土木研究所報告　第百十一号　昭和三十七年九月

土木研究所報告

第111号

アーチダム余水吐設計に関する実験的研究
——湯田ダム模型水理実験について——
…… 村　幸雄，永田二生，藤崎利雄，山本民堂…(1)

アロファン質粘土の消石灰—石膏による化学的安定処理方法に関する研究（3）
…… 有泉　昌，和田茂治…(95)

アロファン質粘土の消石灰—石膏による化学的安定処理方法に関する研究（4）
…… 有泉　昌…(105)

有限振幅波について
——高次級数解による進行波の砕波限界—— …… 首藤伸夫…(111)

プレストレスト合成ゲタの研究とその設計（3）
——大石橋の模型実験と設計に関する報告プレストレスト部分合成連続ゲタ橋——
…… 多田安夫，中村正平，青木忠宗…(121)

建設省土木研究所
昭和37年9月

建設省土木研究所

アーチダム余水吐設計に関する実験的研究

——湯田ダム模型水理実験について——

村　　幸　雄*・永　田　二　生**
藤　崎　利　雄***・山　本　民　堂****

(昭和36年3月)

要　旨

アーチダム余水吐設計において，理論計算および経験によつて選んだ種々の形状について，大型模型で比較検討をおこない。最終案形状を決定し，ダム維持管理上必要な各種水理資料を得た。

目　次

1. 緒　言……(1)
〔1〕概　要……(1)
〔2〕余水吐について……(1)
2. 実験目的……(3)
〔1〕越流部……(3)
〔2〕放水管……(3)
〔3〕水叩部……(3)
3. 実験計画……(4)
4. 模型および相似律……(4)
〔1〕模　型……(4)
〔2〕相似律……(4)
5. 実験結果……(4)
〔1〕越流部1型実験……(4)
〔2〕フリップバケットについての実験……(5)
〔3〕水叩実験……(10)
〔4〕放水管(形状選定と1型実験)……(14)
〔5〕放水管々内圧力計算……(18)
〔6〕1型放水管実験……(18)
6. 最終案形状の選定……(19)
〔1〕越流部形状……(19)
〔2〕フリップバケット形状……(19)
〔3〕水叩形状……(19)
〔4〕放水管形状……(20)
7. 最終案による実験結果……(21)
〔1〕越流部2型の水位—流量曲線……(21)
〔2〕越流部とフリップバケットの圧力分布および水面形状……(23)
〔3〕水叩内の圧力分布と側壁面沿いの水面形……(23)
〔4〕放水管……(25)
〔5〕放水管導水樋の形状……(30)
〔6〕移動床による洗掘実験結果……(30)
8. 越流部門扉操作別放射水脈落下位置について……(30)
9. 余水吐門扉操作について……(31)
10. 結　論……(31)

1. 緒　言

〔1〕概　要

北上川流域の総合開発計画は，岩手，宮城両県に跨り，種々の事業目標を有しているが，治水および利水を目的とする多目的ダム群の建設は，洪水調節を計り，その貯水を，水力発電，潅漑等に利用するもので，湯田ダムはその計画の一環として，図-1に示めすように北上川右支川，和賀川に計画されたものである。

和賀川は岩手県，奥羽山脈和賀岳より発し，大小多数の支川を合せ，37km南下し川尻町地先から東に転じ，北上市内において，北上川本川に合流する流域面積852 km² の北上川有数の大支川である。

湯田ダム建設地点は，岩手県和賀郡湯田村大荒沢地内に位し，ダムの高さ87.5mで，総貯水量114,000,000m³の貯水池を建設し，和賀川流域の70%を占める集水域からの洪水を貯留し，計画洪水流量2,200m³/secを1,800 m³/sec調節して，400m³/secを下流に流して，本川に合流前の計画洪水流量3,000 m³/secを1,500m³/secにする計画である。

ダムサイトは両岸屹立し，花崗岩より形成されたV字形の狭谷をなし，当初重力式コンクリートダムとして計画されたが，種々検討の結果，図-2のようなアーチ作用を含む，アーチ重力式コンクリートダムに決定し，その諸元ならびに造成される貯水池に関する資料は，表-1に示すとおりである。

〔2〕余水吐について

余水吐は計画洪水流量2,200 m³/secの20%増である2,640m³/secの処理を行なうものとして，流量配分を放水管で600m³/sec，越流部で2,040m³/secとし，洪水は

* ダム部長　** ダム部ダム水理研究室長
*** ダム水理研究室研究員　**** 東北地建湯田ダム工事々務所

主として放水管で処理できるように，1本300m³/sec放流できる放水管を2本設置し，呑口中心標高を滞砂条件も考えてEL200mとし，吐口には流量調節が容易に出来るように，圧着装置付油圧操作のテンターゲートを使用することにした。

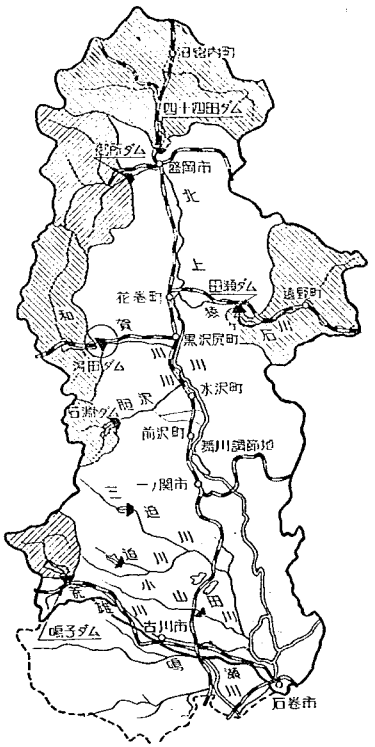


図-1 北上川総合開発計画図

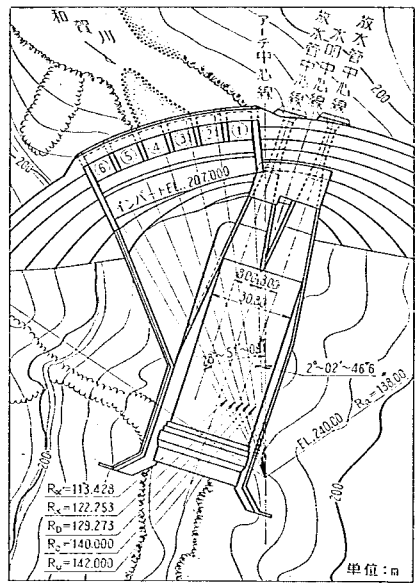


図-2 （1） 湯田ダム付近平面図

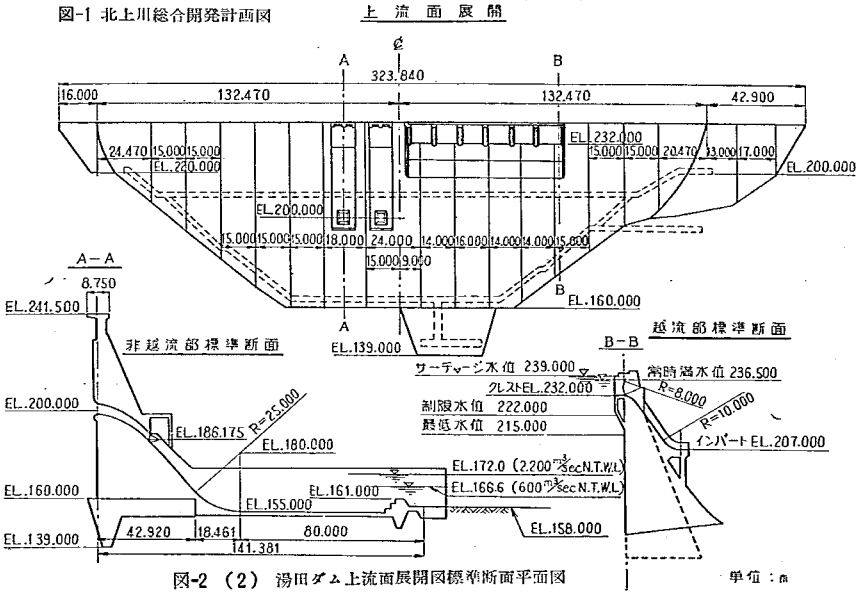


図-2 （2） 湯田ダム上流面展開図標準断面平面図

表-1　ダムおよび貯水池諸元

河川名	北上川右支川和賀川	位置	岩手県和賀郡陽田村
貯水池概要		**ダム概要**	
流域面積	598 km²	型式	アーチ重力式コンクリートダム
湛水面積	6.3km²	堤頂標高	241.5m
湛水延長	13.0km	堤高	87.5m
常時満水位標高	236.5m	堤頂巾	4.5m (基準断面1.0m)
洪水時満水位標高	239.0m	堤頂長	265.0m
制限水位標高	222.0m	半径および中心角	R=138m θ=110°
低水位標高	215.0m	クラウン上流勾配	0%
洪水調節水深	17.0m	クラウン下流勾配	40%
発電利用水深	21.5m	堤底巾	35.4m
総貯水容量	114,160,000 m³	堤体積	410,000m³
有効貯水容量	93,710,000 m³	地質	花崗岩
堆砂および死水容量	20,450,000 m³	**余水吐概要**	
洪水調節容量	77,810,000 m³	放水管 流量	600m³/sec
(内サーチャージ)	(15,150,000 m³)	放水管 寸法	呑口3.4×3.85吐口4.6×2.46
利水容量	78,560,000 m³	放水管 門扉	テンターゲート2門
発電概要		越流部 流量	2,040m³/sec
総落差	112.2 m	越流部 寸法	9.0×7.0m
最大使用水量	60.0 m³/sec	越流部 門扉	テンターゲート6門
常時使用水量	14.83m³/sec	**灌漑概要**	
最大出力(内新堤分)	53,100kw(37,600kw)	計画最大水量	8m³/sec
常時出力	10,300kw	年間計画給水量	43,800m³
年間発生電力量(内新堤)	227,400MWH (131,000MWH)	平均水量	4.48m³/sec
水理資料			
計画洪水流量	2,200m³/sec	異常洪水流量	2,640m³/sec
計画放流量	400m³/sec		600m³/sec
調節流量	1,800m³/sec		2,040m³/sec

2. 実験目的

〔1〕越流部

越流部余水吐は，洪水を放水管だけで処理しきれないときに使用するもので，越流水深7.0m，有効越流巾54m（1門9m×6門）で，2,040m³/sec（1門当り340m³/sec×6門）放流出来るものとし，各門にはテンターゲートを設置し，流量調節ができるように計画し，越流水は堤体斜面に沿わせて流下させ，フリップバケットによって空中放射をおこない。水叩内に落下させ水じよく作用によりエネルギーの減勢をする計画である。

i　越流係数の測定（水位—流量曲線の作図）

ii　フリップバケット形状寸法の決定（放射水脈を水叩内に収容すること）

〔2〕放水管

本ダムのように重力式アーチダムにおいて，放水管放流水を空中放出することは，あまり得策とは考えられないので，放水管に曲管部を設け，放流水を堤体下流面に沿わせ，水叩に導入するように計画した。

放水管入口中心標高を200m吐口中心標高を187mとし，全管長を曲管としたため，空洞現象の発生について，最も注意を要するものと考えられる。さらに，管中途から吐口にかけて平面的に拡巾し，吐口と水叩始端の堤体斜面を利用して，放流水を薄く拡げて流下させ，水叩部での跳水を促進するように計画した。

以上のような方針で設計を進めていくのに，水理実験により検討を要する事項は次のようなものである。

i　放水管の合理的形状の決定

ii　流量係数の測定（水位—流量曲線の作図）

iii　放水管導水樋形状の決定

〔3〕水叩部

放水管流量600m³/sec流下時に，自然下流水位で，水叩内において跳水を起し，常流になってから流下するように，また下流水位が将来2m程度低下しても，水叩内で跳水を完了するように計画する。さらに跳水の安定を計るとともに，フリップバケットからの放射水の影響も

考え，水叩端末部にシルを設けるが，これで副ダムの役目を兼ねさせ，放水管流量は完全跳水し，フリップバケット放射水に対しては，充分な水じょく水深を得ることのできるような，形状，高さ，位置を決定する。

i　端末シルの位置および高さ等形状寸法の決定

ii　副ダムの必要性の検討

以上のほかに，ダム設計に必要な細部形状寸法，維持管理上必要な各種水理資料の測定をする。

3. 実験計画

(1) フリップバケット形状の大略形状を知るために，縮尺 1/80 模型で比較検討する。

(2) 放水管の試験は，縮尺 1/30抽出模型で比較検討する。

(3) (1),(2) の結果により，最終案候補を選び，縮尺1/40全体模型を製作し，最終案を決定する。

(4) 最終案模型により，ダム維持管理用の各種水理資料を測定する。

4. 模型および相似律

〔1〕模　　型

模型は，当所篠崎分室ダム水理研究室第1実験場* に製作した。

i　縮尺1/80 模型は，ダムサイト下流約 500m までの地形を模型化し，模型の周辺および上流水槽，下流導水路などは，コンクリートブロック（20×20×40cm）積みで，ダム模型は木材を使用し表面はモルタル仕上げとした。また橋脚，越流部，水叩および導流壁などは，木材を使用し，ビニール塗料を塗装し，河床はモルタル刷毛引き仕上げとした。

ii　縮尺1/30 抽出模型は，巾 1.0m×奥行3.6m×高4.0mの鋼製実験装置を使用し，放水管模型は，木製と金属製の2種類を製作し，管内周辺圧力は，測定孔φ1.5mm の圧力測定パイプを使用し，ビニール管で目盛付硝子管に導き測定した。

iii　縮尺1/40模型は，第1実験場に製作し，その配置は，図－3に示めす。全体模型のダム上流部の河形を地形図により判断すると，放水管の流量係数に若干の影響があるほか無視できると考えられるので省略し，提体は木骨板張りラス網を張り，モルタル塗りとし，砥石で磨いて仕上げた。越流部およびフリップバケット，放水管，水叩等主要部分は，改造の便を考えて木製とし，ビニール塗料を塗装し，吸湿乾燥による変形を防ぎ，水叩の両側壁は硝子板をはめ込み，水叩内の流況観察を容易にするように製作した。

水叩より下流の河床は，水叩終端より下流約300m をモルタル刷毛引き仕上げで模型化した。量水装置は1号量水槽（巾2.5m鋭縁矩形ぜき）を使用し，流速はピトー管，回転式流速計を使用し，圧力分布の測定は，測定孔φ1.5mmの圧力測定パイプよりビニール管で目盛付硝子管に導き測定した。

以上各模型共，流量は鋭縁矩形ぜきの越流水深を測定し，沖公式**により算出した。

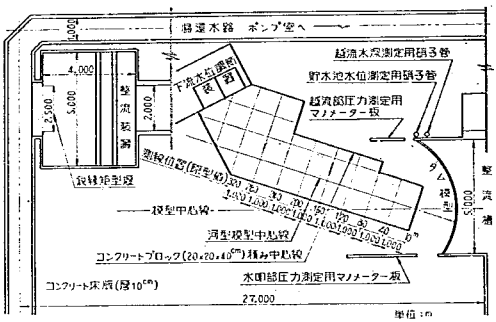


図-3　全体模型配置図

〔2〕相　似　律

模型は幾何学的に相似に製作されているから，実験値から実物値を知るのには，フルードの相似律にしたがうのが妥当であるので，幾何縮率 1/80　1/30　1/40 に対する諸量の換算縮率は，表-2のとおりである。

表-2　模型値と原型値の換算率

基本諸量	次　元	縮　率	1/80模型	1/30模型	1/40模型
長さ又は水深	L	$1/n$	1/80	1/30	1/40
面　積	L^2	$1/n^2$	1/6,400	1/900	1/1,600
体　積	L^3	$1/n^3$	1/512,000	1/27,000	1/64,000
時　間	T	$1/n^{1/2}$	1/8,944	1/5,477	1/6,325
流　速	LT^{-1}	$1/n^{1/2}$	1/8,944	1/5,477	1/6,325
流　量	L^3T^{-1}	$1/n^{5/2}$	1/57,243.3	1/4,929.5	1/10,119.3
水頭換算圧力強度(m)	$ML^{-1}T^{-2}$	$1/n$	1/80	1/30	1/40
越流係数	$L^{1/2}T^{-1}$	1	1	1	1

5. 実験結果

〔1〕越流部1型実験

越流部 1 型形状は，設計水頭7.0 m のランドルフ曲線***を採用し，その断面形は，図-4 に平面形は図-5 に示めす。有効越流巾は，54m で越流水深 7.0m において 2,040m³/sec を越流させる計画で，流量調節用にテンタ

* 建設省土木研究所大型水理試験施設について　土木研究所報告89号　　** 土木学会水理公式集81頁

*** 村　荒木　ダム溢流部形状に関する実験的研究　土木研究所報告93号

Richard R, Randolph; Hydraulic Tests on the Spillway of the Madden Dam, Trans A.S.C.E, Vol. 103, 1938

ーゲートを設置した。図-4によると門扉戸当り部分が越流頂より相当下流にあるが，これは門扉操作時に堤体面に発生する負圧および水脈剝離現象を防止する効果をねらったものである。

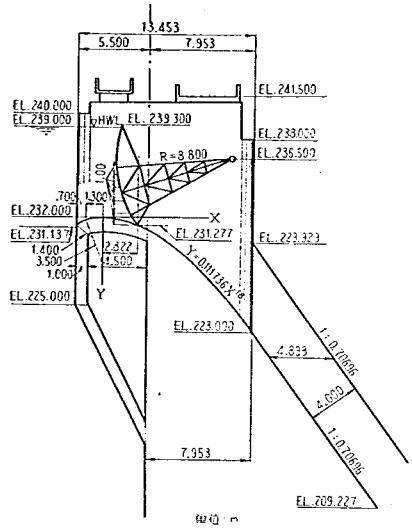


図-4　1型越流部断面図

実験の結果，貯水位と流量の関係は，図-6　表-3に示めすとおり計画越流量2,040m³/secを越流させること可能である。

水位一流量の関係から，式-1によって越流係数Cを算出し，これを最少自乗法により，CとHの関係を求め式-2を得た。越流係数Cおよび越流水深Hとの関係は，図-7に示す。

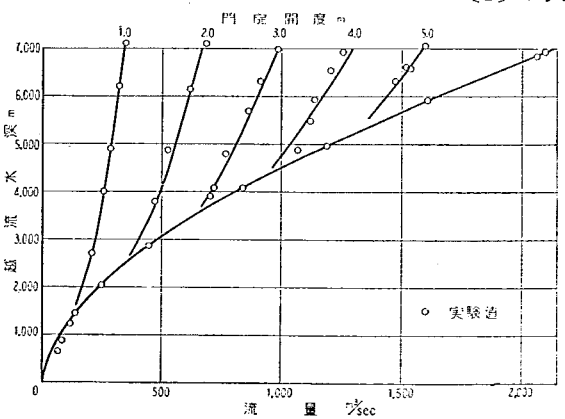


図-6　1型越流部水位一流量曲線

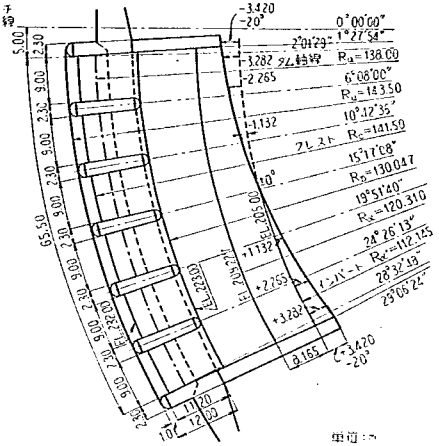


図-5　1型越流平面図

$$Q=CBH^{3/2}\text{より}\qquad C=\frac{Q}{BH^{3/2}}\cdots\cdots(1)$$

$$C=0.10912H+1.41011\cdots\cdots(2)$$

式中　Q＝越流量　m³/sec
　　B＝越流巾　m
　　H＝越流水深　m
　　C＝越流係数

越流部堤体面の圧力分布は，越流径間の中心線上において，測定した結果，自由越流時は，図-8に，開扉操作時は，図-9に実験値を表-4に示めす。

この結果，開扉操作時に心配された負圧の発生は見受けられなかった。

〔2〕 フリップバケットについての実験

i フリップバケット形状の選定

フリップバケット形状は，越流水が水叩内にうまく入るかどうかを支配する重要な要素となるが，その点を検討するために，縮尺1/80模型において，4種類のフリップバケットについて，流量500，1,000，1,500，2,040m³/secの4種について実験をおこなつた。

以上の実験結果のうち，流量1,500 m³/sec越流時の水脈落下位置を，図-10に示めす。

a　1型フリップバケット　図-11

バケットインバートの左岸側標高218.773m，右岸側標高195.0mとし，リップ角度を，0°，15°，30°とした。この場合放射水の水平偏向が大きく，

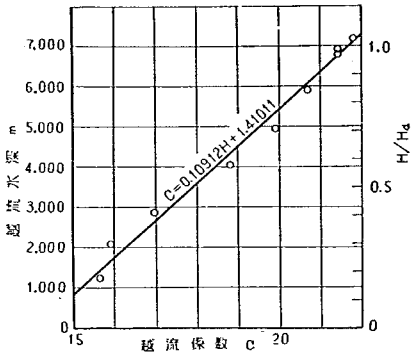


図-7　1型越流部水位—越流係数図

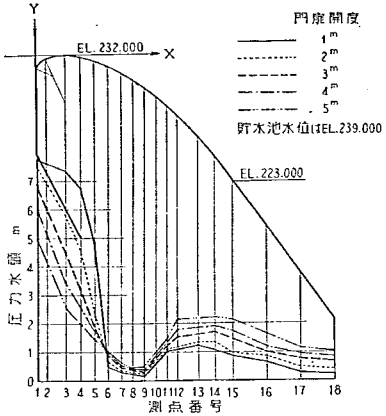


図-9　1型越流部　門扉操作時圧力分布

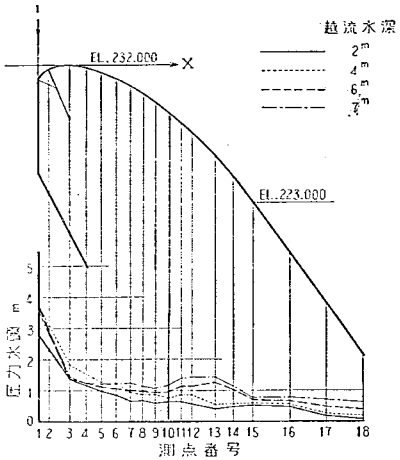


図-8　1型越流部　自由越流時圧力分布

水叩内に収容することが不可能であることが判明した。その原因はバケットの傾斜が過大なためと考えられる。

b　2型フリップバケット　図-12

バケットインバートを標高205.0mで水平とし，リップ角度を，0° 5° 30° とした。この場合水叩内流況は，非対称となり，相当に乱れ，水叩左岸導流壁に落下水脈が衝突し，激しい水面隆起が目立っている。

c　3型フリップバケット　図-13

バケットインバートを標高205.0mで水平とし，左岸側リップ角を −20°，右岸側リップ角を30° に変化させた形状で実験した結果，放射水を水叩内に収容すること

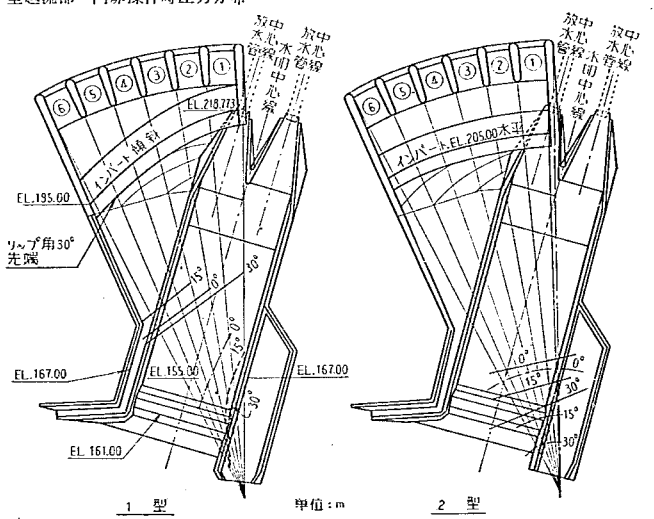


図-10 (1)　フリップバケット形状別放射水落下位置比較図

が出来たが，水叩内流況はあまり良好ではないので，リップ角または，インバート標高を変えて改良する必要がある。

d　4型フリップバケット　図-14

バケットを6段階にし，各段のバケットインバートを水平とし，左岸側最上段のインバート標高を 218.0m とし，以下3.0m 差の階段で右岸側最下段のインバート標高を 203.0m とした。この場合も放射水を水叩内に収容可能であるが，流況は3型と同程度であり，リップ角度またはインバート標高を改造する必要がある。

以上の実験結果より，3型または4型を基本型とした改良型を採用するのが望ましく，3型では放射水脈が水平偏向することはないが，4型の階段式においては，上段のバケットから下段に移行する傾向にあり，水脈の偏向により，バケット側面に負圧が生じるのでわないかと思われる。

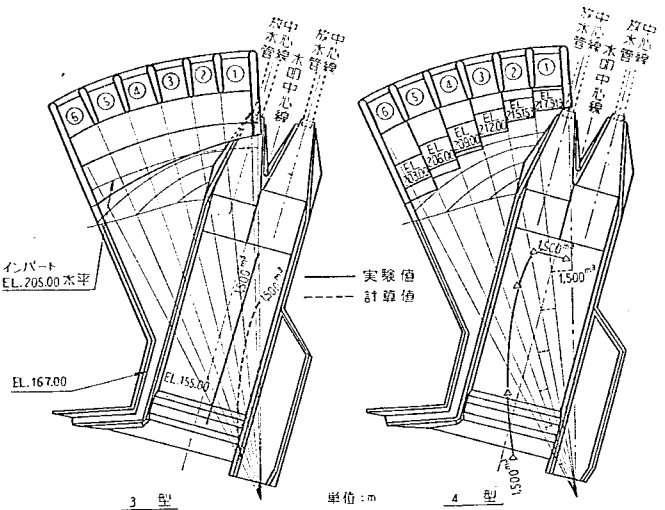


図-10 (2)

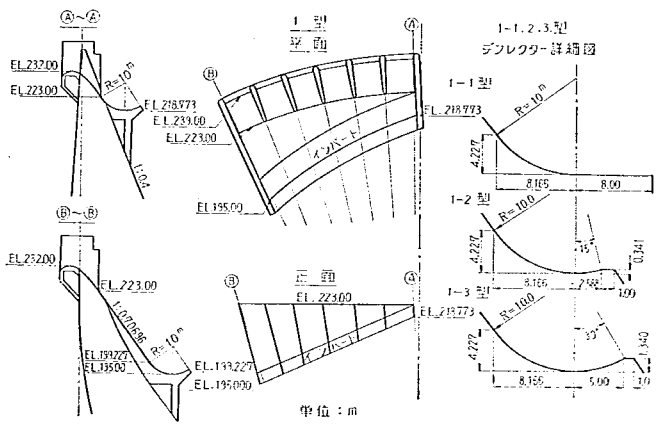


図-11　1/80模型 フリップバケット1型

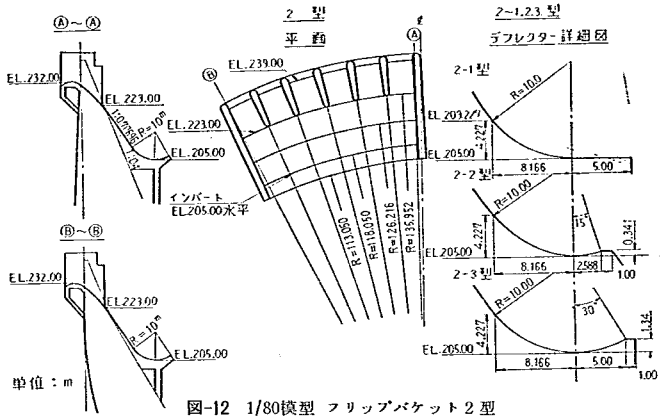


図-12　1/80模型 フリップバケット２型

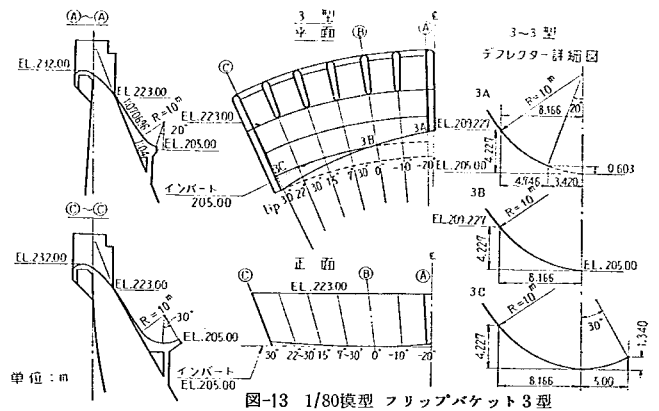


図-13　1/80模型 フリップバケット３型

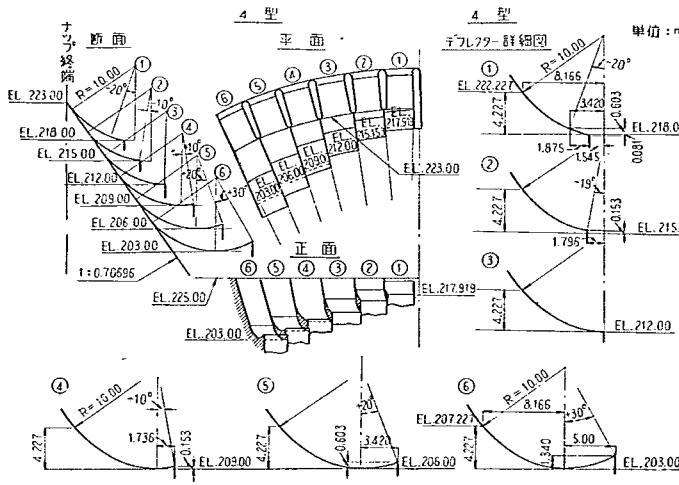


図-14　1/80模型 フリップバケット４型

以上の結果に基ずき，種々検討の結果３型を採用することに決定したが，判定基準として，次の事項を考慮した。

a　水叩中心線方向に対し，越流部が，図-2 に示めされるような関係にあるので，放射水脈は水叩へ斜め方向より飛込むことになるので，水叩内流況は，左右非対称となることはまぬかれないが，出来るだけ対称にする。

b　越流部門扉操作をどのようにおこなつても，放射水が直接山腹に当たらないようにする。

c　副ダムは設置しない予定なので，これにかわる端末シルを設置し，ダム自然下流水位（図-20）が２m程度変動しても，水叩内流況に大きな変化を生じさせないような形状とする。

以上の事項を基にし，前記1/80模型において選定された３型フリップバケット型式を，全体模型1/40において１型とし，実験の結果，放射水脈は，水叩左岸側壁面に大きな動水圧を生じさせ，放射水脈の落下位置が不適当なので，リップ角を，図-15 に示めすように，左岸側を−20°，右岸側を＋20° に改造し，これを２型とした。

実験の結果，放射水脈の落下位置は，やや水叩中心部になったが，いぜんとして水叩左岸壁面に大きな動水圧が生じている。水叩内流況は１型に比較して相当改善された。

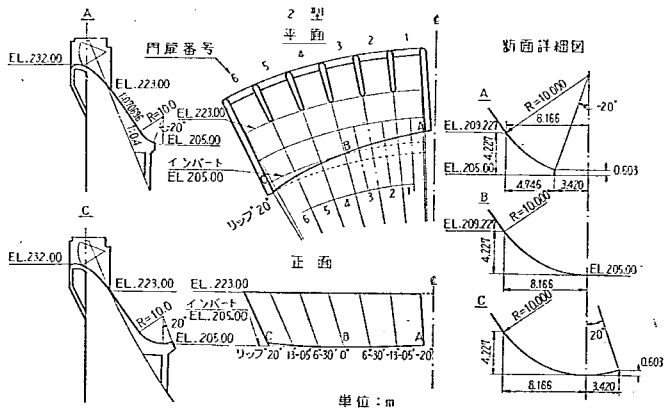


図-15　1/40全体模型　フリップバケット２型

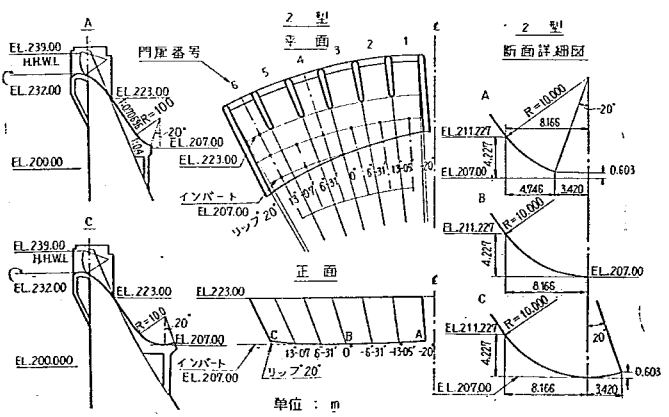


図-16　1/40全体模型　フリップバケット３型

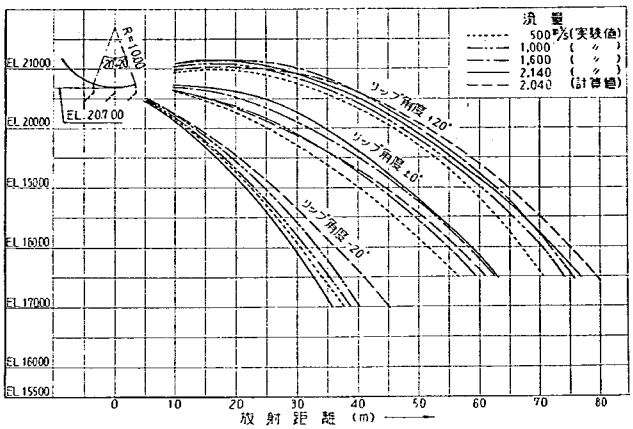


図-17　3型フリップバケット　放射水脈水面形

以上の結果，フリップバケットのインバート標高を，205.0m から 207.0m にし，3型として形状は，図-16に示めす。この場合の放射水脈落下位置は水叩中心部にあり，水叩左岸側壁面の動水圧と，水叩内流況は，2型に比較して相当に改善された。

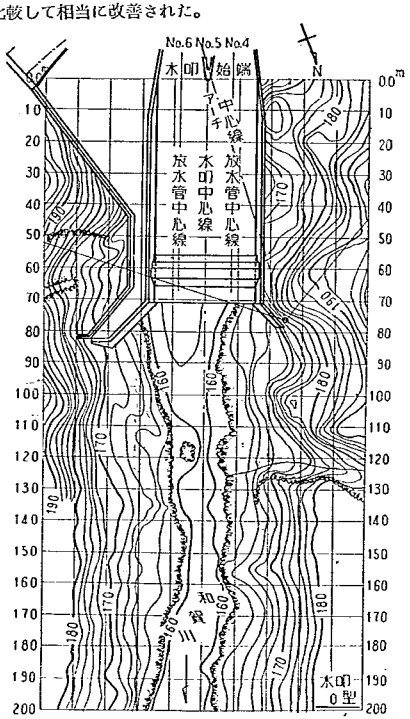


図-18　水叩および河床，流速，水面形測定位置図

3型フリップバケット放射水の形状は，図-17 に示めす。

〔3〕 水 叩 実 験

水叩実験の優劣判定基準として，下記の事項を考慮した。

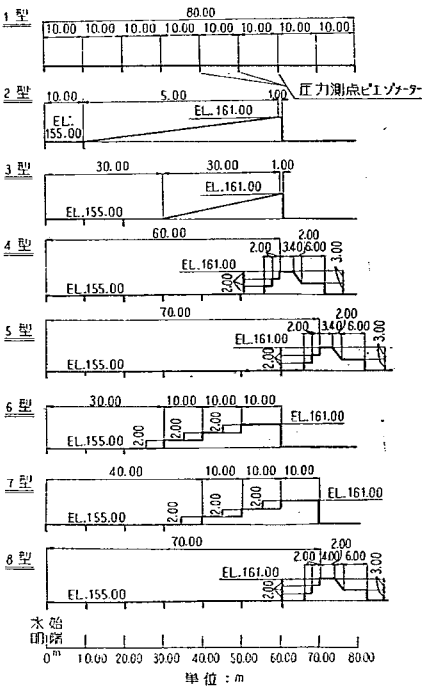


図-19　水叩比較案縦断図

i　放水管流量600m³/secは，自然下流水位において水叩内で跳水を起し，常流になってから流下するようにする。

ii　副ダムは設置しないで，これに代るシルを水端端末付近に設置し，下流水位が2.0m程度変動しても，水叩内で跳水を完了するように，その位置，高さ，形状等も考慮する。

水叩平面図は，図-18に，水叩比較案縦断図を，図-19に示めす。

i の目的を達するために，1型　2型　3型の跳水に必要な下流水位を測定し，その結果を，図-20に示めす。

このほか，4．5．6．7型は，模型の構造上，下流水位を下げることが出来ないため，跳水々位は測定出来なかった。

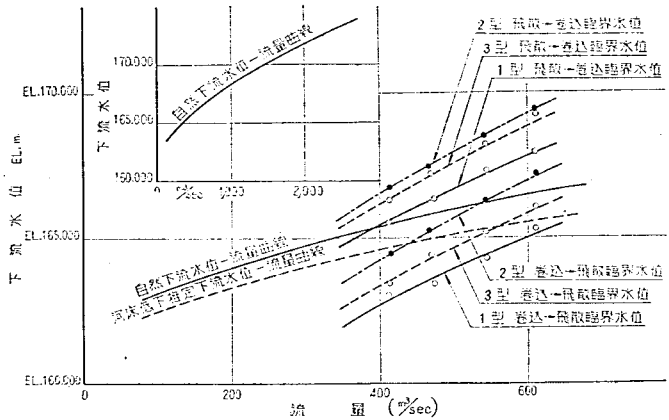


図-20　水叩別跳水々位と自然下流水位の関係

図-20によると，1型以外は副ダム等の下流水位を維持する構造物を設置しない限り，飛散してしまうことを示めしているが，一応水叩内と下流河床の流速分布および水面形状を，図-18に示めす測線において，跳水臨界水位で測定した結果は，図-21に示めされ，水叩内において跳水を完了し，常流となって流下することが判った。

しかし，自然下流水位と跳水臨界水位との関係は，図-20のように，ダム下流河床が低下して自然下流水位が図中の破線以下に低下すると，2型　3型等の逆傾斜水叩に属するものは，跳水を起さずに飛散状態になると考えられる。またフリップバケット放射水のエネルギー減勢のために必要な水じよく水深も浅くなるので，水叩内の圧力分布の状態は悪化する。

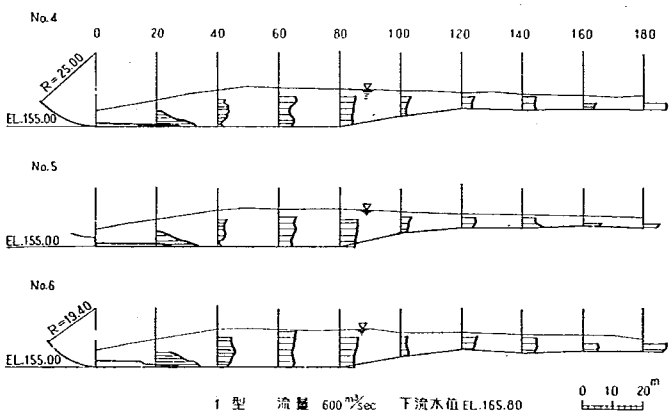
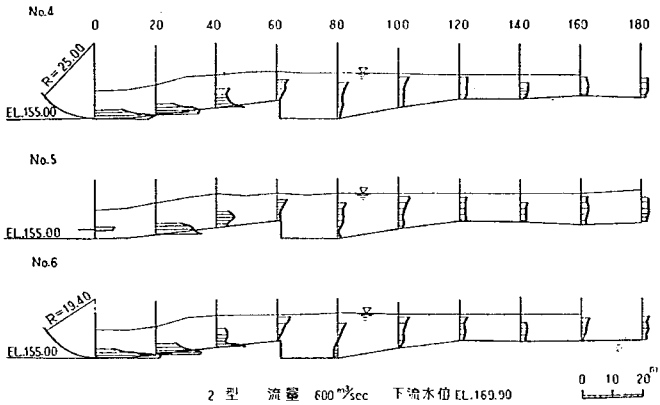
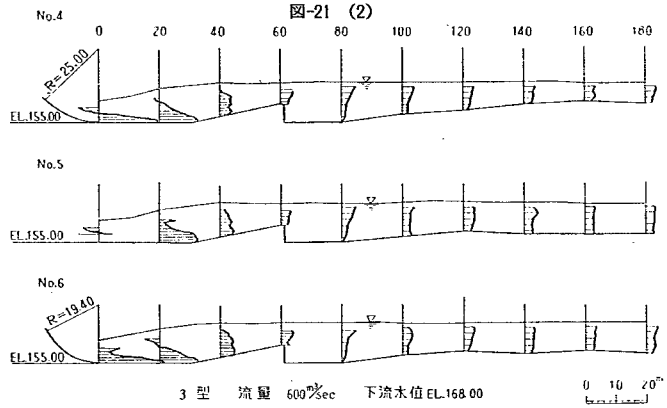


図-21 (1)　水　叩　流　速　分　布　図



2 型　流量 600㎥/sec　下流水位 EL.169.90

図-21 (2)

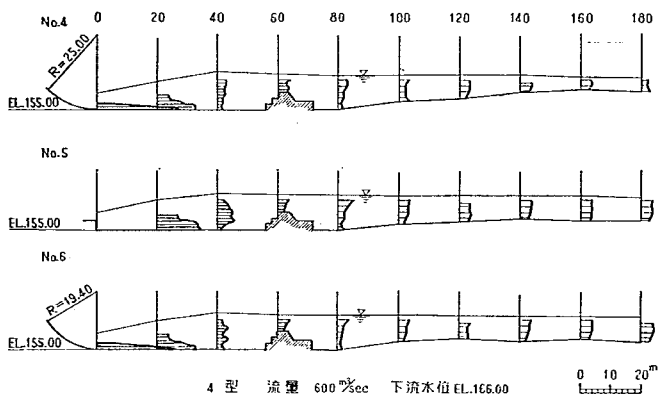


3 型　流量 600㎥/sec　下流水位 EL.168.00

図-21 (3)

以上により，1型の水平水叩終端部に，副ダム兼用のシルを設けた4型について，水叩内と河床の流速分布，水面形状を測定した結果を，図-22に示めす。

このように端末シルを設けた場合，自然下流水位が，2m程度低下しても，水叩内の流況にいちじるしい影響がないことが，流況観察よりわかった。



4 型　流量 600㎥/sec　下流水位 EL.166.00

図-22 水叩流速分布図

また水叩の岩盤掘削の関係から提案された逆傾斜水叩の代案として，6型，7型の実験をした結果，自然下流水位に関しては，4型と同様であるが，フリップバケット放射水のエネルギー減勢のために必要な，水じよく水深は浅く，水叩内の流況は悪化する。

5型は4型において，フリップバケットの放射水脈の一部がシルにかかるので，端末シルを下流へ10m移したもので，放水管だけ放流した場合は，4型と大差ないものと考えられるので，流速分布，水面形状は測定しなかった。

8型は，水叩左右岸側壁部の変更によるもので，シルの位置と形状は5型と同じである。

水叩8型　フリップバケットは3型を採用した場合の，全門自由越流，門扉全門等高操作時の圧力分布を，図-23に，実験値を，表-5,6に示めす。なお水叩内および河床の流速分布，水面形状，圧力分布測定点位置は，

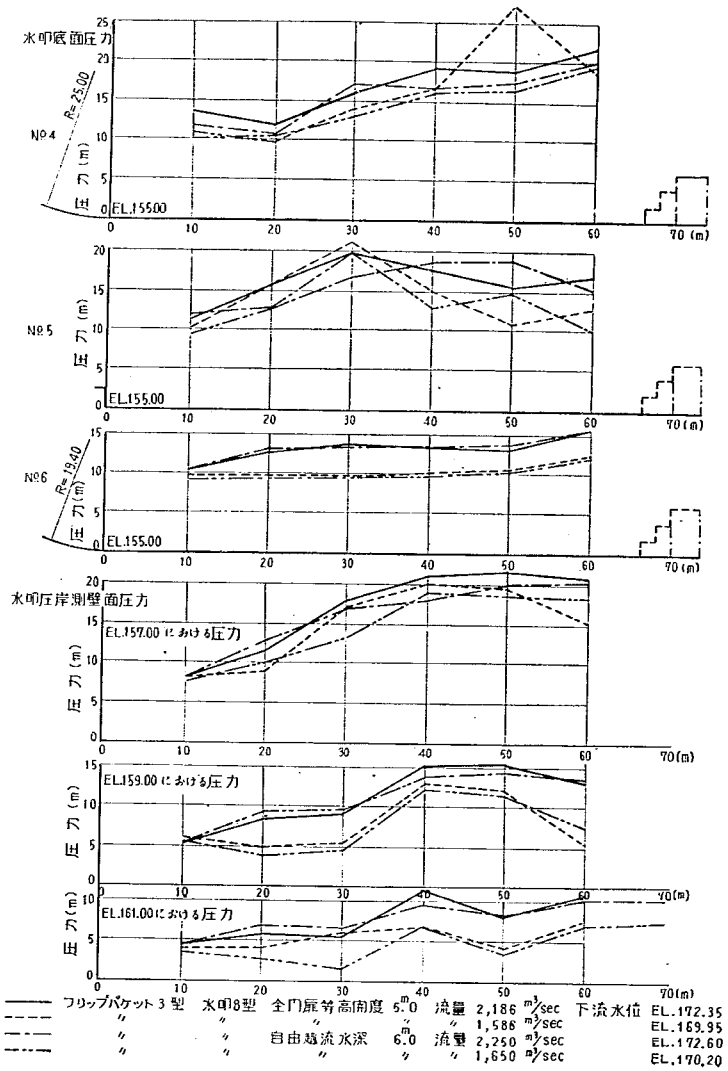
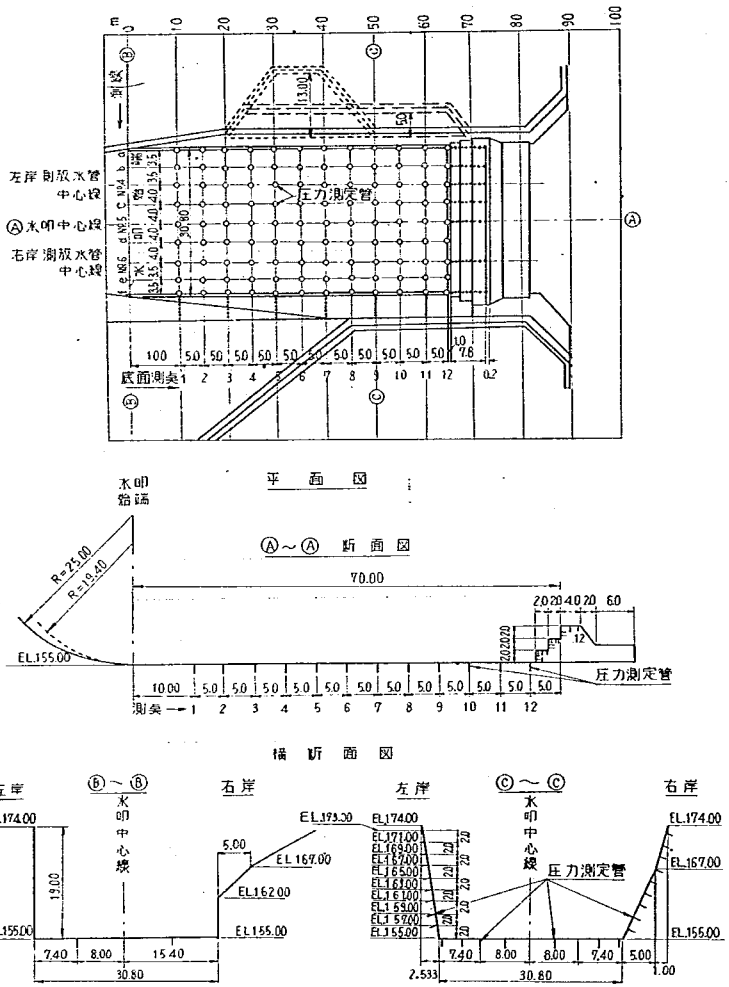


図-23　水　叩　8　型　圧　力　分　布



単位；m

図-24　水叩8型圧力測点位置図

図-24に示めす。

種々の流量を放流した場合の，流速分布および水面形状は，図-25に示めす。

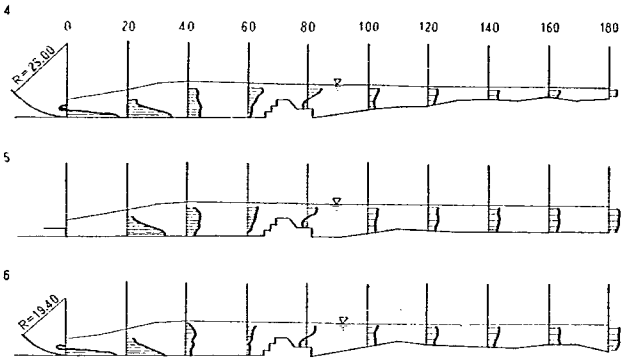
〔4〕 放水管（形状選定と1型実験）

最大放流量600m³/secを2本の放水管で，処理するように計画する。

計画された放水管と堤体との関係は，図-26に示めされるように，アーチ中心線に対し，放水管中心線は，17°-30′で交っている。管入口中心標高を200.0mに設け，ベルマウスは10°傾けて設置し，管途中から吐口部において平面的に拡巾して，放流水を堤体下流面に沿わせ，水脈を薄くして水叩内の跳水が容易になるように計画した。

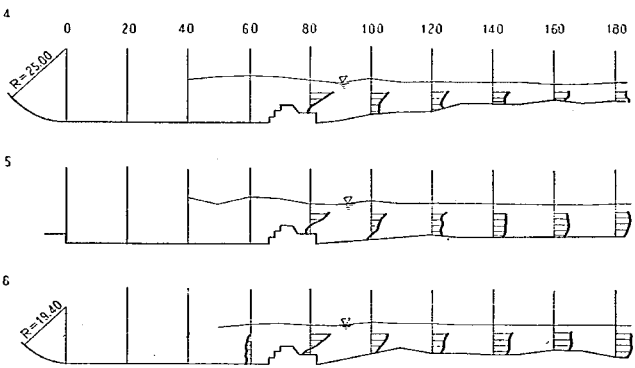
管吐口部には，流量調節用高圧テンターゲートを採用し，吐口中心標高は，187.0mで，呑口部に予備門扉を装着する計画である。

放水管1型の形状は，図-27に示めされるように，直管部はなく，全長曲管で構成され，断面の設計は，式-3によって計算した。



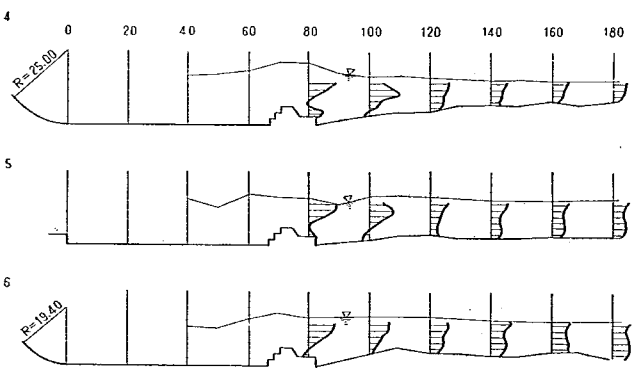
流量 600㎥/sec　下流水位 EL.166.00　単位：m

図-25 (1) 流速分布図



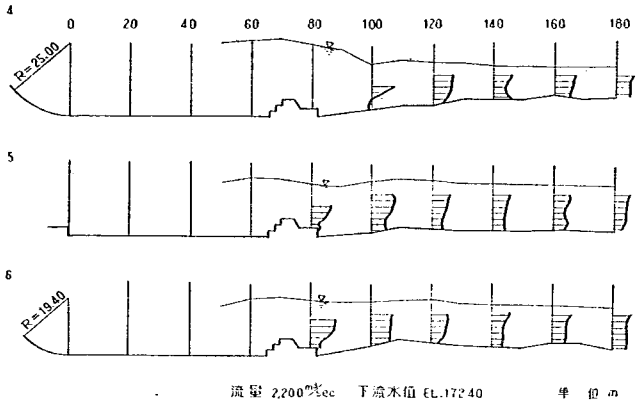
流量 1,100㎥/sec　下流水位 EL.168.00

図-25 (2)



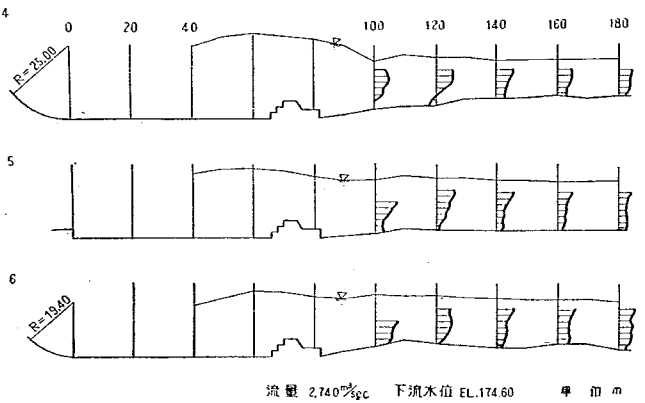
流量 1,600㎥/sec　下流水位 EL.170.00　単位：m

図-25 (3)



流量 2,200㎥/sec 下流水位 EL.172.40 単位 m

図-25 (4)



流量 2,740㎥/sec 下流水位 EL.174.60 単位 m

図-25 (5)

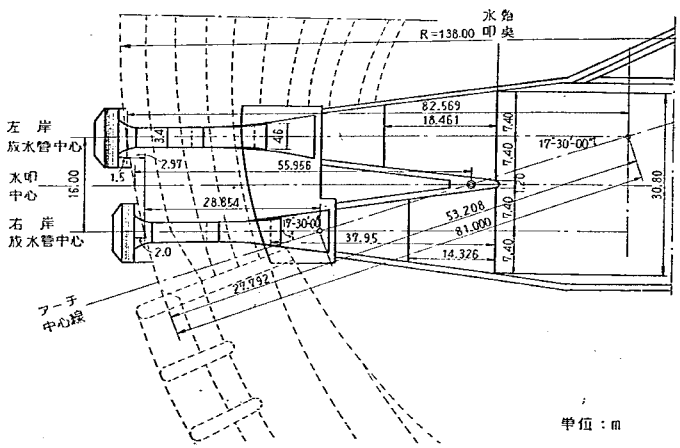


図-26 (1) 放 水 管 配 置 図

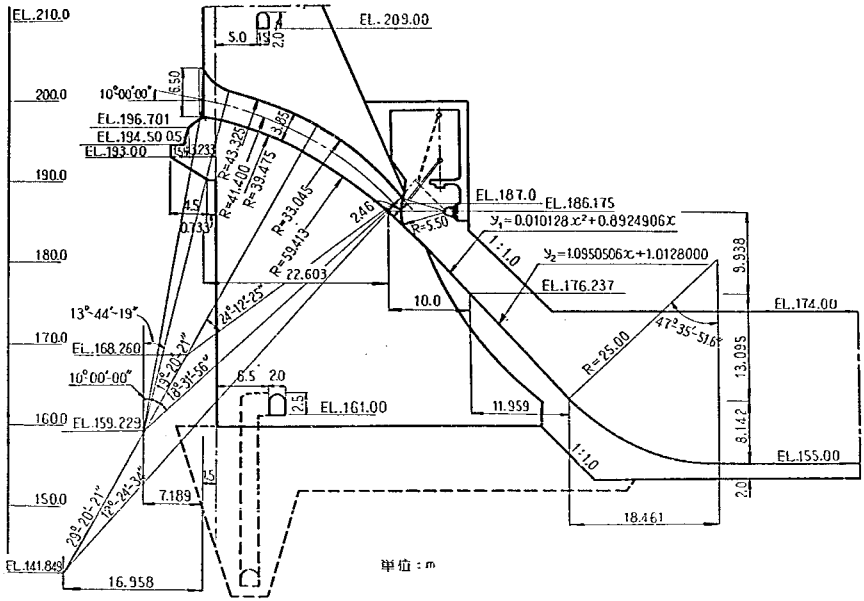


図-26　(2)

i　吐口断面

$$A_n=\frac{Q}{\sqrt{\frac{2g(H+Z_0)}{1+\eta}}} \quad \cdots\cdots(3)$$

A_n=吐口断面積m²　　Q=300m³/sec

H=39.0m　　Z_0=13.0m

η=0.1912

ii　入口断面

$$A_0=\frac{A_n}{\sqrt{\frac{(1+\eta)(H_e-P_e)}{(1+\xi)(H_e+Z_e)}}} \quad \cdots\cdots(4)$$

A_0=入口断面積 m²　　A_n=吐口断面積 m²

H_e=22.0m　　P_0=−1.0m

ξ=0.05

iii　負圧の検討

$$\frac{b_n}{2}\cos(\alpha+\beta)-\frac{b_n(H+Z_e)}{(1+\eta)R_0}\leqq -3.0\text{m}\cdots(5)$$

b_n=吐口断面の縦長　　2.46m

R_t=管中心半径　　41.40m

以上の式で算出された断面積に，10%の隅取面積を加え，入口断面形状を，3.85m×3.40m吐口断面形状を，2.46m×4.60mとした。また負圧検算の結果管内許容圧力−3mに対し，約−1.8mであったから，放水管形状は充分満足出来るものと思われる。

ベルマウス形状は，管内圧力分布および流量におよぼす影響が大きいので，設計，製作不良の場合は，空洞現象発生のもとになるので，種々検討の結果，図-27に示めすような形状とした。上面および下面のベルマウス形状は，式-6を，両側面ベルマウス形状は，式-7を採用した。

$$\frac{X^2}{3.60^2}+\frac{Y^2}{1.7787^2}=1 \quad \cdots\cdots(6)$$

$$\frac{X^2}{3.10^2}+\frac{Y^2}{1.0^2}=1 \quad \cdots\cdots(7)$$

またベルマウスの隅取半径は入口で0とし，それより下流に進むにしたがって，次第に大きくし，ベルマウス部終端において1.0mとした。隅取半径の変化は，楕円曲線であらわし，任意の断面における半径は，式-8,9により求められる。

上面隅取半径 $\frac{X^2}{3.60^2}+\frac{Y^2}{1.00^2}=1$ ……(8)

下面隅取半径 $\frac{X^2}{2.16^2}+\frac{Y^2}{0.91^2}=1$ ……(9)

同径曲管部は，上面半径43.325m中心線半径41.40m下面半径39.475mで垂直線に対して，13°-44′-19″から，29°-20′-21″の区間であり，3.85m×3.40mの等断面とし，隅取半径は1.0mとした。

29°-20′-21″より，47°-52′-17″の区間は，上下面では絞り，側面は拡巾した異径曲管で，中心線半径は，41.40mで，ベルマウス部，同径曲管部と共通で上面半径33.043m，下面半径59.413mであり，断面は同径曲管部に接する部分は，3.80m×3.40mで，吐口部は2.46m×4.60mとし，隅取半径は1.0mとした。

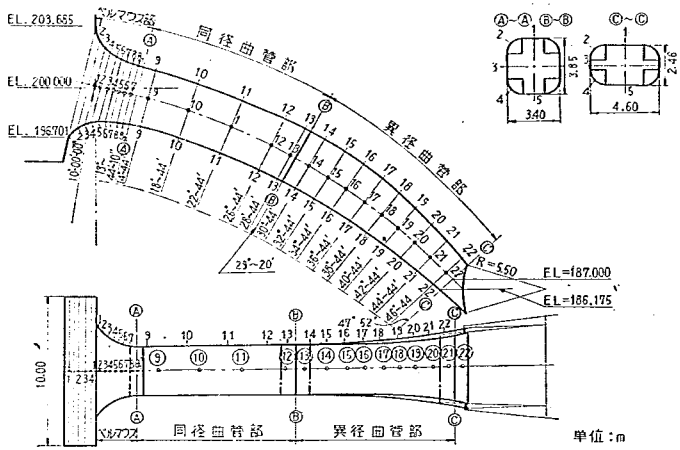


図-27　1　型　放　水　管

圧力測定点は，図-27に示めすように，ベルマウス部は9断面に分割し，同径曲管部は，9～13に，異径曲管部は14～22とした。

〔5〕 放水管々内圧力計算*

実験に先立ち，管内圧力分布を同径曲管部から，異径曲管部末端迄の上下面の圧力を，式-10により計算した結果を，図-28に，計算値を，表-7に示めす。

$$\eta=\left(\frac{A_n}{A_0}\right)^2\cdot\left(f_e+\lambda\frac{L_0}{D}\right)+\frac{\lambda A_n^2}{8}\sum_{i=1}^{n}\frac{L_i}{R_{i-1}+R_i}\left(\frac{1}{A_{i-1}}+\frac{1}{A_i}\right)^2$$

$$h_s=H+Z_0-\frac{V_n^2}{2g}\left\{\left(\frac{A_n}{A_s}\right)^2+\left(\frac{A_n}{A_0}\right)^2\cdot\left(f_e+\lambda\frac{L_0}{D}\right)+\frac{\lambda A_n^2}{8}\sum_{i=1}^{s}\frac{L_i}{R_{i-1}+R_i}\left(\frac{1}{A_{i-1}}+\frac{1}{A_i}\right)^2\right\}$$

$$P_s=H+Z_0-Z_s-\frac{V_n^2}{2g}\left\{\left(\frac{A_n}{A_s}\right)^2+\left(\frac{A_n}{A_0}\right)^2\cdot\left(f_e+\lambda\frac{L_0}{D}\right)+\frac{\lambda A_n^2}{8}\sum_{i=1}^{s}\frac{L_i}{R_{i-1}+R_i}\left(\frac{1}{A_{i-1}}+\frac{1}{A_i}\right)\right\}\mp b_s\cos\theta\pm F\frac{b_sQ^2}{gA_s^2R_0}$$

$$F=\sqrt{\frac{\theta}{\theta_0}\left(2-\frac{\theta}{\theta_0}\right)}$$

……(10)

$\lambda=0.025$　　$f=0.05$

〔6〕 1型放水管実験

実験は，最初木製模型でおこない，実験の結果により，最終的に検照するために，金属製模型を製作し，実験をおこなった結果を，水位—流量の関係については，図-29に，管内圧力分布状態を，図-28に，管内周辺圧力の実験値を，表-8に示めす。

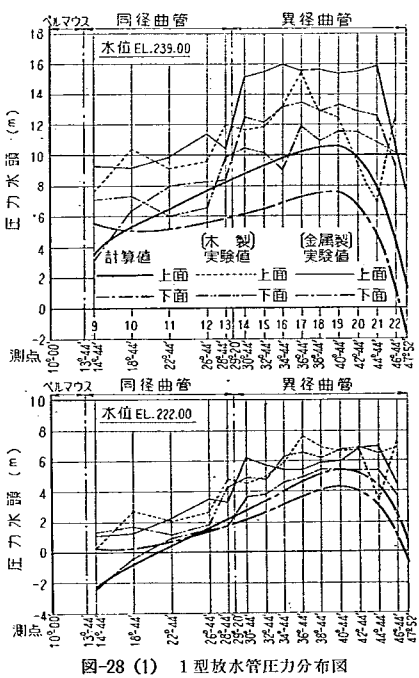


図-28 (1)　1型放水管圧力分布図

この結果より，放水管1本の計画放流量，300m³/secの放流は可能である。また管内の圧力実験値によると，門扉を全開放流したときは，貯水池水位 239m（サーチャージ水位）222.0m（洪水期制限水位）の場合は，空洞現

* 村・荒木・飯田　環境放水管に関する研究(2) 土木研究所報告 第89号

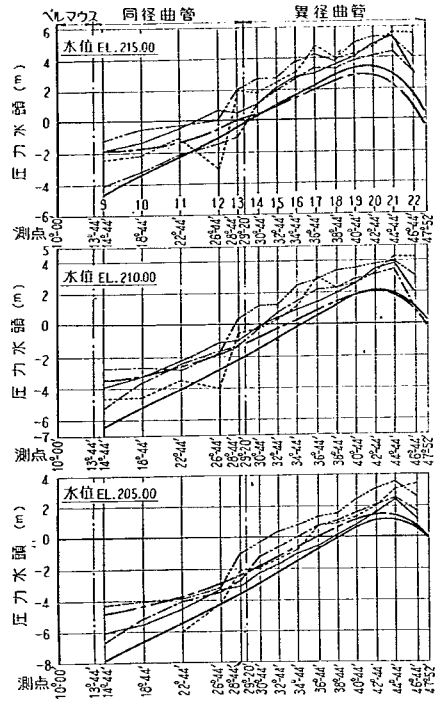


図-28 (2)

象に対する許容圧力水頭値 (−3.0m) 内である。しかし最低水位 215.0m において，木製模型は許容値内であるが，金属製模型の場合，ベルマウス部分において，許容値を越えている。また実際には操作しないはずであるが，貯水位が210.0mおよび205.0mのときはいずれも許容値を大巾に越えている。

また放水管放流水の跳水を容易にするために，側面を拡巾したことにより，管内圧力低下が心配されたが，実験の結果許容値内であった。

管吐口部において，導流壁とのすりつけに円弧を挿入しているが，(図-50参照) 放流水が円弧部分に，ぶっかり側壁面沿いに盛り上がりまたは飛散し，この状態は門扉支点付近までつづいているので，この部分の変更が必要である。

6. 最終案形状の選定

最終案実験にさきだち，前述5の実験結果による形状を基本とし，越流部の平面半径変更および放水管ベルマウス，吐口等の変更により，最終案水理試験に採用された形状について説明する。

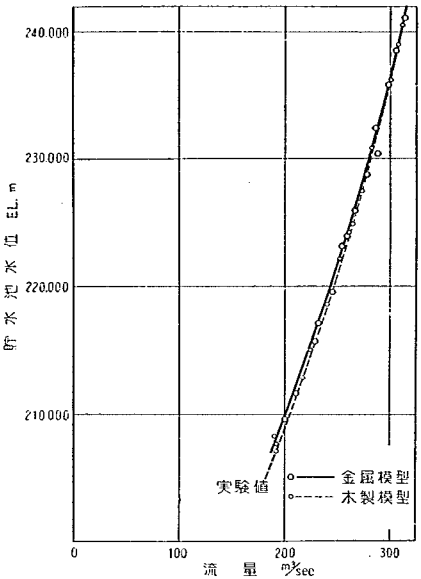


図-29 1型放水管水位—流量曲線

〔1〕 越流部形状

1型形状 図-4.5において，構造および経済的見地から，越流頂における平面半径を，1.5m 短縮したほか，図-30のように変更し，門扉半径は，8.8m を 8.0mに，橋脚下流端取付け部標高 223.0m を 224.0m とし，左右端の橋台部の流況の向上を計るために，60° の角度で堤体上流面に接続した。その他，径間は1型と同様で，この形状を越流部2型とした。

〔2〕 フリップバケット形状

3型を基にして，インバートにおける平面半径112.145m を 113.428m に，バケット取付け部標高 211.227m を 212.297m として，インバート標高とリップ角度は3型と同様である。このフリップバケットを4型として，図-31 に示めす。

〔3〕 水叩形状

水叩は，8型を最終案として採用した。この場合放水管だけ放流するときには，水叩始点より下流30m付近で下流水位 166.0m において，跳水を起し常流となって流下するから，放水管だけの減勢を考えるならば，シルの位置，水叩の長さはその付近までですよいが，越流部放射水脈は，水叩始点から 65m の区間に落下するので，この区間内にシルを設けることは，水理的にも構造的にもあまり好ましくないので，放射水脈の影響の少ないように，水叩始点より 70m の位置にシルを設置した。

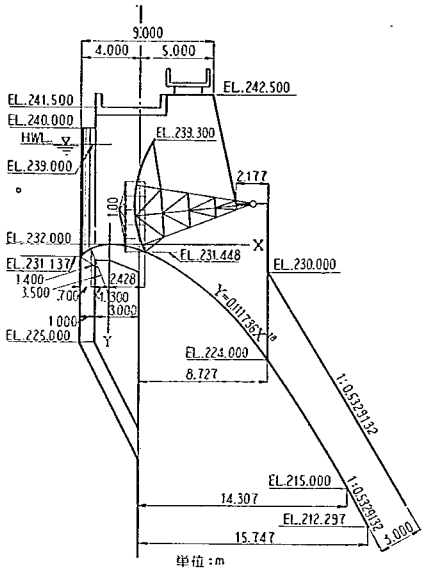


図-30 (1)　2型越流部断面図

〔4〕 放水管形状

放水管形状について，最終的検討の結果，次のような問題が起った。

i　呑口部に予備門扉を装着するさいに，下面が突出しているため，この曲線上で水密を保つことが非常に困難な状態にある。

ii　予備門扉を操作する場合，呑口面が鉛直に対し若干の傾斜があった方が容易である。

以上のことを考慮して，呑口部の変更を行なうこと，また吐口部において，門扉操作機械の構造等の関係もあって，門扉半径 5.50m を 5.00m とし，ゲートピン取付け部標高 186.132m を 185.800m として，この形状を2型とし，図-32.33に示めす。

ベルマウスの形状は，楕円曲線を用い，式-11.12.13に示めす式にしたがい，隅取半径は，入口部で全断面積の 0.2%とし，終端には半径 1.0m(6.4%) の隅取をして，途中の変化は直線変化とし，その断面形状は，図-34 に示めす。

同径曲管部始点は，鉛直に対し，13°-44′-19″ を 15°-06′-29″ とし，そのほかは1型と同様で，異径曲管部の断面形状と，吐口部の変更による形状ならびに門扉開度と標高の関係は，図-35 に示めす。

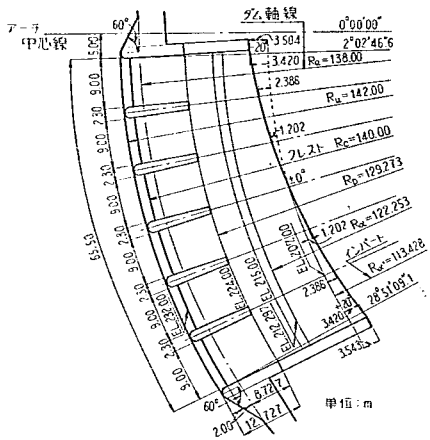


図-30 (2)

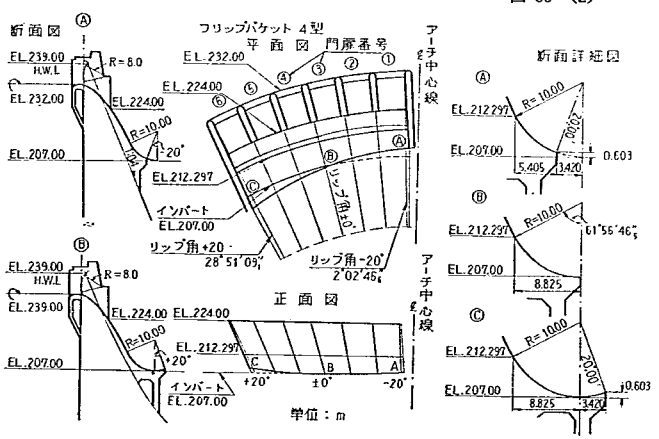


図-31 フリップバケット 4 型

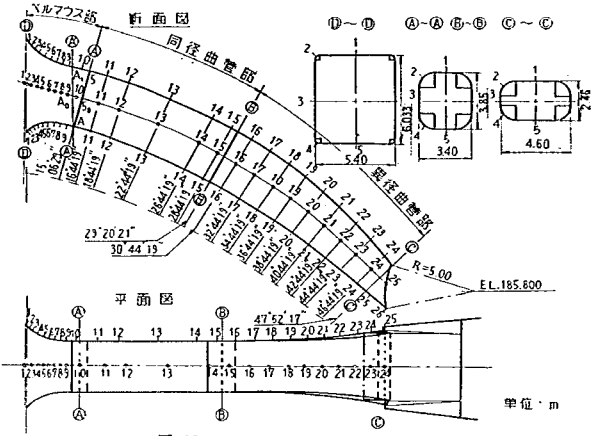


図-32　2　型　放　水　管

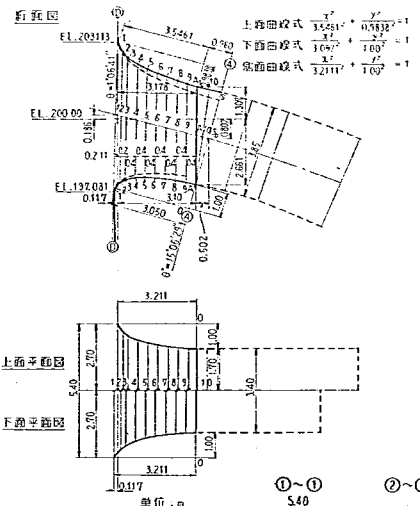


図-33　2型放水管ベル
マウス詳細図

上面曲線式 $\frac{X^2}{3.5461^2}+\frac{Y^2}{0.9838^2}=1$ ……(11)

下面曲線式 $\frac{\lambda^2}{3.05^2}+\frac{Y^2}{1.00^2}=1$ ……(12)

側面曲線式 $\frac{\lambda^2}{3.2111^2}+\frac{Y^2}{1.00^2}=1$ ……(13)

7.　最終案による実験結果

〔1〕 越流部2型の水位—流量曲線

自由越流量は，2,080m³/sec の越流が記録され，計画越流量2,040m³/sec は放流可能である。門扉操作は全門等高開度とし，門扉開度は門扉戸当部標高 231.448m を基準とし，門扉操作時における門扉下縁との差をもってあらわす。越流部に関する貯水池水位—流量曲線と，水位—越流係数の関係を，図-36，表-9に示めす。越流係

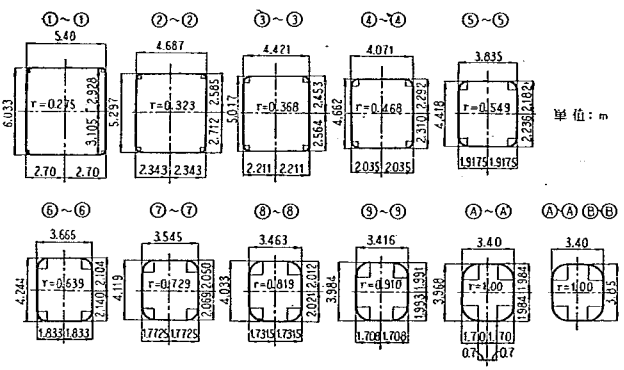
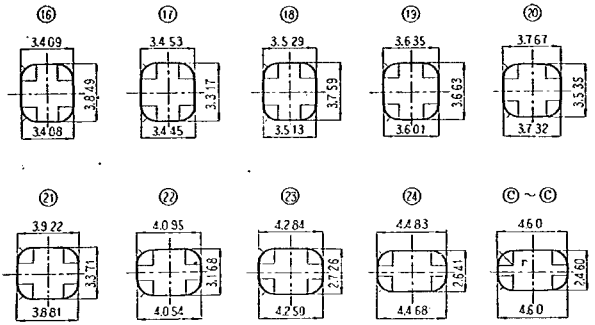


図-34 (1)　2 型 放 水 管 断 面 図



註：隅取半径は⑯よりⒸ-Ⓒ 断面まで1.00mである。　　単位:m

図-34 (2)

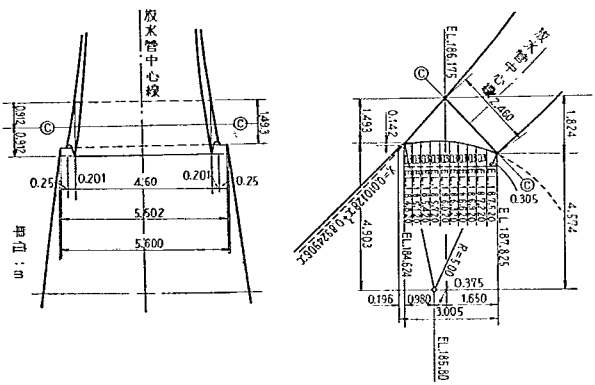


図-35 2 型 放 水 管 吐 口 詳 細 図

数Cは，水位—流量の実験値から，式-1 によって算出し，これを最少自乗法により，CとHの関係を求めたところ，式-14 を得た。

$$C=0.08184H+1.56033 \quad \cdots\cdots(14)$$

式中　H＝越流頂を基準とした越流水深 m
　　C＝越流係数

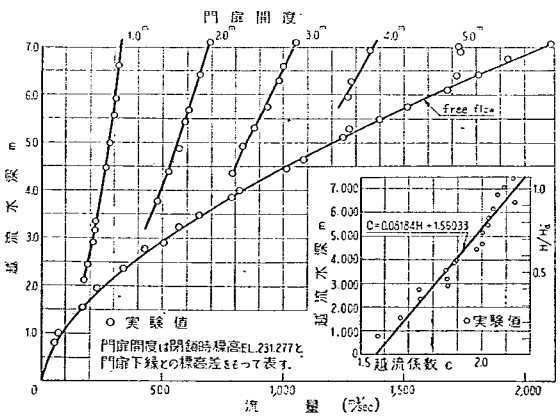


図-36 2型越流部水位—流量曲線および水位—越流係数図

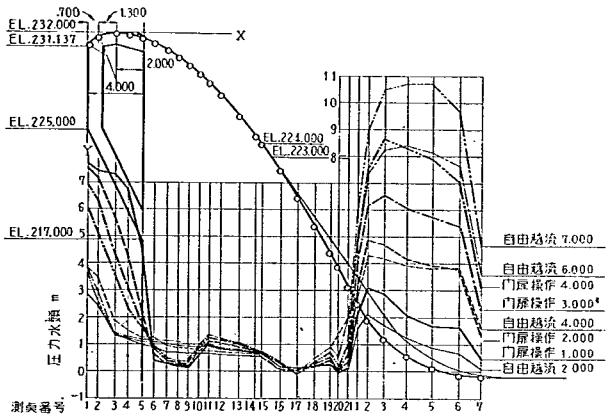


図-37　越流部とフリップバケットの圧力分布

〔2〕 越流部とフリップバケットの圧力分布および水面形状

越流部圧力分布およびフリップバケット圧力分布は，金属製圧力帯により，図-37に示めす位置で，門扉4番の越流径間中心線上において測定した結果を，同図に，実験値を，表-10に示めす。

越流部の水面形状は，門扉1,4,6,番の径間中心線上および橋脚，導流壁面沿いに，貯水池水位239.0mで，自由越流時に測定した結果を，図-38に示めす。

越流量500，1,000，1,600，2,040m³/secの放射水脈の落下位置を図-39に示めす。

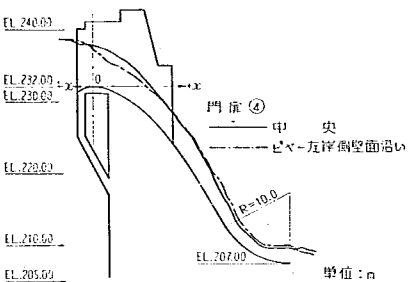


図-38　(2)

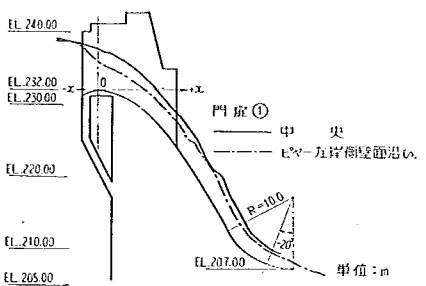


図-38 (1)　越流部水面形

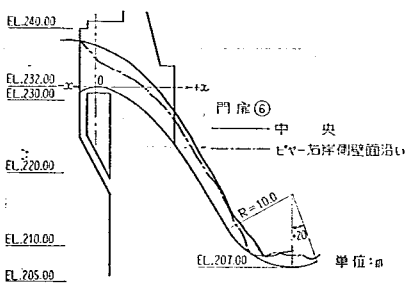


図-38　(3)

〔3〕 水叩内の圧力分布と側壁面沿いの水面形

水叩内の圧力分布は，図-24に示めす位置で，流量は1,100　1,600　2,200　2,680m³/secとし，おのおのの下

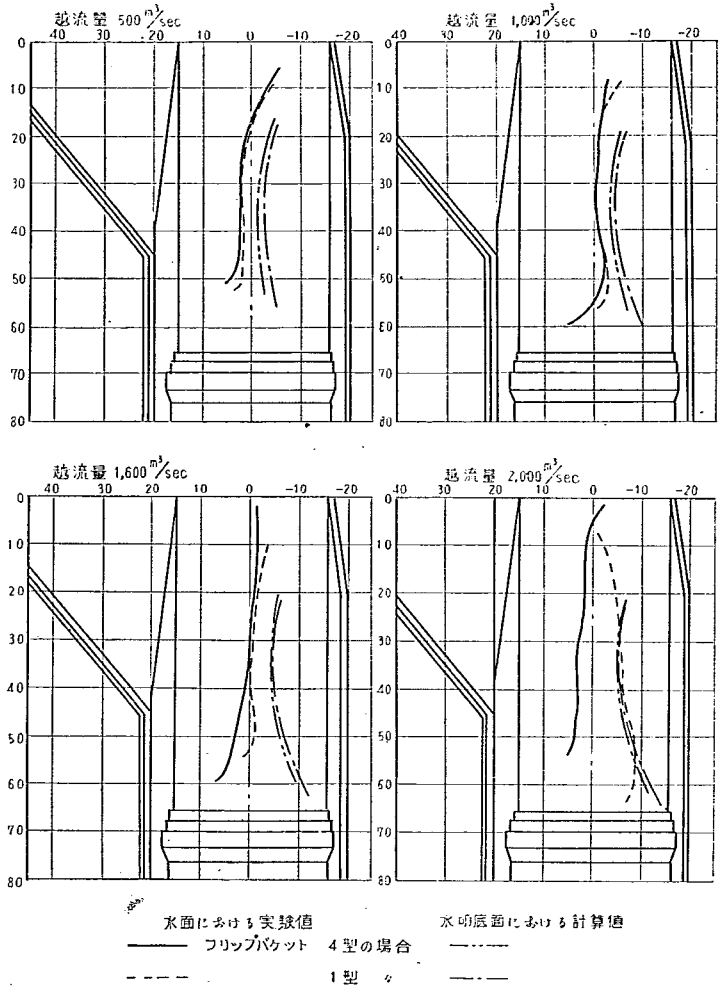


図-39 放射水脈落下位置図

流水位は 168.0 170.0 172.4 174.4m の時の，圧力分布状態を，図-40 に，実験値を 表-11 に示めす。

水叩底面および側壁部の最大圧力水頭は，最大放流時(2,680m³/sec)に，測線aの12に30.6m，左岸側壁部は，標高157.0mの11に24.5m，右岸側壁部は，標高157.0mの9に17.4mの値が記録された。

門扉操作時の流量2,200m³/secにおいて，下流水位を170.4 172.4 174.4mに変えて，下流水位の変化がどの程度圧力分布に影響を及ぼすかを検討した結果，図-41に示されるように，下流水位が2m程変化しても，水叩内の圧力分布には大きな影響がないようである。また流量2,200m³/secにおいて，自由越流の場合と門扉操作の場合の圧力分布を，比較するために，下流水位172.4mで測定した結果を，図-42に示めす。

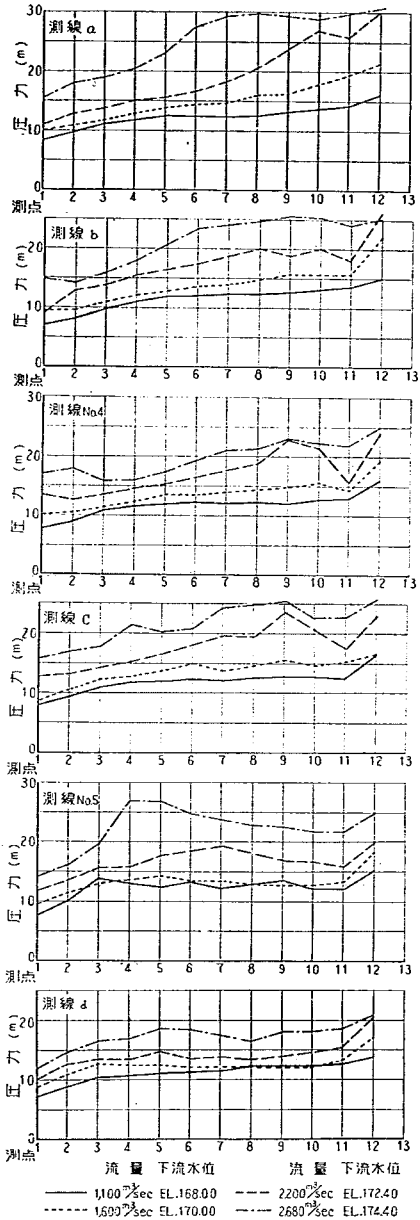


図-40-1 (1)　水叩底面圧力分布図

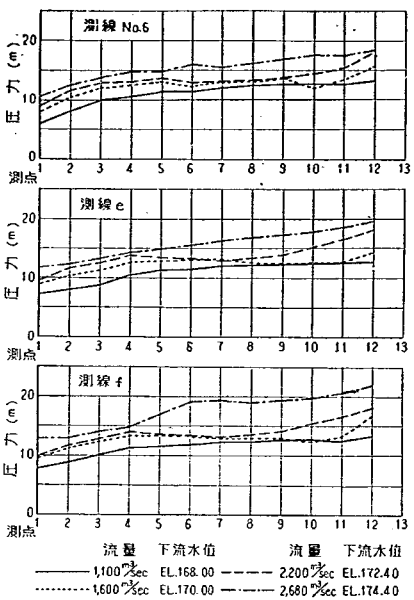


図-40-1 (2)

以上の実験値を種々検討すると，水叩中心部の圧力集中は，水脈落下の影響によるもので，落下後の水流は水叩底面を高流速のまま左岸側壁部に衝突しているために，壁面沿いの水面隆起を生じ，壁下部に高い動水圧を生じさせる原因となっている。

水叩末端に設置されたシルの圧力分布は，図-43に，実験値を，表-12に示めす。

側壁面沿いの水面形状は，越流部から放流量が増加すると共に水面隆起が大きくなり，異常洪水量2,680m³/secで最大になるのは当然であるが，この水面隆起を出来るだけ少なくする目的で，現地の地形を考慮の上，図-24に点線および破点線で示めす形状について，比較実験をおこなったが，水面隆起が若干低くなる程度であって，水叩内の流況を大巾に改善することは出来なかった。

〔4〕 放　水　管

縮尺1/30金属模型を製作して実験をおこなった結果，水位—流量の関係は，計画放流量300m³/secに対し，貯水位239.0mで313m³/secが記録された。

管内圧力分布の実験結果は，図-44，表-13に示めす。この実験値によると，貯水池水位239.0mで，下面倒取部に−3.97mの負圧が生じ，貯水池水位222.0mでは，−6.06mの負圧が測定された。

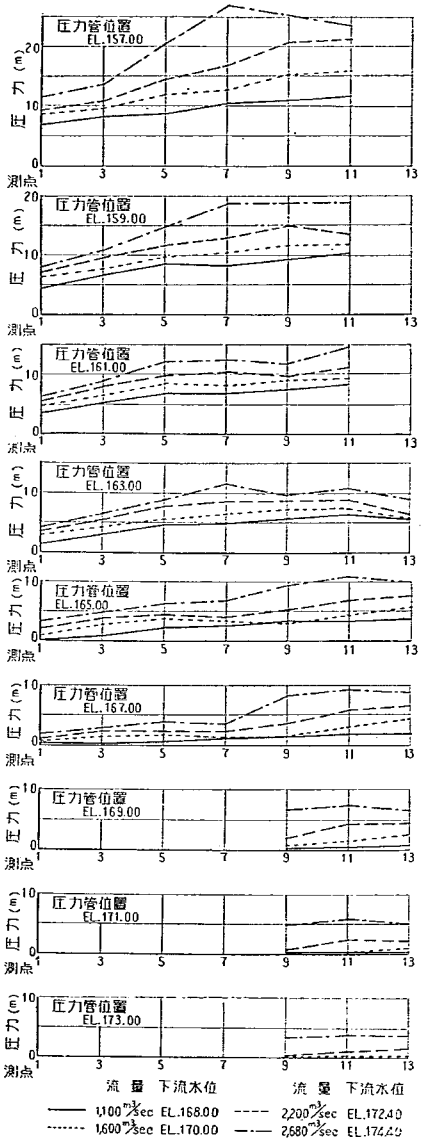


図-40-2　水叩左岸側壁面圧力分布図

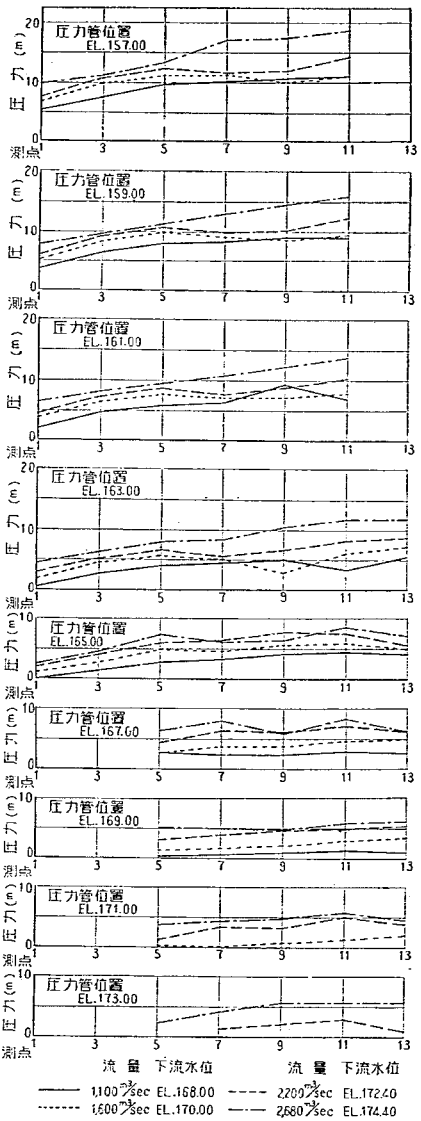


図-40-3　水叩右岸側壁面圧力分布図

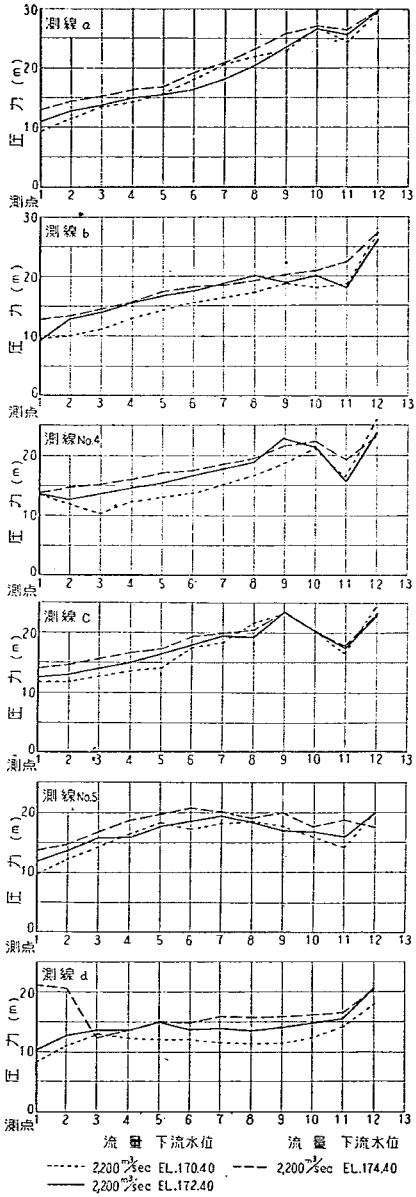


図-41-1 (1)　水叩底面圧力分布図
門扉操作時　下流水位変化による圧力

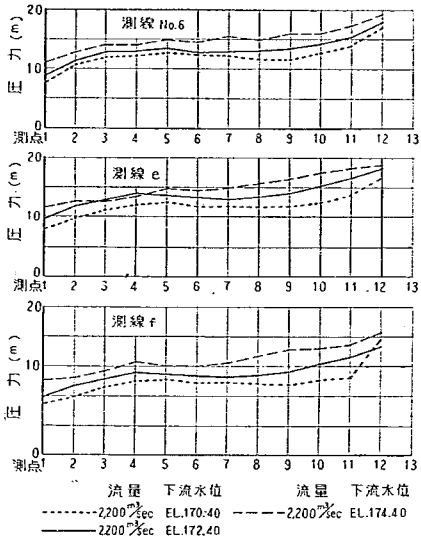


図-41-1 (2)

貯水池水位 222.0m (洪水期制限水位) で全開放流した場合に，空洞現象に対する許容圧力水頭 (−3.0m) 内であればよいが，これを大巾に越える結果となり，管形状が不適当なものと判った。したがってこの対策として，次の事項について検討することにした。

i　ベルマウス下面隅取部の改良
ii　ベルマウスの全体変更
iii　放水管全体の変更

以上について検討することにしたが，iii は時期的に余裕がないこと，またその必要があるかどうかについて，検討することにして，最初 i, ii について検討をおこなうことにした。i について実験の結果は，図-45 に示めされるように，貯水池水位 239.0m において測点 9 の圧力水頭−6.06m が −0.24m に，222.0m において −6.06m が−3.43m となり，隅取部の改良により，相当改善されることがわかったが，これ以上改良することは困難であると思われる。改良前の隅取半径は直線変化であったが，改良の結果によれば曲線変化となり，式-15 が得られた。

$$\frac{X^2}{3.3396^2}+\frac{Y^2}{0.2929^2}=1 \qquad \cdots\cdots(15)$$

式-15 により隅取半径を求め，ベルマウス改良形状の横断面を，図-46 に示めす 。

以上の実験結果について検討した結果，ベルマウス部の負圧発生については，放流時の土砂巻込み防止，予備門扉取付工事等を考慮して，塵除格子取付台のようなも

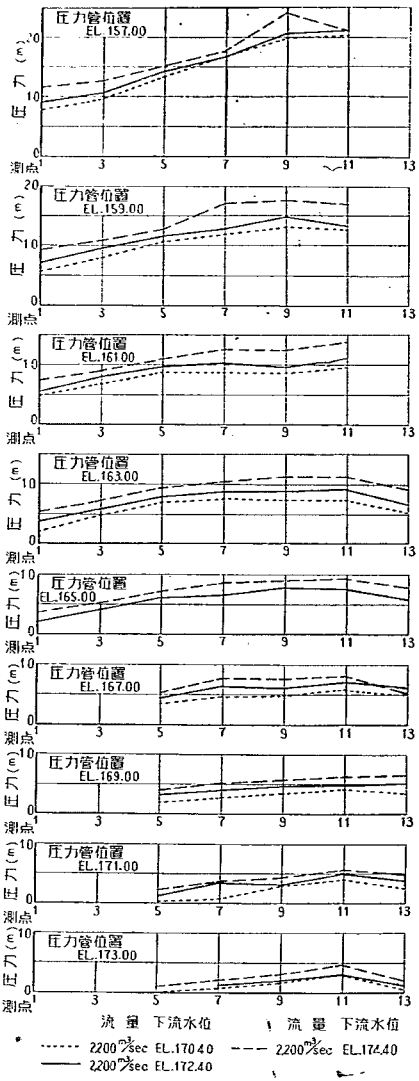


図-41-2 水叩左岸側壁面圧力分布図
門扉操作時 下流水位変化による圧力

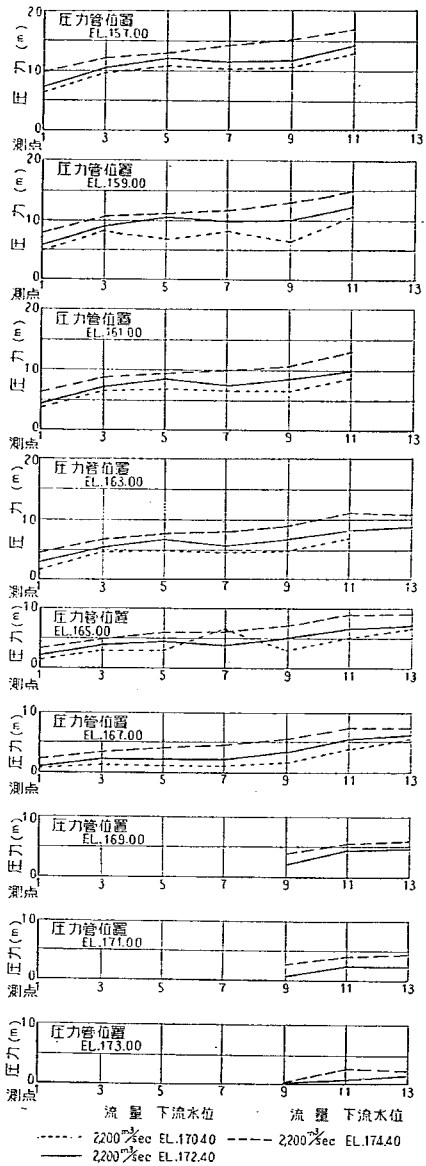


図-41-3 水叩右岸側面圧力分布図
門扉操作時 下流水位変化による圧力

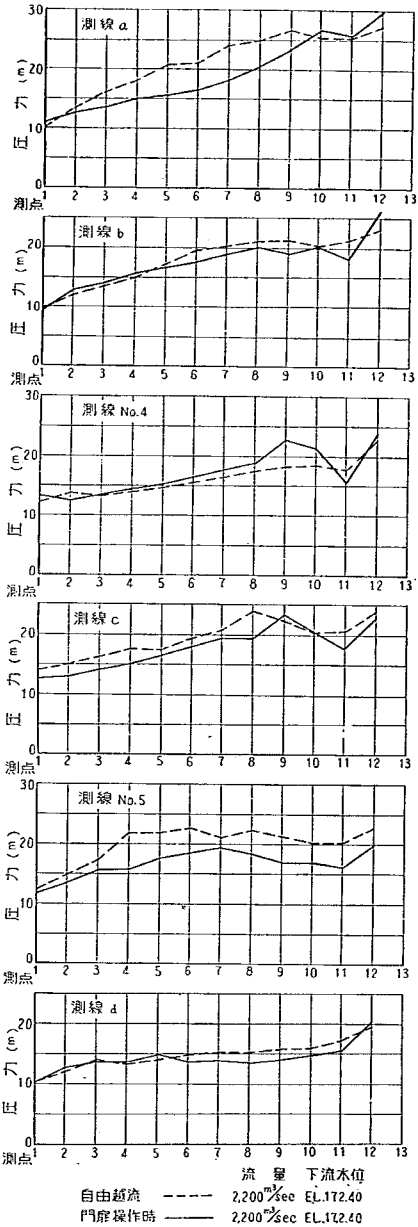


図-42-1 (1)　水叩底面圧力分布図
門扉操作時と自由越流時の比較

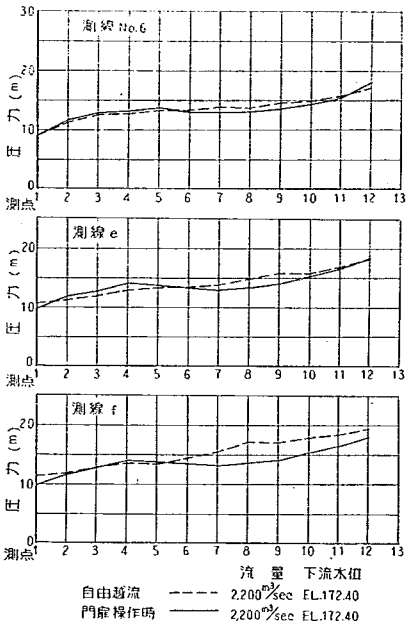


図-42-1 (2)

のを取付けることにより解決するものとして，（現在の所，塵除格子は取付けない計画である）各種の形状について実験した結果は，図-47 に示めす。このうち 1 の形状を最終案として，実験をおこなった結果，貯水池水位と流量の関係は，図-48 に，実験値は，表-14 に示めされるように，貯水池水位 239.0m で，307m³/sec 放流できることを示めし，計画放流量は十分に放流できることが判った。

管内圧力分布および実験値は，図-44，表-15 に示めす。この実験結果によると，管内圧力分布は貯水池水位 239.0m ならびに 222.0m の場合，門扉全開放流時に空洞現象に対する許容圧力水頭値内であるから，計画を満足するものである。しかし，最低水位 215.0m ではベルマウス終端部分に許容値を越える部分があるのと，実際にはこのような操作はないはずであるが，210.0m，205.0m の貯水位で全門放流した場合は，許容値を大巾に越えるため，貯水池水位を 222.0m 以下で放流するような場合は，門扉を半開操作で放流しなければならない。この場合の参考資料として貯水池水位 215.0m，210.0m 205.0m で実験した結果得られた水位と，門扉開度—圧力水頭の関係を，図-49 に示めす。

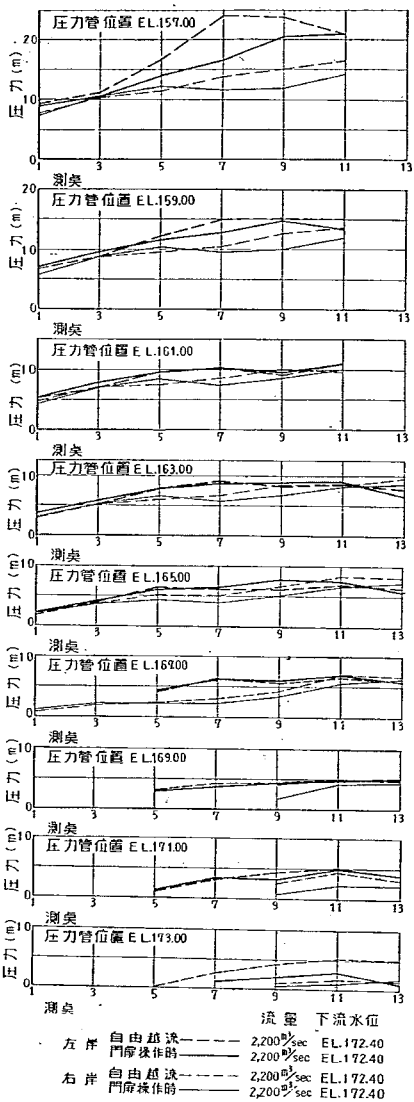


図-42-2水叩左右岸側壁面圧力分布図
門扉操作時と自由越流時の比較

〔5〕 放水管導水樋の形状

図-50に示めす1型形状は導流壁に沿って水面が盛りあがり，あまり良い形状とは考えられないので，2型のように改造した結果，水面の盛りあがりは解消され良好な流況を示めした。実際の施工にあたっては門扉戸当部に給気孔を設け，吐口以下の導水路底面は出来るだけ平滑に仕上げるとともに，鋼鉄製部分とコンクリート部分との接合部の仕上げは入念に仕上げなければならない。

〔6〕 移動床による洗掘実験結果

移動床実験は，放流水が水叩下流河床にどのような影響をおよぼすか，その洗掘，堆積の傾向を知るためのもので，定量的な値は知ることは出来ない。

実験結果は，図-51に示めす。図中の等高線0は，移動床の成形高，すなわち実物値は標高 158.0m で，これより堆積した部分には＋を，洗掘部分には－をつけ，数字は 2.5cm 実物値1m毎につけた。

試験用の砂利は，10m/m通過8m/m止りを使用し，通水時間は2時間である。

放水管 600m³/sec 放流のときは，水叩始点より下流90m付近に1mから2m程度の堆積が現れ，越流部の越流量が増加するのにしたがいその形態は変るが，1,600m³/secから2,680m³/secの場合，右岸側140mより160m付近に見られる深い洗掘状態は，模型の製作上の影響を多分に含んでいるものと考えられる。

以上の結果，水叩内に土砂巻込みの可能性が一番強いときは，流量1,600m³/secのときであり，シル下流端の洗掘は，2,680m³/secのときに，右岸側に最大値を示めしている。さらに越流部門扉操作を変えた場合を比較するために，流量2,200m³/secについて実験した結果，図-52に示めされるような状態となり，これより判断すると，越流量が増大するにしたがい，門扉を不等高に操作することにより河床に与える影響を少なくすることが出来るようである。

8. 越流部門扉操作別放射水脈落下位置について

最終案形状で，越流量 350 700 1,050 1,600 2,080 m³/sec の5流量について，種々門扉操作をおこない，おのおのについて落下位置をスケッチした結果を，図-53に示めす。

門扉番号は，左岸側より右岸側へ1番から6番とし，任意の門扉を全開放流して，隣接門扉は閉鎖した場合の水脈飛散状況は，落下位置から判断して，好ましい状態ではない。したがつてこのような門扉操作は絶対にしてはならない。

しからば，全門等高操作による放流が望ましいようであるが，越流量1,600m³/secを放流する場合に，門扉1. 3. 4. 6.は全開，2,5を1.82m開度にした場合は，全

門等高操作よりも，水叩左岸側壁面沿いの水面隆起は少ないことと水叩下流の河床洗掘の状況が良好なことがわかつたので，すべての流量に対して全門等高操作で放流する必要はなく，600から1,000m³/sec位までは全門等高操作とし，それ以上の流量については門扉を不等高に操作して放流するのが適当と考えられる。

9. 余水吐門扉操作について

洪水流量は，おもに放水管により処理されるのであるが，放水管により処理できないときは，越流部余水吐により放流をしなければならない。

放水管門扉操作は，2門連動操作するのが原則であり，流況も良好であるが，門扉故障などにより片門操作で放流する場合は，水叩内に露出射流と共に大きな回転流が生じ，流況が悪化することは当然である。また洪水期制限水位222.0m以下の貯水池水位で放流するときは，図-49を参考にし，空洞現象に対する許容圧力水頭値内で放流するように門扉を操作しなければならない。

越流部門扉操作は任意の門扉を全開放流し，隣接門扉は閉鎖したような場合には，越流水がフリップバケットにおいて拡がるので，このような門扉操作は水脈落下位置などから判断して絶対にしてはならない。したがって，小流量の場合は左岸側（または右岸側）門扉から操作を始めることが望ましく，中央部からの開放はしない方がよい。

10. 結　論

本実験は，昭和33年7月より昭和35年12月迄の2年有余の歳月に費して実施されたものであり，実験内容および資料は多種多様になり，本報告書では最終案の理解と管理上必要と思われる資料だけを掲載した。

最終案形状は，下記の型式形状を推奨する。

越流部	2型	図-30
フリップバケット	4型	図-31
放水管	2型	図-32
放水管導水樋	2型	図-50
水叩部	8型	図-24
シル形状	1型	図-43

この最終案は，適正に操作するかぎり満足できる流況を示めすが，実際の設計施工または管理等については，下記の事項に充分の考慮を払って慎重を期すべきである。

(1) 放水設備操作に要する貯水池水位標の位置は，ダム上流部の河形を模型に取り入れてなかったので，模型の水位は接近流速水頭を考へないものとなっているが，水位標をダムより少なくとも50m以上上流に設置すれば，その差を実用上無視出来るものと考えられる。

(2) 放水管呑口部に給気孔を設けるにあたって，ベルマウス面に不規則な凹凸を生じないように充分注意すること。

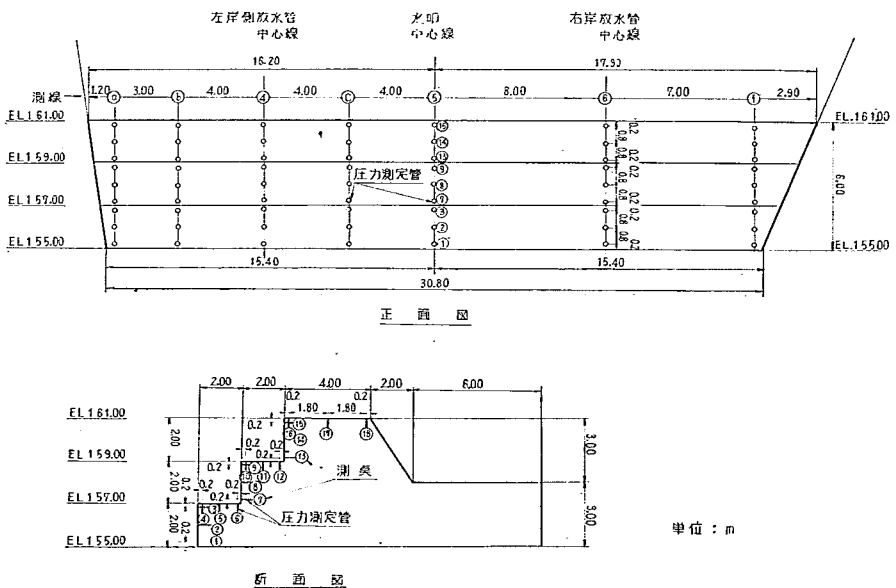


図-43　1型シル形状および圧力測点位置図

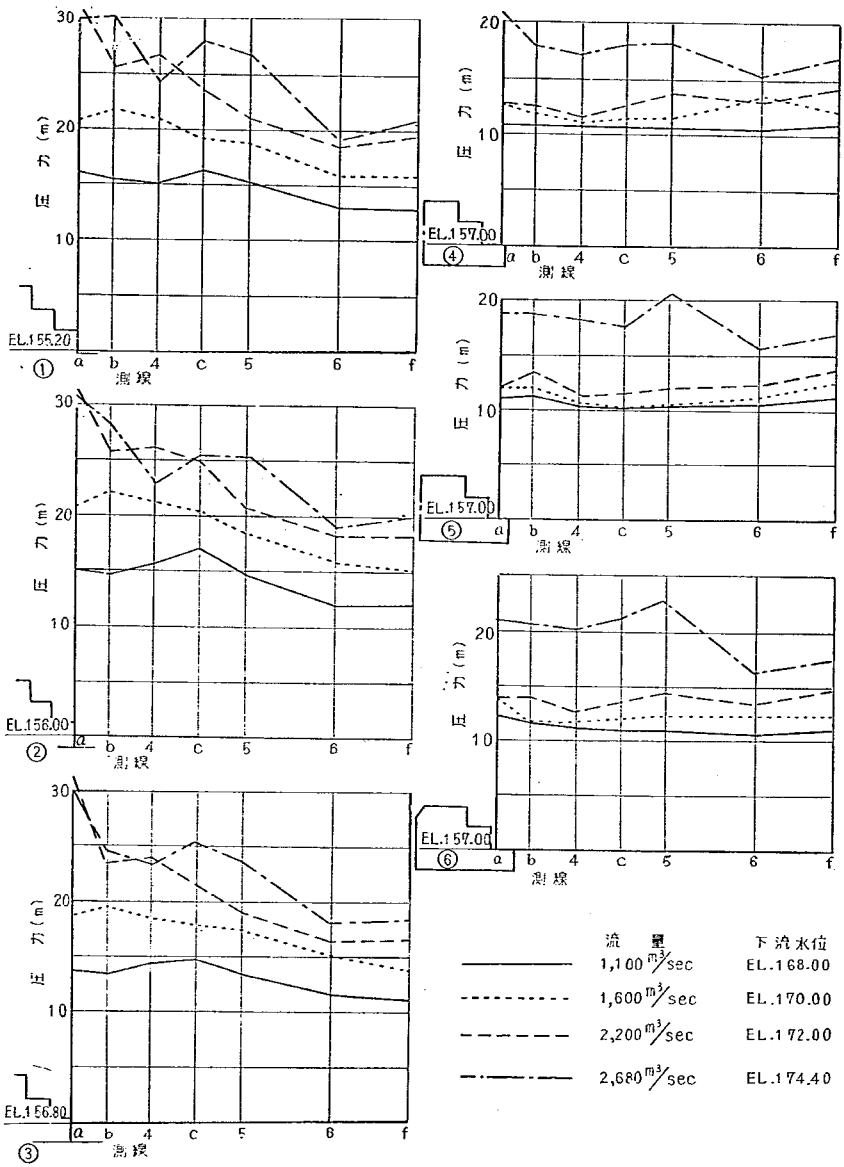


図-43-1 (1) シル圧力分布図 門扉操作時

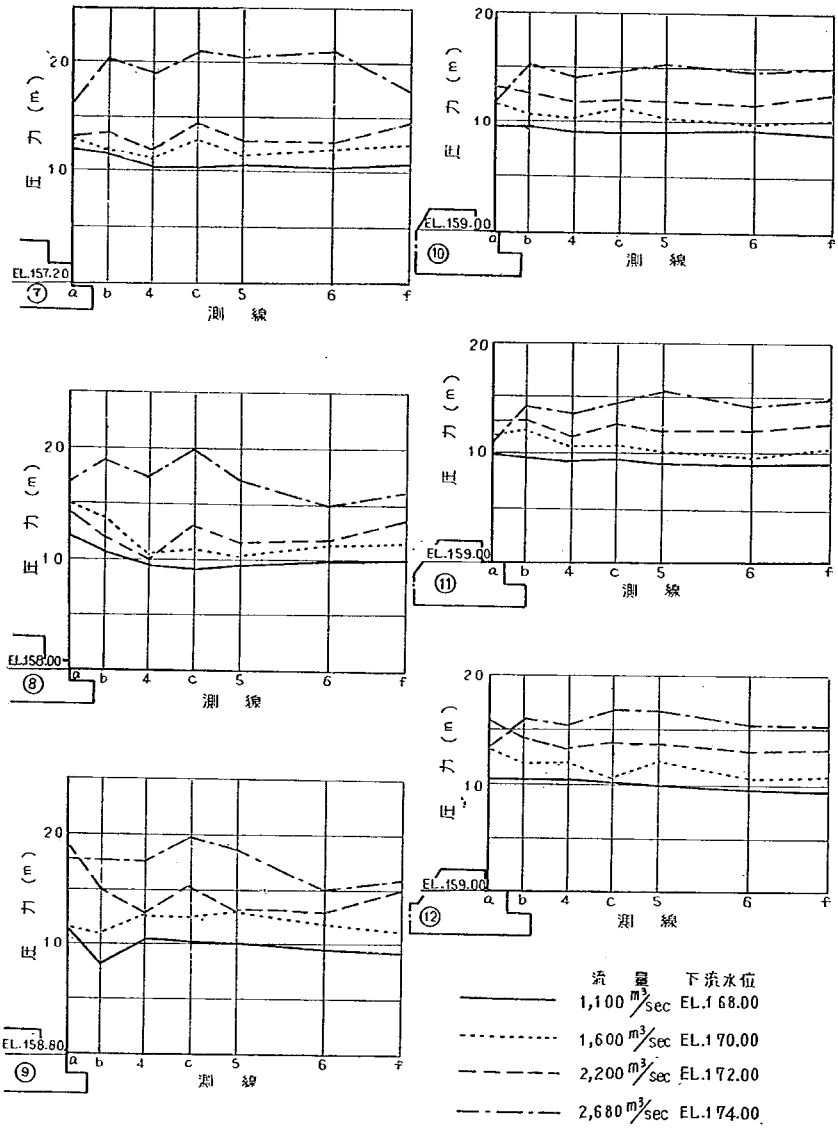

⑦
EL.157.20
⑧
EL.158.00
⑨
EL.158.80
⑩
EL.159.00
⑪
EL.159.00
⑫
EL.159.00
水圧力（m）
測線
a b 4 c 5 6 f
流量 下流水位
1,100 m³/sec EL.168.00
1,600 m³/sec EL.170.00
2,200 m³/sec EL.172.00
2,680 m³/sec EL.174.00

図-43-1 (2)

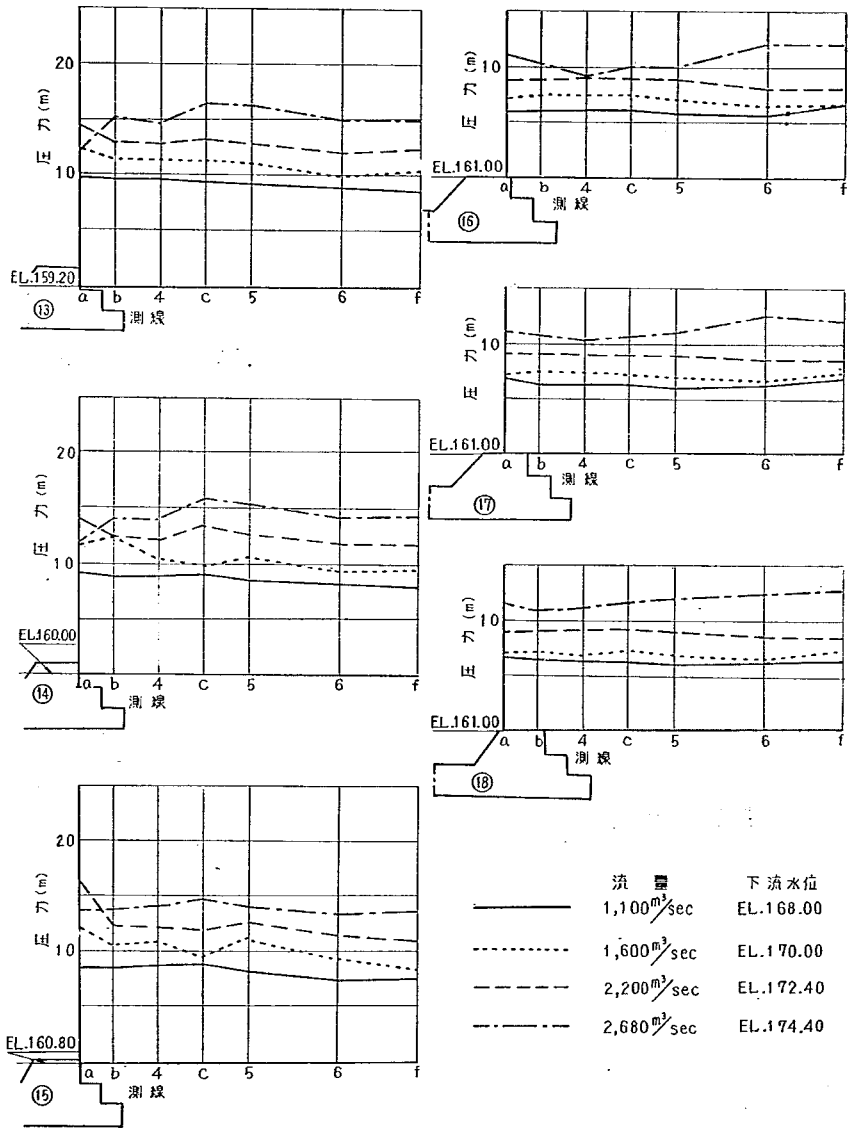

圧力(m)
20
10
EL.159.20
EL.160.00
EL.160.80
EL.161.00
a b 4 c 5 6 f
測線
⑬
⑭
⑮
⑯
⑰
⑱
流量
下流水位
1,100m³/sec EL.168.00
1,600m³/sec EL.170.00
2,200m³/sec EL.172.40
2,680m³/sec EL.174.40

図-43-1 (3)

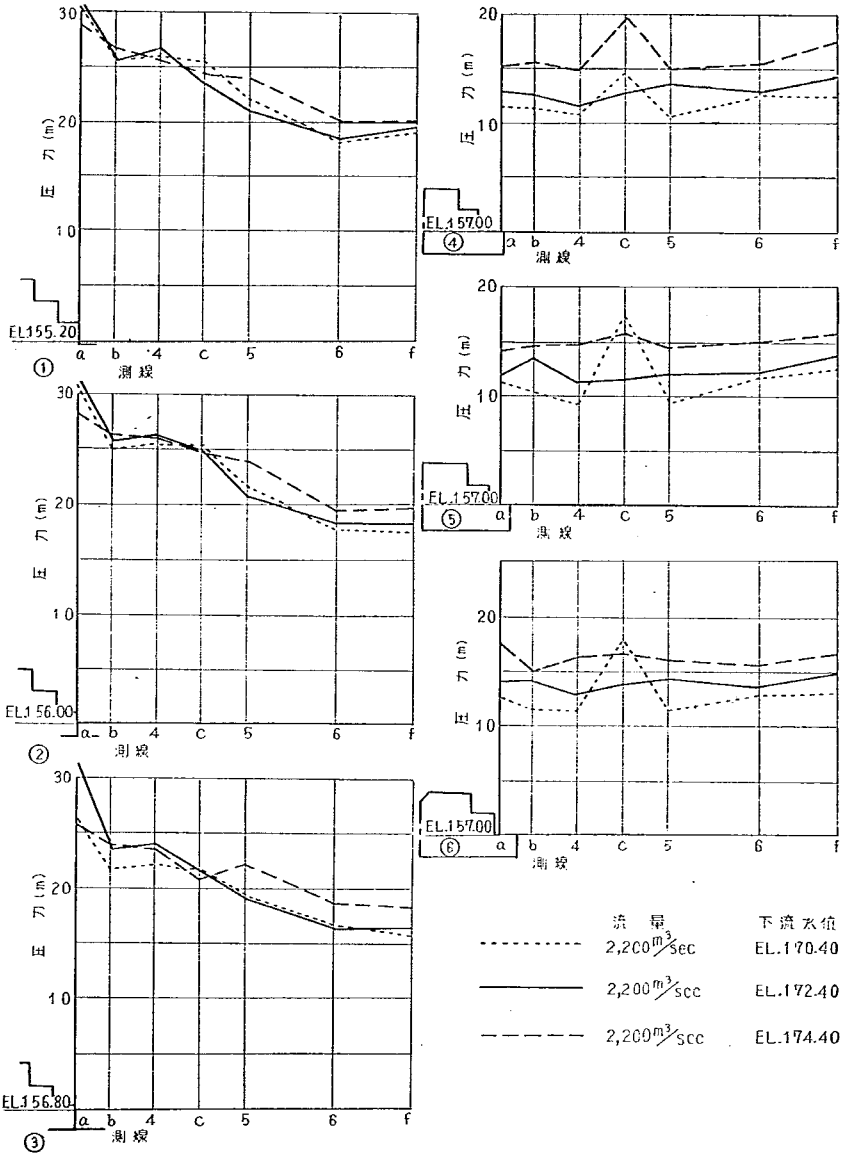


図-43-2 (1)　シル圧力分布図　門作操作時　下流水位変化による圧力

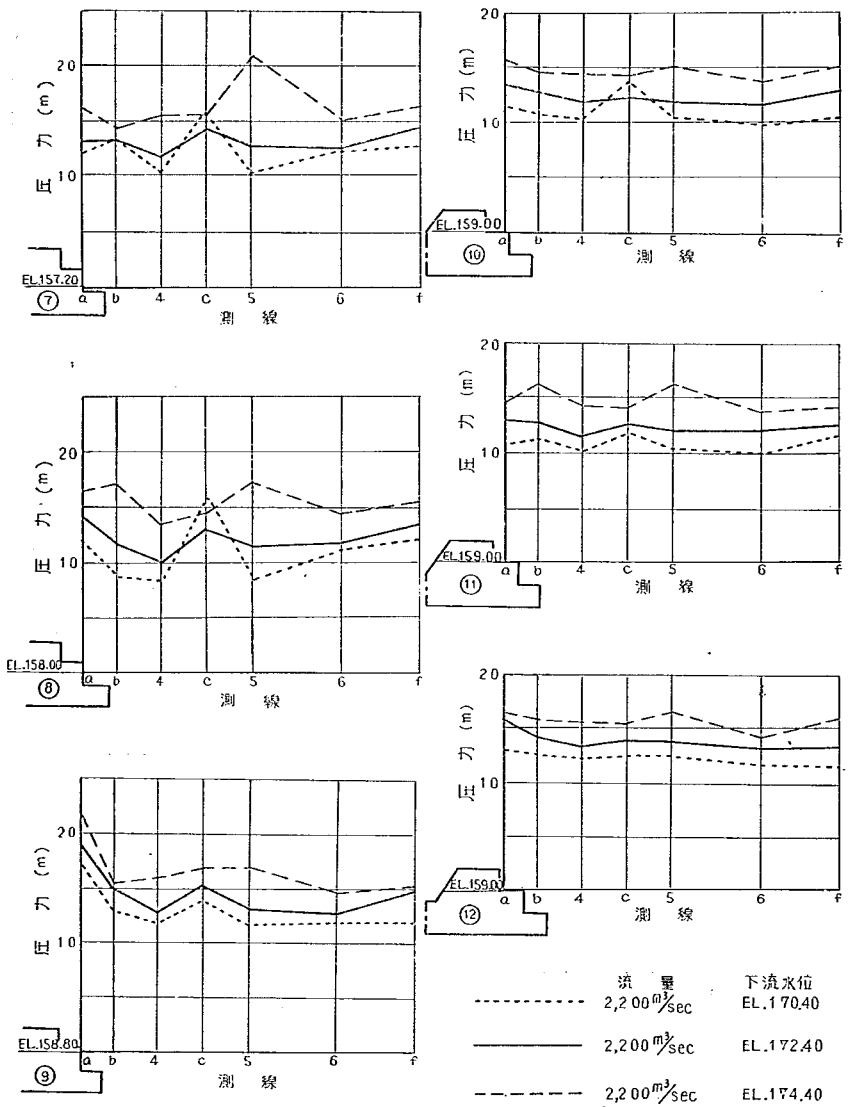

圧力（m）
20
10
EL.157.20
⑦
a b 4 c 5 6 f
測線
EL.159.00
⑩
EL.158.00
⑧
EL.159.00
⑪
EL.158.80
⑨
EL.159.00
⑫
流量
下流水位
2,200m³/sec EL.170.40
2,200m³/sec EL.172.40
2,200m³/sec EL.174.40

図-43-2 (2)

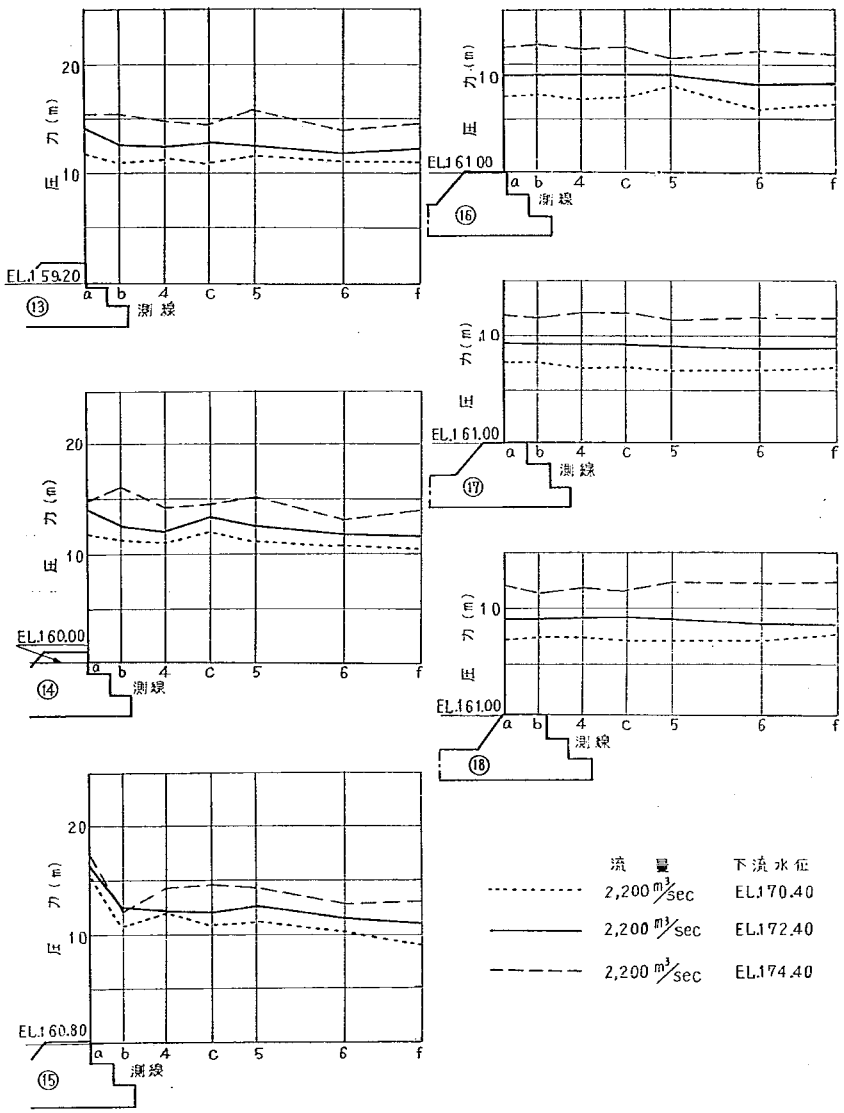

⑬
EL.159.20
EL.160.80
⑭
EL.160.00
⑮
⑯
EL.161.00
⑰
EL.161.00
⑱
EL.161.00
圧力(m)
20
10
a b 4 c 5 6 f
測線
流量
2,200 m³/sec
2,200 m³/sec
2,200 m³/sec
下流水位
EL.170.40
EL.172.40
EL.174.40

図-43-2 (3)

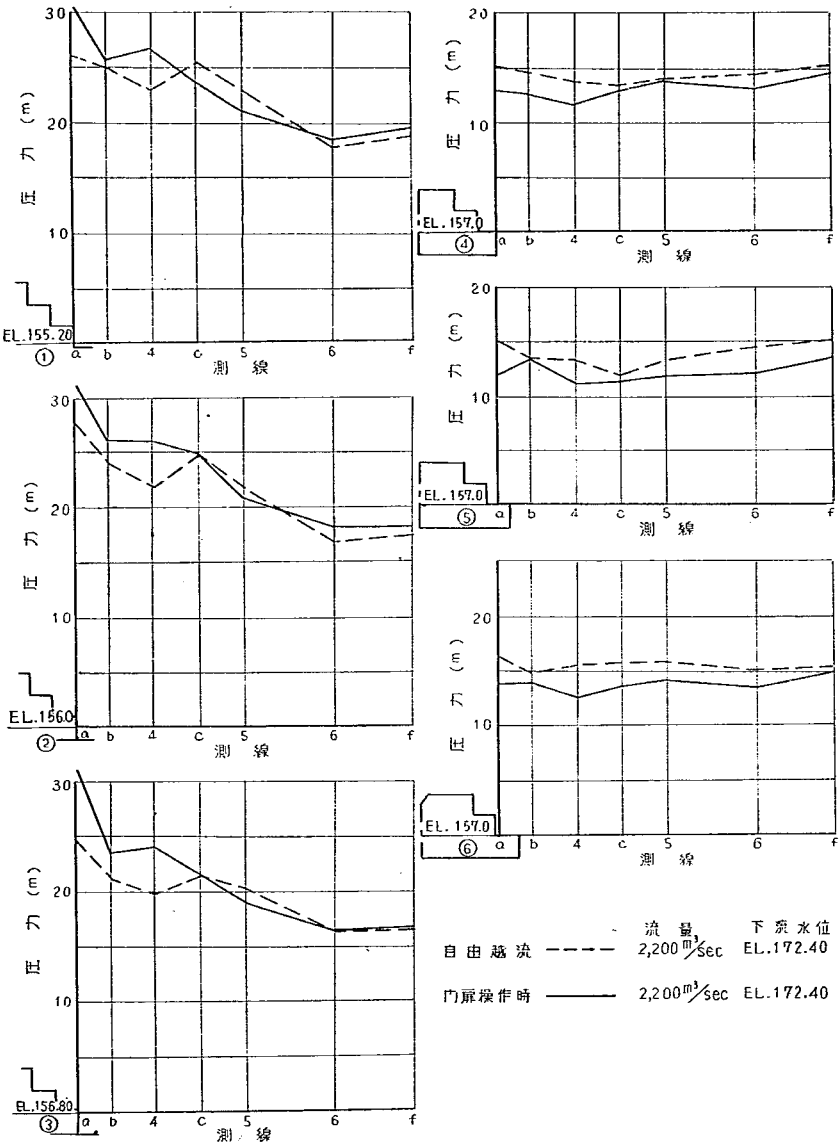


図-43-3 (1) シル圧力分布図 門扉操作時と自由越流時の比較

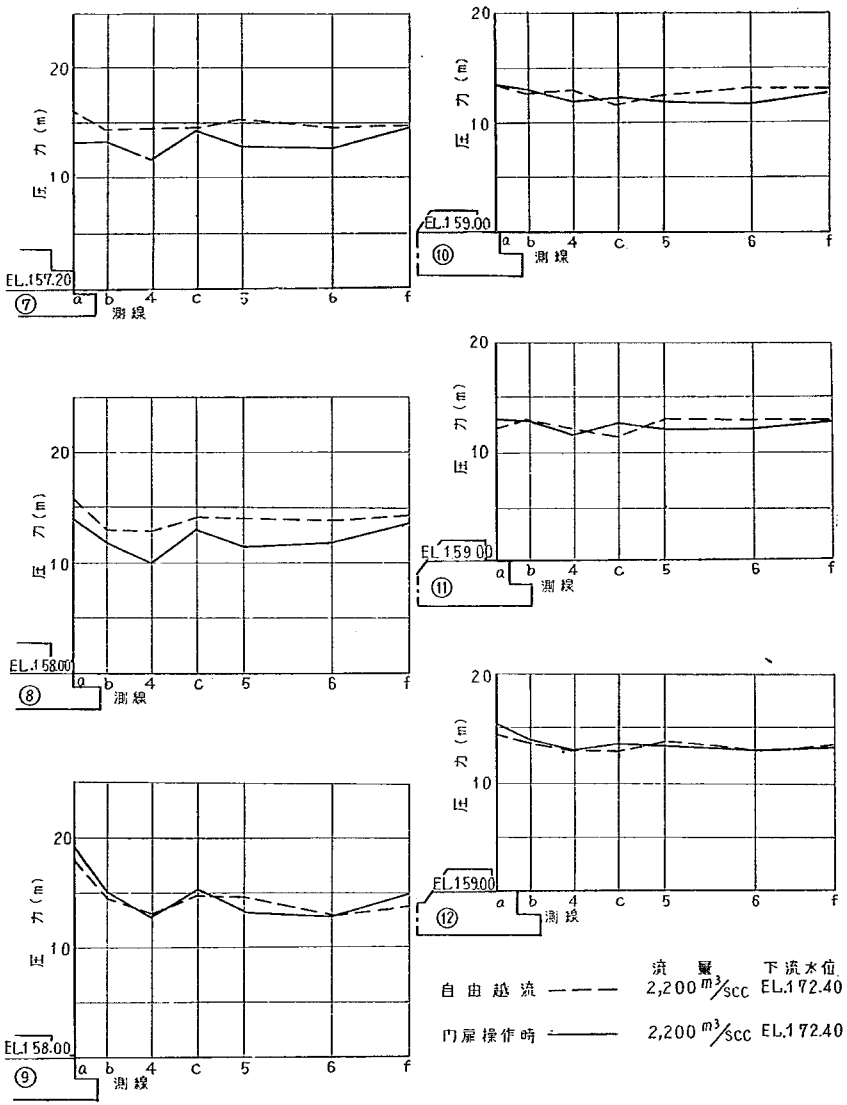

圧力(m)
20
10
EL.157.20
⑦
EL.159.00
⑩
EL.158.00
⑧
EL.159.00
⑪
EL.158.00
⑨
EL.159.00
⑫
a b 4 c 5 6 f
測線
流量 下流水位
自由越流 2,200 m³/sec EL.172.40
門扉操作時 2,200 m³/sec EL.172.40

図-43-3 (2)

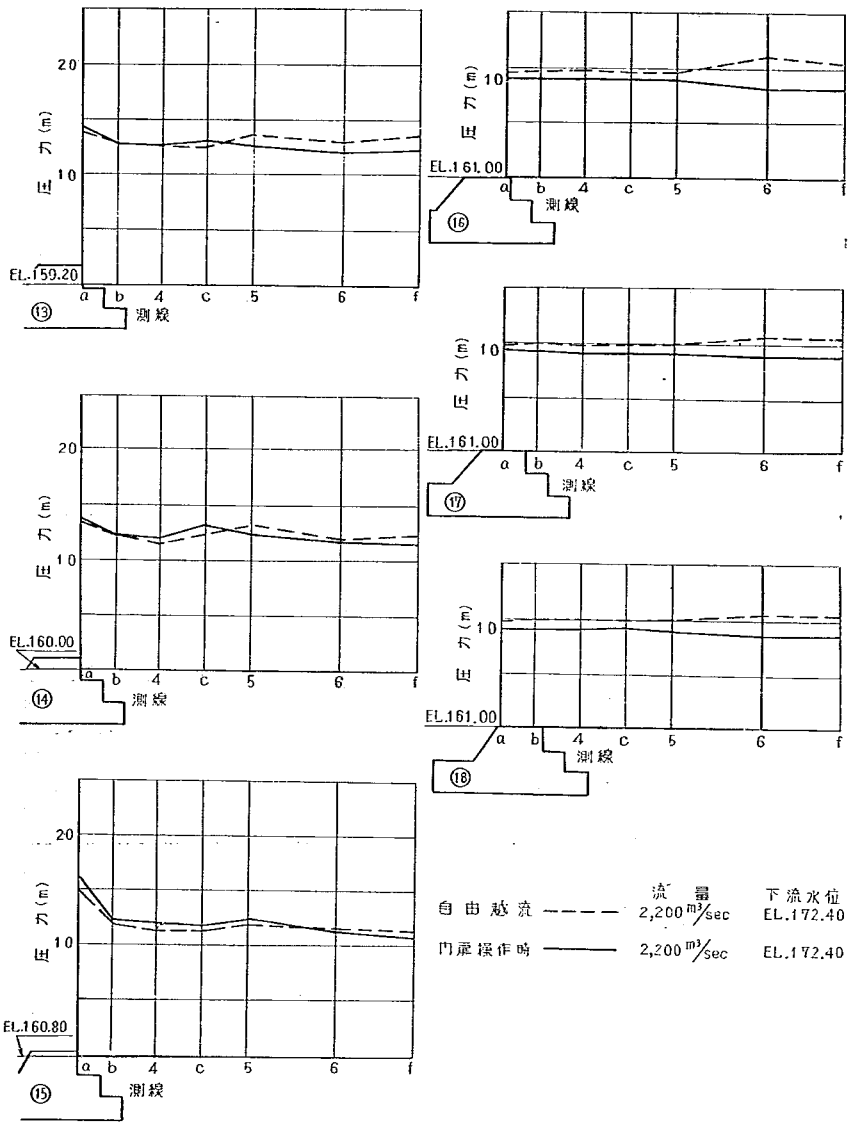

水位(m)
20
10
EL.159.20
EL.161.00
EL.160.00
EL.160.80
a b 4 c 5 6 f
測線
⑬
⑯
⑰
⑭
⑱
⑮
流量
下流水位
自由越流 2,200 m³/sec EL.172.40
門扉操作時 2,200 m³/sec EL.172.40

図-43-3 (3)

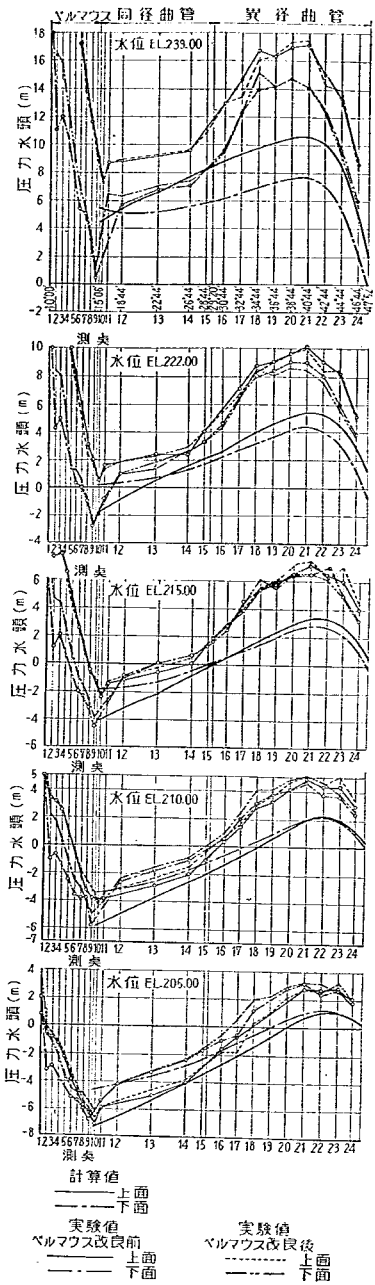


図-44　2型放水管圧力分布図

(3) 放水管吐口門扉戸当部と戸溝部分には，給気孔を設けること。

(4) 施工残屑や岩屑等が，完成後の水叩内に残っていないように気をつけ，また山腹等から落ちないように充分に保護対策をほどこすこと。

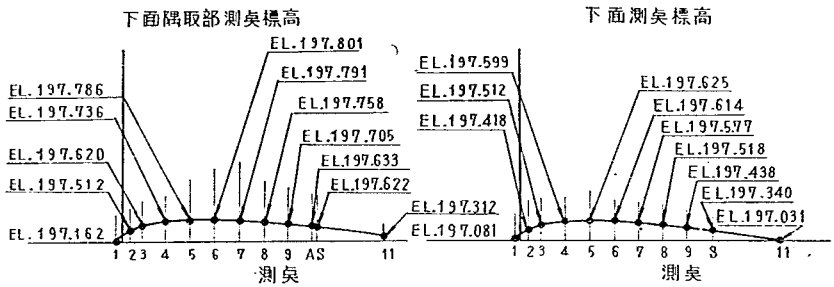
(5) 将来ダム下流河床の低下により，ダム下流水位が実験の範囲を下まわるようなことも考えられるが，このような場合は，副ダムまたは床止工等の構造物を作り，ダム下流水位の保持につとめなければならない。

(6) 水叩部側壁は，標高 167.0m までは，8型とし，それ以上は，現地の地形，経済上の理由により，比較実験の結果を参考にして設計されたい。

(7) 放水管門扉操作は，原則として2門連動で操作するが，片門が故障したようなときは，充分の注意を払いながら放流するようにしなければならない。

(8) 越流部門扉は操作順序を間違えると，放射水は水叩内に落下しないばかりか，山腹または水叩側壁に直接当たる恐れがあるので，注意しながら操作し，現場の経験も織りまぜて操作順序を習得する必要がある。

貯水位	下面	下面隅取部
239.0	———	—·—·—
222.0	– – – – –	—··—··—



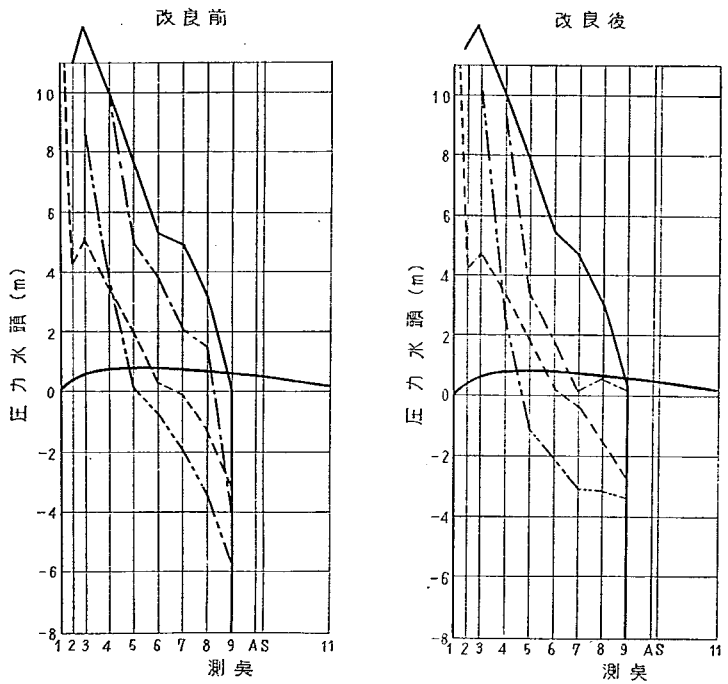
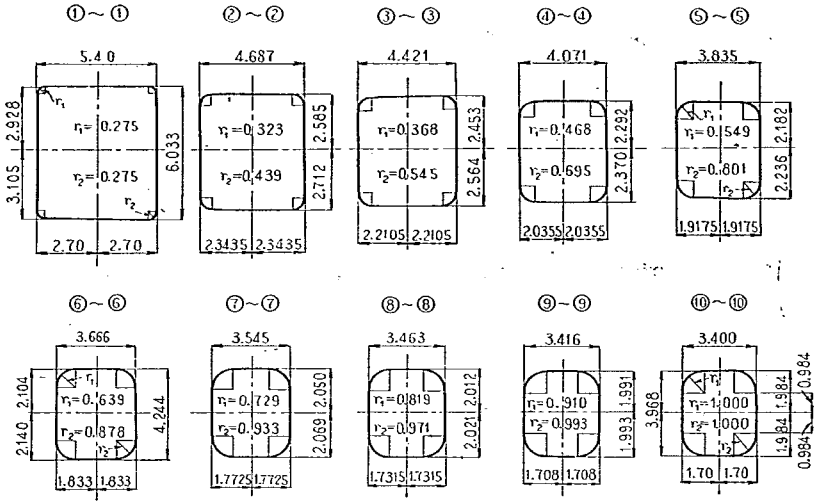


図-45 放水管ベルマウス改良案実験値



単位：m

図-46　2型放水管ベルマウス改良断面

表-3　1型越流部水位—流量関係実験値

番号	自由越流時 H	自由越流時 Q	自由越流時 C	門扉開度1m等高 H	門扉開度1m等高 Q	門扉開度2m等高 H	門扉開度2m等高 Q	門扉開度3m等高 H	門扉開度3m等高 Q	門扉開度4m等高 H	門扉開度4m等高 Q	門扉開度5m等高 H	門扉開度5m等高 Q
1	0.64	63.8	—	2.69	209.5	3.78	470.6	3.90	703.3	4.88	1,067.6	6.30	1,472.4
2	0.86	81.0	—	4.00	258.0	4.86	526.2	4.07	718.5	5.49	1,118.2	6.57	1,538.0
3	1.24	116.4	1.568	4.88	283.3	6.15	617.3	4.78	764.0	5.91	1,138.4	6.60	1,519.9
4	1.45	136.6	—	6.20	318.8	7.10	683.1	5.67	860.1	6.53	1,204.2	7.06	1,598.9
5	2.04	250.0	1.593	7.10	344.0	—	—	6.30	910.7	6.91	1,254.8	—	—
6	2.87	445.3	1.698	—	—	—	—	6.98	981.6	—	—	—	—
7	4.09	839.9	1.881	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	4.96	1,189.0	1.991	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	5.91	1,609.0	2.073	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	6.82	2,062.3	2.146	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	6.90	2,099.8	2.145	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	7.18	2,266.7	2.180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

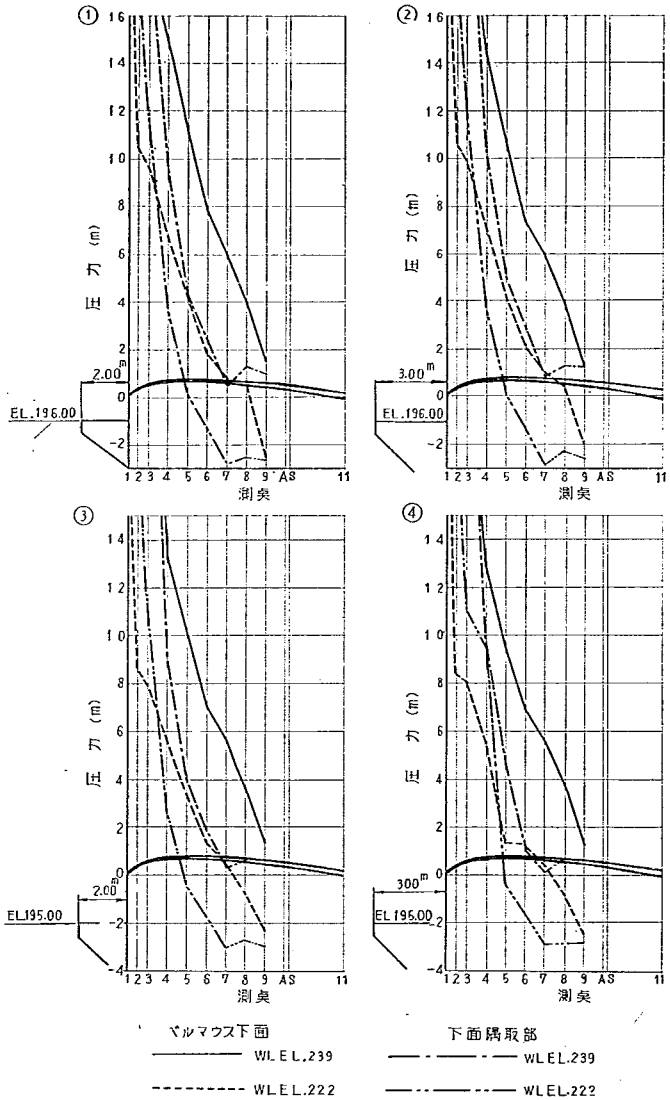


図-47 放水管ベルマウス改良案比較

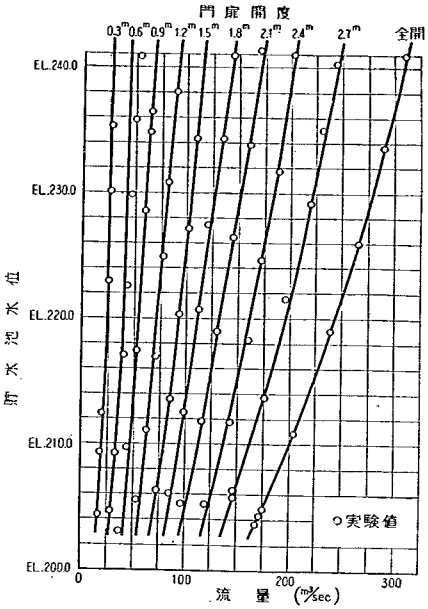


図-48 2型放水管の水位—流量曲線

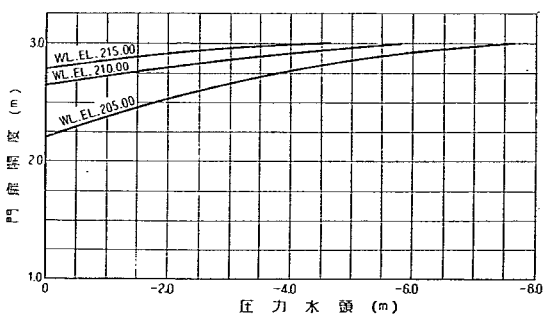


図-49 貯水位と門扉開度—圧力水頭の関係

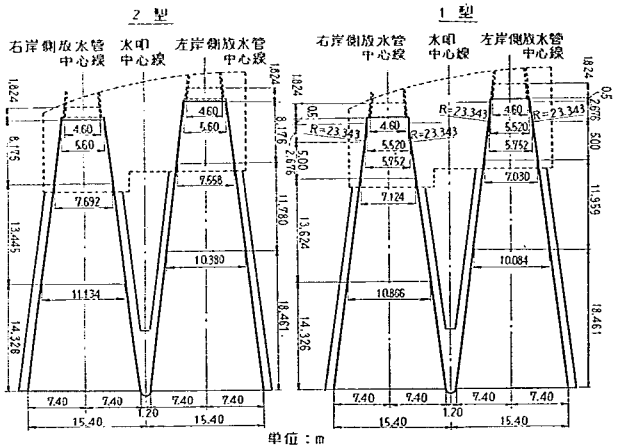


図-50 放水管導水樋改良案

表-4 1型越流部圧力分布実験値

番号	測点座標 X	測点座標 Y	自由越流時越流深 2.00	4.00	6.00	7.00	門扉等高操作時 貯水位 239.0 1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
1	0	0.863	2.82	3.82	3.78	3.66	7.74	7.54	6.86	6.06	4.98
2	0.700	0.250	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	2.000	0	1.36	1.84	1.36	1.40	7.32	5.76	4.40	3.36	2.52
4	3.000	0.123	1.20	1.50	1.24	1.20	6.72	4.48	3.16	2.50	1.96
5	4.000	0.389	0.99	1.27	1.11	1.19	4.47	2.31	1.79	1.67	1.39
6	4.900	0.760	0.88	1.24	1.04	1.20	0.48	0.64	0.84	0.96	0.99
7	5.800	1.236	0.66	0.96	0.99	1.24	0.28	0.32	0.40	0.52	0.56
8	6.600	1.740	0.70	0.86	0.98	1.12	0.22	0.28	0.30	0.35	0.35
9	7.400	2.325	0.61	0.89	0.93	1.05	0.17	0.18	0.25	0.35	0.51
10	8.200	2.982	0.66	0.74	0.94	1.16	0.66	0.76	0.83	0.96	0.99
11	8.900	3.615	0.66	0.86	1.14	1.38	1.10	1.14	1.30	1.40	1.42
12	9.700	4.415	0.58	0.86	1.14	1.41	1.14	1.20	1.55	1.80	2.14
13	11.100	5.949	0.43	0.55	1.27	1.31	1.27	1.43	1.63	1.86	2.15
14	12.300	7.435	0.52	0.56	1.05	1.13	1.05	1.35	1.71	1.94	2.20
15	13.453	9.000	0.56	0.60	0.72	0.80	0.86	0.95	1.42	1.69	2.12
16	15.762	12.266	0.51	0.55	0.67	0.78	0.68	0.85	1.03	1.17	1.65
17	18.071	15.532	0.19	0.25	0.49	0.70	0.23	0.45	0.77	0.92	1.13
18	20.380	18.797	0.09	0.21	0.42	0.64	0.20	0.42	0.64	0.80	1.00

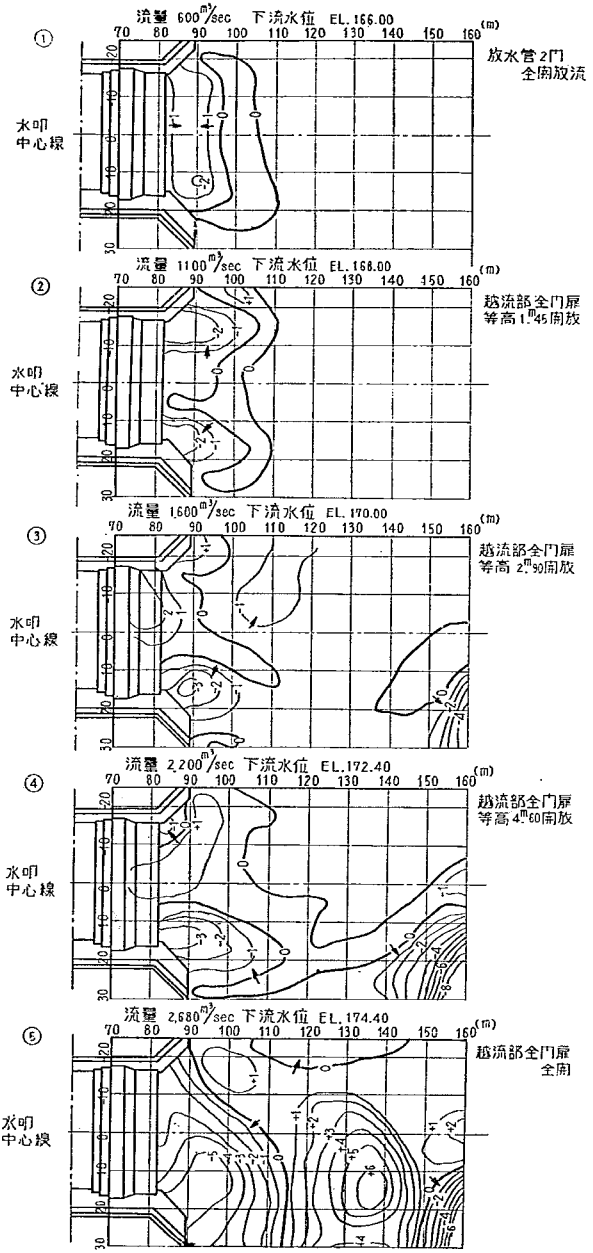


図-51　最終案形状による洗掘実験の結果

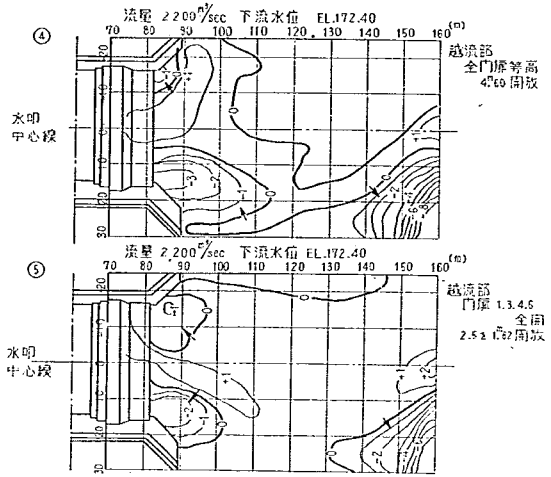


図-52　門扉操作別洗掘実験結果の比較

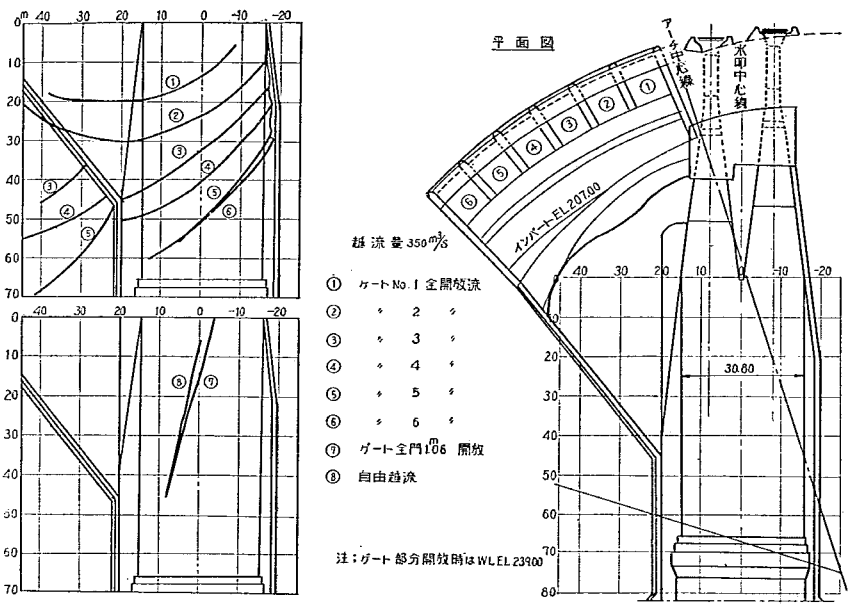


図-53(1)　越流部門扉操作別放射水脈落下位置比較図

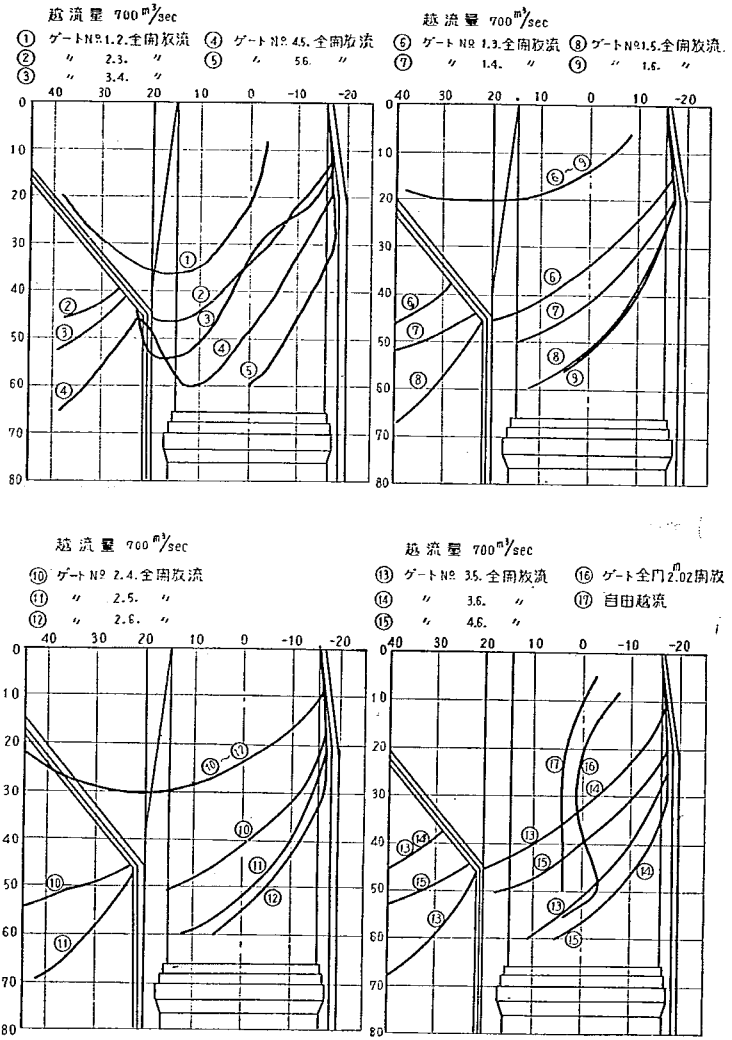

越流量 700 m³/sec
① ゲートNo.1.2.全開放流
② 〃 2.3. 〃
③ 〃 3.4. 〃
④ ゲートNo.4.5.全開放流
⑤ 〃 5.6. 〃
越流量 700 m³/sec
⑥ ゲートNo.1.3.全開放流
⑦ 〃 1.4. 〃
⑧ ゲートNo.1.5.全開放流
⑨ 〃 1.6. 〃
越流量 700 m³/sec
⑩ ゲートNo.2.4.全開放流
⑪ 〃 2.5. 〃
⑫ 〃 2.6. 〃
越流量 700 m³/sec
⑬ ゲートNo.3.5.全開放流
⑭ 〃 3.6. 〃
⑮ 〃 4.6. 〃
⑯ ゲート全門2.0m開放
⑰ 自由越流
40 30 20 10 0 -10 -20
0 10 20 30 40 50 60 70 80

図-53 (2)

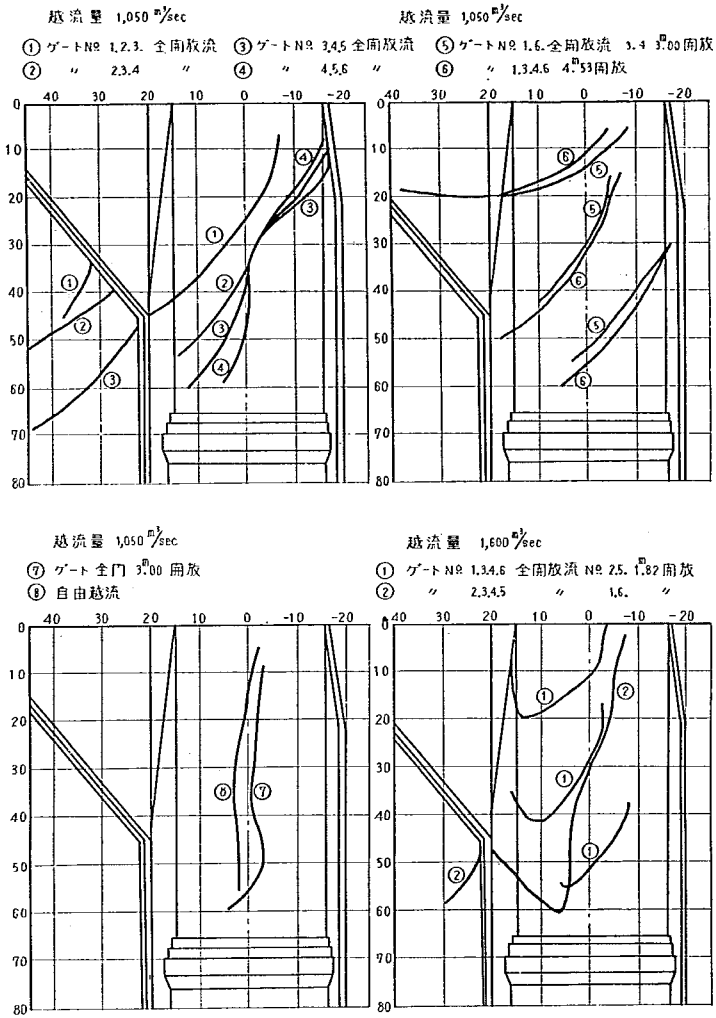
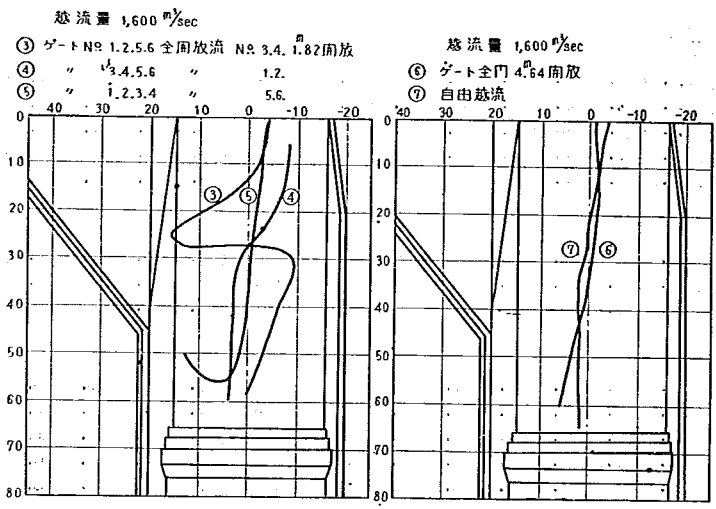

越流量 1,050 m³/sec
① ゲートNo 1.2.3. 全開放流
② 〃 2.3.4 〃
③ ゲートNo 3.4.5 全開放流
④ 〃 4.5.6 〃
越流量 1,050 m³/sec
⑤ ゲートNo 1.6. 全開放流 3.4 3.00開放
⑥ 〃 1.3.4.6 4.53開放
越流量 1,050 m³/sec
⑦ ゲート全門 3.00 開放
⑧ 自由越流
越流量 1,600 m³/sec
① ゲートNo 1.3.4.6 全開放流 No 2.5. 1.82開放
② 〃 2.3.4.5 〃 1.6. 〃
40 30 20 10 0 -10 -20
0 10 20 30 40 50 60 70 80

図-53 (3)


越流量 1,600 m³/sec
③ ゲートNo 1.2.5.6 全開放流 No 3.4. 1.82m開放
④ 〃 〃3.4.5.6 〃 1.2.
⑤ 〃 〃2.3.4 〃 5.6.
40 30 20 10 0 -10 -20
0 10 20 30 40 50 60 70 80
③ ⑤ ④
越流量 1,600 m³/sec
⑥ ゲート全門 4.64m開放
⑦ 自由越流
40 30 20 10 0 -10 -20
0 10 20 30 40 50 60 70 80
⑦ ⑥

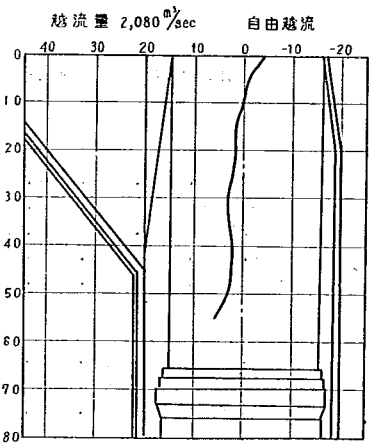

越流量 2,080 m³/sec 自由越流
40 30 20 10 0 -10 -20
0 10 20 30 40 50 60 70 80

図-53 (4)

表-5　8型水叩圧力分布実験値（自由越流時）

(1)

位置	圧力測管 測線	種別 測点 標高	越流水深 2.0m　流量=240m^3/sec							越流水深 4.0m　流量=805m^3/sec						
			1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
左岸側壁面圧力		EL 165.00	0.44	1.08	2.40	3.00	3.08	3.04	—	0.44	1.72	3.84	4.84	3.08	3.04	—
		163.00	0.80	2.60	4.00	4.64	4.60	4.88	—	0.48	3.00	5.44	6.56	4.60	4.88	—
		161.00	2.80	4.36	5.96	6.40	6.60	6.72	—	2.92	4.52	6.60	7.96	6.60	6.72	—
		159.00	3.96	6.20	7.84	8.40	8.36	8.76	—	4.16	6.28	8.60	10.72	8.36	8.76	—
		157.00	5.96	8.20	9.84	10.28	10.36	10.76	—	5.50	9.00	12.56	13.60	10.36	10.76	—
底面圧力		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	No.4	155.00	8.36	9.32	11.24	11.88	12.20	12.52	—	8.88	9.96	12.52	12.68	12.20	12.52	—
	No.5	155.00	10.20	9.88	11.40	12.08	12.20	12.24	—	9.56	11.12	13.40	14.12	12.20	12.24	—
	No.6	155.00	7.88	10.12	11.24	12.12	12.04	12.48	—	8.76	9.00	12.40	11.72	12.04	12.48	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
右岸側壁面圧力		157.00	4.84	7.52	9.20	9.92	10.20	10.40	—	6.00	8.60	10.28	9.56	10.20	10.40	—
		159.00	3.00	5.96	7.56	7.96	8.20	8.40	—	4.08	7.00	8.60	7.20	8.20	8.40	—
		161.00	1.96	4.20	5.68	6.00	6.44	6.48	—	3.32	5.56	6.80	5.56	6.44	6.48	—
		163.00	0.32	2.52	3.72	4.04	4.60	4.44	—	1.00	3.88	4.80	3.56	4.60	4.44	—
		165.00	—	1.12	2.00	2.20	2.60	2.60	—	0.16	2.24	2.96	2.12	2.60	2.60	—

(2)

位置	圧力測管 測線	種別 測点 標高	越流水深 6.0m　流量=1,650m^3/sec							越流水深 7.0m　流量=2,140m^3/sec						
			1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
左岸側壁面圧力		EL 165.00	0.56	3.80	3.92	4.24	5.80	6.72	—	2.32	4.64	4.92	4.92	4.56	7.36	—
		163.00	2.16	4.92	6.12	7.40	6.40	8.00	—	4.24	6.28	6.96	10.00	7.48	9.80	—
		161.00	4.48	7.12	6.88	9.88	8.68	11.00	—	6.32	8.68	8.44	13.68	10.96	13.84	—
		159.00	5.60	9.20	9.80	14.24	14.60	13.40	—	7.64	10.76	11.36	17.36	19.28	16.76	—
		157.00	8.32	13.00	17.12	18.08	20.20	20.48	—	10.56	15.56	18.20	23.32	25.48	22.34	—
底面圧力		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	No.4	155.00	11.84	10.80	17.28	16.80	17.52	20.00	—	15.72	15.96	19.92	21.72	21.88	22.88	—
	No.5	155.00	12.00	12.80	17.00	18.92	19.00	15.20	—	14.16	15.52	20.36	20.48	20.68	16.88	—
	No.6	155.00	10.44	12.92	13.60	13.56	13.80	15.80	—	12.08	13.16	14.48	15.88	16.24	17.32	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
右岸側壁面圧力		157.00	7.56	9.72	11.68	11.40	13.68	15.60	—	8.84	12.12	12.36	14.44	16.52	16.92	—
		159.00	5.64	8.80	9.96	9.52	10.40	12.72	—	6.88	8.48	10.68	12.20	12.44	14.52	—
		161.00	4.44	7.12	8.60	7.80	9.24	10.48	—	5.00	7.08	9.00	10.08	12.36	12.32	—
		163.00	2.52	4.84	6.00	5.60	7.60	8.88	—	4.08	5.40	7.04	8.04	9.96	10.84	—
		165.00	1.28	3.24	4.32	4.00	5.80	7.40	—	2.20	3.68	5.40	6.00	8.04	9.28	—

表-6 (1) 8型水叩圧力分布実験値（門扉操作時）

位置	測線	種別 / 測点	圧力管標高	門扉開度 1.0m 流量＝340m³/sec							門扉開度 2.0m 流量＝665m³/sec							門扉開度 3.0m 流量＝983m³/sec						
				1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
左岸側壁面圧力			EL 165.00	0.12	0.92	2.48	3.40	3.48	3.44	—	0.52	1.40	3.40	4.24	4.60	5.56	—	0.52	2.40	4.36	5.16	5.36	6.08	—
			163.00	0.28	2.48	4.00	5.12	5.24	5.24	—	0.76	2.88	4.92	6.08	5.84	6.84	—	1.23	3.68	5.92	7.00	6.00	6.96	—
			161.00	2.12	4.20	5.80	6.68	7.16	7.20	—	2.68	4.36	6.60	7.90	7.56	8.40	—	3.40	5.32	7.44	9.12	7.96	8.88	—
			159.00	3.44	5.96	7.72	8.44	8.76	9.08	—	3.80	6.00	8.12	9.72	10.20	9.68	—	4.84	7.08	9.32	11.24	13.20	10.24	—
			157.00	5.40	7.68	9.68	10.36	10.60	11.00	—	6.16	8.20	10.44	12.20	12.80	13.40	—	7.04	9.36	12.32	14.48	16.04	15.84	—
底面圧力			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		No.4	155.00	7.88	8.72	11.24	12.00	12.36	12.76	—	10.00	9.20	12.24	12.80	12.60	12.68	—	11.40	10.12	14.48	14.32	17.00	14.92	—
		No.5	155.00	7.96	10.68	11.00	12.36	12.00	12.40	—	8.04	13.48	14.60	12.48	12.04	11.92	—	9.08	13.20	15.24	13.68	13.92	12.92	—
		No.6	155.00	7.52	9.56	11.00	11.56	11.96	12.24	—	8.20	10.76	11.80	11.64	10.60	11.72	—	9.00	11.80	12.64	12.00	11.60	13.00	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
右岸側壁面圧力			157.00	4.12	6.60	9.16	9.72	10.00	10.20	—	5.12	7.60	10.00	9.96	9.60	9.80	—	5.96	8.68	10.88	11.32	9.96	10.68	—
			159.00	2.56	5.44	7.40	7.56	7.84	8.20	—	3.44	6.32	8.00	7.84	7.80	8.08	—	4.20	7.24	9.08	7.96	7.76	9.08	—
			161.00	1.72	3.44	5.60	5.64	6.20	6.36	—	2.48	4.76	6.12	6.00	6.48	6.72	—	3.20	5.68	7.12	6.08	6.28	7.80	—
			163.00	0.16	2.12	3.56	3.72	4.32	4.60	—	0.52	2.84	4.40	4.20	4.44	4.88	—	1.08	3.80	5.08	3.92	4.52	6.24	—
			165.00	—	0.68	1.72	1.92	2.72	2.84	—	0.08	1.48	2.60	2.48	2.32	3.40	—	0.32	2.28	3.24	2.12	2.56	4.72	—

表-6 (2)

位置	測線	種別 / 測点 / 圧力管標高	門扉開度4.0m 流量=1,295m³/sec 1	2	3	4	5	6	7	門扉開度5.0m 流量=1,586m³/sec 1	2	3	4	5	6	7
左岸側壁面圧力		EL 165.00	0.56	2.52	4.36	3.60	4.88	5.48	—	0.52	3.00	3.12	3.28	4.92	5.84	—
		163.00	1.72	4.20	5.92	7.44	5.12	6.60	—	2.08	4.60	5.64	8.52	5.88	7.64	—
		161.00	3.80	6.16	7.44	10.18	7.00	9.40	—	4.52	6.36	5.88	11.92	8.44	11.20	—
		159.00	5.04	7.48	9.32	12.92	12.40	10.32	—	5.52	8.52	9.00	15.32	15.88	13.24	—
		157.00	8.08	10.16	12.32	16.96	17.60	18.28	—	8.24	11.88	18.12	21.40	22.00	20.92	—
底面圧力		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	No.4	155.00	12.72	10.80	14.48	15.60	18.88	16.72	—	13.56	12.20	16.16	19.40	18.92	21.84	—
	No.5	155.00	10.00	14.88	15.24	15.60	14.08	14.76	—	11.40	15.84	20.24	17.72	15.88	17.00	—
	No.6	155.00	9.80	12.20	12.64	12.64	12.60	14.56	—	10.64	12.84	13.72	13.40	13.24	16.00	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
右岸側壁面圧力		157.00	6.60	8.92	10.88	10.68	10.16	11.44	—	7.40	9.72	11.80	11.64	11.60	17.52	—
		159.00	4.84	7.48	9.08	8.52	8.16	10.08	—	5.60	8.40	10.04	9.72	9.96	12.60	—
		161.00	4.04	6.28	7.12	6.60	6.68	8.88	—	4.60	6.76	8.00	7.68	8.60	9.88	—
		163.00	2.12	4.24	5.08	4.36	4.96	7.52	—	2.84	5.00	6.00	5.40	6.40	8.20	—
		165.00	0.96	2.64	3.24	2.68	3.24	6.28	—	1.48	3.56	4.20	3.40	4.76	6.68	—

註：貯水位239.0m

表-7 放水管圧力計算値表

部分	番号	EL 239.0m 上面	下面	EL 222.0m 上面	下面	EL 215.0m 上面	下面	EL 210.0m 上面	下面	EL 205.0m 上面	下面
同径曲管部	9	3.54	5.50	−2.22	0.32	−4.69	−1.90	−6.44	−3.48	−7.81	−4.72
	10	5.26	5.13	−0.78	0.33	−3.36	−1.73	−5.20	−3.19	−6.64	−4.34
	11	6.38	5.11	0.32	0.63	−0.26	−1.29	−4.11	−2.65	−5.55	−3.72
	12	7.66	5.61	1.59	1.34	−0.99	−0.48	−2.83	−1.78	−4.28	−2.90
	13	8.17	5.82	2.18	1.70	−0.39	−0.08	−2.21	−1.33	−3.64	−2.32
異径曲管部	14	8.69	6.11	2.78	2.11	0.25	0.39	−1.56	−0.82	−2.97	−1.78
	15	9.29	6.51	3.44	2.62	0.93	0.94	−0.85	−0.24	−2.24	−1.18
	16	9.79	6.89	4.06	3.12	1.61	1.49	−0.14	0.34	−1.50	−0.57
	17	10.14	7.17	4.60	3.55	2.22	1.99	0.54	0.90	−0.78	0.02
	18	10.44	7.45	5.12	4.00	2.84	2.51	1.22	1.47	−0.06	0.63
	19	10.47	7.48	5.47	4.29	3.33	2.91	1.81	1.94	0.62	1.17
	20	9.69	6.66	5.30	4.02	3.42	2.87	2.08	2.07	1.03	1.43
	21	7.99	4.91	4.53	3.13	3.03	2.34	1.98	1.80	1.14	1.36
	22	4.65	1.44	2.67	1.08	1.79	0.91	1.19	0.80	0.69	0.70
	23	1.64	−1.68	0.85	−0.84	0.49	−0.51	0.26	−0.24	0.06	−0.06

表-8 (1) 1型放水管圧力分布実験値

	番号	上面圧力水頭 (m) EL 239.0 木製	EL 239.0 金属製	EL 222.0 木製	EL 222.0 金属製	EL 215.0 木製	EL 215.0 金属製	EL 210.0 木製	EL 210.0 金属製	EL 205.0 木製	EL 205.0 金属製
ベルマウス部	1	34.22	33.72	17.02	19.13	10.46	10.38	5.30	5.97	1.61	1.38
	2	32.61	31.96	19.44	17.16	9.60	9.04	4.80	4.96	1.38	0.88
	3	30.08	29.29	14.84	13.51	8.21	7.78	3.74	3.99	0.59	0.01
	4	28.05	25.68	13.65	11.56	7.29	6.37	3.03	2.71	0.03	−0.98
	5	25.19	22.35	11.72	9.37	6.76	4.57	1.71	1.42	−1.05	−2.00
	6	21.54	18.03	9.42	6.67	4.08	2.34	0.42	0.38	−2.13	−3.47
	7	18.63	14.30	7.29	4.23	2.13	0.60	−0.93	−1.89	−3.36	−4.68
	8	9.87	11.39	1.98	2.40	−2.01	−0.87	−4.17	−3.06	−6.12	−5.61
同径曲管部	9	7.58	9.31	0.35	1.01	−2.53	−1.81	−4.66	−3.94	−6.04	−6.10
	10	10.43	9.16	2.75	1.34	−2.23	−1.33	−4.57	−3.31	−6.01	−5.50
	11	9.14	9.81	1.97	2.20	−1.07	−0.56	−3.55	−2.42	−5.98	−4.55
	12	9.62	11.23	2.72	3.50	−3.13	0.74	−3.97	−1.15	−4.12	−3.31
	13	12.17	10.25	4.88	3.18	−1.85	0.63	−0.55	−1.08	−2.05	−3.09
異径曲管部	14	11.59	14.93	4.48	6.12	1.78	1.43	−0.31	−0.23	−1.87	−2.27
	15	11.82	15.29	4.98	4.57	2.45	2.11	0.35	0.34	−1.33	−1.67
	16	13.20	15.77	6.09	5.29	3.14	2.77	1.22	1.03	−0.70	−0.95
	17	15.17	15.43	7.76	5.43	4.73	3.06	2.96	1.41	0.86	−0.45
	18	12.93	15.53	6.75	5.80	3.95	3.41	2.26	1.99	0.83	0.22
	19	12.28	15.26	6.70	5.99	4.25	3.92	2.63	2.42	1.25	0.80
	20	9.21	15.84	6.75	6.80	4.70	4.79	3.23	3.38	2.00	1.76
	21	6.78	15.67	3.23	7.05	5.57	5.25	4.34	3.89	3.11	2.40
	22	12.04	10.33	7.42	4.14	4.37	3.09	4.37	2.12	3.32	1.43

表-8 (2)

	番号	下面圧力水頭 (m) EL 239.0 木製	EL 239.0 金属製	EL 222.0 木製	EL 222.0 金属製	EL 215.0 木製	EL 215.0 金属製	EL 210.0 木製	EL 210.0 金属製	EL 205.0 木製	EL 205.0 金属製
ベルマウス部	1	38.89	40.83	23.35	25.01	16.69	16.80	11.59	12.50	5.81	7.52
	2	33.49	36.10	21.73	22.14	15.61	14.35	10.15	10.41	6.55	5.76
	3	31.57	34.13	20.44	20.41	14.61	13.09	9.84	8.90	6.33	4.84
	4	29.05	29.62	20.02	18.15	13.09	11.07	8.65	7.62	5.23	3.54
	5	26.68	26.38	19.68	13.38	12.02	10.29	7.20	6.93	4.06	3.25
	6	22.57	21.52	14.02	10.04	8.35	8.03	4.72	5.09	2.02	1.31
	7	21.73	16.39	10.57	6.87	6.55	3.60	3.40	1.26	0.82	1.59
	8	11.11	11.19	3.82	3.52	1.18	0.88	1.72	−1.01	−2.69	−3.08
同径曲管部	9	7.10	3.03	1.31	−2.44	−1.21	−4.12	−2.83	−5.32	−4.21	−6.76
	10	7.20	6.29	1.67	−0.41	−0.49	−3.23	−2.68	−3.70	−4.00	−5.21
	11	6.08	7.89	1.10	0.89	−0.25	−2.12	−2.83	−2.50	−3.94	−4.09
	12	6.62	8.21	1.79	1.51	0.11	−1.38	1.81	−1.73	−3.07	−3.36
	13	9.86	8.28	4.25	1.79	2.06	−1.01	0.38	−1.30	−1.09	−2.74
異径曲管部	14	10.53	12.36	4.98	3.59	2.66	1.03	1.10	−0.19	−0.36	−1.30
	15	10.12	12.15	4.75	3.71	2.72	1.97	1.25	0.77	0.31	−0.64
	16	8.94	13.01	6.39	4.51	3.80	2.74	2.51	1.54	0.77	0.10
	17	11.80	13.42	6.61	4.98	4.19	3.33	2.78	2.13	1.25	0.69
	18	10.82	12.80	6.14	5.41	3.80	3.31	3.29	2.26	1.49	1.01
	19	11.47	13.14	6.79	5.27	4.91	3.83	3.56	2.81	2.51	1.58
	20	11.34	12.85	6.90	5.43	5.27	4.11	3.83	3.18	3.08	2.03
	21	10.83	12.47	6.51	5.41	5.36	4.30	4.07	3.46	3.47	2.41
	22	10.04	9.26	6.95	3.67	4.10	2.97	3.20	0.99	2.54	1.80
	23	—	6.84	—	2.05	—	1.72	—	1.51	—	1.21

表-8 (3)

側面圧力水頭 (m)

	番号	EL 239.0		EL 222.0		EL 215.0		EL 210.0		EL 205.0	
		木製	金属製	木製	金属製	木製	金属製	木製	金属製	木製	金属製
ベルマウス部	1	34.31	28.27	18.20	18.67	11.67	8.66	4.01	5.09	3.53	1.09
	2	23.29	22.20	10.37	9.91	5.57	5.59	2.29	2.53	−0.71	−0.87
	3	20.58	21.03	9.06	9.01	4.35	4.93	1.28	2.08	−1.50	−1.22
	4	17.30	17.32	7.07	6.77	2.96	3.08	0.17	0.53	−2.35	−2.39
	5	14.74	13.86	5.53	4.66	1.39	1.36	−1.04	−0.92	−3.32	−3.47
	6	10.94	11.17	3.05	2.90	−0.49	−2.20	−2.56	−2.15	−4.30	−4.37
	7	7.22	7.12	0.47	−0.35	−2.53	−2.20	−4.18	−3.88	−4.37	−5.68
	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
同径曲管部	9	9.41	6.66	2.36	−1.18	−2.92	−3.52	−5.50	−5.14	−6.97	−6.94
	10	8.51	8.79	1.85	0.44	−0.28	−1.99	−1.90	−3.77	−3.43	−5.72
	11	8.27	9.21	2.03	1.10	−0.49	−1.24	−2.66	−2.95	−4.15	−4.81
	12	9.23	10.30	3.14	2.28	0.26	−0.09	−1.15	−1.74	−3.28	−3.63
	13	11.72	9.35	4.88	1.90	1.92	−0.46	0.47	−1.79	−1.48	−3.50
異径曲管部	14	12.55	13.53	5.35	3.80	2.69	1.61	1.56	0.11	−0.82	−1.81
	15	11.44	13.57	5.29	4.05	2.30	1.95	1.38	0.54	−0.85	−1.26
	16	10.00	13.56	4.45	4.34	1.64	2.36	1.14	0.92	−0.94	−0.23
	17	10.27	13.62	4.84	4.67	2.27	2.81	1.14	1.43	−0.25	−0.13
	18	10.21	13.82	5.11	5.08	2.84	3.28	1.14	1.99	0.38	0.43
	19	11.56	12.70	5.55	4.74	3.68	3.15	1.11	1.98	1.19	0.69
	20	17.95	12.89	7.15	5.20	4.34	3.64	1.02	2.61	1.88	1.35
	21	10.42	11.96	6.25	4.90	4.16	3.61	0.93	2.94	2.15	0.29
	22	8.89	8.89	5.59	3.30	3.83	0.52	0.81	1.95	2.24	1.29
	23	—	5.32	—	0.30	—	0.24	—	0.09	—	0.24

表-8 (4)

上隅部圧力水頭 (m)

	番号	EL 239.0		EL 222.0		EL 215.0		EL 210.0		EL 205.0	
		木製	金属製	木製	金属製	木製	金属製	木製	金属製	木製	金属製
ベルマウス部	1	35.33	36.45	18.23	19.58	—	11.07	5.24	6.57	2.27	1.56
	2	33.25	32.22	16.75	18.52	—	10.37	5.72	6.17	2.42	1.52
	3	28.79	31.63	15.77	14.86	—	9.16	5.72	5.20	1.37	0.88
	4	27.66	27.61	13.17	12.46	7.50	7.24	7.27	3.61	0.15	−0.26
	5	20.09	22.05	8.42	12.13	3.73	4.51	0.35	1.42	−2.21	−1.94
	6	14.15	17.11	4.73	6.08	1.10	2.12	−2.27	−0.64	−4.37	−3.46
	7	7.07	12.74	−0.11	3.30	−0.80	0.09	−3.44	−2.43	−4.64	−4.89
	8	—	8.07	—	0.40	—	−2.48	—	−4.43	—	−6.38
同径曲管部	9	7.09	8.56	1.02	0.80	−2.50	−2.05	−4.42	−3.55	−5.89	−5.86
	10	7.18	8.45	0.43	1.08	−2.50	−1.53	−4.39	−3.18	−5.86	−5.40
	11	8.21	9.78	1.46	2.17	−1.12	−0.50	−3.46	−2.12	−5.47	−4.34
	12	10.14	11.30	3.39	2.44	0.26	−0.29	−1.75	−2.15	−3.43	−3.92
	13	12.11	10.86	4.97	2.39	1.58	−0.16	−0.46	−1.93	−2.05	−3.91
異径曲管部	14	11.25	11.51	4.23	4.03	1.89	1.45	0.09	−0.38	−1.56	−2.39
	15	11.17	11.49	4.54	4.40	1.98	1.85	0.27	0.11	−1.29	−1.87
	16	12.63	12.16	5.82	5.01	3.21	2.57	1.56	0.83	−0.09	−1.12
	17	12.61	11.86	6.01	4.98	3.12	3.20	1.41	1.20	−0.03	−0.60
	18	14.29	11.64	2.60	5.30	4.82	3.23	3.06	1.79	1.56	0.05
	19	12.25	12.20	5.58	5.34	4.95	3.39	3.27	2.11	1.92	0.51
	20	12.18	12.38	6.78	5.82	4.44	3.96	3.00	2.76	1.89	1.35
	21	11.07	12.88	6.36	6.47	4.32	4.67	3.06	3.59	2.22	2.15
	22	9.79	8.05	5.92	2.64	4.59	1.86	3.42	1.41	2.73	0.81

表-8 (5)

下　隅　部　圧　力　水　頭　(m)

	番号	EL 239.0		EL 222.0		EL 215.0		EL 210.0		EL 205.0	
		木　製	金属製	木　製	金属製	木　製	金属製	木　製	金属製	木　製	金属製
ベルマウス部	1	22.82	28.16	13.97	14.43	9.02	9.53	5.24	6.26	−0.64	2.57
	2	22.40	21.04	11.45	9.65	6.62	5.93	3.08	3.20	−2.20	0.17
	3	16.94	15.25	7.58	6.08	4.31	3.05	1.64	0.74	−3.88	−0.81
	4	10.66	12.64	3.35	4.31	0.43	1.55	−1.94	−0.49	−3.61	−1.86
	5	5.51	7.77	−0.10	1.18	−2.11	−1.01	−2.20	−2.63	−3.53	−4.46
	6	3.17	2.93	−1.45	1.77	−2.17	−2.40	−3.59	−3.65	−3.82	−5.91
	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
同径曲管部	9	4.04	2.22	−0.91	−2.74	−2.83	−2.87	−3.94	−3.34	−5.20	−5.69
	10	5.81	6.91	0.56	−0.09	2.14	−2.17	−3.76	−3.63	−4.96	−5.25
	11	4.97	7.89	0.36	0.89	−1.46	−1.24	−4.06	−2.65	−5.11	−4.27
	12	6.92	9.12	2.00	2.09	0.20	−0.01	−1.15	−1.45	−3.46	−3.10
	13	8.30	7.63	3.17	3.35	0.84	−0.48	−0.52	−1.71	−1.90	−2.12
異径曲管部	14	8.54	9.69	3.65	3.65	−1.17	−1.15	−2.55	−2.50	−3.81	−4.09
	15	9.39	9.89	4.50	4.09	−0.18	−0.71	−1.83	−2.00	−3.09	−3.53
	16	10.16	10.11	5.27	4.52	0.78	−0.10	−0.63	−1.48	−2.28	−2.95
	17	10.03	10.48	5.26	4.95	0.87	0.27	−0.30	−0.96	−1.68	−2.40
	18	9.68	9.92	5.21	4.84	1.02	0.31	−0.03	−0.77	−1.26	−2.09
	19	9.47	9.68	5.30	4.99	1.32	0.76	0.27	−0.23	0.24	−1.60
	20	9.46	9.78	5.68	5.32	2.73	1.12	0.93	0.18	−0.03	−1.04
	21	10.93	9.11	6.64	5.14	3.18	1.15	2.25	0.25	1.26	−0.80
	22	9.07	7.44	5.98	3.81	3.45	0.21	2.67	−0.36	1.86	−1.08

表-9　2型越流部水位—流量関係実験値

番号	自由越流時			門扉開度1m 等高		門扉開度2m 等高		門扉開度3m 等高		門扉開度4m 等高		門扉開度5m 等高	
	H	Q	C	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
1	0.80	60.7	1.571	2.11	172.0	3.78	476.6	4.36	794.4	5.96	1,269.9	6.40	1,722.3
2	1.02	70.8	—	2.47	189.7	4.39	526.2	4.91	839.9	6.06	1,290.2	7.18	1,722.8
3	1.55	172.0	1.654	2.92	207.4	4.40	523.7	5.29	880.4	6.25	1,270.0	7.30	1,725.0
4	1.98	232.7	—	3.15	217.6	4.87	556.7	5.74	931.0	6.26	1,290.2	7.64	1,801.2
5	2.37	334.1	1.749	3.34	222.6	5.46	584.9	6.28	981.6	6.31	1,295.2	7.74	1,816.4
6	2.76	430.1	1.741	4.47	263.1	5.68	607.2	6.59	1,006.9	6.94	1,366.1	—	—
7	2.94	506.0	1.859	4.98	283.3	6.43	657.8	7.07	1,057.5	7.38	1,452.1	—	—
8	3.20	571.7	1.853	5.55	298.5	7.11	698.2	7.58	1,107.6	7.44	1,442.0	—	—
9	3.59	652.7	1.849	5.92	308.6	7.52	723.5	—	—	—	—	—	—
10	3.90	784.2	1.886	6.60	317.7	—	—	—	—	—	—	—	—
11	4.00	819.7	1.897	7.34	336.0	—	—	—	—	—	—	—	—
12	4.48	1,011.9	1.979	7.96	349.1	—	—	—	—	—	—	—	—
13	4.68	1,087.8	1.990	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	5.11	1,249.7	2.002	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	5.49	1,404.5	2.023	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	5.77	1,517.9	2.029	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	6.14	1,684.9	2.049	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	6.43	1,812.4	2.133	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	6.73	1,942.9	2.062	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	7.05	2,120.0	2.096	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	7.48	2,352.7	2.130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表-10 2型越流部と4型フリップバケットの圧力分布実験値

部分	番号	測点座標 X	測点座標 Y	自由越流時，越流深 2.00	4.00	6.00	7.00	門扉等高操作時，貯水位 239.0 1.00	2.00	3.00	4.00
越流部	1	0	0.863	2.82	3.80	3.80	3.60	7.74	7.56	6.86	6.00
	2	0.700	0.250	2.48	3.52	3.00	2.60	7.44	7.20	6.40	5.22
	3	2.000	0	1.36	1.86	1.32	1.40	7.32	5.76	4.40	3.60
	4	3.000	0.123	1.20	1.52	1.22	1.20	6.74	4.40	3.16	2.40
	5	4.000	0.389	1.00	1.24	1.10	1.18	4.40	2.20	1.80	1.60
	6	4.900	0.760	0.88	1.24	1.08	1.18	0.40	0.64	0.84	0.96
	7	5.800	1.236	0.68	0.96	1.00	1.14	0.28	0.30	0.40	0.52
	8	6.600	1.740	0.70	0.86	0.94	1.10	0.20	0.24	0.30	0.36
	9	7.400	2.325	0.64	0.84	0.92	1.00	0.16	0.20	0.26	0.38
	10	8.200	2.982	0.66	0.74	0.90	1.00	0.60	0.72	0.84	0.96
	11	8.900	3.615	0.64	0.74	0.94	0.98	1.00	1.10	1.24	1.36
	12	9.700	4.115	0.58	0.72	0.84	0.90	0.88	1.08	1.16	1.20
	13	11.100	5.949	0.56	0.68	0.76	0.78	0.76	0.90	0.98	1.00
	14	12.300	7.435	0.54	0.66	0.70	0.72	0.70	0.72	0.76	0.80
	15	12.727	8.000	0.52	0.60	0.64	0.64	0.60	0.56	0.66	0.72
	16	14.143	10.000	0.04	0.04	0.04	0.00	0.18	0.10	0.28	0.28
	17	15.438	12.000	0.00	0.04	0.00	0.00	0.12	0.08	−0.12	−0.08
	18	16.640	14.000	0.24	0.32	0.44	0.48	0.24	0.28	0.32	0.36
	19	17.766	16.000	0.28	0.48	0.76	0.92	0.36	0.44	0.56	0.68
	20	18.307	17.000	0.08	0.08	0.28	0.56	−0.04	0.00	0.00	0.20
	21	19.084	18.500	0.00	0.28	1.12	2.00	0.08	0.32	0.64	1.16
フリップバケット	1	19.747	19.703	1.56	2.76	4.80	5.92	2.12	3.04	4.16	4.76
	2	20.406	20.773	2.12	4.32	7.36	8.96	3.12	4.84	6.16	7.48
	3	21.718	22.282	1.72	4.20	8.24	10.48	2.88	4.76	6.56	8.60
	4	23.312	23.505	1.24	3.96	8.40	10.72	2.12	4.20	6.08	8.28
	5	25.108	24.381	0.88	3.84	8.16	10.72	1.72	3.92	5.76	7.88
	6	27.042	24.882	0.68	3.88	7.68	9.72	1.68	3.80	5.44	7.04
	7	28.572	25.000	0.12	1.60	3.60	4.68	0.52	1.44	2.32	3.12

表-11（1）　水叩内圧力分布実験値　水叩8型フリップバケット4型

実験種別			門扉操作時　流量 1,100 m³/sec　下流水位 EL 166.0m												
位置	測線	測点＼標高	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0
	2	171	—	—	—	—	0	—	0	—	0.08	—	0	—	0
	3	169	—	—	—	—	0.08	—	0.16	—	0.40	—	0.60	—	0.40
	4	167	—	—	—	—	1.32	—	1.68	—	1.88	—	2.12	—	2.28
	5	165	0.08	—	0.44	—	2.08	—	2.44	—	3.08	—	3.38	—	3.40
	6	163	0.16	—	1.88	—	4.00	—	4.08	—	4.72	—	5.48	—	4.52
	7	161	1.28	—	3.44	—	5.72	—	5.76	—	6.16	—	7.32	—	—
	8	159	3.32	—	(5.48) 5.20	—	7.48	—	7.40	—	7.08	—	9.16	—	—
	9	157	5.48	—	6.92	—	9.36	—	9.40	—	9.88	—	11.12	—	—
水叩底面圧力		EL													
	a	155	6.80	8.24	9.64	10.80	11.16	11.64	11.72	11.80	12.44	13.20	13.64	15.04	—
	b	〃	6.20	6.72	8.16	10.12	10.84	11.32	11.32	11.60	12.28	12.52	12.80	14.36	—
	4	〃	6.12	7.08	8.60	9.96	10.72	10.92	11.04	11.20	11.32	11.96	12.08	15.56	—
	c	〃	6.76	7.40	9.72	10.24	10.72	11.40	11.08	11.84	12.00	12.20	11.76	15.00	—
	5	〃	5.88	8.92	10.40	12.40	12.20	12.40	11.16	12.92	12.68	11.32	11.56	14.28	—
	d	〃	5.40	7.04	8.60	9.12	19.32	10.20	10.52	10.96	11.00	11.04	11.56	12.60	—
	6	〃	4.20	7.48	8.20	9.12	10.36	10.52	11.08	11.12	11.16	11.16	11.40	11.96	—
	e	〃	6.24	6.52	7.24	8.60	9.48	10.40	10.92	11.24	11.72	11.80	11.84	11.88	—
	f	〃	6.44	7.32	8.24	9.32	10.00	10.60	11.00	11.24	11.56	11.72	11.76	12.92	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	3.48	—	6.20	—	8.04	—	8.82	—	9.60	—	9.04	—	—
	11	159	2.20	—	5.00	—	6.28	—	7.00	—	7.72	—	7.64	—	—
	12	161	1.08	—	3.08	—	4.48	—	5.28	—	5.52	—	5.88	—	—
	13	163	0.12	—	1.20	—	2.92	—	3.44	—	3.84	—	4.08	—	4.60
	14	165	0.20	—	0.40	—	1.32	—	1.72	—	2.00	—	2.40	—	3.04
	15	167	0.08	—	0.20	—	0.28	—	0.44	—	0.52	—	0.80	—	1.40
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12	—	0.16	—	0.28
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.28	—	0.16	—	0.32
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12	—	0.12	—	0

表-11 (2)

実験種別			門扉操作時 流量1,100 m³/sec 下流水位EL 168.0m												
位置	測線	測点 標高	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0
	2	171	—	—	—	—	0.04	—	0.04	—	0.12	—	0.08	—	0
	3	169	—	—	—	—	0.28	—	0.40	—	0.84	—	1.20	—	0.92
	4	167	—	—	—	—	2.52	—	2.44	—	2.40	—	2.72	—	2.60
	5	165	0.08	—	1.44	—	2.76	—	3.32	—	4.12	—	4.60	—	4.12
	6	163	1.32	—	3.04	—	4.76	—	5.04	—	5.76	—	6.44	—	5.56
	7	161	3.40	—	5.12	—	6.72	—	6.80	—	7.40	—	8.20	—	—
	8	159	4.52	—	6.60	—	8.52	—	8.44	—	9.32	—	10.12	—	—
	9	157	6.68	—	8.12	—	8.68	—	10.52	—	11.16	—	11.80	—	—
水叩底面圧力		EL													
	a	155	8.40	9.72	11.20	12.04	12.60	12.64	12.44	12.72	13.24	13.88	14.20	16.00	—
	b	〃	7.44	8.40	10.00	11.44	12.12	12.40	12.60	12.64	12.92	13.40	13.84	15.20	—
	4	〃	7.80	9.04	10.84	11.56	12.04	12.32	12.20	12.36	12.24	12.92	13.00	16.28	—
	c	〃	7.92	9.12	11.04	11.72	11.92	12.44	12.12	12.64	13.00	13.04	12.80	16.36	—
	5	〃	7.72	10.24	13.56	13.08	12.64	13.24	12.20	12.92	13.52	12.44	12.20	15.52	—
	d	〃	7.16	8.80	10.20	10.76	11.00	11.04	11.52	12.12	12.24	12.32	12.68	13.80	—
	6	〃	5.92	8.00	9.72	10.44	11.32	11.20	11.80	12.20	12.40	12.60	12.76	13.12	—
	e	〃	7.32	7.96	8.92	10.60	11.32	11.64	12.24	12.24	12.28	12.60	12.76	12.92	—
	f	〃	7.72	8.64	10.00	11.04	11.32	11.84	12.12	12.20	12.52	12.76	12.60	13.44	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	5.32	—	7.64	—	9.68	—	10.28	—	10.68	—	10.80	—	—
	11	159	3.56	—	6.28	—	7.80	—	8.12	—	8.88	—	8.88	—	—
	12	161	1.92	—	4.56	—	5.72	—	6.16	—	9.12	—	6.92	—	—
	13	163	0.44	—	2.52	—	4.00	—	4.52	—	5.12	—	5.44	—	5.52
	14	165	0.28	—	0.96	—	2.20	—	2.64	—	3.16	—	3.44	—	3.64
	15	167	0.36	—	0.36	—	0.48	—	1.12	—	1.48	—	1.80	—	1.88
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	0.28	—	0.32	—	0.56
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.32	—	0.24	—	0.28
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.16	—	0.12	—	0.04

表-11 (3)

実験種別			門扉操作時 流量 1,100 m³/sec 下流水位 EL 170.0m												
位置	測線	標高＼測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0
	2	171	—	—	—	—	0.28	—	0.32	—	0.48	—	0.52	—	0.60
	3	169	—	—	—	—	1.00	—	1.60	—	2.00	—	2.20	—	2.00
	4	167	—	—	—	—	3.16	—	3.28	—	3.64	—	3.80	—	3.52
	5	165	1.04	—	2.48	—	4.28	—	5.12	—	5.40	—	5.68	—	5.40
	6	163	3.00	—	4.24	—	6.24	—	6.84	—	7.20	—	7.60	—	7.04
	7	161	4.68	—	5.92	—	8.20	—	8.72	—	8.92	—	9.24	—	—
	8	159	6.36	—	7.88	—	10.12	—	10.40	—	10.88	—	11.00	—	—
	9	157	8.72	—	10.00	—	11.96	—	12.00	—	12.64	—	12.56	—	—
水叩底面圧力		EL	(10.20)	(11.40)	(12.60)	(13.40)	(13.88)								
	a	155	10.02	11.26	12.21	13.24	13.80	14.40	14.60	14.80	15.00	15.20	15.24	16.48	—
	b	〃	9.40	10.12	11.60	12.72	13.80	14.08	14.28	14.32	14.48	14.60	14.48	15.20	—
	4	〃	9.40	10.40	11.68	12.68	13.32	13.44	13.82	13.36	14.40	14.64	14.88	15.92	—
	c	〃	9.40	10.96	12.48	12.92	13.04	13.56	13.58	14.24	14.44	14.36	14.40	16.28	—
	5	〃	9.44	11.88	12.60	13.90	13.68	14.08	13.40	13.68	14.00	13.80	14.00	15.28	—
	d	〃	9.00	10.52	11.96	12.28	12.48	13.04	13.20	13.64	13.80	13.80	14.12	15.04	—
	6	〃	7.88	10.00	11.68	12.48	13.08	12.96	13.48	13.52	13.60	13.80	13.80	14.08	—
	e	〃	9.48	10.20	11.28	12.48	12.88	13.40	13.68	13.80	14.04	14.40	14.44	14.48	—
	f	〃	10.60	10.96	12.28	13.00	13.44	13.52	13.76	13.96	14.00	14.20	14.40	14.88	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	7.12	—	9.36	—	11.52	—	11.80	—	12.44	—	12.20	—	—
	11	159	5.48	—	7.40	—	9.68	—	9.68	—	10.40	—	10.20	—	—
	12	161	4.00	—	6.26	—	9.00	—	7.84	—	8.24	—	8.32	—	—
	13	163	1.60	—	4.08	—	5.84	—	5.96	—	6.40	—	6.40	—	7.08
	14	165	0.88	—	2.80	—	3.80	—	4.16	—	4.48	—	4.76	—	5.62
	15	167	0.40	—	1.40	—	1.88	—	2.40	—	2.80	—	3.16	—	3.44
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	—	1.40	—	1.80
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.28	—	0.24	—	0.72
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	—	0.20	—	0.12

表-11 (4)

実験種別			門扉操作時 流量 1,600 m³/sec 下流水位 EL 168.0m												
位置	測線	標高 \ 測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		EL													
左岸側壁面圧力	1	173	—	—	—	—	0.12	—	0.60	—	0.08	—	0.20	—	0
	2	171	—	—	—	—	0.08	—	0.08	—	0.36	—	1.20	—	1.60
	3	169	—	—	—	—	0.04	—	0.68	—	1.48	—	2.72	—	3.20
	4	167	—	—	—	—	1.36	—	3.12	—	3.20	—	4.28	—	4.20
	5	165	0.32	—	1.48	—	2.72	—	3.40	—	4.68	—	5.40	—	3.52
	6	163	2.00	—	2.88	—	4.40	—	5.36	—	6.32	—	6.40	—	4.08
	7	161	4.40	—	4.80	—	6.48	—	7.00	—	8.00	—	8.36	—	—
	8	159	2.40	—	6.60	—	8.20	—	8.92	—	10.88	—	10.60	—	—
	9	157	8.00	—	8.20	—	10.00	—	11.80	—	14.80	—	15.64	—	—
		EL													
水叩床面圧力	a	155	8.76	9.84	10.24	11.16	12.20	12.64	12.96	14.92	17.04	17.40	18.24	20.92	—
	b	〃	8.00	8.48	10.24	11.12	12.20	12.56	12.80	13.48	15.40	15.44	15.60	20.20	—
	4	〃	8.80	9.20	9.84	10.72	11.64	12.16	12.84	13.48	13.96	15.72	13.88	20.60	—
	c	〃	8.40	9.36	11.08	11.08	12.32	12.92	12.48	13.40	13.76	14.36	13.08	18.72	—
	5	〃	7.40	10.00	13.56	13.40	13.72	11.96	12.60	12.24	11.88	11.80	12.56	17.60	—
	d	〃	6.92	9.40	10.96	10.92	10.84	11.12	10.80	11.20	11.20	11.36	12.40	15.32	—
	6	〃	5.80	8.28	10.36	10.88	11.64	11.40	11.44	11.12	11.00	10.92	11.60	13.44	—
	e	〃	7.40	8.20	9.52	11.08	11.44	11.72	11.44	11.20	11.00	11.24	11.20	12.24	—
	f	〃	8.08	8.80	10.60	11.56	11.64	11.48	11.44	11.64	11.32	11.36	11.20	15.00	—
		EL													
右岸側壁面圧力	10	157	7.52	—	8.00	—	9.40	—	9.24	—	8.88	—	9.48	—	—
	11	159	4.52	—	6.04	—	7.48	—	7.24	—	7.20	—	7.60	—	—
	12	161	2.02	—	4.56	—	5.60	—	5.32	—	5.08	—	5.92	—	—
	13	163	0.40	—	2.88	—	3.84	—	3.60	—	3.56	—	4.84	—	6.04
	14	165	0.08	—	1.24	—	2.00	—	1.88	—	1.80	—	3.08	—	4.28
	15	167	0.24	—	0.40	—	0.48	—	1.72	—	0.60	—	1.92	—	3.08
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	—	0.20	—	1.64
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.32	—	0.20	—	0.32
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	—	0.24	—	0.16

表-11 (5)

実験種別			門扉操作時 流量 1,600 m³/sec 下流水位 EL 170.0m												
位置	測線	標高＼測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		EL													
	1	173	—	—	—	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0
左	2	171	—	—	—	—	0.20	—	0.20	—	0.56	—	11.60	—	1.88
岸	3	169	—	—	—	—	1.16	—	1.60	—	2.00	—	2.84	—	3.32
側	4	167	—	—	—	—	2.40	—	3.72	—	3.72	—	4.60	—	4.80
壁	5	165	(1.24) 1.06	—	2.72	—	(4.80) 4.50	—	4.72	—	5.56	—	5.88	—	5.00
面	6	163	(3.00) 2.76	—	4.44	—	5.60	—	6.68	—	7.32	—	7.44	—	5.72
圧	7	161	(4.80) 4.60	—	6.36	—	8.20	—	8.00	—	8.96	—	9.24	—	—
力	8	159	(6.40) 6.18	—	7.60	—	9.64	—	(10.40) 10.18	—	11.60	—	11.72	—	—
	9	157	(8.68) 8.34	—	9.40	—	11.60	—	(12.40) 12.10	—	15.16	—	15.84	—	—
		EL													
	a	155	10.20	10.88	11.80	12.80	(13.88) 13.56	(14.44) 14.20	(14.72) 14.40	(15.96) 15.20	(16.28) 15.98	(17.80) 17.30	(19.52) 18.86	(22.28) 21.80	—
水	b	〃	9.80	9.88	11.12	12.32	13.08	13.68	14.12	14.88	(15.96) 15.54	(15.84) 15.28	(15.88) 15.58	(21.92) 21.22	—
叩	4	〃	(10.20) 9.92	(10.52) 10.28	(11.32) 11.08	(12.36) 12.04	(13.48) 13.04	13.60	14.08	14.36	14.92	15.60	14.52	(19.52) 18.12	—
底	c	〃	8.72	10.40	12.20	12.92	13.48	14.92	13.72	14.72	15.48	14.76	(15.12) 15.00	(16.68) 16.20	—
面	5	〃	9.60	(14.56) 11.40	13.12	13.48	14.20	13.32	13.48	13.08	12.84	12.88	13.60	(18.20) 17.34	—
圧	d	〃	8.84	10.92	12.60	12.40	12.40	12.08	12.20	12.00	12.00	12.20	13.32	(17.08) 16.64	—
力	6	〃	7.80	10.12	11.80	12.28	12.76	12.08	12.92	(13.08) 12.58	(12.68) 12.40	(12.04) 12.00	(13.32) 12.92	(15.48) 15.20	—
	e	〃	9.10	10.40	11.40	12.68	(12.84) 12.00	(13.00) 12.74	(13.08) 12.80	12.52	12.40	12.40	12.68	(14.28) 13.40	—
	f	〃	(11.82) 9.80	11.08	12.28	(13.28) 12.98	(13.40) 12.92	(13.08) 12.80	(12.88) 12.58	12.76	12.68	12.60	13.08	(16.72) 16.21	—
		EL													
	10	157	6.64	—	9.72	—	11.00	—	11.20	—	10.04	—	10.92	—	—
右	11	159	5.08	—	8.00	—	9.56	—	8.88	—	8.40	—	9.12	—	—
岸	12	161	3.92	—	6.40	—	7.52	—	7.00	—	7.00	—	7.60	—	—
側	13	163	1.68	—	4.40	—	5.56	—	5.12	—	4.92	—	6.20	—	7.40
壁	14	165	1.00	—	2.88	—	3.60	—	3.28	—	3.00	—	4.16	—	5.68
面	15	167	0.52	—	1.28	—	1.68	—	1.32	—	1.28	—	3.00	—	4.12
圧	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	0.60	—	1.44	—	2.48
力	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.32	—	0.40	—	0.84
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.28	—	0.28	—	0.20

表-11 (6)

実験種別			門扉操作時 流量 1,600 m³/sec 下流水位 EL 172.00m												
位置	測線	標高＼測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		EL													
	1	173	—	—	—	—	0	—	0.40	—	0.40	—	0.40	—	0
左	2	171	—	—	—	—	0.2	—	1.36	—	1.80	—	1.92	—	2.72
岸	3	169	—	—	—	—	(2.84) 2.28	—	3.52	—	3.51	—	3.92	—	4.40
側	4	167	—	—	—	—	4.60	—	5.16	—	5.28	—	5.64	—	5.96
壁	5	165	(3.08) 2.76	—	4.80	—	(6.28) 5.70	—	6.80	—	7.20	—	7.72	—	6.72
面	6	163	(4.92) 4.60	—	(6.08) 5.74	—	(7.72) 7.32	—	8.60	—	9.00	—	9.40	—	8.12
圧	7	161	(6.68) 6.38	—	(7.92) 7.56	—	(9.96) 9.54	—	10.40	—	10.96	—	11.40	—	—
力	8	159	(8.60) 8.14	—	(9.56) 9.24	—	10.92	—	12.20	—	12.20	—	13.60	—	—
	9	157	(10.88) 10.58	—	(11.12) 10.86	—	13.12	—	14.40	—	15.00	—	15.80	—	—
		EL													
	a	155	12.20	12.88	13.40	14.40	15.32	15.96	16.20	16.80	17.36	18.28	19.32	21.68	—
水	b	〃	11.72	11.80	12.48	13.60	14.80	15.56	16.08	16.44	17.20	17.20	18.08	(22.08) 21.14	—
叩	4	〃	11.60	12.00	12.68	13.60	13.80	15.24	15.80	16.36	16.96	17.40	16.92	(21.44) 20.92	—
底	c	〃	10.32	12.40	13.88	15.08	15.16	15.12	15.40	16.36	16.80	16.92	(16.00) 15.80	(20.72) 20.16	—
面	5	〃	11.28	13.20	15.28	15.80	16.12	14.88	14.40	14.36	15.52	15.00	15.44	(20.08) 19.24	—
圧	d	〃	10.52	12.64	14.20	14.00	13.72	13.60	13.48	13.40	13.52	14.20	15.60	(17.28) 17.00	—
力	6	〃	9.68	12.08	13.68	14.04	14.40	13.80	13.28	13.32	13.40	13.68	14.96	16.36	—
	e	〃	10.88	12.20	13.32	14.20	14.68	14.20	14.48	13.12	13.20	14.08	15.24	16.20	—
	f	〃	11.00	12.08	13.24	15.00	15.80	14.60	14.20	14.00	13.60	14.20	15.36	17.92	—
		EL													
	10	157	8.28	—	11.00	—	12.40	—	11.96	—	11.92	—	13.56	—	—
右	11	159	6.60	—	9.56	—	10.60	—	9.64	—	10.12	—	11.32	—	—
岸	12	161	5.32	—	7.80	—	8.52	—	8.12	—	8.08	—	9.36	—	—
側	13	163	3.04	—	5.72	—	6.76	—	6.24	—	6.12	—	7.80	—	9.20
壁	14	165	2.20	—	4.00	—	4.64	—	4.28	—	4.20	—	6.20	—	7.48
面	15	167	1.12	—	2.44	—	2.60	—	2.88	—	3.08	—	4.80	—	5.72
圧	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	1.60	—	3.24	—	4.04
力	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	—	1.72	—	2.40
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	—	0.60	—	0.92

表-11 (7)

実験種別　門扉操作時　流量 2,200 m³/sec　下流水位 EL 170.40m

位置	測線	測点 / 標高	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0	—	0	—	1.56	—	3.00	—	0.68
	2	171	—	—	—	—	0.12	—	0.76	—	3.08	—	4.00	—	2.48
	3	169	—	—	—	—	(1.80) 1.46	—	2.60	—	3.40	—	4.28	—	3.48
	4	167	—	—	—	—	3.32	—	4.52	—	4.76	—	5.80	—	5.24
	5	165	0.88	—	3.24	—	5.28	—	5.60	—	5.28	—	6.00	—	4.00
	6	163	1.88	—	4.60	—	6.92	—	7.48	—	7.32	—	7.16	—	5.08
	7	161	(4.60) 3.96	—	6.76	—	8.56	—	8.80	—	8.68	—	9.92	—	—
	8	159	(5.72) 5.24	—	8.04	—	10.52	—	11.92	—	13.16	—	12.92	—	—
	9	157	(7.96) 7.40	—	9.56	—	13.28	—	(16.80) 16.30	—	(20.00) 19.14	—	20.44	—	—
水叩底面圧力		EL	(9.02)		(12.64)	(14.04)	(15.48)	(17.80)	(20.60)	(22.04)	(22.92)	(26.64)	(24.30)	(29.44)	
	a	155	9.00	11.20	12.60	13.88	15.02	17.54	19.96	21.56	22.64	25.56	24.24	28.92	—
	b	〃	9.60	10.00	11.00	12.80	14.24	15.48	16.44	17.28	18.84	18.20	(18.80) 18.26	(26.80) 18.24	—
	4	〃	(13.44) 12.50	(11.96) 11.54	10.44	12.20	13.04	13.72	15.04	16.76	(18.72) 18.22	(21.28) 20.32	(16.40) 16.00	(26.12) 24.14	—
	c	〃	11.92	11.80	12.52	13.60	14.00	(17.32) 16.70	(18.40) 17.54	(21.60) 20.46	(23.08) 22.12	20.40	16.52	24.68	—
	5	〃	9.60	12.00	14.12	16.24	14.28	(17.28) 16.60	(18.12) 17.48	(18.52) 17.36	(17.72) 17.00	(15.92) 15.16	14.20	19.80	—
	d	〃	8.12	10.80	12.80	12.16	11.84	11.80	11.44	11.00	11.16	12.28	13.96	18.00	—
	6	〃	7.32	10.52	11.80	12.00	12.56	12.28	12.20	11.56	11.48	12.60	13.88	17.00	—
	e	〃	7.90	9.88	11.16	12.04	12.60	11.88	11.96	11.80	12.00	12.60	13.88	16.84	—
	f	〃	8.52	9.88	11.40	12.52	12.80	12.20	12.28	12.12	12.00	12.84	13.20	19.40	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	6.36	—	9.60	—	10.84	—	10.20	—	10.48	—	12.88	—	—
	11	159	4.80	—	8.20	—	6.92	—	8.20	—	6.60	—	10.64	—	—
	12	161	3.68	—	6.52	—	6.92	—	6.48	—	6.60	—	8.60	—	—
	13	163	1.68	—	4.52	—	5.04	—	4.48	—	4.80	—	6.80	—	8.20
	14	165	1.12	—	2.88	—	3.12	—	2.80	—	3.20	—	5.24	—	6.80
	15	167	0.46	—	1.20	—	1.20	—	1.12	—	1.84	—	4.04	—	5.80
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	0.44	—	3.60	—	3.72
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.32	—	1.20	—	2.24
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.24	—	0.32	—	0.44

表-11 (8)

実験種別 門扉操作時 流量2,200 m³/sec 下流水位 EL 172.40m

位置	測線	測点 / 標高	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0.08	—	(1.16) 0.72	—	2.08	—	2.92	—	1.00
	2	171	—	—	—	—	(1.12) 6.80	—	(3.32) 2.76	—	3.32	—	4.08	—	3.88
	3	169	—	—	—	—	(3.00) 2.56	—	4.00	—	4.60	—	5.00	—	5.20
	4	167	—	—	—	—	(4.28) 3.80	—	6.12	—	6.04	—	7.00	—	6.16
	5	165	(1.96) 1.72	—	4.08	—	5.80	—	6.40	—	7.56	—	7.56	—	5.76
	6	163	(3.40) 3.16	—	5.56	—	(7.72) 7.40	—	8.64	—	8.68	—	8.80	—	6.60
	7	161	(5.44) 4.86	—	(7.96) 7.44	—	9.48	—	10.20	—	9.64	—	10.92	—	—
	8	159	(7.00) 6.48	—	(9.40) 9.14	—	11.56	—	12.92	—	(14.92) 14.50	—	13.40	—	—
	9	157	(9.16) 8.68	—	(10.72) 10.52	—	14.20	—	(16.60) 16.16	—	(20.76) 20.02	—	21.16	—	—
水叩底面圧力		EL													
	a	155	(11.12) 10.68	(12.80) 12.64	(13.80) 13.70	(15.04) 14.76	15.60	16.72	18.24	20.60	(23.72) 23.30	(26.72) 26.36	(25.60) 24.46	(29.88) 28.54	—
	b	〃	9.20	12.92	14.00	15.60	16.92	17.60	18.92	20.00	19.00	20.12	18.20	(25.80) 24.64	—
	4	〃	13.20	12.52	13.40	14.48	15.20	16.48	17.60	(18.88) 18.04	(22.80) 21.66	(21.52) 20.06	(15.68) 16.00	(23.88) 22.78	—
	c	〃	12.72	13.08	14.00	15.04	16.48	18.00	(19.52) 8.96	(19.48) 19.10	(23.60) 22.60	(20.48) 20.24	(17.40) 17.20	(23.00) 22.76	—
	5	〃	11.60	13.40	15.48	15.80	17.68	(18.60) 17.20	(19.40) 18.34	(18.32) 17.62	(17.08) 16.50	(16.60) 16.10	(16.08) 15.66	(20.08) 18.12	—
	d	〃	(10.20) 9.90	(12.52) 12.06	(13.44) 13.18	(13.44) 13.32	(14.64) 14.12	(13.72) 13.40	13.80	13.20	13.92	14.48	15.40	(20.12) 19.06	—
	6	〃	8.80	11.32	12.76	13.00	13.40	12.80	12.88	12.80	13.44	14.28	15.40	18.00	—
	e	〃	9.60	11.56	12.48	13.80	13.52	13.12	12.92	13.44	14.08	15.32	16.60	18.20	—
	f	〃	10.48	11.34	12.88	13.20	12.80	12.72	13.28	14.20	15.20	16.08	(16.52) 16.06	(19.52) 18.96	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	7.64	—	10.60	—	12.12	—	11.52	—	12.08	—	14.28	—	—
	11	159	6.04	—	9.08	—	10.44	—	9.56	—	10.02	—	12.12	—	—
	12	161	4.48	—	1.32	—	8.52	—	7.48	—	8.60	—	10.00	—	—
	13	163	2.80	—	5.24	—	6.56	—	5.72	—	6.68	—	8.24	—	8.96
	14	165	2.12	—	3.80	—	4.40	—	4.00	—	5.12	—	6.84	—	7.72
	15	167	1.04	—	2.12	—	2.36	—	2.28	—	3.40	—	5.60	—	6.64
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	1.96	—	4.12	—	4.64
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.52	—	2.28	—	2.88
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	—	0.80	—	1.48

表-11 (9)

実験種別			門扉操作時 流量 2,200 m³/sec 下流水位 EL 174.40m												
位置	測線	標高 \ 測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0.76	—	2.00	—	3.00	—	4.64	—	1.92
	2	171	—	—	—	—	2.20	—	3.56	—	4.24	—	5.44	—	4.92
	3	169	—	—	—	—	3.72	—	5.04	—	5.48	—	6.04	—	6.40
	4	167	—	—	—	—	5.00	—	7.48	—	7.44	—	8.08	—	5.16
	5	165	3.48	—	5.12	—	7.08	—	8.52	—	8.96	—	9.20	—	7.84
	6	163	5.04	—	6.76	—	9.00	—	10.22	—	10.96	—	11.00	—	9.16
	7	161	(7.40) 7.20	—	9.08	—	11.04	—	12.32	—	12.52	—	13.88	—	—
	8	159	(9.20) 9.00	—	10.76	—	12.76	—	16.92	—	17.48	—	17.00	—	—
	9	157	11.60	—	12.56	—	15.00	—	17.60	—	23.96	—	21.24	—	—
水叩底面圧力		EL													
	a	155	13.00	14.20	15.16	16.28	(16.92) 16.76	(19.16) 18.84	(20.88) 20.46	(23.28) 23.54	(25.56) 24.84	(27.08) 26.58	26.44	—	—
	b	〃	12.72	13.28	14.32	15.68	17.24	18.20	18.60	19.32	20.40	21.28	22.60	—	—
	4	〃	13.64	14.52	(15.12) 14.86	(16.04) 15.72	17.08	17.64	18.52	19.40	(21.72) 21.42	22.28	19.28	—	—
	c	〃	14.08	14.60	15.56	16.60	17.28	(18.12) 18.70	(19.96) 19.52	21.48	23.16	20.20	17.76	—	—
	5	〃	13.56	14.68	(16.76) 16.42	(18.60) 18.04	19.56	(20.76) 20.02	(20.12) 19.62	(19.16) 18.82	(19.92) 19.80	(18.20) 17.72	18.68	—	—
	d	〃	12.50	14.50	12.00	13.24	14.60	14.68	15.72	15.68	15.72	16.08	16.76	—	—
	6	〃	11.12	12.80	14.08	14.28	14.88	14.52	15.20	15.08	15.80	16.04	17.32	—	—
	e	〃	11.72	12.56	12.92	13.72	14.76	14.48	15.08	15.60	16.60	17.48	18.32	—	—
	f	〃	12.52	13.08	14.20	15.56	15.08	14.88	15.40	(16.76) 16.24	17.80	18.04	18.60	—	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	9.72	—	12.00	—	13.12	—	14.16	—	15.32	—	17.08	—	—
	11	159	7.92	—	10.52	—	11.16	—	11.64	—	13.00	—	14.92	—	—
	12	161	6.40	—	8.72	—	9.32	—	9.88	—	10.72	—	12.92	—	—
	13	163	4.52	—	6.48	—	7.80	—	8.04	—	9.00	—	11.16	—	11.20
	14	165	3.44	—	4.84	—	6.12	—	6.20	—	7.32	—	9.32	—	9.40
	15	167	2.20	—	3.28	—	4.08	—	4.68	—	5.68	—	7.60	—	7.80
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	3.88	—	5.68	—	6.12
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	2.60	—	4.00	—	4.48
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	−1.28	—	2.60	—	2.68

表-11 (10)

実験種別			自由越流時 流量 2,680 m³/sec 下流水位 EL 172.40m												
位置	測線	標高 \ 測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	1.36	—	3.56	—	4.44	—	4.92	—	4.60
	2	171	—	—	—	—	2.92	—	4.00	—	4.00	—	5.12	—	2.68
	3	169	—	—	—	—	4.36	—	5.04	—	3.68	—	4.60	—	4.60
	4	167	—	—	—	—	5.80	—	7.08	—	4.92	—	6.84	—	5.72
	5	165	0.80	—	4.12	—	5.32	—	5.56	—	5.28	—	7.08	—	5.44
	6	163	2.52	—	5.28	—	2.08	—	9.84	—	8.28	—	9.00	—	7.00
	7	161	4.20	—	8.20	—	9.40	—	11.00	—	9.72	—	12.40	—	--
	8	159	5.88	—	(9.92) 9.72	—	12.68	—	16.92	—	17.80	—	17.00	—	—
	9	157	(10.00) 9.46	—	(12.80) 12.60	—	18.64	—	—	—	—	—	—	—	—
水叩底面圧力		EL	(10.60)	(14.40)	(17.60)	(20.56)	(22.80)	(26.32)	(27.12)	(29.00)	(29.12)	(27.88)	(28.64)	(31.16)	
	a	155	10.30	14.32	17.30	20.30	21.92	25.36	26.06	28.74	28.86	27.70	28.16	30.84	—
			(12.60)	(11.80)	(14.28)	(16.48)	(19.52)	(21.68)	(22.28)	(23.12)	(24.12)	(24.92)	(26.24)	(29.92)	
	b	〃	12.30	10.66	14.14	16.34	18.86	21.60	22.22	22.50	23.96	24.40	25.52	27.94	—
			(16.32)	(16.32)	(13.68)	(14.56)	(14.88)	(16.32)	(18.32)	(20.40)					
	4	〃	15.40	15.06	13.44	14.22	14.66	16.10	17.86	19.94	21.36	21.20	19.68	24.20	—
										(26.52)	(27.12)	(21.72)	(22.60)	(27.72)	
	c	〃	13.60	17.28	16.72	18.48	21.00	24.72	22.92	26.10	25.86	21.42	22.14	25.44	—
						(26.32)	(26.52)	(24.84)	(23.72)	(21.72)	(20.92)	(21.52)	(18.80)	(23.04)	
	5	〃	11.60	14.32	18.28	23.56	25.82	22.42	23.10	20.91	20.26	20.56	18.40	22.48	—
			(9.92)	(12.20)	(13.52)	(12.60)	(12.86)	(14.40)	(15.68)	(15.40)	(15.24)	(16.84)	(17.40)	(20.00)	
	d	〃	9.56	12.20	13.36	12.34	12.82	14.06	15.42	15.26	15.20	16.02	16.76	19.66	—
			(9.12)	(11.12)	(12.00)	(12.60)	(13.52)	(12.72)	(14.00)	(14.80)	(13.44)	(15.04)	(16.20)	(18.00)	
	6	〃	8.90	11.08	11.90	12.33	13.36	12.60	13.40	13.94	13.72	14.92	16.10	17.90	—
			(10.40)	(10.92)	(11.68)	(12.72)	(13.20)	(13.12)	(14.48)	(15.00)	(16.00)	(17.32)	(18.80)	(19.80)	
	e	〃	10.20	10.80	11.55	12.56	13.00	12.94	14.04	14.70	15.80	17.20	18.20	19.50	—
			(11.52)	(11.72)	(12.80)	(13.32)	(13.80)	(13.80)	(16.72)	(17.40)	(17.83)	(18.60)	(20.08)	(21.28)	
	f	〃	11.16	11.46	12.60	13.22	13.40	13.46	16.36	17.20	17.50	18.26	19.94	21.10	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	7.88	—	9.80	—	11.48	—	15.24	—	15.68	—	17.40	—	—
	11	159	6.24	—	8.52	—	9.68	—	10.88	—	12.72	—	14.00	—	—
	12	161	4.68	—	6.88	—	7.92	—	8.60	—	10.12	—	10.72	—	—
	13	163	2.80	—	5.08	—	6.08	—	6.48	—	8.36	—	10.04	—	10.04
	14	165	1.80	—	3.60	—	4.36	—	4.92	—	7.08	—	8.68	—	8.28
	15	167	0.88	—	1.84	—	2.48	—	2.92	—	5.92	—	7.72	—	7.72
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	4.28	—	5.80	—	5.64
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	2.72	—	4.08	—	4.40
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.84	—	2.28	—	2.92

表-11 (11)

実験種別			自由越流時 流量2,680m³/sec 下流水位 EL 174.40m												
位置	測線	標高＼測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	2.28	—	4.12	—	5.60	—	5.60	—	5.60
	2	171	—	—	—	—	3.64	—	4.48	—	4.80	—	5.80	—	4.60
	3	169	—	—	—	—	5.16	—	5.12	—	4.72	—	5.88	—	6.12
	4	167	—	—	—	—	6.44	—	8.00	—	5.88	—	8.20	—	6.48
	5	165	2.56	—	10.56	—	7.48	—	6.12	—	6.52	—	8.76	—	7.40
	6	163	4.16	—	11.64	—	8.68	—	11.48	—	9.68	—	10.92	—	9.00
	7	161	6.12	—	14.88	—	11.72	—	12.48	—	11.64	—	14.40	—	—
	8	159	8.08	—	16.64	—	14.68	—	18.52	—	18.72	—	18.76	—	—
	9	157	11.48	—	19.92	—	20.36	—	—	—	—	—	24.48	—	—
水叩底面圧力		EL	(15.08)	(18.08)	(19.04)	(20.52)	(23.16)	(27.56)	(29.28)	(29.80)	(29.40)	(28.96)	(29.72)	(30.60)	
	a	155	13.86	16.70	17.98	19.94	22.44	26.80	28.46	28.88	28.18	27.78	27.12	29.70	—
	b	〃	14.60	14.24	15.68	17.80	20.52	23.28	23.80	24.52	25.40	(25.28) 24.50	(24.00) 23.00	(24.92) 24.16	—
	4	〃	(16.92) 16.44	(17.80) 17.36	15.80	15.84	17.20	19.16	20.80	21.32	(22.80) 22.10	(21.24) 21.74	(21.68) 21.26	(24.60) 24.20	—
	c	〃	15.68	16.84	17.92	21.48	20.20	20.80	(24.40) 22.50	24.92	25.40	22.52	22.60	(25.68) 25.54	—
	5	〃	14.28	16.20	19.72	(26.88) 25.70	(26.90) 26.36	(24.80) 23.66	(23.76) 23.28	(22.92) 22.50	(22.60) 21.56	(21.80) 21.48	21.80	(24.92) 23.42	—
	d	〃	11.88	14.68	16.64	17.00	(18.08) 17.90	(18.52) 17.72	(17.56) 17.20	(16.68) 16.58	(18.12) 17.70	(18.36) 18.02	(18.92) 18.88	(21.20) 20.82	—
	6	〃	10.56	12.36	13.84	13.88	14.76	14.60	15.88	15.48	16.04	16.84	17.52	18.40	—
	e	〃	11.64	12.28	13.20	14.24	16.84	15.52	16.36	16.84	17.20	17.92	18.76	19.64	—
	f	〃	12.60	12.76	13.84	14.72	(16.84) 15.92	(19.00) 18.56	(19.16) 18.78	(18.96) 18.66	(19.40) 18.96	(19.64) 19.58	(20.56) 20.12	(22.00) 21.68	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	9.60	—	11.00	—	13.20	—	17.00	—	17.40	—	8.68	—	—
	11	159	7.80	—	9.40	—	11.20	—	12.84	—	10.52	—	15.88	—	—
	12	161	6.32	—	8.00	—	9.40	—	10.68	—	12.20	—	13.60	—	—
	13	163	4.49	—	6.20	—	7.92	—	8.52	—	10.40	—	11.92	—	11.92
	14	165	3.32	—	4.80	—	6.28	—	6.88	—	9.12	—	10.60	—	9.80
	15	167	2.00	—	3.00	—	4.08	—	3.60	—	8.40	—	9.24	—	8.84
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	6.64	—	7.32	—	6.60
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	4.84	—	5.60	—	(5.12) 4.86
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	3.40	—	3.88	—	3.80

表-11 (12)

実験種別			自由越流時 流量 2,680m³/sec 下流水位 EL 176.40m												
位置	測線	測点 / 標高	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	3.80	—	5.48	—	7.20	—	6.92	—	7.16
	2	171	—	—	—	—	5.04	—	6.24	—	6.68	—	7.32	—	6.40
	3	169	—	—	—	—	6.52	—	6.80	—	6.48	—	7.64	—	7.88
	4	167	—	—	—	—	8.00	—	9.44	—	7.68	—	9.72	—	7.76
	5	165	5.12	—	7.44	—	9.24	—	9.00	—	8.68	—	10.80	—	9.60
	6	163	7.00	—	8.48	—	11.08	—	13.84	—	12.12	—	13.04	—	11.00
	7	161	9.04	—	11.80	—	13.72	—	15.48	—	15.00	—	16.52	—	—
	8	159	10.92	—	14.00	—	16.80	—	20.92	—	21.28	—	22.12	—	—
	9	157	14.20	—	16.90	—	23.20	—	24.80	—	26.00	—	26.80	—	—
水叩底面圧力		EL													
	a	155	16.28	18.00	19.08	21.22	23.12	26.12	(28.36) 27.84	(30.20) 29.74	(29.16) 28.72	(29.96) 29.76	29.72	31.48	—
	b	〃	13.68	16.48	18.20	20.20	21.40	24.16	24.08	24.92	25.76	25.48	25.96	27.72	—
	4	〃	15.80	18.08	17.72	18.68	20.20	21.48	22.56	23.12	23.40	22.48	22.60	23.88	—
	c	〃	17.32	18.20	19.72	21.28	21.68	22.68	(25.00) 24.36	(27.32) 26.60	(24.60) 24.32	22.52	22.88	(24.76) 24.48	—
	5	〃	(16.88) 16.64	(19.00) 18.74	(22.60) 22.04	(25.32) 24.64	(25.03) 22.92	(22.92) 22.30	(24.12) 23.24	(23.56) 23.48	(23.16) 22.92	22.23	22.28	23.00	—
	d	〃	14.44	16.28	18.52	19.52	20.68	19.60	19.68	18.76	19.72	20.20	20.28	21.48	—
	6	〃	13.20	14.76	16.28	15.12	16.84	16.60	17.80	17.60	18.00	17.92	18.68	20.00	—
	e	〃	13.56	14.40	15.12	16.28	17.16	17.32	17.88	18.60	18.92	18.88	19.72	20.56	—
	f	〃	14.12	14.60	(17.72) 16.90	(18.68) 17.78	20.20	20.12	20.28	20.56	20.84	31.00	21.00	22.60	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	11.56	—	13.12	—	(16.52) 16.01	—	18.60	—	18.56	—	19.80	—	—
	11	159	9.68	—	11.36	—	(13.80) 12.70	—	14.60	—	14.12	—	17.20	—	—
	12	161	8.36	—	9.68	—	(11.60) 11.82	—	12.60	—	14.24	—	14.92	—	—
	13	163	6.00	—	7.92	—	(9.56) 9.42	—	10.60	—	12.52	—	13.16	—	13.20
	14	165	4.96	—	7.04	—	7.68	—	9.00	—	11.00	—	11.68	—	11.00
	15	167	3.72	—	5.00	—	5.80	—	5.72	—	9.68	—	10.60	—	10.00
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	7.92	—	8.80	—	7.80
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	6.00	—	6.84	—	6.32
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	4.52	—	5.20	—	4.60

表-11 (13)

実験種別			自由越流時 流量 1,100m³/sec 下流水位 EL 166.00m												
位置	測線	測点 / 標高	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0.08	—	0.20	—	0	—	0	—	0.32
	2	171	—	—	—	—	0	—	0	—	0.04	—	0	—	0
	3	169	—	—	—	—	0.04	—	0.72	—	0.44	—	0.84	—	0.28
	4	167	—	—	—	—	0.48	—	1.64	—	2.12	—	2.48	—	1.40
	5	165	-0.44	—	0.28	—	2.12	—	3.52	—	3.80	—	4.04	—	3.08
	6	163	0.40	—	1.64	—	4.04	—	4.92	—	5.48	—	5.64	—	4.08
	7	161	1.24	—	3.44	—	5.32	—	6.64	—	7.04	—	7.20	—	—
	8	159	2.88	—	4.84	—	7.00	—	8.44	—	9.24	—	9.20	—	—
	9	157	5.28	—	6.60	—	8.84	—	10.68	—	11.44	—	11.64	—	—
水叩底面圧力		EL	(5.80)	(7.28)	(8.72)	(9.48)	(10.88)	(12.20)	(13.00)	(14.40)	(14.84)	(14.88)	(15.72)	(15.88)	
	a	155	5.42	7.10	8.40	9.46	10.84	11.90	12.72	14.22	14.68	14.40	15.60	15.00	—
	b	〃	5.12	5.88	8.24	9.12	11.56	11.72	(12.28) 12.14	(12.84) 12.48	(13.36) 13.32	12.60	12.68	12.96	—
	4	〃	4.92	6.76	7.80	9.00	10.24	10.48	10.92	10.32	10.28	10.32	10.44	(13.24) 12.92	—
	c	〃	7.00	7.96	8.32	9.24	9.32	10.20	10.08	11.16	10.48	10.44	10.52	10.60	—
	5	〃	7.40	8.60	13.24	(12.92) 12.60	(12.16) 11.90	(11.44) 12.20	(14.68) 14.28	(14.84) 14.54	(15.72) 14.92	12.08	10.52	12.68	—
	d	〃	5.28	6.76	9.18	9.08	9.72	10.68	10.92	11.28	11.32	10.60	10.60	(12.44) 13.00	—
	6	〃	4.44	6.60	8.60	9.64	10.28	10.52	10.20	10.28	10.12	10.68	11.16	11.92	—
	e	〃	6.24	6.80	7.68	9.80	10.68	10.52	10.48	10.60	10.52	11.08	11.68	11.88	—
	f	〃	7.60	7.32	8.64	(10.68) 10.20	10.52	10.68	10.84	10.64	11.04	11.52	11.72	12.16	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	5.78	—	6.44	—	8.60	—	8.92	—	9.68	—	9.80	—	—
	11	159	3.84	—	(4.84) 4.72	—	7.08	—	7.00	—	7.40	—	7.76	—	—
	12	161	1.90	—	3.40	—	5.20	—	5.24	—	5.56	—	6.16	—	—
	13	163	0.12	—	1.76	—	3.16	—	3.40	—	3.96	—	4.56	—	4.52
	14	165	0.60	—	0.76	—	2.04	—	1.72	—	2.40	—	3.08	—	2.76
	15	167	0.20	—	0.56	—	0.28	—	0.40	—	0.84	—	1.52	—	1.20
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12	—	0.60	—	0.20
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.24	—	0.12	—	0.04
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.04	—	0.08	—	0.00

表-11 (14)

実験種別			自由越流時 流量 1,100m³/sec 下流水位 EL 168.00m												
位置	測線	標高 \ 測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	—	—	0.12
	2	171	—	—	—	—	0.00	—	0.04	—	0.40	—	0.00	—	0.04
	3	169	—	—	—	—	0.36	—	0.48	—	1.00	—	1.28	—	0.72
	4	167	—	—	—	—	1.28	—	2.12	—	2.60	—	3.00	—	1.92
	5	165	—	—	1.64	—	3.08	—	3.88	—	4.88	—	4.72	—	3.88
	6	163	0.68	—	3.24	—	5.00	—	5.80	—	6.32	—	6.48	—	5.08
	7	161	(3.02) 2.68	—	4.12	—	6.76	—	7.56	—	7.92	—	8.20	—	—
	8	159	(5.12) 4.62	—	6.68	—	(8.80) 8.66	—	9.36	—	10.20	—	10.24	—	—
	9	157	6.64	—	8.32	—	10.36	—	11.44	—	(12.92) 12.52	—	12.44	—	—
水叩底面圧力		EL	(7.80)	(9.40)	(10.80)		(12.68)							(15.72)	
	a	155	7.68	9.32	10.72	11.60	12.60	12.92	13.28	13.80	14.36	14.84	14.96	15.58	—
	b	〃	7.56	8.44	10.60	11.28	12.20	12.64	13.24	13.56	13.96	13.72	13.92	14.60	—
	4	〃	7.36	8.96	10.28	11.04	12.04	12.28	12.56	12.20	12.24	12.40	12.44	13.52	—
	c	〃	9.20	9.92	10.48	11.04	11.00	11.72	(11.60) 11.48	12.08	(11.80) 11.72	11.68	11.80	13.40	—
	5	〃	(10.08) 9.88	11.00	13.96	(12.36) 12.24	12.56	(13.40) 13.06	(13.96) 13.80	(14.04) 13.98	(15.40) 15.12	12.52	12.00	(13.96) 13.74	—
	d	〃	7.56	9.36	10.76	10.60	11.60	12.60	(13.20) 13.04	(13.28) 13.18	(13.24) 13.18	12.01	12.32	13.80	—
	6	〃	6.40	8.60	10.40	11.00	11.72	12.36	12.20	12.24	12.64	12.08	12.60	13.16	—
	e	〃	7.84	8.48	9.72	11.32	11.96	12.18	12.12	12.20	12.44	12.60	12.80	13.04	—
	f	〃	9.04	9.00	10.92	11.64	12.28	12.24	12.32	12.44	12.60	13.08	13.00	13.36	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	5.52	—	8.32	—	9.64	—	10.40	—	10.80	—	11.20	—	—
	11	159	4.01	—	6.60	—	8.16	—	8.20	—	8.76	—	9.00	—	—
	12	161	2.84	—	5.12	—	6.32	—	6.28	—	6.64	—	7.04	—	—
	13	163	0.80	—	3.24	—	4.48	—	4.60	—	5.00	—	5.40	—	5.40
	14	165	0.40	—	1.68	—	3.12	—	2.84	—	3.36	—	3.96	—	3.68
	15	167	0.20	—	0.44	—	0.64	—	1.04	—	1.76	—	2.36	—	2.08
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	—	0.68	—	0.44
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.24	—	0.12	—	0.01
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12	—	0.16	—	0.00

表-11 (15)

実験種別			自由越流時 流量1,100m³/sec 下流水位 EL 170.00m												
位置	測線	標高＼測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		EL													
左岸側壁面圧力	1	173	—	—	—	—	0	—	-0.16	—	0.04	—	—	—	0
	2	171	—	—	—	—	0.36	—	0.60	—	0.92	—	0.64	—	0.44
	3	169	—	—	—	—	(1.56) 1.34	—	2.28	—	2.44	—	2.36	—	2.00
	4	167	—	—	—	—	2.68	—	3.96	—	4.24	—	4.12	—	3.00
	5	165	(0.68) 0.60	—	3.00	—	5.16	—	5.48	—	6.20	—	6.04	—	5.56
	6	163	(2.92) 2.82	—	4.60	—	(7.00) 6.68	—	7.48	—	8.01	—	7.96	—	6.88
	7	161	(4.88) 4.60	—	(6.88) 6.66	—	8.01	—	9.12	—	9.72	—	9.72	—	—
	8	159	(6.28) 6.14	—	8.52	—	10.08	—	11.00	—	11.96	—	11.92	—	—
	9	157	8.48	—	10.16	—	12.04	—	13.04	—	13.64	—	14.00	—	—
		EL													
水叩底面圧力	a	155	9.96	11.40	12.44	13.36	(14.32) 14.24	14.68	14.96	15.40	15.84	16.00	16.28	16.88	—
	b	〃	9.44	10.48	12.44	13.00	13.96	14.36	14.68	14.96	15.28	15.24	15.52	16.48	—
	4	〃	9.44	10.96	11.92	12.84	13.84	14.36	14.52	14.48	14.24	14.44	15.16	15.00	—
	c	〃	11.00	11.56	12.24	12.80	13.08	13.64	13.60	14.04	13.72	13.48	13.64	15.32	—
	5	〃	11.40	12.80	14.64	13.56	14.08	(14.60) 14.38	(15.48) 15.36	15.25	(15.60) 15.50	13.88	13.96	(15.16) 15.06	—
	d	〃	9.60	11.32	12.80	12.60	13.12	13.96	14.52	15.20	15.00	13.96	14.32	15.50	—
	6	〃	8.64	10.48	12.00	12.40	12.28	13.36	13.80	14.08	14.32	14.60	14.68	14.84	—
	e	〃	9.76	11.12	12.00	13.12	12.88	13.40	13.68	14.08	14.56	13.76	14.68	15.00	—
	f	〃	10.60	10.84	12.20	13.60	13.48	13.64	13.80	14.16	14.68	15.00	15.04	15.20	—
		EL													
右岸側壁面圧力	10	157	7.64	—	9.68	—	10.92	—	11.72	—	12.72	—	13.00	—	—
	11	159	5.92	—	8.44	—	9.24	—	9.68	—	10.60	—	10.92	—	—
	12	161	4.16	—	6.64	—	7.40	—	7.92	—	8.68	—	9.00	—	—
	13	163	2.12	—	4.68	—	5.52	—	5.28	—	6.92	—	7.08	—	7.32
	14	165	1.04	—	3.00	—	4.20	—	4.52	—	5.24	—	5.40	—	5.60
	15	167	0.28	—	1.04	—	1.80	—	2.72	—	3.72	—	4.00	—	3.96
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	2.01	—	2.32	—	2.08
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.52	—	0.64	—	0.44
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.08	—	0.16	—	0.00

表-11 (16)

実験種別			自由越流時 流量 1,600m³/sec 下流水位 EL 168.00m												
位置	測線	測点 / 標高	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0.04	—	0.52	—	0.24	—	0.52	—	0.84
	2	171	—	—	—	—	0.24	—	0.68	—	1.00	—	1.96	—	1.88
	3	169	—	—	—	—	1.00	—	2.04	—	2.68	—	3.32	—	3.40
	4	167	—	—	—	—	2.28	—	3.48	—	4.28	—	4.76	—	3.72
	5	165	0.00	—	-0.62	—	3.32	—	3.56	—	4.80	—	5.40	—	3.60
	6	163	0.28	—	2.00	—	4.60	—	6.04	—	5.60	—	5.80	—	4.56
	7	161	1.24	—	3.60	—	6.28	—	7.00	—	6.00	—	6.84	—	—
	8	159	(3.08) 2.94	—	5.08	—	8.56	—	10.52	—	10.04	—	8.44	—	—
	9	157	5.00	—	7.24	—	11.96	—	(16.12) 15.68	—	15.56	—	13.60	—	—
水叩底面圧力		EL	(6.64)	(8.16)	(10.20)	(12.32)	(14.48)	(16.20)	(16.64)	(17.32)					
	a	155	6.36	8.08	9.96	13.80	13.72	15.92	16.32	17.10	17.92	17.80	17.68	20.40	—
	b	〃	5.40	6.84	9.60	11.00	12.88	14.40	14.28	14.32	14.44	13.20	12.84	(18.08) 17.64	—
	4	〃	5.60	8.80	9.12	9.80	10.64	10.88	10.84	10.28	10.20	11.00	10.04	17.40	—
	c	〃	8.60	(12.40) 11.40	12.20	11.60	11.48	13.60	(14.68) 15.98	(18.88) 18.44	(19.32) 17.56	(14.48) 14.32	(12.92) 12.56	18.08	—
	5	〃	7.60	9.32	(15.28) 12.04	(13.68) 14.50	(13.80) 13.44	(14.72) 13.14	(17.92) 14.52	(17.04) 17.50	(16.84) 16.34	(12.64) 16.60	(17.24) 12.36	17.08	—
	d	〃	6.60	8.44	10.24	10.72	11.00	11.08	11.12	10.44	10.48	10.80	11.40	(15.64) 15.26	—
	6	〃	5.92	8.40	10.52	11.16	11.48	11.60	11.24	10.24	10.00	10.08	11.60	14.20	—
	e	〃	6.80	8.40	10.20	11.20	11.52	11.48	10.92	10.44	10.12	10.40	11.28	(13.92) 13.70	—
	f	〃	8.80	9.12	11.00	11.52	11.80	11.44	11.20	10.48	10.40	11.16	(12.04) 11.82	15.04	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	5.24	—	7.88	—	9.16	—	9.08	—	8.88	—	10.84	—	—
	11	159	3.84	—	6.24	—	7.52	—	6.92	—	6.76	—	(9.08) 8.70	—	—
	12	161	2.48	—	4.88	—	5.80	—	5.20	—	(5.00) (4.84)	—	(7.28) 7.02	—	—
	13	163	0.60	—	3.04	—	3.76	—	3.28	—	5.32	—	(5.48) 5.24	—	6.60
	14	165	0.24	—	1.36	—	2.44	—	1.48	—	1.80	—	(3.96) 3.84	—	5.08
	15	167	0.20	—	0.28	—	0.48	—	0.40	—	0.60	—	2.44	—	3.72
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12	—	0.92	—	1.80
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.24	—	0.16	—	0.40
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.08	—	0.12	—	0.12

表-11 (17)

実験種別			自由越流時 流量1,600m³/sec 下流水位 EL 170.00m												
位置	測線	標高＼測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	0.04	—	0.00	—	0.40	—	1.04	—	1.32
	2	171	—	—	—	—	0.12	—	1.48	—	1.88	—	2.44	—	2.56
	3	169	—	—	—	—	0.88	—	3.24	—	3.60	—	4.32	—	4.32
	4	167	—	—	—	—	2.44	—	4.76	—	5.12	—	5.80	—	4.48
	5	165	0.28	—	2.28	—	3.40	—	4.96	—	5.88	—	7.16	—	5.44
	6	163	(1.52) 1.20	—	3.68	—	5.88	—	7.28	—	6.84	—	7.28	—	6.28
	7	161	(3.56) 3.40	—	(5.72) 5.38	—	7.96	—	8.52	—	7.72	—	8.68	—	—
	8	159	4.68	—	6.92	—	10.08	—	11.76	—	11.60	—	11.24	—	—
	9	157	7.16	—	9.28	—	13.40	—	16.68	—	16.20	—	16.04	—	—
水叩底面圧力		EL					(15.64)	(16.52)	(17.60)						
	a	155	8.20	10.28	12.16	14.04	15.26	16.36	16.92	17.64	18.40	19.20	19.40	21.08	—
	b	〃	7.80	9.32	11.72	12.72	14.08	14.84	15.04	15.20	15.44	15.08	15.72	19.56	—
	4	〃	8.12	10.76	10.84	11.56	12.20	12.48	12.76	12.40	12.12	12.36	12.80	17.76	—
	c	〃	10.84	12.80	13.24	13.08	13.12	14.92	14.60	17.44	17.72	14.68	13.72	17.96	—
	5	〃	9.72	11.40	14.20	(16.48) 15.94	14.60	(14.60) 14.20	15.60	(18.40) 18.02	(19.80) 19.50	17.44	14.44	17.22	—
	d	〃	8.20	9.88	11.36	(11.96) 11.40	12.20	12.40	12.56	12.68	13.40	13.20	12.96	(16.76) 16.38	—
	6	〃	7.56	10.12	11.16	12.24	12.40	13.00	12.40	12.00	11.80	12.08	12.92	15.56	—
	e	〃	9.24	(10.00) 9.60	11.60	12.60	12.92	12.40	12.00	11.88	12.20	12.76	13.88	15.60	—
	f	〃	10.12	10.40	11.81	(13.20) 12.90	(13.60) 13.18	(12.80) 12.60	(12.28) 12.24	13.00	14.04	14.04	14.76	(16.40) 16.20	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	6.76	—	9.48	—	11.00	—	10.52	—	11.00	—	13.00	—	—
	11	159	5.00	—	7.80	—	9.48	—	8.40	—	8.88	—	10.24	—	—
	12	161	3.44	—	6.20	—	7.28	—	6.52	—	6.80	—	8.48	—	—
	13	163	1.60	—	4.28	—	5.40	—	5.00	—	5.28	—	7.00	—	7.80
	14	165	1.12	—	2.84	—	4.20	—	3.20	—	3.60	—	5.20	—	6.22
	15	167	0.40	—	1.40	—	1.68	—	1.88	—	2.36	—	3.80	—	4.80
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	0.72	—	2.20	—	2.88
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	0.28	—	0.80	—	1.24
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	—	0.20	—	0.52

表-11 (18)

実験種別			自由越流時 流量1,600m³/sec 下流水位EL 172.00m												
位置	測線	標高 \ 測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力	1	EL 173	—	—	—	—	(0.08) 0.04	—	(0.88) 0.72	—	1.72	—	2.63	—	2.00
	2	171	—	—	—	—	(1.00) 0.76	—	(3.00) 2.52	—	3.24	—	4.48	—	3.44
	3	169	—	—	—	—	(3.40) 2.86	—	4.40	—	4.80	—	5.00	—	5.00
	4	167	—	—	—	—	(4.20) 3.96	—	5.84	—	6.20	—	7.00	—	5.00
	5	165	(1.40) 1.30	—	4.60	—	(5.20) 5.06	—	6.68	—	7.44	—	7.84	—	7.00
	6	163	(3.60) 3.28	—	5.60	—	(8.32) 7.94	—	9.00	—	8.04	—	7.48	—	7.32
	7	161	(5.56) 5.22	—	7.44	—	14.04	—	10.64	—	10.20	—	10.56	—	—
	8	159	(7.68) 7.34	—	9.12	—	11.92	—	14.80	—	(14.00) 13.80	—	13.00	—	—
	9	157	9.48	—	11.16	—	14.42	—	17.40	—	(18.48) 18.22	—	17.12	—	—
水叩底面圧力	a	EL 155	10.88	12.32	13.56	15.24	16.48	(18.24) 18.10	(19.32) 19.10	(19.64) 19.50	20.08	20.20	20.12	21.08	—
	b	〃	10.44	11.40	12.92	14.40	15.88	17.32	17.88	17.72	18.12	17.12	17.68	(19.56) 19.34	—
	4	〃	10.68	12.48	12.68	13.60	14.56	15.04	15.64	15.12	14.68	15.28	15.48	19.64	—
	c	〃	12.28	14.52	14.44	14.32	14.48	16.52	16.88	18.12	17.28	18.16	16.68	19.04	—
	5	〃	12.48	14.72	16.72	(17.80) 17.20	(18.48) 18.02	17.54	18.04	18.20	18.84	17.72	15.64	17.40	—
	d	〃	10.40	12.28	13.88	13.80	14.44	14.72	15.00	15.80	(16.20) 16.04	15.40	15.08	(18.08) 17.64	—
	6	〃	9.32	11.36	12.64	13.12	13.16	13.32	14.16	14.44	14.92	15.04	15.48	16.76	—
	e	〃	10.52	11.12	(12.12) 11.94	(13.16) 12.94	(13.92) 13.60	(13.96) 13.74	14.68	15.20	15.64	16.08	16.40	16.68	—
	f	〃	11.48	11.64	13.00	13.92	13.84	13.88	15.04	15.92	16.36	16.52	16.60	17.08	—
右岸側壁面圧力	10	EL 157	8.20	—	10.80	—	12.00	—	12.80	—	14.48	—	14.76	—	—
	11	159	6.68	—	(10.24) 9.62	—	10.08	—	11.04	—	12.40	—	12.92	—	—
	12	161	5.36	—	7.80	—	8.12	—	8.80	—	10.20	—	11.04	—	—
	13	163	3.28	—	5.68	—	6.40	—	6.92	—	8.36	—	9.16	—	9.40
	14	165	2.20	—	2.28	—	5.12	—	5.32	—	6.72	—	7.24	—	7.48
	15	167	0.88	—	2.28	—	2.92	—	3.64	—	5.00	—	5.84	—	5.80
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	3.28	—	4.12	—	4.64
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	1.80	—	2.76	—	3.20
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.52	—	1.32	—	1.56

表-11 (19)

実験種別			自由越流時 流量2,200m³/sec 下流水位 EL 170.40m												
位置	測線	測点 / 標高	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	(−0.60) −0.92	—	0.92	—	3.12	—	4.24	—	4.20
	2	171	—	—	—	—	(1.00) 0.60	—	3.08	—	3.68	—	4.80	—	3.72
	3	169	—	—	—	—	1.56	—	4.04	—	4.04	—	4.68	—	4.52
	4	167	—	—	—	—	2.80	—	5.64	—	4.76	—	6.08	—	5.60
	5	165	0.28	—	2.20	—	4.01	—	(5.16) 4.74	—	4.80	—	10.36	—	4.64
	6	163	(1.16) 0.88	—	3.52	—	6.20	—	8.28	—	6.68	—	7.44	—	5.72
	7	161	(3.60) 3.26	—	5.64	—	8.76	—	9.00	—	7.40	—	9.80	—	—
	8	159	(4.68) 4.40	—	7.68	—	14.04	—	13.76	—	13.12	—	13.12	—	—
	9	157	(7.40) 7.04	—	11.32	—	15.40	—	21.56	—	21.24	—	20.36	—	—
水叩底面圧力		EL													
	a	155	(8.60) 8.30	11.16	(15.08) 14.78	16.40	(19.84) 19.04	(21.88) 21.04	(21.80) 21.50	23.40	24.28	24.64	25.04	27.16	—
	b	〃	7.44	10.40	11.56	13.44	15.16	17.60	(18.00) 17.40	18.04	18.68	19.28	20.04	(24.80) 23.42	—
	4	〃	9.40	9.32	11.36	11.84	12.52	13.36	14.04	15.20	(16.80) 16.40	(18.20) 16.80	(18.80) 18.20	25.60	—
	c	〃	12.20	13.40	14.96	15.80	17.20	(21.84) 19.92	(21.20) 20.20	(24.60) 23.50	(25.20) 22.64	19.80	19.60	25.20	—
	5	〃	9.80	11.48	14.96	(23.32) 21.86	21.40	(22.20) 21.70	21.80	20.68	20.52	20.00	23.36	22.36	—
	d	〃	8.68	10.12	11.44	11.20	12.04	12.52	12.60	12.56	13.48	13.84	14.36	18.28	—
	6	〃	7.56	9.84	11.32	11.76	12.44	12.00	12.48	12.00	12.24	13.04	14.20	16.28	—
	e	〃	8.92	9.76	11.00	11.84	11.96	11.88	11.92	12.40	13.56	14.68	15.80	17.64	—
	f	〃	10.52	10.76	11.84	12.52	12.40	12.60	13.04	13.76	14.68	16.12	17.00	18.68	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	6.60	—	9.20	—	10.40	—	12.20	—	14.00	—	14.92	—	—
	11	159	5.00	—	8.20	—	8.60	—	9.00	—	11.36	—	12.32	—	—
	12	161	3.68	—	6.20	—	6.80	—	7.12	—	8.80	—	10.40	—	—
	13	163	1.52	—	4.20	—	5.00	—	5.32	—	7.00	—	8.84	—	9.00
	14	165	1.04	—	2.44	—	4.20	—	3.68	—	5.44	—	7.20	—	7.20
	15	167	0.04	—	0.88	—	1.40	—	2.76	—	4.00	—	6.04	—	6.20
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	2.48	—	4.20	—	4.32
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	2.00	—	2.40	—	3.00
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	0.24	—	1.56	—	1.28

表-11 (20)

実験種別			自由越流時 流量2,200m³/sec 下流水位 EL 172.40m												
位置	測線	標高 \ 測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力	1	EL 173	—	—	—	—	0.28	—	(2.60) 2.12	—	4.20	—	5.16	—	5.04
	2	171	—	—	—	—	1.04	—	3.32	—	4.68	—	5.24	—	4.04
	3	169	—	—	—	—	3.24	—	4.44	—	4.60	—	5.08	—	5.20
	4	167	—	—	—	—	4.24	—	6.60	—	5.72	—	6.80	—	6.16
	5	165	(1.36) 1.14	—	3.80	—	6.40	—	6.16	—	6.04	—	7.04	—	6.40
	6	163	(2.92) 2.66	—	5.08	—	7.80	—	9.20	—	8.12	—	8.60	—	7.76
	7	161	(5.32) 4.70	—	7.00	—	9.64	—	10.45	—	9.16	—	11.36	—	—
	8	159	(6.76) 6.16	—	8.80	—	12.12	—	15.04	—	(15.20) 15.06	—	15.20	—	—
	9	157	(9.48) 9.14	—	11.28	—	16.60	—	(24.00) 22.18	—	(23.88) 23.54	—	21.00	—	—
水叩底面圧力	a	EL 155	(10.48) 10.06	(13.40) 13.14	(16.12) 15.80	18.00	(20.64) 19.80	(21.04) 20.88	(24.08) 23.44	(24.92) 24.46	(26.52) 26.40	(25.32) 25.22	(25.24) 25.06	(27.36) 26.98	—
	b	〃	9.80	12.08	13.40	14.92	17.28	19.36	20.12	21.00	21.20	20.20	(21.28) 20.84	(23.12) 23.00	—
	4	〃	(12.20) 12.02	(13.68) 13.58	(13.24) 13.12	(13.92) 13.86	(14.60) 14.50	(15.56) 15.40	(16.32) 16.16	(17.52) 17.26	(18.24) 18.10	(18.48) 18.34	(17.72) 17.46	(22.76) 21.94	—
	c	〃	13.88	14.96	16.08	17.52	17.40	(19.40) 19.06	(20.68) 19.50	(23.92) 23.46	(22.48) 21.84	(20.28) 20.06	(20.52) 19.74	(24.02) 23.72	—
	5	〃	(12.44) 12.26	14.72	17.28	(21.68) 20.48	(21.80) 21.16	(22.60) 21.74	(21.12) 20.54	(22.32) 21.86	(21.40) 20.66	(20.32) 20.18	(20.24) 19.82	(22.72) 22.08	—
	d	〃	(10.40) 10.10	(12.00) 11.64	(13.80) 13.60	(13.36) 13.12	(13.84) 13.66	(14.72) 14.40	(15.24) 15.12	(15.40) 15.20	(15.68) 15.58	(15.80) 15.74	(17.12) 19.96	(19.56) 19.06	—
	6	〃	9.20	11.28	12.52	12.72	13.28	13.40	13.80	13.68	14.52	14.88	15.68	17.40	—
	e	〃	10.60	11.12	11.80	12.84	13.32	13.40	13.80	14.92	15.76	16.04	17.16	18.32	—
	f	〃	11.20	11.64	17.76	13.40	13.24	(14.32) 14.10	(15.40) 15.30	(17.00) 16.66	(17.00) 16.74	(17.80) 17.40	(18.40) 18.26	(19.40) 19.20	—
右岸側壁面圧力	10	EL 157	7.72	—	10.12	—	11.48	—	13.72	—	15.08	—	16.44	—	—
	11	159	6.08	—	8.88	—	9.68	—	10.56	—	12.72	—	13.72	—	—
	12	161	4.88	—	7.24	—	7.64	—	8.68	—	10.44	—	11.56	—	—
	13	163	2.84	—	5.24	—	6.04	—	6.76	—	8.52	—	9.88	—	9.80
	14	165	2.00	—	3.72	—	5.32	—	5.08	—	6.72	—	8.48	—	8.20
	15	167	0.92	—	1.88	—	2.56	—	3.12	—	5.44	—	7.24	—	6.96
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	4.20	—	5.40	—	5.08
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	2.68	—	4.60	—	3.28
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	1.08	—	1.72	—	1.56

表-11 (21)

実験種別			自由越流時 流量2,200m³/sec 下流水位 EL 174.40m												
位置	測線	測点 / 標高	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
左岸側壁面圧力		EL													
	1	173	—	—	—	—	(0.60) 0.40	—	3.60	—	5.24	—	5.72	—	5.80
	2	171	—	—	—	—	(3.00) 2.38	—	5.00	—	5.28	—	6.20	—	5.32
	3	169	—	—	—	—	(5.20) 4.44	—	5.80	—	5.60	—	6.68	—	6.60
	4	167	—	—	—	—	6.20	—	7.88	—	7.00	—	8.36	—	7.40
	5	165	(3.56) 3.16	—	5.40	—	7.72	—	7.28	—	7.56	—	9.00	—	8.24
	6	163	(5.52) 5.18	—	7.78	—	9.64	—	11.20	—	10.12	—	10.80	—	9.64
	7	161	(7.40) 7.10	—	9.64	—	11.66	—	13.20	—	12.12	—	13.60	—	—
	8	159	(8.72) 8.54	—	11.65	—	14.60	—	(18.20) 17.96	—	(18.00) 17.84	—	17.00	—	—
	9	157	(11.40) 11.30	—	14.12	—	19.00	—	(24.24) 23.54	—	24.36	—	21.40	—	—
水叩底面圧力		EL													
	a	155	15.28	17.32	16.48	17.88	19.00	20.28	(20.92) 20.44	(24.50) 24.20	(21.72) 21.52	20.48	19.80	21.88	—
	b	〃	14.04	16.04	(19.00) 18.32	(21.16) 18.40	(24.12) 22.20	(21.72) 21.20	21.28	21.00	20.60	(20.64) 20.50	20.84	(22.76) 22.28	—
	4	〃	12.04	13.88	15.64	15.48	16.08	16.68	16.84	16.52	16.48	17.80	17.60	18.84	—
	c	〃	12.96	14.84	16.64	18.52	(20.28) 20.56	(23.32) 23.00	(24.92) 24.72	25.72	26.60	25.24	24.28	26.64	—
	5	〃	12.68	13.92	15.36	17.00	18.88	20.80	21.88	22.48	22.80	21.72	21.76	(23.20) 22.66	—
	d	〃	13.48	15.80	15.48	15.96	16.84	18.52	19.24	19.56	19.52	19.08	18.60	22.12	—
	6	〃	11.08	12.76	14.24	14.36	15.08	15.00	16.04	16.08	16.56	16.68	17.00	18.46	—
	e	〃	12.04	12.08	13.16	14.28	14.92	15.40	16.08	16.40	17.08	17.68	18.24	18.64	—
	f	〃	12.72	12.88	13.76	14.68	17.78	17.44	18.16	18.44	18.52	18.96	19.00	19.84	—
右岸側壁面圧力		EL													
	10	157	10.04	—	11.48	—	13.60	—	15.24	—	16.68	—	19.08	—	—
	11	159	8.24	—	10.04	—	11.60	—	13.28	—	14.40	—	14.96	—	—
	12	161	6.68	—	8.36	—	9.68	—	11.24	—	11.96	—	13.00	—	—
	13	163	4.76	—	6.52	—	8.04	—	9.44	—	10.40	—	11.40	—	11.48
	14	165	3.56	—	5.20	—	6.40	—	6.08	—	9.40	—	9.72	—	9.72
	15	167	2.00	—	3.64	—	6.68	—	6.80	—	7.60	—	8.00	—	8.04
	16	168	—	—	—	—	—	—	—	—	5.56	—	6.24	—	6.24
	17	171	—	—	—	—	—	—	—	—	4.04	—	4.40	—	4.44
	18	173	—	—	—	—	—	—	—	—	2.08	—	2.64	—	2.52

表-12（1）シル圧力分布実験値

測点 / 標高 / 測線	実験種別 1	実験種別 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	門扉操作時 流量 1,100 m³/sec 下流水位 EL 166.0m																	
EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	14.64	13.72	12.80	10.68	10.60	11.76	11.52	(11.72) 11.38	10.72	8.96	(8.76) 8.48	9.52	8.92	8.40	7.84	4.40	5.00	5.32
b	14.76	(14.84) 13.60	(13.52) 13.00	10.80	9.80	10.44	10.12	9.36	9.80	8.68	8.64	9.28	8.76	8.20	7.32	4.04	4.48	5.00
4	14.32	(14.72) 14.30	13.76	9.08	9.60	10.60	9.36	8.92	9.84	8.56	8.48	9.40	9.00	8.28	8.00	4.40	4.84	4.60
c	(19.32) 16.14	14.20	10.04	9.12	10.20	9.96	9.28	10.12	9.68	8.52	9.08	8.80	8.96	8.16	4.84	4.96	5.24	5.20
5	14.76	14.60	13.08	9.60	9.12	9.96	9.44	8.36	9.08	8.32	8.32	9.04	8.64	8.04	7.44	4.60	4.68	5.12
6	11.92	11.08	11.04	9.64	9.56	0.08	9.72	9.00	8.52	7.92	7.96	8.36	8.04	7.24	6.40	4.52	5.08	5.20
f	12.28	11.20	10.32	10.16	10.24	10.20	10.12	9.12	8.12	7.60	8.00	8.32	8.08	7.08	6.12	5.48	5.64	5.12

測点 / 標高 / 測線	実験種別 1	実験種別 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	門扉操作時 流量 1,100 m³/sec 下流水位 EL 168.0m																	
EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	16.00	15.24	13.91	11.00	11.20	12.52	12.20	12.16	11.71	9.72	9.80	10.20	9.80	9.24	8.48	5.96	6.52	6.68
b	15.60	14.92	13.60	10.84	11.40	11.84	11.80	10.72	8.24	9.68	9.56	10.24	9.72	8.96	8.48	6.04	6.20	6.36
4	15.20	(16.08) 15.74	14.64	10.68	10.28	11.24	10.80	9.52	10.60	9.32	9.16	10.20	9.72	9.08	8.88	5.96	6.20	6.24
c	(16.52) 16.02	(17.20) 16.76	14.76	10.80	10.04	11.12	10.48	9.32	10.24	9.28	9.36	10.08	9.56	9.08	8.64	6.32	6.32	6.28
5	15.32	15.12	13.68	10.64	10.40	11.00	10.56	9.52	9.88	9.20	8.96	9.72	9.32	8.56	8.20	6.00	6.12	6.20
6	13.12	12.12	11.64	10.68	10.68	11.08	10.84	9.92	9.48	8.96	8.92	9.28	9.00	8.32	7.32	5.88	6.32	6.40
f	13.12	12.12	11.16	11.08	11.20	11.16	11.12	10.12	9.28	9.08	9.04	9.32	8.96	8.04	7.72	6.80	6.80	6.40

表-12 （2）

測点 / 標高 / 測線	実験種別		門扉操作一時 流量 1,100 m^3/sec 下流水位 EL 170.0m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.00	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(16.63) 16.28	(15.32) 15.06	(14.32) 14.16	13.28	13.36	13.72	13.48	13.04	11.96	11.08	11.24	11.64	11.24	10.44	9.60	8.00	8.48	8.56
b	15.80	15.32	14.28	11.32	13.00	13.44	13.20	12.20	11.68	11.00	10.88	11.60	11.00	10.16	9.40	8.08	8.24	8.44
4	16.80	15.52	15.08	12.68	12.24	13.36	12.92	11.96	12.40	10.88	10.80	11.76	11.28	10.56	10.28	7.72	7.92	8.36
c	(16.80) 16.50	(17.44) 17.12	15.60	12.80	12.12	13.60	13.04	11.88	12.60	11.08	10.88	11.80	11.20	10.80	10.56	8.48	8.62	8.40
5	16.20	15.84	14.96	12.60	12.32	13.00	12.60	11.64	11.40	11.36	10.88	11.40	11.00	10.16	10.00	8.28	8.24	8.28
6	(14.68) 14.50	(13.92) 13.76	13.20	12.48	12.52	12.72	12.60	11.76	11.00	10.64	10.68	10.92	10.60	9.76	9.00	8.32	8.40	8.44
f	14.24	13.60	12.64	12.64	12.80	12.72	12.68	11.60	10.64	10.60	10.72	10.84	10.68	9.56	8.44	8.60	8.64	8.48

測点 / 標高 / 測線	実験種別		門扉操作時 流量 1,600 m^3/sec 下流水位 EL 168.0m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.00	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(23.60) 22.54	(23.72) 22.96	(21.20) 20.66	(10.32) 9.94	(9.04) 9.50	(11.28) 11.14	(7.20) 6.90	(7.72) 6.76	(11.32) 10.96	6.20	6.28	7.24	6.92	6.04	7.88	5.44	5.60	5.60
b	(20.52) 20.16	(19.80) 19.30	(18.12) 17.16	10.00	9.00	10.20	10.04	8.40	12.00	9.64	9.60	10.72	10.08	9.48	8.92	5.20	5.60	5.48
4	(20.28) 19.84	(20.40) 19.70	(17.80) 17.20	(10.00) 9.96	11.40	10.60	9.88	8.16	(12.08) 10.94	9.48	9.32	10.44	10.20	9.40	10.12	5.44	5.68	5.60
c	(19.38) 19.08	(21.48) 20.50	(17.68) 17.50	9.84	8.88	10.92	9.88	8.40	10.48	9.32	9.40	10.24	9.56	9.36	8.64	5.48	5.60	5.72
5	18.08	18.24	17.52	9.76	8.40	10.48	9.52	7.96	10.44	10.00	9.20	10.68	10.12	9.68	9.40	5.12	5.04	5.20
6	14.32	14.12	13.76	10.28	9.52	10.92	10.48	9.64	10.60	8.60	8.16	9.44	9.00	8.72	8.40	4.44	4.64	5.00
f	14.84	13.92	12.48	10.92	11.12	11.48	11.12	10.32	9.60	9.08	8.88	9.40	9.12	8.12	7.00	4.84	5.80	5.08

表-12 (3)

測線 \ 測点	実験種別		門扉操作時 流量 1,600 m³/sec 下流水位 EL 170.0m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高 EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(20.96) 20.60	(20.88) 20.52	(18.92) 18.80	12.84	11.92	13.96	13.04	(15.00) 14.00	(16.60) 16.30	11.64	11.44	12.92	12.40	11.92	(12.20) 12.10	7.16	7.28	9.24
b	21.84	22.20	19.52	12.00	12.04	11.88	11.80	14.00	11.04	10.60	11.88	11.44	11.36	12.40	7.56	7.48	7.28	7.28
4	(20.80) 20.60	(21.36) 20.58	18.72	11.08	10.52	11.96	11.36	10.40	12.40	10.52	10.72	11.88	11.30	10.60	11.00	7.28	7.44	7.00
c	(19.20) 18.96	(20.40) 19.48	(18.00) 17.78	9.60	10.24	12.12	(13.00) 12.34	11.24	(10.00) 9.54	11.40	10.48	10.40	11.80	9.80	9.36	9.84	7.28	7.40
5	(18.84) 18.42	(18.52) 18.10	(17.48) 16.27	11.64	10.52	12.50	11.88	10.48	(13.20) 12.74	10.52	10.16	11.80	11.20	10.60	10.96	7.00	7.00	6.96
6	(16.04) 15.84	(15.80) 15.21	(15.28) 15.10	13.84	11.20	12.60	12.20	11.48	12.00	9.80	9.40	10.40	10.00	9.32	9.48	6.52	6.64	6.48
f	(16.20) 15.98	(15.20) 15.00	(13.92) 13.82	12.28	12.56	12.68	12.60	11.84	11.36	10.48	10.28	10.68	10.40	9.60	8.40	6.88	7.60	7.12

測線 \ 測点	実験種別		門扉操作時 流量 1,600 m³/sec 下流水位 EL 172.0m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高 EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(21.88) 21.64	(22.16) 21.16	(20.52) 19.78	(14.88) 14.36	(13.96) 13.94	(16.40) 16.14	(16.64) 15.81	(16.00) 15.56	(16.88) 16.40	(13.32) 12.90	(13.00) 13.74	(14.72) 14.30	(14.12) 13.80	13.28	14.08	9.40	9.60	9.60
b	(20.40) 20.30	(20.12) 19.60	(20.00) 19.14	14.40	(17.42) 13.92	(16.32) 15.00	(14.88) 14.56	(14.40) 14.04	(16.12) 15.60	14.92	12.40	14.04	13.28	12.32	13.60	9.40	9.72	9.40
4	(20.72) 20.12	(20.24) 19.86	(19.68) 19.04	17.88	14.00	15.80	15.00	14.00	15.08	12.60	12.12	13.52	13.12	12.40	(13.32) 13.20	9.48	9.22	9.56
c	20.20	(20.60) 20.20	(19.20) 18.80	11.72	12.48	14.00	13.24	12.32	13.44	12.08	12.04	12.80	12.28	11.80	11.72	9.72	9.80	9.60
5	18.60	18.00	17.00	13.28	12.52	13.96	13.12	11.68	13.60	12.12	12.00	13.00	12.44	11.80	11.96	9.04	9.08	9.12
6	16.20	15.92	15.60	13.40	13.08	14.00	13.64	12.80	13.24	11.64	11.40	12.40	12.00	11.32	11.12	8.80	8.84	8.64
f	17.52	16.80	15.48	14.12	14.36	14.44	14.12	13.32	12.72	12.00	12.00	12.36	12.04	11.32	10.32	8.64	9.16	9.08

表-12 (4)

測線＼測点	実験種別		門扉操作時 流量 2,200 m³/sec 下流水位 EL 170.4m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高 EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(30.40) 29.00	(31.00) 28.90	(26.52) 25.50	11.16	11.20	12.60	12.40	12.08	18.00	11.56	10.92	12.92	12.00	11.72	16.00	6.92	7.40	7.08
b	25.36	25.08	22.08	11.16	(10.20) 9.80	11.40	13.60	8.72	(13.00) 12.50	10.92	11.12	12.20	11.30	11.32	10.64	7.20	7.60	7.16
4	(25.76) 24.28	(25.40) 24.22	(23.32) 21.32	10.72	9.40	11.44	10.68	8.32	11.88	10.64	10.28	12.08	11.52	10.96	11.92	6.84	7.24	7.12
c	22.00	21.96	19.10	10.60	9.20	11.60	10.64	(8.86) 8.44	(11.92) 11.86	(10.60) 10.50	10.72	12.28	11.84	11.16	11.24	8.00	6.64	7.00
5	(18.00) 17.76	(18.12) 17.72	(16.80) 16.60	12.32	11.60	12.84	12.40	11.40	12.24	10.32	10.12	11.60	11.16	10.60	10.20	6.00	6.84	6.92
6	(19.00) 18.70	17.72	(15.68) 15.50	(12.72) 12.56	12.72	13.24	13.08	12.20	12.20	11.00	11.80	11.56	11.24	10.40	9.20	6.40	7.08	7.48
f	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

測線＼測点	実験種別		門扉操作時 流量 2,200 m³/sec 下流水位 EL 172.4m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高 EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(30.80) 29.76	(31.28) 29.60	(31.40) 28.58	(12.68) 12.24	(12.04) 11.66	13.92	13.40	(14.28) 13.54	19.40	13.44	12.84	15.36	14.44	13.96	16.96	9.08	9.28	8.92
b	(25.32) 24.92	(25.68) 24.96	(23.36) 22.94	12.68	(13.56) 13.22	(14.12) 13.80	(13.60) 13.12	(11.92) 11.56	(14.96) 14.68	12.88	12.84	13.88	13.00	12.40	12.60	9.00	9.40	9.08
4	(26.48) 24.98	(26.24) 25.16	(24.00) 23.34	11.12	11.16	12.80	11.92	9.92	12.48	11.80	11.68	13.24	12.60	11.96	12.16	8.92	9.20	9.12
c	(23.60) 23.14	(25.00) 24.26	21.52	12.88	11.56	13.76	14.56	13.12	15.20	12.24	12.40	13.80	13.12	13.36	12.08	8.96	9.04	9.12
5	21.24	20.76	18.80	13.64	12.12	14.28	12.80	(11.52) 10.86	13.20	12.00	12.02	13.48	13.08	12.40	12.44	8.92	9.00	9.04
6	18.60	18.20	16.60	13.12	12.28	13.48	12.84	11.92	12.84	11.84	11.88	12.80	12.22	11.72	11.40	8.24	8.76	8.52
f	19.60	18.84	16.60	14.28	14.04	14.80	14.52	13.64	14.92	12.68	12.48	12.96	12.56	11.92	11.00	8.24	8.56	8.76

表-12 (5)

測線 \ 測点	実験種別		門扉操作時 流量 2,200 m³/sec 下流水位 EL 174.4m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	EL 155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(28.80) 28.10	(28.56) 27.20	(25.76) 25.12	15.16	14.24	17.72	16.28	(16.64) 15.64	(22.44) 22.21	15.60	14.60	16.68	15.64	14.88	18.40	11.60	11.72	11.56
b	(26.80) 25.86	(26.20) 24.60	(24.00) 22.94	15.36	14.68	15.12	14.48	17.36	15.12	14.64	16.28	15.60	15.40	16.28	12.00	11.96	11.52	11.12
4	(25.60) 25.10	(26.00) 25.32	(23.68) 22.94	15.00	14.68	16.20	15.36	13.60	15.76	14.28	14.36	15.44	14.88	14.32	14.22	11.64	11.88	11.80
c	(24.40) 23.76	(24.92) 23.14	(20.80) 20.66	19.80	(15.68) 14.28	(16.72) 16.46	(15.72) 15.36	(14.40) 14.10	(16.80) 16.48	14.08	14.12	15.40	14.68	14.52	14.56	11.60	11.80	11.68
5	(24.00) 22.94	(24.12) 23.34	(22.04) 20.86	15.00	14.52	16.20	(21.12) 18.76	(17.32) 15.56	(16.92) 16.56	15.00	16.32	16.60	16.08	15.36	14.20	10.48	11.24	11.80
6	(20.16) 19.68	(19.52) 19.30	(18.72) 18.46	15.40	15.04	15.68	15.20	14.40	14.52	13.84	13.84	14.40	14.20	13.44	12.72	11.40	11.40	11.84
f	20.28 19.92	(19.72) 19.42	(18.16) 17.98	(17.80) 17.20	16.00	16.72	16.56	15.60	15.40	14.40	14.44	15.84	14.76	14.00	13.16	11.12	11.68	11.80

測線 \ 測点	実験種別		自由越流時 流量 2,680 m³/sec 下流水位 EL 172.4m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	EL 155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(33.32) 26.00	(27.32) 24.72	(29.88) 29.64	(19.60) 18.30	(10.20) 17.44	(25.20) 24.20	(21.40) 20.40	21.20	14.40	13.36	15.44	14.96	14.83	16.32	13.08	9.40	9.56	9.80
b	(27.60) 26.56	(26.28) 25.70	(23.68) 23.18	16.08	(14.52) 14.06	(15.84) 15.56	(15.60) 15.30	(14.12) 13.96	(14.08) 13.92	13.00	12.64	13.72	13.08	12.20	12.48	9.00	9.12	9.04
4	(25.20) 24.24	(24.80) 23.40	23.12	14.80	14.68	16.32	15.92	14.84	15.08	12.52	11.68	13.44	13.04	12.28	12.12	6.80	8.00	9.56
c	(25.44) 24.18	(26.28) 22.82	(23.60) 23.32	16.24	15.32	(20.36) 20.02	(20.32) 19.82	(20.16) 19.42	18.28	12.44	12.76	12.20	14.68	14.96	13.72	7.28	9.12	9.66
5	(26.00) 25.56	(25.08) 24.64	21.20	14.36	12.88	15.64	14.88	(15.12) 14.10	17.84	15.16	(16.08) 15.74	17.08	16.00	15.84	14.08	10.36	12.08	11.20
6	17.40	16.28	16.32	13.64	14.08	14.52	14.24	13.68	12.72	12.36	12.32	13.00	12.84	11.52	10.72	10.20	10.64	10.56
f	20.80	19.80	18.00	18.12	16.40	16.20	16.00	15.22	14.48	13.48	13.68	13.80	13.92	13.36	12.28	13.36	10.76	10.60

表-12 (6)

測線 \ 測点・標高	実験種別		自由越流時 流量 2,680 m³/sec 下流水位 EL 174.4m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(30.00) 29.08	(31.08) 29.30	(30.28) 29.44	(21.00) 19.94	(18.60) 18.60	20.88	(16.32) 15.76	(17.20) 16.34	(17.88) 17.50	11.88	11.00	13.28	12.20	11.92	13.64	10.88	11.00	11.08
b	(30.40) 29.14	(28.32) 27.36	(24.42) 23.74	18.00	18.60	20.28	20.16	19.12	17.68	15.16	14.36	15.92	15.28	14.08	13.64	10.08	10.52	11.00
4	24.32	23.08	23.20	17.40	18.28	19.96	19.20	17.60	17.28	14.32	13.72	15.40	14.84	14.00	14.08	9.08	9.96	10.88
c	(28.12) 26.40	(25.52) 24.80	(25.30) 24.20	18.20	17.48	(21.12) 20.76	(21.04) 20.42	(20.04) 19.52	(19.60) 19.46	(14.72) 14.66	14.72	16.84	16.64	16.00	14.80	9.80	10.60	11.32
5	(26.96) 25.74	(25.88) 25.70	(23.60) 21.00	18.42	20.60	(22.48) 21.10	(20.52) 18.56	(17.32) 16.60	(18.92) 18.30	(15.20) 15.10	(15.76) 15.48	(16.92) 16.86	16.28	15.40	14.12	9.96	11.08	11.60
6	19.40	18.90	18.20	15.60	15.40	16.28	16.00	15.00	14.96	14.60	14.64	15.40	15.04	14.00	13.24	11.80	12.44	12.20
f	21.08	20.12	18.60	17.12	16.88	17.32	17.36	16.28	15.80	15.00	15.00	15.56	15.28	14.40	13.60	12.00	12.00	12.40

測線 \ 測点・標高	実験種別		自由越流時 流量 2,680 m³/sec 下流水位 EL 176.4m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(33.00) 28.16	(31.80) 31.00	(33.40) 31.80	(23.12) 21.36	(23.20) 21.20	(21.60) 20.66	17.20	17.00	20.40	18.00	13.80	13.16	15.52	13.92	13.76	15.32	13.20	(13.40) 13.32
b	(27.40) 26.90	(27.00) 26.66	(25.48) 23.90	19.44	18.12	20.08	(20.60) 20.00	18.96	19.76	17.72	17.52	18.60	17.68	16.44	16.32	13.16	13.72	13.40
4	(27.60) 27.10	(28.40) 27.64	(26.88) 25.80	18.88	17.80	21.04	20.16	18.48	20.72	17.08	16.52	18.24	18.24	17.24	17.20	12.92	13.04	13.00
c	(26.12) 25.56	(27.12) 25.36	(25.20) 24.54	(20.52) 20.46	(21.56) 21.18	(23.80) 23.54	(23.00) 22.08	(22.12) 21.26	(20.48) 19.92	17.00	17.12	18.76	26.00	17.96	16.04	12.00	13.00	13.36
5	(24.60) 23.40	(24.00) 23.70	(21.88) 21.74	17.60	17.00	18.08	18.00	15.92	16.68	15.80	14.32	17.00	17.20	15.60	15.12	10.60	13.32	13.20
6	(21.20) 21.02	(20.32) 20.07	(19.48) 19.40	17.64	17.60	18.08	7.72	16.76	16.20	16.08	16.20	17.12	16.88	15.80	14.60	14.08	14.04	13.80
f	(22.28) 22.12	(21.24) 21.01	(20.64) 19.64	18.76	19.12	19.24	19.40	18.24	17.28	16.72	16.68	17.00	16.84	15.80	14.80	14.52	14.72	13.96

表-12 (7)

測線	測点 / 標高	実験種別		自由越流時 流量 1,100 m³/sec 下流水位 EL 166.0m															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a		(16.32) 15.92	(15.84) 15.24	(14.32) 14.40	(10.60) 10.32	(9.92) 9.72	(12.04) 11.86	11.68	11.04	10.92	8.44	8.12	9.52	8.84	8.56	8.20	3.32	4.40	5.16
b		13.84	13.20	12.16	10.20	10.00	10.48	(10.68) 10.40	9.20	9.24	8.40	8.08	8.80	8.32	7.60	7.20	(4.00) 3.90	4.40	5.12
4		12.88	12.40	11.32	9.88	9.52	9.84	9.52	8.68	8.60	5.60	7.72	8.40	8.00	7.12	5.88	3.96	4.84	5.40
c		(12.68) 12.60	(12.40) 12.10	10.96	9.60	9.48	9.72	9.48	8.64	8.00	7.76	7.84	8.08	7.76	6.96	5.96	5.04	5.48	5.56
5		12.80	12.16	11.04	9.64	9.48	9.68	9.36	8.48	7.92	7.68	7.80	8.04	7.76	6.88	5.92	5.16	5.32	5.48
6		(12.08) 11.96	(11.16) 11.00	(10.28) 10.24	9.44	9.44	9.76	9.52	8.68	8.28	7.80	7.88	8.08	7.85	7.28	6.20	5.00	5.32	5.56
f		12.20	11.28	10.32	10.08	10.28	10.36	10.44	9.12	8.12	8.08	8.12	8.36	8.04	7.12	6.00	5.48	5.56	4.96

測線	測点 / 標高	実験種別		自由越流時 流量 1,100 m³/sec 下流水位 EL 168.0m															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a		(16.00) 15.80	(15.76) 15.40	(14.76) 14.52	(11.32) 11.00	(19.40) 11.32	(12.76) 11.86	(12.64) 12.38	(13.04) 12.54	12.28	9.64	9.08	10.64	10.08	9.68	9.92	6.04	6.32	6.60
b		14.80	(14.40) 14.00	13.12	11.28	10.84	11.32	11.24	9.92	(10.36) 8.14	9.44	9.08	9.88	9.60	8.72	(8.60) 8.36	(6.12) 5.80	6.28	6.44
4		(14.32) 13.96	13.48	12.56	10.68	10.84	11.08	10.72	10.00	9.68	9.80	9.04	9.40	9.04	7.80	9.96	6.60	6.84	6.76
c		(14.00) 13.84	(13.88) 13.48	12.36	10.84	10.80	10.92	10.68	9.84	9.12	8.88	9.00	9.24	9.00	8.28	7.40	6.60	6.88	6.84
5		13.84	13.16	12.12	10.88	10.80	11.00	10.60	9.72	9.28	9.00	9.12	9.24	9.20	8.16	7.32	6.64	6.80	6.84
6		13.32	12.48	11.64	10.84	10.80	11.08	11.32	9.92	9.24	8.88	8.84	9.04	8.80	8.16	7.20	6.56	6.80	6.80
f		13.24	12.20	11.20	11.28	11.40	11.44	11.30	10.28	9.16	9.28	9.28	9.64	9.36	8.60	7.44	6.88	7.00	6.56

表-12 (8)

測線 \ 測点	実験種別		自由越流時 流量 1,100 m³/sec 下流水位 EL 170.0m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高	EL 155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(17.52) 17.20	(16.00) 15.56	(15.32) 15.18	(13.56) 13.40	(13.36) 13.28	(14.48) 14.84	14.24	13.60	11.68	11.28	11.32	12.00	11.56	10.92	11.00	8.00	8.40	8.80
b	15.00	15.60	14.68	13.20	13.00	13.52	13.12	11.88	11.60	11.20	11.00	11.40	11.00	10.24	10.00	8.20	8.44	8.76
4	16.22	15.80	15.00	12.30	12.72	12.92	12.80	11.96	12.08	9.22	10.84	11.80	11.40	10.52	9.84	8.08	8.36	8.40
c	15.60	15.28	14.00	12.84	12.88	12.88	12.72	11.84	11.28	10.96	11.04	11.24	10.88	10.04	9.24	8.72	8.88	8.84
5	15.64	14.96	14.04	12.80	12.72	12.84	12.52	11.56	11.08	10.80	10.68	11.00	10.76	9.92	9.16	8.68	8.84	8.76
6	14.72	13.88	13.20	12.72	12.80	12.92	12.64	11.88	11.12	10.76	10.76	10.88	10.64	9.92	9.12	8.64	8.64	8.72
f	15.08	14.00	13.04	13.12	13.24	13.28	13.22	12.12	11.04	11.12	11.12	11.28	11.04	9.92	9.08	8.92	9.00	8.76

測線 \ 測点	実験種別		自由越流時 流量 1,600 m³/sec 下流水位 EL 168.0m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高	EL 155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(21.36) 21.20	(20.60) 20.43	(18.20) 18.06	(9.60) 9.38	8.56	10.92	(10.52) 6.52	6.00	(13.68) 9.68	(9.00) 5.00	(8.36) 4.36	(11.32) 7.32	(10.40) 6.40	(10.08) 6.08	(12.40) 8.40	(9.76) 5.76	6.04	6.00
b	(20.40) 20.00	(18.80) 17.70	8.64	7.60	8.04	8.04	8.76	7.12	11.00	8.16	8.20	9.08	8.32	7.56	7.24	6.00	6.20	6.16
4	(20.40) 19.08	(18.72) 18.48	14.72	7.28	7.32	8.00	7.52	6.24	5.92	7.36	7.44	8.28	8.00	7.12	6.40	5.76	6.12	6.16
c	(20.24) 19.98	15.12	8.00	7.16	8.16	7.88	7.20	7.16	7.48	7.56	8.64	8.32	8.64	7.80	5.72	6.08	6.20	5.80
5	(19.88) 19.62	(18.76) 17.52	13.92	8.12	7.16	8.84	8.08	6.28	7.48	8.08	8.52	9.16	8.84	8.12	7.36	5.04	5.68	6.12
6	(15.16) 14.90	(15.08) 14.68	13.28	9.28	8.44	10.04	8.28	8.28	9.52	8.84	9.08	9.64	9.28	8.72	7.80	5.48	5.64	6.08
f	16.08	15.08	13.20	10.64	10.52	11.28	10.84	9.84	10.12	9.36	9.40	9.88	9.64	9.04	7.88	6.12	6.52	6.96

表-12（9）

測線 \ 測点	実験種別		自由越流時流量 1,600 m³/sec 下流水位 EL 170.0m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高 EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	21.32	20.24	18.24	11.00	10.08	12.52	11.88	(13.20) 11.36	15.28	10.60	10.20	12.72	11.92	11.48	12.88	7.60	7.84	7.68
b	20.28	(20.28) 19.82	16.88	10.16	9.68	10.12	10.00	8.48	9.92	9.48	9.56	10.24	10.04	9.28	(9.76) 9.30	8.12	8.20	8.04
4	18.68	18.04	15.76	10.32	10.28	10.60	10.24	9.28	8.72	8.00	9.80	10.08	9.96	8.88	7.72	7.84	7.88	7.88
c	(20.04) 19.24	(19.20) 18.70	15.68	9.92	9.60	10.00	9.72	8.60	8.12	8.92	9.32	9.88	9.60	8.84	8.48	7.80	8.08	8.00
5	(19.08) 18.74	(18.64) 18.46	(15.32) 15.16	10.00	9.28	10.12	9.40	7.76	8.48	9.20	10.52	11.00	8.92	9.20	8.88	7.76	7.92	7.92
6	(16.04) 15.72	(16.00) 15.50	13.88	11.24	10.60	11.60	11.08	9.84	10.92	10.00	10.72	10.60	10.40	9.88	9.00	7.48	7.80	8.00
f	(16.52) 16.36	(15.72) 15.48	14.00	12.04	11.72	12.60	12.32	11.20	11.44	10.60	10.84	11.52	11.28	10.44	9.20	7.52	8.20	7.84

測線 \ 測点	実験種別		自由越流時流量 1,600 m³/sec 下流水位 EL 172.0m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高 EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(21.28) 21.64	(20.88) 20.44	(19.48) 19.40	(13.56) 13.42	(13.12) 13.06	14.72	14.12	13.08	15.88	12.52	11.92	13.64	12.96	11.56	13.80	18.08	18.32	18.28
b	(20.48) 19.88	(19.60) 19.04	(17.48) 15.90	13.24	12.88	13.12	12.68	11.44	12.40	11.80	11.96	12.40	12.00	11.28	11.12	11.80	10.40	10.32
4	(19.48) 19.10	(18.68) 18.58	(17.20) 17.02	12.88	13.00	13.36	13.00	12.16	11.48	13.12	12.08	12.40	12.12	11.20	10.00	10.20	10.40	10.40
c	(19.60) 19.46	(18.80) 18.48	16.60	13.16	13.00	13.28	13.04	(12.44) 12.14	11.40	11.68	11.96	12.40	12.00	11.24	10.60	10.32	10.48	10.36
5	(18.68) 18.40	(18.20) 17.90	16.08	13.40	12.92	13.40	12.76	11.68	11.76	11.84	12.12	12.44	12.12	11.36	10.68	10.24	10.28	10.32
6	(17.20) 16.92	(16.48) 16.26	15.40	13.80	13.84	14.36	14.12	13.36	12.80	12.40	12.40	12.60	12.32	11.44	10.60	9.72	10.04	10.16
f	16.88	15.72	14.80	14.80	15.00	15.08	14.92	13.12	12.80	12.72	12.80	13.24	13.00	12.08	10.84	9.96	10.20	9.48

表-12 (10)

測線 \ 測点	実験種別		自由越流時 流量 2,200 m³/sec 下流水位 EL 170.4m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高 EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(28.32) 26.52	(27.48) 25.78	(24.40) 23.94	(13.40) 12.94	12.28	13.88	(13.32) 12.92	12.56	15.68	11.56	12.44	12.76	12.08	11.92	14.00	7.48	7.92	7.80
b	23.24	22.32	19.68	12.20	12.60	13.24	13.16	11.96	12.84	11.28	11.44	11.88	11.44	11.04	10.60	8.04	8.24	8.08
4	22.32	21.60	19.40	11.56	10.56	12.04	11.60	9.88	11.56	12.48	10.00	11.04	10.68	9.92	9.72	7.32	7.72	7.96
c	(27.08) 26.34	(26.68) 24.68	(21.44) 21.22	11.40	9.20	13.24	12.28	11.28	13.20	10.08	10.24	11.48	10.80	10.60	9.92	7.80	8.00	8.20
5	(25.28) 25.02	(23.80) 23.42	(20.00) 19.66	12.80	11.28	14.44	13.12	10.92	12.88	11.60	12.48	13.00	12.32	12.08	10.72	7.20	9.12	8.80
6	(17.28) 17.12	(16.68) 16.54	15.72	12.60	12.08	13.00	12.44	11.32	11.48	11.12	11.32	12.00	11.60	10.72	9.80	7.88	8.72	8.92
f	(19.00) 18.64	(18.00) 17.64	(16.00) 14.84	13.56	13.20	13.96	14.00	12.92	12.08	11.96	12.52	12.56	12.28	11.40	10.24	8.80	9.28	9.40

測線 \ 測点	実験種別		自由越流時 流量 2,200 m³/sec 下流水位 EL 172.4m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
標高 EL	155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(27.72) 27.30	(28.28) 27.21	(25.04) 24.84	(15.24) 14.84	(15.04) 14.90	(18.28) 16.00	16.00	(16.00) 15.52	18.04	13.20	12.88	14.24	13.68	13.76	15.00	9.40	9.72	9.64
b	(25.12) 24.28	(24.08) 23.34	(21.52) 21.14	14.52	13.44	14.68	14.52	13.12	14.56	12.68	12.92	13.44	12.80	12.24	11.80	9.76	9.96	9.72
4	(22.88) 22.44	(22.12) 21.54	19.92	13.88	13.20	15.32	14.40	13.00	13.80	12.92	11.96	12.80	12.40	11.52	11.36	9.56	9.72	9.76
c	(25.52) 24.16	(25.08) 24.80	21.52	13.76	11.88	15.72	14.88	14.04	14.56	11.48	11.56	12.80	12.28	12.32	11.28	9.52	9.84	9.84
5	23.24	21.92	20.60	14.08	13.44	15.68	15.32	14.08	14.56	12.44	13.08	13.88	13.48	13.20	11.76	9.80	9.80	10.08
6	17.96	17.08	16.36	14.52	14.48	15.04	14.88	13.76	12.96	12.92	12.84	12.92	12.88	12.04	11.48	11.20	10.32	10.40
f	18.88	17.52	16.72	15.24	15.04	15.32	14.96	14.32	13.68	13.12	13.16	13.48	13.44	12.32	11.28	10.40	10.72	10.68

表-12 (11)

測線 \ 測点	実験種別		自由越流時 流量 2,200 m³/sec 下流水位 EL 174.4m															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
測線 \ 標高	EL 155.2	156.0	156.8	157.0	157.0	157.0	157.2	158.0	158.8	159.0	159.0	159.0	159.2	160.0	160.8	161.0	161.0	161.0
a	(28.00) 27.00	(29.12) 28.00	(25.08) 24.50	(17.44) 16.20	(16.40) 16.24	(18.24) 17.16	(13.60) 13.20	(14.32) 13.20	(15.64) 15.34	(10.92) 12.54	(12.54) 10.20	(11.76) 12.66	(11.88) 11.66	(11.08) 11.00	(13.00) 12.80	11.60	11.80	11.64
b	(24.28) 23.74	(23.48) 22.84	(21.92) 21.60	16.32	15.64	16.60	(16.68) 16.52	(15.20) 14.94	(16.00) 15.88	(14.40) 14.30	14.44	15.12	14.28	14.00	13.72	11.72	11.92	11.72
4	(25.00) 23.74	(24.28) 22.94	(24.56) 22.36	16.08	15.72	16.84	16.40	15.32	(15.80) 15.66	12.72	13.56	14.52	14.24	13.48	13.60	11.60	11.88	11.80
c	(25.20) 24.60	(24.08) 24.00	22.08	18.48	14.80	17.80	16.88	15.72	16.80	14.40	14.52	15.76	15.12	12.80	13.68	11.72	11.80	11.38
5	22.92	21.96	20.00	15.88	15.24	17.00	15.00	14.56	15.12	14.08	13.84	15.08	14.96	13.84	13.24	11.32	11.80	12.00
6	18.56	17.72	17.24	15.80	15.76	16.12	15.64	14.80	14.18	13.92	14.04	14.60	14.36	13.52	12.84	11.72	12.04	12.00
f	19.36	18.60	17.60	16.64	16.64	16.88	16.72	15.92	15.20	14.72	14.84	15.16	14.84	13.92	13.00	12.20	12.52	12.40

表-13　2 型放水管管内圧力分布実験値　　単位；m　　注：太字は許容値超過部分を示す。

番号＼所位＼水位	1. 上面圧力水頭					5. 下面圧力水頭					3. 中心圧力水頭					2. 上面隅圧力水頭					4. 下面隅圧力水頭				
	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00
1	1.04	5.45	10.30	16.87	29.17	2.67	6.45	10.17	15.12	25.23	-1.11	2.22	11.39	17.53	31.31	1.57	6.31	12.26	18.54	30.03	6.51	11.23	16.34	22.79	34.94
2	-0.45	3.33	7.67	13.58	27.42	-3.28	-0.99	1.19	4.19	10.88	1.92	6.42	9.92	11.81	23.36	0.63	4.89	10.16	16.37	30.26	1.54	7.96	8.85	13.65	24.24
3	0.69	3.09	7.97	13.37	26.85	-2.86	-0.52	1.97	5.03	12.20	-0.58	2.94	5.54	10.99	22.33	-0.31	3.65	8.35	14.17	28.48	-0.97	1.88	5.05	8.95	17.62
4	-1.20	2.49	6.68	12.20	24.97	-3.55	-1.42	0.74	3.56	10.22	-1.55	1.57	5.22	9.69	20.37	-1.30	2.27	6.67	11.83	24.79	-3.49	-1.39	1.12	3.94	10.45
5	-2.24	1.12	5.02	9.93	17.75	-4.33	-2.44	-0.52	1.98	7.92	-2.67	0.12	3.41	6.40	16.84	-2.56	0.59	4.60	9.19	20.71	-5.34	-3.65	-1.84	0.26	5.18
6	-3.56	-0.50	2.97	7.29	17.94	-5.12	-3.50	-1.91	0.28	5.44	-3.70	-1.18	1.96	5.56	13.96	-4.85	-1.09	2.44	6.49	16.45	-5.71	-4.21	-2.27	-0.65	3.91
7	-4.60	-1.87	1.25	5.06	14.66	-5.36	-3.77	-2.18	-0.08	4.99	-5.01	-2.82	-0.31	2.63	9.74	-4.98	-2.52	0.47	4.07	12.77	-6.33	-5.16	-3.64	-1.99	2.12
8	-5.56	-3.16	-0.32	3.01	11.59	-5.93	-4.46	-3.08	-1.16	3.34	-6.04	-4.12	-2.00	0.73	6.61	-5.98	-3.76	-1.10	2.29	9.91	-6.81	-6.10	-5.35	-3.46	1.58
9	-6.00	-3.75	-1.00	2.15	10.19	-6.78	-6.00	-4.68	-3.15	0.27	-6.53	-4.73	-3.03	-0.48	4.98	-6.79	-4.78	-2.36	0.65	7.55	-8.19	-7.56	-7.11	-6.06	-3.97
10	-6.86	-4.88	-2.54	0.28	7.21	—	—	—	—	—	-5.87	-4.22	-2.70	0.07	6.07	-7.77	-6.18	-4.38	-1.98	3.66	—	—	—	—	—
11	-6.04	-3.91	-1.57	1.49	8.60	-5.53	-4.39	-3.02	-0.94	2.63	-5.58	-3.93	-1.93	0.22	5.92	-5.58	-3.51	-1.17	1.86	9.04	-5.66	-4.46	-3.06	-1.22	3.49
12	-5.70	-3.54	-1.29	1.74	8.70	-4.15	-2.71	-0.92	-0.92	5.78	-4.16	-2.20	0.02	2.76	9.51	-5.57	-3.65	-1.19	1.63	8.53	-4.34	-2.90	0.30	0.82	5.89
13	-4.93	-2.89	-0.67	2.21	9.00	-3.21	-1.82	-0.07	1.35	6.72	-3.96	-2.28	-0.19	2.10	8.01	-4.93	-2.98	-0.85	1.82	8.36	-3.45	-2.01	-0.34	1.59	6.60
14	-3.99	-2.07	0.09	2.88	9.42	-2.35	-1.03	0.64	2.60	7.07	-3.20	-1.61	0.33	2.44	7.93	-3.76	-1.84	0.29	2.93	9.41	-2.68	-1.33	0.23	1.80	6.72
15	-2.96	-1.00	1.15	4.09	10.81	-1.62	-0.27	1.37	3.15	8.04	-2.83	-1.00	0.52	2.51	7.73	-2.91	-0.96	1.05	3.75	10.35	-1.94	-0.50	1.11	3.04	7.89
16	-1.67	0.43	2.70	5.62	12.73	-0.90	0.54	2.37	4.44	9.43	-1.61	0.06	2.10	4.65	10.44	-2.01	0.19	2.65	6.10	13.15	-0.94	0.53	2.42	4.64	9.74
17	-0.68	1.51	3.93	6.97	14.35	-0.51	2.18	4.17	6.51	12.15	-0.05	1.06	4.24	7.15	13.66	-0.66	1.62	4.23	6.60	14.94	0.65	2.42	4.55	7.07	13.01
18	0.07	2.95	5.49	8.65	16.54	1.40	3.23	5.42	7.91	13.85	0.81	2.85	5.13	8.04	14.70	0.53	2.90	5.51	8.66	16.76	1.64	3.41	5.21	7.82	14.06
19	1.17	3.42	5.93	8.91	16.38	2.17	3.88	5.82	8.37	14.13	1.59	3.60	5.79	8.73	15.33	1.12	3.80	5.92	8.92	16.36	2.14	3.88	5.98	8.59	14.53
20	2.05	4.27	6.51	9.55	16.90	2.81	4.19	6.49	9.01	14.73	2.33	4.28	6.56	9.44	15.97	1.87	3.24	6.61	9.52	16.78	2.97	4.71	6.79	9.48	15.48
21	2.75	4.97	7.18	10.01	17.12	3.18	4.74	6.56	8.93	14.09	2.65	4.45	6.70	9.32	15.31	2.65	4.66	7.15	10.00	17.02	3.08	4.67	6.56	8.93	14.36
22	2.69	4.61	6.46	8.96	14.96	2.43	3.78	7.00	8.07	12.48	2.72	4.22	6.26	8.54	13.82	2.82	4.68	6.84	9.30	15.51	3.22	4.60	6.25	8.98	13.09
23	2.88	4.53	6.11	8.22	13.38	2.71	3.76	4.76	6.31	9.52	2.27	3.92	5.27	7.01	10.97	3.01	4.57	6.49	8.50	13.81	2.87	3.92	5.89	7.04	11.63
24	2.01	3.12	3.95	5.04	8.64	1.95	2.37	3.03	3.97	5.85	1.87	2.56	3.70	4.63	6.94	2.13	3.12	9.27	7.56	9.15	2.24	2.90	4.10	4.94	7.55
25	—	—	—	—	—	0.73	0.67	1.67	0.88	0.88	0.05	0.08	0.26	0.26	3.56	—	—	—	—	—	0.74	0.83	1.13	4.73	3.98
26	—	—	—	—	—	-0.37	-0.76	-1.03	-1.39	-2.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表-14 2型放水管水位一流量関係実験値

番号	門扉開放自由流出時			門扉開度0.3 m		門扉開度0.6 m		門扉開度0.9 m		門扉開度1.2 m	
	貯水位	流量	流量係数	貯水位	流量	貯水位	流量	貯水位	流量	貯水位	流量
1	203.60	167.60	0.889	204.17	17.25	202.46	27.51	202.82	37.46	205.55	54.23
2	204.25	173.03	0.901	209.22	18.24	209.09	33.03	209.60	44.37	205.58	54.32
3	204.80	175.98	0.900	212.27	19.72	216.95	39.44	217.44	51.76	211.01	62.11
4	210.83	204.57	0.905	218.62	22.18	222.50	41.90	228.50	59.15	211.04	62.85
5	218.99	238.59	0.911	222.83	24.65	229.82	45.84	234.83	63.10	216.86	68.52
6	226.28	265.70	0.916	230.00	24.89	235.82	49.30	236.39	64.08	224.87	75.91
7	233.72	288.87	0.913	235.26	27.11	240.95	51.76	240.35	67.78	230.84	81.34
8	241.07	311.54	0.915	242.63	27.56	—	—	—	—	237.98	88.73

番号	門扉開度1.5 m		門扉開度1.8 m		門扉開度2.1 m		門扉開度2.4 m		門扉開度2.7 m	
	貯水位	流量	貯水位	流量	貯水位	流量	貯水位	流量	貯水位	流量
1	206.15	70.99	205.79	85.28	205.10	99.58	205.16	121.27	205.82	147.89
2	213.59	82.82	212.54	98.59	211.79	115.84	211.79	141.97	206.15	147.89
3	220.31	92.18	220.79	112.15	218.90	130.63	218.12	157.74	213.65	176.23
4	227.09	101.05	227.42	122.01	226.46	144.93	224.60	171.55	221.54	197.18
5	234.32	108.45	239.08	133.10	226.58	145.42	231.80	171.55	229.22	219.36
6	240.53	115.84	241.01	142.46	233.84	159.22	240.05	187.32	235.04	231.69
7	—	—	—	—	241.31	170.07	—	203.10	240.26	244.01
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表-15　2連放水管，ベルマウス改良型，管内圧力分布実験値　　単位；m　　注：太字は許容値超過部分を示す。

個所 / 水位 / 番号	1. 上面圧力水頭					5. 下面圧力水頭					3. 中心圧力水頭					2. 上面隅圧力水頭					4. 下面隅圧力水頭				
	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00	EL 205.00	EL 210.00	EL 215.00	EL 222.00	EL 239.00
1	1.26	5.79	9.57	16.59	31.98	4.36	8.52	12.45	17.97	31.36	2.21	6.92	10.97	17.06	30.83	1.64	6.92	11.27	18.29	34.31	6.83	12.19	16.81	23.17	38.59
2	-0.26	3.49	6.91	13.18	26.44	-0.86	2.02	4.72	8.38	16.69	-0.62	3.16	6.31	11.32	22.21	0.64	5.47	9.37	15.73	31.63	3.89	8.39	12.23	18.14	30.74
3	-0.68	3.22	6.67	13.79	25.90	-1.16	1.66	4.54	8.02	15.85	-0.93	2.53	5.59	10.33	20.98	-0.33	4.20	7.74	13.68	27.24	0.57	4.02	6.75	10.98	21.24
4	-1.19	2.53	5.95	11.74	24.25	-2.36	0.10	2.62	6.53	12.46	-1.66	1.73	4.64	9.03	19.52	-1.44	2.67	6.00	11.43	33.70	-3.57	-1.29	4.33	9.52	9.52
5	-2.29	1.01	4.16	9.41	20.66	-3.58	-1.42	0.77	1.31	9.53	-2.75	0.34	2.98	7.00	16.18	-2.58	0.87	3.99	8.67	19.44	-5.39	-3.74	-2.45	-0.44	4.31
6	-3.46	-0.61	2.39	6.89	18.84	-4.56	-2.76	-0.96	1.23	6.82	-3.81	-1.05	1.17	4.92	13.60	-3.93	-0.96	1.83	5.88	15.27	-6.33	-4.80	-3.60	-1.65	0.96
7	-4.55	-1.94	0.73	4.60	13.72	-4.95	-3.30	-1.56	0.43	5.53	-4.31	-2.90	-0.95	1.91	8.66	-5.03	-2.48	-0.08	3.46	11.62	-7.07	-5.54	-4.64	-2.92	0.07
8	-5.40	-2.55	-0.87	2.49	12.24	-5.58	-4.11	-2.64	-0.87	3.66	-6.00	-3.99	-2.28	0.12	6.15	-6.12	-3.60	-1.56	1.62	8.70	-6.85	-5.51	-4.31	-2.87	0.64
9	-5.87	-3.11	-1.19	1.63	9.34	-6.34	-5.14	-3.97	-2.50	1.25	-6.58	-4.54	-2.98	-0.88	4.71	-6.89	-4.55	-2.78	0.06	6.00	-6.66	-5.46	-4.47	-2.85	0.66
10	-6.66	-4.47	-2.61	0.39	7.02	—	—	—	—	—	-5.91	-4.02	-2.07	-0.18	6.24	-7.63	-5.80	-4.03	-1.99	3.56	—	—	—	—	—
11	-5.87	-3.53	-1.37	1.54	8.62	-5.42	-4.04	-2.72	-1.04	6.46	-5.58	-3.72	-1.83	0.36	6.21	-5.32	-2.95	-0.67	2.15	9.14	-5.91	-4.56	-3.30	-1.97	2.07
12	-5.44	-3.16	-0.97	1.88	8.99	-4.16	-2.42	-0.89	1.12	6.28	-4.33	-2.71	0.02	2.57	9.41	-5.34	-3.09	-0.93	1.77	8.70	-4.26	-2.52	-0.93	1.08	6.33
13	-4.64	-2.39	-0.32	2.35	9.26	-3.24	-1.62	-0.06	1.92	6.96	-4.03	-2.08	-0.13	2.03	8.18	-4.73	-2.48	-0.44	2.15	8.84	-3.45	-1.71	-0.21	1.76	6.84
14	-3.76	-1.63	0.47	2.99	9.59	-2.39	-0.89	0.67	2.65	7.30	-3.24	-1.47	0.36	2.43	8.04	-3.62	-1.49	0.49	3.04	9.55	-2.71	-0.85	0.29	2.09	6.83
15	-2.79	-0.52	1.54	4.15	10.93	-1.69	-0.13	1.40	3.29	8.15	-2.84	-1.13	0.55	2.56	7.96	-2.83	-0.64	1.37	3.89	10.43	-1.95	-0.36	1.17	2.04	7.89
16	-1.73	0.58	2.98	5.53	13.03	-0.71	0.91	2.47	4.42	9.52	-1.47	0.42	2.34	4.41	10.53	-1.34	0.64	2.71	5.41	12.61	-1.75	0.87	2.61	4.62	9.87
17	-1.87	1.59	4.02	6.78	13.31	0.63	2.43	4.26	6.36	12.21	0.13	2.38	4.42	6.91	13.81	-0.33	2.11	4.30	7.24	14.95	0.84	2.73	4.74	6.99	13.20
18	0.42	3.00	5.58	8.40	16.02	2.00	4.10	6.14	8.57	15.32	0.97	3.13	5.35	7.81	13.83	0.60	3.06	5.40	8.22	15.93	1.52	3.44	5.42	7.70	13.88
19	1.13	3.59	6.05	9.05	16.49	2.24	4.13	5.43	8.18	14.21	1.72	3.82	5.98	8.47	15.37	1.30	3.76	5.86	8.77	16.33	2.27	4.16	6.14	8.42	14.60
20	2.20	4.63	7.15	9.79	19.43	2.98	4.78	6.55	8.74	14.68	2.49	4.65	6.75	9.21	16.05	2.09	4.46	6.65	9.41	16.76	3.10	4.99	0.97	9.25	15.46
21	2.86	5.17	7.51	10.03	17.45	3.29	5.00	6.68	8.60	14.15	2.93	4.88	6.80	9.08	15.38	2.75	5.12	7.16	9.83	16.95	3.21	4.89	0.66	8.67	14.22
22	2.59	4.51	6.31	8.50	14.20	3.21	4.65	6.12	7.80	12.39	2.93	4.64	6.26	8.63	13.73	3.04	5.02	6.94	9.31	15.55	3.34	4.84	6.34	8.14	13.54
23	3.17	4.97	7.13	8.51	13.91	2.70	3.78	4.89	5.85	9.27	2.70	4.00	5.28	6.84	11.04	3.19	4.81	6.31	8.53	13.72	3.02	4.22	5.45	6.77	10.58
24	2.09	3.29	4.49	5.24	8.45	2.12	2.58	3.15	3.87	5.52	2.48	3.23	3.83	4.55	7.13	2.37	3.27	4.14	5.64	8.91	2.43	3.33	3.93	4.93	7.23
25	—	—	—	—	—	0.79	0.85	0.88	1.12	4.81	0.23	0.48	0.39	0.63	0.90	—	—	—	—	—	0.96	1.26	1.51	1.41	1.77
26	—	—	—	—	—	-0.25	-0.52	-0.85	-1.03	-1.81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

アロファン質粘土の消石灰-石膏による化学的安定処理方法に関する研究（3）

昭和 36 年 8 月

有　泉　昌*
和　田　茂　治**

目　次

V. シリカ-アルミナ共沈ゲルと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応 ……（1）
〔1〕試　料……（1）
〔2〕実験方法……（2）
〔3〕実験結果とその検討……（2）
（1）共沈ゲルの性質……（2）
（2）共沈ゲルと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応（20°C）……（4）
（3）共沈ゲルと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応（80°C）……（5）
（4）加熱処理した共沈ゲルと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応……（8）
（5）Fe_2O_3 ゲルと SiO_2 ゲルの共沈ゲルについて……（9）
〔4〕要　約……（10）

V. シリカ-アルミナ共沈ゲルと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応

天然に見られる土壌粘土としてのアロファンが $Ca(OH)_2$ 溶液と反応して20°C では C_2ASH_n を生成し，80°Cでは Hydrogarnet を生成すること，その反応機構等の一部についてすでにのべてきた。X線回折および DTA 曲線等よりアロファンの性質に近似しているとされる Al_2O_3 ゲルと SiO_2 ゲルとの共沈ゲルについて $Ca(OH)_2$溶液との反応を検討する。実験結果からは共沈ゲルは天然アロファンと同様に C_2ASH_n や Hydrogarnet を生成することを認め，適当な組成の共沈ゲルはアロファンと見なされるとする小坂[25]の報告が肯定されることをのべる。天然に存在するアロファンは副成分等を含くみ，その構造自体にも相当の差異が見られるので，アロファンに関する研究においては，合成アロファンを出発点とすることに意義があると考える。

〔1〕試　料

SiO_2 ゲルおよび Al_2O_3 ゲル共沈体の作製のためには化学用最純の $AlCl_3 \cdot 6H_2O$，$Al_2K_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$，$NaAlO_2$，水ガラス（$Na_2Si_2O_5$ 55%）を用いた。これらの薬品を用い，pH，反応温度等を適当の条件を選んで種々の組成の共沈ゲルをえた。それらの作製法を簡単にのべる。

* 地質化学部長
** 地質化学部　化学研究室研究員

No-1:

13% 水ガラス水溶液 1 l を 22% $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 水溶液 1 l に撹拌しながら滴下する。この際 pH 調整は行なわず，最終 pH は 3.0 とした。温度は室温であり，ゲル状物質は沪過し水洗後風乾する。

No-2:

5.6%水ガラス水溶液 500 ccを 70°C に加温した 9% の $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 水溶液中に撹拌しながら滴下し，NaOH により pHを調整し最終 pHを 6.1 とする。沪過，水洗，風乾する。

No-3:

5% 水ガラス溶液 500 cc を 70°C に加温した 16% 明バン水溶液 500 cc に撹拌滴下し，NaOH で最終 pH を 6.1 とする。沪過，水洗，風乾する。

No-4:

5% 水ガラス水溶液 500 cc を 70°C に加温した 2.8 % $NaAlO_2$ 水溶液 500 cc に注加混和後，HCl を撹拌滴下して最終 pH を 6.3 とする。沪過，水洗，風乾する。

No-5:

2.5% 水ガラス水溶液 1 l を室温で 1.4 % $NaAlO_2$ 溶液 1 l に注加混和後，HCl を加えて最終 pH を 6.3 とする。ついで 80°C に 30 分間加温して沪過，水洗，風乾する。

No-6:

2.5% 水ガラス水溶液 1 l をウロトロピンおよび第4級アンモニューム塩で pH 4.0 くらいに調整した 8% 明バン水溶液 1 l に撹拌しながら滴下する。アンモニヤに

て最終 pH を 6.0 とする。ついで 80°C で 30 分間加熱し，沪過してアルコールで洗った後に水洗して風乾する。

No-7：

2.5％ 水ガラス水溶液 1 l をウロトロピンで pH を 5.0 くらいに調整した 9％ 明バン水溶液 1 l に攪拌しながら滴下し，わずかに加熱する。最終 pH はウロトロピンで 6.0 とする。水洗して風乾する。

No-8：

2.5％ 水ガラス水溶液 1 l をウロトロピンにて pH 5.0 くらいに調整した 7％ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 水溶液 1 l に攪拌しながら滴下し，アンモニヤで最終 pH を 6.0 とする。ついで 90°C で 30 分間加熱し，沪過，水洗，風乾する。

No-9：

1.5％ 水ガラス水溶液 1 l を 9％ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 溶液に攪拌滴下し，80°C に加熱しながら NaOH で最終 pH を 6.4 とする。沪過水洗が困難であるので透析を行ない，60°C で 8 時間乾燥器中に放置した後風乾させる。

No-10：

1.0％ 水ガラス水溶液 1 l に 9％ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 溶液に 80°C で攪拌しながら滴下し，NaOH で pH を調整しながら最終 pH は 6.4 とする。沪過し，水洗ののち透析を行ない，乾燥器で 60°C で 8 時間処理して後に風乾させる。

No-11：

0.5％ 水ガラス水溶液 1 l を 9％ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 溶液に攪拌しながら滴下する。80°C に保ち NaOH で最終 pH を 6.4 とする。沪過，水洗，透析，60°C 乾燥，風乾する。

No-12：

1.0％ 水ガラス水溶液 1 l を 6％ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 溶液に攪拌しながら滴下する。80°C に保ち NaOH で最終 pH を 6.4 とする。沪過，透析，60°C 乾燥，風乾する。

No-13：

0.5％ 水ガラス溶液 1 l を 6％ $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 溶液に攪拌しながら滴下する。80°C に保ち NaOH で最終 pH を 6.4 とする。沪過，透析，60°C 乾燥，風乾する。

〔2〕 実験方法

えられた合成ゲルはポルトランドセメントの分析方法に準じて H_2O^-，H_2O^+，SiO_2，Al_2O_3 を求め，Al_2O_3/SiO_2 も求めた。X線分析は Geigerflex により，対陰極は Cu とする（Ni でフィルターする）。実験は主として X線回折法を用い，一部の試料については DTA 方法を併用する。DTA 曲線の求め方は既報による。また KBr 錠剤法により，Parkin Elmer 社の赤外線スペクトルメーターにより赤外線吸収スペクトルも求めた。

$Ca(OH)_2$ 溶液との反応では，CO_2 の混入に注意して造った $Ca(OH)_2$ の飽和溶液 100 cc に，試料 0.1 g を加え 20°C の恒温室中で 2 週間養生する。反応後の液相の分析値より試料に吸着固定された CaO の量を求める。同様な実験を 80°C，2 週間の条件で実施する。また 100°C，200°C および 500°C で 1 時間処理した一部の試料についても，20°C で 2 週間養生した。

〔3〕 実験結果とその検討

（1） 共沈ゲルの性質

合成した SiO_2 ゲルと Al_2O_3 ゲルの共沈ゲルの化学組成を表-7 に示す。表より明らかなように H_2O^+ と H_3O^- の含量は大きく，Al_2O_3/SiO_2 は 0.2～10 の範囲内にある。これらのゲルの DTA 曲線と X線回折図を図-23・24 に示す。

表-7 合成ゲルの化学組成

試料番号	H_2O^-	H_2O^+	SiO_2	Al_2O_3	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$（モル比）
No. 1	36.16	10.22	40.94	12.90	0.18
No. 2	18.98	13.92	31.38	35.40	0.66
No. 3	20.04	15.62	30.60	33.66	0.65
No. 4	20.68	15.78	41.60	21.06	0.30
No. 5	30.16	15.16	38.98	15.34	0.23
No. 6	34.76	12.04	25.32	27.84	0.65
No. 7	22.51	15.75	28.55	33.20	0.68
No. 8	17.50	8.80	27.35	46.45	0.999
No. 9	23.12	18.60	14.52	44.72	1.81
No. 10	12.12	24.94	4.16	60.04	8.50
No. 11	20.20	16.50	3.50	59.90	10.12
No. 12	23.84	19.12	12.20	43.88	2.12
No. 13	22.84	14.24	6.56	56.80	5.10

No-1 試料は Al_2O_3/SiO_2 が 0.18 で最も小さく，X線回折では 3.4Å にいちじるしく拡散した回折線を示すのみであるが，DTA 曲線ではアロファンに見られる高温部の発熱ピークを示さない。この試料はアロファンの性質とはいちじるしく異なる。

No-2，No-3，No-6，No-7 はいずれも Al_2O_3/SiO_2 が 0.65～0.68 であり，X線回折では 3.4Å にハローを認めるのみで結晶性物質をふくまない。DTA 曲線はアロファンに近似した形を与える。No-8 は Al_2O_3/SiO_2 が 1.0 であるが No-2 等と同様にアロファンに近い性質を与える。

No-9 は X線回折でも DTA でも Gibbsite を与えるが 1,000°C の発熱ピークもともなう。この発熱ピークは Gibbsite には見られないものであり，アロファン近似の性質を示すものと Gibbsite の共存を示す。

No-10 は No-9 よりも多くの Gibbsite をふくみ，1,000°C の発熱ピークが見られないことと，150°C の吸熱ピークも小さいことより，アロファン近似の性質を示すものは存在しても少量であろう。

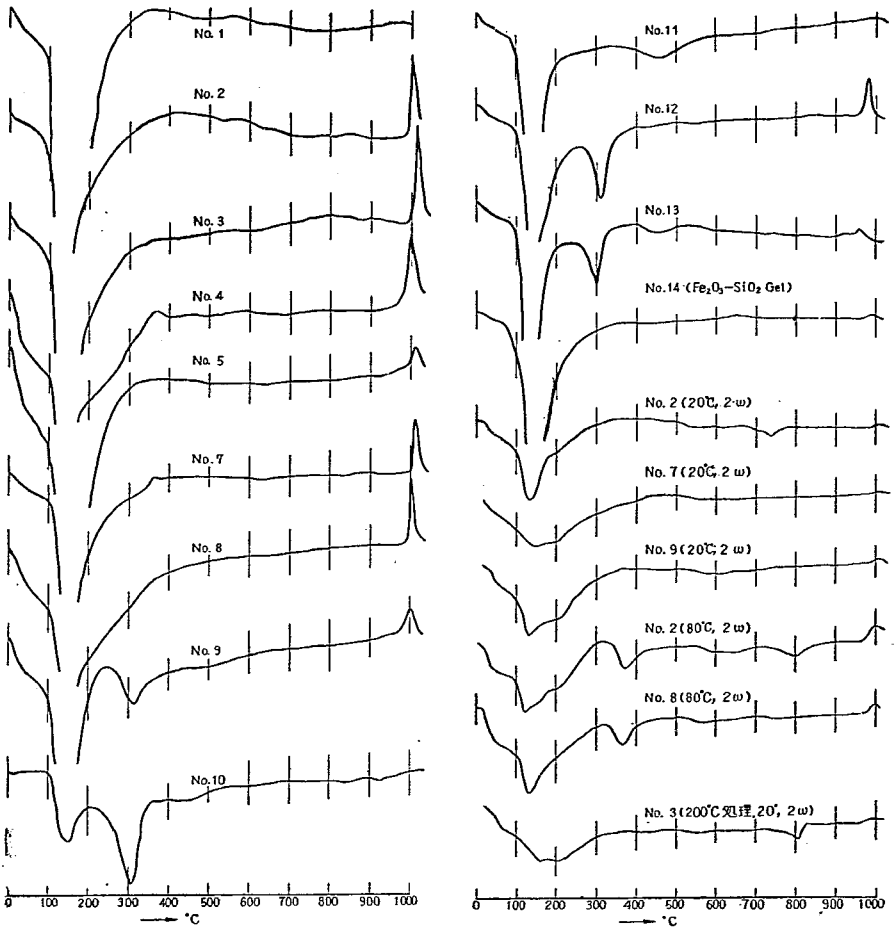


図-23　SiO_2-Al_2O_3ゲル，SiO_2-Al_2O_3 ゲルと飽和 $Ca(OH)_2$ 溶液との反応生成物のＤＴＡ曲線

No-11はＸ線回折ではいちじるしく拡散した線ではあるが Boehmite の粉末線を示し，ＤＴＡ曲線でもやや低温側にずれているが，Boehmite による吸熱ピークを示す。高温部における発熱ピークを示さない。アロファン近似の性質を示すものは存在しても少量である。

No-12 はＸ線回折では，Bayerite の存在を明瞭に示し，ＤＴＡ曲線もそれを支持している。1,000°Ｃの発熱ピークをもち，アロファンに近似の性質を示すものが一部存在することを示す。

No-13 は No-12 と同様に Bayerite の存在を示すが，1,000°Ｃの発熱ピークが No-12 より小さい。

No-4，No-5 は Ｘ線回折図では 3.4Å にハローを示し，ＤＴＡ曲線はアロファン近似の性質を示すものの存在を示す。No-4 の方が No-5 より1,000°Ｃの発熱ピークが大きい。

赤外線吸収スペクトルは図-25 に示すように，Al_2O_3/SiO_2 が 0.6～1.0 のものでは Fieldes[4] がのべているようにアロファンＡに該当し，Al_2O_3/SiO_2 がとくに小さい No-1 では 803 cm^{-1} にシリカゲルによる吸収をも認め，ほかに 1,200 cm^{-1} および 900 cm^{-1} にも吸収を認め，アロファンとはやや異なり SiO_2 ゲルの存在量が多いと推定される。No-4 および No-5 は何によるか明らかでないが 875 cm^{-1} の吸収を認めるほか，アロファンの吸収曲線に近い。Al_2O_3/SiO_2 の大きい No-8 はアルミナゲルの存在を示し，No-12 は 950 cm^{-1} に吸収のピークが移りアロファンのほかにアルミナゲルの共存すること

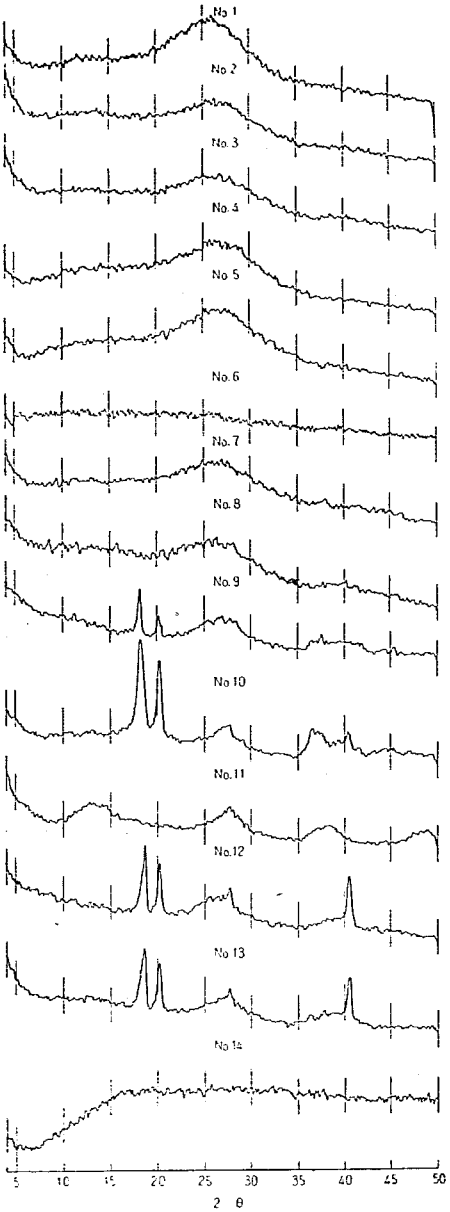


図-24 SiO_2-Al_2O_3 ゲルX線回折図

を推定させる。No-13 は No-12 がさらに顕著になった状態を示している。No-10 は Gibbsite による吸収を明瞭に示し，Si-O による吸収は No-11 と同様に弱くなっている。アロファンの存在量は少ないことが推定される。

以上の実験結果よりこの方法が造られたシリカゲル，アルミナゲルの共沈ゲルは Al_2O_3/SiO_2 の比でその構造に差のあることが推定され，同様の組成を持つものは共沈条件によってもそれほど相異のないことを知る。Al_2O_3/SiO_2 のとくに大きい場合は，Gibbsite, Boehmite, Bayerite 等を混在させ，Al_2O_3/SiO_2 のとくに小さい場合は遊離のシリカゲルを混在させることが認められる。Al_2O_3/SiO_2 が 0.6～1.0程度の共沈ゲルはX線回折，DTA曲線，化学分析，赤外線吸収スペクトル等の結果から，天然のアロファンに近似した物質であることが認められる。

(2) 共沈ゲルと$Ca(OH)_2$溶液と反応(20°C)

共沈ゲルを 20°C で $Ca(OH)_2$ 溶液と2週間反応させた場合は，図-26 に示すように Al_2O_3/SiO_2 が 0.18 のようにいちじるしく小さい No-1, No-2 を除いて No-3, No-4, No-5, No-6, No-7, No-8 では天然アロファンの場合と同様に C_2ASH_n が生成する。Al_2O_3/SiO_2 の小さい No-5 は C_2ASH_n の粉末線が弱く，この比が No-8 の 1.0 に近づくにしたがい粉末線は鮮明となる傾向を認めうる。この比の値が 1.0 を越して大きくなるにしたがい C_2ASH_n の粉末線は鮮明さを欠き，1,000°C の発熱ピークの認められる No-9, No-12, No-13 では C_2ASH_n の生成は明瞭である。SiO_2 ゲルおよび Al_2O_3 ゲルの共沈物でも Al_2O_3/SiO_2 の少なくも 0.23 より小さいものでは C_2ASH_n は生成せず，また Al_2O_3/SiO_2 が大きい側でも 8.5 を越す場合も C_2ASH_n の生成を認めない。すなわち C_2ASH_n の生成には Al_2O_3/SiO_2 の比についてある限界のあることが認められる。共沈ゲルの生成方法にもよると考えられるが，No-9 No-10 には Gibbsite が共存し，No-12, No-13 には Bayerite が共存し，No-11 には Boehmite が共存する。これらの試料ではいずれも C_3AH_6 が生成することが知られ，C_2ASH_n も認められるのはアロファンに近似する性質を示すゲル状体が共存するためと考えられる。C_3AH_6 が存在することは CaO-Al_2O_3-H_2O 系で最も溶解度が小さく，安定なものが C_3AH_6 であるためと考えてよく，Al_2O_3/SiO_2 の大きい場合は CaO-SiO_2-Al_2O_3-H_2O 系化合物と CaO-Al_2O_3-H_2O 系化合物が共存することを示し，CaO-Al_2O_3-(Al_2O_3-SiO_2 Gel)-H_2O 系のような複雑な平衡関係の存在が推定できる。同様に SiO_2 が遊離の状態で存在する場合は CaO-SiO_2-H_2O 系化合物が生成する

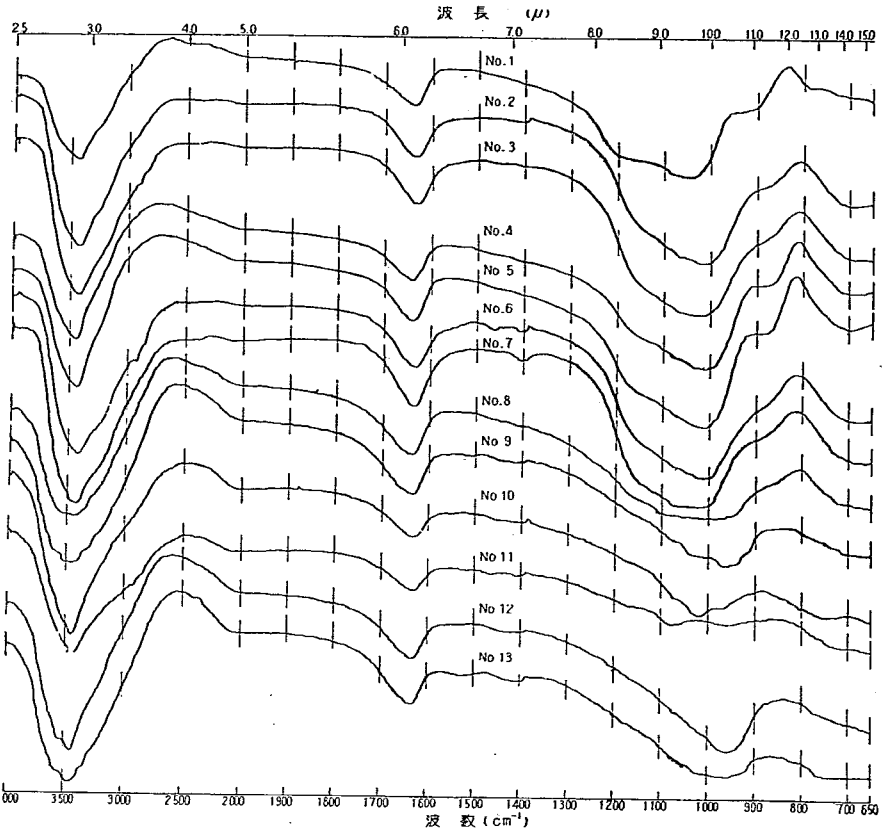


図-25　赤外線吸収スペクトル

と予想されるのであるが，その結晶度が低いことと実験過程で CO_2 の混入をさけえなかったので $CaCO_3$ の粉末線でマスクされることのために，CSH 等は確認しがたいのである。しかし No-2, No-3, No-7 等では 3.05Å 線は鋭い回折図を与えないことより CSH 等の生成を推定することも可能である。なお一般に C_3AH_8 および C_4AH_{13} も共存する。なお DTA 曲線は No-2, No-7, No-9 についてえられているが，いずれも 200°C の吸熱ピークが見られ，C_2ASH_n の生成を示している。

CaO の試料への固定量（1g 試料当りの CaO 量）は No-1 から No-13 について次のような値となる。

0.458, 0.560, 0.520, 0.395, 0.458, 0.618, 0.612, 0.463, 0.554, 0.775, 0.772, 0.571, 0.717

CaO の固定量は Al_2O_3/SiO_2 の大きい合成ゲルほど大きい傾向が認められ，Al_2O_3 が液中に溶出しないと仮定した場合の反応体中での CaO/Al_2O_3 モル比は次のような値となる。

6.5, 2.9, 2.8, 3.5, 5.5, 4.0, 3.4, 1.8, 2.3, 2.3 2.3, 2.4, 2.3 この結果より Al_2O_3/SiO_2 の大きいものは CaO/Al_2O_3 が比較的小さいことが示され，Al_2O_3/SiO_2 の小さいものは $CaO-Al_2O_3-H_2O$ 系化合物のほかに $CaO-SiO_2-H_2O$ 系化合物の生成を推定させる。

（3）共沈ゲルと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応（80°C）

共沈ゲルを 80°C で2週間 $Ca(OH)_2$ 溶液と反応させたときは，前節で天然アロファンの場合に C_3AH_6 が生成したと同様に，いずれの試料についても C_3AH_6 を生成する。ただし，No-1 については実験を行なっていないので明らかでない。回折線の強度は Al_2O_3/SiO_2 の比が大きいほど大きい傾向が認められる。No-3, No-6, No-8 試料では 3.0Å 線が鋭どくなく，2.82Å 線は高角側に二重線化して 2.80Å 線が推定され，CSH(I) の存在が推定される。No-7 では C_3AH_6 のほかに 10.1Å 線

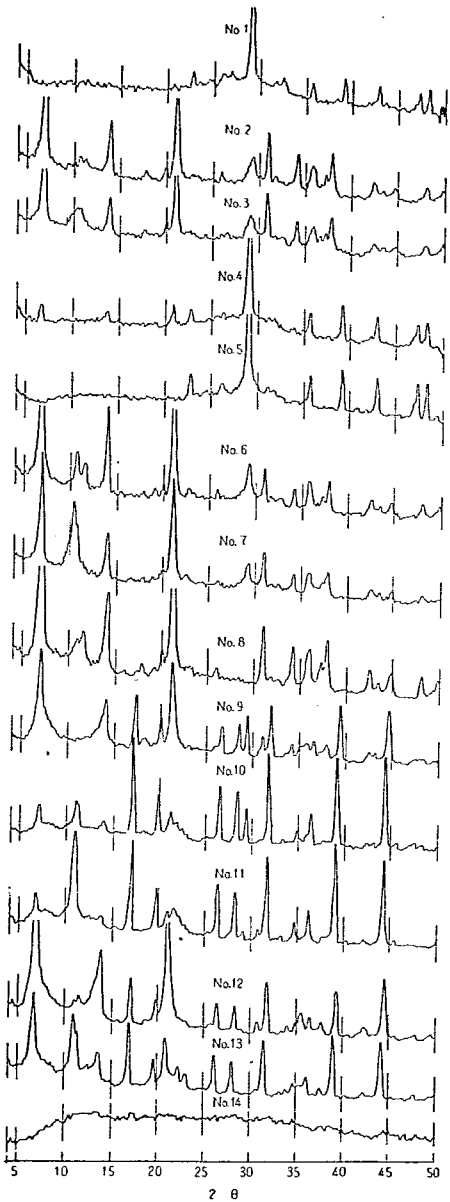


図-26 (a) SiO_2-Al_2O_3 ゲルと飽和 $Ca(OH)_2$ 溶液との反応生成物X線回折図 (20°C, 14日)

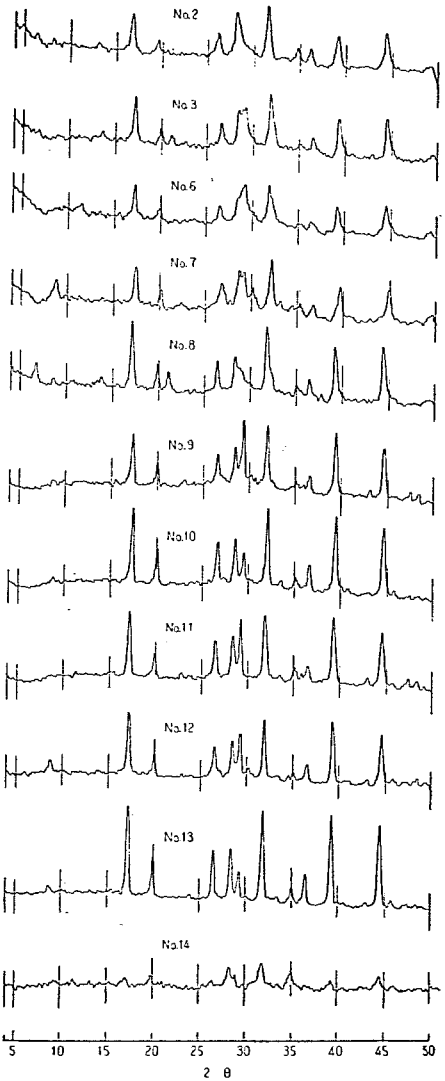


図-26 (b) SiO_2-Al_2O_3 ゲルと飽和 $Ca(OH)_2$ 溶液との反応生成物X線回折図 (80°C, 14日)

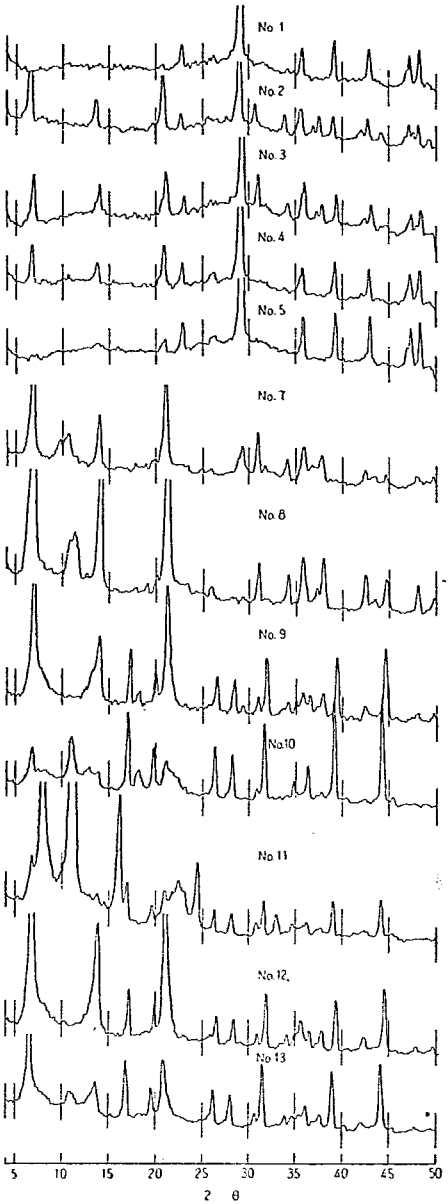


図-27（a）　SiO_2-Al_2O_3 ゲル（100°C加熱処理）と飽和 $Ca(OH)_2$ 溶液との反応生成物（20°C，14日）X線回折図

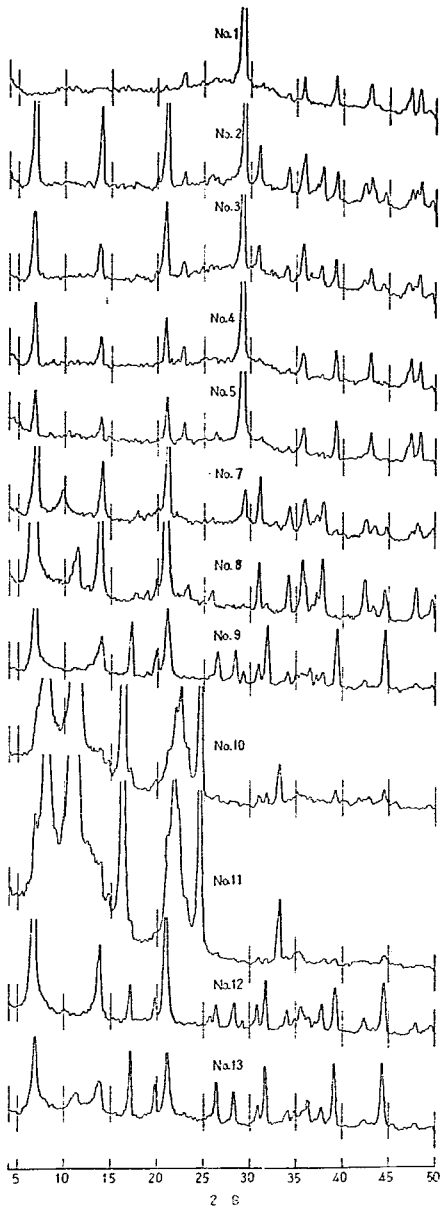


図-27（b）　SiO_2-Al_2O_3 ゲル（200°C加熱処理）と飽和 $Ca(OH)_2$ 溶液との反応生成物（20°C，14日）X線回折図

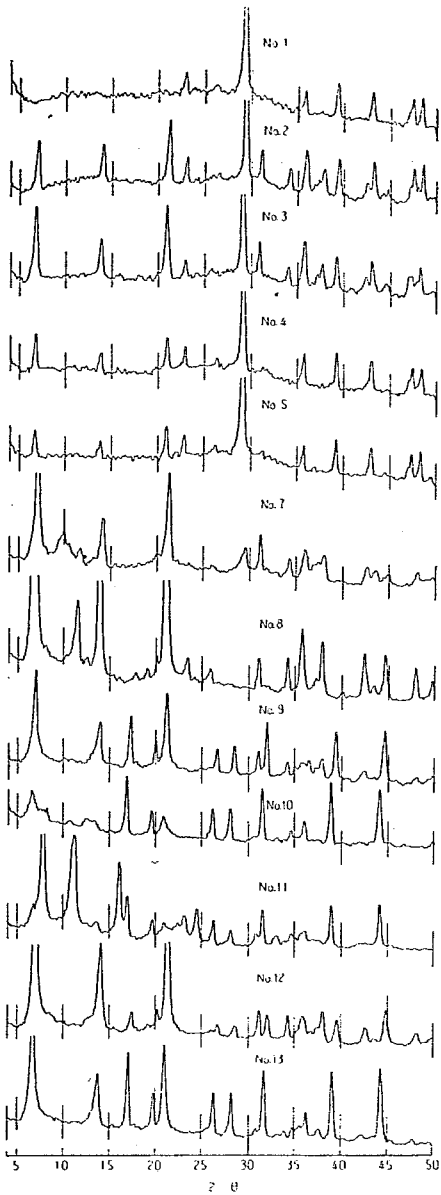


図-27 (c) SiO_2-Al_2O_3 ゲル (500°C 加熱処理) と飽和 $Ca(OH)_2$ 溶液との反応生成物 (20°C, 14 日) X線回折図

が見られ，CSH(I)によるか否かは明らかでない。No-8 は C_3AH_6 のほかに C_2ASH_n を認める。DTA曲線は No-2, No-8 について求めたが，360°C の C_3AH_6 による吸熱ピークが明瞭に見られる。

20°C の場合 No-9, No-10, No-11 等は C_3AH_6 を生成したのであるが，すでに固相として試料中に Gibbsite が存在していたから，CaO-Al_2O_3-H_2O 系の安定相として C_3AH_6 が生成したのである。したがって 80°C の場合に C_3AH_6 が生成することとはその内容が異なるということができる。C_3AH_6 の生成機構は天然アロファンの場合と同じと考えることができる。また天然アロファンの場合は材令が長いと SiO_2 が H_2O と置換した Hydrogarnet を一部生成し始めることを認めたのであるが，天然アロファンより反応しやすいこの合成ゲルでは 2 週間の養生では SiO_2 と H_2O の交換は認められていない。

CaO の試料への固定量 (1 g 試料当りの CaO 量) は No-2, No-6, No-7, No-8, No-9, No-10, No-11, No-12, No-13 についてそれぞれ 1.02, 0.82, 0.89, 0.81, 0.87, 0.93, 0.92, 0.93, 0.92 であり，この固定量は 20°C の場合のような Al_2O_3/SiO_2 との関係は明瞭ではない。試料より Al_2O_3 が液中に溶出しないと仮定し，また $Ca(OH)_2$ の炭酸化が起らないと仮定すれば，反応体中での CaO/Al_2O_3 (モル比) は 5.2, 5.4, 4.9, 3.2, 3.5, 2.9, 2.8, 3.9, 3.0 となり，Al_2O_3/SiO_2 の大きいものは CaO/Al_2O_3 が約 3 に近く，Al_2O_3/SiO_2 が 0.65 程度のものは約 5 程度であり，前者は主として C_3AH_6 の生成に関係があり，後者は C_3AH_6 のほかに CSH (I) 等の生成を考えねばならない。CaO の固定量を天然アロファンの場合と比較すると，20°C でも 80°C でも反応体中の CaO 含量はあまり変らないことが認められる。

以上のべたように合成ゲルは天然アロファンと同じ行動をとることが明らかとなった。

(4) 加熱処理した共沈ゲルと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応

共沈ゲルを 100°C, 200°C, 500°C に加熱処理して，$Ca(OH)_2$ 溶液と 20°C, 2 週間反応させた場合の反応生成物の X線回折図を図-27 に示す。

加熱処理した方が結晶度のすぐれた C_2ASH_n を生成することはすでに報告してあるが，合成ゲルの場合も同様なことが云える。No-1 および No-5 は加熱処理しない試料の場合と同様に C_2ASH_n を生成しない。Al_2O_3/SiO_2 の大きい No-9, No-10, No-12, No-13 は同様に C_2ASH_n と C_3AH_6 を生成する。しかし，No-11 は C_3AH_6 と C_2ASH_n の一部は認めるが，現在までに見られなかった新しい強い反射を示す。この反射は 11.1 Å, 5.5Å, 3.65Å で特徴づけられ，層格子の底面反射と見

なされる。しかし，この化合物が何であるかは不明である。

200°C で加熱処理した合成ゲルは 100°C 加熱したものより結晶度の高い C_2ASH_n を与える。No-1はC_2ASH_nを生成しないが，No-5 は 100°C 加熱では C_2ASH_nを生成しないにもかかわらず 200°C 加熱で生成する。また 100°C で処理した No-11 試料の場合に見られた 11.1Å 線で特徴づけられた回折線群は，200°C処理の場合に No-10 試料にも出現した。

500°C で加熱処理した合成ゲルは，No-9 までは 200°C処理の場合とほとんど変らない。しかし，No-10 では 11.1Å 線は出現せず無処理の場合と同じになり，No-11 は依然として 11.1Å 線が強く見られる。No-12, No-13 は加熱による変化はうけない。

X線回折の結果からはアロファン類似体をふくむ合成ゲルは，加熱処理しても $Ca(OH)_2$ 溶液との常温反応で，C_2ASH_n を生成することは確実であり，Al_2O_3/SiO_2 が 1.0 に近いものの回折線は最も強い。No-8 はこの例であり，炭酸化を可及的に防止し，また CSH (I) が生成しない場合は，C_2ASH_nは X線的には副成分をふくまない。したがって C_2ASH_n のすべての回折線を確実に知ることができ，この値はすでに第一報でのべた。

加熱処理したものが $Ca(OH)_2$溶液との反応でC_2ASH_nを生成せず，11.1Å 線で代表させる粉末線を与える場合の見られることは，合成ゲル中に共存する Boehmite等の加熱処理により，C_2ASH_n と同様な層状格子をもつ化合物が生成しやすいことを示すものであり，今後の研究を要する点である。なお 11.1Å 線を示す化合物はC_2AH_8の粉末線に似ているのであるが正確なことはわからない。

加熱処理試料の $Ca(OH)_2$ 溶液との反応による CaO の固定量については 表-8 に示すようであり，反応体中でのCaO/Al_2O_3（モル比）は，加熱しない場合と比較していちじるしい相異はない。また No-10 および No-11 試料のように加熱体では C_2ASH_n のかわりに 11.1Å 線を与える場合でも，CaO/Al_2O_3 にいちじるしい変化は認められない。

以上の実験結果より合成ゲルは加熱した場合には，$Ca(OH)_2$ 溶液との常温での反応で C_2ASH_nを生成し，その結晶度は加熱しないものより良好であり，Al_2O_3/SiO_2 の値で回折線の強度に差があり，この値が 1.0 に近いものが最も鮮明な回折図を与えた。Al_2O_3/SiO_2のとくに大きいものは C_2ASH_n が生成するかわりに C_2AH_8の回折線に近い結晶性鉱物を生成する。天然のアロファンに近似した組成と性質を示す合成ゲルは，加熱処理をしても C_2ASH_n を生成する等の性質が，天然アロファンと同じであることを認めた。

小坂[25]の研究によれば合成した共沈ゲルはその組成が Al_2O_3/SiO_2 で 0.26～7.3 の場合はアロファンと同じ行動を示し，これらの合成ゲルはアロファンとみなされるとしている。この研究においても合成ゲルが $Ca(OH)_2$溶液に対しては天然アロファンと同じ行動をとることが明らかとなった。

（5） Fe_2O_3 ゲルと SiO_2 ゲルの共沈ゲルについて

Al_2O_3 ゲルと SiO_2 ゲルの共沈ゲルはアロファンと見なしうる性質をもっている。天然には Fe_2O_3 ゲルと SiO_2 ゲルの共沈ゲルと考えられるアロファンに似た Hisingerite が知られており，たとえば浅間山の地獄谷の炭酸泉で小坂[25]はこの鉱物を見出している。Hisingerite と考えられる鉱物が Fe_2O_3 ゲルと SiO_2 ゲルの共沈体としてえられることが判明しているので，この鉱物の $Ca(OH)_2$ に対する行動がアロファンと似ているか否かを実験した。

2％の水ガラス溶液 1 *l* を $FeCl_3 \cdot 6H_2O$（3％）溶液 1 *l* に 80°C 加温しながら滴下し，撹拌して NaOH で pH を 6.0 とする。共沈ゲルは沪過洗滌し透析して風乾させた。合成ゲルの分析値は H_2O^-: 22.82％，H_2O^+: 9.24％，SiO_2: 31.12％，Fe_2O_3: 34.82％，SiO_2/Fe_2O_3: 2.5

この合成ゲルはＤＴＡ曲線ではアロファンと同じであ

表-8　共沈ゲルの $Ca(OH)_2$ 溶液での反応体中の CaO/Al_2O_3 比

試料番号	No-1	No-2	No-3	No-4	No-5	No-7	No-8	No-9	No-10	No-11	No-12	No-13
H_2O（室温～100°C）	36.8	17.8	17.1	15.0	30.3	22.5	17.5	22.4	11.9	18.8	22.0	21.4
CaO (g)/試料 (g)	0.497	0.606	0.617	0.412	0.554	0.504	0.452	0.627	0.746	0.747	0.695	0.766
CaO/Al_2O_3（モル比）	7.1	3.1	3.3	3.6	6.5	2.8	1.8	2.5	2.3	2.3	2.9	2.5
H_2O（100°C～200°C）	0.97	7.0	6.3	7.0	0.2	19.8	14.7	12.4	16.9	10.7	13.9	3.6
CaO (g)/試料 (g)	0.509	0.680	0.646	0.429	0.583	0.618	0.544	0.615	0.674	0.649	0.731	0.784
CaO/Al_2O_3（モル比）	7.2	3.5	3.5	3.8	6.9	3.4	2.1	2.5	2.1	2.0	3.0	2.5
H_2O（200°C～500°C）	0.3	3.0	2.4	1.1	0.2	7.3	8.5	6.8	7.8	9.4	6.9	19.6
CaO (g)/試料 (g)	0.378	0.709	0.692	0.320	0.497	0.618	0.510	0.683	0.709	0.743	0.636	0.928
$CaO(g)/Al_2O_3$（モル比）	5.4	3.6	3.7	2.8	6.0	3.4	2.0	2.7	2.2	2.3	2.7	3.0
H_2O（加熱処理なし）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CaO (g)/試料 (g)	0.458	0.560	0.520	0.395	0.458	0.012	0.463	0.554	0.779	0.772	0.571	0.717
CaO/Al_2O_3（モル比）	6.5	2.9	2.8	3.5	5.5	3.4	1.8	2.3	2.3	2.3	2.4	2.3

るが，1,000°C の発熱ピークは小さい。X 線回折では明瞭な回折線は認められず，2.6Å から 5Å にわたるハローが見られるのみである。この結果からこの合成ゲルは Hisingerite に類似した性質を与えるものと推定される。

この合成ゲルは $Ca(OH)_2$ 溶液との常温での2週間の反応では C_2FSH_n に当る回折線はもちろん，なんらの回折線も認めない。すなわち，この Hisingerite をふくむと推定される合成ゲルにはアロファンが C_2ASH_n を生成する機構と同様な機構が見られないと考えられる。また 80°C で2週間反応させたときは C_3AH_6 にあたる C_3FH_6 は生成することを認めた。この反応は，おそらく液相を経過して行なわれるものと推定される。

〔4〕要　約

Al_2O_3 ゲルと SiO_2 ゲルの共沈ゲルを種々の条件で造り，その Al_2O_3/SiO_2 比をいろいろと変えた。えられた合成ゲルのうち，Al_2O_3/SiO_2（モル比）が 0.23 以上で 5.1 以下の合成ゲルはX線回折，DTA曲線，赤外線吸収スペクトルでは天然アロファンに類似した性質を与え，Al_2O_3 がより多くなる場合は Gibbsite, Boehmite, Bayerite 等が生成し，Al_2O_3 がより少なくなると遊離の SiO_2 ゲルを認めるに至る。

20°C での飽和 $Ca(OH)_2$ 溶液との反応の結果では，Al_2O_3/SiO_2 が0.3以上で8.5以下のもので C_2ASH_n の生成を認め，この比が大きく Gibbsite, Bayerite, Boehmite 等が存在する場合は同時に C_3AH_6 を生成する。Al_2O_3/SiO_2 の小さいものでは CSH の生成も推定される。回折線はこの比が1.0の場合が最も鮮明であった。また固定される CaO 量は Al_2O_3 の多いゲルほど多い傾向が見られる。なお 80°C の場合は C_3AH_6 を生成し，CaO の固定量は C_2ASH_n を生成する場合より多く，Al_2O_3/SiO_2 が大きいと CaO/Al_2O_3 は3に近い値となる。

加熱処理によっても合成ゲルの C_2ASH_n の生成機構は保存され，加熱処理により回折線は鮮明となる。Al_2O_3/SiO_2 のとくに大きい合成ゲルでは加熱処理により 11.1Å 線および 5.5Å 線で代表される未知化合物を生じる。

合成ゲルは $Ca(OH)_2$ 溶液に対しても天然アロファンとまったく同一な行動をとり，その組成がいちじるしくかけ離れているものは天然アロファンとは異なった行動をとるか，または部分的に似た行動を示す。天然アロファンと同じ行動をとるものの組成は Al_2O_3/SiO_2 が 0.3～5.1 の範囲であり，小坂[25]の報告による 0.23～7.3 の範囲内にある。また共沈合成ゲルはアロファンと見なされるとの考え方は，$Ca(OH)_2$ 溶液に対する行動からも肯定される。共沈合成ゲルはアロファンに存在する構造をもつと考えられるので，合成アロファンと考える。しかしその性質には，ある範囲内で連続的に変わる過程が存するものと考える。アロファンに関する研究ではこの合成ゲルを出発点とすることを考えるべきであろう。

アロファンに近い Hisingerite 類似体をうる目的で Fe_2O_3 ゲルと SiO_2 ゲルの共沈ゲルをえたが，常温では $Ca(OH)_2$ 溶液に対してはなんら結晶性物質を与えない。今後の研究が必要であろう。

文　献

25) 小坂　丈予　粘土化学の進歩（2）339, 1958
26) 小坂　丈予　日本化学会地球化学討論会講演要旨集 117, 1956

アロファン質粘土の消石灰—石膏による化学的安定処理方法に関する研究 (4)

(昭和36年8月)

有泉 昌*

目次

VI アロファンと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応に関する考察……(1)
〔1〕液相中の Al_2O_3, CaO の濃度変化について……(1)
〔2〕収着体から結晶化について……(3)
〔3〕収着量と液相の $Ca(OH)_2$ 濃度との関係……(3)
〔4〕反応生成物とその安定性……(5)
〔5〕$CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系化合物について……(6)

VI アロファンと$Ca(OH)_2$溶液との反応に関する考察

すでに〔I〕から〔V〕に亘たりアロファン粘土と $Ca(OH)_2$ との反応についてのべ，色々の角度からこの反応について検討を加えた。現在までの実験結果からは本反応の機構を十分には説明できないし，今後の解明にまたねばならない点が甚だ多い。しかし本反応の重要性にかんがみさらに新たな実験結果をも加えてこの反応について考察する。

〔1〕液相中の Al_2O_3, CaO の濃度変化について

アロファンが $Ca(OH)_2$ 溶液との反応中での CaO 濃度についてはすでにのべた所であるが，Al_2O_3 の行動については触れていない。ここではアロファンとして〔V〕でのべた合成アロファン No.-8 を用いた。この試料は H_2O^- : 17.50%, H_2O^+ : 8.80%, SiO_2 : 27.35%, Al_2O_3 : 46.45%, Al_2O_3/SiO_2 (モル比) : 1.00 である。試料 0.100g を $Ca(OH)_2$ 飽和溶液 100cc と 20°C で反応させ，反応後液相固相を分離し，液相については Ca^{++} および Al^{+++} を定量し，固相はX線回折を試みた。Al^{+++} の分析はクロムアズロールSを指示薬として EDTA による直接滴定法による。反応時間は 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 16, 18, 24, 48, 72時間とした。

実験結果は図-28および図-29に示す。

CaOは反応30分ではほとんど減少しないが，1時間では著しく減少し，72時間までの間の減少量の半ばはこの初期の30分間に起る。これ以後の CaO の減少はほぼ時間に比例し，10時間頃より徐々に減少量はさらに小さくなる。しかし Al_2O_3 は特異な行動を示し，30分目でもある程度液相中に見られ，CaOの減少のはげしい間は Al_2O_3 の濃度は余り増加しない。CaOの減少が一定割合になる2時間頃から，Al_2O_3 の濃度は増加して約6時間目に最高 (0.11g /l) に達し，その後は増加速度と同じ位の速度で減少し始めるが徐々にその速度は小さくなり，18時間以降は著しい濃度変化は認められない。

固相では30分間の反応ですでに C_3AH_8, C_4AH_{13} の回折線を認めるが，CaO の収着量は 0.014g で少ない。固相の分離にある程度時間も要することも考慮しておかねばならない。1時間では C_2AH_8 および C_4AH_{13} のほかに C_2ASH_n の生成が始めて見られ，以後6時間までは C_2ASH_n の回折線の強度は増加し，その反面 C_3AH_8 の方は強度が減少し，時には C_3AH_8 を認めるが C_2ASH_n の回折線のみとなる。なお C_2ASH_n, C_2AH_8, C_4AH_{13} の回折線のほかに10.5Å の回折線を認めるが，おそらく C_2AH_8 によるものであろう。

上にのべた実験結果はアロファンとしては著しく活性のある合成アロファンを試料とした場合であるので，活性度に種々の段階のある天然アロファンとは，反応の速さ等について多少の差異のあることは十分考えられる所である。しかし同様な過程を取ることと考えてよいので，この実験結果について考察しよう。

反応開始後30分間でCaOの収着が僅かしか見られないが，すでに C_3AH_8 を認めるのは，アロファンの構造中に容易に C_3AH_8 を生成する機構が推定される。初期反

* 地質化学部長

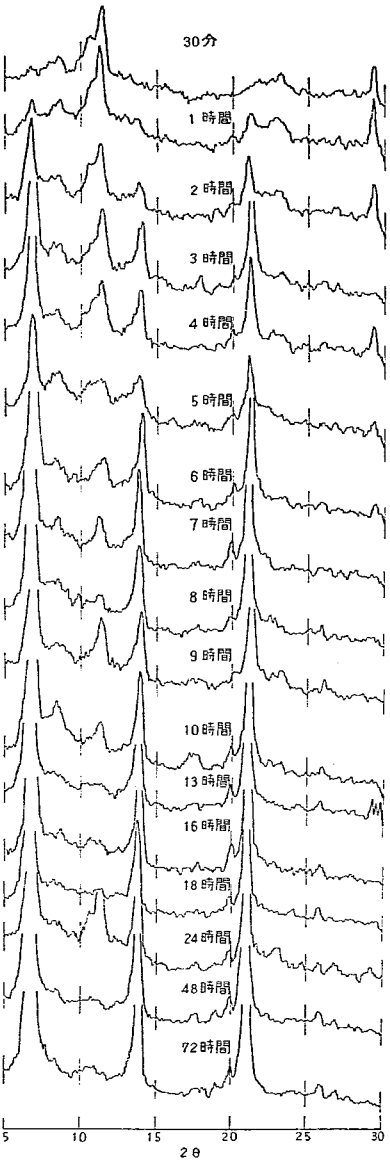


図-28 SiO_2-Al_2O_3 ゲルと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応

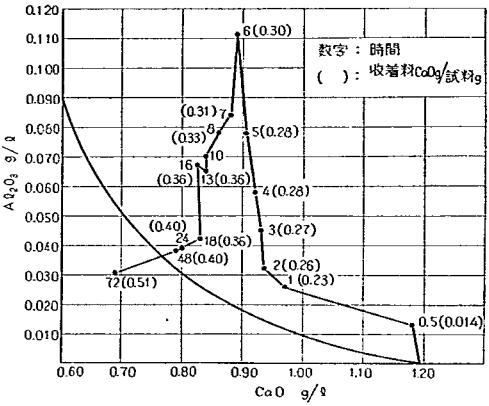


図-29 反応中の液相組成

応が著るしく遅延するのはこの C_3AH_5 等の生成によるのであろう。1時間ですでに収着量は 0.23g に達し，C_2ASH_n も生成し始めており，その後収着量の僅かな増加にもかかわらず C_2ASH_n の増加が見られる。このことは一部の結晶性物質しか与えない単なる収着体が一応生成し，この収着体より C_2ASH_n の結晶が生成すると考えるべきである。C_2ASH_n の結晶化にともない共存する C_4AH_{13} または C_3AH_5 の回折線強度の減少と，液中への Al_2O_3 の溶出が急に起ることは，C_2ASH_n の生成のためにアロファン構造中に何等かの変化が起り，反応初期に生成した C_3AH_5 または C_4AH_{13} 中の Al_2O_3 および収着体中の Al_2O_3 が液相中に溶出しやすくなるためと考える。Al_2O_3 が液相中に増加すれば，Wells[5] 等の研究による $CaO-Al_2O_3-H_2O$ 平衡系では過飽和溶液となり，C_4AH_{13}，C_3AH_5，C_2AH_5 等が徐々ではあるが折出せねばならない。この実験の範囲ではいずれも過飽和領域内にあるが，6時間以降 Al_2O_3 が何等かの形で折出していることが示される。この折出にともないCaOの濃度も低下するであろう。6時間から10時間に亘りCaOの濃度低下速度がやや大きくなり，C_3AH_5 と C_2AH_5 の比較的鮮明な回折線が見られる（6時間までに見られる回折線は C_3AH_5 とともに C_4AH_{13} が見られ，鮮明でない)。したがって Al_2O_3 は C_2AH_5 等として折出したものと考えられる。10時間をすぎて18時間までは CaO の濃度はほとんど変化なく Al_2O_3 の濃度の低下が見られ，固相中からは C_3AH_5 および C_2AH_5 が消失し，C_2ASH_n の発達が著しい。この関係についての説明は困難であるが，おそらく C_2ASH_n，C_3AH_5，CaO 収着体および液相濃度の間に平衡関係が存在し，C_3AH_5 は不安定であり過飽和で存在する Al_2O_3 と共に何等かの形のX線に対しては無定形物質に変るかまたは何か他の安定化合物に変るものと推定する。また一部共存する液相中の SiO_2 と共に C_2ASH_n を生成するかは明らかでない。24時間に至れば $CaO-Al_2O_3-H_2O$ 系平衡図の C_3AH_5 等の溶解度曲線に近づく。また過飽和溶液の Al_2O_3 濃度

が最高 0.11g/l に達することは，試料中の Al_2O_3 の少くも約25%は液相を経過することを示している。

結局本反応ではその初期に液相中よりの CaO がアロファンの表面層と反応して C_3AH_3 および C_4AH_{13} 等を生成し，一時収着反応をおくらせるが，その後急激に CaO を収着し，収着体内で徐々に C_2ASH_n の結晶が生成してアロファンの構造は変化し，Al_2O_3 は一部易溶解性となり溶出して過飽和溶液を生成し，始めに生成した C_3AH_3 等も溶解する。過飽和溶液よりはふたたび C_3AH_3 が析出するが，$CaO-Al_2O_3-H_2O$ 平衡系に近づくに従い C_3AH_3 および液相中の Al_2O_3 は何等かの形のより安定な化合物として固相中に入り，以後 C_2ASH_n の結晶化が進むとともに液相中より徐々に CaO を収着しつづける。

なお液相中の SiO_2 の行動については明らかでないので上記の考え方はこれ以上発展させることができない。また本実験は合成アロファンについて 20°C に行ったものであるから，天然アロファンについては個々の過程で多少の反応の様相の相異は予期されるし，80°C のような C_3AH_3 を生成する反応について拡張解釈はできない。

〔2〕 収着体からの結晶化について

アロファンが $Ca(OH)_2$ 溶液中におかれると，Ca^{++} と OH^- は当量的に液相より減少し，アロファンの CaO 収着量が増加し H_2O^+ も増加して，H_2O^- は減少することはすでにのべた。アロファンはイオン交換容量を持つので $Ca(OH)_2$ 溶液との反応が表面荷電にもとずくものか，収着反応によるかを明らかにしておかねばならない。

アロファンの交換基は Si-OH および Al-OH である。もしこの OH 基の H^+ と Ca^{++} が交換すれば液相中の OH^- は消失するので当量的ではある。しかし交換反応としては交換容量が著しく高すぎる。アロファンの陽イオン交換容量は測定者によりかなり広い範囲にわたり異った値が示されているが，高くとも 100meq/100g 程度[27]であるにもかかわらず，本実験でえられる値は 500～1,000meq/100g 程度の極めて高い値を示めす。交換反応としては平衡に達する時間が長すぎ，また600°Cにに加熱した場合でも $Ca(OH)_2$ とよく反応する。さらに Ca^{++} と H^+ の交換があれば重量の増加は Ca^{++} のみによると考えるべきだが，H_2O^+ の著しい増加が見られる。

これらの諸点よりアロファンと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応は一部のイオン交換反応もあるが，主として $Ca(OH)_2$ の収着反応と考えることができる。この収着反応では液の濃度が高く，温度が高い方が収着速度が大きく早く収着平衡に達することが認められる。しかし収着量と収着平衡に達したときの液相組成との間には定まった関係がない。この反応は収着反応のほかに別の反応が同時に行なわれると考えるべきであろう。すなわち収着体内で収着された Ca イオンがアロファン構造の内部に拡散して，C_2ASH_n を生成するものと考えられ，このことは液相中に変化が見られなくとも固相中での結晶性物質の間に消長が見られることからも十分推定できることである。

天然アロファンの間でも，また天然アロファンと合成アロファンの間でも，その構造に多少の差異のあることは $Ca(OH)_2$ に対する反応から推定したのであるが，収着体から結晶化にすすむ速さが構造の差を示すものであろう。結晶化の速さは収着量が多ければ当然速くなり，収着体中での結晶化しない CaO 量の減少とともに結晶化速度は小さくなる。結晶化が進行するとさらに収着平衡に達するまで収着量は増加するであろう。結晶化速度はしたがって収着速度と収着体内での CaO の配位する速度により支配され，両者は相関性を持ち，さらに液相濃度と温度が収着速度と収着平衡に関係すると考えてよい。

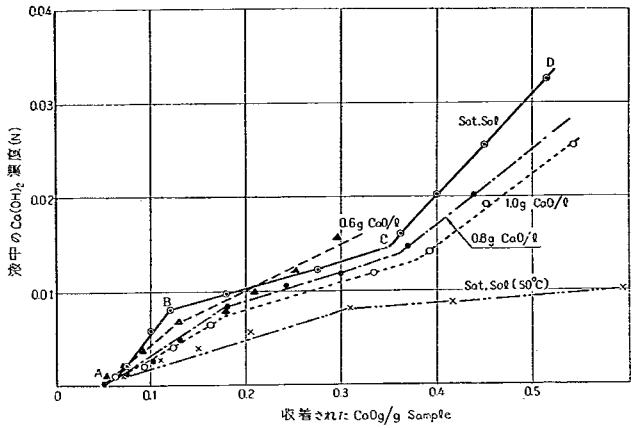
実験結果からは例えば 20°C または 40°C では，CaO の収着量が試料に対し20%程度以上でないと，C_2ASH_n は見られないがその生成速度は著しく小さく，80°C では収着量が40%程度以上でないと C_3AH_6 の生成速度は著しくおそい。20%以下でも6カ月のような長時間の後には C_2ASH_n の生成を認めている。

このような反応は Strätling [15] がカオリナイトの焼成物と $Ca(OH)_2$ の反応で始めて C_2ASH_n の生成を認めたとき，この反応の特異性より Topochemical 反応としたのであるが，アロファンの場合もこの反応の特異性を十分持っていることを実験的に確かめている。この反応を示すことはアロファンの特徴でもあり，アロファンの構造がこの反応により示されると考えることができる。またこの反応は鉱物の変成作用の一型式とも考えられる。

〔3〕 収着量と液相の $Ca(OH)_2$ 濃度との関係

アロファンと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応では，収着量と液相の濃度との間および生成した結晶性物質と液相濃度の間に平衡関係のあることはすでにのべた。しかしこの関係の量的表現はできなかったのでこの問題について触れてみる。ただ生成した C_2ASH_n 等の結晶性物質の定量方法が見出されないこと，およびアロファン中に存在する SiO_2 の行動が明らかでないので，これらの関係の正確な表現は現在の所不可能である。

実験方法としては鹿沼土より分離したアロファン D_0 を 500～650°C に1時間加熱した試料を用い，種々の濃度の $Ca(OH)_2$ 溶液の一定量にそれぞれ異った量だけ順次加えた1系列の反応を，20°C で35日間反応の条件で実施した。反応後溶液の CaO を求めてこの期間内の収着量を求めるとともに，固相は X線回折により反応生成物



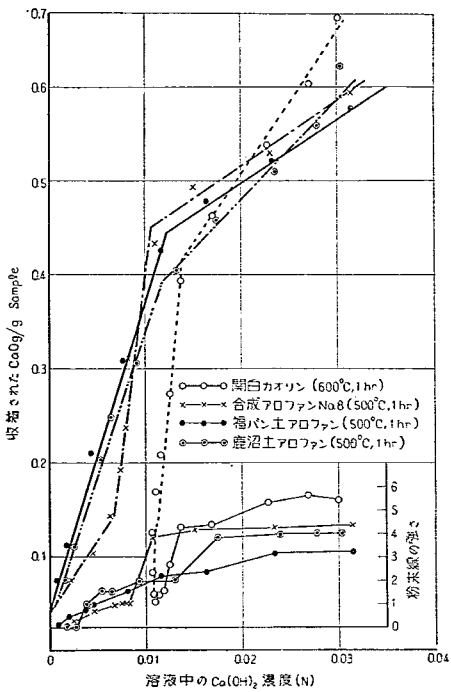
図－30　収着量と平衡濃度（寒沼土アロファン，20°C，35日）

の種類を決定した。さらに同様な操作を600°C に1時間加熱した関白カオリン，それぞれ500°C に1時間加熱した福バン土よりのコロイド粘土，合成アロファンNo-8，および鹿沼土よりのコロイド粘土について試みた。

ここで加熱処理を試みた試料を用いたのは反応過程で C_4AH_{13}，C_3AH_3 等が生成しがたいためである。

図-30 に鹿沼土よりのアロファンを 500～650°C に約1時間加熱したものを用いた場合の 20°C，35 日における収着量と，その平衡時における液相中の $Ca(OH)_2$ の濃度を示す。この図より明らかなことは液相濃度と収着量の間に一定の関係のあることであり，この関係を示す線は連続線を与えず，AB，BC および CD の3本の線分よりなる。この特異性は飽和溶液に試料量を変えて加えた場合に最も明瞭に認められるが，CaO濃度を変えた場合でも同様に認められる。この反応が吸着反応のみであれば，同一の液相濃度に対しては吸着量は始めの濃度に関せず同一でなければならないし，上にのべた不連続線を与えることも考えられない。少くも結晶性物質の生成がX線的には見られないABの間では，これらの関係はそれほど変動のあるものとは考えられない。したがってこの反応は化学的収着反応に引きつづく Topochemical 反応をもふくむ動的反応と考えることが妥当となる。しかし一方では収着量と濃度の間に不連続直線で示される関係が共通して見られることは，この反応を規制する一つの要因の存在することを示すものである。固相のX線回折の方より見れば，ABの間では何等回折線を認めず，BC間で C_2ASH_n の回折線の強さは順次増加し，CD間では強さの変化はほとんど見られない。したがって液相の濃度が低いABの場合は単なる収着反応であり，濃度が順次増加し，0.013N～0.015Nに達するまで Topochemical 反応が進行し，それ以降は固相中での C_2ASH_n の結晶化は進行せず CaO のみは何等かの形で固定されるものと考えられる。このCaOがCD間でどのような形で存在するかは現在明らかではないが，アロファン中の過剰の SiO_2 への収着とか，Hydrated Gehlenite が Taylor [17] の云うCSH(I)と同様な構造を持ちCaOの量によりX線回折図が影響をうけない形を持ちうるか等を想像させる。

さらに飽和領域に達する場合はおそらく C_4AH_{13} が固相として存在するであろう。これらの点については後でさらにふれることとして，この反応には未知の分野が多いのであるが，液相と固相の間に平衡関係とも云うべき量的関係の存在することは確実である。



図－31　収着量と平衡濃度および固相の粉末線強度

鹿沼土アロファンのやや高温処理体について上にのべたが，福バン土アロファン，合成アロファン，関白カオリンよりのメタカオリン，500°C処理の鹿沼土アロファンについて同様の実験を試みた結果を図-31に示す。この場合も前の場合とほとんど同形であり，Cに相当する点は同様に0.010N～0.013Nの範囲にあるが，Bに相当する点は合成アロファンの場合のみ明瞭に見られ，ほかの場合には見られない。同じ鹿沼土アロファンでこの相違が見られるのは，加熱温度の影響であろうし，前図でも濃度によっては明瞭さをかく傾向も見られたことより予想できるように，2つの反応が継続して同時に進行するためと考えられる。図の下部には，固相中の C_2ASH_n による粉末線（12.8Å）の強さを便宜的の値で示した。この場合でもC点を境として反応機構の差のあることが十分理解できる。

本実験の結果からアロファンと $Ca(OH)_2$ 溶液の反応では，$Ca(OH)_2$ 濃度の低い領域でアロファンと CaO を収着したアロファンが共存し，この濃度と 0.010～0.015Nの濃度に亘り CaO 収着アロファンと C_2ASH_n が共存し，さらに高濃度側では C_2ASH_n と CaO 収着体ないし $CaO-SiO_2-H_2O$ 系化合物が共存し，飽和溶液に近い場合はおそらく C_2ASH_n は C_4AH_{13} に変り結晶性物質としては C_4AH_{13} が見られると推定される。この反応には $CaO-SiO_2-H_2O$ 系に見られるような不変系は認められないのであり，多成分系の反応であることからも当然のことであろう。しかし少くも 20°Cでは，固相の組成とそれと平衡関係を持って接する液相の濃度の間には，定性的ではあるが一定の関係のあることが明らかにされた。

〔4〕 反応生成物とその安定性

アロファンと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応生成物を種々の条件で求め，結晶性物質として C_2ASH_n，C_3AH_6–C_3ASH_4 系鉱物，C_4AH_{13} および C_3AH_8 の存在を確かめ，それらの生成条件と安定性について検討したのであるが，さらにこの問題について考えて見る。

アロファン中の SiO_2 がどのように行動するかは不明の点である。勿論 SiO_2 の一部は C_2ASH_n の生成に関与するが，Hydrated Gehlenite の組成を C_2ASH_n と考える限り，一般の天然アロファンでは SiO_2 の過剰が起ることであろう。反応過程では C_3AH_8 や C_4AH_{13} のような $CaO-Al_2O_3-H_2O$ 系の鉱物は見られるが，$CaO-SiO_2-H_2O$ 系鉱物は生成しないのであろうか，$CaO-SiO_2-H_2O$ 平衡系ではこの実験の $Ca(OH)_2$ の濃度域内で，Taylor の Ca-Silicate Hydrate（I）または CSH(B) の生成が予想されるのである。この水和物のX線粉末線（Å）は 9～14（10），3.06（10），2.81（8），1.83（8），1.67（4），1.53（2），1.40（4）として知られている。CSH (B) は結晶度が良好でないので3.06 Å線は鋭いピークを与えないのが一般であり，この実験の性質上 $CaCO_3$ の混入を避けることも困難である。また結晶度の低い Calcite では 3.05Å の最強線に対するその他の粉末線の強度は特に小さいので，3.05Å のみで Calcite は識別困難であり，3.05Å を与える場合は Calcite と CSH (B) の区別も困難の場合が多い。C_2ASH_n の粉末線は勿論，C_3AH_8，C_3AH_6，C_4AH_{13} の粉末線には3.05Å 線は存在しないので，Calcite か CSH (B) の存在を 3.05Å 線と関連して考えることは可能である。CSH (B) の存在を考えることができる場合は，SiO_2/Al_2O_3 の高い合成共沈ゲルの反応の場合であり，また関白カオリン焼成体の反応でも同様である。しかし SiO_2/Al_2O_3 の低い合成アロファンとか，鹿沼土，福バン土，味噌土等よりのアロファンの場合には CSH (B) の存在が確実だとは云えない。DTA 曲線からはむしろ CSH (B) の存在は疑わしいとも云える。この問題についてはアロファン自体の構造，C_2ASH_n で略記される Hydrated Gehlenite とされる鉱物の化学的組成と結晶構造，さらに $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ の4成分平衡系等が明らかでないので，今後の研究によって解明されるであろう。

C_3AH_8 および C_4AH_{13} は CaO の収着と同時に生成される場合と液相中より折出する場合があると考えられるが，これらの安定性と平衡関係は一応 $CaO-Al_2O_3-H_2O$ 系の平衡関係により律せられると考えられる。さらに C_2ASH_n とも平衡関係を持つと考えられ，飽和溶液に近い領域では C_2ASH_n は消失して C_4AH_{13} が生成し，CaO の濃度が低いときは C_4AH_{13} の方が溶解度がより大きいので，C_2ASH_n の方が存在しうる。$CaO-Al_2O_3-H_2O$ 系では C_3AH_6 が最も安定相であるので，CaO の濃度が飽和より遠ざかるほど C_3AH_6 が安定相として見られるようになる。アロファンと $Ca(OH)_2$ 溶液の反応で高温型と低温型があり，この型式は温度のみでなく $Ca(OH)_2$ 濃度にも関係するとのべ，種々の条件での安定相について論じた。この関係は複雑であるがその機構は次のように考えれば実験事実を一般的に説明することができる。すなわち $CaO-Al_2O_3-H_2O$ 系で準安定相である C_3AH_8 の存在線をaとし（この線は温度により高濃度側に移動する），20°C での C_3AH_6 の存在線をcとすれば，80°Cでの C_3AH_6 の存在線bはaとcの中間にある。一方 C_2ASH_n の 80°C での溶解度曲線は a b，c線にL，M，N点で交ると考えれば，Lより高濃度側では C_3AH_8 が安定であり，LMの濃度範囲では C_3AH_8 が安定であり，MNの濃度範囲では C_3AH_6 より C_2ASH_n の方が安定である。bとcの間には各温度に応じた溶解度曲線があり，また C_2ASH_n の温度による溶解度曲線も多数存在するから，これらの曲線群により安定相が定まる。$Ca(OH)_2$ 濃度を決定する要素は C_2ASH_n

等より供給される CaO と液相よりの収着量の変化である。

〔5〕 $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系化合物について

アロファンが常温で $Ca(OH)_2$ 溶液と反応すると，その濃度が低くない場合は結晶性物質が生成し，この物質は Hydrated Gehlenite (C_2ASH_n) に一致すること〔I〕で論じた。この物質は Hydrated Gehlenite とよばれるが，その組成または構造等はいまだ明らかにされていない。C_2ASH_n は $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系に見られる化合物であり，$CaO-Al_2O_3-H_2O$ 系または $CaO-SiO_2-H_2O$ 系に見られる既知の化合物でもなければ，また $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系に見られる Hydrogarnet 群鉱物，Ettringite 群鉱物，Zeolite 鉱物でもないこともすでにのべた。これらの既知の鉱物群は C_3A と C_3S の水和，$SiO_2-Al_2O_3$ ゲルまたは meta-Kaolin と $Ca(OH)_2$ 等の常温または水熱反応でえられるのであるが，$CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系の平衡関係が未だ研究されていないので，C_2ASH_n がこれらの鉱物群と対比してどのような位置にあるのか明らかにしえない。現在までに C_2ASH_n について報告されていることは，Calcium－Aluminate Complex Salts に近い関係のある Hydrated Silicoaluminate系列に属するか[19]，C_3ASH_n に該当する鉱物とか[28] Aluminate と Silicate の Complex double compound とか[15]等である。さらに $Ca(OH)_2$ 溶液中では結局は最も安定相である C_3AH_6 に変ることが予想されている。以上のように C_2ASH_n そのものについては不明の点が多いのであるが，アロファンが，メタカオリンと同様に $Ca(OH)_2$ 溶液に対しては常温で $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系として行動し，C_2ASH_n を生成する実験的事実は，アロファンの構造に関することは勿論，4成分系の平衡関係，またはこの反応の応用について重要な知見を与えるものである。

常温ではアロファンは C_2ASH_n を生成したのであるが，80°C のような高温では C_3AH_6 を生成することも重要な実験的事実である。C_3AH_6 は Hydrogarnet 系鉱物として C_3AS_3 または C_3FH_6 との間に任意に固溶体を生成することが知られており，C_3AH_6 は $C_3AS_{0.33}H_{5.34}$ と格子常数は変らないで，さらに $SiO_2 \rightleftarrows 2H_2O$ の置換が進行すれば格子常数は減少することが知られ，実験結果からも C_3ASH_4 に近いX線粉末線がえられている。C_3AH_6 とされる粉末線はやや拡散していることから，一部の SiO_2 が H_2O と置換した $C_3AS_{0.33}H_{5.34}$ の生成が考えられ，さらに時間の経過と共に C_3ASH_4 に近い C_3AH_5 と C_3ASH_4 の固溶体の生成が進行すると考えるべきであろう。結局80°C での反応でも $Ca(OH)_2$ に対しアロファンは $CaO-SiO_2-Al_2O_3-H_2O$ 系として行動することを知る。

この反応ではまた C_4AH_{13} および C_3AH_8 の生成も見られ，アロファンを加熱処理した場合にはこれらの生成は僅かに見られるのみである。これらの化合物は CaO のアロファンによる収着の初期にすでに見られ，一部は液相を経過するものであり，また特に $Ca(OH)_2$ の濃度の高い場合は C_2ASH_n より変ったものの場合もある。これら化合物の生成はアロファン中にある形態の Al_2O_3 の存在を示し，また一部の Al_2O_3 は $Ca(OH)_2$ 溶液に易溶性であることを示すものである。さらに SiO_2/Al_2O_3 の低くい合成アロファンの場合とか，香港カオリンよりのメタカオリン場合には，C_2AH_8 の (00l) 線にあたると推定される粉末線を示すほかは，アロファンと $Ca(OH)_2$ 溶液との反応では C_2AH_8 は見られない。C_2AH_8 は $Ca(OH)_2$ 濃度の高い領域では C_4AH_{13} または C_3AH_8 より溶解度が高いので，この反応で一般に見られないことは理解しうる所である。C_3AH_8 と C_4AH_{13} は共存するがそれらは相互に変りうることが実験的に認められている。C_2AH_8，C_4AH_{13} および C_2AH_5 は何れも近似したX線回折線を与え，(00l) 線が測定されないときは (hk0) 線が最強線であり，これらは a 軸の長さのみの関数であるから，a が共に 8.8Å であるこれら3種の化合物では何れも (hk0) 線は同じ位置にある。このことは C_3AH_8 が C_2AH_8 と C_4AH_{13} との intimately mixed layer 化合物[8] とされるので当然のことであり，また C_2AH_8 は再結晶もなく結晶形の変化もなくゲル状の Al_2O_3 を分離して C_4AH_{13} に変ることが認められているので，C_3AH_8 および C_4AH_{13} が共存することも予想される所である。C_3AH_8 と C_4AH_{13} が相互に変るときは，その中間の化合物を経過する場合もしばしば認められるし，C_4AH_{13} の (001) 線がある値の内で変化することも認められる。

文　献

27) 青峰 重範 日土肥 28, 508, 1957
28) W. Büssem Symp. (Stockholm) 497, 1938 Büssem

有限振幅波について

―高次級数解による進行波の砕波限界―

昭和36年11月

首藤伸夫*

目　次

1. 序……(1)
2. 深水波の砕波限界……(2)
2-1 級数解による波形表示……(2)
2-2 波高および水面上昇……(2)
2-3 進行波の有する運動量……(3)
2-4 砕波限界……(3)
3. 浅水波の砕波限界……(5)
3-1 級数解による波形表示……(5)
3-2 波高および水面上昇……(5)
3-3 進行波の有する運動量……(6)
3-4 砕波限界……(6)
4. 級数の収束限界……(7)
5. 結論……(8)

1. 序

波が砕波する条件としては，

1) 波頂での水粒子の水平速度が波速と同じになったとき，
2) 波頂で不連続が生じ，接線のなす角が120度になったとき，
3) 波形の非対称がいちじるしくなって波頭の前面が鉛直に立ち上ったとき，
4) 波頂と水底における水粒子の速度に大差を生じ，波頭が進みすぎて波の運動が破壊されるとき，
5) 有限振幅の波の表示である無限級数解が収束性を失う限界，
6) 波を表示する特性曲線群が交わって包絡線をつくるとき，

などが考えられている。

Michell は 2) の考えをつかって，深水波では最大波形コウ配が0.142であることを示した。

浜田は有限振幅波級数解の近似式から浅水波の砕波限界を求めたが，その結果があまりにも違いすぎるので，水深無限大の際に，Michell の値になるように若干の修正を行なった半理論式を提案している。

佐藤も近似式を用いて計算した結果，水深無限大で Michell の値に漸近していく曲線を得た。

また，岸は三次の近似式を用いて砕波条件を求め，深水波の場合には，最大波形コウ配が0.146となることを示している。

浜田，佐藤，岸三氏の式は，いずれも 1) の条件を用いて行なった理論解である。

F. Saquet と A. Wallet は実験による曲線を1953年に発表している。

以上が砕波限界について得られている主要なものであるが，このうち理論的にとかれたものには，いくらかの難点があった。

すなわち，理論式をうるに際して用いられた波形表示の級数が，たかだか三次程度の近似でしかないこと，また波形表示の無限級数の高次項をうることが非常に困難であるのみならず，その級数の収束性をきわめることが事実上不可能であると云うことであった。

それゆえ，もし級数解を用いて砕波条件をといてみたところで，その結果は理論的にははなはだ大きな疑問を残すものであった。

筆者はさきに明らかにした演算の結果，有限振幅波を無限級数の形に表示し，しかも不十分ではあるが，この級数の収束性を確かめることに成功している。ここではこの結果を用いて，高次級数解を採用した際の砕波条件を求めた。砕波を生ずる条件としては，上にのべた 1) を用いている。

* 河川部 海岸研究室研究員

まず，深水波について次第に次数をますことによって最大波形コウ配がどのように変化していくか，また近似解を採用することによって生ずる誤差がいかに変動していくかをしらべる。ついで，深水波の場合におよそ妥当であると考えられる近似次数と同じ近似度で浅水波の砕波条件を決定する。

2. 深水波の砕波限界[1]

2-1 級数解による波形表示

深水波を求めるには，複素ポテンシャル $w=\phi+i\psi$ に対して与えられる式

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}=0 \quad \cdots\cdots(1)$$

を，次の条件のもとにとく。

$$z=-\infty \text{ で，} \partial\phi/\partial z=0 \quad \cdots\cdots(2)$$

Rayleigh の方法として知られている手段にしたがって，波の進行方向と逆向きに波速と同じ大きさの流れを付加して系を定常化する。

このとき，(1) 式および (2) 式を満足する ϕ，およびそれに共役な ψ の表示が次のように与えられるのは周知のことである。

$$\left.\begin{aligned}\phi/c&=x-\alpha\cdot e^{kz}\cdot\sin kx\\ \psi/c&=z-\alpha\cdot e^{kz}\cdot\cos kx\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(3)$$

水表面では流れの関数 $\psi=0$, $z=\eta$ であるから

$$\eta=\alpha\cdot e^{k\eta}\cdot\cos kx=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(nk)^{n-1}}{n!}\cdot\alpha^n\cdot\cos^n kx$$

$$=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx \quad \cdots(4)^{2)}$$

ここで，$A_n=n^n/n!$

深さ $-d$ での $\phi=-cd$ に対応する水中波の波形を η' とすると，

$$\left.\begin{aligned}-d&=-d+\eta'-\alpha\cdot e^{k(-d+\eta')}\cdot\cos kx\\ \eta'&=\alpha\cdot e^{-kd}\cdot e^{k\eta'}\cdot\cos kx\\ &=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(nk)^{n-1}}{n!}\cdot\alpha^n\cdot e^{-nkd}\cdot\cos^n kx\\ &=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot e^{-nkd}\cdot\cos^n kx\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(5)$$

2-2 波高および水面上昇

波高を求めるためには，(4) 式の最大最小の差をとればよい。波高 h は

$$\begin{aligned}h&=\eta_{\max}-\eta_{\min}=\eta_{\cos kx=1}-\eta_{\cos kx=-1}\\ &=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n-\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\\ &=2\sum_{n=1,3,5\ldots}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\\ &=2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_{2n-1}}{(2n-1)k}\cdot\alpha^{2n-1}\cdot k^{2n-1} \quad \cdots\cdots(6)\end{aligned}$$

したがって，

$$kh=2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_{2n-1}}{(2n-1)}\cdot\alpha^{2n-1}\cdot k^{2n-1}$$

$k=2\pi/L$ であるから波形コウ配は

$$h/L=\frac{1}{\pi}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_{2n-1}}{(2n-1)}\cdot\alpha^{2n-1}\cdot k^{2n-1} \quad \cdots\cdots(7)$$

である。

ついで，水面上昇の値を計算する。静水面からの上昇を δ とすれば，(4) 式を一波長について積分し，波長 L で割れば求められる。

$$\begin{aligned}\delta&=\frac{1}{L}\cdot\int_0^L\eta\cdot dx\\ &=\frac{1}{L}\cdot\int_0^L\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\cdot dx\\ &=\frac{1}{L}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\int_0^L\cos^n kx\cdot dx \quad \cdots(8)^{3)}\end{aligned}$$

したがって $\int_0^L\cos^n kx\cdot dx$ の積分を行なえばよい。

n 乗の余弦関数は次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}\cos^{2m}kx&=\frac{1}{2^{2m-1}}\cdot\sum_{r=0}^{m-1}{}_{2m}C_r\cdot\cos 2(m-r)kx+\frac{{}_{2m}C_m}{2^{2m}}\\ \cos^{2m+1}kx&=\frac{1}{2^{2m}}\cdot\sum_{r=0}^{m}{}_{2m+1}C_r\cdot\cos(2m-2r+1)kx\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(9)$$

また，余弦関数の n 倍関数の一波長についての積分を考えると

$$\int_0^L\cos nkx\cdot dx=\frac{1}{nk}\cdot\sin nkx\Big|_0^L=0 \quad \cdots\cdots(10)$$

---

1) 2. 深水波の砕波限界および，3. 浅水波の砕波限界において，水粒子の流速を求める手続きは岸が行なったものと同じである。

2) (4) 式の級数展開は，筆者の前著；有限振幅波について，土木研究所報告第107号にある。次の (5) 式の誘導も (4) 式と同じようにしてもとめられる。

3) ここで行なう積分は $|\alpha\cdot k\cdot e|<1$ なる領域では正当なものとみとめられる。なぜなら

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\leq\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n$$

収束半径は

$$\lim_{n\to\infty}\left|\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\Big/\frac{A_{n+1}}{(n+1)k}\cdot\alpha^{n+1}\cdot k^{n+1}\right|=\lim_{n\to\infty}\left|\frac{1}{\alpha k}\cdot\left(\frac{n}{n+1}\right)^{n-1}\right|=\frac{1}{e\cdot\alpha\cdot k}$$

したがって，$1<\left|\frac{1}{e\cdot\alpha\cdot k}\right|$ つまり $|e\cdot\alpha\cdot k|<1$ ならば積分可能である。

となるのは，n が整数であることを考えれば当然であろう。

（9）式および（10）式を考慮すれば，（8）式の表現を次式のようにすることができる。

$$\delta = \sum_{n=2,4,6\cdots} \frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot\frac{{}_nC_{n/2}}{2^n}$$

$$=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_{2n}}{2n\cdot k}\cdot\alpha^{2n}\cdot k^{2n}\cdot\frac{{}_{2n}C_n}{2^{2n}}$$

$$=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_{2n}}{2n\cdot k}\cdot\alpha^{2n}\cdot k^{2n}\cdot\frac{1}{2^{2n}}\cdot\frac{(2n)!}{n!\cdot n!}$$

$$=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{2n\cdot k}\cdot\frac{1}{2^{2n}}\cdot\frac{(2n)^{2n}}{(2n)!}\cdot\frac{(2n)!}{n!\cdot n!}\cdot\alpha^{2n}\cdot k^{2n}$$

$$=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{2n\cdot k}\cdot\frac{n^{2n}}{n!\cdot n!}\cdot\alpha^{2n}\cdot k^{2n}$$

$$=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{2n\cdot k}\cdot(A_n\cdot\alpha^n\cdot k^n)^2 \quad\cdots\cdots(11)$$

$$k\delta=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{2n}\cdot(A_n\cdot\alpha^n\cdot k^n)^2$$

$$\therefore\quad \frac{\delta}{L}=\frac{1}{4\pi}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}(A_n\cdot\alpha^n\cdot k^n)^2\cdots(12)$$

2-3　進行波の有する運動量

われわれはさきに（3）式を求める際に，進行波と逆の方向に波速と同じ速さをもつ一様な流れを付加して定常化しておいた。いま，こうしてでき上った波を定常波とよぶこととする。

進行波の水実質部分の有する流速を (U, V)，定常波のそれを (u, v)，付加した一様流のものを，(c, o) とすると，これら三者の間に次のような関係が存在する。

$$\left.\begin{aligned} u&=-(\partial\phi/\partial x)=-c+U\\ v&=-(\partial\phi/\partial y)=V\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(13)$$

ゆえに，

$$\left.\begin{aligned} U&=c+u\\ V&=v\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(14)$$

いま，流線にそって単位幅，単位長さあたりの進行波，定常波，一様流の x 方向についての運動量をそれぞれ，M_U, M_u, M_c であらわすと，運動量についても（14）式と同様の関係が成立する。

$$M_U=M_u+M_c \quad\cdots\cdots(15)$$

定常波と一様流の運動量を知れば，進行波の運動量を求めうる。

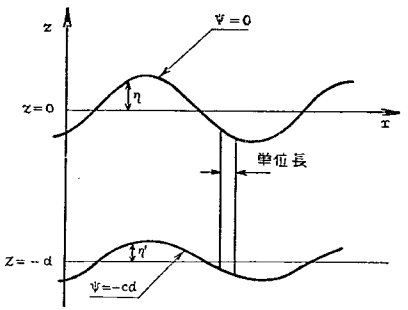
図-1にしめされているような流線 $\phi=0$ と $\phi=-cd$ とにはさまれた x 方向に単位の長さをもっている部分について考えることとする。

まず定常波の運動量 M_u は，

$$M_u=\int_{\phi=-cd}^{\phi=0}\rho\cdot u\cdot dz=-\rho\int_{\phi=-cd}^{\phi=0}\frac{\partial\psi}{\partial z}=-\rho cd \quad\cdots\cdots(16)$$

一様流の運動量 M_c は，

$$M_c=\int_{z=-d+\eta'}^{z=\eta}\rho\cdot c\cdot dz=\rho c\,[\eta-\eta'+d] \quad\cdots(17)$$



図－1

したがって，進行波の運動量 M_U は，

$$M_U=M_u+M_c=-\rho cd+\rho c\,[\eta-\eta'+d]$$

$$=\rho c\,[\eta-\eta']$$

$$=\rho c\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\cdot[1-e^{-nkd}]\cdots(18)$$

進行波一波長あたりの運動量は $z=-\infty$ つまり $d=\infty$ として，x につき o から L まで積分すればえられる。

この積分は，（8）式とまったく同じであるから，やはり $|e\cdot\alpha\cdot k|<1$ の領域で積分可能である。

$$M=\int_o^L M_{U,\,d=\infty}\cdot dx$$

$$=\int_o^L \rho c\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\cdot dx$$

$$=\rho\cdot c\cdot L\cdot\delta \quad\cdots\cdots(19)$$

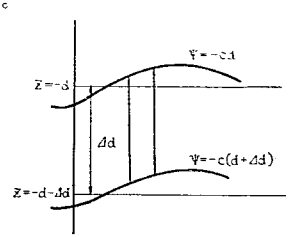
この（19）式の関係は，有限項のみをとった場合と同じ結果を与える。たとえば二次近似では

$$\delta=\frac{1}{2}ka^2,\ M=\pi\rho a^2c,\ a^2=\alpha\left(1+\frac{9}{8}k^2\alpha^2\right)$$

であるから，$M=\rho\cdot c\cdot L\cdot\delta$ と云う結果はすぐ導かれる。

2-4　砕波限界

まず，任意の流線に沿っての x 方向の流速を求める。そのためには，$\phi=-cd$ と $\phi=-c(d+\Delta d)$ の間にはさまれた x 方向に単位長さを有する部分について考えることとする。



図－2

この微小部分の有する運動量 $M_{d\sim d+\Delta d}$ は，

$$M_{d\sim d+\Delta d}=M_{U,\,d=d+\Delta d}-M_{U,\,d=d}$$

$$=\rho c\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{A_n}{nk}\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx$$

$$\times[e^{-nk\delta}-e^{-nk(\delta+\Delta\delta)}] \cdots\cdots(20)$$

この微小部分の質量は $\rho\cdot\Delta d$ としてよいから，ある流線 $\psi=-cd$ に沿った x 方向への流速 U_δ を求めるには次のようにする。

$$U_\delta = \lim_{\Delta\delta\to 0}\frac{M_{\delta\sim\delta+\Delta\delta}}{\rho\cdot\Delta d}$$

$$=c\cdot\sum_{n=1}^{\infty}A_n\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\cdot e^{-nk\delta} \cdots\cdots(21)^{4)}$$

表面での流体速度を求めるには $d=0$ とする。

$$U_{d=0}=c\cdot\sum_{n=1}^{\infty}A_n\cdot\alpha^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx \cdots\cdots(22)$$

最大の流体速度 $U_{\max}$ は波頂で生じ，$\cos kx=1$ とした

$$U_{\max}=c\cdot\sum_{n=1}^{\infty}A_n\cdot\alpha^n\cdot k^n \cdots\cdots(23)$$

であらわされる。進行波が波として存在しうる限界は，この流体最大速度が波速 c と等しくなったときであるから，$U_{\max}=c$ とおいて，

$$\sum_{n=1}^{\infty}A_n\cdot\alpha^n\cdot k^n=1 \cdots\cdots(24)$$

と云う砕波条件式をうる。

この (24) 式をといて αk を求め，その結果を (7) 式に入れて最大波形コウ配を計算することができる。波形コウ配を計算する式が αk について $(2n-1)$ 次の項のみを有する形になっているから (24) 式も $(2n-1)$ 項をとったときについてとくことにする。

計算結果は 表-1 のとおりである。

表-1　深水波の砕波限界

方程式の次数	αk の値	最大波形コウ配 h/L	近似解による h/L の誤差	収束域	収束・非収束の別
1	1.000	0.318		$\alpha k<0.368$	非収束
3	0.3983	0.157		〃	〃
5	0.3882	0.166		〃	〃
7	0.3203	0.126	0.042	〃	収束
9	0.3133	0.123	0.018	〃	〃
11	0.3093	0.121	0.0088	〃	〃
13	0.3065	0.119	0.0045	〃	〃
15	0.3052	0.119	0.0025	〃	〃

この表-1によって知られるとおり，αk の値は項数をふやしても13項あたりからほとんど変化しないようになることが期待される。この値を用いて計算した最大波形コウ配の値は有効数字を三ケタに限るならば（四ケタ目を四捨五入する限りにおいては），変化のないものとなってくる。だが，この計算はあくまでも近似計算にすぎないのであるから項数をまだ多くとることによって，h/L の値も変化していくかも知れない。これ以下には，どのくらいの確かさで $h/L=0.119$ であると云えるかを調べてみることにする。項数を多くとれば αk の値も違ってくるのであるが，有効数字を二ケタにとるものとすると方程式をとくときに生ずる αk の値の差はそれほど大きくないであろうから，無限級数方程式である (24) 式のかわりに近似多次方程式の根としてえられた αk を用いてもよい。しかも，この後者を用いれば誤差の評価が実際よりも若干大きめに求められるので十分である。

αk を (7) 式に代入して h/L を求めたのであるが，この式で第 h 項，つまり αk の第 $(2h-1)$ 次の項までとったことによる剰余を R_h とすると，

$$R_h=\frac{1}{\pi}\cdot\sum_{n=h+1}^{\infty}\frac{(2n-1)^{2n-2}}{(2n-1)!}\cdot\alpha^{2n-1}\cdot k^{2n-1} \cdots\cdots(25)$$

これを変形して次の形を導くことができる[5]。

$$R_h=\frac{1}{\pi}\left[\frac{(2h+1)^{2h}}{(2h+1)!}\cdot\alpha^{2h+1}\cdot k^{2h+1}+\frac{(2h+3)^{2h+2}}{(2h+3)!}\cdot\alpha^{2h+3}\cdot k^{2h+3}+\cdots\cdots\right]$$

$$<\frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2h+1}\cdot e^{2h+1}\cdot\alpha^{2h+1}\cdot k^{2h+1}+\frac{1}{2h+3}\cdot e^{2h+3}\cdot\alpha^{2h+3}\cdot k^{2h+3}+\cdots\cdots\right]$$

$$=\frac{1}{\pi}\cdot\frac{1}{2h+1}\cdot e^{2h+1}\cdot\alpha^{2h+1}\cdot k^{2h+1}\times\left[1+\frac{2h+1}{2h+3}\cdot e^2\cdot\alpha^2\cdot k^2+\cdots\cdots\right]$$

$$<\frac{1}{\pi}\cdot\frac{1}{2h+1}\cdot e^{2h+1}\cdot\alpha^{2h+1}\cdot k^{2h+1}\cdot\frac{1}{1-e^2\cdot\alpha^2\cdot k^2} \cdots\cdots(26)$$

したがって誤差 E_h が

$$0<E_h<\frac{1}{\pi}\cdot\frac{1}{2h+1}\cdot e^{2h+1}\cdot\alpha^{2h+1}k^{2h+1}$$

---

4) U_δ は，(18) 式を d で微分し ρ で割ったのと同じことである。この演算は $|e\cdot k\cdot\alpha|<1$ なら行なってもよい。

(18) 式の収束半径は

$$\lim_{n\to\infty}\left|\frac{n^{n-1}}{n!}\cdot\alpha^n\cdot k^{n-1}\cdot(1-e^{-nk\delta})\Big/\frac{(n+1)^n}{(n+1)!}\cdot\alpha^{n+1}\cdot k^n\cdot(1-e^{-(n+1)k\delta})\right|$$

$$=\lim_{n\to\infty}\left|\left(\frac{n}{n+1}\right)^{n-1}\cdot\frac{1}{k\alpha}\cdot\frac{1-e^{-nk\delta}}{1-e^{-(n+1)k\delta}}\right|=\frac{1}{e\cdot\alpha\cdot k}$$

(21) 式の収束半径は

$$\lim_{n\to\infty}\left|\frac{n^n}{n!}\cdot(\alpha k)^n\cdot e^{-nk\delta}\Big/\frac{(n+1)^{n+1}}{(n+1)!}\cdot(\alpha k)^{n+1}\cdot e^{-(n+1)k\delta}\right|=\lim_{n\to\infty}\left|\left(\frac{n}{n+1}\right)^n\cdot\frac{1}{\alpha k}\cdot e^{k\delta}\right|=\frac{e^{k\delta}}{|e\cdot k\cdot\alpha|}$$

$d\geq 0$ であるから，$d=0$ のとき $\dfrac{1}{|e\cdot k\cdot\alpha|}$ となる。したがって $|e\cdot k\cdot\alpha|<1$ の領域で微分可能である。

5) この演算については，筆者の前著〔脚註; 2）に同じ〕を参照されたい。

$$\times\frac{1}{1-e^{2\alpha^2\cdot k^2}} \quad \cdots\cdots(27)$$

であらわされるのは当然であろう。

(27) 式を用いて求めた結果は表-1 の第4列目にしめしてある。

図-3 は，近似項のとり方によって h/L の変動するありさま，その収束する領域，誤差の大きさなどを示したものである。最大波形コウ配が 0.119 付近に収束していくようすが明らかにうかがわれ，もし違ってもせいぜい 0.116～0.122程度の範囲であることがわかる。

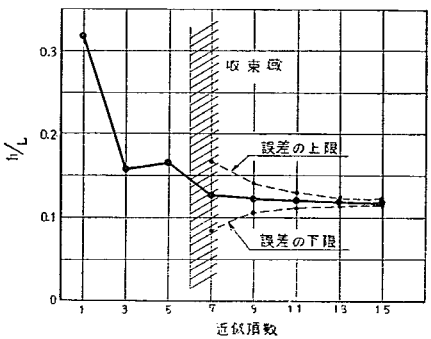


図 - 3　深水波の砕波限界

3.　浅水波の砕波限界

3-1　級数解による波形表示

これから行なう計算は深水波の場合と同じ考えにもとづいているから，説明は簡単にする。

深水波と同様の取扱いによって，速度ポテンシャル ϕ と流れの関数 ψ をつぎのように与えることができる。

$$\left.\begin{aligned}\phi/c &= x-\beta\cdot\cosh k(d+z)\cdot\sin kx\\ \psi/c &= z-\beta\cdot\sinh k(d+z)\cdot\cos kx\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(28)$$

これは，明らかに

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}=0,\quad w=\phi+i\psi\\ &z=-d\ \text{で}\ \frac{\partial\phi}{\partial z}=0\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(29)$$

をみたしている。

水表面においては，$\psi=0$ で，$z=\eta$ であるから

$$\begin{aligned}\eta &= \beta\cdot\sinh k(d+\eta)\cdot\cos kx\\ &=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\beta^n\cdot k^{n-1}}{2^{n-1}\cdot n!}\cdot\cos^n kx\\ &\quad\times\left[\sum_{r=0}^{m}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^{n-1}\cdot\sinh\{(n-2r)kd\}\right]\\ &=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{B_n}{k}\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\quad\cdots\cdots(30)\end{aligned}$$

ただし，

$$\begin{aligned}B_n &= \frac{1}{2^{n-1}\cdot n!}\cdot\left[\sum_{r=0}^{m}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^{n-1}\right.\\ &\quad\left.\times\sinh\{(n-2r)kd\}\right]\\ m &= \frac{n}{2}-1\quad\cdots\cdots\ n\ \text{が偶数}\\ &= \frac{n-1}{2}\quad\cdots\cdots\ n\ \text{が奇数}\end{aligned}$$

つぎに水深 d' に対応する水中波の波形 η' を求める。したがって，$\psi=-cd'$，$z=-d+\eta'$ とすると，

$$\begin{aligned}\eta' &= \beta\cdot\sinh k(d-d'+\eta')\cdot\cos kx\\ &=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\beta^n\cdot k^{n-1}}{2^{n-1}\cdot n!}\cdot\cos^n kx\\ &\quad\times\left[\sum_{r=0}^{m}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^{n-1}\right.\\ &\quad\left.\times\sinh\{(n-2r)\cdot k(d-d')\}\right]\\ &=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{B_n'}{k}\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\quad\cdots\cdots(31)^{6)}\end{aligned}$$

ただし，

$$\begin{aligned}B_n' &= \frac{1}{2^{n-1}\cdot n!}\cdot\left[\sum_{r=0}^{m}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^{n-1}\right.\\ &\quad\left.\times\sinh\{(n-2r)\cdot k(d-d')\}\right]\\ m &= \frac{n}{2}-1\quad\cdots\cdots\ n\ \text{が偶数}\\ &= \frac{n-1}{2}\quad\cdots\cdots\ n\ \text{が奇数}\end{aligned}$$

3-2　波高および水面上昇

波高は (30) 式から求められる。

$$\begin{aligned}h &= \eta_{\max}-\eta_{\min}=\eta_{\cos kx=1}-\eta_{\cos kx=-1}\\ &=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{B_n}{k}\cdot\alpha^n\cdot k^n-\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{B_n}{k}\cdot\alpha^n\cdot k^n\\ &=2\sum_{n=1,3,5\ldots}\frac{B_n}{k}\cdot\alpha^n\cdot k^n\\ &=2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{B_{2n-1}}{k}\alpha^{2n-1}\cdot k^{2n-1}\quad\cdots\cdots(32)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}B_{2n-1} &= \frac{1}{2^{2n-2}\cdot(2n-1)!}\\ &\quad\times\left[\sum_{r=0}^{n-1}(-1)^r\cdot{}_{2n-1}C_r\cdot(2n-2r-1)^{2n-2}\right.\\ &\quad\left.\times\sinh\{(2n-2r-1)\cdot k(d-d')\}\right]\end{aligned}$$

したがって波形コウ配 h/L は，

$$h/L=\frac{1}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}B_{2n-1}\cdot\alpha^{2n-1}\cdot\alpha^{2n-1}\quad\cdots\cdots(33)$$

静水面よりの水面上昇値 δ を計算する。

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{1}{L}\cdot\int_0^L\eta\cdot dx\\ &=\frac{1}{L}\cdot\int_0^L\sum_{n=1}^{\infty}\frac{B_n}{k}\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\cdot dx\end{aligned}$$

---

6)　(30) 式は筆者の前著〔脚註; 2〕でみちびいてある。(31) 式もそれと同じようにして簡単に求めうる。

$$=\frac{1}{L}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{B_n}{k}\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\int_0^L\cos^n kx\cdot dx$$

$$=\sum_{n=2,4,6\cdots}\frac{B_n}{k}\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\frac{{}_nC_{n/2}}{2}$$

$$=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{B_{2n}}{k}\cdot\beta^{2n}\cdot k^{2n}\cdot\frac{{}_{2n}C_n}{2^{2n}} \quad\cdots\cdots(34)^{7)}$$

したがって浅水度は

$$\frac{d+\delta}{L}=\frac{d}{L}+\frac{1}{2\pi}\cdot\Sigma B_{2n}\cdot\frac{{}_{2n}C_n}{2^{2n}}\cdot\beta^{2n}\cdot k^{2n} \quad\cdots\cdots(35)$$

で計算される。

3-3 進行波の有する運動量

進行波の運動量は深水波の場合とまったく同じ方法によって求められる。定常波の $\psi=0$ から $\psi=-cd'$ までの運動量 M_u は,

$$M_u=\int_{\psi=-cd'}^{\psi=0}\rho\cdot u\cdot dz=-\rho\int_{\psi=-cd'}^{\psi=0}\frac{\partial\psi}{\partial z}\cdot dz$$

$$=-\rho cd' \quad\cdots\cdots(36)$$

一様流の運動量 M_c は

$$M_c=\int_{z=-d'+\eta'}^{z=\eta}\rho\cdot c\cdot dz=\rho c\cdot[\eta-\eta'+d'] \quad\cdots(37)$$

進行波の運動量 M_U は

$$M_U=M_u+M_c=\rho c[\eta-\eta']$$

$$=\rho c\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{k}\cdot[B_n-B_n']\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx \quad(38)$$

進行波が一波長について有する運動量は $d'=d$ として x に関して o から L まで積分する。B_n' の方は $d'=d$ とすれば消えるから

$$M=\int_0^L M_U\cdot dx$$

$$=\rho c\cdot\int_0^L\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{k}\cdot B_n\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\cdot dx$$

$$=\rho c\sum_{n=1}^{\infty}\frac{B_n}{k}\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\int_0^L\cos^n kx\cdot dx$$

$$=\rho\cdot c\cdot L\cdot\delta \quad\cdots\cdots(39)$$

この結果も有限項の場合と同じ結果であることはもちろんである。

3-4 砕波限界

任意の流線 $\psi=-cd'$ に沿っての x 方向の流体速度 $U_{d'}$ を求めるためには,(38) 式の M_U を d' で微分して ρ で割る。

$$U_{d'}=\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial M_U}{\partial d'}$$

$$=c\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{k}\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx\cdot\frac{\partial}{\partial d'}[B_n-B_n']$$

$$=c\cdot\sum_{n=1}^{\infty}C_n'\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx \quad\cdots\cdots(40)^{8)}$$

$$C_n'=\frac{1}{2^{n-1}\cdot n!}\left[\sum_{r=0}^{n}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^n\times\cosh\{(n-2r)k(d-d')\}\right]$$

表面での流速は $d'=0$ とする。

$$U_0=c\cdot\sum_{n=1}^{\infty}C_n\cdot\beta^n\cdot k^n\cdot\cos^n kx \quad\cdots\cdots(41)$$

$$C_n=\frac{1}{2^{n-1}\cdot n!}\left[\sum_{r=0}^{n}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^n\times\cosh\{(n-2r)\,kd\}\right]$$

最大流速は波頂で生ずるから $\cos kx=1$ として

$$U_{\max}=c\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\cdot C_n\cdot\beta^n\cdot k^n \quad\cdots\cdots(42)$$

砕波条件は

$$U_{\max}=c,\qquad\therefore\ \sum_{n=1}^{\infty}C_n\cdot\beta^n\cdot k^n=1 \quad\cdots\cdots(43)$$

波の砕波条件を波形コウ配と浅水度とで表示するためには,

$$\sum_{n=1}^{\infty}C_n\cdot\beta^n\cdot k^n=1$$

をといて βk の値を求め

$$h/L=\frac{1}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}B_{2n-1}\cdot\beta^{2n-1}\cdot k^{2n-1}$$

$$d/L+\delta/L=\frac{d}{L}+\frac{1}{2\pi}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}B_{2n}\cdot\frac{{}_{2n}C_n}{2^{2n}}\cdot\beta^{2n}\cdot k^{2n}$$

から波形コウ配と浅水度をを求める。ここで,

---

7) (34) 式の積分は $|e\cdot k\cdot\beta\cdot\cosh kd|<1$ の範囲で行なってもよい。$B_n\ll(n^{n-1}/n!)\{\cosh kd\}^n$ であることは前著で証明してある。だから (30) 式の収束半径は

$$\lim_{n\to\infty}\left|\frac{n^{n-1}}{n!}\cdot\beta^n\cdot k^{n-1}\cdot\cosh^n kd\Big/\frac{(n+1)^n}{(n+1)!}\cdot\beta^{n+1}\cdot k^n\cdot\cosh^{n+1}kd\right|=\lim_{n\to\infty}\left|\left(\frac{n}{n+1}\right)^{n-1}\cdot\frac{1}{\beta\cdot k\cdot\cosh kd}\right|$$

$$=\frac{1}{|e\cdot k\cdot\beta\cdot\cosh kd|}$$

8) (40) 式の演算を行なってもよいことを以下に示す。

$$B_n=\frac{1}{2^{n-1}\cdot n!}\cdot\left\{\sum_{r=0}^{n}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^{n-1}\cdot\sinh\{(n-2r)kd\}\right\}<\frac{n^{n-1}}{n!}\cdot\cosh^n kd$$

となることは筆者の前著の証明にある。しかも $(n^{n-1}/n!)\cosh^n kd$ を係数とする級数が $|e\cdot k\cdot\beta\cdot\cosh kd|<1$ で収束し,B_n を係数とする級数もこの条件内で収束することがわかっている。B_n' を係数とするものは,B_n の kd のかわりに,$k(d-d')$ となっているだけであるから $|e\cdot k\cdot\beta\cdot\cosh k(d-d')|\leq|e\cdot k\cdot\beta\cdot\cosh kd|<1$ の範囲で収束する。d' は $0\sim d$ の値をとる。したがって (38) 式は $|e\cdot k\cdot\beta\cdot\cosh kd|<1$ で一様収束,絶対収束である。

つぎに (40) 式の収束性について考える。まず,係数 C_n' を書きなおしていく。

$$C_n=\frac{1}{2^{n-1}\cdot n!}\cdot\left\{\sum_{r=0}^{m}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^n\times\cosh\{(n-2r)kd\}\right\}$$

$$B_n=\frac{1}{2^{n-1}\cdot n!}\cdot\left\{\sum_{r=0}^{m}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^{n-1}\times\cosh\{(n-2r)kd\}\right\}$$

$$m=\frac{n}{2}-1\quad\cdots\cdots n\text{が偶数}$$

$$=\frac{n-1}{2}\quad\cdots\cdots n\text{が奇数}$$

である。

深水波の場合，15次程度の近似を行なえば十分満足できる値をうることがわかっているので，浅水波の場合も15次の近似式をとることとする。浅水波の場合にも深水波のときと同じように近似項数と h/L の値の関係を調べれば最良であるが，浅水度が異なれば各項の係数も異なってきて，非常に多くの労力を要することになる。

普通，浅水度0.5くらいが浅水波と深水波の境界となっている。実際ここで行なった計算にもとづいて砕波条件をきめてやると浅水度0.505で最大波形コウ配0.119となり，深水波の値と合致する。したがって，浅水度の大きなところでは，15次程度の近似で十分であろうと推測される。しかし，浅水度の小さいところではたしてどうなっているかは判然としない。

表-2は砕波限界を示したものである。

表-2　浅水波の砕波限界（$U_{\max}=c$ としたもの）

d/L	$k\beta$	δ/L	$\frac{d+\delta}{L}$	h/L
0.020	4.853×10^{-1}	0.0015	0.022	0.0257
0.040	4.497×10^{-1}	0.0027	0.043	0.0474
0.060	4.064×10^{-1}	0.0041	0.064	0.0641
0.100	3.222×10^{-1}	0.0042	0.104	0.0863
0.150	2.369×10^{-1}	0.005	0.155	0.102
0.200	1.735×10^{-1}	0.005	0.205	0.110
0.250	1.268×10^{-1}	0.005	0.255	0.114
0.300	9.262×10^{-2}	0.005	0.305	0.116
0.350	6.770×10^{-2}	0.005	0.355	0.117
0.400	4.943×10^{-2}	0.005	0.405	0.118
0.500	2.635×10^{-2}	0.005	0.505	0.119
∞				0.119

表-3　収束限界

d/L	$k\beta$	δ/L	$\frac{d+\delta}{L}$	h/L
0.020	3.6503×10^{-1}	0.001	0.021	0.017
0.040	3.5657×10^{-1}	0.002	0.042	0.033
0.060	3.4320×10^{-1}	0.002	0.062	0.050
0.100	3.0557×10^{-1}	0.003	0.103	0.079
0.150	2.4890×10^{-1}	0.005	0.155	0.110
0.200	1.9372×10^{-1}	0.006	0.206	0.133
0.250	1.4661×10^{-1}	0.007	0.257	0.149
0.300	1.0920×10^{-1}	0.008	0.308	0.159
0.350	8.0606×10^{-2}	0.008	0.358	0.165
0.400	5.9207×10^{-2}	0.008	0.408	0.168
0.500	3.1735×10^{-2}	0.008	0.508	0.171
∞	$k\alpha 3.6790\times10^{-1}$			0.172

4.　級数の収束限界

波形をあらわしている級数が収束発散の境界にあるとき，波が砕波するという考えがあることは，すでに述べておいた。もし，この収束限界に達したときには，波形を表現する式がもはや収束しなくなり，波形形成の限界に達したものと考えるわけである。

しかし，このことがどのような物理的な意味をもっているのかつまびらかでない。このことはただ単に，2.や3.で行なった計算がはたして妥当な領域で行なわれているかどうかの判断の根拠になるだけのものと考えるのが適当であろう。もし，収束条件をみたしてない場合にはもっと数多くの項をとる必要があることを示していると考えることにする。

深水波の場合　$|e\cdot\alpha\cdot k|<1$

浅水波の場合　$|e\cdot\beta\cdot k\cdot\cosh kd|<1$

というように収束域がきめられている。収束限界は

$$|e\cdot\alpha\cdot k|=1,\ |e\cdot\beta\cdot k\cdot\cosh kd|=1\quad\cdots\cdots(44)$$

である。

(44)式をといて収束限界の h/L や $(d+\delta)/L$ を計算したのが表-3である。

$$C_n'=\frac{1}{2^{n-1}\cdot n!}\cdot\left\{\sum_{r=0}^{m}(-1)^r\cdot{}_nC_r\cdot(n-2r)^n\cdot\cosh\{(n-2r)k(d-d')\}\right\}$$

$$<\frac{1}{2^{n-1}\cdot n!}\cdot\left\{\sum_{r=0}^{m}{}_nC_r\cdot n^n\cdot\cosh\{(n-2r)k(d-d')\}\right\}\leqq\frac{n^n}{n!}\cdot\left(\frac{e^{k(d-d')}+e^{-k(d-d')}}{2}\right)^n$$

$$=(n^n/n!)\cdot\cosh^nk(d-d')$$

$(n^n/n!)\cdot\cosh^nk(d-d')$ を係数とする級数が収束する領域では，C_n' を級数とする級数は絶対収束である。

$$\lim_{n\to\infty}\left|k^n\cdot\beta^n\cdot\frac{n^n}{n!}\cdot\cosh^nk(d-d')/k^{n+1}\cdot\beta^{n+1}\cdot\frac{(n+1)^{n+1}}{(n+1)!}\cdot\cosh^{n+1}k(d-d')\right|$$

$$=\lim_{n\to\infty}\left|\frac{1}{k\beta}\cdot\left(\frac{n}{n+1}\right)^n\cdot\frac{1}{\cosh k(d-d')}\right|=\frac{1}{|e\cdot k\cdot\beta\cdot\cosh k(d-d')|}$$

したがって

$$|\cos kx|\leq1<\frac{1}{|e\cdot k\cdot\beta\cdot\cosh k(d-d')|}$$

の領域で級数は一様収束する。$d'=0$ のとき，収束半径はいちばん小さいから，そのときを考えると，$|e\cdot k\cdot\beta\cdot\cosh kd|<1$ の条件となる。この条件のもとに，(40)式の微分を行なってもよいことが示されたわけである。

5. 結　　論

2～4において若干の計算を試みて有限振幅ポテンシャル波の砕波条件を求めた。まず第一に，計算のもととなった級数が収束しなければ上に行なった計算は意味のないものとなる。それゆえ，ある場合には，まだ項数を多くとることが要求されることとなる。しかし，多くの項数をとって計算するのは多くの労力と時日を要するので，ここではとりあえず，収束条件をみたす値を採用することとする。

次に，収束条件がみたされている場合には，水実質部分の　流速＝波速　という条件から得られるものを採用する。こうすると，砕波時の波型コウ配および浅水度は表-4となる。図-4は，この表-4の値をえがいたものである。同図中にある点は，F. Saquet と A. Wallet が行なった実験値を彼等の図表から拾ったものである。

この図から見ると，浅水度の小さいところでは理論曲線と実験値は非常によい一致を示している。しかし，浅水度の大きなところでは，理論値よりも大きな波形コウ配の波が存在するようになっている。深水波で Michell の出した 0.142，岸の求めた 0.146 の方が筆者の求めた 0.119 よりも Saquet と Wallet の実験値にはよくあっているように思われる。M. Miche は，深水波の場合には最大波形コウ配は 0.10 から 0.12 程度のようであると述べている。もし，そうだとすると筆者の求めた 0.119 という値とほとんど同じになる。

現実の波は，有限波峯であるし，また，風の影響で早く崩れることなども考えられ，理論的に求めたものと違ってくることが当然考えられる。また浅水波になれば，反射波の影響なども加わって，　図-4 で求めたものと違う現象を呈するであろう。理論解は水深の変化を考慮に入れていないが，現実の海岸では水深はもちろん変化している。このように理論解と現実との間にへだたりはあるが，ここでは一応，有限振幅ポテンシャル波を厳密にといて行なった結果として 図-4 が与えられることを示した。

表-4　砕波時の波形コウ配と浅水度

浅水度	波形コウ配
0.021	0.017
0.042	0.033
0.062	0.050
0.103	0.079
0.155	0.102
0.205	0.110
0.255	0.114
0.305	0.116
0.355	0.117
0.405	0.118
0.505	0.119
∞	0.119

おわりに

この小論文をまとめるにあたって，運輸技術研究所浜田徳一博士，東京大学堀川清司助教授，土木研究所細井正延海岸研究室長に数多くの御教示をいただいた。ここにしるして感謝の意にかえる次第です。

参考文献

1) 石原・本間編；応用水理学・中Ⅱ
2) J. H. Michell; The Highest Waves in Water. Phil. Mag. Vol. 36, 1893.
3) 浜田徳一；Breakers and Beach Erosion; Rep. Transp. Tech. Res. Inst. Rep. No. 1. 1951
4) 佐藤清一；漂砂に関する研究 (4)，表面浅水波について；土木研究所報告　第82号，1952
5) 岸　力；海岸堤防に関する研究 (4)，進行波の砕波限界；土木研究所報告　第91号，1955
6) 岸　力；The Possible Highest Gravity Waves

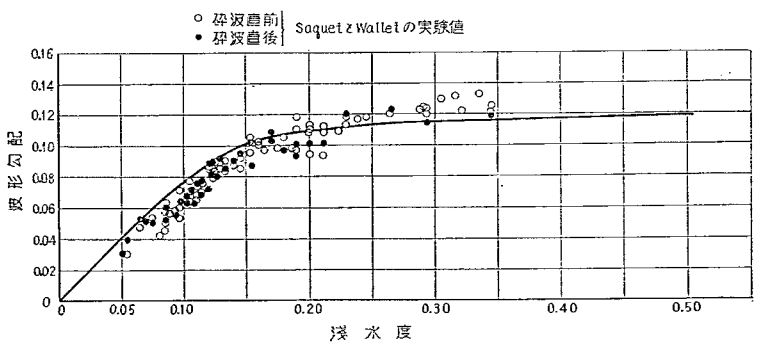


図-4　砕　波　限　界

in Shallow Water; Coastal Eng. in Japan. Vol. 2. 1959.

7) F. Saquet & A. Wallet; Basic Experimental Wave Research; Proc. Minesota Int. Hyd. Con. Sept. 1953.

8) 首藤伸夫; 有限振幅波について，高次の級数解，その収束性および近似式の誤差について; 土木研究所報告 第107号

9) M. Miche; Mouvements Ondulatoires de la Mer en Profondeur Constante ou Décroissante; Annales des Ponts et Chaussées. 1944.

プレストレスト合成ゲタの研究とその設計(3)

——大石橋の模型実験と設計に関する報告

プレストレスト部分合成連続ゲタ橋——

(昭和36年3月)

多田安夫*
中村正平**
青木忠宗***

要旨

本文はプレストレスト合成ゲタの研究とその設計の第3報であって，先に報告した単純合成ゲタに対するプレストレス工法を連続ゲタに拡張するために実施した模型実験とその結果を用いて行なった連続ゲタへの発展の第一段階としての部分合成連続ゲタ橋の設計と架設および載荷試験の概要について報告した。

目次

1 緒言……(1)
2 プレストレスト部分合成連続ゲタの設計理論……(1)
〔1〕 部分合成ゲタの設計理論……(1)
〔2〕 部分プレストレスト連続ゲタの設計理論……(2)
〔3〕 コンクリート床版のクリープおよび収縮による影響の計算理論……(3)
3 模型実験……(3)
〔1〕 実験の目的……(3)
〔2〕 実験ゲタ……(3)
〔3〕 実験……(6)
〔4〕 実験結果と考察……(7)
4 大石橋の設計……(8)
〔1〕 概要……(8)
〔2〕 設計……(9)
〔3〕 設計図……(11)
5 大石橋の架設と各種測定の概要……(11)
〔1〕 架設……(11)
〔2〕 載荷試験……(11)
6 結語……(13)
7 文献……(16)
8 付図

1. 緒言

著者は，先に単純プレストレスト合成ゲタについて研究し，実橋の設計を実施して既に竣功させた。

今後は引続いて，プレストレスト連続合成ゲタの研究に進む予定であるが，今回は，その手がかりとして，鋼ゲタは連続ゲタであるが，床版の合成は部分的に行なわれており，また鋼ゲタに対して部分的にプレストレスを加えた，いわゆる“プレストレスト部分合成連続ゲタ橋”について研究し，実橋の設計を行なった。実橋は東北地方建設局の協力を得て既に竣功している。

プレストレスト合成ゲタは，既に土木研究所報告103号[1]，109号[2]において述べたように，鋼ゲタおよび床版コンクリートにプレストレスを加え，材料を一段と有効に使用し，合成ゲタの経済性を高めるものである。

*道路部 橋梁研究室長 **道路部 橋梁研究室主任研究員
***道路部 橋梁研究室

2. プレストレスト部分合成連続ゲタの設計理論

〔1〕 部分合成ゲタの設計理論

普通のジュベルを有する合成ゲタでは，断面応力度に関して一般に次のような関係が成立する。(図-1参照)

$$\sigma_b \fallingdotseq \frac{a_b}{a_{st}} \cdot \frac{\sigma_{st}}{n} \quad \cdots\cdots(1)$$

ここでは，σ_b, σ_{st} はコンクリートおよび鋼の最大縁応力度，nは鋼とコンクリートの弾性係数の比である。許容コンクリート応力度は常に $1/n\ \sigma_{st.a}$ より小さいから(ここで $\sigma_{st.a}$ は鋼材の許容応力度)，コンクリートと鋼の許容応力度を両方共完全に使用するためには，

$$\frac{a_b}{a_{st}} < 1 \quad \cdots\cdots(2)$$

でなければならない。すなわち，合成断面重心は鋼ゲタの断面重心より相当に高くなければならない。コンクリート版の断面寸法は車道版としての働きから定まるからこのような条件は小支間で鋼断面の小さい場合において

のみ満足され，大支間においては満たされないことになる。

また，支間が非常に大きくなれば，合成断面の重心も大きく下り，活荷重によってコンクリートの許容応力度が超過されることになる。

更に，連続ゲタの支点上では，コンクリート版は引張力を受けることになり，合成作用を与えることが難しくなる。

従って，これらの場合には，特別な考慮がはらわれなければ連続的に普通の形のジュベルを配置することは，もはや経済的ではなくなる。

これらの欠点を除くためには，コンクリート版と鋼ゲタの間の結合度を緩和すればよい。このようにすれば，両者の接触面におけるせん断力が減り，したがって断面の軸力が減じ，一方モーメント分は増加する。通常，コンクリート版は主として軸力を受けるから，コンクリートの応力は減る。結合度を緩和するには，弾性的なジュベルを使用することと，ジュベルの中断とが考えられる。前者はドイツにおいては Homberg によって既に提案[3]されている。しかし，実際の施工の面で相当に面倒でありむしろ，ジュベルの中断による方が簡単である。

いま，合成ゲタの一部分でジュベルを取除いたとすると，そこでは版とけたの間にせん断力は生じない。すなわち，この範囲で軸力は一定となる。ゆえに，ジュベルのない区間 e では，コンクリート版と鋼ゲタの伸びは一致しなければならないから，伸び $\triangle e$ について次式が成立つ。

$$\triangle l=-\frac{N}{E_b F_b}\cdot l+\int_0^l\frac{M_b}{E_b I_b}\cdot\frac{d}{2}\cdot dx$$
$$=\frac{N}{E_{st}F_{st}}\cdot l-\int_0^l\frac{M_{st}}{E_{st}F_{st}}\left(d-\frac{d}{2}\right)dx \quad\cdots\cdots(3)$$

ここで，l ＝ジュベルのない区間の長さ，

$M=N_a+M_b+M_{st}=$ 合成ゲタに働く曲げモーメント

E_b, F_b, I_b＝それぞれコンクリート版の弾性係数，断面積，断面２次モーメント。

E_{st}, F_{st}, I_{st}＝それぞれ鋼ゲタの弾性係数，断面積，断面２次モーメント

また両者の曲率も一致しなければならないから，

$$\frac{M_b}{E_b I_b}=\frac{M_{st}}{E_{st}I_{st}} \quad\cdots\cdots(4)$$

ゆえに

$$\left.\begin{aligned}M_b&=\frac{E_b I_b}{E_b I_b+E_{st}I_{st}}\cdot(M-Na)\\ M_{st}&=\frac{E_{st}I_{st}}{E_b I_b+E_{st}I_{st}}\cdot(M-Na)\end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots(5)$$

(3)と(5)から，

$$N_l\left(\frac{1}{E_b F_b}+\frac{1}{E_{st}F_{st}}+\frac{a^2}{E_b I_b+E_{st}I_{st}}\right)$$
$$=\frac{a}{E_b I_b+E_{st}+I_{st}}\int_0^l M_{ax} \quad\cdots\cdots(6)$$

更に

$$N=\frac{a_{st}F_{st}}{I_i}\cdot\frac{1}{l}\cdot\int_0^l M\cdot dx$$
$$=\frac{a_{st}F_{st}}{I_i}\cdot M_{em} \quad\cdots\cdots(7)$$

ここで，M_{lm} は区間 l の間の荷重モーメントの平均値である。N が求まれば，(5)から合成ゲタの各部応力度が求められる。

〔2〕 部分プレストレス連続ゲタの設計理論

図-2 のようなプレストレス連続ゲタに荷重が載った場合の各部応力を求める。

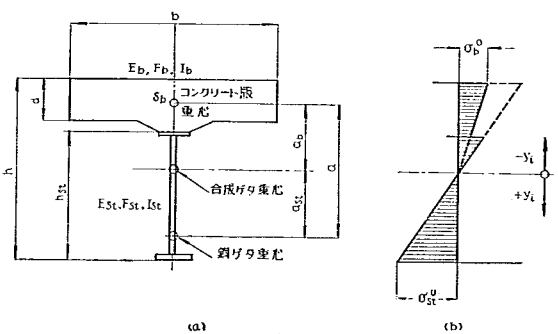
プレストレス鋼材の応力を X, Y, Z, 支点反力を R_A R_B, R_C とすれば，この系は５次不静定構造となる。これを解くには，エネルギー法が便利である。

荷重が l_1 の間にあるときの荷重による構造系のエネルギーは，

$$W_1=\frac{1}{2EI_1}\int_0^a(R_A x+Xh_1)^2dx+\frac{X^2}{2EA_1}\cdot a$$
$$+\frac{1}{2EI_1}\int_a^{l_1}\left\{R_A x-P(x-a)+Xh_1\right\}^2dx$$
$$+\frac{X^2}{2EA_1}(l_1-a)+\frac{1}{2EI_2}\int_{l_1}^{l_1+l_2}\left\{R_A x-P(x-a)\right.$$
$$\left.+R_B(x-l_1)-Yh_2\right\}^2dx+\frac{Y^2}{EA_2}l_2$$
$$+\frac{1}{2EI_1}\int_{l_1+l_2}^{2l_1+l_2}\left\{R_A x-P(x-a)+R_B(x-l_1)\right.$$
$$\left.+R_C(x-l_1-l_2)+2h_1\right\}^2dx+\frac{Z_2}{2EA_1}\cdot l_1 \quad\cdots(8)$$

同様に l_2 の間に荷重のあるときは，

$$W_2=\frac{1}{2EI_1}\int_0^{l_1}(R_A x+Xh_1)^2dx$$
$$+\frac{X^2}{2EA_1}l_1+\frac{1}{2EI_2}\int_0^{l+a}\left\{R_A x\right.$$
$$\left.+R_B(x-l_1)-Yh_2\right\}^2dx$$
$$+\frac{Y^2}{2EA_2}a+\frac{1}{2EI_2}\int_{l_1+a}^{l_1+l_2}\left\{R_A x\right.$$
$$+R_B(x-l_1)-Yh_2-P(x-a$$
$$\left.-l_1)\right\}^2dx+\frac{Y^2}{2EA_2}(l_2-a)$$
$$+\frac{1}{2EI_1}\int_{l_1+l_2}^{2l_1+l_2}\left\{R_A x+R_B(x\right.$$
$$-l_1)+R_C(x-l_1-l_2)+Zh_1$$
$$\left.-P(x-l_1-a)\right\}^2dx+\frac{Z^2}{2EA}l_1$$
$$\cdots\cdots(9)$$



図－1

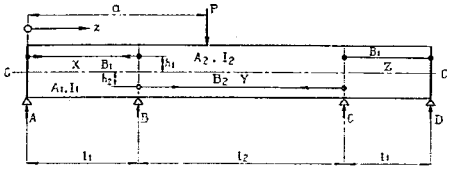


図-2

ここで，Eは鋼のヤング率で，けたとプレストレス材において同一であると仮定した。また I_1, I_2 は l_1, l_2 支間の断面2次モーメント，R_A, R_B, R_C は A, B, C 支点の反力，aは集中荷重 Pから直ぐ近くの左支点までの距離，h_1, h_2 はけたの重心から支間 l_1, l_2 のプレストレス鋼材までの距離，X, Y, Z はプレストレス鋼材に働く力である。ここで，プレストレス鋼材のヒヅミエネルギーは無視した。支点変位が0であることと，プレストレス鋼材の伸びおよび支点反力を考慮して，

$$\frac{dW}{dR_A}=0,\quad \frac{dW}{dR_B}=0,\quad \frac{dW}{dR_C}=0,$$
$$\frac{dW}{dX}=-\frac{X}{EB_1}l_1,$$
$$\frac{dW}{dY}=-\frac{Y}{EB_2}l_2,\qquad\cdots\cdots(10)$$
$$\frac{dW}{dZ}=-\frac{Z}{EB_1}l_1$$

から，各部応力が求められる。計算は一見面倒に見えるが，実際の数値を代入すれば，極めて容易に解ける。

プレストレスの定着に伴った局部応力の問題は，次に述べる実験的研究によって解決した。

〔3〕 コンクリート床版のクリープおよび収縮による影響の計算理論

連続合成ゲタのような不静定構造物は，鋼ゲタと結合されたコンクリート床版のクリープ，収縮の影響で不静定力に複雑な変化をうける。すなわち，床版に加わる応力はコンクリートのクリープによって次第に鋼ゲタに転移する。その時間的変化の状況は Dischinger の仮定[4]に基いて，Sattler が精密に解説している[5]。しかし，われわれが，ここで問題にしている程度の部分合成活荷重合成ゲタに適用するにはこの精密解は余りに面倒にすぎるし，またコンクリートに対する仮定が実際と常に相当の隔りがあることを考えれば，計算手間が惜しまれる。

コンクリートのクリープと収縮は結局において，その弾性係数の変化という形で把えられる。この考えに基づくのがFritzの簡易計算法[6]である。これは，床版が薄く鋼ゲタの剛な普通の断面には良い結果を与えるといわれる。すなわち，クリープを考えた最終状態における合成ゲタの断面応力度は，コンクリートの"仮想弾性係数" E_{b1} を用いて，普通の方法で得られる。

$$E_{b1}=\frac{E_{b0}}{(1+\varphi_D\cdot\varphi)}\qquad\cdots\cdots(11)$$

ここで，$E_{b0}:t=0$ のときのコンクリートの弾性係数，φ_E: 最終クリープ量，$\varphi_D=\dfrac{e^{\alpha}\cdot\varphi_E-1}{\alpha\cdot\varphi_E}$，また，$\alpha$はケタの断面から定る常数であり，図-1を参照して次の式から求まる：

$$\alpha=\sqrt{\frac{S_c+S_{bD}}{\left[a^2+(S_c+S_{b0})\left(\frac{1}{K_c}+\frac{1}{K_{bD}}\right)\right]K_{bD}}}\qquad\cdots\cdots(12)$$

ここで，$S_c=E_{st}\cdot I_{st}$, $S_{b0}=E_{b0}\cdot I_{st}$, $K_c=E_{st}\cdot F_{st}$, $K_{b0}=E_{b0}\cdot F_b$ である。

また，クリープを考慮したときのコンクリートの収縮によって生ずる合成ゲタの応力度は，次の"仮想弾性係数" E_{b2} を用いて得られる。

$$E_{b2}=\frac{E_{b0}}{1+\varphi_s\cdot\varphi_E}\qquad\cdots\cdots(13)$$

ここで

$$\varphi_s\frac{e^{\alpha}\cdot\varphi_E}{e^{\alpha}\cdot\varphi_E-1}-\frac{1}{\alpha\cdot\varphi_E}$$

φ_0, φ_s は決定常数と呼ばれるものであって，次の図-3 のような値になる。

3. 模型実験

〔1〕 実験の目的

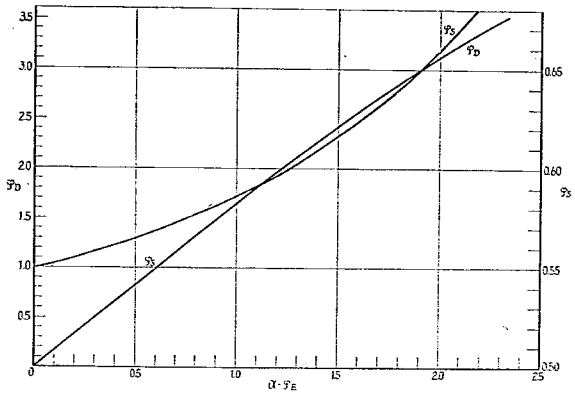
プレストレスト合成連続ゲタの実際の挙動を調べ，あわせてプレストレス導入工法およびその際の局部応力状態を実験的に研究し，実橋を設計するための資料を得る目的で，模型ゲタを作成し，実橋のような施工を行なって後，載荷試験を行ない所要の測定を行なった。

〔2〕 実験ゲタ

1) 材料と製作

実験ゲタは図-4に示すような模型ゲタであって，支間6.144m 2経間連続ゲタであり，全長は 12,560m，主ゲタ2本の間は対傾構および横構によって，結合されている。主ゲタの両側には，支点付近には上フランジに近く，支間では下フランジに近く，2-ϕ5 高張力鋼線が断続的に直線上に配置されている。鋼線定着部はケタ端支点補剛材と中間支点付近の補剛材とを利用して設けてある。模型ゲタの寸法は，載荷試験を実施したオリエンタルコンクリート株式会社多摩工場の載荷試験機の容量に合わせて，最大に選定した。鋼材には SS 41 を用い，ウェブ，フランジ，補剛材の接合はアーク溶接により，主ゲタ，対傾構および横構間の接合はすべて直径 3/8 吋の高張力ボルトを用いた。鋼ゲタはすべて株式会社宮地鉄工所において製作し，試験場に運搬して据付けられた。

鋼ゲタに合成されるコンクリート床版は，厚さ65mm，全幅1mであって，鋼桁とはブロックジュベルと輪型筋で結合されている。負の曲げモーメントを生ずる中間支点上付近の長さ 1.980mの部分には，床版の厚さの中央に9コの直径15mmのシースが挿入されており，この孔に直径5mmの高張力鋼線2本を挿入してプレストレス



図－3

表－3 コンクリートの強度

採取月日	圧縮強度 7日	14日	28日	備考
4-23	411	468	555	中央床版部分
	385	452	488	
	418	470	530	
5-7	436	456	549	両端床版部分
	412	448	527	
	392	474	490	

を与える。

床版に用いたコンクリートの材料の品質とコンクリートの強度は表-1～3 に示すとおりである。セメントは早強セメント（小野田セメント藤原工場製）を用いた。

表-1 骨材試験結果

物理試験

	砂	砂利
産地	多摩川	多摩川
骨材寸法		25m/m
比重	2.60	2.63
単位重量	1.795kg/m³	1.718kg/m³
吸水量	1.90	0.96
有機不純物	合格	
粗粒率	3.02	7.12

篩分析試験

篩目 (mm)	通過量 砂	砂利
25		96
20		68
10	100	18
5	96	
2.5	82	
1.2	64	
0.6	40	
0.3	13	
0.15	3	

表－2 コンクリートの配合（1 m³当り）

粗骨材の最大寸法	スランプの範囲	単位水量	単位セメント量	水セメント（比）	絶対粗骨材率	全骨材量	単位細骨材量	単位粗骨材量
mm	cm	kg	kg	%	%	kg	kg	kg
20	1～4	168	400	42	38.5	1845	710	1135

注入グラウト配合（セメント100kg当り）

セメント量	フライアッシュ	水	アルミ粉末	ポゾリス No. 5	フロー
kg	kg	kg	g	g	秒
100	40	56	10	350	16

2）設計計算

2.の理論を用いて次のような設計計算を行ない，同時に測定値の解析のための理論値を得た。

a）断面常数の計算

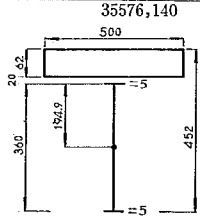
		r	F_r
$U.F$	$5\times60=300$	2.5	7.50
$L.F$	$5\times80=400$	367.5	147.000
Web	$5\times360=11.52$	18.50	213.120
	18.52		360.870

$$U.F \quad 300\times 192.4^2 = 11105.328$$
$$L.F \quad 400\times 172.6^2 = 11916.304$$
$$Web \quad 11.52\times\left(\frac{360^2}{12}+9.9^2\right) = 12554.508$$
$$35576.140$$

$$y=\frac{360.870}{18.52}=19.5\ \text{cm}$$
$$I=3557.61\ \text{cm}^4$$

合成断面(1)

$$A_s'=18.52\times 7=129.64$$
$$A_c=65\times50.0=\frac{325.00}{454.64}$$



$$y=\frac{32.500\times32.5+12.964\times2749}{45,464}=101.6\ \text{cm}$$
$$I_c=32.500\left(\frac{65^2}{12}+69.1^2\right)+7+35576.140+12.964\times173.3^2=80500.3\ \text{cm}^4$$
$$S=32.500\times69.1=2245.7\ \text{cm}$$

	F	r	F_r
Web	$32\times360=1.152$	187.5	216.000
UF	$5\times60=300$	2.5	750
LF	$10\times100=1.000$	3700	370.000
	2.452		586.750

$$Web \quad 1152\left(\frac{360^2}{12}+51.8^2\right)=15532.692$$
$$UF \quad 300\times236.8^2=16822.272$$
$$LF \quad 1000\times130.7^2=17082.490$$
$$49437.454$$

$$y=\frac{586.750}{2.452}=23.9\,\text{cm}$$
$$I=4943.7\,\text{cm}^4$$

合成断面(2)

$$A_c'=2.452\times 7=171.64$$
$$A_c=6.5\times 50+0.39275\times 4\times 7=336.00$$
$$507.64$$
$$y=\frac{336\times 3.25\times 171.64\times 31.93}{507.64}=12.95\,\text{cm}$$
$$I=336\times\left(\frac{6.5^2}{12}+9.7^2\right)+7\times 4943.7+171.64\times 18.98^2=32.797+34.606+61.832=129.235\,\text{cm}^4$$

6) 不静定力の計算

図-5 のような系について行なう。

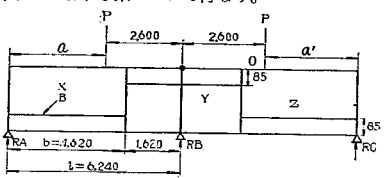


図-5

モーメント

$0\sim a$ $\quad R_A\cdot x+Xh_1$

$a\sim b$ $\quad R_A\cdot x-P(x-a)+Xh_2$

$b\sim l$ $\quad R_A\cdot x-P(x-a)-Yh_2-Y'h_2'$

$l\sim 2l-b$ $\quad R_A\cdot x-P(x-a)+R_B(x-l)-Yh_2-Y'h_2'$

$2l-b\sim 2l-a'$ $\quad R_A\cdot x-P(x-a)+R_B(x-l)+Zh_1$

$2l-a\sim 2l$ $\quad R_A\cdot x-P(x-a)+R_B(x-l)-P\{x-(2l-a)\}+Zh_1$

$$W_1=\frac{1}{2EI_1}\int_0^a(R_Ax+Xh_1)^2dx+\frac{X^2}{2EA}a$$

$$W_2=\frac{1}{2EI_1}\int_a^b(R_Ax-P(x-a)+Xh_1)^2\,dx+\frac{X^2}{2EA_1}(b-a)$$

$$W_3=\frac{1}{2EI_1}\int_b^l\{R_Ax-P(x-a)-Yh_2-Y'h_2'\}^2\,dx+\frac{Y^2}{2EA_2}(l-b)+\frac{Y^2}{2EA_2}(l-b)$$

$$W_4=\frac{1}{2EI_2}\int_l^{2l-b}\{R_Ax-P(x-a)+R_B(x-l)-Yh_2-Y'h_2'\}\,dx+\frac{Y^2}{2EA_2}(l-b)+\frac{Y^2}{2EA^2}(l-b)$$

$$W_5=\frac{1}{2EI_1}\int_{2l-b}^{2l-a}\{R_Ax-P(x-a)+R_B(x-l)+Zh_1\}^2\,dx+\frac{Z^2}{2EA_1}(b-a)$$

$$W_6=\frac{1}{2EI_1}\int_{2l-a}^{2l}\{R_Ax-P(x-a)+R_B(x-l)-P(x-(2l-a))+Zh_1\}^2dx+\frac{Z^2}{2EA_1}a$$

然るに

$$R_A\,2l-P(2l-a)+R_Bl-P\cdot a=0$$
$$\therefore R_B=\frac{1}{l}(P\cdot 2l-R_A\cdot 2l)=2(P-R_A)$$

$$\frac{dW}{dR_A}=R_A\left\{\frac{1}{EI_1}\frac{2}{3}b^3+\frac{1}{EI_2}\frac{2}{3}(l^3-b^3)\right\}-P\left[\frac{1}{EI_1}\left\{\frac{2}{3}(b^3-a^3)-a(b^2-a^2)\right\}+\frac{1}{EI_2}\left\{\frac{2}{3}(l^3-b^3)-a(l^2-b^2)\right\}\right]+X\left[\frac{1}{EI_1}h_1\frac{b^2}{2}\right]-Y\left[\frac{1}{EI_1}h_2(l^2-b^2)\right]-Y'\left[\frac{1}{EI_1}h_2(l^2-b_2)\right]+Z\left[\frac{1}{EI_1}h_1\frac{b^2}{2}\right]=0$$

$$\frac{dW}{dX}R_A=\left[\frac{1}{EI_1}h_1\frac{b^2}{2}\right]-P\left[\frac{1}{EI_1}h_1\frac{(b-a)^2}{2}\right]+X\left[\frac{1}{EI_1}h_1^2b\right]+\frac{X}{EA_1}b=-\frac{X}{EB}b$$

$$-\frac{dW}{dY}=R_A\left[\frac{1}{EI_2}h_2(l^2-b^2)\right]-P\left[\frac{1}{EI_2}h_2\{(l-a)^2-(b-a)^2\}\right]-Y\left[\frac{1}{EI_2}h_2^2(2l-2b)\right]-Y'\left[\frac{1}{EA_2}h_2h_2'(2l-2b)\right]-\frac{Y}{EA_2}(2l-2b)=-\frac{Y}{EB_2}2(l-b)$$

$$\frac{dW}{dZ}=R_A\left[\frac{1}{EI_1}h_1\frac{b_2}{2}\right]-P\left[\frac{1}{EI_1}h_1\frac{(h-a)^2}{2}\right]+Z\left[\frac{1}{EI_1}h_1^2b\right]+\frac{Z}{EA_1}b=-\frac{Z}{EB_1}b$$

$$-\frac{dW}{dY'}R_A\left[\frac{1}{EI_2}h_2'(l^2-b^2)\right]-P\left[\frac{1}{EI_2}h_2'\{(l-a)^2-(b-a)^2\right]-Y\left[\frac{1}{EI_2}h_2h_2'(2l-2b)\right]-Y'\left[\frac{1}{EA_2}h_2'(2l-2b)\right]-\frac{Y'}{EA_2}(2l-2b)=\frac{Y'}{EB_2'}2(l-b)$$

Pが載荷された場合，次の連立方程式が成り立つ。

ここで，

$I_1=80500.3$

$I_2=129.235$

$h_1=26.33$

$h_2=12.95-8.5-8.5=-4.05$

$h_2'=12.95-3.25=9.7$

$b=462$

$l=624$

$A_1=454.64$

$A_2=507.64$

$B_1=B_2=54.985$

$B_2'=15.71$

$a=339$ の場合

$$1561.339566R_A+34.90658121\times+5.513402715\,Y-13.20493920Y'+34.90658121Z=362.3166350P$$
$$34.90658121R_A+122.6270158\times=2.474193060P$$
$$5.513402715R_A+83.67459561\,Y-0.098489883Y'=2.071333617P$$
$$13.20493980R_A+0.098489883\,Y-42.12174992Y'=4.960971870P$$
$$34.90658121R_A+122.6270158Z=2.474193060P$$

$$Z=-0.046352P,\quad X=-0.046352P,\quad Y'=-0.044485P,\quad Y=0.009358P,\quad R_A=0.233718P$$

a=389の場合

$$1561.339566\ R_A + 34.90658121\times + 5.513402715\ Y - 13.20493980\ Y' + 34.90658121\ Z = 362.3166350P$$

$$34.90658121 R_A + 122.6270158\times = 2.474193060P$$

$$5.513402715 R_A + 83.17459561\ Y - 0.098489883\ Y' = 2.071333617P$$

$$13.20493980\ R_A + 0.098489883 Y - 42.12174992\ Y' = 4.960971870P$$

$$34.90658121\ R_A + 122.6270158\ Z = 2.474193060P$$

$Z=-0.037773P$, $X=-0.037773P$, $Y'=-0.039462P$, $Y=0.008301P$, $R_A=0.157666P$,

c）曲げモーメントの計算

反　力

$R_A = 0.1956926\ P$

$R_B = 1.6086148\ P$

$X = -0.0420634\ P$

$Y = 0.0088299\ P$

$Y' = -0.0419743\ P$

$Z = -0.0420634\ P$

曲げモーメント

0～339　$0.1956926\ P\cdot x - 0.0420634\ P\times 26.33$

339～389　$0.1956926\ P\cdot x - \frac{P}{2}(x-339) - 0.0420634\ P\times 26.33$

389～462　$0.1956926\ P\cdot x - \frac{P}{2}(x-339) - \frac{P}{2}(x-389) - 0.0420634\ P \times 26.33$

462～624　$0.1956926\ P\cdot x - \frac{P}{2}(x-339) - \frac{P}{2}(x-389) - 0.0088299\ P \times 4.05 + 0.0419743\ P \times 9.7$

$M_x = 0 = -1.107529\ P$

$M_x = 339 = 66.339791\ P - 1.107529\ P = 65.232262\ R$

$M_x = 389 = 76.124421\ P - 25\ P - 1.107529\ P = 50.016892\ P$

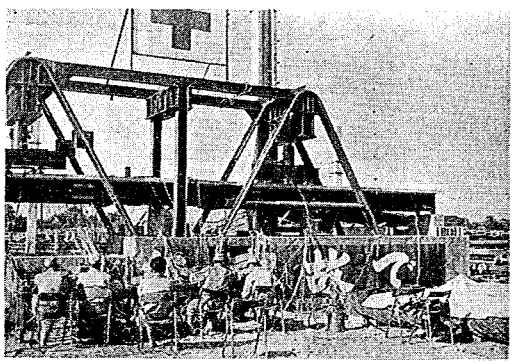
Mx =462・A側=$90.410120\ P - 61.5\ P - 36.5P - 1.107529\ P = -8.697409\ P$

Mx =462・B側=$90.410120\ P - 61.5\ P - 36.5\ P - 0.0357611\ P + 0.4071507\ P = -7.218490\ P$

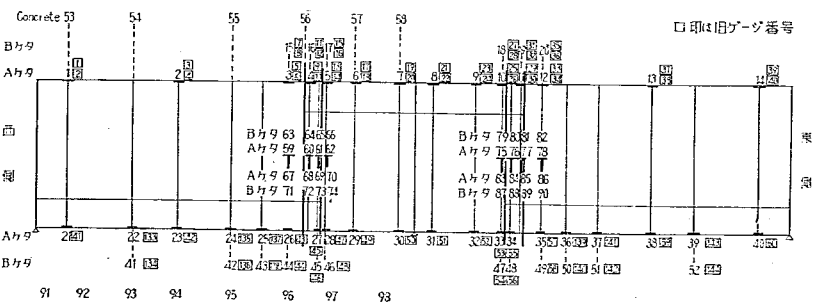
Mx =624=$122.112432\ P - 142.5P - 117.5\ P - 0.0357611\ P + 0.4071507\ P = -137.516178\ P$

この値を用いて，各部の応力度を求めることが出来る。

〔3〕実　　験



写真－1



注　載荷試験時の測点数の関係上 76.80.81.82.84.88.89.90 番ゲージ表裏 計16枚を取外す。
尚 ラテラル 96 番はジャッキングの関係上取外す。
コンクリート床版のゲージは各々の断面に3枚接着してあり，ゲージ番号を特に必要とする場合は，例えば 55-1, 55-2, 55-3 のごとくする。Aケタ側よりケタ間中央と番号をつける。
たわみ測定点ダイヤルゲージ位置は各径間 各ケタ中央断面 計4点。

図－6　　電気抵抗線ヒズミ計接着位置並びゲージ番号（各点左右平均）

鋼ゲタを載荷試験機の台の上に据付けてから，ジャッキによってプレストレスを加え，この時の各部応力度および変形とタワミを電気抵抗線ヒズミ計とダイアルゲージを用いて計測した。次に支点付近のコンクリートを打設し，7日間養生の後，床版中のシースに鋼線を通して緊張し，プレストレスを導入した。この際に。鋼ゲタのプレストレス導入のときと同様な計測を行なった。次に残った部分の床版コンクリートを打設した。

7日間養生の後に，100 トンジャッキ2台を用いて，2点載荷をし，試験を実施した。その状況は 写真-1 のとおりである。

試験ゲタに設けられた計測点は 図-6 に示すとおりである。また，載荷試験に用いたジャッキの検定曲線は図-7 に示すとおりである。

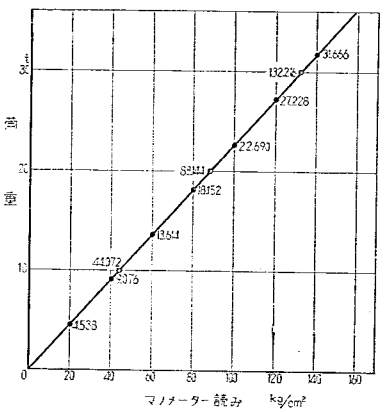


図-7

〔4〕 実験結果と考察

1) プレストレス導入時の測定結果について

プレストレス導入時の各測点のヒズミの測定値と理論値を 図-8 に示す。この結果から明らかなように，測定値と理論値は，大体において良く一致している。しかし中間支点付近では，鋼ゲタに導入されるプレストレス量が，支点による拘束のため減少すると考えられる。したがって，支点上で鋼ゲタにこのような型式で，十分のプレストレスを導入することは，かなり難かしいと考えられる。今後の研究が必要と思われる。しかし，コンクリート床版に鋼線を埋込んで行なうプレストレスは，ほぼ計算値どおりに導入されており，支間が短くて，負モーメントの小さい場合には，このような方法によるプレストレスが有効であることが判る。また，支間において，ウエブにプレストレス材を定着することによっては，定着部付近のウエブの局部応力に対する配慮が十分ならば全く危険のないことが判った。しかし，定着端からほぼケタ高の距離を隔れなければプレストレス力の分布が有効な影響を生じないことも，既に知られているとおりであることが確認された。したがって，プレストレス定着部の配置は，プレストレスの不要となる点から，ほぼケタ高だけ，余長をとる必要がある。

タワミの計測結果は， 図-9 に示す。理論値と良く一致していることが判る。

2) 載荷試験時の測定結果について

荷重を 20 トンから 80 トンまで増大させたときの，各

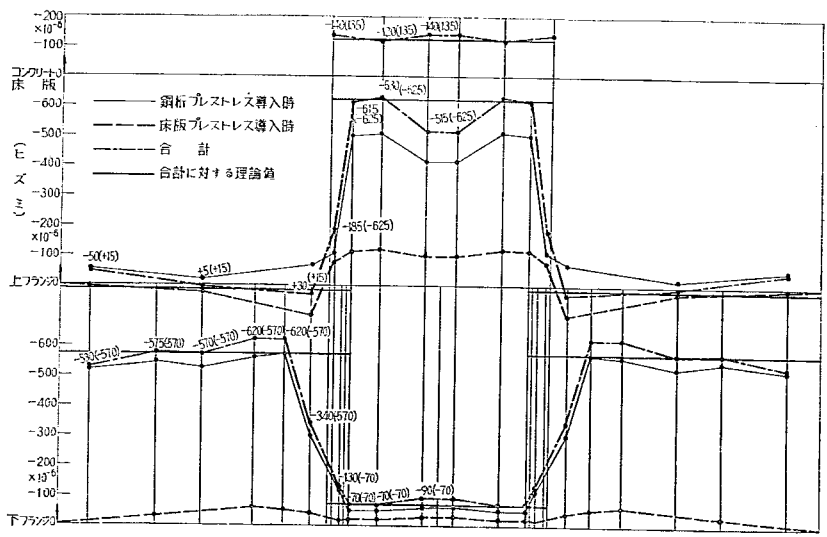
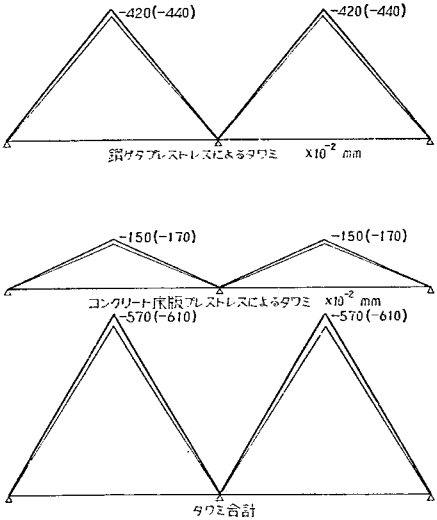


図-8



図－9

測点のヒズミおよびタワミの測定値と理論値を図-10に示す。ここでも理論値と実測値は比較的良く一致していることがわかる。

荷重が80トンに達するとほぼ同時に支点上のコンクリートにヒビワレが生じた。このときのコンクリート床版の上面における引張ヒズミの理論値は -143×10^{-6} であって，プレストレスによるヒズミは 285×10^{-6} であったから，コンクリート床版の自身の引張強度は 42.2kg/cm² であったと推定される。コンクリートの σ_{28} 強度がほぼ 500kg/cm² であったことから，上フランジとして，ほぼ純引張を受けることを考慮してこの値が大体において正当であることが知られる(写真-2)。

床版にヒビワレの生ずるまでにおいて，ケタ端部，プレストレス材定着部には全く異常はなかった。

このことから，この種の合成ゲタにおいては，コンクリート床版の引張応力に対して十分な考慮を払えば，完全な合成作用が期待できることが判った。また，コンクリートの許容引張応力度としては，σ_{28} の12分の1程度が許される値であることも判った。すなわち σ_{28} が 350 kg/cm² のコンクリートを用いる場合には，安全率を1.7と考えて，床版コンクリートの許容引張応力度は，17 kg/cm² をとることが出来ると考えられる。また，プレストレスを加えた部分と加えない部分の境界に対してはコンクリートにおいても，鋼ゲタにおいても，特別な考慮は不要であることが判った。

したがって，この実験ゲタのような構造で，適当な長さのプレストレス部分を有する合成ゲタを安全に作ることが出来るものと考えてよかろう。

4. 大石橋の設計

〔1〕 概　　要

大石橋は，東北地方建設局の湯田ダム工事事務所から土木研究所にその設計を委託されたものである。

岩手県北上市と秋田県横手市を通る二級国道大船戸本

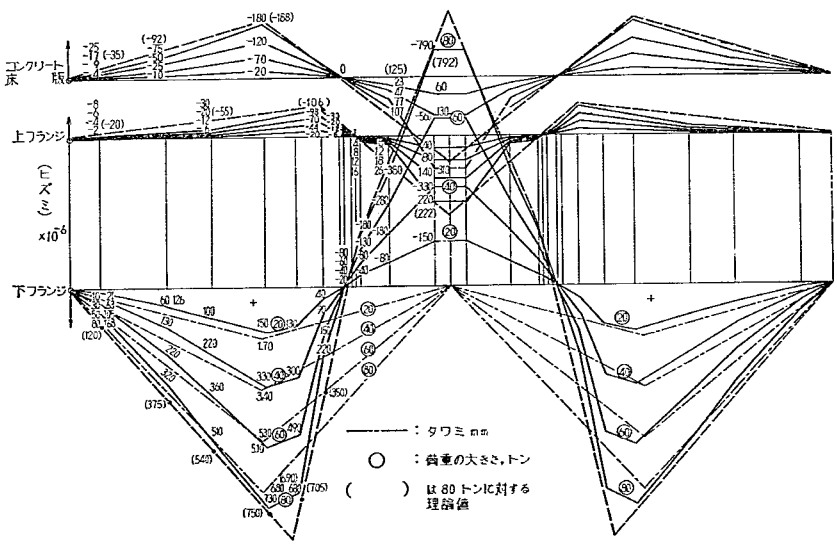


図　－　10

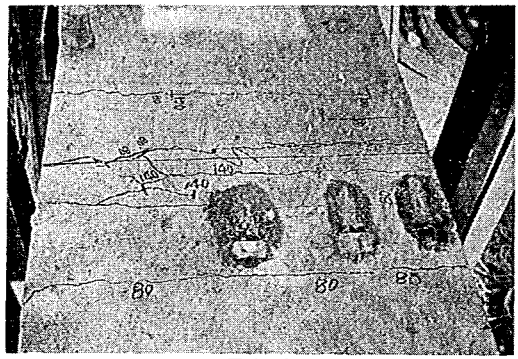


写真-2

荘線(107号)は，和賀川に建設される湯田ダムのたん水のため延長13kmにわたり水没することになる。このため，同工事事務所においては，昭和32年度から，その付替工事に着手し，昭和34年度中に予定の約60%を終了した。付替工事に含まれる橋梁は五橋あり，大石橋はその1つであって，幅員5.5m，支間14+36+14m，全橋長64.5mの鋼ゲタにプレストレスを与えた連続活荷重部分合成ゲタであり，橋格は一等橋である。大石橋を架設すべき大石沢は，北上川右支川和賀川に流入するもので，常時流量はわずかであるが，谷の形がV字形をして，計画路面と谷底の間の距離が30mもあり，計画路面の下15mにある旧道はここを鉄筋コンクリートアーチで渡っている。

最初，本橋は先の実験によって研究した型式の活荷重合成連続ゲタとして考えられたが，コンクリート床版の許容応力度の点などから不経済なことが明らかになったので，部分合成ゲタに変更されたものである。竣功後に載荷試験を実施し，本橋の静的動的特性を調査したが測定結果は後述のように理論とよく一致していた。

〔2〕 設　　計

1) 概　　要

前述のような谷の形を考えて，径間割を 付図-1 のように決定した。中央径間を大きくとって，橋脚を短くし側径間に生ずるおそれのある負反力に対しては，橋台部のケタ端にコンクリート対震壁を設けてカウンターウエイトとした。主ゲタの構造は，中央支間の大部分を活荷重合成ゲタとした部分合成ゲタであり中央支間の鋼ゲタには高張力鋼棒を用いてプレストレスを与えた。

合成ゲタの全径間にわたりプレストレスを導入する方法は，現在の許容応力度から考えて不経済であるので取り止めた。主ゲタの設計は，先に実施した模型実験の結果を考慮して行なった。

本橋の鋼重は主ゲタ，対傾構，横構，プレストレス用鋼棒，くつ，アンカーボルトを含めて，53.5t (152kg/m²) である。

2) 床版の設計

本橋は二主ゲタであって，床版は主ゲタの上で単純支持の状態にあると考えられる。現在の道路橋示方書に示してある片持版の曲げモーメントを与える式は片持版を一辺固定の無限長の版として解いた近似式であり，もちろん安全側であるが，片持支間がそうとうに大になると実情に沿わないことになる。図-11 に示す本橋の床版について考えると，主ゲタの上で床版が固定されているとするとき，単一集中荷重P＝1による固定曲げモーメントは，版の曲げモーメント表[1]を参照して，図の実線および 表-4 の値となる。ここで片持長が2m以下であれば，トラック前輪による影響は後輪の近辺では非常に小さいから，現示方書による床版の設計には後輪の影響だけを考えればよい。また，このモーメントの値は版厚一定として，ポアソン比の影響を無視したときの値である。しかし，実際の床版では単一集中荷重が加えられると支承線に沿って床版がよじられて変形し，固定モーメントはかなり減ずることになる。すなわち，われわれが，固定版の曲げモーメントを次の床版径間に分配させ，より精確な支点モーメントを求めることができる。

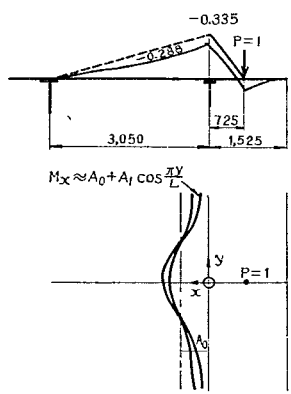


図-11

表-4　片持版固定曲げモーメント影響線値

載荷点からの距離	cm 0	15	30	46	61	76	92
固定曲げモーメント	0.355	0.344	0.312	0.258	0.212	0.178	0.146

上に求めた支承線上に分布する版の固定モーメント M_{xE} をフーリエ級数に展開し，その各項について分配を考える。図-11 の場合については，

$$M_{xE} = -0.2115 - 0.1342 \cos\pi\frac{Y}{L} \cdots\cdots(1)$$

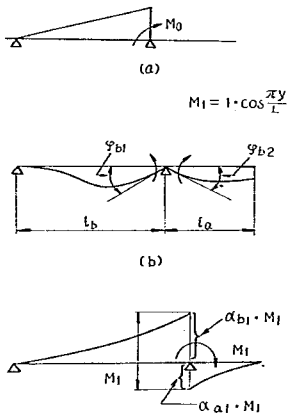
をうる。ここで Y は図-11の原点からの距離，L=1.37m である。この(1)式は当然 $Y=0$ で最大値となる。すなわち，

$$M_{xE} = -0.3457$$

表-1 の値と比べて1%の誤差があるだけである。こ

こで，より高次の項を考慮しても大して精度は上らないし，通常3%の差までは許されると考えられる。

版の支承線上における固定モーメントは，フーリエ級数に展開して(1)のように与えられたが，一般には次のように示すことができる(図-12)。



(d) = (a) + (c)

図 - 12

$$M_{xE} = M_{xo} + \sum_{n}^{n} M_{xn} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

ここで

$M_{xo} = A_0$, $M_{xn} = A_n \cos n\pi\, Y/L$

である。

1. $\cos n\pi\, Y/L$は図-3(b)において，版帯の縁にかかって，そのタワミ角に比例して分配されることになるから，片持版帯(a)は $M_{xa}\cdot n = \alpha an \cdot M_{x\cdot n}$, を受けもち，両辺支持の版帯(b)は $M_{xb}\cdot n = \alpha bn \cdot M_{x\cdot n}$, を受け持つことになる。

ここで，

$$\alpha_{an} = \frac{\varphi_{bn}}{\varphi_{an}+\varphi_{bn}} \cdot \alpha_{bn} = \frac{\varphi_{an}}{\varphi_{an}+\varphi_{bn}} \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

が求める分配係数である。φ はタワミ角を示す値である。図-11 の場合について計算すると，

$\varphi_a \cdot 1 = 0.51$

$\varphi_b \cdot 1 = 0.5$

(3)式から　$\alpha_b \cdot 1 = 0.5$, $\alpha_{a1} = 0.5$

ゆえに，片持部の最大曲げモーメントは

$$-ma \times M_{xa} = M_{xE} - \alpha_{a\cdot 1} M_{x\cdot a1}$$
$$= 0.355 - 0.5 \times 0.1342 = 0.288$$

鋼道路橋示方書18条の 表-7 によると

$$-M_{xa}' = \frac{L}{2L+0.4} = \frac{0.752}{2\times 0.752 + 0.4} = 0.395$$

$$\text{比} = \frac{0.395}{0.288} = 1.37$$

となって，示方書の表を用いた場合よりもかなり，経済的な設計ができることになる[7]。

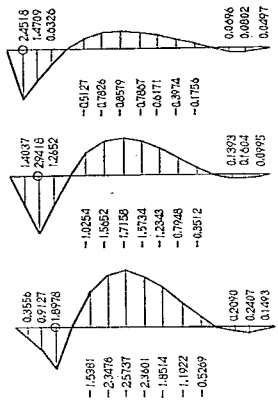


図 - 13

表-5　曲げモーメント表 (kg-m)

荷重 / 断面	鋼重	床版	小計		舗装高欄	分布活荷重	集中活荷重	小計
1	- 1.278	- 2.560	- 3.839	+		20.068	43.441	64.021
				−	503	- 17.822	- 11.626	- 28.945
2	- 4.762	- 21.266	- 26.029	+		24.640	50.261	68.973
				−	- 5.928	- 35.643	- 23.251	- 64.822
3	-10.451	- 56.118	- 66.570	+		13.738	30.414	24.869
				−	-19.283	- 53.465	- 34.877	-107.625
4	-18.345	-107.115	-125.461	+		3.259	5.344	30.988
				−	-39.591	- 87.251	- 46.503	-173.355
5	- 4.360	- 26.830	- 31.191	+		19.113	40.588	58.808
				−	- 893	- 21.687	- 21.455	- 44.035
6	- 9.159	50.652	59.811	+	25.859	64.393	73.512	163.764
				−		- 10.656	- 16.619	- 1.416
7	16.143	90.668	106.812	+	43.052	100.546	96.457	240.049
				−		- 10.656	- 12.680	19.716
8	18.472	104.014	122.486	+	48.783	112.590	104.509	265.882
				−		- 10.656	- 8.738	29.389

3)　主ゲタの設計

主ゲタは三径間連続ゲタであり，中央支間にプレストレス鋼棒を有しているから，三次不静定構造である。

プレストレスの導入点は，中間支点の内側とし，死荷重によって正曲げモーメントを受ける領域からほぼケタ高だけ離れた位置とした。合成断面の始点はもっとも危険な死荷重と活荷重によって正曲げモーメントを受ける領域の内側にほぼ，ケタ高だけ入った位置とした。

鋼ケタの曲げモーメントの影響線図の一例，曲げモーメント表，をそれぞれ図-13，表-5 に示す。

断面応力度の計算のための数値については，道路協会制定の指針に従って決定した。すなわち，鋼の弾性係数E_s $=2.1\times10^6$kg/cm²，コンクリートの弾性係数との比$n=7$，最終クリープ係数$\varphi_\infty = 3.0$，最小収縮量$\varepsilon_s = 15\times10^{-5}$とした。鋼ゲタの一部には高張力鋼 SM-50B を用いたが，その曲げ許容応力度は引張り側 $\sigma_t = 1800$kg/cm²，

表-6 タ ワ ミ (cm)

断面	鋼重 η_s	プレストレス η_0	床版 η_0	舗装高欄 η_p	等分布荷重 η_l	集中荷重 $\eta_{l'}$	合計 η
1	− 0.037	0.194	− 0.184	− 0.054	− 0.255	− 0.162	− 0.500
2	− 0.060	0.275	− 0.311	− 0.097	− 0.364	− 0.229	− 0.787
3	− 0.053	0.220	− 0.293	− 0.094	− 0.301	− 0.133	− 0.705
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0.211	− 0.642	1.178	0.233	0.642	0.725	2.349
6	0.409	− 1.140	2.285	0.442	1.122	1.227	4.340
7	0.528	− 1.430	3.010	0.582	1.448	1.526	5.661
8	0.597	− 1.565	3.263	0.630	1.658	1.630	6.215

圧縮側 σ_c=1700kg/cm² とした。主ゲタプレストレスに用いた鋼棒は抗張力 80 kg/mm² 以上とし，使用応力度を45kg/mm² と定め，プレストレス量は試算によって最適値に定めた。

また，各荷重状態におけるタワミの計算値は 表-6 に示すとおりである。すなわち，鋼道路橋示方書の規定による剛比を求めると l : 1120 になり，規定値に対して十分に剛であることが判る。

〔3〕 設 計 図

主ゲタ断面の諸元は 表-7 のとおりであり，その設計図は巻末に付図として示した。

5. 大石橋の架設と各種測定の概要

〔1〕 架 設

本橋の製作架設は東北地方建設局において競争入札の結果，川田工業株式会社が受注した。同社の野崎工場において製作仮組検査の後現場に運搬し架設した。

鋼ゲタの架設に当っては，まずケーブルによって側径間を吊り出して架設し，次に中央径間部分をケーブルで支持した状態で鈑鋲した。鋼ゲタの架設が終了してからプレストレスを導入した。プレストレス導入にはシンプレックス型ジャッキを用いて約半日で作業を終了した。

次に，コンクリート床版を打設した。その配合設計は次のとおりである。

コンクリートの設計強度は，σ_{28}=350 kg/cm² であって，粗骨材最大寸法 25 mm，スランプ 5 cm 以下，水セメント比 45%，ポゾリス No.5 0.5%の組成を有するものである。

表 - 7

断面	鋼ゲタ (mm)	床版	断面積 (cm²) 鋼ゲタ	断面積 (cm²) 合成ゲタ n=7	断面二次モーメント (cm⁴) 鋼ゲタ	断面二次モーメント (cm⁴) 合成ゲタ (n=7)	区間長 (mm)
1	200×10 1800× 9 200×14		210		829.013		4.750
2	200×20 1800× 9 300×20		262		1252.858		4.900
3	260×20 1800× 9 800×20		270		1480.921		650
4	(SM50) 260×20 1800×14 380×20		380		1728.411		2.000
5	260×20 1800×14 380×20		380		1728.411		4.480
6	260×20 1800× 9 380×20		290		1480.921		3.030
7	260×20 1800× 9 260×22	6435×80	271.2	1006.6	1342.005	3664.332	2.140
8	340×22 1800× 9 260×22	6435×80	294	1029.4	1525.806	3654.399	5.400
9	400×22 1800× 9 460×22	6435×80	351.2	1086.6	1984.230	4848.857	4.650

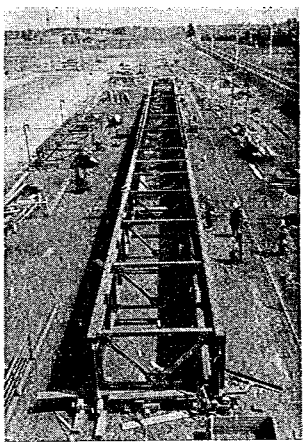


写真 - 3 工場仮組立の状況

コンクリート打設に際しては，死荷重曲げモーメントによってコンクリート床版に生ずるヒビワレを防ぐため，図-14 に示すようなコンクリート打設順序を定め，また，橋脚上には図-15 に示す目地を，中央支間において曲げモーメントが負に変化する位置に盲目地を挿入した。その結果，動的および静的載荷試験によっても，コンクリート床版に全くヒビワレは生じなかった。

〔2〕 載荷試験

1) 概 要

本橋の架設中のプレストレス導入応力の測定，および竣功後の動的および静的

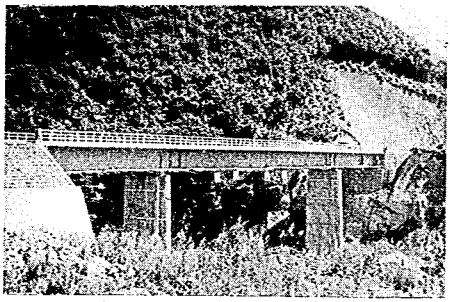
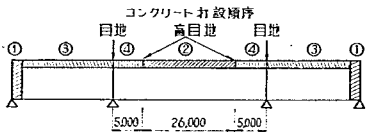


写真-4　架設工事終了時の状況

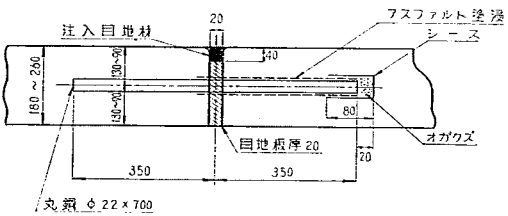


図－14

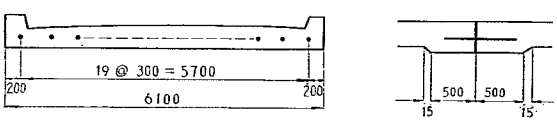
載荷試験は経費の都合で東北大学土木教室にその実施を依頼した。従って，載荷試験の結果については別途に発表される予定であるから，ここでは，大石橋の設計の妥当性を立証するための資料のみについて述べる。

測定は，鋼ゲタ架設のときのプレストレス導入による各部の応力度，および架設竣功後における載荷試験における応力度について，2回に分けて行なわれた。

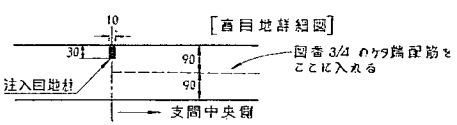
［目地詳細図］



［スリップバー配置図］

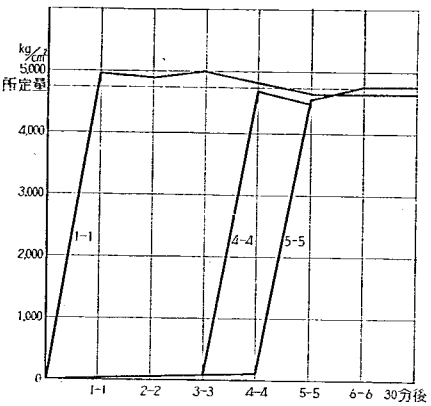


［直目地詳細図］



図－15

最初のプレストレスを加えたときのケタ応力の実測は，上流側ケタの6断面および3鋼棒について行なわれ，完成後の載荷試験は，4トン積トラックにセメントを積んで全重量8.89トンとして載荷し，7断面について床版および鋼ゲタ応力を測定した静的実験と，この車を走行速度 10～40 km/h で走らせた時の動的効果を側径間中央，橋脚上，中央径間中央の下フランジ応力によって測定した動的試験とに分けられる。



図－17

2)　プレストレス導入時の応力測定結果

電気抵抗線ヒズミ計とダイアルゲージを用いて測定した。測定点は図-16に示すとおりである。

鋼棒に導入された応力は，断面の対称位置に貼られたゲージの平均値によって計算すると図-17のようになる。大体，予定通りに導入されていることが判る。また，このときに鋼ゲタに導入されたプレストレスおよび，これによる鋼ゲタ曲げモーメント，軸力を図-18～20に示す計算値（設計値）と良く一致していることが判る。

鋼棒定着部付近に貼付けられた直角ロゼットゲージおよび水平補剛材の一軸ゲージから，定着部付近の局部応力を求めた。その結果を図-21～24に示す。これから明らかなように，定着部付近に大きな応力の乱れは見られないが，鋼棒定着板とウエブの結合部付近には，応力の集中が存在することが判る。また，プレストレス力は，水平補剛材の全長を通して主ゲタウエブに一様に導入されるのではなく，この支承板付近から直ちにウエブ

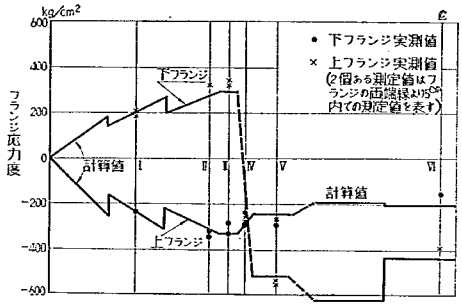


図-18

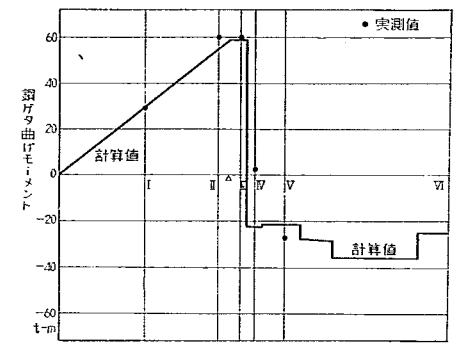


図-19

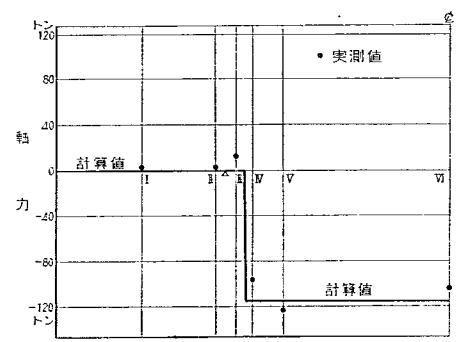


図-20

に導入されるらしいことが判る。

3) 載荷試験の結果

トラックの全重量は 1) に述べたように 8.89 トンであって，前輪に 2.89 トン，後輪に 6.50 トンの割合に分配される。

載荷点は側径間の中央，中央径間の 1/4，1/2，3/4 点両端支点，中間支点，合成非合成区間の境界線上の合計12点である。測定断面を 図-25 に示す。

試験は橋の中央と計測ゲタ側に出来るだけよせて偏載させた場合とに分けて行なった。一般に測定値が小さいので，誤差が大きいような結果となった。その実測値を図-26～29 に示す。一般に計算値と良く一致していることが判る。

設計計算によって得られた値（計算値）が，実測値よりも小さく出ているのは，この程度の荷重では，非合成区間にあるコンクリート床版も合成されているように働くためと思われる。したがって全断面がケタ全長に亘って有効に働くと仮定した計算値（×印）の方が良く実測値と合う場合が多い。

床版コンクリートの弾性係数は，実測によれば断面VIにおいて $n=6.0$，断面VIIにおいて $n=6.3$ となった。これを用いると，実際の断面係数がそれぞれ1.20，1.14倍であったことになる。

また，中間支点上におけるウエブのヒズミは図-30 のとおりであり，目地によって床版コンクリートと鋼ゲタが完全に分離絶縁されていることが判る。

4) 動的載荷試験の結果

測定はオッシログラフを用い，橋軸方向，これに直角方向，および上下方向の 3 方向の加速度について行なった。荷重車の速度は，記録より逆算した。

橋の各部の載荷位置における静的応力度（σ_{st}）と動的応力度の最大値（σ_{max}）の比の測定結果を図-31 に示す。これから，走行速度 20km/h，40 km/h 付近が最大となることが判る。また，実測によれば，本橋の固有振動数は 0.270 秒であり，対称一次振動であるが，減衰率は測定値が小さいので求められなかった。PC鋼棒も荷重によって僅かに振動するが，その周期は 0.18～0.28 秒であった。垂直方向の最大加速度と車の走行速度との関係は 図-32 に示すとおりであって，20 km/h 付近に最大値があらわれることが判る。

6. 結　　語

プレストレスト合成ゲタの研究とその設計の第3報としてプレストレスト部分合成連続ゲタ橋について，理論的に検討し，模型実験によって設計法を研究した。その結果を用いて，実橋の大石橋を設計することが出来た。

著者は，経済的な合成ゲタ橋の設計には，プレストレス工法の採用が必要条件と考えている。これまでに，既に鋼線，鋼棒を用いるプレストレス工法を完成することが出来たので，今後は鋼ケーブルを用いてプレストレスを加えた合成ゲタ橋の研究を行ない，実橋に応用したい

主 応 力 図

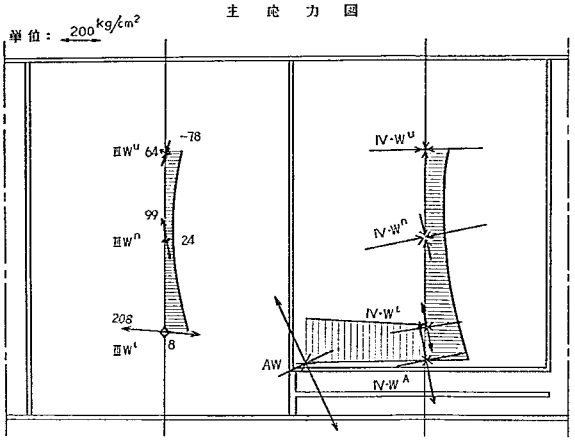


図-21

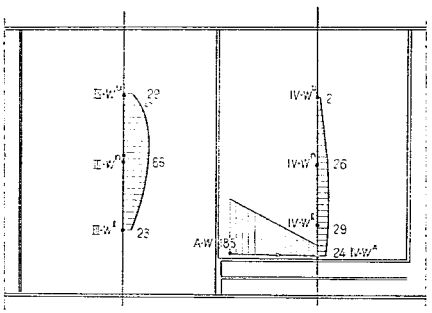


図-22 最 大 剪 断 応 力 図

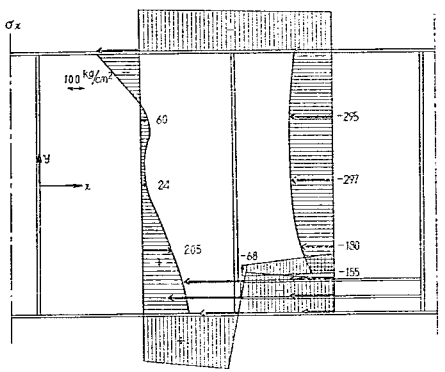


図-23 定着部応力分布図 (1)

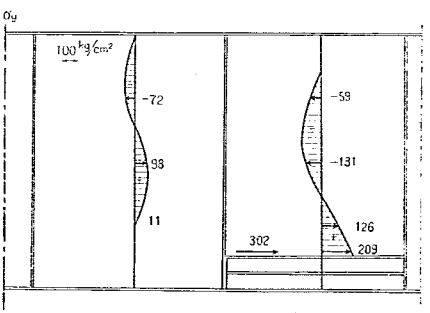


図-24 定 着 部 応 力 分 布 図 (2)

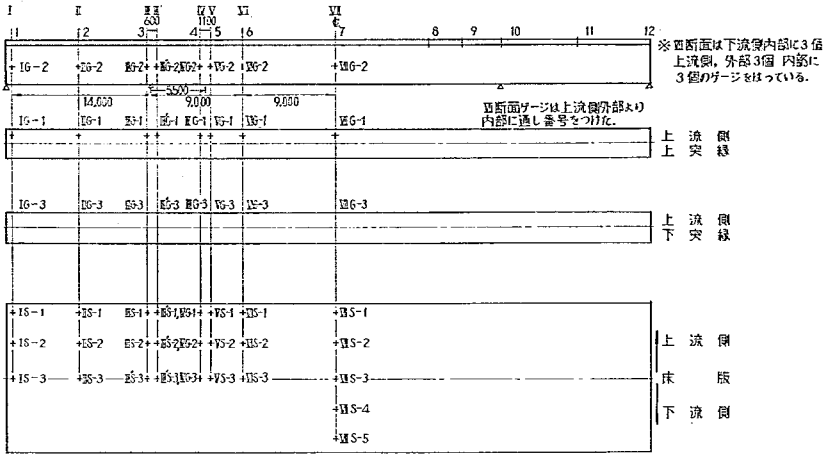


図-25 測定点，測定点記号

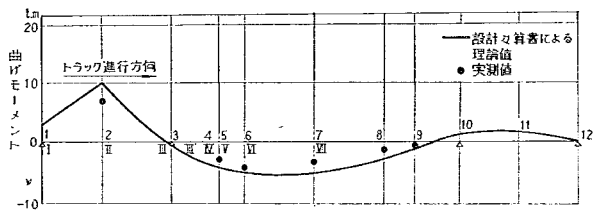


図-26 断面Ⅱの曲げモーメント影響線図（トラック荷重）

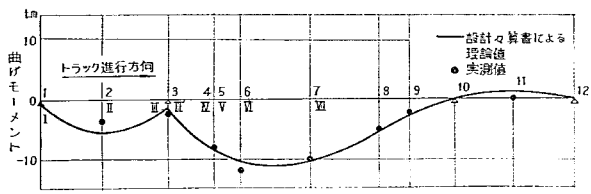


図-27 断面Ⅲの曲げモーメント影響線図（トラック荷重）

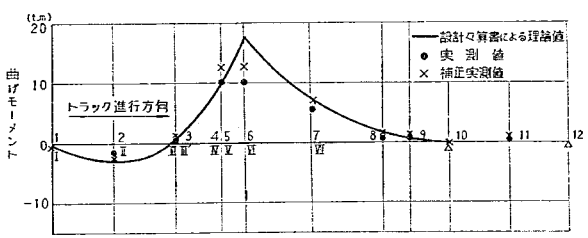


図-28 断面Ⅵの曲げモーメント影響線図（トラック荷重）

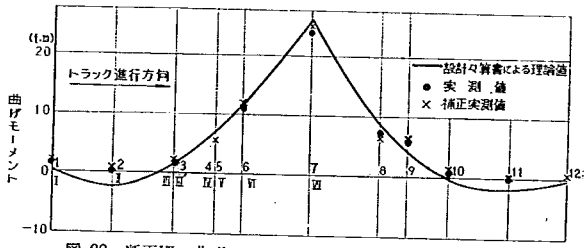


図-29 断面VIIの曲げモーメント影響線図（トラック荷重）

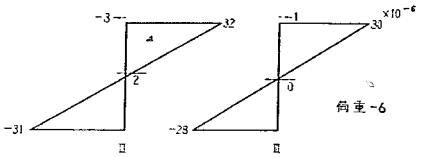


図-30

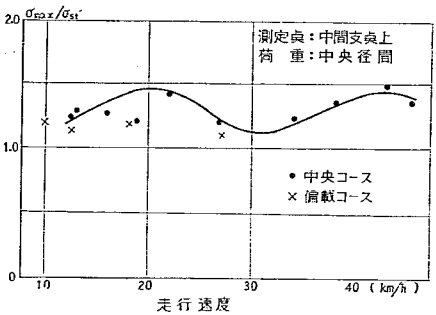


図-31

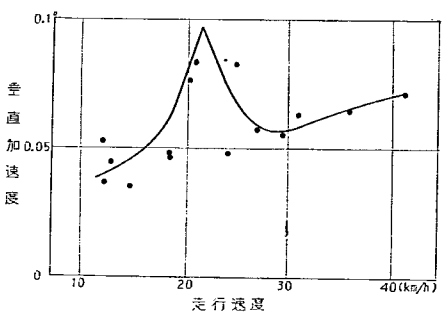


図-32

と考えている。

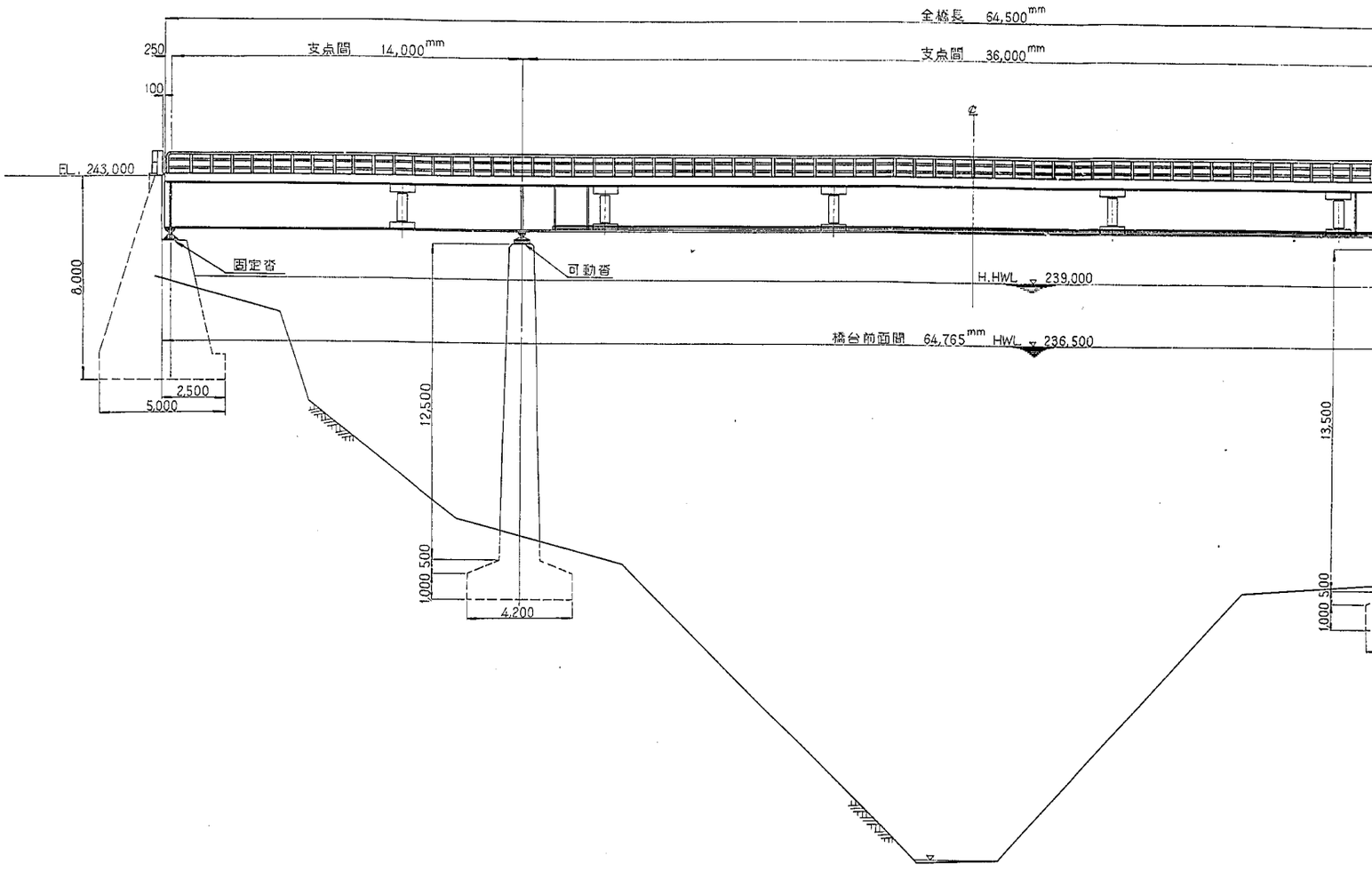
終りに，この研究の最初から御指導をいただいた田原保二氏に感謝し，また実橋の実現のために御協力をいただいた東北地方建設局の各位，特に現場において御援助を戴いた井沢調査設計課長に厚く御礼申し上げる次第である。

文 献

1) プレストレスト合成ゲタの研究とその設計
(1) 模型実験に関する報告。土木研究所報告103号
2) プレストレスト合成ゲタの研究とその設計
(2) 新尾形橋の設計に関する報告。土木研究所報告109号
3) H. Homberg:Brücke mit elastischem Verbund zwischen den stahl-hauptträgern und der Betonfahrbahntafel.
Bauinqenieur Bd. 27 (1952) S. 186.
4) F. Dischinger : Untersuchungen über die Knicksicherheit, die elastische Verformung und das Kriechen des Betons bei Bogenbrücken. Bauingenieur Bd.18 (1937)
5) K. Sattler: Theorie der Verbundkonstmktionen 1954.
6) B. Fritz: Vereinfachtes Berechnungsverfahren für Stbhlträgern mit eines Betondruckplatte bei Berücksichtigung der Kriechens und Schwindes. Bautechnik Bd 27 (1950)
7) G. Dehnkamp u. H. Krosse:
Biegemomente in auskragenden Fahrbahnplatten. Bauing.1957, H-2

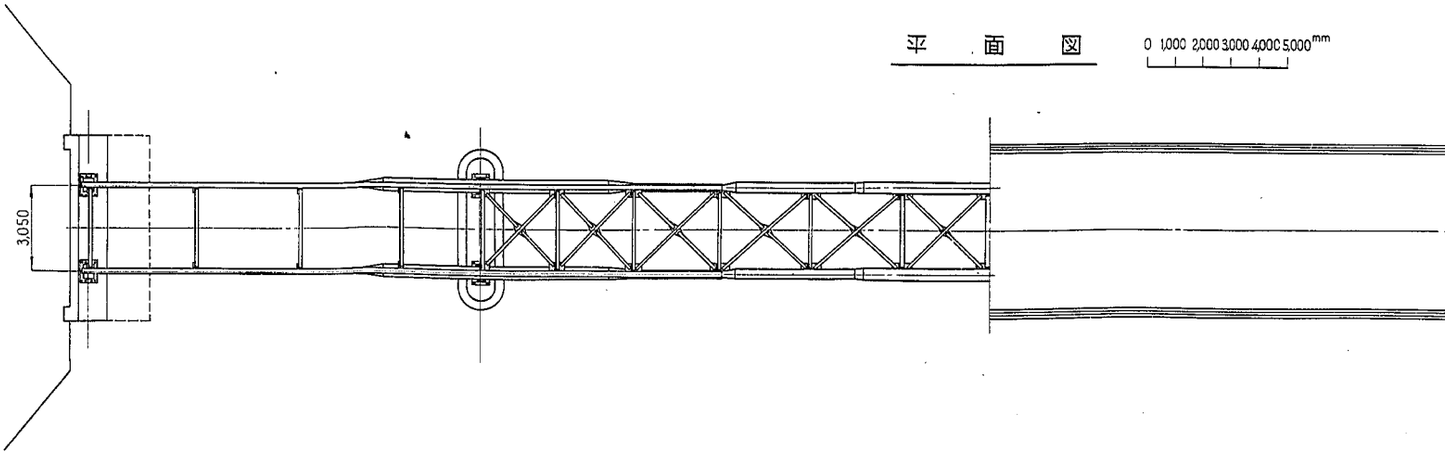
側　面　図

0 1,000 2,000 3,000 4,000 5,000 mm



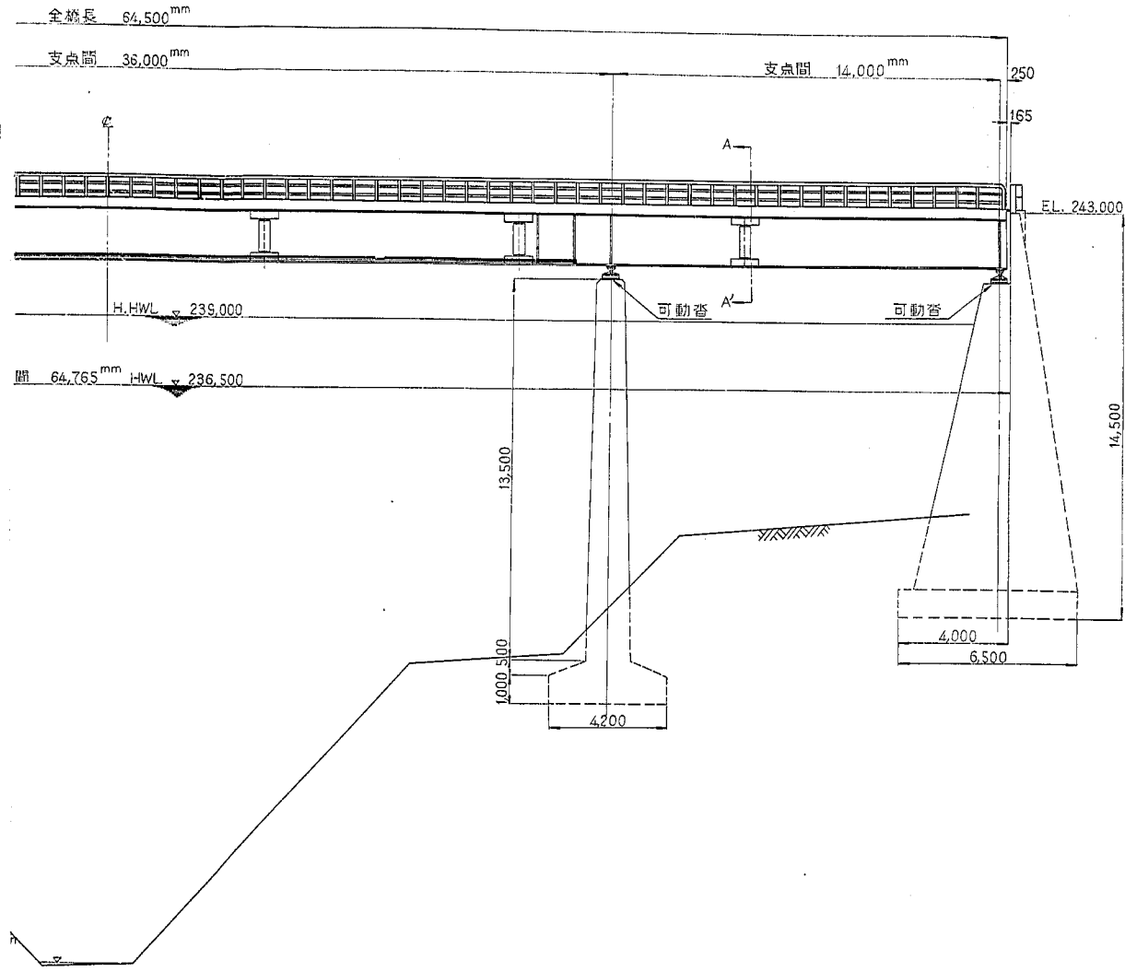
平　面　図

0 1,000 2,000 3,000 4,000 5,000 mm

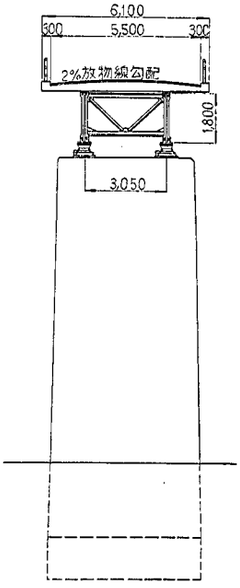


側　面　図

0 1,000 2,000 3,000 4,000 5,000 mm

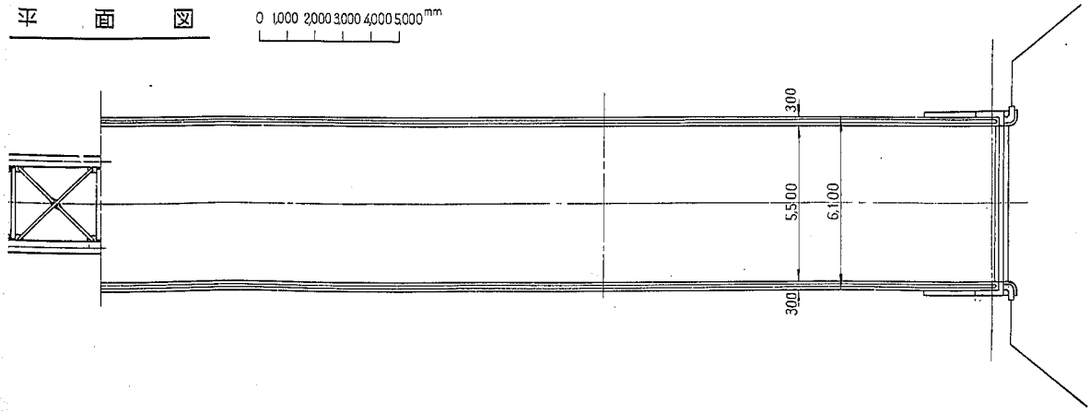


A～A'断面

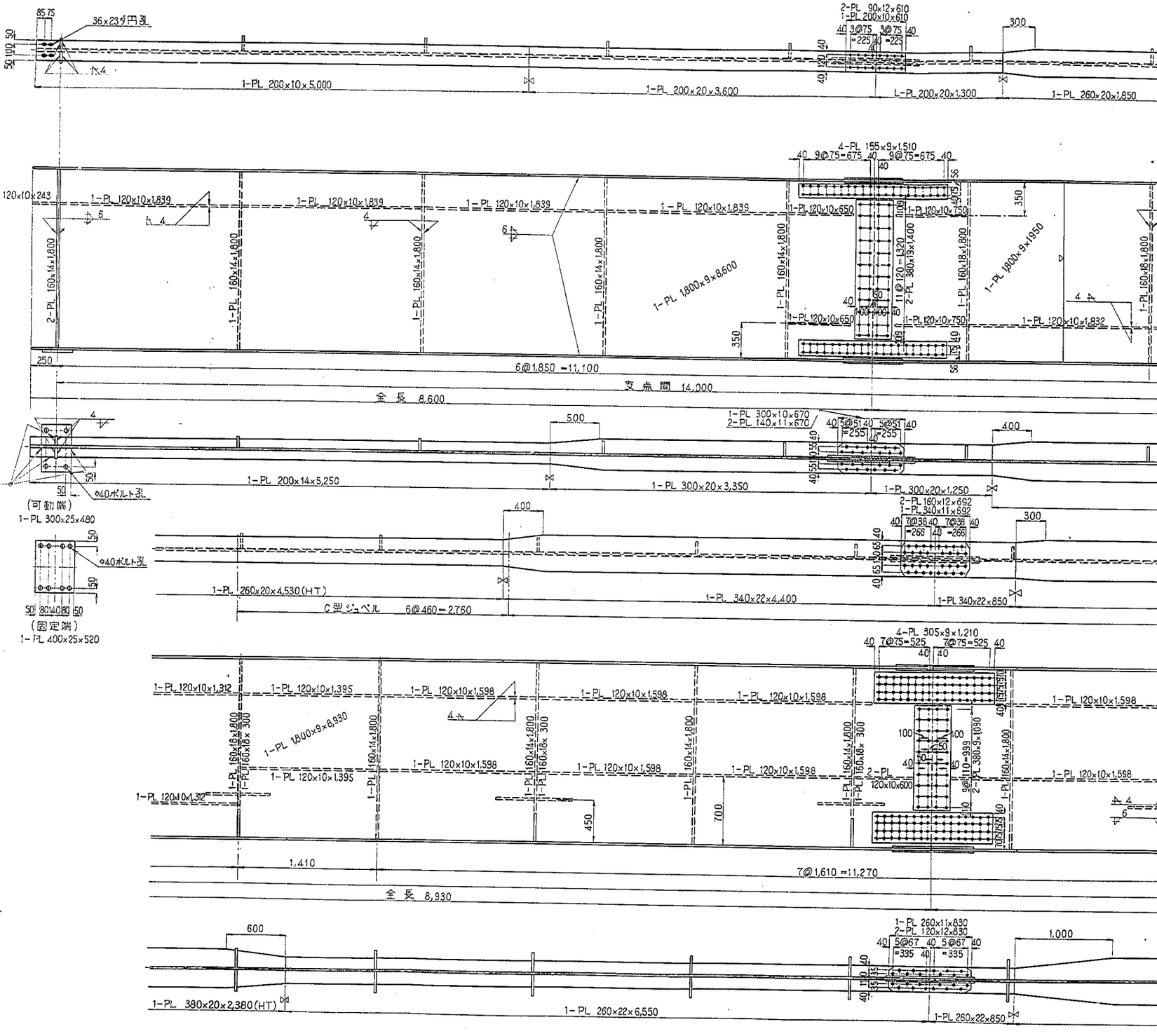


平　面　図

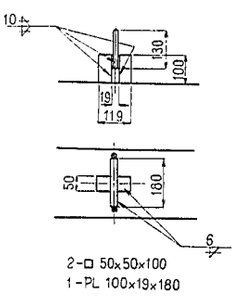
0 1,000 2,000 3,000 4,000 5,000 mm



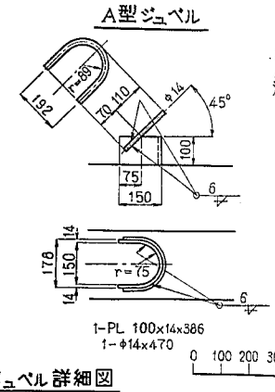
大　石　橋				
図名	一　般　図			
備考	附　図	図　番	1	4
建設省土木研究所				



B型ジュベル
(フランジ被手上)



A型ジュベル



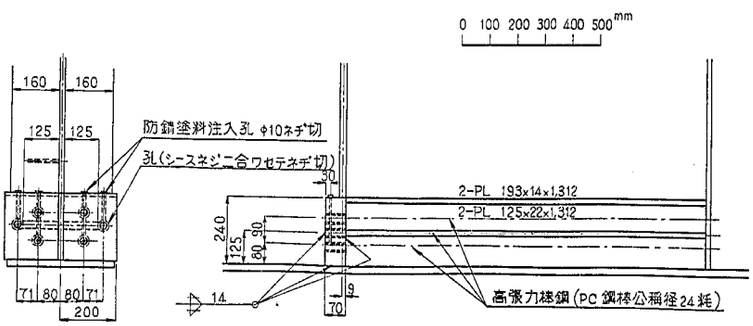
C型ジュベル

・B型ジュベルの鉄筋をA型ジュベルの本体に溶接する。

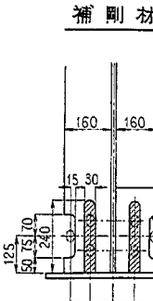
ジュベル詳細図

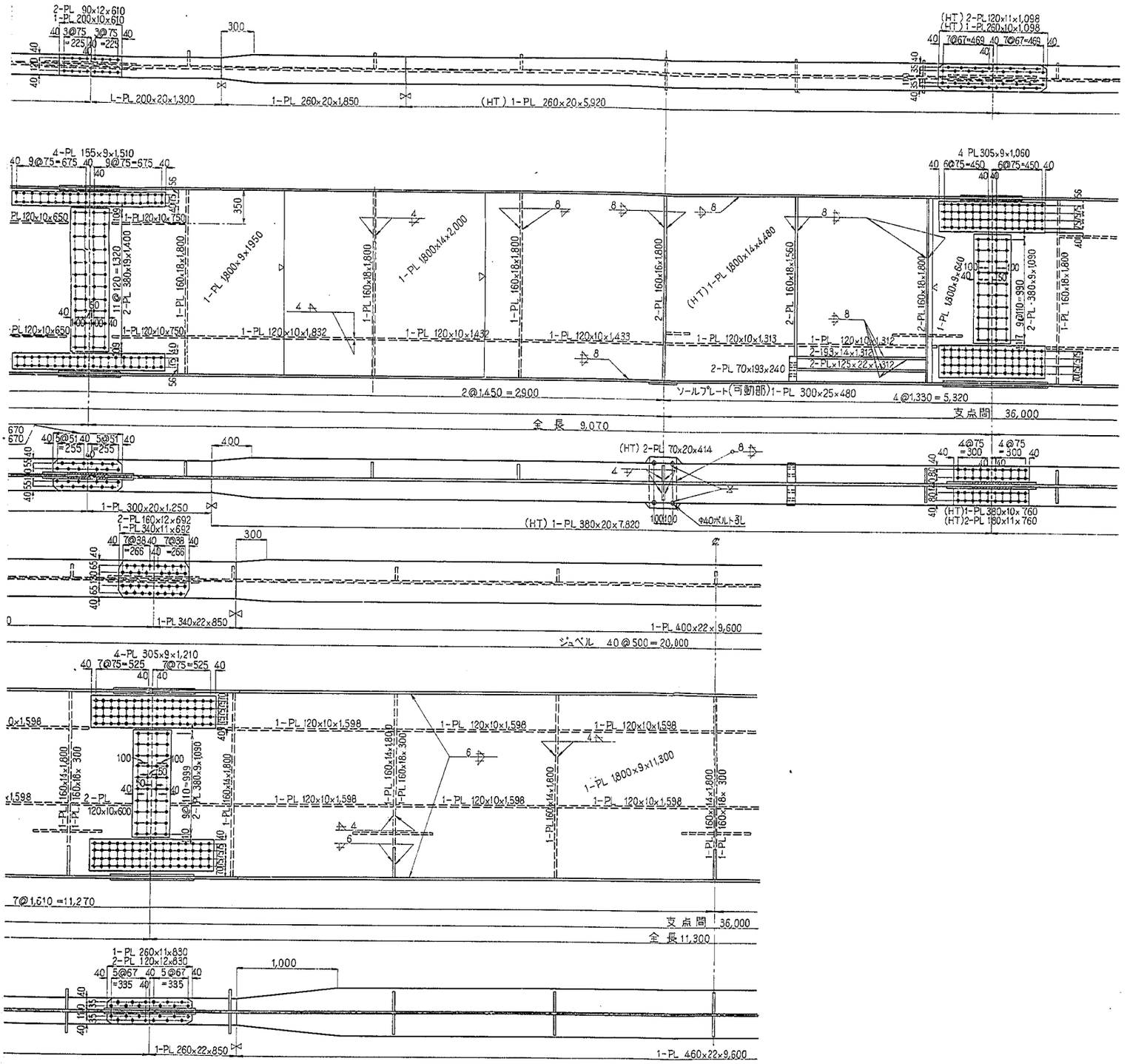
0 100 200 300 400 500 mm

定着部詳細図

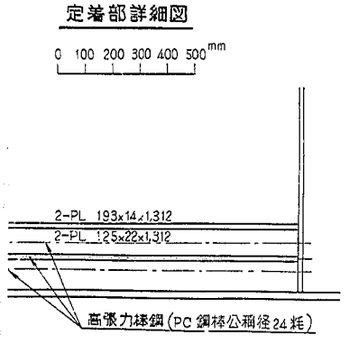


補剛材

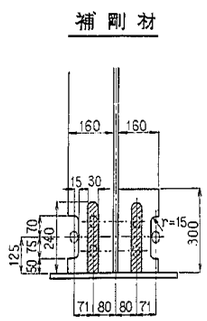




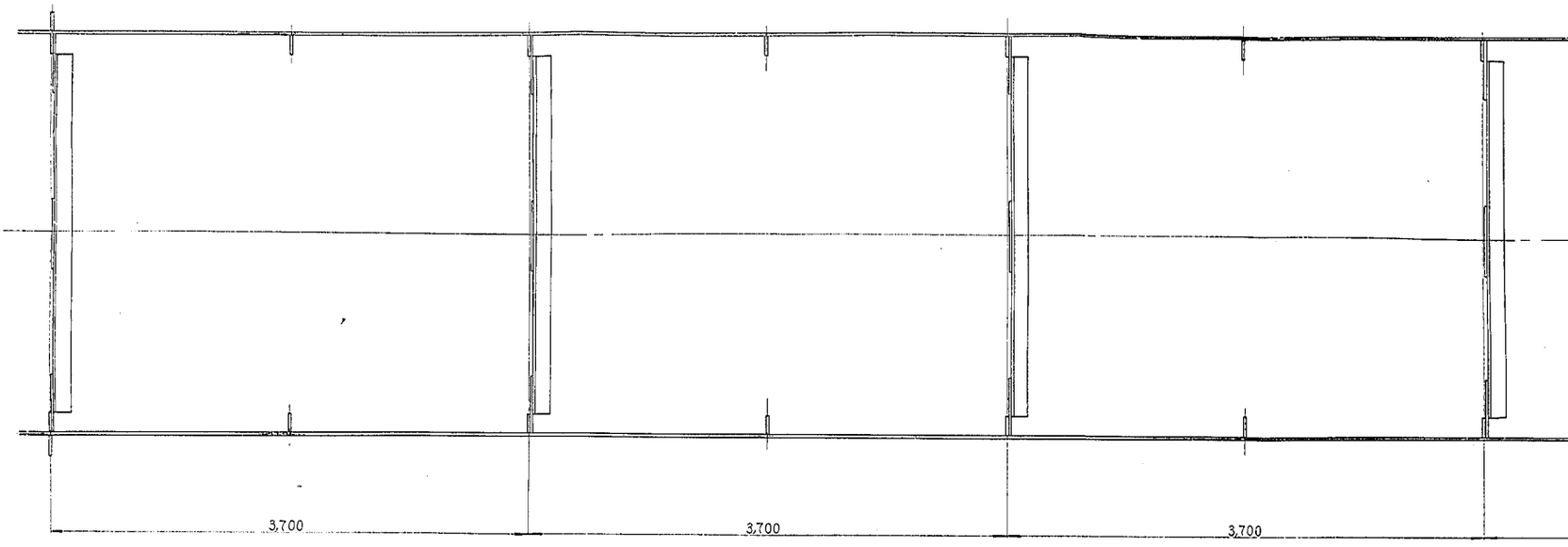
定着部詳細図

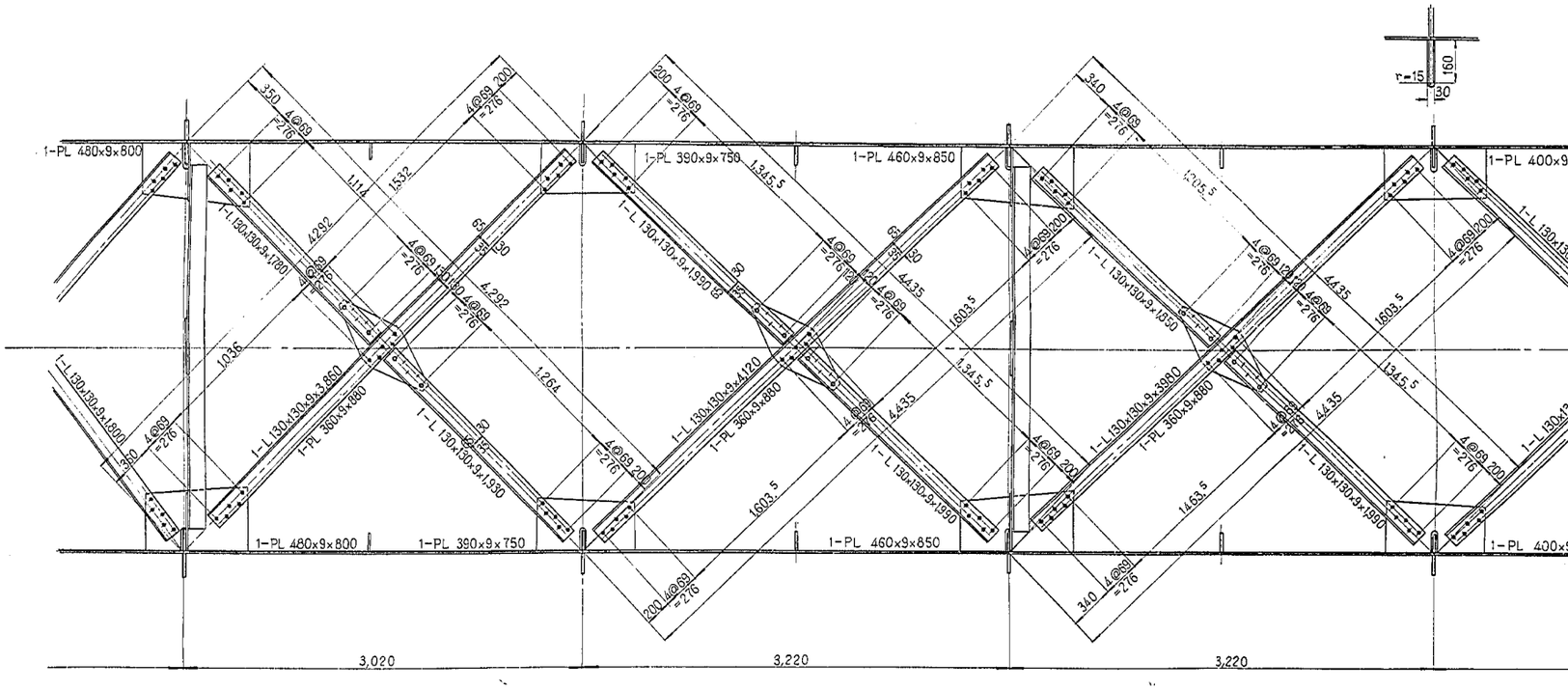


補剛材

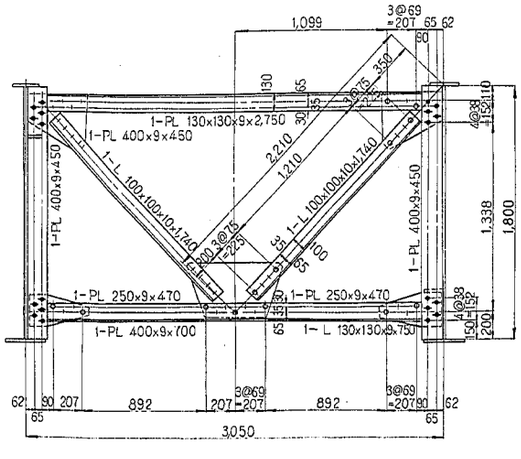


大	石	橋		
図名	主	桁		
備考	附図	図番	2	4
建設省土木研究所				

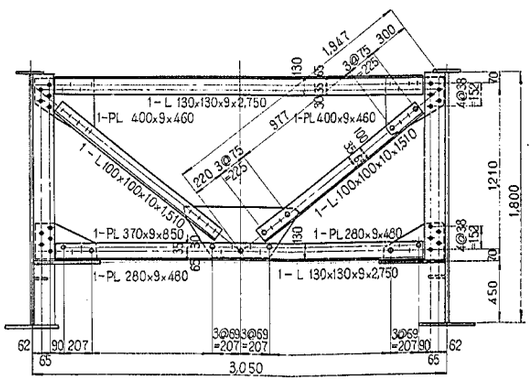




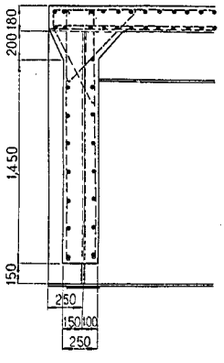
側径間対傾構



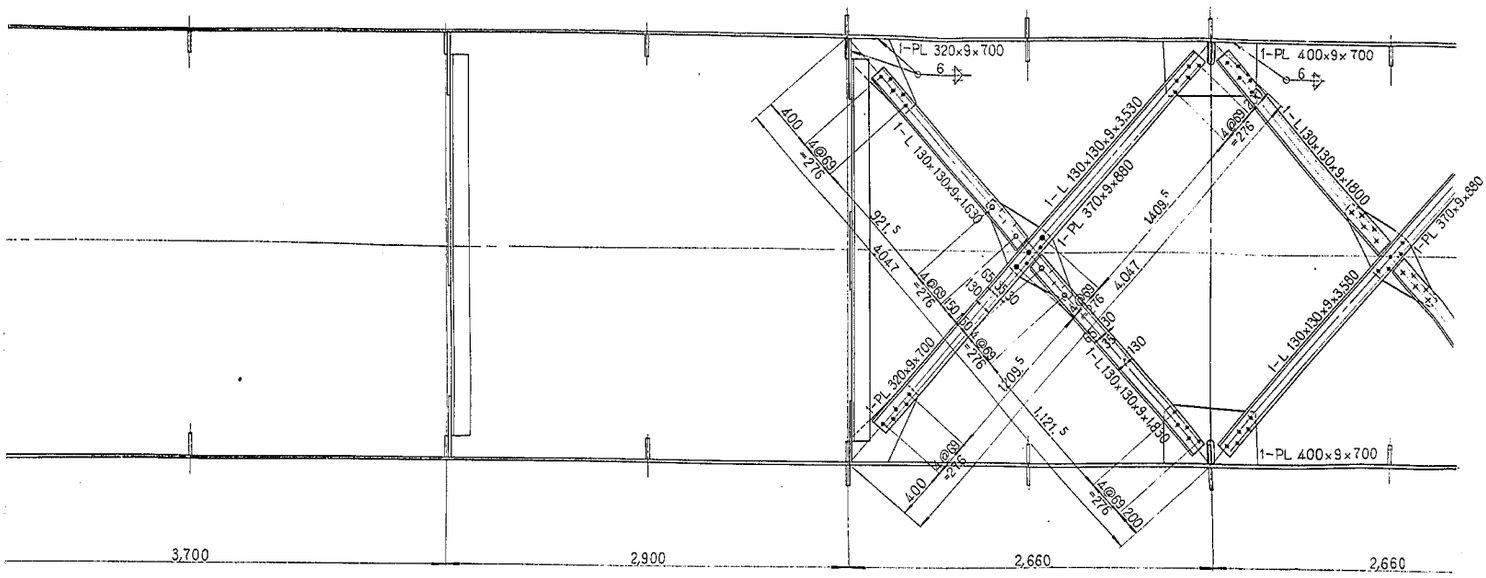
中央径間対傾構

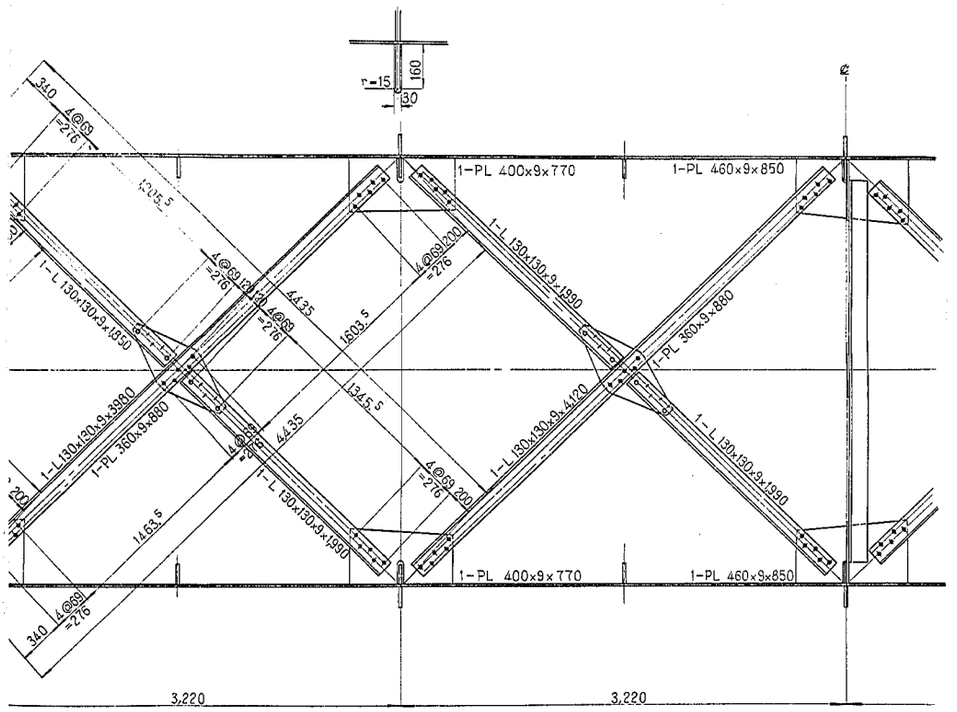


橋端

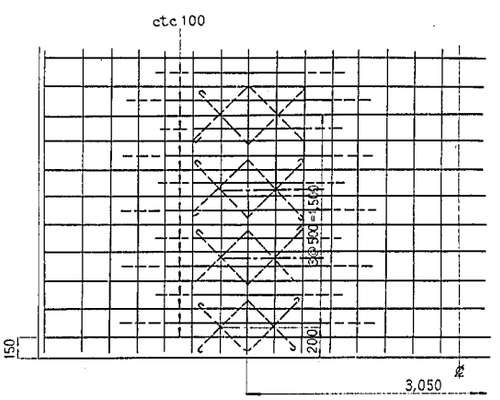


鉄

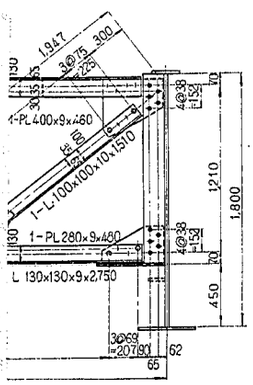




桁端部配筋図

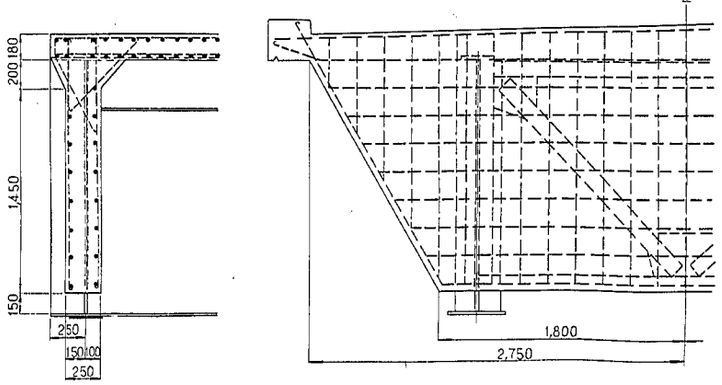


対傾構



橋端補剛壁詳細

両端に設ける

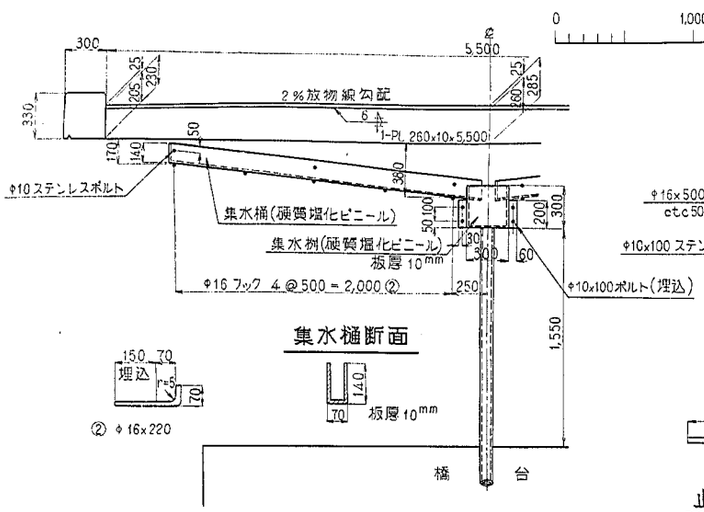


鉄筋 : φ13 ctc 200

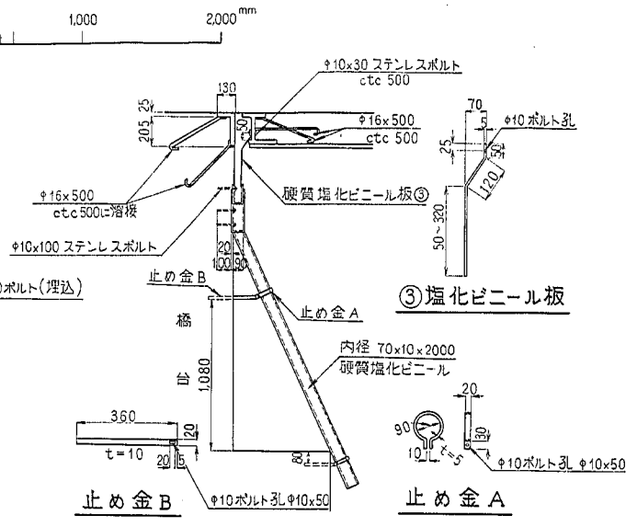
鉄径はφ22

大石橋			
図名	対傾構、横構、橋端補剛壁詳細、床版プレストレス配置、桁端部配筋		
備考	附図	図番	3/4
建設省土木研究所			

伸縮接手および橋端排水設備



集水桶断面

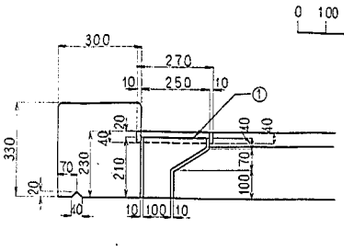


③塩化ビニール板

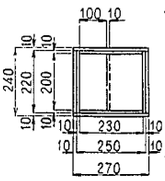
止め金B

止め金A

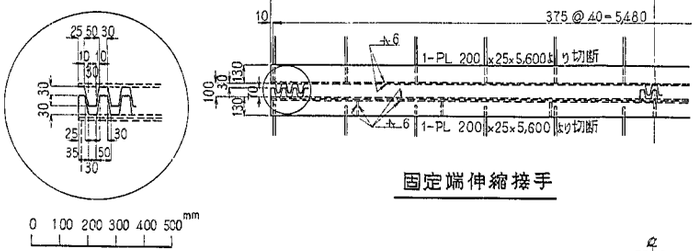
排水桝詳細図



排水桝部材



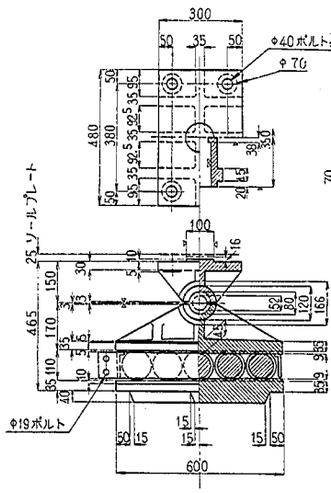
2-PL 40×10×270
2-PL 40×10×220
2-PL 210×10×230
1-PL 220×10×210
1-PL 40×10×220
1-PL 100×10×200
1-PL 160×10×200
街合せ及び隅肉溶接にて組立
(又は同寸法の錆鋼製)

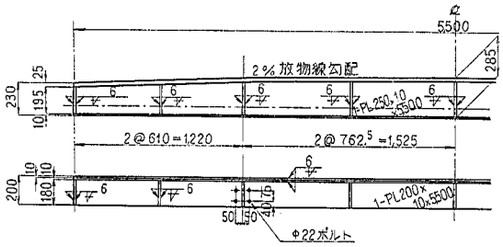


固定端伸縮接手

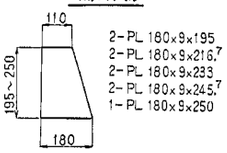
可動端伸縮接手

HT:高張力鋼



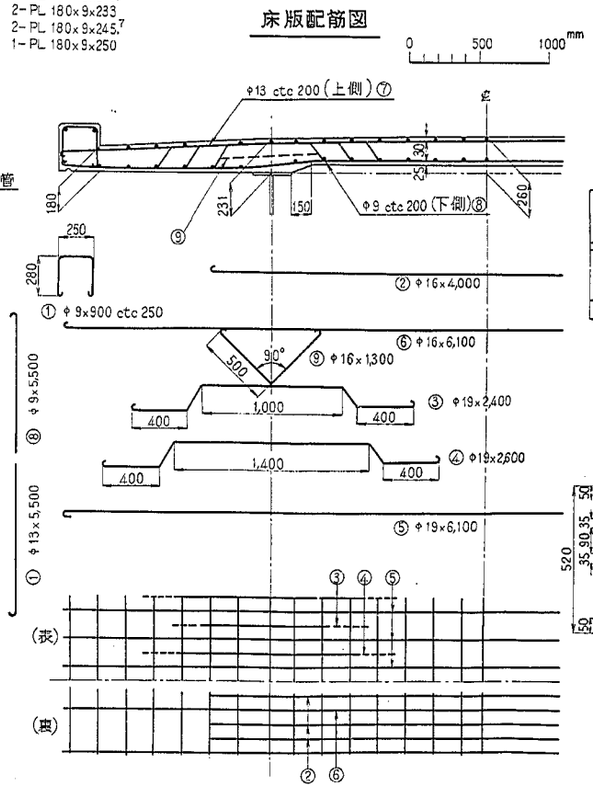


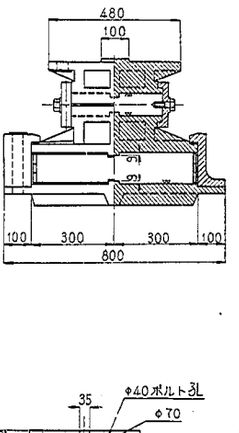
補剛材



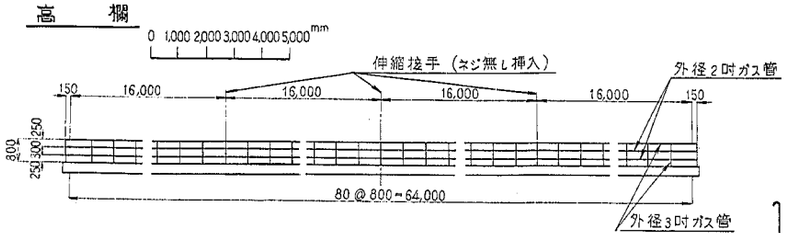
2-PL 180×9×195
2-PL 180×9×216.7
2-PL 180×9×233
2-PL 180×9×245.7
1-PL 180×9×250

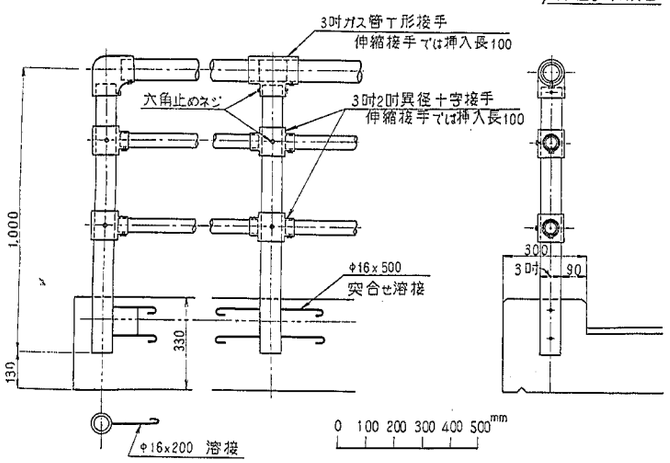
床版配筋図



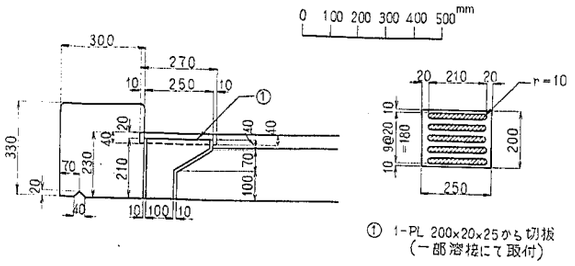


高欄

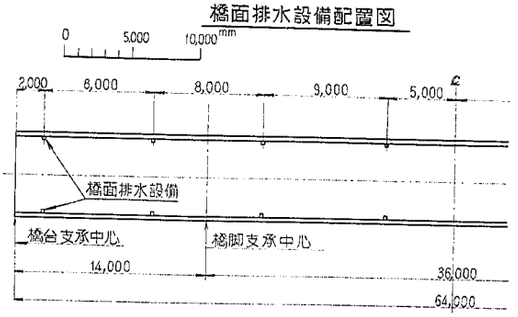




排水桝詳細図

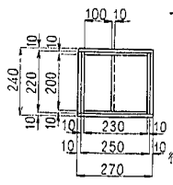


橋面排水設備配置図



ル板

排水桝部材

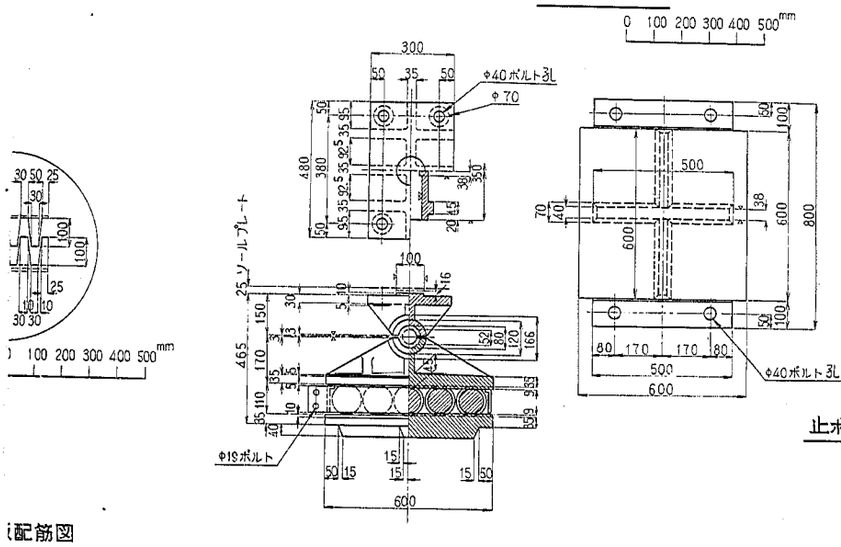


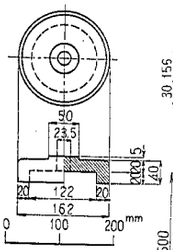
2-PL 40×10×270
2-PL 40×10×220
2-PL 210×10×230
1-PL 220×10×210
1-PL 40×10×220
1-PL 100×10×200
1-PL 160×10×200

衝合せ及び隅肉溶接にて組立
(又は同寸法の鋳鋼製)

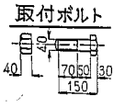
ボルト3L φ10×50

中間可動沓

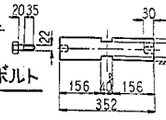


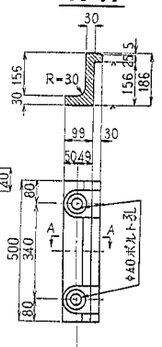


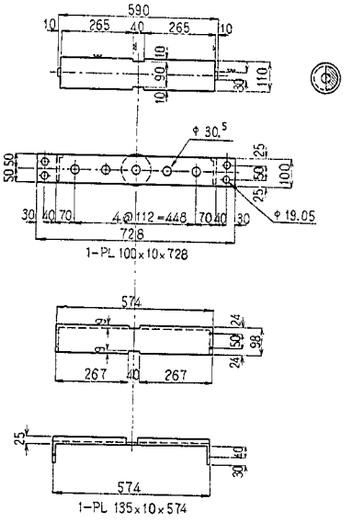
取付ボルト



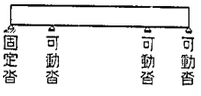
止ボルト



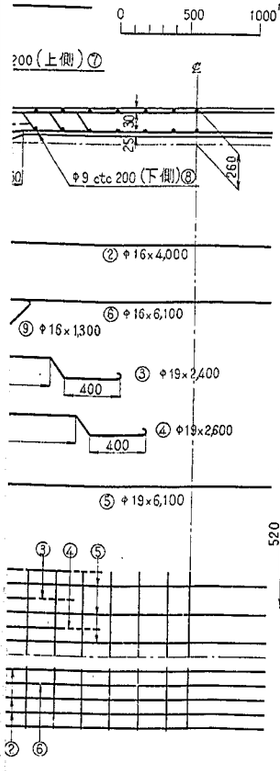


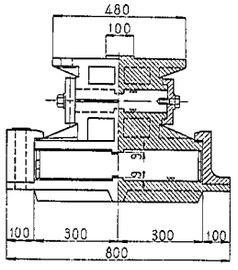


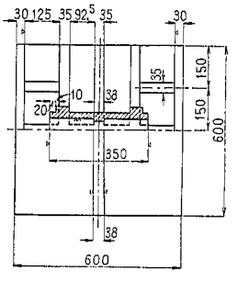
鋼材の材質は SS-50
鋳鋼の材質は SC-46

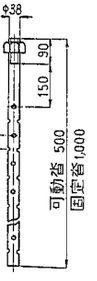


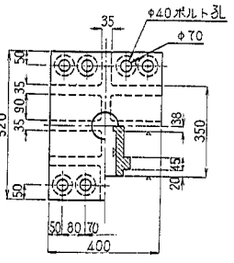
配筋図



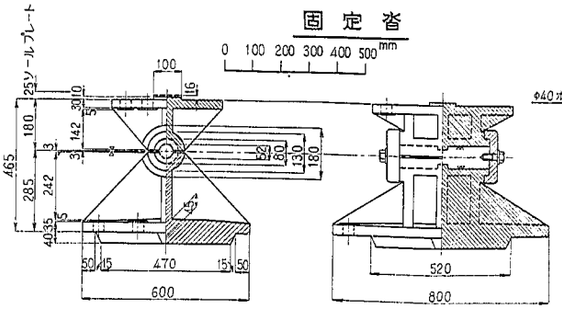


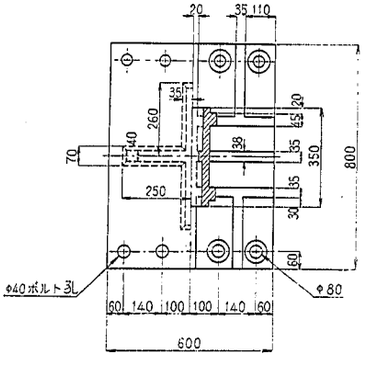


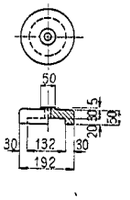




固定沓

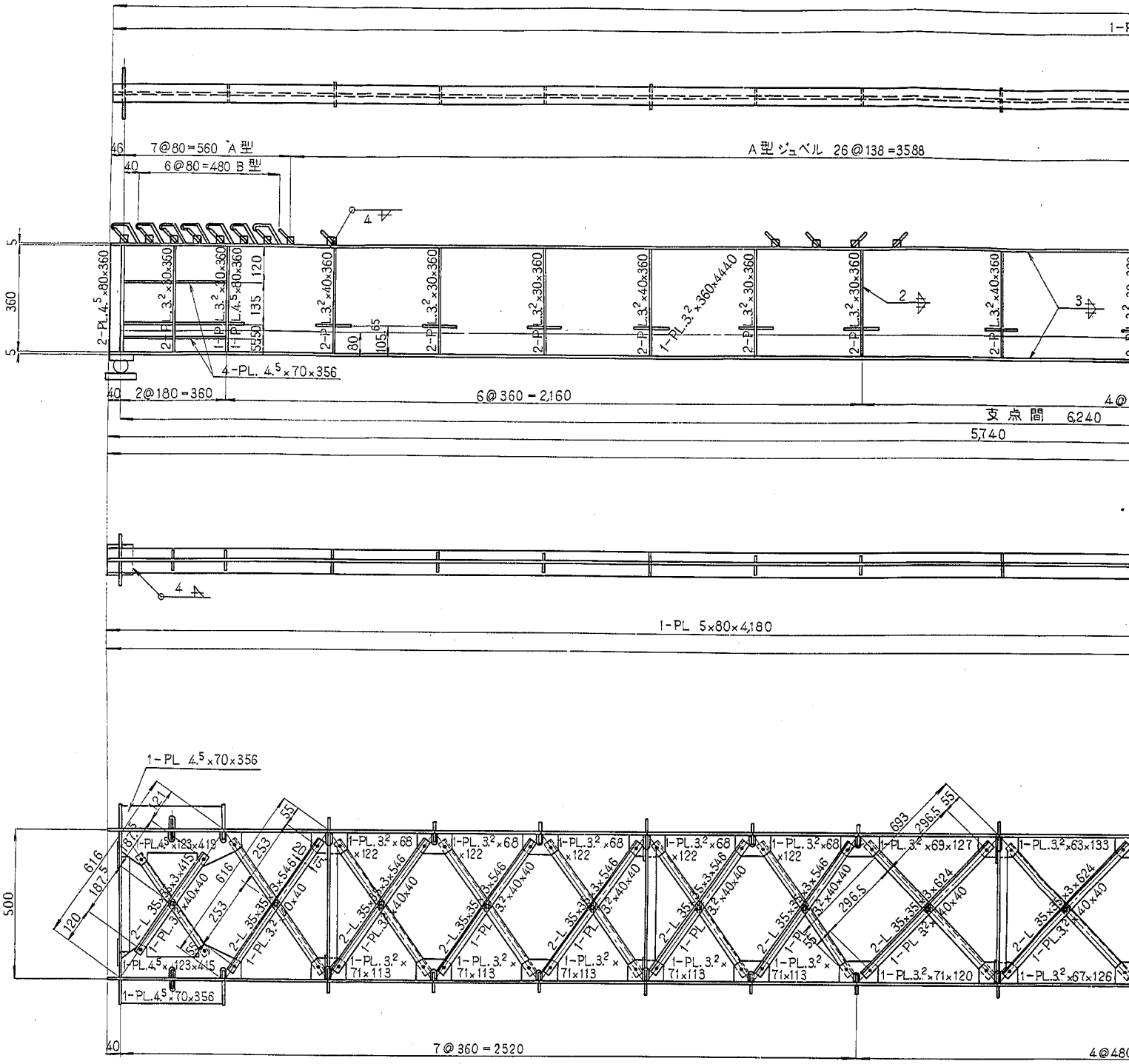


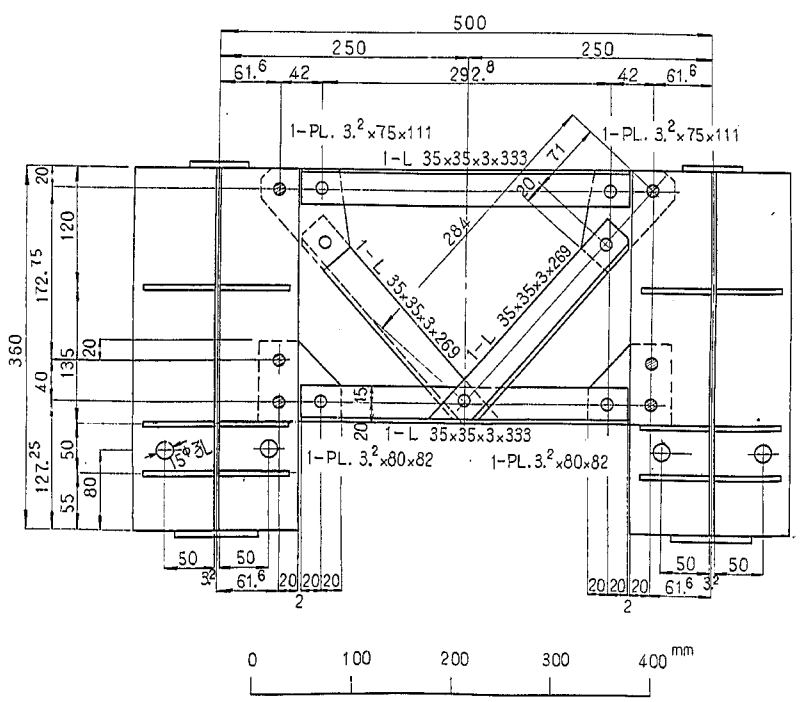


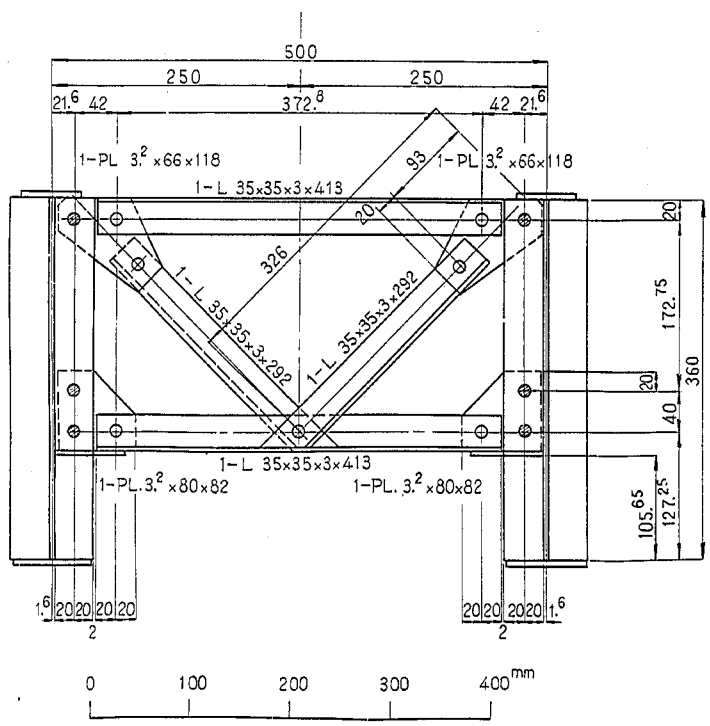


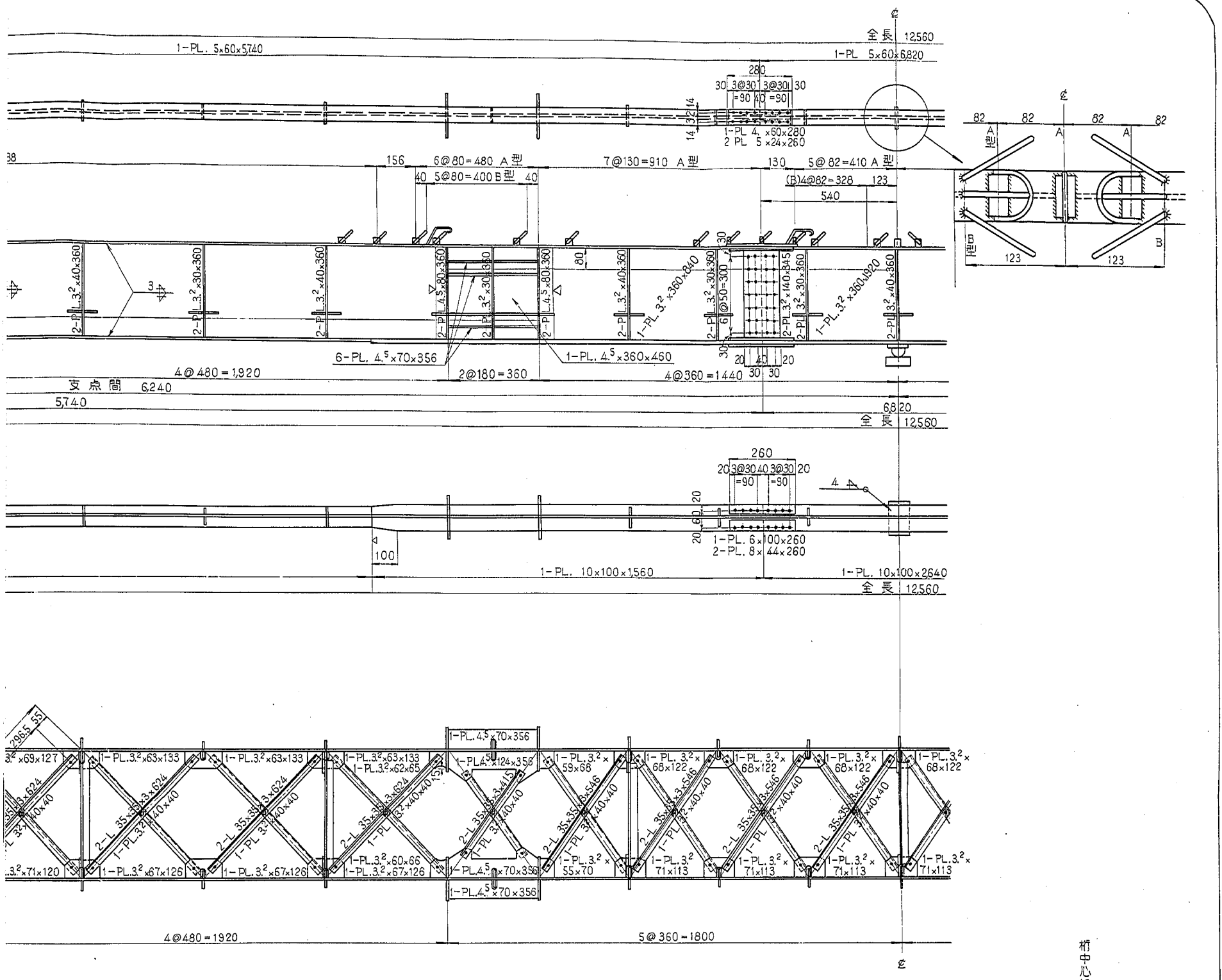
特記しないものは可動沓に同じ.

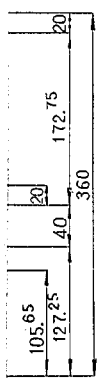
大石橋			
図名	伸縮接手、排水設備、高欄、床版配筋、可動沓及び固定沓		
備考	附図	図番	4/4
建設省土木研究所			

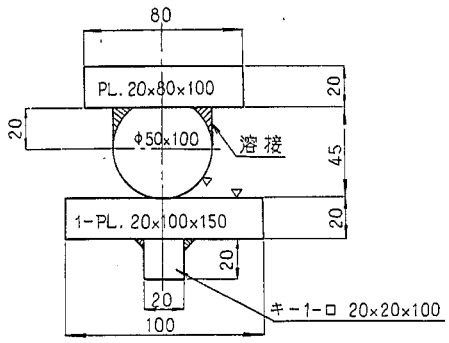

A型ジュベル 26@138=3588
7@80=560 A型
6@80=480 B型
2-PL.4.5×80×360
1-PL.4.5×80×360
2-PL.3.2×80×360
1-PL.3.2×80×360
2-PL.3.2×40×360
2-PL.3.2×30×360
1-PL.3.2×360×4440
4-PL.4.5×70×356
2@180=360
6@360=2,160
支点間 6,240
5,740
1-PL 5×80×4,180
1-PL 4.5×70×356
1-PL.4.5×123×415
1-PL.3.2×68×122
1-PL.3.2×71×113
1-PL.3.2×69×127
1-PL.3.2×63×133
1-PL.3.2×71×120
1-PL.3.2×67×126
7@360=2520


1-PL. 3.2×75×111
1-L 35×35×3×333
1-L 35×35×3×269
1-PL. 3.2×80×82
Section (End)

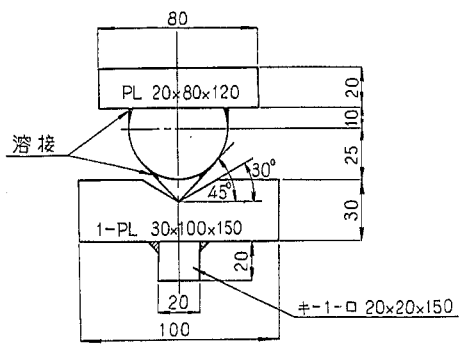

1-PL 3.2×66×118
1-L 35×35×3×413
1-L 35×35×3×292
1-PL. 3.2×80×82
Section (Int)



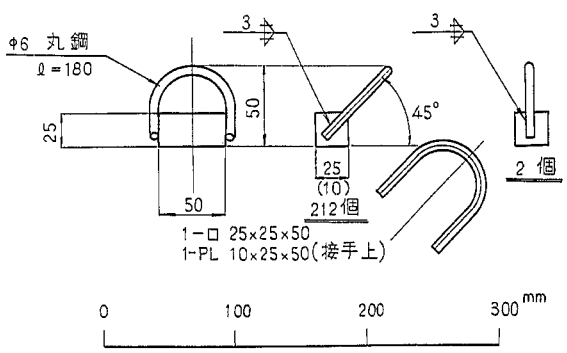




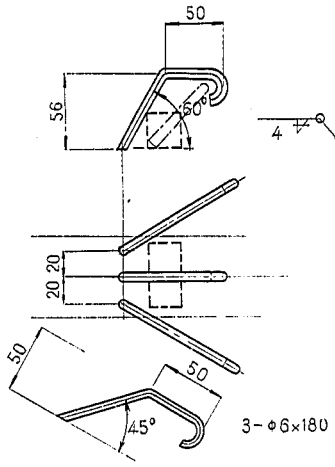
端 支 承

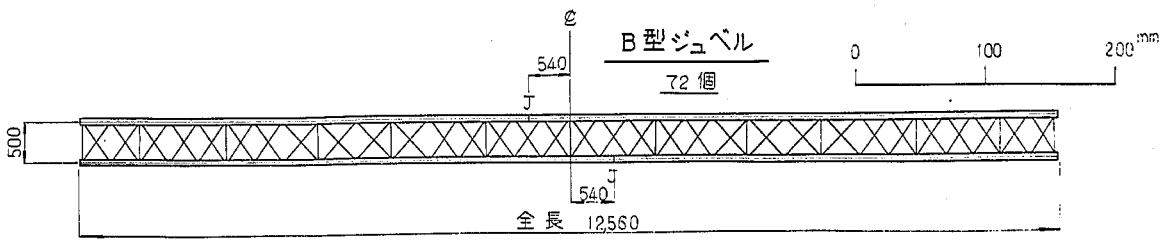


中 央 支 承



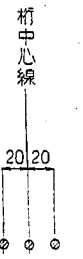
A 型 ジュベル





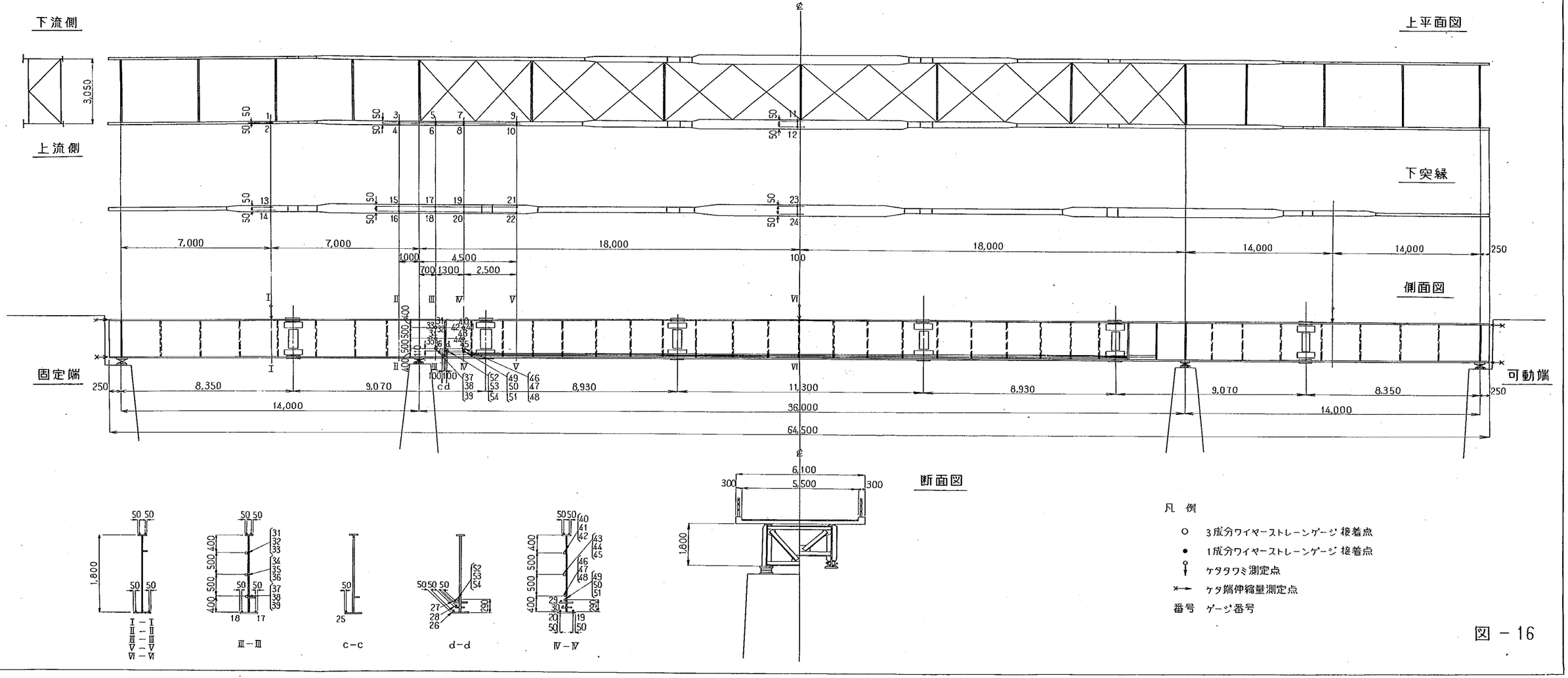
B 型 ジュベル
72 個

組立はボールト使用
ボールトは径 3/8″高張力ボールト



図－4

大石橋応力試験計測点図



図－16

Report
of
The Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Vol. 111, September 1962

CONTENTS

1. U. Mura, T. Nagata, T. Fujisaki and M. Yamamoto
Experimental Study on Spillway of Arch Dam
——Hydraulic Model Test for the Yuda Dam—— ……(1)

2. A. Ariizumi and S. Wada
Stabilization of Allophane Soils by Lime and Gypsum (3)
——Reaction of Coprecipitated SiO_2–Al_2O_3 gel with Lime Solution —……(95)

3. A. Ariizumi
Stabilization of Allophane Soils by Lime and Gypsum(4)
——General Discussion on the Reaction of Allophane with Lime Solution——……(105)

4. N. Shuto
On Waves of Finite Height
——Condition of Breaking for Progressive Waves Represented in Infinite Power-Series—— ……(111)

5. Y. Tada and S. Nakamura
Study on the Prestressed Composit Girder and the Design of it (3)
——Experimental Study by Model Test and Design of Oishi-bashi Prestressed Partial Composit Continuous Girder Bridge—— ……(121)