土木試驗所報告

第六十三號

風速と波高との關係に就いて……内務技師 佐藤 清……1

圖産電極棒に依る塗裝面の强度に就いて……内務技師 青木楠男…21

コンクリートの透氣性に關する試驗(第2報) 内務技師 一木俊夫…43
内務技手 池田克己

貧配合コンクリート舖裝の磨耗試驗……内務技師 山田 元…53

鐵道(0℃)養生と標準(18℃)養生とに依るコンクリートの强度の比較に就いて……内務技師 國島錦六…61

土の突固め試驗に基く土質適性の判定並に基準設定の方針に就いて……内務技師 星 基和…75

昭和十六年十月

内務省土木試驗所

風速と波高との關係に就いて

内務技師　佐　藤　清　一

摘　　要

今迄に見られる實驗式5ヶ所につきてその適合性を論じ，新たに釜ヶ崎に於て觀測されたる資料115ケと室戸岬上の觀測せる資料9ケとに基き，風速に對する最大波高に關する設計用實驗式として

$$2h=\frac{4}{3}l^{0.6}$$　　を得た．次いで更に，之が實用式として

$$2h=l^{\frac{2}{3}}$$　　を得た．

目　　次

I. 緒　　言 ……（1）
II. 在來の諸實驗式 ……（2）
［1］廣井式 ……（2）
［2］松尾式 ……（3）
［3］White 式 ……（3）
［4］Börgen 式 ……（4）
［5］日高式 ……（4）
III. 著者の實驗式 ……（5）
［1］觀測値 ……（5）
［2］著者の實驗式作製の主意と實驗式 ……（15）
［3］風速と波速 ……（17）
IV. 結　　語 ……（20）

I. 緒　　言

吾々が港灣構造物を設計する際に，考慮すべき最も重要なる外力の一つとして波力がある．此の波力を知るには，その波高と共に直接計器を用ひて其の場所の觀測資料を求めるのが最も確實なる方法ではあるが，之には相當長期に亘る年月と勞力とを要する．從つて比較的短日月の間にその設計をなさんとする時は，其の場所の岩石又は構造の如き自然物に長年月の間に刻み込まれた波浪の記錄により，その高さ，又可能なれば波力を推定する事が出來る．之も一方法と考へられる．併し斯くの如き自然記錄は當に總ての場所に於て明然と殘されてゐるものとは限らず，又多少の記錄はあつても之より波高，波力を確實に推定する事が困難なる場合も少くないので，玆に氣象觀測や地形の上から波高を推定し，之より更に波力の計算を行ふ必要が生じて來る．

此の爲めには對岸距離等が大なる役割を爲すのであるが，今考へる港が全く外洋に面してゐる場合，即ち對岸距離の無限大に相當する場合には專ら氣象的條件を考慮に入れねばならない．此の場合の波高推定の參考として波高と風速との關係式が數種發表されてゐる．

對岸に襲來せる波浪としては，その場所に必ずしも風が無くても襲來するものがある．即ち岸より遠く隔れた大洋中に於て氣象作用により發生した波が，傳播により對岸にまで襲來して來るのである．併し乍らその場所に相當の風速がある場合には勿論激甚なる波浪を生ずるに至る．斯る波浪に對し種々なる實驗式が作られており，

筆者の知つてゐるものでも次の如く5種類にも達する．

廣井氏　$2h=0.024V^2$　　Börgen 式　$2h=\dfrac{V'}{5\left(1+\dfrac{35.93V'}{F}\right)\left(1+\dfrac{10}{l}\right)}$

松尾式　$2h=0.018V'^2+0.5$

White 式　$2h=\frac{3}{4}V'^{\frac{3}{2}}$　　日高式　$2h=0.174V'$

併しこ等の式は海岸に港を構築する場合の設計波高の算出には不適當と考へられるので，筆者は茲に主として銚子に於ける波浪觀測に基いて新たなる波高，風速直線式を作製した．

II. 在來の諸實驗式

筆者の實驗式を述べる前に，先づ在來の諸實驗式に就いて檢討してみよう．

(1) 廣井式

廣井博士は"風速と波高の關係に就きては未だ充分之を明瞭ならしむる事を得ずと雖も，全く開放せる場に於ける數回の觀測に依れば深水に於ける波高は風速と略々次の如き簡單なる關係あるを認めるものなり"と述べて

$$2h=0.01V^2$$

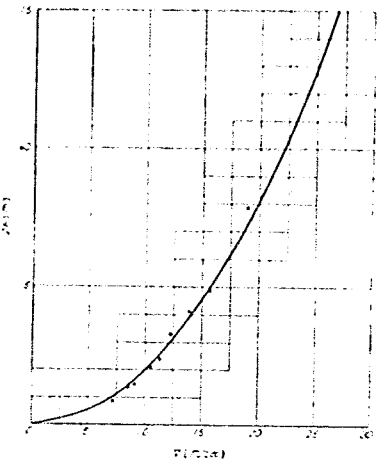
$2h$＝波高(m)　V'＝風速(m/sec)

なる式を提案してゐられる*．但し風速の scale が大正13年度變更となりたる爲め現在の scale に合はせる爲め風速に係數 0.7 を乘じて改正したものが上記の式

$$2h=0.024V^2$$

である．之の作製に當り使用した觀測値は後掲の表-3**に於ける9箇にして，之等と上式とを圖示すれば圖-1の如く上に凹の抛物線となる．

圖-1



北の曲線を見るに，最高の觀測資料（波高7.9m，風速18.9m）までは良く之等の觀測値を代表してゐるものと認める事が出來るが，之を通常考へ得られる最大風速，V'=50m/sec まで延長して考へる時は，波高は $2h$=18.36m となり，かなり巨大なる値を與へる．又風速の小なる場合には，例へば V'=10m/sec なる場合には波高は $2h$=2.04m となり，例へば銚子に於て觀測された幾多の觀測値に比較しても過小なる値を與へる（圖-11 參照）．

之等の事より，$2h$ を V'^2 に比例させる事は至當でない樣に考へられる．廣井博士は表-3 に示した9箇の觀測値に基いて之を作られたのであるが，之等の觀測値としては圖-1 を見ても容易に知れる如く如何にも $2h$ は V'^2 に比例する如くに觀測點が分布してゐるので直ちに $2h\propto V^2$ とされたのではあらうが，之も博士が"本式は凡ての場合に對し正確なるや否やは尙幾多の觀測に俟たざれば知る事を得ず"と述べてゐられる如くに，觀測値數の不充分に起因してゐる樣に思はれる．

* 廣井勇："築港" 前編第4版，p. 38.　　** 6頁參照

［2］ 松 尾 式

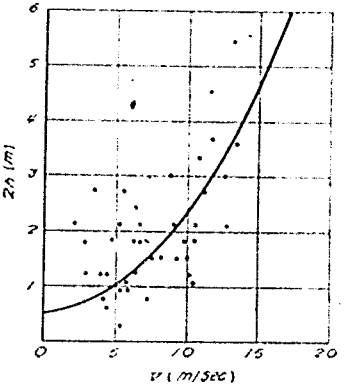
松尾技師は銚子に於ける觀測値に基いて

$$2h=0.018V^2+0.5$$

なる式を作られた*（1936, 7）之を作るに當つての主旨は，種々なる觀測値をその中間を通る上向きの曲線で表はさうといふにあつたらしく，廣井博士と同樣 $2h$ を V^2 に比例せしめる方針を採つてゐられる（圖—2）．從つて此の式も風速の增大に比して急激に波高が大となり，例へば $V=31$m/secにては $2h=16.7$m といふ大なる波高を與へる．

風速の小なる部分に於ては 0.5 なる項が附加されてゐるので廣井式よりは大なる波高を與へるが，V が大となるに及んで附加値 0.5 の影響は小となり廣井式と同じく過大なる $2h$ を與へる傾向がある．

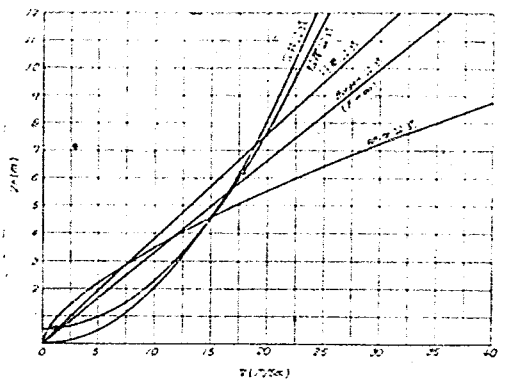
圖　2



［3］ White 式

出所は明らかではないが White 式がある**（圖—3參照）．

圖　3



$$2h=\frac{3}{4}V^{\frac{3}{2}}$$

風速が極力大となつても波高はそれ程大とはなり得ないものであらうとも考へられるし，又少くも在來の數多の觀測値から見ても V^2 に比例してゐる事は至當ではなさそうである．此の見地からすれば $2h$ を $V^{\frac{3}{2}}$ に比例せしめた事は適當である樣に考へる．併し廣井博士の觀測値及び銚子に於ける實測値に比較してみるに圖—11に見る如く此の式に依りて算出された波高は風速の全般に就て小に過ぎる傾向がある．尙に角圖—11に示す甚き觀測値が存在するのであるから，少くとも我邦に於ては適用する事が出來ない．

［4］ Börgen 式

C. Börgen 氏は波の大さを風速，風上より陸岸までの距離，風が吹き出してからの時間の3要素に關係するものとして次の如き經驗式を求めてゐる．***

$$2h=\frac{H}{\left(1+\frac{35.93\sqrt{F}}{F}\right)\left(1+\frac{10}{t}\right)}$$

---

* 松尾春雄：“風速と波高との關係” 土木學會誌 22 卷 7 號 pp. 688～69．

** 鈴木雅次：“港工學” p. 54.　　*** 須田榮次：“海洋科學” p.497,

但し $2h$=波高 m，V=風速 m/sec，t=風が吹き始めてからの時間 (hr) 而して Bürgen 氏は $H=\frac{V}{3}$ としてゐる．換言すれば對岸距離が相當に長い（$F=\infty$）なる場合の風速と波高との關係として $2h=\frac{V}{3}$ を採用してゐる．

之に對し，V. Cornish 氏は $2h=0.37V$ を採用してゐる．

此の Bürgen 式は波高に關する要素として風速のみならず對岸距離，風の吹き始めてからの時間をも考に入れてゐる點から見て，最も一般性を有する實驗式の形式を備へてゐるのであるが，之によつて算出される波高は小に過ぎる傾向がある．例へば表－1 に於て $F=\infty$ とし，$F=400$km，$V=30$m/sec の場合を考へてみるに波高は $2h=2.71$m となる．今 $V=30$m/sec を通常強風といふものとして考へる時は，例へば Stevenson 氏の實驗によれば，$F=352$km でも $2h=4.6$m となる事があり，尚ほ此の程度の値は同氏の得た F と $2h$ とに關する數多くの實驗値から判斷してみるに，大洋の實驗値をつらねる $2h\sim F$ 曲線に比較して 1m も低い値である．斯くの如き低めな値，4.6m に對して，Bürgen の式から求められる $2h$ の値は更に更に低い値である．

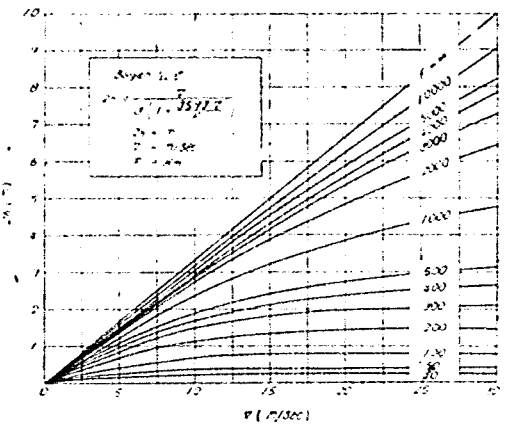


圖 4

從つて Bürgen 式も適當なるものではない．

〔5〕 日 高 式

日高博士は 1937 年から 1939 年に亘り對岸に於ける風速と波高との關係を觀測した**．同氏は報告書の中に"海の波浪は非常に複雜なもので個々の波を判然區別する事は仲々困難である．個々波の山の高さが總て一樣でなく，谷の深さもまちまちであるし，又決して峠の嶺の樣に規律正しくなく山と谷とが丁度定規模樣の樣に交互に前後に左右に分布してゐる．故に波高と云つてもその決定は仲々困難である．そこで吾々の場合は測定した略三角形の範圍内の最低水位と最高水位との差を假りに波高と考へる"と述べ，而して此の測定に用した範圍，一邊が約 200 m の正三角の水面を以て附近の水面を充分に正しく代表し得るものと假定し，又風速は Beaufort 階級で與られた風力を對風速に換算し，表－1 の如き觀測結果を得た．

表－1

V m/s	$2h$ (m)	V m/s	$2h$ (m)	V (m/s)	$2h$ (m)	V (m/s)	$2h$ (m)	V (m/s)	$2h$ (m)	V (m/s)	$2h$ (m)
3.0	2.28	6.0	1.76	6.7	2.66	9.4	2.89	11.0	4.30	13.0	1.90
3.0	1.85	6.0	2.13	6.7	3.08	9.4	4.90	11.0	2.80	15.0	3.12

** 日高孝次："實驗室に於ける海の表波の研究" 海洋時報，13 卷，1 號，1941.

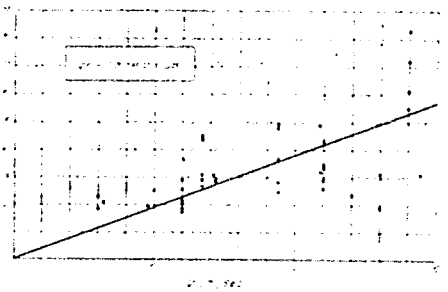
V m/s	2h m	V m/s	2h (m)	V (m/s)	2h (m)	V (m/s)	2h m	V m/s	2h m	V m/s	2h (m)
3.2	2.08	6.0	2.90	6.7	2.90	9.4	3.60	11.0	2.60	14.0	5.50
4.8	1.94	6.0	1.85	7.1	3.05	9.4	2.45	11.0	3.35	14.0	8.30
5.0	2.50	6.7	4.50	7.2	2.85	10.9	5.22	11.0	5.40	14.0	7.20
6.0	2.06	6.7	4.50	7.2	2.93	10.9	4.90	12.0	2.35	14.0	6.10
6.0	2.56	6.7	2.80	9.4	4.80						

之を圖示したものが圖－5 であって、田邊氏は 2h と V の關係を次の如き直線式で表はした。

$$2h = 0.37V \pm 0.8$$

茲に m, V は m/sec である。

圖－5



此の式では風速に對して波高が高すぎる傾向がある。之は波高というものを上述の如くに定義した爲であって、實際波高として吾々が觀測するのは、相次いで押寄せる波を數個取てその相續く山と谷、谷と山との差を平均したものであるから、之に對する係數として 0.46 をかけ，$2h = 0.174V$ と訂正した。

之等の式は深海に於ける大洋波に對するものであって、吾々淺海に關係する者の取扱ふ淺海波の場合ではない。吾々の取扱ふ淺海波の場合には水深有限で波の運動に底部の影響が充分に效き得る點に在る。然るに海洋に於ける波は大洋無限大にも相當してゐるのみ，大分子は底部とは殆ど全く自由の狀態で運動し得るであらう。此の意味に於て茲には參考として掲げるに止る。

III. 著者の實驗式

[1] 觀 測 値

風速と波高とに關する觀測資料としては荒木氏の岩内港及び函館港に於けるもの** 及び廣子築港事務所の室港に於けるもの*** を手に入れる事が出來た。前者の觀測は其の地形から云つて對岸距離無限大に相當するものと見做す事が出來ないが，後者の觀測は此の點に充分適合してゐるものと認め得るので著者は專ら後者のみを參考とする事にした。

廣子港に於ては室港の修築計畫を樹てるに當り，設計に必要な種々の調査が大正 10 年から 12 年の間に行はれた。觀測地附近の地形は圖－6 に示す如く前面は北より南東に開け，鷹島灣の長汀を南端に控して突出した地形である。

波高の觀測は圖－6 に示す一の島，1號，2號，3 號地點，及び設計に依る港口推定箇所の 5 ケ所にて行つた。此の中の一の島は干潮面上 +5m の岩盤上に長さ約 9m の柱を立て 0.6m 毎に黒白に塗分けたものを標尺と

* 日高孝次，安井善一，横田政吉："海の波の研究 4，" 海洋氣象臺彙報 111 號（昭 13, 5）.

** 荒木文四郎："砂濱に於ける通過航巢と漂砂との關係に就いて" 土木學會誌，12 卷，6 號，pp. 1155.

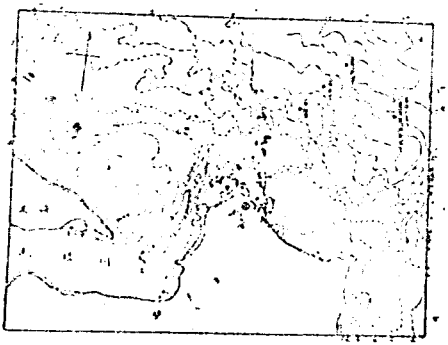
*** 廣子港港灣書，及び松尾春雄："風速と波高との關係" 土木學會誌，22 卷，6, 7 號，p. 689.

し，1號，2號，3號地點及び港口予定箇所に於ては第一7に示す如き黒白に塗分けた標尺を立て，之を通過する波を港上地點①より transit に依つて觀測した．

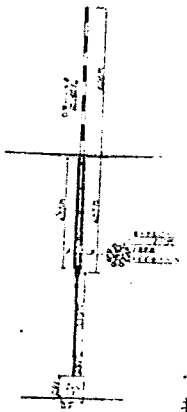
波の周期も之等に依つて觀測したが，波長は直接の觀測を行はず主として波の公式によつて計算した．此の點に就ては後に述べる次第であつて少くとも波速は觀測しておいて貰きたかつた．

風速及び風向は⑥に自記風速計を据付けて觀測した．風速は大正13年以降風速の scale が變更になつたので0.7を掛けて訂正するを要した．之等の觀測結果は表一2の如くである．此の中

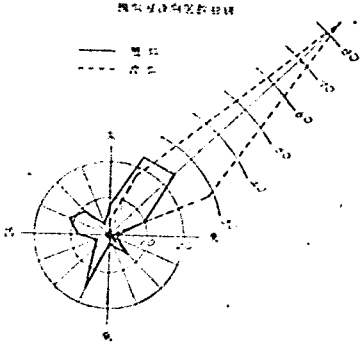
圖－6



圖－7



圖－8



波向の觀測のあるものは港口予定箇所に於けるもののみである．之等の波向の觀測を以て充分に他の地點に於ける波向をも代表しうるものと假定し，先づ之等港口予定箇所に於ける資料に依つて風向と波向とが最も多く一致してゐる範圍を求めるため第一8の如く風向及び波向周數曲線を作つた．港口予定箇所に於ける觀測數は合計135ケあり，之を風向及び波向に就いての周數を整理すれば表一4の如くである．之等に依つて波向と風向とが最も數多く一致するのは北々東，北東，東北東の範圍である事が明らかである．從つて波高と風速の關係を求むるに使用すべき觀

表－3

廣井博士の觀測値"等波"周算 p.1.

波　高 $2h$ (m)	風　速 (m/sec)	訂正風速 V (m/sec)
0.9	10.3	7.21
1.4	12.1	8.48
1.5	13.0	9.11
2.1	14.9	10.42
2.4	16.0	11.20
3.3	17.6	12.33
4.1	20.0	14.00
4.9	22.4	15.68
7.9	27.0	18.90

表－4

風				波	
風　向	回　數	風　向	回　數	波　向	回　數
北	8	南	2	北	3
北々東	23	南南西	15	北北東	17
北　東	24	南　西	5	北　東	83
東北東	10	西南西	3	東北東	28
東	2	西	8	東	1
東南東	2	西北西	11	東南東	1
南　東	7	北　西	9	南　東	2
南南東	3	北北西	3		

其値としては風向，波向共に此の範圍に存するもののみを採用する事にした．又1號，2號，3號地點に於ては波向の觀測無き爲め便宜上風向が上述の範圍にあるもののみを採用する事とした．之等の採用資料は表 2 に於て * を附して明にした．

實驗式の作製に當つては之に更に廣井博士の觀測値9ケ（表 3 ）を加へ合計121ケの資料を用ひたが，その内訳は表 5 の如くである．

表 5

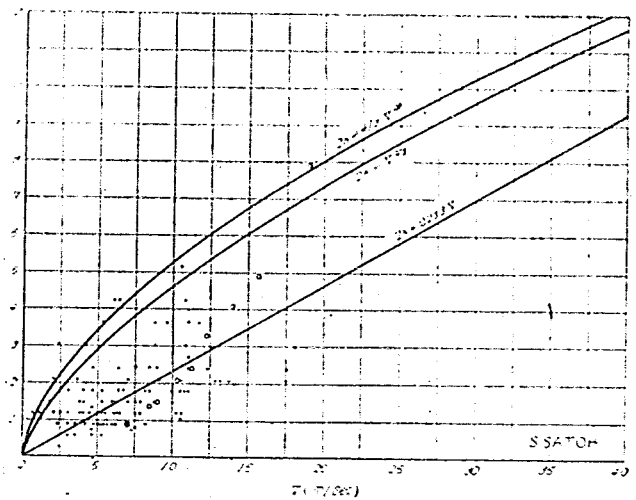
觀測値	回數	採用觀測値數
1 號	46	20
2 號	24	0
3 號	125	29
港口推定	135	57
廣井博士		9
合計	330	121

尙此處に於ける觀測値は海岸の範圍に於て得られたもので其深さは 7.5m より 10m までに變化し，海底の勾配は1號，2號，3號觀測點に於て $\frac{1}{20}$ から $\frac{1}{100}$ までに變化してゐた．

〔2〕 著者の實驗式作製の主意と實驗式

上述の121個の觀測資料を plot したものが圖 9 である．圖中實點は港口に於ける觀測値で，白點は廣井博士の觀測されたものである．之を一見して得る如く點がかなり大きな範圍に散布してゐる．之を整理するに當り著者は次の如き考へで進んだ．

圖 9



海面に波浪を生ずる事は，海面の一部に波動を生ぜしめるべき特別の原因の存在せざる限り，上部疎鬆をなす空氣の移動に基くものでなければならない．即ち風無くしては海面に表面波は起り得ないと見る事が出來る．從つて風と表面波の間には必ず唯一の關係が存する筈である．

l と $2h$ とがその樣な關係にある時は觀測點は必ず圖に示されたる曲線を畫く筈である．然るに圖 9 を見るに點は甚しく散布してゐる．之は何故であらうか．其の原因としては次の事柄が考へられる．

（1） 波高の定義が曖昧である．

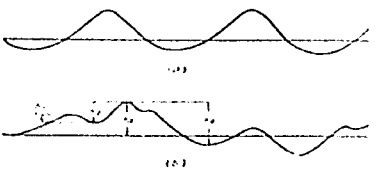
實際に起る波形は圖—10(a)の如くに規則正しいものではなく，その形は略ぼ圖—10(b)の如くに極めて複雜な形をしてゐる．從つて波が標尺を通過せし際に h_1, h_2, h_3, h_4 の何れを以て波高と讀んだかが問題である．今ある風速の風が吹いてゐる際に h_1 又は h_2 を以て波高と讀めば明らかに觀測波高は小に過ぐるのであらうし，h_4 を以て波高を讀めば大に過ぎるかもしれない．其の故に圖—9 に於て同一風速について觀測波高に大小種々

數多くあつても平均線ではないのである．

(2)　傳播波を觀測してゐるかも知れない．

風速は相當に變動するものである．然るに波速は一般に風速よりも小さい*ので洋の力で或る風速に因つて或る波高を生じても，沿岸の近くでは風速が既に變化して了つた後に，即ち既に他の風速になつて了つた時に前の波高が傳播して來て，既に變化した風速と傳播波高とを同時事象として讀み取る恐れがある．

圖－10



(3)　觀測の精度

此の問題は前二者に比して重要さは小さいものではあらうが一應考へなければならない．

之等の諸原因に依つて觀測點は散布せざるを得ない．上記原因の中(2)に就いては充分の注意を拂つたものと考へられる．そこで風に因つて起る波を現象的に取扱へば $2h$ と V との關係としては，之等觀測點の平均を行く曲線を採用すれば最も眞に近いであらうと思はれる．之を直線式として求めた關係が

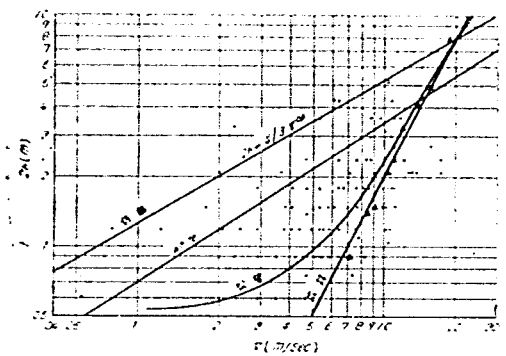
$$2h = 0.233V$$

である(圖－9參照)．併し此の式により算出される波高は平均波高であつて，實際の觀測には圖－9に示す如く更に大なる波高も存在する．從つて波力を外力とする構造物の設計に當つては此の算出波高を以てしては危險である．そこで吾々は構造物設計の爲めの實用式として最大波高算定式とも云ふべきものが必要であると考へる．故に著者はある風速に於ける最大波高を大凡讀み，總ての觀測値を over する實驗公式を作る事が必要であると考へた．此の目的の爲めに總ての觀測値を對數表表に plot した．之が圖－11である．之を見るに最大波高の測點はかなりきれいに直線的に分布してゐる．そこで之等の測點をなるべく誤差なしに，而も係數及び V の指數がなるべく簡單な數字になる樣に引いた直線が圖－11一番上の直線である．由つて此の直線は

$$2h = \frac{4}{3}V^{0.5}$$

となつた．之は又圖－9にも示す．

圖－11



此の關係式は之自身相當簡單な記法し易い形ではあるが，V の 0.6 乘といふ項は對數表がなければ計算しにくいので，更に之を $\frac{2}{3}$ 乘に變更し $V=40$m/sec までの間で最も上曲線に近い曲線として

$$2h = 1.14V^{\frac{2}{3}}$$

を得たが，更に此の係數 1.14 を 1 とし

$$2h = V^{\frac{2}{3}}$$

を以て最後の式とした(圖－9參照)．結局結果に於て White の公式の係數 $\frac{3}{4}$ を 1 とした事と等しい事になつた

* 第III章[3]參照

が，之に基る経路及び意味は左の如くである．

〔3〕 風速と波速

液を空気と多水なる密度の異れる 2 流体の接触面に於る現象として，其速を理論的に求めれば次の如くである．下部流体は一様なる水深 h を有し上部流体は無限の大きさであるものとする．第 12 に示す如く直交座標を静止表面に取り x 軸を上下流体の速度 V, V' の方向に水平に取り，y 軸を之に垂直に上方に取る事とする．又波形は

$$\zeta = a e^{i(\sigma t - kx)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

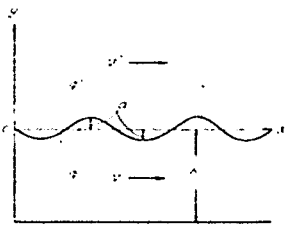
にて表はされるものとし，a を半波高とする．但は

t=時間，λ=波長，ρ=多水の密度（下部流体），g=重力の加速度

ρ'=空気の密度（上部流体），c=波速

とする．

第 12



波動は始め静止の状態から始まったものと考へれば無渦運動であり速度ポテンシャル ϕ を有する．之を上・下2流体に就て ϕ', ϕ とし之等は波動の為めの小さな量 ϕ_1', ϕ_1 を附加して

$$\left.\begin{aligned} \phi &= -Vx + \phi_1 \\ \phi' &= -V'x + \phi_1' \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

にて表はされるものとする*．

茲に於て

$$\left.\begin{aligned} \phi_1' &= C\cosh k'(y+h')e^{i(\sigma t - kx)} \\ \phi_1 &= (C_1 e^{ky} + C_2 e^{-ky})e^{i(\sigma t - kx)} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

とおけば

$$\frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial x^2} = -k^2 C\cosh k'(y+h')e^{i(\sigma t - kx)}$$

$$\frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial y^2} = k'^2 C\cosh k'(y+h')e^{i(\sigma t - kx)}$$

であるから

$$\Delta\phi_1' = 0$$

故に (2) により

$$\Delta\phi = 0$$

故に ϕ は連続の条件を満足する．又同様にして ϕ' も連続の条件を満足する事を証明する事が出来る．

而して ϕ 及び ϕ' は

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)_{y=-h} = 0, \qquad \phi'_{y=\infty} = -V'x$$

なる条件を満足する事も容易に知り得る．

次に表面条件を考へて見るに，之は Lamb により次の如く得られる．

* Lamb : "Hydrodynamics", 5th ed. Art. 252. p. 350.

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial \eta}{\partial t}+V\frac{\partial \eta}{\partial x}&=-\left[\frac{\partial \zeta}{\partial y}\right]_{y=0}\\ \frac{\partial \zeta}{\partial t}+V\frac{\partial \zeta}{\partial x}&=-\left[\frac{\partial \phi'}{\partial y}\right]_{y=0}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(4)$$

此の中の上式に(1)式及び(3)式を代入すれば

$$ia\sigma e^{i(kx-\sigma t)}-iVka\sigma e^{i(kx-\sigma t)}=-Ck\sinh kh\cdot e^{i(kx-\sigma t)}$$

即ち

$$ia\sigma-kV=-Ck\sinh kh\quad\cdots\cdots(5)$$

又下の式に(2)式及び(3)式を代入すれば同様にして

$$ia\sigma-kV=kC'\quad\cdots\cdots(6)$$

を得る．之等により C, C' を去れば

$$C=-\frac{ia\sigma-kV}{k\sinh kh}\quad\cdots\cdots(7)$$

$$C'=\frac{ia\sigma-kV}{k}\quad\cdots\cdots(8)$$

而して上下層流體の波動面に於ては壓力 p は共通でなければならないから

$$\rho\left(\frac{\partial \phi_1}{\partial t}+V\frac{\partial \phi_1}{\partial x}-g\zeta\right)=\rho'\left(\frac{\partial \phi_1'}{\partial t}+V\frac{\partial \phi_1'}{\partial x}-g\zeta\right)\quad\cdots\cdots(9)$$

なるを要する．(9)式に(1)式及び(3)式を代入すれば

$$\rho\{i\sigma\cosh kh-kV\cosh kh\}C-ga]=\rho'\{i\sigma-kV)C'-ga]\quad\cdots\cdots(10)$$

を得る．之に(7)式及び(8)式を適用して

$$\rho'(\sigma-kV)^2\coth kh+\rho'(\sigma-kV)^2=gk\rho-\rho'\quad\cdots\cdots(11)$$

を得る．之を σ について解けば

$$\sigma=\frac{kV(\rho\coth kh+V\rho')}{\rho\coth kh+\rho'}$$

$$\pm\left[\frac{gk(\rho-\rho')}{\rho\coth kh+\rho'}-\frac{k^2\rho\rho'\coth kh\cdot(V-V')^2}{(\rho\coth kh+\rho')^2}\right]^{\frac{1}{2}}\quad\cdots\cdots(12)$$

を得る．然るに $\sigma=ck$ であるから求むる波速は

$$c=\frac{V\rho\coth kh+V\rho'}{\rho\coth kh+\rho'}$$

$$\pm\left[\frac{g}{k}\cdot\frac{(\rho-\rho')}{\rho\coth kh+\rho'}-\frac{\rho\rho'\coth kh}{(\rho\coth kh+\rho')^2}(V-V')^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

或は

$$c=\frac{V\rho\coth\frac{2\pi h}{\lambda}+V\rho'}{\rho\coth\frac{2\pi h}{\lambda}+\rho'}$$

$$\pm\left[\frac{g\lambda}{2\pi}\cdot\frac{(\rho-\rho')}{\left(\rho\coth\frac{2\pi h}{\lambda}+\rho'\right)}-\frac{\rho\rho'\coth\frac{2\pi h}{\lambda}}{\left(\rho\coth\frac{2\pi h}{\lambda}+\rho'\right)^2}(V-V')^2\right]^{\frac{1}{2}}\quad\cdots\cdots(13)$$

(13)式は上下兩流體が共に運動してゐる場合に關するものであるが，今暫くこう考へるのは擇止せる（測波を考

ゆえる。(1)の底上を風が吹く場合であるから $V=0$ としなければならない。此の場合の波速は

$$c=\left[\frac{\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}}{\rho+\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}}\cdot\frac{g\lambda}{2\pi}V^2+c_0^2-\frac{\rho\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}}{\left(\rho+\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}\right)^2}V^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad \cdots\cdots(14)$$

となる。但し c_0 は上下層流體が共に靜止せる場合の傳播波の波の速度で

$$c_0^2=\frac{g\lambda}{2\pi}\cdot\frac{\rho-\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}}{\rho+\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}} \quad \cdots\cdots(15)$$

なるもので，空氣の密度 ρ' を無視する時は

$$c_0=\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}} \quad \cdots\cdots(16)$$

となり，普々のよく見なれた波動の波速となる。

(14)式を見るに之の第1項は上下層流體の平均速度であつて，之に對して第2項にて表はされるが如き波速が存するのである。從つて此の相對波速は上部流體の動きのある場合は大凡減少する事となる。

而して(15)式，(16)式により上部流體の密度を考へる時の波速は上部に流體なき場合の波速よりも小なる値となる。即ち理論上は前面の上部が實在なる場合の傳播波の速度は，空氣のある場合の波速よりも小となる筈である。今(14)式に於て

$$A_1=\frac{\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}}{\rho+\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}}V^2$$

$$A_2=\frac{\rho\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}}{\left(\rho+\rho'\tanh\frac{2\pi h}{\lambda}\right)^2}V^2$$

とおいて

$$c=A_1+[c_0^2-A_2]^{\frac{1}{2}}$$

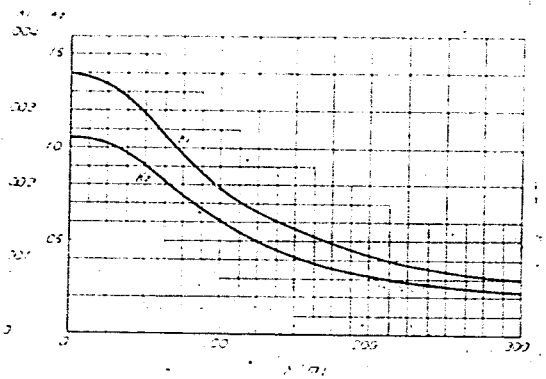
と書きかへる。

一例として $h=10$ m，$V=$ [illegible] m/sec，$\rho=1.025$，$\rho'=0.0012$ とすれば，波長 $\lambda=300$m までに對して A_1，A_2 は圖—13の如くに減少し，波長の極めて大なる時は $c=c_0$ となり風の波速に及ぼす影響は無くなる。又 A_1，A_2 曲線に波長の小なる間は餘り變化せず，大となるに及び急激に減少する傾向があるので，上部流體の密度が下部のそれに比較し得る程度の場

表—6

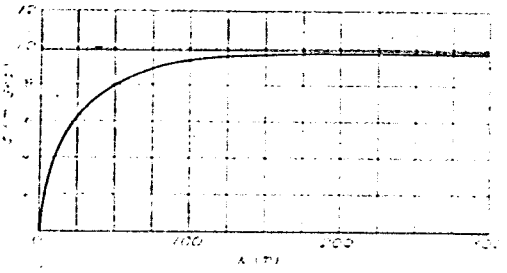
λ	c_0	相對波速	絕對波速
50	8,134	8,078	8,168
100	9,311	9,279	9,299
150	9,617	9,595	9,609
200	9,734	9,719	9,730
250	9,789	9,776	9,785
300	9,821	9,809	9,816

圖 13



のであるならば波長の短い場合には相對波速は風速により大いに影響をうける事になる。

図 14



今の例について絶對波速 c を求めれば図 14 の如く，λ 100m 位になれば略々一定値となる。なほ此の場合の c_0，相對波速 $c/\sqrt{g\lambda/2\pi}$，絶對波速 c は夫々次の如くである。

λ (m)	10	20	50	100	200	500	1000
c_0	0.80	1.13	1.26	1.27	1.27	1.27	1.27
c (m/sec)	2.53	3.57	3.98	4.02	4.02	4.02	4.02

空氣の密度が小なる爲め結果に大なる差を生じない。併し，之等は風速 $V'=30$m/sec の場合であるから之の場合の波速は之に比しはるかに小さく，一般に通常の波長は上記範囲にあるから波速は風速に比し遙かに小さいであらう事が考へられる。

IV. 結　　語

上述の如く種々なる風速・波高の實驗公式があるが，何れも差當なものとは認めがたい。殊に設計用としては第 II 章に述べたる如き理論が考へられる。

そこで著者は銚子港に於ける波高と風速との觀測値 115 と，廣井博士に依る觀測値四ケを用ひ風速・最大波高實驗式として

$$2h=\frac{4}{3}V^{1.6}$$

を得たが，更に之を簡單形に直し，實用式として

$$2h=V^{\frac{3}{2}}$$

を得た。

尙ほ今後も機會ある毎に風速と波高とに關する觀測資料を集め，以て益々適用性の強いものにして行きたいと考へてゐる。

(2691, 5, 21).

---

* 空氣の密度 ρ' は乾燥せる空氣については

$$\rho'=\frac{0.001293}{1+0.00367t}\cdot\frac{H}{760}\ \mathrm{g/cm^3}$$

t='C　　H=m Hg

にて表はされる。$t=15$'C について $H=730\sim760$mm の場合には $\rho'=1.177\sim1.226\times10^{-3}$ となるので，之の平均をとつて $\rho'=0.0012$g/cm^3 とした。

表　2

* 採用資料　　一　號　副　筆　　S.10. 6. 25～S.10. 10. 5.

番　號	最大波高 $2h$ (m)	週　期 $2T$ sec	波　長 $2L$ m	風　向	風　速 V m/sec	訂正風速 V' m/sec)
1	2.12	7.0	74.3	北ゝ西	2.67	1.87
2	1.52	11.0	183.5	南ゝ西	16.67	11.67
3	0.45	15.0	256.0	南	11.10	7.77
* 4	1.21	20.0	151.5	北　東	14.58	10.20
5	1.82	10.0	151.5	北	4.17	2.92
* 6	2.42	15.0	341.0	北　東	6.67	4.67
* 7	4.25	7.3	80.9	〃	9.17	6.42
8	1.52	10.0	151.5	南	7.92	5.51
9	1.21	11.0	183.5	〃	10.42	7.30
10	0.91	12.0	218.0	〃	6.67	4.67
11	0.61	10.0	151.5	北	7.50	5.25
* 12	0.61	9.0	122.7	北ゝ東	6.67	4.67
* 13	0.76	7.0	74.3	〃	10.42	7.30
14	1.21	11.0	183.5	南ゝ東	4.17	2.92
15	0.61	10.0	151.5	西北西	2.92	2.01
* 16	0.91	10.0	151.5	北ゝ東	7.50	5.25
* 17	0.61	8.0	97.0	〃	4.17	2.92
18	0.76	12.0	218.0	南　東	5.83	4.08
19	0.76	8.0	97.0	南ゝ西	10.83	7.58
20	0.76	26.0	388.0	南	15.83	11.08
21	1.21	9.0	122.7	〃	14.50	10.15
* 22	3.64	7.0	74.3	北ゝ東	12.50	8.75
* 23	1.82	15.0	256.0	〃	7.50	5.25
* 24	1.82	9.0	122.7	〃	4.17	2.92
* 25	1.21	7.0	74.3	〃	9.17	6.42
26	1.21	8.0	97.0	北	10.83	7.58
27	1.82	10.0	151.5	〃	12.50	8.75
* 28	3.64	9.0	122.7	北　東	15.83	11.08
* 29	1.82	11.0	183.5	北ゝ東	15.42	10.80
* 30	1.82	9.0	122.7	〃	5.83	4.08
* 31	2.42	8.0	97.0	東北東	10.83	7.58
32	1.52	8.0	97.0	南	10.00	7.00
33	1.21	9.0	122.7	南　西	9.17	6.42
34	0.91	7.0	74.3	南ゝ西	10.42	7.30
35	1.21	11.0	183.5	〃	5.42	3.79
36	2.12	10.0	151.5	南　西	5.83	4.08
* 37	4.25	10.0	151.5	北ゝ東	8.75	6.13
38	2.73	11.0	183.5	南ゝ西	6.67	4.67
39	1.21	12.0	218.5	西北西	2.50	1.75
* 40	1.82	11.0	183.5	北ゝ東	7.58	5.31
41	1.82	9.0	122.7	北	11.67	8.17

番號	最高波高 $2h$ (m)	週期 $2T$(sec)	波長 $2L$ (m)	風向	風速 V(m/sec)	訂正風速 V(m/sec)
42	2.42	8.0	97.0	〃	16.25	11.37
43	2.42	13.0	256.0	〃	12.08	8.46
* 44	3.64	11.0	183.5	北東	15.83	11.08
* 45	2.12	7.0	74.3	北々東	25.00	17.50
* 46	4.25	8.0	97.0	〃	15.42	10.80

二號測竿　大 10. 8. 27～大 10. 10. 5.

番號	最高波高 $2h$ (m)	週期 $2T$(sec)	波長 $2L$(m)	風向	風速 V(m/sec)	訂正風速 V(m/sec)
1	2.42	9.3	131.0	南	7.92	5.54
2	0.61	9.0	122.7	〃	5.92	4.14
3	1.21	6.0	54.5	北	10.42	7.29
* 4	1.21	7.0	74.3	北々東	7.50	5.25
* 5	1.36	8.0	97.0	〃	6.67	4.67
6	0.61	12.0	218.0	南々東	4.17	2.92
7	0.61	10.0	151.5	西北西	2.92	2.04
* 8	0.61	14.0	297.0	北々東	7.50	5.25
* 9	0.91	6.0	54.5	〃	4.17	2.92
10	0.61	9.0	122.7	南東	5.83	4.08
11	0.61	5.0	37.9	南々西	10.83	7.58
12	1.21	9.0	122.7	南	15.83	11.08
13	1.82	9.0	122.7	〃	14.50	10.15
14	0.91	6.0	54.5	南西	9.17	6.42
15	1.21	11.0	183.5	南々西	10.42	7.30
16	0.91	16.0	183.5	〃	5.42	3.79
* 17	3.64	9.0	122.7	北々東	13.75	9.62
18	2.12	7.3	80.6	西北西	2.50	1.75
* 19	3.64	7.0	74.3	北々東	7.58	5.31
20	2.12	8.0	97.0	北	11.67	8.17
21	2.12	8.0	97.0	〃	12.08	8.46
* 22	2.42	6.0	54.5	北東	15.83	11.08
* 23	2.42	10.0	151.5	北々東	25.00	17.50
* 24	3.03	8.0	8.0	〃	15.42	10.80

三號測竿　大 10. 6. 3～大 11. 2. 19.

番號	最高波高 $2h$ (m)	波長 $2L$ (m)	波長 / 最高波高	週期 $2T$(sec)	風向	訂正風速 V(m/sec)
1	0.76	74.3	97.8	7.0	南	7.77
2	0.91	54.5	59.9	6.0	北	5.25
3	0.91	97.0	106.7	8.0	南々西	3.50

番號	最高波高 $2h$ (m)	波長 $2L$ m)	波長/最高波高	週期 $2T$ (sec)	風向	訂正風速
4	0.91	256.0	281.5	13.0	北ヶ西	4.08
5	0.30	122.7	408.5	9.0	北	5.25
* 6	0.76	256.0	337.0	13.0	北ヶ東	4.67
* 7	0.76	74.0	97.4	7.0	〃	7.30
8	0.76	151.5	199.5	10.0	南ヶ東	2.92
9	0.61	54.5	89.4	6.0	西北西	2.01
* 10	0.91	212.0	233.0	12.0	北ヶ東	5.25
11	0.91	122.7	135.0	9.0	西南西	2.01
12	0.91	256.0	281.5	13.0	西北西	3.41
* 13	0.91	151.5	161.5	10.0	北　東	5.83
14	0.91	97.0	106.6	8.0	北ヶ西	7.58
15	0.54	97.0	179.5	8.0	西北西	1.37
16	0.61	97.0	159.0	8.0	西南西	2.33
17	0.91	183.5	202.0	11.0	北　西	8.17
18	0.91	54.5	59.9	6.0	西北西	7.00
19	0.91	74.3	81.7	7.0	西南西	1.92
20	0.91	97.0	106.5	8.0	西北西	6.42
21	0.61	74.3	122.0	7.0	西南西	1.75
22	0.76	37.9	49.4	5.0	西	2.05
23	0.91	97.0	106.5	8.0	〃	2.92
24	0.91	54.5	59.9	6.0	〃	2.33
25	0.61	97.0	159.0	8.0	西北西	2.01
26	0.91	371.0	408.0	15.0	〃	7.88
27	0.61	371.0	608.0	15.0	北	4.37
28	0.61	183.5	301.0	11.0	西	5.13
29	0.76	183.5	241.5	11.0	西北西	1.75
30	1.82	78.5	43.1	7.0	北ヶ西	8.17
31	1.52	122.7	80.7	9.0	南ヶ西	11.67
* 32	1.21	151.5	125.0	10.0	北　東	10.20
33	1.82	151.5	83.25	10.0	北	2.92
* 34	1.82	151.5	83.25	10.0	北　東	4.67
35	1.21	74.3	61.4	7.0	北ヶ西	6.42
36	1.21	297.0	245.5	14.0	〃	2.92
37	1.21	78.5	64.9	7.2	南	5.54
38	1.21	102.0	84.3	8.2	〃	7.30
39	1.82	218.0	120.0	12.0	〃	4.67
* 40	1.21	37.9	31.3	5.0	北ヶ東	4.08
* 41	1.21	212.0	175.0	12.0	〃	2.92
42	1.21	212.0	175.0	12.0	南　東	4.08
43	1.82	341.0	187.5	15.0	南　西	2.68
44	1.21	122.7	101.4	9.0	西南西	9.92
45	1.82	74.3	40.8	7.0	〃	0.819
46	1.21	151.5	125.0	10.0	〃	6.42
47	1.21	151.5	125.0	10.0	西北西	5.83

番號	最高波高 $2h$ m	波長 $2L$ m	波長 最高波高	週期 $2T$ sec	風向	計算風速
48	1.21	435.0	362.0	17.0	北 西	4.72
49	1.52	151.5	99.7	10.0	南	2.04
50	1.21	151.5	125.0	10.0	北ゝ西	1.31
51	1.52	151.5	99.7	10.0	北 西	6.42
52	1.52	151.5	99.7	10.0	北	9.33
53	1.21	97.0	80.2	8.0	西北西	7.00
* 54	1.21	54.5	45.0	6.0	北ゝ東	4.37
55	1.82	97.0	53.25	8.0	北 西	8.75
* 56	1.82	97.0	53.25	8.0	北ゝ東	6.42
57	1.21	151.5	125.0	10.0	西北西	5.67
58	1.21	37.9	31.3	5.0	〃	5.05
59	1.21	183.5	151.5	11.0	西	2.62
* 60	1.21	122.7	101.4	9.0	北 東	2.92
61	1.52	74.3	49.0	7.0	南 西	11.08
* 62	1.52	74.3	49.0	7.0	北ゝ東	9.92
63	1.52	74.3	49.0	7.0	西北西	8.75
64	1.21	74.3	61.5	7.0	〃	9.05
65	1.82	256.0	140.5	13.0	西	7.00
* 66	1.52	297.0	195.4	14.0	東北東	1.75
67	1.21	74.3	61.4	7.0	西北西	6.42
68	1.21	151.5	125.0	10.0	〃	4.90
69	1.52	151.5	101.0	10.0	北	7.30
* 70	1.82	151.5	83.25	10.0	北ゝ東	6.70
71	1.52	122.7	80.7	9.0	西南西	1.35
* 72	1.52	183.5	120.7	11.0	北 東	7.58
* 73	1.82	183.5	101.0	11.0	北ゝ東	6.42
74	1.82	218.0	120.0	12.0	北 西	5.25
75	1.82	256.0	140.7	13.0	西	11.67
76	1.21	122.7	101.4	9.0	〃	6.53
77	1.52	54.5	35.9	6.0	北 西	11.67
78	1.21	548.0	453.0	19.0	北ゝ西	4.90
* 79	1.52	183.5	120.8	11.0	北ゝ東	10.20
80	1.52	151.5	101.0	10.0	北 西	6.42
81	1.06	256.0	241.5	13.0	西	8.26
82	1.06	256.0	241.5	13.0	東	5.51
* 83	1.06	256.0	241.5	13.0	東北東	10.50
* 84	1.82	97.0	53.3	8.0	北ゝ東	9.85
* 85	1.21	256.0	211.5	13.0	北 東	6.42
* 86	1.82	183.5	101.0	11.0	〃	10.50
* 87	2.42	79.0	32.6	8.0	〃	6.42
88	2.42	122.7	50.7	9.0	南ゝ東	4.55
89	2.12	183.5	86.5	11.0	西南西	1.31
90	2.12	151.5	71.5	10.0	南 西	6.42
91	2.42	122.7	57.0	9.0	西北西	5.83

番　號	最高波高 $2h$ (m)	波　長 $2L$ (m)	波　長 / 最高波高	週　期 $2T$ sec	風　向	訂正風速
92	2.12	183.5	86.5	11.0	〃	7.88
*93	2.12	151.5	71.5	10.0	北　東	13.93
94	2.48	151.5	61.1	10.0	北　西	11.03
95	2.12	97.0	45.75	8.0	北	5.25
*96	2.12	151.0	71.4	10.0	北　東	12.83
*97	2.12	218.0	102.8	12.0	〃	10.50
98	2.73	103.5	67.2	11.0	北	3.50
99	2.42	54.5	22.5	6.0	北　西	3.38
100	2.12	151.5	71.5	10.0	北	9.33
101	2.42	218.0	90.0	12.0	西北西	7.58
102	2.73	151.5	55.5	10.0	北	5.54
103	2.12	97.0	45.7	8.0	北	6.70
*104	2.12	122.7	57.8	9.0	北々東	9.04
105	2.42	122.7	50.6	9.0	西北西	15.16
106	2.12	74.3	35.0	7.0	〃	8.75
107	2.12	297.0	140.0	14.0	西	1.75
*108	2.73	183.5	67.2	11.0	北々東	11.03
109	5.45	183.5	33.7	11.0	北	13.13
*110	3.03	297.0	98.0	14.0	東北東	8.75
111	3.03	122.7	40.5	9.0	北　西	4.03
*112	3.64	97.0	26.6	8.0	北　東	11.67
113	3.03	151.5	50.0	10.0	東	12.55
114	3.64	218.0	60.0	12.0	西北西	8.46
115	3.64	74.0	20.3	7.0	北	13.42
116	3.64	297.0	81.6	14.0	北　西	6.42
117	6.06	297.0	49.0	14.0	西北西	9.92
118	3.64	297.0	81.6	14.0	〃	9.05
119	4.55	183.5	40.4	11.0	北	11.63
120	6.67	183.0	27.4	11.0	北　西	5.25
121	6.06	122.7	20.2	9.0	北々西	10.5
122	5.45	122.7	22.5	9.0	南　東	14.6
123	6.67	218.0	32.7	12.0	西	11.1
124	3.03	122.7	40.5	9.0	〃	5.50
125	3.33	297.0	89.2	14.0	北	10.80

港口豫定箇所測竿　　大 11. 7. 13～大 12. 1. 31.

番　號	波高 $2h$ (m)	波長 $2L$ (m)	週期 $2T$ (sec)	波　向	風　向	訂正風速 V (m/sec)
1	0.61	54.5	6	北　東	北　東	3.50
2	1.82	97.0	8	〃	東	3.50
3	1.21	151.5	10	東北東	南々西	4.03
4	1.52	151.5	10	北　東	北　東	4.03

番號	最高波高 $2h$ (m)	週期 $2T$ sec	波長 $2L$ (m)	波向	風向	計算風速 V m/sec
5	1.52	97.0	8	〃	北	5.54
* 6	1.21	218.0	12	〃	北東	4.08
* 7	0.91	122.7	9	東北東	北々東	4.72
8	1.21	54.5	6	〃	南々西	5.31
9	1.21	122.7	9	北東	南西	5.31
10	1.21	74.3	7	東北東	〃	6.70
11	2.42	183.5	11	〃	南々西	3.21
12	1.21	97.0	8	東	〃	5.83
* 13	3.03	341.0	15	東北東	東北東	2.33
14	4.55	256.0	13	北々東	南々東	4.78
15	6.06	606.0	20	北東	南東	10.92
16	2.12	122.7	9	南東	〃	7.58
17	1.21	183.5	11	東南東	南々西	9.33
18	0.91	122.7	9	東北東	〃	8.40
19	0.91	97.0	8	〃	〃	6.12
20	2.73	341.0	15	北々東	南	7.30
21	1.21	256.0	13	北東	南々西	7.58
22	0.91	97.0	8	〃	〃	7.18
23	0.45	74.3	7	〃	〃	5.48
* 24	0.91	122.7	9	〃	北々東	6.88
25	0.91	54.5	6	東北東	南々西	7.93
26	1.21	97.0	8	〃	〃	11.67
* 27	0.91	183.5	11	北々東	北東	5.39
28	0.61	122.7	9	東北東	南東	3.79
29	0.91	183.5	11	〃	東北東	2.33
30	5.15	218.0	12	北東	北東	10.50
* 31	2.42	256.0	13	〃	北々東	8.40
* 32	2.12	122.7	9	〃	北東	3.67
33	4.55	218.0	12	東北東	東南東	9.92
34	1.52	122.7	9	北東	南東	5.54
35	1.21	256.0	13	〃	南々東	3.21
36	1.21	97.0	8	〃	北	8.75
* 37	0.91	97.0	8	〃	北々東	3.50
* 38	0.61	74.3	7	〃	〃	0.52
* 39	0.91	151.5	10	〃	北東	8.17
40	0.91	122.7	9	〃	南々西	3.67
* 41	1.52	183.5	11	〃	北々東	7.58
* 42	1.52	97.0	8	〃	〃	6.12
43	1.21	183.5	11	〃	南々東	5.02
* 44	2.12	256.0	13	〃	北々東	7.12
* 45	2.12	297.0	14	〃	〃	13.15
* 46	2.12	122.7	9	〃	北東	13.7
* 47	3.03	97.0	8	〃	〃	18.03
48	2.42	183.5	11	東北東	南東	7.30

番　號	波　高 $2h$ (m)	波　長 $2L$ (m)	週　期 $2T$ (sec)	波　向	風　向	訂正風速 V (m/sec)
49	1.82	151.5	10	北　東	東	5.52
50	0.91	122.7	9	〃	西北西	1.67
* 51	1.52	183.5	11	〃	北　東	3.79
52	1.21	151.5	10	東北東	北々西	3.91
53	0.91	122.7	9	〃	北	3.27
54	0.91	122.7	9	北　東	南々西	0.18
* 55	1.21	151.5	10	〃	北　東	10.62
* 56	1.52	74.3	7	〃	東北東	6.33
57	1.21	183.5	11	北々東	北	1.92
* 58	1.21	122.7	9	北　東	北々東	6.21
* 59	1.21	122.7	9	〃	〃	7.58
60	1.21	297.0	14	〃	北	5.25
61	1.52	97.0	8	東北東	東南東	5.25
62	1.52	183.5	11	北　東	南　西	5.60
* 63	1.82	256.0	13	〃	北々東	8.46
* 64	1.21	54.5	6	〃	東北東	5.83
* 65	1.21	97.0	8	東北東	北　東	5.79
* 66	1.52	97.0	8	北　東	〃	5.25
* 67	2.12	74.3	7	〃	北々東	10.50
68	2.42	341.0	15	東北東	西北西	8.92
69	1.21	151.5	10	北　東	南々西	3.21
* 70	1.21	183.5	11	〃	北々東	2.01
* 71	1.82	122.7	9	〃	北　東	7.58
* 72	1.52	151.5	10	〃	東北東	8.75
* 73	1.21	97.0	8	〃	北　東	4.85
74	1.82	151.5	10	東北東	南　東	9.62
* 75	1.21	97.0	8	〃	北　東	0.70
* 76	1.52	54.5	6	北　東	北々東	7.00
* 77	1.21	54.5	6	〃	北　東	7.70
78	1.21	183.5	11	〃	西	1.52
* 79	1.52	218.0	12	〃	東北東	5.83
80	1.82	97.0	8	〃	北	9.92
* 81	1.52	151.5	10	東北東	東北東	7.00
* 82	2.42	183.5	11	北　東	北々東	8.80
83	2.42	122.7	9	〃	北　西	4.61
* 84	2.42	297.0	14	〃	北　東	12.30
85	1.21	54.5	6	〃	西南西	15.16
* 86	1.21	97.0	8	〃	北々東	5.54
87	0.91	97.0	8	〃	北　西	1.28
88	1.21	122.7	9	〃	西南西	10.50
89	1.21	122.7	9	北々東	北	4.02
90	0.91	97.0	8	北　東	西南西	8.05
91	0.91	183.5	11	東北東	西	5.76
92	2.42	151.5	10	〃	〃	8.52

番號	波高 $2h$ (m)	波長 $2L$(m)	週期 $2T$(sec)	波向	風向	訂正風速 V(m/sec)
93	1.21	151.5	10	〃	北西	5.37
94	1.21	54.5	6	南東	南西	4.32
* 95	1.52	122.7	9	北々東	北東	7.82
* 96	2.42	341.0	15	北東	〃	12.31
97	0.91	97.0	8	北々東	北々西	6.42
98	0.91	151.5	10	〃	北西	8.75
* 99	0.91	218.0	12	北東	東北東	5.04
100	2.12	122.7	9	東北東	西	5.28
101	1.82	151.5	10	北東	西北西	1.92
102	3.03	151.5	10	〃	西	1.80
103	3.64	256.0	13	東北東	〃	4.08
104	0.91	122.7	9	北東	西北西	6.71
105	0.61	122.7	9	北東	西	1.52
106	1.52	97.0	8	北々東	北西	9.33
107	1.21	74.3	7	〃	西北西	9.74
108	1.52	97.0	8	〃	〃	8.40
109	1.52	97.0	8	〃	〃	5.60
110	0.61	74.3	7	北東	南西	5.83
111	1.52	97.0	8	北々東	西北西	10.50
112	1.82	218.0	8	北東	西	2.45
113	1.06	54.5	7	〃	北	1.57
114	1.21	74.3	8	北々東	西北西	10.10
115	0.91	74.3	12	〃	北西	8.42
116	1.21	122.7	6	〃	〃	3.85
117	0.61	74.3	7	北東	〃	2.74
118	0.91	183.5	7	〃	〃	4.96
119	0.91	97.0	9	北々東	西北西	5.72
*120	0.91	151.5	7	北	北東	6.42
121	0.76	122.7	11	北東	南東	2.92
*122	1.21	388.0	16	北	北々東	2.45
123	1.21	122.7	9	〃	南	3.91
*124	1.21	122.7	9	北東	北東	2.92
*125	0.91	151.5	10	東北東	〃	0.65
*126	1.21	122.7	9	〃	東北東	1.14
*127	1.21	151.5	10	北東	〃	4.08
*128	1.82	151.5	10	〃	北々東	8.17
129	2.73	151.5	10	〃	西北西	4.78
130	0.61	183.5	11	〃	北々西	4.32
*131	1.82	74.3	7	〃	北東	11.08
*132	1.82	54.5	6	〃	北々東	10.50
*133	1.21	74.3	7	〃	〃	7.58
*134	0.91	151.5	10	〃	〃	4.20
*135	0.91	74.5	7	〃	〃	5.13

國産電極棒による熔着鋼の强度に就いて

內務技師　青　木　楠　男

—目　次—

Ⅰ. 緒　　言 …… (1)
Ⅱ. 昭和9年熔着鋼强度試驗 …… (3)
［1］試　　料 …… (3)
［2］引張試驗片 …… (3)
［3］引張試驗成績 …… (4)
［4］熔着鋼の延性と金屬組織 …… (6)
Ⅲ. 昭和14年熔着鋼强度試驗 …… (12)
［1］試　　料 …… (12)
［2］心線の化學成分と其引張强度 …… (12)
［3］引張試驗成績 …… (13)
［4］熔着鋼の延性と金屬組織 …… (16)
Ⅳ. 昭和15年熔着鋼强度試驗成績 …… (19)
Ⅴ. 要　　約 …… (20)
Ⅵ. 附錄—金屬電極棒規格 (熔接協會) …… (20)

(本試驗は主として內務技手宮澤岩雄君並に元所員佐藤正男君を煩したものである).

Ⅰ. 緒　　言

八幡製鐵所が海軍側の要求によつて電弧熔接用電極棒の心線を作りはじめたのは昭和8年以來のことである. 當時最初に定められた規格は

C	Mn	Si	P及S
0.12	0.35～0.55	0.05以下	0.04以下

であり. 其後この規格は製鐵所に於て內規的に

C	Mn	Si	P及S
0.06～0.08	0.25～0.40	0.03以下	0.03以下

に改められ, これを使用した被覆電極棒が外國製の一流品に遜色なき成績を示したと傳へられてゐる. 併し斯くの如き良質の心線を一般市場にて入手することは頗る困難であつて, 昭和9年前後より續々として市場に現はれた多數の國産電極棒の質には頗る疑問とすべき者多く, 漸次改良の途を辿りつゝありたりと雖も, 尙外國一流品に匹敵しうるものゝ數は寥々たる狀況にて今日に至つた.

偶々時局克服の爲の鐵鑛統制の實施せらるゝに會し, 電極棒用心線の配給極めて圓滑を缺くの狀態となり, 一方重工業方面よりの需要增加が顯著なるものあり, 必然の結果として市場への粗惡品の出現となり頗る憂慮すべき事態を呈するに至つた. この實狀に鑑み昭和14年末商工省は先づ心線の配給統制の途を講ずると共に, つゝいて心線に對して臨時日本標準規格を制定するに至つた.

臨時日本標準規格　被覆熔接棒心線

（本規格は時局に鑑み臨時的ニ制定シタルモノニシテ當分ノ內之ニ依ルモノトス）

第一條　本規格ハ主トシテ鋼材ノ電弧熔接ニ使用スル被覆熔接棒ノ心線（以下單ニ心線ト稱ス）ニ之ヲ適用ス

第二條　心線ハ其質均一ニシテ有害ナル錆蝕，疵等ナキ鋼線タルコトヲ要ス

第三條　心線ハ次ノ成分ヲ有スルコトヲ要ス

C(%)	Mn(%)	Si(%)	P(%)	S(%)	Cu(%)
0.06～0.10	0.25～0.40	0.04以下	0.04以下	0.04以下	0.3以下

第四條　心線ハ斷面圓形ニシテ其ノ徑ハ次ノ通トス

1,　1.4,　2,　2.9,　4,　5,　6.mm

第五條　適宜ノ試驗材ヲ採リ軟鋼板上ニ竪向直線「ビード」ヲ作リ心線ノ熔着性ヲ判定ス

本試驗ニ於テ電弧ハ過度ノ「スパッタ」ヲ發セズ且「ビード」表面ハ不規則ナル凹凸ヲ生ゼザルコトヲ要ス本條ノ試驗ハ註文者ノ指定アリタル場合ニノミ之ヲ行フモノトス

本規定の決定に當つて最も論議されたる點は炭素含有量と銅含有量とである．心線として低炭素鋼を可とすることは一般常識であるが，これを前揭海軍用のものゝ內規程度として大量供給することは製鋼上相當の困難があり，八幡製鐵所側としては0.12%程度を限度としたしとの意見ありたるも，炭素許容含有量の範圍をあまりに廣くすることは製品の統一上にも疑點ありとし 0.06～0.10% の範圍に止むることに決定した．

次は含銅の問題であつて，本邦產の鋼は其原石の關係上銅の含有を免れ得ざる狀態にあり，國產電極棒の外國品に及ばざる原因の一として心線の含銅を考慮する必要ありとさへ唱ふるものあり，且つ銅の含有量は殆んど變化せずに熔着鋼中に入るを常とし，銅の增加は赤熱脆性を生ずる懸念あるが故に許容含銅量としては，現在本邦製鋼上止むを得ざる量をもつて最大限とすることゝし 0.3% の制限が設けられた．心線の成分として含銅量を定めたる規定は外國に其例を見ざる處である．

電極棒用心線に關する現況が上記の如くであるが，熔着鋼の性質はこの心線のほかに被覆劑の適否に左右せらるゝこと更に大であり，同一心線を使用してもこゝに電極棒の優劣が生じて來る．昭和 15 年に至り電極棒に對しては販賣價格の統制が行はるゝことゝなりしに，市販の電極棒は其品質により 2 階級に分類され一定價格をもつて販賣されることとなつた．この品質決定のための規格は未だ公式のものゝ制定を見ないが，昭和 15 年度に於て熔線配給組合と同組合の依囑により電極棒檢定の任に當つた熔接協會との間に決定されたものは大體下表の如きものであつた．

熔　着　鋼　強　度

	引張強度	伸率	衝撃値（シヤルピー）
第Ⅰ種	＞41kg/mm²	＞28(當分26)%	＞10
第Ⅱ種	＞41	＞20(當分18)	—

其後同協會は附錄に示す電極棒規格を定めてをり，更にこれを原案として目下商工省工業品規格調査委員會は電極棒標準規格の審議を急いでをる．

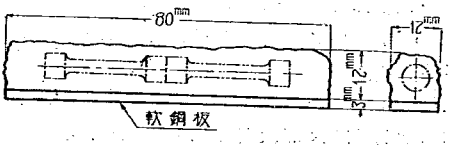
國產電極棒の趨勢は以上略述した如くであるが，これらの熔着鋼が果してどの程度の品質を有してをるか，この點を系統的に調査發表したものは極めて尠い．著者はさきに橫濱港琉橋の工事に於て，又山梨縣鶴川橋の熔接に於て，又江戶川河水統制水門工事鐵筋熔接接手の實施にあたり，國產電極棒使用を企圖したのであるが 100 種に餘る多數の國產電極棒の優劣の判定と取捨とに非常なる當惑を感じ，止むなく特定の熔接棒を使用するに止つた．其後この經驗に鑑み一般國產電極棒の品質調査を企て，これらの中著名なるもの數十種を選び，これが熔

着鋼について引張强度，伸率，金屬組織の試驗を行ひ，國產電極棒の品質の大勢を知ると共に，これら間の優劣判定の資料とした．試驗は第1回を昭和9年，第2回を昭和 14 年に行つた．本報告はこれらの試驗の成績を纒めたものであるが，終りに昭和 15 年度に於ける他の方面に於ける試驗成績の大略を附記して參考とした．

II. 昭和9年熔着鋼强度試驗

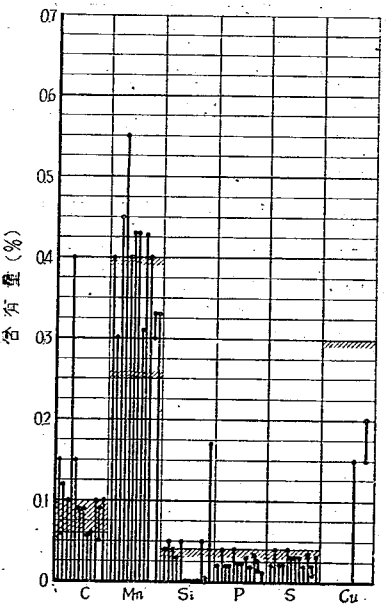
〔1〕 試　料　試料の蒐集は著名電極棒製作所並に熔接工場へ，該製作所又は工場の製品又は使用電極棒を用ひて作りたる圖—1 の形狀の熔着鋼の提出を求めた．この依頼に應じて試料を提出された製作所並に工場數は約 20 ケ所で電極棒の種類は 66 種であつた．各試驗については熔接機の種類，使用電弧電壓並電流，作業時間，ビート層數，運棒法，電極棒直徑，使用量，心線並に被覆劑の化學成分等についての資料を求めた．特許其他の關係上から充分なる報告を集め得なかつたものもあるが蒐集された資材について纒め得た結果は次の如くである．

圖—1　熔着鋼寸法



試料 66 種中直流を使用するもの12 種其他は交流である．二次側電弧電壓は 15～50V の間にあつて 20V 前後のものが主であり，電弧電流は極めて廣範圍に亘つてをるが65～100 のものが最も多い．

圖—2　電極棒心線化學成分圖表



熔接棒の直徑は大半は 4mm にして 3.5mm のものこれにつぎ，殘部は 3 mm 及び 5mm である．指定の熔着鋼施工には 6 層仕上とせるもの最も多く，5 層とせるものこれに次ぎ，4，7，8 層仕上のものを幾分混じてをる．

使用電極棒の心線の成分を明かにし得たものは 14 種にすぎないが，これらの含有する要素の範圍は圖—2 に示す如くである．これによつて見るに其大部分は臨時日本標規格の定むるところに合格してをり，これが範圍を出づるものは極めて小數である．又被覆劑の成分に關してはこれを明かにし得たものは心線に比して更に小數であるが，其主なるものを示せば次の如きものである．

粘土，硅酸ソーダ，酸化鐵，マンガン，二酸化マンガン，マグネサイト，炭酸カルシユウム，酸化アルミニユーム，チタニユウム，木炭，タルク末，銀砂末，炭灰，無水炭酸ソーダ，黃色血滷鹽，フエロマンガン，燒弱砂，纖維，靑石綿

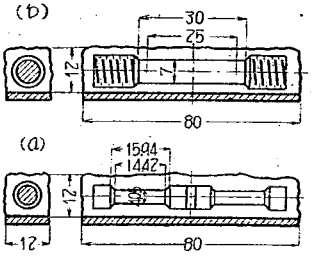
〔2〕 引張試驗片　本試驗に使用した試驗片は 圖—1 に示した熔着鋼より削成した圖—4 に示す如き小型試驗片であつて，電極棒毎に提出された3個の熔着鋼中2個より a 種のもの各 2 個，殘餘の熔着鋼より b 種 1 個を削成し，これら 5 個の試驗片について引張試驗を行つ

た.

(a) 種試験片は平行部直徑 d=4.05mm, 長 l=14.42mm で Hounsfield 製の小型引張試驗機の標準試驗片である.

(b) 種試驗片は平行部直徑 d=7.0mm, 長 l=25mm で端部に取付用螺旋を附し當所備付 5T 多能試驗機で引張試驗を行つた.

圖—3　熔着鋼引張試驗片



從來熔着鋼の引張試驗片として使用せられつゝあつたものは J. E. S. 金屬材料抗張試驗片第4號であつて, 鑄鋼, 鍛鋼用に定められたものを準用したのであるが, この試驗片を熔着鋼より製作することは其熔接作業に於て, 又其創成作業に於て多大の時間と勞力とを必要とし, 電極棒檢定の如く多數の試驗片製作に際しての不便は極めて大きい. この不利を避けんがために 4 號試驗片に代るべきものとして上記の小型試驗片を選定したものであるが, 標準試驗片と小型試驗片とによつて行つた試驗結果の合致性に關しては, 曩きに土木試驗所報告第 28 號「熔着鋼引張試驗用小型試驗片」に發表せるが如く, 其降伏點强度並に極限强度は試驗片の直徑の大小には殆んど影響されざるが故にこれらに對しては, 前揭小型試驗片の平均成績をもつて引張强度とし, 伸率に對しては小型試驗片の $l:d$ を 4 號試驗片の夫れと同一ならしめて試驗成績の合致につとめた.

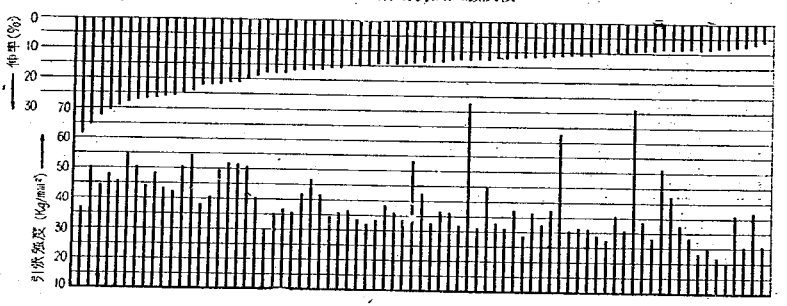
[3] 引張試驗成績　熔着鋼の降伏點强度, 極限强度並に伸率の算出は直徑 4mm の小型試驗片 4 個の平均試驗値を求めた, 伸率の計算に於て切斷が標距の中央½ 以外に起りたるものに對しては分割法によつて推定値を求め, 標距外にて切斷せるものは伸率の算出にはこれを除外した.

直徑 7.0mm の引張試驗片の成績には直徑 4 mm のもの 4 個の平均値とを比較して可成の相違を示したものがあるが, 其著しいものでは切斷箇所に熔滓, 氣泡等の含有の存在が明かな場合多く, 比較的良好なる成績を示せる熔着鋼ほど其差は僅少である.

表—1 に示すものは試料 66 種の試驗成績を伸率の順序に配列したものである.

前揭の成績を圖示したものが圖—4 であつて, 表—1 と圖—4 とについて見るに伸率 20% 以上を示すものは總數の約¾であつて, これらの試料は同時に强度も良好であり, 一, 二 の例外を除くのほか 41kg/mm² 以上の

圖 — 4　　熔着鋼引張試驗成績



强度を示してをる. 斯くの如き結果に基いて考ふるとき熔着鋼强度と伸率とは相關聯すべき性質のもので, 一定範圍の化學成分の下に於ては, 伸率のみ優良にして强度に於て劣性なるが如き熔着鋼は生じ得ないことが明かに

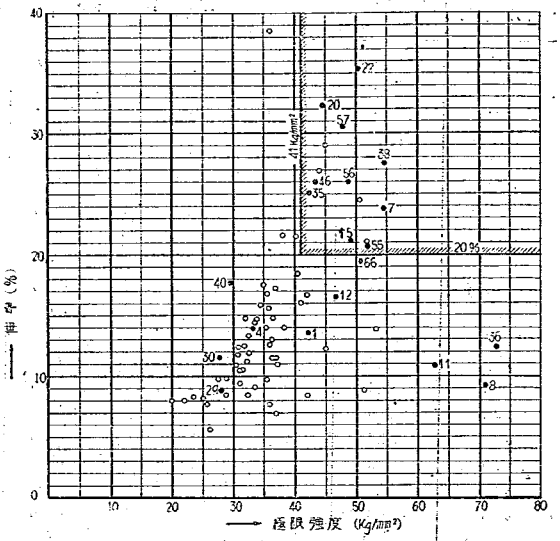
表—1　第一回電極棒試驗熔着鋼引張試驗成績

試片番號	降伏點强度 kg/mm²	極限强度 kg/mm²	伸率 %	試片番號	降伏點强度 kg/mm²	極限强度 kg/mm²	伸率 %
24	—	36.8	38.5	52(b)	—	32.5	13.3
○ 22	39.5	50.4	35.3	33	—	36.2	13.1
○ 20	36.0	44.6	32.3	16	—	36.0	12.6
○ 57	33.3	48.0	30.5	6	25.0	31.9	12.5
21	3.41	45.8	29.0	○ 36	—	72.8	12.4
○ 38	—	54.9	27.5	27	—	30.8	12.4
56(b)	36,0	50.5	27.0	12(b)	36.8	45.0	12.2
17(a)	36.8	44.0	26.9	2	23.0	32.6	11.9
56(c)	34.5	48.8	26.1	25	21.7	30.8	11.8
46(b)	—	43.5	25.9	60(b)	—	37.3	11.5
○ 35	33.8	42.3	25.1	30	—	27.9	11.4
23	39.2	50.5	24.5	60_2	—	36.5	11.2
○ 7	32.7	54.5	23.8	13	25.5	32.3	11.2
14	27.5	38.1	21.6	9(a)	28.5	37.3	11.0
46	27.8	40.3	21.4	○ 11	41.5	62.8	10.9
○ 15	34.5	49.3	21.2	52(a)	—	30.3	10.9
59	40.3	51.8	21.0	50	—	31.5	10.5
○ 55	37.3	5.18	20.7	37	—	31.0	10.5
○ 66	37.3	50.8	19.4	62(c)	—	28.8	9.8
17(b)	31.5	40.5	18.4	47	—	27.5	9.8
○ 40	—	29.7	17.7	9(b)	27.5	35.5	9.7
58(c)	27.0	35.0	17.5	3	23.3	31.0	9.4
13(b)	25.5	36.8	17.2	○ 8	—	71.0	9.2
61	25.5	35.5	16.8	10(c)	26.5	33.5	9.1
41	—	41.9	16.6	○ 29	—	28.0	8.9
○ 12(a)	36.0	46.5	16.6	5	37.8	51.3	8.8
54	32.5	41.2	16.1	53	32.0	42.0	8.4
49	—	34.3	15.8	58	24.0	32.5	8.4
18	—	35.7	15.6	65	—	28.7	8.4
61	—	36.5	14.7	62	—	23.5	8.4
34	23.8	33.8	14.7	44	—	25.0	8.1
51	—	32.0	14.7	63(b)	—	22.0	8.0
48	—	33.5	14.4	63(a)	—	20.0	8.0
19	27.8	38.3	14.0	16	—	36.0	7.7
10(b)	25.5	35.5	14.0	26	—	25.8	7.7
○ 4	22.0	33.3	13.9	32	—	37.0	6.9
31	—	53.3	13.8	65(c)	—	26.0	5.6
○ 1	31.5	42.3	13.6				

される．圖—4 に於て伸率を其大さの順序に配列したが，これに對應する引張强度も大體の傾向として伸率の低下と相呼應して低下してゆくことが認められる．試料中には著しく强度大，伸率小なるもの混入せるもこれらは其炭素含有量著しく大にして，本來の性質として延性の劣れるものであつて軟鋼熔着鋼としては除外すべき性質のものである．

引張強度と伸率との關係を一層明瞭ならしむるために兩者を横軸，縦軸として圖表を描くとき，圖—5の如きものとなる．伸率20%以上を示せるものは其引張強度は 35～55kg/mm² の範圍に止まつてをり，強度 41kg/mm² 以上，伸率 20%以上の規格に合格するものゝ強度の最大限は，55 kg/mm²，伸率の最大限は 35%であつて著しい散在を示してをらない事が注目される．

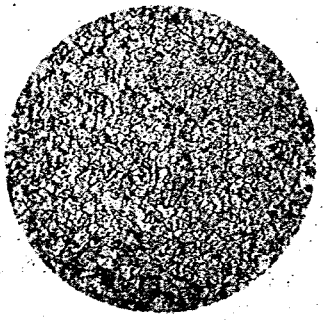
圖—5　引張強度と伸率との關係



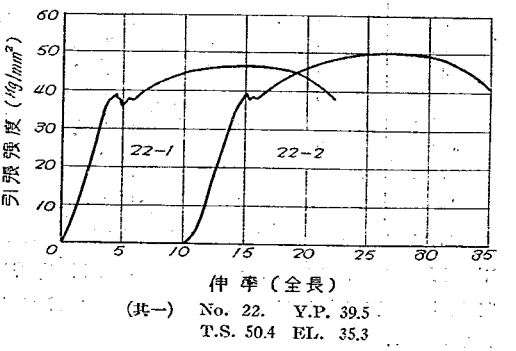
［4］ 熔着鋼の延性と金屬組織

表—1 に示す試驗成績中，代表的のもの 17 種につき其金屬組織と荷重—伸曲線とを示した，圖—6 が夫れである．金相寫眞は幾層にも施工されたる試片の一局部を示すものであつて，これを以て熔着鋼全體の組織を律せんとすることは困難であるが，これらの寫眞と荷重—伸曲線とを對比して考ふるとき，特性の變化と組織の相違とが互に關聯してゆくことが明かに認められる．強度，伸率共に高き試片に於ては ferrite の粒子は細かく均一であり熔滓，氣泡，窒化物等の存在は認められぬが，強度，伸率の低下と共に粒子の粗大なるもの martensite 組織を示す物等が現はれ，強度，伸率共に甚しく低きものに於ては熔滓，氣泡の含包，窒化物の散在が顯著となつてをる．試片 No.36, No.11, No.8 の如く強度のみ高く，伸率の著しく低きものにあつては其組織は全く軟鋼としての形態を有せず，C 含有量相當高く且つ鑄造物としての標本的の組織を示してをる．

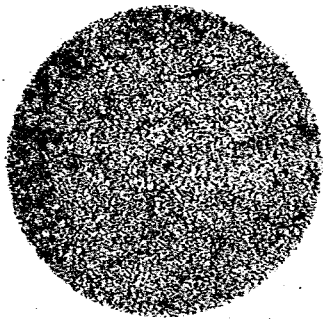
圖—6　熔着鋼の金屬組織と荷重—伸曲線



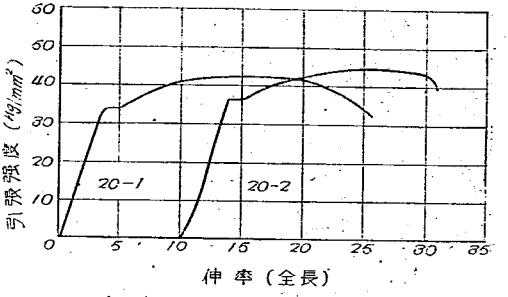
（×100）



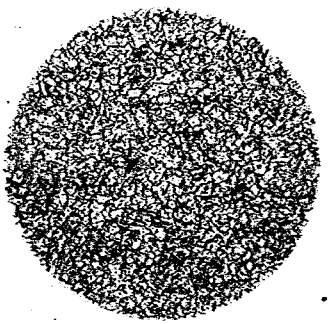
（其一）　No. 22.　Y.P. 39.5
T.S. 50.4　EL. 35.3



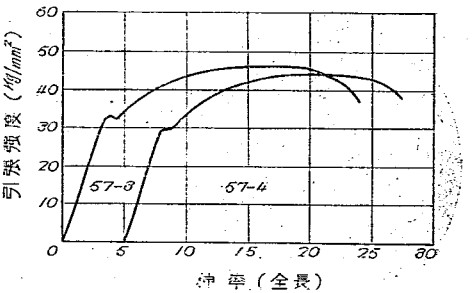
(×100)



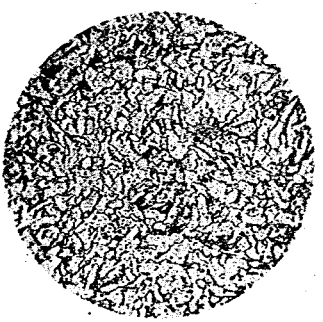
(其二)　No. 20.　Y.P. 36.0
T.S. 44.6　EL. 32.3



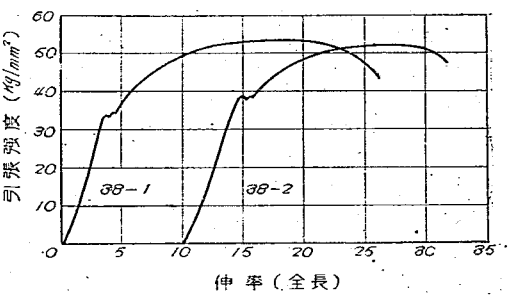
(×100)



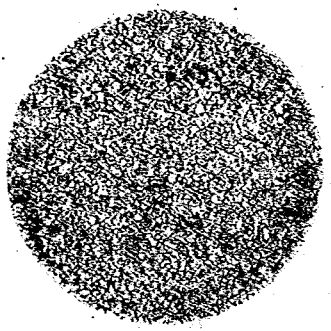
(其三)　No. 57.　Y.P. 33.3
T.S. 48.0　EL. 30.5



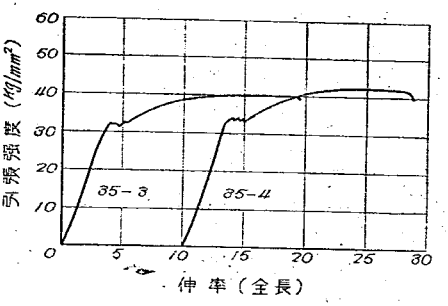
(×200)



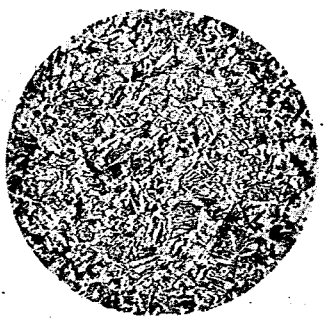
(其四)　No. 38.　Y.P. —
T.S. 54.9　E.L. 29.0



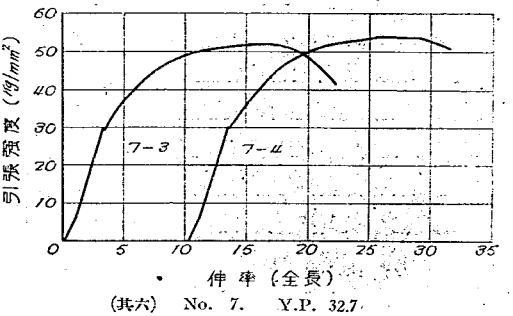
(×100)



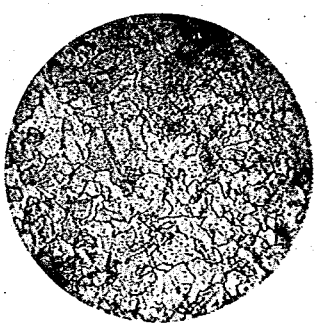
(其五) No. 35. Y.P. 38.8
T.S. 42.3 EL. 25.1



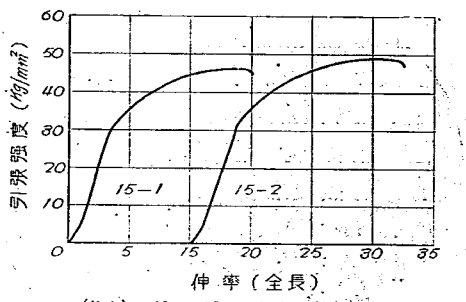
(×100)



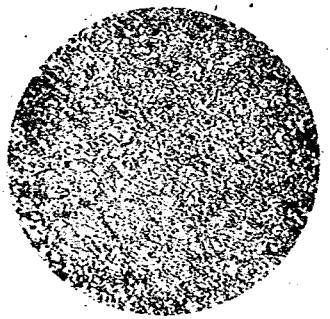
(其六) No. 7. Y.P. 32.7
T.S. 54.5 EL. 23.8



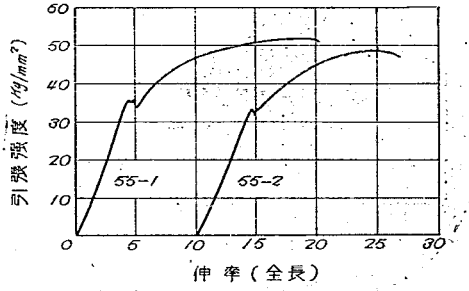
(×100)



(其七) No. 15. Y.P. 34.5
T.S. 49.3 EL. 21.2

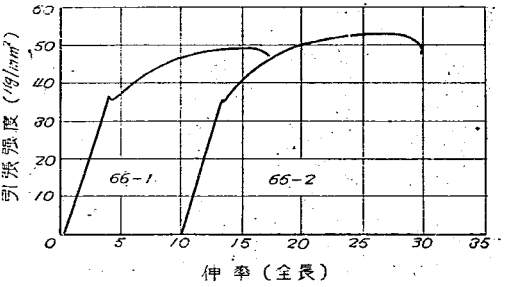


(×100)

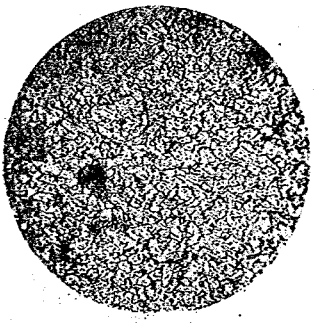


(其八)　No　55.　Y.P. 37.3
T.S. 51.8　EL.　20.7

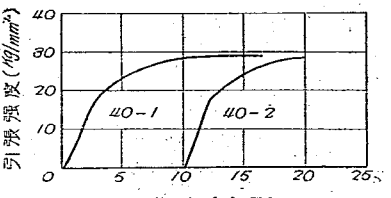
(×100)



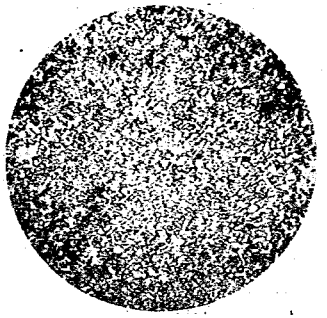
(其九)　No. 66.　Y.P. 37.3
T.S. 50.8　EL. 19.4



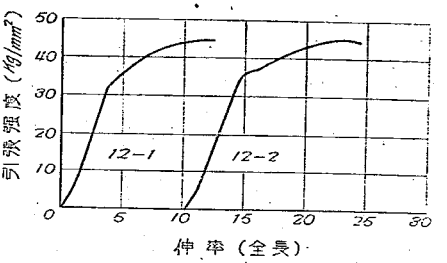
(×100)



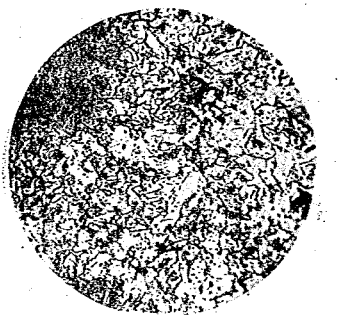
(其一〇)　No. 40.　Y.P. —
T.S. 29.7　EL. 17.7



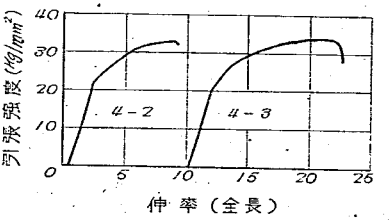
(×100)



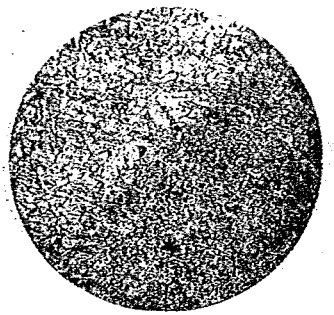
(其一一) No. 12. Y.P. 36.0
T.S. 46.5 EL. 16.1



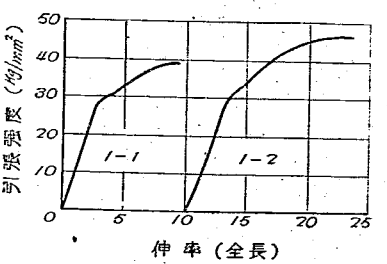
(×100)



(其一二) No. 4. YP. 22.0
T.S. 33.3 EL. 13.9

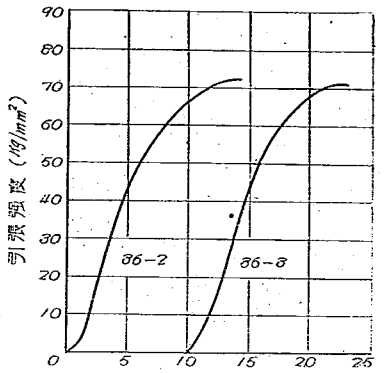


(×100)

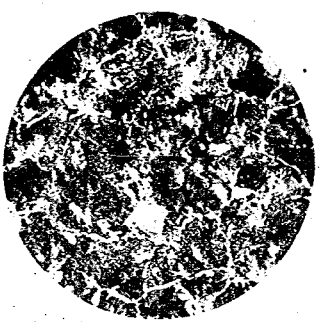


(其一三) No. 1. Y.P. 31.5
T.S. 42.3 EL. 13.6

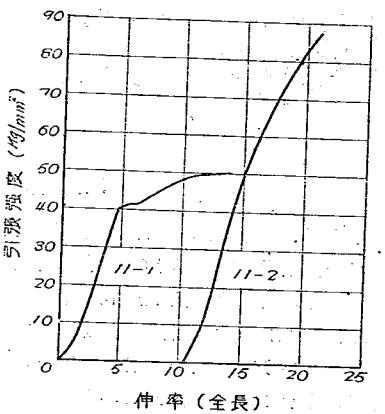
（×200）



（其一四）　No. 36.　Y.P. —
T.S. 72.8　EL. 12.4



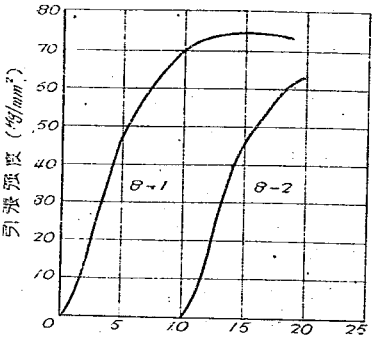
（×200）



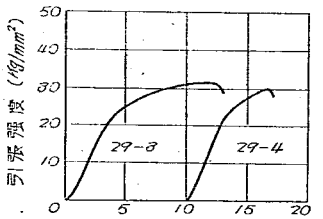
（其一五）　No. 11.　Y.P. 41.5
T.S. 62.8　EL. 10.9

(×200)

(×100)



(其一六) No. 8. Y.P. —
T.S. 71.0 E.L. 9.2



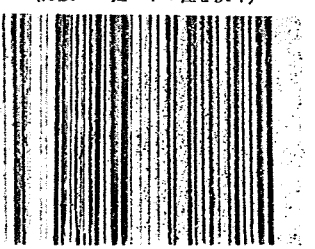
(其一七) No. 29. Y.P. —
T.S. 28.0 EL. 8.9

III. 昭和 14 年熔着鋼强度試驗

［1］ **試　料**　昭和 14 年關東，關西兩方面の電極棒製造業者並に電極棒常用の鐵工業者 82 個所へ試料の提供方を依頼したが，事變の影響による資材配給の不足と，重工業方面の業務輻輳とに禍されて，充分なる試料の蒐集を求むることが出來なかつた．試料の提出をうけた箇所は電極棒製造業者 6．鐵工業者 14．電極棒の種類としては 37 種である．圖—7 は蒐集したこれら電極棒の外觀である．

圖—7

第 2 回電極棒試驗に供したる試料
(總數 37 種の中 4 種を缺く)

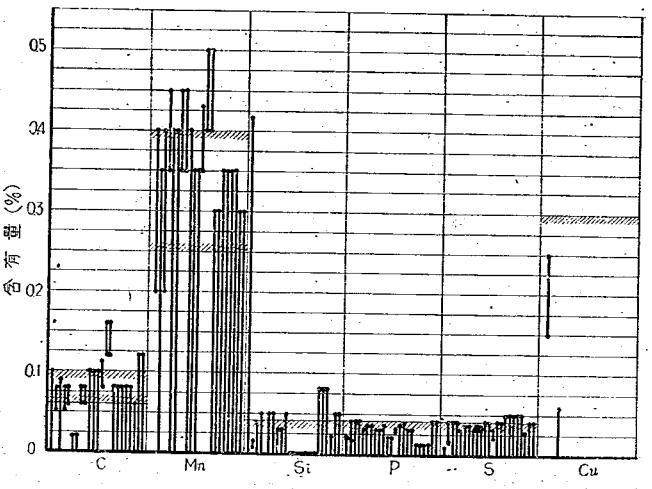


［2］ **心線の化學成分と其引張强度**　試驗に供した電極棒 37 種の中，心線の化學成分を明かにし得たものは 20 種であつて，これらの含有する各種成分の百分率は圖—8 に示すが如くであ

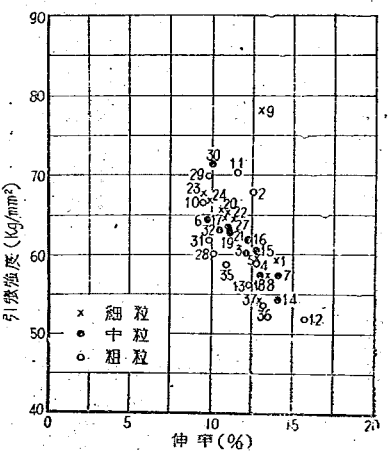
る．これによつて見るに心線の化學成分は C, Mn, Si に於て幾分臨時日本標準規格の範圍を出でたるものあるも，大體に於てこれが範圍内にあること第1回の試驗に於けると同樣である．

各電極棒については其被覆劑を剝し，標點距離を直徑の8倍に採つて心線の引張試驗を行つた．これによつて得られる心線の強度，延伸率等と含有化學成分とを比較するとき，こゝに心線への冷間加工の度を推定し得るものと考へる．圖—9 は心線の引張強度と伸率との關係を示したもので，これに金相顯微鏡寫眞に現はれた粒子の大さを加味して考へるとき，強度70 kg/mm² に近きものについては例外あるも，大體同一伸量の心線にては粒子の細かきものほど高強度を示してをることが窺はれる．圖—10は心線金相寫眞の數例である．表—2 に各心線の强度並に伸率を揭げたが，一二の例外を除けば强度は 55～70kg/mm², 伸率は 7.5～15%の間に納まつてをる．

圖—8　第2回電極棒試驗心線化學成分圖表



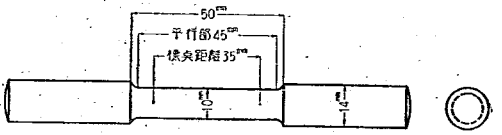
圖—9　心線引張强度と伸率との關係



［3］ 引張試驗成績　引張試驗片は各製造業者が提出された熔着鋼より當方にて削成したものであつて，其形狀寸法は圖—11に示す如くで平行部直徑 10mm，すべて熔接協會の規定に從つたものである．試驗には 5 T 松村式多能試驗機を使用した．試驗成績表—2 の如くである．

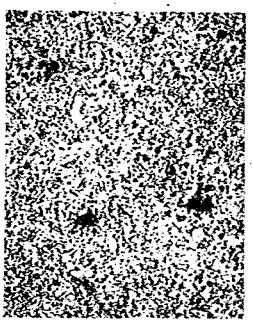
表—2 は熔着鋼の伸率順に配列したものであるが，これを圖示すれば圖—12の如くである．これによつて明かなるが如く其熔着鋼强度が 41 kg/mm² に達せざるものは總數の 20% に過ぎず，又伸率が 20% に達せざるものは總數の約 40% である．これらの數字は第

圖—11　熔着鋼引張試驗片

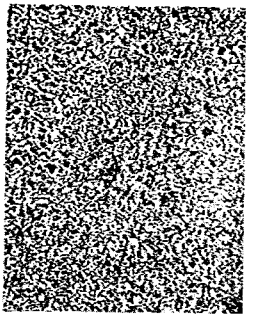


圖—10 電極棒心線金相寫眞 (4% Nital, ×100)

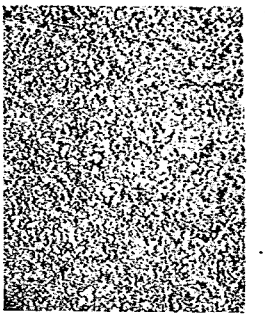
No. 9



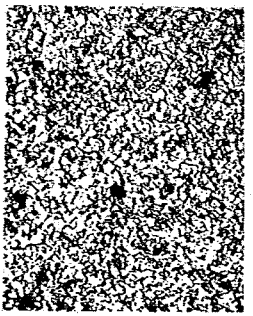
No. 17



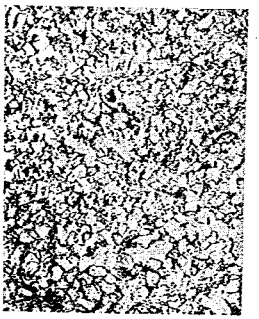
No. 23



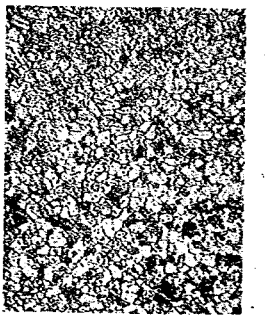
No. 3



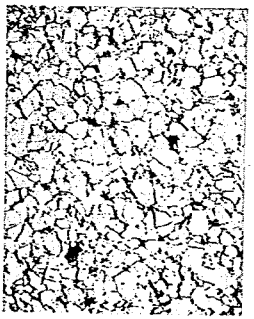
No. 6



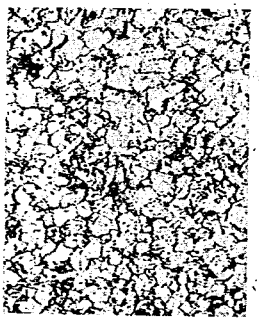
No. 19



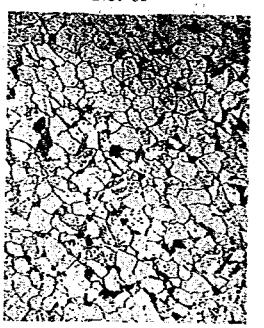
No. 12



No 13



No. 35



表－2　第2回電極棒試驗熔着鋼引張試驗成績

試片番號	電極棒心線 直徑 (m)	電極棒心線 極限强度 (kg/mm²)	電極棒心線 伸率 (%)	熔着鋼 降伏點强度 (kg/mm²)	熔着鋼 極限强度 (kg/mm²)	熔着鋼 伸率 (%)	硬度 (ショアー)	斷面狀況
21	4.1	63.3	10.9	36.7	57.4	93.6	10.4	
8	4.0	75.4	13.4	44.3	51.5	37.8	14.5	
17	4.0	46.7	10.8	40.3	50.9	36.1	11.7	
2	4.0	67.9	12.5	38.7	46.3	33.8	11.9	
32	4.1	63.2	10.4	34.7	42.8	32.3	12.5	
19	4.9	62.4	11.1	38.6	45.5	30.6	11.6	
1	4.0	59.4	14.0	37.0	40.9	28.2	13.3	
12	4.8	51.8	15.7	43.8	51.8	26.9	13.6	
7	4.0	57.4	14.0	25.2	40.2	26.8	12.6	
25	—	—	—	46.7	51.7	26.5	14.4	
28	4.0	60.1	10.1	38.8	48.9	26.4	14.1	氣泡有
14	4.5	54.4	14.1	38.9	43.8	25.3	13.5	
13	4.8	56.2	12.3	43.2	47.7	24.3	13.3	
30	4.1	71.5	10.0	35.3	45.1	24.3	12.8	
9	3.0	78.1	12.9	45.7	54.4	24.2	12.7	氣泡有
24	4.0	66.8	9.8	31.5	40.9	24.1	11.8	氣泡有
26	—	—	—	41.7	44.9	23.5	13.4	
36	5.0	53.7	13.2	38.3	46.7	21.2	14.3	
15	4.0	60.5	12.7	39.8	51.4	21.1	11.9	
20	4.1	65.6	10.6	36.9	52.9	21.0	10.3	氣泡有
35	5.0	58.8	19.9	33.4	41.4	20.4	13.7	
33	—	—	—	43.7	49.5	20.1	13.4	
37	5.1	54.1	12.9	36.8	45.7	19.6	13.3	
18	4.9	57.4	13.0	54.4	39.7	18.2	13.7	氣泡有
31	4.1	61.8	9.8	38.7	57.3	17.9	13.1	氣泡有
16	4.0	61.8	12.2	31.2	42.4	17.0	12.8	氣泡有
4	4.0	59.1	12.8	38.4	46.1	16.5	11.9	氣泡有
10	4.0	66.0	9.4	41.0	48.0	16.4	13.8	氣泡有
6	4.0	64.3	9.7	26.8	37.0	16.4	12.4	氣泡有
5	4.0	59.3	12.8	26.8	37.0	16.2	11.2	氣泡有
23	4.0	67.7	9.5	30.7	42.4	15.4	11.3	氣泡有
27	4.0	64.6	11.3	28.5	39.9	14.0	12.8	氣泡有
11	4.9	70.2	11.6	32.6	43.0	13.8	12.0	氣泡有
34	—	—	—	34.6	43.4	12.9	14.6	
22	4.0	65.2	10.8	28.9	37.4	12.4	10.1	
29	4.0	70.0	9.8	29.4	36.5	10.6	12.0	氣泡有
3	4.0	60.2	12.2	35.0	42.4	8.3	12.8	氣泡有

2 回試驗に於ける熔着鋼の性質が第1回に比して遙かに向上してをることを示すものであるが，この點を更に明かならしむるために兩回の試驗に於ける熔着鋼引張强度並に伸率の頻度曲線を圖—13 並 圖—14に示した．

これによると引張强度は第1回に於て 30～40kg/mm² のものが最多數を占めてをるが，第2回に於ては 40～50kg/mm² のものが最も多く，伸率は第1回に於て 10～14％のもの 35％の多數に達したるに拘らず，第2回

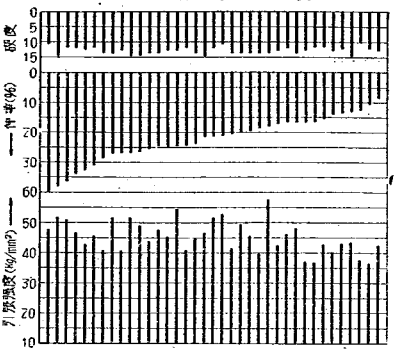
に於ては 15～25% のものが最多數を占めてをる.

以上の如く兩回の試驗を比較して電極棒性質に可成の進歩が認められたりと雖も，これを構造物用電極棒の所要性質より考ふるとき，尙充分ならざる點あるを遺憾とするものである.

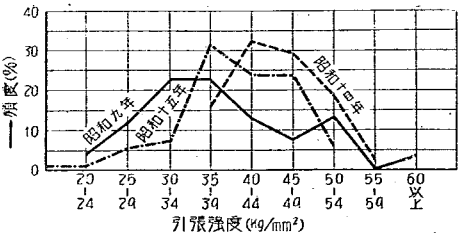
卽ち熔着鋼引張强度に就ては其大多數が 40kg/mm² を越す點は大に意を强くせるところなるも，其伸率に至つては 26% を越すもの僅に總數の 30% に達するに過ぎない.

圖—15はこれら熔着鋼の引張强度と伸率との關係を示したものであつて，これを圖—5 に示した第1回試驗のものに比較して見ると，低强度低伸率のもの丶減少してをるこ

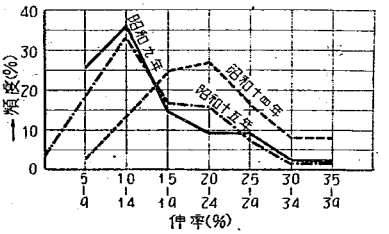
圖—12　熔着鋼引張試驗成績



圖—13　國産電極棒引張强度圖表

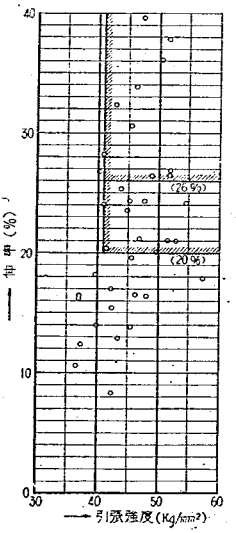


圖—14　國産電極棒伸率圖表

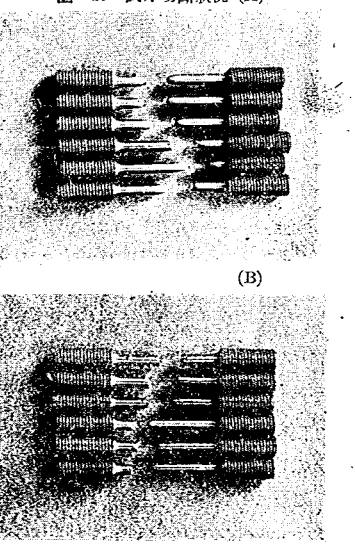


とを更に確認することが出來る.

圖—15　引張强度と伸率との關係



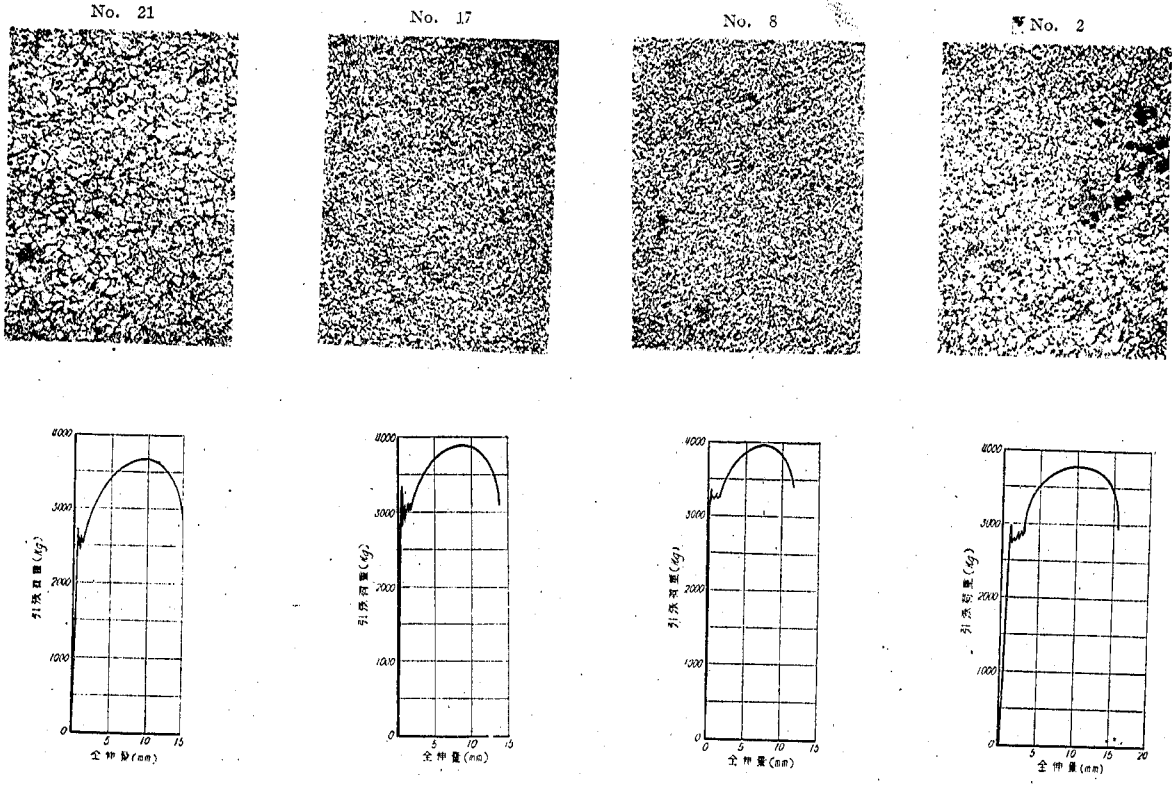
圖—16　試片切斷狀況 (A)



［4］ 熔着鋼の延性と金屬組織　電極棒の相違により其熔着鋼の延性に著しき差あることは表—2 及圖—12に示せるが如くである. 從つて其切斷狀況も試片毎に甚しい差異を見せてをる. 圖—16 (A) は伸率大なるもの. 圖—16 (B) は伸率小なるもの丶數例を示したものである.

斯くの如き延性の相違が生ずる原因が，何處にあるかの根本問題になるとこれを輕々に論斷することは困難であるが，少くも金相寫眞に現はれ

圖—17　熔溶鋼の金屬組織と荷重—伸曲線　(4%, Nital, ×100)



No. 34

No. 29

No. 27

No. 22

(8L)

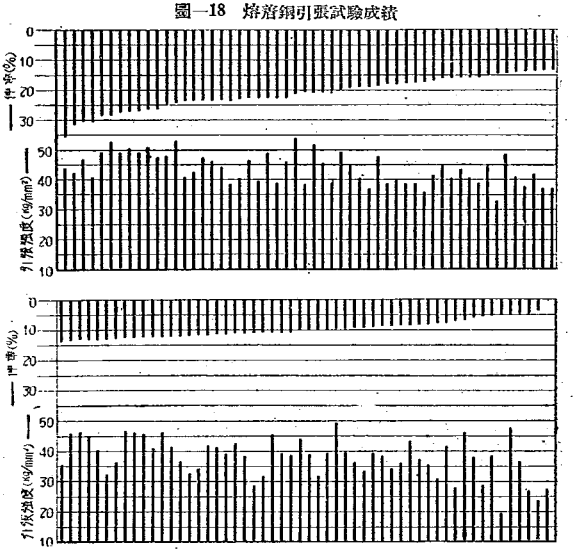
たところではこれが含む不純分が大なる要素をなせるものと觀れる．圖—17は代表的の資料8種につき其組織と荷重—伸曲線とを對照せしめたものである．延性の少ない試片に於て組織中に窒化物，熔滓，氣泡等の含有の著しいことが特に目立つ．

IV. 昭和 15 年熔接鋼强度試驗成績

前揭の著者の行つた熔着鋼强度試驗のほかに諸方面に於て又國産電極棒の强度試驗が行はれてをる．本章に於てはこれらの中昭和 15 年度に行はれたるもの百餘種を選び，これらの試驗成績に現はれたる傾向の大體を論じて見たいと思ふ．

圖—18に示したものはこれらのもの丶引張强度と伸率とを伸率順に配列したものであつて，この圖に明かなるごとく伸率 20% を越すものは總數の½に達せざる數であり，

圖—18　熔着鋼引張試驗成績



强度 41kg/mm² を越すものは總數の約⅓にあたつてをる．而して伸率 20% 以上を有するものは2，3の例外を除き 41kg/mm² の强度を示してをることは昭和9年に於ける著者の實驗結果とよく類似してをる．

更にこれらの試驗成績から，引張强度並に伸率の頻度曲線を求めて見ると圖—13 及 圖—14の鎖線に示せるが如きものとなり，其引張强度に於ては 35～39kg/mm² 級のもの最多數を占め，著者の昭和9年度並に14年度に於ける兩試驗結果の中間に位する成績を示してをる．又其伸率に於ては 10～14% 級のもの最も多く大體著者の昭和9年度に於ける成績と一致してをる．

以上に鑑るとき昭和 15 年度に於ける試驗成績は著者の昭和 14 年度に於けるものに比して可成の低下を見逃し難いのである．兩回の試驗に於て試料蒐集の方法並に試料數等に大なる相異あるが故にこの結果のみを以て嚴密なる批判を下す資料とすることは困難なるべきも，兩回とも試料の蒐集には特定の製品に對する故意的の要素を混じ居らざるが故に，この結果が最近の國産電極棒界の傾向の大勢を示すものと見て大過なしと信ずる．

果して然らば何が故に昭和 15 年度に於ける製品の低下が現はれたか，この問題は緒言に於て言及した通り，鐵鋼の統制による心線配給の圓滑を缺く一方，需要の增加の著しきものありたる必然の結果であつて，この狀態に國産電極棒界が推移することは本邦熔接工業界の由々しき問題と考へられたのであるが．さきに當局に於ける電極棒心線規格の發表があり心線配給機構の結成が行はれ．更に電極棒規格の制定に着手せられるゝに至り，電極棒品質向上への期待も決して空しからざる狀況に達しつゝあることを喜ぶものである．

V. 要　　約

1. この報告は昭和9年，14年，15年に行つた國產電弧熔接用電極棒による熔着鋼引張試驗成績を基として，本邦電極棒の品質が如何なる程度のものであるかを確むると共に，この數年間に於ける品質向上の大勢を明かならしめ，熔接工事實施に當つての電極棒選定の參考たらしめんとしたものである．

試驗の結果を綜合するに現況に於て市販の國產電極棒中には，構造物用電極棒として充分ならざる性質のものを多數に混じてをる事を遺憾とするものである．

2. 昭和9年に於ける 66 種の試料につきて行つた試驗では，心線の C 含有量は大部分 0.05～0.15%の範圍であり，Mn 含有量は 0.3～0.45% の範圍であつた．熔着鋼引張成績を見るに强度 41kg/mm² を越し，伸率20% に達するものは總數の僅かに 23% に充たざる狀況で，其他のものは構造物熔接用としての使用は躊躇せらるべき程度のものであつた．

引張强度は 30～39kg/mm² 級のもの最多數を占め，伸率は 10～14%級のものが最多數を占めてをる．

3. 昭和 14 年度の電極棒種類 37 につきての試驗結果では，心線の C 含有量は大部分 0.05～0.15%，Mn 含有量は過半が 0.3～0.45%．の範圍にあつた．熔着鋼引張强度が 41kg/mm² を越し，伸率 20%を越すものは總數の 60% に達し，昭和9年に於ける成績に比し遙かに優良なる結果を示してをる．其引張强度も 40～49kg/mm² 級のもの最多數を占め，伸率も 20～24%級のもの最多數を占めてをつた．

4. 昭和 15 年の試料 108 種についての試驗結果では，引張强度 41kg/mm² 以上，伸率 20%以上のものは總數の 25% に達するに過ぎず．引張强度も 35～39kg/mm² 級のもの最多數を占め，伸率も 10～14%級のもの最多數にして昭和 14 年の成績に比すとき著しい品質の低下であり，其程度は大體昭和9年に於ける成績に類似してをる．

5. 以上3回の試驗に於て試料の蒐集法，試料數等必ずしも一致して居らない．從つてこれらのみの比較にて國產電極棒の最近數年間の趨勢を正確に判斷することは大膽に過ぎるかも知れぬが，以上に現はれた結果から見て國產電極棒は昭和9年頃より逐次品質向上の途を上りつゝあつたが，昭和 15 年前後に至つて時局に伴ふ諸事情に災されて一般的に見て品質の低下を見るに至り，國產電極棒製造の初期時代と大差なき現況に立ち至つたと云つて大過なきものと信ずる．

其後幸にして當局が電極棒心線規格を制定し，心線配給機構を確立し電極棒規格の審議等に努力を拂はるゝに至つたからして再び品質向上の實が擧つてゆく事と信ずるが，工事實施にあたつての熔接棒の選定に際し，一般市場品に對し先づ警戒心を持たねばならぬ樣な時代の速かに過ぎ去らん事を切望するものである．

6. 前揭の諸成績から見て一般的に國產電極棒は其引張强度に於て相當優秀なる場合でも，其伸率が著しく不充分な事が多い樣である．これは需要者側で其强度をあまり重視しすぎた結果によるものとも考へられるが，鎔構造物細部に於ける材料の靱性が如何に重要であるかは贅言を要せざる處であつて，今後に於ける國產電極棒の進むべき途としては强度の增進をはかるべきは勿論であるが，一面熔着鋼の靱性增大に一層の努力が拂はれねばならぬものと信ずる．

VI. 附　　錄

鋼材用金屬電極棒規格　(熔接協會)

(20)

第1條　本規格ハ主トシテ鋼材ノ電弧熔接ニ用フル金屬電極棒（以下單ニ電極棒ト稱ス）ニ之ヲ適用ス

第2條　電極棒ノ品質ハ之ヲ分チテ第1種及第2種トス

第3條　電極棒ノ心線ハ臨時日本標準規格第40號ニ合格セルモノタル事ヲ要ス

第4條　電極棒ノ被覆ハ熔接作業中有毒ガスヲ發生スル事ナク其ノ厚サ均等ニシテ普通ノ貯藏又ハ取扱ニヨリ化學變化，濕氣ノ吸收，或ハ剝離等ノ事ナキヲ要ス

第5條　電極棒ハ其ノ指定セラレタル作業姿勢ニ於テ電弧安定ニシテ容易ニ作業シ得ル事ヲ要ス

第6條　電極棒ノ品質ハ全熔着金屬ニツキ下記ニヨリ定ム

1. 引　張　試　驗
2. 衝　撃　試　驗

各試驗ニ於ケル試驗片ノ製作及試驗方法ハ附錄第1ニヨル

第7條　第6條ノ各試驗ニ於ケル成績ハ下表ノ値以上タルベシ

品質＼試驗		引張試驗		衝撃試驗	
		引張强力 kg/mm²	伸 %	シヤルピー kg·m/cm²	アイゾット kg·m
第1種	A	41	32	12	8
	B	41	26	6	4
第2種		41	18	—	—

但シ第2種ハ當分ノ中之ヲ置クモノトス

第9條　電極棒心線ノ寸法及公差ハ下表ニヨル

直徑 (mm)	長 (mm)	長公差 (mm)
2.0 以下	200	±2
2.9 以上	350	±2

第9條　電極棒ハ濕氣及塵埃等ノ侵入セザル樣充分ナル包裝ヲ施シタル上，品質，直徑，長，重量，本數，製造者名並ニ製造日附ヲ明記シ置クヲ要ス

第10條　電極棒製造者ハ適當ナル方法ニヨリ當該電極棒ノ使用上必要ナル注意事項ヲ明示スル事ヲ要ス

附錄第一

試驗片ノ製作及試驗方法

A．試驗片製作一般要項

1. 本試驗片ノ製作ニ使用スル電極棒ノ直徑ハ 3～5mm トス
2. 熔接ノ歪ヲ考慮シテ後メ適當ナル方法ヲ講ズルコト
3. 仕上不可能ナル程度ノ歪ヲ生ジタル場合ハ再ビ製作スルコト
4. 熔接中及ビ熔接後ノ各種ノ處理（熱處理，槌打，ピーニング其他）ヲ禁ズ．但シ熔滓除去ノタメニ行フ小槌輕打ノミハ差支ナシ

B．引張試驗

（イ） 試驗片製作要項

1. 熔接姿勢下向熔接但シ希望アリタル場合ハ下向以外ノ方向ニ依ルコトヲ得

2. 熔接ビード圖示ノ如ク直角方向

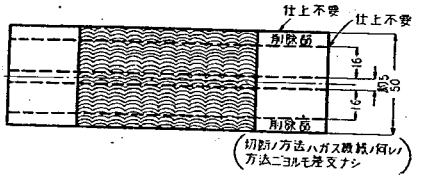
3. 仕上ハ殘メ裏座板ヲ削除シタル後ニ行フベシ

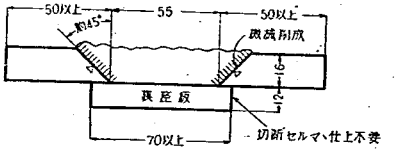
（ロ） 試驗片個數

仕上濟試驗片2個

（ハ） 成 績

2個ノ平均値





C．衝撃試驗

（イ） 試驗片製作要項

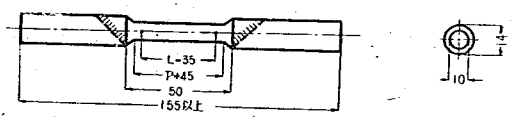
1. 熔接姿勢下向熔接但シ希望アリタル場合ハ下向以外ノ方向ニ依ルコトヲ得

2. 熔接ビード圖示ノ如ク直角方向

3. 仕上ハ殘メ鋼板ヲ削除シタル後行フベシ

5. 切斷ニ際シガス切斷ヲ使用スルトキハ熱影響部（約3mm）ヲ削除スベシ

5. 切込部ハ「ゲージ」ニヨリ精密ニ仕上グベシ



（ロ） 試驗片個數

仕上濟試驗片2個

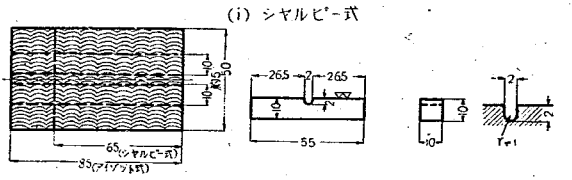
（ハ） 成 績

2個ノ平均値

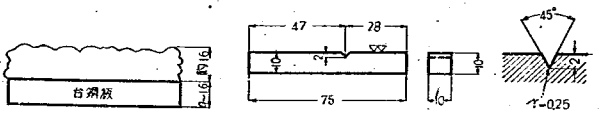
（ニ） 衝撃値算定式

（i）シヤルピー式

（i） シヤルピー式



（ii） アイゾット式



$$\text{衝撃値}=\frac{\text{折斷「エネルギ」}(kg\cdot m)}{\text{切込部實測原斷面積}(cm^2)}$$

（ii） アイゾット式

$$\text{衝撃値}=\text{折斷「エネルギ」}(kg\cdot m)$$

コンクリートの透氣性に關する試驗 (第2報)

內務技師　一　木　保　夫
內務技手　池　田　克　己

要　旨

第1報に於てはコンクリートの配合1：2：4のものにつき，異なる水セメント比と透氣量との關係，及び異なる厚さと透氣量との關係に就いて報告したが，更にコンクリートに火山灰を混加せるもの，及びセメントの單位使用量を增加した場合の透氣量に及ぼす影響に就いての試驗報告である．

目　次

I. 緒　言 …… (1)
II. 試驗結果の要約 …… (2)
［1］判　定 …… (2)
［2］試驗結果の大要 …… (2)
III. 試驗方法 …… (2)
［1］火山灰混加量が透氣量に及ぼす影響に關する試驗 …… (2)
［2］セメント使用量の增加が透氣量に及ぼす影響に關する試驗 …… (3)
IV. 火山灰混加量が透氣量に及ぼす影響に關する試驗結果と之に關する考察 …… (3)
［1］火山灰混加量とコンクリートの壓縮强度 …… (3)
［2］經過時間と透氣量 …… (3)
［3］火山灰混加量と1時間當り透氣量 …… (5)
［4］試驗結果の考察 …… (5)
V. セメント使用量の增加が透氣量に及ぼす影響に關する試驗結果と之に關する考察 …… (7)
［1］セメントの單位使用量とコンクリートの壓縮强度 …… (7)
［2］經過時間と透氣量 …… (7)
［3］セメントの單位使用量と1時間當り透氣量 …… (8)
［4］試驗結果の考察 …… (9)
VI. 結　言 …… (9)

I. 緒　言

第1報に於ては一般構造用1：2：4コンクリートの透氣性に關して，水セメント比と透氣量及び厚さと透氣量との關係について試驗した結果，コンクリートがプラスチックでウオーカブルな範圍に於ては，水セメント比の增加と共に透氣量が大となること，又厚さの大となるにつれて透氣量は減少する事，但し厚15cmまでは急激に減ずるが，15cm以上では厚さの影響は少くなることを明かにした．又配合1：2：4，厚10cm，空氣壓0.3515 kg/cm^2 (5lb/in^2) にて透氣量は炭酸ガスの含有量の非常に少いものに於て0.14 lit/m^2/hr以下であつたこと，コンクリートの透氣係數は (480～3,440)×10^{-12} にして，既往の實驗に於ける透水係數と比較すると100倍以上大であつたこと等を示した．即ち專ら基本的にコンクリートの透氣性を明かにした．

而して氣密性コンクリートの水セメント比及び厚さに關する標準示方の要領として，(1) コンクリートがプラスチックでウオーカブルな範圍に於ては，水セメント比を出來るだけ少くして，締固めを十分に行ふこと，(2) コンクリートの厚さは少くとも15cm以上とすることを提示した．

其の後引續き構造用コンクリートを特に氣密ならしめんとする目的の爲に，火山灰をコンクリートに混加した場合コンクリートの透氣性に及ぼす影響に關して厚さ 10cm 及び 15cm のものについて試驗し，又セメント使用量を增加した場合透氣量に及ぼす影響に關して，厚 5cm 及び 10cm に就て試驗を行つた．本報告に於ては夫等の結果に就いて述べ，且つ其の適當性を考察した．

II. 試驗結果の要約

[1] 判　定

構造用コンクリートを特に氣密ならしめる爲に，火山灰を混加することは適切な方法ではない．寧ろ水セメント比を減じて施工を入念にし，又セメント使用量を幾分增加するか，或は厚さを幾分增す事が透氣量の減少には適切な方法である．而して其の厚さは少くとも 15cm 以上とすることを要する．

[2] 試驗結果の大要

以上の 1：2：4 コンクリートに火山灰を混加せる場合，及びセメント使用量を增加せる場合の透氣量に及ぼす影響に關する試驗結果を要約すれば次の如し．

a) 1：2：4 コンクリートに火山灰を混加せる場合，厚 15cm，火山灰混加量 30% にて透氣量は無かつた．然し其の壓縮强度は混加せざるものに比べて 45%の減少となつた．火山灰混加量 10～20%に依つて透氣量は減減する傾向は認められるが，セメント使用量を增加すること，水セメント比を減少すること，又は厚さを增大すること等によつて得られた程の顯著な減少は見られなかつた．又壓縮强度が減少した．從つて透氣量減少の目的を以て火山灰を混加することは構造物の强度の點より余り適切ではない．

b) セメント使用量の增加に依つて，配合 1：1：2（セメント使用量 479 kg/m³），厚 10cm に於て透氣が無かつた．又配合 1：1.5：3（セメント使用量 351kg/m³）の 1 時間當り透氣量は 1：2：4（セメント使用量 274kg/m³）に比べて約 50 %の減少を示した．即ちセメント使用量を增加することに依つて透氣量は著しく減少する．但し實際施工上厚さ 10cm 以下にては有効でない．

III. 試　驗　方　法

[1] 火山灰混加量が透氣量に及ぼす影響に關する試驗

先づ容積比 1：2：4 コンクリートに就き重量にてセメントの 10%，15%，20%の火山灰を混加したるもの，及び混加せざるもの 4 種に對し，厚さ 10cm の供試體を夫々 2 箇宛製作し，材齡 28 日に於て透氣量の測定を行つた．

次に同じく火山灰を重量にてセメントの 10%，20%，30% 混加したるもの，及び混加せざるもの 4 種に對し，厚さ 15cm の供試體を夫々 3 箇宛製作し，材齡 28 日に於て透氣量の測定を行つた．

コンクリートの流動性はスランプ 5～8cm を得る如く水量を決定した．試驗の空氣壓力は 0.3515kg/cm²（5 lb/in²）である．尙厚 15cm の場合の供試體の製作に當りて其の表面仕上げを簡單にしたが，其の他の試驗裝置及び試驗方法は第 1 報に於けると同樣である．

使用したセメントは淺野普通セメントである．厚 10cm に關する試驗に使用した砂は多摩川產，大さ 5mm 以下，比重 2.70，單位重量 1,810kg/m³，空隙率 33.0 %，粗粒率 2.67 であり，砂利は多摩川產，大さ 30mm 以下，比重 2.60，單位重量 1,757kg/m³，空隙率 32.4%，粗粒率 2.67 である．厚さ 15cm に關する試驗に使用し

た砂は多摩川產，大さ 7mm 以下，比重 2.64，單位重量 1,760kg/m³，空隙率 33%，粗粒率 2.8 にして，砂利は荒川產，大さ 30mm 以下，比重 2.60，單位重量 1,832kg/m³，空隙率 29.5%，粗粒率 6.9 である．

［2］ セメント使用量の增加が透氣量に及ぼす影響に關する試驗

試驗は容積比にて 1：1.5：3 及び 1：1：2 コンクリートに就き，厚さ 5cm 及び 10cm の供試體に對して材齡 28 日に於て透氣量の測定を行つた．コンクリートの流動性は，スランプ 5～8cm を得る如く水量を決定し，各配合に就き，厚 5cm に對しては 3 個宛，厚 10cm に對しては 2 箇宛の供試體を製作した．尙其の他の試驗方法は第1報に於けると同じであるが，唯厚 5cm の供試體の製作に當りては，其の表面仕上げを簡單にした．

厚 5cm に對する試驗に使用したセメントは淺野普通セメント，砂は多摩川產，大さ 5mm 以下，比重 2.68，單位重量 1,771kg/m³，空隙率 34%，粗粒率 2.91 にして，砂利は荒川產，大さ 30mm 以下，比重 2.54，單位重量 1,820kg/m³，空隙率 29%，粗粒率 6.9 である．厚 10cm に對する試驗に使用したセメント，砂及び砂利は，〔1〕の火山灰を混加せる場合の厚さ 10cm に對する試驗に於けると同じである．

IV. 火山灰混加量が透氣量に及ぼす影響に關する試驗結果と之に關する考察

［1］ 火山灰混加量とコンクリートの壓縮强度

各火山灰混加量の場合の水セメント重量比，流動性及び材齡 28 日に於ける壓縮强度は，厚 10cm に對しては表—1，厚 15cm に對しては表—2 に示す如くであつた．

表 — 1　（厚 10cm の場合）

火山灰混加量 (%)	水セメント重量比 (%)	スランプ (cm)	フロー	平均壓縮强度 (kg/cm²)
0	63	6～8	180～200	271
10	65	6～7	195～200	240
15	66	6～7	195～200	184
20	68	6～7	195～200	190

表 — 2　（厚 15cm の場合）

火山灰混加量 (%)	水セメント重量比 (%)	スランプ (cm)	フロー	平均壓縮强度 (kg/cm²)
0	61	6	180	268
10	65	6～7	175～185	253
20	68	6～7	180～195	230
30	71	6	180	148

［2］ 經過時間と透氣量

表—3 及び圖—1 はコンクリートの火山灰混加量と透氣量との關係に就て，厚 10cm に對する試驗結果である．試驗結果は總て大氣壓及び氣温に對して修正を施してある．透氣量は m² 當り lit を以て示した．

圖—1 に示す如く，火山灰混加量10%のものについては，No. 1 は約 14 時間略一定の割合に透氣あり，その後は遞減的であり，No. 2 は No. 1 に比べて著しく透氣量少にして觀測 72 時間中略一定の割合で透氣があつた．15%のものについては No. 1 は 25 時間，No. 2 は 24 時間略一定の割合で透氣あり，その後著しく遞減した．20%のものについては，No. 1 は始めの 20 時間透氣無くその後に於て 33 時間略一定の割合に透氣あり，その後著しく遞減した．No. 2 は No. 1 に比べて著しく透氣量大にして，20 時間略一定の割合で透氣あり，その後遞減した．セメントのみのものは 27 時間略一定の割合に透氣あり，その後著しく遞減した．

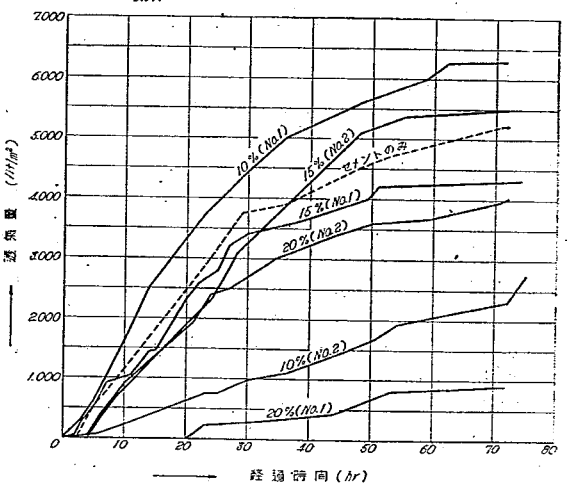
表—3 經過時間と透氣量 (厚 10cm)

火山灰混加量 0 %		火山灰混加量 10%				火山灰混加量 15%				火山灰混加量 20%			
		No. 1		No. 2		No. 1		No. 2		No. 1		No. 2	
經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)
2	0	3	0.306	2.5	0	2	0.033	4	0	20	0	4	0.032
5	0.526	5	0.611	4.5	0.036	3	0.249	6	0.331	21	0.068	6	0.357
7	0.754	7	1.019	6	0.065	4	0.368	9	0.720	23	0.222	10	0.897
23	2.895	8	1.219	12	0.292	5	0.501	24	2.347	31	0.274	21	1.920
29	3.764	12	2.071	23	0.748	6	0.699	26	2.665	44	0.422	24	2.386
36	3.907	14	2.550	25	0.761	7	0.908	28	3.074	47	0.567	27	2.511
47	4.465	23	3.731	27	0.858	11	1.041	48	5.080	53	0.802	34	3.003
52	4.687	26	4.023	30	0.978	14	1.435	55	5.356	68	0.880	45	3.427
56	4.805	30	4.450	36	1.095	15	1.448	59	5.389	72	0.880	50	3.588
71	5.213	36	4.975	47	1.496	20	2.343	72	5.492			59	3.681
72	5.213	48	5.599	51	1.707	22	2.589					71	3.974
		51	5.714	54	1.921	25	2.794					72	4.048
		59	5.987	58	2.018	27	3.218						
		62	6.277	72	2.296	30	3.401						
		72	6.283	75	2.747	38	3.619						
						49	3.991						
						51	4.189						
						74	4.295						

表—4 及び圖—2 は同じく厚15 cm に對する試驗結果である.

火山灰混加量10%のものについては, 加壓後 5~6 時間は透氣なく其の後透氣あり試驗期間の終りに於ては遞減的である. 20%のものについては No. 1 は加壓後 7 時間は透氣無く, 其の後透氣あり試驗期間の終りに於ても遞減的傾向は見られず依然透氣があつた. No. 2 及び No. 3 は加壓後夫々 51 時間及び 54 時間透氣なく, 其の後に於て透氣があつた. 30%に於ては全然透氣が無かつた. 0 %のものについては, No. 1 及び No. 3 は 6 時間まで, No. 2 は 29 時間まで透氣なく, 透氣量は試驗期間の終りに於て稍々遞減してゐる.

圖—1 火山灰を混加せる場合 (厚 10cm) の經過時間と透氣量との關係



表—4　經過時間と透氣量（厚 15cm）

火山灰混加量 0%						火山灰混加量 10%					
No. 1		No. 2		No. 3		No. 1		No. 2		No. 3	
經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)
6	0	29	0	6	0	6	0	6	0	5	0
23	0.620	46	1.099	23	0.429	24	0.451	26	0.323	23	0.042
47	0.729	50	1.112	47	0.900	50	0.940	28	0.371	26	0.054
50	0.773	70	1.485	51	0.960	52	0.997	47	1.157	29	0.393
54	0.799	72	1.611	54	0.999	55	1.093	71	1.224	48	0.748
71	1.208			71	1.367	72	1.326	72	1.224	71	1.058
72	1.208			72	1.367					72	1.058

火山灰混加量 20%						火山灰混加量 30%					
No. 1		No. 2		No. 3		No. 1		No. 2		No. 3	
經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)
7	0	51	0	54	0	72	0	72	0	72	0
24	0.312	55	0.076	71	0.255						
48	0.614	72	0.317	72	0.255						
55	0.697										
72	1.229										

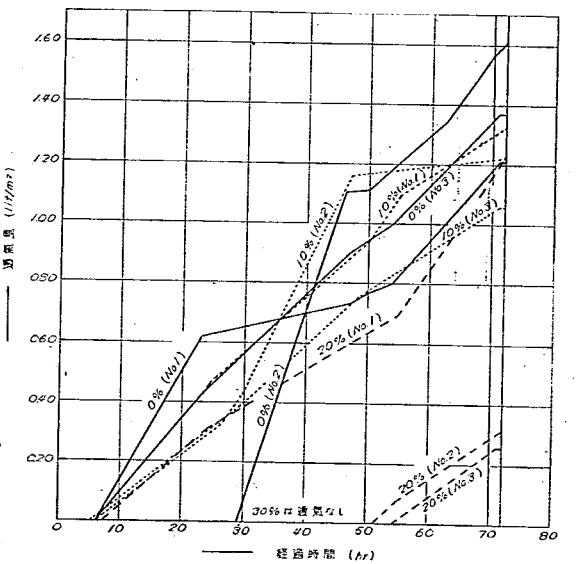
［3］ 火山灰混加量と1時間當り透氣量

前記試驗結果から全透氣量，及び平均（全透氣量/透過時間）及び最大（比較的透氣量大なる期間の量を該時間で除した）1時間當り透氣量を示せば 表—5（厚 10cm）及び表—6（厚 15cm）の如くである．

［4］ 試驗結果の考察

火山灰を混加せるものと混加せざるものとに就いてその透氣量を比較するに，厚 10cmに就いては，圖—1，表—5，及び圖—3 より10%の No. 1 はその透氣量が 0%のものより大であり，15%のものは大差なく，20%のものについては，No. 1 は著しく少いが，No. 2 は僅かに小である．卽ち各場合

圖—2　火山灰を混加せる場合（厚 15cm）の經過時間と透氣量との關係



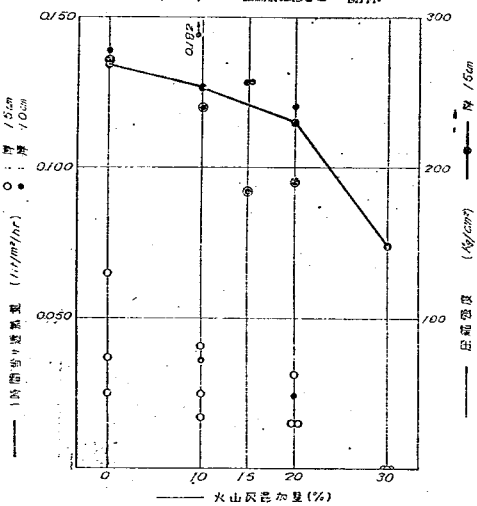
表—5 全透氣量及び1時間當り透氣量
(厚 10cm)

火山灰混加量(%)	番號	透過時間(hr)	全透氣量(lit/m²)	1時間當り透氣量(lit/m²/hr) 平均	最大	摘要
0	1	69	5.213	0.076	0.139	
10	1	72	6.283	0.087	0.182	
	2	72.5	2.747	0.038	0.038	
15	1	74	4.295	0.058	0.128	
	2	68	5.492	0.081	0.128	
20	1	48	0.880	0.018	0.024	
	2	72	4.048	0.056	0.120	

表—6 全透氣量及び1時間當り透氣量
(厚 15cm)

火山灰混加量(%)	番號	透過時間(hr)	全透氣量(lit/m²)	1時間當り透氣量(lit/m²/hr) 平均	最大	摘要
0	1	65	1.208	0.019	0.037	
	2	43	1.611	0.037	0.065	
	3	65	1.367	0.021	0.025	
10	1	66	1.326	0.020	0.025	
	2	65	1.224	0.019	0.041	
	3	66	1.058	0.016	0.017	
20	1	65	1.229	0.019	0.031	
	2	21	0.317	0.015	0.015	
	3	17	0.225	0.015	0.015	
30	1	0	0	0	0	透氣なし
	2	0	0	0	0	同上
	3	0	0	0	0	同上

圖—3 火山灰混加量と1時間當り透氣量(最大)及び壓縮强度との關係



に對し顯著なる差異を見出し得ず，結果は頗る不順である．尙コンクリートの壓縮强度は火山灰の 10%の混加によつて約 10%，又20%の混加によつて約 30% の減小を示してゐる．卽ち强度の著しき減少に比して透氣量の顯著な減少が見られない．

厚 15cm に就ては圖—2，表—6 及び圖—3 より，火山灰の混加によつて透氣量は漸減の傾向を示し，30%混加のものは透氣量は0であるが，同時に壓縮强度は著しく減小しており，火山灰を混加せざる場合の壓縮强度の55%に低下してゐる．從つて之が實際使用に當つては甚だ不安を伴ふ．混加量 20% までは厚 10cm の場合程不順でないが，セメント使用量を增すこと，水セメント比を減小すること，又は厚さを增すこと等によつて得られた程の顯著な透氣量の減少は見られない．尙火山灰混加量 10% 及び20 %の場合の壓縮强度は混加せざるものに比して夫々 6%及び 14%の減少を示してゐる．

此のやうに火山灰の混加によつて，透氣量は顯著ではないが漸減する傾向は認められるが，同時に壓縮强度が減少する故，透氣量減少の目的を以て火山灰を混加することは，構造物の强度の點より考へて余り適切な方法ではないと結論し得る．

V. セメント使用量の增加が透氣量に及ぼす影響に關する試驗結果と之に關する考察

〔1〕 セメントの單位使用量とコンクリートの壓縮强度

各配合の水セメント重量比，流動性及び材齡 28 日に於ける壓縮强度は，厚 5cm に對しては表—7，厚 10cm に對しては表—8 の如くであつた．

表 — 7　(厚 5cm)

配　合	セメント使用量 (kg/m³)	水セメント量重比 (%)	スランプ (cm)	フロー	壓縮强度 (kg/cm²)
1 : 1.5 : 3	342	51	6～7	170～180	319
1 : 1 : 2	468	42	7	180～185	332

表 — 8　(厚 10cm)

配　合	セメント使用量 (kg/m³)	水セメント量重比 (%)	スランプ (cm)	フロー	壓縮强度 (kg/cm²)
1 : 1.5 : 3	351	51	7～8	185	398
1 : 1 : 2	479	42	7	180～187	394

表—9　經過時間と透氣量

配合 1 : 1.5 : 3						配合 1 : 1 : 2					
No. 1		No. 2		No. 3		No. 1		No. 2		No. 3	
經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)
11	0	8	0	8	0	7	0	6	0	7	0
26	0.783	23	1.214	23	0.013	24	0.550	23	0.205	23	0.227
34	0.860	28	1.413	29	0.186	26	1.051	26	0.313	30	0.291
46	1.205	31	1.528	47	0.365	31	1.377	47	1.576	50	1.464
50	1.336	47	2.838	55	0.406	47	1.572	50	1.662	52	1.515
70	1.540	54	2.982	72	0.455	52	1.659	71	1.751	71	1.870
72	1.540	71	3.400			71	1.866	72	1.777	72	1.882
		72	3.400			72	1.879				

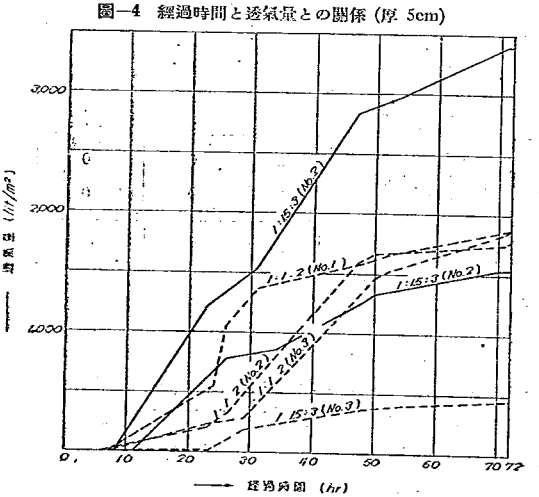
〔2〕 經過時間と透氣量

表—9 及び圖—4 は各配合コンクリートの經過時間と透氣量との關係に就て，厚 5cm に對する試驗結果である．

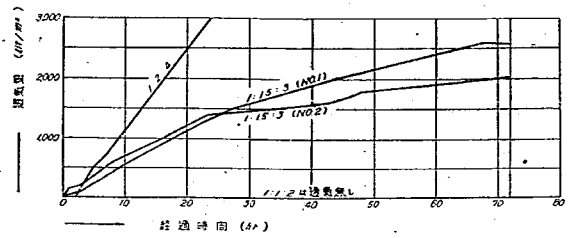
圖—4 に示す如く，配合 1 : 1.5 : 3 及び 1 : 1 : 2 共に測定期間中透氣あり，何れも 50～72 時間附近で遲減した．

表—10 及び圖—5 は同じく厚 10cm に對する試驗結果である．配合 1 : 1 : 2 コンクリートに就いては，全測定期間72時間に於て全く透氣が無かつた．1 : 1.5 : 3 コンクリートに就いては圖—5 に示す如く測定期間中透氣あり 72 時間附近に至り著しく減じた．

圖—4　經過時間と透氣量との關係 (厚 5cm)



圖—5 經過時間と透氣量との關係 (厚 10cm)



表—10 經過時間と透氣量
(配合 1 : 1.5 : 3)

No. 1		No. 2	
經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)	經過時間 (hr)	透氣量 (lit/m²)
1	0.153	3	0.118
3	0.218	9	0.501
8	0.614	20	1.107
19	1.150	23	1.333
23	1.387	27	1.509
32	1.488	33	1.670
43	1.618	44	2.040
46	1.738	68	2.629
48	1.822	72	2.629
72	2.014		

[3] セメントの單位使用量と1時間當り透氣量

前記試驗結果から，全透氣量及び,平均及び最大1時間當り透氣量を，コンクリート 1m³ 當りのセメント使用量に對して示せば，表—11 (厚 5cm) 及び表—12 (厚 10cm) の如くなる．

表—11 全透氣量及び1時間當り透氣量 (厚 5cm)

配合	セメント使用量 (kg/m³)	番號	透過時間 (hr)	全透氣量 (lit/m²)	1時間當り透氣量 (lit/m²/hr) 平均	1時間當り透氣量 (lit/m²/hr) 最大	摘要
1 : 1 : 2	468	1	65	1.879	0.029	0.057	
		2	66	1.777	0.027	0.038	
		3	65	1.882	0.029	0.034	
1 : 1.5 : 3	342	1	59	1.540	0.026	0.042	
		2	63	3.400	0.054	0.073	
		3	64	0.455	0.007	0.009	
1 : 2 : 4	279		72			0.233	厚さと透氣量とに關する試驗結果より

表—12 全透氣量及び1時間當り透氣量 (厚 10cm)

配合	セメント使用量 (kg/m³)	番號	透過時間 (hr)	全透氣量 (lit/m²)	1時間當り透氣量 (lit/m²/hr) 平均	1時間當り透氣量 (lit/m²/hr) 最大	摘要
1 : 1 : 2	479	1	0	0	0	0	透氣なし
		2	0	0	0	0	〃
1 : 1.5 : 3	351	1	72	2.014	0.028	0.077	
		2	72	2.629	0.037	0.056	
1 : 2 : 4	274		69	5.213	0.076	0.139	

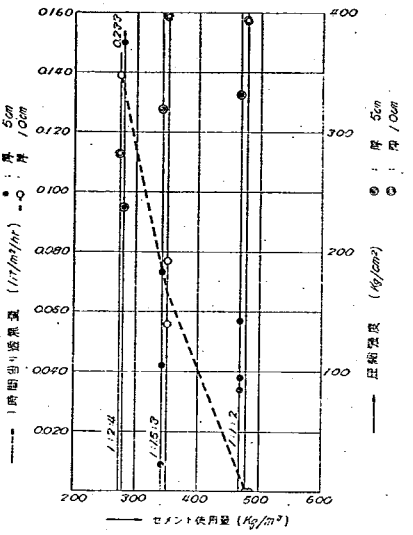
尙表—11 の 1 : 2 : 4 に對する値は第1報に於ける厚さと透氣量とに關する試驗結果である．

更に表—11 及び12 よりセメント使用量と1時間當り透氣量との關係を圖示すれば，圖—6 の如くである．圖—6 には又セメント使用量と壓縮强度との關係をも對照してある．

［4］ 試驗結果の考察

セメント使用量と透氣量との關係に就いて，厚 5 cm に對しては，表—11 及び圖—6 より見る如く，配合 1：1.5：3（セメント使用量 342kg/m³）及び 1：1：2（セメント使用量 468kg/m³）の透氣量は配合 1：2：4（セメント使用量 279kg/m³）より相當小である．但し 1：2：4 に對する値は，厚さと透氣量とに關する試驗結果であり，其の使用材料異り，流動性はスランプ 14cm，壓縮强度は 237kg/cm² である．次に配合 1：1：2 及び 1：1.5：3 の間に於ては，圖—4 及び 6 に見る如くに其の結果は頗る不整であり，セメント使用量の增加に依る透氣量の明かな減少は見られない．之は厚さが小になる程供試體製作に當りての表面仕上げの影響が益々大となる爲と考へられる．

圖—6　セメント使用量と 1 時間當り透氣量（最大）及び壓縮强度との關係



次に厚 10cm に對しては，圖—5，表—12 及び圖—6 に見る如く，配合 1：1.5：3（セメント使用量 351 kg/m³）に於ては 1 時間當り透氣量は平均 0.066 lit/m² であり，之を 1：2：4（セメント使用量 274kg/m³）と比較するに，セメント使用量を 28%增すことによつて約 50%減少してゐる．配合 1：1：2（セメント使用量 479kg/m³）に於ては透氣が無かつた．尙同じ流動性に於て壓縮强度は 1：1.5：3 と 1：1：2 が殆ど同じ如き結果を示したが，之は供試體製作に當りて，其の塡充方法及び表面仕上げに缺陷ありし爲と考へる．

以上に依つてセメント使用量を增加することは透氣量を著しく減少せしめる．但し實際施工上厚さ 10cm 以下にては有效ではない．

VI. 結　　語

構造用コンクリートを特に氣密ならしめんとする爲に火山灰を混加することは，强度の減少に比して，透氣量の顯著な減少の無い點より適切な方法ではないと認めるが，之を經濟的見地より或る程度の强度の低下を許容し得る場合に言及せん爲には，更に數多くの實驗により定量的な結果を得て，夫とセメント使用量の增加，厚さの增大，其の他の方法と比較檢討することを要する．

尙引續き 1：2：4 コンクリートに就き厚さ 20cm，29cm に增した場合，厚さの透氣量に及ぼす影響に就て試驗中である．

貧配合コンクリート鋪裝の磨耗試驗

內務技師　山　田　　元

要　　旨

從來餘り用ひられなかつた樣な貧配合のコンクリート鋪裝8種に對しバルーンタイヤ又は鐵輪帶を有する走行車輪によつて磨耗抵抗力を比較試驗し，本邦現時の地方道に對して配合 1：3：6，1：2：6 等迄は多くの場合適當であるが 1：2：8，1：4：8 又は之以下の配合のものに對しては特殊の工法を施す必要のあることを明にした．

目　　次

Ⅰ. 緒　言……（1）
Ⅱ. 試驗方法……（2）
［1］ 試驗機械の性能……（2）
［2］ 試驗路面……（2）
Ⅲ. 試驗の經過及結果……（3）
［1］ 試驗荷重……（3）
［2］ 試驗結果……（4）

Ⅰ. 緒　　言

セメントコンクリート鋪裝の配合は，從來2層式では表層 1：1.5：3，下層 1：2：4 又は 1：3：6，1層式では 1：2：4 以上とした，之等は，實地の經驗や，鐵輪帶を主とした實驗結果等に基いて定めたものであつて，現代の交通荷重に對しては餘りに安全に過ぎる憾があり，現下の如く，一木一草の末に至るまで之を忽にすることの出來ない必迫せる時局下に於ては確に再吟味を要する問題である．

元來コンクリート鋪裝の配合を適正ならしめむが爲には鋪裝版の支持力と，表層の磨耗抵抗力との兩方面から檢討する必要がある．第一の鋪裝版の支持力を明にするには，先づコンクリートの曲げ强度を知る必要があるが，之に就いては既に多數の資料があり，本所に於ても曩に 1：2：4 以下 1：5：10 乃至 1：2：12 等の如き貧配合のものに至るまで實驗し彙報第 15 號に報告してあるから，荷重と地耐力とに應じて適正なる配合を推定し得る．然るに，第二の磨耗抵抗力に關しては D. Abrams 其の他の實驗もあるが，其の實驗方法が實際の車輪の作用と著しく趣きを異にしたり，或は主眼とする配合が餘りに富配合のものであつたり，或は又鐵輪帶のみを對象としたりして居るので直に現在の要求を滿たすことが出來ないのである．

併し上記資料によるもゴム輪帶特にバルーンタイヤの如くコンクリートに對する磨削作用が鐵輪帶に比し著しく輕微である車輪に對して更に配合を低下し得べきは想像するに難からず．現に東京市內の一重要路線に於て極

1) Pvoc. of A. S. T. M 1921 vol. 21
2) 土木試驗所報告第 13 號

めて貧配合のコンクリート舗裝が相當の交通に堪えつゝある狀況である．本報告は，之等の事情と物資節約の緊要なる現下の情勢とに鑑みて本所に設備せる甲種道路試驗機を用ひ從來試驗されなかつた樣な 1：2：4 乃至 1：2：12 又は 1：5：10 等の 8 種の比較的貧配合のコンクリートを以て試驗路面を造り，之に主としてバルーン・タイヤを，必要に應じ鐵輪帶，ソリッド・タイヤ等を交へて走行せしめ其の磨耗抵抗力を實驗的に比較し，以て磨耗抵抗力の見地からコンクリート舗裝の配合を再吟味せむとするものである．

II. 試 驗 方 法

[1] 試驗機械の性能

試驗に使用した甲種道路試驗機は其の構造概報の如く，平均徑約 10 m，幅 76 cm の環狀の試驗路面上に直徑約 1 m，重量約 1 瓲の車輪 8 個を電力により平均速度 3 哩時にて各獨自の路線を，任意に働輪或は從輪とし，回轉走行せしめて其の路面狀況を明にせむとするものである．輪帶は主としてバルーン・タイヤを用ひ，必要に應じ其の內 1 個或は 2 個をソリッド・タイヤ又は鐵輪帶とした．各種車輪の重量輪帶の性質等は表—1 に示す通りである，バルーン・タイヤは重量約 1,100 kg，管氣壓 2.46 kg/cm², 實際觸地面積の平均單位壓力強度は 4.6～5.3 kg/cm², ソリッド・タイヤは重量約 1,200 kg，觸地面積の壓力強度 12.10 kg/cm², 單位輪帶幅の荷重 153.5 kg/cm，鐵輪帶は重量約 1,400～1,300 kg，輪帶幅約 7.7 cm，單位輪帶幅の荷重最大 183 kg/cm である．

表—1 車輪の荷重と輪帶の性質
p は輪帶の純觸地面積の單位壓力強度 (kg/cm²)
q は輪帶の實際觸地單位幅の壓力 (kg/cm)

輪帶種別	車輪番號 [即ち路線番號 (外側より數ふ)]										摘要
	No. 1		No. 3		No. 4		No. 6		No. 7		
	重量 (kg)	p (kg/cm²) q (kg/cm)	重量 (kg)	p q	重量 (kg)	p q	重量 (kg)	p q	重量 (kg)	p q	
バルーン 管氣壓 2.461 (kg/cm²)	1,102	p 5.3 q 127	1,178	5.1 103	1,127	4.9 99	1,092	4.6 96	1,120	4.8 97	
ソリッド		p q	1,200	12.1 154	1,153	13.3 201					
鐵		q			1,349	175	1,293	172	1,290	168	

[2] 試驗路面

(1) 種別構造　試驗路面は表—5 に示すが如く配合 1：2：4，1：2：6，1：3：6，1：2：8，1：4：8，1：2：10，1：5：10 及 1：2：12 の 8 種とし從來表層に使用された配合に比し適に貧配合のものに及んだ．各工種は幅 76 cm，長さ約 1 m とし，基礎は厚さ約 15 cm のコンクリートで，其の上に 1：2：10 及 1：2：12 のものは 6.5 cm，他は 5 cm の厚さの表層を施工した．搗固めには鐵製タンパー（重量 11 kg，底面方形にして 110 cm²）を用ひ，仕上げは主として鏝を用ひ，必要により鐵製手動ローラー（長及直徑各 30 cm，重量 73 kg）を用ひた．施工後麻袋を以て覆ひ，2 回撒水養生した．

(2) 使用材料　セメントは土木試驗所彙報第 15 號に報告せる強度のもの，砂は荒川產荒目のもの，砂利は多摩川產のものにして，性質概要夫々表—2 表—3 に示すが如くである．

表—2　砂試験成績表

試験項目	試験数値	篩分析 篩目(mm)	篩分析 (%)
比重	2.72	5～2.5	7.63
単位重量 標準 (kg/m³)	1,670	2.5～1.2	17.09
単位重量 軽詰 (kg/m³)	1,586	1.2～0.6	30.15
空隙率 (%)	38.6	0.6～0.3	31.09
粘土，泥 (%)	0.4	0.3～0.15	12.95
有機物	1/30	0.15以下	1.09
粗粒率	3.72		

表—3　砂利試験成績表

試験項目	試験数値	篩分析 篩目(mm)	篩分析 (%)
比重	2.60	30～25	9.0
単位重量 標準 (kg/m³)	1,710	25～20	12.5
単位重量 軽詰 (kg/m³)	1,627	20～15	19.1
空隙率 (%)	34.2	15～10	22.7
吸水率 (%)	0.98	10～7	22.6
粘土，泥 (%)	0.09	7～5	13.9
粗粒率	6.85	5～2.5	0.2

III. 試驗の經過及結果

[1] 試驗荷重

試驗は路面施工後2週間を經て 15 年 1 月 10 日より先づ全車輪をバルーン・タイヤとして時速 3 哩を以て

表—4　試驗荷重表

1 回轉所要時間は第 4 回試驗迄は 27.3″. 以後は 25″. とす

試驗回數	運轉時間及回轉數 各回 時分 回轉數	運轉時間及回轉數 累計 時分 回轉數	バルーン・タイヤ 使用車輪(走行路線)番號	バルーン・タイヤ 走行荷重の例(瓲) No. 1 自重 (kg) 1,102	No. 3 自重 (kg) 1,170	No. 4 自重 (kg) 1,127	ソリッド・タイヤ 車輪番號	ソリッド・タイヤ 走行荷重(瓲)	鍛輪帶 車輪番號	鍛輪帶 走行荷重(瓲)	摘要
1	4 528	4 0 528	1～8	581	616	595					走行荷重欄 ( ) 內は累計
2	16 2,112	20 0 2,640	1～8	2,328 (2,909)	2,464 (3,080)	2,380 (2,975)					
3	10 1,320	30 0 3,960	1～8	1,452 (4,361)	1,543 (4,623)	1,485 (4,460)					
4	21 30 2,835	51 30 6,795	1～3 及 5～8	3,125 (7,486)	3,320 (7,943)	3,120[1] (7,580)			No. 4[2]	89.0[3]	1) 運轉時間21時間2769回轉 2) 重量 1,349 kg 3) 運轉時間30分66回轉
5	57 30 8,280	109 0 15,075	1～3 及 5～8	9,130 (16,616)	9,700 (17,643)	9,160[4] (16,740)			No. 4[5]	191.6[5] (280.6)	4) 運轉時間 56.5時間8,138回轉 5) 運轉時間 1時間142回轉
6	50 7,200	159 0 22,275	1～3 及 5～8	7,945 (24,561)	8,420 (26,063)	— (16,740)	No. 4[6]	8,310			6) 重量1,153 kg
7	11 40 1,680	170 40 23,955	1.2 4.5 及8	1,850 (26,411)	1,850[9] (27,913)	1,730[10] (18,470)	No. 4 No. 3	162.6[7] 115.2[8]	No. 7 No. 6	182.0[7] 124.1[8]	7) 1時間141回轉 重量No.3, 1,200 No.6, 1,293 No.7, 1,290
計	170 40 23,955			26,411	27,913	18,470	No. 4 No. 3	8,472.6 115.2	No. 4 No. 6 No. 7	280.6 124.1 182.0	8) 40分96回轉 9) 11時間1,582回轉 10) 10時間 40 分 1,535回轉

開始し7回に亘り運轉時間總計170時間 40 分に及び 11 月 18 日一先づ終了した．各回に於ける試驗荷重を一括すれば表—4 の如くである．卽ち，路線（外側より數へて）No. 1, 2, 5, 8 等は全試驗 170 時間 40 分，25,955 回を通じてバルーン・タイヤを使用し之等の內の最大通過荷重は No. 1 の 26,411 瓲である．路線 No. 3 はバルーン・タイヤ使用時間 170 時間，回轉數 23,859 回，通過荷重 27,913 瓲，及ソリッド・タイヤ使用時間 40 分，96 回荷重 115 瓲にして兩者合計 28,028 瓲にしてバルーン・タイヤのみの荷重に於ても總荷重に於ても全路線中最大である．No. 4 はバルーン 18,470 瓲，ソリッド 8,473 瓲，鐵輪 281 瓲，合計 27,124 瓲にして今回使用せる各種輪帶を含み且鐵輪荷重最大である．バルーン・タイヤの通過回數より二車線道路の自動車交通量に換算すれば約 527,000 臺となる．

[2] 試驗の結果

試驗結果は表—5 に一括せしが如くにして其の主要なる點を摘記すれば次の如くである．尙主要なるもの、試驗後の路面狀況を示せば圖—1 の如くである．

1) 現行バス・バルーン程度のバルーン・タイヤのみの交通に對しては配合 1：2：4，1：2：6，及 1：3：6 等は安全であるが 1：2：8，1：4：8，1：5：10，1：2：10 又は之等以下の配合は特殊の增强工法を講ずるに非ざれば適當でない．

2) 1：2：8，1：2：10，1：2：12 等の如き貧配合のものもバルーン・タイヤのみの交通に對しては配合 1：1 程度のモルタルを塗裝すれば 1 日交通量 200 臺の路線に於て尠くとも約 7 ケ年間は充分堪へ得るもの、如し．

3) 鐵輪の交通稀少にして主としてバルーン・タイヤの交通する路線に於ては 1：3：6 の配合が最も經濟的である．

4) 鐵輪の重量及其の交通量本邦現時の一般地方道の程度ならば 1：2：4 より富配合とするは經濟的に非ず．

5) 配合 1：4：8，1：5：10，及 1：2：12 等は 1：3：6 に比し所要セメント量稍尠きも 1 日の自動車交通量 200 臺程度にしてバルーン・タイヤのみの場合に於ても 2 ケ月乃至 1 年半以內に路面修理の必要を生じ却つて不經濟である．

6) 1：3：6 は 1：2：6 に比し所要セメント量稍尠きのみならず，バルーン・タイヤを主とする交通に對し磨耗均等なる點で稍勝つて居る，

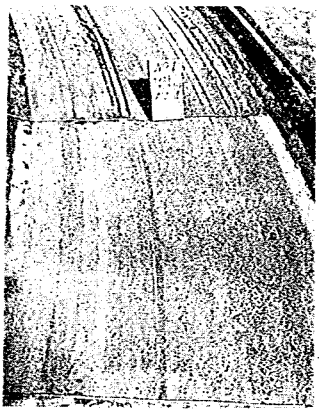
7) 1：2：8 以下の貧配合のものの利用を可能ならしめる爲の加工法としては前記の 1：1 モルタル塗裝の外振動工法の利用の如きも考慮されるが之等に就いては更に實驗考察する必要がある．

表—5 磨 耗 試 験 の 結 果

路面番號	配合（容積比）	工法大要（施工 14年12月27日）（試驗開始 15年1月10日）	セメント使用量 (kg/m²) （ ）内數字は荷重5地に對する所要厚（cm）とす	試驗經過 通過荷重累計（噸） 第1回 バルーン 616 終了 15年1月11日	第2回 バルーン 3,089 2月16日	第3回 バルーン 4,023 3月5日	第4回 バルーン 7,943 鐵輪 89 6月7日	第5回 バルーン 17,643 鐵輪 281 8月27日	第6回 バルーン 25,053 鐵輪 281 ソリッド 3,310 10月1日	第7回 バルーン 27,913 鐵輪 No.4 281 No.6 109 路線 No.7 182 ソリッド No.4 3,348 下路線 No.3 116 11月18日	摘要
No. 1	1:2:4	水比 60% スランプ 1.1cm 搗固め（重量 11 kg, 底面積 110 cm² の鐵製タンパー使用）5 通り 仕上 表面 鏝仕上	43.4 (15)	支障なし	支障なし	支障なし	支障なし	表面約 ¼ モルタル磨滅し砂利露出す	左記現象進展して表面の約 ¾ に及ぶ	全面に拡りモルタル磨滅し砂利露出す．鐵輪路線（No. 4）の凹み最深 2mm	
No. 2	1:2:6	水比 55% スランプ 0.3 cm 搗固め 5 通り 仕上 同上	35.5 (16)	支障なし	支障なし	支障なし	支障なし	鐵輪路線（No. 4）の約 ¼ 砂利破壞して遊離す	左記現象進展し全面積の約 ⅓ に及ぶ	鐵輪路線（No 4）全長に拡り砂利遊離し凹みの最深 12 mm に達す	
No. 3	1:4:8	水比 90% スランプ 0.5 cm 搗固め 同上 仕上 同上	30.0 (19)	支障なし	支障なし	2, 3 ケ所砂利遊離す	砂利の遊離せる部分稍擴大す	鐵輪路線の殆んど全部（No. 4）砂利遊離し凹みを生ず	左記現象進展し全面積の約 ⅓ に及ぶ	同上最深 15 mm	
No. 4	1:5:10	水比 105% スランプ 散漫して測定不能 搗固め 同上 仕上 同上	27.7 (23)	支障なし	表面約 ⅓ 砂利遊離す	砂利遊離せし部分約 ⅓ に達す	砂利の遊離せる部分約 ⅓ に達す	鐵輪路線全部同上，他路線の部分にも及び全表面の約 ¼ に達す	全面に拡り砂利遊離し凹みを生ず	前回現象進展凹みの最深 15 mm	
No. 5	1:2:10	水比 65% スランプ 同上 搗固め 6 通り 練厚 7 通り（手動ローラー，重量 73 kg） 仕上 同上	築造用 27.2 修理用 4.8 計 32.0 (20)	表面約 ½ 砂利遊離せし故 1:1 モルタルにて表面を塗擴す．其の厚さ約 4.3 mm	支障なし	支障なし	支障なし	鐵輪の影響により全表面のモルタル塗擴部分に毛細龜裂を生じたがモルタル剝離するに至らず	左記現象益々進展せず	著しき變化なし	
No. 6	1:2:12	水比 70% スランプ 同上 搗固，碾壓 同上 仕上 同上	築造用 24.6 修理用 4.5 計 29.1 (23)	表面約 ¾ 同上塗擴厚さ約 3.8 mm	支障なし	支障なし	支障なし	同上の龜裂部分バルーンの通過によりモルタル塗擴剝離し始む	著しき變化なし	著しき變化なし	
No. 7	1:3:6	水比 75% スランプ 0.5 cm 搗固，5 通り，碾壓 7 通り 仕上 同上	31.4 (16)	支障なし	支障なし	支障なし	支障なし	表面約 ¾ モルタル磨滅し砂利露出す	全表面に拡りモルタル磨滅し砂利露出し數ケ所遊離す	鐵輪路線（No. 4）磨耗進展し他路線に比し 3 mm 多し	
No. 8	1:2:8	水比 60% スランプ 散漫，測定不能 搗固，輾壓 同上 仕上 同上	築造用 33.4 修理用 3.5 計 36.9 (18)	所々砂利遊離同上塗擴厚さ約 3.5 mm	支障なし	支障なし	支障なし	モルタル塗擴部分に毛細龜裂を生じ次で剝離し始む No.6 に比し稍輕微	鐵輪路線の全長に拡り塗擴モルタル剝離す	（No. 4）以外の鐵輪路線（No. 6, No.7）の塗擴モルタル約 ½ 剝脫す	

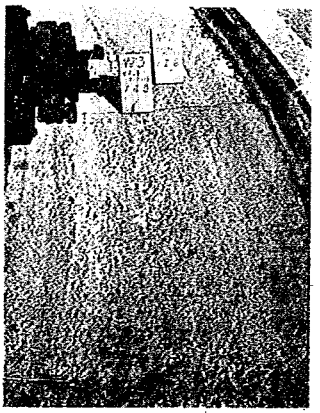
圖—1 試驗終了後の路面狀況

No. 1

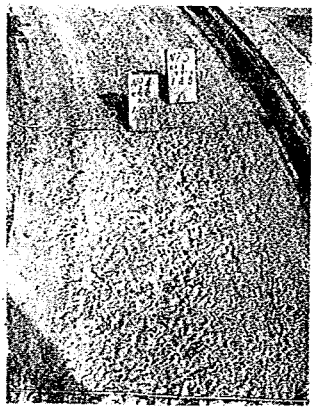


No. 2

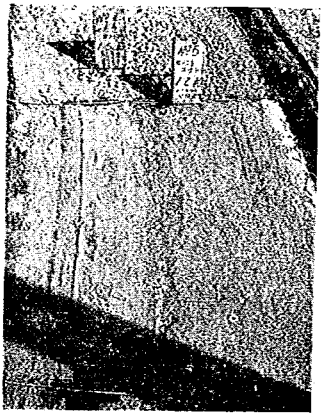
No. 3



No. 4

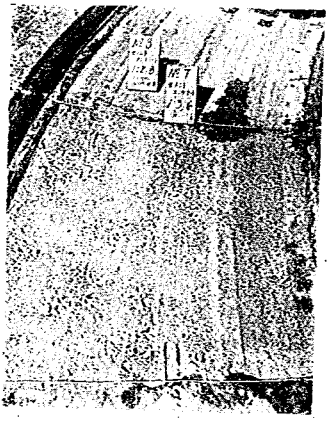


No. 5



No. 6

No. 7



No. 8

低溫 (0°C) 養生と標準 (18°C) 養生とに依るコンクリートの强度の比較に就いて

内務技師　福　島　彌　六

目　　次

I. 目　　的 ……(1)
II. 材料，配合及養生 ……(1)
III. 試驗成績 ……(2)
IV. 試驗結果の概要 ……(2)
V. 附　　錄 ……(3)

I. 目　　的

本試驗は普通セメント及び早强セメントを用ひ或る定つた配合，即ち

1 : 2 : 4 ;　1 : 2.5 : 5 ;　1 : 3 : 6 (容積)

のコンクリートを用ひ，脫型後直に 0°C の低溫に一定期間養生をなし，然る後常溫養生に復した場合の强度の低下を測定し，殊め常溫養生のみをなしたものと比較をなし 0°C 養生がコンクリートの强度に及ぼす影響を實際に求めんとするものである．

仙臺土木出張所の依頼（土試 281）により同所で行ひたる氷雪を利用せる雪中 (0°C) コンクリート工事の參考試驗として行つたものである．

II. 材料，配合及養生

セメント：——淺野普通セメント及び同ベロ・セメント　　日本標準規格合格品

骨　材：——多摩川洗砂利及び洗砂

砂利　5～10mm 45%
10～20mm 35%
20～25mm 20%

配　合：——1 : 2 : 4,　1 : 2.5 : 5,　1 : 3 : 6 (容積)

軟　度：——フロー 200 を標準として製作す

養　生：——

0°C 養生をする供試體は先づ常溫にて混合をなし，常溫にて可及的速に脫型した後直に 0°C 保持の冷凍室內に運び 0°C にて 1 ヶ月，2 ヶ月，3 ヶ月間夫々養生を行ひ，其後常溫に復し 1 ヶ月間水中養生 (18°C) を行ひ之が壓縮强さを測定した．

一方比較用供試體は始めより水中養生 (15～18°C) をなし，後縮强さを測定して前者との比較をなした．

供試體は總て 15×30cm の土木學會規定の標準型を用ひ其 3 個に就て强度の平均値を求めた．

本試驗の 1 部は中間報告として報告したが玆に其全部を改めて報告する次第である．

III. 試驗成績

成績は總て之を下記の表及び圖に纒めた.

表—1 (1), (2), (3), (4) 普通セメント及び早强セメントの成績表

表—2 0°C 養生1ケ月, 後水中 (18°C) 養生1ケ月, 計2ケ月間養生のコンクリート强度並に水中 (18°C 養生2ケ月の比較用コンクリート强度

表—2 (A) 0°C 養生1ケ月, 後水中養生1ケ月の「淺野普通セメント」のコンクリート强度

表—2 (B) 0°C 養生1ケ月, 後水中養生1ケ月の「淺野ベロ・セメント」のコンクリート强度

表—2 (C) 水中養生2ケ月の「普通セメント」及「ベロ・セメント」の比較用コンクリート强度

表—3 0°C 養生2ケ月, 後水中養生1ケ月, 計3ケ月間養生のコンクリート强度並に水中養生3ケ月の比較用コンクリート强度

表—3 (A) 0°C 養生2ケ月+水中養生1ケ月, 計3ケ月養生の「淺野普通セメント」のコンクリート强度

表—3 (B) 0°C 養生2ケ月+水中養生1ケ月, 計3ケ月養生の「淺野ベロ・セメント」のコンクリート强度

表—3 (C) 水中養生3ケ月の「普通セメント」及「ベロ・セメント」の比較用コンクリート强度

表—4 0°C 養生3ケ月, 後水中養生1ケ月, 計4ケ月間養生のコンクリート强度並に水中養生4ケ月の比較用コンクリート强度

表—4 (A) 0°C 養生3ケ月+水中養生1ケ月, 計4ケ月養生の「淺野普通セメント」のコンクリート强度

表—4 (B) 0°C 養生3ケ月+水中養生1ケ月, 計4ケ月養生の「淺野ベロ・セメント」のコンクリート强度

表—4 (C) 水中養生4ケ月の「普通セメント」及「ベロ・セメントの比較用コンクリート强度

表—5 標準養生に對する零度養生の强度比率
(零度養生の强度の低下の比較)

圖—1 配合別に依るコンクリートの壓縮强さ (kg/cm²) (0°C 養生1ケ月, 後水中養生1ケ月, 計2ケ月)

圖—2 同 上 (0°C 養生2ケ月, 後水中養生1ケ月, 計3ケ月)

圖—3 同 上 (0°C 養生3ケ月, 後水中養生1ケ月, 計4ケ月)

圖—4 材齡別に依るコンクリートの壓縮强さ (kg/cm²) (0°C 養生と水中養生の强度比較)

IV. 試驗結果の概要

1) コンクリートの脫型後直に寒冷 (0°C) 養生をなしたものと, 水中養生 (18°C) をなしたものとを比較するに, 前者の場合は後者より常に强度が低下してゐる. 然して寒冷養生は貧配合コンクリート (例 1:3:6) には比較的に影響が少であるが, 富配合コンクリート (例 1:2:4) には影響する處大にして終局に於ける强度の開きが大きく表れてゐる.

卽ちセメント使用量の多いコンクリート程初期の寒冷性が終局强度に影響する處大である.

2) セメントは普通セメントを使用したコンクリートより, 早强性ベロ・セメントを使用したもの>方が各配合に於て終局强度が常に强く表れてゐる. 然しながら寒冷養生の影響により强度の增進が阻害される程度は, 普通セメントに較べてベロ・セメントの方が幾分大なる樣である.

3) 各配合のコンクリートに就いて

初期 0°C 養生1ヶ月＋水中 18°C 養生1ヶ月　計2ヶ月

〃　3ヶ月＋　〃　1ヶ月　計4ヶ月

のものを比較すると，養生後の終局強度に大なる差を認めない．即ち初期の寒冷養生を1ヶ月とし或は3ヶ月に及ぶも，其後に1ヶ月水中 18°C 養生すれば，之より各々強度が快復して終局の2ヶ月又は4ヶ月後に於ては2者の間に強度の相違は大して認められなくなる．

4) コンクリート強度 150kg/cm² を基準として終局強度を比較するに，

終局強度 150kg/cm² 以下のもの

1：3：6 コンクリート（普通セメント及びペロ・セメント）の 60 日 (0°C 養生 30 日)，90 日 (0°C 養生 60 日)，120 日 (0°C 養生 90 日，以下同様) 強度

1：2.5：5 コンクリート（普通セメント）の 90，120 日強度

終局強度 150kg/cm² 或は其れ以上

1：2：4 コンクリート（普通及ペロ・セメント）の 60，90，120 日強度

1：2.5：5 コンクリート（ペロ・セメント）の 60，90，120 日強度

1：2.5：5 コンクリート（普通セメント）の 60 日強度

之を概略的に見れば先づ 1：2.5：5 及び 1：2：4 コンクリートなれば，終局の強度は少くとも 150kg/cm² 或は其れ以上になると見做される．

5) 0°C 養生をなしたコンクリートの終局強度の最高及最低を見るに

最高　260kg/cm²　1：2：4 コンクリート（ペロ・セメント）

最低　65kg/cm²　1：3：6 コンクリート（普通セメント）

強度範圍　65～260kg/cm²

尙此試驗は 15×30cm のコンクリート供試體を用ひ之を 0°C の冷凍室内に置き各面を絶えず 0°C に曝露して行つたものであり，コンクリートの大きさに較べて曝露面は大なるものと考へられ，實際現場の多量のコンクリート打に較べて可成苛酷な寒冷養生と見做される．

從つて現場にて適當な保温設備をなし雪中 (0°C) 養生をなした場合のコンクリートの強度は之より幾分强かるべきかと想像される點もある．

然して此に就いては一應の現場試驗は必要である．

6) 現場施工に使用するセメントに就いては，現在の市販セメントは可成強度が低下してゐる實狀につき之が品質を豫め檢討してをく必要がある．

之を要するに

雪中の零度養生に於てはコンクリートは決して凍縮するものに非ずして，低温度の爲め單に硬化の化學反應が極めて緩慢になり，强度の發生が一時遲延した狀態にあるに過ぎない事が實驗により明に解つた．コンクリートの凍結は現場にては之が雪中にある時よりも，春に雪が消え氣温の變化が著しい時に偶々零度下に遭遇したる時に急に凍縮する危險が考へられる．寧ろ此時期がコンクリートの凍結に特に注意すべき時期である．

V. 附　　錄

昭和15年3月1日より1週間，著者は仙臺土木出張所よりの依頼に依り同青森港改修事務所（天埜技師）に出

張し，同構内に塊コンクリートを打込熱電對（Thermocouple）を用ひ雪中養生のコンクリートの内部温度を測定した．

次に實驗による參考資料を附錄として揭載する．

寫眞—1 (1), (2), (3), (4)

雪中打込みの塊コンクリートの温度測定の模様

附圖—1　同上コンクリート塊の設計及び温度測定の位置

附圖—2　同上コンクリート塊の内部温度の實測記錄

表—1(1)　本實驗に使用した普通セメント(1)及び早强セメント(2)の分析表

試料名　(1)淺野普通ポルトランド・セメント　　製造會社　西多摩工場

試料	化學分						
	灼熱減量 Ig. Loss %	不溶解殘滓 Insol Res %	珪酸 SiO_2 %	礬土 Al_2O_3 %	酸化鐵 FeO_3 %	石灰 CaO %	苦土 MgO %
普通セメント	1.08	0.26	22.00	6.33	3.24	64.65	0.98
日本標準規格	< 4%						

試料	析		比率			
	硫酸 SO_3 %	合計 %	水硬率 H. M.	活動係數 SiO_2/R_2O_3	珪酸率 SiO_2/R_2O_3	鐵率 Al_2O_3/Fe_2O_3
普通セメント	1.12		2.04	3.43	2.27	1.95

表—1(2)　セメント試驗成績表　　試料名　淺野普通セメント　　製造會社　西多摩工場

試料	粉末稀度 %		比重（其儘）	凝結時間				膨脹性魚	
	4,900孔	10,000孔		水量%	始時 — 發終時 — 結分		室温℃	濕度%	浸水法	煮沸法
普通セメント	1.36		3.18	2.80	2～23	4～03	18℃			安定
日本標準規格	<12%				>1 時間	<10時間	15～25℃		完全	完全

試料	裂	標準規格 1：3 モルタル								水槽
	濕氣箱℃	引張强さ kg/cm²				壓縮强さ kg/cm²				
		水量 %	3 日	7 日	28日	水量 %	3 日	7 日	28日	3 日
普通セメント		27.6	39.7	42.8	44.0	284	347	417	584	
日本標準規格	15～25℃			>20	>25			<220	>300	

試料	温度 ℃		日本標準規格	軟練 1：2 モルタル（水—セメント比 65%）						
				曲げ强さ kg/cm²			壓縮强さ kg/cm²			
	7 日	28日		フロー%	3 日	7 日	28日	3 日	7 日	28日
普通セメント	20℃ ±2℃		規品	202	38.5	52.2	70.4	132	237	382

表—1(3)　セメント分析表　　試料名　(2)淺野ベロセメント　　製造會社　西多摩工場

試料	化學分						
	熱熱減量 Ig. Loss %	不溶解殘滓 Insol Res %	珪酸 SiO_2 %	礬土 Al_2O_3 %	酸化鐵 Fe_2O_3 %	石灰 CaO %	苦土 MgO %
ベロセメント	0.80	0.30	21.44	4.84	3.28	66.25	1.01
日本標準規格	<4 %						

試料	析		比率			
	硫酸 SO_3 %	合計 %	水硬率 H. M.	活動係數 SiO_2/Al_2O_3	珪酸率 SiO_2/R_2O_3	鐵率 Al_2O_3/Fe_2O_3
ベロセメント	1.65		2.21	4.43	2.64	1.48

表 — 1(A)　セメント試験成績表　試料名 淺野ベロセメント　製造會社 西多摩工場

試料	粉末程度 % 4,900孔	粉末程度 % 10,000孔	比重(其儘)	凝結時間 水量%	凝結時間 始時—分	凝結時間 終時—分	凝結時間 室温℃	凝結時間 湿度%	膨脹性 淺水法	膨脹性 煮沸法
ベロセメント	1.89			27.9	1～40	3～03	17.5			安定
日本標準規格	<12%				>1時間	<10時間	15～25℃		完全	完全

試料	標準規格 1：3 モルタル 曲げ強さ kg/cm² 3日	7日	28日	圧縮強さ kg/cm² 3日	7日	28日	水槽 3日
ベロセメント	28.0	43.0	45.7	46.3	476	537	621	
日本標準規格		>30	>34	>38	>400	>500	>600	

試料	温度 ℃ 7日	28日	日合本格標品準規格	軟練 1：2 モルタル (水セメント比 65%) フロー%	曲げ強さ kg/cm² 3日	7日	28日	圧縮強さ kg/cm² 3日	7日	28日
ベロセメント	20℃ ±2℃			212	53.2	65.0	75.0	245	323	406
日本標準規格										

表 — 2(A)　1日常温養生後脱型，直に 0℃ (冷凍室を使用) にて 30 日間養生した後再び之を取出し，30 日間水中養生 (18℃) をなした——總計 60日材齢——コンクリートの成績

(普通ポルトランド・セメント)

試料名　コンクリート供試體　依頼者　仙臺土木出張所　用途　寒中コンクリート参考資料

セメント　淺野普通ポルトランドセメント (西多摩工場)，養生方法　1日常温(18～15℃)にて養生後脱型，0℃にて30日間養生後 30日間水中養生(18℃)

細骨材 産地　東京府多摩川　大さ　5 mm 以下　單位重量 1,760 (kg/m³)

粗骨材 産地　同　上　大さ　75㎜ 以下　單位重量 1.726 (kg/m³)

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試験年月日	材齢日	供試體 径 cm	高 cm	断面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強さ kg/cm²
1	1：2：3	59	5.6	200	14. 9. 21	14. 11. 21	60	15	30	177	12.480	2,354	24.750	148
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.490	2,356	26,000	147
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.550	2,367	26,300	149
平均												2,359		148
1	1：3：6	83	5.0	202	14. 9. 27	14. 11. 27	60	15	30	177	12.420	2,343	10,800	61.1
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.430	2,345	12,300	69.6
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.440	2,347	10,900	61.7
平均												2,345		64.1
1	1：2.5：5	63	0.6	195	14. 10. 5	14. 12. 5	60	15	30	177	12.660	2,388	28,700	162
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.660	2,388	27,000	158
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.680	2,392	30,800	—
平均												2,390		160

表－2(B)　コンクリート壓縮試驗成績（ベロ・ゼメントコンクリート）

セメント　淺野ベロ・セメユト（西多摩工場）　養生方法　1日間常温にて養生後脫型，0℃にて30日間養生後30日間水中養生

細骨材　産地　東京多摩川　　大さ　5mm 以下　單位重量 1,760 (kg/m³)

粗骨材　産地　同上　　大さ　75mm 以下　單位重量 1,726 (kg/m³)

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡日	供試體 徑 cm	高 cm	斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強さ kg/cm²
1	1：2：4	60	5.9	200	14. 9.21	14.11.21	60	15	30	177	12.620	2,381	40,200	228
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.590	2,375	42,300	242
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.660	2,388	43,300	245
平均												2,381		238
1	1：3：6	84	1.3	200	14.10. 2	14.12. 2	60	15	30	177	12.540	2,365	25,400	144
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.620	2,381	24,300	138
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.580	2,373	24,700	140
平均												2,373		141
1	1：2.5：5	68	0.5	197	14.10.12	14.12.12	60	15	30	177	12.670	2,390	38,000	215
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.630	2,382	37,400	212
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.630	2,382	38,300	217
平均												2,385		215

表－2(C)　比較試驗の爲め 0℃ 養生をなさず總計60日間水中養生 (20℃) のみを行つたコンクリートの成績（普通ポルトランド・セメント）

セメント　淺野普通ポルトランドセメント（西多摩工場）　養生方法　1日間常温にて養生後脫型60日間水中養生

細骨材　産地　東京市多摩川　　大さ　5mm 以下　單位重量 1,760 (kg/m³)

粗骨材　産地　同上　　大さ　75mm 以下　單位重量 1,726 (kg/m³)

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡日	供試體 徑 cm	高 cm	斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強さ kg/cm²
1	1：2：4	58	5.4	200	14. 9.25	14.11.25	60	15	30	177	12.640	2,384	36,500	207
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.520	2,362	40,000	226
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.590	2,375	33,000	215
平均												2,347		216
1	1：3：6	82	3.4	200	14. 9.27	14.11.27	60	15	30	177	12.440	2,347	14,200	80.3
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.440	2,339	13,750	77.8
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.320	2,324	13,650	77.3
平均												2,337		78.5
1	1：2.5：5	65	0.8	205	14.10. 5	14.12. 5	60	15	30	177	12.550	2,367	33,800	191
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.510	2,360	32,000	181
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.520	2,362	32,000	181
平均												2,363		184

表—2(C)　同上比較用試験　(20°C 水中養生だけしたもの，淺野ベロ・セメント使用)

セメント　淺野ベロ・セメント　(西多摩工場)　　養生法　1日間常温にて養生後，脫型後 60 日間水中養生
細骨材　産地　東京多摩川　　大　さ　5mm 以下　單位重量 1,760 (kg/m³)
粗骨材　産地　同　上　　大　さ　75mm 以下　單位重量 1,726 (kg/m³)

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡日	供試體 徑 cm	高 cm	斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮强さ kg/cm²
1	1：2：4	60	4.6	198	14. 9.25	14.11.25	60	15	30	177	12.630	2,382	57,500	325
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.650	2,386	62,300	353
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.650	2,386	60,900	345
平均												2,385		341
1	1：3：6	84	1.3	200	14.10. 2	14.12. 2	60	15	30	177	12.620	2,381	27,300	155
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.600	2,377	26,500	150
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.650	2,386	29,200	165
平均												2,381		157
1	1：2.5：5	69	1.7	200	14.10. 2	14.12.12	60	15	30	177	12.620	2,381	49,500	280
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.690	2,394	46,000	260
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.620	2,381	41,000	232
平均												2,385		257

表—3(A)　コンクリート壓縮試驗成績　(淺野普通セメント)

試料名　コンクリート供試體　依頼者　仙臺土木出張所　用途　寒中コンクリート參考資料
セメント　淺野普通ポルトランド・セメント　　養生方法　0°C にて 60 日間養生後，30 日間水中養生
單位重量　1.760 (kg/m³)　　單位重量　1,726 (kg/m₃)

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	試驗年月日	製作年月日	材齡日	寸法 徑 cm	高 cm	斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮强度 kg/cm²
1	1：2：4	59	5.6	200	14.11. 8	15. 2. 8	90	15	30	177	12.570	2,371	40,400	229
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.690	2,394	38,700	219
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.650	2,384	39,300	224
平均												2,384		223
1	1：3：6	83	5.0	202	14. 9.27	14.12.27	90	15	30	177	12.440	2,347	13,250	75.0
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.440	2,347	13,200	74.7
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.430	2,345	13,200	74.7
平均												2,346		74.8
1	1：2.5：5	63	0.6	195	14.10. 5	15. 1. 5	90	15	30	177	12.630	2,382	26,400	149
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.600	2,377	25,000	142
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.610	2,379	25,000	142
平均												2,379		144

表—3(B)　コンクリート壓縮試驗成績（淺野ベロ・セメント）

セメント　淺野ベロ・セメント　　養生方法　0°C にて 60 日間養生後，30 日間水中養生

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡 日	寸法 徑 cm	寸法 高 cm	寸法 斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強度 kg/cm²
1	1：2：4	60	5.9	200	14.11. 8	15. 2. 8	90	15	30	177	12.640	2,384	42,000	238
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.620	2,381	49,000	277
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.690	2,394	46,500	263
平均												2,386		259
1	1：3：6	84	1.3	200	14.10. 2	15. 1. 2	90	15	30	177	12.590	2,375	23,000	130
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.530	2,364	24,000	139
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.570	2,371	22,700	129
平均												2,370		133
1	1：2.5：5	69	0.7	200	14.10.12	15. 1.12	90	15	30	177	12.660	2,388	34,200	194
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.700	2,396	34,000	193
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.550	2,367	33,900	192
平均												2.384		193

表—3(C)　コンクリート壓縮試驗成績（比較用コンクリート）

セメント　淺野普通ポルトランド・セメント　　養生方法　60 日間水中養生

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡 日	寸法 徑 cm	寸法 高 cm	寸法 斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強度 kg/cm²
1	1：2：4	58	5.4	200	14. 9.25	14.12.25	90	15	30	177	12.700	2,396	36,000	204
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.530	2,373	38,600	219
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.550	2,367	45,400	257
平均												2,379		227
1	1：3：6	82	3.4	200	14. 9.27	14.12.27	90	15	30	177	12.410	2,341	16,000	90.6
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.350	2,330	14,800	83.8
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.400	2,339	18,000	102
平均												2,337		92.1
1	1：2.5：5	65	0.8	205	14.10. 5	15. 1. 5	90	15	30	177	12.520	2,362	37,000	209
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.610	2,379	37,500	212
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.540	2,365	36,000	204
平均												2,367		208

表—3(C)　コンクリート壓縮試驗成績

セメント　淺野ベロセメント　　養生方法　90 日間水中養生

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡 日	寸法 徑 cm	寸法 高 cm	寸法 斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg	總荷重 kg/m³	壓縮強度 kg/cm²
1	1：2：4	60	4.6	200	14. 9. 25	14.12.25	90	15	30	177	12.600	2,377	63,500	360
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.650	2,386	67,500	382
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.660	2,388	61,000	342
平均												2,383		362
1	1：3：6	84	1.3	200	14.10. 2	15. 1. 2	90	15	30	177	12.580	2,373	29,000	164
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.610	2,377	29,700	168
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.540	2,365	31,700	179
平均												2,371		170
1	1：2.5：5	69	0.7	200	14.10.12	15. 1.12	90	15	30	177	12.730	2,401	12,730	255
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.660	2,388	12,660	260
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.640	2,384	12,640	294
平均												2,391		270

表—4(A)　コンクリート壓縮試驗成績

セメント　淺野普通ポルトランド・セメント　　養生方法　0℃ にて 90 日間養生後，90 日間水中養生

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡 日	寸法 徑 cm	寸法 高 cm	寸法 斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強度 kg/cm²
1	1：2：4	59	5.6	200	14. 11. 8	15. 3. 8	120	15	30	177	12.670	2,390	40,000	226
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.610	2,379	35,600	202
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.610	2,379	42,300	239
平均												2,333		223
1	1：3：6	83	5.0	202	14. 9. 27	15. 1. 27	120	15	30	177	12.340	2,328	12,850	72.7
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.400	2,339	13,300	75.3
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.280	2,316	11,400	64.5
平均												2,328		70.8
1	1：2.5：5	63	0.6	195	14. 10. 5	15. 2. 5	120	15	30	177	12.580	2,373	22,500	127
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.580	2,373	24,200	137
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.540	2,365	25,000	142
平均												2,370		135

表—4(B)　コンクリート壓縮試驗成績

セメント　淺野ベロ・セメント　　養生方法　0℃ にて 90 日間養生後，30 日間水中養生

供試體番號	配合	水セメント	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡 日	寸法 徑 cm	寸法 高 cm	寸法 斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強度 kg/cm²
1	1：2：4	60	5.9	200	14. 11. 8	15. 3. 8	120	15	30	177	12.600	2,377	43,000	238
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.620	2,381	42,000	243
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.700	2,396	45,000	256
平均												2,384		246
1	1：3：6	84	1.3	200	14. 10. 2	15. 2. 2	120	15	30	177	12.600	2,377	21,900	124
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.600	2,377	21,800	123
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.600	2,377	22,000	125
平均												2,377		124
1	1：2.5：5	69	0.7	200	14. 10. 12	15. 2. 12	120	15	30	177	12.620	2,381	30,800	174
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.660	2,388	30,600	173
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.600	2,377	31,000	176
平均												2,382		174

表—4(c)　コンクリート壓縮試驗成績（比較用コンクリート）

セメント　淺野普通ポルトランド・セメント　　養生方法　120 日間水中養生

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡 日	寸法 徑 cm	寸法 高 cm	寸法 斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強度 kg/cm²
1	1：2：4	50	5.4	200	14. 9. 25	15. 1. 25	120	15	30	177	12.640	2,384	47,500	269
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.610	2,379	45,500	258
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.630	2,382	50,500	286
平均												2,382		271
1	1：3：6	82	3.4	200	14. 9. 27	15. 1. 27	120	15	30	177	12.340	2,338	17,000	96.2
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.369	2,331	18,200	102
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.410	2,341	19,100	100
平均												2,333		102
1	1：2.5：5	65	0.8	205	15. 10. 5	15. 2. 5	120	15	30	177	12.600	2,377	39,300	222
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.590	2,375	40,400	229
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.530	2,364	39,000	221
平均												2,372		224

表—4(c) コンクリート壓縮試驗成績

セメント 淺野ベロ・セメント 養生方法 120 日間水中養生

供試體番號	配合	水セメント %	スランプ cm	フロー %	製作年月日	試驗年月日	材齡 日	寸法 徑 cm	寸法 高 cm	寸法 斷面積 cm²	重量 kg	單位重量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強度 kg/cm²
1	1：2：4	60	4.6	200	14. 9.25	15. 1.25	120	15	30	177	12.720	2,399	64,000	362
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.720	2,399	67,500	382
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.710	2,398	65,500	371
平均												2,399		372
1	1：3：6	84	1.3	200	14.10. 2	15. 1. 2	120	15	30	177	12.580	2,373	34,000	192
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.550	2.367	32,000	181
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.530	2,364	30,500	173
平均												2,364		182
1	1：2.5：5	69	0.7	200	14.10.12	15. 2.12	120	15	30	177	12.650	2,386	50,000	183
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.630	2,382	51,000	289
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12.740	2,403	51,000	289
平均												2,390		289

表 — 6 標準養生に對する零度養生の强度比率

	配合	セメントの種類	壓縮强さ (kg/cm²) 2ケ月	3ケ月	4ケ月	標準養生に對する强度比率 2ケ月	3ケ月	4ケ月
標準養生	1：2：4	普通	216	227	271	100%	100%	100%
		早强	341	362	372	100	100	100
	1：2.5：5	普通	184	208	224	100	100	100
		早强	257	270	287	100	100	100
	1：2：6	普通	78.5	92.1	102	100	100	100
		早强	157	170	182	100	100	100
零度養生	1：2：4	普通	148	223	223	68.5%	98.3%	82.3%
		早强	238	259	246	70.0	71.6	66.2
	1：2.5：5	普通	160	144	135	87.0	78.1	60.1
		早强	215	193	174	83.6	71.5	60.6
	1：3：6	普通	64.1	74.8	70.8	81.6	81.3	69.4
		早强	141	133	124	90.0	78.3	68.1

圖－1

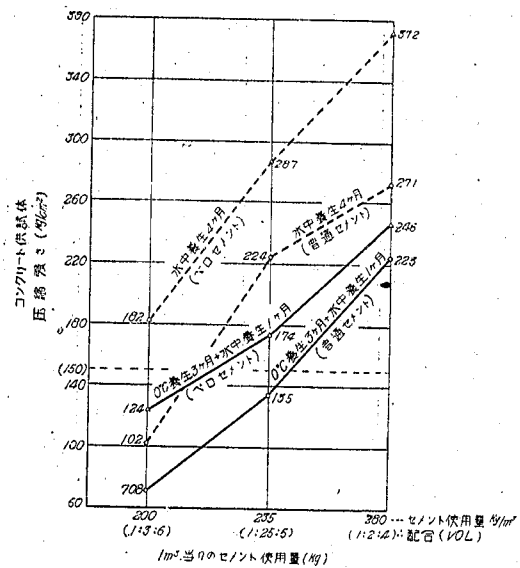
配合別に依るコンクリートの圧縮強さ(kg/cm²)
(0℃養生1ヶ月 後水中養生1ヶ月, 計 2ヶ月)

圖－2

配合別に依るコンクリートの圧縮強さ(kg/cm²)
(0℃養生2ヶ月, 後水中養生1ヶ月, 計 3ヶ月)

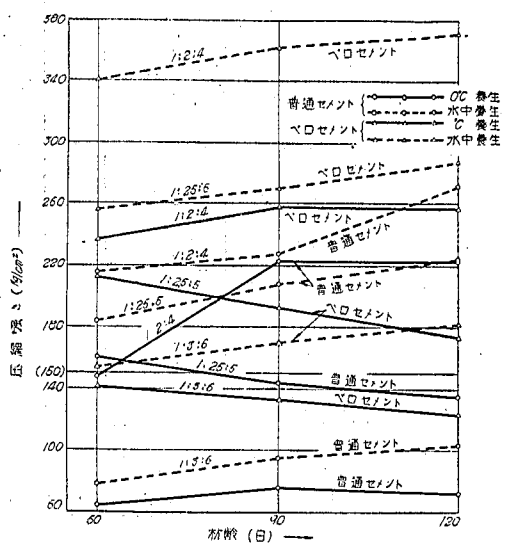
圖－3

配合別に依るコンクリートの圧縮強さ（kg/cm²）
（0°C養生3ヶ月 後水中養生1ヶ月 計4ヶ月）

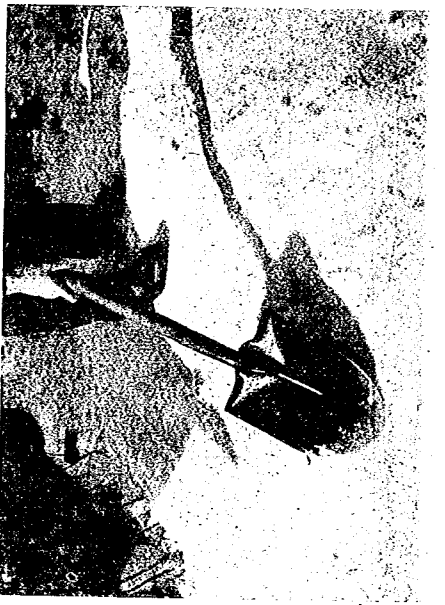


圖－4

材齢別に依るコンクリートの圧縮強さ（kg/cm²）
（0°C養生と水中養生との強度比較）



第 版 — 1 (3)

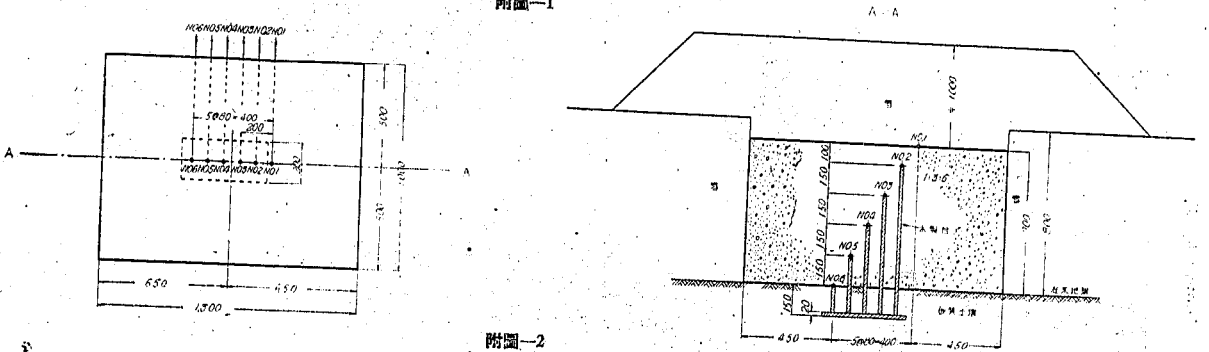


第 版 — 1 (4)

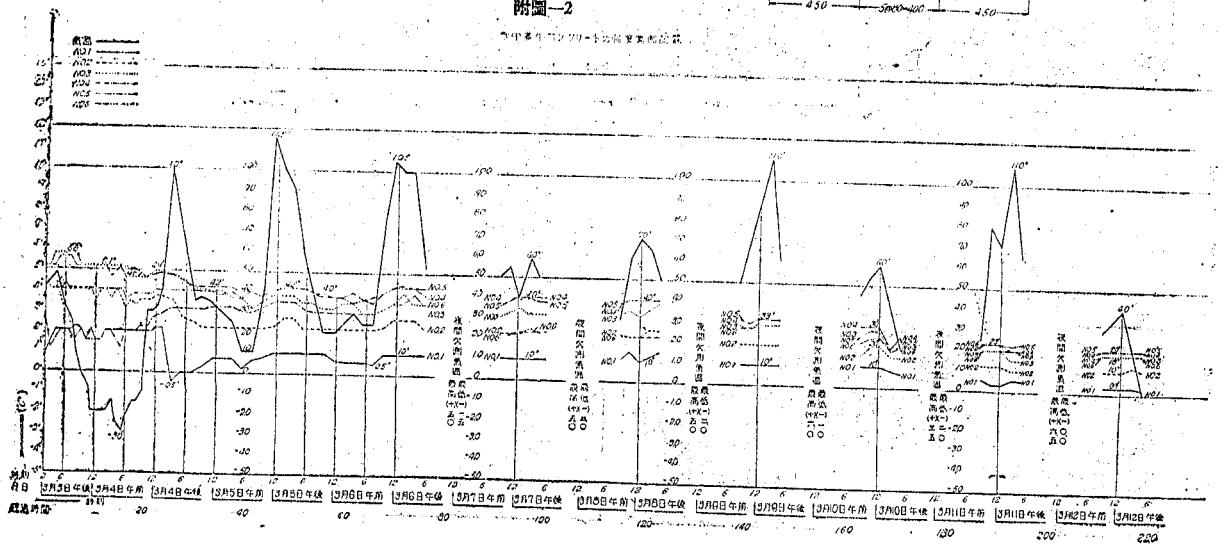
第 版 — 1 (1)

第 版 — 1 (2)

附圖—1


A
A
NO6 NO5 NO4 NO3 NO2 NO1
650
450
1300
NO1
NO2
NO3
NO4
NO5
NO6
150
150
150
150
150
100
450
5@90=400
450

附圖—2


NO1
NO2
NO3
NO4
NO5
NO6

土の突固め試験に基く土質適性の判定並びに施工基準設定の方針に就いて

内務技師　星　埜　　和

目　　次

I. 突固め難易度の比較による土質適性の判定……（1）
II. 施工基準設定の方針に就いて……（3）

I. 突固め難易度の比較による土質適性の判定

構築材料としての土の適性は經濟的且容易な施工によつてその構築物に必要な充分なる工學的性質を發揮せしめ得ることが可能なりや否やによつて判定せらるべきである．從來參考とされて來た土の物理的性質（機械分析，遠心力含水當量，アツターベルグ緊硬度限界等）は土質の分類やその總括的概念を指示する數値として幾分の價値が認められるが，土質適性の判定に當つては何等直接的な基礎資料を提供しないと斷言するも過言でないと信ずるが，若し直接的な試驗方法より得られる土質適性の大小を指示する數値との關聯の存在が明かにされ得たと假定した時始めてその價値を見出すものと思考される．

土工々事に於て土の適性を增大せしめるためには土の密度を大ならしめねばならぬがその方法には大別して3種が擧げられる．即ち

1. 輾壓による締固め
2. 振動による締固め
3. 突固による締固め

然して此等の締固め方法が土に與へる效果は土の種類及び乾濕の程度により著しき差異がある．K. Keil によれば*，移動性に富む砂礫質の土に對しては振動による締固めが最も效果大にして，突固めによる締固めは之に次ぎ，輾壓による締固めは最も劣るが，微細な粒子に富む粘土質，沈泥質，ロオム質の土に對しては突固めによる締固めが斷然最も有效であり，輾壓による締固めは之に次ぐも著しく劣り，振動による締固めは殆んど效果がないことを示して居る．加ふるに突固め操作は實際上土を破碎し，捣固め，磨潰し，混和し，振動を與へ，壓縮する等凡ゆる作用の組合せより成るから，各種の事情によく適應して高能率を發揮する多能性を有する締固め方法と言ふことが出來る．

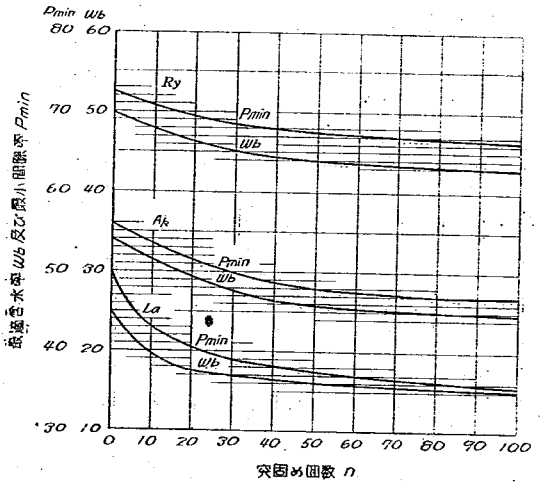
土質適性の判定に當り先づその土に最も適した締固め方法を決定し，その方法を用ひて所要の工學的性質を土に附與するため要するエネルギー量の大小を比較して始めて，その土の施工難易度を決定することが出來る筈であるが，かくてはその方法が極めて複雜となり實際上幾多の困難が伴つて來る．よつて特殊の場合を除外して最

* K. Keil : Einsatz-und Entwicklungs fragen der Verdichtungs gerate in Erdbau. Der Strassenbau Nr. 1 u. 2 31. Jg. 1. Jau. 1940 參照.

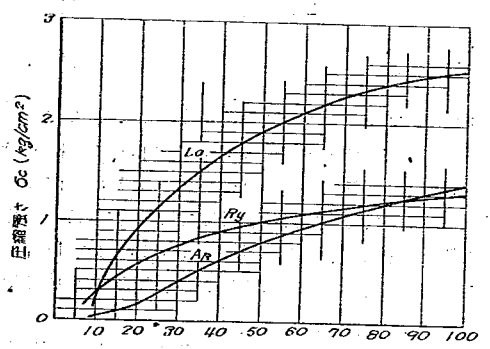
も廣く一般の場合に適用される判定方法として，突固めにより土の施工難易度を比較し土質の適性を判定することが最も適當と認められ，少くとも突固め工法による場合には充分な指針を與へるものと信ぜられる．

扨つて構築物として必要な土の工學的性質は，その構築物が基礎地盤なるか路盤なるか河川築堤なるか或は土堰堤なるかによつて異なり，又その詳細に亘つては未だ明確でない部分も多いであらうが，先づ主要なる工學的性質としては力學的性質及び透水的性質を擧げなければならぬ．

圖—1



圖—2



從つてこゝに著者が提案せんとする土質適性の判定方法は，突固め試驗* により突固めに要する仕事量を突固め回數によつて表示し，最適含水率を與へて突固めた時得られる飽和せる試料の力學的性質並びに透水的性質が突固め回數により如何なる變化をなすかを知り，之によつて突固め難易度を比較し，それの大小に基き土質適性の判定を行はんとするものである．

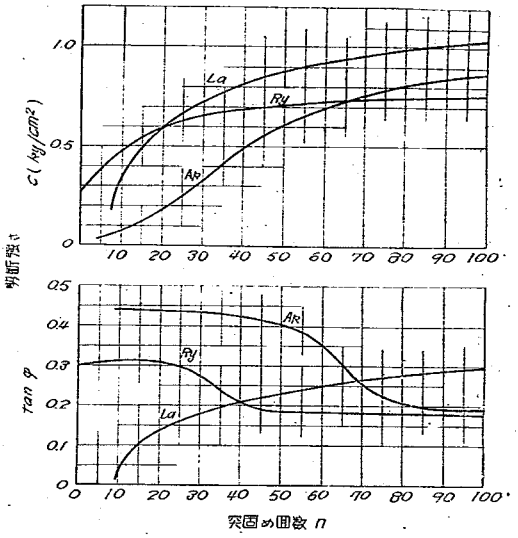
土質適性の判定をなすため，突固め回數による最適含水率を與へて得られる飽和試料の壓縮強さ及び剪斷強さ並びに透水度の變化を示す圖を作る必要があるが，突固め試驗によつて突固め回數に對應する最適含水率 w_b 及び最小間隙率 p_{min} が決定され他方に於て飽和狀態に於ける含水率と力學的性質の關係及び間隙量と透水度との關係が明かにされるから，兩者を結合せしめて所要の圖形を描くことが出來る．

今その 2. 3 例を示せば，實驗結果より得られる突固め回數 n に對應する最適含水率 w_b 及び最小間隙率 p_{min} は圖—1 の如くなり，之と飽和狀態に於ける含水率と力學的性質との關係及び間隙率と透水度との關係から突固め回數 n に對する壓縮強さ及び剪斷強さ並びに透水度の變化を圖示すれば，圖—2，圖—3，及び圖—4 が得られる．

* 土木試驗所報告第 55 號 "土の突固め並びにそれが力學的性質及び透水性に及ぼす影響に就いて" 參照．

これ等の曲線によつて土の壓縮强さと凝集力は突固め回數の增加に伴ひ大となるが，內部摩擦係數は必ずしも大とならず寧ろつて低下するものがあり，それ等の變化する模樣は土により著しく異なることが分る．三種の土の中 L_a は壓縮强さ大きく，剪斷强さの變化も順調で構築材料として適性が大きいと認められるが，R_y と A_k は何れも L_a に較べて劣り殊に內部摩擦係數が突固め回數の增加に反して低下する傾向を示すことは注意を要する．

圖—3

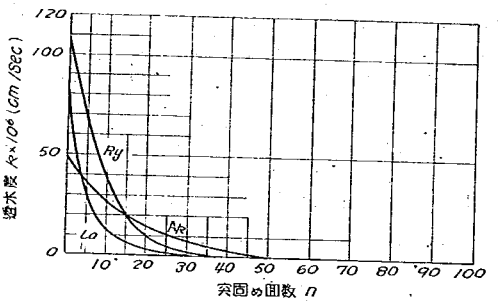


II. 施工基準設定の方針に就いて

I に述べた方法により構築材料として適當と認められる土が撰定され得るわけであるが，實際工事に使用する土が決定したならば，その土を如何なる條件の下でどの程度に締固むべきかと云ふ施工基準を與へなければならぬ．

然し乍ら施工基準を設定するためには先づ構築物の所要强度又は許容透水度を求める必要がある．これ等の所要强度又は許容透水度は實際起り得べき應力又は透水度を算定し之に四圍の狀況や算定方法の精粗に應じた適當且充分な安全率を見込んで決定されなければならぬが，この點に就いては多くの研究が行はれて居るにも拘らず必ずしも明瞭でなく，缺陷や矛盾を含む近似的な理論や一般性に疑問の點が少なくない實驗結果等に基き推定するに止まらねばならぬやうな場合が多い現狀であつて，今後の研究發展に俟つ所極めて多大と言はなければならぬが，吾々に今日與へられた知識を以て或程度迄實際の應力や透水度を概算することは不可能ではない，たゞその算定の曖昧さに應じた大きい安全率を見込まねばならぬからそれだけ不經濟となることは免かれ難い．

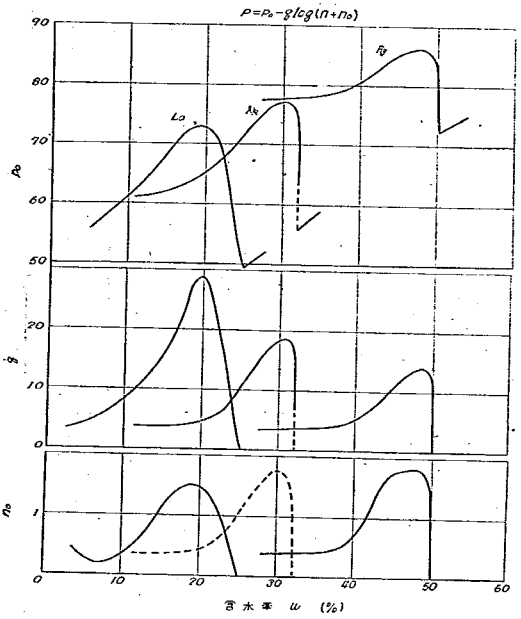
圖—4



かくて兎も角も構築物の所要强度或ひは透水度が決定されたならば，それ等の値に對し最も危險と考へられる飽和狀態に於て構築物が安全なるための所要間隙率及びその間隙率とするため土に與ふべき最適含水率を突固め試驗の結果から求めることが出來る．

實際現場に於て土の含水率を一定に保ちつゝ施工することは不可能事であるから，或る許容範圍を以て規定す

圖—5



ることになるが，その範圍は出來得る限り狹い事が經濟的施工の要件である．何となれば含水率の許容範圍は最適含水率を上限とし（含水率が最適含水率以上の時は所要間隙率まで突固めることが不可能となる）それより下限に向ひ含水率が減少する程突固め困難となる（突固め係數が小さくなる）からである．

今次に施工基準を設定する方針を2，3の例により說明する．

例 1. 地盤の所要壓縮强さ（安全率を見込んだ値）を 1 kg/cm² とする．L_a を用ひれば

圖—2 より

$\sigma_c=1$ kg/cm² に對し $n=21$

この n に對し圖—1 より所要間隙率 $p_r=40.0$ % 又最適含水率 $w_b=17.5$ %

施工の際土に與ふべき含水率の許容差を 5 % とすれば，その範圍は 12.5～17.5 % となる．この範圍に於て最大の所要突固め回數は圖—5 に示す突固め試驗結果* から，$w=12.5$ % の時 $p_0=64.4$，$q=11.5$，$n_0=0.68$ であるから

$$n=10^{\frac{p_0-p_r}{q}}-n_0=10^{\frac{64.4-40.0}{11.5}}-0.68\fallingdotseq 132$$

若し又含水率の許容差を 7 % とすれば，下限は 10.5 % となるから，$p_0=61.6$，$q=8.6$，$n_0=0.36$

$$n=10^{\frac{61.6-40.0}{8.6}}-0.36\fallingdotseq 324$$

となつて，必要な仕事量が約 2.5 倍となり含水率の許容差を出來得る限り狹くすべきことが分る．

例 2. 例 1 の場合に R_y を用ひれば，

圖—2 より $n=50$

圖—1 より $p_r=67.6$ %　$w_b=44.1$ %

含水率の許容差を 5 % とすれば，その範圍は 39.1～44.1 % となり，最大突固め回數は

$p_0=79.7$，$q=4.5$，$n_0=0.53$ より

$$n=10^{\frac{79.7-67.6}{4.5}}-0.53\fallingdotseq 488$$

L_a に較べて 2.4 乃至 3.7 倍平均約 3 倍の仕事量を必要とする，

*L_a 及び R_y に關する突固め試驗の詳細は省略す．

例 3. 築堤法面の辷出に對する安定計算の結果 $c=0.7\ \mathrm{kg/cm^2}$, $\tan\varphi=0.172$ ($n=28$) なる剪斷强さを要するものとする. この場合 c と $\tan\varphi$ は兩者互に獨立して撰定し得るものでなく何れか一方が與へられる時他は定まつて終ふことに注意を要する.

L_a を用ひれば

圖—1 より $n=28$ に對し, $p_r=39.1\,\%$, $w_b=17.0\,\%$,

含水率の許容差を 5 % とすれば, 下限は 12.0 % となり, この時 $p_o=63.7$, $q=10.7$, $n_o=0.60$ であつて

$$n=10^{\frac{63.7-39.1}{10.7}}-0.60\fallingdotseq 199$$

となる.

以上の例に明かなる如く, 所要間隙率 p_r 及び許容含水率の範圍が決定すれば, 實際現場に於て, 轢壓機其の他適當なる締固め機械を用ひて, 最も締固め回數を多く要すると認められる下限の含水率を土に與へて締固め, 所要間隙率とするため必要な締固め回數を決定することが出來る.