

土木試験所報告

第七十號

-
- 圓形噴合セメントを用いた木材
接合部の試験並に他種セメント接
合との比較……………内務技師 村上 永一…(1)
- モルタルの工學的特性に及ぼす電 内務技師 島田 八郎
流加熱の影響に就いて(第1報)…内務技手 澤田 一夫…(19)
岩見 富士彦
- 流速計係數檢定成績及び二三の流
速計の性能に関する實驗(第2報)…内務技手 八木 龜助…(39)
-

昭和十八年四月

内務省土木試験所

圓形啮合せデュベルを用いた木材接合部の 試験並びに他種デュベル接合との比較

内務技師 村 上 永 一
内務技手 鈴 木 倫 虎

目 次

I 總 説	(1)
II 試験材及び試験體	(2)
〔1〕 試験方法	(2)
〔2〕 木材及びデュベル配置	(3)
〔3〕 加工及びデュベル壓入に要する力	(4)
III 接合部強度に關する試験成績	(6)
〔1〕 部材方向が平行なる場合の接合部の強度試験成績	(6)
〔2〕 部材方向が直角なる場合の接合部の強度試験成績	(10)
IV 試験結果に對する考察	(13)
〔1〕 デュベルの配置及び使用ボルト	(13)
〔2〕 許容荷重	(14)
〔3〕 他種のデュベル接合との比較	(15)
V 結 語	(18)

I 總 説

茲に輪形デュベル接合の報告に於て¹⁾デュベル接合の一般的説明をなし、その種類を述べ、啮合せデュベル接合の優秀なる性質に就いて論及し、その後木試験所で試作した矩形啮合せデュベルの強度試験を行ひ、實際にその良性質を明かにした。然るに圓形啮合せデュベルは原則的には矩形啮合せデュベルと一致し、而も製品として入手容易なるに依り、之が強度試験を内地材の代表たる杉材に就いて行ひ、その許容荷重を求め、木橋設計の一資料を得んとするものである。

デュベル接合は即論的に計算に依りその許容荷重を求めることは容易でなく、特にその形態を異にするデュベルにあつて、他のデュベルの試験結果に基いて算定することは極めて危険なことであり、嚴密に云へば同じデュベルを使用した場合でも、6個と8個とでは夫々の許容荷重が異つて來るものである故に、一々試験を行ふべきものである。

この間の消息を明瞭に示したものととして、昭和10年1月改正されたプロシヤ法規地上建築木構造施工規則の接合法のデュベル接合法の項には次の如く述べてある。

- 1) 土木試験所報告第54號
- 2) 土木試験所報告第50號

1. 腕又は板、板状、テラー形、輪合又は輪合せデュベル、爪付板、棒状デュベル等主として壓縮又は剪断力を受ける接合法にはすべてデュベル接合の規定を適用す。
2. デュベル接合の許容荷重は國勞働大臣の建築許容規程に依り之を求むるものとす。上記許可規程に依る許容荷重の値は設計施工——特に嵌込み、餘材長、ボルト徑、ボルト數又は座敷の大きさ——が許可規程に充分適合する場合に限り、適用することを得。
3. 上記實驗は著名なる試験所に依り執行せられたるものに限る。實驗は接合部の作用を異論なく説明するものたるべし。實驗は破壊を之を行ふべし。許容荷重は破壊荷重の平均値に對し安全率8を採りて計算すべし。接合部入壁盤位は許容荷重の下に於て1.5mmとす（以下略）

圓形輪合せデュベルは種々なる大きさのものがあつて、その配置方法も非常に多いが、本試験では木構の弦材と斜材との接合を主眼として、成可く大型にして澤山配置したもので接合強度大であると思はれるものに就いて行つた。

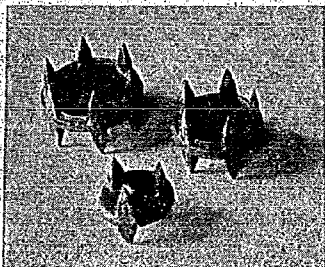
II 試験材及び試験體

〔1〕試験方法

圓形輪合せデュベル接合の強度試験は壓縮試験に依り行ひ、その許容荷重を求めた。

輪形デュベルの引張試験と壓縮試験との結果を比較すれば、壓縮試験に對し引張試験の強度は約20%減となつてゐる。この點を豫め考慮すれば、壓縮試験に依つて引張接合の強度を安全率を増すことに依り、求めることが出来る。依つて材料の $\frac{1}{2}$ が済む壓縮試験に依ることにした。

圖一 圓形輪合せデュベル



試験供試験體は徑4cmの圓形輪合せデュベルを使用したもの（4

H）5個、徑5cmの圓形輪合せデュベルを使用した平行部材接合のもの（5H）10個、垂直部材接合のもの（5V）5個、徑6cmの圓形輪合せデュベルを使用したもの（6H）5個、總計25個の供試験體に就いて試験を行つた。

試験供試験體は何れも2面剪斷試験に依り行つたもので、各供試験體の寸法は表一に示す如きものである。試験は200筋壓縮試験機により、最高荷重20噸及び50噸のものに依り行つた。荷重に依る部材相互間の變位は兩側に1個づつのダイヤル、ゲージに依

表一 試験供試験體の部材寸法表

	接合部材 のなす角	中央部材 (cm)			側材 (cm)			餘材長 (cm)	備考
		厚	幅	長	厚	幅	長		
4 H	0°	15	18	34	9	18	34	12	中央部材は繊維に直 角に力を受ける
5 H	0°	15	21	42	9	21	42	16	
5 V	00°	15	24	70	9	21	42	16	
6 H	0°	15	24	50	10.5	24	50	20	

図-2 供試体 5H の荷荷試験状況

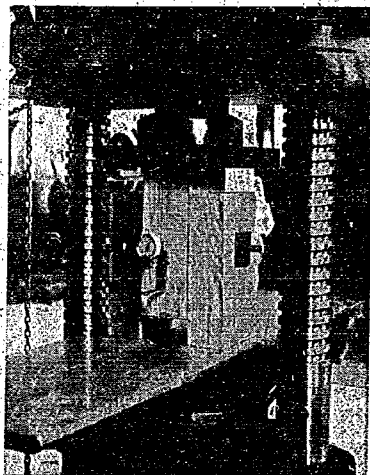
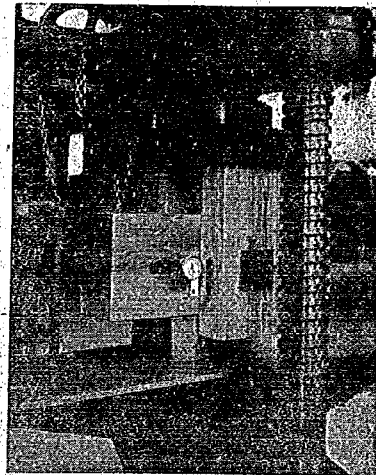


図-3 供試体 5V の荷荷試験状況



り荷重が 200kg を増す毎に 1/100mm 迄測定した。

供試体 5V は垂直部材接合でその試験状況は 図-3 に示す。その他の接合は平行部材接合で試験状況は 図-2 の 5H のものと同一である。

(2) 木材及びデュエル配置

供試体は 2 面剪断接合で 3 部材より成り、その寸法は 表-1 に示してある。木材としては杉材を使用し、木材の材質試験としては圧縮試験及び曲げ試験を行ったが、その強度の最高及び最低並びに平均値は 表-2 に示してある。

接合部強度試験當時の木材の含水率は 表-3 に示してある如く、概ね 30% 以上（繊維飽和断以上）であつて、木材接合試験としては最悪条件の場合である。

表-2 使用木材の材質試験

	圧 縮 試 験			曲 げ 試 験		
	含 水 率 (%)	平均年輪幅 (mm)	圧縮強度 (kg/cm ²)	含 水 率 (%)	平均年輪幅 (mm)	圧縮強度 (kg/cm ²)
最 高	19.6	4.0	302	16.1	4.0	507
最 低	18.2	4.0	258	22.8	5.0	332
平 均	15.0~22.7	2.5~4.0	284	16.1~22.8	4.0~5.0	464

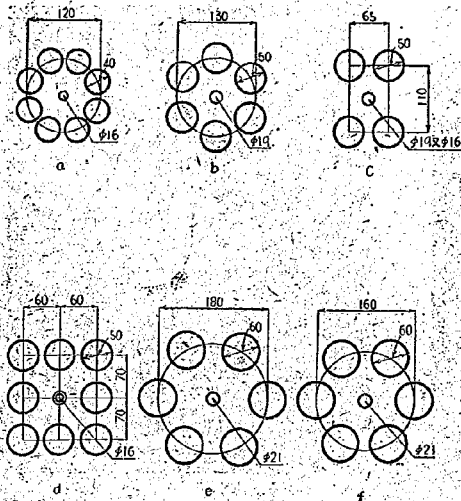
試験に使用した円形吻合セ

デュエルは径 4cm (両側に爪 3 個づつ)、径 6cm (両側に爪 6 個づつ)、径 6cm (両側に爪 6 個づつ) の 3 種であり、その配置は 図-4 に示す。即ち 図-4 の a は供試体 4H の

デュエル配置を示し、b は供試体 5H₁~5H₂ 及び 5V のデュエル配置を示し、c は 5H₂~5H₃ のデュエル配置を示し、d は 5H₃~5H₄、e は 6H₁~6H₂、f は 6H₂~6H₃ のデュエル配置を示してある。

デュエル 1 個當りの重量は径 4cm のもので 65g、径 6cm のもので 130g、径 6cm のもので 180g である座繰は φ16mm ボルトに對して 75²×6mm、φ19mm ボルトに對して 100²×9mm、φ22mm ボルトに對しては 120²×12mm を使用した。各供試体に使用したボルトの太さについては 表-3 に示してある。

図-4 デュベル配置図



〔3〕 加工及びデュベル壓入に要する力

先づボルト孔を所定の位置に正しく部材に垂直に穿つ、この場合ボルト径より 3~6mm 程大きく削けることに依り施工が極めて楽になった。次はデュベルの位置を定め、ギムネに「ストップ座ぐり」を附けて、デュベル中央額と同じ深さにデュベル嵌込み溝をえくり、圓筒形の鐵棒をデュベルに當てて、デュベルの齒形を傷めることなく木材中に打込み、然る後に他方の木材を乗せてボルトを通じてから、兩部材に相當の壓力を加へてデュベルを木材中に壓入し、兩部材を完全に密着せしめて接合部を完成する。

圖-5 は右よりギムネ、座ぐり、デュベル打込み棒を示し、圖-6 は 200t 壓縮試験機でデュベルを壓入する直前の狀況で、壓入減込量は試験機に裝備したゲージに依り 1/10mm 迄讀んだ。

デュベルを部材中に壓入して接合部を完成するために要する力は表-3 に示してあるが、4H では約 7,100kg、5H₁~5H₂ では 9,600kg、5H₃~5H₄ では 7,000kg、5H₅~5H₁₀ では 9,500kg、5V では 9,700kg、6H では

圖-5 圓形吻合せデュベル加工器具

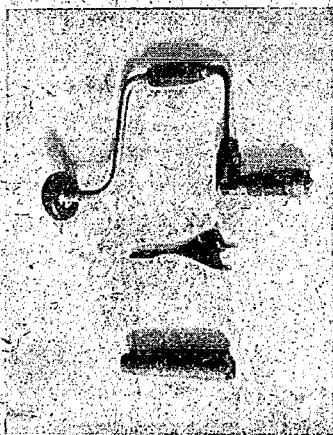


圖-6 試験機に依るデュベル壓入狀況

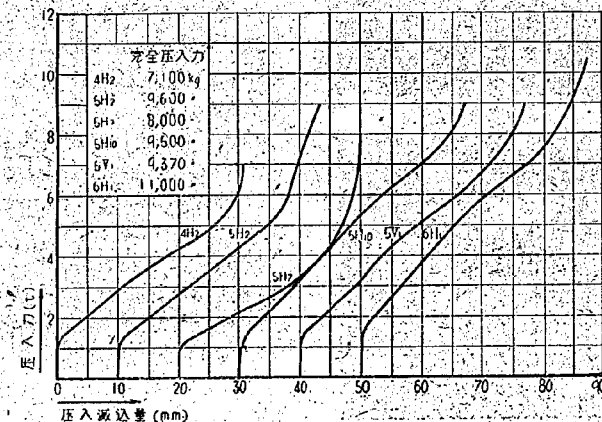


は 10,700kg、であつた。各供試體の夫々の群の代表的な壓入力—壓入減込量曲線は圖-7 に示す如くであるが、荷重 1t ぐらゐから壓入減込を始め、一定の壓入減込量を示したのち、減入が止まるものである。茲に示す壓入

表-3 供試体の諸元及び壓入力表

記 号	デュベル配置 図(四-1)	デュベル の大きさ及 片面に用 いた数	ボルト	座 鉄	含水率 (中心部材)	壓入荷重に依る壓 入量 (mm)			完全に壓 入に要す る力 (kg)	デュベル1 根を壓入す るに要する 力 (kg)	壓入減 込係数 (mm/g)	樹1個當り の圧入に要 する力 (kg)
						p=2t	p=4t	p=6t				
4H ₁	a	8×φ40	1×φ16	75 ² ×6	33.8	7.2	20.4	30.2	7,400	920	0.60	309
4H ₂	a	〃	〃	〃	28.8	4.5	17.4	29.2	7,100	888	0.45	296
4H ₃	a	〃	〃	〃	34.1	3.3	15.6	27.9	7,200	900	6.15	300
4H ₄	a	〃	〃	〃	33.7	4.6	20.0	27.5	7,300	912	7.65	304
4H ₅	a	〃	〃	〃	25.2	2.7	19.6	25.2	6,650	832	8.45	277
5H ₁	b	6×φ50	1×φ19	100 ² ×9	26.4	7.2	20.4	31.4	9,100	1,516	7.70	303
5H ₂	b	〃	〃	〃	95.0	4.8	17.7	28.0	9,000	1,000	6.58	320
5H ₃	b	〃	〃	〃	41.7	4.0	15.1	29.0	9,600	1,600	5.90	320
5H ₄	b	〃	〃	〃	94.2	5.3	15.6	26.1	9,600	1,600	4.97	320
5H ₅	b	〃	〃	〃	49.0	4.1	17.1	28.0	10,000	1,600	6.70	333
5H ₆	c	4×φ50	1×φ16	75 ² ×6	32.1	5.8	24.2	31.6	6,500	1,020	9.20	324
5H ₇	c	〃	〃	〃	30.3	8.2	2.42	28.4	8,000	2,000	9.00	400
5H ₈	c	〃	〃	〃	29.0	6.6	23.2	29.6	6,500	1,020	8.30	324
5H ₉	d	8×φ50	1×φ19	100 ² ×9	27.2	5.2	15.0	26.2	9,500	1,200	4.90	240
5H ₁₀	d	〃	〃	〃	33.0	4.9	13.8	23.3	9,500	1,200	4.46	240
5V ₁	b	6×φ50	1×φ19	100 ² ×9	44.6	3.6	13.3	25.9	9,370	1,560	5.33	312
5V ₂	b	〃	〃	〃	26.9	4.1	15.3	29.7	11,000	1,833	6.63	360
5V ₃	b	〃	〃	〃	44.1	0	5.0	18.0	10,300	1,733	6.80	340
5V ₄	b	〃	〃	〃	44.3	5.0	15.7	30.5	8,400	1,400	5.00	280
5V ₅	b	〃	〃	〃	58.9	5.0	17.1	30.1	9,150	1,525	6.03	305
6H ₁	e	6×φ60	1×φ22	120 ² ×12	49.8	1.9	11.0	20.6	11,000	1,833	4.63	305
6H ₂	e	〃	〃	〃	40.1	2.2	12.4	24.1	10,870	1,811	5.53	302
6H ₃	e	〃	〃	〃	58.4	4.0	14.2	26.9	10,000	1,666	5.86	278
6H ₄	f	〃	〃	〃	23.6	2.4	11.4	22.6	10,900	1,816	5.13	303
9H ₆	f	〃	〃	〃	70.8	3.6	13.8	26.2	11,000	1,833	5.70	305

圖-7 壓入力-壓入減込量曲線



減込量は、2面剪断接合の場合であるから、左右両側の壓入減込量の和を表はしてある。

Ⅲ 接合部強度に関する試験成績

〔1〕 部材方向が平行なる場合の接合部の強度試験成績

(1) 径4cm デュペルの接合の強度試験成績

径4cmの圓形接合せデュペルは圖-8の如き、直径12cmの圓周上に8個のデュペルを配置したものにして、

圖-8 4Hの接合部形成前のデュペル状況

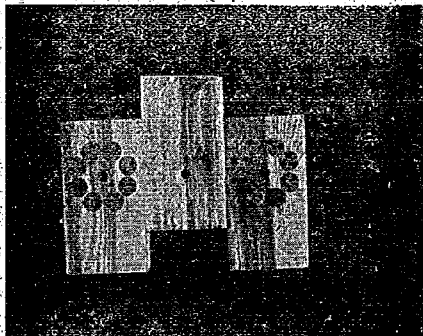


圖-9 4Hの破壊状況

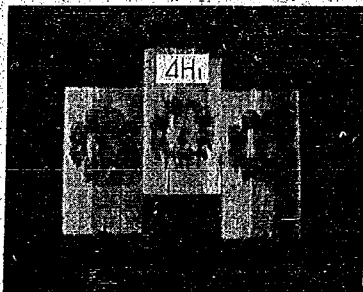
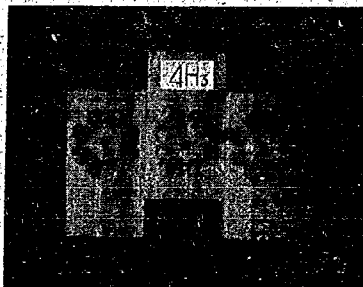


圖-10 4Hの破壊状況



強度試験を行った。圖-8はデュペルを嵌込むべき溝を掘り、側材に打込んだデュペルの状態を示す。デュペルの配置は少し窮屈に過ぎる感じがある。ボルトは、 $\phi 10\text{mm}$ 1本を、座窩は、 $75 \times 6\text{mm}$ を使用した2面剪断接合の壓縮試験に依り試験した。

試験後ボルトを抜いて接合部を開いた状態は圖-9及び圖-10に示すが、デュペルは極めてよく轉倒して居り、供試験體 4Hの如きはデュペルは隣接するデュペルの嵌込み溝を完全に浸略してゐる。

この場合デュペルの齒形の破壊したものは一個もなかつた。之はデュペル直径が突出せる齒形に比較して短く、回轉モーメントに抵抗することが少く、極めて容易に轉倒する爲め、耐荷力は齒形に無理な力を及ぼす程大きくならないことを示してゐる。

圖-11に荷重に依る接合部材間の變位の増加の割合を示すが、荷重が小さい間はほとんど變位なく、3吨の荷重迄に變位零であり、1mm變位の時の荷重は大體、 $5,000 \sim 7,100\text{kg}$ で極めて變位の少い接合であるが變位が増加し出すと急激に増加し、荷重の増加割合は著しく小さくなる。この場合荷重と變位との間に直線的關係をもつ一定の減込係數を示す區間は見出さない。

變位が1mmを越すと荷重の増加は極めて少くなり、ほぼ一定の荷重を示すものであるが荷重が低下するのは變位が30~40mmになつてから初めて起るのである。

荷重が一定になつた時は既にデュペルの轉倒が行はれ部材内の部分的な液壁は起つてゐるので液壁荷重は求めることは困難であるから、最高荷重を求めることにした。

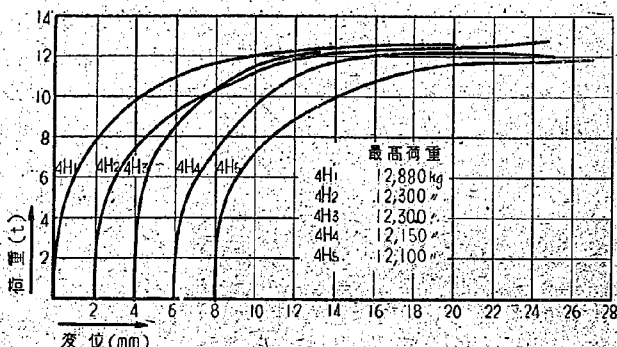
最高荷重は、 $12,880 \sim 12,100\text{kg}$ で平均して約12,350kgである、デュペル1組(左右に1個づつ計2

個)に對して約1,500kgの強度を示してゐる。變位0.5mm 1.0mm 3.0mmの時の荷重は表-4に示してある。

徑4cm圓形デュベルは8個の齒形をもち、その各々が1.8cm²の支壓面積を有するものとすれば、支壓強度は次の如くなる。

$$1,500 \div (1.3 \times 6) = 200 \text{ kg/cm}^2$$

圖-11 徑4cmデュベルの荷重變位曲線



デュベルの縁と部材端との距離を力の作用方向に直角の場合1.5cmを最小とすれば、この接合を利用しうる部材の最小幅は19cmとなる。今厚さ6cmの部材を使用するとし、単位支壓強度を250kg/cm²とすれば部材の全強は28.5tとなり、この接合の強度12,340kgは全強の43.8%に相當する。

この接合の許容荷重は表-4に示す如くであるが平均して4,114kgとなる。これはこの程度の含水率(34~26%)の使用部材に對して安全率3.0とし、3mm變位の荷重に對し1.8の安全性を確保したものである。

(2) 徑5mmデュベルの強度試験成績

徑5mmの圓形吻合セデュベルは圖-4のデュベル配置圖のb, c, dの3種に對して試験を行つた。供試體5H1~5H6は直徑の18cm圓周上に6個のデュベルを配置したものであり、5H1~5H3は繊維に直角方向の間隔1.6cm 繊維に平行の間隔0cmに片面4個を配置したものであり、5H4, 5H5は(3デュベルの繊維に直角方向の間隔1.0mm 平行方向の間隔2.0cmに片面8個を配置したものである。

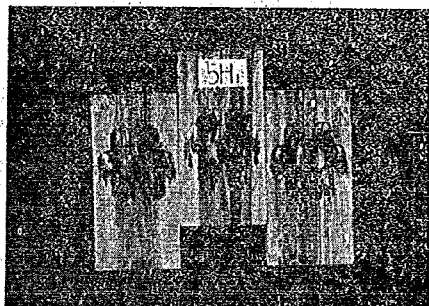
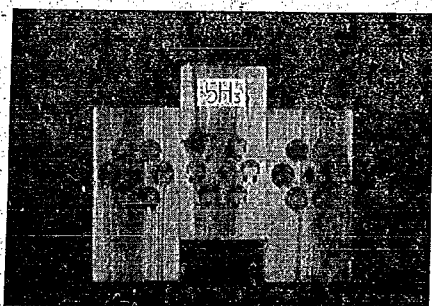
供試體 5H1~5H5

ボルトはφ19mm、座鐵は100×90mmを使用し片面に徑5mmデュベル6個を配置した2面剪斷接合の新設試験で試験した。

試験後ボルトを抜いて接合部の破壊後の状態を示したものが圖-12及び圖-13である。耐荷強度の18,000kgあつた5H1はデュベルは何れも完全に轉倒して、木材は部分向に完全に減込破壊してゐる。この場合デュベルの齒形も數個破壊してゐるが、齒形の破壊はデュベルが完全に轉倒してから行はれたものである。然るに5H4デュベルが轉倒する前に齒形が切斷してゐる。之は徑4mmデュベルに較べて徑5mmデュベルは轉倒に對する抵抗が大きく、従つて轉倒する迄に大きな應力が齒形に生じたためである。

今木材の硬さがデュベルを壓入するに要する力が比較出来る とすれば、4H1の壓入力は9,100kgであり、4H2は9,600kgであつて4H3の方が木材の質が硬いのであるが、耐荷強度は4H1が18,000kgであるのに對し、4H2は16,250kgで反つて木材質の硬い4H3の方が低いのである。この理は次の如く説明される。

木材質の硬い4H3はデュベルの轉倒が遅い、然るに齒形がデュベルの轉倒の前に切斷されたので、その處で荷重は増加しえなかつた。一方木材質の柔かい4H1はデュベルの轉倒が早く起り、デュベルの齒形と中央部とが一體となつて部材の變位を防止したので、荷重は4H3に較べて遙かに昇つたのに拘らず、齒形に掛る荷重は比較的大きくならなかつたので、齒形切斷も少かつた。

圖-12 5H₁ の破壊状況圖-13 5H₁ の破壊状況

1組(左右に1個ずつ計2個)に対して約2,800kgである。径6mm圓形デュベルは6個の齒形を有し、その各が 1.5cm^2 の支壓面積を有するものとす。支壓強度は次の如くなる。

$$2,800 + (1.5 \times 10) = 189.6\text{kg/cm}^2$$

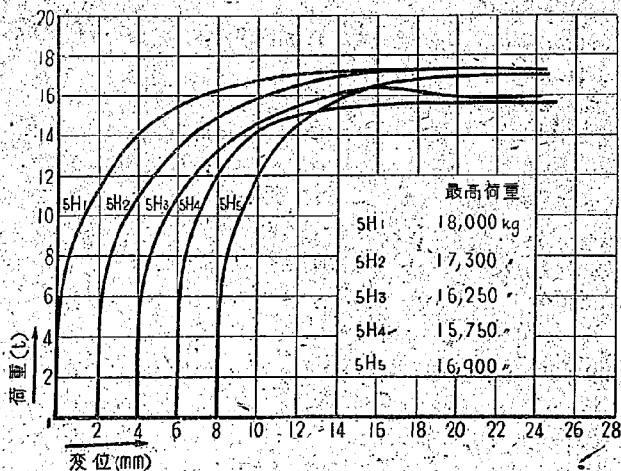
であつて径4cmデュベルに比較して著しく小さい。之に対してデュベルが完全に転倒した5H₁に就いて求めれば、最高荷重18,000kgなるに依

圖-14に荷重に依る接合部材間の變位の増加の割合を示すが、荷重の小さい間はほとんど變位なく、5吨の荷重迄は變位率であり、1mm變位時の荷重は大體9,100~10,000kgで極めて變位の少い接合であるが變位が増加し出すと急激に増加し、變位10mm以上になると荷重の増加はほとんどなくなり荷重-變位曲線は水平になる。而もこの間一定の減速係数を示す區間はない。

接合部は極部的減速破壊するのみで破壊荷重を見出すことは困難であるから、最高荷重を以つてこの接合の耐荷強度と見做しうる。

最高荷重は5H₁の18,000kgが最高で、5H₁の15,750kgが最低で、最高と最低の差が2,250kgあることはデュベル轉倒と齒形の切斷の何れが先に起るかに依り、それ以後の耐荷能力に大きな影響をもつことを物語るもので、轉倒の先に起つた接合と齒形の切斷が先に起つた接合とでは耐荷條件が非常に異なるものである。このことは5H₁の供試體は變位15mmで早くも荷重が低下してゐることに依つて分る。

最高荷重の平均値は16,700kgであり、デュベル

圖-14 5H₁~5H₅の荷重變位曲線

り、

$$3,000 \div (1.5 \times 10) = 200 \text{ kg/cm}^2$$

となり、径 4cm の場合と同じ支圧強度を示してゐる。この點より見て径 5cm の場合は圓形の設計よろしきを得れば、平均して最高強度 18t 程度を得るものと思はれる。

このデュベルの配置をなしうる最小部材断面は $20 \times 7 \text{ cm}$ であるから、部材の強度を 250 kg/cm^2 とすれば、部材の全強は 35t となり、之の接合の強度 16,700kg は全強の 47.8% となる。

許容荷重は表-4 に示す如くであるが平均して 5,614kg である。之は供試器の含水率が 25.2~45.0% に對して安全率を確保したものである。

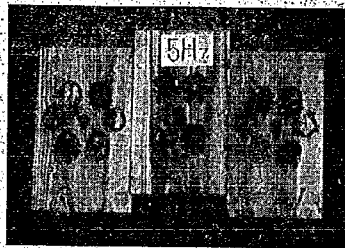
供試器 5H₆~5H₈

片面にデュベル 4 個を配置した 2 面剪斷接合で木材のボルト孔は径 24mm とし、之に 5H₆ は $\phi 19 \text{ mm}$ のボルトを、5H₇、5H₈ は $\phi 16 \text{ mm}$ のボルトを使用した。

試験の結果は 5H₆ は意外に強度が低くその原因は恐らく、節の影響とデュベルの圓形の切斷とに依るものであらう、之に對して 5H₇、5H₈ は $\phi 16 \text{ mm}$ のボルトを使用し、而もボルト孔は使用ボルトより 8mm も大きいにも拘らず最高荷重 13,200kg 及び 11,500kg を示した。

圖-15 は 5H₇ の破壊状況であるが、初め 2 個を配置し然る後に 4 個に減じたので 2 個の座ぐり孔が残つてゐる。荷重に依る部材間の變位は圖-17 に示してある。この場合 5H₇ は變位 3mm で再び荷重が増加してゐるが、之はデュベルの轉倒の均一のためである。この 3 つの供試器の内 5H₆ の例外的に強度の低かつたのを除いて、デュベルに片面に 4 個の場合の強度を 12,000kg 許容荷重を 4,000kg デュベル 1 個當りの許容荷重 500kg となり、5H₇~5H₈ の如く 3 個も片面に使用した場合の 1 個當り 408kg に比較して少し大きくなつてゐる。

圖-15 5H₇ の破壊状況



供試器 5H₉、5H₁₀

この場合は圖-4 の d に示す如く片面に 8 個のデュベルを配置した。デュベルの間隔は繊維に平行方向では 2cm、繊維に直角方向では 1cm とした。試験の結果よりこの間隔で充分安全なことが分つた。

最高荷重は 21,950kg 及 21,000kg で平均した許容荷重 7,150kg デュベル 1 個當り 447kg で、片面に 4 個及 6 個の場合に比較して大した低下がなかつた。このことは $\phi 19 \text{ mm}$ のボルトがこの程度の荷重に對して充分な

締付力を發揮してゐる。ことを示してゐる。

圖-16 に 5H₉ の破壊状況を示し、圖-17 に荷重に依る部材間變位を示してある。

デュベルの圓形に依りて生ずる支圧強度は單位デュベル當りの強度が 5H₆~5H₈ にはほぼ等しいから約 180kg/cm² 程度のものである。

この場合使用部材の最小幅は 20cm であるから、厚 7cm とすれば、部材の強度 250 kg/cm² として部材の全強 35t に對し接合の強度 21,500kg は 61.4% に相當する。

圖-16 5H₉ の破壊状況

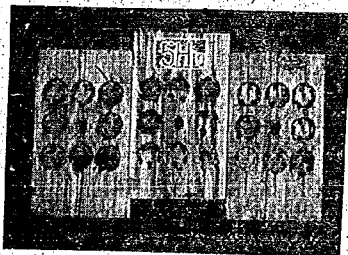
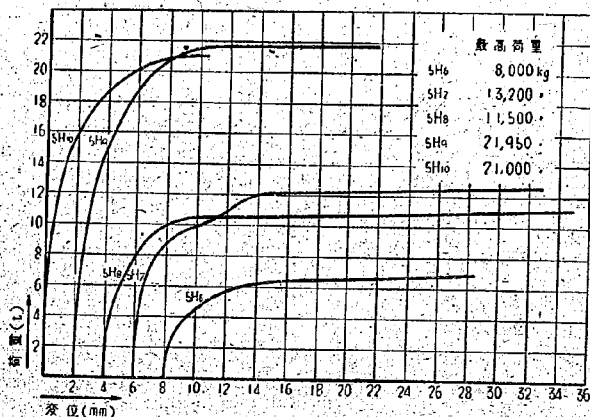


圖-17 5H₆~5H₁₀ の荷重變位曲線

は約 8cm に對し後者は約 2cm であつた。

圖-18 はデュベルを 6 個片面に嵌込んで接合部を造る前の狀況を示す。ボルトは $\phi 22\text{mm}$ 1 本を、座鐵は $120^\circ \times 12\text{mm}$ を使用した 2 面剪斷接合の圧縮試験で試験した。

試験後ボルトを抜いて接合部の破壊狀況を示したものが圖-19、及び圖-20 である。

接合部破壊後の狀況は何れもほぼ同じ形態をなし、デュベルは稍傾斜して、力の方向に移動してゐる。デュベルの齒缺けたものも相當にあるが、徑 6cm デュベルの場合程多くはない。この轉倒が完全に行はなかつたのはデュベルの直徑が大きく、迴轉モーメントに對する抵抗が非常に大きくなつたためである。

圖-21 には荷重に依る部材間の變位の増加狀況を示してゐるが、荷重 6t 迄は部材間の變位は極めて少くほとんど零であつた。

このデュベル配置をなしうる部材の最小幅は 24cm であり、部材厚を 8cm とすれば、部材の全強は 45t で、接合部強度 23,480kg は 49% に相當する。

(2) 部材方向が直角なる場合の接合部の強度試験成績

部材方向の傾いた接合は實際木橋の弦材と斜材との接合に於て特に重要なものである。啖合せデュベルの如く部材間一種の摩擦力の如きものに依り耐荷する接合にあつては、部材の平行である場合と垂直である場合との許容荷重を求めれば次式に依り任意の角度の傾きをなす部材の接合の許容荷重を求めることが出来る。

$$P_\theta = \frac{P_p P_q}{P_p \sin^2 \theta + P_q \cos^2 \theta}$$

(10)

(3) 徑 6cm デュベルの強度試験成績

徑 6cm の圓形啖合せデュベルは圖-18 に示す如く直徑 18cm の圓周上に 6 個のデュベルを配置したもの (供試體 6H₁, 6H₂, 6H₃) と啖合せ圓の直徑を 16cm にして同じく 6 個のデュベルを配置したもの (供試體 6H₄, 6H₅) とがある。前者はデュベルの縁の最短距離

圖-18 6H の接合部形成前のデュベル狀況

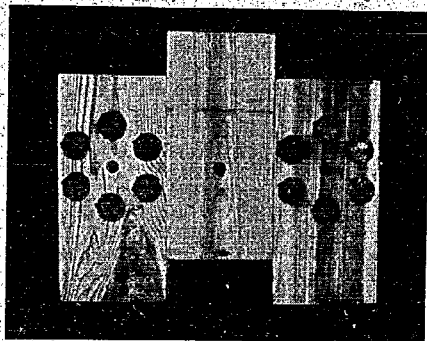


表-4 圓形吻合セデュベル接合の試験成績

記號	片面に使用したデュベルの數及徑	含水率 (%)	デュベルに要した力 (kg)	荷重 (kg)				極値 3.0 (kg)	變位 3mm時の荷重 1.8 (kg)	許容荷重		デュベル1組 (2個) 當りの許容荷重 (kg)	歯1本當りの許容荷重 (kg)	備考
				變位 0.5mm	變位 1.0mm	變位 3.0mm	極値 (kg)			荷重 (kg)	變位 (mm)			
4 H ₁	8 × φ40	33.8	7,400	4,750	6,250	9,000	12,850	4,290	5,000	4,290	0.40	536	89	
4 H ₂	〃	28.8	7,100	4,950	6,100	8,400	12,300	4,100	4,060	4,100	0.28	513	80	
4 H ₃	〃	34.1	7,200	5,500	7,100	9,500	12,300	4,100	5,270	4,100	0.12	513	86	
4 H ₄	〃	33.7	7,800	4,500	5,650	8,250	12,150	4,050	4,580	4,050	0.35	506	80	
4 H ₅	〃	25.2	6,550	5,050	6,000	8,000	12,100	4,030	4,440	4,030	0.23	504	84	
5 H ₁	6 × φ50	26.4	9,100	7,900	9,400	13,000	18,000	6,000	7,230	6,000	0.16	1,000	1000	
5 H ₂	〃	95.0	9,600	7,800	9,100	12,200	17,300	5,770	6,780	5,770	0.17	962	96	
5 H ₃	〃	41.7	9,600	7,800	9,150	12,100	16,250	5,420	6,720	5,420	0.13	903	90	
5 H ₄	〃	64.2	9,600	8,500	10,000	13,200	15,750	5,250	7,340	5,250	0.07	875	88	
5 H ₅	〃	49.0	10,000	8,000	9,600	13,500	16,900	5,630	7,500	5,630	0.12	938		
5 H ₆	5 × φ50	32.1	6,500	2,800	3,000	5,400	8,000	2,660	3,000	2,660	0.48	666	67	結果不良
5 H ₇	〃	30.3	8,000	6,200	7,000	9,200	13,200	4,400	5,120	4,400	0.21	1,100	110	
5 H ₈	〃	29.0	6,500	4,800	6,200	9,000	11,500	3,833	5,000	3,800	0.28	956	95	
5 H ₉	8 × φ50	27.2	9,500	8,400	11,400	17,300	21,950	7,316	9,020	7,300	0.19	910	91	
5 H ₁₀	〃	33.0	9,500	10,000	13,200	17,450	21,000	7,000	9,700	7,000	0.15	875	88	
5 V ₁	6 × φ50	44.6	9,370	6,400	8,000	12,500	15,200	5,070	6,950	5,070	0.33	846	85	垂直接合
5 V ₂	〃	26.9	11,000	5,200	7,600	11,450	15,900	5,300	6,300	5,300	0.52	883	83	〃
5 V ₃	〃	44.1	10,300	6,800	8,200	12,100	18,600	4,630	6,730	4,530	0.40	755	70	〃
5 V ₄	〃	44.3	8,400	6,800	8,000	11,600	16,300	5,100	6,450	5,100	0.38	850	85	〃
5 V ₅	〃	58.9	9,150	4,600	7,200	11,200	14,480	4,830	6,230	4,830	0.54	805	81	〃
6 H ₁	6 × φ60	49.8	11,000	9,200	11,100	14,800	23,000	7,970	8,220	7,070	0.32	1,328	111	
6 H ₂	〃	46.1	10,570	11,400	12,800	16,000	24,000	8,000	8,500	8,000	0.04	1,333	111	
6 H ₃	〃	58.4	10,000	8,650	10,450	13,800	23,200	7,780	7,630	7,630	0.27	1,280	106	
6 H ₄	〃	28.6	10,900	11,800	13,200	16,000	22,800	7,600	8,900	7,600	0.03	1,267	106	
6 H ₅	〃	76.8	11,000	10,600	12,650	16,300	23,500	7,830	9,050	7,830	0.17	1,305	109	

P_{θ} : 部材が θ° の傾をなす接合の許容荷重

P_p : 部材が平行である場合の許容荷重

P_{90} : 部材が 90° の傾をなす場合の許容荷重

この式は米國林産試験所が行つた試験に依りブルドック等の如き噛合せデューベルに於てよく合ふことが明かにされた。之の場合は部材が 60° の傾をなす接合の許容荷重を求め、任意の傾き θ° に就いては上式に依る計算することとした。

部材の傾きが 90° の場合は、圖-3に示す如く中央部材は横縦に垂直な力が作用し、側材は横縦と平行方向の力が作用してゐる。この場合の試験は圓形噛合せデューベルの徑 5cm のものを片面に6個配置したものに就いて行つた。デューベル配置は5H₁~5H₆と同じで、圖-4のdに示す如きものであつた。

試験結果は表-4に示す如くであるが、5V₁~5V₆の最高荷重の平均値は 14,800kg で、之とデューベルが同數同配置である 5H₁~5H₆の最高荷重の平均値は 16,640kg であつたから、平行部材接合の強度を1とすれば、垂直部材接合の強度は 0.88 に相當し、部材の傾きに依る強度の低下率は極めて小さい。

荷重-變位曲線の傾を比較するために 5H₁ と 5V₁ とを比較すれば、部材間變位 0.5mm では 5H₁ の 8,000kg に對し、5V₁ は 6,400kg で 0.80 に相當し、變位 1mm では 5H₁ の 9,600kg に對し、5V₁ は 8,000kg で約 0.90 に相當し、變位 3mm では 5H₁ の 13,500kg に對し、5V₁ の 12,500kg で 0.93 に相當して居り、極めて良性質を示してゐる。

デューベルの齒は平行部材接合の場合と同じく相當に多く切斷して居り、デューベルの廻轉は少しも起つて居らずデューベルの齒の切斷に依つて耐荷力を喪失したものの如くである。

この試験に於て最高荷重を求める場合、中央の水平部材の支持の條件に依り大いに變化するものであるが、この場合は水平部材の下面を全面的に

圖-19 6H₁ の破壊状況

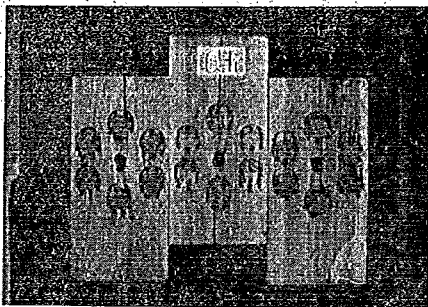


圖-20 6H3 の破壊状況

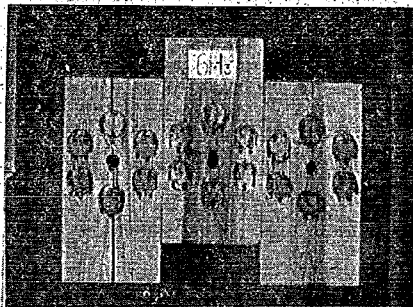


圖-21 6H の荷重-變位曲線

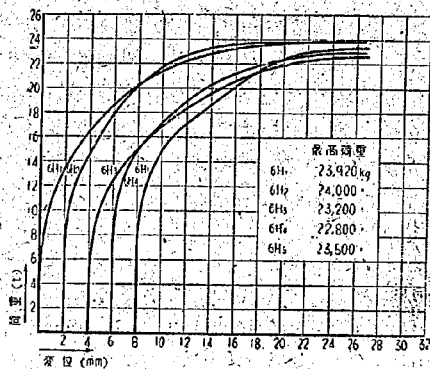


図-22 5V₄ の破壊状況

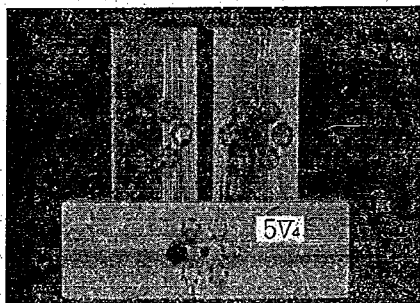


図-23 5V₅ の破壊状況

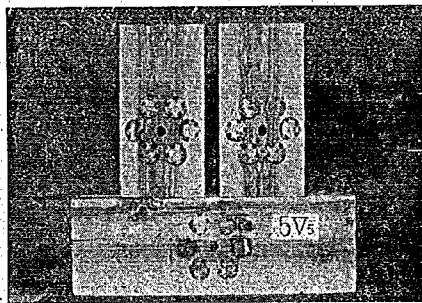
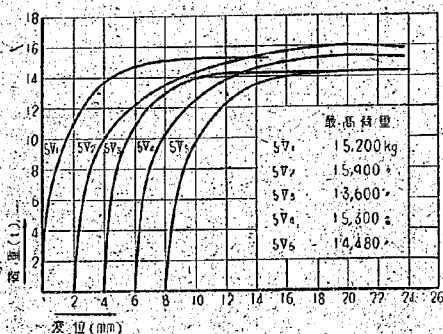


図-24 5V の荷重-変位曲線



支持したものである。これは最良の条件であるから、平行部材接合の強度の 88% に相当する垂直部材接合の強度を出し得たが、安全を見て、85% を採用することとする。この 85% を図形吻合セデュエルの各型のものに適用するものとする。

今 $P_p = 100$ $P_q = 85$ とすれば、部材が 45° の傾をなす場合の接合の許容荷重は約 0.2 となる、斯くして任意の角度を傾をもつ部材接合の許容荷重が求められる。

IV 試験結果に対する考察

(1) デュエルの配置及び使用ボルト

デュエルをボルトを中心として描いた円周上にのみ配置することは所定の部材幅に對する使用デュエルの数が少くなり不経済になる。依つて次の制限條件を満足する様に適當にデュエルを配置すれば、小部材で充分に所要の強度の接合が可能になる。徑 5cm デュエルを徑 13cm の圓周上に 6 個配置しうる部材の最小幅は 21cm であり、圖-25 の如く同じデュエルを 8 個配置しうる部材の最小幅は 20cm で、前者の強度 16,840kg に對し後者の 21,600kg で接合の能率が著しき大きくなつてゐる。デュエル配置の制限條件をあげれば次の如し。

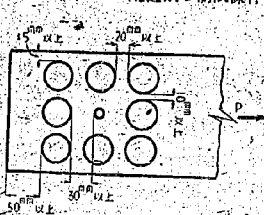
1. 図形吻合セデュエルの周縁とボルト孔縁との間隔は力の作用方向と同方向に對しては 3cm 以上、力の作用方向と直角方向に對しては 1.5cm 以上とする。
2. 圓形デュエル相互間の間隔（デュエル周縁の最短間隔）は力の作用方向と同方向に對しては 2cm 以上、力の作用方向と直角方向に對しては 1cm 以上、この中間の方向に對しては 2cm と 1cm とを角度に正比例するものとする。即ち約 45° の方向に對しては 1.5cm 以上を取るものとする。
3. デュエルの周縁と引張部材の末端（剪斷長）との間隔は徑 6cm より大きくない圓形吻合セデュエルに對し

て5cmを最小間隔とする。又部材の最小幅を決定すべき力の作用方向と直角方向に對しては1.5cmを最小とする。

4. 圓形吻合セデュベルを使用する場合は必ず、デュベルと同じ径のデュベル嵌込み溝を座ぐり之にデュベル中央圓形部を收容するを要するものである。之の嵌込み溝を造らないと部材の磨損がうまく行かず、従つて強度も甚で試験した程度には出ないことになる。

従来の試験の結果を総合すると部材を締結するボルトは嵌入デュベル接合に對して次のことが云へる。

圖-25 デュベル配置上の制限條件



a. $\phi 16\text{mm}$ ボルトは接合強度 15t 以上になる接合に使用するとその締結力の關係より好ましくない。 $\phi 16\text{mm}$ ボルトに對し使用座鐵は $75 \times 6\text{mm}$ である。

b. $\phi 10\text{mm}$ ボルトは接合強度 22t 以上になると接合に使用することは好ましくない。この場合の使用座鐵は $100 \times 9\text{mm}$ である。

c. $\phi 22\text{mm}$ ボルトを使用しうる接合強度は座鐵 120×12 を使用した場合、約 80t 程度であると推定する。但し從來迄の最高強度は

24t であつたから、之は推定の範圍を脱してない。

以上の結果よりボルト及び使用座鐵に對しては次の基準に依り定めることを提案する。次に見せるボルト径及び座鐵の計算法は2面剪斷接合の場合に限る。

1. ボルトに作用する引張力は接合強度の $\frac{1}{2}$ に取ること

$$P_b = \frac{1}{2} P_o$$

P_b : ボルトに生ずる引張力

P_o : 2面剪斷接合の破壊強度

2. 座鐵の大きさ次の式に依り求めるべし

$$a = \sqrt{\frac{P_b}{\sigma_c}}$$

a : 座鐵の1邊の長さ (cm)

σ_c : 木材の繊維に垂直の壓縮強度。杉材に對し約 80kg/cm^2 を取るものとす。

3. 破壊強度 15t の接合部に對しては $\phi 16\text{mm}$ ボルト、破壊強度 22~15t の接合部に對しては $\phi 10\text{mm}$ ボルト、それ以上の強度を有する接合部に對しては $\phi 22\text{mm}$ のボルトを使用すべし。

(2) 許容荷重

許容荷重は荷重の極値(破壊強度)に對し纖維飽和略以上の含水率(30%以上)に於て安全率 3.0 を確保することとした。實際の供試體の含水率は 30% 以上であり、例外として 25% 程度のものもあつたが、之に對しても同じく 3.0 の安全率を取つて計算した。斯る含水率の多い木材に對し安全率 3.0 を確保したものであるから乾燥状態(含水率 10% 前後)の木材に對しては更に大きな安全率を確保してゐる。

各供試體の許容荷重は表-4 に示してあるが、各デュベル配置について平均値より求めた許容荷重は表-5 に示す如くである。ここにデュベル1個當りの許容荷重とは片面に8個のデュベルを使用した2面剪斷試験では合計16個のデュベルを使用したものであるから、この接合の許容荷重を16で除いたものである。

尚ほ部材間の變位及び繰返し荷重に對する性質に對して安全性を附與するために、デュベル接合では一般に比例限界荷重を18で除いたものより、許容荷重は大きなものであつてはならぬと規定すべきで、圓形吻合セデュ

表-5. 圓形吻合せデュベルの2面剪断接合の場合の許容荷重

デュベル大き及び 片面に使用した数	部材のな す 角 度	ボルト径 (mm)	荷重の極値 (kg)		許容荷重 (kg)	デュベル1個 當り許容荷重 (kg)
			最 高	最 低		
8 × φ 40mm	0°	16	12,880	12,100	4,114	256
4 × φ 50mm	0°	16	13,200	11,500	4,000	500
6 × φ 50mm	0°	19	18,000	15,750	5,614	468
6 × φ 50mm	90°	10	15,900	13,600	4,933	411
8 × φ 50mm	0°	19	21,950	21,000	7,150	447
6 × φ 60mm	0°	22	24,000	22,800	7,826	654

ベル接合は比例限界荷重が明かに存在しないから便宜上 3.0mm の變位を 1.8 で除して許容荷重を確めた。この場合最高荷重に對し安全率 3.0 とした許容荷重より小さく出来たものは 6H₂ のみであつた。

本報告で述べたと同じデュベル配置をなし、ボルト及び座鐵が同一である場合には表-5 に示した許容荷重を使用すべきである。

尚ほ徑 4cm 乃至 6cm の圓形吻合せデュベルを任意の個數に使用する場合には次の如き方法に依り、デュベル配置及び許容荷重を求むべきことを提案する。

1. デュベルの配置の制限條件は前節に示した條件を滿足すべきものたること。
2. デュベル 1 個當り (片面に 5 個使用した 2 面剪断接合では計 10 個のデュベルを使用してある) の許容荷重は次の如く規定す。但し壓縮強度 280kg/cm² の杉材の場合なり。

徑 40mm デュベル 250 kg

徑 50mm デュベル 450 kg

徑 60mm デュベル 650 kg

尚ほ壓縮強度 σ_c なる木材の場合には上の値に $\sqrt{\frac{\sigma_c}{280}}$ を乗じたるものを使用するも便宜上許される。

3. 上の計算に依り求めた許容荷重を 3 倍した荷重が 15 t 以下の場合には使用ボルト φ 16mm、15~22 t の場合は φ 19mm、22 t 以上の場合は φ 22mm とす。但しデュベルはボルトより 20cm 以上離して配置すべからず。木端の弦材と斜材との接合の如く、接合さるべき部材が或る角度で交つてゐる場合に對しては上に示した許容荷重に次の係數を乗じたものを使用すべきである。

部材方向が 0° の角度の接合 $C_{90} = 0.85$

部材方向が 45° の角度の接合 $C_{45} = 0.02$

この中間の傾斜角に對しては比例に依つて求むべきものとす。

(3) 他種のデュベル接合との比較

デュベルを比較する場合に考へられる點としては (1)、施工の難易よりの比較、(2)、許容荷重の大小に依る比較、(3)、部材相互間の變位の大小よりの比較、(4)、部材方向が傾いた場合の許容荷重の低下率よりの比較、(5)、使用部材の大小と許容荷重との關係よりの比較がある。

ここに比較せんとするデュベル接合は筆者が内務省土木試験に於て實驗し、既に報告したデュベル接合に就いて、木材として杉材を使用した場合の比較であつて、外國の文獻に依れば温度の著しく大きい接合法もあるが

之等は未だ我國に於て試験が行はれて居らず、比較の對稱とはならない。

(1), 施工上よりの比較

デュベル接合を使用する木造物は總てボルト孔が組立に於て何れも嚴密に一致することが必要であり、この點の施工の嚴格さは同一程度である。輪形デュベルはボルト孔を中心として回転するデュベル穿挿器に依り施工されたデュベル溝に嵌込まれるから、ボルト孔の一致は必然的にデュベル溝の一致となり、而も切目ありデュベルを使用すれば施工は一段と簡單になる。更に實際上輪形デュベル接合を使用した木橋の架設は各地で行はれ、經驗も増加したので今日ではデュベル工法の内でも最も容易なものと思はれるに至つた。

吻合せデュベル及びコマ形嵌はデュベルを木材中に壓入するを要するもので、ボルト孔の一致の外に更に部材を補付けてデュベルを壓入する裝置が必要である。この點より見てボルトの締附のみでデュベルが壓入されるコマ形嵌は施工が最も容易なものである。

矩形吻合せデュベル及び圓形吻合せデュベルは共にボルトの締附ではデュベルが壓入されず、部材を 5~11t の力で締附ける必要がある、壓入に要する力は表-6 に示してある。この場合、壓入力の大きいものが概して接合強度も大きくなる。尚ほ杉材より一段と硬い木材の使用した場合には壓入力の間から一段と工夫を要するものがある。

(2), 許容荷重に依る比較

許容荷重の點より見れば表-6 に示す如く矩形吻合せデュベルを片面に 6 個を、圓形吻合せデュベルの徑 60 mm を片面 6 個及徑 50 mm を片面に 8 個を使用したものの接合強度は夫々 19,000kg, 23,000kg, 21,500kg あつてその許容荷重も夫々 6,800kg, 7,800kg, 7,160kg あつて我が國で従来試験されたもの内では非常に大きいものの部類に屬してゐる。

許容荷重とそのデュベル配置をなし得る部材の最小幅との比を採つて考へれば、輪形デュベルでは 22.7~27.0、矩形吻合せデュベルでは 30.4~39.0、圓形吻合せデュベルは 22.0~35.8、コマ形嵌では 14.0~19.5 であり、矩形吻合せデュベルが最も大きく、コマ形嵌が最も小さい。此の値は部材の單位幅當りの接合能力を示すもので、接合能率係數と名附けた。各接合の接合能率係數は表-6 に示した。

$$\text{接合能率係數} = \frac{\text{許容荷重 (kg)}}{\text{最小部材幅 (mm)}}$$

これに依り許容荷重の總對値のみならず、その接合荷重を使用しうる部材幅を同時に考へることが出来るわけである。

(3), 部材間變位よりの比較

輪形デュベルの初期變位量にはデュベル嵌込み溝とデュベルとの間の施工上の間隔に依るずれが入るから明かに吻合せデュベルのそれに較べて大きいものである。然し初期變位以後に於て施工上のずれは消去されるから變位量も初期變位量に比較すれば小さくなる。

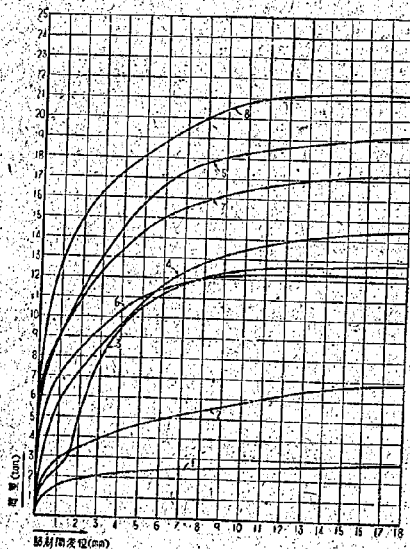
一方吻合せデュベルは部材間に一種の摩擦を生ぜしめて耐荷する如きものであるから、荷重に依る部材間の變位量は極めて少なく、許容荷重時に於て 0.5mm 以下、即ち輪形デュベルの初期變位量の 1/3 以下である。

圖-26 には各種デュベルの變位荷重曲線を示したものである。曲線 3 は 5 吋輪形デュベルの初期變位を示してゐるが 2~3 吋の間で施工上のずれは 0.5~1.0mm 程あることを示してゐる。之に對し吻合せデュベルは初めはほとんど變位なく耐荷し變位が生じ初めると急激に増加し破壊に至る。これ故に部材間の變位量のみより許容荷重を求める方法は吻合せデュベルに於て特に危険である。

表-6 各種デュベル接合の比較

デュベルの 種 類	デュベルの 寸 法 (mm)	デュベルの 使 用 法	使 用 ボルト (mm)	挿入に 要した 力(kg)	荷重の極値(kg)		許 容 荷 重 (kg)	許容荷重 時の變位 (mm)	最小部 材 幅 (mm)	接合部 率係數
					最 高	最 低				
輪形デュベル	φ 114 (4吋)	切目なし	1×φ 16	—	9,050	9,000	3,400	1.05~1.36	150	22.7
ク	ク	切目あり	ク	—	10,200	9,500	3,700	0.95~1.43	150	25.4
ク	φ 130 (5吋)	切目なし	ク	—	11,000	10,800	4,300	1.53~1.60	170	26.3
ク	ク	切目あり	ク	—	13,600	10,800	4,600	0.56~2.04	170	27.0
矩形吻合せ デュベル	40×50	片面に3個	1×φ 16	4,700	11,000	10,950	3,650	0.19~0.42	120	30.4
ク	ク	片面に4個	ク	5,100	14,050	14,200	4,790	0.40~0.64	120	39.9
ク	ク	片面に6個	2×φ 16	6,500	19,150	18,800	6,300	0.24~0.27	170	37.1
圓形吻合せ デュベル	φ 40	片面に8個	1×φ 16	7,100	12,880	12,100	4,114	0.23~0.40	180	22.9
ク	φ 50	片面に6個	1×φ 19	9,700	18,000	15,750	5,614	0.07~0.17	200	28.1
ク	ク	片面に8個	ク	9,500	21,950	21,000	7,150	0.15~0.19	200	35.8
ク	φ 60	片面に6個	1×φ 22	10,800	24,000	22,800	7,830	0.03~0.32	240	32.6
コ ヲ 形 鋸	φ 30	片面に16個	1×φ 16	ボルトの 締 附 力	10,000	9,500	3,900	0.10~0.21	200	19.5
ク	ク	片面に8個	ク	ク	7,400	7,400	2,800	1.00~1.08	150	14.0

圖-26 各種デュベルの荷重變位曲線



1. φ 16mm ボルト
2. コマ形鋸片面 8 個
3. 輪形デュベル径 5 吋
4. 矩形吻合せデュベル片面 4 個
5. 同じ 片面 6 個
6. 圓形吻合せデュベル径 4cm 片面 8 個
7. 圓形吻合せデュベル径 5cm 片面 6 個
8. 同じ径 6cm 片面 6 個

(3). 部材方向が傾いた場合の許容荷量の低下率の比較

部材方向が或る角度で交つてゐる場合の接合では木材の繊維に傾めの方向に荷重を受ける部材があるから、こ

の點の木材の強度よりして接合部の強度も角度が大きくなるに従つて低下することは明かである。

この場合の低下率は輪形デュベルの如く木材の支壓應力と剪斷應力度とに直接關係をもつ接合にあつては部材の傾く角度と共に著しく強度が低下するが、吻合せデュベルの如く部材間に一種の摩擦を生じ、之に依つて耐荷する接合にあつてはこの低下の割合は比較的緩慢である。筆者の行つた實驗結果より角度に依る低下率を示せば次の如し。

表-7 部材交る角度と許容荷重の低下率

デュベルの種類	0°	22.5°	45°	66.5°	90°
輪形デュベル	100	87	85	75	65
矩形吻合せデュベル	100	94	89	84	80
圓形吻合せデュベル	100	96	92	88	85

輪形デュベルの低下率は最大であり、圓形吻合せデュベルの低下率は最小である。この低下率と先に示した許容荷重を併せて考へて、實際の接合能率係数が決るものである。

V 結 語

1. 圓形吻合せデュベルの許容荷重は本試験と同じ配置の接合に對してはIV章2節で示した許容荷重を使用することが出来る。即ち次の如し、

徑 4cm 片面に 8 個 (計 16 個) 4,114kg

徑 5cm 片面に 4 個 (計 8 個) 4,000kg

徑 5cm 片面に 6 個 (計 12 個) 5,614kg

徑 5cm 片面に 8 個 (計 16 個) 7,150kg

徑 6cm 片面に 6 個 (計 12 個) 7,826kg

2. 上述の配置に依らず任意の個數を使用した場合、デュベル 1 個當りの許容荷重は次の如く規定す。但し 280kg/cm² の木材に對しての數値なり、

徑 4cm デュベル 260 kg

徑 5cm デュベル 460 kg

徑 6cm デュベル 660 kg

この場合デュベルの配置にはIV章(1)節の制限條件を満足するものとす。

尚ほ壓縮強度 σ_c なる木材を使用した場合には上の値に $\sqrt{\frac{\sigma_c}{280}}$ を乗じたものを使用することを得。

3. 圓形吻合せデュベルは部材方向が傾いた場合の強度の低下率は極めて少い。部材方向が傾いた場合には次の係数を乗じたものを使用すべきものである。

斜角 45° の場合 $C_{45} = 92$

斜角 90° の場合 $C_{90} = 85$

4. 接合部の破壊は木材が潰ひられて部分的な波込破壊で部材の全面的破壊はなく部材の破壊に依る急激な耐荷力の低下は認められなかつた。

5. 徑 4cm デュベルでは齒形の切斷したものゝなかつたが、徑 5cm、6cm では相當數の齒形切斷し、木材の破壊に依るよりもデュベル自身の切斷に依る耐荷力の喪失も明かに認められた。これは徑 5cm デュベルに於て特に著しかつた。徑 5cm と徑 6cm デュベルは齒形を大きくする必要を認めた。

モルタルの工學的特性に及ぼす電流

加熱の影響に就いて (第1報)

I. モルタル早強性に關する一試験

内務技師 島 田 八 郎

内務技手 澤 田 一 夫

岩 見 富 士 彦

目 次

I 概 説.....	(1)
II 試験の概要.....	(2)
〔1〕 使用材料.....	(3)
〔2〕 供試験に就て.....	(4)
III 試験結果.....	(5)
〔1〕 初期に於ける試験結果.....	(5)
〔2〕 1:3モルタル ($w/c=0.5$) 試験結果.....	(7)
〔3〕 1:3モルタルの湯發生試験結果.....	(11)
IV 材齡24時間強度に關する要約.....	(12)
附・消費電氣量に就いて.....	(14)
〔1〕 熱容量並に型枠冷却度の概略値.....	(14)
〔2〕 比電導率並に消費電氣量の概略値.....	(16)

I 概 説

コンクリート施工に當りセメント硬化の早期性を人爲的に促進する必要がある場合並に氣象條件により同裝結の調節を要する場合セメント混和物の電導性を利用し、所謂抵抗損失による加熱作用を利用し其の目的を達せんとする試みは可成り以前より行はれたものと推測される。本邦及び海外文獻に一應發表されしものも數年以前の事に屬し、其の後最近は周知になりし爲か、且つ又別個理由によるか此種研究試験の發表されしもの益きも可成り實用期に入り多期コンクリート打に利用され得る可能性がある様である。蓋しコンクリート、モルタルの強度促進研究には今主要なる副産性を別に考察すると少くとも下記三項目に關する特性を明かに把握せざれば實用上利用似値無きものと思はれる。即ち

- 1) 強度早強性自體の促進性
- 2) 促進強度の確實性
- 3) 上記二特性に及ぼす材齡の影響

更に之等の結果の信頼度を高めん爲めには材料工學的に深く硬化機構に立入り其の原因等を究明する必要がある。先づ是等の観點に立ち既に二三の試験結果を洞察し本試験實施の手續を定めた。先づコンクリートに就て近藤、岡田氏¹⁾の實驗をみるに其に配合 1:2:4, $w/c=0.6$; スラップ; 16~18 cm (近藤氏) 22 cm (岡田氏) にて木製型枠を直接使用す。供試體寸法 20×20×20 cm の立方體にて同供試體 4 個を並列直列に組合せ交流 100 V を特に調節する事無く直接に加へ温度上昇の影響を求めんと、及相材齢 24 時間の強度に關し試験したもので翌朝供試體は可成り乾燥せる爲か電流は零に落ちて居り且つ材齡の増加に伴ひ強度の増加率が一般水中養生の場合に比較し劣つて居る。然るに A. Retly²⁾ の報告によれば最良條件にて電流加熱を行へば材齡による影響に關しても劣化を來す事無きのみならず、電氣養生は加熱以外に電流を通ずる事によりセメント凝結に良好なる結果を齎すと主張してゐる。岡氏は其の他電流加熱に必要な注意事項を述べてあるが、強度促進に對する信頼度に関する試験の報告が無い。後章に詳述せるが如く此の種特性は最も主要な研究事項である。又電氣加熱に必要とする消費電力値として二三の數値が列擧されてゐる。この値は型枠其の他の條件により可成りの差異あるものと考へねばならないが、一例として Retly の述べて居る數値を示せば 80~150 K.w.h (最高温度 70°C?) / 1 m³ コンクリートである。其の他 H. Bohlin³⁾ 岡氏¹⁾ 等の報文にも數字は列擧されてゐるが加熱中の電流變化等により必要消費の最大値等は可成り影響を蒙るものである。一方吉田博士⁴⁾ の最高最強度のコンクリートに關する研究は本試験取扱上有益な一指針を與ふものであり、又内田麥郎教授⁵⁾ は凝結と温度との關係を研究し、當試験所⁷⁾ に於ても木村與四松氏のコンクリート早強性に關する試験がある。直接に強度的研究を對象としてゐないものであるが、セメント凝結の問題と關聯しセメント水混和物の比電導度 (λ) と時間の關係に關する研究には清水⁶⁾ Gessner⁸⁾ Hall & Adams¹⁰⁾ 諸氏のものがあり又 W.B. Boats¹¹⁾ はモルタル (1:2.5; $w/c=0.4-0.25$) の比抵抗値と強度の一關係を報告し、Retly はコンクリート比抵抗値に關して (一般に比抵抗 $\rho=5 \times 10^3 \Omega \text{cm}$, 円形練りコンクリートでは上記値 $\times 0.25$; 軟練りの場合上記値 $\times 0.75$, 硬練りの場合上記値 $\times 1.2-1.5$) 報告して居る。上記電導率に關する試験中特に比電導度 (λ) と時間の關係は、該研究の範圍に於て、其の性状を明かにせるもので特に凝結開始前後に於て此の種比電導度の變化の有様が明かにされてゐる。

一方本實驗の如く強度を著しく人為的に促進せる場合、強度試験結果の一様性を確保する事は頗る困難と推測され特に供試體形狀の小なる場合に其の影響が著しい。舊く強度に就ては Skramtajev¹²⁾ が述べた様、一般に或隨率的分布により分布するもので、K. Biehl¹³⁾ が蒸氣養生による強度促進結果に斯かる考察を應用した。電氣養生による結果に就ても斯かる傾向を見明かにしてをく必要がある。在來行はれた研究試験に關する筆者の調査未だ不十分に遺憾の點あるも、總に述べた強度三項目に關しては未だ解答を與ふるもの無く、斯かる觀點に立ち一應試験を行ひ其の工學的意義を吟味する必要がある。此の外重要な研究項目は實施法自体に關するものである。例へば電流密度、温度上昇速度、型枠周囲の狀況等は直接上記強度三項目の特性に密接な關係を有するもので常に相互の條件を明かにし可及的其の相關性を求めねばならない。

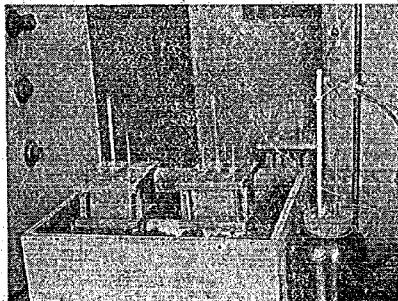
本試験はコンクリートに及ぼす事を目的とせるも第一歩としてモルタルに關し上記諸性質を明かにし其の應用性を求めんとしたものである。只試験此の種試験に未熟の爲め試料の取扱ひに關し種々困難を來し、結果に幾多誤謬を來せしを内心恨るものであるが、此の種の特性に關し或る程度の資料並に見解を得たるを以て茲に報告する次第である。

II 試験の概要

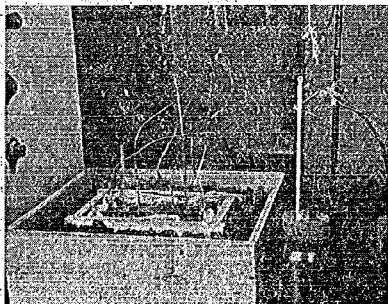
本實驗に使用せる供試體の大きさは約 4 cm 及び 5 cm 立方にて稍々小型に失した。使用セメントは昭和 10 年

秋購入せる秋父普通セメント、骨材は相馬標準砂及び丸味浦微砂にて、標準試験用のものである。最初型枠周囲の状況並に電流密度測定等に関し種々模索的の試験を行ひ、約三ヶ月後一つの関係性を保つ試験を行ふに至つた。未だ最良の條件を定めたものに非らず此點將來の研究を必要とするものである。尙本試験に関し概念を與ふる爲め三ヶ月後の試験状況を示す寫眞を彫頭に掲ぐる事とする。(寫眞-1, 2, 3)

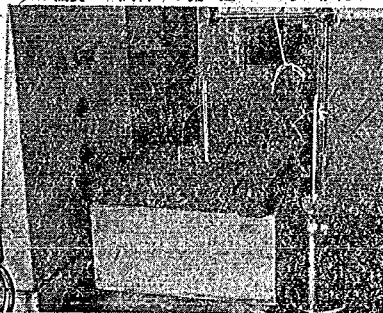
寫眞-1 型枠二個直列せるを示す



寫眞-2 型枠を保温水槽に入れた状況



寫眞-3 試料に電流を通じつゝある状況



〔1〕 使用材料

セメントは秋父普通セメントを用ひた。規格試験による強度は低下せるもので11つ3個の強度結果には可成りの差異があるが、實驗者一同の製作精度の推定にもなり後述結果を比較する上に必要と考へ茲に述べた。尙蒸氣による膨脹龜裂試験並に凍結融解試験を行つたもので成績下記の如し。

表-1 1:3 (標準砂 2:微砂 1) モルタル
フローテスト成績

w/c	フ ロ ー	變形後上頂直径 (mm)
0.05	221~218	15.5
0.05	225~218	15.0
0.00	186~178	10.0
0.00	199~195	17.0
0.50	134~133	37.0
0.50	141~140	30.0
0.40	104~102	55.0
0.40	105~103	55.0

表-2

材齡	強度	壓縮強度 (kg/cm ²)	曲げ強度 (kg/cm ²)
1 日 ?		32.5	24.5
7 日		160.0 ?	45.0
28 日		190.0	56.0

表-2 には w/c=0.50; 1:3 モルタルの、軟鋼線標準試験法に準じた強度を掲ぐ。本結果は資料の関係上 2 個の平均値にて信頼度頗る低けり。其の後 5 cm 立方の大きさをも有するもの 10 箇を同時に作り標準水養生をなし強度の比較基盤に資した。其の直後表-3 の如く、強度分布圖-1 (a, b, c, d) の如し。表-2 に於ける 7 日強度は 3 日、28 日のものに比較し大に失する惧もあるも他の w/c (0.00; 0.40) の場合も略類似の傾向を示してゐた。

圖-1 1:3 (w/c=0.5) モルタル強度分布

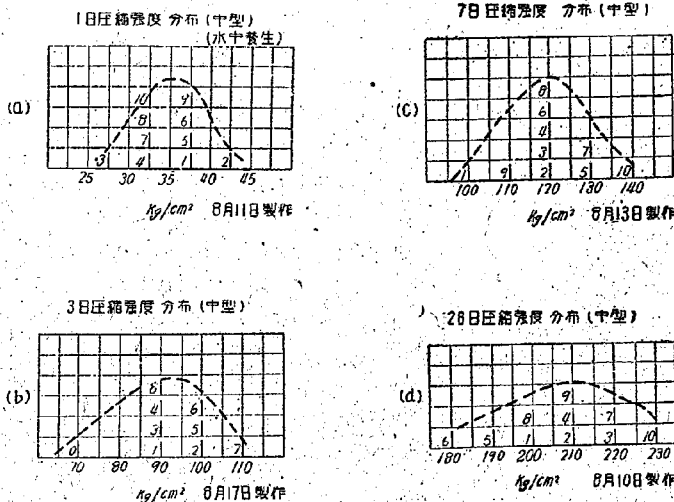


表-3 1:3 (w/c=0.5) モルタル圧縮強度 (kg/cm²) 中型10個試験成績

材 齢	型 度	f_c (範囲)
1	日	35 (25~45)
3	日	93 (65~115)
7	日	120 (95~143)
28	日	213 (175~237)

其の外貨物進行中其程度小型のもの2個づゝに就き試験せるも形状不良等の爲め強度分布にも遺憾の點多し報告を省略し、中型による結果にて本セメントの性質を判定する事とする。尙参考とし凝結試験を行ふ。標準稠度に対する $w/c=0.318$ にてジキカー針の降下傾向は圖-2に示す如きもので可成り初發の速きものと様である。

始發終結を下記の如く指定した。

圖-2 始發加標準針降下曲線

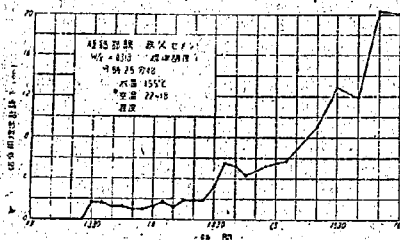


表-4 使用セメント凝結試験結果

始	發	終	結
---	---	---	---

1~4.20分

6分

者沸騰膨脹試験には異状を認めず、其の他真比重の測定化学分析等(之を省略した)。

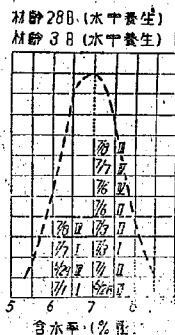
(2) 供試體に就て

後章試験成績を述べる際供試體の事項にも觸れる考である。最初本試験實施を計畫せし時モルタルの配合 w/c 填充法等の影響をも明かにせんと目論み

一二ヶ月種々試みしが、これ等の關係を一舉に明かにせんとする事の困難なるを認め、本試験後期に於ては配合 1:3 (微砂1, 標準砂2) $w/c=0.50$ 二層填充法に限ることとした。填充に際しては一邊約1cm²の頂部に鐵

片を張れる木枠にて丁寧に押し詰め面に水分の稍々分離し来る程度に止めた。型枠内には硝子板を周囲に挿入し可及的にセメント汁成分並に電流の外部への移動を防止せんとした。一般に本試料程度のモルタル¹⁰⁾では空腔率は15%前後であり含水飽和状態に於ける見掛比重 ρ_a 及び含水量は夫々2.2—2.3; 10%前後の様である。本試験に於ては常に見掛比重を測定し一應平均2.22と推定せるも小型の場合電極挿入の影響の爲め形状不整となり、確實なる見掛比重を求め得ざりし爲め形状整正なる中型のもの10個を同じ方法にて製作し、強度試験を行ひし當日比重測定を行つた。尚28日水養生中に於ける吸水による重量の増加は小型(重量160 gr, 4×4×4 cm)にて1.5—2 gr程度である。事實5 cm立方前後の木枠にて製作した供試體で有效數字二桁目を附与に求めるには可成の注意が必要である。中型10個のもの平均値は 2.24 ± 0.02 位である。

図-3 水中養生含水率値分布



其の後強度試験後に於ける含水量を電氣並に湯養生試験結果に就き調べしものと對比する必要上水養生養生のもの取替後の破片約58 grに就き110°C恒温乾燥による含水量を求めた。経時28日と3日との差異は顯著ならず、圖-3に示す如く約7%に含水極大値を持つ分布を示した。

同軸中7/8 IV線の記號は7月8日製作の第IV號供試體なる事を示す。含水率値分布圖よりして試料製作能力の優劣を判斷し得べし。

III 試験結果

先づ試験状況の詳細を記述すべきであるが最初可成り模索的に試験を試みしを以て順序とし模索期に行つた二つの結果を簡単に述べる事とす。

(1) 初期に於ける試験結果

1:3モルタル(秩交セメント)にて $w/c 0.4 \sim 0.5$ とし電流値調節の爲め50 wattカーボンランプ數個を直列並列に配置し中型(5 cm×立方體)電流密度 $(33.8 \times 14 \text{ mA}/25 \text{ cm}^2) \times 19 \text{ A}/\text{dm}^2$ とすれば温度上昇速度大となり試料に乾燥を來し抵抗著しく増大し電流減小し不都合を來す。最初斷熱的に加熱せば内部應力發生せず有効なりと考へしもグリースを使用せし爲め木型自體の樹脂の抽出されし爲め、翌朝試料上表面一帯褐色を帯び硬化作用全く爲さず、數日斯かる事を繰返すも悪影響は減少せず、電極挿入部にゴム栓を爲す等種々工夫した。大體の試料裝備は寫真-1の如くするも最初同内部水槽の代りにバットを使用し型枠を入れ、バット内の空所に時に應じコルク粒湿布又は水を入れた時折歸宅に際し注水し翌朝まで電流の低下を防ぎ温度を保持した。更にカーボンランプの接續を調節し初電流密度 $(22 \times 14/25 \text{ mA}/\text{cm}^2) 1.2 \text{ A}/\text{dm}^2$ 位より開始し午後四時頃に至り接續調整により若干の變化あるも電流密度 (i) 30—40となる。翌朝8時の同示度は周囲の條件により示度20—30乃至は2—3に減少するもので翌朝温度一日三日にて略々150—200 kg/cm²を示した。型入直後の抵抗値 R は $w/c = 0.4 \sim 0.35$ にて $R = 112 \Omega$ 前後(中型)であつた。6月13日—14日には1:1モルタルを製作せしが $R = 70 \sim 77 \Omega$ 前後(中型)である。下記4月16日—30日までのものは杉中型を使用す。結果の一部を表-5に収ぐ。

◎記號を附せしはモルタル填充に際し振動機が如きものを使用せしも、型狀小なる爲め結果に一様性を缺き

* 使用メーターの係數は $\times 14$ である。33.8とは使用メーター mA (i) 示度である。以後簡単に (i) 値のみを記載する事もある。

表-5

試験日	w/c	型 状 状 況	圧縮強度 24 時間 kg/cm ²	電 流 示 度 (イ) (毫安)	ガルバ振れ* G 最大
4/15	0.4	コルク詰め乾燥す	120	0 に近し	270
16	0.4	湿布填充殆ど乾燥	195	16	350
17	0.35		142	20	204
◎ 21	0.4	湿布填充殆ど乾燥	200	10	344
◎ 22	0.45	同 上	200	12	327
◎ 27	0.35	同 上	181	3	316
◎ 30	0.35	同 上	182	2	316

しを以て以後之を廢した。斯くの如く型枠周囲の状態の差異により本試験様式にては電流密度は可成り範圍に變化し、是等を任意に調節する事は勿論不可能にて調節變化も不連続となる。其の後小型（標：I, II, III, IV 號）（約 4 cm 立方）四箇を用ひ種々配列を變化し實驗せしも電流調節の困難は除去する能はざりしも 5 月 10 日に至り電解溶液水抵抗を回路に挿入する事により不完全ながら目的を達す。尚標準は樹脂の爲め温度上昇を伴ふ場合は盛に樹脂を抽出し填充せる試料は極度に褐色を呈し殊に上層部は全く硬化せず。其の悪影響は長く繼續せるを以て該影響を除く目的で 4 個の型枠をバケツに入れ煮沸し水を取換へる事 40 回以上に及びしに、未だ充分に樹脂を抽出し得ざりしも以後其の儘使用した。將來此の種方法を實施するに際しては型枠の木質並に處理に細心の注意を拂ふ必要を痛感す。試験は主として周囲注水状態で行ふ。注水の供試體全體の抵抗減少に及ぼす影響は後章に記述するが如く至つて僅少である。4 個同時に製作せる場合各供試體の電氣抵抗及強度の不均一を來す引目は當然であるが、最初此の點に關し明かな見解を有せず判斷に苦む。轉換器に水銀を使用し失敗の原因を作る。尚骨材としての微砂が 6 月 22 日を界として變りし爲めモルタル（小型）1 個の電氣抵抗値著しく變化す。即ち前日まで $R=110 \Omega$ 程度なりしものが以後 $80 \sim 90 \Omega$ 程度に減少す。前日まで使せる微砂の殘部無く其の原因を確め得ざりしは遺憾である。以上約 3 ヶ月間種々試みし結果に據り下記の如き順序により一應試験を行ふ事とした。

- 1) 型枠周囲には試験開始前に注水する。
- 2) w/c=0.5 とし二層手詰めとし、各層に於て水の分離程度に 30 回前後撪き固む。
- 3) 4 個製作し電氣抵抗を測定し其の値の近きもの 2 個を直列に連ね其の後一聯の抵抗を測り更に注水後に於て測り外周注水の影響を明かにす。（寫眞-1, 2, 3 參照）
- 4) 試料 4 個中 2 個は電氣養生以外、即ち標準水養生又は湯養生を爲し比較資料とす。

* 供試體中央部の中心に銅コンスタン熱電對を挿入測定す。實測結果には同ガルバ振れ (min) を示すも温度との關係略々下圖の如し。

サーモカップル振れ温度關係圖

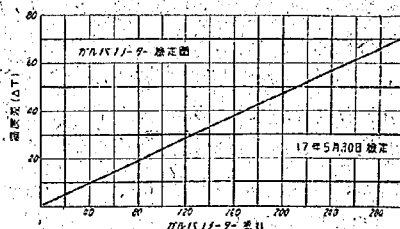
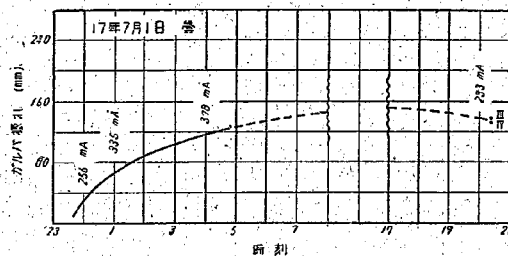


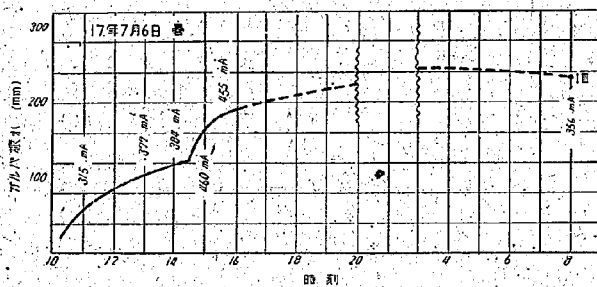
表-6 填充試料電気抵抗一例 (小型)

製作日	I	II	III	IV 號	2個直列(R)	尚注水後(R')	R-R' Ω
7/6	81.4	80.4	81.5	87.0	166.0	144.6	21.4
7/20	75.6	75.6	83.0	82.1	158.0	140.0	18.0
7/24	74.8	72.4	74.0	76.7	153.1	132.5	20.6

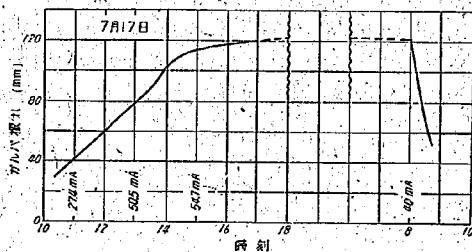
圖-5 (a) 溫度上昇曲線 (61°C 程度)

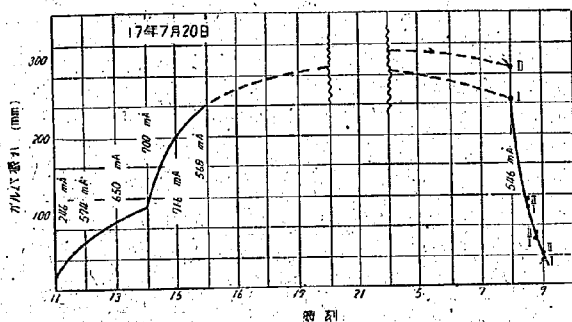
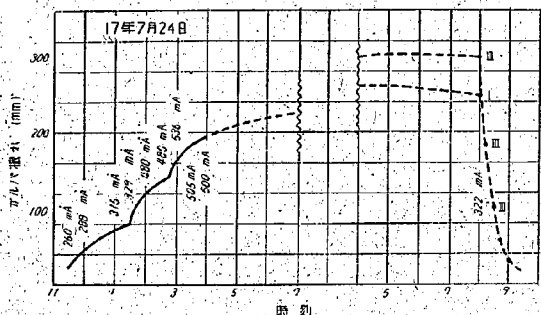


(b) 同上 (85°C 程度)



(c) 同上 (90°C 程度)

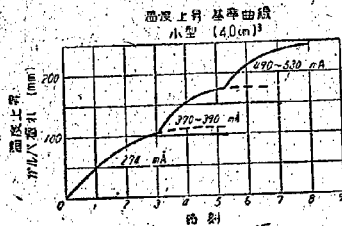


(d) 温度上昇曲線 ($>90^{\circ}\text{C}$ 程度)(e) 同上 ($>90^{\circ}\text{C}$ 程度)

同圖(b)(c)(d)(e)は夫々温度上昇 85°C 、 90°C 、 $>90^{\circ}\text{C}$ 、 $>90^{\circ}\text{C}$ 程度のものゝ一例を示すもので温度の上昇に伴ひ、直列せる供試體2個大々の上昇温度は一様性を缺く場合が多い。事實圖-5(c)(d)の場合夫々 80°C 、 90°C 、 88°C 、 90°C 程度の最高温度を示して居る。型枠周囲の水槽に約950 cc 注水せしものは200 cc 前後に減ずる。表-6は填充後の電気抵抗を示す一例とし圖-5(b)(c)(d)に圖示せるものゝ結果である。

其の外小型にも若干実験したが結果のみを後取極め表示する事とする。温度上昇の調節は可成り複雑で豫定

圖-6 温度上昇率曲線(一基準)(小型)



の如く行ふ事は困難であるが、本試験では略々圖-6に示す如く三階段により或る程度迄調節の目安と爲し得。

圖-6に示す温度上昇を示す電流密度は略々下記の如し。

階 程	第 1	第 2	第 3
終期基準電流密度	1.9 A/dm^2	2.3 A/dm^2	3 A/dm^2

此の値は型枠周囲の條件其の他によるも變動を來す様である。各實驗に於ては常に填充直後に測定せる比電導率(λ)を

算定す。尚強度試験は型外し後2時間以内に行へるもので破壊後の碎片に就き含水量を一應測定した。表7に試験成績の一覽表を掲ぐ。特に附記せざるは小型棒使用のもので、記號●, ○, ○は夫々電氣湯, 水中發生の場合を示す。溫度影響は電流遮断直前の溫度のみにて判斷するは議論の餘地あるも、表中には目安とし斯かる値を記入した。強度には破壊全荷重並に kg/cm^2 を、其の他電氣抵抗 R 並に比電導率 λ ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$) をも記入す。供試體形狀一邊4.0~4.2cm 前後の立方體なるも可成り不整形の爲め表中の λ は都度測定し計算せるものである。

表7 試験成績一覽表
(17年6/24日乃至7/27日) 6/25日以後微砂變る。

製作月日	No	發生及材種	初抵抗 $R(\Omega)$	初比電導率 $\lambda(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$ $\times 10^{-3}$	電流遮断 直前溫度 $^{\circ}\text{C}$	壓 縮 強 度	
						全荷重(kg)	kg/cm^2
6~24	I	○ 24h	108.8	1.98	—	500	80.5
	II	● 〃	107.5	2.06	61.0	2,200	181.0
	III	○ 〃	112.0	1.98	—	910	30.4
	IV	● 〃	112.7	1.99	60.0	2,850	164.0
6~25	I	● 24h	87.0	2.48	59.2	1,000	61.0
	II	● 〃	86.7	2.55	60.0	1,800	107.0
	III	○ 〃	83.7	2.52	—	500	29.8
	IV	○ 28日	84.4	2.53	—	3,700	210.0
6~26	I	● 24h	86.3	2.63	60.5	1,950	123.0
	II	● 〃	86.8	2.49	69.0	2,200	138.0
	III	○ 28日	85.5	2.46	—	3,300	206.5
	IV	○ 〃	91.9	2.53	—	4,400	255.5
6~29	I	● 24h	83.5	2.61	59.8	1,800	111.0
	II	● 〃	84.2	2.77	69.2	2,100	128.0
	III	○ 28日	88.6	2.59	—	3,750	220.3
	IV	○ 〃	86.5	2.66	—	3,500	224.5
6~30	I	○ 28日	81.5	2.804	—	4,200	262.0
	II	● 24h	84.4	2.526	52.0	2,150	128.0
	III	● 〃	84.2	2.77	58.0	2,120	129.0
	IV	○ 28日	87.2	2.598	—	4,600	295.0
7~1	I	● 24h	79.7	2.872	61.0	1,955	118.9
	II	● 〃	78.25	2.935	61.0	2,100	131.3
	III	○ 28日	83.5	2.652	—	—	—
	IV	○ 〃	84.0	2.700	—	—	—
7~20	I	● 24h	75.6	3.383	86.5	3,350	200.0
	II	● 〃	75.6	3.631	90.0	2,600	163.0
	III	○ 3日	83.0	3.405	—	1,750	115.2
	IV	○ 〃	82.1	3.190	—	2,400	146.3
7~21	I	○ 3日	79.5	3.295	—	2,800	176.9
	II	● 24h	76.9	3.485	81.0	2,000	122.0
	III	● 〃	74.5	3.520	92.0	3,300	201.3
	IV	○ 3日	84.0	3.046	—	2,700	169.8
7~22	I	○ 3日	81.1	3.310	—	2,650	165.6
	II	● 24h	78.2	3.670	78.5	2,000	159.0
	III	● 〃	78.2	3.860	94.4	2,800	179.8
	IV	○ 3日	77.7	3.460	—	2,800	175.0
7~23	I	○ 3日	75.3	3.480	—	2,700	153.0
	II	● 24h	73.0	3.680	79.0	1,900	118.7
	III	● 〃	74.5	3.520	92.0	2,400	146.4
	IV	○ 3日	81.3	3.140	—	2,960	165.0

(表-7 の続)

製作月日	No	養生及材齢	初抵抗 $R(\Omega)$	初比電導率 $\lambda(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$ $\times 10^{-3}$	電流遮断直前温度 $^{\circ}\text{C}$	圧縮強度	
						全荷重(kg)	kg/cm^2
7~24	I	● 24 h	74.8	3.510	88.2	3,250	108.2
	II	○ 3 日	72.4	3.621	—	2,600	144.0
	III	● 24 h	74.0	3.719	99.8	2,900	181.3
	IV	○ 3 日	76.7	3.178	—	2,400	132.5
7~27	I	● 24 h	83.5	3.065	63.0	3,000	167.0
	II	● 3 日	83.5	3.065	93.0	3,300	183.0
	III	○ 3 日	81.2	3.268	—	—	—
	IV	○ 3 日	83.5	3.180	—	—	—
7~28	I	◎ 24 h	72.9	3.51	60.0	3,000	178.5
	II	◎ 3 日	72.9	3.59	69.0	2,500	152.5
	III	● 3 日	75.6	3.30	99.0	3,100	180.2
	IV	● 3 日	75.6	3.38	97.0	2,500	148.8
7~29	I	● 24 h	75.0	3.412	88.0	2,600	158.5
	II	◎ 3 日	72.8	3.511	66.0	2,650	157.8
	III	◎ 3 日	75.6	3.391	79.7	1,600	100.7
	IV	◎ 3 日	81.8	3.226	66.0	2,750	172.0
7~31	I	● 24 h	70.4	3.222	84.8	2,500	148.8
	II	● 3 日	78.8	3.245	81.8	2,500	148.8
	III	◎ 3 日	85.7	3.120	68.0	2,400	146.3
	IV	◎ 3 日	81.1	3.231	68.0	2,800	170.8
8~3	I	● 24 h	80.7	3.170	86.0	3,600	214.2
	II	● 3 日	82.2	3.040	81.8	3,000	174.3
	III	◎ 3 日	78.7	3.251	68.0	3,000	178.6
	IV	◎ 3 日	—	—	68.0	2,750	156.0
8~4	I	● 24 h	78.9	3.17	70~60	3,100	180.0
	II	● 3 日	78.9	3.25	80~90	3,400	202.0
	III	◎ 3 日	78.9	3.25	80.0	2,900	177.0
	IV	◎ 3 日	85.9	3.05	80.0	3,300	201.0

表-7に明かなる如く養生温度も可成りの範囲に分布せるを以て今般りに纏きに述べし如く三落程 60°C , $75^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{C}$, $>90^{\circ}\text{C}$ と基準をとり電氣養生にある場合の24時間強度を分類した。圖-7.(a) (b) (c) は之等の結果を顯示せるもので同圖中7/3等の記號は製作月日を示す。強度分布は臨率曲線に従つてゐるものゝ如く特に 60°C の場合試験數多き事も原因ならんに分布が正規的である。分布中強度最大は基準強度 180 kg/cm^2 附近にありII. 7.3範圍は $90\sim 180\text{ kg/cm}^2$ に及んで居る。水中標準式試験の結果を顯示せる圖-1と對比するに、斯かる結果より其の信頼度を判定する事を得。(b) 圖は平均温度上昇せる爲めか臨率強度は一應 185 kg/cm^2 程度に増大するも其の後更に温度増大せる(c) 圖に於ては稍々減少す。

本試験の如き様式を用ふる場合上昇温度に制限ある如き結果を示してゐる。強度分布の傾向に關しては別に論ずべきもので茲に省略するも、水養生水温度等總て嚴密な條件の下に行はれてゐなかつた事を附記す。以上の如く24時間強度が如何に促進されたか其の傾向を特定のセメントに關し明かに知り得。

[3] 1:3モルタル湯養生結果

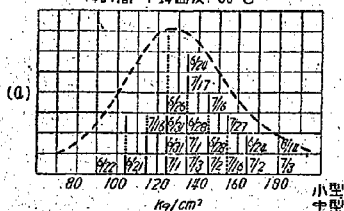
一般にコンクリートの早期強度促進の爲め湯蒸氣等により加熱する事が習くより用ひられてゐる。本試験に於ても電氣養生効果との比較の爲め原形型4個の中の内適當な2個をとり、恒温水槽内にブリキ製箱を入れ型枠周に養生水状態と爲し、恒温水槽の温度を上昇した。水槽中への挿入時刻は電氣養生開始と同時にした。水槽内温度

図-7

材齢24時間圧縮強度 (電気養生)

硬化進行中

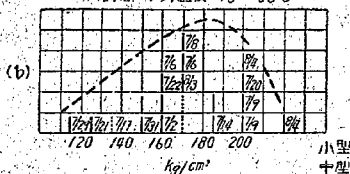
14時間 平均温度 60°C



材齢24時間圧縮強度 (電気養生)

硬化進行中

14時間 平均温度 75~85°C



材齢24時間圧縮強度 (電気養生)

硬化進行中

14時間 平均温度 75°C (~90°)

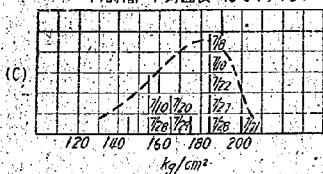
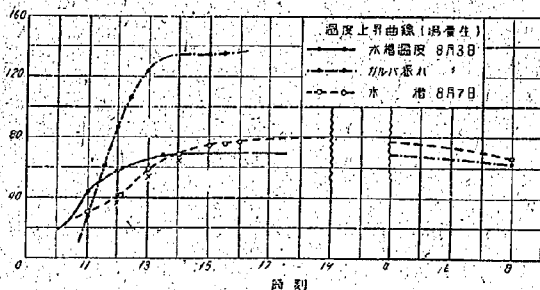


図-8 水筒温度上昇曲線



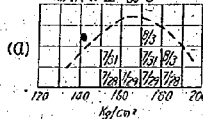
上昇傾向は図-8に示す如く可成り緩慢である。

同箇中には中心温度を示すガルバ振れをも記入したが實用
的に見て略々並行に温度が上昇してゐる。強度試験結果の一
部は表-7に記號○を附し之を標した。平均温度 63°C にて
11 個数値がなれば別に中型 10 個にて 85°C を基準として
更に試験す。兩者の結果は 圖-9 (a) (b) に示す。

図-9

1日圧縮強度分布

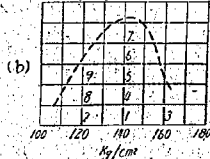
湯水養生 60°C



(1日圧縮強度分布 (中型))

湯水養生

84~87°C 7月2日製在



強度の絶対値は電気養生の場合に比較し小なるも温度によ
る強度増加傾向は全く類似せるものである。但し中型の場合
温度上昇稍々大なる爲か (a) 圖に示す場合より強度が減少し
てゐる。

IV 材齢24時間強度に関する要約

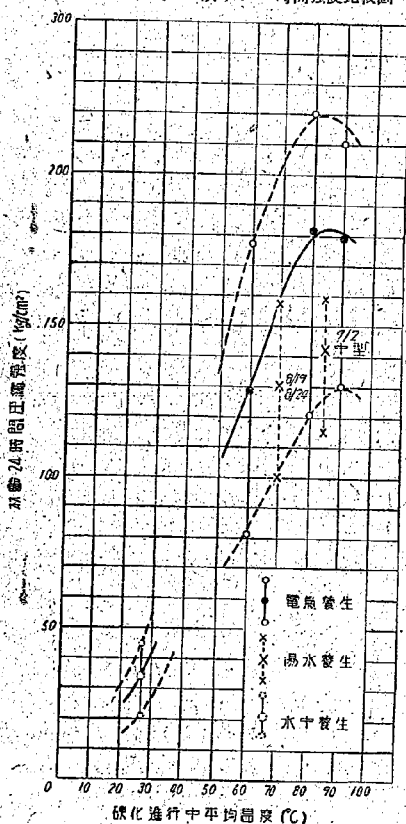
以上前節に述べし試験結果によるに或る特定條件によるも

ので未だ一般的結論を論じ得ざるも、
24 時間強度に關し二三の結論を得。
即ち標準養生湯電気養生の三者共特
定の分類に對し強度は頻度曲線に従
ひ分布し、同曲線は誤差函数の如く
極大値に關し對稱分布をしてゐる。
偏倚は可成り大で通常標準試験には
許容されない程度であるが、型枠形
状の小なると形状不整等によるもの
と思惟する。又最近品質の低下せる
セメントの不均一性によるとも想

像されるも、試験者の未熟によるやも測り知れず此の製造機とするものである。信頼度と關聯し更に研究を必要とする一事項であつた。今之等三者の場合の結果を取圖に圖-10に示し強度關係を比較す。

圖中實線は頻度極大を與ふ強度曲線曲線にて、偏倚範圍を示す。水中標準養生を行ふ場合の7日強度を約24時間で得るものである。更に材齡による影響を明かにする必要があるも次報に於て報告す。本試験の意義を述べずる一資料とし強度試験後碎片をとり測定せし含水量試験の結果を附す。電氣養生特平均温度 ($>90^{\circ}\text{C}$) の大なる場合周囲の水の蒸發に伴ひ乾燥を伴ふものと推測され、殊に脱型後約1時間半にて強度を試験せるを以て其の影響も大ならんと想像される。圖-11 (a) (b) は電氣養生湯水養生の場合に於ける結果を示すものであるが圖-3標準水養生の場合の結果と比較すれば同圖表の示す意味は自から明かなれば説明を省略す。本試験の模式によれば電氣養生せる場合も平均的に考察すれば水中養生の場合と同程度の水分を含有せるもので、少くとも水分に關する限り良好なる條件の下に硬化現象が起り居るものと推測される。以上の如く概説に述べた研究三項目の第一節

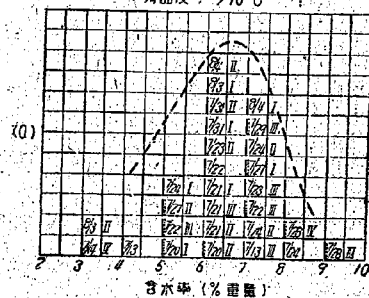
圖-10 各種養生に於ける 24時間強度比較圖



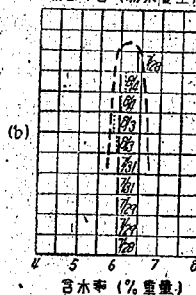
二即ち強度早強性自體の促進性並に同確實信頼度に関し其の概念を得。

圖-10により強度促進傾向は明かなるも水中養生材齡28日の強度を標準とし、最大頻度に相當する強

圖-11 電氣養生、湯水養生後の含水量
材齡1日 (電氣養生) |
平均温度 $>90^{\circ}\text{C}$ |



材齡1日 (湯水養生)



度を取り各養生形式材端に於けるものゝ割合を算出し表-8に掲げる事とする。

表-8 異なる養生に於ける強度比率

養生方法	材 節 (日)	1	3	7	28
水 中 養 生		0.067	0.43	0.57	1
湯 養 生		0.62	(本実験様式に於ける最高温度約 90°C)		
電 氣 養 生		0.87	(本実験様式に於ける最高温度約 80~85°C)		

附：消費電氣量に就て

〔1〕 熱量並に型枠冷却率の概略値

硬化に際し利用し得る熱量として今の場合電流による抵抗熱の外所謂セメントの水和熱も考慮に入れる必要ある如く思ふも (通常セメントの水和熱は7日間に 40~67, 28日間に 61~100 cal/gr 程度と云はれ現場内部の温度測定結果によるも其の影響は度外視し得ない (概に推測さる) 比較的高温度恒温試験に於て温度と熱発生状況との關係に就ての調査報告利用の爲め接せず、本試験の如き場合に所謂水和熱に關する數値を考慮に入れ論ずる事は困難である。又後に詳論する機會あるも最高上昇温度 50°C の場合に例をとるもセメント約 103 gr を使用せる供電電に就き約 22 時間電流加熱終了時にセメント 1 gr、當り約 357.60 cal の熱量を外部より供給した。水和熱は其の數値よりのみ比較すれば略々度外視し得る程度である。電氣加熱は適當なる條件の下に於ては單なる加熱作用の以外に良好なる影響あるものゝ如く、熱能率のみにて判斷する事能はざるも、第一階程として型枠及び周囲の状況の熱的影響を判斷する爲め供電の熱容量を簡単に記述す。硬化後のものゝ乾燥状態にて試験せる結果なるもコンクリートの比熱は 0.204~0.22 cal/g, モルタル 0.220~0.24, セメントペースト 0.28~0.29 程度である。同程度の配合の場合飽和含水状態に於ける單位容積當り熱容量 [W] g.cal/cm³ は容易に計算し得るもので下表の如き値を有す。

表-9 熱容量 [W] g.cal/cm³

		w/c	
		0.8	0.4
コンクリート	1:3	0.54	0.63
	1:1.5	0.63	0.70
モルタル	1:3	0.63	0.70
	1:1.5	0.70	0.81
セメントペースト	w/c: 0.8	0.84	0.81
	0.4	0.81	0.81

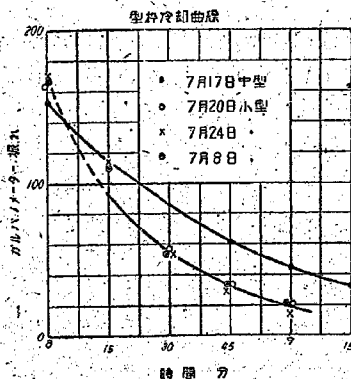
尚硬化以前の生コンクリートの場合は寧ろ單純に砂利砂セメントの夫々の比熱値より加算的に算定せるものが實に近く、其の程度容易に求め得るも略々 0.20 にて單位容積當りの熱容量は 0.65 cal/cm³ (=0.27×2.4) である。

一方型枠材料としての木材の熱的性質は種々條件により簡単に記述する事不可能であるが¹⁾ 氣乾状態に於ける比熱は杉松及びけやきに於て夫々 $\rho=0.3\sim0.4$, 0.68 程度と云はれてある。

比熱は測定方法其の他に關し論究すべきものもあるも氣乾状態に於けるものは木材種別に大差無く 0.327 前後とされてゐる。然るに Kleinogel 著書に松材比熱とし 0.65, 又 Marks のポケットブックにも、樺、松の比熱とし夫々 0.65; 0.67; 0.67 の値あるもの之等は可成り含水せるものゝ値であらう。

又熱傳導度 (λ) は密度と特に關係あるものゝ如く氣乾状態のものに就き若杉式²⁾ は杉 (密度 $\rho=0.35$ 前後) 松 ($\rho=0.55$ 前後) 夫々 $\lambda=2.3\cdot 10^{-4}$ cal/cm. sec.°C, $3.4\cdot 10^{-4}$ の値を得。 λ と ρ の間には直線的關係を得てある。尚モルタル板熱傳導度 λ は $1.3\cdot 10^{-4}$ cal/cm. sec.°C 前後である。生木材飽和含水せる場合には上記の値の數倍に増加するものゝ如くである。一方モルタル等の飽和含水せるものは約 $120\cdot 10^{-4}$ cal/cm. sec.°C の値を有す。型枠

図-12



材其の他保溫様式的能力等に關しては別に更めて研究する必要があるも茲にはII章に行へる實驗中實測せし型枠に填充せる試料の冷却結果より其の概略を窺ふ事とする。圖-12は一定温度に達し長時間保持されたものを型枠の儘空中に放置し温度冷却を實測せる結果である。即ち中型小型の場合共に冷却度をみるに温度は完全に $e^{-\frac{1}{t_1}}$ に比例し降下してゐる。但し t は時間 $\frac{1}{t_1} = \sum \Delta s_i (B_i) / V \rho c_p \dots$ の如き冷却係数を示すものとす。上式は最も簡単な假定によりしもので $\frac{1}{t_1}$ 式中 $\sum \Delta s_i$ は型枠外表面積、 V は填充供試體容積、 c_p は比熱比重 (B_i) は冷却能力又は加熱温度上昇抵抗、其の逆數 $1/(B_i)$ は全熱傳導抵抗と稱せられてゐるもので、一次元の場合單位面積當り下式で與へらる。

$$\frac{1}{(B_s)} / \text{cm}^2 = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha}$$

但し d_i , λ_i は層狀並列せるもの之厚み及び熱傳導度、 α は最外部と空氣との間に於ける熱傳達率 (Wärmeübergangszahl) にて、本實驗の場合の如き正方形型枠の場合は下式の如くなる。

$$\begin{aligned} \frac{1}{(B_s)} &= \frac{1}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{D_i} + \frac{1}{D_o} \right) + \frac{1}{\alpha \sum \Delta s} \\ &= \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\delta}{\sqrt{R_i R_o}} + \frac{1}{\alpha R_o} \end{aligned}$$

但し D_i , D_o は正方形枠の外部内部の邊長、 R_i , R_o は同面積 ($R_o = \sum \Delta s$) $2\delta = D_o - D_i$ 等を示す。 α の値は外界の空氣狀況により著しく變化するも静止空氣中に於て $\alpha = 8 \sim 30 (\text{K} \cdot \text{cal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ とし、含水木材の熱傳導度 $\lambda = 10 \cdot 10^{-4} \text{cal} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$ 程度とすれば上式 $\frac{1}{(B_s)}$ 中 λ , α によるもの之値は夫々約 80; 1.3 割合となり近似的に α によるものを度外視する事とす。今又 D_o , D_i , $V \cdot \rho c_p$ の値に夫々中型小型實驗の場合の條件を入れ圖-12より得たる $\frac{1}{t_1}$ と組合せ型枠材料の熱傳導度 (λ) の算定を試みた。

實測上得たる冷却率 (型枠飽和含水状態) は中型 (杉) 小型 (けやき) の場合夫々下記の如し。

$$\begin{aligned} \frac{1}{t_1} &= 0.0185 (\text{min} \cdot ^\circ\text{C}) \dots\dots\dots \text{中型の場合} \\ &= 0.0353 (\text{min} \cdot ^\circ\text{C}) \dots\dots\dots \text{小型の場合} \end{aligned}$$

尚、 $(\rho) \cdot V$ は中型小型の場合夫々 81 g.cal (=0.65 \cdot 125) 58 g.cal (=0.65 \cdot 4.5) にて、上式より下記の如き型枠材質熱傳導度 (λ) を得。

$$\begin{aligned} \lambda &= 20 \cdot 10^{-4} \text{cal} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C} \dots\dots\dots \text{杉材 (中型より)} \\ &= 23.0 \cdot 10^{-4} \text{cal} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C} \dots\dots\dots \text{けやき材 (小型より)} \end{aligned}$$

上記の如く算定せる値は木材の飽水状態に於ける熱傳導度として豫想される値と略一致せるものである。斯く含水状態にては λ は著しく大なる値を持つてゐる。上の如き場合は $1/t_1$ は冷却率と稱すべきものであるが一般には温度上昇抵抗係数と見做し得るもので種々難多原因に基くもの之總和として現れて来る。例へば本實驗の場合の如く水槽内に試料を置き電流通過により温度上昇しつつある場合の係數 $1/t_1$ は水槽の熱容量は勿論蒸發

による影響をも含むものである。従つて温度上昇の場合一般には加熱遮断後自然冷却の場合と著しく異なる事を實例に就き容易に述べ得。

例へば 11 月 13 日の試験に於て最高約 90°C に温度上昇せる供試體全體の自然冷却より $1/h$ 係数を算定せるに最初電流遮断せる時より 70°C 前後に降下する間 $1/h$ は大なる部分よりなるも 70°C 前後以下の温度より $1/h$ の小なる部分 ($\frac{1}{h} \approx 0.02 \cdot \frac{1}{8}$) に移り略一定な値を長時間繼續す。其の後型枠ごとに出し空中に放置するに $1/h$ は最初の場合と略々同一の値 ($\frac{1}{h} \approx 0.02$) を示した。之に對し電流加熱による温度上昇の場合には $1/h$ 値もは著しく大となり殊に水分蒸發の繼續せる間は大なる値を繼續するものである。11 月 9 日試験の場合を例にとる。最高温度 50°C 前後であり、 $1/h$ は 0.138~0.08~0.04 の範圍に變り最後の 0.04 を長く繼續す。上記の $0.02 \cdot \frac{1}{8}$ 等の値と比較するに本試験には試料の直接加熱以外に熱量は可成り多量消費されてある事分かる。

上記の算定式は簡單なれば詳細に説明の要無きも附ける事とする。即ち

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{\theta - \theta_a}{t_1} = \frac{1}{[w]} \cdot \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{[w]} (VI - 0.24) \times 60$$

$$\frac{1}{[w]} \cdot \frac{dQ}{dt} - \frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta - \theta_a}{t_1}$$

但し時間 t 及び h の單位は分とし、 VI は電氣熱量、 $[w]$ は試料熱容量、 θ は試料温度、 θ_a は外界温度等を示す。各時に於ける $\frac{dQ}{dt}$ 、 $\frac{d\theta}{dt}$ 、 $\theta - \theta_a$ を求め上式より $1/h$ を算定した。今一例とし參考の爲め各時刻に於ける値を表示するに可成りの熱量が餘分に消費されてある事分かる。本様式の如き試験の場合止むを得ざるも加熱及び冷却操作中に於ける $1/h$ 係数の値と型枠保温様式との關係は別に詳しく試験し其の關係を明かにしなくては必要がある。

表-10 電氣加熱中に於ける係数 $1/h$ の一例を示す (11 月 9 日試験による)

時 刻	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	17.00
温度 ($\theta - \theta_a$) 室温との差	6.3	11	13.4	17.5	20.8	24	27	29.5	32	34.1	36.3	40
温度上昇率 (度/分) 計算値	1.15	0.96	1.33	—	1.63	1.70	1.78	1.79	—	1.75	1.71	1.63
温度上昇率 (度/分) 實測値	0.25	0.146	0.12	0.106	0.106	0.11	0.1	0.087	0.080	0.074	0.072	0.047
係数 $1/h$ (分°C)	0.138	0.087	0.095	—	0.081	0.071	0.066	0.06	—	0.052	0.048	0.04

即 17/11/9 の結果による

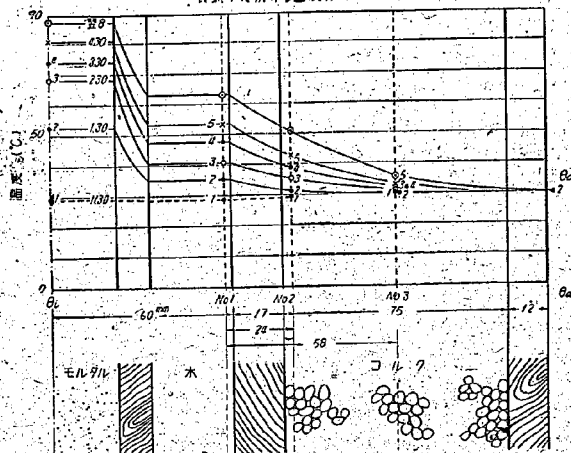
其の詳細は別の機会に譲るも温度一定となりし状態に於ける必要供給熱量は $[w] \frac{\theta - \theta_a}{t_1}$ により求め得。11 月 6 日の結果をみるも最高温度に接近しつつある時の $1/h$ は略 0.045~0.05 ($\frac{dQ}{dt} \approx [w] \frac{\theta - \theta_a}{t_1} \pm 160 \cdot 35$ 、 $0.045 = 260 \text{ g cal/min}$) なるも翌朝一定温度を示す時は供給熱量 150 g cal/min となり $1/h$ 値が 0.0286 前後に減少せる事を示すが並きに述べし純冷却時の實測値 $0.02 \times \frac{1}{8}$ に比較するに未だ水槽より蒸發の繼續せる爲め可成り大なる値である。工夫を必要とする點である。終りに本試験に於ける各部の温度分布の概略を明かにする爲め其の一例を圖-13 に示す。

(2) 比電導率並に消費電氣量の概略値

電氣が熱の場合には如何なる様式をとるも、コンクリート特に生コンクリートの比電導率を知りておく必要がある。概説に列挙した各著者のものにも二三其の値が零點であるが實測せしものの中より代表的なもの、値を下記に斷片的であるが述べる。

図-13

実験中に於ける温度分布



先づコンクリートの要素セメントペーストの比電導率 (λ) と混水後の経過時間との関係は前述清水氏が水和反応と関係し研究されてゐるが、秩父普通セメント $w/c=0.4$ のものに就き恒温 30°C , 25°C , 20°C に於て、硝子管に挿入した白金極にて測定せしに結果には特に特異なるものもなかつた。例へば 30°C の場合の測定値を説明せん、最初 $\lambda=8 \times 10^{-3} (\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$ のものより 20 位の間に急劇に増し 9.4×10^{-3} の極大値を經て、1 時間後には 9.2×10^{-3} , 3 時間後には略々 8.9×10^{-3} と減少し其の後極めて徐々に減少した。モルタルにては常に試料填充後測定せるもので其の後材料點、温度等による變化は測定しなかつた爲め以下述べるものは總て型枠填充直後の値のみである。不備の點あるを遺略とす。

7月6日乃至24日, 1:3, $w/c=0.5$; $\lambda=3.4 \times 10^{-3}$

6月24日乃至29日, 1:3, $w/c=0.5$; $\lambda=2.7 \times 10^{-3}$

両者は微妙に變つてゐるが、 25°C — 20°C 前後の量温での値である。 w/c 減少すれば比電導率 λ も減少するものゝ様で、1:3, $w/c=0.4$ — 0.35 モルタルにて $\lambda=1.9 \times 10^{-3}$, 1:1, $w/c=0.3$ モルタルにて 2.7 — 3.1×10^{-3} の値を得た。其の後標準砂以外の荒川砂使用のものに就き測定せしに比電導 λ は半分以下に減少した。

9月9日 秩父 p.c. 荒川砂(風化す) 1:3 モルタル, $w/c=0.5$; $\lambda=1.08 \times 10^{-3} (\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$

9月11日 浅野 p.c. 〃 1:3 〃 $w/c=0.5$; $\lambda=1.5 \times 10^{-3}$

9月13日 秩父 p.c. 〃 (稍々風化す) 1:3 コンクリート, $w/c=0.7$; $\lambda=0.56 \times 10^{-3}$

以上は本試験に關聯せる試料の比電導率に關する値である。概況に引用した様 Relix (はコンクリートの比電導率として下記の如く述べてゐる。高配合等は不明である。

コンクリート; 比抵抗率 $\rho_0=5 \cdot 10^{-3} (\Omega\text{cm})$

比電導率 $\lambda_0=0.2 \cdot 10^{-3} (\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$

$\rho = \rho_0$ 練り $\lambda=0.8 \cdot 10^{-3}$ ($\rho=\rho_0 \cdot 0.25$)

$$\text{軟練り} = 0.27 \cdot 10^{-3} \quad (= \rho_0 \cdot 0.75)$$

$$\text{硬練り} = 0.154 \cdot 10^{-3} \quad (= \rho_0 \cdot 1.3)$$

コンクリートの比電算率に關しても未だ資料不十分なるも將來此種の試験等盛に行はれるに至れば振動機使用等各種の施工様式に應じ必要な數値が求められる事であらう。

次に問題となるのは電流密度並に温度上昇速度であるがその一端は既に II 章中温度上昇に關する事項中に於て觸れたが、未だ科學的に研究されてゐないので今後の研究に俟つべきものである。少くとも本試験に於ける値より増加する事は危險であり特に試験の容積の増加に伴ひ減少する必要がある。

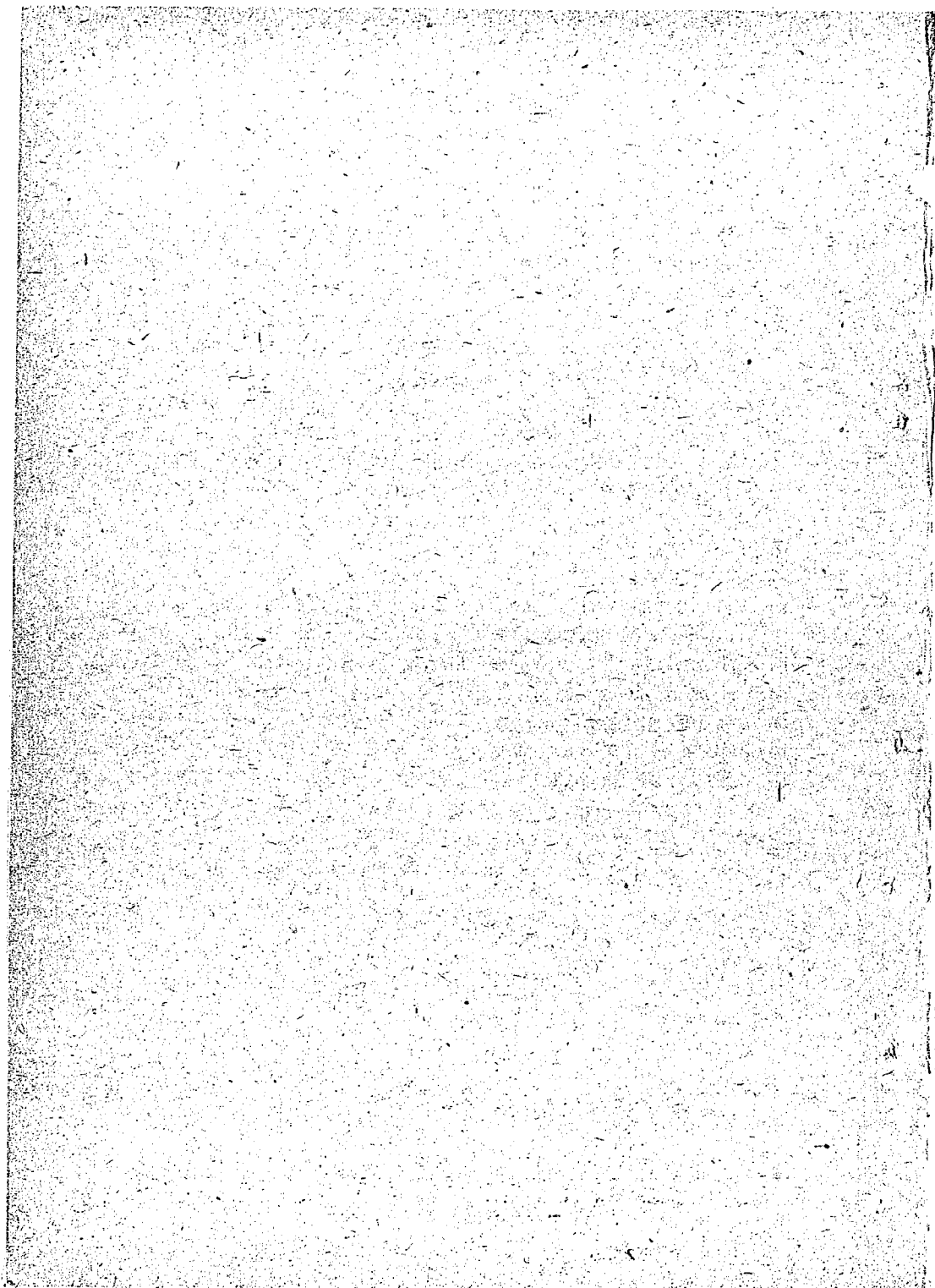
最後に 1 m^3 のコンクリートの加熱に必要な電氣量を算定する事とする。配合は勿論型枠様式容積により著しく異なるものである。今簡単に 1:3:6 の生コンクリート程度で熱容量 $0.27 \times 2.4 = 0.65 \text{ cal/cm}^3$ 即ち 650 K.cal/m^3 で 1°C 温度上昇に $0.765 \text{ K.w.h./}^\circ\text{C/m}^3$ となるが、實際には熱量發散の爲め更に大なる量が必要となる事は勿論であるが A. Brund, Helge Bohlin (1932) の報告にある成績は餘り良好に過ぎる。今總きに得た冷却係數 $1/t_1$ を代入し定常状態になりし時の必要電氣エネルギー $\frac{dQ}{dt}$ を求める事を得 $1/t_1 = 0.04 - 0.02 \text{ (min.}^\circ\text{C)}$ 、 $\theta - \theta_a = 70^\circ\text{C}$ 、屋外温度 $\theta_a = 0^\circ\text{C}$ 、 $[w] = 650 \text{ K.cal}$ とすれば $\frac{dQ}{dt} = 126 \text{ K.w.} \sim 68 \text{ K.w}$ を必要とするもので、電流開始直後は必要電力は小なるも上記の數字と電流通過時間とより必要電力を推定する事を得。本試験は既に説明せる如く、初期電流を遮斷し比較的短時間に強度試験を行ふもので熱の損失多く、保温作用を極度に利用せるもので無い。本試験の目的が促進強度の特性に主眼を置きし故、實際實施の時間の關係より上述の如き操作を行つた。型枠の様式を變じ、 $1/t_1$ を $0.02/5 \text{ (mm)}$ 程度となし得ば 20 時間電流加熱に $200 \sim 240 \text{ K.w.h.}$ の動力が 1 m^3 のコンクリートに就き消費される事となる。

Rethy の報告は所謂寒中コンクリートを主體とせるものであるが、最高温度 $60 \sim 70^\circ\text{C}$ を基準とせるもコンクリート 1 m^3 當り電力消費は $80 \sim 160 \text{ K.w.h.}$ と述べてゐる。又モスコ地下鐵工事の際には總電流は 150 A の如く大なるも 15 K.w. 、 220 V 、 100.65 V 變壓の變壓器三臺の幾組かをを用ひ 3 相を使用し、木型枠厚 5 cm にて、内部に絶緣紙 (Cheveline, Ruberoid) を使用してゐるが 50 K.w.h/m^3 で所要の目的を達したと、A. Brund, Helge Bohlin は構造物の種類例へば杭、平盤、屋外基礎と區別し 1°C 當りの値とし $\text{K.w.h./}^\circ\text{C.m}^3$ 値を報告してゐるが最大消費の場合にても單に加熱に必要な熱量の 2 倍に過ぎ無い。著者の見解を以てすれば Rethy, Brund, Bohlin のものは電力經濟を強調し過ぎてゐる様である。之點に關しては合理的なる試験研究を必要とするものであり、今後の研究に俟つ事とする。省略せるも早強性試験には使用材料、機械器具の外型枠使用に關する經濟をも常に考慮に入れ綜合的に經濟價值を論ずべきは勿論である。

引用文獻

- 1) 興 純一：極寒地に於けるコンクリートの電熱施工法、セメント界報 322、昭和 10 年 1 月
- 2) A. Rethy: Elektrische Beheizten Beton beim Bau der Moskauer Untergrundbahn, Beton und Eisen, J. 33, H. 4, 1934, S. 60.
Erfahrungen und Versuche mit Elektro-Beton in der Sowjet-Union, Zement, 1934, S. 534.
Die elektrische Beheizung des Betons, Beton und Eisen-J. 1, H. 13, 1933, S. 233.
Die Fortschritte des Elektrobetons, Beton & Eisen, H. 13, 1934, S. 277.

- 3) A. Brund, Helge Bohlin; Elektrische Erwärmung von Beton, Beton und Eisen, H. 9, 1932, S. 138.
- 4) 興 純一; 前掲 1)
- 5) 吉田徳次郎; 最高強度のコンクリートの製造に就いて, 土木學會誌 26 卷 11 號, 昭和 15 年 11 月.
- 6) 内田麥郎; 「グーカー」氏の装置を用ひて「ポードランバセメント」の凝結時間測定, 仙臺高等工業學校紀要, 第 2 冊, 大正 3 年 3 月.
- 7) 木村與四松; 早期高強度のコンクリートに關する試験報告, 連報第 54 號, 昭和 17 年 1 月.
- 8) 清水與三松; An electrical method for measuring the setting time of Portland Cement, Sci. Rep. Tohoku Imp. Uni. Vol. 17, 1928, p. 85, p. 122; 金屬の研究.
- 9) H. Gessner; Das Abbinden des Zementes. Kolloid Zst., 46, 207, 1923; 47, 65 (1929).
- 10) R.E. Hall and L. H. Adams, Application of the thermionic amplifier to conductivity measurements; J. Am. Chem. Soc., 41, 1919, p. 1515, part 2.
- 11) W.B. Boats; A conductionmetric analysis of portland cement pastes and mortars and some of its applications, J. of A. C. I., Vol. 8, No. 2, 1936.
- 12) B. Skiamtajew; Die Anwendung der wahrscheinlichkeitstheorie in der Zementforschung; Zement, 1936, S. 583.
- 13) Karl Biehl; Einige Versuche über die Dampfhärtung von Normen Körpern zur Ermittlung der 28-Tage-Festigkeiten nach 2 Tagen, Zement, 1923, S. 654.
- 14) 島田八郎; コンクリートの熱的性質に關する試験 I 報, 土木試験所報第 37 號, 125 頁, 昭和 12 年.
- 15) 島田八郎; 同 41, 128 頁.
- 16) 岡部, 三浦實川林業叢書; “木材工藝”
- 17) 若杉松三郎著; 保温材の理論及實際, 92 頁.
- 18) 大賀惠二著; 傳熱諸論と其適用, 14 頁.



流速計係数検定成績及び二三の流速計の性能に関する實驗 (第2報)

内務技手 八 木 龜 助

目 次

I 緒 言	(1)
II 検定成績並に之に對する考察	(1)
III 流速計の方向と係数の關係其他	(9)
〔1〕 森式流速計	(9)
〔2〕 廣非式正向流速計	(9)
〔3〕 プライス式流速計	(12)
(1) 聽音式	(13)
(2) 尾翼付プライス式	(14)
〔4〕 結果に對する要約	(15)
IV プライス式流速計の改良案	(16)

I 緒 言

昭和13年6月常所報告第42號に、昭和12年末迄に當所に於て施行せる流速計検定成績表を一括して報告せるも今回はその後、昭和17年末までの5ヶ年間に検定せる各種流速計の成績を報告すると共に、最も一般的な二三の流速計に付きその性能に関する實驗を行つたのでその結果を併せて報告する。

尚本報告は當所第二部長松尾技師並に佐藤技師の御指導により成るもので、又本報告掲載の昭和13年以降の流速計依頼検定成績は著者の外常所員高山龍雄、元所員今野昌雨氏が主として行つたものである。

II 検定成績並に之に對する考察

表-1. 検定流速計の種類及數母表

種 類	昭和8~12年	13~17年	計
プライス式(國産)	31臺	73臺	104臺
(外國製)	34	22	56
森 式	23	12	35
廣 非 式	23	7	30
エ グ マ ン 式	1	2	3
佐 藤 式	—	1	1
オルトマン式(ゴッホ)	—	1	1
計	112	118	230

昭和17年末までに當所に於て依頼に基き實驗せる流速計の種類及數は左表の通りである。

これ等各流速計の検定月日並に係數は表-2~表-8に掲ぐ、但昭和12年末迄の分は前報告に掲げたるを以てこゝには省略す。尚前報告に掲載しなかつた二三の流速計の寫眞を末尾に添附した。

表-2 国産ブライス式流速計係数表

累 計 番 號	検定年月日	機械番號	係数 ($V=aN+b$)		検 定 依 頼 者	摘 要
			a	b		
32	13- 1-28	422	0.0876	0.015	内務省土木試験所	
33	"	430	0.7126	-0.007	"	
34	13- 2- 9	256	0.7052	0.008	"	
35	13- 5- 2	435	0.7122	-0.014	大阪土木出張所	
36	"	435	0.7030	-0.020	名古屋土木出張所	聴音式
37	"	411	0.6853	0.002	"	"
38	"	432	0.6981	-0.015	"	"
39	13- 7-15	447	0.7256	-0.009	"	
40	"	449	0.7004	-0.012	"	
41	"	453	0.7107	-0.008	"	
42	"	454	0.6895	0.024	"	
43	"	457	0.7052	-0.015	"	
44	"	458	0.7031	-0.007	"	
45	"	451	0.7136	-0.012	"	
46	13- 5-19	355	0.7027	0.003	大阪土木出張所	
47	13- 9-13	363	0.6972	0.003	"	
48	"	370	0.6957	0.000	"	
49	13-10-14	373	0.7032	0.003	"	
50	13-11-17	369	0.6983	0.015	"	
51	13-12-20	371	0.7035	0.007	"	
52	14- 3-13	366	0.7009	0.003	"	
53	13- 8-13	443	0.6892	0.005	土 木 局	
54	13- 8-15	452	0.7013	-0.004	"	
55	"	459	0.7004	-0.003	"	
56	"	460	0.7003	-0.012	"	
57	13- 8-19	462	0.7011	0.004	"	
58	"	464	0.6933	-0.004	"	
59	"	465	0.6959	0.003	"	
60	13- 8-15	466	0.7007	-0.001	"	
61	13- 8-13	469	0.6956	0.000	"	
62	13- 8-22	470	0.7033	0.003	"	
63	"	467	0.7024	-0.005	"	
64	13- 8-13	5509	0.7123	-0.007	東京土木出張所	
65	13- 8-19	455	0.6957	0.001	名古屋土木出張所	
66	13-10- 5	4640	0.7171	0.015	東京土木出張所	
67	14- 2-22	432	0.6854	0.023	土 木 局	
68	14- 4-19	5519	0.7071	0.014	東京土木出張所	
69	"	5520	0.7011	0.015	"	
70	14- 7- 5	427	0.6871	-0.004	東 京 府	聴音式

(表-2 の續)

果 計 番 號	検定年月日	機 械 番 號	係 数 ($V=aN+b$)		検 定 依 頼 者	摘 要
			a	b		
71	14-7-5	433	0.6917	-0.004	東 京 府	聽 音 式
72	〃	438	0.6879	0.011	〃	〃
73	14-12-21	475	0.7073	0.007	岡 山 縣	〃
74	15-3-20	460	0.7404	0.009	内 務 省 土 木 局	〃
75	15-3-20	462	0.7237	0.004	〃	〃
76	〃	464	0.7070	0.028	〃	〃
77	〃	465	0.7426	0.006	〃	〃
78	〃	467	0.7039	0.028	〃	〃
79	〃	470	0.7454	0.005	〃	〃
80	15-5-14	428	0.7146	-0.014	〃 大阪土木出張所	〃
81	〃	1019	0.7152	-0.005	〃	〃
82	15-7-17	1010	0.6887	-0.012	名 古 屋 市	〃
83	15-8-2	2084	0.6753	0.010	東 京 市	聽 音 式
84	〃	2085	0.6936	-0.011	〃	〃
85	〃	2086	0.6934	-0.005	〃	〃
86	16-2-28	411	0.6887	0.002	朝 鮮 總 督 府	〃
87	〃	409	0.6993	0.012	〃	〃
88	16-4-7	1056	0.7139	0.004	内 務 省 大 阪 土 木 出 張 所	$N < 2.292$
89	16-12-24	1063	0.7118	0.006	〃	$N > 〃$
90	16-4-8	1068	0.7265	-0.013	〃	〃
91	16-4-9	1076	0.7271	-0.016	〃	〃
92	16-4-8	438	0.6833	0.015	〃 土 木 局	$N < 2.004$
93	16-4-17	472	0.7347	-0.038	〃	$N > 〃$
94	16-6-30	1005	0.6985	-0.004	北 海 道 廳	〃
95	17-5-12	456	0.6939	0.003	内 務 省 名 古 屋 土 木 出 張 所	聽 音 式
96	〃	358	0.7134	-0.015	石 狩 川 治 水 事 務 所	〃
97	17-3-6	1060	0.6961	-0.006	〃	〃
98	〃	1062	0.7121	-0.005	内 務 省 大 阪 土 木 出 張 所	〃
99	〃	1064	0.7139	-0.011	〃	〃
100	〃	1064	0.7141	-0.006	〃	〃
101	17-9-26	1051	0.7123	-0.006	〃	〃
102	17-10-1	1057	0.6872	-0.001	〃 新潟土木出張所	聽 音 式
103	17-12-10	427	0.6915	-0.016	〃	〃
104	〃	433	0.6831	0.010	東 京 府	〃
105	〃	438	0.6993	-0.020	〃	〃

表-3 外國製フライス式流速計係數表

累 計 番 號	檢定年月日	機械番號	係數 ($V=aN+b$)		檢 定 依 賴 者	摘 要
			a	b		
35	13-1-28	P 27212	0.6970	0.002	內務省東京土木出張所	
36	13-2-13	P 27245	0.6994	-0.012	〃	
37	〃	27232	0.7023	0.010	〃	
38	13-8-3	P 221632	0.6710	0.009	〃 下關土木出張所	
39	14-1-24	S 27118	0.6919	0.008	〃 東京土木出張所	
40	14-4-11	P 272038	0.6814	0.017	東 京 市	
41	14-5-8	P 272064	-0.7079	-0.004	〃	
42	〃	211754	0.7088	0.006	〃	
43	14-5-19	P 27308	0.6961	0.006	內務省東京土木出張所	
44	14-12-21	493	0.7076	-0.000	〃 大阪土木出張所	錐異形
45	15-10-11	P 27278	0.6875	0.001	〃 東京土木出張所	
46	16-3-28	1073	0.7109	-0.039	朝鮮總督府	
47	〃	P 221623	0.6744	0.010	〃	
48	16-4-8	1020	0.6624	0.015	內務省大阪土木出張所	$N < 2.611$
49	16-4-17	21124	0.6927	-0.149	北海道人造	$N > 〃$
50	16-10-11	P 27245	0.6927	-0.003	內務省東京土木出張所	
51	17-2-12	なし	0.6959	0.010	石 川 縣	
52	17-5-12	271078	0.6990	0.019	石狩川治水事務所	
53	〃	S 282420	0.6672	0.083	〃	$N < 1.85$
54	17-5-12	S 27118	0.6846	-0.115	〃	$N > 1.85$
55	17-8-14	P 27242	0.6586	-0.003	內務省東京土木出張所	
56	17-10-9	289	0.6712	0.008	和歌山縣	聽音式

表-4 廣井式正向流速計係數表

累 計 番 號	檢定年月日	機械番號	係數 ($V=aN+b$)		檢 定 依 賴 者	摘 要
			a	b		
24	13-3-17	638	0.1275	-0.000	內務省土木試驗所	
25	14-2-22	614	0.1188	-0.001	〃 土木局	
26	14-5-19	200	0.1190	0.007	〃 東京土木出張所	
27	〃	214	0.1204	0.000	〃	
28	16-4-10	618	0.1217	0.005	〃 土木局	
29	〃	672	0.1307	-0.004	〃	
30	〃	688	0.1272	0.010	〃	

表-5 森式流速計係数表

累 計 番 號	検定年月日	機械番號	係数 ($V=aN+b$)		検 定 依 頼 者	摘 要
			a	b		
24	13-1-26	764	0.1695	0.022	内務省土木試験所	
25	13-6-15	499	0.2015	0.001	〃 東京土木出張所	
26	14-2-22	761	0.2004	0.018	〃 土 木 局	
27	14-3-17	512	0.1991	0.014	〃 東京土木出張所	
28	14-5-10	799	0.2020	0.008	宮 城 縣	
29	14-5-10	713	0.2010	0.003	内務省東京土木出張所	
30	15-5-14	845	0.2020	-0.008	神 奈 川 縣	
31	15-6-28	711	0.1694	0.020	〃	
32	16-4-8	751	0.1992	0.050	内務省土木局	
33	〃	754	0.2152	0.010	〃	
34	17-7-15	なし	0.1730	0.036	〃 大阪土木出張所	$N < 5.91$
35	17-12-9	799	0.1851	-0.032	〃	$N > 〃$
			0.1858	0.023	宮 城 縣	

表-6 エクマン式流速計係数表

累 計 番 號	検定年月日	機械番號	係数 ($V=aN+b$)		検 定 依 頼 者	摘 要
			a	b		
2	17-5-23	187	0.2106	0.015	石狩川治水事務所	$N < 3.50$
			0.2247	-0.035		$N > 〃$
3	〃	320	0.2041	0.014	〃	

表-7 オルドマン式流速計係数表

累 計 番 號	検定年月日	機械番號	係数 ($V=aN+b$)		検 定 依 頼 者	摘 要
			a	b		
1	17-3-6	3	0.3297	0.016	内務省大阪土木出張所	

表-8 佐藤式流速計係数表

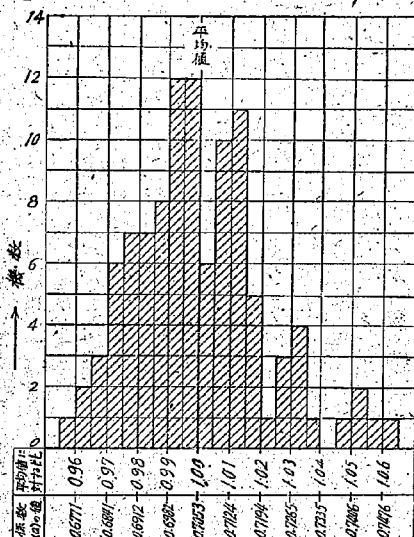
累 計 番 號	検定年月日	機械番號	係数 ($V=aN+b$)		検 定 依 頼 者	摘 要
			a	b		
1	14-4-10	135	1.0048	0.024	熊 本 縣	$0.19 < N < 2.44$
			0.8010	0.227		ロット取付 $1.01 < N < 2.79$ 和懸垂

流速計の係数を表はすに

$$V = aN + b \quad \text{但 } V = \text{流速} \quad N = \text{毎秒回転数} \quad a \text{ 及 } b = \text{常数}$$

とするとき b は一般に比較的小さいのであまり問題にならないが a の変化は大きく影響するので今述べる流速

計の係数 α の値の概況を知るに便ならしめる爲め、廣井式、森式及びブライス式の 國産及外國製に分類し、前報告の分も一緒に併せて 圖-1~圖-4 に示した。此圖は係数 α の全部(但し甚しく飛び離れた一二のものを除外)の算術平均値に對する各個の α の比を求め、之を 0.5% 毎に區分して其の頻度を表したもので、此の四圖を見て最も目に付くのは廣井式及び森式の係数の分布がブライス式の二種に比し著しく散在する點である。ブライス式は國産も外國製も同様にその差が略々 5 乃至 6% までの間に相接して存在するのに對し、檢定数の少い關係もあるが森式及廣井式は 10% を超えるまで比較的廣範圍に散在し、若し實驗数を多くした場合でもその分布は裾長の曲線をなすことが想像される。而して此の係数が集中するか分散するかの原因には二つあつて、第一は製作

圖-1 國産ブライス式流速計係数 (α) の分布

が各機均等であるか否かの點で之は新品檢定の成績だけ抜き出して圖示すれば判るのであるが今此の機に分類した資料が満所にないのでここに圖示することが出来ない。第二は使用しはじめてからの係数の變化で之は主として廻轉軸其他の摩擦抵抗の變化と廻轉翼又はユツプの變形から水流による廻轉性能の變化に原因する。廻轉軸の抵抗増大は取扱ひ不良等

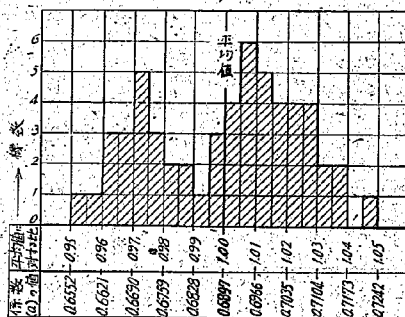
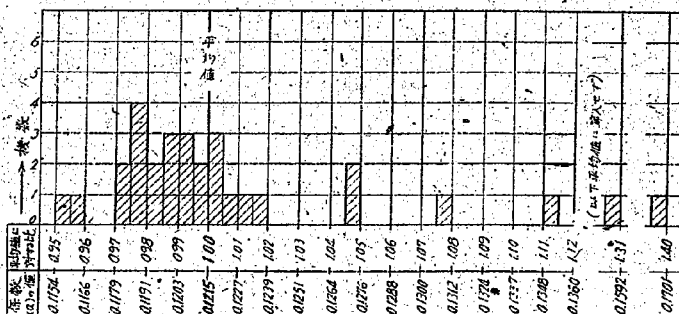
圖-2 外國製ブライス式流速計係数 (α) の分布圖-3 廣井式正向流速計係数 (α) の分布

図4 森式流速計係数(a)の分布

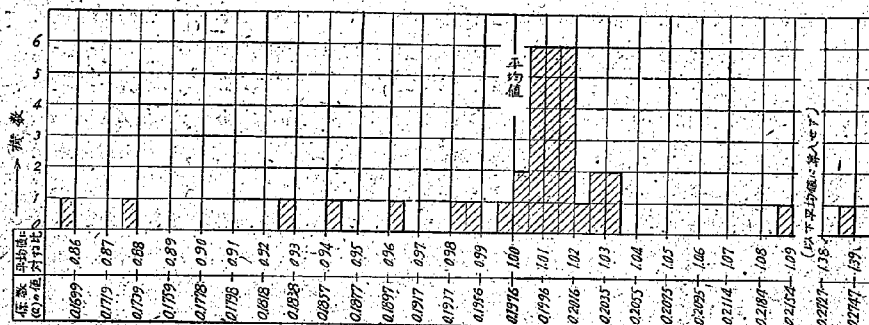


表9 國産プライス式流速計の係数変化比較表

機番	検定年月日	係 数		係数 a の 変化比率	検 定 依 頼 者
		a	b		
256	8-11-13 13-2-9	0.7033 0.7052	-0.004 0.008	0.997	内務省土木試験所
454	8-11-26 12-6-5	0.7308 0.7260	-0.002 -0.004	1.007	同 大阪土木出張所
453	8-4-26 12-6-4	0.7236 0.7293	0.000 0.017	0.999	同 同
492	12-11-13 14-2-22	0.7116 0.6854	-0.006 0.028	1.038	同 土木局
4640	11-10-1 12-10-13 13-10-5	0.7439 0.7487 0.7171	-0.000 0.009 0.016	0.994 1.037	同 東京土木出張所
460	13-8-15 15-3-20	0.7003 0.7404	-0.012 0.009	0.940	同 土木局
462	13-8-19 15-3-20	0.7011 0.7287	0.004 0.004	0.992	同 同
464	13-8-19 15-3-20	0.6933 0.7070	0.004 0.028	0.981	同 同
465	13-8-19 15-3-20	0.6959 0.7423	0.003 0.006	0.987	同 同
470	13-8-22 15-3-20	0.7038 0.7454	0.003 0.005	0.944	同 同
467	13-8-22 15-3-20	0.7024 0.7039	-0.005 0.028	0.998	同 同
427	14-7-5 17-12-10	0.6871 0.6915	-0.004 -0.016	0.994	東京府
493	14-7-5 17-12-10	0.6917 0.6831	-0.004 0.010	1.013	同
433	14-7-5 17-12-10	0.6879 0.6993	0.011 -0.020	0.984	同

から結を生ぜしめてゐる場合に最も多く、廻轉翼又はコップの變形からの影響は、廣井式及森式に於てはその變形が廻轉力を増大する場合と減少する場合とあることが考へられるが、ブライス式はその構造上廻轉コップの變形が廻轉力を増大するといふことは殆んど考へられない。係數の分布圖にも此結果が表はれてゐる。平均値の左方即ち係數(α)の値が小なる方は廻轉が良好なることを表はしてゐるので、左方に分散するのは製作時の不均等又はその後廻轉力を増大せしめる様な翼の變形を生じたものと考へられ、此點森式に於て最も顯著に見られる。ブライス式の比較的分散の少いのは製作時の均等性の得易い形態なること、コップの變形し難いこと及びその變形の係數に影響すること少いといふことを意味するものと考へられる。

次に同一流速計が使用を續けて行くうちに漸次廻轉が鈍つて行くといふ様な共通性があるか何うかを見る爲め、當所に於て此の檢定を始めて以來同一流速計を二回以上檢定したもののだけを抜き出して表9~表12に掲げ、係數 α の變化を當所に於て最初に檢定した場合の値に對する其後の値の比で表はした。後の α の値の小さい場合即ちその比が1より大きいのは後の方が廻轉が良かつたことを表はしてゐる。流速計の使用を重ねるに従つて廻轉狀態が漸次悪くなるかの様に應々考へられるけれど各機種を通じて之を立證する程の一般性は見出せない。檢定の依頼を受けて受領する流速計は時に新品あり、古品にして完全な修理を了へたものあり、或は甚だしく錆を生じたものや一部破損のものもあつてその都度狀態が異り、當所に於ては之に對し錆の甚だしいものは檢定前一度研磨を行ひ、簡単な破損は修理を加へて檢定することもあるので、斯様な不規則な係數の變化は之等に起因すること多く、若し流速計の取扱ひに注意すれば同一機械で使用を重ねた爲めの係數變化は左程大きいものとは考へられない。

表-10 外國製ブライス式流速計の係數變化比較表

機械番號	檢定年月日	係 數		係數 α の 變化比率	檢 定 依 頼 者
		α	b		
P 27212	12-8-2	0.7050	-0.011	1.010 1.018	内務省東京土木出張所
	10-10-10	0.6970	0.000		
	13-1-23	0.6970	0.002		
P 272054	8-5-25	0.7001	0.012	0.989	同
	12-5-31	0.7080	0.000		
P 272090	8-5-24	0.7009	-0.009	1.004	同
	12-5-31	0.6982	0.010		
P 27278	8-6-23	0.6934	-0.005	1.009	同
	15-10-11	0.6875	0.001		
21341	11-1-10	0.7069	-0.000	1.018	同
	12-6-4	0.6946	-0.001		
P 27245	11-1-9	0.7134	-0.002	1.010 1.020 1.080	同
	12-5-31	0.7065	-0.000		
	13-2-18	0.6994	-0.012		
	16-10-11	0.6927	-0.008		
P 27242	12-6-15	0.7143	-0.012	1.037	同
	17-8-14	0.6880	-0.003		
S 27118	14-1-24	0.6010	0.008	1.011	同
	17-5-12	0.6846	0.008		

表-11 廣井式正向流速計の係数變化比較表

機械番號	檢定年月日	係 數		係數 a の 變化比率	檢 定 依 賴 者
		a	b		
614	12-10-30 14-2-22	0.1158 0.1188	0.022 -0.001	0.977	内務省土木局
618	12-12-6 16-4-10	0.1200 0.1217	0.003 0.005	0.986	同

表-12 森式流速計の係数變化比較表

機械番號	檢定年月日	係 數		係數 a の 變化比率	檢 定 依 賴 者
		a	b		
514	8-6-20 12-6-5	0.2003 0.1993	0.003 -0.001	1.005	内務省東京土木出張所
409	11-1-9 13-6-15	0.2041 0.2015	0.005 0.001	1.013	同
711	11-7-20 15-6-23	0.2006 0.1604	0.013 0.020	1.184	神奈川縣
751	12-11-15 16-4-8	0.2015 0.1992	0.003 0.050	1.012	内務省土木局
754	12-11-12 16-4-8	0.2021 0.2152	0.001 0.010	0.939	同
701	12-11-15 14-2-22	0.2004 0.2004	0.006 0.018	1.000	同
709	14-5-10 17-12-9	0.2020 0.1858	0.008 0.023	1.000	宮城縣

III 流速計の方向と係数の關係其他

流向に對し流速計の方向の偏倚がその係數に如何に影響するかを實驗し、流速測定に際しどの程度に正確に機械を支持する必要があるかを知り、又河川等の流量測定の場合、横斷面が流向に正しく直角でない、或は又は横斷面中部分的に直角でない流れがある場合生ずべき誤差の程度を明らかにした。之等の實驗は各方向共各々約8種の流速に付て行ひ圖上に係數直線を定め、正方向の場合に付てのみは尚多種の流速に付き實驗し且つ最小自乗法に依つて係數直線を求めた。圖-5~圖-15は之等の結果を示すものである。又種々なる方向に傾けた場合の係數(a)の正常状態の係數(a)に對する比を求めて表-13~表-15に掛け、更に之を圖示したものが圖-16~圖-17である。

〔1〕 森式流速計

本流速計に付ては既に前報告に掲載したので今回は他種の機械と比較の爲め圖-16~圖-17に係數(a)の變化を表す曲線だけを再び他の流速計のものと共に掛けた。(前報告中森式の上下の方向に對する曲線に誤りありたるを以て圖-16には之を訂正した)

〔2〕 廣井式正向流速計

流向に對し水平に左及び右に方向を偏倚せしめた場合の係數(a)の變化は圖-17に示す如く角度の増大に従ひ漸

図-5 廣井式流速計を流向に對し右に傾けた場合の係數

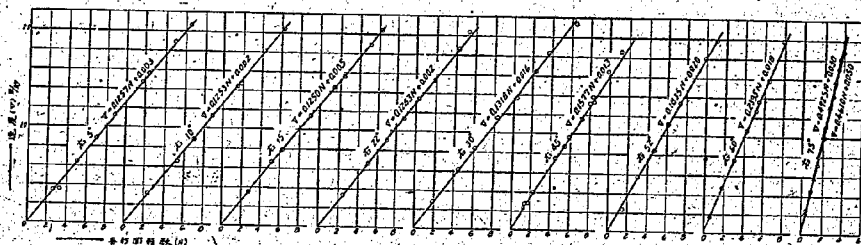


図-6 同上、左に傾けた場合の係數

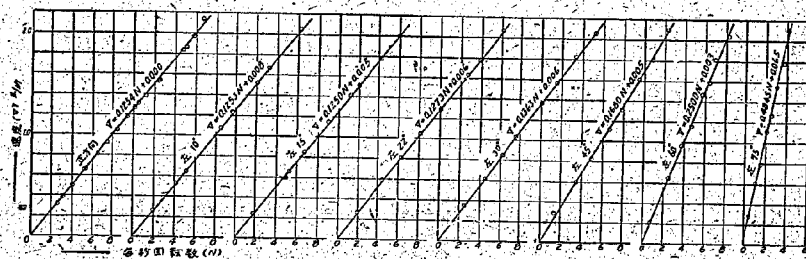


図-7 同上、前上りの場合の係數

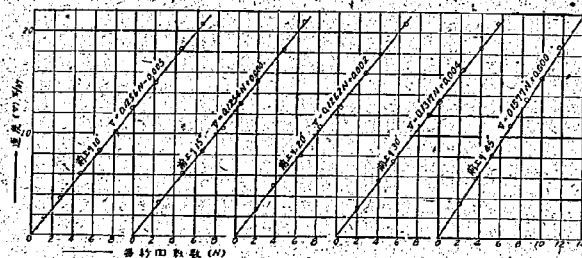


図-8 同上、前下りの場合の係數

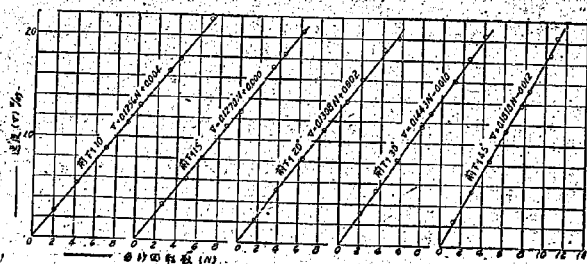


図-9 聴音ブライス式流速計を流内に對し右に向けた場合の係數

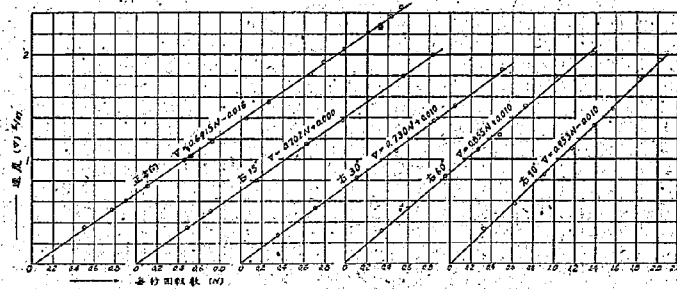


図-10 同上 左に傾けた場合の係數

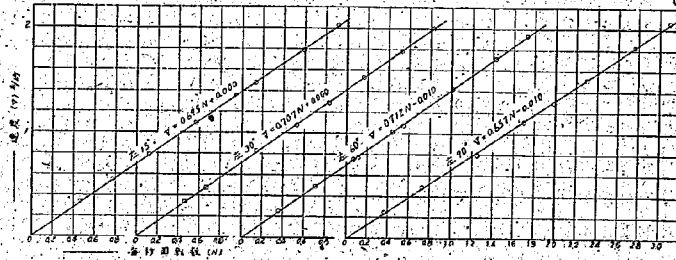


図-11 同上 前上り及び前下りの場合の係數

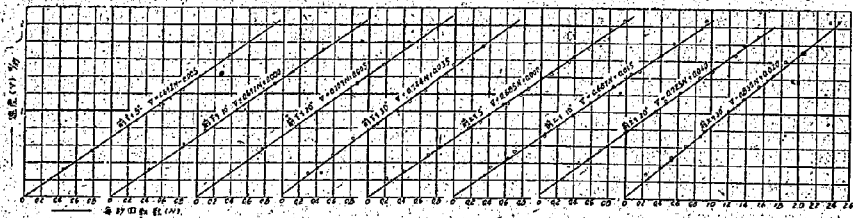


図-12 同上 支持棒を左右横に傾けた場合の係數

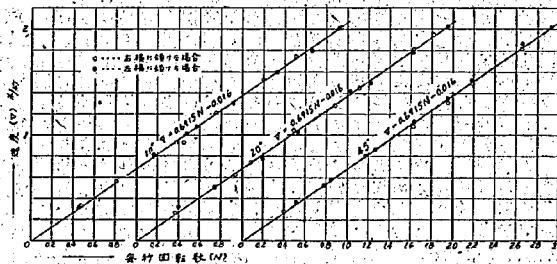
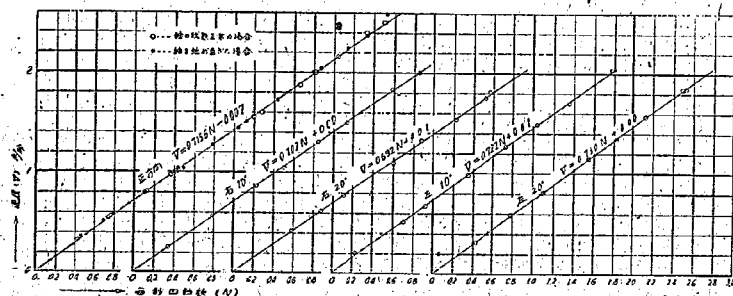


図-13 尾翼付ブライス式流速計を流向に對し左右に傾けた場合の係数



次廻轉は鈍り、左右共 90° に於て廻轉は逆にする。之を過ぎれば機軸の背面より水流を受けることになり逆廻轉を始めるがこゝには 90° 迄を示した。

此の曲線が若し同圖に参考に入らせる餘弦曲線と一致すれば流速計に對して斜の方向からの流れに對しても直ちに流速計の方向への分流速が得られ、横斷線が流向に直角でなくても、又流路中部分的に流向の偏倚してゐる處があつても、流速計を常に横斷線に直角に支持して居れば正しい流量を求めることが出来る譯であるが、此實驗結果に依れば圖の如く左右偏倚の角が 60° 以上に於てはよく合つてゐるが、それ以下に於ては可成りの差があり、大體左右 15° 位までは係数の低下殆どなく、従つて餘弦曲線と漸次離れ、前述の如く直接には分流速を得ることが出来ない。然し之は又横斷線がよく流向と直角をなす場合流速計の方向が左右 15° 程度まではどちらへ傾いてゐても測定流速に殆ど影響のないことを示してゐるとも云へる。

流向に對し流速計を上又は下に傾けた場合、即ち前上り（竊實-1 ブライス式の場合参照）又は前下りの場合の係数の變化は圖-16に示す如く大體 15° 附近までは殆ど變化なきもそれより傾きの大となるに従つて廻轉は鈍つて来る。廻轉翼の構造だけから見れば左右に傾けた場合も上下に傾けた場合も同様であるべきだが、機を前下りに傾けた場合は支持棒が廻轉翼の前上方にあつて流れを攪拌する爲め他の場合よりも廻轉の低減が大きい。

〔3〕ブライス式流速計

本流速計は錘を附し紐で懸垂するものと棒によつて支持するものとあり、翼の廻轉によつて發せしめる打音を

図-14 同上 前上り及び前下りの場合の係数
並に此場合の廻轉軸弛め過ぎの影響

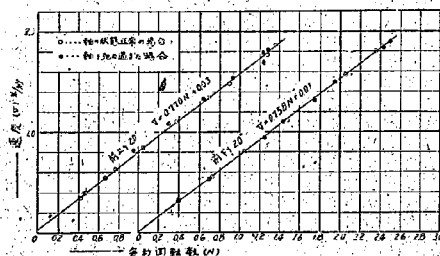


図-15 同上 廻轉軸を弛め過ぎて支持棒を左右横に傾けた場合の係数

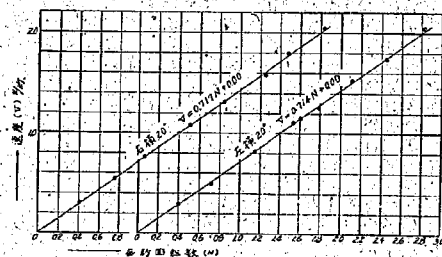


表-13. 廣非式正向流速計 (No. 638) の方向
偏倚と係数變化比較表

方 向	係 数		正方向の場合の a に對する比
	a	b	
正 方 向	0.1254	0	1.000
右へ			
5°	0.1257	0.003	0.998
10	0.1253	0.002	1.001
15	0.1250	0.005	1.003
22	0.1283	0.002	0.977
30	0.1318	0.016	0.951
45	0.1577	0.013	0.705
52	0.1835	0.020	0.683
60	0.2395	0.018	0.524
75	0.4925	0.030	0.255
75	0.4610	1.050	0.272
左へ			
10°	0.1253	0.008	1.001
15	0.1250	0.005	1.003
22	0.1273	0.006	0.985
30	0.1303	0.006	0.920
45	0.1680	0.005	0.747
60	0.2500	0.003	0.502
75	0.4845	0.005	0.259
前上り			
10°	0.1256	-0.005	0.998
15	0.1254	0.000	1.000
20	0.1262	0.002	0.994
30	0.1317	0.004	0.952
45	0.1577	0.000	0.795
前下り			
10°	0.1256	0.004	0.998
15	0.1270	0.000	0.987
20	0.1308	0.002	0.969
30	0.1443	-0.010	0.869
45	0.1818	-0.012	0.690

表-14. 聴音プライス式 (No. 427) の方向偏
倚と係数變化比較表

方 向	係 数		正方向の場合の a に對する比
	a	b	
正 方 向	0.6915	-0.016	1.000
右へ			
15°	0.702	0.000	0.985
30	0.730	0.010	0.948
60	0.855	0.010	0.809
90	0.953	-0.010	0.726
左へ			
15°	0.695	0.000	0.695
30	0.707	0.000	0.673
60	0.712	-0.010	0.671
90	0.657	-0.010	1.052
前上り			
5°	0.685	0.000	1.000
10	0.687	0.015	1.007
20	0.725	0.040	0.954
30	0.830	0.020	0.833
前下り			
5°	0.692	-0.005	0.990
10	0.691	0.000	1.001
20	0.707	0.005	0.978
30	0.744	0.035	0.929

直接聴き取る所謂聴音式なるものは専ら桿に依つて支持する構造になつてゐるが、電氣式と稱するもので紐(電線)で懸垂するものには桿を取付けける装置を併有するものが多い。方向の偏倚による係数の變化を測定するには桿に固定しなければ出来ない。此の實驗では主として前記聴音式のものに付て行ひ、電氣式の桿と紐と併用式のものに付ても之を桿に取付けて(尾翼は附け、紐は除く)數種の場合の實驗を行つた。

尙廣非式及森式は迴轉軸が水平な爲め支持桿が左右横に傾いても迴轉軸の方向は變らなから、プライス式は之に反して迴轉軸が垂直な爲め支持桿を横に傾ければ迴轉軸も同様に傾斜するを以て此様な場合の實驗も行つた。(寫眞-2 参照)

(1) 聴音式(寫眞-4)

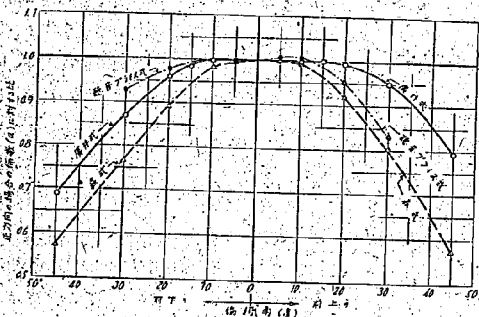
之は尾翼がなく桿を以て支持する爲め流向に正しく向けることに努力を要する譯で、今流向に對し流速計が水平方向に左右に偏倚した場合の係数の變化を見るに、圖-17の如く右方に傾けた場合は左方に傾けた場合よりも迴轉の鈍りの大なるを示し且つその相當大きな値となつてゐる。故に此の流速計は水平方向には何れの方角からの流れにも正方向に迴轉するけれども係数が方角に對して無關係と見做す譯にはいかない。左方へ90°傾けた場合正常状態よりも迴轉がよくなつてゐる。はコップを支へる「型」の様が流向に向つて正右にある爲めコップの背面に當る流れを阻害してゐる爲めと考へられる。

次に垂直方向への偏倚による影響を見るにコップの下側から流れを受けるのと上側から受けるのと軸承に來る壓力其他の状態が異なるので、前方を10°附近まで上げた場合は前方を下げた場合よりも迴轉が幾分よくなつてゐる。

表-15 尾翼付(鏢なし)ブライス式(N_o.422)の
方向並に軸の弛みと係数変化比較表

軸の弛め方	方 向	係 数		正常の場合 の α に對する 比
		a	b	
正 常	正 方 向	0.7156	-0.007	1.000
弛め過ぎ	〃	殆んど正常通り		
正 常	右 10°	0.702	0.00	1.019
〃	〃 20°	0.692	0.01	1.033
〃	左 10°	0.722	0.01	0.991
〃	〃 20°	0.730	0.00	0.980
〃	前上り 20°	0.770	0.03	0.930
弛め過ぎ	〃	稍廻轉不良となる		
正 常	前下り 20°	0.758	0.01	0.944
弛め過ぎ	〃	殆んど同上通り		
〃	右横へ 20°	0.717	0.00	0.998
〃	左横へ 20°	0.714	0.00	1.002

図-16 流向に對し前上り及び前下りの場合の
係数(a)の變化



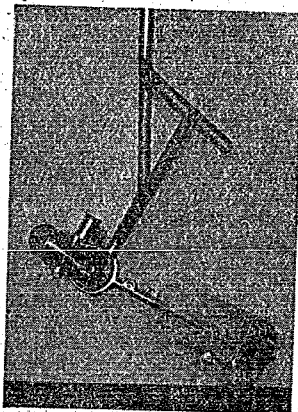
る。又支持桿を左右横に傾けた場合、従つて廻轉軸が左又は右に傾いた場合を左右各 10°、20°、45°に付て實驗し、之を正常状態の係数直線と共に圖示したのが、圖-12であるが、各場合其係数の變化は殆ど認められない。

(2) 尾翼付ブライス式

尾翼のある所謂電氣式を桿に取付けける場合は鏢は外すけれども普通尾翼は取付けておくので、聴管式の如く流向に對し方向が甚だしく傾いてゐるのを氣付かぬ程な失敗はあり得ないが、低流速の場合は方向も多少自由になるのでその一部に付て實驗を行つて見た。

水平方向に左右各 10°、20° 傾けた場合の結果は、圖-13に示す如く右に傾けた場合に廻轉が却て良好になつてゐる聴管式の場合とは狀況が異なる。これは主として尾翼の傾きの影響かと思はれるが確かな理由は判らない。

寫眞-1 ブライス式を桿に取付
け前上りにした状態



寫眞-2 同上 支持桿を右横に傾け
た状態(前方より見る)

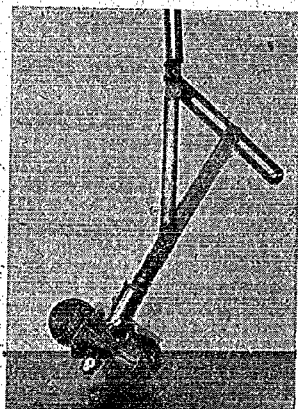
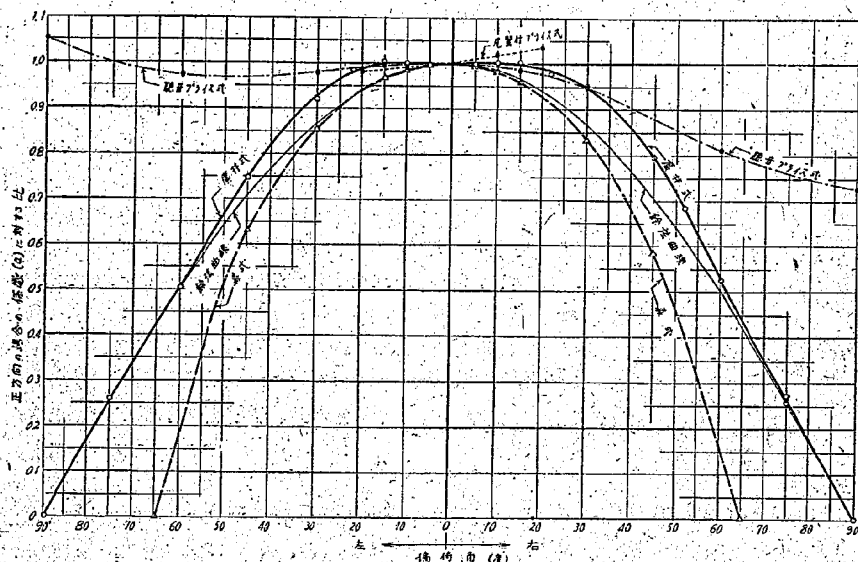


図-17 流向に對し水平方向の偏倚と係數(α)の變化


次にブライス型流速計の下方の承軸の弛みの程度が懸へ問題にされるのでその影響を此流速計によつて実験して見た。下方承軸を弛める程度は一般に、軸を押し付ける程締めず且つあまりガタ付かぬ様に、と云ふ程度で數量的の規則はないが、此實驗に使用した國產ブライス式の下方承軸の螺子のピッチは $1/48$ 吋 $= 0.53$ mm になつてゐるので大體この一山位がよいと思はれる。即ち承軸を下より漸次ねち上げてその尖端とコップの廻轉軸の下方圓錐形凹部との間に隙間がなくなり、從て上下のガタ付きのなくなつた處から承軸螺子を廻轉した程度である。今前記の状態を正常の状態と見做してこの場合と、之を弛め過ぎた一例として更に三廻轉計四廻轉計即ち、 $0.53 \times 4 = 2.12$ mm 弛めた場合の實驗を行つた。これは誰でも氣付く程の甚だしい弛め過ぎの例である。然るにその結果を見るに正方向の場合は 圖-13 に示す如く正常の弛みの場合と殆んど變りなく、又支持棒を左右横に 20° 傾けた場合も 圖-15 の如く大體變化少く係數(α)の値が正常の弛みの場合に比し 0.2% 程度の差を示すに過ぎない。(表-15 参照)

次に此の弛め過ぎの状態で前方を上げ又は下げた例として各 20° の場合に付き實驗した結果は 圖-14 に示す如く、下向の場合は軸の弛め過ぎの影響が殆んど認められないが、上向の場合は幾分廻轉状態が悪くなつてゐる。之はコップの下方より水流を受け軸の弛みだけ浮き上つて廻轉の圓滑を缺く爲めと考へられる。

(4) 結果に對する要約

流速計の方向の偏倚による係數の變化は水平方向、垂直方向(前上り或は前下り)及び横倒し共、機構によつて多少異なる特性はあるが 圖-16 及び 圖-17 に見る如く、その方向の誤差 10° 以内ならば測定流速の誤差は 2% 以内にあり、尚方向の誤差 5° 以内ならば流速の誤差 1% 以内に留ることが判る。

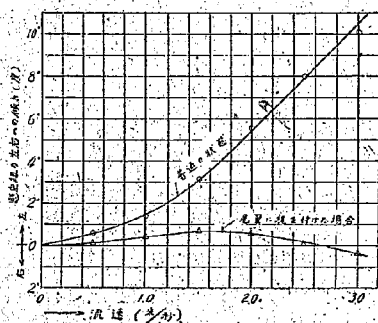
尚ブライス式の軸の弛みの影響は一部のみに考へられてゐる程鋭敏なものではなく、流速計の方向に對して注

意して支持すればその係数への影響は殆んど無視出来るが、唯あまり弛め過ぎるとコップが之を支へる[型枠に接觸することがあり、又軸の磨滅状態も悪化する虞れあるを以て適当な弛みに調整することが望ましい。

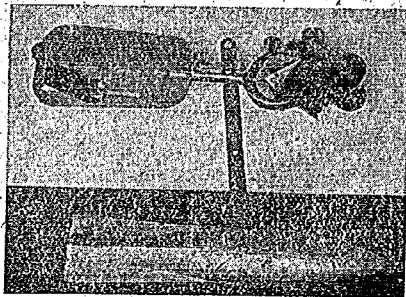
IV ブライス式流速計の一改良案

ブライス式流速計は紐で懸垂する場合、流速に依つて下流に押し流されると同時に流れに向つて左方へ片寄る性質があり、之は人工水路或は水門内等如く側壁の垂直に近い場合側壁に衝突する虞れあると共に、壁近くの流速變化大なる場所での測定位置の正確を保ち難い結果を來す。此の左方へ偏する原因は廻轉コップの一つ一つの正面に受ける水壓と背面に受ける水壓の差が、支持紐の取付位置を中心として左方への廻轉力となり、流速計全體が稍左向となり、従つて尾翼の掘作用によつて左方へ移動するもので、此の移動を實測せる結果は圖-18に示す如く流速 1.5 米/秒 で約 3 度となり $\sin 30^\circ = 0.052$ 故懸垂せる紐長の約 5% 左へ寄ることが判り、従つて高所より懸垂する場合又は水深大なる場合に位置の正確性が豫想される。而して之を防ぐには尾翼に反対方向への掘を附加することが考へられるので寫眞-3 に示す如き假製の掘を平衡用螺子に取付け 實驗せる結果は圖-18 の下方の曲線の如くなる。此掘は幅 3 cm 長 6 cm の鋸を 45° 傾けて取付けたものである。

圖-18 ブライス式流速計の流速と左方片寄りの角度



寫眞-3 左方片寄りを防ぐ掘を取付けた状態



此の掘はその面積と曲角角と共に懸垂紐の取付位置よりの水平距離が敏感に影響するが、その諸条件を適當に撰べば常用の範圍の流速に對しその左方への片寄りを可成り減少することが出来る。此の試験では假製の掘の重みで尾翼が下る傾向があつたが之は圖-19 の如く尾翼の整片の後部を一部分屈折せしめて掘とすべしよと思はれる。

圖-19 左方片寄りを防ぐ爲めの尾翼改造

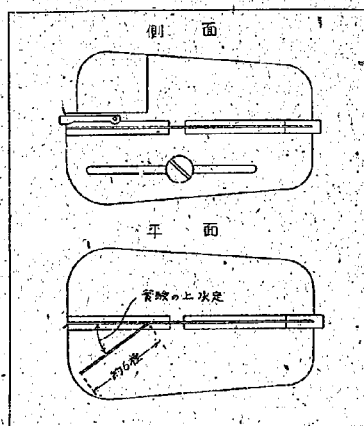


写真-4 超音ブライス式流速計

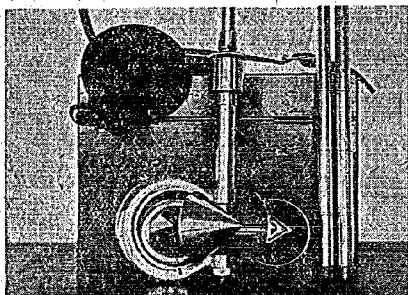


写真-5 オルトマン式流速計(タコメーター)

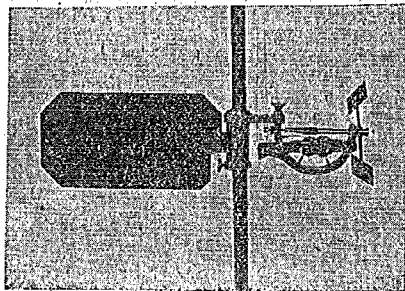


写真-6 佐藤式流速計

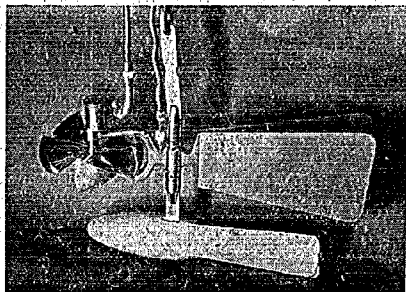


写真-7 森式流速計(舊型)

