

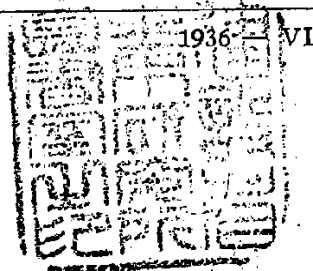


土木試験所報告

第三十四號

昭和十一年 第二冊

瓦斯切斷による削稜が銲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験……………	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
土砂の安定強度に及ぼす加壓回數の影響……………	山田元
土木工事用金属材料分析試験……………	{ 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験……………	{ 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験……………	{ 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



内務省土木試験所

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	$2 \sim 2\frac{1}{2}$	$2 \sim 3\frac{1}{2}$
74	第 7 表 (B) の 3. a. 行	36	3.6
„	„ 6. a. 行	$1 \sim 1\frac{1}{2}$ hr.	$1\frac{1}{2} \sim 2\frac{1}{2}$ hr.
90	第 1 表中、番號 96 の行	No. 17311	No. 17317
110	第 14 表中	208	268

土木試験所報告

第三十四號

序 言

本報告は「瓦斯切斷による削稜が銲接の強度に及ぼす影響」「防波堤の安定に關する一試験」「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青乳劑の性狀に就て」「土砂の安定強度に及ぼす加壓回數の影響」「土木工事用金屬材料分析試験」「種々の土木工事用材料に關する試験」「施工方法による砂利路面工の耐力の比較試験」「鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計(2)」等を輯録せるものである。

瓦斯切斷による削稜が銲接の強度に及ぼす影響 は銲合前面隅肉及側面隅肉銲接の強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銲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験 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験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青乳劑の性狀に就て 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に就て材料試験を行ひ、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験乳劑の性質と比較し以て内外の鋪裝用瀝青乳劑の性質に就て論述したものである。

土砂の安定強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強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験 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験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験 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強度、諸種のセメント、早強セメント、土木試験所建築工事用セメント珪酸白土、石灰岩粉、潜函中空氣等に關する試験成績を輯録せるものである。

施工方法による砂利路面工の耐力比較試験 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 種の試験路面を造り、實際路面上の交通車輪と略、同一の作用を有する試験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横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

内務省土木試験所長 内務技師 物部長 穂

目 次

瓦斯切斷による割稜が銲接の強度に及ぼす影響	1
内務技師 青 木 楠 男	
防波堤の安定に関する一試験	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	
二,三の外國製鋪装用瀝青乳劑の性狀に就て	59
福 島 彌 六	
土砂の安定強度に及ぼす加壓回数の影響	77
内務技師 山 田 元	
土木工事用金屬材料分析試験	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関する試験	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験	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 試験片の製作	(6)
〔4〕 試験片の形状寸法	(6)
〔5〕 試験片の削稜	(8)
〔6〕 瓦斯切斷による鋼材縁部の變化	(9)
〔7〕 鎔接及び削稜	(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〕 母材並に鎔着鋼の強度	(13)
〔9〕 銜合鎔接試片の強度	(14)
〔10〕 側面隅肉鎔接試片の強度	(16)
〔11〕 前面隅肉鎔接試片の強度	(18)
〔12〕 瓦斯切斷削稜の影響が鎔接の種類によつて異なることに對する考察	(20)
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	(25)
〔13〕 母材並に鎔着鋼の強度	(25)
〔14〕 銜合鎔接試片の強度	(26)
〔15〕 側面隅肉鎔接試片の強度	(29)
〔16〕 前面隅肉鎔接試片の強度	(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、むしろ鋸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。實驗は内務技手宮澤巖雅氏の手を煩した、こゝに氏の勞に對し深い謝意を表する次第である。

る。斯くの如きは銲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。

而して銲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) 新工法たる銲接の信頼し得べき施工者の比較的少數なることが、銲接工事に獨占的の傾向を生ぜしめてをること、(2) 新たに設置したる銲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) 銲接工檢定試験に合格しうる銲接工比較的少數なるため勞力費割高なること、(4) 現時銲接建築、銲接鋼橋の製作にあつては、接手銲接面を入念に削成せる後に銲接するを常法とし、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) のものは銲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) は純然たる技術的問題であつて、もし鋼材端面の削成に代つて、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、鋼材縁部の削成による加工費の増加を或程度まで緩和することが出来る。

然らば銲接面の削成に瓦斯切斷を利用することが、接手の強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、今日造船方面への銲接應用に於ては瓦斯切斷削成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銲合銲接に就いての研究であり、従つて其應用も主として銲合銲接の如く考へられる。従つて今日隅内銲接を主として使用する鋼橋其他に、瓦斯切斷削成利用の一般的可否を確めんためには、銲合銲接のほか、更に隅内銲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削成方法を用ひて製作せる、前面並に側面隅内銲接についての強度試験を行ひ削成方法の接手強度に及ぼす影響を求め、同時に行つた銲合銲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纏めたものであるが、これに先立つて銲合銲接に對する瓦斯切斷削成の影響の研究文獻の2, 3を略記することとする。

〔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強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銲とにより各厚約 1 吋、幅約 1½ 吋の試片を切り取り表面は瓦斯切又は鋸引のまゝとし、兩縁のみ削成の上引張強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 瓦斯切斷が鋼材の強度に及ぼす影響

試 験 片	酸素アセチレン瓦斯を用いて切斷せるもの	酸素石炭瓦斯を用いて切斷せるもの	鋸引せるもの
断面寸法 (cm)	3.83×1.00	3.86×1.00	3.86×0.93
極限強度 (kg/cm ²)	4,340	4,315	4,125
降伏點強度 (kg/cm ²)	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強度、靱性とも優つてゐることが知られる。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ゐる。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様 3 吋鋼塊より瓦斯切斷又は鋸引したる鋼板を用いた V 接ぎの強度試験である。V 接ぎ銲接面の削接方法には鋸引、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ゐる、第2表は實驗結果の概略を示したものである。

第2表 削接方法の相違による V 接ぎ強度の比較 (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)

試験片	表面仕上 削接方法	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*
		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
断面寸法 (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
極限強度 (kg/cm ²)		3,950	4,300	4,220	4,250	4,280	4,190	4,250
降伏點強度 (kg/cm ²)		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。°印は銲接部を鋼板面まで削取、*印は試片全面を削成

第2表の結果を見るに其強度に於ては試片表面並に銲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と強度が低値を示してゐ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、銲接面共に鋸引又は瓦斯切斷せるものが比較的良好的な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説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断面 5×1.27 cm, 強度 3,780~3,950 (kg/cm²) の平鋼を用ひ第 2 表に於けると同様の實驗を行ひ、第 3 表の結果を得てをる。

第 3 表 削稜方法の相違による V 接ぎ強度の比較 (其 2)

(試験片には平鋼使用、重被覆電極棒使用、試片は銲接後削成)

試験片削稜方法	機 械 仕 上	酸素アセチレン 瓦斯切斷	酸素石炭瓦斯切斷
断面寸法 (cm)	4.92 × 1.25	5.0 × 1.25	4.95 × 1.27
極限強度 (kg/cm ²)	3,905	3,875	3,900
降伏點強度 (kg/cm ²)	2,675	2,645	2,675
伸率 (%) (標距 20cm)	11.0	12.0	12.0

試験の成績は第 2 表の場合と大體同傾向と云ふことが出来る。

第 2 表及び第 3 表の實驗結果に基き Clarke 氏は軟鋼の荷合銲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、銲接面に附着せる酸化被膜を除去することなく其儘銲接するも接手の強度には著しき悪影響なしと斷定してをり、銲接面に於ける酸化被膜を銲着鋼の表面へ銲滓として浮び出でしめ銲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対に必要なりと説いてをる。

Clarke 氏は更に輕被覆電極棒並に裸電極棒を使用し、平鋼試験片による V 接手の強度試験を行ひ前記重被覆電極棒による成績と比較してをる。孰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強度、重被覆電極棒によるものゝ 75% に達するに過ぎない。組織寫眞によるとき V 接ぎの銲接面より銲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 表は輕被覆電極棒並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

切斷削稜による V 接手の強度

(試験片には平鋼を使用す、試片は銲接後削成)

使用電極棒	裸 電 極 棒	輕被覆電極棒
削稜方法	酸素アセチレン瓦斯切斷	酸素アセチレン瓦斯切斷
断面寸法 (cm)	5.08 × 1.25	5.07 × 1.26
極限強度 (kg/cm ²)	2,930	3,750
降伏點強度 (kg/cm ²)	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

は銲接部の削稜方法と

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 氏の實驗成績並に其結論を見て考へらるゝことは、實驗が單に V 接ぎの引張試験 (又は曲げ試験) 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断削接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る銲合銲接の場合と、剪斷應力をうる隅肉銲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銲接器を使用したものと認める、もし直流銲接機を使用した場合にも同様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もと考へられるが、この點を確むる事も又相當重要性を有するものと信する。

これを要するに瓦斯切断削接を用ひて銲接を行ひ、酸化物の含有なき銲着鋼の得らるゝ銲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〕 三菱崎造船所に於ける實驗

この實驗は同造船所が某船の銲接構造物の一部分に瓦斯切断削接を使用するに對し 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ヶ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	鋸 厚 (cm)	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3	1.87	1.87	1.87
	削 接 方 法	原材	瓦斯切断	機械仕上	原材	瓦斯切断	機械仕上	原材	瓦斯切断	機械仕上
	極限引張強度 (kg/cm ²)	{ 4,500	4,180	4,490	5,220	3,660	4,510	4,010	3,220	3,930
	3,940		4,570	3,690		4,200	3,360		3,480	
第2回試驗	鋸 厚 (cm)	1.3	1.3	1.3	—	1.3	1.3	—	—	—
	削 接 方 法	原材	瓦斯切断	機械仕上	—	瓦斯切断	機械仕上	—	—	—
	極限引張強度 (kg/cm ²)	{ 4,850	3,940	4,200	—	3,970	4,170	—	—	—
	4,110		4,190	4,130		3,920				
第3回試驗	鋸 厚 (cm)	1.3	1.3	1.3	—	—	—	—	—	—
	削 接 方 法	原材	瓦斯切断	機械仕上	—	—	—	—	—	—
	極限引張強度 (kg/cm ²)	{ 5,120	4,880	5,000	—	—	—	—	—	—
	4,920		5,020	—		—				

ものである。

實驗は V 形銑合接手の引張試驗で 3 回の豫備試驗と最後の Lloyd 検査員立會試驗とに分かれてをる。交流銑接器、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験の回数を追ひて良好となり、第 2 回第 3 回の試験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 検査員立會試験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、機械仕上共に原材強度に匹敵する強度を示してをる。

第 6 表 Lloyd 検査員立會試験

試片番號	A			B			C		
	1	2,3	4,5	1	2,3	4,5	1	2,3	4,5
板 厚 (cm)	0.95	0.95	0.95	1.27	1.27	1.27	1.91	1.91	1.91
削後方法	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
極限強度 (kg/cm ²)	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

以上の試験結果により三菱造船所に於ては、瓦斯切斷にて削後したるものは機械仕上げにより削後したるものに較べて、其銑接に慣れる迄は結果が悪いが、慣れて来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、並に銑接部の組織状態を明かにすることの出来ぬために Clarke 氏の實驗結果と比較對照することは困難であるが、其結論に於ける銑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銑鋼表面に銑滓として浮び出さしむる技術の會得に外ならないと信するものである。

II. 試 験 片 の 製 作

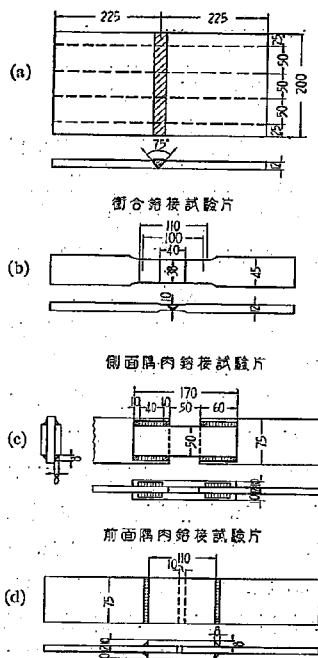
〔4〕 試験片の形状寸法

上述の如く從來行はれてをる瓦斯切斷削後に関する實驗は主として銑合銑接についてある。もし削後面の酸化被膜を常に完全に銑滓として析出し得るものとすれば、銑合銑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する。この意味から本實驗に用ひた試片はこれを (A) 銑合銑接試片、(B) 側面隅肉銑接試片、(C) 前面隅肉銑接試片の 3 種に區分し、各々を第 1 圖の形状寸法を有せしめた。圖中 (a) は銑合銑接試片 3

個取りの試料にて削稜の角度は 75° とした。但し實際出来上つたものは次節に示す如く正確にこの角度に切断されたものは少い。(b) 圖は吻合鉗接試片の仕上り寸法で、鉗接部での切断を確保するために中央部 40 mm 間を厚 10 mm に削成した。(c) 圖は側面隅内鉗接試片の仕上り寸法にて鉗接隅内の兩端の稜は後に削除し、隅内の形も正しく三角形をなす様補強盛を削除した。(d) 圖は前面隅内鉗接試片の仕上り寸法を示す。側面、前面兩隅内鉗接とも隅肉の寸法は 8 mm である。

試験片の銲接面は各試片とも機械仕上げるものと、瓦斯切断せる儘のものを用意し、瓦斯切断前後のものには其切断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断せるもの、熟練工の手動瓦斯切断せるもの、自動瓦斯切断機にて切断せるものの3種を用意した。各種試片孰れも3個を以て1組とし、3個の平均にて其強度を示すこととする。切断用の瓦斯は酸素アセチレン瓦斯である。

各試片に取扱いの便宜上第7表の記號を附した。



第 1 圖 試験片の形状寸法

(a), (b) 銜合銕接試片
(c) 側面隅肉銕接試片
(d) 前面隅肉銕接試片

第7表 銲接試片記號

溶接の種類	機械仕上	瓦 断 切 断			備 考
		未熟工	熟練工	自動切断機	
街合 溶 接	BNM	BNO	BYO	BIO	機械仕上は平削機使用
側面隅肉溶接	SNM	SNO	SYO	SIO	〃 ミリング・マシン使用
前面隅肉溶接	FNM	FNO	FYO	FIO	〃 〃

試片製作用の鋼板は、御合銲接並に隅肉銲接の基級としては $3'-0'' \times 6'-0'' \times \frac{1}{2}''$ 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様板取りせるものを用ひ、隅肉銲接試片の添級には側面隅肉用として $\frac{3}{4}'' \times 2\frac{1}{4}''$ 、前面隅肉用として $\frac{3}{4}'' \times 3\frac{1}{4}''$ の平軟鋼を使用

した。

〔5〕試験片の削稜

機械仕上にて削稜する試片 BNM, SNM, FNM は當土木試験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 Chalumeau 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。

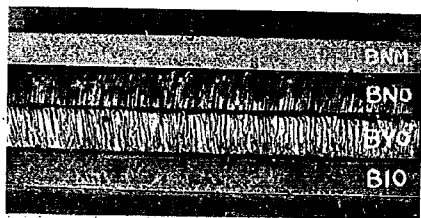
BNO は銲の縁部を矩に瓦斯截斷したる後、V の角度が 75° となる様に吹管を稍、斜に保ちて開先取を行つた。

SNO は添銲の幅のみを、FNO は添銲の長さのみを、即ち銲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。

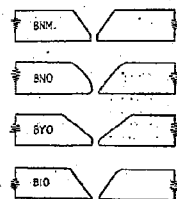
BYO, SYO, FYO 試片は横河橋梁製作所の小室技師の好意により同所熟練工によつて截斷せしめた。鐵容器入酸素及び可搬式小型發生器にて發生せしめたるアセチレン瓦斯を用ひ、獨逸式截斷用吹管を使用した、酸素瓦斯壓力は 1.8 氣壓、截斷速度約 7.08 mm/sec である。截斷に當つては一般に使用されてをる 2 輪のガイドホイールを用ひた。截斷後材片を所定寸法に削成したことは前者同様である。

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様所定寸法に削成したものである。截斷にあつての瓦斯壓力は 4 氣壓、截斷速度約 6.3 mm/sec である。

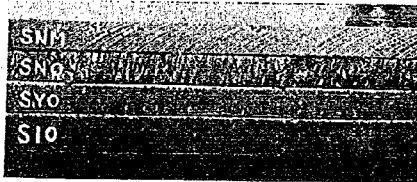
第 2 圖は銲合銲接試片の銲接面削稜の狀況を示したもので、平削機仕上による BNM と他の瓦斯截斷によるものとの間の著しい相違が認めらるゝと共に、瓦斯截斷せる BNO,



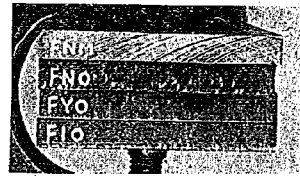
第 2 圖 銲合銲接試片の銲接面仕上狀況



第 3 圖 銲合銲接試片の開先角實測圖



第 4 圖 側面隅内銲接試片添接銲
銲接面の仕上



第 5 圖 前面隅内銲接試片
添接銲銲接面の仕上

BYO, BIO 間にも其技術の差異が顯著に現はれてをる。

銲合銲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、仕上げられたる試片について測定せる結果は機械仕上げのもの及び自動裁斷のもの以外甚だ不統一にして BNO にて約 80°, BYO にて約 100° となつてをる。第 3 圖は開先角の實測圖である。

隅内銲接試片の添接銲銲接面の仕上状況は第 4 圖及び第 5 圖に見るが如く銲合銲接のものとは大差なきも、銲厚の少きこと、裁斷が垂直なること等より施工容易なるためか概して裁斷面は整つてをる。この點は BYO, SYO, FYO に於て殊に著しく區別される。

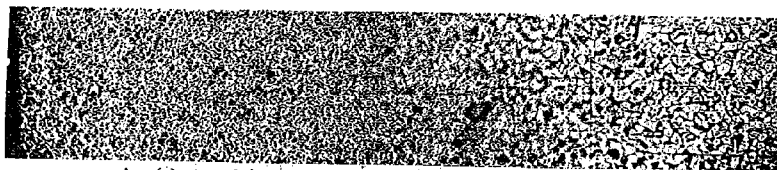
〔6〕 瓦斯裁斷による鋼材縁部の變化

瓦斯裁斷に當つて鋼材縁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裁斷装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〕に説きたる 3 種の裁斷法による試片について縁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裁斷部附近に於ては Sorbitic 組織を示し、これについて微粒子部がつか。この部分は 780°C 附近に加熱せられ焼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焼鈍作用の認めらるゝ點までを瓦斯裁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 瓦斯裁斷による鋼材變質の深さ

試片番號	未熟工の裁斷せるもの		熟練工の裁斷せるもの		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をる。前記 3 種の裁斷法による差異は最少と最大との間に約 2 倍の差があ



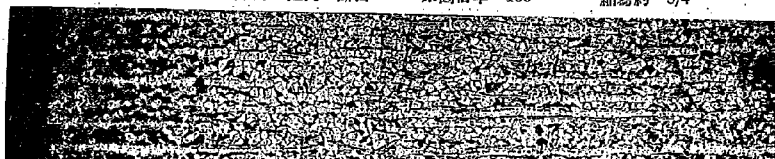
A. (a) 歴延方向に直角の断面 原図倍率 100 縮寫約 3/4



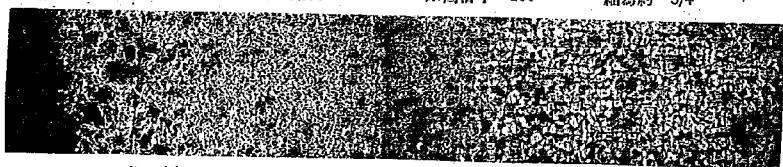
A. (b) 歴延方向の断面 原図倍率 200 縮寫約 1/2



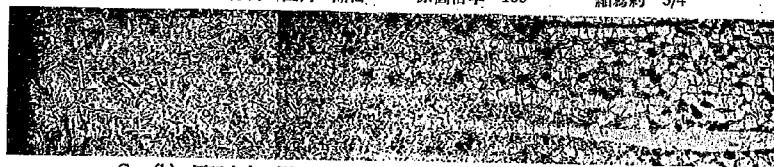
B. (a) 歴延方向に直角の断面 原図倍率 100 縮寫約 3/4



B. (b) 歴延方向の断面 原図倍率 100 縮寫約 3/4



C. (a) 歴延方向に直角の断面 原図倍率 100 縮寫約 3/4



C. (b) 歴延方向の断面 原図倍率 200 縮寫約 1/2

第 6 圖 瓦斯裁断に依る鋼材接部の變質

A. 未熟工の裁断せるもの B. 熟練工の裁断せるもの C. 自動裁断機によるもの

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ぼ一定とすれば、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截斷せるものが最少の變質を示してをる。

瓦斯截斷試験片に對しては上記組織變化の外に截斷部の硬度の變化を測定した。これによつて銲着鋼と直接融合すべき部分の組織變化が截斷工法の差によつて變化する程度を窺ふことが出来る。硬度の測定はブリネル式測定器を使用し、硬度 $H = \frac{P}{\pi D l}$ に於て鋼球直徑 $D = 10 \text{ mm}$ 、荷重 $P = 3,000 \text{ kg}$ を用ひ、深度 l 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 瓦斯截斷せる鋼材表面のブリネル硬度

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

この表面硬化の程度は截斷に際しての溫度と冷却速度とに支配せらるゝものと考へらる。而して鋼材酸化切斷に於ける最高溫度は截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截斷速度に比例するものと認めらるゝが故に、表面硬化の度は截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。各截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%、自動瓦斯截斷機によるもの約 27% 増である。

〔7〕 銲接及び削整

瓦斯截斷せるまゝの鋼材の銲接に於て最も重要なる問題は銲接面に於ける酸化被膜を銲着鋼内に包容せしめず、これを銲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銲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。

翻つて今日本邦銲接構造物界に於ける銲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銲接器を使用せるも、一面施工の容易さと、仕事の確實さより直流銲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銲接機に使用せらるゝ電極棒は其被覆薄く、交流銲接器に於けるものは厚いと考へねばならぬ。従つて瓦斯切斷せるまゝの鋼材

の銲接に對して兩銲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銲接による銲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銲接法の孰れがこの種銲接に最も適するかを確むる意味に於て試験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、直流銲接機を使用したものと、厚き被覆を有する孕石極工社製 K 印電極棒を用ひ、交流銲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銲接機による銲接の可否については上記の兩試験の結果より推斷し得るものと信する。

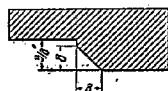
米國 G.E. 會社 F 型銲接棒による試片の製作は横河橋梁製作所に依頼した。使用銲接機は芝浦製作所製直流 $7\frac{1}{2}$ kW 型にて、電極棒は徑 4 mm、長 35 cm、使用電壓 20 V、電弧電流約 150 A である。製作に當つては全試片を同一銲接工に施工せしめた。

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、使用銲接機は日立製作所製交流 200 A 電弧銲接器である。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。

各試片とも各部の銲結を終りたる後、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掲の如くである。

a) 銜合銲接試片 第 1 圖 (a) の如く銲結したる試料を點線の位置にて 3 試験片に截斷したる後、(b) の形狀に削成。

b) 側面隅肉銲接試片 第 1 圖 (c) によつて銲結したる試片について銲接片の兩端壹に當る部分を各 10 mm 宛削り取りたる後、各隅内の斷面を所定寸法の二等邊三角形に削成した。隅内の形狀照査には第 7 圖に示すゲージを使用した。



第 7 圖 隅肉銲接
形成用ゲージ

c) 前面隅肉銲接試片 第 1 圖 (d) に指示の形狀に銲結したる後隅内の形狀並に寸法を (b) と同様の方法によつて削成した。この試片に於ては隅内の兩端に生ずる壹の部分を試片の幅員外にあらしむるために、銲接施工にあつては試片兩側に鋼材の小片を置き、銲接の始端、終端をこの小綴上にあらしめた。

前記 (b), (c) 兩隅内銲接とも施工に當つては假着けしたる材料を $33^{\circ}\sim 45^{\circ}$ を傾斜せしめ、銲接箇所の互に直角をなす兩銲接面がほぼ鉛直に對し同一角度をなす様心掛けた。

III. 直流銲接機と薄き被覆を有する電極棒とを使用せる場合

〔8〕 母材並に銲着鋼の強度

〔4〕に説きたるが如く銲合銲接並に隅内銲接試片の基銀には軟鋼板より切り取りたるもの、隅内銲接試片の添銀には平鋼板を使用したのが故に、これ等の鋼材について J E S 第一號試驗片を用ひての引張強度試験を行ひ、これによつて試片の破壊が銲接部に發生する様各部の寸法を決定した、第 11 表は其試験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 母材引張強度試験成績

番 號	試 片 断 面			降 伏 點		極 限		標點距離 (mm)	伸 長	
	幅 (mm)	厚 (mm)	斷面積 (mm ²)	荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)		伸 (mm)	伸率 (%)
基 銀	50.35	10.0	503.5	12,900	25.6	19,800	39.3	200	60	30.0
添銀 (側面用)	55.25	7.9	436.5	12,050	27.6	17,500	40.0	〃	65	32.5
添銀 (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、其銲着鋼について引張強度試験並に組織の検査を行つた。引張試験には小型銲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、その形狀寸法並に試験方法の詳細については内務省土木試験所報告第 28 號を参照されたい。

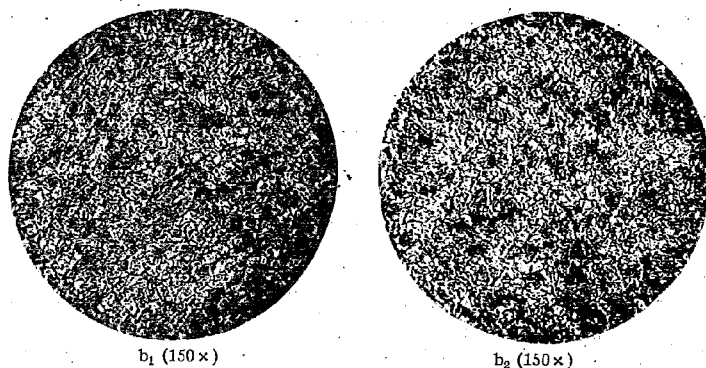
試験片削成用の銲着鋼ナマコ型盛金は試片 2 本取りのもので斷面約 12 mm 平方、長約 60 mm である、これが施工に當つての電壓、電流は、接手試験片製作の場合と同様に徑 4 mm の電極棒を使用せるも、銲接物の形狀寸法の相違より幾分〔7〕に説きたるものよ

第 12 表 銲着鋼引張強度試験成績

試 片 番 號	試片直徑 (mm)	斷 面 積 (mm ²)	降伏點強度 (kg/mm ²)	極限強度 (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、施工中の二次側電圧 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。

引張試験成績は第 12 表の如くで、平均引張強度 41 kg/mm^2 、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の一つであることが知られる。



第 8 圖 鍍着鋼の組織

鍍着鋼組織の大體は第 8 圖の顯微鏡寫真にて知ることが出来る。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、試片の破断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〕 銲合銲接試片の強度

引張試験には常所備付 Olsen 型 100 t 多能試験機を用ひた、各試片の試験成績は第 13 表の如くである。

各試片の破壊状況を見るに 1, 2 の試片を除き孰れも鍍着鋼の喉断面附近にて切斷し、削稜方法の相違による破壊状況の違いは認められない。又其強度について見るに機械削稜のものゝ平均強度 42.2 kg/mm^2 に對し各種瓦斯裁斷削稜のものゝ平均強度は $39.5 \sim 41.1 \text{ kg/mm}^2$ にして、幾分の低下を認めらるゝも、これを鍍着鋼の平均強度 41.0 kg/mm^2 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 の如く特に強度の低きものを一二混じてをる。其中最も強度低き BIO 1 について其破壊状況を見る。切斷は銲接面附近に添つて起つてをりこの部分に銲滓の包有が認められる。これ等の點より考ふるとき、これ等銲合銲接試験片に於ては削稜方法の相違が銲着部の強度に全然影響を及ぼして居ないとは斷定出來ぬが、其強度に甚しい相違を生ぜざる程

第 13 表 銲合溶接試片の強度

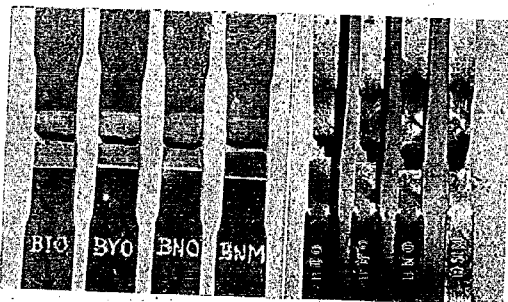
試片番號	断面積 (mm ²)	降 伏 點*		極 限		備 考
		荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	
BNM 1	378.0	11,500	30.4	15,850	41.9	切断箇所は溶接あり
" 2	377.5	11,900	31.5	16,300	43.2	
" 3	379.7	11,650	30.6	15,750	41.5	
平 均	—	—	30.8	—	42.2	
BNO 1	378.0	11,200	29.6	15,800	41.8	
" 2	371.0	11,700	31.5	16,000	43.1	
" 3	378.0	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	(切断箇所は溶接あり 溶接部にて切断す)
BIO 1	378.8	9,000	23.8	13,600	35.9	
" 2	377.4	11,600	30.7	15,000	39.7	
" 3	378.1	11,650	30.8	16,300	43.1	
平 均	—	—	28.4	—	39.5	

* 降伏點強度は試片の構造上溶接鋼のものか、鉄板のものか明かならず、又母板とするも試片の孰れの部分のにりの發生を示すものか判断し得ず、表の強度は便宜上降伏點荷重を溶接鋼断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来る。第 9 圖は代表的のもの、切断狀況を示したもので、削接方法を問はず断面に於ける破壊を認めることが出来る。

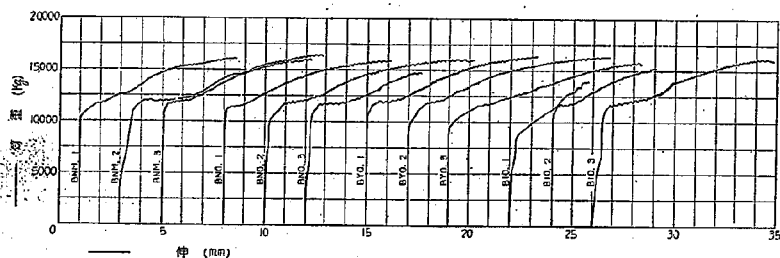
次に瓦斯切断法の相

違による試片強度の變化であるが、3 種の瓦斯切断削接の試片中には溶接の包有著しかりため強度の顯著なる低下を示せる試片を含む。未熟工の手動切断のものと、自動切断のものとは其平均強度に於て熟練工の手動切



第 9 圖 銲合溶接試片の破壊狀況

断せるものに劣るも、其不良なりしものを除きたる箇々につきて強度を比較するとき、各試片とも殆ど差を認められない。従つて瓦斯切断法の相違又は巧拙はさほど溶接結果に



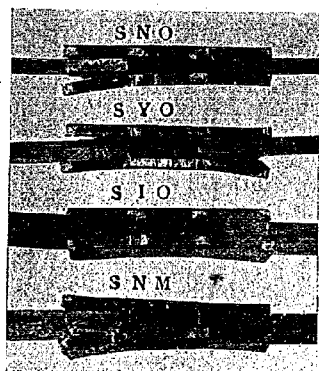
第 10 圖 銲合銲接試片の荷重伸長曲線

影響を及ぼさるものと推斷することが出来る。

試験片の引張試験を行ふに當つては銲接線を中心に上下 50 mm の標點を採り、この標點距離 100 mm に対して荷重伸長曲線を求めた。中央部に比較的伸率の少き銲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銲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 表に於て強度の低かりし 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後の伸びのない事である。切斷する銲着鋼が軟鋼に於ける如き斷面縮小をなさることに原因するものと考へる。

(10) 側面隅肉銲接試片の強度

銲合銲接試片と同様 Olsen 型試験機によつて行つた引張試験成績は第 14 表の如くである。

第 11 圖 側面隅肉銲接
試片の破壊状況

先づ第 14 表に示されたる試片の強度について見るに、各種試片の平均降伏點強度は 23.3 kg/mm^2 、平均極限強度は 30.5 kg/mm^2 にして創後方法の相違、截斷の巧拙等による差は全然認めることが出来ぬ。且つ其試片切斷状況を見るに孰れのものに於ても隅肉咬斷面に沿ひて剪斷せられ、銲接面附近銲滓包有等の影響は現はれてをらぬ。第 11 圖は其切斷状況を示したものである。

今平均極限強度 30.5 kg/mm^2 を銲着鋼の平均引張強度 41.0 kg/mm^2 に比較するとき、約 74% に相當し、一般銲着鋼の剪斷強度としては妥當な

(16)

第 14 表 側面隅肉銲接試片の強度

試片番號	斷面積 ^{*1} (mm ²)	降 伏 點 ^{*2}		極 限		備 考
		荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	
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×銲接長を示す。

*2 降伏點強度は試片の構造上銲着鋼の強度か、母板の強度が明かならず、表の強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。

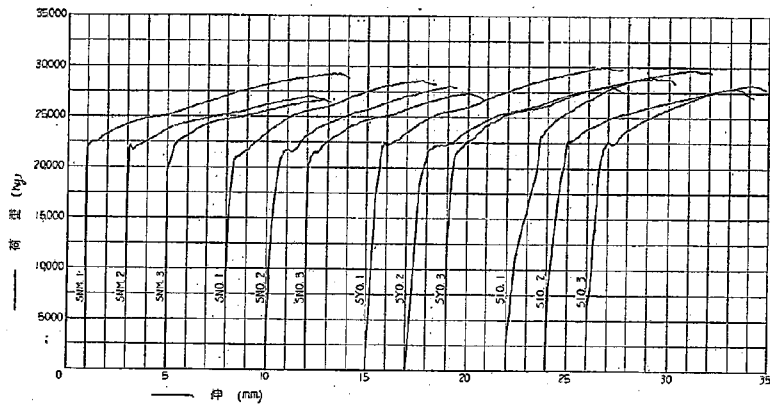
る數値と云ふことが出来る。

一般に側面隅肉銲接のうくる剪斷應力は、衝合銲接に於ける引張應力と異り、其分布均一にあらすして、喉厚 a と隅肉長 l との比及び基級と添接級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銲接試片について見るに基級と兩添接級との斷面積の比は 9:10 にしては同一斷面と見做し得べく、この場合 a/l 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⁾ 従つて第 14 表に示した降伏點強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増を必要とするものと認める。尚極限強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銲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。標點は添接級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「銲接鋼橋」第 7 節參照。



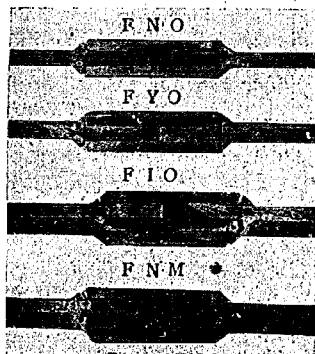
第 12 図 側面隅肉溶接試片の荷重伸長曲線

ては添接銀のものに接手部のものゝ混じたるものにて、これによつて継手部の靱性を判断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ゐることを推断するに難くない。

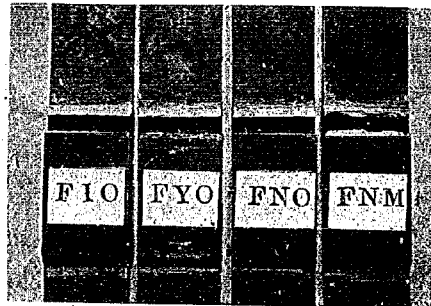
〔11〕 前面隅肉溶接試片の強度

この試片の引張試験も他と同様に Olsen 型多能試験機を使用した。試験成績は第 15 表の如くである。

第 15 表に於て注目せらるゝ問題は、前掲隅合溶接並に側面隅肉溶接試片の場合と異り



第 13 図 前面隅肉溶接試片の破壊状況 (共 1)



第 14 図 前面隅肉溶接試片の破壊状況 (共 2)

第 15 表 前面隅内銲接試片の強度

試片番號	断面積* ¹ (mm ²)	降 伏 點* ²		極 限		備 考
		荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	
FNM 1	854.2	21,000	24.6	31,700	37.2	一方は喉厚にて一方は添接端部にて切斷
〃 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	一方は添接の端面にて一方は銲着部と母板との接合にて切斷
〃 2	857.0			28,000	32.6	一方は添接の端面一方は喉厚にて切斷
〃 3	848.5			27,350	32.3	2 箇所共添接端面にて切斷
平 均					32.0	
FYO 1	854.5			28,300	33.1	2 箇所共添接端面にて切斷
〃 2	853.0	21,000	24.6	23,900	28.0	〃
〃 3	855.3			21,200	24.8	一方は添接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	一方は添接端面一方は喉厚にて切斷
〃 2	851.4	22,150	26.0	28,300	33.2	一方は銲着部と母板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	一方は添接端面一方は喉厚にて切斷
平 均			25.9		35.5	

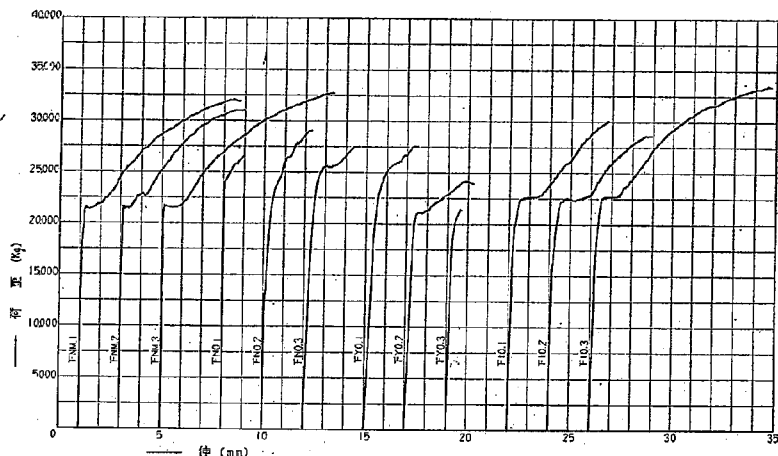
*¹ 断面積は喉厚×銲接長を示す。

*² 降伏點強度は試片の構造上、銲着部のものか母板のものか明かならず、表の強度は便宜上降伏點荷重を隅内断面積にて除したるものなり。

其強度に著しき差異の認めらるゝ點である。即ち機械仕上削れのものゝ強度最高にして平均強度 37.1 kg/mm² に達し、瓦斯截斷削れのものゝ強度はこれに比し 5 ~ 23% 低く、其強度 25 kg/mm² に達せざるものも見受けられる。其破壊状況を見ても、機械仕上削れのものゝ破斷は大部分隅内の喉断面に於て起り、瓦斯截斷削れのものゝ破斷は殆ど添接端部の銲接面に龜裂を生じてをる。第 13 圖、第 14 圖は其狀況を示したものである。

更に削れ方法による試片性質の相違は、側面隅内試片に於けると同様、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来る。即ち機械仕上削れのもの並に強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、伸長の度も著しく少い。

更に瓦斯切斷の方法の相違による強度の變化並に破壊狀況の差を見るに、自動截斷機を使用したるものにては其強度はばゝ機械仕上削れのものに近く、各試片の破壊も切斷面の一方は喉断面に生じてをる。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部の端面附近に生じたるもの多く、強度も 33 kg/mm² を越したものは殆どない。即ちこの



第 15 圖 前面隅肉溶接試片の荷重伸長曲線

實驗の結果にては瓦斯切断削稜が前面隅肉溶接の強度に及ぼす影響は顯著であり、且つ其影響は瓦斯切断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〕 瓦斯切断削稜の影響が溶接の種類によつて異なることに對する考察

〔9〕乃至〔11〕に掲げた試験結果によると、機械仕上削稜の試片と瓦斯切断削稜によるものとの相違は前面隅肉溶接試片に於て最も顯著であり、側面隅肉溶接試片に於ては全然これを認め得ず。銲合溶接試片に於て幾分の影響の認め得る程度であつて、削稜方法の相違による溶接強度の變化は溶接の種類によつて甚しき差異あることが明かである。

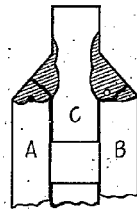
若し瓦斯切断削稜による試片の溶接が、機械仕上削稜によるものゝ溶接と同等のものが施工し得たるものとすれば、兩者の間に強度變化を生ずることなかるべく、前掲の如き相違を生じたる結果より見るとき、兩種の削稜による試片に於ける溶着鋼の性質、溶込の程度等に幾分の差異あるべきことは疑ひを挟み得ないところである。

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) 削稜面不陸の度、(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) は溶接施工の難易に係る所ところ大で、瓦斯切断の拙劣なる場合、其表面の不陸が作業を困難ならしめることは當然であり前面隅肉溶接の試片の成績に於て表面の平滑なる自動瓦斯切断機によるものが、機械仕上けによるものとほぼ同様の成績を示せるに反し手動瓦斯切断のものゝ成績の思はしからざ

りしは、この点を裏書きするものと認める。(2)は瓦斯切断による表面鋼材の變質が銲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〕に説きたるが如く 1.00 mm 程度なるに對し、普通銲接の銲込みが 1.5 mm 程度なることを考ふるとき銲接の良否に著しき影響を有するか否かは甚だ疑問とせられる。(3)は瓦斯切断削稜に於て最も重要な問題であつて、要は機械仕上削稜試片に於ては全然考慮するの必要な銲接面に豫め存在する酸化被膜を完全に銲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。この點は銲接に使用する電極棒の種類に大なる關係を有し、其結論は上記の試験成績と第 IV 章の試験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掲の試験に於ては酸化被覆を完全に析出し得たりとは認め難く、瓦斯切断削稜による試片の銲着鋼は、機械仕上の削稜の試片の夫れに比して滓の包有多量なるべしと推断せらるゝのである。

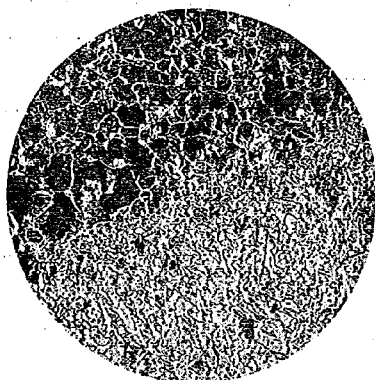
以上の諸點に鑑み先づ兩種の削稜方法による試片銲接部の顯微鏡組織検査を行つた。検査は強度の相違最も著しかりし前面隅内銲接試片と、強度の變化を認め得ざりし側面隅内銲接試片と兩者について行ひ、前者の資料としては最大強度を示せる機械削稜試片 (FNM) 中にて比較的強度の劣れる又切断狀況も不規則なりしものと、未熟工によつて瓦斯切断され削稜面に最も凹凸の甚しかりし試片 (FNO) 中にて成績良好なりしものを選び、後者に對しても前者の試片に對應せる SNM 及び SNO より各一試片を選んだ。

第 16 圖は組織検査に用ひたる機械削稜前面隅内銲接試片 FNM の銲接部を示したるものにて A, B は添銀, C は基銀である。A 添銀側の銲接は施工良好にて添銀並に母銀に於ける銲込も充分と認められ、破斷面もほゞ喉斷面に近く、最大合成應力の作用すると考へられてをる $\theta=48.5^\circ$ 附近にて起つてをる。これに對し B 添銀側は添銀端部内側に於ける銲込不良にして、破壊はこの部分に發し、厚さの約 $\frac{1}{3}$ の點に至り龜裂は銲着鋼内に進んでをる。

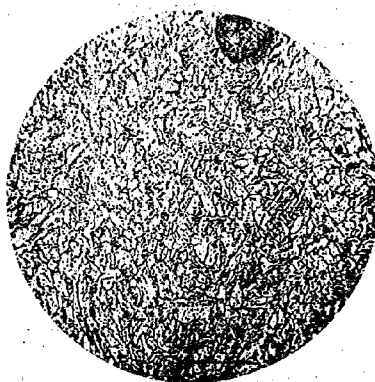


第 16 圖

今 A 添銀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焼鈍作用をうけたるための組織の微粒化と認めらる。これに對して銲着鋼側を見るに添銀外側にては 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。この部は銲着鋼第 1 層の表面近き部分にして、第 2 層の施工によ



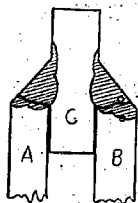
第 17 圖 機械制稜前面隅肉銲接試片
融合部の一部 (90×)



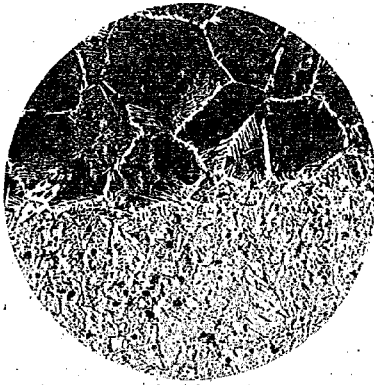
第 18 圖 機械制稜前面隅肉銲接試片
銲着鋼の一部 (90×)

る焼鈍作用をうけた部分である。更に内側に進むにつけ Ferrite の粒子は再び増大し、柱状組織を呈するに至る。融合面全體に沿ひて銲着鋼中の氣泡、滓等の状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、内側に近づくにつれ減少せり、第 17 圖は融合部添板厚の中央に近き部分の組織を示す。母板側の Ferrite の網状組織は幾分其大さを減少しつゝあり、又銲着鋼側にては 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 添板側に於ける破断面附近の銲着鋼組織を示したるものにて Ferrite の柱状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小し。

第 19 圖は未熟工による瓦斯截斷稜前面隅肉銲接試片 FNO の組織検査に用ひたる部分の略圖である。兩側とも其破壊は添板側に融合面に極めて接近して生じてをる、今 B 添板の融合面に添ひて其組織を検するに、母材側は添板全厚を通して網状 Ferrite に圍まれたる Sorbito-pearlite 組織が見受けられる。この傾向は添板の中央部より外縁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。次に銲着鋼側の組織を見るに、添板外側より其厚さの 0.7 に達する迄は Ferrite の粒子粗大にして不規則なる柱状組織を示し、厚さの 0.7 の



第 19 圖 點より内側は第 1 層の銲着鋼が第 2 層の温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来る。銲着鋼側全厚を通して見るにこの部分に散在する氣泡並に滓の量は機械制稜試片の場合に比して著しく多



第 20 圖 瓦斯切断削枝前面隅内
銲接試片の融合部の一部 (90×)

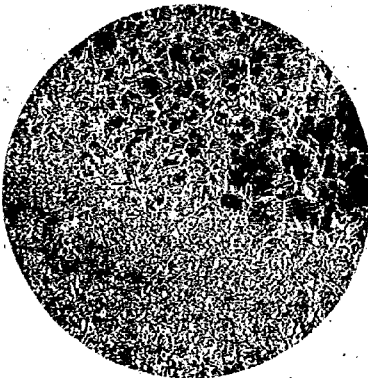


第 21 圖 瓦斯切断削枝前面隅内
銲接試片銲着鋼の一部 (90×)

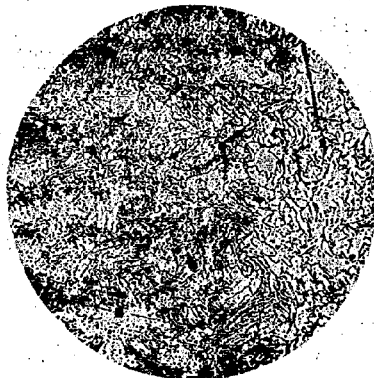
量なることが認められる。第 20 圖は添板の中央部附近の融合部の組織を示したもので、母材側の Ferrite の網状組織、銲着鋼の柱状組織、並にこれに散在する不純物を認めることが出来る。尙寫眞に現はれたる銲着鋼部の黒點中には Pearlite の小粒をも混じてをる。

第 21 圖に示すものは破断面附近の銲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、機械削枝の試片の場合に比較して銲着鋼材質の劣れることを示してをる。

同様の組織検査を強度試験の結果に於て、著しき相違の認め得ざりし側面隅内銲接試片



第 22 圖 機械削枝側面隅内銲接試片
融合部の一部 (150×)



第 23 圖 瓦斯切断削枝側面隅内銲接
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銲接部に酸化被膜、滓、並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 圖は側面隅肉銲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 とが認めらるゝも銲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。

同様の組織検査を銲合銲接試片 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、兩削稜方法の間に銲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。

以上銲合銲接、側面隅肉銲接、前面隅肉銲接の各々について行つた組織検査の結果に基いて先づ考へられることは、削稜方法の相違の銲着鋼の性質に及ぼす影響は銲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銲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、銲合銲接に於ては殆ど認め難く、側面隅肉銲接に於て幾分認められ、前面隅肉銲接に於ては顯著に認めることが出来る。この順位は、試片の大きさ、形狀、作業位置等より考へた銲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銲接機を用ひて行ひたるこの實驗に於ては、相當銲接工の技術が、瓦斯截斷面に於ける酸化被膜の影響を前掲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銲接試片の強度の差が、側面隅肉銲接に於て全然認められず、銲合銲接に於て幾分認められ、前面隅肉銲接に於て特に顯著であるか、前面隅肉銲接に於ては其銲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、同様の關係が側面隅肉銲接に於ても現はるべき筈であるに拘らず、強度試験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、銲合銲接並に前面隅肉に作用する應力が大體引張應力なるに對し、側面隅肉銲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、これが強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なるべしと考へらるゝ點である。

前掲諸試験の結果に徴するに、本試験に於ける銲着鋼の銲合銲接引張強度は約 41 kg/mm^2 、側面隅肉銲接剪斷強度は其約 75% の 31 kg/mm^2 、前面隅肉銲接の強度 (略、引張強

度と見做し得)は 37 kg/mm^2 と認められる。而して隅肉銲接試片に於ける酸化物気泡等の散在は比較的添綴側の融合部に近き銲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銲接に於ては所謂喉断面よりも添綴端部に近き断面にありと考へられてをる。此等の諸點を鑑みるに気泡、滓等の存在は側面隅肉銲接に於けるよりも前面隅肉銲接にて最も悪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、銲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銲接試片に於て削稜方法の相違による強度の差が最も顯著なることは當然であり、銲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く側面隅肉銲接にては削稜方法の相違によつて強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。而して衝合銲接試片中にて 1, 2 強度の低きものが瓦斯切断削稜せるものゝ中に存することは、銲接施工の容易なる點より、檢鏡の結果にては削稜方法の相違による銲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、気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銲接の場合に比して遙かに大なるべしと推斷せらる。

IV. 交流銲接器と稍、厚き被覆を有する電極棒 とを使用せる場合

〔13〕 母材並に銲着鋼の強度

試片の形狀寸法は直流銲接機を使用したものと全く同様で第 1 圖に示す如くである。試片の製作に當つた銲接工の技倆は直流銲接機使用の場合のものに比して幾分劣つてをる。又今回の試験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。試験成績表中 BMM, SMM, FMM, BMO, SMO, FMO 等とあるは、これ等の試片を示すもので、試片の削稜は機械仕上げ、瓦斯切断共に當試験所に於て行つた。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銲接工を使用せる理由は、削稜の影響による強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。

試片の製作に用いた鋼材は直流銲接機使用の場合と同一の品質のものを選定せる筈なるも其強度試験の結果には第 11 表に示した成績と可成の相違が認められる。第 16 表は其試験成績である。

極工社製 K 印の電極棒による銲着鋼強度は日本標準規格第 4 號試験片の $\frac{1}{4}$ 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 母材引張強度試験成績

試片の種類	試片断面			降伏点		極限		標點距離 (mm)	伸 長	
	幅 (mm)	厚 (mm)	断面積 (mm ²)	荷重 (kg)	強度 (kg/mm ²)	荷重 (kg)	強度 (kg/mm ²)		伸 (mm)	伸率 (%)
基 鉄 (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
添板 (前面用)	35	8.65	302.75	6,300	20.8	13,500	44.6	〃	47	23.5
添板 (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 印電極棒による溶着鋼強度

試片番號	直 徑 (mm)	断面積 (mm ²)	極限強度 (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	(破断面の中央部を横斷して 一文字の溶着あり)

上記の試片製作にあつての電弧電流は 65~69 A である。第 2 號試片は顯著なる溶着の含有ありたるが故にこの成績を捨て第 1 號試片をもつて溶着鋼の強度と見做す、この強度は K 印電極棒溶着鋼の有する強度として製造者側の發表せるもの其他に比して強度低く、この溶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〕 銲合溶接試片の強度

Olsen 型多能試験機を使用し、毎分 12~13 mm の引張速度にて引張試験を行ひたる結果第 18 表の如くである。

試片 BNM 1 及び 2 は銲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ため銲込不充分にして切斷が、第一層施工に際しての銲接工側の銲接面に沿つて起つてをる。従つてこの 2 試片の破壊強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、強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 試片の強度としては 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 は銲接者を異にするが故にこれを除外す) 中央破断面を避けたる中間部にて、溶着鋼竝に母鉄に跨つて生じてをる。其極限強度は 38.0 ~ 40.4 kg/mm² であつて、削破方法の影響による差異は全く認められず、其大さも大體溶着鋼試験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

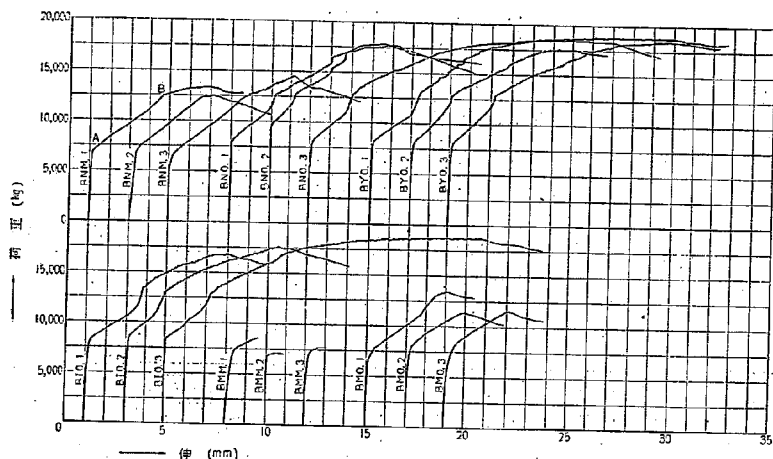
第 18 表 銲合銲接試片の強度

試片番號	喉厚×長 (mm ²)	降 伏 點		極 限		切断荷重 (kg)	切 断 箇 所 上 下	摘 要
		荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	荷 重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)			
BNM 1	356.5	6,700	18.80	13,000	36.50	12,000		* BNM 1 及び 2 は 施工にあつて、開 先開張を減少した るため、充分なる銲 込を得られざりしも のなり、よつて平均 の値算出にはこれを 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“切断箇所”欄に於ける 下 なる語は本試片を銲接する際(第 1 層盛を行ふ際)銲
接手間たりしことを示し、上 はその反対側とす。第 3 圖参照。

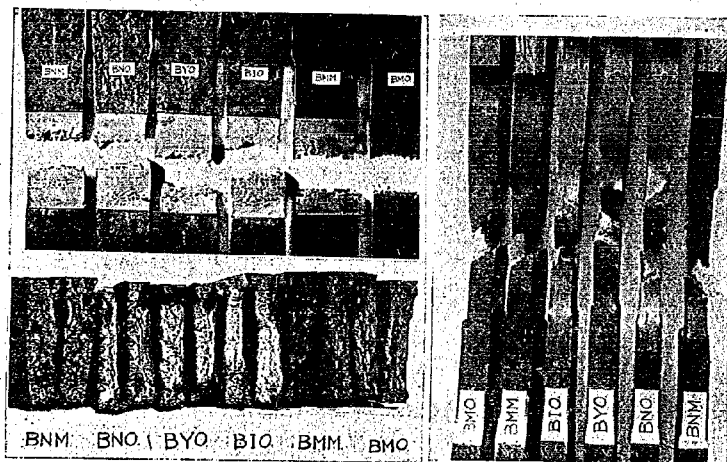
て、この間にて試片は其銲厚を 2 段に變化してをる。従つて A 點は中央薄肉の部分に亘
りの生じ初めたること、B 點は左右の厚内部に亘りの生じたることを示すものと認める。
試片 BMM, BMO の如く厚内部に亘りを發生せしめ得るまでの強度を有せざるものに於
ては曲線上に B 點を認めることが困難である。

各試片の示した降伏點強度は、銲着鋼の強度か母銲の強度か確言することは困難である
が、其大きさが第 16 表の母銲降伏點強度より幾分低い點から見て、母銲が銲接熱のために
焼鈍せられた結果と考へて大過なきものと信ずる。



第 24 圖 銲合銲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 群は孰れも銲接面に沿つての剝離によつて切斷し、施工にあたつての銲込みの充分ならざりしことが破壊の原因となつてをる。従つて平均極限強度も僅かに 19 kg/mm^2 を越すのみである。これに反し BMO 群の切斷は母鋼並に銲着鋼を横斷して起つてをり銲込みの不充分による缺陷は認められない。併し



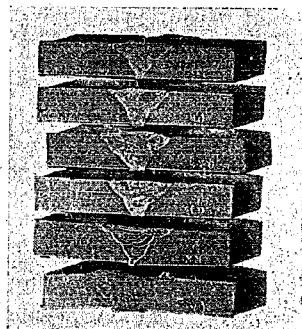
第 25 圖 銲合銲接試片の破壊状況

其平均強度は僅に 29 kg/mm^2 で、熟練工による BNO, BYO, BIO 群の強度の 75% にも達してをらぬ。

第 13 表の諸試片中其切斷が銲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削稜の試片である。銲接面に添つての剝離の原因たる銲込の不充分が削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。主として銲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、この點は本試験の目的たる削稜方法の強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。而してこれ等銲接面の剝離がすべて第一層施工に際しての銲接工側に生じてをることは、この側に於ける銲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 圖は強度試験片と同時に同様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。熟練工の銲接せる 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 試片にては銲込の状態其他前掲 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 銲合銲接試片の
マクロ寫眞

〔15〕 側面隅肉銲接試片の強度

引張試験に使用せる試験機竝に試験方法等前掲銲合銲接試片の場合と同様である試験成績第 19 表の如し。

第 19 表の試験成績に徴するに、其極限強度は SYO 群が其平均強度に於て約 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/mm^2 の強度を示し、且つ其切斷は孰れも咬斷面に起つてをり、其性能、強度に何等の區別が認められない。平均強度 30 kg/mm^2 は銲着鋼引張強度の 77% にあたり、剪斷強度として妥當なる値である。SYO 群の強度の低きことは、同群中銲接面に沿つて剝離を生じたるものあることより、銲接面の瓦斯切斷削稜の影響に基くものとも考へらるゝも、銲接面沿ひの剝離をなせるもの以外の 2 試片の強度の低下は、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、この原因は銲接面の瓦斯切斷の影響

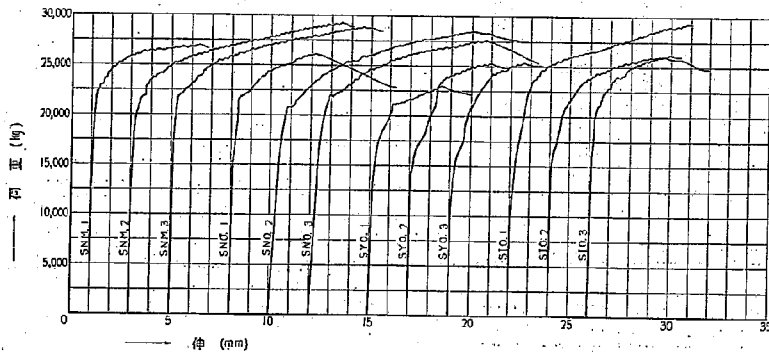
第 19 表 側面隅肉溶接試片の強度

試片 番 號	喉厚 ×長 (mm ²)	降 伏 點 ¹⁾		極 限		切斷 荷重 (kg)	切斷箇所 ²⁾	摘 要
		荷重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	荷重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)		上 下	
SNM 1	914.6	21,450	23.45	26,500	29.00	20,900		喉厚にて切斷
" 2	922.6	19,550	21.40	28,700	31.10	23,200		"
" 3	909.8	21,150	23.26	28,300	31.10	25,400		"
平 均					30.40			"
SNO 1	916.0	21,450	23.40	25,700	28.06	20,400		"
" 2	917.5	20,550	22.40	28,000	30.50	21,550		"
" 3	913.0	21,650	23.70	27,200	29.80	22,250		"
平 均					29.45			"
SYO 1	914.0	21,450	23.46	22,800	24.95	20,000		"
" 2	921.5	22,700	24.63	24,700	26.80	20,650		"
" 3	915.0	23,900	26.12	25,000	27.32	19,100		1 のみ基銀溶接面沿にて切斷 喉厚にて切斷
平 均					26.35			"
SIO 1	909.2	23,700	26.07	28,800	31.70	20,200		"
" 2	918.0	23,400	25.50	25,700	28.00	20,650		"
" 3	918.5	20,700	22.56	25,700	28.00	21,800		"
平 均					29.23			"
SMM 1	910.0	—	—	20,750	22.80	10,600		4, 3, 8 母面沿にて切斷 7 喉厚にて切斷
" 2	910.1	—	—	16,900	18.60	12,600		5 基銀溶接面沿にて切斷 値は喉厚にて切斷
" 3	916.0	—	—	16,600	18.30	13,000		8, 4, 5 基銀溶接面沿にて切斷 2 基銀溶接面沿にて切斷
平 均					19.90			"
SNO 1	905.0	—	—	14,100	15.60	11,050		1, 5 基銀溶接面沿にて切斷 3, 7 喉厚にて切斷
" 2	910.0	—	—	16,800	18.47	10,400		2 基銀溶接面沿にて切斷 値は喉厚にて切斷
" 3	912.0	—	—	18,800	20.60	17,200		基銀溶接面等喉厚にて切斷
平 均					18.22			"

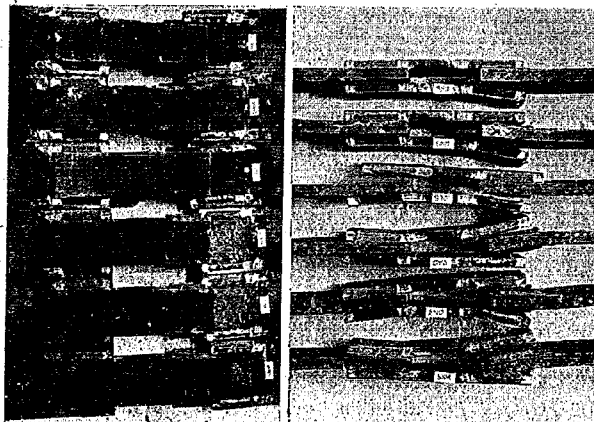
- 備考 1) 降伏點は試片の構造上、溶接鋼のものか、母鋼のものか明かならず、表の強度は便宜上降伏點荷重を溶接鋼斷面積にて除したものなり。
- 2) 切斷箇所欄中上は引張試験に於ける試験機の固定端側を下はクロスヘッド側を示す。1より8迄の數字は溶接順序を示し、内側の4個は図示の面を、外側の4個は紙面の裏側に相當する箇所即ち内側4個の裏側對象の場所を示す。矢印は切斷の起リし方向を示す。

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圧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常なりと考へる。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来る。従つて SYO 群の強度の低下に對して一面に瓦斯切断削役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来る。

又第 26 圖に示した側面隅肉溶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、各々の特性に著しき相違あるものとは認められない。



第 27 圖 側面隅肉溶接試片の荷重伸長曲線



第 28 圖 側面隅肉溶接試片の切断状況

以上の諸點に鑑るに、瓦斯切斷削稜の側面隅肉鉚接の強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は鉚接面に沿つての剝離が認めらるゝことゝ、其強度が兩群とも熟練工によるものゝ 70% にも達せず、機械仕上削稜によるものゝ平均 19.9 kg/mm^2 、瓦斯切斷削稜によるものゝ平均 18.2 kg/mm^2 にて、前者が幾分最強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 隅肉鉚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、寫眞に掲けたる試片では孰れも其切斷は吸斷面に沿つて起つてをる。

第 29 圖は隅肉鉚接の マクロ 寫眞で、施工は強度試験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 試片の鉚込みに不充分的感あるも、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〕 前面隅肉鉚接試片の強度

試験方法其他前掲諸鉚接試片に於けるものと同様である。第 20 表に其試験結果を示した。

試験成績について先づ認めらるゝ點は各群とも其強度がほゞ近似してをることである。最強の FNM 群の平均 34.9 kg/mm^2 に對し、最低の FIO 群が 31.2 kg/mm^2 で其間に 10% の差があるが、これは FIO 群中の 1 試片が殊に低強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。これを直流鉚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著しき相違である(第 15 表参照)。この原因は Clarke 氏の衝合鉚接試片につきての實驗に於けると同様、被覆厚の増大が瓦斯切斷面の酸化被膜析出に有効に作用せることに歸すべきであると信ずる。

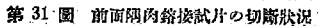
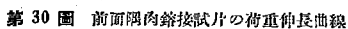
併しこの試験に於ても尙幾分削稜方法相違の影響を認めないわけにはゆかない。最大強度を示すものは機械仕上削稜による FNM 群であり、其切斷狀況を見ても FNM 群が殆ど全部吸斷面の切斷で破壊せるに對し、瓦斯切斷削稜の試片の切斷は吸斷面と鉚接面沿ひと相半ばしてをる。薄被覆電極棒を使用せる試片に於て瓦斯切斷削稜のものが殆ど全部添接鈑側の鉚接面にて切斷せるに比較するとき、顯著なる進歩であると云はねばならぬ。

第 20 表 前面隅肉溶接試片の強度

試片 番 號	喉厚 ×長 (mm ²)	降 伏 點		極 限		切 断 箇 所	摘 要
		荷重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	荷重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	上 下	
FNM 1	856.0	25,600	29.90	30,600	35.70		喉厚にて切断
" 2	860.0	21,400	24.90	27,900	32.45		"
" 3	859.6	21,350	24.85	31,600	36.75		稍添銀銲接面寄喉厚にて切断
平 均					34.92		
FNO 1	861.0	21,150	24.60	25,400	29.50		添銀面に切断 喉厚にて切断
" 2	856.0	20,200	23.60	28,450	33.22		基銀面に沿ひて切断 添銀面にて切断
" 3	858.0	20,850	24.30	29,200	34.00		添銀面寄喉厚にて切断 添銀面にて切断
平 均					32.24		
FYO 1	861.6	21,500	25.00	32,450	37.68		添銀面寄喉厚にて切断 喉厚にて切断
" 2	859.0	21,450	25.00	30,600	35.60		添銀面寄喉厚にて切断 基銀沿寄 気泡甚だし
" 3	856.4	22,000	25.70	26,000	30.36		添銀面にて切断 基銀沿ひにて切断
平 均					34.54		
FIO 1	858.0	19,600	22.84	30,000	34.96		添銀面寄喉厚にて切断 基銀沿ひ
" 2	860.0	21,050	25.00	26,800	31.17		喉厚にて切断 基銀沿ひ喉厚にて切断
" 3	858.2	21,550	25.10	23,750	27.66		喉厚にて切断 基銀沿ひ喉厚にて切断
平 均					31.16		
FMM 1	858.0			9,000	10.50		添銀面切断添銀殆ど溶解せず
" 2	858.0			14,200	16.55		基銀沿ひにて切断 喉厚にて切断
" 3	862.8			13,400	15.53		喉厚にて切断せるも1部母 銀添にて切断沿銀面切断
平 均					14.19		
FMO 1	857.0			10,200	11.90		基銀沿ひにて切断
" 2	858.0			10,950	12.77		添銀面にて切断
" 3	855.2			12,600	14.74		基銀沿ひにて切断 添銀面にて切断
平 均					13.13		

備考 切断箇所欄中 上は引張試験の際試験機固定端側を、下はクロスヘッド側を示す。又 1, 2, 3, 4 なる番號は溶接の際の溶接順序を示す。~~~~線は切断箇所を示す。

第 29 圖は試片中代表的のものゝ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銑接面に生じたるものとが明かに區別出来る。



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鉄又は添接鉄の銲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

前掲各章に記述した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内、側面隅内銲接試片の強度試験を行ひ、削稜方法の相違が其接手強度に及ぼす影響を、同時に行つた銲合銲接試片の場合と比較した。銲接は直流銲接機と薄き被覆の電極棒とを使用したる場合と、交流銲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、鋼材の引張強度並に伸率は其表面又は縁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 形銲合銲接にて銲接面を瓦斯切斷のまゝ銲接するも重被覆電極棒を使用し、施工良好ならば其強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、其強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 形銲合銲接の接手強度は、銲接工がこれに慣るれば機械削稜の場合と同等の強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。從つて銲接にあつての銲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銲接することに、何等懸念を起さしむるものでないと斷定することが出来る。

5. 本實驗用の試片製作にあたりたる銲接工の技術にては、孰れの銲接棒使用の場合も瓦斯切斷削稜にあつて生じた酸化被膜を充分に析出することは出来なかつた。

6. 瓦斯切斷方法の相違による銲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、銲合銲接に於て最も良質の銲着鋼が施工せられ、側面隅内銲接これにつぎ、前面隅内銲接最も不良である。この原因は其施工にあつての、銲接部の形狀、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銲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、これが接手の強度に及ぼす影響は剪斷應力をうくる側面隅内銲接接手に於て最も少く、引張應力又ははゞ引張應力をうくる前面隅内銲接接手又は銲合銲接接手中、銲接面が

應力の方向に垂直なる前面隅内鉚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鉚接接手に於ては前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. 試験に用ひた試片の程度の開先角にては、衝合鉚接接手の強度は、鉚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。この結果は直流鉚接機と薄被覆の電極棒を使用した場合も、交流鉚接器と厚被覆の電極棒を使用した場合も全く同様である。

10. 側面隅内鉚接試片の強度には、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をる。

11. 前面隅内鉚接試片にて瓦斯切斷削稜によりたるものゝ強度を、機械仕上削稜せるものゝ強度に比較するとき、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強度 37 kg/mm^2 に對し 25 kg/mm^2 に達せざるものを交へてをる。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鉚端の鉚接面沿ひに生じてをる。

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強度の差は 10% を出でず、前掲の場合に比して著しい好結果を示してをる。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鉚端面に沿へるものを多數に混じてをる。

12. 以上の結果に鑑るに、瓦斯切斷削稜のまゝの鋼材に鉚接を行ふに當つては、其酸化被膜を充分に析出し、不純物少き鉚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恐れある場合は、前面隅内鉚接接手に於ては或程度の強度低下は避け難く、作業容易なるために良質の鉚着鋼の得易き衝合鉚接並にこれ等の缺點の影響少き側面隅内接手に對しては強度低下の懸念は必要なものと結論することが出来る。

防波堤の安定に關する一試験

内務技師 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験した結果を述べたものである。

目 次

I 緒 言	(1)
II 試験装置及方法	(2)
III 試験の結果	(5)
IV 結 論	(9)

I. 緒 言

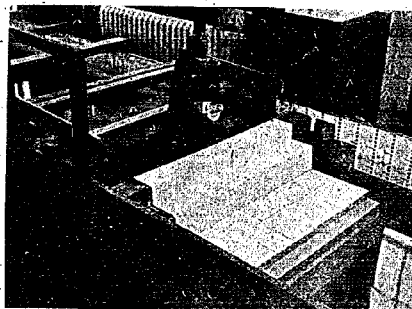
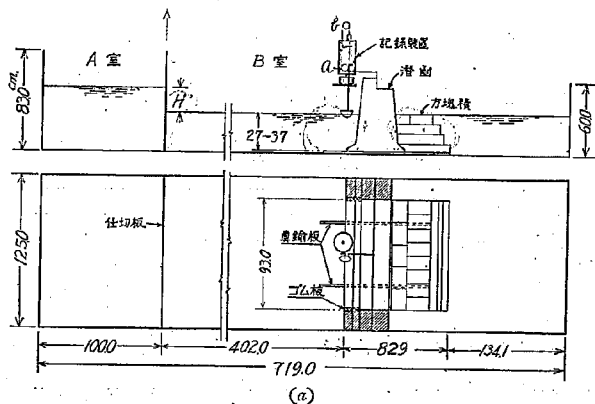
近時外國に於ける直立防波堤の崩壊が頻に傳へられその安定に對し疑を抱かれるやうになり、一部の傾向としては直立堤を避けて捨石堤を採用すべしとまで言はるゝに至り、伊太利の如く直立堤を多く有する國では從來のものに對し再檢討が加へられつゝある有様である。我國に於ても昭和 9 年 9 月 21 日の室戸颱風による波に對し神戸港の直立防波堤はよく堪えたけれども、その後の調査により本體の一部は水平方向に最大約 20 cm の移動を生じた事が明になつた。此等の事實は直立防波堤の安定及其斷面形狀等に就て尙究究の餘地がある事を示してゐる。

本試験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験によつて確かめたものである。抑、この方塊積は主として本體内外側の根元が波によつて洗掘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、變則的ではあるが之によつて堤全體の安定が増大される事は勿論である。この試験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ないと思ふ。

尙この實際の試験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. 試験装置及方法

試験装置 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ける事によつて (捲揚速度は 20 cm/秒),



(b)
第 1 圖 試験装置

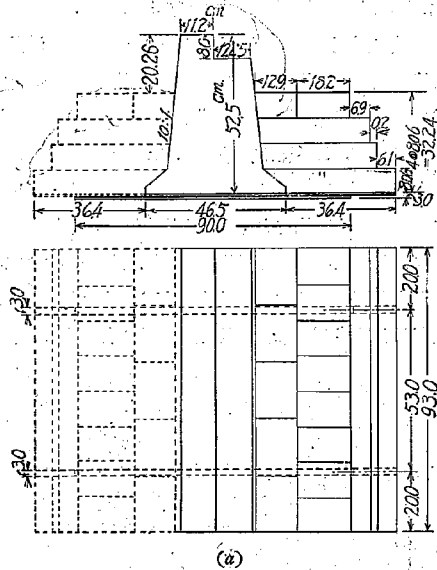
波を発生せしめ, この波が B 室の防波堤模型の側面に衝突しその爲に模型が水平に滑つて移動する状態を観測する。模型の長さは 0.93 m とし水槽の側壁と模型の両端との間隙 (第 1 圖 (a) のハッチを施した部分) は模型と同型の上流断面を有する様に板を形作り, 模型と板との間隙 (約 3 mm) は模型兩側面及底面共に幅 30 mm, 厚さ 1 mm の軟い細長いゴム板を以て上流部を塞ぐ, 模型底面と函底面との接觸面は磨いた細長い真鍮板を以て

し、両者の摩擦係数が一定になる爲に、この面には試験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数は試験の途中に於て時、測定し温度等の變化による影響等を見た。

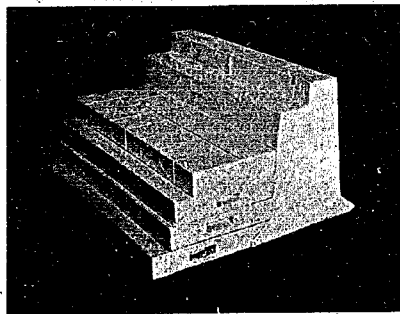
模型 第2圖の如く潜函防波堤の前後に混凝土方塊を圖の如く配置したものに就てこの混凝土方塊がその前面及背面の位置に依つて堤の安定に如何に影響するかを試験するのであるが、潜函の模型は配合 1:1.5:3 の硬練り混凝土を以て製作、前後の方塊は4段の中、下3段は各一個の扁平な方塊とじ上段のみは2圖(a)に示す如き大きさの方塊を組合はせた。此等の重量等は夫々第1表の如くである。

潜函底部及方塊の最下段底部には各、の幅を長さとする幅 30 mm、厚 5 mm の真鍮板を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 90 cm の真鍮板の上に来る様に裝置した。即ち潜函及方塊が波力により滑動を生ずる場合には専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、類



(a)



(b)

第2圖 防波堤模型

第1表

	個 数	容 積	重 量	比 重	備 考
潜 函	1	0.134 m ³	328.5 kg	2.46	第1段13個他は各段各1個
方 塊	16	0.108	259.6	2.40	

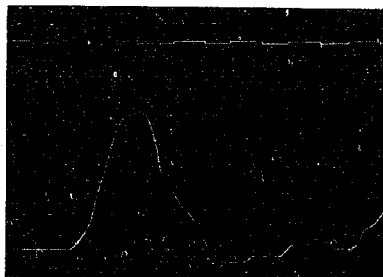
似の形であつて縮尺は實物の 1/15 である。

試験の種類 1. 潜函のみの場合 2. 潜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 種類につき水深は潜函底面より

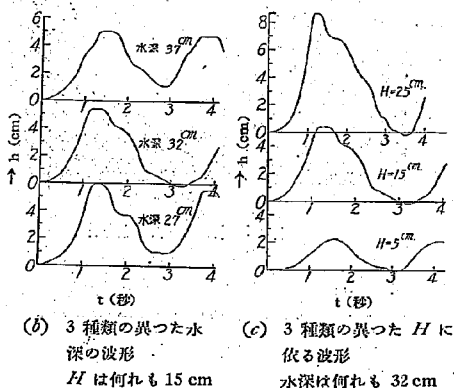
(1) 27.0 cm, (2) 32.0 cm, (3) 37.0 cm

の 3 種に就て A 室と B 室との水位差 H が 4~20 cm の間に於て試験を行ふ。上記の各水深は實物に就て夫、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、試験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。

測定装置 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録し得る様な装置を設けた。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 α 及び β に依つて錘と



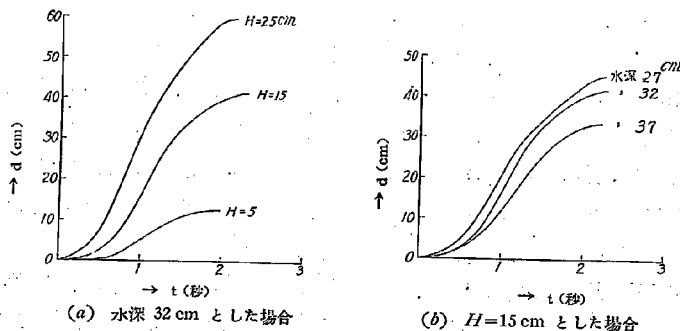
(a) 3 本の線は上より順次時間、函の變位及波形を示す。



第 3 圖 防波堤のない場合の水路に於ける波形。

連結されその鉛直部分に取付けたペンに依り黒煙を附した圓筒にその移動を記録し得る様にし、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録する。尚時間は別のペンにより圓筒上に 1/2 秒を記録する (第 3 圖 (a))。

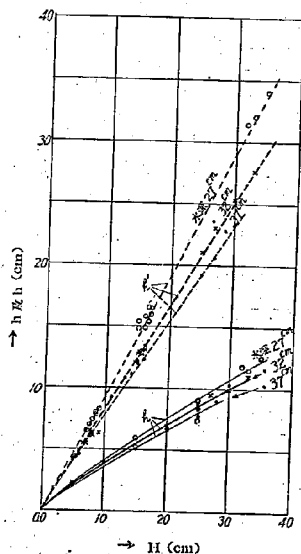
尚試験中に於ける水温が函底面と水槽底面との接觸面に一樣に塗付した白色ワセリンの硬さに及ぼす影響を除く爲には水温を一定に保つ事が必要であるが、この試験では特別にその装置を設けず、直接に摩擦係数を測定してその状態を檢する事とした。試験中に於ける水温は $17.5^{\circ} \sim 23.5^{\circ}$ であつて底面の摩擦係数は上記水温の外にも影響を受ける要素があるらしく必ずしも一樣ではない。その數値に就ては次項に述べる。



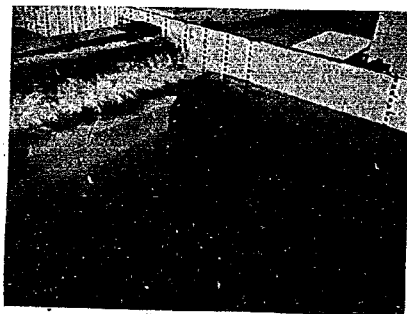
第 4 図 波の進行中の水分子の移動状況

III. 試験の結果

波 観測はすべて第一の波について行ふのであるが、水槽に潜函等を置かない場合にその位置に於て記録した波の形は第 3 図 (b) に示す如く又同じ場所に於ける水分子の動きは第 4 図 (a) 及 (b) に示す如くである。この観測は水面上に撒布した小浮子の動きを上から活動写真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



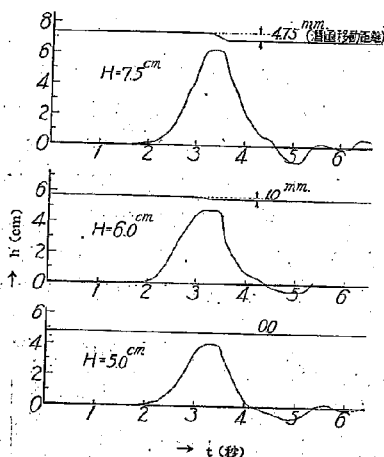
第 5 図 H と h 及 h' の関係
 茲に H —A, B 兩室の水位差
 h —進行波の高さ
 h' —鉛直壁に衝突した高さ



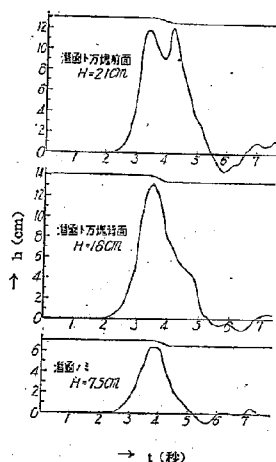
第 6 図 方塊壁が函の前面にある場合に波が函の位置で跳ね返る状態

との間には第 5 圖に示す如き関係がある。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潜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録する事が出来ない。(第 6 圖参照) 依つて試験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 を観測し、 H と d との関係曲線を作る。第 7 及 8 圖には此等の試験の一部の記録を複寫して示す。

底面の摩擦係數 静止の状態にて潜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剤を塗布してから時間の影響がある事が明になつたから波による試験は塗布後常に 10 分間を経過してから行ふ事とした、静止の状態に於て測定



第 7 圖 波高と函の移動距離との關係
(潜函のみの場合)



第 8 圖 方塊柱の有無による H 及 h の
相違——略、同一の d に對する

した結果は第 2 表に示す通りである：

静止状態の試験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。従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。

試験の結果 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

との関係は第9圖に示す通りであつて之は水深の異なる場合のものをも極めた結果である。

以上の結果に就て見るに全く同型の方塊を潜函の(a)前面に置く場合(第2圖破線にて示す状態)は(b)背面に置く場合(第2圖實線にて示す状態)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。換言すれば潜函に及ぼす波の水平力に関する限り(a)の状態の方が(b)の状態よりも水平移動に対する抵抗力が大である。

この様な試験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来ると思ふが上記の方法では底面の摩擦係数を一定にする事が困難であり又波形従つて水分子の移動状態も第3及4圖等に示す如く規則正しいものでない。従つて計算値と比較する事は當を得ない様に思ふが参考の爲 Sainflou 氏の波壓計算式による値と波の頂の静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。茲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

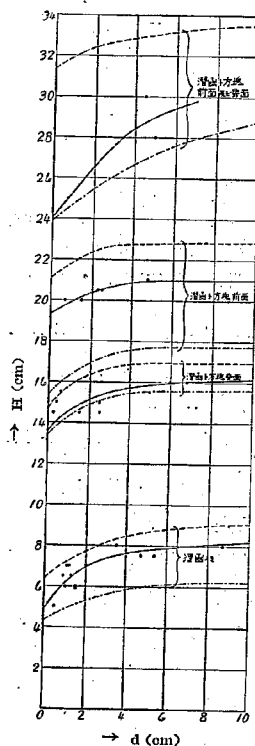
$$CD = \frac{h_0}{\cosh \frac{\pi H_0}{L}}, \quad BC = wH_0$$

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 2 表

	潜 函	方 塊 積	
		4 段積	下段のみ
(1) 重 量	(kg)	328.5	259.6
(2) 浮力を差引いた重量	(kg)	195.0	150.7
(3) 滑出を生じた時の最大水平力 (各回の観測値)	(kg)	31.0	26.4
	(kg)	34.4	25.5
	(kg)	30.0	27.7
	(kg)	36.4	6.0
(4) 同上平均値	(kg)	32.9	26.5
(5) 滑出係数 (4)/(2)		0.169	0.176
			0.153



第9圖 H と d との関係
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.

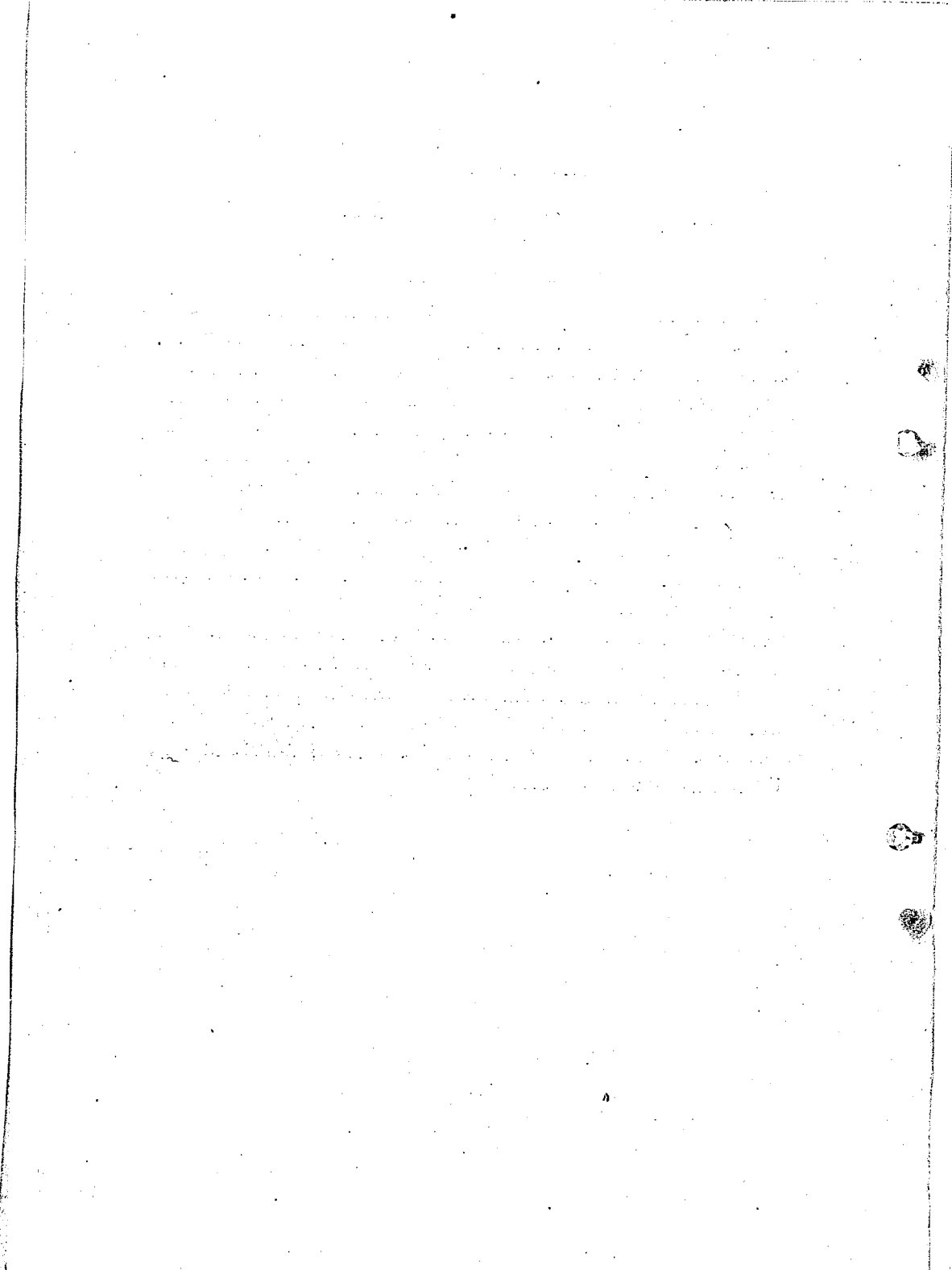
となり。上記模型試験では $t=0.5$ 秒であるから $t_0=2$ 秒となる。

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掘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増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験した處、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々推定し得られる事柄である。即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掘される危険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か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 比熱測定装置	(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溫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壊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。故に熱絶縁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泥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装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。従つて測定装置、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、従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。今簡単に記號數式を説明せんに、

m ; 試料質量

c ; 試料の比熱

t ; 試料の熱量計内投入前の温度 (0.1°C 目盛)

t_0 ; 熱量計液體初温度 (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温度 (0.1°C 目盛及び 0.01°C 目盛)

$(t-t_f), (t_f-t_0)$; 温度變化, $t-t_f$ 0.1°C 目盛, t_f-t_0 0.01°C 目盛

m_w ; 熱量計内液體質量

C_w ; // 比熱, $m_w C_w = W'$

W_0 ; 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

$$mC(t-t_f) = (m_w C_w + W_0)(t_f - t_0) + R \quad \dots\dots\dots (1)$$

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_0 なる熱量計水當量は容器と共に測定に必要な攪拌器, 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。

$$(mC)\Delta T = (W' + W_0)\Delta T' \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\therefore \delta W_0 = (W' + W_0) \left(-\frac{\delta \Delta T}{\Delta T} + \frac{\delta \Delta T'}{\Delta T'} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\delta W_0}{W_0} \div \frac{W'}{W_0} \left\{ -\frac{\delta \Delta T}{\Delta T} + \frac{\delta \Delta T'}{\Delta T'} \right\} \quad \dots\dots\dots (3')$$

本實驗に於ては $W' \div 1,000$, $W_0 \div 20$ と推測され, 斯る場合水當量誤差 $\pm \left| \frac{\delta W_0}{W_0} \right| \times 100\%$ 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。本器に於ては水筒内部の表面狀態が變じ易く常に W_0 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。

$$(mC)\Delta T = \Delta Q = W\Delta T', \quad W = W' + W_0$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{\delta(Cm)}{Cm} &= \frac{\delta C}{C} = \frac{\delta W}{W} + \frac{\delta \Delta T'}{\Delta T'} - \frac{\delta \Delta T}{\Delta T} = \frac{\delta W}{W} + \frac{W'}{(mC\Delta T)} \delta \Delta T' - \frac{\delta \Delta T}{\Delta T} \\ &= \left(\frac{\delta W}{W} \right) + \left(\frac{W'}{\Delta Q} \right) \cdot \delta \Delta T' - \left(\frac{mC}{\Delta Q} \right) \delta \Delta T \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

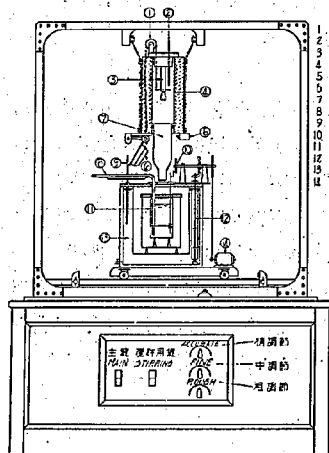
(4) 式によるに本實驗にて熱量計表面影響等所謂水當量の變化による誤差を除きて $\delta(mC)$ を精密に求むるには W を大とする事が必要であり同時に熱量 (ΔQ) も相當大とすることが必要である。本實驗にては使用溫度計の誤差 $\left| \frac{\delta \Delta T'}{\Delta T'} \right| \div 0.005$ を標準としそれに應ずる様水當量 W 。(即ち W')、有効溫度差從つて ΔQ を定め初溫度 (θ) 等を推定した。(1) 式の R は主として輻射に關するニュートンの式を基礎とし圖式又は計算式による測定直接溫度差の補正修正値であるが、本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。

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

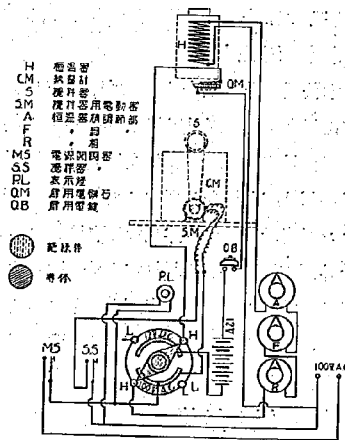
C_m は見掛上の比熱にて若し T_1, T_2 の溫度範圍に於て熱吸収、發熱ある場合眞比熱より減少、又は増大するものである。本實驗は勿論定壓 (C_p) の場合で定容比熱 (C_v) は物質の膨脹係數、及び壓縮率の關係を用ひ C_p より求め得。本報告に於ては此點には觸れず以下單に比熱として記述する。

II. 比 熱 測 定 装 置

本裝置の概略を一目瞭然たらしむる爲めに解説圖を附した。本裝置を熱量計、恒溫器の2部に分つことが出来る。以下各々に就き簡単に性能を述べる。



第 1 圖



第 2 圖

〔1〕 熱量計

熱量計は更に内圓筒、外水槽及び其の中間にある中間圓筒に分れ内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装置に於ては直徑 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様約 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 のエポ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 重圓筒の中間に保温材料を充填し内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様にした。電熱装置は粗調節部、細調節部、精調節部の 3 部に分け所要溫度により任意に電流を増減し外界の溫度と鈎合ひ一定溫度を得る。而して室内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様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

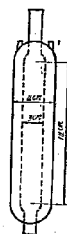
本装置の操作を説明すれば先づ試料の溫度、内筒水量、豫想上昇溫度等より外水槽溫度、室内溫度、内水筒溫度相互の溫度決定を行はねばならぬ。實驗の經驗に依れば内水筒の初溫度は外水槽のそれより豫想上昇溫度 $2/3$ 低く外水槽溫度は室内溫度より豫想上昇溫度の $1/3$ だけ高き場合が測定に最も好都合の様である。之の調節が終れば次に熱量計にベックマン溫度計を入れ攪拌装置の取付をなし實驗前 30 分位前より攪拌操作をなし内筒溫度の上昇が直線的となるを見定め試料投入前 5 分間の溫度讀取りをなし恒溫器よりの試料落下後 30 秒毎に 2 回の溫度讀取りをなし其の後は 1 分間毎に溫度讀取りをなし溫度の上昇が終り、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内水筒溫度、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状態は先に述べた通りであるが尙次の事柄に就き簡単に今一應の説明を試みる。

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状態の變化に應じ相當の變化あるものである。而して混合原理に基き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)' 式は此状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検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内圓筒の質量は 125.5 瓦、攪拌器は 34.13 瓦にして之等の和に銅の比熱 0.0914 を乗じて 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 を乗じて 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々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 を乗じて 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内筒水量と水當量との和の 0.3% 以下としてゐる様である。



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験、全長試験、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数

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数

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

にて表はされる事は明かである。

W : 使用水量

C_1 : 温度 T_1 に於ける熱容量

C_2 : 温度 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% 程度なるを以て茲には省略した。

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. 熱平衡状態に達する時間, 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。従つて放熱を短時間に行はしめる爲に石材の試験には總て碎石を用ひた。碎石の大きさは其の中の 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%

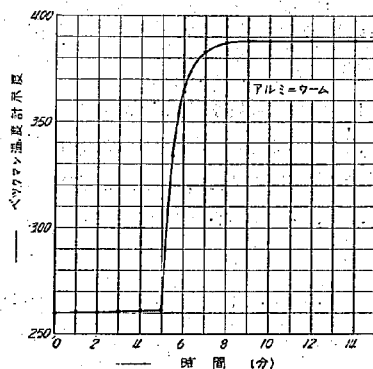
20 番篩通過 30 番篩止 31.2%

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。而して容器は試験の便宜上比重、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、石材類試験にも之を利用した。従つて試験整理に當り容器材料たるアルミニウ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溫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	アルミニウム	讀 み 数	時 間 (分)	ベックマン 溫度計示度
試 料 重 量 (容器共)	75.55 瓦	1	0	2.610
内 筒 水 量	968.6 "	2	1	2.610
内 筒 水 温 度	15.5°C	3	2	2.610
水 槽 水 温 度	15.93°C	4	3	2.611
内 筒 水 温 度	16.50°C	5	4	2.611
水 面 點 数	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 常 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〕 道路舗装用石材二三の比熱

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 の溫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、アルミニウム製容器に入れて試験した石材類にはポートルントセメントの如く

第 2 表

試 量 重 量	内 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、同一にして試験せる結果は、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来なかつた。(第 2 表)

勿論之は試験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験すべきである。今本報告には一溫度範圍に於ける試験結果のみを列記すれば下の如し、茲に 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	内筒水量	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

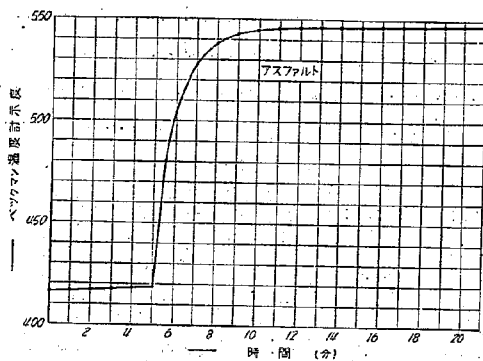
〔2〕 アスファルト及タールの比熱

茲に言ふアスファルトは道路舗装用にしてタール (A), (B) は無水タール、タール (C) は道路舗装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 珎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)

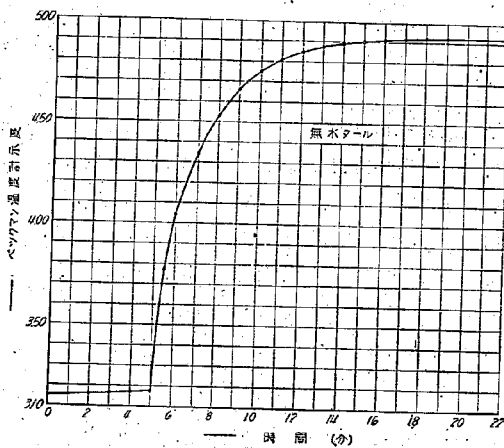
第 4 表

種 類	試料重量	内筒水量	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

試料投入後の温度上昇状態を圖示すれば第 7 圖及第 8 圖の如し、尙斯くの如き試料は温度による見掛け比熱の變化の状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の實驗に譲る。



第 7 圖



第 8 圖

〔3〕 アスファルトへ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 G_1 , G_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験結果は略、計算値と一致する。計算

第 5 表

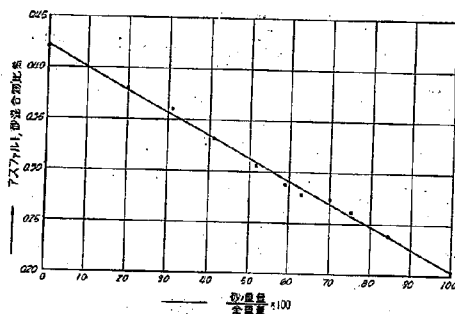
混合の割合		平均比熱		内筒水量	上昇温度 °C	測定温度範囲 °C
アスファルト	標準砂	測定値	計算値			
45.43 瓦	0 瓦	0.421	0.421	987.2	1.905	95.3~15.50
42.08	10.52	0.380	0.378	983.8	1.740	97.2~25.03
35.95	25.00	0.332	0.332	987.7	1.665	90.6~23.70
32.72	35.00	0.306	0.309	982.0	1.743	92.2~23.65
23.65	55.00	0.274	0.270	995.0	1.683	88.2~23.54
14.25	75.00	0.238	0.235	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	読み数	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
内筒水量	987.7 瓦	2	1	0.772
室内温度	21.82°C	3	2	0.773
水槽温度	22.32°C	4	3	0.774
内筒水温	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
檢定部	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験の意味を含むを以て測定結果の精確は期し難けれど、比重の絶対値の意味でなく實驗値の反復精度の意味に於て大約 2% の誤差範囲内で實驗し得た。

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装用材碎石にては 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 範囲内にあり、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来ることを實驗的に確めた。

〔附記〕 本試験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 Magnou 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、その生産者、生産量並に市販品の種類は急速に増加し又その品質も歳と共に改良進歩の變遷を経て近時は國產品は遠く滿洲及び暹羅方面に輸出される状態である。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状態なる爲め近時國產獎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産されるに至つた。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験に就ては本所報告 (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験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内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、生産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状を試験する爲め次の如き主なる生産者及び道路協會へその型録或は仕様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)
Rüttgerwerke 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.1. 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. Bimoid, Bimoid 60%, Bimo 50%, (L'économique. 82, Avenue des Champs-Élysées, 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., Dantsey 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様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。此等の試料の説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セざる純石油アスファルトを原料として製造した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、手撒き及び機械撒きが出来る。

2. Vialit 60 grade. 本乳劑は同上原料より製造したのにして、アスファルト含有量 60%, 一般に粘度が高く主としてカーベテング (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来る。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装用瀝青乳劑に

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); 木塊舗装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); 運動場及び歩道の舗装 (Play grounds; Footpaths) 等の舗装工事にも使用されるものである。

(B) タール乳劑

Magnon XT. 本乳劑は獨逸産の舗装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、甚だ粘潤性の強い乳劑にして分解は遅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用法にも適宜して居る。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 の性状

Vialit 55 grade, 60 grade 並に Colas 及び此れと對照比較する爲めに國産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舗装用材料としての試験を行つた。試験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表の内 (A) は國産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験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来ないが、此の試験によつて外國製乳劑及び國産乳劑の性質を比較しその相違得失を明にする事が出来る。次に、此等の外國製乳劑と國産乳劑と比較してその性状を論ずる。

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 共に光澤のある黒褐色を呈し品質極めて均等である。國産市販及び試製乳劑も共に黒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 にして國産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産混合用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 はその分解性は國産混合用乳劑に比すると遙に

第 2 表 外國市販品

試験項目	試料名	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, エンゲラー度		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. 定性試験 (h)		2.5 mm	3.0 mm	2.0 mm
b. 定量試験 % (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. 分散度試験				
a. 平均直徑 D_0 (μ)		2.84	—	2.94
b. 中率直徑 D_w (μ)		2.52	—	2.61
c. 第二中率直徑 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. カーベテンダ及び路面處理用 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きな點より見ても粗骨材に對して充分なる結合力を有するものと考えられる。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

試験項目	試料番號	撒布・透入法用アスファルト乳劑				混合法用アスファルト乳劑		
		F	E	C	K	G	H	B
1. 外觀		黒褐色均等	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, エンゲラー度		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. 被膜の状態		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. 定性試験 (h)		6 mm	3 mm	3 mm	3 mm	8 mm	2 mm	3 mm
b. 定量試験 % (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. 分散度試験								
a. 平均直径 D_0 (μ)		4.84	2.84	2.72	1.77	1.50	1.46	1.65
b. 確率直径 $\bar{D}_w$ (μ)		4.26	2.52	2.40	1.57	1.50	1.30	1.48
c. 第二確率直径 D_w (μ)		4.43	2.63	2.00	1.50	1.50	1.10	1.60

場合によりはタンク、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来るものである。

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々類似なものと考へられ、膠着材の主體をなす重要な成分である。従つて、之れが試験は膠着材の性質及び進

第 3 表 (B) 試製乳劑

試験項目	試料番號	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		黒褐色均等	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, 5sec.		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. 分解試験							
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		膠着性良好剥離、再乳化等せず	同	同	同	同	同
7. 貯藏安定度							
a. 1 週後の定量化試験 % (W)		2.1	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0
b. 3 週後の定量化試験 % (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会社製石油直溜アスファルトにして、比重（25℃）1.009；針度（25℃）142；延性（15℃）＞100；蒸發減量（163℃）0.07%；二硫化炭素可溶成分99.9%のものである。

んで原料澱青物質の性質を判断するに必要な事項である。その試験結果より見ると、Vialit 55 grade 及び Colas は澱青質残留物の含有量 55.0~56.5%；Vialit 60 grade は 60.0% である。一方國産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% の範囲にある。

・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来る。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、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来ない、従つて後に述べら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内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来る。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。要するに上述の試験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来る。

6. 分解試験 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、即ち分解速度は 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遅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大なるところより路面處理又は殊にカーベテジ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。國產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。

外國製品及び國產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. 低温安定度 9. 混水安定度 Vialit 並びに Colas 及び國產乳劑の大部分は靜置貯藏期間一週間に亘る貯藏安定度試験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、即ち貯藏安定度 10% 以下にして共に安定である。

然しながら貯藏期間が 1 年以上の長期間に亘る時は國產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元の均等な乳化状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 共に低温安定度は良好にして一旦凍結するも温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。市販の國產製品は低温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温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. 分散度試験 顯微鏡試験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 $2.5 \sim 3.0 \mu (\mu = \frac{1}{1000} \text{mm})$ である。國產市販アスファルト乳劑に於ては透入用乳劑にて $2.0 \sim 4.8 \mu$ 、混合法用乳劑にて $1.0 \sim 2.0 \mu$ である。従つて Vialit 55 grade 及び Colas の分散アスファルト微粒子の大きさは國產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関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 の性状

〔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験結果は第 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% とせるものゝ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。従つて此れは前述の 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験を行ひ第 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) 面に黑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、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。上述の分解試験により分解の経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し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なるに依るは勿論であり、従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。

翻つて、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 ヶ月) 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 ヶ年を経るも乳劑は少しく上下兩層に分離し下層の内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。全體を強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)
乳剤の性状試験

試験項目	試料名 Magnon XT
1. 外観	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剤
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% 乳剤, 25°C.	5.6
b. 同 55% 乳剤, 4°C.	13.7
c.* E° 4°C/E° 25°C	2.4
4. 水分含有量 % (W)	40.87
5. 瀝青質残留物	
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. 被膜の状態 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. 貯蔵安定度	
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. 分散度試験	
a. 平均直径 $\bar{D}_0$ (μ)	2.28
b. 離率直径 $\bar{D}_{10}$ (μ)	2.05
c. 第二離率直径 $\bar{D}_{50}$ (μ)	2.15

用 途 一般に, 路上混合及び機械混合法用.

[註] 3. c.* は稀釋乳剤に就ての 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残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状試験

試験項目	試料名 Magnon XT
1. 一般性質 (乳剤より水分を除きたる残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, 35c, sec.	213.3
4. 針度 25°C, 100 g, 5 sec	>300
5. 延性 15°C, 5 cm/sec, cm.	—
6. 浮游試験 50°C, sec.	115
7. 軟化點 R & B, °C	28
8. 引火點 開放式, °C	74
9. 蒸溜試験	
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 残留物 %	82.52
試験損失	0.08
總計	100.00
10. 蒸溜残留物 (>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

するに本乳剤は貯蔵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ヶ年以上の貯蔵に堪へ使用に支障を来さないものである。其の他低温及び混水にも安定である。

(B) タール質残留物は乳剤より水分を蒸溜して回収したものに於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。従つて此のタール質残留物は原料のタール物質及び乳剤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なるものである。その比重(25°/25°C)は1.168にして普通の鋪装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並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。次に蒸溜試験の結果より見ると概して中油分が少く従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以上の蒸溜残留物の性質は第4表(B)より明かなる如く上述の回収タール残留物に比すれば硬質である。要するに、第4表(B)に示せる試験結果より考へて原料のタールは比較的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。

従つて、本乳剤は鋪装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剤と見るべきものである。

〔2〕 乳剤の組成に就ての考察

本タール乳剤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験及び此の乳剤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)の左端より乳剤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並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、尚各名稱に附記した數字は乳剤に對する重量百分率を表したものである。次に本表より乳剤製造の際の原料配合の太略を推定すれば第5表(B)の如くである。此の表より本乳剤は水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来る。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験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珪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と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)

乳劑 (100.0)	水分 (40.87)	40.87 (水)
瀝青質 殘留物 (59.13)	アルコール 不溶分 (36.02)	有機質 物質 (35.76) * 無機質 物質 (0.26) 無機質 物質 (0.22)
		瀝青質 物質 31.25 (瀝青) 非瀝青質 物質 4.51 (遊離炭素) 0.26 (灰分) 0.22 (灰分)
	アルコール 可溶分 (23.11)	水不溶分 (19.77)
		有機質 物質 (19.55) * 無機質 物質 (1.90) 有機質 物質 (1.44)
		瀝青質 物質 18.18 (瀝青?) 非瀝青質 物質 1.37 (添加物) 1.90 (乳化劑) 0.22 (タール酸) 1.22 (乳化劑)
		水可溶分 (3.34)
		タール酸 0.22 (タール酸) 其他 1.22 (乳化劑)

〔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)

水	40.87
原料タール 物質	瀝青 49.43 遊離炭素 4.51 タール酸 0.22 灰分 0.48
乳 化 剤	無機質 1.90 有機質 1.22
添加物 (水不溶性)	1.37
乳劑 100.0	54.64
	3.12

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ゝ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べ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来、主に碎石道路の路面の塗装用に使用することが出来る。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 にして常溫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	$\leq 1\%$
4. 蒸溜分	
初溜 $\sim 170^{\circ}\text{C}$	$\leq 1\%$
$170\sim 270^{\circ}\text{C}$	12 $\sim$ 24
$270\sim 300^{\circ}\text{C}$	4 $\sim$ 12
$300\sim 360^{\circ}\text{C}$	12 $\sim$ 17
5. 蒸溜殘留物 ($> 360^{\circ}\text{C}$)	$\geq 60\%$
6. 無機物質	0.32%
7. 遊離炭素	$\leq 22\%$
8. ナフタリン	$\leq 8\%$
9. 石炭酸	$\leq 5\%$

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 $1\frac{1}{2}\sim 1\frac{3}{4}$

kg/m^2 ; 後者は $3\sim 4\text{ kg/m}^2$ 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軽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 $\sim$ 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 $\sim$ 20% の石油アスファルトを混和し且つ之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来る様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舗装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、従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脱せず、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状態である。此の状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. 外観	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験期間(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	
b. 比粘度 4°C. エン グラー度			8.2	
4. 水分含有量 % (w)	68.0	40.0	52.5	2. Y.E. No. 2 同様. 3. R.E. 同様.
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 C.S.%	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. 分離核膜			不良	
7. 貯藏安定度 7日				
a. 定性試験 mm.				
b. 定量試験 %	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験結果にして、その内 (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強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験の期間中 (凡そ 2 週間) に分解して乳劑としての試験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内比較的良質なるもの多數種を試験した結果である。此等の乳劑は製造後凡そ 1 ヶ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、材料の性質試験を行ふもその期間中に變質或は分解して試験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検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遅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を有し、又

第7表 (B)

試験項目	試料名	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. 外観		黒褐色に して強い 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, エンゲラー度		2.8	2.8	3.0	3.8	3.0	3.5	3.6	4.5
b. 比粘度 4°C, エンゲラー度		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. 軟化点 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. 被膜の状態 3hrs		腸溶性良 好、分解 完結後再 乳化せず	同	同	同	同	同	同	同
7. 貯蔵安定度		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剤よりの同数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剤は長期の貯蔵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剤 Vialit 55 grade, 60 grade 及び Colas 並に獨逸製タール乳剤 Magnon XT に就て材料試験を行ひ、その性質を國產アスファルト及びタール乳剤の市販品並に試製乳剤の性狀と比較を行つた。

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

藏、混水及び低温に對して安定度が最も良好にして長期間（一ヶ年以上）の貯藏後も使用に堪へ得るものである。國産品中には、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% にして國産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験の結果に依ると其性質が優良なものである。國産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様になつた。

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来るものである。

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、同様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。低温及び混水にも安定である。

6. Magnon XT はタール含有量 60% にして回収タール分に就ての試験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・タールに他系の瀝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た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験によると同種のアスファルト乳劑に比して遅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験よりの経験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 の組成に就ての試験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、従つて安定なるタール乳劑にはタール瀝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ー

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、故に此の試験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す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験を完成したのみで更に實際上の低温、運搬及び長期間の貯蔵に堪へ得る安定度のものに就ては未だ試験が進まず、更に舗裝材としての實際の道路試験を経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 の性狀に關する試験に就ては内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)

土砂の安定強度に及ぼす加圧回数の影響

内務技師 山 田 元

目 次

緒 言	(1)
I 試験方法	(1)
II 試験結果	(2)

緒 言

土砂の安定強度に對して、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、同試験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数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強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設備を有せざるを以て本試験に於ては先づ同様の方法を以て加壓を繰返し、加壓回数が土砂供試體の製作直後及乾燥後の安定強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 験 方 法

〔1〕 試験概説

試験は、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、其最大壓縮強度を算定せるものにして、供試體の材料、製作及乾燥方法、及試験方法等は總て土木試験所報告第三十一號所載「土砂の安定強度試験」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、察知し得ること前報告に由つて明であるから、本試験に於ては配合(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強度を與へ且つ本試験方法に於て試験中含水率に變化を來たさる 70% を標準とした。加壓回数は最大 5 回に止めた。

〔2〕 材料略説

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説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%, 含水當量 (遠心力) 67.0%, 單位重量 672.0 kg/m^3 , 空隙率 72.2% である。

砂 は埼玉縣北足立郡秋ヶ瀬地先荒川産にして 30 番乃至 50 番のもの 60.0% を占め、粒度率 2.06, 單位重量 $1,542 \text{ kg/m}^3$, 空隙率 42.9% である。

II. 試 験 結 果

載荷に伴ひ供試體の示す變形、龜裂及破壊の狀況は略、前述「土砂の安定強度試験」に既報せるが如くである。

〔1〕製作直後の安定強度と加壓回数

土含水率 70% を標準とする土砂の安定強度に及ぼす加壓回数の影響は配合 0, 100 及 200, 製作壓力 10, 30 及 50 kg/cm^2 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) 上記範囲内に於ては加壓回数 5 回までは回数を増せば安定強度を増す。而して其増量は最大 2.71 kg/cm^2 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増率は最大 39.0% にして配合悪き程、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数 5 回までは安定強度は漸増の傾向を示し、特に激増を與へると認めらるゝ回数なく、其趨勢より見れば 5 回以後に於ても斯かる回数は存在せざるものゝ如し。而して安定強度を増加する爲に加ふべき適當且つ有利なる加壓回数は配合、製作壓力等によつて異なる。

3) 孰れの配合に於ても加壓回数 5 回までの範囲内に於ては回数の増加により其安定強度を製作壓力の一段高き (即ち 20 kg/cm^2 大なる) ものより大ならしむることは出来ない (唯配合 200 に於ては製作壓力 30 kg/cm^2 加壓 5 回の値は製作壓力 50 kg/cm^2 の値に等しい)。特に製作壓力 10 kg/cm^2 のものは加壓回数を更に増加しても到底製作壓力 30 kg/cm^2 のものに及ばざるべきは明である。

4) 加壓回数による安定強度の加壓一回の値に對する増率は配合、製作壓力によつて異なり 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増率大である。配合 0 に於ては製作壓力の影響最小で製作壓力の増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増加と共に減少する。

5) 製作壓力に對する安定強度の比率は比較的大なる配合 0, 製作壓力 10 kg/cm^2 の

5 回に於ても 50% に達せず、増加の趨勢から見て製作圧力 10 kg/cm² 以外に於ては加圧回数を増加するも 50% に達し得ない様である。

(6) 加圧回数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。製作圧力 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 に於ては各製作圧力につき、其他の配合にあつては製作圧力 30 kg/cm² までは尙加圧回数を増加すれば其安定強度更に増大すべきは明である。

(8) 安定強度の配合による變化は加圧回数によつて著しき相違なく同一製作圧力に於ては略、同様の傾向を示し、製作圧力の低下と共に變化緩慢となる。

(9) 製作圧力の増加に伴ふ安定強度の増加は加圧回数によつて著しく異なる所を見ず、唯配合 0 に於て回数を増すに伴ひ製作圧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) と加圧回数

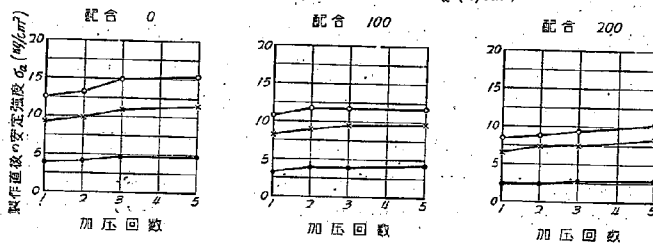
(土含水率 70% を標準とす)。

製作圧力 (kg/cm ²)	加圧回数	配 合 0					配 合 100					配 合 200				
		土含水率	σ_a kg/cm ²	製作圧力に對する σ_a の %	加圧回数 1 に對する σ_a の % の増加		土含水率	σ_a kg/cm ²	製作圧力に對する σ_a の %	加圧回数 1 に對する σ_a の % の増加		土含水率	σ_a kg/cm ²	製作圧力に對する σ_a の %	加圧回数 1 に對する σ_a の % の増加	
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
	4	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
	5	70.1	9.28	30.9	100.0		69.5	8.15	27.2	100.0		68.4	6.56	21.9	100.0	
30	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
	4	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
	5	70.1	3.85	38.5	100.0		70.0	3.17	31.7	100.0		68.4	2.26	22.6	100.0	
10	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
	4	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	0.63

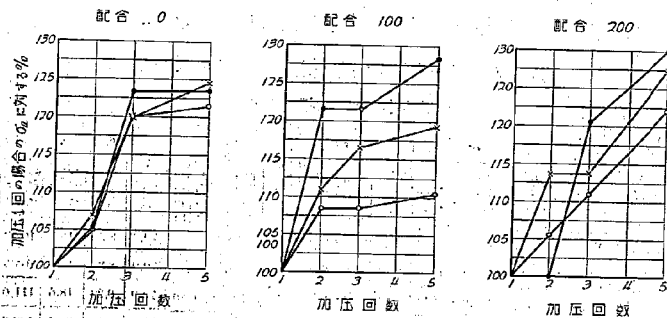
〔2〕 乾燥後の安定強度と加圧回数

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_a) 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内乾燥程度に乾燥せる場合に於ける其加圧回数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

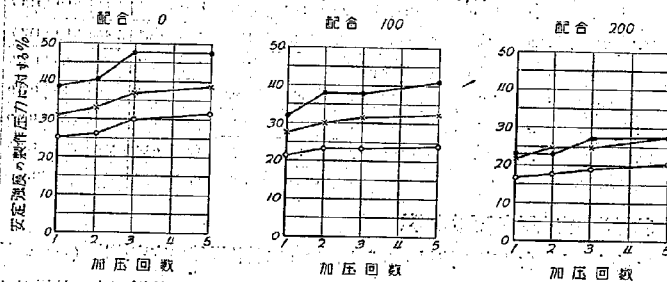
1) 製作の際加圧回数を増加すれば乾燥後に於ける安定強度は増大する。

(a) 製作直後の安定強度 σ_a (kg/cm^2)

(b) 加圧1回に対する比率(%)



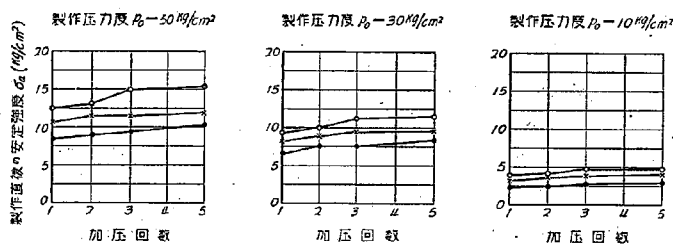
(c) 製作圧力に対する比率(%)



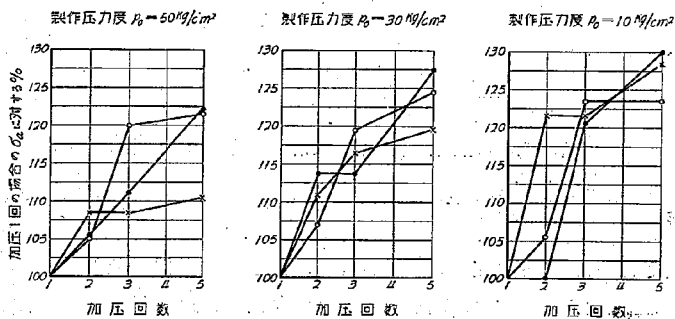
凡例 { 加圧力 P_0 (kg/cm^2) 50, 30, 10,
記号 ○ □ △

第1圖 製作直後の安定強度と加圧回数との関係 (配合別比較)

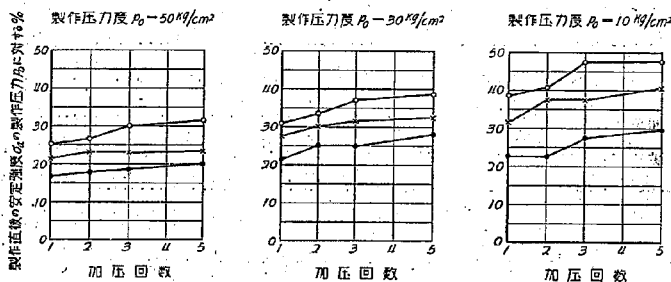
(a) 製作直後の安定強度 σ_a (kg/cm^2)



(b) 加圧1回に対する比率 (%)

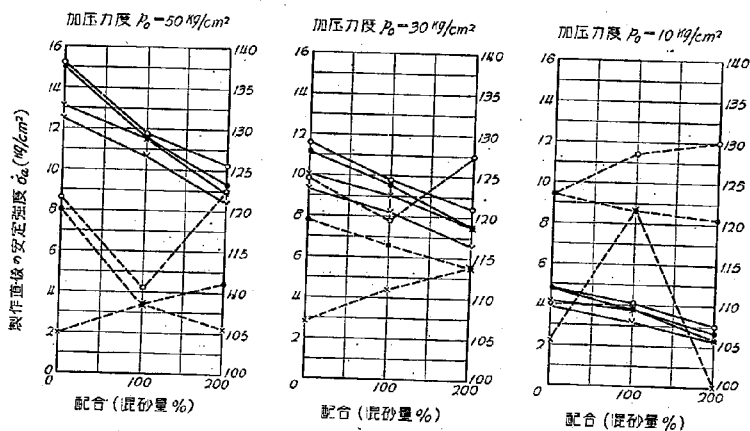


(c) 製作圧力に対する比率 (%)



凡例 { 配合 0 100 200
記号 ○ × ●

第2図 製作直後の安定強度と加圧回数 (製作圧力別比較)



凡例 { 製作直後の安定強度 σ_0 ———— { 加圧回数 1 に対する % { 加圧回数 1 2 3 5
記号 y x o

第3図 製作直後の安定強度と配合 (加圧回数による比較)

2) 加圧回数 5 回のもの、乾燥後の安定強度の増量 ($\Delta\sigma_0$) は最大 9.90 kg/cm^2 に達し一般に製作直後に於ける増量より遙に大である。而して $\Delta\sigma_0$ の最大は必しも、1 回後の安定強度の最大なる、即ち製作圧力の最大なる場合に生ずるものとは限らない。

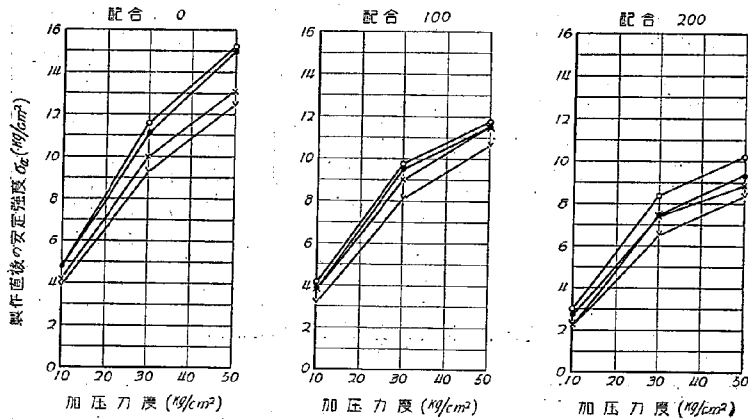
3) 加圧回数 5 回の σ_0 の 1 回の σ_0 に對する増率は最大 44% にして一般に製作圧力小なるもの増率大にして製作直後に於けるよりも遙に大であり、製作圧力による差違も亦顯著である。

4) 土の乾燥後の安定強度を増大する爲に製作の際與ふべき適當有利なる加圧回数は製作圧力によつて異り、製作圧力 (p_0) 50 kg/cm^2 に於ては 5 回後の増率は甚しくは大ならざるが如きも $p_0 = 30 \text{ kg/cm}^2$ 以下に於ては 5 回以後に於ても其増加相常顯著なるが如し。

5) 製作時の加圧回数を増加すれば、製作圧力の不足による乾燥後の安定強度の低下を或る程度まで補ふことを得るが、其回数と効率との關係は、製作圧力によつて異り、 $p_0 = 30 \text{ kg/cm}^2$ のものは 10 回以内に於て $p_0 = 50 \text{ kg/cm}^2$ の一回加圧の σ_0 に到達し得るは明であるが、 $p_0 = 10 \text{ kg/cm}^2$ のものは單に加圧回数を増加するのみでは $p_0 = 30 \text{ kg/cm}^2$ の一回加圧の σ_0 に到達し得ざるもの、如くである。即ち單に加圧回数を増加するのみにて到達し得る σ_0 の値には當該壓力度に應ずる限度が存在するもの、如くである。

6) 乾燥後に於ける安定強度は加圧回数を増加すれば製作圧力 30 kg/cm^2 以下に於ては當該製作壓力度に到達し得るが製作圧力 50 kg/cm^2 に於ては略、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。



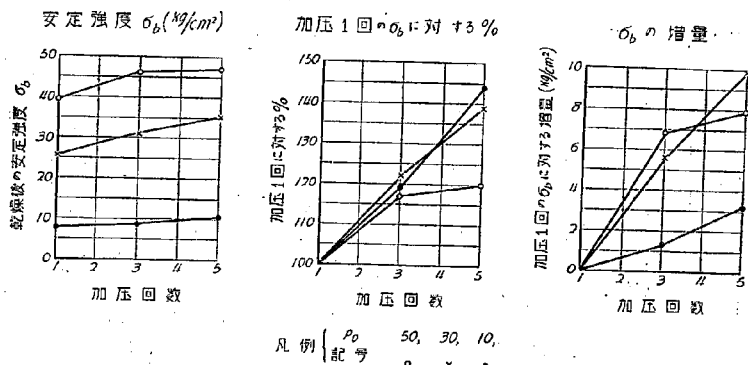
凡例 加圧回数 1 2 3 5
記号 √ × ● ○

第4図 製作直後の安定強度の製作圧力による比較

第2表 乾燥後に於ける土の安定強度と加圧回数

配合 0 (原土含水率 70%)

製作 圧力度 (kg/cm²)	加 圧 回 数	含 水 率 (%)			σ₀ (乾燥後の安定強度)				乾 燥 前 後 の 安 定 強 度 の 比 較	
		製作時	試験時	乾 燥	σ₀ (kg/cm²)	加圧回数 1に對する 増加	製作圧力 に對する %	加圧回数 1に對する %	安定強度 の増加 (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 と加圧回数

〔3〕 乾燥前後の比較

含水率 70% を加圧時の標準含水率とする土に對し加圧回数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増加の趨勢は製作壓力 50 kg/cm² の加圧回数 3, 5 回の場合を除き一般に加圧回数を増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。即ち、乾燥による固結を促進せしめる爲には加圧回数を増すよりも加壓力度を増す方法に有効である。

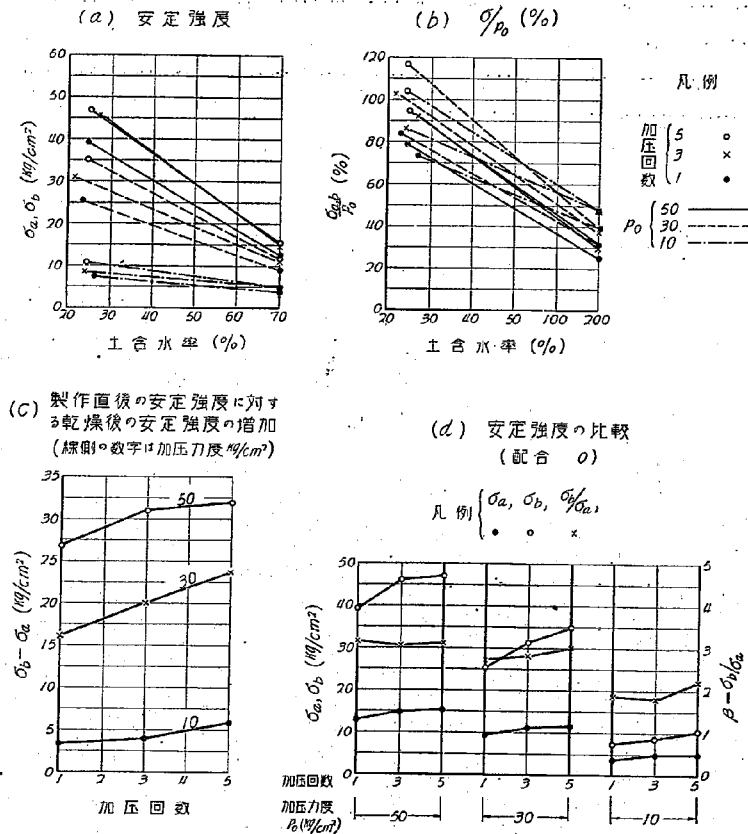
2) 安定強度の加壓力度に對する比率 (α) の加圧回数による變化は乾燥前後によつて甚だしき區別なく唯乾燥前に於ては加壓力度大なるものは加圧回数を問はず一般に加壓力度小なるものより小であつたが乾燥後に於ては加圧回数によつて幾分の相違あり加壓力度大なるものも加圧回数大なるときは比較的高率である。

3) 乾燥前後の安定強度の差 $\sigma_b - \sigma_a$ は加圧回数の増加と共に増大するが其増勢増量は加壓力度によつて大に異なる。

4) 乾燥前後の安定強度の比率 ($\frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \beta$) は 1.81~3.14 にして同一の加壓力度及加圧回数の下に於ては略、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圧回数 5 回の安定強度 (σ_{5a}) と 1 回 (σ_{1a}) 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 $\Delta\sigma_b$ ($\sigma_{5b} - \sigma_{1b}$) は必しも加壓力度に伴はない。

6) 乾燥前に於ける加圧 1 回の安定強度 σ_{1a} に對する 5 回の増率 $\Delta\sigma_a\%$ は加壓力度の相違によつて異なる所甚だ小なるに反し、乾燥後の増率 $\Delta\sigma_b\%$ は加壓力度の大なるもの



第 6 図 乾燥前後の安定強度

の小さな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

上述の試験結果と土砂層に對する輾壓の効果とを對照するに

1) 輾壓直後に於ける支持力は輾壓回数と共に或る程度まで増加するが其増加は直接輾壓回数の増加に因るよりもむしろ輾壓毎に變形量が減することより單位輾壓が増加することによる方である。

2) 濕潤状態に於て輾壓回数を増加すれば乾燥後に於ける支持力を増大する、而して 5

同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) 輾壓回数を増加すれば乾燥による支持力の増加を拡大する、併し擴大に最も有効なる回数は單位壓力、配合及含水率に因つて異なる。

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験.....(1)
II. 其の他金屬材料分析試験成績.....(7)

I. 含銅鋼矢板中の含銅量試験

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増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増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験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。

含銅量の定量は附録に記載せる方法に依つたものである。

要約. 上記の試験は、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。國産品については試験の回數少きを以て確な決論に到達し得ないが、試験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。

附録 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 を秤量したる後ピーカーに入れ、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、蒸留水 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溫稀鹽酸 (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 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) の少量を加へて熔融する。冷却後 1~2cc の鹽酸及少量の蒸留水にて之を溶解し、ピーカーに移し、5% 苛性曹達の僅かに過剩を加へ煮沸浸漬後濾過洗滌する。濾紙上の沈澱は少量の溫稀硝酸に溶解し、5cc の硫酸を加へ、白煙の生ずるまで加熱し、冷却後、蒸留水を以て 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 賴 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 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6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. 995	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	新潟港西護岸工事用	0.31	昭和7年5月
31	No. 1181	2號 8米A	"	"	0.34	"
32	No. 1182	3號 8米B	"	"	0.30	"

番號	試 驗 番 號	試料符號	依 賴 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. 1491z	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. 1553z	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	含鋼量 %	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. 1679f	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	0.33	昭和9年4月
106	No. 1929	2 號	〃	〃	0.29	〃
107	No. 1930f	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	0.32	昭和9年3月
109	No. 1918	No. 6 の 2	〃	物揚場護岸工事	◎0.06	〃

番 號	試 験 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	A. 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	B. S 94262	"	"	0.31	"
118	No. 1865	C. S 94244	"	"	0.29	"
119	No. 1866	D. S 94220	"	"	0.31	"

備考・◎印は銅分が少しきものである。

る。溶液は弱酸性を呈する。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、之より銅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、約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落し、濃粉溶液数滴を加へ(青色を呈す)、充分振落じつゝ、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 に対する銅の相當量 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処理し醋酸銅となし、容積 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 を探りヨードカリを加へ、澱粉溶液を指示薬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つ注入したる後約 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爲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、加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 に加熱しつつ、陰陽兩極には夫々白金板及白金線を用ひ、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洗滌し、次にアルコールにて洗ひ、70~80°C に乾燥し、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、乾燥後次の試験に用ゐるものとす。

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。

試験番號	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銅となし、其の鹽（不純物を多少含むたるまゝ）秤量したる結果と、純銅分との比較例。

銅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數値を示す譯であるが、かくして得たる數値と純銅分の數値とが、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

II. 其他の金属材料分析試験成績

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); 硫黃(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回の試験の平均を以て其の成績を表して居る。

要約 上記の試験は新潟土木出張所及神奈川県等の依頼によりて行ひたるものにして、其の種類は 鋼、鋳鋼、マンガン鋼、軟鋼、ニッケル・クロム鋼、鑄鐵、鍛鐵、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	試料 編號	試料名	試料 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	5. 5	新潟土木出張所	デグプレート				1.31		
2	742	"	"	"	歯 板 用	.....	.....	.....	1.35	.....	
3	743	"	5. 6	"	ブレーキクラシヤ	.....	.....	.....	10.55	.....	
4	749	"	"	"	デグプレート右	.....	.....	.....	6.39	.....	
5	750	"	"	"	ブレーキクラシヤ	.....	.....	.....	10.01	.....	
6	751	"	"	"	デグプレート左	.....	.....	.....	10.87	.....	
7	753	クローム	5. 8	同 上	受 歯 内 板						Cr% Ni% 0.95 2.32 0.94 2.31
8	759	鋼	"	"	"	.....	.....	.....	.....	.....	
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	鉄 鋼	6. 8	新潟土木出張所	鋼 筋 柱	0.375	0.016	0.018	1.53	0.225	Cu Ni Cr 0.137 0.016 0.029
22	916 I 號	鋼	6. 6	同 上	鋼 筋 柱	0.32	0.048	0.041			試 験 せ ず
23	917 6 號	"	"	"	"	0.21	0.043	0.042	.....	.....	
24	918 II 號	"	"	"	"	.....	0.052	0.040	.....	.....	
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 (0.023)	0.61 (0.63)	0.156 (0.14)	Ni Cu 0.13 0.135 (0.10) (0.136)
28	903	鋼	6. 6	新潟土木出張所	不 明	0.54	0.032	0.024			試 験 せ ず
29	1019k	鋼	6. 9	新潟土木出張所	鋼 筋 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	0.36	試 験 せ ず
33	1160	"	"	"	"	0.34	0.026	0.025	0.72	0.39	
34	1161	"	"	"	"	0.38	0.014	0.015	0.99	0.22	
35	1162m	"	"	"	"	0.30	0.038	0.022	0.91	0.30	
36	1126 4 號	鉄 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			同 上
38	1126 17 號	"	"	"	P<0.06	0.26	0.051	0.043	.....	.....	
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	試驗號	試驗名	狀年	驗月	依頼者	用途その他	C%	P%	S%	Mn%	Si%	其他(Cu, Cr, Ni, Sn, Zn, Pb等)	
41	1594	軟鋼3號	昭和	8. 10	新製土木 出所	不	明	0.263	0.02	0.030	0.34	0.11	Cu 0.16 Cr 0.075 Ni 0.049
42	1595	軟鋼1號	"	"	"	"	"	0.25	0.018	0.031	0.38	0.10	0.14 0.061 0.040
43	1640	鉄鋼別	"	"	"	"	"	0.636	0.030	0.030	.....	.....	試驗せず
44	1437 1438	ニッケル クロム鋼	8. 4	"	新製土木 出所	重油機関車用	明	0.315	.....	.....	.....	.....	Cr Ni 0.32 3.45
45	No.2	"	"	"	"	"	"	0.27	.....	.....	.....	.....	0.32 3.46
46	1439 1440	No.3	"	"	"	"	"	0.28	.....	.....	.....	.....	0.32 3.45
47	No.4	"	"	"	"	"	"	0.27	.....	.....	.....	.....	0.33 3.44
48	1441 No.5	"	"	"	"	"	"	0.31	.....	.....	.....	.....	0.23 2.93
49	1442 No.6	"	"	"	"	"	"	0.31	.....	.....	.....	.....	0.23 3.10
50	1443 No.7	"	"	"	"	"	"	0.30	.....	.....	.....	.....	0.22 2.84
51	1444 No.8	"	"	"	"	"	"	0.35	.....	.....	.....	.....	0.22 2.98
52	1428	同上	8. 3	"	同上	重油機関車 用	明	0.26	.....	.....	.....	.....	Cr Ni 1.12 4.79
53	1429	"	"	"	"	重油機関車 用	"	0.25	.....	.....	.....	.....	0.73 3.31
54	1911	鉄鋼別	9. 3	"	同上	不	明	0.27	0.024	0.022	.....	.....	試驗せず
55	2175	ケージング No.1934 (B)	8. 1	"	新製土木 出所	括弧内は規格の 数値を示す。	"	0.49 (0.4~0.6)	0.014 (0.05)	0.009 (0.05)	0.96	0.33	
56	2176	同上 No.1935 (B)	"	"	"	"	"	0.48 (0.4~0.6)	0.018 (0.05)	0.009 (0.05)	0.95	0.31	
57	2177	ランナー No.1934	"	"	"	"	"	0.50 (0.4~0.6)	0.023 (0.05)	0.015 (0.05)	0.84	0.25	
58	2178	ガンバー No.2003	"	"	"	"	"	0.30 (0.25~0.35)	0.017 (0.05)	0.020 (0.05)	0.65	0.23	試験せず
59	2179	ランナー No.2332	"	"	"	"	"	0.46 (0.4~0.6)	0.018 (0.05)	0.009 (0.05)	0.96	0.28	
60	2180	キャップ No.2345	"	"	"	"	"	0.49 (0.4~0.6)	0.022 (0.05)	0.010 (0.05)	0.99	0.20	
61	2205	鋼	10. 3	"	同上	機関車アス材	"	0.27	0.039	0.045	0.66	0.027	Cu 0.028 Ni 痕跡
62	2268	鋼管17號	10. 4	"	(内部依頼)	"	"	0.215	0.024	0.035	0.459	.....	
63	2269	同上18號	"	"	"	"	"	0.262	0.046	0.041	0.321	.....	試験せず

1	1142	鈴城1號	7. 3	新富士木 呂須所	2.68	0.363	0.101	0.31	1.34	試 験 せ ず
2	1143	〃 2號	〃	〃	2.87	0.470	0.068	0.45	1.99	
3	1144	〃 3號	〃	〃	2.58	0.176	0.069	0.14	0.69	
4	839	鈴 城	6. 4	同 上	3.62	0.088	0.055	0.19	2.34	Cu 0.017
5	1253	鈴 城	7. 9	同 上	3.20	0.25	0.076	.....	.....	試 験 せ ず
6	1254	鈴 城	〃	〃	3.01	0.26	0.066	.....	.....	
7	1591	鈴 城	8. 9	鈴奈川縣 水道部	.....	0.29	0.054	.....	.....	Cu Sn Zn 其の値 83.95 8.49 1.98 0.53 63.65 1.22 34.54 0.59 水銀含量にて銅鉛を生ず
8	1592	函 金	〃	〃	.....	.....	.....	.....	.....	
9	1593	キー ン・ブ ル蘭	〃	〃	.....	.....	.....	.....	.....	
					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%					

附録 鐵材其他金屬分析法

上記の鐵材其他の金屬の分析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。

鉛金、黃銅等の分析法

錫の定量 鉛金、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内容物の飛散を防ぎつつ溶解せしめる。反應の稍静まりたる時、湯煎上にてあたた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液を濕し、50cc の温水を加へて温所に靜置し、不溶解物の完全に沈降するを待ちて濾過し、濾紙上の殘渣は温水を以て洗滌したる後乾燥し、破損皿場中にて灼熱して不純酸化錫 (SnO_2 及其他) 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化合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 倍量の炭酸曹達硫酸黃等量混合物を、上記の皿場に加へ、蓋をなして靜かに加熱し、過剰の硫酸は殆ど完全に燒鹽せしめる。之を冷却せる後、内容物を少量の温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。

$$\text{Sn}\% = \frac{0.7877 (\text{SnO}_2 \text{ の重量})}{W} \times 100 \quad \text{但し } W = \text{試料 (g)}$$

鉛の定量 酸化錫を分離したる濾液に 3cc の濃硫酸を加へ、湯煎上にて出来るだけ蒸發したる後、砂皿上加熱し、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、グーテ皿場にて濾過し、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、乾燥後皿場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。

$$\text{Pb の \%} = \frac{0.6831 (\text{PbSO}_4 \text{ の重量})}{W} \times 100$$

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、蒸留水にて稀釋し、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 頁参照)

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 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 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。

$$\text{Fe の \%} = \frac{0.6994 (\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ の重量})}{W} \times 100$$

亜鉛の定量 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 ($\text{CH}_2\text{ClCOONa}$)

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ェロシアン化加里による滴定法によりて亜鉛を定量する。

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

註 フェロシアン化加里による滴定法

約22gのフェロシアン化加里 $\{K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O\}$ を1lの蒸留水に溶解する。この溶液中には指示薬として少量のフェリシアン化加里 $\{K_3Fe(CN)_6\}$ の存在を必要とする故に0.15gのフェ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・コスミック・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となしたる温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、フェロシアン化加里液の強度を決定する。

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、残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、蒸留水にて200cc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、之にフェロシアン化加里液を滴下して滴定を行ふ。滴定は攪拌しつつ行ふものとす。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、次にフェ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; IV = 採取せる試料の重量(g); V = 滴定に要したるフェロシアン化加里液の容積(cc); w = フェロシアン化加里液1ccの亜鉛相當量(g)

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

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%のデメチルグリオキシム $\{[(CH_3)_2C_2(OHNO)]_2\}$ 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、湯煎上に於て約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・デメチル・グリオキシム $\{[(CH_3)_2C_2(OHNO)]_2Ni\}$ として秤量してニッケル(Ni)の量を算出する。

$$Niの\% = \frac{0.2032 \times (NiC_2H_4N_4O_4)}{IV} \times 100$$

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験 (青銅)

長 75mm; の供試體を、其の儘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裂紋を生ぜざるものを合格とす。

種々の土木工事用材料に関する試験

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験	(1)
II	青森縣善知島時道路隧道コンクリート滲出物試験	(3)
III	中川河水を使用せるモルタル試験	(6)
IV	砂の相違によるモルタル強度の相違	(7)
V	諸種の一般セメント試験成績	(7)
VI	3 種の早強セメント比較試験	(11)
VII	土木試験所建築工事用セメントの試験	(12)
VIII	珪酸白土石灰岩粉分析	(15)
IX	潜函中の空氣定性試験	(15)

I. 鹿兒島縣第二垂水橋コンクリート滲出物試験

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、内径 2~3 mm の管状をなし(壁厚 0.5~1 mm 位)、一部分黄色を呈せる所あり、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。

外觀検査後、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(SiO₂)質の物質を検し、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 CO₂ 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 は空気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、黄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

試験番號	No. 1197	備 考
試料名	コンクリート滲出物	
遊離水分 (H_2O)	20.96%	
灼熱減量 (約 900°C)	34.86%	CO_2 及 H_2O を主とす
水可溶性成分	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 海水或は地下水中の成分より來れるものゝ如し
MgO	54.75	
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 (参考)
i) 比重 $15/15^\circ\text{C}$	1.022	1.0209~1.0309
ii) 反應 (フェノール・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 ($110\sim115^\circ\text{C}$)	—
	16 130 ($130\sim140^\circ\text{C}$)	—
vii) 全固形物灼熱減量 mg/l	3 180 (900°C)	—
viii) 900°C 加熱残留物 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ゝ如く、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ゝ如くである。

即ちこの滲出物の生成はコンクリート内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) が炭酸化せられて残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ゝ如くに考へらる。

(昭和7年6月試験)

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験

概説 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、其の内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頼あり、且つ隧道内の異れる部分、7箇所より採取せる滲出物試料7種を送附せられた。

試料は各其の外観を異にし、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単に分離しがたき状態にありしを以て其の儘とし殘部を乳針にて細粉となし、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、参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

(但し内務省衛生試験所分析開取)

場所別	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
性質	石膏苦味泉	同 左	同 左	弱苦味泉	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 ₂ SO 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表の温泉分析表は簡単にして、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。善知鳥崎は浅虫より2km以内の所にあるも、其の滲出水が浅虫温泉の水と類似成分を有するものとは断定できない。然しながら上記の鹽類は地下水中に往、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悪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、浅虫温泉の如く高温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。同縣南津軽郡の冷泉中に遊離炭酸を含むものもある、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。

試験成績 分析の成績は第4表の如し。

第4表 分析表

試験番號 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
外觀的性質	灰白色にして所々褐色板狀破片、少量の砂を混す。	灰白色にして所々褐色板狀破片、少量の砂を混す。	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帯ぶ、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帯ぶ、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 ₂ O 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、木村片等を除き、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、其の外観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慮外に置く。

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なるも、大體に於て珪酸質物質は少く、其の稍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 ($R_2O_3 \cdots Fe_2O_3 + Al_2O_3$) 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

即ち 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 と化合して尚餘ある化合水、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。従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、コンクリート自体に崩壊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 本試料は其の外観、形狀に於て前掲垂水橋コンクリート中よりの滲出物と類似せる點あり、其の生成の経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な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験

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（満潮時、中満潮時、干潮時）を送附せられ、其の試験方を依頼せられた。

3 種の試料水の分析結果は第 6 表の如し。

第 6 表

試 験 番 號	No. 1596 満潮時試料水	No. 1597 中満潮時試料水	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、SO₃、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）につき硬化試験を行ひたるに第 7 表の如き成績を示した。但し供試體は徑約 2 cm の圓嚢とす。

第 7 表

混 合 水		水 道	No. 1596 満潮時河水	No. 1597 中満潮時河水	No. 1598 干潮時河水
3 日	kg/cm ²	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表の試験成績に依れば、河水を混合水とする時は幾分の強度低下を來すも、中満潮時河水は不純物最も少く、強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月試験)

IV. 砂の相違に依るモルタル強度の相違

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モルタル強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

強 度		No. 403 多 摩 川 砂	No. 404 馬 入 川 砂	No. 405 平 塚 砂	標 準 砂
抗 張 力	kg/cm ²				
水 量	%	7.0	7.5	8.0	6.5
1 週	kg/cm ²	38.9	36.1	22.0	32.4
4 週	kg/cm ²	47.6	42.0	27.7	36.8
耐 壓 力					
水 量	%	7.0	7.5	7.8	6.5
4 週	kg/cm ²	385	300	192	410

第8表の如く砂の異なるに従つてモルタル強度は異り、3種中にては多摩川砂が最高強度を示して居る。

V. 諸種の一般セメント試験成績

諸種一般セメントの試験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、秩父早強セメント、宇部早強セメント、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 4 3	昭 5 9	昭 7 4	昭 7 2	同 左
川 途	利根川橋工 事用	貯水池, 淨 化装置用	道路試験用	參考試験	同 左
依 頼 者	—	江戸川上水 道町村組合	内務依頼	—	—
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 凝 { 温度 °C	—	21.0	16.0	18.0	
時 分	—	2 18	4 35	1 37	
終 凝 { 温度 °C	—	22.0	16.5	19.0	
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/cm ²	—	—	—	—	抗張力 (b)
水 量 %	7.0	—	6.9	6.8	6.8
3 日 kg/cm ²	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 モルタル耐圧力					耐圧力 (b)
水 量 %	7.0	—	7.2	7.2	7.2
3 日 kg/cm ²	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% 等の種の供試験を作り, 煮沸法試験を行ひたるに, 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, 多くの供試験の中にはかか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帯びて居る.

(b) 本セメントは其粉末頗る細く, 早期強度高く 1:3 モルタルに於て 2 日にして既に抗張力約 31 kg/cm², 耐圧力 304 kg/cm² を發揮し, 早強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	梅島國道改良事務所	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
始發溫度 °C	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
時 分	1 47	1 37	1 37	1 37	1 43
終 結溫度 °C	29.5	29.0	28.5	29.0	29.0
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/cm ²	25.6	22.0	23.6	24.1	25.6
7 日 "	26.6	26.8	28.9	32.6	32.8
28 日 "	—	—	—	—	—
水槽溫度 °C	24~28	同 左	同 左	同 左	同 左
6. 1:3 モルタル耐圧力					
水 量 %	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
3 日 kg/cm ²	378	369	350	363	351
7 日 "	441	431	418	429	432
28 日 "	—	—	—	—	—
水槽溫度 °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

試験番号	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	間 左	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 県
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 凝 温度 度 °C	—	21.0	28.3	—	21.5
終 凝 温度 度 °C	—	21.5	28.3	—	22.3
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/cm ²	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モルタル耐圧力					
水 量 %	7.2	7.1	7.1	7.0	7.2
3 日 kg/cm ²	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	早強セメントに属す.	—	—	—	—

VI. 3種の早強セメント比較試験

昭和10年4月試験せる早強セメント3種の試験成績第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、試験は依頼によるものである。

第 12 表

試 験 番 號	No. 2227	No. 2225	No. 2229
試 料 臺	早強セメント (1)	同 左 (2)	同 左 (3)
1. 比 重	3.12	3.13	3.14
2. 粉末程度 4900 孔/cm ² 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モルタル耐壓強度			
常溫 (18.0~22°C) 養生			
1 日 kg/cm ²	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/cm ²	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表の試験成績によれば、いづれもポルトランド・セメント系の早強セメントであつて、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モルタル耐壓強度は常溫水中養生(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。やゝ低溫(3~5°C)の水中養生に於ては、其の強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日に至れば養生溫度の影響は少くなる。常溫養生の場合の強度を100%として低溫養生の場合の強度を示せば第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

即ち低温養生のものは常温養生のものに比して 2 日までは其の強度は約半分に以下であるが、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) は強度の増進相

類似し、(3) は常温養生に於ては 2 日迄、低温養生に於ては 3 日迄は、強度の増進や遅きものゝ如くである。

然しながら 7 日以上を養生を行ふ場合に於ては 3 種共本試験の範囲内にては大差がない。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。

尚 1:3 モルタルにつき、60% の水量 (セメントに對し) を以て試験したるに其の耐壓強度は第 14 表並に第 15 表の如くであつた。

第 14 表 規格試験用型使用

水温 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/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
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

水温 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/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
No. 2227	104	131	177	246	297
No. 2225	114	164	195	263	336
No. 2229	89	139	175	254	294

即ち水量 60% の場合に於ても、No. 2225 の試料が少しく高き強度を示すほか、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. 土木試験所建築工用セメント試験

本試験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験せるものにして、其の強度其の他の性質は第 16 表~19 表の如くである。

第16表 セメント試験成績

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/cm ² 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/cm ²	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/cm ²	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(損)	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(損)	—	513	428	—
7. 灼熱減量	%	1.07	1.53	2.05	1.90	—

第17表 セメント試験成績

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/cm ² 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/cm ²	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/cm ²	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 セメント試験成績

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/cm ² 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 週強度	kg/cm ²	—	—	—	—	—
1:3 モルタル						
水 量	%	6.6	6.6	6.6	6.6	6.8
3 日	kg/cm ²	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	543
7. 灼 熱 減 量	%	1.03	1.06	0.63	0.83	0.98

第 19 表 セメント試験成績

項 目	試 料	No. 1106	No. 1418	標準規格	備 考
試 驗 年 月		昭 6 12	昭 8 3	—	
1. 比 重		3.13	3.20	>3.05	(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。
2. 4900 孔/cm ² 止り	%	1.42	1.53	<12.0	
3. 凝 結 標準稠度	%	28.0	29.0	—	(b) 1:3 モルタル試験の中、抗張供試體及耐壓供試體は必ずしも同水量にて試験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。
始發温度	°C	19.0	17.0	—	
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					(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、規格の数値よりも遙かに優良の数値を示して居る。
水 量	%	—	—	—	
水槽温度	°C	13.5~14.0	10~12	—	
1 週強度	kg/cm ²	—	—	—	
1:3 モルタル					
水 量	%	6.8	6.7	—	
3 日	kg/cm ²	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増築等の工事に供せられたものである。

VIII. 珪酸白土石灰岩粉分析

試験番號 No. 385, 試料名 珪酸白土の成分第 20 表の如く, 試験番號 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 ₂ O ₃	17.75
Fe ₂ O 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. 潜函中の空氣定性試験

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

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 CO₂, 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。但し本試験は 1 回行ひたるのみであるから、深度の異な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、瓦斯中に幾分の刺激性瓦斯 (例へば酸類) の存在が疑はれる。然しながら周囲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、潜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、又頗る煩瑣で、絶えず進行しつゝある工事上の参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 の定性試験を行ふに止むることとした。

想像し得らるゝ有害瓦斯として、CO₂, H₂S, Cl₂, 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 Cl₂ 定性用); 醋酸鉛紙 (硫化水素 H₂S 定性用), 青色リト

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種の試験紙を、潜函内の空気中及潜函入口の空気中に約1時間放置して見たが、潜函入口の空気中に放置せる試験紙は殆ど變化を認めず、潜函内に放置せる試験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、このものは眼を刺激するが、水を以て洗へば溶解し去られる。試みに潜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 のほかに亞硫酸瓦斯(SO_2)があるが、いずれも酸性であるから、かかる場合には、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。

上記の潜函工事は硫黄性瓦斯發生後、掘り進むに従ひ、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、同じ潜函内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 基礎工事ケイソン内土壤分析

1. 水分その他 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亞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 試験方法	(1)
II 試験結果	(7)

緒 言

砂利路面の交通の破壊力に對する耐力は

- 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

等によつて異な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歩として前記報告¹⁾に掲げた一例に就き施工方法による耐力の比較を略。實際の車輛と其作用の等しい試験機械を用ひて試験せるものである。

I. 試 験 方 法

〔1〕 試験概説

試験は甲種道路試験機¹⁾を用ひ, 試験路面は平均直徑約 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即ち土 12.5, 砂 18.75, 砂利 100 (乾燥重量にて) を用ひ, 含水率を 3 種とし各に就き施工方法を異にせる 2 種に

1) 内務省土木試験所報告第三十三號。

分ち總計6種とし、其上に直徑約1m、重量約1噸の車輪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回轉走行せしめて路面の破壊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。試験は昭和10年12月5日乃至7日に路面を築造し、其後約1ヶ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種に止め總て前同試験¹⁾と同一のものである。

砂利 は40mm以下、主として20mm~5mm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、室内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

試験路面は中心線直徑10.06mの環狀の内外2列の側壁内の一部に設けられ、幅員76.2cm、中心線延長約5.93m、面積約4.52m²で、之を6等分し一區間の中心線延長約0.99m、面積約0.75m²である。兩側各約8cmを除く中央60cm内に8個の試験用車輪が略々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1m、砂利粒度は40mm~5mm、内20mm~5mmのもの64.8%、平均地床示數³⁾12.0 kg/cm³(直徑20cm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5cm計20cmに搗固めたものにして其地床示數は13.8 kg/cm³(直徑20cmの圓形加壓面に據る)である。

(3) 表層概説 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回約130kgの材料を豫め鐵板上にて各材充分一様となるまでショベルにて混合せる後1層厚約4cmのもの2層計8cmとする。

1) 内務省土木試験所報告第三十三號

2) 同上第二十號1~26頁、第二十二號116~121頁

3) 土木試験所報告第二十七號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と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蟄(重量 24.4 kg, 底面直径 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。

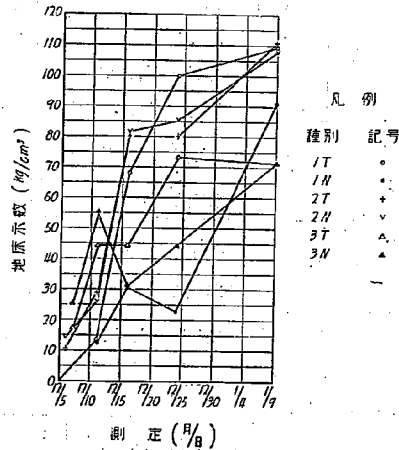
又支持力の参考の爲別に築造と同時に同一材料を用ひ壓縮試験片を造り乾燥後試験路面の試験と略。同時に其壓縮強度を試験した。試験片は直径 10 cm, 高さ 20 cm の圓柱狀とし製作方法は2種とし1はコンクリート壓縮試験標準方法と同様のもの、2は製作に際し單位壓力度 20 kg/cm² に相當する壓力を加へて棒搗を行はなかつた。

表層の支持力は面積 20 cm² (直径約 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) 表層各説 築造の際及其直後に於ける各種表層の性状を一括すれば第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、各種別毎の性状は略、次の如くである。

IT 12月5日午後施工、材料の稠度略、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験片製作に際し加壓 20 kg/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強度 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/cm² 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験施行前日 1月9日には 109.5 kg/cm² に達した。

IN IT 同様同時に施工し少しも搗固めず試験の時まで自然に乾燥せしめた、施工後 20日を経た 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) 土木試験所報告第二十三號 8 頁参照

第 1 表

表層 番 號	表層 種 別	施 工 方 法 大 要	含 水 率 (%)			
			施 工 時		試 験 時	
			全	土	全	土
1	T	上下兩層共ショベルにて均す程度 端にて搗固め難し	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	端にて軽く搗固 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叩き均す	同 上	同 上	4.7	44.8
3	T	端にて強く搗固 下層 410 回 上層 833 回 端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	月 日		12 6	12 7	12 9	12 10	12 11	12 12
		項 目							
1	T	搗固其他の手當經過	極く軽く 1 通搗固	〃 1 通り	軽く 3 通り	〃 3 通り	〃 1) 3 通り	〃 2) 3 通り	
		地床示数 (kg/cm ²)					13.3		
	N	搗固其他の手當經過							
		地床示数 (kg/cm ²)					12.7		
2	T	搗固其他の手當經過		軽く 1 通り	普通に 3 通り	〃 1) 3 通り	〃 1) 3 通り	〃 1) 3 通り	
		地床示数 (kg/cm ²)	10.6				28.8		
	N	搗固其他の手當經過							
		地床示数 (kg/cm ²)	13.8				26.1		
3	T	搗固其他の手當經過			強く 1 通り	撒水 1) 1.9 l/m ²	午前 1.9 l/m ² 撒水 3 通り	普通 2) 3 通り	
		地床示数 (kg/cm ²)		17.5			44.5		
	N	搗固其他の手當經過							
		地床示数 (kg/cm ²)		25.3			55.6		

表 層 性 状

稠 度 (施 工 時)		地床示数 (kg/cm ²) 加圧面積 20 cm ² 円形		圧 縮 強 度 (kg/cm ²) 試 片 寸 法 { 徑 高 10 cm 20 cm		全含水率 (%)	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/cm ² 加圧せしもの		
下層 1.6	129	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
上層 2.1	133						
同 上	同 上	同 上	91.0				施工 同上
下層 0.1	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
上層 0.0	101						
同 上	同 上	13.8	108.0				
下層 0.0	100	17.5	71.5	0.78 1)	1.60 2)	1) 3.0 2) 3.2	施工 12月7日午後
上層 0.0	101						
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通り ³⁾	降雨の爲 湿润		表面乾燥		1) 6日以後表面游離水なかつた が搦固めにより水滲出 2) 搦固め跡残る 3) 搦固器をハネ返す、未だ湿色
		67.9		100.0		109.5	
			降雨の爲 湿润		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 濡れる		表面乾燥		1) 未だ搦固めの跡残る 2) 搦固めの跡残らず 3) 搦固器をハネ返す 4) 搦固めの効果なく却て表面破 損の虞あるにより搦固中止
		80.0		80.0		111.0	
			降雨の爲 外側半分 濡れる		表面乾燥		
		81.6		85.2		108.0	
〃 3) 1通り	午前撒水 1.6 l/m ² 午後3通り	所々乾色 ⁴⁾	降雨の爲 3N に近き 部分濡れる		表面乾燥		1) 表面固過ぎて搦固め悪い爲撒 水 2) 跡残らず 3) 乾燥の爲搦固めにより破損の 虞あり、中止 4) 2Tの4)と同様搦固めにより 表面破損の虞あり、中止
		44.5		73.1		71.5	
	午前撒水 1.6 l/m ²	所々乾色	降雨の爲 終端半分 濡れる		表面乾燥		
		31.3		44.0 37.1D		71.5	1) 霜害を受けたる部分

地床示数も 22.7 kg/cm^3 に過ぎず、1月6日には全表面乾燥し、試験前日の1月9日には地床示数 91.0 kg/cm^3 に激増した。

2T 12月6日午後施工し表面水光りする程度まで軽く搗固め翌日軽く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数 80.0 kg/cm^3 に達し、18日降雨の爲表面半ば濡れたが24日支持力測定の結果は16日同様 80.0 kg/cm^3 を示し、試験前日1月9日には 110.0 kg/cm^3 となり本試験中の最高に達した。壓縮試験の結果を見るに標準方法に據るものは 1.56 kg/cm^2 にして1に比し稍劣るも3に比し遙に勝り、製作の際 20 kg/cm^2 に加壓せるものは 3.33 kg/cm^2 にして築造時含水量のより小なる3に比し2倍に達した。

2N は2Tと同時に同様に施工し其儘自然乾燥により固結するに委した、施工直後の地床示数は 13.76 kg/cm^3 にして其後乾燥と共に増大し常に2Tと殆ど逕庭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/cm^3 に及び其の後は大なる變化なく試験前日の1月9日の値は 108.0 kg/cm^3 にして略等しい。

3T 12月7日午後施工し搗固めを特に強くし直後の地床示数 17.47 kg/cm^3 に達し9日再び搗固めを行つたが却つて表面を破壊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 t/m^2 撒水し11日午後3通り搗固め、地床示数 44.5 kg/cm^3 を得た。其後乾燥温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度に濕潤として搗固め試験前日には 71.5 kg/cm^3 に達した。試験片の乾燥後の壓縮強度は標準方法のもの 0.781 kg/cm^2 、加壓 20 kg/cm^2 のもの 1.603 kg/cm^2 にして共に2より遙に小である。

3N 3T同様同時に施工し完工後は搗固めを行はざる外3T同様に處理し、直後の地床示数 25.33 kg/cm^3 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/cm^3 に達し、以後は増大せず時には却つて減少し、試験前日には 71.5 kg/cm^3 に達して3Tと同等となつた。

〔4〕試験荷重

試験に使用せる車輪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個の内第5(ニウマチック)、第6、第7、第8(ソリッド)の4個を御輪とし、第1、第2(ソリッド)及第3、第4(鐵)の4個は従輪とした。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壊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) 土木試験所報告第三十三號 5, 6 頁

2) 土木試験所報告第十三號 17 頁

第 3 表 試 験 荷 重

1. 輪帯種別 G はソリッド, P はニウマチック, S は鉄輪帯

車輪 番 號	輪 帶 種 別	荷 重 (kg)	圧 力 度		作 用 種 別	通 過 荷 重 (吨)	相當交 通 量 (吨)	備 考
			輪帯幅 1 cm につき (kg/cm ²)	單位面積 につき (kg/cm ²)				
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 験 結 果

〔1〕 試験結果の概説

試験終了後の路面状況は第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、試験開始後 20 分を経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鉄輪帯に對しても殆ど損傷の認むべきも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帯によつても破壊された、從つて特に輪帯の種別に依つて工法の適否の判断の標準を異にする迄の詳細なる試験結果を得るに至らなかつた。本試験の結果による耐力と前述の支持力測定機による地床示数との間には一定の並行關係は存在せざるものゝ如くである。但し搗固めを行つたものゝ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、大勢を豫知することは出来る。コンクリート壓縮試験の標準方法に準じて行つた壓縮試験の結果は、搗固めを行つたものに就いては略、並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。稠度即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ゝ如くである。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様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〕 試験結果の各説

1T 試験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、其地床示数は 109.5 kg/cm³ にして 2T に比し稍、少く第2位である。試験の結果第4鐵輪

徑路の内縁、第 5 ニウマチツク・タイヤの徑路に接する部分に稍、深き輪轍を残し、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状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 路面の試験直前の状況は一見 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/cm^3 にして 1T と甚しき逕庭なく 3T, 3N に比し大であるが試験の結果は明に全種別中最も悪く、全區域に亘り破壊し終り餘力を存する徑路なし、破壊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、遅れしも試験直前には固結乾燥充分となつた。路面は 1 に比し稍、粗鬆の觀を呈した、地床示數は 111.0 kg/cm^3 にして全區域中最大である。試験の結果第 3, 第 4 の鐵輪徑路は破壊し、第 2 徑路は表面弛緩して砂利遊離し始め、第 7, 8 等は未だ破壊の徵候なきも、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 試験前の路面状況は一見 2T と異らず、地床示數の如きも 108.0 kg/cm^3 にして此種の數量としては略、等しいと看做し得る。然るに試験結果は第 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 徑路も破壊し、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。

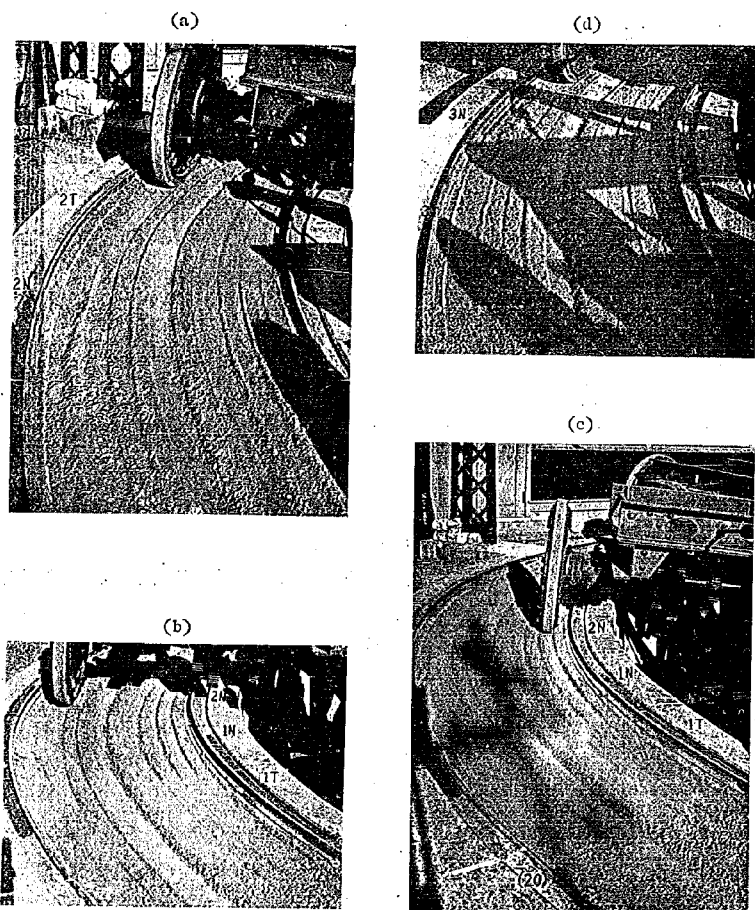
3T 施工當初より充分強く搗固めた爲 2 日後には鐵製搗固器にては搗固めの効果なき程度に固結し、3 日後には尠くとも表面は乾燥過度の觀を呈するに至つた爲數回撒水せしも試験前表面は充分乾燥したが地床示數は 3N と共に試験區域中最小にして 71.5 kg/cm^3 である。試験結果は第 3 位にして搗固めを行つたものゝ内最も悪く、第 3, 第 4 の鐵輪徑路の外第 2 徑路も破壊し、第 1 徑路は表面弛緩し、第 6, 第 7 及第 8 徑路の間隙は稍、隆起した。

3N 路面の大部分は略 3T と同様で地床示數も同じく 71.5 kg/cm^3 であるが、試験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ゝ如くである。試験結果は 2N と略、同様の程度にして稍、之より劣り第 5 位であるが 1N に比しては遙に勝る。破壊徑路も 2N と同様にして唯徑路第 6, 7, 8 間の間隙の隆起の高さ稍、大である。本試験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ゝ如くである。

〔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) 乾燥すれば耐力を増すことは明であるが、併し施工當時より試験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増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ゝ如くである。
- 2) 氣象による乾燥作用のみで本試験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様搗固めたものにして乾燥による含水率の減少 20% に満たぬものに及ばざること遠い。
- 4) 築造の際本試験に用ひた様な搗固めを與へることは耐力を増す上に於て頗る有効である。
- 5) 築造の際強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ゝ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) 本試験に用ひた方法による地床示数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験の標準方法と同様の方法に攪り製作せる壓縮試験片の示す壓縮強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ゝ如くである。
- 11) コンクリートの軟度試験として用ひらるゝスランプ又はフロー・テーブル試験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 試験後の路面状況

迎撃時間 24 分 鍛輪最大通過荷重 76.8 吨
 周上相當交通量 2,495 吨

鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的 並に耐震的設計 (2)

内務技師 大 野 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従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なる處あるも、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 Hawranek¹⁾ 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續き、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、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.

れ、其他の部分に對しては零である。

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

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 (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 $M_{eV} = -P(x'-x'')$

次に不静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 及振りモーメント T は次の様になる。

$$M_H = X_2 - X_3(y-y_e) + M_{OH}, \quad M_V = X_1 + X_3x + M_{OV} \dots\dots\dots (2)$$

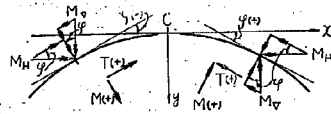
$$M = -M_H \sin \varphi + M_V \cos \varphi, \quad T = M_H \cos \varphi + M_V \sin \varphi \dots\dots\dots (3)$$

故に (2) を (3) に代入すれば、

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

剪断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

$$\left. \begin{aligned} \int_A^B \sin \varphi \cos \varphi \frac{ds}{EI} &= 0, & \int_A^B \{x \cos \varphi + (y-y_e) \sin \varphi\} \cos \varphi \frac{ds}{EI} &= 0, \\ \int_A^B \{x \sin \varphi - (y-y_e) \cos \varphi\} \sin \varphi \frac{ds}{EI} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

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

$$X_1 \int_A^B f(\varphi) d\omega = \int_A^B M_{OH} h(\varphi) d\omega - \int_A^B M_{OV} f(\varphi) d\omega \dots\dots\dots (5)$$

$$\begin{aligned} X_2 \int_A^B g(\varphi) d\omega - X_3 \left[\int_A^B x h(\varphi) d\omega + \int_A^B (y-y_e) g(\varphi) d\omega \right] \\ = - \int_A^B M_{OH} g(\varphi) d\omega + \int_A^B M_{OV} h(\varphi) d\omega \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -X_2 \left[\int_A^B x h(\varphi) dw + \int_A^B (y - y_0) g(\varphi) dw \right] + X_3 \left[\int_A^B x^2 f(\varphi) dw \right. \\
& \quad \left. + 2 \int_A^B x (y - y_0) h(\varphi) dw + \int_A^B (y - y_0)^2 g(\varphi) dw \right] = \int_A^B M_{OH} x h(\varphi) dw \\
& \quad + \int_A^B M_{OH} (y - y_0) g(\varphi) dw - \int_A^B M_{OV} x f(\varphi) dw - \int_A^B M_{OV} (y - y_0) h(\varphi) dw
\end{aligned} \quad (7)$$

茲に

$$\left. \begin{aligned} f(\varphi) &= \cos^2 \varphi + \nu \sin^2 \varphi, & g(\varphi) &= \sin^2 \varphi + \nu \cos^2 \varphi, \\ h(\varphi) &= (1 - \nu) \sin \varphi \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

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

又 G を弾性中心とし、 y_0 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。即ち

$$\begin{aligned}
& \int_A^B x h(\varphi) dw + \int_A^B (y - y_0) g(\varphi) dw = 0 \\
& y_0 = \frac{\int_A^B x h(\varphi) dw + \int_A^B y g(\varphi) dw}{\int_A^B g(\varphi) dw} \quad (10)
\end{aligned}$$

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

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

$$X_3 = \frac{\int_A^B M_{OH} \{x h(\varphi) + (y - y_0) g(\varphi)\} dw - \int_A^B M_{OV} \{x f(\varphi) + (y - y_0) h(\varphi)\} dw}{\int_A^B x^2 f(\varphi) dw + \int_A^B y^2 g(\varphi) dw + 2 \int_A^B x y h(\varphi) dw - y_0^2 \int_A^B g(\varphi) dw} \quad (13)$$

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〕 不静定量の影響線

不静定量の影響線の縦距は (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	$A(f) = \int f(\varphi) d\varphi$	$A(g) = \int g(\varphi) d\varphi$	$A(h) = \int h(\varphi) d\varphi$
x	$G_x(f) = \int x f(\varphi) d\varphi$		$G_x(h) = \int x h(\varphi) d\varphi$
y		$G_y(g) = \int y g(\varphi) d\varphi$	$G_y(h) = \int y h(\varphi) d\varphi$
xy			$I_{xy}(h) = \int xy h(\varphi) d\varphi$
x^2	$I_x(f) = \int x^2 f(\varphi) d\varphi$		
y^2		$I_y(g) = \int y^2 g(\varphi) d\varphi$	

尚 $[A(f)]_A^B$, $[G_x(f)]_A^B$ 等を以て此の定積分を表はすものとすれば、 y_0 及 (11), (12), (13) 式の分母 χ_1 , χ_2 及 χ_3 は次の様になる。

$$y_0 = \frac{[G_y(h) + G_x(g)]_A^B}{[A(g)]_A^B} \quad (14)$$

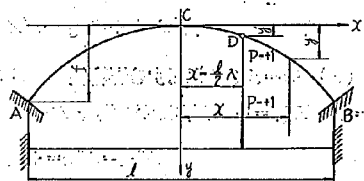
$$\chi_1 = \int_A^B f(\varphi) d\varphi = [A(f)]_A^B \quad (15)$$

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

$$\begin{aligned} \chi_3 &= \int_A^B x^2 f(\varphi) d\varphi + \int_A^B y^2 g(\varphi) d\varphi + 2 \int_A^B xy h(\varphi) d\varphi - y_0^2 \int_A^B g(\varphi) d\varphi \\ &= [I_x(f) + I_y(g) + 2I_{xy}(h) - y_0^2 A(g)]_A^B \quad (17) \end{aligned}$$

不静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 即ち $+x$ の範圍内に就て之を求めれば充分である。

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



第 4 圖

に $P=+1$ が作用する場合には、 $D-B$ 間の部分に対しては

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

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

$$\begin{aligned} & + \int_A^B M_{OH} h(\varphi) dw = +P \left[\int_D^B y h(\varphi) dw - y' \int_D^B h(\varphi) dw \right] \\ & - \int_A^B M_{OV} f(\varphi) dw = +P \left[\int_D^B x f(\varphi) dw - x' \int_D^B f(\varphi) dw \right] \\ & - \int_A^B M_{OH} g(\varphi) dw = -P \left[\int_D^B y g(\varphi) dw - y' \int_D^B g(\varphi) dw \right] \\ & + \int_A^B M_{OV} h(\varphi) dw = -P \left[\int_D^B x h(\varphi) dw - x' \int_D^B h(\varphi) dw \right] \\ & + \int_A^B M_{OH} x h(\varphi) dw = +P \left[\int_D^B x y h(\varphi) dw - y' \int_D^B x h(\varphi) dw \right] \\ & + \int_A^B M_{OH} y g(\varphi) dw = +P \left[\int_D^B y^2 g(\varphi) dw - y' \int_D^B y g(\varphi) dw \right] \\ & - \int_A^B M_{OH} y g(\varphi) dw = -P \left[y_c \int_D^B y g(\varphi) dw - y_c y' \int_D^B g(\varphi) dw \right] \\ & - \int_A^B M_{OV} x f(\varphi) dw = +P \left[\int_D^B x^2 f(\varphi) dw - x' \int_D^B x f(\varphi) dw \right] \\ & - \int_A^B M_{OV} y h(\varphi) dw = +P \left[\int_D^B x y h(\varphi) dw - x' \int_D^B y h(\varphi) dw \right] \\ & + \int_A^B M_{OV} y_c h(\varphi) dw = -P \left[y_c \int_D^B x h(\varphi) dw - y_c x' \int_D^B h(\varphi) dw \right] \end{aligned}$$

故に不静定量の影響線縦距は次の様になる。

$$X_1 = \frac{1}{x_1} [G_y(f) + G_x(h) - x' A(f) - y' A(h)]_D^B \dots\dots\dots (18)$$

$$X_2 = -\frac{1}{x_2} [G_y(h) + G_x(g) - x' A(h) - y' A(g)]_D^B \dots\dots\dots (19)$$

$$\begin{aligned} X_3 = & \frac{1}{x_3} [I_y(f) + I_x(g) + 2I_{xy}(h) - x' \{G_y(f) + G_x(h)\} - y' \{G_y(h) + G_x(g)\} \\ & - y_c \{G_y(h) + G_x(g) - x' A(h) - y' A(g)\}]_D^B \dots\dots\dots (20) \end{aligned}$$

(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

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

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

する場合の影響線縦距は次の様になる。

$$X_1 = \frac{1}{X_1} [A(h)]_D^B \dots\dots\dots (21)$$

$$X_2 = -\frac{1}{X_2} [A(g)]_D^B \dots\dots\dots (22)$$

$$X_3 = \frac{1}{X_3} [G_y(h) + G_x(g) - y_0 A(g)]_D^B \dots\dots\dots (23)$$

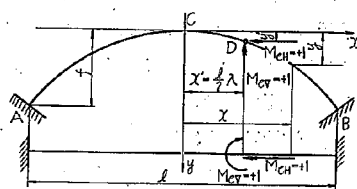
又鉛直軸の周りのモーメントが作用する

場合の影響線縦距は次の様になる。

$$X_1 = -\frac{1}{X_1} [A(f)]_D^B \dots\dots\dots (24)$$

$$X_2 = \frac{1}{X_2} [A(h)]_D^B \dots\dots\dots (25)$$

$$X_3 = -\frac{1}{X_3} [G_y(f) + G_x(h) - y_0 A(h)]_D^B \dots\dots\dots (26)$$



第 5 圖

III. 拱軸線及断面の變化

(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 次の拋物線の組合せを以て表はし得る。即ち f を拱矢、 a を拱軸の係数とすれば

$$y = f \{ a\xi^2 + (1-a)\xi^4 \} \dots\dots (27)$$

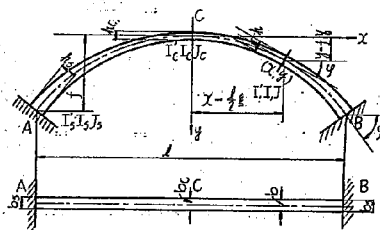
$$\tan \varphi = 2m \{ a\xi + 2(1-a)\xi^3 \} \dots\dots (28)$$

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

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

(2) 断面の變化

第 6 圖の如く (x, y) に於ける断面の幅を b 、高を h 、 x 軸に對する慣性モーメントを I 、 y 軸に對する慣性モーメントを I' 、捩り係数を J とする。 I' に就て



第 6 圖

1) 土木試験所報告第 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。

$$I' = \frac{I_e' \sec \varphi}{1 - \beta_1 \xi^2} \dots \dots \dots (a)$$

故に I' が h^3 に比例するものとすれば、

$$h = \sqrt[3]{\frac{\sec \varphi}{1 - \beta_1 \xi^2}} h_e \dots \dots \dots (b)$$

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 に置換し得る様に (29), (30) の假定を用ふることをした。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

$$I = \frac{I_e \cos \varphi}{1 - \beta_2 \xi^2} \dots \dots \dots (29)$$

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増大するも、高 h の増大に比して僅少である。従て 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_e, 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様に定めれば實用上差支ない程度の近似性が得られる。

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

$$I = \frac{I_e \cos \varphi}{1 - \beta_2 \xi^2} \dots \dots \dots (29')$$

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、 $I = h b^3 / 12$ 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々一致する様に 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. Bach²⁾ によれば、

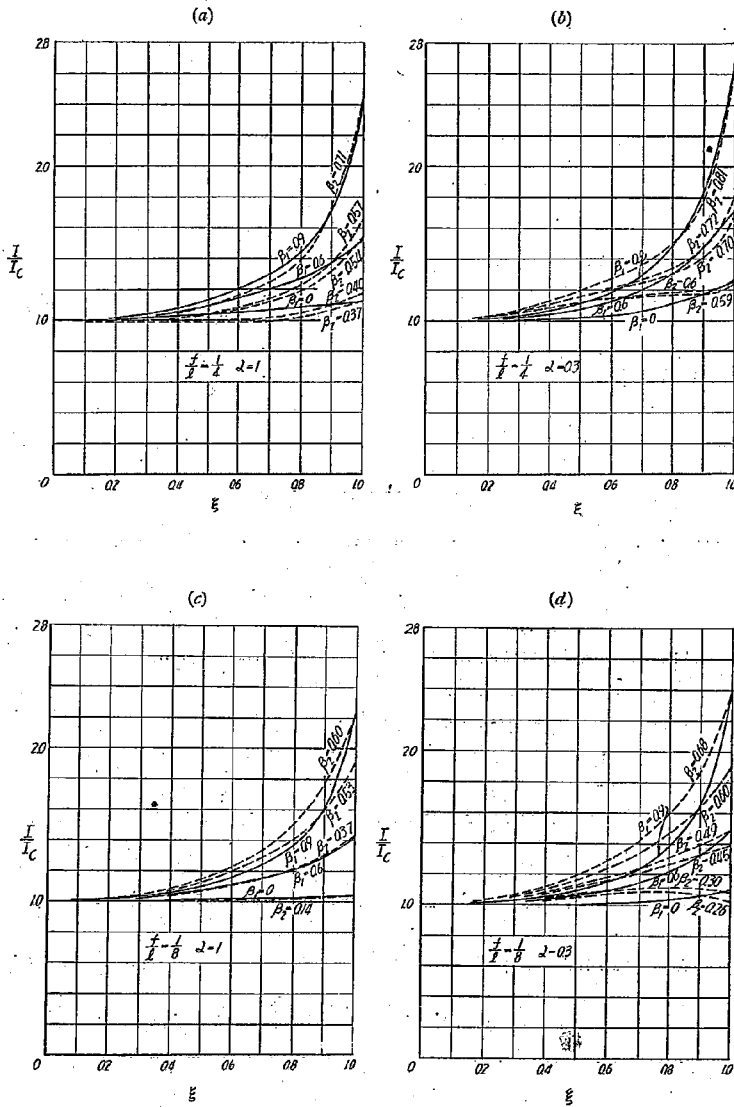
$$J = \frac{\delta^3 h^3}{\psi_0 (\delta^2 + h^2)} \quad h/b = 1, \quad 2, \quad 3$$

$$\psi_0 = 3.645 - 0.06 \frac{h}{\delta} \quad (h \geq \delta) \quad \psi_0 = 3.585 \quad 3.525 \quad 3.465$$

1) 土木試験所報告第 28 號 p. 132.

2) C. Bach—Dentscher Ausschuss für Eisenbeton H. 12.

„ —Elastizität u. Festigkeit.



故に ϕ_0 は殆ど定数と考へられ、又 $I = \frac{1}{12} b^3 h$ なるものとすれば

$$\nu = \frac{EI}{GJ} = \frac{E\phi_0}{12G} \left(1 + \frac{b_c^2}{h_c^2} \right) \left\{ 1 - \frac{\left(\frac{b_c^2}{h_c^2} - \frac{b^2}{h^2} \right)}{\left(1 + \frac{b_c^2}{h_c^2} \right)} \right\}$$

故に $\nu_c, \delta_2, \varepsilon$ を適當に定めれば

$$\nu = \nu_c (1 - \delta_2 \varepsilon^2) \dots \dots \dots (30)$$

を用ひられ、又通常の肋拱に於ては、

$$\nu = \nu_c (1 - \delta_2 \varepsilon^2) \dots \dots \dots (30')$$

を以て表すことが出来る。

尙 ν の計算に於て $E = 280,000 \text{ kg/cm}^2$, $G = 140,000 \text{ kg/cm}^2$ とし、 $\phi_0 = 3.6$ とすれば、 $\frac{E\phi_0}{12G} = 0.6$ である。

IV. 不静定量の影響線

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

$$\tan \varphi = 2m \{ a\xi + 2(1-a)\xi^3 \}, \quad dw = \frac{ds}{I} = \frac{K(1-\beta_2 \xi^2)}{2I_c \cos^2 \varphi} d\xi$$

故に不静定量の影響線の計算に必要な第1表の式は次の様になる。

1) (29), (30) を用いた一般式は次の如し。

$$\begin{aligned} A(f) = \frac{l}{2I_c} & \left[\left(\xi - \frac{\beta_2}{\gamma+1} \xi^{\gamma+1} \right) + 4m^2 \nu_c \left\{ \frac{a^2}{3} \xi^3 + \frac{4a(1-a)}{5} \xi^5 + \frac{4(1-a)^2}{7} \xi^7 \right\} \right. \\ & - 4m^2 \nu_c \beta_2 \left\{ \frac{a^2}{\gamma+3} \xi^{\gamma+3} + \frac{4a(1-a)}{\gamma+5} \xi^{\gamma+5} + \frac{4(1-a)^2}{\gamma+7} \xi^{\gamma+7} \right\} \\ & - 4m^2 \nu_c \delta_2 \left\{ \frac{a^2}{\varepsilon+3} \xi^{\varepsilon+3} + \frac{4a(1-a)}{\varepsilon+5} \xi^{\varepsilon+5} + \frac{4(1-a)^2}{\varepsilon+7} \xi^{\varepsilon+7} \right\} \\ & \left. + 4m^2 \nu_c \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{a^2}{\gamma+\varepsilon+3} \xi^{\gamma+\varepsilon+3} + \frac{4a(1-a)}{\gamma+\varepsilon+5} \xi^{\gamma+\varepsilon+5} + \frac{4(1-a)^2}{\gamma+\varepsilon+7} \xi^{\gamma+\varepsilon+7} \right\} \right] \dots \dots (31') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(g) = \frac{l}{2I_c} & \left[4m^2 \left\{ \frac{a^2}{3} \xi^3 + \frac{4a(1-a)}{5} \xi^5 + \frac{4(1-a)^2}{7} \xi^7 \right\} - 4m^2 \beta_2 \left\{ \frac{a^2}{\gamma+3} \xi^{\gamma+3} + \frac{4a(1-a)}{\gamma+5} \xi^{\gamma+5} \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{4(1-a)^2}{\gamma+7} \xi^{\gamma+7} \right\} + \nu_c \xi - \nu_c \frac{\beta_2}{\gamma+1} \xi^{\gamma+1} - \nu_c \frac{\delta_2}{\varepsilon+1} \xi^{\varepsilon+1} + \nu_c \frac{\beta_2 \delta_2}{\gamma+\varepsilon+1} \xi^{\gamma+\varepsilon+1} \right] \dots (32') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(h) = \frac{2f}{I_c} & \left[(1-\nu_c) \left\{ \frac{a}{2} \xi^2 + \frac{2(1-a)}{4} \xi^4 \right\} - (1-\nu_c) \beta_2 \left\{ \frac{a}{\gamma+2} \xi^{\gamma+2} + \frac{2(1-a)}{\gamma+4} \xi^{\gamma+4} \right\} \right. \\ & \left. + \nu_c \delta_2 \left\{ \frac{a}{\varepsilon+2} \xi^{\varepsilon+2} + \frac{2(1-a)}{\varepsilon+4} \xi^{\varepsilon+4} \right\} - \nu_c \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{a}{\gamma+\varepsilon+2} \xi^{\gamma+\varepsilon+2} + \frac{2(1-a)}{\gamma+\varepsilon+4} \xi^{\gamma+\varepsilon+4} \right\} \right] \dots \dots (33') \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$G_v(f) = \frac{l^2}{4I_c} \left[\left(\frac{1}{2} \xi^2 - \frac{\beta_2}{r+2} \xi^{r+2} \right) + 4m^2 \nu_c \left\{ \frac{a^2}{4} \xi^4 + \frac{4a(1-a)}{6} \xi^6 + \frac{4(1-a)^2}{8} \xi^8 \right\} \right. \\ \left. - 4m^2 \nu_c \beta_2 \left\{ \frac{a^2}{r+4} \xi^{r+4} + \frac{4a(1-a)}{r+6} \xi^{r+6} + \frac{4(1-a)^2}{r+8} \xi^{r+8} \right\} \right. \\ \left. - 4m^2 \nu_c \delta_2 \left\{ \frac{a^2}{\varepsilon+4} \xi^{\varepsilon+4} + \frac{4a(1-a)}{\varepsilon+6} \xi^{\varepsilon+6} + \frac{4(1-a)^2}{\varepsilon+8} \xi^{\varepsilon+8} \right\} \right. \\ \left. - 4m^2 \nu_c \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{a^2}{r+\varepsilon+4} \xi^{r+\varepsilon+4} + \frac{4a(1-a)}{r+\varepsilon+6} \xi^{r+\varepsilon+6} + \frac{4(1-a)^2}{r+\varepsilon+8} \xi^{r+\varepsilon+8} \right\} \right] \dots\dots\dots (34')$$

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

$$G_v(h) = \frac{fl}{I_c} \left[(1-\nu_c) \left\{ \frac{a}{3} \xi^3 + \frac{2(1-a)}{5} \xi^5 \right\} - (1-\nu_c) \beta_2 \left\{ \frac{a}{r+3} \xi^{r+3} + \frac{2(1-a)}{r+5} \xi^{r+5} \right\} \right. \\ \left. + \nu_c \delta_2 \left\{ \frac{a}{\varepsilon+3} \xi^{\varepsilon+3} + \frac{2(1-a)}{\varepsilon+5} \xi^{\varepsilon+5} \right\} - \nu_c \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{a}{r+\varepsilon+3} \xi^{r+\varepsilon+3} + \frac{2(1-a)}{r+\varepsilon+5} \xi^{r+\varepsilon+5} \right\} \right] \dots\dots\dots (36')$$

$$\begin{aligned}
 G_x(g) = \frac{fL}{2I_c} & \left[4m^2 \left\{ \frac{1}{5} a^3 \xi^6 + \frac{5}{7} a^2 (1-a) \xi^7 + \frac{8}{9} a (1-a)^2 \xi^8 + \frac{4}{11} (1-a)^3 \xi^{11} \right\} \right. \\
 & - 4m^2 \beta_2 \left\{ \frac{1}{7} a^3 \xi^7 + \frac{5}{9} a^2 (1-a) \xi^8 + \frac{8}{11} a (1-a)^2 \xi^{11} + \frac{4}{13} (1-a)^3 \xi^{13} \right\} + \nu_e \left\{ \frac{1}{3} a \xi^3 \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{5} (1-a) \xi^5 \right\} - \nu_e (\beta_2 + \delta_2) \left\{ \frac{1}{5} a \xi^5 + \frac{1}{7} (1-a) \xi^7 \right\} + \nu_e \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{1}{7} a \xi^7 + \frac{1}{9} (1-a) \xi^9 \right\} \right] \dots\dots\dots (35)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G_y(h) = \frac{fL}{I_c} & \left[(1-\nu_e) \left\{ \frac{1}{3} a \xi^3 + \frac{2}{5} (1-a) \xi^5 \right\} - \left\{ \beta_2 - \nu_e (\beta_2 + \delta_2) \right\} \left\{ \frac{1}{5} a \xi^5 + \frac{2}{7} (1-a) \xi^7 \right\} \right. \\
 & \left. - \nu_e \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{1}{7} a \xi^7 + \frac{2}{9} (1-a) \xi^9 \right\} \right] \dots\dots\dots (36)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G_x(h) = \frac{2fL^2}{I_c} & \left[(1-\nu_e) \left\{ \frac{1}{4} a^2 \xi^4 + \frac{3}{6} a (1-a) \xi^6 + \frac{2}{8} (1-a)^2 \xi^8 \right\} \right. \\
 & - \left\{ \beta_2 - \nu_e (\beta_2 + \delta_2) \right\} \left\{ \frac{1}{6} a^2 \xi^6 + \frac{3}{8} a (1-a) \xi^8 + \frac{2}{10} (1-a)^2 \xi^{10} \right\} \\
 & \left. - \nu_e \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{1}{8} a^2 \xi^8 + \frac{3}{10} a (1-a) \xi^{10} + \frac{2}{12} (1-a)^2 \xi^{12} \right\} \right] \dots\dots\dots (37)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_y(f) = \frac{f^3}{8I_c} & \left[\left(\frac{1}{3} \xi^3 - \frac{1}{5} \beta_2 \xi^5 \right) + 4m^2 \nu_e \left\{ \frac{1}{5} a^2 \xi^5 + \frac{4}{7} a (1-a) \xi^7 + \frac{4}{9} (1-a)^2 \xi^9 \right\} \right. \\
 & - 4m^2 \nu_e (\beta_2 + \delta_2) \left\{ \frac{1}{7} a^2 \xi^7 + \frac{4}{9} a (1-a) \xi^9 + \frac{4}{11} (1-a)^2 \xi^{11} \right\} \\
 & \left. + 4m^2 \nu_e \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{1}{9} a^2 \xi^9 + \frac{4}{11} a (1-a) \xi^{11} + \frac{4}{13} (1-a)^2 \xi^{13} \right\} \right] \dots\dots\dots (38)
 \end{aligned}$$

$$I_x(g) = \frac{f^2 L}{2I_c} \left[4m^3 \left\{ \frac{1}{7} a^4 \xi^7 + \frac{6}{9} a^3 (1-a) \xi^9 + \frac{13}{11} a^2 (1-a)^2 \xi^{11} + \frac{12}{13} a (1-a)^3 \xi^{13} \right\} \right]$$

$$\begin{aligned}
 G_x(h) = \frac{2fL^2}{I_c} & \left[(1-\nu_e) \left\{ \frac{a^2}{4} \xi^4 + \frac{3a(1-a)}{6} \xi^6 + \frac{2(1-a)^2}{8} \xi^8 \right\} - (1-\nu_e) \beta_2 \left\{ \frac{a^2}{7+4} \xi^{7+4} + \frac{3a(1-a)}{7+6} \xi^{7+6} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{2(1-a)^2}{7+8} \xi^{7+8} \right\} + \nu_e \delta_2 \left\{ \frac{a^2}{\varepsilon+4} \xi^{\varepsilon+4} + \frac{3a(1-a)}{\varepsilon+6} \xi^{\varepsilon+6} + \frac{2(1-a)^2}{\varepsilon+8} \xi^{\varepsilon+8} \right\} \right. \\
 & \left. - \nu_e \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{a^2}{7+\varepsilon+4} \xi^{7+\varepsilon+4} + \frac{3a(1-a)}{7+\varepsilon+6} \xi^{7+\varepsilon+6} + \frac{2(1-a)^2}{7+\varepsilon+8} \xi^{7+\varepsilon+8} \right\} \right] \dots\dots\dots (37')
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_y(f) = \frac{f^3}{8I_c} & \left[\left(\frac{1}{3} \xi^3 - \frac{\beta_2}{7+3} \xi^{7+3} \right) + 4m^2 \nu_e \left\{ \frac{a^2}{5} \xi^5 + \frac{4a(1-a)}{7} \xi^7 + \frac{4(1-a)^2}{9} \xi^9 \right\} \right. \\
 & - 4m^2 \nu_e \beta_2 \left\{ \frac{a^2}{7+5} \xi^{7+5} + \frac{4a(1-a)}{7+7} \xi^{7+7} + \frac{4(1-a)^2}{7+9} \xi^{7+9} \right\} \\
 & - 4m^2 \nu_e \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{a^2}{\varepsilon+5} \xi^{\varepsilon+5} + \frac{4a(1-a)}{\varepsilon+7} \xi^{\varepsilon+7} + \frac{4(1-a)^2}{\varepsilon+9} \xi^{\varepsilon+9} \right\} \\
 & \left. + 4m^2 \nu_e \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{a^2}{7+\varepsilon+5} \xi^{7+\varepsilon+5} + \frac{4a(1-a)}{7+\varepsilon+7} \xi^{7+\varepsilon+7} + \frac{4(1-a)^2}{7+\varepsilon+9} \xi^{7+\varepsilon+9} \right\} \right] \dots\dots\dots (38')
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{4}{15}(1-a)^4 \xi^{15} \Big\} - 4m^2 \beta_2 \Big\{ \frac{1}{9} a^4 \xi^9 + \frac{6}{11} a^3 (1-a) \xi^{11} + \frac{13}{13} a^2 (1-a)^2 \xi^{13} + \frac{12}{15} a (1-a)^3 \xi^{15} \\
 & + \frac{4}{17} (1-a)^4 \xi^{17} \Big\} + \nu_c \Big\{ \frac{1}{5} a^2 \xi^5 + \frac{2}{7} a (1-a) \xi^7 + \frac{1}{9} (1-a)^2 \xi^9 \Big\} - \nu_c (\beta_2 + \delta_2) \Big\{ \frac{1}{7} a^2 \xi^7 \\
 & + \frac{2}{9} a (1-a) \xi^9 + \frac{1}{11} (1-a)^2 \xi^{11} \Big\} + \nu_c \beta_2 \delta_2 \Big\{ \frac{1}{9} a^2 \xi^9 + \frac{2}{11} a (1-a) \xi^{11} + \frac{1}{13} (1-a)^2 \xi^{13} \Big\} \\
 & \dots\dots\dots (39)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{xy}(h) = \frac{f^2 l}{I_c} & \Big[(1-\nu_c) \Big\{ \frac{1}{5} a^2 \xi^5 + \frac{3}{7} a (1-a) \xi^7 + \frac{2}{9} (1-a)^2 \xi^9 \Big\} \\
 & - \Big\{ \beta_2 - \nu_c (\beta_2 + \delta_2) \Big\} \Big\{ \frac{1}{7} a^2 \xi^7 + \frac{3}{9} (1-a) \xi^9 + \frac{2}{11} (1-a)^2 \xi^{11} \Big\} \\
 & - \nu_c \beta_2 \delta_2 \Big\{ \frac{1}{9} a^2 \xi^9 + \frac{3}{11} a (1-a) \xi^{11} + \frac{2}{13} (1-a)^2 \xi^{13} \Big\} \Big] \dots\dots\dots (40)
 \end{aligned}$$

之等の函数は總て $\xi=0$ に於て 0 となり、影響綫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、即ち $\xi=\lambda$ より $\xi=1$ 迄である。

既述の如く X_1 の影響綫は對稱にして、 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 のみ残る。故に通常の計算には X_1 の影響綫を知らば足る。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 (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。

$$\begin{aligned}
 I_x(g) = \frac{f^2 l}{2 I_c} & \Big[4 m^2 \Big\{ \frac{a^4}{7} \xi^7 + \frac{6 a^3 (1-a)}{9} \xi^9 + \frac{13 a^2 (1-a)^2}{11} \xi^{11} + \frac{12 a (1-a)^3}{13} \xi^{13} + \frac{4 (1-a)^4}{15} \xi^{15} \Big\} \\
 & - 4 m^2 \beta_2 \Big\{ \frac{a^4}{7} \xi^7 + \frac{6 a^3 (1-a)}{9} \xi^9 + \frac{13 a^2 (1-a)^2}{11} \xi^{11} + \frac{12 a (1-a)^3}{13} \xi^{13} \\
 & + \frac{4 (1-a)^4}{15} \xi^{15} \Big\} + \nu_c \Big\{ \frac{a^2}{5} \xi^5 + \frac{2 a (1-a)}{7} \xi^7 + \frac{(1-a)^2}{9} \xi^9 \Big\} - \nu_c \beta_2 \Big\{ \frac{a^2}{7} \xi^7 + \frac{2 a (1-a)}{9} \xi^9 \\
 & + \frac{(1-a)^2}{11} \xi^{11} \Big\} - \nu_c \beta_2 \delta_2 \Big\{ \frac{a^2}{9} \xi^9 + \frac{2 a (1-a)}{11} \xi^{11} + \frac{(1-a)^2}{13} \xi^{13} \Big\} \\
 & + \nu_c \beta_2 \delta_2 \Big\{ \frac{a^2}{9} \xi^9 + \frac{2 a (1-a)}{11} \xi^{11} + \frac{(1-a)^2}{13} \xi^{13} \Big\} \Big] \dots\dots\dots (39')
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{xy}(h) = \frac{f^2 l}{I_c} & \Big[(1-\nu_c) \Big\{ \frac{a^2}{5} \xi^5 + \frac{3 a (1-a)}{7} \xi^7 + \frac{2 (1-a)^2}{9} \xi^9 \Big\} - (1-\nu_c) \beta_2 \Big\{ \frac{a^2}{7} \xi^7 + \frac{3 a (1-a)}{9} \xi^9 \\
 & + \frac{2 (1-a)^2}{11} \xi^{11} \Big\} + \nu_c \beta_2 \Big\{ \frac{a^2}{9} \xi^9 + \frac{3 a (1-a)}{11} \xi^{11} + \frac{2 (1-a)^2}{13} \xi^{13} \Big\} \\
 & - \nu_c \beta_2 \delta_2 \Big\{ \frac{a^2}{9} \xi^9 + \frac{3 a (1-a)}{11} \xi^{11} + \frac{2 (1-a)^2}{13} \xi^{13} \Big\} \Big] \dots\dots\dots (40')
 \end{aligned}$$

第 2 表

$$\begin{aligned}
 A(f) = & \frac{l}{2I_0} \left[\left(\xi - \frac{1}{3}\beta_2\xi^3 \right) + 4m^2\nu_0 \left\{ \frac{1}{3}a^2\xi^3 + \frac{4}{5}a(1-a)\xi^5 + \frac{4}{7}(1-a)^2\xi^7 \right\} \right. \\
 & - 4m^2\nu_0(\beta_2 + \delta_2) \left\{ \frac{1}{5}a^2\xi^5 + \frac{4}{7}a(1-a)\xi^7 + \frac{4}{9}(1-a)^2\xi^9 \right\} \\
 & \left. + 4m^2\nu_0\beta_2\delta_2 \left\{ \frac{1}{7}a^2\xi^7 + \frac{4}{9}a(1-a)\xi^9 + \frac{4}{11}(1-a)^2\xi^{11} \right\} \right] \\
 = & \frac{l}{2I_0} \left[\xi - \beta_2\frac{1}{3}\xi^3 + 4m^2\nu_0K_1 - 4m^2\nu_0(\beta_2 + \delta_2)K_2 + 4m^2\nu_0\beta_2\delta_2K_3 \right]
 \end{aligned}$$

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		0	0	0
	0.1		0.00027	0.00000	0.00000
	0.2		0.00218	0.00005	"
	0.3	同	0.00747	0.00051	0.00003
	0.4		0.01803	0.00174	0.00020
	0.5		0.03605	0.00547	0.00098
	0.6	上	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		0	0	0
	0.1		0.00021	0.00000	0.00000
	0.2		0.00175	0.00004	"
	0.3	同	0.00608	0.00033	0.00002
	0.4		0.01500	0.00147	0.00017
	0.5		0.03085	0.00475	0.00086
	0.6	上	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	$\frac{1}{35^3}$	K_1	K_2	K_3
0.7	0	同 上	0	0	0
	0.1		0.00017	0.00000	0.00000
	0.2		0.00136	0.00003	#
	0.3		0.00483	0.00027	0.00002
	0.4		0.01226	0.00121	0.00014
	0.5		0.02607	0.00408	0.00075
	0.6		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	同 上	0	0	0
	0.1		0.00012	0.00000	0.00000
	0.2		0.00102	0.00002	#
	0.3		0.00373	0.00021	0.00001
	0.4		0.00980	0.00098	0.00011
	0.5		0.02171	0.00346	0.00064
	0.6		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	同 上	0	0	0
	0.1		0.00009	0.00000	0.00000
	0.2		0.00073	0.00002	#
	0.3		0.00277	0.00016	0.00001
	0.4		0.00762	0.00078	0.00009
	0.5		0.01778	0.00290	0.00051
	0.6		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	同 上	0	0	0
	0.1		0.00006	0.00000	0.00000
	0.2		0.00049	0.00001	#
	0.3		0.00195	0.00011	0.00001
	0.4		0.00572	0.00060	0.00007
	0.5		0.01427	0.00238	0.00045
	0.6		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		0	0	0
	0.1		0.00003	0.00000	0.00000
	0.2		0.00030	0.00001	"
	0.3	同	0.00128	0.00007	0.00001
	0.4		0.00410	0.00044	0.00005
	0.5	上	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

$$\begin{aligned}
 A(h) &= \frac{2f}{f_c} \left[(1-\nu_e) \left\{ \frac{1}{2} a \xi^3 + \frac{2}{4} (1-a) \xi^4 \right\} - \left\{ \beta_2 - \nu_e (\beta_2 + \delta_2) \right\} \left\{ \frac{1}{4} a \xi^4 + \frac{2}{6} (1-a) \xi^6 \right\} \right. \\
 &\quad \left. - \nu_e \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{1}{6} a \xi^6 + \frac{2}{8} (1-a) \xi^8 \right\} \right] \\
 &= \frac{l}{2I_c} 2m \left[(1-\nu_e) K_4 - \left\{ \beta_2 - \nu_e (\beta_2 + \delta_2) \right\} K_5 - \nu_e \beta_2 \delta_2 K_6 \right]
 \end{aligned}$$

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
0.6	0	0	0	0	0.4	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
	0.5	0.08750	0.01146	0.00195		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
0.5	0	0	0	0	0.3	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	0.07813	0.01042	0.00179		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

$$\begin{aligned}
 G_p(f) &= \frac{f^2}{4I_c} \left[\left(\frac{1}{2} \xi^2 - \frac{1}{4} \beta_2 \xi^4 \right) + 4m^2 \nu_c \left\{ \frac{1}{4} a^2 \xi^4 + \frac{4}{6} a(1-a) \xi^6 + \frac{4}{8} (1-a)^2 \xi^8 \right\} \right. \\
 &\quad \left. - 4m^2 \nu_c (\beta_2 + \delta_2) \left\{ \frac{1}{6} a^2 \xi^6 + \frac{4}{8} a(1-a) \xi^8 + \frac{4}{10} (1-a)^2 \xi^{10} \right\} \right. \\
 &\quad \left. + 4m^2 \nu_c \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{1}{8} a^2 \xi^8 + \frac{4}{10} a(1-a) \xi^{10} + \frac{4}{12} (1-a)^2 \xi^{12} \right\} \right] \\
 &= \frac{f^2}{4I_c} \left[\frac{1}{2} \xi^2 - \beta_2 \frac{1}{4} \xi^4 + 4m^2 \nu_c K_7 - 4m^2 \nu_c (\beta_2 + \delta_2) K_8 + 4m^2 \nu_c \beta_2 \delta_2 K_9 \right]
 \end{aligned}$$

α	ξ	$\frac{1}{2} \xi^2$	$\frac{1}{4} \xi^4$	K_7	K_8	K_9
1.0	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
	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	$\frac{1}{2}\xi^3$	$\frac{1}{4}\xi^4$	K_7	K_8	K_9
0.9	0			0	0	0
	0.1			0.00002	0.00000	0.00000
	0.2			0.00033	0.00001	"
	0.3	同	同	0.00168	0.00010	0.00001
	0.4			0.00543	0.00058	0.00007
	0.5			0.01361	0.00229	0.00043
	0.6	上	上	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			0	0	0
	0.1			0.00002	0.00000	0.00000
	0.2			0.00026	0.00001	"
	0.3	同	同	0.00138	0.00008	0.00001
	0.4			0.00455	0.00049	0.00006
	0.5			0.01175	0.00200	0.00038
	0.6	上	上	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			0	0	0
	0.1			0.00001	0.00000	0.00000
	0.2			0.00020	0.00001	"
	0.3	同	同	0.00110	0.00007	0.00001
	0.4			0.00374	0.00041	0.00005
	0.5			0.01002	0.00172	0.00033
	0.6	上	上	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			0	0	0
	0.1			0.00001	0.00000	0.00000
	0.2			0.00015	"	"
	0.3	同	同	0.00085	0.00005	"
	0.4			0.00301	0.00033	0.00004
	0.5			0.00844	0.00147	0.00028
	0.6	上	上	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	$\frac{1}{2}\xi^2$	$\frac{1}{6}\xi^3$	K_7	K_8	K_9
0.5	0			0	0	0
	0.1			0.00001	0.00000	0.00000
	0.2			0.00011	"	"
	0.3	同	同	0.00064	0.00004	"
	0.4			0.00237	0.00026	0.00003
	0.5			0.00700	0.00124	0.00024
	0.6	上	上	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			0	0	0
	0.1			0.00000	0.00000	0.00000
	0.2			0.00007	"	"
	0.3	同	同	0.00045	0.00003	"
	0.4			0.00180	0.00020	0.00003
	0.5			0.00571	0.00103	0.00020
	0.6	上	上	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			0	0	0
	0.1			0.00000	0.00000	0.00000
	0.2			0.00004	"	"
	0.3	同	同	0.00030	0.00002	"
	0.4			0.00131	0.00015	0.00002
	0.5			0.00455	0.00085	0.00017
	0.6	上	上	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

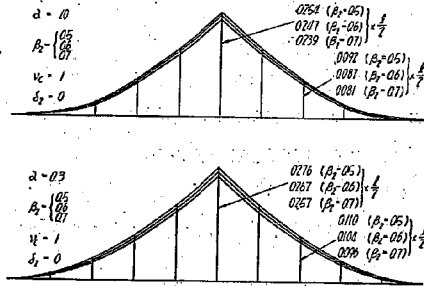
第 5 表

$$\begin{aligned}
 G_x(h) = & \frac{2f^2}{I_c} \left[(1-\nu_c) \left\{ \frac{1}{4} a^2 \xi^4 + \frac{3}{6} a(1-a) \xi^5 + \frac{2}{8} (1-a)^2 \xi^6 \right\} \right. \\
 & - \left\{ \beta_2 - \nu_c(\beta_2 + \delta_2) \right\} \left\{ \frac{1}{6} a^2 \xi^5 + \frac{3}{8} a(1-a) \xi^6 + \frac{2}{10} (1-a)^2 \xi^{10} \right\} \\
 & \left. - \nu_c \beta_2 \delta_2 \left\{ \frac{1}{8} a^2 \xi^5 + \frac{3}{10} a(1-a) \xi^{10} + \frac{2}{12} (1-a)^2 \xi^{12} \right\} \right] \\
 = & \frac{f^2}{4I_c} 2m^2 \left[(1-\nu_c) K_{10} - \{ \beta_2 - \nu_c(\beta_2 + \delta_2) \} K_{11} - \nu_c \beta_2 \delta_2 K_{12} \right]
 \end{aligned}$$

a	ξ	K_{10}	K_{11}	K_{12}	a	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}
0.4	0	0	0	0	0.3	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
	0.5	0.00473	0.00084	0.00016		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、 $f/l=1/4$, $a=1.0$
 及び 0.3, $\nu_0=1$, $\beta_2=0.5, 0.6$ 及 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

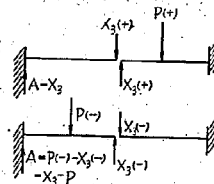
V. 反力及モーメント

〔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 ($\bullet$) 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。

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

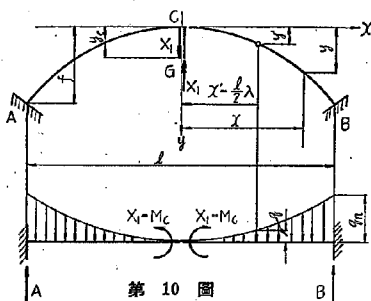
又各断面に於けるモーメントは (2) (3) 式に依て計算せら
 れる。



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



$$\begin{aligned}
 X_1 = M_c = & \frac{1}{\chi_1 l_c} \cdot \frac{q_n l}{(n+1)} \\
 & \times \left[\begin{aligned}
 & + \frac{l^2}{4} \cdot \frac{1}{(n+2)} \left\{ \frac{1}{(n+3)} - \frac{\beta_2}{(n+5)} \right\} \\
 & + 2f^2 \left[2a^2 \frac{1}{(n+3)} \left\{ \frac{1}{(n+5)} - \frac{\beta_2}{(n+7)} \right\} \right. \\
 & \quad + 4a(1-a) \left\{ \frac{1}{(n+3)} + \frac{1}{(n+5)} \right\} \left\{ \frac{1}{(n+7)} - \frac{\beta_2}{(n+9)} \right\} \\
 & \quad \left. + 8(1-a)^2 \frac{1}{(n+5)} \left\{ \frac{1}{(n+9)} - \frac{\beta_2}{(n+11)} \right\} \right] \\
 & + 2f^2 \nu_c \left[2a^2 \left\{ \frac{1}{(n+2)} - \frac{1}{(n+3)} \right\} \left\{ \frac{1}{(n+5)} - \frac{\beta_2 + \delta_2}{(n+7)} + \frac{\beta_2 \delta_2}{(n+9)} \right\} \right. \\
 & \quad + 4a(1-a) \left\{ \frac{2}{(n+2)} - \frac{1}{(n+3)} - \frac{1}{(n+5)} \right\} \left\{ \frac{1}{(n+7)} - \frac{\beta_2 + \delta_2}{(n+9)} + \frac{\beta_2 \delta_2}{(n+11)} \right\} \\
 & \quad \left. + 8(1-a)^2 \left\{ \frac{1}{(n+2)} - \frac{1}{(n+5)} \right\} \left\{ \frac{1}{(n+9)} - \frac{\beta_2 + \delta_2}{(n+11)} + \frac{\beta_2 \delta_2}{(n+13)} \right\} \right]
 \end{aligned} \right] \quad (45)
 \end{aligned}$$

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 対稱荷重の場合の拱頂曲げモーメント

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

n	a	A_1	A_2	B_1	B_2	C_1	C_2	C_3
0	1.0			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	0.16667 (a に關せず)	0.10000 (a に關せず)	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			0.02857	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	0.05000 (a に關せず)	0.03573 (a に關せず)	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			0.01587	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	0.02381 (a に關せず)	0.01852 (a に關せず)	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

$$X_1 = M_e = -\frac{1}{\chi_1 I_0} \cdot \frac{m_H l^4}{(n+1)} \\ \times \left[+2f \left\{ a \left\{ \frac{1}{(n+3)} - \frac{\beta_2}{(n+5)} \right\} + 2(1-a) \left\{ \frac{1}{(n+5)} - \frac{\beta_2}{(n+7)} \right\} \right] \right. \\ \left. - 2f \nu_0 \left[a \left\{ \frac{1}{(n+3)} - \frac{\beta_2 + \delta_2}{(n+5)} + \frac{\beta_2 \delta_2}{(n+7)} \right\} + 2(1-a) \left\{ \frac{1}{(n+5)} - \frac{\beta_2 + \delta_2}{(n+7)} + \frac{\beta_2 \delta_2}{(n+9)} \right\} \right] \right] \quad (46)$$

m_V の作用する場合

$$X_1 = M_e = -\frac{1}{\chi_1 I_0} \cdot \frac{m_V l^4}{(n+1)} \\ \times \left[+\frac{l}{2} \left\{ \frac{1}{(n+2)} - \frac{\beta_2}{(n+4)} \right\} \right. \\ \left. + \frac{8f^2 \nu_0}{l} \left[a^2 \left\{ \frac{1}{(n+4)} - \frac{\beta_2 + \delta_2}{(n+6)} + \frac{\beta_2 \delta_2}{(n+8)} \right\} + 4a(1-a) \left\{ \frac{1}{(n+6)} - \frac{\beta_2 + \delta_2}{(n+8)} \right. \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\beta_2 \delta_2}{(n+10)} \right\} + 4(1-a)^2 \left\{ \frac{1}{(n+8)} - \frac{\beta_2 + \delta_2}{(n+10)} + \frac{\beta_2 \delta_2}{(n+12)} \right\} \right] \right] \quad (47)$$

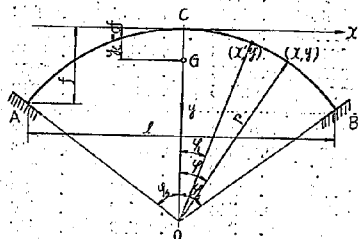
〔3〕 反力及モーメント

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。尚 q の作用する場合の反力 A は簡単に次式により求められる。

$$A = \frac{q l^4}{2(n+1)} \quad (48)$$

VII. 定断面の圓弧拱

以上は變断面を有する一般の場合を取扱つたものであるが、定断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。

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

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

$$ds = r d\varphi, \quad I, \nu \text{ 一定}$$

故に不静定量の影響線の計算に必要な第 1 表の式は次の様になる。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

故に

$$G_v(f) + G_v(h) = r A(h) - \frac{r^2}{I} \nu \cos \varphi \quad (59)$$

$$G_v(h) + G_v(g) = r A(g) - \frac{r^2}{I} \nu \sin \varphi \quad (60)$$

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

之等より (14) により弾性中心の y_0 を求めれば、

$$y_0 = c_1 r = r \left[1 - \frac{r \nu \sin \varphi}{I \cdot A(g)} \right]_{-\varphi_s}^{+\varphi_s}$$

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

又影響線式の分母は

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

$$\chi_2 = [A(g)]_{-\varphi_0}^{+\varphi_0} = \frac{r}{f} [-(1-\nu) \sin \varphi_0 \cos \varphi_0 + (1+\nu) \varphi_0] \quad (64)$$

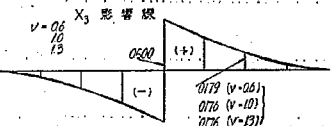
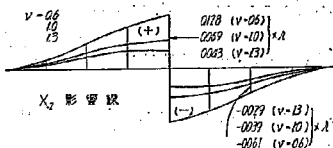
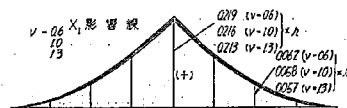
$$\begin{aligned} \chi_3 &= [I_1(f) + I_2(g) + 2I_{xy}(h) - \nu c^2 A(g)]_{-\varphi_0}^{+\varphi_0} \\ &= \frac{r^2}{f} [(1-c_1^2) \frac{I}{r} \chi_2 - 2\nu (2 \sin \varphi_0 - \varphi_0)] \quad (65) \end{aligned}$$

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

$$X_1 = \frac{r^2}{\chi_1 f} \left[\frac{I}{r} A(h) \cos \varphi_1 - \frac{I}{r} A(f) \sin \varphi_1 - \nu \cos \varphi \right]_{\varphi_1}^{\varphi_0} \quad (66)$$

$$X_2 = -\frac{r^2}{\chi_2 f} \left[\frac{I}{r} A(g) \cos \varphi_1 - \frac{I}{r} A(h) \sin \varphi_1 - \nu \sin \varphi \right]_{\varphi_1}^{\varphi_0} \quad (67)$$



第 12 圖

$$\begin{aligned} X_3 &= \frac{r^2}{\chi_3 f} \left[(1-c_1) \left\{ \frac{I}{r} A(g) \cos \varphi_1 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{I}{r} A(h) \sin \varphi_1 - \nu \sin \varphi \right\} \right. \\ &\quad \left. + \nu \{ \sin \varphi_1 \cos \varphi - \cos \varphi_1 \sin \varphi + \varphi \} \right]_{\varphi_1}^{\varphi_0} \quad (68) \end{aligned}$$

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

$$X_1 = \frac{1}{\chi_1} [A(h)]_{\varphi_1}^{\varphi_0} \quad (69)$$

$$X_2 = -\frac{1}{\chi_2} [A(g)]_{\varphi_1}^{\varphi_0} \quad (70)$$

$$X_3 = \frac{r^2}{\chi_3 f} \left[(1-c_1) \frac{I}{r} A(g) - \nu \sin \varphi \right]_{\varphi_1}^{\varphi_0} \quad (71)$$

(3) 鉛直軸の周りのモーメントの作用する場合

$$X_1 = -\frac{1}{\lambda_1} [A(f)]_{\varphi_1}^{\varphi_2} \dots\dots\dots (72)$$

$$X_2 = \frac{1}{\lambda_2} [A(h)]_{\varphi_1}^{\varphi_2} \dots\dots\dots (73)$$

$$X_3 = -\frac{r^3}{\lambda_3 I} \left[(1-c_1) \frac{I}{r} A(h) - \nu \cos \varphi \right]_{\varphi_1}^{\varphi_2} \dots\dots\dots (74)$$

(2) 対稱荷重の場合

VI に述べたると同様に次の3荷重を考へる.

$$(1) \text{ 水平横荷重 } q = |\lambda^n| q_n = q_n \left(\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} \right)^n$$

$$(2) \text{ 水平軸の周りのモーメント } m_H = |\lambda^n| m_{nH} = m_{nH} \left(\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} \right)^n$$

$$(3) \text{ 鉛直軸の周りのモーメント } m_V = |\lambda^n| m_{nV} = m_{nV} \left(\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} \right)^n$$

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

q の作用する場合

$$M_{OH} = -\frac{q_n r^2}{\sin^n \varphi_2} \left[\frac{1}{(n+1)(n+2)} \cos \varphi \sin^{n+1} \varphi - \frac{1}{(n+2)} \int_0^{\varphi} \sin^n \varphi_1 d\varphi_1 \right] \dots\dots\dots (75)$$

$$M_{OV} = -\frac{q_n r^2}{\sin^n \varphi_2} \left[\frac{1}{(n+1)(n+2)} \sin^{n+2} \varphi \right] \dots\dots\dots (76)$$

$n=0$ の場合

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

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

$n=2$ の場合

$$M_{OH} = -\frac{q_2 r^2}{\sin^2 \varphi_2} \left[\frac{1}{12} \sin^3 \varphi \cos \varphi - \frac{1}{8} (-\sin \varphi \cos \varphi + \varphi) \right] \dots\dots\dots (79)$$

$$M_{OV} = -\frac{q_2 r^2}{\sin^2 \varphi_2} \left[\frac{1}{12} \sin^4 \varphi \right] \dots\dots\dots (80)$$

$n=4$ の場合

$$M_{OH} = -\frac{q_4 r^2}{\sin^4 \varphi_2} \left[\frac{1}{30} \sin^5 \varphi \cos \varphi + \frac{1}{24} \sin^3 \varphi \cos \varphi - \frac{1}{16} (-\sin \varphi \cos \varphi + \varphi) \right] \dots\dots\dots (81)$$

$$M_{OV} = -\frac{q_4 r^2}{\sin^4 \varphi_2} \left[\frac{1}{30} \sin^6 \varphi \right] \dots\dots\dots (82)$$

m_H の作用する場合

$$M_{OH} = \frac{m_H r^2}{(n+1) \sin^n \varphi_s} \sin^{n+1} \varphi_1, \quad M_{OV} = 0 \quad (83)$$

 m_V の作用する場合

$$M_{OH} = 0, \quad M_{OV} = \frac{m_V r^2}{(n+1) \sin^n \varphi_s} \sin^{n+1} \varphi \quad (84)$$

(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

$$\begin{aligned} X_1 = M_c &= \frac{2q_0 r^3}{\chi_1 I \sin^n \varphi_s} \int_0^{\varphi_s} \left[\frac{\nu}{(n+1)(n+2)} \sin^{n+2} \varphi + \frac{(1-\nu)}{(n+2)} \left\{ \int_0^{\varphi} \sin^n \varphi_1 d\varphi_1 \right\} \sin \varphi \cos \varphi \right] d\varphi \\ &= \frac{2q_0 r^3}{\chi_1 I \sin^n \varphi_s} \left[\frac{(n+1)-(n+3)\nu}{2(n+1)(n+2)^2} \cos \varphi_s \sin^{n+1} \varphi_s - \left\{ \frac{(n+1)-(n+3)\nu}{2(n+2)^2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{(1-\nu)}{2(n+2)} \sin^2 \varphi_s \right\} \int_0^{\varphi_s} \sin^n \varphi d\varphi \right] \quad (85) \end{aligned}$$

 $n=0$ の場合

$$X_1 = M_c = \frac{2q_0 r^3}{\chi_1 I} \left[\frac{(1-\nu)}{4} \varphi_s \sin^2 \varphi_s + \frac{(1-3\nu)}{8} (\sin \varphi_s \cos \varphi_s - \varphi_s) \right] \quad (86)$$

 $n=2$ の場合

$$\begin{aligned} X_1 = M_c &= \frac{2q_0 r^3}{\chi_1 I \sin^2 \varphi_s} \left[-\frac{(3-\nu)}{96} \cos \varphi_s \sin^3 \varphi_s + \frac{(1-\nu)}{16} \varphi_s \sin^2 \varphi_s \right. \\ &\quad \left. + \frac{(3-5\nu)}{64} (\sin \varphi_s \cos \varphi_s - \varphi_s) \right] \quad (87) \end{aligned}$$

 $n=4$ の場合

$$\begin{aligned} X_1 = M_c &= \frac{2q_0 r^3}{\chi_1 I \sin^4 \varphi_s} \left[-\frac{(5-\nu)}{720} \cos \varphi_s \sin^5 \varphi_s - \frac{(2-\nu)}{144} \cos \varphi_s \sin^3 \varphi_s + \frac{(1-\nu)}{32} \varphi_s \sin^2 \varphi_s \right. \\ &\quad \left. + \frac{(5-7\nu)}{192} (\sin \varphi_s \cos \varphi_s - \varphi_s) \right] \quad (88) \end{aligned}$$

 m_H の作用する場合

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

 m_V の作用する場合

$$\begin{aligned} X_1 = M_c &= \frac{2m_V r^2}{(n+1)(n+3) \chi_1 I \sin^n \varphi_s} \left[-(1-\nu) \cos \varphi_s \sin^{n+2} \varphi_s \right. \\ &\quad \left. - \{1+(n+2)\nu\} \int_0^{\varphi_s} \sin^{n+1} \varphi d\varphi \right] \quad (90) \end{aligned}$$

 $n=0$ の場合

$$X_1 = M_c = \frac{2m_{0v}r^2}{3\chi_1 f} [(1+2\nu) \cos \varphi_s - (1-\nu) \cos \varphi_s \sin^2 \varphi_s] \dots\dots\dots (91)$$

$n=2$ の場合

$$X_1 = M_c = \frac{2m_{2v}r^2}{15\chi_1 f \sin^2 \varphi_s} \left[\frac{(1+4\nu)}{3} (\cos \varphi_s \sin^2 \varphi_s + 2 \cos \varphi_s) - (1-\nu) \cos \varphi_s \sin^4 \varphi_s \right] \dots\dots\dots (92)$$

$n=4$ の場合

$$X_1 = M_c = \frac{2m_{4v}r^2}{35\chi_1 f \sin^4 \varphi_s} \left[\frac{(1+6\nu)}{5} (\cos \varphi_s \sin^4 \varphi_s + \frac{4}{3} \cos \varphi_s \sin^2 \varphi_s + \frac{8}{3} \cos \varphi_s) - (1-\nu) \cos \varphi_s \sin^6 \varphi_s \right] \dots\dots\dots (93)$$

(3) 拱軸線に沿ふて作用する定荷重 拱軸線に沿ふて強度一定なる荷重 q が作用する時には

$$M_{OH} = -qr^2 [\varphi \cos \varphi - \sin \varphi] \dots\dots\dots (94)$$

$$M_{OV} = -qr^2 [\varphi \sin \varphi + \cos \varphi - 1] \dots\dots\dots (95)$$

又拱頂の曲げモーメントは

$$X_1 = M_c = qr^2 \left[\frac{2\{(1+\nu) \sin \varphi_s - \nu \varphi_s \cos \varphi_s\}}{(1-\nu) \sin \varphi_s \cos \varphi_s + (1+\nu) \varphi_s} - 1 \right] \dots\dots\dots (96)$$

追記 次に式中に屢々出て来る ξ^n の表を附加しておく。

ξ^n の 表

$\xi \backslash n$	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

$\xi \backslash n$	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

$\xi \backslash n$	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

$\xi \backslash n$	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

土木試験所出版圖書

報告

- 第一號 {路面及勾配が周車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告} 大正十四年 三月發行
 {瀝青質材料並瀝青質混合物に關する研究第一報}
- 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 {「ワイアログ」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 {八幡製鐵所副産部製品、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」に關する試験、「ソリデチット」の耐壓
強度に關する試験、「ブロック」に關する試験、高知縣黒瀬
川産砂に關する試験、多摩川産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 樑 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、鋪裝工事用サーフェス・ビー
ダーの碎石に及ぼす影響に關する試験、常願寺川産砂に關
する試験} 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・プロ
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験、瓦斯爐及乾炭爐タール及ピッ
チに關する試験成績、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、標準砂モルダ
ルの強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験、橋梁用敷板
強度試験、舊橋樑鐵材の腐蝕に關する調査、鋪裝用鐵鐵
ブロック磨耗試験} 同 五月發行
- *第十四號 {瀝青乳劑及ビチニマルズ鋪裝に關する試験
瀝青滲透ブロックに關する試験
瀝青質材料の滲透性に關する試験
瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試験} 同 十二月發行
- *第十五號 {北上川降開式轉動堰模型試験、電氣銲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験、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験。鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響並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炭灰岩砂利及砂に關する試験 鐵筋混凝土道路橋設計資料。各種土木工事用材料試験成績 } 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並に之に基く道路設計の } 同 十一月發行
{ 基本に關する研究(第四)}
- 第二十號 { 東京山手赤土の彈性的性質に關する試験(一)。基礎の沈下量算定法(一)。岩淵水門に關する水理試験。單絞拱橋型 } 昭和六年六月發行
{ 試験。國道鐵筋混凝土桁橋標準設計案}
- 第二十一號 { 背水曲線の一般的解法。單絞拱の振動に關する理論並に實驗混凝土鋪裝の繼目に關する試験。河水のボルトランド・セメントに及ぼす影響。標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響。瀝青乳劑試驗成績 } 同 十二月發行
- 第二十二號 { 地盤時土壓の實驗的研究。混凝土鋪裝繼目用エラストイト } 昭和七年五月發行
{ 試験。高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試験。基礎の沈下量算定法(第二)。新土壓計算圖表。}
- 第二十三號 { 簡易鋪裝に關する實地比較試験。銷矢板試験。大和川筋飽ノ瀬地に關する調査(第一) } 同 七月發行
- 第二十四號 { 道路の背水曲線の設計に就て。阻柱に關する試験。乳劑の粘度に就て。府縣道鐵筋コンクリート桁橋標準設計案。碎石の磨損率に關する一試験。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。横溢流堤流量試験。擁壁の安定増大に關する一提案及之に關する試験。砂利層の支持力に關する試験(第一報)。銷矢板試験(續)。エデニツト・パイプ試験。 } 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。田中村調節溢流堤に關する水理試験。瀝青鋪裝切取試驗體の性質。道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第一報)。自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究(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。津浪の災害軽減に關する模範試験。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撃に關する研究(其二)。瀝青透入マカダムに關する試験(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。銷釘引張試験用小型驗片。國產瀝青乳劑試驗成績。骨材及び類似材料の韌性に關する研究。鐵筋コンクリート無絞拱の經濟的效に耐震的設計(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験。瀝青繼目材料試驗成績。南洋材カゴール並にターペンタインの物理的諸性質に關する試験。道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第二報) 阪神地方沿岸風水害調査報告。 } 同 十二月發行
- 第三十號 { 道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第三報)。鐘口狀河口に於ける水流に就て。下關海峡の潮流に關する模範試験。基礎版の基本的研究(第一報)。溢流堤下流洗掘防止に關する一試験。國道鉄筋板桁橋標準設計案 } 昭和十年四月發行
- 第三十一號 { 土砂の安定強度試験。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(第一報)。擁壁裏込の土壓軽減の效果に關する試験。前戶港々口の潮流に關する試験(第一報)。 } 同 八月發行

第三十二號 {本邦道路橋の重量、道路鋪裝用ダール乳剤に関する研究
(第2報)、河川壁面部に於ける水流に就て、ダールとア
スファルトとの混合物の鋪裝材としての性質、ダール鋪裝
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、王泊堰堤の漏水の温度及水
素イオン濃度。} 昭和十一年十一月發行

第三十三號 {砂利路面工の配合比に関する試験、鋼橋鉗接者壓縮試験、
基礎版の基本的研究(第2報)基礎板、道路鋪裝用アスフ
ア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 覧

大正十四年十二月發行

本 邦 道 路 橋 輯 覧 (増補)

昭和三年三月發行

*第六回國際道路會議に関する報告書

昭和七年四月發行

土木工事用材料標準試験方法

昭和七年十二月發行

本 邦 道 路 橋 輯 覧 第三輯

昭和十一年十一月發行

(*印は残部なし)

昭和十一年六月七日 印刷

昭和十一年六月十日 發行

内 務 省 土 木 試 験 所

東京市本郷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

東京市本所區麩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

東京市本所區麩橋一丁目二十七番地ノ二