

全國經濟委員會

**導淮入海水道楊莊活動壩
模型試驗報告書**

中央水工試驗所編

第一號

十月

導淮入海水道楊莊活動壩模型試驗報告書

(二十五年十月)

一 試驗之目的與範圍

- 甲 委託機關 導淮入海水道楊莊活動壩模型試驗,係本所於民國二十四年十二月應導淮委員會委託,在臨時試驗所舉行。模型之製造,於本年一月開始,二月中完成,即開始試驗,歷時五月,於本年七月結束。
- 楊莊活動壩在導淮入海水道上游,緊接運河,所以節制運河水位,使在各種不同之入海洪水流量下,運河得常保持其相當水深,以免有礙航運。
- 乙 試驗資料之根據 此次試驗資料,根據導淮委員會楊莊活動壩計劃圖(二十四年六月),入海水道計劃書(二十二年一月),及該會交本所之試驗說明。關於楊莊壩部份,綜合如下:
- 一、入海水道初步工程流量為每秒〇至七百立方公尺。
 - 二、活動壩上游河床坡度為千分之〇・〇五七五,下游河床坡度為千分之〇・〇七八五,粗糙率(按傅希赫滿公式)為〇・〇二二五,河床斷面見圖一一三。
 - 三、楊莊一帶為廢黃河淤積之黃土,顆粒細小,缺乏黏性,極易被冲刷。
- 丙 試驗之目的 試驗之目的,為研究在各種不同流量及水位下,保護壩下河床之方法,使冲刷情形,不致危及壩之安全。並決定壩墩之形狀,使水流能力損失減小。
- 丁 試驗之範圍,共分列如下,

- 一、壩墩形狀之研究。
- 二、攔水檻形狀及尺寸之研究。
- 三、在各種不同水位及流量下,攔水檻距離閘門位置之研究。
- 四、在各種不同水位及流量下,壩下游河床冲刷情形之研究。
- 五、壩下游河床鋪亂石塊長度之研究。
- 六、壩上游水深不足四公尺時,閘門關閉位置之決定,使上游水深可達四公尺。
- 七、在各種不同水位及流量下,活動壩流量係數之決定。



- 一、當入海水道流量減少,壩上水深不足四公尺時,閘門需局部關閉,使上游水位抬高。在此情形下,水流受壓力自閘門下外射,冲刷河床甚烈。經試驗研究,於壩墩間設消力檻,使射流變為緩流,然後流洩護坦上;同時將壩下河床改低二公尺,使其常浸水中,河床之冲刷,已可完全避免。
- 二、當入海流量較大,水深已超過四公尺時,閘門完全開啓。在此情形下,兩岸壩座後發生迴溜,使河床冲成深坑二處。與護坦平行之消力檻設備,既未能減滅迴溜,而壩座形狀,又因工程已在進行,不能再加改變;故利用鋪石以保護河床。鋪石形狀,經試驗研究,採用階級式,使水流遠射;並設引水牆以減迴溜之勢,使流速之分佈平均。故鋪石陂脚,無冲刷下陷而向上推進之虞,活動壩之安全,因得充分之保障。
- 三、活動壩壩墩形狀,根據現代水流學原理,改為流綫形。活動壩流量係數,舊墩平均為一·〇九八;新墩為一·一四七。因水流能力之損失,大部份在兩岸壩座後之迴溜,故雖改良壩墩形狀,亦未能充分增加流量係數之值。
- 四、在最大流量時(每秒七百立方公尺),活動壩水流能力之總損失,舊墩為二二·八公分;新墩為二二·五公分。按設計壩上下游河床相差為七十五公分,故水頭之損失,只為河床高度相差值三分之一。
- 五、流量與壩上水位,及閘門開啓尺寸之關係,及流量與上下游水位之關係,均由試驗決定。

二 模型之設計與製造及試驗之設備

甲 模型之設計

- 一 比例尺之決定 楊莊活動壩閘門之排列,與入海水道正規中線不對稱,左右兩岸水流情形亦異,故模型須包括活動壩

全部,不能建半邊模型,以免結果差異。在最高水位時,活動壩一段之潤浸面積,其長度(包括上下游兩正規斷面各五十公尺)約為五一〇公尺,其寬度約為一二五公尺。因審校臨時試驗所之面積,抽水機之給水量;及計算模型之流速,與模型沙礫移動之界限,決定其比例率為一比四十。模型長十三公尺,連量水槽及進水段共長一七·一五公尺;寬三·一二五公尺;壩下河床水深為五·一至一四·七公分;最大流量為每秒六九·一公升,壩下斷面平均流速為每秒九·五公分至二〇·二公分;雷氏係數為三八七〇至二三五二〇,已超過直綫流界限。水面流速,雖小於波浪流速界限每秒二十三公分,但因河床沙礫之移動及水流能力之損失,不受水面表面張力之影響,故無重要關係。

二 模型沙礫之選擇 模型沙礫之選擇,最屬重要。模型沙礫,必需在相當流速下,其移動界限,及冲刷性質,與天然沙礫相吻合。楊莊活動壩一帶為廢黃河淤積之黃土層,粒糲微細而缺乏黏性,雖未曾作實際冲刷之測驗,但估計平均流速為每秒五十至六十公分時,黃土粒即開始被冲刷而移動(沙礫移動界限);流速超過一公尺時,其冲刷必甚劇烈。又按普通經驗,黃土在水中移動時之情形,一部份遊蕩水中,一部份在床面上推進,故模型沙礫之選擇,須與以上情形符合。今模型比例率為一比四十,流速以比例率按相似律計算為1比 $\sqrt{40}$,即一比六·三三。是即模型流速為每秒 $\frac{50 \text{至} 60}{\sqrt{40}} = 7.9 \text{至} 9.5$ 公分時,模型沙礫應開始被冲刷而移動;模型流速為每秒 $\frac{100}{\sqrt{40}} = 15.8$ 公分時,其冲刷應甚劇烈。

此次模型所用礫沙為蘇州紅木屑,其平均比重為一·三六,每單位體積重量為〇·二八(公升/公斤),顆粒直徑為

○至二·九公厘（組合曲線見附圖 117）。據本所紅木屑沖刷試驗結果，當平均流速為每秒八至十一公分時，紅木屑在槽底開始被沖刷而移動。流速大於每秒十五公分時，沖刷甚劇烈。槽底被沖刷之木屑，一部份游蕩水中，一部份滾轉槽底上。其移動之界限及性質，可謂與天然黃土沖刷情形符合。故模型試驗之結果，可推之於天然。

此次所用紅木屑，結果雖稱滿意，但仍有若干缺點。紅木屑浸水中過久，將水染色，且其所含蛋白質，溶解水中，易生泡沫，使試驗時不復能自水面向下透視，觀察河床沖刷情形。而最困難者，厥為木屑之沖刷，甚受其結合力之影響。如河床木屑用水浸透粉平，經數日後，即受壓力互相結合，不易移動。故每次試驗前，必須細心將木屑攪勻，至鬆緊合度，以免試驗結果差異。

乙 模型之製造 楊莊活動壩試驗，主要為研究壩下游河床之沖刷，故模型中只壩下游一段，用磚砌池粉水泥，為活動河床，上鋪木屑。其餘各部，用一比二水泥漿，依自然尺寸縮小粉平，下填碎磚，兩邊用磚砌牆。模型壩墩，在初次試驗時，用木製成。但以後為節省時間起見，改用木質模型，澆一·二洋灰漿。消水檻用木製成。閘門為木板，下端鑲銅片，其厚薄及形狀皆按天然尺寸縮小，使水流情形與天然相似。

丙 試驗之設備 此次試驗，按本所設備，採用循環流式。水溜自蓄水池經抽水機之轉動送至高壓水箱，水箱上設有溢水段導流溢水回池，以保持箱上水頭壓力之平衡，使試驗時流量不致發生變動。模型用水，由高壓水箱經進水管流入量水槽，量水堰為平頂銳角兩邊不收束式，寬五十公分。槽首另有大小出水管通蓄水池，裝有閘門，用以精確節制流量，槽壁一面有小孔，與槽旁玻璃管相通，以測驗量水堰水頭高度，並避免槽內水流之蕩漾。

模型槽首端爲梯形之進水槽,槽底較深成池形,以消滅自量水堰下瀉水流之能力。進水槽裝有攔水板及分水木排,使流量均勻平穩流入模型槽中。

模型中於上游正規斷面,閘門前,及下游正規斷面,各裝測水針,可讀至二十份之一公厘。

水流自進水槽經過模型後,由試驗室之回水渠流回蓄水池,而完成水流之循環。

三 試驗之進行及其結果

甲 冲刷試驗 水流出活動壩後,因流速之增加及其所發生之旋渦,冲刷壩下河床沙礫。若接近壩身處,河床淘刷太深,則危及活動壩之安全。試驗之目的,不在使壩下河床之冲刷,可以完全避免;而在使其冲刷之結果,對壩身之安全,不致發生危險。

河床之冲刷,因水流之情形而異。楊莊活動壩洩流入海,當流量較大,上游水深已超過四公尺時,閘門完全開啓,其水流之情形,有如普通河道,河床之冲刷,當以最大流量時(即每秒七百立方公尺)爲最烈。但當流量減少,上游水位不足四公尺,則閘門須局部關閉,使壩上水位抬高。在此情形下,水流自門下外射,其流動性質,與前者判然不同,冲刷之情形亦異。故冲刷試驗,亦分別按下列二種情形舉行:

(一) 小流量冲刷 所有閘門開啓二十公分,上游水位抬高至廢黃河零點十一至十三公尺(即上游水深爲四至六公尺),流量爲每秒五十立方公尺至七十五立方公尺。

(二) 大流量冲刷 閘門完全開啓,流量爲每秒七百立方公尺。

每次試驗前,下游河床,先填浸透水之紅木屑,妥爲攪和,至鬆緊合度,按應有高低粉平。然後自下端逐漸灌水入模型槽,至超過應有水深後,開始自量水槽放水入槽,利用槽末端之活動堰,按流

量大小校正下端水位,於是試驗開始。試驗終了,停止流水後,河床冲刷形狀,應加以測繪記錄。其方法利用活動河床池下閘門,逐漸放水。當水位每低落半公尺時(模型一·二五公分),沿水面與河床浸潤線置白棉繩,然後自高處攝影,即得河床形狀等高綫圖。

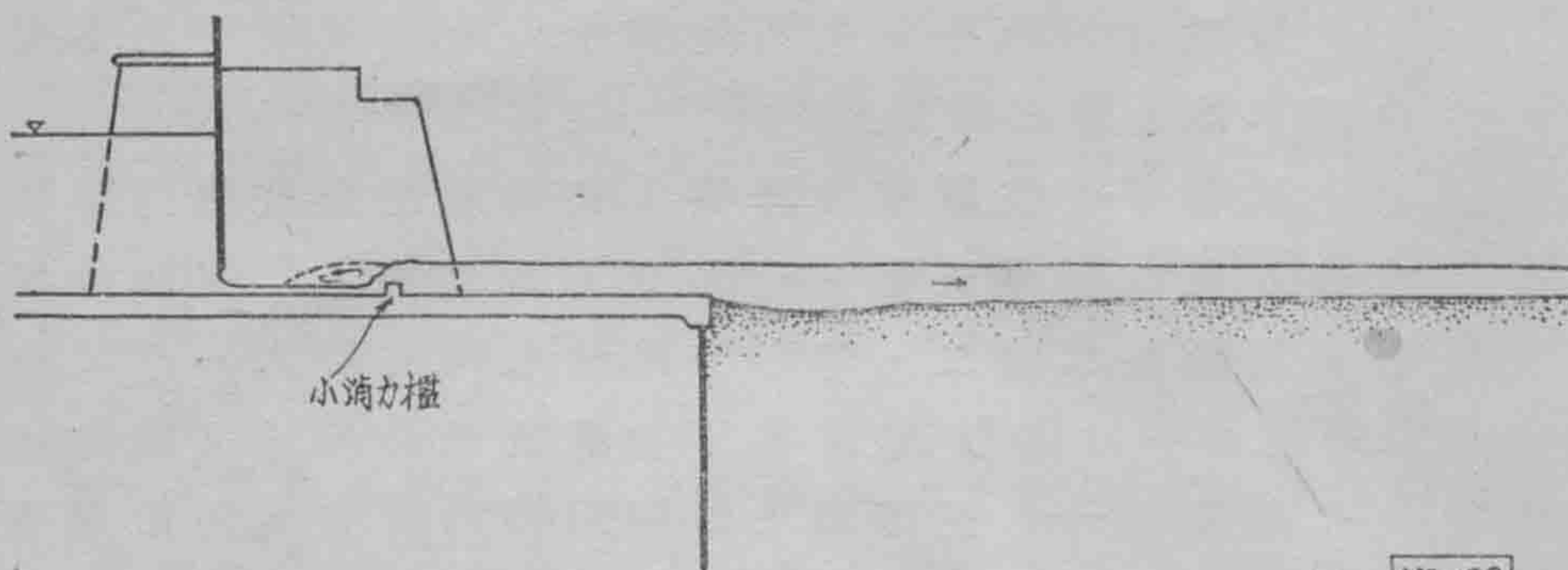
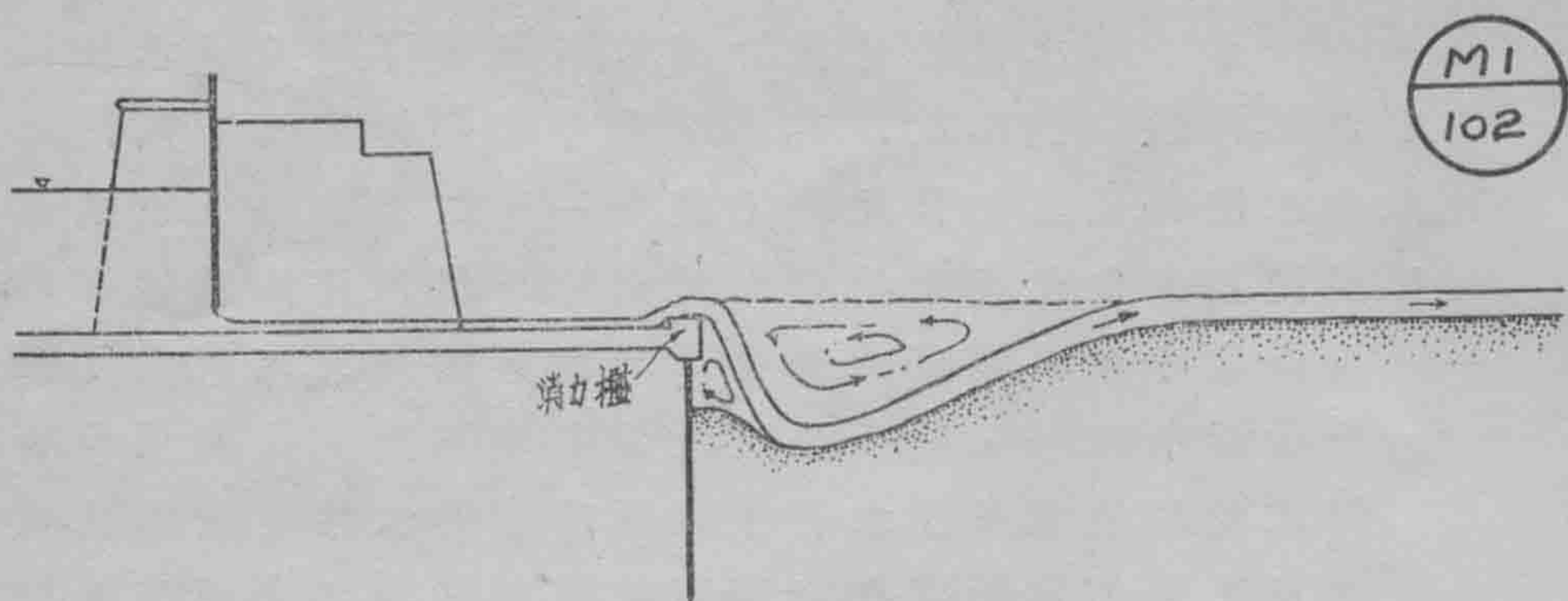
一 小流量冲刷 楊莊活動壩原來設計,壩身河床高過下游正規段面河床一·一五公尺,故當冬季閘門完全關閉時,壩下河床乾涸無水。及放水若干時間後,下游水位逐漸抬高,與流量及下游河道所開挖之斷面,坡度,粗糙率相應。河床冲刷,與下游水深有密切關係,故下游河床乾涸或有相當水深時,須分別試驗。

按設計河床平鋪亂石塊四十公尺,但試驗時先不鋪石,藉以明瞭冲刷之性質。

試驗 3-a 按原來設計壩上裝齒形消力檻,閘門開啓二十公分,流量每秒五四·一四立方公尺壩上水深四公尺,下游正規斷面水深二·二〇公尺。流水時間約六·三三小時(即模型一小時),結果壩下冲深至四公尺(見照片6)。

試驗 3-b-2 情形與上組同。但閘門先完全關閉,壩下河床乾涸,然後自上游放水入槽,至壩上游水位超過四公尺時,同時逐漸將閘門拉開至二十公分。流水時間一小時(模型十分鐘),結果壩下河床冲深四公尺,(見照片7)對於活動壩之安全,殊甚危險。

冲刷之原因,經詳細之研究後,發現由於消力檻之位置,與水流情形,未甚適合。壩上游水位抬高後,水流自閘門下受壓力外射,成為射流。及遇坦末消力檻,發生水躍,變為緩流,而復越檻下注,冲刷河床。坦上平面水流,亦極不規則,在壩墩後亦有回流發生(見照片11,12及圖102)。



根據以上推論,應改良壩下水流性質,使坦上水流變為緩流,平穩流瀉,不致冲刷河床。經多次試驗後,決定於壩墩末端另加小消力檻,因見閘門下之射流,在墩內遇檻發生水躍,變為緩流,坦上流速減小,流態平穩。河床之冲刷,應可減少。

試驗 3-D-1。閘門開啓二十公分,上游水深六公尺,下游正規段面水深二·六五公尺,流量每秒七十五立方公尺,壩墩內加小檻,高半公尺,並取消原有齒形檻,流水時間約六·三小時(模型一小時)。結果壩墩內之射流,遇消力檻變為緩流,其上有臥溜,消滅水流能力,檻後坦上水流平緩,亦無迴

溜發生。河床之冲刷,已有顯著之進步,平均只為半公尺,並已成平衡狀態,不復有增加趨向(照片8)。

小流量之冲刷,當壩下有相當水深時(即放水若干時後),經採用小消水檻後,已甚改善。但當下游河床乾涸,逐漸放水時,其冲刷情形,仍需加以試驗。

試驗 3-D-2。情形與上組相同,但壩下河床乾涸,逐漸放水,流水時間約一小時(模型十分鐘)。結果接近坦處冲深約有一·五公尺(照片9)。

根據工程經驗,河床冲刷,與水深有密切關係。河床乾涸時,消力檻之設備,亦不能奏效。欲避免冲刷,必需壩下河床有相當之水深。試驗時楊莊壩工程已在進行中,壩身及護坦之高度,不能再加改變,故將坦後河床改低二公尺,使地下水及閘門漏水常浸滿河床上。近坦一段斜坡,並應鋪石塊。

試驗 4-B。情形與 3-D-2 相同,河床改低二公尺後,冲刷之最深點只為半公尺,並已入平衡狀態(照片10)。坦末消力檻對大流量之冲刷,根據以後試驗,仍有功效(見後),故加以保留。其對小流量之冲刷,曾再加試驗,結果毫無變更。

小流量之冲刷,曾試驗只開啓一二閘門,以抬高壩上水位。結果壩下水流集中出水口門,冲刷河床更烈,故閘門應同時開啟。

試驗 5-G。按大流量冲刷試驗結果(見照片13),河床鋪石四十公尺,壩墩間仍加小檻,流水時間約三小時,結果河床已毫無冲刷(照片13)。試驗 5-J 將小檻取下,結果河床上所鋪石塊被坦末水流冲壞(照片14)。

二 大流量冲刷 為明瞭大流量水流性質及冲刷情形起見,先完全按本來設計,不鋪石塊,舉行試驗。

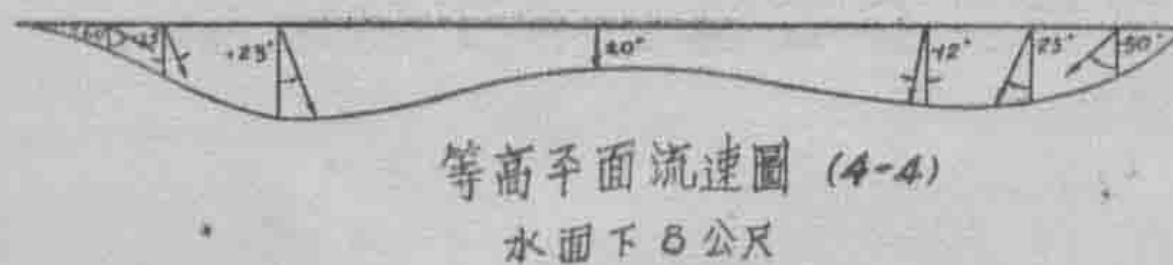
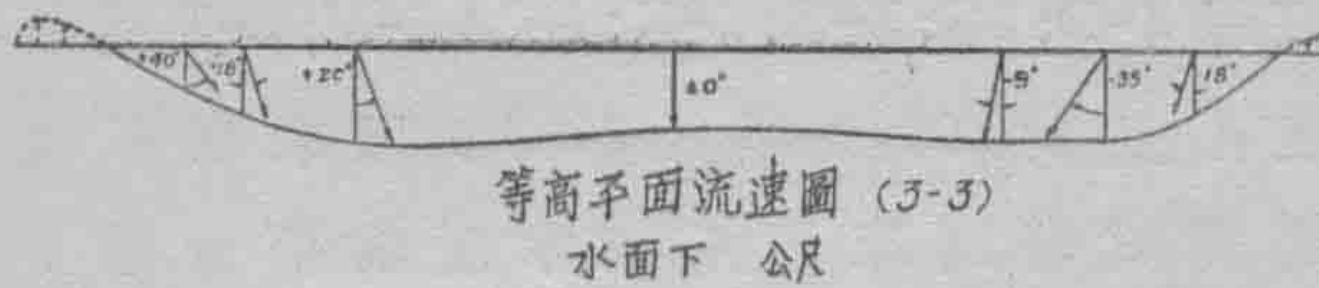
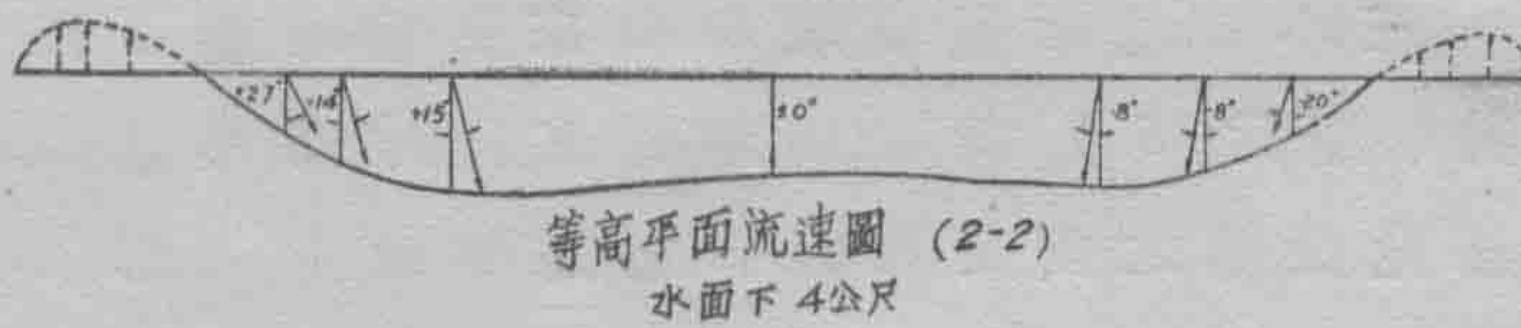
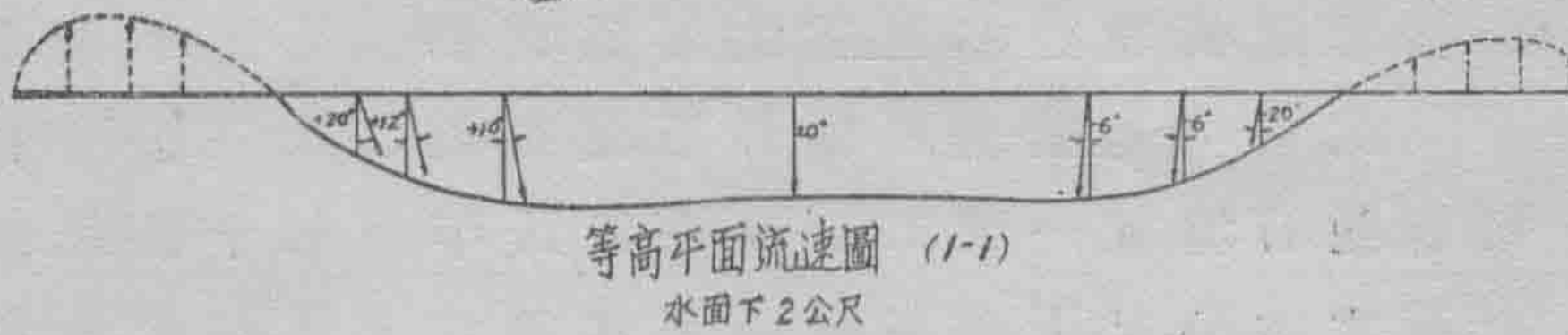
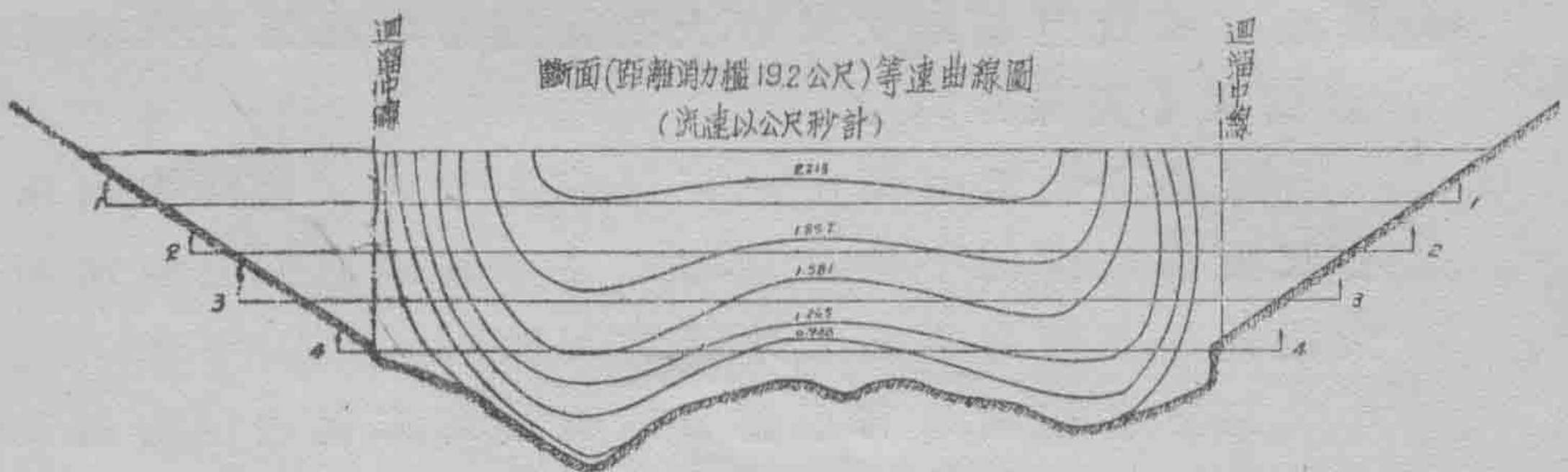
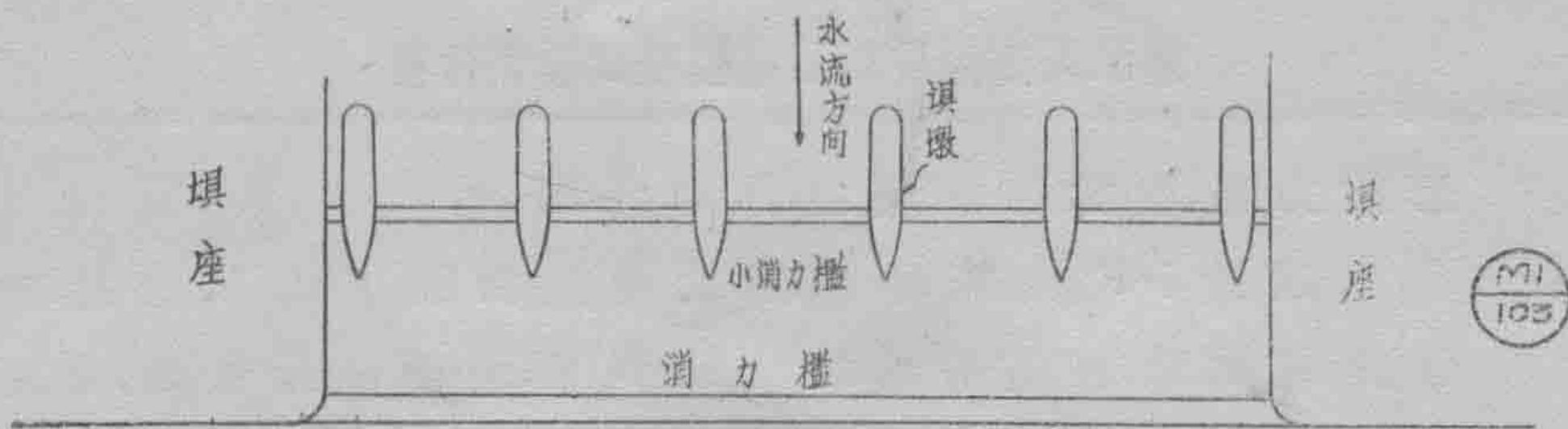
試驗 4-E。河床按原來高度粉平,流量每秒七〇三·三

四立方公尺,下游水深六·八四公尺(由計算而得見圖 113)。流水時間六·三三小時,結果壩下河床沖成六尺半深坑二處,離兩旁陂脚約十二公尺,離坦邊約十四公尺,坦邊下沖深約為四公尺,河床中綫上沖深為一公尺,兩旁斜陂則有淤積(見照片 15)。

大流量河床沖刷所成形狀,可作以下之解釋:流量較大,上游水位充足,閘門完全開啓,水流情形如普通河道。但活動壩兩岸壩座,與流向垂直,伸入河中,座後遂發生兩巨迴溜,旋轉不已(見照片 25)。迴溜上端之水流方向,與主流方向垂直。兩溜相遇,視其強弱,使主流方向改變。在水面處,主流之流速頗大,故方向之改變亦微;但在檻下河床上,主流流速甚微,故左右兩壩座迴溜所發生之「橫流」,由兩岸向河床中綫推進,並將河床沙礫沖刷。及兩流在河床中綫上相遇,變為「壓力帶」。故河床沖刷情形,左右為兩深坑,中綫成脊形(圖 4E)。壩下各段面之流速及流向,詳經測驗,在坦脚下游十九公尺(模型中四七·五公分)橫斷面,靠近兩岸旁河床上之流速方向,與河道縱綫成六十度角(見附圖 103)。

總上觀察,在大流量時,河床之沖刷,主要由於座下游所生之迴溜,可以斷言。故欲改善沖刷情形,最好方法,厥為改良墩座之形狀,使壩後河道逐漸放寬,則迴溜不致發生。但導淮委員會以工程已在進行,及價目等關係,不宜再加改變壩座形狀,故另需研究其他辦法。

小流量試驗所用之小消力檻,對大流量沖刷,無甚影響。坦末之消力檻,本為使水流上射,其下發生臥流;但今河床之沖刷,大部份由於座後迴溜,故消力檻之功用,不能完全解決楊莊之困難。(在河床中綫上,橫流不生影響,消力檻可發揮其功用)。至齒形消力檻,於試驗中未見有何優點,故改用方



迴溜方向號
+

迴溜方向號
-

形消力檻,取其易於製造,及節省用費。

試驗 4-F。河床冲刷,由於橫流,沿檻下河床前進,已如上述。此組試驗,將坦兩邊改成三角形,使橫流發生點,垂直與三角形坦相遇,不復沿坦前進。此種設備,根據歐洲試驗所之經驗,頗有成效,但在此次試驗,大概因迴溜之流速太大,未有良好結果(見照片 16)。

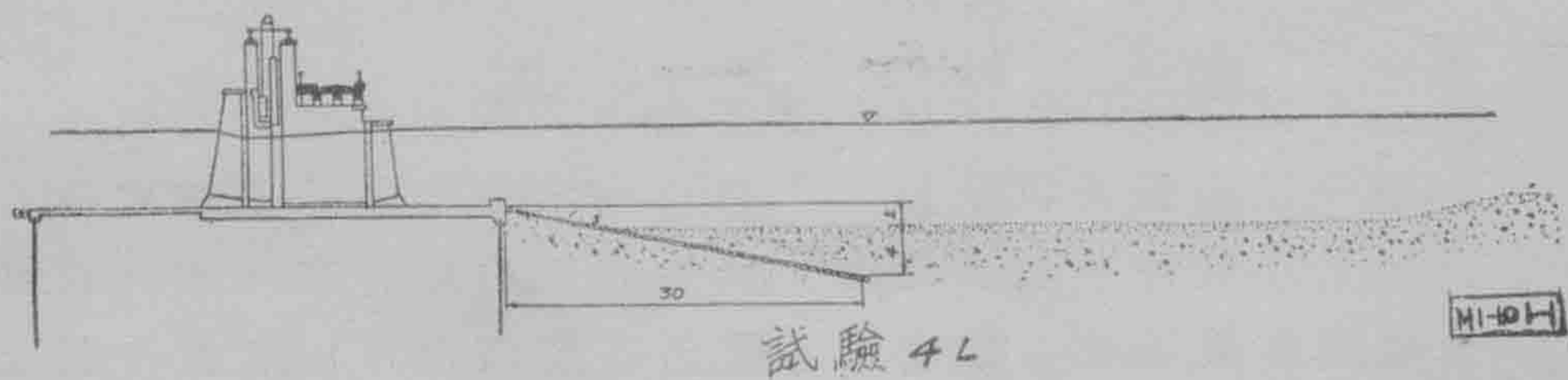
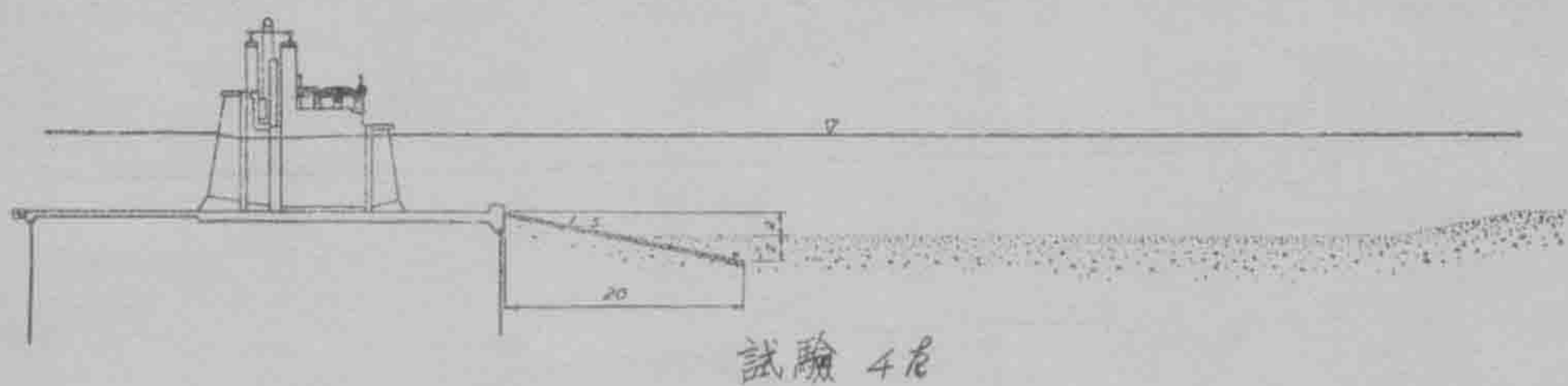
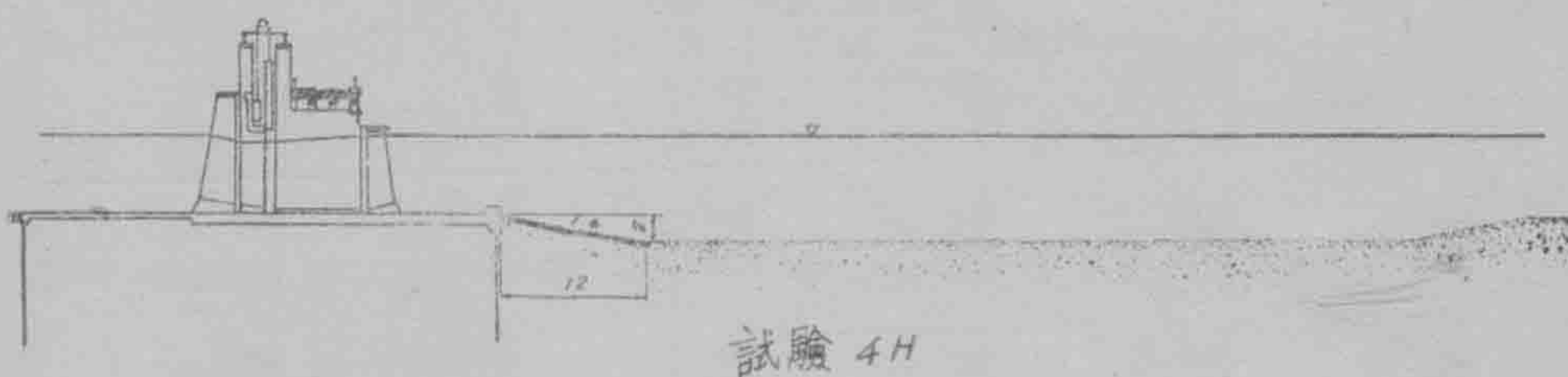
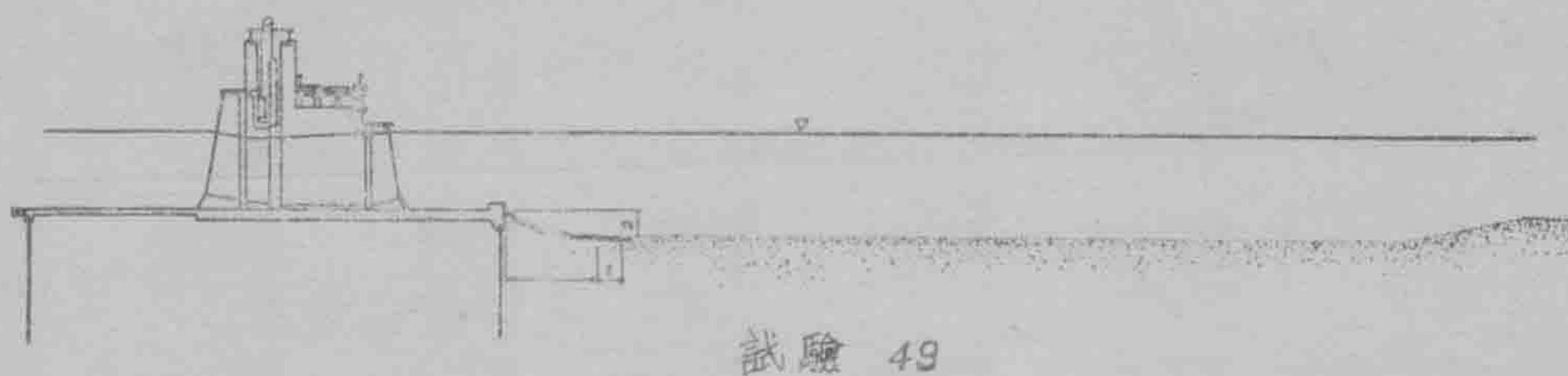
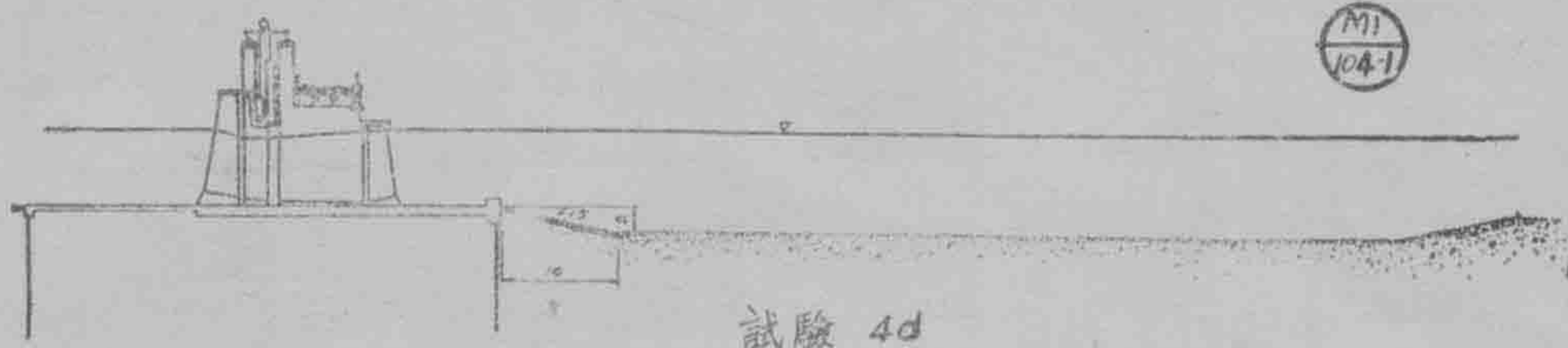
試驗 4-I。沿迴溜中綫在河床上作攔水牆,高出河床二公尺,使河底橫流不能前進,結果亦不甚滿意(見照片 17)。大概此種設備,必需高出水面方可收效。

以下各組試驗,利用鋪石以保護河床,但須研究鋪石縱斷面形狀,使適合水流,其主要點在使鋪石無逐漸下陷之虞。

試驗 5-I。模型所鋪碎石,直徑為二至三公分,約合天然鐵絲籠石塊重一至二公噸,按設計平鋪四十公尺,流量每秒七百立方公尺,下游正規斷面水深六·八公尺,流水時間約六·三小時。結果鋪石坡脚河床被刷,石塊下陷,有向上進展趨勢(照片 18)。此種情形,在工程中常可見及。石塊與年下陷,終危及壩之安全,故鋪石必需有適當之形狀,與水流情形符合。

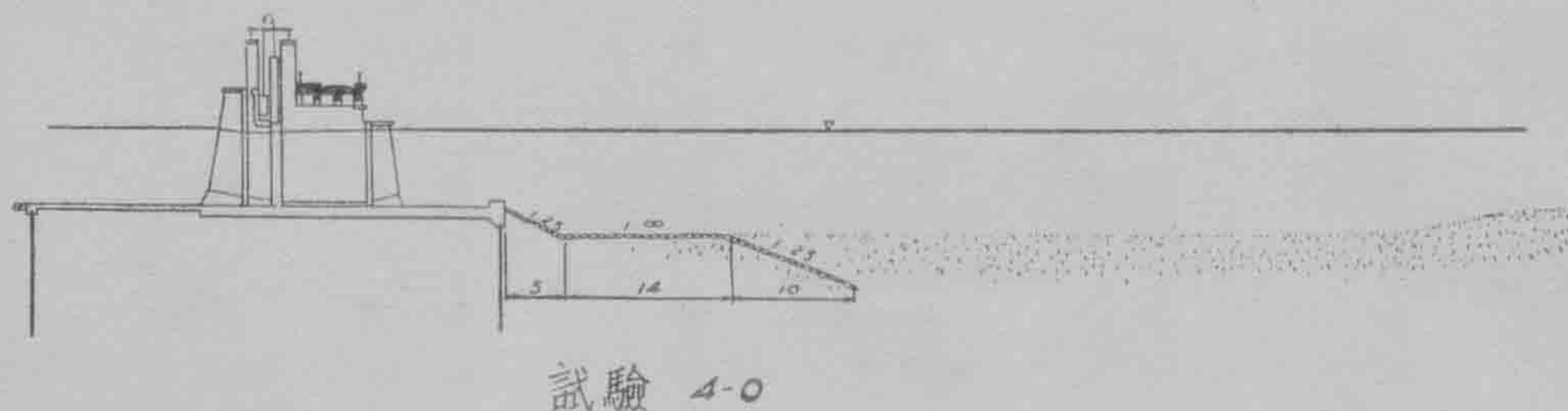
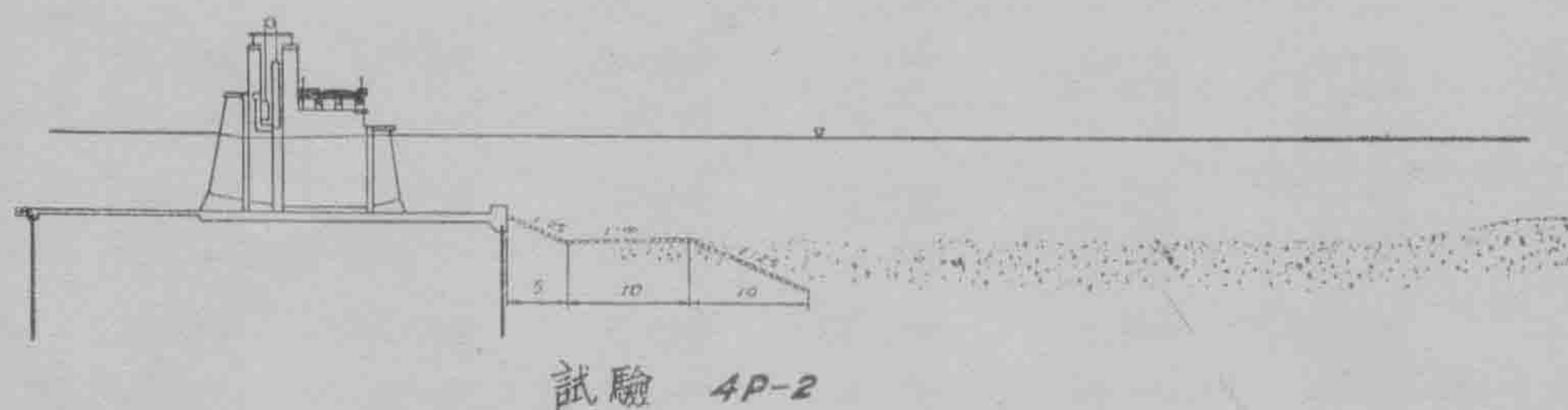
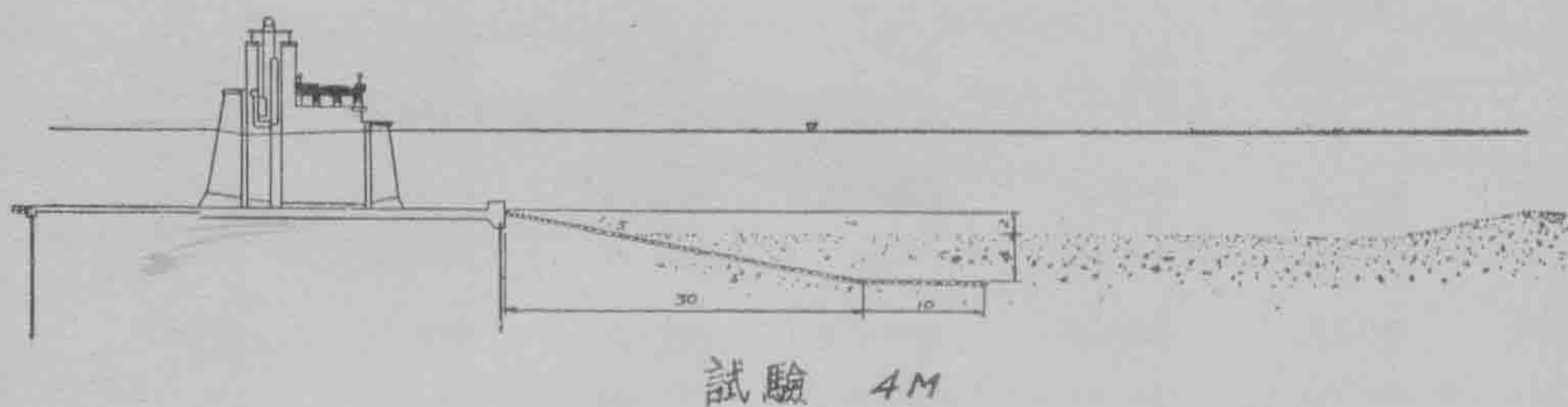
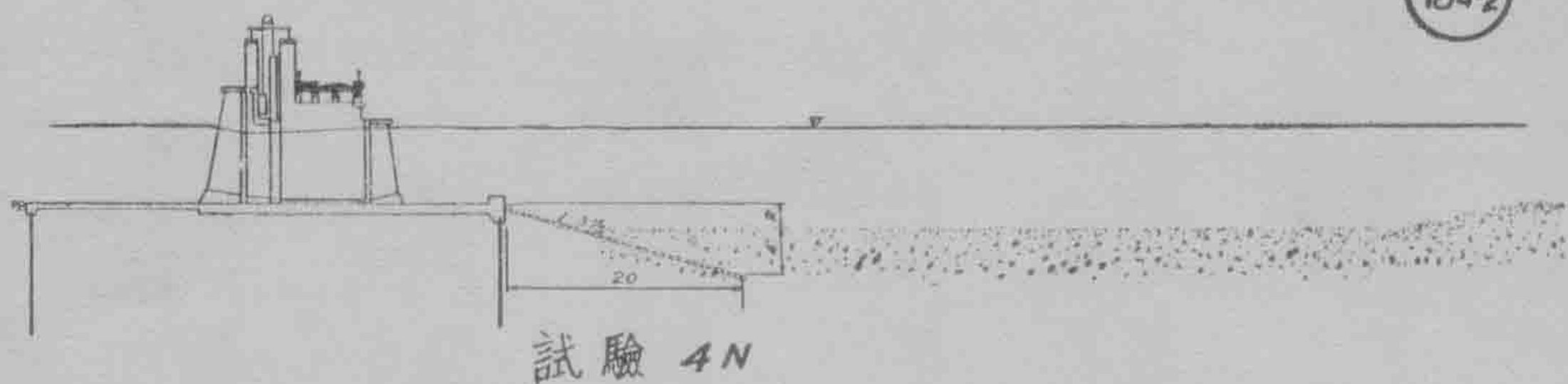
試驗 4-D; 4-G; 4-H; 4-K; 4-L; 4-M; 4-N。鋪石塊成各種長度及坡度(見圖 104,及照片 19),以求在石塊斜坡下可發生臥流。每組試驗,河床先用紅木屑填平至壩下二公尺。試驗結果,坡脚石塊雖未下陷,但河床被冲刷所成之坡度,甚為傾斜,流水時間延長後,石塊仍有下陷之虞。

M1
104-1



M1-01

M1
104-2



試驗 4-P-2; 4-O。鋪石形狀改爲級形,先鋪斜坡,然後平鋪一段,下接斜坡(見圖),以求流水至平鋪段上,即再向上遠射,不致冲刷坡脚之河床。試驗結果,坡脚河床冲刷所成斜坡,仍甚傾斜,足見迴溜之影響,仍甚劇烈。但可注意者,冲刷之

最深點,已移向河床下游,證明級形鋪石,有相當效用,較完全斜坡爲佳(照片20)。

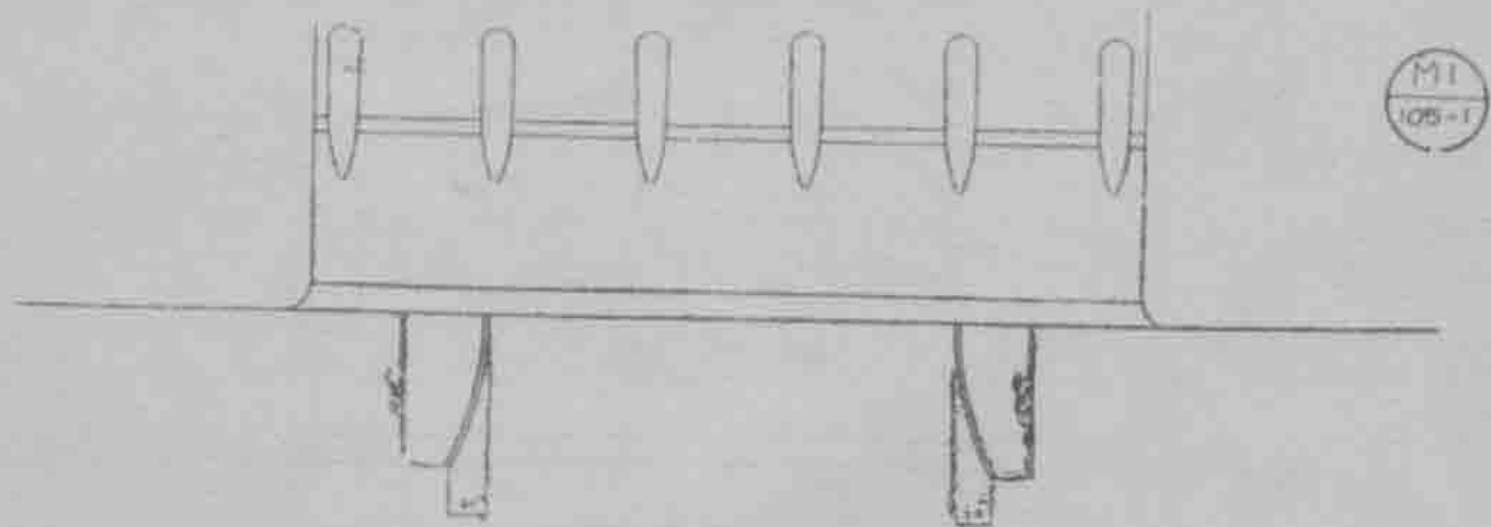
河床之冲刷,由於壩下迴溜所致,前已詳述。鋪亂石塊至相當長度(約四十公尺),既未能避免石塊逐漸下陷,終影響壩之安全。故必需從改善壩下水流着手,使迴溜減小,流向分佈均勻。

以下各組試驗,用引水牆之設備,將壩下水流方向改變,使向兩岸壩座後分瀉,藉減小迴溜之勢。

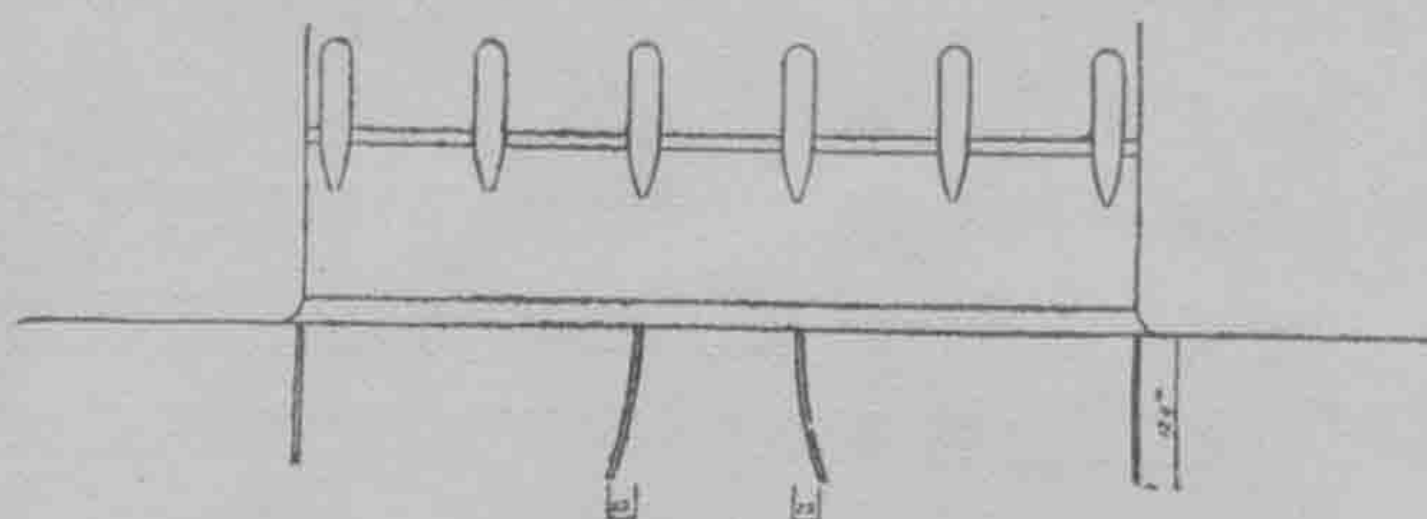
試驗5-A。河床爲級形,於第二第五兩壩墩設加引水牆,其角度尺寸見圖,流量爲每秒七百立公尺,下游正規斷面水深爲六·八公尺,流水時間約六·三小時。結果河床冲刷平均,並已完全改變其本來形狀(照片21)。

引水牆之位置及其與水流所成角度,必需精確決定。角度太小,不能減少迴溜,改良河床之冲刷;角度太大,迴溜固可消滅,但兩岸斜坡,又易生險。此組試驗,鋪石坡脚下冲刷,仍未臻完善。

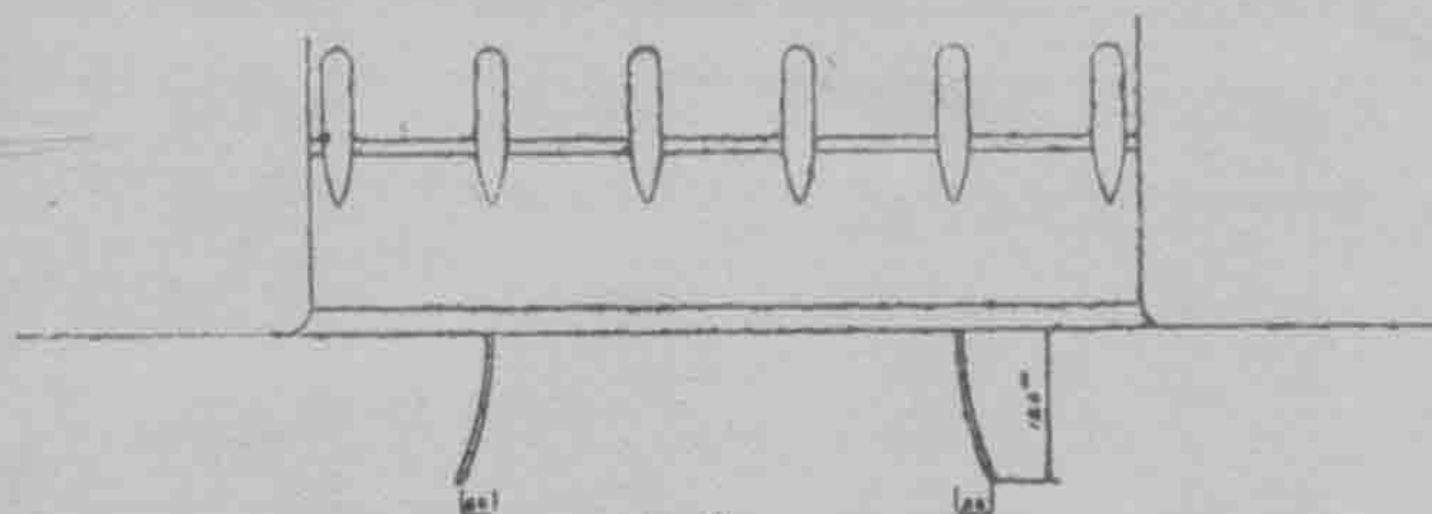
試驗5-B; 5-C; 5-D。更改引水牆之位置,結果不甚滿意(見附圖105)。



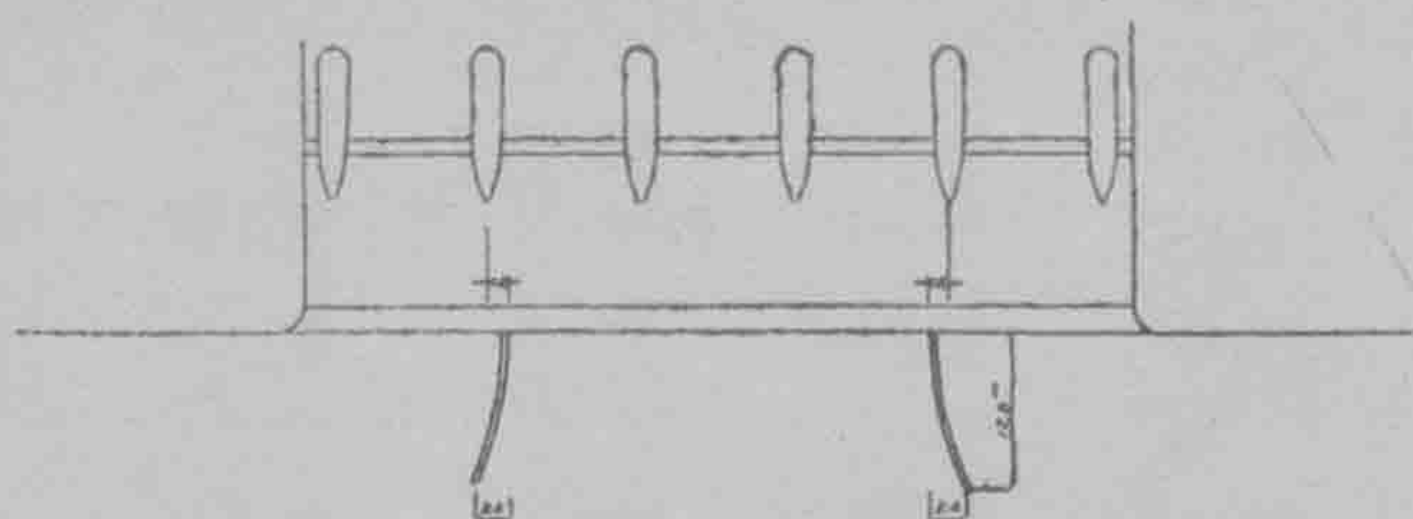
試驗 5A



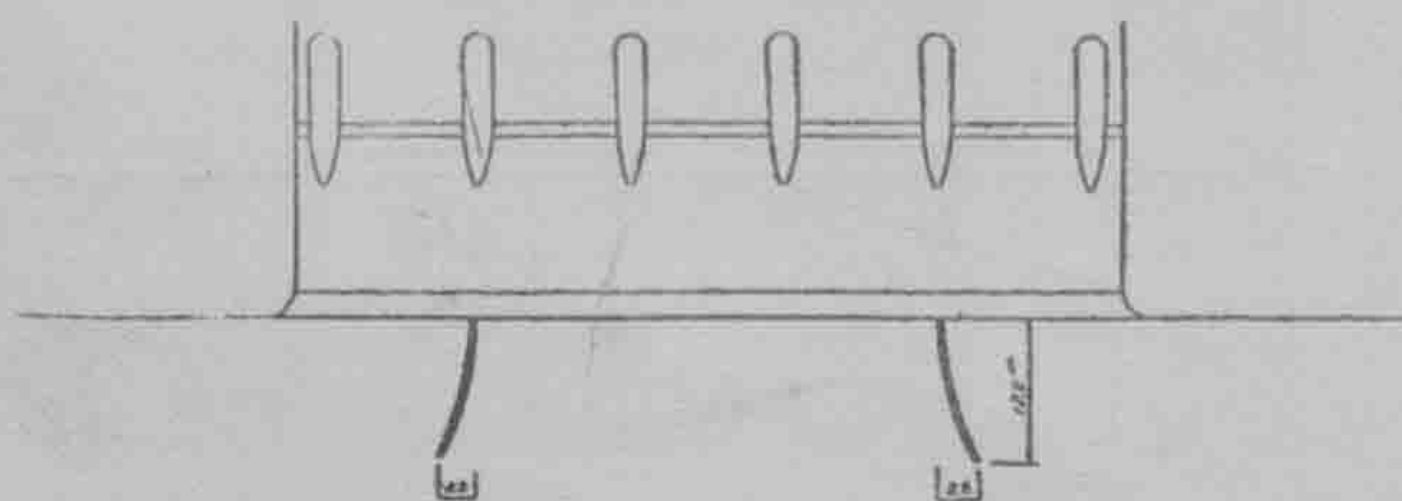
試驗 5B



試驗 5C



試驗 5D



試驗 5E