土木試驗所報告

第十五號

昭和五年二月

北上川降開式轉動堰模型試驗

電氣鎔接法による鐵筋の接合

現場打混凝土の耐壓試驗報告

建設省沼津支所圖書
分類 Ⅱ－K 1－6
購入年月日 年 月 日

内務省土木試驗所

本報告は北上川轉動堰模型試驗、電氣鎔接による鐵筋の接合に關する試驗並に各種工事現場混凝土の强度試驗の結果を蒐錄せるものなり。

北上川轉動堰に關する試驗は昭和四年七月より同十一月に亘り本所岩澤分室内に設置せる河川試驗假設備を用ひて行ひたる最初の試みにして、本邦に於て模型に依て實際の河川工作物の作用を實驗せるは、實に本試驗を以て嚆矢となす。設備、用具等頗る不完全なりしに拘らず豫期以上の效果を納め、之れを實地に應用して益する所尠なからざりしは、此の種試驗の將來に多大の期待を措き得ることを明かならしめたるものなり。

電氣鎔接による鐵筋の接合に關する試驗は、現今鐵筋混凝土工事に於て一般に行はれつゝある單なる重襲による鐵筋接合法の材料不經濟を避けて、電氣鎔接法を應用せんが爲めに昭和四年度に於て施行せるものにして、電弧鎔接及抵抗バツト鎔接等を用ひたる各種の接合法に就き其の特性、强度並に經濟上より見たる利害得失を實驗の結果に基きて論究せしものなり。

現場打混凝土耐壓試驗は小牧及祖山堰堤、東京市内橋梁等の工事に施工せし混凝土に就きて、大正十五年度より昭和四年度に亘る間に於て施行せる耐壓試驗の結果にして、施工混凝土の强度と設計强度との比較、强度の均等性其他施工法と强度との關係等につき、設計並に施工上多少參考となるべきものあるを以て玆に載錄報告するものなり。

昭和五年一月

内務省土木試驗所長　内務技師　物部長穗

內務省土木試驗所報告

第十五號

目　次

一　北上川降開式轉動堰模型試驗

內務技師　物部長穗
內務技師　青木楠男
伊藤令二

第一章　水理試驗設備　　頁

第一節　實驗設備 …… 1

第二節　各種測定裝置 …… 4

第二章　飯野川可動堰

第一節　可動堰附近の河狀並に其概要 …… 7

第二節　降開式轉動堰の構造 …… 8

第三章　模型試驗

第一節　試驗の目的 …… 8

第二節　模型の製作並に設置 …… 9

第三節　砂の移動と堆積 …… 10

第四節　降開式堰體の下降停止 …… 15

第五節　昇開式轉動堰を開きたる場合の上下流水位變化の計算 …… 17

第六節　降開式模型堰體の捲揚力の測定 …… 21

二　電氣鎔接法による鐵筋の接合

內務技師　青木楠男

第一章　總　論

1. 緒　言 …… 23

2. 實驗に供したる接合方法 …… 28

3. 鐵筋の强度 …… 29

4. 試片の製作 …… 30

5. 電弧鎔接の强度 …… 31

第二章　A種鎔接試験

6. 試片の鎔接寸法 …… 34
7. 鎔接作業 …… 35
8. 試片鎔接部の外見 …… 36
9. 破壊試験成績 …… 36
10. 破壊狀況 …… 36
11. 有効鎔接幅の計算 …… 38
12. 電極棒の使用量と有効鎔接幅 …… 38
13. A種重製鎔接の強度 …… 39
14. 應力變形圖より見たる破壊狀況 …… 40
15. 重製接合を有する抗張材の彎曲率 …… 41
16. 試片鎔接部の彎曲率の算定 …… 42
17. A種鎔接の得失 …… 44

第三章　B種鎔接試験

18. 鎔接寸法 …… 45
19. 鎔接作業 …… 45
20. 試片鎔接部の外見 …… 46
21. 破壊試験成績 …… 46
22. 破壊狀況 …… 46
23. 破壊强度に關する考察 …… 47
24. 應力變形圖より見たる破壊狀況 …… 50
25. B種鎔接の得失 …… 51

第四章　C種鎔接試験

26. 鎔接寸法 …… 52
27. 鎔接作業 …… 53
28. 試片鎔接部の外見 …… 53
29. 破壊試験成績と破壊狀況 …… 53
30. 破壊强度に關する考察 …… 54
31. 應力變形圖より見たる破壊狀況 …… 56
32. C種鎔接の得失 …… 57

第五章　D種鎔接試験

33. 鎔接寸法 …… 57

34. 鎔接作業と試片の外観 …… 58

35. 破壊試験成績と破壊状況 …… 58

36. 破壊強度に關する考察 …… 59

37. 應力變形圖 …… 60

38. D種鎔接の得失 …… 60

第六章　E種鎔接試験

39. 鎔接寸法 …… 61

40. 鎔接作業と試片の外見 …… 62

41. 破壊試験成績と壞破狀況 …… 64

42. 破壊強度につきての考察 …… 66

43. 應力變形圖 …… 68

44. E種鎔接の得失 …… 68

第七章　抗抵バット鎔接試験

45. 鎔接作業と試片の外觀 …… 69

46. 破壊試験成績と破壊狀況 …… 69

47. 破壊強度に關する考察 …… 70

48. 抗抵バット鎔接の得失 …… 72

第八章　結　　論

49. 鎔接部の強度より見たる各種鎔接法の比較 …… 73

50. 電極棒の使用量より見たる各種鎔接法の比較 …… 73

51. 作業の難易より見たる各種鎔接法の比較 …… 74

52. 接合用の材料又は加工の有無より見たる比較 …… 75

53. 結　　論 …… 75

三　現場打混凝土の耐壓試驗報告

內務技師　高　田　　昭

緒　　言 …… 77

第一章　小牧堰堤混凝土試驗

一　施工概要 …… 78

二　材　　料 …… 78

三　供試體の製作及試驗方法 …… 80
四　試驗結果 …… 80

第二章　祖山及城堰堤混凝土試驗

五　施工概要 …… 82
六　材　料 …… 83
七　供試體の製作及試驗方法 …… 84
八　試驗結果 …… 85

第三章　橋梁混凝土試驗

九　材　料 …… 90
十　現場に於ける混凝土施工並に試驗方法 …… 90
十一　試驗結果 …… 92

第四章　米獨に於ける現場打混凝土試驗

十二　堰堤混凝土試驗 …… 95
1. Stevenson Creek 堰堤 …… 95
2. Diablo 堰堤 …… 96
3. Gibson 堰堤 …… 97
十三　橋梁混凝土試驗 …… 97
1. Düsseldorf 市に於る橋梁混凝土試驗 …… 97
2. Bronx 公園道路橋混凝土試驗 …… 98
3. Los Angeles 市に於る橋梁混凝土試驗 …… 100
4. Newark 灣鐵道橋橋臺混凝土試驗 …… 101
十四　試驗所又は混凝土委員會に於る現場打混凝土試驗 …… 101
1. Darmstadt 工科大學材料試驗室に於ける試驗 …… 101
2. 獨逸に於る現場打混凝土試驗 …… 103
3. 米國混凝土及鐵筋混凝土標準規格聯合委員會に於る試驗（其一） 105
4. 同　（其二） …… 110

北上川降開式轉動堰模型試驗

内務技師　物部長穗
内務技師　青木楠男
伊藤令二

本試驗は内務省仙臺土木出張所の依頼により本所岩淵分室の水理試驗假設備に依て行ひたるものにして、本報告はこの試驗設備の大略と、其の最初の事業たる北上川、飯野川町地先に新設せらるゝ降開式轉動堰に關する模型試驗の結果とを記述せるものなり。

第一章　水理試驗設備

第一節　實驗設備

實驗設備の主なるものは、河川港灣一局部の模型を作り、流水、風波等の作用を試驗するための工法試驗樋と、水流現象の試驗を行ふための水理試驗樋と、實驗用水を供給するための低水槽、高水槽、其他の給水裝置とにして、このほかに沈砂槽、貯砂室、排水裝置等の附屬設備を有し、之等は凡て採光充分なる木造バラック内に裝置され、天候の如何に拘らず實驗に支障なき程度に準備せり。

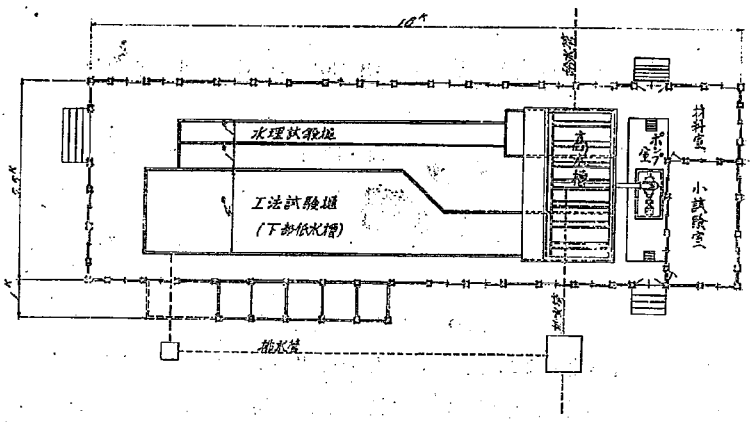
1. 給水裝置　實驗用水の供給は内務省東京土木出張所岩淵工場構内に設けられたる堀抜井戸により、地下埋設管によつて實驗室の低水槽に導きこれを循環使用せり。

實驗用水の貯溜並に循環使用のため裝置を大別するに、低水槽、高水槽、樋頭水槽、及ポンプ裝置の四となる。各々の構造は附圖第一及第二に示せるが如くにして、各水槽とも鐵筋コンクリート造にして將來本所河川及水理試驗本設備の一部をなすものなり。

低水槽は實驗用水の貯溜槽にして、工法試驗樋の下部に位し、地表面下約一米の深さを有す、幅員2米、長さ約22米、高さ1.6米にして、其の一端に設けられたる吸水室を加ふれば約80立方米の總貯水量を有す。

高水槽は試驗水樋へ一定水頭の水を一定量づゝ供給せんがために設けられたるものにして、地表面上約3.7米の高さを有し、8本の鐵筋混凝土柱によつて支持せらる。幅3.5米、

第一圖　内務省土木試験所岩淵水理試験室



長7.5米、深1.2米、約24立方米の水を容るゝことを得、水槽内の水位を一定ならしめんがためには槽内に鋼製溢流樋を設けたり。

低水槽より高水槽への揚水用として30馬力電動機に直結されたる30粍渦巻喞筒を備ふ。是が最大揚程は約6.5米にして最大揚水量毎秒約0.2立方米なり。(寫眞第一參照)

實驗用水は高水槽より20粍鐵管によりて樋頭水槽に導かる。流出量の調節は此の導水管に設けられたる微動弁による。

樋頭水槽は高水槽の兩側直下に一個宛設けられ、各工法試驗樋又は水理試驗樋の頭部に接續せり、幅2米、長さ5米、深さ1.5米にして約10立方米の水を容るゝことを得。高水槽より導かれたる水は、導水管の下端より上向きに噴出して其勢力を失ひ、更に數個の鐵篩其他を通過して整流となり、樋頭水槽の一端に設けられたる水量測定堰を通過して試驗樋に入る。

2. 工法試驗樋　河川並に其の工作物と水流との相互作用を小模型を用ひて實驗せんとするものにして、鐵筋コンクリート造の水樋なり、深さ1米、長さ約18.5米、幅4米にして其頭部に幅2米の部分を有す、其形狀の大略は附圖第一及第二に示すが如く、實驗用水は本試驗樋を流過して沈砂槽に入り、流砂を沈澱せしめたる後、再び溢流して低水槽に入る。(寫眞第二參照)

3. 水理試驗樋　水流現象の試驗を行はんとするものにして、試驗樋の頭部6米間は深さ約0.9米、幅1米の木製樋、これに接續せる部分は長さ約7.5米、幅1米、深さ約2米の鋼製枠總硝子張の水樋なり、硝子面に5粍の縱横目盛を附して流水現象の觀測に便なら

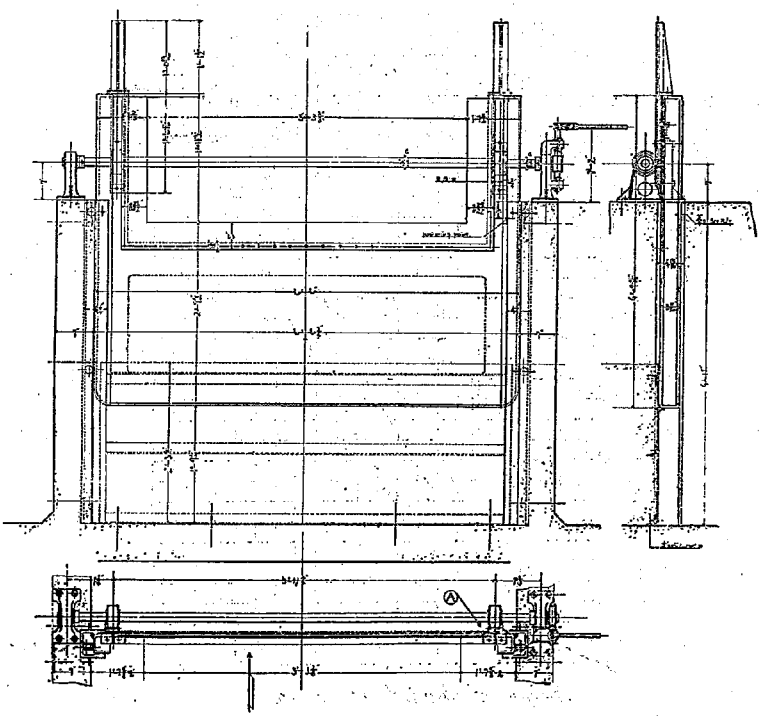
しめたり。使用後の實驗用水が沈砂槽を經て低水槽に至ること工法試驗樋と同樣なり。（附圖第一、第二及寫眞第三、第四參照）

4. 附屬設備　工法試驗樋、水理試驗樋は共に共下流端に接續せる沈砂槽を有す。實驗用水と共に流下し來れる實驗用の土砂をこゝに沈澱せしめんとするものにして、孰れも深さ 1.85 米、幅 1.0 米及 1.2 米なり。土砂流下量の相當に多量と考へらるゝ工法試驗樋に附屬するものは共下部に土砂排出口を設け屋外より土砂の排除をなし得る設備となせり。低水槽の下半部に並行して實驗用砂礫の貯藏室を地下に設けたり、室は四個の部分に區劃せられ、土砂の分類貯藏に便ならしめたり。各室とも屋外より自由に土砂の出入をなし得。

低水槽の最下端及水理試驗樋の沈砂槽には漏斗形溢流管を設けたり。水槽內の水位が一定の高さ以上に達すればこれによつて水は排水管へ溢流す。

又低水槽の上端、ポンプ吸水管附近に排水口ありて屋外の水溜に設けられたる止水弁を開くことによつて低水槽內の水を全部排除することを得。

第　二　圖



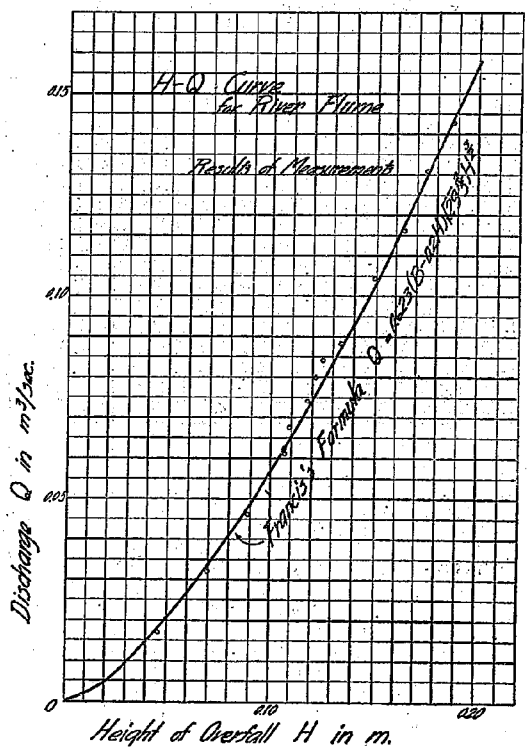
第二節　各種測定裝置

流量の測定、流速、水位の觀測、河床の高低等實驗に際して必要なる各種の測定裝置は、各實驗に應じ最適のものを考案製作するの必要あるを以て現在は夫等の內、稍一般的性質を有する簡易なるものを備ふるのみなるも、其主なるものを擧ぐれば次の如し。

流量測定堰　樋頭水槽と試驗樋との間に設けられたる鋼製の矩形銳頂堰にして、堰板は厚さ $\frac{1}{4}$ 吋の眞鍮板を用ひ緣部は30度の刀角を有し堰體は其兩側に設けられたる齒軌條と齒輪とに依り、自由に其高さを變更し得るが如き裝置となしたり。(寫眞第五參照)

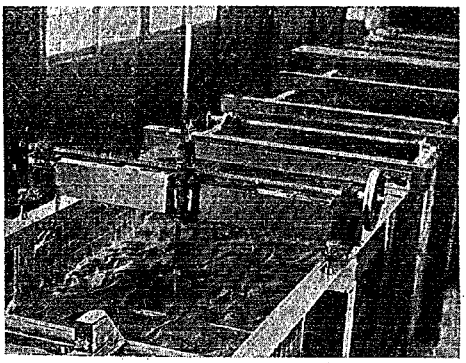
第二圖は其構造の大體にして第三圖は實測の結果より求めたる溢流高と流出量の關係を示す曲線圖にして、Francis 氏の式　$Q=0.623(B-0.2H)\sqrt{2g}\frac{2}{3}H^{\frac{3}{2}}$ は極めてよく實測の結果と一致す。

第三圖　流量測定堰 H-Q 曲線

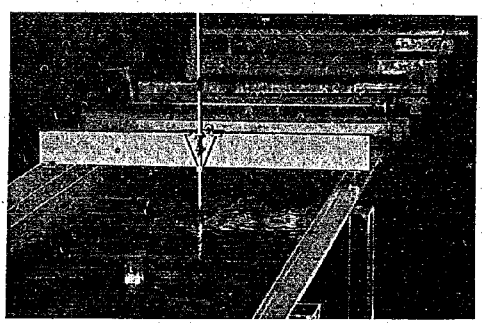


水面測定器　溢流高の測定をなす場合、或は水路の水面横斷形狀の觀測をなす場合等に水面高の精確なる測定を要すること多し。此の目的に對し、第四圖並に第五圖に示すが如き二種の水面測定器を用ゐるが、孰れも測針の尖端が水面に觸れし時の遊尺により、前

第四圖　水面測定器（其一）



第五圖　水面測定器（其二）



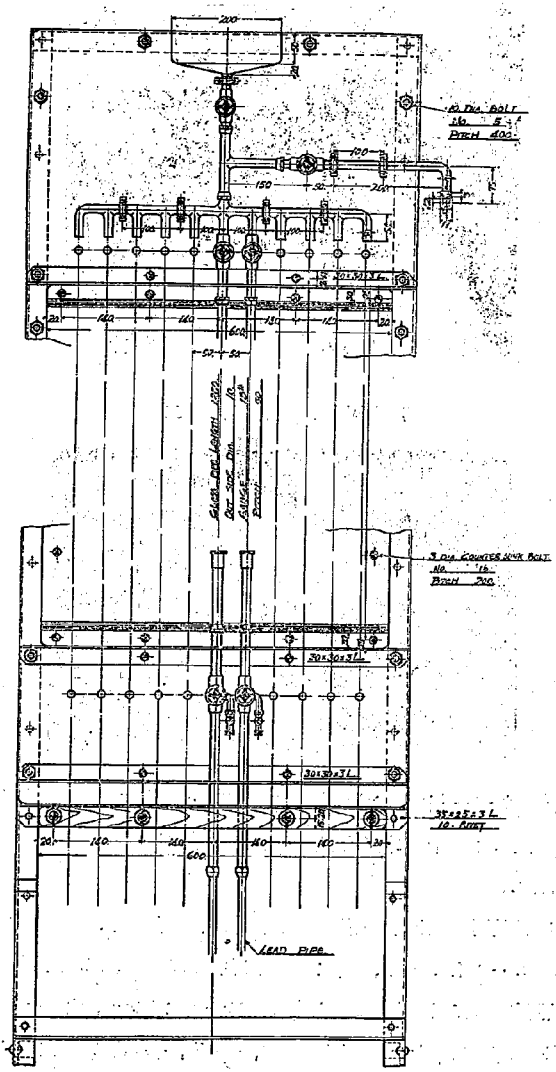
者は $\frac{1}{20}$ 粍後者は $\frac{1}{10}$ 粍までの水面高低差を觀測し得、而して前者は徑間2米の桁上に取付けられ、螺旋により自由に桁上を移動し得るも、後者は適當なる桁上に載せ左右の移動は手を以て行ふ。

自記水位標　流量測定堰上流の水位高を長時間に亘り記錄せしめんがために、高水槽前面のプラツトフオーム上に自記水位計二組を設け是等によつて、工法試驗樋及水理試驗樋に對する流量測定堰の任意の時間に於ける溢流高を知ることを得、水位計の記錄は其目的に應じ、齒車の取換へにより實大の2倍、1倍、$\frac{1}{5}$ 倍、$\frac{1}{10}$ 倍に變化せしめ得。

尙記象は弧形をなさず直線狀をなさしめ測定に便ならしめたり。

低壓水位計　試驗槽內數多の點の微少なる水位の差を擴大し、一箇所に表示せしめんとするものにして、第六圖に示せるが如き機構を有す。一水位計の有する水位表示硝子管は

第　六　圖



11本にして、内1本は標準水位に聯絡し、他の10本は試驗槽内の隨意の位置に接續せしめ得。

水位差の擴大に用ひたる油はスーダンII號を以てし赤色に染めたる流動パラフィンにして、比重約0.86、倍率約7なり。

同高線の測定　水流の作用に依て生ずる水路床變化を表はす。同高線の描寫は、種々の方法を使用し得るも、最も簡單なるは適當なる間隔毎に橫斷面形を測る方法なるも、相當の時間と手數を要する缺點あり。

其他寫眞測量による方法、同高線縮寫裝置による方法等あるも、本試驗室には未だ之等の裝置を有せざるため、現在に於ては適當の高低差を有する同高線を白綿糸を用ひて砂面上に標し、これを撮影する方法を用ひ、其結果は寫眞第七乃至第十五の如く充分なる成績を示せり。

第二章　飯野川可動堰

第一節　可動堰附近の河狀並に其概要

北上川改修工事中極めて重要なる合戰ケ谷放水路は柳津町地先に起りて飯野川町地先に於て追波川に入り約10粁の延長を有するものなり。(附圖第三參照)

而して柳津に於ける北上川最大洪水量は毎秒5565立方米にして、内4730立方米は放水路に入り、平水流量は130立方米にして其大部分は在來の河道に入り其殘餘は放水路に入り、放水路の下端即ち追波川に會する所、飯野川町地先に可動堰を設けて水位を調節し、灌漑用水の取入に便ならしむ。

飯野川可動堰附近の新川河幅は408.9米にして、兩岸に接し延長各20米及80米の固定堰を有し、中央部約312米間は可動堰にして、之れを16徑間に分ち、低水敷に當る4徑間に昇開式轉動堰を用ひ、其他の12徑間、即ち兩側高水敷に當る部分に工費節約の爲め、降開式轉動堰を使用するものなるが純徑間は凡て17.12米にして、可動堰高は昇開式に於て2.58米、降開式に於て2.00米なり。

堰體の開閉は常に昇開堰を先にし、降開堰のものを後にする計畫なり。昇開堰の開閉には動力を用ひ2徑間宛同時に運轉し一組に要する時間約15分なるを以て4徑間の開放には30分を要することゝなる。

降開堰の開閉は人力により、全部の捲上げに要する時間は約2時間40分、下降に要す

る時間は約其の二分の一の見込なり。開閉に人力を用ふるの理由は工費を節約し得る點並に目的上、上昇に相當の時間を要するも差支へなきことによるものなり。

第二節 降開式轉動堰の構造

降開式轉動堰は仙臺土木出張所の考案設計にして、世上未だ類例を見ざる所なり。現今普通に用ひらるゝ轉動堰即ち昇開式は、高水時開放の際堰體を高水位以上に捲揚げ、河水を自由に流過せしむる樣式にして堰體は堅剛にして、而も成る可く重量を小ならしむる必要上凡て鋼構造を用ふるものとす。

然るに降開式轉動堰は開閉の運動、昇開式と全く反對にして、出水の際堰體は自重により て轉下し、河床に設けたる堰室内に入り河水は其上を流過するものとす。（附圖第六參照）從て自重を大ならしむる必要上、堰體は鋼鈑製圓筒の内側に鐵筋コンクリートの厚筒を填充せる構造を用ひ、本堰に於ては、一堰體の全長18.58米、圓筒の直徑1.4米、全重量96噸にして、堰體に附せられたる二個の翼は堰止位置に於て堰高を增大せしむる要をなすと共に、降下位置に於ては堰室内の餘隙に砂礫の侵入を防ぐの用をなす。

堰體の揚降は一端にて之を行ひ、働端に齒軌條及齒輪を備へ、他端に於ては堰體の重量大なるため計算上吊鎖の張力負となる場合なきを以て只吊鎖のみを附す。又堰室に侵入する砂量を減却せんが爲め、附圖第六に示すが如く堰の上流側に於て河床に廣き横溝を設けて砂溜となし、溝中の堆砂は常時ポンプ船に依りて之れを排除するものとす。

第三章 模型試驗

第一節 試驗の目的

前章第二節に述べたるが如く降開式轉動堰は新規の考案なるが爲め、竣工後豫期の如き成績を擧げ得るや否やにつき多少の懸念ありしを以て、仙臺土木出張所の依頼に依り、模型を用ひて堰體の動作並に洗掘、堆砂等の現象を試驗せり。而して當初試驗の對象となせる事項は、堰體降下の際に堰室内に侵入せる土砂の堆積に依り、堰體が完全に降下せざる惧れ無きや、降開の動作中堰體下部の間隙より河水と共に流過する土砂が堰室内に堆積する程度、並に開放中堰體上面の凹所に堆積せる砂礫に依り洪水後堰體捲揚げに困難を生ぜざるや等の諸點なりしが、試驗の進行に伴ひ堰體降下の際或る位置に於て堰體の自重が浮

力、上下流の水位差による靜水壓、流水による動水壓等の諸外力と釣合ひ、一時降下運動を停止するが如き場合無きやの疑問を生ずるに至れり。

本報告はこれ等の諸點を明かならしむる爲めに行ひたる試驗並に計算の結果を記述せるものにして、同時に主實驗に附隨して行ひたる堰堤上下流水叩に續く河床の變動狀態の觀測及堰體捲揚力測定の結果をも併記せり。

第二節　模型の製作並に設置

模型は設備の關係上實物の十分の一の縮尺のもの一徑間を用ひたるが堰體、堰脚並に堰室の部分は仙臺土木出張所の製作になり、堰體は木製圓筒の內部に混凝土を填充し、其重量を實設計の千分の一即ち 96 kg となし、其重心は圓筒の中心に一致せしめたり。

堰脚、堰室其他の基礎の部分は全部木製なり。實設計に於ては側端に齒棒及齒輪を備ふるも、模型に於ては二條のシージング・ワイヤを互に逆の方向に捲きつけ、各ワイヤの一端は堰體に緊着され、他端は堰脚の上下二點に固定せらる。堰體の捲き上げには別に一條の鎖を側端に捲きつけ其上端を堰脚上に取付けたる齒車に噛み合はせ、齒車を廻轉せしめて堰體を捲き上ぐる裝置とす。而して堰體の他端は單に捲き付けたる一條のシージング・ワイヤによりて吊らる。

試驗設備は工法試驗棟內に設置せられ其配置は附圖第六に示すが如し。（寫眞第二及第六參照）

實設計に於ては堰堤の基礎並に堰脚等は混凝土にして、其上下流の河床は張石工に依て保護せらるゝも、模型に於ては板張りに依て之等の表面の形狀を模作せり。之等の模型の上下流部の河床は下部に厚さ 10 糎の砂利を置き其上に厚さ 20 cm の細砂を敷きて實河床を模したり。

流量測定用の銳頂堰より流下せる水の動勢力を減殺して水流を整齊ならしめんがため堰の直下に隔壁 A, B, C を置き水路の下流端には木製の水門を設けて水位の調節に備へたり。

次に堰堤の上流部並に下流部の水叩に續く河床の變動を研究する爲め別に水理試驗棟內に附圖第五に示す如き縮尺四十分の一、二徑間分の木製模型を設置し模型の上下流部は各々長 1.2 m の間厚 10 cm の細砂層を置く。

尙實際の河川に於ては高水時上流より土砂の流下少なからざるを以て、洗掘堆砂の現象を實際に相應せしむるため模型試驗に於ては上流に於て砂を補給するの方法を採れり。その裝置は第五圖に示すが如く水路床に幅 15 cm, 深 40 cm の橫溝を設けて砂を充たし置き

手動輪に依りてその底板を上下し得る裝置となし、適當の時間毎に數粍位づつ底板を捲き揚げ、表面の砂粒を自由に流下せしむ。而して底板と周壁との間隙より砂の漏出せざる樣、底板の周圍にゴム・パツキングを施せり。

尙水路の下流端に水門を設けて、水位の調節に備へたるは前記模型の場合と同樣なり。

第三節　砂の移動及堆積

1. 模型試驗用の砂の選定

普通河川の如き程度の水流に於ては、流水中に在る固體を動かさんとする力は、流速の略二乘と水流の方向に於ける固體の垂直投射面積との相乘積に比例し、これに抵抗する力はその固體の重量に比例するものと考へらる。

今河床にある砂礫を球と假定し其の直徑をDとし、砂礫の動き始めんとするときの底流速（この場合砂礫の投影面の重心に於ける流速）をV_bとすれば

$$D^2V_b^2 \propto D^3 \qquad 或は \quad V_b^2 = kD$$

但しkは砂礫の比重、形狀並に河床の勾配、凹凸等によつて異なる係數なり。

こゝに底流速の意味は頗る曖昧にして其の解釋は多樣なり。普通水路に於ける水深と流速との關係を見るに、河底の固體に接する面に於ては流速は事實上零にして、これより少しく離るゝに從て急に增大してある程度に達し、それより上部の流速は略拋物線的に增大するものと考へらる。

又實際の河床面は頗る不規則なるを以て、速度は河床の附近に於て特に不規則にして、嚴密に云へば底流速は河床附近の各點に於て異なり單一の値を得る事不可能なるも、普通河川の底流速と稱するは、流速計にて測定し得る最低點の流速を指すものゝ如く、從て河床より約10 cm 乃至15 cm 位離れたる點の流速を示すものなり。

模型試驗に於て、實際の河川と同樣なる河狀を與ふる爲めには、河床並に水面の勾配を實際の河川と同一となし、水深は模型縮尺に比例せしめざるべからざるを以て平均流速は模型縮尺の二乘根に比例することゝなる。

今模型縮尺を $\frac{1}{n}$ とし、實際の河川の水深及平均流速をそれぞれ H, V_m 模型水路のそれらを夫々 h, v_m にて表はせば（以下符號は凡て實際の河川に於けるものに大文字を、模型には小文字を用ふ）

$$h = \frac{1}{n}H, \qquad v_m = \frac{1}{\sqrt{n}}V_m$$

實際の河川及模型水路に於て、底流速並に平均流速の間にそれぞれ

$$V_b = c\,V_m, \qquad v_b = c'v_m$$

なる關係が成立するものとすれば、c及c′の値は流速，水深，河底の勾配並に河床の砂礫の性質等によりて變化すべき値なるべきも、大體ある範圍內の値なることは察知し得。

今模型水路に於ける砂の移動が實際の河川と同一條件となるが如き砂の大さの關係を求むるに、兩者の砂の比重は同一と考へ、dを模型水路の砂の直徑とすれば

$$v_b^2 = k'd$$

故に

$$d = \frac{1}{n}\left(\frac{k}{k'}\right)\left(\frac{c'}{c}\right)^2 D \qquad \cdots\cdots (1)$$

k, k′及c, c′は種々の條件によりて多少異るべきも、今假りに大體の關係を求むるために、$\frac{k}{k'}=1$, $\frac{c'}{c}=1$ と看做せば

$$d = \frac{1}{n}D \qquad \cdots\cdots (1')$$

卽ち模型試驗に於ては縮尺に比例するが如き大さの砂を使用せざるべからず。從て模型縮尺が小なるに從ひ、極めて細粒の砂を要する事となり、小規模の模型に於てはこれに適應するが如き細砂を得ることは事實不可能なりとす。故に出來得る限り大規模の實驗を可とするも、設備その他の關係上實施困難なる場合多し。一方實驗に於ては精密なる觀測に便ならしむる爲めには、規模成可く小なるを利とするを以つて、模型實驗の困難は主として之等の關係に起因す。

上述の如く、模型試驗に於ては最も合理的なる大さの砂を得ること極めて困難なるを以て、本試驗に於ては北上川の本可動堰を築造せんとする附近に於ける最細粒の砂を用ふ事とし、尙不足の分は岩淵地內に於て荒川より採取せる細砂を併用せり。前者を第一種砂、後者を第二種砂と名づく。篩分試驗，比重，息角等の測定の結果第一表の如し。

第一表

篩分試驗				第一種砂（北上川）	第二種砂（荒川）
篩通過	篩止	mm 以下	mm 以上	%	%
10 番	20 番	2.00	0.85	0.15	1.68
20	30	0.85	0.50	0.56	7.10
30	40	0.50	0.36	5.23	25.11
40	50	0.36	0.29	23.39	36.92
50	80	0.29	0.17	44.33	23.21

80	100	0.17	0.14	11.55	3.45
100	200	0.14	0.074	12.72	2.31
200		0.074		2.07	0.22
合計				100.00	100.00
比重				2.62	2.67
息角		乾燥		33° 58′	31° 29′
		水中		29° 37′	29° 27′

實驗の結果、砂の動き初むる時の流速は第二表に示すが如し。

第二表

砂の種類	移動開始を認め得る 底流速	移動開始を認め得る 平均流速	砂の流動が盛になり、砂波(Sand ripple)を生じ始める 底流速	砂の流動が盛になり、砂波(Sand ripple)を生じ始める 平均流速
第一種砂	8 cm/sec	16 cm/sec	11 cm/sec	22 cm/sec
第二種砂	10 〃	22 〃	13 〃	25 〃

平均流速の算定は、豫め檢定せる鋭頂堰の溢水頭を水面測定器によつて測定して先づ其の流量を求め、同時に流速を求むる箇所の水深を測定して算出せり。底流速は前述の如く可成的水底に近き點の流速を用ふるを可とし、本試驗に於ては四鹽化炭素及 Xylol を混合して水より僅かに大なる比重 (1.01～1.03) となし、染料スーダンII號によつて赤く着色し、之をガラス管の細き尖端より水底に推出して、徑 3.0 mm 内外の小球となし、その流動速度を測定して底流速となせり。水深と流速との關係を見るに流速は河床を離るゝに從ひ急激に增大するを以て、この小球は其の大さによつて其受くる力を異にし、從て廻轉並に移動の速度にも相當の差異あるを認めたり。

2. $\frac{1}{10}$ 縮尺模型試驗

模型の大さと設備との關係上第二種砂を用ひ、堰堤上流側の平均流速毎秒 27 cm, 水深 23 cm, 流量毎秒 0.12 m³ を用ひて試驗を行ふ事とせり。此の流量は現在のポンプ設備に於て長時間に亙り繼續供給し得る最大限度に近く、模型水路と實際河川とに於て水深及流速の關係が $h=\frac{1}{n}H$, 及 $v_m=\frac{1}{\sqrt{n}}V_m$ の關係に從ふものとすれば、實際河川に於ける約毎秒 800 m³ の流量に相當す。

最初底砂の表面を略々水平となし、堰體降下の狀態にて試驗を開始し、下流に運搬さるる砂と略々同量の砂を一定時間毎に水路の上流に於て補給しつゝ試驗を續行したるに、約 50 時間にして堰堤上流に設けられたる砂溜に流砂充滿し、漸次砂は堰體を越えて流下し始め、堰室内にも匝んに流入を見るに至れり。試驗を中止して一旦堰體を捲き揚げ再び降下

せしめたるに堰室内に侵入せる砂が渦流の爲めに、一局部に盛り上り之れが爲めに完全に降下せしめ得ざりき。

$v_m = \frac{1}{\sqrt{n}} V_m$ により實際河川に相當する平均流速 V_m は毎秒 0.85 m にして、實驗に用ひたる砂は第一表に示せる如く大體 0.2 mm 乃至 0.5 mm の徑を有するを以て、模型水路と實際河川との間に於て $d = \frac{1}{n} D$ なる關係成立するものと假定すれば、實際の河川に於ては徑 2.0 mm 乃至 5.0 mm の砂に相當す。從來行はれたる多數の實驗の結果に依るも、平均流速毎秒 0.85 m に於ては 2.00 mm 乃至 5.0 mm の砂礫は盛んに運搬さるゝこと明かなり。又北上川の本可動堰を設置せんとする部分に於ては計畫最大高水量 5,565 m^3, 從て平均流速毎秒 1.80 m なるを以て、毎秒 0.85 m 程度の平均流速を有する高水は相當頻繁に起るものと認めざるべからず、故に假令砂礫の流下量が平均流速の外に水深に關係する處大なりと雖も、高水時、可動堰附近に於て砂礫の流動相當甚だしく、堰堤上流側に設けられたる砂溜は、暫時にして充滿すべきは殆んど疑ひを容れず。而して堰體と堰室との間隙の大さは、模型に於ては寸法の割合に大にして、從て間隙の大さと堰室餘際の容積との關係は、實物に於ては模型に比し著しく小となるを以て、堰室餘際の埋塞は模型の如く速かならざるも尙相當注意すべき重要事項たるは明かなり。

此の如く土砂の移動は可成り甚だしきものと想像さるゝも、堰前後箇所に於て河底に 0.58 m の落差あり、水面に於ても同量の落差を生ずるものと假定すれば、この附近の平均流速は毎秒 3.30 m となり、上流より流れ來れる土砂は沈澱することなくして直ちに下流へ運び去らるべく、この傾向は實際、實驗に於ても明かに認められたり。故に堰堤の下流部が何等かの原因に據り水位が異常に上昇せざる限り、堰體が土砂によりて全く埋沒さるゝ如き懸念なかるべきも、降下位置に於ける堰體の表面並に其の附近の河床には相當の凹凸あるを以て、多少土砂の堆積すること明かなり。從て高水後再び堰體を捲き揚ぐる際には是等の土砂を排除する必要を生ずる事あるべく、一方堰室内の埋砂は堰體の上昇運動にはさして障碍をなさざるを以て、捲き揚げ後堰室内及砂溜の土砂を直ちに排除する設備を設くれば次の高水に際し堰體降下に支障を生ずるが如きことなかるべし。

3. $\frac{1}{40}$ 縮尺模型試驗

可動堰の上下流部水叩の石張りに續く河床の變動狀態を調査する目的を以て、$\frac{1}{40}$ 縮尺模型二徑間を作り流水の洗掘及堆積作用を試驗せり。模型縮尺が小なる爲め流速の關係を $v_m = \frac{1}{\sqrt{40}} V_m$ とせば、本節第一項に述べたる如く細砂を得ることは不可能なりしを以て、本試驗に於ては第一種砂（北上川砂）を使用せり。砂が合理的なる割合よりも大なる爲め、

$v_m=\frac{1}{\sqrt{40}}V_m$ の關係を滿足するが如き流速を用ひては最大高水量に相當する場合に於てすら殆んど砂の流動を見ること能はざるを以て、模型水路に於ける流速の割合を增大する必要を生ぜり。

或る大さの砂礫を動かし始むる限界に於ける水路の平均流速は、水深によりて異るものにして、之れに關しては古く Kened;, Parker 等の研究あり。

$$v_m=a\,h^b \quad \cdots\cdots (2)$$

に於て、常數 a 及 b は砂礫の大さ比重等によりて異なるも、b の値は $\frac{1}{2}$ 乃至 $\frac{1}{4}$ なりと云ふ。本試驗に於ては使用せる砂の大さより略々 $b=\frac{1}{3}$ と考へらるゝを以て、水深の關係を $h=\frac{1}{n}H$ とすれば

$$v_m=\frac{1}{\sqrt[3]{n}}V_m \quad \cdots\cdots (3)$$

となる。從て (1) 式は

$$d=\frac{1}{\sqrt[3]{n^2}}\left(\frac{k}{k'}\right)\left(\frac{c'}{c}\right)^2 D \quad \cdots\cdots (4)$$

$\frac{k}{k'}=1$, $\frac{c'}{c}=1$ とすれば $d=\frac{1}{\sqrt[3]{40^2}}D=\frac{1}{11.7}D$ となる。第一種砂は第一表に示せる如く、其の大さは大體 0.1 mm 乃至 0.4 mm なるを以て、D は約 1.2 mm 乃至 5.0 mm に相當す。模型縮尺の小なる試驗に於て實際河川に對する砂礫移動の量的關係を求むることは頗る困難なるを以て、本試驗に於ては洗掘堆積の狀況を性質的に明かならしむる事を以て主たる目的となせり。

試驗は次の 5 種の流量に就きて之を行ひたり。

第 三 表

實際の河川に相當する流量 Q (m³/sec)	模型水路に於ける流量 q (m³/sec)	模型水路の水深 h (m)	模型水路の平均流速 v_m (m/sec)	補給せる砂の量 S (cc/sec)	通水時間 T (min)
1,000	0.018	0.066	0.272	—	30, 60 120, 240
2,000	0.036	0.096	0.374	—	30, 60
3,000	0.0535	0.121	0.443	10.0	60
4,000	0.071	0.144	0.494	12.9	60
4,730	0.085	0.160	0.530	15.1	30

最初砂床面を出來るだけ水平に均し、與へられたる條件のもとに一定時間水を流したる後、通水を止めて砂の上に 1 cm 毎の高さに同高線を作り之を撮影せしが、此の結果は寫眞第七乃至第十五に示すが如し。同高線は水路內の水を靜止せしめて適當なる水深に保ち、其水際線に添ふて正しく木綿糸を置きたるものにして、此の布線法は新規の試みな

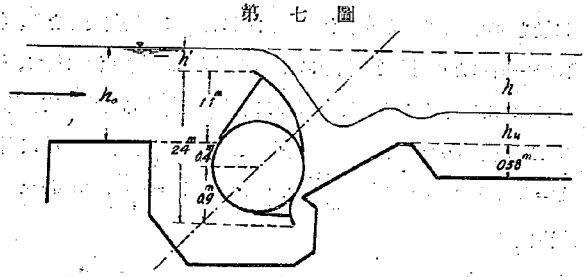
るも小試驗に於ては極めて便なり。Q=1 000 m³/sec に相當する場合には堰堤の上流側に於て殆んど砂の移動を認めず。下流河床に於てのみ多少の洗掘行はれ河床高底狀態は寫眞第七乃至第十に示すが如し。Q=3 000, 4 000, 4 730 m³/sec 等の場合に於ては、水路の上流部に設けたる補給裝置により、極めて徐々に而も連續的に砂を補給せり。

是等の試驗の結果によれば、構造物の下流よりも寧ろ上流側の固體に接近せる部分の河床が殊に甚だしく洗掘さるゝ傾向あるを見る。此の作用は流速大なる間は極めて甚だしく上流側保護工の下面迄露出せんとする程度なるも、次第に流速を減ずる時は或る程度迄再び埋沒さるゝ傾向あることを知れり。此の事實は頗る重要にして減水後著しき洗掘を止めざる箇所も、高水中は餘程の深さ迄洗掘の進行せる場合の多き事を示すものなり。下流の水位が著しく下り、堰堤下流側の流速或る程度以上に達すれば、水叩工下流の河床の洗掘も亦著しきものあるべし。

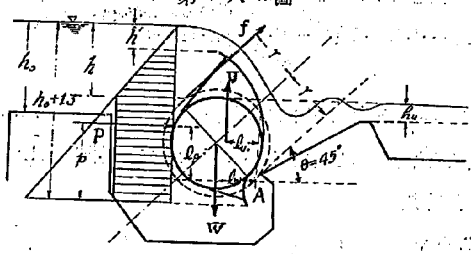
第四節　降開式堰體の下降停止

降開式轉動堰は自重によりて降下す。從て水を堰止めたる狀態より之を降下せしむる場合、降下の中途に於けるある位置に於て浮力、上下流の水位差による靜水壓、流水による

第七圖



第八圖



動水壓及摩擦抵抗等が自重と平衡して堰體の降下運動を停止せしむる場合あり。この事實は模型試驗によりて始めて發見せられたるものなるも、一面實物に對し計算上よりも亦、之を確かむることを得たり。而して堰體下降の停止は、數度の實驗の結果、模型に於ては略々第七圖の如き位置に於て起る。

今、下降の停止を生ずべき上流測水位 h_o と、下流測水位 h_u との間の關係を理論上より求むる爲め、この位置に於て、堰體端と堰脚との接する點 A の周りの凡ての外力能率をとり（第八圖）、その平衡條件を數式を以て現はさんに、實際堰體の長さ 1 m 當りの外力の大さ及腕長 (l) 次の如し。

1. 自重 (W), $W=5.16\ t,\quad l_w=r\sin 45°=0.85\times\frac{1}{\sqrt{2}}\fallingdotseq 0.60\ m$

2. 浮力 (U), 堰體全部が水中に浸し居るものと假定し $U\fallingdotseq 1.65\ t,\quad l_u\fallingdotseq l_w=0.60\ m$

3. 靜水壓 (P)

$$P=\frac{1}{2}(h_o+1.3)^2-\frac{1}{2}(h_o-1.1)^2-\frac{1}{2}(h_u+1.3)^2=\frac{1}{2}\left\{4.8\,h_o+0.48-(h_u+1.3)^2\right\},$$

$$l_p=r\cos 45°+p-0.9=p-0.3\ m$$

p は堰體の下端より總靜水壓の作用點までの距離にして、

$$p=\frac{1}{3}\times\frac{17.28\,h_o-5.184-(h_u+1.3)^3}{4.8\,h_o+0.48-(h_u+1.3)^2}\ m,$$

4. 流水による動水壓 (F)

算定に最も困難なるものなり。流速は位置によりて變化甚だしきも、模型に就き擴大式ピトー管により測定せる結果によれば、堰體の直ぐ上流に於て、平均流速は略毎秒 0.30 m なるを以て、流速が縮尺の二乘根に比例するとすれば、實際の場合の平均流速は約毎秒 1.00 m なり。依て流速による動水壓を大略次の如く算定せり。

$$F=A\cdot w\frac{V_m^2}{2g}=2.4\times 1\times\frac{1^2}{19.6}\fallingdotseq 0.12\ t,\qquad l_f=\frac{r}{\sqrt{2}}\fallingdotseq 0.60\ m$$

5. 摩擦抵抗力 (S)

$$l_s=2r=1.70\ m$$

上記の諸外力が平衡を保つものとすれば、A 點の周りの能率の和は零となるべし。即ち、

$$W\cdot l_w-P\cdot l_p-U\cdot l_u-F\cdot l_f-S\cdot l_s=0$$

故に、

$$4.32\,h_o-\frac{1}{3}(h_u+1.3)^3+0.3\times(h_u+1.3)^2=5.652-3.4\,S\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(5)$$

模型の場合は翼は全部木製にして內空ならざるを以て、實物に比し浮力は割合に大に、その作用點も多少移動す。

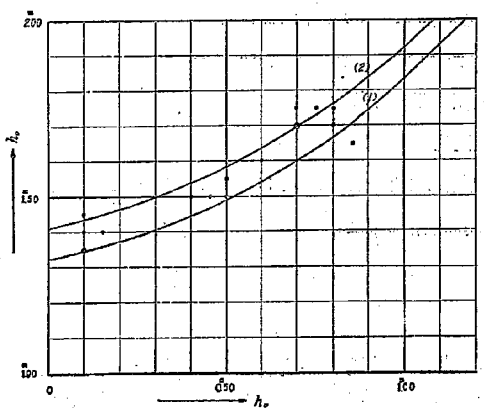
$$U\fallingdotseq 2.00\ t,\qquad l_u\fallingdotseq 0.50\ m$$

又、模型堰體の外部は木製にして、實驗中常に水中にありしため、吸水の結果自重の增加を來たし、實驗後秤量せるに堰體の全重量は 103 kg に達せり。故に實物に換算せる場合の 1 m 當りの自重は W=5.55 t なり。從て平衡條件の式は、

$$4.32\,h_o-\frac{1}{3}(h_u+1.3)^3+0.3\times(h_u+1.3)^2=6.104-3.4\,S \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6)$$

後に第六節に述ぶるが如く、堰體捲揚力の測定により、堰體下降の際の摩擦力は平均約 1.1 kg なることを知れり。故に實物の場合に換算して、堰體 1 m 當り約 S=0.06 t と假定し、之を (6) 式に代入して h_o と h_u との間の關係を求むれば、第九圖の曲線 (2) となる。而して本試驗に於ては、捲揚力測定のために餘分の齒車及滑車を使用せしを以て、摩擦力は實際の場合に比し多少過大の傾向あるを以て、實物に對しては S=0.05 t, と假定し、(5) 式に依り h_o と h_u との關係を求むれば、第九圖の曲線 (1) となる。卽ち堰體の上流側と下流側との水位の關係を示す點がこの曲線より下に位すれば、安全に堰體を降下せしめ得ることを示す。尙、實驗に於て堰體が降下を停止したる時の h_o と h_u との關係は、圖の黑點に依りて示すが如く、大體 (1) 及 (2) 曲線の中間に散在することを知る。

第　九　圖



第五節　昇開式轉動堰を開きたる場合の上下流水位變化の計算

前節に述べたる如く、上流側の水位が或る程度以下に降下し、下流側の水位がある程度以上に上昇すれば、降開式堰體が下降の中途に於て停止するが如き虞なく、又一旦停止せ

る場合も、自ら下降運動を始むるに至るべし。然るに堰を開放する場合、先づ昇開堰を捲き揚げ、然る後に降開堰を降下せしむる計畫なるを以て、昇開堰の開放によりて所要の水位變化を生じ得るに於ては、降開式堰體が降下の中途に於て停止するが如き機會を生ぜざるに至るべし。而して斯の如き水位變化の關係は、現在の模型に依て實驗的に之を確かむること能はざるを以て、次に計算上より實河川に於ける水位變化と時間との關係を求めんとす。

1. 上流側の水位降下

本項に於て次の記號を用ふ。(第十圖參照)

x　坐標原點を可動堰箇所に於ける低水敷にとり、それより上流低水敷河床に沿ふて x 軸をとる。

h　昇開堰を開きたる場合、任意の箇所に於ける水深。

h_1　昇開堰を開きたる場合、任意の時刻に於ける可動堰の直ぐ上流の水深

h_0　柳津に於ける平水時の水深にして、不變と假定す。

H_0　可動堰箇所に於ける堰止め水深。

q_0　柳津に於ける河幅1m當りの平水量。

q　昇開堰を開きたる場合の河幅1m當りの流量。

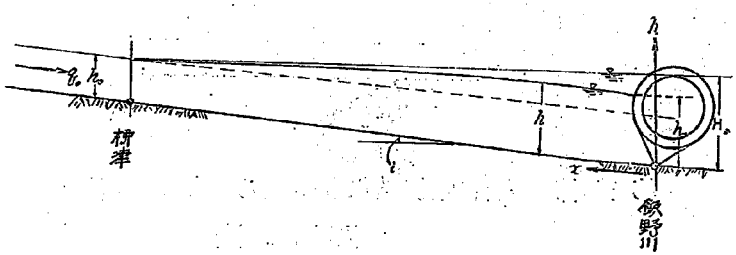
i　合戰ヶ谷筋新川の平均河床勾配。

n　Manning 氏流速公式の係數。

t　昇開堰を開き始めてより水位が h_1 に下るまでの時間。

V　昇開堰の平均鉛直捲揚速度。

第　十　圖



Manning 氏流速公式を用ふる時、

$$q_0 = \frac{1}{n} i^{\frac{1}{2}} h_0^{\frac{5}{3}} = \frac{1}{n}\left(i + \frac{dh}{dx}\right)^{\frac{1}{2}} h^{\frac{5}{3}}$$

$$\therefore \quad -idx=\frac{h^{\frac{10}{3}}}{h^{\frac{10}{3}}-h_0^{\frac{10}{3}}}dh \quad \cdots\cdots (7)$$

堰を開きたる場合に、その直ぐ上流側に於ては水流連續の條件より次の關係成立す。

$$-(H_0-h)dx=q\,dt \quad \cdots\cdots (8)$$

式(7)及(8)を組合はせて、

$$\int_0^t iq\,dt=\int_{h_1}^{H_0}\frac{h^{\frac{10}{3}}(H-h)}{h^{\frac{10}{3}}-h_0^{\frac{10}{3}}}dh \quad \cdots\cdots (9)$$

この式によりて、最初 H_0 なる水位が h_1 に下るまでの時間 t を求むることを得、然るに q は堰を捲き揚ぐる速さ V のみならず h_1 にも關係し、且(9)式の右邊は級數に展開せざれば積分不可能なるを以て、(9)式を解くには漸進的に近似値を求むるの外なし。

(9)式の右邊の積分は

$$\int_{h_1}^{H_0}\frac{h^{\frac{10}{3}}(H_0-h)}{h^{\frac{10}{3}}-h_0^{\frac{10}{3}}}dh=\frac{1}{2}(H_0-h_1)^2+3H_0h_0\left\{\Phi\left(\frac{h_0}{h_1}\right)-\Phi\left(\frac{h_0}{H_0}\right)\right\}$$
$$-3h_0^2\left\{\Psi\left(\frac{h_0}{h_1}\right)-\Psi\left(\frac{h_0}{H_0}\right)\right\} \quad \cdots\cdots (10)$$

但し

$$\left.\begin{aligned}\Phi\left(\frac{h_0}{h_1}\right)&=\frac{1}{7}\left(\frac{h_1}{h_1}\right)^{\frac{7}{3}}+\frac{1}{17}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\frac{17}{3}}+\frac{1}{27}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{9}+\frac{1}{37}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\frac{37}{3}}+\cdots\cdots\\ \Psi\left(\frac{h_0}{h_1}\right)&=\frac{1}{4}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{4}+\frac{1}{14}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\frac{14}{3}}+\frac{1}{24}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{8}+\frac{1}{34}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\frac{34}{3}}+\cdots\cdots\end{aligned}\right\} \quad (11)$$

豫め種々の $\frac{h_0}{h_1}$ に對し Φ 及 Ψ の値を算定し、之れを曲線を以て表はし、(9)式より水位 h_1 と時間 t との關係を求めたり。Φ 及 Ψ の曲線は附圖第七に示せり。但し實計算に於ては、實際河川に於ける既知量を次の如く擇定せり。

$H_0=2.58$ m,　$h_0=1.07$ m,　$i=\frac{1}{7000}$,

B=400 m, 新川の平均河幅

V=0.0075 m/sec 堰止め位置より最上端まで捲き揚ぐるに約15分を要すると假定す。

計算の結果は附圖第八に示せるが如し。

2. 下流側の水位上昇

本項に於て次の記號を用ふ。(第十一圖參照)

h_0 可動堰の直ぐ下流に於ける最初の水深。

h_1 堰を開きてより t 時間後に於ける同箇所の水深。

H_o　河口の水深にして、不變と假定す。

i　　堰より河口に至る間の平均河床勾配。

坐標原點を可動堰の直ぐ下流の低水敷にとり、それより下流低水敷河床に沿ふてx軸をとる時は、前項の場合と同樣の原理により

$$\int_0^t iq\,dt=\int_{h_o}^{h_1}\frac{h^{\frac{10}{3}}(h-h_o)}{H_o^{\frac{10}{3}}-h^{\frac{10}{3}}}dh=3H_o^{\,2}\left\{\Phi'\left(\frac{h_1}{H_o}\right)-\Phi'\left(\frac{h_o}{H_o}\right)\right\}$$

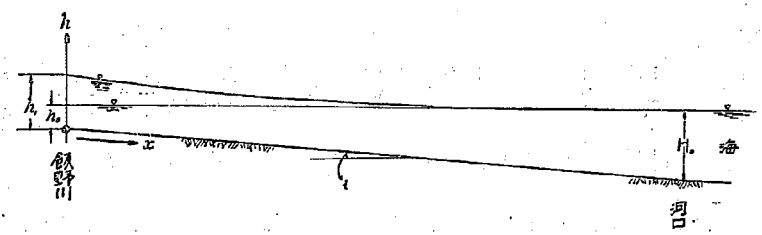
$$-3H_o h_o\left\{\Psi'\left(\frac{h_1}{H_o}\right)-\Psi'\left(\frac{h_o}{H_o}\right)\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (12)$$

但し

$$\left.\begin{aligned}\Phi'\left(\frac{h_1}{H_o}\right)&=\frac{1}{16}\left(\frac{h_1}{H_o}\right)^{\frac{16}{3}}+\frac{1}{26}\left(\frac{h_1}{H_o}\right)^{\frac{26}{3}}+\frac{1}{36}\left(\frac{h_1}{H_o}\right)^{12}+\frac{1}{46}\left(\frac{h_1}{H_o}\right)^{\frac{46}{3}}+\cdots\\ \Psi'\left(\frac{h_1}{H_o}\right)&=\frac{1}{13}\left(\frac{h_1}{H_o}\right)^{\frac{13}{3}}+\frac{1}{23}\left(\frac{h_1}{H_o}\right)^{\frac{23}{3}}+\frac{1}{33}\left(\frac{h_1}{H_o}\right)^{11}+\frac{1}{43}\left(\frac{h_1}{H_o}\right)^{\frac{43}{3}}+\cdots\end{aligned}\right\}(13)$$

Φ' 及 Ψ' の $\frac{h_1}{H_o}$ に對する關係を表はす曲線は附圖第九に示す。

第十一圖



堰の下流部は潮汐の影響により、水位は常に變動するも、今平均水位の場合として、

$h_o=1.15$ m,　　$H_o=2{,}30$ m,　　$i=\frac{1}{12\,000}$

$B'=200$ m　（平均低水敷幅）、　　$B=450$ m　（平均高水敷幅）

と假定して h_1 と t との關係を計算し、その結果を附圖第八に曲線を以て示せり。

これらの結果より見て第四節を參照すれば、昇開堰を開き始めてより凡そ一時間を經過せる後、降開堰を降下せしむる時は、途中にて停止する機會を生ぜざるべし。而してその前半約30分は昇開堰を捲き揚ぐるに要する時間なるを以て、これを終りて約30分を經過して後降開堰を降ろし始むれば可なり。尙堰を開く場合は出水の初期なるを以て、柳津に於ける水位は刻々上昇しつゝあるべきも、從來の高水位記錄によれば、出水極めて徐々にして、普通一時間に約10 cm 乃至15 cm の上昇にすぎず。從て堰の開放繰作期間に、

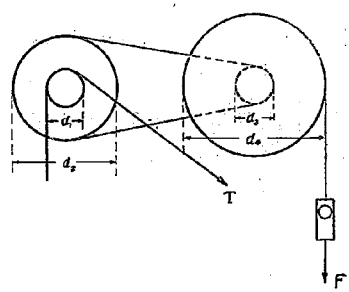
この水位上昇が堰附近の水位に及ぼす影響は極めて微少なり。

尙降開堰を開き始むれば、これを流過する流量によりても若干上流側の水位の下降を來し、同時に下流側の水位の上昇をも助くるを以て、實際は上記の計算上必要なる水位に達する少し以前に降開堰の降下作業を開始し得べし。又堰の下流部は潮汐の影響あるを以て、成る可く滿潮附近、下流水位の高きに乘じて堰を開放すれば作業著しく容易なり。

第六節　降開式模型堰體の捲揚力の測定

降開式堰體を捲き揚ぐるに要する力は、上流側並に下流側の水位が共に低き程大に、捲き降ろす場合には、堰體の自重による下降作用に逆ふ外力は、上下流の水位差の大なるに從て大にして、第四節に述べたる如く途中停止する場合を生ず。而して模型試驗に於ては、水路に水を容れざる場合、堰體全部が靜止せる水中に在る場合及上下流に水位差のある場合の三種に就き、捲揚げと降下との場合に對し所要の力を測定し、その結果の代表的なるものを附圖第十及第十一に示す。

第十二圖

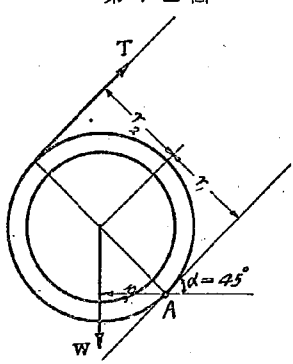


實際に於ては第十二圖に示せる如き齒車を用ひ、張力 F は彈衡を使用して測定せり。堰體の端にある鎖にかゝる張力 T と、彈衡に現はるゝ力 F とは齒車の速比に依り次の如き關係にあり。

$$F=\frac{d_1}{d_2}\times\frac{d_3}{d_4}\times T+s$$

但しこゝに s は摩擦力とす。

第十三圖



$d_1=73$ mm,　$d_2=179$ mm,

$d_3=73$ mm,　$d_4=290$ mm

なるを以て

$$F=0.103\,T+s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (14)$$

下降する場合に彈衡の示す力 F′ は

$$F'=0.103\,T-s' \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (15)$$

今水を容れざる場合、W を一堰體の全重量とすれば、第十三圖により、

$$T(r_1+r_2)=Wp$$

$$r_1 \fallingdotseq r_2, \qquad p = r_1 \sin\alpha = \frac{r_1}{\sqrt{2}}$$

故に

$$T = \frac{1}{2\sqrt{2}} W$$

Wは實測の結果103 kgなり。故に

$$T = \frac{1}{2\sqrt{2}} \times 103 = 36.4 \text{ kg}$$

附圖第十(1)より大體

$$F = 5.25 \text{ kg}, \qquad F' = 2.45 \text{ kg}$$

故に式(14)及(15)より摩擦力s, s′を求むれば

$$s = 1.50 \text{ kg}, \qquad s' = 1.30 \text{ kg}$$

靜止せる水中に於ては浮力の作用あるを以て、

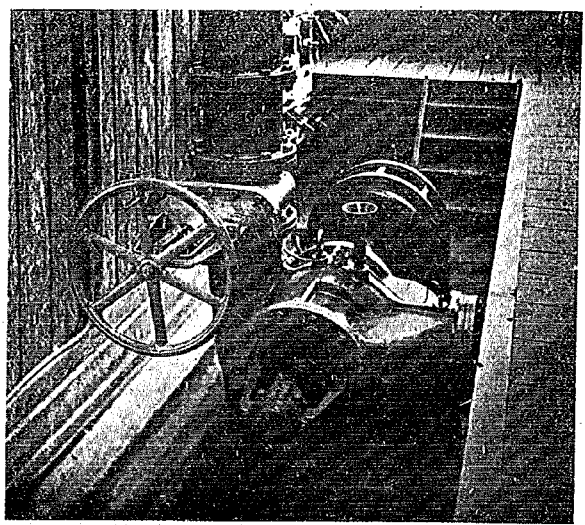
$$W - U = 103.0 - 37.2 = 65.8 \text{ kg},$$

$$\therefore \quad T = \frac{1}{2\sqrt{2}} \times 65.8 = 23.2 \text{ kg}$$

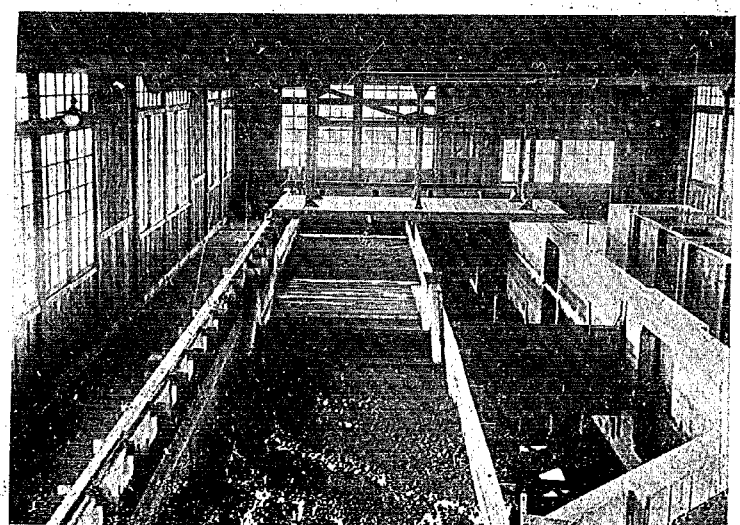
附圖第十(2)より、F及F′の値はそれぞれ約3.60 kg及1.40 kgなり。故に

$$s = 1.21 \text{ kg}, \qquad s' = 0.99 \text{ kg}$$

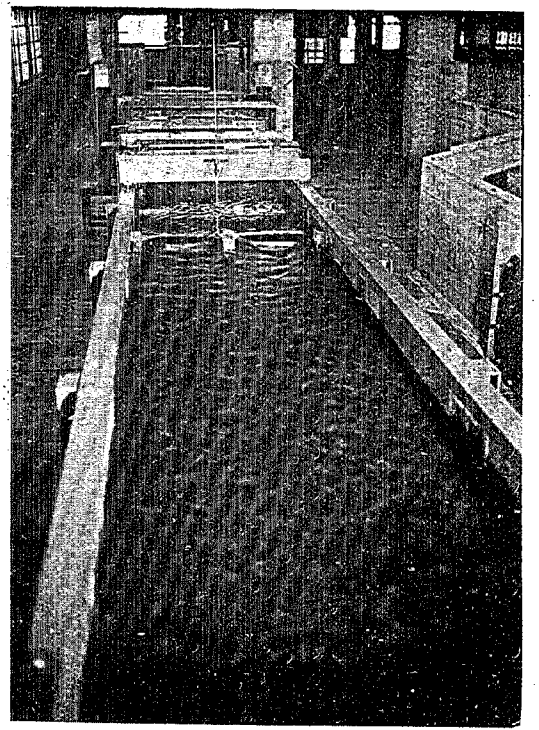
模型の縮尺は實物の十分の一なるを以て、實驗にかける1 kgの力は實際1 tonに相當す。



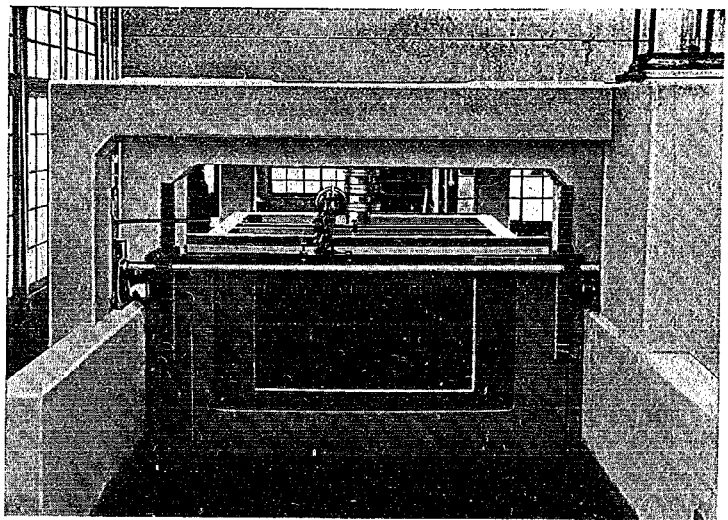
寫眞第一　30粍揚水渦卷唧筒（30馬力電動機直結）



寫眞第三　高水槽並に水理試驗樋

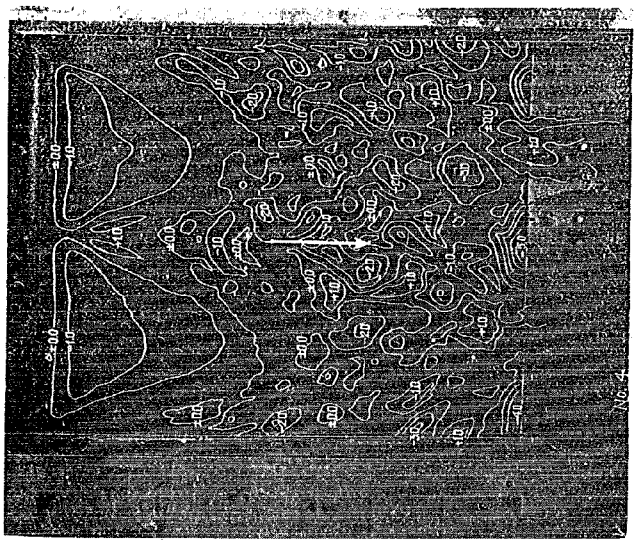


寫眞第四　水理試驗樋

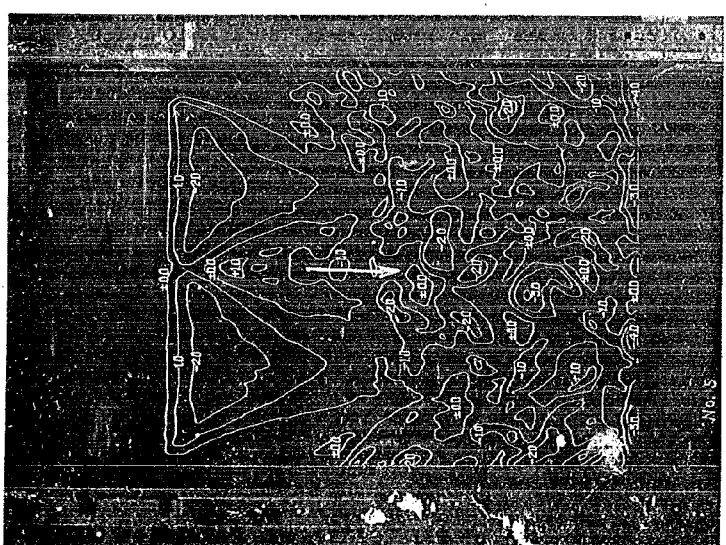


寫眞第五　流　量　測　定　堰

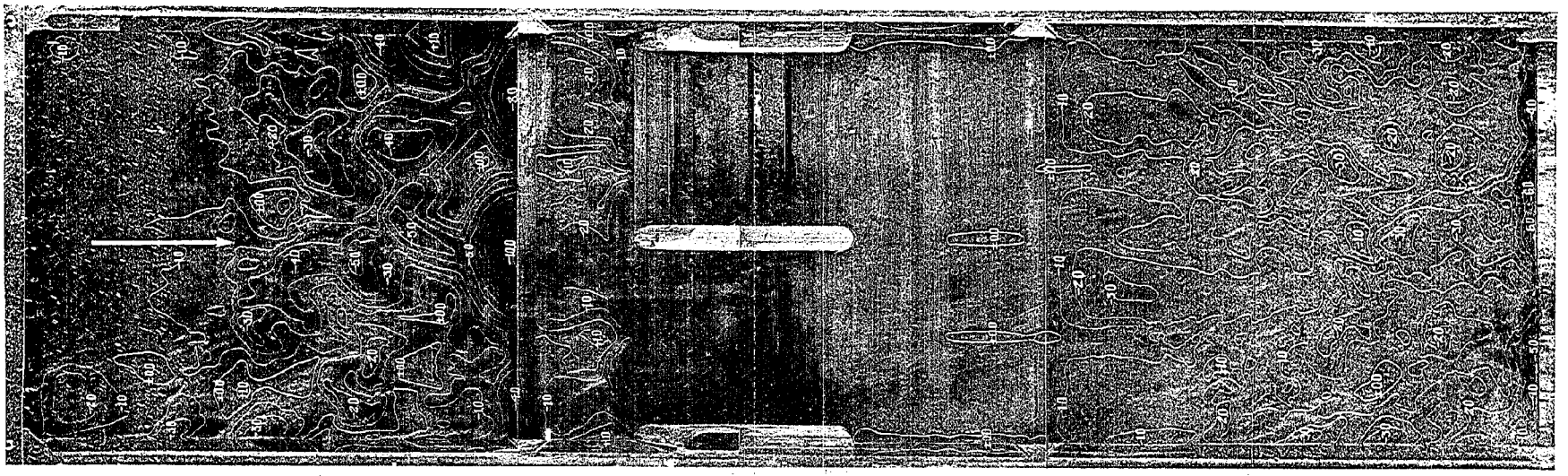
寫眞第六　北上川ローリックダム十分之一模型



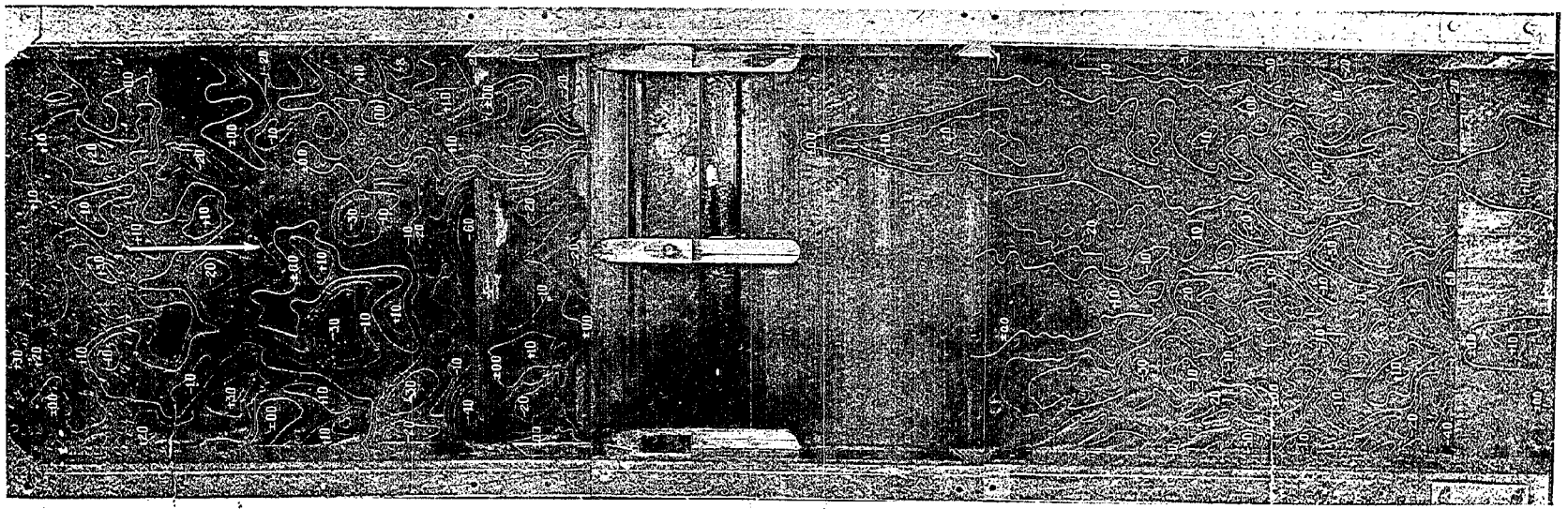
寫眞第七　四十分之一模型洗掘狀況（其一）
Q=1000 m³/sec.　T=30 min.



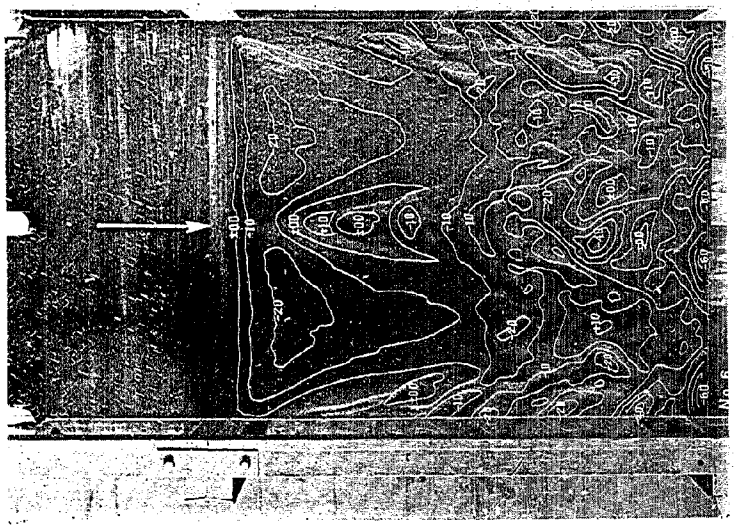
寫眞第八　四十分之一模型洗掘狀況（其二）
Q=1000 m³/sec.　T=60 min.



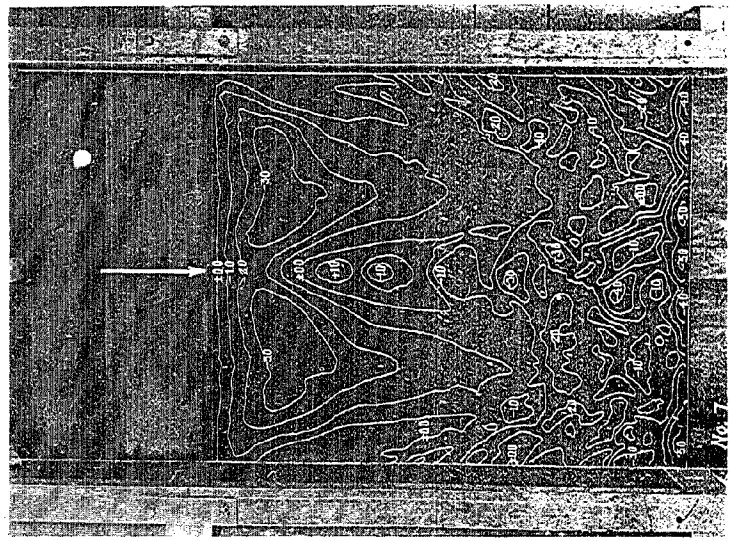
寫眞十二　四十分之一模型洗掘狀況（其六）　Q=2000 m³/sec.　T=60 min.



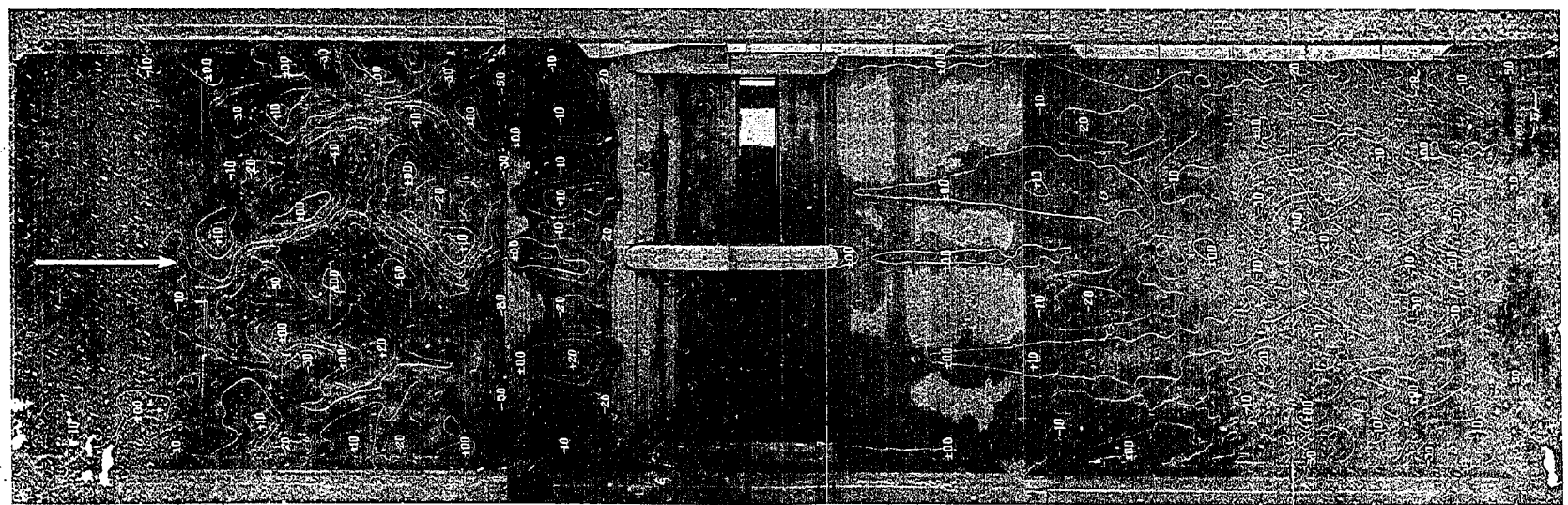
寫眞十三　四十分之一模型洗掘狀況（其七）　Q=3000 m³/sec.　T=60 min.



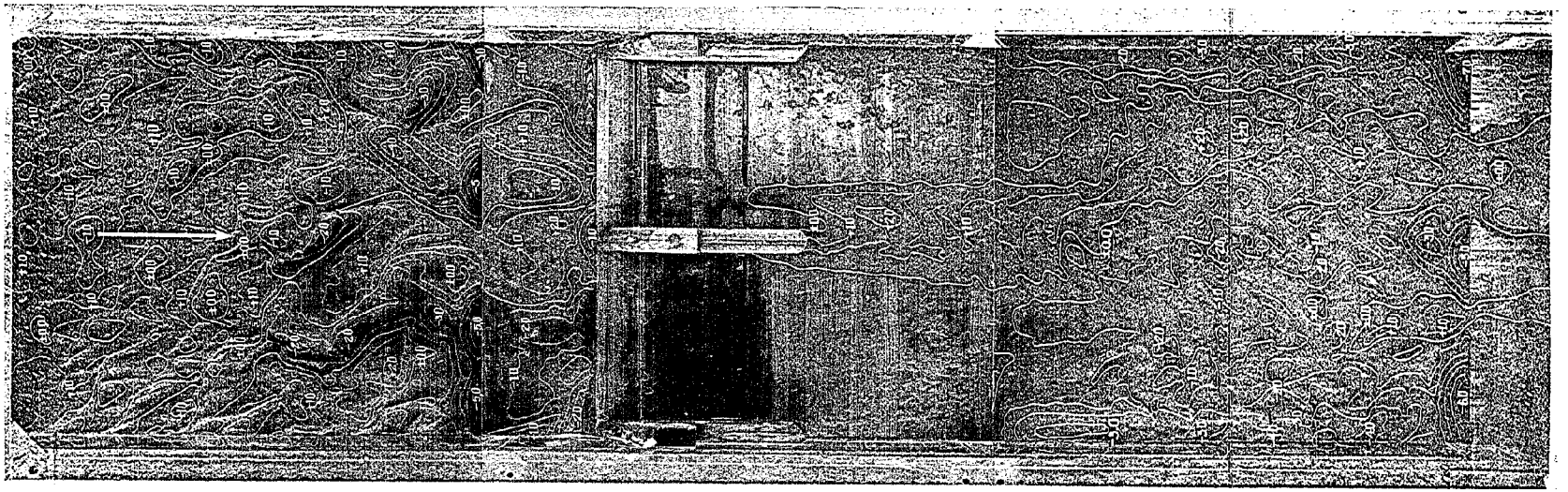
寫眞第九　四十分之一模型洗掘狀況（其三）
Q=1000 m³/sec.　T=120 min.



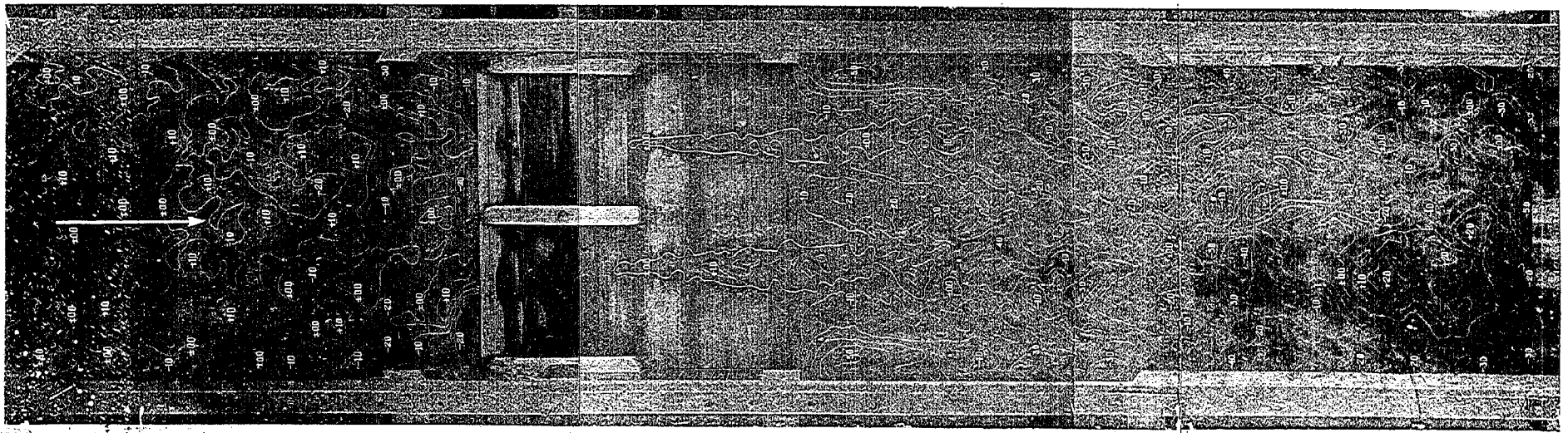
寫眞第十　四十分之一模型洗掘狀況（其四）
Q=1000 m³/sec.　T=240 min.



寫眞第十一　四十分之一模型洗掘狀況（其五）　Q=2000 m³/sec.　T=30 min.

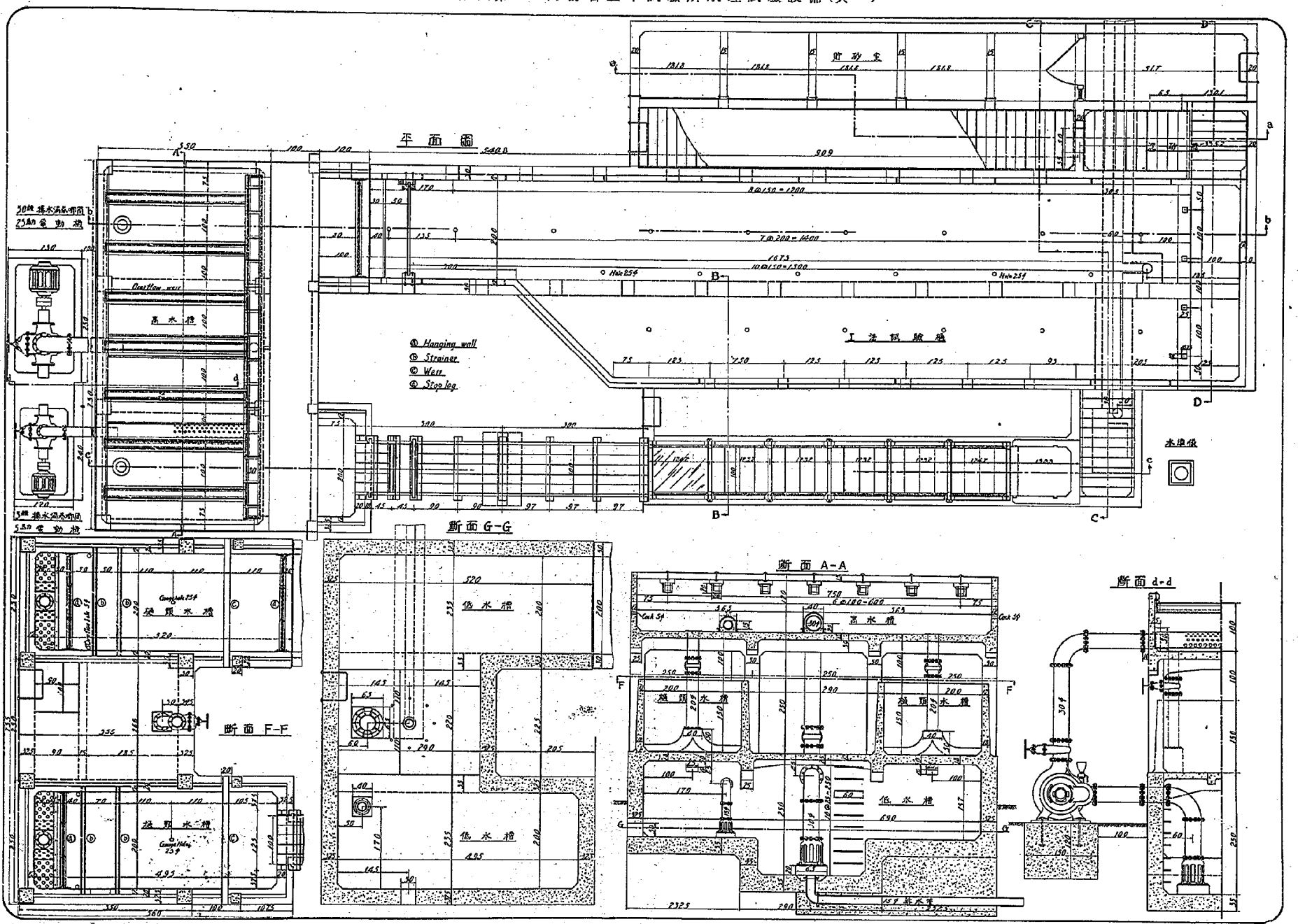


寫眞十四　四十分之一模型洗掘狀況（其八）　Q＝4000 m³/sec.　T＝60 min.

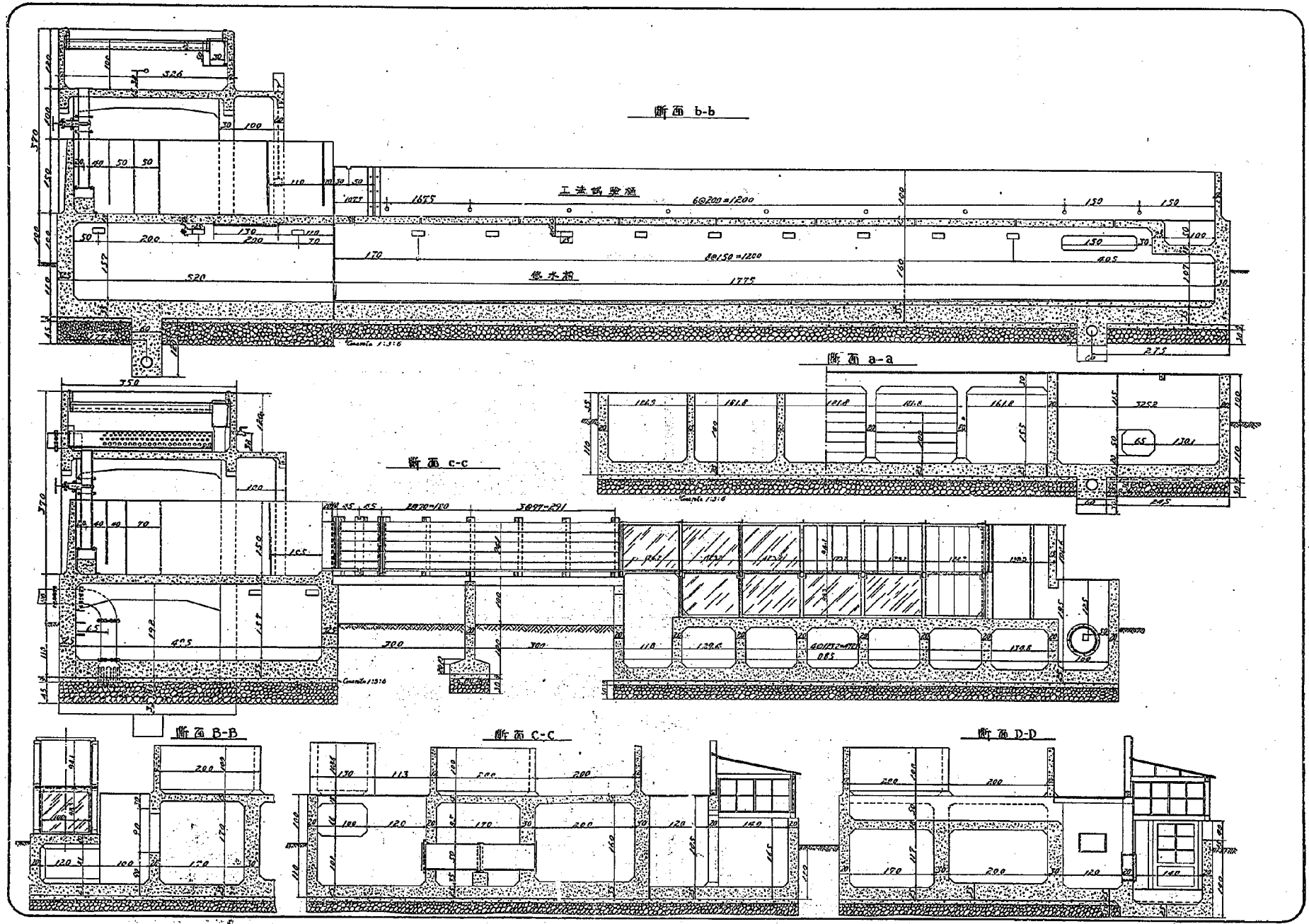


寫眞十五　四十分之一模型洗掘狀況（其九）　Q＝4730 m³/sec.　T＝30 min.

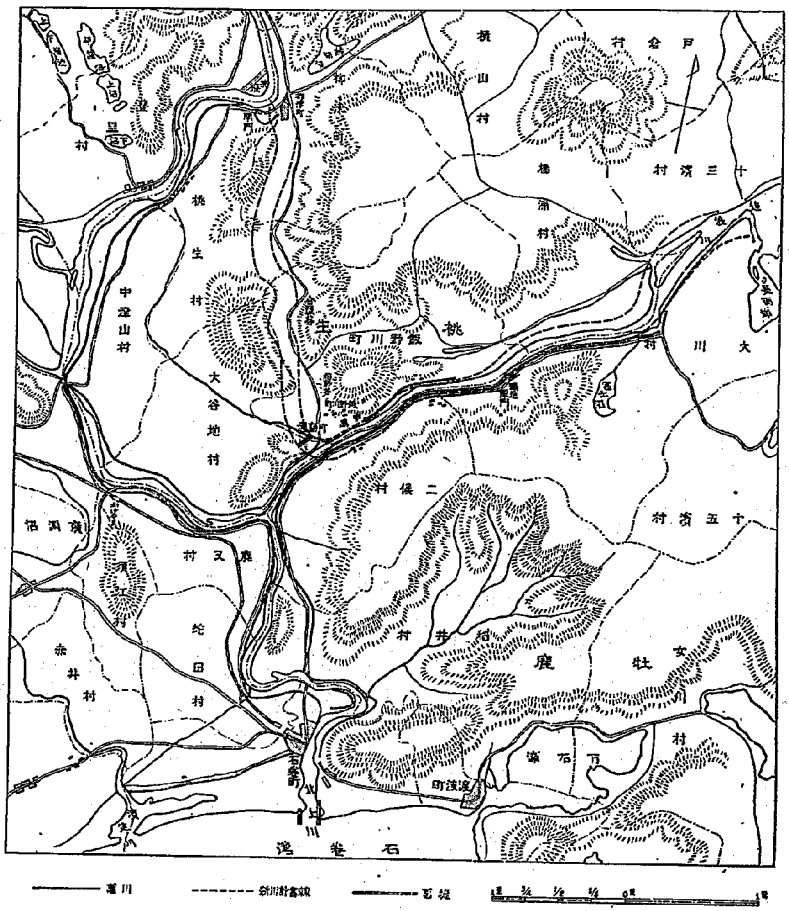
附圖第一　內務省土木試驗所水理試驗設備(其一)



附圖第二　內務省土木試驗所水理試驗設備(其二)

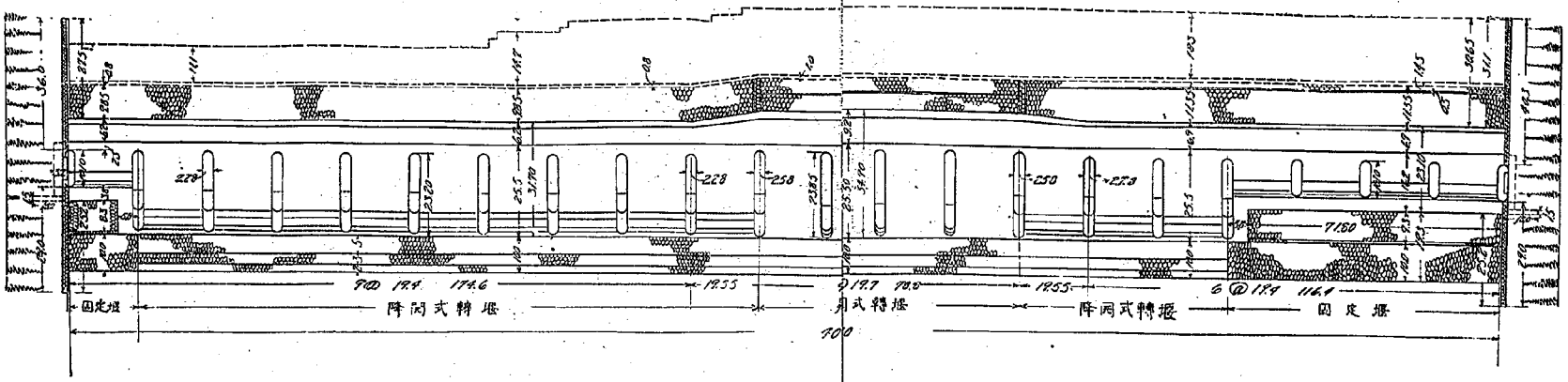


附圖第三　北上川合戰ヶ谷放水路平面圖



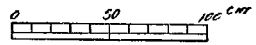
附圖第四

北上川改修飯野川可動堰平面圖

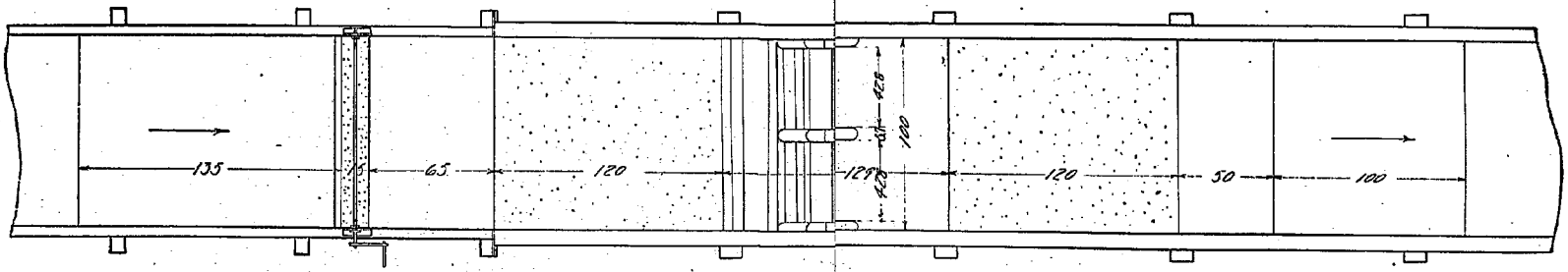


附圖第五

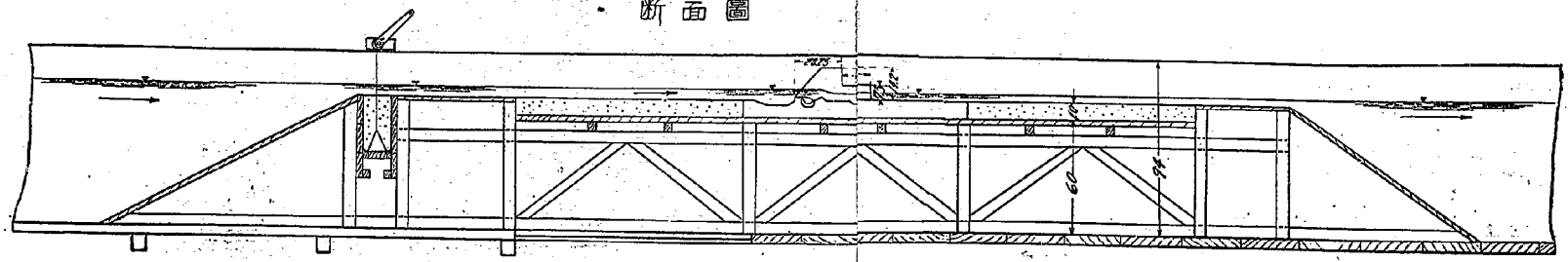
北上川降開式可動堰模型試驗裝 (模型縮尺 1:40)



平面圖

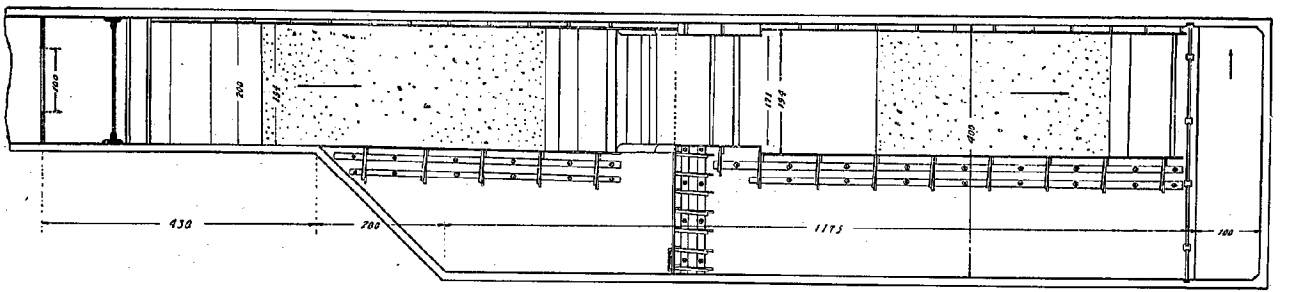


斷面圖

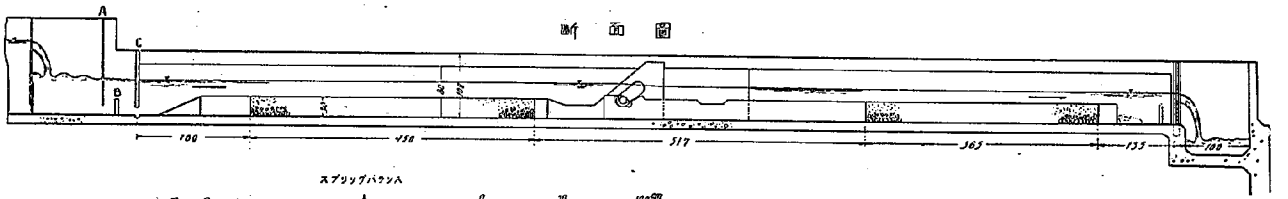


附圖第六　北上川降開式可動堰模型試驗裝置　(模型縮尺 1:10)

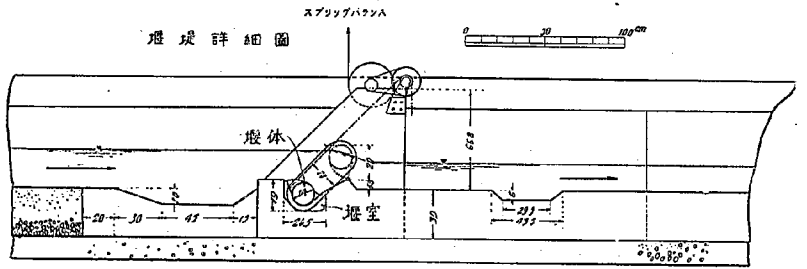
平面圖



斷面圖

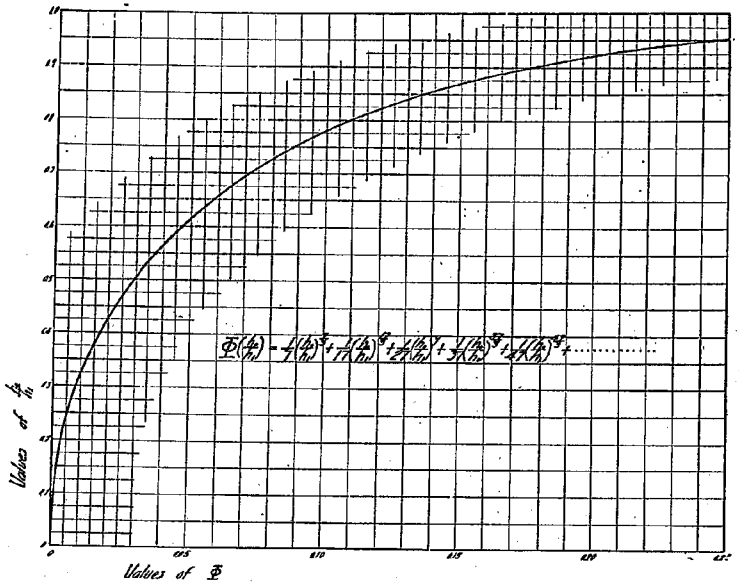


堰堤詳細圖

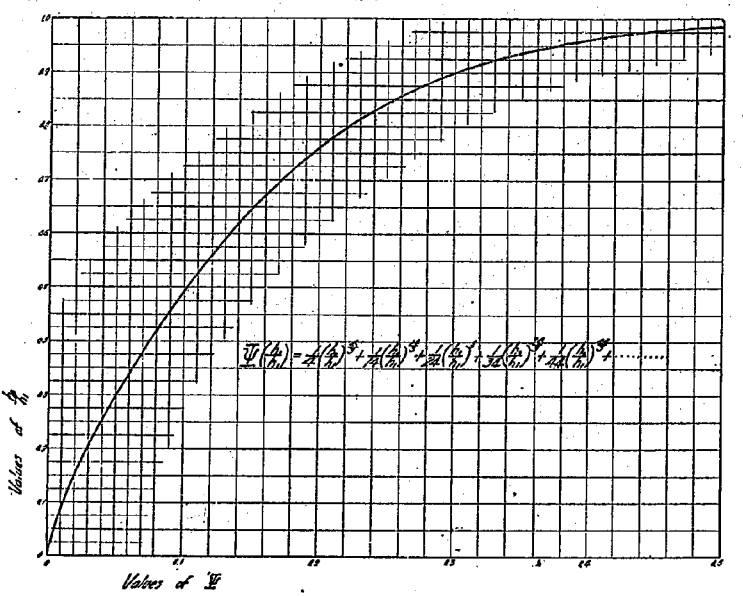


附圖第七

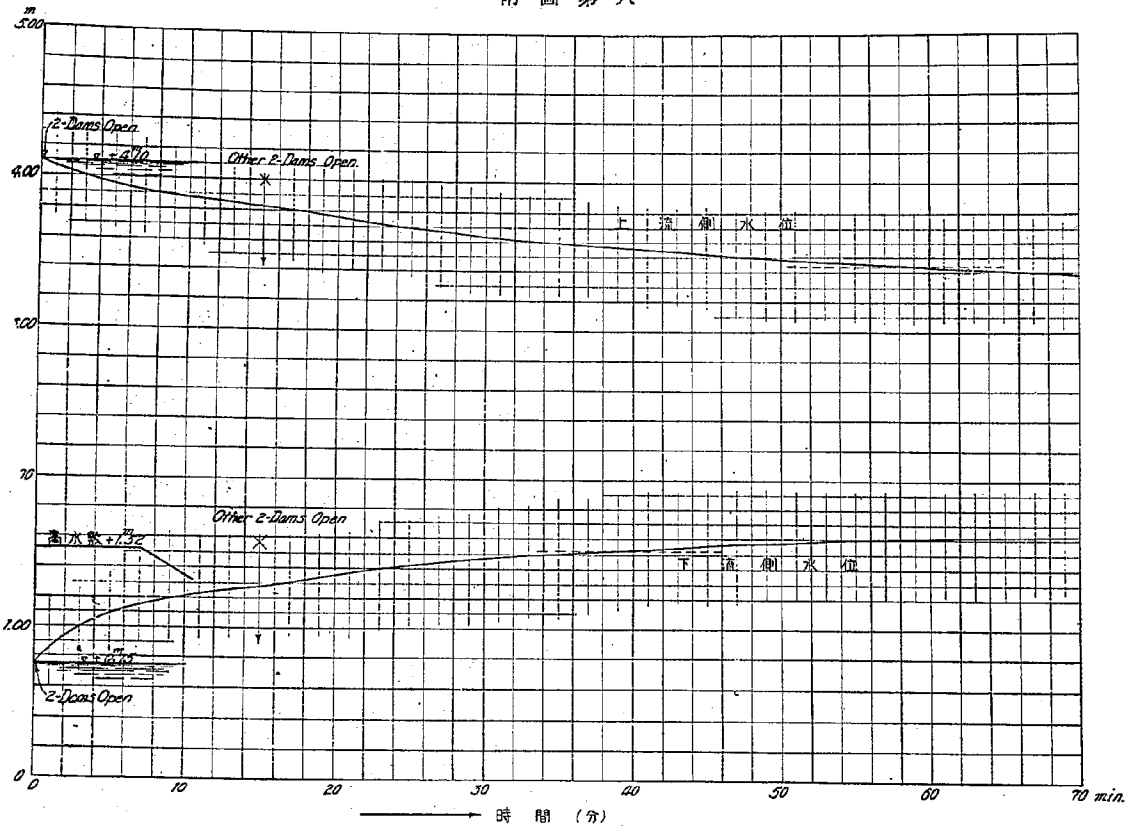
（其一）


Values of $\frac{h}{h_1}$
Values of Φ
$\Phi\left(\frac{h}{h_1}\right) = \frac{1}{1}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{1\cdot 4}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{5}{2}} + \frac{1}{2\cdot 4}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{7}{2}} + \frac{1}{3\cdot 4}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{9}{2}} + \frac{1}{2\cdot 4\cdot 4}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{11}{2}} + \cdots\cdots$

（其二）

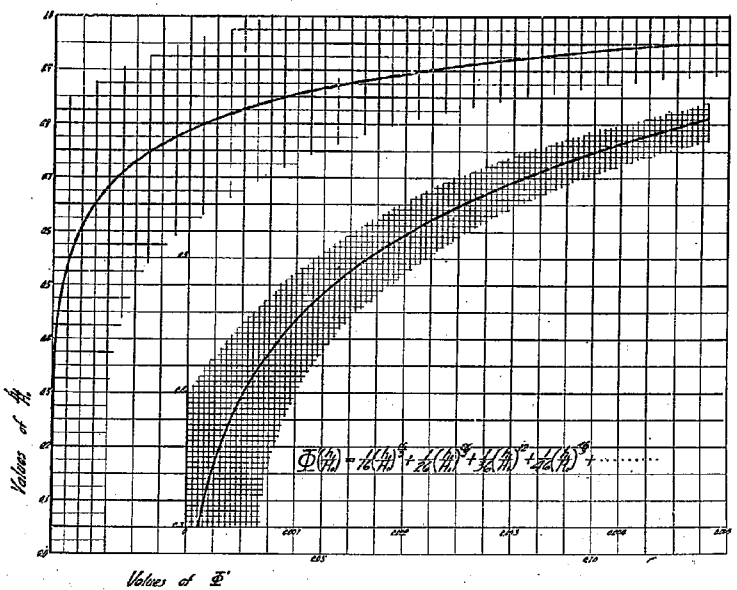

Values of $\frac{h}{h_1}$
Values of Ψ
$\Psi\left(\frac{h}{h_1}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{2\cdot 4}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{5}{2}} + \frac{1}{2\cdot 2\cdot 4}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{7}{2}} + \frac{1}{3\cdot 2\cdot 4}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{9}{2}} + \frac{1}{2\cdot 2\cdot 4\cdot 4}\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{11}{2}} + \cdots\cdots$

附圖第八

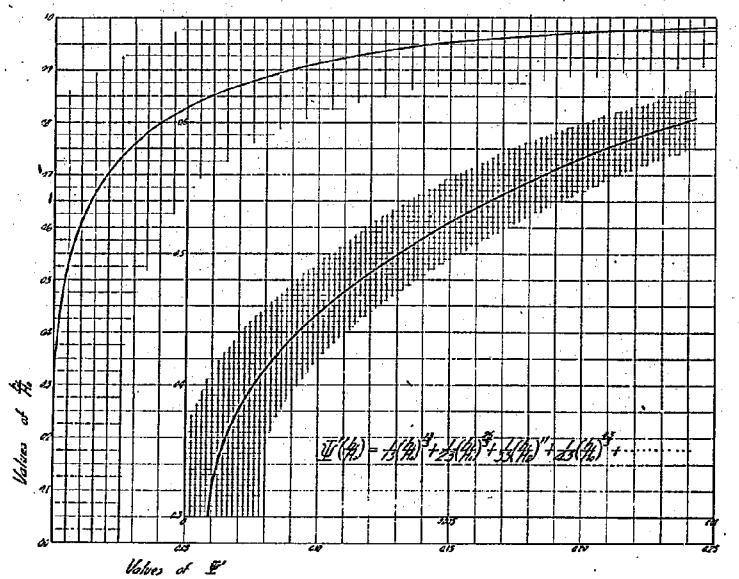

m
5.00
4.00
3.00
2.00
1.00
0
2-Dams Open.
Other 2-Dams Open.
上流側水位
Other 2-Dams Open
通水量+1.32
下流側水位
2-Doors Open.
0
10
20
30
40
50
60
70 min.
時間（分）

附圖第九

（其一）

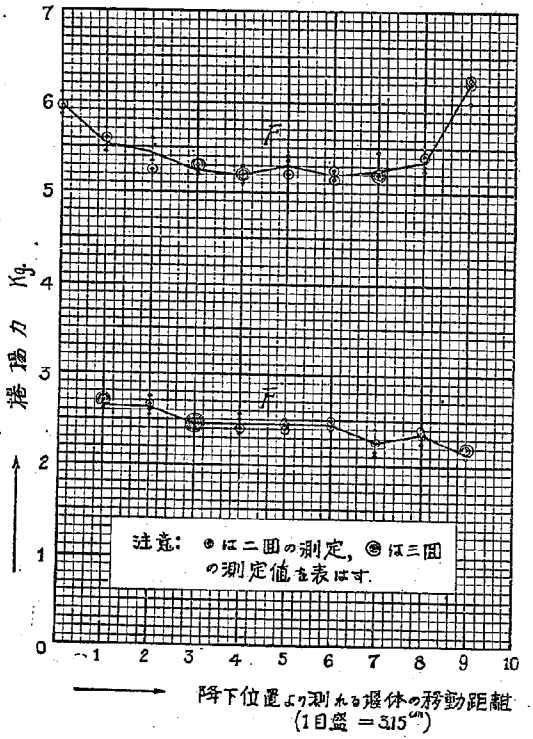

Values of $\frac{\Phi}{H_0}$
Values of Φ'
$\frac{\Phi(\phi)}{H_0} = \frac{1}{12}(\frac{\phi}{H_0})^3 + \frac{1}{120}(\frac{\phi}{H_0})^5 + \frac{1}{360}(\frac{\phi}{H_0})^7 + \frac{1}{2520}(\frac{\phi}{H_0})^9 + \cdots\cdots$

（其二）

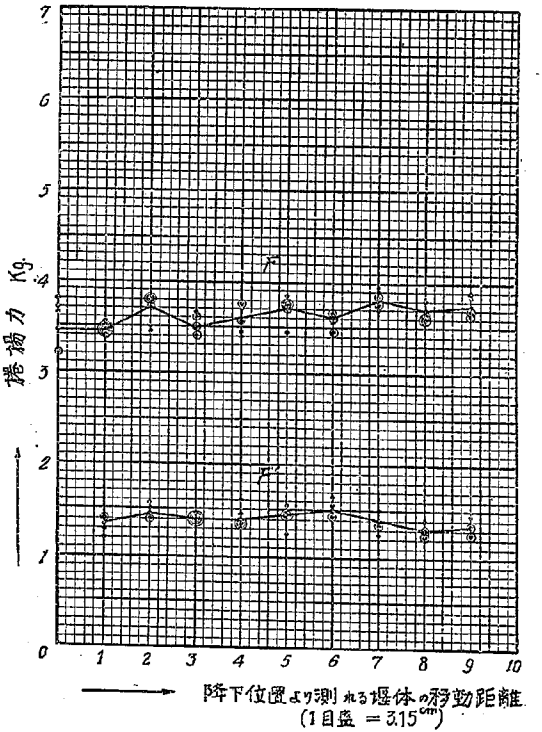

Values of $\frac{\Psi}{H_0}$
Values of Ψ'
$\frac{\Psi(\phi)}{H_0} = \frac{1}{15}(\frac{\phi}{H_0})^3 + \frac{1}{210}(\frac{\phi}{H_0})^5 + \frac{1}{756}(\frac{\phi}{H_0})^7 + \frac{1}{3465}(\frac{\phi}{H_0})^9 + \cdots\cdots$

附圖第十　模型堰體の捲揚力(其一)

(1) 水が無い場合

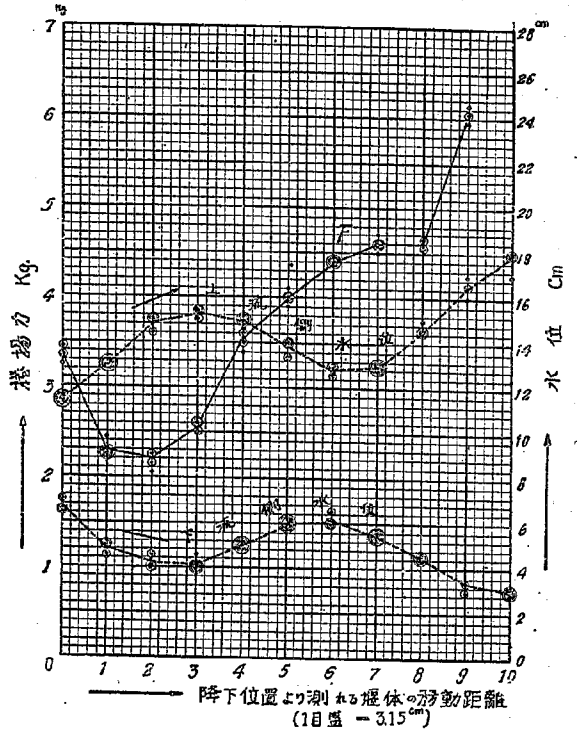


(2) 堰体が全部静水中にある場合

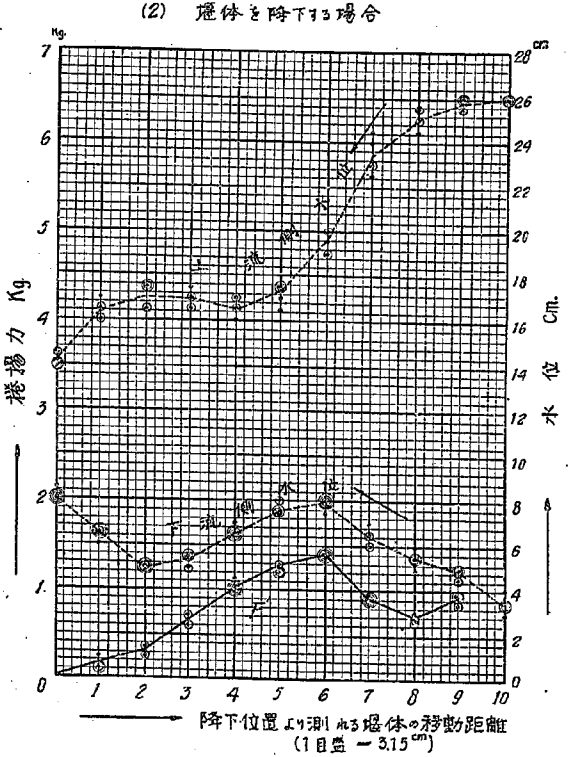


附圖第十一　模型堰體の捲揚力(其二)

(1)　堰体を上昇する場合



(2)　堰体を降下する場合



電氣鎔接法による鐵筋の接合

內務技師　青　木　楠　男

第一章　總　　論

1. 緒言　鐵筋コンクリート工事に於て、所要の長さの鐵筋が常にたやすく求めらるゝものならば、鐵筋の繼手による材料不經濟の問題は起らないのであるが、今日の狀態では製鋼並に運搬上の關係から充分にこの要求が滿たされてはをらない樣である、又速急の工事で在庫の定尺物を使用せねばならない場合も相當にあるものと認められる。

從て今日これがために鐵筋コンククリート工に於て失はれる鐵筋の量は可成りの額にのぼり、鐵材の價格の比較的低廉な今日に於ても、尙充分考慮に値する程度のものであると考へられる。

現今の工法では抗張鐵筋に於ける繼手の重なりは、其兩端に於ける曲げ扛げの影響を無視する場合、次式によつて與へられる。

F_c　鐵筋の斷面積

u　鐵筋の周圍長

d　鐵筋の直徑

σ_c　鐵筋の許容應張强度

τ_1　鐵筋とコンクリートとの許容附着應力

e　重なりの所要長

$$F_c \sigma_c = u e \tau_1 \quad \cdots\cdots (1)$$

$$e = \frac{F_c \sigma}{u \tau_1} \quad \cdots\cdots (2)$$

今、$F = 1200$ 瓲/平方糎、$\tau_1 = 6$ 瓲/平方糎 とすれば

$$e = \frac{200 F_c}{u} = 200 \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{\pi d} = 50d \quad \cdots\cdots (3)$$

となる。

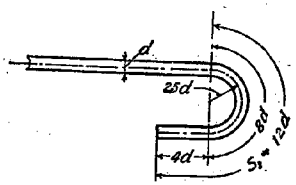
もし鐵筋兩端の曲げ扛げが、10d の重なりに相當するものと假定すれば、抗張鐵筋の繼

手に要する重なりの長さ S_1 は

$$S_1=(50-2\times10)d=30d \quad \cdots\cdots (4)$$

重なりの長さとして (4) 式の與ふる値を用ひ、第一圖に示す曲げ扛げをなすものとすれば、一本の鐵筋から繼手のために用ひらるゝ部分の長さは第一表の通りである。

第一圖　鐵筋端の曲げ扛げ



第一表　鐵筋繼手長

鐵筋徑 d (糎)	$S_1=30d$ (糎)	$S_2=12d$ (糎)	$S=S_1+S_2$ 糎	尺
1.6	48	19.2	67.2	(2.2)
1.9	57	22.8	79.8	(2.6)
2.2	66	26.4	92.4	(3.05)
2.5	75	30.0	105.0	(3.45)

今、長さ 12～24 尺の定尺物を使用するものとすれば、上記の重なりに要する鋼材の損失率は第二表の如くで、最小のものでも約 10% に達する。もし直徑の更に大なるものを用ひた場合には損失の比率は更に增加することゝなる。

第二表　繼手による丸鋼の損失率

長 (尺)	直徑 (d) 1.6 (糎)	1.9 (糎)	2.2 (糎)	2.5 (糎)
12	18.0%	21.7%	25.3%	28.8%
15	14.7	17.4	20.3	23.0
18	12.2	14.5	16.9	19.2
21	10.5	12.4	14.5	16.5
24	9.2	10.9	12.7	14.4

この重製繼手に於て更に考慮せねばならぬものは緊束用の鋼線である。

緊束鋼線としては普通 20 番裸線が用ひられる。其量は構造物の種類と使用鐵筋の長さとによるが、總鐵筋量の 0.5% 程度のことが多い。今其價格を鐵筋に對して、1:2.5 の比を有するものとすれば、緊束用鋼線に要する費用はこれを鐵筋量に換算して約 $0.5\times2.5=1.25$ % に當る。

又鐵筋端加工及緊束用の勞力は、緊束方法と配筋の模様とにより、著しい相違のあることは勿論であるが、普通の場合鐵筋一噸につき鐵筋工4人程度を要する。今鐵筋工1人の勞金を2.5圓として、其全勞力費を鐵筋量に換算すれば約8%に當る。

以上の如く、重ね合せによる鐵筋の繼手のために要する費用は、鐵筋の重製、緊束鋼線、緊束勞力を合算して其鐵筋の材料費の少くも24%及短い鐵筋を使用した場合には38%にも達する。勿論これは各鐵筋が繼手を有するものとしての計算で、實際では繼手をもたない短いものも使用されるから、この割合は相當減少する筈であるが、決して少い量と云ふことは出來ない。

上記の點に鑑みて、この費用節約の目的のための一方法として着目されてをるのが鎔接による繼手である。

鎔接法中丸鋼の接合法として應用せらるべきものに、電氣抵抗鎔接法、金屬電弧鎔接法及瓦斯鎔接法がある。第一の方法は電流による抵抗電熱を應用した衝頭接合であつて、これによれば鐵筋は電熱によるそれ自身の先端の加熱熔融によつて互に鎔着し、第二、第三の方法に於けるが如く、電極棒其他の鎔接材料を必要としない。從て其工費最も低廉に、且鎔接部の材質變化等の憂ひが極めて少い。

この點に於てはこの方法が他の二方法に優つて居る。今日までに實地に用ひられた鐵筋鎔接法が主にこの方法によつたものであることは、こゝに原因するものと認められる。實例の主なものとしては阪急電鐵市街線の一部、横濱毛糸檢査所建築等を擧げることが出來る。併しこの方法によつた接合の强度に就ては、後章に述べるが如くまだ多少の研究の餘地がある。

又更にこの方法の有する不便は現今これに用ふる鎔接機が、電弧鎔接機又は瓦斯鎔接機の如く移動が自由でないことである。これがために其應用は組立前の鐵筋の鎔接に限られ、一度組立てられた鐵筋工の任意の接合點の鎔接を行ふことは難しい、從てこの方法のみによつて鐵筋繼手問題を解決し得るものは、構造物が左程大きくなく、鐵筋を組立前に全部鎔接しても組立に不便を感じない程度のものに限られることゝなる。

以上の如く構造物が比較的小さく、且配筋が簡單で鐵筋の接合は凡て組立前に行ひ得る場合はともかく、構造物が相當に大きく、鐵筋の組立がコンクリート打ちに伴つて進行するがために、鐵筋の組立後の接合が必要な場合は、抵抗鎔接法だけでは難しいことゝなる。即ち用具の簡單な現場作業の出來得る電弧鎔接又は瓦斯鎔接の併用を必要とすることゝなる。

組立後の鐵筋の鎔接法としては、金屬電弧鎔接又は瓦斯鎔接との兩者を擧げることが出來る。兩者の强度上の優劣に關しては、今日多少の異論はある樣であるが、少くも共價格の點に於て、又被鎔接材と鎔接鋼との材質の均一性を有せしめ得る點に於て、又鎔接作業を均等に行ひ易い點等に於て、電弧鎔接が遙かに優つてゐる。殊に複雜なる鐵筋工の組立に當つては、瓦斯鎔接が酸素槽、アセチレン槽、二本の瓦斯管等の移動に甚しい不便を感ずるに對し、電弧鎔接は地上に備へた電源から導かれた二本の電纜のみによつて、自由に作業をなし得る利益を有してゐる。

實驗は主として上記の金屬電弧鎔接及抵抗鎔接による鐵筋接合について行つたもので、本報告では先づ電弧鎔接法を用ひた各種の接合の實驗結果を述べ、つゞいて抵抗鎔接による接合について記述し、終りに右鎔接法の比較對照を行つた。

先づ電弧鎔接による接合につき述べると、實驗に供した接合方法は其應用の目的から考へて次の條件を滿足するが如きものとなした。

1. 交流又は直流金屬電弧鎔接にて施工し得るものたること。
2. 鐵筋組立後、一側の型枠の建込みの行はれたる後も鎔接作業を行ひ得るものなること。
3. 水平鐵筋、垂直鐵筋又は傾斜鐵筋孰れにも適用し得るものなること。
4. 鎔接のために行ふ鐵筋端の加工は、現場にてなし得る程度の簡單なるものに限り、特別なる加工を必要とせざるものたること。
5. 鎔接部に添接物をなす場合は、出來得る限り簡單なるものたること。
6. 出來得る限り電極棒の使用量の少なきものたること。

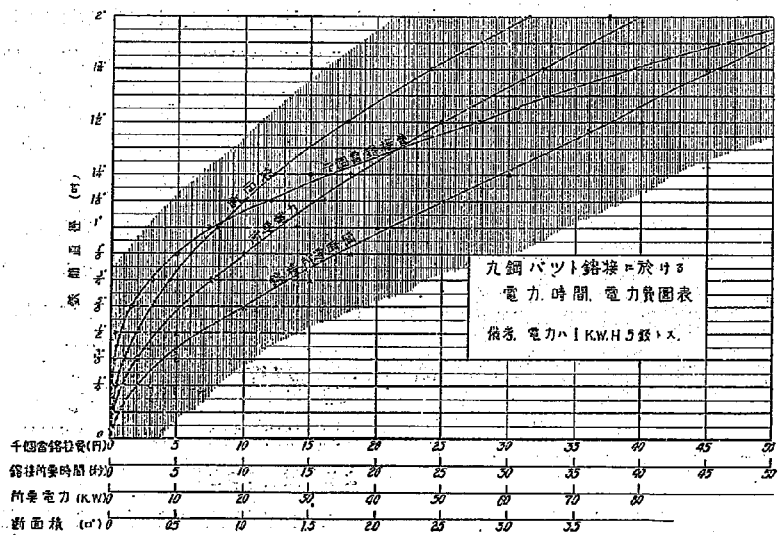
電弧鎔接法によれば其工法にもよるが、從來の單に重襲するのみの方法に比して鐵筋量の節約の著しきことは勿論であるが、作業費節約の程度に至つては相當の研究をまたないと明かな斷案を下すことが出來ない。電弧鎔接による鐵筋繼手の作業費として計上せらるべきものには 1. 電力費、2. 鐵筋端加工費、3. 電極棒、4. 勞力費の4つがある。この中前2者は後の2者に比して極めて僅かなものと云へる。

3の電極棒の費用は其工法によつて電極棒の使用量を異にするが故に、一律にこれを論じ難い。現今市場にある軟鋼鎔接用の電極棒の價格は、一噸 500~600 圓程度で、軟鋼の價格の約4~5倍に當つて居る。從て電極棒の消費の多少は鎔接工法の巧拙を定める大なる要素であると云はねばならぬ。

鎔接作業の勞力費は、本邦現今の狀態の如く鎔接が充分なる發達の域に達せず、優良な

鎔接手を求むることの困難な時代に於ては、著しく高價であることを免れない。今後鎔接法の普及と共に、順次低下すべき性質のものである。從て今日の勞力費をもつて各種の比較の基礎となすことは妥當でない。少なく共今日鉸鎖手を求め得る程度に鎔接手を求め得る時期を考へるのが至當であらう。現今に於ける作業費はかなりの差異があつて一率に云ひ難いが、構鋼の電弧鎔接をなす場合、電極棒の材料費、電力費、足場費等を含んで電極棒1立方糎當り0.035圓乃至0.05圓である。これを同等の强度の鉸鎖の費用に比べると安價であることがわかる。卽ち徑19粍の鎖の値段が鎖の材料費を含んで0.20圓前後とするとき、これと同等の程度を有する10粍の三角鎔接長4.3糎の作業費は、フィレツト(Fillet)の膨みによる材料消費の增加を30%と見ても、0.12圓乃至0.14圓ですむことになる。丸鋼の接合の場合は鉸鎖との比較ほどに簡單でない。今もし徑16粍の丸鋼で重要のために2.2尺の丸鋼がすたるとすれば、この價格は丸鋼が噸125圓程度のとき0.135錢となり、緊束鐵線を約6匁使用するものとして價格約0.015圓、鐵筋端加工、緊束用の勞力として一箇所0.02圓を計上すれば、總計0.17圓の費用が從來の工法で必要なことゝなる。今これを電弧鎔接で行ふとして、§46に述べるE種b程度の電極棒が必要とするならば、工費は約0.17圓～0.24圓となり、何等の利益とならないことになる。併し§46に示した電極棒の消費量は可成りの餘猶のあるものであることが、幾分鎔接の工費を高價に計上せしめて居

A圖　抵抗鎔接に於ける電力圖表



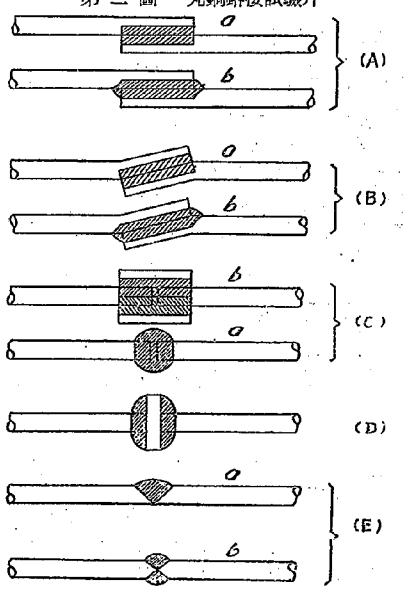
り、且鎔接作業費が現今の儘であるとしての比較であつて、將來これが低下して行つた場合、鎔接工法によるものが餘程安價となるものと考へられる。將來の作業費の低下の程度はこれを適確に推定することは困難であるが、一日の工程から推斷するとき、少くも30%程度の低下はあるべきものと信ずる。

以上の比較は其單價に於て、其數量に於て獨斷的の假定をした點の多いことを認めるものであつて、これが徹底的の比較研究には、更に多數の資料の蒐集を必要とするものである。

次に抵抗鎔接による接合につきて考ふるに、同法が衝頭接合法なる關係上、電弧鎔接に於けるが如く、接合法に各種の變化を求めることが難しい。實驗に供したものも單に2種の直徑のものにつき衝頭鎔接をなしたるのみである。

又これが作業費につきて見るに、既述の如き理由によつて電弧鎔接によるものよりも數等安價でなくてはならぬ。從て從來の單なる重襲接合に比しても著しく低廉である。今これが作業に當つて必要な費用を考ふるに、機械の消却、修理費及勞力費のほかには殆んど電力費を要するのみである。この電力消費量は鐵筋の直徑の增加に伴つて著しく增大する。從て電力費は鐵筋の徑によつて著しい相違がある。これが價格につきては充分なる資料を揭げ得ないがN電氣鎔接會社の發表して居るものによるとA圖の樣な關係となる。今この電力費のほかに作業費として其勞力費及鎔接に當つての鐵筋端の材料消費の價格を考へに入れても、尙電弧鎔接の場合の作業費の數分の一程度にしか達しないものと考へられる。

第二圖　丸鋼鎔接試驗片



2. 實驗に供したる接合法　實驗に用ひた鎔接機手は、電弧鎔接によるものでは前節に述べたる6條件を滿足するものとして考案した第二圖に示す5種類、抵抗鎔接によるものでは徑$\frac{5''}{8}$及$\frac{3''}{8}$の丸鋼の衝頭鎔接の2種とである。今電弧鎔接による5種類につき其概略を述べると、

A種　丸鋼を單に重ね合せ重襲部を鎔

接したものである，實驗は重襲部が丸鋼直徑の1倍乃至5倍のものにつきて行ひ，各々につきて丸鋼端に三角型のフィレツト鎔接 (Fillet Weld) を施したものと然らざるものとの比較を行つた。

B 種　A種の重襲部を屈曲せしめて偏心による彎曲を免れんとしたものである。重襲部の長さ及 Fillet の有無については A 種と同様である。この種のものは鐵筋組立ての後重襲部が互に平行になる様に鐵筋曲げ拡げの方向に相當の考慮を必要とする。

C 種　衝頭接合であつて、其一は添金物を有せず鎔接のみによつたもので、他の一つは添金物をつけたものである。實驗に用ひた添金物は現場に於て最も容易に手に入るべき使用丸鋼の切れ端しを使用したものであるが、この添金物を半丸鋼、平鋼、半切鋼管其他この目的のために特に考案された添金物を用ふることにより、一層効果ある接合となし得るものと考へるが、これ等につきては更に實驗を新たにしたいと考へる。

D 種　兩丸鋼間に薄圓鈑を挿入し、丸鋼端と圓鈑との鎔接によつて接合をなしたもので、鎔接部の働きが極めて明瞭となるわけである，接合のために特に圓鈑を用意しなければならぬ缺點を有して居る。

E 種　丸鋼を適當の斜傾に切斷して、衝頭部に生ずるV型又はX型部を鎔接鋼で填充したものである。實驗に用ひた鐵筋切斷の傾斜角度は 45 度である。現今市場で用ひられつつある鐵筋切り機を用ひては傾斜切斷をなすことは困難であるかも知れぬが，多少の工夫によつて容易にこれを行ひ得るものと考へる。勿論切斷に要する力の增加は免れない。この種のものに於てもB種と同様に，組立てた鐵筋の接合點に於ける切れ目の方向が正しい位置に來るためには相當の注意を必要とする。

3. 鐵筋の強度　鎔接試片の製作に用ひた鐵筋は試片の種類により多少異つて居る、鐵筋の直徑は主として $\frac{5}{8}$ 吋又は 16 粍の二種で第三表の抗張試驗成績表に示すが如く其強度、伸張度等に於て可成りの差異が認められる。抵抗鎔接の試片には徑 $\frac{3}{8}$ 吋のものをも使用した。

第三表　試片製作用鐵筋抗張試驗成績

鎔接試片の種類	鐵筋試驗記號	直徑 (吋) (粍)	斷面積 (粍²)	降伏點强度 荷重 (瓲)	降伏點强度 應力强度 (瓲/粍²)	破壞强度 荷重 (瓲)	破壞强度 應力强度 (瓲/粍²)	伸長(長15糎に付) 伸 (糎)	伸張度 (%)
A	O	$\frac{5}{8}$	1.98	5,400	2,730	7,950	4,000	5.3	35.4
	O_1	$\frac{5}{8}$	1.98	6,000	3,030	8,175	4,100	4.6	30.6
B及C	O_2	16	2.01	6,900	3,450	9,200	4,600	3.9	26.0
	O_3	16	2.01	6,700	3,350	9,225	4,613	4.7	31.3

D	O_4	$\frac{5}{8}$	1.98	5,850	2,950	8,800	4,445	*	
E	O_5	16	2.01	5,800	2,890	8,750	4,350	*	
	O_6	16	2.01	6,200	3,080	8,850	4,400		
	O_7	16	2.01	7,000	3,480	10,000	4,970		
	O_8	16	2.01	6,300	3,130	9,250	4,600		
抵抗鎔接	O_9	$\frac{5}{8}$	1.98	5,300	2,680	7,700	3,890	5.3	35.3
	O_{10}	$\frac{5}{8}$	1.98	5,300	2,680	7,700	3,890	4.6	30.7
	O_{11}	$\frac{3}{8}$	0.712	1,920	2,700	2,700	3,790	3.9	26.0
	O_{12}	$\frac{3}{8}$	0.712	1,900	2,670	2,750	3,860	*	

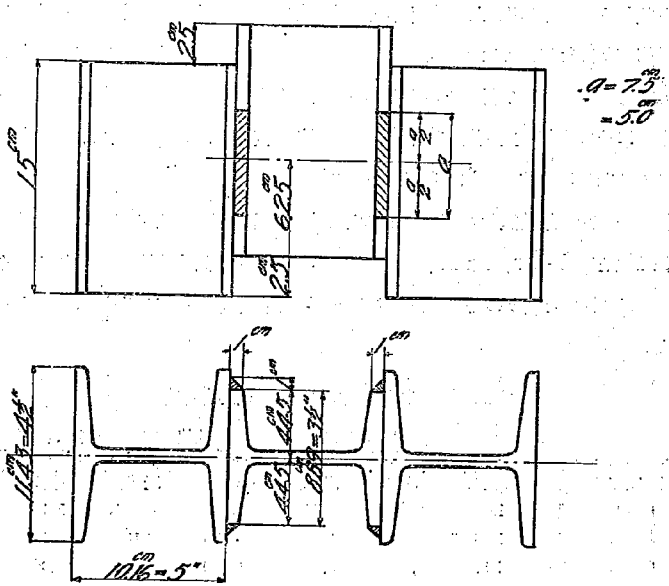
* 印は切斷が Gauge length 外に起れるものを示す。

4. 試片の製作 電弧鎔接試片は其製作を內務省千住機械工場へ依頼し同工場の鎔接手菅間清藏氏の手になつたものと、工學博士孕石元照氏の好意により同氏經營の極工社に於て令息、外數氏の手になつたものとがある。抵抗鎔接試片は大阪電氣株式會社の好意により同社に於て製作したものである。

內務省千住機械工場に於ける設備は、次のものである。

交流電弧鎔接機（日本電氣鎔接株式會社製）

第三圖 長手鎔接試片



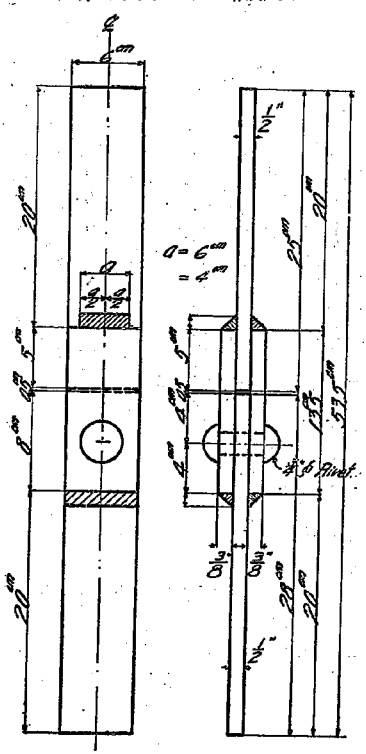
Type A.P.A.	Primary	Secondary
	Volt 220~110	K.W. 10
	Cycle 50~60	Amp. 250

同工場にて使用の電極棒は角丸商店製、直徑4粍の被覆電極棒で其品質に關してはこれを詳かにすることが出來ぬ。

極工社に於ける設備も同じく日本電氣鎔接株式會社製の交流電弧鎔接機で其容量は稍小さい、次表は其機能を示したものである。

Type A.L.A.	Primary	Secondary
	Volt 220/110	Cycle 50/60
	Max. Amp. 160	Amp. 200
	Max. K.V.A. 18	K.W. 8.5

第四圖　小口鎔接試片



使用電極棒は同社製造のG印被覆電極棒直徑$\frac{1''}{8}$及$\frac{3''}{16}$のものである。心鐵は鍛鐵であるとのことであるが、其材質の詳細は被覆材料の性質同樣明瞭でない。

大阪電氣株式會社で試片製作に用ひた電氣バット鎔接機は次の機能を有するものである。

機械容量　36 K.W.　　型式　BL型

電壓　220 V.（交流）　周波數　60

5. 電弧鎔接の强度　上記の鎔接設備と電極棒とを用ひて電弧鎔接した丸鋼の接合部の働きを考察するに當つては、鎔接の强度を明かにする必要がある。

これがために第三圖、第四圖に示した試片を用ひ、千住機械工場並に極工社施行の鎔接について其强度試驗を行つた。第三圖のものは長手鎔接(Longitudinal Weld)、第四圖のものは小口鎔接(Transverse Weld)の試片である。孰れに於ても其鎔接長を二種となし火口(Crater)の影響を求めた。

長手鎔接のものは本所備付の Amsler 型 200 噸抗壓試驗機により、小口鎔接のものは東京帝國大學工學部土木教室の Amsler 製 30 噸試驗機及東京府商工奬勵館 Amsler 型 50 噸試驗機によつて破壞試驗を行つた。

鎔接部の狀況は寫眞第一及第二によつて其大體を知ることが出來る。鎔接長は一般に計畫寸法より大きく Fillet の形狀も計畫した三角型でなく膨み大きく、Throat の寸法が鋼鈑の厚さに近いものとなつて居る。第四表に作業に要した電極棒の量と鎔接長を示した。

第四表　電極棒消費量と鎔接長

鎔接種類	試片番號	鎔接長(粍) 1	2	3	4	合計	電極棒使用量 長(粍)	體積(粍³)	Fillet平均斷面積(粍²)	Throat平均長(粍)	摘要
長手鎔接	A	72	76	78	78	304	1815	22,945	75.0	9.0	千住機械工場製作
	B	73	73	75	70	291	〃	〃	79.0	10.1	〃
	C	55	53	50	54	212	1472	18,609	85.0	10.8	〃
	D	86	90	78	80	334	64″	23,954	86.7	11.0	極工社製作
	E	75	74	78	80	307	54″	24,430	79.6	10.2	〃
	F	58	60	60	58	236	42″	19,002	80.5	10.3	〃
小口鎔接	a	50	50			100	18″	8,143	81.4	10.8	〃
	b	50	48			98	18″	〃	83.1	10.9	〃
	c	42	40			82	4340	5,486	66.9	9.1	千住機械工場製作
	d	40	40			80	4540	5,739	71.8	9.7	〃
	e	69	70			139	30″	13,573	97.6	12.5	極工社製作
	f	67	70			137	33″	14,930	108.7	13.8	〃
	g	66	62			128	645	8,154	63.7	8.8	千住機械工場製作
	h	64	63			127	700	8,849	70.0	9.5	〃

鎔接に用ひた電極棒は極工社のもの直徑 $\frac{3}{16}$ 吋、千住機械工場のもの徑 4 粍である。以上の表に於て明かなるが如く極工社のものゝ方が概して鎔接厚が大である。

これ等の試片の破壞試驗成績は第五表の通りである。

第五表　破壞試驗成績

鎔接種類	試片番號	鎔接長(粍)	切斷部斷面積(粍²)	降伏點强度(瓲) 荷重	長一粍當	(粍²)當	破壞强度(瓲) 荷重	長一粍當	(粍²)當	摘要
長手鎔接	A	30.4	30.4	53,700	1,770	1,770	63,400	2,090	2,090	鎔接剪斷 Flange 挫折す
	B	29.1	29.1	53,700	1,850	1,850	57,200	1,970	1,970	鎔接部剪斷
	C	21.2	21.2	—	—	—	40,200	1,900	1,900	〃
	D*	33.4	33.4	72,500	2,170	2,170	72,500	2,170	2,170	鎔接部剪斷 Flange 挫折
	E*	30.7	30.7	69,300	2,260	2,260	71,000	2,310	2,310	〃　〃
	F*	23.6	23.6	—	—	—	47,600	2,020	2,020	鎔接部剪斷

	a*	10.0	10.8	19,500	1,950	1,810	28,700	2,870	2,660	鎔接部切斷
	b*	9.8	10.7	19,700	2,010	1,840	26,400	2,690	2,470	〃
	c	8.2	7.5	19,700	2,400	2,630	21,000	2,560	2,800	〃
小口	d	8.0	7.8	19,800	2,480	2,540	23,000	2,880	2,950	〃
鎔接	e*	13.9	7.4°	19,800	—	2,680	32,000	—	4,330	平鋼切斷
	f*	13.7	7.4°	19,700	—	2,660	32,400	—	4,380	〃
	g	12.8	7.4°	20,300	—	2,750	32,400	—	4,380	〃
	h	12.7	12.1	20,200	1,590	1,670	28,400	2,240	2,350	鎔接部切斷

* 印極工社製作、其他千住機械工場製作

° 印は切斷せる平鋼の斷面面積なり

長手鎔接のものゝ破壞狀況を見ると寫眞第三に示した試片 C及 Dに於ては其切斷が局部的に Throat に沿ふて起つて居るが一般には鎔着鋼と母鋼との接面で切斷して居る。從て第五表に揭げた切斷部の面積の算出に用ひた切斷部の幅はすべて1糎を採つた。

又上表では降伏點强度、破壞强度孰れに就いても、火口の影響を考慮しないで平均の强度が算出してある。實際問題としては鎔接長には火口の部分を加算しないのが普通であるから、火口の影響について考へて見る必要がある。今 l 全鎔接長、σ 單位の長に對する鎔接强度、n 火口の數、c 一火口の强度に及ぼす影響、とするならば鎔接の强度 S は次式で示される。

$$S=\sigma l-nc$$

今試片 A, B, D, E と試片 C, F の二組について S 及 l の平均値を用ひ、n を 4 として次の二式が得られる。

$$30.9\,\sigma-4\,c=66\,025$$

$$22.4\,\sigma-4\,c=43\,900$$

依て　$\sigma=2\,600$ kg/cm　　$c=3\,600$ kg

卽ち火口の影響は鎔接長の約 1.4 糎に相當することゝなる。長手鎔接長一糎當りの抗剪强度は第五表に示せる平均値の約 30% 增しとなり、軟鋼の抗張强度の約 65% 程度である。從來の實驗の結果が 60～75% であるから本試片の作業が中位のものであることがわかる。一般の例にならつて安全率 4 を採るならば許容抗剪强度として 650 kg/cm² を許し得ることゝなる。

小口鎔接のものゝ破壞狀況は寫眞第四及第五によつて大體を知ることが出來る。鎔接部で切斷したのを見ると全部 Throat に沿ふて破壞が起つて居る。故に第五表に揭げた斷面積は第四表に示した Throat の幅から算出した傾斜斷面積で、其一糎平方當りの强度もこ

の Throat の面に働く斜應力强度であつて、この面への直應力はこれに Cos 45° を乘じたものである。

小口鎔接のものゝ示した降伏點は鎔接の長さの如何を問はず略々一定して居る。この値は應力變形圖がないから明瞭でないが鎔接部の降伏點を示したものでなく、平鋼の降伏點を與へるものゝ様である。從て第五表に示した試片 a, b, c, d, h の平方粍當りの降伏點强度は多少疑問の數値である。

破壞强度について長手鎔接の場合の如く火口の影響を考へると、

$$9.9\sigma - 2c = 27\,550$$

$$8.1\sigma - 2c = 22\,000$$

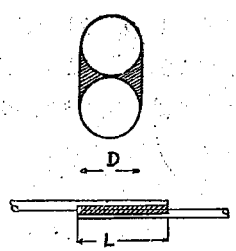
依て　$\sigma = 2\,990$　　$c = 1.495$

上式について S 及 I の平均値は試片 a, b と c, d との二組について求めた。火口の影響は長手鎔接の場合よりも少なく出て居るが、實驗の性質から考へて、さほど正確な一致を期待することは出來ぬ。大體鎔接長 0.5～1.5 粍程度の影響のあるものと認められる。實驗について火口の直徑を測定した結果は大きなもので 0.9 粍位である。σ の値は鎔接の Throat の幅を第四表の示す様に平均約 1.0 粍と見做せば小口のものゝ約 15% 增し、軟鋼の抗張强度の 75% 程度である。安全率に 4 をとるならば許容應張强度 750 kg/cm² とすることが出來る。

第二章　A種鎔接試驗

6. 試片の鎔接寸法　本試片は鐵筋端を單に重襲し、重襲部を鎔接したもので、もし丸鋼の鎔接が第五圖に示す様に完全に密着するものと假定し、偏心による彎曲の影響をうけないものと假定すれば鎔接部の强度 P は、

第五圖



$$P = \beta \sigma D L$$

β, 丸鋼材料の抗張强度 σ と鎔接部の抗剪强度 τ との比

從て丸鋼の强度 $\sigma\frac{\pi D^2}{4}$ と同一の强度を有するために要する鎔接長 L は、

$$\frac{\pi D^2}{4}\sigma = \beta \sigma D L$$

$$L = \frac{\pi}{4\beta} D = \frac{1}{1.28\beta} D$$

β の値は歐米の實驗並に § 5 に示した結果をとり大體 $\sigma = 4\,000$ 瓩/粍² に對し、

τ=3 000～2 400 瓲/糎^{2}とすれば、β=0.6～0.75

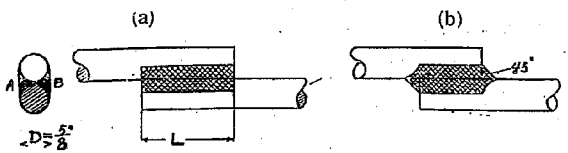
從て　L=1.3 D～1.02 D

併し實際に於ては偏心のための彎曲の影響が大なること、又鎔接鋼で完全に重襲部を充たすことが出來ない等の點を鑑みて、試片の重襲長 L は D, 2D, 3D, 5D の四種とした。第六表は各試片の重襲長を示すものである。試片 No. 3 は No. 2 と同樣に重襲長 2D であるが鎔接端に第六圖 (b) に示すが如き Fillet Weld を附した偏心による彎曲に抗せしめんとしたものである。第六圖 (a) は Fillet Weld なきものゝ形狀を示す。

第六表　A種鎔接試片重襲長

試片番號	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
重襲長 L	D	2D	2D	3D	5D
(吋)	($\frac{5}{8}$)	($1\frac{1}{4}$)	($1\frac{1}{4}$)	($1\frac{7}{8}$)	($3\frac{1}{8}$)
(糎)	(15.9)	(31.8)	(31.8)	(47.6)	(79.4)

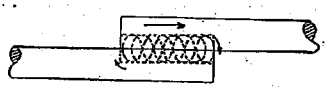
第六圖　A種鎔接試片



7. 鎔接作業　試片は內務省千住鐵械工場の製作によるものである。作業に當つては特に次の諸點に注意を拂つた。

1. 各號とも同一鎔接手をして作業せしめたこと、
2. 各號とも鎔接せらるゝ二片を水平に並べ、一側の鎔接を終つて反轉し、他側の鎔接を行つたこと、
3. 電極棒の動きは第七圖の如くならしめ、各號とも一層にて鎔接を完了すること、
4. 第六圖の A, B 部の面は出來るだけ平らに仕上げること、

第七圖



各號の作業に要した時間、電極棒消費量、作業中の電壓等第七表の如くである。

第七表　作業時間と電極棒消費量

試片番號	重襲長 吋(糎)	作業時間 (分秒)	電極棒消費長 (糎)	作業中の電壓
1	$\frac{5}{8}$ (16)	0 54	81	125
2	$1\frac{1}{4}$ (32)	1 12	166	〃

3	1¼ (32)	1 21	245	125
4	1⅞ (48)	1 20	259	〃
5	3⅛ (80)	2 10	394	〃

8. 試片鎔接部の外見 各片とも其表面に薄き Slag の被覆を有して居る。又鎔接の末端には火口の凹部の著しきものがあつて、其大なるものは徑9粍に達し、この附近は過熱のために材質甚しく粗鬆となつて居ることが認められる。

從て No. 1～No. 3 の如く鎔接長の短いものでは、全長の $\frac{1}{2}$～$\frac{1}{3}$ が火口に占められて居る有樣で接合部の一樣なる仕上げは全く困難である。火口部の强度の甚しく低い點から鑑みてこの部分を鎔接重襲長から除外するのが至當と考へる。火口の長さを平均約8粍とすれば、第六表に示した各號重襲長は約 $\frac{D}{2}$ 減ずることゝなる。鎔接長の 2″ 以上のもの卽ち No. 4, No. 5 に於て初めて接合部は一樣なる外觀を示して居る。寫眞第六は A 種試驗片の外觀を示したものである。

端に Fillet Weld を有せざる No. 1, No. 2, No. 4, No. 5 について鐵筋端を見るに兩丸鋼の接觸點附近に於ては鎔接が完全には行はれてゐないことが認められる。

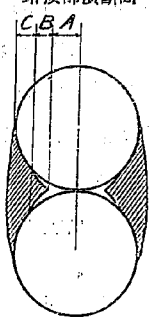
9. 破壞試驗成績 各試片とも本所備付 Olsen 型 100 噸試驗機により抗張破壞試驗を行つた。試驗成績第八表の通りである。

第 八 表　A種鎔接試片破壞試驗成績

試片番號	降伏點荷重 (瓲)	破壞荷重 (瓲)	重襲長	摘　要
1		3,020	D	5 瓲目盛得使用　鎔接部切斷
2	2,800	4,875	2D	50 瓲目盛得使用　鎔接部切斷
3	3,000	7,150	2D	〃　Filletを有す、鎔接部切斷
4	2,950	6,700	3D	〃　鎔接部切斷
5	3,000	7,925	5D	〃　鎔接部外にて丸鋼切斷す

10. 破壞狀況 寫眞第七及第八は各試片の破壞狀況を示す。これ等について其破面を見ると鎔接部を第八圖に示す樣な3區分に分つことが出來る、卽ち

第八圖
鎔接部橫斷面



A部　全く鎔鋼の廻らざる部分

B部　鎔鋼廻れるも丸鋼との間に Slag を挾みて附着せざる部分

C部　完全に鎔接せられたる部分

試片から測定した A, B, C 部の大略の幅は第九表の通りである。鎔接部に多少の膨みがあるから、これ等の和は丸鋼の半徑以上となつて居るものもある。

鎔接の初めと終りの部分は電極棒の燒過ぎの結果、其破壞斷面は光澤乏しく粗鬆である。其他の中間部は絹光澤を有し、多少の小氣泡の散在を認めらる。

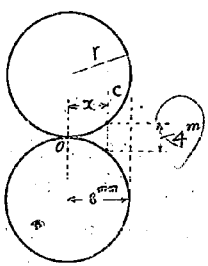
各片とも偏心のため頭部に彎曲を起して居る。No. 2, No. 3, No. 5 は試驗機の支持點を鉸と考へて偏心をなくした時の計算から求められる彎曲角度と略々相等しい角度の曲りを起して居るがNo. 1は計算の角度に達せざる以前に切斷しNo. 4は計算値より遙かに大きな角度を示して居る。試片の把握部の他のものに比して長かつたことが、試片取付けの時に起つた中心線の狂ひによる偏心の影響を大ならしめた結果と認めらる。第九表は各材片の頭部の彎曲角を示す。

第九表　鎔接部の橫斷面の區分と端彎曲角度

試片番號	橫斷面の寸法（粍）			端彎曲角度	
	A部	B部	C部	實測角	計算による角度
1	2.5	2	4.5	9° 20′	45° 0′
2	2.5	2	4.5	25° 20′	26° 35′
3	2.5	1.75	4.75	25° 45′	26° 35′
4	2.5	1.75	5	37° 15′	18° 25′
5	—	—	—	12° 55′	11° 20′

11. 有効鎔接幅の計算　鎔接部に不着部分のある原因は第九圖に示す如く電極棒が鎔接材間の間隙少なきために充分に深部まで進み得ず、比較的淺部との間に電弧を發生するによるものである。

第九圖
丸鋼と電極棒との接觸



今電極棒の徑を4粍とし、電極棒端が $\frac{5}{8}$ 吋の丸鋼と先づ接觸する位置を求め、この點以內には鎔接の浸入 (Penetration) 不能のものと認むるとき、大體の不着長を算出することが出來る。第九圖に於て、

丸鋼の圓周の方程式　$x^2-2ry+y^2=0$　$r=8$粍

電極棒の緣邊の方程式　$y=2$

故に不着幅　$x=5.3$

從て　有効鎔接幅　$C=8-5.3=2.7$粍

鎔接はこのCの値の示す位置より電弧の幅（或は鎔融の幅）の半ばだけ內部へ浸入するものと考へて誤りあるまい。實測の結果 $x'=A+B$ が4.5~4.25となつて居るのは適當な數値であると認めらる。又有効鎔着幅Cは鎔接部に1粍前後の膨みが認められるから實測値 $C'=4.5$~5粍の値は妥當であると考へらる。この結果から考へて本試片の有効鎔着幅Cは

理論上から計算したCの値に約2粍を加へた程度のものである。勿論この有効鎔着幅は鎔接に當つての膨みを大きくすることによつて相當に變化することの出來る量であるが、この量を本實驗に用ひた試片程度にするものとすれば、丸鋼の徑と電極棒の徑とによつて第十表に示す樣な値をもつて來る。大きな徑の電極棒を用ふることの不利益なことが明かにわかる。

第十表　丸鋼重襲鎔接に於ける有効鎔接幅

電極棒直徑 ＼ 有効鎔着幅 ／ 丸鋼直徑	3粍 (⅛")			4粍 (5/32")			5粍 (3/16")		
	x粍	c粍	有効鎔接幅	x粍	c粍	有効鎔接幅	x粍	c粍	有効鎔接幅
吋　粍									
⅜ (9.5)	3.3	1.5	3.5	3.9	0.9	2.9	4.2	0.6	2.6
½ (12.7)	4.1	2.3	4.3	4.6	1.8	3.8	5.1	1.3	3.3
⅝ (15.9)	4.6	3.3	5.3	5.3	2.6	4.6	5.8	2.1	4.1
1 (25.4)	6.0	6.7	8.7	6.9	5.8	7.8	7.6	5.1	7.1
1¼ (31.8)	6.7	9.2	11.2	7.7	8.2	10.2	8.6	7.3	9.3

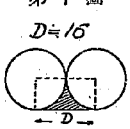
12. 電極棒の使用量と有効鎔接幅　有効鎔接幅は一面電極棒の使用量からも計算することが出來る。今電極棒の斷面積を $\pi r^2=3.1416\times 2^2=12.56$ 粍² とすれば、各試片の製作に用ひた電極棒の使用量は第十一表の通りである。

第十一表　電極棒消費量

試片番號	鎔接長 (粍)	使用電極棒長 (粍)	電極棒體積 (粍³)	鎔接部平均斷面積 (粍²)
1	15.9	81	1020.6	64.1
2	31.8	166	2091.6	65.7
3	31.8	245	—	—
4	47.6	259	3263.4	68.5
5	79.4	394	4964.4	62.5
平均				65.2

故に鎔接部の片側の斷面積は 32.6 粍² となる。然るに鎔着充塡部の全面積は第十圖により $D\times\frac{D}{2}-\frac{1}{2}\frac{\pi D^2}{4}=27.5$ 粍² となるが故に鎔着が第十圖の如くなりとすれば約18%の損失あることゝなるも、實際に於ては鎔接の狀況が全くこれと異り第八圖に示す如くなることを知る。今計算の便宜上鎔接の寸法は前節に記述せるところによつて第十一圖の如くなりと假定し、B部の曲線を拋物線形とすれば、

第十圖

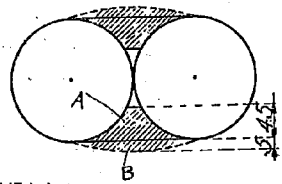


$$\text{A部の斷面積}=25.7\text{ 粍}^2,\quad \text{B部の斷面積}=16\times 0.5\times\frac{3}{4}=6$$

$$\text{全面積}=A+B=31.7\text{ 粍}^2$$

となり使用電極棒より算出せる鎔接斷面積と大差ないことゝなる。卽ち前節に於て推定した有効鎔接幅の大過ないことがわかる。

第十一圖



13. A種重襲鎔接の强度　前項に述べたところによつて、本實驗の試片の有効鎔接幅は先づ5粍と認めて各試片の鎔接强度を算定すると第十二表の結果が得られる。

第十二表　丸鋼A種重襲鎔接强度

試片番號	鎔接幅（粍）	鎔接長（粍）	鎔接斷面積（糎²）	破壞荷重（瓲）	破壞强度（瓲/糎²）	摘　要
1	5×2	15.9	1.59	3,020	1,900	
2	〃	31.8	3.18	4,875	1,530	
3	〃	31.8	3.18	7,150	2,250	Fillet Weld を有す
4	〃	47.6	4.76	6,700	1,410	
5	〃	79.4	7.96	7,925	—	丸鋼切斷

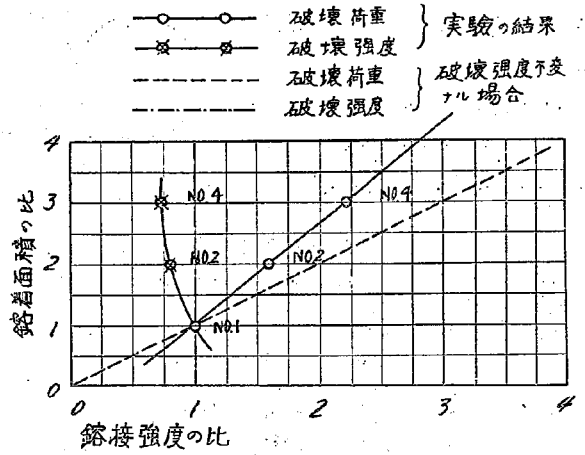
これを§5に於て說きたる長手鎔接の平均應剪强度2,080瓲/糎²に比べると著しく少ない。No. 1 の如く偏心による彎曲の影響をうけざる以前に剪力にて切斷したと考へらるゝもの、及鎔接端に Fillet Weld を有し彎曲に備へたものに於ては稍强度大にして長手鎔接試驗に於ける强度以上の値を示して居るが、其他のものに於ては僅かに1500瓲/糎²程度で其75%にも達しない。

この原因は偏心による彎曲のために龜裂が鎔接の小口から初まつて追々と中に進み、鎔接全部が同時に外力に抗し得ないことにあるものと考へらる。

今鎔接部の應力の模樣を想像して見ると、先づ偏心による彎曲と剪力とのために、鎔接の兩端が先づ最大應力をうけて龜裂を生じ、端部の破壞と共に最大應力をうくる部分は漸次深部に進み、同時に丸鋼の彎曲が起る。彎曲が起ると破壞による鎔接長の減少と相俟つて偏心の度が減じ、彎曲應力は追々減少してゆく、而して龜裂がある程度まですゝむと、當初彎曲應力が主であつた應力は、追々剪應力が主となり、最後の破壞の起る頃には殆んど剪力のみが作用するに至るものと認められる。

從て前表の如く破壞荷重を全鎔接斷面で除して求めた破壞强度は鎔接長の大なるものほど小さい値が求められることゝなる。この關係を圖示して見ると第十二圖の通りで縱軸と横軸とに試片 No. 1 のものを1とした場合の鎔接面積と强度とを採つてある。鎔接面積の增加が1:2:3に對し破壞荷重の增加は1:1.6:2.2で破壞强度は1:0.8:0.74に減じてゐる。

第十二圖　鎔着面積と其強度との關係

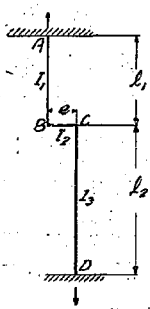


14. 應力變形圖より見たる破壞狀況　附圖第一に丸鋼試片 No. 0_1, 鎔接試片 No. 3 乃至 No. 5 の應力變形圖を示した。No. 0_1 のものは軟鋼に對するものゝ一般形狀を示して居つて特記すべき點をもたない。降伏點は第三表にも揭げた樣に約 6 000 瓩である。

No. 3 乃至 No. 5 の應力變形圖を見るに、大體これを AB, BC, CD の 3 部分に分つことが出來る。No. 1 及 No. 2 も同樣の傾向を示して居るが、No. 1 は AB 部のみにて切斷し、No. 2 は測定器の取付不良なりしため、AB 及 BC 部を記錄したに止まつたから附圖に揭げることを省略したものである。今これ等の各部分について鎔接の働きを考へると次の樣なことが言へる。

AB 部　この部分は圖表中の直線形をなす部分であつて、各號とも約 3 000 瓩の强度を示して居る。第八表に揭げた降伏點荷重がこれに當つて居る。この 3 000 瓩の强度が何を意味するかは明瞭でないが、恐らく鎔接端に於ける彎曲應力による丸鋼の降伏か又は鎔接端の龜裂發生に原因するものと考へらる。この點に關しては § 15 及 § 16 を參照されたい。

第十三圖



BC 部　C 點の荷重は大體 5 000~5 500 瓩で丸鋼試片 No. 0 及 No. 0_1 に於ける降伏點に相當して居る。卽ちこの BC 部では丸軟鋼の彈性變形と鎔接部の局部的の降伏とが混じつて現はれて居るものと考へられる。

CD部　この部分は丸鋼及鎔接部ともに降伏した部分で、No. 5 の如く丸鋼部の切斷せるものにあつてはNo. 0 又はNo. 0_1 等と全く同様の傾向を示してゐる。

15. 重襲接合を有する抗張材の彎曲率　前節の應力變形圖に於けるB部の强度が、各片につき約3000瓩となることの原因を明かにせんがために、先づ第十三圖に示す様な偏心を有する抗張材の各部材端に於ける彎曲率を求めて見た。鎔接試片の抗張試驗に當つては其兩端は試驗機の支持金物で充分に緊握されるから、彎曲率の算出に際しては兩端を固定せるものと假定した。

計算に當つては次の様な記號を使用する。

$M_{AB}, M_{BA}, M_{BC}, M_{CB}, M_{CD}, M_{DC}$	部材AB, BC, CDの端彎曲率
$\theta_A, \theta_B, \theta_C, \theta_D$	格點A, B, C, Dに於ける撓角
R_{AB}, R_{BC}, R_{CD}	部材兩端の撓度を部材長にて除したる商
$l_1, e, l_2;\ I_1, I_2, I_3;$	部材AB, BC, CDの長さ及斷面二次率
E	材料の彈性率

A端、B端共に固定せるものとすれば　$\theta_A=\theta_B=0$

AB, CDともに抗張應力をうけたる後も其方向を變ぜざるものとすれば　$R_{AB}=R_{CD}=0$

從て撓角撓度法の一般公式により

$$M_{AB}=\frac{2EI_1}{l_1}(\theta_B)$$

$$M_{BA}=\frac{2EI_1}{l_1}(2\theta_B)$$

$$M_{BC}=\frac{2EI_2}{e}(2\theta_B+\theta_C-3R_{BC})$$

$$M_{CB}=\frac{2EI_2}{e}(\theta_B+2\theta_C-3R_{BC})$$

$$M_{CD}=\frac{2EI_3}{l_2}(2\theta_C)$$

$$M_{DC}=\frac{2EI_3}{l_2}(\theta_C)$$

上の6式中未知數θ_B, θ_C, R_{BC}を知れば各端彎曲率の算出が出來る。これがために平衡の條件から次の3式を求める。

$$M_{BA}+M_{BC}=0 \quad \cdots\cdots (1)$$

$$M_{CB}+M_{CD}=0 \quad \cdots\cdots (2)$$

$$M_{BC}+M_{CB}+Pe=0 \quad \cdots\cdots (3)$$

(1)式から　$\frac{2EI_1}{l_1}(2\theta_B)+\frac{2EI_2}{e}(2\theta_B+\theta_C-3R_{BC})=0$

今 $\frac{I_1}{l_1}=k_1$, $\frac{I_2}{e}=k_2$, $\frac{I_3}{l_2}=k_3$ とすれば

$$2k_1\theta_B+2k_2\theta_B+k_2\theta_C-3k_2R_{BC}=0$$

$$\therefore\ 2(k_1+k_2)\theta_B+k_2\theta_C-3k_2R_{BC}=0 \quad\cdots\cdots (4)$$

(2) 式から $\frac{2EI_3}{l_2}(2\theta_C)+\frac{2EI_2}{e}(\theta_B-2\theta_C-3R_{BC})=0$

$$2(k_2+k_3)\theta_C+k_2\theta_B-3k_2R_{BC}=0 \quad\cdots\cdots (5)$$

(3) 式から $2Ek_2(3\theta_B+3\theta_C-6R_{BC})+Pe=0$ ..... (6)

(4)—(5) により $\theta_B=\frac{k_2+2k_3}{2k_1+k_2}\theta_C$

上式を (5) 式に代入して $R_{BC}=\theta_C\frac{2(k_1+k_3)(2k_1+k_2)+k_2(k_2+2k_3)}{3(2k_1+k_2)k_2}$

上の θ_B と R_{BC} の値を (6) 式に代入して

$$\left.\begin{aligned}\theta_C&=\frac{Pe(2k_1+k_2)}{4E(k_1k_2+k_2k_3+4k_1k_3)}\\ \text{従て}\quad\theta_B&=\frac{Pe(k_2+2k_3)}{4E(k_1k_2+k_2k_3+4k_1k_3)}\\ R_{BC}&=\frac{Pe[2(k_1+k_3)(2k_1+k_2)+k_2(k_2+2k_3)]}{12k_2E(k_1k_2+k_2k_3+4k_1k_3)}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots (7)$$

(7) の値を端彎曲率の式に代入して

$$M_{CD}=-M_{CB}=\frac{Pek_3(2k_1+k_2)}{(k_1k_2+k_2k_3+4k_1k_3)} \quad\cdots\cdots (8)$$

$$M_{BA}=-M_{BC}=\frac{Pek_1(k_2+2k_3)}{(k_1k_2+k_2k_3+4k_1k_3)} \quad\cdots\cdots (9)$$

今 $I_1=I_3$, $I_1=I_3$, 即ち $k=k_1=k_3$ とすると

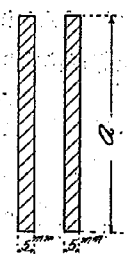
$$M_{CD}=-M_{CB}=M_{BA}=-M_{BC}=\frac{Pek(2k+k)}{k(k_2+k_2+4k)}=\frac{1}{2}Pe \quad\cdots (10)$$

となり偏心部の I_2 には無關係となる。

16. 試片鎔接部の彎曲率の算定 前節の結果を試片の各號に適用して其鎔接部に起る彎曲率を算出して見ると次の如くである。

實測の結果から大體平均値として $l_1=117.3$ 粍、$l_2=141.0$ 粍、16 粍の丸鋼に對して $I_1=I_3=3216.8$ 粍^4 となる。I_2 の値は鎔接有効斷面が第十四圖の如くなりとし有効幅 5 粍、有効長 a は各號について

第十四圖



試片番號	No. 1	No. 2	No. 4	No. 5
鎔接有効長 a 粍	16	32	48	80

の値を有するものとすると第十三表の第二列の値をとる。これ等の値を用ひて (8), (9) 式から求めた鎔接部彎曲率は第十三表の如くである。

第十三表　試片鎔接部彎曲率

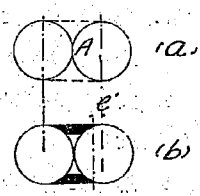
試片番號	重襲長	I_2 (粍)^4	k_1 (粍)^3	k_2 (粍)^3	k_3 (粍)^3	$M_{BA}=-M_{BC}$	$M_{CD}=-M_{CB}$
1	D	3,413	27.4	213.3	22.8	Pe×0.5371	Pe×0.4629
2	2D	27,307	27.4	1,707	22.8	Pe×0.5445	Pe×0.4555
4	3D	92,166	27.4	5,760	22.8	Pe×0.5454	Pe×0.4546
5	5D	426,670	27.4	26,670	22.8	Pe×0.5457	Pe×0.4543

上記の結果を見ると M_{BA} ($-M_{BC}$) も M_{CD} ($-M_{CB}$) も I_2 の値に影響されることの極めて少ないことが解る。然も M_{BC}, M_{CB} に對抗する斷面が鎔接長の增加と共に增すに反し、M_{BA}, M_{CD} に對抗するものは常に丸鋼の斷面で一定である。このことが鎔接試片の降伏點强度が鎔接長に無關係に略々一定して居ることを說明するもので、應力變形圖に於けるB點は、鎔接端に於ける丸鋼の降伏を示すものであることが解る。鎔接長の短いものでは M_{BC} に對抗すべき鎔接斷面が小さいから其端に起る龜裂は丸鋼の降伏と相前後して起るものと考へられるが、鎔接長の大なるものは其斷面の抗抵力率が大である爲に龜裂の生ずることなく、主として丸鋼の降伏により順次偏心が減じ、彎曲率が小さくなり鎔接部は一體となつて働き、丸鋼の接合部が充分なる强度を示し、切斷が丸鋼部に起るに至るものと認められる。

次に以上の計算から求められる彎曲率と、實驗に當つて求められた彎曲率との比較をして見る。第十三表に示した結果から鎔接部の I_2 の影響の少ないこと、又實驗に於ける I_1 と I_2 との差の程度では、M_{BA} 及 M_{CD} の差の少ないことも解つたから比較の便宜上 $I_1=I_2$ として (10) 式を使ふことにする。

徑 16 粍の丸鋼 ($\frac{5''}{8}$吋を 16 粍と見做す) の有する抵抗力率は $w=402.1$ 粍^3, 又丸鋼の彈性限度を第八表により $f=3\,000$ 瓲/糎^2 とすれば、丸鋼の抵抗し得る彎曲率は

第十五圖



$$M=fw=30.00\times 402.1\fallingdotseq 12\,000 \text{ 瓲粍}$$

となる。今 (10) 式に於て $e=16$ 粍とすれば、上式によつて丸鋼に作用すべき張力は

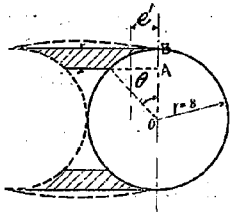
$$P=\frac{2M}{e}=\frac{2\times 12.000}{16}=1\,500 \text{ 瓲}$$

となり、この張力により丸鋼は降伏すべき筈である。然るに實驗に於けるこの値は $P\fallingdotseq 3\,000$ 瓲で上記の計算の約 2 倍に當る。

この原因は上記の彎曲率の算定に當つては P が第十五圖 a の A 點から傳へらるゝものと考へて居る。併しこの實驗の場合に於ては第十五圖 b の如き鎔接によつて傳へらるゝ

が故に丸鋼に與へる偏心としては圖の e' を採るのが至當と考へる。

第十六圖



この e' の値は鎔接の有効幅を 5 粍とし其膨みを 0.5 粍と認むるとき、第十六圖によつて次の値となる，

$$\mathrm{Cos}\,\theta=\frac{0A}{r}=\frac{3.5}{8}=0.438,$$

$$\theta=64°2'\fallingdotseq 1.12\ \mathrm{Rad.}$$

$$e'=\frac{\int_0^{1.12} y\,ds}{\int_0^{1.12} ds}=\frac{\int_0^{1.12} r^2\,\mathrm{Sin}\,\theta\,d\theta}{\int_0^{1.12} r\,d\theta}=\frac{0.56\,r^2}{1.12\,r}=0.5\,r=4\text{粍}$$

從て　　$P=\frac{12\,000}{4}=3000$ 瓩

となり實驗値と大體一致することが解る。

17. A種鎔接の得失　以上A種鎔接について述べた實驗の結果を要約すれば次の如くである。

1. 鎔接部は第五圖の如く完全に融着せしむることは困難である。多く第八圖の如き形狀を呈する。

2. 鎔接C部の厚さは丸鋼の直徑と電極棒の直徑とによつて定まる。

3. 荷重の增加と共に重襲による偏心のために、鎔接部は漸次彎曲を初める。

4. 鎔接部の降伏强度は、重襲の大小には殆んど無關係である。この原因は偏心による彎曲のために丸鋼がまづ降伏するためで、本實驗では鎔接試片の降伏强度は丸鋼の決れの $\frac{1}{2}$ に達すのみである。

5. 鎔接長の短きものは彎曲のために先づ鎔接端に龜裂を起し、龜裂は荷重の增加と共に深部に進む、從て鎔接部は一體として荷重に對抗せず。

6. 鎔接端の Fillet Weld は彎曲に對して有效に作用する。

7. 重襲4—5d以上のものは彎曲のために鎔接端に龜裂を生ずることなく、破壞は丸鋼に於て起る。

8. 鎔接部の伸長度は甚だ小さく、丸鋼の $\frac{1}{2}$ に達しない。

上記の諸項より考ふるとき A 種鎔接繼手の鐵筋コンクリート用鐵筋繼手として不適當な理由として次の事項を擧げることが出來る。

a. 前項4の降伏點の低きことは鐵筋の强度に局部的の弱點を與へることとなる。

b. 前項3の彎曲のためにコンクリートに害を及す虞れがある。この點についてはコ

ンクリートに埋め込みたる試片についての實驗を必要とする。

c. 破壞强度を充分ならしむるためには重襲長を相當長くしなければならぬ故に、鐵筋の節約が充分に行はれない。

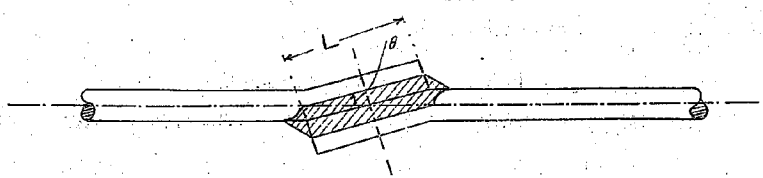
第三章　B種鎔接試驗

18. 鎔接寸法　A種鎔接試驗に於ては丸鋼を單に重襲したゞけであつた爲めに、荷重の增加と共に偏心のための彎曲の影響を著しくうけた。

殊に降伏點の低下に甚しいものがあつた。B種鎔接試片はこの偏心の影響を除去するために、丸鋼の先端を偏心の起らざる程度に留め屈曲せしめ、然る後に重襲部の鎔接をA種と同じ注意のもとに行つたものである。

試片の形狀は大體第十七圖の如くである。鐵筋端を加工する必要と、兩鐵筋端を平行に配置することに注意を要する等の手數はあるがこれによつてA種の有した端彎曲率の害を免れることが出來る。

第十七圖　B種鎔接試片



第十四表は試驗に供したる8試片の重襲長、端の屈折角度を示したものである。各重襲長毎に鎔接端に Fillet Weld を有するものと、然らざるものとを作つた。

第十四表　B種鎔接試片重襲長

試片番號	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13
重襲長　L	2D	2D	3D	3D	4D	4D	5D	5D
〔粍〕	(32)	(32)	(48)	(48)	(64)	(64)	(80)	(80)
屈曲角度　θ	26°35′	26°35′	18°25′	18°25′	14°5′	14°5′	11°20′	11°20′
Fillet の有無	無	有	無	有	無	有	無	有

19. 鎔接作業　試片はA種と全く同じ注意のもとに內務省千住機械工場で製作した。使用した機械、電極棒等も前回同樣で、各試片の作業に要した時間、並に電極棒使用量は第十五表の如くである。

第十五表　作業時間と電極棒使用量

試片番號	重襲長(粍)	作業時間(分秒)	電極棒使用長(粍)	電極棒體積(粍³)	Filletの有無
6	32	1 7	255	3,204	無
7	32	1 57	224	2,815	有
8	48	1 47	253	3,180	無
9	48	2 50	311	3,908	有
10	64	2 5	303	2,808	無
11	64	2 5	394	4,951	有
12	80	2 43	526	6,610	無
13	80	3 30	536	6,736	有

20. 試片鎔接部の外見　外面にSlagの薄層のあること、鎔接終端の火口が鎔接長の比較的大なる部分を占むること等A種の場合と同様である。

鎔接部の膨みはA種の場合より稍大きく鎔接部の平均厚約18粍で、寫眞第九は試片の外觀を示すものである。

鐵筋端に附けたFilletはこの部分のみを鎔接した關係から、鎔接長が甚だ短いために其半ば以上が火口で充分なる强度は現はし得なかつた樣に認められる。

21. 破壞試驗成績　Olsen型100噸試驗機による破壞試驗の結果は第十六表の通りである。目盛桿は50噸のものを使用した。

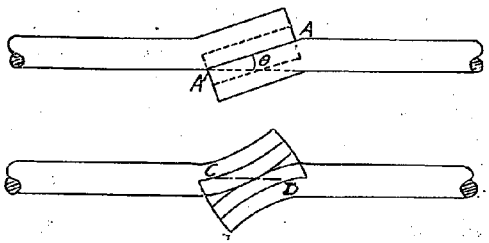
第十六表　B種鎔接試片破壞試驗成績

試片番號	降伏點荷重(瓲)	破壞荷重(瓲)	切斷時の荷重(瓲)	重襲長	Filletの有無	摘要
6	6,100	7,000	3,800	2D	無	鎔接部切斷
7	6,100	7,050	1,850	2D	有	〃
8	5,950	6,750	200	3D	無	〃
9	6,150	8,000	700	3D	有	〃
10	6,450	8,775	5,100	4D	無	〃
11	6,100	8,875	6,700	4D	有	丸鋼部切斷
12	6,150	8,950	6,800	5D	無	〃
13	6,150	8,650	5,400	5D	有	〃

22. 破壞狀況　寫眞第十及第十一は各試片の破壞狀況を示すものである。鎔接重襲部の切斷した試片No. 6乃至No. 10の破折面について見ると、鎔接終端附近では組織粗らく、荒い結晶粒を認めることが出來、其他の部分は絹光澤で多少纖維狀をなし、組織細かく小氣孔の存在を認める。

鎔接部の橫斷面を見て、これを全く鎔融材の廻らざる部分、鎔融材と丸鋼との間にSlagを有する部分、完全に鎔着せる部分の3區分に分ち得ることA種の場合と同樣である。

第十八圖　B種鎔接試片破壞狀況



破壞狀況を見るに龜裂は先づ第十八圖の端 A A′ 點に起り、漸次中央部に進み、これと同時に θ 角は順次增大し、最後に C D 線に沿つて剪斷せらるゝ傾向を示してゐる。又切斷時に於ける θ 角は各試片とも殆んど同樣で約 34° である。端に Fillet Weld を有するもののみ、多少大なる角度となつてゐる。第十七表は各試片の試驗前の θ 角と破壞後の θ′ 角との比較をしたものである。

第十七表　B種試片鎔接傾斜角 θ の變化

試片番號	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
試驗前の傾斜角 (θ)	26° 35′	26° 35′	18° 25′	18° 25′	14° 5′
破壞時の傾斜角 (θ′)	34° 0′	35° 45′	34° 0′	40° 30′	34°
Fillet の有無	無	有	無	有	無

切斷が丸鋼部で起つた試片 No. 11 乃至 No. 13 について破壞狀況を見るに、試片 No. 11 は鎔接の中心から約 11 糎の位置で丸鋼が切斷し、切斷せる側の Fillet Weld の端には小龜裂があり、他端の Fillet Weld にも龜裂が起つて居るもの樣であるが明瞭でない。

試片 No. 12 は鎔接の中心より約 10 糎の位置で丸鋼の切斷が起り、鎔接の兩端では丸鋼と鎔接鋼との間に 2 粍乃至 3 粍程度の肩はなれが見受けられる。Fillet Weld を有する試片 No. 11 及 No. 13 に比し鎔接部の弱いことが明かに認められる。

試片 No. 13 では、鎔接の一端で丸鋼が切斷してゐる。切斷面を見ると普通丸鋼抗張試驗の場合ほどの斷面縮小は認められない、且切斷形狀が不規則である。鎔接の他端の Fillet Weld には龜裂は認められない。

23. 破壞强度に關する考察　破壞狀況が極めて複雜であるから、破壞時の應力强度の推定は甚だ困難である。

今切斷が鎔接部に起つたものについて、もし破壞時に其應力が鎔接面の原形に一樣に分布されたものと見做すとき第十八表に掲げた應力强度が得られる。又切斷が丸鋼に於て起つたもの應力强度は第十九表の如くである。

第十八表 B種鎔接試片破壞強度（其一）

試片番號	No. 6	No. 7*	No. 8	No. 9*	No. 10
鎔接長 (粍)	2D=32	2D=32	3D=48	3D=48	4D=64
有効鎔接幅 (粍)	2×5=10	10	10	10	10
有効鎔接斷面積(粍²)	3.2	3.2	4.8	4.8	6.4
斷面傾斜角 (θ)	26° 35′	26° 35′	18° 25′	18° 25′	14° 5′
傾斜斷面に於ける降伏點荷重 (瓲)	6,100	6,100	5,950	6,150	6,450
同上應力强度 (瓲/粍²) (σ_e')	1,900	1,900	1,240	1,280	1,080
傾斜斷面に於ける破壞荷重 (瓲)	7,000	7,050	6,750	8,000	8,775
同上應力强度 (瓲/粍²) (σ_b')	2,190	2,200	1,460	1,666	1,371

＊印のものは End Fillet を有す。

第十九表 B種鎔接試片破壞強度（其二）

試片番號	No. 11*	No. 12*	No. 13*
鎔接長 (粍)	4D=64	5D=80	5D=80
丸鋼斷面 (粍²)	2.01	2.01	2.01
降伏點荷重 (瓲)	6,100	6,150	6,150
同上應力强度(瓲/粍²)	3,040	3,060	3,060
破壞荷重 (瓲)	8,875	8,950	8,650
同上應力强度(瓲/粍²)	4,410	4,450	4,300

＊印のものは End Fillet を有す。

上表中試片 No. 13 は鎔接部に極めて接近して丸鋼切斷し、其降伏點强度並に破壞强度は§3に示せる丸鋼材料の强度に比して稍低く、前者は其90%後者は其93%である。これは鎔接温度のため材料が展延の際にうける輕度の Temper が燒鈍さるゝが如き結果を生ずるためと考へらる。其他の丸鋼の切斷せるもの試片 No. 11 及 No. 12 には鎔接部より稍離れた箇所で切斷して居るから以上の様なことは考へられないが、其切斷强度は§3に示せるものよりも稍低い。

鎔接部にて切斷せる試片 No. 6 乃至 No. 10 につきては、其切斷が傾斜斷面に沿つて極めて不規則に起つて居るから、破壞が主として張力によつて起つたものか又は剪力によつたものか明かでない。

今假りに切斷が鎔接面に沿ふて起り應力が平均に分布してゐるものとすると、上表の傾斜斷面に於ける應力强度 σ_e' 及 σ_b' より傾斜斷面に於ける垂直應力强度 σ_e 及 σ_b が第二十表の値となる、

$$\sigma_e = \sigma_e' \sin\theta, \qquad \sigma_b = \sigma_b' \sin\theta$$

第二十表　傾斜斷面に於ける垂直應力（其一）

試片番號	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
Sin θ	0.4475	0.4475	0.316	0.316	0.243
σ_e'	1,900	1,900	1,240	1,280	1,080
σ_e	850	850	392	404	262
σ_b'	2,190	2,200	1,460	1,666	1,370
σ_b	980	984	461	527	333

上表の値は過小であることを免れない。如何となれば θ は試驗前の傾斜角であつて、最大荷重又は降伏點荷重をうけた時の傾斜角はこれよりも大なるものであるからである。又其場合に於ける有效鎔接長は第十九表に掲げた鎔接長よりも短いに相違ないからである。

そこで今この θ の角の代りに切斷時に於ける傾斜角 θ' を用ひて σ_e と σ_b を計算して見ると第二十一表の様な値となる。

第二十一表　傾斜斷面に於ける垂直應力（其二）

試片番號	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
Sin θ′	0.559	0.584	0.559	0.649	0.559
σ_e	1,060	1,110	693	831	604
σ_b	1,225	1,285	816	1,080	756

上表の σ_b の値は θ' を用ひた計算であるから過大な値を示すものと認める。從て降伏點荷重又は破壞荷重に對する斜傾斷面の垂直應力强度は第二十表の値と第二十一表の値との中間にあるものであつて、比較的小さい値であると云へる。

次に切斷面に生ずべき接面應力につきて考ふるに、第十八表の傾斜斷面に於ける應力强度 σ_e' と σ_b' とへ傾斜角の Cosine を乘すれば、切斷面に沿ふての剪力 τ_e 及 τ_b が求められる。傾斜角に θ と θ' とを採つた場合の値は第二十二表及び第二十三表の通りである。

$$\tau_e = \sigma_e' \cos\theta \qquad \tau_b = \sigma_b' \cos\theta$$

第二十二表　傾斜斷面に於ける接面應力（其一）

試片番號	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
Cos θ	0.8943	0.8943	0.9488	0.9488	0.9700
τ_e	1,700	1,700	1,180	1,220	1,060
τ_b	1,960	1,970	1,390	1.580	1,350

第二十三表　傾斜斷面に於ける接面應力（其二）

試片番號	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
Cos θ′	0.829	0.8116	0.829	0.716	0.829
τ_e	1,580	1,540	1,030	920	900
τ_b	1,820	1,790	1,210	1,190	1,140

τ_e 及 τ_b の値は、上記二表の値の中間に位するものと考へると、大體第十二表に示したA種鎔接の場合の應剪力強度の計算値と似寄りのものとなる。

以上の結果から見て應張力強度はさほどのものでなく、應剪強度の方が相當に大きくなる樣に考へられるが、孰れにせよ上記の計算では切斷面に力が一樣に分布するものと假定したものであるから其數値に至つては充分な信賴を置くことが出來ぬ。このことは其値が§5に於ける實驗値と可成りの距りのあることからも卻かれる。實驗に際しての破壞は既述の樣に先づ鎔接の兩端に起り、これが或程度まで進んでから剪斷される樣である。

次に各試片について其破壞程度を比較すると、重襲が3D以下のものは Fillet Weld の有無に係らず鎔接部で切斷し、4Dのものは Fillet Weld 無きものゝみ鎔接部にて切斷し、有るものは丸鋼が切斷して居る。又5Dのものは Fillet Weld の有無に係らず丸鋼が切れて居る。これをA種鎔接試片の成績と比較して見ると大體同樣であつて、丸鋼を豫め屈曲することは破壞強度の增加には效果がないものゝ樣である。又A種、B種の試驗結果につき同じ重襲長のものゝ強度を比較しても同樣なことが考へられる。

次に鎔接部で切斷した試片 No. 6 乃至 No. 10 につきて其降伏點強度を見ると、其重襲が2D乃至4Dなるに拘らず全部が殆んど同樣の値約6 000 瓲を示し、丸鋼部の切斷した試片 No. 11 乃至 No. 13 の夫れと大差なく、第三表に示した使用丸鋼の降伏點強度の約88%に當つて居る。從て此種の接合ではもし鐵筋の許容強度が其降伏點強度に立脚して定められるゝものとすれば、重襲の增加は何等の效果を有しないことゝなる。

破壞強度についても殆んど同樣のことが認められ、Fillet Weld なき場合重襲長2Dのものと3Dのものとでは、寧ろ3Dの方が弱い結果を示してゐる。又4Dについては2Dに比して强度が25%增加したに過ぎない。鎔接長の增加が2倍なるに比してあまりに僅少な增加である。

併しこの種の接合では其橫斷面積は常に一定で、鎔接長の大小卽ち重襲の多少には無關係であるから、抗張力に對しては各試片が同一の强度を示すことが當然であつて、破壞强度に於て多少の異差のあるのは鎔接部の構造から起る副應力に影響せらるゝ結果であると考へるのが至當であるかもしれぬ。

24. 應力變形圖より見たる破壞狀況 附圖第二に丸鋼試片 No. O_3 附圖第一に B 種鎔接試片 No. 6 乃至 No. 13 の應力變形圖を掲げた。

丸鋼 No. O_2, No. O_3 ともに其降伏點强度、破壞强度は孰れも No. O_1 に比して大きく其伸長度は稍小さい。

鎔接試片中切斷が鎔接部で起つた試片 No. 6 乃至 No. 10 の圖表を見ると孰れも A 種鎔接試片の場合の樣な折線部がなく、降伏點の位置が極めて明瞭である。而して其降伏點の强度は前述の樣に材料の夫れの 90% 足らずで、比例部分の傾斜は材料の夫れに比して急である。

最大荷重點を經過して後の圖表の形は甚しく不規則で、時々階段的の下降をなし、最後の切斷點は丸鋼材料の如く明瞭ならず、完全に切斷するまでには甚しい荷重の低下を示して居る。上記の圖表中に表はれた階段的の荷重の低下は、實驗中の觀測によると、鎔接部に新たな龜裂の發生を示して居るもゝ樣である。鎔接部の伸長度は極めて小さい。

又丸鋼部にて切斷せる試片 No. 11 乃至 No. 13 の破壞强度は材料の示した强度の 93% 乃至 95%、降伏點强度は 90% 前後である。其伸長度は其切斷が Gauge length 外丸鋼部に起つた試片 No. 11 及 No. 12 については、其伸びの傾向が材料の夫れに類似せるものゝ樣ではあるが、圖表が中斷したゝめに、これを明かにすることが出來ぬ。鎔接部附近にて丸鋼の切斷せる試片 No. 13 について見ると其伸長は極めて少なく材料の 25% に過ぎない。これ等の伸長は其 Gauge length が鎔接部と、丸鋼部とに跨つて居るからこの結果から鎔接部の伸長に關する正確な結果は求め難い。

25. B 種鎔接の得失　鎔着の完全に行はれざること、鎔着の度は丸鋼の徑と電極棒の徑とによつて定まること等 A 種と同樣である。

其他につきて上述の諸點を要約すれば次の如くである。

1. 荷重の增加と共に先づ鎔接部の兩端に龜裂を生ずる傾向のあることA種と似たるも其程度は著しく低い、龜裂の發生と共に重襲部の傾斜角 θ は漸次增大し遂に切斷するに至る。切斷時の傾斜角は重襲の多少に關係なくほゞ一定である。

2. 重襲部を豫め屈曲せしめたことは、鎔接部の降伏點强度を增大せしむる點に著しく有効である、又其降伏點强度は重襲部の長さの大小には殆んど無關係であり、其値は材料の降伏點强度より稍低い。

3. 重襲部を豫め屈曲せしめることは破壞强度の增大には殆んど效果がない。又破壞强度の增大の割合は重襲長の增加の割合に比して甚だ低いものである。

4. 重襲長 4D を越ゆるものは、其切斷が鎔接部外丸鋼で起つた、これは A 種の場合と大差ない。丸鋼切斷の强度は材料試驗の場合の强度の約 95% である。

5. 鎔接部の伸長は極めて少ない。

6. 鎔接端の Fillet Weld は降伏點荷重、最大荷重兩方に對して相當有效に作用する。

以上の如き試驗結果から見て、B種はA種に比して、

a. 偏心による彎曲の影響のないこと。

b. 降伏點强度が材料のそれに著しく近いこと。

等の利點をもつて居るが次の様な點を考ふるとき、鐵筋コンクリート用鐵筋繼手として優れた工法と云ふことは出來ぬ。

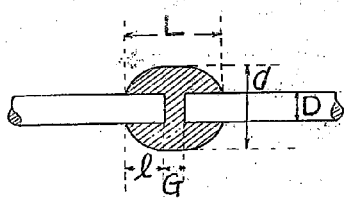
a. 接合せらるゝ二つの鐵筋の端の曲りを、現場で正しく同方向に配置し且鎔接作業の容易な向きに組立てることの困難なること。

b. 相當安全な强度たらしめるためには 5D 程度の重襲を必要とし、鐵筋節約の目的を充分達せざるのみならず、多量の電極棒を消費すること。

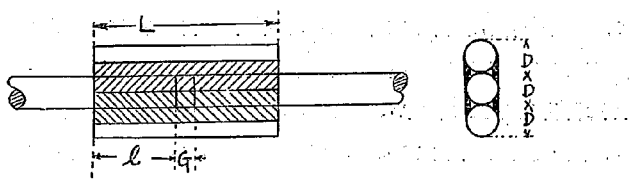
第四章　C種鎔接試驗

26. 鎔接寸法　A種及B種鎔接が重襲鎔接なるに對して本試片は鐓頭鎔接である。第十九圖及第二十圖は其形狀を示したもので各試片の鎔接寸法は第二十四表の如くである。

第十九圖　C種鎔接試片（其一）



第二十圖　C種鎔接試片（其二）



第二十四表　C種鎔接試片鎔接寸法

試片番號	No. 14	No. 15	No. 16
鐓頭部間隙 G (粍)	5	5	5
鎔接幅 d (粍)	2D=32	—	—
鎔接長 L (粍)	2D+G (37)	2D+G (37)	4D+G (69)

試片 No. 14 は添接材を有せず、丸鋼端を單に鎔鋼にて接合せるものである。其鎔接部の直徑を丸鋼の徑の 2 倍としたが、實際製作されたものは d=1.8D 程度のものであつた。試片 No. 15 及 No. 16 は添接材として丸鋼夫れ自身を用ひたものである。最も手輕に手に入るものであるが其形狀から云つて添接材としては優れたものとは云へぬ。

27. 鎔接作業　B 種と同時に內務省千住機械工場で製作したもので、作業時間、電極棒使用量等第二十五表の通りである。

第二十五表　C 種鎔接試片の作業時間と電極棒消費量

試片番號	重複長（粍）	作業時間（分秒）	電極棒使用長（粍）	電極棒體積（粍³）	摘要
No. 14	32+5= 7	4 23	691	8,683	添接材なし
No. 15	32+5=37	2 5	536	6,736	添接材あり
No. 16	64+5=69	4 26	706	8,872	〃

試片 No. 14 に要する電極棒は、もし鎔接が圖示の如くに出來たものとすると約 15 000 粍³ を要する筈であるが、實際の使用量は 80% に過ぎない。これは出來上つた試片の中央の徑が 1.8D の程度であつた爲めで徑を 28.8 粍とした時の所要電極棒の體積は約 9 300 粍³ である。これで尙 6% 位の不足があるが、これは衝頭部の間隙が充分塡充されて居らぬことに原因するものと認められる。

試片 No. 15 及 No. 16 について其使用電極棒の體積から、衝頭間隙部に必要な約 1 000 粍³ を差し引いて、丸鋼間の鎔接斷面積を算出すると 38.6 粍² 及 28.5 粍² となり、§12 にて算出せる値と大差ない。

28. 試片鎔接部の外見　試片 No. 14 は計畫せる寸法と稍異りたる仕上りを有すること上述の如く、又鎔接部は球形をなさず、寧ろ圓筒形に近き形狀を呈し、中央部に數個の火口を有して居る。鎔接緣より判斷した Penetration は相當良好である。

試片 No. 15 及 No. 16 は四箇所の鎔接部とも其一端に火口を有するのみである。鎔接部より判斷して電流稍強きに過ぎたるに非ざるやの疑ひがある。鎔鋼の飛沫の甚しい散在を見る。寫眞第十二は各試片の外見を示す。

A 種、B 種並に試片 No. 15, No. 16 の如きものは鎔接部の外見から接合の良否を判斷することは左程困難ではないが、試片 No. 14 の如きものは鎔接緣により Penetration の大體を判定し得るのみにて、數層置きに作業せる鎔接內部の良否の判斷は全く困難である。

29. 破壞試驗成績と破壞狀況　B 種と同樣の方法によつて破壞試驗を行つた試驗の結果は第二十六表に揭げた通りである。

第二十六表　C鎔接試片破壞試驗成績

試片番號	丸鋼斷面（糎²）	降伏點強度 荷重（瓲）	降伏點強度 應力強度（瓲/糎²）	破壞強度 荷重（瓲）	破壞強度 應力強度（瓲/糎²）	切斷時の強度 荷重（瓲）	切斷時の強度 應力強度（瓲/糎²）	摘要
No. 14	2.01	6,000	2,990	8,850	4,400	5,900	2,940	丸鋼切斷
No. 15	2.01	6,150	3,060	8,875	4,415	6,700	3,330	〃
No. 16	2.01	6,500	3,230	8,650	4,300	6,300	3,140	〃

三試片とも切斷は鎔接部外で丸鋼部に起つて居る。切斷の位置は鎔接の中央から各々4.0糎、7.8糎、1.3糎の程度であつて、孰れも鎔接部には外觀との異狀が認められない。寫眞第十三は各試片の破壞狀況である。

30. 破壞強度に關する考察　各試片とも丸鋼部にて切斷せるも、其強度は第三表に示せる材料の強度に及ばず。降伏點強度は其約90%、破壞強度は其約95%で、B種鎔接試片の丸鋼部で切斷したものゝ強度と略々同樣である。鎔接に當つての高溫のために熱處理をうけた結果となることに基因するものと認められる。

試片 No. 14 型のものゝ強度につき考ふるに、先づ中央鎔接部の斷面積を其強度が丸鋼の強度と同等ならしめるためには、斷面の直徑 d（第十九圖）は次に示す寸法が必要である。

今丸鋼の抗張強度と鎔接部の夫れとを α 及 α' とすれば

$$\frac{\pi D^2}{4}\times\sigma=\frac{\pi d^2}{4}\sigma'$$

今 $\sigma'=\alpha\sigma$ とすれば　$d=\frac{D}{\sqrt{\alpha}}$

然るに普通 $\alpha=0.7\sim0.9$ であるから

$$d=1.2\,D\sim1.03\,D$$

次に丸鋼端に於ける鎔鋼と丸鋼との所要附着長を考へると、この部分の抗剪強度が、$S'=\beta\sigma$ で示されるとすると

$$\frac{\pi D^2}{4}\times\sigma=\pi D l\times s'$$

この場合丸鋼先端の鎔着は不完全なりと見做してこれを無視する。

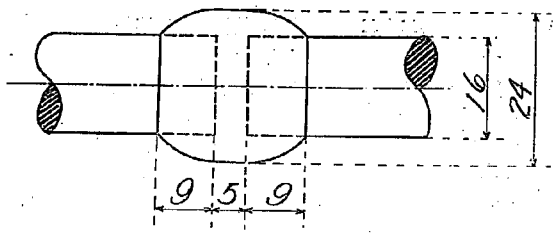
普通 $\beta=0.6\sim0.75$ であるから、所要附着長は

$$l=\frac{D}{4\beta}=0.42\,D\sim0.33\,D$$

試驗に供したものは $d=1.8\,D$, $l=0.74\,D$ で所要長の 50%～70% 增しの寸法を用ひて居る。從て其切斷が丸鋼部に起つたことは當然であつて、其使用電極棒の量も 8 683 粍³ に達し、B種試片の No. 11 の約1.75倍、C種では No. 16 と匹敵する程度であるが、これを上の計算から考へて第二十一圖に示す寸法となすならば、其所要電極棒の量は 5 890 粍³ と

なり、B種試片中丸鋼部にて切斷せる No. 11 及 No. 12 の電極棒使用量の中間に位し、

第二十一圖



C種の試片 No. 15 の約90%にしか當らない。其強度については充分信頼して大過なきものと信ぜらる。

試片 No. 15 及 No. 16 にては、丸鋼衝頭部の鎔接強度を無視するとすれば、先づ添接材と丸鋼間の鎔接部の抗剪強度が丸鋼の強度に對抗する必要があり、又添接材の斷面は丸鋼の夫れに對應したものでなくてはならぬ。

鎔接部の抗剪強度につきて考ふるに、第二十圖に於て鎔接の有効幅を b とするとき

$$\frac{\pi}{4}D^2\times\sigma=4\,l\,b\times s'$$

$$l=\frac{\pi D^2\sigma}{16\,b\,s'}=\frac{\pi D^2}{16\,b\,\beta}$$

然るに $\beta=0.6\sim0.75$, 又 b は A 種及 B 種に於ける試驗の結果 $b\fallingdotseq0.3\,D$ なるが故に

$$l=1.1\,D\sim0.87\,D$$

となる。試片 No. 15 は l=D にて充分なる強度を示せるは l が大體理論上の所要長を有せるのみならず、衝頭部の鎔接の影響を相當にうくることによるものと認む。l=2D なる試片 No. 16 の丸鋼切斷は當然の結果なりとす。

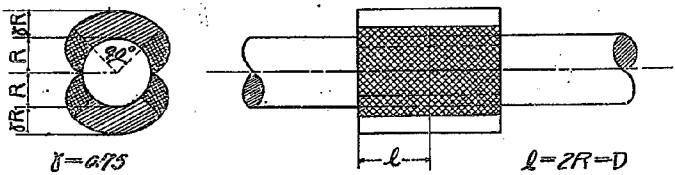
次に添接材につき考ふるに其強度は丸鋼の夫れと同樣であればよい。從て試片 No. 15 及 No. 16 に用ひたる丸鋼の添接はあまりに過大であつて其形狀も面白からず、單に其材料が最も手輕に手に入ることの外利點を見出さない。丸鋼を添接する代りにこれの $\frac{1}{2}$ の斷面積を有すべき半丸鋼を使用しても、全く同等の強度が得られたであらう。又平鋼も同樣の目的に用ひらるものと考へらる。

もし添接材とし特に新鋼材が壓延さるゝものとするならば、其形狀は取扱ひに於ても又鎔接作業に對しても極めて便利なものでなくてはならぬ。第二十二圖に示したものは其一例として考案したもので、挾角 90° の扇形である。其斷面積を丸鋼と同大ならしむるため

には、第二十二圖の扇形の厚さγRのγは次の値をもたねばならぬ。(Rは丸鋼の半徑)

$$\frac{\pi(1+\gamma)^2R^2}{4}-\frac{\pi R^2}{4}=\frac{\pi R^2}{2}$$

第二十二圖　扇形添接材による接合



$(1+\gamma)^2=3$

$\gamma=0.732$

第二十二圖のものはγ=0.75として添接材の厚さは6粍である。添接材と鎔接鋼との附着幅は4×0.75 R=3 Rで、鎔接鋼と丸鋼との附着幅もほゞこれと同樣πRとなる。從て添接材の所要附着長は

$$\pi R^2\times\sigma=3Rsl$$

$$l=\frac{\pi R^2\sigma}{3Rs}=\frac{1.05}{\beta}R=1.75R\sim1.4R$$

となる。第二十二圖はl=2Rとした例である。鎔接のFilletのThroatの厚さは少くも0.75 Rあることが必要であるから圖の樣に弧形のものが望ましい。鎔接の強度は尙添接材端にFilletをつけることにより更に增すことが出來る。又丸鋼端の間隙はこの種のものでは必要でない。

第二十二圖に示した形の添接材による丸鋼鎔接の破壞試驗は未濟であるが、丸鋼と丸鋼との間に起る樣な鎔着の不完全等の事實は、鎔接部の形狀から考へて起ることなく充分のPenetrationが得らるゝものと考へられるから强度は充分に發揮し得る筈である。又第二十二圖に示したものゝ所要電極棒の量は約3 700粍³で比較的小量である。

31. 應力變形圖より見たる破壞狀況　試片No. 16は切斷がGauge length外に起れるが故にこれを除き、試片No. 14及No. 15につきて附圖第一の圖形を見ると、其大體の傾向は丸鋼夫れ自分のものと殆んど同樣である。卽ち鎔接部に局部的な特異な變形があつたにせよ、それで極めて輕微なものであることを示してゐる。從てこの種の接合法は其働きに於て極めて優良なものと云ふことが出來る。只15種のGauge lengthに於ける試片No. 14及No. 15の伸長度が僅かに24%及23.6%で丸鋼材の約85%にすぎないことは鎔接部の相當に剛いことを示して居るものである。

32. C種鎔接の得失　試驗の結果から見てC種鎔接がA種及B種より遙かに優れて居ることが認められる。試驗の結果を要約して其得失を列記して見ると次の通りである。

先づ利點としては

1. 鐵筋の重襲を全く必要としない點及應力變形關係に於てA種並にB種に勝つてゐる。

2. No. 14 型の試片に於て、切斷が丸鋼部に起るために必要な電極棒の使用量は、鎔接寸法を適當に選ぶとき、B種と大差なきものとすることが出來る。

3. No. 15 型の試片に於て、切斷が丸鋼部に起るために必要な電極棒の使用量は、添接材の形狀を適當に選ぶことにより、B種の場合の70%程度に減じ得る。

4. 丸鋼の切斷せるときの强度は丸鋼の材料試驗の際の强度の約95%である。

次に其缺點として下記のものを擧げることが出來る。

1. No. 14 型の鎔接は作業が困難である。

2. No. 14 型の鎔接は接合の良否の判定が極めて困難である。

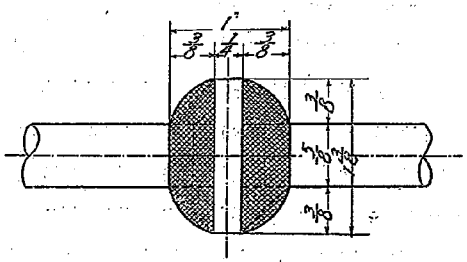
3. No. 15 型の鎔接は別に添接材を使用せねばならぬことが、A種又はB種に於ける丸鋼の重襲と同樣の意味での缺點である。

第五章　D種鎔接試驗

33. 鎔接寸法　C種鎔接試片 No. 14 の强度並に共働きの良好なるに拘らず、其鎔接作業は比較的困難であり、且內部の鎔接狀態の良否を判定することがむづかしい點に鑑み、これ等の缺點を除きうるものとして考案したものがD種鎔接試片である。

鎔接せらるべき兩丸鋼間に厚さ $\frac{1}{4}$ 吋の鋼圓鈑を挾み、これと丸鋼の周圍とを $\frac{3}{8}$ 吋 Fillet Weld で鎔着したもので、第二十三圖は其形狀を示したものである。

第二十三圖　D種鎔接試片



34. 鎔接作業と試片の外觀 試片は工學博士孕石元照氏の好意により、同氏經營の極工社に於て製作したものである。作業は二回盛りで、第一回に厚約 $\frac{1}{4}$ 吋を盛り、表面の Slag を充分取り除きたる後二回盛にて殘部を完成した。

製作試片數は3個で、各試片とも異れる鎔接手によつて作業された。次表は各試片製作に要した電極棒使用量を示す。

第二十七表　D種鎔接試片電極棒消費量

試片番號	No. 17 (O)	No. 18 (J)	No. 19 (C)
電極棒使用數（本）	3.25	3.50	3.5
電極棒使用體積（粍³）	7,740	8,340	8,340

使用電極棒は徑 $\frac{1}{8}$ 吋、長さ 30 糎で一本の體積は約 2 382 粍³ である。試片番號に附した記號は鎔接手を表はすものである。

試片 No. 17 及 No. 19 では共 Fillet は所定の寸法より稍大きく、且表面の弧形強く、試片 No. 18 は弧形小さく且其一側の Fillet は附着長に全然餘裕なく所定の寸法通りである。

鋼圓鈑は三試片とも其位置正しからず、多少の偏倚がある。

鎔着邊緣の弧形から判斷すると No. 18 の一側のものは一部に甚しく凹形且不規則形の部分を有して居り、試片 No. 17 のものも多少邊緣に凹形部を見る。寫眞十四はこれ等の試片を示す。

35. 破壞試驗成績と破壞狀況 試驗方法は B 種と同樣で、試驗結果は第二十八表の通りである。

第二十八表　D種鎔接試片破壞試驗成績

試片番號	丸鋼斷面積（糎²）	降伏點强度 荷重（瓲）	降伏點强度 應力强度（瓲/糎²）	破壞强度 荷重（瓲）	破壞强度 應力强度（瓲/糎²）	伸長（長15糎） 伸（糎）	伸長度（%）	摘要
No. 17 (O)	1.981	5,800	2,930	8,750	4,420			Gauge length 外にて丸鋼切斷
No. 18 (J)	〃	5,800	2,930	6,000				鎔接部切斷
No. 19 (C)	〃	5,900	2,980	8,830	4,450	3.2	21	丸鋼切斷

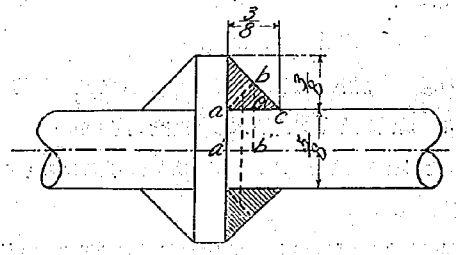
試片 No. 17 及 No. 19 は丸鋼部で切斷した。切斷部は孰れも鎔接部より稍離れたる位置に起り、No. 17 の如きは Gauge length 外である。鎔接中心よりの距離を見ると 16.5 糎及 8.5 糎の程度である。破壞後の鎔接部の狀況を見ると兩側ともに邊緣の凹形をなしたる部分に肩ばなれが見える。この部分の鎔着不完全なるを示して居る。

鎔接部の破壞せる試片 No. 19 について見ると、切斷せる側は全邊緣の約 $\frac{2}{5}$ は凹形を

なし、この部分は全然鎔着を見ず、且鎔着の完全なりし$\frac{3}{5}$の部分も其Throatの寸法は最小3.5粍で、所定の6.6粍の約$\frac{1}{2}$に過ぎない。從て破壞が鎔接部に起つたことは鎔接の施工の失敗であると認められる。寫眞第十五は其破壞狀況を示す。

36. 破壞强度に關する考察　3試片ともに其降伏點强度は第三表に示した材料の强度と同等以上の値を示してゐる。鎔接部の切斷した試片 No. J9 も其降伏點强度に於ては他のものと何等の遜色がない。B種及C種に於て丸鋼の切斷せるものゝ降伏點强度が材料の夫れより數％低く出てをるに拘らず、D種のものでは何等の變化がない　これは其切斷箇所が鎔接部のごく附近で鎔接の際の熱の影響を著しくうくるものと認めらるゝ部分であるとすると、D種では中間に丸鋲を有するほかに鎔鋼の量が幾分小量ですむ等の關係から熱の影響をうくることが少ない爲めであると推斷出來るかも知れぬが、事實に於ては各種とも其切斷箇所の鎔接部よりの距離の大小に拘らず前述の樣な結果を示して居るから、或はB種及 C 種に對する材料試驗の强度が偶然他のものに比して大きく出たのではないかとの疑問をもつものである。このことについては本試驗が比較的少數試驗片から結果を求め樣として居るがために充分な結論を下し得ないことを遺憾とする。

第二十四圖



この種の鎔接について其强度を考へて見るに、其最弱點は Fillet の Throat でなくてはならぬ。今第二十四圖について Throat (ab) の强度から求められる圓鋲の半徑 R_1 を求めると次の如くなる。勿論この場合の Fillet は二等邊直角三角形とする。

$R_1=(1+k)R$ とすれば

$$\overline{ab}=(R_1-R)\cos\theta=k\cos\theta R$$

$$\overline{aa'}=R \qquad \overline{bb'}=R+\frac{k}{2}R=(1+0.5k)R$$

Throat の全面積　$A=\pi\times\overline{ab}\,(\overline{aa'}+\overline{bb'})=\pi\times\cos\theta\,k\,(2+0.5k)R^2$

鎔接鋼の抗張强度を σ' とすれば Throat に働く强度は $\sigma'\cos\theta$ となる。從て丸鋼の强

度と Throat の強度とが同一なるためには

$$\pi R^2 \sigma = \pi \times \mathrm{Cos}\,\theta\, k\,(2+0.5\,k)\,R^2 \times \sigma' \mathrm{Cos}\,\theta$$

もし $\sigma' = a\sigma$ とし $a = 0.7 \sim 0.9$, $\mathrm{Cos}\,\theta = \frac{1}{\sqrt{2}}$ とすれば

$$k\,(2+0.5\,k) = \frac{2}{a}$$

$$k^2 + 4k - 5.71 = 0 \qquad k \fallingdotseq 1.12$$

$$k^2 + 4k - 4.44 = 0 \qquad k \fallingdotseq 0.91$$

即ち圓鈑の半徑は $R_1 = 2.12\,R$ 乃至 $1.91\,R$ にて丸鋼の半徑の約2倍を必要とする。即ち直徑 $\frac{5}{8}$ 吋の丸鋼に對しては、半徑 $\frac{5}{8}$ 吋の圓鈑にて充分なる强度を得らるべく、試片の圓鈑は半徑 $\frac{11}{16}$ 吋にて稍大なる寸法が用ひられたことゝなる。從て切斷が鎔接の適當に行はれたものでは丸鋼部に起つたことは當然である。

今もし直徑 16 粍の丸鋼に對し、半徑 16 粍の圓鈑を用ふるものとし、8 粍の Fillet Weld を附すものとすれば、これに要する電極棒の體積は 4.300粍³ であつて作業に對する餘裕を見込むとき B 種試片 No. 11 とほゞ同樣であり、第二十一圖の C 種試片の 75% にすぎない。

37. 應力變形圖 附圖第2は D 種試片の應力變形圖で鎔接部で切斷した試片 No. 18 のほかは共傾向全く材料試片 0_4 の示すものと同樣である。試片 No. 17 は伸長稍少きも No. 19 に至つてはかなり大なる伸長を示して居る。

38. D 種鎔接の得失 鎔接部の强度及共働きから考へると、鐵筋の接合法として良好なる方法と認められる。前揭の數種に比較しての利點を列記すると

1. 鐵筋の重襲を必要としないこと、應力變形關係の良好な點等にて A 種及 B 種に勝ることC種と同樣である。

2. 鎔接部の强度を丸鋼の强さと同等以上ならしむるための電極棒の所要量は B 種試片 No. 11 とほゞ同樣、C 種の No. 14 型のものゝ約75% である。

3. 本試驗にては丸鋼部の切斷せるときの强度は材料として試驗した丸鋼の强度と大差ない結果が得られた。

缺點として考慮すべき點は次の如くである。

1. 電極棒のほかに圓鈑を必要とすること。

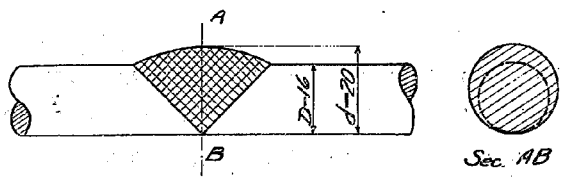
2. 鎔接を丸鋼の全圓周について行はねばならぬから、A 種又は B 種に比して作業が幾分困難であること。又垂直鐵筋の場合、圓鈑の下面では鎔接作業で最も困難としてゐる天井鎔接 (Overhead Weld) をやらねばならないこと。

第六章　E 種 鎔 接 試 驗

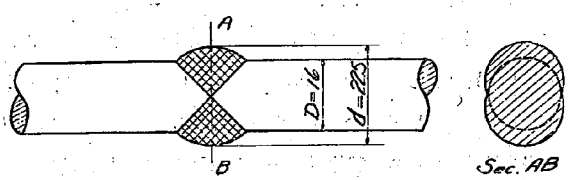
39. 鎔接寸法　D種鎔接が丸鋼間に鋼圓板を挟みて、C種試片 No. 14 の缺點を補はんとせるに對し、本試片は鐵筋端を斜めに切斷して衝頭部に生ずる間隙を鎔接鋼にて填充し、作業を容易ならしめ様としたものである。

試片は第二十五圖及第二十六圖に示す二種類で、前者は丸鋼の切斷を一斜面に沿ふて行つたもの、後者は二つの斜面に沿ふて切斷したものである。孰れも衝頭部に生ずるV型又はX型の挟角は90度とした。この挟角は丸鋼の徑と丸鋼尖端の間隙と使用電極棒の徑とによつて變化すべきもので本試片では尖端に間隙を置かなかつたこと、電極棒に3粍乃至4粍のものを使用した點等から比較的大なる挟角を用ひた。或は挟角を70度又は60度程度として電極棒の節約をなす方がより經濟的であるかも知れないが、後述する様にV型根部の鎔着が不完全となり易い。

第二十五圖　E種鎔接試片（其一）



第二十六圖　E種鎔接試片（其二）



鎔接部の働きは其横斷面に純張力が作用すると考へて差支へないものとすれば、鎔接部の所要斷面は、第二十五圖のものについて§30に說きたるところにより

$$d=1.2D\sim1.03D$$

となり、第二十六圖のものについては鎔接部の斷面が大體楕圓形と假定すれば

$$\frac{\pi D^2}{4}\sigma=\frac{\pi Dd}{4}\sigma'$$

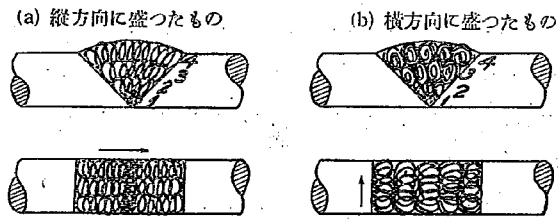
$$d=\frac{D\sigma}{\sigma'}=\frac{D}{\sigma}=1.43D\sim1.11D$$

試驗に用ひた寸法は第二十五圖のもの d=20粍(≒1.25D), 第二十六圖のもの d=22.5粍(≒1.4D)である。

尙丸鋼切斷部の仕上げの如何が鎔接の强度に影響を與へるものと考へるが故に、V型のものについては切斷面を鋸切したものと、鏨でへし切りにしたもの二種を用ひた。

試片の總數は27本で、試片 No. 20 乃至 No. 38 はV型で斷面鋸切のもの、試片 No. 39 乃至 No. 44 はV型で斷面鏨切りのもの、試片 No. 45 及 No. 46 はX型のものである。

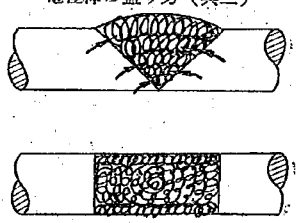
第二十七圖　電極棒の盛り方（其一）



40. 鎔接作業と試片の外見　V型試片 No. 20 乃至 No. 32 は孕石極工社の製作になつたもので、鎔着は大體4回盛りで作業されて居る。盛り方の大體は第二十七圖に示した2種類で、兩者とも先づV型の底を横方向に一回盛り上げ、これより上部は縱方向に盛つたものと横方向に盛つたものとがある。試片番號に併記した T 又 Y の記號は盛り方の縱横を示したものである。又これ等の試片は四名の鎔接手によつて別々に作業されたもので表中 O, C, J, S 等の記號は作業をした鎔接手を指示するものである。

各試片とも電極棒は徑 $\frac{1}{8}$ 吋のものが用ひられた。寫眞第十六は試片 No. 20 乃至 No. 29 中の代表的のもの外見を示したもので、鎔接邊緣の仕上げは極めて良好で Penetration の充分なことを示してゐる。只V型の根部附近では作業の困難な爲めに仕上げに不充分と思はれる點が多少見受けられる。試片 No. 30 乃至 No. 32 の外見は前揭のものに比して表面の仕上げ稍粗く、試片 No. 30 及 No. 31 に於ては邊緣に鎔接鋼の甚しい盛り上りが見受けられた。寫眞第二十一は破壞狀況を示すものであるが表面形狀の大體を知ることが出來る。

第二十八圖
電極棒の盛り方（其二）



V型試片 No. 33 乃至 No. 38 は內務省千住機械工場の製作になつたもので、電極棒の盛り方は大體第二十八圖に示す如く、先づ中央部をV型の根部より

螺旋形に盛りあげ、次に丸鋼を90度廻して側面を平に置き一側を千鳥形に盛り、終つて他側を同様にして仕上げたものである。寫眞十七は其外見を示すもので、表面の不陸は相當に見受けられるが比較的小さいものが多い、鎔接邊緣の撫付けは至極良好で鎔着が充分浸透してゐるものと認められる。又鎔接部の仕上げ寸法は概して小さく、其徑が指定寸法以下のものが多い。殊に鎔接部の $\frac{1}{4}$ 點附近は、鎔接部の膨み少なきため斷面が過小となれるものも見受けられる。

千住機械工場製の試片中 No. 33 乃至 No. 35 はA種、B種等と同質の電極棒徑4粍のものを使用したが No 36 乃至 No. 38 は材料の都合上品質の稍劣惡なるものを用ひた。

V型試片で斷面を鐵切りとせるものゝ中 No. 39 及 No. 40 は孕石極工社製、其他は千住機械工場製である。仕上げの程度については大體鋸切りのものと同樣である。千住機械工場製作のものゝ中 No. 41 及 No. 42 と No. 43 及 No. 44 とは電極棒を異にしてゐる。前者のものに良質のものを使用した。

X型試片 No. 45 及 No. 46 は孕石極工社の製作で仕上げの模樣はV型のものと大差ない。

各試片の作業に要した時間、電極棒の量、作業時の電壓電流等第二十九表の通りである。

第二十九表　作業時間と電極棒消費量

試片番號	作業前 電壓	作業前 電流	作業中 電壓	作業中 電流	作業時間	電極棒使用量 長（粍）	電極棒使用量 體積（粍³）	接鎔手	摘要	
20 (Y)								S	V型切口鋸切、	電極棒徑3粍
21 (〃)								O	〃	〃
22 (〃)								J	〃	〃
23 (〃)								C	〃	〃
24 (〃)								C	〃	〃
25 (T)								S	〃	〃
26 (〃)								O	〃	〃
27 (〃)								J	〃	〃
28 (〃)								C	〃	〃
29 (〃)								C	〃	〃
30 (〃)			15	110		750	6,032	S	〃	〃
31 (Y)			〃	〃		〃	6,032	S	〃	〃
32 (T)			〃	〃		600	4,662	J	〃	〃
33	130 V	12 A	45 V	69 A	3 M 35 S	840	10,560		〃	電極棒徑4粍
34	〃	8	50	65	3 34	610	7,667		〃	〃
35	〃	12	50	68	4 36	515	6,474		〃	〃
36	121	8	62	68	3 51	525	6,017		〃	〃
37	122	6	35	63	4 57	420	4,814		〃	〃
38	118	6	40	66	4 7	460	5,272		〃	〃

39 (T)			15	110			750	6,032	S	V型切口鋸切、電極棒徑3粍	
40 (Y)			15	110			675	5,429	J	〃	〃
41	130	12	40	70	4	46	840	10,560		〃	電極棒徑4粍
42	130	12	50	70	4	33	840	10,560		〃	〃
43	118	7	30	67	5	20	420	4,814		〃	〃
44	122	6	40	67	5	27	560	6,418		〃	〃
45 (T)			15	110			700	5,630	S	X型切口鋸切、電極棒3粍	
46 (〃)			15	110			510	4,021	J	〃	〃

上表について見るに電壓電流の關係は極工社のもの電壓低く電流多く、千住機械工場のものは電壓高く電流少なし、又電極棒の使用量につき見るに同一V型の鎔接に對して其最大最小の間に2.2倍以上の差異がある。これは丸鋼衝頭の間隙に大小の生ずること鎔接部の膨みの多少に原因するもので、第二十五圖及第二十六圖に示した寸法をもつものとすれば、大體5 300粍³及2 200粍³となる筈で30% 及120% 程度の相異が認められる。

41. 破壞試驗成績と破壞狀況 丸鋼接合の一方法としてのE種鎔接の强度を試驗すると同時に、電弧鎔接の抗張强度を試驗して§5に述べたFillet Weldの强度と比較せんがため、試片の幾分は鎔接部を丸鋼の徑と同大に削成して破壞試驗を行つた。寫眞十八は試片No. 20乃至No. 23の削成せる狀況を示す。第三十表の破壞試驗成績中、＊印を附した試片が夫れである。試驗機は試片 No. 20乃至No. 29は本所の100噸オルセン型、試片No. 30乃至No. 46は東京帝國大學土木教室備付の30噸アムスラー型試驗機を使用した。

第三十表　E種鎔接試片破壞試驗成績

試片番號	丸鋼又は鎔接部斷面(粍²)	降伏點强度 荷重(瓲)	降伏點强度 應力强度(瓲/粍²)	破壞强度 荷重(瓲)	破壞强度 應力强度(瓲/粍²)	切斷時の强度 荷重(瓲)	切斷時の强度 應力强度(瓲/粍²)	伸長 伸(粍)	伸長 伸長度%	摘要	
20* (Y.S)	2.01	5,100	2,540	7,500	3,730				8.0	切口V型鋸切、	鎔接部中央切斷
21* (Y.O)	〃	5,400	2,680	6,200	3,090				4.7	〃	〃
22* (Y.J)	〃	5,200	2,590	6,800	3,380				6.7	〃	〃
23* (Y.C)	〃	5,200	2,590	6,500	3,230				5.3	〃	〃
24* (Y.C)	〃	5,100	2,540	6,000	2,990				4.3	〃	〃
25* (T.S)	〃	5,000	2,490	7,600	3,780				9.4	〃	〃
26* (T.O)	〃	4,800	2,390	7,500	3,730				9.4	〃	〃
27* (T.J)	〃	5,250	2,610	6,100	3,030				4.0	〃	〃
28* (T.C)	〃	5,400	2,690	7,100	3,530				7.0	〃	〃
29* (T.C)	〃	5,100	2,540	6,300	3,130				6.0	〃	〃
30 (T.S)	〃	6,100	3,040	8,100	4,030	8,100	4,030			〃	傾斜面に沿つて切斷
31 (Y.S)	〃	6,150	3,060	7,700	3,830	7,700	3,830			〃	〃

32	(T.J)		6,000		7,600		7,600				〃	鎔切部中央切斷
33			6,000		6,250		6,200		3.5†	2.5	〃	〃
34*		2.01	6,200	3,090	6,800	3,380	6,700	3,330			〃	〃
35			5,800		7,400		7,400		11.5†	8.2	〃	〃
36		2.01	6,100	3,040	8,600	4,280	8,600	4,280	8°	8	〃	傾斜面に沿つて切斷
37*		2.01	6,000	2,990	6,700	3,330	6,700	3,330	4°	4	〃	鎔接部中央切斷
38			5,800		7,200		7,200		5°	5	切口V型鑽切、	〃
39		2.01	6,100	3,040	8,900	4,430	8,900	4,430			〃	鎔接部四分の一點切斷
40		2.01	6,100	3,040	7,600	3,780	7,600	3,780			〃	〃
41			6,400		7,650		7,650		5.6†	4	〃	鎔接部中央切斷
42			6,000		6,200		6,200		4.0†	2.8	〃	同上四分の一點切斷
43			5,800		6,300		6,300		5°	5	〃	鎔接部中央切斷
44*		2.01	5,900	2,930	6,000	2,990	6,000	2,990	3°	3	〃	〃
45			6,300		8,200		8,200				切口X型鑽切、	〃
46			6,400		9,900		7,300				〃	丸鋼切斷

伸長は†印のものGauge length 14糎、○印のもの10糎、其他のもの15糎なり。

鎔接部を削成せる試片に於ては其切斷はすべて鎔接の中央部に起つて居る。寫眞第十九は其切斷狀況を示す。試片 No. 20 乃至 No. 29 について其切斷面を見るに、各片共に微氣泡を有して居る。寫眞第二十に現はれて居る小白點はこれである。氣泡の在存する程度は最大强度を示して居る試片 No. 20 に於て最も少なく、No. 21 に於て最も多い。No. 27, 28, 29 等にては各層の境目に Slag 氣泡等の在存の著しいことが認められる。一般に鎔着部の組織は一樣で作業が大體に於て良好に出來たものと云へる。

同じ鎔接部を削成して試驗した試片 No. 34, No. 37, No. 44 の切斷狀況を見るに孰れもV型根部の組織粗く、氣泡を多く有し鎔着不完全なるものゝ樣である。斷面を見るとき下半は灰色で光澤なく、上半のみ光澤を有して居ることが認められる。

V型鎔接にて其まゝ試驗を行へるものゝ破壞狀況を見ると、切斷が鎔接部の中央で起り丸鋼の軸に直角の面で切斷したもの、V型の斜面に沿つて丸鋼と鎔接材との境目から切斷したもの、鎔接部の四分の一點附近にて破壞が起り丸鋼の一部と鎔接材とが軸に直角の面で切斷されたもの、同上の場合其點の丸鋼が切斷し、それから先きは切斷がV型の斜面に沿ふてV型の外部へ進んだもの、丸鋼部の切斷したものとの五種がある。試片 No. 32, 35, 38, 41, 43, 45 は第一種、試片 No. 30, 31, 36 は第二種、試片 No. 40, 42 は第三種、試片 No. 39 は第四種、試片 No. 46 は第五種の切斷をして居る。各試片の切斷面を見ると概してV型の根部の鎔接が面白くなく、この部分に大なる氣泡 Slag を有するものが多い、V

型の頂部は組織も一様に氣泡の在存も少ない、試片によつては斷面の上下部の組織を光澤と其粗密により確然と區別出來るものもある。

寫眞第二十一、二十二、二十三は試片の中主なるもの〻切斷狀況を示したものである。寫眞第二十四乃至第二十六は其切斷面である。

42. 破壞强度につきての考察 制成した試片の示せる降伏點强度について見るに極工社製のものは2 400瓩乃至2 700瓩程度で平均2 570瓩である。これを丸鋼の材料試驗に於ける降伏點强度の平均値3 000瓩に比較するに約86% に當つて居る。千住機械工場製のものは其平均値約3 000瓩で丸鋼の降伏點强度に何等の遜色がない。又其破壞强度について見るに極工社製のものは其平均强度は3 370瓩、千住機械工場製のもの3 230瓩で丸鋼の材料試驗に於ける破壞强度4 580瓩の73%～70% に相當して居る。これを從來の歐米に於ける實驗結果70%～90% に比較すると其最下位の値を示して居り決して最優良の作業が行はれて居るものとは云へぬ。又極工社製のものと機械工場製のものとが降伏點强度に於ては後者がまさり、破壞强度に於ては前者が優れて居るが、其原因が作業の相異よりも寧ろ電極棒の材質の差異に原因するものと考へられるが明瞭ではない。

極工社製のものに於て盛り方に縱と橫との二方法を用ひて居るが、其强度に及ぼす影響は殆んど認められず只其伸長度の平均値に於て多少の違ひを示すに過ぎない。

又鎔接手による作業の相異は其强度の上に相當の影響を見せて居る。破壞强度に於てはS鎔接手のものが盛り方の縱橫に關係せず最大强度を見せて居り、强度最少のものとの間に25% 程度の距りがある。

V型にて鎔接のまゝ破壞試驗を行ひたる試片の强度は鎔接部の斷面積が、計畫の寸法と可成りの相異を有し、且其の表面の凹凸大なるため正確なる斷面積の算出困難なるが故にこれを算定せず表には荷重のみを揭げた。これによつて見ると其降伏點荷重は鎔接部の斷面の大小に關係なく、殆んど一樣で平均約6 000瓩である。これを削成せる試片の降伏點荷重中、極工社製のものに比較すると20% 增し、機械工場製のものとは殆んど同樣である。鎔接が計畫寸法に出來て居るとすれば56% の增加となる筈であるが實際は以上の樣に極めて小さい增加率を示して居る。この理由は鎔接部の斷面が計畫寸法より小さいことのほかに、其表面に近い部分は火口のために組織粗く、强度も低いことに基因する。又强度の增加率が極工社のものが大きいのは同社製のものが鎔接斷面が機械工場製のものより概して大きく出來て居ることに原因するものである。平均降伏點荷重6 000瓩は丸鋼材料試驗の結果の95% に相當する。

次に破壞荷重について見ると其强弱は切斷の模樣によつて非常に異る。最大强度を示して居るものは前節に說いた第四種の切斷をしたものである。次位に位するものが第二種の切斷をしたもの、第三種及第一種が殆んど似た强度で最も低い値を示して居る。第四種の切斷をして居る試片 No. 39 の破壞荷重は 8 900 瓲に達し丸鋼材料試驗の平均成績 9 200 瓲の 97% で丸鋼中のあるものはこれ以下の荷重で切斷して居る。第二種の切斷をなしたものゝ平均荷重は 8 100 瓲で丸鋼の 88%、第三種及第一種の平均荷重は 7 000 瓲で丸鋼の 76% である。

上記の成績に鑑みると、鎔接部を第二十五圖及第二十六圖に示した程度の寸法に施工を用ひたのでは、其降伏點强度は丸鋼自身の强度に近いものとなし得るも、破壞强度は作業の良好なるものゝみ丸鋼に近い强度を示し、然らざるものは其 76% 程度を示すに過ぎない。最强と最弱との間では 25% 程度の相異がある。卽ち此種のものでは作業が比較的難しく均一なる强度の接合を作ることが困難であると云ふことになる。このことは電極棒の消費量に著しく相異のあることからも考へることが出來る。電極棒使用量と强度との關係は全くまちまちで、何等のまとまつた結果を示してゐない。卽ち强度の大小は電極棒の使用量よりは寧ろ作業の善惡によるものであることが云へる。又電極棒の所要量が計算上からは 5 300 粍³ 程度で C 種第二十一圖のものよりは少ないが、D 種第二十四圖のものよりは多く實際の使用量の平均は 6 900 粍³ で、計算上の所要量の 30% 增となつて居る。

丸鋼接合端の切斷方法の相異が接合强度に及ぼす影響は全然認められない。從て此種の接合を用ふるとき鐵筋端は鋸引とする必要なく、鐵筋切りでの切り放しで充分である。

又、機械工場製のものは兩種類の電極棒が使用されて居るが其强度に及ぼす差異は認められない。

切口 X 型のものゝ强度は其試片の數が少くないから斷定的には云へぬが V 型のものよりまさつて居る樣である。このことは從來厚さの相當に大なる鋼板の鎔接に對して認められて居つた事實で、丸鋼の場合についても同樣の結果が見られたことになる。鎔接棒の所要量に於ても V 型のものゝ $\frac{1}{2}$ 以下で充分な筈である。只鐵筋の接合としては V 型は丸鋼の片側からの作業ですむが、X 型に於ては兩側から作業せねばならぬ不便がある。

試片 No. 45 及 No. 46 について其成績を見るに、其降伏點荷重は平均 6 350 瓲で、丸鋼の材料試驗の平均强度 6 300 瓲を超して居り、其破壞荷重も平均 9 050 瓲で中一本は鎔接部外の丸鋼部で切斷して居る。卽ち第二十六圖に示した程度の鎔接寸法で丸鋼强度を失はない接合を作ることは困難でない。其所要電極棒量は計算では 2 200 粍³ の小量で實際使

用したものは計算値よりは遙かに大きい4800粁° であるが、それでもC種第二十一圖のものゝ計算値の80%、D種第二十四圖のものゝ計算値の10%増しに過ぎぬ。兩者の實際の消費量に比べたならば餘程少ないものとなることは明かである。

43. 應力變形圖 破壞試驗に際して應力變形圖を作製し得たものは本所の試驗機を用ひた試片 No. 20 乃至 No. 29 たけである。これ等はすべて削成して試驗したものであつて、鎔接せるまゝにて試驗せるものについては應力變形圖を示し得なかつたことを遺憾とするが、大體削成せるものと大差ない傾向を示すものと考へて誤りなからう。附圖第三は其應力變形圖であるが、其伸長度の小なるがために同表の極めて短いだけで降伏點前後の傾向には特異なところを見出さない。たゞ降伏點後の圖表が丸鋼の場合に比してなめらかでない。これは鎔接部の伸びが丸鋼の様に一様に進まず間歇的に起ることを示すものである。

44. E種鎔接の得失 以上の試驗成績を要約してE種鎔接の得失を考へ、これを他の工法と比較するならば次の如くである。

1. V型、X型孰れを問はず、其切れ込みの根部に於ける鎔接は完全には行はれ難い。從て斷面の傾斜をあまり急とすることは面白くなく、又太い電極棒を使用することも思はしくない。

2. 鎔接部の强度の充分あるものゝ切斷は、丸鋼と鎔接鋼の接觸部たる傾斜面で起る。

3. 鎔接鋼の抗張强度は降伏點に於て最弱のもの丸鋼材の86%、最强のものは丸鋼と遜色ない、破壞强度は70%餘である。

4. 電極棒の盛りの方向の差は强度に著しい影響を與へない。

5. 丸鋼切斷の方法も强度に影響を及ぼさない。

6. 實驗に供した程度の鎔接斷面ではV型のものは降伏點荷重は大體丸鋼の夫れに近いものに出來るが、破壞强度は充分に發揮せしむる様な作業が難しい、鎔接棒の消費もD種のものより多い。

7. 實驗に供した鎔接斷面ではX型のものはV型のものより優れてをる、其降伏點荷重、破壞荷重ともに丸鋼の夫れと大差ない値を示して居る。且電極棒の消費量は計算上から出る値の2倍以上を用ひて居つて尙V型のものゝ70%に過ぎない。只丸鋼の切斷上に他のものに見ない工夫を要する。

8. 應力變形圖から見たE種鎔接の働きは其伸長が少ないと云ふことの他特異な點を見出さない。

以上の點を鑑みるとE種鎔接の中V型のものは左程他種のものと比較して著しく勝つてをるとは考へられないが、X型のものは此等に比べて非常に優れた成績を示して居る。不幸にして實驗に供した試片の數の少ないことが、この結果を充分に力強いものにしないことを遺憾に思ふ。併し引きつゞき行はるべき實驗によつて、この點を明かにすることが出來る豫定である。

第七章　抵抗バツト鎔接試驗

45. 鎔接作業と試片の外觀　使用した丸鋼は徑$\frac{5}{8}$吋及$\frac{3}{8}$吋の二種でこれを大阪電氣會社製BL型バツト鎔接機にかけ鐵筋端赤熱熔解せる後加壓鎔接せるものである。接合時に於ける鎔解程度及加壓の度はこれを明かにすることが出來ぬが、各試片鎔接の際に用ひた最大電流並に作業時間は次の通りである。

第三十一表　使用電流と作業時間

試片番號	直徑（吋）	最大定常電流 (Amp)	鎔接時間（秒）	調節器番號
47	$\frac{3}{8}$	4.2	4.0	7
48	$\frac{3}{8}$	4.2	4.5	7
49	$\frac{3}{8}$	4.2	4.7	7
50	$\frac{3}{8}$	4.2	5.1	7
51	$\frac{3}{8}$	4.2	5.4	7
52	$\frac{5}{8}$	100.0	6.7	3
53	$\frac{5}{8}$	104.0	8.0	3
54	$\frac{5}{8}$	102.0	9.5	3
55	$\frac{5}{8}$	102.0	10.2	3
56	$\frac{5}{8}$	102.0	11.0	3

各試片とも其接合部に加壓の結果たる「バリ」を相當に有してゐる。寫眞第二十七及第二十八に示すものは其「バリ」を多少手直したものである。而して徑$\frac{3}{8}$吋のものに於てはこの「バリ」に接合線を認めることは困難であるが徑$\frac{5}{8}$吋のものにあつては試片 No. 52, No. 54 に於て相當明瞭に認めることが出來る。

46. 破壞試驗成績と破壞狀況　試驗は東京帝國大學工學部土木教室のAmsler型30噸試驗機で行つた。其成績第三十二表の如くである。

第三十二表　抵抗バット鎔接試片破壞試驗成績

試片番號	丸鋼斷面(糎²)	降伏點強度 荷重(瓲)	降伏點強度 強度(瓲/糎²)	破壞強度 荷重(瓲)	破壞強度 強度(瓲/糎²)	切斷時の強度 荷重(瓲)	切斷時の強度 強度(瓲/糎²)	伸長度(15糎に付) 伸長(糎)	伸長度(15糎に付) 伸長度(%)	摘要
47	0.712	1,800	2,525	2,700	3,800	2,000	2,810	3.5	23.3	丸鋼切斷
48	〃	1,900	2,670	2,700	3,800	2,100	2,950	3.2	21.4	〃
49	〃	1,900	2,670	2,700	3,800	2,100	2,950	3.7	24.7	〃
50	〃	1,900	2,670	2,700	3,800	2,150	3,020	3.9	26.0	〃
51	〃	1,900	2,670	2,700	3,800	2,200	3,090	4.0	26.7	〃
52	1.98	5,000	2,525	5,700	2,800	4,000	2,020	0.5	3.33	鎔接部切斷
53	〃	5,300	2,680	7,700	3,890	5,000	2,520	*		丸鋼切斷
54	〃	5,300	2,680	6,100	3,080	6,000	3,030	0.5	3.33	鎔接部切斷
55	〃	5,400	2,730	7,750	3,900	5,200	2,630	3.6	24.00	丸鋼切斷
56	〃	5,600	2,830	6,200	3,130	6,000	3,030	1.1	7.34	鎔接部切斷

＊印は切斷がGauge length外にて起れるものを示す。

破壞狀況を見るに直徑$\frac{3}{8}$吋のものにありては、すべて其切斷は接合點外に起つて居り、切斷箇所と接合點との距りはほゞ5.5糎である。(寫眞第二十九參照)又後の切斷鎔接部を見るに何等きわだつた變化を認められない。直徑$\frac{5}{8}$吋のものにあつては試片No. 53及No. 55の2試片は鎔接部外にて切斷せるも、他の3試片は皆接合部にて切斷してゐる。又鎔接部外にて切斷せる2試片に於ても其鎔接部を見るに、其接合線を明かに認め得らるゝに至つた。(寫眞第三十參照)而して斷接部にて切斷せる3試片について其斷面を見ると寫眞第三十一に明かなるが如く斷面周圍及其一部は鎔接不完全で中央部のみが完全に鎔着してをることが認められる。鎔接部外にて切斷せる試片No. 53及No. 55に於ても接合線を認め得らるゝに至つた點から見ると其周圍は鎔接不完全なるものと思惟する。

47. 破壞強度に關する考察　徑$\frac{3}{8}$吋のものにあつては其降伏點強度、破壞強度共に§3に述べた材料の强度と何等遜色がない。接合は100%强度を有するものと稱しても過言ではあるまい。たゞ其伸長度が平均24.4%で材料の夫れの約94%である。これは同一Gauge lengthに對して試片は其接合部の斷面大にしてこの部分の伸長が少きことに基くものである。

直徑$\frac{5}{8}$吋ものにあつては其成績は直徑$\frac{3}{8}$吋のものに比して著しく不良である。5試片の中僅かに2試片が接合完全にして切斷は接合點外に起り强度は材料の夫れと全く同樣であるが殘りの3試片はすべて鎔接部に於て材料の77%位の强度で切斷してゐる。只其降伏點程度は切斷箇所の如何によらず大體材料の有する强度に匹敵してゐる。其伸長度について見ると鎔接部外にて切斷せる試片No. 55は24%で、材料の夫れの73%であり、接

合部の切れた試片の伸長度は3.33～7.3%程度にして材料の夫れの$\frac{1}{7}$にも達しない。

以上の如く徑$\frac{3}{8}$吋のものに於ては充分なる强度を有する接合を得たるに拘らず、徑$\frac{5}{8}$吋のものに於ては材料の75%にも達せざる强度を示したもゝ多き理由は、接合部の抵抗電熱による加熱鎔解に必要なる電力が徑の小なるものにありては比較的少量にして、從て作業容易なるも徑の大となるにつれ所要電力の增加は著しく、完全なる鎔接を得るがためには充分大なる能力の鎔接機を用ひ且加熱時間の長短、壓力の大小、加壓時間の長短等の調節に周到なる熟練を必要とするのみならず、抵抗電熱による加熱が徑の小なるものに於ては斷面全體に比較的均等に行はるゝも、徑の大なるものに於ては均等性を缺き易く、其邊緣に於て鎔着不完全なる部分を生ずること多きによるものと推察す。最後の問題につきては加熱前の鐵筋端の加工法が著しい關係を有するものであることは勿論である。

上記の試驗成績は既述の如く大阪電氣株式會社がこの試驗のために提供された試片について行つたものであるが、尙この抵抗鎔接法を實地に應用した阪急電鐵市街線工事及横濱毛糸檢査所建築工事の際に行はれた强度試驗の結果を揭げると次の通りである。孰れも兩工事當事者の好意によつて知ることを得たものであつて、こゝに厚い謝意を表する。

第三十三表　横濱毛糸檢査所建築工事に於ける鐵筋鎔接强度試驗成績

試片番號	丸鋼公稱直徑（吋）	斷面積（糎²）	降伏點强度 荷重（瓲）	降伏點强度 强度（瓲/糎²）	破壞强度 荷重（瓲）	破壞强度 强度（瓲/糎²）	伸長度 標距（吋）	伸長度 伸（吋）	伸長度 伸長度（%）	摘要
A	$\frac{3}{8}$	0.761	2,337	3,071	3,099	4,079	3	$\frac{13}{16}$	27.1	丸鋼切斷
B	$\frac{3}{8}$	0.768	2,286	2,977	2,794	3,638	3	$\frac{1}{8}$	4.2	鎔接部切斷
C	$\frac{1}{2}$	1.226	3,759	3,071	4,501	3,669	4	$\frac{5}{16}$	7.8	〃
D	$\frac{1}{2}$	1.226	5,658	2,992	5,182	4,221	4	$1\frac{1}{16}$	26.6	丸鋼切斷
E	$\frac{5}{8}$	2.000	7,041	3,528	10,008	5,008	5	$\frac{5}{8}$	12.5	鎔接部切斷
F	$\frac{5}{8}$	2.000	6,949	3,480	10,109	5,055	5	$1\frac{1}{4}$	25.0	丸鋼切斷

上記の試片は日本電氣鎔接株式會社の製作にして專賣特許瀆時式電氣バット鎔接機BFL型容量36 kwを使用してゐる。其成績を見るに之等試片を製作せる丸鋼の强度を明かにし得ざるが故にこれを明確に判斷し得ざるも、もし鎔接部外にて切斷せる試片の强度をもつて材料の强度とすれば大體の强度成績を推斷することが出來る。

各直徑の試片が2本づゝあるに對し、全部其一本は鎔接部にて切斷し一本は丸鋼が切斷してゐる。先づ徑$\frac{3}{8}$吋及$\frac{1}{2}$吋のものについて考へると一本が全强を發揮したものと考へると他方は88%の破壞强度を示してゐる。又伸長度は鎔接部の切れたものは全强を示したもゝ$\frac{1}{4}$～$\frac{1}{5}$程度である。

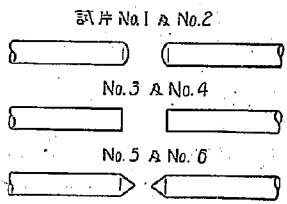
第三十四表　阪神急行電鐵市街線工事鐵筋接鎔强度試驗成績

試片番號	丸鋼公稱直徑（吋）	斷面積（糎²）	破壞强度 全荷重（瓲）	破壞强度 强度（瓲/糎²）	摘要
1	$\frac{3}{4}$	2.819	11,684	4,142	丸鋼切斷
2	〃	2.826	11,887	4,205	〃
3	〃	2.806	7,112	2,519	鎔接部切斷
4	〃	2.845	11,938	4,189	丸鋼切斷
5	〃	2.852	11,786	4,126	鎔接部切斷
6	〃	2.871	10,363	3,606	〃

本試驗に於ても丸鋼材料の强度は示されてゐない。今これを鎔接部外で切斷したる試片の平均强度4 180瓲と認めるならば、試片No. 3の强度は其60%、No. 6は86%にしか相當してゐない。

この試驗では丸鋼端を第二十九圖の3種として鎔接してゐるが、强度試驗の結果には明かな區別を見出すことが出來ない。

第二十九圖



48. 抵抗バツト鎔接の得失　以上抵抗バツト鎔接について述べ來つた點を要約すれば次の如くなる。

1. 電弧鎔接に於けるが如く電極棒其他の補充材料を要せざるが故に、丸鋼直徑が比較的小なる場合は接合費低廉なり。丸鋼直徑大となるとき電力費の增加に著しいものがある。

2. 現今の抵抗バツト鎔接機では鐵筋の鎔接は其組立前にしか應用出來ない。

3. 直徑が比較的小さい（例へば$\frac{3}{8}$吋又はこれ以下）鐵筋にては其接合强度を90%～100%とすることは困難ではない。

4. 直徑が少し大なるものは接合程度の充分なものも得られるが、强度75%～85%程度のものも相當に出來る。當所の試驗に於て直徑$\frac{5}{8}$吋のもので總試片中充分な程度を示したものは其40%に過ぎない。この割合は作業の巧拙によつて大いに異る筈であるが、使用鎔接機の能力にも非常な關係をもつ。其鎔着の良否を判斷することが電弧鎔接のものよりも困難である。

第八章　結　　論

49. 鎔接部の強度より見たる各種鎔接法の比較　以上六種の鎔接、細別して第二圖に示した九種の電弧鎔接試片と抵抗鎔接試片とにつき其得失を論ぜんとするものであるが、之等の結果はすべて徑16粍（又は $\frac{5}{8}$ 吋）の丸鋼について行つたもので、徑の異つたものについては其結果に相當の補正を要することは勿論である。先づ其强度について比較して見ると、

A種　Filletの有無に關せず其降伏點强度は接合部の偏心のために丸鋼の强度の $\frac{1}{2}$ 程度に達するのみで應力變形關係に面白くない點がある。重襲4—5dにて切斷が丸鋼部に起る。

B種　降伏點强度はA種に比して遙かに優れるも、鎔接端に起る局部的の過應力のために丸鋼の夫れの88%の程度に達するのみである。而してこの値は重襲の大小に殆んど無關係である。重襲4d以上のものは切斷が丸鋼部に起る。

C種　添接材の有無に關係なく充分な降伏點强度を保持せしめることが出來、切斷を丸鋼部に起さすことが容易である。これがためには添接材なき衝重接合のとき接鎔部斷面の徑を1.2D，丸鋼接鎔長 $l=1.1D$ 以上を要する。添接材を有するものでは適當の添接材を選ぶとき重襲長は $l=0.9D$ 以上とすれば充分である。

D種　$R_1=D$ 以上の填圓鋲を用ふれば、切斷は丸鋼部に起る。其應力變形關係は極めて良好である。

E種　V型に於て $d=1.25D$ として其降伏點强度を丸鋼の夫れに殆んど近いものとすることが出來る。但し破壞强度は丸鋼の97%から76%と云ふ大きな變化がある。これは作業の困難なことを示すものと認める。X型のものは $d=1.4D$ として降伏點荷重、破壞荷重共に丸鋼の夫れと同等或は夫れ以上とすることが出來る，應力變形關係はV型、X型ともに良好である。

抵抗バツト鎔接　丸鋼の直徑が大體 $\frac{3}{8}$ 吋程度より小なるとき接合部は材料の全强を示しうるものと考へて誤りないが徑が $\frac{1}{4}$ 吋～$\frac{3}{4}$ 吋程度では90%～60%位の强度しか發揮し得ない場合がある。外見によつて接鎔の可否を判定することが電弧鎔接のものよりも困難である。

50. 電極棒の使用量より見たる各種鎔接の比較　前節の結果より見てA種は其强度の上から見て接合法として面白からざるものと認むるが故に、これを除外して其他の四種に

つきて接合部に丸鋼强度と同等の破壞强度を有せしむるに要する電極棒の使用量を列記して其優劣を比較したいと思ふ。前章に於て論及した電極棒消費量には實際に使用した量を掲げたものと、計算上から求めた量を示したものとがある。兩者の間に常に相當の距りがあることは免れない。前者が後者の倍以上に達することは珍らしくない。下表にはこの點を區別して掲げた。鎔接工の作業費が今日電極棒の量を單位にして計上せらるゝのが普通であるから電極棒の消費量の少いことは其工法の安價なることを示すものである。

第三十五表　電極棒使用量比較

鎔接法の種別		計算より求めたる電極棒所要量 (¥6³)	作業に消費したる電極棒の量 (¥6³)	摘　要
B種	a		6,610	Filletなきもの　重襲 5D
	b		4,951	Filletあるもの　重襲 4D
C種	a	5,890		第廿一圖に示せるもの
	b	3,700		第廿二圖に示せるもの
D種		4,300		填圓鈑の徑を 2Dとす
E種	a	5,300	6,900	V型　第廿五圖に示せるもの
	b	2,200	4,800	X型　第廿六圖に示せるもの

上表の結果から見ると電極棒の使用量の點からは、E種 b の X 型鎔接が第一位にあつて、C種 b, D種がこれに次ぐことになる。

抵抗バット接鎔に於ては全然これを必要としないことは勿論である。

51. 作業の難易より見たる各種鎔接の比較　抵抗鎔接は組立てた鐵筋については應用が出來ぬからこの問題は電弧鎔接による工法についてのみのことゝなる。作業の難易を其作業をなし得る方向から考へて見ると、

片側よりの作業のみにて可なるもの　E種 a

兩側よりの作業を要するもの　B種; C種 b; E種 b

丸鋼周圍に沿つて作業するもの　C種 a; D種

組立てられたる鐵筋工の現場で、型枠等の在存を考ふるとき片側作業のものが最も容易であつて、兩側のものこれに次ぎ、丸鋼の圓周に沿ふて作業することが最も困難であることは明かである。

次に作業の難易、換言すれば鎔接の結果の良不良を左右する大なる要素として、鎔接部の盛りの回數を考へねばならぬ。盛り數の增加するほど、其都度各層の境目に缺點が出來易い。盛り數の最も大なるE種 a の强度が甚しく均一性を缺いて居ることはこれに基因するものと認める。次に盛り數の大なるものはC種 a であるが、其他のものは皆2回又は1

回であつて、特に注意を要するほどの回數ではない。

次に鎔接の浸入の度を左右するものに鎔接部の開きがある，本試驗に供した試片はA種B種の外は開きの角度が90度か又は180度で最も普通の場合である。A種及B種のものは第11節に述べた様な理由で鎔鋼の充分な浸入を見ることが出來なかつた。

以上の3點から考へるとE種b及C種bが最も無難なものと云ふことが出來る。

52. 接合用の材料又は加工の有無より見たる比較　接合用の材料及鐵筋端の加工の全然不用のものはC種a及抵抗鎔接のみである。

接合用の材料を要するものはB種、C種b, D種で、B種は重襲長即ち長4～5Dの丸鋼を要し、C種bは丸鋼の$\frac{1}{2}$斷面積を有する添接材長約2Dのものを2本必要とする。兩者を比較すると後者は前者の約$\frac{1}{2}$の材料を要するのみである。D種は填圓鈑を必要とするものであるが徑$1\frac{1}{4}$吋、厚$\frac{1}{4}$吋のものを用ふとして其材料はB種の約$\frac{1}{3}$である。

鐵筋端の加工を要するものはE種であつて、其端を斜めにか又はへ型に切斷する必要がある，この切斷は別に仕上た切口を必要としないことが實驗の結果から知れて居るから、適當な鐵筋切りの工夫がされるならばさほど難しい問題とは考へられない。

53. 結論　以上述べたる諸點に鑑みて各種試片につき次の結論を與へることが出來る。

E種b　鐵筋端の加工の方法が工夫された場合最も優れた工法である。

D種　現場の狀況が丸鋼周圍の鎔接作業を妨げない場合、適當な工法と認める。

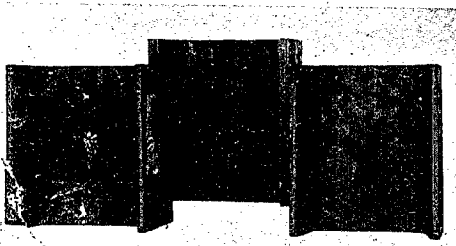
C種　添接材の適當なものが工夫された場合前二者よりも安全な方法である。

C種a, E種a　鎔接作業が最も完全に行ひ得る場合のほか危險な方法である。且電極棒の消費量が多い。

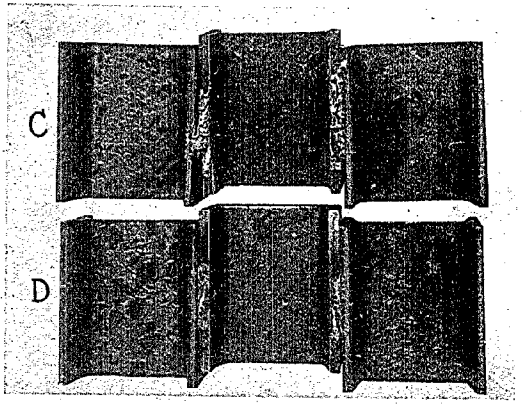
B種　重襲部の丸鋼が4D程度に必要なこと、電極棒が相當に多い點などから見て不經濟な方法である。

A種　偏心のために彎曲應力を生ずる點で接合法として面白くない。

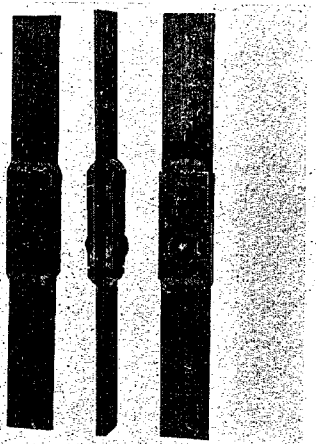
抵抗バット鎔接　組立前の鐵筋の鎔接法としては其經濟上の利點から云つて他の工法はこれに匹敵することは出來ぬ。只其强度は鐵筋の徑が小さく例へば$\frac{3}{8}$吋或は$\frac{1}{2}$吋程度以下のとき相當信賴出來るが、主要鐵筋で其徑が1吋或はこれ以上のものについては充分强力な鎔接[redacted]下に施工されたものでないと充分に信賴することが難しい。



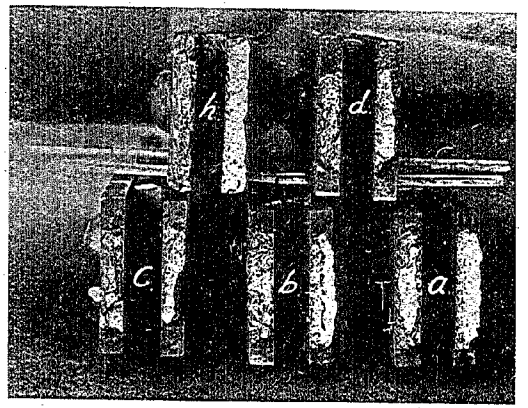
寫眞第一　長手溶接試片



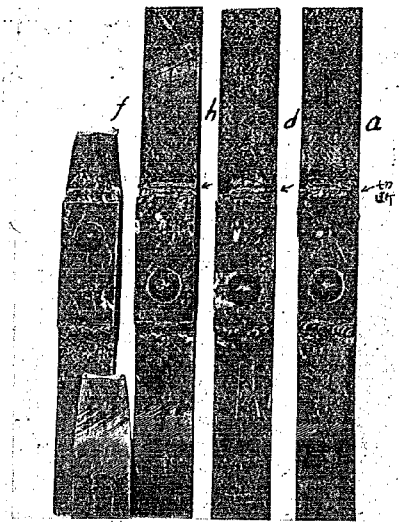
寫眞第三　長手溶接試片破壞狀況



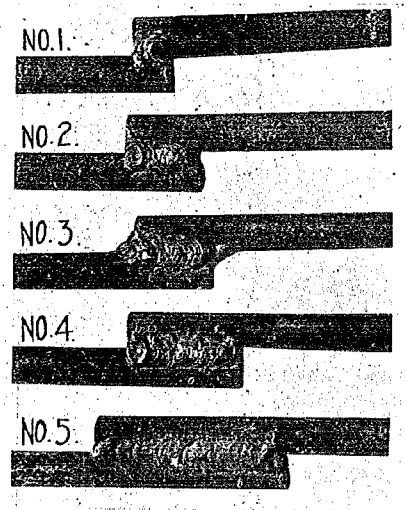
寫眞第二　小口溶接試片



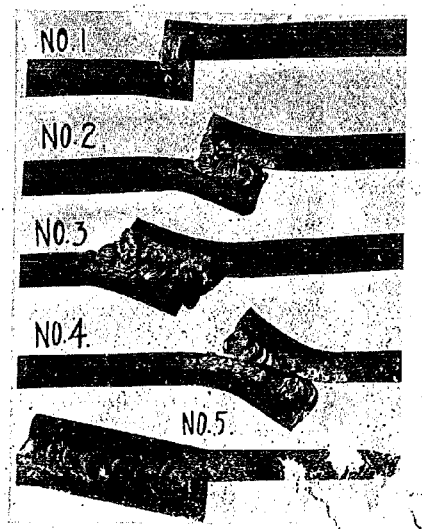
寫眞第五　小口溶接試片切斷面



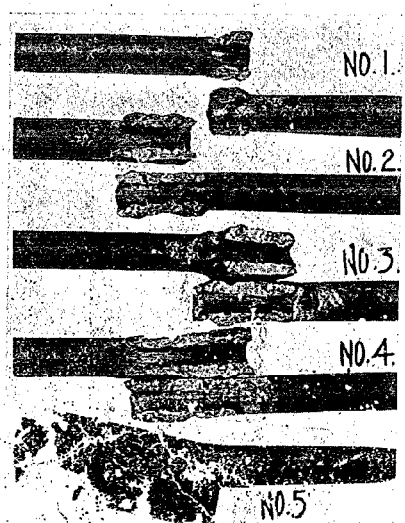
寫眞第四　小口銀接試片破壞狀況



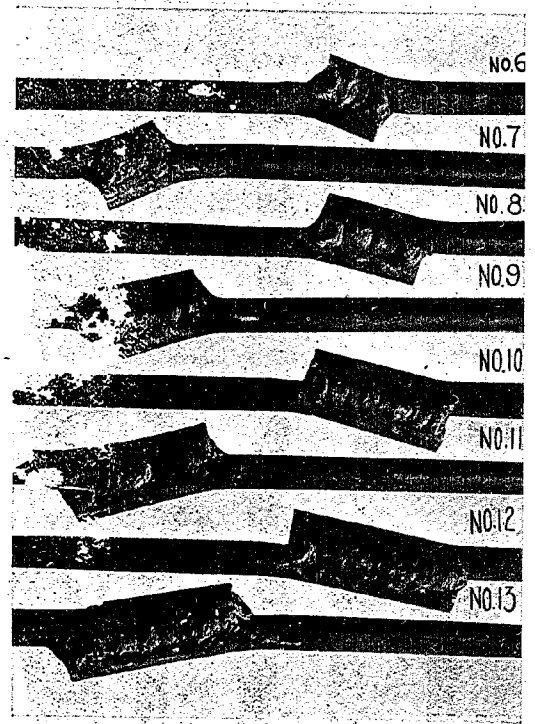
寫眞第六　A 種 試 片



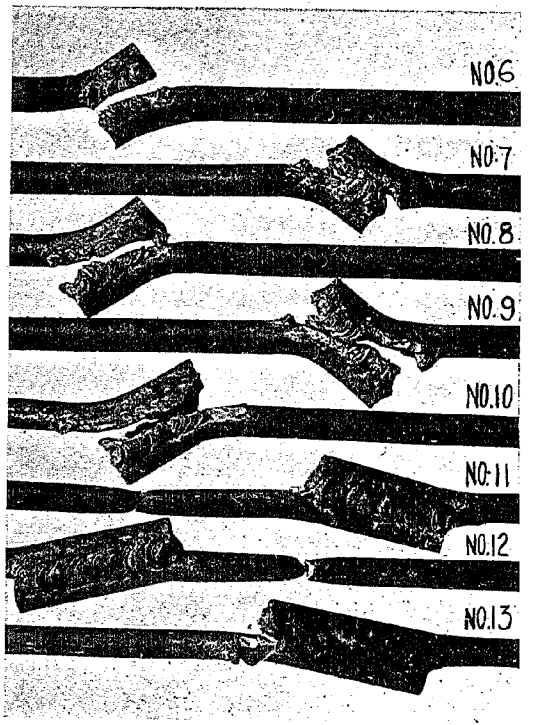
寫眞第七　A種試片破壞狀況



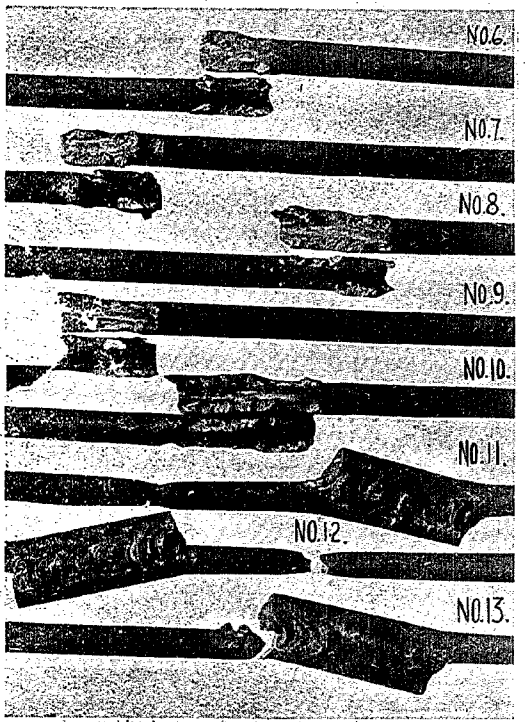
寫眞　八　A種試片破



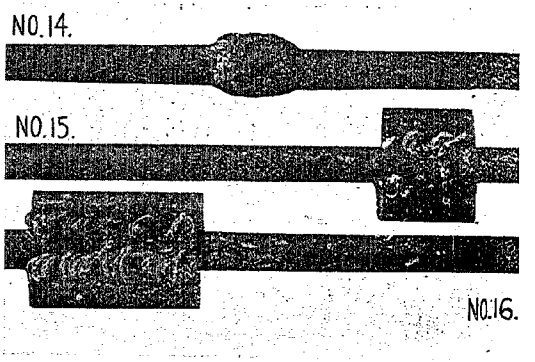
寫眞第九　B　種　試　片



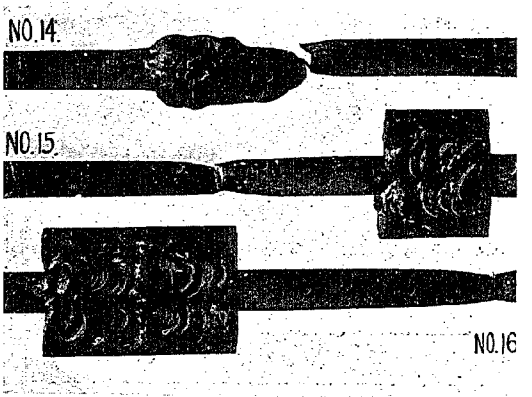
寫眞第十　B種試片破壞狀況



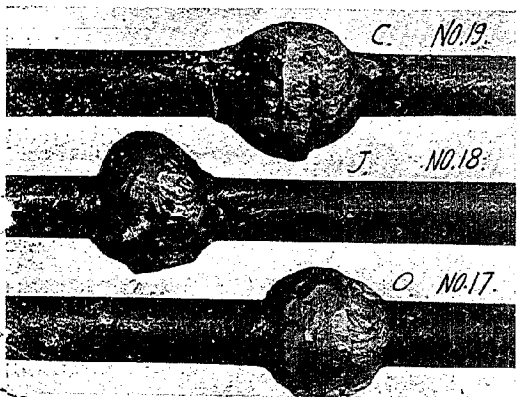
寫眞第十一　B種試片切斷面



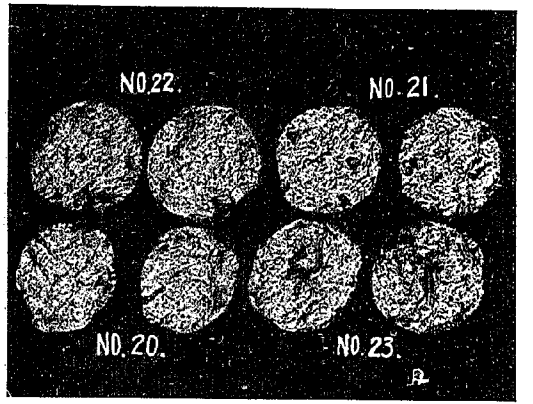
寫眞第十二　C種試片



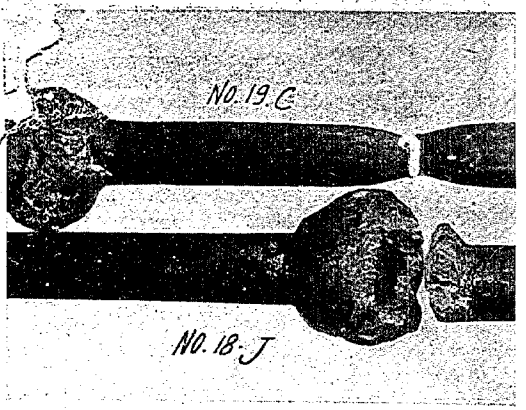
寫眞第十三　C種試片破壞狀況



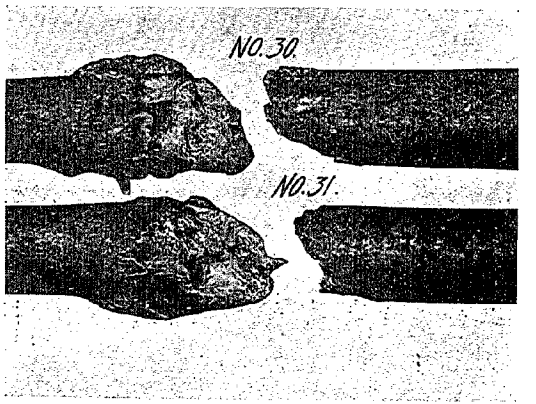
寫眞第十四　D 種 試 片



寫眞第二十　E種試片切斷面（其一）

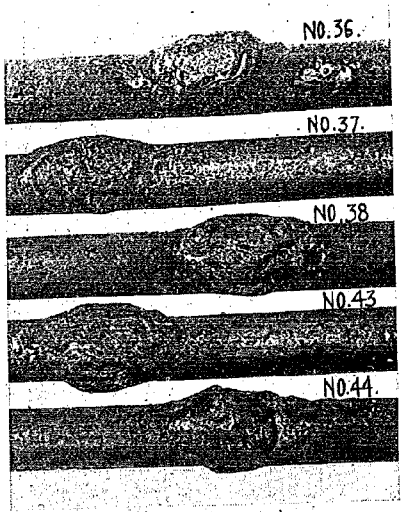


寫眞第十五　D種試片破壞狀況

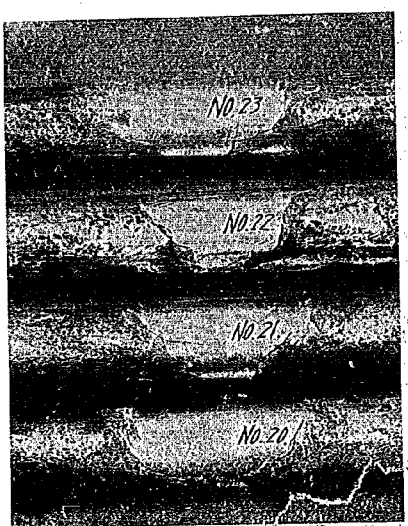


寫眞第十一　E 種試片破壞狀況（其一）

寫眞第十六　E 種試片（其一）

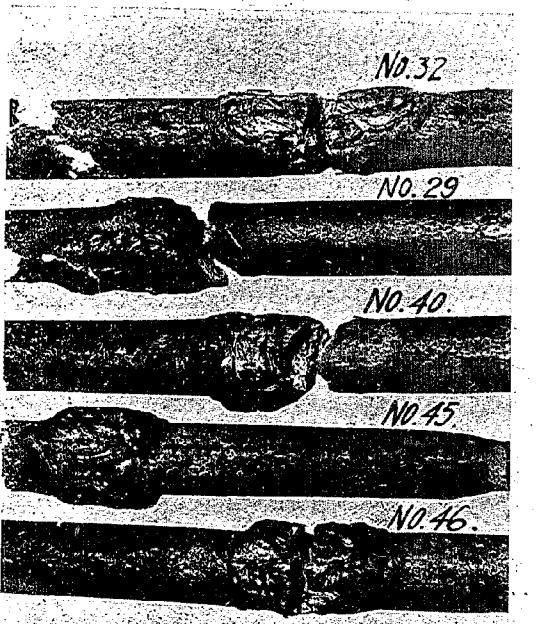


寫眞第十七　E 種試片（其二）

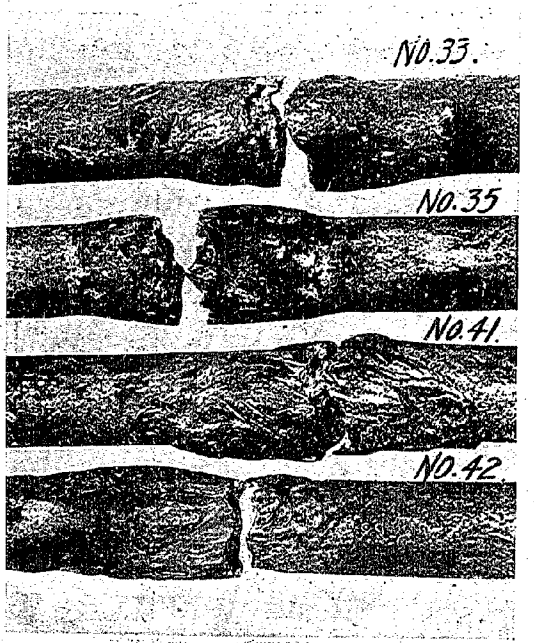


寫眞第十八　縫接部を削除したるE種試

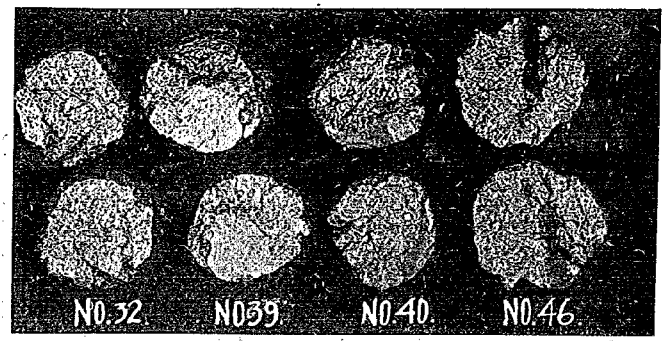
寫眞第十九　削除したるE種



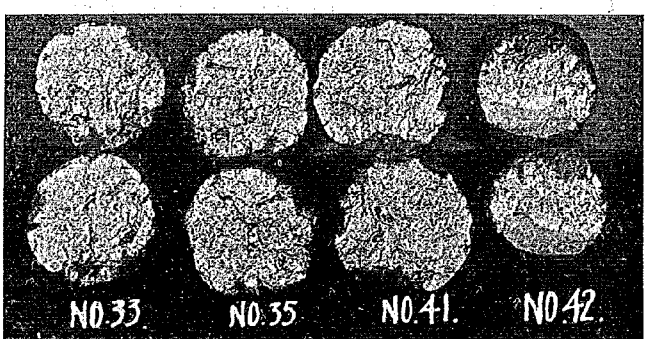
寫眞第廿二　E種試片破壞狀況（其二）



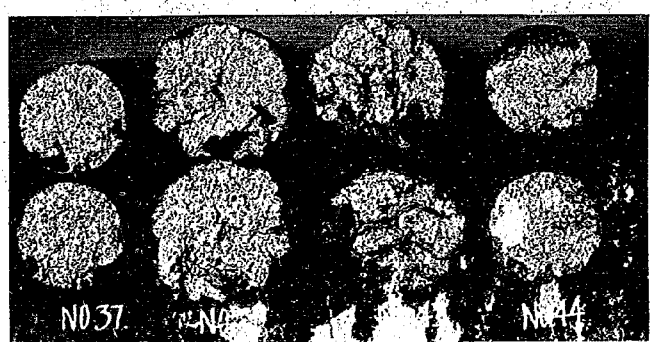
寫眞第廿三　E種試片破壞狀況（其三）



寫眞第廿四　E種試片切斷面（其二）

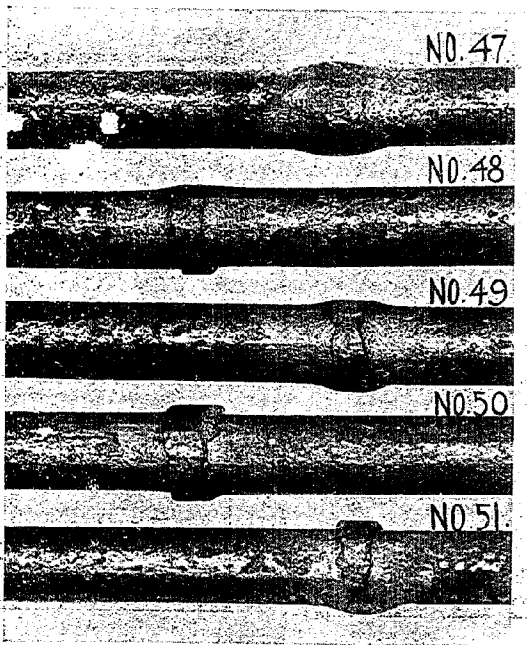


寫眞第廿五　E種試片切斷面（其三）

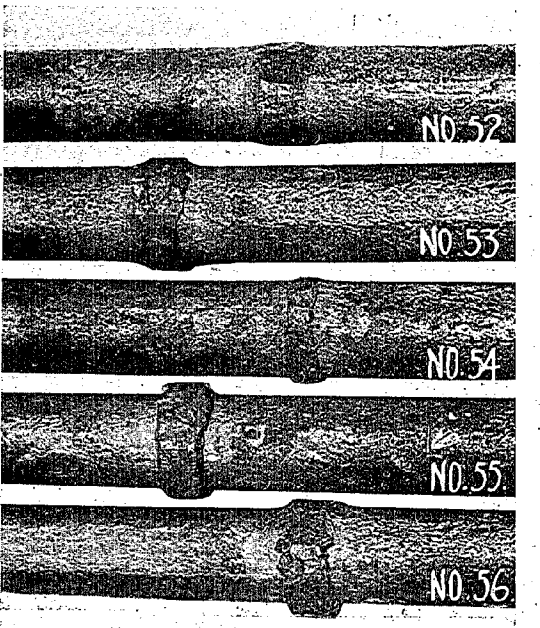


寫眞第廿　E種

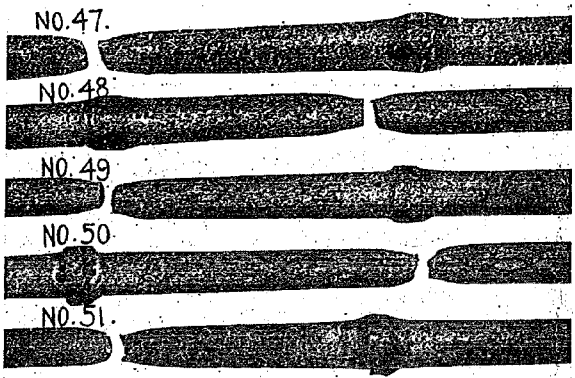
面　溶接試片切斷面



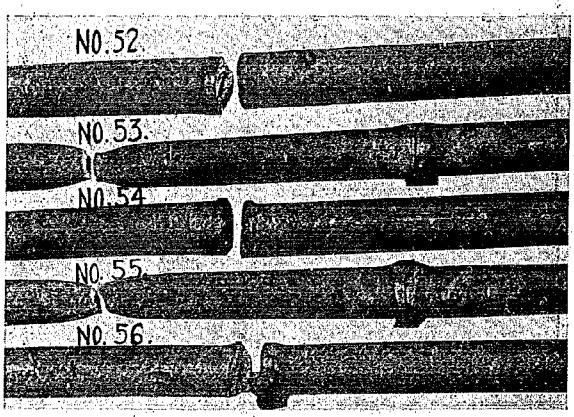
寫眞第廿七　抵抗バット鎔接試片（其一）
丸鋼直徑 $\frac{5}{8}$ 吋



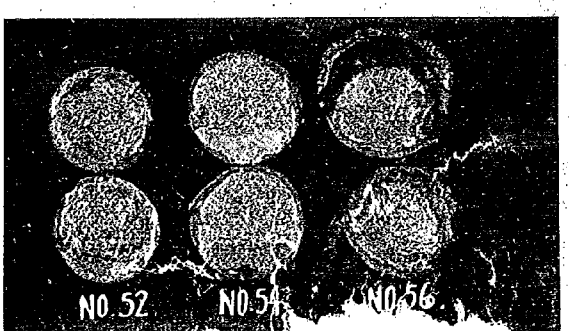
寫眞第廿八　抵抗バット鎔接試片（其二）
丸鋼直徑 $\frac{5}{8}$ 吋



寫眞第廿九　バット鎔接試片破壞狀況（其一）

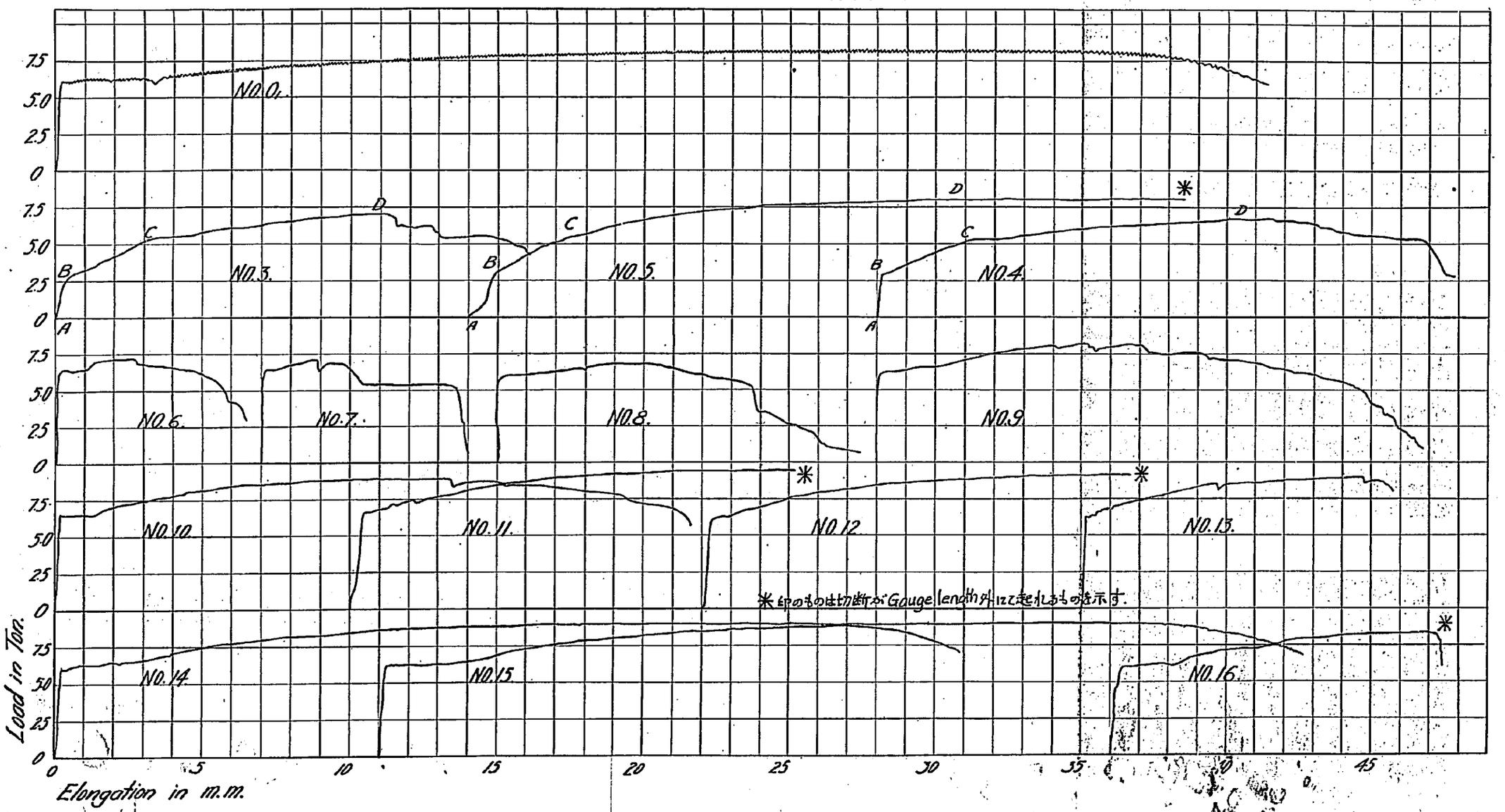


寫眞第卅　バット鎔接試片破壞狀況（其二）

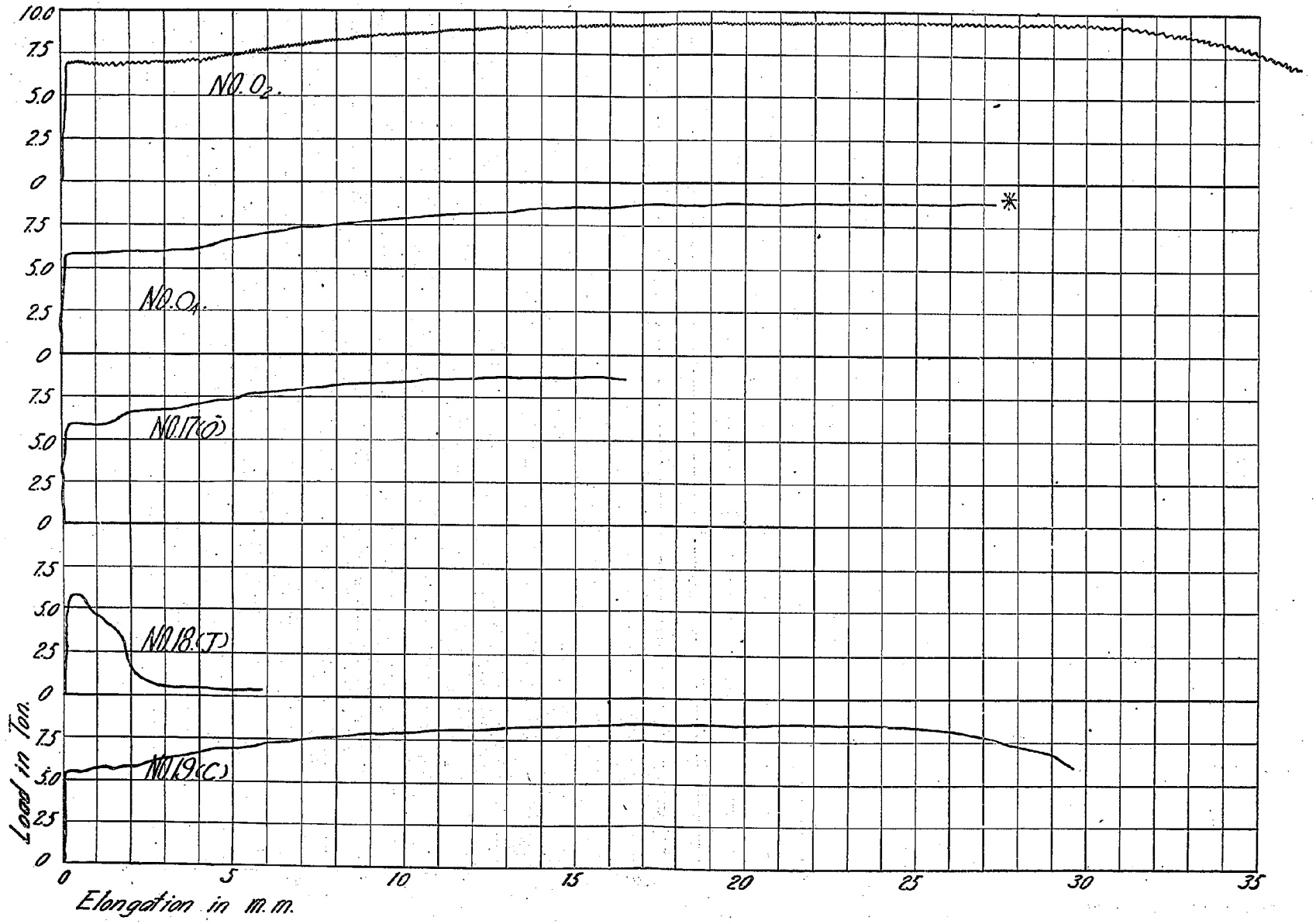


寫眞第

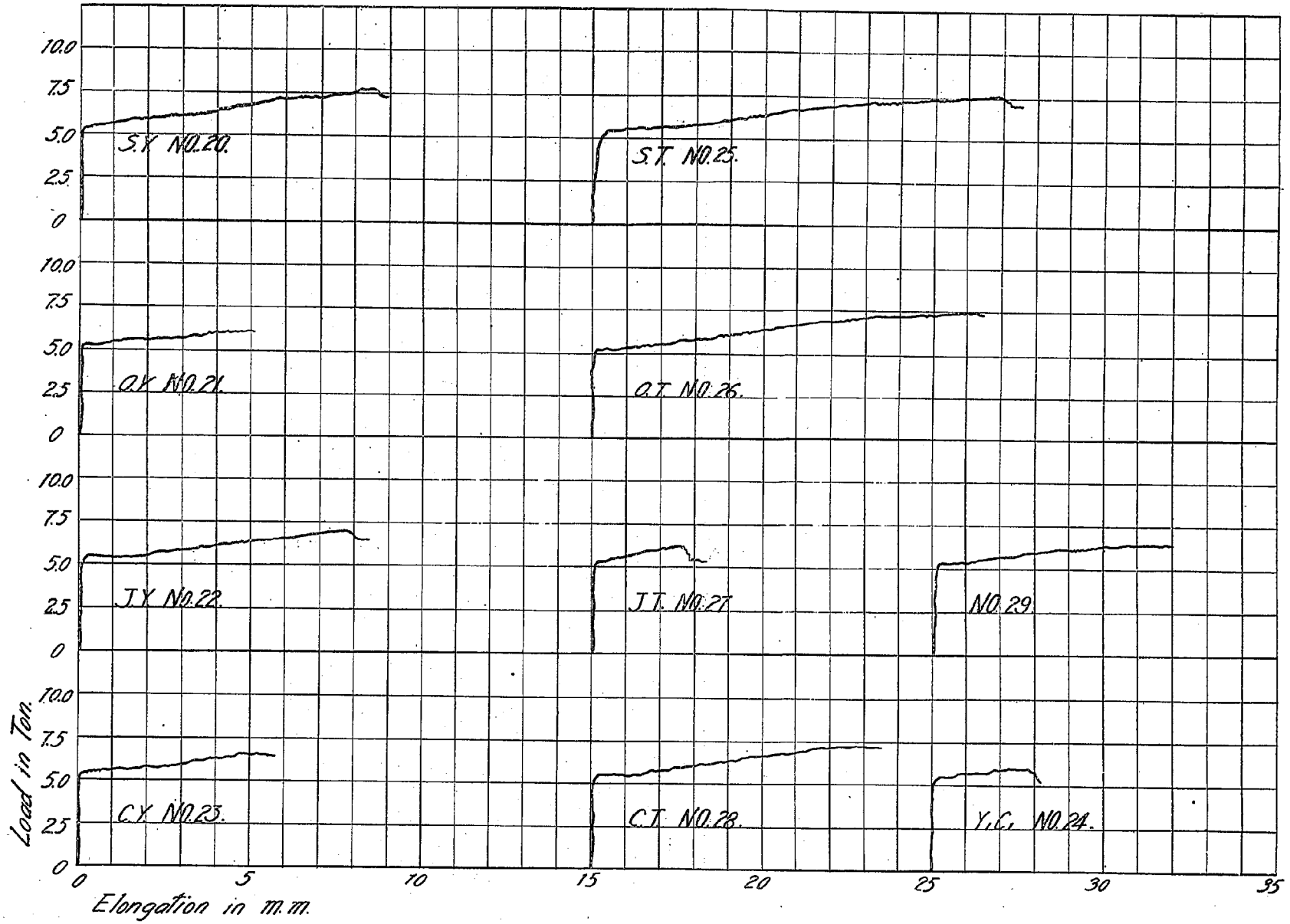
附圖第一　丸鋼鎔接試片應力變形圖(其一)



附圖第二　丸鋼鎔接試片應力變形圖(共二)



附圖第三　丸鋼鎔接試片應力變形圖(其三)



現場打混凝土の耐壓試驗報告

內務技師　高　田　　昭

緒　　言

本報告は工事現場に於て使用中の混凝土の一部を採取して作りたる供試體の耐壓試驗結果にして、大正十五年より昭和四年に至る四年間に庄川水力電氣株式會社小牧堰堤及昭和電力株式會社祖山並に城堰堤工事に使用したるもの、及東京市の依頼に係る8箇所の橋梁工事に使用したるもの等に就て試驗せしものなり。

顧るに混凝土の强度其他諸性狀に關する試驗研究は既に數十年前より歐米諸國に於て行はれたりと雖、本邦に在りては僅かにセメントに對する試驗のみが諸外國の情勢に略々並行して行はれたるを以て今日見るが如き好成績を擧ぐるに至りたるも、混凝土にありては之れが使用は既に數十年の久しきに亘るにも關らず其の强度に關する觀念は主に諸外國に於ける研究の結果に信頼して、各自が使用する材料及工法は各地各樣なるにも關らず之れにて施工せし構造物が所期の强度を有するものなるや、材料を經濟的に使用せしや否や等の點に關する試驗調査の如きは從來殆んど行はれざりしも遂に識者の着眼するところとなり5,6年前より俄かに各地に於て之れが試驗研究を盛んに行ふに至りたるは本邦の土木建築技術上洵に慶賀すべき趨勢なりとす。

然れども現場に於て使用せる混凝土の强度に關する試驗結果の發表されたるもの未だ極めて少數なるを以て敢て茲に前記試驗結果を纏めて報告するものなり。元より混凝土の强度は配合並に施工の如何に大なる關係を有するのみならず、溫度、施工後の手當等に依りても亦相當に影響を受くるものなれば本試驗に於て供試體の示せし强度と構造物自體の有する强度とは如何なる程度に於て一致するやは本試驗の結果に依りては未だ充分に判明せずと雖、少くとも一工事に使用せし混凝土の强度の均等性、並に諸所の工事に使用せしものゝ强度の比較上參考に資すべきものあるやに思惟さるゝなり。尙ほ後章には參考の爲め獨逸及米國に於て試驗されたる結果中權威あるものを集めて附記せり。

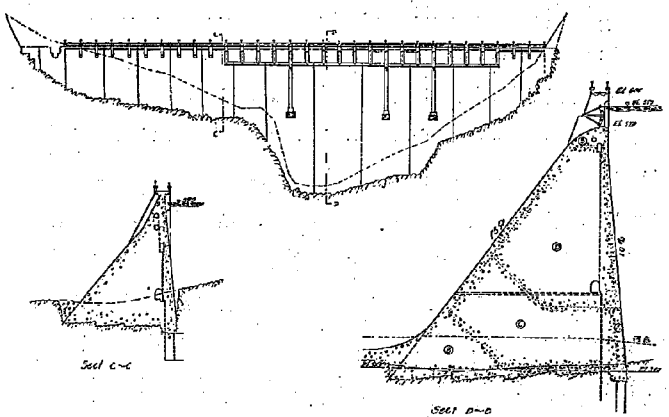
第一章 小牧堰堤混凝土試驗

一、施工概要

小牧堰堤は庄川水力電氣株式會社に於て富山縣東礪波郡東山見村字小牧地内庄川に築造したるものにして大正十五年に起工し昭和四年に略竣功せしものなり。堰堤は弧線形重力式にして其の最大高 260 尺、堤頂の長約 1,000 尺、堤頂幅員 15 尺、堤底最大幅員 216 尺、弧半徑 880 尺にして、之れに要せし混凝土は約 48,000 立坪 (約 288,500 m³) なり。

混凝土の配合は總平均に於ては 1:2.5:5 となせしも、之れを堤體の主應力に從ひ第一圖に示すが如く局部的に異る 4 種類の配合となし、上流趾及其上方約 40 尺の間の壁部に

第一圖 小 牧 堰 堤



は最も配合良きもの (A) を用ひ、下流趾、堤底及溢流部には之れに次ぐ配合となし (B), 堤體の大部分は (C) 及 (D) にて示さるゝ配合のものを使用せり。其の種類は第一表に示すが如し。

第一表 配 合

種類	配合	混凝土一立方米當材料		
		セメント	砂	砂利
A	1 : 1.91 : 3.82	300 Kg	0.42 m³	0.85 m³
B	1 : 2.16 : 4.32	270	0.43	0.86
C	1 : 2.49 : 4.98	240	0.44	0.88
D	1 : 2.88 : 5.76	210	0.45	0.89

二、材 料

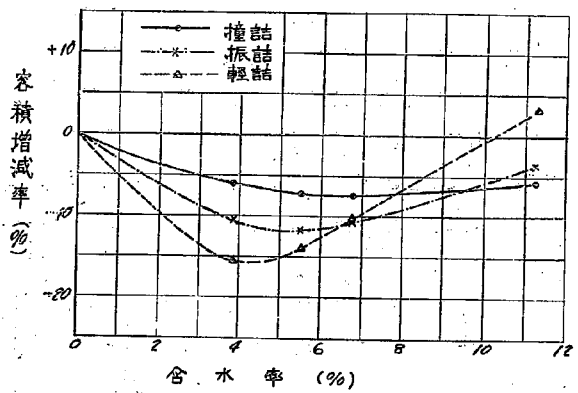
混凝土に使用したるセメントは北海道產淺野ポートランドセメントにして、砂及砂利は

堰堤より下流へ約1.5里隔りたる東磯波郡太田村地内庄川筋より採取せしものなり。

砂及砂利は何れも暗灰乃至綠色を帶び、主として石英斑岩、花崗岩、片麻岩、安山岩等の砂又は礫よりなり其の質堅硬なるものなり。篩分及比重試驗結果は第二表に示すが如し。

砂は一般に多少水分を含有するを以て之れを其の儘容積にて量る場合には其の乾燥せる場合に比し相當に調制する要あり。本工事に使用せしものは相當に粗粒なりしも第二圖に

第二圖　砂の容積と含水量との關係



示すが如き變化ありしを以て實際の施工に當りては含水量に應じて適宜に秤取量を變更することゝせり。砂が充分乾燥せる場合に在りても其の詰め方に依りて絕對容積には相當に相違あり、例へば撞き詰めたる場合を標準とし之れを100%とせば、振ひ詰めの場合は94%、輕詰めの場合には78%となるも第二圖に示すものは何れの詰め方の場合に於ても各乾燥狀態に於ける當該秤取量を標準となせり。

第二表　砂利及砂試驗成績

篩番號	砂利	篩番號	砂	
3″～2″	7%	No. 4～8	13%	2%
2″～1½″	39	8～16	14	4
1½″～1″	36	16～30	41	16
1″～¾″	11	30～50	23	45
¾″～⅜″	7	50～100	8	26
合計	100	100～0	1	7
		合計	100	100
比重	2.60～2.56		2.62	2.55
吸水率(%)	0.4～0.8		—	—

空隙率	輕詰	40.7	42.0
	振詰	34.8	34.7
	搶詰	33.3	32.8

三、供試體の製作及試驗方法

供試體は能ふ限り施工混凝土を代表せしむることに努めたり。

供試體の大さは使用せる砂利の大さ3吋（約7.5 cm）に及ぶものあるを以て其の4倍に相當する30 cmを直徑とし、高さ60 cmの圓壓形を以て標準となし、施行箇所附近に於て現在施工中の混凝土を採取し、スランプ試驗を行ひたる後實際施工狀態に準じて型に詰めることゝせり。供試體は3個を以て1組となし其の製作後48時間にして型を取り外し現場附近に据置き堰堤の施工混凝土と略同樣なる程度の手當を加へ、材齡1月及3月に於て試驗せり。供試體の製作は工事者によりて行はれたるも常に縣當局より監督官が立ち合ひ、試驗は本試驗所に於て處理せり。而して供試體は何れも試驗前15日迄現場に放置したる後之れを莚にて包みて箱に納め濕潤せる鋸屑を充分に詰めて運送中に乾燥或は毀損する虞れなき樣注意せり。

混凝土混合裝置は堰堤の左岸に設けセメントは重量にて秤取し、砂利及砂は容積にて量り之れを28切Koehling混合機を用ひて練りたる後エレベーター及シユートに依りて現場に送附せり。混凝土の採取は施工現場に於て行ひたることあれども製作並に手當等の都合によりエレベーターのバケツト內より採取せしこと多し。型は木製のものを使用せしも乾濕に依りて變形せず且極めて頑丈なる構造となし、之れに混凝土を詰めたる後濕布にて覆ひ約24時間の後に表面の仕上げを行ひたり。

試驗の大部分は獨逸MAN會社製1,000噸耐壓試驗機に依りたるも、供試體D10～12はAmsler型200噸耐壓試驗機に依りて施行せり。

四、試驗結果

試驗は36個の供試體に就きて行ひたるものにして其の結果は第三表に示すが如し。即配合4種類の混凝土中C種のものは都合により試驗せざりしも他の3種のものに在りては材齡1月乃至3月に於て86～158 Kg/cm²を示し、一般に材齡1月より3月に至るに從ひ强度を多少增加せしも比較的低率にして15%以下なり、又材齡3月に於て1月のものに比し低き强度を示したるものあるは主に手當不充分にして甚だしく乾燥せしめたるが爲めなるべし。然れども本試驗の結果に依れば、

(1) 供試體の示したる强度は何れも堰堤內に作用する最大主應力に對し4倍以上を示せり。

(2) 現場打混凝土の供試體を現場に永く放置すれば其の强度は材齡1月及3月の何れに於ても大差なし。

本堰堤の如き大量の混凝土を用ひて施工せし構造物に在りては、其の施工混凝土は外氣に接する僅少なる厚さの表部を除けば一般に氣温の變化、乾燥等より受くる影響は極めて些少なるのみならず、實測の結果に依れば セメントより發生する化合熱の爲め施工後數箇月間は40°C以上の溫熱を保持するを以て其の硬化作用は、之れを供試體の如き小形にして外氣の影響を容易に受くるが如きものゝ場合に比すれば遙かに增進すべく、從て其の所有する强度は供試體の示せしものに比し優るとも劣らざるものと考へらるゝなり。

第三表　小牧堰堤混凝土耐壓試驗結果

供試體番號	配合	水量（セメントの重量に對し %）	スランプ cm	製作年月日	試驗年月日	供試體 徑 cm	供試體 高 cm	耐壓强度 Kg/cm²	材齡 日
A 1								169	
2								120	
3	1:1.9:3.8	45		2, 3, 31	2, 4, 30	30	60	127	30
平均								**139**	
A 4								144	
5								144	
6	1:1.9:3.8	45		2, 3, 31	2, 6, 29	30	60	140	90
平均								**143**	
B 1								143	
2								137	
3	1:2.1:4.3	50		15, 12, 6	1, 2, 4	30	60	106	60
平均								**129**	
B 4								89	
5								86	
6	1:2.1:4.3	50		15, 12, 6	1, 3, 2	30	60	127	90
平均								**101**	
B 7								158	
8								170	
9	1:2.1:4.3		3.0～5.5	2, 5, 6	2, 6, 9	30	60	148	31
平均								**159**	
B 1)			5					120	
11			〃					140	
12	1:2.1:4.3		〃	2, 5, 6	2, 8, 4	30	60	170	90
平均								**143**	
B 13			5					142	
14			〃					133	
15	1:2.1:4.3		〃	2, 6, 29	2, 7, 29	30	60	118	30
平均								**131**	
B 16			5					167	
17			〃					122	
18	1:2.1:4.3		〃	2, 6, 29	2, 9, 27	30	60	153	90
平均								**147**	

D	1								130	
	2	1:2.8:5.7	50		15, 12, 16	1, 2, 14	30	60	112	60
	3								130	
	平均								124	
D	4								139	
	5	1:2.8:5.7	50		15, 12, 16	1, 3, 25	30	60	109	97
	6								105	
	平均								118	
D	7			7			30.3	60.0	120	
	8	1:2.8:5.7		〃	3, 4, 10	3, 5, 10	30.0	60.3	146	30
	9			〃			30.0	60.0	147	
	平均								138	
D	10			7			29.4	60.15	148.8	
	11	1:2.8:5.7		〃	3, 4, 10	3, 7, 10	30.0	60.10	158.4	91
	12			〃			29.7	60.00	163.1	
	平均								166.8	

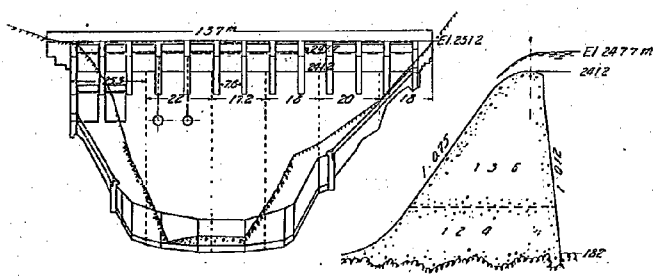
第二章　祖山及城堰堤混凝土試驗

五、施工概要

祖山及城堰堤は昭和電力株式會社庄川第二發電所貯水用として昭和二年に起工し同四年に略竣功せしものにして、小牧堰堤より上流約14粁の地點にて東礪波郡平村に在り。祖山堰堤は庄川の本流に築造せる主要なる堰堤にして其の型式は直線形重力式、最大高73.2 m, 堤頂の長128 m, 堤頂幅員4.5 m, 堤底最大幅員65.2 mにして之れに要したる混凝土は約143,500 m³ (約23,900立坪) なり。

城堰堤は祖山堰堤より僅かに上流に當る山肢の鞍部に遮水用並に地盤保護用として築造されたる直線形重力式堰堤にして其の最大高は25 m, 堤頂の長169.7 m, 堤頂幅員1.83 m, 堤底最大幅員約18 mにして之れに要せし混凝土は約9,440 m³ (約1,570立坪) なり。但堰堤の一部には直立床版式の箇所あるも本報告には關係なきを以て省略す。

第三圖　祖　山　堰　堤



正面圖　　標準斷面圖

混凝土の配合は2種にして祖山堰堤に在りては第三圖に示すが如く其の下半部には1:2:4なるものを施工せしも、上半部及坡堰堤は總べて1:3:6を採用せり。

六、材　料

堰堤混凝土に使用せしセメントは豊國セメントにして、砂は現場附近より採取したるもの、砂利は現場附近の川床より採取せしものも使用せしも多くは碎石を使用せり。混凝土工事中最も困難を感じたるは砂にして川床より極めて少量を採取せしも大部分は沖積層中より開鑿採取せしものなれば其の品質上多少相違するものありしを以て本所に於て之れが試驗を行ひたると共に會社に於ても其の試驗室にて常に試驗したるものなり。

セメントの試驗は常に會社の試驗室に於て行ひたるも本所に送附せし試料に就て行ひたる强度試驗の結果は第四表に示すが如し。但モルタル試驗には標準砂を使用し商工省の規格に基づきて行ひたるものなり。

第四表　セメントの規格試驗結果

配合	番號	材齡 日	耐壓强度 Kg/cm²	抗張强度 Kg/cm²
純セメント	1	7		51.3
	2			64.6
	3			61.9
	4			48.5
	平均			**56.7**
	1	28		70.4
	2			70.5
	3			75.6
	4			70.0
	平均			**71.6**
一:三モルタル	1	7	273.0	30.3
	2		233.0	30.3
	3		267.5	29.7
	4		231.0	21.4
	平均		**251.1**	**30.4**
	1	28	397.0	36.5
	2		400.0	33.1
	3		373.0	37.2
	4		350.0	36.7
	平均		**380.0**	**35.9**

砂は約10ケ所に亘りて採取せしも祖山堰堤用に供したるものは主に發電所より稍下流に當る右岸のイルイド澤附近に堆積せる厚さ約100mに達する沖積層より採取せしものにして、一般に石英斑岩及石英粗面岩砂より成り少量の花崗岩砂を混じ其の質比較的堅硬にして稜角に富むものなり。然れども場所に依りては淡き赤褐色を帶びたる花崗岩砂を多

量に含み相當に泥土を混ずるものありし爲め、採取せし砂は全部水洗したる後使用せり。

本所に於て試驗せし結果は第五表に示すが如し。

第五表　砂試驗結果

産地	堰堤上流川床	發電所附近	貯藏所	イルイド澤 No. 1	イルイド澤 No. 2	イルイド澤 No. 3	神社附近	田谷
比重	2.64	2.63	2.62	2.61	2.64	2.63	2.61	2.63
單位重量 (Kg/m^3)	1652	1630	1611	1591	1673	1615	1591	1682
空隙率 (%)	37.4	38.0	38.5	39.0	36.6	38.6	39.0	35.9
粘土及泥量 (%)	1.9	3.8	3.8	2.1	0.4	0.7	2.1	1.2
篩番號								
4～8	5.9	0.8	2.3	4.4	37.6	18.3	4.4	16.0
8～16	38.7	20.0	24.1	38.6	35.2	33.6	38.6	25.8
16～30	34.3	29.5	24.4	35.8	16.1	27.8	35.7	27.2
30～50	17.0	31.6	30.7	14.9	8.9	14.8	15.0	19.9
50～100	3.3	15.2	15.1	4.8	1.8	4.6	4.8	8.7
100～0	0.8	2.9	3.4	1.5	0.4	0.9	1.5	2.4
計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

第六表　砂利試驗結果

種類		I	II	III	IV
比重		2.60	2.62	2.63	2.67
單位重量 (Kg/cm^3)		1708	1715	1713	1568
空隙率 (%)		34.3	34.5	34.8	41.3
篩分 (%)	3″～2″	—	10.4	7.0	4.4
	2～1½	15.8	17.7	40.6	28.2
	1½～1	15.1	21.2	17.6	25.4
	1～¾	15.2	18.7	17.6	14.4
	¾～⅜	36.0	28.6	16.7	24.3
	⅜～No. 4	16.1	3.1	0.5	3.1
	No. 4～0	1.8	0.3	—	0.2
	計	100.0	100.0	100.0	100.0

七、供試體の製作及試驗方法

試驗は主として祖山堰堤に就きて行ひ其の目的は前記小牧堰堤の場合と同樣なれば供試體の製作方法も亦之れと全く同樣とせり。型は鐵板を曲げて作りたる直徑30 cm, 高さ60 cmの圓筒形のものを用ひ、シユートより流出せし混凝土を現場にて採取して直ちにスランプ試驗を行ひたる後型に詰めたるか、或は現場の都合に依りて混合機より運搬用トロリーに流込みたる後に其の內より採取せり。

混合裝置は堰堤の左岸に設置されセメントは重量にて秤取し、砂及砂利は容積にて量り之れを28切用混合機にて練り合せたる後トロリーに入れガソリン機關車にて所要の位置に運搬し、シュートに流し込みて現場に配布せしめたり。

型に詰めて製作したる供試體は試驗前15日迄現場附近に放置して施工混凝土と略同樣の手當を施したる後、本試驗所に送附して試驗せり。此の試驗は縣當局並に工事者の熱心に依り約90個に達する多量の供試體に就きて施行し得たるは、本邦に於ける大形供試體に對する最初の試驗として、好資料を提供されたるものと信ずるなり。

型詰め供試體を製作せし以外に實際施工せし堤體より、支障なき箇所を選び8箇所に亘りてニウマチツクハンマーを用ひて混凝土を切取り、之れを立方形供試體に仕上げ其の材齡6月に於ける强度を試驗して型詰供試體の强度と比較せり。切取供試體の數は15個にして施行後約5月を經過せし時に切取り、石工をして略立方體に仕上げしめたるものを本試驗所に送附したるを以て、其上下兩面に薄く純セメントを塗りて約1週間放置せし後其の表面を研磨機にて研ぎ平滑にして且並行なる兩面に仕上げたり。

試驗の初期に於ては獨逸MAN會社製1,000噸耐壓試驗機に依りたるも、後半はAmsler型200噸耐壓試驗機に依りて施行せり。

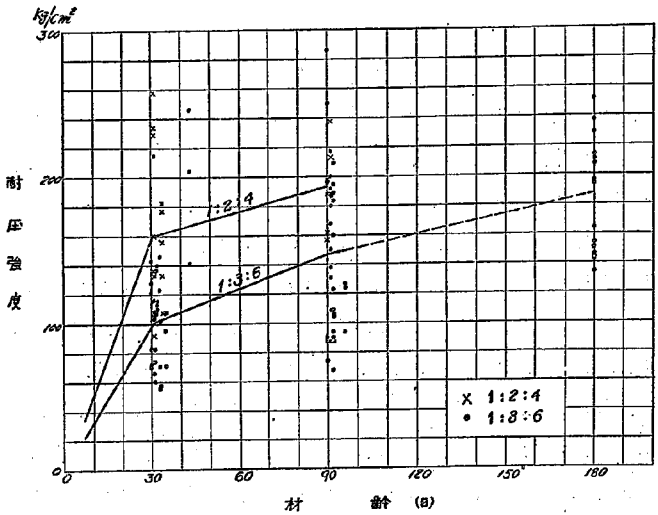
八、試驗結果

試驗せし供試體の總數は101個にして其の內1:2:4配合のもの23個、1:3:6配合のもの63個、切取りたるもの15個なり。耐壓試驗の結果は第七表及第八表に示すが如く、又其の平均强度と材齡との關係は第四圖に示すが如し。

型詰供試體が材齡3月に於て示せし强度は一般に其の配合の如何に關はらず所要最大主應力に對し少くとも4倍以上に相當し、平均强度に於ては約10倍に相當するものゝ如くなれば、其の安全率に於ては充分なるのみならず更に平均强度は材齡の增加に伴ひ相當に著しき增進率を示したるを以て、本試驗の結果より見れば該堰堤工事に於ては其の堤體に作用する應力上充分安定なる强度を有する混凝土を施工し得たるものと推測し得べし。

次に供試體の示せし强度に基づき混凝土工事を回顧すれば其の施工成績は全く優秀なるものとは云ひ難かるべし。何となれば供試體の示したる强度は何れの材齡に在りても極めて廣範圍に亘る變動を示したるが如きは假令充分なる安全率を得たりと雖其の均等性に缺くる處無きに非ざるものと云ひ得べく、之れが原因としては材料の不同、施工上の不均齊、氣象的影響等の外に供試體の製作、手當等の如何より生ずる影響の如きは相當に重要性を有したる場合ありと考へらるゝも、供試體の如き取扱ひ易きものに在りても此の如き

第四圖　祖山堰堤混凝土平均强度



差異あるに於ては施工混凝土全體の均等性を保つ爲めには施工に當り猶一層の注意を要するものと思惟さるゝなり。而して此の如き現象は一般の混凝土工事に於ても同樣に起り居るものにして、本試驗の結果は單に其の一班を語るに過ぎざるものなるべし。

第七表　祖山堰堤型詰混凝土耐壓試驗結果

供試體番號	配合	スランプ cm	製作 年月日	現場放置 年月日	試驗 年月日	供試體 徑 cm	供試體 高 cm	比重	耐壓强度 Kg/cm²	材齡 日
C 1		5	2, 12, 16	3, 1, 3	3, 1, 16	29.72	60.0		133.0	31
2	1:2:4	〃	〃	〃	〃	29.60	〃		92.0	〃
3		〃	〃	〃	〃	30.10	〃		136.0	〃
平均									120.0	
C 4	1:2:4	5	2, 12, 6	3, 3, 4	3, 3, 16	27.60	60.1		198.5	90
5		〃	〃	〃	〃	30.13	60.5		188.7	〃
平均									193.6	
D 1		6	2, 12, 28	3, 1, 20	3, 3, 28	30.00	59.8		183.6	34
2	1: 2: 4	〃	〃	〃	〃	29.90	60.0		177.4	〃
3		〃	〃	〃	〃	29.80	60.0		156.4	〃
平均									171.6	
D 4		6	2, 12, 28	3, 3, 12	3, 3, 28	29.95	60.0		238.5	91
5	1:2:4	〃	〃	〃	〃	30.33	60.5		189.6	〃
6		〃	〃	〃	〃	30.33	60.6		213.2	〃
平均									213.8	

E	1		3.4	3, 2, 7	3, 3, 1		30.43	60.7	133.4	34
	2	1:2:4	4.8	〃	〃		30.32	60.5	107.9	〃
	3		2.0	3, 2, 10	〃		30.30	60.6	159.9	31
	平均								133.7	
E	4		2.2	3, 2, 10	3, 4, 24	3, 5, 10	29.8	60.0	162.0	90
	5	1:2:4	2.3	〃	〃	〃	29.9	〃	195.0	〃
	6		2.2	〃	〃	〃	30.0	59.8	157.0	〃
	平均								171.0	
J	1		7.2	3, 4, 10	3, 4, 30	3, 5, 10	30.00	60.5	121.0	30
	2	1:2:4	〃	〃	〃	〃	29.60	60.0	128.0	〃
	3		〃	〃	〃	〃	30.40	60.8	143.0	〃
	平均								131.0	
A	1		5	2, 11, 5	2, 11, 23	2, 12, 6	30.4	60.2	74.4	31
	2	1:3:6	〃	〃	〃	〃	29.8	59.8	66.7	〃
	3		〃	〃	〃	〃	29.8	59.8	60.9	〃
	平均								67.3	
A	4		5	2.11, 8	3, 1, 25	3, 2, 8	30.20	60.3	88.5	90
	5	1:3:6	〃	〃	〃	〃	29.80	60.0	74.6	〃
	6		〃	〃	〃	〃	29.66	60.0	88.3	〃
	平均								83.8	
B	1		5	2, 12, 2	2, 12, 18	3, 1, 6	29.72	60.0	108.8	35
	2	1:3:6	〃	〃	〃	〃	30.10	〃	71.7	〃
	3		〃	〃	〃	〃	29.60	〃	95.9	〃
	平均								92.1	
B	4		5.5	2, 12, 5	3, 2, 20	3, 3, 10	28.77	60.0	124.6	96
	5	1:3:6	〃				29.87	60.2	94.5	〃
	6		〃				30.27	60.2	127.2	〃
	平均								115.4	
F	1		3.0	3, 2, 21	3, 3, 12	3, 3, 24	30.32	60.8	139.9	32
	2	1:3:6	〃	〃	〃	〃	30.33	〃	137.7	〃
	3		2.1	〃	〃	〃	29.65	60.1	116.6	〃
	平均								131.4	
F	4		2.7	3, 2, 22	3, 5, 10	3, 5, 22	30.0	60.0	180.0	91
	5	1:3:6	5.8	〃	〃	〃	30.4	60.3	131.0	〃
	6		1.7	〃	〃	〃	29.6	60.0	188.0	〃
	平均								166.0	
G	1		4.0	3, 3, 11	3, 3, 27	3, 4, 11	95.75	60.1	114.2	31
	2	1:3:6	〃	〃	〃	〃	29.85	59.8	215.4	〃
	3		7.3	〃	〃	〃	29.70	60.0	116.2	〃
	平均								148.6	

G	4		7.3	3, 3, 11	3, 5, 26	3, 6, 11	29.90	59.8	168.1 91
	5	1:3:6	〃	〃	〃	〃	30.50	61.0	150.6 〃
	6		4.0	〃	〃	〃	〃	60.5	138.2 〃
	平均								152.3
H	1		5	3, 3, 24	3, 4, 13	3, 4, 26	30.2	60.6	71.1 33
	2	1:3:6	〃	〃	〃	〃	30.3	60.8	56.9 〃
	3		〃	〃	〃	〃	〃	60.7	57.1 〃
	平均								61.7
I	1		3.4	3, 4, 1	3, 4, 21	3, 5, 1	30.4	60.6	83.2 30
	2	1:3:6	〃	〃	〃	〃	〃	〃	72.5 〃
	3		4.8	〃	〃	〃	29.7	59.9	71.7 〃
	平均								75.8
I	4		3.4	3, 4, 1	3, 6, 16	3, 7, 2	29.72	60.1	90.0 92
	5	1:3:6	〃	〃	〃	〃	30.16	60.3	105.3 〃
	6		4.8	〃	〃	〃	30.42	60.6	94.0 〃
	平均								96.4
K	1		3.7	3, 5, 7	3, 5, 14	3, 6, 7	30.30	60.8	108.2 31
	2	1:3:6	5.0	〃	〃	〃	30.40	〃	83.4 〃
	3		6.0	〃	〃	〃	29.60	60.0	105.4 〃
	平均								99.0
K	4		3.7	3, 5, 7	3, 7, 25	3, 8, 7	30.15	60.2	88.2 92
	5	1:3:6	5.0	〃	〃	〃	30.20	60.7	108.9 〃
	6		6.0	〃	〃	〃	29.85	60.1	108.6 〃
	平均								101.9
L	1		1.7	3, 5, 31	3, 6, 20	3, 7, 2	30.38	60.7	110.1 32
	2	1:3:6	5.2	〃	〃	〃	30.46	〃	114.3 〃
	3		3.7	〃	〃	〃	29.80	60.0	108.5 〃
	平均								111.0
L	4		1.7	3, 5, 31	3, 8, 19	3, 8, 31	30.40	60.8	67.5 92
	5	1:3:6	2.6	〃	〃	〃	30.2	60.1	89.4 〃
	6		5.2	〃	〃	〃	39.8	60.1	107.4 〃
	平均								88.1
M	1		2.6	3, 7, 8	3, 7, 28	3, 8, 10	29.8	60.4	133.0 33
	2	1:3:6	3.8	〃	〃	〃	30.0	60.2	146.0 〃
	3		2.6	〃	〃	〃	29.8	60.3	102.0 〃
	平均								127.0
M	4		2.6	3, 7, 8	3, 9, 24	3, 10, 8	30.46	61.0	123.5 92
	5	1:3:6	3.8	〃	〃	〃	29.63	60.3	184.2 〃
	6		2.6	〃	〃	〃	30.23	〃	195.1 〃
	平均								167.6

N 4		4.7	3, 10, 28	4, 1, 14	4, 1, 28	30.0	60.2	2.40	188.1	92
5	1:3:6	5.0	〃	〃	〃	29.1	60.0	2.53	160.4	〃
6		4.4	〃	〃	〃	29.1	60.1	〃	209.3	〃
平均								2.49	185.9	
O 1		5.1	4, 2, 28	4, 3, 23	4, 4, 12	30.0	60.1	2.34	204.0	43
2	1:3:6	5.2	〃	〃	〃	30.4	60.8	2.35	141.6	〃
3		3.0	〃	〃	〃	29.9	60.2	2.37	246.4	〃
平均								2.35	197.3	
O 4		5.1	4, 2, 28	4, 5, 15	4, 5, 29	29.9	59.8	2.45	250.7	90
5	1:3:6	5.2	〃	〃	〃	30.1	60.0	2.38	196.7	〃
6		3.0	〃	〃	〃	29.8	〃	〃	286.8	〃
平均								2.40	244.7	
城P 1		4.7	4, 5, 25	4, 7, 25	4, 8, 24	30.35	60.2	2.39	217.0	91
2	1:3:6	3.8	〃	〃	〃	30.00	〃	2.38	192.4	〃
3		3.0	〃	〃	〃	〃	〃	2.39	200.9	〃
平均								2.39	203.4	
城Q 1		14	4, 7, 22	4, 8, 14	4, 8, 22	15.0	30.0	2.32	258.6	31
2	1:2:4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	229.2	〃
3		〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.31	234.9	〃
平均								2.32	240.9	

第八表　祖山堰堤切取混凝土耐壓試驗結果

(配合 1:3:6)

供試體番號	施工 年月日	試驗 年月日	供試體 斷面積 cm^2	供試體 高 cm	耐壓強度 Kg/cm^2	材齡 月
A 1	2, 11, 14	3, 5, 14	412.0	21.4	208.9	6
2	〃	〃	384.0	21.7	194.3	6
平均					201.6	
B 3	2, 12, 10	3, 6, 10	401.9	21.4	154.3	6
4	〃	〃	397.1	21.5	164.2	6
平均					158.3	
C 5	2, 12, 2	3, 6, 2	396.0	21.0	252.5	6
6	〃	〃	404.0	21.5	229.2	6
平均					240.9	
D 7	2, 12, 20	3, 6, 20	431.8	21.7	134.0	6
8	〃	〃	424.3	21.1	146.1	6
平均					140.1	
E 9	3, 1, 22	3, 7, 22	391.0	21.5	237.9	6
10	3, 1, 14	3, 7, 14	400.0	22.3	211.3	6
11	〃	〃	473.1	22.0	143.7	6
平均					177.5	

G 12	3, 1, 10	3, 7, 10	399.9	21.5	150.0	6
13	〃	〃	402.0	22.3	213.9	6
平均					182.0	
H 14	3, 1, 21	3, 7, 21	405.0	21.5	144.4	6
15	〃	〃	422.3	21.3	196.5	6
平均					170.5	
全平均					183.6	

第三章　橋梁混凝土試驗

橋梁混凝土の試驗は東京市下町の各所に架設されたる橋梁中相當に大規模なるもの8橋に就き其の橋臺、橋脚或は拱輪施工混凝土に就きて行ひたるものにして大正十五年の施工に依るもの一種を除けば他は總べて昭和二年二月より十一月に亘る間に行ひたるものなり。工事は總べて請負に係るものなり。

九、材　料

使用材料は現場の位置的關係其他の事情に依りて各所不定なるも砂利の大さは一般に所謂1寸乃至8分のものを使用せり。各現場に使用せし材料の產地を擧ぐれば第九表に示すが如し，

第九表　橋梁混凝土用材料

現場番號	セメント	砂	砂利
I	豊國	荒川	多摩川
II	Atlas Lumnite	不詳	多摩川
III	小野田	多摩川	利根川
IV	大分	利根川	多摩川
V	豊國	多摩川	多摩川
VI	淺野	相模川	相模川
VII	淺野及土佐	荒川	相模川
VIII	豊國	荒川	多摩川

十、現場に於ける混凝土施工並に試驗方法

橋臺又は橋脚混凝土として一般に施工さるゝものは略一樣なる配合にして 1:3:6 なるものを普通となすも、使用材料が一定せざると共に多くはシュートを使用するを以て諸所の現場にて施工さるゝ混凝土は幾何の程度の强度を有するやを檢せんとせしも諸種の事情に依り充分なる結果を擧げ得ざりしを遺憾とす。

各現場に於て使用する混合機は其の容量又は型式に於て極めて不同なるのみならず、シュートの如きも長さ及勾配は常に變更さるゝものなれば混凝土の强度、軟さ等を之等と關

聯して充分に試驗すること能はざりしも、各現場に於て使用せる混合機並に試驗當時に於けるシユートの長さ及勾配は第十表に示すが如し。

第十表　試驗當時の混合機及シユート

現場番號	混合機	シユート 長さ 尺	シユート 勾配 度	一練分混凝土がシユートを流下するに要せし時間 秒	備考	
I	ランサム 14切用	21	—			
III	ランサム 10切用 毎分16回轉	45	41	10		
IV	キユーブ 7切用 毎分18回轉	上 42 下 9	28.7 45			
V	キユーブ 5切用 毎分18回轉	75	35	15		
VI	スミス 6切用	35	40			
VII	ランサム 8切用 毎分18回轉	50	30	5	供試體	120～125
		12	35	混合機より直	〃	126～129
		10	20	ちにシユート	〃	130～131
		40	30	に流入す	〃	132～133
VIII	ランサム 14切用	21	—	—		

試料はすべてシユートより流出せしものを採取せしも供試體の製作には立方形木型を使用したる場合と圓壔形鑄鐵型を使用したる場合とあり。木型を用ひたるは僅かにI, II現場にして工事施行者の手にて供試體を製作せしものなり。鑄鐵製圓壔型を使用したるはIII, IV, V, VIIの現場にしてシユートより堰枠内に流入せし混凝土をショベルにてよく混合したる後採取したるもの、混合機より出でたる一練分の混凝土がシユート内を流下して其の先端より最初に流出せしもの、最後に流出せしもの及之等の中間頃に流出せしものをバケツに受け採り各々に就きて其のスランプを檢したる後型に入れ實驗室内にて製作する場合と同樣に4層に詰め毎層約30回鐵棒にて突きたり。供試體は製作後3～4日間現場附近に放置して相當に硬化せしめたる後本所に搬入して型を外し、水中に貯藏し、材齡28日に及びて取り出して試驗せり。水中貯藏の方法を採用したる點は前章に記載せし堰堤混凝土

試驗の場合とは全く相違するも、本試驗に使用せし供試體は僅かに直徑 15 cm, 高さ 30 cm にして堰堤混凝土供試體に比すれば僅かに $\frac{1}{8}$ に過ぎざるを以て外界より受くる影響は極めて顯著なるべく、又後章に記すが如く外國に於ける現場打混凝土の試驗の例を見るに水中又は濕砂中に貯藏せしものは構造物より切取りたるものと略同等の强度を示したるを以て本試驗に於ても之に據りたるなり。

型詰供試體の外に施工混凝土の一部を切取りたる後材齡 28 日又は 50 日頃迄現場に放置したる後試驗せしものあり。何れも試驗前に立方形に仕上げ、上下兩面には純セメントを薄く塗りたる後並行なる樣に磨き仕上げを行ひたり。試驗にはオルゼン會社製 100 噸ユニバーサル試驗機を使用せり。

十一. 試驗結果

本試驗に供したる試驗體は總數 45 個にして內 29 個は圓壔形、8 個は立方形にして何れも型詰供試體なるも、殘 8 個は切取供試體なり。試驗結果は第十一表に示すが如し。

スランプ試驗は混凝土が混合機より出でたる後數分間を經過して行ひたるものなればシユート內を通過しつゝありし時より多少硬くなり從てスランプの値も多少減少せし筈なるを以て數量的には不明なるも、本試驗に於てスランプの示す所に依ればシユートより流出せし混凝土は其の流し方により次の如く分類する事を得るものゝ如し。

(1) 混合機より出だしたる混凝土をエレベーターに依りてホツパー內に注ぎ込みたる場合に在りては、シユートより最初に流出するものは最後に流出するものに比し其のスランプ小なり。

(2) 之れに反してホツパーを用ひず、卽混合機の口にシユートの上端を取り附けたる場合に在りては、最初に流出するものゝスランプは大なり。

之等の關係は常識的にも亦說明し得らる處なるも、スランプの大なる部分は其の小なる部分に比すれば多量にモルタルを含有する部分にして、强度試驗の結果に於てスランプの大なる供試體が其の小なるものに比し一般に强大なる耐壓强度を示したるは之れを證明するものにして、シユートを流下する間に分離せしものには非ざるなり。

一般に鐵筋混凝土工事に於ては (1) の方法に依る場合が最も普通なるも此の際特に注意を要する點は、前記のスランプと强度との關係に於て明かなるが如く、シユートより最初に流出せしものを堰枠の下方に詰め夫れより後に流出するものを順次に上方に詰めるが如き場合ありとせば、下方の混凝土は上方のものに比し比較的空隙に富み且强度の低きものとなる虞れあり。從て打ち込み前に充分混ぜ合すか又は成る可く軟かき部分を下方に先づ

詰めたる後硬き部分を其の上に詰むれば相當に好結果を得べきこと明なり。

次に耐壓強度のみに就きて見るに橋臺及橋脚に施工せしものは何れも相當に強大なる結果を示せども、現場IIIに於ける拱輪混凝土の如きは三月初旬に施工せしものなれば極めて貧弱なる強度を示せり。又切取供試體に在りても寒中に施行せしもの(VIII)は材齡50日に及ぶと雖強度低きを見れば施工時期が著るしき影響を與ふるものと云ひ得べし。施工繼手を中心とし其の上下に跨りて切取りたるものは耐壓試驗の結果下方の部分に於て主に破壞せり、卽打ち終り混凝土の上端部はレータンスの爲め又は水分の過剩に依り硬化緩慢なる爲め等に因り比較的弱きことを實際に證明せしものなり。

第十一表　橋梁混凝土耐壓試驗結果

現場番號	供試體番號	配合	スランプ	混合時間	供試體 斷面積	供試體 高さ	材齡	耐壓強度	貯藏方法(試驗期日)
			cm	秒	cm^2	cm	日	Kg/cm^2	
I(橋臺)	91	1:3:6	—	—	177.1	16.0	49	79	
	95				168.7	16.1	〃	87	
	96				177.3	16.0	〃	105	現場放置
	97				191.9	16.3	55	105	(昭和2年2月)
	98				271.1	17.6	55	63	
	平均							88	
II	91	1:2:4	—	—	334	21.1	150	150	木函に詰めたる儘現場放置(大正15年11月)
	92				286	21.5	〃	154	
	93				264	22.8	〃	150	
	平均							151	
III(拱輪)	101 A	1:2:4	23～24	60	182.3	30.5	28	55	
	102 C				〃		〃	50	3日間現場放置、以後水中(昭和2年3月)
	103 A				〃		〃	81	
	104 C		5	60	〃		〃	58	
	105 M		15.5		〃		〃	75	
	平均							64	
IV(橋臺)	106 A	1:3:6	14.7	80	176.5	30.0	28	58	
	107 A		9.0	〃	〃	〃	〃	30	10日間現場放置、以後水中(昭和2年5月)
	108 B		21.0	〃	〃	〃	〃	29	
	109 B		17.5	〃	〃	〃	〃	16	
	110 C		19.0	〃	〃	〃	〃	59	
	111 M		10.0	〃	〃	〃	〃	34	
	平均							38	
V	112 A	1:2:4	7.0	65～75	176.5	30.0	28	107	
	113 C		15.0		〃	〃	〃	153	
	114 A		10.0		〃	〃	〃	80	

(橋脚)	115 C		19.0	〃	〃	〃	〃	134	4日間現場放
	116 A		16.0		〃	〃	〃	98	置、以後水中
	117 C		19.0	〃	〃	〃	〃	122	(昭和2年6月)
	平均							116	
VI (橋臺)	119	1:2:4	—	—	656.5	28.5	60	138	施工後4日目に切取り、以後現場放置 (昭和2年4月)
VII (橋脚及橋臺)	120 A	1:3:6	18	90	176.5	30.0	28	158	
	121 C		15		〃	〃	〃	165	
	122 A		19	40	〃	〃	〃	179	
	123 C		19		〃	〃	〃	167	
	124 A		8	45	〃	〃	〃	214	3日間現場放
	125 C		12		〃	〃	〃	207	置、以後水中
	126 A		14	50	〃	〃	〃	100	(昭和2年9, 11月)
	127 C		0		〃	〃	〃	85	
	128 A		10	50	〃	〃	〃	79	
	129 C		0		〃	〃	〃	76	
	130 A		17	120	〃	〃	〃	104	
	131 C		14		〃	〃	〃	74	
	平均							134	
VII (施工繼手)	132	1:3:6	—	—	363.7	33.5	28	75	約10日後切取
	133		—	—	227.3	22.7	〃	57	現場放置
VIII (橋臺)	134	1:3:6	—	—	196.7	16.0	49	72	
	135		—	—	174.3	16.1	〃	84	
	136		—	—	200.9	16.0	〃	93	約20日後切取
	137		—	—	202.1	16.3	55	100	現場放置
	138		—	—	251.5	17.6	〃	69	(昭和2年2月)
	平均							84	

備考　供試體番號中　Aはシュートより最初に流出せしもの
Cはシュートより最後に流出せしもの
Bは A及Cの中間頃に流出せしもの
Mは振枠中に落下せしものをよく混合したる後採取せしもの

第四章　米獨に於る現場打混凝土試驗

米國及獨逸に於ては標準規格の制定に當りて實驗室にて製作せし供試體の示す試驗結果が其儘現場打混凝土に應用さるゝや、或は現場打混凝土の强度は實際に於て幾何なるかを確むる必要に迫られたる爲め約10年前より試驗され、又近年に至りては施工方法の改良の爲め盛んに行はるゝに至りたり。從て之れに關する報告は相當多數あるも就中權威ある

ものを集め筆者の意見を加ふることなく單に其の結果の大要を次に列擧して參考に供せんとす。但鋪裝混凝土は他の構造物に比し獨特の立場に在るを以て玆には記載せざるものとす。

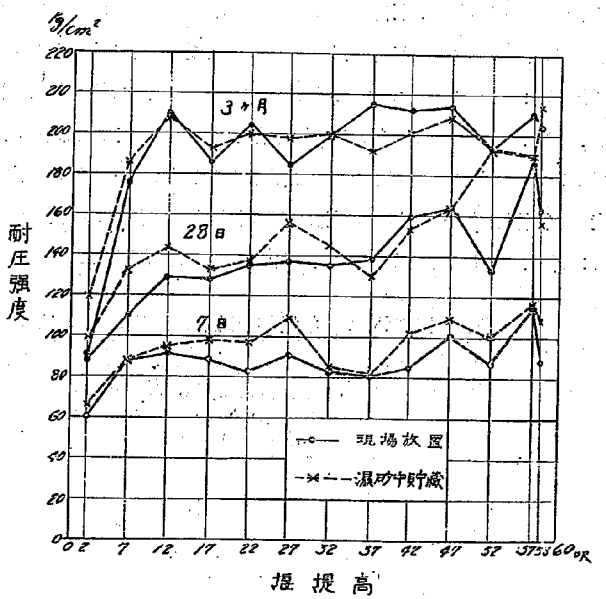
十二、堰堤混凝土試驗

混凝土堰堤は近年各國に於て盛に建設さるゝを以て混凝土試驗も亦相當に施行さるゝが如く考へらるゝも、其の現場が山間僻地に存する爲めか或は筆者の寡聞に依る爲めか、趣りたる試驗結果の發表されたるもの極めて少數なるも多少參考となるもの 2, 3 に就きて次に記述せんとす。但獨逸に於ける堰堤混凝土には一般に同國に多量産出する火山灰を混加使用するも、我國に産する所謂火山灰と稱せらるゝものゝ効果は極めて疑はしきものなれば（土木試驗所報告第十二號參照）、誤解を招くを虞れ特に省略せり。

(1) Stevenson Creek 堰堤

1926 年四月より六月中に米國 California 州 Fresno の東北方約 60 哩の地點に建設されたる拱堰堤にして、堤體内に起る應力を試驗する目的にて設けられたるものなり。堤體は最高 60 呎、堤頂の長さ 140 呎、厚さ 2~7.5 呎、弧半徑 101 呎なり。

第五圖　Stevenson Creek 堰堤混凝土の耐壓强度



混凝土は一回に高さ15吋宛に施工し、毎日之を4層即約5呎宛施工せり。而して次回の施工迄には準備の爲め約4日を要したるを以て、施工繼手は5呎毎に生じ、各混凝土層の材齡は4日宛の差異を有するものとなりたり。骨材には2吋以下の花崗岩碎石と$\frac{3}{8}$吋篩以下の砂を用ひ輕詰容積配合にて1:3:2となし、スランプ2~6吋、豫想耐壓強度は材齡28日に於て1,800封度/平方吋とせり。

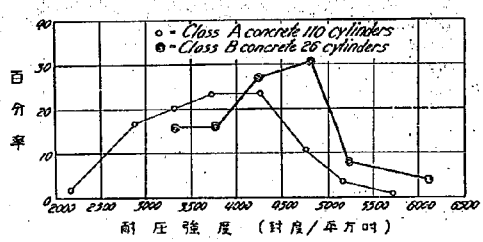
供試體は直徑6吋の圓壔形にして之れを每層即5呎間隔に施工せし混凝土に就きて製作し、一部は現場附近に放置し、他は濕砂中に貯藏したる後試驗せり。其の結果は第五圖に示すが如く大體に於て濕砂中に貯藏せしものは現場放置のものに比し強大なり。最下底に施工せしものゝ強度低きはセメントの配合少量なりしに依るものにして、堤頂附近に至りて強大となりしは新しきセメントを使用せしに因るものなり。

(2) Diablo 堰堤

米國 Washington 州 Skagit 河に建設されたる發電用貯水堰堤にして、最高 426 呎に達する拱堰堤なり。骨材は現場の下流より採取せる砂利及砂を使用し、4~10吋の玉石は之れを破碎して使用せり。

配合の決定に當りては豫備試驗として重量比にて1:7.5のものを作り直徑6吋の圓壔形供試體に就きて試驗せし結果は材齡28日にて3,978封度/平方吋を示し、容積にて1:5配合に匹敵することを知りたり。又計劃强度3000封度/平方吋を得る爲めには2,000封度/平方吋の混凝土に比しセメントの量を僅か15%增加せしむるを以て足ること判明せり。從て施工混凝土の配合を2種とし一般には(A)配合を使用し、上流側壁部中厚さ3呎を(B)配合にて施工せり。(A)に於ては2.1立方碼混合機に重量にてセメント1,003封度、砂2,470封度、中粒骨材(2~$\frac{1}{4}$吋)3,090封度、粗粒骨材(4~2吋)2,080封度の割合に配合使用し、砂には含水量として平均120封度を加算せり。從て此の配合は重量にて1:7.5とな

第六圖 Diablo 堰堤混凝土强度(材齡28日)



り、容積にて1:5.4に相當するものなり。スランプは3吋以下となし、施工にはペルトコンベヤーを使用せり。

供試體は直徑6吋圓壔形となし、其の貯藏法は不明なるも材齡28日に於ける耐壓强度を供試體總數に對する百分率にて表はせば第六圖に示すが如し。卽(A)に於ては全供試體の約80%は計畫强度以上を示したり。

(3) Gibson 堰堤

米國Montana州Sun河に建設されたる拱堰堤にして最高190呎、堤頂の長1,000呎に及び使用混凝土は160,000立方碼なり。

混凝土施工前に各種の配合に關する試驗を行ひたる結果、セメント、砂、細粒砂利($\frac{1}{4}$～1吋)、粗粒砂利(1～2$\frac{1}{2}$吋)及玉石(2$\frac{1}{2}$吋以上)を1:2.3:1.8:2.3:2.4の割合に配合したるものを使用し水セメント比を1.0, スランプを3吋と定めたり。施工中每日8×16吋圓壔形供試體を3個、但1個は施工現場にて、他の2個は混合所に於て作り材齡28日にて試驗せり。750個の供試體に就きて試驗せし結果平均耐壓强度は2,700封度/平方吋なりしも、其の最低及最高は1,500及4,000封度/平方吋の如く著しき差異を示せり。

十三、橋梁混凝土試驗

(1) Düsseldorf 市に於ける橋梁混凝土試驗

獨逸混凝土協會及獨逸ポートランドセメント同業會が1902年にDüsseldorf市に開催されたる商工技藝博覽會の出品物の一部として混凝土拱橋を架設出品したることあり。此の橋は1908年に至り同市の都市計畫の一部變更に依り取り除くの止むなきに至りたれば之れに荷重を載加して實際の破壞試驗を行ひ、其の破片に就きて耐壓試驗を行ひたり。

耐壓試驗用試料として50×100×100 cm 位の塊を2個採取しDarmstadt工科大學材料試驗室に送附し、硬材切斷機にて大さ約30 cmの立方體を切取り1909年に試驗せしものなれば材齡は約7年に當るなり。

混凝土の配合は1:2:4にして之れに使用せし材料はライン河產砂と70 mm以下の碎石とにして、工事施行當時にBerlin市の王立材料試驗所に依頼して行ひたる試驗記錄に依れば

耐壓强度は　材齡28日にて　254 Kg/cm²
　　材齡6月にて　278 〃　を示せり。

耐壓試驗に當りて供試體に加壓する方向は混凝土を施工せし方向に直角、卽拱橋に於て應力の作用する方向に近からしめたり。試驗結果は第十二表に示すが如し。試料A, B2個

中AはBに比し空際に富むものなれば一般に其の强度低し、又B試料より切取りたる供試體中第1及3號に就きてMarten氏反射鏡裝置を用ひて彈性係數を測定せし結果は第十三表に示す如し。

第十二表　Düsseldorf 市橋梁混凝土耐壓試驗結果（材齡7年）

供試體番號	一邊ノ長サ cm	加壓面積 cm^2	耐壓强度 (Kg/cm^2) 龜裂	耐壓强度 (Kg/cm^2) 破壞
A 1	38	1486	193	219
A 2	38	1453	204	214
A 3	30	918	199	248
A 4	30	909	197	200
平均	—	—	—	220
B 1	28	778	382	385
B 2	28	791	243	312
B 3	28	770	227	358
平均	—	—	—	352

第十三表　B供試體の彈性係數

載荷重 Kg/cm^2	彈性係數 Kg/cm^2	載荷重 Kg/cm^2	彈性係數 Kg/cm^2
19.3	411.000	19.5	461.000
32.1	400.000	32.5	392.000
45.0	388.000	45.5	355.000
57.8	375.000	58.4	343.000
70.7	374.000	71.4	328.000
83.5	366.000	84.4	332.000
96.4	366.000	97.4	333.000
109.0	357.000	110.0	329.000
122.0	357.000	123.0	326.000
135.0	353.000	136.0	324.000
148.0	350.000	149.0	314.000

(2) Bronx 公園道路橋混凝土試驗

New York 市 Bronx 公園道路が Bronx 河を横斷する箇所、New York 中央鐵道の Scarsdale 驛附近に於て同河を横斷する橋、及同河の一部に Lake と稱せらる箇所に架設されたる橋梁工事に當り D.A. Abrams 氏の監督のもとに1925年に混凝土試驗を行ひたり。

材料中砂及砂利は何れも Long Island 產のものにして其の混合割合は粒度係數に基づきて、砂利の最大徑2吋の場合には粒度係數を 6.0, 1吋の場合には 5.5 と爲し、水量は相當に多量を使用し堰枠及鐵筋內に自由に流入し得る程度の軟さを有するものにして所謂 Wet

mix と呼ばるゝものなり。而してセメントの使用量及材齡28日に於ける豫想耐壓强度は次の如し。

施工箇所	セメント	全骨材	豫想耐壓强度
	袋	立方呎	封度/平方吋
鐵道を横斷する箇所の鐵筋混凝土	1	4	3,000
其他の鐵筋を使用せし箇所	1	6	2,000
鐵筋と關係なき箇所	1	9	1,500

供試驗は直徑8吋、高さ16吋の圓壔形とし、型に詰めたる後24～48時間を經過せし後型を外して濕砂中に貯藏せり。

試驗結果は第十四表に示すが如くにして、其の結果に依れば一定の强度を有する混凝土を施工するには充分に經驗あり、且材料に對し充分なる知識を有する當事者を要するものゝ如く、又配合上に於ては一般に粒度係數にて定めたるものに比し砂の量を多少增加せしめたる方が好成績を擧げ得ること判明せり。

第十四表　Bronx 公園道路橋混凝土耐壓試驗結果

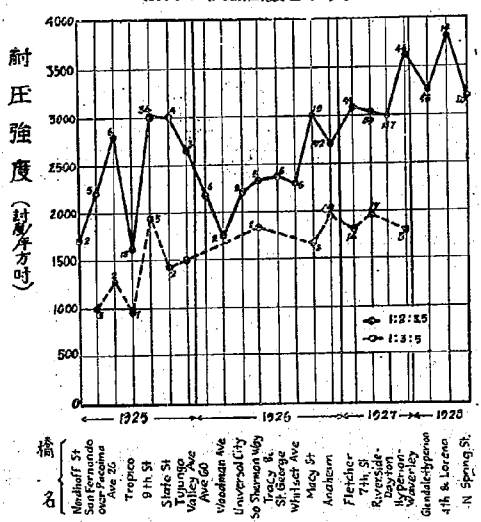
供試體番號	材齡	採取箇所	配合			粒度係數		耐壓强度	備考
			セメント	砂	砂利	砂	砂利	(封度/平方吋)	
1	28	Pipe gallery tops	1	1.98	4.02	2.58	6.52	3030	
2	28	Middle abutment	1	1.98	4.02	2.58	6.52	2200	
3	28	North abutment	1	1.44	7.56	2.58	6.52	1800	
4	28	Pier B	1	1.44	7.56	2.58	6.52	1080	Bridge No. 28
5	28	Middle abutment	1	1.98	4.02	2.58	6.52	2200	over Lake and
6	28	Top—Pier 5	1	1.98	4.02	2.58	6.52	3240	N.Y.C.R.R. at
7	28	Top—Pier 3	1	1.32	2.68	2.58	6.52	3490	Scarsdale
8	28	Top—Pier 3	1	1.98	4.02	2.58	6.52	3200	
9	28	Sidewalk	1	1.32	2.68	2.58	6.52	3680	
10	28	Slab B	1	1.32	2.68	2.58	6.52	3960	
11	28	Slab E	1	1.32	2.68	2.58	6.52	3040	
1	28	Arch—27A	1	1.55	3	2.61	6.57	2160	Bridges No. 5,
2	28	S.E. wing wall	3/4	1.55	3	2.61	6.64	3640	27A—27B over
3	28	Crown of arch 27B ...	1	1.55	3	2.61	6.64	3600	Parkway Drive
4	28	E. spring line 27B ...	1	1.55	3	2.61	6.64	3140	at Scarsdale
1	28	East abutment	1	1.16	2.81	2.64	6.72	3490	
2	28	East abutment	1	1.16	2.81	2.64	6.41	3860	
3	28	East abutment	1	1.43	3.2	2.64	6.41	2300	
4	28	S.W. wing wall	1	3	6	2.64	—	1690	
5	28	West abutmeat	1	1.15	3.05	2.64	6.92	3370	
6	28	No. Pylon—W. abut....	1	1.04	2.81	2.64	6.61	3980	

7	28	So. Pylon—W. abut....	1	1.04	2.81	2.64	6.61	3860	Bridge No. 50
8	28	Floor Slab. W. abut....	1	1.04	2.81	2.64	6.61	3380	over Harlem
9	28	Girder	1	1.04	2.81	2.64	6.61	2840	Dirision N.Y.C.
10	28	S. girder 3rd pour ...	1	1.04	2.81	2.64	6.61	3760	R.R. at Valhalla
11	28	N. girder 3rd pour ...	1	1.04	2.81	2.64	6.61	3999	
12	28	Road Slab	1	1.04	2.81	2.64	6.61	4010	
13	28	1st pour E.E.N. gir....	1	1 04	2.81	2.64	6.61	3640	
14	28	1st pour E.E.S. gir. ...	1	1.54	3.18	2.64	6.39	4010	
15	28	2nd pour E.E.N. gir....	1	1.54	3.18	2.64	6.39	3680	
16	28	3rd pour E.E.N. gir....	1	1.54	3.18	2.64	6.39	3430	
17	28	3rd pour E.E.S. gir. ...	1	1.54	3.18	2.64	6.39	2760	

(3) Los Angeles 市に於ける橋梁混凝土試驗

Los Angeles 市に於ては請負に依りて同市に架設さるゝ各種混凝土橋梁工事に就き數年前より其の強度試驗を施行し其の記錄を作製し居たりしが、其の結果は第七圖に示すが如

第七圖　Los Angeles 市橋梁混凝土試驗結果
（數字は試驗回數を示す）



く、過去4年間同一配合のものを使用し居るにも拘らず其の強度は逐年强大となり材齡28日に於ける平均耐壓强度は次の如く增加せり。

	[1:2:3.5]	[1:3:5]
1925 年	2,538 封度/平方吋	1,481 封度/平方吋
1926 年	2,623 〃	1,916 〃
1927 年	3,105 〃	1,881 〃

即材料の選擇、配合、施工等技術上に於ける進歩を物語るものなり。

(4) Newark 灣鐵道橋々臺混凝土試驗

米國 New Jersey 州に於て中央鐵道が Newark 灣を横斷する箇所に架設されたる復々線用鐵道橋臺施工中の混凝土に就て混凝土及鐵筋混凝土標準規格聯合委員會の關係者に依りて組織的に精細なる試驗が 1923 年に行はれたることあり。此の試驗は鐵筋混凝土建物と共に行はれたるものにして其の結果は何れも相當に好資料となるものなれども記述の都合上次節（十四、3）に讓りて記述することゝせり。

十四　試驗所又は混凝土委員會に於ける現場打混凝土試驗

現場打混凝土の强度試驗に當りては前章に於て屢々記述せし如く供試體の手當即貯藏方法の如何によりて其の强度に重大なる影響を與ふるものなれば、如何なる方法に依りて貯藏せしものが施工混凝土の强度に最も近似する强度を示すかといふ試驗上の疑問を解決せんが爲め、且之れと同時に施工混凝土の實際の强度を知らんが爲め數年來獨逸及米國に於て混凝土に關する規格調査委員會關係者に依りて行はれたる試驗結果並に之れに類するものゝ中參考となるべきものゝ概略を次に記さんとす。

(1) Darmstadt 工科大學材料試驗室に於ける試驗

現場打混凝土より切取りたる供試體と施工當時に同一混凝土を採取して之れを型に詰めて製作せし供試體とに就きて其の强度比較試驗を行ひたることあり。本試驗は獨逸鐵筋混凝土委員會の發議に依り Darmstadt 工科大學材料試驗室に於て施行せしものにして、第八圖に示すが如き形狀を有する混凝土塊を作り之れを全部切斷して供試體と爲して試驗せしものなり。

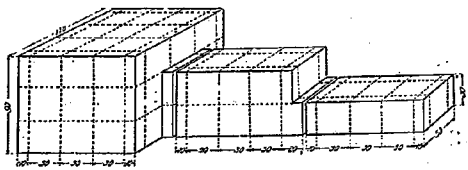
使用せし砂は Rhein 河産 7 mm のもの、砂利は同河産 40 mm のものにして各の粒度其他は不明なるも、セメントの試驗結果は次の如し。

單位重量	(kg/l)	輕詰 1,192	振詰 2,008
比　重	3,13	但灼熱せしもの	3,17
灼熱減	0,95%		
凝　結	水量 23.5%	初發 4 時	終結 7 時
粉末程度	900 孔篩止 0.0%	4,900 孔篩止 24,3%	
耐壓强度	水中貯藏のもの	7 日　270 kg/cm²	28 日　397 kg/cm²
	結合貯藏のもの		28 日　434 〃

配合は第十五表に示すが如き 3 種となし、其の中 1:4:8 に於ては施工法を 2 樣になしたるを以て總試驗數は 4 種なり。

混合機は Hüser 式のものを用ひ空練り 15 回、水を加へて更に 75 回廻轉せしめて硬練混凝土を作り、之れを第八圖に示す大さを有する木枠に厚さ 15 cm 宛に詰めて毎層下面

第八圖　試驗用混凝土塊



16×16 cm, 重量 16 kg を有する鐵製 Stampfer にて中央部を撞き固め、堰枠附近は下面 9×16 cm, 重量 12.5 kg のものを用ひて撞き固め、施工後 1 日間は表面を濕布にて被ひ其後は濕砂にて被ひたり。但供試體 (I) に在りては厚さ 3 cm 毎に撞き固めたるものなり。之れと同時に 30 糎立方形供試體を標準方法に依りて製作し其の一部は現場に放置し他は之れを水中に貯藏せり。

切取供試體は混凝土塊を 6 馬力モーターを附したる硬材切斷機にて 30 糎立方形に切斷し之れを型に入れて其の上下兩面に 1 : 1 モルタルを約 5 mm の厚さに塗りて平行なる面に仕上げたる後約 14 日間濕砂中に貯藏せし後試驗せり。

以上 3 種の供試體の示せし耐壓强度は第十五表に示すが如し。但切取供試體は施工混凝土塊より切斷せし位置によりて相違せる强度を示したるを以て上下又は上中下の各層毎に其の平均値を列記せり。

第十五表　耐壓强度比較表

供試體番號	配合	水量 %	材齡 日	平均耐壓强度 (kg/cm²) 型詰供試體 現場放置	型詰供試體 水中貯藏	切取供試體 施工厚 cm	切取供試體 强度	切取供試體 平均强度
I	1:4:8	4.8	154	143	175	30	187	174
						60 上層	156	
						60 下層	169	
						90 上層	163	
						90 中層	177	
						90 下層	189	
II	1:4:8	4.8	119	157	153	30	166	156
						60 上層	137	
						60 下層	166	
						90 上層	136	
						90 中層	162	
						90 下層	171	

III	1:3:6	5.1	205	183	234	30		246	237
						60	上層	223	
							下層	283	
						90	上層	205	
							中層	233	
							下層	230	
IV	1:5:10	6.15	181	151	157	30		169	169
						60	上層	174	
							下層	183	
						90	上層	158	
							中層	161	
							下層	166	

本試驗に依れば大體次の如き結果を得たり。

(1) 混凝土塊を切斷して作りたる供試體の示したる耐壓强度を見るに其の施工法並に上下の位置によりて20～30%に及ぶ强度の差を示せり。

(2) 一般に下層は上層に比し其の强度大なり。

(3) 型詰供試體と切取供試體との强度を比較すれば、前者を水中に貯藏せし場合には後者と略同等なるも、現場に放置せし場合には一般に低下せり。

(2) 獨逸に於ける現場打混凝土試驗

獨逸鐵筋混凝土規格委員會に依りて1910～1913年に亘りDarmstadt市内外に於て建物の工事現場14箇所より採取したる混凝土供試體に就きて試驗されたり。

供試體は型詰め及び切取りの2種とし切取用試料は建物の堰枠の外側に更に堰枠を設けて同時に施行せり。型詰供試體は全部水中に貯藏せり。

本試驗に使用せし材料及配合は第十六表、耐壓强度は第十七表に示すが如く一般に各供試體の示せし强度は前節に記せし場合と略同樣なり。

第十六表　現場の種類、混凝土の配合及骨材

現場番號	構造物名稱	配合	骨材
1	停車場ホーム	1:3.3:6.6	河砂、玢岩碎石
2	某工場基礎	1:8	河砂、河砂利 (5 cm 以下)
3	倉庫床	1:3:6	河砂、玄武岩碎石 (5 cm 以下)
4	廐舍	1:2.5:2.5	切込小砂利、玄武岩碎石 (1.5 cm 以下)
5	棧橋	1:3:6	河砂、輝緑岩碎石 (5 cm 以下)
6	汽關車庫床	1:7	河砂、河砂利
7	〃ホーム	1:3:6	河砂、玄武岩碎石 (4 cm 以下)
8	某停車場壁	1:5:7	河砂、玄武岩碎石 (6 cm 以下)
9	某專門學校々舍基礎	1:3.5:9.5	河砂、河砂利 (8 cm 以下)

10	某專門學校々舍基礎	1:1:4:12	石灰、河砂、河砂利 (8 cm 以下)
11	〃	1:1:4:12	〃
12	某中學校々舍	1:4:8	河砂、河砂利 (6 cm 以下)
13	〃	1:1:2:12	石灰、河砂、河砂利 (6 cm 以下)
14	〃	1:1:2:12	〃

第十七表　耐壓試驗結果

現場番號	配合	練加減	材齡日	耐壓強度 (kg/cm²) 型詰供試體	切取供試體 層別	切取供試體	平均
1	1:3.3:6.6	硬	72	131	上	137	138
					下	140	
2	1:8	〃	59	153	上	148	158
					下	169	
3	1:3:6	〃	247	107		154	154
4	1:2.5:2.5	中	97	309	上	285	273
					中	257	
					下	277	
5	1:3:6	硬	290	215	上	136	102
					下	85	
6	1:7	水 4.5%	216	126	上	163	181
					下	199	
7	1:3:6	硬	260	139	上	93.6	110
					中	132	
					下	105	
8	1:5:7	〃	253	198	上	136	171
					中	169	
					下	208	
9	1:3.5:9.5	〃	242	118	上	70.1	79.9
					中	82.3	
					下	87.2	
10	1:1:4:12	〃	215	76.7	上	74.1	70.3
					中	59.5	
					下	77.4	
11	1:1:4:12	〃	460	88.9	上	91.3	86.8
					中	75.9	
					下	93.3	
12	1:4:8	〃	173	139	上	113	130
					中	111	
					下	148	

13	1:1:2:12	〃	250	97.8	上 55.4 中 83.9 下 73.4	73.1
14	1:1:2:12	〃	564	—	上 87.8 中 91.9 下 86.2	88.0

(3) 米國混凝土及鐵筋混凝土標準規格聯合委員會に於ける試驗 (其一)

米國に於て混凝土及鐵筋混凝土の標準規格制定に當り聯合委員會の規格案の可否を檢する爲め、1923年に Camden 市に於る Victor 蓄音器會社第十號館及 Newark 灣に架設されたる New Jersey 中央鐵道橋の橋臺の兩工事現場に於て施工中の混凝土に就きて組織的なる試驗を行ひたることあり。其の結果は好參考となるものなれば比較的詳細に記述せんとす。

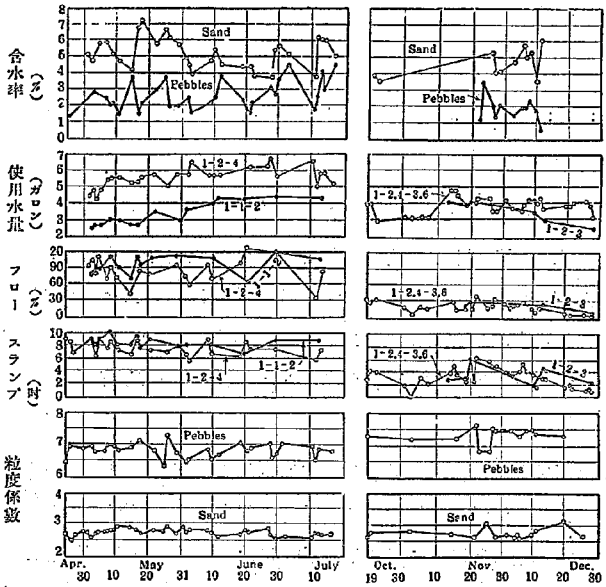
現場 Camden 市 Victor 蓄音器會社第十號館は長 425 呎、幅 70~90 呎の八階建鐵筋混凝土建物にして使用せし混凝土は 12,000 立方碼なり。混合裝置は二箇所に設け、何れも 1 立方碼用 Ransome 混合機を使用す。混凝土の施工にはエレベーター及運搬用二輪車を用ひシュートを使用せず。試驗は 1923 年四月より六月の中に行はれたり。

Newark 灣鐵道橋々脚の軀體は長さ 43~47 呎、幅 22.5 呎、高 50~55 呎あり、750 立方碼の混凝土を使用せり。混合には 1 立方碼用 Ransome 混合機を用ひ之れをカーボート上に据付け、砂は Blow Knox 會社製の Batchers と稱する一種のイナンデーターを用ひて水と共に秤量し、混凝土の施工にはエレベーター及長さ約 70 呎、勾配 1/2.8 のシュートを使用せり。本試驗は 1923 年十月より十二月の間に行はれたり。

配合及材料 Camden 市に於て施工せる混凝土の配合は 1:2:4 及 1:1:2 の二種にして混凝土 1 立方碼に使用せしセメントの量は前者に在りしは 6 袋、後者に在りては 11 袋にして試驗中は常に同一工場製品を使用しスランプは 8 吋を標準とせり。砂利及砂は何れも水洗したるものを用ひたり。

Newark 灣鐵橋々脚の施工混凝土は 1:2.4:3.6 及 1:2:3 の二種にしてスランプは 3~4 吋を標準となし、セメントの量は毎立方碼毎に前者にては 5 袋、後者にては 6 袋を用ひ、全工事中には五種のセメントを使用したるも試驗中は同一種とせり。砂利及砂は水洗せしものを用ひ、其の粒度に依りて配合を多少變じたることあるも混凝土の價格を常に一定となしたり。砂利及砂の粒度係數、含水量は第九圖に示すが如し。

第九圖　砂利、砂及混凝土の毎日平均試驗結果



カムデン建物試驗　　ニウアーク灣橋梁試驗

試驗方法　スランプ試驗は混凝土を詰めたる後直ちに行ひ、フロー試驗に於て落下せしむる高さを $\frac{1}{8}$ 吋、速さは10秒に付き15回とせり。供試體は型詰め及切取りの2種となし、前者は施工中一時間毎に作り常に直徑6吋、高さ12吋の鑄鐵製圓壔型を用ひ、純セメントにて表面の仕上げをなし、製作後16～20時間を經て型を外づし試驗日迄濕砂中に貯藏するを標準方法となしたり。

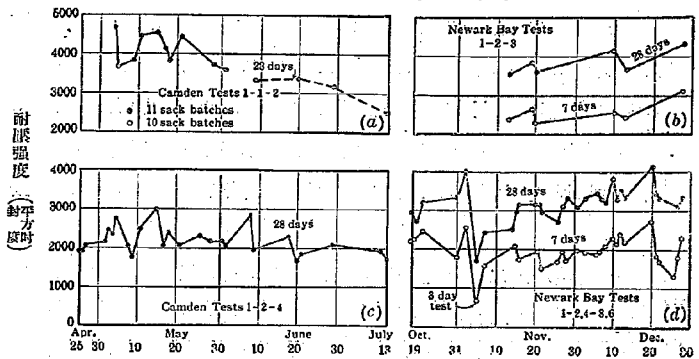
Camden 市建物に於ける試驗には型詰供試體を各階にて作り之れを2～3週間濕砂中に貯藏したる後 Philadelphia 市立試驗所に送附して試驗せり。又試驗用として $3\times5\times\frac{2}{3}$ 呎の床版を3階に亘り各階3個宛を作り現場に放置せし後28日目に4.5吋のコーアを切り抜きて試驗せり。又同時に徑12吋、高さ10呎の圓柱及角柱を各1個宛同一階上に作りて現場に放置せし後28日目に之れを4個に切斷して試驗せり。

Newark 灣橋梁に於ける試驗には型詰供試體をカーボート上にて作り翌日型を外づして濕砂にて被ひ4～14日後 Columbia 大學材料試驗室に於て試驗を行ひたり。又試驗用として厚さ12吋の床版を1日に3個宛2日に亘りて合計6個作り18日後に徑 $6\frac{3}{8}$ 吋の圓壔を切り抜きて試驗せり。切抜供試體は切抜き後は總べて室内に放置せしものなり。

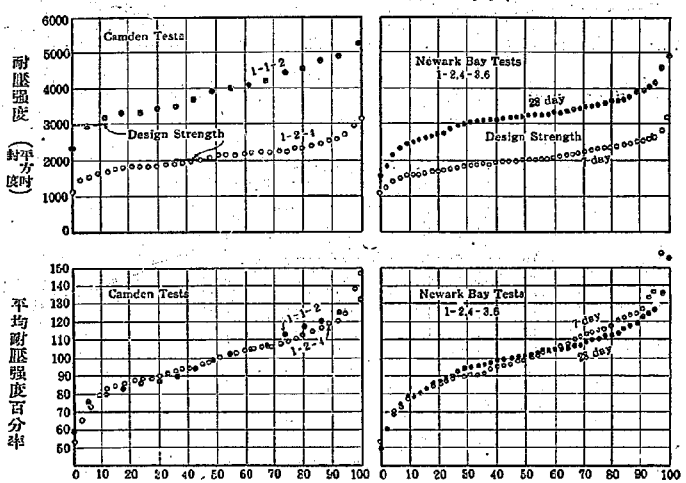
試驗結果　本試驗の結果の大要を列記すれば次の如し。

(1)　強度　強度試驗の成績は第十及十一圖に示すが如し。但第十一圖に於て横軸は遞下強度百分率即ち全強度中最大値より最小値に至る間のものゝ割合を示すに當り大なる強度を標準とし夫れより遞下せる強度を示したる供試體の數を百分率にて表したるものなり。一般に耐壓強度は豫想強度に比し 10～20% 位大にして又平均値に對し 20% 以上の差異あるもの極めて少數なり。

第十圖　混凝土の毎日平均強度



第十一圖　混凝土強度の均等率

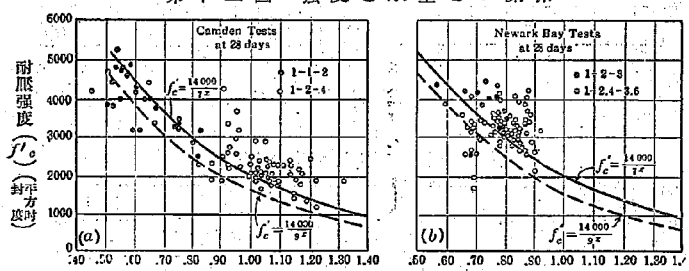


(2) 軟さ　スランプ及フロー試驗の結果は第九圖に示すが如く常に之れを一定に施行することは極めて至難にして全試驗を通じて之れを見れば相當に變動あるのみならず一日中に於ても可成りの變動を示せり。

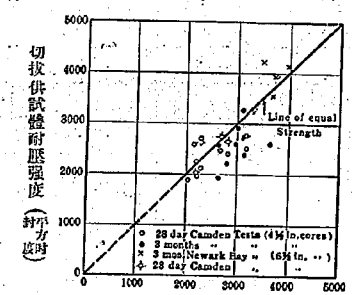
(3) 骨材の粒度　331回に亘る試驗結果を見れば骨材の粒度には工事中相當に變動あり。殊に砂利に於て著しきを認めたり。毎日平均粒度は第九圖に示すが如し。然れども粒度の變化が强度に及ぼしたる影響は殆ど認められざるは、材料の量り方が不正確なる爲め之れに依る影響に打ち消されたるものと考へらるゝなり。

(4) スランプと强度との關係　現場打混凝土に於てはスランプと耐壓强度との間には一定せる關係を認むること能はざりしも、現場又は實驗室に於て同一混凝土に水量を順次に增加してスランプを變じたる場合には大體一定せる關係を示せり。其の原因は現場に在りては水量の他に骨材の形狀、量、含水量等の不定なるに基づくものにして、スランプ試驗は單に所謂 Workability を檢するに足るに過ぎずして强度を檢する爲めには不充分なり。

第十二圖　强度と水量との關係



第十三圖　型詰及切抜供試體の强度比較

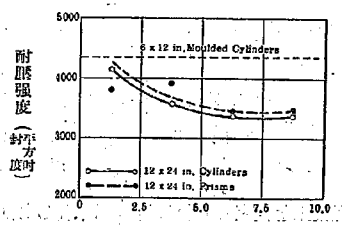


(5) 强度と水量との關係　水量の測定は完全に行ふこと能はざりしも水セメント比 (x) と强度との關係は第十二圖に示すが如く、强度算式 14000/9ˣ にて表はさるゝ一般强度に比すれば 10~15% 位强大にして本試驗の結果大體の平均强度は 19000/7ˣ に相當せり。

(6) 型詰及切取供試體の强度の比較　型詰供試體を濕砂中に貯藏せしものと試驗用床版又は柱より切取りたる供試體との强度の比較は第十三圖に示すが如く略同等なり。然し切取供試體中 3 ケ月の强度は型詰のものに比し約 14% の低下を示したるは切取後乾燥したるに因るものなり。

圓柱及角柱を切斷して作りたる供試體の材齡 28 日に於ける强度は第十四圖に示すが如く其の下部の方が上部に比し一般に强大なる結果を示せり。

第十四圖



(7) 混合後供試體製作迄の時間と强度及びスランプとの關係　3 日毎に一練分の混凝土を全部運搬車に取り直ちに型詰供試體を 3 個作り、殘部は二分して一つは鐵製の水密なる容器に入れて濕布にて被ひ、他は床版の堰枠内に入れて何れも 30 分及 1 時間を經過したる後型詰供試體を 3 個宛製作せり。試驗の結果は容器の如何に關らず同時に作りたるものは同等の强度を示したるも、混合後直ちに作りたるものに比し 30 分を經過せしものは約 25% 强大となり、1 時間を經過せしものは約 30% 大なる强度を示せり。

スランプに在りては時間の經過と共に漸次に其の値を低下せり。例へば混合直後には 7 吋なりしも 30 分間後には 3 吋となり、1 時間後には 1~2 吋となりたり。

(8) 現場放置に依る影響　1:2:4 配合のもの〻型詰供試體を建物の階上に置き六月より七月に亘りて 28 日間空氣中に放置せしもの〻强度は濕砂中に貯藏せしものに比し約 20% の減少を示せり。

(9) 施工に就ての注意　一定の軟かさを有する混凝土を得る爲めには極めて正確なる水量測定裝置を必要となすも、材料の秤量が正確ならば其の中に含有さるゝ水量は使用前

に測定し得るを以て在來の裝置を用ふるも水量の調節を爲し得べし，然れども混合する材料の秤量方法を從來に比し更に正確に行ふに非ざれば如何に材料の品質上に注意するも其の効果に乏しきを以て此の點を改良することは最も緊要なる事項なりとす。

(4) 米國混凝土及鐵筋混凝土標準規格聯合委員會に依る試驗（其二）

本試驗は前記の試驗と同樣に 1923 年に 行はれたるものなれども、主として 施工混凝土の强度と標準規格案とを比較する目的を以て 5 箇所の鐵筋混凝土建築現場に就きて試驗せしものなり。

現場の種類並に使用材料、配合、供試體の數等は第十八表に示すが如し。

第十八表 現場の種類及材料

現場番號	建物所有者	骨材の種類	配合（容積）	供試體數	試驗期日 (1923)
A	New York Telephone Co.	"Real mix"	1:5.5	291	9月12日～10月16日
B	New York Giants	砂及砂利	1:1.8:3.8	105	8月6日～14日
C	Ward Baking Co.	砂及砂利	1:1.9:4.0 1:2.1.4.2	136	8月24日～9月7日
D	R. H. Macy Co.	"Real mix"	1:5	64	9月27日～10月4日
E	New York Telephone Co.	〃	1:4	60	9月14日～28日

試驗方法 試料は施工混凝土を代表せしむる爲め出來得る限り施工箇所に於て採取せり。卽シュートを用ふる箇所に在りては其の先端より流出せるもの、運搬車を使用する所に在りては其の中より採取せり。供試體は總べて直徑 6 吋、高 12 吋の圓壔形とし、試料採取後直ちにスランプ及フロー試驗を行ひたる後型に詰めて供試體を作り、16～20 時間の後型を外して濕砂中に貯藏せり。試驗は總べて Columbia 大學材料試驗室に於て Olsen 會社製 400,000 封度試驗機又は Riehlé 會社製 100,000 封度試驗機に依りて行ひたり。

試驗結果 各現場打混凝土の試驗の結果を綜括すれば大要次の如し。

(1) 强度 各現場に使用せし混凝土の配合は從來の 1:2:4 に略相當するものにして其の平均强度は次表に示すが如し。但豫想强度 ($=S$) は水セメント比 ($=x$) と $S=\frac{14000}{9^x}$ なる關係に在るものとして算出せしものなり。

第十九表 平均强度

現場番號	軟さ スランプ	軟さ フロー	$x=\frac{w}{c}$	耐壓强度 (封度/平方吋) 7日	28日	3月	28日の豫想强度 最小	平均
	吋	%						
A	6.1	80	1.1	1450	2130	3040	1250	1650
B	7.7	—	1.0	1550	2390	3230	1550	2000

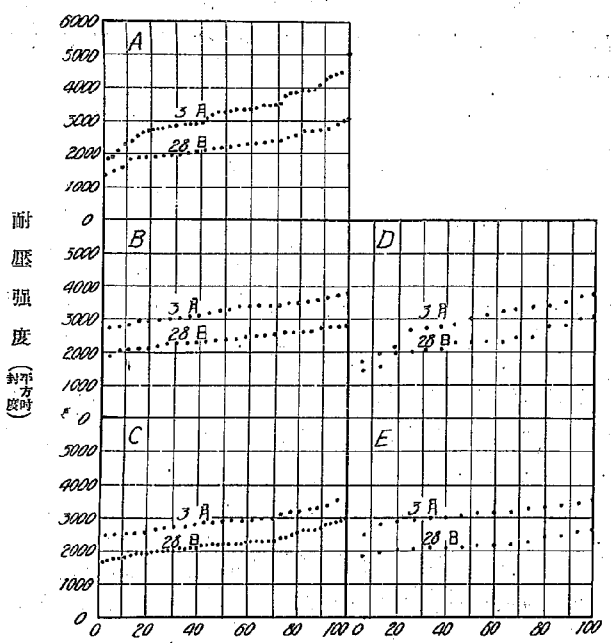
C	5.9	60	1.0	1430	2180	2890	1550	2000
D	6.8	—	0.95	1380	2260	2880	1700	2200
E	6.4	—	0.9	1300	2120	3040	1900	2400

備考　供試體 6×12 吋圓壔形、x は水セメント比を容積にて表したるもの。

試驗の結果に依れば各現場の混凝土の强度は豫想强度に比し 6～18% 强大なる成績を示せり。

强度の均等性は第十五圖に示すが如く、最大及最小强度の差は B, C, E に在りては比較的僅少なれども、A 及 D に於ては相當に大なり。其の原因は乾混合骨材 (Real mix) の粒度が著しく不均等なりしに依るものゝ如し。

第十五圖　强度の均等率



(2)　試料採取箇所と强度との關係　現場 (A) に於て試料の採取箇所を混合機の出口、シュートの先端及堰枠内の 3 箇所となし一練り分の混凝土を各箇所にて採取し試驗せし結果は次表に示すが如し。本試驗に使用せし供試體は少數なれば充分なる結果は判明し難けれ

ども何れも大差なき強度を示せり。即全平均強度に對しシュートより採取せしものは僅かに5.4%，他は約9%の相違を示せり。

第二十表　採取箇所と強度との關係

試験回数	スランプ（吋）			フロー（%）			耐壓強度（封度/平方吋）		
	混合機	シュート	堰枠	混合機	シュート	堰枠	混合機	シュート	堰枠
1	—	4.5	5.0	—	55	65	1530	1860	1520
2	—	5.0	7.0	—	60	85	1990	1980	1740
3	—	4.0	6.0	—	50	80	1660	1880	1660
4	—	6.0	7.0	—	70	100	1610	1675	1850
平均	—	4.9	6.2	—	58	82	1700	1860	1690

(3)　骨材　一様の強度を有する混凝土を施工するには全工事を通じて一様なる粒度を有する骨材を使用する要あり。而して粒度係數の最大許容値はAbrams氏の表に從ひて良好なる結果を得たるも、施工上の難易等を考慮して之れを約20%低下せしめたる場合に更に好成績を得たり。

土木試驗所出版圖書

報告

第一號	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告。瀝青質材料並瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年三月行發
第二號	（瀝青質材料針度に就て）	大正十五年一月發行
第三號	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定。瀝青混合物に關する研究。「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	同　二月發行
第四號	（急硬セメントに關する試驗報告）	同　五月發行
第五號	（簡易鋪裝に關する試驗報告）	昭和二年三月發行
第六號	（混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試驗報告）	同　五月發行
第七號	八幡製鐵所副產部製品、瀝青質材料、瀝青質鋪裝、「セメント」類、及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績	同　七月發行
第八號	瀝青質材料標準試驗方法 石材類標準試驗方法	同　十月發行
第九號	急硬性「セメント」に關する試驗 「ソリデイテイット」の耐壓强度に關する試驗 「ブロック」に關する試驗。高知縣黑瀨川產砂に關する試驗。多摩川產砂利及砂に關する調查。石材類試驗成績	同　十一月發行
第十號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て 道路橋振動試驗	昭和三年三月發行
第十一號	瀝青滲透ブロック試驗成績。鋪裝工事用サーフエス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗。常願寺川產砂に關する試驗	同　七月發行
第十二號	アスファルト・ブロック試驗成績 各種アスファルト・ブロック比較試驗成績 石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗。瓦斯瓦及骸炭瓦タール及ピッチに關する試驗成績。コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化。石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響。標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響	同　四年一月發行
第十三號	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗 橋梁用敷板强度試驗 舊瓦橋鐵材の腐蝕に關する調查 鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗	同　五月發行
第十四號	瀝青乳劑及ピチユマルス鋪裝に關する試驗 瀝青滲透ブロックに關する試驗 瀝青質材料の滲透性に關する試驗 瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試驗	同　十二月發行

其他

本邦道路橋輯覽　大正十四年十二月發行

本邦道路橋輯覽（增補）　昭和三年三月發行