土木試驗所報告

第三十四號

昭和十一年 第二冊

瓦斯切斷による創稜が鎔接の強度に及ぼす影響……青木楠男
防波堤の安定に關する一試驗……松尾春雄
二，三の土木材料の比熱測定結果に就て……島田八郎・土屋直
二，三の外國製鋪裝用瀝青乳劑の性狀に就て……福島彌六
土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響……山田元
土木工事用金屬材料分析試驗……西川榮三・福島彌六・川畑健雄
種々の土木工事用材料に關する試驗……西川榮三・福島彌六・川畑健雄
施工方法による砂利路面工の耐力の比較試驗……山田元・船山晴雄
鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計 (2)…大野博

1936 VI

內務省土木試驗所

頁	行	誤	正
41	上より 3 行	波の形は第 3 圖 (*b*)	波の形は第 3 圖 (*b*) 及 (*c*)
45	上より 12 行	一時作用	一時に作用
65	第 3 表 (B) の 3. b. 行	36	3.6
66	下より 9 行	$2\sim2\frac{1}{2}$	$2\sim3\frac{1}{2}$
74	第 7 表 (B) の 3. a. 行	36	3.6
〃	〃 6. a. 行	$1\sim1\frac{1}{2}$hr.	$1\frac{1}{2}\sim2\frac{1}{2}$hr.
90	第 1 表中、番號 96 の行	No. 17311	No. 1731*l*
110	第 14 表中	208	268

土木試驗所報告

第三十四號

序　言

本報告は「瓦斯切斷による削稜が鎔接の强度に及ぼす影響」「防波堤の安定に關する一試驗」「二, 三の土木材料の比熱測定結果に就て」「二, 三の外國製鋪裝用瀝靑乳劑の性狀に就て」「土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響」「土木工事用金屬材料分析試驗」「種々の土木工事用材料に關する試驗」「施工方法による砂利路面工の耐力の比較試驗」「鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計(2)」等を輯錄せるものである.

瓦斯切斷による削稜が鎔接の强度に及ぼす影響　は衝合前面隅肉及側面隅肉鎔接の强度が削稜を器械仕上せる場合と瓦斯切斷せる場合とにて使用電極棒竝に鎔接機の種類によつて如何に變化するかを實驗的に確めたものである.

防波堤の安定に關する一試驗　は前後に方塊積を置きたる構造の直立防波堤に於て此方塊積が堤全體の安定に如何なる影響を及ぼすかを模型により試驗したる結果を述べたものである.

二, 三の土木材料の比熱測定結果に就て　は二, 三の道路鋪裝用碎石, アスファルト, タール及アスファルト標準砂混合物の比熱に就き實驗したる結果を述べたものである.

二, 三の外國製鋪裝用瀝靑乳劑の性狀に就て　は英國製アスファルト乳劑ヴィアリット及獨逸製タール乳劑マグノンXTに就て材料試驗を行ひ, 一方國產アスファルト及タール乳劑の市販品及當所の試驗乳劑の性質と比較し以て內外の鋪裝用瀝靑乳劑の性質に就て論述したものである.

土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響　は土と砂との混合材に受壓面積より小なる加壓面によつて加壓し, 其加壓回數の乾濕兩種の壓縮强度に及ぼす影響を明かにし, 以て路床又は土砂道築造の資に供せむとするものである.

土木工事用金屬材料分析試驗　は官廳公共團體の依頼により行ひたるものにして, 港灣河川等の工事に使用せる含銅鋼矢板中の含銅量試驗及土木工事用機械材料金屬の一般分析の結果を類別表示して工事上の參考に供したものである.

種々の土木工事用材料試驗　は官廳公共團體等の依頼により行ひたるコンクリート滲出物, 隧道コンクリート滲出物, 中川の河水を用ひたるモルタル, 砂の相違によるモルタル强度, 諸種のセメント, 早强セメント, 土木試驗所建築工事用セメント硅酸白土, 石灰岩粉, 潛函中空氣等に關する試驗成績を輯錄せるものである.

施工方法による砂利路面工の耐力比較試驗　は東京山手赤土を膠着材とし砂利 100, 砂 18.75, 土 12.5 なる所定配合の材料を用ひ, 其施工時の含水率, 搗固及施工後に於ける搗固等を異にする 6 種の試驗路面を造り, 實際路面上の交通車輪と略〻同一の作用を有する試驗機械によつて其耐力を比較し, 以て砂利道築造の資に供せむとするものである.

鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計 (2)　は地震力の如き水平橫荷重を受ける場合の無鉸拱に就て論じ其の近似計算法を示したものである.

昭和十一年六月

內務省土木試驗所長　內務技師　物　部　長　穗

目　　次

瓦斯切斷による削鉄が鎔接の強度に及ぼす影響 …… 1

内務技師　青　木　楠　男

防波堤の安定に關する一試驗 …… 37

内務技師　松　尾　春　雄

二,三の土木材料の比熱測定結果に就て …… 47

内務技師　島　田　八　郎
　　土　屋　　直

二,三の外國製鋪裝用瀝青乳劑の性狀に就て …… 59

　　福　島　彌　六

土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響 …… 77

内務技師　山　田　　元

土木工事用金屬材料分析試驗 …… 87

内務技師　西　川　榮　三
　　福　島　彌　六
内務技手　川　畑　健　雄

種々の土木工事用材料に關する試驗 …… 99

内務技師　西　川　榮　三
　　福　島　彌　六
内務技手　川　畑　健　雄

施工方法による砂利路面工の耐力の比較試驗 …… 115

内務技師　山　田　　元
内務技手　船　山　晴　雄

鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計 (2) …… 125

内務技師　大　野　　博

瓦斯切斷による削稜が鎔接の強度に及ぼす影響*

内務技師　青　木　楠　男

目　次

I 總　論……(1)
〔1〕 鎔接工費……(1)
〔2〕 E. J. Clarke の實驗……(2)
〔3〕 三菱長崎造船所に於ける實驗……(5)
II 試驗片の製作……(6)
〔4〕 試驗片の形狀寸法……(6)
〔5〕 試驗片の削稜……(8)
〔6〕 瓦斯燒斷による鋼材緣部の變化……(9)
〔7〕 鎔接及び削整……(11)
III 直流鎔接機と薄き被覆を有する電極棒とを使用せる場合……(13)
〔8〕 母材並に鎔着銅の强度……(13)
〔9〕 衝合鎔接試片の强度……(14)
〔10〕 側面隅肉鎔接試片の强度……(16)
〔11〕 前面隅肉鎔接試片の强度……(18)
〔12〕 瓦斯燒斷削稜の影響が鎔接の種類によつて異ることに對する考察……(20)
IV 交流鎔接器と稍〻厚き被覆を有する電極棒とを使用せる場合……(25)
〔13〕 母材並に鎔着銅の强度……(25)
〔14〕 衝合鎔接試片の强度……(26)
〔15〕 側面隅肉鎔接試片の强度……(29)
〔16〕 前面隅肉鎔接試片の强度……(32)
V 要　約……(35)

I. 總　論

〔1〕 鎔接工費

電弧鎔接法の發達に伴ひ，本邦に於て建設せらるゝ鎔接建築，鎔接鋼橋等の構造物の數も漸く多からんとする今日，其工費が鎔接工法の採用による鋼材の節約，鋼材加工の減少等より見て妥當なりと考へらるゝ程度の減額を見ず，むしろ鉚工法によるものよりも幾分高價なるか，或はこれと大差なき現況にありとの聲を聞くは甚だ遺憾とするところであ

---

* この實驗は學術振興會第9常置委員會第4小委員會の研究事項の一つとして行つたものである．實驗は內務技手宮澤岩雄氏の手を煩した，こゝに氏の勞に對し深い謝意を表する次第である．

る．斯くの如きは鎔接工法の一般化を阻害するところ大なるべく，これが打開のために其原因の根本的研究を必要とする次第である．

而して鎔接工法を比較的高價ならしむる原因と考へらるゝものに次の如きものがある．

(1) 新工法たる鎔接の信頼し得べき施工者の比較的少數なることが，鎔接工事に獨占的の傾向を生ぜしめてをること，(2) 新たに設置したる鎔接設備の償却費が工事數の少き今日にては，幾分割高となること，(3) 鎔接工檢定試驗に合格しうる鎔接工比較的少數なるため勞力費割高なること，(4) 現時鎔接建築，鎔接鋼橋の製作にあたつては，接手鎔接面を入念に創成せる後に鎔接するを常法とし，これがための鋼材加工費が相當の額に達すること．

これ等の諸原因中 (1) 乃至 (3) のものは鎔接工法の普及と共に自ら解決せらるべき性質のものであつて，特別なる對策の考究を必要とするものではない．然るにこれに反し (4) は純然たる技術的の問題であつて，もし鋼材端面の創成に代つて，最近著しい進歩を示すに至つた瓦斯切斷法を自由に使用し得ることが明かとなるならば，鋼材緣部の創成による加工費の增加を或程度まで緩和することが出來る．

然らば鎔接面の創稜に瓦斯切斷を利用することが，接手の强度に如何なる影響を及ぼすか，この問題に關してはすでに造船方面に於て或程度の研究が進められ，今日造船方面への鎔接應用に於ては瓦斯切斷創稜が相當利用されてをり，大體支障なかるべしとの意見が建てられてをる．併しこれ等の研究は主として衝合鎔接に就いての研究であり，從つて其應用も主として衝合鎔接の如く考へられる．從つて今日隅肉鎔接を主として使用する鋼橋其他に，瓦斯切斷創稜利用の一般的可否を確めんためには，衝合鎔接のほかに，更に隅肉鎔接に就いての研究を必要とする．

筆者はこの點に鑑み各種の創稜方法を用ひて製作せる，前面竝に側面隅肉鎔接についての强度試驗を行ひ創稜方法の接手强度に及ぼす影響を求め，同時に行つた衝合鎔接に於ける結果と比較對照した．第II章以下はこれ等の實驗結果を纒めたものであるが，これに先立つて衝合鎔接に對する瓦斯切斷創稜の影響の研究文献の 2, 3 を略記することゝする．

〔2〕 E. J. Clarke の實驗*

同氏の實驗では先づ瓦斯切斷が鋼材夫自身の强度に及ぼす影響を求めてをる．使用瓦斯は Oxy-acetylene と Oxy-coal gas の兩種で 3 吋鋼塊より瓦斯切斷と帶鋸とにより各厚約 $\frac{3}{8}$ 吋，幅約 $1\frac{1}{2}$ 吋の試片を切り取り表面は瓦斯切又は鋸引のまゝとし，兩緣のみ創成の上引張强度其他の比較を行つてをる．第1表は其概略を示したもので，これによると瓦斯の

* Flame Cutting of Steel for Welded Joints.—Mechanical World. Oct. 12, 1934.

第 1 表　瓦斯切斷が鋼材の强度に及ぼす影響

試　驗　片	酸素アセチレン瓦斯を用ひて切斷せるもの	酸素石炭瓦斯を用ひて切斷せるもの	鋸引せるもの
斷面寸法 (cm)	3.83×1.00	3.86×1.00	3.86×0.93
極限强度 (kg/cm²)	4,340	4,315	4,125
降伏點强度 (kg/cm²)	2,535	2,600	2,360
伸率 (%) (標距 20 cm)	17	17.5	13.5

種類による變化は殆ど認められない．瓦斯切斷のものと鋸引のものとを比較すると前者が强度，靱性とも優つてをることが知られる．この原因として實驗者は瓦斯切斷による熱影響のために鋼材表面は元來の Pearlite が Sorbitic pearlite に變じ，組織が微細となることが機械的性質を良好ならしむるものなりと斷定してをる．而して鋼材表面の變質の深さは組織寫眞によると 1.25 mm を出てをらない．

Clarke 氏の次の實驗は前記同樣 3 吋鋼塊より瓦斯切斷又は鋸引したる鋼板を用ひたV接ぎの强度試驗である．V 接ぎ鎔接面の削殺方法には鋸引，瓦斯切斷，瓦斯切斷後削成の 3 種，電極棒には重被覆のものを使用してをる，第 2 表は實驗結果の概略を示したものである．

第 2 表　削殺方法の相違による V 接ぎ强度の比較 (其 1)
(試片は 3 吋鋼塊より切り取りたるもの重被覆電極棒使用)

試驗片 表面仕上	鋸引°	酸素アセチレン瓦斯切斷°	酸素石炭瓦斯切斷°	鋸引*	鋸引*	鋸引*	鋸引*
試驗片 削殺方法	鋸引	酸素アセチレン瓦斯切斷	酸素石炭瓦斯切斷	酸素アセチレン瓦斯切斷	酸素石炭瓦斯切斷	酸素アセチレン瓦斯切斷，後研磨	酸素石炭瓦斯切斷後研磨
斷面寸法 (cm)	3.81×1.10	3.76×1.12	3.79×1.10	5.08×1.22	5.08×1.17	5.08×1.12	5.08×1.22
極限强度 (kg/cm²)	3,950	4,300	4,220	4,250	4,280	4,190	4,250
降伏點强度 (kg/cm²)	2,135	2,630	2,410	2,360	2,285	2,250	2,360
伸率(%) (標距 20 cm)	18.7	10.8	15.5	4.37	4.87	4.75	4.75

備考　° 印は鎔接部を斜板面まで削取，* 印は試片全面を削成

第 2 表の結果を見るに其强度に於ては試片表面竝に鎔接面の仕上方法の如何は大なる差異を生ずる原因とならざることが明かである．兩面とも鋸引のもの>强度が低値を示してをるがこれは試片製作に當つて鋸引のために生じた缺點によるものである．只こゝに問題となるのは伸率であつて，表面，鎔接面共に鋸引又は瓦斯切斷せるものが比較的良好なる伸率を示せるに對し，表面のみ鋸引せる各種の試片の伸率の甚しく不良なることに對しては實驗者は說明を下してをらない．

Clarke 氏は更に，上記の諸實驗が製造中加工をうくること少き鋼塊より切り取りたる試

片によつたもので，これによつて得たる結果が構鋼の如き大なる加工をうくる鋼材の場合にも適用しうるやを確むるために斷面 5×1.27 cm，强度 3,780～3,950 (kg/cm²) の平鋼を用ひ第 2 表に於けると同樣の實驗を行ひ，第 3 表の結果を得てをる．

第 3 表　削穿方法の相違による V 接ぎ强度の比較 (其 2)
(試驗片には平鋼使用，重被覆電極棒使用，試片は鎔接後削成)

試驗片削穿方法	機械仕上	酸素アセチレン瓦斯切斷	酸素石炭瓦斯切斷
斷面寸法 (cm)	4.92×1.25	5.0×1.25	4.95×1.27
極限强度 (kg/cm²)	3,905	3,875	3,900
降伏點强度 (kg/cm²)	2,675	2,645	2,675
伸率 (%) (標距20cm)	11.0	12.0	12.0

試驗の成績は第2表の場合と大體同傾向と云ふことが出來る．

第 2 表及び第 3 表の實驗結果に基き Clarke 氏は軟鋼の衝合鎔接に於ては瓦斯切斷の技術良好にして重被覆電極棒を使用するならば，鎔接面に附着せる酸化被膜を除去することなく其儘鎔接するも接手の强度には著しき惡影響なしと斷定してをり，鎔接面に於ける酸化被膜を鎔着鋼の表面へ鎔滓として浮び出でしめ鎔着鋼の各種性質に及ぼす害を防ぐためには良質の重被覆電極棒を使用することが絶對に必要なりと說いてをる．

Clarke 氏は更に輕被覆電極棒竝に裸電極棒を使用し，平鋼試驗片による V 接手の强度試驗を行ひ前記重被覆電極棒による成績と比較してをる．靱れの場合も後者に比して遙かに不良なる結果を生じてをり，殊に裸電極棒によるものは其極限强度，重被覆電極棒によるもの 75% に達するに過ぎない．組織寫眞によるとき V 接ぎの鎔接面より鎔着鋼側の部分は酸化物の包有顯著にて，且つ Pearlite 形成の不完全が認められ，この部分の弱點たることを示してをる．この傾向は裸電極棒のものに於て殊に著しい．第4表は輕被覆電極棒竝に裸電極棒の實驗成績である．

第 4 表　輕被覆及裸電極棒を使用したる瓦斯切斷削穿による V 接手の强度
(試驗片には平鋼を使用す，試片は鎔接後削成)

使用電極棒	裸電極棒	輕被覆電極棒
削穿方法	酸素アセチレン瓦斯切斷	酸素アセチレン瓦斯切斷
斷面寸法 (cm)	5.08×1.25	5.07×1.26
極限强度 (kg/cm²)	2,930	3,750
降伏點强度 (kg/cm²)	2,770	2,725
伸率 (%) (標距20cm)	7.5	10.0

以上の結果に基いて Clarke 氏は瓦斯切斷の設備と技術とが優秀であり，良質の重被覆電極棒を使用する場合は鎔接部の削穿方法として瓦斯切斷のまゝを用ふるも差し支へなし

と結論してをる.

Clarke 氏の實驗成績竝に其結論を見て考へらるゝことは，實驗が單に V 接ぎの引張試驗(又は曲げ試驗)のみなるが故に，この結果をもつて各種接手一般に瓦斯切斷削稜の使用を可なりとすることは早計でないかと考へられる．筆者は些少の酸化物含有の影響が主として引張應力をうくる衝合熔接の場合と，剪斷應力をうくる隅肉熔接の場合とで其趣きを異にするのでないかとの疑ひを有するものである．又氏の實驗は其報告上に明記されてをらぬが恐らく交流熔接器を使用したものと認める，もし直流熔接機を使用した場合にも同樣であるかを確認する必要がある．尤もこの問題は比較的薄い被覆の電極棒を使用する直流機の場合と，厚い被覆の電極棒を使用する交流器の場合との比較となり，要は被覆の厚薄の問題に歸し，Clarke 氏の實驗結果から見て重被覆の電極棒を使用する交流器を可とする結果に到達するかとも考へられるが，この點を確むる事も又相當重要性を有するものと信ずる.

これを要するに瓦斯切斷削稜を用ひて熔接を行ひ，酸化物の含有なき熔着鋼の得らるゝ熔接工法を決定することが第1の問題であり，もし普通の工法にて完全にこれを除去し得ざる場合は，接手のうくる應力の種類によつてこれをどの程度まで許容しうるものなるかを決定することが第2の問題であると云はねばならぬ.

〔3〕 三菱長崎造船所に於ける實驗

この實驗は同造船所が某船の熔接構造物の一部分に瓦斯切斷削稜を使用するに對し Lloyd の認可を得んがために施行したもので，昭和 8 年 11 月，12 月の兩月に亘つて實施せられてをる．この報告は同造船所佐々木新太郎氏及び一番ケ瀬氏の好意によつて得た

第 5 表　豫備試驗成績

試片番號		A			B			C		
		1	2,3	4,5	1	2,3	4,5	1	2,3	4,5
第1回試驗	鈑厚 (cm)	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3	1.87	1.87	1.87
	削稜方法	原材	瓦斯切斷	機械仕上	原材	瓦斯切斷	機械仕上	原材	瓦斯切斷	機械仕上
	極限引張强度 (kg/cm²)	4,500	4,180 3,940	4,490 4,570	5,220	3,660 3,690	4,510 4,200	4,010	3,220 3,360	3,930 3,480
第2回試驗	鈑厚 (cm)	1.3	1.3	1.3	—	1.3	1.3	—	—	—
	削稜方法	原材	瓦斯切斷	機械仕上	—	瓦斯切斷	機械仕上	—	—	—
	極限引張强度 (kg/cm²)	4,850	3,940 4,110	4,200 4,190	—	3,970 4,130	4,170 3,920	—	—	—
第3回試驗	鈑厚 (cm)	1.3	1.3	1.3	—	—	—	—	—	—
	削稜方法	原材	瓦斯切斷	機械仕上	—	—	—	—	—	—
	極限引張强度 (kg/cm²)	5,120	4,880 4,920	5,000 5,020	—	—	—	—	—	—

ものである.

實驗は V 形衝合接手の引張試驗で 3 回の豫備試驗と最後の Lloyd 檢查員立會試驗とに分かれてをる. 交流鎔接器, 被覆電極棒を使用してをるが其詳細は詳かでない. 第5表は3回の豫備試驗の成績表である.

第5表の成績によると試驗結果は試驗の回數を追ひて良好となり, 第2回第3回の試驗に於ては瓦斯切斷と機械仕上と兩者の區別を認められない.

Lloyd 檢查員立會試驗に於ける成績は更に良好で第 6 表に明かなるが如く, 瓦斯切斷, 機械仕上共に原材强度に匹敵する强度を示してをる.

第 6 表 Lloyd 檢查員立會試驗

試片番號	A			B			C		
	1	2,3	4,5	1	2,3	4,5	1	2,3	4,5
鈑 厚 (cm)	0.95	0.95	0.95	1.27	1.27	1.27	1.91	1.91	1.91
削穫方法	原 材	瓦斯切斷	機械仕上	原 材	瓦斯切斷	機械仕上	原 材	瓦斯切斷	機械仕上
極限强度 (kg/cm²)	4,300	4,315 4,330	4,330 4,300	4,740	4,865 4,835	4,895 4,820	5,040	4,820 4,725	4,520 4,660

以上の試驗結果により三菱造船所に於ては, 瓦斯切斷にて削穫したるものは機械仕上げにより削穫したるものに較べて, 其鎔接に慣れる迄は結果が悪いが, 慣れて來れば兩者に差異なしと斷定してをる.

この實驗に於てはこれに用ひた電極棒の被覆の程度, 竝に鎔接部の組織狀態を明かにすることの出來ぬために Clarke 氏の實驗結果と比較對照することは困難であるが, 其結論に於ける鎔接工の慣れと稱してをる意味は, 瓦斯切斷面の酸化被膜を鎔鋼表面に鎔滓として浮び出さしむる技術の會得に外ならないと信ずるものである.

II. 試驗片の製作

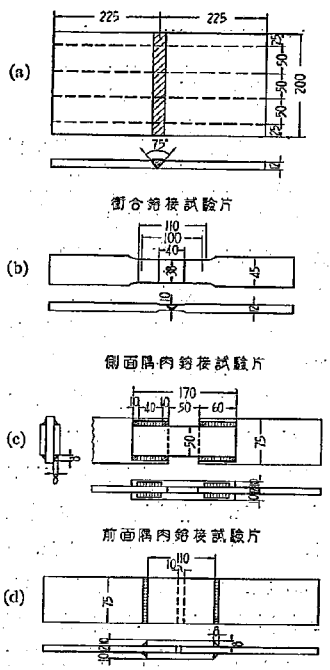
〔4〕 試驗片の形狀寸法

上述の如く從來行はれてをる瓦斯切斷削穫に關する實驗は主として衝合鎔接についてゝある. もし削穫面の酸化被膜を常に完全に鎔滓として析出し得るものとすれば, 衝合鎔接についてなされたる實驗結果に基き, 他の形式の接手に對しても其使用を認めて差し支へないと云ふことになるが, 若し多少にても酸化被膜が不純分として含有され勝ちであるとすれば, 其影響の多少を接手の形式毎に確むる必要があると信ずる. この意味から本實驗に用ひた試片はこれを (A) 衝合鎔接試片, (B) 側面隅肉鎔接試片, (C) 前面隅肉鎔接試片の 3 種に區分し, 各々を第 1 圖の形狀寸法を有せしめた. 圖中 (a) は衝合鎔接試片 3

個取りの試料にて削殺の角度は 75° とした．但し實際出來上つたものは次節に示す如く正確にこの角度に切斷されたものは少い．(b) 圖は衝合鎔接試片の仕上り寸法で，鎔接部での切斷を確保するために中央部 40 mm 間を厚 10 mm に削成した．(c) 圖は側面隅肉鎔接試片の仕上寸法にて鎔接隅肉の兩端の壺は後に削除し，隅肉の形も正しく三角形をなす樣補强盛を削除した．(d) 圖は前面隅肉鎔接試片の仕上寸法を示す．側面，前面兩隅肉鎔接とも隅肉のすは 8 mm である．

試驗片の鎔接面は各試片とも機械仕上せるものと，瓦斯切斷せる儘のものとを用意し，瓦斯切斷削殺のものには其切斷技術の巧拙による影響の變化を確むるために，未熟工の手動瓦斯切斷せるもの，熟練工の手動瓦斯切斷せるもの，自動瓦斯切斷機にて切斷せるものの 3 種を用意した．各種試片孰れも 3 個を以て 1 組とし，3 個の平均にて其强度を示すこととする．切斷用の瓦斯は酸素アセチレン瓦斯である．

各試片に取扱ひの便宜上第 7 表の記號を附した．



第 1 圖　試驗片の形狀寸法

(a), (b)　衝合鎔接試片
(c)　側面隅肉鎔接試片
(d)　前面隅肉鎔接試片

第 7 表　鎔接試片記號

鎔接の種類	機械仕上	瓦斯切斷			備考
		未熟工	熟練工	自動切斷機	
衝合鎔接	BNM	BNO	BYO	BIO	機械仕上は平削機使用
側面隅肉鎔接	SNM	SNO	SYO	SIO	〃　ミリング・マシン使用
前面隅肉鎔接	FNM	FNO	FYO	FIO	〃　〃

試片製作用の鋼板は，衝合鎔接竝に隅肉鎔接の基鈑としては $3'-0''\times6'-0''\times\frac{1}{2}''$ の軟鋼板より試片負荷の方向を鋼板壓延の方向に一致する樣板取りせるものを用ひ，隅肉鎔接試片の添鈑には側面隅肉用として $\frac{3}{8}''\times2\frac{1}{2}''$，前面隅肉用として $\frac{3}{8}''\times3\frac{1}{4}''$ の平軟鋼を使用

した.

〔5〕 試驗片の削稜

機械仕上にて削稜する試片 BNM, SNM, FNM は當土木試驗所備附の機械をもつて所要寸法に削成した.

未熟工の手動瓦斯截斷にて削稜する試片 BNO, SNO, FNO は當所の技工をして削稜せしめた, 使用瓦斯は帝國酸素株式會社製, 鐵容器入酸素及びアセチレン瓦斯にして, 瓦斯壓力は酸素 2.2~2.5 氣壓, アセチレン 0.1 氣壓, 液體空氣會社製 Chalumean Pyrocopt 式 AS. No. 1 垂直型吹管火口 5~25 mm 厚用を使用し, 截斷速度約 6.8 mm/sec, ガイドホイールを附せず凡て手動截斷である.

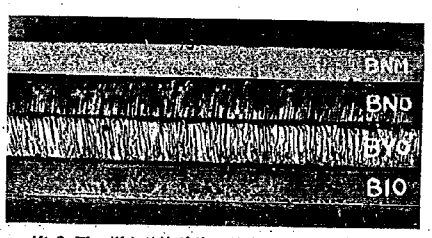
BNO は鈑の緣部を短に瓦斯截斷したる後, V の角度が 75° となる樣に吹管を稍〻斜に保ちて開先取を行つた.

SNO は添鈑の幅のみを, FNO は添鈑の長さのみを, 卽ち銜接面のみを瓦斯截斷し; 然る後前者は長さを, 後者は幅を機械削成にて所定の寸法に仕上げた.

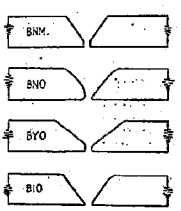
BYO, SYO, FYO 試片は橫河橋梁製作所の小室技師の好意により同所熟練工によつて截斷せしめた. 鐵容器入酸素及び可搬式小型發生器にて發生せしめたるアセチレン瓦斯を用ひ, 獨逸式截斷用吹管を使用した, 酸素瓦斯壓力は 1.8 氣壓, 截斷速度約 7.08 mm/sec である. 截斷に當つては一般に使用されてをる 2 輪のガイドホイールを用ひた. 截斷後材片を所定寸法に削成したことは前者同樣である.

BIO, SIO, FIO 試片は石川島造船所中村技師の好意により同所備付の自動瓦斯切斷機 (Messer 會社製 Autogen Schneid Machine) によつて削稜し, 截斷後他のものと同樣所定寸法に削成したものである. 截斷にあたつての瓦斯壓力は 4 氣壓, 截斷速度約 6.3 mm/sec である.

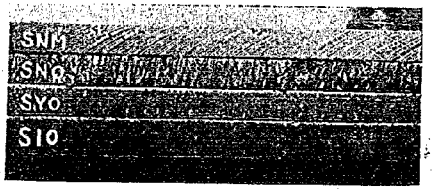
第 2 圖は衝合銜接試片の銜接面削稜の狀況を示したもので, 平削機仕上による BNM と他の瓦斯截斷によるものとの間の著しい相違が認められると共に, 瓦斯截斷せる BNO,



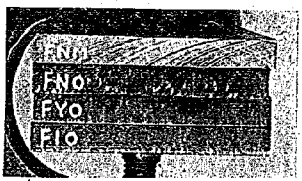
第 2 圖 衝合銜接試片の銜接面仕上狀況



第 3 圖 衝合銜接試片の開先角實測圖



第 4 圖　側面隅肉鎔接試片添接鈑鎔接面の仕上



第 5 圖　前面隅肉鎔接試片添接鈑鎔接面の仕上

BYO, BIO 間にも其技術の差異が顯著に現はれてゐる.

衝合鎔接試片に於ける開先角は第 1 圖に示す如く 75° と指定したるも，仕上けられたる試片について測定せる結果は機械仕上けのもの及び自動截斷のもの以外甚だ不統一にして BNO にて約 80°, BYO にて約 100° となつてゐる. 第 3 圖は開先角の實測圖である.

隅肉鎔接試片の添接鈑鎔接面の仕上狀況は第 4 圖及び第 5 圖に見るが如く衝合鎔接のものと大差なきも，鈑厚の少きこと，截斷が垂直なること等より施工容易なるためか概して截斷面は整つてゐる. この點は BYO, SYO, FYO に於て殊に著しく區別される.

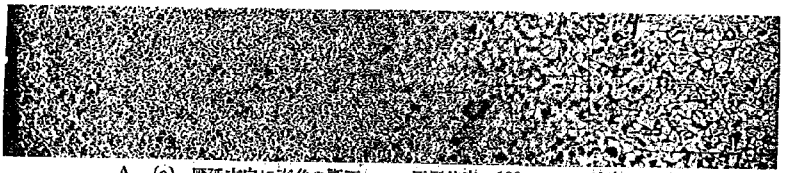
〔6〕 瓦斯截斷による鋼材緣部の變化

瓦斯截斷に當つて鋼材緣部は瓦斯焰の熱によつて其組織に變化をうける. 其變質する部分の深さが截斷裝置の差及び技術の巧拙によつて如何なる程度に變化するかを確めんがために，〔5〕に說きたる 3 種の截斷法による試片について緣部の組織變化を調べた. 第 6 圖が其組織寫眞である. これによつて見るに各試片とも截斷部附近に於ては Sorbitic 組織を示し，これについて微粒子部がつゞく. この部分は 780°C 附近に加熱せられ燒鈍作用をうけたものである. この部分より組織は漸次原形に復歸してゆく，今試みに組織寫眞上にて明瞭に燒鈍作用の認めらるゝ點までを瓦斯截斷による變質部とし，其深さを各試片について求むるならば第 8 表の結果が得られる. この深さは試片の部分により多少の相違あるも寫眞に示したものは大體其平均を表はすものである.

第 8 表　瓦斯截斷による鋼材變質の深さ

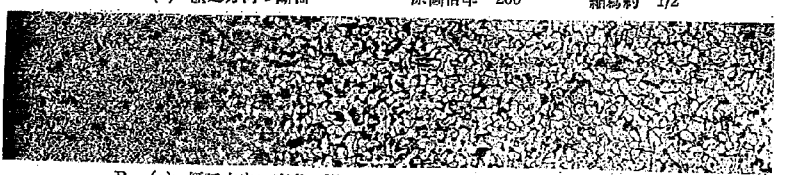
試片番號	未熟工の截斷せるもの		熟練工の截斷せるもの		自動切斷機によるもの	
	A (a)	A (b)	B (a)	B (b)	C (a)	C (b)
變質部の深さ (mm)	1.20	1.25	0.80	0.50	0.90	1.05

これによつて見るに變質顯著なる部分の深さは 0.5～1.25 mm で Clarke の實驗結果と殆ど一致してゐる. 前記 3 種の截斷法による差異は最少と最大との間に約 2 倍の差があ



A. (a) 壓延方向に直角の斷面　　原圖倍率 100　　縮寫約 3/4

A. (b) 壓延方向の斷面　　原圖倍率 200　　縮寫約 1/2



B. (a) 壓延方向に直角の斷面　　原圖倍率 100　　縮寫約 3/4

B. (b) 壓延方向の斷面　　原圖倍率 100　　縮寫約 3/4

C. (a) 壓延方向に直角の斷面　　原圖倍率 100　　縮寫約 3/4

C. (b) 壓延方向の斷面　　原圖倍率 200　　縮寫約 1/2

第 6 圖　瓦斯截斷に依る鋼材緣部の變質

A. 未熟工の截斷せるもの　　B. 熟練工の截斷せるもの　　C. 自動截斷機によるもの

るが，この變質の度の多少は，鋼材酸化切斷に要する溫度がほゞ一定とすれば，切斷速度の遲速によつて支配せらるゝものと認められ，速度最も大なりし熟練工の裁斷せるものが最少の變質を示してをる．

瓦斯裁斷試驗片に對しては上記組織變化の外に裁斷部の硬度の變化を測定した．これによつて鎔着鋼と直接融合すべき部分の組織變化が裁斷工法の差によつて變化する程度を窺ふことが出來る．硬度の測定はブリネル式測定器を使用し，硬度 $H=\frac{P}{\pi Dt}$ に於て鋼球直徑 $D=10$ mm，荷重 $P=3{,}000$ kg を用ひ，深度 t は凹みの徑 d によつて算出した，第9表が測定の結果である．各數値とも3回の測定値の平均を示す．

第9表　瓦斯裁斷せる鋼材表面のブリネル硬度

試　　片	機械仕上せるもの	未熟工の瓦斯裁斷せるもの	熟練工の瓦斯裁斷せるもの	自動瓦斯裁斷機によるもの
ブリネル硬度 (9 mm 鈑)	89.5	108.2	115.2	122.8
〃　(12 mm 鈑)	96.5	109.9	115.2	113.8

この表面硬化の程度は裁斷に際しての溫度と冷却速度とに支配せらるものと考へらる．而して鋼材酸化切斷に於ける最高溫度は裁斷工法の違ひによりて大なる差異あるものとは認められざるが故に表面硬化の度は主として冷却の遲速によるものと信ず，冷却の遲速は四圍の環境に著しき差なきものとすれば鋼材の加熱されたる範圍の大小に關係す，而して加熱範圍の大小は大體に於て裁斷速度に比例するものと認めらるゝが故に，表面硬化の度は裁斷速度の大なるものほど顯著なりと推斷せらる．第9表に掲げたる結果に就て見るに手動と自動とを同一に論じ難きも，大體上記の推斷を裏書してをる．各裁斷法による表面硬化の度を機械仕上げによる鋼材の硬度に比較するとき，未熟工のもの約 19%，熟練工のもの約 24%，自動瓦斯裁斷機によるもの約 27% 增である．

〔7〕 鎔接及び削整

瓦斯裁斷せるまゝの鋼材の鎔接に於て最も重要なる問題は鎔接面に於ける酸化被膜を鎔着鋼内に包容せしめず，これを鎔滓として完全に析出することにある．この問題に關しては鎔接棒の被覆の多少が大なる關係を有し，比較的被覆の大なるものが良結果を得るものと考へられることは既述の如くである．

翻つて今日本邦鎔接構造物界に於ける鎔接機の傾向を見るに，其大半は設備費の安價なる點より交流鎔接器を使用せるも，一面施工の容易さと，仕事の確實さより直流鎔接機を使用する工場も亦尠くない．而して一般的には直流鎔接機に使用せらるゝ電極棒は其被覆薄く，交流鎔接器に於けるものは厚いと考へねばならぬ．從つて瓦斯切斷せるまゝの鋼材

の鎔接に對して兩鎔接法の間に可否が起つて來るのではないかと豫想せられる.

よつて筆者は電極棒被覆の多少が瓦斯切斷削稜による鎔接に及ぼす影響を確むると共に一般に使用せらるゝ直流交流兩鎔接法の孰れがこの種鎔接に最も適するかを確むる意味に於て試驗片は比較的被覆の薄き米國 G.E. 會社, F 型の電極棒を用ひ, 直流鎔接機を使用したるものと, 厚き被覆を有する孕石極工社製 K 印電極棒を用ひ, 交流鎔接器を使用せるものとの兩種を製作した. 第 10 表は兩電極棒の被覆厚を示したものである.

第 10 表　使用電極棒の被覆厚

	電極棒徑 (mm)	平均被覆厚 (mm)	棒徑と被覆厚との比 (%)	被覆の色	摘要
G.E. 會社製 F 型	4.75	0.015	0.003	小豆色	
極工社製 K 印	4.00	0.22	5.5	灰色	

又厚き被覆棒を用ひたる直流鎔接機による鎔接の可否については上記の兩試驗の結果より推斷し得るものと信ずる.

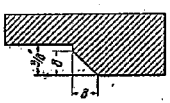
米國 G.E. 會社 F 型鎔接棒による試片の製作は橫河橋梁製作所に依囑した. 使用鎔接機は芝浦製作所製直流 7½ kW 型にて, 電極棒は徑 4 mm, 長 35 cm, 使用電壓 20 V, 電弧電流約 150 A である. 製作に當つては全試片を同一鎔接工に施工せしめた.

孕石極工社 K 印の電極棒使用の試片は當所に於て製作せるもので, 使用鎔接機は日立製作所製交流 200 A 電弧鎔接器である. 使用電極棒の徑 4 mm に對し電弧電壓 12.0～12.5 V, 電弧電流 160～168 A を用ひた. 但し器械の無負荷電壓は一次側 220, 二次側 80 V である.

各試片とも各部の鎔結を終りたる後, これを所定の寸法に削成した. 各種試片の削成の順序方法等は下揭の如くである.

a) **衝合鎔接試片**　第 1 圖 (a) の如く鎔結したる試料を點線の位置にて 3 試驗片に截斷したる後, (b) の形狀に削成.

b) **側面隅肉鎔接試片**　第 1 圖 (c) によつて鎔結したる試片について鎔接片の兩端壺に當る部分を各 10 mm 宛削り取りたる後, 各隅肉の斷面を所定寸法の二等邊三角形に削成した. 隅肉の形狀照査には第 7 圖に示すゲーヂを使用した.



第 7 圖　隅肉鎔接形成用ゲーヂ

c) **前面隅肉鎔接試片**　第 1 圖 (d) に指示の形狀に鎔結したる後隅肉の形狀並に寸法を (b) と同樣の方法によつて削成した. この試片に於ては隅肉の兩端に生ずる壺の部分を試片の幅員外にあらしむるために, 鎔接施工にあたつては試片兩側に鋼材の小片を置き, 鎔接の始端, 終端をこの小鈑上にあらしめた.

前記 (b), (c) 兩隅肉鎔接とも施工に當つては假着けしたる材片を 33°～45° を傾斜せしめ，鎔接箇所の互に直角をなす兩鎔接面がほゞ鉛直に對し同一角度をなす樣心掛けた．

III. 直流鎔接機と薄き被覆を有する電極棒とを使用せる場合

〔8〕 母材竝に鎔着鋼の强度

〔4〕に說きたるが如く衝合鎔接竝に隅肉鎔接試片の基鈑には軟鋼板より切り取りたるもの，隅肉鎔接試片の添鈑には平鋼板を使用したるが故に，これ等の鋼材について JES 第一號試驗片を用ひての引張强度試驗を行ひ，これによつて試片の破壞が鎔接部に發生する樣各部の寸法を決定した．第 11 表は其試驗成績を示したもので，各測定値は 3 回の平均である．

第 11 表　母材引張强度試驗成績

番號	試片斷面			降伏點		極限		標點距離	伸長	
	幅 (mm)	厚 (mm)	斷面積 (mm^2)	荷重 (kg)	强度 (kg/mm^2)	荷重 (kg)	强度 (kg/mm^2)	(mm)	伸 (mm)	伸率 (%)
基鈑	50.35	10.0	503.5	12,900	25.6	19,800	39.3	200	60	30.0
添鈑 (側面用)	55.25	7.9	436.5	12,050	27.6	17,500	40.0	〃	65	32.5
添鈑 (前面用)	60.00	7.8	468.0	14,500	31.0	24,050	51.4	〃	48	24.0

使用電極棒米國 G.E. 會社製 F 型の性質を確むるために，其鎔着鋼について引張强度試驗竝に組織の檢査を行つた．引張試驗には小型鎔着鋼試驗片を使用し其試驗片平行部の徑は約 4 mm，長は約 14.4 mm である，その形狀寸法竝に試驗方法の詳細については內務省土木試驗所報告第 28 號を參照されたい．

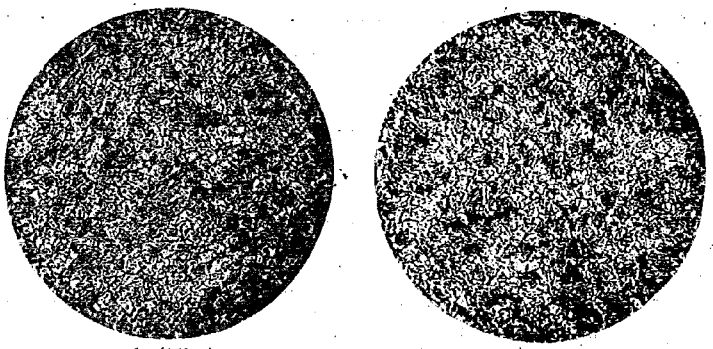
試驗片創成用の鎔着鋼ナマコ型盛金は試片 2 本取りのもので斷面約 12 mm 平方，長約 60 mm である．これが施工に當つての電壓，電流は，接手試驗片製作の場合と同樣に徑 4 mm の電極棒を使用せるも，鎔接物の形狀寸法の相違より幾分〔7〕に說きたるものよ

第 12 表　鎔着鋼引張强度試驗成績

試片番號	試片直徑 (mm)	斷面積 (mm^2)	降伏點强度 (kg/mm^2)	極限强度 (kg/mm^2)	標點距離 (mm)	伸率 (%)
a_1	4.04	12.8	29.0	41.0	14.3	20.3
a_2	4.01	12.6	26.5	39.5	〃	22.4
b_1	4.03	12.8	31.0	40.0	〃	—
b_2	4.00	12.6	—	43.5	〃	25.9
平均	—	—	**28.8**	**41.0**	—	**23.8**

り低く，施工中の二次側電壓 15 V，電流約 120 A である．ナマコの盛上げは 4 ビード，4 層盛を標準とした．

引張試驗成績は第 12 表の如くで，平均引張强度 41 kg/mm², 平均伸率 23.8% である．この成績より見てこの電極棒が今日一般に使用せられてをる軟鋼用電極棒中にて優良なるもの〻一つであることが知られる．



b_1 (150×)　　b_2 (150×)

第 8 圖　鎔着鋼の組織

鎔着鋼組織の大體は第 8 圖の顯微鏡寫眞にて知ることが出來る．Ferrite の形成は顯著に認められ多少の酸化物の含有を認めらるゝも，試片の破斷面等より見ても氣泡の數少く，良好なる性質を示してをる．

〔9〕 衝合鎔接試片の强度

引張試驗には當所備付 Olsen 型 100 t 多能試驗機を用ひた，各試片の試驗成績は第 13 表の如くである．

各試片の破壞狀況を見るに 1, 2 の試片を除き孰れも鎔着鋼の喉斷面附近にて切斷し，削殘方法の相違による破壞狀況の違ひは認められない．又其强度について見るに機械削殘のものゝ平均强度 42.2 kg/mm² に對し各種瓦斯燒斷削殘のものゝ平均强度は 39.5～41.1 kg/mm² にして，幾分の低下を認めらるゝも，これを鎔着鋼の平均强度 41.0 kg/mm² に比較するとき，其平均値に於ては左程の低下を示してをらない．但し BNO 3 及び BIO 1 の如く特に强度の低きものを一二混じてをる．其中最も强度低き BIO 1 について其破壞狀況を見る．切斷は鎔接面附近に添つて起つてをりこの部分に鎔滓の包有が認められる．これ等の點より考ふるとき，これ等衝合鎔接試片に於ては削殘方法の相違が鎔着部の强度に全然影響を及ぼして居ないとは斷定出來ぬが，其强度に甚しい相違を生ぜざる程

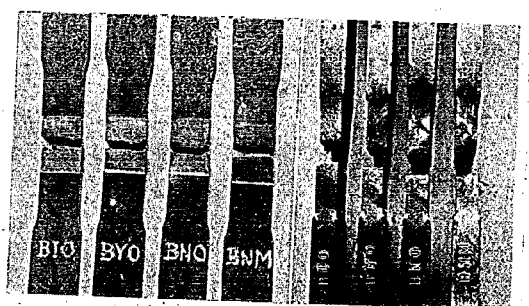
第 13 表　衝合鎔接試片の强度

試片番號	斷面積 (mm²)	降伏點* 荷重 (kg)	降伏點* 强度 (kg/mm²)	極限 荷重 (kg)	極限 强度 (kg/mm²)	備考
BNM 1	378.0	11,500	30.4	15,850	41.9	
〃 2	377.5	11,900	31.5	16,300	43.2	
〃 3	379.7	11,650	30.6	15,750	41.5	切斷箇所に鎔滓あり
平均	—	—	30.8	—	42.2	
BNO 1	378.0	11,200	29.6	15,800	41.8	
〃 2	371.0	11,700	31.5	16,000	43.1	
〃 3	378.0	11,400	30.2	14,600	38.6	
平均	—	—	30.4	—	41.1	
BYO 1	382.2	11,750	30.7	16,300	42.6	
〃 2	378.8	11,750	31.0	16,250	41.9	
〃 3	374.1	11,600	31.0	15,700	41.9	
平均	—	—	30.9	—	42.1	
BIO 1	378.8	9,000	23.8	13,600	35.9	切斷箇所に鎔滓あり
〃 2	377.4	11,600	30.7	15,000	39.7	鎔融部にて切斷す
〃 3	378.1	11,650	30.8	16,300	43.1	
平均	—	—	28.4	—	39.5	

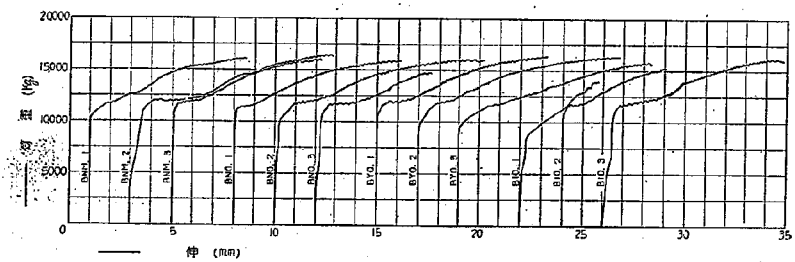
* 降伏點强度は試片の構造上鎔着鋼のものか，母鈑のものか明かならず，又母鈑とするも試片の熱れの部分の亡りの發生を示すものか判斷し得ず，表の强度は便宜上降伏點荷重を鎔着鋼斷面積にて除したるものなり．

度の作業を行ふことが困難でないと云ふことが出來る．第9圖は代表的のもの、切斷狀況を示したもので，削穿方法を問はず喉斷面に於ける破壞を認めることが出來る．

次に瓦斯切斷方法の相違による試片强度の變化であるが，3 種の瓦斯截斷削穿の試片中には鎔滓の包有著しかりしため强度の顯著なる低下を示せる試片を含む．未熟工の手動切斷のものと，自動切斷のものとは其平均强度に於て熟練工の手動切斷せるものに劣るも，其不良なりしものを除きたる箇々につきて强度を比較するとき，各試片とも殆ど差を認められない．從つて瓦斯截斷法の相違又は巧拙はさほど鎔接結果に



第 9 圖　衝合鎔接試片の破壞狀況



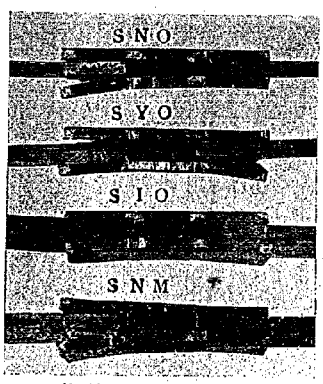
第 10 圖　衝合鎔接試片の荷重伸長曲線

影響を及ぼさゞるものと推斷することが出來る.

試驗片の引張試驗を行ふに當つては鎔接線を中心に上下 50 mm の標點を採り，この標點距離 100 mm に對して荷重伸長曲線を求めた. 中央部に比較的伸率の少き鎔着鋼を有する軟鋼板について求めた，この荷重伸長曲線より鎔接部の靱性を判斷することは全く無意味のことであるが，これ等によつて各試片の性能の相違を推定することは困難でない. 第 10 圖に示したこの曲線を見るに第 13 表に於て强度の低かりし BNO 3, BIO 1, 2 等の伸びが目立つて少いことがわかる. これ等の曲線を軟鋼板の荷重伸長曲線に比較しての著しい相違は最大荷重に達したる後の伸びのない事である. 切斷する鎔着鋼が軟鋼に於けるが如き斷面縮小をなさゞることに原因するものと考へる.

〔10〕 側面隅肉鎔接試片の强度

衝合鎔接試片と同樣 Olsen 型試驗機によつて行つた引張試驗成績は第 14 表の如くである.



第 11 圖　側面隅肉鎔接試片の破壞狀況

先づ第 14 表に示されたる試片の强度について見るに，各種試片の平均降伏點强度は 23.3 kg/mm², 平均極限强度は 30.5 kg/mm² にして創設方法の相違，破斷の巧拙等による差は全然認めることが出來ぬ. 且つ其試片切斷狀況を見るに熟れのものに於ても隅肉咬斷面に沿ひて剪斷せられ，鎔接面附近鎔滓包有等の影響は現はれてをらぬ. 第 11 圖は其切斷狀況を示したものである.

今平均極限强度 30.5 kg/mm² を鎔着鋼の平均引張强度 41.0 kg/mm² に比較するとき，約 74% に相當し，一般鎔着鋼の剪斷强度としては妥當な

第 14 表　側面隅肉鎔接試片の强度

試片番號	斷面積*1 (mm²)	降伏點*2 荷重 (kg)	降伏點*2 强度 (kg/mm²)	極限 荷重 (kg)	極限 强度 (kg/mm²)	備考
SNM 1	934.5	22,000	23.5	29,800	31.9	
〃 2	914.1	22,050	24.2	27,850	30.5	
〃 3	935.5	22,100	23.6	26,800	28.6	
平均			23.4		30.3	
SNO 1	916.4	20,750	22.6	28,400	31.0	
〃 2	927.7	20,900	22.5	27,900	30.0	
〃 3	932.8	20,600	22.2	27,300	29.2	
平均			22.4		30.1	
SYO 1	933.4	22,200	23.8	29,750	31.9	
〃 2	928.3	22,000	23.7	27,900	30.0	
〃 3	932.8	19,900	21.3	28,700	30.8	
平均			22.9		30.9	
SIO 1	941.3	23,000	24.4	29,300	31.1	
〃 2	924.3	22,550	24.4	27,650	29.9	
〃 3	912.4	22,100	24.2	28,200	30.9	
平均			24.3		30.6	

*1　斷面積は喉厚×鎔接長を示す.

*2　降伏點强度は試片の構造上鎔着鋼の强度か，母鈑の强度が明かならず，表の强度は便宜上降伏點荷重を隅肉の斷面積にて除したるものなり.

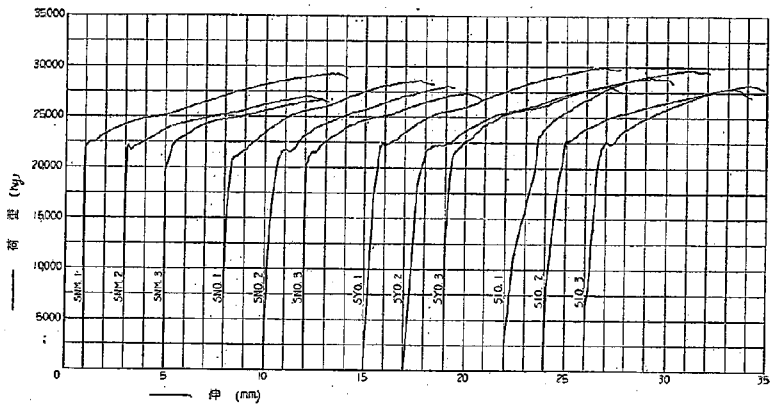
る數値と云ふことが出來る.

一般に側面隅肉鎔接のうくる剪斷應力は，衝合鎔接に於ける引張應力と異り，其分布均一にあらずして，喉厚 a と隅肉長 l との比及び基鈑と添接鈑との斷面積比によつて端部に著しき應力集中を生ずるを常とす．今實驗に用ひたる側面隅肉鎔接試片について見るに基鈑と兩添接鈑との斷面積の比は 9:10 にしてほゞ同一斷面と見做し得べく，この場合 $l:a$ の比が 5 とすれば，Troelsch の理論式[1]に基いて算出した應力の累積は平均應力の 1.5 倍以上に達するものと考へられる.[2] 從つて第 14 表に示した降伏點强度はこの影響をうけた値であつて實際の値はこれに幾分の割增を必要とするものと認める．尙極限强度に對しては鋼材のクリープの發生により應力は或程度まで均等せらるゝものと考へらるゝが故に理論式より求めらるゝが如き應力の偏在は考慮する必要なきものと信ずる.

第 12 圖に示したものはこれ等側面隅肉鎔接試片について中央部 200 mm の標點距離について求めた荷重伸長曲線である．標點は添接鈑の外側に存することゝなり，伸びとし

1) Distribution of shear in welded connection (Pro. of A.S.C.E. Nov. 1932).

2) 拙著「鎔接鋼橋」第 7 節參照.



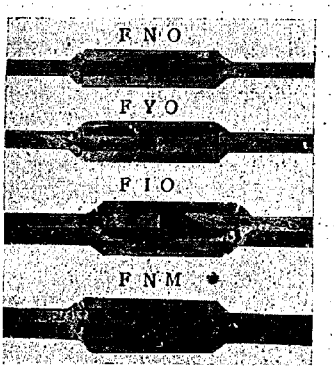
第 12 圖 側面隅肉鎔接試片の荷重伸長曲線

ては添接鈑のものに接手部のもの>況じたるものにて，これによつて繼手部の靱性を判斷することは不能なるも，各試片が殆ど同一なる特性を示してをることを推斷するに難くない．

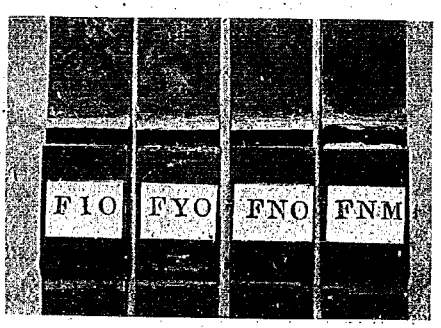
〔11〕 前面隅肉鎔接試片の强度

この試片の引張試驗も他と同樣に Olsen 型多能試驗機を使用した．試驗成績は第 15 表の如くである．

第 15 表に於て注目せらる>問題は，前揭側合鎔接並に側面隅肉鎔接試片の場合と異り



第 13 圖 前面隅肉鎔接試片の破壞狀況 (其 1)



第 14 圖 前面隅肉鎔接試片の破壞狀況 (其 2)

第 15 表　前面隅肉鎔接試片の強度

試片番號	斷面積*1 (mm²)	降伏點*2 荷重 (kg)	降伏點*2 强度 (kg/mm²)	極限 荷重 (kg)	極限 强度 (kg/mm²)	備考
FNM 1	854.2	21,000	24.6	31,700	37.2	一方は喉厚にて一方は添鈑鎔着部にて切斷
〃 2	851.9	21,250	24.9	30,750	36.2	2 箇所共喉厚にて切斷
〃 3	851.9	21,500	25.2	32,450	38.1	〃
平均			**24.9**		**37.1**	
FNO 1	848.5			26,500	31.2	一方は添鈑の端面にて一方は鎔着鋼と母鈑との接面にて切斷
〃 2	857.0			28,000	32.6	一方は添鈑の端面一方は喉厚にて切斷
〃 3	848.5			27,350	32.3	2 箇所共添鈑端面にて切斷
平均					**32.0**	
FYO 1	854.5			28,300	33.1	2 箇所共添鈑端面にて切斷
〃 2	853.0	21,000	24.6	23,900	28.0	〃
〃 3	855.3			21,200	24.8	一方は添鈑端面一方は喉厚にて切斷
平均					**28.6**	
FIO 1	859.3	22,200	25.8	29,700	34.6	一方は添鈑端面一方は喉厚にて切斷
〃 2	851.4	22,150	26.0	28,300	33.2	一方は鎔着鋼と母鈑の端面にて一方は喉厚にて切斷
〃 3	855.3	22,250	26.0	33,200	38.8	一方は添鈑端面一方は喉厚にて切斷
平均			**25.9**		**35.5**	

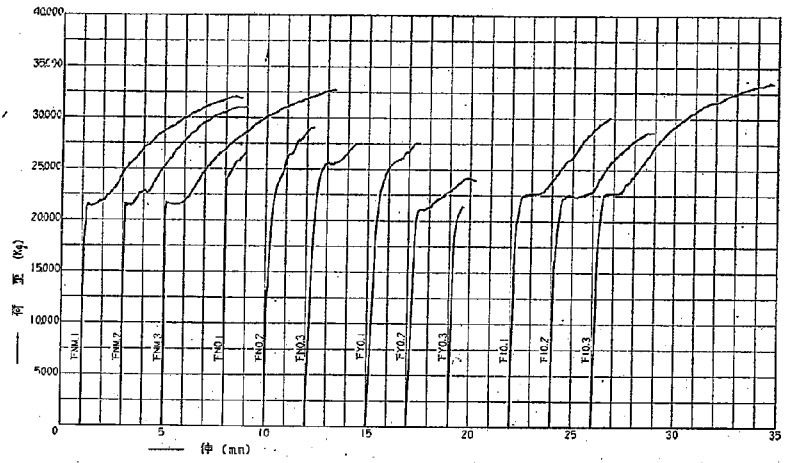
*1　斷面積は喉厚×鎔接長を示す.

*2　降伏點强度は試片の構造上，鎔着鋼のものか母鈑のものか明かならず，表の强度は便宜上降伏點荷重を隅肉斷面積にて除したるものなり.

其强度に著しき差異の認めらるゝ點である．即ち機械仕上削穢のものゝ强度最高にして平均强度 37.1 kg/mm² に達し，瓦斯截斷削穢のものゝ强度はこれに比し 5 ～ 23%低く，其强度 25 kg/mm² に達せざるものも見受けられる．其破壞狀況を見ても，機械仕上削成のものゝ破斷は大部分隅肉の喉斷面に於て起り，瓦斯截斷削穢のものは殆ど添接鈑端の鎔接面に龜裂を生じてゐる．第 13 圖，第 14 圖は其狀況を示したものである.

更に削穢方法による試片性質の相違は，側面隅肉試片に於けると同樣，標點距離を 200 mm として求めた荷重伸長曲線からも知ることが出來る．即ち機械仕上削穢のもの竝に强度比較的優良なりし自動瓦斯截斷機による 1, 2 のものが大體同型の曲線を現し 5～8 mm 程度の伸長を示せるに反し，其他の手動瓦斯截斷のものは曲線型一定せず，伸長の度も著しく劣い.

更に瓦斯切斷の方法の相違による强度の變化竝に破壞狀況の差を見るに，自動截斷機を使用したるものにては其强度はほゞ機械仕上削穢のものに近く，各試片の破壞も切斷面の一方は喉斷面に生じてゐる．これに反し，手動瓦斯切斷によるものは兩切斷面とも添接鈑の端面附近に生じたるもの多く，强度も 33 kg/mm² を越したものは殆どない．即ちこの



第 15 圖 前面隅肉鎔接試片の荷重伸長曲線

實驗の結果にては瓦斯切斷削稜が前面隅肉鎔接の强度に及ぼす影響は顯著であり，且つ其影響は瓦斯切斷方法の相違によつても又著しい變化のあることが認められる．

〔12〕 瓦斯截斷削稜の影響が鎔接の種類によつて異ることに對する考察

〔9〕乃至〔11〕に掲げたる試驗結果によると，機械仕上削稜の試片と瓦斯截斷削稜によるものとの相違は前面隅肉鎔接試片に於て最も顯著であり，側面隅肉鎔接試片に於ては全然これを認め得ず．衝合鎔接試片に於て幾分の影響の認め得るの程度であつて，削稜方法の相違による鎔接强度の變化は鎔接の種類によつて甚しき差異あることが明かである．

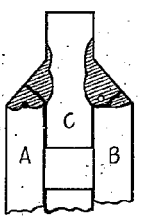
若し瓦斯截斷削稜による試片の鎔接が，機械仕上削稜によるもの＞鎔接と同等のものが施工し得たるものとすれば，兩者の間に强度變化を生ずることなかるべく，前揭の如き相違を生じたる結果より見るとき，兩種の削稜による試片に於ける鎔着鋼の性質，鎔込の程度等に幾分の差異あるべきことは疑ひを挾み得ないところである．

然らば如何なる程度の相違を生ずるか，今これを明かならしむるために先づこの違ひのよつて生ずる原因の主なるものを擧げて見ると (1) 削稜面不整の度，(2) 表面附近鋼材變質の有無，(3) 表面酸化被膜の有無の 3 つとなる．(1) は鎔接施工の難易に關係するところ大で，瓦斯截斷の拙劣なる場合，其表面の不整が作業を困難ならしめることは當然であり前面隅肉鎔接の試片の成績に於て表面の平滑なる自動瓦斯截斷機によるものが，機械仕上げによるものとほゞ同樣の成績を示せるに反し手動瓦斯截斷のもの＞成績の思はしからざ

りしは，この點を裏書きするものと認める．(2) は瓦斯截斷による表面鋼材の變質が鎔接作業に幾分の影響を有するものでないかと考へらるゝ點であるが，變質の深さが〔6〕に說きたるが如く 1.00 mm 程度なるに對し，普通鎔接の鎔込みが 1.5 mm 程度なることを考ふるとき鎔接の良否に著しき影響を有すか否かは甚だ疑問とせられる．(3) は瓦斯切斷削穫に於て最も重要なる問題であつて，要は機械仕上削穫試片に於ては全然考慮するの必要なき鎔接面に豫め存する酸化被膜を完全に鎔着鋼より滓として表面に析出し得るや否やの問題に歸する．この點は鎔接に使用する電極棒の種類に大なる關係を有し，其結論は上記の試驗成績と第 IV 章の試驗成績との比較を俟つて初めて達し得らるべきであつて，滓き被覆を有する電極棒による前揭の試驗に於ては酸化被覆を完全に析出し得たりとは認め難く，瓦斯截斷削穫による試片の鎔着鋼は，機械仕上の削穫の試片の夫れに比して滓の包有多量なるべしと推斷せらるゝのである．

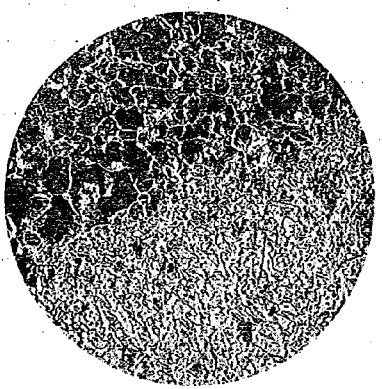
以上の諸點に鑑み先つ兩種の削穫方法による試片鎔接部の顯微鏡組織檢査を行つた．檢査は强度の相違最も著しかりし前面隅肉鎔接試片と，强度の變化を認め得ざりし側面隅肉鎔接試片と兩者について行ひ，前者の資料としては最大强度を示せる機械削穫試片 (FNM) 中にて比較的强度の劣れる又切斷狀況も不規則なりしものと，未熟工によつて瓦斯截斷され削穫面に最も凹凸の甚しかりし試片 (FNO) 中にて成績良好なりしものとを選び，後者に對しても前者の試片に對應せる SNM 及び SNO より各一試片を選んだ．

第 16 圖は組織檢査に用ひたる機械削穫前面隅肉鎔接試片 FNM の鎔接部を示したるものにて A, B は添鈑，C は基鈑である．A 添鈑側の鎔接は施工良好にて添鈑竝に母鈑に於ける鎔込も充分と認められ，破斷面もほゞ咬斷面に近く，最大合成應力の作用すると考へられてをる $\theta=48.5°$ 附近にて起つてをる．これに對し B 添鈑側は添鈑端部内側に於ける鎔込不良にして，破壞はこの部分に發し，厚さの約 ⅓ の點に至り龜裂は鎔着鋼内に進んでをる．

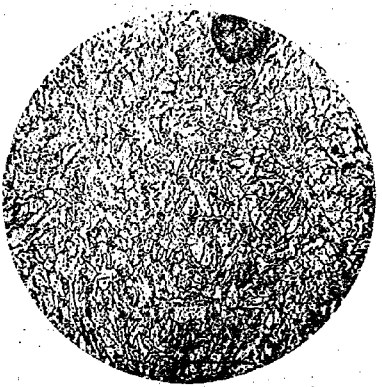


第 16 圖

今 A 添鈑の融合部について其組織を見るに，母材側にては外側より厚さの 0.5 に至る間は Ferrite の網目に包圍せられたる Sorbito-pearlite の組織發達し，網目の大さは外側より中央部にむかひ漸次發達し厚さの 0.45 の點にて最大となり，中央に達して，網目狀の組織は消え Ferrite の微粒組織となる．前者は過熱による變質を示せるものにして後者は燒鈍作用をうけたるための組織の微粒化と認められる．これに對して鎔着鋼側を見るに添鈑外側にては Ferrite は大なる不規則形の所謂柱狀組織を呈せるも，中央部に至れば Ferrite は微粒化す．この部は鎔着鋼第 1 層の表面近き部分にして，第 2 層の施工によ



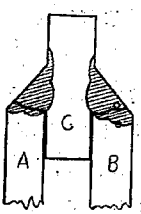
第 17 圖 機械削穿前面隅肉鎔接試片
融合部の一部 (90×)



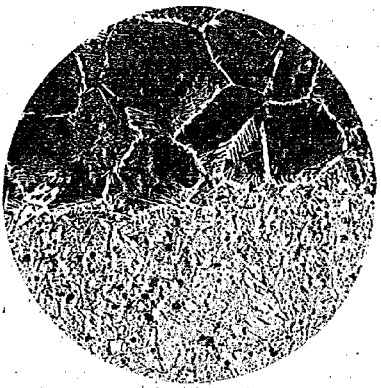
第 18 圖 機械削穿前面隅肉鎔接試片
鎔着鋼の一部 (90×)

る燒鈍作用をうけた部分である．更に內側に進むにつけ Ferrite の粒子は再び增大し，柱狀組織を呈するに至る．融合面全體に沿ひて鎔着鋼中の氣泡，滓等の狀態を見るに外側より中央部までの間は小氣泡の散在を認めらるゝも，內側に近づくにつれ減少せり，第 17 圖は融合部添鈑厚の中央に近き部分の組織を示す．母鈑側の Ferrite の網狀組織は幾分其大さを減少しつゝあり，又鎔着鋼側にては Ferrite の微粒化せられたり，不純物の點在するを認めらる．第 18 圖は B 添鈑側に於ける破斷面附近の鎔着鋼組織を示したるものにて Ferrite の柱狀組織のよく發達せることが認めらるゝも 1, 2 の大なる空隙のほか小氣泡の散在するもの比較的少し．

第 19 圖は未熟工による瓦斯被斷削穿前面隅肉鎔接試片 FNO の組織檢査に用ひたる部分の略圖である．兩側とも其破壞は添鈑側にて融合面に極めて接近して生じてをる，今 B 添鈑の融合面に添ひて其組織を檢するに，母材側は添鈑全厚を通して網狀 Ferrite に圍まれたる Sorbito-pearlite 組織が見受けられる．この傾向は添鈑の中央部より外緣に至る間に於て殊に著しい．母材の過熱せられたることを示すものである．次に鎔着鋼側の組織を見るに，添鈑外側より其厚さの 0.7 に達する迄は Ferrite の粒子粗大にして不規則なる柱狀組織を示し，厚さの 0.7 の點より內側は第 1 層の鎔着鋼が第 2 層の溫度にて熱處理されたる部分にて組織は極めて細く，多角形の Ferrite 粒子を認めることが出來る．鎔着鋼側全厚を通して見るにこの部分に散在する氣泡竝に滓の量は機械削穿試片の場合に比して著しく多



第 19 圖



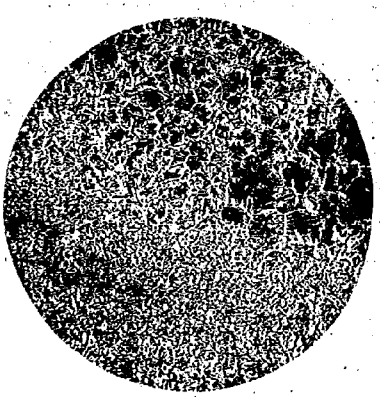
第 20 圖　瓦斯截斷削痕前面隅肉鎔接試片の融合部の一部　(90×)

第 21 圖　瓦斯截斷削痕前面隅肉鎔接試片鎔着鋼の一部　(90×)

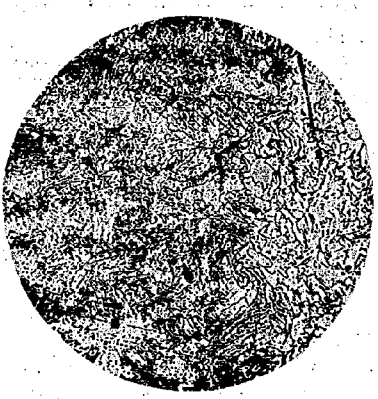
量なることが認められる．第 20 圖は添鈑の中央部附近の融合部の組織を示したもので，母材側の Ferrite の網狀組織，鎔着鋼の柱狀組織，竝にこれに散在する不純物を認めることが出來る．尙寫眞に現はれたる鎔着鋼部の黑點中には Pearlite の小粒をも混じてをる．

第 21 圖に示すものは破斷面附近の鎔着鋼組織を示したもので大小の氣泡が點在してをることが明かで，機械削痕の試片の場合に比較して鎔着鋼材質の劣れることを示してをる．

同樣の組織檢査を强度試驗の結果に於て，著しき相違の認め得ざりし側面隅肉鎔接試片



第 22 圖　機械削痕側面隅肉鎔接試片融合部の一部　(150×)



第 23 圖　瓦斯截斷削痕側面隅肉鎔接試片融合部の一部　(150×)

SNM 及び SNO について行ひたるに，側面隅肉試片の場合の如く顯著ならざるも，大體に於て機械削稜試片に比して瓦斯截斷削稜の試片の鎔接部に酸化物，滓，竝に氣泡の含有せらるゝもの多く，瓦斯削稜面に於ける酸化被膜の完全なる析出は行はれざりしものと認めらる．第 22 圖及び第 23 圖は側面隅肉鎔接試片に於ける融合部の組織を示せるものにして第 22 圖のものは機械削稜のもの，第 23 圖は瓦斯截斷削稜のものである．前者にては過熱による Ferrite の網狀組織と Sorbito-pearlite とが認めらるゝも鎔着鋼に於ける不純分の含有は第 23 圖のものゝ如く著しくない．

同樣の組織檢査を衝合鎔接試片 BNM 及 BNO について行つた結果では，兩者の間に特筆すべき組織上の相違は認められない．又檢鏡用試片表面に現はれたる肉眼にて認め得る程度の氣泡は瓦斯截斷削稜のものにて幾分多數なる如く見受けられたるも顯微鏡下にては機械削稜の試片の氣泡，滓等が特に少いとは斷定し難く，兩削稜方法の間に鎔着鋼の性質上から見ての明瞭な區別は無いものと云はねばならぬ．

以上衝合鎔接，側面隅肉鎔接，前面隅肉鎔接の各々について行つた組織檢査の結果に基いて先づ考へられることは，削稜方法の相違の鎔着鋼の性質に及ぼす影響は鎔接の種類によつて同一でないことである．即ち機械削稜による試片の鎔着鋼に比して瓦斯截斷削稜による試片のものゝ性質の低下は，衝合鎔接に於ては殆ど認め難く，側面隅肉鎔接に於て幾分認められ，前面隅肉鎔接に於ては顯著に認めることが出來る．この順位は，試片の大さ，形狀，作業位置等より考へた鎔接施工の難易とよく一致してをることから考へると，被覆の薄き電極棒にて直流鎔接機を用ひて行ひたるこの實驗に於ては，相當鎔接工の技倆が，瓦斯截斷面に於ける酸化被膜の影響を前揭の程度以上に除き得なかつたものと考へることが最も穩當であらう．

然らば何故に削稜方法の相違による鎔接試片の强度の差が，側面隅肉鎔接に於て全然認められず，衝合鎔接に於て幾分認められ，前面隅肉鎔接に於て特に顯著であるか．前面隅肉鎔接に於ては其鎔着鋼の優劣がこの結果を齎すものであることは明かであり，同樣の關係が側面隅肉鎔接に於ても現はるべき筈であるに拘らず，强度試驗の結果に於て全く削稜方法の相違による區別が認められて居らぬ．

この理由として先づ考へられる問題は，衝合鎔接竝に前面隅肉に作用する應力が大體引張應力なるに對し，側面隅肉鎔接に作用する應力が大體剪斷應力であることであり，又材質に缺陷がある場合，これが强度に及ぼす影響は應力の種類，缺陷の位置，最大應力の發生位置等によつて異るべしと考へらるゝ點である．

前揭諸試驗の結果に徵するに，本試驗に於ける鎔着鋼の衝合鎔接引張强度は約 41 kg/mm²，側面隅肉鎔接剪斷强度は其約 75% の 31 kg/mm²，前面隅肉鎔接の强度（略々引張强

度と見做し得) は 37 kg/mm² と認められる. 而して隅肉鎔接試片に於ける酸化物氣泡等の散在は比較的添鈑側の融合部に近き鎔着鋼内に在るものと考へねばならぬ. 更に最大應力の發生位置は前面隅肉鎔接に於ては所謂喉斷面よりも添鈑端部に近き斷面にありと考へられてをる. 此等の諸點を鑑みるに氣泡, 滓等の存在は側面隅肉鎔接に於けるよりも前面隅肉鎔接にて最も惡影響を有することが想像される.

以上の推論に誤りなきものとすれば, 鎔着鋼材質の不同最も著しく, 且つ缺陷の影響をうくることの大なる前面隅肉鎔接試片に於て削穿方法の相違による强度の差が最も顯著なることは當然であり, 鎔着鋼の材質に幾分の良否あれども, 其缺陷に左右せらるゝことの少き側面隅肉鎔接にては削穿方法の相違によつて强度に大なる差を示すに至らざることも當然の理由ありと思考せらる. 而して衝合鎔接試片中にて 1, 2 强度の低きものが瓦斯截斷削穿せるもの>中に存することは, 鎔接施工の容易なる點より, 檢鏡の結果にては削穿方法の相違による鎔着鋼材質の差を認むること困難なりしと雖も, 尙多數の試片中には溶滓, 氣泡等の混入を免れざる可く, これ等の缺陷の及ぼす影響は側面隅肉鎔接の場合に比して遙かに大なるべしと推斷せらる.

IV. 交流鎔接器と稍厚き被覆を有する電極棒とを使用せる場合

〔13〕 母材竝に鎔着鋼の强度

試片の形狀寸法は直流鎔接機を使用したるものと全く同樣で第1圖に示す如くである. 試片の製作に當つた鎔接工の技倆は直流鎔接機使用の場合のものに比して幾分劣つてをる. 又今回の試驗に於ては試片の一部の製作を全くの未熟者に擔當せしめた. 試驗成績表中 BMM, SMM, FMM, BMO, SMO, FMO 等とあるは, これ等の試片を示すもので, 試片の削穿は機械仕上け, 瓦斯切斷共に當試驗所に於て行つた. 試片の記號の3字中の中央は施工者名を示すものである.

試片の製作に比較的技倆の劣れる鎔接工を使用せる理由は, 削穿の影響による强度の變化の生ずる機會の多からんことを期したものである.

試片の製作に用ひた鋼材は直流鎔接機使用の場合と同一の品質のものを選定せる爲なるも其强度試驗の結果には第 11 表に示した成績と可成の相違が認められる. 第 16 表は其試驗成績である.

極工社製 K 印の電極棒による鎔着鋼强度は日本標準規格第 4 號試驗片の½の寸法を有する試片について行つた, 結果は第 17 表の如くである.

第 16 表 母材引張強度試驗成績

試片の種類	試片断面			降伏點		極限		標點距離	伸長	
	幅 (mm)	厚 (mm)	斷面積 (mm^2)	荷重 (kg)	强度 (kg/mm^2)	荷重 (kg)	强度 (kg/mm^2)	(mm)	伸 (mm)	伸率 (%)
基鈑 (A_1)	26	12	312.0	7,050	22.6	11,225	36.0	200	57	28.5
〃 (A_2)	〃	〃	〃	6,700	21.5	11,250	36.1	〃	56	28.0
〃 (A_3)	〃	〃	〃	6,700	21.5	11,150	35.7	〃	60	30.0
添鈑 (前面用)	35	8.65	302.75	6,300	20.8	13,500	44.6	〃	47	23.5
添鈑 (側面用)	〃	9.15	320.25	9,000	28.1	13,100	40.9	〃	63	31.5

第 17 表 極工社 K 印電極棒による鎔着鋼强度

試片番號	直徑 (mm)	斷面積 (mm^2)	極限强度 (kg/mm^2)	標點距離 (mm)	伸率 (%)	摘要
1	7	38.5	38.7	25	10.0	
2	7	38.5	33.1	25	11.0	破斷面の中央部を横斷して一文字の鎔滓あり

上記の試片製作にあたつての電弧電流は 65～69 A である．第 2 號試片は顯著なる鎔滓の含有ありたるが故にこの成績を捨て第 1 號試片をもつて鎔着鋼の强度と見做す，この强度は K 印電極棒鎔着鋼の有する强度として製造者側の發表せるもの其他に比して强度低く，この鎔着鋼が最善の條件にて施工されたるものとは稱し難い．

〔14〕 衝合鎔接試片の强度

Olsen 型多能試驗機を使用し，每分 12～13 mm の引張速度にて引張試驗を行ひたる結果第 18 表の如くである．

試片 BNM 1 及び 2 は鎔接工が最初に作業した試片であつて，作業に當つての開先兩端間の間隙の取りかた過少なりしため鎔込不充分にして切斷が，第一層施工に際しての鎔接工側の鎔接面に沿つて起つてをる．從つてこの 2 試片の破壞强度の他のものに比して著しく低かりしことも當然であり，强度の平均値にこのものを加ふるは不適當と認むるが故に BNM 試片の强度としては BNM 3 の値を採つた．

試片 BNM 1 及び 2 を除きたる他の試片の切斷は孰れも (BMM, BMO は鎔接者を異にするが故にこれを除外す) 中央喉斷面を避けたる中間部にて，鎔着鋼竝に母鈑に跨つて生じてをる．其極限强度は 38.0 ～ 40.4 kg/mm^2 であつて，削穿方法の影響による差異は全く認められず，其大さも大體鎔着鋼試驗成績と一致してをる．

これ等の試片の荷重伸長曲線は第 24 圖に示すが如く，孰れも A 點の降伏點のほかに B 點に折點を示してをる．これは荷重伸長曲線を描くに用ひたる標點距離が 100 mm に

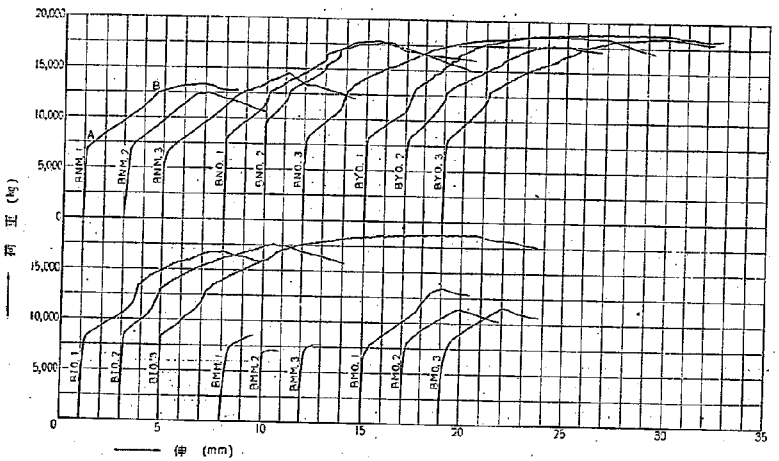
第 18 表　衝合鎔接試片の强度

試片番號	喉厚×長 (mm²)	降伏點 荷重 (kg)	降伏點 强度 (kg/mm²)	極限 荷重 (kg)	極限 强度 (kg/mm²)	切斷荷重 (kg)	切斷箇所 上	切斷箇所 下	摘要
BNM 1	356.5	6,700	18.80	13.000	36.50	12,000			* BNM 1 及び 2 は施工にあたつて，開先間隙を過少としたるため，充分なる鎔込を得られざりしものなり，よつて平均の依算にはこれを除外す．
〃 2	363.0	7,200	19.83	12.150	33.40	10,100			
〃 3	362.0	6,700	18.50	14.200	39.20	11,500			
平均					39.20*				
BNO 1	445.0	8,300	18.65	17.400	39.10	15,600			
〃 2	460.0	9,800	21.30	17.500	38.00	14,650			
〃 3	455.0	8,500	18.70	18.200	40.00	16,300			
平均					39.03				
BYO 1	457.5	8,300	18.15	18,450	40.40	17,700			
〃 2	435.5	8,100	18.58	17,250	39.70	—			
〃 3	448.0	8,450	18.85	18,150	40.40	17,800			
平均					40.16				
BIO 1	442.5	8,100	18.30	16,900	38.20	—			
〃 2	450.7	8,500	18.85	17,300	38.40	15,300			
〃 3	453.6	8,200	18.08	18,300	40.40	17,750			
平均					39.00				
BMM 1	430.5	7,400	17.20	8,500	19.74	—			
〃 2	431.0			7,000	16.22	—			
〃 3	432.0			7,600	18.78	—			
平均					19.24				
BMO 1	405.0	7,000	17.30	13,100	32.30	—			
〃 2	408.0	8,000	19.60	11,100	27.20	—			
〃 3	421.0	8,600	20.40	11,350	26.95	10,400			
平均					28.82				

備考　上表 "切斷箇所" 欄に於ける 下 なる語は本試片を鎔接する際(第 1 層盛を行ふ際) 鎔接手側たりしことを示し，上 はその反對側とす．第 3 圖參照．

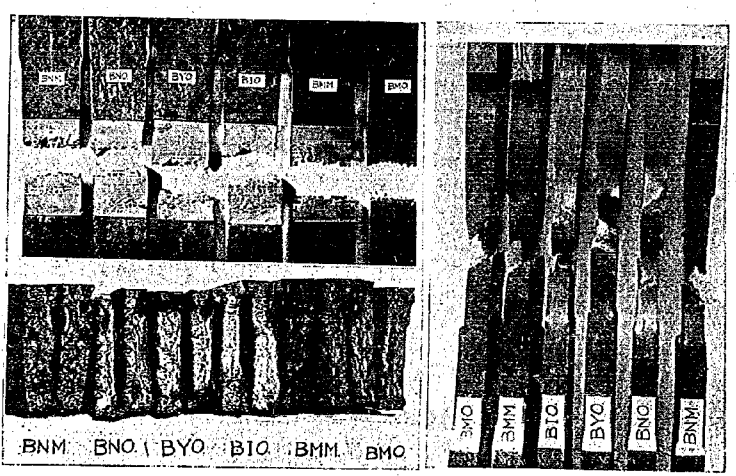
て，この間にて試片は其斷厚を 2 段に變化してをる．從つて A 點は中央溝肉の部分に亡りの生じ初めたること，B 點は左右の厚肉部に亡りの生じたることを示すものと認める．試片 BMM, BMO の如く厚肉部に亡りを發生せしめ得るまでの强度を有せざるものに於ては曲線上に B 點を認めることが困難である．

各試片の示した降伏點强度は，鎔着鋼の强度か母鈑の强度か確言することは困難であるが，其大さが第 16 表の母鈑降伏點强度より幾分低い點から見て，母鈑が鎔接熱のために燒鈍せられた結果と考へて大過なきものと信ずる．



第 24 圖　衝合鎔接試片の荷重伸長曲線

未熟工の施工にかゝる試片の強度を見るに BMM 群は孰れも鎔接面に沿つての剝離によつて切斷し，施工にあたつての鎔込みの充分ならざりしことが破壞の原因となつてをる．從つて平均極限强度も僅かに 19 kg/mm² を越すのみである．これに反し BMO 群の切斷は母鈑竝に鎔着鋼を橫斷して起つてをり鎔込みの不充分による缺陷は認められない．併し



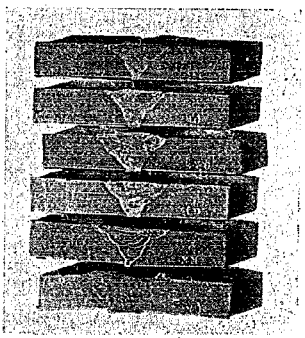
第 25 圖　衝合鎔接試片の破壞狀況

其平均强度は僅に 29 kg/mm² で，熟練工による BNO, BYO, BIO 群の强度の 75% にも達してをらぬ．

第 18 表の諸試片中其切斷が鎔接面の剝離によつたものは BNM 群及び BMM 群であつて孰れも機械仕上倒稜の試片である．鎔接面に添つての剝離の原因たる鎔込の不充分が倒稜の機械仕上げなるために生じたものとは考へられない．主として鎔接工の施工時の不注意或は不熟練が原因となつてをるもので，この點は本試驗の目的たる倒稜方法の强度に及ぼす影響を求めんとする立場からは度外視すべきものと考へる．而してこれ等鎔接面の剝離がすべて第一層施工に際しての鎔接工側に生じてをることは，この側に於ける鎔込を充分ならしむる作業が反對側の場合よりも困難であることを示してをる．

第 25 圖にはこれ等の試片中各種の代表的のものの切斷狀況を示した．未熟工の施工による BMM の切斷面に氣泡の含有の著しいことが目立つ．

第 26 圖は强度試驗片と同時に同樣の作業狀況にて製作した試料について マクロ・エッチング にて求めた斷面の組織寫眞である．熟練工の鎔接せる 4 試片中手動瓦斯切斷による YO 試片に於て著しい氣泡を認めらるゝも，其他の試片に於ては顯著な相違は認め難い．又未熟工による MM 及び MO 試片にては鎔込の狀態其他前揭 4 試片に比して甚しく劣つてをる．マクロ・エッチング には鹽化アムモニウム銅 120 gr, 濃鹽酸 50 cc, 蒸溜水 1,000 cc を使用した．



第 26 圖　衝合鎔接試片のマクロ寫眞

〔15〕 側面隅肉鎔接試片の强度

引張試驗に使用せる試驗機竝に試驗方法等前揭衝合鎔接試片の場合と同樣である試驗成績第 19 表の如し．

第 19 表の試驗成績に徵するに，其極限强度は SYO 群が其平均强度に於て約 10% の低下を示せるも，其他の SNM, SNO, SIO 群に於ては一樣に約 30 kg/mm² の强度を示し，且つ其切斷は孰れも喰斷面に起つてをり，其性能，强度に何等の區別が認められない．平均强度 30 kg/mm² は鎔着鋼引張强度の 77% にあたり，剪斷强度として妥當なる値である．SYO 群の强度の低きことは，同群中鎔接面に沿つて剝離を生じたるものあることより，鎔接面の瓦斯切斷倒稜の影響に基くものとも考へらるゝも，鎔接面沿ひの剝離をなせるもの以外の 2 試片の强度の低下は，最初の龜裂の生じたる隅肉が他の諸試片のものに比して著しく多量の氣泡を包有せることによるもので，この原因は鎔接面の瓦斯切斷の影響

第 19 表 側面隅肉溶接試片の強度

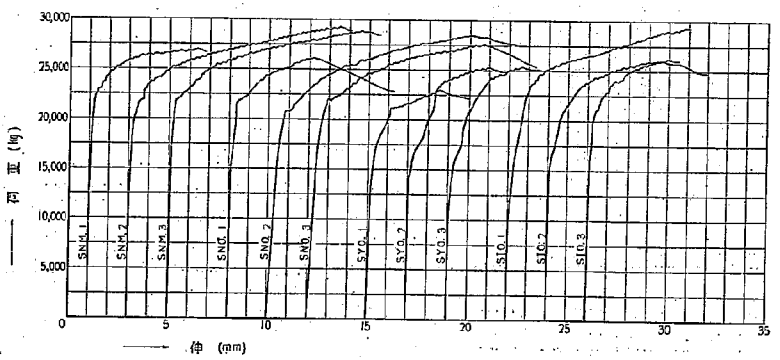
試片番號	喉厚×長 (mm²)	降伏點[1] 荷重 (kg)	降伏點[1] 強度 (kg/mm²)	極限 荷重 (kg)	極限 強度 (kg/mm²)	切斷荷重 (kg)	切斷箇所[2] 上	切斷箇所[2] 下	摘要
SNM 1	914.6	21,450	23.45	26,500	29.00	20,900	3.1. 5.7.	2.4. 8.6.	喉厚にて切斷
〃 2	922.6	19,550	21.40	28,700	31.10	23,200	6.5. 1.2.	7.8. 4.3.	〃
〃 3	909.8	21,150	23.26	28,300	31.10	25,400	3.4. 8.7.	2.1. 5.6.	〃
平均					30.40				〃
SNO 1	916.0	21,450	23.40	25,700	28.06	20,400	7.8. 6.5.	1.2. 4.3.	〃
〃 2	917.5	20,550	22.40	28,000	30.50	21,550	4.3. 1.2.	6.5. 7.8.	〃
〃 3	913.0	21,650	23.70	27,200	29.80	22,250	5.6. 2.1.	7.8. 4.3.	〃
平均					29.45				
SYO 1	914.0	21,450	23.46	22,800	24.95	20,000	8.7. 3.4.	6.5. 1.2.	〃
〃 2	921.5	22,700	24.63	24,700	26.80	20,650	8.7. 3.4.	6.5. 1.2.	〃
〃 3	915.0	23,900	26.12	25,000	27.32	19,100	3.4. 8.7.	1.2. 6.5.	1 のみ基鈑溶接面沿にて切斷 喉厚にて切斷
平均					26.35				〃
SIO 1	909.2	23,700	26.07	28,800	31.70	20,200	1.2. 4.3.	7.8. 6.5.	〃
〃 2	918.0	23,400	25.50	25,700	28.00	20,650	4.3. 1.2.	6.5. 7.8.	〃
〃 3	918.5	20,700	22.56	25,700	28.00	21,800	8.7. 5.6.	2.1. 3.4.	〃
平均					29.23				
SMM 1	910.0	—	—	20,750	22.80	10,600	2.1. 5.6.	4.3. 7.8.	4, 3, 8 母面沿にて切斷 7 喉厚切斷 5 基鈑溶接面沿にて切斷 他は喉厚にて切斷
〃 2	910.1	—	—	16,900	18.60	12,600	5.7. 2.4.	8.6. 1.3.	
〃 3	916.0	—	—	16,600	18.30	13,000	4.6. 6.1.	7.3. 2.5.	8, 4, 5 基鈑溶接面沿にて切斷 2 基鈑溶接面沿にて切斷
平均					19.90				
SMO 1	905.0	—	—	14,100	15.60	11,050	6.8. 2.4.	7.5. 3.1.	1, 5 基鈑溶接面沿にて切斷 3, 7 喉厚にて切斷
〃 2	910.0	—	—	16,800	18.47	10,400	7.5. 4.2.	6.8. 1.3.	2 基鈑溶接面沿にて切斷 他喉厚にて切斷
〃 3	912.0	—	—	18,800	20.60	17,200	5.7. 1.3.	8.2. 4.6.	基鈑溶接面等喉厚にて切斷
平均					18.22				

備考 1) 降伏點は試片の構造上，鎔着鋼のものか，母鈑のものか明かならず，表の強度は便宜上降伏點荷重を鎔着鋼斷面積にて除したものなり．

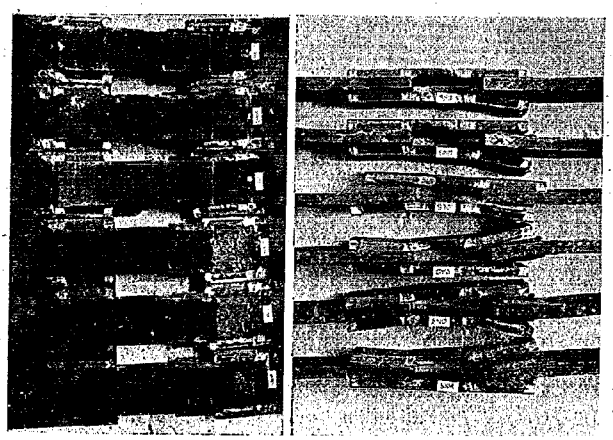
2) 切斷箇所欄中上は引張試驗に於ける試驗機の固定端側を下はクロスヘッド側を示す．1 より 8 迄の數字は鎔接順序を示し，內側の 4 個は圖示の面を，外側の 4 個は紙面の裏側に相當する箇所即ち內側 4 個の裏側對象の場所を示す．矢印は切斷の起りし方向を示す．

と見做すよりも，むしろ作業に際しての注意充分ならず電壓電流電弧長等の調節に不充分のものありたるに基因するものと認むるを正當なりと考へる．試片製作に要したる時間が SNM 及び SNO 群にては 10 分 47 秒乃至 14 分なるに對し SYO 群が 9 分 37 秒以内なることも，この邊の事情を示すものと云ふことが出來る．從つて SYO 群の强度の低下に對して一面に瓦斯切斷削殘の影響を無視し得ざるも，其主なる原因は他の作業上の失敗によるものと云ふことが出來る．

又第 26 圖に示した側面隅肉鎔接各試片の荷重伸長曲線を見るに，孰れも類似の形狀を示し，各〻の特性に著しき相違あるものとは認められない．



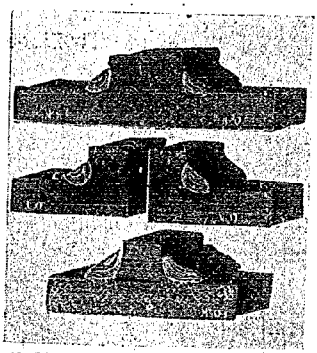
第 27 圖　側面隅肉鎔接試片の荷重伸長曲線



第 28 圖　側面隅肉鎔接試片の切斷狀況

以上の諸點に鑑るに，瓦斯切斷削稜の側面隅肉鎔接の强度に及ぼす影響は何等考慮を要すべき程度のものに非ざることが明かである．

更に未熟工による試片 SMM 及び SMO 群について見るに，各試片とも切斷箇所に鎔接面に沿つての剝離が認められゝこと，其强度が兩群とも熟練工によるもの＞ 70% にも達せず，機械仕上削稜によるもの＞平均 19.9 kg/mm², 瓦斯切斷削稜によるもの＞平均 18.2 kg/mm² にて，前者が幾分最强度なるもこれが削稜方法の相違に基くものなりと斷定し得る程度の差ではない．



第 29 圖 隅肉鎔接試片のマクロ寫眞

第 27 圖は各種試片の切斷狀況を示すもので，寫眞に掲げたる試片では孰れも其切斷は喉斷面に沿つて起つてをる．

第 29 圖は隅肉鎔接の マクロ 寫眞で，施工は强度試驗片製作の場合と同一條件の下に行つた．寫眞にあらはれた結果では NO 試片の鎔込みに不充分の感あるも，其他の點にては格別の相違が認められぬ．未熟工による MM 及び MO は其作業の甚しく不手際なることが目立つ．

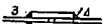
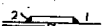
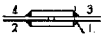
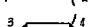
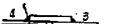
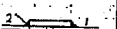
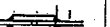
〔16〕 前面隅肉鎔接試片の强度

試驗方法其他前掲諸鎔接試片に於けるものと同樣である．第 20 表に其試驗結果を示した．

試驗成績について先づ認められゝ點は各群とも其强度がほゞ近似してをることである．最强の FNM 群の平均 34.9 kg/mm² に對し，最低の FIO 群が 31.2 kg/mm² で其間に 10% の差があるが，これは FIO 群中の 1 試片が殊に低强度を示してをるためで，これを除外すれば FIO 群の平均は更に他群のものに接近する．これを直流鎔接機にて薄被覆電極棒を使用したる場合の結果に比較するとき著しき相違である（第 15 表參照）．この原因は Clarke 氏の衝合鎔接試片につきての實驗に於けると同樣，被覆厚の增大が瓦斯切斷面の酸化被膜析出に有效に作用せることに歸すべきであると信ずる．

併しこの試驗に於ても尙幾分削稜方法相違の影響を認めないわけにはゆかない．最大强度を示すものは機械仕上削稜による FNM 群であり，其切斷狀況を見ても FNM 群が殆ど全部喉斷面の切斷で破壞せるに對し，瓦斯切斷削稜の試片の切斷は喉斷面と鎔接面沿ひと相半ばしてをる．薄被覆電極棒を使用せる試片に於て瓦斯切斷削稜のものが殆ど全部添接鈑側の鎔接面にて切斷せるに比較するとき，顯著なる進步であると云はねばならぬ．

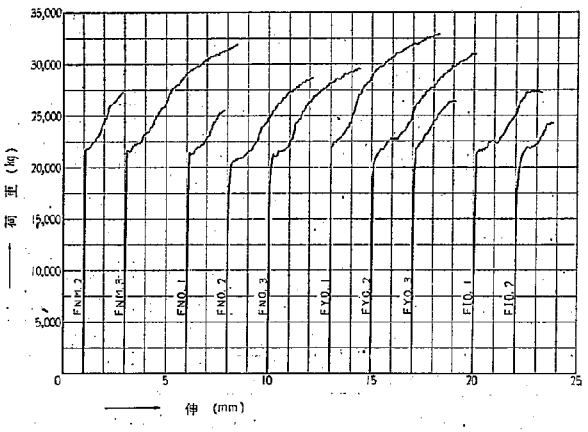
第 20 表　前面隅肉鎔接試片の强度

試片番號	喉厚×長 (mm²)	降伏點 荷重 (kg)	降伏點 强度 (kg/mm²)	極限 荷重 (kg)	極限 强度 (kg/mm²)	切斷箇所 上	切斷箇所 下	摘要
FNM 1	856.0	25,600	29.90	30,600	35.70			喉厚にて切斷
〃 2	860.0	21,400	24.90	27,900	32.45			〃
〃 3	859.6	21,350	24.85	31,600	36.75			稍添鈑鎔接面寄喉厚にて切斷
平均					34.92			
FNO 1	861.0	21,150	24.60	25,400	29.50			添鈑面にて切斷 喉厚にて切斷
〃 2	856.0	20,200	23.60	28,450	33.22			基鈑面に沿ひて切斷 添鈑面にて切斷
〃 3	858.0	20,850	24.30	29,200	34.00			添鈑面寄喉厚にて切斷 添鈑面にて切斷
平均					32.24			
FVO 1	861.6	21,500	25.00	32,450	37.68			添鈑面寄喉厚にて切斷 喉厚にて切斷
〃 2	859.0	21,450	25.00	30,600	35 60			添鈑面寄喉厚にて切斷 基鈑沿寄 〃　氣泡甚だし
〃 3	856.4	22,000	25.70	26,000	30.36			添鈑面にて切斷 基鈑沿ひにて切斷
平均					34.54			
FIO 1	858.0	19,600	22.84	30,000	34.96			添鈑面寄喉厚にて切斷 基鈑沿ひ〃
〃 2	860.0	21,050	25.00	26,800	31.17			喉厚にて切斷 基鈑沿ひ喉厚にて切斷
〃 3	858.2	21,550	25.10	23,750	27.66			喉厚にて切斷 基鈑沿ひ喉厚にて切斷
平均					31.16			
FMM 1	858.0			9,000	10.50			添鈑面切斷添鈑殆ど鎔解せず
〃 2	858.0			14,200	16.55			〃　〃 基鈑沿ひにて切斷 喉厚にて切斷
〃 3	862.8			13,400	15.53			喉厚にて切斷せるも1部母 鈑添にて切斷沿鈑面切斷
平均					14.19			
FMO 1	857.0			10,200	11.90			基鈑沿ひにて切斷 〃
〃 2	858.0			10,950	12.77			添鈑面にて切斷 〃
〃 3	855.2			12,600	14.74			基鈑沿ひにて切斷 添鈑面にて切斷
平均					13.13			

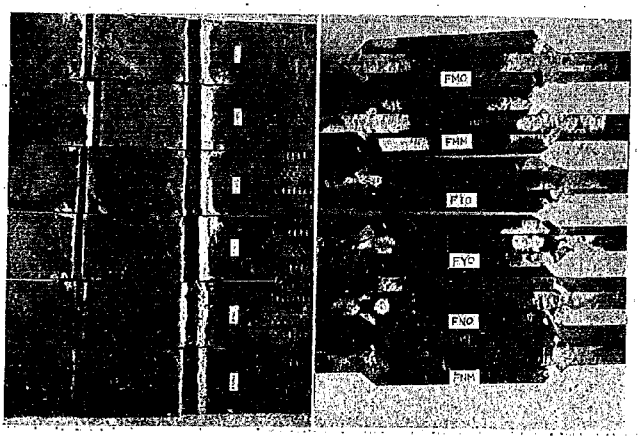
備考　切斷箇所欄中上は引張試驗の際試驗機固定端側を，下はクロスヘッド側を示す．又 1, 2, 3, 4 なる番號は鎔接の際の鎔接順序を示す．～～線は切斷箇所を示す．

第 28 圖はこれ等の諸試片の荷重伸長曲線を示すもので荷重及び伸長の大小は別とし，其傾向に於ては各試片とも全く同様である．試片 FNM 1 及び FIO 1 は荷重伸長曲線記錄裝置の故障にて記錄不良なりしためこれを省略した．

第 29 圖は試片中代表的のもの丶切斷狀況を示したもので，切斷が喉斷面に生じたるものと鎔接面に生じたるものとが明かに區別出來る．



第 30 圖 前面隅肉鎔接試片の荷重伸長曲線



第 31 圖 前面隅肉鎔接試片の切斷狀況

未熟工による試片の強度は兩群とも熟練工によるものゝ半ばにも達せず，其切斷も各試片殆ど基鋲又は添接鋲の鎔接面に沿つて起つてをり，これによつて削稜方法の相違による強度の變化を檢討したる程度の資料を求むることは困難であつた．

V. 要　　約

前揭各章に記述したるところを要約すれば，

1. 未熟工及び熟練工による手動瓦斯切斷，自動瓦斯切斷機，並に機械削成による4種の削稜方法を用ひたる前面隅肉，側面隅肉鎔接試片の强度試驗を行ひ，削稜方法の相違が其接手强度に及ぼす影響を，同時に行つた衝合鎔接試片の場合と比較した．鎔接は直流鎔接機と薄き被覆の電極棒とを使用したる場合と，交流鎔接器と厚き被覆の電極棒とを使用せる場合とを比較した．

2. Clarke 氏の實驗に於ては，鋼材の引張强度並に伸率は其表面又は緣邊を瓦斯切斷するも，鋸斷せる場合と比較して，決して低下してをらない．又 V 形衝合鎔接にて鎔接面を瓦斯切斷のまゝ鎔接するも重被覆電極棒を使用し，施工良好ならば其强度並に伸率は機械削稜の場合と何等遜色を示してをらない．薄被覆又は裸電極棒を使用せる場合，其强度は顯著に低下してをる．

3. 三菱造船所に於ける實驗にては瓦斯切斷削稜の V 形衝合鎔接の接手强度は，鎔接工がこれに慣るれば機械削稜の場合と同等の强度に達し得べしと結論してをる．

4. 瓦斯切斷による鋼材表面變質の深さは，切斷法の相違，技術の巧拙，切斷速度の大小によつて相當の差異あるも 1.25 mm を越えるものは少い．從つて鎔接にあたつての鎔込の深さから考へて，この變質は瓦斯切斷せるまゝの鋼材を鎔接することに，何等懸念を起さしむるものでないと斷定することが出來る．

5. 本實驗用の試片製作にあたりたる鎔接工の技倆にては，軟れの鎔接棒使用の場合も瓦斯切斷削稜にあたつて生じた酸化被膜を充分に析出することは出來なかつた．

6. 瓦斯切斷方法の相違による鎔着鋼材質の變化はあまり顯著でないが，大體自動切斷機によるものが最も良い成績を示してをる．

7. 本實驗に用ひたる試片の形狀と，施工方法とにては，衝合鎔接に於て最も良質の鎔着鋼が施工せられ，側面隅肉鎔接これにつぎ，前面隅肉鎔接最も不良である．この原因は其施工にあたつての，鎔接部の形狀，位置による作業の難易によるものと認める．

8. 瓦斯切斷削稜による鋼材への鎔着鋼内に或程度不純物の包有を避け得ざるものとすれば，これが接手の强度に及ぼす影響は剪斷應力をうくる側面隅肉鎔接接手に於て最も少く，引張應力又はほゞ引張應力をうくる前面隅肉鎔接接手又は衝合鎔接接手中，鎔接面が

應力の方向に垂直なる前面隅肉鎔接接手にて最も顯著であり，應力の方向と開先角だけ傾斜する衝合鎔接接手に於ては前2者の中間に位する．而して其程度は開先角の大小によつて變化あるべきものと推定せられる．

9. 試驗に用ひた試片の程度の開先角にては，衝合鎔接接手の强度は，鎔接面を瓦斯切斷削稜せる場合と機械仕上削稜せる場合と殆ど差が認められない．この結果は直流鎔接機と薄被覆の電極棒を使用した場合も，交流鎔接器と厚被覆の電極棒を使用したる場合も全く同樣である．

10. 側面隅肉鎔接試片の强度には，削稜方法の相違，電極棒被覆の厚薄等による差異は認められず，其切斷も一樣に喉斷面に沿つて起つてゐる．

11. 前面隅肉鎔接試片にて瓦斯切斷削稜によりたるものゝ强度を，機械仕上削稜せるものゝ强度に比較するとき，薄被覆の電極棒使用の場合は顯著なる低下を示し，機械仕上のものゝ平均强度 37 kg/mm² に對し 25 kg/mm² に達せざるものを交へてゐる．其切斷狀況を見るに機械削稜のものが孰れも喉斷面にて破斷せるに對し，瓦斯切斷削稜のものゝ切斷は大部分添接鈑端の鎔接面沿ひに生じてゐる．

これに對し厚被覆電極棒を使用せる場合は兩種試片間の强度の差は 10% を出でず．前揭の場合に比して著しい好結果を示してゐる．但し其切斷面は機械削稜試片の殆ど全部が喉斷面に生じたるに對し，瓦斯切斷削稜試片中には添接鈑端面に沿へるものを多數に混じてゐる．

12. 以上の結果に鑑るに，瓦斯切斷削稜のまゝの鋼材に鎔接を行ふに當つては，其酸化被膜を充分に析出し，不純物少き鎔着鋼を得んがためには，良質の厚被覆電極棒を使用するを得策とする．もし不純物包有の缺陷を免れざる惧れある場合は，前面隅肉鎔接接手に於ては或程度の强度低下は避け難く，作業容易なるために良質の鎔着鋼の得易き衝合鎔接竝にこれ等の缺點の影響少き側面隅肉接手に對しては强度低下の懸念は必要なきものと結論することが出來る．

防波堤の安定に關する一試驗

內務技師　松　尾　春　雄

梗　　概

直立堤本體の兩側に方塊積を置いた構造の防波堤に於て，この方塊積が堤全體の安定に如何に影響するかを模型について試驗した結果を述べたものである．

目　　次

I　緒　　言……（1）
II　試驗裝置及方法……（2）
III　試驗の結果……（5）
IV　結　　論……（9）

I. 緒　　言

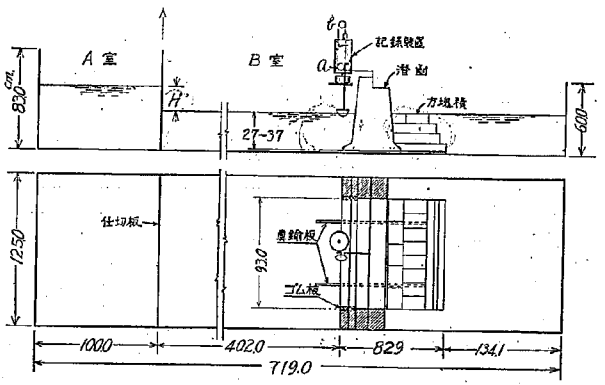
近時外國に於ける直立防波堤の崩壞が頻に傳へられその安定に對し疑を抱かれるやうになり，一部の傾向としては直立堤を避けて捨石堤を採用すべしとまで言はるゝに至り，伊太利の如く直立堤を多く有する國では從來のものに對し再檢討が加へられつゝある有樣である．我國に於ても昭和9年9月21日の室戸颱風による波に對し神戸港の直立防波堤はよく堪えたけれども，その後の調査により本體の一部は水平方向に最大約 20 cm の移動を生じた事が明になつた．此等の事實は直立防波堤の安定及其斷面形狀等に就て尙攻究の餘地がある事を示してゐる．

本試驗はその一端として第2圖の如く直立防波堤の本體の兩側に方塊積を置いた場合その前面及背面の方塊積が堤全體の安定に對し如何なる効果があるかを模型試驗によつて確めたものである．抑〻この方塊積は主として本體內外側の根元が波によつて洗堀されるのを防ぐ爲に主として外海側に置かれるのであつて，第2圖の如く兩側に多く積む方法は稍〻變則的ではあるが之によつて堤全體の安定が增大される事は勿論である．この試驗は次に記す如く原始的な方法に依つて行つたのであるが豫期以上に明瞭な結果が得られたから防波堤設計上の一資料となり得ると信じ茲に發表する次第である．尙充分精密な結果を得るには直接に壓力を測定する方法に依らなければならぬと考へるが，之は更に別の機會に行ひたいと思ふ．

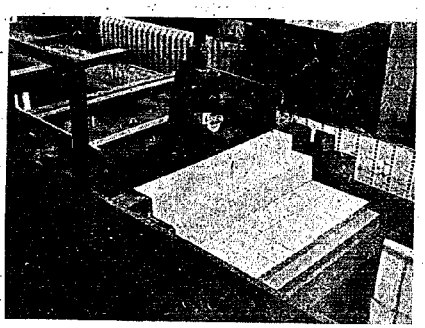
尙この實際の試驗は所員高橋藤平氏の助力に依る所が多い．茲に厚く感謝の意を表する．

II. 試驗裝置及方法

試驗裝置　長さ 6.80 m, 幅 1.23 m, 深さ 0.60 m の寸法の水槽（第 1 圖 (*a*)）内に防波堤模型を置き水槽の一端 *A* は長さ 1.0 m だけ仕切板を以て區劃し *A* 室内の水位を *B* 室の水位よりも高くし，仕切板を鉛直に上方に捲揚げる事によつて（捲揚速度は 20 cm/秒），



(*a*)



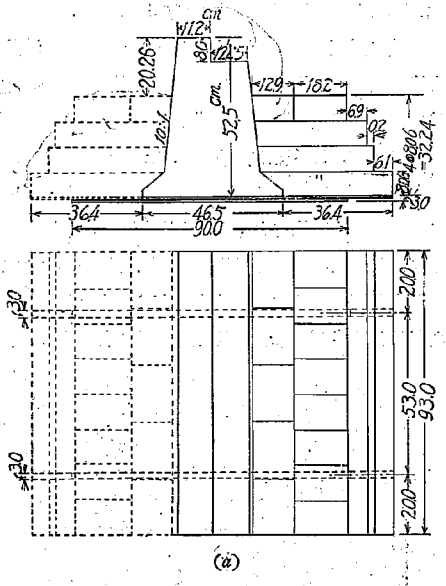
(*b*)

第 1 圖　試驗裝置

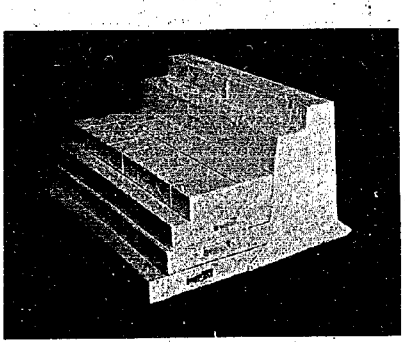
波を發生せしめ，この波が *B* 室の防波堤模型の側面に衝突しその爲に模型が水平に滑つて移動する狀態を觀測する．模型の長さは 0.93 m とし水槽の側壁と模型の兩端との間隙（第 1 圖 (*a*) のハッチを施した部分）は模型と同型の上流斷面を有する樣に板を形作り，模型と板との間隙（約 3 mm）は模型兩側面及底面共に幅 30 mm，厚さ 1 mm の軟い細長いゴム板を以て上流部を塞ぐ，模型底面と函底面との接觸面は磨いた細長い眞鍮板を以て

し，兩者の摩擦係數が一定になる爲に，この面には試驗毎に白色ワセリンを一樣に塗布する．而してこの面の摩擦係數は試驗の途中に於て時々測定し溫度等の變化による影響等を見た．

模型　第2圖の如く潛函防波堤の前後に混凝土方塊を圖の如く配置したものに就てこの混凝土方塊がその前面及背面の位置に依つて堤の安定に如何に影響するかを試驗するのであるが，潛函の模型は配合 1:1.5:3 の硬練り混凝土を以て製作，前後の方塊は4段の中，下3段は各一個の扁平な方塊とし上段のみは 2 圖 (*a*) に示す如き大きさの方塊を組合はせた．此等の重量等は夫々第1表の如くである．



(*a*)



(*b*)

第 2 圖　防波堤模型

潛函底部及方塊の最下段底部には各々の幅を長さとする幅 30 mm，厚 5 mm の眞鍮板を2枚中心より對稱の位置に取付け，之は函に之と對應する位置に取付けた同じ幅及厚さ，長さ 90cm の眞鍮板の上に來る樣に裝置した．即ち潛函及方塊が波力により滑動を生ずる場合には專ら此の面の摩擦力のみが働く譯である．

尙この模型は神戸港南防波堤に略々類

第　1　表

	個數	容積	重量	比重	備考
潛函	1	0.134 m^3	328.5 kg	2.46	
方塊	16	0.108	259.6	2.40	第1段13個他は各段各1個

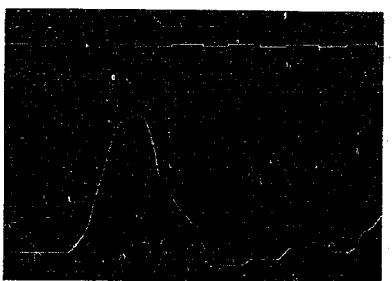
似の形であつて縮尺は實物の 1/15 である.

試驗の種類　1. 潛函のみの場合　2. 潛函とその前面に方塊積4段を置き背面に方塊を置かない場合　3. 前面に方塊なく背面のみに4段積方塊を置いた場合　4. 前後面共に方塊積を置いた場合の4種類につき水深は潛函底面より

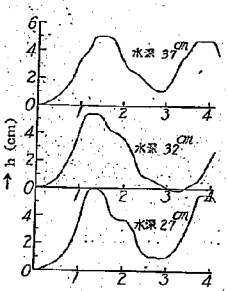
（1） 27.0 cm,　（2） 32.0 cm,　（3） 37.0 cm

の3種に就て A 室と B 室との水位差 H が 4～20 cm の間に於て試驗を行ふ. 上記の各水深は實物に就て夫々大潮平均高潮面, 平均水面, 大潮平均低潮面に相當する水位であつて, 試驗は主として平均水面に就て行ひ, 他は之を檢する程度に行つた.

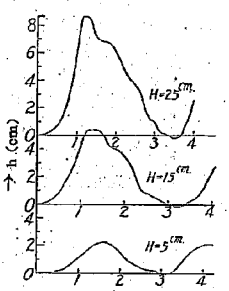
測定裝置　函前面に於ける波高と函の水平方向の移動とを同時に記錄し得る樣な裝置を設けた. 第1圖 (a) に於て函の頂に取付けた水平な細い鐵線は滑車 a 及 b に依つて錘と連結されその鉛直部分に取付けたペンに依り黑煙を附した圓筒にその移動を記錄し得る樣にし, 別に函前面の浮子の鉛直方向の移動は浮子に取付けた鉛直の桿及びペンにより直接に圓筒上に記錄する. 尙時間は別のペンにより圓筒上に 1/2 秒を記錄する (第3圖 (a)).



(a)　3本の線は上より順次時間, 函の變位及波形を示す



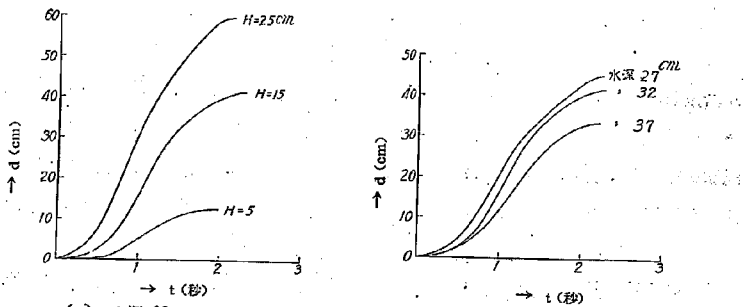
(b)　3種類の異つた水深の波形
H は何れも 15 cm



(c)　3種類の異つた H に依る波形
水深は何れも 32 cm

第3圖　防波堤のない場合の水路に於ける波形

尙試驗中に於ける水溫が函底面と水槽底面との接觸面に一樣に塗付した白色ワゼリンの硬さに及ぼす影響を除く爲には水溫を一定に保つ事が必要であるが, この試驗では特別にその裝置を設けず時々直接に摩擦係數を測定してその狀態を檢する事とした. 試驗中に於ける水溫は 17.5°～23.5° であつて底面の摩擦係數は上記水溫の外にも影響を受ける要素があるらしく必ずしも一樣ではない. その數値に就ては次項に述べる.

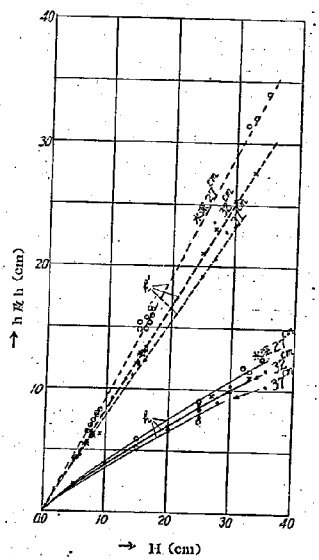


(*a*) 水深 32 cm とした場合　(*b*) H=15 cm とした場合

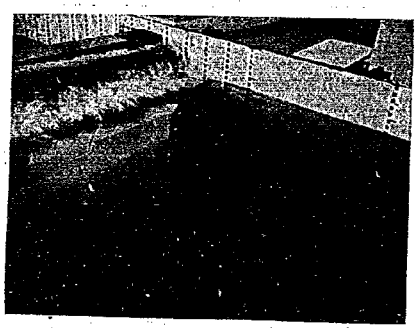
第 4 圖　波の進行中の水分子の移動狀況

III. 試驗の結果

波　觀測はすべて第一の波について行ふのであるが，水槽に潛函等を置かない場合にその位置に於て記錄した波の形は第 3 圖 (*b*) に示す如く又同じ場所に於ける水分子の動きは第 4 圖 (*a*) 及 (*b*) に示す如くである．この觀測は水面上に撒布した小浮子の動きを上から活動寫眞にとつた結果から得たものである．A 室と B 室との初めの水位差 H と B 室の一定の場所に於ける波高 h



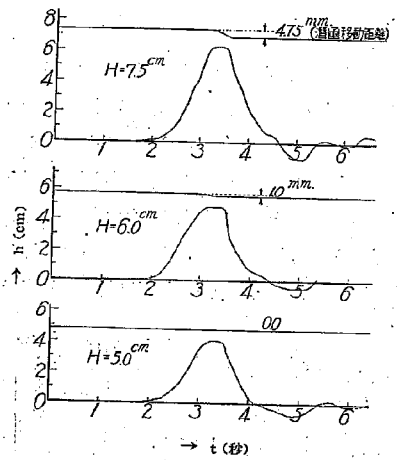
第 5 圖　H と h 及 h' の關係
玆に　H—A, B 兩室の水位差
h—進行波の高さ
h'—鉛直壁に衝突した高さ



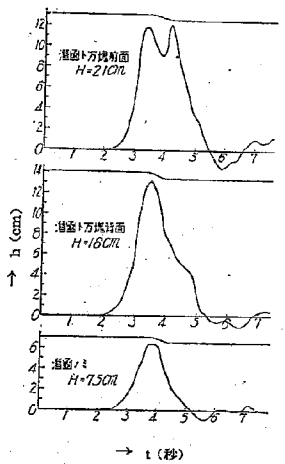
第 6 圖　方塊積が函の前面にある場合に波が函の位置で跳ね返る狀態

との間には第5圖に示す如き關係がある．模型を波の進行方向に直角に所定の位置に置いた場合には波の形は勿論變り模型前面に於ては波が模型の上を溢流しない限りに於て方塊が潛函前面にない場合には第5圖の波線にて示す高さ h' となる．方塊が函前面にある場合には波の形は著しく亂れて浮子を以ては記錄する事が出來ない．(第6圖參照) 依つて試驗の結果を比較する爲には A 室と B 室との水位差 H を標準とし，この水位差 H を以て仕切板を捲上げた場合の模型の移動量 d を觀測し，H と d との關係曲線を作る．第7及8圖には此等の試驗の一部の記錄を複寫して示す．

底面の摩擦係數　靜止の狀態にて潛函に水平力を加へて，底面に於ける摩擦係數を測定した．夫に依れば底面に潤滑劑を塗布してからの時間の影響がある事が明になつたから波による試驗は塗布後常に 10 分間を經過してから行ふ事とした，靜止の狀態に於て測定



第7圖　波高と函の移動距離との關係
(潛函のみの場合)



第8圖　方塊積の有無による H 及 h の相違——略ぼ同一の d に對する

した結果は第2表に示す通りである：

靜止狀態の試驗では滑出を生ずる水平荷重のかけ終りまでの時間は初めから 15～25 分を要し必ずしも一定でない．これは第2表の値が相當に異つて來た原因の一つであると思ふ．從つてこの係數を直ちに波による滑出の結果と比較する事は適當でない．

試驗の結果　波を起す前の兩室の水位差 H とその波により生じた模型の水平移動量

との關係は第9圖に示す通りであつて之は水深の異つた場合のものをも纏めた結果である.

以上の結果に就て見るに全く同型の方塊を潛函の (a) 前面に置く場合(第2圖破線にて示す狀態)は (b) 背面に置く場合 (第2圖實線にて示す狀態) に比し同一の移動量を生ぜしめる爲には大なる H が必要だといふ事になる. 換言すれば潛函に及ぼす波の水平力に關する限り (a) の狀態の方が (b) の狀態よりも水平移動に對する抵抗力が大である.

第 2 表

		潛函	方塊積	
			4段積	下段のみ
(1) 重量	(kg)	328.5	259.6	70.6
(2) 浮力を差引いた重量	(kg)	195.0	150.7	41.2
(3) 滑出を生じた時の最大水平力 (各回の觀測値)	(kg)	31.0	26.4	6.6
		34.4	25.5	6.0
		30.0	27.7	6.4
		36.4		6.0
(4) 同上平均値	(kg)	32.9	26.5	6.2
(5) 滑出係數 (4)/(2)		0.169	0.176	0.153

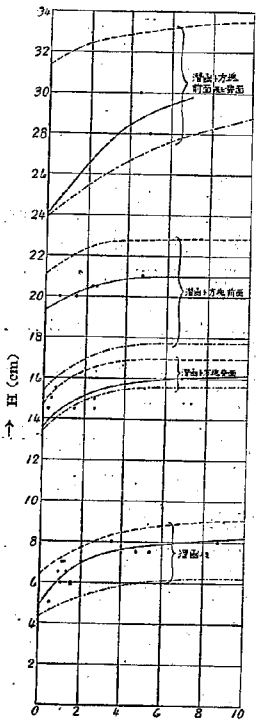
この様な試驗では直接に壁に作用する力を測定すれば整頓した結果を期待出來ると思ふが上記の方法では底面の摩擦係數を一定にする事が困難であり又波形從つて水分子の移動狀態も第 3 及 4 圖等に示す如く規則正しいものでない. 從つて計算値と比較する事は當を得ない樣に思ふが參考の爲 Sainflou 氏の波壓計算式による値と波の頂の靜壓のみより出した壓力とを第3表に示す.

Sainflou 氏の波壓公式[1] は第 10 圖に於て靜水面を AA' とすれば鉛直壁 EB に作用する波の壓力はハッチを施した部分 $EACD$ で示す値である. 玆に鉛直壁に衝突した場合の波高を $2h_0$, 波長を $2L$, 水深を H_0, 水の單位重量を w とすれば

$$CD=\frac{h_0}{\cosh\frac{\pi H_0}{L}}, \qquad BC=wH_0$$

である. 實驗では $2h_0=AE$ に相當する

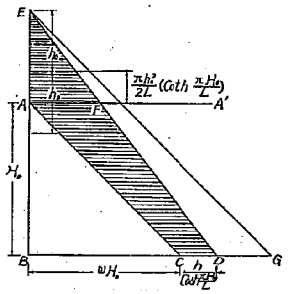
靜壓による算定は長い波が堤の前面で最高水位に達し



第 9 圖 H と d との關係
實線は水深 32 cm, 破線は 37 cm, 鎖線は 27 cmの場合

1) Essai sur les Digues Maritimes Verticales. Annal. d. Pont et Chaussées. 1928–IV. p. 5–48.

た狀態が暫く繼續するものとして水壓を計算したものである.



第 10 圖.

方塊積が潛函の前面に置かれた場合には方塊前面にだけは略ゝ同時に力が作用するが潛函前面に直接波の壓力が加はるのは一定時間の後であつて, この 2 つの力が同時に働く事はないと考へ 2 つの中の大なる力だけを表に示した. 試驗では方塊前面に作用する力の方が大である.

表は堤體の移動距離 d が 1cm になる時の H を選び(第 9 圖による)之によつて發生すべき波の h 及 h' を第 5 圖から採つて $h'=2h_0$ として壓力を算定した.

第　3　表

	(1) 隔壁前後の水位差 H(cm)	(2) 防波堤に衝突した波の高さ h'(cm)	(3) 進行波の高さ h (cm)	(4) Sainflou 計算式に依る壓力 (kg)	(5) 靜止壓力 (kg)	(6) 浮力を差引いた重量 (kg)	(7) (4)/(6)	(8) (5)/(6)
(A) 潛函のみの場合	6.2	5.1	2.5	12.3	17.2	226.4	0.054	0.078
(B) 潛函と背面に方塊積がある場合	14.6	12.1	5.4	30.7	46.0	368.5	0.083	0.125
(C) 潛函と前面に方塊積がある場合	19.9	16.6	7.0	43.9	64.5	362.9	0.121	0.178
(D) 潛函と前後兩面に方塊積がある場合	25.3	21.0	8.6	57.3	89.3	495.4	0.116	0.180

上記の表に就て見るに摩擦係數は第 3 表の (8) では (D), (C), (B), (A) の順に次第に小である. その原因に就ては例へば波の衝撃に依る時は係數が小となり, しかも (D) の如く多くの塊の集合よりなる構造に對してはこの衝撃の影響が小である等の事柄が考へられる. 此等に就ては直接の波壓測定等の方法により明にしたい考へである. 玆に得た結果のみに就て言へば方塊を潛函の前面に置いた場合は背面に置いた場合に比し計算が示す以上に安定である.

本體と方塊前面に作用する波の壓力の時間的相違は模型と實物とでは次の如き關係となる. 上記の時間差を實物と模型では夫ゝ t_0 及 t; 方塊前面の水深を H_0 及 H; 兩面間の距離を L_0 及 L, この間の波の傳はる速さを v_0 及 v とすれば

$$\frac{t_0}{t}=\frac{L_0/v_0}{L/v}=\sqrt{\frac{H}{H_0}}\frac{L_0}{L}$$

今此の模型試驗の如く實物に對する縮尺を縱橫及鉛直に同一とし $1/n$ とすれば

$$\frac{t_0}{t}=n^{1/2}$$

$n=15$ とすれば　　$t_0=3.9t$

となり．上記模型試驗では $t=0.5$ 秒であるから $t_0=2$ 秒となる．

IV. 結　　論

直立防波堤の本體の根元に方塊積を置いて波による洗堀等を防ぐ事は普通に行はれる工法であるが此等の方塊積は更に堤の滑出轉倒等の安定を增大するにも有効である．この後者の働きに對して本體の前面にある方塊と背面にある方塊とでは何れがより有効であるかに就て試驗した處，滑出に對しては前面にある方が有効であるとの結果を得た．これは計算上からも略ゝ推定し得られる事柄である．卽ち方塊積が本體の前面にあり，しかも方塊積前面と本體前面とに，ある距離があれば波の力はこの2つの面に異つた時間に作用する筈である．然るに背面に方塊積がある時は直立堤本體の前面には波の力が一時に作用する爲同じ波に對して前者の方が大なる抵抗を示す筈である．實驗の結果は計算が示す以上に前者が有効である事を示した．

實驗は滑出に對して行つたのであるが堤に一時作用する力が小になる事は堤の支持力に對しても良い結果となる事は明であると思ふ．

波が大なる場合に局部的に大なる力を生じて個々の方塊の移動を生ずる事があり，しかも前面の方塊にその現象が多いのであるが，これは長期に亘る風浪等の爲に順次此等方塊が失はれて本體の根元を洗堀される危險が起る場合或は全體の安定が脅される程度にまで方塊の移動が生ずる場合の外は別に問題にする必要はないと思ふ．根元の方塊は一方から見ればかゝる現象が起り得ればこそ之を置く必要があるので個々の移動を生ずる事は方塊の本來の使命を果したとも考へられる．

二，三の土木材料の比熱測定結果に就て

内務技師　島田八郎
土屋直

目次

緒言……(1)
I 測定方法……(1)
II 比熱測定裝置……(3)
〔1〕熱量計……(4)
〔2〕恒温器……(4)
〔3〕測定操作……(4)
〔4〕測定條件……(4)
III 實驗結果……(7)
〔1〕道路鋪裝用石材二三の比熱……(8)
〔2〕アスファルト及タールの比熱……(9)
〔3〕アスファルト－標準砂混合物の比熱……(10)
要約……(12)

緒言

土木工作物は常に直接氣温の影響を受け其の爲め種々の二次的現象を呈し時に重大なる結果を來すことがある．例へば熱應力著しく發生し工作物の破壞を招くが如き又夏期アスファルト類が太陽熱の爲め軟化可塑性を示すが如きはその好例である．故に熱絶緣物として使用する材料は勿論の事一般土木材料の熱的特性を明かにする事は頗る重要である．本報告は熱的特性の一である比熱に關し土木材料の二三に就て實驗した結果を報告したもので，殊に道路鋪裝用アスファルト，タール，及び之等と碎石との混和物の比熱に就き發表されしもの少く鋪裝工學上不便頗る多かりしを以て此の種材料を主とし其の他二三鋪裝用碎石に就き試驗を行つた．更に本實驗は土木材料の比熱を測定せんが爲めに試作せる比熱測定裝置に就き其の性能を明かにする目的で行へる豫備實驗とも見らるべきものである．從つて測定裝置，測定條件等實驗上緊要なる諸點を本實驗に依り一層明瞭となし次回の實驗に好資料を得た．

I. 測定方法

本實驗方法は固體，液體の比熱測定に最も多く用ひられる混合法にして，從つて一般の熱量計以上の精度は今回の實驗では望み得なかつた．今簡單に記號數式を說明せんに，

m； 試料質量

c； 試料の比熱

t； 試料の熱量計内投入前の溫度 (0.1°C 目盛)

t_e； 熱量計液體初溫度 (0.1°C 目盛, 及び 0.01°C 目盛)

t_f； 試料投入後の熱量計液體平衡溫度 (0.1°C 目盛及び 0.01°C 目盛)

$(t-t_f)$, (t_f-t_e)； 溫度變化, $t-t_f$ 0.1°C 目盛, t_f-t_e 0.1°C 目盛

m_W； 熱量計內液體質量

C_W； 〃 比熱, $m_W C_W = W'$

W_e； 熱量計水當量

R； 測定中外界の影響による失熱量

とすれば熱量の平衡條件より (1) 式が成立つ

$$mC(t-t_f)=(m_W C_W+W_e)(t_f-t_e)+R \quad \cdots\cdots(1)$$

普通液體としては水を使用し特に精密なる結果を要求せざる限り $C_W=1$ とする. 然れども水に依る實驗は 100°C 以上に試料を熱する場合測定不能となる事明かである. W_e なる熱量計水當量は容器と共に測定に必要なる攪拌器, 溫度計の一部を含む. 而して實驗的に之を求むる事は頗る困難で後節混合法式に試みた結果は一見測定法の誤れるかの如き結果を示した. 之は下に示す如く實驗誤差の關係より當然である. 即ち (1) 式より R を無視し, (2) 式より測定誤差の關係を確むれば (3), (3)′ 式を得.

$$(mC)\Delta T=(W'+W_e)\Delta T' \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\therefore\ \delta W_e=(W'+W_e)\left(-\frac{\delta\Delta T}{\Delta T}+\frac{\delta\Delta T'}{\Delta T'}\right) \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\frac{\delta W_e}{W_e}\fallingdotseq\frac{W'}{W_e}\left\{-\frac{\delta\Delta T}{\Delta T}+\frac{\delta\Delta T'}{\Delta T'}\right\} \quad \cdots\cdots(3)'$$

本實驗に於ては $W'\fallingdotseq 1{,}000$, $W_e\fallingdotseq 20$ と推測され, 斯る場合水當量誤差 $\pm\left|\frac{\delta W_e}{W_e}\right|\times 100\%$ は溫度測定誤差 $\left|\frac{\delta\Delta T}{\Delta T}\right|$, $\left|\frac{\delta\Delta T'}{\Delta T'}\right|$ の 50 倍に相當するもので, 混合法式に由る水當量決定は頗る困難である. 本報告には計算値を用ひた. 本器に於ては水筒內部の表面狀態が變じ易く常に W_e を一定に保つ事困難にて一方下記の如き理由にて必然的に W' を大とした 即ち今 (2) 式を更に變形して下記の如く書換え得, 但し ΔQ は有効熱量變化を示す.

$$(mC)\Delta T=\Delta Q=W\Delta T', \qquad W=W'+W_e$$

$$\therefore\ \frac{\delta(Cm)}{Cm}=\frac{\delta C}{C}=\frac{\delta W}{W}+\frac{\delta\Delta T'}{\Delta T'}-\frac{\delta\Delta T}{\Delta T}=\frac{\delta W}{W}+\frac{W'}{(mC\Delta T)}\delta\Delta T'-\frac{\delta\Delta T}{\Delta T}$$

$$=\left(\frac{\delta W}{W}\right)+\left(\frac{W}{\Delta Q}\right)\cdot\delta\Delta T'-\left(\frac{mC}{\Delta Q}\right)\delta\Delta T \quad \cdots\cdots(4)$$

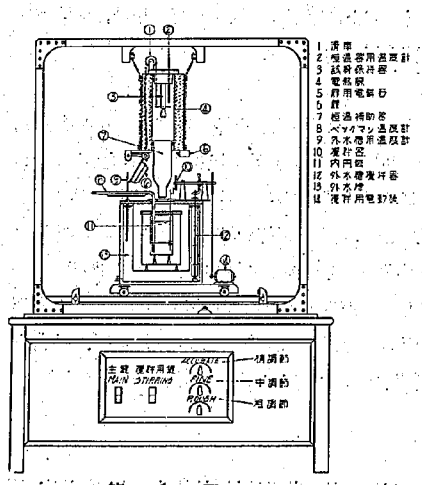
(4) 式によるに本實驗にて熱量計表面影響等所謂水當量の變化による誤差を除きて $\delta(mC)$ を精密に求むるには W を大とする事が必要であり同時に熱量 (ΔQ) も相當大とすることが必要である．本實驗にては使用溫度計の誤差 $\left|\frac{\delta\Delta T'}{\Delta T'}\right| \fallingdotseq 0.005$ を標準としそれに應ずる様水當量 W_0 (卽ち W)，有効溫度差從つて ΔQ を定め初溫度 (t) 等を推定した．(1) 式の R は主として輻射に關するニュートンの式を基礎とし圖式又は計算式による測定直接溫度差の補正修正値であるが，本報告は後者によるものである．上述の如き混合法による比熱測定は (1) 式の常に成立する場合にして一般に比熱は溫度の函數にて，今測定溫度範圍を T_1, T_2 とすれば混合法にて測定される比熱 C_m は下記第 (5) 式の如く與へられる事は明かである．

$$\int_{T_2}^{T_1} C\,dt/(T_1-T_2)=C_m \cdots\cdots (5)$$

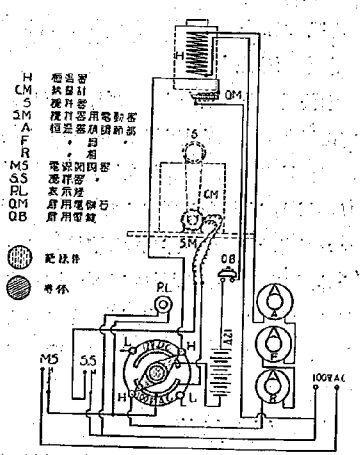
C_m は見掛上の比熱にて若し T_1, T_2 の溫度範圍に於て熱吸收，發熱ある場合眞比熱より減少，又は增大するものである．本實驗は勿論定壓 (C_p) の場合で定容比熱 (C_v) は物質の膨脹係數，及び壓縮率の關係を用ひ C_p より求め得．本報告に於ては此點には觸れず以下單に比熱として記述する．

II. 比熱測定裝置

本裝置の概略を一目瞭然たらしむる爲めに解說圖を附した．本裝置を熱量計，恒溫器の 2 部に分つことが出來る．以下各々に就き簡單に性能を述べる．



第 1 圖



第 2 圖

〔1〕 熱量計

熱量計は更に內圓筒，外水槽及び其の中間にある中間圓筒に分れ內圓筒は比熱を測定すべき試料を投入する水を盛れる器にして，熱量計の主要部分をなすものにして本裝置に於ては直徑 10 cm，高さ 20 cm の銅製の器に銀鍍金を施せるものを用ひ外水槽は直接外界の溫度等の影響を避くる爲め熱容量の比較的大なる樣約 23 立の容積を有する銅製の容器を用ひた中間圓筒は之の補助作用をなすもので直徑 18.5 cm，高さ 26 cm の銅製のものにニッケル鍍金をなせるものである．溫度計は L 型 0.01°C 目盛のベックマン溫度計を用ひ攪拌器は直徑 8.5 cm の薄き銅製圓板にニッケル鍍金をなし各幅 1 cm の 5 條の溝を穿ちたるものに直徑 0.9 cm，長さ 36 cm のエボナイトの柄を附したるものを使用した．

〔2〕 恒溫器

恒溫器は直徑 21 cm，高さ 38.5 cm 及び直徑 11 cm，高さ 38.5 cm の同心 2 重圓筒の中間に保溫材料を充塡し內筒の外壁に電熱線を捲き更に試料保持器を上部に試料落下孔を底部に取付けたものである．試料溫度は保持器に設けた小穴より挿入した 0.1°C 目盛溫度計により讀取る樣にした．電熱裝置は粗調節部，細調節部，精調節部の 3 部に分れ所要溫度により任意に電流を增減し外界の溫度と釣合ひ一定溫度を得る．而して室內溫度の激變又は換氣の盛んなる場合は調節困難となりたれども然らざる場合は 0.2°C の精度に調節し得た．試料の落下操作は電鍵により保持器より落下と同時に底部の蓋が開く樣保持器と蓋との間を鎖を以て連結した．試料を恒溫器より熱量計に移す途中失熱を可及的に防止する爲めに試料と同じ一定溫度を保ちながら熱量計の直上に落下する補助圓筒を用ひ，補助圓筒の底部には試料の落下により容易に破れる薄き紙を貼る．

〔3〕 測定操作

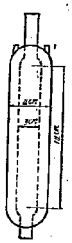
本裝置の操作を說明すれば先づ試料の溫度，內筒水量，豫想上昇溫度等より外水槽溫度，室內溫度，內水筒溫度相互の溫度決定を行はねばならぬ．實驗の經驗に依れば內水筒の初溫度は外水槽のそれより豫想上昇溫度 2/3 低く外水槽溫度は室內溫度より豫想上昇溫度の 1/3 だけ高き場合が測定に最も好都合の樣である．之の調節が終れば次に熱量計にベックマン溫度計を入れ攪拌裝置の取付をなし實驗前 30 分位前より攪拌操作をなし內筒溫度の上昇が直線的となるを見定め試料投入前 5 分間の溫度讀取りをなし恒溫器よりの試料落下後 30 秒毎に 2 回の溫度讀取りをなし其の後は 1 分間毎に溫度讀取りをなし溫度の上昇が終り，降下を初めてから更に 5 分間の溫度讀取りをなし之に續き內水筒溫度，水面點の測定を行ひ全測定を終る．

〔4〕 測定條件

この方法による比熱測定は結局試料，熱量計間の熱の移動狀態，熱量計の水當量決定，測

定中の外界の諸條件による熱の出入補正等所要の精度に於て行ふことに歸着する．試料熱量計間の熱の移動狀態は先に述べた通りであるが尙次の事柄に就き簡單に今一應の說明を試みる．

A) **水當量**　熱量計は常に一定の水當量を有するものではなく測定時の狀態の變化に應じ相當の變化あるものである．而して混合法原理に基く水當量決定は種々の困難を伴ふ本實驗に於ては第3圖の如き容量約 100 cc の硝子製2重管を用ひ，極力放熱を防ぎしにも拘らず遂に充分なる結果は得られなかつた．I 章 (3)′ 式は此狀態を示すものである．實驗的水當量決定に就ては後日機會を得て檢討する積りであるが，今回は實驗整理に於て以下の如き計算に依つた．即ち有効部分と考へられる內圓筒の質量は 125.5 瓦，攪拌器は 34.13 瓦にして之等の和に銅の比熱 0.0914 を乘じて 14.59 を得，エボナイト柄の有効部分は約 10.5 瓦にして之に比熱 0.34 を乘じて 3.59 を得た．更にベックマン溫度計の水銀球の容積は約 1.2 cc にして之を除き水に入る溫度計の見掛けの容積として 6.8 cc を得たるを以て實際硝子の容積は之の約 1/3 として 2.3 cc となる．水銀硝子の熱容量は略〻等しきものと考へ之等の和に水銀の比重 13.6 及び比熱 0.0333 を乘じて 1.59 を得た．よつて以上の和 14.59＋3.57＋1.59＝19.75 を以て熱量計の水當量とした，普通水當量の許容差は內筒水量と水當量との和の 0.3% 以下としてゐる樣である．


第 3 圖

B) **溫度計**　本實驗に於ては 0.01°C 目盛のベックマン溫度計を便宜上 L 型にせるものを使用した．目盛を水平にして讀む爲に起る不確實な示度を避ける爲に讀取り前必ず輕く之を叩くことにした．而してこの種の溫度計を用ひて正確なる溫度を得る爲には次の補正が必要である．

a. **檢定**　檢定方法としては目盛試驗，全長試驗，分割法等あれども本實驗には之を行はなかつた．

b. **露出部補正**　下記の如き一般式を用ひた．即ち補正溫度を ΔT とすれば

$$\Delta T = 0.000164(T_2 - T_1)(T_1 + T_2 + T_0 + S - t)$$

茲に　T_1；測定前ベックマン溫度計示度

T_2；測定後　〃

T_0；その時ベックマン溫度計の零度の示す實際の攝氏度數

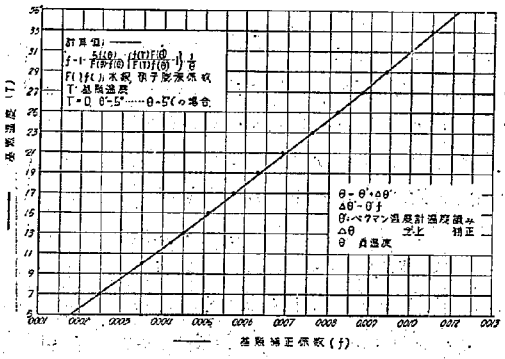
S；熱量計の水面とベックマン溫度計の零度との距離を攝氏寒暖計にて表せる度數

t；ベックマン溫度計露出部の平均溫度

係數 0.000164 は水銀の見掛けの膨脹係數にしてベックマン溫度計の硝子の膨脹係數を省略

したが，之の補正を省くことにより約 0.7% の誤差を來す．

C) **基點係數**　ベックマン溫度計は測定すべき溫度により水銀の增減を行ふ故之が補正を必要とする計算法による通常のベックマン溫度計，卽ちベックマン溫度計の 0° が 0°C を指す時ベックマン溫度計の 5° が 5°C を指す如く作られたるものゝ補正曲線を第4圖に揭ぐ，今見掛けの溫度上昇を T'，補正溫度を ΔT とすれば其の場合の基點溫度に該當する係數を圖より求めて，之を f とすれば $\Delta T=fT'$ なる關係がある．基點溫度とは其の場合ベックマン溫度計の目盛 0° の表はす攝氏の溫度を意味し，之の補正を省略することにより約 0.3% の誤差を來す．



第　4　圖

D) **攪拌器**　攪拌回數の餘りに多き場合は之により熱量計の溫度上昇を伴ふもので，從つて之に對し相當の考慮を要する．本裝置に於ては小型電動機により所要範圍內にては自由にその攪拌速度を變へ得るも．實驗には每分 70～90 回としたが之に因る溫度上昇は殆ど認められなかつた．

E) **熱の出入**　測定操作中は輻射による熱の出入は避け得られない爲め，その補正方法としては種々あるも計算式を用ひ米國鎖山局式によつた．今その失熱量を攝氏の度數にて表はしたものを R とすれば上述の如き實驗操作による場合は下記の如く示し得る．

$$R=(n-2)\gamma_2-\left\{\frac{T_1}{4}+\frac{a}{2}+\frac{3b}{4}+c+d\cdots\cdots-\left(n-\frac{5}{2}\right)T_2\right\}\frac{\gamma_1-\gamma_2}{T_2-T_1}$$

茲に　n;　測定中の讀みの數

T_1;　試料投入時のベックマン溫度計の讀み

T_2;　溫度降下開始最初のベックマン溫度計の讀み

γ_1;　測定前1分間の平均溫度上昇　　γ_2;　測定後1分間の平均溫度降下

a, b, c……は測定中のベックマン溫度計の讀みを表はす

F) **水比熱の變化**　水も又他の物質と同樣溫度により其の比熱を異にする故に，之が補正を必要とする，今その補正値を ΔW とすれば ΔW は

$$\Delta W=W\left(\frac{C_2-C_1}{T_2-T_1}-1\right)$$

にて表はされる事は明かである．

W; 使用水量

C_1; 溫度 T_1 に於ける熱容量

C_2; 溫度 T_2 に於ける熱容量

本實驗に於ては W が 1,000 瓦前後 T_2-T_1 が 1.5°C 前後であつた．之による誤差は 0.1% 程度なるを以て玆には省略した．

III. 實驗結果

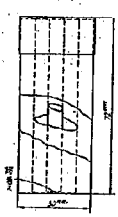
實驗に際し注意すべきは試料取扱の問題にして熱平衡の成立する 2 つの基本條件即ち i. 熱平衡狀態に達する時間，ii. 熱の發生吸收の有無を常に考慮すべきである．熱平衡到達時間を實驗的に明かにする爲めには表面積及び容積の異なれる 2，3 種のものに就き試驗するか又は溫度擴散率を假定して熱平衡到達時間を推定し得る．一方熱の發生吸收の有無に對しては實驗溫度範圍を變じ之に對應する平均比熱の變化を見れば分る．殊に本實驗の如き比較的熱傳導率の小なる物質に對しては同一物質に關しても測定時間の長短は輻射による熱の出入補正の計算式により明かなる如く延いては測定結果に差異を來し測定時間の延長には餘分の誤差の入り來ることは想像に難くない．從つて放熱を短時間に行はしめる爲に石材の試驗には總て碎石を用ひた．碎石の大さは其の中の 1 種に就き試驗せる結果は次の如きもので其の他は略之に準ずる．

10 番篩通過 20 番篩止　41.7%

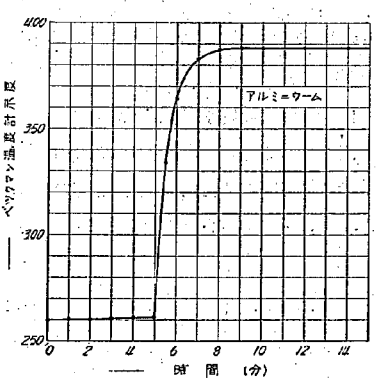
20 番篩通過 30 番篩止　31.2%

30 番篩通過 40 番篩止　27.1%

又アスファルト，タールの如く可塑性を示し實驗溫度範圍内に於て軟化する物質は容器による測定を得策とする．而して容器は試驗の便宜上比重，比熱，熱傳導度の 3 點に考慮を拂ひ第 5 圖の如き數個のアルミニウーム製容器の組合せよりなる試料容器を用ひた．容器を製作せるアルミニウーム板の厚さは約 0.38mm



第 5 圖



第 6 圖

にして重量は何れも 20 瓦前後のものであつて，試料の恒温器より熱量計移入の際の放熱を防ぐ爲，石材類試驗にも之を利用した．從つて試驗整理に當り容器材料たるアルミニウームの比熱を知るを要するを以て，先づ之が測定を行つた．それはアルミニウーム板を適度に細分し上記容器に入れて測定した．測定は 5 回行ひ其の平均として 0.230 を得たるを以て實驗温度範圍に於ける容器の平均比熱は總て之によつて計算した．次に其の一例を示す．第 6 圖は之を圖示したもので熱平衡に達する時間は約 6 分である．(第 1 表)

第 1 表

試料	アルミニューム	讀み數	時間 (分)	ベックマン温度計示度
試料重量(容器共)	75.55 瓦	1	0	2.610
內筒水量	968.6 〃	2	1	2.610
室內温度	15.5°C	3	2	2.610
水槽温度	15.93°C	4	3	2.611
內筒水温度	16.50°C	5	4	2.611
水面點	109.4°C	6	5	2.611
基點係數	0.0040	7	5~30	3.34
試料温度	90.9°C	8	6	3.64
補正		9	7	3.829
水當量	19.75	10	8	3.869
温度計		11	9	3.880
檢定	0	12	10	3.881
露出部	0.023°C	13	11	3.882
基點	0.005°C	14	12	3.881
失熱量	−0.002°C	15	13	3.881
上昇温度	1.270°C	16	14	3.880
補正上昇温度	1.300°C	17	15	3.880
平均比熱	0.229	18	16	3.879
		19	17	3.879

〔1〕 道路鋪裝用石材二三の比熱

石材類の比熱測定に當りては之を上記の如く細粒となし良く水にて洗滌し空氣爐にて約 100°C の温度にて乾燥し質量の變化を認めざるに至り之を乾燥器中に貯ひ必要に應じ之を取出し，アルミニウーム製容器に入れて試驗した石材類にはポートラントセメントの如く

第 2 表

試驗重量	內筒水量	上昇温度	平均比熱	測定温度範圍
62.13 瓦	993.1	1.170°C	0.200	93.9°C~17.48°C
69.64 〃	980.0	1.498°C	0.202	92.7°C~13.61°C
38.52 〃	975.75	0.992°C	0.202	91.5°C~13.52°C

水に接觸せる爲め發熱現象を伴ふものなきかとの見解より安山岩に就き質量のみを變じ他の條件を略ゝ同一にして試驗せる結果は，質量の少き方却つて比熱大となるが如き結果も出て明瞭なる判斷は出來なかつた．(第 2 表)

勿論之は試驗方法の巧拙にもよるが混凝土比熱測定の如き場合は，發熱量と比熱とを分解して求めるか又は測定溫度範圍の組合せを變ずる等の方法にて試驗すべきである．今本報告には一溫度範圍に於ける試驗結果のみを列記すれば下の如し．玆に A, B, C…… とあるは產地別を表はし，比重はルシヤテリーフラスコによる測定値である．(第 3 表)

第　3　表

種　類	試料重量	內筒水量	上昇溫度	比　重	平均比熱	測定溫度範圍
石灰岩 (A)	64.48 瓦	986.1 瓦	1.119°C	2.71	0.201	90.6°C～20.28°C
〃 (B)	64.82	960.4	1.259°C	2.69	0.207	93.7°C～18.80°C
〃 (C)	66.31	1007.0	1.156°C	2.78	0.199	93.1°C～19.94°C
〃 (D)	61.14	981.0	1.155°C	2.70	0.207	92.4°C～18.60°C
花崗岩 (A)	66.69	980.1	1.156°C	2.64	0.184	93.3°C～18.03°C
〃 (B)	59.53	988.9	0.983°C	2.70	0.187	90.2°C～20.3°C
安山岩	69.64	980.0	1.498°C	2.67	0.202	92.7°C～13.61°C
長石	69.82	970.8	1.246°C	2.69	0.193	92.1°C～17.29°C
砂岩	65.22	983.5	1.170°C	2.76	0.200	91.5°C～18.59°C
標準砂	77.80	996.5	1.367°C	2.63	0.204	90.9°C～23.62°C

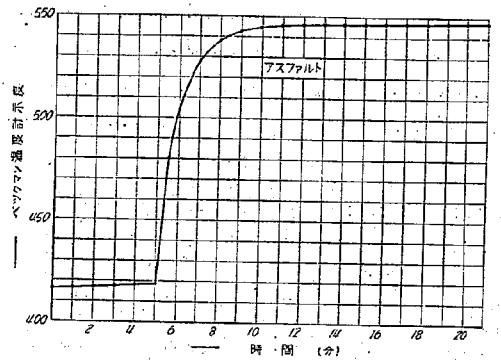
〔2〕 アスファルト及タールの比熱

玆に言ふアスファルトは道路鋪裝用にしてタール (A), (B) は無水タール，タール (C) は道路鋪裝用硬質無水タールである．而してアスファルト (B), (C), (D) の比重測定を行はなかつたが何れもアスファルト (A) の比重 1.017 に近似のものである．之等の物質殊にタールには相當の揮發性成分を含むを以て質量測定は實驗の前後 2 回行ひ變化のあるものは後者を取つた．アスファルトの質量變化は感量 50 瓲の天秤にては認め得なかつたがタールに於ては 0.01 瓦程度の減量があつた．(第 4 表)

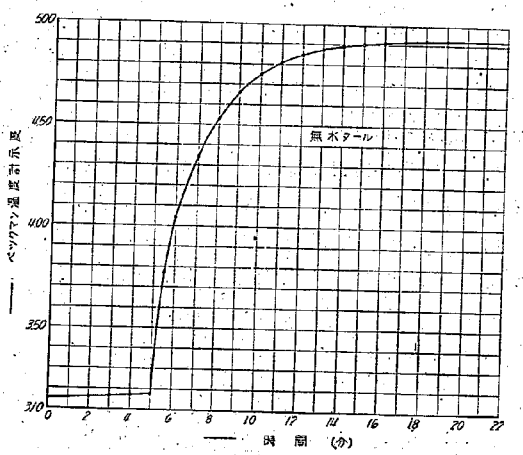
第　4　表

種　類	試料重量	內筒水量	上昇溫度	比　重	平均比熱	測定溫度範圍
アスファルト (A)	45.75 瓦	968.7 瓦	2.060°C	1.017	0.465	95.6°C～17.43°C
〃 (B)	46.42	952.6	1.983°C	—	0.453	91.4°C～16.64°C
〃 (C)	46.20	990.5	1.977°C	—	0.485	91.3°C～17.80°C
〃 (D)	45.43	987.2	1.905°C	—	0.421	95.3°C～15.50°C
タール (A)	49.74	983.2	1.705°C	1.201	0.372	90.3°C～17.1°C
〃 (B)	50.98	956.5	1.773°C	1.220	0.365	91.3°C～17.66°C
〃 (C)	52.17	959.9	1.837°C	1.245	0.358	93.4°C～16.59°C

試料投入後の溫度上昇狀態を圖示すれば第 7 圖及第 8 圖の如し，尙斯くの如き試料は溫度による見掛比熱の變化の狀態を明かにする必要を認めたれども精密なる測定を要するを以て次回の實驗に讓る．



第 7 圖



第 8 圖.

〔3〕 **アスファルト～標準砂混合物の比熱**

比熱 C_1, C_2 なる 2 物質の混合の割合を a, b, とし之等混合物の比熱を C とすれば混合によりて起る化學的變化なく單に熱量的の平衡の場合は

$$C=(aC_1+bC_2)$$

にて表はされ C_1, C_2 が既知なれば任意の混合比を有する物質の比熱は容易に求めらる．茲に行へる實驗は之を確める爲めのものであつて試驗結果は略ゝ計算値と一致する．計算

第 5 表

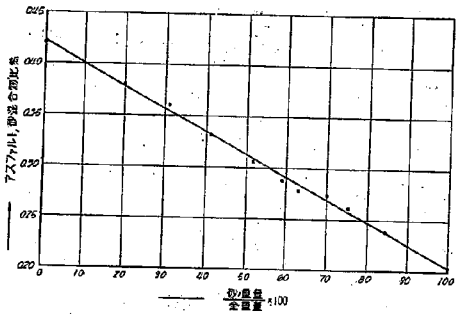
混合の割合		平均比熱		內筒水量	上昇温度 °C	測定温度範圍 °C
アスファルト	標準砂	測定値	計算値			
45.43瓦	0瓦	0.421	0.421	987.2	1.905	95.3～15.50
42.08	10.52	0.380	0.378	983.8	1.740	97.2～25.03
35.95	25.00	0.332	0.332	987.7	1.665	90.6～23.70
32.72	35.00	0.306	0.309	982.0	1.743	92.2～23.65
23.65	55.00	0.274	0.270	995.0	1.683	88.2～23.54
14.25	75.00	0.238	0.335	983.7	1.762	91.2～23.24
0	77.80	0.204	0.204	996.5	1.367	90.9～23.62

第 6 表

試料	アスファルト砂の混合物	讀み數	時間 (分)	ベックマン温度計示度
試料重量	アスファルト 35.97瓦 砂 25.00 容器 20.98	1	0	0.771
內筒水量	987.7瓦	2	1	0.772
室內温度	21.82°C	3	2	0.773
水槽温度	22.32°C	4	3	0.774
內筒水温度	23.70°C	5	4	0.775
水面點	121.8	6	5	0.776
基點係數	0.0071	7	5～30	1.22
試料温度	90.6°C	8	6	1.68
補正		9	7	2.11
水當量	19.75	10	8	2.27
温度計		11	9	2.347
檢定	0	12	10	2.370
露出部	0.032°C	13	11	2.380
		14	12	2.383
基點補正	0.011°C	15	13	2.384
		16	14	2.384
失熱量	−0.030°C	17	15	2.382
		18	16	2.379
上昇温度	1.592°C	19	17	2.375
		20	18	2.372
補正上昇温度	1.665°C	21	19	2.368
		22	20	2.364
比熱	0.332			

に使用せるアスファルト及砂の比熱は勿論多少の誤差を含むと考ふべきである．(第 5 表)

第 8 表を圖示すれば第 9 圖の如く直線變化をなす．アスファルト～石の混和物比重測定實驗に於ける溫度計讀みの一例を示せば次の如し．(第 6 表)



第　9　圖

要　　約

本實驗は先にも述べし如く豫備試驗の意味を含むを以て測定結果の精確は期し難けれど比重の絕對値の意味でなく實驗値の反復精度の意味に於て大約 2% の誤差範圍內で實驗し得た．

石材類の比熱は種類により多少の差異はあれども道路鋪裝用材碎石にては 0.2 前後のものにてアスファルトの平均見掛比熱は更に多く 0.4～0.5，タールのそれは 0.3～0.4 範圍內にあり，アスファルト，タール比熱は普通の固體の比熱に比し非常に大にして寧ろ液體の比熱に近きことを確め得た．又標準砂の如く瀝青質材料に對し化學的變化を伴はざる場合，混合物の比熱は通常通り兩者の比熱より直接算出出來ることを實驗的に確めた．

〔附記〕　本試驗を行ふに當り所長物部博士を始め藤井技師の御鞭撻御指導による所多く殊に測定器使用に際し藤井技師の特別なる御配慮を賜りたることを深く感謝する次第である．

二，三の外國製鋪裝用瀝青乳劑の性狀に就て

福　島　彌　六

目　次

I　緒　言 ……（1）
II　外國製瀝青乳劑の種類及び試料 ……（2）
III　アスファルト乳劑 Vialit 及び Colas の性狀 ……（4）
IV　タール乳劑 Magnon XT の性狀 ……（9）
V　國產タール乳劑に就て ……（14）
VI　要　約 ……（16）

I. 緒　言

本邦に於て瀝青乳劑が道路鋪裝用に供せられるに至つたのは大正の末期に外國製品が輸入せられ，昭和の初期に本邦にアスファルト乳劑の製造會社が創立されたのに始る．爾後，その生產者，生產量竝に市販品の種類は急速に增加し又その品質も歲と共に改良進步の變遷を經て近時は國產品は遠く滿洲及び遥鮮方面に輸出される狀態である．今日に於ては國產市販アスファルト乳劑はその數 10 餘種に上り，又最近は各官廳或は大都市の直轄工事に於てその工事現場にて製造が行はれるに至り，道路工事に廣く使用されるに至つた．

此等のアスファルト乳劑の原料たるアスファルトは主に外國產原油に仰いで居る狀態なる爲め近時國產奬勵の見地より石油アスファルトに代ふるに國產タールを利用せんとする趨勢を生じ既に國產鋪裝用タールが生產されるに至つた．之に伴つてタール乳劑の製造も注目され，1，2 民間會社に於てその製造が試みられ本所に於ても此れが研究に着手しその一部を完成した．國產アスファルト乳劑の市販品の鋪裝用材料としての性狀試驗に就ては本所報告（第 21，28 號）に記載あり更に一般に瀝青乳劑の鋪裝材料としての性質及びその組織に就ての膠質化學的の重要なる基本性質に就ての研究は同報告（第 26，29，30 號）に記載せられてゐる．次に，最近試みたるタール乳劑の試製及び性質に就ての研究は同報告（第 31，32 號）に記載してある．本文は斯くの如き事情により外國產鋪裝用瀝青乳劑の代表的な市販品 2，3 種に就き之が鋪裝用材料としての試驗を行ひ上述の國產アスファルト及びタール乳劑の市販品及び著者の試製乳劑と對照比較して廣く內外瀝青乳劑の性狀を研究する爲めに試みたものである．元來外國製鋪裝用瀝青乳劑は次章に記述するが如くその種類が甚だ多く市販品以外に現場製造の乳劑も數多存在するものであるが，著者の得たる試料は主として歐洲に於て使用される代表的の市販品たるアスファルト乳劑 Vialit 及び

Colas 並にタール乳劑 Magnon XT である．一方，本邦の製造になるアスファルト乳劑の市販品の各種及び著者が實驗室に於て試製したアスファルト及びタール乳劑の現場用乳劑の各種をすべて國產乳劑として取扱つた．

II. 外國製瀝青乳劑の種類及び試料

歐洲に於ける市販瀝青乳劑の主なるもの＞商品名，生產者及びその所在地は第1表 (A) 及び (B) に示すが如くである．第1表 (A) はアスファルト乳劑にして，(B) はタール乳劑である．此等は最近の外國雜誌に現れたるものにして，先づ主なる市販品と考へられるものであるが，勿論各國に於て此れ以外の多數の市販乳劑及び現場製造乳劑が存在する事は言を俟たない．著者は此等の外國市販乳劑の性狀を試驗する爲め次の如き主なる生產者及び道路協會へその型錄或は仕樣書及び試料の送附を要求した．

The Vialit Company Ltd.	(London, England)
Colas Products Ltd.	(London, England)
Road Emulsion and Cold Bitumen Roads Association	(London, England)
British Road Tar Association	(London, England)
Studien Gesellschaft für Automobil Strassenbau	(Berlin, Deutschland)
Rütgerswerke A-G.	(Deutschland)

第 1 表 (A)

1. Vialit Road Emulsion, Vialit 55% grade, Vialit 60% grade, (The Vialit Co., Ltd. 61, St. Mary Axe. E.C.3., London, England.)
2. Colas Road Emulsion, Colas, Colas 50%, 60%, 65%, (Colas Products Ltd. Colas House, Buckingham Gate. S.W.L. London. England.)
3. Colfix, M-Emulsion, (British Bitumen Emulsions Ltd. Trading Estate, Slough, Bucks, England.)
4. Bitumuls, (Bitumuls Kaltasphalt A.G. Berlin.)
5. Bitarcold, (R.S. Clare & Co., Ltd., Stanhope Street, Liverpool, England.)
6. Taroleum Cold Emulsion, Colade, Colade P.M., Emoleum P.M., (Dussek Bitumen and Taroleum Ltd. 13, Regent Street, London, S.W.1., England.)
7. Bimoïd, Bimoïd 60%, Bimo 50%, (L'économique. 82, Avenue des Champs-Elysées, Paris, France.)
8. Invicta, The Super Emulsion (Thomas Hill-Jones Ltd. Bow Common Lane, London, E.3., England.)
9. Bitrin Emulsion, (Scientific Roads Ltd. Station road, Shipley, Yorks, England.)
10. Cold Chon., (Richard Smith Ltd. 182, West Street, Glasgow, C. 5, England.)
    (N.V. Nederlandisch Syndicaat. Kruisweg 70, Haarlem, Holland.)

11. Steve Emulsion, (Steve's Emulsion Ltd. Thames House, Westminster, S.W.1. London, England.)
12. Azetec, All Weather Emulsion, (Constable Hart & Co., Ltd. Broadway Buildings, Broadway, Westminster, S.W.1, London, England.)
13. Coldress, Roadress, (Premier Bitumen and Asphalt Co., Ltd. Stratford Market, London, England.)
14. Euphalt, (Euphalt G.m.b.H. Frankfurt, Deutschland.)
15. Micmell 50%, 60%, (Société chimique de la Route, 9, rue de la Baume, Paris, France.)

第 1 表 (B)

1. Becmulse, (The Gas Light and Cokes Co., Dauntsey House, Frederick's Place, Old Jewry, London, E.C. 2, England.)
2. Tarfroid, (Tarfroid Ltd. 3, London Wall Buildings, London, E.C.2, England.)
3. Setar Emulsion, (South Eastern Tar Distillers Ltd., Tonbridge, Kent. England.)
4. Kiton, (Dr. F. Raschig. G.m.b.H. Ludwigshafen a. Rh. Deutschland.)
5. Magnon XT, (Rütgerswerke. A.G. Berlin W.35, Deutschland.)
6. Teramuls, (Gesellschaft für Teer-Strassenbau m.b.H. Essen, Deutschland.)
7. Arcit,
8. Vialit Teer Emulsion, (Deutsche Vialit Gesellschaft.)
9. Irga, (Gesellschaft für Teerverwertung.)
10. Tegaphalt Emulsion, (Gesellschaft für Teerverarbeitung, m.b.H. Schwickstrasse 47, Frankfurt a.M., Deutschland.)

其の照會に對し一部のものは全く回答なく又或るものは型錄及び仕樣書等を送り來たるも試料の送附を拒み，結局英國製アスファルト乳劑 Vialit 2 種，同 Colas 1 種及び獨逸製タール乳劑 Magnon XT 1 種合計 4 種の試料を得たるに過ぎなかつた．此等の試料の說明書には次の如き記載がある．

(A) アスファルト乳劑

1. Vialit 55 grade.　本乳劑はフラックスせざる純石油アスファルトを原料として製造したものにしてアスファルト含有量 55%，一般に粘度低く主に路面處理用 (Surface dressing) 及び撒布，透入法用 (Penetration) に適し一般に分解が速いが手撒き及び機械撒きが出來る．

2. Vialit 60 grade.　本乳劑は同上原料より製造したものにして，アスファルト含有量 60%，一般に粘度が高く主としてカーペテング (Carpeting) に適し或は場合により撒布，透入法用としても使用が出來る．之を路面に施工する時は一般に粘度が高い爲にランニングせず又アスファルト含有量が多い故に比較的に粗骨材に對しても充分なる被覆及び膠着性を有する．

3. Colas.　Colas 製品は純石油アスファルトを原料として造つた鋪裝用瀝青乳劑に

して主に壓力透入法 (Semi-Grouting; Full-Grouting); 路面處理 (Surface Dressing), 小修繕 (Patching) に使用されるものであるが, 其の他縫石及び砂利道の透入法用 (Flint and Gravel Grouting); 木塊鋪裝及び坂道及び砂利道の路面處理 (The Surface Dressing of Wood Paving; Steep Gradients; Surface Stone Sett Paving); タール,マカダム新道の路面處理 (A Topping for New Tarmacadam); 運動場及び步道の鋪裝 (Play grounds; Footpaths) 等の鋪裝工事にも使用されるものである.

(B) タール乳劑

Magnon XT. 本乳劑は獨逸產の鋪裝タールを原料として製造した水中タール乳劑 (Tar in Water Emulsion) である. 質均等に, 甚だ粘稠性の强い乳劑にして分解は遲いが骨材に對して被覆及び膠着性が良く且つ極めて安定にして長期間の使用に堪へるものである. 此の乳劑は道路の小修繕 (patching), 路面處理に使用され或は混合法用にも適當して居る. 之を撒布する場合は特に機械撒きを可とするものである.

III. アスファルト乳劑 Vialit 及び Colas の性狀

Vialit 55 grade, 60 grade 竝に Colas 及び此れと對照比較する爲めに國產市販アスファルト乳劑の代表的なもの數種及び著者が試製した試製アスファルト乳劑の數種に就て鋪裝用材料としての試驗を行つた. 試驗方法は本所規定の標準方法に準じて行つたものでその結果は第2表及び第3表 (A), (B) である. 第3表の內 (A) は國產アスファルト乳劑の市販品にして (B) は著者の試製アスファルト乳劑である. 勿論, 本邦と外國 (英, 獨) とでは國情の相違より氣候, 風土及び施行法等を異にし, 從つて製品に對する規格及び試驗方法にも多少の相違がある故にその結果より直に市販品としての兩者の良否を斷定する事は出來ないが, 此の試驗によつて外國製乳劑及び國產乳劑の性質を比較しその相違得失を明にする事が出來る. 次に, 此等の外國製乳劑と國產乳劑と比較してその性狀を論ずる.

1. 外觀 2. 比重 (25°/25°C) 3. 比粘度 (25°C., 4°C) エングラー度. Vialit 及び Colas 共に光澤のある黑褐色を呈し品質極めて均等である. 國產市販及び試製乳劑も共に黑褐色を呈し品質均等であるが光澤が少い. 比重は前者 1.010～1.020 にして後者 1.005～1.015 の範圍に位し著しい差を認めない. エングラー比粘度は Vialit 55 grade 及び Colas は 25°C に於て 3.0～8.0; 4°C に於て 5.0～12.0 にして國產市販及び試製アスファルト乳劑の透入法用乳劑に相當して居る. 然るに Vialit 60 grade は 25°C 及び 4°C に於て粘度が遙に高く國產混合法用乳劑に類似して居る. 比粘度及び後述の分解速度の測定よりして前の2者は路面處理及び透入工法に適し後者は骨材との混合工法に便なるものと考へられる. 但し Vialit 60 grade はその分解性は國產混合用乳劑に比すると遙に

第　2　表　外國市販品

試料名 / 試験項目	Vialit 55 grade	Vialit 60 grade	Colas
1. 外觀	黒褐色にして均等なるアスファルト乳劑	黒褐色均等にして粘稠性なるアスファルト乳劑	黒褐色にして均等なるアスファルト乳劑
2. 比重 25/25°C	1.013	1.017	1.015
3. a. 比粘度 25°C, エングラー度	3.7	13.1	7.5
b. 比粘度 4°C, 同上	5.5	21.1	11.6
4. 水分含有量 % (W) キシロール蒸溜法	45.15	40.15	43.50
5. 瀝青質殘留物			
a. 含有量 % (W)	54.85	59.85	56.50
b. 比重 25/25°C	1.026	1.026	1.029
c. 瀝青 CS_2, %	99.82	99.83	99.88
d. 針度 25°C, 100g, 5 sec.	192	190	220
e. 延性 15°C, 5cm/sec, cm.	>100	>100	>100
同上 4°C, 5cm/sec, cm.	>100	>100	>100
f. 軟化點 R&B, 5°C/min, °C	36.8	38.5	36.0
6. a. 分解速度 20°C, min	35~40 min	50~60 min	40~50 min
b. 被膜の狀態	膠着性優良	同	同
c. 分解値 (Z.W.) 石灰石	5.0	1.4	5.2
7. 貯藏安定度 (1 週間)			
a. 定性試驗 (h)	2.5 mm	3.0 mm	2.0 mm
b. 定量試驗 % (W)	2.3	3.8	2.4
8. 低温安定度 −5°C, 3h	安定	安定	安定
9. 混水安定度	安定	安定	安定
10. 分散度試驗			
a. 平均直徑 D_0 (μ)	2.84	—	2.94
b. 確率直徑 $\overline{D}_w$ (μ)	2.52	—	2.61
c. 第二確率直徑 D_w (μ)	2.25	—	2.95
用途	一般の 1. 表面處理用 2. 撒布透入法用	1. カーペテング及び路面處理用 2. 機械撒き撒布用 3. 路上混合法用	1. 路面處理用 2. 撒布. 透入法用

速いから粘土，砂及び其の他の細骨材との混合には適當せず，一般に粗骨材との路上混合に最も適當し，又そのアスファルト含有量の大なる點より見ても粗骨材に對して充分なる締合力を有するものと考へられる．要するに此の乳劑は廣く混合用として用ひられる他に，

第3表 (A) 國産市販品

試料番號 / 試験項目	撒布.透入法用アスファルト乳剤				混合法用アスファルト乳剤		
	F	E	C	K	G	H	B
1. 外觀	黑褐色均等	同	同	同	同	同	同
2. 比重 25/25°C	1.005	1.005	1.007	1.005	1.015	1.010	1.008
3. a. 比粘度 25°C, エングラー度	2.9	2.8	2.8	2.6	10.7	10.4	4.2
b. 比粘度 4°C, 同 上	4.6	4.8	4.8	5.2	15.8	15.4	7.9
4. 水分含有量 % (W)	49.5	49.5	47.8	45.5	43.0	45.0	45.0
5. 瀝青質殘留物							
a. 含有量 % (W)	50.5	50.5	52.2	54.5	57.0	55.0	55.0
b. 比重 25°/25°C	1.013	1.016	1.014	1.012	1.019	1.017	1.012
c. 瀝青 CS_2, % (W)	99.4	99.4	99.3	99.8	99.6	98.5	99.2
d. 非瀝青質	0.6	0.6	0.7	0.2	0.4	1.5	0.8
e. 針度 25°C, 100g, 5sec.	145	132	143	110	93	125	144
f. 延性 15°C, 5cm/min, cm	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
g. 軟化點 R&B,5°C/min,°C.	36.5	36.0	35.5	38.0	43.0	39.0	35.0
6. a. 分解速度 20°C	40 min	45 min	30 min	45 min	2½~3 h	3½~3 h	2½~3 h
b. 被膜の狀態	膠着性良好	良	良	良	良	良	良
c. 分解値 (Z.W.) 石灰石	10.6	11.2	7.5	5.2	1.9	2.2	2.1
7. 貯藏安定度 (1 週間)							
a. 定性試驗 (h)	6 mm	3 mm	3 mm	3 mm	8 mm	2 mm	3 mm
b. 定量試驗 % (W)	1.7	1.1	1.6	0.2	2.8	1.0	0.8
8. 低温安定度 −5°C, 3h	安定	安定	安定	稍不安定	安定	安定	安定
9. 混水安定度	—	—	—	—	良	良	良
10. 分散度試驗							
a. 平均直徑 D_0 (μ)	4.84	2.84	2.72	1.77	1.50	1.46	1.65
b. 確率直徑 $\overline{D}_{50}$ (μ)	4.26	2.52	2.40	1.57	1.50	1.30	1.48
c. 第二確率直徑 D_{50} (μ)	4.43	2.63	2.00	1.50	1.50	1.10	1.60

場合によりてはタンク，カーを使用して機械撒きにより撒布用としても使用が出來るものである．

4. 水分含有量　5. 瀝青質殘留物　水分はキシロール蒸溜法にて測定したるに，Vialit 及び Colas 凡そ 40.0~45.0%，及び國産乳劑は 43.0~49.5% を含有して居る．次に，一般に乳劑より水分を除きたる殘部の成分を瀝青質殘留物と云ふ．之は乳劑が路面に於て分解したる後，骨材面に膠着して殘留する瀝青質の物質と略ゝ類似なものと考へられ，膠着材の主體をなす重要なる成分である．從つて，之れが試驗は膠着材の性質及び進

第 3 表 (B) 試製乳劑

試料番號 / 試驗項目	撒布透入法用試製アスファルト乳劑 (現場用)				混合法用試製アスファルト乳劑 (現場用)	
	AI No. 3	AI No. 5	AI No. 6	AI No. 7	AI No. 11	AI No. 12
1. 外觀	黑褐色均等	同	同	同	同	同
2. 比重 25/25°C	1.008	1.008	1.007	1.008	1.011	1.013
3. a. 比粘度 25°C, エングラー度	2.4	2.8	3.2	2.3	3.7	3.9
b. 比粘度 4°C, 同上	3.6	5.0	5.2	4.1	8.5	9.6
4. 水分含有量 % (W)	47.0	47.6	46.6	47.8	44.0	43.7
5. 瀝青質殘留物						
a. 含有量 % (W)	53.0	52.4	53.4	52.2	56.0	56.3
b. 針度 25°C, 100g, 5 sec.	143	136	126	110	96	99
c. 延性 5°C, 5cm/min, cm.	>100	>100	>100	>100	>100	>100
d. 瀝青 CS_2 %	99.43	98.88	99.00	98.83	98.22	98.35
6. 分解試驗						
a. 分解速度 10°C	45~50 min	45~50 min	40~45 min	40~45 min	1½~3.0 h	1½~3.0 h
b. 被膜の性質	膠着性良好劍尖, 乳化零せず	同	同	同	同	同
7. 貯藏安定度						
a. 1 週後の定量試驗 % (W)	2.1	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0
b. 3 週後の定量試驗 % (W)	4.4	1.2	3.3	1.8	−1.8	−1.8
c. 1~3 週後の分離水層 (h)	2~3.0 mm	0~1.2 mm	0~2 mm	1.5~1.5 mm	0~0.0 mm	0~0.0 mm
8. 低温安定度	安定	安定	安定	安定	安定	安定

〔註〕 原料アスファルトは小倉石油株式會社製石油直溜アスファルトにして, 比重 (25°C) 1.009; 針度 (25°C) 142; 延性 (15°C)>100; 蒸發減量 (163°C) 0.07%; 二硫化炭素可溶成分 99.9% のものである.

んで原料瀝青物質の性質を判斷するに必要なる事項である. その試驗結果より見ると, Vialit 55 grade 及び Colas は瀝青質殘留物の含有量 55.0~56.5%; Vialit 60 grade は 60.0% である. 一方國產アスファルト乳劑は透入用乳劑が 50.5~54.5%; 混合用乳劑が 55.0~57.0% の範圍にある.

Vialit 55 grade 及び Colas を國產透入用アスファルト乳劑と比較すれば外國製品の方がアスファルト含有量 2.0~4.5% 程度多く, Vialit 60 grade を國產混合用乳劑と比すれば外國製品の方が 3.0~5.0% 多い. 依つて此の事情より推察すると一般に外國製市販品の方

が國產市販品より概してアスファルト含有量が多いものと見る事が出來る．その他，外國文獻を見るとアスファルト含有量 60%，65% 程度のものが廣く存在すると云ふ記載がある．國產製品には今日未だ同一會社の製品にして常にアスファルト含有量の一定しないものがある．

瀝青質殘留物の比重 (25°/25°C) は兩者略〻等しく 1.010～1.025 の程度であるが第2表より見ると外國製のものが少しく高く出て居る．元來瀝青質殘留物は原料アスファルトに乳化劑及び安定劑の混じたるものにして之より直に原料アスファルトの比重を比較する事は出來ない，從つて後に述べる如く外國製品が著しく安定度の良い點より考へてその乳劑の內には乳化劑及び安定劑が少しく多量に使用されて居るとも解釋される．

純瀝青分なる二硫化炭素可溶成分は外國製品 >99.8%；國產乳劑は 1，2 を除いて >99.0% にして大部分二硫化炭素可溶成分よりなる．

アスファルト質殘留物の針度及び延性を見るに外國製乳劑より回收せるものは針度 (25°C) 190～220 及び國產乳劑に於ては 90～150 である．今水分の蒸發の爲めに行ふ加熱操作に依つてその質が少しく硬化し針度凡そ 10% の減少をしたものと假定すれば，原料アスファルトは大體外國製品に於て針度 (25°C) 200 以上，國產品に於て 100～165 のものであると推定する事が出來る．延性は兩者を通じて >100 にして充分なる伸張性を表して居る．要するに上述の試驗結果より考察して外國製品なる Vialit 及び Colas はその原料の瀝青物質として石油直溜の純アスファルト或は少しく之をフラックスせるものにして針度 (25°C) 200 以上の極めて軟質のアスファルトを原料として製造したものと推定する事が出來る．

6. 分解試驗　乳劑が路面に撒布され或は骨材と混合された後に分解を初め骨材面にアスファルト質被膜を形成するに要する時間，卽ち分解速度は Vialit 55 grade 及び Colas に於て 35～50 分；Vialit 60 grade は約 80 分である．

國產品は透入用乳劑が 30～50 分；混合用乳劑は凡そ 2～2½ 時である．此處に注目すべきは Vialit 60 grade の分解性である．此れは分解が透入用としては少しく遲く混合用としては少しく速きに失する傾がある．此れは前に述べた如く粘度高く又アスファルト含有量も大なるところより路面處理又は殊にカーペテング或は路上混合用に最も適當なるものと考へられる．元來英，獨に於てはその分解の遲速よりして一般瀝青乳劑を Slow-Breaking (Stable), Medium-Breaking (half-stable) 及び Rapid-Breaking (unstable) Emulsion の 3 者に區別して居る．此の分類に依ると Vialit 55 grade 及び Colas は Rapid Breaking Emulsion に屬し，Vialit 60 grade は Medium-Breaking Emulsion に屬するものと考へられる．Stable Emulsion は普通の骨材は勿論如何なる電解質 (Electrolyte)

にも容易には分解されない乳劑にして主にセメント及び微粉狀の細骨材との混合に使用されるものである．此種の乳劑は普通の乳劑と少しくその組織を異にして Pickering Emulsion（水溶性の乳化劑を使用せず或種の微粉狀の粘土を使用して瀝青物質を乳濁化したもの）或は此に類する乳劑であると想像される．國産乳劑には未だ完全にこの種に類する乳劑の出現を見ない．

外國製品及び國産品共に分解の完結したる後はアスファルト質被膜と骨材との膠着は良好にして被膜の分離剝落及び水による再乳化作用等は全く認められない．

7. 貯藏安定度　8. 低溫安定度　9. 混水安定度　Vialit 並に Colas 及び國産乳劑の大部分は靜置貯藏期間一週間に亙る貯藏安定度試驗に於ては乳劑の上下兩部分に於けるアスファルト含有量の差，卽ち貯藏安定度 10% 以下にして共に安定である．

然しながら貯藏期間が $\frac{1}{2}$～1 年以上の長期間に亙る時は國産品の大部分は分散せるアスファルト微粒子の凝結（Coagulation）による瀝青質の粒狀物或は底部に於ける沈積物等を生じ或は分解して質の均等を失ふものが數々ある．此れに反して Vialit 及び Colas は此の長期間に多少の分離の傾向を表すも簡單なる攪拌に依り容易に原の均等な乳化狀態に復し全く凝結物の生成或は分解を生ずる傾向がなく乳劑として長期間安定である．此等の事項より此の種の製品はその製造に際して原料アスファルトの精選，乳化裝置の完備及び乳化劑，安定劑の選擇配合に充分なる配慮と研究とが行はれて居るものと考へられる．次に Vialit 及び Colas 共に低溫安定度は良好にして一旦凍結するも溫度が常溫に復る時には再乳化して均等な原の乳劑に復する．市販の國産製品は低溫に安定なるものと不安定なものと相半ばする程度にして猶此の點に改良を要すべきものが數種ある．著者が試製したる試製アスファルト乳劑はその大部分が低溫に安定なものであつた．混水安定度はすべて良好である．

10. 分散度試驗　顯微鏡試驗により乳劑中に分散せるアスファルト微粒子の直徑を測定するに Vialit 55 grade 及び Colas の平均直徑 D_0 は 2.5～3.0μ($\mu=\frac{1}{1000}$mm) である．國産市販アスファルト乳劑に於ては透入用乳劑にて 2.0～4.8μ；混合法用乳劑にて 1.0～2.0μ である．從つて Vialit 55 grade 及び Colas の分散アスファルト微粒子の大さは國産透入用乳劑のものに類する事を知る．尙此れが實測の顯微鏡寫眞及び分散度に關する研究事項に就ては本所報告第 26 號及び第 32 號に記載してある．

IV. タール乳劑 Magnon XT の性狀

〔1〕 鋪裝用乳劑としての性質

此の乳劑の鋪裝用材料としての試驗結果は第 4 表 (A) 及び (B) である．

(A) Magnon XT は黒褐色の極めて粘稠にして質の均等なるタール乳劑で少しく石炭・タール臭を有し比重 (25°C) は 1.112 である．エングラー比粘度 (25°C) は其の儘で 15:6 にして少しく粘稠であり撒布には不適當と考へられるが乳劑を清水を以て稀釋しタール質含有量 55% とせるもの＞比粘度は甚だしく減少し一般の撒布に便なるものとなる．

水分含有量は凡そ 40% にしてタール質殘留物含有量は凡そ 60% である．從つて此れは前述の Vialit 60 grade に類する乳劑である．本乳劑より回收したるタール質殘留物に就ては別に試驗を行ひ第4表 (B) にその結果を示しその性質に就ては後に記述する．此の乳劑の分解は之を透入用乳劑の分解速度の測定によれば約 70 分にして碎石 (硬質石灰岩 ϕ: 6～12 mm) 面に黒色の光澤のあるタール質被膜の形成が認められる．之を2時間室溫にて乾燥した後 25°C の清水にて洗滌する時は幾分再乳化してタール質被膜の剝落を認めるが 3 時間後には稍〻分解が完成して全く再乳化の現象を認めない．混合用乳劑の分解法によれば約 6～8 時にして碎石 (硬質石灰岩 ϕ: 6～9 mm) 面に分解により生じたるタール質被膜を生じ之を清水にて洗滌するも再乳化現象は認められない．上述の分解試驗により分解の經過を見るに此の乳劑と骨材とを混合する場合に乳劑の一部分が幾分早期の分解をなす傾向があり又分解により形成するタール質物質の一部分は膠着性の被膜を形成せず互に融着して塊團狀をなす場合がある．斯くの如く此の種の乳劑が骨材と混合して分解後形成する膠着材なるタール質被膜は一般のアスファルト乳劑が形成するアスファルト質被膜に比し少しく脆くして骨材面より剝落する傾向がある．此の原因を考へると，アスファルトとタールとは元來瀝青自身の化學組成が異るに依るは勿論であり，從つてその膠着性及び風化に依る變質の相違も考へられるものであるが，殊にタール乳劑の場合にはその安定度を良くする爲めに原料タール物質に他系の瀝青物質或は樹脂，油脂類等を一部分混和したか，或は多量の乳化劑又は安定劑を含める乳化溶液を使用した結果に依るものとも考へられる．

飜つて，外國製タール乳劑の製法又は特許等に關する文獻を見るに原料なるタール物質に純コール・タールを單獨に使用する例はあまりなく之に軟質のアスファルト又はフラックス油の一部分を混和し或は特殊の樹脂及び油脂類又はパルプ製造に於ける亞硫酸蒸煮液の濃縮物等を混和し更に此れに比較的多量の乳化劑及び安定劑を配合して特にその安定度を良好にする爲めに意を用ひた例が甚だ多數である．

本乳劑の貯藏安定度は頗る良好にして 1 週，3 週は勿論，13 週間 (約 3 ケ月) 貯藏後に於ても安定度僅に 19.5% にすぎない．本製品は到着後凡そ 1 ケ年を經るも乳劑は少しく上下兩層に分離し下層の內容物は濃厚にして極めて粘稠の半液狀物となる程度にすぎずして未だ分解はせず，全體を强く攪拌混合すれば再び舊態に復し均等の乳濁液となる．要

第 4 表 (A)
乳劑の性狀試驗

試驗項目 ＼ 試料名	Magnon XT
1. 外觀	黒褐色均等にしてコール・タール臭を有する濃稠なるタール乳劑
2. 比重 25/25°C	1.112
3. 比粘度 25°C, エングラー度 (E°)	15.6
a. 同 55% 乳劑, 25°C.	5.6
b. 同 55% 乳劑, 4°C.	13.7
c.* $E°_{4°C}/E°_{25°C}$	2.4
4. 水分含有量 % (W)	40.87
5. 瀝青質殘留物	
a. 含有量 (蒸溜法)	59.13
b.† 含有量 (蒸發法)	(55.10)
6. a. 分解速度 20°C, (撒布法用)	70 min
b. 被膜の狀態 3 時間後 (撒布法用)	分解完結し, 被膜剥落, 再乳化なし
c. 分解速度 20°C, (混合法用)	6~8 hrs.
7. 貯藏安定度	
a. 1 週間後 % (W)	2.7
b. 2 週間後	3.0
c. 4 週間後	7.7
d. 13 週間後	19.5
8. 低温安定度 −5°C, 3 h.	安定
9. 混水安定度	安定
10. 分散度試驗	
a. 平均直徑 D_0 (μ)	2.28
b. 確率直徑 $\bar{D}_w$ (μ)	2.05
c. 第二確率直徑 D_w (μ)	2.15
用　途	一般に, 路上混合及び機械混合法用.

〔註〕 3. c.* は稀釋乳劑に就ての 4°C 及び 25°C の比粘度の比である.
5. b.† は蒸發皿を使用しての加熱蒸發法によつたもので瀝青質殘留物の正確なる含有量を示したものではない.

第 4 表 (B)
回收タール物質の性狀試驗

試驗項目 ＼ 試料名	Magnon XT
1. 一般性質 (乳劑より水分を除きたる殘留物にして此の内にはタールの他各種の添加物を含む)	黒褐色にして光澤なくタール臭を有する. 半固狀の瀝青質物質である.
2. a. 比重 15/15°C	1.174
b. 比重 25/25°C	1.168
3. a. 比粘度 100°C, エングラー度	17.8
b. タール粘度 50 cc, 35 c, sec.	213.3
4. 針度 25°C, 100 g, 5 sec	>300
5. 延性 15°C, 5 cm/sec, cm.	—
6. 浮游試驗 50°C, sec.	115
7. 軟化點 R & B, °C	28
8. 引火點 開放式, °C	74
9. 蒸溜試驗	
初溜温度 °C	91°C
a. 初溜~170°C % (W)	4.48
b. 170~270°C %	6.27
c. 270~300°C %	6.65
d. >300°C 殘留物 %	82.52
試驗損失	0.08
總計	100.00
10. 蒸溜殘留物 (>300°C) の性質	
a. 針度 25°C.	23
b. 延性 15°C, cm	0.5
c. 延性 25°C, cm	76.5
d. 軟化點 B & R, °C	57
11. 瀝青分 CS_2 %	86.69
12. 遊離炭素 %	9.73
13. タール酸 (170~270°C) % (Vol.)	0.37
14. 粗ナフタリン (170~270°C) %	0.72
15. 粗アントラセン (300~350°C) %	5.22

するに本乳剤は貯藏に極めて安定なる乳剤にして時々内容物を攪拌すれば 1 ケ年以上の貯藏に堪へ使用に支障を來さないものである．其の他低溫及び混水にも安定である．

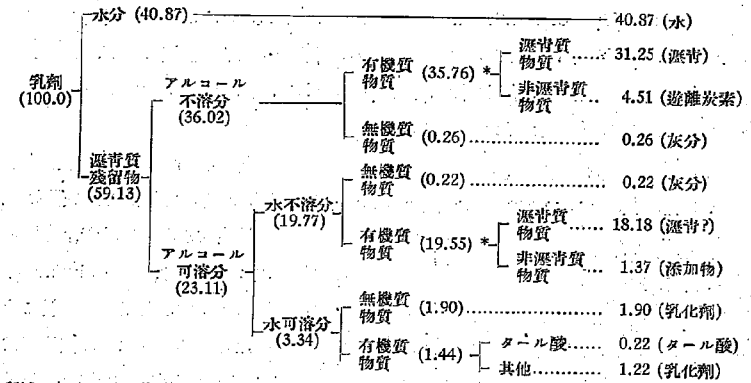
(B.) タール質殘留物は乳剤より水分を蒸溜して回收したものにして加熱に依る硬化を受けて居るから原料タールに比し幾分變質し又乳化の際に使用した乳化劑，安定劑等の添加物の若干量が混入して居る．從つて此のタール質殘留物は原料のタール物質及び乳劑が分解して骨材に膠着するタール質被膜とは多少性質の異るものである．その比重(25°/25°C)は 1.168 にして普通の鋪裝用タールよりも幾分少く，又比粘度，軟化點，針度及び二硫化炭素可溶物質竝に遊離炭素含有量等より見て一般にアスファルトよりは遙に軟質なるタール系瀝青物質であることは明かである．次に蒸溜試驗の結果より見ると概して中油分が少く從つてタール酸及びナフタリンの含有量が少く却て 300°C 以上のアントラセン油分が多く又 300°C 以上の蒸溜殘留物の性質は第 4 表 (B) より明かなる如く上述の回收タール殘留物に比すれば硬質である．要するに，第4表 (B) に示せる試驗結果より考へて原料のタールは比較的に硬いタールをアントラセン油にてカット・バックせるものと考へられ大體本所規格案加熱混合法用タール G 又は F 種，或は DIN 規格のアントラセン・カットバック・タール 60/40 種に略、該當するものであると考へられる．

從つて，本乳劑は鋪裝用加熱混合タールを原料として製造した一般の混合用或は混合マカダム用乳劑と見るべきものである．

〔2〕 乳劑の組成に就ての考察．

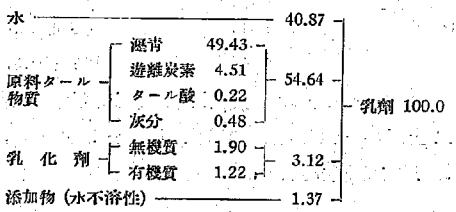
本タール乳劑の製造に際しての原料タール及びタール混和物及び乳化劑，安定劑の配合割合即ちその組成に就て少しく考察する爲めに上述の試驗及び此の乳劑に就て行つた分析操作の結果を纏めると第 5 表 (A) 及び (B) が得られる．第 5 表 (A) の左端より乳劑をアルコール及び水を以て處理して不溶物及び可溶物とに分別し，次に不溶物は二硫化炭素に依る溶解性により瀝青及び非瀝青物質竝に有機及び無機物質を區別し，右端にその主成分と考へられる物質を記し，尙各名稱に附記した數字は乳劑に對する重量百分率を表したものである．次に本表より乳劑製造の際の原料配合の大略を推定すれば第 5 表 (B) の如くである．此の表より本乳劑は水 40～41%，原料タール物質 54～55%，乳化劑及び安定劑 4～5 % 程度の配合割合を以て製造したものと推測する事が出來る．原料タール中には上述の如く相當に多量のアスファルト系瀝青物質或は特殊樹脂類等の有機質混合物の存在が想像されるがその含有量は上記の試驗のみでは未詳であり，又乳化劑の種類に就ても不明であるが無機物質として硅酸曹達類を相當に多く使用して居る形跡が見え，又有機物質としては石鹼類，膠，ゼラチン等が乳化劑して使用されて居ると推測される．アルコールに可溶にして水に不溶の有機質非瀝青物質 (1.37%) は恐らく乳化に際して原料タールか乳

第 5 表 (A)



〔註〕 * は二硫化炭素を使用してその溶解性より分別する.

第 5 表 (B)



化溶液に混和された特殊の添加物でないかと考へられるがそのもの>種類に就ては全く判然としない.

その他, 從來の文獻に表れた外國製タール乳劑に就て述ぶれば次の如くである.

1. Kiton.

Dr. F. Raschig G.m.b.H. (Ludwigshafen a. Rh. Deutschland) の製品にしてタール質瀝青を或種の膠質粘土を含める水溶液に分散せしめた一種の懸濁液 (Suspension) である.

此の組成はタール分 60%; 油脂を含める粘土分 10%; 水分 30% である. 此の乳劑は水に依つて自由に稀釋する事が出來, 主に碎石道路の路面の塗裝用に使用することが出來る. 撒布して使用する場合は豫め水で稀釋してその粘度を減じ, 之を 2~4 kg/m² の割合に撒布する. 又此の乳劑に赤土を含める砂を混じて作つた乳劑のモルタルは乾燥後非常に硬く路面處理に供せられる.

2. Teramuls.

Gesellschaft für Teerstraßenbau m.b.H. (Essen, Deutschland) の製品にしてタール分 95%，水分 5% よりなるタール中に水を分散せしめた乳劑即ち Water in Tar Emulsion にして常温にて粘稠な糊狀をなすものである．此の乳劑の原料タールの組成に就ての規定は第 6 表に示したものである．

第 6 表

1.	外觀	黒色にして光澤あり，粘稠なタール物質
2.	比重	≦1.225
3.	水及びアンモニヤ分	≦1%
4.	蒸溜分	
	初溜～170°C	≦1%
	170～270°C	12～24
	270～300°C	4～12
	300～360°C	12～17
5.	蒸溜殘留物 (>360°C)	≧60%
6.	無機物質	0.32%
7.	遊離炭素	≦22%
8.	ナフタリン	≦ 8%
9.	石炭酸	≦ 5%

此の乳劑の中で O 印は路面處理，P 印は路床の上に撒布するに適當せるもので前者は $1\frac{1}{4}$～$1\frac{3}{4}$ kg/m²；後者は 3～4 kg/m² の程度に使用すると云ふ．一般に此の乳劑を用ふる時はその儘使用せず之を水にて稀釋し攪拌して稀釋乳劑を造つて使用するか或は稀釋乳劑を凡そ 80°C に加熱しつゝ攪拌して安定な乳劑を造つて之を使用すると云ふ．此等の點より考へて此の製品は工事の現場に於て手輕に瀝青乳劑を造る爲めの乳素（瀝青物質に豫め乳化物質を混和して置き之を現場にて水と混合し不安定な乳劑を造つて直に使用するもの）とも稱すべき種類のものであると推測される．

3. Arcit.

此は從來主に佛國に於て使用された 3～5% の水分を含有する前記のタール乳素に類するものにして現場に於て水と種々の割合に稀釋して簡單に一種の不安定なタール乳劑を造つて用ふるものである．其の原料瀝青物質はコール・タールに 10～20% の石油アスファルトを混和し且つ之れに乳化劑を配合したもので乳劑は如何なる割合の水にても混合稀釋が容易に出來る樣に造られたものである．斯くして造られたタール乳劑は路面處理或は撒布透入用として使用される．

V. 國産タール乳劑に就て

前に述べた如く本邦に於ては道路鋪裝用材料としてアスファルトに比しタールの利用は遙に後れ，從つてアスファルト乳劑の進歩に比してタール乳劑は今日猶研究の時代を脫せず，適當な市販品の出現は未だなく僅にタール利用に便なる地方に於て此の製造が試みられて居る狀態である．此の狀態に鑑み本所に於ても最近之れが研究を行つてその一部を完

第 7 表 (A)

試料名 / 試験項目		Y.E. No. 1 (2022)	Y.E. No. 2 (2023)	R.E. (2043)	備考
1. 外觀		黒褐色にして稍不均等なるタール乳劑	同	黒色にして不均等なるタール乳劑	1. Y.E. No. 1 は質不均等にして分解甚だしく試驗期間(約 2 週間)中に大部分分解し之を攪拌するも再乳化せず質も均等にならず。
2. 比重	25°/25°C	1.040	1.115	1.097	
3. a. 比粘度	25°C. エングラー度	不均等にして分離タール質多く測定不可能	同	2.0	2. Y.E. No. 2 同様.
b. 比粘度	4°C. エングラー度			8.2	3. R.E. 稍同様.
4. 水分含有量	% (w)	68.0	40.0	52.5	
5. 瀝青質殘留物含有量	% (w)	32.0	60.0	47.5	
a. 比重	25/25°C	1.222	1.204	—	
b. 瀝青分	CS_2%	85.56	86.31	—	
6. a. 分解速度	20°C, min.	分解甚だしく測定不可能	同	30	
b. 分離被膜				不良	
7. 貯藏安定度	7日				
a. 定性試驗	mm.				
b. 定量試驗	%	78.3	78.0	65.4	

成し先づ現場用乳劑として適當なタール乳劑の試製に成功し且つ鋪裝材料としての性狀に就て研究した．第 7 表 (A) 及び (B) は本所に於て取扱ひたる國產タール乳劑の試驗結果にして，その內 (A) は本邦の民間會社にて製造したタール乳劑であり，(B) は本所に於て試製したタール乳劑である．第 7 表 (A) に示す如く民間會社の試製になる市販品は何れもその質不均等にして分離したタール質が底部に沈積し之を强く攪拌するも一部分は再乳化するが大部分は既に分解してタールを分離し原の乳化狀態に復らない，一般に安定性に乏しく之が性狀試驗の期間中 (凡そ 2 週間) に分解して乳劑としての試驗が不可能になる場合が多い．其の他粘度，タール含有量が區々にして性質の一定せる製品とは判じ難いものである．第 7 表 (B) は本所に於て試製したるタール乳劑の內比較的に良質なるもの 3 數種を試驗した結果である．此等の乳劑は製造後凡そ 1 ケ月にして底部に一部のタール質の沈積を見たが攪拌により容易に原の乳化狀態に復し質均等となるものである．製造してより數週後，材料の性質試驗を行ふもその期間中に變質し或は分解して試驗に支障を起すことはない．原料のタールに就ても豫め所定の性狀檢査を行ひて選擇したもので鋪裝材料として適當なものと考へられるものである．分解は一般にアスファルト乳劑に比すれば少しく遲い缺點はあるが骨材に膠着したタールは充分なる膠着性と被覆性とを有し，又

第7表 (B)

試料名 / 試験項目	撒布，透入法用試製タール乳剤（現場用）				混合法用試製タール乳剤，（現場用）			
	Y.D. [I] No. 2	Y.D. [V] No. 2	Y.D. [V] No. 3	Y.D. [V] No. 4	Y.E. [6] No. 3	Y.E. [6] No. 4	Y.E. [6] No. 5	Y.E. [8] No. 3
1. 外觀	黒褐色にして强きタール臭を有する乳剤	同	同	同	同	同	同	同
2. 比重 25/25°C	1.114	1.115	1.118	1.116	1.122	1.112	1.131	1.140
3. a. 比粘度 25°C, エングラー度	2.8	2.8	3.0	3.8	3.0	3.5	3 6	4.5
b. 比粘度 4°C, エングラー度	8.2	8.0	8.5	10.2	9.5	7.7	8.7	13.9
4. 水分含有量 %(W)	50.0	50.0	50.0	50.0	45.0	45.0	45.0	45.0
5. タール瀝青物質								
a. 含有量 (W)	50.0	50.0	50.0	50.0	55.0	55.0	55.0	55.0
b. 浮游試験 32°C. sec.	—	—	—	—	183	238	140	130
c. 軟化點 R & B, C°	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	20	22	18	17.5
6. a. 分解速度	40～45 min.	50～60 min	50～60 min.	60～80 min.	1～1½ hr.	1～1½ hr.	1～1½ hr.	1～1½ hr.
b. 被膜の狀態 3hrs	膠着性良好，分解完結後再乳化せず	同	同	同	同	同	同	同
7. 貯藏安定度	製造後凡そ 1～1½ 月安定				製造後凡そ 2～3 月安定			

〔註〕 1. Y. D. [I]～[V] は原料タール物質に純タールを，Y. E. [6]～[8] はタール・アスファルト (10～20%) 混合物を乳化したものである．

2. 水分及びタール瀝青物質は實際の乳化に際しての配合割合にして乳劑よりの回收による測定値ではない．

分解の完結した後は再乳化しない．

然れども此等の國產タール乳劑は長期の貯藏に堪へ得る安定度に於て前述の外國製品 Magnon XT に遙に劣つて居る．此の意味に於て未だ此の點に就て研究の餘地があるものである．

VI. 要　約

1. 英國製鋪裝用アスファルト乳劑 Vialit 55 grade, 60 grade 及び Colas 竝に獨逸製タール乳劑 Magnon XT に就て材料試驗を行ひ，その性質を國產アスファルト及びタール乳劑の市販品竝に試製乳劑の性狀と比較を行つた．

2. アスファルト乳劑 Vialit 及び Colas は品質極めて均等，乳化完全にして特に貯

藏，混水及び低溫に對して安定度が最も良好にして長期間（一ケ年以上）の貯藏後も使用に堪へ得るものである．國產品中には，未だ此の點に改良を要するものが今日相當に存在する．

3. Vialit 及び Colas はアスファルト含有量 55% 及び 60% にして國產アスファルト乳劑に比し凡そ 5% 程度その含有量が多い．次に，原料アスファルトは針度（25°C）200 程度の軟質アスファルトを使用し，そのアスファルトは試驗の結果に依ると其性質が優良なものである．國產アスファルト乳劑の原料アスファルトも近來その選擇吟味に漸く注意されて良質のアスファルトが使用される樣になつた．

4. Vialit 及び Colas 共に安定な乳劑であると同時に分解も程よく，又分解後形成したアスファルト被膜は骨材に對して充分なる被覆性及び膠着性を示して居る．分解性より此の製品を區分すると，Vialit 55 grade 及び Colas は Rapid-Breaking Emulsion に，Vialit 60 grade は Medium-Breaking Emulsion に屬すべきものであると考へられる．次に，用途より見ると Vialit 55 grade 及び Colas は撒布透入用に適當し Vialit 60 grade は粗骨材との混合用に適當するものであるが又タンク・カーを使用すれば機械撒きが出來るものである．

5. タール乳劑 Magnon XT は頗る粘稠なる乳劑にして品質極めて均等，頗る安定であり，同樣に長期間の貯藏中に變質することなく永く使用に堪へる乳劑である．低溫及び混水にも安定である．

6. Magnon XT はタール含有量 60% にして回收タール分に就ての試驗より原料タールを推測すると，アントラセン・カットバック・タールに他系の遲青物質或は樹脂等を一部分混和したものであると考へられる形跡がある．又タール酸，ナフタリン等の含有量の少い所より原料コール・タールは精製加工されだものであること明である．

7. Magnon XT の分解は混合用としての分解試驗によると同種のアスファルト乳劑に比して遲く分解の完結に少しく長時間（6 時間以上）を要する．分解後形成したタール質被膜は一般のアスファルト乳劑が形成するアスファルト質被膜に比し少しく脆く膠着性に缺け骨材より剝落する傾向が見受けられる．著者がタール乳劑の試製及び其の試驗よりの經驗よりしても一般にタール乳劑の分解は正調ならざるものがある．

8. Magnon XT の組成に就ての試驗及び著者が試みたるタール乳劑試製の結果より考へて，アスファルトの乳化の場合に比し安定なるタール乳劑の製造には多量の乳化劑及び安定劑の添加を必要とし，從つて安定なるタール乳劑にはタール遲青分以外に當然多量の添加物が含有されて居る事が肯定される．

9. 英，獨に於ては此の他にも各種のタール乳劑が存在するも本邦に於ては一般にタ一

ル乳劑は普及せず未だ適當なる市販品を見ない.

10. 試料に供した外國製品は數多の中比較的に著名にして良質なる乳劑製品である, 故に此の試驗結果のみよりして一般に國產品に比し外國製品が良質にして安定であると斷ずることは早計である.

〔附記〕 1. 試製タール乳劑に就ては實驗室に於て短期の使用に堪へ得る現場用乳劑の試製とその性質調査の一部の試驗を完成したのみで更に實際上の低溫, 運搬及び長期間の貯藏に堪へ得る安定度のものに就ては未だ試驗が進まず, 更に鋪裝材としての實際の道路試驗を經ざる故に此の方面に就ては將來の研究事項に屬するものである.

2. タール乳劑 Magnon XT の性狀に關する試驗に就ては內務技手松本榮氏を煩したものである. 錄して厚く感謝の意を表す.

(昭和 11 年 3 月 — 1936)

土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響

內務技師　山　田　　元

目　次

緒　言……（1）
I　試驗方法……（1）
II　試驗結果……（2）

緒　言

土砂の安定强度に對して，供試體製作當初の壓力が如何に大なる影響があるかは既に本所報告第三十一號で明にしたが，同試驗に於ては壓力が所定の壓力度に達すれば直に漸減せしめて無荷重に返らしめ僅に一回極めて短時間所定の壓力度を與へたのみで加壓時間又は其回數の影響に關しては何等知る所がなかつた．然るに此種塑性的材料の安定强度に對しては載荷時間の影響の大なるべきは想像するに難くないが，變形量多き此種材料に大なる一定壓力を長時間加へるに必要なる設備を有せざるを以て本試驗に於ては先づ同樣の方法を以て加壓を繰返し，加壓回數が土砂供試體の製作直後及乾燥後の安定强度に如何なる影響を與へるかを知り，以て土砂道又は路床築造の資に供せむとするものである．

I. 試　驗　方　法

〔1〕 試驗概說

試驗は，直徑 102 mm，高さ約 83 mm の圓柱形に加壓成形せる供試體の上面中央に直徑 75 mm の圓形加壓面を通して加壓し，其最大壓縮强度を算定せるものにして，供試體の材料，製作及乾燥方法，及試驗方法等は總て土木試驗所報告第三十一號所載「土砂の安定强度試驗」に準じた．

配合又は製作壓力に由る相違は中間法に依つて略ゝ察知し得ること前報告に由つて明であるから，本試驗に於ては配合（混砂の土に對する乾燥重量 %）は 0，100，及 200 の 3 種，製作壓力は 10，30，及 50 kg/cm² の 3 種とし，土含水率は，多くの場合乾燥後最大の强度を與へ且つ本試驗方法に於て試驗中含水率に變化を來たさゞる 70% を標準とした．加壓回數は最大 5 回に止めた．

〔2〕 材料略說

材料は土，砂各 1 種とし其性質は本所報告第三十一號に詳說せるものにして其大要次の如し．

土 は「東京山手赤土」の1種にして粘土分61.2%, 收縮限界56.81%, 液狀限界 129.6%, 可塑性限界 92.2%, 含水常量 (遠心力) 67.0%, 單位重量 672.0 kg/m³, 空隙率 72.2% である.

砂 は埼玉縣北足立郡秋ヶ瀨地先荒川産にして 30 番乃至 50 番のもの 60.0% を占め, 粒度率 2.06, 單位重量 1,542kg/m³, 空隙率 42.9% である.

II. 試驗結果

載荷に伴ひ供試體の示す變形, 龜裂及破壞の狀況は略〻前述「土砂の安定强度試驗」[1] に既報せるが如くである.

〔1〕 製作直後の安定强度と加壓回數

土含水率 70% を標準とする土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響は配合 0, 100 及 200, 製作壓力 10, 30 及 50 kg/cm² に於ては第 1 表に示すが如くにして其配合及製作壓力による變化は第 1 圖～第 4 圖に示すが如く, 之を要約すれば次の如くである.

1) 上記範圍内に於ては加壓回數 5 回までは回數を增せば安定强度を增す. 而して其增量は最大 2.71 kg/cm² にして一般に配合良き程, 又製作壓力大なる程大であるが其增率は最大 30.0% にして配合惡き程, 又製作壓力小なる程大である.

2) 配合, 製作壓力を問はず加壓回數 5 回までは安定强度は漸增の傾向を示し, 特に激增を與へると認められる〻回數なく, 其趨勢より見れば 5 回以後に於ても斯かる回數は存在せざるもの〻如し. 而して安定强度を增加する爲に加ふべき適當且つ有利なる加壓回數は配合, 製作壓力等によつて異る.

3) 軟れの配合に於ても加壓回數 5 回までの範圍内に於ては回數の增加により其安定强度を製作壓力の一段高き (卽ち 20 kg/cm² 大なる) ものより大ならしむることは出來ない (唯配合 200 に於ては製作壓力 30 kg/cm² 加壓 5 回の値は製作壓力 50 kg/cm² の値に等しい). 特に製作壓力 10 kg/cm² のものは加壓回數を更に增加しても到底製作壓力 30 kg/cm² のものに及ばざるべきは明である.

4) 加壓回數による安定强度の加壓一回の値に對する增率は配合, 製作壓力によつて異り 5 回に於ては最大 30% 乃至 10.5% の間にあり一般に一回の値小なるものに於て增率大である. 配合 0 に於ては製作壓力の影響最小で製作壓力の增加によつて殆ど變化しないが他 2 種の配合に於ては壓力の增加と共に減少する.

5) 製作壓力に對する安定强度の比率は比較的大なる配合 0, 製作壓力 10 kg/cm² の

1) 土木試驗所報告第三十一號

5 回に於ても 50% に達せず，增加の趨勢から見て製作壓力 10 kg/cm² 以外に於ては加壓回數を增加するも 50% に達し得ない樣である．

6) 加壓回數を多くして配合の劣れるもの＞安定強度を配合良きもの＞安定強度に近づかしめることはある程度まで可能である．製作壓力 30 kg/cm² 及 10 kg/cm² の兩者に於ては既に 5 回に於て實現されて居る．

7) 配合 200 に於ては各製作壓力につき，其他の配合にあつては製作壓力 30 kg/cm² までは尙加壓回數を增加すれば其安定強度更に增大すべきは明である．

8) 安定強度の配合による變化は加壓回數によつて著しき相違なく同一製作壓力に於ては略ゝ同樣の傾向を示し，製作壓力の低下と共に變化緩慢となる．

9) 製作壓力の增加に伴ふ安定強度の增加は加壓回數によつて著しく異る所を見ず，唯配合 0 に於て回數を增すに伴ひ製作壓力の影響比較的大なるが如し．

第 1 表　製作直後の安定強度 (σ_a) と加壓回數

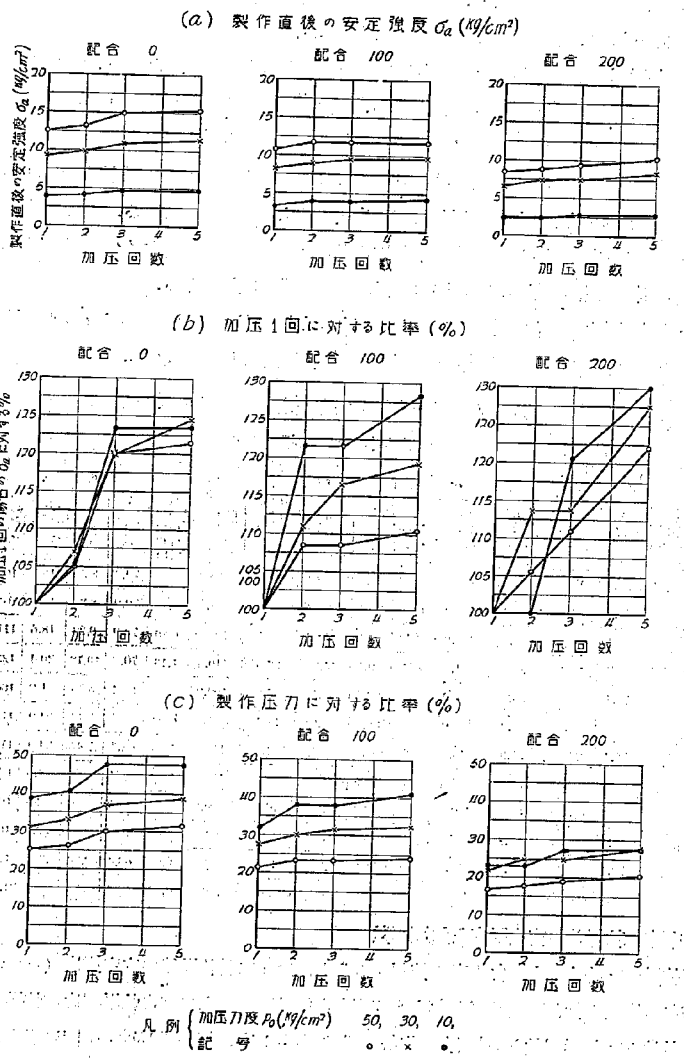
(土含水率 70% を標準とす)

製作壓力 kg/cm²	加壓回數	配合 0					配合 100					配合 200				
		土含水率	σ_a kg/cm²	製作壓力度に對する σ_a の %	加壓回數1に對する σ_a の %	加壓回數1に對する σ_a の增加	土含水率	σ_a kg/cm²	製作壓力度に對する σ_a の %	加壓回數1に對する σ_a の %	加壓回數1に對する σ_a の增加	土含水率	σ_a kg/cm²	製作壓力度に對する σ_a の %	加壓回數1に對する σ_a の %	加壓回數1に對する σ_a の增加
50	1	70.1	12.45	24.9	100.0		70.1	10.64	21.3	100.0		70.9	8.37	16.7	100.0	
	2	68.8	13.13	26.3	105.0	0.68	70.1	11.54	23.1	108.5	0.90	70.9	8.83	17.6	105.5	0.46
	3	70.1	14.94	29.9	120.0	2.49	70.1	11.54	23.1	108.5	0.90	70.9	9.23	18.6	111.0	0.91
	5	70.6	15.16	31.4	121.5	2.71	70.1	11.77	23.5	110.5	1.13	70.9	10.18	20.4	122.0	1.81
30	1	70.1	9.28	30.9	100.0		69.5	8.15	27.2	100.0		68.4	6.56	21.9	100.0	
	2	68.8	9.96	33.2	107.0	0.68	69.5	9.05	30.1	111.0	0.90	68.4	7.47	24.9	113.7	0.91
	3	70.1	11.09	37.0	119.5	1.81	69.5	9.51	31.7	116.5	1.36	68.4	7.47	24.9	113.7	0.91
	5	70.6	11.54	38.6	124.5	2.26	69.5	9.73	32.5	119.5	1.58	68.4	8.37	27.9	127.5	1.81
10	1	70.1	3.85	38.5	100.0		70.0	3.17	31.7	100.0		68.4	2.26	22.6	100.0	
	2	68.8	4.07	40.7	105.5	0.22	70.0	3.85	38.5	121.5	0.68	68.4	2.26	22.6	100.0	0
	3	70.1	4.75	47.5	123.5	0.90	70.0	3.85	38.5	121.5	0.68	68.4	2.72	27.2	120.5	0.46
	5	68.8	4.75	47.5	123.5	0.90	70.0	4.07	40.7	128.5	0.90	68.4	2.94	29.4	130.0	0.68

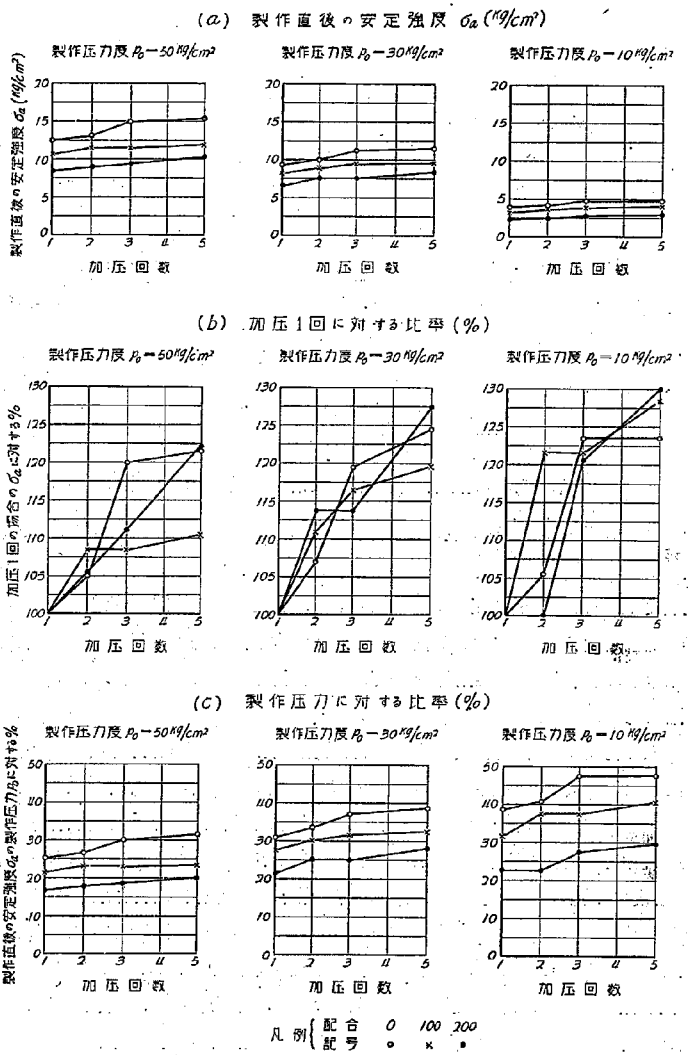
〔2〕 乾燥後の安定強度と加壓回數

乾燥後に於ける土の含水率を統制することが困難な爲乾燥後の安定強度 (σ_b) の値は精密なる比較を行ひ難いが原土含水率 70% を標準とする土の室內乾燥程度に乾燥せる場合に於ける其加壓回數との關係の趨勢を示せば第 2 表，第 5 圖及第 6 圖に示すが如くにして

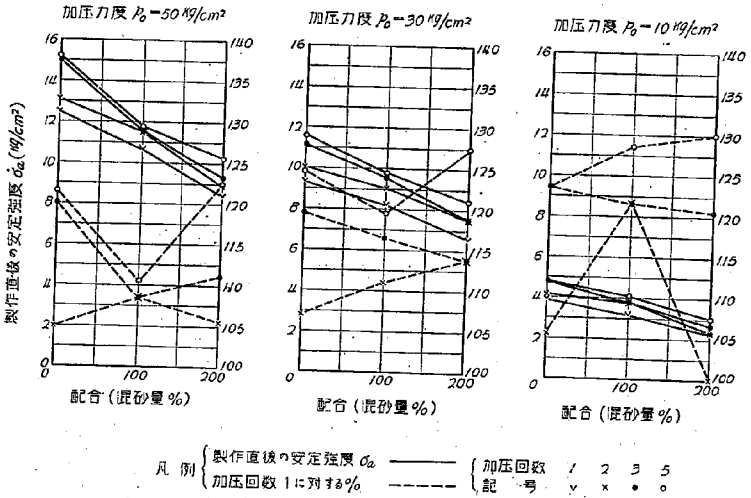
1) 製作の際加壓回數を增加すれば乾燥後に於ける安定強度は增大する．



第1圖 製作直後の安定強度と加壓回數との關係（配合別比較）



第 2 圖　製作直後の安定強度と加壓回数（製作壓力別比較）



第 3 圖　製作直後の安定强度と配合（加壓回數による比較）

2)　加壓回數 5 回のものゝ乾燥後の安定强度の增量 ($\Delta\sigma_b$) は最大 9.90 kg/cm² に達し一般に製作直後に於ける增量より遙に大である．而して $\Delta\sigma_b$ の最大は必しも，1 回後の安定强度の最大なる，卽ち製作壓力の最大なる場合に生ずるものとは限らない．

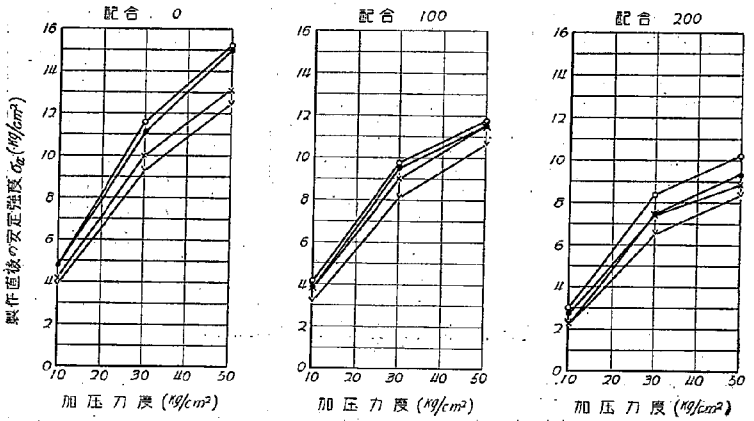
3)　加壓回數 5 回の σ_b の 1 回の σ_b に對する增率は最大 44% にして一般に製作壓力小なるもの增率大にして製作直後に於けるよりも遙に大であり，製作壓力による差違も亦顯著である．

4)　土の乾燥後の安定强度を增大する爲に製作の際與ふべき適當有利なる加壓回數は製作壓力によつて異り，製作壓力 (p_0) 50 kg/cm² に於ては 5 回後の增率は甚しくは大ならざるが如きも p_0=30 kg/cm² 以下に於ては 5 回以後に於ても其增加相當顯著なるが如し．

5)　製作時の加壓回數を增加すれば，製作壓力の不足による乾燥後の安定强度の低下を或る程度まで補ふことを得るが，其回數と効率との關係は，製作壓力によつて異り，p_0=30 kg/cm² のものは 10 回以內に於て p_0=50 kg/cm² の一回加壓の σ_b に到達し得るは明であるが，p_0=10 kg/cm² のものは單に加壓回數を增加するのみでは p_0=30 kg/cm² の 1 回加壓の σ_b に到達し得ざるものゝ如くである．卽ち單に加壓回數を增加するのみにて到達し得る σ_b の値には當該壓力度に應ずる限度が存在するものゝ如くである．

6)　乾燥後に於ける安定强度は加壓回數を增加すれば製作壓力 30 kg/cm² 以下に於ては當該製作壓力度に到達し得るが製作壓力 50 kg/cm² に於ては略ゝ等しきまで近づくこと

は確實であるが常に到達し得るとは認められぬ.

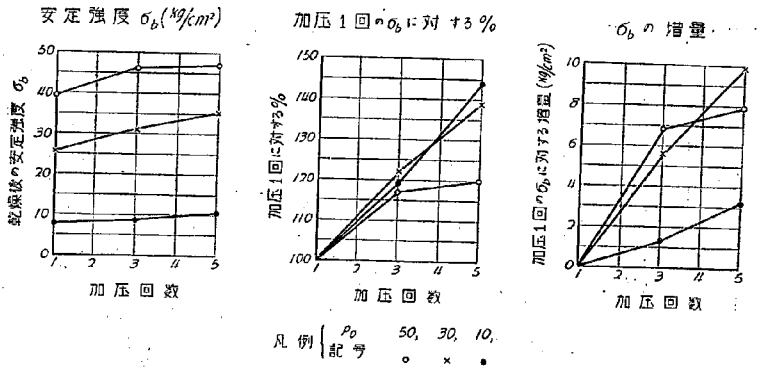


第 4 圖　製作直後の安定強度の製作壓力による比較

第 2 表　乾燥後に於ける土の安定強度と加壓回數

配　合　0　(原土含水率 70%)

製作壓力度 (kg/cm²)	加壓回數	含水率 (%)			σ_b (乾燥後の安定強度)				乾燥前後の安定強度の比較	
		製作時	試驗時	乾燥	σ_b (kg/cm²)	加壓回數1に對する增加	製作壓力に對する %	加壓回數1に對する %	安定強度の增加 (kg/cm²)	製作直後の強度に對する %
50	1	70.1	24.2	45.9	39.15		78.3	100	26.70	314
	3	70.1	27.1	43.0	45.95	6.80	91.8	117	31.01	308
	5	70.6	25.0	45.6	47.07	7.92	94.3	120	31.91	311
30	1	70.1	23.1	47.0	25.35		84.5	100	16.07	273
	3	70.1	21.7	48.4	31.00	5.65	103.2	122	19.91	281
	5	70.6	24.5	46.1	35.25	9.90	117.4	139	23.71	305
10	1	70.1	26.1	44.0	7.24		72.4	100	3.39	188
	3	70.1	23.8	46.3	8.60	1.36	86.0	119	3.85	181
	5	68.8	24.4	44.4	10.41	3.17	104.1	144	5.56	220



第 5 圖 乾燥後の安定強度 σ_b と加壓回數

〔3〕 乾燥前後の比較

含水率 70% を加壓時の標準含水率とする土に對し加壓回數の安定強度に及ぼす影響を乾燥の前後によつて比較すれば第 2 表及第 6 圖に示すが如く.

1) 乾燥による安定強度の增加の趨勢は製作壓力 50 kg/cm² の加壓回數 3, 5 回の場合を除き一般に加壓回數を增すに伴ひ急激となるが其差は製作壓力の影響の如く顯著ではない. 卽ち, 乾燥による固結を促進せしめる爲には加壓回數を增すよりも加壓力度を增す方遙に有効である.

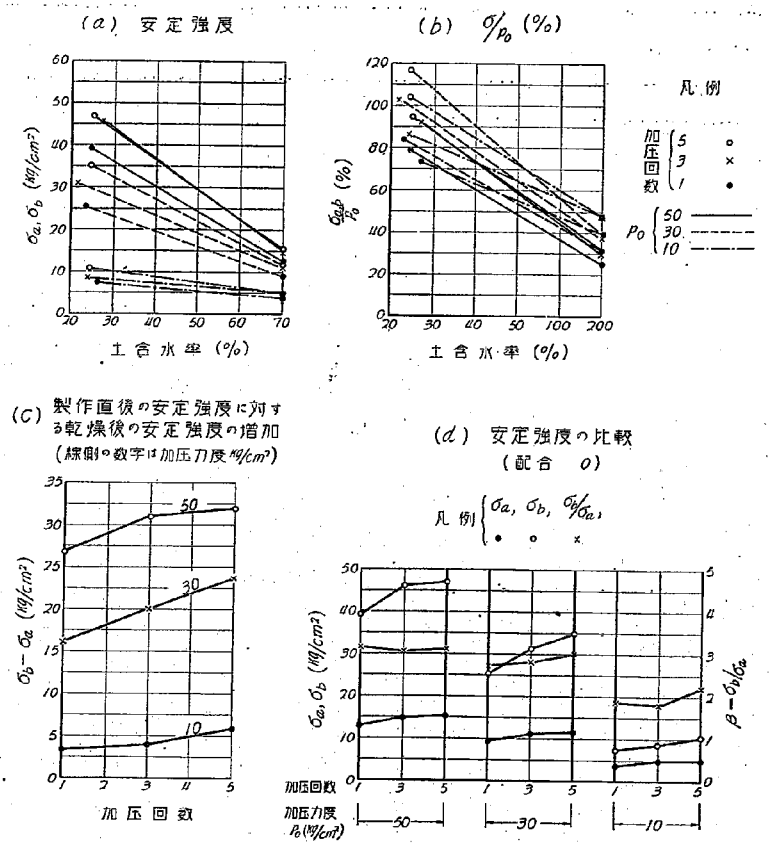
2) 安定強度の加壓力度に對する比率 (α) の加壓回數による變化は乾燥前後によつて甚だしき區別なく唯乾燥前に於ては加壓力度大なるものは加壓回數を問はず一般に加壓力度小なるものより小であつたが乾燥後に於ては加壓回數によつて幾分の相違あり加壓力度大なるものも加壓回數大なるときは比較的高率である.

3) 乾燥前後の安定強度の差 $\sigma_b - \sigma_a$ は加壓回數の增加と共に增大するが其增勢增量は加壓力度によつて大に異る.

4) 乾燥前後の安定強度の比率 $\left(\frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \beta\right)$ は 1.81～3.14 にして同一の加壓力度及加壓回數の下に於ては略ゝ近似の値を有し製作壓力大なるもの程大である.

5) 製作直後に於ては加壓回數 5 回の安定強度 ($_5\sigma_a$) と 1 回 ($_1\sigma_a$) との差 $\Delta\sigma_a$ は常に加壓力度の大なるもの大であるが乾燥後に於ける値 $\Delta\sigma_b$ ($_5\sigma_b - {}_1\sigma_b$) は必しも加壓力度に伴はない.

6) 乾燥前に於ける加壓 1 回の安定強度 $_1\sigma_a$ に對する 5 回の增率 $\Delta\sigma_a$% は加壓力度の相違によつて異る所甚だ小なるに反し, 乾燥後の增率 $\Delta\sigma_b$% は加壓力度の大なるもの



第 6 圖　乾燥前後の安定強度

の小なることは同様であるが其値 20～44% に達し著しく擴大せられる.

〔4〕 要　約

上述の試驗結果と土砂層に對する輾壓の效果とを對照するに

1) 輾壓直後に於ける支持力は輾壓回數と共に或る程度まで增加するが其增加は直接輾壓回數の增加に因るよりもむしろ輾壓毎に變形量が減ずることより單位輪壓が增加することに因る方大である.

2) 濕潤狀態に於て輾壓回數を增加すれば乾燥後に於ける支持力を增大する, 而して 5

回迄の結果から徴するに其増量は必しも最高壓の場合最大とは限らないが増率は低壓の場合常に大である.

3) 輾壓回數を増加すれば乾燥による支持力の増加を擴大する，併し擴大に最も有效なる回數は單位壓力，配合及含水率に因つて異る.

土木工事用金屬材料分析試驗

内務技師　西川榮三
　　福島彌六
内務技手　川畑健雄

目　次

I.　含銅鋼矢板中の含銅量試驗……（1）
II.　其の他金屬材料分析試驗成績……（7）

I.　含銅鋼矢板中の含銅量試驗

鐵材中に少量の銅を混合する時は，其の空氣中に於ける耐腐蝕性を增加する事は以前より知られた事實であつて，この理由を以て近來鋼矢板に含銅製品が多く用ゐられて居る．スペラー (Speller) 其の他によれば，1.0% 以下程度の含銅量では，鐵材の水中に於ける耐腐蝕性を增大せしめ得るものではない．

内務省各土木出張所よりの依頼によりて試驗した含銅鋼矢板の含銅量を表記して參考となすに止める．

含銅量の定量は附錄に記載せる方法に依つたものである．

要約.　上記の試驗は，内務省新潟土木出張所，新潟縣，内務省仙臺土木出張所等の依頼によりて行つたもので，港灣に於ける岸壁工事，護岸工事等に使用せられたものが大部分を占めて居る．而して其の種別は八幡製鐵所製品，ラルゼン，クレックナー，ジーメンス・ジュッケルト等の製品にして，外國品の中には稀に銅分が指定規格より少いものがある．國產品については試驗の回數少きを以て確な決論に到達し得ないが，試驗せる範圍に於ては銅分少くも 0.25% 以上にして多きものは 0.4% を超ゆるものも見受けられる．

附錄　鋼矢板中の銅定量法

第1法　酸化銅として定量する方法.

試料約 5g を秤量したる後ビーカーに入れ，鹽酸 (1：1) と硫酸 (10%＝比重 1.068) との混合液 100 cc を加へ，加熱溶解し，蒸溜水 150cc を加へて稀釋し，更に溶液を煮沸し，直ちに硫化水素瓦斯を通じて，硫化銅を沈澱せしめる．これを濾過し，濾紙上に殘る沈澱を，硫化水素を飽和せる温稀鹽酸 (2：100) にて洗ひ，次に飽和硫化水素溶液にて充分洗滌する．沈澱物及濾紙は乾燥後，磁製坩堝中に入れて，乾燥，灼熱，灰化し，酸化銅となし，ピロ硫酸曹達 ($Na_2S_2O_5$) の少量を加へて熔融する．冷却後 1～2cc の鹽酸及少量の蒸溜水にて之を溶解し，ビーカーに移し，5% 苛性曹達の僅かに過剰を加へ煮沸浸漬後濾過洗滌する．濾紙上の沈澱は少量の温稀硝酸に溶解し，5cc の硫酸を加へ，白煙の生ずるまで加熱し，冷却後，蒸溜水を以て 40cc に稀釋し，10cc のアンモニア水 (比重 0.90) を加へ

第1表 鋼矢板含銅量

番號	試驗番號	試料符號	依頼者	用途	含銅量%	試驗年月
1	No. 615	A 號	新潟縣知事	信濃川河狀整理工事用	0.31	昭和4年8月
2	No. 616	B 〃	〃	〃	0.27	〃
3	No. 617	C 〃	〃	〃	0.31	〃
4	No. 618	D 〃	〃	〃	0.27	〃
5	No. 619	E 〃	〃	〃	0.26	〃
				平均	0.28	〃
6	No. 635	A	內務省仙臺土木出張所	鹽釜港修築工事用	0.27	昭和4年11月
7	No. 636	B	〃	〃	0.26	〃
8	No. 637	A′	〃	〃	0.23	〃
9	No. 638	B′	〃	〃	0.24	〃
				平均	0.25	〃
10	No. 735	No. 1號	內務省新潟土木出張所	小濱港修築工事用	0.35	昭和5年3月
11	No. 736	〃 2 〃	〃	〃	0.29	〃
12	No. 737	〃 3 〃	〃	〃	0.29	〃
13	No. 738	〃 4 〃	〃	〃	0.30	〃
14	No. 739	〃 5 〃	〃	〃	0.33	〃
				平均	0.31	〃
15	No. 891	1	內務省新潟土木出張所	伏木港岸壁用	0.27	昭和6年3月
16	No. 892	2	〃	〃	0.31	〃
17	No. 893	3	〃	〃	©0.18	〃
18	No. 894	4	〃	〃	0.28	〃
19	No. 895s	5	〃	〃	0.28	〃
				平均	0.26	〃
20	No. 991	I型8米3號	新潟縣知事	不明	0.26	昭和16年9月
21	No. 996	I. 8. 4	〃	〃	0.29	〃
22	No. 992	I. 8. 5	〃	〃	0.26	〃
23	No. 993	I. 8. 6	〃	〃	0.29	〃
24	No. 994	II_a 10. 8	〃	〃	0.28	〃
25	No. 995l	II_a 10. 9	〃	〃	0.30	〃
26	No. 940	A	內務省新潟土木出張所	不明	0.29	昭和6年7月
27	〃	B	〃	〃	0.27	〃
28	〃	C	〃	〃	0.29	〃
29	No. 940y	D	〃	〃	0.28	〃
				平均	0.28	〃
30	No. 1180	1號 4.5米	新潟縣知事	新潟港四號岸工事用	0.31	昭和7年5月
31	No. 1181	2號 8米A	〃	〃	0.34	〃
32	No. 1182l	3號 8米B	〃	〃	0.30	〃

番號	試驗番號	試料符號	依頼者	用途	含銅量%	試驗年月
33	No. 1207	1 號	內務省新潟土木出張所	七尾港修築工事用	0.37	昭和7年7月
34	No. 1208	2 號	〃	〃	0.33	〃
35	No. 1209	3 號	〃	〃	0.35	〃
36	No. 1210	4 號	〃	〃	0.37	〃
37	No. 1211y	5 號	〃	〃	0.32	〃
38	No. 1431	A號	內務省新潟土木出張所	伏木港修築工事用	0.23	昭和8年3月
39	No. 1432	B號	〃	〃	0.20	〃
40	No. 1433	C號	〃	〃	0.23	〃
41	No. 1434	D號	〃	〃	0.29	〃
42	No. 1436k	E號	〃	〃	0.25	〃
43	No. 1487	1 號	內務省仙臺土木出張所	土崎港修築工事用	0.31	昭和8年5月
44	No. 1488	2 號	〃	〃	◎0.08	〃
45	No. 1489	3 號	〃	〃	0.34	〃
46	No. 1490	4 號	〃	〃	0.34	〃
47	No. 1491l	5 號	〃	〃	0.29	〃
48	No. 1549	1 號	內務省仙臺土木出張所	土崎港修築工事用	0.28	昭和8年6月
49	No. 1550	2 號	〃	〃	0.28	〃
50	No. 1551	3 號	〃	〃	0.31	〃
51	No. 1552	4 號	〃	〃	0.31	〃
52	No. 1553l	5 號	〃	〃	0.32	〃
53	No. 1641	K_1	內務省新潟土木出張所	七尾港修築工事用	0.26	昭和8年10月
54	No. 1642	K_2	〃	〃	0.26	〃
55	No. 1643	K_3	〃	〃	0.27	〃
56	No. 1644	K_4	〃	〃	0.28	〃
57	No. 1645	K_5	〃	〃	0.26	〃
58	No. 1646	K_6	〃	〃	◎0.14	〃
59	No. 1647	K_7	〃	〃	◎0.18	〃
60	No. 1648	K_8	〃	〃	0.29	〃
61	No. 1649	K_9	〃	〃	0.27	〃
62	No. 1650	K_{10}	〃	〃	0.27	〃
63	No. 1651	K_{11}	〃	〃	0.27	〃
64	No. 1652	K_{12}	〃	〃	0.28	〃
65	No. 1653	K_{13}	〃	〃	0.25	〃
66	No. 1654	K_{14}	〃	〃	0.27	〃
67	No. 1655	K_{15}	〃	〃	0.28	〃
68	No. 1656	K_{16}	〃	〃	0.25	〃
69	No. 1657	K_{17}	〃	〃	0.26	〃
70	No. 1658	K_{18}	〃	〃	0.29	〃
71	No. 1659	K_{19}	〃	〃	0.26	〃

番號	試驗番號	試料符號	依頼者	用途	含銅量%	試驗年月
72	No. 1660	K_{20}	內務省新潟土木出張所	七尾港修築工事用	0.28	昭和8年10月
73	No. 1661	K_{21}	〃	〃	0.29	〃
74	No. 1662	K_{22}	〃	〃	0.29	〃
75	No. 1663	K_{23}	〃	〃	0.29	〃
76	No. 1664k	K_{24}	〃	〃	0.25	〃
77	No. 1665	L_1 號	內務省新潟土木出張所	七尾港修築工事用	0.30	昭和8年11月
78	No. 1666	L_2 號	〃	〃	0.36	〃
79	No. 1667	L_3 號	〃	〃	0.31	〃
80	No. 1668	L_4 號	〃	〃	0.36	〃
81	No. 1669	L_5 號	〃	〃	0.31	〃
82	No. 1670	L_6 號	〃	〃	0.30	〃
83	No. 1671	L_7 號	〃	〃	0.33	〃
84	No. 1672	L_8 號	〃	〃	0.32	〃
85	No. 1673	L_9 號	〃	〃	0.35	〃
86	No. 1674	L_{10} 號	〃	〃	0.25	〃
87	No. 1675	L_{11} 號	〃	〃	0.36	〃
88	No. 1676	L_{12} 號	〃	〃	0.25	〃
89	No. 1677	L_{13} 號	〃	〃	0.30	〃
90	No. 1678	L_{14} 號	〃	〃	0.30	〃
91	No. 1679l	L_{15} 號	〃	〃	0.24	〃
92	No. 1727	6 號	內務省新潟土木出張所	七尾港修築工事用	0.26	昭和8年11月
93	No. 1728k	7 號	〃	〃	0.27	〃
94	No. 1729	A號	內務省新潟土木出張所	伏木港修築用	0.26	〃
95	No. 1730	B號	〃	〃	0.26	〃
96	No. 1731l	C號	〃	〃	0.27	〃
97	No. 1802	A	內務省新潟土木出張所	伏木港修築用	0.25	昭和9年1月
98	No. 1803	B	〃	〃	0.28	〃
99	No. 1804	C	〃	〃	0.25	〃
100	No. 1805	D	〃	〃	0.23	〃
101	No. 1806	E	〃	〃	0.28	〃
102	No. 1807k	F	〃	〃	0.26	〃
103	No. 2295	1 號	內務省仙臺土木出張所	土崎港築港用	0.43	昭和10年4月
104	No. 2296	2 號	〃	〃	0.37	〃
105	No. 1928	1 號	內務省新潟土木出張所	土崎港修築用	0.35	昭和9年4月
106	No. 1929	2 號	〃	〃	0.29	〃
107	No. 1930l	3 號	〃	〃	0.36	〃
108	No. 1917	No. 6 の 1	內務省新潟土木出張所	青森港修築用但し物揚場護岸工事	0.32	昭和9年3月
109	No. 1918	No. 6 の 2	〃		©0.06	〃

番號	試験番號	試料符號	依頼者	用途	含銅量%	試験年月
110	No. 1919	No. 6 の 3	内務省仙臺土木出張所	青森港修築用但し	0.31	昭和9年3月
111	No. 1920	No. 7 の 1	〃	物揚場護岸工事	0.34	〃
112	No. 1921	No. 7 の 2	〃	〃	0.31	〃
113	No. 1922	No. 8 の 1	〃	〃	0.37	〃
114	No. 1923	No. 8 の 2	〃	〃	0.36	〃
115	No. 1924	No. 8 の 3	〃	〃	0.30	〃
116	No. 1863	イ. S 94241	内務省新潟土木出張所	酒田港築港工事用	0.33	〃
117	No. 1864	ハ. S 94262	〃	〃	0.31	〃
118	No. 1865	ロ. S 94244	〃	〃	0.29	〃
119	No. 1866	B. ロ. S 94220	〃	〃	0.31	〃

備考・◎印は銅分やゝ少きものである.

る. 溶液は強酸性を呈する. この溶液を煮沸し, 硫化水素瓦斯を通じて硫化銅を沈澱せしめ, この沈澱を前掲の如く處置して酸化銅となして秤量し, 之より鋼矢板中の銅の含有率 P(%) を次式により算出する.

$$P=\frac{W_2}{W_1}\times 79.89$$

但し　W_1 は秤取せる試料の量 g
　　W_2 は酸化銅の量　　g

第2法　チオ硫酸ソーダによる滴定法 (J.E.S. 109號)

試料 5g を秤取しビーカーに入れ, 鹽酸 (1 : 1) 約 50cc を加へ, 加熱溶解し, 水約 150cc を加へて稀釋し, 溶液を約 80°C に加熱したる後, 直ちに硫化水素瓦斯を通じて飽和せしめ, 硫化銅を沈澱せしむ. これを濾過し, 沈澱は, 硫化水素飽和温稀鹽酸 (2 : 100) にて洗ひ, 次に硫化水素飽和水にて充分洗滌し, 沈澱及濾紙を磁製坩堝に移し, 乾燥したる後, 酸化し熱灰化し酸化銅となす. (以上は第1法と同じである). 之に硝酸 (1 : 1) 約 2cc 及硫酸 (1 : 1) 2, 3 滴を加へて白煙の生ずるまで加熱し, 之をビーカー中に水にて洗ひ移し, アンモニア水にて中和し, 更にアンモニア水 2, 3 滴を過剰に加へる. もし, 沈澱を生ずる時は, 濾過し, アンモニア水 (1 : 100) にて充分洗滌する.

この溶液に醋酸を滴下して弱酸性となし, 冷却後, 其の溶液 10cc につき約 2gr の割合にて沃素カリを加へて振盪し, 澱粉溶液數滴を加へ (青色を呈す), 充分振盪しつゝ, 規定チオ硫酸ソーダ溶液にて青色の消失するまで滴定し, 次式によりて銅の含有率 P(%) を算出す.

$$P=\frac{F\times V\times 100}{W_1}$$

但し　W_1 は秤取せる試料の量 g
　　F　は規定チオ硫酸ソーダ液 1cc に對する銅の相當量 g
　　V　滴定に要したる規定チオ硫酸ソーダ溶液の使用量 cc

備考　1. 規定チオ硫酸ソーダ溶液の調製

結晶チオ硫酸ソーダ 5g を水約 500cc に溶解し, 之を1リットルのメスフラスコに移し, 水にて標線迄稀釋す.

2. 規定チオ硫酸ソーダ溶液の銅相當量決定法

純良なる電解分銅 1g を硝酸 (1 : 1) 約 10cc 及硫酸 (1 : 1) 約 3cc に溶解し，加熱して白煙の生ずるに至らしめ試料と同様にアンモニア水及醋酸にて處理し醋酸銅となし，容量 1 リットルのメスフラスコに移し水にて標線迄稀釋す．(本液 1cc 中には銅 1mg を含有す)．

此溶液 10cc を採りヨードカリを加へ，澱粉溶液を指示藥として遊離せるヨードを前號の規定チオ硫酸ソーダ溶液にて滴定し，其 1cc に對する銅相當量を定める．$\left(\text{銅相當量}=\frac{10\text{mg}}{\text{チオ硫酸ソーダ所要量cc}}\right)$

3. 澱粉溶液の調製

澱粉約 1g を細末となし，之を少量の冷水にて練り約 1 リットルの熱湯中に攪拌しつゝ注入したる後約 1 分間煮沸し放冷する．

本溶液は使用の都度之を調製するものにしてヨードの葡赤褐色を呈するものは之を使用することを得ず．

第3法　電解法

前述の方法に準じて，試料を溶解し銅を硫化銅として沈澱せしめ，灼熱して酸化銅となし，硝酸に溶解し，硫酸を加へて白煙の生ずるまで加熱し，冷却後 150cc に稀釋したるもの(即ち銅は硫酸銅としてこの中に溶解して居る) を電解液とする．この液を電解槽に入れ，70～80°C に加熱しつゝ，陰陽兩極には夫々白金板及白金線を用ゐ 2.8～3 ボルトの電壓を以て電解を行ふ．電解の進行と共に溶液中の銅は白金板上に附着し來る．電解の完結せるや否やを檢するには，溶液に少量の蒸溜水を加へ，攪拌 30 分の後に，陰極面の新しき部分に銅が附着するや否やを見る．電解の完結せることを確めたる後，猶電流を通じつゝ，電解槽の下部のコックを僅かに開き，溶液を流出せしめつゝ，上部より蒸溜水を加へ槽中の液を漸次蒸溜水にて置き換へる，かくして下部コックよりの流出液が青色リトマス紙に酸性反應を呈せざるに至るまで，洗滌を行ひ，全く槽中の液が中性となりたる時，電流を切り，直ちに陰極を取り出し，蒸溜水を入れたるビーカー中にて洗滌し，次にアルコールにて洗ひ，70～80°C にて乾燥し，デシケーター中に放冷したる後秤量する．この重量より白金板の重量を減じたるものは銅の含有量にして，之を試料に對する百分率に換算する．

注意　白金板に附着せる銅は，秤量後硝酸を以て溶解し，アンモニア水，蒸溜水等にてよく洗滌し，乾燥後次の試驗に用ゐるものとす．

第2法(滴定法) 及第3法(電解法) による結果の比較例．

試料 5 種につき滴定法と電解法とを試みに比較したるに次の如き數値を示した．

第 2 表　滴定法と電解法との比較例

試驗番號	試料符號	滴定法	電解法	平均
No. 1727	6 號	0.26	0.25	0.255
No. 1728	7 號	0.28	0.26	0.27
No. 1729	A 號	0.26	0.26	0.26
No. 1730	B 號	0.26	0.25	0.255
No. 1731	C 號	0.27	0.26	0.265
平均	……	0.266	0.256	0.261

上記 5 種の實驗に於ては，この兩方法は殆ど同じ結果を與へて居るもので，其の相異は實驗誤差以内に止まる．

鐵材の硫酸溶液中より硫化水素によりて硫化銅を沈澱せしめて之を酸化物となし，其の儘（不純物を多少含みたるまゝ）秤量したる結果と，純銅分との比較例.

鋼矢板を溶解し硫酸溶液をつくり，之に硫化水素を通じ硫化銅を沈澱せしむる時は，砒素及之に類する不純物が存在する時は，これ等の物質も硫化物として共に沈澱し，硫化銅の中に多少の不純物が混入して来る．之を乾燥，灼熱して酸化銅となし秤量し，この量より銅分を算出すれば，銅分としてやゝ多き数値を示す譯であるが，かくして得たる数値と純銅分の数値とが，實際上あまり相異がなければ，上記の概測値を以て凡そ銅分の量を推測しうる譯である．今上記の概測値と純銅分との比較例を取れば次の如くである．

第　3　表

試料符號	試料採取量 g	概測値 %	純銅分 %	誤差
A No. 1	5.6981	0.29	0.26	0.03
No. 2	5.0221	0.31	0.25	0.06
B No. 1	5.7297	0.28	0.21	0.07
No. 2	5.1168	0.27	0.22	0.05
A′ No. 1′	5.1027	0.26	0.24	0.02
No. 2′	5.2276	0.27	0.25	0.02
No. 3′	5.5100	0.29	0.24	0.05
B′ No. 1′	5.3570	0.25	0.23	0.02
No. 2′	5.1958	0.27	0.22	0.05
平均	……	……	……	0.04

上記の比較例による時は，概測値は 0.02～0.07% 位の範圍の誤差を示し，概測値を以て直ちに銅分となすことは，少しく粗略に過ぐる傾あるも，上記の試料に於ては概測値より 0.04～0.05% を減じたるものは ±0.02 位の誤差範圍にて銅分の量を推測せしめるには役立つ．然しながら，其の誤差は不純物の量，實驗操作の相異等によりて變化するものなるを以て，この關係は一般的には成立しがたい．

II. 其他の金屬材料分析試驗成績

鋼矢板以外の鐵材（其の他金屬材）の試料につき土木出張所其の他の依頼により分析を行ひたる成績は第4表の如くである．分析項目は炭素 (C)；燐 (P)；硫黄 (S)；マンガン (Mn)；珪素 (Si)；銅 (Cu)；クロム (Cr)；ニッケル (Ni)；錫 (Sn)；亜鉛 (Zn)；鐵 (Fe)；等にして，通常2回乃至3回の試驗の平均を以て其の成績を表して居る．

要約　上記の試驗は新潟土木出張所及神奈川縣等の依頼によりて行ひたるものにして，其の種類は　鋼，鑄鋼，マンガン鋼，軟鋼，ニッケル・クロム鋼，鑄鐵，銑鐵，砲金，ネーバル黄銅等である．其の用途不明なるもの多きも，其の明かなるものは表中に記載してある．

第4表　鐵材其の他金屬分析表

番號	試驗番號	試料名	試驗年月	依頼者	用途其の他	C%	P%	S%	Mn%	Si%	其の他{Cu, Cr, Ni, Sn, Zn, Fe%}
1	741	マンガン鋼	昭和5. 5	新潟土木出張所	デグプレート	……	……	……	1.31	……	
2	742	〃	〃	〃	前板用	……	……	……	1.35	……	
3	743	〃	5. 6	〃	ブレーキグラシヤーデグプレート右	……	……	……	10.55	……	
4	749	〃	〃	〃	ブレーキグラシヤーデグプレート左	……	……	……	6.39	……	
5	750	〃	〃	〃	受〃歯	……	……	……	10.01	……	
6	751	〃	〃	〃	押〃歯	……	……	……	10.87	……	
7	758	クロームニッケル鋼	5. 8	同上	喞筒内張板	……	……	……	……	……	Cr,% 0.55 Ni% 2.32
8	759	〃	〃	〃	〃	……	……	……	……	……	0.94 2.31
9	793	鋼	5. 12	同上	不明	0.20	……	……	……	……	
10	794	〃	〃	〃	〃	0.27	……	……	……	……	
11	795	〃	〃	〃	〃	0.26	……	……	……	……	
12	796	〃	〃	〃	〃	0.23	……	……	……	……	
13	797	〃	〃	〃	〃	0.23	……	……	……	……	
14	798	〃	〃	〃	〃	0.30	……	……	……	……	
15	799	〃	〃	〃	〃	0.23	……	……	……	……	
16	800	〃	〃	〃	〃	0.25	……	……	……	……	
17	842	鋼	6. 3	同上	〃	0.27	0.042	0.033	……	……	
18	843	〃	〃	〃	〃	0.22	0.045	0.031	……	……	
19	869	〃	〃	〃	〃	0.55	0.014	0.021	……	……	
20	874	〃	〃	〃	〃	0.54	0.020	0.022	……	……	
21	941—	鋳鋼	6. 8	新潟土木出張所	喞筒筐	0.375	0.016	0.018	1.53	0.225	Cu 0.137 Ni 0.015 Cr 0.029
22	916 I號	鋼	6. 6	同上	繋船曲柱	0.32	0.048	0.041	……	……	
23	917 6號	〃	〃	〃	〃	0.21	0.048	0.042	……	……	
24	918 II號	〃	〃	〃	〃	……	0.052	0.040	……	……	試驗せず
25	919 16號	〃	〃	〃	〃	0.22	0.046	0.036	……	……	
26	920 20號	〃	〃	〃	〃	0.20	0.052	0.041	……	……	
27	909	軟鋼	6.	同上	製造者分析は括弧内の数字の如し、本所分析と大差なし	0.287 (0.27)	0.020 (0.018)	0.028 (0.028)	0.61 (0.63)	0.196 (0.14)	Ni 0.13 (0.10) Cu 0.135 (0.136)
28	903	鋼	6. 6	新潟土木出張所	不明	0.54	0.032	0.024	……	……	試驗せず
29	1019k	鋼	6. 9	新潟土木出張所	繋船曲柱	0.25	0.059	0.036	……	……	同上
30	1002	マンガン鋼	6. 9	新潟土木出張所	不明	1.09	0.026	0.013	11.10	0.025	同上
31	896	〃	〃	〃	〃	1.04	……	……	10.68	0.34	
32	1159	鋼	7. 4	新潟土木出張所	不明	0.27	0.038	0.034	0.73	0.35	
33	1160	〃	〃	〃	〃	0.34	0.026	0.025	0.72	0.39	
34	1161	〃	〃	〃	〃	0.38	0.014	0.015	0.99	0.22	試驗せず
35	1162m	〃	〃	〃	〃	0.30	0.038	0.022	0.91	0.30	
36	1126 4號	鋳鋼	7. 2	同上	規格は	0.21	0.038	0.035	……	……	
37	1126 11號	〃	〃	〃	C…0.2～0.3	0.22	0.054	0.045	……	……	
38	1126 17號	〃	〃	〃	P…<0.06	0.26	0.051	0.043	……	……	同上
39	1126 18號	〃	〃	〃	S…<0.06	0.23	0.056	0.038	……	……	
40	1126 27號	〃	〃	〃		0.23	0.051	0.035	……	……	

番號	試驗番號	試料名	試驗年月	依賴者	用途其の他	C%	P%	S%	Mn%	Si%	其の他{Cu, Cr, Ni, Sn, Zn, Fe等}
41	1594	軟鋼3號	昭和 8. 10	新潟土木出張所	不明	0.263	0.02	0.030	0.34	0.11	Cu, Cr. Ni, 0.16 0.075 0.049
42	1595	軟鋼4號	〃	〃	〃	0.25	0.018	0.031	0.38	0.10	0.14 0.061 0.040
43	1640	鑄鋼	〃	〃	〃	0.636	0.030	0.030	.....	.....	試驗せず
44	1437 No.1	ニツケルクロム鋼	8. 4	新潟土木出張所	重油機關車齒車用	0.315	.....	.....	.....	.....	Cr Ni 0.32 3.45
45	1438 No.2	〃	〃	〃	〃	0.27	.....	.....	.....	.....	0.32 3.46
46	1439 No.3	〃	〃	〃	〃	0.28	.....	.....	.....	.....	0.33 3.44
47	1440 No.4	〃	〃	〃	〃	0.27	.....	.....	.....	.....	0.23 2.93
48	1441 No.5	〃	〃	〃	〃	0.31	.....	.....	.....	.....	0.23 3.10
49	1442 No.6	〃	〃	〃	〃	0.31	.....	.....	.....	.....	0.22 2.84
50	1443 No.7	〃	〃	〃	〃	0.30	.....	.....	.....	.....	0.21 2.98
51	1444 No.8	〃	〃	〃	〃	0.35	.....	.....	.....	.....	0.93 2.87
52	1428	同上	8. 3	同上	重油機關車チェンヂギヤー	0.26	.....	.....	.....	.....	Cr Ni 1.12 4.79
53	1429	〃	〃	〃	重油機關車齒車	0.25	.....	.....	.....	.....	0.73 3.31
54	1911	鑄鋼	9. 3	同上	不明	0.27	0.024	0.022	.....	.....	試驗せず
55	2175	ケーシング No.1934 (B)	8. 1	新潟土木出張所	括弧内は規格の數値を示す	0.49 (0.4~0.6)	0.014 (<0.05)	0.009 (<0.05)	0.96	0.33	
56	2176	同上 No.1984 (B)	〃	〃		0.48 (0.4~0.6)	0.018 (〃)	0.009 (〃)	0.95	0.31	
57	2177	ランナー No.1984	〃	〃		0.50 (0.4~0.6)	0.023 (〃)	0.015 (〃)	0.84	0.25	試驗せず
58	2178	カバー No.2003	〃	〃		0.30 (0.25~0.35)	0.017 (〃)	0.020 (〃)	0.65	0.23	
59	2179	ランナー No.2332	〃	〃		0.46 (0.4~0.6)	0.018 (〃)	0.009 (〃)	0.96	0.28	
60	2180	キヤツプ No.2345	〃	〃		0.49 (0.4~0.6)	0.022 (〃)	0.010 (〃)	0.99	0.20	
61	2205	鋼	10. 3	同上	機關車アクスル材	0.27	0.059	0.045	0.66	0.027	Cu Ni 0.028 痕跡
62	2268	鐵管17號	10. 4	(内部依賴)		0.215	0.024	0.035	0.489	.....	試驗せず
63	2269	同上18號	〃	〃		0.262	0.046	0.041	0.521	.....	

1	1142	鑄鐵1號	7. 3	新潟土木出張所		2.68	0.363	0.101	0.31	1.34	
2	1143	〃 2號	〃	〃		2.87	0.470	0.068	0.46	1.99	試驗せず
3	1144	〃 3號	〃	〃		2.58	0.176	0.069	0.14	0.69	
4	889	銑鐵	6. 4	同上		3.62	0.088	0.055	0.19	2.34	Cu 0.017
5	1253	鑄鐵	7. 9	同上	鑄ディーゼルエンヂンシリンダー	3.20	0.25	0.076	.....	.....	試驗せず
6	1254	鑄鐵	〃	〃	同上ピストンリング	3.01	0.26	0.066	.....	.....	
7	1591	鑄鐵	8. 9	鮮魚川驛水道部		.....	0.29	0.054	.....	.....	Cu Sn Zn 其の他
8	1592	砲金	〃	〃		.....	.....	.....	.....	.....	88.95 8.49 1.98 0.55
9	1593	キーバル黄銅	〃	〃		.....	.....	.....	.....	.....	63.65 1.22 34.54 0.59
											水銀試驗にて裂痕を生ず

1591 規格 P<0.4; S<0.1%

1592 規格 Cu, 殘部 Sn=9.5~10.5% Zn≦2%, 不純分≦0.75%

1593 規格 Cu 61~64% Sn=0.75~1.5% Zn 殘部 不純分≦0.75%

附錄 鐵材其の他金屬分析法

上記の鐵材其の他の金屬の分析方法は次に記す如くである．商工省の標準規格中に規定せられたる方法あるものは，なるべく之に依つて分析した．未だ其の方法の公示せられざるものは適宜の方法を選定して之を行つた．

砲金，黃銅等の分析法

錫の定量 砲金，黃銅等の分析には，試料 0.4～0.5g を 200cc のカセロールに秤取し，20cc の 6 N 硝酸を加へ，時計皿にて掩ひ，急激なる反應による內容物の飛散を防ぎつゝ溶解せしめる．反應の稍靜まりたる時，湯煎上にてあたゝめ可溶成分を完全に溶解せしめる．(この場合不溶解物は メタ錫酸である) 之を蒸發乾固し，少量の硝酸を以て殘渣を濕し，50cc の溫水を加へて溫所に靜置し，不溶解物の完全に沈降するを待ちて濾過し，濾紙上の殘渣は溫水を以て洗滌したる後乾燥し，磁製坩堝中にて灼熱して不純酸化錫 (SnO_2 及其の他) として秤量する．かくして得たる酸化錫は少量の他の金屬酸化物を不純物として含むが故に，次の方法によりて之を分離する．

即ち 6 倍量の炭酸曹達硫黃等量混合物を，上記の坩堝に加へ，蓋をなして靜かに加熱し，過剩の硫黃は殆ど完全に燒盡せしめる．之を冷却せる後，內容物を少量の溫水に溶解せしむれば，錫は他の金屬と共に溶液に入る．この溶液に，亜硫酸曹達溶液を加ふれば，少量の不純物 (Cu, Fe, 其の他) は沈澱として黃色を呈する．この沈澱を濾過し，少量の硫化曹達を含める水にて洗滌し，次に硫化水素水にて充分洗滌する．沈澱物は乾燥し，灼熱して酸化物として秤量し，之を上記の，不純酸化錫の秤量値より減じ，純酸化錫 (SnO_2) の量とし之より次式により錫 (Sn) の百分率を算出する．この場合不純物の量が多き時は，其の中の各成分を分離定量する必要がある．

$$Sn\% = \frac{0.7877\ (SnO_2\ の重量)}{W} \times 100 \qquad 但し\ W = 試料\ (g)$$

鉛の定量 酸化錫を分離したる濾液に 3cc の濃硫酸を加へ，湯煎上にて出來るだけ蒸發したる後，砂皿上に加熱し，硫酸の白煙の發する迄に至らしめ，冷却後 50cc の水と 15cc のアルコールとを以て處理し，良く攪拌し，グーチ坩堝にて濾過し，濾紙上の殘渣は 3/100 の硫酸溶液にて洗滌し，次にアルコールを含む水にて充分に洗滌し，乾燥後坩堝爐中にて徐々に加熱し，600°～800°C に至らしめ，冷却後之を $PbSO_4$ として秤量し鉛 (Pb) を次式によりて算出する．

$$Pb\ の\ \% = \frac{0.6831\ (PbSO_4\ の重量)}{W} \times 100$$

銅の定量 鉛を濾過せる後の濾液は，蒸發して，アルコールを完全に驅逐し，蒸溜水にて稀釋し，煮沸して之に硫化水素を通じ，硫化銅を沈澱せしめる．之を濾過，洗滌，乾燥し，灼熱して不純酸化銅となし，之より銅分を電解法又は，チオ硫酸ソーダ滴定法によりて定量する．(5 頁乃至 7 頁參照)

鐵の定量 硫化銅を分離せる濾液は，之を蒸發して硫化水素を驅逐し，ブローム水を加へて鐵を酸化し，アンモニア水を加へて水酸化鐵 $Fe(OH)_3$ を沈澱せしめ，之を濾過洗滌し，濾紙上の殘渣は，鹽酸に溶解し，再びアンモニア水にて沈澱せしめ，濾過，洗滌，灼熱して第二酸化鐵 (Fe_2O_3) となし，之を秤量して 鐵 (Fe) 分を算出する．

$$Fe\ の\ \% = \frac{0.6994\ (Fe_2O_3\ の重量)}{W} \times 100$$

亞鉛の定量 鐵分除去後の濾液は，約 150cc に濃縮し，醋酸にて微酸性とし，(この場合 PH 2～3 位)，之に 3N クロール醋酸 ($CH_2ClCOOH$) 15cc 及 3N クロール醋酸ナトリウム ($CH_2ClCOONa$)

10cc を加へ，常温に於て硫化水素を充分に通じ，硫化亜鉛を沈澱せしめる．これを 30 分間放置して沈澱を沈降せしめ，濾過後，微酢酸性飽和硫化水素水にてよく洗滌し，乾燥後 950°C に灼熱し酸化亜鉛 (ZnO) として秤量し之より亜鉛 (Zn) を算出する．或は上記硫化亜鉛を鹽酸にて溶液となしフエロシアン化加里による滴定法によりて亜鉛を定量する．

$$\text{Zn の } \% = \frac{0.8034 \times (\text{ZnO の重量})}{W} \times 100$$

註　フエロシアン化加量による滴定法

約 22g のフエロシアン化加里 $\{K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O\}$ を 1l の蒸溜水に溶解する．この溶液中には指示薬として少量のフエリシアン化加里 $\{K_3Fe(CN)_6\}$ の存在を必要とする故に 0.15g のフエリ・シアン化加里を之に加へて，よく溶解する．別に 5g の純亜鉛を正確に秤取し，150cc の濃鹽酸に溶解し，溶解完了後，之を 2l に稀釋すれば，この液 1cc 中には亜鉛約 0.0025g を含有する．其の亜鉛含有量を正確に決定する爲鉛亜液液 50cc づつを 3 部取り，各に 2 滴のメチル・レッド及 30cc のミクロ・コスミク・ソルト (Na. NH_4. H. PO_4) の飽和溶液を加へ，アンモニア性となしたる後，醋酸にて中和し，2 時間湯煎上に加熱して濾過する．40cc の硝酸をアンモニア水にて中和して 1l となしたる溫液にて沈澱を洗滌し，乾燥後灼熱，冷却，秤量して其の平均値より亜鉛の量を算出する．

$$Zn = 0.429 \times Zn_2P_2O_7$$

亜鉛含有量の正確に決定せる亜鉛液 50cc を 400cc のビーカーに取り，200cc に稀釋し，2 滴のメチル・レッド，及び 10cc の濃鹽酸を加へてアンモニアにて中和し，更に 3cc の濃鹽酸を加へ，加熱して殆ど沸騰せしめ，分析操作の場合と同様の方法によりて滴定を行ひ，フエロシアン化加里液の强度を決定する．

分析操作，上に得たる硫化亜鉛を濾紙と共にビーカーに入れ，20cc の稀鹽酸を加へて溶解し，之を煮沸して硫化水素を驅逐し，濾過し，殘渣はよく洗滌して洗液は濾液と共にし，冷却後之に 2 滴の 0.1% メチール・レッド液を加へた後，アンモニア水にて中和し，3cc の濃鹽酸を加へ，蒸溜水にて 200 cc に稀釋し，之を殆ど沸騰するまで加熱し，0.2g の硫酸鐵アンモニウム $\{FeSO_4(NH_4)_2 \cdot SO_4 \cdot 6H_2O\}$ を 50cc に溶解せる溶液 (新しく調製せるもの) 5 滴を示指薬として加へ，之にフエロ・シアン化加里液を滴下して滴定を行ふ．滴定は攪拌しつゝ行ふものとす．滴定の最初に於て攪拌を激く行へば暫時にしてメチル・レッドの色は消失して青色を呈し，次にフエロシアン化加里が完全に亜鉛に作用し了れば，再び赤色を呈する．この青色より赤色に變ずる點を滴定の終點となすものである．亜鉛の量は次式によりて算出する．但し　P=亜鉛の百分率；　W=採取せる試料の重量 (g)；　V=滴定に要したるフエロシアン化加里液の容積 (cc)；　w=フエロシアン化加里液 1cc の亜鉛相當量 (g)

$$P = \frac{w \times V}{W} \times 100$$

ニッケルの定量　亜鉛を除去せる濾液を煮沸して過剰の硫化水素を驅逐し，1% のデイメチルグリオキシム $\{(CH_3)_2C_2(NOH)_2\}$ を加へ，微に臭氣を發する程度にアンモニア水を加へ，充分攪拌し，湯煎上にて約 1 時間あたゝめ，グーチ坩堝にて濾過し，熱湯にて洗滌して，110～120°C にて乾燥し，之をニッケル・デイメチル・グリオキシム $[(CH_3)_2C_2NOHNO]_2Ni$ として秤量してニッケル (Ni) の量を算出する．

$$\text{Ni の } \% = \frac{0.2032 \times (NiC_8H_{14}N_4O_4)}{W} \times 100$$

備考 1. 銅分の多量なる場合には直接之を定量せずして，他の成分の百分率の總和を 100 より減じたるものを以て銅の百分率とする場合あり．

硝酸水銀溶液浸漬試驗（青銅）

長 75mm; の供試體を，其の盛第一硝酸水銀水溶液（1 l 中に 100g の，$HgNO_3$ と比重 1.42 の硝酸 13cc を含有するもの）中に 15 分間浸漬し取り出したる時表面に斑痕を生ぜざるものを合格とす．

種々の土木工事用材料に關する試驗

内務技師　西川榮三
　　福島彌六
内務技手　川畑健雄

目　次

I　鹿兒島縣第二垂水橋コンクリート滲出物試驗……（1）
II　靑森縣善知鳥崎道路隧道コンクリート滲出物試驗……（3）
III　中川河水を使用せるモルタル試驗……（6）
IV　砂の相違によるモルタル强度の相違……（7）
V　諸種の一般セメント試驗成績……（7）
VI　3種の早强セメント比較試驗……（11）
VII　土木試驗所建築工事用セメントの試驗……（12）
VIII　珪酸白土石灰岩粉分析……（15）
IX　潜函中の瓦斯定性試驗……（15）

I. 鹿兒島縣第二垂水橋コンクリート滲出物試驗

本試料はコンクリート及型枠間より滲出せるものにして白色を呈し，內徑 2～3 mm の管狀をなし（壁厚 0.5～1 mm 位），一部分黃色を呈せる所あり，表面に細砂を附着して居る．細砂は滲出物に非ずして，滲出物生成後に附着せるものと推察せられる．

外觀檢査後，試料を粉碎し，105°C にて乾燥し，遊離水分の量を見たる後，水にて煮沸し，水可溶物質を定量し，次に鹽素（Cl）を定量し，更に鹽酸にて處理して珪酸（SiO_2）質の物質を檢し，其の餘は通常の分析方法を以て下記の如き成分を定量した．其の分析の成績は第 1 表の如くである．

本試料は遊離水分約 21% を含み，其の乾燥試料中には 1.89% の水可溶分を含めるに過ぎず，珪酸質物質，鐵，アルミナ等は少く，又硫酸も極めて少い．其の主成分をなすものは灼熱減量を以て示さる，化合水及 CO_2 約 34.9% 及 MgO 約 54.8%，CaO 約 4.4% にして，之に約 1.5% の鹽素を含んで居る．

第 1 表の主成分より考察するに，本滲出物中に於てセメントより來れるものと考へらる．CaO は，MgO に比して著しく少く，本試料の本體を形成する Mg がセメント中より來れるものとは考へられず，海水或は他物より來れるものと推察せざるを得ない．又之に鹽

素の含まるゝは明かに海水の影響によるものにして，灼熱減量中の CO_2 は空氣中より來れるものと考へざるを得ない．

次に型枠附近にありし水（試料番號 No. 1198）を取りて檢するに，黃色の浮游物を含有するも之を濾過すれば，濾液は清澄にして鹽鹹き味を有し海水の影響あること明かであり，之が定量分析を行へば，其の成績は第2表の如くである．

第1表 滲出物の分析

試驗番號		No. 1197	備考
試料名		コンクリート滲出物	
遊離水分 (H_2O)		20.95%	
無水物の組成	灼熱減量（約 900°C）	34.86%	CO_2 及 H_2O を主とす
	水可溶成分	1.89	
	珪酸質物質	1.57	僅かに附着せる砂其の他
	R_2O_3（鐵及アルミナ）	0.46	
	CaO	4.37	コンクリート中のセメントより來れるものと考へられる
	MgO	54.75	海水或は地下水中の成分より來れるものゝ如し
	SO_3	0.13	
	Cl	1.45	
	計	99.48	

第2表 型枠附近の水の分析表

	No. 1198	普通海水（參考）
i) 比重 15/15°C	1.022	1.0209～1.0309
ii) 反應（フエノール・フタレイン）	弱アルカリ性	—
iii) 遊離炭酸 (CO_2)	ナシ	—
iv) 浮游物 mg/l	13.0	—
v) アルカリ度 $CaCO_3$ として mg/l	72.6	—
vi) 全固形物 mg/l	16 522（110～115°C）	—
mg/l	16 130（130～140°C）	—
vii) 全固形物灼熱減量 mg/l	3 180（900°C）	—
viii) 900°C 加熱殘留物 mg/l	12 950	—
ix) 鹽素 (Cl) mg/l	8 324.7	15 840～22 941
x) 硫酸 (SO_3) ,,	956.0	2 259～3 283
xi) SiO_2 ,,	16.1	—
xii) R_2O_3 ,,	1.5	—
xiii) CaO ,,	293.2	355～500 (Ca)
xiv) MgO ,,	912.7	1 048～1 601 (Mg)
xv) Cl (ix) 乃至 MgO (xiv) までの計	10 504.3	—

第2表水の分析表より見る時は，其の比重は海水に近く，全固形物中，鹽素は最も多量にして硫酸量之に次ぎ，アルカリ其の他を多量に含み，之に次ぎマグネシウムを多量に含む等すべて海水の影響を蒙り居るもの＞如く，これ等の事實より考へて，上記の滲出物は，其の中の最大主成分 Mg を海水中の Mg より得．炭酸は空氣中より得たるものにして，之等の事柄より推して，コンクリート中の成分はあまり溶出せられ居らざるもの＞如くである．

卽ちこの滲出物の生成はコンクリート內或は型枠及コンクリートの間隙を通過せる海水が，乾燥の途中に於て Mg (及 Ca) が炭酸化せられて殘り其の他の成分は水可溶性なるを以て溶解流出せられて生成せるもの＞如くに考へらる．　(昭和7年6月實驗)

II. 青森縣善知鳥崎（ウトウマイ）道路隧道コンクリート滲出物試驗

概說　青森縣淺虫溫泉附近の善知鳥崎（ウトウマイ）隧道のコンクリートは，其の內部より滲出し來る水分の爲に，コンクリート表面に白色乃至褐色の滲出物を生じ，コンクリートを侵蝕せらるゝものなる疑ありしを以て，仙臺土木出張所三島技師より其の分析の依賴あり，且つ隧道內の異れる部分，7個所より採取せる滲出物試料7種を送附せられた．

試料は各其の外觀を異にし，滲出物以外の夾雜物を含み居るも，其の中コンクリートより滲出せられたる物質と認むべきは灰白乃至白色の徑 2～3 mm 程度の管狀をなせる物質及其破片にして，中には夾雜物の爲褐色に着色せられたるものもあつた．夾雜物としては砂粘土，コンクリートの破片，木材破片，碎石破片等で，これ等夾雜中の破片類は篩分けて除去し，砂，粘土等は篩分により簡單に分離しがたき狀態にありしを以て其の儘とし殘部を乳鉢にて細粉となし，105～110°C にて含有遊離水分を乾燥し，乾燥試料となして分析に供した．其の成績は第4表の如くである．

この隧道は淺虫溫泉附近にあり．參考の爲に淺虫溫泉の水の分析の成績を見るに第3表の如くである．

第3表　淺虫溫泉分析表

(但し內務省衞生試驗所分析開取)

場所別	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
性質	石膏苦味泉	同左	同左	鹽苦味泉	單純泉
溫度 °C	60	58	74	70	65
主成分物質g/liter	$CaSO_4$ 0.587	$CaSO_4$ 0.598	$CaSO_4$ 0.603	Na_2SO_4 0.267 $CaSO_4$ 0.430	—
全固形物g/liter	1.197	1.216	1.207	1.155	0.884

第3表の溫泉分析表は簡單にして，其の詳細を知りがたけれども，其の多くは硫酸鹽類を含み，カルシウム，ナトリウム，マグネシウム等を含むものなる事が推知せられる．善知鳥崎は淺虫より 2km 以内の所にあるも，其の滲出水が淺虫溫泉の水と類似成分を有するものとは斷定できない．然しながら上記の鹽類は地下水中に往々含有せられ居る成分にして，且つコンクリートのセメントに惡影響あるものなるを以て，滲出物中の硫酸の有無は考慮すべき問題である．次に豫想せられ得る水中成分は遊離炭酸なるも，淺虫溫泉の如く高溫度の水の上記の如き分析よりは之を推知することは不可能である．同縣南津輕郡の冷泉中に遊離炭酸を含むものあるも，之を以て善知鳥崎附近の水の性質を推測する譯にはゆかない．

試驗成績　分析の成績は第4表の如し．

第4表　分析表

試驗番號 試料符號	No. 2231 1號	No. 2232 2號	No. 2233 3號	No. 2234 4號	No. 2235 5號	No. 2236 6號	No. 2237 7號
外觀的性狀	灰白色にして所々褐色板狀破片．少量の砂を混ず．	灰白色にして所々褐色管狀及板狀の破片．	褐色の土壤様物質．碎石及コンクリートの破片を含む．	灰白色．管狀及板狀の破片．コンクリートの破片を含む	灰白色にして褐色を帶ぶ．管狀及板狀の破片．少量の砂を附着す．	灰白色．管狀及板狀の破片．	灰白色にして褐色を帶ぶ．板狀の破片
珪酸質物質%	0.71	1.26	71.33	3.55	4.91	1.63	1.32
R_2O_3 %	0.16	0.22	7.69	0.45	0.73	0.42	0.29
CaO %	53.71	53.18	7.66	51.57	43.24	52.38	49.25
MgO %	痕跡	0.08	0.72	0.17	0.28	0.14	0.11
SO_3 %	0.22	0.08	0.59	0.12	2.24	0.11	10.39
灼熱減量 %	44.17	43.60	10.21	42.63	39.06	43.93	37.22
其の他 %	1.03	1.58	1.85	1.51	9.07(1)	1.39	1.42
計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

備考　分析に供せし試料は，原試料中の碎石片，コンクリート片，木材片等を除き，100～110°C に乾燥し，細粉となしたるものにして，百分率は乾燥試料に對するものである．但し砂及土壤は除去しなかつた．

(1)　の大部分はアルカリである．

要約　本試料7種は，上記の如く夾雜物を含むも，夾雜物は，コンクリートの侵蝕には關係なきものにして，除去しがたき砂，土壤のほかは分析試料より取除きあるを以て，之を考慮する必要がない．

第4表試料の中3號は，其の外觀土壤様の物質にして，其の分析の結果は他の6種と全く異り，主として水により流出せられたる土壤類なりと考へらるゝもので，コンクリート

よりの滲出物に非ざるを以て以下之を度外に置く.

其の他の試料につきては，夾雜物として混入せる砂，土壤等の爲各多少成分の相異あるも，大體に於て珪酸質物質は少く，其の稍〻多量なるものは砂より來りたるものと考へられ又鐵及アルミナ (R_2O_3……$Fe_2O_3+Al_2O_3$) 及マグネシウム (MgO) はいづれも少量にして，共に問題とするに足らない.

次に酸化カルシウムは大體 43～54% を示し，滲出物の大部分を占め，水によりてコンクリート中のセメントより，其の成分たるカルシウムが溶出せられたることを證して居る.

又灼熱減量は 37～44% にして，滲出物中には化合水若しくは炭酸の多量に存在することを示し，且つ鹽酸により泡起することより考へて，其の大部分が炭酸 (CO_2) なることが推知せられる.

第4表の CaO 及灼熱減量の割合を見るに第5表の如くである.

第　5　表

試　料	1 號	2 號	4 號	5 號	6 號	7 號	純 $CaCO_3$
CaO	54.9	54.9	54.8	52.4	54.4	51.9	56.1
灼　減	45.1	45.1	45.2	47.6	45.6	48.1	43.9 (CO_2)
計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

卽ち CaO は殆どすべてが炭酸カルシウムとなり居るものと見做されうべく，CaO と化合して尙餘ある化合水，炭酸の一部は其の他の金屬元素と化合し居るものと推せらる．いづれにしても本滲出物の主成分は炭酸カルシウムにして其の量は約 80% 乃至 98% に達する．而してこの炭酸がコンクリートを滲出せる水中に存在せるものなりや，或は滲出後，空氣中の炭酸が滲出物に結合せしやは，水の分析を行はざる限り不明なるも，少くも其の一部は空氣中より來れる炭酸なることは推知し得.

滲出物中の硫酸 (SO_3) は，1 號，2 號，4 號，6 號等の試料には極めて少い．5 號試料は2.24% の稍〻多量を示し，7 號試料中には 10.39% を含み居れり．他の試料中に硫酸少きを以て考ふるに，この硫酸は空氣中より來りたるものに非ず，又セメント中の石膏より來りたるものにも非ざるものと考へらる．從つてこの部分の水中より來りしものと推察せらるゝも，水の分析を行はざりしを以て確證しがたい.

然しながら，5 號或は 7 號の試料を採取せし場所に湧出する水分中に硫酸を含むものとすれば，この水は炭酸を含む水よりも一層コンクリート中のセメントを侵蝕すること激しきを以て，其の維持に留意すべきである．ことに 7 號の個所に於て，この硫酸が水中に存

すると假定すれば，この部分は膨脹性龜裂を生ずる惧あり，コンクリート自體に崩壞の徵候を見る可能性がある．

之を要するに，滲出物は主として炭酸カルシウムにして，水によりてセメント中のカルシウムが溶出せられたるを示し，其の中 5 號或は 7 號の個所に硫酸を認め，特にこの個所に留意する要あるを考へらるゝも，水の性質量及滲出物の生成量，其の他の點不明なるを以て，上記以外の事柄は判斷を下し難い．（昭和 10 年 6 月實驗終了）

附記　本試料は其の外觀，形狀に於て前揭垂水橋コンクリート中よりの滲出物と類似せる點あり，其の生成の經路も滲出水が乾燥の過程中空氣中の炭酸瓦斯によりて炭酸鹽となれるものと推測せらるゝ點に於て一致するも，其の主成分は大いに異り，垂水橋の滲出物に於ては其の主成分を海水より得てコンクリート中の成分は之に關與して居ないが，本滲出物は主成分をコンクリート中のセメントより得たるものなる事に於て根本的に異るは注意すべき點なりとする．

III. 中川河水を使用せるモルタル試驗

昭和 8 年 9 月，金町國道改良事務所に於けるコンクリート工事用水として，東京市葛飾區青戸町三丁目地先中川筋に於ける河水 3 種（滿潮時，中滿潮時，干潮時）を送附せられ，其の試驗方を依賴せられた．

3 種の試料水の分析結果は第 6 表の如し．

第 6 表

試驗番號	No. 1596 滿潮時試料水	No. 1597 中滿潮時試料水	No. 1598 干潮時試料水
全固形物 mg/liter	113	108	202
SO_3 〃	14.7	14.1	14.7
Cl 〃	17.8	17.8	17.8

何れも弱アルカリ性にして，不純物は多からず，SO_3，Cl 等も少量にして，甚しく問題とする程の量ならず．

之を 1:3 モルタル（水量 0.6=w/c）につき硬化試驗を行ひたるに第 7 表の如き成績を示した．但し供試體は徑約 2 cm の圓塔とす．

第　7　表

混合水		水道	No. 1596 滿潮時河水	No. 1597 中滿潮時河水	No. 1598 干潮時河水
3 日	kg/cm²	138.4	108.5	143.8	123.2
7 日	,,	231.4	175.6	202.1	213.3
14 日	,,	305.6	302.4	299.5	291.2
28 日	,,	381.3	316.6	352.1	288.8

但し浸漬水は水道の水を使用した.

第7表の試驗成績に依れば，河水を混合水とする時は幾分の强度低下を來すも，中滿潮時河水は不純物最も少く，强度上の影響も僅少なるを以て使用差支なきものと認めた.

(昭和8年9月實驗)

IV.　砂の相違に依るモルタル强度の相違

大正 15 年7月～8月中，多摩川砂 (No. 403)，馬入川砂 (No. 404)，平塚砂 (No. 405)，標準砂を用ゐて1:3 モルタル强度を比較したるに第8表の如き成績を示した．但しセメントは淺野ポルトランドセメントを使用したものである.

第　8　表

强度＼砂		No. 403 多摩川砂	No. 404 馬入川砂	No. 405 平塚砂	標準砂
抗張力	kg/cm²				
水量	%	7.0	7.5	8.0	6.5
1 週	kg/cm²	38.9	36.1	22.0	32.4
4 週	kg/cm²	47.6	42.0	27.7	36.8
耐壓力					
水量	%	7.0	7.5	7.8	6.5
4 週	kg/cm²	385	300	192	410

第8表の如く砂の異るに從つてモルタル强度は異り，3 種中にては多摩川砂が最高强度を示して居る.

V.　諸種の一般セメント試驗成績

諸種一般セメントの試驗成績を一括すれば次の如し．之等の中には日立 (?) セメント，宇部セメント，淺野ベロ・セメント，秩父早强セメント，宇部早强セメント，秩父セメント，旭セメント，旭特種セメント，小野田セメント，小野田微細セメント，磐城セメント，等が含まれる.

第9表 セメント試験成績

試験番號	No. 584	No. 778	No. 1157	No. 1119	同左
試験年月	昭43	昭59	昭74	昭72	同左
用途	利根川橋工事用	貯水池，浄化装置用	道路試験用	参考試験	同左
依頼者	—	江戸川上水道町村組合	内部依頼	—	—
1. 比重	—	—	3.10	3.12	
2. 粉末の程度 %	—	2.19	0.64	0.62	
3. 凝結					
標準稠度 %	—	27.0	27.8	28.3	
始發 温度 °C	—	21.0	16.0	18.0	
始發 時分	—	2 18	4 35	1 37	
終結 温度 °C	—	22.0	16.5	19.0	
終結 時分	—	4 37	7 10	3 28	
4. 膨脹性龜裂					
浸水法	—	—	—	O. K.	
煮沸法	O. K.	(a)	O. K.	O. K.	
5. 1:3 モルタル					1:3 モルタル
抗張力 kg/cm²					抗張力 (b)
水量 %	7.0	—	6.9	6.8	6.8
3日 kg/cm²	14.6	22.0	26.3	—	1日 17.6
7日 〃	25.4	22.4	28.6	40.8	2日 31.3
28日 〃	—	—	34.9	43.6	3日 35.6
水槽温度 °C	4~13	20.5~21.5	13~15	12~14	12~14
6. 1:3 モルタル耐壓力					耐壓力 (b)
水量 %	7.0		7.2	7.2	7.2
3日 kg/cm²	96.7		198		1日 154
7日 〃	219.3		333	562	2日 304
28日 〃	240.3		501	686	3日 390
水槽温度 °C	7~13		13~15	12~14	12~14
7. 灼熱減量 %			1.60	0.91	—

備考 (a) 水量 25.5%, 26.0%, 26.5%, 27.0% 等の種々の供試體を作り，煮沸法試驗を行ひたるに，水量の如何に關せず，本セメントは凝結の際龜裂を生じ易き（恐らく收縮性龜裂なるべし）傾向あるも，多くの供試體の中にはかゝる龜裂を生ぜざるものもあり，煮沸法に於て完全なるものもあるが，又膨脹性龜裂を認めうるものもある．要するに本セメントは龜裂を生じ易い性質を帶びて居る．

(b) 本セメントは其粉末頗る細く，早期强度高く 1:3 モルタルに於て 2日にして既に抗張力約 31 kg/cm², 耐壓力 304 kg/cm² を發揮し，早强セメントとして使用しうべきものである．

第10表　セメント試験成績

試験番號	No. 1242	No. 1243	No. 1244	No. 1247	No. 1248
試験年月	昭 7 8	昭 7 8	昭 7 8	昭 7 8	昭 7 8
用途	道路用	同左	同左	同左	同左
依頼者	海島國道改良事務所	同左	同左	同左	同左
1. 比重	—	—	—	—	—
2. 粉末の程度 %	—	—	—	—	—
3. 凝結					
標準稠度 %	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
始發 温度 °C	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
始發 時分	1 47	1 37	1 37	1 37	1 43
終結 温度 °C	29.5	29.0	28.5	29.0	29.0
終結 時分	3 07	2 55	2 55	2 57	3 00
4. 膨脹性龜裂					
浸水法	—	—	—	—	—
煮沸法	O. K.	O. K.	O. K.	O. K.	O. K.
5. 1:3 モルタル抗張力					
水量 %	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
3日 kg/cm²	25.6	22.0	23.6	24.1	25.6
7日 〃	26.6	26.8	28.9	32.6	32.8
28日 〃	—	—	—	—	—
水槽温度 °C	24~28	同左	同左	同左	同左
6. 1:3 モルタル耐壓力					
水量 %	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
3日 kg/cm²	378	369	350	363	351
7日 〃	441	431	418	429	432
28日 〃	—	—	—	—	—
水槽温度 °C	24~28	同左	同左	同左	同左
7. 灼熱減量 %	—	—	—	—	—
摘要	使用差支なし	同左	同左	同左	同左

第11表 セメント試験成績

試験番號	No. 1481	No. 1441	No. 1239	No. 2068	No. 2297
試験年月	昭 8 4	昭 8 3	昭 8 3	昭 9 8	昭 10 5
用途	参考試験	参考試験	国 庫	道路用	橋梁工事用
依頼者	—	—	—	東京府第二道路改修事務所	栃 木 縣
1. 比重	—	3.01	3.03	—	3.14
2. 粉末の程度 %	—	2.58	1.38	3.96	2.31
3. 凝結					
標準稠度 %	—	28.5	28.3	28.7	27.3
始發 温度 °C	—	21.0	28.3	—	21.5
始發 時分	—	2 15	2 00	2 00	2 55
終結 温度 °C	—	21.5	28.3	—	22.3
終結 時分	—	3 20	3 15	4 05	4 47
4. 膨脹性龜裂					
浸水法	—	O. K.	O. K.	O. K.	—
煮沸法	—	O. K.	O. K.	O. K.	O. K.
5. 1:3 モルタル抗張力					
水量 %	6.9	6.9	6.9	6.5	7.0
3 日 kg/cm²	32.4	24.1	28.3	24.0	34.6
7 日 〃	33.5	30.3	31.8	25.0	36.4
28 日 〃	—	37.5	33.3	32.2	—
水槽温度 °C	14	18~20	18~20	—	18
6. 1:3モルタル耐壓力					
水量 %	7.2	7.1	7.1	7.0	7.2
3 日 kg/cm²	435	273	276	311	371
7 日 〃	523	319	363	413	517
28 日 〃	—	415	419	482	—
水槽温度 °C	14	—	—	—	18
7. 灼熱減量 %	—	—	3.46	2.48	0.75
8. SO_3 %	—	—	—	1.39	—
摘要	早强セメントに関す.	—	—	—	—

VI. 3種の早强セメント比較試驗

昭和 10 年 4 月試驗せる早强セメント 3 種の試驗成績第 12 表の如し．但し本セメントは下水道敷設工事用材料として使用せらるゝものにして，試驗は依頼によるものである．

第 12 表

試驗番號 試料		No. 2227 早强セメント (1)	No. 2225 同 左 (2)	No. 2229 同 左 (3)
1. 比重		3.12	3.13	3.14
2. 粉末程度 4900孔/cm² 止リ	%	0.80	0.93	1.03
3. 凝結 水量	%	29.5(*a*)	29.5	27.5
温度	°C	19~19.5	20.5~21.0	20.5~21.0
始發	時分	3 50	3 15	2 15
終結	時分	6 10	5 40	4 30
4. 膨脹性龜裂 煮沸法		O. K.	O. K.	O. K.
5. 1:3モルタル耐壓强度				
常温 (18.0~22°C) 養生				
1 日	kg/cm²	170	165	130
2 日	〃	410	414	376
3 日	〃	417	457	456
7 日	〃	544	556	544
28 日	〃	578	597	574
5,6°C 以下養生 (3.0~5.0°C)				
1 日	kg/cm²	77	81	51
2 日	〃	219	210	127
3 日	〃	280	295	205
7 日	〃	413	445	400
28 日	〃	525	547	522

(*a*) は 30~40 分頃，幾分二重凝結に類する現象を認める．

第 12 表の試驗成績によれば，いづれもポルトランド・セメント系の早强セメントであつて，比重，粉末の程度等は相類似し，粉末は概して微細である．凝結時間は互に多少の相違あるも，いづれも使用に差支なきものである．安定度も煮沸法に於て完全である．其の 1:3 モルタル耐壓强度は常温水中養生 (18~22°C) の場合は 3 日以後いづれも 400 kg/cm² 以上，28 日に於ては 550 kg/cm² 以上を示して居る．やゝ低温 (3~5°C) の水中養生に於ては，其の强度はいづれも低下するも 3 日以後 200 kg/cm² 以上，7 日以後 400 kg/cm² 以上，28 日に於ては 500 kg/cm² 以上を示し，28 日に至れば養生温度の影響は少くなる．常温養生の場合の强度を 100% として低温養生の場合の强度を示せば第 13 表の如くである．

第 13 表

	No. 2227	No. 2225	No. 2229
1 日	45.3%	49.1%	39.3%
2 日	53.4	50.8	33.8
3 日	67.2	64.6	45.0
7 日	75.9	80.0	73.6
28 日	90.8	91.2	91.0

卽ち低溫養生のものは常溫養生のものに比して2日までは其の强度は約半分以下であるが，7 日に至れば 74 % 以上に達し，28 日に於ては 90% 以上に達する．而して (1), (2), (3) の3種の中に於て (1) 及 (2) は强度の增進相類似し，(3) は常溫養生に於ては 2 日迄，低溫養生に於ては 3 日迄は，强度の增進やゝ遲きものゝ如くである．

然しながら 7 日以上の養生を行ふ場合に於ては 3 種共本試驗の範圍內にては大差がない．但し通常コンクリート工事に於ける如く水量多き場合は不明である．

尙 1:3 モルタルにつき，60% の水量（セメントに對し）を以て試驗したるに其の耐壓强度は第 14 表竝に第 15 表の如くであつた．

第 14 表 規格試驗用型使用

水溫 22.5～25.5°C 2 日濕氣中以後水中

試料	1 日	2 日	3 日	7 日	28 日
	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
No. 2227	66	123	173	208	420
No. 2225	68	145	216	323	444
No. 2229	63	122	183	292	435

第 15 表 小型モルタル型使用

水溫 24.0～29.0°C 2 日濕氣中以後水中

試料	1 日	2 日	3 日	7 日	28 日
	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
No. 2227	104	131	177	246	297
No. 2225	114	164	195	263	336
No. 2229	89	139	175	254	294

卽ち水量 60% の場合に於ても，No. 2225 の試料が少しく高き强度を示すほか，大體に於て，3 種の間に甚しい相違が見出されなかつた．

VII. 土木試驗所建築工事用セメント試驗

本試驗所建築工事に使用したるセメントは，時々其の試料を取り試驗せるものにして，其の强度其の他の性質は第 16 表～19 表の如くである．

第16表　セメント試驗成績

項目＼試料		No. 791	No. 792	No. 821	No. 824	No. 827
試驗年月		昭 5 10	昭 5 10	昭 5 12	昭 5 12	昭 5 12
1. 比重		3.16	3.16	3.11	3.17	3.13
2. 4900孔/cm² 止リ	%	1.48	1.24	1.03	1.72	1.98
3. 凝結 標準稠度	%	30.4	29.5	29.2	28.6	28.0
始發温度	°C	20.5	19.0	15.2	17.5	14.0
時分		1 57	2 45	4 22	3 12	4 10
終結温度	°C	22.0	19.6	17.5	18.5	16.5
時分		3 40	5 02	5 40	4 40	6 25
4. 膨脹龜裂 浸水法		—	—	—	—	—
煮沸法		O. K.	O. K.	O. K.	O. K.	O. K.
5. 抗張力 純セメント						
水量	%	15.9	16.2	16.2	16.2	16.1
水槽温度	°C	18～19.5	18～19	11～8.5	9.5～8.5	9.0～8.0
1週强度	kg/cm²	83.2	28.2	68.9	56.0	57.0
1:3 モルタル						
水量	%	7.3	7.0	7.0	7.0	6.8
3日	kg/cm²	37.0	28.2	22.4	19.9	16.6
1週	〃	39.5	29.3	31.5	27.0	29.1
4週	〃	—	31.1(推)	37.1	32.5	—
6. 耐壓力 3日	〃	374	267	158	150	127
1週	〃	480	386	337	303	263
4週	〃	530(推)	—	513	428	—
7. 灼熱減量	%	1.07	1.53	2.05	1.90	—

第17表　セメント試驗成績

項目＼試料		No. 830	No. 868	No. 871	No. 867	No. 906
試驗年月		昭 6 1	昭 6 2	昭 6 2	昭 6 2	昭 6 5
1. 比重		3.18	3.10	3.18	3.18	3.15
2. 4900孔/cm² 止リ	%	2.15	2.60	1.46	1.80	1.13
3. 凝結 標準稠度	%	31.0	29.5	30.0	29.2	28.5
始發温度	°C	19.5	19.0	19.0	18.0	19.5
時分		4 40	4 35	5 10	5 27	2 45
終結温度	°C	20.0	20.0	20.0	18.5	20.8
時分		6 50	6 35	7 07	7 55	4 52
4. 膨脹龜裂 浸水法		—	—	—	—	—
煮沸法		O. K.	O. K.	O. K.	O. K.	O. K.
5. 抗張力純セメント						
水量	%	16.0	16.2	16.0	16.0	—
水槽温度	°C	24～7	24～10	24～10	25～9	—
1週强度	kg/cm²	71.2	76.7	69.1	67.3	—
1:3 モルタル						
水量	%	6.7	7.1	6.8	6.7	6.8
3日	kg/cm²	23.9	27.9	22.4	20.9	25.7
1週	〃	34.2	34.8	30.9	27.5	31.6
4週	〃	—	—	—	—	—
6. 耐壓力 3日	〃	173	208	185	171	203
1週	〃	338	432	392	343	378
4週	〃	—	—	—	—	—
7. 灼熱減量	%	1.5	1.7	0.89	1.45	1.16

第 18 表　セメント試驗成績

項目＼試料	No. 914	No. 910	No. 911	No. 915	No. 1169
試驗年月	昭 6 7	昭 6 6	昭 6 6	昭 6 7	昭 7 4
1. 比重	3.12	3.14	3.14	3.14	3.15
2. 4900 孔/cm² 止り %	0.63	0.46	0.55	0.75	0.89
3. 凝結 標準稠度 %	27.5	27.5	27.5	27.5	28.5
始發温度 °C	23.0	21.7	21.7	23.0	15.8
時分	2 05	1 45	2 20	1 50	4 15
終結温度 °C	24.0	23.0	23.0	24.0	16.2
時分	3 45	3 30	4 00	3 20	6 00
4. 膨脹龜裂 浸水法	—	—	—	—	—
煮沸法	O. K.	O. K.	O. K.	O. K.	O. K.
5. 抗張力純セメント					
水量 %	—	—	—	—	—
水槽温度 °C	19～22	16.2～19.5	17～19.5	19～22	13～15
1 週强度 kg/cm²	—	—	—	—	—
1:3 モルタル					
水量 %	6.6	6.6	6.6	6.6	6.8
3 日 kg/cm²	25.7	29.5	30.1	27.2	23.8
1 週 〃	29.5	31.6	32.4	31.3	29.3
4 週 〃	35.4	37.5	36.2	34.9	33.8
6. 耐壓力 3 日 〃	275	285	315	296	181
1 週 〃	430	459	418	420	385
4 週 〃	542	562	526	557	548
7. 灼熱減量 %	1.03	1.06	0.63	0.83	0.98

第 19 表　セメント試驗成績

項目＼試料	No. 1106	No. 1418	標準規格	備考
試驗年月	昭 6 12	昭 8 3	—	(a) 水槽の温度は純セメント，1:3 モルタル共に同じである．
1. 比重	3.13	3.20	>3.05	
2. 4900 孔/cm² 止り %	1.42	1.53	<12.0	
3. 凝結 標準稠度 %	28.0	29.0	—	
始發温度 °C	19.0	17.0	—	(b) 1:3 モルタル試驗の中，抗張供試體及耐壓供試體は必ずしも同水量にて試驗せざりしも其の差は 0.3 % 以内なるを以て，抗張供試體の水量のみを記した．
時分	4 07	4 15	>1.00	
終結温度 °C	20.0	17.8	—	
時分	5 50	6 20	<10.00	
4. 膨脹龜裂 浸水法	—	O. K.	O. K.	
煮沸法	O. K.	O. K.	O. K.	
5. 抗張力純セメント				
水量 %	—	—	—	
水槽温度 °C	13.5～14.0	10～12	—	
1 週强度 kg/cm²	—	—	—	
1:3 モルタル				
水量 %	6.8	6.7	—	(c) 上記の諸セメントはすべて規格に合格するのみならず，規格の數値よりも遙かに優良の數値を示して居る．
3 日 kg/cm²	27.7	20.1	—	
1 週 〃	32.4	28.9	>20.0	
4 週 〃	—	32.0	>25.0	
6. 耐壓力 3 日 〃	278	183	>150	
1 週 〃	434	366	>220	
4 週 〃	—	506	>300	
7. 灼熱減量 %	1.29	0.85	<4.0	

第 16 表～ 19 表のセメントは，小野田セメント株式會社，土佐セメント株式會社，淺野セメント株式會社等の製品にして，すべて規格には合格し，其の他使用上に缺陷なきを認めた上新築或は增築等の工事用に供せられたものである．

VIII. 珪酸白土石灰岩粉分析

試驗番號 No. 385，試料名 珪酸白土の成分第 20 表の如く，試驗番號 No. 771，依頼者，名古屋市役所，試料名 石粉（シート・アスファルト・填充材石灰岩粉末）の分析結果第 21 表の如し．

第 20 表

SiO_2	67.20%
Al_2O_3	17.75
Fe_2O_3	1.79
MgO	0.38
灼熱減量	5.66
其の他	—
計	100.00

第 21 表

1. 比　重	2.679
2. 鹽酸不溶解分 (1;2)	1.58
3. 篩　分　%	
80 番止り……	0.8
80 番～100 番……	2.5
100～200 番……	23.7
200 番通過 ……	73.0

IX. 潛函中の空氣定性試驗

川崎市内某所基礎工事に使用せられつゝある潛函内に於て深約 10 m 前後に達する時は，潛函内に働くもの眼痛を訴ふるにより，惡性瓦斯の發生あるに非ざるかを疑ひ，參考の爲其の定性的試驗を行つて見た．

第 1 回採取瓦斯試料の某所に於ける分析の結果は，酸素量約 20.60 Vol.% にして，通常の大氣中の酸素量 20.94 % に比して大差なく，この比率を以てすれば，瓦斯中窒素は 77.13% となり其の他の CO_2，アルゴン等と合して其成分の大部分は通常の空氣の存在するもので，假りに其の殘餘が可燃性瓦斯（例へばメタンの如きもの）であつても，其の量は極めて少く其の混合割合は爆發範圍以外にあるを以て，爆發の危險はないものと考へられた．但し本試驗は 1 回行ひたるのみであるから，深度の異る場合に果して爆發性瓦斯の發生あるや否やは斷言できない．

次に眼痛を訴ふる點より想像するに，瓦斯中に幾分の刺戟性瓦斯（例へば酸類）の存在が疑はれる．然しながら周圍の狀況より判斷するに，かゝる瓦斯は極めて少量のものと推測せらるゝを以て，潛函中の瓦斯試料を少量に採取するも其の定量は困難であり，又頗る煩鎖で，絶えず進行しつゝある工事上の參考とするには分析時間がかゝり過ぎる嫌があるを以て，現場について 2，3 の定性試驗を行ふに止むることゝした．

想像し得らるゝ有害瓦斯として，CO_2，H_2S，Cl_2，其の他酸類，アンモニア瓦斯等を考慮し，(1) 沃素カリ澱粉紙（鹽素 Cl_2 定性用）；醋酸鉛紙（硫化水素 H_2S 定性用），靑色リト

マス紙（酸類定性用），赤色リトマス紙（アルカリ類定性用）の4種の試驗紙を，潛函內の空氣中及潛函入口の空氣中に約1時間放置して見たが，潛函入口の空氣中に放置せる試驗紙は殆ど變化を認めず，潛函內に放置せる試驗紙中青色及赤色リトマス紙は變化なく，沃素カリ澱粉紙にも異狀を認められず，唯醋酸鉛紙のみは褐色に變化し硫黄性瓦斯（主として硫化水素）の存在することが明かとなつた．硫化水素は弱酸性でリトマス紙には殆ど感じなかつたものであるが，醋酸鉛紙には明に其反應を表したもので，このものは眼を刺戟するが，水を以て洗へば溶解し去られる．試みに潛函中の土を取りて嗅ぐに腐卵の如き臭氣あり，本瓦斯が土壤中より來りしものなることを證して居る．硫黄性の瓦斯として考へらるゝものは H_2S のほかに亜硫酸瓦斯（SO_2）があるが，いづれも酸性であるから，かゝる場合には，無害なるアルカリ性物質の溶液（例へば石灰乳の如きもの）を撒布して，其の發生を防ぐことは有効ではないかと思はれる．

上記の潛函工事は硫黄性瓦斯發生後，掘り進むに從ひ，1 晝夜位にして土壤の性質變化し極めて短期間に其の困難を自然的に突破せるをもつて，事實上は大なる問題ではなかつたが，一つの好參考試料たるを失はない．

尙昭和 10 年 6 月 4 日，同じ潛函內にて採取せる土壤を分析せるに第 22 表の如き成績を示した．（註　瓦斯發生の甚しかりしは其の前後なりし由である．）

第 22 表　基礎工事ケイソン內土壤分析

1.	水分其の他　110°C 迄の消失量	28.26%
2.	灼熱減量　110～900°C 重量減	3.93
3.	乾燥試料中の全硫黄（但し含水試料に對する%）	1.00　(SO_3 として)
4.	含水試料中全硫黄	1.00　(SO_3 として)
5.	水に可溶性の硫黄物質	0.11　(SO_3 として)

第22表の分析表によれば，土壤中には約28% 前後の水分並に揮發分を有し，揮發分は多少腐卵の如き臭氣ありて，硫化水素の存在を暗示するも，其の量甚輕微である．乾燥試料中の全硫黄は SO_3 に換算する時は約 1.00% であり，含水試料中の全硫黄量も約 1.00% である．この點よりみて揮發分として含まるゝ硫黄は測定困難なる程度の少量であつた．又試料中水に可溶なる硫黄は 0.11% 程度で，約 0.89% は水に不溶解なる硫黄化合物をつくるものと見做される．上記の結果よりすれば硫化水素瓦斯の問題は甚しき困難を生ぜざるべき譯であるが，本試料は，瓦斯發生將に終息せんとする間際に採取せられたもので瓦斯發生の激甚なる折に得られたるものならざるを以て充分なる參考となしがたきも，土壤中に硫黄の存在することは明かにして，瓦斯發生激甚なる深度に於ては，土壤中より硫化水素瓦斯或は亜硫酸瓦斯の發生する可能性あることは想像し得らるゝ所である．但し上記の資料のみにては其の量については適確に判斷を下し難きを遺憾とする．

施工方法による砂利路面工の耐力の比較試験

内務技師　山　田　元
内務技手　船　山　晴　雄

目　次

緒　言……（1）
I　試驗方法……（1）
II　試驗結果……（7）

緒　言

砂利路面の交通の破壞力に對する耐力は

1）配合比
2）含水率
3）材料殊に膠着材である土の性質
4）構造（厚，路面勾配，側面支持狀況，排水等）
5）施工方法
6）維持方法
7）氣象

等によつて異るべきは想像するに難くないが配合比，含水率に關しては曩に東京山手赤土を膠着材とする一例に就いて其傾向の一端を報告[1]したが，元來上述の諸要素は密接な相關々係にあり，殊に 1), 2), 3), 及 5) の關係は密接不離であつて，之等の間に正常の關係なければ其耐力を云々するも無意味であり，土の性質が一定すれば必ずや之に應ずる最良の施工方法があるべきである．本報告は之等の諸關係を詳にせむが爲の第一步として前記報告[1]に掲げた一例に就き施工方法による耐力の比較を略〻實際の車輛と其作用の等しい試驗機械を用ひて試驗せるものである．

I. 試驗方法

〔1〕試驗概說

試驗は甲種道路試驗機[1]を用ひ，試驗路面は平均直徑約 10 m の環狀の一部に設け，配合は前報告[1]に於て最適當と認められた範圍中土量最少のもの卽ち土 12.5，砂 18.75，砂利 100（乾燥重量にて）を用ひ，含水率を 3 種とし各〻に就き施工方法を異にせる 2 種に

1）内務省土木試驗所報告第三十三號．

分ち總計6種とし，其上に直徑約 1 m，重量約 1 瓲の車輪 8 個に空氣入ゴム，ソリッドゴム又は鐵等各種の輪帶を混用し約 3 哩/時 の速度を以て各獨自の徑路を囘轉走行せしめて路面の破壞に到る經過及結果を觀測し其許容通過荷重量を比較測定した．試驗は昭和 10 年 12 月 5 日乃至 7 日に路面を築造し，其後約 1 ケ月間乾燥せしめたる後昭和 11 年 1 月 10 日終了した．

〔2〕 使用材料の性質

使用材料は砂利，砂及土各1種に止め總て前囘試驗[1] と同一のものである．

砂利 は 40 mm 以下，主として 20 mm～5 mm のもの多く 82.5% を占め，粗粒率 6.47，吸水率 0.76%，單位重量 1,756 kg/m³，空隙率 32.7% である．

砂 は比較的細粒にして主として 50 番乃至 100 番のものより成り粗粒率 2.06 を有し，室內乾燥の程度に於ける含水率は平均 1.71%，單位重量 1,416 kg/m³，空隙率 46.5 % である．

土 は所謂「東京山手赤土[2]」の 1 種にして粘土分 61.2%，收縮限界 56.81%，可塑性限界 92.2%，可塑性指數 37.4，遠心力含水當量 67.0%，單位重量 672 kg/m³，空隙率 72.2% である．

〔3〕 路面構造及施工方法

試驗路面は中心線直徑 10.06 m の環狀の內外 2 列の側壁內の一部に設けられ，幅員 76.2 cm，中心線延長約 5.93 m，面積約 4.52 m² で，之を 6 等分し一區間の中心線延長約 0.99 m，面積約 0.75 m² である．兩側各約 8 cm を除く中央 60 cm 內に 8 個の試驗用車輪が略〻相接して各自の路線を反覆走行する．

（1） **路床** はよく搗固めた砂利層にして厚約 1 m，砂利粒度は 40 mm～5 mm，內 20 mm～5mm のもの 64.8%，平均地床示數[3] 12.0 kg/cm³ (直徑 20 cm の圓形加壓面に據る) である．

（2） **基礎** は前記路床用砂利に砂，赤土及水を加へて充分混合し，下 2 層は各 7.5cm，上層 5 cm 計 20 cm に搗固めたものにして其地床示數は 13.8 kg/cm³ (直徑 20 cm の圓形加壓面に據る) である．

（3） **表層概說** 配合は乾燥重量比にて砂利 100，砂 18.75，土 12.5 の割合とし 1 囘約 130 kg の材料を嚙め鐵板上にて各材充分一樣となるまでショベルにて混合せる後 1 層厚約 4 cm のもの 2 層計 8 cm とする．

1) 內務省土木試驗所報告第三十三號
2) 同上第二十號 1～26 頁，第二十二號 116～121 頁
3) 土木試驗所報告第二十七號 150 頁參照

表層は，含水量によりて軟練，中練及硬練の3稠度に分れ，又施工方法によりて充分搗固めたるもの及搗固めざるものとの2種に分れ計6種である．

搗固は築造の際には木槌（重量 24.4 kg，底面直徑 25 cm）を用ひ，築造完了後には重量 11 kg，底面積 110 cm² を有する鐵製搗固器を用ひ稠度により揚程 20 cm 乃至 5 cm とした．

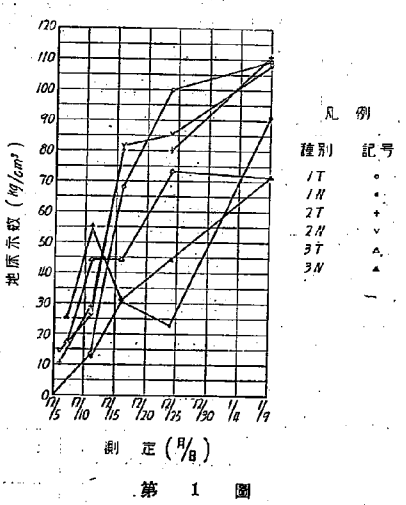
又支持力の參考の爲別に築造と同時に同一材料を用ひ壓縮試驗片を造り乾燥後試驗路面の試驗と略〻同時に其壓縮强度を試驗した．試驗片は直徑 10 cm，高さ 20 cm の圓柱狀とし製作方法は2種とし1はコンクリート壓縮試驗標準方法と同樣のもの，2 は製作に際し單位壓力度 20 kg/cm² に相當する壓力を加へて棒搗を行はなかつた．

表層の支持力は面積 20 cm² (直徑約 5 cm) の圓形加壓面を有する支持力測定機[1] を用ひ加壓 40 kg による變形量より算定した．

（4） **表層各說**　築造の際及其直後に於ける各種表層の性狀を一括すれば第 1 表の如く，築造後に於ける支持力の變化は第 2 表及第 1 圖の如く，各種別每の性狀は略〻次の如くである．

IT　12 月 5 日午後施工，材料の稠度略〻半流動體で搗固め不可能の爲ショベルで均し其表面をショベル背面で輕打して所定の高さに均し仕上げた．本材は流動性大なる爲壓縮試驗片製作に際し加壓 20kg/cm² のものは製作不可能の爲省略した．標準方法に據り製作せるものは壓縮强度 1.603 kg/cm² にして3種中最大である．完工後間もなく其表面に清淨なる溜水を生じた．翌朝表面水の消失するを俟つて輕く搗固め，以後乾燥に伴ひ第2表に示す通り搗固めた．支持力は路面軟弱なりし爲 11 日始めて測定して 13.3 kg/cm³ を得た，其後乾燥，搗固めにより漸次固結し 1 月 6 日には表面全部乾燥し試驗施行前日 1 月 9 日には 109.5 kg/cm³ に達した．

IN　IT 同樣同時に施工し少しも搗固めず試驗の時まで自然に乾燥せしめた，施工後 20 日を經た 12 月 24 日に至るも表面の全部は乾燥色を呈するに至らず



第 1 圖

1) 土木試驗所報告第二十三號 8 頁參照

第 1 表

表層番號	表層種別	施工方法大要	含水率 (%) 施工時 全	含水率 (%) 施工時 土	含水率 (%) 試験時 全	含水率 (%) 試験時 土
1	T	上下兩層共ショベルにて均す程度 蛸にて搗固め難し	下層 15.2 上層 16.2	平均 140.8	4.3	40.6
	N	同上	同上	同上	3.9	36.4
2	T	蛸にて輕く搗固 下層 400 回　上層 800 回 表面水にて光る	下層 9.8 上層 11.3	平均 85.8	4.1	38.5
	N	同上 表面をショベル裏にて打叩き均す	同上	同上	4.7	44.8
3	T	蛸にて强く搗固 下層 410 回　上層 833 回 蛸をハネ返す程度に固まる	下層 9.6 上層 8.7	平均 72.6	5.6	54.2
	N	同上	同上	同上	5.6	54.2

第 2 表　表層に

表層番號	表層種別	項目＼月日	12 6	12 7	12 9	12 10	12 11	12 12
1	T	搗固其他の手當經過	極く輕く 1 通搗固	〃 1 通り	輕く 3 通り	〃 3 通り	〃 1) 3 通り	〃 2) 3 通り
		地床示數 (kg/cm³)					13.3	
	N	搗固其他の手當經過						
		地床示數 (kg/cm³)					12.7	
2	T	搗固其他の手當經過		輕く 1 通り	普通に 3 通り	〃 1) 3 通り	〃 1) 3 通り	〃 1) 3 通り
		地床示數 (kg/cm³)	10.6				28.8	
	N	搗固其他の手當經過						
		地床示數 (kg/cm³)	13.8				26.1	
3	T	搗固其他の手當經過			强く 1 通り	撒水1) 1.9 l/m²	午前 1.9 l/m² 撒水 3 通り	普通2) 3 通り
		地床示數 (kg/cm³)		17.5			44.5	
	N	搗固其他の手當經過						
		地床示數 (kg/cm³)		25.3			55.6	

表層性状

稠度（施工時）		地床示数 (kg/cm³) 加圧面積 20 cm² 円形		壓縮強度 (kg/cm²) 試片寸法 { 徑 10 cm 高 20 cm			摘要
スランプ cm	フロー	施工時	試験時	コンクリート標準方法により製作せるもの	20 kg/cm² 加壓せしもの	全含水率 (%)	
下層 1.6 上層 2.1	129 133	測定不能	109.5	1.60	製作不能	3.8	施工 12月5日午後 試験 1月10日
同上	同上	同上	91.0				施工 同上
下層 0.1 上層 0.0	101 101	10.6	111.0	1.56 1)	3.33 2)	1) 3.1 2) 2.9	施工 12月6日午後
同上	同上	13.8	108.0				
下層 0.0 上層 0.0	100 101	17.5	71.5	0.78 1)	1.60 2)	1) 3.0 2) 3.2	施工 12月7日午後
同上	同上	25.3	71.5				

對する手當及經過

12 13	12 14	12 16	12 18	12 24	1 6	1 9	摘要
〃 3 通り	〃 3 通り	3) 3 通り	降雨の爲濕潤		表面乾燥		1) 6日以後表面游離水なかつたが搗固めにより水滲出 2) 搗固め跡殘る 3) 搗固器をハネ返す，未だ濕色
		67.9		100.0		109.5	
			降雨の爲濕潤		表面乾燥		
		30.5		22.7		91.0	
〃 2) 3 通り	〃 3) 1 通り	表面半乾色 4)	降雨の爲外側半分濕れる		表面乾燥		1) 未だ搗固めの跡殘る 2) 搗固めの跡殘らず 3) 搗固器をハネ返す 4) 搗固めの効果なく却て表面破損の虞あるにより搗固中止
		80.0		80.0		111.0	
			降雨の爲外側半分濕れる		表面乾燥		
		81.6		85.2		108.0	
〃 3) 1 通り	午前撒水 1.6 l/m² 午後 3 通り	所々乾色 4)	降雨の爲 3N に近き部分濕れる		表面乾燥		1) 表面固過ぎて搗固め悪い爲撒水 2) 跡殘らず 3) 乾燥の爲搗固めにより破損の虞あり，中止 4) 2T の 4) と同様搗固めにより表面破損の虞あり，中止
		44.5		73.1		71.5	
	午前撒水 1.6 l/m²	所々乾色	降雨の爲終端半分濕れる		表面乾燥		
		31.3		44.0 37.1 1)		71.5	1) 霜害を受けたる部分

地床示數も 22.7 kg/cm³ に過ぎず，1 月 6 日には全表面乾燥し，試驗前日の 1 月 9 日には地床示數 91.0 kg/cm³ に激增した．

2 T 12 月 6 日午後施工し表面水光りする程度まで輕く搗固め翌日輕く 1 通り，9 日以後殆ど毎日 3 通り搗固め，12 月 16 日表面半ば乾燥色を呈し地床示數 80.0 kg/cm³ に達し，18 日降雨の爲表面半ば濕れたが 24 日支持力測定の結果は 16 日同樣 80.0 kg/cm³ を示し，試驗前日 1 月 9 日には 110.0 kg/cm³ となり本試驗中の最高に達した．壓縮試驗の結果を見るに標準方法に據るものは 1.56 kg/cm² にして **1** に比し稍〻劣るも **3** に比し遙に勝り，製作の際 20 kg/cm² に加壓せるものは 3.33 kg/cm² にして築造時含水率のより小なる **3** に比し 2 倍に達した．

2N は 2T と同時に同樣に施工し其儘自然乾燥により固結するに委した，施工直後の地床示數は 13.76 kg/cm³ にして其後乾燥と共に增大し常に 2T と殆ど遜色なく時には寧ろ勝れる場合あり，12 月 16 日表面の半ば乾燥色を呈せる時既に 81.6 kg/cm³ に及び其の後は大なる變化なく試驗前日の 1 月 9 日の値は 108.0 kg/cm³ にして略〻等しい．

3T 12 月 7 日午後施工し搗固めを特に强くし直後の地床示數 17.47 kg/cm³ に達し 9 日再び搗固めを行つたが却つて表面を破壞する傾向ありしを以て僅かに 1 通りにして中止し，10 日午後，11 日午前各 1.89 l/m² 撒水し 11 日午後 3 通り搗固め，地床示數 44.5 kg/cm³ を得た．其後乾燥過度となつて表面搗固めに適せざるに至る毎に撒水して適當に濕潤として搗固め試驗前日には 71.5 kg/cm³ に達した．試驗片の乾燥後の壓縮强度は標準方法のもの 0.781 kg/cm²，加壓 20 kg/cm² のもの 1.603 kg/cm² にして共に **2** より遙に小である．

3N 3T 同樣同時に施工し完工後は搗固めを行はざる外 3T 同樣に處理し，直後の地床示數 25.33 kg/cm³ なりしもの一旦充分乾燥したる後適濕とせし時には 55.55 kg/cm³ に達し，以後は增大せず時には却つて減少し，試驗前日には 71.5 kg/cm³ に達して 3T と同等となつた．

〔4〕 試驗荷重

試驗に使用せる車輪[1] はソリッド及ニウマチックゴム及鐵輪帶の 3 種あり，8 個の內第 5 (ニウマチック)，第 6，第 7，第 8 (ソリッド) の 4 個を働輪とし，第 1，第 2 (ソリッド) 及第 3，第 4 (鐵) の 4 個は從輪とした．種別及荷重は第 3 表に示す通りにして 24 分間運轉せしに一部破壞著しくして運轉不可能の部分を生じたるを以て運轉を中止した．各車輪の通過荷重及相當交通量[2] は第 3 表に示す通りである．

1) 土木試驗所報告第三十三號 5，6 頁
2) 土木試驗所報告第十三號 17 頁

第 3 表　試 驗 荷 重

1. 輪帶種別 G はソリッド，P はニウマチック，S は鐵輪帶

車輪番號	輪帶種別	荷重 (kg)	壓力度 輪帶幅 1 cm につき (kg/cm²)	壓力度 單位面積につき (kg/cm²)	作用種別	通過荷重 (瓲)	相當交通量 (瓲)	摘要
1	G	1043	191	13.64	從	58.9	2540	
2	G	1028	163	10.45	從	58.1	2304	
3	S	1341	177		從	75.7	2485	
4	S	1360	177		從	76.8	2495	
5	P	907	133	5.60(7.50)1)	働	51.2	1912	1) 純接觸面積による
6	G	911	149	11.70	働	51.5	2110	
7	G	957	165	11.95	働	54.0	2330	
8	G	949	153	11.00	働	53.6	2162	

II. 試 驗 結 果

〔1〕 試驗結果の概說

試驗終了後の路面狀況は第2圖に示すが如く，通過荷重少量なるに拘らず顯著なる相違を示して居り，試驗開始後 20 分を經ずして全種別の優劣を明にするを得た．工法宜しきを得たものは鐵輪帶に對しても殆ど損傷の認むべきものなく尙充分の餘力を示せるに反し，工法適當ならざるものはゴム輪帶によつても破壞された，從つて特に輪帶の種別に依つて工法の適否の判斷の標準を異にする迄の詳細なる試驗結果を得るに至らなかつた．本試驗の結果による耐力と前述の支持力測定機による地床示數との間には一定の竝行關係は存在せざるもの>如くである．但し搗固めを行つたもの>みに就いて云へば必ずしも背馳せず，極めて精確とは云ひ難いが略〻大勢を豫知することは出來る．コンクリート壓縮試驗の標準方法に準じて行つた壓縮試驗の結果は，搗固めを行つたものに就いては略〻竝行の關係があるが搗固めなかつたものに就いては却つて逆の結果を示した．稠度卽ち含水量の影響は極めて重要であるが之のみが決定的のものではなく，之を左右し更に大なる影響を耐力の上に及ぼすものは搗固めにして特に養生期間中の搗固めの効果大なるもの>如くである．稠度を表現するスランプ又はフローはコンクリートと同樣の測定方法では耐力に及ぼす影響に對して明確なる示唆を與へるには不充分の如くである．

〔2〕 試驗結果の各說

1T　試驗前に於ける路面は充分乾燥して居り表面は土砂層を以て覆はれ砂利露出せず，其地床示數は 109.5 kg/cm³ にして 2T に比し稍〻少く第2位である．試驗の結果第4鐵輪

徑路の內緣，第 5 ニウマチック・タイヤの徑路に接する部分に稍〻深き輪轍を殘し，第 3 鐵輪徑路の表皮弛緩し，第 2 徑路の砂利露出し，第 8 徑路は砂利露出し始めたる程度にして一見殆ど異狀なく尙充分耐力を存し成績最も優秀なること極めて明瞭である．

1N 路面の試驗直前の狀況は一見 1T と餘り異ならず唯搗固めない爲路面 1T に比し約 15 mm 高し，地床示數も 91.0 kg/cm³ にして 1T と甚しき逕庭なく 3T, 3N に比し大であるが試驗の結果は明に全種別中最も惡く，全區域に亘り破壞し殆り餘力を存する徑路なし，破壞程度の最も甚しきは鐵輪徑路である．本種の結果より見て斯種の材料及配合に據つて水の乾燥に由つて生ずる締合力のみに期待して耐力充分なる砂利道を築造することは困難なることを明である．

2T 施工後約 10 日にして既に表面半乾燥色を呈するに至り，其後少量の降雨の爲乾燥稍〻遲れしも試驗直前には固結乾燥充分となつた．路面は 1に比し稍〻粗鬆の觀を呈した，地床示數は 111.0 kg/cm³ にして全區域中最大である．試驗の結果第 3, 第 4 の鐵輪徑路は破壞し，第 2 徑路は表面弛緩して砂利遊離し始め，第 7, 8 等は未だ破壞の徵候なきも，表皮全然消滅し砂利露出した．成績は第 2 位にして 1T に比しては遙に劣るも明に 3T に優る．

2N 試驗前の路面狀況は一見 2T と異らず，地床示數の如きも 108.0 kg/cm³ にして此種の數量としては略〻等しいと看做し得る．然るに試驗結果は第 4 位にして遙に之に劣り，第 3, 第 4 の鐵輪徑路は勿論，第 1, 第 2, 第 5 及第 6 徑路も破壞し，第 7, 第 8 徑路は表面弛緩し，第 6, 第 7 及第 8 徑路の間隙は少しく隆起し又第 1 徑路外側には材料盛出された．

3T 施工當初より充分强く搗固めた爲 2 日後には鐵製搗固器にては搗固めの効果なき程度に固結し，3 日後には勿くとも表面は乾燥過度の觀を呈するに至つた爲數回撒水せしも試驗前表面は充分乾燥したが地床示數は 3N と共に試驗區域中最小にして 71.5 kg/cm³ である．試驗結果は第 3 位にして搗固めを行つたもの〻內最も惡く，第 3, 第 4 の鐵輪徑路の外第 2 徑路も破壞し，第 1 徑路は表面弛緩し，第 6, 第 7 及第 8 徑路の間隙は稍〻隆起した．

3N 路面の大部分は略 3T と同樣で地床示數も同じく 71.5 kg/cm³ であるが，試驗機の蔭となる一部分は表面充分乾燥せず凍害を受けたる部分あり，固結の程度一樣ならざるもの〻如くである．試驗結果は 2N と略〻同樣の程度にして稍〻之より劣り第 5 位であるが 1N に比しては遙に勝る．破壞徑路も 2N と同樣にして唯徑路第 6, 7, 8 間の間隙の隆起の高さ稍〻大である．本試驗の結果より見るに築造當初の搗固の影響は餘り大ならざるもの〻如くである．

〔3〕 試験結果要約

本試験に於けるが如く，東京山手赤土若しくは之と類似の性質を有する土を膠着材とし，配合比砂利 100，砂 18.75，土 12.5 を標準とする砂利道に於ては施工方法と其車輛交通に對する耐力との關係を要約すれば次の如くである．

1) 乾燥すれば耐力を增すことは明であるが，併し施工當時より試驗時に至る間に乾燥せる含水率の大なるもの必ずしも耐力の增量が大であるとは限らず，乾燥に由る締合力を最大ならしめるに適當なる一定の含水率が存在するもの〻如くである．

2) 氣象による乾燥作用のみで本試驗荷重の車輪に耐へる路面を築造することは困難である．

3) 土の含水率が 100% (土の乾燥重量と等量) 以上乾燥しても其乾燥によつて得た耐力は築造の際其材料の稠度に適する樣搗固めたものにして乾燥による含水率の減少 20% に滿たぬものに及ばざること遠い．

4) 築造の際本試驗に用ひた樣な搗固めを與へることは耐力を增す上に於て頗る有効である．

5) 築造の際强く搗固め得る爲に材料の含水率を減じて硬練とすることは最大耐力の路面を造るに適當なる施工方法とは認められぬ．

6) 築造の際搗固めたものよりも築造の際は搗固め得ざる程度の軟稠のものでも乾燥と共に搗固めたもの〻方が遙に耐力大である．

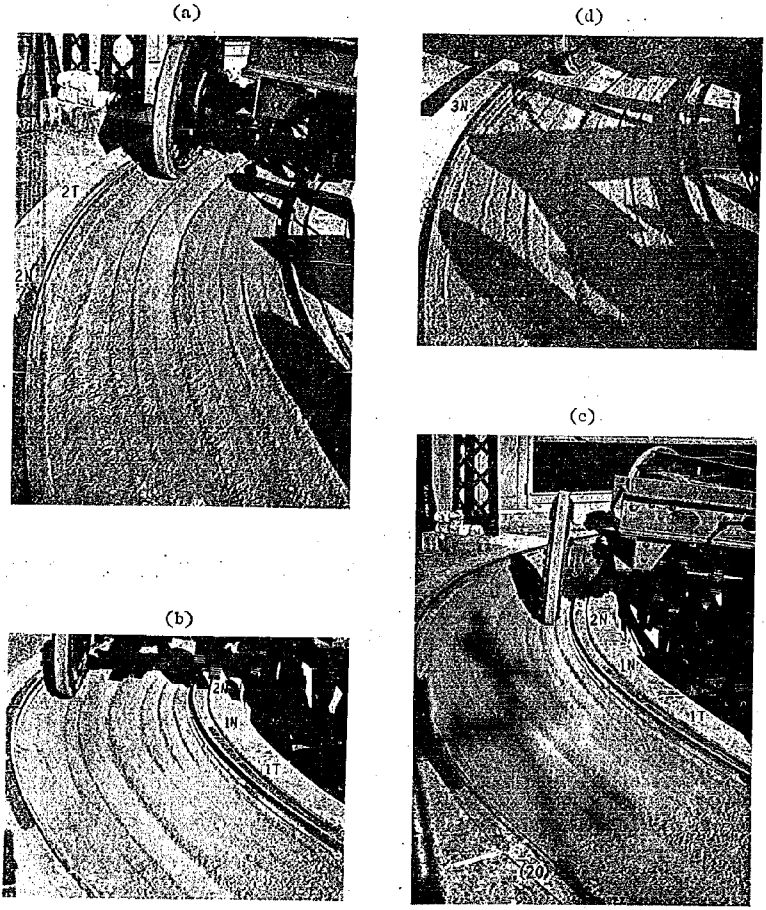
7) 耐力大なる砂利路面を造成する爲には乾燥，搗固め又は輾壓の孰れの一つをも缺く可からずして兩者を併用相應じて施工するを要し，特に急を要せざる限り硬練として搗固め又は輾壓のみに依ることは得策ではない．

8) 本試驗に用ひた方法による地床示數は必ずしも車輪に對する抵抗力の判斷の資料とはならなかつた．

9) 輪帶の種別によつて施工方法を異らしむる必要は認められぬ．

10) 徑 10 cm，高さ 20 cm の圓筒を用ひコンクリート壓縮試驗の標準方法と同樣の方法に據り製作せる壓縮試驗片の示す壓縮强度は尠くとも搗固めを行つた路面に就いては大體の示針となし得るもの〻如くである．

11) コンクリートの軟度試驗として用ひらる〻スランプ又はフロー・テーブル試驗に於ては殆ど表現し得ぬ程度の軟度の相違も路面の耐力に甚大の開きを生ずる．



第 2 圖　試驗後の路面狀況

運轉時間　24 分　　鐵輪最大通過荷重　76.8 瓲
同上相當交通量　2,495 瓲

鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計 (2)

内務技師　大　野　一　博

目　次

I　緒　言……(1)
II　水平横荷重を受ける對稱無鉸拱……(1)
III　拱軸線及斷面の變化……(7)
IV　不靜定量の影響線……(10)
V　反力及モーメント……(21)
VI　對稱荷重の場合……(21)
VII　定斷面の圓弧拱……(24)

I. 緒　言

鐵筋コンクリート拱橋は數個の肋拱より成る場合多く，從來多く用ひられた版拱(Barrel Arch) に比し其の側方よりの力に對する剛度は比較的小である．版拱に於ては幅員に比して支間が相當大ならざる限り，水平横荷重即ち地震力，風壓等の如き荷重に對しての安定は殆ど問題とされなかつたが，肋拱の場合には拱矢の大となるに從つて之等の影響比較的大となるを以て，本邦の如き地震國に於ては之を考慮に入れて設計する必要がある．

一般に肋拱橋の主拱は水平横支材を以て互ひに連結せられるを以て，單獨の拱の場合とは多少相異する處あるも，普通單獨拱として計算することは安全側の誤差である．

水平横荷重に對する計算法は Hawranek[1] 氏其他によつて論ぜられたものもあるが，本稿は著者が先に發表せるものに繼き，斷面の變化に更に適當なる假定を設けて水平横荷重を受ける單獨對稱無鉸拱に就て論じたものである．

II. 水平横荷重を受ける對稱無鉸拱

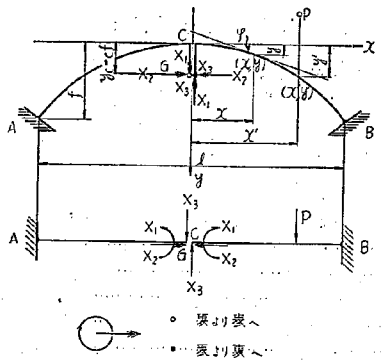
第1圖の如く拱頂 C に於て切斷せる2つの突桁を靜定基本系とし，夫々 C に剛桿 CG を剛結し $G(0, y_0)$ に作用する次の3不靜定量を考へる．

(1)　鉛直軸の周りのモーメント……X_1

(2)　水平軸の周りのモーメント……X_2

(3)　水平横方向の反力……X_3

1) A. Hawranek—Nebenspannungen von Eisenbeton-Bogenbrücken 1919.



第 1 圖

對稱無鉸拱に於ては y_0 を適當に定めることにより，G を鉛直荷重の場合の彈性重心と同樣の意味を有する點となすことを得るを以て之を假に彈性中心と稱す．

〔1〕 記號及符號

第 1 圖中 ○ 印は紙の裏より表へ，● 印は表より裏へ向つて作用する力を表はし，⟶ は矢に向つて右廻りのモーメントを表はすものとする．

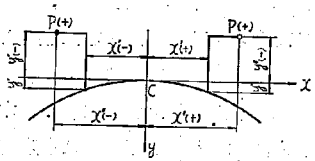
x 軸は右方へ正，y 軸は下方へ正とし，拱軸線の接線が x 軸の正の方向と成す角 φ は右廻りを正とする．

M……曲げモーメント（平面圖に於て下側張應力なる場合を正）

T……捩りモーメント（斷面に向つて右廻りなる場合を正）

M_H……水平軸の周りのモーメント（右半では右へ，左半では左へ向つて右廻りの場合を正）

M_V……鉛直軸の周りのモーメント（右半では下へ，左半では上へ向つて右廻りの場合を正）



第 2 圖

M_{OH}, M_{OV}……夫々靜定基本系の M_H 及 M_V

E, G……夫々直應力及剪斷應力に對する彈性係數

I……斷面の慣性モーメント

J……斷面の捩り係數

水平橫荷重 P は第 2 圖に示す如く (x', y') に於て拱軸に剛結せられたるアームの端 (x'', y'') に作用するものとし，(x', y') が右半卽ち $+x$ の範圍にある時は裏より表へ向つて作用するもの（○）を正とし，左半卽ち $-x$ の範圍にある時は表より裏へ向つて作用するもの（●）を正とする．從つて地震力，風壓等の如く一方向に作用する力は右半に於て正とすれば左半に於ては負である．

〔2〕 一 般 式

第 2 圖の如く (x'', y'') に作用する荷重 $+P$ が (x', y') を通じて傳はる場合に，靜定基本系に於けるモーメントは (x', y') より起拱點に至る部分に對しては次式を以て與へら

れ，其他の部分に對しては零である．

$$\left.\begin{aligned} M_{OH} &= P(y-y'') = P(y-y')+P(y'-y'') \\ M_{OV} &= -P(x-x'') = -P(x-x')-P(x'-x'') \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(1)$$

上式に於て第 1 項は (x', y') 點にある $+P$ の影響と同一にして，第 2 項は夫々 (x', y') 點に作用するモーメントの影響と同一である．故に (x'', y'') に作用する荷重 $+P$ の代りに次の 3 荷重に就て考へて差支ない．

(1) (x', y') に作用する水平横荷重 $+P$

(2) (x', y') に作用する水平軸の周りのモーメント $M_{eH} = P(y'-y'')$

(3) (x', y') に作用する鉛直軸の周りのモーメント $M_{eV} = -P(x'-x'')$

次に不靜定量が既知とすれば拱軸線上任意の點 (x, y) に於ける M_H, M_V, 曲げモーメント M 及捩りモーメント T は次の様になる．

$$M_H = X_2 - X_3(y-y_c) + M_{OH}, \qquad M_V = X_1 + X_3 x + M_{OV} \quad \cdots\cdots(2)$$

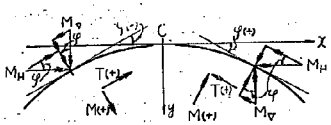
$$M = -M_H \sin\varphi + M_V \cos\varphi, \qquad T = M_H \cos\varphi + M_V \sin\varphi \quad \cdots\cdots(3)$$

故に (2) を (3) に代入すれば，

$$\left.\begin{aligned} M &= X_1\cos\varphi - X_2\sin\varphi + X_3\{x\cos\varphi + (y-y_c)\sin\varphi\} - \{M_{OH}\sin\varphi - M_{OV}\cos\varphi\} \\ T &= X_1\sin\varphi + X_2\cos\varphi + X_3\{x\sin\varphi - (y-y_c)\cos\varphi\} + \{M_{OH}\cos\varphi + M_{OV}\sin\varphi\} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(4)$$

剪斷力の影響を無視して内働 W を求めれば，

$$W = \int_A^B \frac{M^2}{2EI}ds + \int_A^B \frac{T^2}{2GJ}ds$$



第 3 表

故に拱の對稱性より

$$\int_A^B \sin\varphi\cos\varphi\frac{ds}{EI} = 0, \qquad \int_A^B \{x\cos\varphi + (y-y_c)\sin\varphi\}\cos\varphi\frac{ds}{EI} = 0,$$

$$\int_A^B \{x\sin\varphi - (y-y_c)\cos\varphi\}\sin\varphi\frac{ds}{EI} = 0$$

なることを考慮し，$\frac{\partial W}{\partial X_n} = 0$ より不靜定量に關する次の 3 聯立方程式を得る．

$$X_1\int_A^B f(\varphi)dw = \int_A^B M_{OH}h(\varphi)dw - \int_A^B M_{OV}f(\varphi)dw \quad \cdots\cdots(5)$$

$$X_2\int_A^B g(\varphi)dw - X_3\left[\int_A^B xh(\varphi)dw + \int_A^B (y-y_c)g(\varphi)dw\right] = -\int_A^B M_{OH}g(\varphi)dw + \int_A^B M_{OV}h(\varphi)dw \quad \cdots\cdots(6)$$

$$-X_2\left[\int_A^B xh(\varphi)dw+\int_A^B(y-y_c)g(\varphi)dw\right]+X_3\left[\int_A^B x^2f(\varphi)dw$$
$$+2\int_A^B x(y-y_c)h(\varphi)dw+\int_A^B(y-y_c)^2g(\varphi)dw\right]=\int_A^B M_{OH}xh(\varphi)dw$$
$$+\int_A^B M_{OH}(y-y_c)g(\varphi)dw-\int_A^B M_{OV}xf(\varphi)dw-\int_A^B M_{OV}(y-y_c)h(\varphi)dw$$
.....(7)

茲に

$$f(\varphi)=\cos^2\varphi+\nu\sin^2\varphi,\qquad g(\varphi)=\sin^2\varphi+\nu\cos^2\varphi,$$
$$h(\varphi)=(1-\nu)\sin\varphi\cos\varphi$$
.....(8)

$$\nu=\frac{EI}{GJ}\qquad\frac{ds}{I}=dw$$
.....(9)

又 G を彈性中心とし，y_c を次の如く定めれば，X_1, X_2, X_3 は聯立方程式を解くことなくして求められる．卽ち

$$\int_A^B xh(\varphi)dw+\int_A^B(y-y_c)g(\varphi)dw=0$$

$$\therefore\quad y_c=\frac{\int_A^B xh(\varphi)dw+\int_A^B yg(\varphi)dw}{\int_A^B g(\varphi)dw}$$
.....(10)

$$X_1=\frac{\int_A^B M_{OH}h(\varphi)dw-\int_A^B M_{OV}f(\varphi)dw}{\int_A^B f(\varphi)dw}$$
.....(11)

$$X_2=\frac{-\int_A^B M_{OH}g(\varphi)dw+\int_A^B M_{OV}h(\varphi)dw}{\int_A^B g(\varphi)dw}$$
.....(12)

$$X_3=\frac{\int_A^B M_{OH}\{xh(\varphi)+(y-y_c)g(\varphi)\}dw-\int_A^B M_{OV}\{xf(\varphi)+(y-y_c)h(\varphi)\}dw}{\int_A^B x^2f(\varphi)dw+\int_A^B y^2g(\varphi)dw+2\int_A^B xyh(\varphi)dw-y_c^2\int_A^B g(\varphi)dw}$$
.....(13)

上式中 X_1 の分子は總て奇函數，X_2, X_3 の分子は總て偶函數の積分なるを以て，左右對稱なる位置にある同一方向の水平橫荷重，例へば $(+x'', y'')$ に $+P$ の作用する場合と $(-x'', y'')$ に $-P$ の作用する場合とを比較すれば，X_1 は兩者相等しく，X_2 及 X_3 は等大にして符號相反する．故に X_1 の影響線は y 軸に對して對稱，X_2 及 X_3 の影響線は極對稱である．

又分母は總て偶函數の積分なるを以て $\int_A^B = 2\int_C^B$ である.

〔3〕 不靜定量の影響線

不靜定量の影響線の縱距は (11), (12), (13) 式中の M_{OH}, M_{OV} に夫々 (x', y') 點に單位荷重又は單位モーメントが作用する場合の値を代入して計算したものであるが, 以下の計算の便宜上次の記號を用ひる.

第 1 表

	$f(\varphi)$	$g(\varphi)$	$h(\varphi)$
1	$A(f)=\int f(\varphi)dw$	$A(g)=\int g(\varphi)dw$	$A(h)=\int h(\varphi)dw$
x	$G_y(f)=\int xf(\varphi)dw$		$G_y(h)=\int xh(\varphi)dw$
y		$G_x(g)=\int yg(\varphi)dw$	$G_x(h)=\int yh(\varphi)dw$
xy			$I_{xy}(h)=\int xyh(\varphi)dw$
x^2	$I_y(f)=\int x^2f(\varphi)dw$		
y^2		$I_x(g)=\int y^2g(\varphi)dw$	

尙 $[A(f)]_A^B$, $[G_y(f)]_A^B$ 等を以て此の定積分を表はすものとすれば, y_c 及 (11), (12), (13) 式の分母 χ_1, χ_2 及 χ_3 は次の樣になる:

$$y_c=\frac{[G_y(h)+G_x(g)]_A^B}{[A(g)]_A^B} \quad \cdots\cdots(14)$$

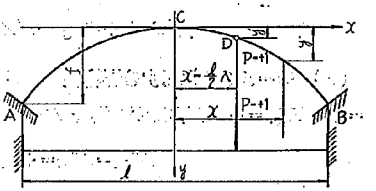
$$\chi_1=\int_A^B f(\varphi)dw=[A(f)]_A^B \quad \cdots\cdots(15)$$

$$\chi_2=\int_A^B g(\varphi)dw=[A(g)]_A^B \quad \cdots\cdots(16)$$

$$\chi_3=\int_A^B x^2f(\varphi)dw+\int_A^B y^2g(\varphi)dw+2\int_A^B xyh(\varphi)dw-y_c^2\int_A^B g(\varphi)dw$$

$$=[I_y(f)+I_x(g)+2I_{xy}(h)-y_c^2A(g)]_A^B \quad \cdots\cdots(17)$$

不靜定量の影響線は前述の如く y 軸に對し對稱又は極對稱であるから, 拱の右半 卽ち $+x$ の範圍內に就て之を求めれば充分である.



第 4 圖

(1) 拱軸線上の水平橫荷重に對する影響線　第4圖の如く拱の右半の一點 $D(x', y')$

に $P=+1$ が作用する場合には，$D-B$ 間の部分に對しては

$$M_{OH}=P(y-y'), \qquad M_{OV}=-P(x-x')$$

其他の點に對しては $M_{OH}=0$, $M_{OV}=0$ である．從つて

$$+\int_A^B M_{OH}h(\varphi)\,dw=+P\left[\int_D^B yh(\varphi)dw-y'\int_D^B h(\varphi)dw\right]$$

$$-\int_A^B M_{OV}f(\varphi)\,dw=+P\left[\int_D^B xf(\varphi)dw-x'\int_D^B f(\varphi)dw\right]$$

$$-\int_A^B M_{OH}g(\varphi)\,dw=-P\left[\int_D^B yg(\varphi)dw-y'\int_D^B g(\varphi)dw\right]$$

$$+\int_A^B M_{OV}h(\varphi)\,dw=-P\left[\int_D^B xh(\varphi)dw-x'\int_D^B h(\varphi)dw\right]$$

$$+\int_A^B M_{OH}xh(\varphi)\,dw=+P\left[\int_D^B xyh(\varphi)dw-y'\int_D^B xh(\varphi)dw\right]$$

$$+\int_A^B M_{OH}yg(\varphi)\,dw=+P\left[\int_D^B y^2g(\varphi)dw-y'\int_D^B yg(\varphi)dw\right]$$

$$-\int_A^B M_{OH}y_cg(\varphi)dw=-P\left[y_c\int_D^B yg(\varphi)dw-y_cy'\int_D^B g(\varphi)dw\right]$$

$$-\int_A^B M_{OV}xf(\varphi)\,dw=+P\left[\int_D^B x^2f(\varphi)dw-x'\int_D^B xf(\varphi)dw\right]$$

$$-\int_A^B M_{OV}yh(\varphi)\,dw=+P\left[\int_D^B xyh(\varphi)dw-x'\int_D^B yh(\varphi)dw\right]$$

$$+\int_A^B M_{OV}y_ch(\varphi)\,dw=-P\left[y_c\int_D^B xh(\varphi)dw-y_cx'\int_D^B h(\varphi)dw\right]$$

故に不靜定量の影響線縱距は次の樣になる．

$$X_1=\frac{1}{\chi_1}\left[G_y(f)+G_x(h)-x'A(f)-y'A(h)\right]_D^B \quad\cdots\cdots(18)$$

$$X_2=-\frac{1}{\chi_2}\left[G_y(h)+G_x(g)-x'A(h)-y'A(g)\right]_D^B \quad\cdots\cdots(19)$$

$$X_3=\frac{1}{\chi_3}\left[I_y(f)+I_x(g)+2I_{xy}(h)-x'\{G_y(f)+G_x(h)\}-y'\{G_y(h)+G_x(g)\}\right.$$
$$\left.-y_c\{G_y(h)+G_x(g)-x'A(h)-y'A(g)\}\right]_D^B \quad\cdots\cdots(20)$$

（2）モーメントに對する影響線　第 5 圖の如く拱の右半の一點 $D(x', y')$ に $M_{eH}=+1$, $M_{eV}=+1$ が作用する場合 $D-B$ 間の部分に對しては

$$M_{OH}=M_{eH}=+1, \qquad M_{OV}=M_{eV}=+1$$

其他の部分に對しては $M_{OH}=0$, $M_{OV}=0$ である．故に水平軸の周りのモーメントが作用

する場合の影響線縱距は次の様になる.

$$X_1=\frac{1}{\chi_1}\left[A(h)\right]_D^B \quad \cdots\cdots(21)$$

$$X_2=-\frac{1}{\chi_2}\left[A(g)\right]_D^B \quad \cdots\cdots(22)$$

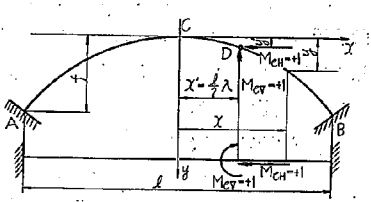
$$X_3=\frac{1}{\chi_3}\left[G_y(h)+G_x(g)-y_c A(g)\right]_D^B \quad \cdots\cdots(23)$$

又鉛直軸の周りのモーメントが作用する場合の影響線縱距は次の様になる.

$$X_1=-\frac{1}{\chi_1}\left[A(f)\right]_D^B \quad \cdots\cdots(24)$$

$$X_2=\frac{1}{\chi_2}\left[A(h)\right]_D^B \quad \cdots\cdots(25)$$

$$X_3=-\frac{1}{\chi_3}\left[G_y(f)+G_x(h)-y_c A(h)\right]_D^B \quad \cdots\cdots(26)$$



第 5 圖

III. 拱軸線及斷面の變化

〔1〕 拱 軸 線

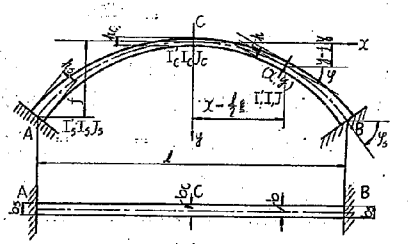
對稱無鉸拱の拱軸線に就ては報告第 28 號[1] に述べたる如く，一般に 2 次及 4 次の抛物線の組合せを以て表はし得る．卽ち f を拱矢，α を拱軸の係數とすれば

$$y=f\{\alpha\xi^2+(1-\alpha)\xi^4\} \quad \cdots\cdots(27)$$

$$\tan\varphi=2m\{\alpha\xi+2(1-\alpha)\xi^3\} \quad \cdots\cdots(28)$$

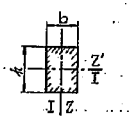
$$\tan^2\varphi=4m^2\{\alpha^2\xi^2+4\alpha(1-\alpha)\xi^4+(1-\alpha)^2\xi^6\}$$

$$\xi=\frac{2x}{l}, \qquad m=\frac{2f}{l}$$



〔2〕 斷面の變化

第 6 圖の如く (x, y) に於ける斷面の幅を b, 高を h, z 軸に對する慣性モーメントを I, z' 軸に對する慣性モーメントを I', 捩り係數を J とする．I' に就て



第 6 圖

1) 土木試驗所報告第 28 號 p. 130, 尙之には計算に使用すべき諸表を掲載す.

は報告第 28 號[1]に次の假定を用ひた.

$$I'=\frac{I_c'\sec\varphi}{1-\beta_1\xi^2} \quad \cdots\cdots(a)$$

故に I' が h^3 に比例するものとすれば,

$$h=\sqrt[3]{\frac{\sec\varphi}{1-\beta_1\xi^2}}\,h_c \quad \cdots\cdots(b)$$

水平横荷重の作用する場合の計算に對しても I, J は之等の假定より誘導すべきであるが, 式中に含まれる積分が比較的平易な形を以て表される方が便である. 故に φ の三角函數が (28) の $\tan\varphi$ の形のみで含まれ ds は dx に置換し得る樣に (29), (30) の假定を用ふることゝした. 而して之等の假定は實際の斷面の變化と相當の近似性を持たねばならぬことは勿論である.

(1) 慣性モーメント

$$I=\frac{I_c\cos\varphi}{1-\beta_2\xi^\gamma} \quad \cdots\cdots(29)$$

通常の肋拱に於ては拱肋の幅 b は一定なるか, 又は拱頂より起拱點に向つて幾分增大するも, 高 h の增大に比して僅少である. 從て I の變化も亦 I' の變化に比して小なるを常とする. 故に (29) 式中 I_c, β_2, γ を適當の點, 例へば拱頂, 起拱點及 1/4 點に於て實際の斷面と一致する樣に定めれば實用上差支ない程度の近似性が得られる.

尙 $\cos\varphi$ の減少の比較的急速ならざる場合, 卽ち拱矢比が凡そ 1/4 以下なる場合には, 第 7 圖に例示せる如く $\gamma=2$, 卽ち

$$I=\frac{I_c\cos\varphi}{1-\beta_2\xi^2} \quad \cdots\cdots(29')$$

とし, β_2 を適當に定めることにより相當の近似性が得られる.

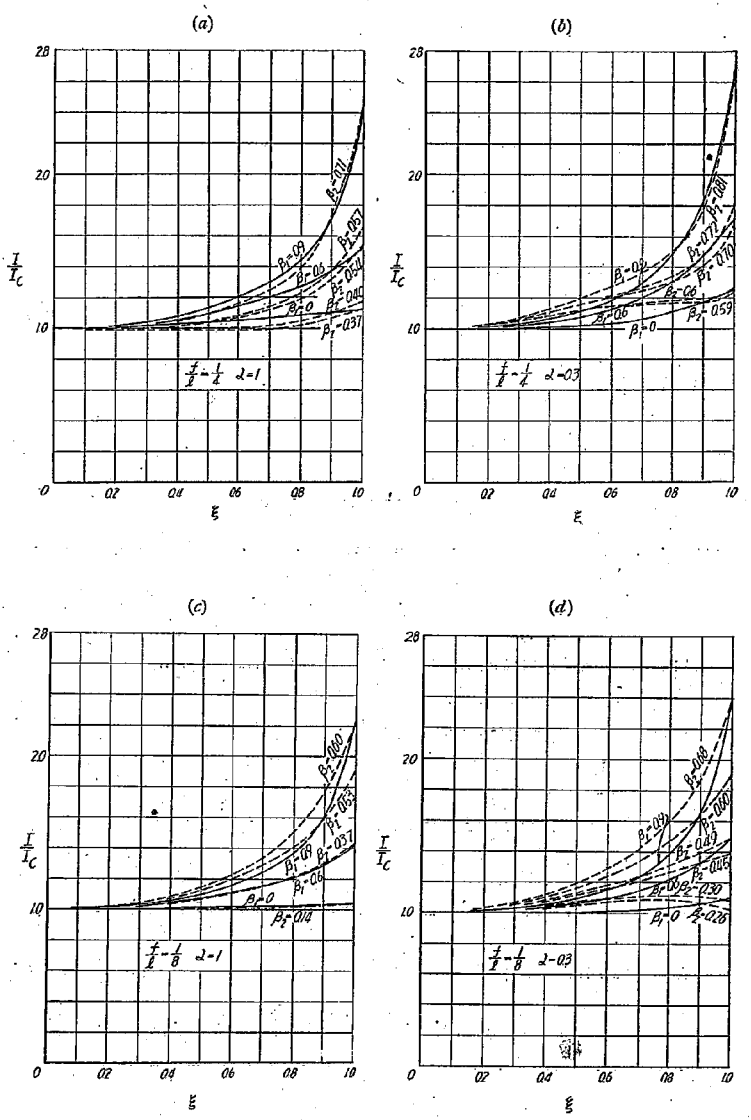
第 7 圖中實線は拱肋の幅一定なるものとして (b) 式を用ひて h を定め, $I=hb^3/12$ より I を計算せるもの, 點線は $\xi=0$ 及 $\xi=1$ 又は 0.9 の點に於て之等の値と略〻一致する樣に β_2 を定め (29') 式により計算したものである.

(2) 捩り係數 矩形斷面の捩り係數 J は C. Bach[2] によれば,

$$J=\frac{b^3h^3}{\psi_0(b^2+h^2)}$$

$h/b=$	1,	2,	3
$\psi_0=3.645-0{,}06\frac{h}{b}$ $(h\geqq b)$	$\psi_0=3{,}585$	3,525	3,465

1) 土木試驗所報告第 28 號 p. 132.
2) C. Bach—Deutscher Ausschuss für Eisenbeton H. 12.
,, —Elastizität u. Festigkeit.



第 7 圖

故に ψ_0 は殆ど定数と考へられ，又 $I=\frac{1}{12}b^3h$ なるものとすれば

$$\nu=\frac{EJ}{GJ}=\frac{E\psi_0}{12G}\left(1+\frac{b_c^2}{h_c^2}\right)\left\{1-\frac{\left(\frac{b_c^2}{h_c^2}-\frac{b^2}{h^2}\right)}{\left(1+\frac{b_c^2}{h_c^2}\right)}\right\}$$

故に ν_c, δ_2, ε を適當に定めれば

$$\nu=\nu_c(1-\delta_2\xi^\varepsilon) \qquad (30)$$

を用ひられ，又通常の肋拱に於ては，

$$\nu=\nu_c(1-\delta_2\xi^2) \qquad (30')$$

を以て表すことが出來る．

尙 ν の計算に於て $E=280{,}000\ \mathrm{kg/cm^2}$, $G=140{,}000\ \mathrm{kg/cm^2}$ とし，$\psi_0=3.6$ とすれば，$\frac{E\psi_0}{12G}=0.6$ である．

IV. 不靜定量の影響線

拱軸線に對し (27) を用ひ，斷面の變化に對し (29′), (30′) を用ひることゝすれば，

$$\tan\varphi=2m\{\alpha\xi+2(1-\alpha)\xi^3\},\qquad dw=\frac{ds}{I}=\frac{l(1-\beta_2\xi^\varepsilon)}{2I_c\cos^2\varphi}d\xi$$

故に不靜定量の影響線の計算に必要なる第1表の式は次の樣になる[1]．

---

1) (29), (30) を用ひた一般式は次の如し．

$$A(f)=\frac{l}{2I_c}\Big[\Big(\xi-\frac{\beta_2}{\gamma+1}\xi^{\gamma+1}\Big)+4m^2\nu_c\Big\{\frac{\alpha^2}{3}\xi^3+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{5}\xi^5+\frac{4(1-\alpha)^2}{7}\xi^7\Big\}$$
$$-4m^2\nu_c\beta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+3}\xi^{\gamma+3}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\gamma+5}\xi^{\gamma+5}+\frac{4(1-\alpha)^2}{\gamma+7}\xi^{\gamma+7}\Big\}$$
$$-4m^2\nu_c\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\varepsilon+3}\xi^{\varepsilon+3}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\varepsilon+5}\xi^{\varepsilon+5}+\frac{4(1-\alpha)^2}{\varepsilon+7}\xi^{\varepsilon+7}\Big\}$$
$$+4m^2\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+\varepsilon+3}\xi^{\gamma+\varepsilon+3}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\gamma+\varepsilon+5}\xi^{\gamma+\varepsilon+5}+\frac{4(1-\alpha)^2}{\gamma+\varepsilon+7}\xi^{\gamma+\varepsilon+7}\Big\}\Big] \qquad (31')$$

$$A(g)=\frac{l}{2I_c}\Big[4m^2\Big\{\frac{\alpha^2}{3}\xi^3+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{5}\xi^5+\frac{4(1-\alpha)^2}{7}\xi^7\Big\}-4m^2\beta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+3}\xi^{\gamma+3}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\gamma+5}\xi^{\gamma+5}$$
$$+\frac{4(1-\alpha)^2}{\gamma+7}\xi^{\gamma+7}\Big\}+\nu_c\xi-\nu_c\frac{\beta_2}{\gamma+1}\xi^{\gamma+1}-\nu_c\frac{\delta_2}{\varepsilon+1}\xi^{\varepsilon+1}+\nu_c\frac{\beta_2\delta_2}{\gamma+\varepsilon+1}\xi^{\gamma+\varepsilon+1}\Big] \qquad (32')$$

$$A(h)=\frac{2f}{I_c}\Big[(1-\nu_c)\Big\{\frac{\alpha}{2}\xi^2+\frac{2(1-\alpha)}{4}\xi^4\Big\}-(1-\nu_c)\beta_2\Big\{\frac{\alpha}{\gamma+2}\xi^{\gamma+2}+\frac{2(1-\alpha)}{\gamma+4}\xi^{\gamma+4}\Big\}$$
$$+\nu_c\delta_2\Big\{\frac{\alpha}{\varepsilon+2}\xi^{\varepsilon+2}+\frac{2(1-\alpha)}{\varepsilon+4}\xi^{\varepsilon+4}\Big\}-\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{\alpha}{\gamma+\varepsilon+2}\xi^{\gamma+\varepsilon+2}+\frac{2(1-\alpha)}{\gamma+\varepsilon+4}\xi^{\gamma+\varepsilon+4}\Big\}\Big] \qquad (33')$$

$$A(f)=\frac{l}{2I_c}\left[\left(\xi-\frac{1}{3}\beta_2\xi^3\right)+4m^2\nu_c\left\{\frac{1}{3}\alpha^2\xi^3+\frac{4}{5}\alpha(1-\alpha)\xi^5+\frac{4}{7}(1-\alpha)^2\xi^7\right\}\right.$$
$$-4m^2\nu_c(\beta_2+\delta_2)\left\{\frac{1}{5}\alpha^2\xi^5+\frac{4}{7}\alpha(1-\alpha)\xi^7+\frac{4}{9}(1-\alpha)^2\xi^9\right\}$$
$$\left.+4m^2\nu_c\beta_2\delta_2\left\{\frac{1}{7}\alpha^2\xi^7+\frac{4}{9}\alpha(1-\alpha)\xi^9+\frac{4}{11}(1-\alpha)^2\xi^{11}\right\}\right]\quad\cdots\cdots(31)$$

$$A(g)=\frac{l}{2I_c}\left[4m^2\left\{\frac{1}{3}\alpha^2\xi^3+\frac{4}{5}\alpha(1-\alpha)\xi^5+\frac{4}{7}(1-\alpha)^2\xi^7\right\}-4m^2\beta_2\left\{\frac{1}{5}\alpha^2\xi^5+\frac{4}{7}\alpha(1-\alpha)\xi^7\right.\right.$$
$$\left.\left.+\frac{4}{9}(1-\alpha)^2\xi^9\right\}+\nu_c\xi-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\frac{1}{3}\xi^3+\nu_c\beta_2\delta_2\frac{1}{5}\xi^5\right]\quad\cdots\cdots(32)$$

$$A(h)=\frac{2f}{I_c}\left[(1-\nu_c)\left\{\frac{1}{2}\alpha\xi^2+\frac{2}{4}(1-\alpha)\xi^4\right\}-\left\{\beta_2-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\right\}\left\{\frac{1}{4}\alpha\xi^4+\frac{2}{6}(1-\alpha)\xi^6\right\}\right.$$
$$\left.-\nu_c\beta_2\delta_2\left\{\frac{1}{6}\alpha\xi^6+\frac{2}{8}(1-\alpha)\xi^8\right\}\right]\quad\cdots\cdots(33)$$

$$G_y(f)=\frac{l^2}{4I_c}\left[\left(\frac{1}{2}\xi^2-\frac{1}{4}\beta_2\xi^4\right)+4m^2\nu_c\left\{\frac{1}{4}\alpha^2\xi^4+\frac{4}{6}\alpha(1-\alpha)\xi^6+\frac{4}{8}(1-\alpha)^2\xi^8\right\}\right.$$
$$-4m^2\nu_c(\beta_2+\delta_2)\left\{\frac{1}{6}\alpha^2\xi^6+\frac{4}{8}\alpha(1-\alpha)\xi^8+\frac{4}{10}(1-\alpha)^2\xi^{10}\right\}$$
$$\left.+4m^2\nu_c\beta_2\delta_2\left\{\frac{1}{8}\alpha^2\xi^8+\frac{4}{10}\alpha(1-\alpha)\xi^{10}+\frac{4}{12}(1-\alpha)^2\xi^{12}\right\}\right]\quad\cdots\cdots(34)$$

$$G_y(f)=\frac{l^2}{4I_c}\left[\left(\frac{1}{2}\xi^2-\frac{\beta_2}{\gamma+2}\xi^{\gamma+2}\right)+4m^2\nu_c\left\{\frac{\alpha^2}{4}\xi^4+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{6}\xi^6+\frac{4(1-\alpha)^2}{8}\xi^8\right\}\right.$$
$$-4m^2\nu_c\beta_2\left\{\frac{\alpha^2}{\gamma+4}\xi^{\gamma+4}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\gamma+6}\xi^{\gamma+6}+\frac{4(1-\alpha)^2}{\gamma+8}\xi^{\gamma+8}\right\}$$
$$-4m^2\nu_c\delta_2\left\{\frac{\alpha^2}{\varepsilon+4}\xi^{\varepsilon+4}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\varepsilon+6}\xi^{\varepsilon+6}+\frac{4(1-\alpha)^2}{\varepsilon+8}\xi^{\varepsilon+8}\right\}$$
$$\left.-4m^2\nu_c\beta_2\delta_2\left\{\frac{\alpha^2}{\gamma+\varepsilon+4}\xi^{\gamma+\varepsilon+4}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\gamma+\varepsilon+6}\xi^{\gamma+\varepsilon+6}+\frac{4(1-\alpha)^2}{\gamma+\varepsilon+8}\xi^{\gamma+\varepsilon+8}\right\}\right]\quad\cdots\cdots(34')$$

$$G_x(g)=\frac{fl}{2I_c}\left[4m^2\left\{\frac{\alpha^3}{5}\xi^5+\frac{5\alpha^2(1-\alpha)}{7}\xi^7+\frac{8\alpha(1-\alpha)^2}{9}\xi^9+\frac{4(1-\alpha)^3}{11}\xi^{11}\right\}\right.$$
$$-4m^2\beta_2\left\{\frac{\alpha^3}{\gamma+5}\xi^{\gamma+5}+\frac{5\alpha^2(1-\alpha)}{\gamma+7}\xi^{\gamma+7}+\frac{8\alpha(1-\alpha)^2}{\gamma+9}\xi^{\gamma+9}+\frac{4(1-\alpha)^3}{\gamma+11}\xi^{\gamma+11}\right\}$$
$$+\nu_c\left\{\frac{\alpha}{3}\xi^3+\frac{(1-\alpha)}{5}\xi^5\right\}-\nu_c\beta_2\left\{\frac{\alpha}{\gamma+3}\xi^{\gamma+3}+\frac{(1-\alpha)}{\gamma+5}\xi^{\gamma+5}\right\}-\nu_c\delta_2\left\{\frac{\alpha}{\varepsilon+3}\xi^{\varepsilon+3}\right.$$
$$\left.\left.+\frac{(1-\alpha)}{\varepsilon+5}\xi^{\varepsilon+5}\right\}+\nu_c\beta_2\delta_2\left\{\frac{\alpha}{\gamma+\varepsilon+3}\xi^{\gamma+\varepsilon+3}+\frac{(1-\alpha)}{\gamma+\varepsilon+5}\xi^{\gamma+\varepsilon+5}\right\}\right]\quad\cdots\cdots(35')$$

$$G_y(h)=\frac{fl}{I_c}\left[(1-\nu_c)\left\{\frac{\alpha}{3}\xi^3+\frac{2(1-\alpha)}{5}\xi^5\right\}-(1-\nu_c)\beta_2\left\{\frac{\alpha}{\gamma+3}\xi^{\gamma+3}+\frac{2(1-\alpha)}{\gamma+5}\xi^{\gamma+5}\right\}\right.$$
$$\left.+\nu_c\delta_2\left\{\frac{\alpha}{\varepsilon+3}\xi^{\varepsilon+3}+\frac{2(1-\alpha)}{\varepsilon+5}\xi^{\varepsilon+5}\right\}-\nu_c\beta_2\delta_2\left\{\frac{\alpha}{\gamma+\varepsilon+3}\xi^{\gamma+\varepsilon+3}+\frac{2(1-\alpha)}{\gamma+\varepsilon+5}\xi^{\gamma+\varepsilon+5}\right\}\right]$$
$$\cdots\cdots(36')$$

$$G_x(g)=\frac{fl}{2I_c}\Big[4m^2\Big\{\frac{1}{5}\alpha^3\xi^5+\frac{5}{7}\alpha^2(1-\alpha)\xi^7+\frac{8}{9}\alpha(1-\alpha)^2\xi^9+\frac{4}{11}(1-\alpha)^3\xi^{11}\Big\}$$
$$-4m^2\beta_2\Big\{\frac{1}{7}\alpha^3\xi^7+\frac{5}{9}\alpha^2(1-\alpha)\xi^9+\frac{8}{11}\alpha(1-\alpha)^2\xi^{11}+\frac{4}{13}(1-\alpha)^3\xi^{13}\Big\}+\nu_c\Big\{\frac{1}{3}\alpha\xi^5$$
$$+\frac{1}{5}(1-\alpha)\xi^5\Big\}-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\Big\{\frac{1}{5}\alpha\xi^5+\frac{1}{7}(1-\alpha)\xi^7\Big\}+\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{1}{7}\alpha\xi^7+\frac{1}{9}(1-\alpha)\xi^9\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(35)$$

$$G_y(h)=\frac{fl}{I_c}\Big[(1-\nu_c)\Big\{\frac{1}{3}\alpha\xi^3+\frac{2}{5}(1-\alpha)\xi^5\Big\}-\Big\{\beta_2-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\Big\}\Big\{\frac{1}{5}\alpha\xi^5+\frac{2}{7}(1-\alpha)\xi^7\Big\}$$
$$-\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{1}{7}\alpha\xi^7+\frac{2}{9}(1-\alpha)\xi^9\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(36)$$

$$G_z(h)=\frac{2f^2}{I_c}\Big[(1-\nu_c)\Big\{\frac{1}{4}\alpha^2\xi^4+\frac{3}{6}\alpha(1-\alpha)\xi^6+\frac{2}{8}(1-\alpha)^2\xi^8\Big\}$$
$$-\Big\{\beta_2-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\Big\}\Big\{\frac{1}{6}\alpha^2\xi^6+\frac{3}{8}\alpha(1-\alpha)\xi^8+\frac{2}{10}(1-\alpha)^2\xi^{10}\Big\}$$
$$-\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{1}{8}\alpha^2\xi^8+\frac{3}{10}\alpha(1-\alpha)\xi^{10}+\frac{2}{12}(1-\alpha)^2\xi^{12}\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(37)$$

$$I_y(f)=\frac{l^3}{8I_c}\Big[\Big(\frac{1}{3}\xi^3-\frac{1}{5}\beta_2\xi^5\Big)+4m^2\nu_c\Big\{\frac{1}{5}\alpha^2\xi^5+\frac{4}{7}\alpha(1-\alpha)\xi^7+\frac{4}{9}(1-\alpha)^2\xi^9\Big\}$$
$$-4m^2\nu_c(\beta_2+\delta_2)\Big\{\frac{1}{7}\alpha^2\xi^7+\frac{4}{9}\alpha(1-\alpha)\xi^9+\frac{4}{11}(1-\alpha)^2\xi^{11}\Big\}$$
$$+4m^2\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{1}{9}\alpha^2\xi^9+\frac{4}{11}\alpha(1-\alpha)\xi^{11}+\frac{4}{13}(1-\alpha)^2\xi^{13}\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(38)$$

$$I_x(g)=\frac{f^2l}{2I_c}\Big[4m^2\Big\{\frac{1}{7}\alpha^4\xi^7+\frac{6}{9}\alpha^3(1-\alpha)\xi^9+\frac{13}{11}\alpha^2(1-\alpha)^2\xi^{11}+\frac{12}{13}\alpha(1-\alpha)^3\xi^{13}$$

$$G_z(h)=\frac{2f^2}{I_c}\Big[(1-\nu_c)\Big\{\frac{\alpha^2}{4}\xi^4+\frac{3\alpha(1-\alpha)}{6}\xi^6+\frac{2(1-\alpha)^2}{8}\xi^8\Big\}-(1-\nu_c)\beta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+4}\xi^{\gamma+4}+\frac{3\alpha(1-\alpha)}{\gamma+6}\xi^{\gamma+6}$$
$$+\frac{2(1-\alpha)^2}{\gamma+8}\xi^{\gamma+8}\Big\}+\nu_c\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\varepsilon+4}\xi^{\varepsilon+4}+\frac{3\alpha(1-\alpha)}{\varepsilon+6}\xi^{\varepsilon+6}+\frac{2(1-\alpha)^2}{\varepsilon+8}\xi^{\varepsilon+8}\Big\}$$
$$-\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+\varepsilon+4}\xi^{\gamma+\varepsilon+4}+\frac{3\alpha(1-\alpha)}{\gamma+\varepsilon+6}\xi^{\gamma+\varepsilon+6}+\frac{2(1-\alpha)^2}{\gamma+\varepsilon+8}\xi^{\gamma+\varepsilon+8}\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(37')$$

$$I_y(f)=\frac{l^3}{8I_c}\Big[\Big(\frac{1}{3}\xi^3-\frac{\beta_2}{\gamma+3}\xi^{\gamma+3}\Big)+4m^2\nu_c\Big\{\frac{\alpha^2}{5}\xi^5+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{7}\xi^7+\frac{4(1-\alpha)^2}{9}\xi^9\Big\}$$
$$-4m^2\nu_c\beta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+5}\xi^{\gamma+5}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\gamma+7}\xi^{\gamma+7}+\frac{4(1-\alpha)^2}{\gamma+9}\xi^{\gamma+9}\Big\}$$
$$-4m^2\nu_c\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\varepsilon+5}\xi^{\varepsilon+5}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\varepsilon+7}\xi^{\varepsilon+7}+\frac{4(1-\alpha)^2}{\varepsilon+9}\xi^{\varepsilon+9}\Big\}$$
$$+4m^2\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+\varepsilon+5}\xi^{\gamma+\varepsilon+5}+\frac{4\alpha(1-\alpha)}{\gamma+\varepsilon+7}\xi^{\gamma+\varepsilon+7}+\frac{4(1-\alpha)^2}{\gamma+\varepsilon+9}\xi^{\gamma+\varepsilon+9}\Big\} \quad \cdots\cdots(38')$$

$$+\frac{4}{15}(1-\alpha)^4\xi^{15}\Big\}-4m^2\beta_2\Big\{\frac{1}{9}\alpha^4\xi^9+\frac{6}{11}\alpha^3(1-\alpha)\xi^{11}+\frac{13}{13}\alpha^2(1-\alpha)^2\xi^{13}+\frac{12}{15}\alpha(1-\alpha)^3\xi^{15}$$
$$+\frac{4}{17}(1-\alpha)^4\xi^{17}\Big\}+\nu_c\Big\{\frac{1}{5}\alpha^2\xi^5+\frac{2}{7}\alpha(1-\alpha)\xi^7+\frac{1}{9}(1-\alpha)^2\xi^9\Big\}-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\Big\{\frac{1}{7}\alpha^2\xi^7$$
$$+\frac{2}{9}\alpha(1-\alpha)\xi^9+\frac{1}{11}(1-\alpha)^2\xi^{11}\Big\}+\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{1}{9}\alpha^2\xi^9+\frac{2}{11}\alpha(1-\alpha)\xi^{11}+\frac{1}{13}(1-\alpha)^2\xi^{13}\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(39)$$

$$I_{xy}(h)=\frac{f^2l}{I_c}\Big[(1-\nu_c)\Big\{\frac{1}{5}\alpha^2\xi^5+\frac{3}{7}\alpha(1-\alpha)\xi^7+\frac{2}{9}(1-\alpha)^2\xi^9\Big\}$$
$$-\Big\{\beta_2-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\Big\}\Big\{\frac{1}{7}\alpha^2\xi^7+\frac{3}{9}(1-\alpha)\xi^9+\frac{2}{11}(1-\alpha)^2\xi^{11}\Big\}$$
$$-\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{1}{9}\alpha^2\xi^9+\frac{3}{11}\alpha(1-\alpha)\xi^{11}+\frac{2}{13}(1-\alpha)^2\xi^{13}\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(40)$$

之等の函數は總て $\xi=0$ に於て 0 となり，影響線式の分子の積分限界は $D(x=x'=\frac{l}{2}\xi)$ より $B(x=\frac{l}{2})$ 迄，卽ち $\xi=\lambda$ より $\xi=1$ 迄である．

既述の如く X_1 の影響線は對稱にして，X_2 及 X_3 は極對稱である．從て地震力，風壓等の如く通常對稱に分布すると考へられる水平横荷重に對しては，X_2 及 X_3 は零となり X_1 のみ殘る．故に通常の計算には X_1 の影響線を知れば足る．第 2 表乃至第 5 表は X_1 の計算を便ならしめる爲，之に必要なる (31), (33), (34) 及 (37) 式の零より ξ までの積分値を示すものである．

$$I_x(g)=\frac{f^2l}{2I_c}\Big[4m^2\Big\{\frac{\alpha^4}{7}\xi^7+\frac{6\alpha^3(1-\alpha)}{9}\xi^9+\frac{13\alpha^2(1-\alpha)^2}{11}\xi^{11}+\frac{12\alpha(1-\alpha)^3}{13}\xi^{13}+\frac{4(1-\alpha)^4}{15}\xi^{15}\Big\}$$
$$-4m^2\beta_2\Big\{\frac{\alpha^4}{\gamma+7}\xi^{\gamma+7}+\frac{6\alpha^3(1-\alpha)}{\gamma+9}\xi^{\gamma+9}+\frac{13\alpha^2(1-\alpha)^2}{\gamma+11}\xi^{\gamma+11}+\frac{12\alpha(1-\alpha)^3}{\gamma+13}\xi^{\gamma+13}$$
$$+\frac{4(1-\alpha)^4}{\gamma+15}\xi^{\gamma+15}\Big\}+\nu_c\Big\{\frac{\alpha^2}{5}\xi^5+\frac{2\alpha(1-\alpha)}{7}\xi^7+\frac{(1-\alpha)^2}{9}\xi^9\Big\}-\nu_c\beta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+5}\xi^{\gamma+5}$$
$$+\frac{2\alpha(1-\alpha)}{\gamma+7}\xi^{\gamma+7}+\frac{(1-\alpha)^2}{\gamma+9}\xi^{\gamma+9}\Big\}-\nu_c\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\varepsilon+5}\xi^{\varepsilon+5}+\frac{2\alpha(1-\alpha)}{\varepsilon+7}\xi^{\varepsilon+7}+\frac{(1-\alpha)^2}{\varepsilon+9}\xi^{\varepsilon+9}\Big\}$$
$$+\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+\varepsilon+5}\xi^{\gamma+\varepsilon+5}+\frac{2\alpha(1-\alpha)}{\gamma+\varepsilon+7}\xi^{\gamma+\varepsilon+7}+\frac{(1-\alpha)^2}{\gamma+\varepsilon+9}\xi^{\gamma+\varepsilon+9}\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(39')$$

$$I_{xy}(h)=\frac{f^2l}{I_c}\Big[(1-\nu_c)\Big\{\frac{\alpha^2}{5}\xi^5+\frac{3\alpha(1-\alpha)}{7}\xi^7+\frac{2(1-\alpha)^2}{9}\xi^9\Big\}-(1-\nu_c)\beta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+5}\xi^{\gamma+5}+\frac{3\alpha(1-\alpha)}{\gamma+7}\xi^{\gamma+7}$$
$$+\frac{2(1-\alpha)^2}{\gamma+9}\xi^{\gamma+9}\Big\}+\nu_c\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\varepsilon+5}\xi^{\varepsilon+5}+\frac{3\alpha(1-\alpha)}{\varepsilon+7}\xi^{\varepsilon+7}+\frac{2(1-\alpha)^2}{\varepsilon+9}\xi^{\varepsilon+9}\Big\}$$
$$-\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{\alpha^2}{\gamma+\varepsilon+5}\xi^{\gamma+\varepsilon+5}+\frac{3\alpha(1-\alpha)}{\gamma+\varepsilon+7}\xi^{\gamma+\varepsilon+7}+\frac{2(1-\alpha)^2}{\gamma+\varepsilon+9}\xi^{\gamma+\varepsilon+9}\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(40')$$

第 2 表

$$A(f)=\frac{l}{2I_c}\left[\left(\xi-\frac{1}{3}\beta_2\xi^3\right)+4m^2\nu_c\left\{\frac{1}{3}\alpha^2\xi^3+\frac{4}{5}\alpha(1-\alpha)\xi^5+\frac{4}{7}(1-\alpha)^2\xi^7\right\}\right.$$
$$-4m^2\nu_c(\beta_2+\delta_2)\left\{\frac{1}{5}\alpha^2\xi^5+\frac{4}{7}\alpha(1-\alpha)\xi^7+\frac{4}{9}(1-\alpha)^2\xi^9\right\}$$
$$\left.+4m^2\nu_c\beta_2\delta_2\left\{\frac{1}{7}\alpha^2\xi^7+\frac{4}{9}\alpha(1-\alpha)\xi^9+\frac{4}{11}(1-\alpha)^2\xi^{11}\right\}\right]$$
$$=\frac{l}{2I_c}\left[\xi-\beta_2\frac{1}{3}\xi^3+4m^2\nu_cK_1-4m^2\nu_c(\beta_2+\delta_2)K_2+4m^2\nu_c\beta_2\delta_2K_3\right]$$

α	ξ	$\frac{1}{3}\xi^3$	K_1	K_2	K_3
1.0	0	0	0	0	0
	0.1	0.00033	0.00033	0.00000	0.00000
	0.2	0.00267	0.00267	0.00006	〃
	0.3	0.00900	0.00900	0.00049	0.00003
	0.4	0.02133	0.02133	0.00205	0.00023
	0.5	0.04166	0.04167	0.00625	0.00112
	0.6	0.07199	0.07200	0.01555	0.00400
	0.7	0.11432	0.11433	0.03361	0.01176
	0.8	0.17065	0.17067	0.06554	0.02996
	0.9	0.24298	0.24300	0.11810	0.06833
	1.0	0.33333	0.33333	0.20000	0.14286
0.9	0	同上	0	0	0
	0.1		0.00027	0.00000	0.00000
	0.2		0.00218	0.00005	〃
	0.3		0.00747	0.00051	0.00003
	0.4		0.01803	0.00174	0.00020
	0.5		0.03605	0.00547	0.00098
	0.6		0.06408	0.01408	0.00366
	0.7		0.10518	0.03164	0.01122
	0.8		0.16303	0.06447	0.02995
	0.9		0.24208	0.12198	0.07198
	1.0		0.34771	0.21787	0.15935
0.8	0	同上	0	0	0
	0.1		0.00021	0.00000	0.00000
	0.2		0.00175	0.00004	〃
	0.3		0.00608	0.00033	0.00002
	0.4		0.01500	0.00147	0.00017
	0.5		0.03085	0.00475	0.00086
	0.6		0.05667	0.01269	0.00333
	0.7		0.09657	0.02972	0.01069
	0.8		0.15596	0.06350	0.02997
	0.9		0.24204	0.12620	0.07584
	1.0		0.36419	0.23721	0.17708

a	ξ	$\frac{1}{3}\xi^3$	K_1	K_2	K_3
0.7	0		0	0	0
	0.1		0.00017	0.00000	0.00000
	0.2		0.00136	0.00003	〃
	0.3	同	0.00483	0.00027	0.00002
	0.4		0.01226	0.00121	0.00014
	0.5		0.02607	0.00408	0.00075
	0.6	上	0.04978	0.01138	0.00302
	0.7		0.08849	0.02797	0.01018
	0.8		0.14946	0.07265	0.03002
	0.9		0.24286	0.13076	0.07991
	1.0		0.38275	0.25800	0.19606
0.6	0		0	0	0
	0.1		0.00012	0.00000	0.00000
	0.2		0.00102	0.00002	〃
	0.3	同	0.00373	0.00021	0.00001
	0.4		0.00980	0.00098	0.00011
	0.5		0.02171	0.00346	0.00064
	0.6	上	0.04341	0.01016	0.00273
	0.7		0.08096	0.02626	0.00969
	0.8		0.14353	0.06190	0.03010
	0.9		0.24459	0.13566	0.08418
	1.0		0.40343	0.28025	0.21628
0.5	0		0	0	0
	0.1		0.00009	0.00000	0.00000
	0.2		0.00073	0.00002	〃
	0.3	同	0.00277	0.00016	0.00001
	0.4		0.00762	0.00078	0.00009
	0.5		0.01778	0.00290	0.00051
	0.6	上	0.03755	0.00901	0.00233
	0.7		0.07396	0.02465	0.00886
	0.8		0.13816	0.06126	0.02945
	0.9		0.24717	0.14090	0.08796
	1.0		0.42618	0.30397	0.24026
0.4	0		0	0	0
	0.1		0.00006	0.00000	0.00000
	0.2		0.00049	0.00001	〃
	0.3	同	0.00195	0.00011	0.00001
	0.4		0.00572	0.00060	0.00007
	0.5		0.01427	0.00238	0.00045
	0.6	上	0.03221	0.00794	0.00219
	0.7		0.05056	0.02313	0.00878
	0.8		0.13336	0.06072	0.03036
	0.9		0.25065	0.14648	0.09334
	1.0		0.45104	0.32914	0.26044

a	ξ	$\frac{1}{3}\xi^3$	K_1	K_2	K_3
0.3	0	同上	0	0	0
	0.1		0.00003	0.00000	0.00000
	0.2		0.00030	0.00001	〃
	0.3		0.00128	0.00007	0.00001
	0.4		0.00410	0.00044	0.00005
	0.5		0.01119	0.00193	0.00037
	0.6		0.02738	0.00695	0.00195
	0.7		0.06158	0.02169	0.00835
	0.8		0.12913	0.06029	0.03053
	0.9		0.25500	0.15240	0.09823
	1.0		0.47800	0.35578	0.28437

第 3 表

$$A(h)=-\frac{2f}{I_c}\left[(1-\nu_c)\left\{\frac{1}{2}a\xi^2+\frac{2}{4}(1-a)\xi^4\right\}-\left\{\beta_2-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\right\}\left\{\frac{1}{4}a\xi^4+\frac{2}{6}(1-a)\xi^6\right\}\right.$$
$$\left.-\nu_c\beta_2\delta_2\left\{\frac{1}{6}a\xi^6+\frac{2}{8}(1-a)\xi^8\right\}\right]$$
$$=\frac{l}{2I_c}2m\left[(1-\nu_c)K_4-\{\beta_2-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\}K_5-\nu_c\beta_2\delta_2K_6\right]$$

a	ξ	K_4	K_5	K_6	a	ξ	K_4	K_5	K_6
1.0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0
	0.1	0.00500	0.00003	0.00000		0.1	0.00401	0.00002	0.00000
	0.2	0.02000	0.00040	0.00001		0.2	0.01616	0.00032	0.00001
	0.3	0.04500	0.00203	0.00012		0.3	0.03681	0.00167	0.00010
	0.4	0.08000	0.00640	0.00068		0.4	0.06656	0.00539	0.00058
	0.5	0.12500	0.01563	0.00261		0.5	0.10625	0.01354	0.00228
	0.6	0.18000	0.03240	0.00778		0.6	0.15696	0.02903	0.00706
	0.7	0.24500	0.06003	0.01961		0.7	0.22010	0.05586	0.01857
	0.8	0.32000	0.10240	0.04369		0.8	0.29696	0.09940	0.04334
	0.9	0.40500	0.16403	0.08857		0.9	0.38961	0.16665	0.09238
	1.0	0.50000	0.25000	0.16667		1.0	0.50000	0.26667	0.18333
0.9	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0
	0.1	0.00451	0.00002	0.00000		0.1	0.00352	0.00002	0.00000
	0.2	0.01808	0.00036	0.00001		0.2	0.01424	0.00029	0.00001
	0.3	0.04091	0.00185	0.00011		0.3	0.03272	0.00149	0.00009
	0.4	0.07328	0.00590	0.00063		0.4	0.05984	0.00489	0.00053
	0.5	0.11563	0.01458	0.00244		0.5	0.09688	0.01250	0.00212
	0.6	0.16848	0.03072	0.00742		0.6	0.14544	0.02735	0.00670
	0.7	0.23251	0.05795	0.01909		0.7	0.20752	0.05378	0.01805
	0.8	0.30848	0.10090	0.04352		0.8	0.28544	0.09789	0.04317
	0.9	0.39731	0.16534	0.09048		0.9	0.38192	0.16796	0.09429
	1.0	0.50000	0.25833	0.17500		1.0	0.50000	0.27500	0.19167

α	ξ	K_4	K_5	K_6	α	ξ	K_4	K_5	K_6
	0	0	0	0		0	0	0	0
	0.1	0.00302	0.00002	0.00000		0.1	0.00203	0.00001	0.00000
	0.2	0.01232	0.00025	0.00001		0.2	0.00848	0.00017	〃
	0.3	0.02862	0.00131	0.00008		0.3	0.02043	0.00096	0.00006
	0.4	0.05312	0.00439	0.00048		0.4	0.03968	0.00338	0.00037
0.6	0.5	0.08750	0.01146	0.00195	0.4	0.5	0.06875	0.00938	0.00163
	0.6	0.13392	0.02566	0.00635		0.6	0.11088	0.02229	0.00563
	0.7	0.19502	0.05170	0.01753		0.7	0.17003	0.04754	0.01649
	0.8	0.27392	0.09639	0.04299		0.8	0.25088	0.09339	0.04264
	0.9	0.37422	0.16927	0.09619		0.9	0.35883	0.17190	0.10000
	1.0	0.50000	0.28333	0.20000		1.0	0.50000	0.30000	0.21667
	0	0	0	0		0	0	0	0
	0.1	0.00253	0.00001	0.00000		0.1	0.00154	0.00001	0.00000
	0.2	0.01040	0.00021	0.00001		0.2	0.00656	0.00013	〃
	0.3	0.02453	0.00114	0.00007		0.3	0.01634	0.00078	0.00005
	0.4	0.04640	0.00388	0.00043		0.4	0.03296	0.00288	0.00032
0.5	0.5	0.07813	0.01042	0.00179	0.3	0.5	0.05938	0.00834	0.00147
	0.6	0.12240	0.02398	0.00599		0.6	0.09936	0.02061	0.00527
	0.7	0.18253	0.04962	0.01701		0.7	0.15754	0.04546	0.01597
	0.8	0.26240	0.09489	0.04282		0.8	0.23936	0.09189	0.04247
	0.9	0.36653	0.17059	0.09810		0.9	0.35114	0.17321	0.10190
	1.0	0.50000	0.29167	0.20833		1.0	0.50000	0.30833	0.22500

第 4 表

$$G_{ij}(f)=\frac{l^2}{4I_c}\left[\left(\frac{1}{2}\xi^2-\frac{1}{4}\beta_2\xi^4\right)+4m^2\nu_c\left\{\frac{1}{4}\alpha^2\xi^4+\frac{4}{6}\alpha(1-\alpha)\xi^6+\frac{4}{8}(1-\alpha)^2\xi^8\right\}\right.$$
$$-4m^2\nu_c(\beta_2+\delta_2)\left\{\frac{1}{6}\alpha^2\xi^6+\frac{4}{8}\alpha(1-\alpha)\xi^8+\frac{4}{10}(1-\alpha)^2\xi^{10}\right\}$$
$$\left.+4m^2\nu_c\beta_2\delta_2\left\{\frac{1}{8}\alpha^2\xi^8+\frac{4}{10}\alpha(1-\alpha)\xi^{10}+\frac{4}{12}(1-\alpha)^2\xi^{12}\right\}\right]$$
$$=\frac{l^2}{4I_c}\left[\frac{1}{2}\xi^2-\beta_2\frac{1}{4}\xi^4+4m^2\nu_cK_7-4m^2\nu_c(\beta_2+\delta_2)K_8+4m^2\nu_c\beta_2\delta_2K_9\right]$$

α	ξ	$\frac{1}{2}\xi^2$	$\frac{1}{4}\xi^4$	K_7	K_8	K_9
	0	0	0	0	0	0
	0.1	0.00500	0.00003	0.00003	0.00000	0.00000
	0.2	0.02000	0.00040	0.00040	0.00001	〃
	0.3	0.04500	0.00203	0.00203	0.00012	0.00001
	0.4	0.08000	0.00640	0.00640	0.00068	0.00008
1.0	0.5	0.12500	0.01563	0.01563	0.00261	0.00049
	0.6	0.18000	0.03240	0.03240	0.00778	0.00210
	0.7	0.24500	0.06003	0.06003	0.01961	0.00721
	0.8	0.32000	0.10240	0.10240	0.04369	0.02097
	0.9	0.40500	0.16413	0.16413	0.08857	0.05381
	1.0	0.50000	0.25000	0.25000	0.16667	0.12500

a	ξ	$\frac{1}{3}\xi^3$	$\frac{1}{4}\xi^4$	K_7	K_8	K_9
0.9	0	同上	同上	0	0	0
	0.1			0.00002	0.00000	0.00000
	0.2			0.00033	0.00001	〃
	0.3			0.00168	0.00010	0.00001
	0.4			0.00543	0.00058	0.00007
	0.5			0.01361	0.00229	0.00043
	0.6			0.02913	0.00708	0.00193
	0.7			0.05597	0.01859	0.00690
	0.8			0.09951	0.04337	0.02108
	0.9			0.16690	0.09251	0.05708
	1.0			0.26750	0.18400	0.14058
0.8	0	同上	同上	0	0	0
	0.1			0.00002	0.00000	0.00000
	0.2			0.00026	0.00001	〃
	0.3			0.00138	0.00008	0.00001
	0.4			0.00455	0.00049	0.00006
	0.5			0.01175	0.00200	0.00038
	0.6			0.02605	0.00642	0.00176
	0.7			0.05212	0.01761	0.00661
	0.8			0.09685	0.04310	0.02121
	0.9			0.17027	0.09670	0.06052
	1.0			0.28667	0.20267	0.15733
0.7	0	同上	同上	0	0	0
	0.1			0.00001	0.00000	0.00000
	0.2			0.00020	0.00001	〃
	0.3			0.00110	0.00007	0.00001
	0.4			0.00374	0.00041	0.00005
	0.5			0.01002	0.00172	0.00033
	0.6			0.02316	0.00579	0.00160
	0.7			0.04848	0.01668	0.00632
	0.8			0.09443	0.04289	0.02136
	0.9			0.17415	0.10115	0.06413
	1.0			0.30750	0.22267	0.17525
0.6	0	同上	同上	0	0	0
	0.1			0.00001	0.00000	0.00000
	0.2			0.00015	〃	〃
	0.3			0.00085	0.00005	〃
	0.4			0.00301	0.00033	0.00004
	0.5			0.00844	0.00147	0.00028
	0.6			0.02047	0.00520	0.00145
	0.7			0.04505	0.01579	0.00604
	0.8			0.09223	0.04273	0.02152
	0.9			0.17852	0.10586	0.06791
	1.0			0.33000	0.24400	0.19433

α	ξ	$\frac{1}{2}\xi^2$	$\frac{1}{4}\xi^4$	K_7	K_8	K_9
0.5	0	同上	同上	0	0	0
	0.1			0.00001	0.00000	0.00000
	0.2			0.00011	〃	〃
	0.3			0.00064	0.00004	〃
	0.4			0.00237	0.00026	0.00003
	0.5			0.00700	0.00124	0.00024
	0.6			0.01798	0.00465	0.00131
	0.7			0.04182	0.01493	0.00578
	0.8			0.09026	0.04263	0.02171
	0.9			0.18339	0.11082	0.07186
	1.0			0.35417	0.26667	0.21458
0.4	0	同上	同上	0	0	0
	0.1			0.00000	0.00000	0.00000
	0.2			0.00007	〃	〃
	0.3			0.00045	0.00003	〃
	0.4			0.00180	0.00020	0.00003
	0.5			0.00571	0.00103	0.00020
	0.6			0.01567	0.00413	0.00118
	0.7			0.03881	0.01412	0.00553
	0.8			0.08853	0.04258	0.02195
	0.9			0.18876	0.11604	0.07597
	1.0			0.38000	0.29067	0.23600
0.3	0	同上	同上	0	0	0
	0.1			0.00000	0.00000	0.00000
	0.2			0.00004	〃	〃
	0.3			0.00030	0.00002	〃
	0.4			0.00131	0.00015	0.00002
	0.5			0.00455	0.00085	0.00017
	0.6			0.01356	0.00365	0.00105
	0.7			0.03600	0.01336	0.00528
	0.8			0.08702	0.04259	0.02213
	0.9			0.19463	0.12151	0.08026
	1.0			0.40750	0.31600	0.25858

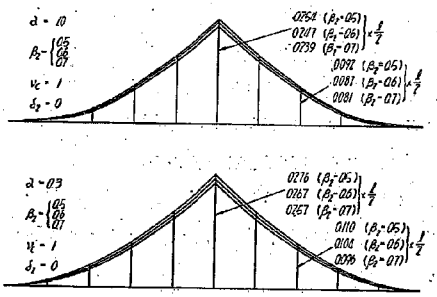
第 5 表

$$G_x(h)=\frac{2f^2}{I_c}\Big[(1-\nu_c)\Big\{\frac{1}{4}\alpha^2\xi^4+\frac{3}{6}\alpha(1-\alpha)\xi^6+\frac{2}{8}(1-\alpha)^2\xi^8\Big\}$$
$$-\Big\{\beta_2-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\Big\}\Big\{\frac{1}{6}\alpha^2\xi^6+\frac{3}{8}\alpha(1-\alpha)\xi^8+\frac{2}{10}(1-\alpha)^2\xi^{10}\Big\}$$
$$-\nu_c\beta_2\delta_2\Big\{\frac{1}{8}\alpha^2\xi^8+\frac{3}{10}\alpha(1-\alpha)\xi^{10}+\frac{2}{12}(1-\alpha)^2\xi^{12}\Big\}\Big]$$
$$=\frac{\ell^3}{4I_c}2m^2\Big[(1-\nu_c)K_{10}-\{\beta_2-\nu_c(\beta_2+\delta_2)\}K_{11}-\nu_c\beta_2\delta_2K_{12}\Big]$$

α	ξ	K_{10}	K_{11}	K_{12}	α	ξ	K_{10}	K_{11}	K_{12}
1.0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0
	0.1	0.00003	0.00000	0.00000		0.1	0.00001	0.00000	0.00000
	0.2	0.00040	0.00001	〃		0.2	0.00020	0.00001	〃
	0.3	0.00203	0.00012	0.00001		0.3	0.00107	0.00007	0.00001
	0.4	0.00640	0.00068	0.00008		0.4	0.00358	0.00039	0.00005
	0.5	0.01563	0.00261	0.00049		0.5	0.00939	0.00160	0.00031
	0.6	0.03240	0.00778	0.00210		0.6	0.02115	0.00524	0.00144
	0.7	0.06003	0.01961	0.00721		0.7	0.04306	0.01466	0.00552
	0.8	0.10240	0.04369	0.02097		0.8	0.08148	0.03655	0.01807
	0.9	0.16403	0.08857	0.05381		0.9	0.14586	0.08358	0.05257
	1.0	0.25000	0.16667	0.12500		1.0	0.25000	0.17842	0.13925
0.9	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
	0.1	0.00002	0.00000	0.00000		0.1	0.00001	0.00000	0.00000
	0.2	0.00033	0.00001	〃		0.2	0.00015	〃	〃
	0.3	0.00167	0.00010	0.00001		0.3	0.00082	0.00005	〃
	0.4	0.00537	0.00058	0.00007		0.4	0.00282	0.00031	0.00004
	0.5	0.01337	0.00224	0.00042		0.5	0.00766	0.00132	0.00025
	0.6	0.02839	0.00688	0.00183		0.6	0.01794	0.00451	0.00125
	0.7	0.05406	0.01789	0.00662		0.7	0.03803	0.01315	0.00500
	0.8	0.09516	0.04127	0.02000		0.8	0.07503	0.03426	0.01711
	0.9	0.15785	0.08697	0.05347		0.9	0.14004	0.08179	0.05201
	1.0	0.25000	0.17075	0.12992		1.0	0.25000	0.18200	0.14367
0.8	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
	0.1	0.00002	0.00000	0.00000		0.1	0.00001	0.00000	0.00000
	0.2	0.00026	0.00001	〃		0.2	0.00011	〃	〃
	0.3	0.00136	0.00008	0.00001		0.3	0.00060	0.00004	〃
	0.4	0.00443	0.00048	0.00006		0.4	0.00215	0.00024	0.00003
	0.5	0.01129	0.00191	0.00036		0.5	0.00610	0.00107	0.00021
	0.6	0.02464	0.00603	0.00165		0.6	0.01498	0.00382	0.00107
	0.7	0.04840	0.01623	0.00606		0.7	0.03332	0.01172	0.00450
	0.8	0.08819	0.03889	0.01903		0.8	0.06885	0.03202	0.01616
	0.9	0.15280	0.08530	0.05306		0.9	0.13434	0.07993	0.05137
	1.0	0.25000	0.17467	0.13467		1.0	0.25000	0.18542	0.14792

α	ξ	K_{10}	K_{11}	K_{12}	α	ξ	K_{10}	K_{11}	K_{12}
	0	0	0	0		0	0	0	0
	0.1	0.00000	0.00000	0.00000		0.1	0.00000	0.00000	0.00000
	0.2	0.00007	〃	〃		0.2	0.00004	〃	〃
	0.3	0.00042	0.00003	〃		0.3	0.00027	0.00002	〃
	0.4	0.00158	0.00018	0.00002		0.4	0,00109	0.00012	0.00002
0.4	0.5	0.00473	0.00084	0.00016	0.3	0.5	0.00353	0.00064	0.00013
	0.6	0.01230	0.00319	0.00090		0.6	0.00987	0,00262	0.00075
	0.7	0.02891	0.01036	0.00402		0.7	0.02482	0.00907	0.00356
	0.8	0.06294	0.02982	0.01521		0.8	0.05729	0.02767	0.01426
	0.9	0.12876	0.07802	0.05066		0.9	0.12330	0.07604	0.04988
	1.0	0.25000	0.18867	0.15200		1.0	0.25000	0.19175	0.15592

之等の表を用ひ，$f/l=1/4$, $\alpha=1.0$ 及び 0.3, $\nu_e=1$, $\beta_2=0.5$, 0.6 及び 0.7, $\delta_2=0$ の場合の X_1 影響線を計算すれば第8圖の様になる．



第　8　圖

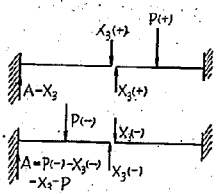
V. 反力及モーメント

〔1〕 反力の影響線

第 9 圖の如く $x'=+\frac{l}{2}\lambda$ に $+P$ がある時の左起拱點に於ける反力 A (•) は X_3 に等しく，$x'=-\frac{l}{2}\lambda$ に $-P$ がある時の A は $P-X_3$ に等しい．故に反力 A の影響線は次の如し．

$$A=1-X_3 \quad \left(x'=-\frac{l}{2}\sim 0\right), \quad A=X_3 \quad \left(x'=0\sim+\frac{l}{2}\right).$$

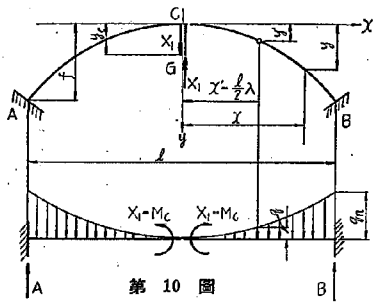
又各斷面に於けるモーメントは (2) (3) 式に依て計算せられる．



第　9　圖

VI. 對稱荷重の場合

對稱拱の死荷重は通常殆ど對稱に分布し，從つて地震による水平横荷重も亦對稱に分布



第 10 圖

するものと考へて差支ない場合が多い．風荷重の作用する場合にも亦略ゝ同樣である．而して其の强度を p とすれば此の分布狀態は一般に次式を以て表はされる．

$$p=\Sigma|\lambda^n|p_n$$

故に茲に拱軸線上に作用する次の 3 荷重を考へることゝする．

(1) 水平橫荷重 $q=|\lambda^n|q_n$

(2) 水平軸の周りのモーメント $m_H=|\lambda^n|m_{nH}$

(3) 鉛直軸の周りのモーメント $m_V=|\lambda^n|m_{nV}$

斯樣な荷重の作用する場合には旣述の如く X_2, X_3 は零となり，X_1 卽ち拱頂 C に於ける曲げモーメント M_c のみが不靜定量となる．

〔1〕 靜定基本系のモーメント

第 10 圖の如く靜定基本系 CB に對稱荷重 q, m_H, m_V が作用する場合，拱軸線上の任意の點に於ける水平軸の周りのモーメント M_{OH}, 鉛直軸の周りのモーメント M_{OV} は次の樣になる．

q の作用する場合

$$M_{OH}=\int_0^x q(y-y')dx'=\frac{q_n f l}{2(n+1)}\left[a\frac{2}{(n+3)}\xi^{n+3}+(1-a)\frac{4}{(n+5)}\xi^{n+5}\right] \quad \cdots\cdots(41)$$

$$M_{OV}=-\int_0^x q(x-x')dx'=-\frac{q_n l^2}{2(n+1)}\cdot\frac{\xi^{n+2}}{2(n+2)} \quad \cdots\cdots(42)$$

m_H の作用する場合

$$M_{OH}=\int_0^x m_H dx'=\frac{m_{nH} l}{2(n+1)}\xi^{n+1} \quad \cdots\cdots(43)$$

$$M_{OV}=0$$

m_V の作用する場合

$$M_{OH}=0$$

$$M_{OV}=\int_0^x m_V dx'=\frac{m_{nV} l}{2(n+1)}\xi^{n+1} \quad \cdots\cdots(44)$$

〔2〕 不靜定量—拱頂曲げモーメント

不靜定量 X_1 は卽ち拱頂 C の曲げモーメント M_c にして，X_2, X_3 は零である．

q の作用する場合

$$X_1=M_c=\frac{1}{\chi_1 I_c}\cdot\frac{q_n l}{(n+1)}$$

$$\times\left[\begin{array}{l}
+\dfrac{l^2}{4}\cdot\dfrac{1}{(n+2)}\left\{\dfrac{1}{(n+3)}-\dfrac{\beta_2}{(n+5)}\right\}\\
+2f^2\left[2\alpha^2\dfrac{1}{(n+3)}\left\{\dfrac{1}{(n+5)}-\dfrac{\beta_2}{(n+7)}\right\}\right.\\
\quad+4\alpha(1-\alpha)\left\{\dfrac{1}{(n+3)}+\dfrac{1}{(n+5)}\right\}\left\{\dfrac{1}{(n+7)}-\dfrac{\beta_2}{(n+9)}\right\}\\
\quad\left.+8(1-\alpha)^2\dfrac{1}{(n+5)}\left\{\dfrac{1}{(n+9)}-\dfrac{\beta_2}{(n+11)}\right\}\right]\\
+2f^2\nu_c\left[2\alpha^2\left\{\dfrac{1}{(n+2)}-\dfrac{1}{(n+3)}\right\}\left\{\dfrac{1}{(n+5)}-\dfrac{\beta_2+\delta_2}{(n+7)}+\dfrac{\beta_2\delta_2}{(n+9)}\right\}\right.\\
\quad+4\alpha(1-\alpha)\left\{\dfrac{2}{(n+2)}-\dfrac{1}{(n+3)}-\dfrac{1}{(n+5)}\right\}\left\{\dfrac{1}{(n+7)}-\dfrac{\beta_2+\delta_2}{(n+9)}+\dfrac{\beta_2\delta_2}{(n+11)}\right\}\\
\quad\left.+8(1-\alpha)^2\left\{\dfrac{1}{(n+2)}-\dfrac{1}{(n+5)}\right\}\left\{\dfrac{1}{(n+9)}-\dfrac{\beta_2+\delta_2}{(n+11)}+\dfrac{\beta_2\delta_2}{(n+13)}\right\}\right]
\end{array}\right.$$

……(45)

第 6 表は $n=0,\ 2,\ 4$ の場合に就て (45) を計算せるものである.

第 6 表 對稱荷重の場合の拱頂曲けモーメント

$$X_1=M_c=\frac{1}{\chi_1 I_c}\frac{q_n l}{(n+1)}\left[\frac{l^2}{4}(A_1-\beta_2 A_2)+4f^2(B_1-\beta_2 B_2)+4f^2\nu_c\{C_1-(\beta_2+\delta_2)C_2+\beta_2\delta_2 C_3\}\right]$$

n	α	A_1	A_2	B_1	B_2	C_1	C_2	C_3
0	1.0	0.16667 (α に關せず)	0.10000 (α に關せず)	0.06667	0.04762	0.03333	0.02381	0.01852
	0.9			0.06860	0.04997	0.04033	0.02971	0.02356
	0.8			0.07061	0.05235	0.04799	0.03619	0.02911
	0.7			0.07267	0.05476	0.05633	0.04327	0.03520
	0.6			0.07479	0.05722	0.06533	0.05091	0.04180
	0.5			0.07699	0.05972	0.07500	0.05915	0.04892
	0.4			0.07924	0.06224	0.08533	0.06797	0.05656
	0.3			0.08155	0.06481	0.09633	0.07737	0.05473
2	1.0	0.05000 (α に關せず)	0.03573 (α に關せず)	0.02857	0.02222	0.00714	0.00556	0.00455
	0.9			0.03052	0.02405	0.00931	0.00740	0.00616
	0.8			0.03255	0.02595	0.01175	0.00945	0.00792
	0.7			0.03468	0.02794	0.01434	0.01169	0.00988
	0.6			0.03689	0.02999	0.01720	0.01413	0.01201
	0.5			0.03918	0.03214	0.02026	0.01678	0.01433
	0.4			0.04157	0.03435	0.02355	0.01962	0.01681
	0.3			0.04403	0.03663	0.02706	0.02265	0.01948
4	1.0	0.02381 (α に關せず)	0.01852 (α に關せず)	0.01587	0.01299	0.00265	0.00216	0.00183
	0.9			0.01735	0.01434	0.00362	0.00300	0.00256
	0.8			0.01892	0.01575	0.00469	0.00392	0.00338
	0.7			0.02056	0.01725	0.00587	0.00495	0.00430
	0.6			0.02226	0.01880	0.00714	0.00608	0.00529
	0.5			0.02407	0.02043	0.00854	0.00729	0.00638
	0.4			0.02593	0.02213	0.01003	0.00861	0.00754
	0.3			0.02789	0.02390	0.01164	0.01000	0.00879

m_H の作用する場合

$$X_1=M_c=\frac{1}{\chi_1 I_c}\cdot\frac{m_{nH}l}{(n+1)}$$

$$\times\left[\begin{array}{l}+2f\left[\alpha\left\{\frac{1}{(n+3)}-\frac{\beta_2}{(n+5)}\right\}+2(1-\alpha)\left\{\frac{1}{(n+5)}-\frac{\beta_2}{(n+7)}\right\}\right]\\-2f\nu_c\left[\alpha\left\{\frac{1}{(n+3)}-\frac{\beta_2+\delta_2}{(n+5)}+\frac{\beta_2\delta_2}{(n+7)}\right\}+2(1-\alpha)\left\{\frac{1}{(n+5)}-\frac{\beta_2+\delta_2}{(n+7)}+\frac{\beta_2\delta_2}{(n+9)}\right\}\right]\end{array}\right.$$

……(46)

m_V の作用する場合

$$X_1=M_c=-\frac{1}{\chi_1 I_c}\cdot\frac{m_{nV}l}{(n+1)}$$

$$\times\left[\begin{array}{l}+\frac{l}{2}\left\{\frac{1}{(n+2)}-\frac{\beta_2}{(n+4)}\right\}\\+\frac{8f^2\nu_c}{l}\left[\alpha^2\left\{\frac{1}{(n+4)}-\frac{\beta_2+\delta_2}{(n+6)}+\frac{\beta_2\delta_2}{(n+8)}\right\}+4\alpha(1-\alpha)\left\{\frac{1}{(n+6)}-\frac{\beta_2+\delta_2}{(n+8)}\right.\right.\\\left.\left.+\frac{\beta_2\delta_2}{(n+10)}\right\}+4(1-\alpha)^2\left\{\frac{1}{(n+8)}-\frac{\beta_2+\delta_2}{(n+10)}+\frac{\beta_2\delta_2}{(n+12)}\right\}\right]\end{array}\right.$$

……(47)

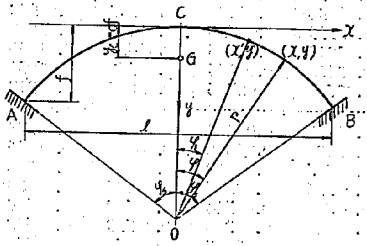
〔3〕 反力及モーメント

任意の點の曲げモーメント及捩りモーメントは，以上求めたる値を (2), (3) 式に入れて求められる．尙 q の作用する場合の反力 A は簡單に次式により求められる．

$$A=\frac{q_n l}{2(n+1)} \quad \text{……(48)}$$

VII. 定斷面の圓弧拱

以上は變斷面を有する一般の場合を取扱つたものであるが，定斷面を有する圓弧拱の場合には式は幾分簡單となり，影響線の一般竝にモーメント圖等を知るに便であるのみならず，曲り桁として土木建築の一般構造物に於ける應用も多い．



第 11 圖

〔1〕 不靜定量の影響線

第 11 圖の如く拱軸線の半徑 r，中心角を $2\varphi_0$ とし，荷重は (x', y') 即ち $\varphi=\varphi_1$ に作用するものとする．

$$x=r\sin\varphi \qquad y=r(1-\cos\varphi)$$

$$r=\frac{f}{2}+\frac{l^2}{8f} \qquad \sin\varphi_0=\frac{l}{2r}$$

$ds=rd\varphi,$ $I,\ \nu$ 一定

故に不靜定量の影響線の計算に必要なる第1表の式は次の様になる.

$$A(f)=\frac{r}{I}\left[\frac{1}{2}(1-\nu)\sin\varphi\cos\varphi+\frac{1}{2}(1+\nu)\varphi\right] \quad\cdots\cdots(49)$$

$$A(g)=\frac{r}{I}\left[-\frac{1}{2}(1-\nu)\sin\varphi\cos\varphi+\frac{1}{2}(1+\nu)\varphi\right] \quad\cdots\cdots(50)$$

$$A(h)=\frac{r}{I}\left[\frac{1}{2}(1-\nu)\sin^2\varphi\right] \quad\cdots\cdots(51)$$

$$G_y(f)=\frac{r^2}{I}\left[-\frac{1}{3}(1-\nu)\cos^3\varphi-\nu\cos\varphi\right] \quad\cdots\cdots(52)$$

$$G_x(g)=\frac{r^2}{I}\left[-\frac{1}{2}(1-\nu)\sin\varphi\cos\varphi+\frac{1}{2}(1+\nu)\varphi-\frac{1}{3}(1-\nu)\sin^3\varphi-\nu\sin\varphi\right] \quad(53)$$

$$G_y(h)=\frac{r^2}{I}\left[\frac{1}{3}(1-\nu)\sin^3\varphi\right] \quad\cdots\cdots(54)$$

$$G_x(h)=\frac{r^2}{I}\left[\frac{1}{2}(1-\nu)\sin^2\varphi+\frac{1}{3}(1-\nu)\cos^3\varphi\right] \quad\cdots\cdots(55)$$

$$I_y(f)=\frac{r^3}{I}\left[\frac{1}{4}(1-\nu)\cos\varphi\sin^3\varphi+\frac{1}{8}(1+3\nu)\{-\sin\varphi\cos\varphi+\varphi\}\right] \quad\cdots\cdots(56)$$

$$I_x(g)=\frac{r^3}{I}\left[-\frac{1}{2}(1-\nu)\sin\varphi\cos\varphi+\frac{1}{2}(1+\nu)\varphi-\frac{2}{3}(1-\nu)\sin^3\varphi-2\nu\sin\varphi\right.$$
$$\left.-\frac{1}{4}(1-\nu)\sin\varphi\cos^3\varphi+\frac{1}{8}(1+3\nu)\{\sin\varphi\cos\varphi+\varphi\}\right] \quad\cdots\cdots(57)$$

$$I_{xy}(h)=\frac{r^3}{I}\left[(1-\nu)\left\{\frac{1}{3}\sin^3\varphi-\frac{1}{4}\cos\varphi\sin^3\varphi-\frac{1}{8}(-\sin\varphi\cos\varphi+\varphi)\right\}\right] \quad\cdots\cdots(58)$$

故に

$$G_y(f)+G_x(h)=rA(h)-\frac{r^2}{I}\nu\cos\varphi \quad\cdots\cdots(59)$$

$$G_y(h)+G_x(g)=rA(g)-\frac{r^2}{I}\nu\sin\varphi \quad\cdots\cdots(60)$$

$$I_y(f)+I_x(g)+2I_{xy}(h)=r^2A(g)-\frac{r^3}{I}\nu(2\sin\varphi-\varphi) \quad\cdots\cdots(61)$$

之等より (14) により彈性中心の y_c を求めれば,

$$y_c=c_1r=r\left[1-\frac{r\nu\sin\varphi}{I\cdot A(g)}\right]_{-\varphi_s}^{+\varphi_s}$$

$$\therefore\ c_1=1-\frac{2\nu\sin\varphi_s}{(1+\nu)\varphi_s-(1-\nu)\sin\varphi_s\cos\varphi_s} \quad\cdots\cdots(62)$$

又影響線式の分母は

$$\chi_1=[A(f)]_{-\varphi_s}^{+\varphi_s}=\frac{r}{I}[(1-\nu)\sin\varphi_s\cos\varphi_s+(1+\nu)\varphi_s] \quad\cdots\cdots(63)$$

$$\chi_2=[A(g)]_{-\varphi_s}^{+\varphi_s}=\frac{r}{I}[-(1-\nu)\sin\varphi_s\cos\varphi_s+(1+\nu)\varphi_s] \quad \cdots\cdots(64)$$

$$\chi_3=[I_y(f)+I_x(g)+2I_{xy}(h)-y_c^2A(g)]_{-\varphi_s}^{+\varphi_s}$$

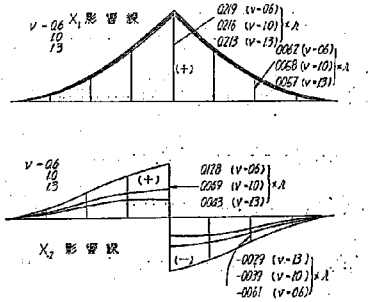
$$=\frac{r^3}{I}\left[(1-c_1^2)\frac{I}{r}\chi_2-2\nu(2\sin\varphi_s-\varphi_s)\right] \quad \cdots\cdots(65)$$

故に拱の右半に於ける $\varphi=\varphi_1$ なる點の影響線式は次の如し.

(1) 水平横荷重の作用する場合

$$X_1=\frac{r^2}{\chi_1 I}\left[\frac{I}{r}A(h)\cos\varphi_1-\frac{I}{r}A(f)\sin\varphi_1-\nu\cos\varphi\right]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(66)$$

$$X_2=-\frac{r^2}{\chi_2 I}\left[\frac{I}{r}A(g)\cos\varphi_1-\frac{I}{r}A(h)\sin\varphi_1-\nu\sin\varphi\right]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(67)$$



第 12 圖

$$X_3=\frac{r^3}{\chi_3 I}\left[(1-c_1)\left\{\frac{I}{r}A(g)\cos\varphi_1-\frac{I}{r}A(h)\sin\varphi_1-\nu\sin\varphi\right\}+\nu\{\sin\varphi_1\cos\varphi-\cos\varphi_1\sin\varphi+\varphi\}\right]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(68)$$

第 12 圖は $f/l=1/4$ なる定斷面の圓弧拱に於て $\nu=0.6,\ 1.0,\ 1.3$ なる場合の不靜定量影響線を示すもので, X_1, X_3 は ν の値による影響は極僅少であるが X_2 は之により大なる影響を受ける. 故に對稱荷重の作用する場合に於ては ν が甚しく大ならざる限り, 近似的に $\nu=1$ としても其誤差は實用上差支ない程度である.

(2) 水平軸の周りのモーメントの作用する場合

$$X_1=\frac{1}{\chi_1}[A(h)]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(69)$$

$$X_2=-\frac{1}{\chi_2}[A(g)]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(70)$$

$$X_3=\frac{r^2}{\chi_3 I}\left[(1-c_1)\frac{I}{r}A(g)-\nu\sin\varphi\right]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(71)$$

（3） 鉛直軸の周りのモーメントの作用する場合

$$X_1=-\frac{1}{\chi_1}[A(f)]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(72)$$

$$X_2=\frac{1}{\chi_2}[A(h)]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(73)$$

$$X_3=-\frac{r^2}{\chi_3 I}\left[(1-c_1)\frac{I}{r}A(h)-\nu\cos\varphi\right]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(74)$$

〔2〕 對稱荷重の場合

VI に述べたると同樣に次の 3 荷重を考へる.

(1) 水平横荷重　$q=|\lambda^n|\,q_n=q_n\left(\dfrac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_s}\right)^n$

(2) 水平軸の周りのモーメント　$m_H=|\lambda^n|\,m_{nH}=m_{nH}\left(\dfrac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_s}\right)^n$

(3) 鉛直軸の周りのモーメント　$m_V=|\lambda^n|\,m_{nV}=m_{nV}\left(\dfrac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_s}\right)^n$

（1） 靜定基本系のモーメント　以上の荷重が作用する場合の靜定基本系のモーメント M_{OH}, M_{OV} は次の樣になる.

q の作用する場合

$$M_{OH}=-\frac{q_n r^2}{\sin^n\varphi_s}\left[\frac{1}{(n+1)(n+2)}\cos\varphi\sin^{n+1}\varphi-\frac{1}{(n+2)}\int_0^{\varphi}\sin^n\varphi_1 d\varphi_1\right] \quad \cdots\cdots(75)$$

$$M_{OV}=-\frac{q_n r^2}{\sin^n\varphi_s}\left[\frac{1}{(n+1)(n+2)}\sin^{n+2}\varphi\right] \quad \cdots\cdots(76)$$

$n=0$ の場合

$$M_{OH}=-q_0 r^2\left[\frac{1}{2}\sin\varphi\cos\varphi-\frac{1}{2}\varphi\right] \quad \cdots\cdots(77)$$

$$M_{OV}=-q_0 r^2\frac{1}{2}\sin^2\varphi \quad \cdots\cdots(78)$$

$n=2$ の場合

$$M_{OH}=-\frac{q_2 r^2}{\sin^2\varphi_s}\left[\frac{1}{12}\sin^3\varphi\cos\varphi-\frac{1}{8}(-\sin\varphi\cos\varphi+\varphi)\right] \quad \cdots\cdots(79)$$

$$M_{OV}=-\frac{q_2 r^2}{\sin^2\varphi_s}\left[\frac{1}{12}\sin^4\varphi\right] \quad \cdots\cdots(80)$$

$n=4$ の場合

$$M_{OH}=-\frac{q_4 r^2}{\sin^4\varphi_s}\left[\frac{1}{30}\sin^5\varphi\cos\varphi+\frac{1}{24}\sin^3\varphi\cos\varphi-\frac{1}{16}(-\sin\varphi\cos\varphi+\varphi)\right] \quad \cdots\cdots(81)$$

$$M_{OV}=-\frac{q_4 r^2}{\sin^4\varphi_s}\left[\frac{1}{30}\sin^6\varphi\right] \quad \cdots\cdots(82)$$

m_H の作用する場合

$$M_{OH}=\frac{m_{nH}r}{(n+1)\sin^n\varphi_s}\sin^{n+1}\varphi,\quad M_{OV}=0 \qquad (83)$$

m_V の作用する場合

$$M_{OH}=0,\quad M_{OV}=\frac{m_{nV}r}{(n+1)\sin^n\varphi_s}\sin^{n+1}\varphi \qquad (84)$$

（2） **不静定量—拱頂曲げモーメント**　不静定量 X_1 は拱頂の曲げモーメント M_c にして，X_2, X_3 は零である．

q の作用する場合

$$X_1=M_c=\frac{2q_nr^3}{\chi_1 I\sin^n\varphi_s}\int_0^{\varphi_s}\left[\frac{\nu}{(n+1)(n+2)}\sin^{n+2}\varphi+\frac{(1-\nu)}{(n+2)}\left\{\int_0^{\varphi}\sin^n\varphi_1 d\varphi_1\right\}\sin\varphi\cos\varphi\right]d\varphi$$

$$=\frac{2q_nr^3}{\chi_1 I\sin^n\varphi_s}\left[\frac{(n+1)-(n+3)\nu}{2(n+1)(n+2)^2}\cos\varphi_s\sin^{n+1}\varphi_s-\left\{\frac{(n+1)-(n+3)\nu}{2(n+2)^2}-\frac{(1-\nu)}{2(n+2)}\sin^2\varphi_s\right\}\int_0^{\varphi_s}\sin^n\varphi d\varphi\right] \qquad (85)$$

$n=0$ の場合

$$X_1=M_c=\frac{2q_0r^3}{\chi_1 I}\left[\frac{(1-\nu)}{4}\varphi_s\sin^2\varphi_s+\frac{(1-3\nu)}{8}(\sin\varphi_s\cos\varphi_s-\varphi_s)\right] \qquad (86)$$

$n=2$ の場合

$$X_1=M_c=\frac{2q_2r^3}{\chi_1 I\sin^2\varphi_s}\left[-\frac{(3-\nu)}{96}\cos\varphi_s\sin^3\varphi_s+\frac{(1-\nu)}{16}\varphi_s\sin^2\varphi_s+\frac{(3-5\nu)}{64}(\sin\varphi_s\cos\varphi_s-\varphi_s)\right] \qquad (87)$$

$n=4$ の場合

$$X_1=M_c=\frac{2q_4r^3}{\chi_1 I\sin^4\varphi_s}\left[-\frac{(5-\nu)}{720}\cos\varphi_s\sin^5\varphi_s-\frac{(2-\nu)}{144}\cos\varphi_s\sin^3\varphi_s+\frac{(1-\nu)}{32}\varphi_s\sin^2\varphi_s+\frac{(5-7\nu)}{192}(\sin\varphi_s\cos\varphi_s-\varphi_s)\right] \qquad (88)$$

m_H の作用する場合

$$X_1=M_c=\frac{2m_{nH}r^2(1-\nu)\sin^3\varphi_s}{(n+1)(n+3)\chi_1 I} \qquad (89)$$

m_V の作用する場合

$$X_1=M_c=\frac{2m_{nV}r^2}{(n+1)(n+3)\chi_1 I\sin^n\varphi_s}\left[-(1-\nu)\cos\varphi_s\sin^{n+2}\varphi_s-\{1+(n+2)\nu\}\int_0^{\varphi_s}\sin^{n+1}\varphi d\varphi\right] \qquad (90)$$

$n=0$ の場合

$$X_1=M_c=\frac{2m_{0v}r^2}{3\chi_1 I}[(1+2\nu)\cos\varphi_s-(1-\nu)\cos\varphi_s\sin^2\varphi_s] \quad \cdots\cdots(91)$$

$n=2$ の場合

$$X_1=M_c=\frac{2m_{2v}r^2}{15\chi_1 I\sin^2\varphi_s}\left[\frac{(1+4\nu)}{3}(\cos\varphi_s\sin^2\varphi_s+2\cos\varphi_s)-(1-\nu)\cos\varphi_s\sin^4\varphi_s\right] \quad \cdots\cdots(92)$$

$n=4$ の場合

$$X_1=M_c=\frac{2m_{4v}r^2}{35\chi_1 I\sin^4\varphi_s}\left[\frac{(1+6\nu)}{5}\left(\cos\varphi_s\sin^4\varphi_s+\frac{4}{3}\cos\varphi_s\sin^2\varphi_s+\frac{8}{3}\cos\varphi_s\right)-(1-\nu)\cos\varphi_s\sin^6\varphi_s\right] \quad \cdots\cdots(93)$$

（3） 拱軸線に沿ふて作用する定荷重　拱軸線に沿ふて强度一定なる荷重 q が作用する時には

$$M_{OH}=-qr^2[\varphi\cos\varphi-\sin\varphi] \quad \cdots\cdots(94)$$

$$M_{OV}=-qr^2[\varphi\sin\varphi+\cos\varphi-1] \quad \cdots\cdots(95)$$

又拱頂の曲げモーメントは

$$X_1=M_c=qr^2\left[\frac{2\{(1+\nu)\sin\varphi_s-\nu\varphi_s\cos\varphi_s\}}{(1-\nu)\sin\varphi_s\cos\varphi_s+(1+\nu)\varphi_s}-1\right] \quad \cdots\cdots(96)$$

追記　次に式中に屢〻出て來る ξ^n の表を附加しておく．

ξ^n の 表

ξ \ n	2	3	4	5	6
0.1	0.01	0.001	0.0001	0.00001	0.000001
0.2	0.04	0.008	0.0016	0.00032	0.000064
0.3	0.09	0.027	0.0081	0.00243	0.000729
0.4	0.16	0.064	0.0256	0.01024	0.004096
0.5	0.25	0.125	0.0625	0.03125	0.015625
0.6	0.36	0.216	0.1296	0.07776	0.046656
0.7	0.49	0.343	0.2401	0.16807	0.117649
0.8	0.64	0.512	0.4096	0.32768	0.262144
0.9	0.81	0.729	0.6561	0.59049	0.531441
1.0	1.00	1.000	1.0000	1.00000	1.000000

ξ \ n	7	8	9	10
0.1	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.2	0.0000128	0.0000026	0.0000005	0.0000001
0.3	0.0002187	0.0000656	0.0000197	0.0000059
0.4	0.0016384	0.0006554	0.0002621	0.0001049
0.5	0.0078125	0.0039063	0.0019531	0.0009766
0.6	0.0279936	0.0167962	0.0100777	0.0060466
0.7	0.0823543	0.0576480	0.0403536	0.0282475
0.8	0.2097152	0.1677722	0.1342177	0.1073742
0.9	0.4782969	0.4304672	0.3874205	0.3486784
1.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000

ξ \ n	11	12	13	14
0.1	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.2	〃	〃	〃	〃
0.3	0.0000018	0.0000005	0.0000002	〃
0.4	0.0000419	0.0000168	0.0000067	0.0000027
0.5	0.0004883	0.0002441	0.0001221	0.0000610
0.6	0.0036280	0.0021768	0.0013061	0.0007836
0.7	0.0197733	0.0138413	0.0096889	0.0067822
0.8	0.0858993	0.0687195	0.0549756	0.0439805
0.9	0.3138106	0.2824295	0.2541886	0.2284675
1.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000

ξ \ n	15	16	17	18
0.1	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.2	〃	〃	〃	〃
0.3	〃	〃	〃	〃
0.4	0.0000001	〃	〃	〃
0.5	0.0000305	0.0000153	0.0000076	0.0000038
0.6	0.0004702	0.0002821	0.0001693	0.0001016
0.7	0.0047476	0.0033233	0.0023263	0.0016284
0.8	0.0351844	0.0281475	0.0225180	0.0180144
0.9	0.2058911	0.1853020	0.1667718	0.1500948
1.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000

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 瀝青質材料竝瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年三月發行
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、「ソリデチット」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査、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（第一） 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・ビ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、瓦斯燈及骸炭爐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	昭和四年一月發行
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、鐵底橋鐵材の腐蝕に關する調査、鋪裝用鋪鐵ブロック磨耗試驗	同　五月發行
*第十四號	瀝青乳劑及ピチュ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
*第十五號	北上川陸閘式轉動堰模型試驗、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	昭和五年二月發行
*第十六號	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第二） 瀝青滲透ブロック鋪裝試驗、工事用石材試驗成績	同　五月發行
*第十七號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第三）	同　五月發行

*第十八號	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗．鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響竝に之に應ずる設計及工法に就て(一)．鬼怒川上流改修工事用角礫混凝灰岩砂利及砂に關する試驗．鐵筋混凝土道路橋設計資料．各種土木工事用材料試驗成績	昭和五年十月發行
*第十九號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く道路設計の基本に關する研究（第四）	同　十一月發行
第二十號	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)．基礎の沈下量算定法(一)．岩淵水門に關する水理試驗．單鉸拱橋模型試驗．國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案	昭和六年六月發行
第二十一號	背水曲線の一般的解法．單鉸拱の振動に關する理論竝に實驗混凝土鋪裝の繼目に關する試驗．河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響．遞青乳劑試驗成績	同　十二月發行
第二十二號	地震時土壓の實驗的研究．混凝土鋪裝繼目用エラスタイト試驗．高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗．基礎の沈下量算定法(第二)．新土壓計算圖表．	昭和七年五月發行
第二十三號	簡易鋪裝に關する實地比較試驗．鋼矢板試驗．大和川筋龜ノ瀨地辷に關する調査（第一）	同　七月發行
第二十四號	道路の背向曲線の設計に就て．阻柱に關する試驗．乳劑の粘度に就て．府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案．碎石の磨損率に關する一試驗．三陸津浪調査報告．本邦產鋪裝用石材（附錄）．	昭和八年六月發行
*第二十五號	本邦鋪裝用タールの性質に就て．橫溢流堤流量試驗．擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗．砂利層の支持力に關する試驗（第一報）．鋼矢板試驗（續）．エタニツト・パイプ試驗．	同　十一月發行
第二十六號	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法．田中村調節池溢流堤に關する水理試驗．遞青鋪裝切取試驗體の性質．道路鋪裝用遞青乳劑の性狀に關する基本的研究（第1報）．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一)	昭和九年三月發行
第二十七號	道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て．津浪の災害輕減に關する模型試驗．津浪の變形の理論．三陸津浪調査報告(追加)．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其の二)．遞青透入マカダムに關する試驗(第一報)	同　六月發行
第二十八號	地震動による土堰堤の變形．鎗磨鋼引張試驗用小型試片．國產遞青乳劑試驗成績．骨材及び類似材料の粒性に關する研究．鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計(1)	同　十月發行
第二十九號	矢板擁壁の控板に作用する力に關する試驗．遞青繼目材試驗成績．南洋材カポール並にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗．道路鋪裝用遞青乳劑の性狀に關する基本的研究（第2報）阪神地方沿岸風水害調査報告．	同　十二月發行
第三十號	道路鋪裝用遞青乳劑の性狀に關する基本的研究（第3報）．鏡口狀河口に於ける水流に就て．下關海峽の潮流に關する模型試驗．基礎版の基本的研究(第1報)．溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗．國道鉄筋拔桁橋標準設計案	昭和十年四月發行
第三十一號	土砂の安定强度試驗．本邦鋪裝用タールの性質（其の II）．道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第1報）．擁壁裏込の土壓輕減の効果に關する試驗．神戸港々口の潮流に關する試驗（第1報）．	同　八月發行

第三十二號 本邦道路橋の重量．道路鋪裝用タール乳劑に關する研究(第2報)．河川彎曲部に於ける水流に就て．タールとアスファルトとの混合物の鋪裝材としての性質．タール鋪裝と水稻の發育との關係．ポートランドセメントの凝結後に於ける溶解物の *PH* に就て．王泊堰堤の湧水の温度及水素イオン濃度． 昭和十年十一月發行

第三十三號 砂利路面工の配合比に關する試驗．鋼橋鉚接音壓縮試驗．基礎版の基本的研究(第2報)基礎桁．道路鋪裝用アスファルトの力學的特性に就て(其の1)．停止波に就て． 昭和十一年三月發行

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
*第六回國際道路會議に關する報告書	昭和七年四月發行
土木工事用材料標準試驗方法	昭和七年十二月發行
本邦道路橋輯覽第三輯	昭和十年十一月發行

(*印は殘部なし)

昭和十一年六月七日 印刷
昭和十一年六月十日 發行

內務省土木試驗所
東京市本鄉區駒込上富士前町二十六番地
電話大塚(86){自3101番 至3103番
印刷者 井上源之丞
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二
印刷所 凸版印刷株式會社本所分工場
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二