

土木試驗所報告

第 六 號

混凝土及鐵筋混凝土抗扭試驗報告

昭和二年五月

內務省土木試驗所

510.5
1253

第1253號
昭和2年10月2日
14
圖書印



正 誤 表

頁	行 又 ハ 欄	誤	正
4	第一表 員數欄の1行目	2	8
5	終より9行目	9.35	6.35
8	第四表 混合欄の6行目	93.3	73.3
30	終より6行目の式の中央	$\frac{2}{\pi}$	$\frac{3}{2\pi}$
33	終より11行目	鐵筋應裁力	鐵筋應力
34	9行目の式	$\sigma_e = \frac{\Delta Md}{2 \cos \theta z r_{fe}}$	$\sigma_e = \frac{\Delta Md}{2 \cos \beta z r_{fe}}$
"	10行目の式	$\beta = 4^\circ$	$\beta = 45^\circ$
"	終より6行目の式	$\sigma_e = \frac{0. \Delta Md}{Z r_{fe}}$	$\sigma_e = \frac{0.5 \Delta Md}{z r_{fe}}$
35	12行目の式	$\beta \leq \frac{\pi}{2}$	$\beta \geq \frac{\pi}{4}$
"	終より6行目	ΔMd	ΔMd
36	2行目の式	σ_e	σ_1
37	終より11行目	せられざるが故に	せられざるべからざるが故に
41	〔註〕の1行目	一片	二片

本報告は宮本内務技師が混凝土の扭力抵抗に関する研究の一部として、本試験所に於て施行したる混凝土及鐵筋混凝土抗扭試験の結果と之れに對する力學的解釋とを含むと共に實地上に於ける之れが應用に言及せるものにして、本報告に於て取扱へる主要題目次の如し。

一、混凝土軸の斷面に於ける破壊時應力分布の法則

一、混凝土の抗裁彈性係數

一、混凝土抗扭抵抗に對する鐵筋各樣式の影響

一、扭力率と單位扭角との關係

一、鐵筋混凝土抗扭材の設計公式

一、鐵筋混凝土螺旋杭の計算

扭力の理論及び既往に於ける混凝土抗扭試験の詳細に至りては同技師著、扭力論(土木學會誌第十一卷第四號及び第六號)を参照せらる可し。

内務省土木試験所長

内 務 技 師 物 部 長 穂



内務省土木試験所報告

第 六 號

混凝土及鐵筋混凝土抗扭試驗報告

目 次

第一章 總 論

一 緒 論	1
二 扭力概説	2
三 試験計畫	3

第二章 供試體種別

四 扭力供試體	5
五 鐵筋量	6
六 張力、壓力及裁力供試體	7

第三章 供試體材料

七 セメント	7
八 混凝土	7
九 混合用水	8
一〇 混凝土配合	8
一一 鐵 筋	8

第四章 供試體製作

一二 扭力供試體用型	9
一三 鐵筋の組立	9
一四 混凝土の混捏	9
一五 混凝土の結度	10
一六 混凝土の施工	10
一七 供試體養生	11

第五章 實 驗

一八 實驗の順序	11
一九 扭力試験機	11
二〇 荷重のかけ方	11

第六章 混凝土の強度

二一 抗壓強度	12
二二 抗張強度	12

二三 抗裁強度	13
第七章 純混凝土供試體實驗成績	
二四 豫備實驗	14
二五 本實驗	14
第八章 A類供試體實驗成績	
二六 第二種供試體	16
二七 第三種供試體	16
二八 第四種供試體	16
二九 A類供試體集覽	17
第九章 B類供試體實驗成績	
三〇 第五種供試體	18
三一 第六種供試體	18
三二 第七種供試體	19
三三 第八種供試體	19
三四 第九種供試體	20
三五 B類供試體集覽	20
第一〇章 C類供試體實驗成績	
三六 第一〇種供試體	21
三七 第一一種供試體	22
三八 第一二種供試體	22
三九 C類供試體集覽	22
第十一章 扭 角	
四〇 純混凝土供試體扭角	23
四一 鐵筋混凝土供試體扭角	24
四二 扭角に對する鐵筋の影響	28
第十二章 實驗成績の力學的解譯	
四三 應裁力の分布	30
四四 混凝土の抗裁彈性係數	32
四五 龜裂扭力率	33
四六 破壞扭力率	37
四七 結 論	38
第十三章 附 錄	
四八 扭力供試體の壓力試驗	39
四九 扭力供試體の彎曲試驗	41
五〇 螺旋杭の計算	43

混凝土及鐵筋混凝土抗扭試驗報告

内務技師 宮 本 武 之 輔

第一章 總 論

一 緒論 著者が『扭力論』中に詳述せるが如く、圓形、圓形中空、橢圓形、方形、矩形、三角形、六角形、八角形その他の斷面形狀を有する物體に關する扭力理論は、既に前世紀の初頭以來、ナヴェエ、ボアッソン、カウシエ、サン・ヴナン、ウエルタイム、グラスホフ、ヘルマン、フエッブル、ヘンネベルグ、ブラントル、ウェエバアその他に依りて研究公表せられ、以來、鋳鐵、硬鉛、軟鋼及び鋼の如き材料を以て作れる柱狀物體の扭力抵抗及び扭力變形に關する實驗の屢次歐米の學徒によりて施行せらるゝありて、相俱に此の難解にして而も興味深き問題の解法に對して貢獻したりと雖も、鐵筋混凝土構にありては實際上抗扭部材を生ずるが如きは稀なる例外に屬するが故に、混凝土及び鐵筋混凝土の抗扭試驗は近年まで學界に閑却せられ、從つてその沿革極めて淺し。

今日まで歐米に施行せられし混凝土及び鐵筋混凝土の抗扭試驗の記録は次の如し。

- 1 ムエルシュの實驗、シュツットガルト、1903年⁽¹⁾
- 2 メナージェエ及メルシエの實驗、巴里、1903年⁽²⁾
- 3 バッハ及グラフの實驗、シュツットガルト、1911年⁽³⁾
- 4 フエッブルの實驗、ミュンヘン、1911年⁽⁴⁾
- 5 ヤングの實驗、トロント、1911年⁽⁵⁾
- 6 グラフ及ムエルシュの實驗、シュツットガルト、1921年⁽⁶⁾

此等の實驗によりて到達せられたる結果は極めて有益なるものあり、假令その内の一、二は少くとも不完全と評し去らるゝ事を免れずと雖も、全學界が之に對して殆んど何等の知識をも有せざりし時に方て問題解決の曙光を與へたる此等の實驗者の功績は決して之を没却す可らず。特にムエルシュ教授は混凝土及び鐵筋混凝土扭力研究界の第一人者にして、シュツットガルト・テヒニッシエ・ホホシュウレ材料實驗室に於て相亞いで施行せられたる多くの實驗は、最も完全にして從つて價值最大なるを斷じて憚らず。

次に報告せんとする實驗は上記シュツットガルトの實驗を補足すると共に之に一步を進

め、問題解決のために之を完成せんとする目的の下に著者によりて立案せられ、内務省土木試験所に於て施行せられたるものにして、内務省東京土木出張所長工學博士中川吉造氏、内務省荒川改修事務所主任青山士氏、同多摩川改修事務所主任工學博士金森誠之氏等の援助に負ふ所極めて多し。

【註】(1) "Schub- und Scherfestigkeit des Betons", Schweizerische Bauzeitung, S. 295. 1904.

(2) "Experiences, rapports et propositions. Instructions ministérielles relatives à l'emploi du béton armé.", Paris, 1906.

(3) "Widerstandsfähigkeit von Beton und Eisenbeton gegen Verdrehung", Veröffentlichungen des deutschen Ausschusses für Eisenbeton, Heft 16, 1912.

(4) "Verdrehungsversuche mit Wellen aus Eisenbeton", Mitteilungen aus dem mechanischen Laboratorium der tech. Hochschule München, Heft 32, 1912.

(5) "Torsional strength of Rectangular Section of Concrete, Plain and Reinforced", Bulletin of University, No. 3, Section No. 9, 1912.

(6) "Verdrehungsversuche zur Klärung der Schubfestigkeit von Eisenbeton", Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Heft 258, 1922.

二 扭力概説 前述の如く鉄筋混凝土構造にありては應扭力を生ずる場合少く、且つ多くは斯の如き設計を避くる事を得べきが故に、混凝土に於ける應扭力の問題は實際上、彎曲應力又は應壓力の場合に於けるが如く重大視せられず、是れ此の問題が長く不注意の裡に閉却せられたる所以なりと雖も、應扭力は鉄筋混凝土螺旋杭の場合に之が発生を見るに止らず凡そ如何なる部材たるを問はず、荷重状態の如何によりて副應力として應扭力を生ずる事あるは必然の歸結なるが故に、今日にありては鉄筋混凝土に於ける扭力の問題は注意す可き而して興味ある研究題目と見做さるゝに至りたれど、而も此の問題に關しては今猶ほ閉却せられ開明せられざる諸點少からず。

既往の實驗の一致せる結果より純混凝土及び鉄筋混凝土の應扭力の現象及びその性質に關し容易に結論し得る所は次の如し。

1 鉄筋を有すると有せざるとに論なく凡ての混凝土軸に於ける龜裂の發生及びその破壊は必ず約 45 度の方向に傾斜せる螺旋曲線に従ふ。

2 鉄筋を有せざる混凝土軸にありては破壊扭力率は龜裂扭力率の上に著しく増進せらるゝ事能はず。即ち最初の龜裂は直ちに之に追從して起る可き破壊の前兆なるか、若しくは破壊は最初の龜裂と同時に起る。

3 縱鐵筋又は環狀筋を單獨に挿入せる軸にありては純混凝土軸と殆んど同一の扭力率の値に對してその破壊を見る。即ち此等の軸に於ては何等有利なる鐵筋の影響を認め難し。

- 4 縦鉄筋を多少傾斜せしめたる場合の破壊扭力率の値は純混凝土軸のそれに比して多少の増進あり。
- 5 縦鉄筋と環状筋とを併用せる軸にありては龜裂の發生を遅延せしめ得ると同時に破壊扭力率は龜裂扭力率に比して遙かに大なり。
- 6 混凝土軸が扭力率の作用を受けたる時混凝土内に生ずる斜張力に抵抗し得る様45度の方向に挿入せられたる螺旋筋を有する時は、鉄筋の効果最大にして龜裂扭力率及び破壊扭力率共に著しく増大せらる。
- 7 混凝土の如き脆弱なる材料より製作せられし軸の破壊は45度の方向に傾斜せる主應張力に起因す。
- 8 既往の凡ての實驗成績にありては、専ら完全なる彈體に對してのみ使用を許さる可き普通の理論公式を用ひて軸斷面に於ける最大應裁力度を算出するを例とし、此の應裁力度を名づけて直ちに抗扭強度となすを常とすれど、こは軸破壊の原因として上に記せる主應張力とは全く別物にして、之を以て抗扭強度となすは誤れり。
- 9 充斷面軸にありては前記の方法によりて算出せられし所謂抗扭強度の値は混凝土の抗張強度に比して著しく大なる事、凡ての實驗の一致せる結論なりとす。
- 10 此の抗扭強度の抗張強度に對する比は、充斷面軸に於て中空斷面軸に於けるよりも遙かに大なり。而して此の事實は鑄鐵軸に就ての實驗の結果と正確に一致す。
- 11 軸の扭角は鉄筋の挿入によりて著しく影響せらるゝ事なし。

【註】(1)前節に紹介せる凡ての實驗に此の例あり。

(2)1921年グラフ及びムエルシュの實驗。

(3)1911年バツハ及びグラフの實驗。

(4)同上。1921年グラフ及びムエルシュの實驗。

(5)1903年ムエルシュの實驗。1911年バツハ及びグラフの實驗。同ヤングの實驗。1921年グラフ及びムエルシュの實驗。

(6)フエッブルの實驗にありては鉄筋混凝土軸の扭角は純混凝土軸のそれに比して少しく大なり、バツハ、ヤング、グラフの實驗にありては之に反す。

三 試驗計畫 著者の見る所を以てすれば既往の實驗と同一種類の實驗を反覆して既に與へられたる結果を再び檢證せんとするが如きは、少くとも今日の場合にありては無用の閑技なり、寧ろ今日まで未だ不明とせられし方面に向つて研究の一步を進むるに如かず。

(1)クレプシュの所謂サン・ヴナンの問題は未だ理論的の彈體に對して解決せられしのみにして、混凝土の如き材料に就ては猶ほ決して之が解決を見たりと言ふ可らず、廣汎なる實驗的研究を必要とす。事情斯の如くなるを以て方形斷面軸又は矩形斷面軸の如きは正確なる

計算及び信頼し得可き比較の目的に適せず。

此の故に著者は本實驗の計畫に方りて供試體として混凝土及び鐵筋混凝土圓形斷面軸を擇び、之に依りて種々の様式の下に挿入せられし鐵筋、主として種々の傾斜角を有する螺旋筋の扭力抵抗に對する影響、及び軸斷面に於ける破壊時應力分布の法則を確定せん事を期したり。換言すれば本實驗の主要目的とする所次の如し。

1 純混凝土軸の扭力抵抗。此の實驗は鐵筋混凝土軸との比較のために絶対に必要なるのみならず、進んで斷面に於ける應力分布の法則を確立するためにも之を缺ぐ可らず。

2 種々の傾斜角を有する螺旋筋によりて補強せられし鐵筋混凝土軸の扭力抵抗。45度の傾斜角を有する螺旋筋が最大の効果を有する事は理論的並びに實驗的に確證せらるゝ所なるが故に、本實驗にありては傾斜角の相違に基く螺旋筋の作用の變化を研究せんとす。

信頼し得可き實驗成績を期待せんが爲めには供試體斷面寸法及び其の員数を定むるに方りて事情の許す限り之を大ならしむるを要し、混凝土の如き不均質材料に對して特に此の注意の嚴守せられざる可らざるは多言を要せず。之を既往の實驗に徴するに使用せられたる供試體斷面形狀、同寸法及び員數次の如し。

第一表 既往の扭力實驗供試體

實 驗 者	斷 面	寸 法(型)	鐵 筋 ⁽²⁾	員 數
ム エ ル シ ュ	圓 形	徑 26	無 鐵 筋	2
	圓形中空	外徑26, 内徑16,2	螺旋 筋	
メ ナ フ ジ ェ エ	圓 形	徑 10,7	縱 鐵 筋	2
	圓形中空	外徑40, 内徑25	縱 鐵 筋	
バ ッ ハ 及 グ ラ フ	圓形中空	外徑40, 内徑25	縱 鐵 筋	37
	方 形	邊長30	縱鐵筋と環狀筋	
	矩 形	幅 21, 長 42	縱鐵筋と螺旋筋	
フ ェ ッ プ ル	圓 形	徑 10	無 鐵 筋	15
			縱 鐵 筋	
ヤ ン グ	方 形	邊長12,7	無 鐵 筋	12
	矩 形	幅 12,7, 長 19,05	縱 鐵 筋	
	同	幅 12,7, 長 25,4	縱鐵筋と螺旋筋	

グラフ及 モデル	圓形中空	外徑40, 内徑25	無 鉄 筋	
			縦 鉄 筋	
			環 状 筋	17
			縦鉄筋と環状筋	
			螺旋筋	

本實驗に於ては前記第一の研究目的のために 16 個の純混凝土圓形斷面軸を製作し、内 4 個は豫備試験として最初に扭力實驗に供す。第二の研究目的のために 79 個の圓形斷面軸を備へ、之を原則として 8 個づゝ同一様式の鉄筋を以て補強す。鉄筋様式 11 種なるが故に之に純混凝土軸を加へて供試體種類 12 種、員數 95 個とす。

使用せられたる混凝土の強度を知る目的のために、抗扭供試體と同一の混凝土を以て、12 個の抗張供試體、6 個の抗重供試體及び 6 個の抗裁供試體を製作す。

【註】(1) Clebsch: Theorie der Elastizität der festen Körper, 1862, S. 74.

(2) 鉄筋の種類は單にその様式のみを列記せるものにしてその員數及び徑の相違の如きは取へて區別せず。且つ斷面の形狀と寸法とは對應すれども之と鉄筋様式とは對應させる事勿論とす。

第二章 供試體種別

四 扭力供試體 扭力供試體種類次の如し。

第一種 圓形斷面純混凝土軸 16 個(第一圖)

A 類

第二種 徑 6.35 耗螺旋角 45 度の螺旋筋 7 個を挿入せる鉄筋混凝土軸 8 個(第二圖)

第三種 徑 9.35 耗螺旋角 60 度の螺旋筋 5 個を挿入せる鉄筋混凝土軸 8 個(第三圖)

第四種 徑 6.35 耗螺旋角 30 度の螺旋筋 9 個を挿入せる鉄筋混凝土軸 8 個(第四圖)

B 類

第五種 徑 6.35 耗螺旋角 45 度の螺旋筋 7 個、徑 6.35 耗縱鐵筋 10 個を挿入せる鉄筋混凝土軸 8 個(第五圖)

第六種 徑 6.35 耗螺旋角 45 度の螺旋筋 7 個、徑 6.35 耗環狀筋 18 個を挿入せる鉄筋混凝土軸 8 個(第六圖)

第七種 徑 6.35 耗螺旋角 60 度の螺旋筋 5 個、徑 6.35 耗縱鐵筋 10 個を挿入せる鉄筋混凝土軸 8 個(第七圖)

第八種 徑 6.35 耗螺旋角 30 度の螺旋筋 9 個、徑 6.35 耗環狀筋 18 個を挿入せる鉄筋混凝土

軸 8 個(第八圖)

第九種 徑 6.35 耗縱鐵筋 10 個、徑 6.35 耗環狀筋 18 個を挿入せる鐵筋混凝土軸 8 個
(第九圖)

C 類

第一〇種 徑 6.35 耗螺旋角 45 度の外側螺旋筋 7 個、内側螺旋筋 5 個を挿入せる鐵筋混凝土軸 8 個(第一〇圖)

第一一種 第一〇種と同様の内外螺旋筋に各 6 個の徑 6.35 耗縱鐵筋を追加せる鐵筋混凝土軸 6 個

第一二種 第一〇種と同様の内側螺旋筋に 6 個の徑 6.35 耗縱鐵筋を追加せる鐵筋混凝土軸 1 個

【註】(1)茲に螺旋角と稱するは螺旋筋が軸中心線となす角を言ふ。以下同斷。

五 鐵筋量 種々の鐵筋様式の効率を直接に比較するの便宜上、C 類を除ける凡ての鐵筋混凝土軸に於けるその單位長に就ての鐵筋量は略同一なるか、或はその倍量に定む。即ち次の如し。

第二表 鐵筋量

$V_c = C f_c$ 軸單位長に對する鐵筋量
 f_c 徑 6.35 耗丸鋼一本の斷面積
 C 鐵筋量係數

類	種	鐵筋様式	鐵筋量係數 C
A	1	無 鐵 筋	0
	2	螺旋筋 $\beta=45^\circ$	9.9
	3	同 $\beta=60^\circ$	10.0
	4	同 $\beta=30^\circ$	10.4
B	5	螺旋筋 $\beta=45^\circ$ と 縱 鐵 筋	19.9
	6	同 $\beta=45^\circ$ と 環 狀 筋	19.8
	7	同 $\beta=60^\circ$ と 縱 鐵 筋	20.0
	8	同 $\beta=30^\circ$ と 環 狀 筋	20.3
	9	縱 鐵 筋 と 環 狀 筋	19.9
C	10	(1) 複式螺旋筋 $\beta=45^\circ$	17.0
	11	同 $\beta=45^\circ$ と 縱 鐵 筋	29.0
	12	螺旋筋 $\beta=45^\circ$ と 縱 鐵 筋	13.0

【註】(1)内外螺旋筋量の比はその直径の比に等しからしむ。即ち前者は 7:5 後者は 24:17 にして共に 10:7 に近似す。

六 張力、壓力及載力供試體 此等の試験のために製作せる供試體次の如し。

(1) 張力試験のために總高45種、中間圓筒部の直径15種なる供試體12個。

(2) 壓力試験のために直径15種、高30種の圓筒形供試體 6個。

(3) 載力試験のために直径15種、高30種の圓筒形供試體 6個、試験の方法は第一圖に示すが如し。

第三章 供試體材料

七 セメント 使用セメントは淺野セメント株式會社川崎工場の製品にして、農商務省告示による標準規定に従つて之を試験せる成績次の如し。

第三表 セメント試験成績

自大正十五年七月三十一日、至同八月二十八日

(a) 物理的性質

粉 末 程 度 1 平方厘米に付 900 孔の篩上の殘滓 0.002%

同 4900 孔の篩上の殘滓 1.602%

凝 結 時 間 室内温度 23°-32°C 水量(重量比) 28.5%

始 發 1時間40分 終 結 5時間10分

膨脹性龜裂 浸水法及煮沸法によりて共に異狀なし

比 重 3.077

(b) 化學的性質

特種含有物 苛 土 1.335% 硫 酸 1.790%

灼 熱 減 量 2.290%

(c) 強 度

抗 張 強 度 純セメント、材齡7日 (1日濕氣中6日水中) $K_z=64.6 \text{ kg/cm}^2$

1:3 膠泥、材齡7日 $K_z=24.3 \text{ kg/cm}^2$ 同材齡28日(1日濕氣中27日水中)

$K_z=30.9 \text{ kg/cm}^2$

抗 壓 強 度 1:3 膠泥、材齡28日 $K_c=268.5 \text{ kg/cm}^2$

【註】(1)強度は 6 個の供試體の内最高 4 個の平均とす。

八 混凝材 使用混凝材は強くして略球形粒狀を呈する多摩川産砂及び砂利とす。砂及び砂利は元來相當に清淨なるものなりしも採取後改めて之を洗滌し且つ甚しき粗粒を除かんがために之を篩ふ。砂の洗滌にあたりては之によりて密度の大なる混凝土を得るために必要なる極微粒を洗ひ流さる様、特別の注意を拂ふの要あり本實驗にありては長約2米、

幅約 1.5 米、深約 0.5 米の木製矩形水槽中に砂を入れ、水中にて之を攪拌したる後表面の汚水を反摺して流し去り、此の法を繰返へして砂の洗滌を行ひたり。

(1)
兩混凝土材の篩分析の結果次の如し。

第四表 混凝土材篩分析

篩 番 號	篩 孔 寸 法 (mm)	各 篩 上 の 殘 滓 (%)		
		砂	砂 利	混 合 (2)
1"	25.4	—	—	—
3/4"	19.0	—	2.7	1.8
3/8"	9.5	—	50.1	33.4
4	4.75	0.4	94.0	62.8
8	2.35	3.6	100.0	67.9
16	1.18	21.0	—	93.3
30	0.59	56.6	—	85.5
50	0.29	79.7	—	93.2
100	0.14	98.2	—	99.4
計	—	—	—	517.7
細率係數	—	—	—	5.177

【註】 (1)米國のタイラー標準篩を使用す。

(2)砂と砂利との容積混合比 1:2 は重量混合比 0.486:1=1:2.057 に相當す。

九 混合用水 混凝土混合用水は川崎市水道より供給せられしものなるが故に、鹽、酸、鹽基、油脂その他の有害なる不純物を含有せず。従つて別に水質試験を行はず。

一〇 混凝土配合 配合は

セメント 300 瓩 砂 400 リートル 砂利 800 リートル

にして、セメントの單位重量を 100 リートル 150 瓩、即ち 1 立方メートル 1.500 瓩とすれば、此の配合は容積比 1:2:4 に相當す。

砂及び砂利の單位重量はその濕度によりて大差あるが故に最初に完全に乾燥せる材料に就ての直接衡量によつてその單位重量を測定し、此の測定値に基きて供試體製作の都度、乾燥せしめたる混凝土材を重量によつて衡量す。

一一 鐵 筋 螺旋筋、縱鐵筋及び環狀筋として使用せられたる丸鋼は凡て 6.35mm⁽¹⁾の正等直徑を有し、その抗張試験の結果次の如し。

第五表 鐵 筋 の 強 度

番 號	直 徑 (mm)		平均斷面 (平方mm)	最大荷重 (kg)	抗張強度 ⁽²⁾ (kg/平方mm)		伸張率 ⁽³⁾
	最 大	最 小			(kg)	(kg/平方mm)	
1	0.668	0.616	0.642	0.3237	1263	3900	—
2	0.654	0.624	0.639	0.3207	1252	4000	17.6
3	0.663	0.635	0.649	0.3303	1252	3790	—
4	0.657	0.614	0.635	0.3167	1225	3870	—
5	0.677	0.616	0.646	0.3278	1272	3880	14.9
6	0.663	0.621	0.642	0.3237	1273	3930	—
平 均			0.642	0.3239	1261	3900	

観測の結果此の鋼にありては所謂屈點の位置を明瞭に定め得る事第一二圖に示す所の如し。

【註】 (1) 丸鋼は輸入軟鋼にして獨逸製品と推定せらる。

(2) 抗張強度は最大荷重を平均斷面積(最小斷面積に非ず)にて除したる商によつて算出するが故に、實際の強度の値に非ずして正等強度を表はす。蓋し抗張試験に於ては必ずしも最小斷面部にて切斷せず、切斷部斷面部の面積を測定する事不可能なりしによる。

(3) 伸張率は観測長20mmに就て伸張を殆どにて測定せしものより算出ず。表中伸張率の記入なきものは上記20mmの観測長の外側にて切斷せしものとす。

第四章 供試體製作

一 二 扭 力 供 試 體 用 型 扭力供試體の製作には木製鉛直型を用ふ。型は之を4個の相等しき部分より組成せられ、その内2個づゝボルトを以て締付け、型の取外しに際しては之を左右に平行に切り離す、型の員數4個、供試體員數95個なるが故に、各型は約24回づゝ反覆して使用す。型は使用前毎回清掃して油を塗る後之を拭き取る。

一 三 鐵 筋 の 組 立 縱鐵筋及び螺旋筋の鈎端は各供試體兩端に近く環として挿入せられし徑15.875mm橫鐵筋に鎖錠し、之にアセチレン瓦斯を以て熔接す。環狀筋は接頭接合として同じく瓦斯熔接によりて製作す。螺旋筋は可潰的鑄鐵筋型の表面に作れる螺旋形の溝に沿ひて組立て、之に添付す可き縱鐵筋又は環狀筋を熔接し、或は螺旋筋のみを單獨に使用する場合にありては之を所要の位置に固定するがために鐵線を以て縱横の方向に繋ぎ合せ、然る後に可潰的型より拔取る。

一 四 混 凝 土 の 混 捏 セメントの單位重量に關しては始めより之を1立方メートル1500 kgと假定せるが故に何等の問題を惹起せずと雖も、混凝土單位重量はその含水量によりて著しき變動を示す。特に砂の單位重量は含水量によりて影響せらるゝ事頗る大なるが故に、砂の混合量の割一を期せんがためにはその計量は之を完全乾燥又は飽水状態に於てなさざる可

らず。

本實驗に使用せる多摩川砂は完全⁽²⁾に乾燥せしめたるものを容器に軽く計り込みたる状態にて、1 立方米 1.601 疋 (8 回平均) 同じく多摩川砂利は同様⁽³⁾の状態にて、1 立方米 1.641 疋 (11 回平均) なり。

扭力供試體 1 個の容量は計量の結果約 140 リットルと註せらるゝが故に、供試體 1 個の製作のために必要な混凝土量は原則として次の如き配合に従つて混合せらる。

セメント 39.6 疋、砂 84.5 疋 (52.3 リットル)、砂利 173.6 疋 (105.6 リットル)、水 26.9 疋。

此の水量は全乾燥材料に對する 9% の重量比に相當す。一般に水量は天候及び氣候の如何により 9% (26.8 疋) 及び 9.5% (28.3 疋) の間に變化すれども、前者の重量比を使用せる場合最も多し。

供試體下部の廓大部が充分に填充せられ菊班の如き表面を残さざらんがために最初に、型中に次の配合による膠泥を投入す。

セメント 5.2 疋、砂 11.1 疋 (7 リットル)、水 2.8 疋

セメント 100 リットルを 150 疋と假定せば此の膠泥は 1:2 の容積配合に相當す。

以上の混凝土及び膠泥量は 1 個の供試體製作に充分にして通例 5 乃至 10 疋の練立混凝土を剩せり。混凝土及び膠泥の混捏は人力による。

【註】 (1) 飽水せる砂の容積は乾燥せる砂のそれと大差なし。エブラム教授のイナンデーターは此の原理による。

(2) 多小濕潤せる砂の單位重量は 1 立方米 1.295 疋 (5 回平均) を示し、此の砂を乾燥せしめたる時の容積減 21.2%、重量減即ち含水量 2.2%、單位重量増 24.2% となりたり。

(3) 多小濕潤せる砂利の單位重量は 1 立方米 1.627 疋 (5 回平均) を示し、此の場合には單位重量減約 1.2% に過ぎず。

一五 混凝土の結度 9% の水量は軟き結度、即ち高き流動性を與ふ。結度は所謂スラム・テストによりて之を測る。即ち第三三圖に示すが如き上徑 10 浬、下徑 20 浬、高 30 浬の截頭圓錐形鐵葉製型に混凝土を 4 層に分ちて填充したる後、型を鉛直に取去り、混凝土の崩落せる高さ S を浬を以て表はしたるものをスラムとす。

スラムの値は測定の結果、最小 12.3 浬より最大 15.2 浬の間に變化し平均 13.5 浬とす。

一六 混凝土の施工 扭力供試體は大正十五年七月三十日より九月十九日に亘つて之を製作す。混凝土の施工は約 10 浬の高の層に分ちて之を進め、施工後 2 日間は型中に靜置してその上面は濡筵を以て之を被ふ。2 日目に型を取外し供試體側面をも濡筵を以て捲立て、7 日目に供試體を靜かに水平に横たふ。

一七 供試體養生 供試體は試験の前日迄温潤砂上に横たへその上面及び側面は濡塗を以て之を被ひ、毎日數回此の上に灌水す。製作後約 19 日目にして供試體を 180 度迴轉してそれ迄の下面を上面として養生の均一を期したり。

張力、壓力及び裁力供試體は普通の鑄鐵製型を用ひて製作し、型取外し及び養生の時期及び方法は主として扭力供試體のそれに準ず。

第五章 實 驗

一八 實驗の順序 供試體は全部材齡約 45 日にして試験に供す。試験は大正十五年九月十一日に始まり十一月八日に終る。

扭力供試體に於て觀測せしは次の 3 點とす。

- (1) 龜裂扭力率、即ち供試體表面に最初の龜裂を生じたる時の扭力率及びその後扭力率の増大するに従ひ龜裂の増進する状態。
- (2) 破壊扭力率又は供試體の抵抗し得る最大の扭力率。
- (3) 供試體中央の圓環部に於ける距離 50 ㎝を距つる 2 斷面の扭角。

第三項の觀測のためには 2 個の望遠鏡を用ひ第一四圖に示せるが如く角 2θ の正切を計算する事によりて任意の荷重段階に於ける任意の點の扭角 θ を算出する事を得可し。

一九 扭力試験機 試験のためには第一五圖に示すが如き、特に本實驗のために考案製作せられたる水平式扭力試験機を用ふ。之に供試體を水平に架しその自重を無視する限りに於て他に長さの方向及び横斷の方面に外力の作用するものなからしむ。試験機には 2 個の鑄鐵製軸帽を備へ之に供試體兩端の方形の頭部を挿入す。帽の内一つは固定せられ、供試體の取付け又は取外しの場合にその軸の方向にのみ摺動せしむる事を得べく、他は供試體の軸と一致する様に置かれたる試験機の軸に固定せられて之と同事に迴轉す。此の迴轉軸には別に扇形輪を取付け、扇形輪と容量 100 噸の張壓試験機とをワイヤロープを以て連絡するが故に、張壓試験機に生ずる張力は即ち扭力試験機に扭力率を發生せしむ。

ワイヤロープと多くの滑車との間の摩擦の結果として張壓試験機の示す力は直ちに之を扭力率を生ずる力と見做す事を得す。扭力率の原因たる可き正味の力を知らんがために中途に容量 10 噸のダイナモメーター(張力計)を挿入す。

第一六圖は扭力試験機、ダイナモメーター張壓試験機の配置及び扭角觀側裝置を圖示し、第一七圖は扭角觀側裝置。第一八圖は試験中の扭力供試體を示す。

如何なる場合にも扭力率を發生する力 P は同一の臂長 40 ㎝によりて働くが故に、扭力率の大きさは 40 P ㎝に於て表はさるゝものとす。

二〇 荷重のかけ方 荷重は次の如き方法によりて供試體に加へらる。

(1) 凡ての鉄筋混凝土軸及び大部分の純混凝土軸に対しては、荷重、從つて扭力率は、軸が破壊する迄徐々に高めらる。最初の龜裂を認めたる瞬間に於て、及びその後は扭力率 20 000 廻転を増す毎に、平均 3 分間を限りて荷重の増進を停止す。即ち龜裂を生じたる後は 160 000 廻転、180 000 廻転、200 000 廻転等の扭力率段階毎に荷重は 3 分間静止の狀態に置かれその度毎に細心に鉄筋混凝土軸の端面の龜裂を探索す此のために必要ある場合には電燈及び蟲眼鏡を使用したり。

(2) 一部分の純混凝土軸に対しては最初に荷重を 20 000 廻転まで高む。此の扭力率に對しては荷重は試験機各部の摩擦と略、平衡を保ち軸は毫も扭れを生ぜざるか或は極めて微小なる扭れを生ずるのみ。3 分後扭力率を 40 000 廻転まで高め、更に 3 分後に之を 20 0 廻転に復せしむ。順次同法を繰り返へして荷重を 60 000 廻転、80 000 廻転、100 000 廻転に高め、その間に於て常に 20 000 廻転までの荷重低減を行ひ、以て所謂反覆荷重の影響を研究す。

供試體端面の極微龜裂をも認識し易からしむがためには端面にはジェラティンを以て溶かせる硫酸石灰(胡粉)を極めて薄く塗る事として好結果を収め得たり。

第六章 混凝土の強度

二一 抗壓強度 鉛直型によりて製作せる混凝土圓柱の抗壓強度次の如し。

第六表 混凝土抗壓強度

供試體	製 年 月 日	試 年 月 日	材 齡 (日)	寸 法 (mm)		重 量 (kg)	K_c (kg/cm ²)
98	15年9月21日	15年11月5日	45	15.24	30.48	12.90	136
99	21日	5日	45	15.24	30.48	12.98	126
101	21日	5日	45	15.24	30.48	13.16	123
110	23日	6日	44	15.24	30.48	12.98	119
111	23日	6日	44	15.24	30.48	12.98	132
112	23日	8日	46	15.24	30.48	12.98	130
平 均			45	15.24	30.48	13.05	128

即ち抗壓強度の平均値は 1 平方寸 128 斤なり。供試體の容積は 5.56 リットルなるが故に、試験材齡に於ける混凝土單位重量は平均 1 立方寸 2.346 斤とす。

二二 抗張強度 鉛直型によりて製作せる混凝土圓柱の抗張強度次の如し。

第七表 混 凝 土 抗 張 強 度

供試體	製 年 月 日	作 年 月 日	試 年 月 日	驗 年 月 日	材 齡 (日)	寸 法 (㎝) 徑 高(1)	重 量 (㏔)	K_s (㏔/平方㏔)
102	15年9月	21日	15年11月	5日	45	15.24 30.48	25.05	11.0
103		21日		5日	45	15.24 30.48	24.94	12.3
104		21日		5日	45	15.24 30.48	24.94	10.4
105		21日		5日	45	15.24 30.48	24.98	13.4
106		21日		5日	45	15.24 30.48	25.05	9.3
107		21日		5日	45	15.24 30.48	24.86	9.6
114		23日		6日	44	15.24 30.48	24.71	14.8
115		23日		6日	44	15.24 30.48	24.83	10.7
116		23日		6日	44	15.24 30.48	24.90	11.0
117		23日		8日	46	15.24 30.48	24.83	15.5
118		23日		8日	46	15.24 30.48	24.79	15.7
119		23日		8日	46	15.24 30.48	24.86	14.8
平 均					45	15.24 30.48	24.90	12.4

即ち抗張強度の平均値は 1 平方㏔ 12.4㏔にして正に抗壓強度の10分の 1 に當る。

【註】 (1)此の高は總高にあらず、中間の圓錐部分の長なり。

二三 抗裁強度 抗壓試験に於けると同様の圓錐の抗裁強度次の如し。

第八表 混 凝 土 抗 裁 強 度

供試體	製 年 月 日	作 年 月 日	試 年 月 日	驗 年 月 日	材 齡 (日)	寸 法 (㎝) 徑 高	重 量 (㏔)	K_s (㏔/平方㏔)
96	15年9月	21日	15年11月	5日	45	15.24 30.48	13.16	56.2
97		21日		5日	45	15.24 30.48	13.05	45.2
100		21日		5日	45	15.24 30.48	13.16	58.2
113		23日		6日	44	15.24 30.48	12.98	58.3
108		23日		8日	46	15.24 30.48	13.09	64.9
109		23日		8日	46	15.24 30.48	13.01	65.9
平 均					45	15.24 30.48	13.07	58.1

抗裁強度は最大荷重を圓錐斷面積の 2 倍を以て除したる商にして、その平均値 1 平方㏔ 58.1 ㏔は抗壓強度の約 2 分の 1 に當る。混凝土の抗裁強度は既往の實驗の示すが如くその抗張強度より遙かに大なるが故に、扭力供試體の破壊は實に抗張強度によりて決せられざ

る可からざるや多言を要せず。

第七章 純混凝土供試體實驗成績

二四 豫備實驗 豫備實驗として4個の純混凝土軸を最初に扭力實驗に供す。成績次の如し。

第九表 純混凝土供試體豫備實驗

供試體	製 年	作 月 日	試 年 月 日	驗 日	材 齡 (日)	寸 法 (mm) 直 徑 長	破壊扭力率 M_d (kg/cm ²)
1	15年	7月 30日	15年	9月 11日	43	30.00 142.7	126 000
2		30日		13日	45	30.00 149.6	148 000
3		31日		14日	45	30.05 149.8	140 000
4		31日		14日	45	29.93 150.0	158 000
平 均					45	30.01 149.8	143 000

此等の供試體は互に、及び他の凡ての供試體とは多少異なりたる状態の下に製作せられたりと推すべき理由あり。即ち此等の供試體の製作に方りては砂を乾燥せず、従つて多少の濕氣を含む砂を使用せしが故に、砂の實積は規定せるものよりは多少、少なかりしが如し。此の豫備實驗の結果は次節に示す本實驗の結果に比すれば可なりに高き強度を與ふれどもそれは全く砂の使用量の相違に基く可し。此の推測は之を肯定せしむべき充分の根據を有す即ちタルボット教授の膠泥・空隙理論に従つて相當に密度の高き混凝土材を使用せる混凝土の強度は主としてその中の膠泥の強度によりて決定せられ、膠泥の強度は砂の減少するに従つて増進すべきが故なり。

【註】(1) 直徑は3斷面の實測の平均、長は2側面の實測の平均とす。

二五 本實驗 純混凝土軸本實驗のためには計1-個の供試體を製作し、内8個は第二〇節第一項に従ひ他の4個は同第二項に従ひて實驗せらる。試験は夏より秋にかけて3箇月以上の日子を費やしたるが故に、その間に於ける供試體養生中の温度が實驗成績に及ぼす影響を相殺せしめんがために、12箇の純混凝土供試體の内4個は全實驗の最初に而して8個はその最後に扭力試験に供せらる。成績次の如し。

第一〇表 純混凝土供試體本實驗

供試體	製 年	作 月 日	試 年 月 日	驗 日	材 齡 (日)	寸 法 (mm) 直 徑 長	破壊扭力率 M_d (kg/cm ²)
5	15年	8月 2日	15年	9月 16日	45	30.03 149.8	128 000

6	2日	16日	45	30.05	149.8	124 800
7	3日	17日	45	29.98	149.7	126 000
8	3日	17日	45	30.08	149.7	112 000
90	9月 13日	10月 28日	45	29.93	149.8	87 600(1)
93	17日	11月 1日	45	29.87	149.8	102 000
94	19日	2日	44	29.96	150.0	123 600
95	19日	2日	44	30.12	149.7	129 600
平均			45	30.00	149.8	120 860
88	15年 9月 12日	15年 10月 27日	45	30.05	150.0	110 400
89	13日	28日	45	29.90	149.9	68 800(2)
91	14日	29日	45	29.93	149.8	96 000
92	17日	11月 1日	45	29.90	149.9	88 800
平均			45	29.95	149.9	98 400

即ち夏期製作せられたる供試體と秋期製作せられたるものとの間には強度の上に於て何等の區別を認めず。上表中第一群の供試體に於ては荷重を徐々に増したるもの、第二群の供試體に於ては荷重を反覆して増減したるものとす。

第一群供試體の平均値が第二群供試體のそれに比して著しく大なるは毫も怪しむに足らず、斯の如くにして荷重を反覆する事は凡ての材料の強度を減殺するを以て通則とするが故なり。

純混凝土供試體に於て観測し得たる所次の如し。(1)混凝土軸の破壊は端面を 45 度の方向に走る螺旋曲線に従つて起る。(2)軸の破壊は殆んど凡ての場合、中央圓筒部に起り或る時は固定せられたる頭部に近く、或る時は廻轉せらるゝ頭部に近く、或る時は軸の中央部に於て破壊を見る。(3)龜裂扭力率は破壊扭力率と一致す。換言せば破壊は最初の龜裂の現はるゝや否や直ちに之に隨伴して起る。第一九圖及び第二〇圖は純混凝土軸破壊片を示す。

【註】(1) 供試體90に於ては荷重は 20,000 磅迄の扭力率を毎に約三分間宛靜止せられつゝ、遞増せられ、從つて他の 7 個の供試體とは異なる状態の下に試験せられしが故に平均値の算出には之を除外せり。

(2) 供試體89にありては試験前一方の頭部に近く横斷の方向に初期龜裂を認む。恐らく供試體取扱ひ中に發生したるものなる可く此の故にその成績は平均値より除外す。

第八章 A類供試體實驗成績

二六 第二種供試體 7 個の 45 度螺旋筋を以て補強せられたる第二種供試體の成績次の如し。

第一一表 第二種供試體

供試體	製作 年月日	試験 年月日	材 齡 (H)	寸 法 (種) 徑 長	龜裂抵抗力率 Md (種近)	破壊抵抗力率 Md' (種近)
43	15年8月21日	15年10月5日	45	29.90 149.9	140 800	183 600
44	21日	5日	45	29.97 149.9	156 000	192 000
45	22日	6日	45	30.00 150.0	134 000	197 600
46	22日	6日	45	29.93 149.9	147 200	196 400
47	23日	7日	45	29.90 150.0	131 200	182 800
48	23日	7日	45	29.87 150.0	138 400	195 200
77	9月 7日	22日	45	29.93 150.0	147 200	189 600
78	7日	22日	45	30.09 149.9	138 000	198 000
平 均			45	29.95 150.0	141 600	191 900

二七 第三種供試體 5 個の 60 度螺旋筋を以て補強せられたる第三種供試體の成績次の如し。

第一二表 第三種供試體

供試體	製作 年月日	試験 年月日	材 齡 (H)	寸 法 (種) 徑 長	龜裂抵抗力率 Md (種近)	破壊抵抗力率 Md' (種近)
49	15年8月24日	15年10月8日	45	29.93 150.0	136 400	218 400
50	24日	8日	45	29.93 150.0	126 800	176 000
51	25日	9日	45	30.07 150.0	150 400	188 000
52	25日	9日	45	30.00 149.9	150 800	185 600
53	26日	9日	44	30.00 149.8	136 800	196 000
54	26日	11日	46	30.01 150.0	122 200	183 200
79	9月 8日	23日	45	30.01 149.8	154 000	186 800
80	8日	23日	45	30.03 150.1	126 000	180 000
平 均			45	30.00 150.0	137 900	189 250

二八 第四種供試體 9 個の 30 度螺旋筋を以て補強せられたる第四種供試體の成績次の如し。

第一三表 第四種供試體

供試體	製年 月日	試年 月日	材 齡 (日)	寸 法 (mm)	龜裂扭力率 Md (kg/cm ²)	破壊扭力率 Md' (kg/cm ²)
55	15年8月27日	15年10月11日	45	29.96 150.1	121 100	179 200
56	27日	11日	45	30.00 150.1	119 200	172 800
57	28日	12日	45	30.05 149.9	145 600	176 000
58	28日	12日	45	30.05 149.8	142 000	176 800
59	29日	13日	45	30.03 150.0	134 000	174 800
60	29日	13日	45	30.01 150.0	130 000	176 000
81	9月 9日	23日	44	30.01 149.7	142 400	189 000
82	9日	25日	46	29.98 149.8	115 300	178 000
平 均			45	30.01 149.9	131 300	177 850

二九 A 類供試體集覽 此の類に屬する供試體は専ら螺旋筋のみを以て補強せられ、その螺旋角は45度、60度、30度の3種に分ると雖も供試體單位長に對する鉄筋量は凡て同一とす。此の故に同一鉄筋量の相異なる螺旋角に基因する効率の相違は直ちに之を比較し得可く、詳細なる之が力學的説明は之を後章に譲る。次表に於ては

$$\Delta Md = Md - 120\ 860 \text{ (kg/cm}^2\text{)}^{(1)} = \text{純混凝土軸に比較せる龜裂扭力率の増大}$$

$$\Delta Md' = Md' - 120\ 860 \text{ (kg/cm}^2\text{)}^{(1)} = \text{純混凝土軸に比較せる破壊扭力率の増大}$$

第一四表 A 類 集 覧

種 類	供試體 員 數	鉄筋重量 (kg)	龜裂扭力率 (kg/cm ²)			破壊扭力率 (kg/cm ²)		
			Md	比較	ΔMd	Md'	比較	$\Delta Md'$
1	8	0	120 860	1.00	0	120 860	1.00	0
2	8	6.4	141 060	1.17	20 740	191 900	1.59	71 040
3	8	6.6	137 900	1.14	17 040	189 250	1.57	68 390
4	8	6.9	131 300	1.09	10 440	177 850	1.47	56 990

本表を見れば45度螺旋筋の効率の最大なるは多言を要せず、60度螺旋筋之に亞ぎ、30度螺旋筋は効率最小なり。

一般に鉄筋混凝土軸の實驗より觀測し得たる所は次の如し。(1)龜裂扭力率は純混凝土軸に於けるよりも明らかに著しく大なり。(2)破壊扭力率は龜裂扭力率以上に更に著しく増進せしむる事を得。(3)龜裂は純混凝土軸に於けるが如く約45度の方向の螺旋曲線に従つて走る。(4)最初の龜裂は必ず中央圓蓋部に生じ、或る時は固定せられたる頭部に近く或る時は迴轉する頭部に近く、或る時は軸中央部に現はる。(5)最初の龜裂は極めて微細

にして細心の注意を拂つて僅に之を認め得る程度なりと雖も、その長さは時として殆んど圓筒面を斜めに一周する事あり。(6)荷重を増大するに従ひ龜裂はその長さを増し且つ幾多の新龜裂の簇生するを見る。(7)破壊扭力率の附近に於ては龜裂は急激に増進しその幅員を増す。(8)龜裂は荷重の静止中と雖も増進す。(9)破壊に際しては特に二、三の龜裂がその幅を増し時として3耗以上に達する事あり。之に對して他の供試體部分は荷重を輕減せられその部分の龜裂は多少その幅を減す。(10)破壊扭力率或は適切に之を言へば最高扭力率によりて供試體の抵抗力は猶ほ未だ消滅せず。供試體は依然として圓筒の原形を保つ。(11)最高扭力率以後更に進んで試験を續行する時は荷重は漸次低減すれども、龜裂は益々増進して遂に鉄筋外部の混凝土の剝離を見るに至る。(12)挿入せる鉄筋は遂に之が切斷を見るまで應力をかくる事能はず。

第二一圖乃至第二三圖は夫々第二種乃至第四種供試體試験後の状態を示す。觀測せられたる龜裂は後にその徑路に入墨したるものにして、龜裂の區間と之に傍記せる數字とは該區間の龜裂を生ぜし時の40厘の臂長に作用せし張力を1000厘の單位を以て示したるものとす。

【註】(1)純混凝土龜裂又は破壊扭力率。(第一〇表參照)

第九章 B類供試體實驗成績

三〇 第五種供試體 7個の45度螺旋筋と10個の縱鐵筋とを以て補強せられし第五種供試體の成績次の如し。

第一五表 第五種供試體

供試體	製 年 月 日	作 年 月 日	試 年 月 日	材 齡 (日)	寸 法 徑	(輕) 長	龜裂扭力率 M/d (輕厘)	破壊扭力率 M/d (輕厘)
29	15年8月14日	15年9月23日		45	30.03	149.9	134 000	194 800
30		14日	28日	45	30.03	150.0	140 800	208 400
31		15日	29日	45	30.01	149.9	138 000	206 000
32		15日	29日	45	30.03	150.0	120 000	196 400
33		16日	30日	45	30.05	149.9	131 200	198 800
34		16日	30日	45	30.00	149.8	128 000	200 000
35		17日	10月 1日	45	30.00	150.0	136 000	204 800
74		9月 5日	20日	45	29.93	149.8	146 400	199 200
平均				45	30.02	149.9	134 400	201 050

三一 第六種供試體 7個の45度螺旋筋と18個の環狀筋とを以て補強せられたる第六種

供試體の成績次の如し。

第一六表 第六種供試體

供試體	製年 月 日	作日	試年 月 日	驗日	材 齡 (日)	寸 法 (mm)	徑	長	龜裂抵抗力率 Md (kg/cm ²)	破壊抵抗力率 Md' (kg/cm ²)
9	15年8月	4日	15年9月	18日	45	30.00	149.9	158 000	212 000	
10		4日		18日	45	30.00	149.9	166 000	211 200	
11		5日		18日	44	29.78	150.0	162 000	216 000	
12		5日		20日	46	30.03	149.5	157 200	221 200	
13		6日		20日	45	30.00	149.9	168 800	208 800	
14		6日		20日	45	30.03	149.7	152 000	206 000	
22		10日		23日	45	30.05	149.8	152 000	200 000	
72	9月	4日	10月	19日	45	29.96	149.8	162 800	203 200	
平 均					45	29.98	149.8	159 850	209 800	

三二 第七種供試體 5個の60度螺旋筋と10個の縦筋とを以て補強せられたる第七種供試體の成績次の如し。

第一七表 第七種供試體

供試體	製年 月 日	作日	試年 月 日	驗日	材 齡 (日)	寸 法 (mm)	徑	長	龜裂抵抗力率 Md (kg/cm ²)	破壊抵抗力率 Md' (kg/cm ²)
37	15年8月	18日	15年10月	2日	45	30.00	149.8	141 200	188 800	
38		18日		1日	44	30.02	149.9	134 800	190 000	
39		19日		2日	44	30.00	149.9	146 800	200 000	
40		19日		4日	46	30.05	150.0	124 400	204 000	
41		20日		4日	45	30.05	150.0	151 200	213 500	
42		20日		4日	45	30.03	150.0	143 200	204 000	
75	9月	6日		21日	45	29.98	150.0	156 500	212 400	
76		6日		21日	45	29.95	149.8	136 000	197 600	
平 均					45	30.01	149.9	141 800	201 200	

三三 第八種供試體 9個の30度螺旋筋と18個の環状筋とを以て補強せられたる第八種供試體の成績次の如し。

第一八表 第八種供試體

供試體	製年 月 日	作日	試年 月 日	驗日	材 齡 (日)	寸 法 (mm)	徑	長	龜裂抵抗力率 Md (kg/cm ²)	破壊抵抗力率 Md' (kg/cm ²)
15	15年8月	7日	15年9月	21日	45	30.00	150.0	159 200	209 200	

16	7日	21日	45	30.03	150.0	144 000	198 000
17	8日	22日	45	30.08	150.0	168 800	216 000
18	8日	22日	45	30.03	149.9	155 200	214 000
19	9日	22日	44	30.02	149.8	153 200	208 800
20	9日	23日	45	30.03	150.0	156 000	216 000
21	10日	23日	44	30.03	150.0	146 000	202 000
71	9月 4日	10月19日	45	30.00	149.8	133 200	204 800
平均			45	30.03	149.9	151 950	208 600

三四 第九種供試體 10個の縦鐵筋と18個の環狀筋とを以て補強せられたる第九種供試體の成績次の如し。

第一九表 第九種供試體

供試體	製作年月日	試験年月日	材 齡 (日)	寸 法 徑 長	(靜)	龜裂耐力率 Md' (靜負)	破壊耐力率 Md'' (靜負)
23	15年8月11日	15年9月25日	45	30.00	149.8	140 000	140 000
24	11日	25日	45	29.87	149.8	120 000	132 000
25	12日	25日	44	30.02	149.8	118 800	124 000
26	12日	27日	46	30.02	149.8	112 800	134 000
27	13日	27日	45	30.03	150.0	129 600	145 200
28	13日	27日	45	30.00	149.9	116 000	133 600
36	17日	10月 1日	45	29.98	149.7	116 800	136 000
78	9月 8日	20日	45	29.99	150.0	112 000	136 000
平均			45	29.99	149.9	120 750	135 100

三五 B 類供試體集覽 此の類に屬する供試體の鐵筋は(1)螺旋筋と縦鐵筋、(2)螺旋筋と環狀筋、(3)縦鐵筋と環狀筋との併用なり、45度螺旋筋の効率最大なるは理論的及び實驗的に明にして軸の扭力抵抗に對する螺旋筋の影響は、その螺旋角が45度より遠ざかるに従つて減少するや論なし。著者の見解に従へば此の螺旋筋効率の減少は、60度螺旋筋には縦鐵筋を追加し、30度螺旋筋には環狀筋を追加する事によつて之を補充する事を得べし。之に反して45度螺旋筋に縦鐵筋又は環狀筋を追加する事は理論上扭力抵抗の増進に對して無効ならざる可らず、此の假定に基き本實驗にありては、60度螺旋筋と縦鐵筋、30度螺旋筋と環狀筋とを併用する事とし、猶ほ此等と比較せんがために45度螺旋筋と縦鐵筋又は環狀筋とを併用する事とせり。

全供試體の鐵筋量は互に相等しく且つ A 類供試體のそのの2倍に定む。

第二〇表 B 類 集 覧

種 類	供試體 員 数	鐵筋全量 ($\bar{R}_d$)	龜 裂 扭 力 率 $\bar{M}_d$	($\bar{R}_d$) $\Delta \bar{M}_d$	破 壊 扭 力 率 $\bar{M}_d'$	($\bar{R}_d'$) $\Delta \bar{M}_d'$		
1	8	0	120 860	1.00	0	120 860	1.00	0
5	8	10.7	144 400	1.19	23 540	201 050	1.66	80 190
6	8	16.3	159 350	1.32	38 990	209 800	1.74	88 940
7	8	10.9	141 800	1.17	20 940	201 200	1.66	80 340
8	8	10.9	151 950	1.16	31 090	208 600	1.73	87 740
9	8	10.4	120 750	1.00	0	135 100	1.12	14 240

此等の結果を概言せんに(1)一般に螺旋筋に追加せられし縦鉄筋又は環状筋は螺旋筋が45度の場合と雖も猶ほ軸の扭力抵抗を増大す。(2)螺旋筋に追加せらるゝ場合には環状筋は縦鉄筋に比して多少その効率大なり。(3)縦鉄筋と環状筋とを併用せし第九種供試體にありては鉄筋はその龜裂扭力率の上に何等の影響を及ぼさず、破壊扭力率に對する影響に至りては最小なり。(4)龜裂の状態を見るに第五種乃至第八種供試體の端面に於けるその分布はA類のそれに比して著しく密なり。(5)第九種供試體端面の龜裂の分布は他の供試體のそれよりも遙かに疎なり。(6)此の種類の供試體に於ける主龜裂は約45度の方向に上る螺旋曲線に従ふと雖も之に隨伴して起る龜裂は幾分か角度急峻なり。

第二四圖乃至第二八圖は第五種乃至第九種供試體の試験後の状態を示す。

第一〇章 C類供試體實驗成績

三六 第一〇種供試體 7個の外側螺旋筋と5個の内側螺旋筋(角度は共に45度)とを以て補強せられし第一〇種供試體の成績次の如し。

第二一表 第一〇種供試體

供試體	製 年 月 日	作 試 驗 年 月 日	材 齡 (H)	寸 法 徑	(粗) 高	龜裂扭力率 $\bar{M}_d$ ($\bar{R}_d$)	破壞扭力率 $\bar{M}_d'$ ($\bar{R}_d$)	
61	15年8月30日	15年10月14日	45	30.00	149.7	170 800	262 000	
62		30日	14日	45	29.90	149.7	166 000	248 000
63		31日	15日	45	29.90	150.0	141 200	246 400
64		31日	15日	45	30.00	149.8	144 800	260 800
65	9月 1日	16日	45	29.96	149.7	154 000	247 600	
66		1日	16日	45	29.96	150.0	123 000	245 200
83		10日	25日	45	29.87	150.2	136 000	242 000
84		10日	25日	45	30.00	150.0	151 200	246 800
平 均			45	29.95	149.9	149 000	249 850	

三七 第一一種供試體 第一〇種供試體と同一の内外螺旋筋に各6個づきの縦鉄筋を追加したりし第一一種供試體の成績次の如し。

第二二表 第一一種供試體

供試體	製 年 月 日	試 年 月 日	材 齡 (H)	寸 法 徑	(種) 長	龜裂 率 Md (種) (種)	破壞 率 MV (種) (種)
67	15年9月2日	15年10月16日	44	29.92	150.0	152 400	254 800
68	2日	18日	46	29.95	150.1	172 400	256 400
69	3日	18日	45	30.00	149.7	154 000	265 600
70	3日	18日	45	30.00	149.9	152 000	265 200
85	11日	26日	45	30.00	149.8	146 000	268 000
86	11日	26日	45	30.00	149.8	123 200	272 800
平 均			45	29.98	149.9	150 000	263 800

三八 第一二種供試體 5個の内側螺旋筋に6個の縦鉄筋を追加したる第一二種供試體の成績次の如し。

第二三表 第一二種供試體

供試體	製 年 月 日	試 年 月 日	材 齡 (H)	寸 法 徑	(種) 長	龜裂 率 Md (種) (種)	破壞 率 MV (種) (種)
87	15年9月12日	15年10月27日	45	30.04	150.0	112 400	123 400

三九 C類供試體集覽 此の類に屬する供試體の鉄筋量は區々にして互に相異なり種々の位置に挿入せられたる鉄筋の差率を比較するの用に供せらる。

第二四表 C 類 集 覽

種 類	供試體 負 數	鉄筋重量 (種)	龜裂 率 Md	比 較	(種) ΔMd	破壞 率 MV	比 較	(種) ΔMV
1	8	0	120 860	1.00	0	120 860	1.00	0
10	8	11.2	149 000	1.23	23 140	249 850	2.07	128 990
11	6	16.2	150 000	1.24	29 140	263 800	2.18	142 940
12	1	7.1	112 400	0.93	—	123 400	1.06	7 540

此等の供試體の實驗に於て觀測し得たる所次の如し。(1) 第一〇種及び第一一種供試體に於ける塔面の龜裂は分布最も密なり。(2) 第一二種供試體の塔面には極めて僅少の龜裂を認め得しのみ。(3) 第一〇種及び第一一種供試體の龜裂抵抗力率はB類供試體に比して大ならず(第九種供試體を除外す)。(4) 之に反してその破壞抵抗力率は龜裂抵抗力率に比して著しく増大せらる。(5) 第一一種供試體は最大荷重を負ふに足り、第一〇種供試體之

に亞ぐ。共に他の凡ての供試體に比すれば拔群の抵抗力を有す。(6) 第一二種供試體の龜裂扭力率は純混凝土供試體のそれより稍低く、その破壊扭力率は之より多少高き事を知りたれど、第一二種は僅かに1個の供試體を製作せしに過ぎざるが故に此等の結果は俄かに信を措き難し。

第二九圖及び第三〇圖は夫々第一〇種及び第一一種供試體の試験後の状態を示す。第三一圖に示せる第七〇號、第八五號及び第八六號(第一一種)供試體にありては最高扭力率を超えて後猶ほ試験を繼續したるものにして、その結果寫眞の示すが如く鉄筋の外側の混凝土は一部分剝離を見たり。特に第七〇號供試體に於ては混凝土剝離の結果、軸の徑を一部分30㎜より31.5㎜に増大せしを見る(混凝土脱落直前)。第三二圖は第七〇號供試體を局部的に廓大したるものなり。

一般に混凝土の混合、供試體の製作ともに最大の注意を拂ひて施工せられしが故に、混凝土が比較的高き均質性を有したりし事は、純混凝土軸の破壊面を検する事によりても知らる。その結果として、(1) 試験成績に於ける個々の實驗値はその平均値より甚しく相違せず。(2) 供試體端面の龜裂は甚しき例外なくして等距離に分布せらるゝを見たり。

第一章 扭 角

四〇 純混凝土供試體扭角 本實驗に於ける12個の純混凝土供試體の内、8個に就て扭角を觀測す。4個は第二〇節第一項により4個は同第二項によりて實驗に供す。前述の如く、扭角は望遠鏡の助けを籍りて互に50㎜を隔つる2點に就て之を觀測するが故に

$l=50$ ㎜ 扭角を觀測する2點間の距離

θ_A 固定端に近きA點の扭角

θ_B 廻轉端に近きB點の扭角

θ_l l の長さに於ける扭角

θ 單位扭角

とせば次の關係あり。

$$\theta_l = \theta_B - \theta_A, \quad \theta = \theta_l / l \dots \dots \dots (1)$$

(1)式を實驗の結果に適用して算出せる單位扭角(以下扭角は凡て 10^{-6} の單位にて表はす)の値次の如し。

第二五表 純混凝土供試體單位扭角 (イ)

扭 力 率 (程 度)	供 試				設
	90	93	94	95	平 均
0 - 20 000	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2

0—40 000	1.7	1.5	2.1	1.5	1.7
0—60 000	3.4	2.9	3.7	3.2	3.3
0—80 000	4.8	5.2	5.5	4.9	5.1
0—100 000		6.9	7.2	6.9	7.0
0—120 000			9.6	8.8	9.2
破 壊 時	20.6	—	14.0	12.1	

次表の供試體4個に就ては荷重を加へ或は之を取り去りて總扭角 θ_0 余剩扭角 θ_1 及び彈性扭角 θ を觀測せり。

第二六表 純混凝土供試體單位扭角 (ロ)

扭 力 率 (程度)	供試體88			供試體89			供試體91			供試體92		
	θ_0	θ_1	θ	θ_0	θ_1	θ	θ_0	θ_1	θ	θ_0	θ_1	θ
0—20 000	0.3	—	—	0.2	—	—	0.1	—	—	0.1	—	—
20 000—40 000	1.9	0.1	1.8	1.7	0.1	1.6	1.5	0.1	1.4	1.7	0.2	1.5
20 000—60 000	3.6	0.2	3.4	3.4	0.1	3.3	3.4	0.2	3.2	3.7	0.3	3.4
20 000—80 000	6.1	0.5	5.6				5.6	0.4	5.2	5.8	0.5	5.3
20 000—100 000	9.0	0.8	8.2									
破 壊 時	16.4			14.0			15.4			20.2		

四一 鐵筋混凝土供試體扭角 79個の鐵筋混凝土供試體の内57個に就て扭角を觀測す。

荷重は第二〇節第一項により破壊扭力率まで漸次に増大せしめたるものにして (1)式を用ひて算出せる單位扭角の値は第二七表乃至第三四表の示す所の如し。

第二七表 鐵筋混凝土供試體單位扭角 (イ)

扭 力 率 (程度)	第 二 種 供 試 體							
	43	45	46	47	48	77	78	平均
0—20 000	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.4	0.2
0—40 000	1.3	2.5	2.5	2.6	2.3	2.6	2.6	2.3
0—60 000	4.2	5.0	6.7	4.2	6.3	6.6	5.4	5.5
0—80 000	6.5	8.4	9.8	—	7.4	8.2	7.7	8.0
0—100 000	10.2	12.7	12.3	9.9	10.9	11.4	9.2	10.8
0—120 000	13.5	15.3	15.8	—	16.3	16.2	11.4	14.8
0—140 000	16.1	39.3	21.8	—	—	17.2	—	23.6
0—160 000	89.9	103.6	59.0	88.1	—	32.8	41.1	69.1

0—120 000	156.4	141.3	109.3	139.1	—	—	79.1	125.0
龜裂時	30.6	33.9	48.2	29.6	23.7	22.5	18.5	
破壞時	209.9	398.9	226.0	436.8	249.3	—	194.9	

第二八表 鐵筋混凝土供試體單位扭角 (°)

扭 力 率 (磅呎)	第 三 種 供 試 體								平均
	49	50	51	52	53	54	79	80	
0—20 000	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.4	0.1	0.2
0—40 000	2.9	2.5	2.6	2.3	2.5	2.4	3.6	3.0	2.7
0—60 000	5.2	4.2	4.6	3.4	4.5	3.7	4.8	4.1	4.3
0—80 000	8.6	6.0	8.1	6.8	6.4	7.5	5.5	5.0	6.7
0—100 000	11.3	8.0	11.9	8.6	8.2	9.1	7.9	9.9	9.4
0—120 000	16.1	10.2	13.8	10.5	11.6	14.3	10.3	13.1	12.5
0—140 000	—	20.9	17.7	12.5	—	31.1	14.4	22.8	19.9
0—160 000	—	—	—	106.3	89.8	96.3	32.1	35.8	73.3
0—180 000	—	—	87.8	—	115.6	133.5	93.7	76.0	101.3
龜裂時	29.7	12.0	23.5	16.5	30.0	17.0	24.2	17.5	
破壞時	—	—	226.8	137.0	223.7	265.7	138.0	—	

第二九表 鐵筋混凝土供試體單位扭角 (°)

扭 力 率 (磅呎)	第 四 種 供 試 體								平均
	55	56	57	58	59	60	81	82	
0—20 000	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2
0—40 000	2.3	2.4	3.3	3.7	2.6	2.9	3.1	2.6	2.9
0—60 000	5.8	4.2	4.8	6.1	4.3	4.4	5.3	5.5	5.1
0—80 000	8.5	7.2	6.1	9.0	7.0	5.8	9.1	9.4	7.6
0—100 000	10.7	9.2	10.5	11.4	10.5	9.2	10.3	12.3	10.5
0—120 000	14.1	—	12.9	15.2	14.0	14.4	13.1	—	14.0
0—140 000	23.1	30.6	19.2	19.1	—	23.1	18.7	76.7	30.1
0—160 000	78.1	55.2	72.0	38.5	—	83.9	61.8	130.4	74.3
0—180 000	—	—	—	—	—	—	159.4	—	189.4
龜裂時	16.5	16.3	19.5	29.2	22.6	16.0	21.1	18.2	
破壞時	263.5	330.9	292.9	—	—	286.6	356.3	393.2	

第三〇表 鐵筋混凝土供試體單位扭角 (°)

扭 力 率 (%)	第 五 種 供 試 體								平均
	29	30	31	32	33	34	35	74	
0—20 000	0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0	0.2
0—40 000	1.0	1.0	2.7	1.1	2.7	3.0	2.5	1.0	1.9
0—60 000	2.3	3.7	4.3	3.8	4.7	5.1	4.8	2.0	3.8
0—80 000	4.8	6.8	7.1	5.6	7.1	8.8	7.9	3.8	6.5
0—100 000	8.4	9.6	9.7	8.3	10.9	12.7	10.8	7.6	9.8
0—120 000	12.8	14.0	10.5	12.0	15.0	18.5	15.0	10.6	13.6
0—140 000	—	29.1	—	—	27.1	26.6	20.5	14.6	23.6
0—160 000	63.1	44.0	39.0	—	102.1	77.2	60.3	42.4	61.2
0—180 000	87.7	107.0	71.8	—	141.6	129.1	94.5	82.5	102.0
0—200 000	—	139.2	104.6	—	—	219.9	123.2	—	148.0
龜 裂 時	16.8	32.2	14.4	—	37.1	32.8	22.5	20.2	
破 壞 時	204.9	255.0	229.5	—	—	219.9	252.4	275.9	

第三一表 鐵筋混凝土供試體單位扭角 (°)

扭 力 率 (%)	第六種	第八種	第 九 種		第一二種
	72	71	36	73	87
0—20 000	0.3	0.2	0.2	0.1	0.3
0—40 000	2.2	1.7	2.1	1.9	2.9
0—60 000	4.2	3.7	3.6	3.0	5.7
0—80 000	6.8	6.0	7.1	5.9	8.7
0—100 000	9.0	7.7	10.5	8.7	13.2
0—120 000	12.6	10.6	—	45.2	23.6
0—140 000	27.7	16.0	—	—	—
0—160 000	31.2	32.2	—	—	—
0—180 000	59.8	59.9	—	—	—
0—200 000	104.0	96.9	—	—	—
龜 裂 時	32.9	12.4	32.7	22.4	18.5
破 壞 時	154.2	217.4	248.9	181.6	—

第三二表 鐵筋混凝土供試體單位扭角 (°)

扭 力 率 (%)	第 七 種 供 試 體								平均
	37	33	39	40	41	42	75	76	
0—20 000	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0	0.4	0.2

0—40 000	2.6	3.0	3.0	2.0	1.2	2.2	2.4	3.3	2.5
0—60 000	4.9	5.6	4.6	3.3	4.6	5.5	5.4	4.1	4.8
0—80 000	8.0	8.7	6.4	5.1	6.4	6.6	6.5	6.8	6.8
0—100 000	11.2	11.8	9.3	8.3	9.3	9.1	8.6	8.9	9.6
0—120 000	13.3	14.2	11.5	12.4	12.8	12.9	11.8	10.5	12.4
0—140 000	26.1	—	24.1	30.3	23.8	—	15.1	—	23.9
0—160 000	49.9	79.3	76.1	64.2	—	—	—	45.5	63.0
0—180 000	113.1	129.4	128.6	114.6	96.1	—	60.9	60.6	100.5
0—200 000	—	—	315.7	168.1	145.8	—	126.4	—	189.0
龜裂時	29.5	23.5	32.4	18.8	29.9	—	22.2	16.2	
破壞時	353.5	224.0	315.7	—	251.9	—	490.5	200.1	

第三三表 鐵筋混凝土供試體單位扭角 (ト)

扭力率 (度/厘米)	第一〇種供試體								平均
	61	62	63	64	65	66	83	84	
0—20 000	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0	0.2	0.2
0—40 000	2.1	1.8	2.5	1.4	2.4	2.3	2.5	2.1	2.1
0—60 000	3.3	3.5	5.2	4.0	5.2	4.4	4.6	4.4	4.3
0—80 000	6.8	5.2	8.1	6.3	7.0	6.8	7.2	7.0	6.8
0—100 000	8.7	9.6	11.2	8.7	8.7	9.3	10.0	9.8	9.5
0—120 000	11.3	11.3	14.6	11.4	11.3	12.3	14.5	14.9	12.7
0—140 000	14.8	16.5	26.0	17.8	14.0	24.3	—	17.7	18.7
0—160 000	19.7	23.3	36.9	—	25.5	32.4	28.1	38.2	29.2
0—180 000	39.5	—	52.2	—	38.8	44.0	44.6	68.5	47.9
0—200 000	62.0	—	82.5	—	68.4	86.6	67.4	99.9	77.8
0—220 000	87.5	—	149.3	—	132.8	98.5	91.8	124.8	114.1
0—240 000	105.8	—	—	—	169.7	134.6	122.3	180.1	142.5
0—260 000	156.3	—	—	—	—	—	—	—	156.3
龜裂時	24.0	28.1	26.5	—	20.2	17.8	20.8	29.0	
破壞時	286.8	—	—	—	286.0	201.3	206.9	314.9	

第三四表 鐵筋混凝土供試體單位扭角 (チ)

扭力率 (度/厘米)	第一一種供試體					平均
	68	69	70	85	86	
0—20 000	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2

0—40 000	2.7	2.0	2.4	2.4	2.6	2.4
0—60 000	5.1	4.0	4.6	4.5	4.7	4.6
0—80 000	7.5	6.3	7.0	7.2	7.1	7.0
0—100 000	9.2	8.9	9.0	10.5	10.2	9.6
0—120 000	12.5	11.2	11.5	13.2	13.5	12.4
0—140 000	16.7	15.7	15.2	16.2	17.7	16.3
0—160 000	24.0	21.2	25.6	31.1	23.9	26.2
0—180 000	36.3	30.5	30.2	40.9	36.9	36.8
0—200 000	53.3	43.8	65.6	53.9	54.3	55.2
0—220 000	83.2	63.8	81.5	77.6	76.1	76.4
0—240 000	104.8	91.2	107.6	106.1	103.8	102.7
0—260 000	—	162.4	164.1	136.7	133.1	149.1
龜 裂 時	29.3	18.2	21.0	21.9	16.0	
破 壊 時	215.4	—	273.1	215.2	226.3	

表中横線は龜裂發生の前後を區劃す。實驗中供試體端面に取付けたる鏡の下に龜裂の發生を見たる事一再にして止まらず。その結果は鏡の歪曲及び廻轉を起しその後の觀測を中止するの已むなきに至れり。

第三三乃至第四五圖は夫々供試體第九號^(第一種)第八八號^(第一種)第七八號^(第二種)第七九號^(第三種)第五五號^(第四種)第三〇號^(第五種)第七二號^(第六種)第七六號^(第七種)第七一號^(第八種)第七三號^(第九種)第六五號^(第一種)第七〇號^(第一種)及び第八七號^(第一種)に於ける扭力率と單位扭力との間の關係を示す。

此等の扭力率對扭角曲線を見るも、扭角の變化は一の連續曲線を表はし、龜裂の發生まではその曲率小にして之を直線と假定するも大差なきに反し龜裂發生後は扭角の増加率急激に増大する事、多くの材料の應力度對應變率曲線に類似するものあるを看取し得可し。第六五號及び第七〇號は最大扭力率を經過せるも猶ほ觀測を繼續せる供試體の例なり。

四二 扭角に對する鐵筋の影響 本實驗成績より見るに、混凝土供試體の扭角は鐵筋の挿入によりて毫も輕減せられず、却つて鐵筋混凝土供試體の扭角は純混凝土供試體のそれより僅かに大なり。之を既往の實驗に徴するにパツハの實驗(1911年)及びグラフの實驗(1921年)にありては鐵筋混凝土供試體の扭角は純混凝土供試體のそれより少しく小さけれど、之に反してフェップルの實驗(1911年)にありては前者は後者より少しく大にして、正に本實驗の結果と符合するを見る。著者の見る所を以てすればフェップルの供試體及び本實驗の供試體は、パツハ及びグラフのそれに比すれば斷面寸法稍小なるが故に、混

凝土の施工が多少の困難を感じたるがため斯の如き結果を生じたるには非ざるか。その間特殊の理由の存するものなき限り、混凝土軸の扭角は鉄筋の挿入によりて多少に拘らず軽減せられざる可らざるが故なり。

何れにしても鉄筋様式の如何に拘らず、扭角に對する影響が極めて輕微なるは明白なる事實にして、それは實に通例の靜力學的計算の上より期待せらるゝものに比すれば著しく小なり。即ち

θ 單位扭角

Md 扭 力 率

G 抗裁彈性係數

r 軸の半徑

r_1 軸中心より鉄筋の中心に至る距離

f_e 鉄筋總斷面積

n 鉄筋と混凝土との彈性比

とすれば、純混凝土軸及び鉄筋混凝土軸の扭角は夫々

$$\theta = \frac{2Md}{\pi r^4 G}, \quad \theta = \frac{2Md}{\pi G[\pi r^4 + 2(n-1)r_1^2 h^2 f_e]}$$

によりて表はさるゝ事、圓形軸の横斷面が扭曲後も平面にして且つ鉄筋は混凝土に比して n 倍の應力度を取ると共に、軸の斷面に於ける應裁力の分布が凡ての半徑に就て直線的なりとする通例の靜力學的假定の上より明かなりと雖も、斯の如き關係は本實驗の場合は勿論、バツハ及びグラフの實驗にありても之を見出し難し。

その理如何と言ふにフェップハの所謂應力交換の法則に従つて、鉄筋を横斷する面に於ける鉄筋の應裁力度が混凝土のそれの n 倍ならざるが故なり。その結果軸の横斷面は扭曲後平面にあらず、鉄筋の前後に於て多少の彎曲を起すが故なり。最後に軸の横斷面に於ける應裁力の分布は凡ての半徑に就て直線的ならず、フックの正比例の法則を適用し難きが故なり。

猶ほ此の點に關しては著者は『扭力論』中に詳論せるが故に茲に贅せず。

鉄筋の様式に關しては本實驗の結果より次の如き結論を見出す。(1)螺旋角の大なる螺旋筋はその小なるものに比して軸の扭曲を遅延せしむる効力稍大なり。(2)環狀筋を有する軸の扭角はその他の軸のそれよりも少しく小なり。

第三種、第六種及び第八種供試體が扭力に對して比較的大なる抵抗を示せるは實に此の結果に外ならず。

第一章 實驗成績の力學的解釋

四三 應裁力の分布 著者は既に『扭力論』中に於て既往の實驗の結果に基き混凝土扭力供試體の斷面に於ける應裁力の分布に關する見解を公にしたりしが、次にその一端を再録す。

單に理論的にのみ存在する完全彈體にありては扭力を蒙る圓形又は圓形中空軸の横斷面に於ける應裁力度は斷面重心よりの距離に正比例して變ず。即ち此等の軸に關しては夫々次の關係あり。

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= \frac{2}{\pi} \frac{Md}{r^3} \\ \tau_1 &= \frac{2}{\pi} \frac{Mdr}{r^1 r_0^1} = \frac{2}{\pi} \frac{Md}{r^1 (1-m^4)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

茲に

- τ_1 最大應裁力度
 r 外側半径
 r_0 内側半径
 m 半径の比 $r_0 : r$

通例の金属材料にありては上の公式、從つて應力度と扭角との間の正比例の假定を彈性限度以下の應力度に對してのみ適用し得可しと雖も、軸の破壊點附近に於ては然らず、此の場合には應裁力は凡ての半径に對して等布的に分布す可し、此の假定は正しき理論上の根據を有するに止まらず、鋼、軟鋼及び鑄鐵に就て施されたる既往の實驗成績と正確に一致す。

從つて此等の材料の破壊時應力度に對しては次の公式を使用す可し。

$$\left. \begin{aligned} \tau^1 &= \frac{3}{2\pi} \frac{Md}{r^3} \\ \tau_1 &= \frac{3}{2\pi} \frac{Md}{r^1 - r_0^3} = \frac{2}{\pi} \frac{Md}{r^1 (1-m^3)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

著者の見解は、混凝土及び石材の如き脆弱なる材料にありては應裁力の分布は必然的に一種の曲線に従ふ可きものとなすにありしが、混凝土の應力變形は應力度の増すと共に急激に選増する事明かなるが故に、此の曲線は之を斷面重心に起點を有する拋物線なりと假定するも決して不合理に非ず。此の假定に從つて次式を得。

$$\tau = \tau_1 \left(\frac{\varphi}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad Md = \int \tau \cdot 2\pi \varphi^2 d\varphi = \frac{2\pi \tau_1}{r^{\frac{1}{2}}} \int \varphi^{\frac{5}{2}} d\varphi = \frac{4\pi}{7} \tau_1 r^3$$

$$\therefore \tau_1 = \frac{7}{4\pi} \frac{Md}{r^3}$$

$$\text{及び} \quad \tau_1 = \frac{7}{4\pi} \frac{Mdr_1}{r^3 - r_1^3} = \frac{7}{4\pi} \frac{Md}{r^3(1-m^3)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

此等の公式は著者の創見にかゝるが故に更に之を實際の實驗成績に照して檢討せざる可らず。1921年のグラフの實驗より算出せる混凝土の彈性係數値を用ひてムエルシュ⁽¹⁾は圖式により任意の扭角に對應する扭力率の値を求め、その實際に觀測せられたる扭力率の値と正に満足す可き程度の正確さに於て相一致する事を明かにしたりしが、上に提示せる著者の公式は之に比して更に大なる適應性を有す可し、即ちその計算は極めて簡單なるが故に圖式解法の如き手数を要せず、而もその結果は寧ろ之より精確なるものあるを以てなり。次表の比較は能く此の間の消息を明かにして此等の公式を是認せしむるに足る。

第三五表 扭力率の比較

斷面形狀	應裁力度	扭力率 (厘廷)		
	τ_1 (厘廷/cm ²)	グラフ (觀測)	ムエルシュ (圖式)	著者 (公式4)
圓形	7.7	100 000	100 750	110 600
	14.0	200 000	193 000	201 100
	16.0	233 000	220 000	229 800
圓形中空	7.6	100 000	—	88 100
	12.6	145 800	141 200	146 000

100 000厘廷の如き低き扭力率段階にありては公式(4)より算出せる値は觀測値と可なりには相違すれども、破壊時に於ては實驗値と正確に一致するを見る可し。此の結果は自明の理に出づ。何となれば公式(4)は軸破壊時に對してのみ之を使用す可く誘導せられたるものなるが故に、低き扭力率に對して使用しては固より満足す可き程度の結果を豫期す可らざるが故なり。此の場合には寧ろ近似式として公式(2)を使用す可きものとす。

公式(2)乃至(4)によりて與へられたる應力分布の狀態は第四六圖に示す所の如し。

第二〇節 第一項によりて實驗に供せられたる純混凝土供試體に於ては破壊扭力率の平均値 $Md=120\ 860$ 厘廷なるが故に破壊時最大應裁力度を公式(4)によつて計算する時は

$$\tau_1 = \frac{7}{4\pi} \frac{120\ 860}{15.00^3} = 19.9 \text{ kg/cm}^2$$

同第二項によりて實驗に供せられたる純混凝土供試體に於ては破壊扭力率の平均値 $Md=98\ 400$ 厘廷にして、此の値は最大應裁力度

$$\tau_1 = \frac{7}{4\pi} \frac{98\ 400}{14.97^3} = 16.3 \text{ kg/cm}^2$$

に對應せり。即ち本實驗にありても荷重の反覆は著しく材料の強度を減ずる實驗工學界の通則の明白に行はるゝ事を看取す可く特に混凝土の如く弾性の低き材料に於て此のための強度減損率著大にして、本實驗にありては實に 18% の減損を示せり。

本實驗にありては混凝土の弾性に關する實驗を缺くが故に上記の應壓力度と軸の抗扭強度との數字的關係を明瞭ならしむるに由なしと雖も、扭力供試體の破壊の原因は應裁力にあらずして斜めの方向の主應張力に歸せざる可からざるや論なし。何とならば最大應裁力度は上に求めたるが如く混凝土の抗裁強度⁽³⁾よりも著しく小なるを以てなり。而も主應張力度は上に求めたる應裁力度よりも必ず大ならざる可からざるはボアソンの法則より容易に斷定し得る所にして此の主應張力度の最大値は固より混凝土の抗張強度に等しからざる可からざるに本實驗の抗張強度⁽⁴⁾の平均値每平方糎 12.4 匠は、最大應裁力度每平方糎 19.9 匠及び 16.3 匠の何れよりも著しく小なるは如何。此の現象はバハ又はグラフ等の既往の實驗に於ても同様に認めらるゝ所にして、之に對してはメエルシュの説明せるが如く、その原因を (1) 混凝土の抗張弾性係數と抗壓弾性係數とが相違する結果、軸斷面の外邊には軸應壓力を生ずること、(2) 實驗に際しては供試體兩端を試験機に固定する結果、その部分の摩擦が扭曲による供試體の自由伸張を阻止して同様に軸應壓力を生ずることの二點に歸す可きものとす。

【註】(1) "Verdrehsursache zur Klärung der Schubfestigkeit von Eisenbeton" S. 39

(2) 試験機の摩擦を無視せる概算値。

(3) 第八表參照。

(4) 第七表參照。

四四 混凝土の抗裁弾性係數 既往の實驗にありては凡て扭力率 Md 及び扭角 θ 又は歪率 φ_1 の間の弾性關係より抗裁弾性係數を算出したりしが、その間の關係は

$$\theta = \frac{\varphi_1}{r}, \quad G = \frac{\tau_1}{\varphi_1} = \frac{\tau_1}{\theta r}$$

$$\tau_1 = \frac{2}{\pi} \frac{Md}{r^3}, \quad G = \frac{2}{\pi} \frac{Md}{\theta r^4} \dots \dots \dots (5)$$

此の公式は固より應裁力度等變分布の假定の上に樹つが故に無條件に之を混凝土供試體に適用し難し。應力度の比較的小なる間は公式 (5) を使用して大差なかる可しと雖も、應力度の増大せる場合、特にその破壊時附近に於ては第四三節に記せる所の如く應裁力度は圓形斷面軸に對して拋物線的に分布するが故に次の關係あり。

$$\tau_1 = \frac{7}{4\pi} \frac{Md}{r^3}, \quad G = \frac{7}{4\pi} \frac{Md}{\theta r^4} \dots \dots \dots (6)$$

次表に示せる弾性係數は實驗の結果より凡て (6) 式を用ひて算出せるものにして、第一

群のものは總扭角、第二群のものは彈性扭角に對應するものとす。

第三六表 抗 載 弾 性 係 數

荷 重 段 階		供試體 90, 93-95		供試體 83, 89, 91, 92	
Md ($\text{kg}\cdot\text{cm}$)	r_1 (kg/cm^2)	$\theta(10^{-6})$	G (kg/cm^2)	$\theta(10^{-6})$	G (kg/cm^2)
20 000	3.3	1.5	143 900	1.6	137 800
40 000	6.6	3.1	142 100	3.3	133 600
60 000	9.9	4.9	136 500	5.4	122 500
80 000	13.3	6.8	130 600	8.2	111 600
100 000	16.6	9.0	122 400		

即ち本實驗の場合にありても混凝土の彈性係數が應力度の増大すると共に反對に減少する事を見る可し。

【註】(1) 彈性係數の算出にあたりては試験機の摩擦の影響を除外せんがために $Md=20\ 000$ 輕荷を以て純扭曲の基準と定む。

四五 龜裂扭力率 鉄筋混凝土軸に於ける龜裂扭力率が純混凝土軸に於けるそれよりも大なりとせば、その超過量は明かに之を鉄筋の効果に歸せざる可らず。1904年ムエルシュが鉄筋混凝土軸の龜裂扭力率に關して公表せる解法は多少の誤謬を含む。⁽¹⁾ 中心軸に對して 45 度の傾斜を有する斜めの張力と之に直角なる斜めの壓力とは相共に扭力率と平衡を保つ可き事明かにして、此の張力が混凝土によりて支へらるゝと鉄筋によりて支へらるゝとは問ふ所にあらず。此の故に龜裂の發生後に於てもその發生前と同一の靜力學的關係が成立せざる可らざるに係らず、上掲ムエルシュの解法は混凝土によりて發揮せらるゝ斜めの壓力に對して何等の考慮を拂はざるが故なり。之に反して著者が茲に『扭力論』中に公表せる扭力供試體の破壊時に於ける鉄筋應裁力に關する理論は、同時に龜裂扭力率の値に對しても亦之を適用し得可し。即ち次の如し。

(1) 單式螺旋筋 扭力供試體の鉄筋が螺旋角 β なる螺旋筋にして且つ扭力を蒙りたる時に應張力を生ずるが如き方向に挿入せられたりとすれば次の關係あり。第四七圖參照。

ΔMd 鉄筋混凝土軸及び純混凝土軸に於ける龜裂扭力率の差

S Z' 及び D の合成力たる周邊水平力

D 混凝土の應壓力

Z 鉄筋應張力の總和

Z' Z の有効分力

r_1 鉄筋筒の半径

z 横斷面に於ける鉄筋數

f_e 鉄筋一本の斷面積

σ_e 鉄筋應張力度

とすれば

$$\Delta Md = S r_1, \quad S = 2 Z' \sin \frac{\pi}{4} = 2 D \sin \frac{\pi}{4}, \quad Z = \sigma_e z f_e$$

にして Z なる張力の内 D に垂直なる分力 Z' のみ有効なるが故に

$$\left. \begin{aligned} Z' \sin \frac{\pi}{4} &= Z \sin \beta, & \beta &\leq \frac{\pi}{4} \\ Z' \cos \frac{\pi}{4} &= Z \cos \beta, & \beta &\geq \frac{\pi}{4} \end{aligned} \right\}$$

従つて

$$\left. \begin{aligned} \sigma_e &= \frac{\Delta Md}{2 \sin \beta z r_1 f_e}, & \beta &\leq \frac{\pi}{4} \\ \sigma_e &= \frac{\Delta Md}{2 \cos \beta z r_1 f_e}, & \beta &\geq \frac{\pi}{4} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

螺旋角 $\beta = 45^\circ$ の場合には (7) 式を變じて

$$\sigma_e = \frac{0.707 \Delta Md}{z r_1 f_e} \dots \dots \dots (8)$$

螺旋角 $\beta = 30^\circ, \beta = 60^\circ$ に對しては同一の結果となり

$$\sigma_e = \frac{\Delta Md}{z r_1 f_e} \dots \dots \dots (9)$$

を得。

(2) 縦鉄筋及び環狀筋 縦鉄筋及び環狀筋を各單獨に使用する場合にその無効なる事は (7) 式の第一式及び第二式に於て夫々 $\beta = 0, \beta = \frac{\pi}{2}$ とせる場合に各分母 $\Delta Md = 0$ ならざる可らざる事より明かなるのみならず、既往の實驗亦之を立證せりと雖も縦鉄筋と環狀筋とを併用する時は抗扭力の増進に多少の効果あり。今縦鉄筋と環狀筋とが同一間隔に挿入せられたりとせば公式 (7) の誘導過程に於て $Z' \sin \frac{\pi}{4} = Z$ と置く時は

$$\sigma_e = \frac{0, \Delta Md}{z r_1 f_e} \dots \dots \dots (10)$$

を得可し。茲に z は縦鉄筋の員數又は環狀筋に對してはその間隔を t として $z = 2 \pi r_1 / t$ より算出せられたる想定員數とす。

(3) 螺旋筋と縦鉄筋又は環狀筋 45度螺旋筋と併用せられし縦鉄筋又は環狀筋は理論上無効にして扭力率の上に何等の影響を及ぼさざるを以て原則とし、此の故に公式 (8) は第二種供試體のみならず第五種及び第六種供試體に對して同様に使用し得可しと雖も螺旋角 β

が45度に等しからざる時に於て、螺旋筋と縦鉄筋又は環状筋との合成作用の關係は茲に一變す。

著者が既に指摘せる所の如く螺旋角 β が45度に等しからざる時はその之より大なると又は小なるとに論なく、螺旋筋の効率は從つて減ず可く、此の關係は (7) 式よりも之を認め得可し。而して斯の如螺旋筋の効率の減損を回復せんがためには 60 度螺旋筋には縦鉄筋を、30 度螺旋筋には環状筋を附加せざる可らず。 β なる螺旋角を有する螺旋筋張力の水平及び鉛直の方向に於ける分力は夫々 $Z \sin \beta$, $Z \cos \beta$ にして、此の螺旋筋が最大の抗扭力を發揮し得るがためには $\beta \leq \frac{\pi}{4}$, $\beta \geq \frac{\pi}{4}$ に從つて之れに垂直の方向に於て夫々 $Z (\cos \beta - \sin \beta)$, $Z (\sin \beta - \cos \beta)$ なる分力の不足を見る。第四八圖参照。

而して此の螺旋筋の發揮し得る最大超過扭力率は

$$\left. \begin{aligned} \Delta Md &= 2zr_1 \sigma_e f_e \cos \beta, & \beta &\leq \frac{\pi}{4} \\ \Delta Md &= 2zr_1 \sigma_e f_e \sin \beta, & \beta &\geq \frac{\pi}{4} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

にして (11) 式の ΔMd より (7) 式の Md を減じたる殘量 $\Delta_1 Md$ は環状筋又は縦鉄筋によりて發揮せらるゝ扭力率の部分なるや論なし。

$$\begin{aligned} \text{即ち } \Delta_1 Md &= 2zr_1 \sigma_e f_e (\cos \beta - \sin \beta) \\ &= \Delta Md (1 - \tan \beta), & \beta &\geq \frac{\pi}{4} \\ \Delta_1 Md &= 2zr_1 \sigma_e f_e (\sin \beta - \cos \beta) \\ &= \Delta Md (1 - \cot \beta), & \beta &\leq \frac{\pi}{4} \end{aligned} \left. \dots\dots\dots (12) \right.$$

縦鉄筋又は環状筋の應力を見出さんがためには公式 (10) の Md の代りに上に求めたる $\Delta_1 Md$ を代入す可し。從つて $\beta \leq \frac{\pi}{4}$ なる螺旋筋と環状筋とを併用せる場合には

$$\left. \begin{aligned} \sigma_e &= \frac{0.5 \Delta Md}{\cos \beta z r_1 f_e} \\ \sigma_2 &= \frac{0.5 (1 - \tan \beta) \Delta Md}{z_2^2 r_1 f_2} \end{aligned} \right\} \beta \leq \frac{\pi}{4} \dots\dots\dots (13)$$

茲に $f_2 l_2 \sigma_2$ 及び z_2 (但し $z_2 = 2\pi r_1 / l_2$) は夫々環状筋の斷面積、間隔、應力度及び員數を表はす。

又 $\beta \geq \frac{\pi}{4}$ の螺旋筋と縦鉄筋とを併用せる場合には

$$\left. \begin{aligned} \sigma_e &= \frac{0.5 \Delta M d}{\sin \beta z r_1 f_e} \\ \sigma_e &= \frac{0.5(1 - \cot \beta) \Delta M d}{z_1 r_1 f_1} \end{aligned} \right\} \beta \geq \frac{\pi}{4} \quad (14)$$

茲に $f_1 h \sigma_1$ 及び z_1 (但し $z_1 = 2\pi r_1 / h$) は縦鉄筋の斷面積、間隔、應力度及び員數を表はす。因みに (13) 式に於て $\beta = 0$, (14) 式に於て $\beta = \frac{\pi}{2}$ と置く時は、縦鉄筋と環狀筋とを併用せる場合の公式 (10) を得可し。

次に此等の公式を本實驗の場合に適用せんに (13) 式に於て $\beta = 30^\circ$ と置けば

$$\sigma_e = \frac{0.577 \Delta M d}{z r_1 f_e}, \quad \sigma_2 = \frac{0.211 \Delta M d}{z_2 r_1 f_2} \quad (15)$$

次に (14) 式に於て $\beta = 60^\circ$ と置けば

$$\sigma_e = \frac{0.577 \Delta M d}{z r_1 f_e}, \quad \sigma_1 = \frac{0.211 \Delta M d}{z_1 r_1 f_1} \quad (16)$$

公式 (15) 及び (16) は夫々第八種及び第七種供試體に適用し得可し。

(4) 複式螺旋筋 著者は疊に内外二系列の螺旋筋に關する公式を發表したりしが、それは實に鉄筋の應力が中心軸よりの距離に正比例するとの假定の上に樹てり。本實驗は此の點に關して極めて興味ある結果を示せるものにして、今第一〇種供試體 (複式螺旋筋) と第二種供試體 (單式螺旋筋) との超過扭力率を比較するに夫々 $\Delta M d = 28\ 140$ cmkg, $\Delta M d = 20\ 740$ cmkg にしてその差 $\Delta M d = 7\ 400$ cmkg は明かに内側螺旋筋によりて支へられたるを斷定し得べし。内側螺旋筋の應力を見出さんがために茲に求めたる $\Delta M d$ の値を (8) 式の $\Delta M d$ に代入する時は

$$z = 5, \quad r_1 = 8.57 \text{ cm}, \quad f_e = 0.325 \text{ cm}^2, \quad \Delta M d = 7\ 400 \text{ cmkg}$$

$$\therefore \sigma_e = 377 \text{ kg/cm}^2$$

之に對して外側螺旋筋の應力度は $\sigma_e = 539 \text{ kg/cm}^2$ にして此等の應力度の比 $377:539 = 0.70$ は内外螺旋筋の半径の比 $8.57:12.0 = 0.71$ と正確に一致するが故に著者の公式は實驗によりて證明せられたりと言ふ可し。即ち

$$\sigma_e = \frac{0.707 \Delta M d}{r_1 f_e z_1 + z_2 (r_2 / r_1)^2}, \quad \sigma'_e = \sigma_e \frac{r_2}{r_1} \quad (17)$$

外側及び内側螺旋筋の斷面積は同一とし、 $r_1 r_2$ は半径、 $\sigma_e \sigma'_e$ は應力度、 $z_1 z_2$ は員數を表はす。

次表は上記の各公式を用ひて算出せる龜裂時鐵筋應力度の値なり。

第三七表 龜裂時鐵筋應力度 (kg/cm²)

供試體種類	$\Delta M d$ (程略)	外側螺旋 σ_e	内側螺旋 σ'_e	縦鉄筋 σ_1	環狀筋 σ_2
2	20 740	539	—	—	—

3	17 040	377	—	—	—
4	10 440	293	—	—	—
5	23 540	612	—	—	—
6	33 900	1013	—	—	—
7	20 940	622	—	114	—
8	31 090	513	—	—	170
9	0	—	—	0	0
10	23 140	536	353	—	—
11	29 140	555	396	—	—
平 均		618	390	114	170

此の螺旋筋平均應力度は鉄筋の抗張強度毎平方糎3 900珎の約16%に當り、混凝土の抗張強度毎平方糎12・4珎の約50倍に達せり。

此等の結果を要約する事次の如し。(1)螺旋筋の應力度は β が大なる程大なり。(2)螺旋筋に附加せられし縦鉄筋及び環狀筋は β が15度の時と雖も猶ほ龜裂の發生を遅延せしむるに効あり。(3)此の點に關しては縦鉄筋よりも環狀筋の方が有効なり。(4)第六種供試體の螺旋筋應力度がその他のものに比して著しく大きく算出せられたる所以のものは之に追加せられたる環狀筋が實際上軸の扭曲を防止するの效果あるに關せず、之を計算に上せざりしが故なり。(5)縦鉄筋と環狀筋とを併用せしものにありては鉄筋には殆んど應力を生ぜず。(6)鉄筋の應力度は軸中心よりの距離に正比例す。

【註】(1) "Schub- und Scherfestigkeit des Betons", Schweizerische Bauzeitung, 1904, S. 295

(2) 想定員數

四六 破壊扭力率 前述の如く龜裂扭力率と破壊扭力率とに對しては同一の解法が適用せられざるが故に前掲の公式(7)乃至(17)は鉄筋應力度を算出せんがために破壊時に對しても使用せらる。但し此の場合には ΔMl に破壊扭力率 Ml' を代入するを要す、その結果次の如し。

第三八表 破壊時鉄筋應力度 (珎/糎²)

供試體種類	Ml' (珎珎)	外側螺旋 σ_e	内側螺旋 σ_i	縦鉄筋 σ_1	環狀筋 σ_2
2	191 900	4 936	—	—	—
3	180 250	9 735	—	—	—
4	177 850	5 083	—	—	—
5	201 050	5 227	—	—	—
6	209 800	5 450	—	—	—
7	201 200	5 972	—	1 092	—

8	203 600	3 451	—	—	1 141
9	135 130	—	—	1 737	1 737
10	249 850	4 876	3 402	—	—
11	263 800	5 148	3 655	—	—
12	123 400	—	6 539	—	—
平均		5 547	4 552	1 415	1 439

第一〇種及び第一一種供試體に於て内側螺旋筋の應力度を前節の龜裂時に於けると同様にして計算する時は、その外側螺旋筋の應力度に對し $2951:4986=0.59$ なる比を保ち、半徑の比 0.71 とは多少相違すれど、茲には近似的に (17) 式を使用す。

第三八表を見るに螺旋筋の應力度は二、三の例外を除きては軟鋼の抗張強度よりも著しく高し。こは一見不合理にして如何なる鐵筋様式も扭力試験に際して切斷せる事なきに想到せば特に然るを覺ゆ。此の結果に對する説明は極めて容易にして、グラフの實驗及びヤングの實驗に於ける矩形又は方形斷面鐵筋混凝土軸に就ても之と同様の現象あり。

應力度算定のために曩に誘導したる公式は混凝土の應壓力が鐵筋線上に集中して鐵筋の應張力と平衡を保つとの假定の上に立脚するが故に、此等の公式は單に鐵筋混凝土中空斷面に對してのみ使用せらる可く、本實驗の場合の如き充斷面に對しては之を近似的に準用し得るに過ぎず。蓋し充斷面に於ける混凝土應張力が比較的斷面の外縁に近く挿入せられし鐵筋線上に集中せるが如き想定は理論上到底之を許し得ざるがためなり。

想ふに破壊扭力即ち最高扭力率に對して充斷面に於ける混凝土——特に軸心に近き——の張力は猶ほ未だ消滅せず、而して此の混凝土應張力が消滅し、軸の内部まで完全に龜裂が瀰漫する場合には、假令鐵筋がその破壊強度までの應力を蒙るとしても扭力率の値に却つて低減す可きこと、上表の數字に照らして明かなり。此の故に著者の公式を抗扭材の計算に使用する時は更に餘分の安全を附與せらるゝものと言はざる可からず。龜裂時に於ける各種鐵筋様式の作用に關して前節の終りに與へたる要約は移して以て破壊時に於けるそれに適用し得可し。

四七 結論 本實驗の成績に基き純混凝土及び鐵筋混凝土材の抗扭力の性質及び鐵筋各様式の作用を次の如く要約する事を得可し。

- (1) 圓形斷面混凝土軸の應載力は凡ての半徑に對して拋物線的に分布す。
- (2) 純混凝土軸の破壊及び鐵筋混凝土軸の龜裂は必ず45度の角度を以て上る螺旋曲線に従ふ。
- (3) 同一鐵筋量を使用したる第二種乃至第四種供試體の内、經濟的見地より見て45度螺旋筋が最も強し。
- (4) 之に對して30度螺旋筋は最も弱く、60度螺旋筋は此等の中間にあり。

(5) 60度螺旋筋の應力度は最大なりと雖も、單位長に對する同一鐵筋量を以てしては45度螺旋筋の如き抗扭力を發揮する事能はず。

(6) 45度螺旋筋に追加せられし縱鐵筋又は環狀筋の靜力學的効果は之を計算に上すに由なしと雖も而も軸の抗扭力を増大する上に多少の効あり。

(7) 此の場合には縱鐵筋よりも環狀筋が有効にして軸の扭曲を防止し従つて抗扭力を増進するがためには後者を以て遙かに前者に優れりとせざる可らず。

(8) 60度螺旋筋には必要な縱鐵筋を附加し、30度螺旋筋には同じく環狀筋を附加する事によりてその効率の減損を回復する事を得。

(9) 同一鐵筋量を使用せる第五種乃至第八種供試體にありては鐵筋の全効率互に著しく相違する事なしと雖もその内環狀筋を使用せる第六種及び第八種供試體のそれは少しく大なり。

(10) 縱鐵筋と環狀筋とを併用せるものにありては鐵筋の應力度最も弱く従つて此の様式は扭力供試體に對して著しき影響を與へず。

(11) 45度複式螺旋筋を使用せる第一〇種供試體にありては、その鐵筋量は第五種乃至第八種供試體に比して少きに關せず抗扭力最大にして混凝土の蒙る應張力を各部平等に輕減せんがためには本供試體は最大の適應性を有す。

(12) 此の供試體に於ける唯一の不利は内側螺旋筋の應力度が外側螺旋筋のそれと同じからざる事とす。蓋し鐵筋應力度は軸中心よりの距離に比例して直線的に變化するが故なり

(13) 複式螺旋筋に縱鐵筋を追加したる第一一種供試體にありては抗扭力は第一〇種供試體よりも猶ほ増進せらる。

(14) 最高扭力率の場合には混凝土の張力は猶ほ消滅せず、鐵筋の應力は猶ほその破壊強度に達せず従つて軸に加へられたる扭力率は部分的に混凝土と鐵筋とによりて抵抗せらる

(15) 主として中空斷面軸に適用せらる可き著者の抗扭材設計公式は近似的に、且つ安全に充斷面軸に準用せらる。

(16) 螺旋杭の如く扭力と壓力及び彎曲率を蒙る事ある部材に對しては第五種又は第七種供試體の如く縱鐵筋と螺旋筋とを併用せる様式を第一に推す可し。

(17) 扭力にのみ作用せらるゝ部材に對しては第二種、第一〇種又は第一一種供試體の如く45度單式及び複式螺旋筋を使用せるものを最も優れりとし、第六種及び第八種供試體の如く螺旋筋と環狀筋とを併用せるもの之に亞ぐ。

第十三章 附 錄

四八 扭力供試體の壓力試験 實地上の鐵筋混凝土構造にありては常時扭力に作用せらるゝが如き部材を生ずるが如きは稀なりと雖も、構造物が一時的に扭力を蒙る場合は舉げ

て之を數ふ可らず。例へば鐵筋混凝土螺旋杭の如きは原則として軸壓力を蒙る可きものなりと雖も、その扭込みに際しては扭力に作用せらる可きや論なし。此の理由に基き本實驗の供試體は扭力試驗を施されたる後に壓力試驗に供せり。此のために第二種乃至第一種供試體中より各二個を選び材齡約 112 日即ち 16 週にして容量 1 000 噸の直立式壓力試驗機によつて試驗す。壓力試驗に選ばれたる供試體は外觀上殆んど損傷を認めず、固よりその端面には無數の龜裂線を有すれども而も鐵筋外側の混凝土は毫も剝離の兆候を示さず。然れども供試體の抗壓強度の算出にあたりてはその全斷面積 $F_0 = \frac{\pi}{4} r^2 = 706.9$ 平方厘米を有効なりとするは多少不合理の嫌ひあるが故に、此の場合には鐵筋線以内の混凝土のみより有効斷面を算定せり。

(1)
純混凝土軸の抗壓試驗を缺ぐがために各種供試體の鐵筋應力度を算出する事能はざるのみならず、各種鐵筋の効率を數字的に比較する事を得ざりしは極めて遺憾にして、此の點に關しては別個の實驗を計畫すべき必要切なるを認む。實驗成績次の如し。

第三九表 抗 壓 試 驗

供試體 種類	番號	試驗(2) 年月日	材齡 (日)	鐵筋比(3)(%)		最高荷重 (噸)	抗壓強度(4) Kg(噸/厘米 ²)
				縱鐵筋	螺旋筋及 環狀筋		
2	43	15年12月11日	112	—	0.709	86 600	190
	44	11日	112	—	0.709	90 400	200
3	49	14日	112	—	0.716	118 500	262
	51	14日	111	—	0.716	100 600	222
4	55	17日	112	—	0.745	92 300	204
	56	17日	112	—	0.745	65 300(5)	144
5	29	4日	112	0.716	0.709	99 000	219
	30	4日	112	0.716	0.709	94 500	209
6	9	11月24日	112	—	1.418	107 500	238
	10	24日	112	—	1.418	138 000	304
7	37	12月 8日	112	0.716	0.716	87 000(6)	192
	38	8日	112	0.716	0.716	87 000	192
8	15	11月27日	112	—	1.454	139 000	307
	16	27日	112	—	1.454	126 400	279
9	23	12月 1日	112	0.716	0.709	143 200	316
	21	1日	112	0.716	0.709	124 000	274
10	61	20日	112	—	1.217	95 700	211
	62	20日	112	—	1.217	99 000	219

11	67	23日	112	0.859	1.317	95 800	212
	68	23日	112	0.859	1.317	110 000	243

此の結果より窺知し得る所次の如し。(1) β が大なれば大なる程螺旋筋の効率はなり。(2) 當初より期待せられし如く縦鉄筋の壓力に對する効率は最小なり。(3) 之に對して環狀筋は最大の抗壓力を發揮し得。(4) 複式螺旋筋を使用せし第一〇種及び第一一種供試體は扭力に對しては効率最大なれど壓力に對しては左程大なる抵抗力を有せず。(5) 之に對して縦鉄筋と環狀筋とを用ひたる第九種供試體の抗扭力は最小なるに、その抗壓力は最大なり。

此の結果を更に進んで検討する事は極めて興味ある事に屬し、從來螺旋筋は環狀筋よりも壓力に對して遙かに有効なりとせられ、既往の實驗は正に此の想定を裏書きするに關せず本實驗のみ獨り否らず。惟ふに、通例抗壓材に對して問題に上る螺旋筋はコンジデールのその如く極めて緩勾配なるが故による可く本實驗に用ひたるが如き急勾配の螺旋筋の作用に就ては別に研究を重ねるの要あり。蓋し急勾配螺旋筋の極限の場合、即ち縦鉄筋にありてはその効率激減するは周知の事實なればなり。

私見を以てすれば螺旋筋と縦鉄筋との効率の比を表はすべき係数は螺旋角 β の函數ならざる可らずしてコンジデールによりて定められたる係數 2.4 の如きは急勾配、即ち β の小なる螺旋筋に對しては必然的に訂正せられざる可らず。

[註] (1) 凡ての純混凝土供試體は抗扭試験の結果一片以上に破砕せられしが故に、更に之を抗壓試験に供すること能はず。

(2) 此等の供試體の製作年月日に關しては第一一表乃至第一三表、第一五表乃至第一九表、第二一表及び第二二表を見よ。

(3) 第二表の値を用ひ供試體有効斷面積 $F = \frac{\pi}{4} r_1^2 = 452.4$ 平方厘米より算出す。

(4) 自重の影響を無視し最高荷重を有効斷面積 452.4 平方厘米にて除したる商とす。

(5) 此の結果は俄かに信を措き難し。

(6) 第三種に屬する第四九號及び第五一號供試體の成績より當然豫期せらるゝ値よりは遙かに小にして、その間何等かの異常あるを認む。

四九 扭力供試體の彎曲試験 前節の初めに記せると同一の理由により供試體の一部は扭力試験後更に彎曲試験を施す。此のためには第二種乃至第一〇種供試體中より各二個を選び材齡174日乃至198日平均185日即ち約26週半にして試験に供す。蓋し此の時期にありては混凝土の材齡著しく長じたるが故に材齡を各供試體に就て正確に同一ならしむる事を必要とせざる可きを信じたるを以てなり。

試験の方法次の如し。供試體中央の圓筒部を心々間隔80樞、幅各10樞の木製支承上に水平に架し、經間の中央に同じく幅10樞の木製の鞍を載せ、此の鞍上に集中荷重を加ふ。前

記の支承と鞍とはその供試體と接する部分を半径15㎝の圓弧形に削り取り以て供試體の横廻轉を防止す。荷重をQ㊦とすれば、有効徑間長80㎝なるが故に此のために生ずる彎曲率は

$$Mb = \frac{1}{4} Ql = \frac{1}{4} \times Q \times 80 = 20Q \text{ cmkg}$$

を以て表はさる。

成績次の如し。

第四〇表 彎 曲 試 験

供試體 種類	番號	試 験(1) 年月日	材齡 (日)	鋼筋比(2)(%)		最高荷重 (㊦)	最大彎曲率 Mb (㊦㊦)
				縱鋼筋	螺旋筋及 環狀筋		
2	45	24年 2月18日	180	—	0.703	7 490	148 000
	46	19日	181	—	0.709	7 250	145 000
3	52	18日	177	—	0.716	6 100	122 000
	53	18日	176	—	0.716	4 200	84 000
4	57	19日	175	—	0.745	11 450	229 000
	58	18日	174	—	0.745	12 300	246 000
5	31	21日	190	0.716	0.709	19 470	359 400
	32	21日	190	0.716	0.709	18 750	375 000
6	11	19日	198	—	1.416	3 350	67 000
	12	18日	197	—	1.418	16 300	326 000
7	39	21日	186	0.716	0.716	17 500	350 000
	40	18日	183	0.716	0.716	18 500	370 000
8	18	19日	195	—	1.454	11 450	229 000
	19	21日	198	—	1.454	11 470	229 400
9	25	21日	193	0.716	0.709	14 600	292 000
	26	21日	193	0.716	0.709	14 000	280 000
10	63	21日	174	—	1.217	7 970	159 400
	64	21日	174	—	1.217	9 400	188 000

本實驗は既に應扭龜裂を生じたる供試體に就てなされたるものにして實驗前の混凝土損傷の程度も決して同一ならざるが故に、その結果に對して絶對の信を措き難し。

今自重による彎曲率の影響を考ふるに、供試體容積約 140 リトル、その重量約 336㊦にして、彎曲試験に際しては兩端廓大部は支點の外側に於て突衙として支へらるゝが故に靜力學的計算の結果、支點に於ける正彎曲率は約 $M_1 = 2 200$ ㊦㊦、徑間中央の負彎曲率は約 $M_0 = 11 400$ ㊦㊦となる。此の M_0 は第四〇表の M_b に比すれば、二、三の場合を除

きては之を無視するも大なる誤差を生ぜず。而も之を M_0 に加算してその結果より供試體斷面の應力度を算出する事は決して難事にあらずと雖も、既に龜裂を生じたる混凝土供試體に就て斯の如き手数を重ねる事は寧ろ無意味なる可きが故に茲には之を省く。

唯本實驗の結果よりも猶ほ一貫せる抗曲材の特性の看取せらるゝものあり。即ち (1) 縦鉄筋は原則として彎曲に抵抗する力最大なり。(2) 螺旋筋は抗曲力遙かに弱く、その内螺旋角 β の増すに従つて抗曲力は漸減す。(3) 縦鉄筋に螺旋筋を配する事は桁の抗曲力を増進する上に卓効あり。是れ後者が斜張力に對して有効に抵抗し得るが故なり。(4) 此の目的のためには45度螺旋筋が最も有効なりと認めらる。(5) 環狀筋は原則として彎曲に抵抗する事能はずと雖も、之を縦鉄筋に配する時は斜張力に抵抗する上に多少の効果あり。

以上の結果は寧ろ當初より豫期せられし所なりと雖も之を數字的に見れば興味極めて深し。第三九表、第四〇表の結果より見て既に應扭龜裂を生じたる鉄筋混凝土材の抗壓力及び抗曲力が猶ほ頗る大なるものあるは決して看過す可らず、従つて良好なる設計に成る鉄筋混凝土螺旋杭がその扭込み後に於て可なりの應壓力又は彎曲應力を蒙る事ありとも猶ほその安全を保ち得る事は以上の結果より之を推定して憚らず。

本實驗に於ける抗扭試驗、抗壓試驗、抗曲試驗の結果に徴するに、抗扭材に適する鉄筋様式は必ずしも抗壓材又は抗曲材に適せず。抗曲材に適するもの亦必ずしも抗壓材又は抗扭材に適せず。此等各種の應力の要求する所を本實驗の結果より彼此對照する時は津々として盡きざる興味を覺えしめずんば已まず。

【註】(1) 此等の供試體の製作年月日に就ては第一一乃至第一三表、第一五乃至第一九表、第二一表參照。

(2) 部材有効斷面積より算出。

五〇 螺旋杭の計算 鉄筋混凝土螺旋杭は抗扭材、抗壓材たると同時に抗曲材なりと雖も、最後の應曲應力は或る程度まで之を軽減し得べきが故に、螺旋杭は前二者に對する考慮を以て足れりとする。従つて本實驗の結果より著者は螺旋杭に對しては第五種供試體(45度螺旋筋と縦鉄筋)第六種供試體(45度螺旋筋と環狀筋)第七種供試體(60度螺旋筋と縦鉄筋)第八種供試體(30度螺旋筋と環狀筋)及び第一一種供試體(複式45度螺旋筋と縦鉄筋)に於けるが如き鉄筋様式を推稱せんとす。

螺旋杭の扭込みに際しては杭の全表面に沿つて土壓力に基因する摩擦抵抗が働く。此の土壓力はランキンの理論に従へば次式にて表はさる。

$$D = \pi r g^2 \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \dots \dots \dots (18)$$

茲に D 杭の全面に働く土壓力

r 杭斷面の半徑

l 地中に於ける杭長

g 土の單位重量

φ 土の息角

とす。第四九圖参照。

此の公式は杭尖螺旋刃の影響を無視して杭の全長に亘りて摩擦係数を一定とする假定に従ふ。土と混凝土との間の摩擦係数を f とすれば、摩擦抵抗 F は次の如し。

$$F = fD = \pi r f g l^2 \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (19)$$

而して此のために生ずる力率は

$$Ml = Fr = \pi r^2 f g l^2 \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (20)$$

杭の抗扭力は必然的に公式(20)の Ml より小なる可からず。土の自重 g は平均1立方メートルに付1600匁と假定する事を得べく息角 φ 及び摩擦係数 f に関しては既往幾多の實驗の徴すべきものあり。特に最近のゴールドベックの實驗の如きは最も貴重なる資料とす。此等の結果より本節の計算に必要な諸係数を次の如く假定す。

第四一表 摩 擦 諸 係 數

土の種類	息 角 φ	$\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$	摩擦係数 f	$f \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$
粘 土	26°—30'	0.383	0.30	0.11
砂	33°—40'	0.286	0.45	0.13
砂 利	36°—50'	0.250	0.60	0.15

此等の値を用ひて(20)式を變形する時は

$$\left. \begin{aligned} Ml &= Cr^2 l^2, & Ml \text{ は 匁 吋, } r \text{ は 匁, } l \text{ は 米 に て} \\ C &= \text{係數} = 5.5 & \text{粘土に對し} \\ &= 6.5 & \text{砂に對し} \\ &= 7.5 & \text{砂利に對し} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

試みに第七種供試體に於けるが如く60度螺旋筋と縦鐵筋とを併用するものとすれば公式(16)より次式を得。

$$\left. \begin{aligned} Ml &= 1732 r_1 k e f e \\ Ml &= 1739 r_1 k e f t \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

此等の公式を用ひて鐵筋混凝土螺旋杭は容易に計算する事を得可く、縦鐵筋は(22)式の第二式を満足する範圍内に於て應壓力又は應曲力より之を計算す可し。次表は鐵筋の許容強度 $ke = 1000 \text{ kg/cm}^2$ として算出せる螺旋杭の設計例なり。

混凝土及鉄筋混凝土抗扭試験報告

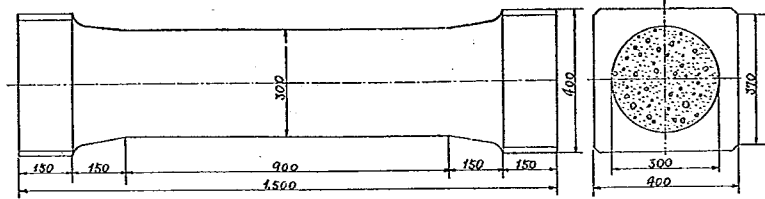
第四二表 螺旋杭の計算

土	杭長	半径(寸)		60度螺旋筋				縦鉄筋			
	l (米)	r	r_1	D (寸)	f_c (kg/cm ²)	z	t (寸)	D_1 (寸)	f_1 (kg/cm ²)	z_1	t_1 (寸)
粘土	5	15	12	0.95	0.712	3	14.5	1.905	2.850	6	12.6
	6	17.5	14.5	0.95	0.712	4	13.1	1.905	2.850	8	11.4
	7	20	17	0.95	0.712	5	12.3	1.905	2.850	10	10.7
	8	22.5	19.5	1.27	1.267	5	14.1	1.905	2.850	12	10.1
砂	5	15	12	0.95	0.712	3	14.5	1.905	2.850	6	12.6
	6	17.5	14.5	0.95	0.712	4	13.1	1.905	2.850	8	11.4
	7	20	17	0.95	0.712	6	10.3	1.905	2.850	10	10.7
	8	22.5	19.5	0.95	1.267	5	14.1	1.905	2.850	12	10.1
砂利	5	15	12	0.95	0.712	3	14.5	1.905	2.850	6	12.6
	6	17.5	14.5	0.95	0.712	5	10.5	1.905	2.850	8	11.4
	7	20	17	0.95	0.712	7	8.8	1.905	2.850	10	10.7
	8	22.5	19.5	1.27	1.267	6	11.5	1.905	2.850	12	10.1

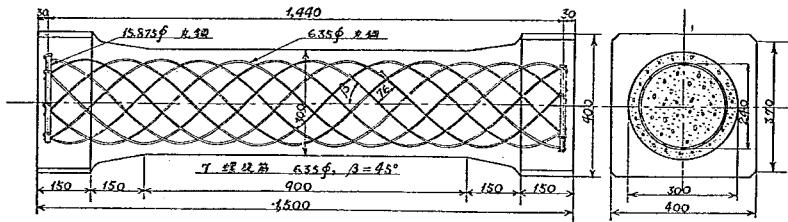
【註】(1) A. T. Goldbeck "Frictional Tests of Concrete on Various Sub-grades", Public Roads, Vol. 5, No. 5, 1924, P. 19; The Highway Engineer and Contractor, 1924, P. 29.

昭和二年四月三日 (完)

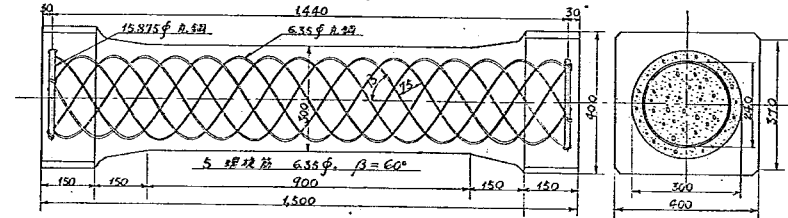
第一圖



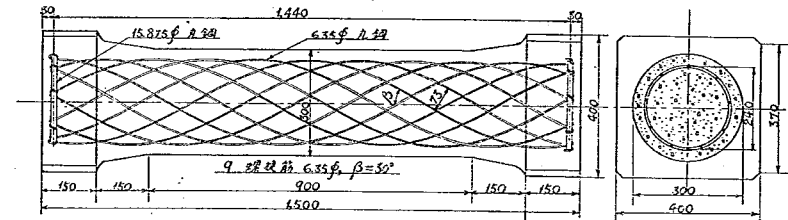
第二圖



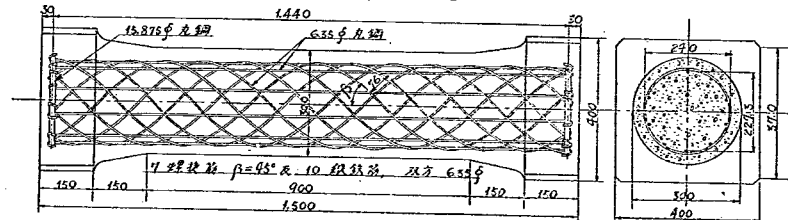
第三圖



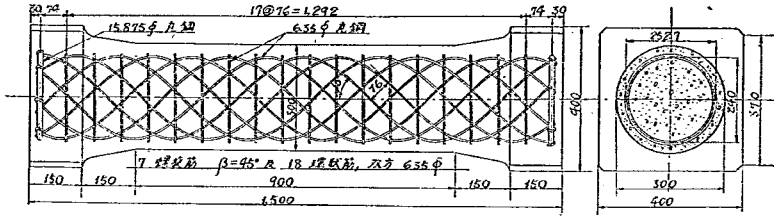
第四圖



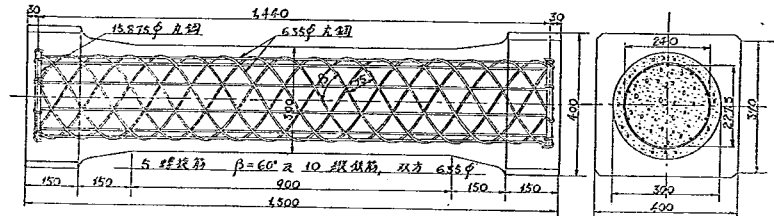
第五圖



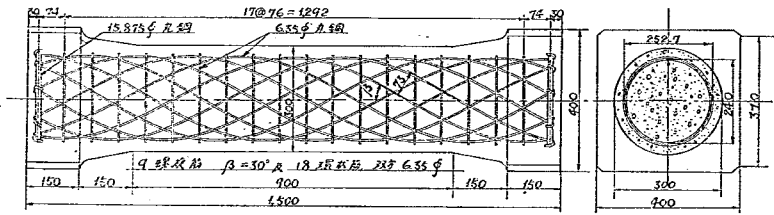
第六圖



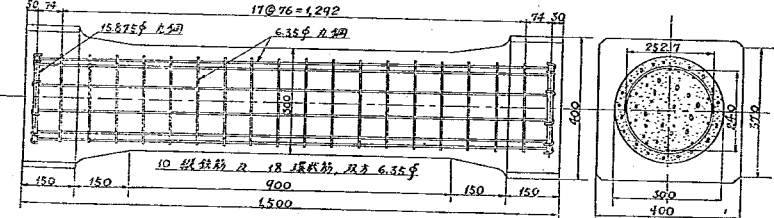
第七圖



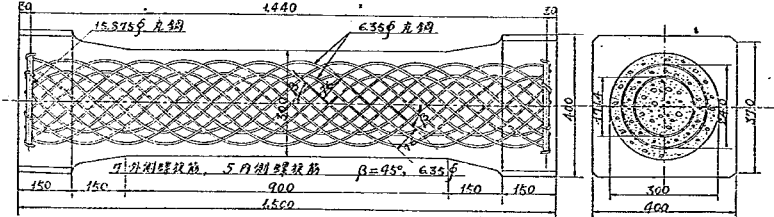
第八圖



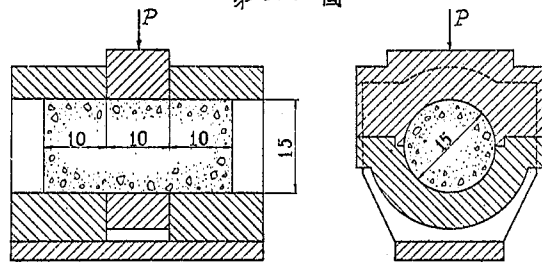
第九圖



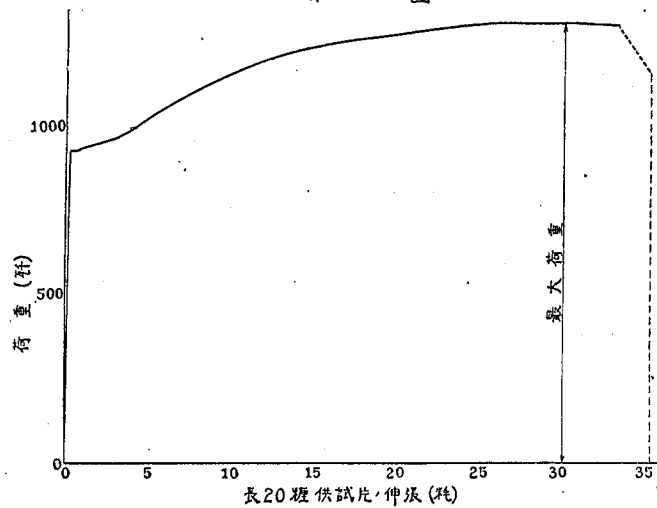
第一〇圖



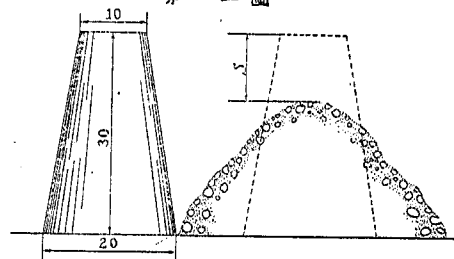
第一一圖



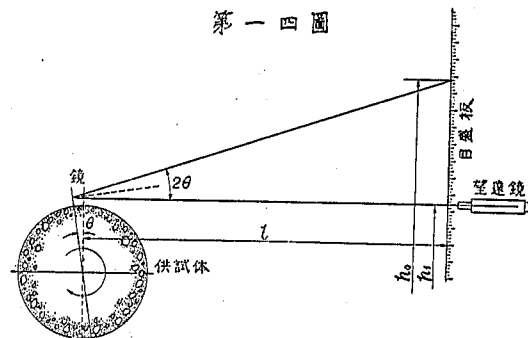
第一二圖



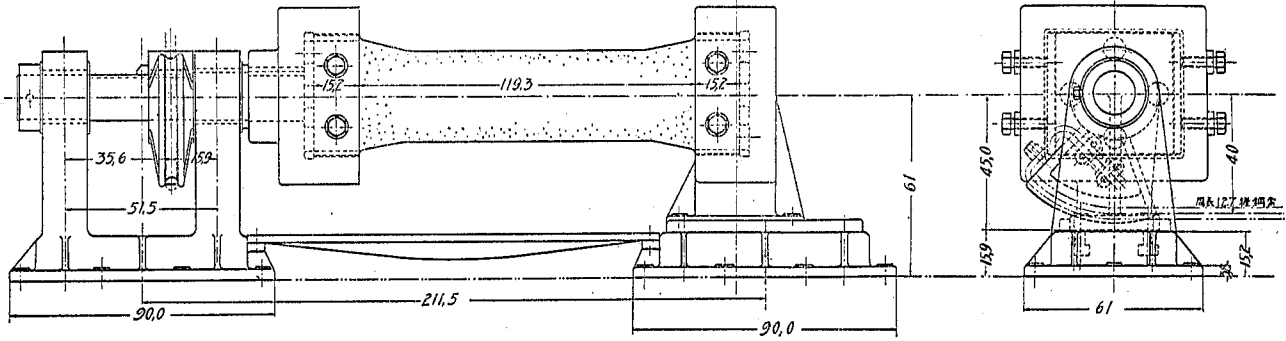
第一三圖



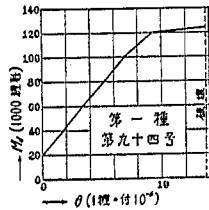
第一四圖



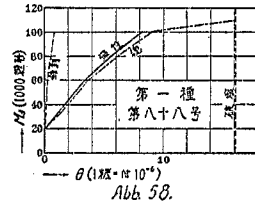
第一五圖



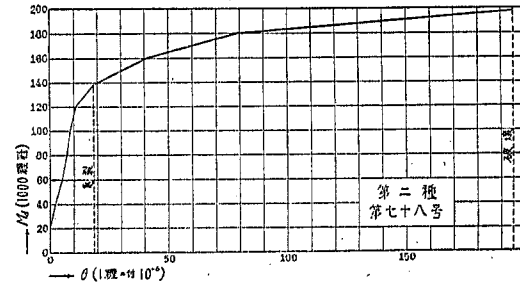
第二三圖



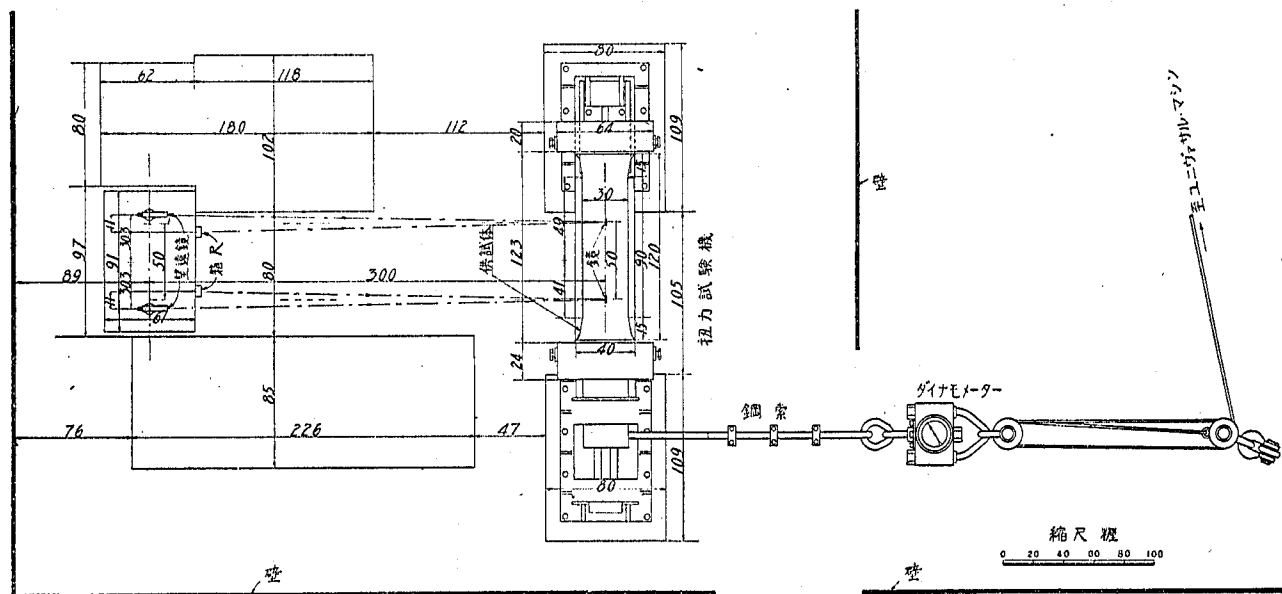
第二四圖



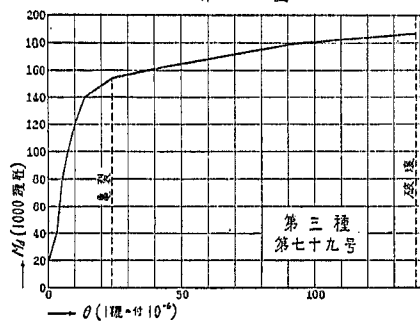
第二五圖



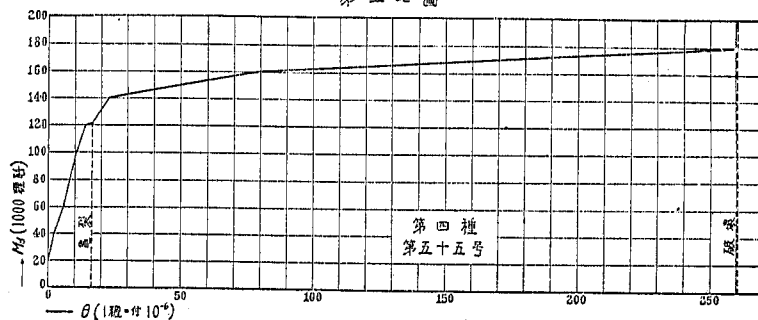
第一六圖



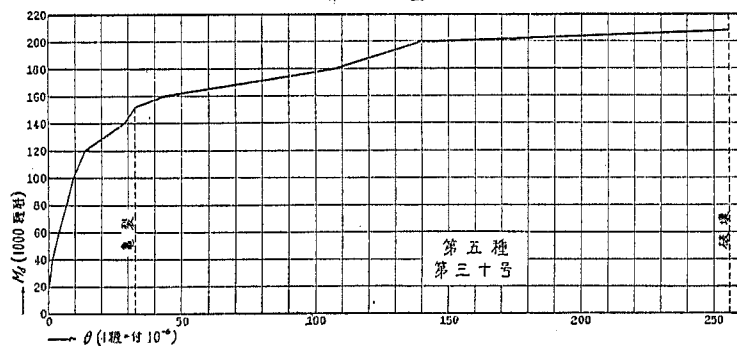
第三六圖



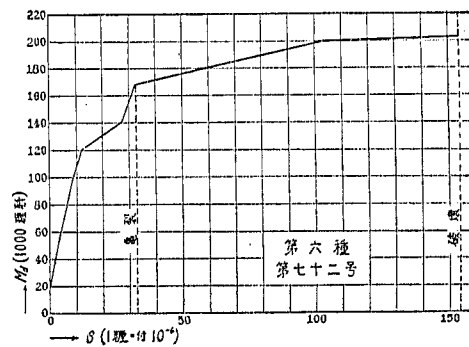
第三七圖



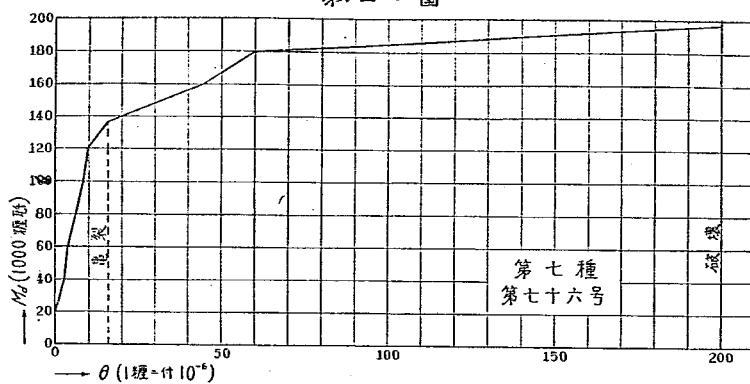
第三八圖



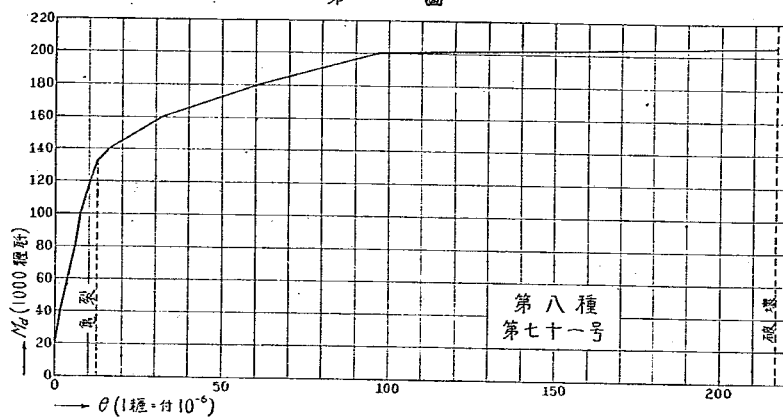
第三九圖



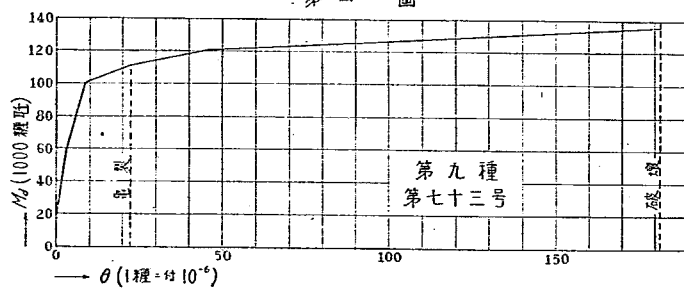
第四〇圖



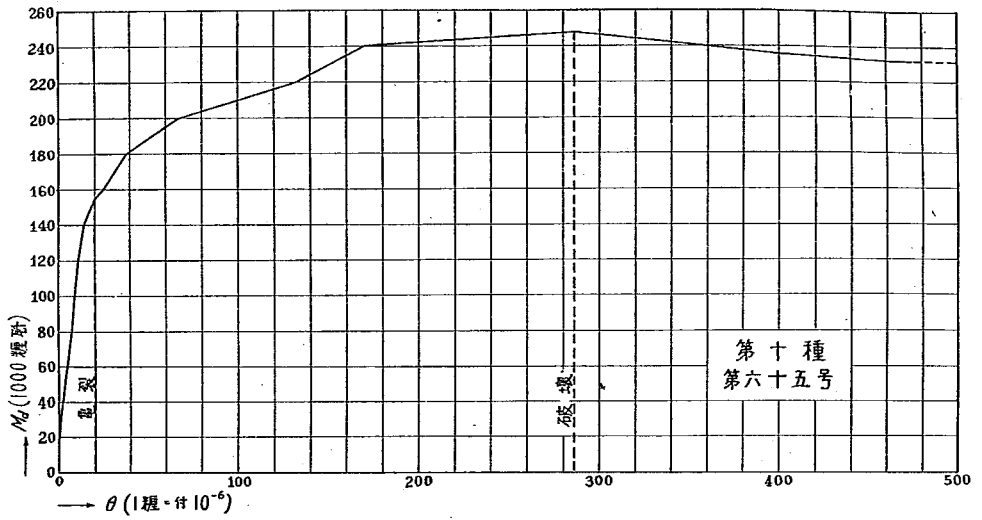
第四一圖



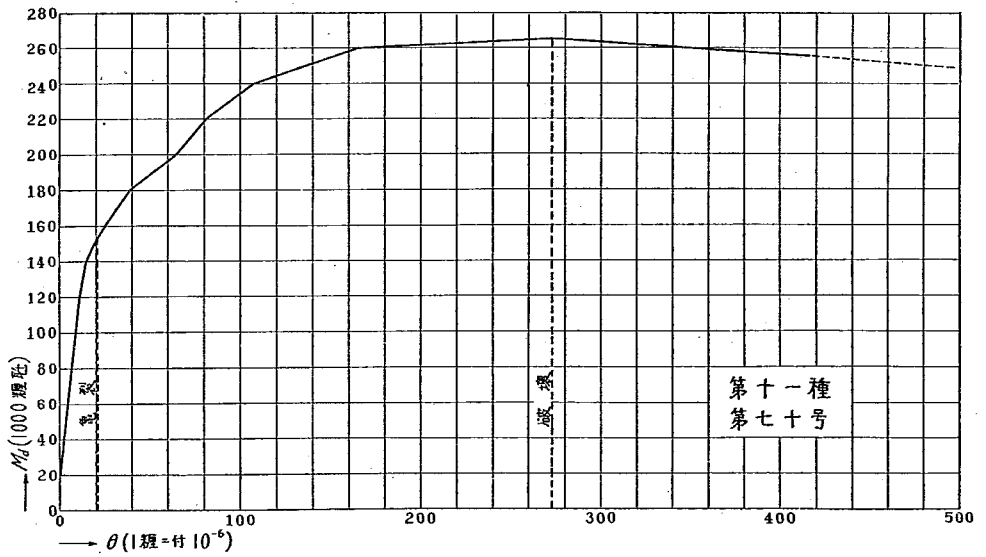
第四二圖



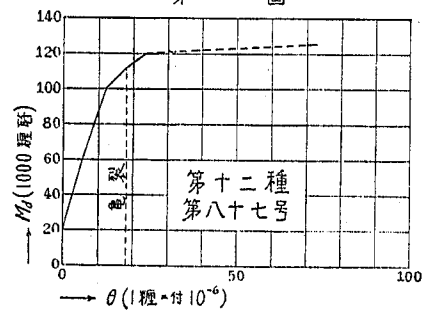
第四三圖



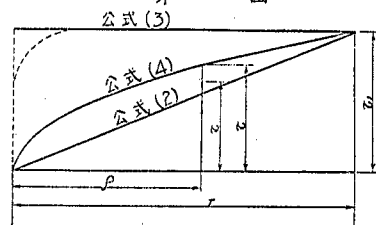
第四四圖



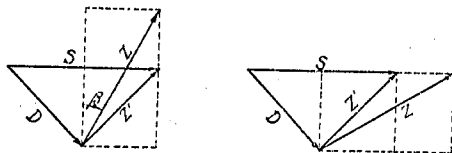
第四五圖



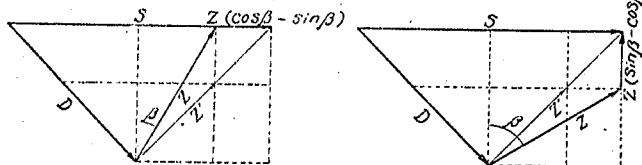
第四六圖



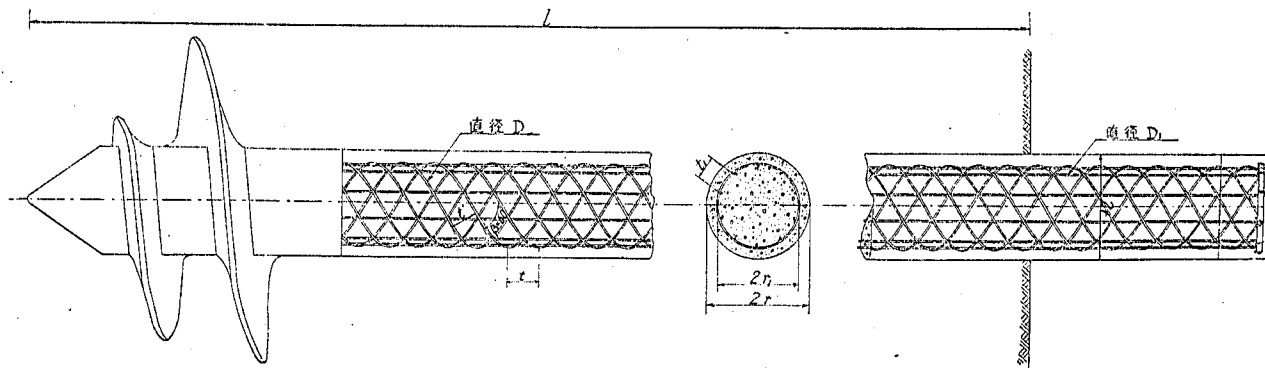
第四七圖

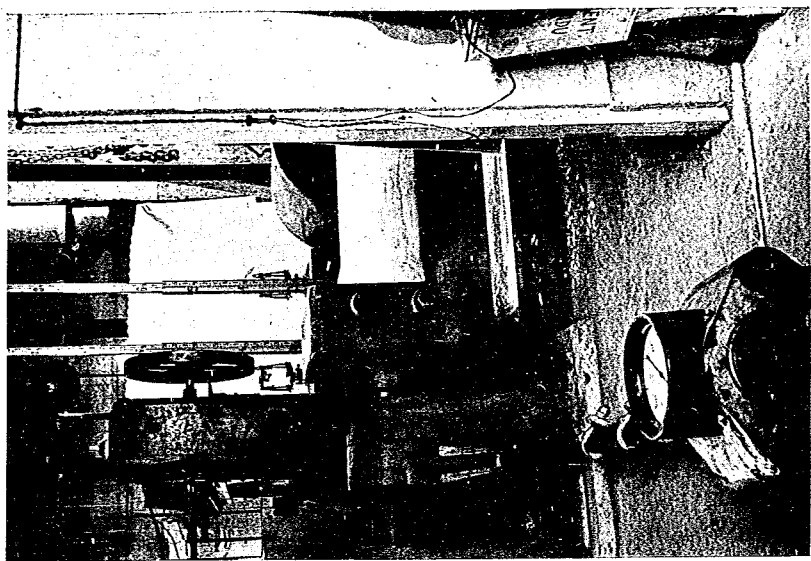


第四八圖

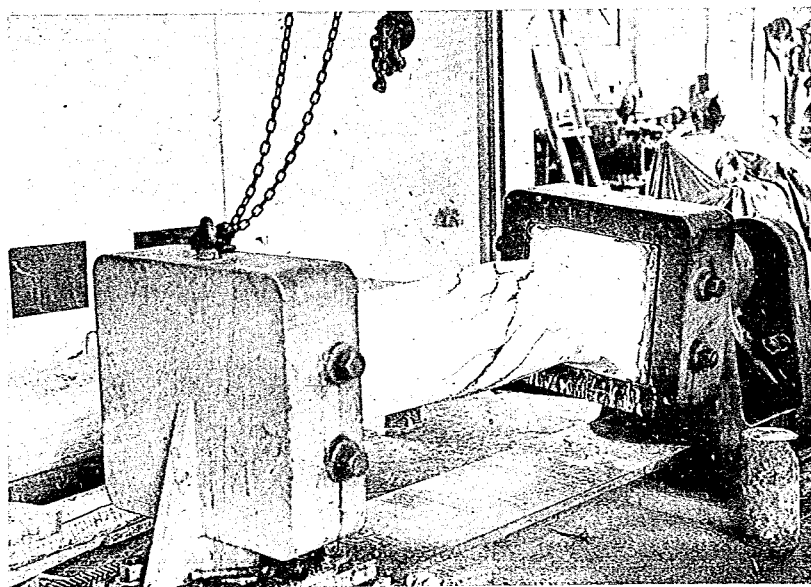


第四九圖

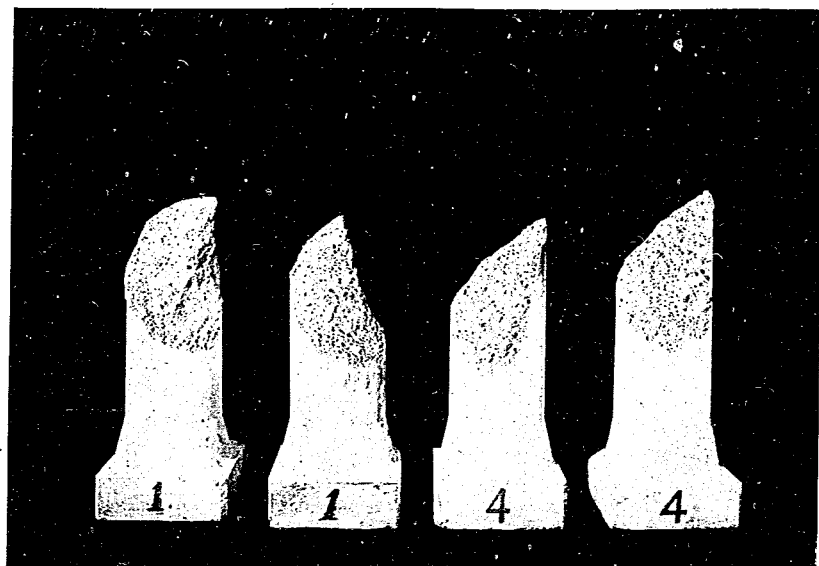




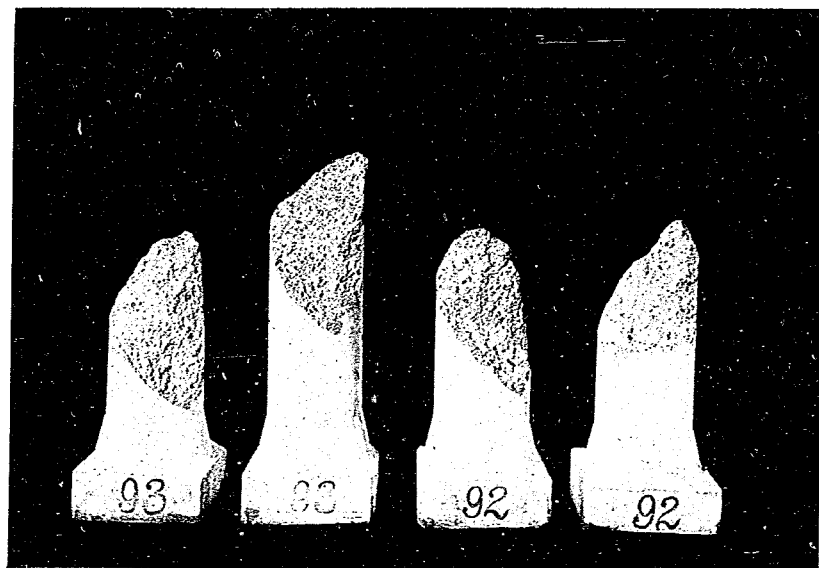
第十七圖



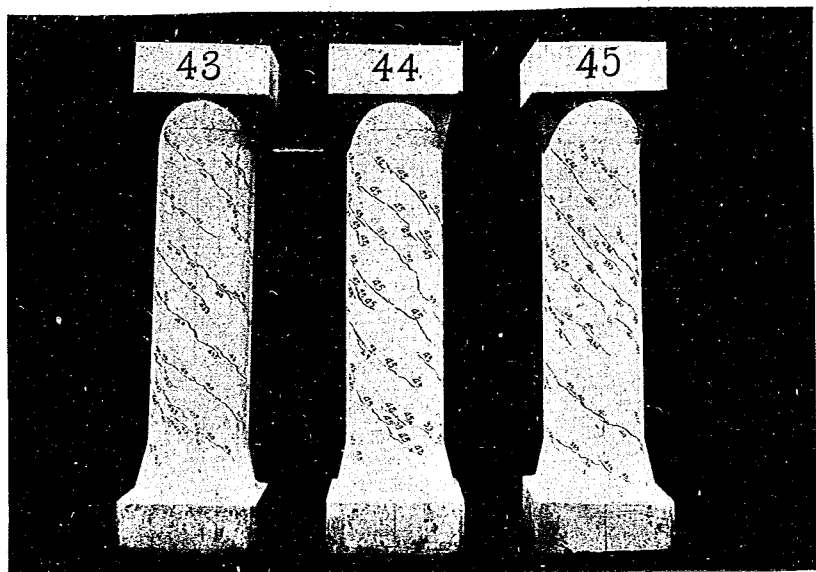
第十八圖



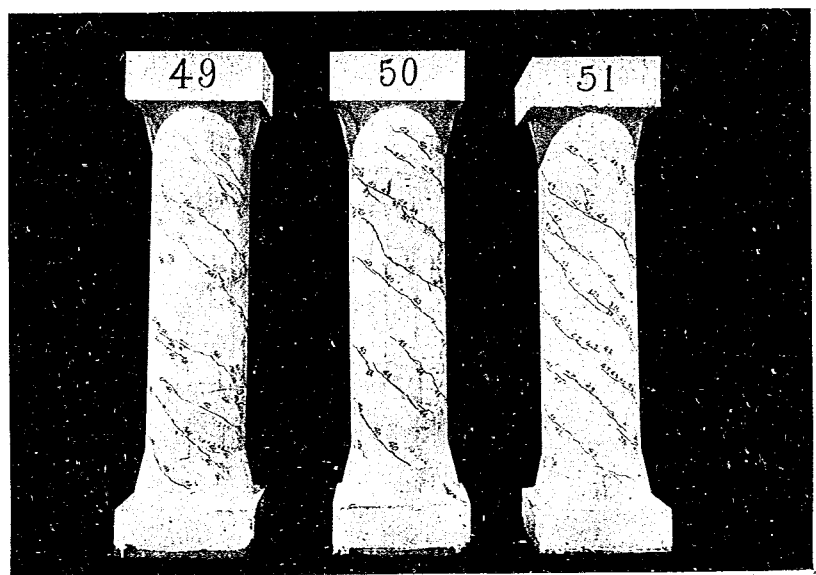
第十九圖



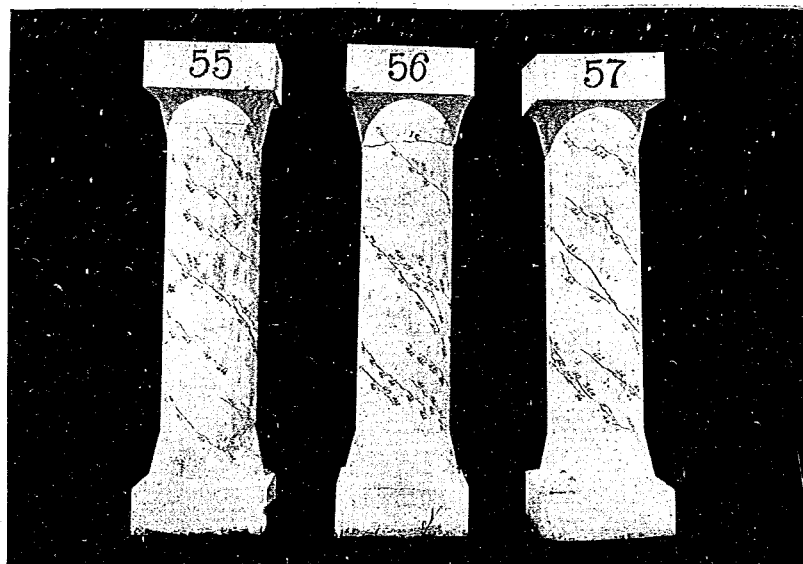
第二十圖



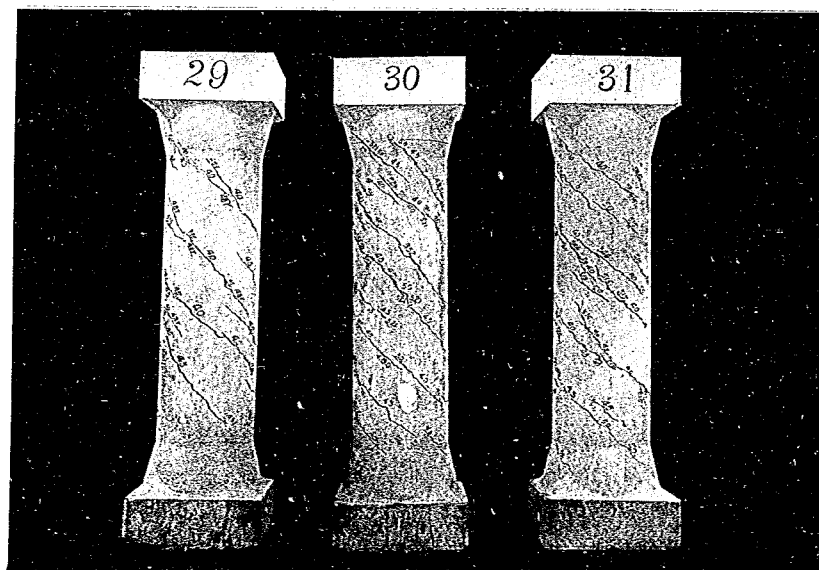
第 二 十 一 圖



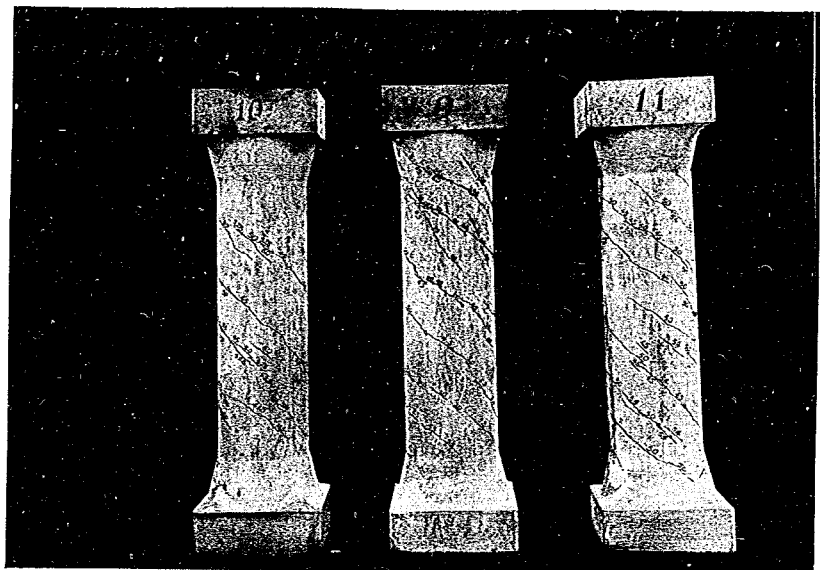
第 二 十 二 圖



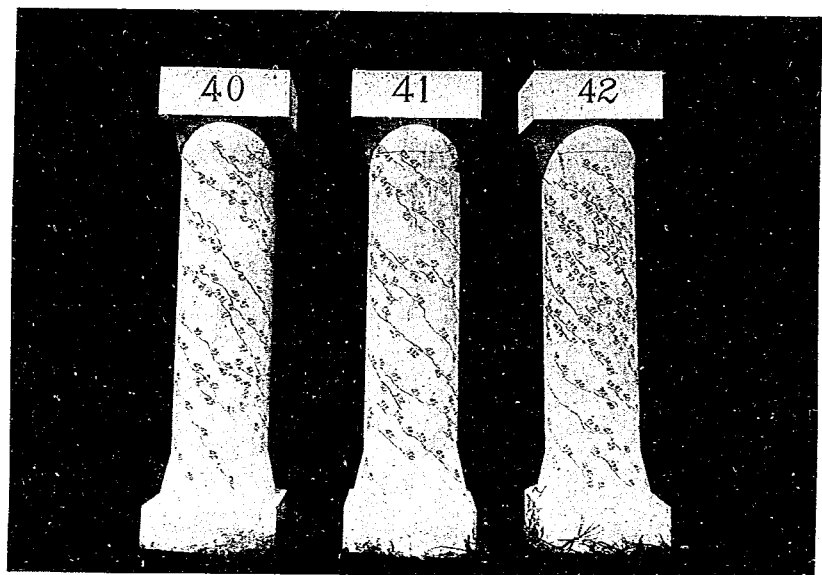
第 二 十 三 圖



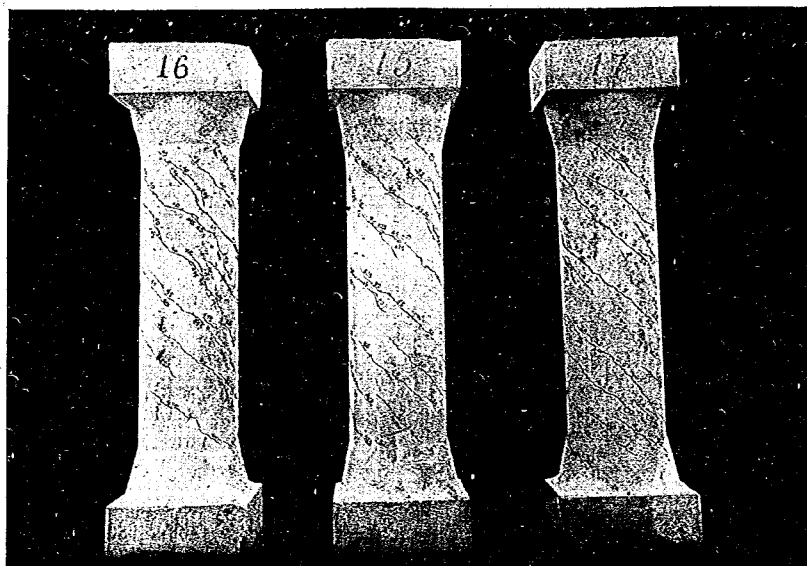
第 二 十 四 圖



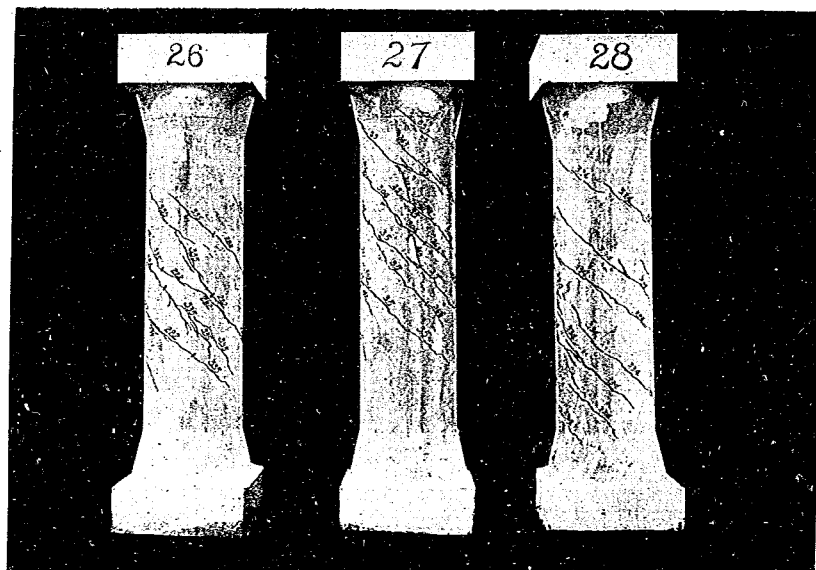
第 二 十 五 圖



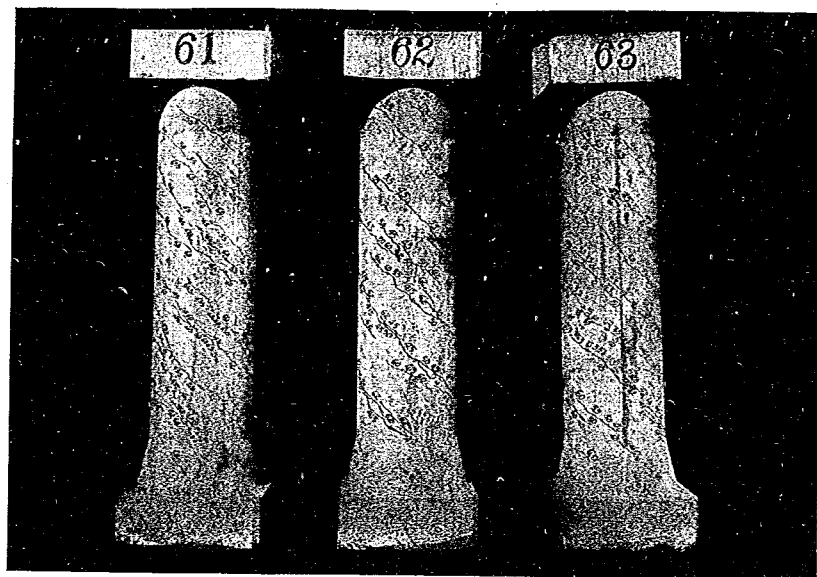
第 二 十 六 圖



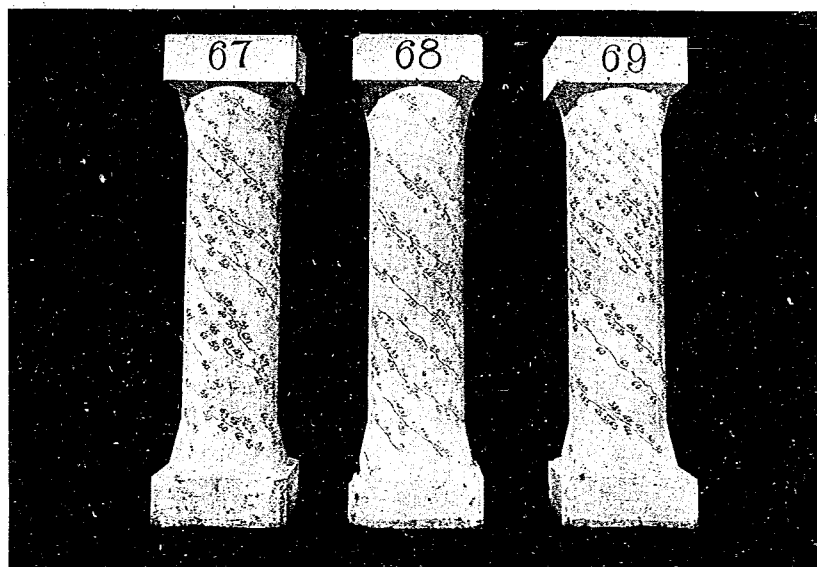
第 二 十 七 圖



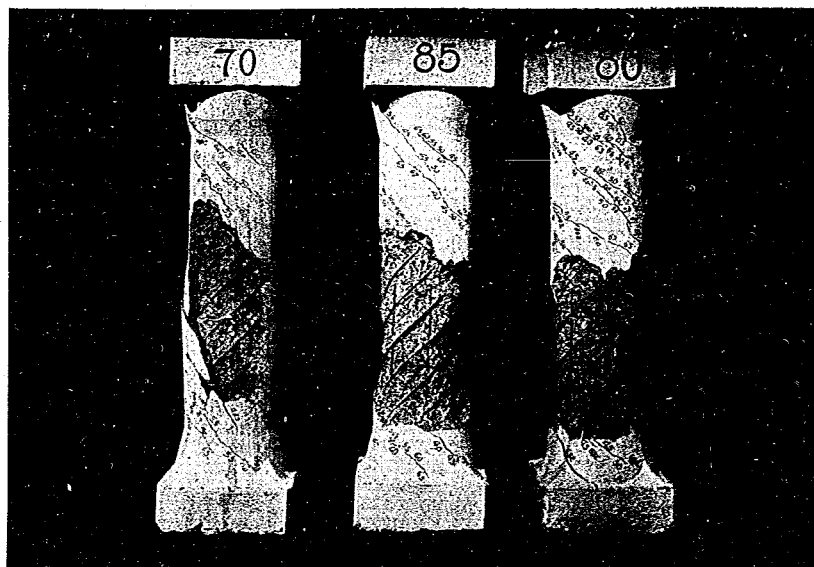
第 二 十 八 圖



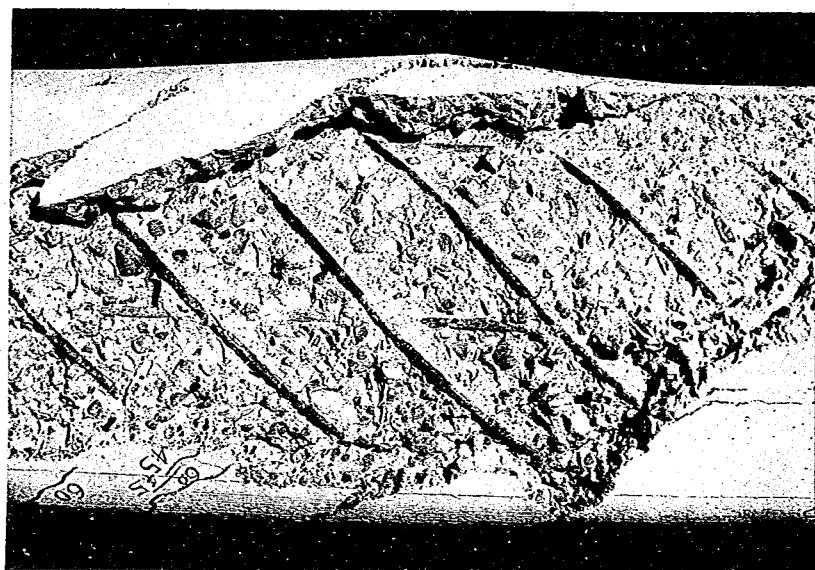
第 二 十 九 圖



第 三 十 圖



第三十一圖



第三十二圖

土木試驗所出版圖書

所 報

- 第一號 (路面及勾配が馬車運送ニ及ボス影響ニ就テノ研究中間報告。瀝青質材料並瀝青混合物ニ關スル研究第一報) 大正十四年三月發行
- 第二號 (瀝青質材料針度ニ就テ) 大正十五年一月發行
- 第三號 (「グエイアログ」ニ依ル路面凹凸測定。瀝青混合物ニ關スル研究。c「アスファルト」合材混合ノ際ニ於ケル「アスファルト」ノ粘度ニ就テ) 同 年二月發行
- 第四號 (「急硬性セメント」ニ關スル試驗報告) 同 年五月發行
- 第五號 (簡易鋪裝ニ關スル試驗報告) 昭和二年三月發行

其 他

本邦道路橋輯覽

大正十四年十二月發行

- 第六號 (混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試驗報告) 同 年五月發行

昭和二年五月十日印刷

昭和二年五月十四日發行

内務省土木試験所

東京市本郷區駒込上富士前町二十六番地

電話 小石川(85)五五〇〇番

東京市麹町區内幸町一丁目五番地

印刷者 北村東一

東京市麹町區内幸町一丁目五番地

印刷所 ジャパン・タイムス社印刷部

電話 銀座三二六一番