

土木試験所報告

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
陽産電極棒に依る熔着鋼の強度に就いて	内務技師 青 木 楠 男	21
コンクリートの透氣性に関する試験(第2報)	内務技師 一 木 保 夫 内務技手 池 田 克 己	43
鉄配合コンクリート舗装の磨耗試験	内務技師 山 田 元	53
低溫(0℃)養生と標準(18℃)養生とに依るコンクリートの強度の比較に就いて	内務技師 磯 島 健 六	61
土の突固め試験に基く土質透性の判定値に關する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

内務省土木試験所

風速と波高との關係に就いて

内務技師 佐 藤 清

要 旨

全港に見られる實験式5つについてその適合性を論じ、新たに供自港に於て観測されたる資料115ヶと
世界博士の観測せる資料9ヶとに基づき、風速に對する最大波高に關する設計用實験式として

$$2h = \frac{4}{3} V^{0.6} \quad \text{を得た。次に更に、之が實用式として}$$

$$2h = V^2 \quad \text{を得た。}$$

目 次

I. 緒 言	(1)
II. 在港の諸實験式	(2)
[1] 廣 井 式	(2)
[2] 松 尾 式	(3)
[3] White 式	(3)
[4] Hürgen 式	(4)
[5] 日 高 式	(4)
III. 著者の實験式	(5)
[1] 観 測 値	(5)
[2] 著者の實験式作製の注意と實験式	(15)
[3] 風速と波高	(17)
IV. 結 語	(20)

I. 緒 言

港々の港灣構造物を設計する際に、考慮すべき最も重要な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観測資料を求めるのが最も確實な方法ではあるが、之には相當長期に亘る年月と努力とを要する。従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付近の如き自然物に長年月の間に刻み込まれた波浪の記録により、その高さ、又可能なれば波力を推定する事が出来る。之も一方法と考へられる。併し斯くの如き自然記録は常に處ての場所に於て偶然と殘されてゐるものとは限らず、又多少の記録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、茲に氣象観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来る。

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港に面してゐる場合、即ち對岸距離の無限大に相當する場合には専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の數種提示されてゐる。

港中に來來せる波浪としては、その場所に必ずしも風が無くても發來するものがある。即ち岸より遠く離れた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發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強きなる波浪を生ずるに至る。斯る波浪に對し種々なる實験式が作られており、

筆者の知つてゐるものでも次の如く5種類に帰する。

$$\text{廣井氏} \quad 2h = 0.024 I'^2$$

$$\text{松尾式} \quad 2h = 0.018 I'^2 + 0.5$$

$$\text{White 式} \quad 2h = \frac{3}{4} I'^3$$

$$\text{Björger 式} \quad 2h = \frac{I'}{3 \left(1 + \frac{35.93 I'}{I'^2} \right) \left(1 + \frac{10}{I'} \right)}$$

$$\text{H 高 式} \quad 2h = 0.174 I'$$

併し之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、著者は茲に主として鏡子に於ける波浪観測に基いて新たな波高、風速算式を作製した。

II. 在來の諸實驗式

著者の算式を述べる前に、先づ在來の諸實驗式に就いて検討してみよう。

〔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確ならしむる事を得ずと雖も、全く開放せる境に於ける數回の観測に依れば深水に於ける波高は風速と時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

$$2h = 0.01 I'^2$$

$$2h = \text{波高(m)} \quad I' = \text{風速(m/sec)}$$

なる式を提案してをられる*。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

$$2h = 0.024 I'^2$$

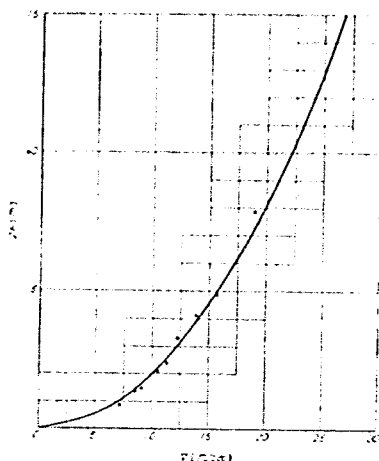
である。之の作製に當り使用した観測値は後掲の表-3**に於ける9箇にして、之等と上式とを顯示すれば圖-1の如く上に四の差牒となる。

此の曲線を見るに、最高の観測資料（波高 7.9m, 風速 18.9m）までは良く之等の観測値を代表してゐるものと認める事が出来るが、之を通常考へ得られる最大風速、 $I' = 30 \text{m/sec}$ まで延長して考へる時は、波高は $2h = 18.36 \text{m}$ となり、かなり過大なる値を與へる。又風速の小さな場合には、例へば $I' = 10 \text{m/sec}$ なる場合には波高は $2h = 2.04 \text{m}$ となり、例へば鏡子に於て観測された幾多の観測値に比較しても過小なる値を與へる（圖-11 参照）。

之等の事より、 $2h$ を I'^2 に比例させる事は至當でない様に考へられる。廣井博士は表-3 に示した9箇の観測値に基いて之を作られたのであるが、之等の観測値としては圖-1 を見ても容易に知れる如く如何にも $2h$ は I'^2 に比例する如くに観測點が分布してゐるので直ちに $2h \propto I'^2$ 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観測に依らざれば知る事を得ず”と述べてゐられる如くに、観測値數の不充分に起因してゐる様に思はれる。

* 廣井勇：“築港” 前編第4頁, p. 38. ** 6頁参照

圖-1



[2] 松尾式

松尾氏は浪子に於ける観測値に基づいて

$$2h = 0.918V^2 + 0.5$$

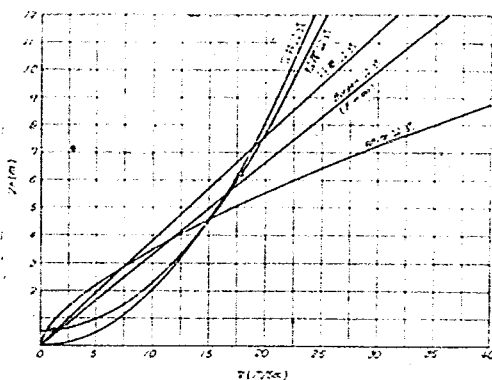
なる式を作られた* (1936, 7) 之を作るに當つての主旨は、種々なる観測値をその間を通る上向きの曲線で表はさうといふにあつたらしく、廣井博士と同様 $2h$ を V^2 に比例せしめる方針を採つてゐられる (圖-2)。従つて此の式も風速の増大に比して急激に波高が大となり、例へば $V=15$ m/sec には $2h=16.7$ m といふ大なる波高を與へる。

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る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 の役割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。

[3] White 式

出所は明らかではないが White 式がある** (圖-3参照)。

圖 - 3



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来ない。

[4] Börgen 式

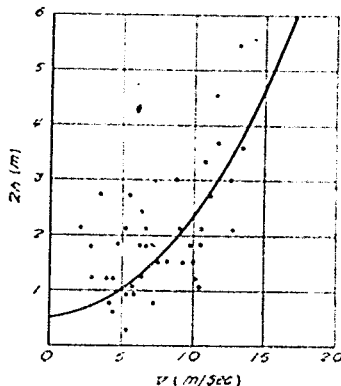
C. Börgen 氏は波の大きさを風速、風上より陸岸までの距離、風が吹き出してからの時間の3要素に關係するものとして次の如き半徑式を求めてゐる。***

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

* 松尾春雄：“風速と波高との關係” 土木學會誌 22 卷 7 號 pp. 688~694.

** 鈴木雅次：“港工学” p. 54. *** 孤田繁次：“海洋科學” p. 497.

圖 2



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

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考へられるし、又少くも在來の數多の観測値から見ても V^2 に比例して考へる事は至當ではなさうである。此の見地からすれば $2h$ を V^2 に比例せしめた事は適當である様に考へる。併し廣井博士の観測値及び浪子に於ける官測値に比較してゐるに圖-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較に就て小に過ぎる傾向がある。更に圖-11に示す昔々観測値が存在

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 $H = \frac{17}{3}$ としてゐる。換言すれば沿岸距離が相當に大 ($D = \infty$) なる場合の風速と波高との關係として $2h = 1.3$ を採用してゐる。

之に對し、V. Cornish 氏は $2h = 0.37 T$ 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沿岸距離、風の吹き始めてからの時間を考慮に入れてゐる點から見て、最も一般性を有する實驗式的型式を備へてゐるのであるが、之により算出される波高は小に過ぎる傾向がある。例へば圖-4 に於て $T = \infty$ とし、 $D = 40 \text{ km}$, $V = 30 \text{ m/sec}$ の場合を考へてみるに波高は $2h = 2.71 \text{ m}$ となる。今 $T = 30 \text{ m/sec}$

を通常強風といふものとして考へる時は、例へば Stevenson 氏の實測によれば、 $D = 352 \text{ km}$ でも $2h = 4.6 \text{ m}$ となる事があり、而も此の觀測値は Cornish 氏の得た D と $2h$ とに關する數多くの觀測値から判斷してゐるに、夫等の觀測値をつらねる $2h \sim D$ 曲線に比較して 1 m も低い値である。斯くの如き低めな値、 4.6 m 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。

従つて 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 年に近江湖に於ける風速と波高との關係を観測した。同氏は報告書の中に“吾等の波浪は非常に複雑なもので個々の波を何れも區別する事は仲々困難である。即ち波の山の高さが随處で様でなく、谷の深さもまた同様であるし、又決して蛇の境の様に規律正しくなく山と谷とが互に連続したる様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”と見へ、而して此の測定に用いた面積、一平方約 200 m^2 の正三角形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 器械で測られた風力を真風速に換算し、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	2.90	13.0	3.12

** 日高孝次：“實驗資料に依る海の波浪の研究” 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	2.50	6.7	2.50	9.4	3.69	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	4.40	7.2	2.85	10.9	3.22	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						

之を測定したものが必要であるので、川
氏氏は $2h$ と V の關係を次の如き直線式
で表した。

$$2h = 0.379V \pm 0.8$$

h は m, V は m/sec である。

此の式では風速に対して波高が高すぎる
傾向がある。之は波高といふものを15%の
細くに定義した付であり、實際波高とし
て吾々が観測するのは、川次いで押寄せる
波を數個及びその間接り山と谷、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。

と等の式は實際に於ける大面波に對するものであり、吾々實際に観測する者の状態は浅き波の場合ではない。
吾々の観測は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及ぶ得る條件にある。然るに海洋に於
ける波は水深無限大にも相當して少く、大分子は底部とは殆ど全く自由の状態で運動し得るであらう。此の
意味に於て是には必要として掲げるに止る。

III. 著者の實驗式

1. 觀測值

風速と波高とに關する觀測資料としては荒木氏の留内港及び函館港に於けるもの** 及び陸軍港務所の同
港に於けるもの*** を手に入れる事が出来た。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
と見做す事が出来ないが、後者の觀測は此の條件に充分適合してゐるものと認め得るので著者は専ら後者のみを
參考とする事にした。

留内港に於けるは港の建築計畫を調べるに當り、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 に示す如く南西に北より南東に開け、鹿島灣の長江を南東に延びて突出した地
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、及角設計に依る港口決定點所の 5ヶ所に行つた。
此の中の一の島は干潮時上 +5m の岩盤上に長さ約 9m の柱を立て 0.61m 毎に標高に差附けたものを標尺と

* 日高孝次、安井善一、藤田敏吉：“海の波の研究4.” 海洋氣象彙編 111 號、附 13、5。

** 荒木文四郎：“砂浜に於ける波計観測と漂砂との關係に就いて” 土木學會誌、12 卷、6 號、pp. 1155。

*** 陸軍港務調査書、及び松尾春泰：“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圖-7に示す如き照直に於けられたり尺を立て、之を通過する波を計土地盤より transit に依つて観測した。

波の周期も之等に依つて観測したが、波長は實際の観測を行はず波高の公式によつて計算した。此の點に残念に考へる次第であつて少くとも波速は観測しておいて頂きたかつた。

風速及び風向は(6)に自記風速計を照付けて観測した。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。此等の観測結果は表-2の如くである。此の中

圖 6

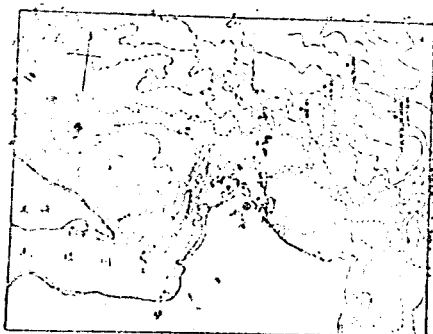


圖 7

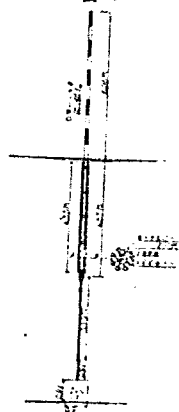
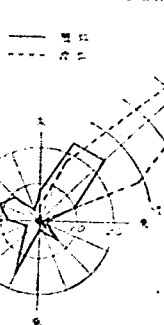


圖 8

風向の観測結果



波向の観測のあるものは港口予定箇所に於けるもののみである。之等の波向の観測を以て充分に他の地點に於ける波向をも代表するものと假定し、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圖 8 の如く風向及び波向回數曲線を作つた。港口予定箇所に於ける観測數は合計135ヶあり、之を風向及び波向に就いての回數を整理すれば表-4

の如くである。之等に依つて波向と風向とが最も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かである。従つて波高と風速の關係を求めるに使用すべき観

表-3

風井博士の観測値「築港」附録p.1.

波高 2h (m)	風速 U (m/sec)	訂正風速 U' (m/sec)
0.9	10.3	7.21
1.4	12.1	8.48
1.5	13.6	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	波向	回數
北	8	南	2	北	3	北	3
北々東	23	南南西	15	北北東	17	北北東	17
北東	24	南西	5	北東	83	北東	83
東北東	10	西南西	3	東北東	28	東北東	28
東	2	西	8	東	1	東	1
東南東	2	西北西	11	東南東	1	東南東	1
南東	7	北西	9	南東	2	南東	2
南南東	5	北北西	3				

1 値としては風向、波向共に此の範圍に存在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観測無き爲め便宜上風向が上記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観測値(表 3)を加へ合計 124 個の資料を用いたが、その内分は表 5 の如くである。

約は港口に於ける観測値は海面波の範圍に於て得られたもので水深は 7.5m より 10m までに變化し、波浪の強度は 1 號、2 號、3 號地點に於て 1_{10} から 1_{100} までに變化してゐた。

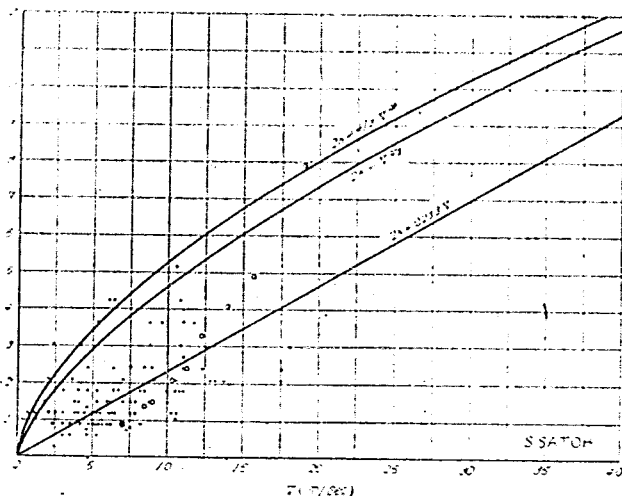
〔2〕 著者の實驗式作製の主義と實驗式

上記の 124 個の観測資料を plot したものが圖 9 である。圖中 1 號點は港口に於ける観測値で、自然は廣井博士の観測されたものである。之を一見して得る如く略かなり大きな範圍に散散してゐる。

表 5

観測値	個数	採用観測値数
1 號	46	20
2 號	24	9
3 號	125	29
港口豫定 廣井博士	135	57
合 計	330	124

圖 9



1' と $2h$ とがその様な關係にある時は観測點は必ずきれいな曲線を描く筈である。然るに圖 9 を見ると點は甚しく散散してゐる。之は何故であらうか。此の原因としては次の事情が考へられる。

1) 波高の定義が相違である。

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、その殆ど總てが圖 10 (b) の如くに極めて複雑な形をしてゐる。従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の問題である。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観測波高は小に過ぐるのであらうし、 h_3 を以て波高を讀めば大に過ぐるかもしれない。此の故に圖 9 に於て同一風速について観測波高に大小種々

る、之を要するに當り著者は次の如き考へで進んだ。

波面に波浪を生ずる事は、波面の一部に波動を生ぜしめるべき特別の原因の存在せぬ限り、上部気體をなす空氣の移動に基くものでなければならぬ。即ち風無くしては波面に表面波は起り得ないと見る事が出来る。従つて風と表面波の間には必ず唯一の關係が存在する筈である。

数多くあつても不思議ではないのである。

(2) 傳播波を観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小さい^{*}ので洋の方で成る風速に因つて成る波高を生じて、海岸に近くでは風速が急に變化して「了」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現象として讀み取る恐れがある。

(3) 観測の精度

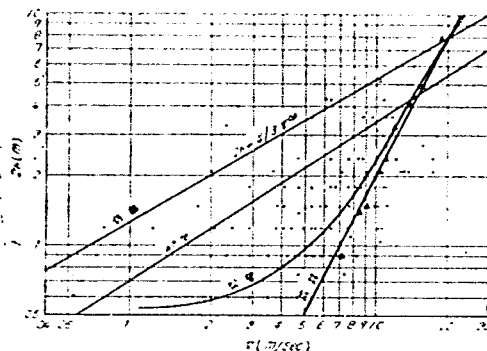
此の問題は前二者に比して重要さは小さいものではあらうが一考を要しなければならない。

之等の諸原因に依つて観測點は増設せざるを得ない。上述原因の中(2)に就いては充分の注意を拂つたものと考へられる。そこで風に因つて居る波を現象的に取扱へば $2h$ と V との關係としては、之等観測點の平均を、^{*}曲線を採用すれば最も真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 参照)。併し此の式により算出される波高は平均波高であつて、實際の観測には圖-9 に示す如く更に大なる波高も存在する。従つて波力や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思へる。故に著者はある風速に於ける最大波高を大凡述べ、總ての観測値を cover する實驗公式を作る事が必要であると思へた。此の目的の爲めに總ての観測値を對數表に plot した。之が圖-11 である。之を見るに最大波高の曲線はかなりきれいに直線的に分布してゐる。そこで之等の諸點をなるべく誤差なしに、而も係數及び V の指數

圖-11



がなるべく簡単な數字になる様に引いた直線が圖-11 一番上の直線である。而して此の直線は

$$2h = \frac{4}{3} V^{0.6}$$

となつた。之は又圖-9 にも示す。

此の關係式は之自身相當簡単な記号し易い形ではあるが、 V の 0.6 案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 $\frac{2}{3}$ 案に変更し $V = 40 \text{ m/sec}$ での間で最も上曲線に近い曲線として

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

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 参照)。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、之に至る経過及び意考は右記の如くである。

[3] 風速と波速

波を空氣と海水なる密度の異なる二流體の接觸面に於ける現象として、波速を理論的に求めねば次の如くである。下部流體は一様な水深 h を有し上部流體は無限の上まであるものとする。又一に示す如く坐標原點を静止水面に取り、 x 軸を上・下部流體の速度 U , U' 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

$$\eta = a e^{i(kx - \omega t)} \quad (1)$$

にて表はされるものとし、 a を半波高とする。但し

t = 時間、 k = 波長、 ρ = 海水の密度、下部流體、 g = 重力の加速度
 ρ' = 空氣の密度 (上部流體)、 c = 波速

とする。

波動は始め静止の状態から始まつたものと考へれば無揺運動であり速度ポテンシャルを有する。之を上・下二流體に就て ϕ , ϕ' とし之等は波動の爲めの小さな量 ϕ_1 , ϕ'_1 を附加して

$$\left. \begin{aligned} \phi &= -Ux + \phi_1 \\ \phi' &= -U'x + \phi'_1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

にて表はされるものとする*。

茲に於て

$$\left. \begin{aligned} \phi &= C \cosh k(y+h) e^{i(kx - \omega t)} \\ \phi'_1 &= C' e^{i(kx - \omega t)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

とおけば

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial x^2} &= -k^2 C \cosh k(y+h) e^{i(kx - \omega t)} \\ \frac{\partial^2 \phi'_1}{\partial x^2} &= -k^2 C' e^{i(kx - \omega t)} \end{aligned} \right\}$$

であるから

$$\Delta \phi_1 = 0$$

故に (2) により

$$\Delta \phi = 0$$

故に ϕ は連続の條件を満足する。又同様にして ϕ' も連続の條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

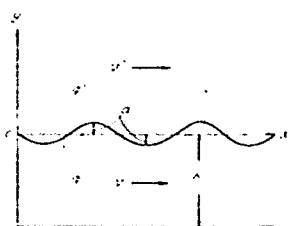
$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_{y=-h} = 0, \quad \phi'_{y=0} = -U'x$$

なる條件を満足する事も容易に知り得る。

次に表面條件を考へて見るに、之は Lamb により次の如く與へられる。

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

圖-12



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

上式の中の上式に (1) 式及び (5) 式を代入すれば

$$\begin{aligned} i\sigma a e^{i(\sigma' - kx) - kx} + V' k a e^{i(\sigma' - kx) - kx} &= - C k \sinh kh e^{i(\sigma' - kx) - kx} \\ \text{即ち} \quad i\sigma a - k V' &= - C k \sinh kh \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

又 (1) の下式に (1) 式及び (5) 式を代入すれば同様にして

$$i\sigma a - k V' = k C' \dots\dots\dots (6)$$

を得る。之等により C, C' を求めれば

$$C = - \frac{i\sigma a - k V'}{k \sinh kh} \dots\dots\dots (7)$$

$$C' = \frac{i\sigma a - k V'}{k} \dots\dots\dots (8)$$

而して上下両液體の波動面には其通電な(り)た(り)ないから

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

なるを要する。(9) 式に (1) 式及び (5) 式を代入すれば

$$\rho [i\sigma \cosh kh - k V' \cosh kh - g a] = \rho' [i\sigma - k V' C' - g a] \dots\dots\dots (10)$$

を得る。之に (7) 式及び (8) 式を適用して

$$\rho [\sigma - k V'^2 \coth kh + \rho' \sigma - k V'^2] = g k' \rho - \rho' \dots\dots\dots (11)$$

を得る。之を σ について解けば

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{k' V' \rho \coth kh + V'^2 \rho'}{\rho \coth kh + \rho'} \\ &\pm \left[\frac{g k' \rho - \rho'}{\rho \coth kh + \rho'} - \frac{k^2 \rho \rho' \coth kh (1 - V'^2)^2}{(\rho \coth kh + \rho')^2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

を得る。然るに $\sigma = k V'$ であるから求める波速は

$$\begin{aligned} c &= \frac{V' \rho \coth kh + V'^2 \rho'}{\rho \coth kh + \rho'} \\ &\pm \left[\frac{g}{k} - \frac{(\rho - \rho')}{\rho \coth kh + \rho'} - \frac{\rho \rho' \coth kh}{(\rho \coth kh + \rho')^2} (1 - V'^2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

或は

$$\begin{aligned} c &= \frac{V' \rho \coth \frac{2\pi h}{\lambda} + V'^2 \rho'}{\rho \coth \frac{2\pi h}{\lambda} + \rho'} \\ &\pm \left[\frac{g \lambda}{2\pi} - \frac{(\rho - \rho')}{\left(\rho \coth \frac{2\pi h}{\lambda} + \rho' \right)} - \frac{\rho \rho' \coth \frac{2\pi h}{\lambda}}{\left(\rho \coth \frac{2\pi h}{\lambda} + \rho' \right)^2} (1 - V'^2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

(13) 式は上下両液體が共に運動してゐる場合に對するものであるが、今吾々の方へるのは静止せる (液体を考

である。右面上を風が吹く場合であるから $U' = 0$ としなければならない。此の場合の波速は

$$c = \frac{\rho' \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}}{\rho + \rho' \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}} U' + c_0^2 - \frac{\rho \rho' \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}}{(\rho + \rho' \tanh \frac{2\pi h}{\lambda})^2} U'^2 \quad (14)$$

となる。但し c_0 は上下兩液體が共に静止せる場合の傳播波の波の速度で

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

なるもので、空氣の密度 ρ' を無視する時は

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

となり、吾々のよく見なれた波の速度となる。

(14)式を見るに之の第1項は上下兩液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在するのである。従つて此の相対波速は上部液體の動きのある場合は夫丈減少する事となる。

而して(15)式、(16)式により上部液體の密度を考へる時の波速は上部に液體なき場合の波速よりも小なる値となる。即ち理論上は海面の上部が真空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

表-6

λ	c_0	相対波速	絶対波速
50	8.134	8.078	8.108
100	9.311	9.279	9.299
150	9.617	9.595	9.600
200	9.734	9.719	9.730
250	9.789	9.776	9.785
300	9.821	9.809	9.816

$$A_1 = \text{兩液體の平均波速} = \frac{\rho' \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}}{\rho + \rho' \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}} U'$$

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

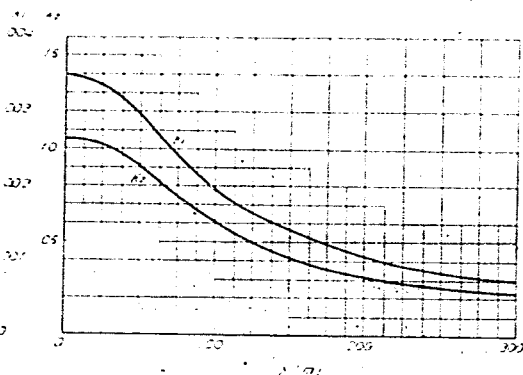
と置いて

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

と書きかへる。

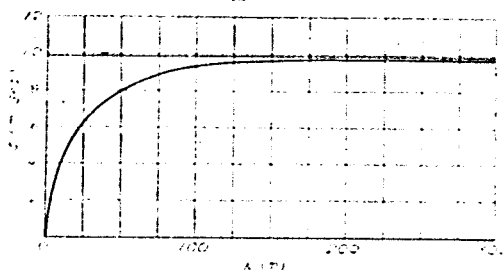
一例として $h=10$ m, $U'=5$ m/sec, $\rho=1.025$, $\rho'=0.0012$ とすれば、波長 $\lambda=300$ m までにして A_1 , A_2 は圖-13の如くに減少し、波長の極めて大なる時は $c=c_0$ となり風の波速に及ばず影響は無くなる。又 A_1 , A_2 曲線は波長の小なる間は急激に変化するが、大となるに及び急激に減少する傾向がある。つて、上部液體の密度が下部のそれに比較し得る程度のも

圖 13



力であるならば波長の短い場合には相対波速は風速により大いに影響を受ける事になる。

図 14



結局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知られる。

今の単位によつて絶対波速 c を求めれば図 14 の如く、 $c \approx 100$ cm/sec 位になれば略々一定値となる。これは此の場合の c 、相対波速 $c/V = \sqrt{g/\lambda}$ 、絶対波速 c は表 10 の如く、空気の密度が小なる時の値とを生成しない。併し、之等は風速 $V = 30$ m/sec の場合であるから此の場合の波速 c とに比しはるかに小なり。一般に通常の波長は 1 m

IV. 結 語

上述の如く種々なる風速・波高の算術公式があるが、何れも適當なものとは認めがたい。殊に設計用として表 6 第 11 章に述べたる如き算術が考へられる。

そこで著者は錢子龍に於ける波高と風速との観測値 (11) と、廣井博士に依る観測値 (9) とを用ひ風速・波高算術式として

$$2h = \frac{4}{3} V^{0.6}$$

を得たが、更に之を簡單形に直し、算術式として

$$2h = V^2$$

を得た。

尚ほ今後有機會ある毎に風速と波高とに關する観測資料を集め、以て益々適用性の強いものにして行きたいと思へてゐる。

(2001, 5, 21).

* 空気の密度 ρ' は乾燥せる空氣については

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

$$t = ^\circ\text{C} \quad H = \text{mm Hg}$$

にて表はされる。 $t = 15^\circ\text{C}$ について $H = 750 \sim 760$ mm の場合には $\rho' = 1.177 \sim 1.226 \times 10^{-3}$ となるので、その平均をとつて $\rho' = 0.0012 \text{ g/cm}^3$ とした。

表 2

* 採用資料

一 覧 表

A10, 6, 25 ~ A10, 10, 5.

号 波	最高波高 2H (m)	週 期 T (sec)	波 長 L (m)	風 向	風 速 U (m/sec)	訂正風速 U' (m/sec)
1	2.12	7.0	74.3	北×西	2.67	1.87
2	1.52	11.0	183.5	南×西	16.67	11.67
3	0.45	15.0	256.0	南	11.10	7.77
* 4	1.21	70.0	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	5.54
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×東	6.67	4.67
* 13	0.76	7.0	74.3	#	10.42	7.30
14	1.21	11.0	183.5	南×東	4.17	2.92
15	0.61	10.0	151.5	西北西	2.92	2.04
* 16	0.91	10.0	151.5	北×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×西	10.83	7.58
20	0.76	16.0	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×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×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×西	10.42	7.30
35	1.21	11.0	183.5	#	5.42	3.79
36	2.12	16.0	151.5	南 西	5.83	4.08
* 37	4.25	10.0	151.5	北×東	8.75	6.13
38	2.73	11.0	183.5	南×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×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 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 草

大 10. 8. 27~大 10. 10. 3.

番 號	最高波高 2h (m)	週 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 草

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 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 号	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	北々西	4.08
5	0.30	122.7	408.5	9.0	北	5.25
• 6	0.76	256.0	337.0	13.0	北々東	4.67
• 7	0.76	74.0	97.4	7.0	?	7.30
8	0.76	151.5	199.5	10.0	南々東	2.92
9	0.61	54.5	89.4	6.0	西北西	2.04
• 10	0.91	212.0	233.0	12.0	北々東	5.25
11	0.91	122.7	135.0	9.0	西南西	2.04
12	0.91	256.0	281.5	13.0	西北西	3.44
• 13	0.91	151.5	161.5	10.0	北 東	5.83
14	0.91	97.0	106.6	8.0	北々西	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	2.95
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	2.04
26	0.91	371.0	408.0	15.0	?	7.88
27	0.61	371.0	698.0	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	北々西	8.17
31	1.52	122.7	89.7	9.0	南々西	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	北々西	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	北々東	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	167.5	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 20 m	波 長 20 m	波 長 最高波高	週 期 27 sec	風 向	計 風 速
48	1.21	438.0	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 西	1.34
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 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 東	6.42
57	1.21	151.5	125.0	10.0	西北西	3.67
58	1.21	37.9	31.3	5.0	■	5.95
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 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	11.0	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 東	6.70
71	1.52	122.7	80.7	9.0	西南西	1.45
* 72	1.52	183.5	120.7	11.0	北 東	7.58
* 73	1.82	183.5	101.0	11.0	北 東	6.42
74	1.82	218.0	120.0	12.0	北 西	5.23
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 西	4.96
* 79	1.52	183.5	120.8	11.0	北 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	8.28
82	1.06	256.0	241.5	13.0	東	5.54
* 83	1.06	256.0	241.5	13.0	東北東	10.50
* 84	1.82	97.0	53.3	8.0	北 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	52.6	8.0	■	6.42
88	2.42	122.7	50.7	9.0	南 東	4.38
89	2.12	183.5	86.5	11.0	西南西	1.34
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	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	北 東	7.88
* 93	2.12	151.5	71.5	10.0	北 東	4.93
94	2.48	151.5	61.1	10.0	北 西	11.63
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	北	10.50
98	2.73	103.5	67.2	11.0	北	3.50
99	2.42	51.5	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	北	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	11.04
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	4.68
* 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	北	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	北	5.30
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	北	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	計測風速 V (m/sec)
5	1.52	97.0	8	?	北	5.54
* 6	1.21	218.9	12	?	北 東	4.08
* 7	0.91	122.7	9	東北東	北 東	4.72
8	1.21	54.5	6	?	南 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 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 東	南 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 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 東	南	7.30
21	1.21	256.0	13	北 東	南 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 東	6.88
25	0.91	54.5	6	東北東	南 西	7.93
26	1.21	97.0	8	?	?	11.67
* 27	0.91	183.5	11	北 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 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 東	3.21
36	1.21	97.0	8	?	北	8.75
* 37	0.91	97.0	8	?	北 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 西	3.67
* 41	1.52	183.5	11	?	北 東	7.58
* 42	1.52	97.0	8	?	?	6.12
43	1.21	183.5	11	?	南 東	5.02
* 44	2.12	256.0	13	?	北 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	?	?	15.03
48	2.42	183.5	11	東北東	南 東	7.30

番 號	波 2h (m)	波 2L (m)	週 2T (sec)	波 向	風 向	計算風速 V (m/sec)
49	1.82	151.5	10	北 東	東	3.32
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	6.13
57	1.21	183.5	11	北々東	北	1.92
58	1.21	122.7	9	北 東	北々東	6.24
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	3.79
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	4.83
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	10.59
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 F' (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

國產電極棒による熔着鋼の強度に就いて

内務技師 青 木 楠 男

目 次

I. 緒 言	(1)
II. 昭和 9 年熔着鋼強度試験	(3)
[1] 試 料	(3)
[2] 引張試験片	(3)
[3] 引張試験成績	(4)
[4] 熔着鋼の延性と金属組織	(6)
III. 昭和 14 年熔着鋼強度試験	(12)
[1] 試 料	(12)
[2] 心線の化学成分と其引張強度	(12)
[3] 引張試験成績	(13)
[4] 熔着鋼の延性と金属組織	(16)
IV. 昭和 15 年熔着鋼強度試験成績	(19)
V. 要 約	(20)
VI. 附録—金属電極棒規格 (熔接協会)	(20)

(本試験は主として内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内規的に

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產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鋼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状態となり、一方重工業方面よりの需要増加が顯著なるものあり、必然の結果として市場への粗悪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、ついで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に制定シタルモノニシテ當分ノ内之ニ依ルモノトス)

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 心線ハ断面圓形ニシテ其ノ徑ハ次ノ通トス

1, 1.4, 2, 2.9, 4, 5, 6mm

第五條 適宜ノ試験材ヲ採リ軟鋼板上ニ壓向直線「ビード」ヲ作り心線ノ熔着性ヲ判定ス

本試験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生ゼザルコトヲ要ス

本條ノ試験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、これを前掲海軍用のものゝ内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ニ熔着鋼中に入るを常とし、銅の増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年度に於て熔着鋼組合同組合の依頼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
第Ⅰ種	>41kg/mm ²	>28(當分26)%
第Ⅱ種	>41	>20(當分18)
		衝擊値(シャルピー)
		>10
		—

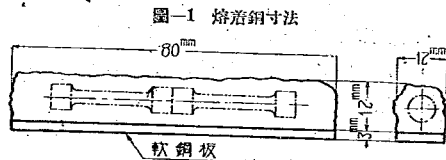
其後同協會は附録に示す電極棒規格を定めてをり、更にこれを原案として目下商工省工業品規格調査委員會は電極棒標準規格の審議を急いでをる。

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。著者はさきに横濱港瑞穂橋の工事に於て、又山梨縣鮎川橋の熔接に於て、又江戸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

溶着鋼について引張強度、伸率、金属組織の試験を行ひ、國産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。試験は第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験の成績をまとめたものであるが、終りに昭和15年度に於ける他の方面に於ける試験成績の大略を附記して参考とした。

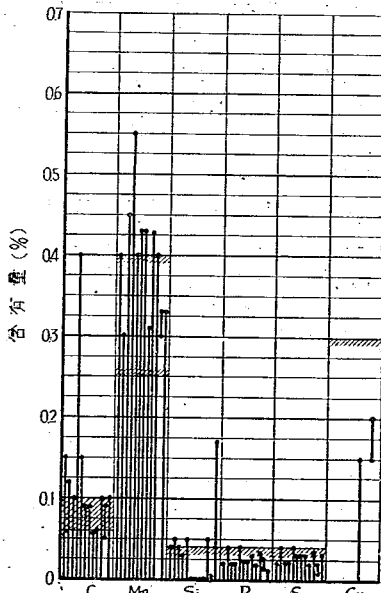
II. 昭和9年熔着鋼強度試験

〔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の形状の熔着鋼の提出を求めた。この依頼に応じて試料を提出された製作所並に工場数は約20ヶ所で電極棒の種類は66種であつた。各試験については熔接機の種類、使用電弧電圧並電流、作業時間、ビード層数、運棒法、電極棒直径、使用量、心線並に被覆剤の化学成分等についての資料を求めた。特許其他の関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料について纏め得た結果は次の如くである。



試料 66 種中直流を使用するもの12 種其他は交流である。二次側電弧電圧は 15~50V の間にあつて 20V 前

圖-2 電極棒心線化学成分圖表



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。

熔接棒の直径は大半は 4mm にして 3.5mm のものこれにつぎ、残部は 3mm 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。又被覆剤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、珪酸ソーダ、酸化鐵、マンガ、二酸化マンガ、マグネサイト、炭酸カルシウム、酸化アルミニウム、チタニウム、木炭、タルク末、銀砂末、炭灰、無水炭酸ソーダ、黄色血滴鹽、フエロマンガ、燒霽砂、纖維、青石棉

〔2〕引張試験片 本試験に使用した試験片は圖-1に示した熔着鋼より削成した圖-4に示す如き小型試験片であつて、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、残餘の熔着鋼より b 種1個を削成し、これら5個の試験片について引張試験を行つ

た。

(a) 種試験片は平行部直径 $d=4.05\text{mm}$ 、長 $l=14.42\text{mm}$ で Hounsfield 製の小型引張試験機の標準試験片である。

(b) 種試験片は平行部直径 $d=7.0\text{mm}$ 、長 $l=25\text{mm}$ で端部に取付用螺旋を附し常所備付 5T 多能試験機で引張試験を行った。

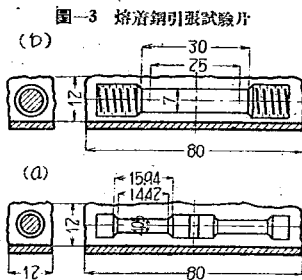
従来熔着鋼の引張試験片として使用せられつゝあつたものは J. E. S. 金属材料抗張試験片第 4 號であつて、鑄鋼、鍛鋼用に定められたものを準用したのであるが、この試験片を熔着鋼より製作することは其溶接作業に於て、又其創成作業に於て多大の時間と努力とを必要とし、電極棒検定の如く多数の試験片製作に際しての不便は極めて大きい。この不利を避けんがために 4 號試験片に代るべきものとして上記の小型試験片を選定したものであるが、標準試験片と小型試験片とによつて行つた試験結果の合致性に關しては、曩に土木試験所報告第 28 號「熔着鋼引張試験用小型試験片」に發表せるが如く、其降伏點強度並に極限強度は試験片の直径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、前掲小型試験片の平均成績をもつて引張強度とし、伸率に對しては小型試験片の $l:d$ を 4 號試験片の夫れと同じならしめて試験成績の合致につとめた。

[3] 引張試験成績 熔着鋼の降伏點強度、極限強度並に伸率の算出は直径 4mm の小型試験片 4 個の平均試験値を求めた、伸率の計算に於て切斷が標距の中央 1/2 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。

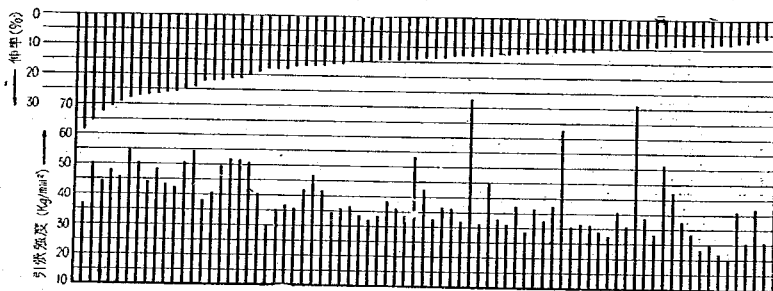
直径 7.0mm の引張試験片の成績には直径 4mm のもの 4 個の平均値とを比較して可成の相違を示したものがあつたが、其著しいものでは切斷箇所が溶着、氣泡等の含有の存在が明かな場合多く、比較的良好なる成績を示せる熔着鋼ほど其差は僅少である。

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

前掲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 1/4 であつて、これらの試料は同時に強度も良好であり、一、二の例外を除くのほか 41kg/mm^2 以上の



圖—4 熔着鋼引張試験成績



強度を示してをる。斯くの如き結果に基いて考ふるに熔着鋼強度と伸率とは相聯絡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強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 第一回電極棒試験熔着鋼引張試験成績

試片番號	降伏點強度 kg/mm ²	極限強度 kg/mm ²	伸 率 %	試片番號	降伏點強度 kg/mm ²	極限強度 kg/mm ²	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	51.8	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強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ることが認められる。試料中には著しく強度大、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。

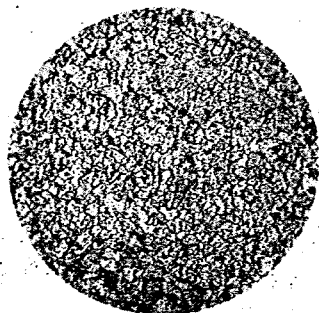
引張強度と伸率との関係を一層明瞭ならしむるために兩者を横軸、縦軸として圖表を描くとき、圖-5₂の如きものとなる。伸率20%以上を示せるものは其引張強度は35~55kg/mm²の範圍に止まつてをり、強度41kg/mm²以上、伸率20%以上の規格に合格するもの、強度の最大限は、55kg/mm²、伸率の最大限は35%であつて著しい散在を示してをらない事が注目される。

〔4〕 熔着鋼の延性と金屬組織

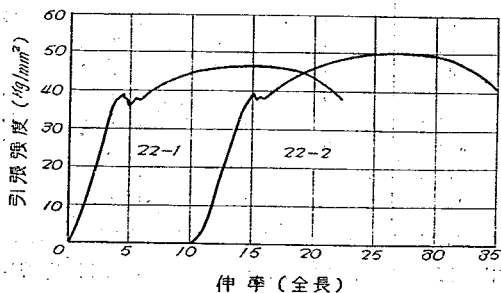
表-1 に示す試験成績中、代表的なもの 17 種につき其金屬組織と荷重-伸曲線とを示した、圖-6 が夫れである。金相寫眞は幾層にも施工されたる試片の一局部を示すものであつて、これを以て熔着鋼全體の組織を律せんとすることは困難であるが、これらの寫眞と荷重-伸曲線と

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、伸率共に著しく低きものに於ては熔滓、氣泡の包含、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

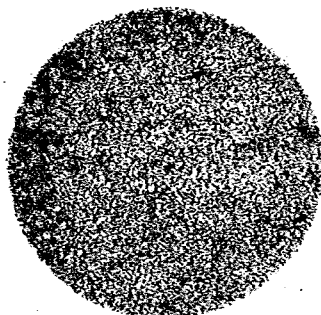


(×100)

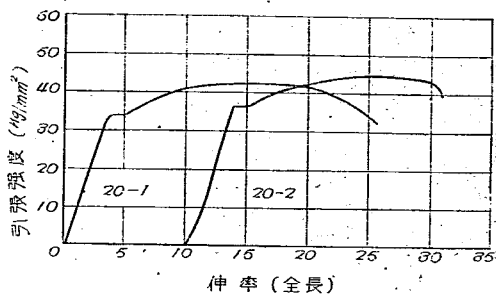


伸率 (全長)

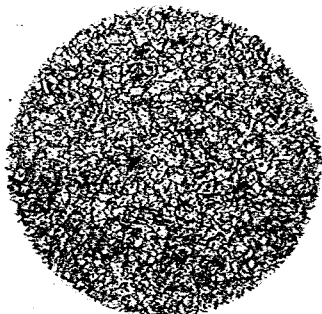
(其一) No. 22. Y.P. 39.5
T.S. 50.4 EL. 35.3



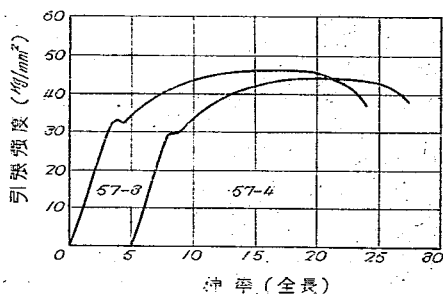
(×100)



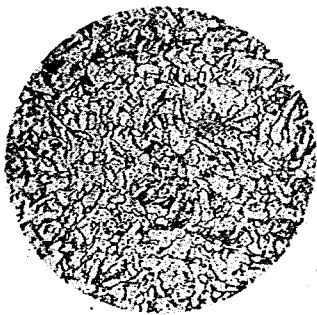
(其二) No. 20. Y.P. 36.0
T.S. 44.6 EL. 32.3



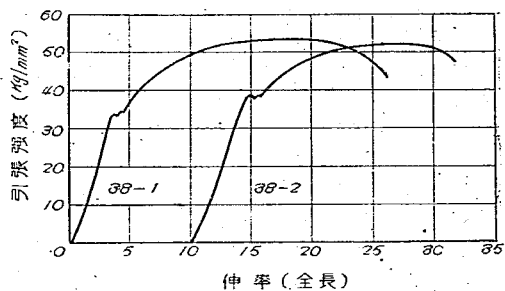
(×100)



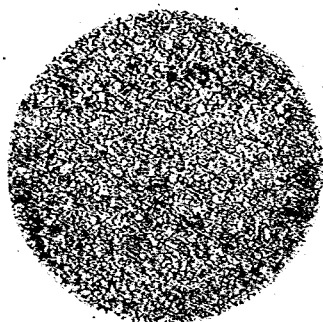
(其三) No. 57. Y.P. 33.3
T.S. 48.0 EL. 30.5



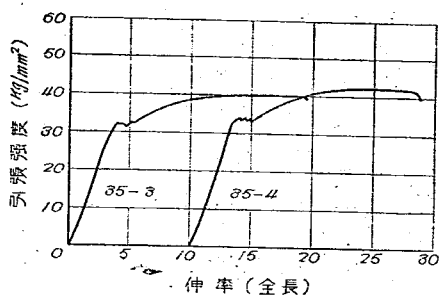
(×200)



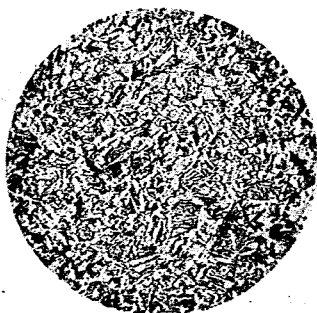
(其四) No. 38. Y.P. —
T.S. 54.9 EL. 29.0



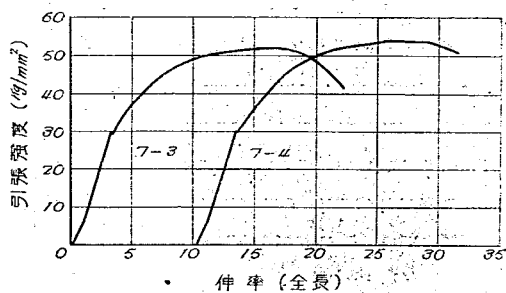
(×100)



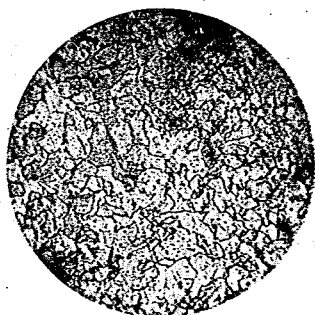
(其五) No. 35. Y.P. 38.8
T.S. 42.3 EL. 25.1



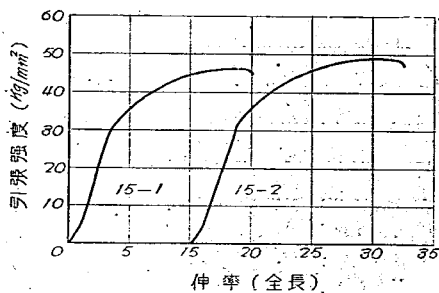
(×100)



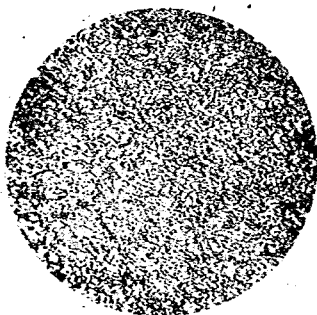
(其六) No. 7. Y.P. 32.7
T.S. 54.5 EL. 23.8



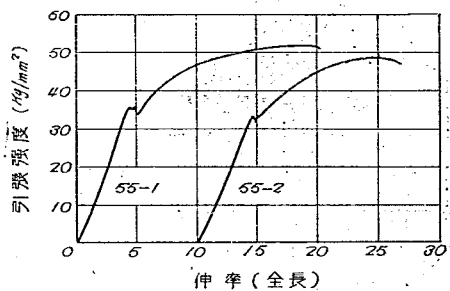
(×100)



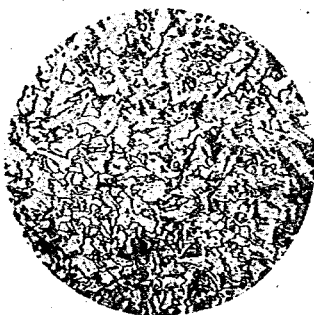
(其七) No. 15. Y.P. 34.5
T.S. 49.3 EL. 21.2



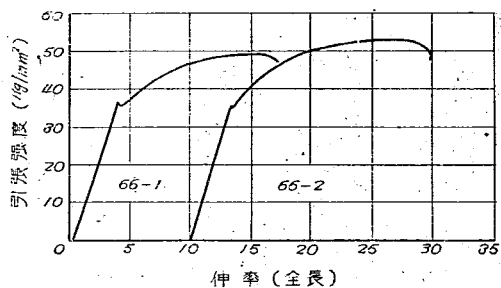
($\times 100$)



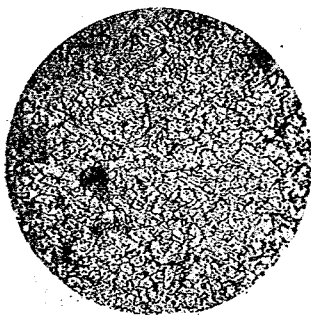
(其八) No. 55. Y.P. 37.3
T.S. 51.8 EL. 20.7



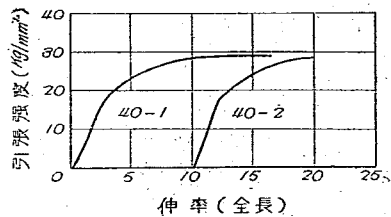
($\times 100$)



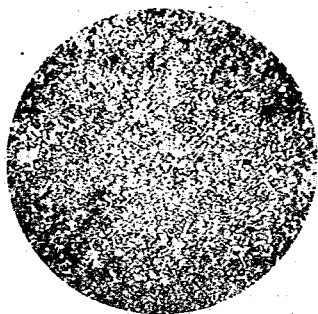
(其九) No. 66. Y.P. 37.3
T.S. 50.8 EL. 19.4



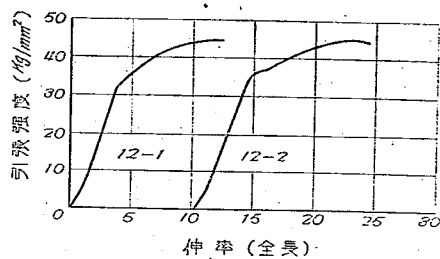
($\times 100$)



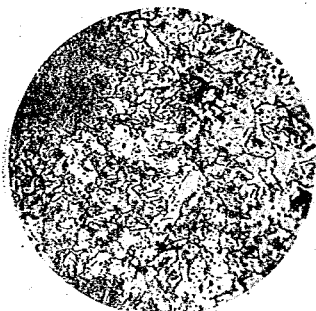
(其一〇) No. 40. Y.P. —
T.S. 29.7 EL. 17.7



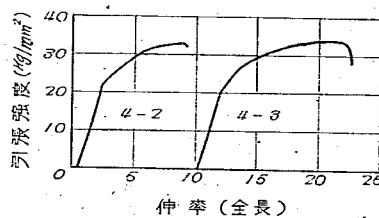
($\times 100$)



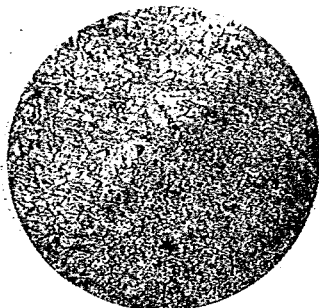
(其一一) No. 12. Y.P. 36.0
T.S. 46.5 EL. 16.1



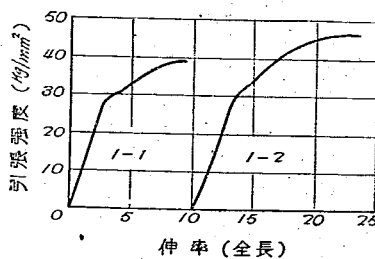
($\times 100$)



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



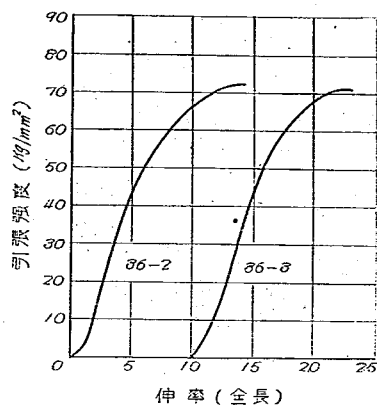
($\times 100$)



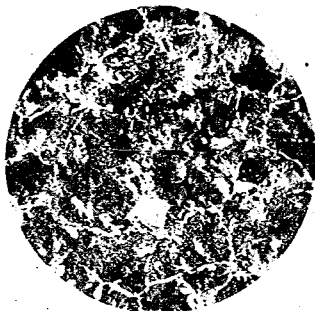
(其一三) No. 1. Y.P. 31.5
T.S. 42.3 EL. 13.6



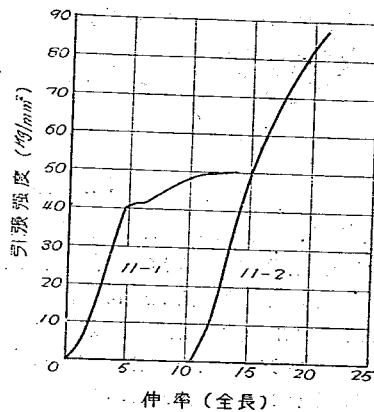
(×200)



(其四) No. 36. Y.P. —
T.S. 72.8 EL. 12.4



(×200)



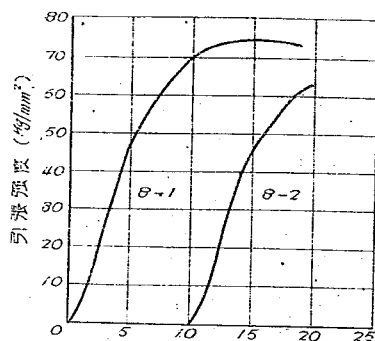
(其五) No. 11. Y.P. 41.5
T.S. 62.8 EL. 10.9



(×200)



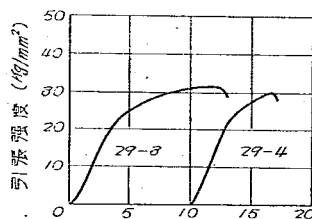
(×100)



伸率 (全長)

(其一六) No. 8. Y.P. —

T.S. 71.0 E.L. 9.2



伸率 (全長)

(其一七) No. 29. Y.P. —

T.S. 28.0 E.L. 8.9

III. 昭和 14 年熔着鋼強度試験

[1] 試料 昭和 14 年關東、關西南方面の電極棒製造業者並に電極棒常用の鐵工業者 82 箇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談上に弱されて、充分なる試料の蒐集を求むることが出来なかつた。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観である。

[2] 心線の化學成分と其引張強度 試験に供した電極棒 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

圖-7

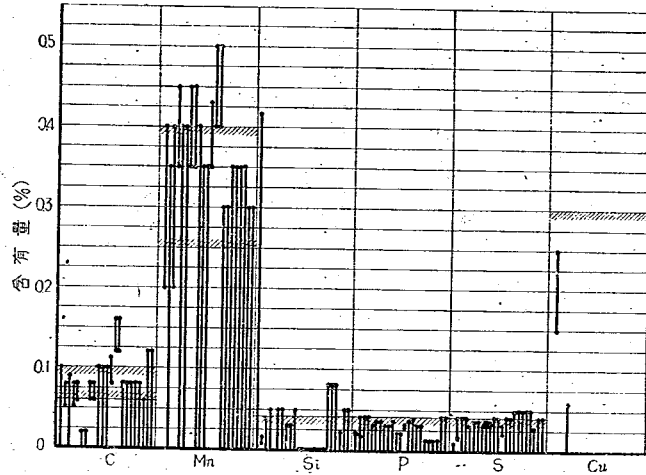
第 2 回電極棒試験に供したる試料
(總數 37 種の中 4 種を缺く)



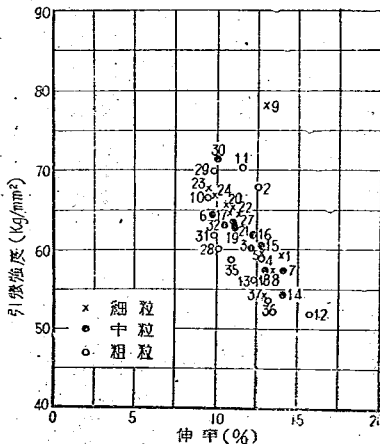
る。これによつて見るに心線の化学成分は C, Mn, Si に於て幾分臨時日本標準規格の範囲を出でたるものもあるも、大體に於てこれが範囲内に於ること第1回の試験に於けると同様である。

各電極棒については其該覆層を剥し、標點距離を直径の8倍に採つて心線の引強試験を行った。これによつて得られる心線の強度、延伸率等と含有化学成分とを比較するとき、こゝに心線への冷

圖一8 第2回電極棒試験心線化学成分圖表



圖一9 心線引張強度と伸率との關係



を圖示すれば圖一12の如くである。これによつて明かなるが如く其熔着鋼強度が 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

間加工の度を推定し得るものと考へる。圖一9 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き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强度を示してをることが窺はれる。圖一10は心線金相寫眞の數例である。表一2に各心線の強度並に伸率を掲げたが、一二の例外を除けば強度は 55~70kg/mm²、伸率は 7.5~15%の間に納まつてをる。

[3] 引張試験成績 引張試験片は各製造業者が提出された熔着鋼より當方にて作成したものであつて、其形状寸法は圖一11に示す如くで平行部直径10mm、すべて熔接協會の規定に従つたものである。試験には 5 T 松村式多能試験機を使用した。試験成績表一2の如くである。

表一2 は熔着鋼の伸率順に配列したものであるが、これ

圖一11 熔着鋼引張試験片

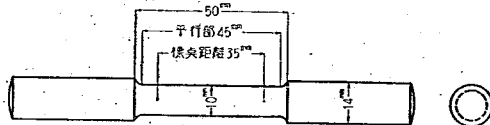
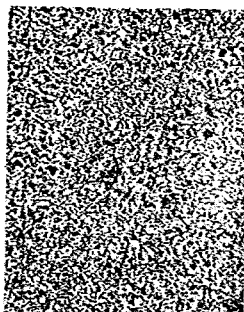


圖-10 電極棒心線金相寫眞 (4% Nital, $\times 100$)

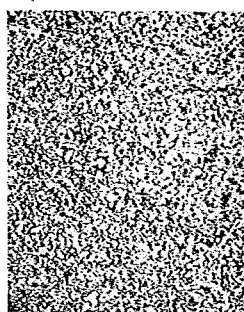
No. 9



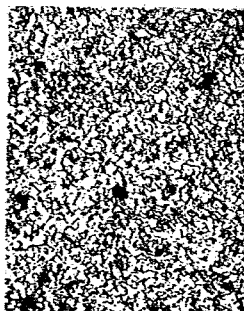
No. 17



No. 23



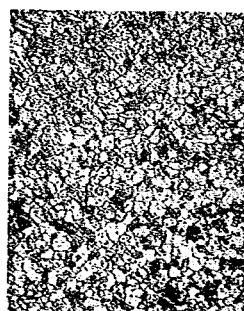
No. 3



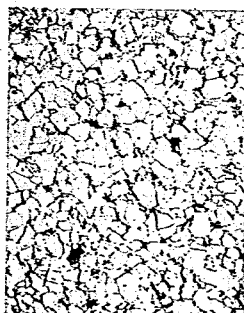
No. 6



No. 19



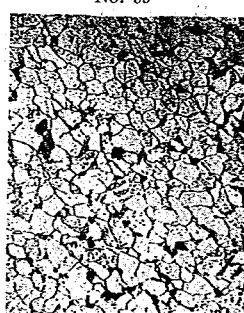
No. 12



No. 13



No. 35



表—2 第2回電極棒試験熔着鋼引張試験成績

試片番號	電 極 棒 心 線			熔 着 鋼			硬 度 (ショアー)	斷 面 狀 況
	直 徑 (m)	極限強度 (kg/mm ²)	伸 率 (%)	降伏點強度 (kg/mm ²)	極限強度 (kg/mm ²)	伸 率 (%)		
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 回試験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ゐ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験に於ける熔着鋼引張強度並に伸率の頻度曲線を圖—13 並 圖—14に示した。

これによると引張強度は第1回に於て 30~40kg/mm² のものが最多數を占めてゐるが、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

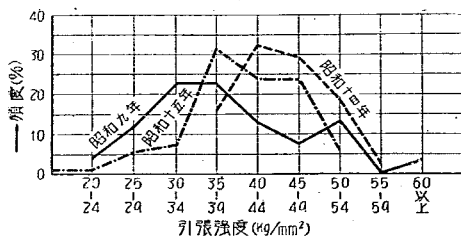
に於ては 15~25% のものが最多数を占めてをる。

以上の如く兩回の試験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。

即ち熔着鋼引張強度に就ては其大多數が 40kg/mm^2 を越す點は大に意を強くせるところなるも、其伸率に至つては 26% を越すもの僅に總数の 30% に達するに過ぎない。

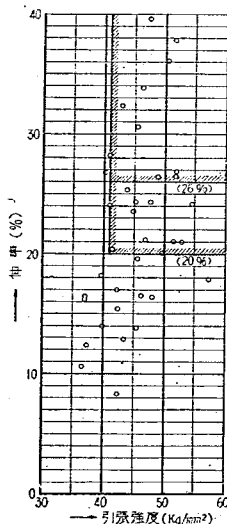
圖一15はこれら熔着鋼の引張強度と伸率との關係を示したものであつて、これを圖一5 に示した第1回試験のものに比較して見ると、低強度低伸率のもの、減少してをるこ

圖一13 國産電極棒引張強度圖表



とを更に確認することが出来る。

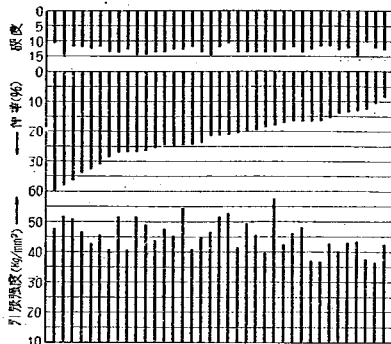
圖一15 引張強度と伸率との關係



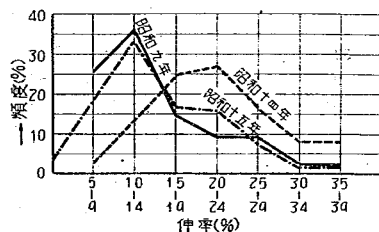
〔4〕 熔着鋼の延性と金屬組織 電極棒の相違により其熔着鋼の延性に著しき差あることは表一2 及圖一12に示せるが如くである。従つて其切斷狀況も試片毎に甚しい差異を見せてをる。圖一16 (A) は伸率大なるもの、圖一16 (B) は伸率小なるもの、數例を示したものである。

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驗斷することは困難であるが、少くも金相寫眞に現はれ

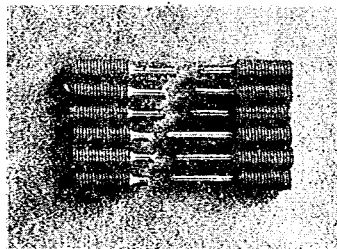
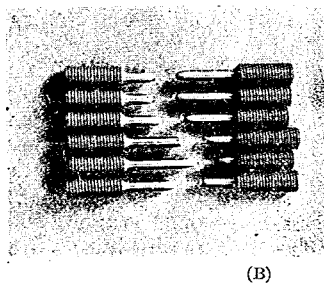
圖一12 熔着鋼引張試驗成績



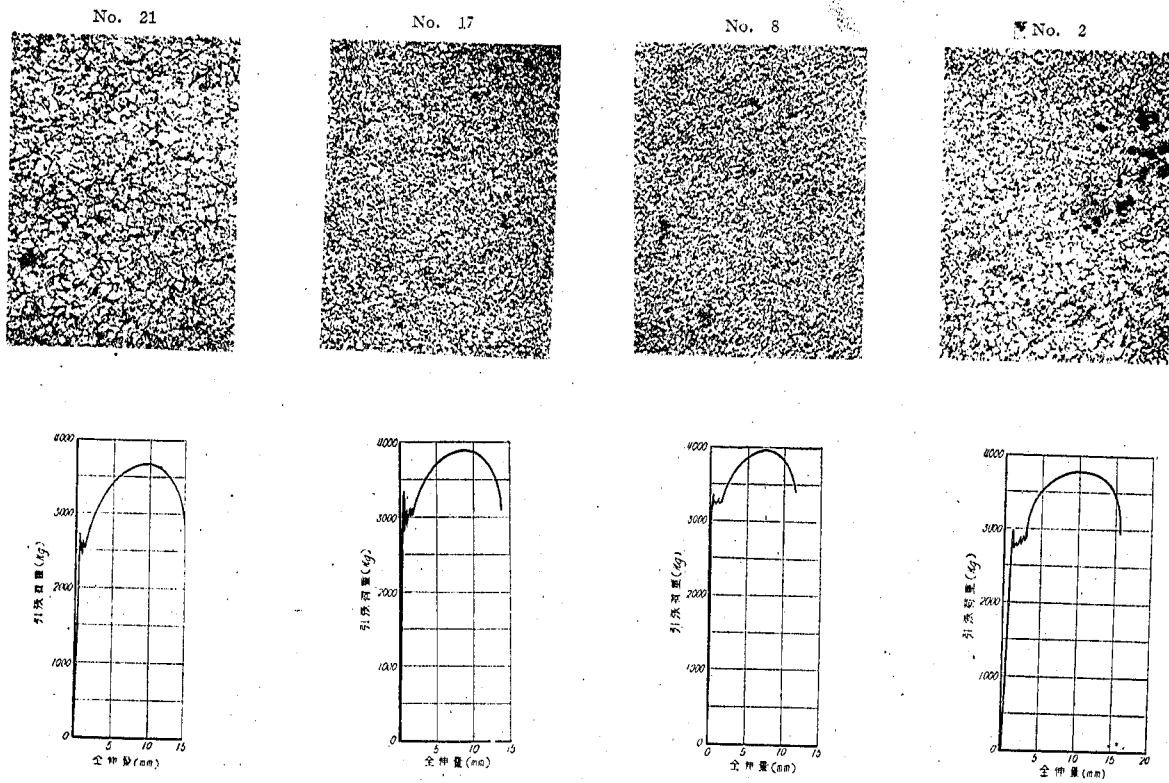
圖一14 國産電極棒伸率圖表



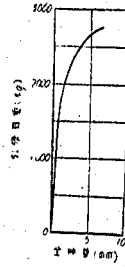
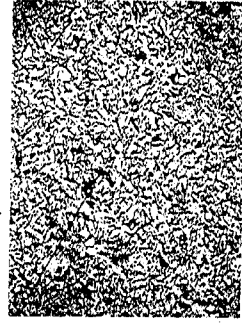
圖一16 試片切斷狀況 (A)



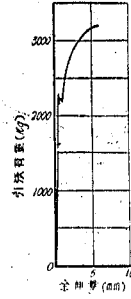
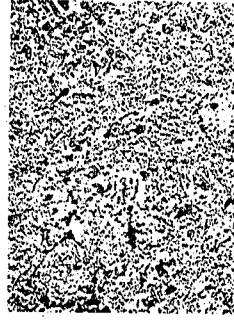
圖一七 熔着鋼の金屬組織と荷重—伸曲線 (4%, Nital, $\times 100$)



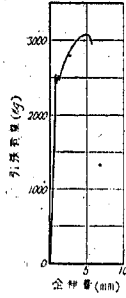
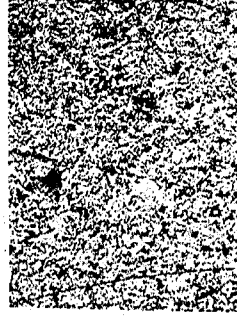
No. 22



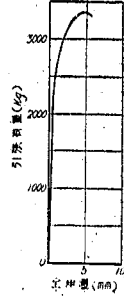
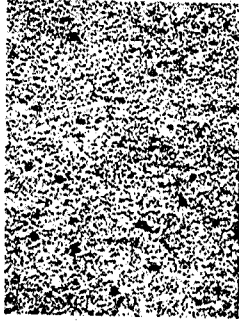
No. 27



No. 29



No. 34



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窺れる。圖—17は代表的資料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 年熔接鋼強度試験成績

前掲の著者の行つた熔着鋼強度試験のほかには諸方面に於て又國産電極棒の強度試験が行はれてをる。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、これらの試験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、引張強度と伸率とを伸率順に配列したものであつて、この圖に明かなることく伸率 20% を越すものは總數の1に達せざる數であり、

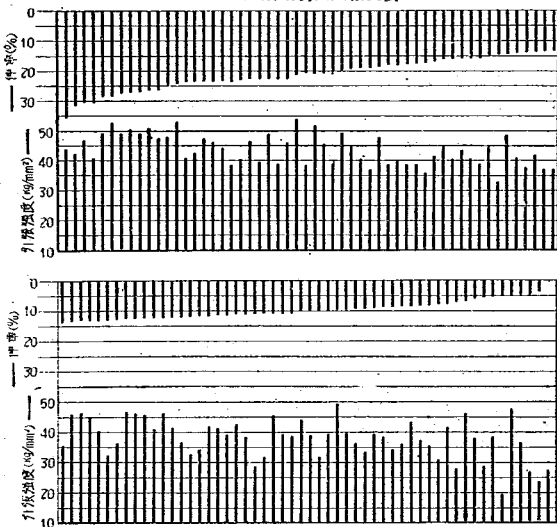
強度 41kg/mm^2 を越すものは總數の約1にあたつてをる。而して伸率 20% 以上を有するものは2, 3の例外を除き 41kg/mm^2 の強度を示してをることは昭和9年に於ける著者の實驗結果とよく類似してをる。

更にこれらの試験成績から、引張強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、其引張強度に於ては $35\sim 39\text{kg/mm}^2$ 級のもの最多數を占め、著者の昭和9年度並に14年度に於ける兩試験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 年度に於ける試験成績は著者の昭和 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。兩回の試験に於て試料蒐集の方法並に試料數等到大なる相異なるが故にこの結果のみを以て嚴密な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する。

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、需要の増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。

圖—18 熔着鋼引張試験成績



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験成績を基として, 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。

試験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ゐ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験では, 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強度 41kg/mm^2 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。

引張強度は $30\sim39\text{kg/mm}^2$ 級のものの最多數を占め, 伸率は 10~14%級のものが最多數を占めてゐる。

3. 昭和 14 年度の電極棒種類 37 につきての試験結果では, 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。熔着鋼引張強度が 41kg/mm^2 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ゐる。其引張強度も $40\sim49\text{kg/mm}^2$ 級のものの最多數を占め, 伸率も 20~24%級のものの最多數を占めてゐた。

4. 昭和 15 年の試料 108 種についての試験結果では, 引張強度 41kg/mm^2 以上, 伸率 20%以上のものは總數の 25%に達するに過ぎず。引張強度も $35\sim39\text{kg/mm}^2$ 級のものの最多數を占め, 伸率も 10~14%級のものの最多數にして昭和 14 年の成績に比すと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ゐる。

5. 以上3回の試験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。従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も國產電極棒は昭和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様な時代の速かに過ぎ去らん事を切望するものである。

6. 前掲の諸成績から見ても一般的に國產電極棒は其引張強度に於て相當優秀なる場合でも, 其伸率が著しく不十分な事が多い様である。これは需要者側で其強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, 鋼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強度の増進をはかるべきは勿論であるが, 一面熔着鋼の靱性増大に一層の努力が拂はれねばならぬものと信ずる。

VI. 附 録

鋼材用金屬電極棒規格 (熔接協會)

- 第1條 本規格ハ主トシテ鋼材ノ電弧溶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 電極棒ノ被覆ハ溶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 験

2. 衝 撃 試 験

各試験ニ於ケル試験片ノ製作及試験方法ハ附録第1ニヨル

第7條 第6條ノ各試験ニ於ケル成績ハ下表ノ値以上タルベシ

品 質	試 験	引 張 試 験		衝 撃 試 験	
		引張強力 kg/mm ²	伸 %	シャルビー kg-m/cm ²	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種ハ當分ノ中ノ之ヲ置ケモノトス

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様充分ナル包装ヲ施シタル上、品質、直徑、長、重量、本數、製造者名並ニ製造日附ヲ明記シ置ケラ要ス

【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

附録第一

試験片ノ製作及試験方法

A. 試験片製作一般要項

1. 本試験片ノ製作ニ使用スル電極棒ノ直徑ハ 3~5mm トス
2. 溶接ノ至ラ考慮シテ豫メ適當ナル方法ヲ講ズルコト
3. 仕上不可能ナル程度ノ至ラ生ジタル場合ハ再ビ製作スルコト
4. 溶接中及ビ溶接後ノ各種ノ處理（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. 引張試験

(イ) 試験片製作要項

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. 仕上ハ残メ裏面板ヲ削除シタル後ニ
行フベシ

(ロ) 試験片個數

仕上済試験片 2 個

(ハ) 成績

2 個ノ平均値

C. 衝撃試験

(イ) 試験片製作要項

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. 仕上ハ残メ裏面板ヲ削除シタル
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) 試験片個數

仕上済試験片 2 個

(ハ) 成績

2 個ノ平均値

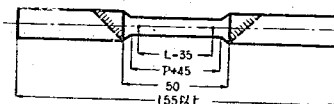
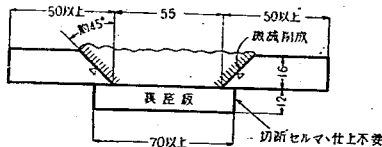
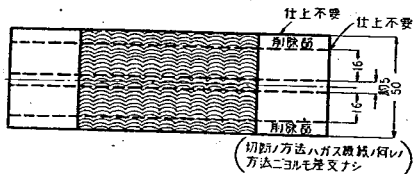
(ニ) 衝撃値算定式

(i) シヤルビー式

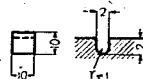
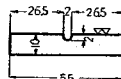
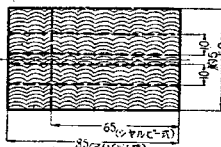
$$\text{衝撃値} = \frac{\text{折斷「エネルギー」(kg·m)}}{\text{切込部貫刺原斷面積 (cm²)}}$$

(ii) アイゾット式

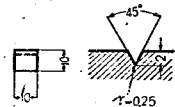
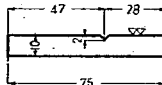
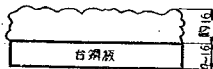
$$\text{衝撃値} = \text{折斷「エネルギー」(kg·m)}$$



(i) シヤルビー式



(ii) アイゾット式



コンクリートの透氣性に關する試験 (第2報)

内務技師 一 木 保 夫

内務技手 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増加した場合の透氣量に及ぼす影響に就いての試験報告である。

目 次

I. 緒 言	(1)
II. 試験結果の要約	(2)
[1] 判 定	(2)
[2] 試験結果の大要	(2)
III. 試験方法	(2)
[1] 火山灰混加量が透氣量に及ぼす影響に關する試験	(2)
[2] セメント使用量の増加が透氣量に及ぼす影響に關する試験	(3)
IV. 火山灰混加量が透氣量に及ぼす影響に關する試験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強度	(3)
[2] 経過時間と透氣量	(3)
[3] 火山灰混加量と1時間當り透氣量	(5)
[4] 試験結果の考察	(5)
V. セメント使用量の増加が透氣量に及ぼす影響に關する試験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強度	(7)
[2] 経過時間と透氣量	(7)
[3] セメントの單位使用量と1時間當り透氣量	(8)
[4] 試験結果の考察	(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験した結果、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、水セメント比の増加と共に透氣量が大きくなること、又厚さの増えるにつれて透氣量は減少する事、但し厚15cmまでは急激に減するが、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/cm² (5lb/in²)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/m²hr以下であつたこと、コンクリートの透氣係数は(480~3,440)×10⁻¹²にして、既往の實驗に於ける透水係数と比較すると100倍以上大であつたこと等を示した。即ち専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、水セメント比を出来るだけ少くして、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。

其の後引継ぎ構造用コンクリートを特に気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 のものについて試験し、又セメント使用量を増加した場合透氣量に及ぼす影響に關して、厚 5cm 及び 10cm に就て試験を行つた。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. 試験結果の要約

〔1〕判 定

構造用コンクリートを特に気密ならしめる爲に、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増加するか、或は厚さを幾分増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〕試験結果の大要

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増加せる場合の透氣量に及ぼす影響に關する試験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。然し其の壓縮強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% に依つて透氣量は漸減する傾向は認められるが、セメント使用量を増加すること、水セメント比を減少すること、又は厚さを増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。又壓縮強度が減少した。従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強度の點より余り適切ではない。

b) セメント使用量の増加に依つて、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増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. 試験方法

〔1〕火山灰混加量が透氣量に及ぼす影響に關する試験

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、材齢 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、材齢 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。試験の空氣壓力は 0.3515kg/cm² (5 lb/in²) である。尚厚 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、其の他の試験裝置及び試験方法は第 1 報に於けると同様である。

使用したセメントは淺野普通セメントである。厚 10cm に關する試験に使用した砂は多摩川産、大き 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、砂利は多摩川産、大き 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 に關する試験に使用し

た砂は多摩川産、大き 7mm 以下、比重 2.64、単位重量 $1,760\text{kg/m}^3$ 、空隙率 33%、粗粒率 2.8 にして、砂利は荒川産、大き 30mm 以下、比重 2.60、単位重量 $1,832\text{kg/m}^3$ 、空隙率 29.5%、粗粒率 6.9 である。

[2] セメント使用量の増加が透気量に及ぼす影響に関する試験

試験は容積比にて 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齢 28 日に於て透気量の測定を行つた。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。尚其の他の試験方法は第 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 に對する試験に使用したセメントは浅野普通セメント、砂は多摩川産、大き 5mm 以下、比重 2.68、単位重量 $1,771\text{kg/m}^3$ 、空隙率 34%、粗粒率 2.91 にして、砂利は荒川産、大き 30mm 以下、比重 2.54、単位重量 $1,820\text{kg/m}^3$ 、空隙率 29%、粗粒率 6.9 である。厚 10cm に對する試験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 に對する試験に於けると同じである。

IV. 火山灰混加量が透気量に及ぼす影響に関する試験結果と之に関する考察

[1] 火山灰混加量とコンクリートの壓縮強度

各火山灰混加量の場合の水セメント重量比、流動性及び材齢 28 日に於ける壓縮強度は、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。

[2] 経過時間と透気量

表-3 及び圖-1 はコンクリートの火山灰混加量と透気量との關係に就て、厚 10cm に對する試験結果である。試験結果は總て大気壓及び氣温に對して修正を施してある。透気量は m^2 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

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	平均壓縮強度 (kg/cm^2)
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	平均壓縮強度 (kg/cm^2)
0	61	6	180	268
10	65	6~7	175~185	253
20	68	6~7	180~195	230
30	71	6	180	148

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。

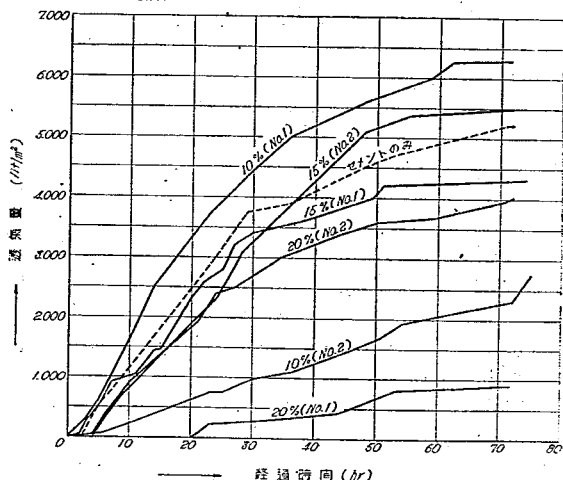
表-3 経過時間と透気量 (厚 10cm)

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%			
経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	No. 1		No. 2		No. 1		No. 2		No. 1		No. 2	
		経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)
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	0.659	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 に対する試験結果である。

火山灰混加量10%のものについては、加圧後 5~6 時間は透気なく其の後透気あり試験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 は加圧後 7 時間は透気無く、其の後透気あり試験期間の終りに於ても遞減的傾向は見られず依然透気があつた。No. 2 及び No. 3 は加圧後夫々 51 時間及び 54 時間透気なく、其の後に於て透気があつた。30%に於ては全然透気が無かつた。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 時間まで透気なく、透気量は試験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) の経過時間と透気量との関係



表—4 経過時間と透気量 (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	
経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)
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	
経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)
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時間当り透気量

前記試験結果から全透気量、及び平均 (全透気量/経過時間) 及び最大 (比較的透気量大なる期間の量を該時間で除した) 1時間当り透気量を示せば 表—5 (厚 10cm) 及び表—6 (厚 15cm) の如くである。

[4] 試験結果の考察

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気量を比較するに、厚 10cm に就いては、図—1、表—5、及び図—3 より10%の No. 1 はその透気量が 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。即ち各場合

図—2 火山灰を混加せる場合 (厚 15cm) の経過時間と透気量との関係

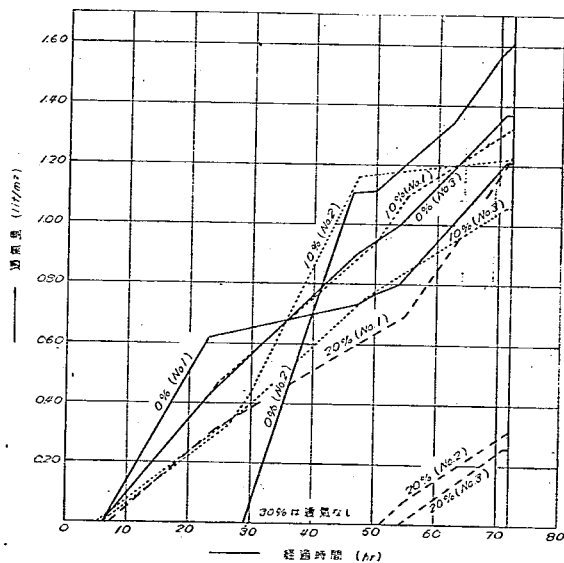
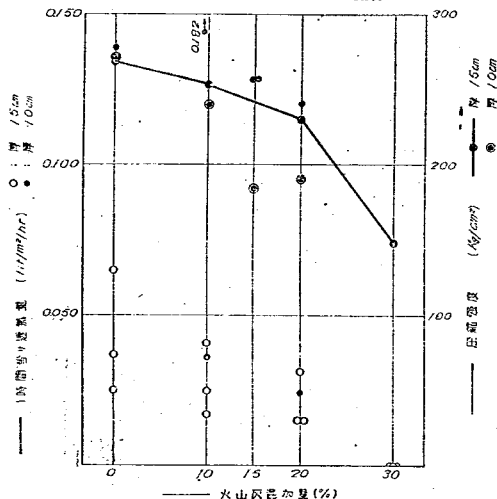


表-5 全透気量及び1時間當り透気量
(厚 10cm)

火山灰 混加量 (%)	番 號	透 過 時 間 (hr)	全透気量 (lit/m ²)	1時間當り透気量 (lit/m ² /hr)		摘 要
				平 均	最 大	
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 全透気量及び1時間當り透気量
(厚 15cm)

火山灰 混加量 (%)	番 號	透 過 時 間 (hr)	全透気量 (lit/m ²)	1時間當り透気量 (lit/m ² /hr)		摘 要
				平 均	最 大	
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	透気なし
	2	0	0	0	0	同 上
	3	0	0	0	0	同 上

図-3 火山灰混加量と1時間當り
透気量(最大)及び圧縮強度との関係

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強度は火山灰の 10%の混加によつて約 10%、又 20%の混加によつて約 30%の減少を示してゐる。即ち強度の著しき減少に比して透気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気量は漸減の傾向を示し、30%混加のものは透気量は 0 であるが、同時に壓縮強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強度の 55%に低下してゐる。従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、セメント使用量を増すこと、水セメント比を減小する

こと、又は厚さを増すこと等によつて得られた程の顯著な透気量の減少は見られない。尙火山灰混加量 10% 及び 20% の場合の壓縮強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、透気量は顯著ではないが漸減する傾向は認められるが、同時に壓縮強度が減少する故、透気量減少の目的を以て火山灰を混加することは、構造物の強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. セメント使用量の増加が透気量に及ぼす影響に関する 試験結果と之に関する考察

[1] セメントの単位使用量とコンクリートの堅縮強度

各配合の水セメント重量比, 流動性及び材齢 28 日に於ける堅縮強度は, 厚 5cm に對しては表-7, 厚 10cm

表-7 (厚 5cm)

配合	セメント 使用量 (kg/m ³)	水セメント 重量比 (%)	スラン プ (cm)	フロー	堅縮強度 (kg/cm ²)
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/m ³)	水セメント 重量比 (%)	スラン プ (cm)	フロー	堅縮強度 (kg/cm ²)
1:1.5:3	351	51	7~8	185	398
1:1:2	479	42	7	180~187	394

表-9 経過時間と透気量

配合 1:1.5:3						配合 1:1:2					
No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)	経過時間 (hr)	透気量 (lit/m ²)
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				

に對しては表-8 の如くであつた。

[2] 経過時間と透気量

表-9 及び圖-4 は各配合コンクリートの経過時間と透気量との關係に就て, 厚 5cm に對する試験結果である。

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 時間附近で逕減した。

表-10 及び圖-5 は同じく厚 10cm に對する試験結果である。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 経過時間と透気量との關係 (厚 5cm)

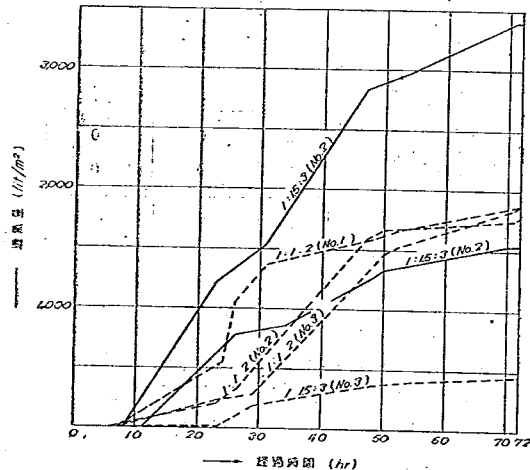


図-5 経過時間と透気量との関係 (厚 10cm)

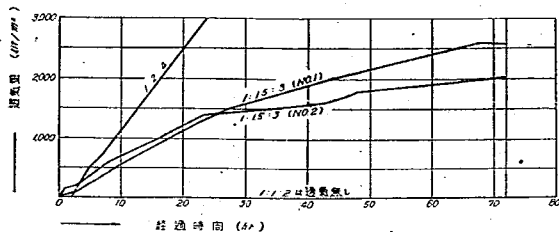


表-10 経過時間と透気量

(配合 1:1.5:3)

No. 1		No. 2	
経過時間 (hr)	透気量 (lit/m²)	経過時間 (hr)	透気量 (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] セメントの単位使用量と1時間當り透気量

前記試験結果から、全透気量及び平均及び最大1時間當り透気量を、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

表-11 全透気量及び1時間當り透気量 (厚 5cm)

配 合	セメント 使用量 (kg/m³)	番 號	透過時間 (hr)	全透気量 (lit/m²)	1 時間當り透気量 (lit/m²/hr)		摘 要
					平 均	最 大	
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	厚さと透気量とに關する試験結果より

表-12 全透気量及び1時間當り透気量 (厚 10cm)

配 合	セメント 使用量 (kg/m³)	番 號	透過時間 (hr)	全透気量 (lit/m²)	1 時間當り透気量 (lit/m²/hr)		摘 要
					平 均	最 大	
1:1:2	479	1	0	0	0	0	透 気 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	

5cm) 及び表-12 (厚 10cm) の如くなる。

尚表-11 の 1:2:4 に對する値は第1報に於ける厚さと透気量とに關する試験結果である。

更に表-11 及び 12 よりセメント使用量と1時間當り透気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強度との關係をも對照してある。

[4] 試験結果の考察

セメント使用量と透気量との関係に就いて、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) の透気量は配合 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、厚さと透気量とに関する試験結果であり、其の使用材料異り、流動性はスランプ 14cm、壓縮強度は 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、セメント使用量の増加に依る透気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。

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 時間當り透気量は平均 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% 増すことによつて約 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強度は 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、其の填充方法及び表面仕上げに缺陷ありし爲と考へる。

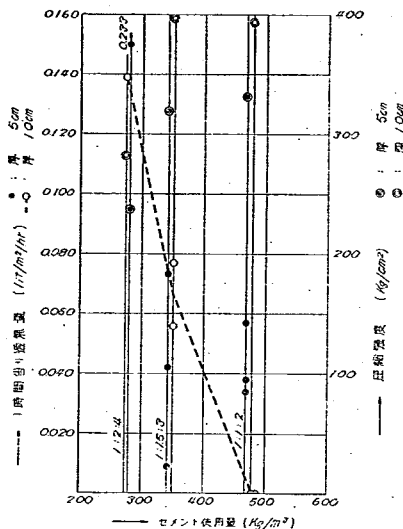
以上に依つてセメント使用量を増加することは透氣量を著しく減少せしめる。但し實際施工上厚さ 10cm 以下にては有効ではない。

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、強度の減少に比して、透氣量の顯著な減少の無い點より適切なる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強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増加、厚さの増大、其の他の方法及び比較検討することを要する。

尚引續き 1:2:4 コンクリートに就き厚さ 20cm、29cm に増した場合、厚さの透氣量に及ぼす影響に就て試験中である。

圖—6 セメント使用量と 1 時間當り透氣量 (最大) 及び壓縮強度との關係



貧配合コンクリート舗装の磨耗試験

内務技師 山 田 元

要 旨

従来除り用ひられなかつた様な貧配合のコンクリート舗装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験し、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. 試験方法	(2)
[1] 試験機械の性能	(2)
[2] 試験路面	(2)
III. 試験の経過及結果	(3)
[1] 試験荷重	(3)
[2] 試験結果	(4)

I. 緒 言

セメントコンクリート舗装の配合は、従来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、實地の経験や、鐵輪帶を主とした實驗結果等に基づ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様があり、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来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。

元來コンクリート舗装の配合を適正ならしむが爲には舗装版の支持力と、表層の磨耗抵抗力との兩方面から検討する必要がある。第一の舗装版の支持力を明にするには、先づコンクリートの曲げ強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、本所に於ても既に 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 其他の實驗もあるが、其の實驗方法が實際的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満たすことが出来ないのである。

併し上記資料による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、現に東京市内の一重要路線に於て極

1) Proc. of A. S. T. M 1921 vol. 21

2) 土木試験所報告第 13 號

めて資配合のコンクリート舗装が相當の交通に堪えつゝある状態である。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験機を用ひ從來試験されなかつた様な 1:2:4 乃至 1:2:12 又は 1:5:10 等の 8 種の比較的資配合のコンクリートを以て試験路面を造り、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装の配合を再吟味せむとするものである。

II. 試 験 方 法

【1】 試験機械の性能

試験に使用した甲種道路試験機は其の構造図報の如く、平均徑約 10 m、幅 76 cm の環狀の試験路面上に直徑約 1 m、重量約 1 吨の車輪 8 個を電力により平均速度 3 哩/時にて各獨自の路線を、任意に鐵輪或は從輪とし、回轉走行せしめて其の路面状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、必要に應じ其の内 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、實際接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、接地面積の壓力強度 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 は輪帶の純接地面積の單位壓力強度 (kg/cm²)

q は輪帶の實際接地單位幅の壓力 (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/cm ²) 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/cm ²)	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】 試験路面

(1) 種別構造 試験路面は表-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資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バー (重量 11 kg、底面方形にして 110 cm²) を用ひ、仕上げは主として鏟を用ひ、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 セメントは土木試験所彙報第 15 號に報告せる強度のもの、砂は荒川産荒目のもの、砂利は多摩川産のものにして、性質概要々表-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)	(%)
比 重	2.72	5~2.5	7.63
單位/標準 (kg/m ³)	1,670	2.5~1.2	17.09
重量/輕詰 (kg/m ³)	1,586	1.2~0.6	30.15
空 隙 率 (%)	38.6	0.6~0.3	31.09
粘土, 淤泥 (%)	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)	(%)
比 重	2.60	30~25	9.0
單位/標準 (kg/m ³)	1,710	25~20	12.5
重量/輕詰 (kg/m ³)	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, 淤泥 (%)	0.09	7~5	13.9
粗 粒 率	6.85	5~2.5	0.2

III. 試験の経過及結果

[1] 試験荷重

試験は路面施工後2週間を経て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 試験荷重表

1回轉所要時間は第4回試験迄は27.3%, 以後は25%, とす

試 験 回 数	連轉時間及 回 轉 數		バ ル ー ン ・ タ イ ヤ				ソリッド・タイヤ		鍛 輪 帶		摘 要
	各 回 時 分 回轉數	果 計 時 分 回轉數	使 車 輪 (走行 路線 番 號)	走 行 荷 重 の 例 (噸)			車 輪 走 行 荷 重 (噸)	車 輪 走 行 荷 重 (噸)	車 輪 走 行 荷 重 (噸)		
				No. 1 自 重 (kg) 1,102	No. 3 自 重 (kg) 1,170	No. 4 自 重 (kg) 1,127					
1	4 528	4 0 528	1~8	581	616	595				走 行 荷 重 欄 () 内は累計	
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) 連轉時間21時 間2769回轉 2) 重量1,349 kg 3) 連轉時間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 ⁶⁾ (280.6)	4) 連轉時間56.5 時間8,138回轉 5) 連轉時間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 ⁷⁾ (27,913)	1,730 ⁸⁾ (18,470)	No. 4 No. 3	162.6 ⁹⁾ 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。各回に於ける試験荷重を一括すれば表-4 の如くである。即ち、路線（外側より數へて）No. 1, 2, 5, 8 等は全試験 170 時間 40 分、23,955 回を通じてバルーン・タイヤを使用し之等の内の最大通過荷重は No. 1 の 26,411 吨である。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 吨、及ソリッド・タイヤ使用時間 40 分、96 回荷重 115 吨にして兩者合計 28,028 吨にしてバルーン・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 吨、ソリッド 8,473 吨、鐵輪 281 吨、合計 27,124 吨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] 試験の結果

試験結果は表-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、試験後の路面狀況を示せば圖-1 の如くである。

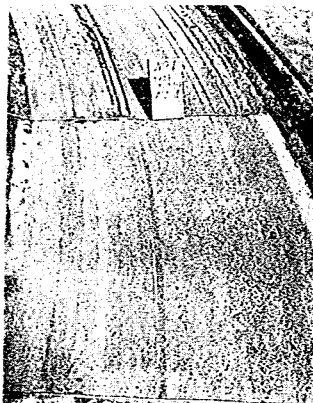
- 1) 現行バス・バルーン程度のバルーン・タイヤのみの交通に對しては配合 1:2:4, 1:2:6, 及 1:3:6 等は安全であるが 1:2:8, 1:4:8, 1:5:10, 1:2:10 又は之等以下の配合は特殊の増強工法を講ずるに非ざれば適當でない。
- 2) 1:2:8, 1:2:10, 1:2:12 等の如き貧配合のものもバルーン・タイヤのみの交通に對しては配合 1:1 程度のモルタルを塗裝すれば 1 日交通量 200 臺の路線に於て少くとも約 7 年間は充分堪へ得るもの、如し。
- 3) 鐵輪の交通稀少にして主としてバルーン・タイヤの交通する路線に於ては 1:3:6 の配合が最も經濟的である。
- 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多きも 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 年半以内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多きのみならず、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を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

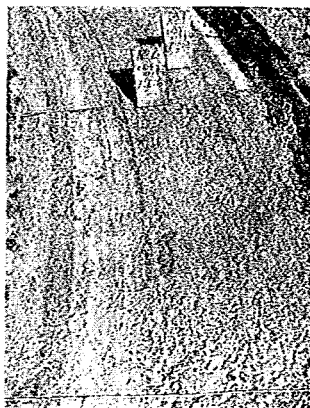
路 面 番 號	配 合 (容積比)	工 法 大 要 (施工 14年12月27日) (試験開始 15年1月10日)	セメント使用量 (kg/m ²) () 内数字 は荷重5kgに 對する所要厚 (cm)とす	試 験 經 過 通 過 荷 重 累 計 (噸)							備 考
				第 1 回 バルーン 616 移す 15年1月11日	第 2 回 バルーン 3,080 2月16日	第 3 回 バルーン 4,023 3月5日	第 4 回 バルーン 7,943 磨 輪 80 6月7日	第 5 回 バルーン 17,643 磨 輪 281 8月27日	第 6 回 バルーン 26,063 磨 輪 281 9月1日	第 7 回 バルーン 27,913 磨 輪 No.4 281 磨 輪 No.6 104 磨 輪 No.7 132 ソリッド No.4 8,310 ソリッド No.3 116 11月18日	
No. 1	1:2:4	水 比 60% スランプ 1.1cm 焼 固 め (重量 11 kg, 施 場 面 積 130 cm ² の縦型タ ンク使用) 5 通り 仕 上 表面 縦仕上	43.4 (15)	支障なし	支障なし	支障なし	支障なし	表面約 3 モルタル 磨耗し砂利露出	左記現象進展し て表面の約 7/8 に及ぶ	全面に横りモルタル 磨耗し砂利露出 す。縦輪磨線 (No. 4) の深さ最深 2mm	
No. 2	1:2:6	水 比 55% スランプ 0.3 cm 焼 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	縦輪磨線 (No. 4) の約 3/4 砂利露 出して遊離す	左記現象進展し て表面の約 1/10 に及ぶ	縦輪磨線 (No. 4) 全長に横り砂利露 出する。縦輪磨線 の深さ最深 12 mm に達す	
No. 3	1:4:8	水 比 90% スランプ 0.5 cm 焼 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	縦輪磨線の殆ん ど全部 (No. 4) 砂利遊離し凹み を生ず	左記現象進展し て表面の約 1/4 に及ぶ	同上最深 15 mm	
No. 4	1:5:10	水 比 105% スランプ 散塊して測定不 能 焼 固 め 同上 仕 上 同上	27.7 (23)	支障なし	表面約 1/4 砂利 遊離す	砂利遊離せし部 分約 1/4 に達す	砂利の遊離せる 部分約 1/4 に達 す	縦輪磨線全部同 上。他磨線の部 分にも及び全表 面の約 1/2 に達す	全面に横り砂利 遊離し凹みを生 ず	前記現象進展凹み の最深 15 mm	
No. 5	1:2:10	水 比 65% スランプ 同上 焼 固 め 6 通り (手動ロ ータ使用) 7 通り 仕 上 同上	築造用 27.2 修理用 4.8 計 32.0 (20)	表面約 1/4 砂利遊 離せし故 1.1 モル タルにて表面を修 装す。其の厚さ約 4.5 mm	支障なし	支障なし	支障なし	縦輪の磨耗によ り全表面のモル タル修装部分に 毛細亀裂を生じ たがモルタル割 離するに至らず	左記現象微り進 展せず	著しき変化なし	
No. 6	1:2:12	水 比 70% スランプ 同上 焼 固 め 縦型 同上 仕 上 同上	築造用 24.6 修理用 4.5 計 29.1 (23)	表面約 3/4 同上 縦型厚さ約 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 修装剥離し始む		著しき変化なし	
No. 7	1:3:6	水 比 75% スランプ 0.5 cm 焼 固 め 5 通り、縦型 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 3/4 モルタル 磨耗し砂利露 出す	全表面に横りモ ルタル磨耗し砂 利露出し数ヶ所 遊離す	縦輪磨線 (No. 4) 磨耗進展し他磨 線に比し 3 mm 多 し	
No. 8	1:2:8	水 比 60% スランプ 散塊。測定不能 焼 固 め 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。塗装厚さ約 3.5 mm	支障なし	支障なし	支障なし	モルタル修装部 分に毛細亀裂を 生じ次第で剥離 し始む No. 6 に比 し稍輕微	縦輪磨線の全長 に横り縦型モル タル剥離す	(No. 4) 以外の縦 輪磨線 (No. 6, No. 7) の修装モ ルタル約 1/4 剥離す	

圖-1 試験終了後の路面状況

No. 1



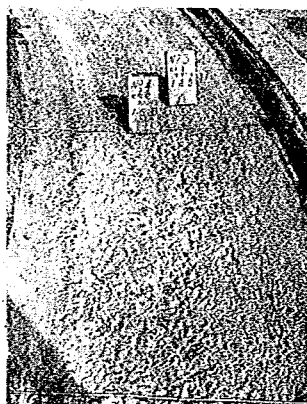
No. 2



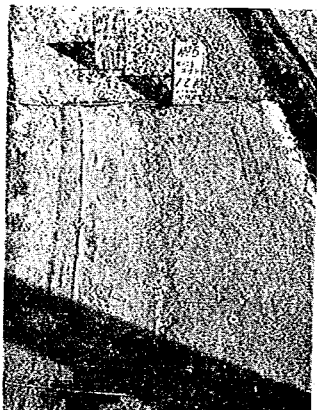
No. 3



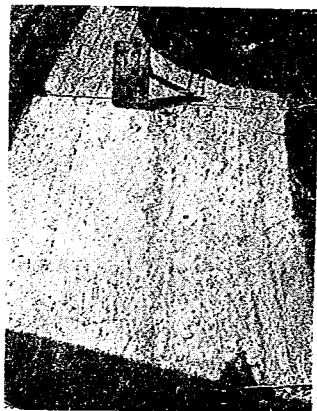
No. 4



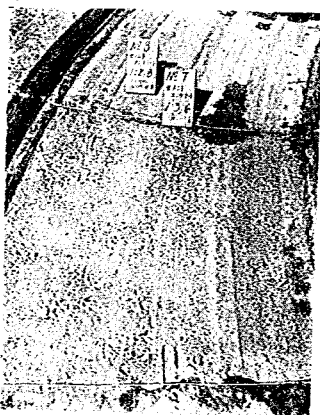
No. 5



No. 6



No. 7



No. 8





低温 (0°C) 養生と標準 (18°C) 養生とに依る コンクリートの強度の比較に就いて

内務技師 福 島 彌 六

目 次

I. 目 的	(1)
II. 材料, 配合及養生	(1)
III. 試験成績	(2)
IV. 試験結果の概要	(2)
V. 附 録	(3)

I. 目 的

本試験は普通セメント及び早強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, 脱型後直に 0°C の低温に一定期間養生をなし, 然る後常溫養生に復した場合の強度の低下を測定し, 豫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強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冰雪を利用せる雪中 (0°C) コンクリート工事の参考試験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 養生をする供試験は先づ常溫にて混合をなし, 常溫にて可及的速に脱型した後直に 0°C 保持の冷凍室内に運び 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) を行ひ之が展縮強さを測定した。

一方比較用供試験は始めより水中養生 (15~18°C) をなし, 後縮強さを測定して前者との比較をなした。

供試験は總て 15×30cm の土木學會規定の標準型を用ひ其 3 個に就て強度の平均値を求めた。

本試験の 1 部は中間報告として報告したが茲に其全部を改めて報告する次第である。

III. 試験成績

成績は總て之を下記の表及び圖に歸めた。

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

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

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

表—2 (B) 0°C 養生1ヶ月, 後水中養生1ヶ月の「淺野ペロ・セメント」のコンクリート強度

表—2 (C) 水中養生2ヶ月の「普通セメント」及「ペロ・セメント」の比較用コンクリート強度

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

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

表—3 (B) 0°C 養生2ヶ月+水中養生1ヶ月, 計3ヶ月養生の「淺野ペロ・セメント」のコンクリート強度

表—3 (C) 水中養生3ヶ月の「普通セメント」及「ペロ・セメント」の比較用コンクリート強度

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

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

表—4 (B) 0°C 養生3ヶ月+水中養生1ヶ月, 計4ヶ月養生の「淺野ペロ・セメント」のコンクリート強度

表—4 (C) 水中養生4ヶ月の「普通セメント」及「ペロ・セメント」の比較用コンクリート強度

表—5 標準養生に對する零度養生の強度比率

(零度養生の強度の低下の比較)

圖—1 配合別に依るコンクリートの壓縮強さ (kg/cm^2) (0°C 養生1ヶ月, 後水中養生1ヶ月, 計2ヶ月)

圖—2 同 上 (0°C 養生2ヶ月, 後水中養生1ヶ月, 計3ヶ月)

圖—3 同 上 (0°C 養生3ヶ月, 後水中養生1ヶ月, 計4ヶ月)

圖—4 材齡別に依るコンクリートの壓縮強さ (kg/cm^2) (0°C 養生と水中養生の強度比較)

IV. 試験結果の概要

1) コンクリートの脱型後直に寒冷 (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強度が低下してゐる。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強度の開きが大きく表れてゐる。

即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強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, 早強性ペロ・セメントを使用したものの方が各配合に於て終局強度が常に強く表れてゐる。然しながら寒冷養生の影響により強度の増進が阻害される程度は, 普通セメントに較べてペロ・セメントの方が幾分大なる様である。

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)

強度範囲 65~260kg/cm²

尙此試験は 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。

従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強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験は必要である。

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検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、強度の發生が一時遅延した状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、春に雪が消え気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 録

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(天竺技師)に出

張り、同構内に塊コンクリートを打込熱電対 (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。

次に試験による参考資料を附録として掲載する。

写真—1 (1), (2), (3), (4)

雪中打込みの塊コンクリートの温度測定の様相

附圖—1 同上コンクリート塊の設計及び温度測定的位置

附圖—2 同上コンクリート塊の内部温度の測定記録

表—1(1) 本試験に使用した普通セメント(1)及び早強セメント(2)の分析表

試料名 (1)浅野普通ポルトランド・セメント

製造会社 西多摩工場

試料	化 学 分 析						
	灼熱減量 Ig. Loss %	不溶解残渣 Insol Res %	珪 酸 SiO ₂ %	礬 土 Al ₂ O ₃ %	酸化鐵 Fe ₂ O 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	折 比			率		
	硫 酸 SO ₃ %	合 計 %	水 硬 率 H. M.	活動係數 SiO ₂ /R ₂ O ₃	珪 酸 率 SiO ₂ /R ₂ O ₃	鐵 率 Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
普通セメント	1.12		2.04	3.43	2.27	1.95

表—1(2) セメント試験成績表

試料名 浅野普通セメント

製造会社 西多摩工場

試 料	粉 末 稀 度 %		比 電 (其儘)	凝 結 時 間 水量% 始時 一分 終時 一分 結分	膨 脹 性 能					
	4,900孔	10,000孔			室温℃	湿度%	注 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 損 湿気箱℃	標 準 規 格 1 : 3 モ ル タ ル								水 槽 3 日
		引 張 強 さ kg/cm ²				壓 縮 強 さ kg/cm ²				
		水量 %	3 日	7 日	28日	水量 %	3 日	7 日	28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 格 本 合 標 格 準 品 規	軟 練 1 : 2 モ ル タ ル (水-セメント比 65%)							
			曲 げ 強 さ kg/cm ²				壓 縮 強 さ kg/cm ²			
			フ ロー %	3 日	7 日	28日		3 日	7 日	28日
普通セメント	20℃ ±2℃		202	38.5	52.2	70.4	132	237	382	

表—1(3) セメント分析表

試料名 (2)浅野ペロセメント

製造会社 西多摩工場

試料	化 学 分 析						
	灼熱減量 Ig. Loss %	不溶解残渣 Insol Res %	珪 酸 SiO ₂ %	礬 土 Al ₂ O ₃ %	酸化鐵 Fe ₂ O ₃ %	石 灰 CaO %	苦 土 MgO %
ペロセメント	0.80	0.30	21.44	4.84	3.28	66.25	1.01
日本標準規格	< 4 %						

試料	折 比			率		
	硫 酸 SO ₃ %	合 計 %	水 硬 率 H. M.	活動係數 SiO ₂ /Al ₂ O ₃	珪 酸 率 SiO ₂ /R ₂ O ₃	鐵 率 Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
ペロセメント	1.65		2.21	4.43	2.64	1.48

表一 1A セメント試験成績表

試料名 浅野ペロセメント

製造会社 西多摩工場

試 料	粉末程度 %		比 重 (共値)	凝 結 時 間				膨 脹 性 値			
	4,900孔	10,000孔		水量%	始時	發終時	結分	室温℃	湿度%	注水法	煮沸法
ペロセメント	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	製		標 準 規 格 1 : 3 モ ル タ ル								水 槽
	温気箱℃		引 張 強 さ kg/cm ²				壓 強 強 さ kg/cm ²				
			水量 %	3 日	7 日	28日	水量 %	3 日	7 日	28日	3 日
ペロセメント			28.0	43.0	45.7	46.3	28.8	476	537	621	
日本標準規格	15~25℃		>30	>34	>38		>400	>500	>600		
試 料	温 度 ℃		日合 本規格 標準品	軟 線 1 : 2 モ ル タ ル (水セメント比 65%)							
	7 日	28日		曲げ強さ kg/cm ²				壓強強さ kg/cm ²			
				フロー%	3 日	7 日	28日	3 日	7 日	28日	
ペロセメント	20℃			212	53.2	65.0	75.0	245	323	406	
日本標準規格	±2℃										

表一 2(A) 1 日常温養生後脱型, 直に 0°C (冷凍室を使用) にて 30 日間養生した後再び之を取り出し,
30 日間水中養生 (18°C) 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 浅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°C)にて養生後脱型, 0°C
にて30日間養生後 30日間水中養生 (18°C)

細骨材 産地 東京府多摩川

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	スラン プ cm	フロー %	製 年 月 日	作 試 年 月 日	験 日	材 日	供 徑 cm	試 高 cm	體 積 cm ³	重 量 kg	單位重 量 kg/m ³	總荷重 kg	壓縮強 さ kg/cm ²
		セメント %													
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) コンクリート圧縮試験成績 (ベロ・セメントコンクリート)

セメント 浅野ベロ・セメント (西多摩工場) 養生方法 1日間常温にて養生後脱型, 0°C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 単位重量 1,760 (kg/m³)

粗骨材 産地 同上

大さ 75mm以下 単位重量 1,726 (kg/m³)

供試 番 號	配 合	水 セメン ト %	スラン プ cm	フロー %	製 年 月 日	作 年 月 日	験 年 月 日	材 日	齡	供 徑 cm	試 高 cm	體 積 cm ³	重 量 kg	單位重 量 kg/m ³	總荷重 kg	壓縮強 さ kg/cm ²
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. 21	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) 比較試験の爲め 0°C 養生をなさず総計 60日間水中養生 (20°C) 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 浅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脱型60日間水中養生

細骨材 産地 東京多摩川

大さ 5mm以下 単位重量 1,760 (kg/m³)

粗骨材 産地 同上

大さ 75mm以下 単位重量 1,726 (kg/m³)

供試體 番 號	配 合	水	スラン	フロー	製 年	作 月	試 日	村 月	日	供 徑	試 高	體	重 量	單位重	總荷重	壓縮強さ
		セメント %	プ cm	%								積 cm ²		量 kg/m ³		
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	

表一2(C) 同上比較用試験 (20℃ 水中養生だけしたもの、浅野ペロ・セメント使用)

セメント 浅野ペロ・セメント (西多摩工場) 養生法 1日間常温にて養生後、脱型後 60 日間水中養生
 細骨材 産地 東京多摩川 大 小 5mm 以下 単位重量 1,760 (kg/m³)
 粗骨材 産地 同上 大 小 75mm 以下 単位重量 1,726 (kg/m³)

供試體 番 号	配 合	水 セメン ト %	スラン プ cm	フロー %	製 年 月 日	作 年 月 日	験 日 材 日	材 日 齢	供 徑 cm	試 高 cm	體 積 cm ³	重 量 kg	單位重 量 kg/m ³	總荷重 kg	壓縮強 さ kg/cm ²
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	

表一3(A) コンクリート壓縮試験成績 (浅野普通セメント)

試 料 名 コンクリート供試体 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 浅野普通ポルトランド・セメント 養生方法 0℃ にて 60 日間養生後、30 日間水中養生
 単位重量 1,760 (kg/m³) 単位重量 1,726 (kg/m³)

供試体 番 号	配 合	水 セメン ト %	スラン プ cm	フロー %	試 年 月 日	験 年 月 日	製 年 月 日	作 年 月 日	材 齢 日	寸 法	重 量 kg	単位重 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. 2. 8	90			徑 15 高 30 斷面積 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			徑 15 高 30 斷面積 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			徑 15 高 30 斷面積 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) コンクリート圧縮試験成績 (浅野ペロセメント)

セメント 浅野ペロセメント 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 年 月 日	作 年 月 日	試 年 月 日	験 材 日	寸 法			重 量 kg	單位重 量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強 度 kg/cm²
									徑 cm	高 cm	斷面積 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) コンクリート圧縮試験成績 (比較用コンクリート)

セメント 浅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 番 号	配 合	水 セメン %	スラン プ cm	フロー %	製 年 月 日	作 年 月 日	試 年 月 日	験 材 日	寸 法			重 量 kg	単位重 量 kg/m ³	總荷重 kg	壓縮強 度 kg/cm ²
									徑 cm	高 cm	斷面積 cm ²				
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) コンクリート圧縮試験成績

セメント 浅野ペロセメント 養生方法 90 日間水中養生

供試體 番 號	配 合	水セ メン %	スラン プ cm	フロー %	製 年 月 日	作 年 月 日	試 年 月 日	験 材 日	寸 法			重 量 kg	單位重 量 kg	總荷重 kg/m ³	壓縮強 度 kg/cm ²
									徑 cm	高 cm	斷面積 cm ²				
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) コンクリート圧縮試験成績

セメント 浅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 ト %	スラン プ cm	フロー %	製 年	作 月	試 日	材 日	齡	寸 法			重 量 kg	單位重 量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強 度 kg/cm²
										徑 cm	高 cm	斷面積 cm²				
1	1: 2: 4	59	5.6	280	14. 11.	8	15. 3. 8	120	15	30	177	12,670	2,390	40,000	226	
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12,610	2,379	35,690	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) コンクリート圧縮試験成績

セメント 浅野ペロ・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	スラン	フロー %	製 年 月 日	作 試 年 月 日	験 材 日 日	寸 法			重 量 kg	單位重 量 kg/m³	總荷重 kg	壓縮強 度 kg/cm²	
		セメン ト %	プ cm					徑 cm	高 cm	斷面積 cm²					
1	1:2:4	69	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) コンクリート圧縮試験成績 (比較用コンクリート)

セメント 浅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	スラン	フロー %	製 年 月 日	作 試 年 月 日	験 材 日 日	寸 法			重 量 kg	單位重 量 kg/m ³	總荷重 kg	壓縮強 度 kg/cm ²
		セメン ト %	cm					徑 cm	高 cm	斷面積 cm ²				
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	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12,360	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) コンクリート圧縮試験成績

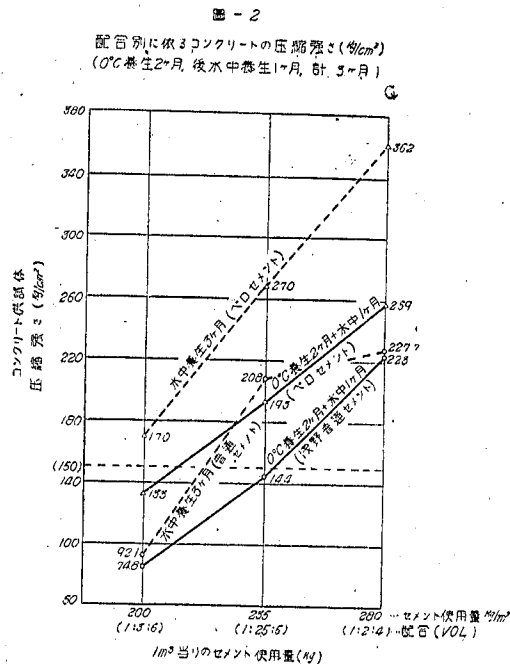
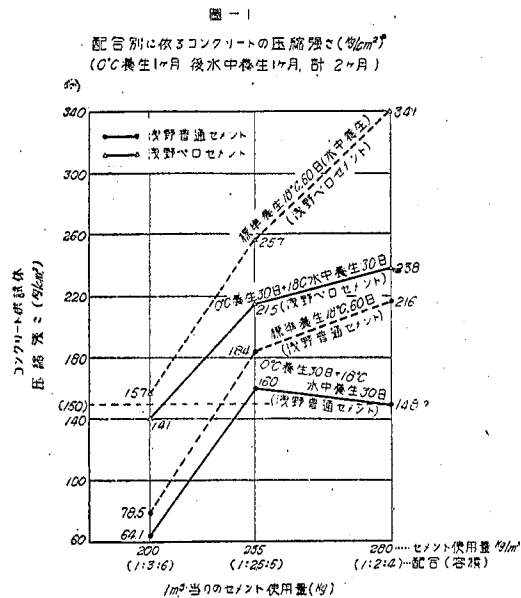
セメント 浅野ペロ・セメント

養生方法 120 日水中養生

供試 番 號	配 合	水	スラ	フロー %	製 年	作 月	試 日	材 日	寸 法			重 量 kg	單位重 kg/m ³	總荷重 kg	壓縮強 度
		セメン ト %	ブ cm						徑 cm	高 cm	斷面積 cm ²				
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 標準養生に対する零度養生の強度比率

	配 合	セメント の 種 類	圧 縮 強 さ (kg/cm ²)			標準養生に対する強度比率		
			2 ケ 月	3 ケ 月	4 ケ 月	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 強	341	362	372	100	100	100
	1:2.5:5	普 通	184	208	224	100	100	100
		早 強	257	270	287	100	100	100
	1:2:6	普 通	78.5	92.1	102	100	100	100
		早 強	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 強	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 強	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 強	141	133	124	90.0	78.3	68.1



低湿 (0°C)養生と標準 (18°C)養生とによるコンクリートの強度比較に就いて

図-3

配合別に依るコンクリートの圧縮強さ (kg/cm^2)
 (0°C養生3ヶ月 後水中養生1ヶ月 計 4ヶ月)

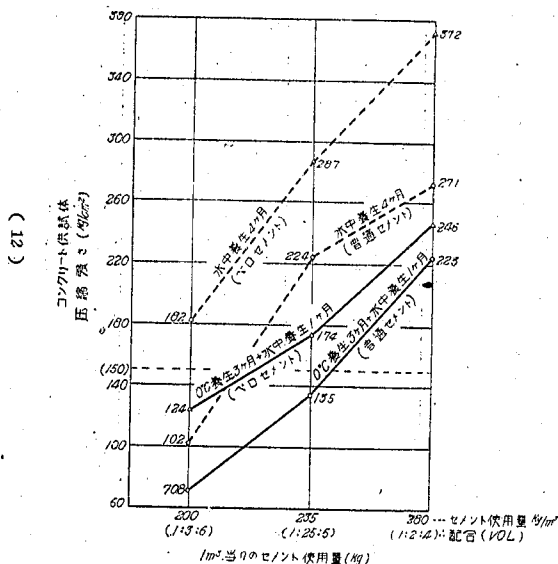


図-4

材齢別に依るコンクリートの圧縮強さ (kg/cm^2)
 (0°C養生と水中養生との強度比較)

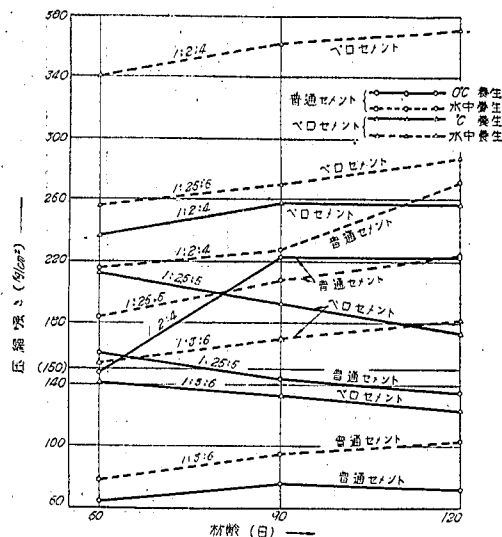


写真-1. (3)

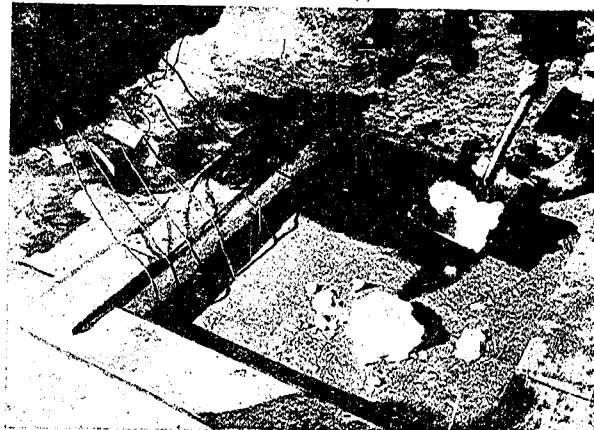


写真-1. (4)



写真-1. (1)

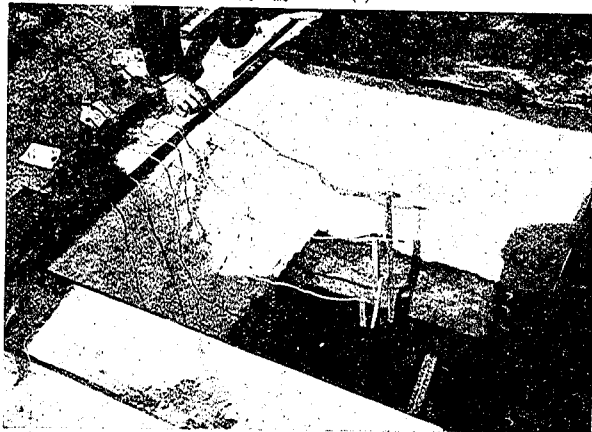
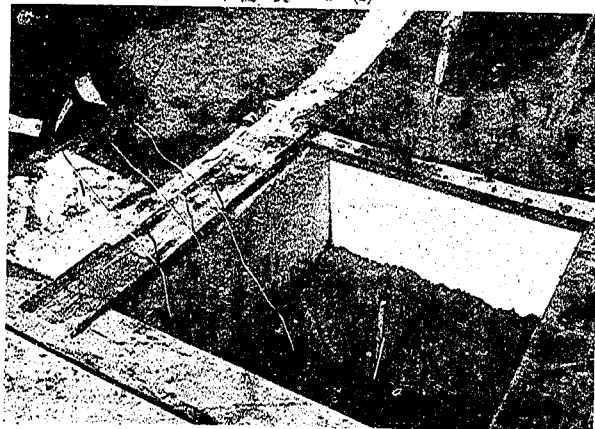
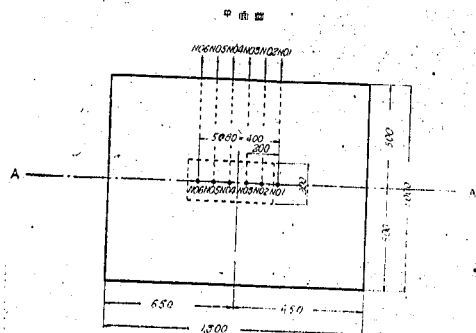


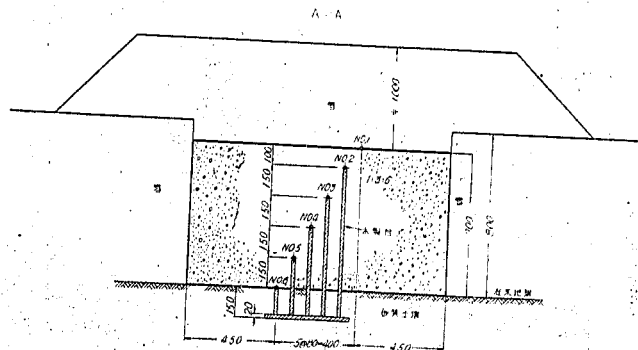
写真-1. (2)



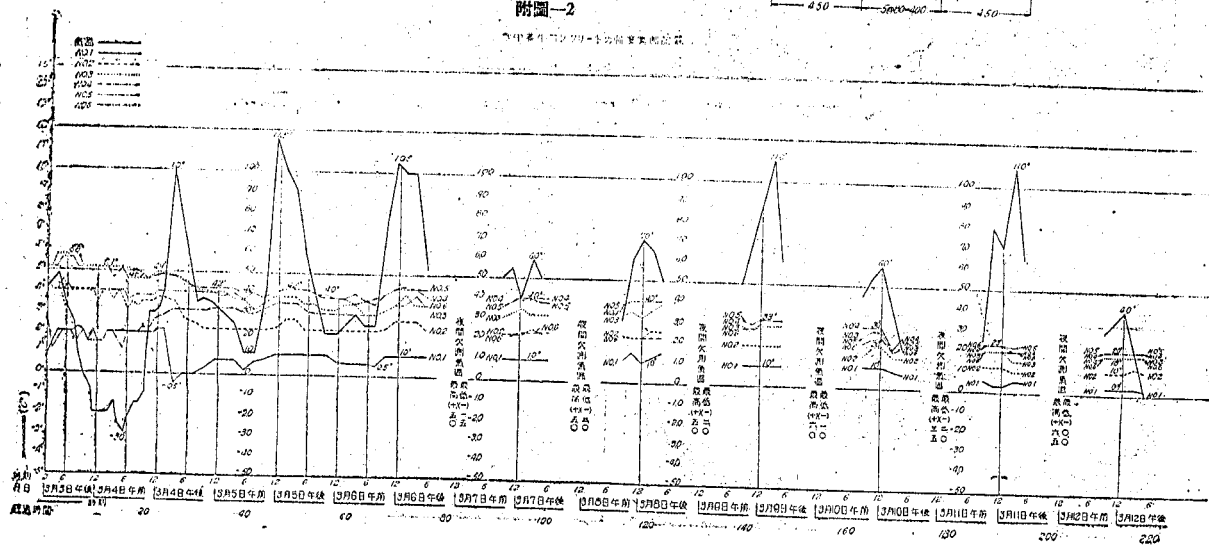
附圖-1



附圖-2



(14)



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経済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、アッ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值が認められるが、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思ふが、若し直接的な試験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值を見出すものと思考される。

土工々事に於て土の適性を増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 種が挙げられる。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、ロー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、搗固め、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来る。

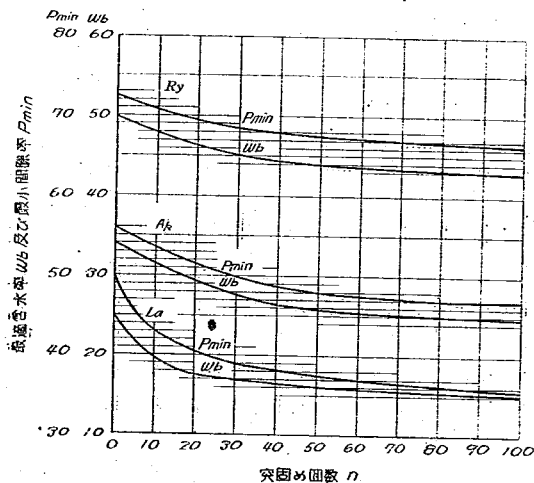
土質適性の判定に當り先づその土に最も適した締固め方法を決定し、その方法を用ひて所要の工學的性質を土に附與するため要するエネルギー量の大小を比較して始めて、その土の施工難易度を決定することが出来る筈であるが、かくてはその方法が極めて複雑となり實際上幾多の困難が伴つて來る。よつて特殊の場合を除外して最

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

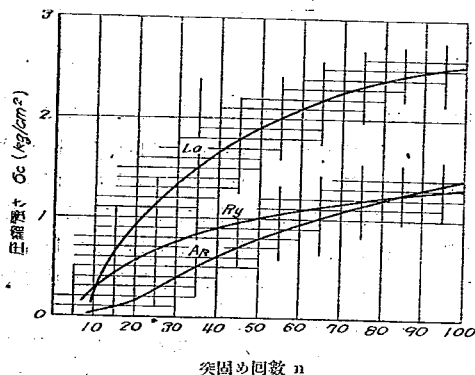
も廣く一般の場合に適用される判定方法として、突固めにより土の施工難易度を比較し土質の適性を判定することが最も適當と認められ、少くとも突固め工法による場合には充分な指針を與へるものと信ぜられる。

關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堤岸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

圖—1



圖—2



飽和状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性との關係から突固め回数 n に對する壓縮強さ及び剪斷強さ並びに透水性の變化を圖示すれば、圖—2、圖—3、及び圖—4 が得られる。

* 土木試験所報告第 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” 参照。

性質としては力學的性質及び透水性の性質を挙げなければならぬ。

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、突固め試験* により突固めに要する仕事量を突固め回数によつて表示し、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性の性質が突固め回数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、突固め回数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性の變化を示す圖を作る必要があるが、突固め試験によつて突固め回数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状態に於ける含水率と力學的性質の關係及び間隙率と透水性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来る。

今その 2、3 例を示せば、實驗結果より得られる突固め回数 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

これ等の曲線によつて土の壓縮強さ
と凝聚力は突固め回数増加に伴ひ大
となるが、内部摩擦係数は必ずしも大
とならず却つて低下するものがあり、
それ等の變化する模様は土により
著しく異なることが分る。三種の土の
中 I_a は壓縮強さ大きく、剪断強さの
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 I_a に較べて劣り殊に内部摩擦係
数が突固め回数増加に反して低下す
る傾向を示すことは注意を要する。

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選定され得る
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
条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。

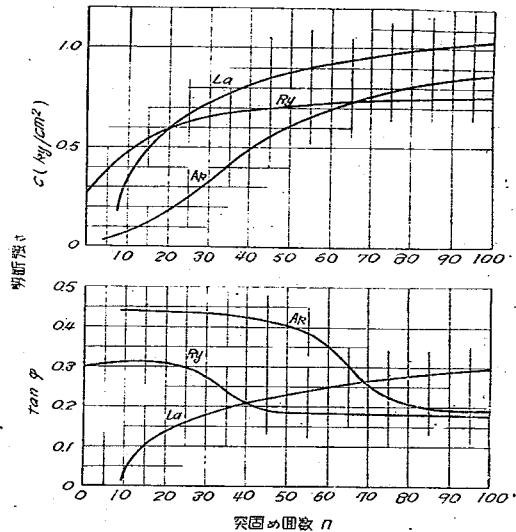
然し乍ら施工基準を設定するためには
先づ構築物の所要強度又は許容透水
度を求める必要がある。これ等の所要
強度又は許容透水度は實際起り得べき
應力又は透水度を算定し之に四圍の状
況や算定方法の精粗に應じた適當且充

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確でなく、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状であつて、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れ難い。

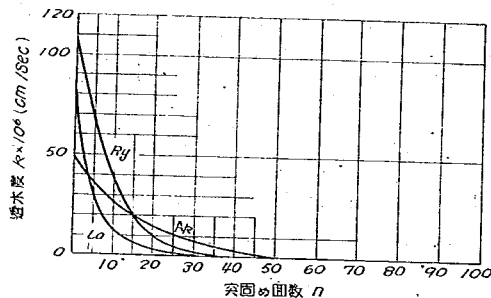
かくて兎も角も構築物の所要強度或ひは透水度が決定されたならば、それ等の値に對し最も危險と考へられる飽和状態に於て構築物が安全なるための所要間隙率及びその間隙率とするため土に與ふべき最適含水率を突固め試験の結果から求めることが出来る。

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

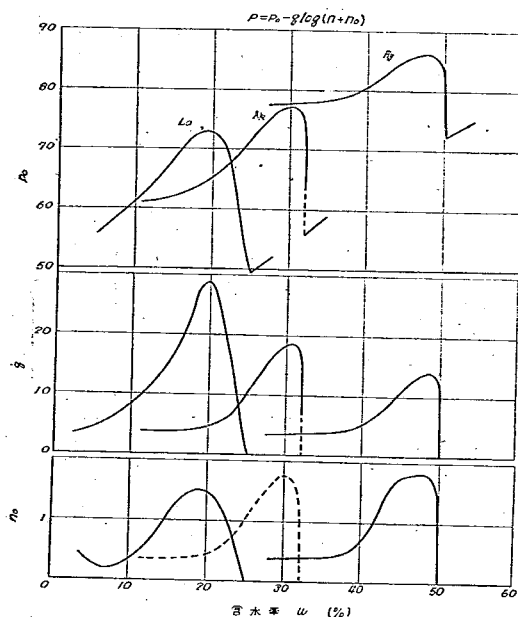
圖—3



圖—4



図—5



～17.5%となる。この範囲に於て最大の所要突固め回数は図—5に示す突固め試験結果*から、 $w=12.5\%$ の時 $P_0=64.4$, $q=11.5$, $n_0=0.68$ であるから

$$n = 10 \frac{P_0 - P_r}{q} = n_0 = 10 \frac{64.4 - 40.0}{11.5} = 0.68 \approx 132$$

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、 $P_0=61.6$, $q=8.6$, $n_0=0.36$

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

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来る限り狭くすべきことが分る。

例2. 例1の場合に R_y を用ひれば、

図—2より $n=50$

図—1より $P_r=67.6\%$ $w_0=44.1\%$

含水率の許容差を5%とすれば、その範囲は39.1～44.1%となり、最大突固め回数は

$P_0=79.7$, $q=4.5$, $n_0=0.53$ より

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

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 に關する突固め試験の詳細は省略す。

ることになるが、その範囲は出来る限り狭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囲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隔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(突固め係数が小さくなる)からである。

今次に施工基準を設定する方針を2, 3の例により説明する。

例1. 地盤の所要壓縮強さ(安全率を見込んだ値)を 1 kg/cm^2 とする。

L_a を用ひれば

図—2より

$\sigma_c = 1 \text{ kg/cm}^2$ に対し $n=21$

この n に對し圖—1より所要間隔率

$P_r=40.0\%$ 又最適含水率 $w_0=17.5\%$

施工の際土に與ふべき含水率の許容差を5%とすれば、その範囲は12.5

例 3. 築堤法面の亡出に對する安定計算の結果 $c=0.7 \text{ kg/cm}^2$, $\tan \varphi=0.172$ ($n=28$) なる剪斷強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

圖一1 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

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

となる。

以上の例に明かなる如く, 所要間隔率 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, 輾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, 所要間隔率とするため必要な締固め回數を決定することが出来る。