0 \leqq X \leqq 4.0) \tag{5}$$

ここに，θ は上面の傾斜角で $\tan\theta = 0.25$，$D = 4.0$ m，X，Y は呑口ベルマウス始端を原点にとり，水平下流方向距離を X，鉛直下向き距離を Y とした。

したがって，求めるベルマウス式は 5 式に θ および D を代入して

$$Y = 0.5X - 0.0625X^2 + 0.25X \quad (0 \leqq X \leqq 4.0) \tag{6}$$

となる。オリフィスのゲートピンは下面での接線角が40° 以上，吐口上端高EL.380.000m等を考慮して吐口からの水平距離を 7.746m，ピン中心標高EL.382.000mとした。

オリフィスの下流導水路は呑口からゲート接点下流のDC.70 mからの勾配線 1 : 10との交点までを水平とした。また，オリフィス呑口上流側の整流ピアの張出し長さは呑口面から 4.2 mとし，この整流ピアは高越流部ピアと重複させると高越流部の左右ピアが非対称になるため，EL.387.000m以上は45° にカットした。これらの詳細形状および寸法は図17 b，17 c，17 dに示すとおりである。

1.5　減勢工形状

減勢工は原案の検討結果から，幅を40m一定とした直線型で，水平水叩き長さ90m，副ダム高13.5mが最適規模であった。改良案ではこの結果を踏まえて，バケットカーブに変えてDC・165.042mのシュート面標高EL・293.239mから跳水に対する限界勾配とされる1：4の順傾斜面とし，副ダムは高さ13.0mで副ダム下流の堆積土砂の洗掘を軽減できる階段式バッフルブロック形状とした。

また，水平水叩き長さは前述の形状を変えたことで実験により求めるがここでは一応120mとした。

以上の設計の詳細は図17g，17hに示すとおりである。

第2節　水理模型実験

第1節で設計された洪水吐きの改良設計案形状に対する水理模型実験はつぎの手順で実施した。

2.1　実験内容

図17a～17hに示した改良設計形状模型は原案模型（縮尺＝1／50）の各部分を改造したものである。したがって，本実験での水理諸量の相似律は前章の3.2項と同様である。

実験は改良設計案の放流能力および流況調査を実施し，各部での問題点を把握すると同時に，問題箇所の改善策について検討を加えながら進めたものである。

改良設計形状の良否を決める判断資料として，流況観察以外に必要に応じて流速および水面形の測定を実施したもので，これらの内容は表8の実験ケース一覧表に示すとおりである。

2.2　実験結果

2.2.1　放流能力

洪水吐きの改良設計案での全門全開放流および各洪水吐き単独放流時の貯水位と放流能力との関係を調査した結果は図18および表9 a，bに示すとおりであった。

表9 b　貯水位－流量の関係数値表

貯水位 (EL.m)	放流量 (Q.㎥/s)	
	設計条件	実験結果
制限水位　EL　387.0 m	200 ㎥/s を放流	330 ㎥/s を放流
常時満水位　EL　392.0 m	330 ㎥/s 〃	455 ㎥/s 〃
サーチャージ水位　EL　400.0 m	2,000 ㎥/s を越えない流量を放流	1,980 ㎥/s 〃
設計洪水位　EL　401.5 m	2,600 ㎥/s を放流	2,530 ㎥/s

表8　実験ケース一覧表

項目	検討個所	検討流量	流況観察	流速	水面形	備考
設計案	流入水路	2,000㎥/s, 2,600㎥/s	写真	図－6に示す位置で実施		実験番号　111
	越流部シュート部	330㎥/s, 1,000㎥/s 1,500㎥/s, 2,000㎥/s 2,600㎥/s	写真，流況図		2,000㎥/s, 2,600㎥/sについて、図－9に示す位置で実施	
	減勢部	2,000㎥/s, 2,600㎥/s	写真		〃	
改造案	越流部シュート部	330㎥/s, 2,000㎥/s 2,600㎥/s	写真 流況図は2,600㎥/sについて実施		2,600㎥/sについて図－9に示す位置で実施	実験番号　235－A 235－B 235－C 235－Bを改造案とする。
	減勢部	1,000㎥/s, 2,000㎥/s 2,600㎥/s	写真		〃	

項目	検討個所			検討流量	流況観察	備考
改造検討	越流部	合流壁形状	形状№2	330㎥/s, 2,600㎥/s	写真	実験番号223－A, 233－B, 234－Bについて実施した。 図－11, 図－17に記した実験番号は上記と一致する。
			№3			
			№4			
		中間導流壁形状	形状№2	2,600㎥/s	〃	
		ブロック形状	形状№2	2,600㎥/s	〃	
			№3			
			№4			
			№5			
	減勢部			2,000㎥/s, 2,600㎥/s	〃	

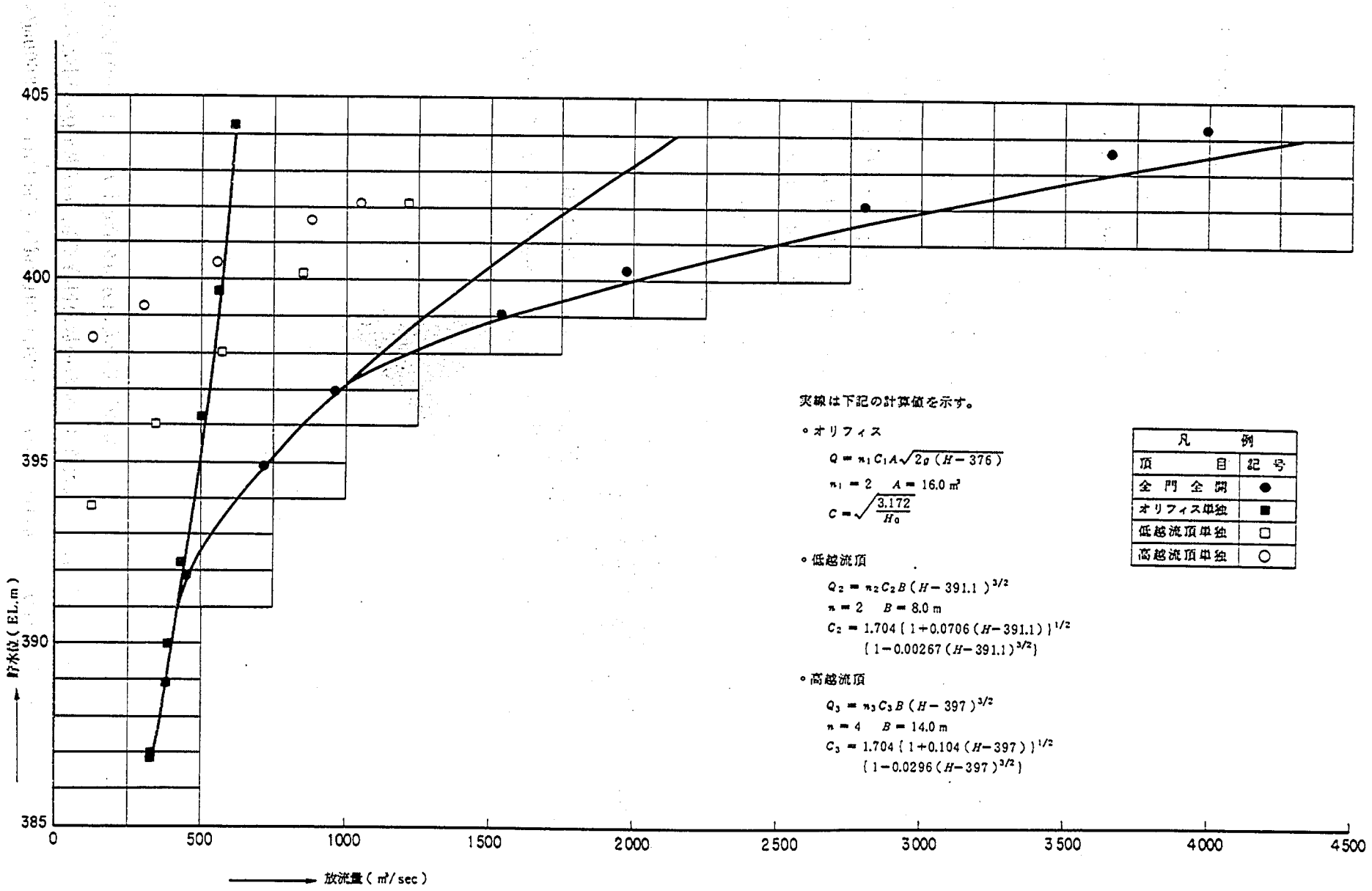


図18　貯水位－放流量の関係図

この表に示す流量係数はそれぞれつぎの式で求めたものである。

1) オリフィスについては，第2章に示した(2)式において，Aに4×4＝16㎡およびQ,Hそれぞれの実験値を代入して求めたものである。

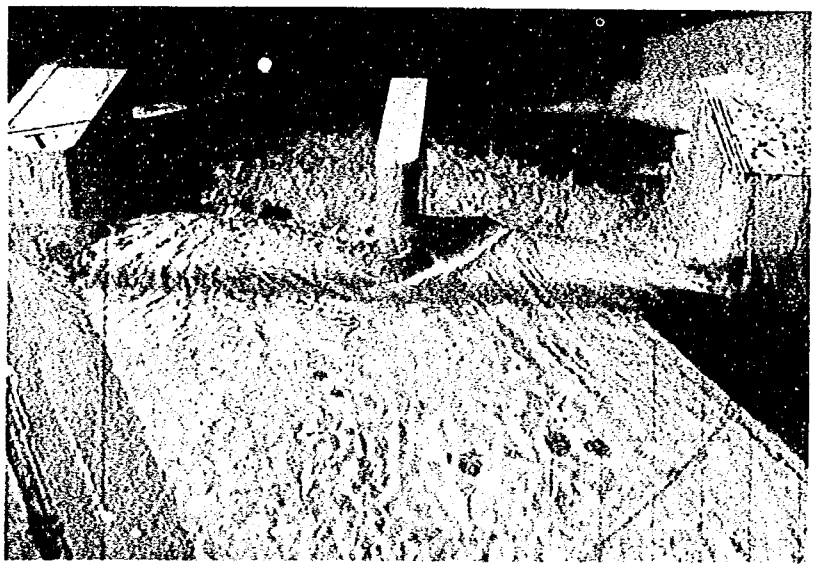
2) 高，低越流頂についても第2章に示した(3)式においてB＝14mor8m，クレスト敷高（EL397.0m or EL391.1m），径間数（n＝4 or 2）と実験値からそれぞれの流量係数Cを求めた。

また，表中のH_dは低越流頂の設計水頭（Hd＝10.0m），H_0は高越流頂の設計水頭（H_0＝4.5m）であり，図18に示す実線はそれぞれ図中に示すように過去の実験結果から藤本が導いた実験式の計算結果を示したものである。

さらに，各々の貯水位に対する設計値と実験結果を比較の意味でまとめたのが表9bである。

これらの結果から，改良設計案における放流能力調査についてつぎのことがいえる。

表9bの比較表から明らかなように，サーチャージ水位までは設計条件をほぼ満足しているが，ダム設計洪水位では設計量に対して約3％程度，放流能力が不足している。このことは図18に示したように，過去の放物線形状の越流頂実験から導かれた実験式で求まる値に比べ，今回の実験値はかなり減少している。この原因としては次の2つが考えられる。その1つは高越流頂形状が過去の放物線形状と異なり，頂部に水平部を設けたことによる形状損失であり，他の1つは流況観察（写真№21参照）で明らかなように高越流頂流入部の軸線が流線に対して約27°の屈折した配置としたために越流頂部で偏流が生じ，写真のように横断水面が均等にならず，橋脚による縮流も大きくなるためと考えられる。



写真№21
高越流頂の偏流と縮流の流況
$Q \fallingdotseq 2{,}600$㎥/s

2.2.2 流入水路

流入水路部の掘削形状に対する検討は図19に示す各測定位置での流速分布を測定した。これらの測定結果は図20に示すとおりである。この結果，流速の最大値はいずれの放流量時でも，流入断面が最小となるダム軸より上流60m横断中央部の底面から5m付近であり，その値は2,000㎥/sで約1.9m/sec，2,600㎥/s

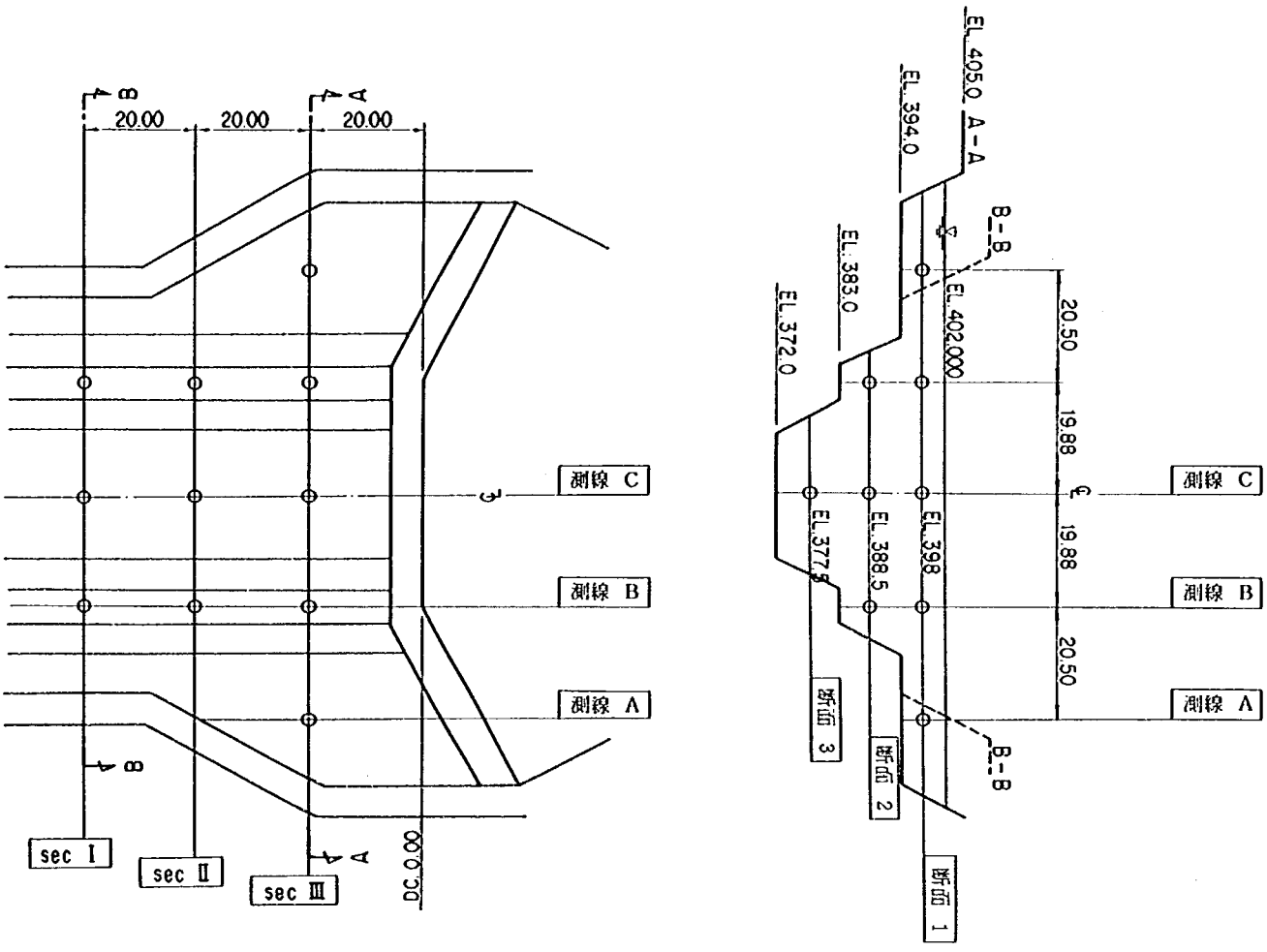
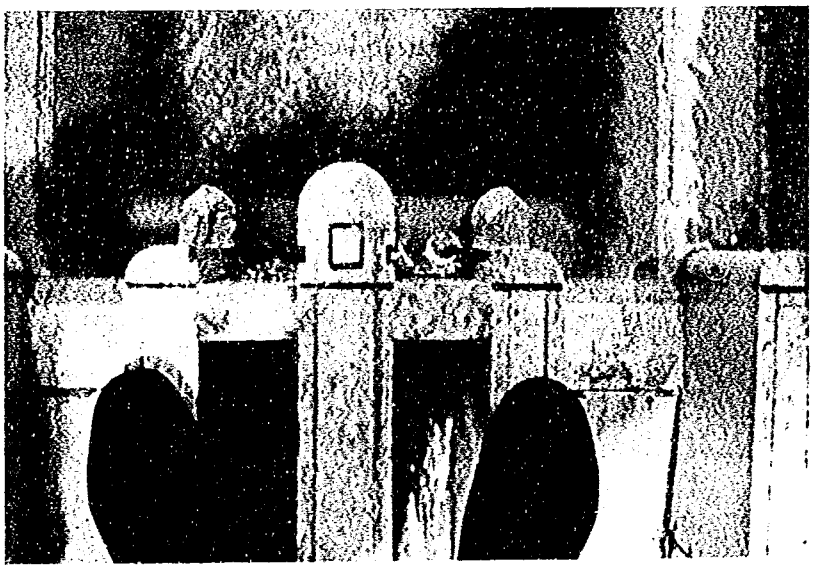


図19　流入水路部流速測定位置図



写真№22

オリフィスの吸い込み渦（原案）

貯水位≒EL．390m

Q≒410㎥/s

で約2.2m/secであった。

また，原案との測定位置がほぼ同一横断での流速分布を比較検討すると，敷高を上げた影響として水深

方向の平均流速が増大しているが，流速の最大値は減少している。

流況観察結果では貯水位がEL.390m付近でオリフィスの吸い込み渦が発生（写真№22参照）するが，放流後の水脈には重大な影響をおよぼす程のものではなく，それ以上の貯水位では流入水路内の流れはスムーズである。

以上から，改良案掘削形状としても何ら水理的には問題が無いものと判断できる。

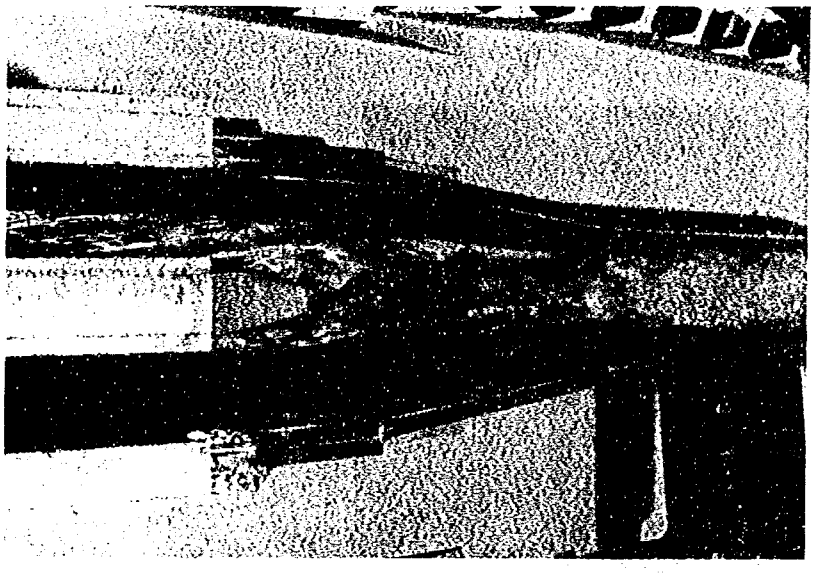
2.2.3 合 流 部

合流部の改良設計案では高越流頂下流のエプロンを階段形状，低越流頂下流の導水路勾配を一定にすると同時に平面形状を左右対称の拡幅形状とした。これらの合流部形状に対する検討は流況観察を主体とし，ゲートを全門全開条件で放流量が330m³/s，1,000m³/s，1,500m³/s，2,000m³/sおよび2,600m³/sの5ケースについて実施した。

各ケースでの問題点について述べるとつぎのとおりである。

1) 放流量が330m³/s （計画最大放流量の1割増）の場合

このケースはオリフィス2条全開で貯水位が約EL.387.6m時の流況であるが，改良案ではオリフィスの合流をスムーズにするため中央導流壁末端のDC.200mから1：2の三角錐（以後はこれを合流壁と呼ぶ）を設けたが，写真№23で明らかなように合流後に水はねが発生している。また，オリフィスと低越流部との間に設けた導流壁（以後はこれを中間導流壁と呼ぶ）をDC.30m～50m区間で漸縮絞り形状としたこともオリフィスの合流には悪影響を与えている。

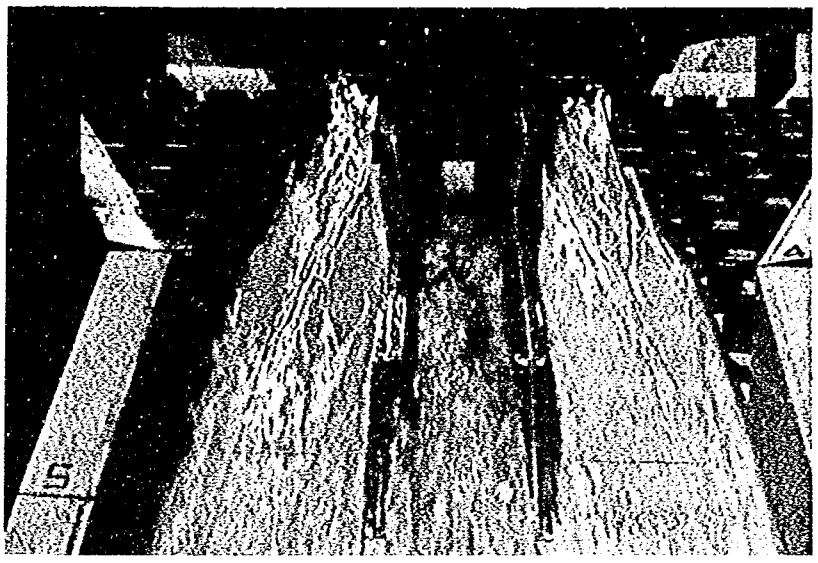


写真№23
オリフィス合流部の流況（原案）
$Q \fallingdotseq 330 m^3/s$

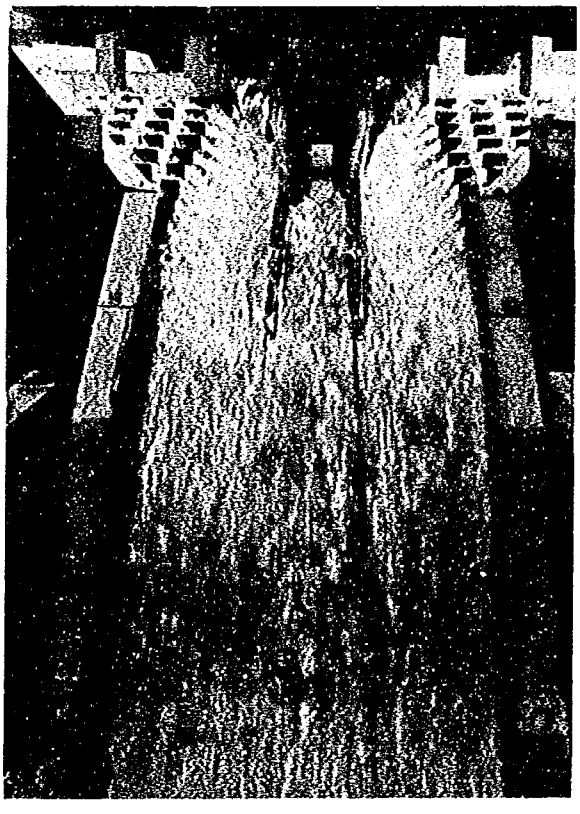
2) 放流量が1,000m³/sの場合

このケースは貯水位が約EL.397.2mでオリフィス2条と低越流部2門からの放流状態である。

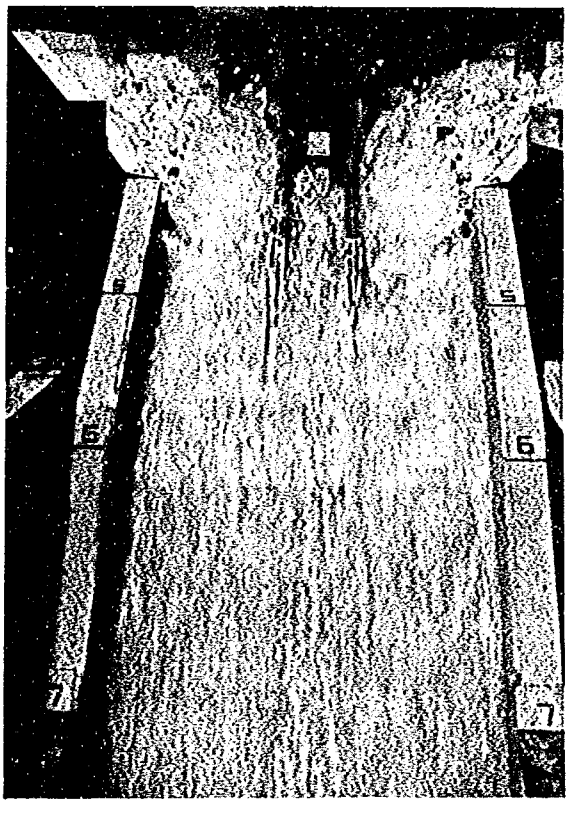
前述のオリフィス合流部は流速の増大に伴って水はねが大となる。また，低越流部の導水路は幅8mから14mに拡幅し，DC.80m地点でのオリフィスとの合流水深をほぼ均等になる目的で設計したが，この



写真No.24
合流部の流況（原案）
$Q \fallingdotseq 1{,}000 m^3/s$



写真No.25
合流部の流況（原案）
$Q \fallingdotseq 1{,}500 m^3/s$



写真No.26
合流部の流況（原案）
$Q \fallingdotseq 2{,}000 m^3/s$

拡幅部で流水の拡散により小規模の衝撃波が発生する（写真No.24参照）。

3） 放流量が1,500㎥/sの場合

このケースは貯水位が約EL.399.0mでオリフィス2条，低越流部2門および高越流部4門からの放流状態である。オリフィス合流部および低越流部での流況は1,000㎥/s放流時の現象が増長されている。しかし，流況写真No.25で明らかなように，高越流頂からの放流水は階段とブロックで十分減勢され，低越流部からの放流水の上にふりそそぐように合流するため，合流後の流れの偏向はなくスムーズである。

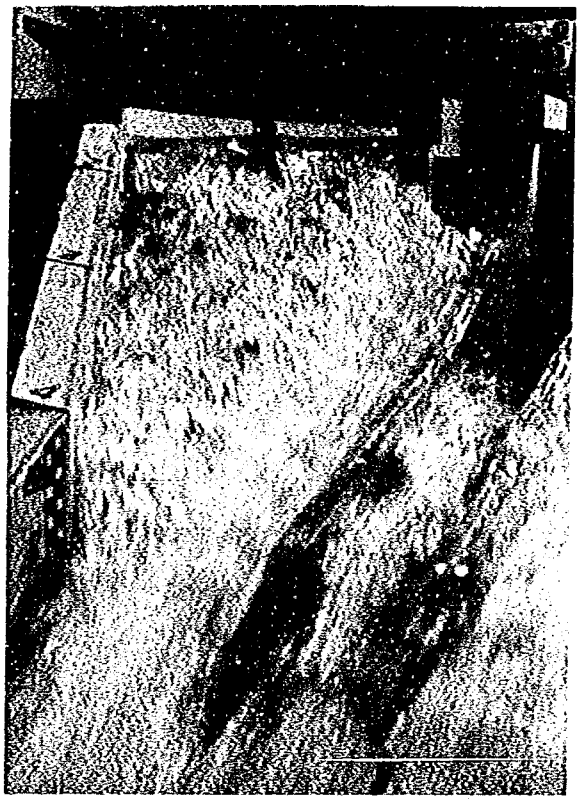
4） 放流量が2,000㎥/s（計画高水流量）の場合

このケースは貯水位が約EL.400.0mで1,500㎥/sのケースと同条件の放流状態である。

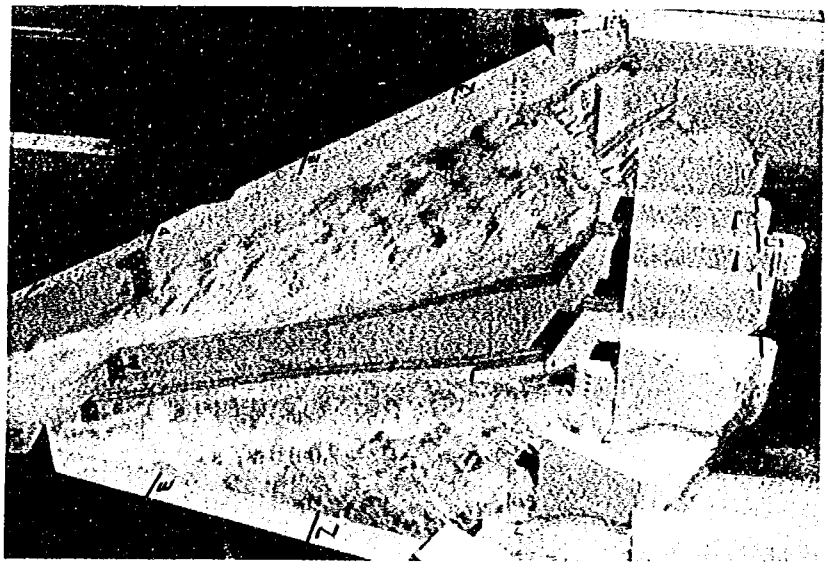
流況写真No.26に示すように，階段エプロンでの減勢は十分効いており，越流部同志の合流はスムーズで全ての合流地点であるシュート始端での水面もほぼ均等になっている。ただ，最上流のステップ上のブロックでブロック高（2m）に匹敵する水はねが生じている。

5） 放流量が2,600㎥/s（ダム設計洪水流量）の場合

このケースは貯水位が約EL.401.6 mでの放流状態である。最上流ブロックでの水位上昇は約6.5 mに達し，ブロックを包み込んでいるが，階段エプロンでの減勢は効果的で合流状態はほぼ問題のない流況



写真No.27
階段エプロンの流況（原案）
$Q \fallingdotseq 2{,}600$㎥/s



写真No.28
階段エプロンの流況（原案）
$Q \fallingdotseq 2{,}600$㎥/s

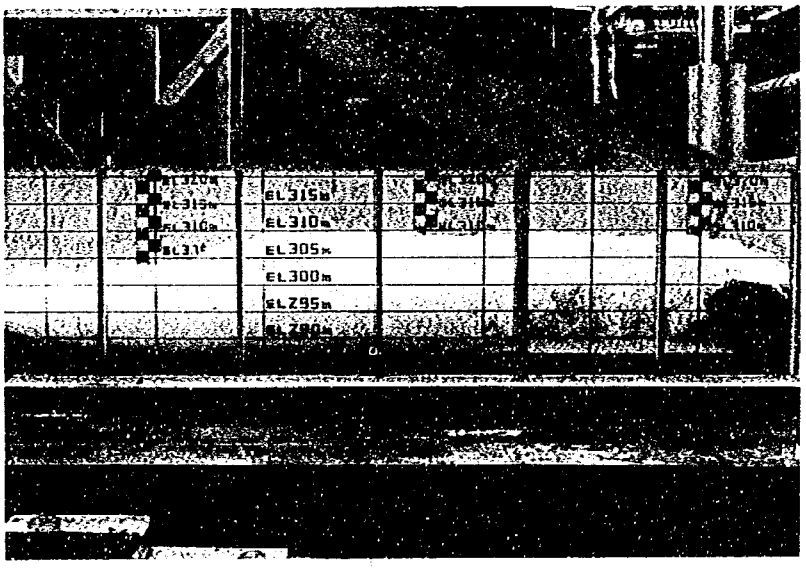
を呈している（写真№27参照）。しかし，低越流部導水路内の水位上昇と高越流部からの合流水の流速が増すため，部分的に中間導流壁を越水している。また，高越流頂の中間ピア下流で流況写真№28に示すように，合流により水はねが生じるが下流の流況を乱すほどのものではない。

2.2.4 減 勢 工

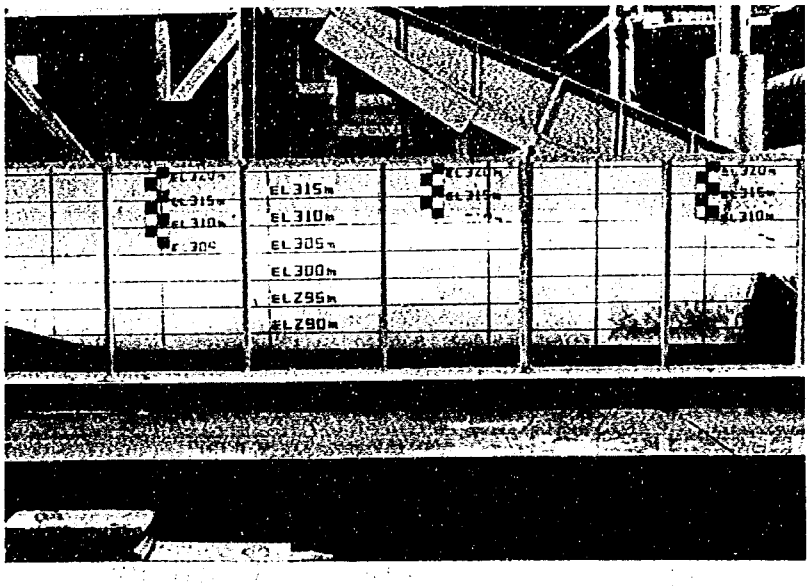
改良設計案における減勢工の検討は，対象流量2,000㎥/sおよび2,600㎥/sについて流況観察ならびに減勢池内の水面形を測定した。測定結果は図21および表10a～10bに示すとおりであった。

これらの図には後述する減勢工改造案の測定結果も合わせて記載してある。

この結果，設計案ではいずれの流量に対しても跳水現象は，流況写真（№29および№30）の死水域として見なせる副ダム手前20m前後で終了している。また，全体的な流況としては，合流部での合流状態が改良案では大幅に改善されたことにより減勢池内の水面変動も原案に比べ2～3m程度少なくなり，必要導流壁高はEL.315.0mと見なせる。



写真№29
減勢池内の流況
L = 120.0m
D = 13.0m
Q = 2,000㎥/s



写真№30
減勢池内の流況
L = 120.0m
D = 13.0m
Q = 2,600㎥/s

以上の検討結果から改良設計案での問題点および改造を要する点についてまとめるとつぎのとおりである。

1. 流入水路の掘削形状は敷高を上げても洪水吐きに対しては問題がないものと半断できる。ただし，高越流頂の越流水面が横断的に不均等になり，フラップゲートへの偏荷重および放流能力の減少につながるので改善を要する。

2. オリフィスの合流壁の規模および形状については合流後の水はねが大きいので検討を要する。

3. 中間導流壁の絞り形状はオリフィスの合流に悪影響を及ぼすため検討を要する。

また導流壁の厚さは事務所より，施工や高越流頂からの合流水圧を考慮すると現在の導流幅2mは3m程度に変更されたいとの要望があった。

4. 階段エプロン最上段および2段目ブロックでの水面上昇が大きく，現在の計画導流壁8mで余裕がないことが観察されたので，ブロック形状に対する検討が必要である。

5. 減勢工は水平水叩き長に余裕があるので，さらに最適規模の検討が必要である。

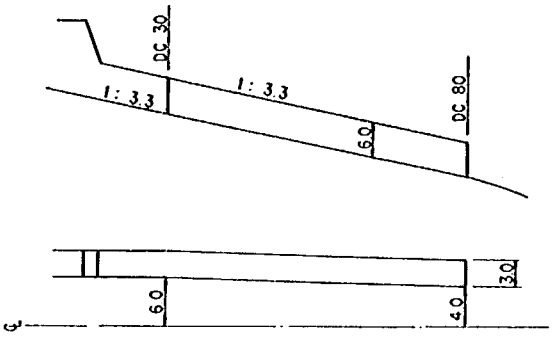


図22　中間導流壁形状図

2.3　改造実験結果

洪水吐きの改良設計案での検討を要する各部に対する改造内容および改造実験結果について述べるとつぎのとおりである。

2.3.1　中間導流壁および合流壁の検討

中間導流壁の絞り形状を変えずにオリフィスの合流壁形状数種について検討を加えたが，絞り部分での流れが漸縮壁に沿わないため流況改善につながらないことが判った。

そこで，中間導流壁の厚みを3mとし，形状は図22に示すようにDC.30mからDC.80m区間を緩かな直線で絞り込み，壁高6mは変えずに

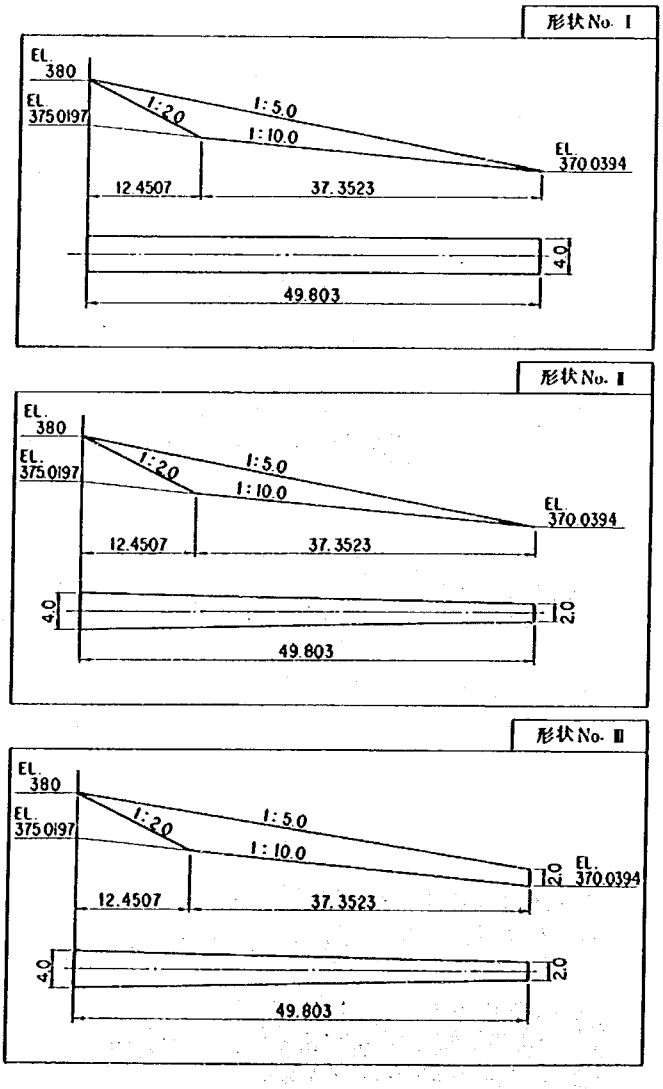
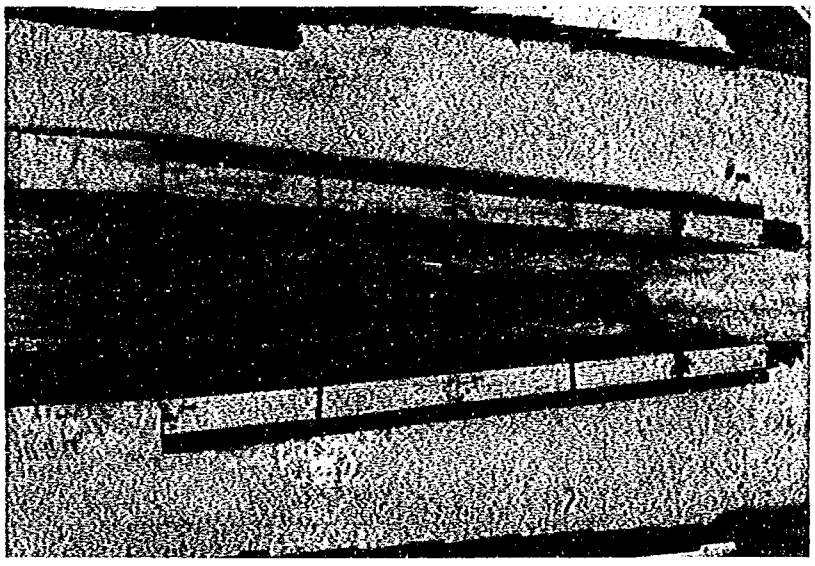


図23　合流壁形状検討図

DC.80m地点で鉛直とした。

この中間導流壁に対して，合流壁形状は図23に示す3種形状について検討を加えた。

検討3種の中で最も流況が改善されるのは形状No.Iであり，この合流壁形状でオリフィス合流後の水はね現象をほとんど消すことができる（写真No.31参照），さらに中間導流壁の改造に伴って低越流頂導水路を左右対称にするため高越流側も写真No.32に示すように直線形状に変更した。この結果，改良案で見られた導水路内の衝撃波は写真に示したように消去することができた。



写真No.31
オリフィス合流壁形状I
$Q \fallingdotseq 330 m^3/s$



写真No.32
低越流頂下流の改造後の流況
$Q \fallingdotseq 1,000 m^3/s$

2.3.2　階段エプロンのブロック形状の検討

上流から1段目および2段目ブロックでの水位上昇を軽減するとともに，減勢効果を同等に保てるブロック形状についての検討を試みた。検討形状は図24に示すように，歯型ブロック，ブロック配列の変更，ブロック高の変更およびブロックを撤去した4ケースについて行った。

この結果，1ケース目の歯型ブロックは効果なく，2ケースおよび3ケース目のブロックの配列と高さを変えた場合は水面上昇が4m程度に軽減され，合流状態もスムーズであり改良案とほぼ同様な結果を得た（写真No.33～34参照）。

また，階段エプロン上のブロックをすべて撤去した場合は流況写真No.35に示すように，ステップごとの減勢効果が期待でき，合流状態もよくシュート始端での水面形も均等に保たれる結果を得た。これらの結果から，ステップ形状だけでも減勢効果があり合流処理は行なえるものと判断できる。ただし，低越流頂導水路断面を減らしたことによって中間導流壁高は不足気味となり，2,600m³/s放流時には約1mの嵩上げが必要と思われる。さらに写真No.36で明らかなように高越流部中央ピア下流で合流による水はねが生じるので，オリフィスと同様に三角錐の

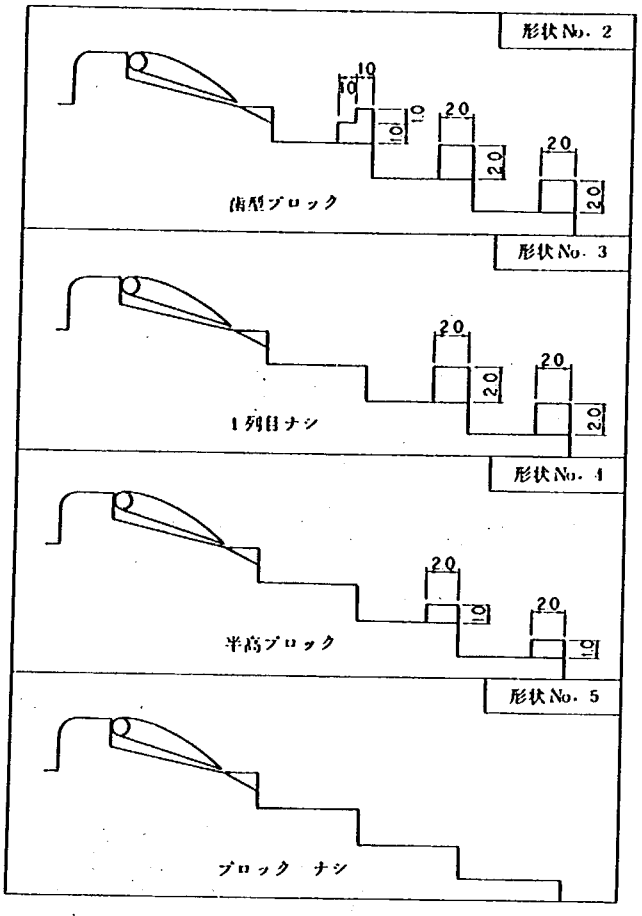
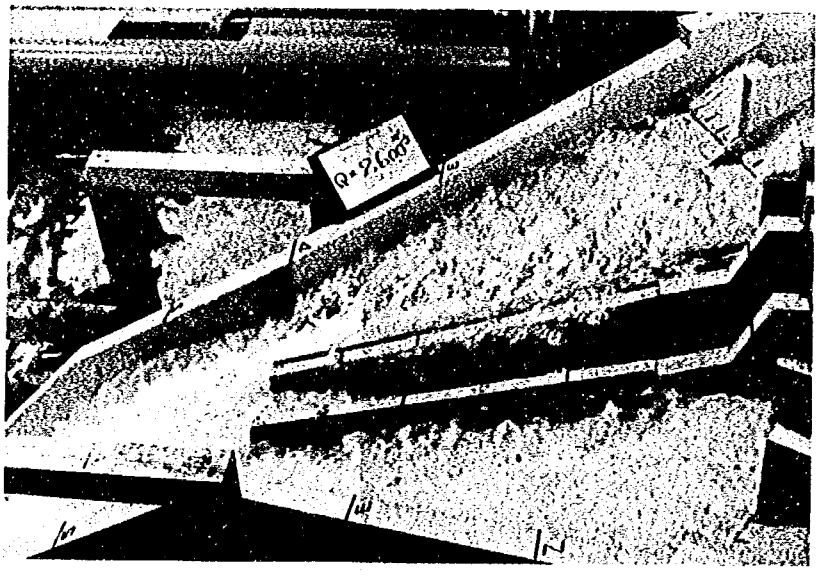
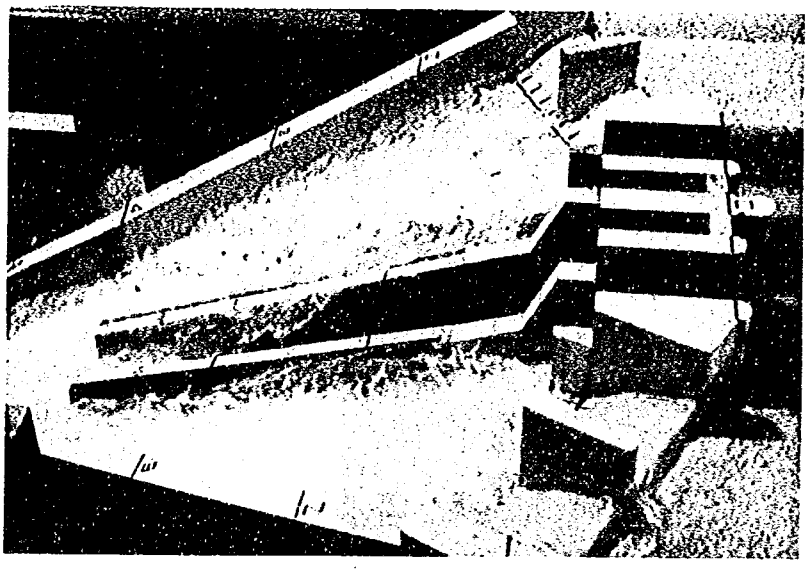


図24　ブロック形状検討図

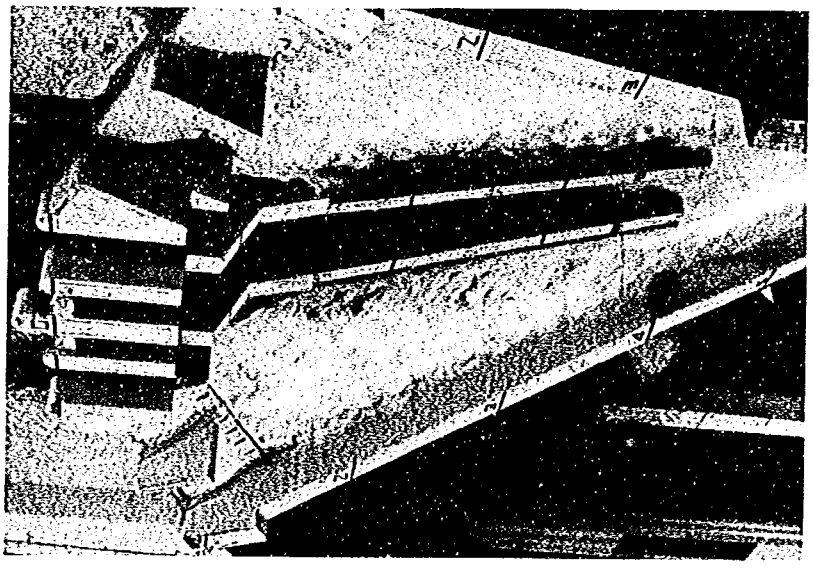


写真No.33
ブロック形状3での
エプロン上の流況
Q≒2,600m³/s



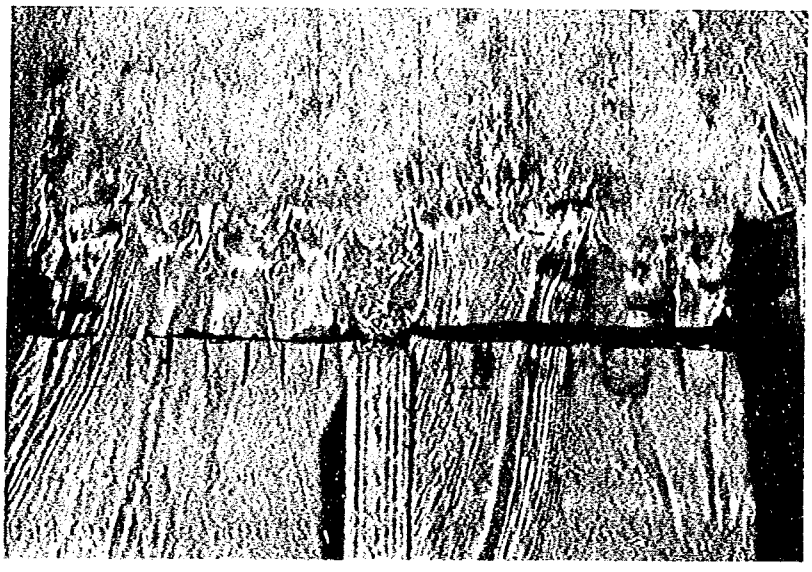
写真No.34

ブロック形状4での
エプロン上の流況
$Q \fallingdotseq 2{,}600 m^3/s$



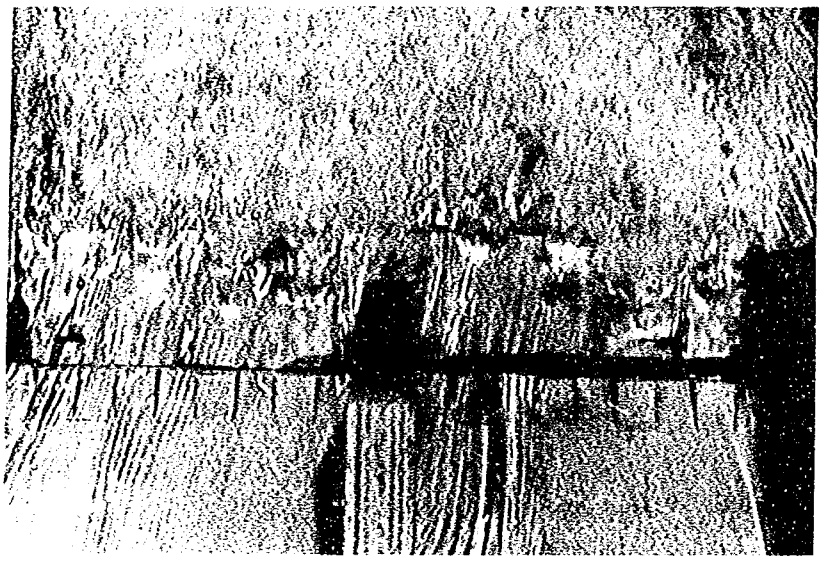
写真No.35

ブロック無しでの
エプロン上の流況
$Q \fallingdotseq 2{,}600 m^3/s$



写真No.36

フラップゲート部の
中央ピアの合流状態
$Q \fallingdotseq 2{,}600 m^3/s$



写真No.37
中央ピア合流壁設置後の流況
$Q \fallingdotseq 2{,}600 m^3/s$

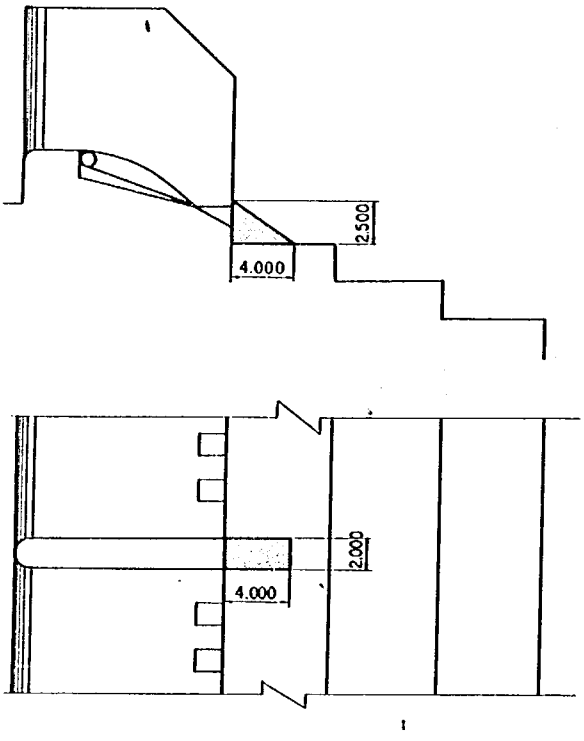


図25　高越流部中央ピア合流壁形状図

合流壁により処理した（写真No.37参照）。この合流壁形状の採用案は図25に示すとおりである。

2.3.3　低越流頂の水面形の検討

図26に示すように現地での堤頂道路幅と線形の変更により，低越流頂ラジアルゲートのトラニオンピンの位置が下流へ約2.25m，標高で2m下げられるかどうかを検討するため2,600㎥/s放流時の水面形を測定した。測定位置は図27に示すように，DC・0mから下流へ2mピッチで左右導流壁沿いと中央の3測線

である。測定結果は図28（測定値表も含む）に示すとおりである。

この結果，ゲートピンに最も接近する水面は右岸側導流壁沿いでピン中心から約 1.4 mで，他の測線では 1.5 m以上の余裕があり，変更可能と判断できる。

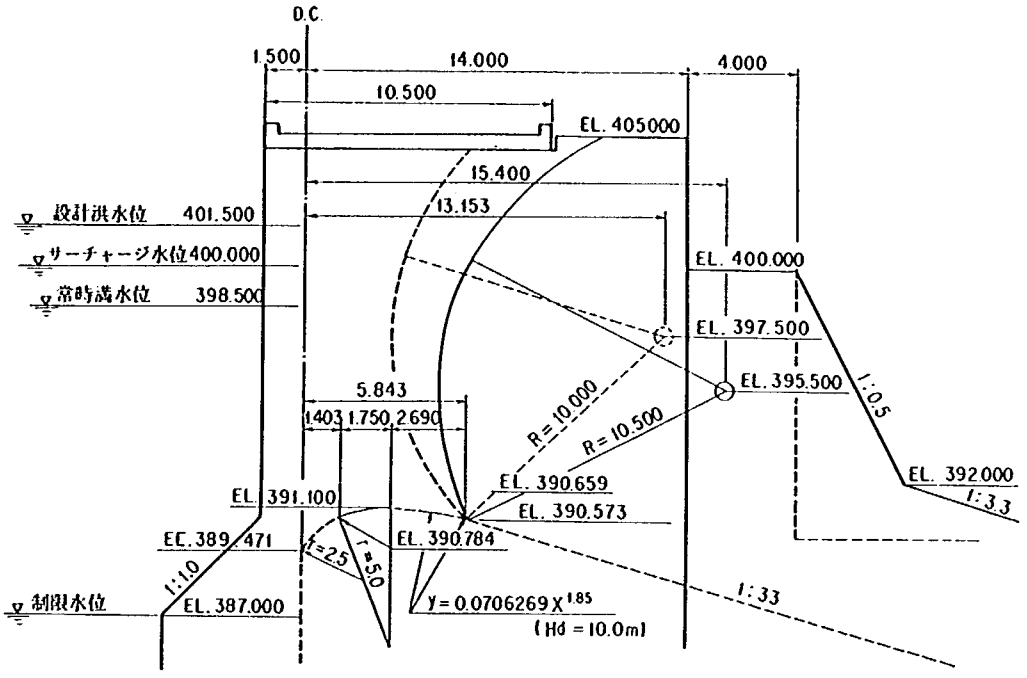


図26　低越流部ゲートピン変更図

2.3.4　流入部の検討

流入水路の掘削形状は流速分布等から問題はなかったが，高越流頂は流線方向に対して約27°の傾き角を設けたため偏流が生じる。この偏流を緩和する方法として，低越流頂と高越流頂との境界ピア（今後は単に境界ピアと呼ぶ）の平面線形の検討を行った。この場合，高越流頂に新たにフラップゲートを取付け，貯水位－ゲート開度－水面形との関係をも調査した。

これらの実験内容は表11に示す一覧表および図29に示すそれぞれの形状について実施している。つぎに検討結果について述べるとつぎのとおりである。

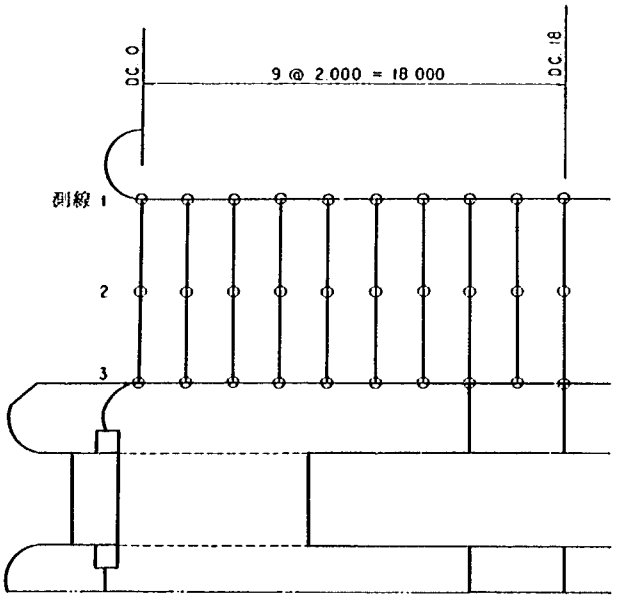
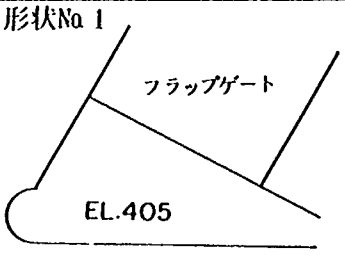
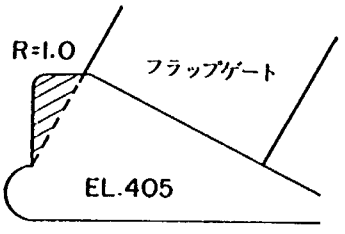
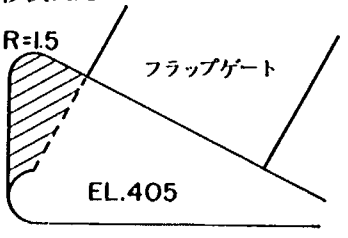
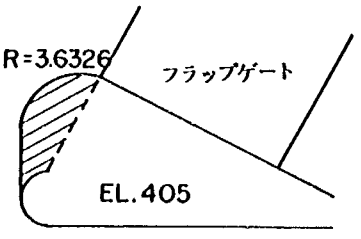


図27　低越流部水面形測定位置図

表11　流入部実験内容一覧表

実験番号			形状図	検討状態			計測内容		
				設定水位 (EL.・m)	高越ゲート開度	低越ゲート開度	水面形	流速	流況
設計案	1	1	形状No 1 	401.955	全開0°全開	全開	○	○	○
		2		400.048	0°全開		○	○	○
		3		400.048	0°20°0°	全開	○	○	○
		4		399.984	20°40°20°		○	○	○
		5		400.010	全0°全開		○	○	○
		6		400.010	0°20°0°	全閉	○	○	○
		7		399.984	20°40°20°		○	○	○
検討案Ⅰ	2	1	形状No 2 	400.05	0°全開	全開	○		
		2		399.99	0°全開	全閉	○		
検討案Ⅱ	3	1	形状No 3 	401.95	0°	全開	○		
		2		399.99	0°		○		
改造案	4	1	形状No 4 	401.81	0°	全開	○	○	○
		2		400.05	0°		○	○	○
		3		400.20	0°	全閉	○	○	○

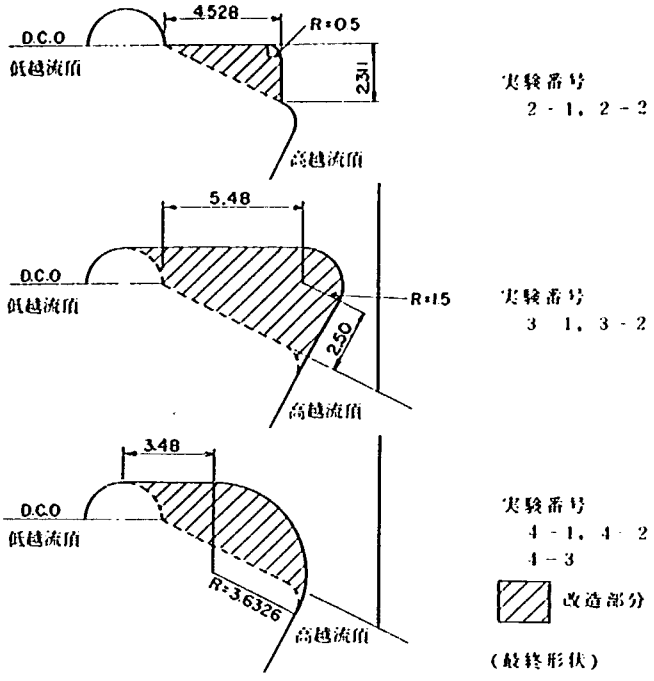


図29　境界ピア検討形状図

1）改良設計案の調査結果

改良設計案形状（今後は単に設計案と呼ぶ）での偏流の調査は表11に示したように，貯水位2ケース，フラップゲート開度3ケース（全開，0°，20°で開度0°とはゲートピンを原点としたX，Y 軸においてゲートピンとゲート先端を結ぶ弦がX軸上にある場合，20°とはX軸とゲート弦との角度が20°でゲート先端が最高点でEL.398.338mである），およびラジアルゲート開度2ケース（全開or全閉）の組合せ7ケースでの流入水路内の流速分布，高越流頂4測線の水面形および流況観察を行った。ここでの流速および水面形の測線および測点の位置は洪水吐きが左右対称形であるから片側半分の図30に示す各位置で実施したものである。

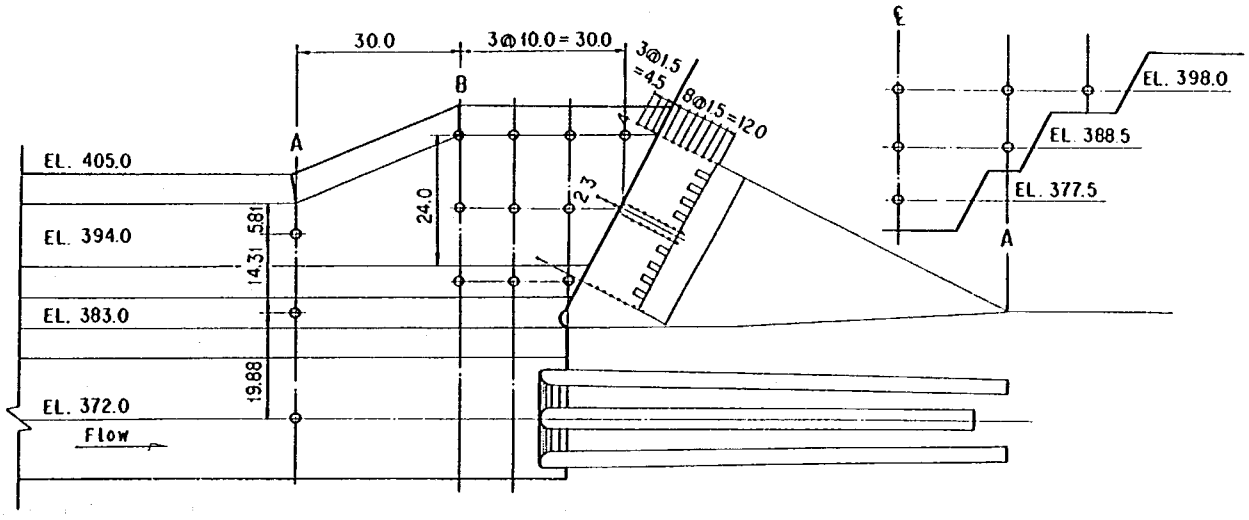


図30　流入部の水面形・流速測定位置図

これらの測定結果は図31ａ～31ｃならびに表12に流速分布を，図32ａ～32ｄならびに表13ａ～13ｂに水面形として整理したとおりである。

以上の検討結果をまとめるとつぎのとおりである。

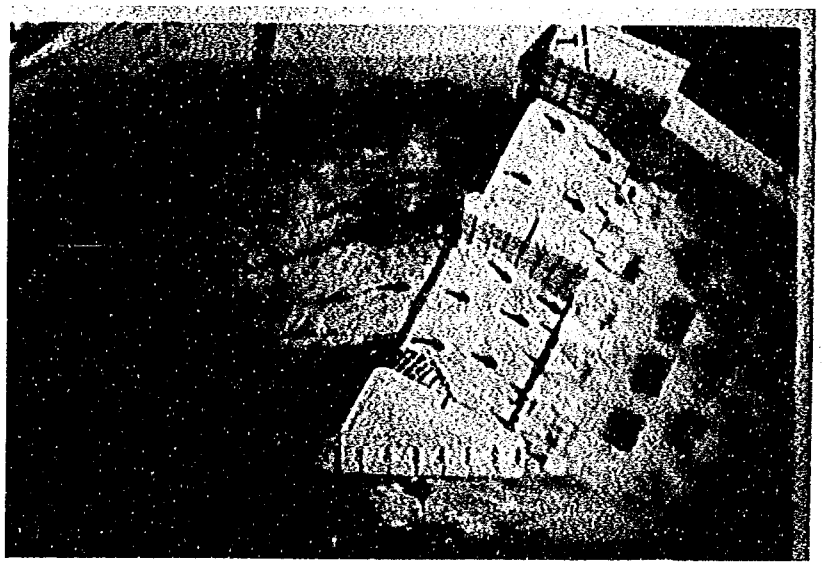
① 流入水路内の最大流速は約2.2m/secであり，ゲート条件および放流条件を変えても前回調査とほぼ同じであった。

② フラップゲートのスキンプレート上における偏流による左右の水面差の最高値はゲート全開時で中央寄り径間で約1.8 mであった。

③ 偏流による水面差はフラップゲートを起立させるに従って小さくなり，ゲート倒伏角20° 付近でほとんど差がなくなる。このことはゲートが起立すると背水位が効きゲート前面の流入流速が急激に減少するためである。

④ 低越流頂ラジアルゲートが全開あるいは全閉によって，高越流頂部の偏流への影響はほとんどないことが判明した。

⑤ 流況観察では境界ピアによる高越流頂側の縮流がかなり大きいことが判った（写真No.38参照）。



写真No.38
高越流頂付近の流況
（設計案）
$Q \fallingdotseq 2{,}000 m^3/s$

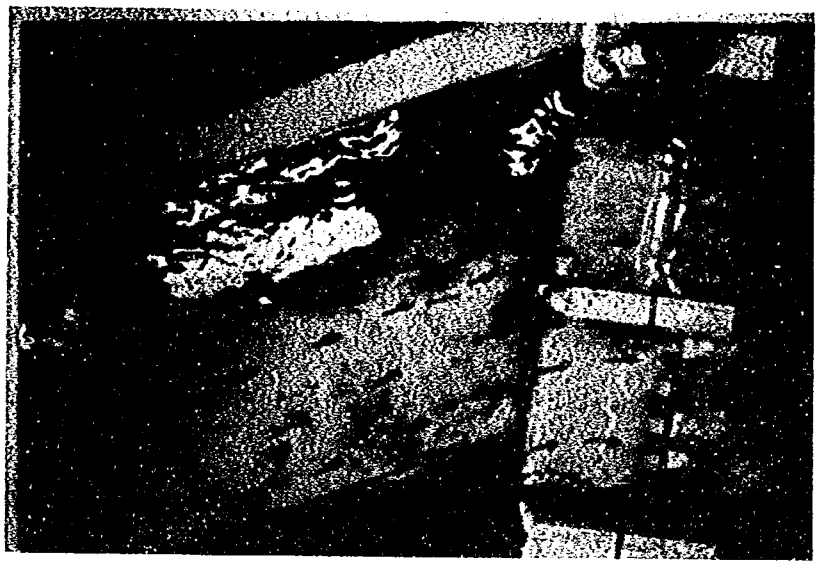
2）境界ピアの改良形状に対する検討結果

境界ピアの縮流を軽減するために図29に示した3ケースでの検討結果はつぎのとおりである。

① 境界ピア前面の掘削段差が流入水のはい上がりを生じ，縮流に悪影響をおよぼしているため，図33に示す範囲を高越流頂の前面敷高EL.394.0 mまで埋めもどした形で検討を行ったものである。

② 形状Ⅰ案では流入流線が流況写真No.39に示すように改造部分で剥離し，高越流頂前面で渦を発生し，越流水脈を乱す結果となった。

③ 形状Ⅱ案では境界ピア先端の円弧が小さいため，流況写真No.40に示すように，流線の剥離はⅠ案より大きくなり，やはり流入渦が発生し，水脈が乱れる。



写真No.39
境界ピア検討案Ⅰでの流況
$Q \fallingdotseq 2{,}000 m^3/s$



写真No.40
境界ピア検討案Ⅱでの流況
$Q \fallingdotseq 2{,}000 m^3/s$



写真No.41
境界ピア検討案Ⅲでの流況
$Q \fallingdotseq 2{,}000 m^3/s$

④ 形状Ⅲ案は流況写真No41に示すように，改造ピアに流線が沿う流れとなり，ピア沿いの剥離はほとんどなくなり，中央寄り径間ではほぼ平行流で流入している。また，この形状で偏流による水面差は0.9 m程度に軽減されている。

2.3.5 導流部の検討

導流部シュートの検討は，$Q = 2{,}600 m^3/s$ 放流時の底面圧力2測線および導流壁沿いの水面形1測線（測点位置は図34参照）について調査し，測定結果は図34および表14に示すとおりである。

圧力分布の測定結果では中央縦断測線のすべての測点で正圧であるが越流頂導水路の中心縦断のDC・115mの測点で負圧が発生している。しかし，この負圧の大きさは-0.2m水柱程度であることからシュートの遷移曲線形状を変えなくても，キャビティ発生の恐れはない。ただ，シュート部の設計流速24 m/sを考えると慎重な施工管理が重要である。水面形の測定結果から設計導流壁高（7.0m）で最も水面が接近する場合でも2 m程度の余裕があり問題がない。

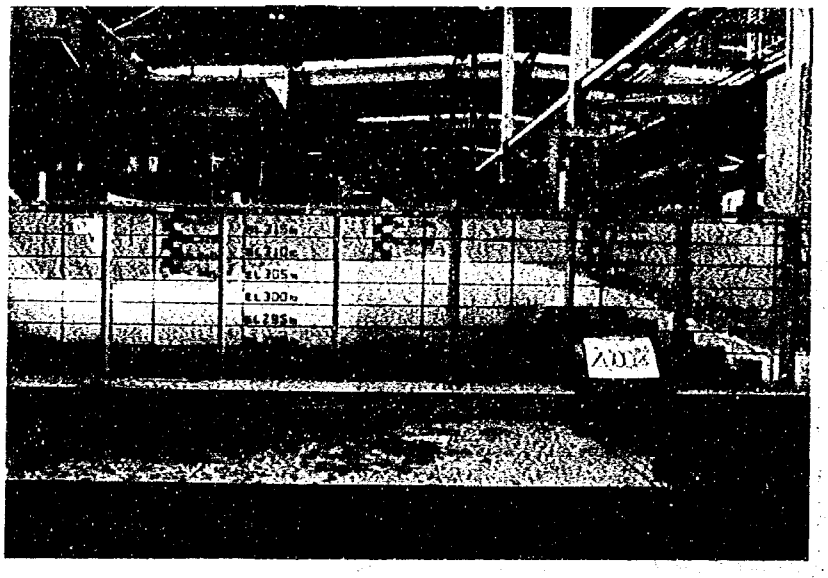
2.3.6 減勢工規模の検討

設計案2,600㎥/s放流時の跳水始端は順傾斜面にあることから副ダム高13mは妥当と考えられるので，ここでは水平水叩き長さ100mおよび90mの2ケースに対する検討を行った。

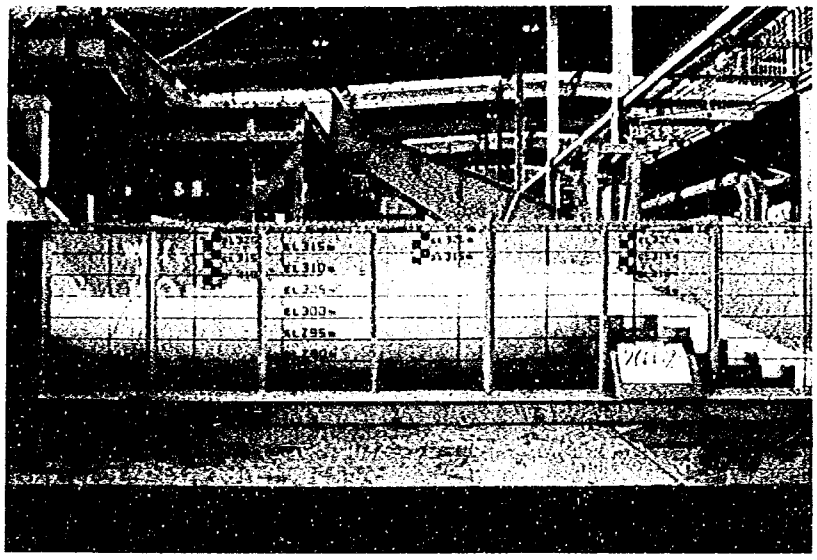
90mのケースでは減勢池内の水面変動が大きく，その水面変動はEL.315.0m より高くなる。

100mのケースは原案減勢工の項でも述べたように，原案の流況からの目安となった長さであるが，水面変動も少なく，図21および表15に示す水面形の測定結果からも，原案とほとんど変らない結果であり，水平水叩き長さは100mが妥当と判断できる（写真42，43参照）。

導流壁の必要高はEL.315.0 m程度である。また，順傾斜面での跳水状態はローラー渦の安定性からややバケット形状より悪化している。



写真No42
減勢工改良案
$L = 100m$
$D = 13.0m$
$Q = 2{,}000 m^3/s$ の流況



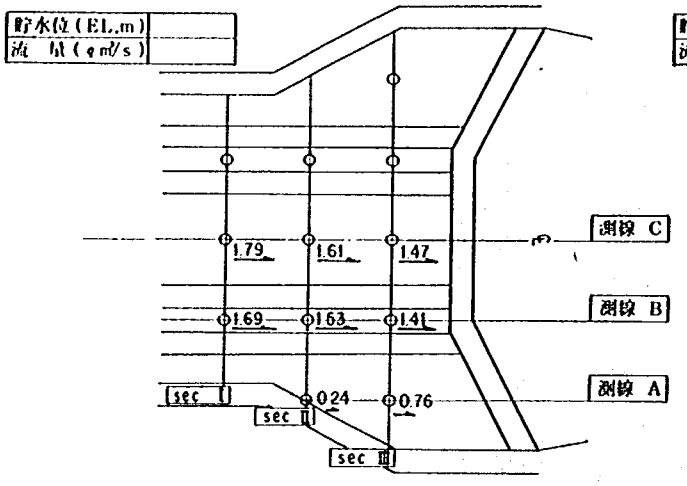
写真No.43

減勢工改良案

L = 100m

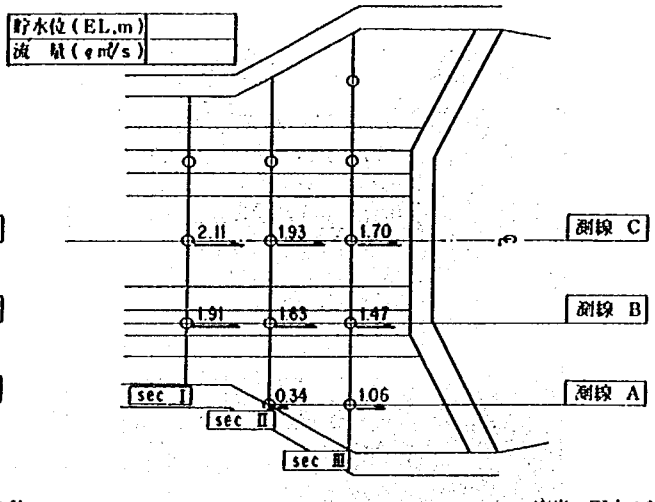
D = 13.0m

Q = 2,600㎥/s の流況



測点		1	2	3
I	B		1.51	1.87
	C	1.83	1.78	1.75
II	C	1.60	1.70	1.54
III	B		1.23	0.76
	C	1.35	1.56	1.51

※尚、図中の数値は、各断面の平均値を示している。



測点		1	2	3
I	B		1.58	2.24
	C	2.13	2.13	2.08
II	A			0.34
	B		1.24	2.01
	C	1.71	2.02	2.07
III	A			1.06
	B		1.11	1.82
	C	1.58	1.73	1.80

※尚、図中の数値は、各断面の平均値を示している。

図20　流速測定結果

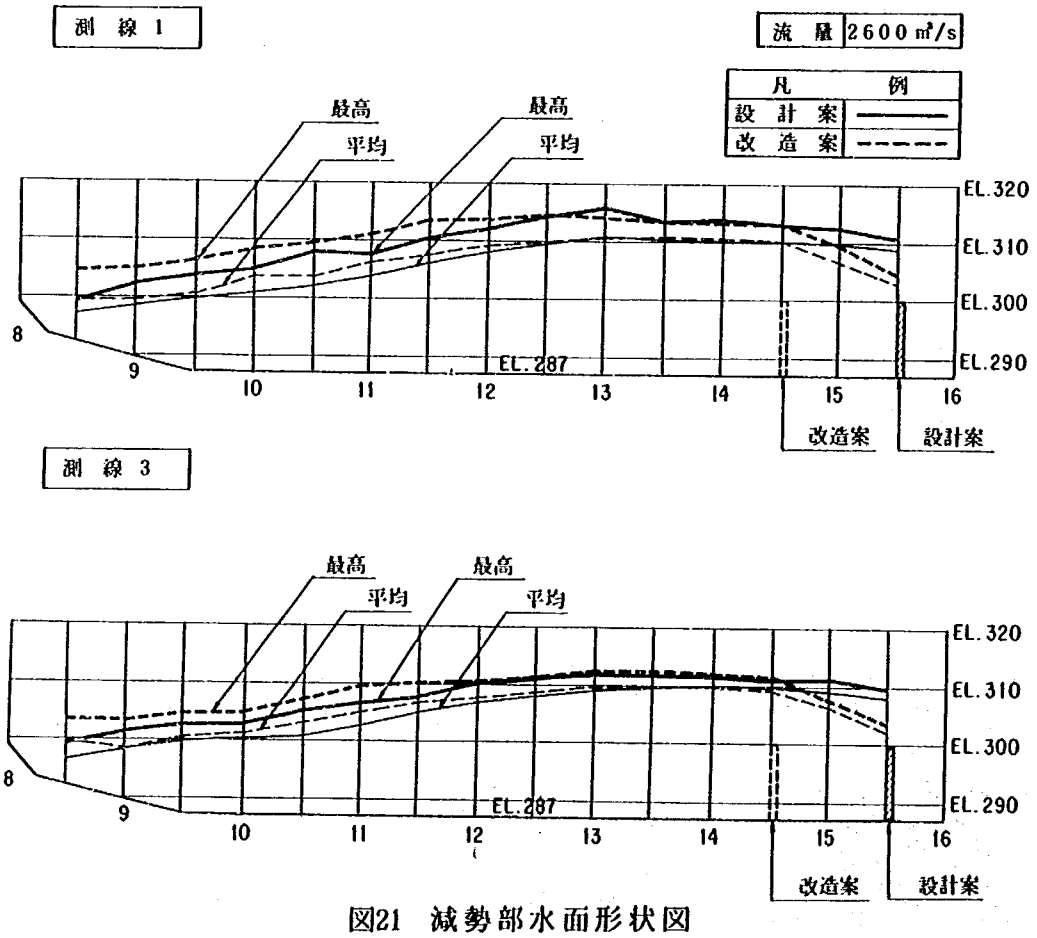
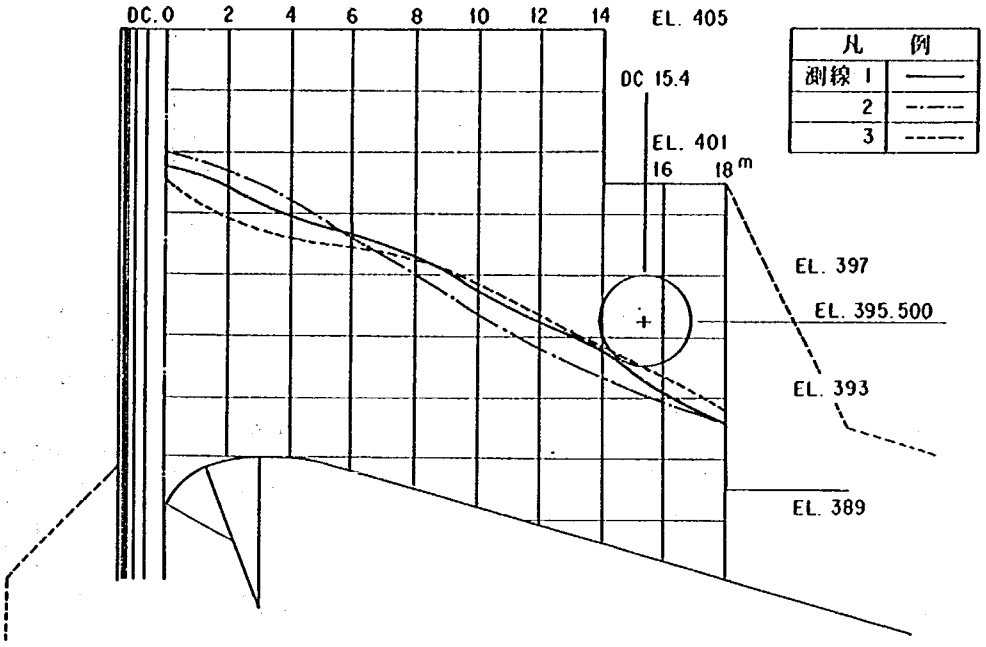


図21　減勢部水面形状図



測 点 (D. C)	測点標高 (EL.m)	測 定 結 果 (EL. m)		
		1	2	3
0.0	389.471	400.420 400.350	400.950 400.840	400.010 399.900
2.0	390.965	399.430 399.345	400.445 400.345	398.775 398.685
4.0	391.048	398.848 398.718	399.398 399.278	398.218 398.128
6.0	390.611	398.321 398.231	398.221 398.131	397.891 397.821
8.0	390.005	397.605 397.535	397.015 396.965	397.475 397.385
10.0	389.399	396.549 396.449	395.719 395.599	396.589 396.489
12.0	388.793	395.493 395.423	394.693 394.583	395.763 395.633
14.0	388.187	394.597 394.437	393.697 393.667	394.637 394.567
16.0	387.581	393.161 393.081	392.951 392.881	393.731 393.521
18.0	386.975	392.215 392.085	392.215 392.165	392.705 392.495

図28 低越流頂水面形状図

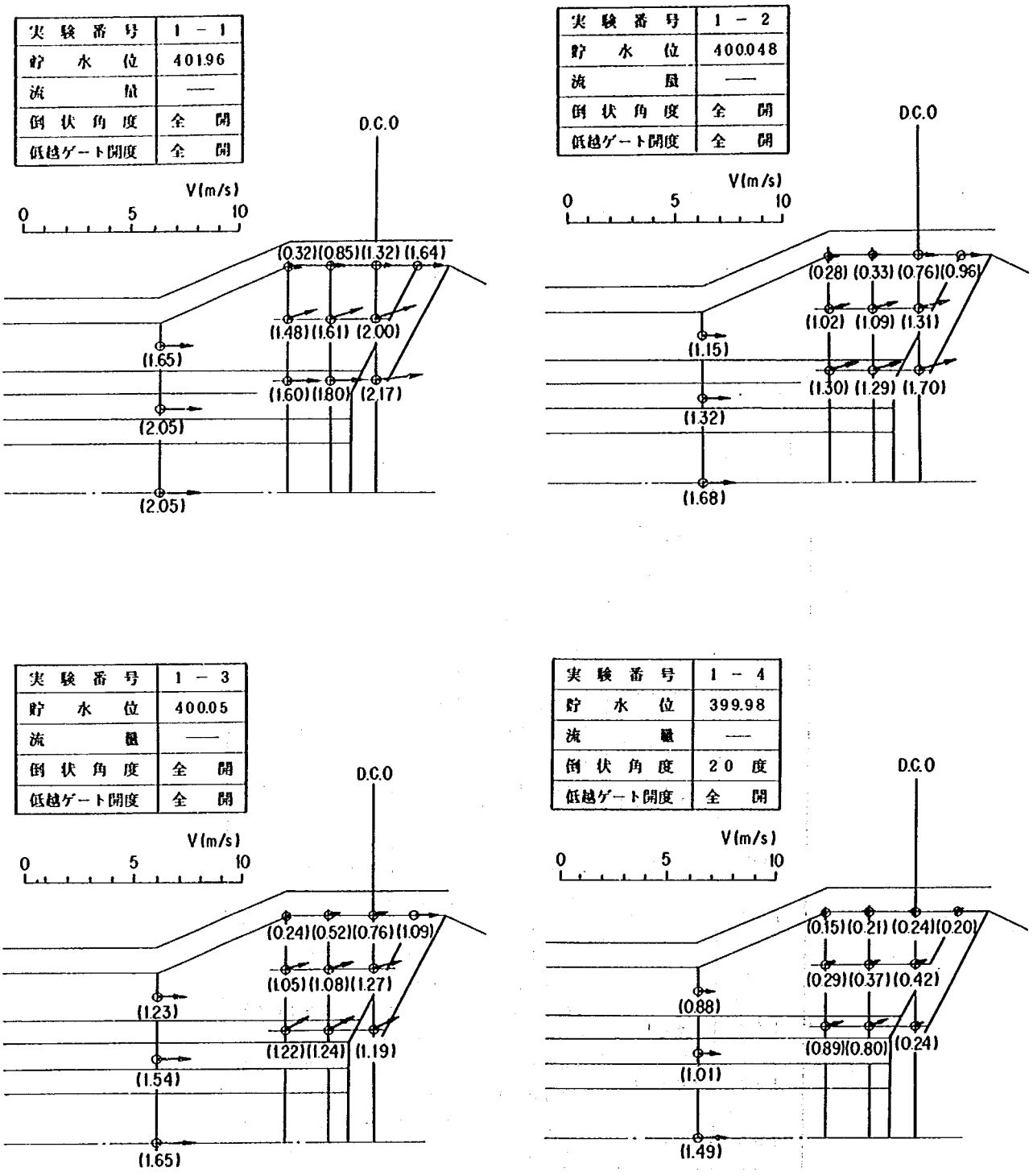
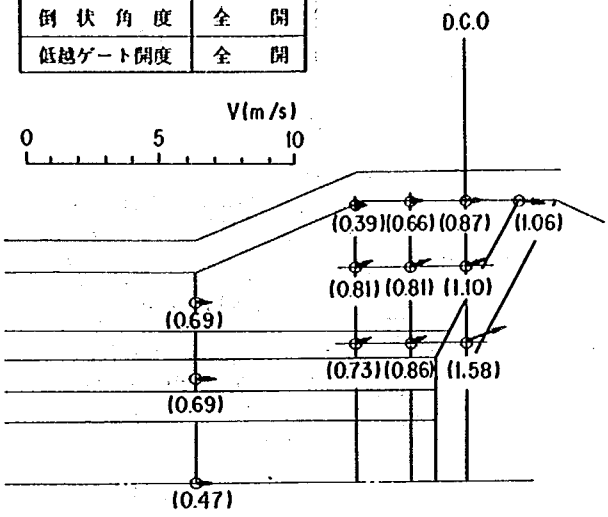
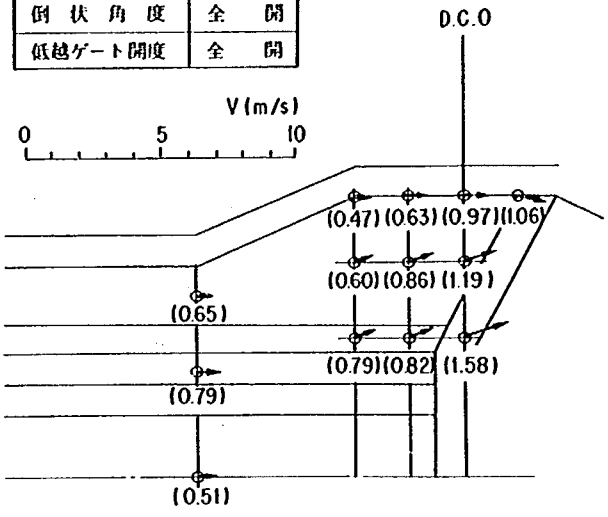


図31 a　流入部流速測定結果

実験番号	1 － 5
貯水位	400.01
流量	——
倒状角度	全開
低越ゲート開度	全開



実験番号	1 － 6
貯水位	400.01
流量	——
倒状角度	全開
低越ゲート開度	全開



実験番号	1 － 7
貯水位	399.984
流量	——
倒状角度	20 度
低越ゲート開度	全開

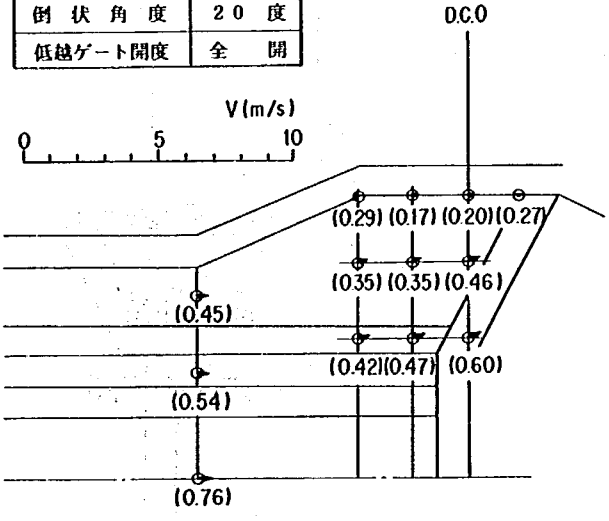


図31 b　流入部流速測定結果

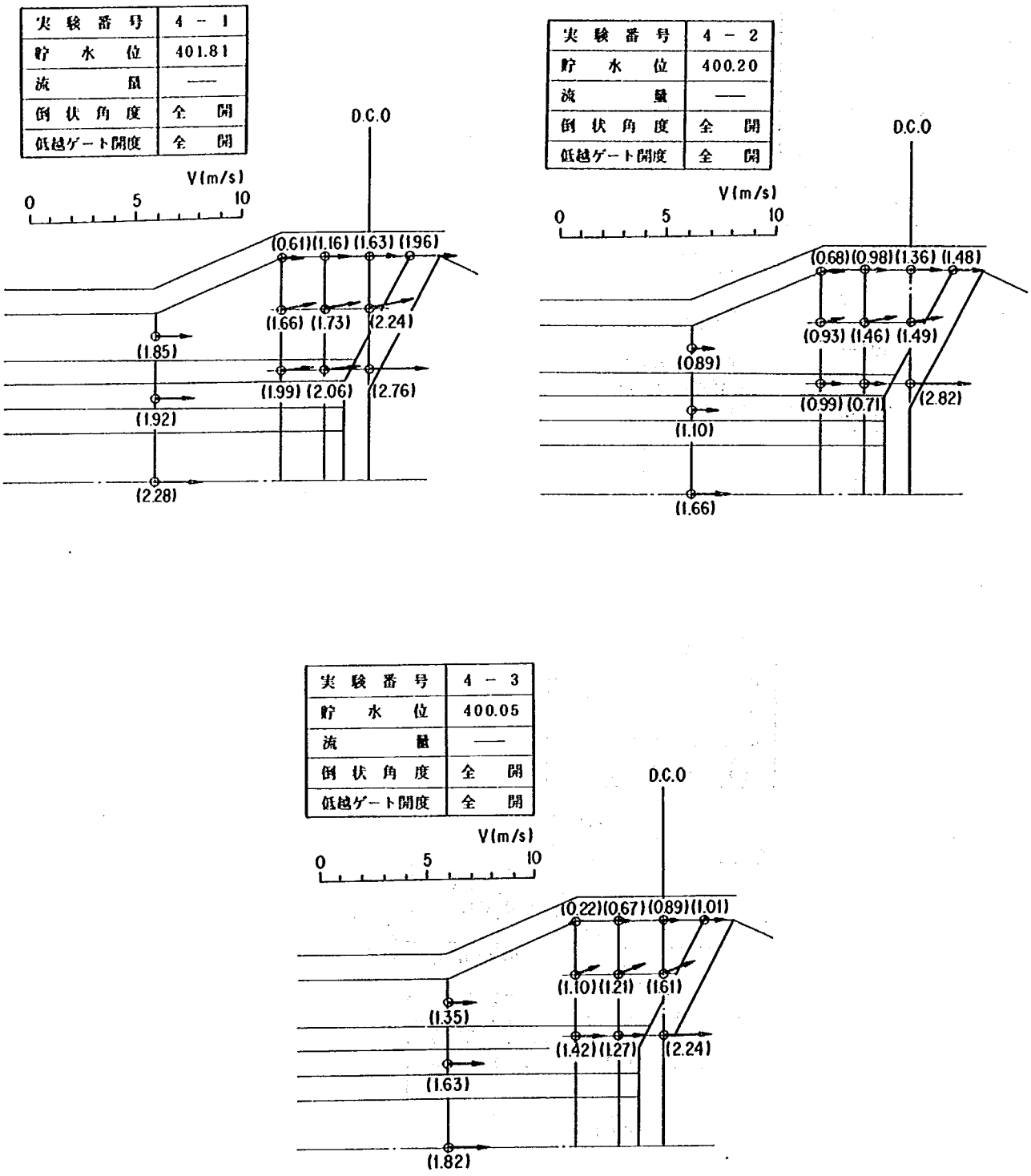


図31 c　流入部流速測定結果

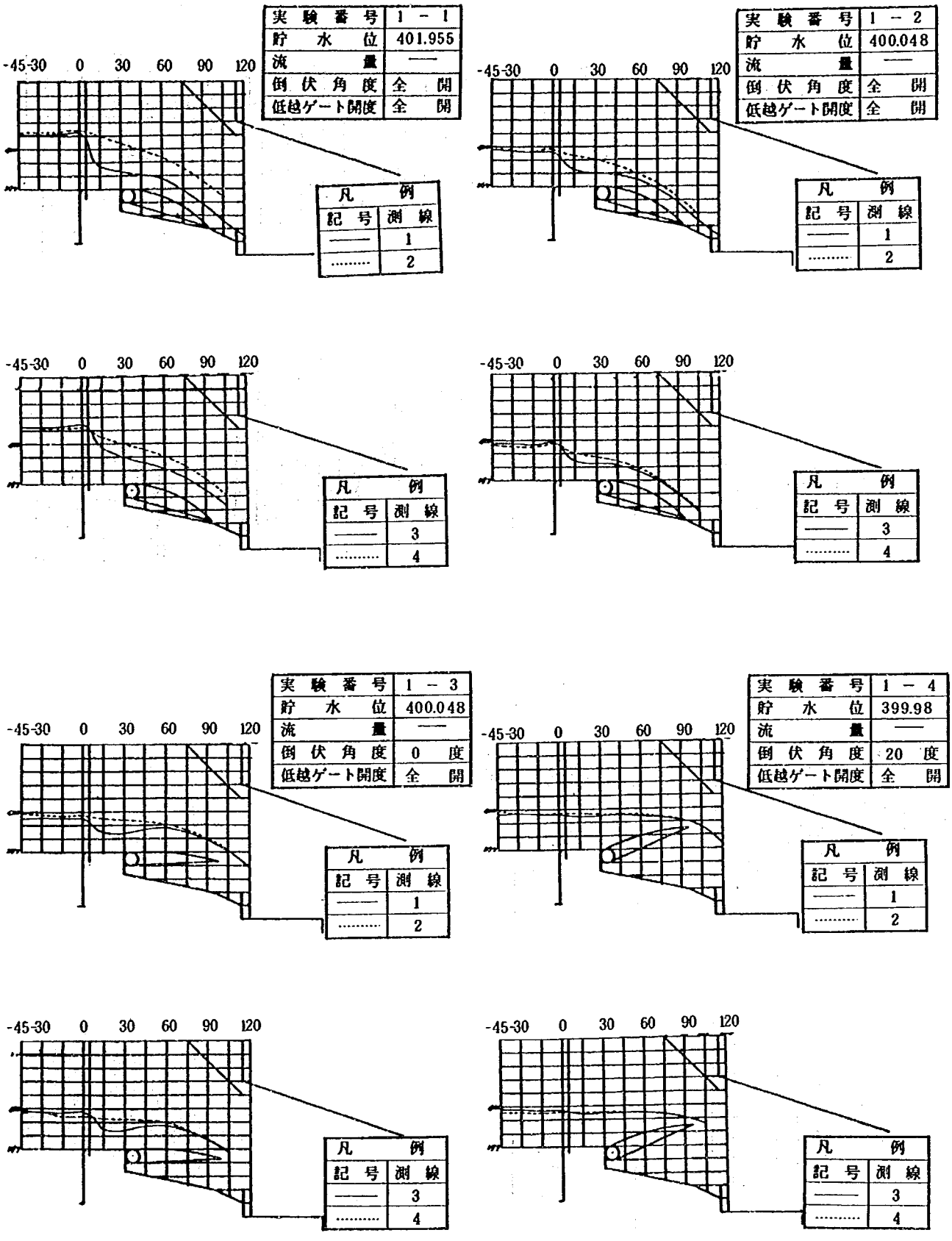


図32 a　フラップゲート部水面形測定結果図

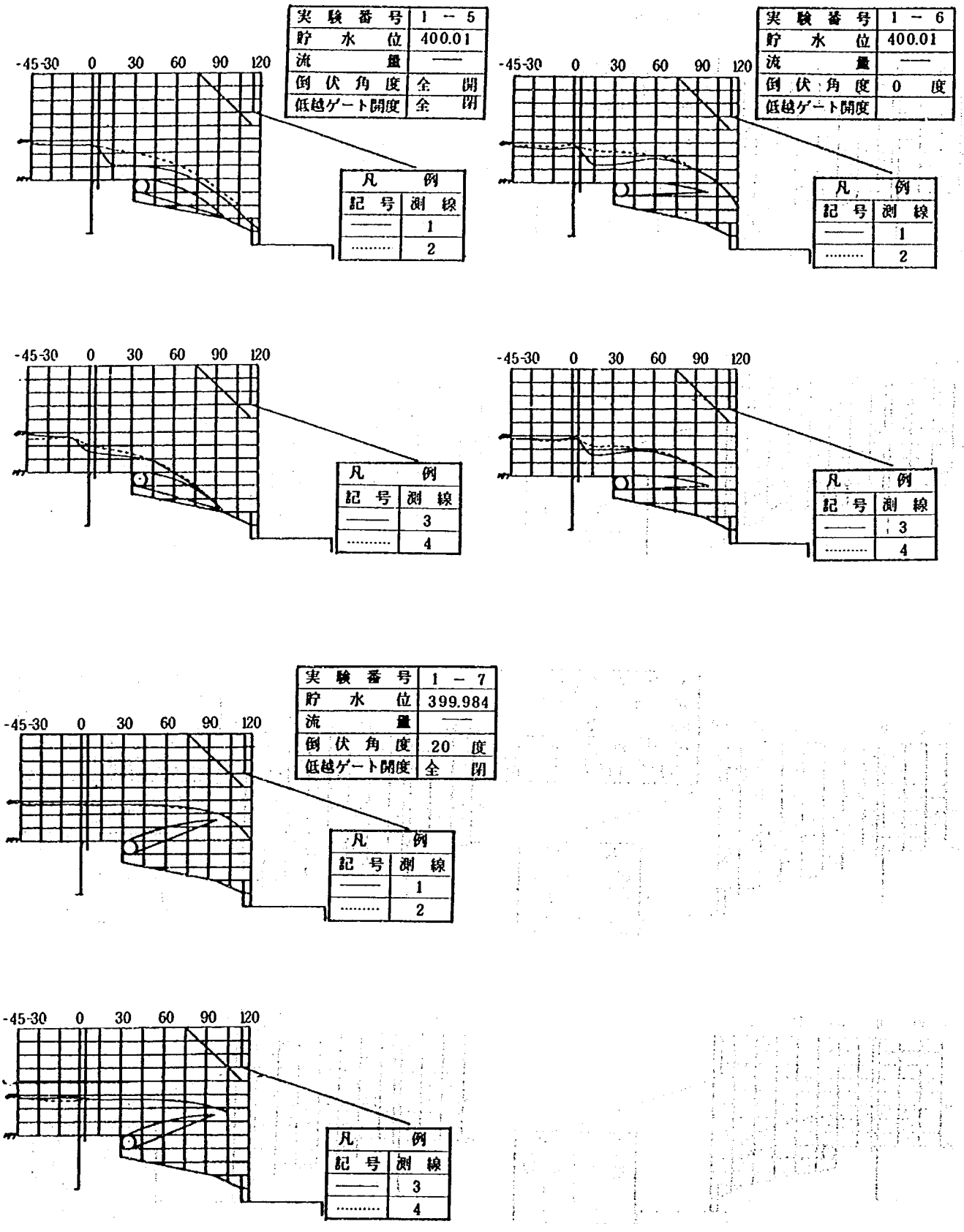


図32b　フラップゲート部水面形測定結果図

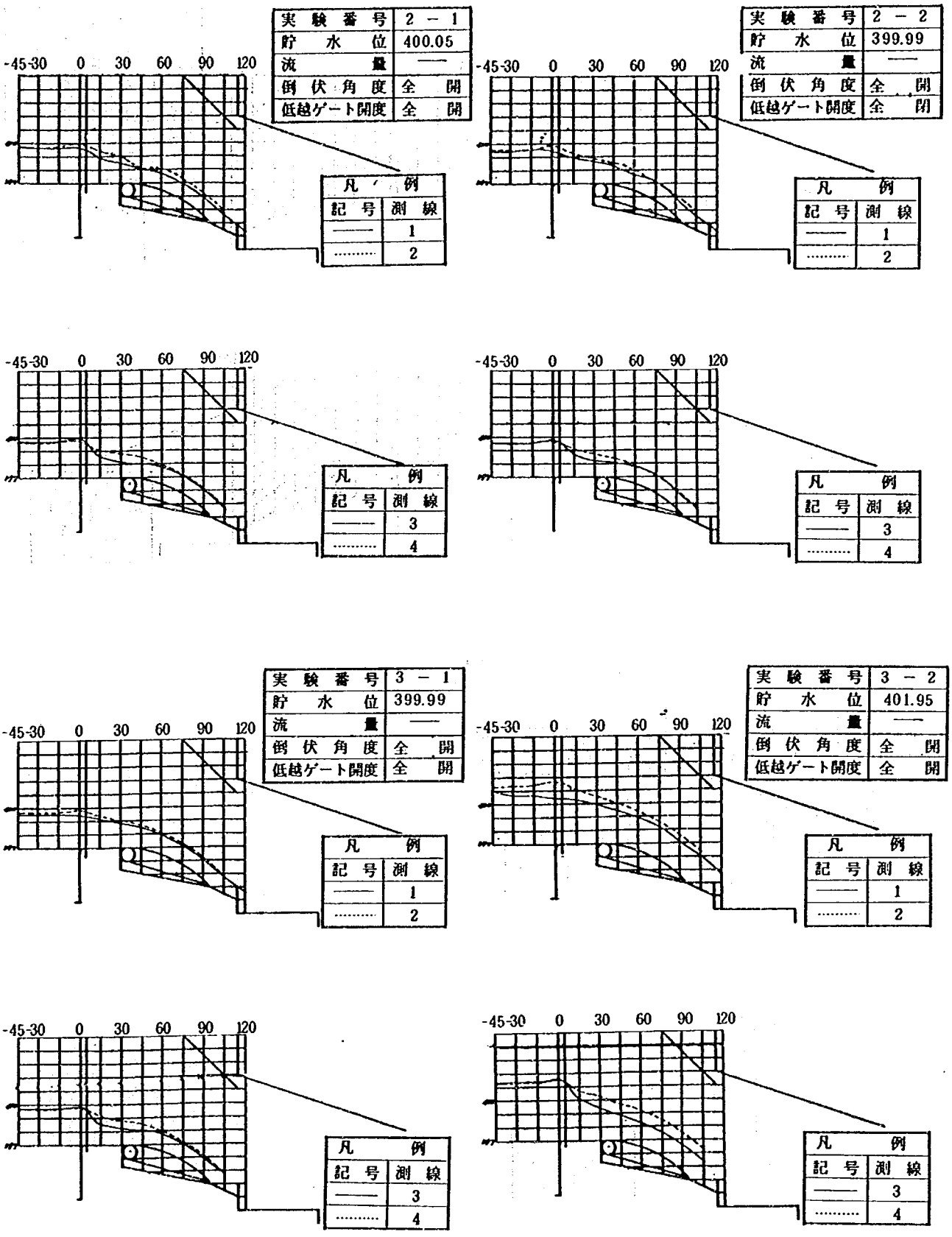


図32 c フラップゲート部水面形測定結果図

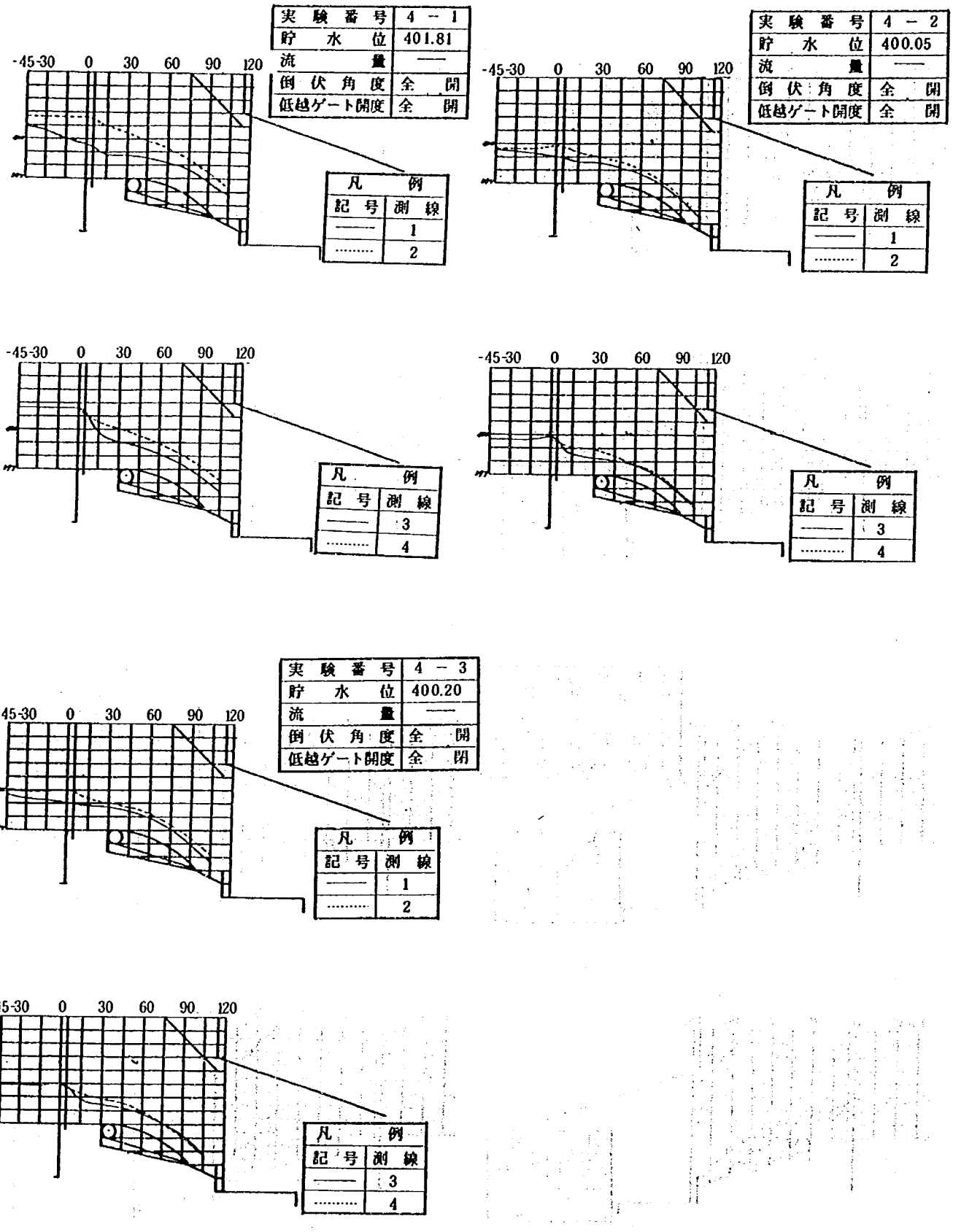


図32 d　フラップゲート部水面形測定結果図

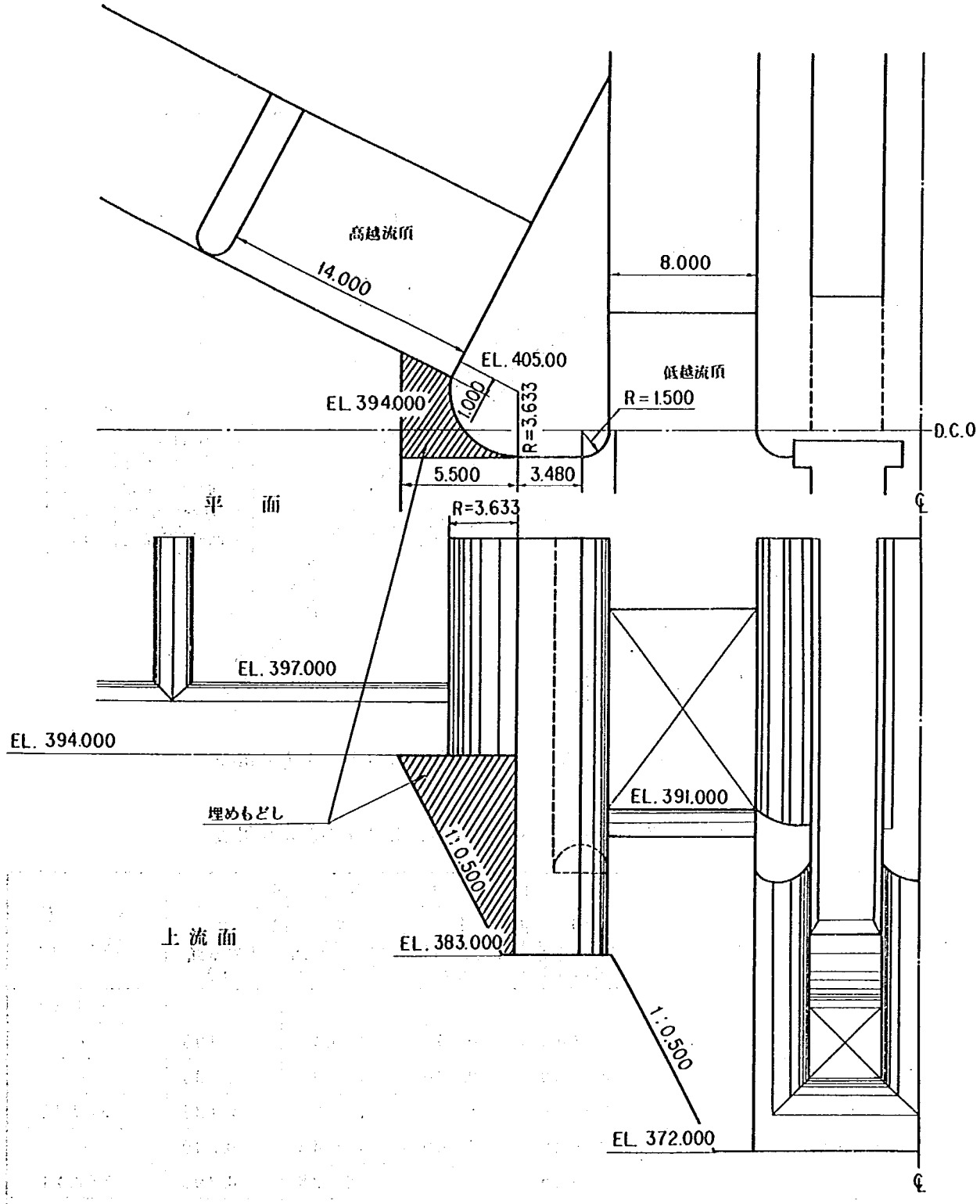


図33　流入部最終案形状図

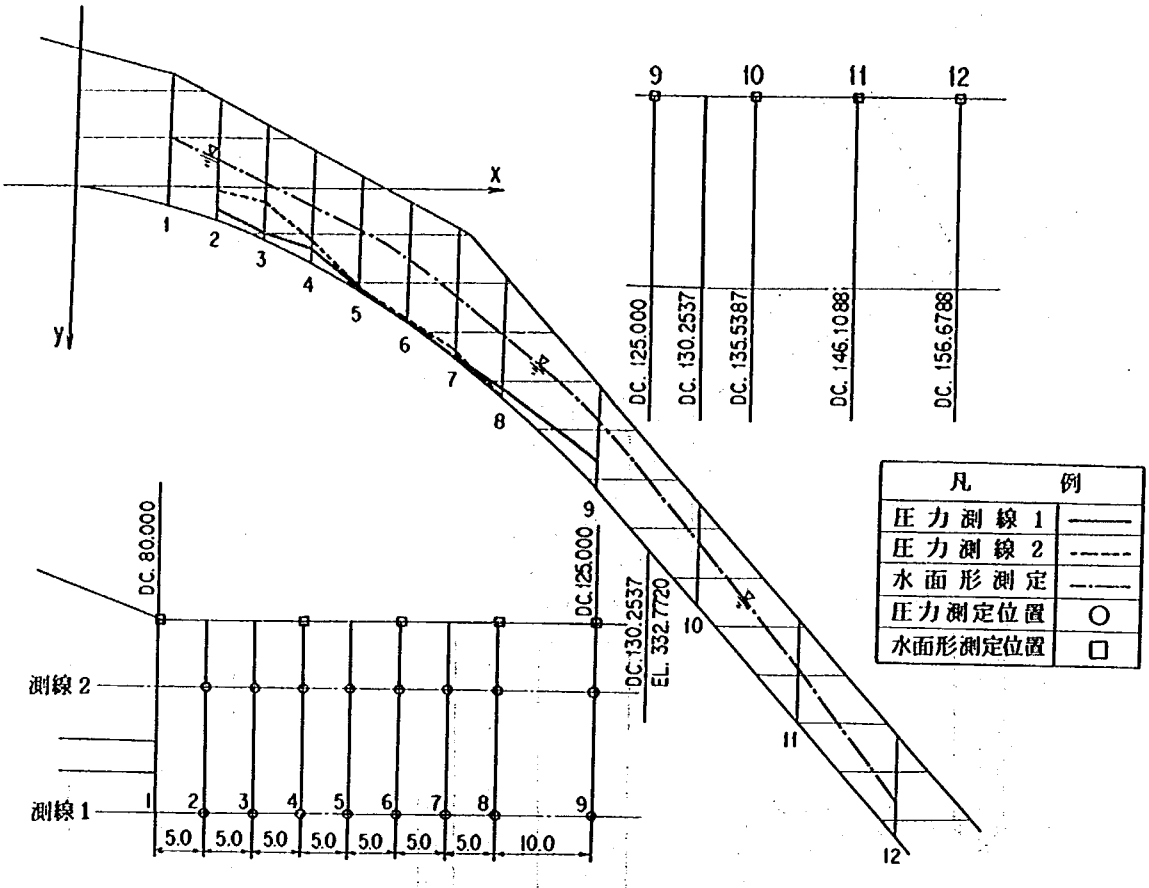


図34　導流部シュートの水面形および圧力分布図

表14　導流部シュートの水面形および圧力測定結果表

測点 No.	ダム軸からの距離 (DC. m)	測点標高 (EL. m)	圧力測定				水位 (EL. m)
			測線 1		測線 2		
			ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	
1	80.000	368.160	–	–	–	–	375.32
2	85.000	366.585	367.48	0.895	369.48	2.895	–
3	90.000	364.580	365.08	0.500	368.28	3.700	–
4	95.000	362.145	363.48	1.335	364.28	2.135	367.72
5	100.000	359.280	359.48	0.200	359.48	0.200	–
6	105.000	355.985	356.28	0.295	356.28	0.295	362.44
7	110.000	352.260	352.28	0.020	353.08	0.820	–
8	115.000	348.105	348.68	0.575	347.88	−0.225	354.44
9	125.000	338.505	341.48	2.975	338.68	0.175	345.96
10	135.539	326.766	–	–	–	–	333.72
11	146.109	314.755	–	–	–	–	320.60
12	156.679	302.743	–	–	–	–	306.60

表9a　貯水位－流量の関係数値表

洪水調節用放流設備(オリフィス)

貯水位標高 (EL・m)	越流水深 (H・m)	放流量 (Q・m³/s)	C (=Q/nAV)	H/O
392.21	16.21	440.2	0.7718	3.3025
396.25	20.25	508.2	0.7972	5.0625
399.69	23.69	557.7	0.8088	5.9225
404.25	28.25	617.0	0.8194	7.0625

ラジアルゲートを有する越流頂(低越流頂)

貯水位標高 (EL・m)	越流水深 (H・m)	放流量 (Q・m³/s)	C (=Q/nAV)	H/H₀
393.78	2.78	138.8	1.8716	0.2780
396.03	5.03	344.7	1.9097	0.5030
398.02	7.02	570.1	1.9157	0.7020
400.18	9.18	858.3	1.9287	0.9180
402.45	11.50	1213.6	1.945	1.1150

フラップゲートを有する越流頂(高越流頂)

貯水位標高 (EL・m)	越流水深 (H・m)	放流量 (Q・m³/s)	C (=Q/nAV)	H/H₀
398.44	1.44	125.5	1.2969	0.320
399.29	2.29	291.7	1.5031	0.509
400.48	3.48	555.1	1.5269	0.773
401.62	4.62	898.9	1.6164	1.027
402.11	5.11	1053.6	1.6288	1.136

全門全開

貯水位標高 (EL・m)	放流量 (Q・m³/s)
386.85	330.58
386.98	334.10
388.91	380.12
389.00	378.30
391.89	456.10
394.93	722.10

貯水位標高 (EL・m)	放流量 (Q・m³/s)
396.99	969.60
399.09	1544.20
400.27	1979.90
402.10	2818.80
403.64	3644.30
404.32	3991.26

表10 a　減勢部水面形測定結果数値表（設計案）

実験番号	設計案	貯水位	EL 400.34 m	流量	$Q=2000.7\,m^3/s$

測点 (D.C. m)	測定結果 (EL. m)					
	測線1（導流壁）		測線2		測線3（中央）	
	最高	平均	最高	平均	最高	平均
4.0	372.44	371.69	372.94	372.32	374.01	373.51
4.5	367.99	367.37	369.24	368.74	369.24	368.62
5.0	362.77	361.90	363.52	362.90	364.02	363.52
5.5	356.26	355.26	356.51	355.89	357.26	356.01
6.0	347.70	346.70	346.95	346.32	347.20	346.57
6.5	337.14	335.89	335.39	334.89	335.64	334.89
7.0	326.15	325.02	324.15	323.90	324.40	324.02
7.5	312.82	312.32	312.32	311.82	311.07	310.82
8.0	302.36	301.99	302.86	302.36	302.11	301.74
8.5	302.17	299.17	—	—	300.42	298.80
9.0	301.28	299.28	—	—	302.03	300.03
9.5	303.22	300.84	—	—	302.97	300.34
10.0	304.95	302.45	—	—	303.95	301.45
10.5	306.95	303.58	—	—	306.70	303.83
11.0	308.95	305.70	—	—	307.70	304.95
11.5	309.95	306.70	—	—	307.95	306.20
12.0	310.70	307.70	—	—	308.70	306.83
12.5	310.95	308.45	—	—	309.45	307.45
13.0	310.95	308.45	—	—	308.95	307.33
13.5	310.20	308.33	—	—	309.70	307.83
14.0	310.45	308.58	—	—	309.45	307.95
14.5	309.95	308.33	—	—	309.45	308.08
15.0	309.20	307.58	—	—	308.95	307.83
15.5	308.45	307.20	—	—	307.70	306.83

表10 b　減勢部水面形測定結果数値表（設計案）

実験番号	設計案	貯水位	EL.401.68 m	流量	$Q = 2611.5\ m^3/s$

測点	測定結果（EL. m）					
	測線 1（導流壁）		測線 2		測線 3（中央）	
	最高	平均	最高	平均	最高	平均
4.0	376.44	374.94	375.19	374.94	374.51	373.88
4.5	369.49	368.87	371.24	370.87	370.49	369.87
5.0	364.27	363.52	365.77	365.27	364.52	363.90
5.5	357.26	356.39	358.26	357.39	357.51	356.39
6.0	349.45	348.57	349.45	349.07	348.95	348.35
6.5	339.14	337.77	338.64	338.02	337.89	337.14
7.0	328.65	327.40	327.15	326.15	327.15	326.40
7.5	316.32	315.45	314.82	314.45	315.57	313.57
8.0	303.36	302.74	303.36	302.74	303.36	302.99
8.5	299.17	297.17	—	—	299.42	296.92
9.0	302.03	298.78	—	—	301.53	298.66
9.5	303.72	299.97	—	—	302.47	299.34
10.0	304.95	300.83	—	—	302.95	300.20
10.5	307.95	302.70	—	—	305.45	301.83
11.0	307.95	304.20	—	—	306.45	303.45
11.5	310.45	306.20	—	—	307.95	305.08
12.0	312.20	308.08	—	—	310.20	307.08
12.5	314.20	309.95	—	—	311.20	308.08
13.0	315.95	310.95	—	—	311.95	309.33
13.5	313.45	310.20	—	—	311.70	309.70
14.0	313.70	310.20	—	—	311.70	309.70
14.5	312.95	310.20	—	—	310.95	309.58
15.0	312.45	309.95	—	—	311.20	309.33
15.5	310.70	308.83	—	—	309.45	308.20

表12　流入部流速測定結果数値表

実験番号	1－1
貯水位	401.96
流量	
倒伏角度	0 度
低越ゲート開度	全 閉

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	2.046	2.051	1.650
	E.L.388.5 m	1.442	1.068	
	E.L.377.5 m	0.685		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10				1.637
0	2.172	0.537	2.003	1.320
－10	1.803	1.181	1.607	0.855
－20	1.598	1.607	1.477	0.320

実験番号	1－2
貯水位	400.05
流量	
倒伏角度	0 度
低越ゲート開度	全 閉

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	1.677	1.320	1.150
	E.L.388.5 m	1.577	1.137	
	E.L.377.5 m	1.003		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10			1.307	0.955
0	1.703	0.385	1.094	0.763
－10	1.294	0.637	1.024	0.333
－20	1.303	0.968		0.281

実験番号	1－3
貯水位	400.05
流量	
倒伏角度	20 度
低越ゲート開度	全 閉

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	1.650	1.542	233
	E.L.388.0 m	1.116	1.050	
	E.L.377.5 m	0.355		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10				1.094
0	1.190	0.337	1.272	0.759
－10	1.242	0.685	1.081	0.520
－20	1.220	1.229	1.050	0.241

実験番号	1－4
貯水位	399.98
流量	
倒伏角度	40 度
低越ゲート開度	全 閉

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	1.494	1.007	0.881
	E.L.388.5 m	0.942	0.929	
	E.L.377.5 m	0.328		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10				0.202
0	0.237	0.446	0.424	0.237
－10	0.802	0.863	0.372	0.207
－20	0.565	0.533	0.289	0.150

実験番号	1－5
貯水位	400.01
流量	
倒伏角度	0 度
低越ゲート開度	全 閉

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	0.468	1.655	0.694
	E.L.388.5 m	0.759	0.911	
	E.L.377.5 m	1.181		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10				1.055
0	1.577	0.624	1.098	0.872
－10	0.855	0.324	0.811	0.659
－20	0.729	0.276	0.507	0.379

実験番号	1－6
貯水位	400.01
流量	
倒伏角度	20 度
低越ゲート開度	全 閉

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	0.507	0.789	0.650
	E.L.388.5 m	0.716	0.898	
	E.L.377.5 m	0.228		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10				1.063
0	1.577	0.472	1.194	0.968
－10	0.824	0.381	0.863	0.633
－20	0.789	0.415	0.598	0.472

実験番号	1－7
貯水位	399.98
流量	
倒伏角度	40 度
低越ゲート開度	全 閉

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	0.759	0.537	0.450
	E.L.388.5 m	0.716	0.507	
	E.L.377.5 m	0.259		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10				0.268
0	0.598	0.237	0.463	0.198
－10	0.472	0.246	0.346	0.172
－20	0.415	0.350	0.346	0.239

実験番号	4－1
貯水位	401.81
流量	
倒伏角度	0 度

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	2.276	1.920	1.852
	E.L.388.5 m	2.007	1.710	
	E.L.377.5 m	2.318		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10				1.957
0	2.764		2.244	1.628
－10	2.057	1.314	1.733	1.158
－20	1.993	1.765	1.660	0.607

実験番号	4－2
貯水位	400.05
流量	
倒伏角度	0 度

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	1.815	1.628	1.350
	E.L.388.5 m	1.697	1.300	
	E.L.377.5 m	1.377		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10				1.013
0	2.235		1.505	0.889
－10	1.273	1.044	1.213	0.666
－20	1.418	1.172	1.095	0.224

実験番号	4－3
貯水位	400.20
流量	
倒伏角度	0 度

境界条件	洪水吐中心			側岸
	E.L.398.0 m	1.660	1.104	0.885
	E.L.388.5 m	1.418	1.172	
	E.L.377.5 m	1.140		

測線 / 距離	測定結果 (m/s) X 上面	X 底面	Y	Z
DC 10				
0	2.823		1.491	
－10	0.707	0.415	1.460	
－20	0.994	0.520	0.930	

表13 a　フラップゲート部水面形測定結果数値表

実験番号	1 − 1	倒伏角度	全　開	貯水位	401.955
測　点	測			流　量	—
距　離	1	2	3	4	
−4.5	401.10	401.25	401.25	401.25	
−3.0	401.10	401.30	401.30	401.20	
−1.5	401.10	401.30	401.30	401.15	
0	401.30	401.45	401.45	401.20	
1.5	398.70	400.95	399.65	400.50	
3.0	398.30	400.45	399.00	400.00	
4.5	398.05	399.95	398.60	399.55	
6.0	397.85	399.35	398.10	399.05	
7.5	396.95	398.55	397.45	398.30	
9.0	395.90	397.55	396.50	397.30	
10.5	394.55	396.40	395.30	396.05	
12.0	393.40				

実験番号	1 − 2	倒伏角度	20度	貯水位	399.900
測　点	測			流　量	—
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.65	399.85	399.85	399.55	
−3.0	399.75	399.75	399.75	399.55	
−1.5	399.65	399.65	399.65	399.50	
0	399.60	399.70	399.70	399.60	
1.5	399.40	399.70	399.40	399.55	
3.0	399.50	399.65	399.45	399.60	
4.5	399.55	399.60	399.45	399.55	
6.0	399.80	399.60	399.45	399.55	
7.5	399.90	399.40	399.30	399.40	
9.0	399.15	399.15	399.10	399.10	
10.5	398.60	398.55	398.60	398.55	
12.0	397.30				

実験番号	1 − 3	倒伏角度	全　開	貯水位	400.048
測　点	測			流　量	—
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.75	399.75	399.75	399.65	
−3.0	399.65	399.75	399.75	399.55	
−1.5	399.60	399.65	399.65	399.50	
0	399.60	399.85	399.85	399.75	
1.5	398.25	399.30	398.45	399.00	
3.0	398.00	399.00	398.25	398.75	
4.5	397.90	398.60	398.15	398.45	
6.0	397.60	398.00	397.70	397.95	
7.5	396.80	397.25	397.00	397.20	
9.0	395.85	396.20	395.95	396.00	
10.5	394.45	394.90	394.60	394.75	
12.0	393.30				

実験番号	1 − 4	倒伏角度	0	貯水位	400.048
測　点	測			流　量	—
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.50	399.85	399.85	399.65	
−3.0	399.55	399.75	399.75	399.70	
−1.5	399.50	399.70	399.70	399.40	
0	399.55	399.75	399.75	399.45	
1.5	398.30	399.50	398.50	399.25	
3.0	398.35	399.40	398.40	399.25	
4.5	398.65	399.25	398.75	399.15	
6.0	398.30	399.05	398.75	399.00	
7.5	398.45	398.60	398.40	398.40	
9.0	397.90	398.00	397.70	397.75	
10.5	397.10	397.20	396.70	396.85	
11.0	395.80				

実験番号	1 − 5	倒伏角度	全　開	貯水位	400.01
測　点	測			流　量	—
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.70	399.85	399.85	399.50	
−3.0	399.65	399.75	399.75	399.55	
−1.5	399.60	399.65	399.65	399.65	
0	399.65	399.75	398.55	399.05	
1.5	398.15	399.25	398.30	398.75	
3.0	398.00	399.00	398.20	398.45	
4.5	397.90	398.60	397.85	397.95	
6.0	397.55	398.10	397.00	397.10	
7.5	396.85	397.30	395.90	396.00	
9.0	395.85	396.20	394.65	394.60	
10.5	394.45	395.00			
12.0	393.20				

実験番号	1 − 6	倒伏角度	0	貯水位	400.01
測　点	測			流　量	—
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.70	399.80	399.80	399.75	
−3.0	399.65	399.80	399.80	399.75	
−1.5	399.50	399.70	399.70	399.60	
0	399.65	399.85	399.85	399.70	
1.5	398.35	399.45	398.60	399.20	
3.0	398.40	399.35	398.65	399.25	
4.5	398.60	399.25	398.90	399.15	
6.0	398.85	399.05	398.80	398.90	
7.5	398.50	398.65	398.40	398.50	
9.0	397.90	397.95	397.75	397.75	
10.5	397.05	397.15	396.65	396.90	
12.0	395.20				

実験番号	1 − 7	倒伏角度	20度	貯水位	399.984
測　点	測			流　量	—
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.75	399.80	399.80	399.70	
−3.0	399.70	399.75	399.75	399.65	
−1.5	399.75	399.80	399.80	399.60	
0	399.70	399.85	399.85	399.70	
1.5	399.65	399.75	399.70	399.70	
3.0	399.70	399.70	399.65	399.70	
4.5	399.75	399.65	399.70	399.65	
6.0	399.60	399.65	399.60	399.60	
7.5	399.65	399.40	399.45	399.55	
9.0	399.25	399.20	399.25	399.20	
10.5	398.60	398.70	398.20	398.25	
12.0	396.95				

表13b　フラップゲート部水面形測定結果数値表

実験番号	2－1	倒伏角度	全　開	貯水位	400.05
測　点	測		定	流　量	──
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.70	399.75	399.75	399.65	
−3.0	399.65	399.70	399.70	399.65	
−1.5	399.60	399.70	399.70	399.70	
0	399.70	399.95	399.95	399.75	
1.5	398.80	399.40	398.55	399.05	
3.0	398.50	399.05	398.20	398.80	
4.5	398.10	398.15	398.05	398.50	
6.0	397.75	398.10	397.80	397.95	
7.5	396.95	397.30	397.05	397.20	
9.0	395.90	396.20	395.95	396.15	
10.5	394.65	395.00	394.65	394.75	
12.0	393.40				

実験番号	2－2	倒伏角度	全　開	貯水位	399.00
測　点	測		定	流　量	──
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.45	399.55	399.55	399.55	
−3.0	399.40	399.55	399.55	399.50	
−1.5	399.55	399.50	399.50	399.55	
0	399.50	399.90	399.90	399.70	
1.5	398.90	399.25	398.70	399.05	
3.0	398.65	398.90	398.20	398.75	
4.5	398.35	398.55	398.10	398.40	
6.0	397.65	398.10	397.75	397.90	
7.5	397.15	397.15	397.15	397.10	
9.0	395.90	396.15	395.85	396.00	
10.5	394.55	394.90	394.75	394.60	
12.0	393.40				

実験番号	3－1	倒伏角度	全　開	貯水位	399.99
測　点	測		定	流　量	──
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.50	399.65	399.65	399.70	
−3.0	399.50	399.70	399.70	399.60	
−1.5	399.50	399.70	399.70	399.65	
0	399.45	399.85	399.85	399.75	
1.5	399.15	399.40	398.55	399.15	
3.0	398.80	399.00	398.25	398.75	
4.5	398.50	398.65	398.10	398.55	
6.0	398.00	398.05	397.80	398.00	
7.5	397.10	397.25	397.00	397.15	
9.0	396.10	396.25	395.90	396.10	
10.5	394.75	394.95	394.80	394.75	
12.0	393.55				

実験番号	3－2	倒伏角度	全　開	貯水位	401.95
測　点	測		定	流　量	──
距　離	1	2	3	4	
−4.5	401.00	401.30	401.30	401.25	
−3.0	400.65	401.35	401.35	401.30	
−1.5	400.65	401.40	401.40	401.30	
0	400.40	401.65	401.65	401.50	
1.5	400.35	401.10	400.05	400.70	
3.0	399.90	400.55	399.40	400.25	
4.5	399.45	400.00	398.80	399.65	
6.0	398.95	399.40	398.30	399.20	
7.5	398.20	398.55	397.55	398.45	
9.0	397.05	397.60	396.60	397.45	
10.5	396.05	396.40	395.40	396.30	
12.0	394.65				

実験番号	4－1	倒伏角度	全　開	貯水位	401.81
測　点	測		定	流　量	──
距　離	1	2	3	4	
−4.5	400.90	401.65	401.65		
−3.0	400.70	401.65	401.65		
−1.5	400.00	401.65	401.65		
0	399.55	401.65	401.65	401.50	
1.5	398.75	401.00	399.75	400.50	
3.0	398.80	400.45	399.10	400.05	
4.5	398.55	399.80	398.75	399.55	
6.0	398.20	399.30	398.20	399.00	
7.5	397.70	398.40	397.50	398.20	
9.0	396.75	397.50	396.60	397.25	
10.5	395.80	396.25	395.35	396.15	
12.0					

実験番号	4－2	倒伏角度	全　開	貯水位	400.05
測　点	測		定	流　量	──
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.50	399.65	399.65		
−3.0	399.45	399.65	399.65		
−1.5	399.25	399.65	399.65		
0	399.05	399.90	399.90	399.65	
1.5	398.60	399.35	398.55	399.10	
3.0	398.55	399.00	398.25	398.90	
4.5	398.20	398.65	398.10	398.45	
6.0	397.75	398.05	397.75	397.80	
7.5	396.90	397.20	397.00	397.15	
9.0	395.80	396.05	395.85	395.95	
10.5	394.40	394.55	394.60	394.80	
12.0					

実験番号	4－3	倒伏角度	全　開	貯水位	400.20
測　点	測		定	流　量	──
距　離	1	2	3	4	
−4.5	399.65	399.90	399.90		
−3.0	399.40	399.90	399.90		
−1.5	399.25	399.90	399.90		
0	399.05	400.00	400.00	399.90	
1.5	398.80	399.35	398.75	399.25	
3.0	398.75	399.05	398.40	398.85	
4.5	398.40	398.70	398.25	398.60	
6.0	397.95	398.25	397.80	398.00	
7.5	397.05	397.45	397.05	397.20	
9.0	395.95	396.40	396.15	396.00	
10.5	394.65	395.15	394.70	394.85	
12.0					

表15　減勢部水面形測定結果数値表（改良案）

実験番号	改造案	貯水位	EL 401.73 m	流量	Q＝2620.8 m³/s

測点	測定結果（EL. m）					
	測線1（導流壁）		測線2		測線3（中央）	
	最高	平均	最高	平均	最高	平均
4.0	376.19	374.69	374.69	374.08	374.01	373.01
4.5	369.99	369.20	370.49	369.87	369.24	368.62
5.0	365.27	364.15	364.77	363.77	364.27	363.40
5.5	358.76	357.26	358.26	357.01	357.76	356.64
6.0	350.70	348.95	349.20	348.20	348.70	347.82
6.5	340.64	338.52	338.39	336.89	337.14	336.52
7.0	329.65	327.65	327.15	325.77	326.90	326.02
7.5	318.57	316.82	316.57	315.20	315.82	315.07
8.0	303.36	302.61	302.86	301.99	303.61	302.74
8.5	304.58	299.08	—	—	303.83	299.33
9.0	305.15	298.90	—	—	303.40	298.40
9.5	306.71	300.21	—	—	304.96	299.96
10.0	308.54	303.56	—	—	305.29	301.04
10.5	309.54	303.79	—	—	307.54	303.04
11.0	311.04	306.04	—	—	309.54	305.04
11.5	313.54	307.54	—	—	310.29	306.54
12.0	313.79	309.29	—	—	310.54	307.54
12.5	314.49	310.79	—	—	311.30	308.29
13.0	314.04	310.54	—	—	312.04	309.79
13.5	313.55	311.04	—	—	312.04	309.54
14.0	313.29	310.54	—	—	312.04	309.79
14.5	313.04	310.29	—	—	311.29	309.04
15.0	309.50	306.75	—	—	307.75	306.25
15.5	304.25	302.75	—	—	303.50	302.00

第4章　オリフィス・低越流部の抽出実験

第1節　オリフィスの抽出実験

常用洪水吐きとしてのオリフィス（低圧放流管）の設計案における管内圧力，下流開水路の底面圧力，放流水脈の水面形およびダム管理資料としての貯水位－ゲート開度－放流量の詳細な調査はオリフィス1条を抽出した拡大模型を製作して検討を加えた。

1.1　模　　型

オリフィスの抽出模型は比較検討を加えるため図35に示した1面ベルマウス型放流管形状および図36に示す4面ベルマウス型放流管形状2種を製作した。模型の製作範囲は両形状とも呑口から下流開水路DC・40mの区間である。模型の縮率は実験施設の都合から，1面ベルマウス形状については1／20とし，4面ベルマウス形状は1／31.25とした。

模型は曲線部はラワン平割材，直線部はラワン合板を主材料として精密加工（精度±1㎜以内）を施し，さらに，オイルペイント塗装により仕上げたものである。また，模型の側面片側は流況を可視化するため透明アクリル板とした。

1.2　実 験 内 容

本実験においても実物と模型での諸量の関係はフルードの相似則に従うものとした。したがって，それぞれの模型における諸量の縮率は表16にもとづいて実物換算を行った。

実験内容は表17の実験ケース一覧表に示すように，各オリフィスのゲート開度毎の放流能力，管内圧力および流況観察を行った。この場合，ゲート開度の設定は実物で0.5 mピッチの階段状のスケールを製作し，そのスケールを利用して各開度ごとにゲートをクサビで固定した。その他の水理量の計測はこれまでの実験と同様の方法で行ったのでここでは省略する。

1.3　実 験 結 果

1.3.1　1面ベルマウス型放流管の実験結果

1）放流能力について

1面ベルマウスの貯水位 ― ゲート開度 ― 放流量の調査結果は図37および表18 a ～18 bに示すとおりであった。

この表に示す流量係数(C)は次式により算出したものである。

$$C = Q/A\sqrt{2gH} \quad （ただし A = B \times G ） \tag{7}$$

ここに，C：流量係数，Q：流量（㎥／sec），A：吐口断面積（$B \times G$）(㎡)，H：作用水頭（＝貯水位

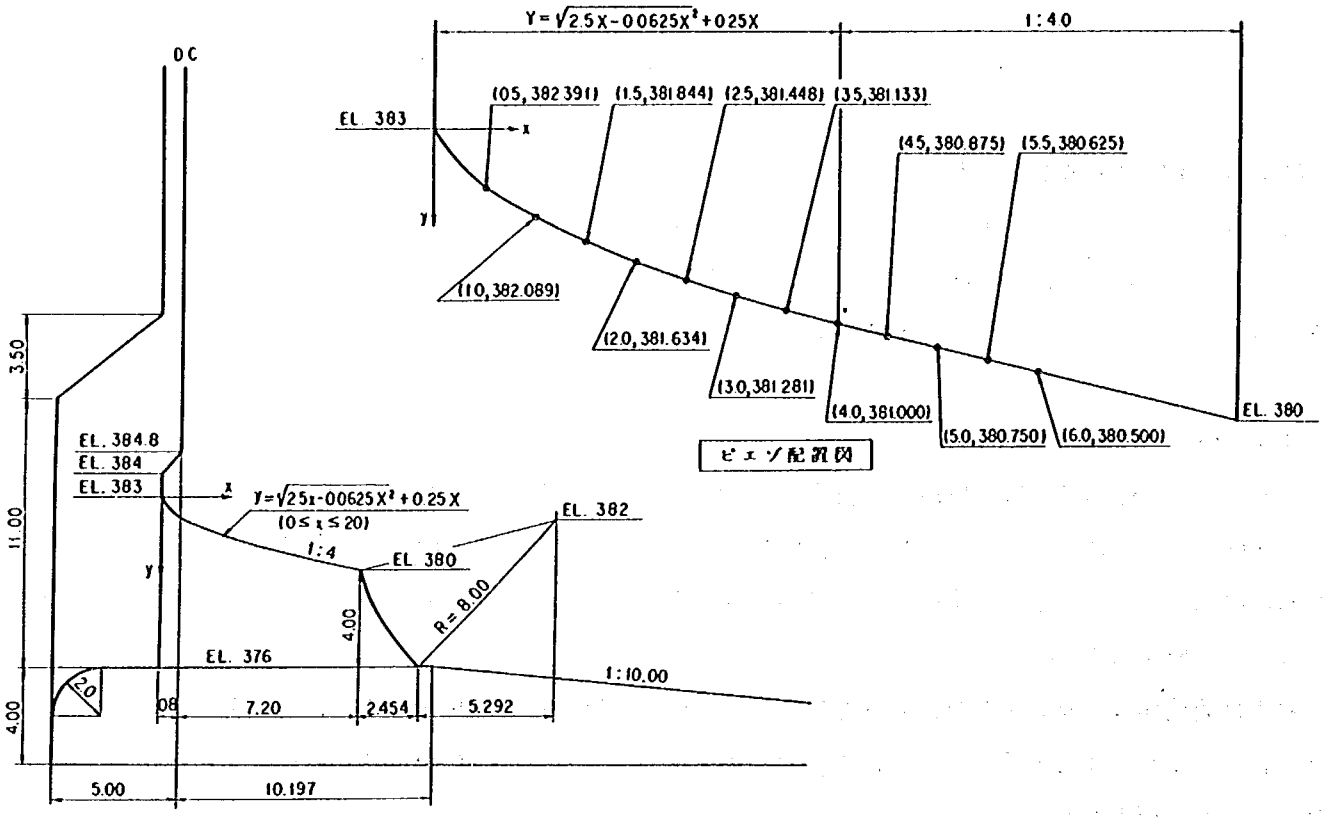


図35　放流管形状Ⅰ（１面ベルマウス）

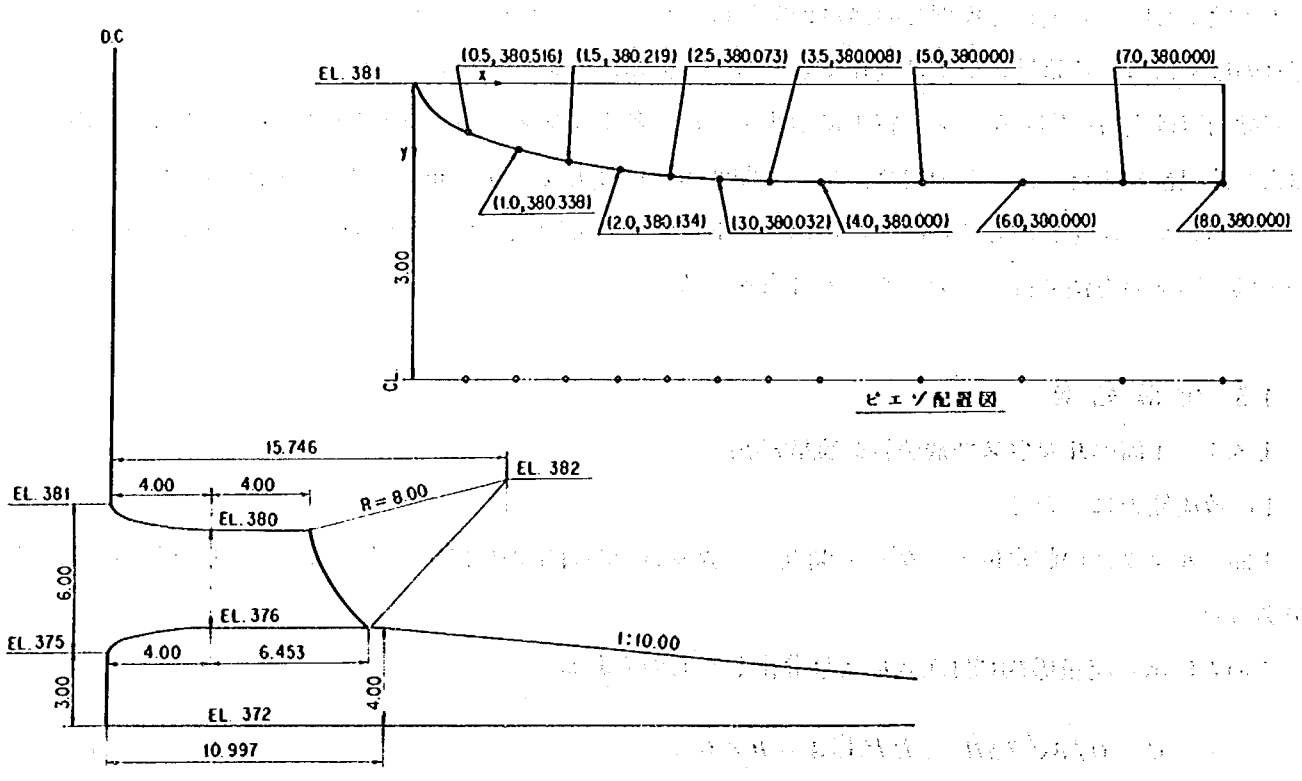


図36　放流管形状Ⅱ（４面ベルマウス）

表16　諸量の縮率

1/20のケース

諸量		次元 (L−F−T)	縮率	
			比	縮尺
幾何学的な量	水平 (X)	L	X_r	1：20
	鉛直(水深・標高) (h)	L	h_r	1：20
	面積 (A)	L^2	$h_r \cdot X_r$	1：400
流水に関する量	フルード数 (F_r)	−	1	1：1
	流量 (Q)	$L^3\ T^{-1}$	$X_r \cdot h_r^{3/2}$	1：1788.8544
	時間 (T)	T	$X_r \cdot h_r^{-1/2}$	1：4.4721
	流量係数 (C)	−	1	1：1
	圧力降下係数 (Cd)	−	1	1：1

1/31.25のケース

諸量		次元 (L−A−T)	縮率	
			比	縮尺
幾何学的な量	水平 (X)	L	X_r	1：31.25
	鉛直(水深・標高) (h)	L	h_r	1：31.25
	面積 (A)	L^2	$h_r \cdot X_r$	1：976.5625
流水に関する量	フルード数 (F_r)	−	1	1：1
	流量 (Q)	$L^3\ T^{-1}$	$X_r \cdot h_r^{3/2}$	1：5459.1503
	時間 (T)	T	$X_r \cdot h_r^{-1/2}$	1：5.590
	流量係数 (C)	−	1	1：1
	圧力降下係数 (Cd)	−	1	1：1

表17　実験ケース一覧表

形状	計測項目				備考
	H－Q	圧力	水面形	流況	
放流管Ⅰ （一面ベルマウス）	貯水位:EL376~402m ゲート開度: 0.5mピッチで全開(4.0m)まで8開度 測点数　80点程度	貯水位: EL401.5m 400.0m 398.5m 3ケース ゲート開度: 全開(4m) 3.5m 2開度 測点数　60点	――	貯水位: EL401.5m ゲート開度: 全開(4m) 3.5m, 2m 1m, 0.5m 5開度 側面より	ピアー付近の巻き込み渦の観察をすること
放流管Ⅱ （四面ベルマウス）	貯水位:EL376~402m ゲート開度:全開(4m)のみ 1開度 測点数　10点程度	貯水位: EL401.5m 400.0m 398.5m 3ケース ゲート開度: 全開(4m) 1開度 測点数　24点	――	貯水位: EL401.5m ゲート開度: 全開(4m) 3.5m 2開度 側面より	
低越流頂 （クレスト）	貯水位: EL391~402m ゲート開度: 1m, 2m, 4m, 6m 全開 5開度 測点数　40点程度	貯水位: EL401.5m 1ケース ゲート開度: 1m, 2m, 4m 6m, 全開 5開度 測点数　50点	貯水位: EL401.5m 400.0m ゲート開度: 全開 測点数　60点	貯水位: EL401.5m ゲート開度: 1m, 2m, 4m, 6m 全開 5開度 側面より	

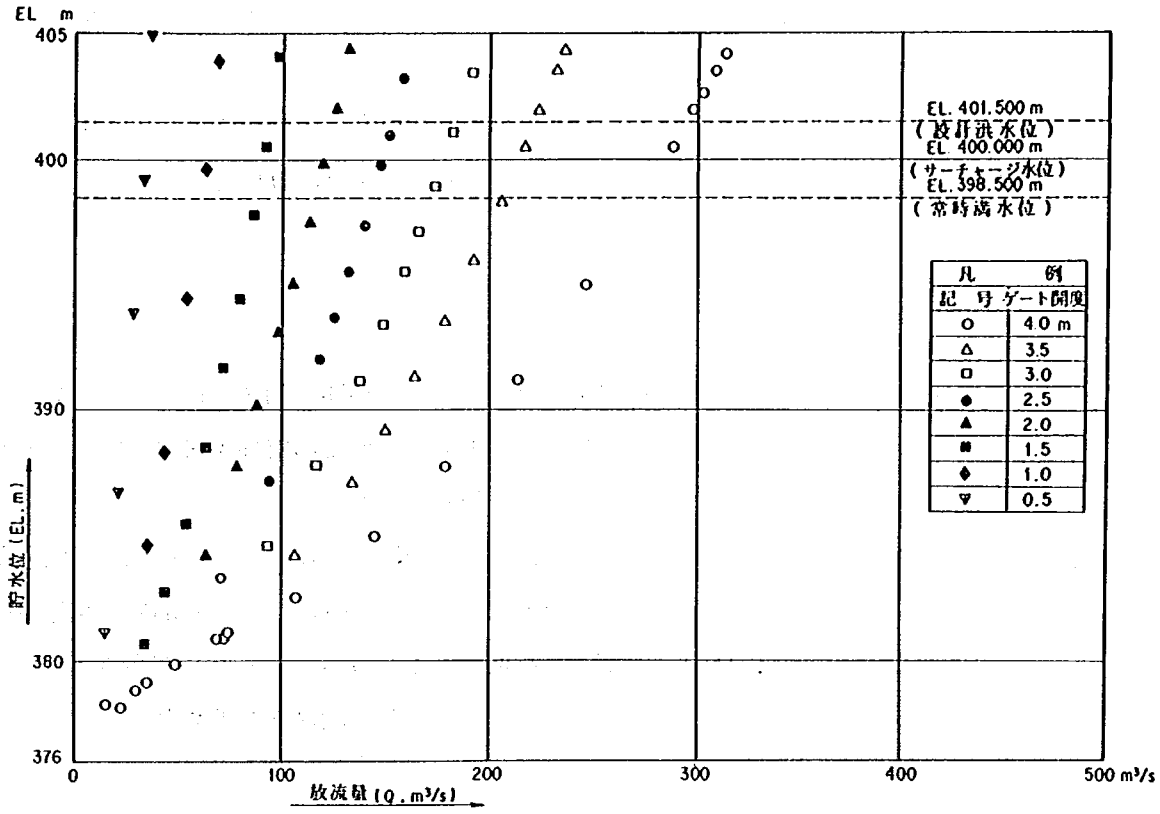


図37　貯水位 — ゲート開度 — 放流量の関係図

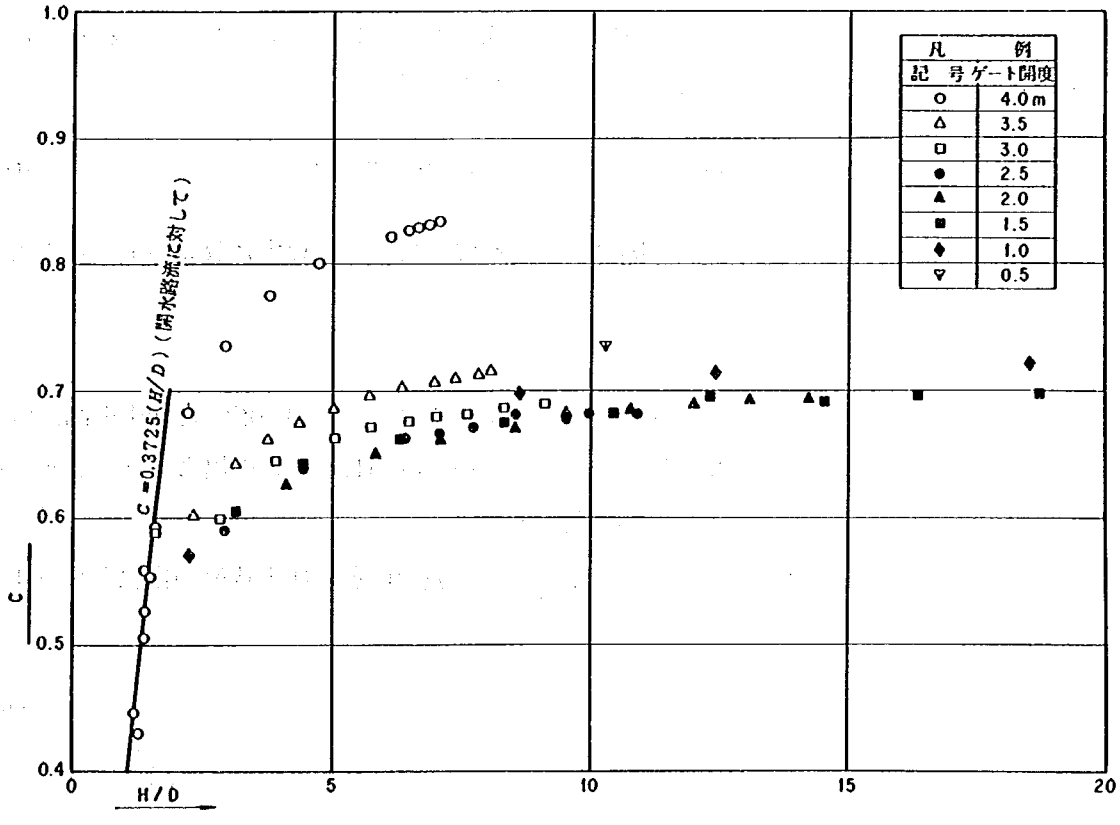


図38　CとH/Dの関係図（１面ベルマウス）

標高－オリフィス敷高標高EL.376.0m)，B：オリフィス出口幅（＝4.0m），G：ゲートの鉛直開度高(m)，g：重力加速度（m/sec）

(7)式によって求めたCとH/G（ここに，Gは各ゲート開度の鉛直開度高）との関係として図化したのが図38である。この図から，Cがほぼ0.6 以下（$H/G<1.6$），すなわち開水路流れに対しては直線変化であり，この部分での関係式を求めると

$$C=0.365\ (H/G) \tag{8}$$

となる。この(8)式と実験値とはゲート開度 2.0 m 以上の$H/G<1.6$の範囲で約3％以下の誤差であるが，開度が1.5 m 以下の場合は10％程度の誤差となる。しかし，1.5 m 開度での実験流量は測定精度範囲外となる場合があることを考慮すると適用上の問題はないものと判断できる。

次に，管路流域$H/G>1.8$に対してはC^2とG/Hとの関係を求め図39に示した。この図から明らかなように，全開時と半開時では異なった傾向を示す。この原因はゲート半開時にはゲート部で急変急縮流となり，流量を規定する見かけ断面（$B\times G$）より，実際の支配断面がかなり減少するためである。

したがって，ここでは管路流域に対しては全開時と半開時を区別した関係式を求めた。

すなわち，全開時は図から最小自乗法により

$$C=\sqrt{0.7998-0.7498(G/H)}\quad（ただし，G/H<0.556）\tag{9}$$

となる。この(9)式と実験値との誤差は$H/G>1.8$の範囲で0.3 ％以内に収まっている。同様に，ゲート半開時は図から多少のバラツキはあるがほぼC^2とG/Hの関係は1定の関係にあると認められる。したがって，これらの資料から最小自乗法によって関係式を求めると

$$C=\sqrt{0.5507-0.5429(G/H)}\quad（ただし，G/H<0.556）\tag{10}$$

となった。この(10)式と実験値との誤差は3.5 m開度の1点を除いて約4％以内に収まっていることから，実用上適用できるものと判断する。

2）管内圧力について

1面ベルマウス型放流管の管内圧力の調査は図35に示したベルマウス上面の縦断方向中央測線の各測点に対し直角に埋設したピエゾ管の圧力を貯水位3ケースについて計測した。この場合，ラジアルゲートの開度は全開（4.0 m）と3.5 m 開度2ケースについて行った。

管内圧力の測定結果は図40および表19 a ～19 b に示す。この表中に示す圧力状態の指標となる圧力降下係数は次式により求めた。

$$C_d=\frac{H-P}{\frac{v^2}{2g}}\quad（ただし，v=Q/A）\tag{11}$$

ここに，C_d：圧力降下係数，H：各ピエゾ点から貯水位までの水頭(m)

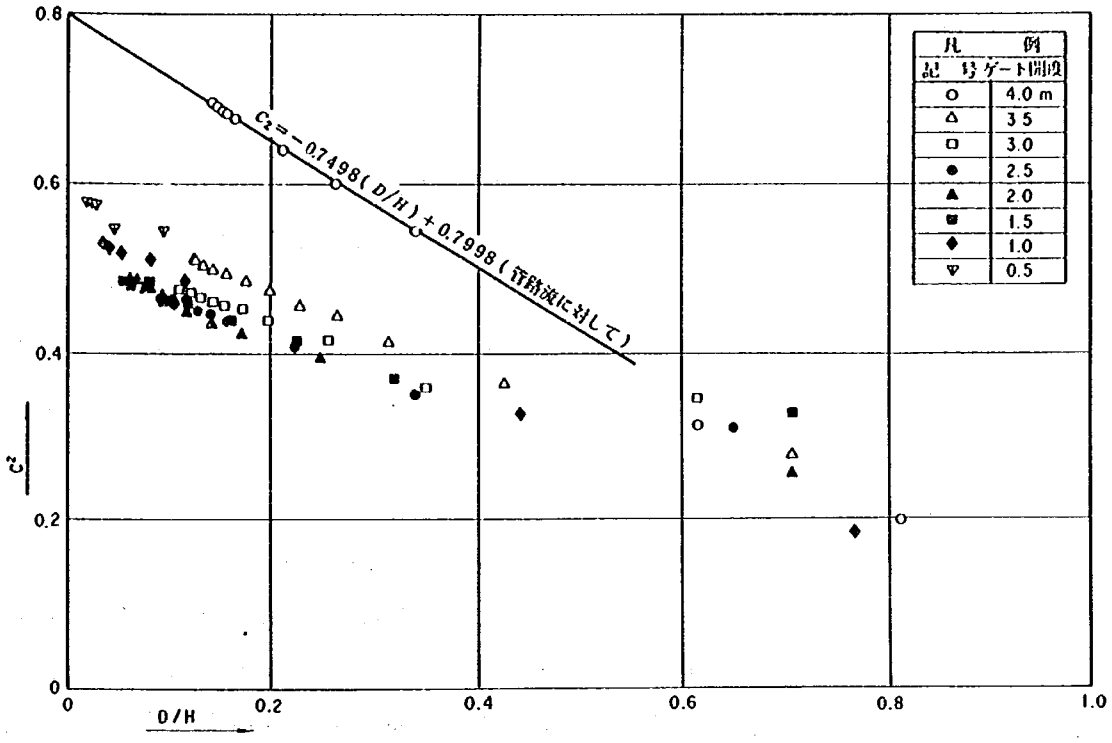


図39　C^2 と D/H の関係図（１面ベルマウス）

表21　放流能力検討結果

貯水位（EL．m）	流量（Q．m³/s）		
	放流管		低越流頂
	一面ベルマウス	四面ベルマウス	
制限水位（EL387 m）	169.15 （C＝0.72）	187.95 （C＝0.80）	—
常時満水位（EL398.5 m）	275.52 （C＝0.82）	302.40 （C＝0.90）	310.81 （C＝1.93）
サーチャージ水位（EL400.0 m）	285.43 （C＝0.82）	312.32 （C＝0.90）	414.20 （C＝1.95）
設計洪水位（EL401.5 m）	298.84 （C＝0.83）	325.51 （C＝0.91）	525.89 （C＝1.96）

P ：各ピエゾ点での圧力水頭（m水柱）

v ：吐口部の平均流速 （m/sec）

このC_d と呑口から各ピエゾ点までの横距離を管長で除した無次元量X/Lとの関係を図41に示す。

これらの結果，図40からも明らかなように，いずれの水位に対しても各ピエゾ点の圧力はすべて正圧であり，ゲート開度を絞ると管内圧力は上昇し安全側となることから設計形状には問題がないものと判断できる。また全開での圧力降下係数は呑口付近で圧力降下が見られるが，その後圧力降下の傾向はなだらかになることから，流れはベルマウスに沿っているものと判断できる。さらに，3.5 m開度での圧力降下は貯水位を下げるに従って脈動していることから，ベルマウス沿いの流れも脈動しているものと思われるが，縦断的には下がり傾向にあるので問題はないと思われる。

3） 呑口ピアの影響について

1面ベルマウス型放流管は呑口での急変流による損失や流線の剥離をさけ流れを整流するため，両側のピアを吐口断面高程度，前面に張出すのが一般的であり，ここでも同様とした。ただ，この張り出しピアは設計の項で述べた理由によりEL.387.0m でカットした形状としたため，呑口に対する悪影響が心配された。しかし，流況写真№44～49に示すように，貯水位がカット面よりわずか上廻る時に渦流が見られるが，管内の流況には影響がなく，それ以上の貯水位でも問題がないことが判った。また，下流開水路部の水面形の流況観察ではいかなる放流条件でもゲートピンと水面とのクリアランスは3 m程度あることから，ピンの位置には問題がない。

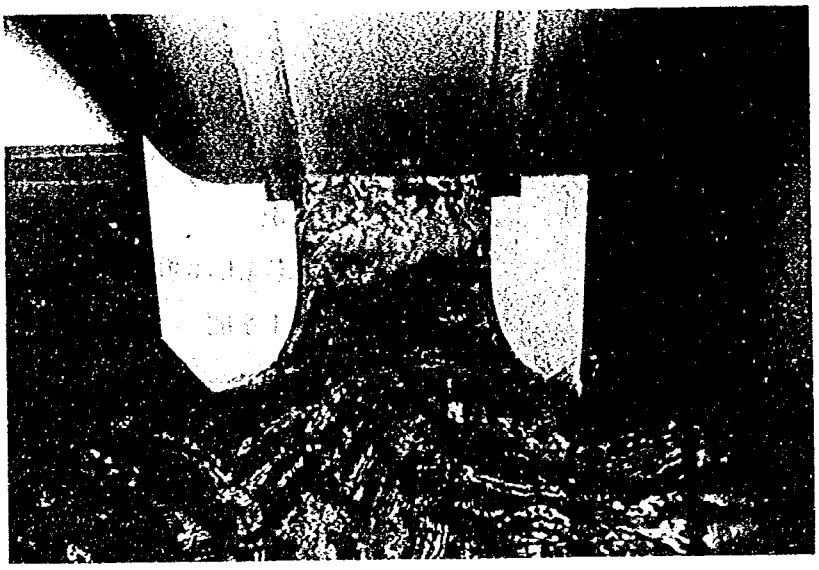
1.3.2 4.面ベルマウス型放流管の実験結果

1） 放流能力について

吐口断面を1面ベルマウス形状と同断面とした4面ベルマウス型放流管の放流能力の調査は比較の意味からゲート全開時の貯水位 ― 放流量の関係だけを実施した。測定結果は表20に示す。この結果と1面ベルマウスでの各貯水位毎の放流能力を比較したのが表21である。表から明らかなように，4面の方が放流量は約11％～9％程度上廻る結果となった。ただし，圧力測定の項で後述するが4面では管内に負圧が生じているため，断面の絞りが必要となる。

2） 管内圧力について

4面ベルマウス型放流管内の圧力調査は図36に示した上面および側面中央測線の各ピエゾ点で1面ベルマウスと同様に測定した。この場合，ゲート開度は全開および3.5 m開度での各貯水位に対して測定を行った。測定結果は図42 a～42 bおよび表22 a～22 bに示すとおりである。この結果，ゲート全開時にはいずれの貯水位でも上面ベルマウス部終端付近に負圧が発生し，負圧の最大値は設計洪水位で約－3 m水柱が測定された。このことは呑口形状の絞り面における急変流がこの負圧部分で剥離していることを意味し，形状の変更を要する。また，1面と同様に圧力降下係数を求め図化したのが図43である。この図からもベルマウス部での圧力降下が急激で出口圧力とこの降下率を比べるとかなり圧力調整が必要であることがわかる。また3.5 m開度での圧力降下も上面と側面を比べると著しく異なることから，管内応力のアンバランスによる影響が心配される。

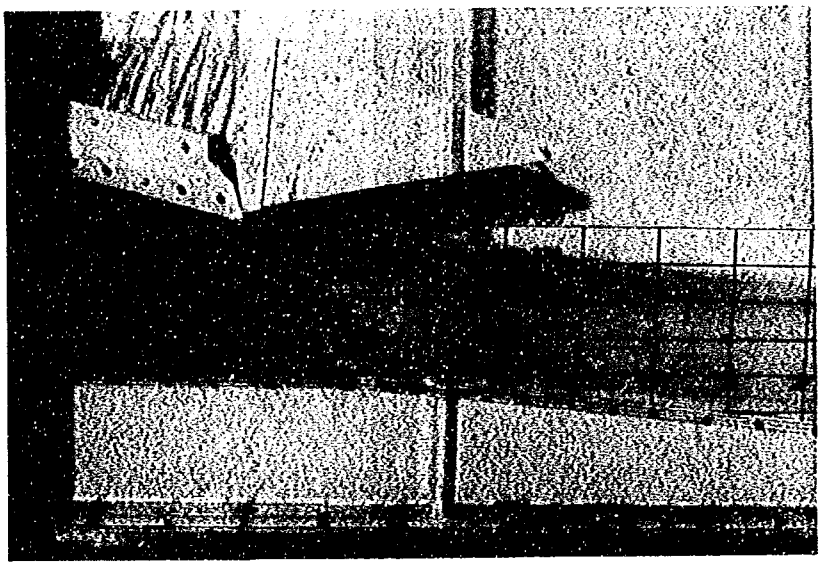


写真No.44

オリフイス呑口付近の流況

貯水位EL.387.0m

ゲート全開

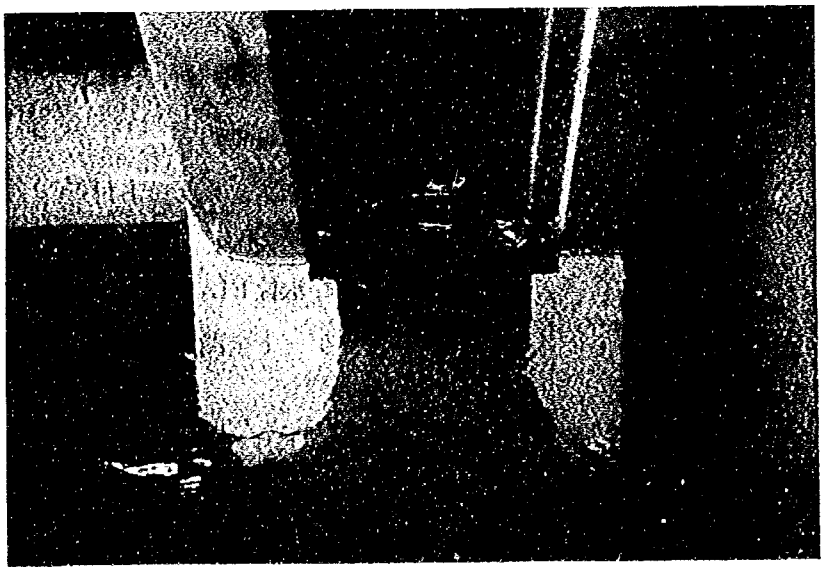


写真No.45

オリフイスゲート付近の流況

貯水位EL.387.0m

ゲート全開



写真No.46

オリフィス呑口付近の流況

貯水位EL.390.5m

ゲート全開



写真No.47

オリフィスゲート付近の流況

貯水位EL.390.5m

ゲート全開

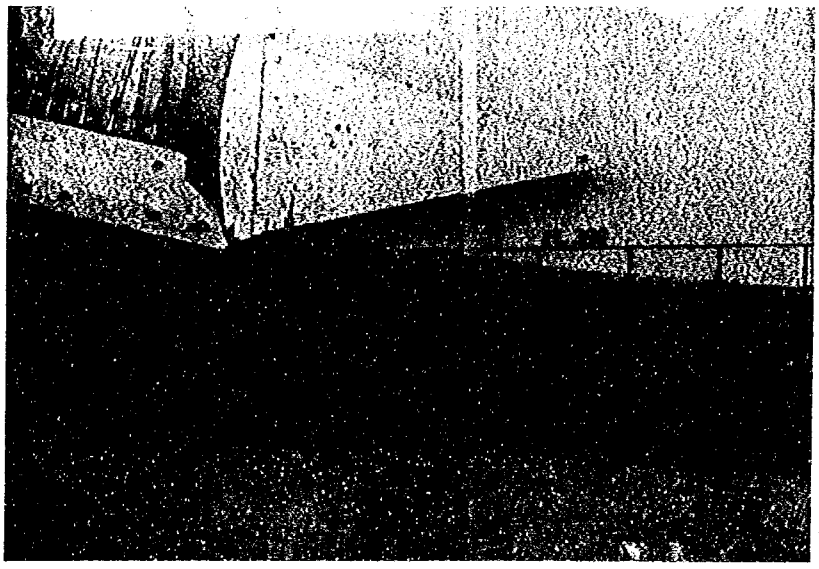


写真No.48

オリフィス呑口付近の流況

貯水位EL.392.0m

ゲート全開



写真No.49

オリフィスゲート付近の流況

貯水位EL.392.0m

ゲート全開

第2節　低越流部の抽出実験

低越流部のゲート開度毎の放流能力，クレスト面の圧力と水面形の詳細な調査資料を得る目的で低越流部1門を抽出した拡大模型（縮尺＝1/31.25）実験を実施した（写真№50～№55参照）。

2.1　模　　型

低越流部の抽出模型の製作範囲はピアからDC·45m区間までを製作した。

模型の製作方法および仕上げ方法はオリフィス模型と全く同様である。

2.2　実験内容

本実験での模型縮率は1/31.25であるから水理量その他の換算は表16にもとづき行ったものである。

実験内容は表17に示したように，ラジアルゲート開度5ケースでの貯水位 ― 放流量の関係とクレスト面の圧力分布および水面形等の測定を行ったものである。

2.3　実験結果

1）放流能力について

低越流頂ラジアルゲートの開度毎の貯水位 ― 放流量の測定結果は図44および表23a～23bに示す結果が得られた。表中に示す流量係数Cは測定結果より次式によって求めたものである。

①　自由越流時

$$C = Q / n \cdot B \cdot H^{3/2} \qquad (12)$$

②　ゲート半開時

$$C = Q / n \cdot B \cdot \left\{ H_1^{3/2} - (H_1 - G)^{3/2} \right\} \qquad (13)$$

ここに，　C：流量係数，Q：流量（㎥/s），H：越流水深（貯水位－EL·391.1m）

n：ゲートの径間数（$n = 2$）

B：クレスト径間幅（＝8.0m），G：ゲートの鉛直開度高(m)

H_1：作用水頭｛貯水位－EL·390.573（ゲート接点標高），ただし，$H_1 > 0.527$｝

(12),(13)式で求めた流量係数CとH/H_d（ここに，H：貯水位，H_d：クレストの設計水頭＝10.0m）との関係として図化したのが図45である。この図から，今回のクレスト形状は下流面をクレスト頂から下流2.69mで緩勾配としたため，標準越流頂の全開放流時の流量係数$C = 1.7 \sim 2.1$程度に比べ若干悪くなっている。また，標準形状ではゲート半開時における流量係数はほとんど一定値となるが，図45で明らかなように，越流面形状を変形したことにより今回の実験値は異なった傾向を示している。したがって，放流機能曲線は全開時については表23aのCとH/H_dとの関係，ゲート半開時には表23aおよび23bに示すCはH_1/Gが約1.6以上でほぼ一定値となっていることから，$H_1/G > 1.6$の範囲ではCの平均値$\bar{C}$とGと

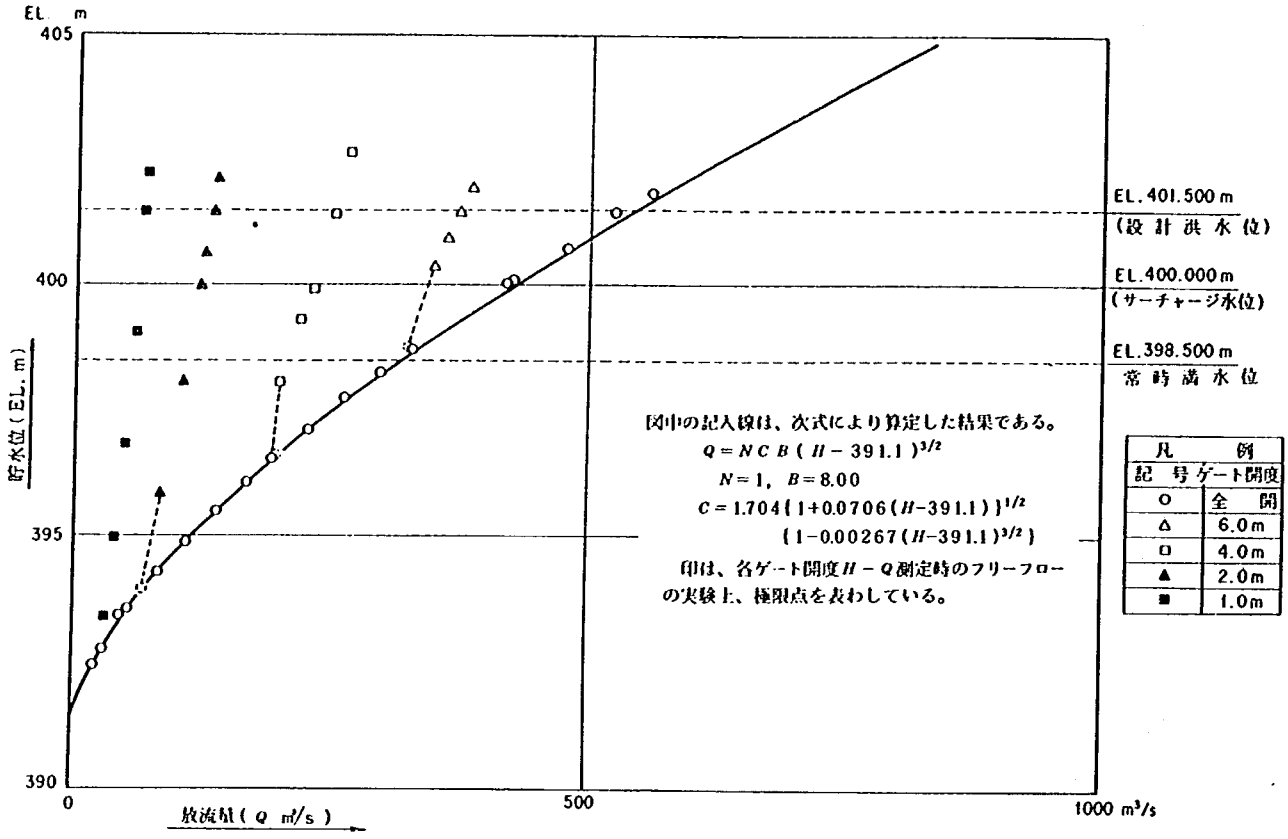


図44　低越流頂の貯水位－ゲート開度－放流量の関係図

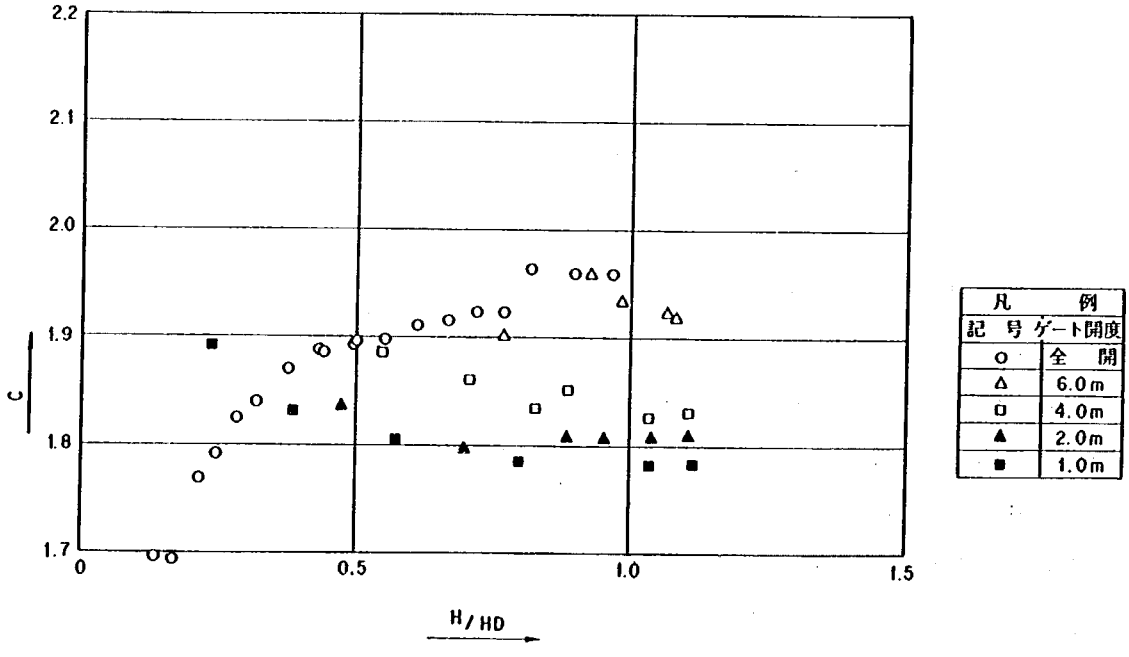
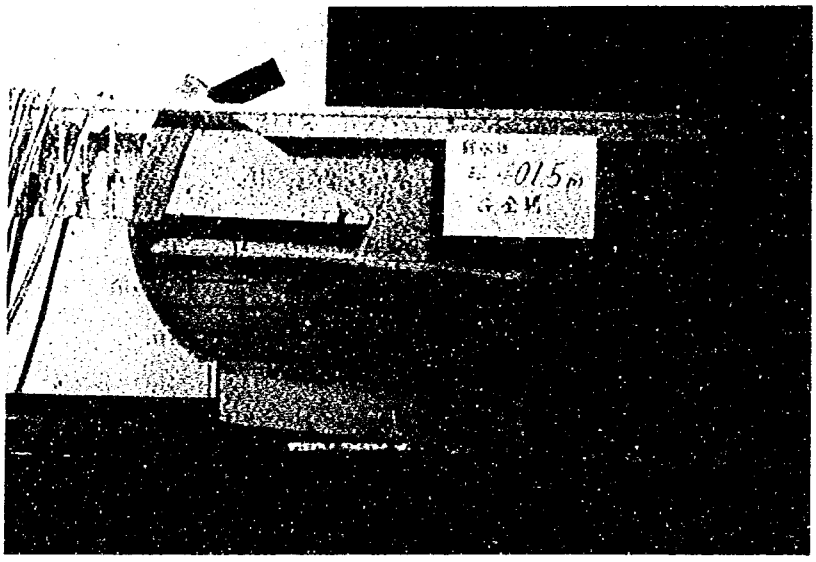


図45　$C - H/H_d$ の関係図

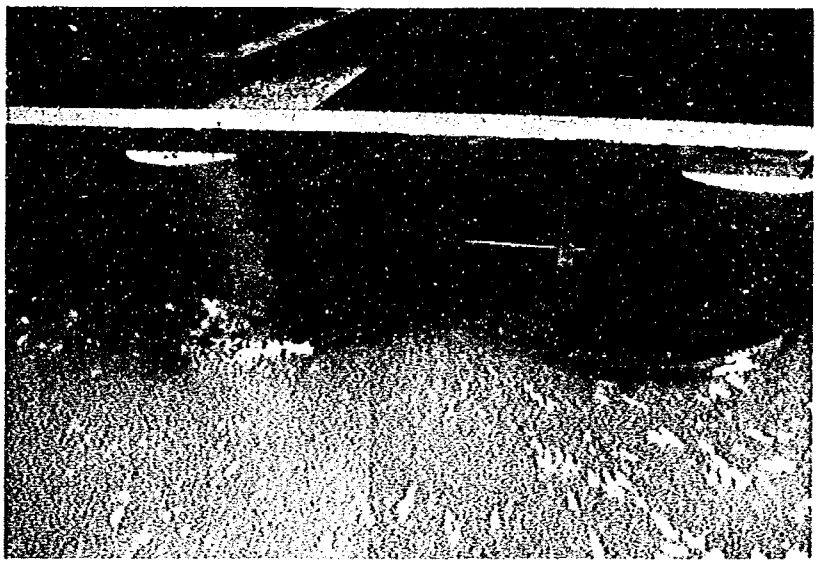


写真No.50

4面ベルマウス放流管
ゲート部下流の流況

貯水位EL.401.5m

ゲート全開



写真No.51

低越流頂呑口から下流
の流況

貯水位EL.401.5m

ゲート全開

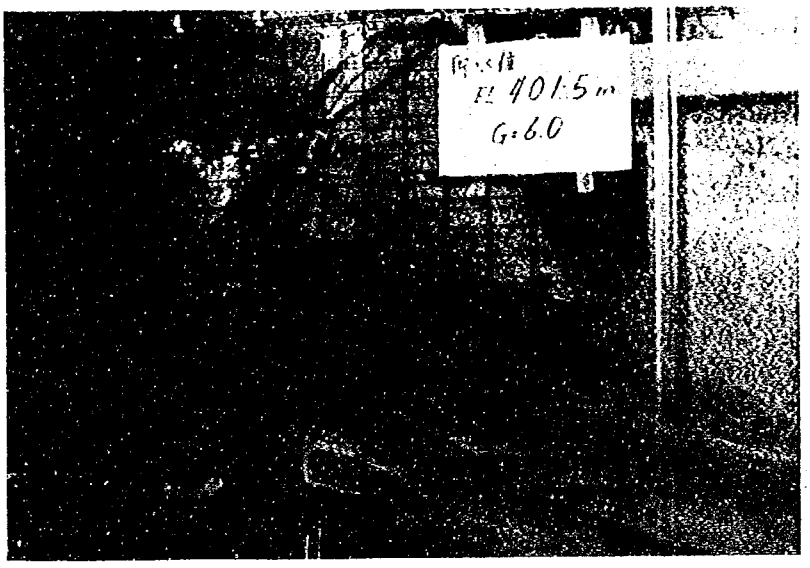


写真No.52

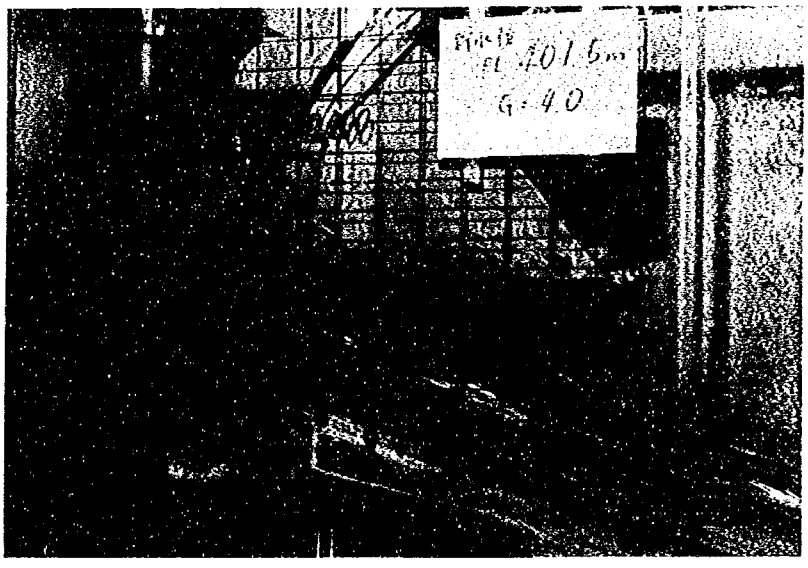
低越流頂付近の流況

貯水位EL.401.5m

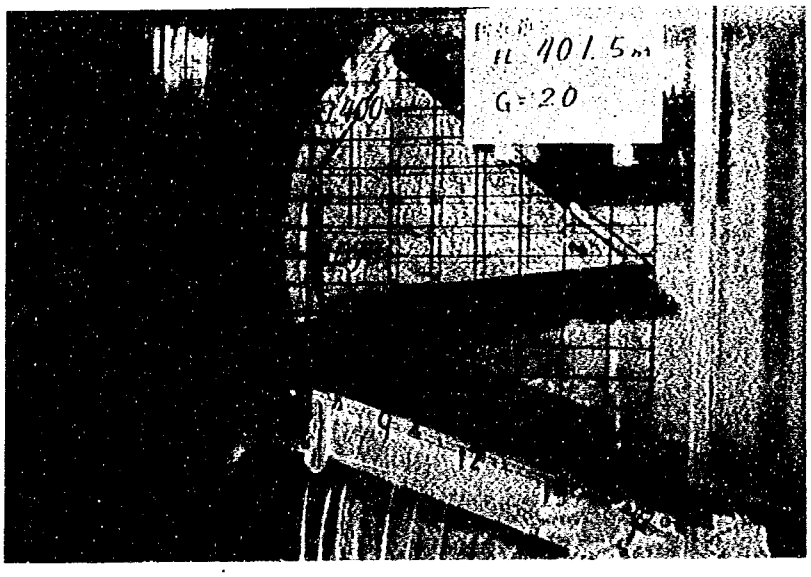
ゲート全開



写真No.53
低越流頂
ゲート付近の流況
貯水位EL.401.5m
ゲート開度6.0m



写真No.54
低越流頂
ゲート付近の流況
貯水位EL.401.5m
ゲート開度4.0m



写真No.55
低越流頂
ゲート付近の流況
貯水位EL.401.5m
ゲート開度2.0m

の関係をそれぞれ最小自乗法で求め次式に示す。

グレスゲート全開時の流量係数

$$C = 1.71 + 0.503\left(\frac{H}{H_d}\right)^2 - 0.298\left(\frac{H}{H_d}\right)^4 \qquad (\text{ただし，} H_d = 10.0\text{m}) \qquad (14)$$

ゲート半開時の流量係数

$$C = 1.717 + 0.00399\,(G)^2 \qquad (\text{ただし，} G = \text{各ゲート開度の鉛直開度高}) \qquad (15)$$

(14)式によって求まるCを(12)式に代入して求めたゲート全開時の推定放流量と実験値との誤差は2％以内に収まっている。

また，(15)式によって求まるCを(13)式に代入して求めたゲート半開時では約3％以内であることから，実用上適用できるものと判断できる。

2） クレスト下流底面の圧力分布および水面形状

図46に示すクレスト下流底面の中央測線に埋設した各測点の圧力の測定結果は，表24および図47に示すとおりである。この結果，越流底面の圧力はゲート開度$G = 1.0$ mのときにDC・7.764 mの位置で流水の剥離による負圧−0.7m水柱が認められるが，それ以外では正圧となっている。また，負圧の出るケースでの流速値は約13 m/sであり，その値も−0.7m水柱と小さく，キャビティ等によって損傷を受ける心配はないものと判断できる。

次に，ゲート全開時の放流水脈による水面形状の測定結果は表25および図48に示すとおりであった。この場合の貯水位は設計洪水位およびサーチャージ水位の2ケースとし，水面形の測線は左右ピア沿いおよび中央縦断の3測線である。

図から，越流水脈は左右岸でピアの縮流により越流頂部付近で最も低下し，その後は壁面沿いを盛上がる水面形状を程し，DC・18 m付近で中央測線の水面形と一致する。したがって，ゲートピンと最も接近する水面形は設計洪水位時であるが，ゲートピンに対して1.7 m程度の余裕を持っている。

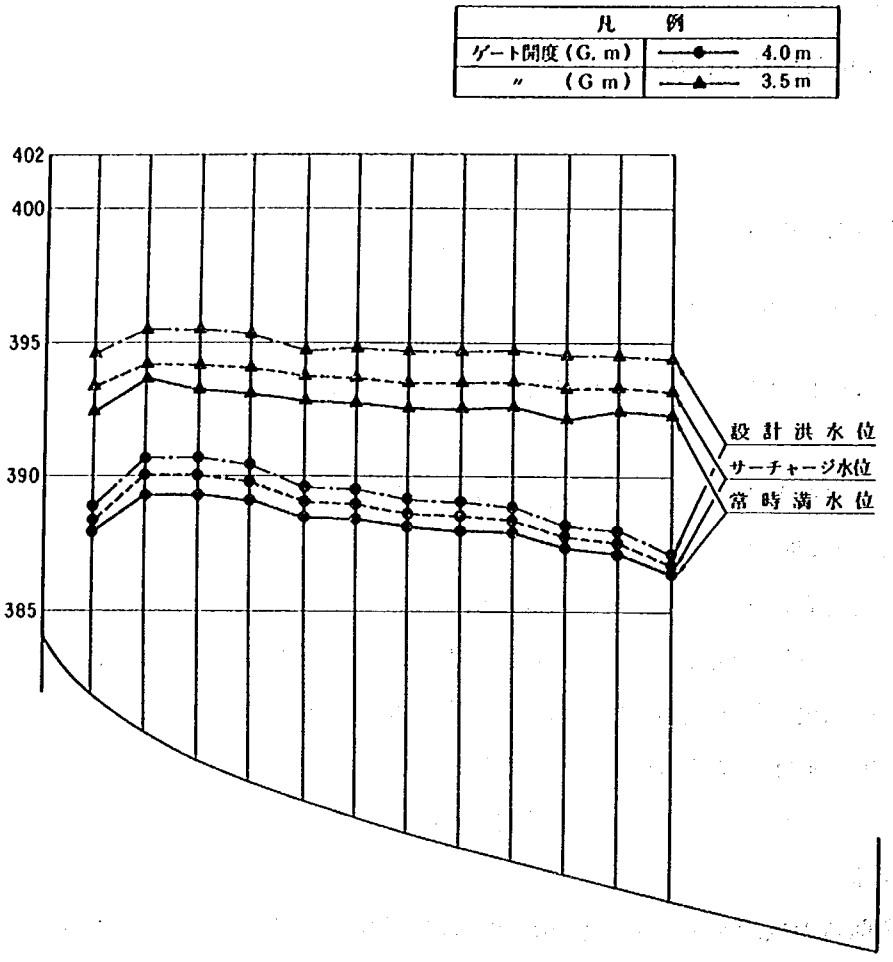


図40　1面ベルマウス管内圧力測定結果図

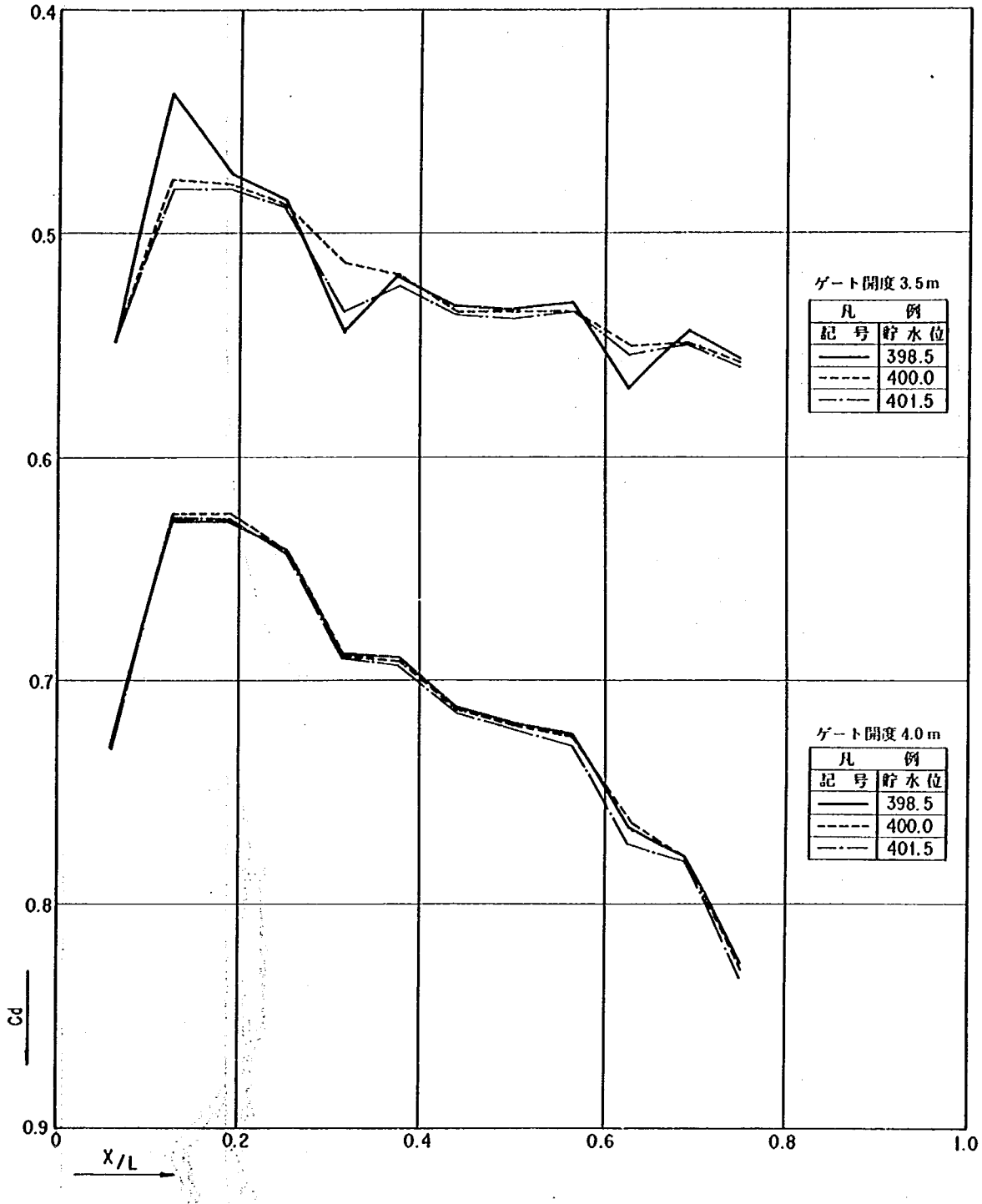


図41　$C_d - X/L$の関係（ 1面ベルマウス ）

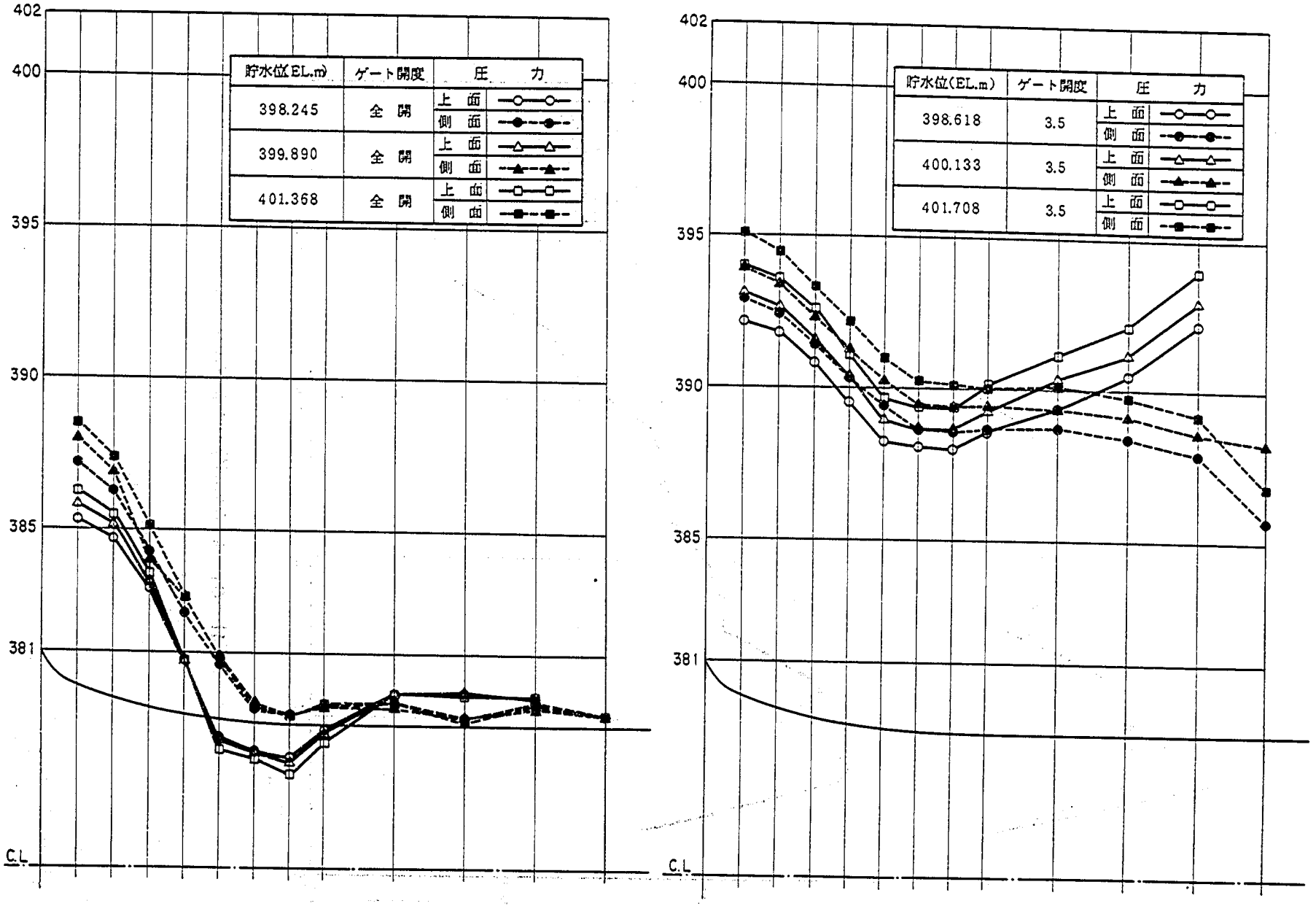


図42ａ　４面ベルマウス管内圧力測定結果図

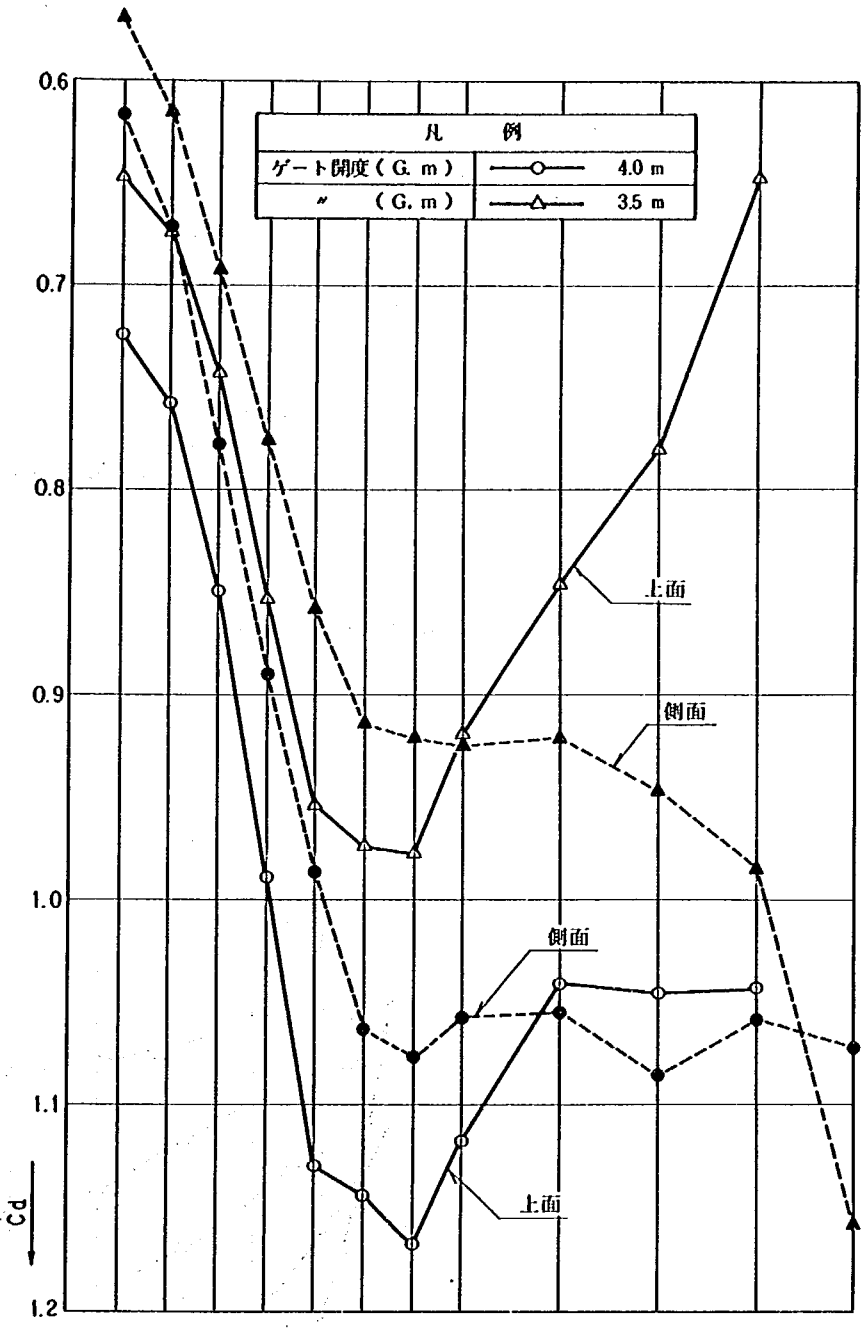


図43　$C_d - X/L$の関係（４面ベルマウス）

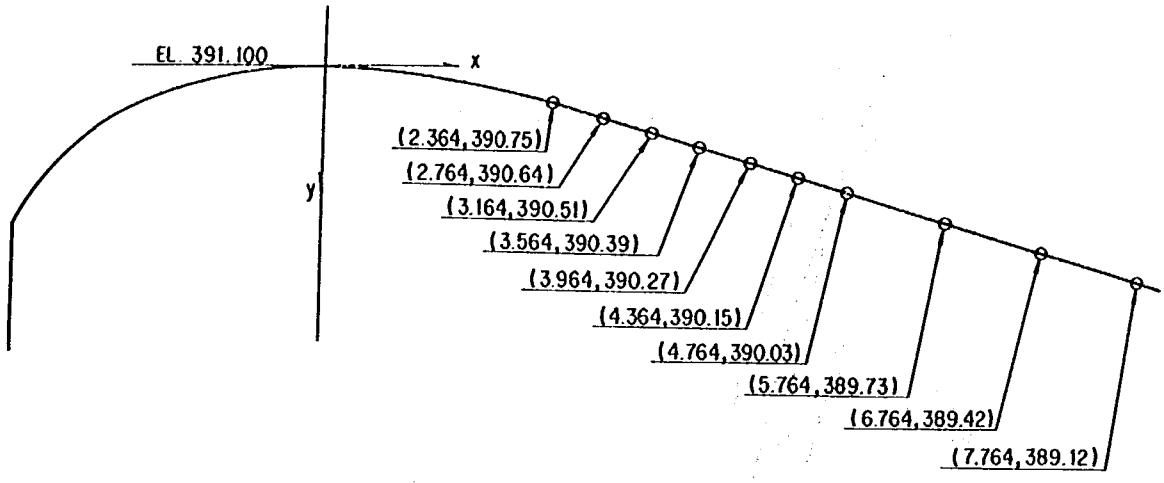


図46　低越流頂圧力測定位置図

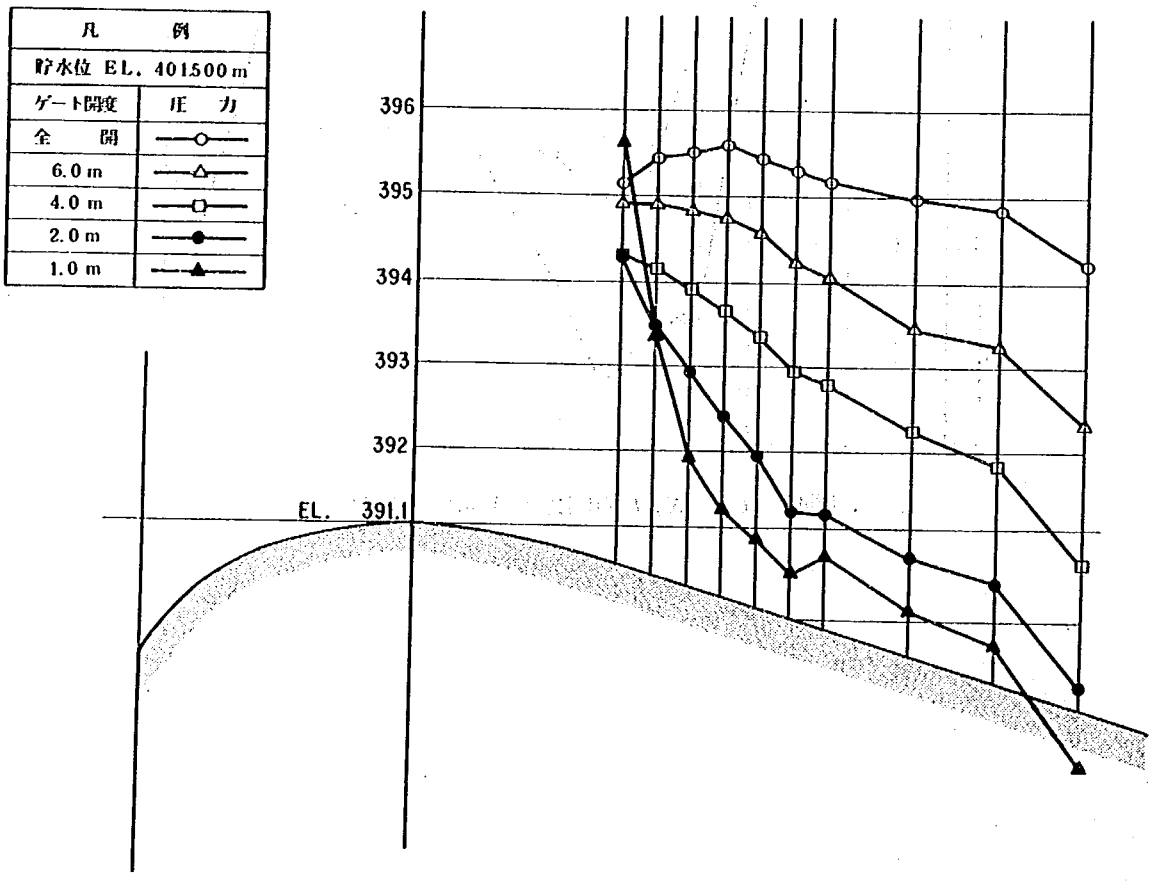
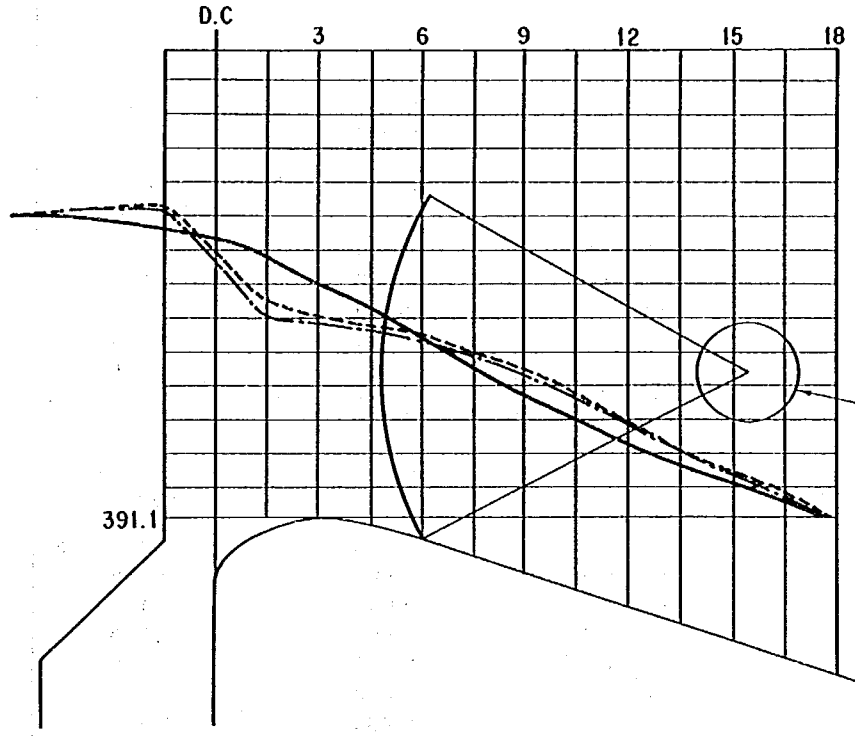


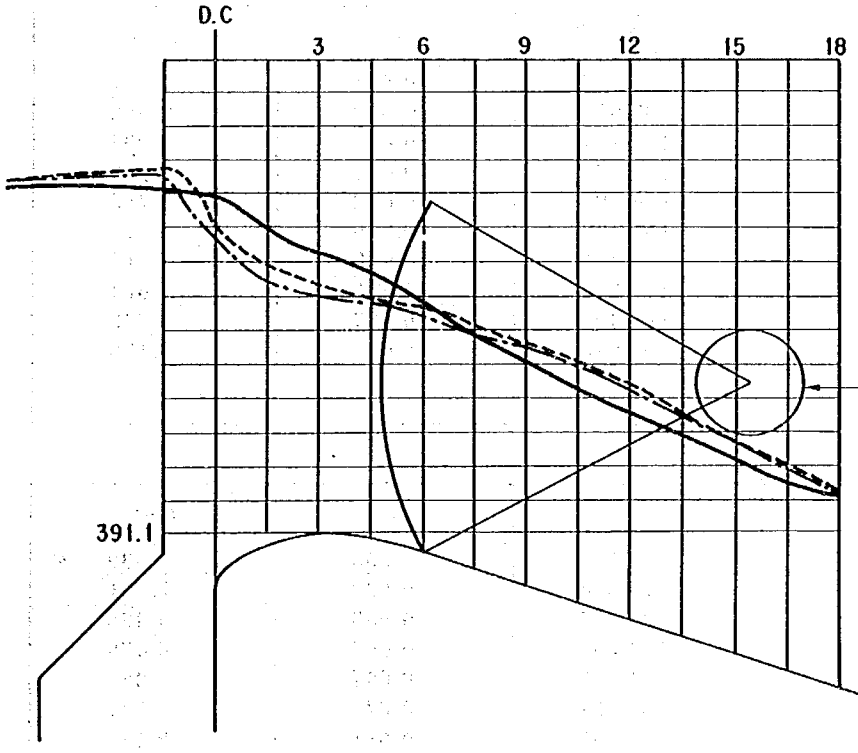
図47　低越流頂圧力測定結果図



実験番号	3
貯水位(ELm)	400.078
流量(Q. m³/s)	419.688

凡例	
測線	記号
左岸	- - - - - - - -
中央	————
右岸	—·——·—

1.5Rを表わす



実験番号	3
貯水位(ELm)	401.476
流量(Q. m³/s)	524.828

凡例	
測線	記号
左岸	- - - - - - - -
中央	————
右岸	—·——·—

1.5Rを表わす

※但しゲートは全開のみである。

図48　低越流頂水面形測定結果図

表18 a　貯水位－放流量－ゲート開度関係数値表（一面ベルマウス）

ゲート開度	4.0 m			
貯水位標高 EL. m	作用水頭 H. m	放流量 q. m³/s	C	H/D
379.166	3.166	35.956	0.285	0.792
380.927	4.927	70.194	0.446	1.232
382.505	6.505	106.902	0.592	1.626
384.913	8.913	144.181	0.682	2.228
387.739	11.739	178.742	0.736	2.935
391.186	15.186	214.304	0.776	3.797
394.920	18.920	246.468	0.800	4.730
400.450	24.450	288.260	0.823	6.113
402.611	26.611	302.995	0.829	6.653
404.180	28.180	313.685	0.834	7.045
401.964	25.964	298.523	0.827	6.491
403.502	27.502	308.756	0.831	6.876

ゲート開度	3.5 m			
貯水位標高 EL. m	作用水頭 H. m	放流量 q. m³/s	C	H/D
381.113	5.113	73.736	0.526	1.461 ※
384.219	8.219	106.866	0.601	2.348
387.091	11.091	132.768	0.643	3.169
389.194	13.194	149.154	0.663	3.770
391.327	15.327	163.823	0.675	4.379
393.507	17.507	178.384	0.688	5.002
395.984	19.984	192.731	0.696	5.710
398.327	22.327	205.897	0.703	6.379
400.473	24.473	216.630	0.707	6.992
401.901	25.901	223.821	0.710	7.400
403.495	27.495	232.050	0.714	7.856
404.277	28.277	235.556	0.715	8.079

ゲート開度	3.0 m			
貯水位標高 EL. m	作用水頭 H. m	放流量 q. m³/s	C	H/D
380.881	4.881	68.907	0.587	1.627
384.556	8.556	93.056	0.599	2.852
387.712	11.712	117.134	0.644	3.904
391.185	15.185	137.169	0.663	5.062
393.359	17.359	148.797	0.672	5.786
395.533	19.533	158.707	0.676	6.511
397.048	21.048	165.791	0.680	7.016
398.903	22.903	173.375	0.682	7.634
401.025	25.025	182.498	0.687	8.342
403.385	27.385	191.872	0.690	9.128

ゲート開度	2.5 m			
貯水位標高 EL. m	作用水頭 H. m	放流量 q. m³/s	C	H/D
379.847	3.847	48.192	0.555	1.539 ※
383.327	7.327	70.678	0.590	2.931
387.163	11.163	94.407	0.638	4.465
392.091	16.091	117.600	0.662	6.436
393.701	17.701	124.325	0.667	7.080
395.468	19.468	131.158	0.671	7.787
397.420	21.420	139.566	0.681	8.568
399.790	23.790	146.292	0.677	9.516
400.967	24.967	150.693	0.681	9.987
403.165	27.165	157.347	0.682	10.866

※フリーフローを表わす。

表18 b　貯水位－放流量－ゲート開度関係数値表（一面ベルマウス）

ゲート開度	2. 0 m			
貯水位標高 EL. m	作用水頭 H. m	放流量 Q. ㎥/s	C	H/D
378.825	2.825	29.981	0.504	1.413 ※
384.231	8.231	63.719	0.627	4.116
387.667	11.667	78.817	0.652	5.834
390.211	14.211	88.190	0.661	7.106
393.084	17.084	98.244	0.671	8.542
395.036	19.036	105.613	0.683	9.518
397.454	21.454	112.590	0.686	10.727
399.917	23.917	119.495	0.690	11.959
402.040	26.040	125.327	0.693	13.020
404.415	28.415	131.266	0.695	14.208

ゲート開度	1. 5 m			
貯水位標高 EL. m	作用水頭 H. m	放流量 Q. ㎥/s	C	H/D
378.118	2.118	22.003	0.569	1.412
380.678	4.678	34.739	0.605	3.119
382.717	6.717	44.113	0.641	4.498
385.437	9.437	54.023	0.662	6.271
388.488	12.488	63.433	0.676	8.325
391.659	15.659	71.840	0.683	10.439
394.439	18.439	79.353	0.696	12.293
397.793	21.793	85.936	0.693	14.529
400.511	24.511	91.553	0.696	16.341
404.103	28.103	98.387	0.699	18.735

ゲート開度	1. 0 m			
貯水位標高 EL. m	作用水頭 H. m	放流量 Q. ㎥/s	C	H/D
377.303	1.303	8.694	0.430	1.303
378.263	2.263	15.205	0.571	2.263
384.639	8.639	36.349	0.698	8.639
388.385	12.385	44.471	0.714	12.385
394.521	18.521	54.918	0.721	18.521
399.640	23.640	62.430	0.725	23.640
403.940	27.940	68.200	0.729	27.940

ゲート開度	0. 5 m			
貯水位標高 EL. m	作用水頭 H. m	放流量 Q. ㎥/s	C	H/D
381.136	5.136	14.762	0.736	10.272
386.690	10.690	21.430	0.740	21.380
393.854	17.854	28.407	0.759	35.708
399.231	23.231	32.521	0.762	46.462
404.957	28.957	36.349	0.763	57.914

※フリーフローを表わす。

表19 a　圧力測定結果数値表（一面ベルマウス）

実験番号	1
ゲート開度	4.0 m

貯水位 (EL. m)	398.602
流　量 (Q. m³/s)	271.512

測　定　番　号	ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	387.95	5.557	0.725
2	389.36	7.271	0.629
3	389.36	7.516	0.629
4	389.17	7.536	0.642
5	388.49	7.012	0.688
6	388.46	7.179	0.690
7	388.15	7.012	0.712
8	388.05	7.045	0.719
9	387.97	7.090	0.724
10	387.35	6.595	0.766
11	387.16	6.535	0.779
12	386.46	5.955	0.827

実験番号	1
ゲート開度	4.0 m

貯水位 (EL. m)	400.077
流　量 (Q. m³/s)	283.532

測　定　番　号	ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	388.345	5.954	0.731
2	390.040	7.951	0.625
3	390.040	8.196	0.625
4	389.775	8.141	0.642
5	389.045	7.597	0.687
6	388.960	7.679	0.692
7	388.635	7.502	0.713
8	388.515	7.515	0.720
9	388.415	7.540	0.726
10	387.825	7.075	0.763
11	387.570	6.945	0.779
12	386.770	6.270	0.829

実験番号	1
ゲート開度	4.0 m

貯水位 (EL. m)	401.389
流　量 (Q. m³/s)	292.799

測　定　番　号	ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	388.900	6.507	0.731
2	390.680	8.591	0.627
3	390.680	8.836	0.627
4	390.410	8.776	0.643
5	389.605	8.157	0.690
6	389.545	8.264	0.693
7	389.185	8.052	0.714
8	389.080	8.080	0.720
9	388.930	8.055	0.729
10	388.165	7.415	0.774
11	388.045	7.420	0.781
12	387.160	6.660	0.833

表19 b　圧力測定結果数値表（一面ベルマウス）

実験番号	1
ゲート開度	3.5 m

貯水位 (EL. m)	398.470
流　量 (Q. m³/s)	206.076

測点番号	ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	392.400	10.009	0.547
2	393.635	11.156	0.438
3	393.245	11.401	0.473
4	393.115	11.481	0.485
5	392.830	11.382	0.543
6	392.745	11.304	0.518
7	392.585	11.452	0.533
8	392.570	11.570	0.534
9	392.605	11.730	0.531
10	392.180	11.430	0.569
11	392.460	11.835	0.544
12	392.330	12.280	0.556

実験番号	1
ゲート開度	3.5 m

貯水位 (EL. m)	399.829
流　量 (Q. m³/s)	213.088

測点番号	ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	393.330	10.937	0.550
2	394.200	12.111	0.476
3	394.185	12.236	0.478
4	394.080	12.446	0.486
5	393.765	12.317	0.513
6	393.690	12.409	0.519
7	393.510	12.377	0.535
8	393.500	12.500	0.535
9	393.505	12.630	0.535
10	393.320	12.570	0.551
11	393.335	12.710	0.549
12	393.230	13.180	0.558

実験番号	1
ゲート開度	3.5 m

貯水位 (EL. m)	401.570
流　量 (Q. m³/s)	221.317,

測点番号	ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	394.565	12.174	0.549
2	395.455	13.366	0.480
3	395.450	13.606	0.480
4	395.335	13.701	0.489
5	394.745	13.297	0.535
6	394.895	13.614	0.524
7	394.735	13.602	0.536
8	394.715	13.715	0.538
9	394.750	13.875	0.535
10	394.520	13.770	0.553
11	394.555	13.930	0.550
12	394.425	13.925	0.560

表20　四面ベルマウス貯水位－放流量関係数値表

貯水位標高 EL. m	作用水頭 H. m	放流量 q. m³/s	C	H/D
379.908	3.908	49.131	0.351 ※	0.977
382.750	6.750	116.713	0.634	1.688
385.880	9.880	169.775	0.763	2.470
389.768	13.768	218.251	0.830	3.442
392.261	16.261	245.327	0.859	4.065
394.585	18.585	268.037	0.878	4.646
397.943	21.943	297.188	0.896	5.486
398.245	22.245	299.153	0.895	5.561
399.890	23.890	311.927	0.901	5.973
401.368	25.368	323.173	0.906	6.342
401.833	25.833	326.667	0.907	6.458

※フリーフローを表わす。

表22a　圧力測定結果数値表（四面ベルマウス）

実験番号	2	貯水位（EL.m）	398.245
ゲート開度	全　開	流　量（$q.m^3/s$）	299.153

測点番号	上面			側面		
	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭（m）	圧力降下係数（cd）	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭（m）	圧力降下係数（cd）
1	385.313	4.797	0.725	387.251	9.251	0.616
2	384.751	4.413	0.757	386.313	8.313	0.662
3	383.188	2.969	0.844	384.438	6.438	0.774
4	380.657	0.523	0.986	382.376	4.376	0.890
5	378.251	−1.822	1.121	380.657	2.657	0.986
6	377.782	−2.250	1.147	379.188	1.188	1.068
7	377.594	−2.414	1.158	379.001	1.001	1.079
8	378.532	−1.468	1.105	379.282	1.282	1.063
9	377.719	−0.281	1.039	379.407	1.407	1.056
10	379.751	−0.249	1.037	378.907	0.907	1.084
11	379.594	−0.406	1.046	379.438	1.438	1.054
12				379.094	1.094	1.074

実験番号	2	貯水位（EL.m）	399.890
ゲート開度	全　開	流　量（$q.m^3/s$）	311.927

測点番号	上面			側面		
	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭（m）	圧力降下係数（cd）	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭（m）	圧力降下係数（cd）
1	385.876	5.360	0.723	388.032	10.032	0.612
2	385.219	4.881	0.757	386.969	8.969	0.666
3	383.407	3.188	0.850	384.076	6.076	0.816
4	380.751	0.617	0.987	382.876	4.876	0.877
5	378.126	−1.947	1.122	380.969	2.969	0.976
6	377.751	−2.281	1.142	379.376	1.376	1.058
7	377.469	−2.539	1.156	379.001	1.001	1.077
8	378.438	−1.562	1.106	379.251	1.251	1.064
9	379.782	−0.218	1.037	379.219	1.219	1.066
10	379.751	−0.249	1.039	378.938	0.938	1.080
11	379.594	−0.406	1.047	379.251	1.251	1.064
12				379.063	1.063	1.074

実験番号	2	貯水位（EL.m）	401.368
ゲート開度	全　開	流　量（$q.m^3/s$）	323.173

測点番号	上面			側面		
	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭（m）	圧力降下係数（cd）	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭（m）	圧力降下係数（cd）
1	386.282	5.766	0.725	388.501	10.501	0.618
2	385.594	5.256	0.758	387.406	9.407	0.671
3	383.688	3.469	0.849	385.157	7.157	0.779
4	380.782	0.643	0.989	382.844	4.844	0.890
5	377.844	−2.229	1.130	380.844	2.844	0.986
6	377.563	−2.469	1.144	379.251	1.251	1.063
7	377.063	−2.945	1.168	378.969	0.969	1.076
8	378.126	−1.874	1.117	379.376	1.376	1.057
9	379.719	−0.281	1.040	379.407	1.407	1.055
10	379.623	−0.377	1.045	378.782	0.782	1.085
11	379.657	−0.343	1.043	379.344	1.344	1.058
12				379.063	1.063	1.072

表22 b　圧力測定結果数値表（四面ベルマウス）

実験番号	2	貯水位 (EL.m)	398.618
ゲート開度	3.5 m	流　量 (Q.m³/s)	217.487

測点番号	上面			側面		
	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	392.157	11.641	0.525	392.907	14.907	0.464
2	391.813	11.475	0.553	392.438	14.438	0.502
3	390.876	10.657	0.629	391.438	13.438	0.583
4	389.532	9.398	0.738	390.344	12.344	0.672
5	388.282	8.209	0.839	389.438	11.438	0.746
6	388.063	8.031	0.858	388.623	10.623	0.812
7	388.001	7.993	0.862	388.594	10.594	0.814
8	388.594	8.594	0.814	388.657	10.657	0.809
9	389.469	9.469	0.743	388.751	10.751	0.802
10	390.469	10.469	0.662	388.407	10.407	0.829
11	392.126	12.126	0.528	387.907	9.907	0.870
12				385.719	7.719	1.047

実験番号	2	貯水位 (EL.m)	400.133
ゲート開度	3.5 m	流　量 (Q.m³/s)	224.365

測点番号	上面			側面		
	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	393.126	12.610	0.534	393.938	15.938	0.472
2	392.657	12.319	0.570	393.407	15.407	0.513
3	391.657	11.438	0.647	392.313	14.313	0.596
4	390.407	10.273	0.742	391.251	13.251	0.678
5	388.938	8.865	0.854	390.251	12.251	0.754
6	388.688	8.656	0.874	389.438	11.438	0.816
7	388.626	8.618	0.878	389.408	11.408	0.819
8	389.282	9.282	0.828	389.438	11.438	0.816
9	390.344	10.344	0.747	389.438	11.438	0.816
10	391.188	11.188	0.683	389.126	11.126	0.840
11	392.969	12.969	0.547	388.594	10.594	0.881
12				386.282	8.282	1.057

実験番号	2	貯水位 (EL.m)	401.708
ゲート開度	3.5 m	流　量 (Q.m³/s)	232.553

測点番号	上面			側面		
	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)	ピエゾ水頭(EL.m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	394.001	13.485	0.547	395.094	17.094	0.470
2	393.623	13.285	0.574	394.469	16.469	0.515
3	392.657	12.438	0.643	393.376	15.376	0.592
4	391.126	10.992	0.752	392.188	14.188	0.676
5	389.688	9.615	0.854	391.032	13.032	0.759
6	389.407	9.375	0.874	390.251	12.251	0.814
7	389.376	9.368	0.876	390.157	12.157	0.821
8	390.188	10.188	0.819	390.094	12.094	0.825
9	391.188	11.188	0.747	390.157	12.157	0.821
10	392.126	12.126	0.681	389.782	11.782	0.847
11	394.001	14.001	0.547	389.251	11.251	0.885
12				386.813	8.813	1.058

表23 a　貯水位－放流量－ゲート開度関係数値表（低越流頂）

ゲート開度	全　開			
貯水位標高 EL. m	越流水深 H. m	放流量 Q. m³/s	C	H/HD
392.432	1.332	20.853	1.6956	0.1332
392.763	1.663	29.042	1.6928	0.1663
393.274	2.174	45.309	1.7669	0.2174
393.549	2.449	54.918	1.7912	0.2449
393.943	2.843	69.984	1.8249	0.2843
394.299	3.199	84.178	1.8390	0.3199
394.889	3.789	110.272	1.8689	0.3789
395.450	4.350	136.912	1.8863	0.4350
395.480	4.380	138.221	1.8848	0.4380
396.010	4.910	164.643	1.8916	0.4910
396.076	4.976	168.246	1.8947	0.4976
396.542	5.442	191.611	1.8867	0.5442
396.600	5.500	195.760	1.8971	0.5500
397.176	6.076	229.060	1.9118	0.6076
397.750	6.650	262.687	1.9148	0.6650
398.259	7.159	294.677	1.9230	0.7159
398.766	7.666	326.557	1.9232	0.7666
398.785	7.685	324.265	1.9026	0.7685
399.261	8.161	366.190	1.9634	0.8161
400.053	8.953	419.688	1.9583	0.8953
400.732	9.632	527.012	1.9583	0.9632
400.124	9.024	423.509	1.9529	0.9024
401.476	10.376	524.828	1.9628	1.0376
401.856	10.756	559.220	1.9816	1.0756

ゲート開度	6.0 m			
貯水位標高 EL. m	越流水深 H_1. m	放流量 Q. m³/s	C	H/HD
※ 398.785	8.212	324.265	2.002	0.7685
400.347	9.774	349.048	1.879	0.9247
400.915	10.342	360.512	1.861	0.9815
401.449	10.876	372.850	1.857	1.0349
401.926	11.353	384.204	1.857	1.0826

※フリーフローを表わす。

表23 b　貯水位－放流量－ゲート開度関係数値表（低越流頂）

ゲート開度	4.0 m			
貯水位標高 EL. m	越流水深 H. m	放流量 Q. m³/s	C	H/HD
※ 396.542	5.969	191.611	2.026	0.5442
398.139	7.566	199.144	1.768	0.7039
399.336	8.763	218.906	1.760	0.8236
399.957	9.384	232.117	1.785	0.8857
401.445	10.872	252.752	1.772	1.0345
402.156	11.583	264.106	1.781	1.1056

ゲート開度	2.0 m			
貯水位標高 EL. m	越流水深 H. m	放流量 Q. m³/s	C	H/HD
※ 393.943	3.37	69.984	1.909	0.2843
395.849	5.276	85.051	1.718	0.4749
398.093	7.52	105.359	1.721	0.6993
399.982	9.409	121.736	1.750	0.8882
400.639	10.066	126.649	1.754	0.9539
401.498	10.925	132.981	1.760	1.0398
402.166	11.593	137.785	1.765	1.1066

ゲート開度	1.0 m			
貯水位標高 EL. m	越流水深 H. m	放流量 Q. m³/s	C	H/HD
※ 392.432	1.859	20.853	1.499	0.1332
393.438	2.865	30.680	1.666	0.2338
394.951	4.378	40.178	1.701	0.3851
396.863	6.29	49.677	1.722	0.5763
399.043	8.47	58.411	1.724	0.7943
401.485	10.912	67.255	1.737	1.0385
402.248	11.675	69.875	1.742	1.1148

※フリーフローを表わす。

表24 a　圧力測定結果数値表（低越流頂）

実験番号	3
ゲート開度	全　開

貯水位(EL. m)	401.476
流　量(Q. m³/s)	524.828

測点番号	ピエゾ水頭(EL. m)	圧力水頭(m)	圧力降下係数(Cd)
1	395.147	4.394	
2	395.459	4.822	
3	395.522	5.010	
4	395.616	5.225	
5	395.459	5.189	
6	395.303	5.154	
7	395.209	5.186	
8	394.991	5.141	
9	394.866	5.444	
10	394.209	5.090	
11			
12			

実験番号	3
ゲート開度	6.0 m

貯水位(EL. m)	401.449
流　量(Q. m³/s)	372.850

測点番号	ピエゾ水頭(EL. m)	圧力水頭(m)	圧力降下係数(Cd)
1	394.943	4.190	
2	394.928	4.291	
3	394.866	4.354	
4	394.772	4.381	
5	394.616	4.346	
6	394.241	4.092	
7	394.084	4.061	
8	393.475	3.750	
9	393.209	3.787	
10	392.303	3.184	
11			
12			

実験番号	3
ゲート開度	4.0 m

貯水位(EL. m)	401.445
流　量(Q. m³/s)	252.752

測点番号	ピエゾ水頭(EL. m)	圧力水頭(m)	圧力降下係数(Cd)
1	394.366	3.613	
2	394.163	3.526	
3	393.913	3.401	
4	393.678	3.287	
5	393.397	3.127	
6	392.975	2.826	
7	392.803	2.233	
8	392.256	2.531	
9	391.881	2.459	
10	390.694	1.575	
11			
12			

表24 b　圧力測定結果数値表（低越流頂）

実験番号	3
ゲート開度	2.0 m

貯水位 (EL. m)	401.498
流　量 (Q. m³/s)	132.981

測点番号	ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	394.319	3.566	
2	393.522	2.885	
3	392.928	2.416	
4	392.413	2.022	
5	391.944	1.674	
6	391.383	1.234	
7	391.256	1.233	
8	390.756	1.031	
9	390.491	1.069	
10	389.272	1.153	
11			
12			

実験番号	3
ゲート開度	1.0 m

貯水位 (EL. m)	401.485
流　量 (Q. m³/s)	67.255

測点番号	ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力水頭 (m)	圧力降下係数 (Cd)
1	395.647	4.894	
2	393.311	2.674	
3	391.858	1.346	
4	391.209	0.818	
5	390.959	0.689	
6	390.538	0.389	
7	390.788	0.639	
8	390.100	0.375	
9	389.741	0.319	
10	388.334	−0.785	
11			
12			

表25　低越流頂水面形測定結果数値表

実験番号	3
貯水位（EL.m）	400.078
流量（Q.㎥/s）	419.688

D.C	左岸	中央	右岸
− 6.0	400.100	400.102	400.194
− 1.5	400.350	399.694	400.225
0	399.069	399.475	398.788
1.5	397.600	398.913	397.506
3.0	397.186	398.155	396.936
4.5	396.873	397.436	396.748
6.0	396.655	396.530	396.373
7.5	396.092	395.686	395.967
9.0	395.592	394.842	395.467
10.5	394.873	394.155	394.717
12.0	394.092	393.405	393.967
13.5	393.123	392.717	393.123
15.0	392.561	392.248	392.467
16.5	391.967	391.655	391.748
18.0	391.030	391.185	390.936

実験番号	3
貯水位（EL.m）	401.476
流量（Q.㎥/s）	524.828

D.C	左岸	中央	右岸
− 6.0	401.475	401.288	401.444
− 1.5	401.788	401.194	401.600
0	400.100	400.944	399.788
1.5	399.022	400.053	398.522
3.0	398.366	399.397	398.116
4.5	398.053	398.866	397.928
6.0	397.741	397.928	397.522
7.5	397.241	396.991	396.959
9.0	396.678	396.178	396.522
10.5	396.209	395.397	396.022
12.0	395.522	394.809	395.366
13.5	394.678	394.022	394.584
15.0	393.897	393.303	393.803
16.5	393.147	392.600	393.022
18.0	392.397	392.209	392.241

第５章　減勢工および下流河道実験

洪水吐き減勢工下流の河道は図49に示すように減勢工末端から約500ｍ地点で右に大きく彎曲し，さらに800ｍ地点で逆に左に彎曲し，ダム軸から下流約1.2㎞地点に図50に示す形状の高さ約13ｍの砂防用の月岡堰堤がある。この砂防堰堤は満砂状態であり，河床勾配の緩い減勢工末端付近では５～６ｍ程度の土砂が堆積している。また，第１彎曲地点の左岸に比較的大きな風吹沢が流入している。

下流河道の縦断勾配は減勢工末端から第１彎曲地点までの最深平均河床勾配が約１/63という射流勾配であり，ダム築造に伴って土砂の供給が断たれた場合，この射流区間では河床洗掘が予想される。さらに，第１彎曲部から第２彎曲部の中間点に東北電力の代替発電所の計画を含めた土捨場を予定しており，洪水流量によってはこの護岸に対する影響が心配される。

したがって，減勢工形状はこれらの事象を考慮し，２次減勢工（以後は副ダム減勢工と呼ぶ）の設置が必要と考えられる。

以上の検討には，洪水吐き，減勢工，下流河道の境界条件である月岡堰堤までの河道区間の模型化が必要である。

第１節　固定床による河道実験

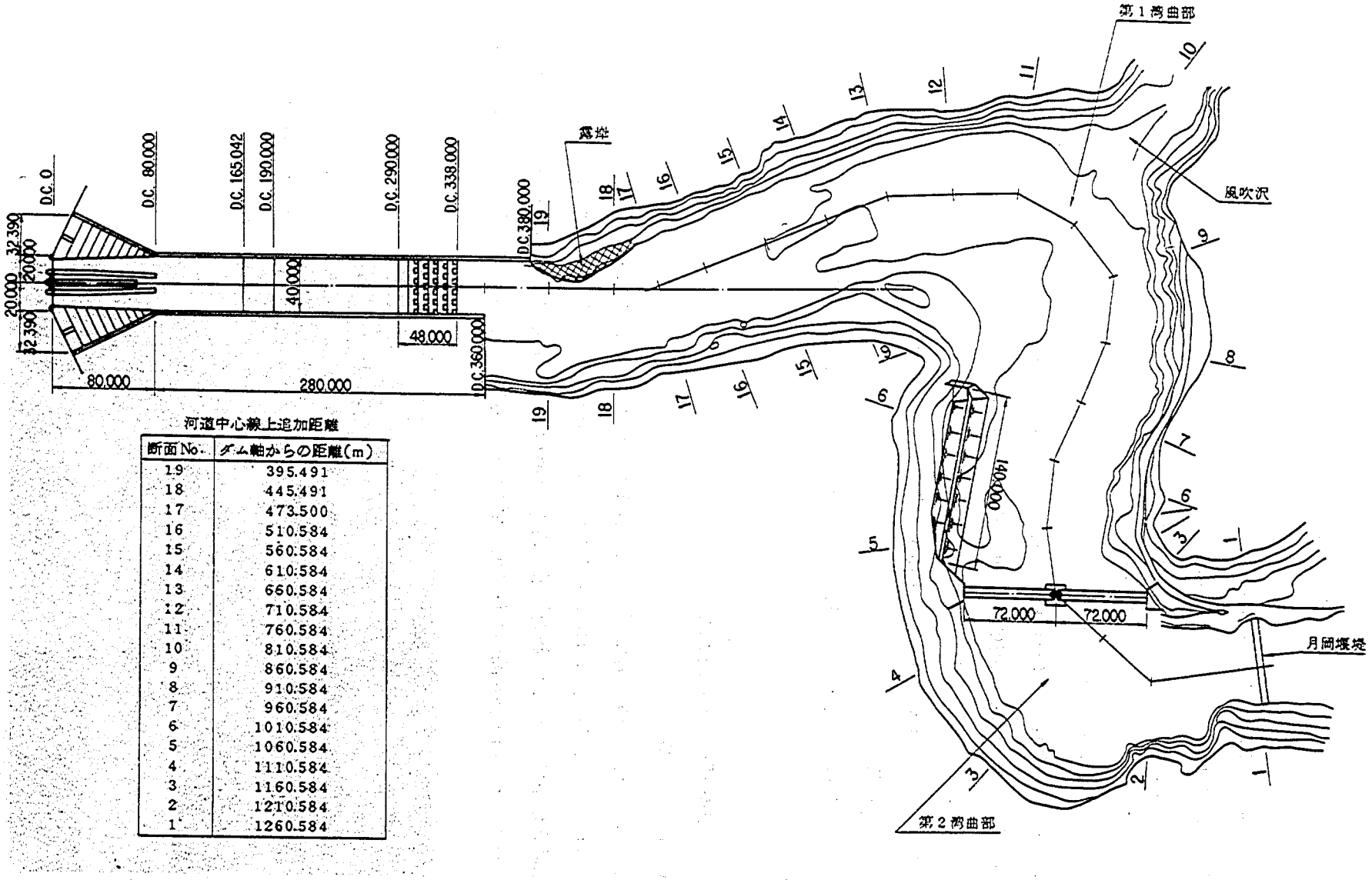
1.1　模　　型

前述の如く，貯水池から月岡堰堤までの模型を製作するには，実験場の関係からこれまでの１/50 縮尺模型では無理なことから，１/80 縮尺で全体模型（河道を含む）を新たに製作した。

洪水吐き模型はこれまでの検討結果を踏まえ図51ａ～51ｄに示す最良形状で製作し，河道地形模型は現場の50ｍピッチの河床横断面の測量結果と平面図を参考にして製作した（章末の表26ａ～26ｈ参照）。



写真No.56
洪水吐き模型
越流部形状



河道中心線上追加距離

断面No.	ダム軸からの距離(m)
19	395.491
18	445.491
17	473.500
16	510.584
15	560.584
14	610.584
13	660.584
12	710.584
11	760.584
10	810.584
9	860.584
8	910.584
7	960.584
6	1010.584
5	1060.584
4	1110.584
3	1160.584
2	1210.584
1	1260.584

図49　洪水吐きおよび下流河道概要図

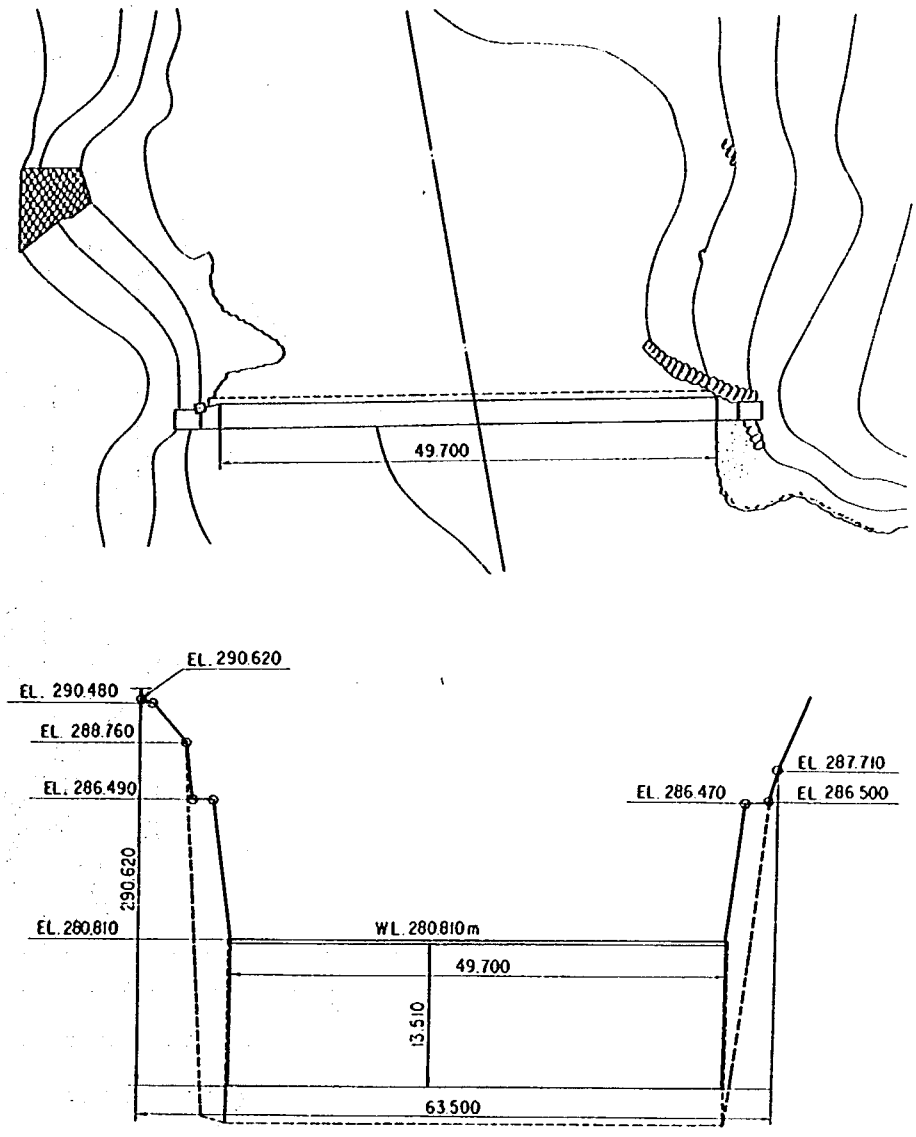

49.700
EL. 290.620
EL. 290.480
EL. 288.760
EL. 286.490
290.620
EL. 280.810
WL. 280.810m
49.700
13.510
63.500
EL. 287.710
EL. 286.470
EL. 286.500

図50　月岡堰堤概要図

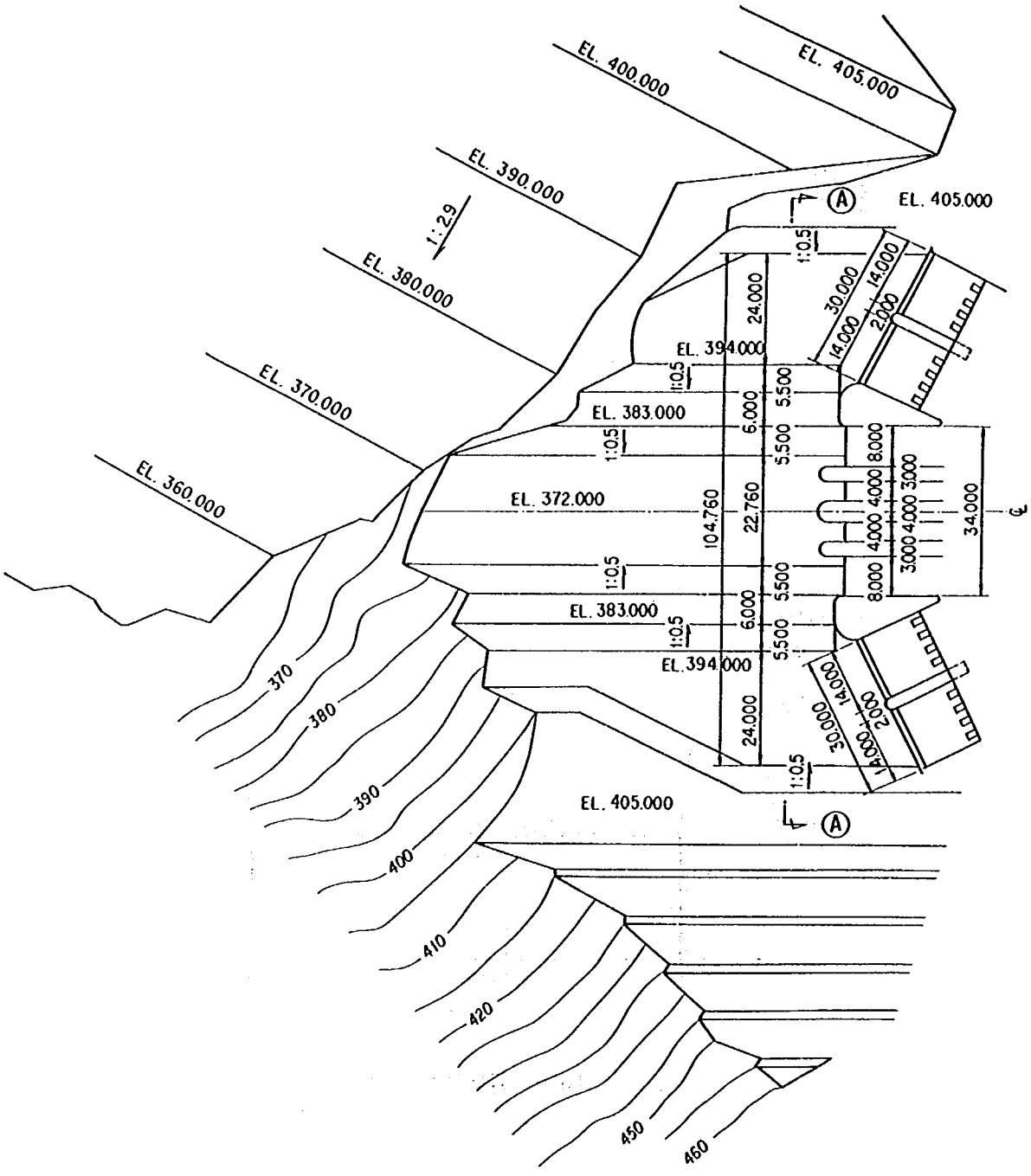


図51 a　洪水吐き形状図

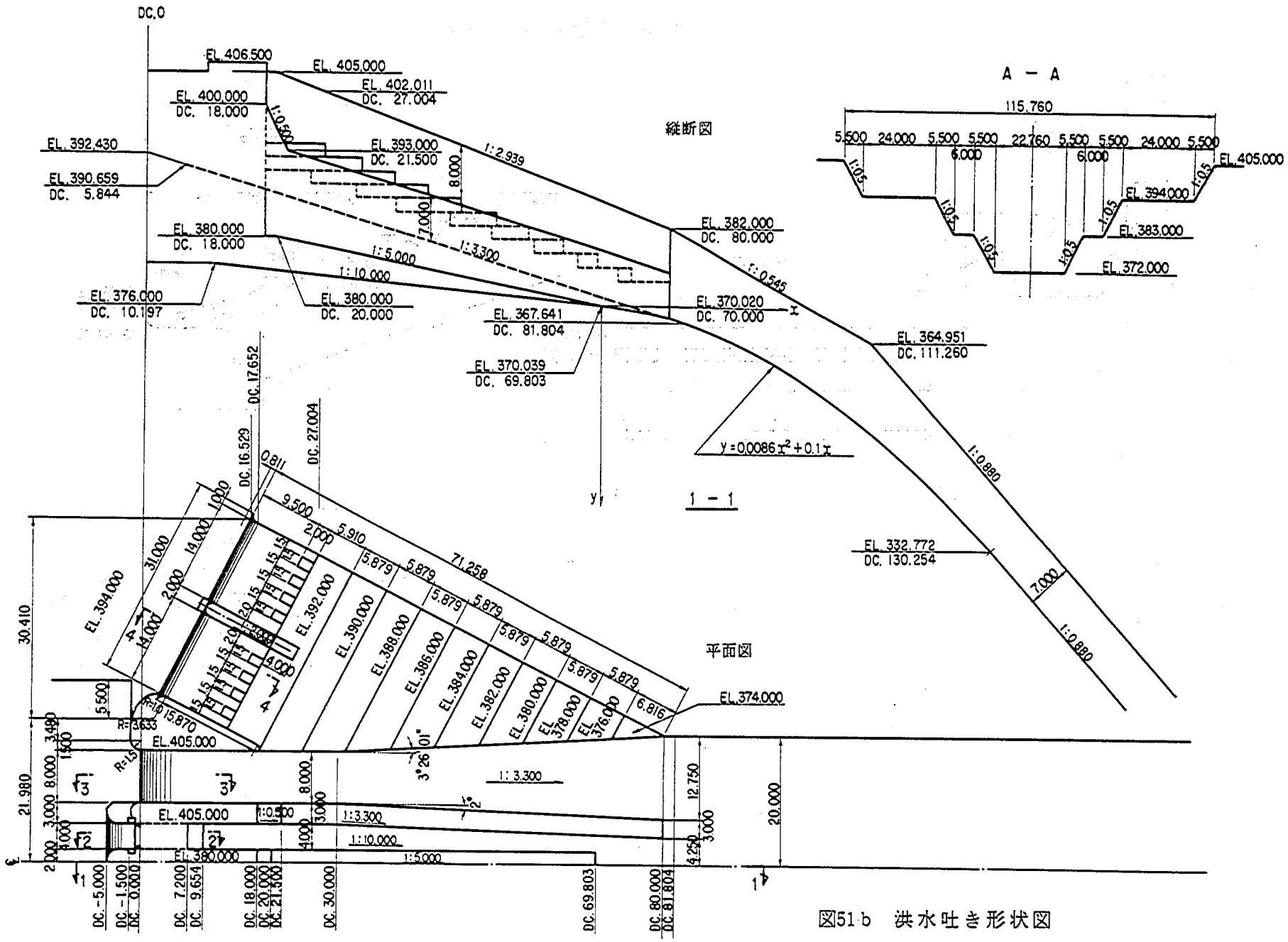


図51ｂ　洪水吐き形状図

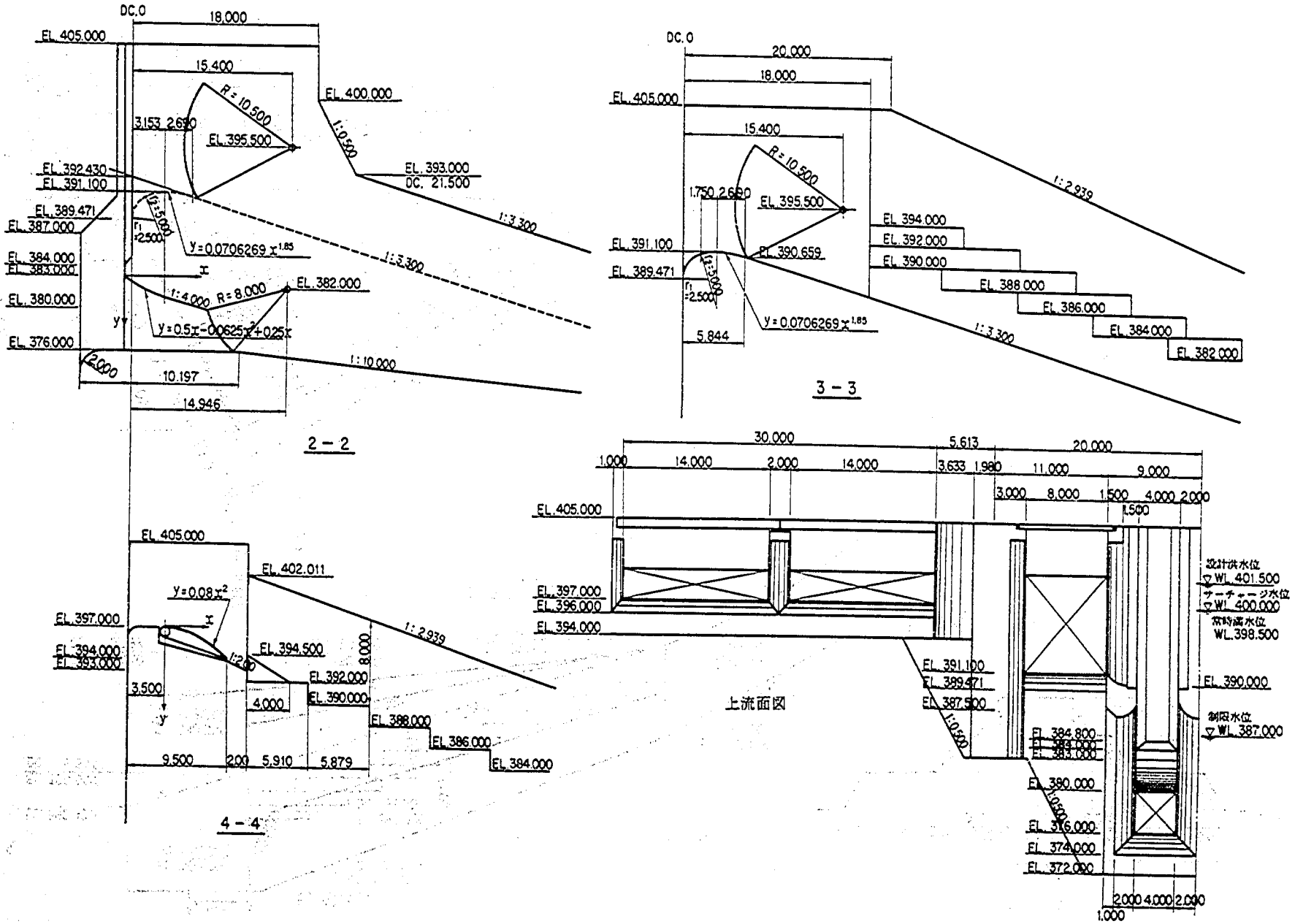


図51ｃ　洪水吐き形状図

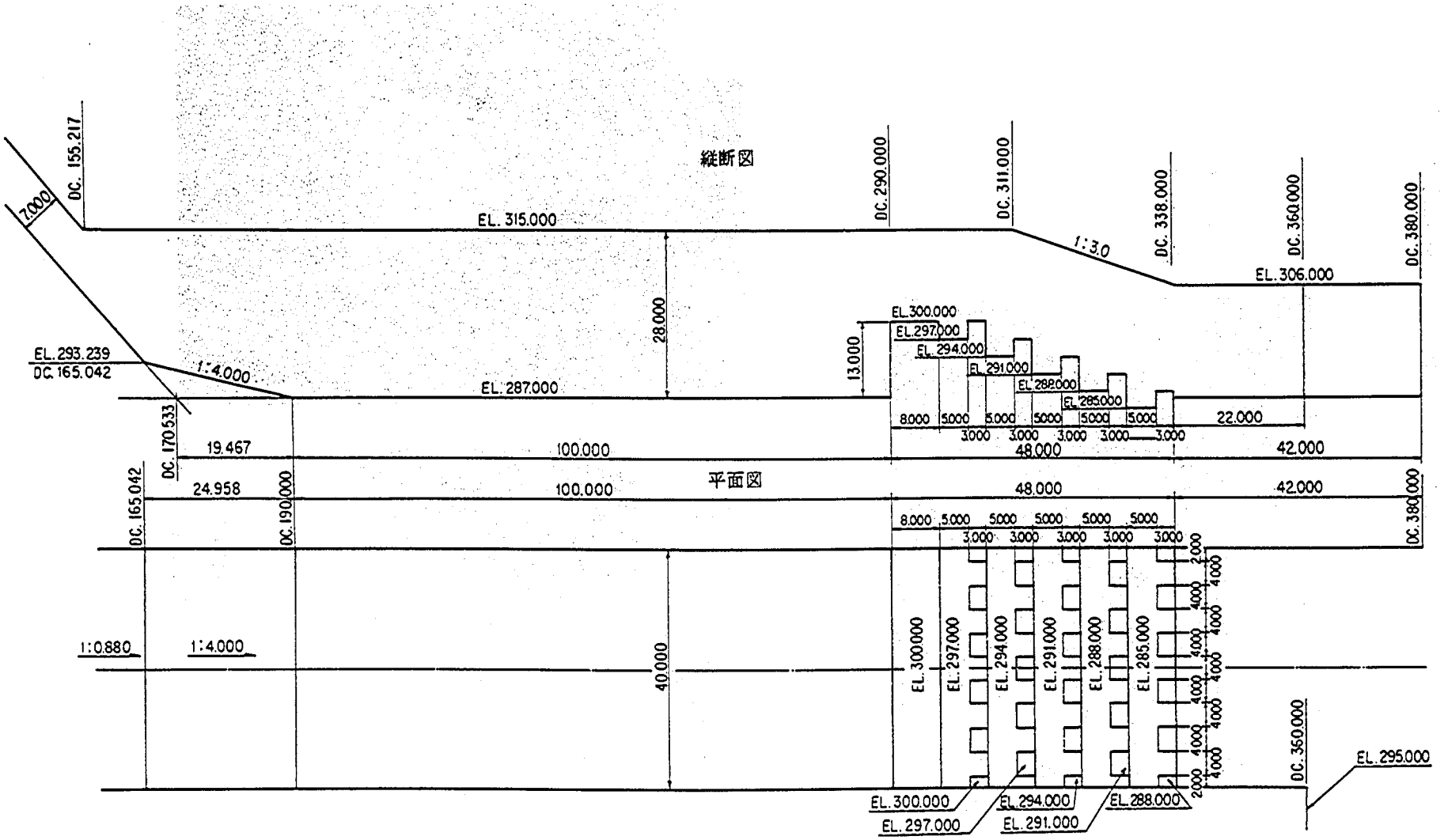
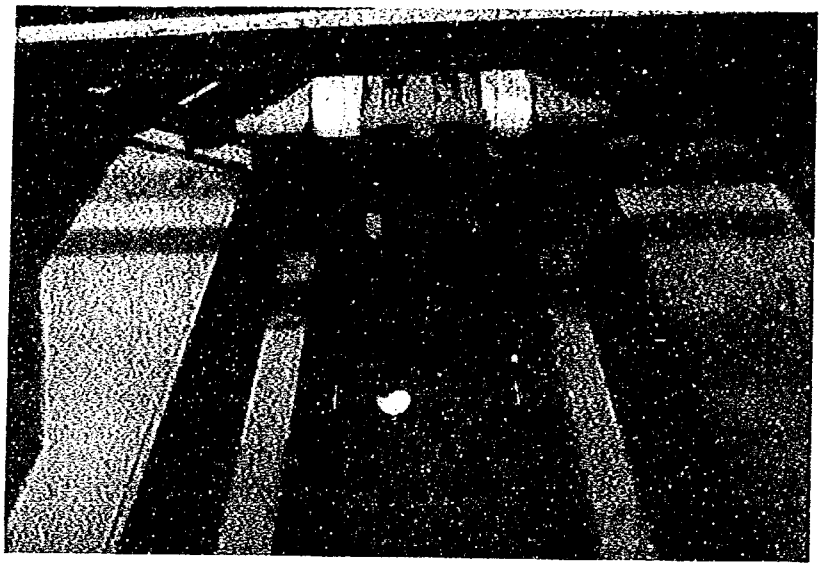
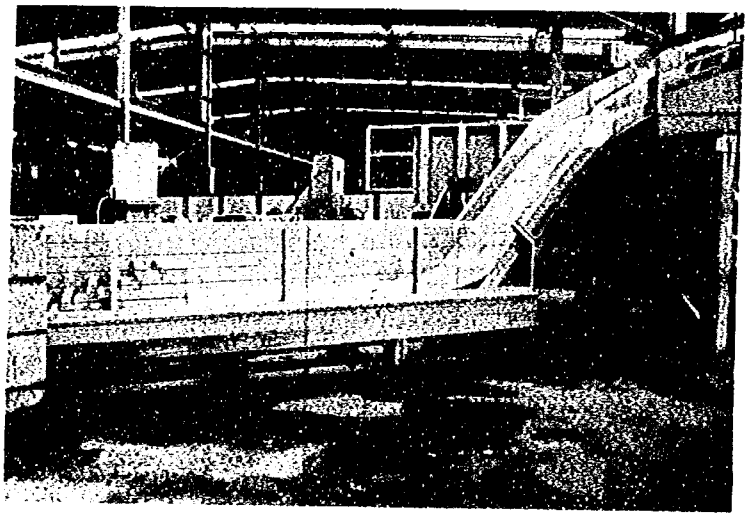


図51ｄ　洪水吐き形状図

また，河道地形は現状河道での問題点を把握するため，初めは全体をモルタル整形加工の固定床河道とした（写真No.56～61参照）。



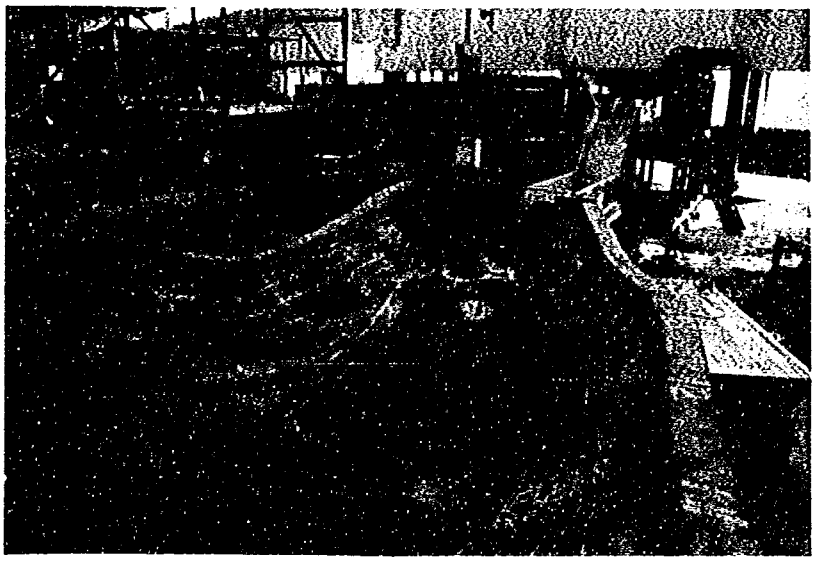
写真No.57
洪水吐き模型
流入部形状



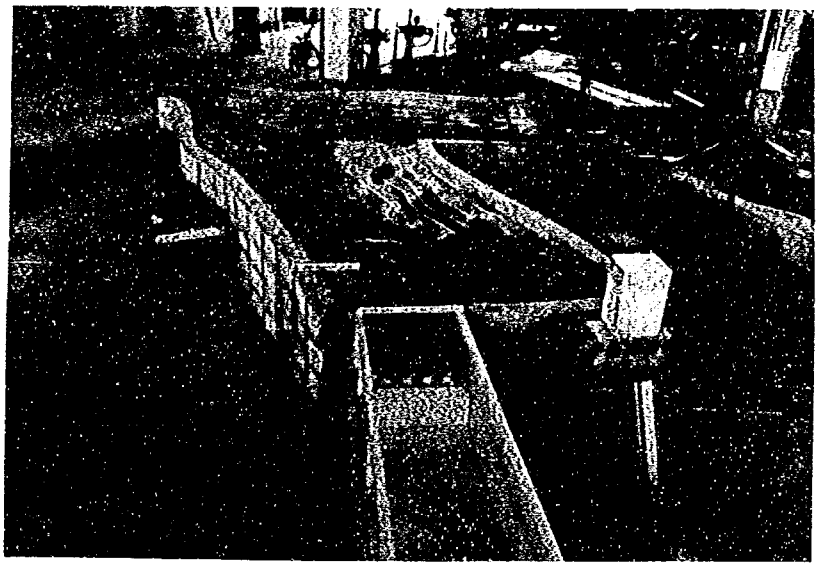
写真No.58
洪水吐き模型
減勢工形状



写真No.59
洪水吐き模型全景



写真No.60
河道模型上流側



写真No.61
河道模型下流全景

1.2 実験内容

減勢工形状は図51dに示したように，これまでの検討結果である直線型水平水叩き方式で，水叩き長さ100m，副ダム高13mの規模とした。検討結果から副ダムを越流する流水のエネルギー高はダム設計洪水流量時には概略23m水柱となり，副ダム下流の河床洗掘が明らかである。

本実験での内容は表27の一覧表に示すように，固定床および移動床条件に対して副ダム減勢工形状2種での下流河道への影響調査を実施した。この場合，対象流量は300m³/s，1,000m³/s，2,000m³/sおよび2,600m³/sの4ケースとし，図49に示した河道断面の水面形，流速および流況観測を実施した。また，本実験での水理諸量は表28に示すフルードの相似則にもとづいて実施している。

表27　減勢工および下流河道実験ケース一覧表

No.	検討内容	改造形状		実験番号	流量 (m^3/s)	計測項目					備考
						水面形		流速	河床	流況	
						縦断	横断				
1	固定床	A型	1	111	300	全断面(20)	—	特定点を適宜測定	———	適宜観察	副ダム自体に減勢効果をもたらせる形状
				112	1000	全断面(20)	6断面				
				113	2000	全断面(20)	6断面				
				114	2600	全断面(20)	6断面	横断水面形測定位置			
		B型	1	124	2600	全断面(20)	6断面	横断水面形測定位置	———	適宜観察	副ダム下流の補助構造物に減勢効果をもたらせる形状
			2	134	2600	12断面	8断面	横断水面形測定位置			
			2	141	300	—	—	特定点を適宜測定			
				142	1000	—	—				
				144	2600	全断面(20)	13断面	横断水面形測定位置			
2	移動床	A型	1	211	300	適宜測定		適宜測定	通水後11～12断面	〃	4流量のかぶせとする。河床測定は所定流量を流した後，一旦止水して測定する。横断方向には地形の変化点とし，おおむね5～6点とする。
				212	1000						
				213	2000				通水後19断面(全断面)		
				214	2600						
		B型	2	241	300	〃		〃	通水後11断面	〃	〃
				242	1000						
				243	2000				通水後19断面(全断面)		
				244	2600						
3	移動床	推奨案(A型)	1	311	300	———		適宜測定	———	〃	4流量のかぶせとする
				312	1000						
				313	2000						
				314	2600						

表28　諸量の縮率

減勢工および下流河道	諸量	次元	縮率	
	長さ	L	n	1：80.0
	時間	T	$n^{1/2}$	1：8.94427
	流速	$L \cdot T^{-1}$	$n^{1/2}$	1：8.94427
	流量	$L^3 \cdot T^{-1}$	$n^{5/2}$	1：57243.34
	圧力強度	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$	n	1：80.0

1.3　実験結果

副ダム減勢工形状による下流河道への影響調査は，その機能によりA型とB型と呼称することとし，この2種形状で検討を加えた。

1.3.1　A型副ダム減勢工の検討結果

A型副ダム減勢工とは，図52に示す詳細図のとおり，副ダム下流ステップ上にブロックを千鳥に配例することにより，副ダム自体に減勢効果を持たせた形状である。

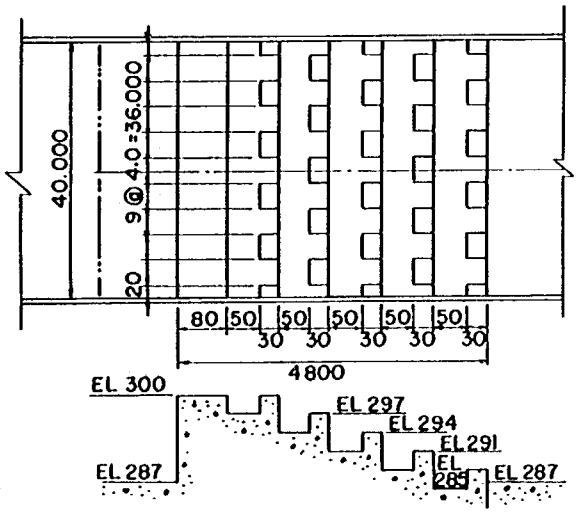


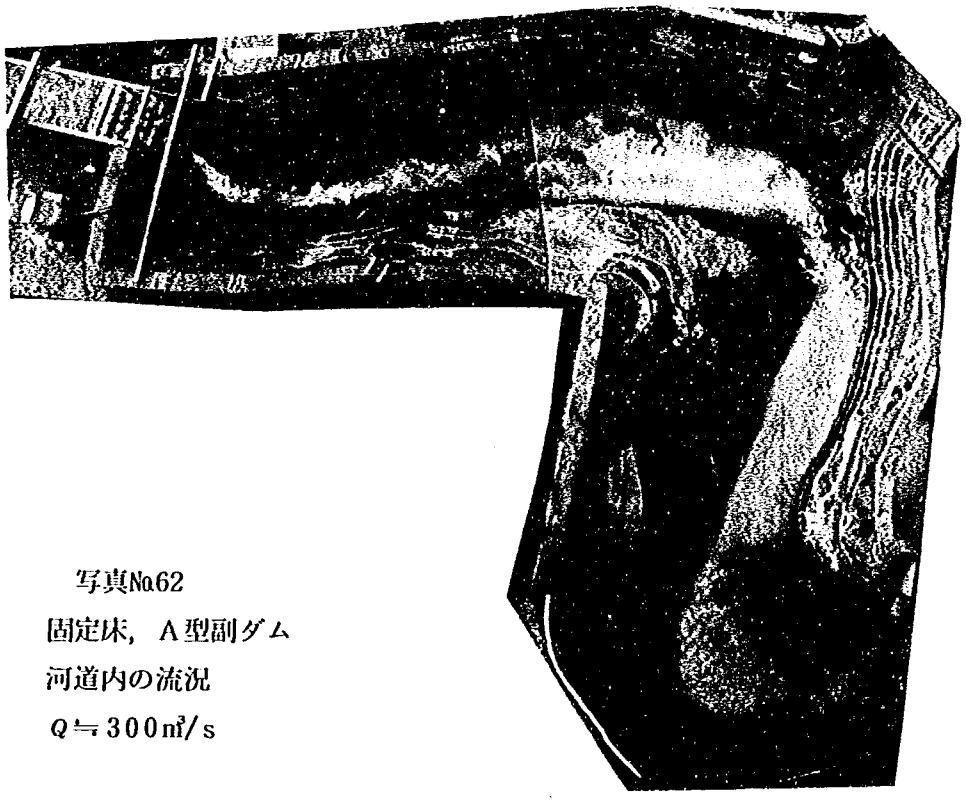
図52　A型副ダム減勢工形状図

各放流条件での水面形および流速の測定断面は図49に示した河道断面Noと同じで，No20とは減勢工末端DC・360mの横断位置である。また，河道内の全体的な流況は目視または写真撮影を行った。これらの測定結果は図53a～53bおよび表29に示すとおりである。

以上の結果をまとめるとつぎのとおりである。

1) 300㎥/s 放流の場合（写真№62参照）

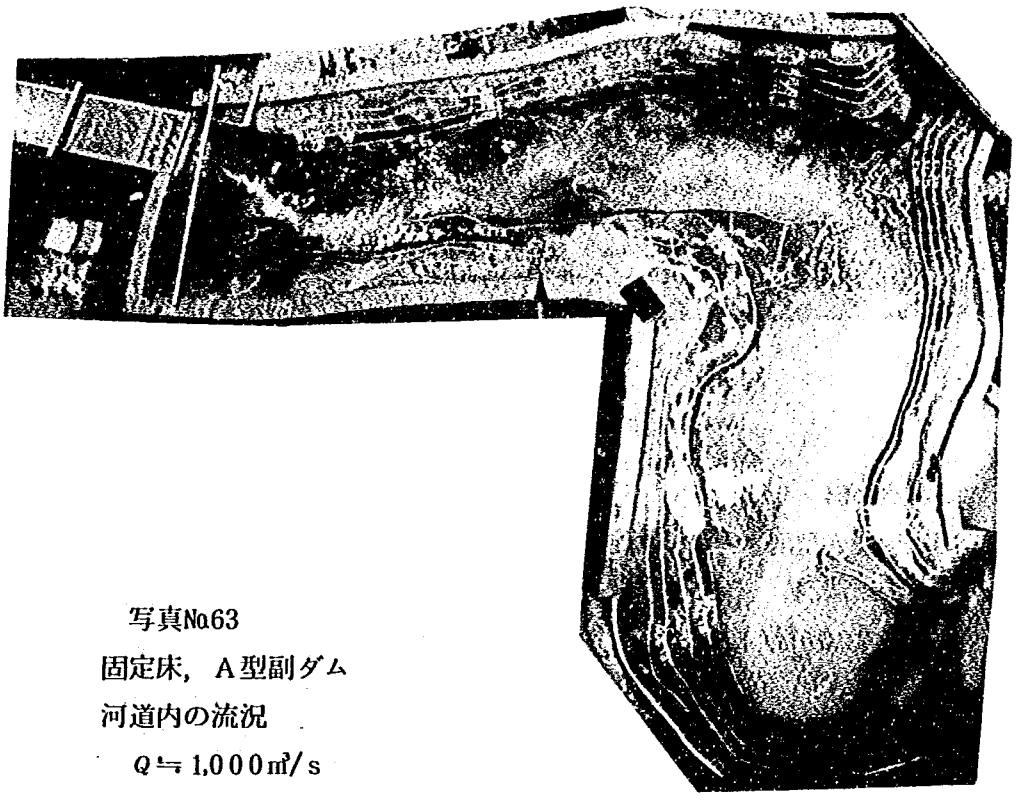
このケースでは副ダム天端上の水深は流速水頭で低下しており，越流水深の約半分の2m程度であり，越流水はブロックの分散とブロック間の回転流となり，さらに千鳥ブロックに衝突しながら流下し，副ダム終端から下流50m（測線№19）での流速は4.0m/s 程度となっている。このため，下流河道では水衝部は見当らず，洪水流は河道の最深部に沿って流下している。しかし，洪水流は断面№19から第1彎曲点までは射流状態であり，その主流線は№19と№18の左岸側に河道内へ突出した露出岩があるため右岸側に寄っている。また，第1彎曲部から下流の流れは彎曲の影響で左岸沿いを流下し，右岸側は死水域に近い状態であり，月岡堰堤の背水区間（断面№6付近）で拡散する流れとなるが，第2彎曲部の影響でまた右岸に寄った流れとなり，堰堤を流下する。



写真№62
固定床，A型副ダム
河道内の流況
$Q \fallingdotseq 300$㎥/s

2) 1,000㎥/s放流の場合（写真№63参照）

副ダムからの越流水はブロック間の回転流の上を滑べるように流下しているが，ブロックでの減勢効果があり，№19断面での流速は5.0㎥/s 程度である。河道内の流況は300㎥/s放流時と同様な傾向である。しかし，射流区間で三角波が発生している。また，第1彎曲部から月岡堰堤までの流れは300㎥/sと同様な傾向である。



写真No.63
固定床，A型副ダム
河道内の流況
$Q \fallingdotseq 1{,}000 m^3/s$

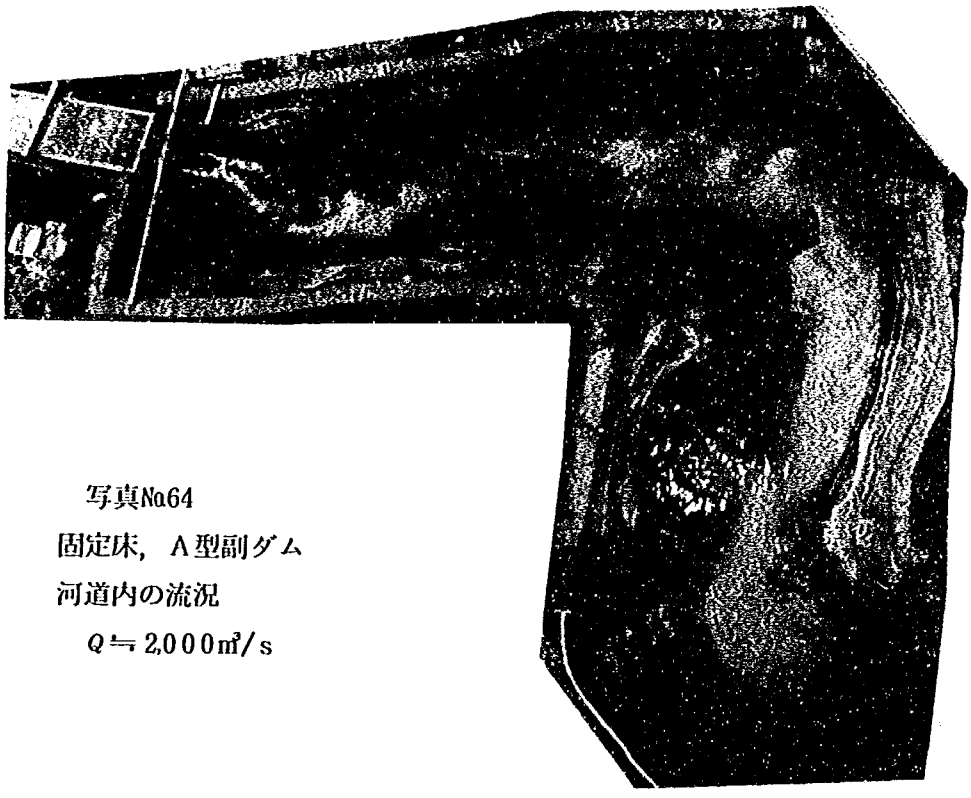
3） 2,000㎥/s放流の場合（写真No.64参照）

副ダムからの越流水はブロックを完全に包み込んでおり，ブロック上を滑べる流水の割合が増大し，減勢効果が薄れ，No.19断面での流速は7.8m/s である。このため，前述した露出岩に衝突した流れが右岸へ直進して，副ダム終端から下流約130m（No.17～No.16）付近に水衝部を形成する。この水衝部付近の流速および水位変動はそれぞれ7.0m/s ， 3.0 mである。水衝部を過ぎた流れは河道の中央へ戻り，そのまま彎曲点まで流下するため左岸に対しての影響は少ない。

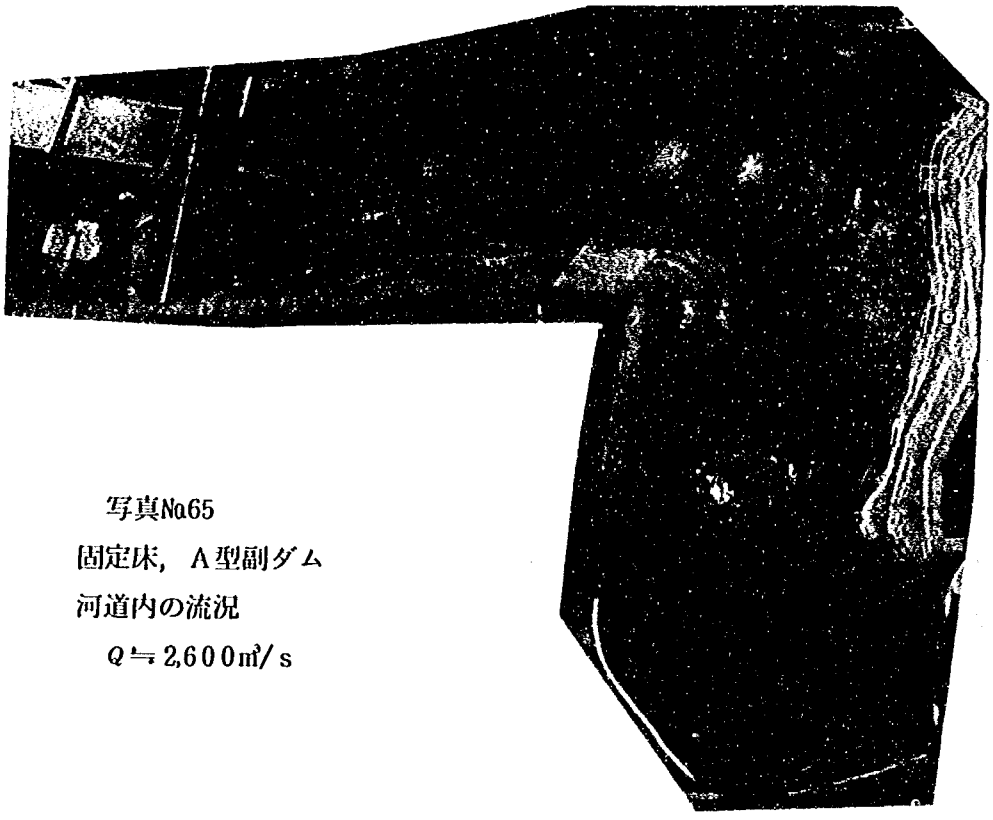
第1彎曲点より右岸側は弱い逆流域となっている。月岡堰堤上流の河道横断道路は冠水する。

4） 2,600㎥/s放流の場合（写真No.65参照）

副ダムからの越流水は2,000㎥/sのケースよりさらに減勢効果を期待できない流況を呈し，No.19断面での流速は10m/sである。河道内の流れは2,000㎥/sのケースと同様な傾向で水衝部の位置がやや下流に下がっている。水衝部での流速および水面変動は7.6m/s，5.0m程度となっている。また，No.14断面付近の左岸側の流速および水面変動はそれぞれ4.5m/s，2～3 mである。第1彎曲部付近も水衝部となり，No.9断面で同じく3.6m/s，3 m程度の変動が見られる。しかし，風吹沢への堰上げ背水は見られない。



写真No64
固定床，A型副ダム
河道内の流況
$Q \fallingdotseq 2{,}000 m^3/s$



写真No65
固定床，A型副ダム
河道内の流況
$Q \fallingdotseq 2{,}600 m^3/s$

1.3.2　B型副ダム減勢工の検討結果

B型副ダム減勢工は図54に示すように，副ダム下流にエンドシル等の補助構造物を設けて第2減勢池の2次跳水によって減勢を図る一般的な形状である。

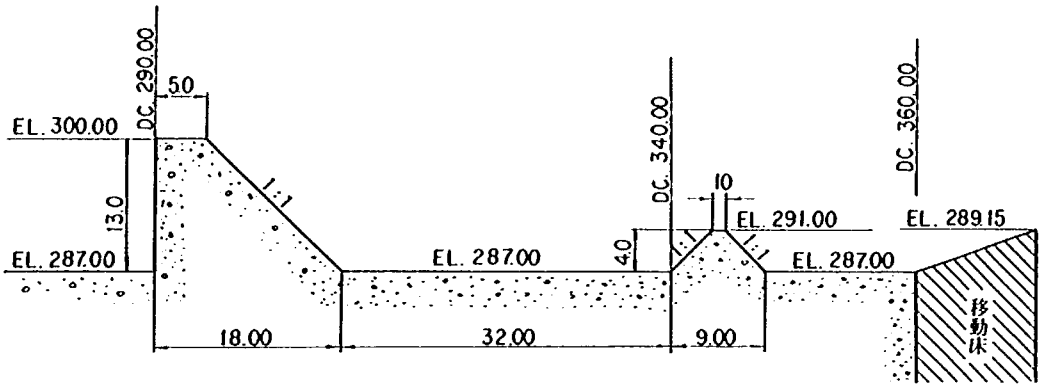


図54　B型副ダム減勢工形状図

予備検討ではB型副ダム下流に何も補助構造物を設けない場合には露出射流が副ダム下流約170m（No16断面付近）まで見られる。

そこで，2,600㎥/s放流時の水理量を元に副ダム減勢工のおおよその規模を次に示す一連の式で求めた。

$$v_1 = \sqrt{2gH} \qquad ①$$

$$Q = AV_1 \text{ より } h_1 = Q/Bv_1 \qquad ②$$

$$F_r = v_1/\sqrt{gh_1} \qquad ③$$

$$h_2 = \frac{h_1}{2}\left(\sqrt{1+8F_r^2}-1\right) \qquad ④$$

$$d = 0.25h_2 \qquad ⑤$$

$$L = 4.5h_2 \qquad ⑥$$

ここに，Q：流量（＝2,600㎥/s），H：有効水頭（=28m），B：水路幅（=40m）

v_1：突入前の流速（m/s）　g：重力加速度（＝9.8m/s^2）

h_1：突入前の水深（m）　F_r：突入前のフルード数

h_2：下流共役水深（m）　d：シル高（m），L：必要水平水叩き長さ（m）

以上の数値を代入したdとLの値は$d \fallingdotseq 4.0$m，$L \fallingdotseq 70.0$m（ただし，水叩き標高EL.287.0 m）が得られる。しかし，副ダム減勢工の設置範囲は仮排水路トンネルの出口との関係等でDC.360.0 m以内に収める必要から，ここでは副ダム減勢工の規模は$d \fallingdotseq 4.0$m，$L \fallingdotseq 32.0$m，水叩き標高EL.287.0mを標準値とし，実際の検討では図55に示すB型副ダム減勢工形状2種について行った。ただし，形状1の補助構造物は図に示した形状の4 m間隔のバッフルピア形状である。この場合，水位横断および流速の測定結果は表

30 a ～30 b に示すとおりである。

次に固定床でのこれらの検討結果を整理して述べることとする。

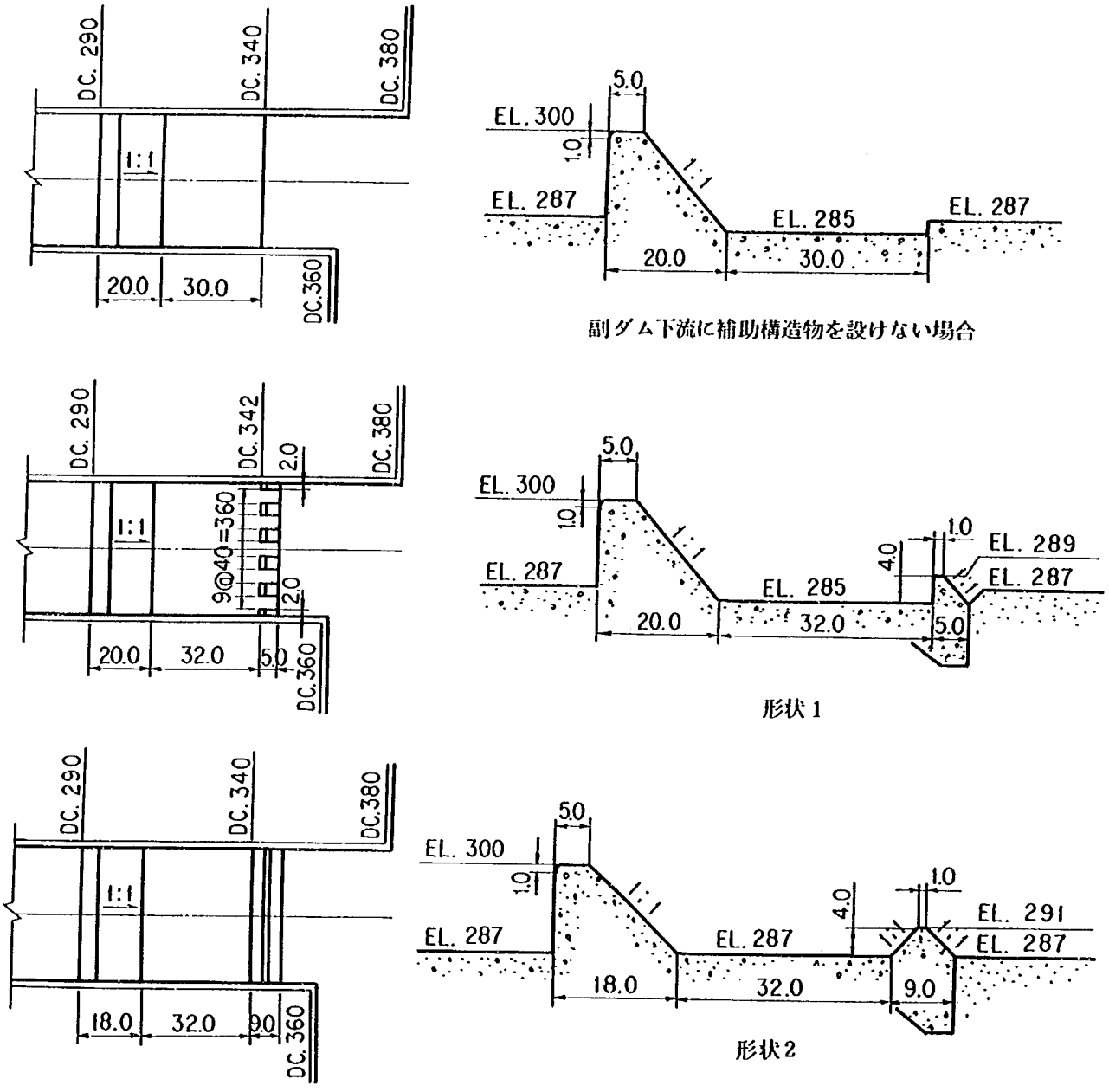
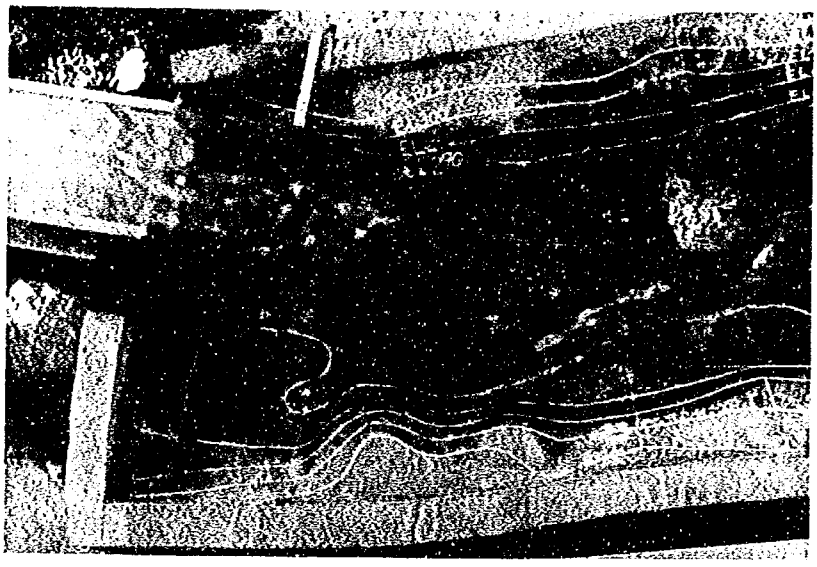


図55　B型副ダム減勢工比較検討形状図

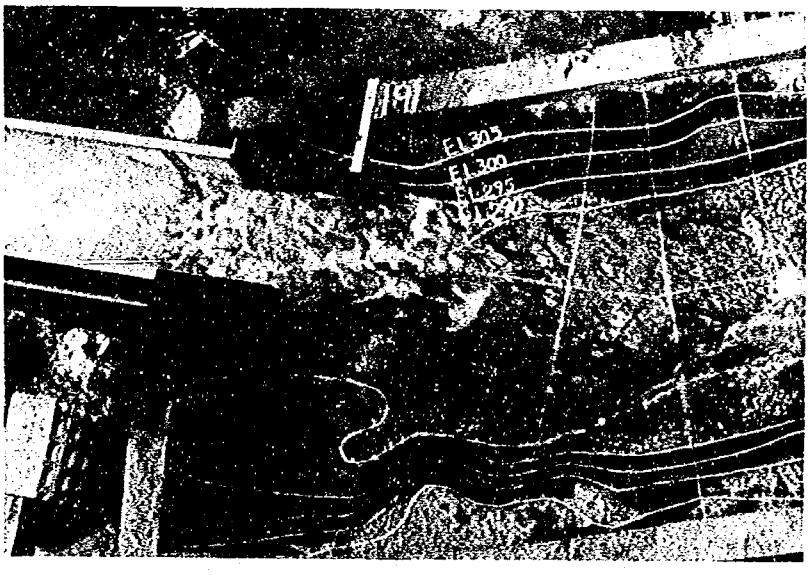
1）形状 1 について

300㎥/s 放流では，副ダム減勢工内の跳水現象により減勢され，バッフルピア下流の流速はA型と同じく 4.0m/s程度 であり，流況もA型と同様である。

2,600㎥/s放流では，副ダムを越流した流水が減勢されずバッフルピアに衝突し，飛散しており，A型との比較でもかなり下流域まで水面が乱れ流況を悪化させている（写真№66と67参照）。



写真No.66
A型副ダム減勢工の
下流直下の流況
$Q \fallingdotseq 2{,}600 m^3/s$



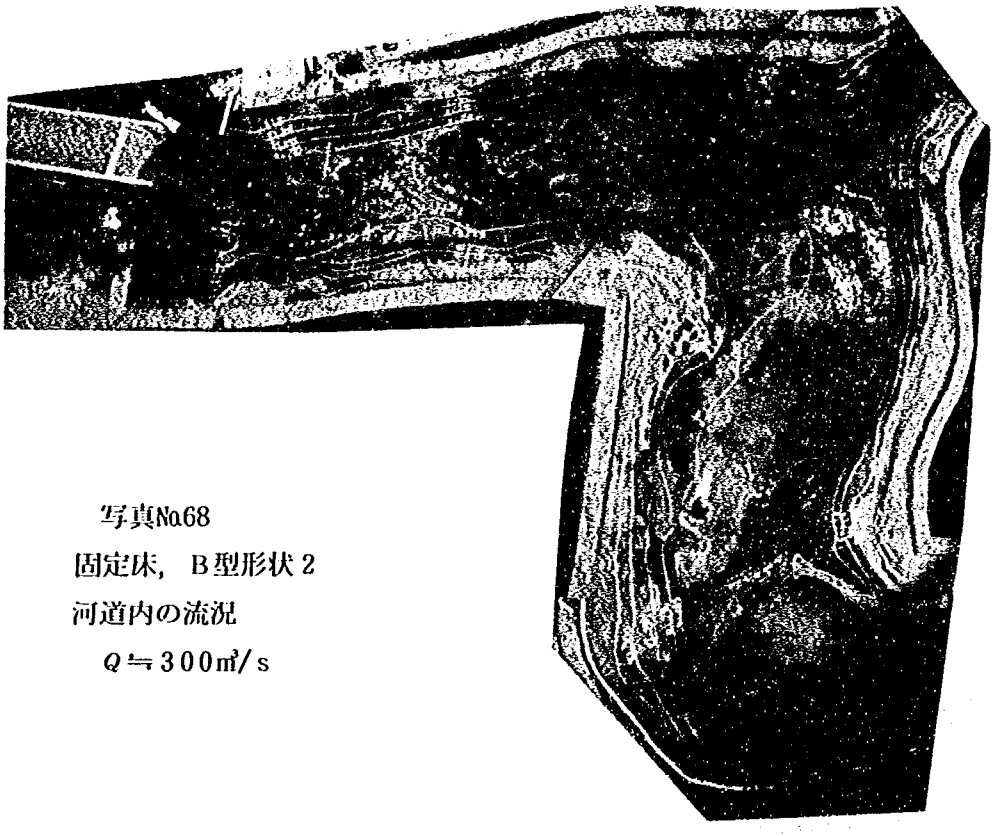
写真No.67
B型副ダム減勢工形
状Ⅰの直下流の流況
$Q \fallingdotseq 2{,}600 m^3/s$

2) 形状2について

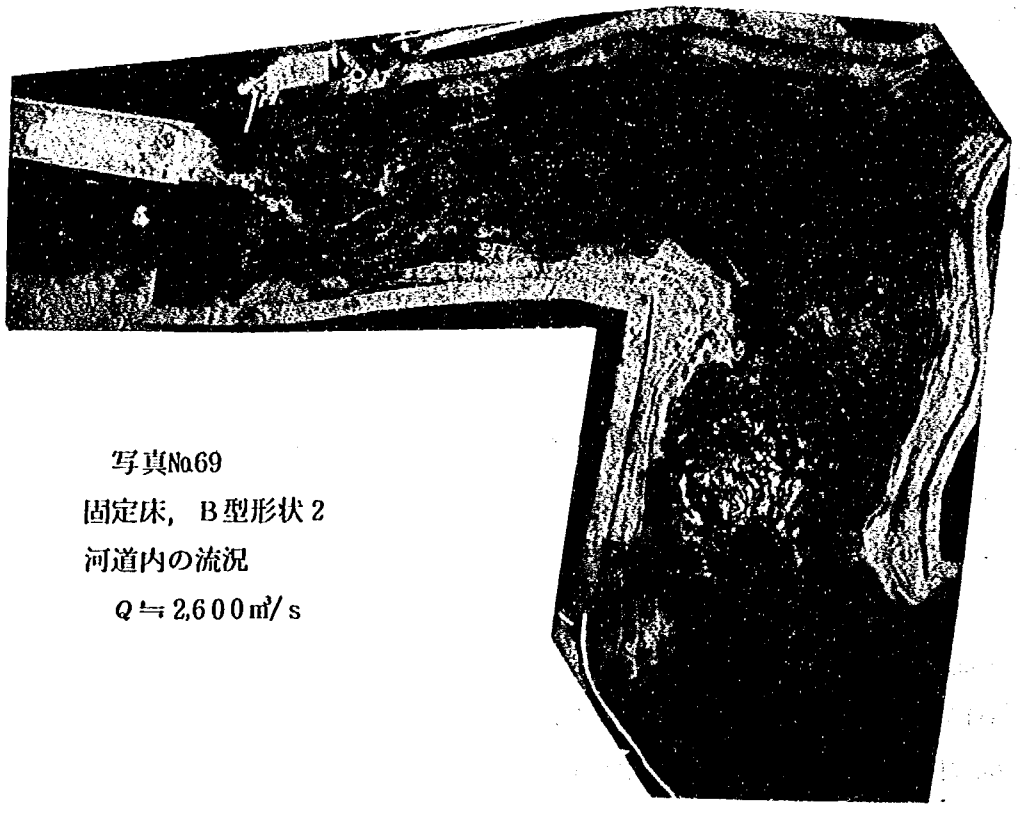
300㎥/s放流時は形状1およびA型と同様に減勢され問題がない流況であり，No.19地点の流速は4.0m/s程度である（写真No.68参照）。

1,000㎥/s放流時には副ダム終端で跳水が生じ，減勢効果がでている。流況的にはA型と同様な傾向である。

2,600㎥/s放流時には副ダム減勢池内で跳水による減勢効果が見られるが，エンドシルによりせき上げられた流水がNo.17断面まで影響している。しかし，シル下流の流速は4.8m/sであり，A型に比較して（写真No.65と69参照）河道内の流況はおだやかである。



写真No.68
固定床，B型形状2
河道内の流況
$Q \fallingdotseq 300 m^3/s$



写真No.69
固定床，B型形状2
河道内の流況
$Q \fallingdotseq 2,600 m^3/s$

1.3.3　副ダム減勢工の比較検討

以上，述べてきたＡ型，Ｂ型の２形状について，さらに詳細な検討を加えるため，2,600㎥/ｓ 放流時の河道断面，No.19，No.17およびNo.15地点での横断方向の流速分布を測定した。これらの測定結果を図化したのが図56である。この図からつぎのことが明らかである。

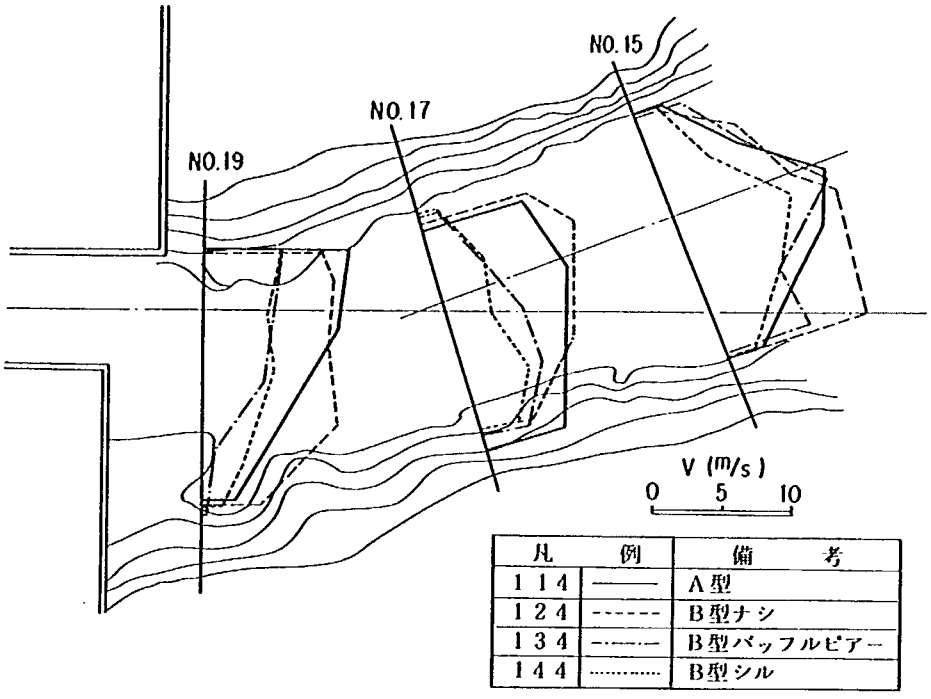


図56　副ダム減勢工形状の型式別流速分布の比較図

1）流速の差が著しく表われるのは断面No.17付近までで，No.15断面ではほぼ同一流速であるといえる。

2）副ダム減勢工直下での流速は形状によって約５ｍ程度差がでることから，河床洗掘を考えた場合効果的に減勢しているＢ型形状２のエンドシル方式が好ましいといえる。

次に，河道内各横断での流れの中心付近の縦断水面形を比較したのが図57である。

この図に示す各断面の水面高は瞬時に測定したもので，ある時間内の波動の平均値ではないためあまり信頼性はないが，定性的な見地からつぎのことがいえる。

1）いずれの形状でも断面No.16以後の水面形はほとんど差がないといえる。

2）水面勾配と河床勾配からNo.14断面までは射流区間で，No.14からNo.９までは射流から常流への遷移区間，No.９以後は常流区間と見なされる。

第２節　移動床による河道実験

固定床実験と本実験での模型上の違いは河道地形模型の予想堆積層よりも深めに平均粒径 0.6 ㎜の土砂を敷き並べ整形河床とした点だけである（写真No.70参照）。

この場合の整形河床面高は固定床における各横断面の変化点の高さから平均高を求めて合わせたものである。

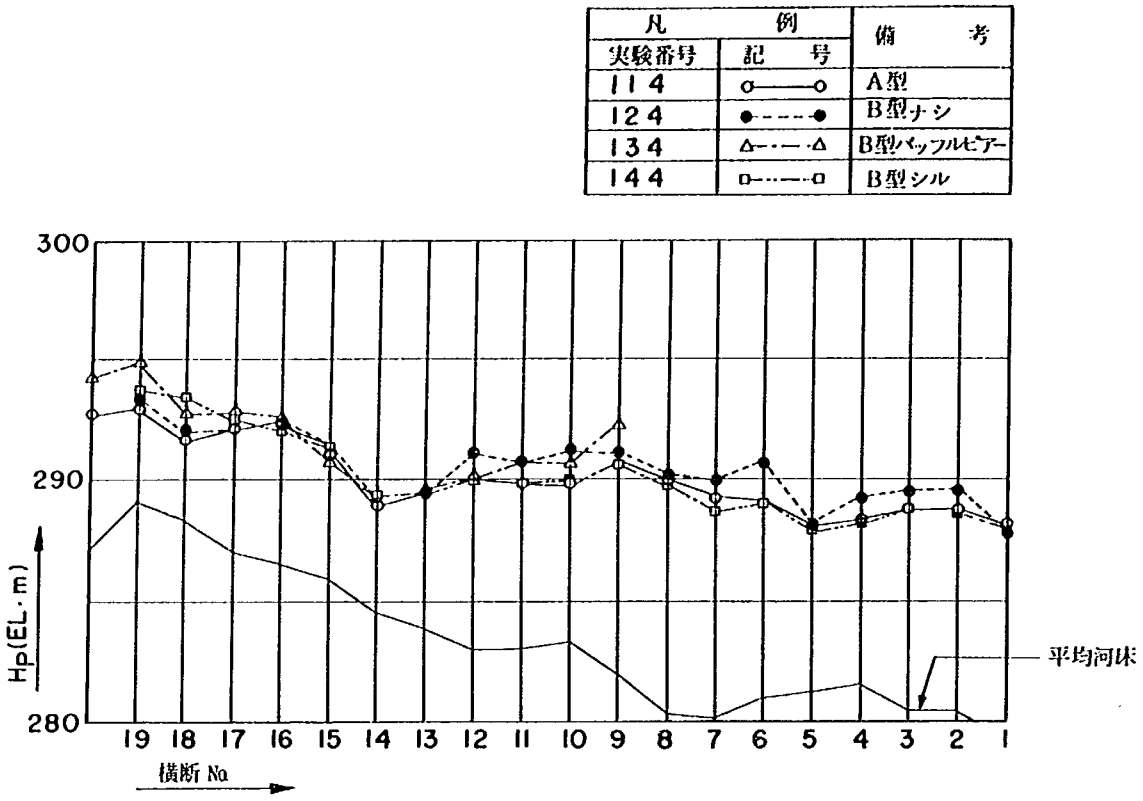
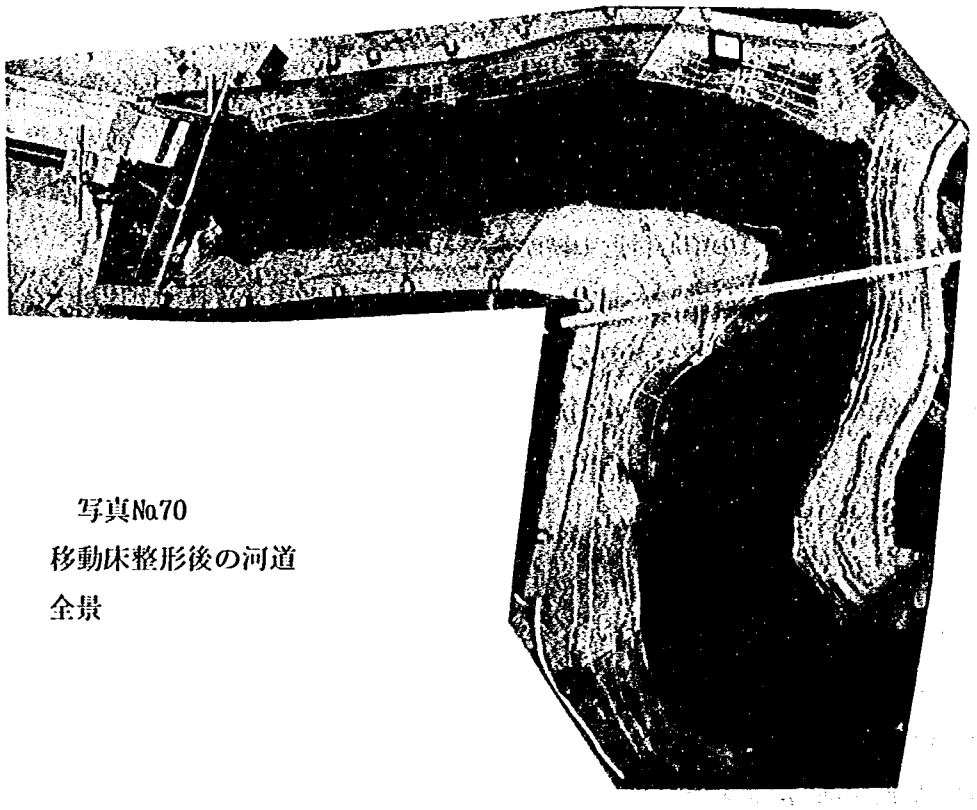


図57　副ダム減勢工形状の型式別水位縦断変化比較図



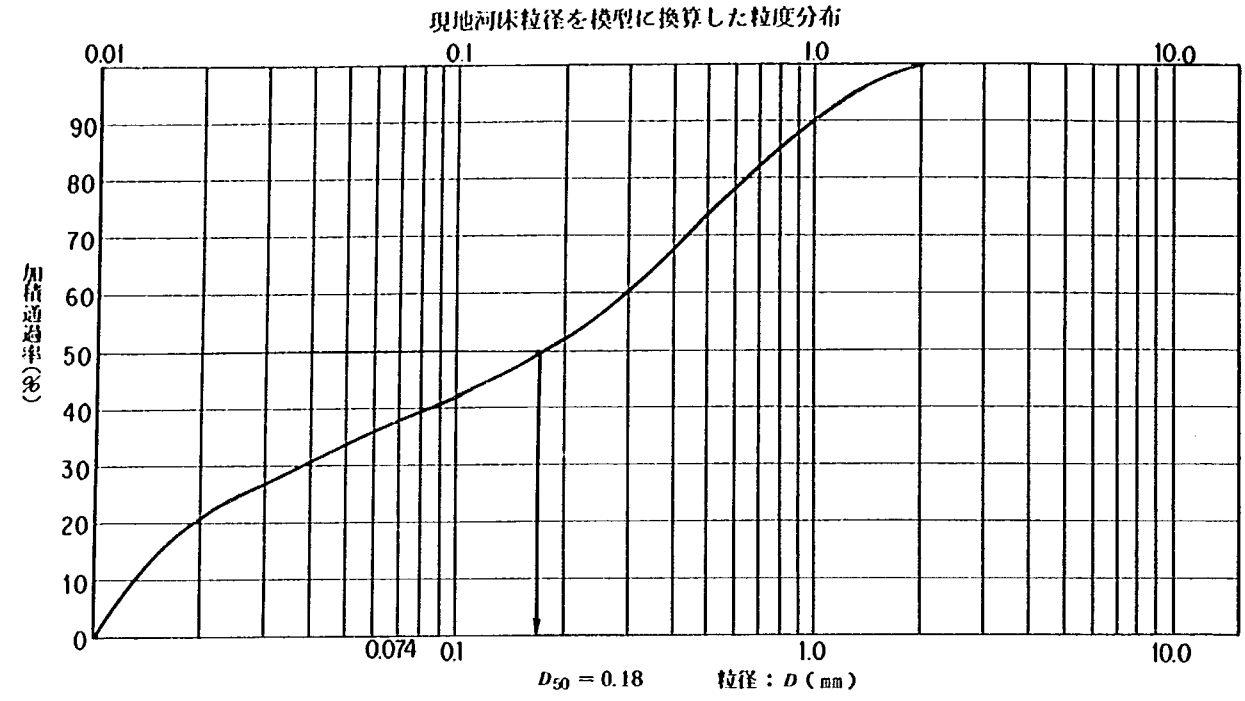
写真No.70
移動床整形後の河道
全景

2.1 実験内容

河道を移動床とした実験は，固定床実験の検討結果から，副ダム減勢工形状はA型およびB型形状2の2種とし，放流条件を300㎥/s，1,000㎥/s，2,000㎥/sおよび2,600㎥/sの4ケースについて実施した。これらの放流量の通水時間は第1章に示した計画高水での洪水波形を考慮して，300㎥/sでは模型で3時間連続（実物換算で約27時間に相当），1,000㎥/s以上の流量については模型で1時間ずつ（約9時間相当）としたが，実際のダム管理操作は洪水パターンによって変わるため模型に取り入れるのは困難である。また，洪水通水後の河床変動の測定は各ケースとも連続通水後にそれぞれ，図49に示した各断面で行った。

実験に使用した実験砂と現地砂の粒度分布の比較は図58に示すとおり，50%粒径では実験砂の方がほぼ3倍となっており，粒度分布構成は実験砂がほぼ均一分布に対し現地砂はほぼ均等分布になっているが定性的な河床変動を調査するには支障がないものと考える。

また，実験砂の粒度分布は模型河床整形後と通水後の上，中，下流の3箇所で採取し，ふるい分けしたものである。



凡	例
通水前	———
通水後	- - - - -

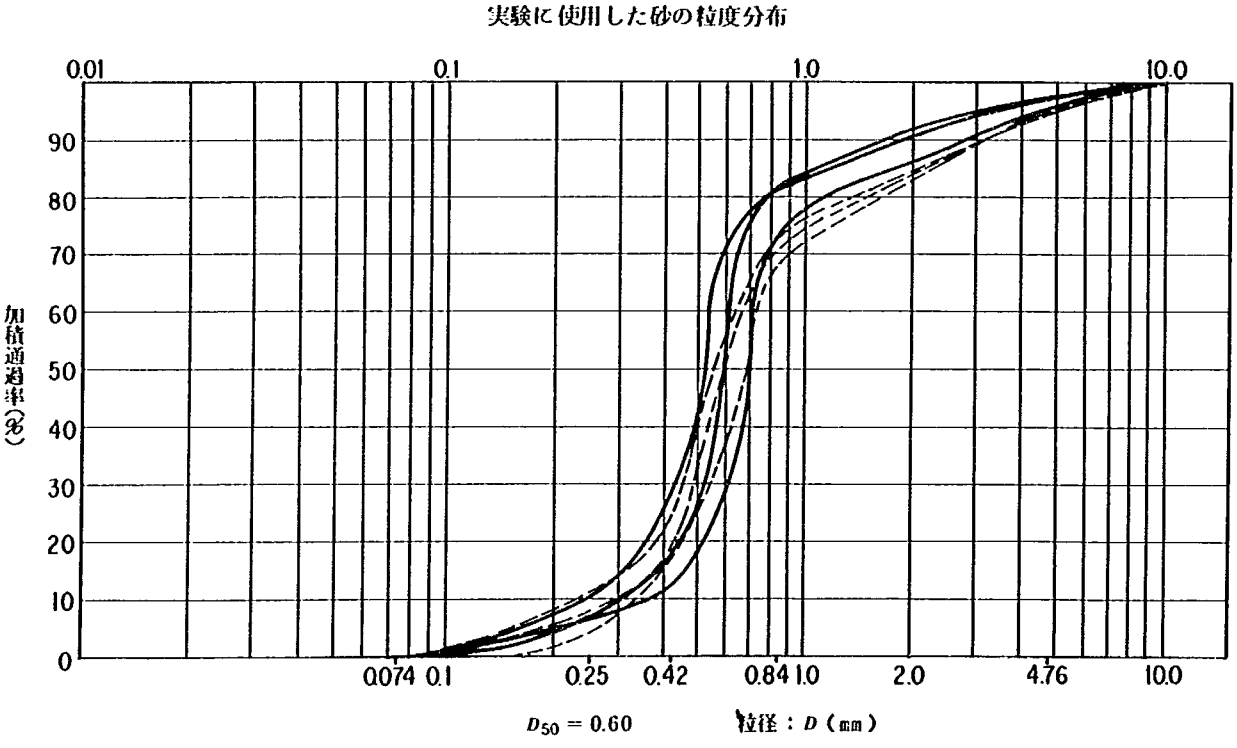


図58　現地砂と実験砂の粒度分布

2.2 実験結果

2.2.1 A型副ダム減勢工の検討結果

副ダム減勢工末端と移動床敷高との関係は図59に示すとおりである。この状態をスタートした実験結果は図60a,b～61a,bおよび表31a～31bに示すとおりで，これらの結果を整理してまとめるとつぎのことが判明した。

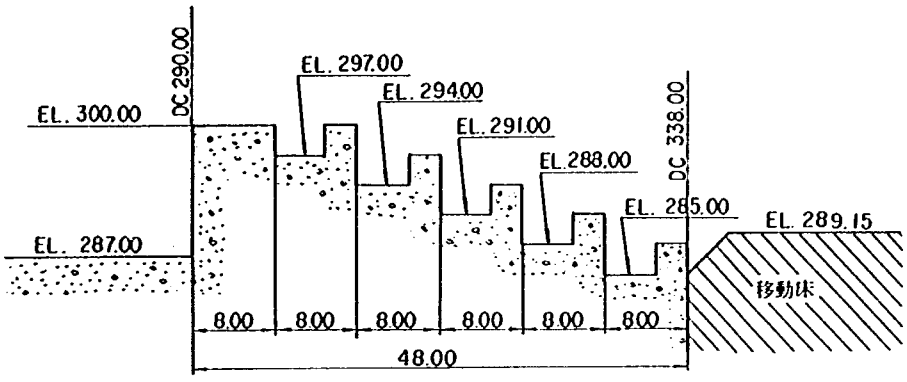


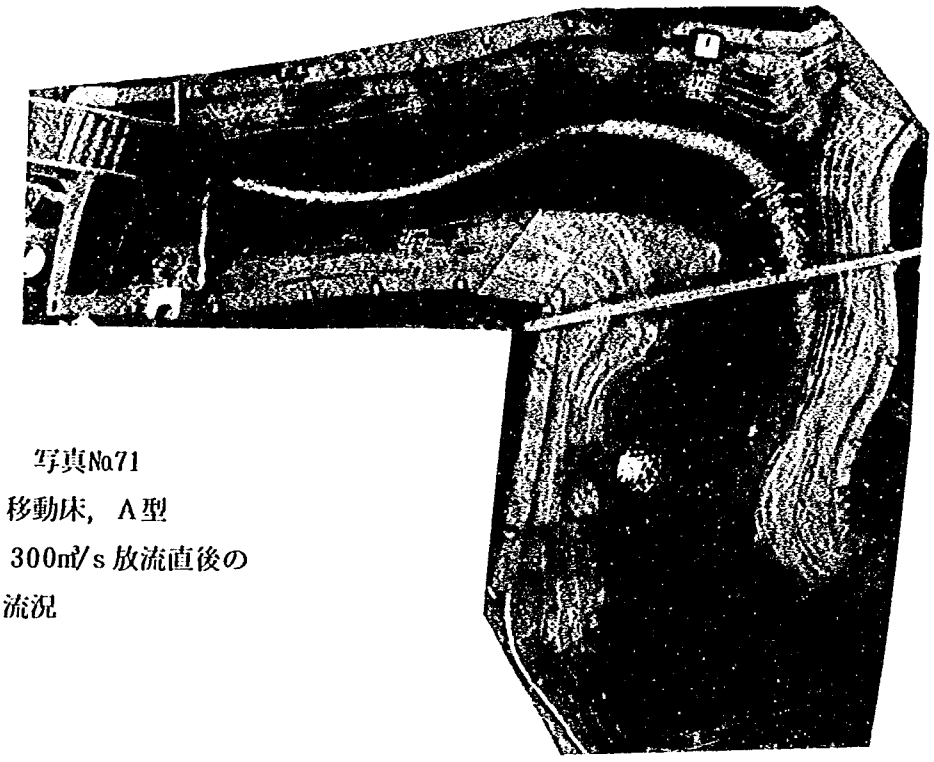
図59 A型副ダム減勢工と移動床の関係図

1) $Q=300m^3/s$放流では流況写真（No.71～73）に示すように，通水直後から4.5時間（＝実物換算値，以後もすべて実物換算時間とする）程度の河床が安定するまでは主流の方向は定まらないが，それ以後は写真No.71に示すように第1彎曲部に向って直進する流れとなる。$300m^3/s$27時間通水後の副ダム直下の河床は約3m（EL.286.0m）程度まで低下し，射流区間（断面No.17～No.10）の平均河床勾配は1/63から通水後は1/150，No.9～No.2区間は1/340に緩和され，河道全域にわたって常流状態で流下している。また，河道内の堆積はNo.17～風吹沢手前までの左岸全域と第1彎曲部から堰堤までの右岸全域となり，局所洗掘は第1水衝部下流の右岸と第1彎曲部下流の左岸沿いに発達する。

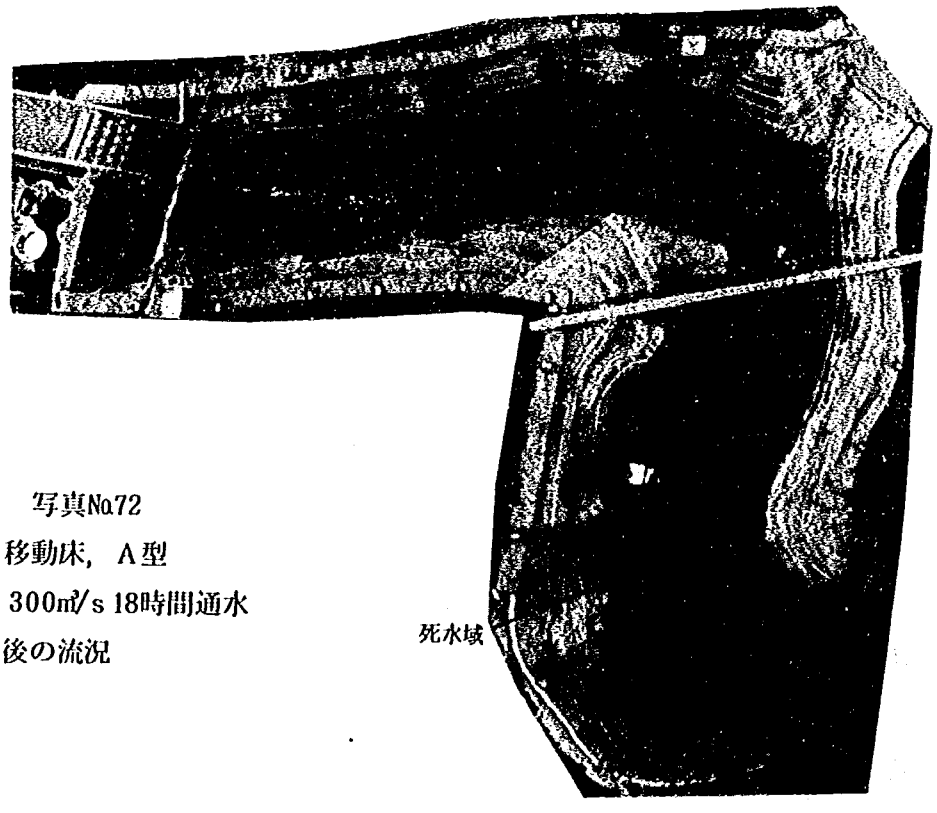
2) $1{,}000m^3/s$以上（各9時間通水後）では図60a,b～61a,bに示したように，放流量が増加するに従って，河床低下の進行の度合が大きくなり，$2{,}600m^3/s$通水後では推定岩盤線（EL.273.5m）の露出区間が断面No.16まで拡大する。しかし，いずれの放流量でも河道内の流れは河床低下に伴って常流状態で流下している。また，$1{,}000m^3/s$での堆積および局所洗掘の位置は$300m^3/s$と同位置で，$2{,}000m^3/s$以上では第1彎曲部までの全域で堆積がなくなり，第2彎曲部下流右岸に堆積が残り局所洗掘は第1彎曲部下流の左岸がさらに発達する（写真No.74～76参照）。

3) 副ダム減勢工からの主流線はいずれの流量でも第1彎曲部まで直進性が強く，蛇行現象は見られずに右岸沿いを流下する。

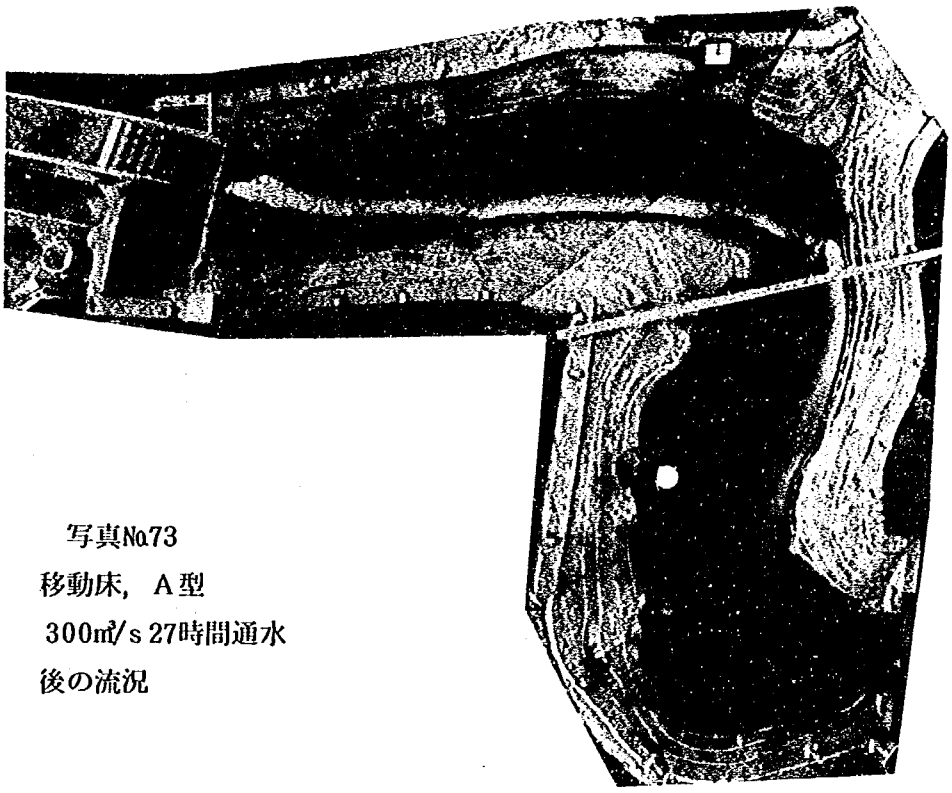
4) 水衝部は固定床実験と同様に2ケ所に見られ，1ケ所は断面No.18付近の右岸であり，他の1ケ所は第1彎曲部断面No.9付近の左岸である。



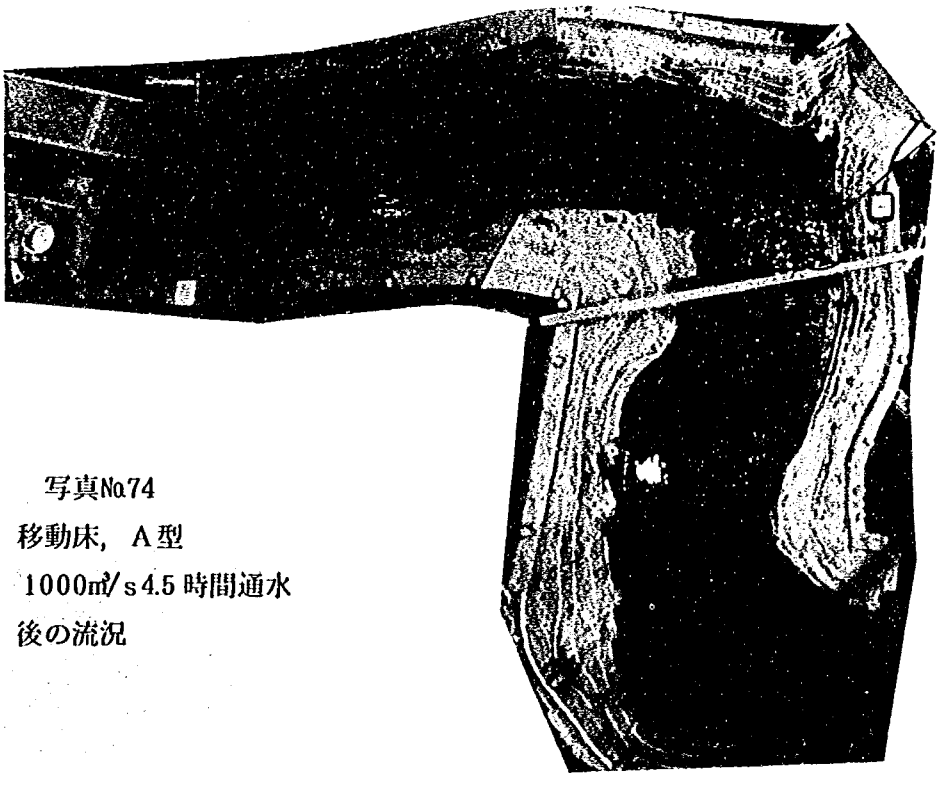
写真No.71
移動床，A型
300㎥/s 放流直後の
流況



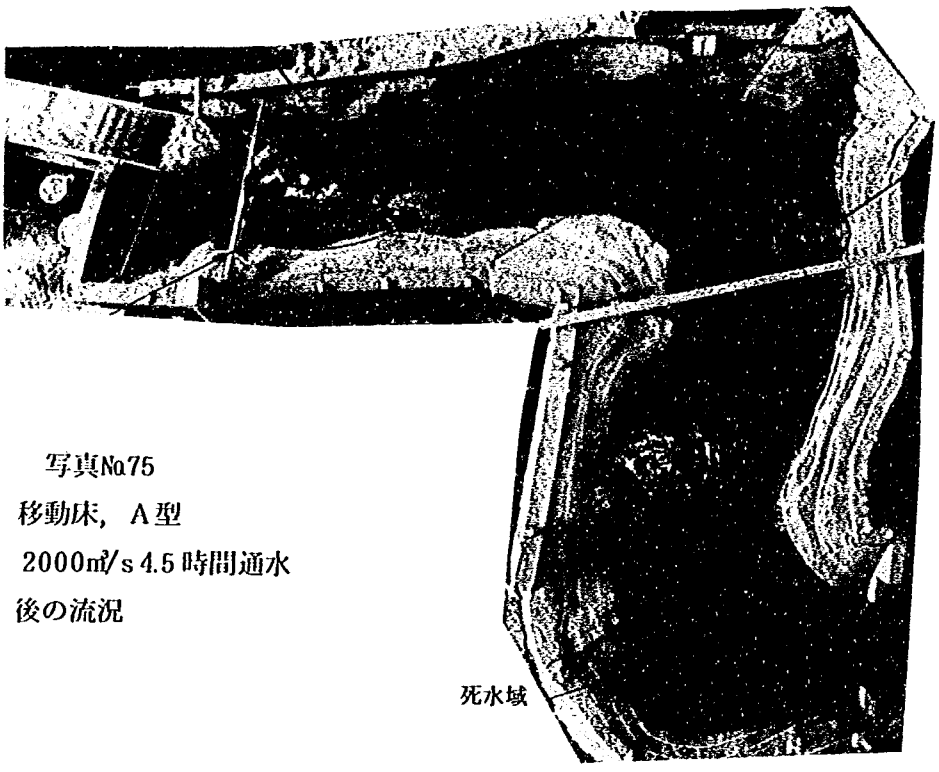
写真No.72
移動床，A型
300㎥/s 18時間通水
後の流況



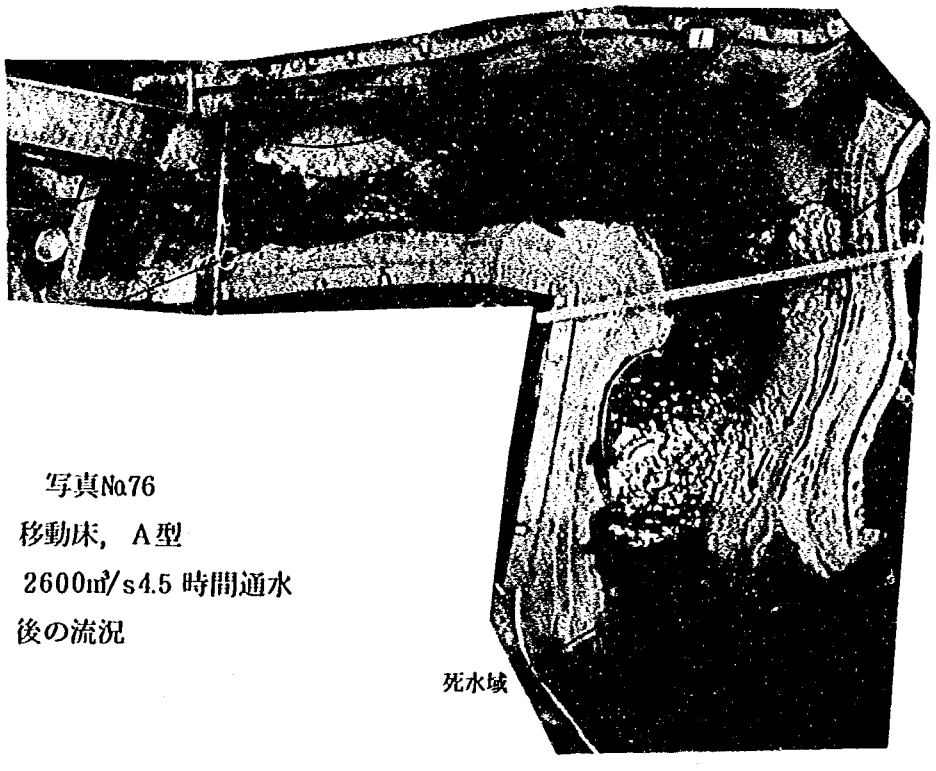
写真No.73
移動床，A型
300㎥/s 27時間通水
後の流況



写真No.74
移動床，A型
1000㎥/s 4.5 時間通水
後の流況



写真No.75
移動床，A型
2000m³/s 4.5 時間通水
後の流況



写真No.76
移動床，A型
2600m³/s 4.5 時間通水
後の流況

5) 2,600㎥/s 放流時の副ダム直下の流速は 10.6m/s であるが，断面No.17付近では 7.2m/s，断面No.18付近の水衝部では 2.7m/s，断面No 9 付近では 3.6m/s となっている。

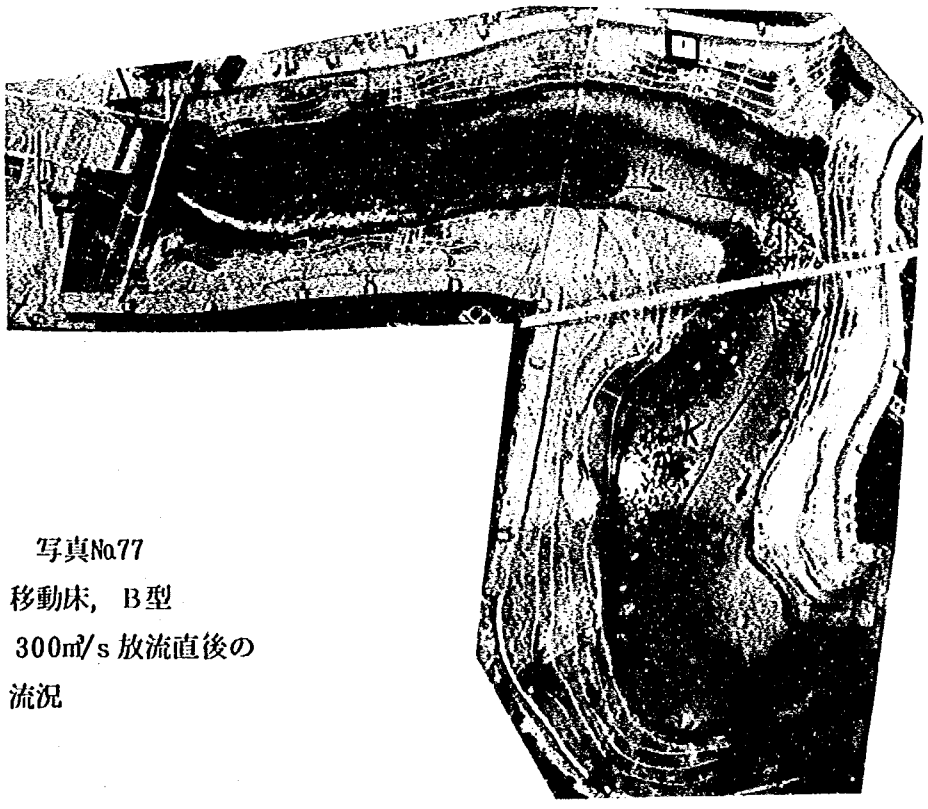
2.2.2 B型副ダム減勢工の検討結果

A型と同様に減勢工末端付近の関係は図54に示したとおりで，この状態をスタートとした実験結果は図62 a，b～63 a，bおよび表32 a ～32 b に示すとおりで，これらの結果からつぎのことがいえる。

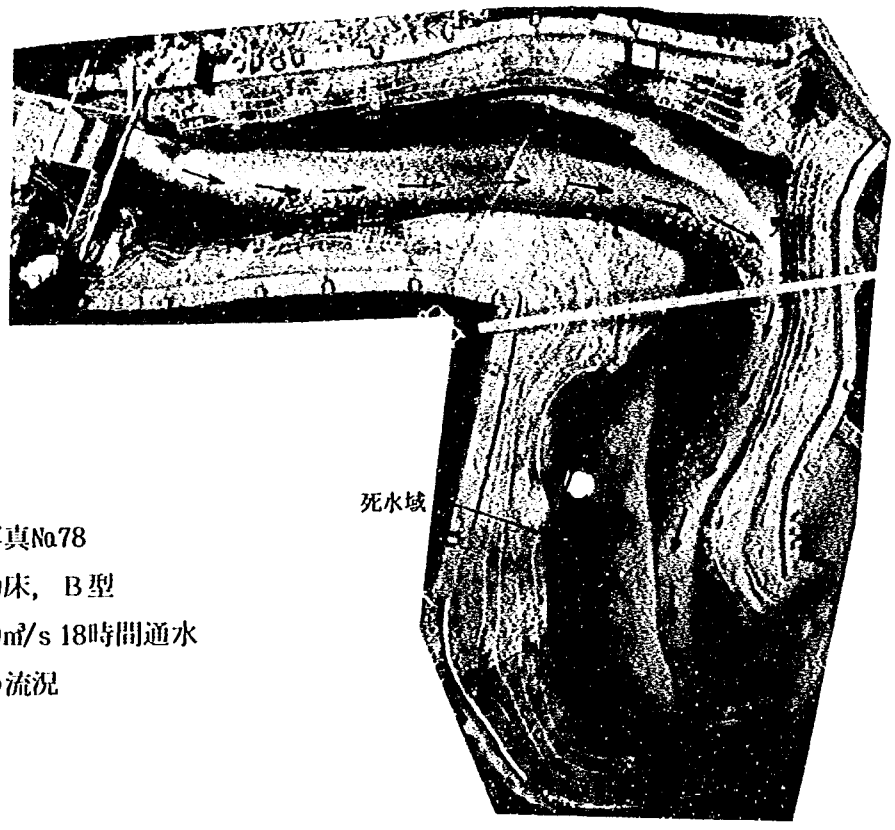
1) Q = 300㎥/s通水後，（通水時間はA型と同じであるから省略する）副ダム直下の河床は約 7 m（EL.282.0m）まで低下する。しかし，図60 a と図62 a の河床縦断変化図で明らかなように，断面No.17より下流の河床変化は同じであり，河道全域は常流状態で流下している（写真No.77～79参照）。

2) 1,000㎥/s以上での流況は後述する箇所を除いてA型と全く同様であり，図60 a，61 a と図62 a，63 a の比較からも明らかなように断面No.15より下流の河床洗掘の進行状態および局所洗掘断面についても両型で同じ傾向を示している（写真No.80～82参照）。しかしこれらの図から副ダム減勢工直下流での洗掘の進行状態を比較するとB型の方がかなり進行が速いことがわかる。このことは減勢工末端位置での標高差（A型＝EL.387.0 m，B型＝EL.291.0 m）に起因するものと考えられ，したがって，B型では水叩き面を下げる方が効果的と思われる。

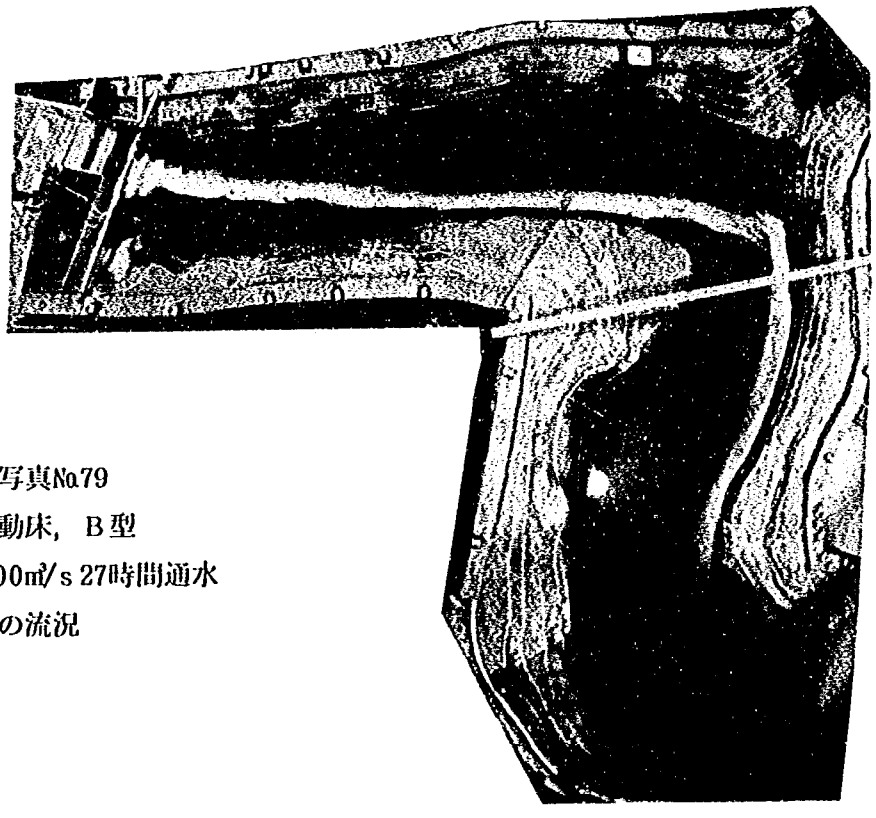
3) 減勢工からの主流線が突出し露出岩にあたり，この付近で水面変動が生じ流況を不安定にしているが水衝部（A型とほぼ同位置）より下流の流れは直進性が強い。



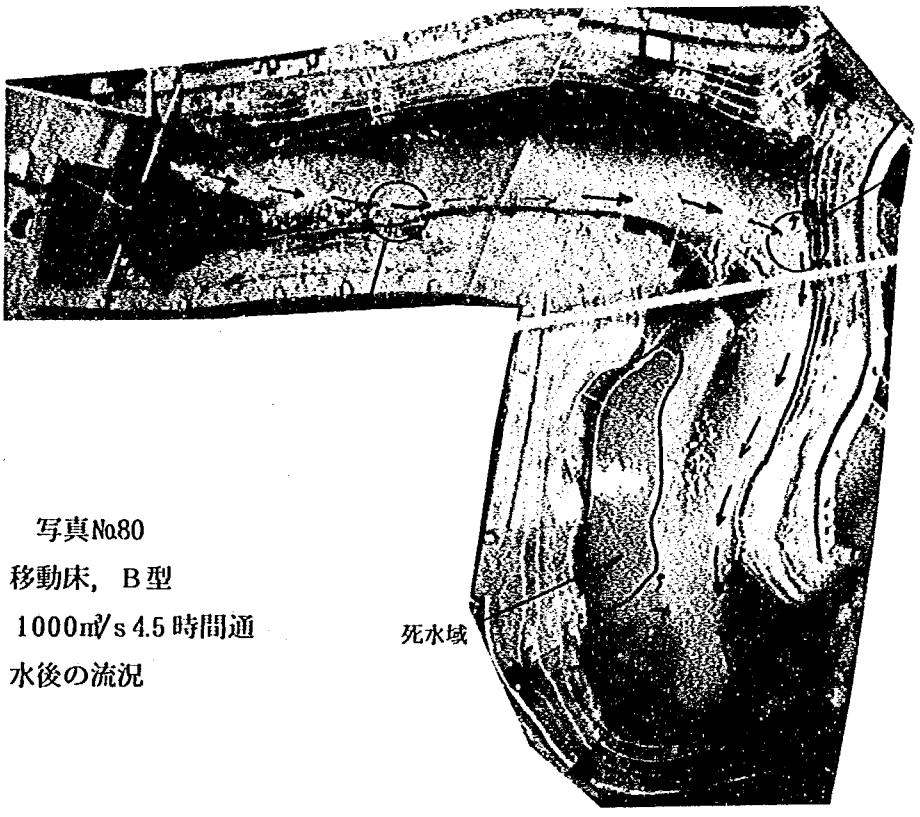
写真No.77
移動床，B型
300㎥/s 放流直後の
流況



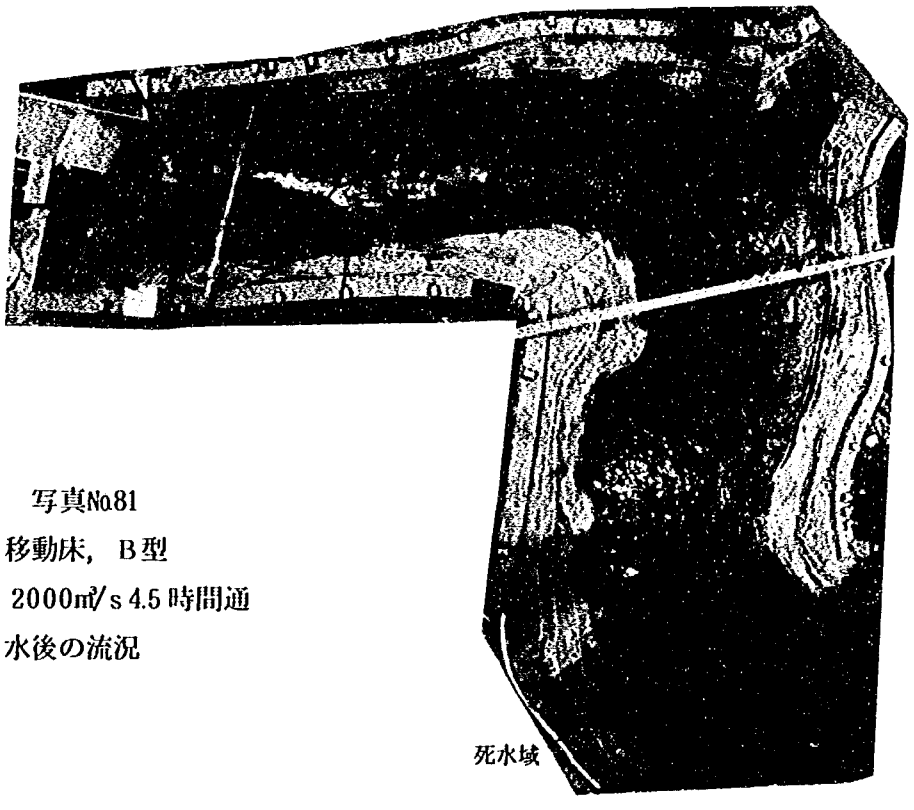
写真No.78
移動床，B型
300㎥/s 18時間通水
後の流況



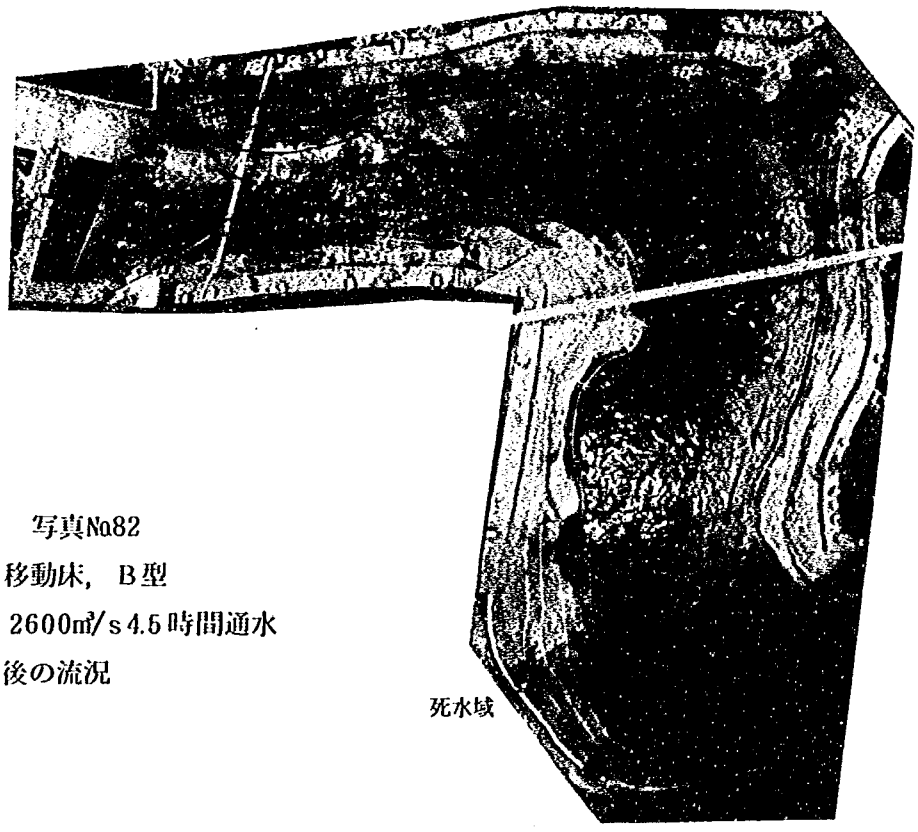
写真No.79
移動床，B型
300㎥/s 27時間通水
後の流況



写真No.80
移動床，B型
1000m³/s 4.5時間通
水後の流況



写真No.81
移動床，B型
2000m³/s 4.5時間通
水後の流況



写真No.82
移動床，B型
2600m³/s 4.5時間通水
後の流況

4）水衝部はやはり2ケ所でそれぞれの位置はA型と同じ位置で，両位置付近の流速は3.8m/sと3.8m/sである。また，2,600m³/s放流時の副ダム直下の流速は12.0m/sで断面No.19付近で10.3m/sとなっている。

5）河道内の堆積および局所洗掘位置はA型と同位置で進行状態も同傾向である。

2.2.3 移動床での比較検討

B型の実験結果の中で両者の比較点は多少述べてきたが，両型式の移動床実験による共通点および相違点を整理するとつぎのとおりである。

1）両型式の主流線，局所洗掘，堆積，水衝部，逆流域の位置は変らない。

2）両型式の副ダム減勢工直下での洗掘の進行はB型の方がかなり速いといえる。

3）両型式とも，No.19断面左岸側の突出し露出岩に流水が衝突し，流向が変り，No.16断面付近の右岩が水衝部となり，ここでの水面のはい上がりと流速を大きくしている。

4）河道断面No.16より下流での流況および河床変動は両型式で特に変化は見られない。

2.2.4 付帯構造物に対する検討

現地計画での土捨場を兼ねた発電所（断面No.6～No.5の右岸）の護岸形状と発電所への横断橋のピアを設置した場合，これらに対する影響を調査するため移動床実験を行った。この場合の副ダム減勢工はこれ

までの実験結果から洪水流量が小さい場合（放流頻度が極めて高い）に減勢効果の大きいA型をここでは推奨案として採用した。また，減勢工下流の突出し露出岩は流れの防げになるためEL.287.0 mで水平カットした（図64 a 参照）。

実験はA型と同様のパターンであるが，300㎥/s については通水時間を54時間（実物時間）とし，27時間経過後一旦停止し，河床変動を測定し，さらに27時間通水とした。

以上の検討結果は図64 a ～64 c に示すとおりであり，これらを整理するとつぎのことが明らかとなった。

1. 300㎥/s 放流の場合

1）減勢工を流出した流れの主流は直進し，断面№16から右岸沿いの流れとなり，第1彎曲点の断面№10と№9の中間点付近が水衝部となり，その下流の流れは左岸沿いを流下する（図64 a および写真№83～85参照）。

2）54時間通水後の副ダム減勢工直下の洗掘はEL.284.0 m程度である。

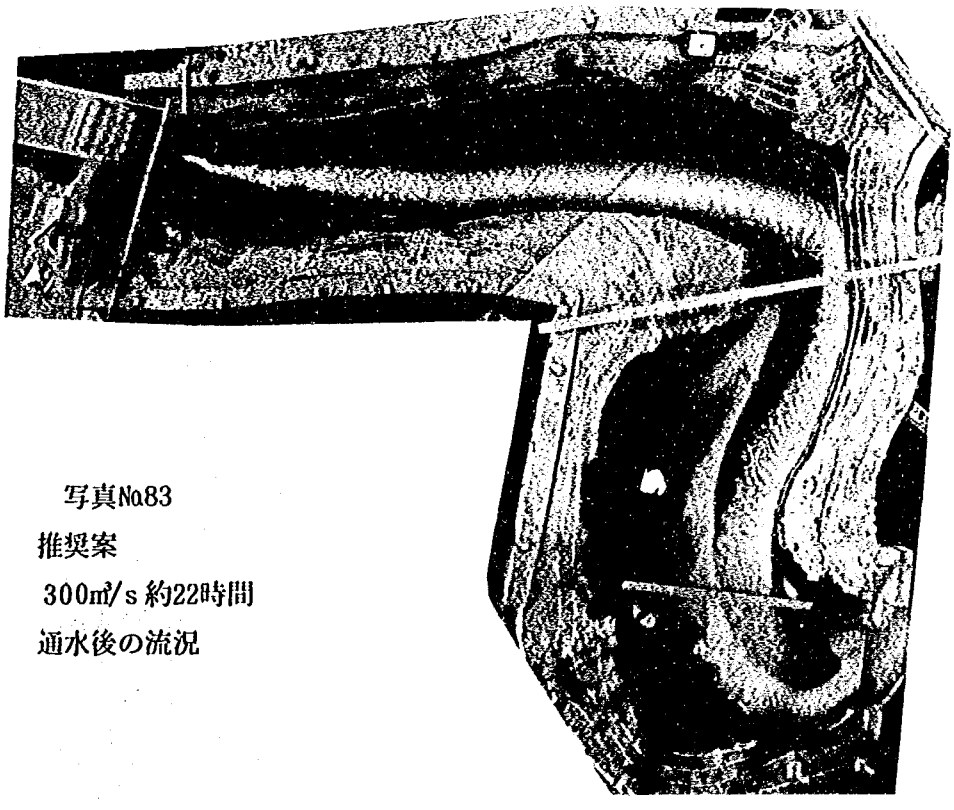
3）河床洗掘は主流の流れる範囲で起り特に突出し露出岩付近と水衝部下流では局所洗掘が生じ，逆流域や死水域範囲（図64 a 参照）では堆積となっている。

4）土捨場護岸位置は流れの死水域にあり影響を全く受けない。

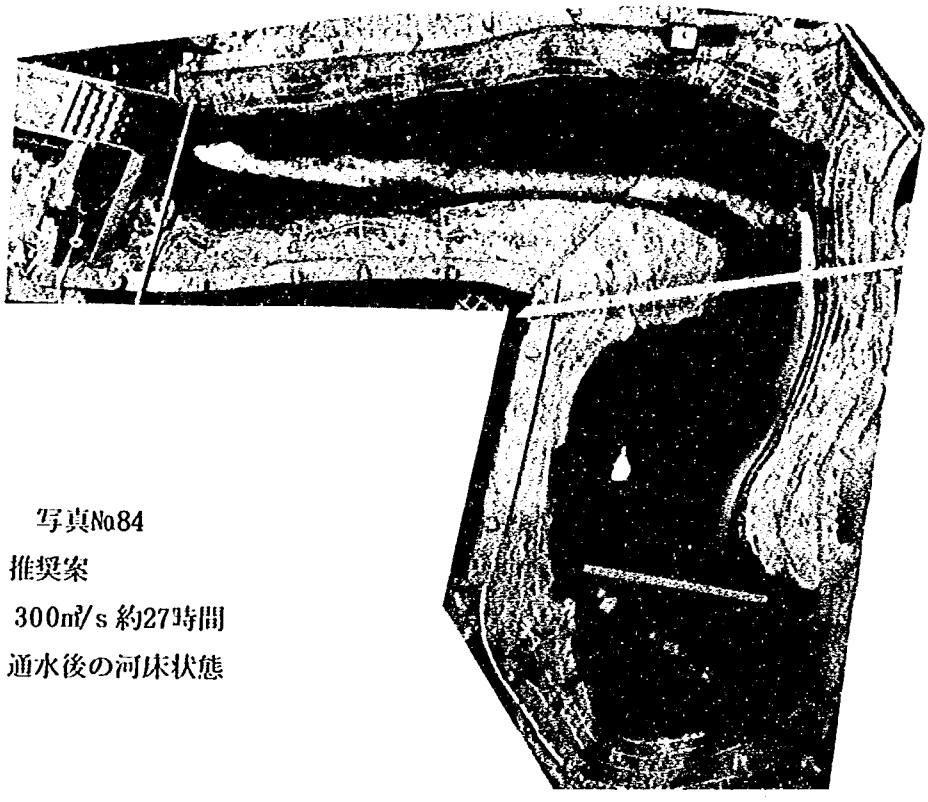
5）道路橋のピアは主流にかかるかかからない位置にあり，54時間通水後に0.8m程度洗掘されている。

2. 1,000㎥/s 放流の場合

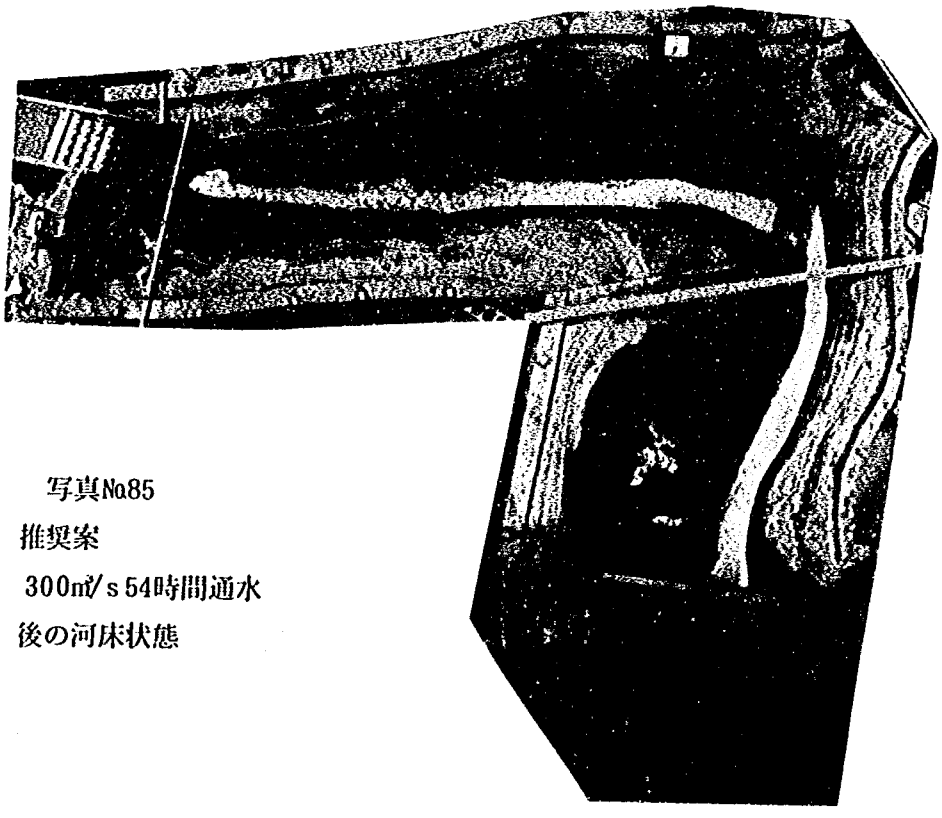
1）主流の流れの傾向は300㎥/s と全く同様である（図64 b および写真№86参照）。



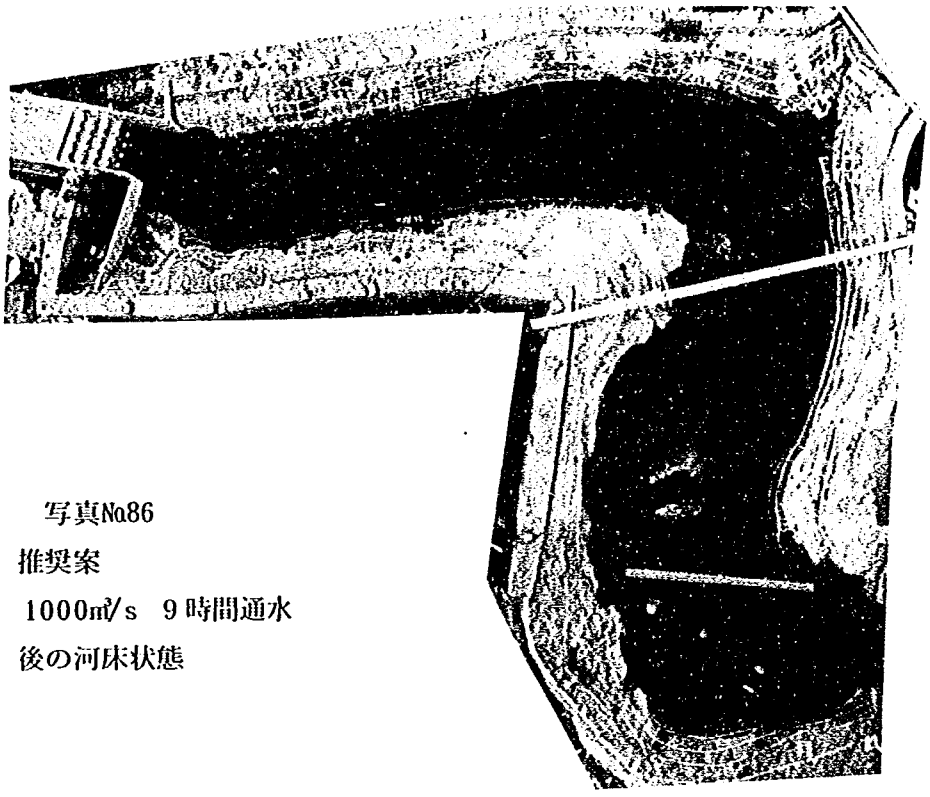
写真№83
推奨案
300㎥/s 約22時間
通水後の流況



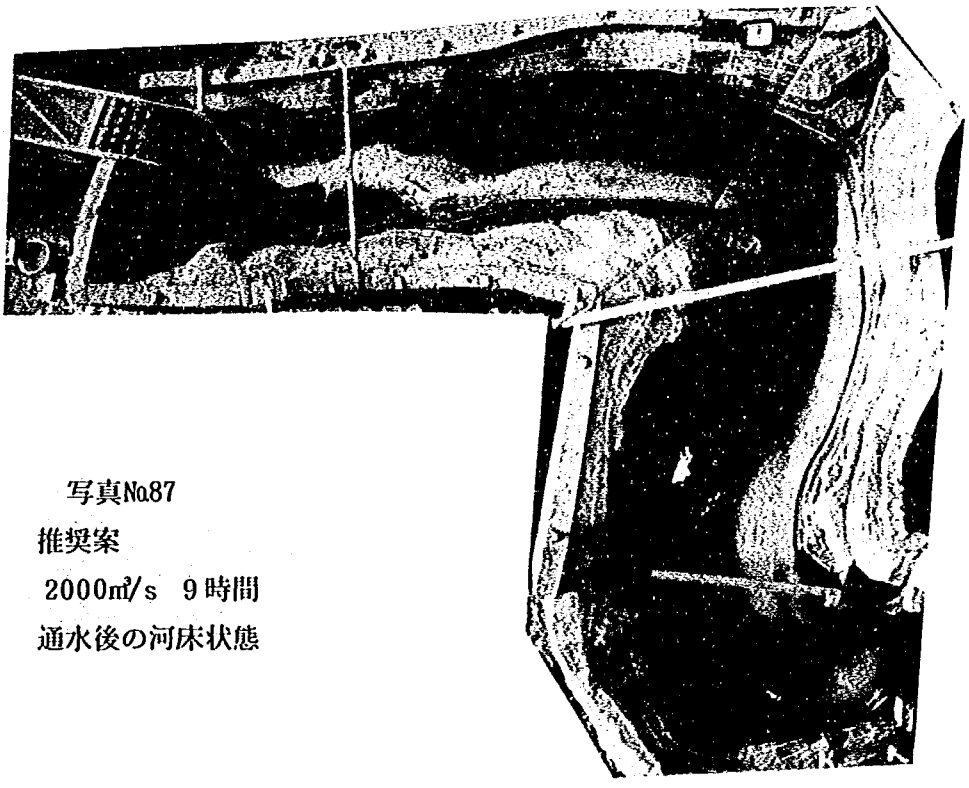
写真No84
推奨案
300㎥/s 約27時間
通水後の河床状態



写真No85
推奨案
300㎥/s 54時間通水
後の河床状態



写真No86
推奨案
1000㎥/s　9時間通水
後の河床状態



写真No87
推奨案
2000㎥/s　9時間
通水後の河床状態

2） 9時間通水後の副ダム減勢工直下の洗掘はEL.280.0m 程度である。

3）図64 b に示すように，9時間通水後の河床は300㎥/s 通水後よりさらに洗掘域が広がり，堆積域が減少している。

4）土捨場護岸はゆるやかな逆流域となるが影響を受けていない。

5）道路橋のピアは主流にかかり9時間通水後には1.4m程度の洗掘となり脚柱の基礎が露出する。

3. 2,000㎥/s 放流の場合

1）主流線は，洗掘の進行に伴う露出岩によって偏向された流れが断面No.16付近の右岸で水衝部となるが，その下流から第1彎曲部までの区間では1,000㎥/s 以下の流れに比べやや中央寄りを流下し，彎曲部より下流では変りがない（写真No.87参照）。

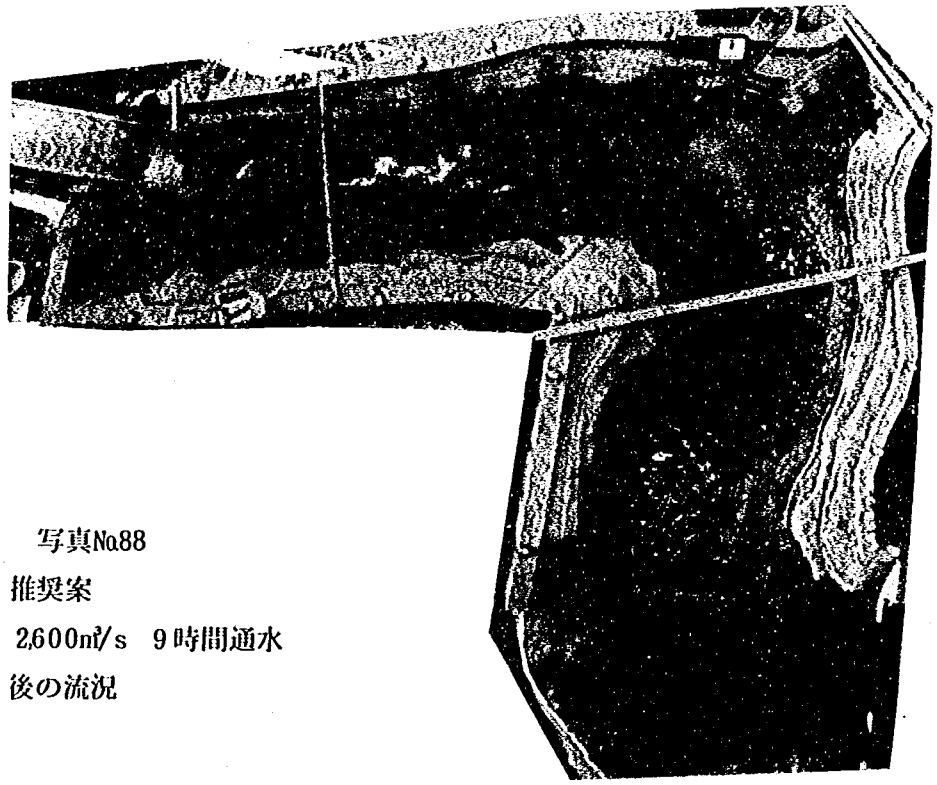
2） 9時間通水後の副ダム減勢工下流の洗掘は断面No.19付近までモルタル河床（EL.274.0m） が露出する程進行している。

3）図64 b に示すように，局所洗掘の範囲が広がり，道路橋ピア付近で約5 m程度洗掘されている。

4）土捨場護岸付近は流れの逆流域で通水前の河床形態を保っている。

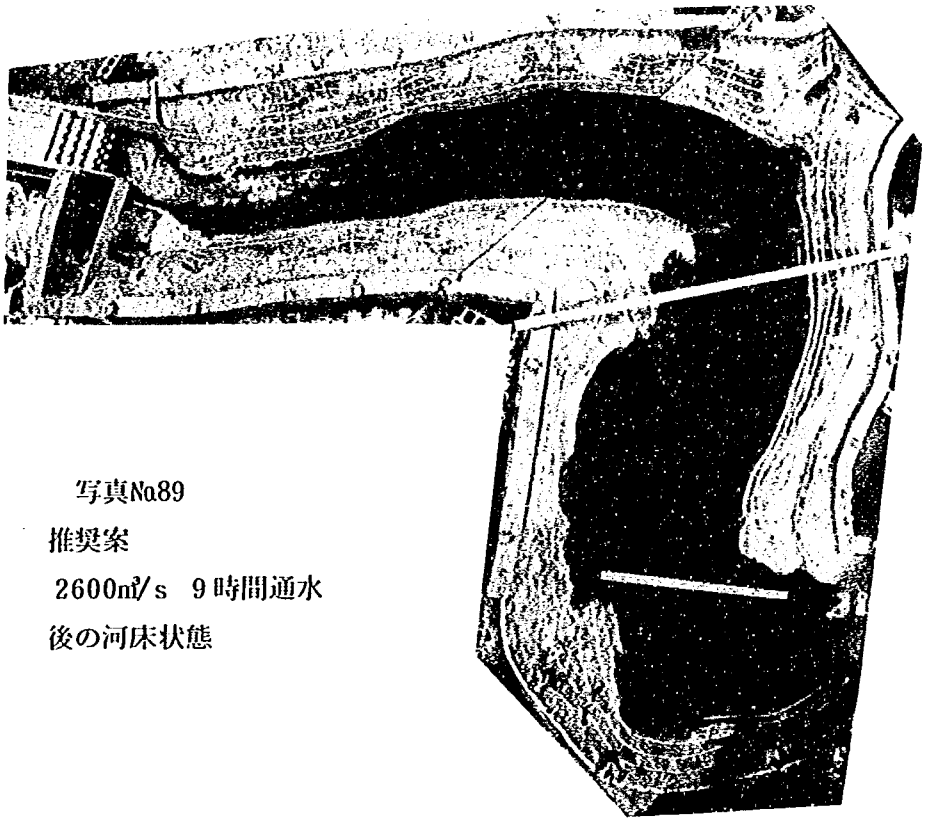
4. 2,600㎥/s 放流の場合

1）主流線は写真No.88に示すように， 2,000㎥/s 放流と同様に中央付近を均等に流下している。



写真No.88
推奨案
2,600㎥/s 9時間通水
後の流況

2） 9時間通水後の副ダム減勢工下流では断面No.16付近までモルタル河床が露出し，第1彎曲部までの全域で河床が低下している（写真No.89参照）。



写真No.89
推奨案
2600m³/s 9時間通水
後の河床状態

3） 図64cに示すように局所洗掘の場所および位置に変化はないが，道路橋ピアは流送土砂により2,000m³/s通水後より約3m以上逆に堆積となっている。

4） 土捨場護岸付近はやはり逆流域で通水後の河床に変化はない。

2.3 ま と め

以上の副ダム減勢工形状と下流河道の検討結果をまとめるとおおよそつぎのとおりである。

1） A型副ダム減勢工形状は計画最大放流量300m³/s以下の洪水放流に対してはB型よりも減勢効果が認められ，下流河床洗掘の進行を遅らすことができる。

2） 下流河床の低下速度は洪水流量の大きさによって増大し，現況河床の堆積粒度分布と掃流力から副ダム減勢工形状のいかんにかかわらず第1彎曲部までの射流区間では基礎岩盤まで河床は低下することが予想できる。

3） 副ダム直下の右岸に計画されている仮排水路出口付近は堆積域とならないため閉塞の心配はない。ただし，副ダム右岸側導流壁はDC.360mまで施工が必要である。

4） 副ダム減勢工下流の左岸突出露出岩は流れの偏向を生じ，流況を乱す原因となるので，現河床までのレベルカット（目安としてEL.287.0 m以下であれば主流線に影響がない）が必要である。

5） 将来の河床低下と4)項での露出岩形状によっては断面No.16付近の右岸が水衝部となるため，地質によっては側方浸蝕の可能性が大きく，この付近の護岸保護工が必要と考える。

6） 風吹沢合流地点は主流線から外れているので，流れの背上げや閉塞の心配がない。しかし，その下流左岸は局所洗掘域となるので，地質によっては保護工が必要と考えられ，その範囲は風吹沢沿いから断面No.4までと判断できる。

7） 土捨場護岸はいずれの流量でも死水域がゆるやかな逆流域となり影響を受けないことが判明した。

8） 発電所又は管理用の横断道路の橋脚位置は洪水流量によっては流れの主流の範囲となり，局所洗掘が起るので脚柱基礎に十分の配慮が必要である。

9） 月岡堰堤の直上流の右岸側は水衝部となるので，この付近の保護工を考慮する必要がある。

2.4 減勢工形状の補促実験

減勢工の副ダム形状は，洪水吐きからの放流頻度を考慮して，計画最大放流量300m³/s以下の放流に対して，副ダム上での減勢効果が高く，下流河道の洗掘量が少ないA型副ダム形状を推奨案としたが，バッフルブロックの耐久性に関する資料がなく，設置後の管理面の不安が残るとのダム事務所の要望があり，ここでは一般的なB型副ダム形状として，つぎに示す項目について補促実験を実施した。

1） 減勢工の跳水始端に設置した順傾斜形状と通常のすりつけ形状であるバケット形状を採用した場合の減勢効果の比較検討

2） 減勢池内の波面変動を抑制する波返し形状の効果に関する検討

以上の2項目に対する検討は，対象流量を2,600m³/sとし，副ダム形状は図66に示す形状を採用して行った。

この図に示す副ダム形状はこれまで検討してきた高さ13.0mを14.0mに変更し，上流側に半径$R=0.5$mの隅取り円弧，下流側に半径$R=7.0$m のすりつけ円弧を採用し，上流側は鉛直，下流面勾配1：1の台形形状である。

副ダム高さの変更はつぎの検討結果を採用したものである。それは，上流側に隅取円弧を設けると背水効果が少なくなり，高さ13.0mでは減勢工始端に露出射流が現われ，減勢池内の減勢効果が弱まるため，鉛直高13.0mと同程度の減勢状態とした高さである。

1)項の比較に採用したバケット形状は，図65に示すように長さ24.958 m，傾斜勾配1：4.0の順傾斜形状にほぼ沿う，半径$R=43.071$ m，長さ32.329 mの形状である。また，2)項に対する波返し形状も図65に示す。

次に実験結果について述べることとする。

流況観察結果から，順傾斜とバケット形状の比較で異なる点は，シュート部からの放流水が減勢池内に突入する跳水始端付近において，跳水現象によるローラー渦の回転規則性がバケット形状の方がやや優れ

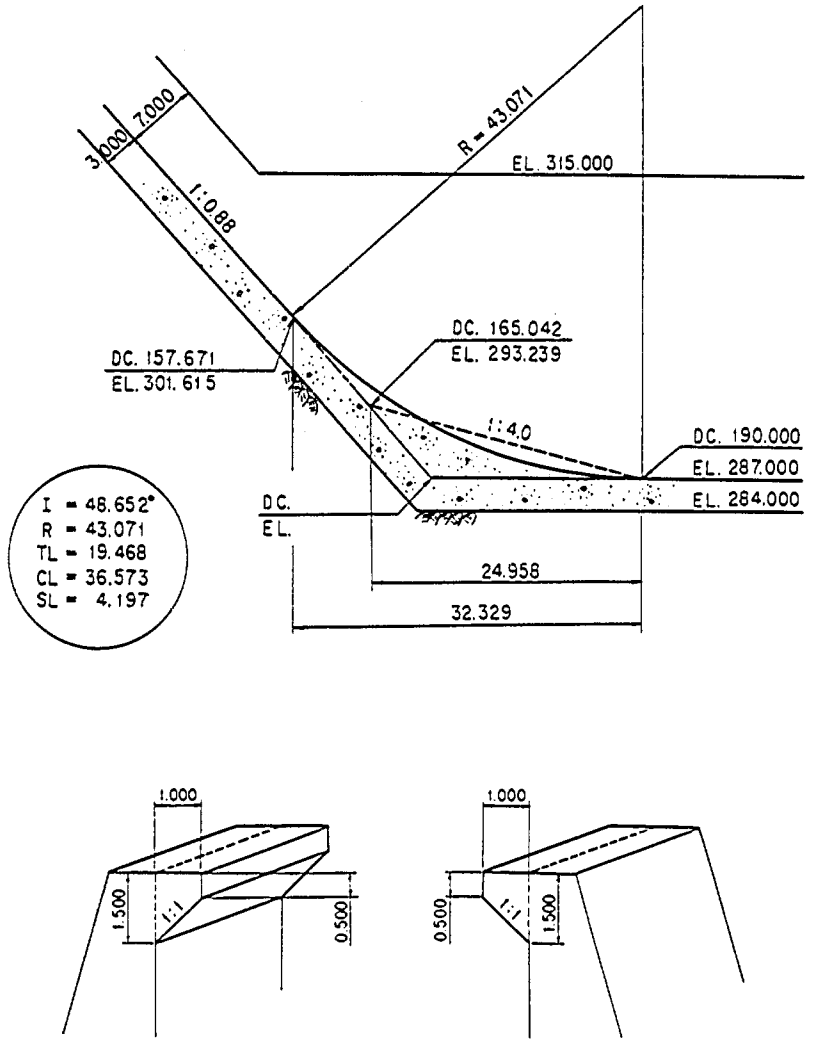


図65　バケットカーブおよび波返し形状図

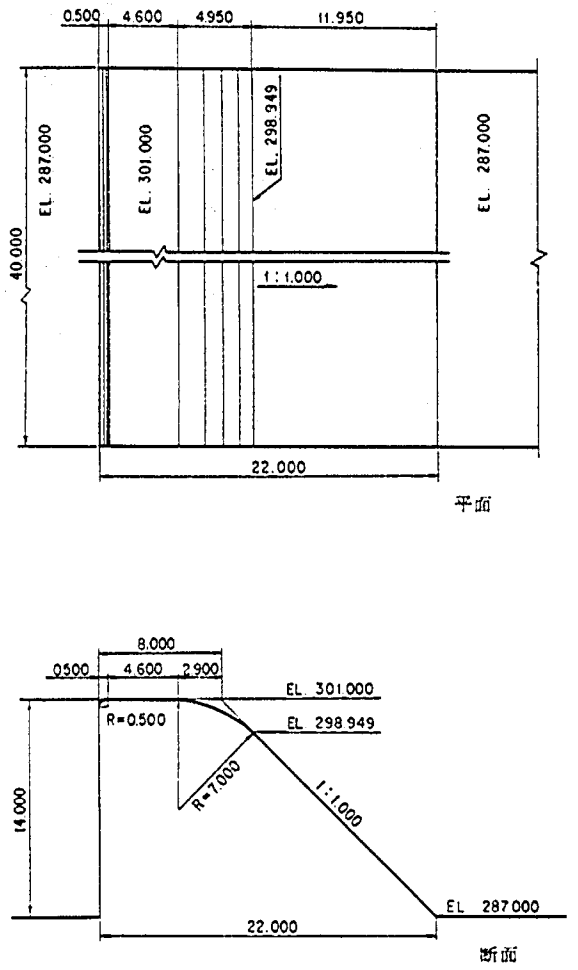


図66　副ダム形状図

ていることである。しかし，跳水後の減勢池内の水面変動および減勢状態は両者にほとんど差がない流況である（図67ａ，67ｂ参照）。

順傾斜形状について，減勢工の左右導流壁のDC・200.0~280.0 mの 80m区間に図65に示した波返し形状を天端高EL・315.0 mに合わせて設置した場合と設置しない場合の減勢池内の水面変動の測定結果を図68ａに示す。

この場合の水面変動は容量式波高計で連続測定を実施したものである。また，図68ｂは同様な方法で，順傾斜とバケット形状について水面変動を測定した結果である。この図にはバケット形状で波返しを設置したときの水面変動も合わせて図化されている。

これらの両図で明らかなように，跳水後の水面変動は，波返しの有無およびシュート部と減勢工底面のすりつけ形状の違いによっても，ほとんど差異がないことを示している。また，大部分の変動波の高さは，計画導流壁高EL・315.0m以内に納まっている。

しかし，この変動波の高さは実物での空気連行量の増大を考慮すると，さらに高くなることが予想されることから，実験値の最高変動高EL・317.0 m程度の導流壁が必要と判断できる。さらに，流況観察から，減勢池内に空気を多量に混入した流水の変動に対しては，波返しを設置してもほとんど効果が薄いものと思われる。

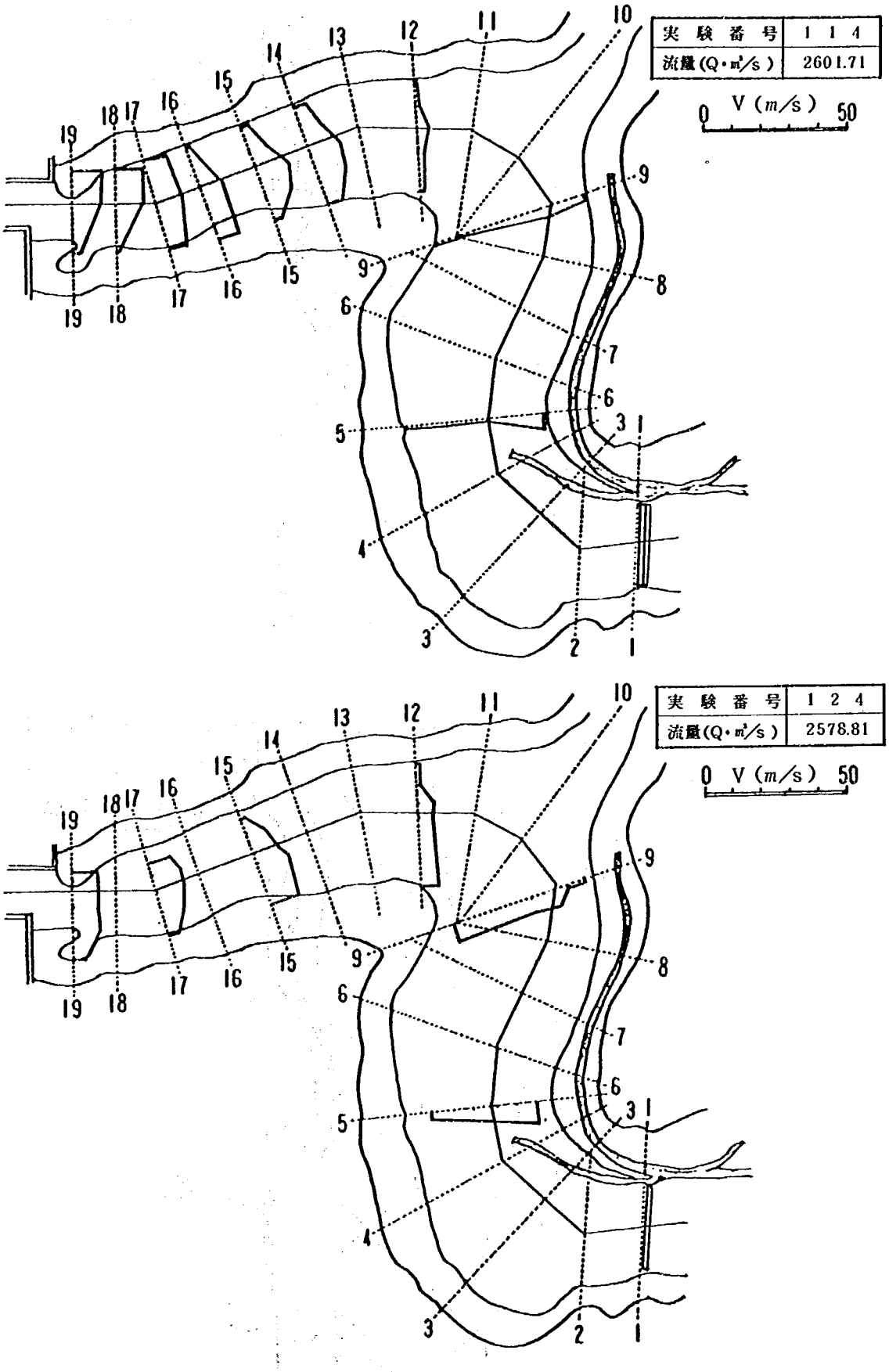


図53 a　河道内流速分布図（固定床）

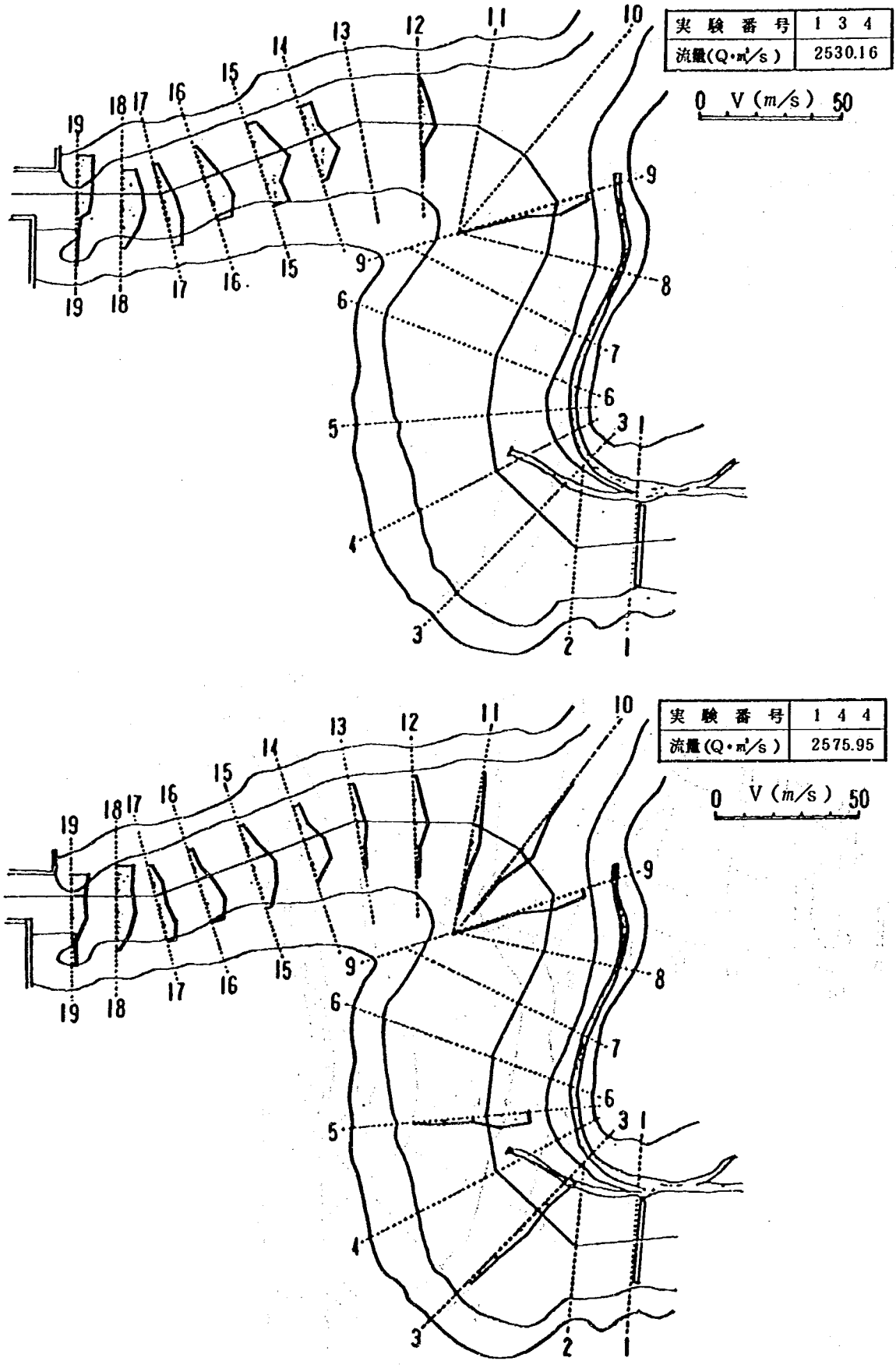


図53 b　河道内流速分布図（固定床）

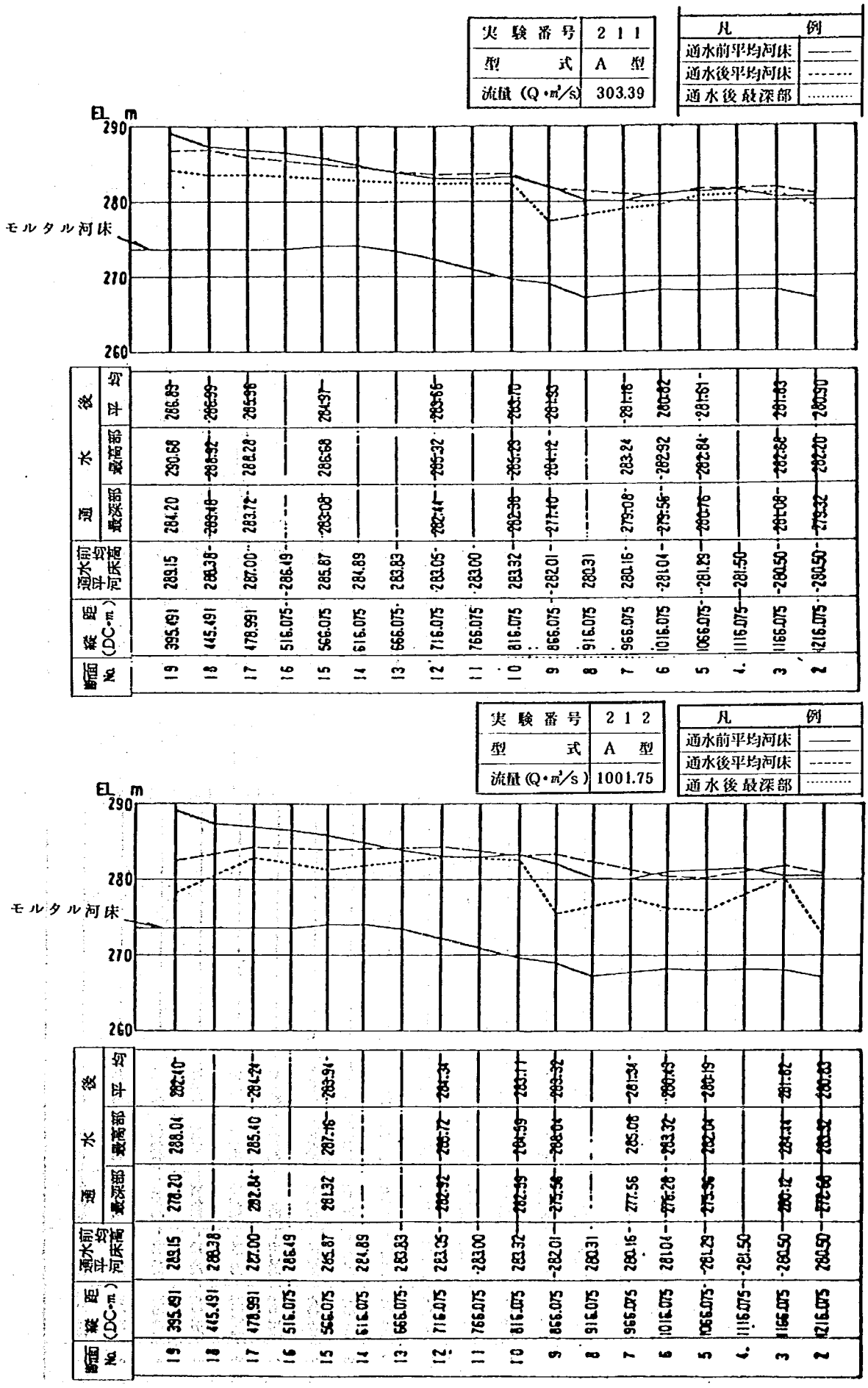
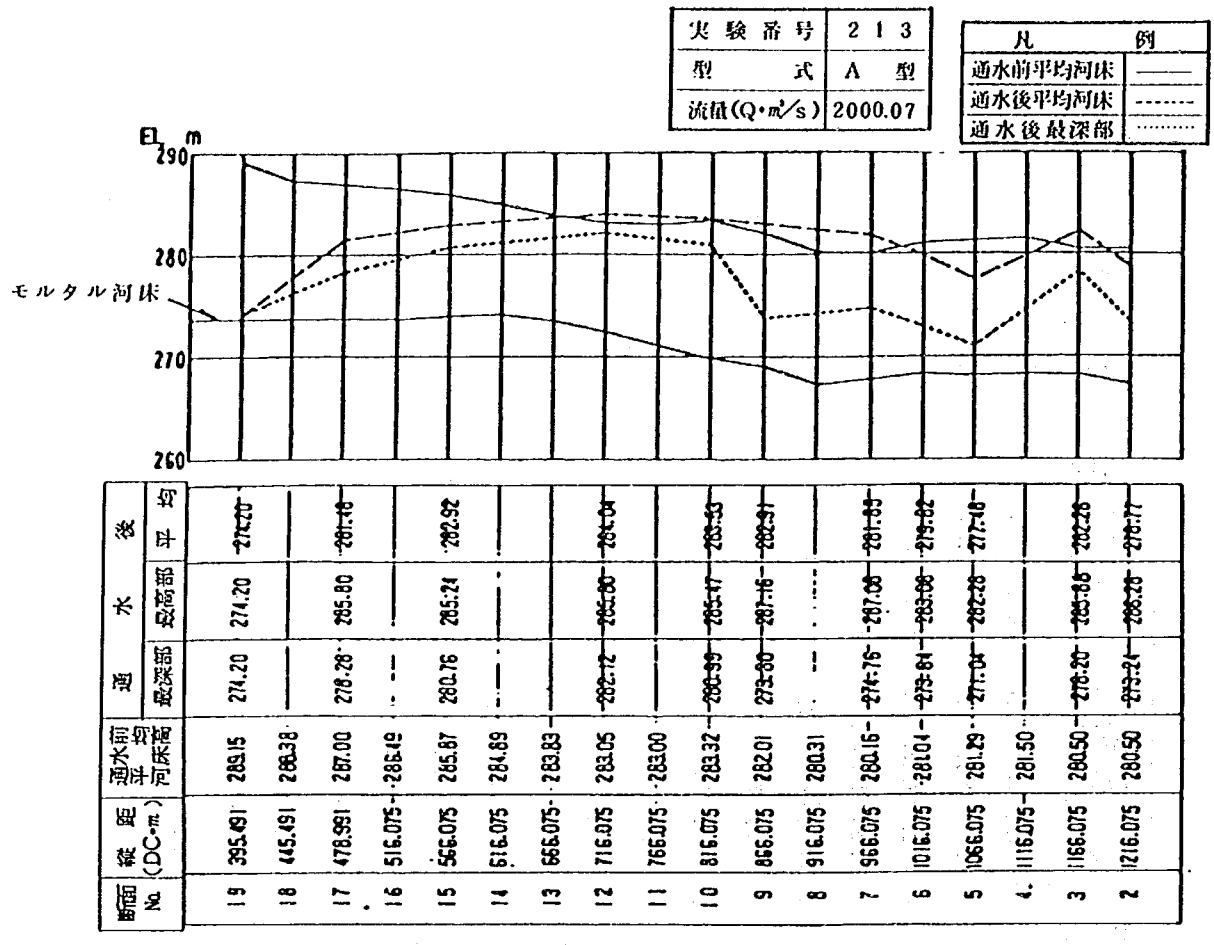
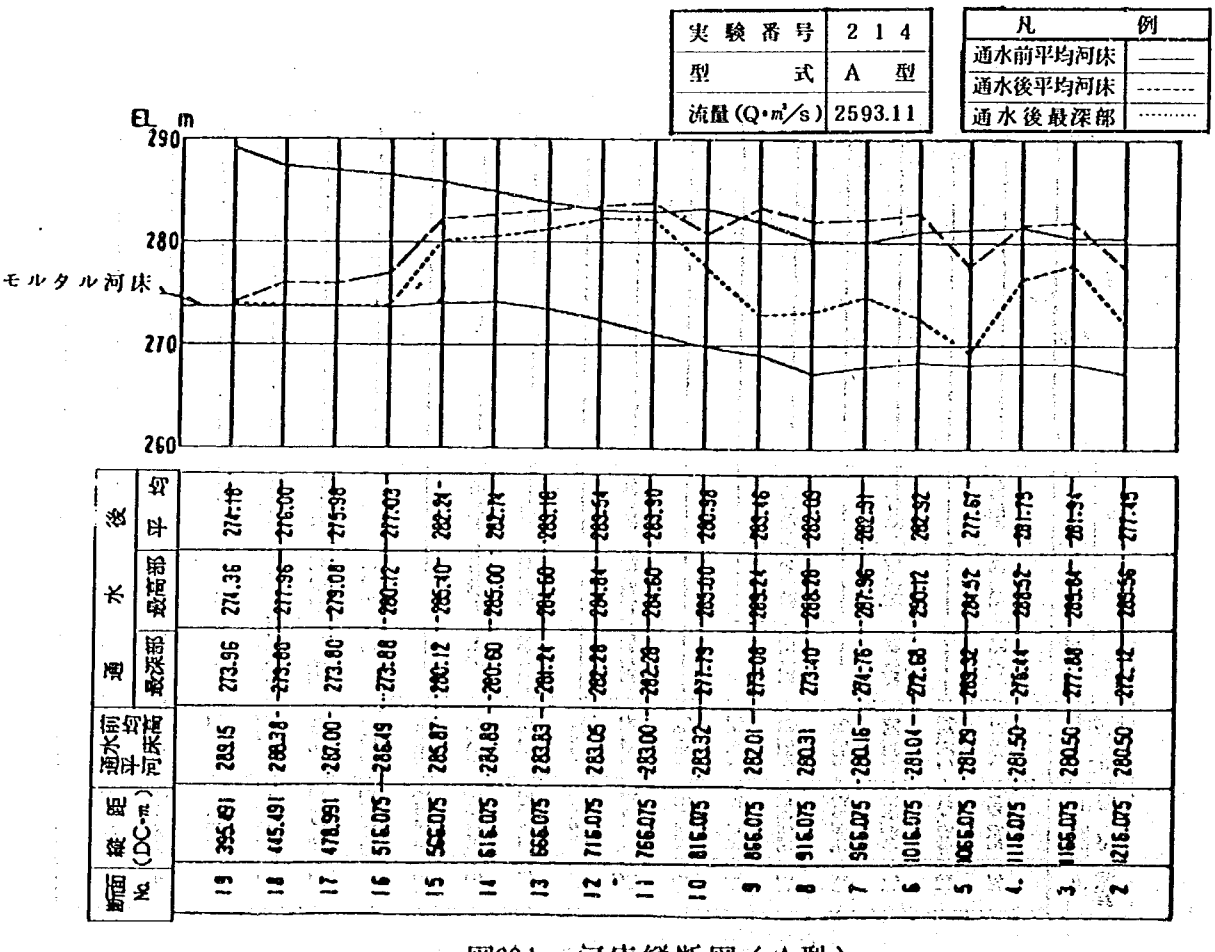


図60 a　河床縦断図（A型）

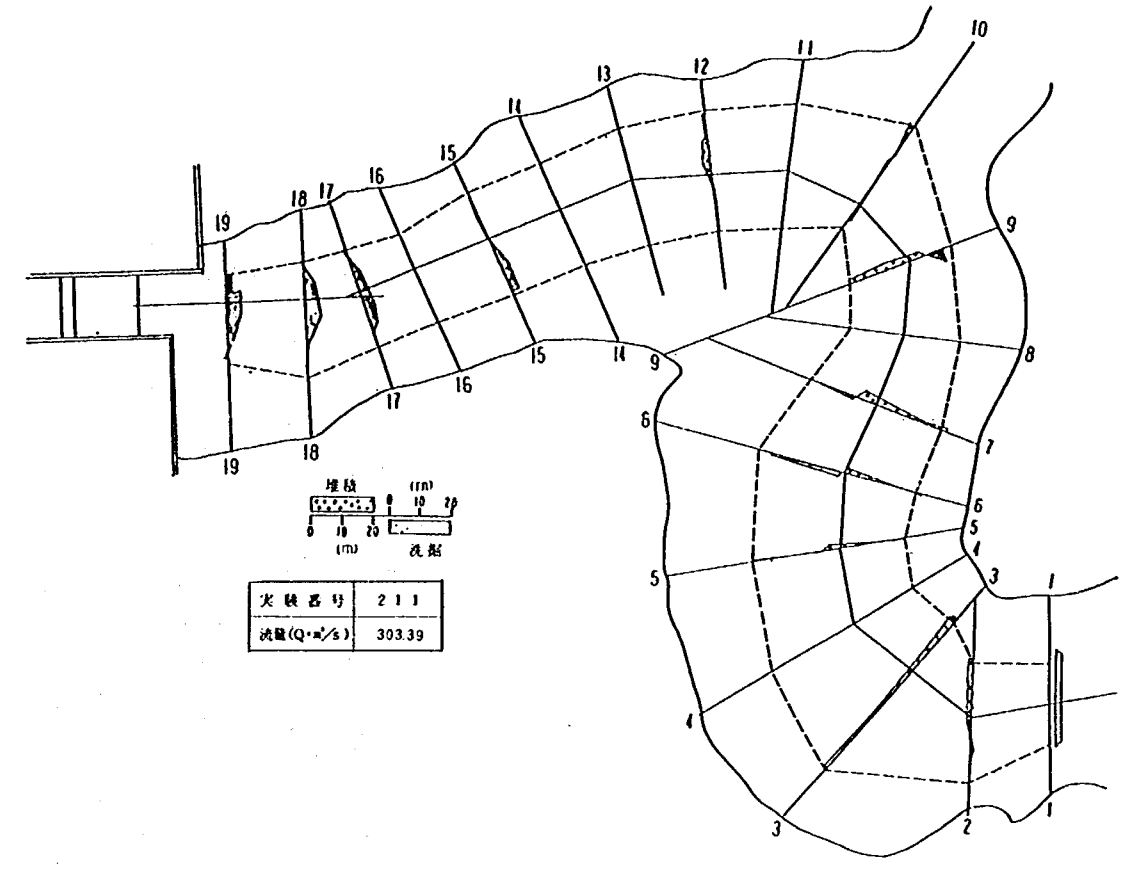


断面No.	縦距(DC-m)	通水前平均河床	通水後 最深部	通水後 最高部	通水後 平均
19	395.491	289.15	274.20	274.20	274.20
18	445.491	288.38	—	—	—
17	478.991	287.00	278.28	285.80	281.16
16	516.075	286.49	—	—	—
15	566.075	285.87	280.76	285.24	282.92
14	616.075	284.89	—	—	—
13	666.075	283.83	—	—	—
12	716.075	283.05	282.12	285.80	284.04
11	766.075	283.00	—	—	—
10	816.075	283.32	280.99	285.17	283.53
9	866.075	282.01	279.80	283.16	282.91
8	916.075	280.31	—	—	—
7	966.075	280.16	274.76	287.08	281.88
6	1016.075	281.04	279.84	283.08	279.82
5	1066.075	281.29	277.04	282.28	277.48
4	1116.075	281.50	—	—	—
3	1166.075	280.50	278.20	285.86	282.26
2	1216.075	280.50	279.24	286.28	278.77



断面No.	縦距(DC-m)	通水前平均河床	通水後 最深部	通水後 最高部	通水後 平均
19	395.491	289.15	273.96	274.36	274.16
18	445.491	288.38	275.80	277.36	276.00
17	478.991	287.00	273.80	279.08	275.96
16	516.075	286.49	273.88	280.12	277.03
15	566.075	285.87	280.12	285.40	282.24
14	616.075	284.89	280.60	285.00	282.84
13	666.075	283.83	281.24	284.60	283.16
12	716.075	283.05	282.28	284.84	283.54
11	766.075	283.00	282.28	284.80	283.50
10	816.075	283.32	281.79	285.00	283.36
9	866.075	282.01	279.80	285.24	283.16
8	916.075	280.31	273.40	286.76	282.68
7	966.075	280.16	274.76	287.96	282.91
6	1016.075	281.04	272.68	290.12	282.32
5	1066.075	281.29	280.32	284.52	277.67
4	1116.075	281.50	276.44	286.52	281.75
3	1166.075	280.50	277.88	285.84	281.54
2	1216.075	280.50	278.12	285.56	277.45

図60 b　河床縦断図（A型）



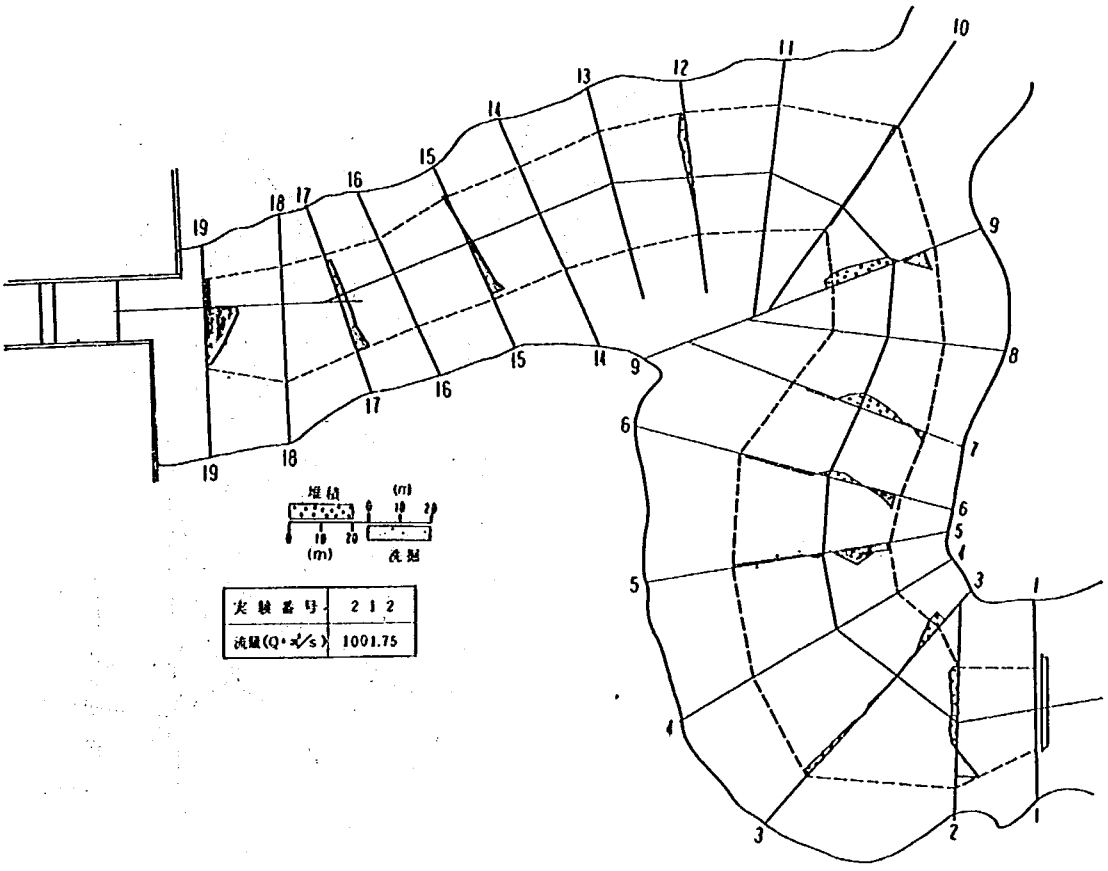
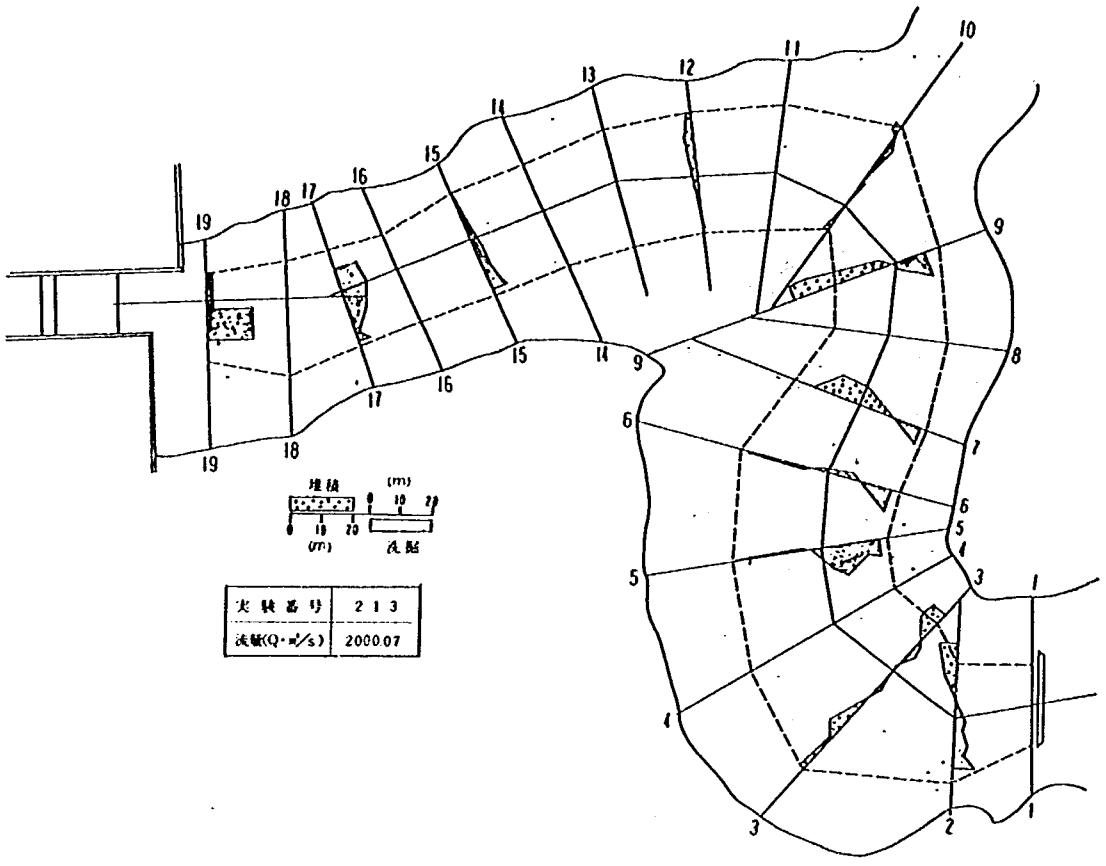


図61 a　河道内の河床状況平面図（A型）



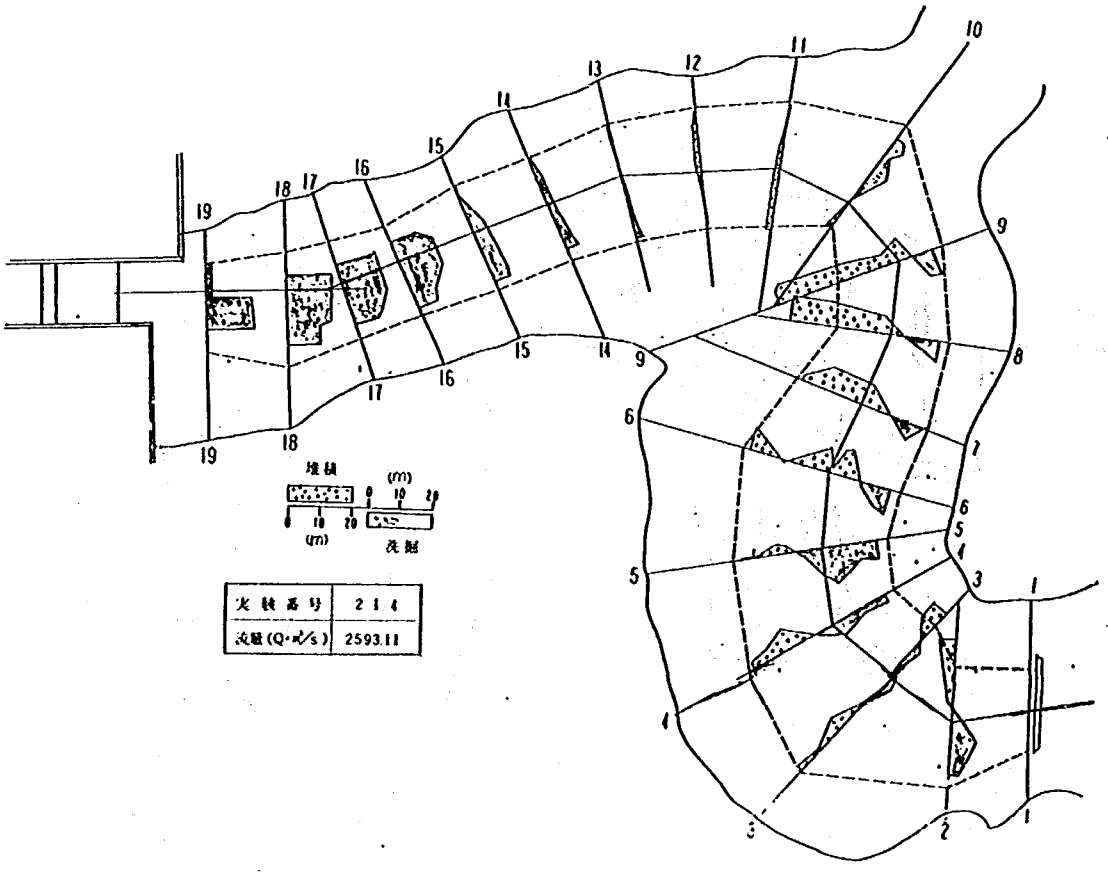
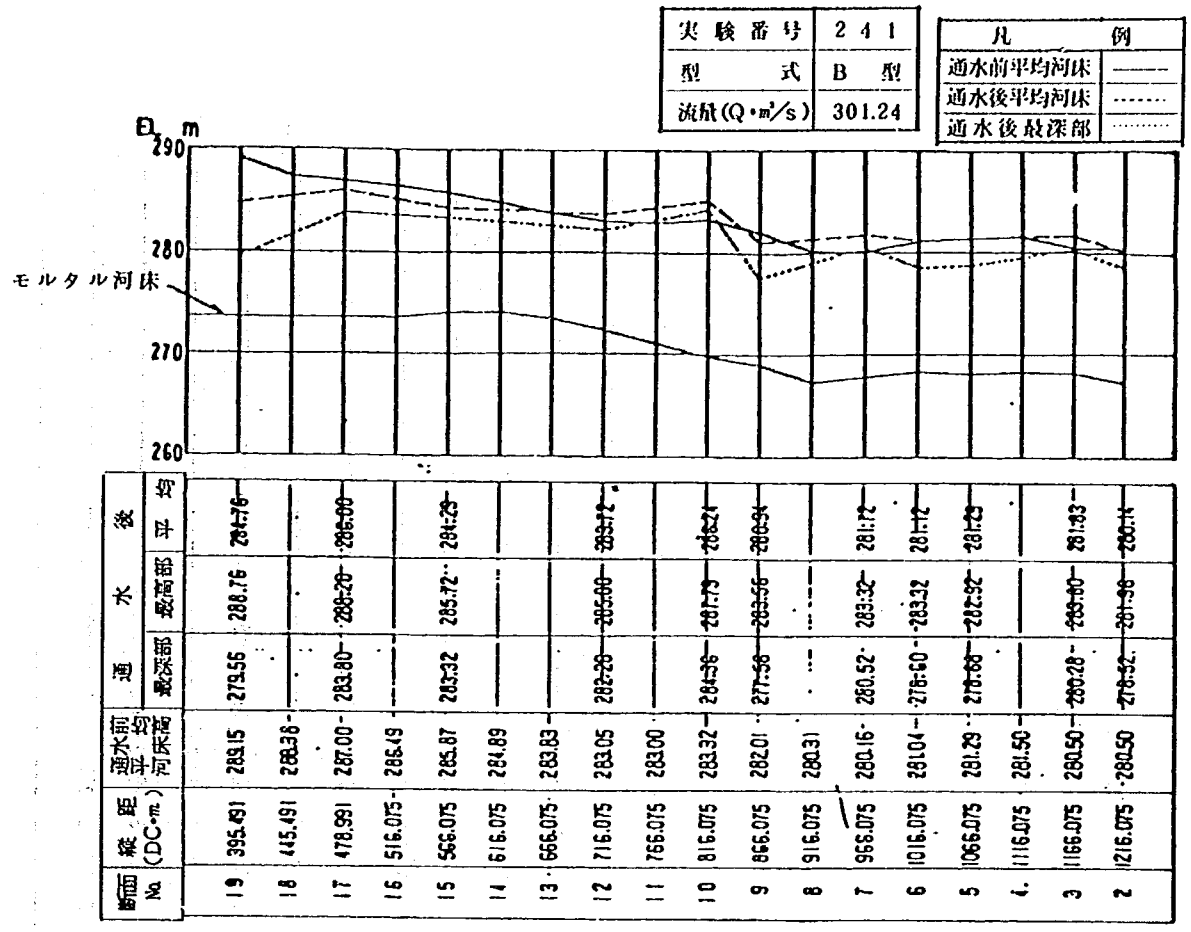
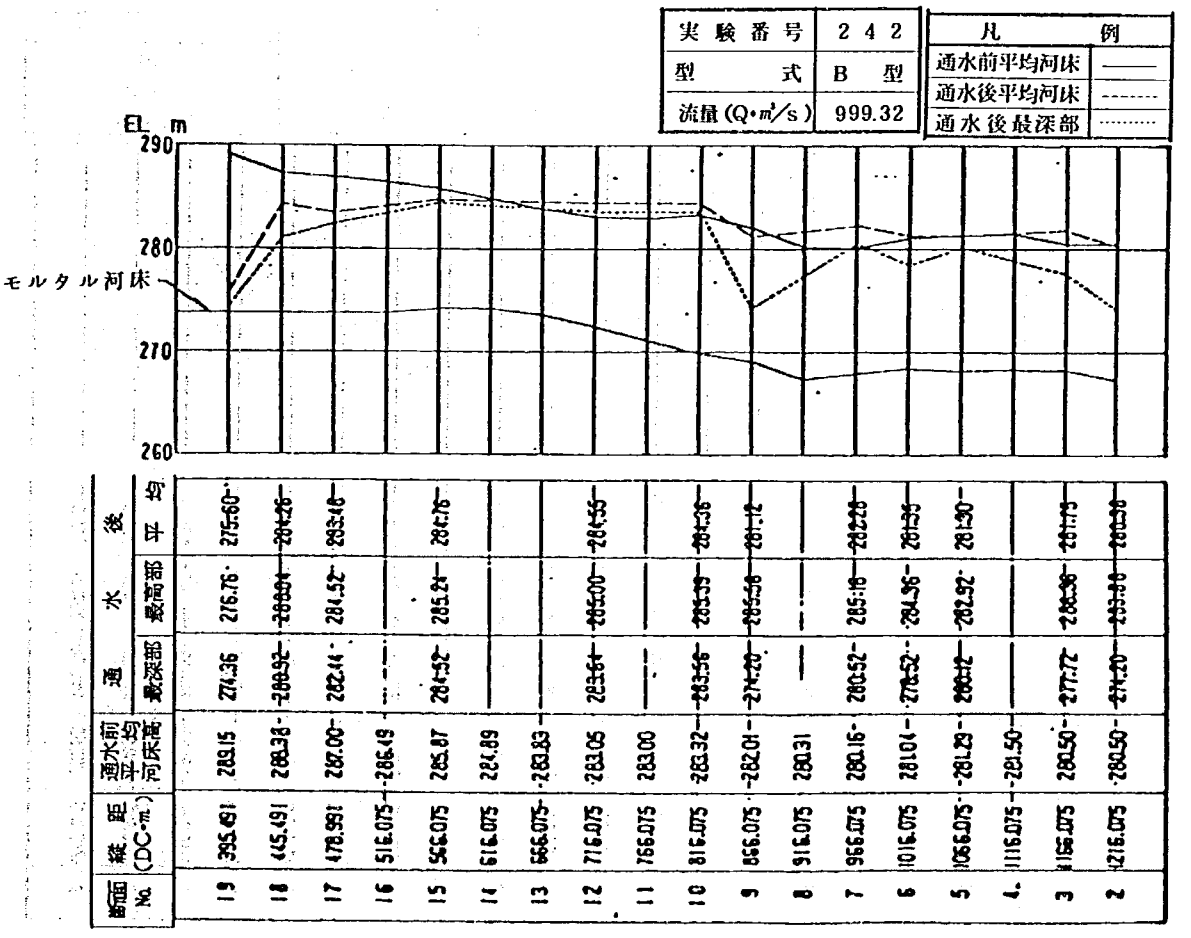


図61 b　河道内の河床状況平面図（A型）

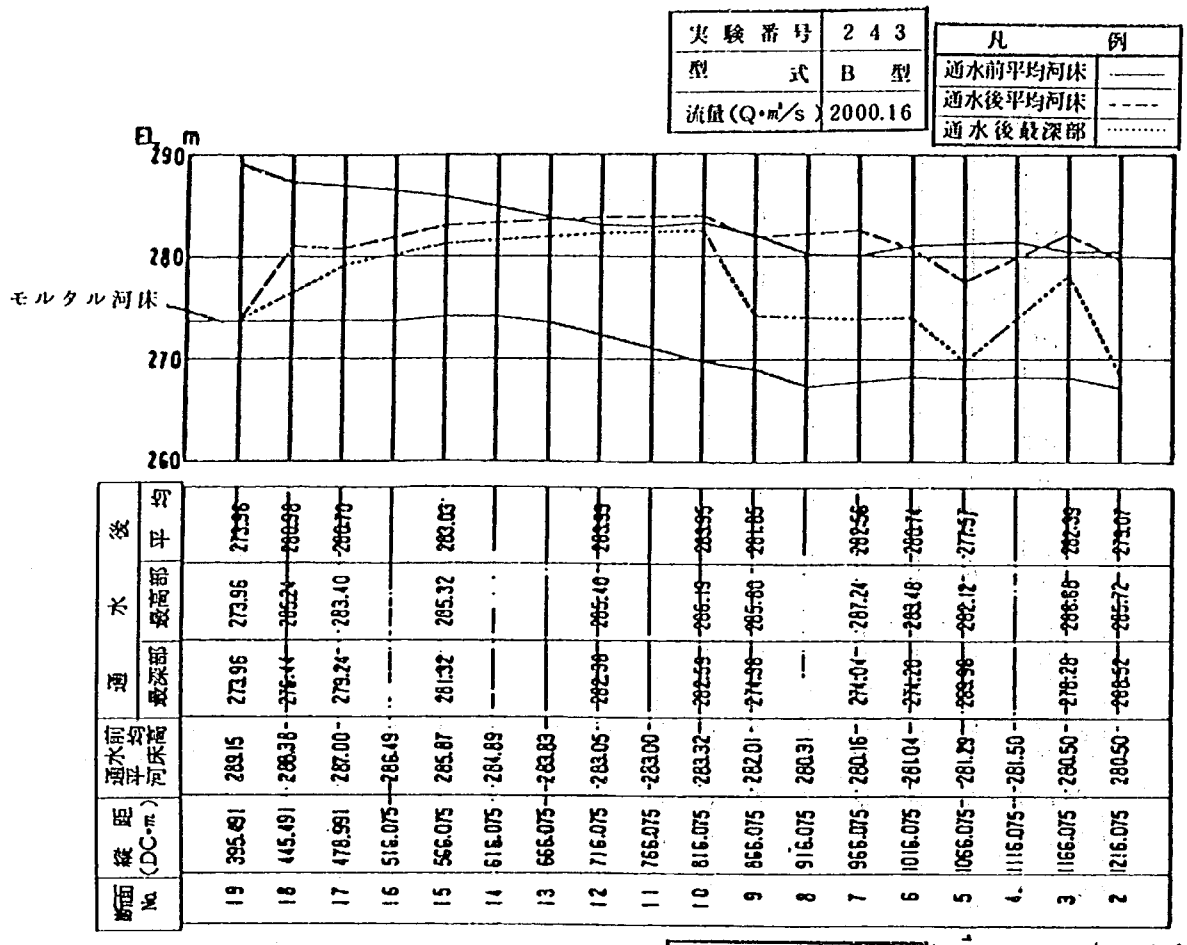


断面No.	縦距(DC・m)	通水前平均河床高	通水後 最深部	通水後 最高部	通水後 平均
19	395.491	289.15	279.56	288.76	284.76
18	445.491	288.38			
17	478.991	287.00	283.80	288.20	286.00
16	516.075	286.49			
15	566.075	285.87	283.32	285.72	284.29
14	616.075	284.89			
13	666.075	283.83			
12	716.075	283.05	282.20	285.00	283.72
11	766.075	283.00			
10	816.075	283.32	284.36	287.79	286.21
9	866.075	282.01	277.56	283.56	280.94
8	916.075	280.31			
7	966.075	280.16	280.52	283.32	281.92
6	1016.075	281.04	276.60	283.32	281.12
5	1066.075	281.29	278.68	282.92	281.43
4	1116.075	281.50			
3	1166.075	280.50	280.28	288.60	284.33
2	1216.075	280.50	278.52	281.96	280.14

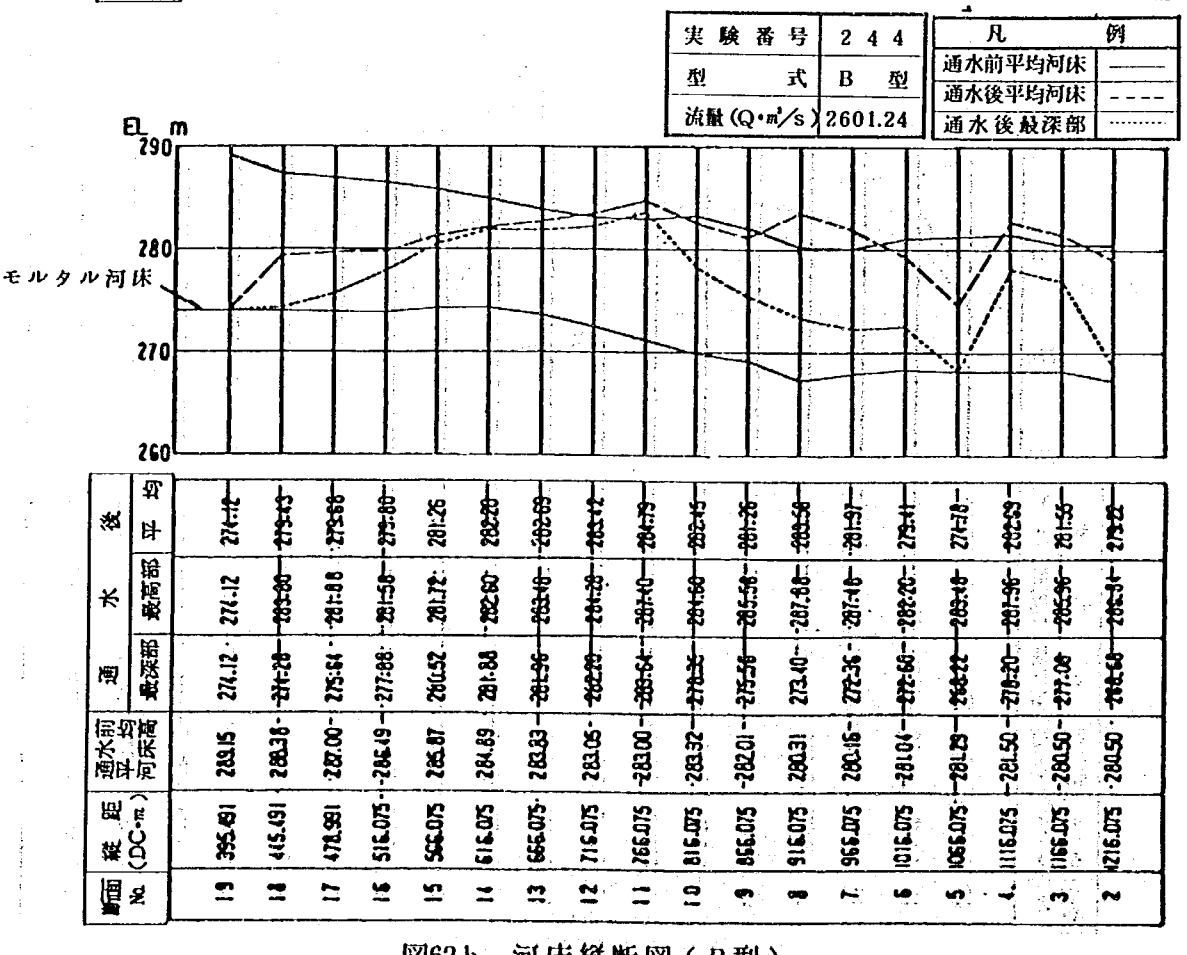


断面No.	縦距(DC・m)	通水前平均河床高	通水後 最深部	通水後 最高部	通水後 平均
19	395.491	289.15	274.36	276.76	275.60
18	445.491	288.38	280.92	280.04	280.26
17	478.991	287.00	282.44	284.52	283.48
16	516.075	286.49			
15	566.075	285.87	284.52	285.24	284.76
14	616.075	284.89			
13	666.075	283.83			
12	716.075	283.05	283.64	285.00	284.55
11	766.075	283.00			
10	816.075	283.32	283.56	285.36	284.36
9	866.075	282.01	279.20	285.56	281.12
8	916.075	280.31			
7	966.075	280.16	280.52	285.16	282.28
6	1016.075	281.04	278.52	284.96	281.36
5	1066.075	281.29	280.12	282.92	281.30
4	1116.075	281.50			
3	1166.075	280.50	277.72	288.36	284.16
2	1216.075	280.50	279.20	283.16	280.36

図62a　河床縦断図（B型）

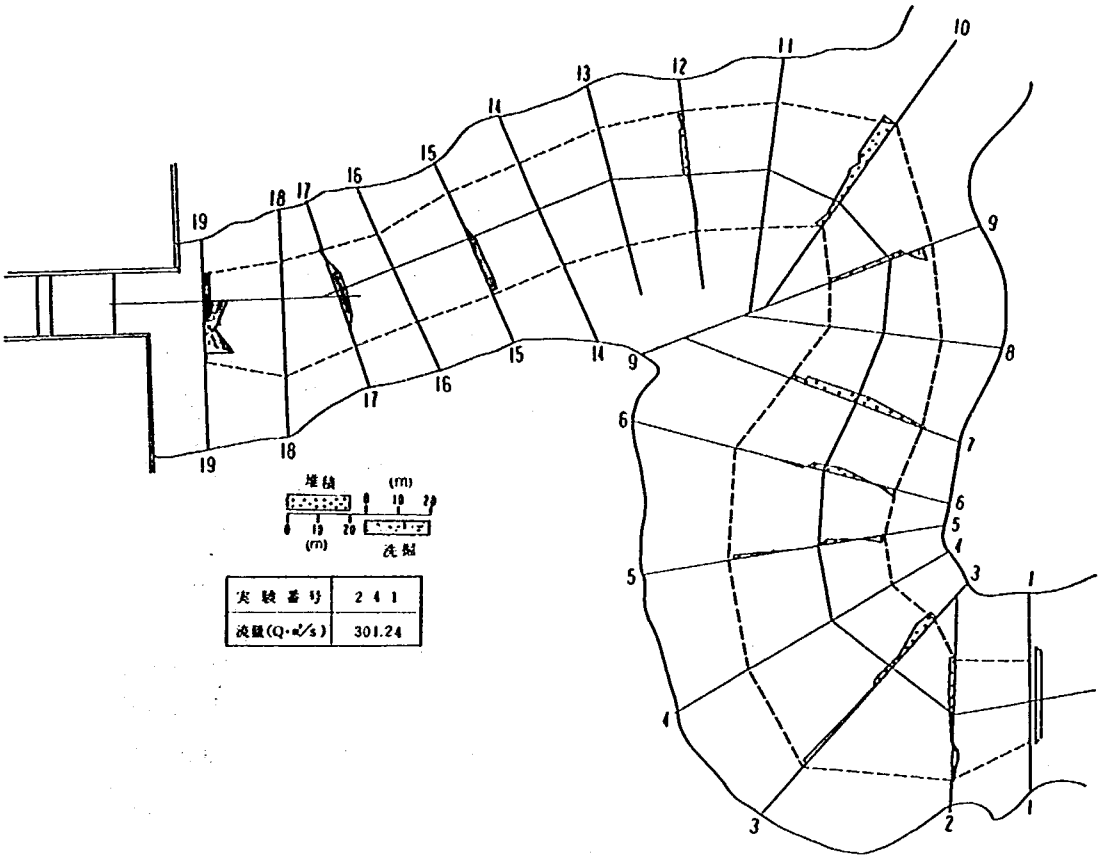


断面No.	縦距(DC-m)	通水前平均河床高	通水後 最深部	通水後 最高部	通水後 平均
19	395.491	289.15	273.96	273.96	275.96
18	445.491	288.38	276.44	285.24	280.98
17	478.991	287.00	279.24	283.10	280.70
16	516.075	286.49	—	—	—
15	566.075	285.87	281.32	285.32	283.03
14	616.075	284.89	—	—	—
13	666.075	283.83	—	—	—
12	716.075	283.05	282.36	285.10	283.33
11	766.075	283.00	—	—	—
10	816.075	283.32	282.59	286.19	283.95
9	866.075	282.01	274.58	285.60	281.85
8	916.075	280.31	—	—	—
7	966.075	280.16	274.04	287.24	280.56
6	1016.075	281.04	274.20	283.48	280.74
5	1066.075	281.29	283.98	282.12	277.57
4	1116.075	281.50	—	—	—
3	1166.075	280.50	276.28	288.88	282.39
2	1216.075	280.50	286.52	285.72	279.07



断面No.	縦距(DC-m)	通水前平均河床高	通水後 最深部	通水後 最高部	通水後 平均
19	395.491	289.15	274.12	274.12	274.12
18	445.491	288.38	276.28	285.80	279.43
17	478.991	287.00	275.64	281.88	279.66
16	516.075	286.49	277.88	281.56	279.80
15	566.075	285.87	280.52	281.72	281.26
14	616.075	284.89	281.88	282.60	282.20
13	666.075	283.83	281.96	283.16	282.69
12	716.075	283.05	282.20	284.38	283.12
11	766.075	283.00	283.64	283.40	284.79
10	816.075	283.32	278.35	284.60	283.15
9	866.075	282.01	275.58	285.58	281.36
8	916.075	280.31	273.40	287.88	280.58
7	966.075	280.16	272.36	287.16	281.97
6	1016.075	281.04	272.60	288.20	279.41
5	1066.075	281.29	284.22	283.16	274.78
4	1116.075	281.50	276.20	287.96	280.89
3	1166.075	280.50	277.08	285.96	281.55
2	1216.075	280.50	286.60	283.34	279.22

図62b　河床縦断図（B型）



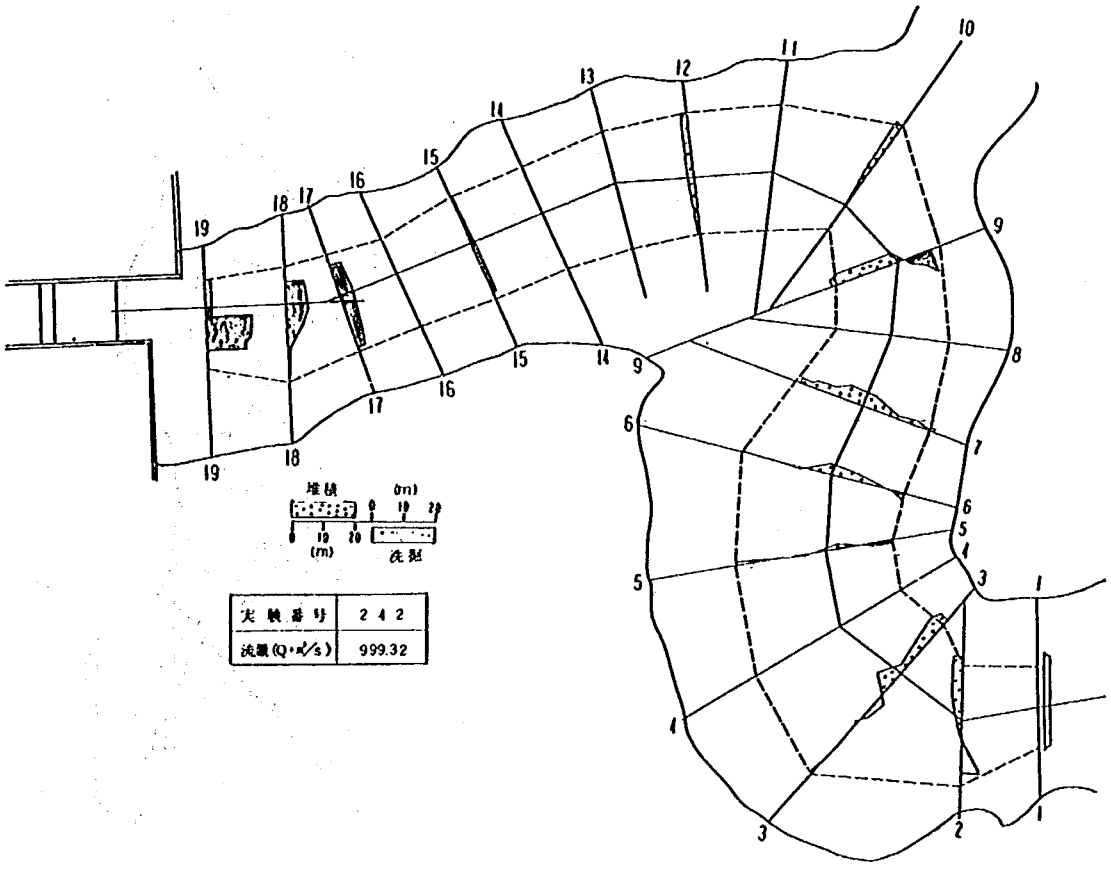
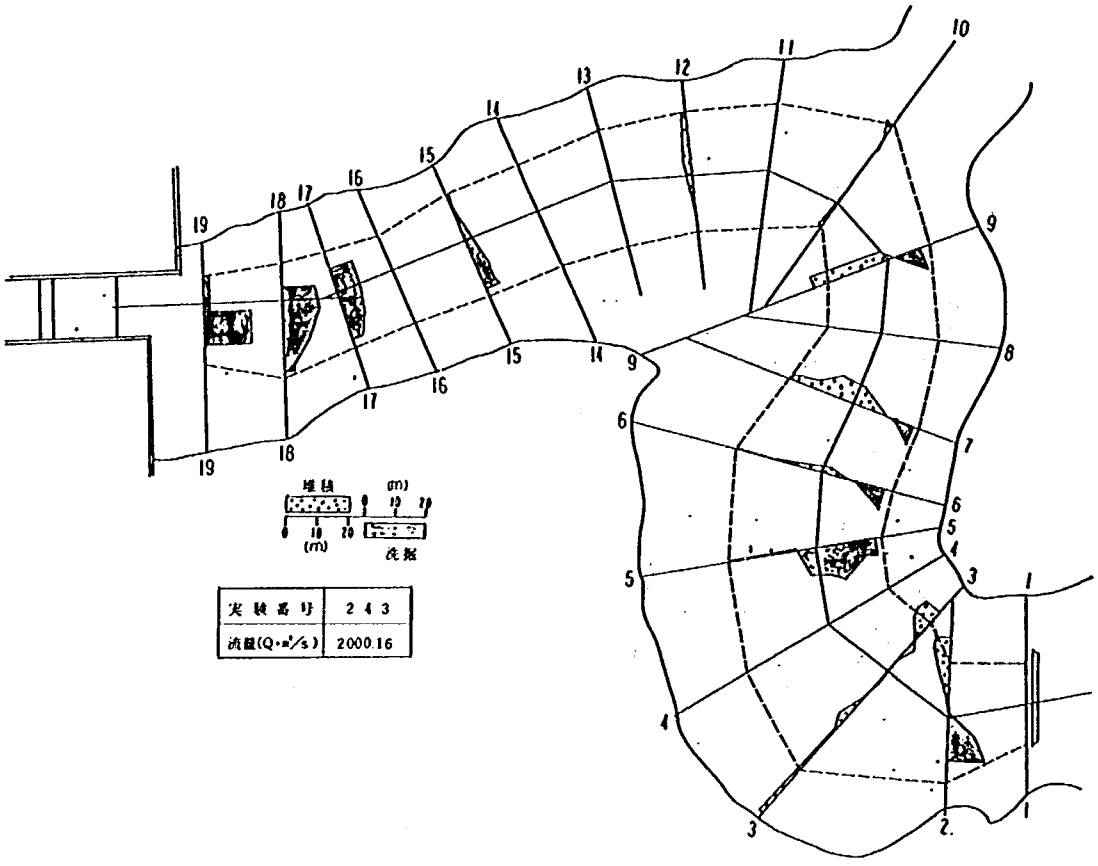


図63 a　河道内の河床状況平面図（ B型 ）



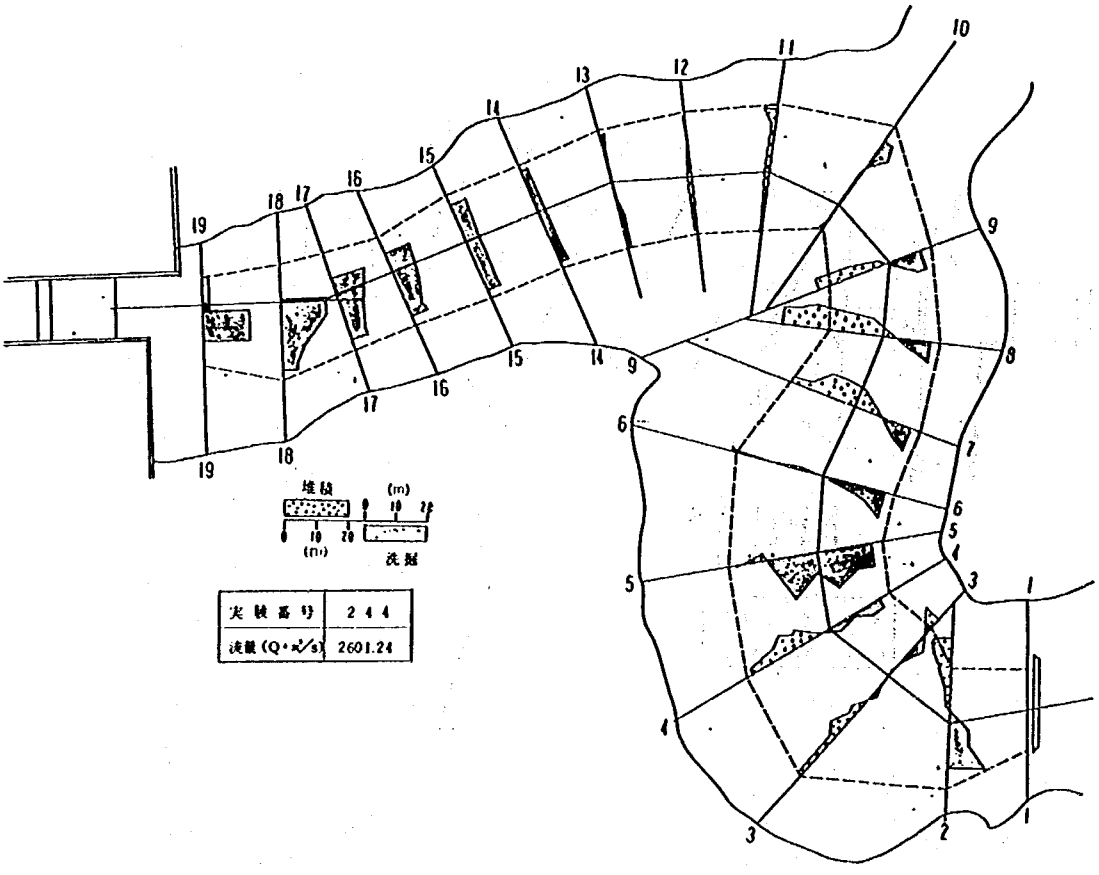


図63 b　河道内の河床状況平面図（B型）

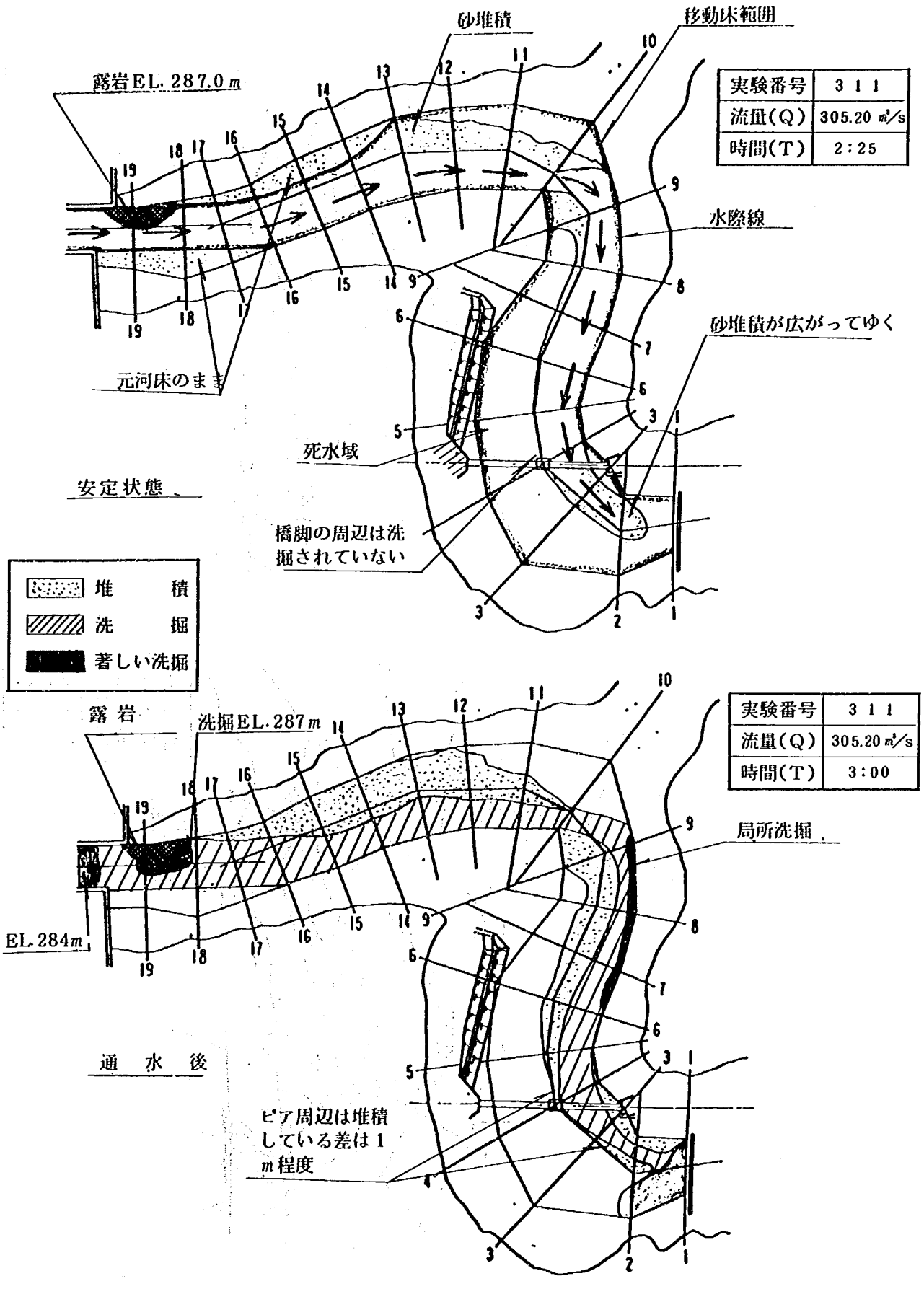


図64 a　推奨案の流況図

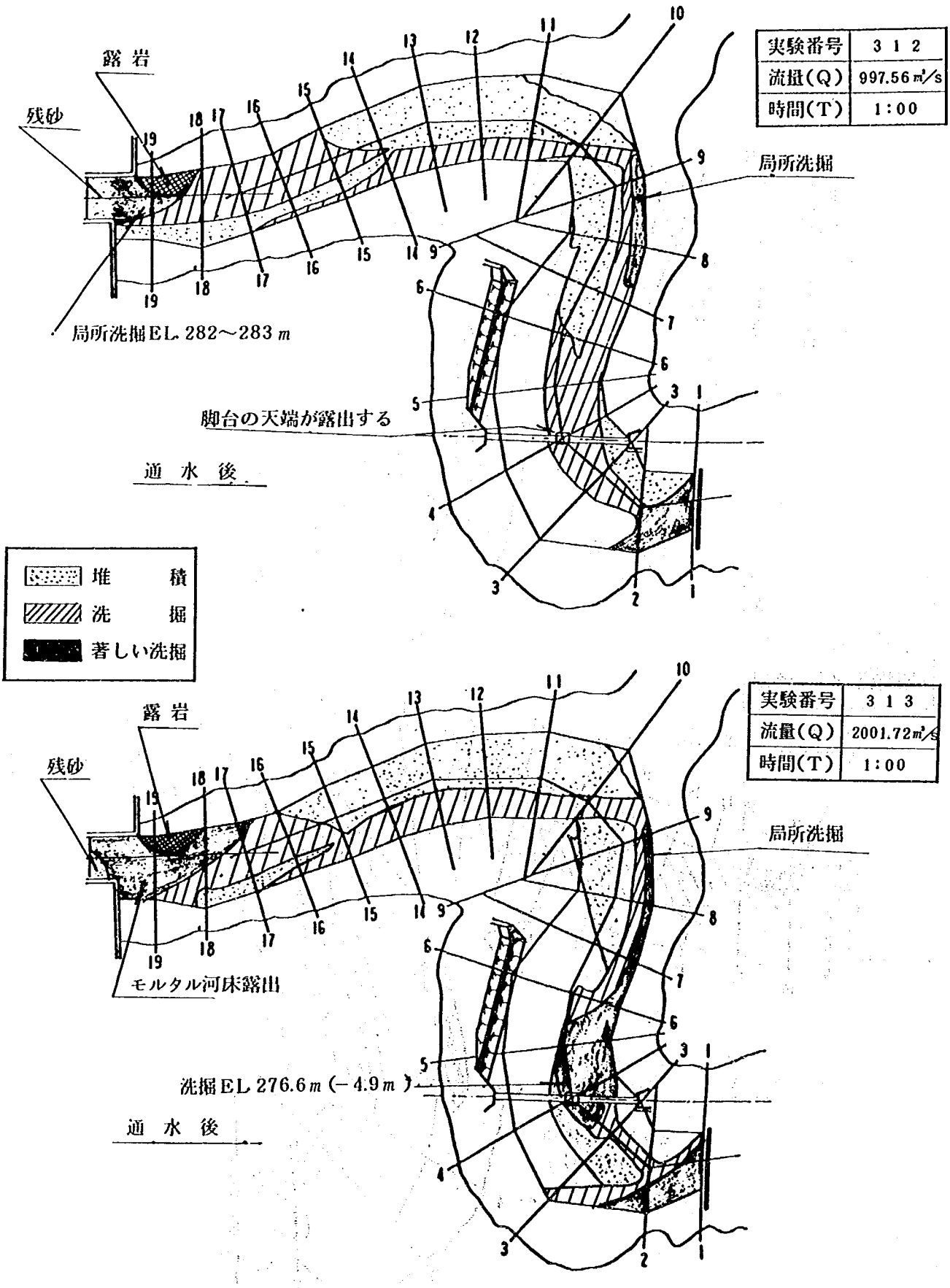


図64 b 推奨案の流況図

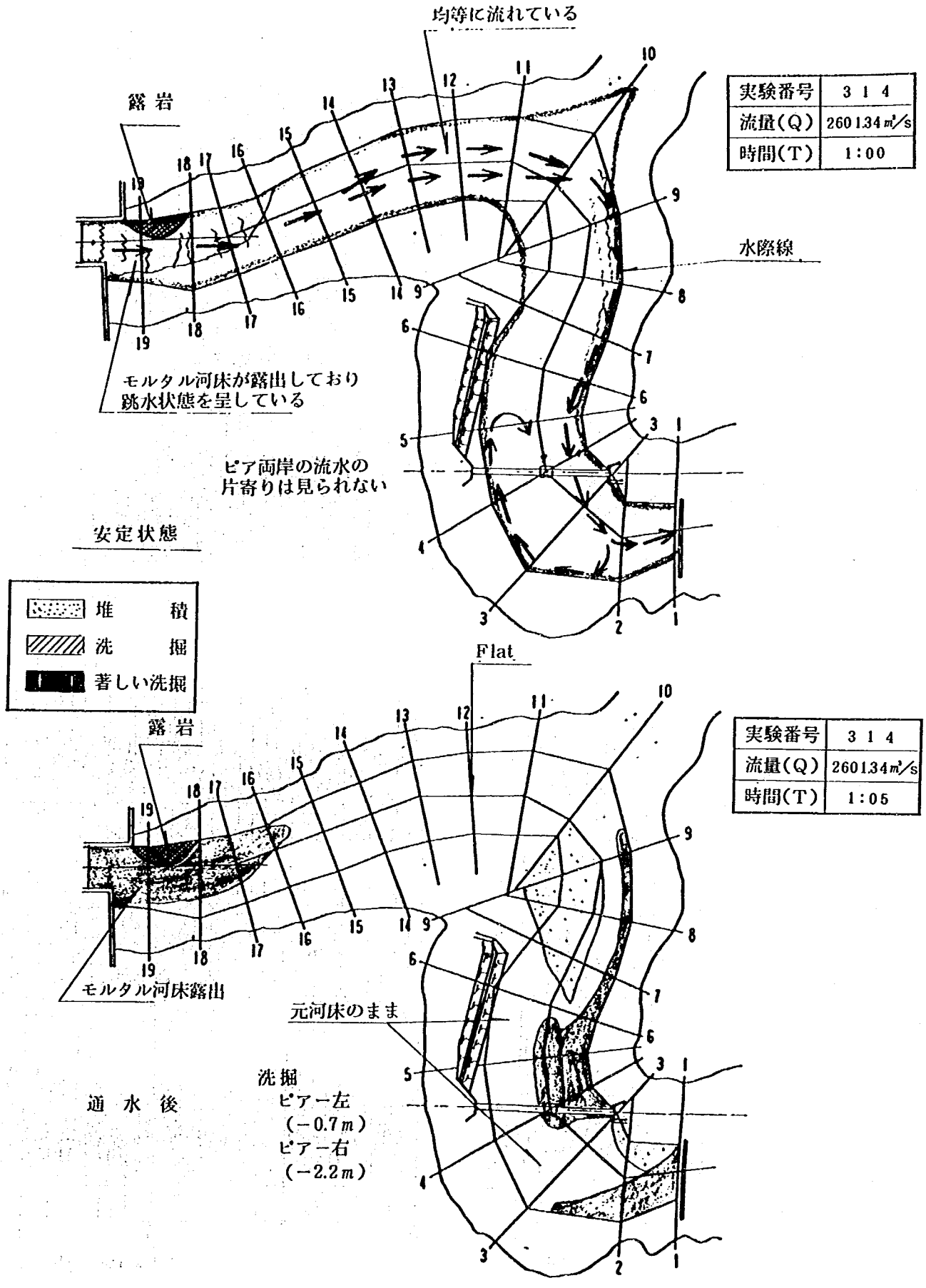


図64 c　推奨案の流況図

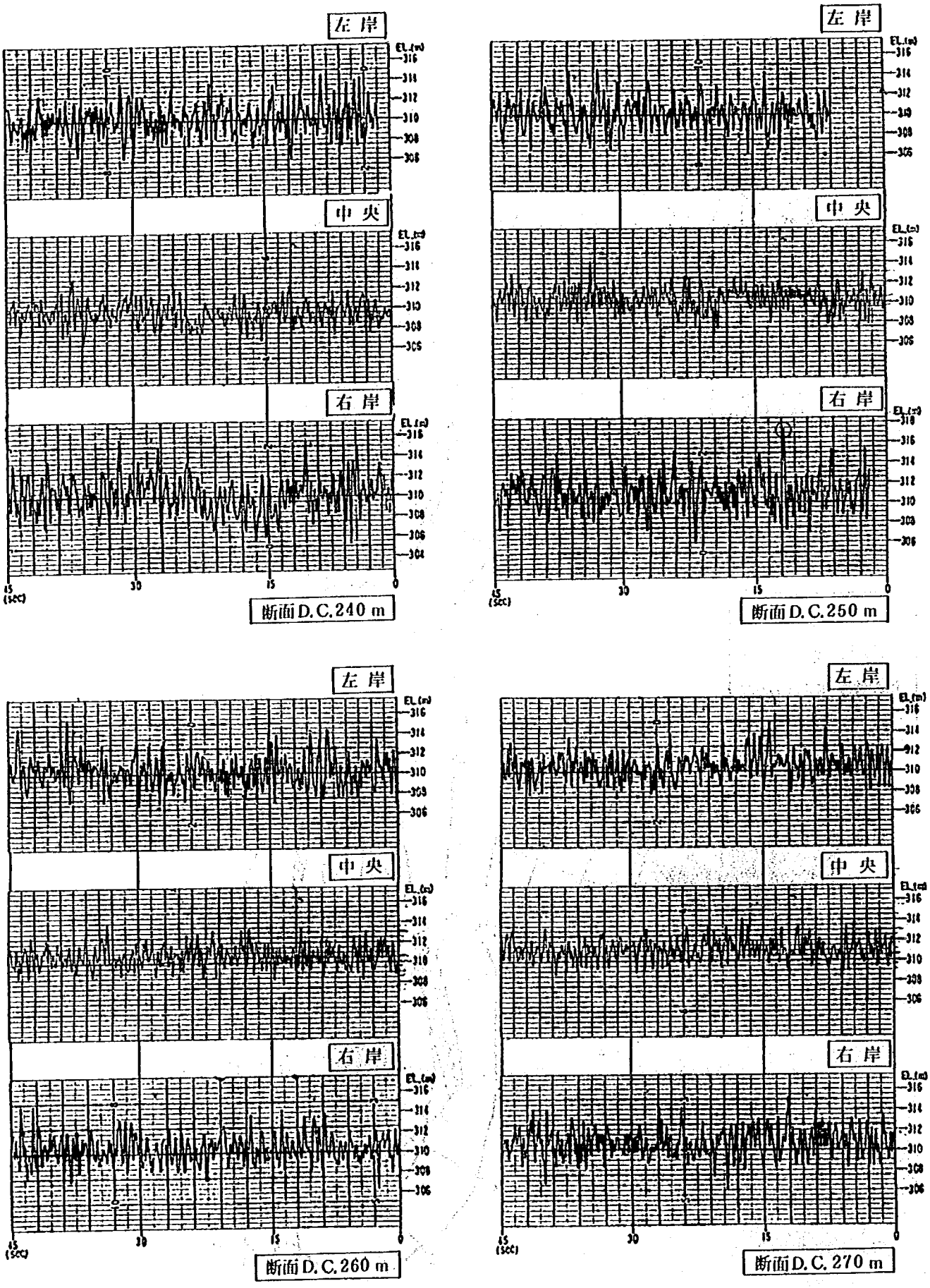


図67 a　減勢工内の波面変動図

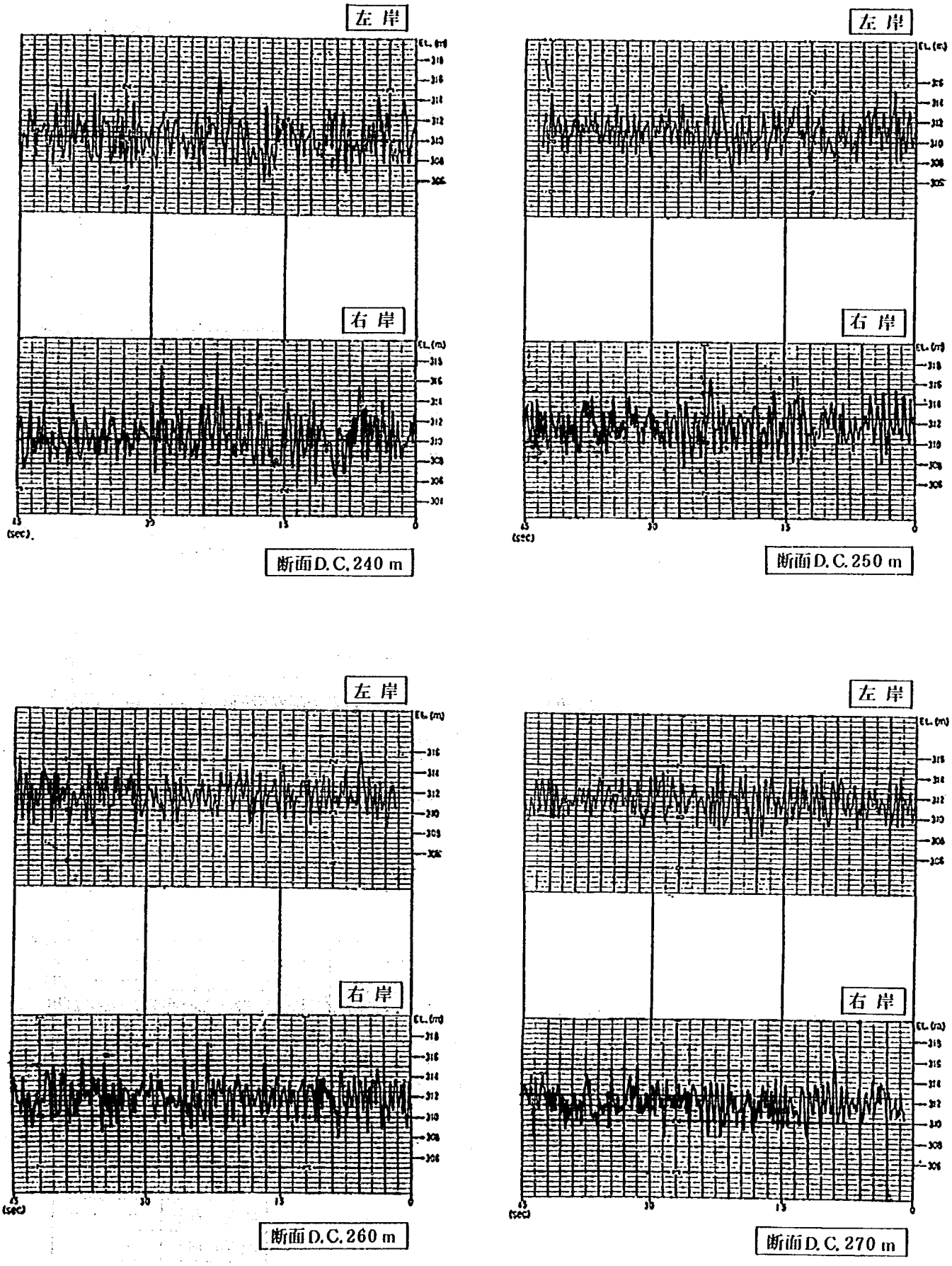


図67 b　減勢工内の波面変動図

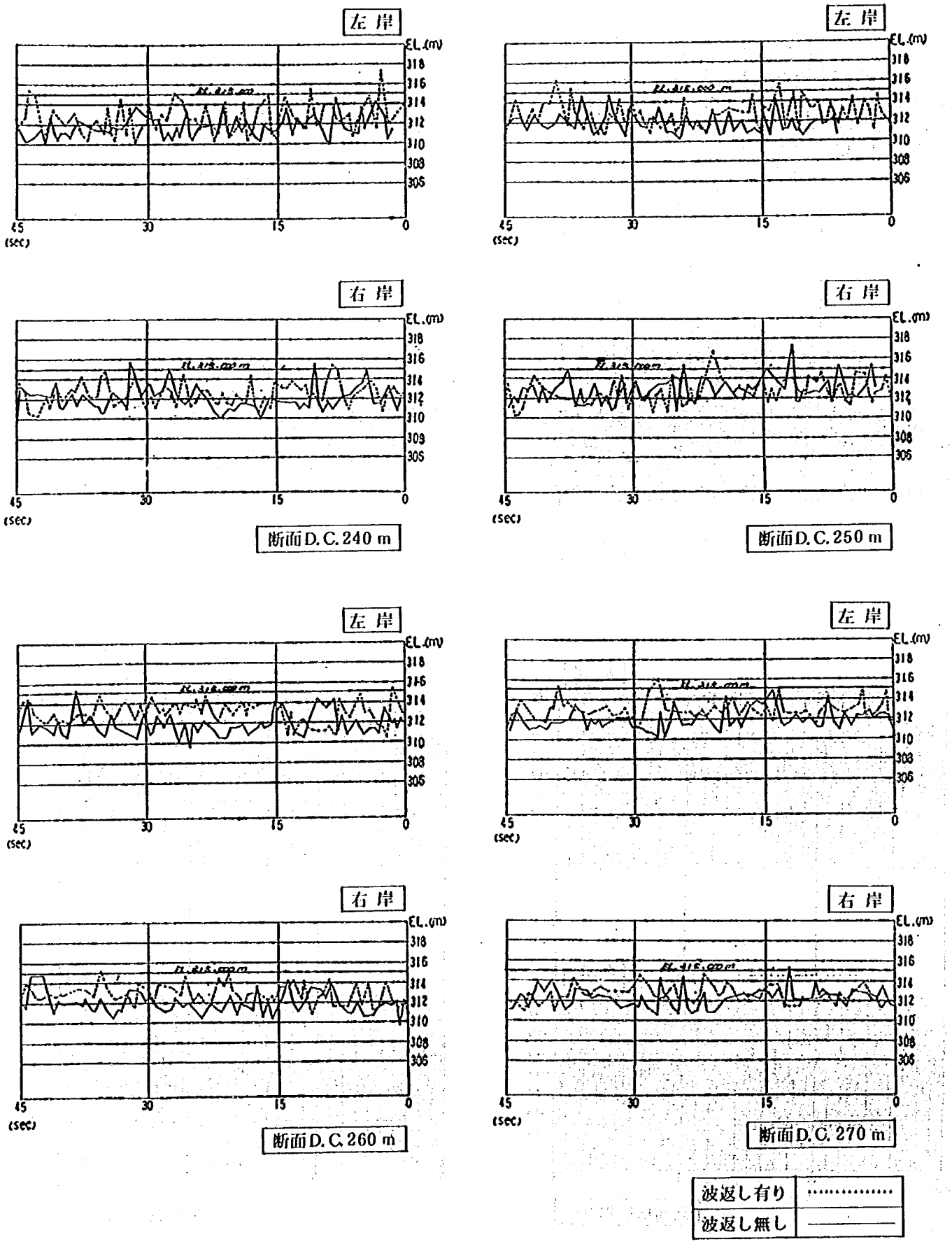


図68 a　減勢工内の波面変動比較図

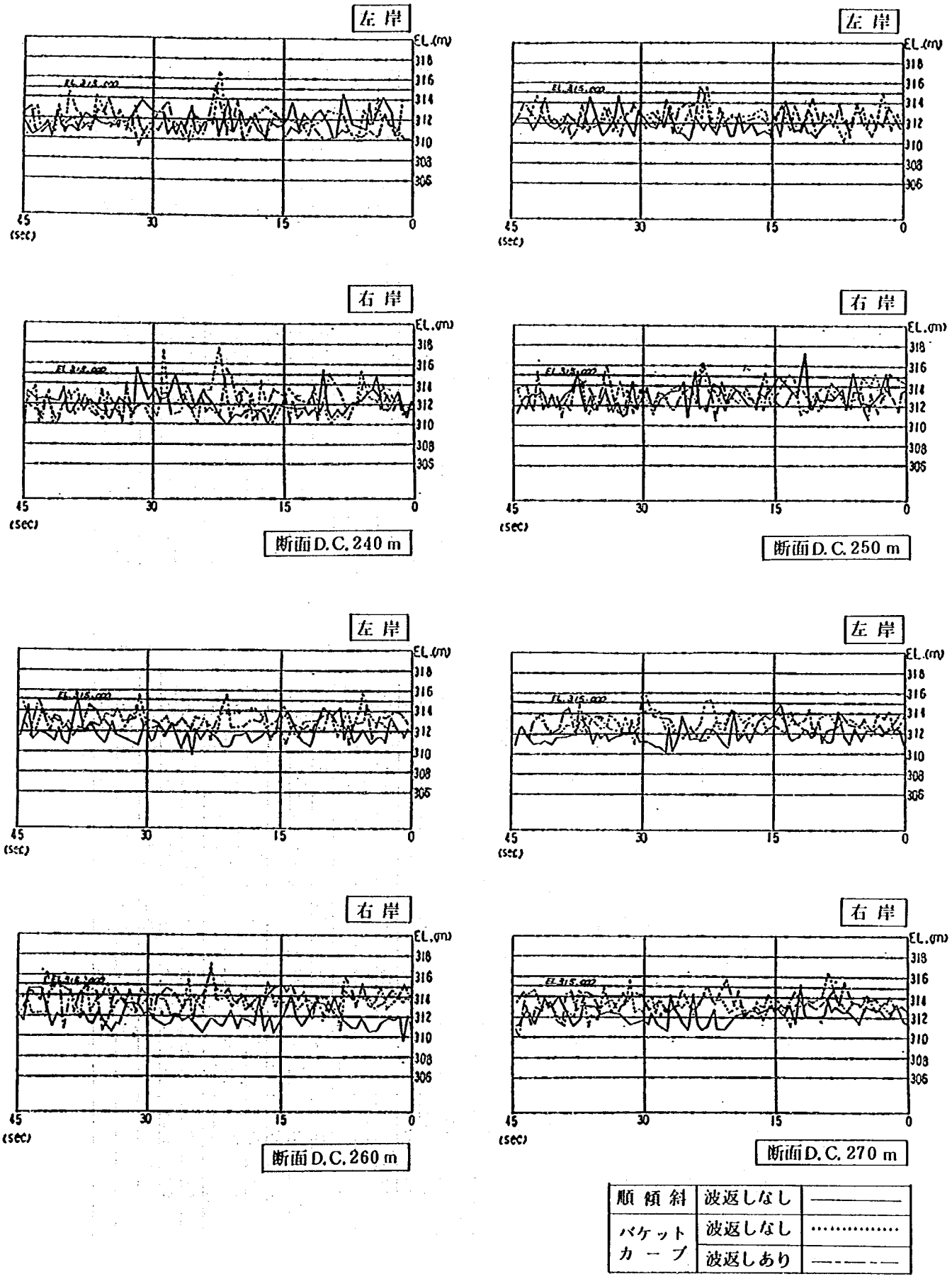


図68 b　減勢工内の波面変動比較図

表26a　河道横断指示表

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
	0	274.9	0	7.38	0	274.9	0	7.38
0.	8.0	275.6	10.0	8.25	3.4	273.7	4.3	5.88
	9.9	275.5	12.4	8.13	4.8	273.7	6.0	5.88
	13.3	275.7	16.6	8.38	8.5	274.0	10.6	6.25
DL 269.0	14.3	276.1	17.9	8.88	11.6	273.9	14.5	6.13
	19.1	276.3	23.9	9.13	15.4	273.5	19.3	5.63
	24.8	277.8	31.0	11.00	21.5	272.1	26.9	3.88
	26.5	277.8	33.1	11.00	22.2	272.6	27.8	4.50
	27.4	278.9	34.3	12.38	22.4	274.7	28.0	7.13
	29.6	279.9	37.0	13.63	25.7	278.3	32.1	11.63
	36.1	284.9	45.1	19.88	28.3	282.1	35.4	16.38
1.	0	279.8	0	8.50	0	279.8	0	8.50
	8.0	279.8	10.0	8.50	11.5	280.0	14.4	8.75
DL 273.0	13.7	279.1	17.1	7.63	16.6	279.8	20.8	8.50
	20.7	277.8	25.9	6.00	22.9	279.5	28.6	8.13
	21.7	278.0	27.1	6.25	24.7	279.7	30.9	8.38
	22.8	278.9	28.5	7.38	27.3	280.4	34.1	9.25
	24.4	280.0	30.5	8.75	27.9	281.2	34.9	10.25
	26.6	280.6	33.3	9.50	28.8	281.6	36.0	10.75
	28.0	280.6	35.0	9.50	30.2	283.0	37.8	12.50
	28.4	282.5	35.5	11.88	33.4	285.0	41.8	15.00
	29.6	285.0	37.0	15.00	37.9	288.8	47.4	19.75
	35.0	290.0	43.8	21.25				
	45.8	295.0	57.3	27.50	47.0	288.8	58.8	19.75
	53.6	300.0	67.0	33.75	48.0	291.4	60.0	23.00
	55.5	302.2	69.4	36.50	54.0	291.4	67.5	23.00
	59.0	302.2	73.8	36.50	57.2	295.0	71.5	27.50
	65.2	310.0	81.5	46.25	60.0	296.0	75.0	28.75
					62.4	297.0	78.0	30.00
					68.0	298.0	85.0	31.25
					72.5	300.0	90.6	33.75

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
					78.5	305.0	98.1	40.00
					84.8	310.0	106.0	46.25
2.	0	281.0	0	10.00	0	281.0	0	10.00
	2.1	280.7	2.6	9.63	8.6	281.0	10.8	10.00
DL 273.0	7.5	279.3	9.4	7.88	17.5	280.7	21.9	9.63
	11.8	279.6	14.8	8.25	18.9	280.4	23.6	9.25
	15.6	280.0	19.5	8.75	21.6	280.7	27.0	9.63
	24.1	279.6	30.1	8.25	23.2	280.4	29.0	9.25
	44.7	277.5	55.9	5.63	25.0	280.5	31.3	9.38
	44.8	281.2	56.0	10.25	27.2	281.2	34.0	10.25
	46.3	281.8	57.9	11.00	38.4	281.9	48.0	11.13
	47.0	285.0	58.8	15.00	45.5	285.1	56.9	15.13
	48.5	290.0	60.6	21.25	52.0	284.8	65.0	14.75
	50.0	295.0	62.5	27.50	53.5	285.0	66.9	15.00
	52.0	300.0	65.0	33.75	55.4	283.2	69.3	12.75
	53.2	302.1	66.5	36.38	57.3	282.8	71.6	12.25
	57.2	302.1	71.5	36.38	59.0	284.0	73.8	13.75
	60.0	310.0	75.0	46.25	60.0	285.0	75.0	15.00
					65.0	290.0	81.3	21.25
3.	0	281.1	0	7.63	0	281.1	0	7.63
	12.9	281.7	16.1	8.38	4.5	281.2	5.6	7.75
DL 275.0	25.8	281.7	32.3	8.38	6.0	281.1	7.5	7.63
	49.7	280.9	62.1	7.38	7.6	281.2	9.5	7.75
	60.2	280.3	75.3	6.63	11.0	281.6	13.8	8.25
	62.0	280.0	77.5	6.25	18.2	281.5	22.8	8.13
	71.1	280.3	88.9	6.63	19.4	281.2	24.3	7.75
	77.1	279.8	96.4	6.00	20.5	281.4	25.6	8.00
	82.0	279.3	102.5	5.38	23.2	282.1	29.0	8.88
	85.0	279.6	106.3	5.75	26.4	282.4	33.0	9.25
	86.2	280.2	107.8	6.50	30.3	285.4	37.9	13.00

表26 b　河道横断指示表

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
3.	87.9	280.7	109.9	7.13	35.8	285.1	44.8	12.63
	90.4	283.8	113.0	11.00	39.6	283.0	49.5	10.00
	93.2	285.0	116.5	12.50	43.4	283.0	54.3	10.00
	104.0	290.0	130.0	18.75	49.2	284.0	61.5	11.25
	112.2	295.0	140.3	25.00	50.0	285.0	62.5	12.50
	118.8	300.0	148.5	31.25	53.5	290.0	66.9	18.75
	126.8	305.0	158.5	37.50	58.6	295.0	73.3	25.00
	130.6	310.0	163.3	43.75				
					66.5	295.0	83.1	25.00
					70.0	300.0	87.5	31.25
					76.5	305.0	95.6	37.50
					83.0	310.0	103.8	43.75
4.	0	280.6	0	7.00	0	280.6	0	7.00
	6.8	281.0	8.5	7.50	6.4	280.8	8.0	7.25
DL 275.0	13.3	280.8	16.6	7.25	11.4	280.6	14.3	7.00
	26.5	279.8	33.1	6.00	12.4	281.2	15.5	7.75
	35.0	280.2	43.8	6.50	13.2	280.6	16.5	7.00
	36.3	280.1	45.4	6.38	14.7	284.4	18.4	11.75
	41.2	281.5	51.5	8.13	15.2	284.4	19.0	11.75
	43.2	281.8	54.0	8.50	15.2	285.2	19.0	12.75
	43.4	282.7	54.3	9.63	16.4	285.2	20.5	12.75
	44.1	282.8	55.1	9.75	27.0	285.2	33.8	12.75
	60.0	282.8	75.0	9.75	32.2	283.0	40.3	10.00
	69.8	284.0	87.3	11.25	41.3	282.5	51.6	9.38
	70.6	285.0	88.3	12.50	45.3	283.8	56.6	11.00
	76.4	290.0	95.5	18.75	48.4	283.8	60.5	11.00
	87.4	295.0	109.3	25.00	50.0	285.0	62.5	12.50
	102.0	300.0	127.5	31.25	61.2	290.0	76.5	18.75
	112.5	304.3	140.6	36.63	68.0	295.0	86.0	25.00
	115.2	304.3	144.0	36.63	69.2	296.0	86.5	26.25
	115.8	305.0	144.8	37.50	78.5	296.0	98.1	26.25

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
	122.8	310	153.5	43.75				
					80.0	300.0	100.0	31.25
					85.0	305.0	106.3	37.50
					90.8	310.0	113.5	43.75
5.	0	280.1	0	5.13	0	280.1	0	5.13
	1.4	280.1	1.8	5.13	5.4	280.2	6.8	5.25
DL 276.0	2.6	280.0	3.3	5.00	7.6	280.4	9.5	5.50
	3.4	280.0	4.3	5.00	18.0	281.0	22.5	6.25
	4.7	280.2	5.9	5.25	35.1	281.2	43.9	6.50
	8.2	280.4	10.3	5.50	37.9	281.4	47.4	6.75
	9.6	280.7	12.0	5.88	41.5	282.1	51.9	7.63
	12.4	282.4	15.5	8.00	47.0	285.0	58.8	11.25
	14.0	282.8	17.5	8.50	50.0	290.0	62.5	17.50
	16.0	284.0	20.0	10.00	55.2	295.0	69.0	23.75
	17.8	284.9	22.3	11.13	60.0	297.5	82.8	22.50
	20.0	285.0	25.0	11.25	69.8	297.0	87.3	23.00
	45.4	285.0	56.8	11.25	74.8	297.0	93.5	23.00
	66.5	285.0	83.1	11.25	76.5	300.0	95.6	30.00
	75.6	290.0	94.5	17.50	79.2	305.0	99.0	36.25
	78.0	291.0	97.5	18.75	84.8	310.0	106.0	42.50
	79.2	292.0	99.0	20.00				
	87.2	292.0	109.0	20.00				
	88.2	294.0	110.3	22.50				
	89.2	295.0	111.5	23.75				
	91.0	295.9	113.8	24.88				
	99.0	295.9	123.8	24.88				
	99.2	296.0	124.0	25.00				
	101.8	300.0	127.3	30.00				
	107.8	304.0	134.8	35.00				
	108.6	304.9	135.8	36.13				
	111.2	304.9	139.0	36.13				

表26c　河道横断指示表

諸量 / No.	右岸側 夾物 横距	右岸側 夾物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 夾物 横距	左岸側 夾物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
	112.0	305.0	140.0	36.25				
	118.0	310.0	147.5	42.50				
6.	0	282.3	0	9.13	0	282.3	0	9.13
	1.5	282.7	1.9	9.63	5.0	281.4	6.3	8.00
DL 275.0	2.0	283.4	2.5	10.50	7.9	281.2	9.9	7.75
	6.9	283.3	8.6	10.38	10.1	281.2	12.6	7.75
	9.7	283.6	12.1	10.75	11.0	281.0	13.8	7.50
	18.5	283.1	23.1	10.13	13.6	280.9	17.0	7.38
	30.0	283.1	37.5	10.13	16.1	280.5	20.1	6.88
	41.2	284.0	51.5	11.25	19.5	280.0	24.4	6.25
	54.0	285.0	67.5	12.50	20.5	279.5	25.6	5.63
	84.5	286.0	105.6	13.75	29.1	280.2	36.4	6.50
	90.0	290.0	112.5	18.75	40.5	280.4	50.6	6.75
	97.5	295.0	121.9	25.00	41.7	280.5	52.1	6.88
	101.0	297.0	126.2	27.50	43.1	280.8	53.9	7.25
	102.5	297.5	128.1	28.13	44.6	280.9	55.8	7.38
	109.0	297.5	136.3	28.13	45.6	280.7	57.0	7.13
	110.0	298.0	137.5	28.75	47.4	281.7	59.3	8.38
	110.5	299.0	138.1	30.00	48.4	282.1	60.5	8.88
	111.4	300.0	139.3	31.25	49.2	285.0	61.5	12.50
	115.6	304.0	144.5	36.25	52.5	290.0	65.6	18.75
	117.0	305.7	146.3	38.38	53.8	292.0	67.3	21.25
	119.8	305.7	149.8	38.38	62.6	293.0	78.3	22.50
	120.2	305.0	150.3	37.50	65.4	295.0	81.8	25.00
	125.9	310.0	157.4	43.75	70.6	298.0	88.3	24.25
					75.8	298.0	94.8	24.25
					77.2	300.0	96.5	31.25
					83.8	305.0	104.8	37.50
					91.6	310.0	114.5	43.75

諸量 / No.	右岸側 夾物 横距	右岸側 夾物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 夾物 横距	左岸側 夾物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
7.	0	280.9	0	8.63	0	280.9	0	8.63
	1.7	281.0	2.1	8.75	4.5	281.0	5.6	8.75
DL 274.0	1.9	281.6	2.4	9.50	10.0	280.9	12.5	8.63
	10.8	282.7	13.5	10.88	18.5	280.0	23.1	7.50
	11.2	283.5	14.0	11.88	21.1	280.5	26.4	8.13
	12.4	283.9	15.5	12.38	29.6	280.5	37.0	8.13
	45.0	284.0	56.3	12.50	30.0	280.7	37.5	8.38
	61.5	285.0	76.9	13.75	35.1	278.6	43.9	5.75
					43.6	278.4	54.5	5.50
					45.0	280.1	56.3	7.63
					45.6	280.5	57.0	8.13
					46.4	281.0	58.0	8.75
					46.7	282.1	58.4	10.13
					48.2	285.0	60.3	13.75
					50.2	290.0	62.8	20.00
					52.0	295.0	65.0	26.25
					57.8	300.0	72.3	32.50
					60.0	304.4	75.0	38.00
					65.5	304.4	81.8	38.00
					66.5	305.0	83.1	38.75
					68.4	310.0	85.5	45.00
8.	0	280.5	0	6.88	0	280.5	0	6.88
	2.1	280.5	2.6	6.88	2.9	280.5	3.6	6.88
DL 275.0	6.2	281.0	7.8	7.50	3.5	280.7	4.4	7.13
	10.5	281.1	13.1	7.63	5.6	280.7	7.0	7.13
	13.7	283.1	17.1	10.13	19.6	280.4	24.5	6.75
	16.3	283.9	20.4	11.13	23.6	280.6	29.5	7.00
	21.8	284.0	27.3	11.25	29.6	279.3	37.0	5.38
	40.2	284.0	50.3	11.25	32.5	278.5	40.6	4.38
	47.0	285.0	58.8	12.50	33.8	279.7	42.3	5.88
					34.0	280.4	42.5	6.75

表26 d　河道横断指示表

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
					35.6	282.4	44.5	9.25
					36.0	285.0	45.0	12.50
					38.0	290.0	47.5	18.75
					42.0	295.0	52.5	25.00
					46.8	300.0	58.5	31.25
					51.2	305.0	64.0	37.50
					59.2	304.4	74.0	36.75
					64.2	304.4	80.3	36.75
					65.4	306.0	81.8	38.75
					68.5	307.0	85.6	40.00
					74.0	308.0	92.5	41.25
					78.0	310.0	97.5	43.75
9.	0	280.3	0	5.38	0	280.3	0	5.38
	3.8	280.1	4.8	5.13	0.8	280.3	1.0	5.38
DL 276.0	5.6	280.2	7.0	5.25	2.4	280.7	3.0	5.88
	7.7	280.8	9.6	6.00	3.2	280.7	4.0	5.88
	17.9	281.1	22.4	6.38	4.5	280.4	5.6	5.50
	21.5	283.0	26.9	8.75	5.8	280.3	7.3	5.38
	23.2	283.3	29.0	9.13	6.6	280.6	8.3	5.75
	24.0	283.2	30.0	9.00	12.5	282.0	15.6	7.50
	25.4	284.0	31.8	10.00	18.4	282.6	23.0	8.25
	26.2	284.5	32.8	10.63	22.2	282.0	27.8	7.50
	28.8	284.7	36.0	10.88	26.0	282.3	32.5	7.88
	34.6	284.4	43.3	10.50	27.4	285.0	34.3	11.25
	37.2	284.8	46.5	11.00	31.2	290.0	39.0	17.50
	51.2	285.0	64.0	11.25	38.2	295.0	47.8	23.75
	53.0	286.0	66.3	12.50	43.2	300.0	54.0	30.00
	107.4	287.0	134.3	13.75	48.0	305.0	60.0	36.25
	112.0	290.0	140.0	17.50	54.0	308.0	67.5	40.00
	116.8	293.8	146.0	22.25				
	138.0	293.8	172.5	22.25	59.0	308.0	73.8	40.00

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
	139.8	295.0	174.8	23.75	59.4	309.0	74.3	41.25
	147.5	300.0	184.4	30.00	60.0	310.0	75.0	42.50
	155.0	305.0	193.8	36.25				
	156.0	305.7	195.0	37.13				
	159.2	305.7	199.0	37.13				
	160.8	306.0	201.0	37.50				
	166.2	310.0	207.8	42.50				
10.	0	280.8	0	6.00	0	280.8	0	6.00
	1.8	280.9	2.3	6.13	5.6	281.2	7.0	6.50
DL 276.0	5.0	280.6	6.3	5.75	7.1	281.9	8.9	7.38
	7.0	281.0	8.8	6.25	9.9	282.4	12.4	8.00
	9.2	281.8	11.5	7.25	13.7	282.5	17.1	8.13
	12.5	281.8	15.6	7.25	15.9	283.0	19.9	8.75
	16.9	282.2	21.1	7.75	17.9	283.1	22.4	8.88
	20.0	282.2	25.0	7.75	21.9	284.0	27.4	10.00
	22.1	283.8	27.6	9.75	23.3	283.9	29.1	9.88
	22.8	285.3	28.5	11.63	25.7	285.0	32.1	11.25
	23.4	285.4	29.3	11.75	35.6	285.3	44.5	11.63
	27.8	285.0	34.8	11.25	37.7	285.8	47.1	12.25
	49.0	286.0	61.3	12.50	43.5	286.0	54.4	12.50
	59.5	286.6	74.4	13.25	45.1	286.7	56.4	13.38
					47.4	286.7	59.3	13.38
					50.0	287.0	62.5	13.75
					50.9	287.5	63.6	14.38
					51.7	287.7	64.6	14.63
					54.2	287.6	67.8	14.50
					55.9	287.3	69.9	14.13
					60.0	287.8	75.0	14.75
					79.8	288.0	99.8	15.00
					81.5	289.0	101.9	16.25
					86.0	290.0	107.5	17.50

表26 e　河道横断指示表

諸量 / No.		右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
10-1		0	290.0		6.25	0	290.0		6.25
		12.5	300 0	15.63	18.75	38.0	290.0	47.50	6.25
DL	285.0	28.0	310.0	35.00	31.25	54.0	300.0	67.50	18.75
						68.0	310.0	85.00	31.25
10-2		0				0			
		11.0	300.0	13.75	18.75	34.5	290.0	43.13	6.25
DL	285.0	25.0	310.0	31.25	31.25	49.0	300.0	61.25	18.75
						58.5	310.0	73.13	31.25
10-3						0			
						45.0	300.0	56.25	18.75
DL	285.0					65.0	300.0	81.25	18.75
						74.5	310.0	93.13	31.25

諸量 / No.		右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
11.		0	281.8	0	6.00	0	281.8	0	6.00
		1.5	281.6	1.9	5.75	1.8	281.8	2.3	6.00
DL	277.0	2.3	281.8	2.9	6.00	2.7	282.1	3.4	6.38
		5.7	281.9	7.1	6.13	6.2	282.2	7.8	6.50
		7.2	282.1	9.0	6.38	9.0	282.2	11.3	6.50
		8.8	282.2	11.0	6.50	12.0	282.6	15.0	7.00
		11.2	282.2	14.0	6.50	14.4	283.5	18.0	8.13
		14.7	281.9	18.4	6.13	18.2	284.0	22.8	8.75
		17.8	282.4	22.3	6.75	23.7	284.0	29.6	8.75
		22.2	282.6	27.8	7.00	25.3	285.0	31.6	10.00
		27.9	282.2	34.9	6.50	26.7	284.6	33.4	9.50
		33.6	283.1	42.0	7.63	30.0	282.9	37.5	7.38
		35.5	284.0	44.4	8.75	31.1	282.7	38.9	7.13
		36.7	284.4	45.9	9.25	33.6	282.6	42.0	7.00
		41.5	285.1	51.9	10.13	34.6	282.9	43.3	7.38
		45.2	285.3	56.5	10.38	36.3	283.8	45.4	6.50
		49.5	286.8	61.9	12.25	40.0	283.3	50.0	7.88
		63.2	286.5	79.0	11.88	41.3	284.2	51.6	9.00
		70.3	286.6	87.9	12.00	43.4	284.3	54.3	9.13
		92.0	287.0	115.0	12.50	45.7	285.1	57.1	10.13
						46.9	286.1	58.6	11.38
						47.4	286.5	59.3	11.88
						49.1	286.5	61.4	11.88
						52.8	290.0	66.0	16.25
						58.6	295.0	73.3	22.50
						64.5	300.0	80.6	28.75
						69.0	305.0	86.3	35.00
						74.0	310.0	92.5	41.25

表26 f　河道横断指示表

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
12	0	283.3	0	6.63	0	283.3	0	6.63
	1.2	282.5	1.5	5.63	0.9	282.1	1.1	5.13
DL 278.0	9.1	282.5	11.4	5.63	2.3	282.3	2.9	5.38
	18.4	282.3	23.0	5.38	4.7	282.2	5.9	5.25
	20.5	283.1	25.6	6.38	6.2	282.6	7.8	5.75
	24.0	283.9	30.0	7.38	11.7	283.6	14.6	7.00
	27.3	283.8	34.1	7.25	12.9	283.5	16.1	6.88
	31.3	282.8	39.1	6.00	15.3	282.7	19.1	5.88
	34.1	282.4	42.6	5.50	18.4	283.3	23.0	6.63
	37.8	282.4	47.3	5.50	22.4	283.1	28.0	6.38
	38.9	283.1	48.6	6.38	23.3	283.4	29.1	6.75
	42.0	284.6	52.5	8.25	27.5	283.7	34.4	7.13
	43.1	285.6	53.9	9.50	30.5	283.2	38.1	6.50
	44.4	287.6	55.5	12.00	34.0	283.1	42.5	6.38
	45.0	288.0	56.3	12.50	37.1	283.4	46.4	6.75
	45.8	288.2	57.3	12.75	42.8	285.0	53.5	8.75
	49.8	287.4	62.3	11.75	47.5	290.0	59.4	15.00
	52.5	287.5	65.6	11.88	51.2	295.0	64.0	21.25
	53.7	287.9	67.1	12.38	54.8	300.0	68.5	27.50
	57.0	289.0	71.3	13.75	58.0	305.0	72.5	33.75
	57.4	280.0	71.8	15.00	62.0	310.0	77.5	40.00
	58.0	289.7	72.5	14.63				
	70.0	289.7	87.5	14.63				
	73.0	290.0	91.3	15.00				
13.	0	283.1	0	5.13	0	283.1	0	5.13
	2.3	283.2	2.9	5.25	2.6	283.4	3.3	5.50
DL 279.0	6.3	283.2	7.9	5.25	3.1	283.9	3.9	6.13
	6.9	283.4	8.6	5.50	6.3	284.4	7.9	6.75
	9.0	283.2	11.3	5.25	6.9	284.9	8.6	7.38
	12.0	283.4	15.0	5.50	8.4	285.1	10.5	7.63
	15.8	283.2	19.8	5.25	9.4	284.3	11.8	6.63

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
	20.8	283.3	26.0	5.38	13.5	284.0	16.9	6.25
	29.1	283.7	36.4	5.88	14.3	283.7	17.9	5.88
	30.0	284.1	37.5	6.38	19.2	283.6	24.0	5.75
	34.3	284.1	42.9	6.38	20.0	283.7	25.0	5.88
	39.5	283.1	49.4	5.13	23.7	283.9	29.6	6.13
	45.9	283.0	57.4	5.00	25.7	284.0	32.1	6.25
	49.9	284.7	62.4	7.13	27.4	284.5	34.3	6.88
	51.9	286.4	64.9	9.25	30.0	285.0	37.5	7.50
	53.7	290.4	67.1	14.25	34.5	286.0	43.1	8.75
	54.7	291.2	68.4	15.25	38.2	287.0	47.8	10.00
	60.0	291.3	75.0	15.38	40.8	290.0	51.0	13.75
	62.8	294.0	78.5	18.75	41.0	295.0	51.3	20.00
	68.0	295.0	85.0	20.00	52.0	300.0	65.0	26.25
					58.2	305.0	72.8	32.50
					65.0	310.0	81.3	38.75
14.	0	284.7	0	5.88	0	284.7	0	5.00
	1.0	284.6	1.3	5.75	1.2	284.6	1.5	5.75
DL 280.0	2.3	284.7	2.9	5.88	2.2	284.8	2.8	6.00
	6.7	285.5	8.4	6.88	6.8	284.7	8.5	5.88
	12.4	285.6	15.5	7.00	8.8	284.9	11.0	6.13
	15.9	285.2	19.9	6.50	12.9	284.9	16.1	6.13
	24.8	285.1	31.0	6.38	22.1	285.4	27.6	6.75
	30.0	284.8	37.5	6.00	24.3	284.9	30.4	6.13
	30.7	284.2	38.4	5.25	27.1	284.9	33.9	6.13
	33.1	284.1	41.4	5.13	29.2	285.5	36.5	6.88
	34.6	284.4	43.3	5.50	32.5	285.9	40.6	7.38
	36.5	284.2	45.6	5.25	35.3	287.2	44.1	9.00
	37.8	285.0	47.3	6.25	37.0	288.0	46.3	10.00
	43.6	290.0	54.5	12.50	39.0	290.0	48.8	12.50
	44.2	290.6	55.3	13.25	45.6	295.0	57.0	18.75
	51.8	290.6	64.8	13.25	52.0	300.0	65.0	25.00

表26ｇ　河道横断指示表

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
	52.5	291.0	65.6	13.75	59.0	305.0	73.8	31.25
	56.0	294.0	70.0	17.50	66.5	310.0	83.1	37.50
	60.8	295.0	76.0	18.75				
	69.1	296.0	86.4	20.00				
	81.0	300.0	101.3	25.00				
	86.8	304.0	108.5	30.00				
	88.8	305.7	111.0	32.13				
	91.8	305.7	114.8	32.13				
	92.0	305.0	115.0	31.25				
	96.8	310.0	121.0	37.50				
15.	0	285.0	0	6.25	0	285.0	0	6.25
	2.4	284.7	3.0	5.88	2.6	285.0	3.3	6.25
DL 280.0	8.6	285.3	10.8	6.63	4.1	285.5	5.1	6.88
	11.1	285.1	13.9	6.38	20.2	286.2	25.3	7.75
	19.2	286.4	24.0	8.00	26.9	286.3	33.6	7.88
	25.7	286.5	32.1	8.13	31.3	286.1	39.1	7.63
	29.4	285.8	36.8	7.25	35.3	286.9	44.1	8.63
	37.9	286.3	47.4	7.88	36.1	287.4	45.1	9.25
	41.2	287.0	51.5	8.75	37.0	287.6	46.3	9.50
	44.0	290.0	55.0	12.50	37.6	288.3	47.0	10.38
	45.4	290.6	56.8	13.25	38.3	288.7	47.9	10.88
	55.4	290.6	69.3	13.25	39.5	290.0	49.4	12.50
	55.8	291.0	69.8	13.75	44.0	295.0	55.0	18.75
	60.4	295.0	75.5	18.75	48.2	300.0	60.3	25.00
	66.0	300.0	82.5	25.00	52.2	305.0	65.3	31.25
	71.6	305.0	89.5	31.25	55.4	310.0	69.3	37.50
	71.8	305.7	89.8	32.13				
	75.0	305.7	93.8	32.13				
	75.8	305.0	94.8	31.25				
	79.4	310.0	99.3	37.50				

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
16.	0	285.7	0	5.88	0	285.7	0	5.88
	1.0	285.6	1.3	5.75	6.5	286.1	8.1	6.38
DL 281.0	2.5	285.4	3.1	5.50	10.2	285.8	12.8	6.00
	6.0	285.4	7.5	5.50	12.9	285.8	16.1	6.00
	7.6	285.7	9.5	5.88	14.5	285.7	18.1	5.88
	8.4	285.5	10.0	5.63	17.4	285.8	21.8	6.00
	13.2	285.4	16.5	5.50	19.2	285.6	24.0	5.75
	18.2	285.5	22.8	5.63	23.4	286.5	29.3	6.88
	24.3	286.3	30.4	6.63	25.6	288.4	32.0	9.25
	26.0	287.7	32.5	8.38	26.7	288.9	33.4	9.88
	27.0	289.3	33.8	10.38	29.2	289.3	36.5	10.38
	41.8	289.3	52.3	10.38	30.0	288.9	37.5	9.88
	42.9	290.0	53.6	11.25	33.5	288.9	41.9	9.88
	47.0	295.0	58.8	17.50	35.5	290.0	44.4	11.25
	51.8	300.0	64.8	23.75	41.0	295.0	51.3	17.50
	58.0	304.0	72.5	28.75	47.0	300.0	58.8	23.75
	65.0	305.0	81.3	30.00	51.0	305.0	63.8	30.00
	65.8	305.7	82.3	30.88	54.0	310.0	67.5	36.25
	69.0	305.7	86.3	30.88				
	70.0	306.0	87.5	31.25				
	75.0	310.0	93.8	36.25				
17.	0	286.0	0		0		0	
	5.0	286.0	6.3	5.00	7.0	286.0	8.75	5.00
DL 282.0	24.0	286.0	30.0	5.00	10.0	286.0	12.5	5.00
	28.2	288.0	35.3	7.50	27.0	289.0	33.8	8.75
	29.2	288.0	36.5	7.50	30.0	287.0	37.5	6.25
	38.8	288.0	48.5	7.50	35.8	290.0	44.8	10.00
	41.2	290.0	51.5	10.00	43.0	295.0	53.8	16.25
	50.2	295.0	62.8	16.25	48.5	300.0	60.6	22.50
	55.9	300.0	69.9	22.50	54.6	305.0	68.3	28.75
	60.0	305.0	75.0	28.75	60.0	310.0	75.0	35.00

表26 h　河道横断指示表

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
	61.6	306.2	77.0	30.25				
	65.0	306.2	81.3	30.25				
	67.0	314.0	83.8	40.00				
18.	0				0		0	
	5.5	287.0	6.9	5.00	3.0	288.0	3.8	6.25
DL 283.0	33.5	287.0	41.9	5.00	7.0	289.0	8.8	7.50
	53.0	288.0	66.3	6.25	23.0	290.0	28.8	8.75
	56.0	290.0	70.0	8.75	29.0	291.0	36.3	10.00
	60.0	295.0	75.0	15.00	36.0	295.0	45.0	15.00
	65.0	300.0	81.3	21.25	44.0	300.0	55.0	21.25
	69.0	307.0	86.3	30.00	52.5	305.0	65.6	27.50
	71.0	307.0	88.8	30.00	59.0	310.0	73.8	33.75
	75.0	315.0	93.8	40.00				
19.	0	288.5			0		0	
	5.0	289.0	6.3	7.50	6.0	290.0	7.5	8.75
DL 283.0	8.0	288.0	10.0	6.25	15.0	300.0	18.8	21.25
	13.0	287.0	16.3	5.00	23.0	305.0	28.8	27.50
	38.0	287.0	47.5	5.00	29.0	310.0	36.3	33.75
	42.0	290.0	52.5	8.75				
	50.0	291.0	62.5	10.00				
	68.0	291.0	85.0	10.00				
	70.0	290.0	87.5	8.75				
	80.0	295.0	100.0	15.00				
	87.0	300.0	108.8	21.25				
	92.0	305.0	115.0	27.50				
	93.2	306.8	116.5	29.75				
	96.0	306.8	120.0	29.75				
	98.0	310.0	122.5	33.75				

諸量 / No.	右岸側 実物 横距	右岸側 実物 標高	右岸側 模型 横距	右岸側 模型 標高	左岸側 実物 横距	左岸側 実物 標高	左岸側 模型 横距	左岸側 模型 標高
20.	0		0		0		0	
	3.0	290.0	3.8	7.50	1.0	295.0	1.3	13.75
DL 284.0	10.0	289.0	12.5	6.25	6.0	300.0	7.5	20.00
	11.0	288.0	13.8	5.00	10.0	305.0	12.5	26.25
	45.5	288.0	56.9	5.00	17.0	310.0	21.3	32.50
	49.0	290.0	61.3	7.50				
	51.5	292.0	64.4	10.00				
	73.5	293.0	91.9	11.25				
	76.0	294.0	95.0	12.50				
	87.0	295.0	108.8	13.75				
	102.0	300.0	127.5	20.00				
	105.0	305.0	131.3	26.25				
	108.0	310.0	135.0	32.50				

表29　河道内の水位横断および流速測定結果表（固定床，A型）

実験流量		Q ≒ 1000 ㎥/s				
	測定結果					
		左岸		中央		右岸
19	横距（m）	17.50	0.8	−14.40	−41.60	−74.00
	水面形（EL.m）	292.68	292.44	291.72	291.88	292.20
	流速（m/s）					
18	横距（m）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					
17	横距（m）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					
16	横距（m）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					
15	横距（m）	36.00	17.00	− 0.04	−24.60	−42.00
	水面形（EL.m）	287.40	287.80	286.84	287.64	287.96
	流速（m/s）					
14	横距（m）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					
12	横距（m）	44.50	19.60	2.00	−21.20	−43.50
	水面形（EL.m）	286.84	287.16	287.96	286.20	286.28
	流速（m/s）					
9	横距（m）	29.00	10.50	− 5.50	−21.50	−43.00
	水面形（EL.m）	287.32	286.84	286.12	286.04	286.12
	流速（m/s）					
5	横距（m）	47.60	22.00	− 8.60	−27.60	−67.50
	水面形（EL.m）	285.80	285.96	285.88	285.72	285.64
	流速（m/s）					
3	横距（m）	31.50	12.40	10.00	−12.40	−29.50
	水面形（EL.m）	284.20	284.60	284.44	284.68	284.76
	流速（m/s）					

実験流量		Q ≒ 2000 ㎥/s				
	測定結果					
		左岸		中央		右岸
19	横距（m）	18.50	4.00	−22.40	−40.00	−73.00
	水面形（EL.m）	293.96	295.16	292.44	290.60	291.48
	流速（m/s）					
18	横距（m）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					
17	横距（m）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					
16	横距（m）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					
15	横距（m）	39.50	19.40	− 1.40	−22.20	−43.00
	水面形（EL.m）	290.20	290.12	287.96	289.48	288.84
	流速（m/s）					
14	横距（m）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					
12	横距（m）	47.00	25.20	0.40	−25.20	−44.50
	水面形（EL.m）	289.56	289.64	287.08	287.80	287.64
	流速（m/s）					
9	横距（m）	32.00	16.90	− 7.90	−39.10	−112.50
	水面形（EL.m）	290.28	289.32	287.80	288.04	290.28
	流速（m/s）					
5	横距（m）	48.00	16.40	− 5.20	−31.60	−71.00
	水面形（EL.m）	286.68	287.56	287.80	287.88	287.88
	流速（m/s）					
3	横距（m）	35.00	16.40	3.60	−10.80	−32.00
	水面形（EL.m）	286.76	286.60	286.84	287.16	287.16
	流速（m/s）					

表29　河道内の水位横断および流速測定結果表（固定床，A型）

実験流量		Q ≒ 2600 m³/s				
断面 No.		測定結果				
		左岸		中央		右岸
19	横距（m）	23.00	4.00	− 6.40	−25.60	−69.50
	水面形（EL. m）	294.76	294.92	294.92	291.08	291.40
	流速（m/s）	10.56		9.95		2.50
18	横距（m）	26.20				−60.20
	水面形（EL. m）	291.08				292.28
	流速（m/s）	10.05		9.66		1.12
17	横距（m）	27.60			−30.00	−55.60
	水面形（EL. m）	288.60			294.28	295.64
	流速（m/s）	7.67		9.56		6.10
16	横距（m）	28.60				−41.80
	水面形（EL. m）	290.28				294.44
	流速（m/s）	1.28		7.50		7.64
15	横距（m）	40.00	17.00	− 3.00	−23.00	−55.50
	水面形（EL. m）	291.16	291.40	288.44	290.04	291.72
	流速（m/s）	2.35	6.52	11.62	9.97	2.68
14	横距（m）	38.64				−37.36
	水面形（EL. m）	290.52				287.32
	流速（m/s）	4.50	7.02	11.23	10.50	5.49
12	横距（m）	49.00	25.20	10.32	−20.40	−58.00
	水面形（EL. m）	291.40	290.28	288.20	289.24	288.84
	流速（m/s）	1.11	1.12	4.75	2.36	1.05
9	横距（m）	32.00	12.10	−16.70	−51.10	−112.00
	水面形（EL. m）	291.96	290.52	289.96	288.92	289.80
	流速（m/s）	2.55	3.64	2.45	0.98	0.63
5	横距（m）	42.00	15.60	−15.60	−39.60	−70.80
	水面形（EL. m）	287.64	289.24	289.32	289.64	289.32
	流速（m/s）	6.64	3.38	1.12	1.04	0.91
3	横距（m）					
	水面形（EL. m）					
	流速（m/s）					

B型形状1

表30a　河道内の水位横断および流速測定結果表（固定床，B型）

実験流量		Q ≒ 2600 ㎥/s				
断面No.		測定結果				
		左岸		中央		右岸
19	横距（m）	21.60	11.20	−16.80	−41.60	−71.00
	水面形（EL.m）	294.88	296.00	291.04	291.44	292.08
	流速（m/s）	8.54	9.49	9.30	9.81	4.23
18	横距（m）	27.00				−53.00
	水面形（EL.m）	291.52				292.40
	流速（m/s）					
17	横距（m）	30.00	15.60	− 1.44	−24.4	−49.20
	水面形（EL.m）	288.96				295.20
	流速（m/s）	7.95	10.77	10.03	8.43	3.89
16	横距（m）	32.60				−48.20
	水面形（EL.m）	290.32				294.88
	流速（m/s）					
15	横距（m）	39.00	23.40	− 0.04	−11.00	−56.00
	水面形（EL.m）	290.88	290.88	288.40	289.76	292.40
	流速（m/s）	1.76	6.72	9.31	11.81	10.66
14	横距（m）	39.44				−41.36
	水面形（EL.m）	291.04				287.60
	流速（m/s）					
13	横距（m）	42.80				−48.40
	水面形（EL.m）	290.72				288.32
	流速（m/s）					
12	横距（m）	50.80	30.00	10.32	− 4.40	−76.00
	水面形（EL.m）	292.24	290.80	290.48	286.96	290.00
	流速（m/s）	1.40	1.23	6.35	5.91	6.38
11	横距（m）	53.10				−90.90
	水面形（EL.m）	291.44				290.00
	流速（m/s）					
10	横距（m）	89.50				−86.50
	水面形（EL.m）	292.48				290.08
	流速（m/s）					

実験流量		Q ≒ 2600 ㎥/s				
断面No.		測定結果				
		左岸		中央		右岸
9	横距（m）	33.70	16.10	0.02	−25.50	−112.00
	水面形（EL.m）	292.56	290.40	290.64	289.84	289.76
	流速（m/s）	1.40	1.23	6.35	5.91	6.38
8	横距（m）	40.00				−78.40
	水面形（EL.m）	291.12				289.36
	流速（m/s）					
7	横距（m）	49.70				−77.50
	水面形（EL.m）	290.08				289.84
	流速（m/s）					
6	横距（m）	52.90				−90.30
	水面形（EL.m）	290.72				290.88
	流速（m/s）					
5	横距（m）	48.40	26.80	6.00	−18.80	−63.60
	水面形（EL.m）	286.88	287.92	288.80	289.52	290.00
	流速（m/s）	7.74	6.53		4.22	2.65
4	横距（m）	53.68				−71.12
	水面形（EL.m）	287.68				290.95
	流速（m/s）					
3	横距（m）	51.20				−96.00
	水面形（EL.m）	288.72				290.40
	流速（m/s）					
2	横距（m）	84.00				−23.20
	水面形（EL.m）	288.80				290.40
	流速（m/s）					
1	横距（m）	33.20		7.60		−30.00
	水面形（EL.m）	287.36		287.68		288.56
	流速（m/s）	4.74		4.38		4.97
	横距（m）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					

表30ａ　河道内の水位横断および流速測定結果表（固定床，Ｂ型）

Ｂ型形状２

実験流量		Q ≒ 2600 ㎥/s				
断面		測定結果				
No.		左岸		中央		右岸
19	横距（ｍ）	22.40	− 1.8	−26.0	−50.20	−74.40
	水面形（EL.m）	295.88	293.88	292.20	292.44	293.96
	流速（m/s）	5.68	5.13	4.46	1.09	0.21
18	横距（ｍ）	26.20	5.40	−15.40	−36.20	−57.00
	水面形（EL.m）	290.68	290.36	290.44	293.08	295.08
	流速（m/s）	5.07	7.64	8.41	6.63	1.79
17	横距（ｍ）	32.80	12.20	− 8.80	−29.80	−50.80
	水面形（EL.m）	290.52	291.80	294.60	294.44	295.08
	流速（m/s）	1.34	3.64	5.44	5.67	3.48
16	横距（ｍ）	36.00	12.60	− 7.40	−27.40	−47.40
	水面形（EL.m）	291.96	291.32	289.88	292.20	293.32
	流速（m/s）	0.85	4.18	7.13	8.21	5.38
15	横距（ｍ）	39.00	18.00	− 5.80	−29.60	−53.40
	水面形（EL.m）	290.52	289.72	289.16	289.24	291.08
	流速（m/s）	3.44	6.79	11.36	5.97	6.41
14	横距（ｍ）	37.30	20.84	1.44	−17.96	−45.36
	水面形（EL.m）	290.36	289.96	289.32	287.24	288.44
	流速（m/s）	4.66	5.36	7.41	9.09	2.25
12	横距（ｍ）	49.20	24.20	− 0.80	−25.80	−58.00
	水面形（EL.m）	291.32	290.44	288.36	289.08	289.00
	流速（m/s）	0.78	3.29	5.49	0.19	0.16
9	横距（ｍ）	32.00	1.30	−33.50	−68.30	−108.00
	水面形（EL.m）	291.80	290.12	289.32	289.32	288.84
	流速（m/s）	2.25	4.78	1.16	0.47	0.27
5	横距（ｍ）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					
3	横距（ｍ）					
	水面形（EL.m）					
	流速（m/s）					

表30ｂ　河道内の水位横断および流速測定結果表（固定床，Ｂ型シル）

実験番号	144
流量 (Q. m³/s)	2575.95

断面 No.		測定結果				
		左岸		中央		右岸
19	横距(m)	23.00	0.00	−22.40	−44.80	−71.50
	水面形(EL. m)	295.48	294.92	291.08	291.56	292.28
	流速(m/s)	5.84	4.75	5.14	1.90	1.61
18	横距(m)	33.00	6.20	−16.20	−38.60	−55.60
	水面形(EL. m)	292.52	290.28	290.28	293.16	294.52
	流速(m/s)	5.78	5.18	6.21	4.71	1.00
17	横距(m)	34.00	12.40	− 9.20	−30.80	−48.00
	水面形(EL. m)	289.88	290.44	293.40	294.44	295.24
	流速(m/s)	1.40	3.88	3.37	4.67	2.85
16	横距(m)	34.20	14.20	− 5.80	−25.80	−45.80
	水面形(EL. m)	290.76	290.28	289.80	292.60	293.48
	流速(m/s)	1.09	2.39	5.62	7.29	4.22
15	横距(m)	39.40	16.20	− 7.00	−30.20	−53.40
	水面形(EL. m)	290.92	290.20	288.68	288.36	290.84
	流速(m/s)	1.81	4.29	8.56	6.10	2.25
14	横距(m)	37.84	17.04	− 1.76	−24.56	−45.36
	水面形(EL. m)	290.04	289.88	289.24	287.24	288.84
	流速(m/s)	2.68	3.39	7.33	7.96	0.98
13	横距(m)	39.60	17.20	− 5.20	−27.60	−50.80
	水面形(EL. m)	290.36	289.96	289.72	288.52	288.92
	流速(m/s)	1.00	2.70	3.42	1.84	0.88
12	横距(m)	48.40	23.60	− 1.20	−26.00	−58.60
	水面形(EL. m)	290.76	290.44	290.04	288.84	289.24
	流速(m/s)	0.91	2.66	4.87	1.36	0.76
11	横距(m)	55.50	17.90	−19.70	−57.30	−93.30
	水面形(EL. m)	290.84	290.60	288.92	288.76	289.00
	流速(m/s)	0.94	2.13	3.70	0.69	0.45
10	横距(m)	89.50	46.30	3.10	−40.10	−82.50
	水面形(EL. m)	291.08	290.04	290.20	289.16	289.00
	流速(m/s)	0.47	1.14	5.13	0.86	0.45

実験番号	144
流量 (Q. m³/s)	2575.95

断面 No.		測定結果				
		左岸		中央		右岸
9	横距(m)	33.50	− 1.50	−37.50	−73.50	−110.70
	水面形(EL. m)	292.12	289.96	289.56	289.48	289.32
	流速(m/s)	2.66	3.71	0.49	0.52	0.35
8	横距(m)					
	水面形(EL. m)	290.68				288.76
	流速(m/s)					
7	横距(m)					
	水面形(EL. m)	288.36				289.16
	流速(m/s)					
6	横距(m)					
	水面形(EL. m)	289.08				289.00
	流速(m/s)					
5	横距(m)	45.20	15.60	−14.00	−43.60	−74.00
	水面形(EL. m)	287.00	288.60	289.16	289.40	288.68
	流速(m/s)	3.60	4.36	1.82	1.21	0.58
4	横距(m)					
	水面形(EL. m)	287.40				289.16
	流速(m/s)					
3	横距(m)	49.60	11.20	−27.20	−65.60	−103.20
	水面形(EL. m)	288.20	288.20	288.84	289.08	289.48
	流速(m/s)	2.96	1.74	3.21	1.23	1.21
2	横距(m)					
	水面形(EL. m)	287.56				289.88
	流速(m/s)					
1	横距(m)					
	水面形(EL. m)	287.40				288.60
	流速(m/s)					
	横距(m)					
	水面形(EL. m)					
	流速(m/s)					

表31a　河床変動測定結果表（A型）

実験番号	211
流量(q.㎥/s)	303.39

断面	左岸		右岸	
No.	横距	河床標高	横距	河床標高
19	7.20	284.28	6.40	284.20
			14.40	285.46
			27.20	287.48
			27.20	286.76
			46.40	280.68
18	10.20	284.84	11.40	283.48
	25.40	288.92	28.20	287.48
			42.60	288.60
			52.20	288.50
17	13.20	284.76	11.60	283.72
	29.20	288.28	22.80	284.84
			27.60	287.00
			37.20	287.16
15	1.00	285.96	19.00	283.08
	15.40	286.68	37.40	283.32
	33.80	285.80		
12	7.60	285.32	9.20	283.00
	22.80	284.84	18.80	282.44
	25.20	283.48	36.40	282.60
	40.40	283.96		
10	12.70	283.23	12.50	288.36
	29.50	284.03		
	33.50	284.19		
	39.50	283.15		
	62.30	285.23		

断面	左岸		右岸	
No.	横距	河床標高	横距	河床標高
9	7.30	283.96	17.50	284.12
	11.30	281.80	41.50	283.16
	13.30	281.16		
	21.70	277.40		
7	10.50	283.00	9.50	283.24
	34.50	280.60	15.50	279.08
	48.90	281.32	36.70	279.72
6	1.70	282.92	3.90	279.56
	30.50	281.16	49.50	280.20
	51.70	280.28		
5	26.00	281.32	6.00	282.84
	42.00	280.76	12.40	281.24
			57.60	281.88
3	16.80	281.80	40.00	281.08
	42.40	282.68	84.80	281.56
	44.80	282.04		
2	30.40	282.20	3.20	281.72
	38.40	282.12	14.40	280.28
			21.20	279.32
			25.60	280.12
			42.40	280.52

実験番号	212
流量(q.㎥/s)	1001.75

断面	左岸		右岸	
No.	横距	河床標高	横距	河床標高
19			0.80	278.52
			4.80	278.20
			20.80	282.52
			28.80	284.76
			37.60	288.04
17	24.40	285.40	10.00	284.12
			23.60	284.60
			37.60	282.84
15	34.60	287.16	3.00	284.28
			29.40	283.00
			36.60	281.32
12	27.60	285.72	2.80	284.28
	41.20	284.44	36.40	282.92
10	3.90	282.59	14.50	282.60
	27.90	282.67		
	62.30	284.59		
9	20.90	275.56	2.30	284.76
			28.70	286.04
			39.10	285.88
			45.50	284.36
7	8.10	284.36	0.70	285.08
	20.90	282.60	10.30	282.44
	28.90	280.52	17.50	279.32
	34.50	280.52	35.90	279.64
	44.90	277.56		

断面	左岸		右岸	
No.	横距	河床標高	横距	河床標高
6	0.10	283.32	10.30	280.12
	9.70	283.32	54.30	280.52
	36.90	279.00		
	44.10	276.28		
5	5.20	281.80	2.80	280.04
	20.80	275.96	12.40	281.80
	32.40	279.16	25.00	281.72
	41.30	279.00	56.40	282.04
3	0.80	280.36	25.60	281.40
	13.60	281.08	32.00	280.12
	17.60	280.52	40.80	281.40
	28.80	282.52	84.80	281.96
	42.40	284.44		
	48.00	284.66		
2	8.80	282.12	2.40	282.76
	32.40	283.32	13.20	282.04
	36.00	282.04	35.20	272.68

表31b　河床変動測定結果表（A型）

実験番号	213
流量(q.㎥/s)	2000.07

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
19			5.60	274.20
			24.40	274.20
17	2.00	278.28	14.80	281.00
	15.60	279.48	29.20	285.80
			34.80	282.84
15	30.60	285.24	6.20	283.32
			19.00	283.32
			30.20	281.96
			35.80	280.76
12	26.00	285.80	27.60	283.08
	35.60	285.00	34.00	282.12
	42.00	284.20		
10	19.10	281.95	20.10	285.00
	19.10	283.15		
	46.30	280.99		
	55.90	283.07		
	50.30	285.07		
	63.10	285.47		
9	0.10	279.48	2.30	281.96
	18.50	273.80	10.30	284.32
			55.90	287.16
			64.70	287.16
			69.50	286.28

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
7	0.90	286.76	17.50	287.08
	41.70	274.76	31.10	280.44
			38.30	280.20
6	15.30	283.08	3.90	282.04
	41.70	273.64	15.90	280.12
			52.70	280.20
5	6.00	273.88	6.00	281.00
	14.80	271.24	12.40	282.28
	29.70	276.76	55.60	281.48
	37.20	275.72		
4	4.00	280.76	14.40	279.32
	15.20	278.20	49.60	285.08
	23.20	279.24	58.40	281.40
	38.40	285.64	85.60	282.12
	43.20	285.88		
	48.80	284.92		
2	27.20	284.20	2.40	276.92
	48.80	286.28	8.00	277.72
			18.40	276.12
			24.00	276.92
			33.60	273.24

実験番号	214
流量(q.㎥/s)	2593.11

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
19			4.80	274.36
			25.60	273.96
18	9.40	273.80	21.80	274.36
			24.20	277.96
			37.00	277.88
17	12.40	274.04	12.40	273.80
			23.60	277.00
			28.40	279.08
16	7.00	273.88	12.20	274.12
	13.40	277.96	25.00	279.08
			33.00	280.12
15	5.80	281.72	30.20	280.12
	26.60	285.40	31.80	280.76
	32.20	285.08	34.20	280.36
14	19.44	285.00	2.16	282.76
	32.24	284.04	26.96	281.32
			31.76	280.60
13	23.60	284.60	5.20	283.16
	33.20	284.44	34.80	282.36
			42.00	281.24
12	4.40	284.84	29.20	282.76
	30.80	284.20	34.80	282.28
	39.60	283.64		

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
11	16.30	284.12	7.70	284.60
	41.90	282.28	40.50	284.60
10	1.50	283.47	19.30	285.00
	25.50	277.79		
	39.10	280.99		
	45.50	278.35		
	51.90	280.27		
9	2.50	289.24	9.50	285.96
	14.50	273.96	33.50	287.40
	21.70	273.08	78.30	288.20
			81.50	286.36
8	9.60	279.88	5.60	286.28
	20.80	276.44	40.00	289.28
	30.40	273.40	65.60	288.28
7	2.50	287.32	25.50	287.96
	18.50	280.92	41.50	281.72
	34.50	274.76		
	44.10	281.16		
6	1.70	282.92	3.10	289.08
	6.50	289.56	30.30	280.12
	11.30	290.12	53.50	288.52
	22.50	279.16		
	33.70	274.12		
	40.80	272.68		

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
5	7.60	269.32	1.20	272.44
	16.40	272.52	11.60	278.92
	24.40	275.96	22.80	283.48
	35.60	275.16	29.20	284.52
			41.20	281.80
			52.40	281.56
4	4.88	276.44	9.52	279.96
	22.48	279.48	30.32	288.52
	38.48	278.68	44.72	285.32
			57.52	283.88
3	2.40	279.72	6.40	277.96
	20.80	277.89	31.80	281.88
	40.80	285.56	46.40	284.92
	51.20	285.64	66.40	281.48
			84.80	282.44
2	14.00	282.04	8.40	273.32
	53.20	285.56	12.40	272.12
			22.80	274.20
			34.80	277.48

表32a　河床変動測定結果表（B型シル）

実験番号	241
流量(q.㎥/s)	301.24

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
19	0.00	281.16	18.40	285.56
			34.40	279.56
			34.40	288.76
			38.40	288.76
17	10.80	283.80	0.40	283.80
	23.60	287.00	17.20	284.60
	30.00	288.20	26.00	286.60
			26.80	287.00
			35.60	287.00
15	9.00	285.72	1.40	283.72
	33.00	285.56	15.80	283.72
			28.60	283.32
			37.40	283.72
12	1.20	285.00	1.20	283.64
	30.00	284.60	19.60	282.20
	31.60	283.80	34.00	282.20
	42.80	284.60		
10	17.50	286.19	11.30	284.36
	22.30	286.99	19.30	285.56
	28.70	285.39		
	33.50	287.39		
	63.10	287.79		
9	8.10	283.56	40.70	283.00
	15.30	279.64		
	21.70	277.56		

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
7	7.30	283.32	34.30	282.52
	34.50	281.32	35.10	281.32
	47.30	280.52	43.10	281.32
6	9.70	283.32	7.90	282.92
	37.70	280.52	13.50	280.20
	46.50	278.60	55.10	281.16
5	3.60	281.16	54.00	282.52
	6.80	282.92		
	28.40	281.16		
	40.40	278.68		
3	8.80	281.32	12.80	282.12
	32.00	283.80	16.00	280.28
	43.20	282.68	27.20	281.08
			82.40	281.56
2	12.80	281.96	18.40	280.92
	37.60	281.96	23.20	278.60
			28.80	278.52
			34.40	279.32
			43.20	279.72

実験番号	242
流量(q.㎥/s)	999.32

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
19			6.40	274.36
			20.80	275.08
			24.80	276.76
			28.00	276.20
18	15.00	282.20	3.40	280.92
			13.80	282.92
			28.20	287.24
			48.20	288.04
17	3.60	282.44	23.60	283.72
	21.60	283.24	35.60	284.52
15	32.60	285.24	1.40	284.52
			35.40	284.52
12	2.00	285.00	36.80	283.64
	42.80	285.00		
10	30.70	284.91	0.90	283.56
	62.70	285.39	16.10	283.56
9	7.30	279.96	2.30	285.32
	16.10	277.56	38.30	285.56
	21.70	274.20	44.30	284.12
7	5.70	284.44	11.90	285.16
	23.70	281.00	20.30	282.92
	35.30	281.72	31.90	282.60
	43.30	280.52	35.10	281.56
	48.10	281.32	41.50	281.56

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
6	14.50	283.32	2.70	284.36
	42.50	280.12	19.10	280.44
	47.70	278.52	56.70	281.32
5	8.40	282.92	12.40	280.92
	30.00	280.28	56.80	282.28
	42.40	280.12		
3	4.80	282.36	9.20	286.36
	40.00	284.76	22.40	277.72
	45.60	283.48	35.70	279.08
			42.00	281.24
			43.60	280.68
			61.60	280.36
			88.80	281.48
2	16.00	283.88	9.60	281.32
	46.60	283.73	18.40	278.76
			34.40	274.20

表32b　河床変動測定結果表（B型シル）

実験番号	243
流量(q.㎥/s)	2000.16

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
19			5.60	273.96
			27.30	271.96
18	9.00	278.04	5.80	274.44
			26.60	280.36
			43.00	285.24
			46.60	284.84
17	16.56	279.40	2.00	279.24
			18.00	280.76
			32.40	283.40
15	24.28	285.37	19.00	281.72
	31.40	284.64	30.20	282.12
			35.00	281.32
12	11.20	285.40	34.80	282.36
	42.00	284.30		
10	10.30	283.47	18.10	284.76
	16.30	283.79		
	39.50	283.47		
	63.90	282.59		
	51.50	283.39		
	63.10	284.19		
9	21.30	274.36	3.90	285.40
			51.00	285.80

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
7	2.90	286.44	5.90	287.24
	10.50	284.04	13.50	288.84
	22.50	280.12	25.80	283.16
	30.50	279.24	43.10	281.96
	42.10	274.04		
6	5.70	283.48	13.90	282.12
	9.70	282.20	33.50	281.16
	24.10	280.52	56.70	281.48
	41.70	274.70		
5	7.20	271.96	5.60	280.44
	16.40	249.96	12.80	282.12
	31.20	276.44	29.60	282.04
	38.40	275.64	56.40	281.96
3	10.00	280.84	9.60	279.64
	20.80	278.20	24.80	280.68
	39.60	286.36	40.80	283.40
	44.40	286.68	44.00	282.76
	50.40	285.88	50.00	281.08
			65.60	281.16
			123.60	281.88
2	4.40	280.92	12.40	272.28
	16.00	281.64	28.80	268.52
	45.20	285.72		
	52.40	285.32		

実験番号	244
流量(q.㎥/s)	2601.24

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
19			4.40	274.12
			24.00	274.12
18	1.40	274.20	9.00	274.20
			29.00	281.32
			40.60	283.80
			45.00	283.48
17	11.20	275.64	10.80	279.56
			26.40	281.88
			31.20	281.64
16	13.00	277.88	9.80	279.16
			25.80	281.56
			31.80	280.60
15	25.80	280.52	1.00	281.48
			11.80	281.08
			29.00	281.72
			35.00	281.48
14	0.56	282.20	26.16	282.12
	29.04	282.60	35.76	281.88
13	7.60	283.48	12.40	283.16
	23.60	283.08	23.20	282.12
	31.60	281.96	33.20	282.52
			44.00	282.52
12	16.00	283.80	0.80	284.28
	23.20	283.00	34.80	282.20
	40.40	283.60		

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
11	0.70	284.76	36.10	283.64
	32.30	284.04	39.70	284.12
	41.50	287.40		
10	5.90	283.95	11.70	283.24
	25.10	284.03	18.10	284.60
	32.70	282.75		
	41.50	278.35		
	51.10	280.19		
9	14.50	275.88	7.10	283.88
	20.90	275.56	25.50	285.40
			48.70	285.56
8	16.00	278.28	7.20	285.72
	30.40	273.40	45.20	287.88
			51.20	287.24
			53.20	286.52
			65.60	285.88
7	1.30	286.68	11.90	287.48
	10.50	283.16	21.10	287.24
	18.10	280.76	30.70	282.92
	30.10	275.32	44.70	281.80
	39.70	272.36		
6	0.10	280.52	18.30	282.04
	19.30	278.78	31.90	281.24
	29.70	276.84	57.50	281.56
	41.70	272.40	61.50	282.20

断面No.	左岸 横距	左岸 河床標高	右岸 横距	右岸 河床標高
5	10.40	269.16	2.00	274.68
	23.60	273.88	18.40	268.22
	34.80	373.96	34.80	283.48
			52.40	280.76
4	5.68	273.84	7.52	282.13
	18.88	280.60	19.52	286.48
	28.48	278.20	22.32	285.44
	37.68	278.38	30.72	287.96
			36.72	285.32
			57.52	283.34
3	4.80	281.00	7.60	280.28
	13.40	284.20	15.20	278.76
	26.40	277.00	29.60	283.32
	35.20	280.44	34.00	282.36
	48.80	285.96	46.40	285.16
			54.00	282.04
			85.60	281.48
2	11.60	286.96	4.40	274.28
	22.00	282.28	15.20	274.36
	52.40	286.84	29.20	268.68
	55.60	286.12		

第6章　フラップゲートの抽出実験

フラップゲートをダムの洪水吐きとして使用した例は日本国内では数例あるだけで，引き上げ式ゲートに比べて設計条件や水理特性に関する資料が不足しているのが現状である。

そこで，フラップゲート部1門を抽出した拡大模型を製作し，このゲートの水理特性および水圧荷重の詳細な資料を得ると同時に問題点を把握するために水理模型実験を実施した。

第1節　平行流入による模型実験

寒河江ダムで計画されているフラップゲートの配置位置は第3章の設計形状に示したように，流入流線に対して傾き角を持っているため，これまでの検討から，ゲート倒伏角が20度以下ではスキンプレート上で偏流が生じることが判った。しかし，ここでは一般的な水理特性等を把握するため，平行流入（流入流線に対して越流部を90°とした場合）として検討を加えた。

1.1　模　　型

フラップゲートの模型の大きさは使用実験水路と模型流量を考慮して，実物に対して1/16の縮尺とした。したがって，ゲート部の大きさは幅87.5cm，長さ約33.6cmである。

模型の製作範囲は図69に示すように流入部ピアからフラップゲート下流の階段ステップ3段目までとし，フラップゲートのスキンプレート形状および本体は塩化ビニール樹脂平板を加工して作り，それ以外は木製加工とした。模型の右岸導流壁にはフラップゲートの裏側に空気を供給する給気管（10cmϕ）を取付け，左岸導流壁は流況写真を撮るために透明アクリル板とした。また，模型は幅2.0m，深さ1.5m，長さ30mの片面透明強化ガラス張りの鋼製水路内にアンカーボルトによって固定した。

1.2　相似律と実験内容

本実験における実物と模型の相似律の関係はフルードの相似則に従うものとした。

したがって，水理諸量ならびに物理量の換算は表33に示す関係に基づいて行ったものである。

表33　諸量の縮率

	諸量	次元	縮率	
フラップゲート	長さ	L	n	1：16.0
	流速	$L \cdot T^{-1}$	$n^{1/2}$	1：4.00
	流量	$L^3 \cdot T^{-1}$	$n^{5/2}$	1：10240
	圧力強度	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$	n	1：16.0
	流量係数	$L^{1/2} \cdot T^{-1}$	n^0	1：1

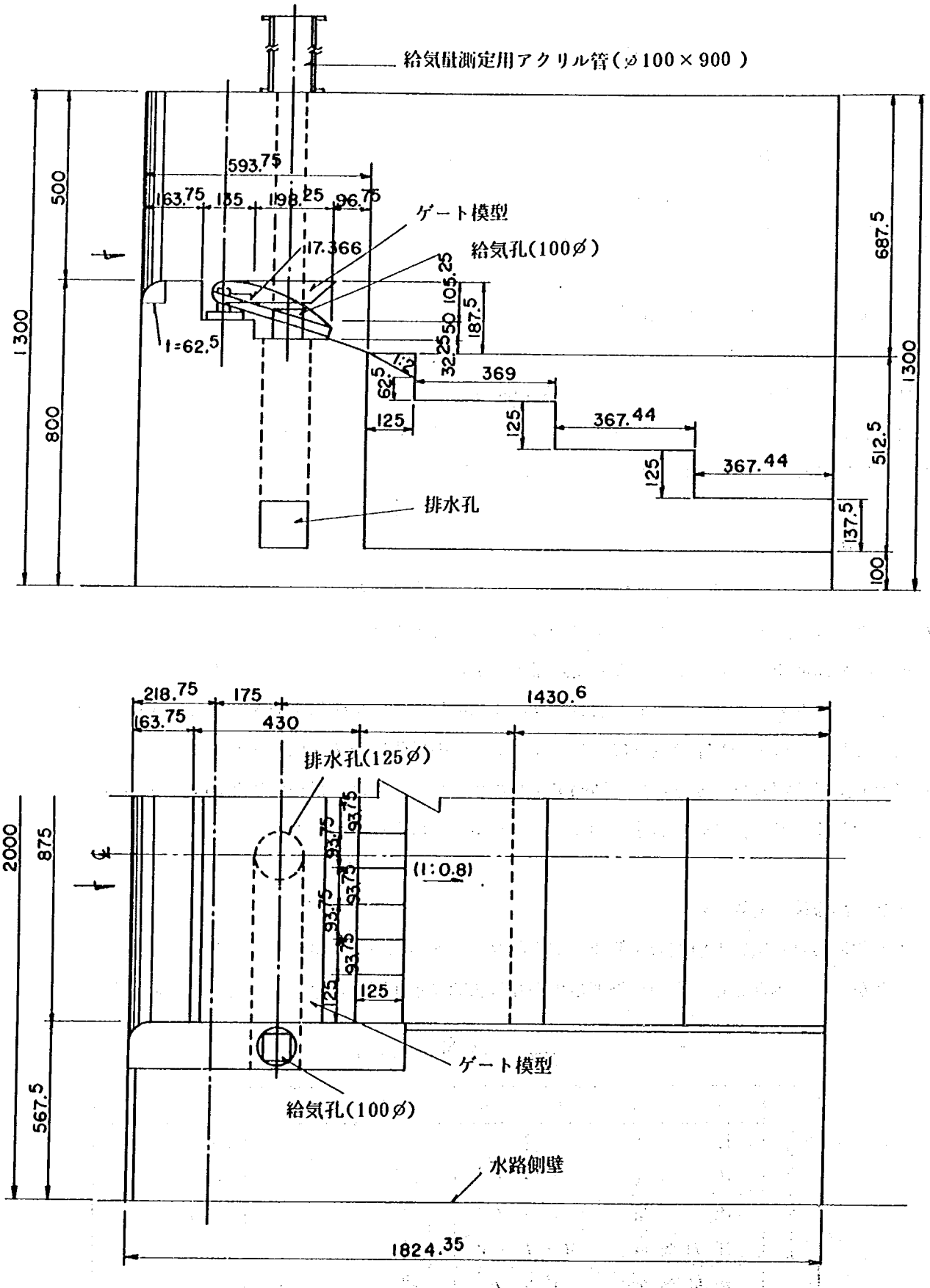

給気量測定用アクリル管(φ100×900)
593.75
163.75
135
198.25
96.75
ゲート模型
給気孔(100φ)
17.366
105.25
187.5
50
32.25
1:0.8
62.5
369
125
125
367.44
125
367.44
排水孔
1300
500
800
687.5
1300
512.5
137.5
100
1=62.5
218.75
175
1430.6
63.75
430
排水孔(125φ)
2000
875
567.5
93.75
(1:0.8)
125
125
ゲート模型
給気孔(100φ)
水路側壁
1824.35

図69　模型設計図

実験での検討項目はつぎのとおりとした。

1）貯水位－流量－ゲート開度の関係調査

2）ゲート開度とゲートスキンプレート面上の作用圧力の関係調査

3）ゲート開度とゲート背面の需要空気量の調査

4）ゲートまわりの流況と水面形の調査

以上の調査におけるゲート開度および貯水位の組合せは表34の実験内容一覧表に示すとおりである。こ

表34　フラップゲート実験内容一覧表

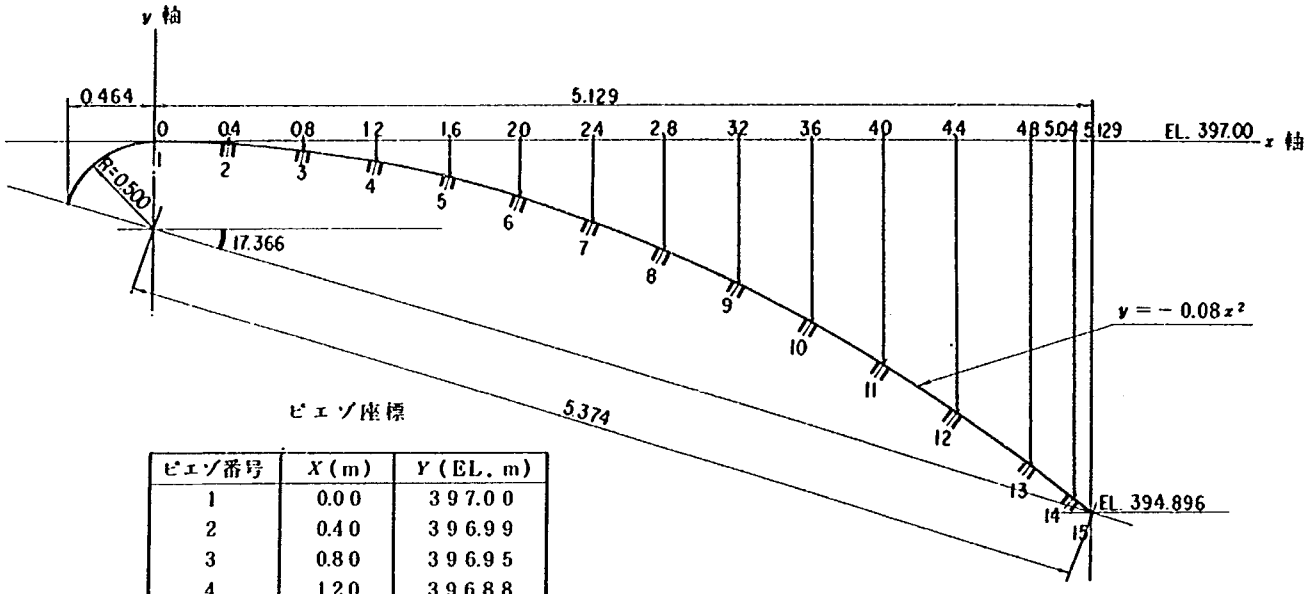
実験番号 No	倒伏角度 $Q(°)$	$H-Q$	水圧分布	需要空気量	水面形	備考
1	−17.366	6点	設計洪水位 EL.401.50m ピエゾ 13点	設計洪水位 EL.401.50m	設計洪水位 EL.401.50m 圧力測定位置で測定（13点）	
2	0	5点	設計洪水位 EL.401.50m	設計洪水位 EL.401.50m	設計洪水位 EL.401.50m	
3	10	6点	設計洪水位 EL.401.50m ピエゾ 13点	設計洪水位 EL.401.50m	設計洪水位 EL.401.50m 圧力測定位置で測定（13点）	
4	20	8点	〃	〃	〃	
5	30	5点	〃	〃	〃	
6	40	3点	〃	〃	〃	
7	45	4点	〃	〃	〃	
計		37点	81点	81点	81点	

の表に示すゲート倒伏角はゲートピンとゲート先端を結んだ弦とゲートピンを原点とした水平軸との角度を表わすものである。スキンプレート面上の圧力は図70に示すようにスキンプレート曲線のX軸方向の距離0.4mピッチの各位置の面に対して鉛直に埋設したピエゾ管により，圧力水頭として測定した。これらのピエゾ点と各ゲート倒伏角時のピエゾ標高との関係は次式によって求め表35に示す。

ゲートピンの中心を原点とし，xは右方向，yは上向き方向を正としたときのスキンプレートの曲線式は

$$y = -0.08x^2 + 0.5 \qquad (15)$$

で与えられ，このスキンプレートがθ度だけ回転した角度を$\theta' = -(15.474 + \theta)$とし，回転後の曲線上の新座標を$(X, Y)$とすると元の(15)式の任意点の座標$(x, y)$との関係は次式で表わせる。



ピエゾ番号	X (m)	Y (EL. m)
1	0.00	397.00
2	0.40	396.99
3	0.80	396.95
4	1.20	396.88
5	1.60	396.80
6	2.00	396.68
7	2.40	396.54
8	2.80	396.37
9	3.20	396.18
10	3.60	395.96
11	4.00	395.72
12	4.40	395.45
13	4.80	395.16
14	5.04	394.97
15	5.13	394.90

図70　ピエゾ座標位置図

$$\left.\begin{aligned} X &= x\cos\theta' + y\sin\theta' \\ Y &= y\cos\theta' - x\sin\theta' \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

(16)式に(15)式を代入すると

$$\left.\begin{aligned} X &= x\cos\theta' + (-0.08x^2 + 0.5)\cdot\sin\theta' \\ Y &= (-0.08x^2 + 0.5)\cos\theta' - x\sin\theta' \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

となり，この(17)式に任意角度 θ' と元の x 値を代入して新座標値が求まる。

また，需要空気量は給気管の呑口から 5 D（D = 100㎜）の位置に取付けた熱線風速計により管内風速を測定して求めた。

表35　ピエゾ標高－倒伏角度関係表

ピエゾ番号 / 倒伏角度		1		2		3		4		5		6		7	
		X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)
-17.366	0	0.00	397.00	0.40	396.99	0.80	396.95	1.20	396.88	1.60	396.80	2.00	396.68	2.40	396.54
0	17.366	− 0.15	396.98	0.24	397.08	0.63	397.17	1.03	397.23	1.44	397.26	1.86	397.27	2.28	397.25
10	27.366	− 0.23	396.94	0.13	397.12	0.50	397.27	0.89	397.39	1.29	397.50	1.69	397.58	2.11	397.64
20	37.366	− 0.30	396.90	0.02	397.13	0.36	397.34	0.72	397.53	1.09	397.71	1.48	397.86	1.88	397.99
30	47.366	− 0.37	396.84	− 0.09	397.12	0.21	397.39	0.53	397.64	0.87	397.88	1.22	398.09	1.60	398.29
40	57.366	− 0.42	396.77	− 0.19	397.10	0.05	397.42	0.32	397.72	0.61	398.01	0.93	398.28	1.26	398.54
45	62.366	− 0.44	396.73	− 0.25	397.08	− 0.03	397.42	0.22	397.74	0.48	398.05	0.77	398.36	1.08	398.64

ピエゾ番号 / 倒伏角度		8		9		10		11		12		13		14	
		X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)
-17.366	0	2.80	396.37	3.20	396.18	3.60	395.96	4.00	395.72	4.40	395.45	4.80	395.16	5.04	394.97
0	17.366	2.71	397.21	3.15	397.15	3.60	397.06	4.05	396.95	4.51	396.81	4.98	396.65	5.27	396.54
10	27.366	2.55	397.67	2.99	397.69	3.44	397.68	3.91	397.65	4.39	397.59	4.88	397.51	5.18	397.46
20	37.366	2.30	398.10	2.74	398.19	3.19	398.26	3.65	398.31	4.13	398.34	4.63	398.35	4.93	398.34
30	47.366	1.99	398.47	2.40	398.64	2.83	398.78	3.28	398.91	3.75	399.03	4.24	399.12	4.54	399.17
40	57.366	1.62	398.79	1.99	399.02	2.39	399.24	2.81	399.45	3.26	399.64	3.72	399.82	4.01	399.92
45	62.366	1.41	398.92	1.77	399.19	2.15	399.44	2.55	399.68	2.97	399.91	3.42	400.13	3.69	400.26

1.3 実験結果

1.3.1 放流特性

フラップゲートの放流特性の特徴は前項でのピエゾ標高と倒伏角との関係に示したようにゲート開度によって，スキンプレート面が放物線のため最高点の位置が変化する。すなわち，流量を支配する位置が変化することを意味し，ある角度以上ではこの支配断面がゲート先端となり傾斜刃形ゼキの越流特性を示し，それ以下の角度では広頂ゼキと同様な越流特性を示すことが容易に判る。したがって，この特性の異なる放流量を同時に推定する一般式は見当らないため，ここでは次式により求めることとした。

$$C_F = Q/n \cdot B\,(H - h_{max})^{3/2} \qquad (18)$$

ここに，C_F：フラップゲートの流量係数，Q：流量（m^3/sec），B：越流幅（＝14 m）

n：フラップゲートの門数（$n=1\sim4$）

H：クレスト標高（EL.397.0m）から貯水位までの標高差(m)

h_{max}：クレスト標高とフラップゲートの各開度におけるスキンプレート上の最高点標高との差(m)

フラップゲートの各開度における貯水位と放流量の調査結果は図71および表36に示すとおりであった。この表中に示すC_Fは(18)式により，Cは従来の越流頂の放流量の推定式$C = Q/BH^{3/2}$なる式によって，それぞれ求めた流量係数である。このC_FおよびCとH/H_d（$H_d=4.5$m）との関係を図72に示す。これらの結果から，フラップゲートの放流特性をまとめるとつぎのことがいえる。

1) Cに関してはゲートの倒伏角が大きくなると減少する傾向にあり，C_Fはその逆の傾向となりC，C_FともHの増加とともに増大している。

2) C_FとH/H_dとの関係から，支配断面の異なる（今回の実験では$\theta=20°$以上はゲート先端，20°未満はプレート上にある）境界関係が明確に表われていない。

3) 図71および(18)式からも明らかなように，ゲート開度に無関係に放流量は$H^{3/2}$に比例して増加する特徴をフラップゲートは有しているといえる。

1.3.2 圧力と水面形

図70に示したスキンプレート上中央縦断での各測点の圧力とゲート倒伏角の関係は各ゲート倒伏角に対して貯水位を設計洪水位EL.401.500 m一定とした場合についてのみ測定した。また，水面形はピエゾ点と同位置で測定したものである。これらの測定結果は図73 a ～73 cおよび表37 a ～37 bに示すとおりである。

この結果から，つぎのことが明らかとなった。

1) スキンプレート面上の作用圧力は倒伏角7ケースについてすべて正圧分布であることから，他のいかなる倒伏角においても正圧分布が予想できる。

2) フラップゲート全開時には他の6ケースと異なりゲート先端付近の圧力勾配が上昇する。この原因として考えられるのは流況観察結果から，ゲート直下流の流れはゲート末端下流のシュートブロックを直撃し，流れが上下流に分散し，上流側に分散した流水はゲート背面に廻り込み背面水位を上昇させている。

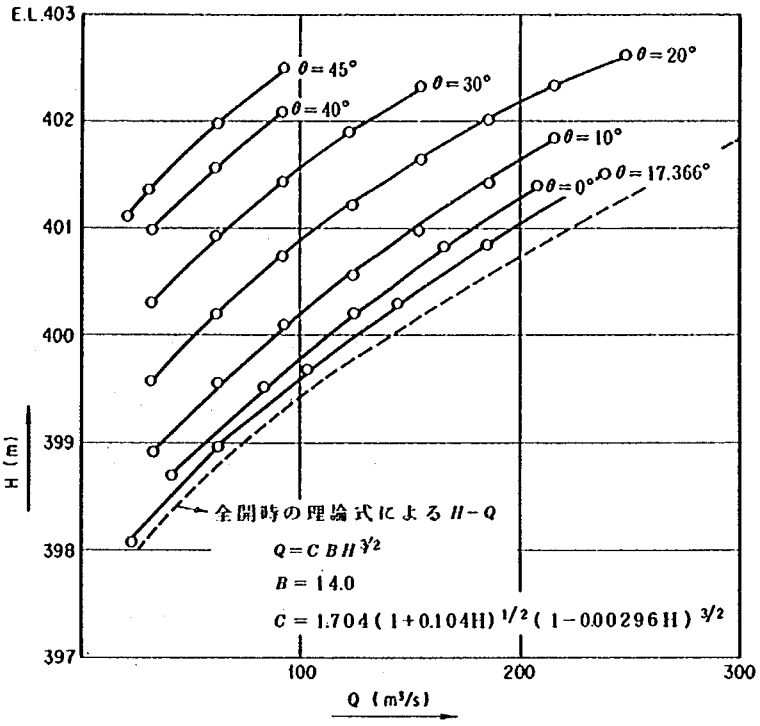


図71　貯水位－放流量－倒伏角度の関係

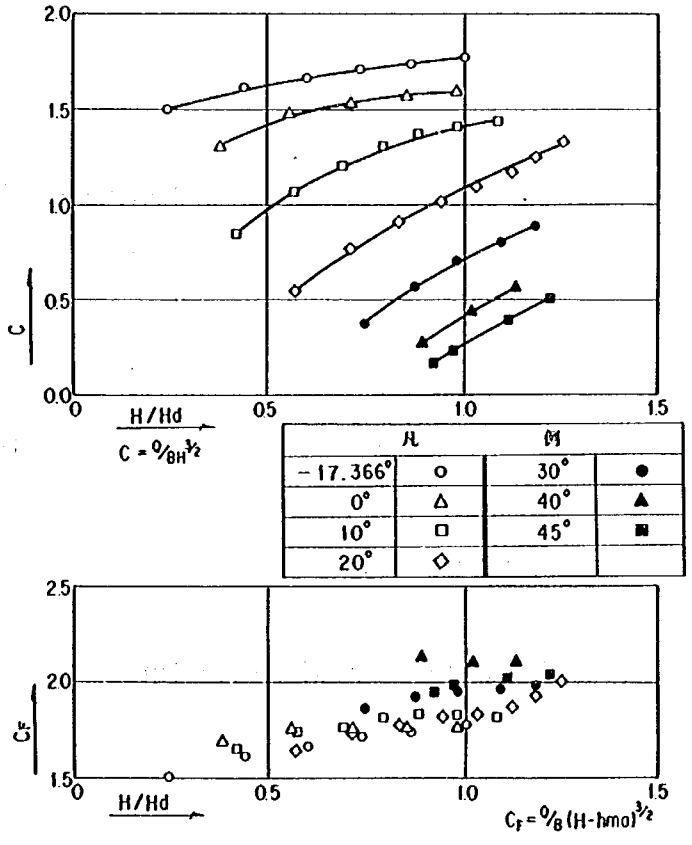


図72　H/H_d と C_F，C の関係

この背水位の高さはゲート先端付近のピエゾ点より高いため，ピエゾ水頭が上昇するものと思われる。

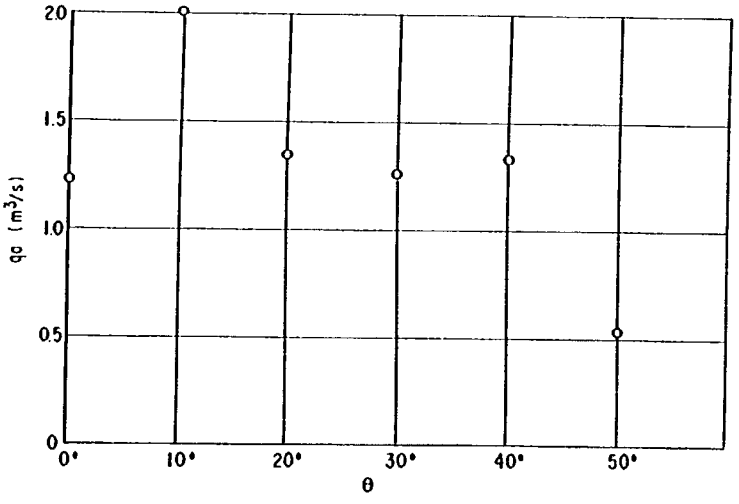
1.3.3　ゲート背面の需要空気量

給気管内の風速値より供給空気量を求めるものとしたが時間的にかなりの変動が測定された。これは，フラップゲートからの放流水は設計水頭が小さく，高圧ゲートからの流れのように大気を連行する白濁した流れとならず，越流水脈（ナップ）の分散によってできるナップ裏側の水クッションに突入するときに背面の空気を巻込み下流へ連行する量が主であることが観察された。また，背面水位は常に変動するため，この巻込み現象も一定でなく変動している。

このため，熱線風速計のサンプリング間隔を0.1秒，1秒の2ケースについて風速変動を予備的に測定した結果を図74に示す。この図から，いづれのサンプリング間隔でも風速変動の周期を捕えることができることが判明した。よって，本実験ではサンプリング間隔は1秒で60秒間計測し，その平均値から単位時間当たりの需要空気量を求めることとした。

この場合も，各ゲート起伏角に対する貯水位はEL.401.500m一定とした。

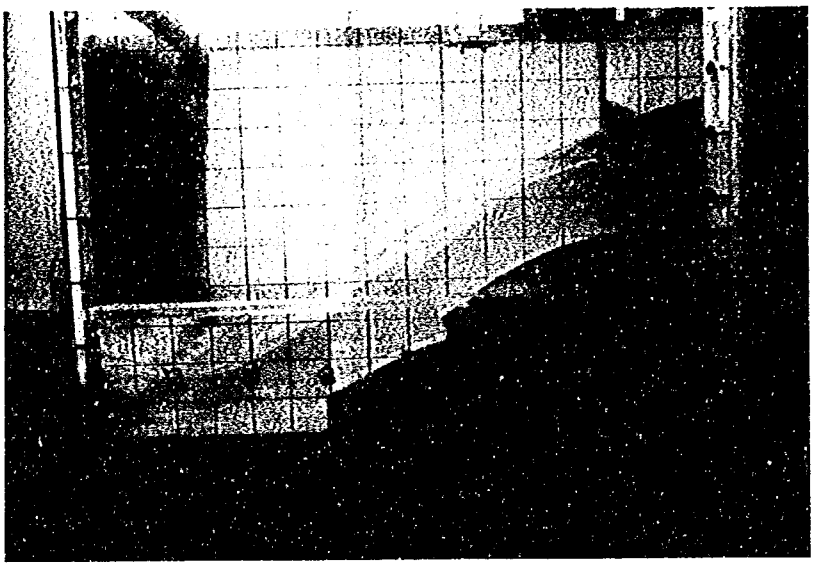
これらの測定結果を図75および表38a～38bに示す。図から明らかなように，需要空気量の最大は倒伏角10度のケースで，その量は約2.0㎥/secであった。倒伏角45°のケースはナップが薄く，シュートブロックに落下した水脈が割れ，下流から空気が流れ込み需要量が小さくなると推測される。また，流況写真No.90～96に示すようにナップの上流側への拡散によって，ナップ裏側にはゲート倒伏角および放流量によってかなりの水量が封じ込められ，背水面を形成するため，給気孔の設置位置の選定は困難でその働きが確実となる保証はないものと推測される。



θ（°）	q_a（平均値）（㎥/s）
0	1.232
10	2.005
20	1.354
30	1.262
40	1.334
45	0.529

※　設計洪水位時での需要空気量をプロットしている。

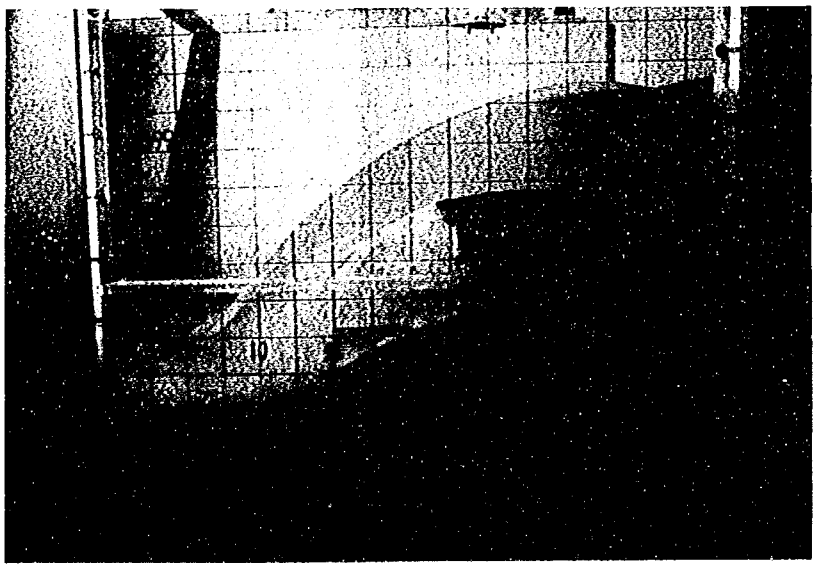
図75　倒伏角度(θ)と需要空気量（q_a）の関係



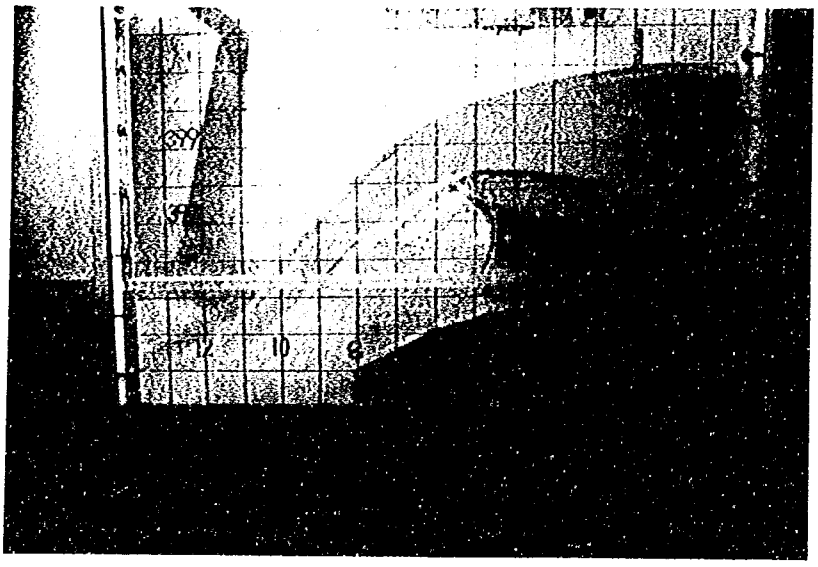
写真No.90
Q ＝全開
貯水位 EL.401.5m
Q ≒ 243㎥/s



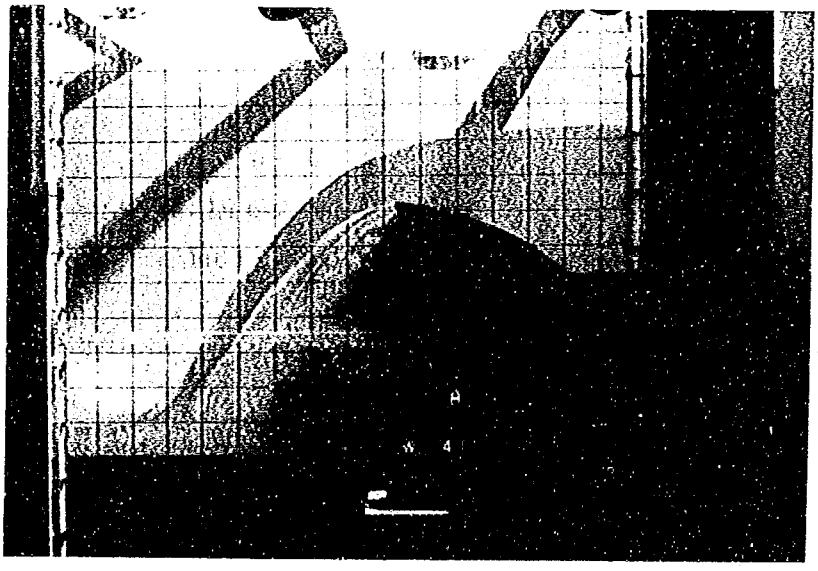
写真No.91
θ ＝0°
貯水位 EL.401.5m
Q ≒ 216㎥/s



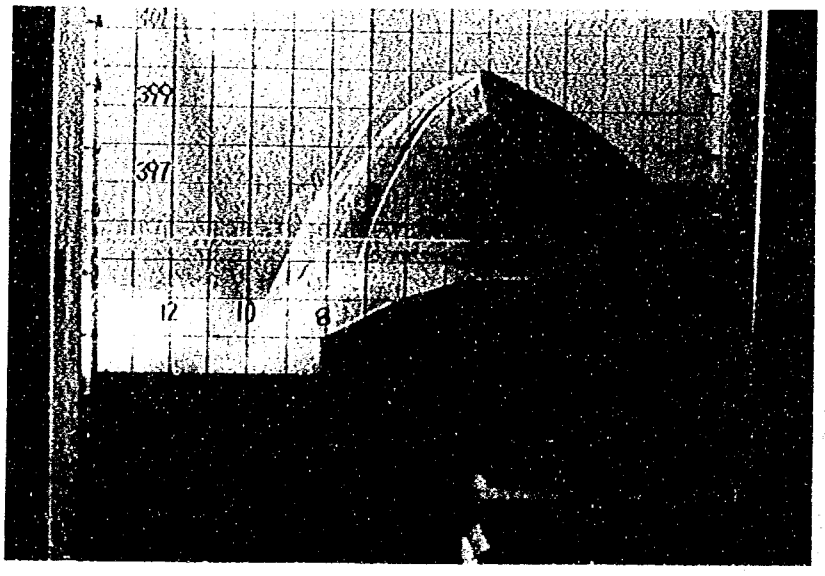
写真No.92
θ ＝10°
貯水位 EL.401.5m
Q ≒ 193㎥/s



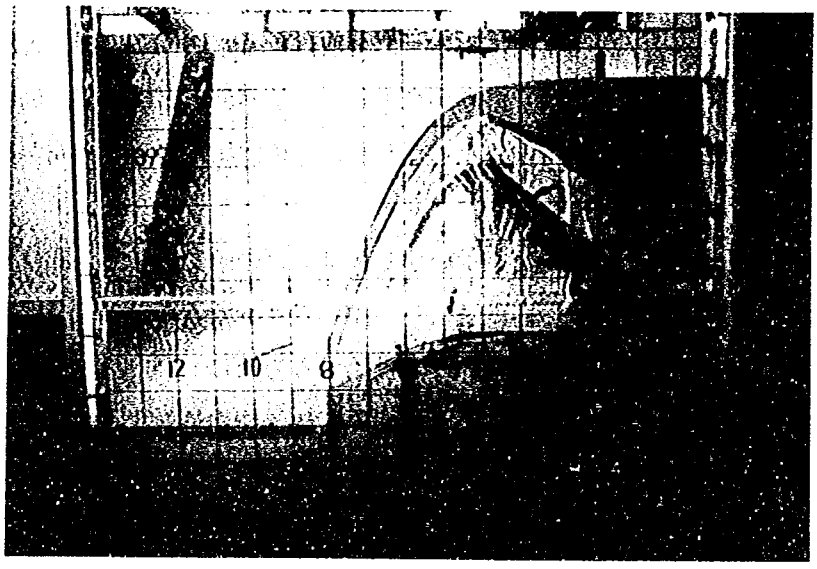
写真No.93
θ =20°
貯水位 EL.401.5m
$Q \fallingdotseq 149 m^3/s$



写真No.94
θ =30°
貯水位 EL.401.5m
$Q \fallingdotseq 97 m^3/s$



写真No.95
θ =40°
貯水位 EL.401.5m
$Q \fallingdotseq 56 m^3/s$



写真No.96
$\theta = 45°$
貯水位 EL.401.5m
$Q \fallingdotseq 37 m^3/s$

第2節　フラップゲートの部分検討実験

前節の検討結果から，フラップゲートを設置した場合の問題点としてつぎの点が挙げられる。

1）ゲート背面の需要空気量は時間的に変動することから，ナップ背面の空気圧も微少変動を起していることが推測され，この変動が水脈の薄い場合にはナップの振動を誘発し，この振動とゲートの固有振動が共振するとゲート自体の振動につながる恐れがある。

2）給気管によって連行空気量を供給する方法は，寒河江ダムのようにフラップゲートの下流が緩勾配の場合には，ナップの落下に伴う分散によって背水面が形成され，その働きが疑問である。

3）フラップゲート下流に設置されたシュートブロックはゲートの倒伏角および放流量によってはナップが直接ブロック上に落下し，上流側への分散量を増大させるのと，ゲート全開時にはゲート先端付近に浮力を働かせる原因となり，ゲートが不安定な力を受ける恐れがある。

この他に，数多くの河川ゲートとしてのフラップゲートの使用実績から次に示す問題が指摘されている。

4）河床敷に設置される例が多く，土砂の夾雑による不完全倒伏および水密の劣化。

5）開閉装置が水中または塩水中にあるため，ヒンジ部の錆びつきによる故障。

6）ナップの薄い場合にナップ振動を起こし，騒音となった例がある。

しかし，4)，5)項についてはダムの越流部に設置することと，貯水位が制限水位に低下している期間が長い事を考えると保守点検が容易なため問題となる恐れがない。

したがって，ここでは1)，2)，3)および6)項に主眼を置いて実験的検討を加えた。

2.1　実験内容

本実験は第1節での検討に引続き実施したもので，フラップゲート模型および実験方法等は前節と同様である。前述した問題点の解消とその手段を求めるため，ここではつぎに示す項目について実施した。

1) 問題点の1)および6)項の解消手段として，これまで河川ゲートにも適用されているスポイラー形状（フラップゲートの先端に2～5 m間隔にナップを強制的に割るために取付ける水切板）の規模と形状の検討。ここでは，これまで水脈の厚さが5 cm～60cm程度で振動が発生している事例を考慮して，倒伏角45°付近でこの厚さの水脈が切れることを目安として検討を進めた（ただし，この水脈の厚さの範囲が越流水深かゲート先端での水脈の厚さか明確でない）。

2) ナップ裏側の閉塞空間へ連行空気量に見合った空気を供給するには従来の給気管設置方式は疑問であり，中央ピアおよび側面ピアをフラップゲート先端の円軌跡より下流でカットすることにより，ナップの自由落下曲線がこのカットラインをオーバーして出来る空間から供給する方式について検討した。

3) 下流シュートブロックを撤去した場合のスキンプレート面の圧力と放流能力に対する検討。

以上の検討項目における実験内容は表39に示す実験ケース一覧表に詳細を示す。

2.2 検討結果

2.2.1 スポイラー形状

スポイラー形状は図76に示す3ケースについて検討した。この3ケースの選定理由は特別に決め手があ

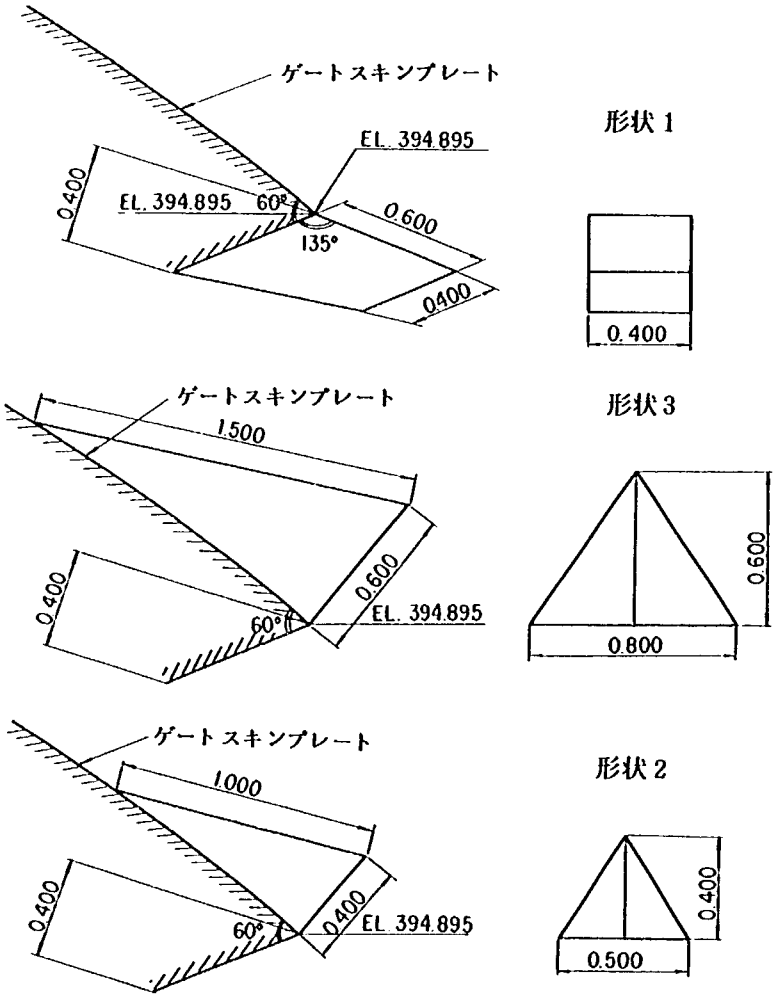
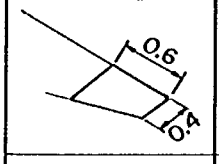
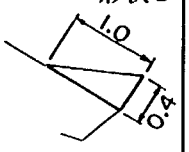
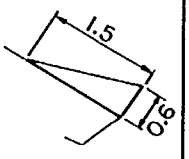


図76 スポイラー検討形状図

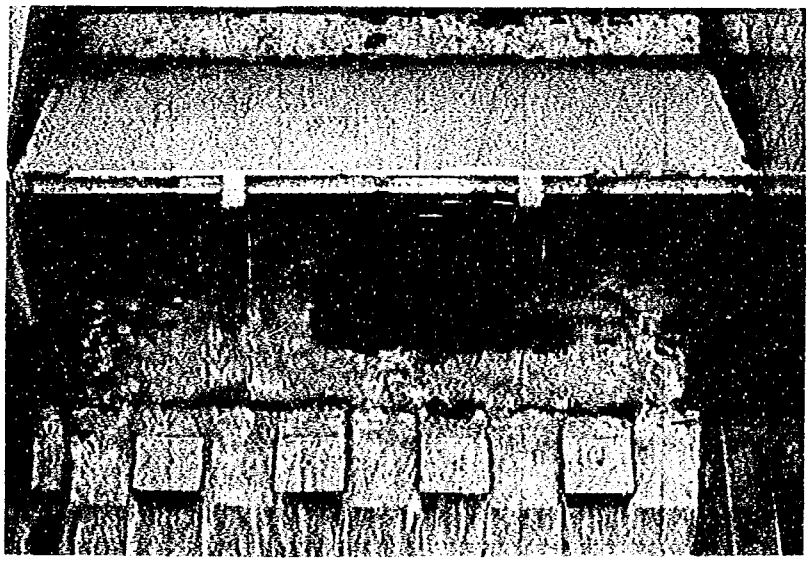
表39　実験ケース一覧表

項目	形状	流況	実験条件					備考
			倒伏角度	越流水深または貯水位	サイドピアーの形状	スポイラー	ショートブロック	
スポイラー形状	形状1 	○	45°	0.60 m	ピアーカット	形状 1	有	
	形状2 	○				形状 2		
	形状3 	○				形状 3		
ゲート背面の需要空気量	倒伏角度（θ）°	給気管内風速 / 背水面位 / 流況						※ ゲート背面の需要空気量測定で倒伏角度θ=0°のときスポイラーを設置しているのは補足として測定したためである。
	−17.366°（全開）	○ ○ ○	—	EL.397.000 ～ EL 401.500	ピアーカット	無	有	
	0°					θ=0°のとき形状3※		
	10°					無		
	20°							
	30°							
	40°							
	45°							
放流能力	倒伏角度（θ）°	流況						55年度検討結果による。
	−17.366°（全開）	○	—	EL.397.000 ～ EL.401.500	ピアーカット 無	無	有	
	0°							
	10°							
	20°							
	30°							
	40°							
	45°							
	−17.366（全開）	○	—	EL.397.000 ～ EL.401.500	ピアーカット	無	有	※ ゲート背面の需要空気量測定で倒伏角度θ=0°のときスポイラーを設置しているのは補足として測定したためである。
	0°					θ=0°のとき形状3※		
	10°					無		
	20°							
	30°							
	40°							
	50°							
	−17.366（全開）	○	—	EL.397.000 ～ EL.401.500	ピアーカット	形状 3	無	
	0°							
	10°							

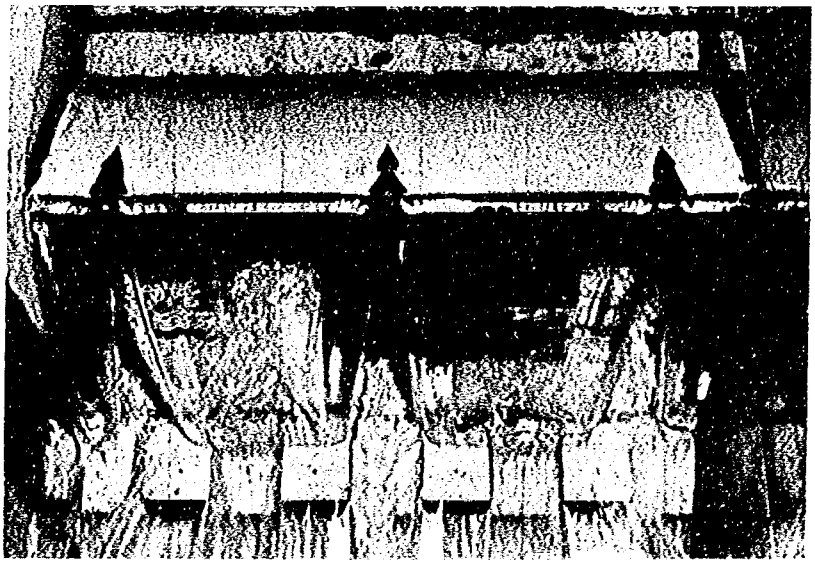
るわけでなく，実験手順から生まれたものである。形状１は従来多くの河川ゲートに使用され，特徴はプレート面の延長として取付けられるため，流木や塵が引っかかりにくい形状とされている。また，河川ゲートはスキンプレートが直線形状かあるいはそれに近い形状であり，ゲート操作も全閉付近か全開での使用が多いため形状１でも水切り効果があることが判った。しかし，形状１はスキンプレート形状が曲面である場合には越流水深が増加すればするほどあるいはゲートが下がれば下がる程，スポイラーの鉛直高が減少してしまうため，水切り効果が期待できない流況となる（写真№97参照）。

形状２は形状１の中間開度よりゲートが下がった場合を考慮した形状で結論的には流線方向の鉛直上方における水脈の厚さ＋速度水頭以上の高さが必要であることが判明した。

形状３は倒伏角45°で越流水深が60cm程度の水脈を切る規模として求めた形状である（写真№98参照）。



写真№97
θ =45°
H = 0.62m
スポイラー形状１
での流況



写真№98
θ =45°
H = 0.62m
スポイラー形状３
での流況

また，形状３の規模のスポイラーによって水脈の切れる越流水深は図77に示すようにゲート倒伏角によって異なることは当然である。

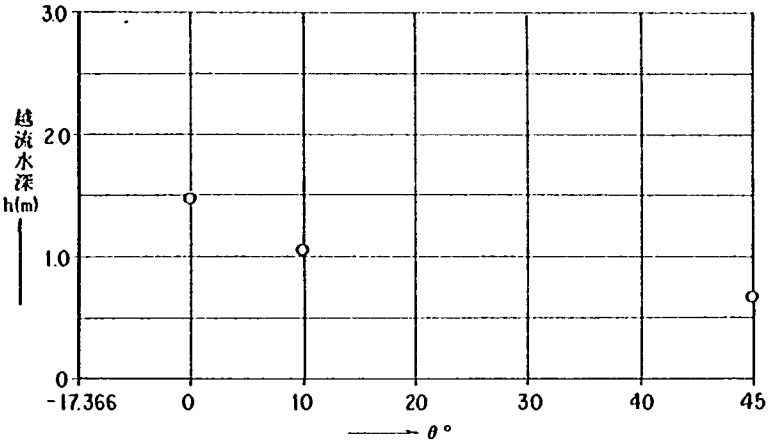


図77　ゲート開度と水脈分割の可能な越流水深の関係

2.2.2　ピアカットの効果

図78に示すようにゲートピンから水平距離で６ｍ下流の位置でセンターピアおよびサイドピアをカットした場合，ナップ裏側への需要空気量の変化を検討することとした。サイドピアのカット幅は0.5m程度とし，センターピアについては下端からEL．４００.0ｍまでを全面カットとする。

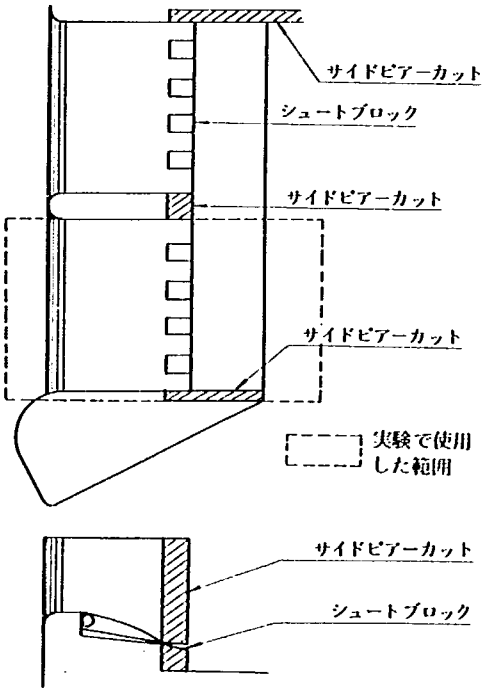


図78　ピアカット形状図

需要空気量の変動の周期を捕えるため，予備的に倒伏角θ＝０°の場合について検討した結果は表40に示すとおりである。この表で明らかなように風速の変動周期はサンプリング時間60秒，１８０秒，３００秒のいずれもほとんど変化はないが，越流水深が大きくなると風速の変動幅が最大となる３００秒をサンプリング時間として決定した。また，サンプリング間隔は前回実験と同様に１秒とした。これらの測定結果は図79，図80および表41に示すとおりであった。

図79に示す平均需要空気量はサンプリング時間内の平均風速に給気管の断面積を掛けて算出し，図中の黒印は各開度の前回実験（ピアカット無しでの実験値）での測定結果である。

これらの結果から，ピアをカットした場合にはおおよそつぎのことがいえる。

表40　風速変動と計測時間

H (m)	V (m/s) 実　験　値		
	60sec	180sec	300sec
1.33	0～0.01	0～0.02	0～0.02
2.49	0.03～0.13	0.02～0.14	0.02～0.14
3.60	0.08～0.27	0.08～0.27	0.06～0.27
4.32	0.11～0.51	0.11～0.51	0.08～0.51
4.63	0.05～0.34	0.05～0.34	0.05～0.37

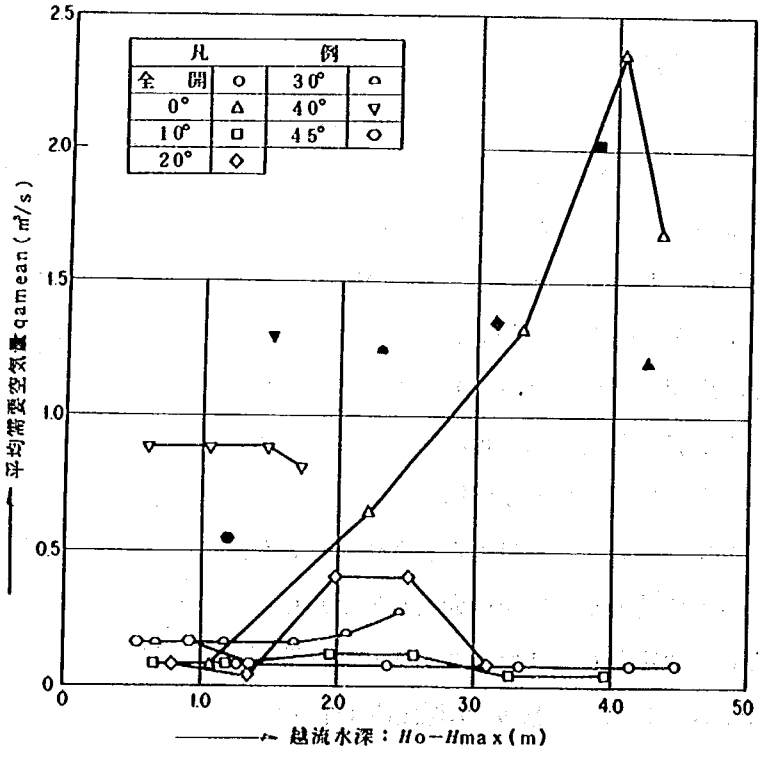


図79　越流水深－倒伏角度－需要空気量の関係図

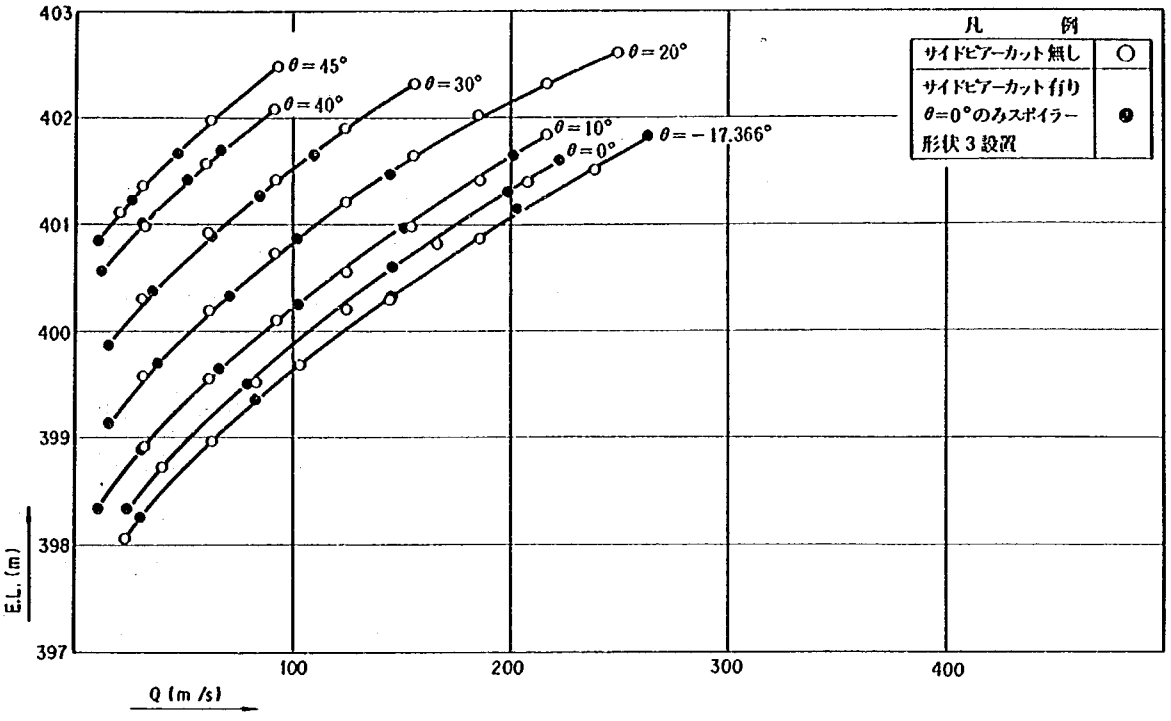


図80　ピアカット有無による放流能力比較図

表41　越流水深－倒伏角度－需要空気量の測定結果表

倒伏角度	H_0-H_{max}(m)	q_{amean} (m³/s)	倒伏角度	H_0-H_{max}(m)	q_{amean} (m³/s)
全開	1.26	0.080	20°	0.79	0.080
	2.36	0.080		1.36	0.040
	3.34	0.080		1.99	0.402
	4.14	0.080		2.52	0.402
	4.84	0.080		3.12	0.080
	1.06	0.080	※	3.17	1.354
0°	2.22	0.643	30°	0.67	0.161
	3.33	1.327		1.18	0.161
	4.05	2.373		1.70	0.161
	4.36	1.689		2.08	0.201
※	2.60	0.615		2.46	0.281
※	4.25	1.232	※	2.32	1.262
10°	0.65	0.080	40°	0.60	0.885
	1.19	0.080		1.05	0.885
	1.96	0.121		1.47	0.885
	2.57	0.121		1.74	0.804
	3.26	0.040	※	1.56	1.334
	3.97	0.040	45°	0.53	0.161
※	3.84	2.005		0.92	0.161
				1.37	0.080
			※	1.20	0.529

※はサイドピアーをカットしない前回の値であり，図中記号の中を黒に染めている。

1）倒伏角度が10°以上のケースではカット面から空気が供給され，いずれの越流水深に対してもその効果が表われている。

2）倒伏角度が0°の場合には越流水深の増加に比例して，需要空気量も増大している。これは，角度0°はゲート先端がゲートピン中心と同レベルの状態で，ゲート面の支配断面（最高点）は表35に示したようにゲートピンより下流約1.8mのEL.397.27mの高さにあり，その点より下流のプレート面は下り勾配のため，越流水深が増え水脈が厚くなると同時に水面勾配も急になり，カット面の空間を水脈が序々に狭くしやがて閉塞するためである。また，最高水位で空気量が減るのは前に述べたように，ナップ裏側の背水位が上昇し，給気管に水が入り込むためである。

3）以上の考察から，ゲート倒伏角が0°以下の状態ではゲート背面への給気方法が非常に困難である。しかし，実際の洪水時のゲート操作において0°から全開までの中間位置（ただし，常時満水位維持の微少放流状態時を除く）に停止するメリットはあまりないものと考えられる。これは図71の放流能力曲線で明らかなように0°と全開での能力差が25㎥/s程度であることから，この間は一気に全開に向けての操作が可能と考えられる。また，もしこの間でゲートを停止した場合でも越流水脈が大きいことから，ゲート振動は発生しないものと思われる。

4）ピアカットの有無によって各ゲート開度ごとの放流能力を比較したのが図80である。この図から，両者の結果では明らかな差は見い出せず，ほとんど放流能力の差はないものと判断できる。

2.2.3　シュートブロック撤去による効果

フラップゲート直下流の放流水脈を分割することによって減勢効果を高めるために設置した歯形シュートブロックは前述の如くフラップゲート半開時に逆効果となる放流ケースがあることが判った。そこで，

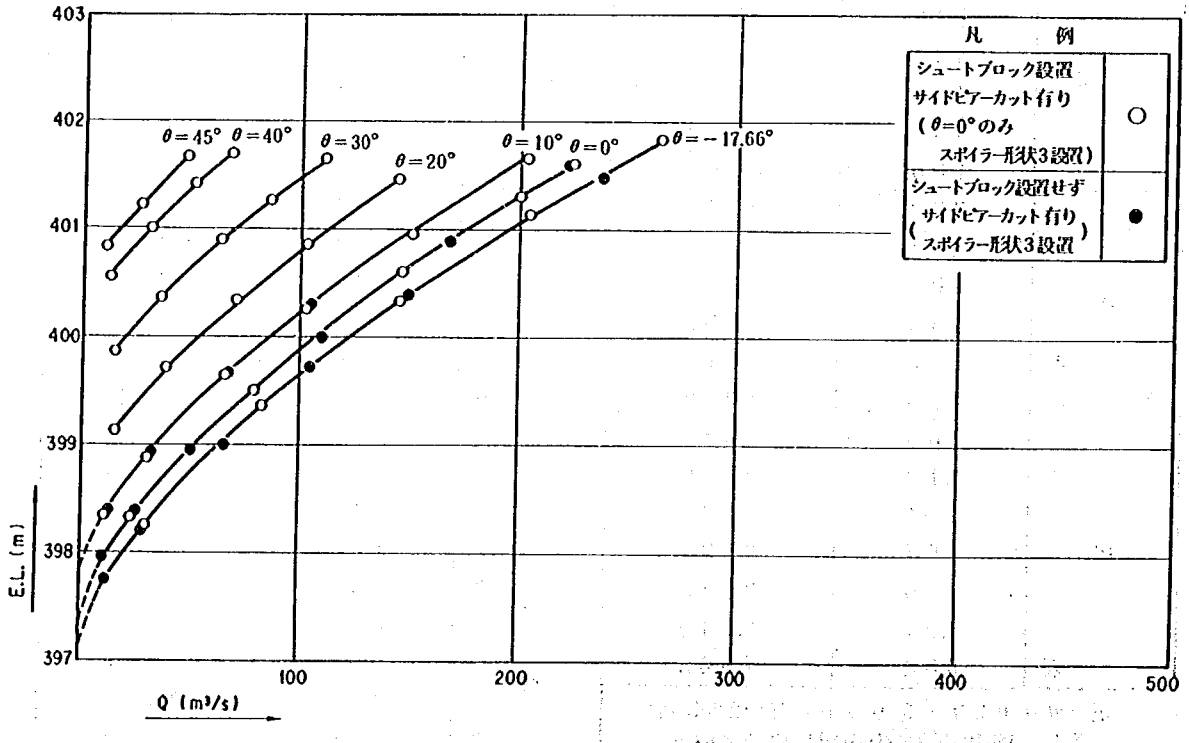
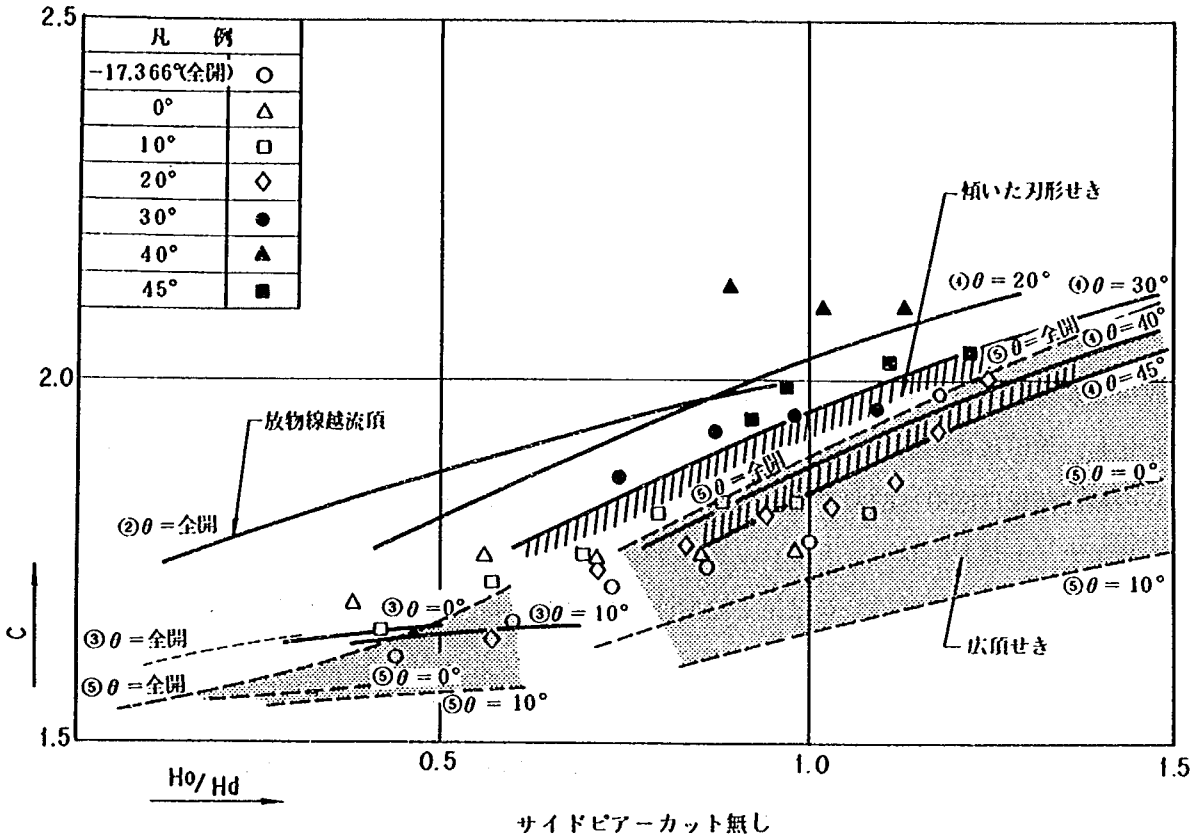
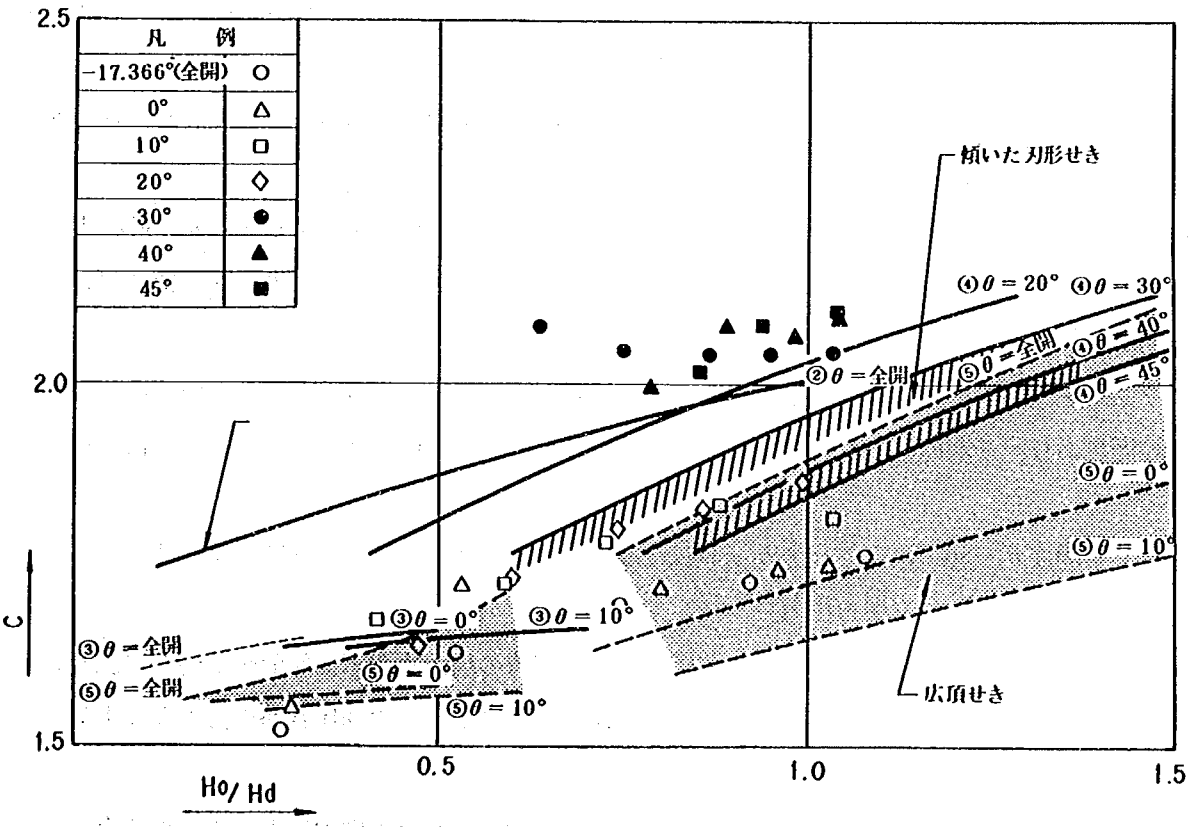


図81　シュートブロック有無による放流能力比較図



サイドピアーカット無し



サイドピアーカット有り（$\theta = 0°$のみスポイラー形状３設置）

図82　　C と H/H_d の関係

シュートブロックを撤去し，次に示す項目について検討を加えた。

1） フラップゲートの放流能力調査

2） フラップゲートスキンプレート面の水圧分布

3） ゲート背面の水位

以上の検討結果をまとめるとつぎのとおりであった。

1. 放流能力について

シュートブロックを撤去したことにより，支配断面がスキンプレート上にある場合には越流水面勾配が変り，放流量が変化する可能性がある。また，ピアカットにより背面に十分給気された場合にもナップの形状が変化し，放流量に影響する可能性があるので，ここでは合わせて放流能力についても検討した。

これらの検討結果は図81～82および表42～43に示す結果が得られた。図81～82には比較検討の意味で前回実験（ピアカット無し，シュートブロック有）の結果も合わせて記載した。

また，表42～43に示す流量係数Cは第1節で述べた18式により求め，このCとH/H_dとの関係を図82に示す。

以上の結果から，つぎのことが推察される。

1） 図82に示したようにピアカットのケースではCは倒伏角度20° と30° を境界に，2つのグループにわけられるが，カット無しのケースでは明確な境界が見当らない。このことはピアカットの効果の項で述べたように給気管から供給される空気量だけではナップ背面は大気圧とならないため，ゲート開度を変えても通常のナップ形状が形成されないためと考えられる。

2） 図81にシュートブロックの有無による放流能力の比較を示す。この結果，シュートブロックの有無は放流能力に対する影響はないものと判断できる。

ただし，ここでの検討は次の理由から，ゲート開度が20° 以上ではスキンプレート面の最高点がいずれもゲート先端となり，ゲートからの越流水は自由落下となりシュートブロックの影響を受けないことから，ゲート開度10° 以下について行った。

3） フラップゲート全開時にはh_{max}はクレスト敷高と同じ高さであり，このときの流量係数Cは1.5～1.8 の範囲にあり，一般的なダムの標準越流頂形状でのC = 1.7～2.0 に比べ約1割強の形状損失があるといえる。

4） ゲート開度θ =30° 以上でピアカットした場合の流量係数はほぼ2.0 程度と見なせる。

2. ゲートスキンプレート面の圧力

シュートブロックを設置した場合，フラップゲート全開時の越流水の水面勾配を上向きに急変させるため，ゲート背面に背圧力が働くことが判った。この背圧現象はゲートの油圧背面支持点より下流のプレートに対し，不安定な力として働く恐れがあると思われる。

そこで，シュートブロックを撤去した場合のゲート全開時のプレート面の圧力分布を再調査し結果を図83（測定数値表を含む）に示す。この図にはシュートブロック有りの場合も比較する意味で図化されている。この図から明らかなように，プレート面の圧力分布はシュートブロックを撤去した場合には下流で圧

力が上昇する現象がなくなっている。したがって，越流水深が大きなゲート全開放流を考慮するとシュートブロックを撤去した方がゲートは圧力的に安定すると考えられる。

3. ゲートの背面水位

シュートブロックの有無によって，フラップゲートの背面水位の変化を調査した結果を整理したのが図84（数値表を含む）である。ここでは，シュートブロックの影響を特に受けるゲート開度3ケースを抽出した。この結果，ゲートの倒伏角度が0°および10°の場合には越流水深が3m以上では両者にあまり差がなく，それ以下の水深ではシュートブロック無しのケースの方が背水位が低くなっている。この背水位の低下現象が特に顕著なケースはゲート全開のケースである。

これらの現象は，これまで述べてきたように，0°および10°での越流水深が小さいケースではゲートからの落下水が直接ブロック上に衝突し拡散の影響の有無によるためであり，越流水深が大きく（流出流速も大）なると落下水はシュートブロックを越え直接階段上に落下し，そこでの拡散現象となるため差がなくなる。

第3節　流入線形を変えた場合の検討

これまで検討してきた平行流入状態でのフラップゲートの抽出模型実験から，ゲートの水理特性および問題点はほぼつかむことができ，設計形状に対する部分的改良方針も得られた。そこで，ここではこれまでの検討結果を踏まえて，フラップゲート部の流入流線に対する屈折角度約27°で設置した場合の偏流による放流能力およびスキンプレート面の水圧荷重変化について重点的調査を実施した。

3.1　模　　型

原設計案におけるフラップゲートはサーチャージ水位に対する付加高30cmを採用し，扉高をクレスト敷高（EL・397.0m）から3.3mとしているが，フラップゲートは越流タイプのゲートであり波浪の越波に対して構造的な弱点がないことや自由越流頂と同等な考え方等を考慮すればこの付加高を取り除いても支障がないものと判断できる。

したがって，ここでの模型は図85に示したように付加高30cmを外した扉高3mの設計形状に変更したフラップゲート模型を縮尺1/16で製作した。

この模型ではシュートブロックを撤去し，ピアはゲートピン下流6mでカットしてある。模型は平行流入の場合と同様に幅2mの実験水路に写真№99および図86に示すように流入流線に対して実物と同角度の位置に据え付けた。

また，スキンプレート面には図87に示すスキンプレート縦断3測線の各位置にピエゾ管を取り付けた。

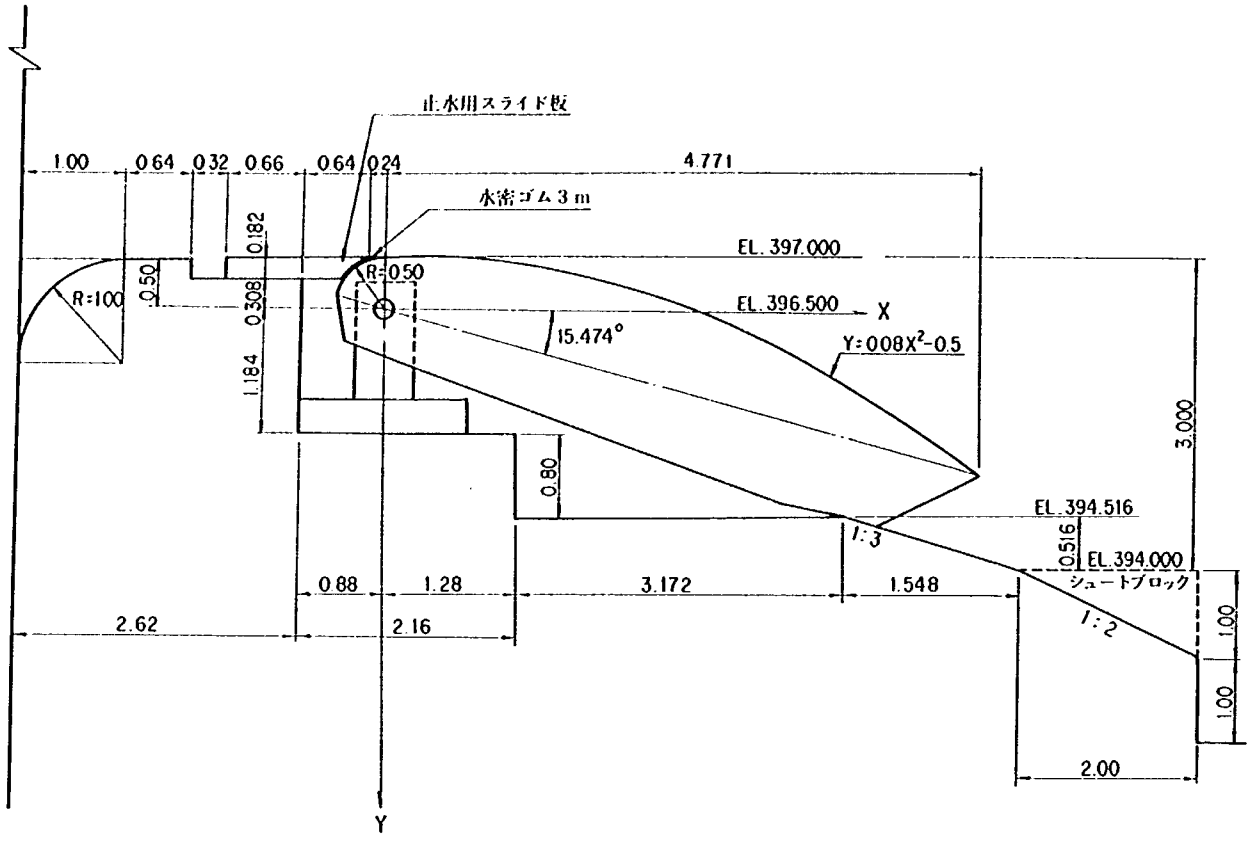
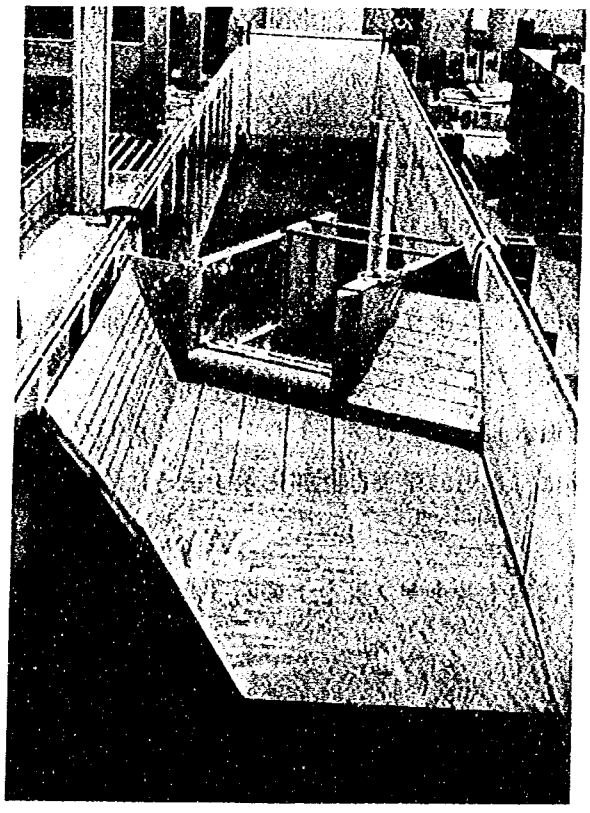


図85　フラップゲート変更形状図



写真No.99
フラップゲート
流入角度27° の
模型全景

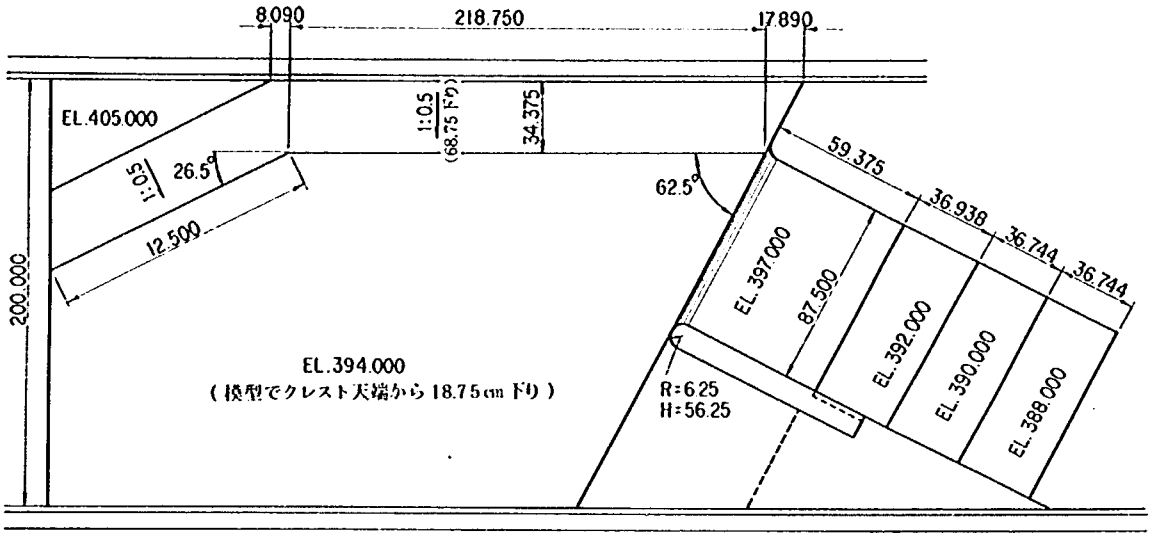
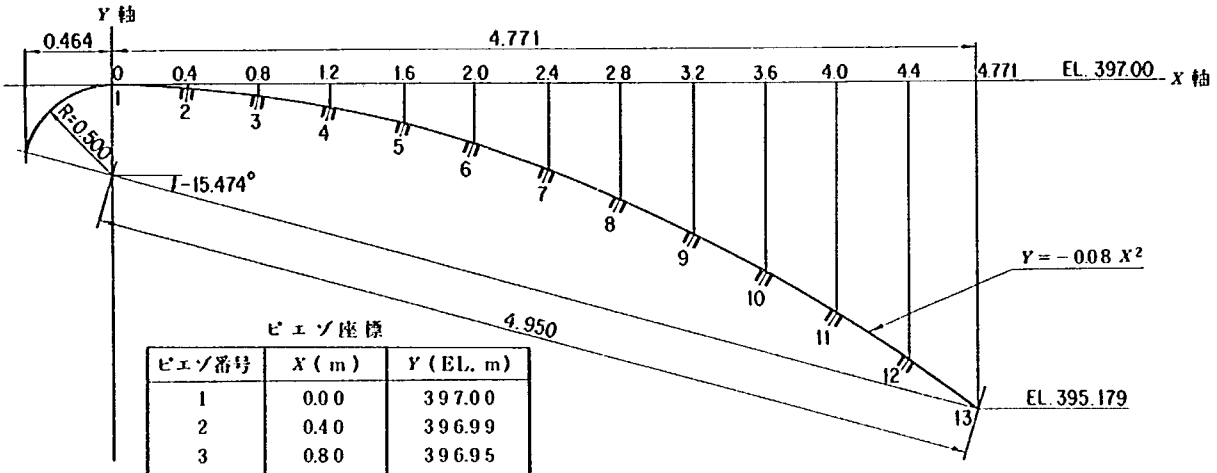


図86　模型概要図



ピエゾ座標

ピエゾ番号	X (m)	Y (EL. m)
1	0.00	397.00
2	0.40	396.99
3	0.80	396.95
4	1.20	396.88
5	1.60	396.80
6	2.00	396.68
7	2.40	396.54
8	2.80	396.37
9	3.20	396.18
10	3.60	395.96
11	4.00	395.72
12	4.40	395.45
13	4.771	395.18

図87　圧力測定位置図

3.2 実験内容

平行流入での実験から，流量係数の変化点がゲート開度20°~30° 付近にあることが判ったので今回の実験ではゲートの倒伏角は20° 以上は5 ° ピッチとした。

本実験は全体模型と異なり，幅の限定された水路内で実施するため，予備実験により流入部での流速および流向を全体模型と同程度になるような調節が必要である。

今回の実験内容は表44の実験ケース一覧表に示すように，流入角度が変った場合のゲート倒伏角度および貯水位をパラメータとし，放流量，スキンプレート面の圧力（3測線），水面形，流入部の流速および給気管からの供給空気量等をこれまでと同様な方法で計測するものである。

それぞれの計測事項に対する放流条件は表44に示すとおりである。

表44 実験ケース一覧表（流入角27°）

CASE No	倒伏角度 $(\theta)°$	$H-Q$	項目				
			空気量	圧 力	水面形	流 速	写真・ビデオ
1	−15.474	14点	◎	○	○	○	○
2	0	8	◎	○			
3	10	8	◎	○			
4	20	7	◎	○	○	○	○
5	25	6	◎	○			
6	30	6	◎	○	○	○	
7	35	5	◎	○			
8	40	5	◬	○			
9	45	5	◬	○	○	△	○

また，実験における水理諸量の取り扱いもこれまでと同様に縮尺1/16に対するフルードの相似換算で行った。

3.3 実験結果

3.3.1 流入水路内の流速と流向

流入水路内の流速と流向の測定は図88に示す各測定位置で，貯水位を設計洪水位（EL.401.50m）としたゲート開度4ケース（全開，20°,30°,45°）について実施した。各測点での流速測定は水深方向には表面・底面を含む4分点とし，45°のケースは表面流速だけを測定した。

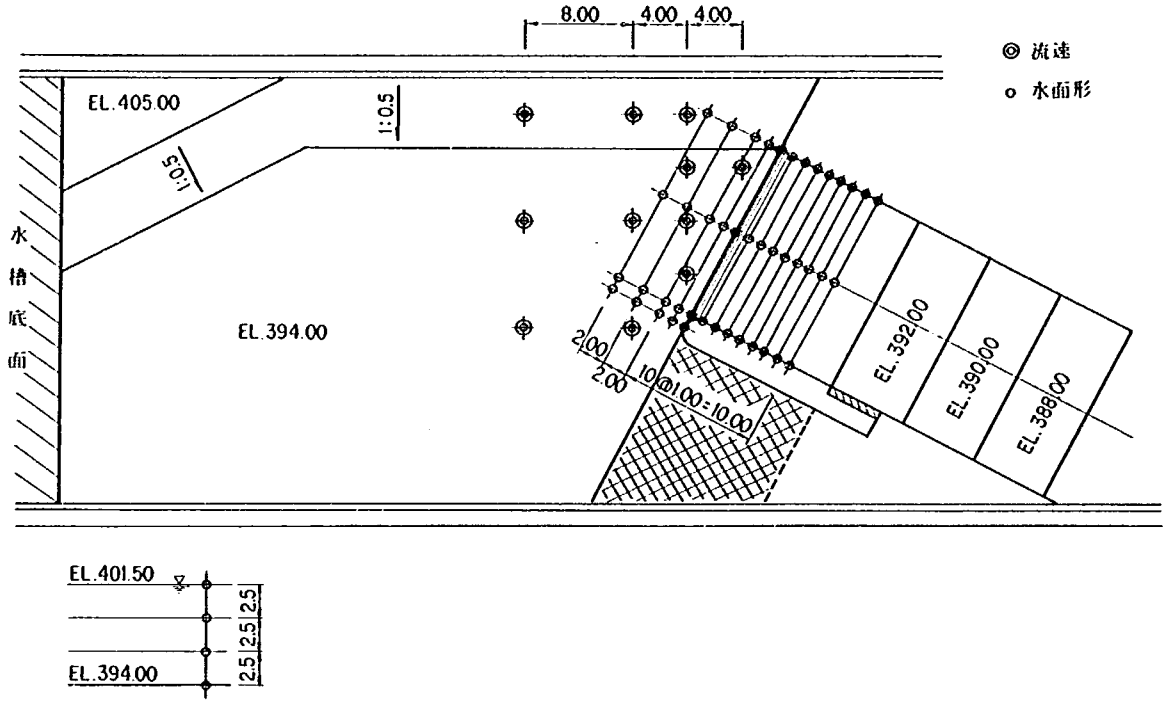


図88 水面形および流速測定位置図

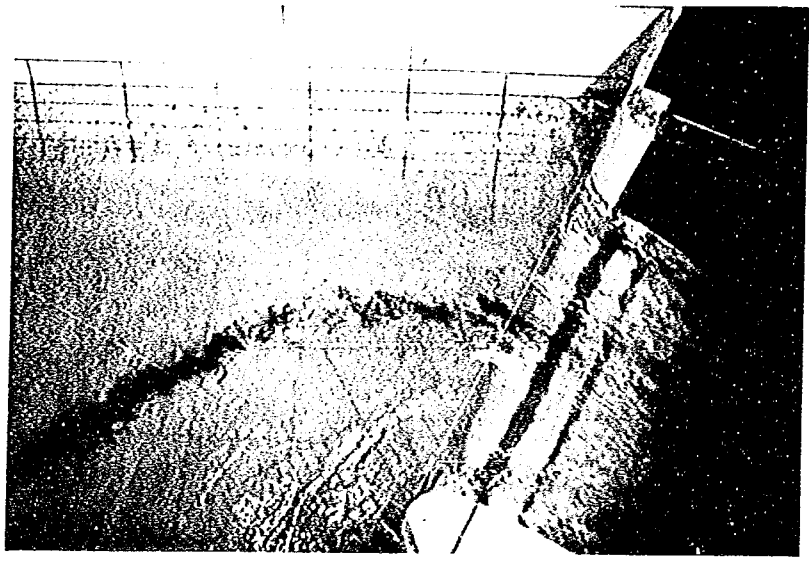
測定結果は図89a～89bおよび表45a～45bに示す。図中の矢印の長さと方向は測点からのそれぞれ流速の大きさと流向を示している。この結果と第3章図31a～31cに示した全体模型実験での流速と流向を比較し，これらの結果をまとめると次のとおりである。

1) 流入流線は，F断面では平行流であるが，E断面付近から除々に左に傾き，ゲート直上流のC～D断面で急激に偏流している。また，この傾向は特にゲート開度が20°以下の堰上げ効果が小さくなる開度で顕著となる。

2) クレスト面から下流の流況は偏流によるセンターピアでの縮流が大きく，スキンプレート面でも横断勾配（左岸が高く，右岸側へ傾斜した水面形状）を持った流れとなっている。

3) 流入部での最大流速値はゲート全開時のC測点で3.0㎡/secを記録している。この値は全体模型の同位置での最大流速2.8m/secとほぼ一致している。

4) 流速分布および流況観察結果（写真No.100とNo.101参照）から，今回実施する流入部形状は全体模型での流入形態とほぼ水理現象は一致していることが確認できた。



写真No 100
抽出実験での流入部
の流況
貯水位EL.401.5m
ゲート開度＝全開



写真No 101
全体模型での流入部
の流況
貯水位EL.401.5m
ゲート開度＝全開

3.3.2　放流能力について

貯水位 — ゲート倒伏角度（9開度）— 放流量の関係における調査結果は図90および表46に示すとおりである。（表中の※印の測定値は排水孔を設けた場合である）図中には，予備検討として実施したゲート扉高3.3m形状で流入角度を付けた場合とゲート背面に直径2.0mの排水孔を設けた場合の結果もプロットされている。

扉高3mでの設計条件はゲートピンの中心標高およびスキンプレートの曲線式は扉高3.3mの場合と同様とし，最高起伏角は45°とし，その時の先端標高はサーチャージ水位（EL.400.0m）とした。

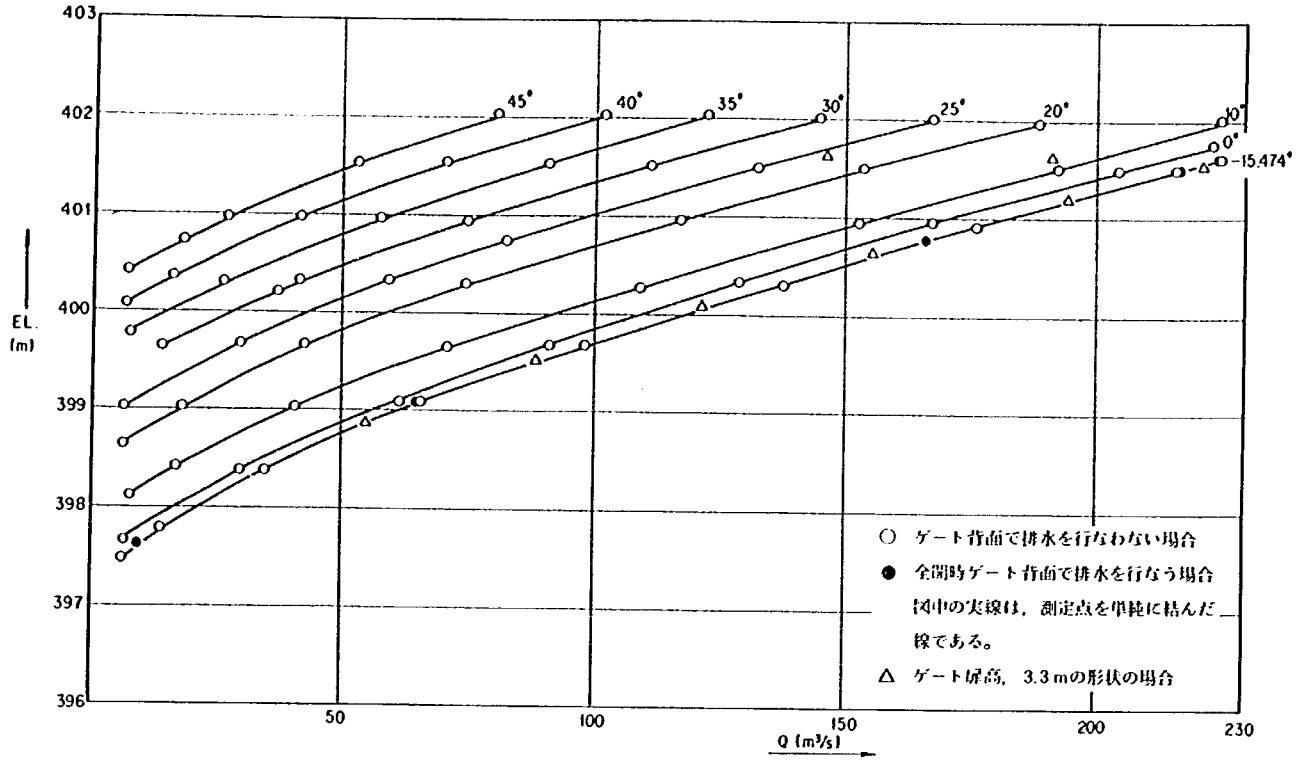


図90　貯水位－放流量－倒伏角度の関係図（ $H_G = 3$ m ）

したがって，ゲートピンとゲート先端との結ぶ弦の長さは $\sec 45° \times 3.5\text{m} = 4.9497 \fallingdotseq 4.95$ m であり，ゲートが全開したときのゲートピン水平距離 X は $(0.08X^2 - 0.5)^2 + X^2 = 4.95^2$ から $X = x \fallingdotseq 4.771$ m，となり $y = 0.08X^2$ の原式に代入すると全開時のゲート先端標高(y)はEL.395.179mとなり X 軸と弦との全開角 $\theta = \tan^{-1}$（EL.396.500－395.179）／4.771 ≒ 15.474° が得られる。

また，この全開角からの回転角 θ 度に対するスキンプレート上の最高点は第1節で与えた(17)式の $Y = (-0.08x^2 + 0.5)\cos\theta' - x \cdot \sin\theta'$ での Y の最大値を与える点が最高点となる。

故に，$dY/dx = 0$ より，$x = -\tan\theta'/0.16$，$y = -3.125 \cdot \tan^2\theta' + 0.5$ であり，この (x, y) を(17)式に代入して求まる (X, Y) が最高点の座標となる。ただし，$X \leqq 4.95 \times \cos\theta$ の範囲で，Y 値にゲートピン標高EL.396.500mを加えた標高が求める値である。

これらの計算結果は図91と表47a～47bに示す。この結果，扉高3mの場合の最高点は $\theta \leqq 20°$ まではスキンプレート面上にあり，$\theta \geqq 25°$ ではゲート先端にあることが判った。

今回の実験値から，前述の(18)式を用いて，流量係数（C_F）を算出した結果は表46に示した。この表から明らかなように，流量係数は越流水深の増加とともに大きくなり，ある越流水深以上では序々に一定値に漸近する傾向を示している。

表47 a　ピエゾ標高－倒伏角度関係表

ピエゾ番号 / 倒伏角度		軸　中　心		1		2		3		4		5		6	
		X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)
−15.476	0	0	397.000	0.400	396.987	0.800	396.945	1.200	396.885	1.600	396.795	2.000	396.680	2.400	396.539
0	15.476	−0.133	396.982	0.256	397.076	0.651	397.146	1.054	397.191	1.463	397.211	1.879	397.207	2.303	397.178
5	20.476	−0.175	396.968	0.204	397.096	0.592	397.200	0.990	397.280	1.396	397.336	1.811	397.368	2.235	397.376
10	25.476	−0.215	396.951	0.152	397.112	0.529	397.249	0.918	397.364	1.317	397.455	1.728	397.523	2.150	397.568
15	30.476	−0.254	396.931	0.098	397.123	0.462	397.243	0.839	397.440	1.229	397.566	1.632	397.669	2.049	397.751
20	35.476	−0.290	396.907	0.043	397.129	0.391	397.330	0.754	397.510	1.132	397.669	1.524	397.807	1.932	397.925
25	40.476	−0.325	396.880	−0.012	397.130	0.317	397.361	0.663	397.572	1.026	397.763	1.405	397.935	1.800	398.088
30	45.476	−0.356	396.851	−0.067	397.127	0.241	397.385	0.567	397.625	0.912	397.848	1.274	398.052	1.655	398.239
35	50.476	−0.386	396.818	−0.121	397.119	0.163	397.403	0.467	397.671	0.791	397.922	1.134	398.157	1.497	398.376
40	55.476	−0.412	396.783	−0.175	397.106	0.084	397.413	0.363	397.707	0.664	397.986	0.985	398.250	1.328	398.500
45	60.476	−0.435	396.746	−0.227	397.088	0.004	397.417	0.257	397.734	0.532	398.038	0.829	398.329	1.149	398.608

ピエゾ番号 / 倒伏角度		7		8		9		10		11		ゲート先端	
		X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)	X (m)	Y (EL.m)
−15.476	0	2.800	396.373	3.200	396.181	3.600	395.963	4.000	395.730	4.400	395.451	4.771	395.179
0	15.476	2.732	397.124	3.169	397.046	3.613	396.943	4.063	396.816	4.520	396.663	4.950	396.500
5	20.476	2.668	397.360	3.110	397.320	3.560	397.256	4.020	397.168	4.489	397.057	4.931	396.931
10	25.476	2.583	397.589	3.026	397.588	3.481	397.564	3.947	397.516	4.423	397.446	4.875	397.360
15	30.476	2.478	397.810	2.920	397.848	3.375	397.863	3.843	397.856	4.324	397.828	4.781	397.781
20	35.476	2.354	398.021	2.791	398.097	3.243	398.152	3.710	398.186	4.192	398.199	4.651	398.193
25	40.476	2.213	398.221	2.641	398.334	3.087	398.428	3.549	398.503	4.028	398.558	4.486	398.592
30	45.476	2.054	398.417	2.472	398.558	2.907	398.690	3.361	398.805	3.833	398.902	4.287	398.975
35	50.476	1.880	398.571	2.283	398.765	2.705	398.935	3.147	398.089	3.609	399.226	4.055	399.339
40	55.476	1.692	398.735	2.077	398.955	2.483	399.162	2.910	399.353	3.358	399.531	3.792	399.682
45	60.476	1.491	398.874	1.855	399.127	2.241	399.368	2.650	399.596	3.081	399.812	3.500	400.000

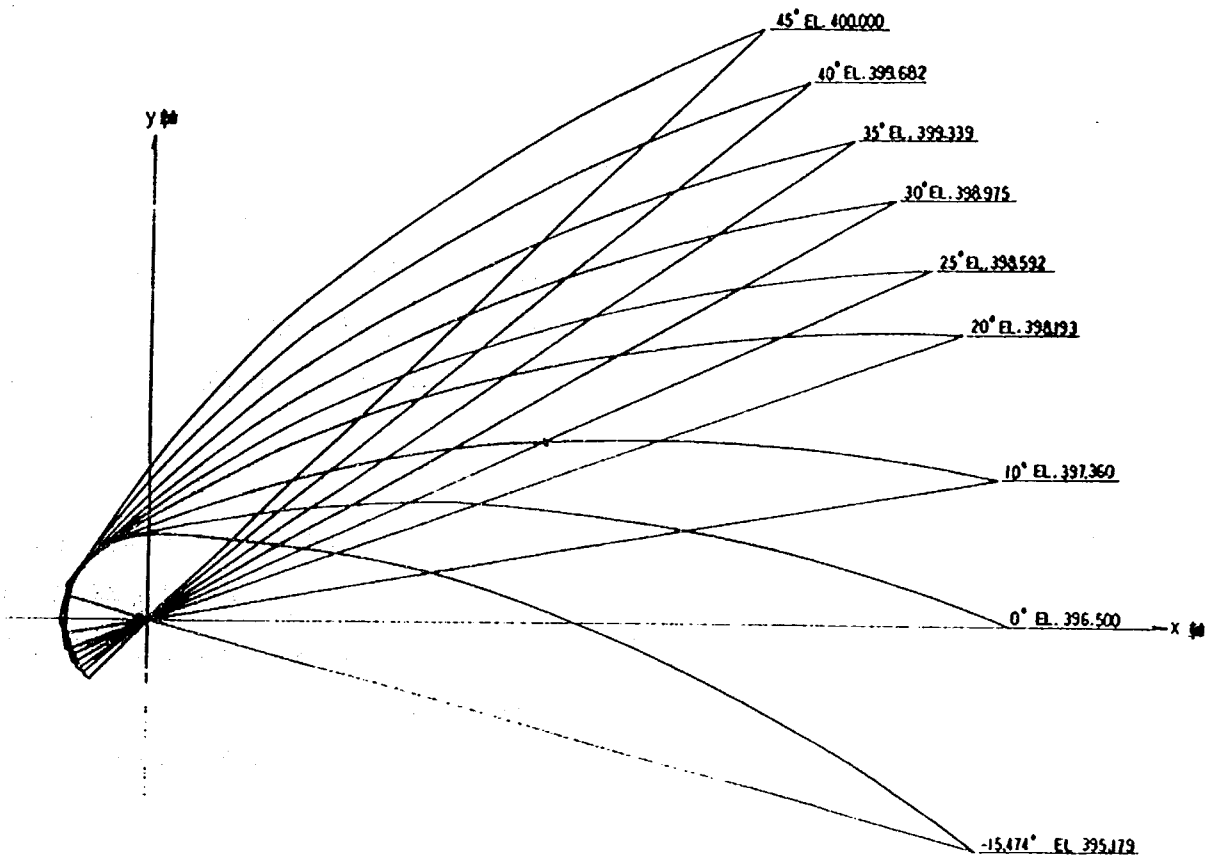


図91　倒伏角度状態図

表47 b　各倒伏角度時の最高点の座標値表

倒伏角度 θ (°)	最高点位置		最高点標高 EL (m)	備　考
	X (m)	Y (m)		
−15.476（全開）	0.000	0.500	397.000	
0°	1.598	0.713	397.213	ゲート面上
10°	2.778	1.092	397.592	
20°	4.258	1.700	398.200	
25°	4.486	2.092	398.592	
30°	4.287	2.475	398.975	
35°	4.055	2.839	399.339	ゲート先端
40°	3.792	3.182	399.682	
45°	3.500	3.500	400.000	

以上の検討結果をまとめるとつぎのとおりである。

1. 扉高（H_G）が3 mと3.3mの両者の放流能力はゲート全開時にはほとんど差がなく，ゲートの中間開度では単純にゲート倒伏角の同じケースを比較するとH_G＝3 mのケースがやや放流量が増大している。この原因は両者での同一水深時の形状損失の差と弦長の差による水面勾配の変化と考えられる。

2. 排水孔の有無による放流能力の差は図90からほとんど変化がないことが判った。

また，排水孔によって全量を排水するには直径が2.0mでは全く不足であることが判った。

3. 偏流の影響を受けるゲート開度10°～全開時の放流能力について平行流入の場合と比較するとかなり今回の実験値の方が小さくなっている。設計洪水位（EL・401.50m）時の放流量は平行流入時の239㎥／sec／門に対して，今回は215㎥/sec／門で約5％程度減少している。したがって，偏流防止の何らかの対策が重要である。

3.3.3 ゲートスキンプレート面の水面形と圧力分布

図88に示したように，水面形については左岸沿い，中央，右岸沿いおよびセンターピア中心線の前面延長線上の4測線，圧力分布は水面形のセンターピア中心線の延長線上を除いた3測線の縦断各位置（図88参照）でそれぞれ測定した。これらの実験条件は貯水位は設計洪水位とし，水面形を測定したゲート開度は全開，20°，30°，45° の4ケース，圧力分布は全開～45° の9開度とした。

これらの測定結果は図92 a ～92 bおよび表48（水面形）と表49 a ～49 c（圧力分布）に示すとおりである。

1. 水面形の検討結果をまとめるとつぎのとおりである。

1）水面形はθが20° 以下で偏流およびピアの縮流の影響が表われ，その傾向はθが小さくなるにつれ著しくなる。

2）ゲート全開時のスキンプレート面上での左右岸の水位差は最大約1.7mであり，この値は全体模型での値1.8mとほぼ一致している。

3）θが30° 以上ではゲート部での堰上げ効果が顕著となり横断面の水面形はほぼ均一となっている。

2. 圧力分布の検討結果をまとめるとつぎのとおりである。

1）ゲートのスキンプレート面上の圧力分布も水面形と全く同様な傾向を示している。すなわち，θ＝20° 以下の倒伏角度ではセンターから左岸側のプレート面の圧力はほぼ均等分布であるが，逆の右岸側では圧力差が大きくなっている。したがって，ゲートへの偏荷重が心配される。

2）θ＝25° 以上では圧力分布はほぼ均等分布となっている。

3）また，今回は設計洪水位だけについて検討を加えたが，当然，貯水位が低くなれば流速が低下するので，この偏荷重も小さくなる筈である。

次に，測定した圧力分布から，各倒伏角度時に働く全水圧荷重，作用点および回転軸に対するモーメントをつぎの手順で求めた。

スキンプレート面上の圧力測点を含む微少区間，dx, dyに作用する荷重P_wは

$$P_W = P \cdot \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \tag{19}$$

この P_W の x，y 方向成分をそれぞれ P_{Wx}，P_{Wy} とすると

$$\left.\begin{aligned} P_{Wx} &= P_W \cdot d_y / \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = P \cdot dy \\ P_{Wy} &= P_W \cdot dx / \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = P \cdot dx \end{aligned}\right\} \tag{20}$$

(20)式から求まる P_{Wx}，P_{Wy} をゲートの回転軸中心線からゲート先端までについて，次式により定積分して，ゲート単位幅当りの総荷重（W_x，W_y）を求めた。

$$\left.\begin{aligned} W_x &= \int P_{Wx} = \int P dy \\ W_y &= \int P_{Wy} = \int P dx \end{aligned}\right\} \tag{21}$$

ここで，微少区間は設置したピエゾ区間とし，区間の中間点の圧力はとなり合う圧力の平均値とし，微少区間は直線と見なし得る区間に細分した。また，回転軸中心線とNo 1 およびNo12とゲート先端区間についてはそれぞれのピエゾ圧力が同等に作用しているものと仮定した。

したがって，W_x，W_y は

$$\begin{aligned} W_x &= \sum_{i=0}^{12} \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2}\right) \cdot (y_{i+1} - y_i) \\ W_y &= \sum_{i=0}^{12} \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2}\right) \cdot (x_{i+1} - X_i) \end{aligned} \tag{22}$$

ただし，$P_0 = P_1$，$P_{13} = P_{12}$ である。

次にゲートの x，y 方向に働く荷重1次モーメントを M_x，M_y とし，時計回りを正とすると

$$\begin{aligned} M_x &= \int y \cdot P_{Wx} = \int y P dy \\ M_y &= \int x \cdot P_{Wy} = \int x P dx \end{aligned} \tag{23}$$

水圧荷重と同様な方法で求めると

$$\left.\begin{aligned} M_x &= \Sigma \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2}\right) \cdot (y_{i+1} - y_i) \cdot \left(\frac{y_{i+1} + y_i}{2}\right) \\ &= \frac{1}{4} \Sigma (P_i + P_{i+1}) \{(y_{i+1})^2 - (y_i)^2\} \\ M_y &= \Sigma \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2}\right) \cdot (x_{i+1} - x_i) \cdot \left(\frac{x_{i+1} + x_i}{2}\right) \\ &= \frac{1}{4} \Sigma (P_i + P_{i+1}) \{(x_{i+1})^2 - (x_i)^2\} \end{aligned}\right\} \tag{24}$$

したがって，W_x，W_y の作用点を X_c，Y_c とすると，$X_c = M_x / W_x$，$Y_c = M_y / W_y$ として求まる。

以上の手順で求めた各ゲート開度毎の全水圧荷重，１次モーメント，作用点は表50に示すとおりである。

表50　各倒伏角度における荷重・モーメント・作用点の計算結果

（設計洪水位EL.401.500m時）
（ゲート単位幅当り）

倒伏角度 θ (°)	水平荷重 W_x(t/m)	鉛直荷重 W_y(t/m)	水平モーメント M_x(t)	鉛直モーメント M_y(t)	合計モーメント M(t)	水平荷重の作用点 Y_c(m)	鉛直荷重の作用点 X_c(m)
-15.474(全開)	-1.23	1.08	-0.96	1.43	0.47	0.78	1.32
0	-0.95	4.32	-0.91	7.06	6.15	0.95	1.64
10	0.34	8.39	-0.08	14.61	14.53	-0.22	1.74
20	2.92	11.86	2.82	20.17	22.99	0.97	1.70
25	4.26	12.26	4.88	19.80	24.68	1.15	1.61
30	5.54	12.18	7.17	18.40	25.57	1.29	1.51
35	6.82	11.90	9.70	16.52	26.22	1.42	1.39
40	7.83	11.12	12.00	13.90	25.90	1.53	1.25
45	8.80	10.28	14.28	11.30	25.58	1.62	1.10

また，倒伏角度(θ)と求めた諸荷重との関係を図93に示す。この図から，倒伏角度がθ =35° のときに，ゲートに作用するモーメントが最大となることが判った。

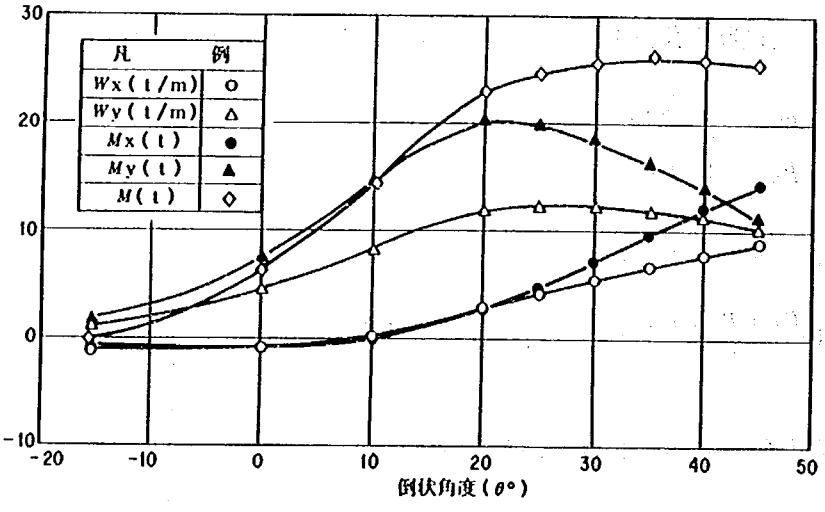


図93　倒伏角度と諸荷重の関係

3.3.4　ゲート背面の需要空気量

平行流入時と同様な計測方法で各倒伏時のゲート背面の需要空気量を求めた。

この場合の放流条件は水位条件３ケース（EL.293.5m，EL.400.0m，EL.401.5m）でピアをカットし，シュートブロックを撤去の状態とした。

これらの測定結果を整理してまとめたのが図94であり，この結果から次のことがいえる。

1）平行流入時と同様に需要空気量および変動量とも倒伏角度0°のケースで最大となる。この理由は前述の如く，カット面が働かない開度となるためである。

2）ゲート全開時は給気管が背水位によってほとんど水没するため働かない状態である。

3）背面の需要空気量の平均値の最大は2.9㎥/sec，変動量の最大は4.2㎥/secである。

3.3.5　偏流に対する検討

前述の如く，高越流頂部に設置されるフラップゲートはゲートが全開に近づくに従って，流入流線の影響を受け，スキンプレート上で偏流が生じゲート面には偏荷重が掛り，放流能力も減少することが明らかとなった。

そこで，ここでは流入部の掘削形状を変えずに，この偏流の影響が最小限となる流入部形状について実験的な検討を行った。

実験における流入部形状は，掘削形状とフラップゲート部の配置位置を変更しない条件および施工性を考慮して，つぎに示す２項目について検討を行ったものである。

1）高越流部の前庭敷高EL.394.0mに方形ブロックを千鳥に配列し，このブロックの整流効果に対する検討。

2）フラップゲート部の流入ピアの形状変更による整流効果に対する検討。

これらの検討実験は，前如の抽出モデル（縮尺＝１／16）で最良形状を選定し，その選定形状を全体模型にフィードバックして行った。

実験での整流効果の判定は，スキンプレート面上３測線（左岸ピア沿い，中央，右岸ピア沿い）の縦断水面形の測定と流況観察によって判断した。抽出実験での実験条件はゲート全開で貯水位は２ケース（サーチャージと設計洪水位）とし，全体実験ではゲート開度と貯水位を組合せた８ケースについて実施した。

1)項のブロック案は，2.5m間隔の千鳥配列を６列とし，ブロックの高さを1.5mに限定したため，越流水深が大きくなるに従って整流効果が小さくなり，サーチャージ水位以上ではほとんど効果が無くなることが判った。また，ブロックの配列と方向を変えても整流効果にそれ程の差異が認められない結果となった。したがって，ブロック案でいかなる放流条件下でも整流効果を高めるには，ブロック高が必然的に高くなり，流入断面が減少し放流能力の低下を増長するものと思われる。

2)項は基本的には，ピアを貯水池側へ延長することにより，ピア先端部で生じる偏流による縮流を上流で発生させ，ゲートスキンプレート面ではその影響が小さくなることを期待したものである。

ここでは，全体模型によって確かめられた偏流の影響を特に受ける山腹側径間に注目し，フラップゲート部２径間のセンターピアをそのまま上流側に突き出す案とピアの突き出し方向を掘削線に合わせた２ケ

ースについて検討を加えた。このピアの突き出し長さは，クレスト前面より 1.5mおよび3.0mとし，水位条件2ケース（サーチャージ水位と設計洪水位）を与えて検討した。

これらの検討結果のうち，最も整流効果があり，スキンプレート上の横断方向の水面差が最小となるのは，図95および表51a～51bに示すように，センターピアをそのまま 3.0m上流側に突き出す形状であった。また，低越流部側のピア形状はこれまでの検討結果（図95参照）で整流効果もほぼ満足されることが判った。表51の測点はクレスト前面から 1.0mを測点No 1とし，それ以後は2mピッチである。したがって，測点No 3以後がスキンプレート上の測点である。

図95に示した改良案形状の検討結果では，貯水位が設計洪水位以下の放流でゲートの倒伏角度が20度以上であればスキンプレート面の横断水面差はほとんど無くなる。また，最大水面差はゲート全開時であるが約0.4m以内に収まっていることから，スキンプレート上における偏荷重の影響は非常に少ないものと判断できる。

図95に示した改良案形状における貯水位－ゲート開度－放流量の調査結果は表52a～52bに示すとおりであった。この表中の流量係数(C_F)は(8)式によって算出したものである。これらの表から明らかなように，各ゲート開度における越流水深(H)とC_Fとの関係はゲート開度(θ)0°および10°の2ケースを除いてHの増加とともにC_Fも増加し，Hがある値以上ではほぼ一定値に漸近する傾向を示している。

$\theta=0°$および$\theta=10°$のケースは，Hの増加中にC_Fが極大値を持っている。この両ケースのゲートの状態は図91に示したように，ゲートのスキンプレート上の中間点に最高点があり，その下流面はゆるやかな曲率面となっているため，極大値を示すHに対しては放流水の流出曲線と一致するが，それ以外のHに対しては水面形の変化により支配断面が変わり，形状損失が働く曲率となるためと考えられる。

これらの結果から，各ゲート開度ごとの流量係数はHの最小値を除くとほぼ一定値と見なせることから，Hを重みとし，各流量係数を乗じた総和（$\Sigma H \cdot C_F$）をHの総和（ΣH）で除した値（$\Sigma HC_F/\Sigma H$），すなわち加重平均値C'_Fを求めた。

次に倒伏角度(θ)とC'_Fとの関係を求めるために，ゲート全開状態のゲートピンの垂直上方のプレート点（ゲートのスキンプレート曲線$y=0.08x^2$の原点）における接線とx軸とのなす角度をθ_Gとすると，θ_Gは0°から60.474°まで変化することから，倒伏角度を代表する無次元量として$\cos\theta_G$を考え，$\cos\theta_G$と$C'_F\cos\theta_G$との関係として示したのが表53である。この$\cos\theta_G$と$C'_F\cos\theta_G$の関係を最小自乗法によって求めると次式が得られた。

表53　$\cos\theta_G$と$C'_F\cos\theta_G$との関係

θ_G	C'_F	$\cos\theta_G$	$C'_F\cos\theta_G$
0°	1.732	1.000	1.732
15.474	1.728	0.964	1.666
25.474	1.783	0.903	1.610
35.474	1.846	0.814	1.503
40.474	1.903	0.761	1.448
45.474	1.972	0.701	1.382
50.474	2.011	0.636	1.279
55.474	2.007	0.567	1.138
60.474	2.026	0.493	0.999

表54　H/H_d と C_F/C'_F との関係

$\theta=-15.474°$		$\theta=0°$		$\theta=10°$		$\theta=20°$		$\theta=25°$	
H/H_d	C_F/C'_F	H/H_d	C_F/C'_F	H/H_d	C_F/C'_F	H/H_d	C_F/C'_F	H/H_d	C_F/C'_F
0.158	0.853	0.142	0.896	0.144	0.814	0.137	0.856	0.136	0.881
0.228	0.899	0.208	0.964	0.215	0.928	0.213	0.922	0.206	0.941
0.355	0.945	0.266	0.976	0.279	0.942	0.272	0.976	0.258	0.984
0.510	0.970	0.349	1.024	0.357	1.010	0.338	0.973	0.388	0.988
0.638	0.981	0.538	1.008	0.513	1.051	0.500	0.996	0.521	1.009
0.742	1.006	0.699	0.995	0.668	1.002	0.633	1.006	0.640	1.010
0.855	1.006	0.835	0.993	0.818	1.005	0.752	1.018	0.752	1.014
0.950	1.015	0.948	1.004	0.919	0.996	0.842	1.020		
1.084	1.043	1.048	1.007						

$\theta=30°$		$\theta=35°$		$\theta=40°$		$\theta=45°$	
H/H_d	C_F/C'_F	H/H_d	C_F/C'_F	H/H_d	C_F/C'_F	H/H_d	C_F/C'_F
0.106	0.881	0.105	0.867	0.132	0.889	0.108	0.903
0.165	0.946	0.194	0.962	0.192	0.981	0.186	0.980
0.264	0.987	0.272	0.986	0.253	0.987	0.255	1.001
0.330	0.998	0.363	0.997	0.300	1.001	0.308	1.008
0.424	1.003	0.452	1.005	0.362	1.002	0.372	1.008
0.501	1.005	0.549	1.008	0.420	1.014	0.427	1.018
0.579	1.007	0.632	1.010	0.469	1.014		
0.658	1.007						

$$C'_F = 2.4483 - 1.55061\cos^2\theta_G + 0.78943\cos^4\theta_G \qquad (25)$$

ただし，　$\theta_G = 0° \sim 60.474°$

この(25)式によって求まる各ゲート開度ごとの流量係数の加重平均値 C'_F と実験値から求めた C'_F との誤差はすべて5％以内に収まっている。

次に C_F とその加重平均値 C'_F との比（C_F/C'_F）および H と設計水深（$H_d = 4.5$m）との比（H/H_d）を求め表54に示す。この表から明らかなように C_F/C'_F と H/H_d との関係は各ゲート開度で H/H_d がある値以上では C_F/C'_F の値がほぼ1.0となることが判った。そこで，C_F/C'_F と H/H_d との関係を最小自乗法によって求めると次式が得られる。

$$C_F = \{\,[\,-0.0185/(H/H_d)\,] + 1.06304\,\} \times C'_F \qquad (26)$$

ここに，　C'_F は(25)式によって求まるゲートの任意角度による流量係数値である。(25)および(26)式によって求めた流量係数値は表52a～52bに示すように数点（全開時と $\theta = 10°$での最小水深時）を除いて，同表に示した実験値との誤差が約4％以内に収まっている。また，両者の精度は各ゲート開度における越流水深の増加につれて誤差率も小さくなる傾向を示すことから，両式ならびに(18)式によって求まる推定放流量は実用可能と判断できる。

表55a～55bは，設計洪水位に波浪高を加えた貯水位EL．402.50m に対する各倒伏角度におけるスキンプレート面の水圧分布の測定結果である。

この測定結果からゲートの単位幅当たりの水圧荷重を前述の方法で求めた結果，水圧荷重の最高値はゲート倒伏角が45°のケースで，その値は約18 ton/m²であった。

3.4　ま と め

以上，述べてきたフラップゲートの模型実験結果をまとめるとつぎのとおりである。

1）フラップゲートを設置する場合は，越流頂形状が偏平となるため，標準越流頂に比べ全開時の流量係数は約1割程度小さくなる。しかし，ゲート半開時には他の引き上げゲートに比べ，貯水池水頭と流量係数の関係が極めて大きいことから，この特性を活かして急激な貯水位の上昇を制御するゲートとして活用できる。

2）今回，最終案形状として試験したフラップゲートの各ゲート開度時の放流量は，実験式(25),(26)および(18)式により実用可能と判断できる。

これらの実験式によって求まる放流量と実験値との精度はおおむね±4％以内に収まっている。

3）フラップゲートの水圧荷重はスキンプレート形状，越流水深および倒伏角度によって異なる。今回の扉高3mの $y = 0.08x^2$ のスキンプレート形状では貯水位が設計洪水位の場合，回転軸に働く1次モーメントおよび水圧荷重の最大値は $\theta = 35°$ のケースである。また，貯水位が設計洪水位に波浪高を加えたEL．402.50m では，それらの最大値は $\theta = 45°$ のケースである。

4) フラップゲートの半開操作時のナップの振動防止策として最も効果的と思われる方法は，ゲートの両側導流壁をゲート先端下流側でカットオフ形状とすることである。また，ゲートの下流勾配が緩やかな場合は通常の給気管を設置しても拡散水による水没等で効果が期待できない場合がある。

5) スポイラー形状の最適形状は，フラップゲートの使用頻度の中で常時満水位維持操作が最も多いと思われることから，先端高 0.7m，底辺の最大幅 0.5m，底辺長 1.0mの三角錐形状が効果的である。この形状で常時満水位維持の放流量 65.0㎥/sec を 2 門操作で越流水脈を切ることができる。また，スポイラー間（4～5 m間隔の縦桁中心）には水脈のごく薄いナップに対して振動防止効果を発揮する乱流スポイラー（波形あるいはノコギリ波）も合せ取付け，効果をあげている実例が多い。

6) フラップゲートが流入流線との角度を持った位置に配置された場合，ゲートの倒伏角度によって偏流や縮流が生じ，放流能力が減少するばかりかスキンプレートに作用する水圧荷重も偏荷重となるので，設計上好ましくない。この偏流を最も効果的に軽減するには，図　に示す流入部形状とする。

7) フラップゲート下流のシュートブロックは，ゲート背面水位の上昇とスキンプレート先端に浮力の作用となるため設置しない方が良い。

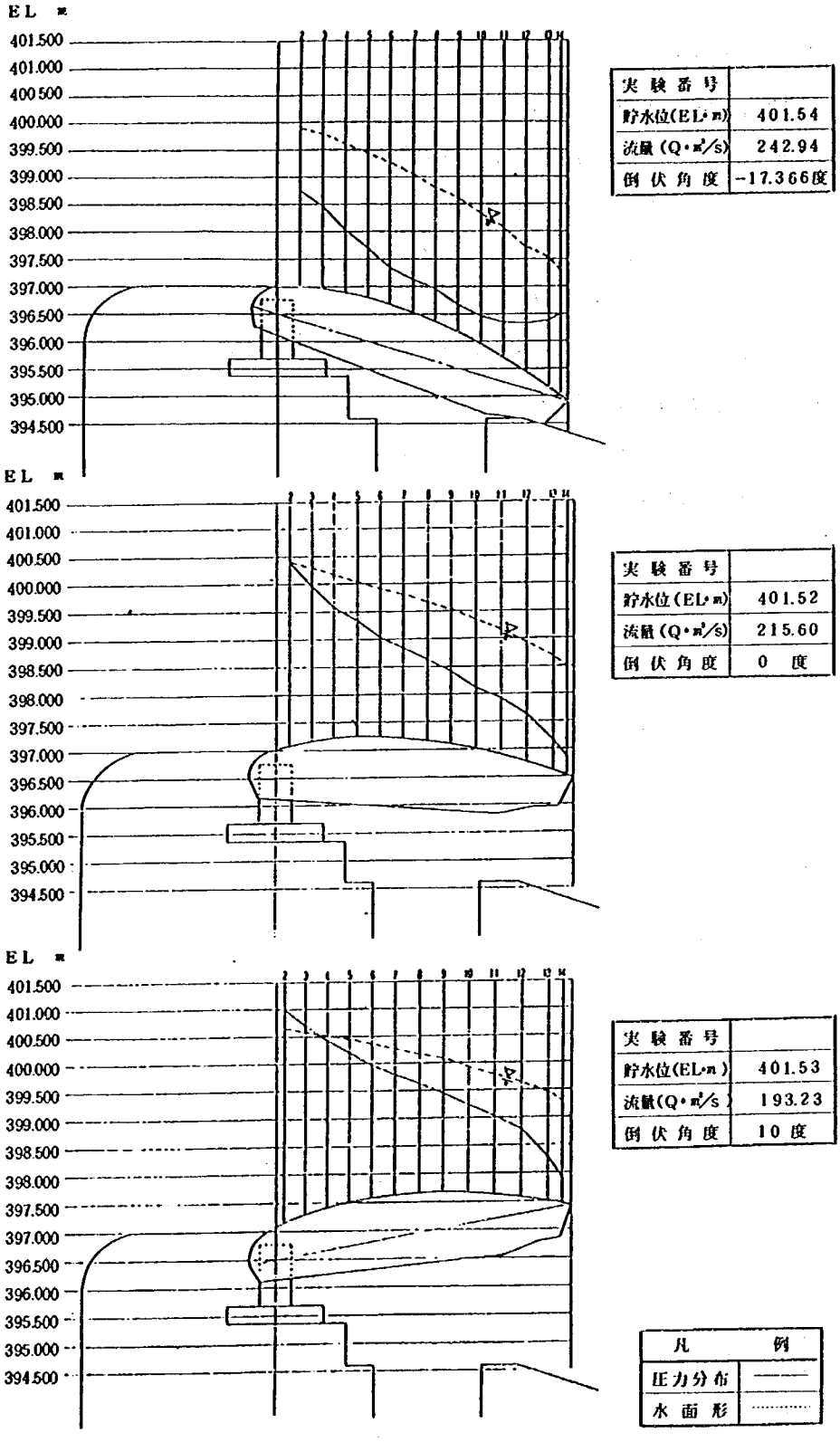
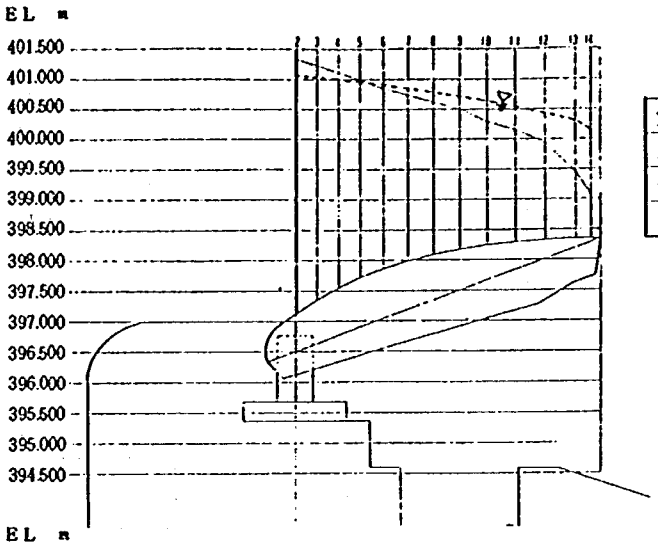
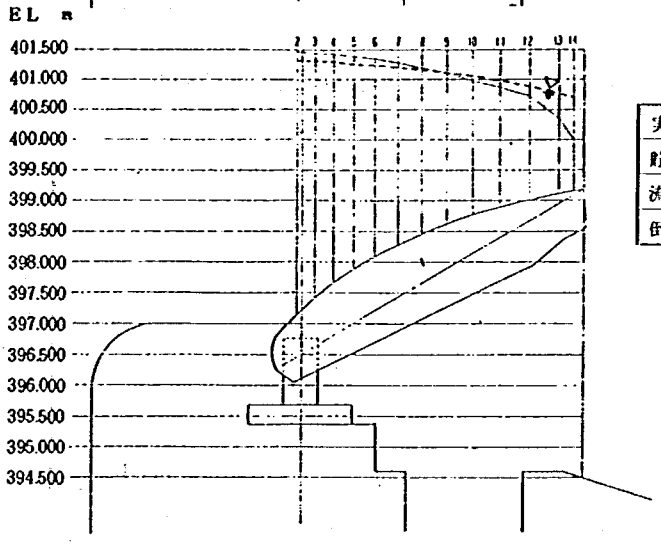


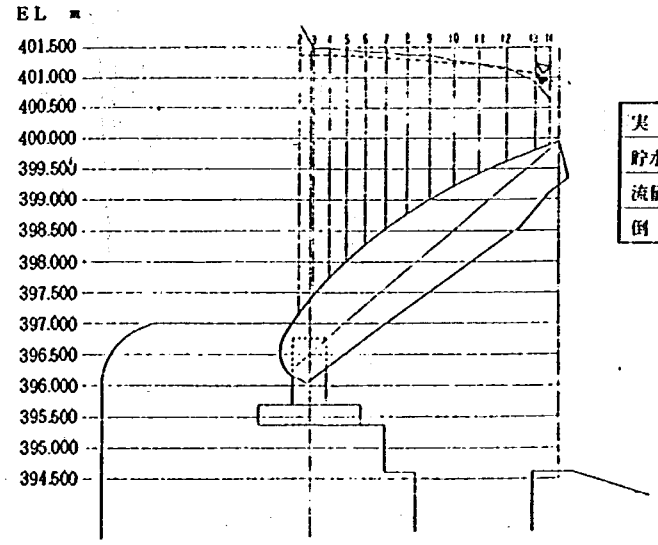
図73 a　圧力および水面形測定結果図



実験番号	
貯水位(EL・m)	401.53
流量(Q・m³/s)	148.74
倒伏角度	20 度



実験番号	
貯水位(EL・m)	401.53
流量(Q・m³/s)	96.72
倒伏角度	30 度



実験番号	
貯水位(EL・m)	401.53
流量(Q・m³/s)	55.86
倒伏角度	40 度

凡例	
圧力分布	———
水面形	·····

図73 b　圧力および水面形測定結果図

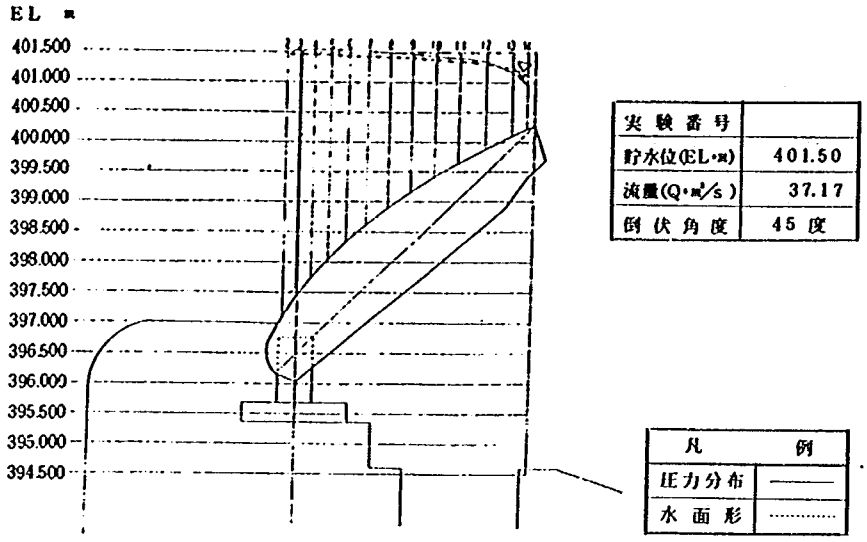


図73ｃ　圧力および水面形測定結果図

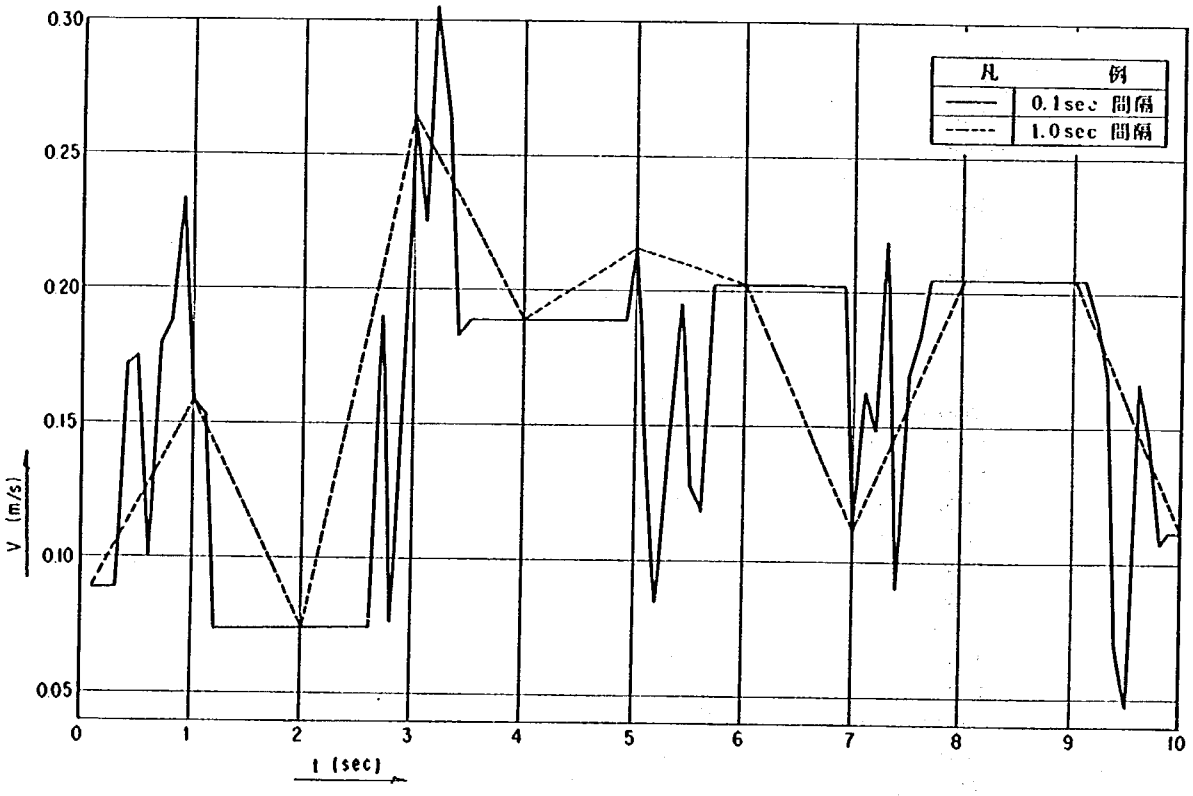
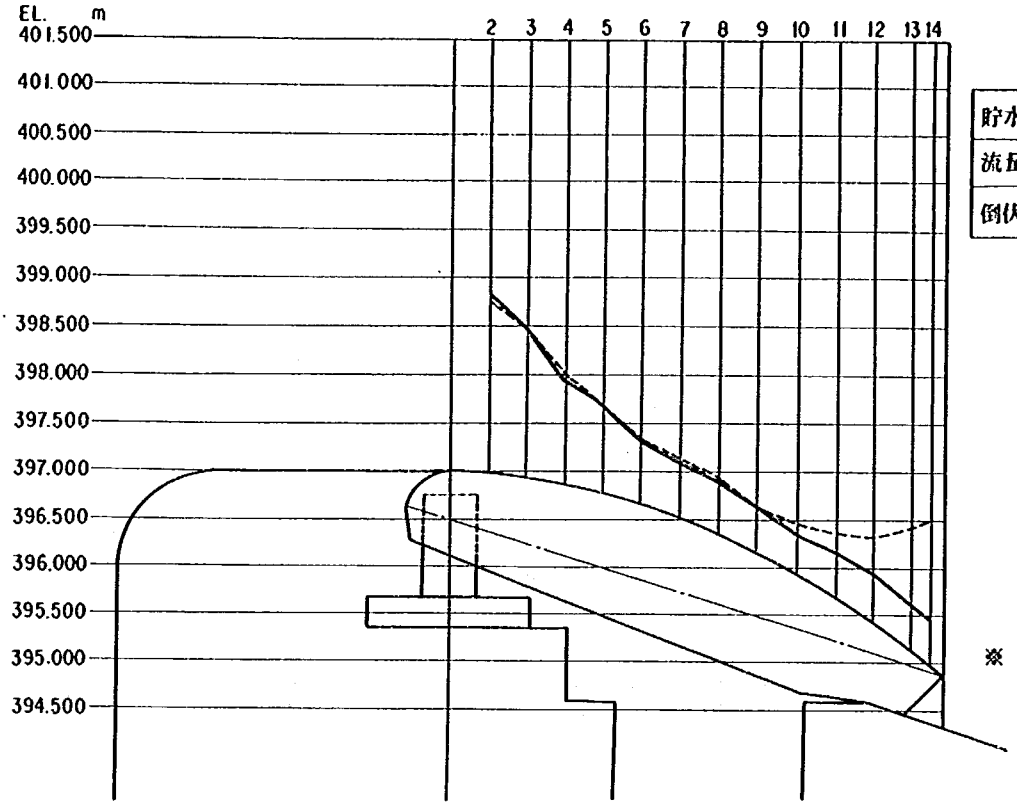


図74　給気管内の風速変動図（θ =30°）

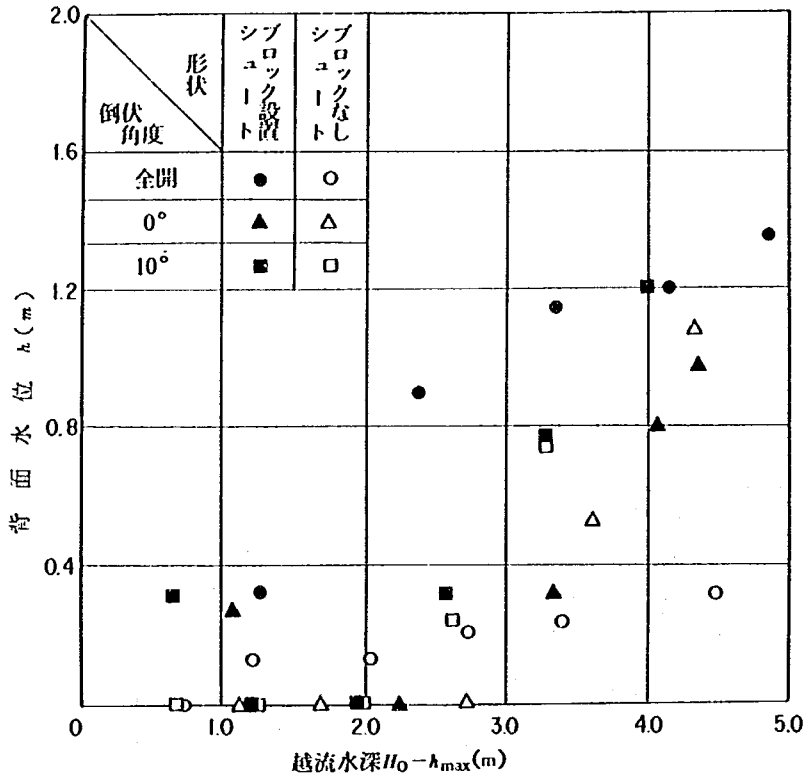


貯水位(EL.m)	401.54
流量(Q.m³/s)	242.84
倒伏角度(θ°)	-17.366(全開)

※ 破線はシュートブロックを設置したときの水圧分布である。

測定 No	測点位置 X：距離 (m)	測点位置 Y：標高 (ELm)	圧力 ピエゾ水頭 (ELm)	圧力 圧力水頭 (m)
1	0.00	397.00		
2	0.40	396.99	398.808	1.818
3	0.80	396.95	398.488	1.538
4	1.20	396.88	397.944	1.064
5	1.60	396.80	397.704	0.904
6	2.00	396.68	397.320	0.640
7	2.40	396.54	397.080	0.540
8	2.80	396.37	396.904	0.534
9	3.20	396.18	396.632	0.452
10	3.60	395.96	396.344	0.384
11	4.00	395.72	396.152	0.432
12	4.40	395.45	395.928	0.478
13	4.80	395.16	395.592	0.432
14	5.04	394.97	395.464	0.494
15	5.13	394.90		

図83 ゲート面上の水圧分布図



θ(°)	シュープロックを設置		シュートブロックを設置しない	
	越流水深 H_0-h_{max}(m)	背面水位 h (m)	越流水深 H_0-h_{max}(m)	背面水位 h (m)
全開	1.26	0.32	0.72	0
	2.36	0.90	1.19	0.13
	3.34	1.15	2.03	0.13
	4.14	1.20	2.72	0.21
	4.84	1.36	3.40	0.24
	–	–	4.48	0.32
0°	1.06	0.27	0.70	0
	2.22	0	1.11	0
	3.33	0.32	1.68	0
	4.05	0.80	2.71	0
	4.36	0.98	3.61	0.53
	–	–	4.34	1.09
10°	0.65	0.32	0.69	0
	1.19	0	1.24	0
	1.96	0	1.98	0
	2.57	0.32	2.61	0.24
	3.26	0.77	3.27	0.74
	3.97	1.20	3.98	1.20

※背面水位：EL. 394.516 m を基準とする。

図84　ゲート背面水位－越流水深の関係図

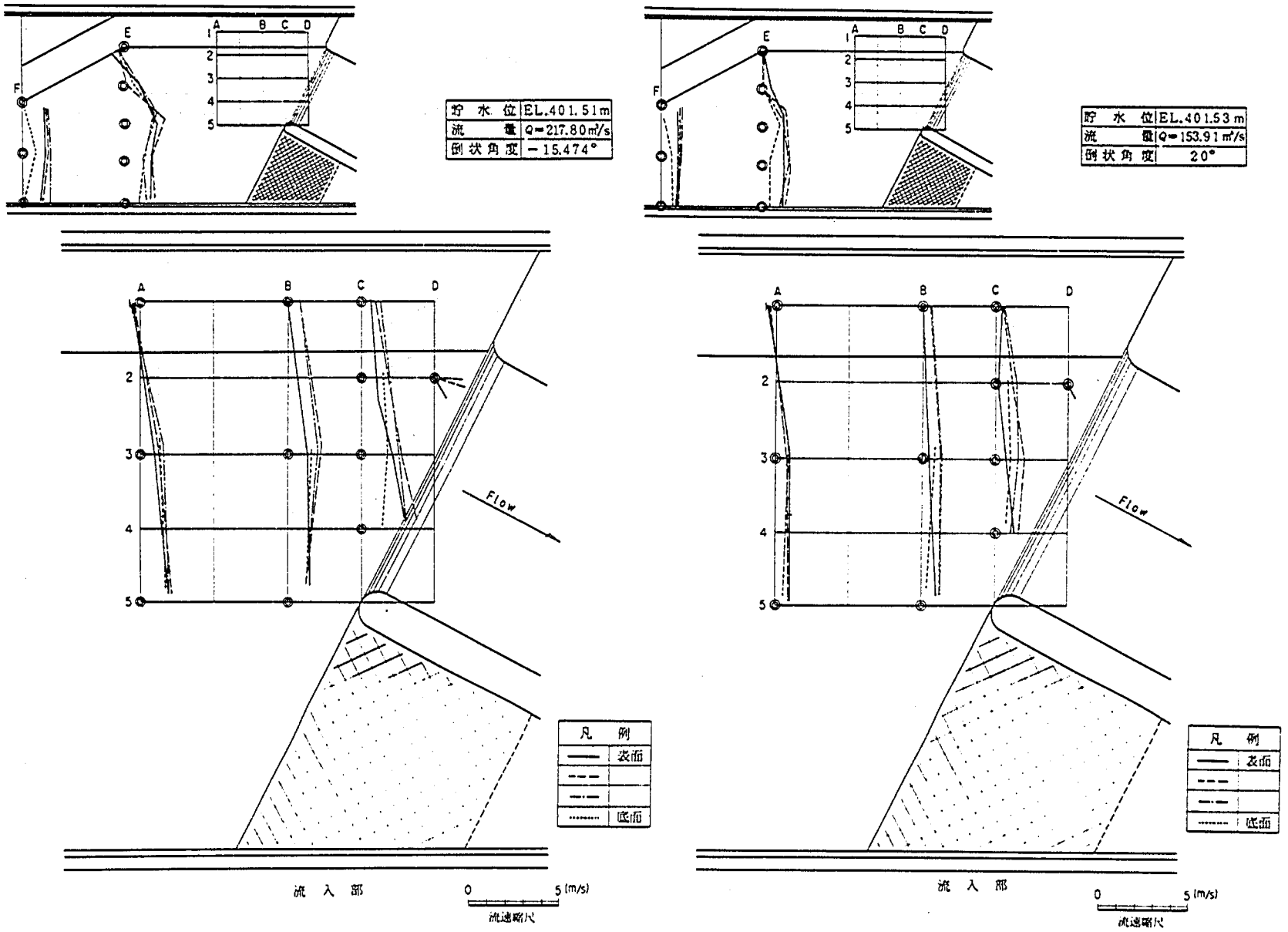


図89a　流入部流速測定結果図

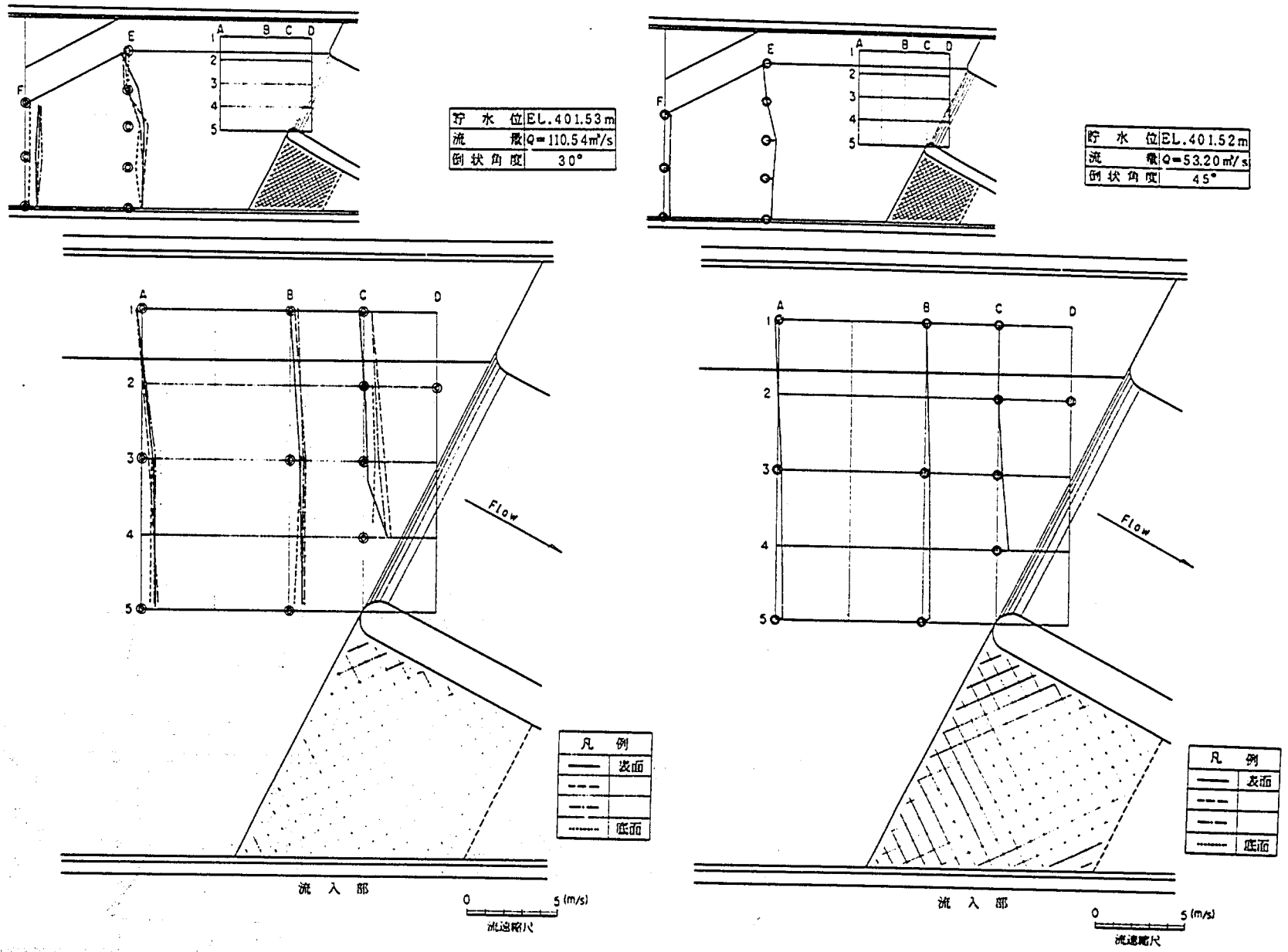


図89 b　流入部流速測定結果図

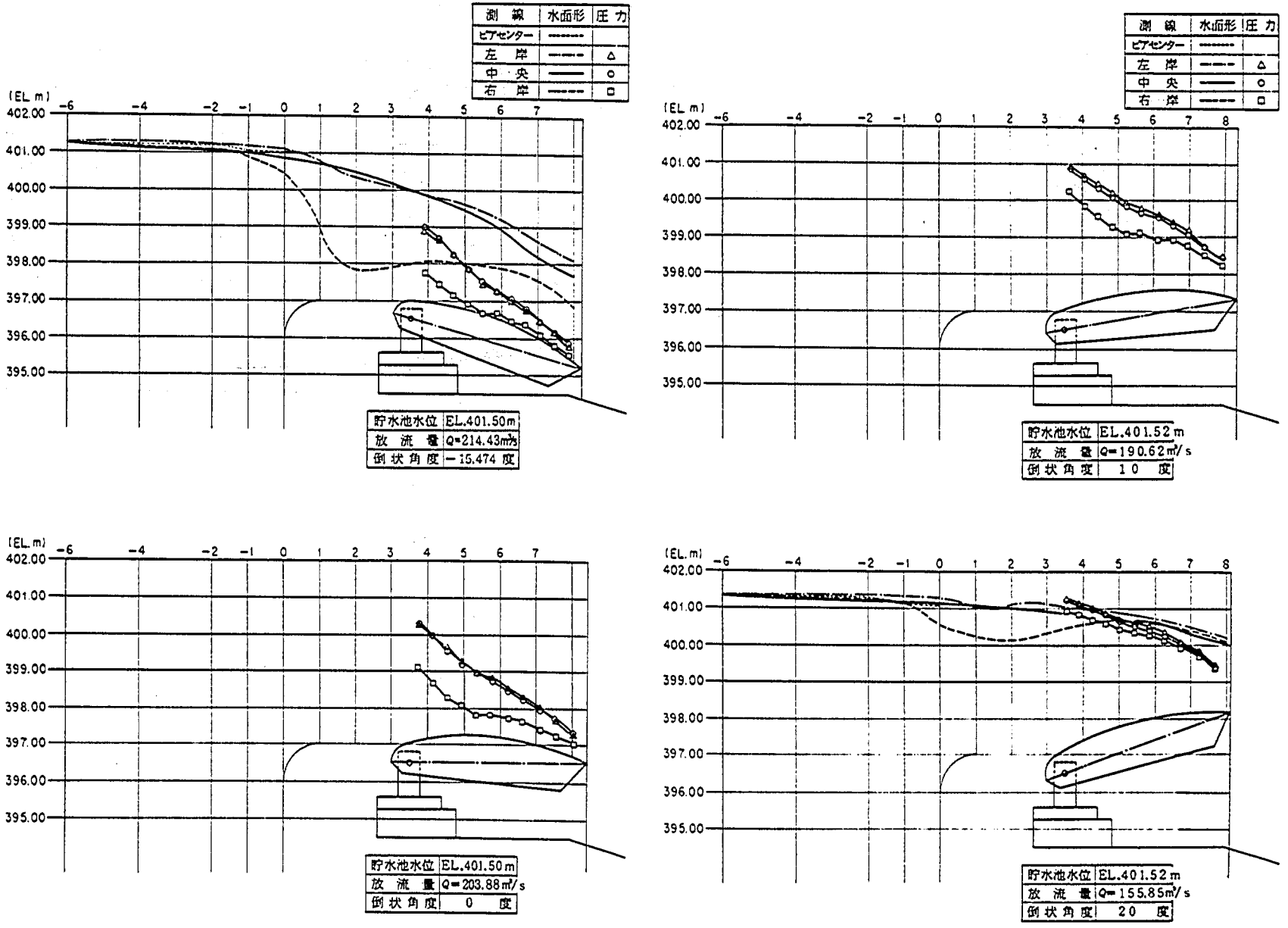


図92 a　水面形および圧力分布測定結果図

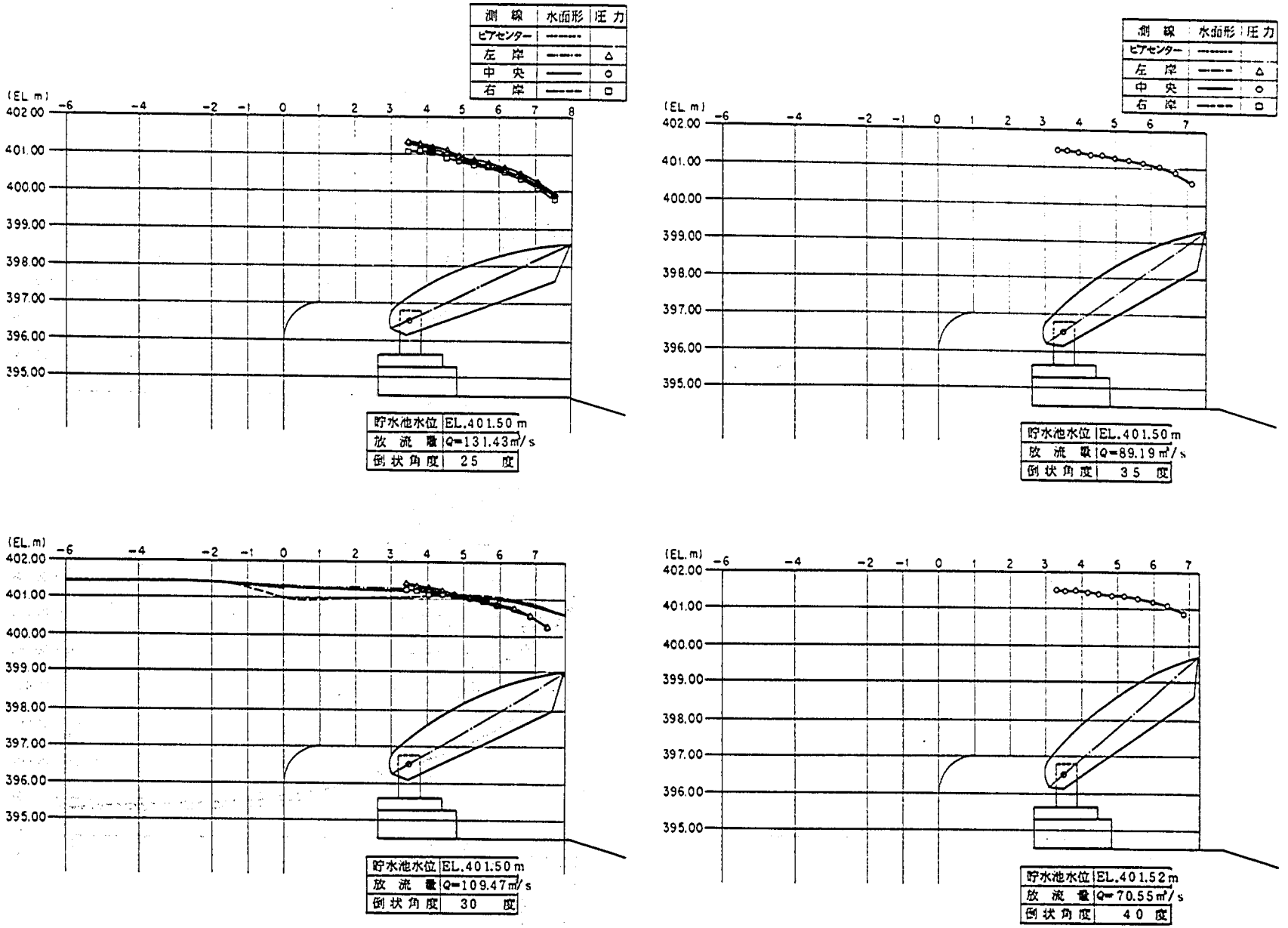


図92 b　水面形および圧力分布測定結果図

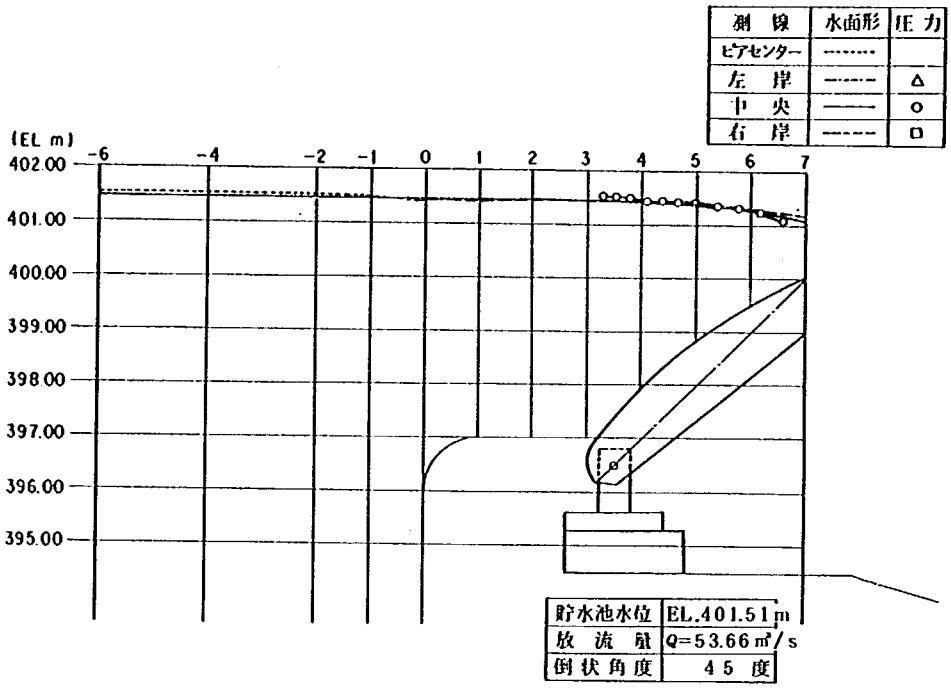
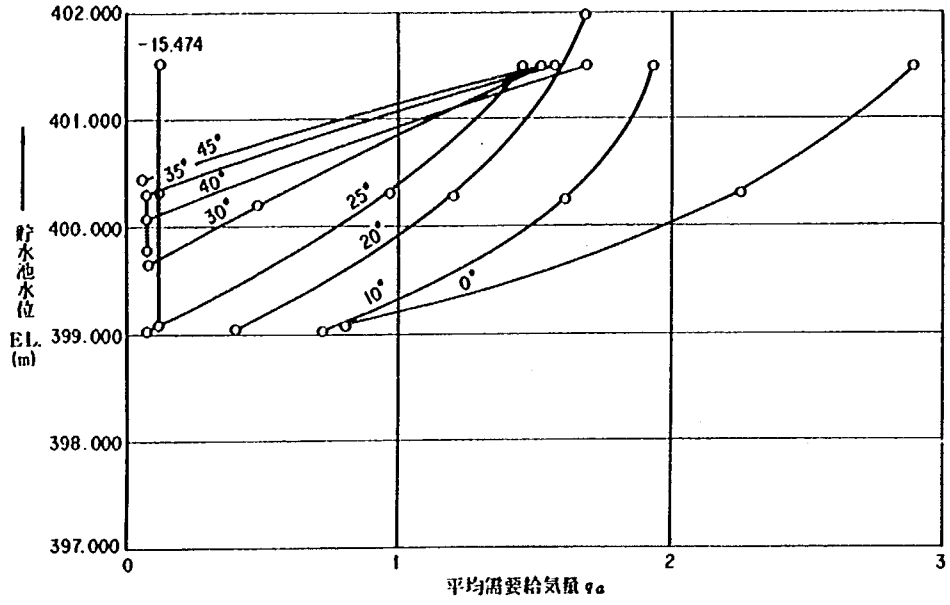


図92ｃ　水面形および圧力分布測定結果図



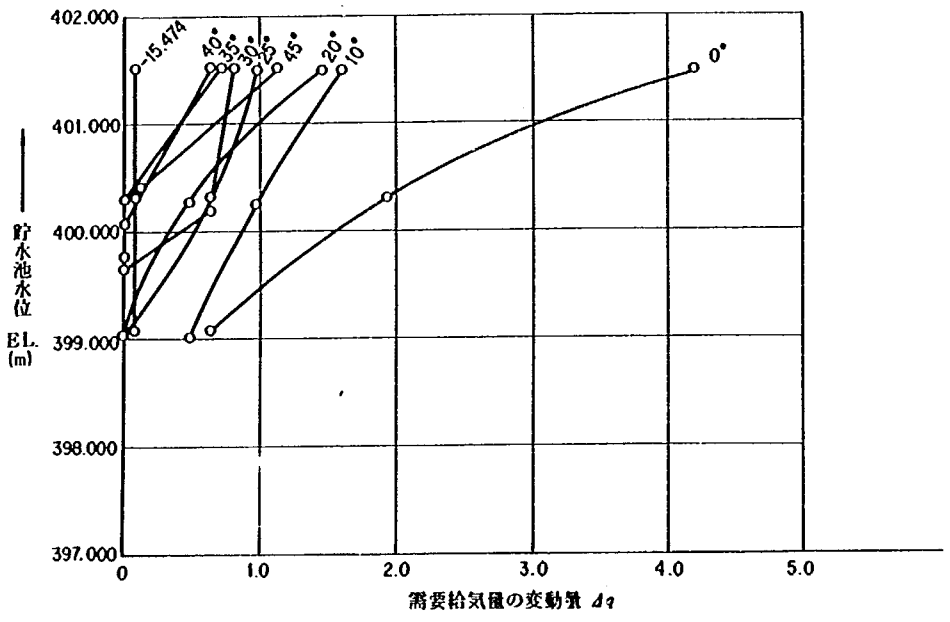
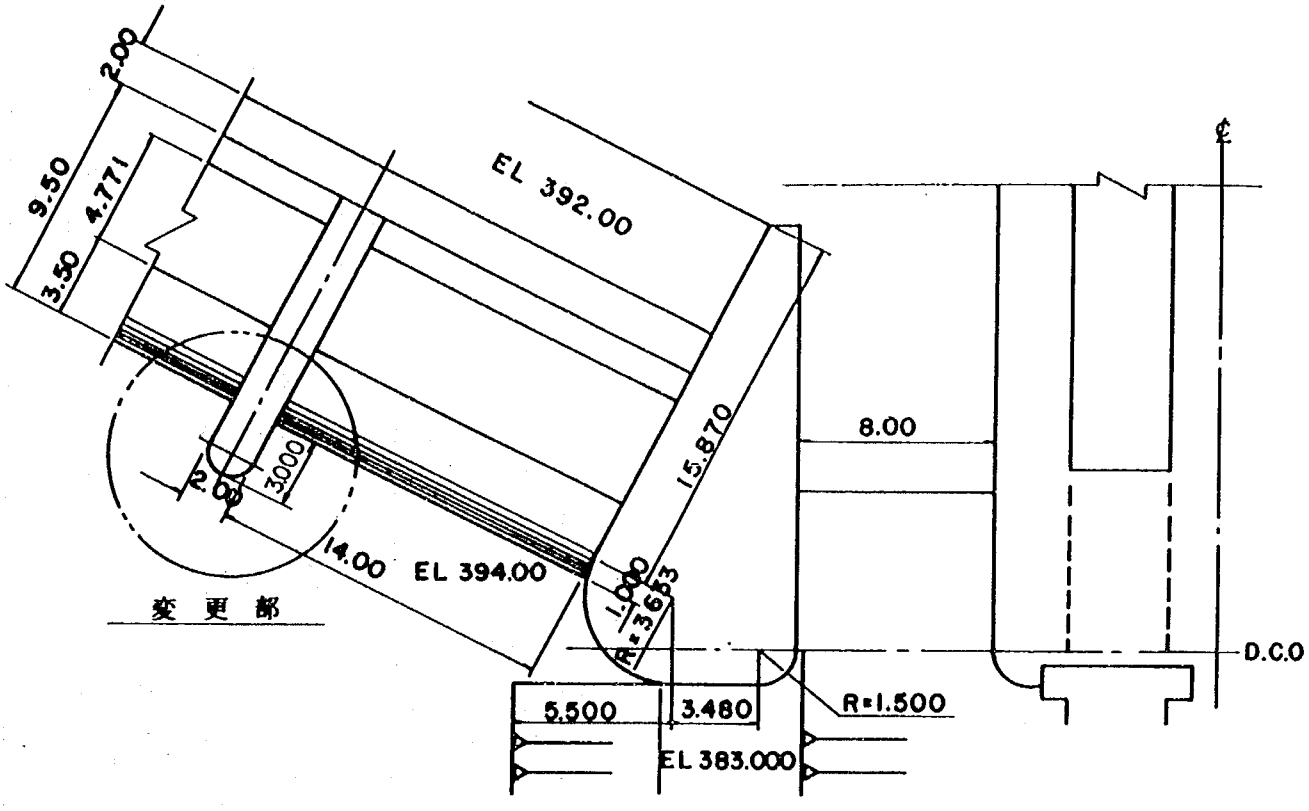
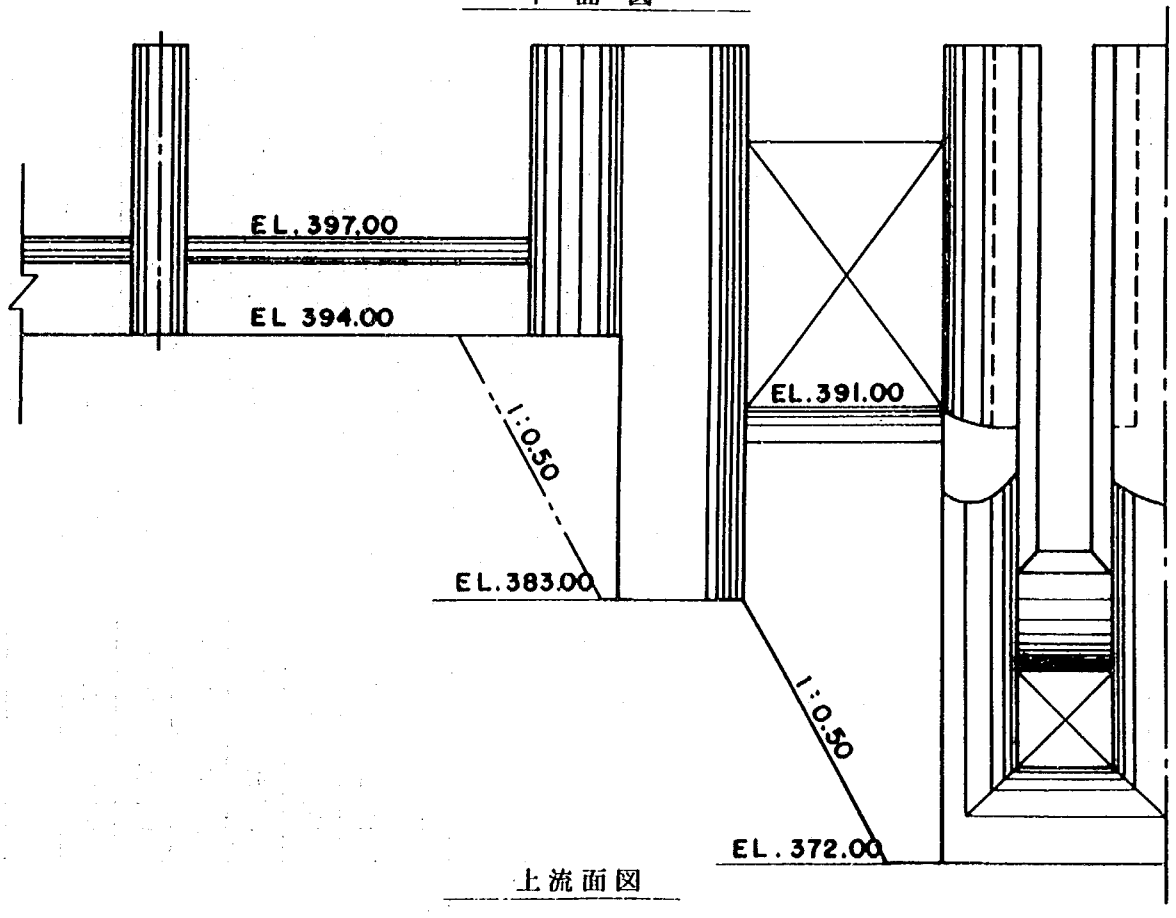


図94　倒伏角度と需要給気量の関係



平面図



上流面図

図95　偏流防止改良案形状図

表36　貯水位－放流量－倒伏角度関係数値表

倒伏角度 (θ)°	WL	Q	H	H/Hd	C	C_F
−17.366°	398.06	22.94	1.06	0.24	1.506	1.506
	398.96	62.05	1.96	0.44	1.615	1.615
	399.68	102.37	2.68	0.60	1.665	1.665
	400.29	143.56	3.29	0.73	1.718	1.718
	400.86	185.00	3.86	0.86	1.742	1.742
	401.51	238.56	4.51	1.00	1.781	1.781
0°	398.71	40.89	1.71	0.38	1.309	1.690
	399.51	82.47	2.51	0.56	1.483	1.757
	400.20	123.22	3.20	0.71	1.537	1.755
	400.82	164.93	3.82	0.85	1.576	1.761
	401.40	207.56	4.40	0.98	1.604	1.766
10°	398.91	31.23	1.91	0.42	0.846	1.655
	399.56	61.71	2.56	0.57	1.076	1.724
	400.10	92.30	3.10	0.69	1.206	1.762
	400.56	123.77	3.56	0.79	1.315	1.818
	400.98	153.19	3.98	0.88	1.378	1.834
	401.43	185.55	4.43	0.98	1.420	1.832
	401.84	215.38	4.84	1.08	1.446	1.820

倒伏角度 (θ)°	WL	Q	H	H/Hd	C	C_F
20°	399.57	31.33	2.57	0.57	0.542	1.641
	400.20	61.74	3.20	0.71	0.770	1.739
	400.73	91.72	3.73	0.83	0.911	1.773
	401.21	123.49	4.21	0.94	1.020	1.814
	401.65	154.25	4.65	1.03	1.097	1.830
	402.03	184.97	5.03	1.12	1.170	1.864
	402.33	215.48	5.33	1.18	1.252	1.931
	402.62	248.22	5.62	1.25	1.332	2.002
30°	400.31	30.99	3.31	0.74	0.368	1.868
	400.92	61.44	3.92	0.87	0.565	1.929
	401.43	91.68	4.43	0.98	0.702	1.953
	401.90	122.61	4.90	1.09	0.807	1.963
	402.33	154.32	5.33	1.18	0.896	1.981
40°	400.99	31.64	3.99	0.89	0.284	2.131
	401.57	60.69	4.57	1.02	0.444	2.102
	402.08	91.65	5.08	1.13	0.572	2.106
45°	401.12	20.28	4.12	0.92	0.173	1.951
	401.36	30.48	4.36	0.97	0.239	1.995
	401.98	61.88	4.98	1.11	0.398	2.030
	402.49	92.77	5.49	1.22	0.515	2.045

表37a　圧力および水面形測定結果表

θ	−17.366度
W. L.	401.54m
Q	242.84㎥/s

測点 No.	測点位置 X:距離 (m)	測点位置 Y:標高 (EL.m)	圧力 ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力 圧力水頭 (m)	水面形 (EL.m)
1	0.00	397.00	—	—	—
2	0.40	396.99	398,744	1.754	399.90
3	0.80	396.95	398,488	1.538	399.81
4	1.20	396.88	398,040	1.160	399.62
5	1.60	396.80	397,704	0.904	399.46
6	2.00	396.68	397,368	0.688	399.30
7	2.40	396.54	397,128	0.588	399.07
8	2.80	396.37	396,968	0.598	398.82
9	3.20	396.18	396,680	0.500	398.63
10	3.60	395.96	396,472	0.512	398.34
11	4.00	395.72	396,360	0.640	398.07
12	4.40	395.45	396,328	0.878	397.73
13	4.80	395.16	396,392	1.232	397.54
14			396,504		
15	5.13	394.90	—	—	—

θ	0度
W. L.	401.52m
Q	215.60㎥/s

測点 No.	測点位置 X:距離 (m)	測点位置 Y:標高 (EL.m)	圧力 ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力 圧力水頭 (m)	水面形 (EL.m)
1	−0.15	396.98	—	—	—
2	0.24	397.08	400,392	3.312	400.38
3	0.63	397.17	399,960	2.790	400.27
4	1.03	397.23	399,592	2.362	400.15
5	1.44	397.26	399,336	2.076	400.02
6	1.86	397.27	399,032	1.762	399.90
7	2.28	397.25	398,840	1.590	399.79
8	2.71	397.21	398,632	1.422	399.65
9	3.15	397.15	398,408	1.258	399.51
10	3.60	397.06	398,120	1.060	399.32
11	4.05	396.95	397,928	0.978	399.15
12	4.51	396.81	397,640	0.830	398.91
13	4.98	396.65	397,160	0.510	398.68
14			396,856		
15	5.37	396.50	—	—	—

θ	10度
W. L.	401.53m
Q	193.23㎥/s

測点 No.	測定位置 X:距離 (m)	測定位置 Y:標高 (EL.m)	圧力 ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力 圧力水頭 (m)	水面形 (EL.m)
1	−0.23	396.94	—	—	—
2	0.13	397.12	400,992	3.872	400.66
3	0.50	397.27	400,696	3.426	400.59
4	0.89	397.39	400,424	3.034	400.52
5	1.29	397.50	400,200	2.700	400.45
6	1.69	397.58	399,976	2.396	400.36
7	2.11	397.64	399,800	2.160	400.27
8	2.55	397.67	399,640	1.970	400.17
9	2.99	397.69	399,448	1.758	400.09
10	3.44	397.68	399,240	1.560	399.94
11	3.91	397.65	399,032	1.382	399.80
12	4.39	397.59	398,792	1.202	399.65
13	4.88	397.51	398,280	0.770	399.48
14			397,912		
15	5.29	397.43	—	—	—

θ	20度
W. L.	401.51m
Q	148.74㎥/s

測点 No.	測点位置 X:距離 (m)	測点位置 Y:標高 (EL.m)	圧力 ピエゾ水頭 (EL. m)	圧力 圧力水頭 (m)	水面形 (EL.m)
1	−0.30	396.90	—	—	—
2	0.02	397.13	401,336	4,206	401.07
3	0.36	397.34	401,240	3,900	401.03
4	0.72	397.53	401,112	3,582	401.00
5	1.09	397.71	401,000	3,290	400.96
6	1.48	397.86	400,856	2,996	400.92
7	1.88	397.99	400,744	2,754	400.87
8	2.30	398.10	400,632	2,532	400.80
9	2.74	398.19	400,504	2,314	400.74
10	3.19	398.26	400,296	2,036	400.66
11	3.65	398.31	400,152	1,842	400.56
12	4.13	398.34	399,944	1,604	400.44
13	4.63	398.35	399,464	1,114	400.32
14			399,064		400.16
15	5.05	398.34	—	—	—

表37 b　圧力および水面形測定結果表

θ	30度
W. L.	401.51m
Q	96.72㎥/s

測定No	測定位置 X:距離(m)	測定位置 Y:標高(EL.m)	圧力 ピエゾ水頭(EL.m)	圧力 圧力水頭(m)	水面形(EL.m)
1	−0.37	396.84	—	—	—
2	−0.09	397.12	401,480	4,360	401.29
3	0.21	397.39	401,432	4,042	401.29
4	0.53	397.64	401,432	3,792	401.28
5	0.87	397.88	401,384	3,504	401.24
6	1.22	398.09	401,336	3,246	401.22
7	1.60	398.29	401,272	2,982	401.19
8	1.99	398.47	401,192	2,722	401.16
9	2.40	398.64	401,112	2,472	401.11
10	2.83	398.78	400,984	2,204	401.06
11	3.28	398.91	400,872	1,962	400.99
12	3.75	399.03	400,728	1,698	400.90
13	4.24	399.12	400,344	1,224	400.78
14			399.992		
15	4.65	399.19	—	—	—

θ	40度
W. L.	401.51m
Q	55.86㎥/s

測定No	測定位置 X:距離(m)	測定位置 Y:標高(EL.m)	圧力 ピエゾ水頭(EL.m)	圧力 圧力水頭(m)	水面形(EL.m)
1	−0.42	396.77	—	—	—
2	−0.19	397.10	401,912	4,812	401.39
3	0.05	397.42	401,480	4,060	401.38
4	0.32	397.72	401,480	3,760	401.38
5	0.61	398.01	401,464	3,454	401.36
6	0.93	398.28	401,432	3,152	401.35
7	1.26	398.54	401,416	2,876	401.34
8	1.62	398.79	401,368	2,578	401.31
9	1.99	399.02	401,368	2,348	401.28
10	2.39	399.24	401,288	2,048	401.25
11	2.81	399.45	401,240	1,790	401.20
12	3.26	399.64	401,176	1,536	401.14
13	3.72	399.82	400.920	1,100	401.06
14			400,632		
15	4.12	399.95	—	—	—

θ	45度
W. L.	401.50m
Q	37.17㎥/s

測定No	測定位置 X:距離(m)	測定位置 Y:標高(EL.m)	圧力 ピエゾ水頭(EL.m)	圧力 圧力水頭(m)	水面形(EL.m)
1	−0.44	396.73	—	—	—
2	−0.25	397.08	401,544	4,464	401.45
3	−0.03	397.42	401,528	4,108	401.45
4	0.22	397.74	401,544	3,804	401.45
5	0.48	398.05	401,544	3,494	401.44
6	0.77	398.36	401,544	3,184	401.43
7	1.08	398.64	401,528	2,888	401.43
8	1.41	398.92	401,496	2,576	401.42
9	1.77	399.19	401,464	2,274	401.39
10	2.15	399.44	401,432	1,992	401.37
11	2.55	399.68	401,400	1,720	401.34
12	2.97	399.91	401,352	1,442	401.30
13	3.42	400.13	401,176	1,046	401.23
14			400,968		
15	3.80	400.30	—	—	—

表38 a　風速変動測定結果表

実験番号	
貯水位	EL 399.87 m
流量	103.70㎥/S
倒伏角度	0 度

1	0.0420
2	0.0420
3	0.0440
4	0.0420
5	0.0430
6	0.0380
7	0.0400
8	0.0360
9	0.0350
10	0.0360
1	0.0380
2	0.0490
3	0.0610
4	0.0550
5	0.0570
6	0.0600
7	0.0620
8	0.0540
9	0.0610
10	0.0600
1	0.0560
2	0.0720
3	0.0690
4	0.0670
5	0.0680
6	0.0560
7	0.0520
8	0.0570
9	0.0520
10	0.0480
1	0.0530
2	0.0570
3	0.0570
4	0.0670
5	0.0710
6	0.0830
7	0.0760
8	0.0710
9	0.0720
10	0.0730
1	0.1050
2	0.1050
3	0.1100
4	0.1180
5	0.1130
6	0.0980
7	0.1010
8	0.1170
9	0.1070
10	0.1030
1	0.0840
2	0.0730
3	0.0530
4	0.0630
5	0.0770
6	0.0640
7	0.0680
8	0.0720
9	0.0740
10	0.0650

実験番号	
貯水位	EL 401.152 m
流量	215.60㎥/S
倒伏角度	0 度

1	0.1270
2	0.1300
3	0.1450
4	0.1630
5	0.1560
6	0.1590
7	0.1500
8	0.1290
9	0.1190
10	0.1040
1	0.1090
2	0.1120
3	0.1140
4	0.1240
5	0.1190
6	0.1190
7	0.1210
8	0.1230
9	0.1180
10	0.1030
1	0.0970
2	0.0930
3	0.1270
4	0.1070
5	0.1180
6	0.1200
7	0.1250
8	0.1000
9	0.1040
10	0.1120
1	0.1030
2	0.1070
3	0.1100
4	0.1100
5	0.1300
6	0.1270
7	0.1130
8	0.1100
9	0.1030
10	0.1250
1	0.1230
2	0.1200
3	0.1250
4	0.1220
5	0.1210
6	0.1310
7	0.1430
8	0.1390
9	0.1330
10	0.1030
1	0.1030
2	0.1170
3	0.1120
4	0.1290
5	0.1370

実験番号	
貯水位	EL 401.53 m
流量	193.23㎥/S
倒伏角度	10 度

1	0.2420
2	0.2010
3	0.2040
4	0.1560
5	0.1570
6	0.1920
7	0.2010
8	0.2060
9	0.1760
10	0.1590
1	0.1730
2	0.1480
3	0.1650
4	0.1770
5	0.1810
6	0.1830
7	0.2110
8	0.2090
9	0.1850
10	0.1890
1	0.1990
2	0.2030
3	0.2140
4	0.1810
5	0.1880
6	0.2160
7	0.2160
8	0.1790
9	0.2040
10	0.2120
1	0.2380
2	0.2150
3	0.2080
4	0.1990
5	0.2110
6	0.2130
7	0.2230
8	0.2190
9	0.2300
10	0.1930
1	0.1970
2	0.2110
3	0.2030
4	0.1950
5	0.1910
6	0.1900
7	0.1680
8	0.1640
9	0.1920
10	0.1920
1	0.2230
2	0.1940
3	0.1590
4	0.1660
5	0.1930
6	0.2130
7	0.2350
8	0.2310
9	0.2050
10	0.1630

実験番号	
貯水位	EL 401.51 m
流量	148.74㎥/S
倒伏角度	20 度

1	0.1380
2	0.1380
3	0.1380
4	0.1380
5	0.1380
6	0.1380
7	0.1000
8	0.1400
9	0.1530
10	0.1360
1	0.1810
2	0.1770
3	0.1340
4	0.0890
5	0.1050
6	0.1050
7	0.1050
8	0.1050
9	0.1050
10	0.1310
1	0.1190
2	0.1140
3	0.1420
4	0.1090
5	0.1460
6	0.1460
7	0.1460
8	0.1460
9	0.1460
10	0.1460
1	0.1460
2	0.0970
3	0.1290
4	0.1150
5	0.1310
6	0.1310
7	0.1310
8	0.1310
9	0.1310
10	0.1310
1	0.1310
2	0.1310
3	0.1310
4	0.1310
5	0.0890
6	0.1330
7	0.1220
8	0.1280
9	0.1280
10	0.1280
1	0.1280
2	0.1280
3	0.1800
4	0.1680
5	0.1650
6	0.1540
7	0.1390
8	0.1370
9	0.1370
10	0.1370

表38 b　風速変動測定結果表

実験番号	
貯水位	EL 401.51 m
流量	96.72 ㎥/S
倒伏角度	30 度

1	0.0 8 9 0
2	0.1 5 9 0
3	0.0 7 4 0
4	0.2 6 4 0
5	0.1 8 9 0
6	0.2 1 6 0
7	0.2 0 2 0
8	0.1 1 1 0
9	0.2 0 5 0
10	0.1 1 1 0
1	0.1 1 1 0
2	0.1 7 3 0
3	0.1 7 3 0
4	0.1 3 0 0
5	0.1 3 0 0
6	0.1 0 3 0
7	0.1 0 8 0
8	0.1 0 8 0
9	0.0 9 7 0
10	0.0 6 5 0
1	0.0 7 5 0
2	0.0 7 5 0
3	0.1 1 0 0
4	0.0 6 2 0
5	0.0 9 3 0
6	0.0 9 8 0
7	0.1 0 9 0
8	0.1 1 5 0
9	0.1 5 1 0
10	0.1 2 9 0
1	0.1 2 9 0
2	0.1 8 5 0
3	0.1 8 5 0
4	0.1 1 9 0
5	0.1 7 8 0
6	0.1 9 3 0
7	0.1 9 7 0
8	0.1 9 2 0
9	0.1 4 8 0
10	0.0 6 6 0
1	0.1 7 2 0
2	0.0 7 5 0
3	0.1 4 4 0
4	0.1 4 1 0
5	0.0 8 4 0
6	0.1 5 4 0
7	0.0 7 6 0
8	0.1 6 2 0
9	0.0 5 8 0
10	0.0 5 8 0
1	0.0 6 6 0
2	0.0 5 3 0
3	0.0 4 9 0
4	0.0 6 3 0
5	0.0 5 9 0
6	0.1 0 4 0
7	0.1 0 4 0
8	0.1 5 0 0
9	0.0 8 0 0
10	0.1 3 2 0

実験番号	
貯水位	EL 401.51 m
流量	55.86 ㎥/S
倒伏角度	40 度

1	0.1 0 1 0
2	0.1 1 2 0
3	0.1 2 1 0
4	0.1 2 1 0
5	0.1 2 1 0
6	0.1 2 1 0
7	0.0 8 9 0
8	0.1 1 6 0
9	0.0 9 4 0
10	0.1 4 1 0
1	0.1 4 1 0
2	0.1 4 1 0
3	0.1 4 1 0
4	0.1 4 1 0
5	0.1 4 1 0
6	0.1 4 1 0
7	0.1 4 1 0
8	0.1 1 7 0
9	0.1 1 8 0
10	0.1 4 8 0
1	0.1 0 4 0
2	0.1 1 7 0
3	0.1 1 0 0
4	0.1 6 1 0
5	0.1 6 1 0
6	0.1 6 1 0
7	0.1 6 1 0
8	0.1 6 1 0
9	0.1 5 2 0
10	0.1 5 0 0
1	0.1 4 0 0
2	0.1 6 7 0
3	0.1 1 8 0
4	0.1 1 8 0
5	0.1 1 8 0
6	0.1 1 8 0
7	0.1 1 8 0
8	0.1 1 8 0
9	0.1 4 8 0
10	0.1 4 4 0
1	0.1 5 3 0
2	0.1 4 9 0
3	0.1 4 9 0
4	0.1 4 9 0
5	0.1 4 9 0
6	0.1 4 9 0
7	0.1 6 0 0
8	0.1 4 2 0
9	0.1 3 3 0
10	0.1 5 4 0
1	0.1 1 7 0
2	0.1 1 7 0
3	0.1 1 7 0
4	0.1 1 7 0
5	0.1 1 7 0
6	0.1 1 7 0
7	0.1 1 7 0
8	0.1 3 3 0
9	0.1 0 2 0
10	0.1 6 2 0

実験番号	
貯水位	EL 401.50 m
流量	37.17 ㎥/S
倒伏角度	45 度

1	0.0 6 7 0
2	0.0 6 8 0
3	0.0 5 2 0
4	0.0 5 0 0
5	0.0 6 9 0
6	0.0 6 1 0
7	0.0 6 8 0
8	0.0 5 6 0
9	0.0 5 9 0
10	0.0 5 1 0
1	0.0 6 2 0
2	0.0 5 9 0
3	0.0 5 1 0
4	0.0 6 4 0
5	0.0 7 7 0
6	0.0 5 4 0
7	0.0 4 2 0
8	0.0 4 3 0
9	0.0 4 6 0
10	0.0 4 0 0
1	0.0 3 9 0
2	0.0 5 0 0
3	0.0 6 3 0
4	0.0 4 6 0
5	0.0 4 3 0
6	0.0 4 5 0
7	0.0 4 2 0
8	0.0 5 9 0
9	0.0 4 4 0
10	0.0 3 7 0
1	0.0 3 4 0
2	0.0 5 1 0
3	0.0 6 1 0
4	0.0 6 5 0
5	0.0 5 7 0
6	0.0 5 0 0
7	0.0 5 6 0
8	0.0 6 6 0
9	0.0 4 5 0
10	0.0 6 4 0
1	0.0 6 9 0
2	0.0 5 4 0
3	0.0 5 0 0
4	0.0 5 3 0
5	0.0 4 9 0
6	0.0 3 9 0
7	0.0 4 9 0
8	0.0 6 2 0
9	0.0 5 3 0
10	0.0 4 3 0
1	0.0 3 9 0
2	0.0 4 1 0
3	0.0 3 6 0
4	0.0 4 5 0
5	0.0 3 5 0
6	0.0 3 7 0
7	0.0 4 1 0
8	0.0 6 2 0
9	0.0 5 8 0
10	0.0 6 7 0

表42　貯水量－放流量－倒伏角度関係数値表（ピアカット有）

倒伏角度 (θ)°	WL (EL. m)	Q (㎥/s)	H_0 (m)	H_0/HD	C_F
−17.366° (全開)	398.26	30.11	1.26	0.280	1,521
	399.36	82.69	2.36	0.524	1,629
	400.34	145.20	3.34	0.742	1,699
	401.14	203.47	4.14	0.920	1,725
	401.84	262.91	4.84	1.076	1,764
0°	398.33	23.71	1.33	0.296	1,552
	399.49	79.82	2.49	0.533	1,724
	400.60	146.12	3.60	0.800	1,718
	401.32	199.22	4.32	0.960	1,746
	401.63	222.72	4.63	1.029	1,747
10°	398.34	11.37	1.34	0.298	1,550
	398.88	30.36	1.88	0.418	1,671
	399.65	66.36	2.65	0.589	1,727
	400.26	102.81	3.26	0.724	1,782
	400.95	151.14	3.95	0.878	1,834
	401.66	202.50	4.66	1.036	1,829
20°	399.13	16.08	2.13	0.473	1,641
	399.71	38.96	2.71	0.602	1,735
	400.33	70.86	3.33	0.740	1,803
	400.86	102.60	3.86	0.858	1,832
	401.46	144.026	4.46	0.991	1,867
30°	399.86	15.97	2.86	0.636	2,080
	400.37	36.76	3.37	0.749	2,048
	400.89	63.33	3.89	0.864	2,047
	401.27	85.66	4.27	0.949	2,040
	401.65	110.39	4.65	1.033	2,044
40°	400.55	13.00	3.55	0.789	1,998
	401.00	31.33	4.00	0.889	2,080
	401.42	51.61	4.42	0.982	2,068
	401.69	67.12	4.69	1.042	2,089
45°	400.83	10.91	3.83	0.851	2,020
	401.22	25.70	4.22	0.938	2,080
	401.67	47.16	4.67	1.038	2,101

表43　貯水量－放流量－倒伏角度関係数値表（シュートブロック無）

倒伏角度 (θ)°	WL (EL.m)	Q (m³/s)	H_0 (m)	H_0/HD	C_F
−17.366° (全開)	397.72	11.72	0.72	0.16	1.372
	398.19	27.65	1.19	0.26	1.519
	399.03	65.18	2.03	0.45	1.611
	399.72	103.88	2.72	0.60	1.653
	400.40	149.30	3.40	0.76	1.701
	401.48	237.11	4.48	1.00	1.787
0°	397.97	11.78	0.97	0.22	1.426
	398.38	26.11	1.38	0.31	1.594
	398.95	51.66	1.95	0.43	1.693
	399.98	108.49	2.98	0.66	1.738
	400.88	167.01	3.88	0.86	1.739
	401.61	221.29	4.61	1.02	1.748
	401.61	221.44	4.61	1.02	1.750
10°	398.38	12.44	1.38	0.31	1.559
	398.93	31.80	1.93	0.43	1.646
	399.67	66.92	2.67	0.59	1.713
	400.30	103.88	3.30	0.73	1.758
	400.96	150.37	3.96	0.88	1.817
	401.67	202.34	4.67	1.04	1.820

表45 a　流入部流速測定結果数値表

貯水位	EL. 401.56 m
流量	$Q = 217.80\ m^3/s$
ゲート開度	−15.474°

	A		B		C		D	
	流速	角度	流速	角度	流速	角度	流速	角度
1	0.4	右 165	0.4	右 90	0.5	左 10		
	0.3	右 170	0.6	左 5	0.7	右 5		
	0.6	右 175	0.7	左 10	0.9	0		
2					1.2	右 50	1.3	右 60
					1.5	右 0	1.8	右 15
					1.6	左 10	1.4	右 5
					1.2	左 10	0.5	右 5
3	0.7	左 5	1.2	0	1.8	右 5		
	1.0	左 15	2.0	左 15	2.2	右 5		
	1.3	左 15	1.7	左 10	2.0	左 5		
	1.4	左 50	1.3	左 10	1.4	左 10		
4					2.6	左 10		
					3.0	左 10		
					2.4	左 5		
					1.2	左 12		
5	1.6	左 15	1.6	左 45				
	1.7	左 15	1.6	左 60				
	1.8	左 25	1.6	左 55				
	1.2	左 25	1.6	左 60				

貯水位	EL. 401.51 m
流量	$Q = 217.80\ m^3/s$
ゲート開度	−15.474°

	E		F		C		D	
	流速	角度	流速	角度	流速	角度	流速	角度
1	0.7	右 165	1.2(1.3)	右 15				
	0.2	右 165	1.4(1.5)	右 15				
	0.2	右 165	1.5(1.6)	右 15				
	0.2	右 155	0.5(0.8)	右 30				
2	0.8	左 15	1.3(1.4)	0				
	0.2	右 15	1.4	0				
	0.2	右 15	1.5(1.6)	0				
	0.5	左 15	0.8(1.4)	0				
3	1.8	0	1.2	左 5				
	2.2	左 10	1.3	左 5				
	1.9	左 15	1.5(1.6)	0				
	1.7	左 20	0.2	0				
4	1.6	左 15						
	1.6	左 10						
	1.4	左 10						
	1.2	左 15						
5	1.5	左 5						
	1.6	左 5						
	1.2	左 5						
	0.7(1.2)	左 5						

表45 a　流入部流速測定結果数値表

貯水位	EL. 401.53 m
流量	Q = 153.91㎥/s
ゲート開度	20°

	A		B		C		D	
	流速	角度	流速	角度	流速	角度	流速	角度
1	0.5	右 170	0.4(0.6)	右 90	0.4(0.8)	右 30		
	0.4	右 180	0.4	右 0	0.5(1.0)	右 10		
	0.4	右 180	0.4	右 0	0.5(0.7)	0		
2					0.6(1.0)	右 70	0.8(1.0)	右 65
					0.9(1.2)	右 10	1.0(1.2)	右 20
					1.2(1.4)	左 10	0.8(1.0)	右 10
					0.8(1.2)	左 10	0.4(0.6)	右 10
3	0.8	左 30	0.4	右 25	0.8(1.1)	右 40		
	0.8	左 40	1.1	左 20	1.6(1.8)	左 5		
	0.9	左 40	1.2	左 30	1.4(1.6)	左 15		
	0.9	左 45	0.9	左 40	1.1(1.4)	左 35		
4					1.1(1.2)	左 5		
					1.4(1.5)	左 5		
					0.8(1.0)	左 5		
					0.9(1.1)	左 40		
5	1.1	左 20	1.1	左 40				
	1.0	左 20	1.3	左 35				
	1.0	左 20	1.2(1.5)	左 30				
	0.7	左 55	1.1(1.3)	左 80				

貯水位	EL. 401.53 m
流量	Q = 153.91㎥/s
ゲート開度	20°

	E		F		C		D	
	流速	角度	流速	角度	流速	角度	流速	角度
1	0.4(0.6)	右 160	0.9	右 25				
	0.2(0.3)	右 160	1.0	右 15				
	0.2(0.3)	右 160	1.1	右 15				
	0.2(0.3)	右 160	0.7(1.1)	右 85				
2	0.5(0.8)	左 10	0.9	0				
	0.2	右 15	1.0(1.1)	0				
	0.2(0.2)	左 60	1.1(1.2)	0				
	0.2(0.3)	左 30	0.6(1.0)	0				
3	1.3	左 30	0.9(1.0)	0				
	1.4(1.5)	左 30	1.0	0				
	1.2(1.5)	左 5	0.9(1.0)	0				
	1.0(1.4)	左 5	0.7(1.1)	0				
4	1.1	0						
	1.4	0						
	1.3(1.4)	0						
	0.5(0.8)	0						
5	1.1	0						
	1.3	0						
	1.1(1.3)	0						
	0.5(0.8)	0						

表45 b　流入部流速測定結果数値表

貯水位	EL. 401.53 m
流量	$Q = 110.54\ m^3/s$
ゲート開度	30°

	A		B		C		D	
	流速	角度	流速	角度	流速	角度	流速	角度
1	0.3	180	0.2(0.3)	右 80	0.2(0.3)	180		
	0.3	180	0.3(0.5)	左 30	0.4(0.4)	右 20		
	0.3(0.4)	180	0.4(0.6)	左 15	0.4(0.5)	右 15		
2					0.5(0.7)	右 75	0.5(0.8)	右 35
					0.8(0.9)	左 10	0.8(0.9)	右 15
					0.6(0.7)	左 5	0.7(0.8)	0
					0.5(0.6)	左 5	0.3(0.4)	右 10
3	0.6(0.9)	左 5	0.5(0.6)	右 10	1.0(1.3)	右 75		
	0.5(0.6)	左 20	0.9(1.0)	右 10	1.1(1.2)	左 10		
	0.7(1.0)	左 30	0.8(0.9)	右 10	0.9(1.0)	左 15		
	0.7(0.9)	左 35	0.7(0.8)	左 25	0.7(0.8)	左 30		
4					1.3(1.4)	左 5		
					1.5(1.6)	左 5		
					1.2(1.5)	左 5		
					1.0(1.2)	左 55		
5	0.8(0.9)	左 10	0.9	左 35				
	1.0(1.0)	左 20	1.0	左 25				
	0.8(1.0)	左 20	0.9(1.0)	左 30				
	0.6(0.7)	左 35	0.7(0.8)	左 50				

貯水位	EL. 401.53 m
流量	$Q = 110.54\ m^3/s$
ゲート開度	30°

	E		F		C		D	
	流速	角度	流速	角度	流速	角度	流速	角度
1	0.4(0.5)	右 160	0.7	右 15				
	0.3(0.3)	右 160	0.8	右 15				
	0.2	右 160	0.8	右 15				
	0		0.2	右 15				
2	0.6(0.6)	0	0.6	0				
	0.2(0.3)	右 155	0.7	0				
	0		0.8	右 5				
	0		0.2	左 5				
3	0.9	0	0.6	0				
	1.0	左 5	0.6	0				
	0.7(0.8)	左 5	0.6	0				
	0.7(0.9)	左 10	0.2(0.2)	0				
4	0.8	0						
	0.9	0						
	0.8(1.0)	0						
	0.4(0.6)	0						
5	0.8	左 10						
	0.8(0.9)	左 5						
	0.8	0						
	0.6(0.7)	0						

表45 b　流入部流速測定結果数値表

貯水位	EL. 401.52 m
流量	Q = 53.20 ㎥/s
ゲート開度	45°

貯水位	EL. 401.52 m
流量	Q = 53.20 ㎥/s
ゲート開度	45°

	A		B		C		D	
	流速	角度	流速	角度	流速	角度	流速	角度
1	0.20	右 170	0		0			
2					0.24	右 90	0.30	右 55
							(0.36)	
3	0.22	左 20	0.30	0	0.36	右 45		
	(0.28)		(0.36)		(0.48)			
4					0.64	0		
5	0.40	左 10	0.44	左 25				

	E		F		C		D	
	流速	角度	流速	角度	流速	角度	流速	角度
1	0.20	右 170	0.32	0				
	(0.24)							
2	0		0.32	0				
3	0.48	0	0.36	右 20				
4	0.44	0						
5	0.40	0						

表46　貯水位－放流量－倒伏角度の関係数値表

倒伏角度 (θ)°		貯水池水位 H_1(EL.m)	放流量 Q (m³/s)	最高点標高 h (EL.m)	越流水深 H_2(m)	C_F
$\theta=-15.474°$ (全開)		397.49	6.09	397.000	0.49	1.268
		＊ 397.62	9.11	〃	0.62	1.333
		397.77	13.47	〃	0.77	1.424
		398.37	34.71	〃	1.37	1.546
		＊ 399.05	64.87	〃	2.05	1.579
		399.08	65.64	〃	2.08	1.563
		399.68	98.05	〃	2.68	1.596
		400.32	136.24	〃	3.32	1.609
		＊ 400.79	166.45	〃	3.79	1.611
		400.93	176.13	〃	3.99	1.579
		401.52	216.17	〃	4.52	1.607
		＊ 401.52	217.24	〃	4.52	1.615
		＊ 401.62	224.56	〃	4.62	1.615
		401.62	225.08	〃	4.62	1.619
$\theta=0°$		397.67	6.14	397.213	0.46	1.420
		398.39	29.59	〃	1.18	1.655
		399.09	61.85	〃	1.88	1.718
		399.67	90.93	〃	2.46	1.686
		400.33	128.87	〃	3.12	1.673
		400.96	167.42	〃	3.75	1.649
		401.50	204.85	〃	4.29	1.648
		401.79	223.74	〃	4.58	1.632
$\theta=10°$		398.11	7.88	397.592	0.52	1.506
		398.41	16.69	〃	0.82	1.611
		399.03	40.70	〃	1.44	1.686
		399.65	70.91	〃	2.06	1.716
		400.26	108.13	〃	2.67	1.772
		400.95	152.17	〃	3.36	1.766
		401.51	190.26	〃	3.92	1.752
		402.01	225.18	〃	4.42	1.732
$\theta=20°$		398.64	5.99	398.200	0.44	1.466
		399.04	17.56	〃	0.84	1.629
		399.66	42.44	〃	1.46	1.718
		400.29	74.44	〃	2.09	1.760
		400.95	116.68	〃	2.75	1.828
		401.50	153.70	〃	3.30	1.831
		401.99	188.72	〃	3.79	1.827
$\theta=25°$		399.02	6.45	398.952	0.43	1.645
		399.68	28.93	〃	1.09	1.821
		400.33	59.65	〃	1.74	1.860
		400.73	82.23	〃	2.14	1.879
		401.51	132.25	〃	2.92	1.895
		402.02	167.83	〃	3.43	1.889
$\theta=30°$		399.65	13.88	398.975	0.68	1.788
		400.20	36.15	〃	1.23	1.904
		400.32	41.93	〃	1.35	1.920
		400.95	74.85	〃	1.98	1.926
		401.53	110.59	〃	2.56	1.934
		402.03	144.69	〃	3.06	1.936
$\theta=35°$		399.77	7.22	399.339	0.43	1.823
		400.30	25.91	〃	0.96	1.965
		400.97	57.70	〃	1.63	1.979
		401.53	90.27	〃	2.19	1.989
		402.02	122.27	〃	2.68	1.990
$\theta=40°$		400.07	6.20	399.682	0.39	1.832
		400.37	15.87	〃	0.69	1.986
		400.97	41.57	〃	1.29	2.031
		401.52	70.55	〃	1.84	2.022
		402.02	101.48	〃	2.34	2.028
$\theta=45°$		400.41	6.76	400.000	0.41	1.839
		400.72	17.46	〃	0.72	2.041
		400.98	26.93	〃	0.98	1.983
		401.52	53.09	〃	1.52	2.024
		402.03	82.07	〃	2.03	2.027
ゲート高3.3mの場合	$\theta=-17.366°$ (全開)	398.87	55.33	397.000	1.87	1.546
		399.52	88.30	〃	2.52	1.577
		400.09	121.55	〃	3.09	1.598
		400.64	155.27	〃	3.64	1.597
		401.20	194.84	〃	4.20	1.617
		401.56	221.32	〃	4.56	1.623
		402.00	248.56	〃	5.00	1.588
	$\theta=10°$	401.63	191.22	397.690	3.94	1.746
	$\theta=20°$	401.62	146.38	398.338	3.28	1.760

表48　水面形測定結果数値表

貯水位	EL. 401.52 m
流量	$Q = 216.17\,m^3/s$
ゲート開度	−15.474°

測線 / 距離	ピアーセンター (EL.m)	右岸 (EL.m)	中央 (EL.m)	左岸 (EL.m)
D.C.−6 m	401.26	401.25	401.23	401.30
−4	401.24	401.20	401.17	401.30
−2	401.22	401.11	401.10	401.22
−1	401.08	400.90	401.00	401.16
0	401.03	400.46	400.88	401.14
1		398.82	400.71	400.76
2		397.80	400.48	400.31
3		397.89	400.16	400.12
4		398.05	399.82	399.82
5		397.93	399.47	399.57
6		397.85	398.93	399.16
7		397.56	398.18	398.60
8		396.78	397.67	398.04

貯水位	EL 401.50 m
流量	$Q = 152.27\,m^3/s$
ゲート開度	20°

測線 / 距離	ピアーセンター (EL.m)	右岸 (EL.m)	中央 (EL.m)	左岸 (EL.m)
D.C.−6 m	401.38	401.38	401.34	401.39
−4	401.36	401.35	401.30	401.37
−2	401.31	401.27	401.24	401.37
−1	401.16	401.18	401.18	401.36
0	401.10	400.58	401.18	401.30
1		400.23	401.06	401.03
2		400.18	401.04	401.13
3		400.37	400.95	401.14
4		400.57	400.79	401.03
5		400.68	400.73	400.90
6		400.60	400.63	400.72
7		400.46	400.34	400.50
8		400.10	400.10	400.22

貯水位	EL. 401.51 m
流量	$Q = 110.39\,m^3/s$
ゲート開度	30°

測線 / 距離	ピアーセンター (EL.m)	右岸 (EL.m)	中央 (EL.m)	左岸 (EL.m)
D.C.−6 m	401.46	401.46	401.43	401.44
−4	401.45	401.45	401.42	401.44
−2	401.42	401.40	401.39	401.45
−1	401.32	401.33	401.38	401.43
0	401.24	401.98	401.35	401.42
1		401.94	401.31	401.29
2		401.00	401.25	401.36
3		401.03	401.24	401.31
4		401.10	401.19	401.26
5		401.08	401.14	401.17
6		400.98	401.01	401.04
7		400.84	400.79	400.83
8		400.54	400.56	400.56

貯水位	EL. 401.52 m
流量	$Q = 53.09\,m^3/s$
ゲート開度	45°

測線 / 距離	ピアーセンター (EL.m)	右岸 (EL.m)	中央 (EL.m)	左岸 (EL.m)
D.C.−6 m	401.51	401.51	401.49	401.47
−4	401.51	401.51	401.49	401.48
−2	401.51	401.50	401.48	401.48
−1	401.49	401.48	401.49	401.48
0	401.38	401.44	401.48	401.47
1		401.41	401.48	401.46
2		401.41	401.45	401.47
3		401.42	401.44	401.44
4		401.42	401.41	401.42
5		401.38	401.38	401.37
6		401.30	401.28	401.28
7		401.13	401.10	401.09
8		400.68	400.66	400.67

表49a　圧力測定結果表

貯水池水位	EL. 401.50 m
放流量	Q＝214.43 ㎥/s
倒伏角度	－15.474度

測点	測点位置		圧力					
	X：距離	Y：標高	左岸		中央		右岸	
No.	(m)	(EL.m)	ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力水頭 (m)	ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力水頭 (m)	ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力水頭 (m)
1	0.40	396.99	398.87	1.88	398.95	1.96	397.75	0.76
2	0.80	396.95	398.65	1.70	398.66	1.71	397.43	0.48
3	1.20	396.89	398.26	1.37	398.25	1.36	397.19	0.30
4	1.60	396.80	397.83	1.03	397.83	1.03	396.92	0.12
5	2.00	396.68	397.43	0.75	397.50	0.82	396.63	0.05
6	2.40	396.54	397.29	0.75	397.29	0.75	396.68	0.14
7	2.80	396.37	396.97	0.60	397.06	0.69	396.46	0.09
8	3.20	396.18	396.74	0.56	396.79	0.61	396.36	0.18
9	3.60	395.96	396.44	0.48	396.44	0.48	396.06	0.10
10	4.00	395.72	396.12	0.40	396.18	0.46	395.80	0.08
11	4.40	395.45	395.75	0.30	395.85	0.40	395.53	0.08

貯水池水位	EL. 401.50 m
放流量	Q＝203.88 ㎥/s
倒伏角度	0 度

測点	測点位置		圧力					
	X：距離	Y：標高	左岸		中央		右岸	
No.	(m)	(EL.m)	ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力水頭 (m)	ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力水頭 (m)	ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力水頭 (m)
1	0.26	397.08	400.28	3.20	400.30	3.22	399.11	2.03
2	0.65	397.15	399.94	2.79	399.91	2.76	398.66	1.51
3	1.05	397.19	399.64	2.45	399.56	2.37	398.28	1.09
4	1.46	397.21	399.27	2.06	399.24	2.03	398.06	0.85
5	1.88	397.21	398.98	1.77	398.97	1.76	397.80	0.59
6	2.30	397.18	398.81	1.63	398.76	1.58	397.82	0.64
7	2.73	397.12	398.55	1.43	398.52	1.40	397.71	0.59
8	3.17	397.05	398.31	1.26	398.28	1.23	397.66	0.61
9	3.61	396.94	398.04	1.10	397.99	1.05	397.45	0.51
10	4.06	396.82	397.67	0.85	397.72	0.90	397.29	0.47
11	4.52	396.66	397.29	0.63	397.37	0.71	397.03	0.37

貯水池水位	EL. 401.52 m
放流量	Q＝190.62 ㎥/s
倒伏角度	10 度

測点	測点位置		圧力					
	X：距離	Y：標高	左岸		中央		右岸	
No.	(m)	(EL.m)	ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力水頭 (m)	ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力水頭 (m)	ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力水頭 (m)
1	0.15	397.11	400.94	3.83	400.87	3.76	400.23	3.12
2	0.53	397.25	400.68	3.43	400.60	3.35	399.83	2.58
3	0.92	397.36	400.44	3.08	400.31	2.95	399.54	2.18
4	1.32	397.46	400.20	2.74	400.07	2.61	399.29	1.93
5	1.73	397.52	399.96	2.44	399.86	2.34	399.10	1.58
6	2.15	397.57	399.80	2.23	399.67	2.10	399.08	1.51
7	2.58	397.59	399.61	2.02	399.56	1.97	398.92	1.33
8	3.03	397.59	399.40	1.81	399.30	1.71	398.94	1.35
9	3.48	397.56	399.19	1.63	399.08	1.52	398.76	1.20
10	3.95	397.52	398.79	1.27	398.76	1.24	398.55	1.03
11	4.43	397.45	398.44	0.99	398.44	0.99	398.23	0.78

表49b　圧力測定結果表

貯水池水位	EL. 401.52 m
放流量	$Q=155.85\,m^3/s$
倒伏角度	20 度

測点 No	測点位置 X：距離 (m)	測点位置 Y：標高 (EL.m)	圧力 左岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 左岸 圧力水頭 (m)	圧力 中央 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 中央 圧力水頭 (m)	圧力 右岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 右岸 圧力水頭 (m)
1	0.04	397.13	401.30	4.17	401.26	4.13	400.93	3.80
2	0.39	397.33	401.16	3.83	401.11	3.78	400.82	3.49
3	0.75	397.51	401.03	3.52	400.97	3.46	400.70	3.19
4	1.13	397.67	400.89	3.22	400.82	3.15	400.61	2.94
5	1.52	397.81	400.74	2.93	400.66	2.85	400.46	2.65
6	1.93	397.93	400.60	2.67	400.52	2.59	400.38	2.45
7	2.35	398.02	400.52	2.50	400.39	2.37	400.28	2.26
8	2.79	398.10	400.33	2.23	400.25	2.15	400.17	2.07
9	3.24	398.15	400.07	1.92	400.04	1.89	399.96	1.81
10	3.71	398.19	399.82	1.63	399.77	1.58	399.75	1.56
11	4.19	398.20	399.43	1.23	399.40	1.20	399.40	1.20

貯水池水位	EL. 401.50 m
放流量	$Q=131.43\,m^3/s$
倒伏角度	25 度

測点 No	測点位置 X：距離 (m)	測点位置 Y：標高 (EL.m)	圧力 左岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 左岸 圧力水頭 (m)	圧力 中央 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 中央 圧力水頭 (m)	圧力 右岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 右岸 圧力水頭 (m)
1	−0.01	397.13	401.35	4.22	401.32	4.19	401.08	3.95
2	0.32	397.36	401.30	3.94	401.24	3.88	401.10	3.74
3	0.66	397.57	401.22	3.65	401.13	3.56	401.03	3.46
4	1.03	397.76	401.11	3.35	401.03	3.27	400.94	3.18
5	1.41	397.94	400.97	3.03	400.92	2.98	400.82	2.88
6	1.80	398.09	400.86	2.77	400.81	2.72	400.71	2.62
7	2.21	398.22	400.79	2.57	400.73	2.51	400.66	2.44
8	2.64	398.33	400.65	2.32	400.60	2.27	400.55	2.22
9	3.09	398.43	400.47	2.04	400.42	1.99	400.34	1.91
10	3.55	398.50	400.25	1.75	400.20	1.70	400.17	1.67
11	4.03	398.56	399.91	1.35	399.86	1.30	399.83	1.27

貯水池水位	EL. 401.50 m
放流量	$Q=109.47\,m^3/s$
倒伏角度	30 度

測点 No	測点位置 X：距離 (m)	測点位置 Y：標高 (EL.m)	圧力 左岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 左岸 圧力水頭 (m)	圧力 中央 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 中央 圧力水頭 (m)	圧力 右岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 右岸 圧力水頭 (m)
1	−0.07	397.13	401.43	4.30	401.42	4.29	401.24	4.11
2	0.24	397.39	401.37	3.98	401.35	3.96	401.27	3.88
3	0.57	397.63	401.32	3.69	401.29	3.66	401.21	3.58
4	0.91	397.85	401.24	3.39	401.21	3.36	401.14	3.29
5	1.27	398.05	401.14	3.09	401.11	3.06	401.06	3.01
6	1.66	398.24	401.05	2.81	401.03	2.79	400.98	2.74
7	2.05	398.41	401.00	2.59	400.95	2.54	400.92	2.51
8	2.47	398.56	400.87	2.31	400.84	2.28	400.82	2.26
9	2.91	398.69	400.76	2.07	400.71	2.02	400.68	1.99
10	3.36	398.81	400.55	1.74	400.54	1.73	400.52	1.71
11	3.83	398.90	400.26	1.36	400.25	1.35	400.22	1.32

表49c　圧力測定結果表

貯水池水位	EL. 401.50 m
放流量	$Q = 89.19$ ㎥/s
倒伏角度	35 度

測点 No	測点位置 X：距離 (m)	測点位置 Y：標高 (EL.m)	圧力 左岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 左岸 圧力水頭 (m)	圧力 中央 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 中央 圧力水頭 (m)	圧力 右岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 右岸 圧力水頭 (m)
1	−0.12	397.12	401.48	4.36	401.48	4.36	401.37	4.25
2	0.16	397.40	401.46	4.06	401.45	4.05	401.40	4.00
3	0.47	397.67	401.43	3.76	401.40	3.73	401.38	3.71
4	0.79	397.92	401.38	3.46	401.35	3.43	401.32	3.40
5	1.13	398.16	401.32	3.16	401.30	3.14	401.29	3.13
6	1.50	398.38	401.26	2.88	401.26	2.88	401.22	2.84
7	1.88	398.58	401.19	2.61	401.19	2.61	401.16	2.58
8	2.28	398.77	401.08	2.31	401.11	2.34	401.08	2.31
9	2.71	398.94	401.00	2.06	401.00	2.06	400.97	2.03
10	3.15	399.09	400.87	1.78	400.82	1.73	400.84	1.75
11	3.61	399.23	400.60	1.37	400.55	1.32	400.55	1.32

貯水池水位	EL. 401.52 m
放流量	$Q = 70.55$ ㎥/s
倒伏角度	40 度

測点 No	測点位置 X：距離 (m)	測点位置 Y：標高 (EL.m)	圧力 左岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 左岸 圧力水頭 (m)	圧力 中央 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 中央 圧力水頭 (m)	圧力 右岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 右岸 圧力水頭 (m)
1	−0.18	397.11	401.50	4.39	401.50	4.39	401.42	4.31
2	0.08	397.41	401.48	4.07	401.48	4.07	401.43	4.02
3	0.36	397.71	401.48	3.77	401.46	3.75	401.43	3.72
4	0.66	397.99	401.43	3.44	401.42	3.43	401.42	3.43
5	0.99	398.25	401.38	3.13	401.38	3.13	401.40	3.15
6	1.33	398.50	401.35	2.85	401.34	2.84	401.32	2.82
7	1.69	398.74	401.32	2.58	401.30	2.56	401.30	2.56
8	2.08	398.96	401.24	2.28	401.24	2.28	401.24	2.28
9	2.48	399.16	401.19	2.03	401.16	2.00	401.14	1.98
10	2.91	399.35	401.03	1.68	401.03	1.68	401.03	1.68
11	3.36	399.53	400.84	1.31	400.84	1.31	400.82	1.29

貯水池水位	EL. 401.51 m
放流量	$Q = 53.66$ ㎥/s
倒伏角度	45 度

測点 No	測点位置 X：距離 (m)	測点位置 Y：標高 (EL.m)	圧力 左岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 左岸 圧力水頭 (m)	圧力 中央 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 中央 圧力水頭 (m)	圧力 右岸 ピエゾ水頭 (EL.m)	圧力 右岸 圧力水頭 (m)
1	−0.23	397.09	401.51	4.42	401.53	4.44	401.48	4.39
2	0	397.42	401.50	4.08	401.51	4.09	401.50	4.08
3	0.26	397.73	401.50	3.77	401.50	3.77	401.51	3.78
4	0.53	398.04	401.43	3.39	401.48	3.44	401.50	3.46
5	0.83	398.33	401.43	3.10	401.46	3.13	401.48	3.15
6	1.15	398.61	401.42	2.81	401.43	2.82	401.43	2.82
7	1.49	398.87	401.40	2.53	401.40	2.53	401.42	2.55
8	1.86	399.13	401.35	2.22	401.38	2.25	401.35	2.22
9	2.24	399.37	401.32	1.95	401.30	1.93	401.30	1.93
10	2.65	399.60	401.21	1.61	401.21	1.61	401.22	1.62
11	3.08	399.81	401.08	1.27	401.05	1.24	401.06	1.25

表51 a　　水面形測定結果

貯水池水位EL.m	401.12
流量 Q㎥/s	2541.6
ゲート開度	全開

測定ゲート　山側

測線／測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.56	400.16	0.60
2	399.52	399.76	0.24
3	399.16	399.16	0
4	398.52	398.48	−0.04
5	396.84	396.44	−0.04

貯水池水位EL.m	401.12
流量 Q㎥/s	2541.6
ゲート開度	全開

測定ゲート　谷側

測線／測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.28	400.44	1.16
2	399.36	400.08	0.72
3	399.20	399.52	0.32
4	398.56	398.64	0.08
5	396.88	397.04	0.16

貯水池水位EL.m	399.68
流量 Q㎥/s	1846.1
ゲート開度	全開

測定ゲート　山側

測線／測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.12	399.04	−0.08
2	398.72	398.60	−0.12
3	398.20	398.08	−0.12
4	397.36.	397.40	0.04
5	395.52	395.52	0

貯水池水位EL.m	399.68
流量 Q㎥/s	1846.1
ゲート開度	全開

測定ゲート　谷側

測線／測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.12	399.36	0.24
2	398.88	399.00	0.12
3	398.32	398.44	0.12
4	397.44	397.68	0.24
5	395.40	395.68	0.28

貯水池水位EL.m	401.16
流量 Q㎥/s	2547.3
ゲート開度	0°

測定ゲート　山側

測線／測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.84	400.28	0.44
2	399.60	399.84	0.24
3	399.24	399.36	0.12
4	398.72	398.68	−0.04
5	397.36	397.24	−0.12

貯水池水位EL.m	401.16
流量 Q㎥/s	2547.3
ゲート開度	0°

測定ゲート　谷側

測線／測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.28	400.52	1.24
2	399.56	400.16	0.60
3	399.36	399.60	0.24
4	398.84	398.96	0.12
5	397.28	397.44	0.16

貯水池水位EL.m	399.70
流量 Q㎥/s	1871.8
ゲート開度	0°

測手ゲート　山側

測線／測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.16	399.08	−0.08
2	398.72	398.76	0.04
3	398.36	398.40	0.04
4	397.76	397.76	0
5	396.32	396.32	0

貯水池水位EL.m	399.70
流量 Q㎥/s	1871.8
ゲート開度	0°

測定ゲート　谷側

測線／測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.24	399.40	0.16
2	398.92	399.04	0.12
3	398.52	398.64	0.12
4	397.88	397.96	0.08
5	396.40	396.40	0

表51 b　　水面形測定結果

貯水池水位EL.m	401.20
流量 Q ㎥/s	2491.5
ゲート開度	9.518°

測定ゲート　山側

測線 / 測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.84	400.28	0.44
2	399.96	400.08	0.12
3	399.76	399.64	−0.12
4	399.20	399.20	0
5	398.16	398.00	−0.16

貯水池水位EL.m	401.20
流量 Q ㎥/s	2491.5
ゲート開度	9.518°

測定ゲート　谷側

測線 / 測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.76	400.68	0.92
2	399.92	400.36	0.44
3	399.80	399.92	0.12
4	399.32	399.36	0.04
5	398.08	398.32	0.24

貯水池水位EL.m	399.20
流量 Q ㎥/s	1651.5
ゲート開度	9.518°

測定ゲート　山側

測線 / 測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	398.76	398.72	−0.04
2	398.52	398.60	0.08
3	398.40	398.48	0.08
4	398.12	398.00	−0.12
5	396.92	396.96	0.04

貯水池水位EL.m	399.20
流量 Q ㎥/s	1651.5
ゲート開度	9.518°

測定ゲート　谷側

測線 / 測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	398.88	399.04	0.16
2	398.64	398.80	0.16
3	398.48	398.64	0.16
4	398.16	398.16	0
5	397.16	397.00	−0.16

貯水池水位EL.m	401.23
流量 Q ㎥/s	2394.2
ゲート開度	18.267°

測定ゲート　山側

測線 / 測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	400.40	400.60	0.20
2	400.44	400.48	0.04
3	400.20	400.24	0.04
4	399.92	399.92	0
5	399.04	399.08	0.04

貯水池水位EL.m	401.23
流量 Q ㎥/s	2394.2
ゲート開度	18.267°

測定ゲート　谷側

測線 / 測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	400.56	400.96	0.40
2	400.52	400.72	0.20
3	400.36	40.052	0.16
4	400.08	400.16	0.08
5	399.08	399.16	0.08

貯水池水位EL.m	399.44
流量 Q ㎥/s	1622.8
ゲート開度	18.267°

測定ゲート　山側

測線 / 測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.20	399.08	−0.12
2	399.16	399.08	−0.08
3	399.12	398.96	−0.16
4	398.80	398.72	−0.08
5	398.12	398.08	−0.04

貯水池水位EL.m	399.44
流量 Q ㎥/s	1622.8
ゲート開度	18.267°

測定ゲート　谷側

測線 / 測点	右岸 (EL.m)	左岸 (EL.m)	Δh (左−右) m
1	399.32	399.36	0.04
2	399.28	399.28	0
3	399.24	399.16	−0.08
4	398.96	398.88	−0.08
5	398.20	398.24	−0.04

表52 a　貯水位－放流量－倒伏角度関係数値表（最終案）

測定値 / ゲート開度	貯水位 (EL．m)	放流量 Q (m³/sec)	ゲート最高点標高 (EL．m)	越流水深 H (m)	(18)式による流量係数 C_F	(24)式による流量係数 C'_F
全　開	397.710	12.37	397.000	0.71	1.477	1.596
	398.027	22.68	397.000	1.027	1.557	1.657
	398.597	46.24	397.000	1.597	1.637	1.706
	399.294	81.74	397.000	2.294	1.680	1.732
	399.872	115.82	397.000	2.872	1.700	1.745
	400.338	148.81	397.000	3.338	1.743	1.751
	400.846	183.98	397.000	3.846	1.742	1.757
	401.277	217.58	397.000	4.277	1.757	1.760
	401.878	272.56	397.000	4.878	1.807	1.765
0°	397.854	11.13	397.213	0.641	1.549	1.575
	398.150	21.14	397.213	0.937	1.665	1.645
	398.408	30.83	397.213	1.195	1.686	1.678
	398.784	48.78	397.213	1.571	1.769	1.706
	399.632	91.70	397.213	2.419	1.741	1.737
	400.3568	134.18	397.213	3.1438	1.719	1.751
	400.9712	175.02	397.213	3.7582	1.716	1.758
	401.4768	213.67	397.213	4.2638	1.733	1.763
	401.9312	249.67	397.213	4.7182	1.740	1.766
10°	398.24	10.60	397.592	0.648	1.451	1.597
	398.56	22.05	397.592	0.968	1.654	1.670
	398.846	33.01	397.592	1.254	1.679	1.703
	399.2	51.39	397.592	1.608	1.800	1.728
	399.9	92.01	397.592	2.308	1.874	1.755
	400.6	130.46	397.592	3.008	1.786	1.769
	401.274	177.21	397.592	3.682	1.792	1.778
	401.728	209.21	397.592	4.136	1.777	1.782
20°	398.816	10.70	398.200	0.616	1.581	1.640
	399.160	22.42	398.200	0.960	1.703	1.725
	399.426	34.24	398.200	1.226	1.802	1.758
	399.720	47.12	398.200	1.520	1.796	1.782
	400.448	86.75	398.200	2.248	1.838	1.813
	401.048	124.98	398.200	2.848	1.857	1.827
	401.584	163.74	398.200	3.384	1.879	1.835
	401.989	194.36	398.200	3.789	1.882	1.840
25°	399.202	11.18	398.592	0.61	1.676	1.683
	399.520	22.42	398.592	0.928	1.791	1.766
	399.752	32.75	398.592	1.160	1.872	1.799
	400.339	60.76	398.592	1.747	1.880	1.843
	400.936	96.38	398.592	2.344	1.918	1.865
	401.472	131.41	398.592	2.880	1.920	1.877
	401.976	168.16	398.592	3.384	1.930	1.885

表52 b　貯水位－放流量－倒伏角度関係数値表（最終案）

測定値 / ゲート開度	貯水位 (EL．m)	放流量 Q(㎥/sec)	ゲート最高点標高 (EL．m)	越流水深 H(m)	(18)式による流量係数 C_F	(24)式による流量係数 C'_F
30°	399.451	7.99	398.975	0.476	1.738	1.668
	399.718	16.72	398.975	0.743	1.865	1.785
	400.162	35.25	398.975	1.187	1.947	1.864
	400.462	49.95	398.975	1.487	1.968	1.890
	400.882	72.95	398.975	1.907	1.979	1.913
	401.230	93.98	398.975	2.255	1.982	1.926
	401.581	116.94	398.975	2.606	1.986	1.935
	401.934	141.53	398.975	2.959	1.986	1.943
35°	399.810	7.88	399.339	0.471	1.741	1.729
	400.211	22.05	399.339	0.872	1.934	1.887
	400.561	37.49	399.339	1.222	1.982	1.940
	400.973	58.62	399.339	1.634	2.005	1.974
	401.371	81.92	399.339	2.032	2.020	1.993
	401.808	110.06	399.339	2.469	2.026	2.007
	402.181	136.16	399.339	2.842	2.030	2.016
40°	400.274	11.35	399.682	0.592	1.780	1.875
	400.547	22.10	399.682	0.865	1.962	1.964
	400.822	33.65	399.682	1.140	1.975	2.012
	401.032	43.98	399.682	1.350	2.003	2.035
	401.310	58.30	399.682	1.628	2.005	2.056
	401.570	73.64	399.682	1.888	2.028	2.071
	401.792	87.01	399.682	2.110	2.028	2.080
45°	400.488	8.68	400.000	0.488	1.819	1.889
	400.835	21.09	400.000	0.835	1.974	2.041
	401.146	34.61	400.000	1.146	2.015	2.098
	401.387	46.44	400.000	1.387	2.031	2.124
	401.672	61.45	400.000	1.672	2.030	2.146
	401.922	76.41	400.000	1.922	2.048	2.160

表55 a　ゲート面上の圧力分布測定結果

貯水池水位　EL．402.50m	放　流　量　Q＝107.21t/s	倒伏角度　45.00

測点 No.	標高 (EL．m)	ライト ピエゾ (EL．m)	ライト ヘッド (m)	センター ピエゾ (EL．m)	センター ヘッド (m)	レフト ピエゾ (EL．m)	レフト ヘッド (m)
1	397.09	402.31	5.222	402.34	5.246	402.37	5.278
2	397.42	402.30	4.884	402.34	4.916	402.34	4.916
3	397.73	402.30	4.566	402.34	4.606	402.32	4.590
4	398.04	402.26	4.216	402.31	4.272	402.29	4.248
5	398.33	402.24	3.910	402.24	3.910	402.24	3.910
6	398.61	402.16	3.550	402.19	3.582	402.16	3.550
7	398.87	402.13	3.258	402.11	3.242	402.09	3.218
8	399.13	402.05	2.918	402.03	2.902	402.02	2.886
9	399.37	401.90	2.534	401.92	2.550	401.89	2.518
10	399.60	401.74	2.144	401.71	2.112	401.79	2.192
11	399.81	401.42	1.614	401.45	1.638	401.45	1.638

貯水地水位　EL．402.50m	放　流　量　Q＝128.31t/s	倒伏角度　40.00

測点 No.	標高 (EL．m)	ライト ピエゾ (EL．m)	ライト ヘッド (m)	センター ピエゾ (EL．m)	センター ヘッド (m)	レフト ピエゾ (EL．m)	レフト ヘッド (m)
1	397.11	402.25	5.138	402.32	5.210	402.30	5.194
2	397.41	402.25	4.838	402.30	4.894	402.26	4.846
3	397.71	402.23	4.522	402.18	4.466	402.23	4.522
4	397.99	402.21	4.218	402.13	4.138	402.21	4.218
5	398.25	402.10	3.854	402.09	3.838	402.10	3.846
6	398.50	402.08	3.580	402.02	3.524	402.02	3.516
7	398.74	401.96	3.220	40194	3.196	401.92	3.180
8	398.96	401.81	2.848	40184	2.880	401.84	2.880
9	399.16	401.70	2.536	40174	2.584	401.73	2.568
10	399.35	401.55	2.202	40156	2.210	401.50	2.154
11	399.53	401.07	1.542	40117	1.638	401.22	1.644

貯水地水位　EL．402.50m	放　流　量　Q＝147.76t/s	倒伏角度　35.00

測点 No.	標高 (EL．m)	ライト ピエゾ (EL．m)	ライト ヘッド (m)	センター ピエゾ (EL．m)	センター ヘッド (m)	レフト ピエゾ (EL．m)	レフト ヘッド (m)
1	397.12	402.18	5.056	402.28	5.160	402.28	5.160
2	397.40	402.19	4.792	402.24	4.840	402.21	4.808
3	397.67	402.11	4.442	402.18	4.506	402.17	4.498
4	397.92	402.02	4.104	402.02	4.096	402.11	4.192
5	398.16	401.90	3.736	401.98	3.816	401.97	3.808
6	398.38	401.88	3.500	401.89	3.508	401.89	3.508
7	398.58	401.80	3.220	401.74	3.164	401.76	3.180
8	398.77	401.70	2.926	401.62	2.846	401.65	2.878
9	398.94	401.51	2.572	401.44	2.500	401.46	2.516
10	399.09	401.28	2.190	401.26	2.174	401.26	2.174
11	399.23	400.83	1.602	400.84	1.610	400.91	1.682

表55 b　ゲート面上の圧力分布測定結果

貯水池水位　EL．402.50m	放　流　量　Q＝172.54t/s	倒伏角度　30.00

測点		ライト		センター		レフト	
No	標高 (EL．m)	ピエゾ (EL．m)	ヘッド (m)	ピエゾ (EL．m)	ヘッド (m)	ピエゾ (EL．m)	ヘッド (m)
1	397.13	402.15	5.022	402.17	5.038	402.22	5.086
2	397.39	402.10	4.714	402.15	4.762	402.14	4.754
3	397.63	401.98	4.354	401.90	4.266	401.98	4.346
4	397.85	401.88	4.030	401.77	3.918	401.86	4.014
5	398.05	401.76	3.710	401.69	3.638	401.71	3.662
6	398.24	401.68	3.440	401.55	3.312	401.60	3.360
7	398.41	401.54	3.134	401.46	3.054	401.46	3.046
8	398.56	401.42	2.864	401.27	2.712	401.31	2.752
9	398.69	401.14	2.454	401.14	2.454	401.18	2.486
10	398.81	400.91	2.102	400.82	2.014	400.90	2.094
11	398.90	400.50	1.604	400.41	1.508	400.41	1.508

貯水池水位　EL．402.50m	放　流　量　Q＝219.14t/s	倒伏角度　20.00

測点		ライト		センター		レフト	
No	標高 (EL．m)	ピエゾ (EL．m)	ヘッド (m)	ピエゾ (EL．m)	ヘッド (m)	ピエゾ (EL．m)	ヘッド (m)
1	397.13	401.66	4.534	401.97	4.838	402.03	4.902
2	397.33	401.58	4.254	401.78	4.454	401.79	4.462
3	397.51	401.47	3.962	401.46	3.946	401.58	4.066
4	397.67	401.33	3.658	401.22	3.554	401.38	3.706
5	397.81	401.18	3.366	401.02	3.214	401.11	3.302
6	397.93	400.98	3.046	400.82	2.894	400.91	2.982
7	398.02	400.86	2.844	400.65	2.628	400.71	2.692
8	398.10	400.72	2.620	400.43	2.332	400.57	2.468
9	398.15	400.37	2.218	400.25	2.098	400.32	2.170
10	398.19	400.04	1.850	399.92	1.730	399.98	1.794
11	398.20	399.55	1.352	399.47	1.272	399.58	1.384

第７章　選択取水設備

第1節　実験概要

1.1　実験目的

寒河江ダムでは洪水期末期の濁水および冷水対策の方法として，貯水池内の流動形態が密度流の性質を持つことを利用した選択取水設備が計画されている。本実験はこの選択取水設備の基本モデル数種について，その水理機能および密度流の流動現象を把握することを目的とする。

1.2　実験装置および実験方法

実験装置は図96に示すように水槽本体，環流用ポンプ，電磁流量計，密度層生成装置，取水口，給水口および環流用送水管によって構成されている。

次に各設備の仕様はつぎのとおりである。

水　　槽：2.0m×2.0m×12.0m 片面ガラス張り鋼製水槽。ただし，内面断熱材張り。

ポ　ン　プ：環流送水管途中に設置した環流ポンプで，最大容量＝10 l/s でポンプの回転数制御で流量の調整を行う。

電磁流量計：環流送水管の中間に設置された内径50㎜φで 1.8 l/s～18 l/s の範囲は測定精度±1％である。

密度層生成装置：水槽上部の走行台車５台に取付けた375Wランプ80個の出力を抵抗器によって熱量を調節する。

取　水　口：基本モデルとして図97a，97bに示す４形状とし，この４形状をAを固定として，B，C，Dの組合せとする。取水口の設置位置と水深および給水口の状態は図98に示すとおりである。

給　水　口：貯水池流入量を給水する設置で環流管を通して10㎜φの分散管から水槽内に注入される。

次に実験方法は，水槽内に水をランプ光源より22㎝まで貯留し，ランプ熱によって温度密度層を生成し，取水位置および取水量を変え，密度流の流動形態および密度分布等を測定することとした。この場合の流動形態の変化は比重が水と同程度の色素で着色し連続撮影によってトレースし，温度分布はサーミスタ型温度計130点の温度データを図99に示す計測システムで集録し，貯水池内（水槽内）の流速分布はミニプロペラ流速計でそれぞれ計測した。

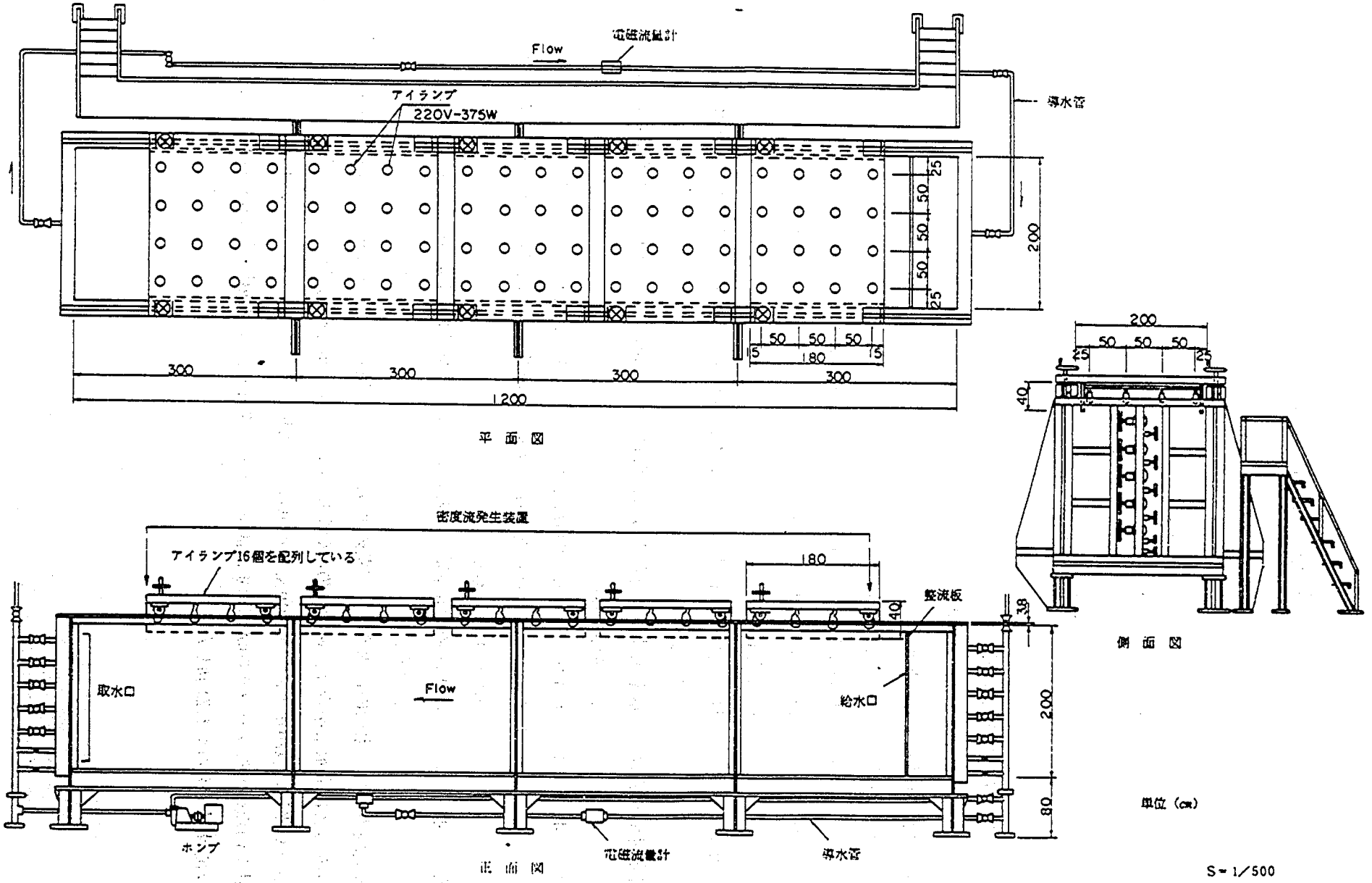


図96　選択取水設備水理模型実験装置概要図

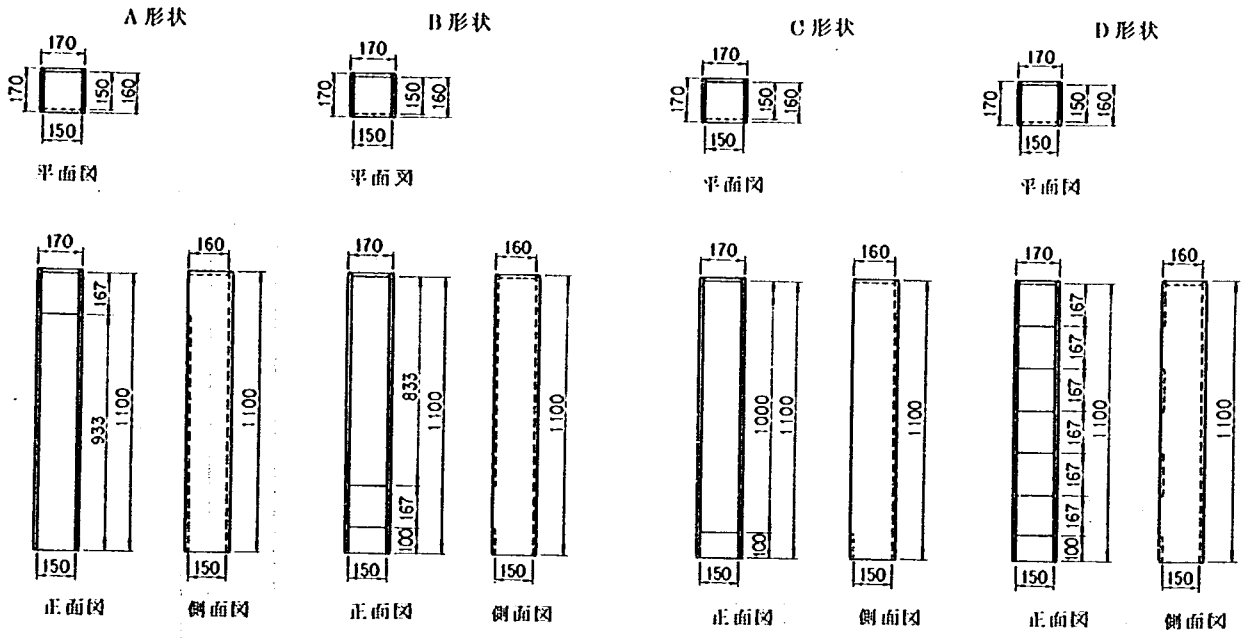


図97 a　選択取水設備模型

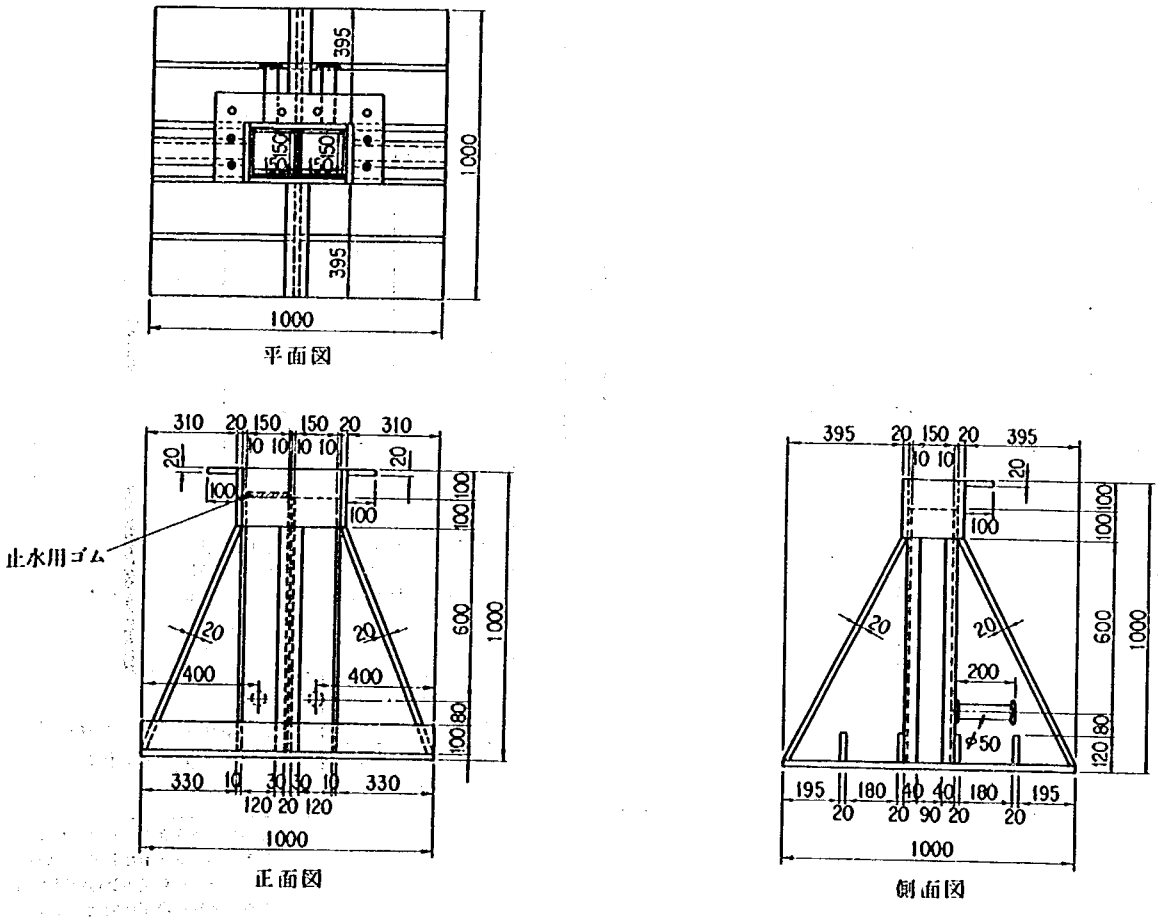


図97 b　選択取水設備模型

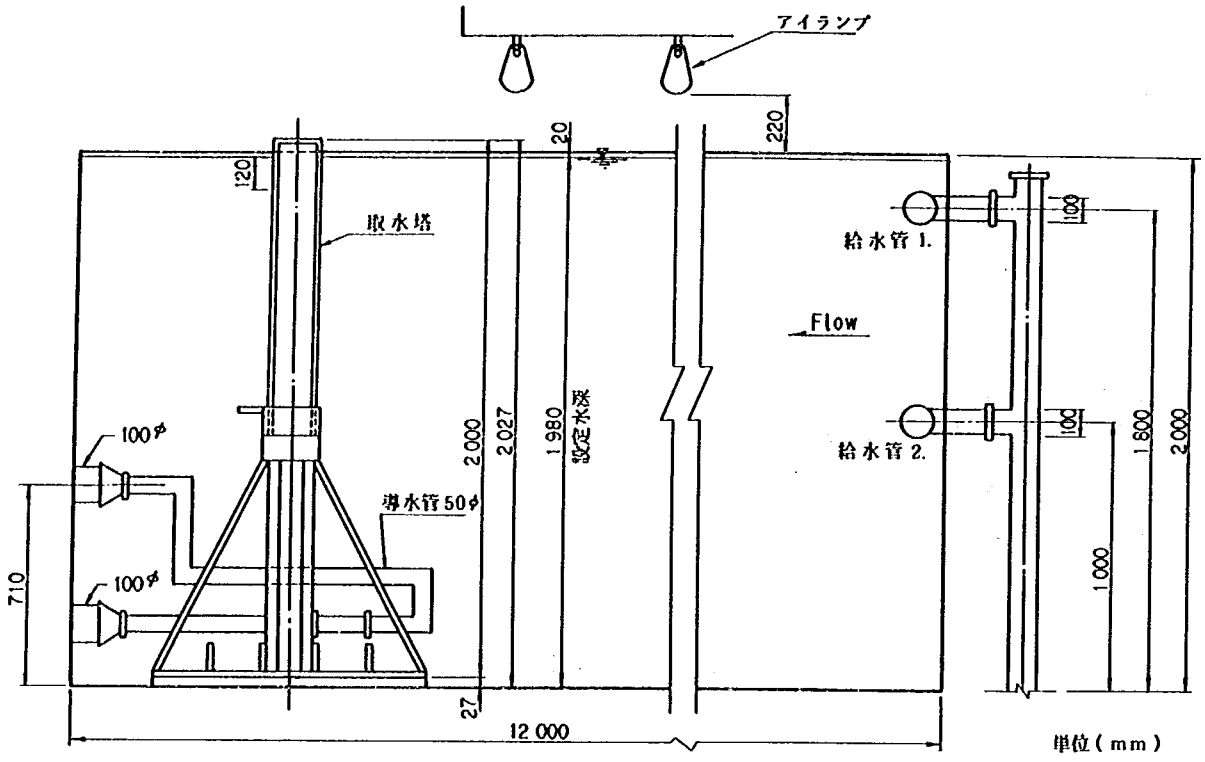


図98　模型設置状態図

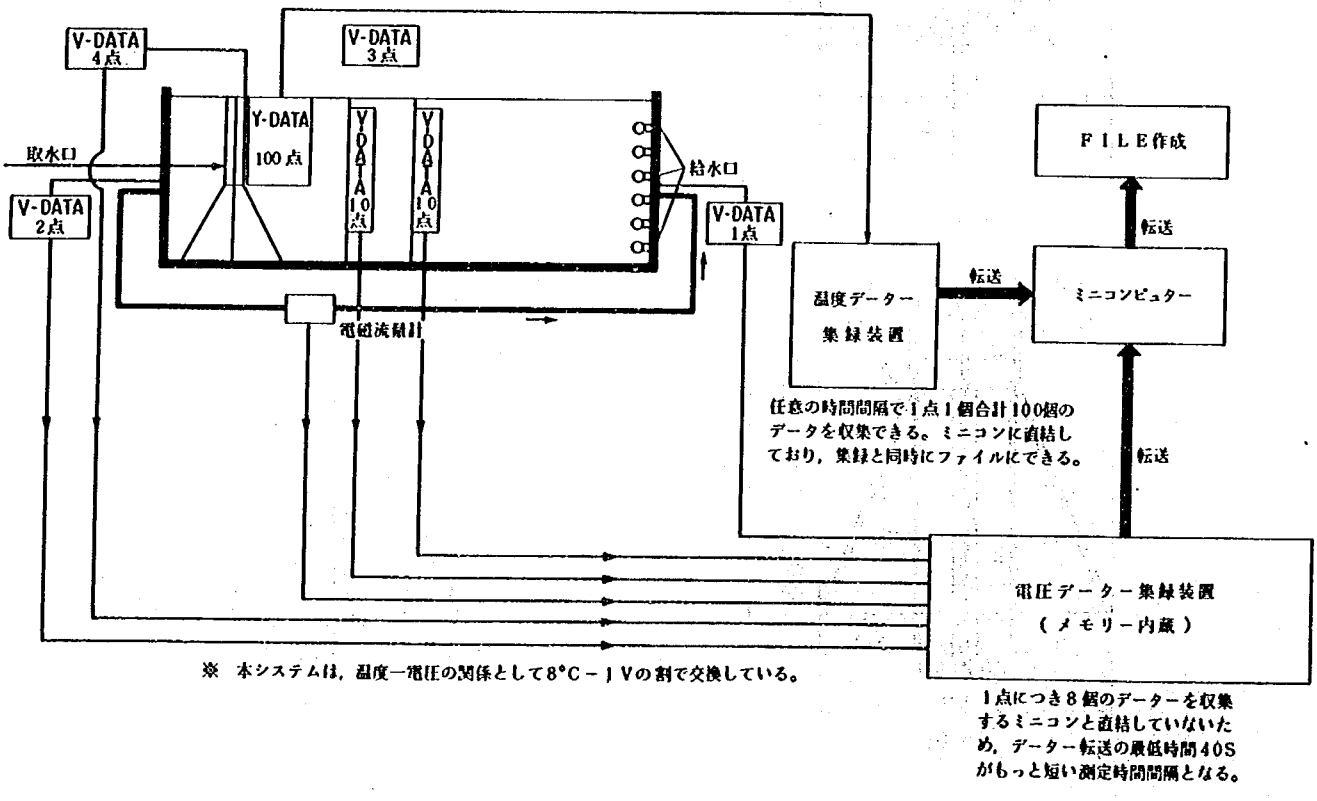


図99　計測システム概要図

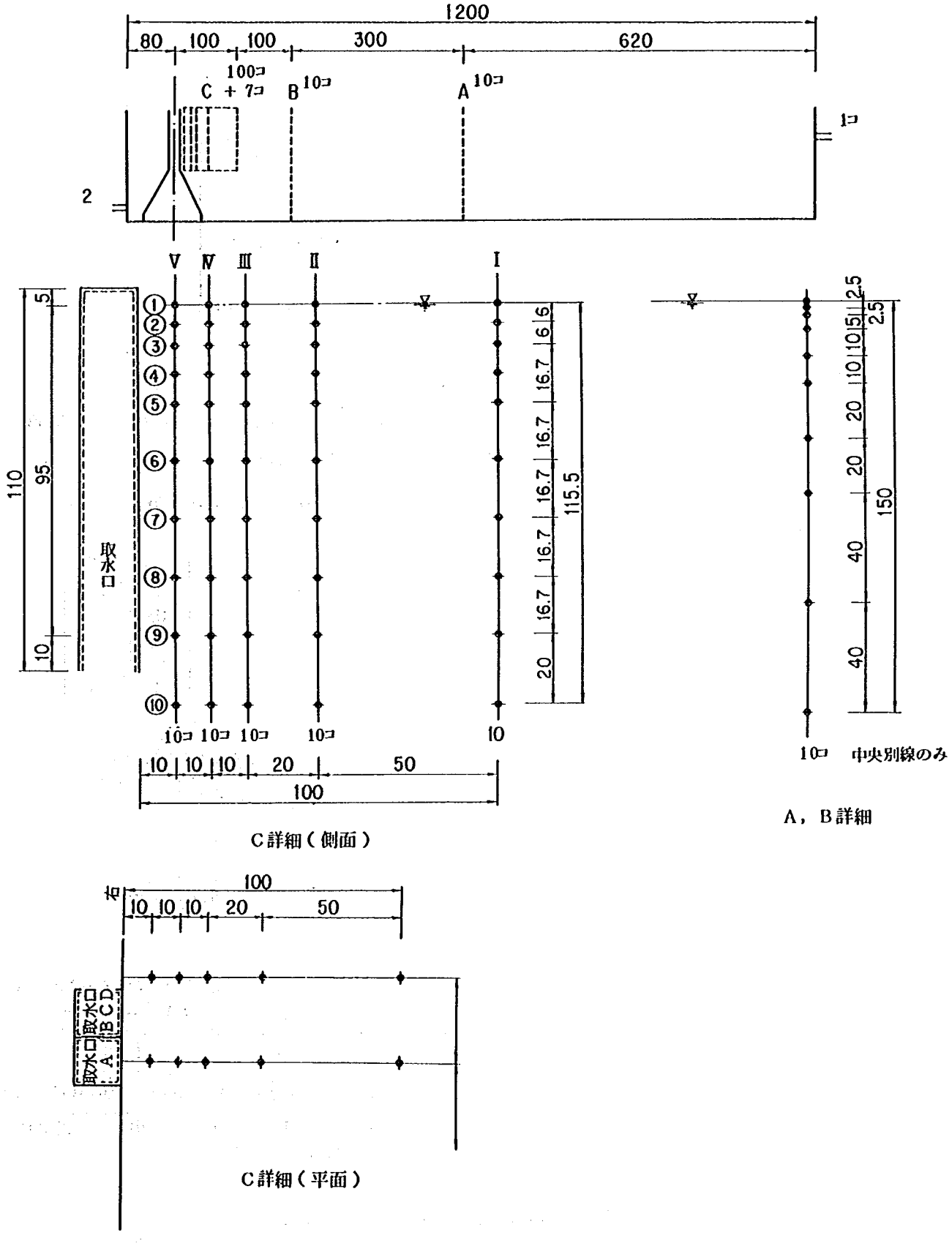


図100　温度計設置位置図

温度計の仕様は表56に示す130点を使用し，その配置位置は図100と表57に示すそれぞれの各位置にナイロン糸を張って固定した。また，流速計は直径5㎜のプロペラの回転数により3cm/s～100 cm/sが適用範囲で3cm/s以下は精度的に問題がある。

表56　温　度　計　仕　様

温度計測範囲	※ 温度計番号	備　　考
0°～ 100°	001～017	順に17本，10本，103本の計130本ある。
0°～ 50°	018～027	
0°～ 40°	028～130	

流向は色素（アニリンブルー水溶液）によって詳細に捕えた。

密度成層は予備実験で得られた図104に示す水深別温度と照射時間の関係から躍層の強さ（図の温度勾配）は10時間以後は一定勾配であることから，夜間を利用できる16時間を採用することとした。しかし，図101からも明らかなように，ランプ熱では表面から40cm付近までの水深には躍層が生成されるが，深さが70cm以上では形成できない。

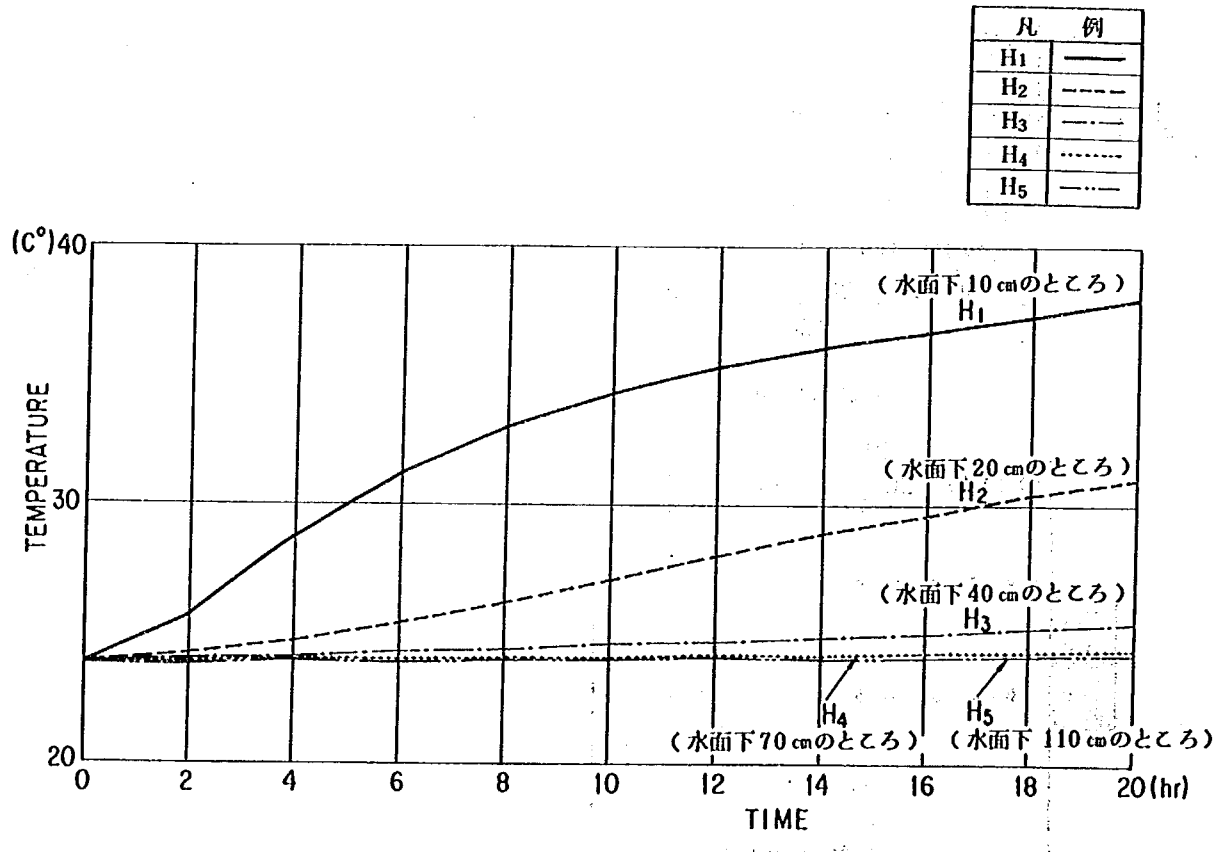


図101　躍層形成状態（ランプ10割点灯）

表57　サーミスター温度計番号と設置位置

温度計番号	設定位置
001	水表面
002	
003	
028	A
029	
030	
031	
032	
033	水面下150cm
034	
004	水表面
005	
006	
035	B
036	
037	
038	
039	
040	水面下150cm
041	
007	水表面
018	
042	
043	C，中，I
044	
045	
046	
047	
048	水面下120cm
049	
008	水表面
019	
050	
051	C，中，II
052	
053	
054	
055	
056	水面下120cm
057	
009	水表面
020	
058	
059	C，中，III
060	
061	
062	
063	
064	水面下120cm
065	
010	水表面
021	
066	
067	C，中，IV
068	
069	
070	
071	
072	水面下120cm
073	
011	水表面
022	
074	C，中，V
075	
076	水面下120cm

温度計番号	設定位置
077	水表面
078	
079	C，中，V
090	
081	水面下120cm
012	水表面
023	
082	
083	
084	C，右，I
085	
086	
087	
088	水面下120cm
089	
013	水表面
024	
090	
091	C，右，II
092	
093	
094	
095	
096	水面下120cm
097	
014	水表面
025	
098	
099	C，右，III
100	
101	
102	
103	
104	水面下120cm
105	
015	水表面
026	
106	
107	C，右，IV
108	
109	
110	
111	
112	水面下120cm
113	
016	水表面
027	
114	
115	C，右，V
116	
117	
118	
119	
120	水面下120cm
121	
122	取水塔(A)
123	取水塔(B, C, D)
124	給水口
125	取水口(A)の上，下
126	
127	取水口(B, C, D)の上，下
128	
017	順に水表面から
129	10cmピッチとした。
130	

第２節　密度成層の無い場合

2.1　予 備 実 験

貯水池内に水道水で規定量まで貯留した状態で，流量，流速および流況観察等の方法と最適手段について予備実験を実施した。その結論はつぎに示すとおりであった。

1）流 量 実 験

本実験の施設における最大可能流量は環流路での全損失等から安定流量は 8.6 l/s であることが判った。

2）流 速 測 定

Q = 8.6 l/s でのミニプロペラ流速計の流速分布状態から取水口付近の水深方向は 1 cmピッチが適性であり，平面的には上流30cm～40cmまでが測定可能範囲（3 cm/s以上）である。

3）流　　況

アニリンブルーの水容液は内径 2 mmのトレーサーより注入するのが適当であり，それ以下では色素が流れで乱れ，逆に大きいと色素が拡散し軌跡を可視化するのが困難である

2.2　本　実　験

2.1で得られた調査方法により，取水量を 8.6 l/s とし，取水口付近の流速分布は図102に示す各平面位置における水深方向 1 cmピッチで計測した。

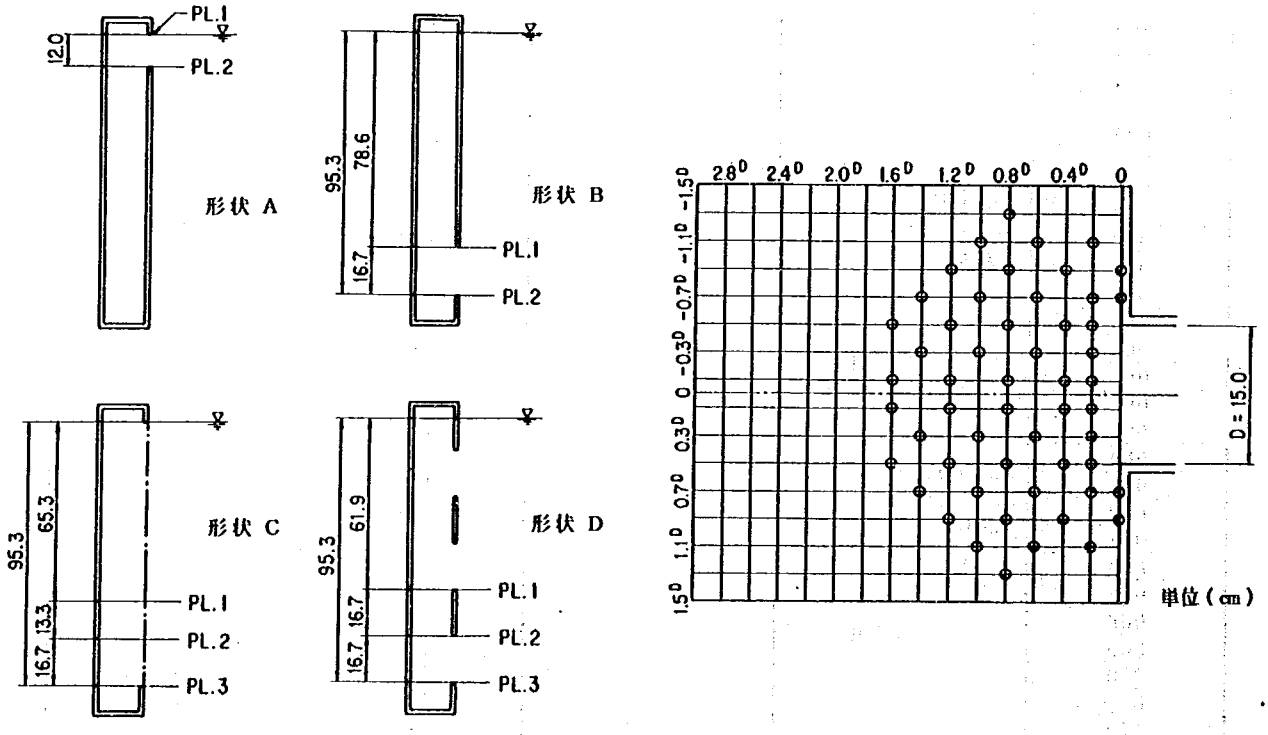


図102　取水口付近の平面流速測定位置図

2.3 実験結果

貯水池内に密度成層が無い場合の取水方式A，B，C，D形状の取水口呑口，および取水口付近の流速の調査結果を整理するとつぎのとおりである。

1. 取水口呑口の流速

取水口呑口の流速の測定位置は図103に示すように3cm上流側で測定し，横断方向は呑口幅が15cmであることから3cmピッチで6測線について測定した。

流量はいづれの形状に対しても8.6 l/s とし，貯水池水深 $d = 198$cmとした。この結果は図104および表58に示すとおりであった。この測定結果より，取水口呑口の流速分布関数を求め，その適合性について検討を加えてみる。

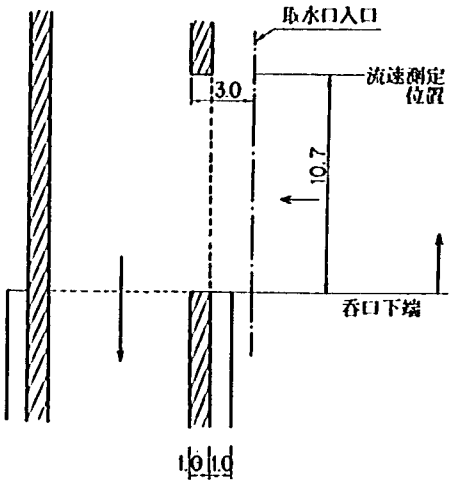


図103　取水口呑口流速測定位置図

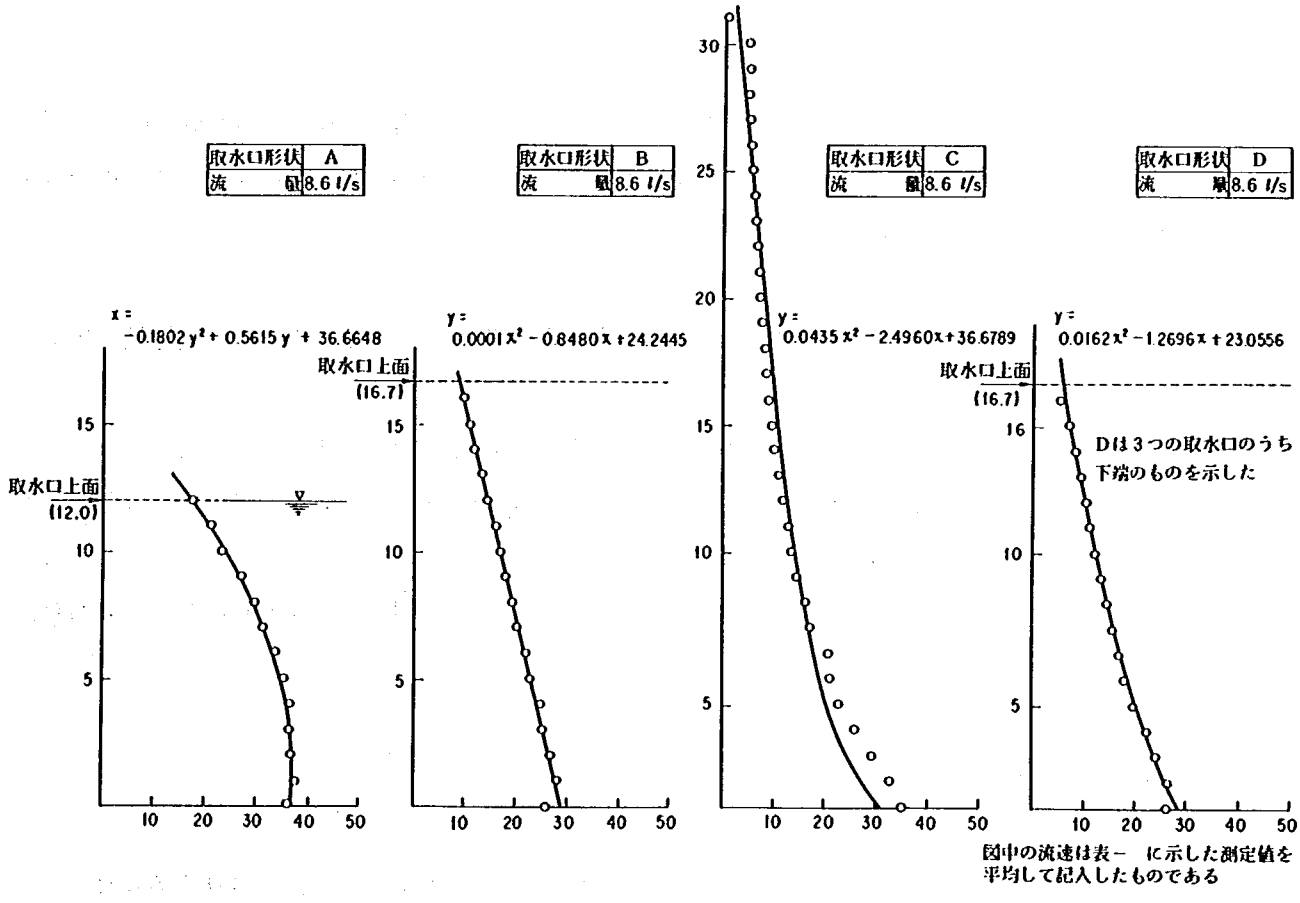


図104　取水口呑口流速分布検討図

まず，6測線での流速値の単純平均値を求めプロットしたのが図104である。ただし，形状Dは取水口が3つあるうちの1番深いものをピックアップした。図の水深方向をy，流速をxとし，それぞれについて最小自乗法により，流速分布関数$f(x)$を求めた。

$f(x)$は図の分布状態から2次関数形$f(x)=ax^2+bx+C$で表わせると見なし，求めたそれぞれの式は図104に示す。この図の実線はこれらの関数式を表わしているが実験値との整合性はC形状を除いてかなり精度が高いといえる。

次に，流速分布より推定流量を逆算し，実験値との比較を表わしたのが表59である。

表59　実験流量と推定流量の比較

取水口形状	実験流量Q_0(l/s)	推定流量Q(l/s)	$Q/Q_0\times100$(%)
A	8.6	5.6 5	6 5.7
B	8.6	5.1 1	5 9.4
C	8.6	5.5 1	6 4.1
D	8.6	3.7 5 ※	4 3.6

※　Dは残り2つの取水口より流入する流量を加算していないため，A～Cに比較して小さくなっている。

この表から，取水口を流下する実流量は流速分布関数より得られる推定流量の1.5～1.6倍程度の補正が必要と思われる。また，流量が変化してもこの分布形状が変化しないものと仮定すれば，流速分布関数を求め補正値を乗ずることにより実流量が推定できる。

2.　取水口付近の流速

取水口付近の流速は図102に示す各位置での平面流速分布を調査したもので，これらの測定結果は図104，図106および表60a～60dに示すとおりである。

この場合，流速はトレーサーにより流向を設定してから測定を実施し，流向は分度器（最小読み取り角度5°）によって設定した。また，流速値は3cm/s以下については前述の如く，充分に把握できなかったが，その流向について捕えることができた。

この結果，流線の状態は流速値に大小はあるものの，全ケースについて同様な分布形状を呈しており，取水口を中心に放射状になることが判った。

第3節　密度成層が有る場合

3.1　予備実験

密度成層を生成し，予備実験により実験条件等について検討した結果は次に示すとおりであった。

1）密度成層を生成する時間は前述の如く16時間とする。

2）流量条件は$Q=8.6$ l/sとすると約20分位で躍層が破壊されてしまうことが判ったので，最大流量を

表61　実験ケース一覧表

項目		目的	内容	備考
密度成層が無い場合		取水口入口および取水口付近の流速分布の調査・比較	Q=8.6 ℓ/sとして，取水口A,B,C,Dの4形状についての流速を測定。あわせてトレーサーによる流況観察。	貯水池水槽 198㎝。 給水口は給水口1，2を全開にした。
密度成層が有る場合	CASE Ⅰ (A&B)	貯水池内に密度成層が有る場合での取水口の水理特性量（流況，温度分布，流速）の調査	取水口Aで取水　※ 取水は流量0.5 ℓ/sで30分， 1.0 ℓ/sで90分の計120分 取水口Bにきりかえて取水 取水は流量1.0 ℓ/sで60分， 2.0 ℓ/sで60分，4.0 ℓ/sで30分の計150分	取水口Aを作動するときは，給水口として1.を使用 取水口Bを作動するときは，給水口として2.を使用
	CASE Ⅱ (A&C)		取水口Aで取水　※ 取水は流量0.5 ℓ/sで30分， 1.0 ℓ/sで90分の計120分 取水口Cにきりかえて取水 取水は流量1.0 ℓ/sで60分， 2.0 ℓ/sで60分，4.0 ℓ/sで30分の計150分	取水口Aを作動するときは，給水口として1.を使用 取水口Cを作動するときは，給水口として2.を使用
	CASE Ⅲ (A&D)		取水口Aで取水　※ 取水は流量0.5 ℓ/sで30分， 1.0 ℓ/sで90分の計120分 取水口Dにきりかえて取水 取水は流量1.0 ℓ/sで60分， 2.0 ℓ/sで60分，4.0 ℓ/sで30分の計150分	取水口Aを作動するときは，給水口として1.を使用 取水口Dを作動するときは，給水口として2.を使用

4 l/s，最小を 1 l/sとする。

3） 流況観察方法はトレーサーの軌跡をガラス面を通してカメラで捕え，その時間的変化を分析する。この場合，トレーサーはアニリングブルー水溶液とし，時間変化はガラス面に方眼区分を書き込むことによった。

4）温度計測のサンプリング間隔は密度成層を作りだすまでは 2 時間ピッチとし，それ以後は V-DATA（集積部以外），Y-DATA（図99に示した集積部）とも 1 分ピッチとした。

3.2 実験内容

密度成層を生成後の本実験は表61に示す実験ケース一覧表に示す 3 ケースの組合せについて実施し，これらの実験工程は次に示す手順で行ったものである。

1. 実験工程（ただし，組合せはA，Bについてであるが他の組合せも同じである。）

18：00　アイランプ点灯（取水口付近 2 列は消しておく）

10：00　消してあった 2 列のランプも点灯する。

10：55　取水口Aによる取水開始，流量は $Q = 0.5\ l$/sとする。
これは，送水管内に貯留されている流水の温度が低いことによる躍層破壊を防ぐためである。

11：25　取水口Aの流量を 1 l/s にする。

12：25　取水口をAからBに，給水口を上段から中段に変え，取水口Bによる取水を始める。
（$Q = 1.0\ l$/s）

13：55　取水口Bの取水量を 2.0 l/sにする。

15：00　取水口Bの取水量を 4.0 l/sにする。

15：35　ポンプをとめて終了。

3.3 実験結果

表61に示した実験ケースでの密度成層の流動形態を述べる前に，以後の説明の簡便化を図るためにつぎに示すように用語を定義する。

Q（l/s）：電磁流量計より得られる流量値（実流量値）

q（l/s）：貯水池内の流況観察により求まる流量で主流方向の流量（Q_1）と逆流方向の流量（Q_2）の差である。（みかけの流量値）

b（cm）：底面より取水口呑までの距離。

d（cm）：貯水池水深

B（cm）：貯水池内の流況観察より得られる量で流水が流動している層幅を示し，主流方向を B_1，逆流方向を B_2 とする。

V（cm/s）：貯水池内の流況観察より得られる量で流動層の流速を示している。主流方向を V_1，逆流

方向をV_2とする。

δ（cm）：取水口の取水層幅に該当するもので実際には（$B_1 + B_2$）/2で定義する。

次に，各実験ケースでの流況観察ならびに温度測定結果について述べるが，これらの結果の一部を抜粋して図107および図108～112に示す。

また，以後の説明では｛CASE No.－取水口形状，流量（l/s）｝の様式で実験ケースを表わすこととする。

1. CASE I（A&B）

取水塔内に取水口形状AとBをセットするもので，左岸側にA，右岸側にBを設置した。

（I－A，05）

給水口より給水される流水は25分間位で取水口へ到達する。

① 給水口付近の流れは図113に示すようにh_1=20cm 付近で流水の流動が見られるが，それより下での流動は見られない。

② 貯水池内の流れは図114に示すように主流，逆流の2層に分かれている。h_2=20cm 位である。

③ 取水口付近の流れは図115に示すように取水による流動幅は水面からh_3=20cm 程度まで見られる。

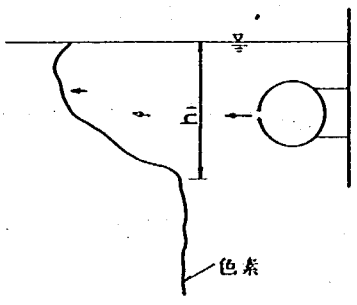


図113 取水口Aでの給水口付近の流れ

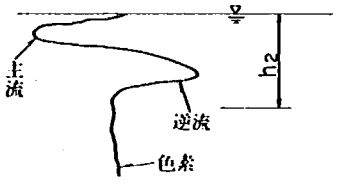


図114 取水口Aでの貯水池内の流れ

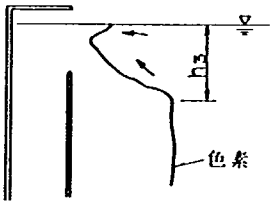


図115 取水口Aでの取水口付近の流れ

（I－A，1.0）

（1－A，0.5）のケースと流況に大きな変化は見られない。h_1, h_2, h_3それぞれ40cm，40cm，30cmとなっている。図109に示した温度データでは水面下6cm付近までは2～4℃程度の低下が見られ，水面下50cm付近までは逆に3～6℃の上昇が見られる。このため，躍層が水面下50cmまで広がったことになるが，それ以下では温度変化は見られない。

（I－B，1.0）

① 給水口付近の流れは図116に示すように給水口出口を中心としたh_5=50cm の流動層が取水口に向っているがその上下では逆流現象となっている。h_4=50cm

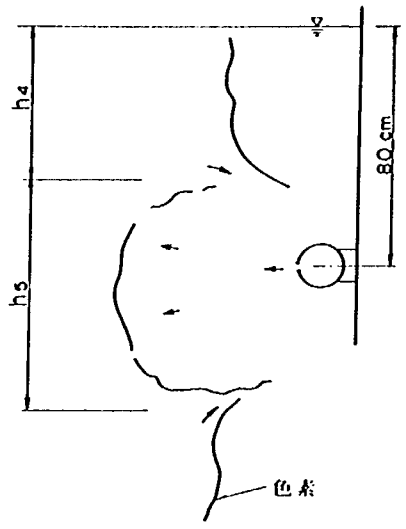


図116　取水口Bでの給水口付近の流れ

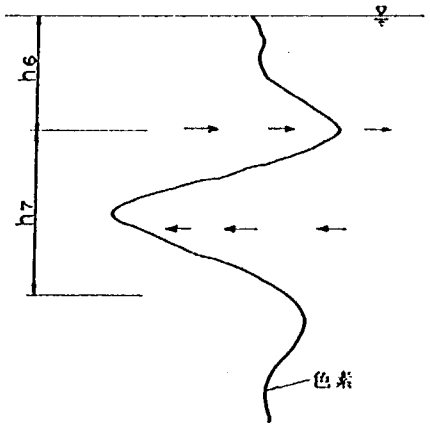


図117　取水口Bでの貯水池内の流れ

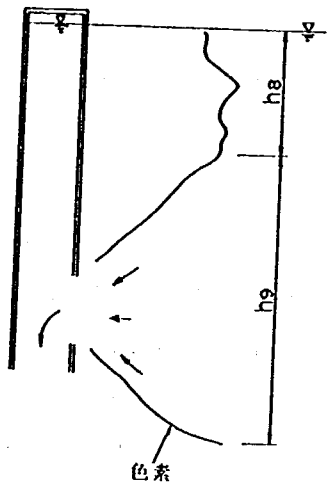


図118　取水口Bでの取水口付近の流れ

② 貯水池内の流れは図117に示すように，水面下50～100cmの間で対流現象が見られる。上部が逆流方向になり，h_6＝50cm ，h_7＝50cm 程度である。

③ 取水口付近の流れは図118に示すように，取水口を中心に流水を上下から取水している。その幅は水面下80cmより110cmの間である。h_8＝80cm ，h_9＝30cm となっている。

以上の流動形態で明らかなように取水口Bに切り替えても水面下50cmまでの温度躍層を取水することにはならないため図110の温度分布は（I－A，1.0）と全く変化していない。

（I－B，2.0）および（I－B，4.0）における流れの傾向は（I－B，1.0）のケースと同様で，それぞれの流動幅が変化している。したがって，これらの流動幅を整理したのが表62である。

表62　取水口Bの流動幅

CASE No	給水口 (cm)		貯垂池 (cm)		取水口 (cm)	
	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9
（I－B，1.0）	60	50	50	50	80	110
（I－B，2.0）	50	140	40	150	60	120
（I－B，4.0）	40	160	30	160	50	120

また，図111から明らかなように，（I－B，2.0）のケースでも（I－B，1.0）のケースと同様に表面付近の躍層を取り込むことがないため温度分布は変化していない。しかし（I－B，4.0）のケースでは取水量の増大によって，躍層をやや引張っている。したがって，取水後の温度分布は図112で明らかなように水面下10cm～50cm間の温度が低下している。

2. CASE Ⅱ（A&C）

このケースはCASEⅠの取水口B形状とC形状を入れ替え設置した。

このケースでの取水口Aによる取水状況はケースⅠと全く同様であり，給水口付近から貯水池中間の流況は取水口Bとほとんど同様である。

取水口付近の流れは図119に示すように主流は呑口下端（取水深が最大）に集中しており，取水口Bとほぼ同様な流入をしている。水面付近は流れの澱み層となっている。

（Ⅱ－C，1.0），（Ⅱ－C，2.0）および（Ⅱ－C，4.0）のそれぞれのケースにおける図116，117，118に示したh_4～h_9を求めた結果を表63に示す。

この表63と取水口Bでの表62の比較からも流動形態がほとんど同じであることが容易に判る。また，温度分布についても全くB形状と同様の結果となっている。

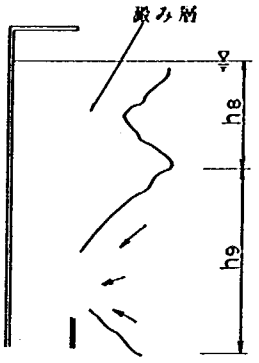


図119　取水口Cでの取水口付近の流れ

表63　取水口Cの流動幅

CASE No.	給水口（cm）		貯水池（cm）		取水口（cm）	
	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9
（Ⅱ－C，1.0）	60	60	50	50	70	100
（Ⅱ－C，2.0）	40	130	40	150	50	120
（Ⅱ－C，4.0）	40	150	30	160	40	120

3. CASE Ⅲ（A&D）

このケースはCASEⅡでの取水口形状CとD形状をさらに交替したケースである。

このケースでも取水口Aによる取水状況はケースⅠと全く同様で，給水口付近から貯水池中間の流況も取水口Bとほとんど変らない。

取水口付近の流れは図120に示すように主流はやはり最深部の取水口より取水されているが，二番目の取水口からもわずかに取水されている。最上部の取水口からは全く取水されていない。

（Ⅲ－D，1.0），（Ⅲ－D，2.0）および（Ⅲ－D，4.0）においてもケースⅡと同様にh_4～h_9を求め表64に示す。

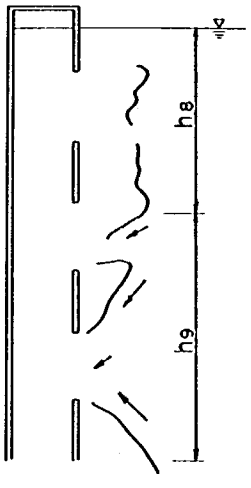


図120　取水口Dでの取水口付近の流れ

表64　取水口Dの流動幅

CASE No	給水口 (cm)		貯水池 (cm)		取水口 (cm)	
	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9
(Ⅲ−D, 1.0)	60	120	50	90	70	110
(Ⅲ−D, 2.0)	50	140	50	150	50	120
(Ⅲ−D, 4.0)	40	150	40	160	40	130

この結果，ケースⅡで述べたと同様に取水口Bでの流動形態とほとんど同じで，温度変化のパターンも全く同様である。

3.4　実験考察

1.　躍層形成までの熱収支

ここで，CASEⅠ～Ⅲについて，躍層形成までの貯水池内での熱収支について考察を加えてみる。アイランプの熱量は先に述べたように，躍層形成までは取水口寄り2列までのランプを点灯していないため，アイランプは全部で72個とし，電圧，電流値は72個の合計180V，100A となっている。

その他，給水温度，水位低下量などをまとめて表65に示す。この場合の給水温度は給水完了時の貯水槽内の水温の最高と最低を平均したものである。

アイランプ16時間点灯後の貯水槽内の温度分布および熱量を図121に示す。

表65および図121よりスタート時の給水温度に差があるが，躍層の形成状態（温度勾配）には差がほとんどないものと判断できる。

表65　躍層形成までの熱収支

Case No	給水温度 (℃)	水面低下量 (cm)	アイランプの熱量 H_T ($\times 10^6$cal)	蒸発に加えられた熱量 H_T ($\times 10^6$cal)	水槽内に加えられた熱量 H_s ($\times 10^6$cal)	熱損量 H_K ($\times 10^6$cal)	$\frac{H_K}{H_T}\times 100$ (%)
Ⅰ	16.7	0.85	211.59	110.16	69.65	31.78	15.0
Ⅱ	18.0	0.85	211.59	110.16	66.86	34.57	16.3
Ⅲ	18.5	0.80	211.59	103.68	67.97	39.74	18.9

2.　流量収支

貯水池内に給水口より流量を流下させると，貯水池内には図122に示すような対流する流動現象が生じる。

ここで，この対流している層を流動層とし，流動層内の流量関係について検討を加えた。まず，流動層内の流れを図122に示すようにモデル化する。

この図の流動幅(b)，流動速度(V)は流況観察（写真測定）より得られた値を用いて，次のように単純化した。

$$\frac{B_1V_1}{2} = v_1B_1 \qquad (27)$$

$$\frac{B_2V_2}{2} = v_2B_2 \qquad (28)$$

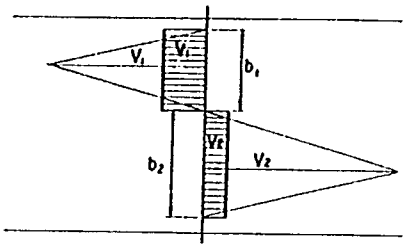


図122　流れの状態図(A)

ここに，　V：流況観察より得られた流速（表66参照）

v：平均化された流速（cm/s）

表66　水理特性量一覧表

CASE No.		設定流量 Q(l/s)	設定取水位置指標 b/D^4	移動幅(cm)		移動速度(cm/s)		主流方向のQ_1流量(l/s)	逆流方向のQ_2流量(l/s)	見かけの流量 q(l/s)	取水層幅 δ(cm) B_1+B_2/s
				B_1(主流)	B_2(逆流)	V_1(主流)	V_2(逆流)				
I	A	1.051	1.0	25	12	32	6.5	1.33	0.13	1.20	18.5
	B	1.071	0.5	45	19	21	14	1.58	0.44	1.14	32.0
		2.081	0.5	77	22	24	14	3.08	0.51	2.57	49.5
		4.061	0.5	90	19	48	22	7.20	0.70	6.50	54.5
II	A	1.081	1.0	13	0	59	0	1.29	0	1.29	6.5
	C	1.061	0.5	58	29	19	16	1.84	0.77	1.07	43.5
		2.091	0.5	79	23	17	11	2.24	0.42	1.82	51.0
		4.051	0.5	96	19	37	16	5.92	0.51	5.41	57.5
III	A	1.062	1.0	21	0	28	0	0.98	0	0.98	10.5
	D	1.121	0.5	53	29	22	19	1.94	0.92	1.02	41.0
		2.091	0.5	71	26	20	13	2.37	0.56	1.71	48.5
		4.061	0.5	103	0	25	0	4.29	0	4.29	51.5

(27)式，(28)式を用いると，さらに主流方向の流量（Q_1）と，逆流方向の流量（Q_2）は

$$Q_1 = v_1B_1 \qquad (29)$$

$$Q_2 = v_2B_2 \qquad (30)$$

Q_1+Q_2 は，貯水池内の流動現象に寄与している流量で，q（$=Q_1-Q_2$）と水槽内に流入する流量(Q)との間には次式が成立すると考えられる。

$$Q = q \qquad (31)$$

図123にQとqの関係を示した。図より，Qが2 l/s 以下の範囲では$Q = q$の関係が見られるが，Q = 4 l/s のケースではバラツキが見られる。

また，図124にはQ_1とQの関係を示す。この図からQ_1はQの 1.5~2倍の範囲にあることが判る。

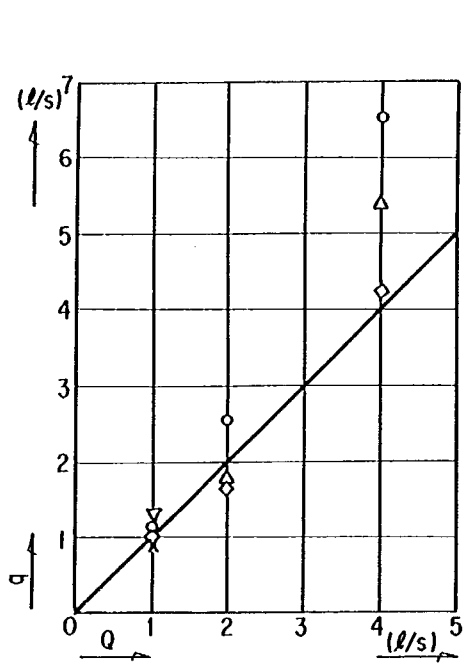


図123　設定流量(Q)と見かけの流量(q)との関係

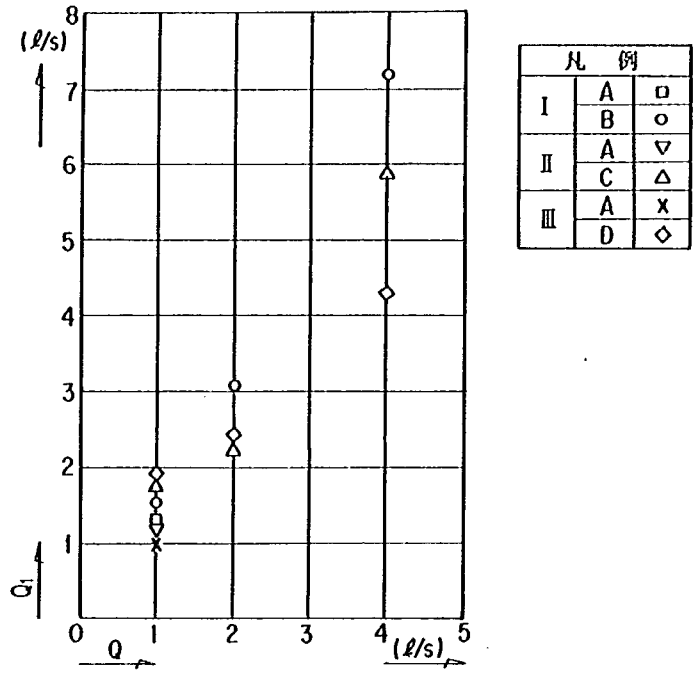


図124　設定流量(Q)と主流方向の流量(Q_1)との関係

3.　実験条件の再現性

先にも述べたように，アイランプによる躍層は水面下40cm程度までは形成されるが，それより深い位置では熱量不足のため形成されない状態で安定してしまう。

この躍層をさらに深い位置まで発達させる目的で取水口Aにより 0.5 l/s，1.0 l/sの 2 流量で約 2 時間取水したがいずれの場合も50cm程度の状態で安定してしまった。

実験ケースⅠ～Ⅲにおける取水口A操作による躍層の変化状態を示したのが図125である。この図においてケースⅠとⅡおよびⅡとⅢでの温度分布のずれはほぼ給水温度差に等しいことから初期条件によるものと考えられる。

これらの結果からつぎのことがいえる。

1）取水口，B，C，D の取水時の貯水池内の条件はほぼ同じである。

2）本方式での躍層の形成範囲は水面下50cm程度が限界であるといえる。

4.　取水口形状B，C，D の比較

先に述べたように，今回の実験では３ケースの取水口の幅を一定としたため，最大水深での取水断面における流速に支配され，いずれのケースも同様な結果となった。したがって，選択取水の流動厚や混合取水時の流動形態等の詳細を知るにはモデルの取水断面を任意に変えられることが必要である。

5. 貯水池内の流れ

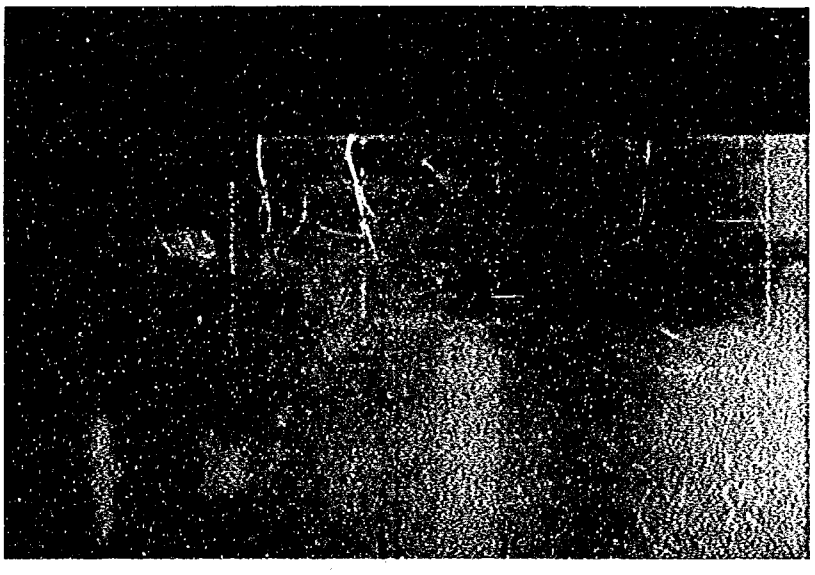
これまで述べてきたように，貯水池内の流れは取水口の位置によって支配される。

すなわち，取水口Ａによる取水は自由水面をもつ表層取水であり，取水口，Ｂ，Ｃ，Ｄによる取水は中層取水として区別できる。この２種の取水方式による貯水池内の流れを給水口（貯水池流入部），貯水池内，取水口の３ケ所についてまとめるとつぎのとおりである。

1) 表層取水の場合（写真№102参照）

① 給水口付近の流れ

給水口より放流される流水は水面下30～40cm付近の層と希釈混合をしているがそれ以下の水塊に対しては何の影響も与えていない。



写真№102
形　状　A
取水口付近の流況
$Q = 1.0\ l/s$

② 貯水池内の流れ

水面下15～20cm付近が主流となる流れで，その流速は平均して40cm/minである。また，水面下25～30cm付近に逆流方向に向う流れが見られ，その流速は平均して５～10cm/minである。

③ 取水口の流れ

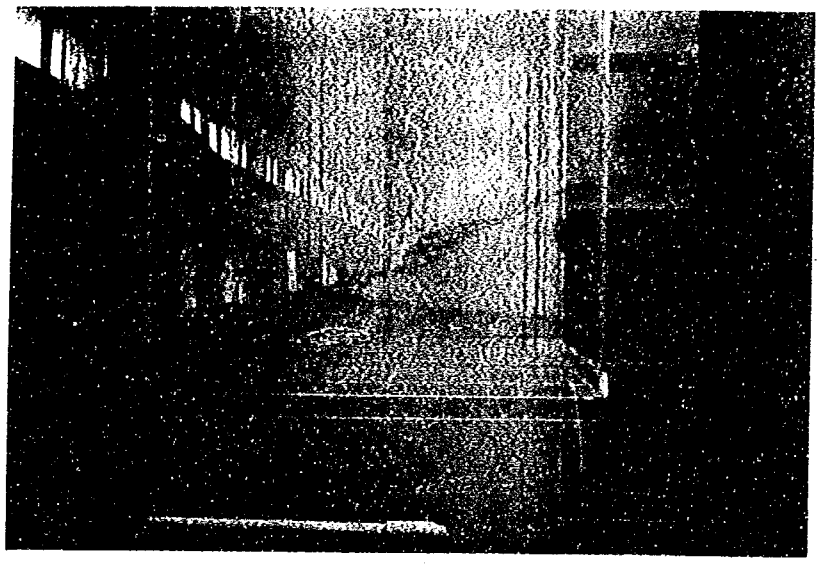
取水口に取水される流動層の厚さは水面下20cm位のところまでを吸い込んでいる。その流速分布はトレーサーにより水面下５cm付近が最大となっている。

2) 中層取水の場合（写真№103～105参照）

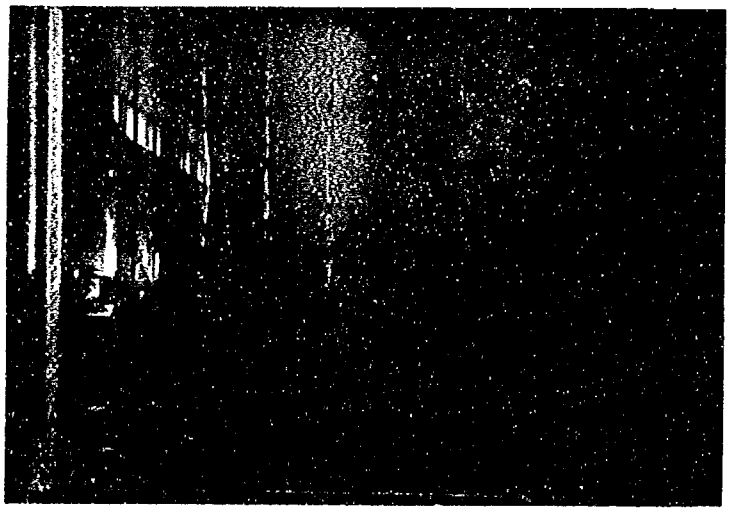
① 給水口の流れ

給水口より放流された流水は流量によってその規模に差はあるが，給水口を中心とした上下層を連行

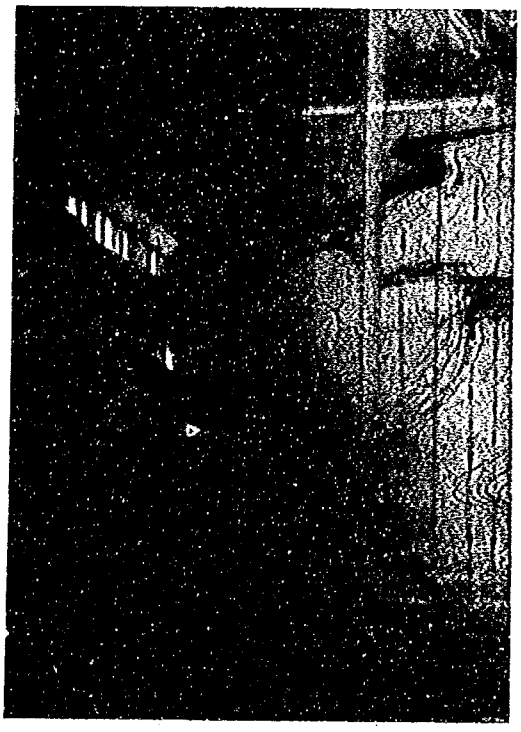
し，希釈混合を繰り返している。その流動層は 1 l/s =60cm，2.0 l/s =90cm，4.0 l/s = 120 cm程度である。



写真No 103
形　状　B
取水口付近の流況
Q = 1.0 l/s



写真No 104
形　状　C
取水口付近の流況
Q = 1.0 l/s



写真No 105
形　状　D
取水口付近の流況
Q = 1.0 l/s

② 貯水池内の流れ

流量が 1 l/s の場合には給水口と取水口を結ぶ線上に主流が見られ，その上部に逆流が見られる。Q = 2.0 l/s になると主流の幅は70～90cmに広がり，逆流域は主流の上下に見られる。Q = 4.0 l/s では Q = 2.0 l/s の場合と同様な流れであるが，その流動幅が 3 ～ 4 割程度広がっている。

③ 取水口の流れ

取水口に取水される幅は流量順に平均して，35cm，50cm，55cmとなっている。

取水範囲は呑口下端を中心にほぼ同じ層厚で上下層を吸い込んでいる。

6. 取水層幅

ここでは，日野，大西[1]が密度成層場での軸対称流の吸い込み現象について導いた基礎式をもとにして，表層，中層取水時の取水層幅に対して検討を加えた白砂，安芸[2]の報告を参考に実験資料を検討した。

日野，大西は一種の内部フルート数Gとして次式を与えた。

$$G=\frac{Q}{\theta\sqrt{g\varepsilon d}} \tag{32}$$

ここに，　G ： 日野，大西のG

Q ： 取水流量

θ ： 取水口の開口部の流入方向のはさみ面（ラジアン）

ε ＝密度勾配　　$\varepsilon=\frac{\rho_0-\rho}{\rho_0 d}$

ρ_0 ＝水槽底面での密度

ρ ＝水槽上面での密度

d ＝水槽水深

g ＝重力加速度

式をもとに取水層幅δを白砂，安芸はつぎのように提示している。

表層取水時　　$\delta=G^{-1/3}\left(\frac{Q}{\theta\sqrt{g\varepsilon}}\right)^{1/3}$

$G=0.324$

中層取水時　　$\delta=G^{-1/3}\left(\frac{Q}{\theta\sqrt{g\varepsilon}}\right)^{1/3}$

$G=0.124$

ここで，εを種々に変えた結果，および本実験より得られた取水層幅を図126および図127に示した。ただし，実験での取水層幅は$\frac{B_1+B_2}{2}$の単純平均値とした。

また，実験での密度勾配の算定は次のとおりであり，その結果は表67に示すとおりである。

1) 中層取水の場合はアンランプにより水面下5cmまでは急勾配となっているため除外し，それ以下の範囲で温度勾配を求めた。

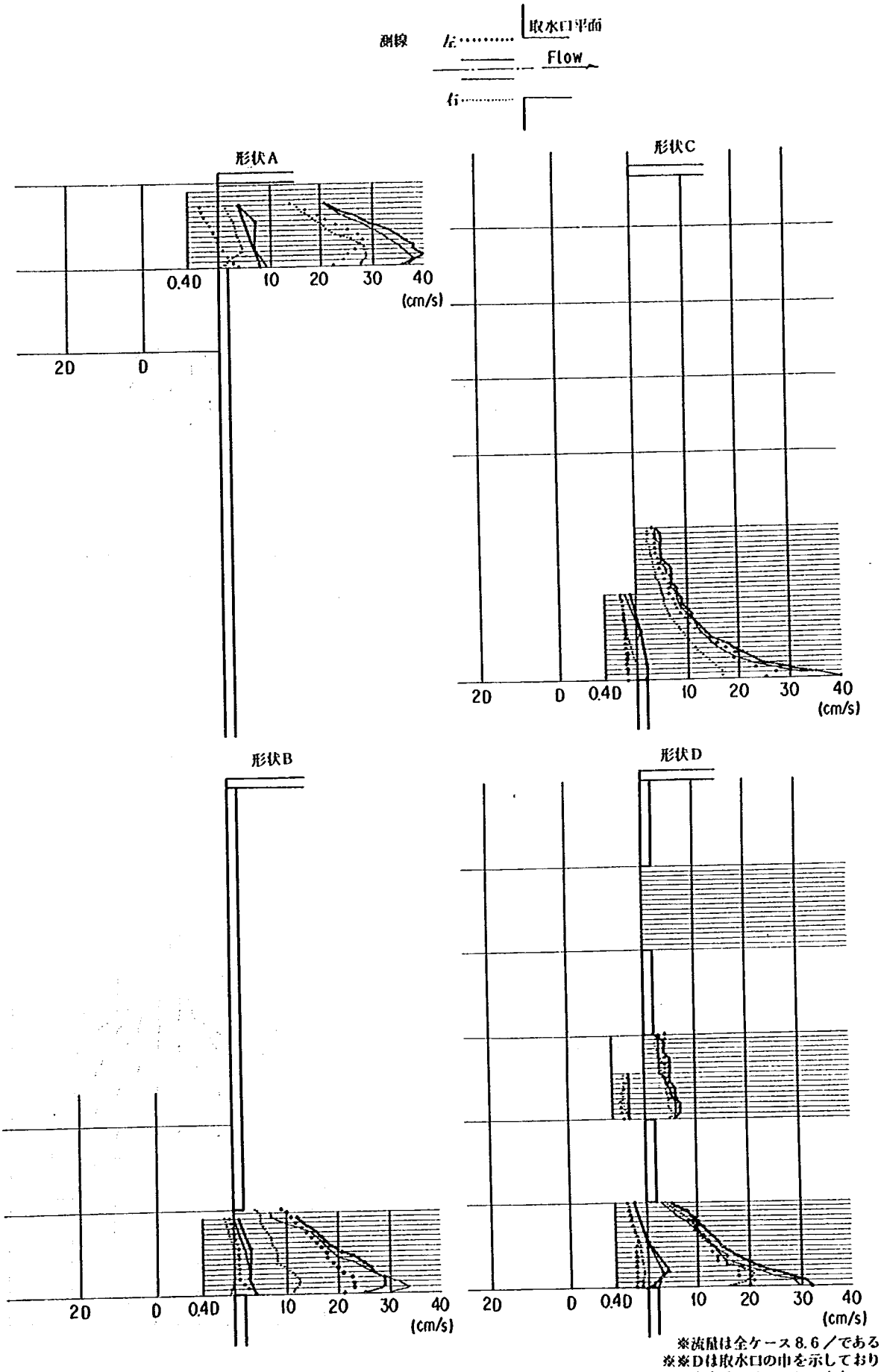
2) 表層取水の場合には全温度勾配から求めた。

表67　密　度　勾　配（ε）

Case No	T(℃)		ρ (g/cm³)		d(cm)	$\varepsilon=\frac{\rho_0-\rho}{\rho_0 d}$(cm^{-1})
	T_0	T	ρ_0	ρ		
I−A−1.0	17.5	29.0	0.99870	0.99600	45	6.008×10^{-5}
I−B−1.0	16.5	22.0	0.99890	0.99775	122	9.437×10^{-6}
I−B−2.0	16.5	21.0	0.99890	0.99800	122	7.385×10^{-6}
I−B−4.0	18.0	19.5	0.99860	0.99830	132	2.276×10^{-6}
II−A−1.0	20.0	27.5	0.99820	0.99640	45	4.007×10^{-5}
II−C−1.0	20.0	30.0	0.99820	0.99570	65	3.853×10^{-5}
II−C−2.0	18.5	32.5	0.99850	0.99495	148	2.402×10^{-5}
II−C−4.0	19.0	20.5	0.99942	0.99810	132	2.428×10^{-6}
III−A−1.0	20.0	28.5	0.99820	0.99610	45	4.675×10^{-6}
III−D−1.0	20.0	31.5	0.99820	0.99525	45	6.567×10^{-5}
III−D−2.0	19.0	30.0	0.99842	0.99570	142	1.919×10^{-5}
III−D−4.0	20.0	22.0	0.99820	0.99775	132	3.415×10^{-6}

以上の実験結果から，取水量と流動幅の関係，密度成層と取水層幅の関係，中層取水時の対流現象等の定性的な流動形態についての概略を調査することができ，これらの実験結果がこれまでの流動形態の解析手法との関係でほぼ妥当であることが理解できた。

したがって，温度や濁度によって形成される密度成層の状態を予測し，貯水池の有効利用および水質保全対策としての選択取水設備は，その機能を活かされる設計であればかなり有効に働くものと思われる。



※流量は全ケース 8.6 ／である。
※※Dは取水口の巾を示しており，本実験ではD＝15㎝となっている。

図 105　取水口付近の流速分布

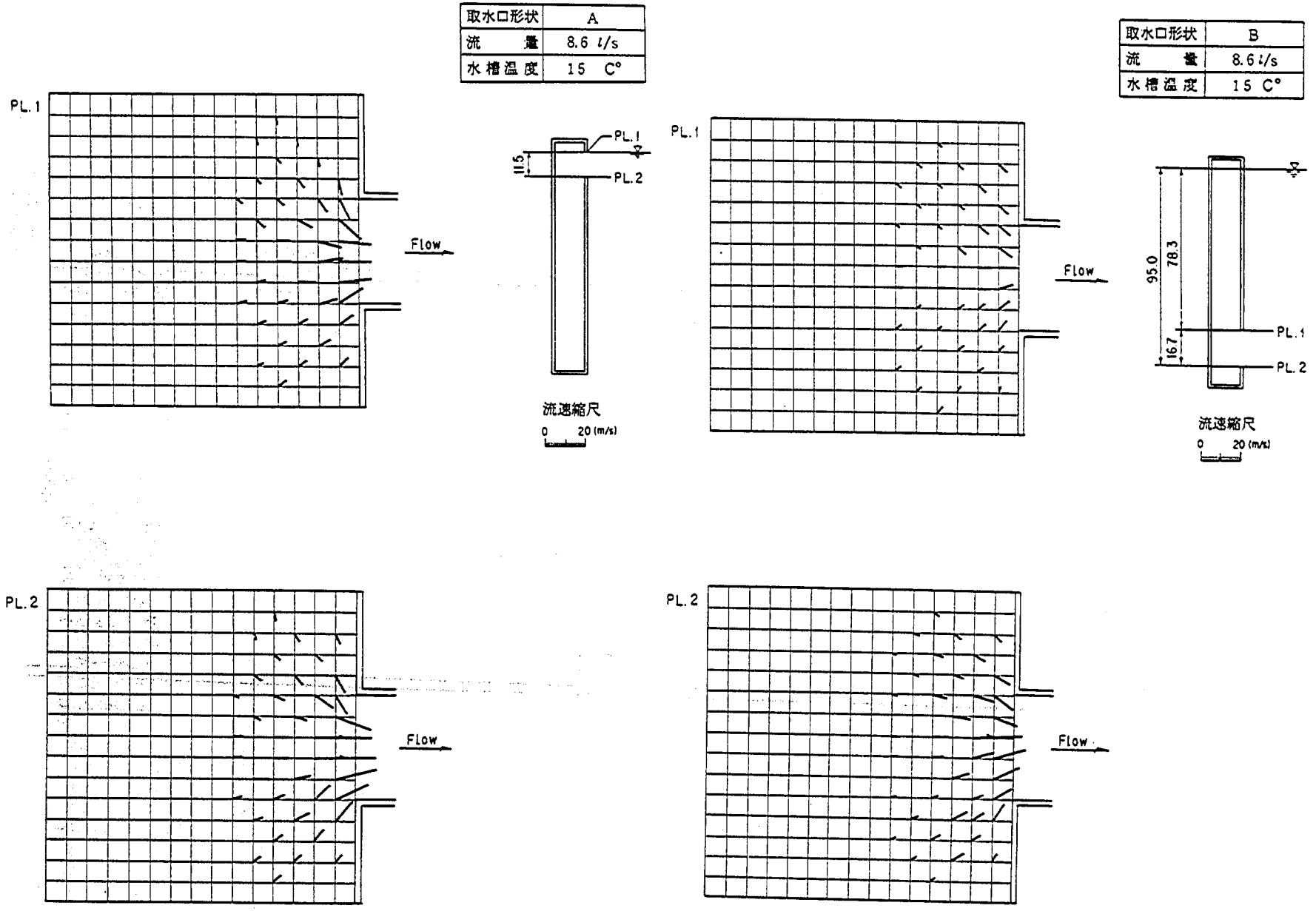
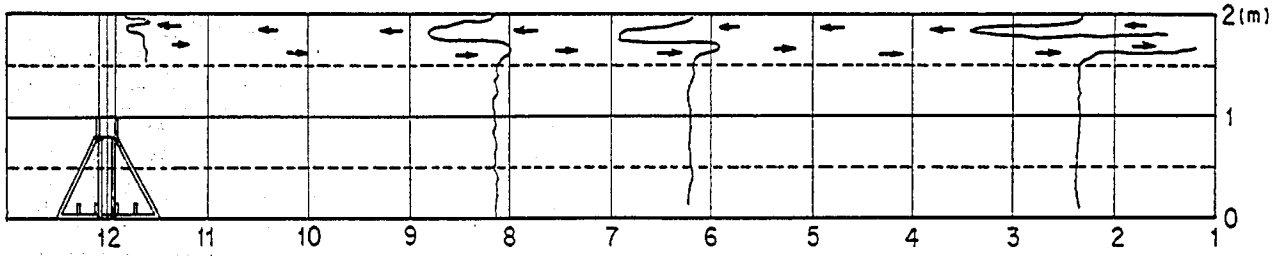
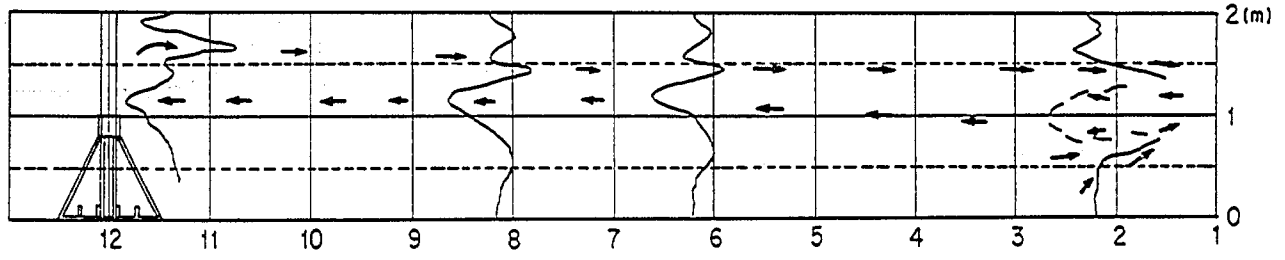


図106　取水口付近の平面流速分布図

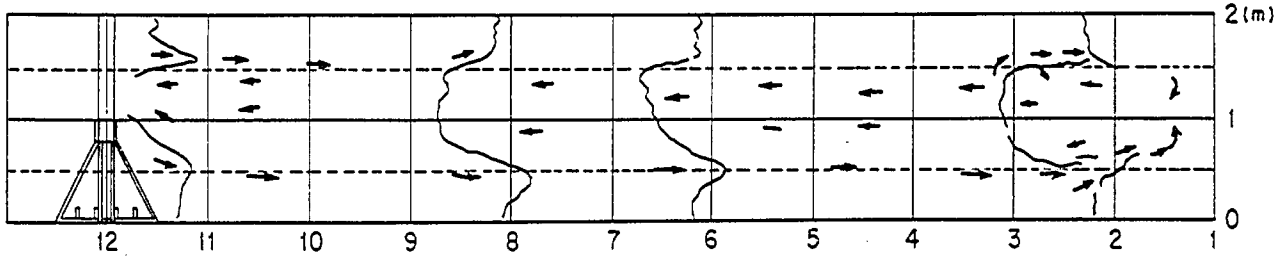
CASE No. I	
取水塔	A
流　量	1.0 ℓ/s
時　間	12:30



CASE No. I	
取水塔	B
流　量	1.0 ℓ/s
時　間	13:30



CASE No. I	
取水塔	B
流　量	2.0 ℓ/s
時　間	15:00



CASE No. I	
取水塔	B
流　量	4.0 ℓ/s
時　間	15:30

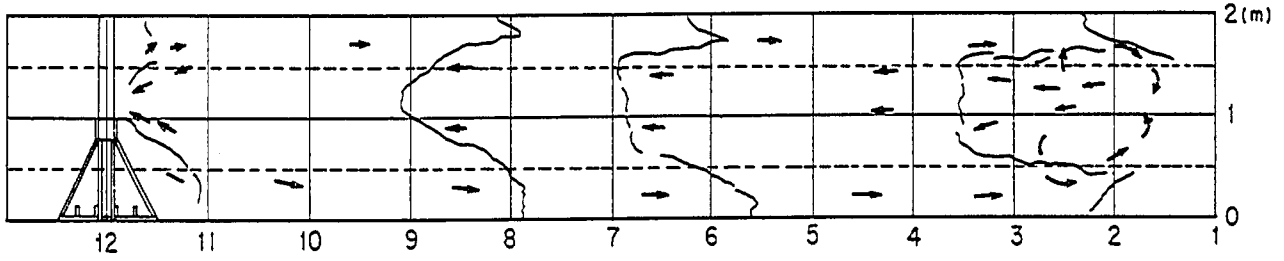


図107　流況比較図

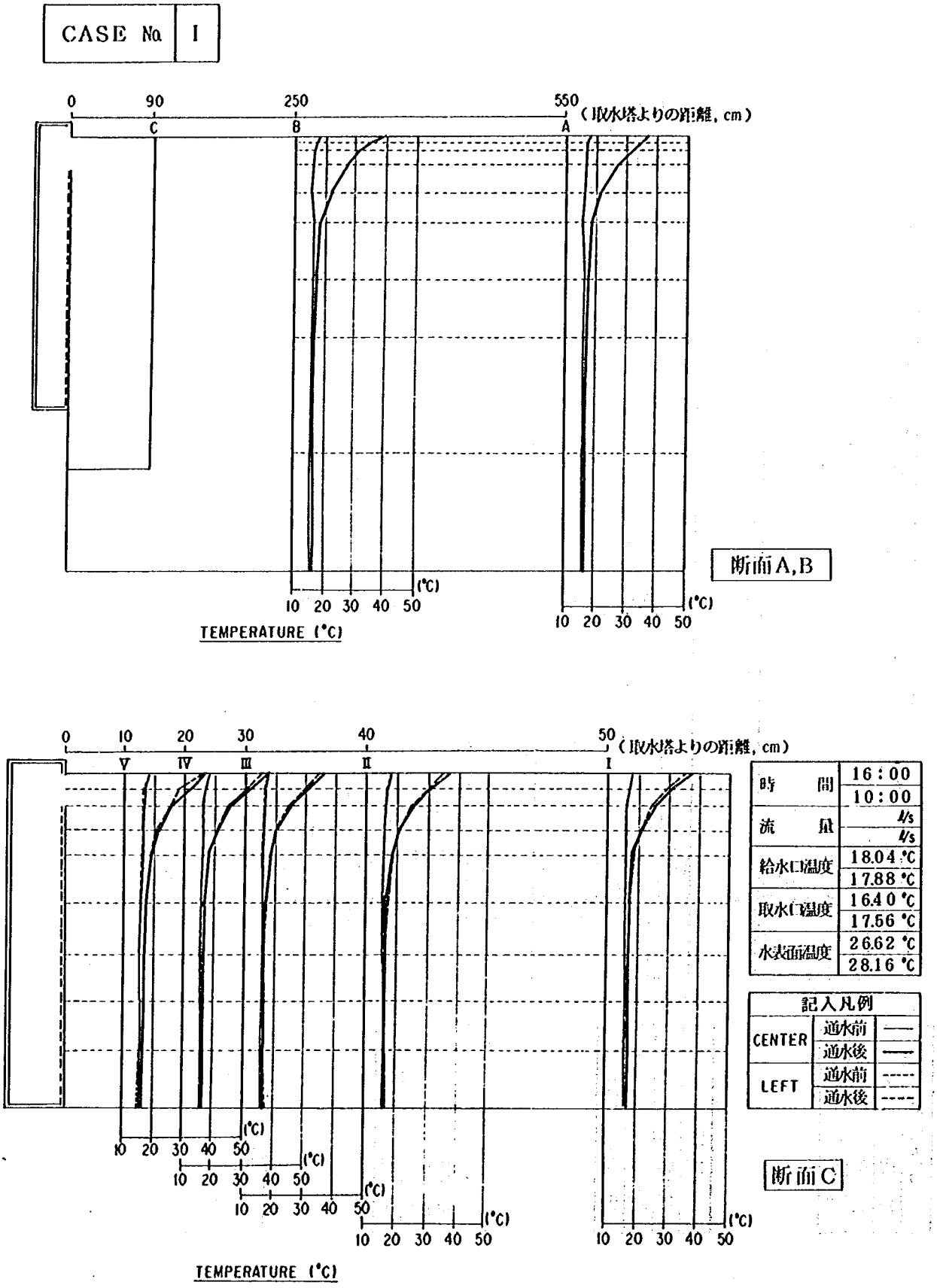


図108　温度分布図（躍層形成状態）

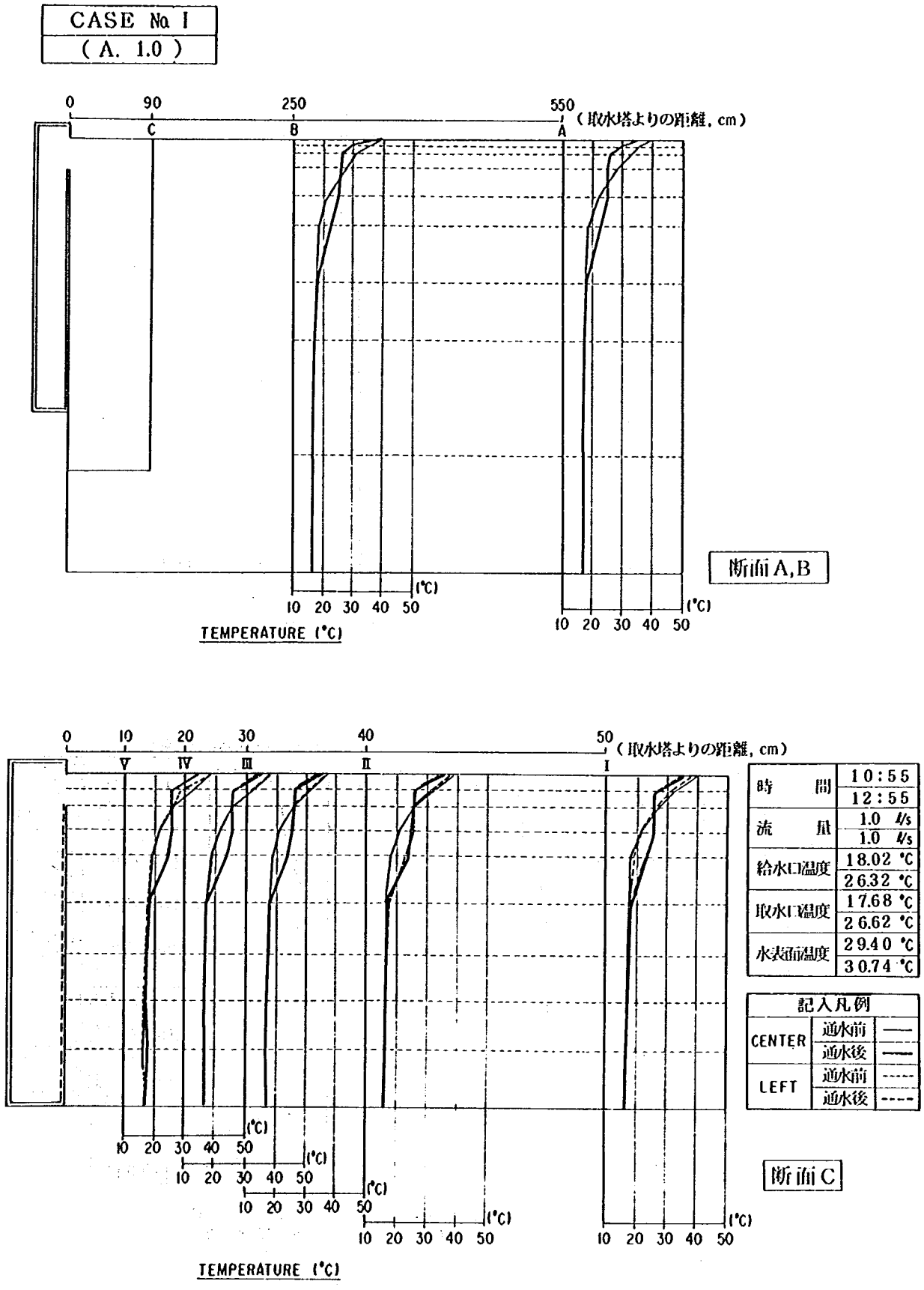


図109 温度分布図（取水口A, $Q = 1.0\,l/s$）

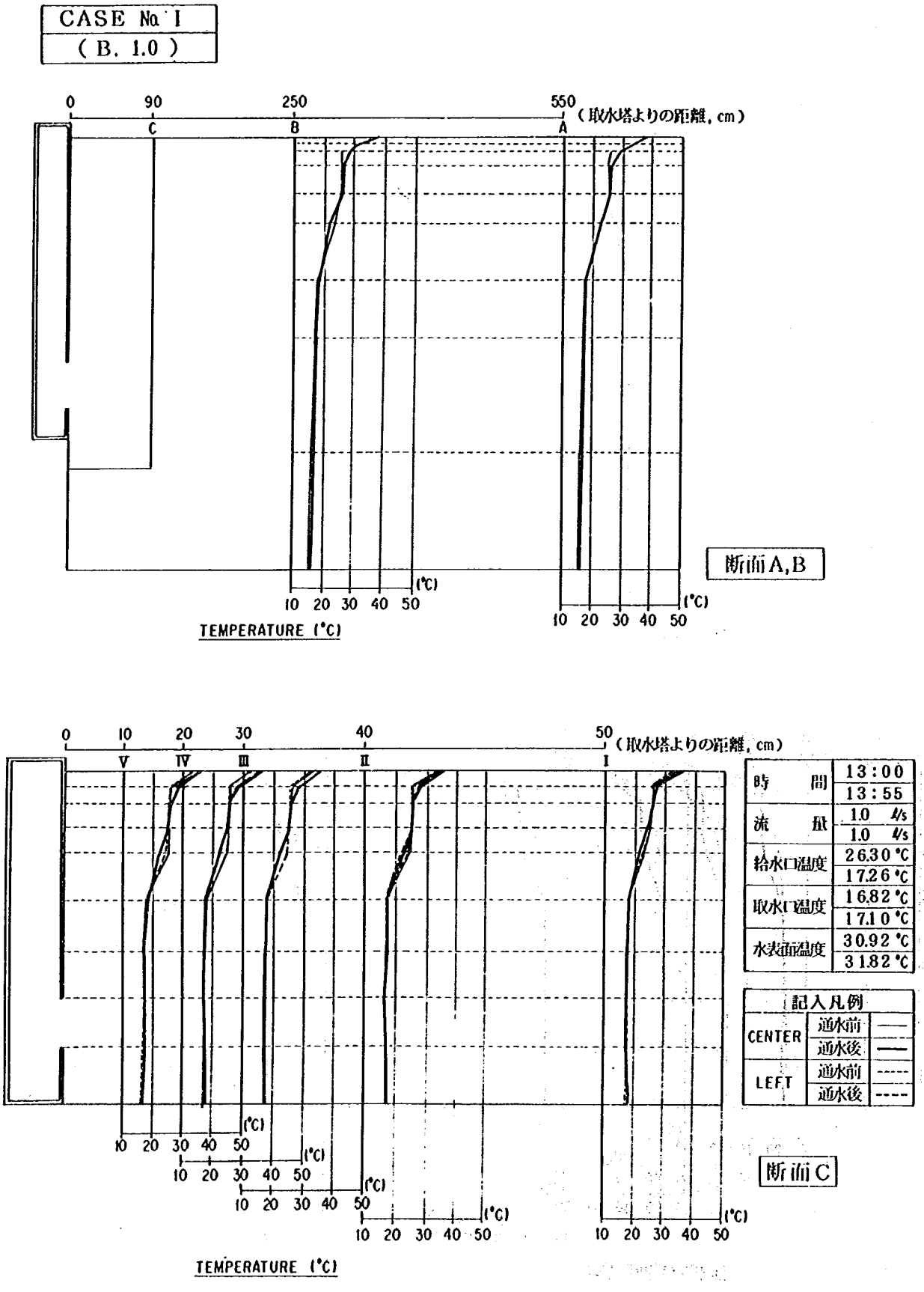
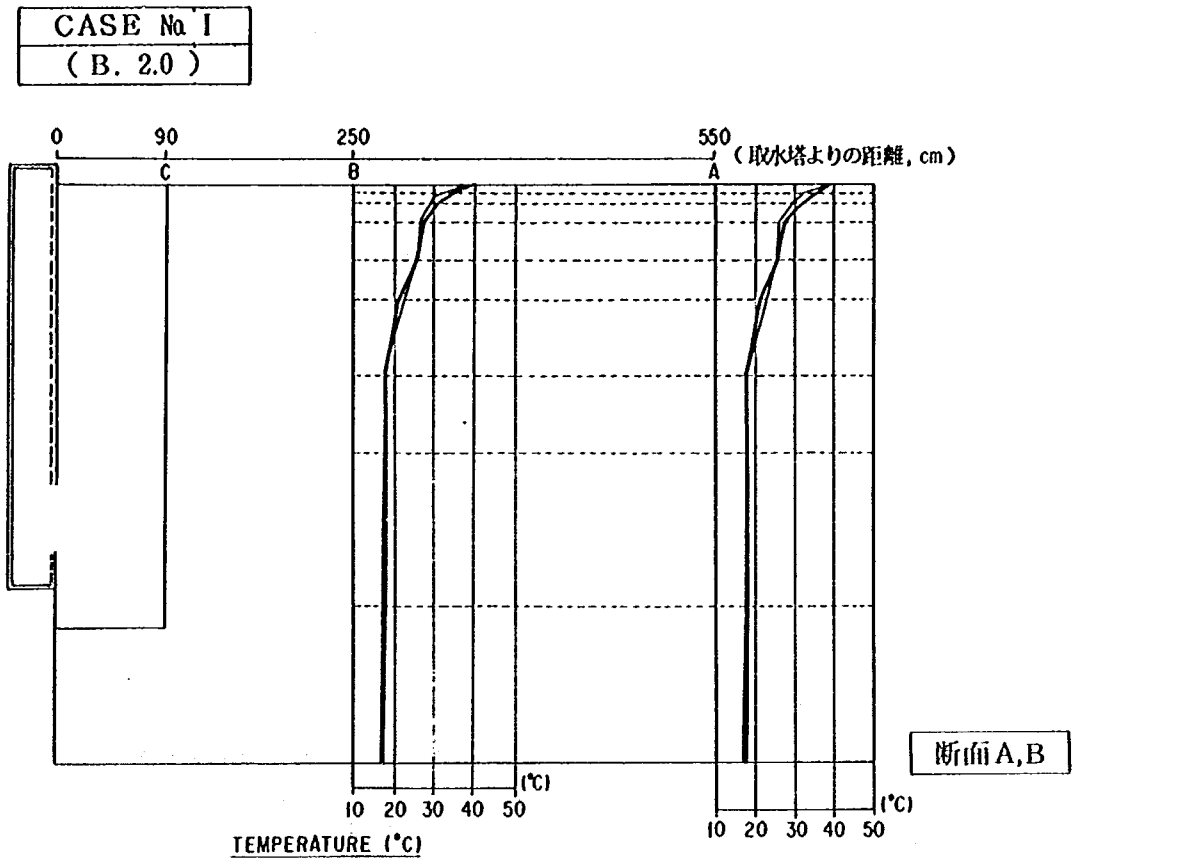


図 110　温度分布図（取水口 B，$Q = 1.0\ l/s$）



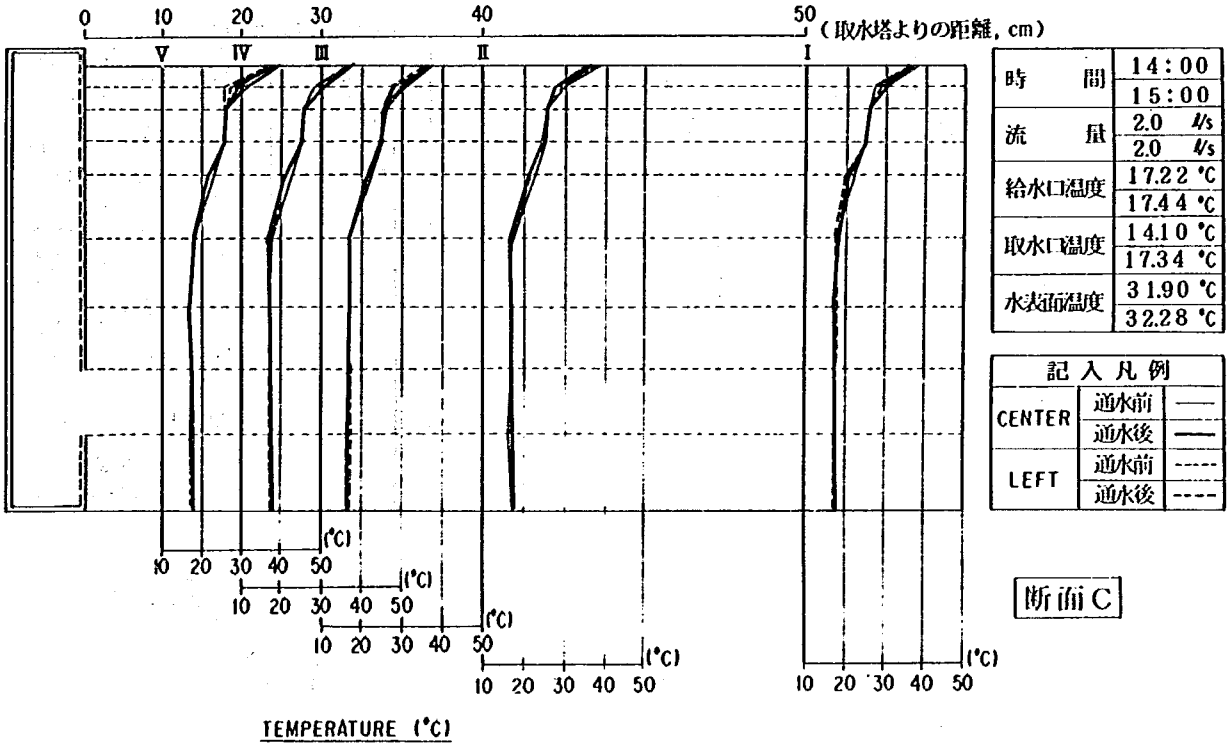


図111　温度分布図（取水口B，$Q = 2.0\,l/s$）

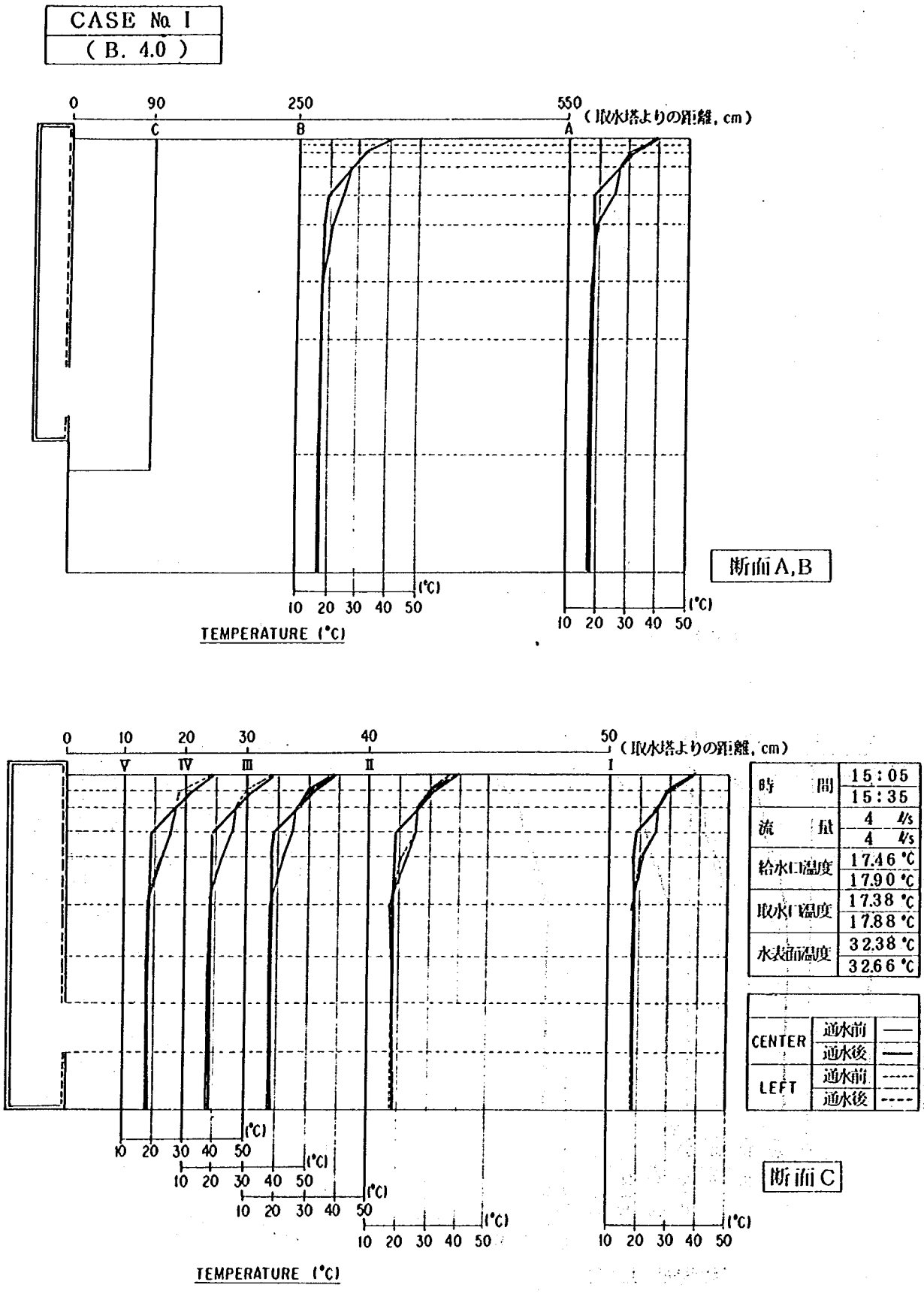
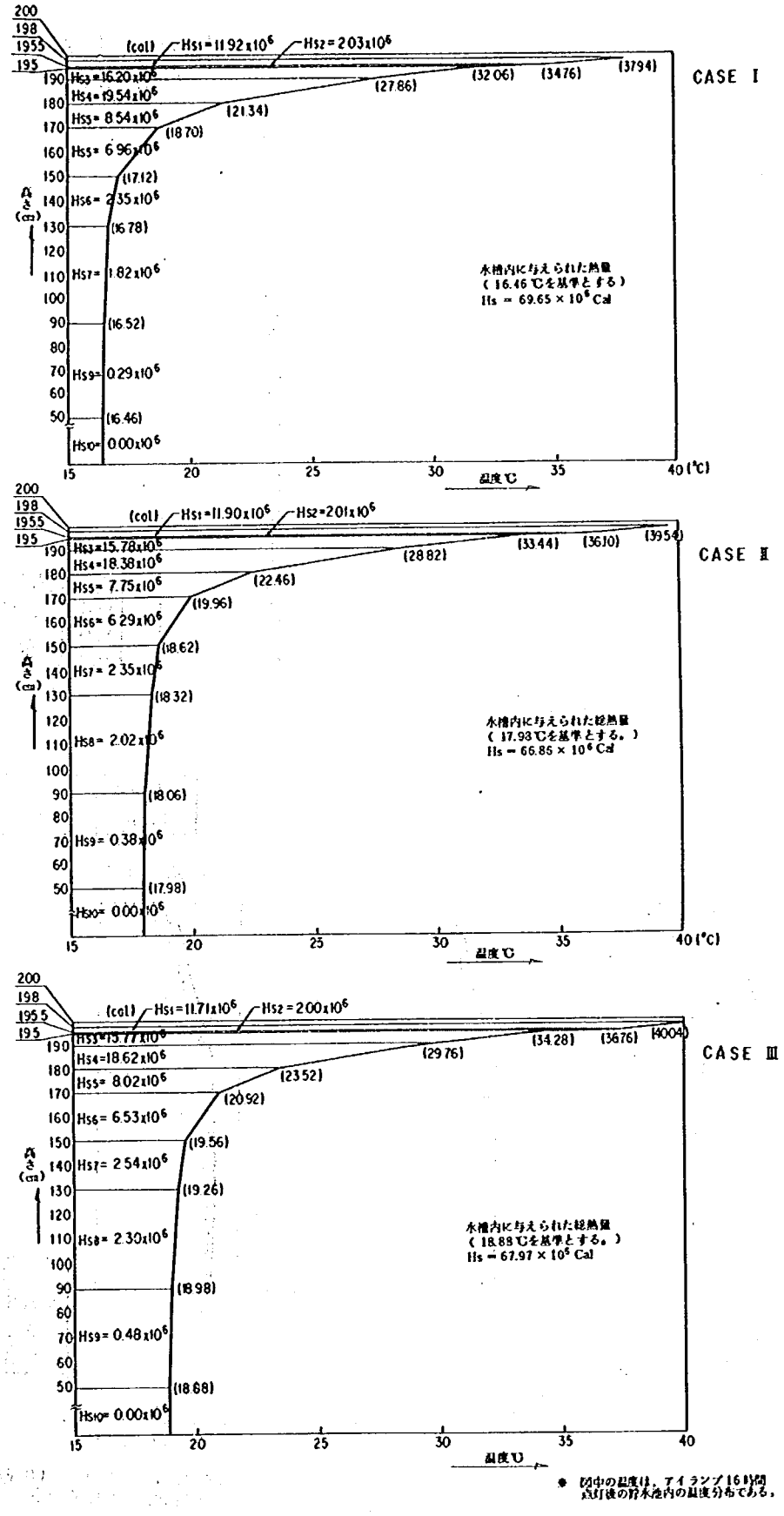


図112　温度分布図（取水口B，$Q = 4.0\ l/s$）



* 図中の温度は，アイランプ16時間点灯後の貯水池内の温度分布である．

図121 躍層の形成状態

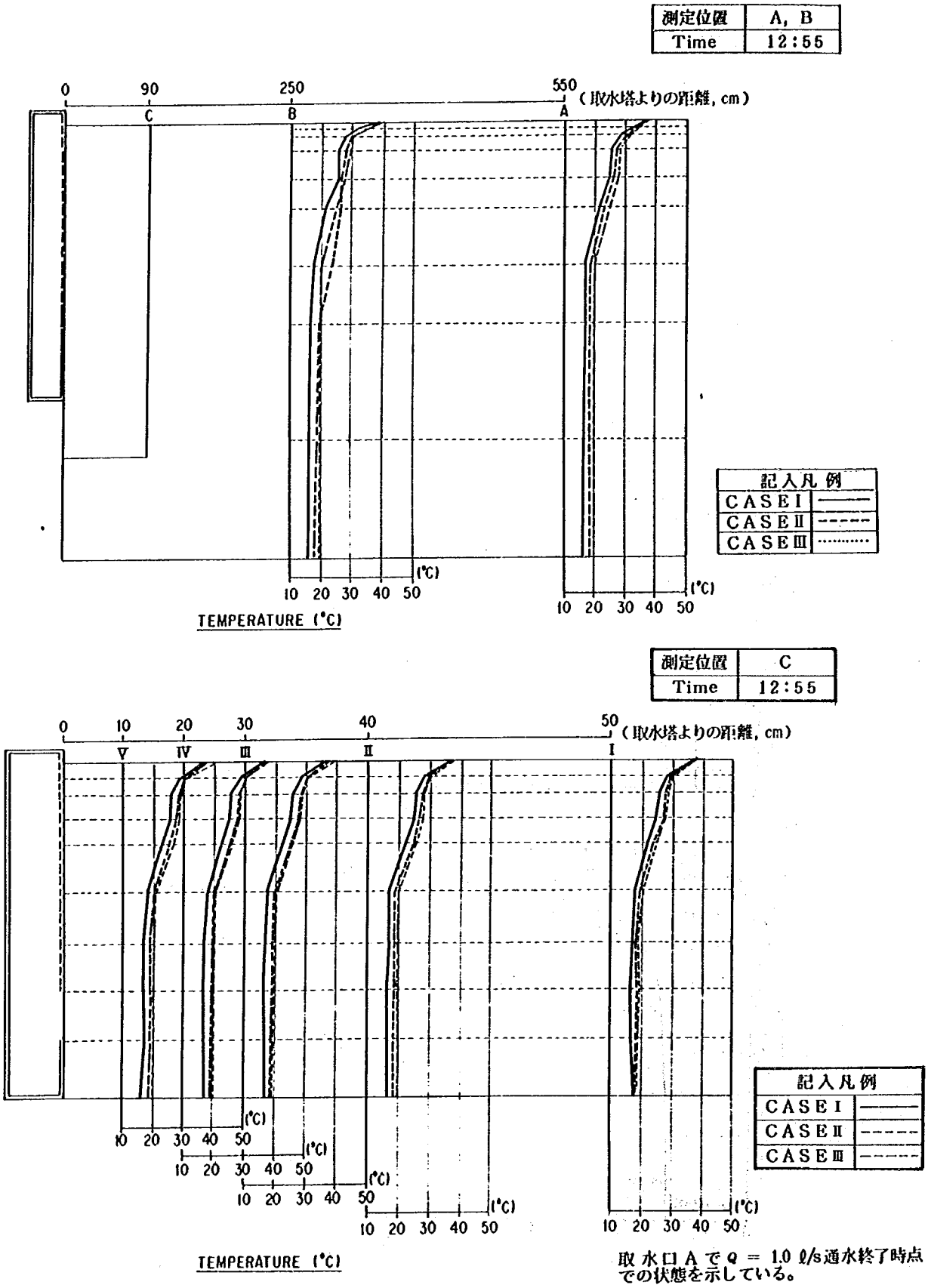


図125 温度データーによる実験条件の再現性

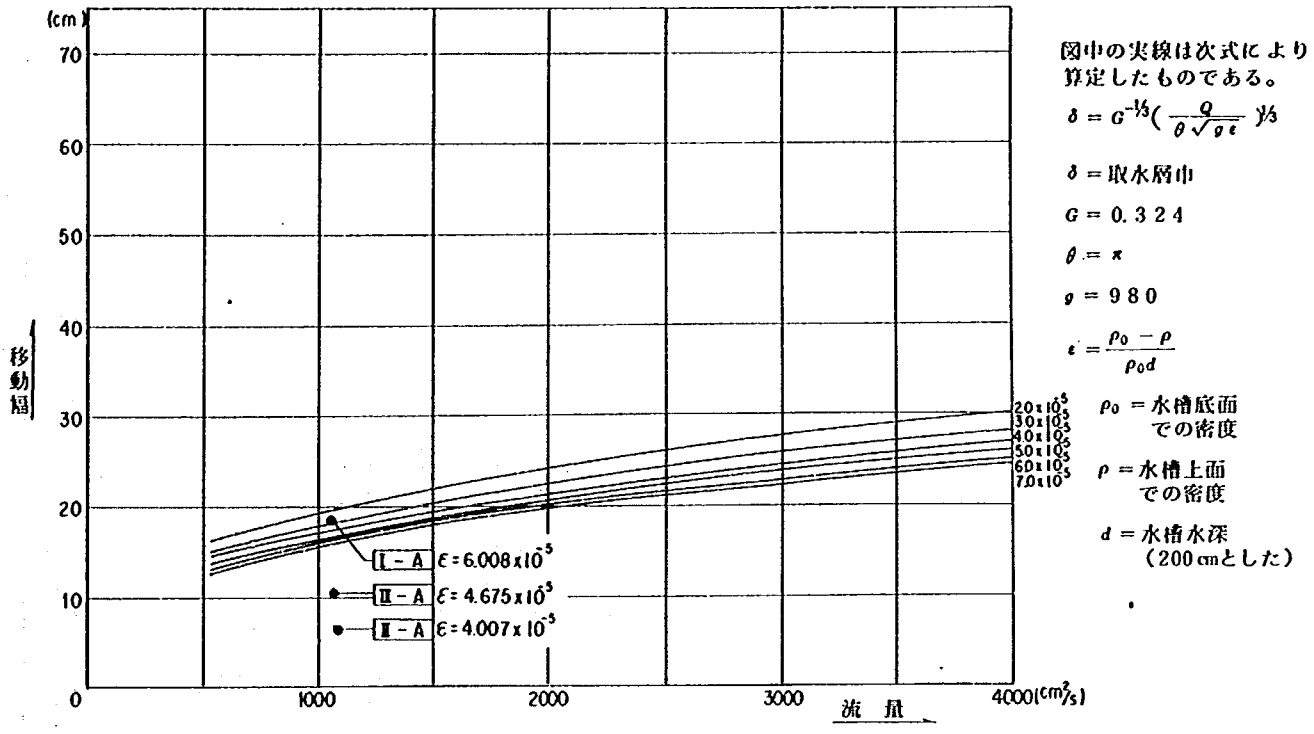


図 126　表層取水時での取水層幅(δ)と密度成層の関係

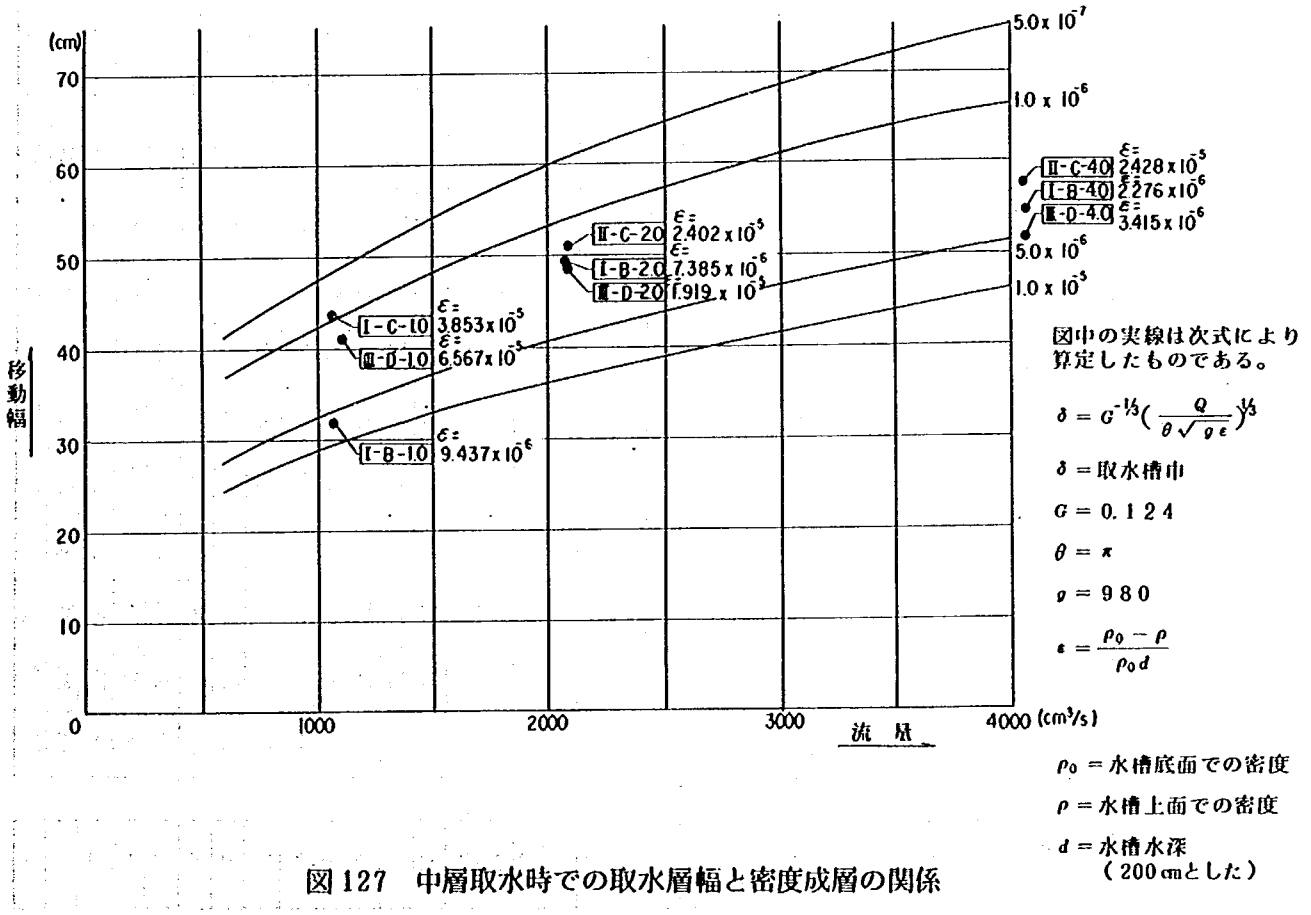


図 127　中層取水時での取水層幅と密度成層の関係

表58　取水口入口流速測定結果数値表

〔測線1～6は，左岸側より順につけたものである。
測線間隔は入口幅が15cmであるから，3cmの等間隔とした。〕
（ ）内の数値は，取水口下から2番目の値を示している。

取水口形状	A
流　量	8.6 ℓ/s

取水口形状	B
流　量	8.6 ℓ/s

取水口形状	C
流　量	8.6 ℓ/s

取水口形状	D
流　量	8.6 ℓ/s

水深 (cm)	流速 (cm/s)						流速 (cm/s)						流速 (cm/s)						流速 (cm/s)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
30													4	5	5	4	4	5						
29													5	5	5	4	4	5						
28													5	5	5	4	4	5						
27													5	5	5	5	4	5						
26													5	6	5	5	4	6						
25													5	6	5	5	4	6						
24													6	6	5	5	5	7						
23													6	7	6	5	5	7						
22													6	7	7	6	5	8						
21													7	8	7	6	5	8						
20													7	8	7	7	5	8						
19													8	8	7	7	6	9						
18													8	9	8	7	6	10						
17													8	9	8	8	7	10						
16							10	12	11	7	9		9	10	9	8	7	11	6(4)	7(3)	6(3)	4(3)	4(3)	6(3)
15							11	13	12	10	10	10	10	10	9	9	8	11	8(4)	8(4)	8(4)	5(3)	5(3)	8(3)
14							12	15	13	10	10	11	10	11	10	9	8	12	9(4)	9(3)	9(4)	6(3)	6(3)	11(3)
13							13	16	15	13	11	13	11	12	11	10	9	13	9(4)	10(4)	10(4)	8(3)	7(3)	12(4)
12	20	15	17	18	17	19	14	18	15	15	13	13	12	12	11	11	10	14	10(4)	11(5)	11(5)	9(3)	8(3)	13(4)
11	22	20	18	20	27	21	15	19	17	16	14	14	14	13	12	12	10	15	10(4)	12(5)	12(5)	10(3)	9(3)	13(5)
10	25	24	22	22	23	23	16	20	18	17	15	16	15	14	13	12	11	17	11(4)	13(5)	13(5)	11(3)	10(3)	15(5)
9	30	28	26	25	25	28	17	21	19	18	16	15	16	15	14	13	12	18	12(4)	14(5)	14(5)	12(4)	12(3)	17(5)
8	34	31	30	38	26	30	18	23	21	19	18	17	18	16	15	14	14	20	13(5)	15(5)	15(5)	13(4)	13(4)	18(5)
7	37	30	33	30	28	32	18	24	23	20	19	18	20	17	18	15	15	22	13(5)	16(6)	16(5)	14(5)	14(4)	21(6)
6	37	31	35	32	30	35	19	25	25	23	20	19	22	19	19	16	17	23	14(5)	17(6)	18(6)	15(5)	15(4)	23(6)
5	40	33	36	33	32	36	20	26	26	25	22	19	24	21	21	18	18	25	14(5)	19(6)	20(6)	16(5)	16(3)	22(6)
4	39	36	38	35	31	40	21	30	27	27	23	20	24	23	23	20	20	28	16(5)	21(7)	22(6)	19(6)	18(5)	25(7)
3	38	35	38	36	30	41	23	27	29	29	25	22	28	26	25	23	25	30	18(6)	23(7)	25(7)	22(6)	20(5)	29(7)
2	36	37	40	37	33	41	23	27	29	32	27	24	29	30	30	27	28	32	18(6)	25(7)	28(7)	25(6)	23(5)	30(7)
1	35	36	39	38	37	41	23	27	29	34	28	25	30	33	35	32	28	35	21(6)	26(7)	31(7)	29(6)	26(5)	28(8)
0	32	38	36	37	36	39	21	32	35	30	25	22	32	35	40	40	32	32	20(5)	27(6)	32(6)	30(5)	28(5)	24(8)

※水深は，取水口敷を0として表わした値である。

表60a　取水口付近の平面流速分布測定結果数値表

取水口形状	A
流　　量	8.6 ℓ/s

PL. 1

	−1.5	−1.3	−1.1	−0.9	−0.7	−0.5	−0.3	−0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5
0.2			5 +90°		0 +80°	11 +60°	15 +40°	16 −5°	16 0°	16 −5°	14 −30°	9 −30°		6 −45°		
0.4				5 +85°		8 +70°		11 +15°	13 −5°		9 −10°		6 −25°			
0.6			5 +85°		6 +60°		8 +30°			8 0°		6 −20°		5 −40°		
0.8		3 +85°		4 +70°		5 +45°		6 0°	6 0°		0 −10°		4 −20°		4 −40°	
1.0			3 +80°		4 +70°		5 +50°			5 −5°		4 −15°		3 −30°		
1.2						4 +40°		4 +5°	4 0°		4 −5°					
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PL. 2

0.2			6 +70°		11 +60°	16 +60°	19 +20°	19 0°	19 0°	21 −10°	18 −25°	13 −45°		5 −50°		
0.4				6 +55°		11 +30°		14 0°	15 0°		11 −45°		7 −50°			
0.6			5 +65°		6 +50°		8 +15°			8 −5°		8 −20°		5 −45°		
0.8		4 +75°		5 +50°		6 +25°		6 0°	7 0°		6 −15°		5 −35°		4 −40°	
1.0			4 +75°		4 +50°		5 +25°			5 0°		4 −5°		4 −30°		
1.2						4 +25°		4 0°	4 0°		4 −15°					
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PL. 3

0.2																
0.4																
0.6																
0.8																
1.0																
1.2																
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PLの位置は，本文図－7を参照

表60 b　取水口付近の平面流速分布測定結果数値表

取水口形状	B
流量	8.6 ℓ/s

PL. 1

	−1.5	−1.3	−1.1	−0.9	−0.7	−0.5	−0.3	−0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5
0.2			4 +60°		5 +35°	7 +30°	8 +25°	9 0°	8.5 −5°	8 −35°	7 −50°	4 −40°		3 −70°		
0.4				5 +60°		6 +25°		7 0°	6 0°		5 −30°		3 −40°			
0.6			4 +50°		4.5 +25°		5 +50°			4 −10°		4 −40°		3 −50°		
0.8		3 +50°		3 +35°		3 +30°		4 0°	4 0°		3 −20°		3 −10°		3 −30°	
1.0			3 +40°		3 +20°		3 +10°			3 +10°		3 −25°		3 −30°		
1.2				3 +30°		3 +20°		3 0°	3 0°		3 −10°		3 −30°			
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PL. 2

0.2			5 +70°		10 +30°	11 +30°	12 +20°	15 0°	17 −10°	15 −20°	12 −30°	10 −55°		4 −70°		
0.4				7 +25°		10 +15°		10 0°	10 −10°		5 −25°		6 −35°			
0.6			4 +40°		5 +30°		9 +10°			9 −12°		9 −20°		7 −35°		
0.8		3.5 +15°		5 +20°		8 +12°		8 0°	6 −5°		4 −20°		5 −30°		3 −40°	
1.0			3 +30°		4 +20°		4 +10°			3 −5°		4 −10°		3 −30°		
1.2				3 +15°		3 +10°		3 0°		3 0°		3 −15°		3 −22°		
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PL. 3

0.2																
0.4																
0.6																
0.8																
1.0																
1.2																
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PLの位置は，本文図－7を参照

表 60 c　取水口付近の平面流速分布測定結果数値表

取水口形状	C
流量	8.6 ℓ/s

PL. 1

	−1.5	−1.3	−1.1	−0.9	−0.7	−0.5	−0.3	−0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5
0.2			3 +85°		3 +65°	3 +45°	3 +40°	3.5 0°	3 0°	3 −15°	3 −35°	3 −40°		3 −50°		
0.4				3 +70°		3 +50°		3 0°	3 0°		3 −30°		3 −40°			
0.6			3 +70°		3 +40°		3 +35°			3 −5°		3 −20°		3 −40°		
0.8		3 +60°		3 +50°		3 +30°		3 0°	3 0°		3 −15°		3 −35°		3 −45°	
1.0																
1.2																
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PL. 2

0.2					4 +60°	5 +50°	5 +35°	6 0°	5 0°	5 −15°	4 −30°	4 −45°				
0.4						4 +35°		5 0°	4 0°		4 −30°					
0.6					3 +45°		3 +30°			3 −25°		3 −30°				
0.8																
1.0																
1.2																
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PL. 3

0.2			3 +60°		6 +45°	8 +40°	11 +15°	12 0°	10 0°	12 −25°	9 −30°	6 −50°		3 −80°		
0.4				4 +45°		5 +30°		8 0°	8 0°		7 −30°		5 −45°			
0.6			3 +50°		3 +40°		5 +15°			5 −15°		4 −45°		3 −55°		
0.8		3 +55°		3 +40°		4 +20°		4 0°	4 0°		3.5 −15°		3 −40°		3 −45°	
1.0			3 +45°		3 +30°		3 +15°			3 −10°		3 −20°		3 −35°		
1.2						3 +20°		3 0°	3 0°		3 −15°					
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PLの位置は，本文図−7を参照

表60 d　取水口付近の平面流速分布測定結果数値表

取水口形状	D
流量	8.6 ℓ/s

PL. 1

	−1.5	−1.3	−1.1	−0.9	−0.7	−0.5	−0.3	−0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5
0.2			3 +70°		3 +60°	3 +50°	4 +25°	4 0°	4 −5°	4 −40°	4 −45°	3 −60°		3 −70°		
0.4				3 +60°		3 +35°		3 0°	3 0°		3 −30°		3 +50°			
0.6																
0.8																
1.0																
1.2																
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PL. 2

0.2			3 +70°		3 +60°	3 +35°	4 +20°	4 0°	4 0°	4 −20°	4 −35°	3 −50°		3 −80°		
0.4				3 +60°		3 +40°		4 0°	4 0°		3 −25°		3 −55°			
0.6			3 +55°		3 +35°		3 +20°	3 0°	3 0°	3 −20°		3 −40°		3 −55°		
0.8																
1.0																
1.2																
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PL. 3

0.2			3 +65°		5 +55°	7 +45°	9 +30°	14 0°	11 0°	10 −20°	9 −30°	6 −45°		3 −65°		
0.4				4 +60°		5 +30°		7 0°	8 0°		5 −30°		4 −45°			
0.6			3 +35°		4 +45°		5 +25°			5 −10°		3 −35°		3 −45°		
0.8		3 +50°		3 +40°		3 +30°		4 0°	4 0°		3 −15°		3 −25°		3 −40°	
1.0			3 +40°		3 +30°		3 +15°			3 −15°		3 −25°		3 −40°		
1.2						3 +25°		3 0°	3 0°		3 −10°					
1.4																
1.6																
1.8																
2.0																

PLの位置は，本文図－7を参照

第８章　　結　　論

昭和53年度から57年度に亘って検討してきた洪水吐きの実施形状，下流河道および選択取水設備に対する検討結果をまとめるとつぎのとおりである。

洪水吐きの形状および規模は，この章末に示す実施設計形状でダムの設計条件を満たすことができる。この実施設計形状に示す，クレストフラップゲートクレストラジアルゲートおよびオリフィスゲートのダム管理資料としては，つぎに示すそれぞれの実験式によって求まる貯水位－ゲート開度－放流量の関係を使用できる。

1. オリフィスゲートの放流量式

1）各ゲート開度時の自由流出域の放流量は次式による。

$$Q_0 = n \cdot C_0 \cdot A \sqrt{2gH} \qquad (1k)$$

$$C_0 = 0.365\,(H/G) \qquad <\text{ただし，適用範囲}\quad H/G < 1.6> \qquad (2k)$$

ここに，　Q_0 はオリフィスの放流量（㎥/sec），n はオリフィスの条数（$n=1$ or 2）

C_0 はオリフィスの流量係数，A は吐口断面積（$B \times G$，㎡）

B はオリフィスの吐口幅（＝4.0m），G はゲートの鉛直開度高(m)

H は作用水頭（＝貯水位－オリフィス敷高EL．376.000m）

g は重力加速度（＝9.8m/sec^2）

これら，(1k)および(2k)式によって求まる放流量はゲート開度2.0m以上では実験値に対して３％以内の誤差範囲に収まる。また，ゲート開度2.0m未満ではHの減少とともに実験値との誤差も大きくなる傾向を示すが，実験での流量の測定精度が悪くなる範囲であることと，誤差流量の絶対値も小さくなること等を考慮すると実際での適用上の問題はないものと判断できる。

2）各ゲート開度時の管路流域の放流量はゲート全開時とゲート半開時に対しそれぞれ次式によって与えられる。

イ）ゲート全開時

$$C_0 = \sqrt{0.7998 - 0.7498\,(D/H)} \qquad (3k)$$

ただし，適用範囲は$H/D > 1.8$ or $D/H < 0.556$ である。また，Dはオリフィスの吐口断面高（＝4.0m）である。

この(3k)式によって求まるC_0を(1k)式に代入して得られる放流量は実験値との誤差が0.3%以内である。

ロ) ゲート半開時

$$C_0 = \sqrt{0.5507 - 0.5429\,(G/H)} \qquad (4k)$$

ただし，適用範囲は$H/G > 1.8$ or $G/H < 0.556$である。

この(4k)式によって求まるC_0を(1k)式に代入して得られる放流量は実験値との誤差が3％以内である。

3) 今回の実験では自由流出から管路流に遷移する範囲はおおよそ$1.6 \leqq H/G \leqq 1.8$であった。この遷移領域では放流量が不連続となり，正確な放流量が得られない範囲であるので，実際の操作ではできる限りこの範囲の使用をさけることが好ましい。

2. 低越流頂ラジアルゲートの放流量式

1) ゲート全開時の自由流出域の放流量は次式による。

$$Q_c = n \cdot C_c \cdot B \cdot H^{3/2} \qquad (5k)$$

$$C_c = 1.71 + 0.503 \left(\frac{H}{H_d}\right)^2 - 0.298 \left(\frac{H}{H_d}\right)^4 \qquad (6k)$$

ここに，Q_cは低越流頂ゲートの放流量(㎥/sec)，nはクレストの門数($n = 1$ or 2)

C_cは低越流頂の流量係数，Bはクレスト径間幅(＝0.8m)

Hは作用水頭(＝貯水位－クレスト敷高EL．391.100m)

H_dはクレストの設計水頭(＝10.0m)

これら両式で求まる放流量は実験値との誤差が2％以内である。

2) ゲート半開時の放流量は次式による。

$$Q_c = n \cdot C_p \cdot B \left\{ {H_1}^{3/2} - (H_1 - G)^{3/2} \right\} \qquad (7k)$$

$$C_p = 1.717 + 0.00399\,(G)^2 \qquad (8k)$$

ただし，適用範囲は$H/G > 1.6$である。

ここに，C_pはクレストゲート半開時の流量係数

H_1はゲート敷高(EL．390.573m)から貯水位までの総水頭(m)，ただし，$H_1 > 0.527$ mである。

Gは各ゲート開度の鉛直開度高(m)

この両式で求まる放流量は実験値との誤差が約3％以内である。

3) $1.3 \leqq H/G \leqq 1.6$の範囲はオリフィスと同様に遷移領域であるので前述のとおり使用上の注意を要する。

3. 高越流頂フラップゲートの放流量式

フラップゲートの各倒伏時の放流量は次式による。

$$Q_F = n \cdot C_F \cdot B \left(H - h_{max} \right)^{3/2} \qquad (9k)$$

$$C'_F = 2.4483 - 1.55061 \cos^2\theta_G + 0.78943 \cos^4\theta_G \qquad (10k)$$

ただし, $\theta_G = 0° \sim 60.474°$

$$C_F = \left\{ \left[-0.0185/(H/H_d) \right] + 1.06304 \right\} \times C'_F \qquad (11k)$$

ここに, Q_F はフラップゲートの放流量 (m^3/sec), n はフラップゲートの門数 ($n = 1 \sim 4$)

C_F はフラップゲートの各倒伏角度時の流量係数, H_d は設計水頭 ($= 4.5$m)

Hはクレスト敷高 (EL・397.000m)から貯水位までの作用水頭(m)

h_{max} は各ゲート倒伏開度時の最高点標高 (EL・m)で次式による。

(イ) ゲート開度 $\theta > 22°$ の範囲は

$$h_{max} = 4.95 \times \sin\theta + 396.500 \qquad (12k)$$

(ロ) ゲート開度 $\theta \leqq 21°$ の範囲は

$$\left.\begin{aligned} h_{max} &= \left(y\cos\theta' - x\sin\theta' \right) + 396.500 \\ x &= -\tan\theta'/0.16 \\ y &= -3.125 \cdot \tan^2\theta' + 0.5 \\ \theta' &= -(15.474 + \theta) \qquad <\text{ただし, } \theta \text{ は } -15.474° \sim 45.0°> \end{aligned}\right\} \qquad (13k)$$

4. 減勢工下流河道に対する検討

下流河道の水理模型実験の検討結果からつぎのことが推察される。

1) 下流河床の低下速度は洪水流量の大きさによって増大し, 現況河床の堆積土砂の粒度分布と掃流力の関係から, 将来的には副ダム減勢工形状のいかんにかかわらず, 風吹沢合流地点までの射流区間では河床低下が予想される。したがって, この区間での護床工の施工範囲を決めるなら合流点付近までが必要と考えられる。しかし, 河床が安定勾配に落着いてからは河床低下速度も遅くなる。

以上から, 下流河床を安定勾配に落ち着かせるのが良策と考えられる。

2) 副ダム直下流の右岸に施工されている仮排水路出口付近は堆積域とならず, 逆に洗掘領域となるので閉塞の心配はないが河床低下が予測できる。

3) 副ダム右岸側導流壁は副ダム減勢工による減勢効果を高めるのと流芯を河道に向けるため, DC・360.0m まで施工が必要である。

4) 副ダム減勢工の直下流の左岸突出し露出岩は流れの偏向を生じ, 流況を乱す原因となるので, 現河

床程度までのレベルカットが必要である。実験ではEL・287.0m以下のカットであれば主流線に影響がないことが確かめられている。

5) 将来の河床低下と4)項での露出岩形状によっては，河道横断No.16の右岸付近が水衝部となるため，地質によっては側方浸蝕の可能性が大きく，この付近の護岸保護工が必要と考える。

6) 風吹沢合流地点は主流線から外れているので，流れの堰上げや閉塞の心配はない。しかし，合流部下流の左岸側は流れの水衝部となり，彎曲形状によって流れが左岸沿いを流下し，局所洗掘が発達するので地質によって保護工の必要範囲と考えられる。この必要範囲は横断面No.4までと判断できる。

7) 計画されている土捨場護岸は洪水流量のいかんにかかわらず，死水域もしくはゆるやかな逆流域となるので影響を受けないことが判明した。

8) 月岡堰堤の直上流の計画横断道路橋の橋脚位置は洪水量によっては流れの主流の範囲となり，局所洗掘が起こるので脚柱基礎に充分の配慮が必要である。

9) 月岡堰堰の直上流の右岸側は水衝部となるので，この付近の保護工を考慮する必要がある。

5. 選択取水設備について

選択取水設備の基礎実験結果から，設備はその設計条件として，温度や濁度によって形成される密度成層の状態を周囲あるいは類似の貯水池の調査資料等により予測し，それらを盛り込んだ設計形状であればかなり有効に働くものと思われる。また，計画によっては取水範囲が深くなり，維持管理が困難になることが予想されるので，設計面で十分な配慮が必要と考えられる。

おわりに

最後に，本報告書が完成するまでの水理設計，模型製作資料，水理模型実験，報告書作成等にあたって，数多くの方々の御指導および御協力を賜ったことに対し，ここに深く感謝の意を表わすものである。

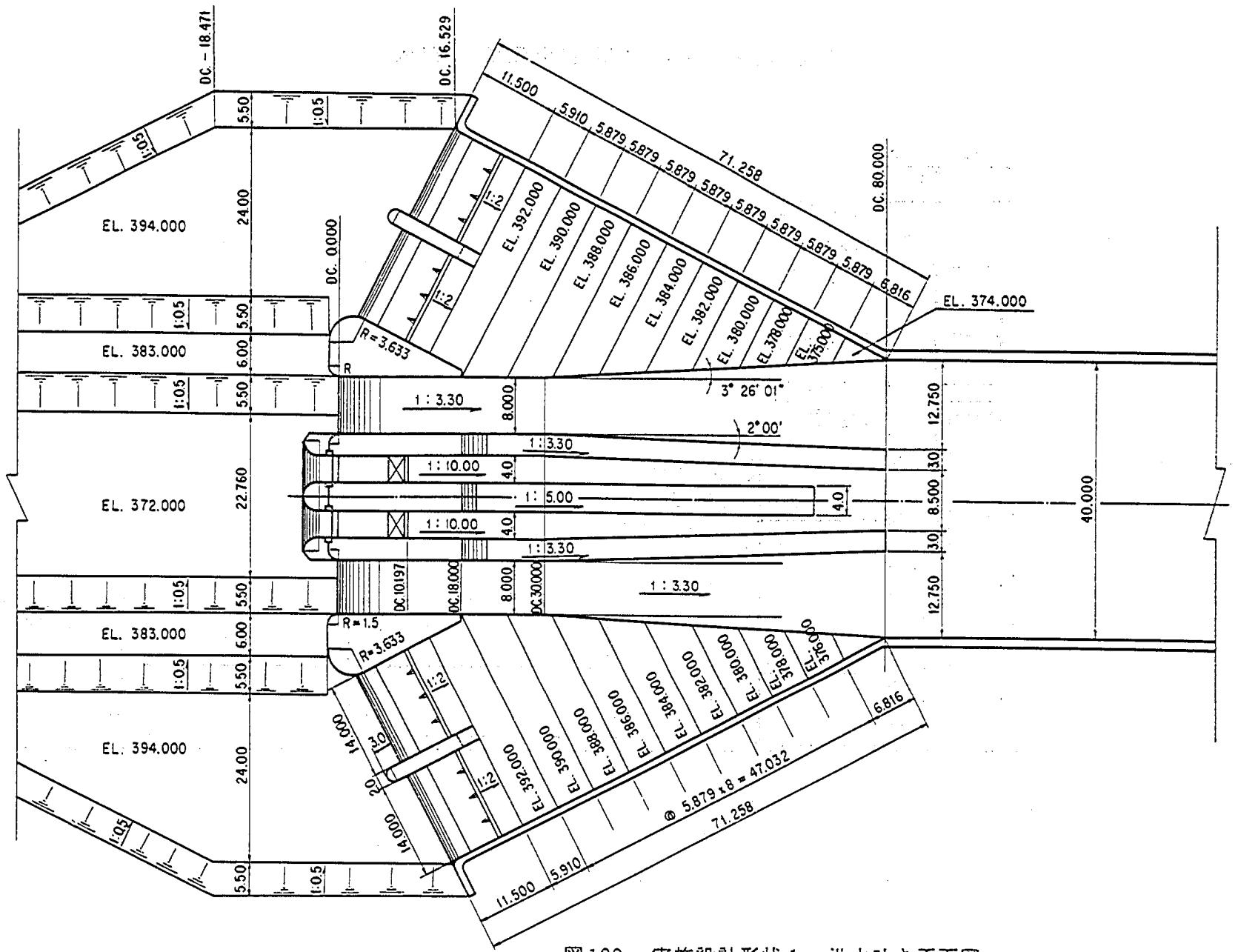


図128　実施設計形状 1.－洪水吐き平面図

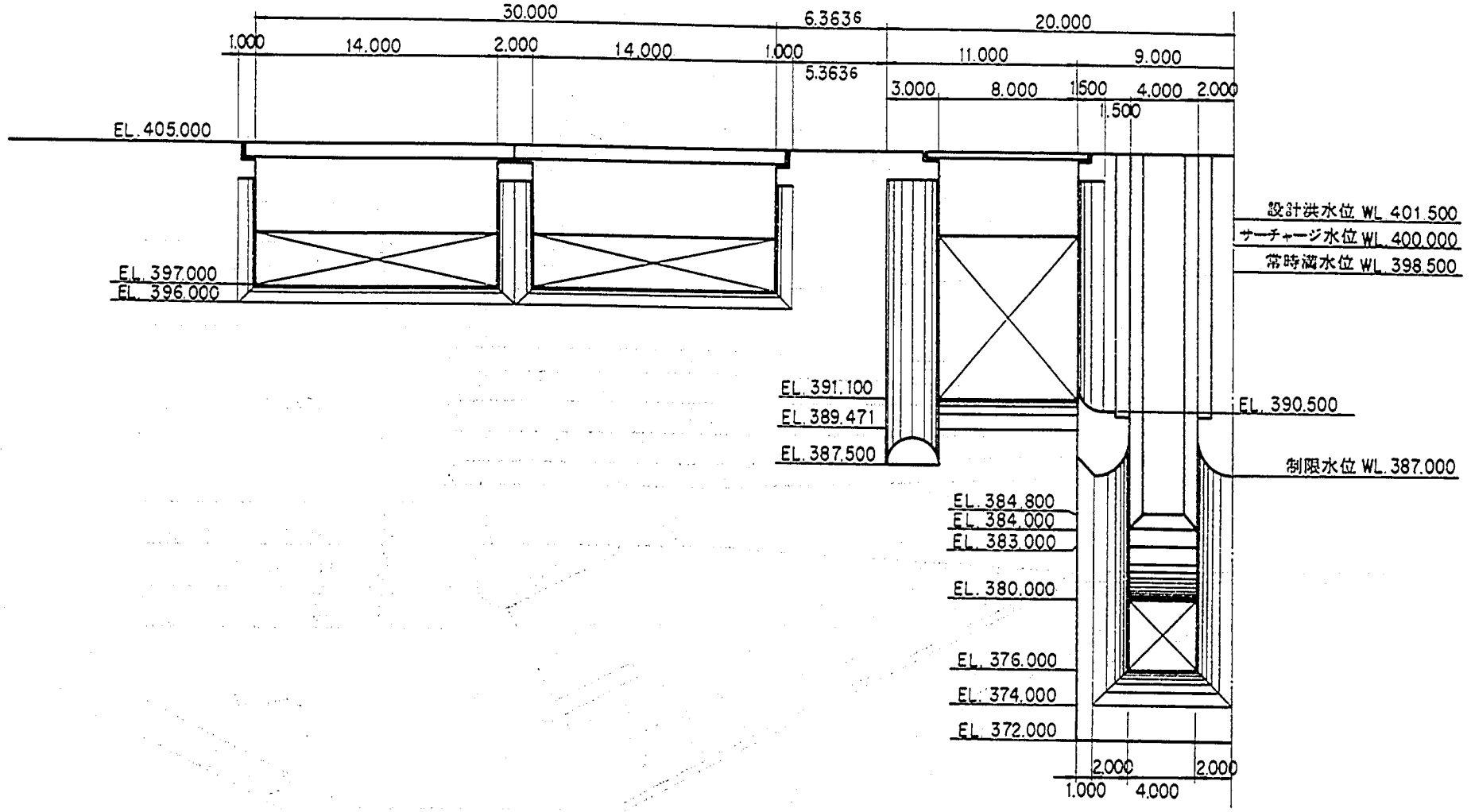
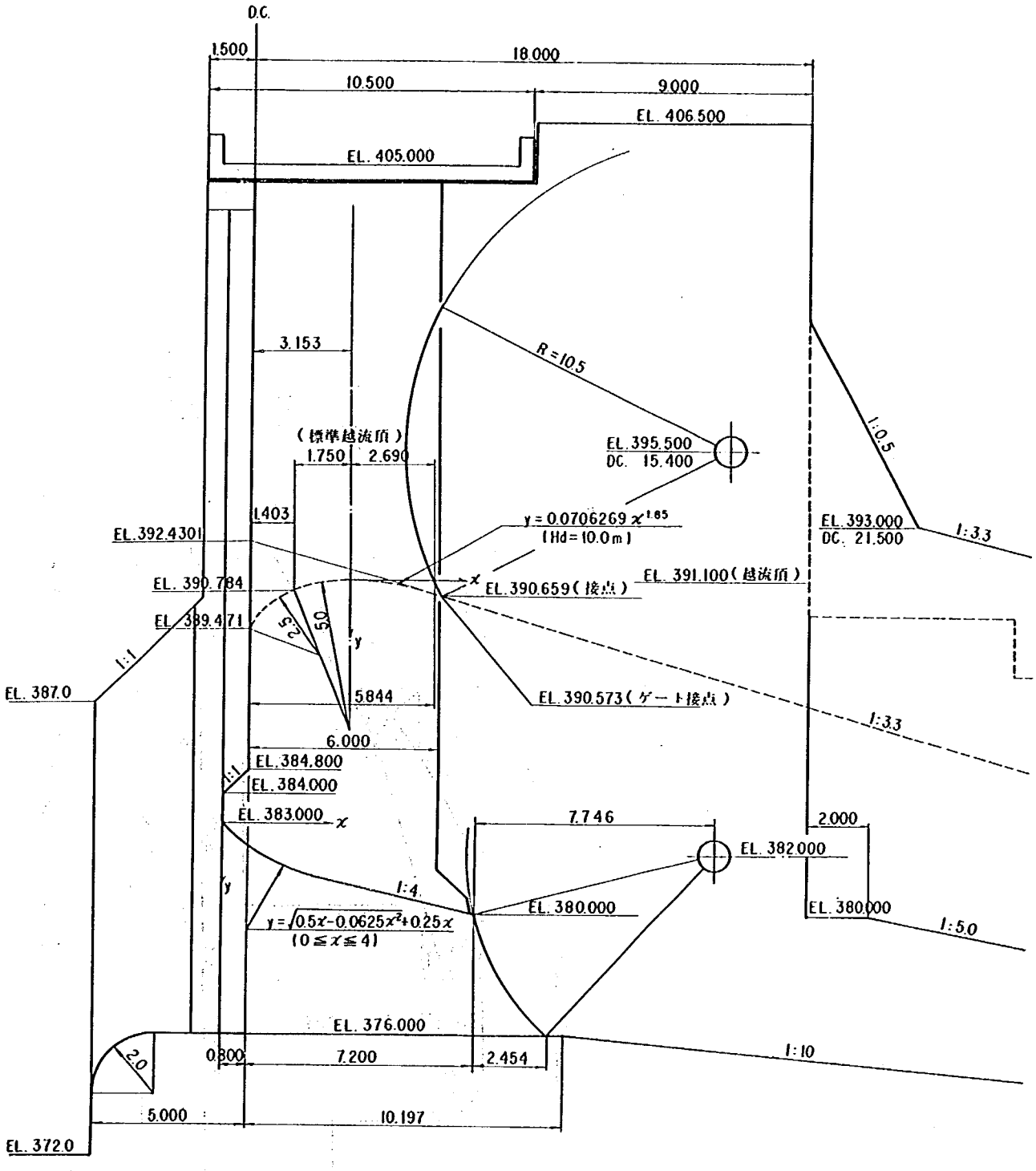


図129　実施設計形状2.－洪水吐き上流面図



上面形状座標表(m)	
x	y
0	0
1.0	0.9114
2.0	1.3660
3.0	1.7182
4.0	2.0000
5.0	2.25
6.0	2.50
7.0	2.75
8.0	3

越流面座標表(m)	
x	y
0	0
1.0	0.0706
2.0	0.2546
2.6904 (接点)	EL.390.659

図130　実施設計形状3.－オリフィス・クレスト部縦断面図

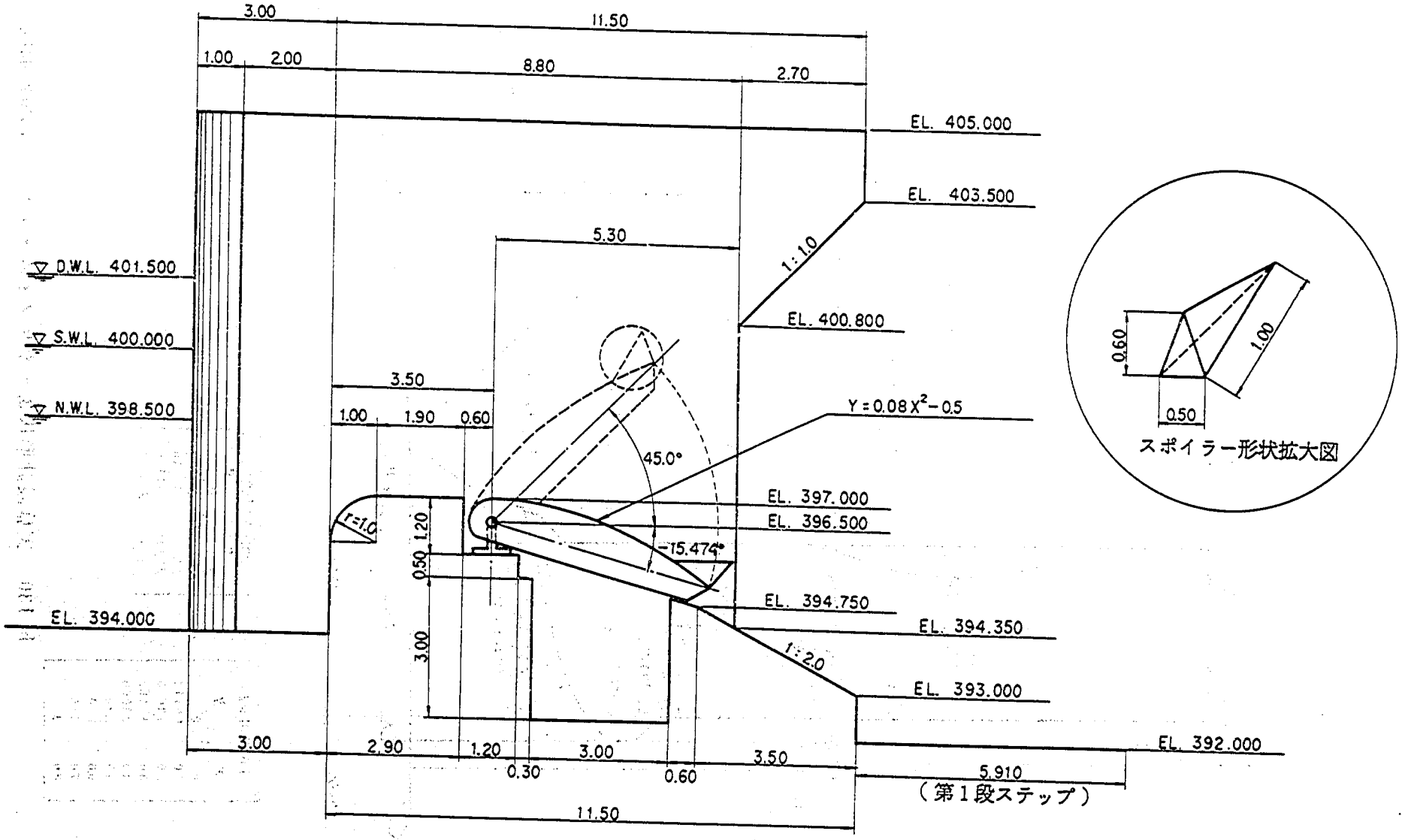


図131　実施設計形状4.－フラップゲート部縦断面図

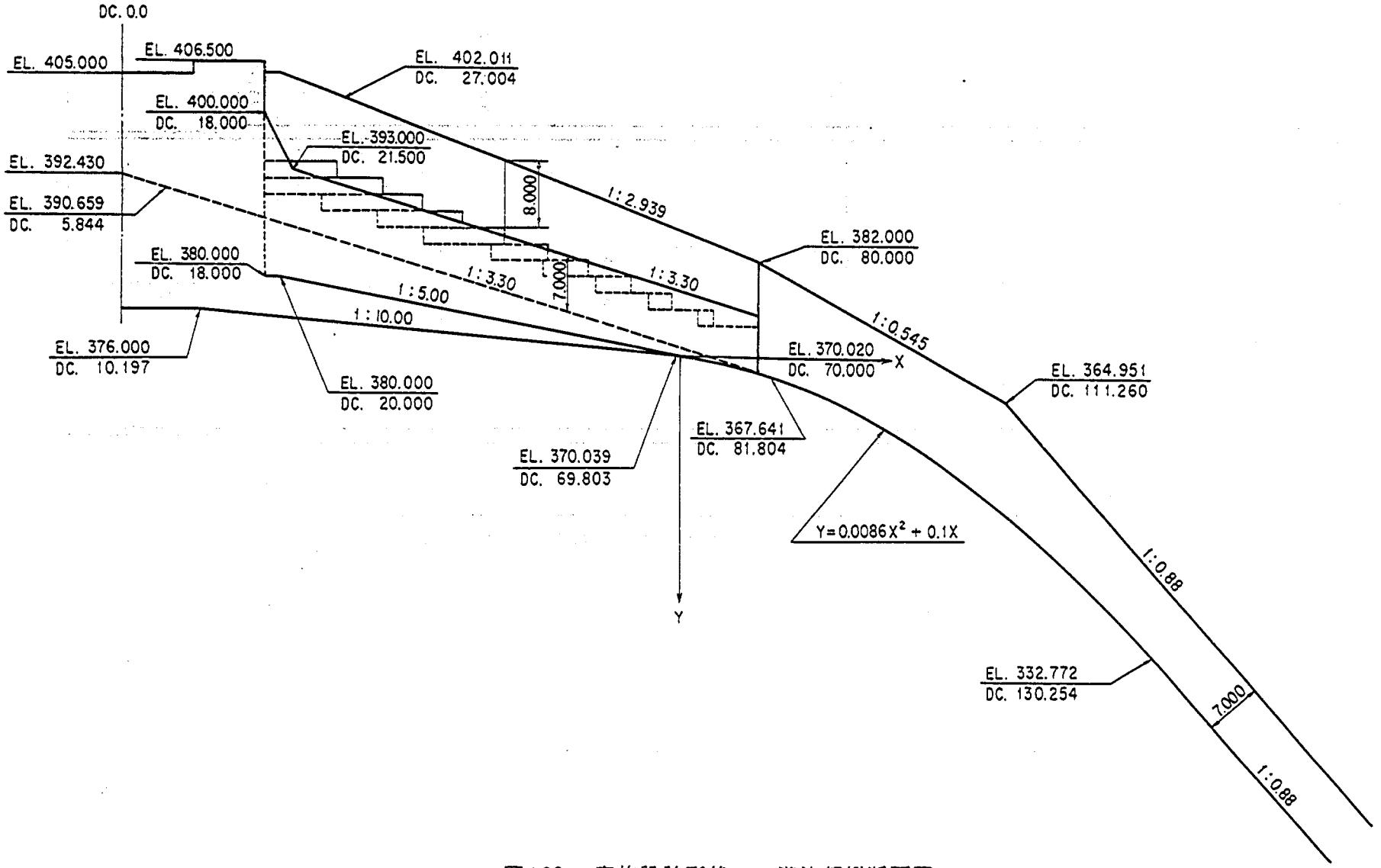


図132　実施設計形状 5.－導流部縦断面図

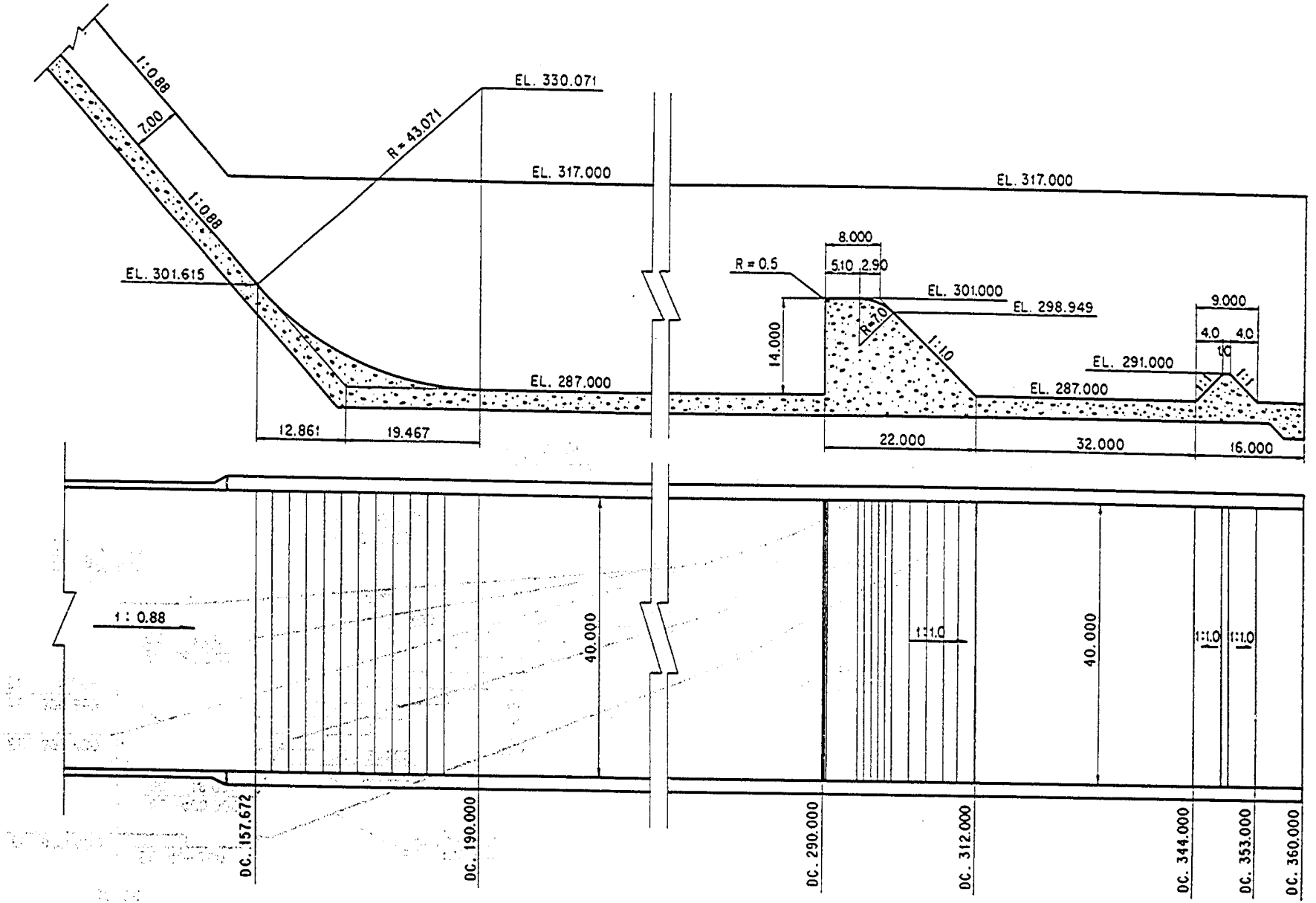


図133　実施設計形状 6.－減勢工形状図

寒河江ダム洪水吐き水理模型実験報告書

ISSN 0386－5878
土研資料第1950号
昭和58年3月(1983年)

建設省土木研究所ダム水工研究室

キーワード

要　旨

寒河江ダム洪水吐きの水理機能

郵便はがき

40円切手をはって下さい

3 0 5 - □□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

ダム水工研究室 御中

No.

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第　1950 号　　部

上記のとおり受領しました。

所　　属（住所）

氏　名　　印