

第三章 混凝土及び鐵の 性質並に強度

第七節 概 説

鐵筋混凝土は今や前述の如く一般的材料となつて來たのであるから、此混凝土工業に従事するものは必ず鐵及び混凝土の根本的性質を充分に知つて置かねばならぬ。例へば近來一般に鐵筋混凝土を造る場合に搗き硬めの費用を省き又表面を一様に仕上げる爲めに随分軟かい混凝土を用ふることが多いが、之を見て軟かい混凝土でなければ不可なる様に思ふて無闇に水を増す時は強度の上に影響が來て非常な危険を來す事がある。歐米にて鐵筋混凝土建造物が屢々失敗に終ることがあるが之は設計者又は施工者が混凝土の性質を充分に知らなかつた事に基因するとが多いのである。

私はタルボット教授の下で氏の指導を受け、米國混凝土協會の混凝土の性質調査に關する多くの實驗を行ひ、試材六百餘個を製し混凝土の物理的性質を研究し之に依つて知り得た性質を參考の爲め述べよう。

第八節 混凝土の物理的性質 (著者の實驗せる結果)

第一項 使用材料と試材製作並に實驗法

(一) 使用材料

混凝土試験材製作の用に供したる各材料は凡て米國東、中部地方一般鐵筋混凝土工に使用するものに異ならない。而してセメント砂、碎石、砂利等凡て普通市場で求めた。

(イ) 砂利及碎石は米國イリノイ州カンカキー (Kankakee, Illinois, U.S.A.) 地方より産出せるもので、碎石は硬質の石灰石である。碎石の大きさは一時四分の一(1 $\frac{1}{4}$ ")の篩目を通過し四分の三吋(3 $\frac{1}{4}$ ")篩目上に止まつたものである。各粒銳稜を有し粒大概ね一様である。一立方呎の重量はルーズ (Loose) するとき九十封度能く振り締めたるとき九十八封度であつた。

(ロ) 砂は米國インディアナ州ウオバッシュ川より得たるもので硬質銳稜を有し粒大一様である。其の重量は一立方呎に付きルーズするとき百四封度、能く振り締めたるとき百十三封度である。

(ハ) セメントは凡てユニヴァーサル、ポートルランド、セメントを使用した其の質精良にして一般ポートルランド、セメント仕様書の各項に合格せるものたるや言ふ迄もない。製作すべき試験材片の性質及強度を一様にせんが爲め、前記セメント二十五袋(二千五百封度)を一容器内に開封し之を一様に混合した。

第一表は純セメント及配合 1:3 モルタルに関する各五個のスタンダード、ブリケット試験 (Standard Briquettes Tests) を材齢七日及二十八日に於て施したる結果である。

又ビカー氏ニードル試験 (Vicat's Needle Tests) により定めたる

同セメントの硬化初期及終期は次の如くである。

硬化初期 (Initial set) 三時間十五分

硬化終期 (Final set) 六時間

第 一 表

セメントの強度試験成績

種 類	純セメント				一三モルター (但し オックス標準砂使用)			
	七 日		二十八日		七 日		二十八日	
使 用 水 量	%	%	%	%	%	%	%	%
	24.5	25.3	24.5	25.3	9.6	9.7	9.6	9.7
	600.	545.	685.	655.	230.	200.	275.	290.
最大耐伸強 (每平方時に付き封度)	570.	545.	740.	635.	200.	200.	300.	355.
	600.	595.	655.	695.	190.	210.	280.	345.
	590.	560.	635.	640.	210.	200.	270.	340.
平均耐伸強 (每平方時に付き封度)	—	560.	640.	675.	230.	—	280.	295.
	590.	561.	631.	660.	212.	202.	281.	325.

(二) 混凝土

現今鐵筋混凝土に使用する混凝土は、特別の場合を除き概ね 1:2:4 の配合より成るを普通とするを以て本實驗用材に用ひたる混凝土は、凡て重量に於てセメント一、砂二、碎石(或は砂利)四の割合とした、其の製作には混凝土工事に能く熟練せる職工を使用し、初めセメント及砂を乾材の儘數回混合し、更に碎石を加へ又能く混和し一様に混合せるとき、水を注加し更に數回繰り返したるのである。

實驗材の多數はノルマル、コンシステンシー (Normal Consistency) に相當する水量を採つた。然し水量過不足の混凝土強度に及ぼす影響試験に供する實驗片は五種の水量を使用した。即ち砂及碎石重量の 9.3%, 10%, 11%, 12% 及び 13% とした。此の内 9.3% は實驗上より定めたる本セメントのノルマル、コンシステンシーに相當する水量である。又ドライ、コンシステンシー (符號 D) の混凝土に對しては 8.4% ウェット、コンシステンシー (符號 W) の混凝土に對しては 10.2% の水量を使用した。

(三) 試験材片

本實驗に供する材片數は六百有餘個に上れるを以て、各材片何れも可成一様なる状態の下に一様の注意を以て作り、其の結果の一様を期すべきこと最必要である。されば此等の製作に當りては、實驗室内(製作場内を含む)の温度を一定にし且つ一定の日に略ぼ一定の時間(午前をとれり)に製作することとした。又使用材料の秤量其の混攪、搗き固めの程度等凡て最も精密に且つ一様ならしむるに勉めた。

(イ) 第一類實驗用材片

混凝土材の長さや強度との間の關係を定むる目的を以て六十個の角形(横断面正正方形)試験材を製作した、材片の大きさを二種とし其の一は断面四吋角、長さ二吋以上二十四吋に至つた。又他の一は断面八吋角、長さ四吋以上三十二吋で有る。

混凝土はノルマル、コンシステンシーに相當する水量を使用し

て製し、模型を取り外したる後實驗室内の濕潤砂内に貯藏し、材齡三箇月に達したるとき實驗に供したのである。

(ロ) 第二類實驗用材片

用水量、製法、並に貯藏の方法等を異にせる混凝土に於て其の材齡の増進と強度増減との間の關係を見出すの目的を以て總數二百九十六個の試験片を製した。試材は凡て直径及長さ共に六吋なる圓壘形で八種類より成れること後節に記述するが如くである。而して其の成分並貯藏の方法等に關する詳細は又後節に譲る。此等材片の一部は材齡七日、十四日、二十一日、二十八日、二箇月並に六箇月等に達したるとき實驗を了へ、殘餘は一箇年二箇年乃至二十箇年等に於て實驗を結了することになつて居る。

(ハ) 第三類實驗用材片

用水量の多寡が混凝土の強度に及ぼす影響を定むるの目的を以て七十五個の圓壘形試験材を製した。其の大きさは直径並に長さに於て各六吋とす。五種の異なる水量と三種の貯藏法とを採れること後節に掲ぐるが如くである。材齡三箇月に達したるとき凡て實驗に供した。

(ニ) 第四類實驗用材片

模型据置き期間の長短と混凝土強度との間の關係を知るの目的を以て試験片四十個を製作した。材片の大きさは其の直径並長さ共に六吋を有する圓壘形にして何れも同時に同一材料を用ひ製作した。

模型を試材上に据置くべき期間を三日、七日、三十日並に九十日とし、模型を取除きたる後凡て實驗室内外氣中に貯へた、内二十個を材齡三箇月に於て、残り二十箇を六箇月に於て實驗したのであるが、本編には六ヶ月目に於ける實驗の結果のみを掲げたるに過ぎぬ。

(四) 試験材片の製法

實驗室内混凝土床上に稍々厚き紙を敷き（混凝土の床に付着するを防ぐ）此の上に模型を列べ既に練り合せたる混凝土を入れ約二吋厚毎に搗き固めた。混凝土は各試験片毎に別々に製したるもので、搗き固めと共に上表に水分の滲出するを見るや之を止め、漸次斯の如くにして上面に達した。表面(上面)は鑊を以て平坦にし其の儘二日間同所に静置したのである。

(五) 試験材片貯藏の方法

第四類に屬する材片を除くの外は、模型を材片製作後二日間にして取外した。材片製作當時の室内温度は華氏六十度乃至七十度で、貯藏の方法は次の如くである。

(イ) 室内外氣中貯藏。型を取り外したる後材片を實驗室内一定の場所に何等特別の装置を施さずして留置した。

室内の温度は時候の變遷と共に其の影響を被むり、華氏六十度乃至九十六度の間を昇降した（九十六度は盛夏季に於ける室内温度）。

(ロ) 濕潤砂内貯藏。試験室の一部に小室を設け此の内に水に

潤したる砂を充分に貯へた。型を取り外したる試材片を此の砂室内に運び濕潤砂内に貯藏した。砂粒を常に濕潤ならしむるが爲め毎日一回撒水した。

濕潤砂内の平均温度は冬季に於て外氣中よりも高く、夏季中は之よりも低い、平均温度(砂内)は華氏六十五度乃至八十五度の間を昇降して居つた。

(六) 試験機

此等材片の實驗に使用したる試験機は米國イッノイ州、州立大學、應用力學實驗所内に据付ある試験機である。(第二表参照)

同一種類の實驗に際しては可成同一試験機を使用するを必要とする、然れども本實驗に在りては其の試験材の形狀、大き等甚しく異なり、又貯藏法、材齡等の異なるが爲め、其の強度に著しき差異あるを以て、同一機械を使用すること頗る不便である。

然れども試験材片中約七割は第八八五號五十噸試験機を用ひ實驗することが出来た、而して機械速度の甚しく異なる第一三七

第 二 表

實驗所内 機械番號	試験機の種類	同容量	機械の速 度(毎分)	實驗せる試験片の種類
500	Riehle-vertical screw machine.	三百噸	$\frac{1}{10}$	八吋角形試験片
1	Olsen's- 同上	百噸	$\frac{1}{5}$	第八八五號試験機の容量を越 えたる圓錐形(直徑六吋)試材
1375	Riehle- 同上	五十噸	$\frac{1}{10}$	四吋角形試材の中長さ十二吋以 上のもの
885	Riehle- 同上	五十噸	$\frac{1}{10}$	四吋及び六吋角又は圓形試材の 大多數

五號試驗機を使用して實驗したる材片は僅に十個に過ぎない、其の他の試驗機は何れも第八八五號機と速度に於て大差なく従て實驗上の結果に毫も影響せざるを認むることが出来る。

(七) 試驗機上に實用材片設置の方法

試驗材片は何れも之が實驗に先立ち、其の上下兩面にプラスチック、オザ、パリーを約二分の厚さに塗布し置き十時間以上を經過し、之が硬化と共に水分の全く發散するを俟ち實驗に供した。混凝土表面を直接試驗機臺に接せしむるときは、壓力の分布（試材上に）一様ならず従て局部の破損を免れない。然れどもプラスチック、オザ、パリーを塗布するときは、壓力を試材面上に一様に分布せしむることが出来る。其他實驗の方法に至りては普通行はるゝ處に異ならない。

第二項 實驗の結果

(八) 第一類。混凝土材の長さが其の強度に及ぼす影響

第三表に掲げたるは本類の實驗に関する總ての要項にして試材の大きさ材齡及平均單位荷重等を掲げて居る、破砕の狀況は之を二種に區別することが出来る。短小なるものは凡てクラッシング (Crushing) に依り、長大なるものはクラッシング並にシヤリング (Shearing) に基き破壊せられたること豫期の如くである。

前記第三表より明かなるが如く試驗材は二種の異なる大きさを有してをる。其の一は四吋角形にして他は八吋角形である。第一

第三表

試驗材長の變化に伴ふ混凝土抗壓強の變化に関する實驗

(材齡三ヶ月目にて實驗、何れも四個實驗の平均値)

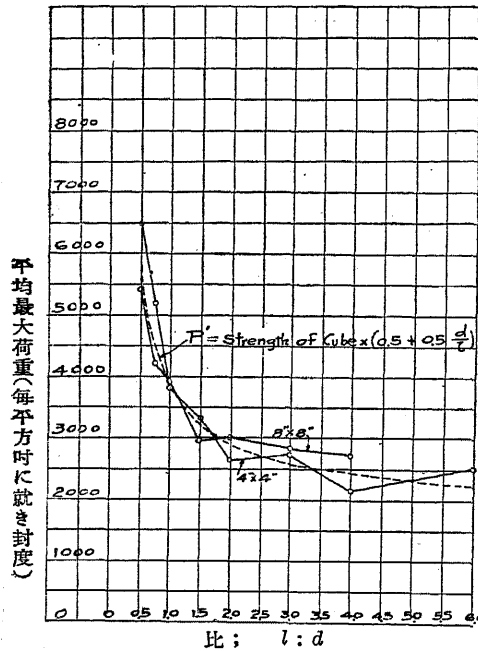
試 材		平均抗壓強 (每平方吋に付き封度)
斷 面 (吋)	長 (吋)	
4×4	2	6485
4×4	3	5170
4×4	4	3811
4×4	6	3306
4×4	8	2623
4×4	12	2732
4×4	16	2137
4×4	24	2513
8×8	4	5408
8×8	6	4192
8×8	8	3898
8×8	12	2948
8×8	16	2981
8×8	24	2818
8×8	32	2689

圖は第三表の結果を表はせるもので材長の短縮に伴ひ混凝土の強度著しく増加せる事明である。此の如く比較的短小なる混凝土材に在りては普通支柱に関する諸公式を用ひて其の強度の優劣を論ずることが出来ない。第一圖の結果より見るときは材長が其の一

邊の三倍附近にありては強度減少の割合甚だ小である。是れ應剪力が其の強度を支配するに依る。

四吋角試験材の強度は八吋角の結果に比し少しく不規則なるを

第一圖
試験材長の變化に伴ふ、混泥土抗壓強度の變化
(材齡三ヶ月試験)



認む。是れ此の如き小形の試材にありては各部を完全に製作すること頗る困難なると、又一方試験材に於ける些少の不完全は、其の結果に影響を及ぼすこと大なるに依るが爲めてあらう。然れども同圖の結果を概言すれば四吋角並に八吋角試材の強度は甚しき大差なく、従て材大の變化により強度の變

化なきものと見ることが出来る。特に立方形試験材に在りては兩者殆んど相一致して居る。

圖中點線を以て表はせる曲線は、兩種混泥土材の約平均線にして、次の式により算出したものである。

$$P' = P \left\{ 0.5 + 0.5 \frac{d}{l} \right\}$$

茲に

P' は純混泥土短柱の所要最大荷重(或は抗壓強)

P は純混泥土立方形試材の最大荷重

d は短柱横断面の幅

l は短柱の長さである。

此の式は純混泥土短支柱の最大荷重を $P \left\{ A + B \left(\frac{d}{l} \right) \right\}$ の函數なりと假定し、實驗上より得たる結果(四吋角試材と八吋角試材との各最大荷重)を平均し七組のオブザーベーション、エクエーション (Observation Equation) を作り其の常數 A 及 B を最小自乗法により算出したるものである。

而して此の式は重量に於てセメント一、砂二、碎石四の割合より成る混泥土にして材長が其の幅の半倍乃至六倍の範圍内に於て應用することが出来る、(右は實驗せる範圍内なり)。

(九) 第二類。水量製法並貯藏法等を異にせる混泥土に就き其の材齡と強度増進の割合

試験材製作に關する詳細は試験材片、同製法並貯藏法等の各項に亘り既に述べたるが如くである。實驗に關する凡ての要項は第四表に掲げてある。破壊の狀況は一般にクラッシングに基いて居る。

第二圖は實驗の結果を圖式に表したるもので混泥土材齡の増進と強度との間の關係を見るに便である、表及び圖中に使用したる

第四表

用水量製法並貯藏法を異にせる混凝土材に就き其の材齡と強度増進との割合

(試材は直径及び高さ共六吋圓筒形なり、何れも四個實驗の平均値)

材 (日)	齡 數	平均抗壓強 (每平方時に付き封度)	材 (日)	齡 數	平均抗壓強 (每平方時に付き封度)
S 屬 混 凝 土	7	1390	D 屬 混 凝 土	7	1751
	14	1775		14	2140
	21	1816		21	2658
	28	1820		28	2615
	63	3063		60	3056
	192	3431	185	3934	
A 屬 混 凝 土	7	1481	P 屬 混 凝 土	28	2314
	14	2061		65	2521
	21	2126		183	3329
	28	2116	T 屬 混 凝 土	60	2086
	63	2232		192	2430
187	2049				
B 及 C 屬 混 凝 土	60(B)	2734	W 屬 混 凝 土	7	1103
	185(B)	3433		14	1354
	60(C)	2208		21	1623
	185(C)	1888		28	1657
				60	2410
			185	3281	

符號に就て再記すれば次の如くである。

A 屬、ノルマル、コンシステンシー (所要砂及碎石重量の 9.3%) に相當する水量を用ひ製したる混凝土材で、型を取り外したる後實驗室内一定温度の外氣中に貯藏したるもので有る、但し碎石は使用前水に濕したり。

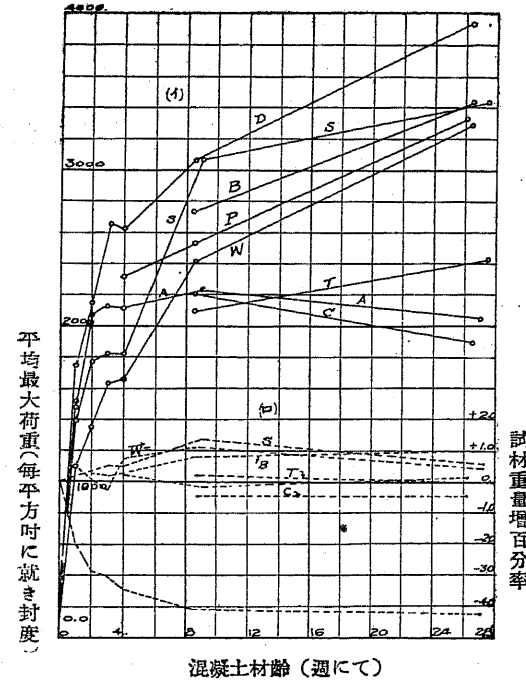
B 屬、特に乾碎石 (使用前水に浸さざるもの) を使用しノルマル、コ

ンシステンシーの水量を用ひ製したる混凝土材にして型を取り除きたる後濕潤砂内に貯藏したるもので有る。

C 屬、B と同じく乾碎石を使用し其の製法 B と全く同一である。

第二圖

用水量製法並貯藏法を異にせる混凝土に就き其の材齡と強度増進の關係



但し型を除きたる後實驗室内外氣中に貯藏したるのである。D 屬、ノルマル、コンシステンシー以下 (所要砂及碎石重量の 8.4%) の水量を用ひ製し、型を取り除きたる後、濕潤砂内に貯藏したる混

凝土である。但し碎石は使用前水に濕したり。

P 屬、ノルマル、コンシステンシーの水量並濕潤碎石を使用して製したる混凝土なること (A) に同じ、但し型を取り外したる後、試験片の外面全部をパラフィンにて覆ひ水分の發散又は吸入を

防ぎたるものである。貯藏の方法は *B* に同じ。

S 屬, ノルマル、コンシステンシー の水量並濕潤碎石を用ひ製したること (*A*) に同じ、但し型を取り外したる後直ちに濕潤砂内に貯藏したり。

T 屬, 砂利を使用したる混凝土にして用水量は ノルマル、コンシステンシー に相當し、貯藏法は濕潤砂内である。

W 屬, ノルマル、コンシステンシー 以上(所要砂及砂利重量の 10.2 % の水量を用ひ作製したる混凝土で貯藏法は *T* に同じ、但し碎石は使用前水に濕したり。

之を要するに以上八種類の混凝土は

(一) 混凝土より摸型を取り外したる後

(イ) 外氣中にて硬化せしむる場合

(ロ) 濕潤砂内にて硬化せしむる場合

(ハ) パラフィンにて外面を被覆し水分の吸入發散を防ぎ硬化せしむる場合等の別。

(二) 混凝土を練り合はするに當り

(イ) 使用前水に濕したる碎石を用ふると否と

(ロ) ノルマル、コンシステンシー に相當する水量を用ふると或は夫れ以上又は以下の水量を用ふるとの別

(ハ) 碎石を使用すると砂利を使用するとの別

等の結果が混凝土材齡の増加に伴ひ其の強度上に如何なる影響を與ふるや又其の優劣如何を研究する目的に出たのである。

以上八種類の性質に関する傾向は六箇月材齡試験迄に於て明かに知る事が出来た、今次に其の概要を述べん (第二圖参照)。

混凝土の強度は貯藏法(或は養生法)の如何により左右せらるゝこと少なくない、本類の實驗に於ては三種の貯藏法を採つた、即ち左の如くである。

(イ) 外氣中放置(實驗室内)

(ロ) 濕潤砂内貯藏

(ハ) パラフィン被覆

(イ) 外氣中に放置したる試材の強度は材齡約二週間に達するまで頗る急速に増加して居る(第二圖参照)、即ち二週間目の平均最大荷重每平方吋二千〇六十一封度を示し、四週間目の終りに於て二千百十六封度、二箇月の終りに於て二千二百三十二封度、六箇月目に於て二千〇四十九封度に過ぎない。而して其の増加の割合は二週間目の終りに於ける強度に比し各僅に三パーセント、八パーセント並零に過ぎない。されば此の貯藏法に依れる混凝土は事實上二週間の終りに於て最大強度に達するものと見る事が出来る、然れども其の後の増加率は頗る少ない。而して普通鐵筋混凝土工事に於ては型を取り除きたる後何等特別の養生法を施さずして外氣中に硬化せしむるのが普通であるが、此の如き方法は如何に混凝土の有効度を減少するかを推定する事が出来る。

(ロ) 濕潤砂内に貯藏せる混凝土の強度は、材齡の増進に伴ふ強

度の増加一般に大きい、此の貯藏法を採れる四種類の試材（第二圖 B, D, S, W ）中 D 屬は其の強度最も優越して居る。而して S 屬之れに次ぎ W 屬最も劣つて居る。

D は毎週時の最大荷重（平均）常に最高で材齡半箇年に於ける實驗の結果より推考すれば將來尙増加を示さんとする傾向である。又 S 及び W の二種類は共に其の初期に於て強度の増加率小て其の第四週間目の強度は D の第一週間目の強度に伯仲して居る。然れども第四週間目以後頗る急速に其の強度を増加し、 S は二箇月目に於て D と殆ど同強度を示して居る。之れに反し W は遙に之に劣つて居る。材齡半箇年に進むや D は尙毎平方吋八百七十八封度（二箇月の最大強荷重より）を増加したけれども S は三百六十八封度を増加したのみである、而して B は殆ど S に等しく W は少しく之に劣つた結果を示して居る。以上濕潤砂内に貯藏せる四種類（ B, D, S, W ）に於て其の各強度に此の如き差を見るに至れるは主として混和用水量の多寡に基づくや明かである。而して D 法による混凝土を最良とすることも明瞭となつた次第である。

(ハ) パラフィン被覆法に依り水分の發散並吸入を防ぎたる混凝土強度は第二圖 P 線にて表はした如くである、即ち第四週間目に於て平均最大單位荷重二千三百十四封度（毎平方吋に）、二箇月目に二千五百二十一封度、半箇年目に三千三百二十九封度を示し、材齡の増進に比例して其の強度を増加して居る、然れど

も各期に於ける強度は概して低く僅に W 類に優れるに過ぎない。故に混凝土内水分の發散又は吸入を絶對的に防止するときはその強度を優秀ならしめないと云ふことが明瞭である。

水量過不足の混凝土強度に及ぼす影響については第三類に述べべきを以て茲には省略する。以上實驗の結果につき特に注意すべきは貯藏方法の如何に係らず、又水量の多寡に關せず凡ての試験片を通じ第三週間目より第四週間目に進み強度の増進を停止して居る（第二圖参照）。

此の如き結果が八種類の混凝土中其の一、二種に於てのみ生ぜしならば或は偶發的の事故によるものとなす事が出来る。然れども本實驗に在りては各種類共に四個の試験片實驗の平均値なるのみならず其の四個は各異なれる日に製作し且異なれる日に實驗に供したものである。而して尙各種類の混凝土を通じて此の如き結果を生ぜしは、是れ明かに偶發的に非ずして全くセメントの性質に基づくものなりと斷言することが出来る。混凝土が一旦保有せる強度を其の以後に於て減ずるは（寧ろ強度増進の一時中止と云ふに至當とする）一見頗る奇なる様であるが決してそうではない。セメント粉末の度頗る微小なるものは概ね急速硬化（Quick Setting）の性質を有し且急速硬化セメントは材齡の増進せるに係らず強度の減少（一時的）を見ることは普通である。而して其の例に乏しくない。例へば先年我國農商務省工業試験所が十六會社製セメントにつきモルタル試験に施せる結果に徴するに右の内八會社（淺野、

日本、北海道、九州、佐賀、小野田、大阪(B)、中央各セメント製造會社)製ポルトランド、セメントは凡て第三週間目より第四週間目に進み其の強度を減じたるにより明かである、又他の一例は去る千九百十二年米國に於て開催せられたる第六回萬國材料試驗協會會議に提言せる E. Candlot 氏(佛國巴里)の所論である。而して其の歸納する所は混凝土強度の一時的減少はセメントの性質の改良と粉末度の微細なるに從て起るものにして決して該セメントの不良なるに依らないと云ふて居る(但し此の場合に於て其の強度は指定強度以上にあるを要することは勿論である)。

又本實驗に關聯し各試験片内水量の増減を量つた、外氣中に放置したる試材は其の重量の減少(即ち水分の發散)第四週間目まで漸次増加し半箇年後に於ても尙原重量の四パーセントを超えた、其の他の種類にありては重量の増減概ね一樣である、即ちパラフィンにて被覆せるものは重量に實際上増減なく從て混凝土内水分の増減なきを證し又 B, D, S, W 等濕潤砂内貯藏の分は水量の吸收概ね一パーセント内外である。

第二圖(イ)と第二圖(ロ)とを對照するときは水量の増減と強度との間に特種の關係が有ることが解る。其の結論とする處を述べれば次の如くである。

(イ) 試材に過量の水分を含むときはセメントの硬化作用を遅からしむると共に其の硬化力を減殺するものである。而して硬化を全うするに比較的長時日を要す、是れ第二圖 S 及び W によ

りて知ることが出来る。

(ロ) 試材より其の保有せる水分を急速に發散せしむるときは、硬化作用を速むれども其の硬化凝結力を著しく減殺する。從て混凝土の結成を脆弱ならしむるものである、是れ硬化に必要な水量不十分なるを以て硬化完成期を速め、又一方水分急發散の爲め比較的多孔質混凝土を成すに依るのである、是れ第二圖 A より見ることが出来る。

(ハ) 水分の發散並吸入を絶対に防止するときは混凝土の硬化を完全ならしめないものである、從て混凝土の凝結不十分なるが爲め最大荷重も他に劣て居る、此の如き試材(パラフィン被覆)を試験機にて壓縮破碎したる後、其の内部混凝土の性質を検するに少しく暗褐色を呈し、往々惡臭を放つものがある。是れ水分の腐敗せるに依るのである、以上は P 類の強度比較的高からざる一因で有る。

第二圖(イ)(ロ)兩圖並に以上論述する處により實驗の目的たる八種類の混凝土に關する材齡の増進と強度との關係を知ることが出来る、而して鐵筋混凝土の實地工事に最も普通なるウエット、ミクスチャーの混凝土を外氣中に硬化せしむるの方法は、本實驗に於ける A 屬よりも更に不良の結果を生ずること固より明である、此の如きは材料使用上最も不經濟なること勿論なるを以て、實地に在りては可成混水水量を多くせないで搗き固めを充分ならしむる方が遙かに得策でもあり又優れても居る。

(十) 第三類。 混凝土用水量の強度に及ぼす影響

第五表は本類の實驗に關する凡ての要項を含んで居る、實驗材片に對する平均抗壓強等掲げて同表に明かである。

第三圖は實驗上の結果を圖式に表せるものである。本圖より見るも混攪用水量の過量が如何に混凝土の強度に甚しく影響するか

第五表

混攪用水量の混凝土強度に及ぼす影響試驗

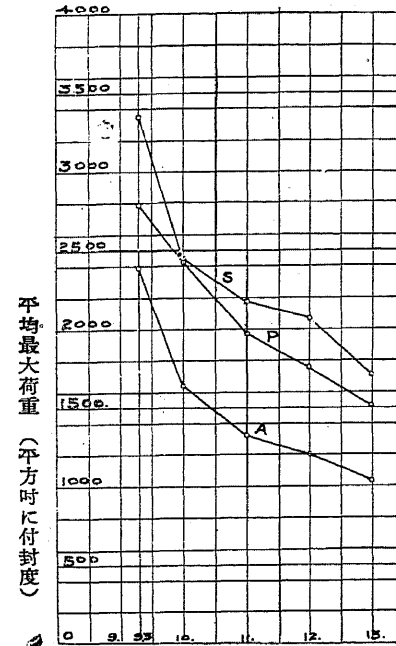
(試材は直徑及び高さ共に六吋なる圓筒形なり、材齡三ヶ月目にて實驗
何れも四個實驗の平均値)

混攪用水量 %	平均抗壓強 (每平方吋に付封度)	重量増減百分率 %	
A 屬混凝土	9.3	2391	3.65
	10.0	1638	4.01
	11.0	1318	4.54
	12.0	1200	4.44
	13.0	1038	4.87
P 屬混凝土	9.3	2792	0.51
	10.0	2440	0.45
	11.0	1966	0.47
	12.0	1752	0.59
	13.0	1517	0.39
S 屬混凝土	9.3	3647	1.63
	10.0	2442	2.10
	11.0	2166	2.27
	12.0	2071	2.44
	13.0	1711	2.62

を知ることが出来る、第四圖は水量の増加に對する強度減少の割合を見るに便したものである、同圖に於て横軸は用水量(砂及び碎石の重量に對する用水重量)をパーセントにて表したるものを示し縦軸は混凝土試材の強度(但しノルマル、コンシステンシーに相當する水量を用ひ製したる混凝土の強度を百とし、其の他の試

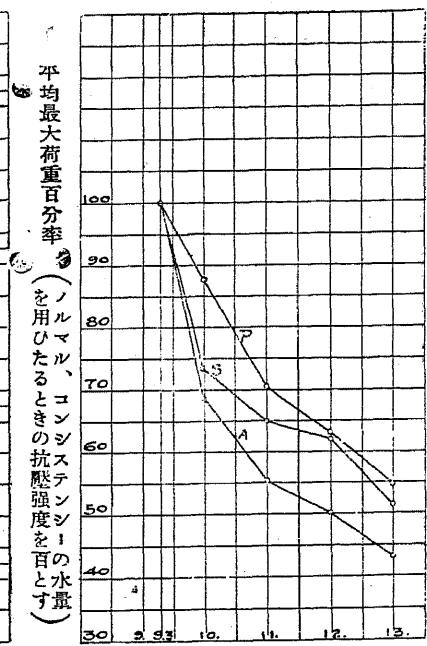
第三圖

混凝土混攪用水量が其の強度に及ぼす影響
(材齡三箇月試驗)



第四圖

混凝土混攪用水量の増減と其の強度増減との割合
(材齡三ヶ月試驗)



材の強度をパーセントにて表したり)を示したものである。今 A

線の場合を探るに用水量を 9.3 パーセント (ノルマル、コンシステンシー) より 10.0 パーセント に増加したるが爲め其の強度 31.0 パーセント を減じて居る。又 9.3 パーセント より 11.0 パーセント に増加したるが爲め其の強度約 45. パーセント を減じ、更に 13.0 パーセント に増加するとき其の強度約 57.0 パーセント を減少して居る。之に依つて見るに水量に於ける些少の増加も其の強度に著しき影響を及ぼすことが明である。強度減少の割合は外氣中貯藏 (A) の場合に於て最も甚しく、濕潤砂内貯藏のもの (S) 之に次ぎ、パラフィンにて覆ひたるもの (P) 最も少ない。

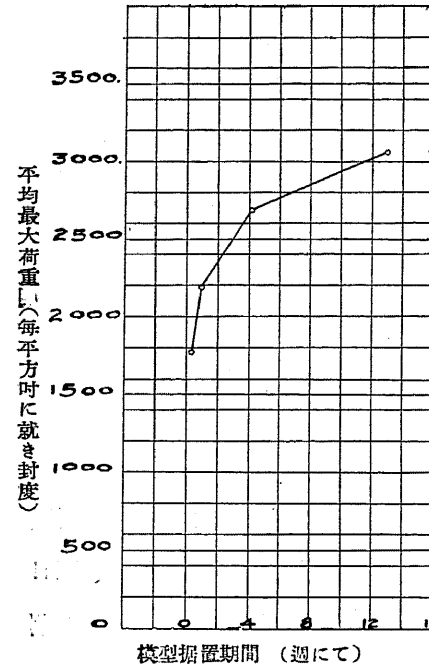
以上實驗の結果より見るに、實地工事に際しては用水量の秤撰に如何に多大の注意を要するかが明かである。而して過多の水量を使用したる混凝土を用ひ、搗き固めの勞力を省かんよりは寧ろ ノルマル、コンシステンシー に相當する水量を撰び、搗き固めを充分ならしむるの遙に優秀にして且經濟なることを認むることが出来る。

(十一) 第四類。 模型据置き期限の長短が混凝土の強度に及ぼす影響

鐵筋混凝土の實地に臨み技術者の多くは模型据置き期間の長短が如何に建造物の強度に影響するかを餘り注意をせない様である。即ち二十四時間、二日間或は三日間等單に從來の慣例のみに依ることが多い。然れども混凝土が混和用水量の急散を防くと否とにより、其の強度に著しき差異を生ずるは一般の認むる所であ

る。然らば模型据置き期間の長短は又混凝土の強度に著しき影響を及ぼす可きものであらうと云ふことは豫想が出来る。

第五圖
模型据置き期間の長短と混凝土抗壓
強度との關係
(材齡六箇月試驗)



本實驗は此の兩者の數字的關係を定めんとして施したものである。第六表は本類の實驗に關する凡ての要項を掲げて居る。試材に用ひたる混凝土は所定の材料 (セメント一、砂二、碎石四の配合) と ノルマル、コンシステンシー に相當する水量 (砂、碎石重量の 9.3 パーセント) とを用ひ製し模型を除きたる後は實驗室内一定温度の外氣中に貯藏した、試材上に模型を据置きたる期日は四種にして三日間、七日間、一箇月間並三箇月

間とせり、一箇月並三箇月の兩者は實用上必要ならざれども其の期間と強度との間の一般的傾向を見出さんとする目的に外ならない。第五圖は實驗より得たる第六表の平均強度を圖に示せるものである、此の圖より見るも混凝土上に模型据置き期間の延長に伴

ひ混凝土の強度を著しく増加するは頗る明瞭である、是れ模型の爲め水分の急散を防ぎ恰もパラフィン被覆の場合に於けるが如き作用をなし以て混凝土の硬化に必要な水分を内部に保留せるに依るものである。

第 六 表

模型据置期間の長短と混凝土抗壓強度
(試材に直徑及び高各六吋の圓筒形なり材齡六箇月、何れも五個
實驗の平均を示す)

模型を混凝土上に据置たる期日	平均抗壓強度 (每平方吋に付封度)	強度増進率 %
三日間	1777	100
七日間	2195	123
二週間	—	132
三週間	—	141
一箇月	2669	150
三箇月	3063	172

本表より見るに型を一日或は二日の後取り除きたる場合の混凝土は其の強度甚しく減殺せらるべきこと明瞭である。例へば三日間後に取外すべき型を一週間に變更せば其の結果強度に於て二割三分を増加すること第六表の如くである。

又型を一日の後取り外したる場合と、一週間後に取外したる場合とに就ては、其の兩者の強度に於て少くとも四割の差ある可きは推測することが出来る。

以上は六吋圓筒形(長六吋)の試材につき實驗したる結果である

から直ちに之を實地工作物の如き大なる部材に適用せられ得べきや否やにつき多少の疑問を挟む人があらう、然れども右は充分の注意を拂ひ實驗したる結果なるのみならず實地工事に在りては實驗室内に於けるが如く諸般の設備完全でない、又気温の變化等も甚しく、従て前表記載の結果よりも一層甚しき影響を被ることであらう、故に第六表は又實地の場合にも眞なりと信ずることが出来る。

之を要するに模型据置き期日の長短は混凝土の強度に及ぼす影響此の如く大なるを以て實地に際しては事情の許す限り長く型を混凝土上に残すを得策とする、殊に又鐵筋混凝土工の如く薄き壁、細き柱、桁、並に薄き床等を有するものにおいて比較的短期日を経過したるのみにて模型を取り外すは、材料使用上最も不經濟となるものと斷言することが出来る、故に桁の如く彎曲作用を受くるものでは少くとも三十日間出来れば四十日間は型を取外さぬ方が良い、尤も桁兩側の型板は一週間以上経過したならば取外しても宜しいが、底板丈は前述の如く、混凝土の抗壓強度二千封度(每平方吋)位に達するまでは、絶対に取外することが出来ない。

(十二) 第五類。機械練り混凝土と手練り混凝土との強度の差。

機械練り混凝土は手練りに優るべきは勿論であるが幾何の差があるか研究の必要がある。尤も手練りでも十分に注意すれば優良なる混凝土を得ることが出来るが重要な工事には機械練りを採

らねばならぬ。實驗の結果によれば機械練り混凝土は手練りのものよりも約三割抗壓強度に於て優つて居る。

(十三) 第六類。混凝土用砂利粒大と混凝土の抗壓強度。

(I) 混凝土の強度は何によつて支配せらるるか

云ふまでもなく其要素頗る多い、セメントの種類、分量、砂利及砂の性質、大さ、並に調合比、水の分量、混交の良否、搗き固めの巧拙、養生法の如何、混凝土の材齡等何れも混凝土の強度を支配するものである、此等の中砂利粒大と強度との關係を究むるは頗る重要な又興味ある問題である、之れに關し今日まで歐米に於て行はれたる實驗に乏しくはない、而して粗粒 (Course) の砂利を用いたる混凝土は細粒 (Fine) の砂利を用いたるものよりも、抗壓強度の優秀なるは既に明瞭なる事實である、されば材大 (Size of member) と粒大 (Size of aggregates) との間に一定の關係を有せなければならぬ、然れども如何なる大さの砂利が混凝土に最大抗壓強を與ふべきや世未だ定論のある事を聞かない、今次ぎに各學者の説を掲げて参考の一助とせしやう。

(II) 學者と實驗者との説

千九百一年米國ウォータータウン、アーセナルにて實驗せる報告によれば次ぎの如し。

第七表の一

混凝土の成分 (セメント-砂-砂利)	砂利		試供材 の大きさ	試供材 の 數 (個)	試供材 の 齡 (日數)	極抗壓強 (每平方吋 に付封度)
	種類	大さ (吋)				
1.-2.5.-4.	砂利	0.5 - 2.0	六吋角 長三吋	8	33	2326
1.-2.5.-4.	同	0.25 - 2.5	同	6	33	3363
1.-2.5.-4.	Hard Trap rock	1.0 - 2.5	同	6	33	3886
1.-2.-4.	Trap	1.0 - 2.5	一呎立 方體	—	2ヶ年	2549
1.-2.-4.	同	1.5 - 2.5	同	—	2ヶ年	2789
1.-2.-4.	同	2.5	同	—	2ヶ年	2466

此等實驗の結果より見るも粗粒の砂利を使用して製したる混凝土の強度は、細粒を用ひしものに優れること明かである、次ぎにテラー及ビトンブソン兩氏の著書によれば (Taylor & Thompson's Concrete, Plain and Reinforced) 混凝土の強度は一般に使用砂利最大粒の大小により増減すると云ふて居る。此の事實はHoward氏 (Howard) がウォータータウン、アーセナルに於て配合比 1.-1.-3. 混凝土製一呎立方體に就ての實驗によりて明かである、故に混凝土の強度は重量に比例し従て密度に比例して變化する、又ジョン、カイル (John Kyle) 氏は 1.-2.-6. 調合の混凝土試供材を以て實驗したる結果によれば砂利粒一吋半のものを使用したる混凝土は粒大三吋半を有せる混凝土の強度の半に相當したりと云ふ、又フラー並トンブソン兩氏の實驗せる處によれば結論とする處は次の如くである。(Transaction of Amer. Soc. of C. E. Vol.

59. 1907. 參照)

(a) 使用砂利の最大粒は壓力に對する混泥土の強度を定むる要素である、換言すれば砂利粒大二吋四分の一及び以下なるものを使用したる混泥土は粒大一吋及以下のものを用ひし混泥土より強度大である、同様に粒大一吋のものは粒大半吋のものより強度が優つて居る、直徑一吋の砂利を最大粒とする混泥土の抗壓強度を、直徑二吋四分の一の砂利を最大粒とする混泥土と等しからしむるにはセメントの量を更に六分の一増加するを要す、又四分の一の砂利を最大粒とせる混泥土の抗壓強度を、二吋四分の一砂利粒大を有する混泥土と同強度ならしむるにはセメントの量を約三割増加しなければならない。

(b) 最も強き石質の砂利を使用したる混泥土は其の密度最も大である。

又佛國大家フェレー (R. Felet) 氏がモルタルの抗壓強度に關する原則 (I. O. Baker's A Treatise on Masonry Construction, p. 199, 1913. 年版參照) は混泥土の抗壓強度を定むるに最も必要なものにして其の所説次の如くである。

モルタルを作るに使用したるセメント及び砂の性質、配合率並に砂粒の大小如何に係らず、同一状態の下に同期間凝結硬化せしめたるモルタルの抗壓強度は全然 $\frac{c}{1-(c+s)}$ の函數である、茲に c は單位容積内に在るセメントの絶對容積 (即ち空隙を有せざるもの) s は砂の絶對容積である。

テラー及びトンプソン兩氏は此の原則を混泥土の場合に應用するが爲め次の如く變じた。

混泥土の單位抗壓強 $= P = M \left(\frac{c}{1+c-(s+g)} - 0.1 \right)$ 此の内 M は或る係數にして g は混泥土の單位容積に對する砂利の絶對容積である、今混泥土を製するに一定の配合率を定むれば c 及び s は定數と考ふることが出来る、従て上式は次ぎの如く變ずる。

$$P = \left(\frac{K}{K'-g} - \frac{M}{10} \right)$$

茲に K 及び K' は c 及び s の値によりて定めらるべき常數である、本式より見るも P は g の最大値を取る時に最大なることは明瞭である。(各種混泥土の抗壓強度表は卷末 529 頁參照)

(III) 著者の實驗

以上論じ來れる處によれば混泥土の抗壓強度を増加せんには密度の大なる砂利換言すれば成るべく大粒の砂利 (或は碎石) を使用しなければならない、然れども此の場合に注意すべきは粒大を増すに従ひ空隙を増加すべきを以て多量のセメントを要し是れが爲め強度を増加するに至るべき事である。又純混泥土のみを使用する工事にありては、粒大を増すことを得べきも鐵筋混泥土工にありては粒大に自ら制限あり依て著者は鐵筋混泥土の場合に應用するの目的を以て混泥土材大 (Size of member) と使用砂利粒大との關係を定むるの實驗を施した。實驗に供する目的を以て大正二年三月中四十個の試供材を製し材齡三ヶ月に達したる時實驗を

行ふた、試供材は何れも圓錐形にして其の直徑は四吋、六吋、八吋、十吋及十二吋の五種類を撰み、其の高さは何れも其直徑に等しい、使用砂利は硬質なる石灰石より製せる碎石にして二種類とした、其一は六分篩目を通じ四分篩目上に止まりたるもの、他の一は一吋篩目を通過し六分篩目上に止まりたるものである、使用水量は砂及砂利重量の 9.3 パーセントにして使用せるセメントのノルマル、コンシステンシー (Normal Consistency) に相當せるものである、試供材は製作後三ヶ月間溼潤なる砂内に貯藏し水分の急發散を防ぐに努めた。

第七表の二は實驗の結果を表示せるものである。

第七表の二

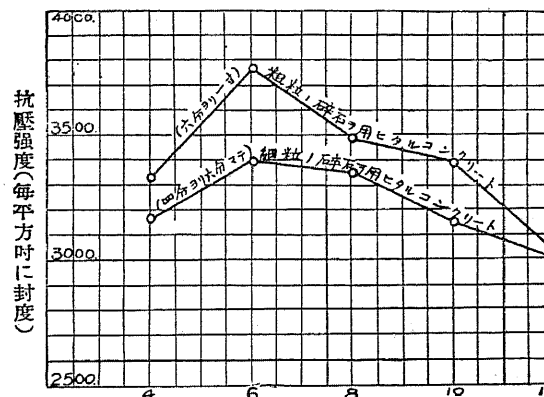
砂利粒大と混凝土の抗壓強度

(抗壓強は各四個實驗の平均値)

碎石の大きさ 細 = $\frac{1''}{2} - \frac{3''}{4}$ 粗 = $\frac{3''}{4} - 1\frac{1''}{4}$	材 齡 (日 數)	供試混凝土の大きさ 高×徑(吋)	抗 壓 強 (平方吋に付度)
細	92	4×4	3154
粗	94	4×4	3318
細	93	6×6	3380
粗	100	6×6	3750
細	94	8×8	3350
粗	95	8×8	3482
細	94	10×10	3141

粗	95	10×10	3386
細	95	12×12	3012
粗	95	12×12	3042

第六圖



試供材の大きさ(直徑と高さ)時にて示す

第六圖は第七表の二の結果を圖に示したるものである、此の圖より見るも粗粒の砂利を使用したる混凝土が、細粒を用いたるものよりも強度の優秀なること極めて明瞭である、

今抗壓強度の比較に便する爲め直徑十二吋を有する試供材の強度を一とし其の他の試供材の強度を換算せば次きの如くである。

試供材の大きさ	細粒の砂利(徑四分乃至六分)を使用したるもの	粗粒の砂利(徑六分乃至一寸)を使用したるもの	兩者の比
4吋	1.047	1.090	1.05
6吋	1.124	1.273	1.14
8吋	1.112	1.144	1.04
10吋	1.043	1.113	1.08
12吋	1.000	1.010	1.01

此の表より見るに實際上最大抗壓強は粗粒の砂利を用いたる六吋試供材に表はれた、而して是を細粒の砂利を使用したる十二吋試供材に比較せば、強度に於て二割七分餘を増加し又六吋試供材に比較するも尙一割四分の増加を示して居る。此の場合に於て使用砂利の大きさは六分乃至一寸あるから、其の最大粒は部材の直径の五分の一又平均粒大は直径の約六分の一に相當して居ることが解る。

以上の實驗の結果は單に二種類の砂利を使用したのみなれども、試供材は五種類に亘れるを以て部材の大きさと砂利粒大との關係は十種類の實驗を施したると同様である、此等の結果より直ちに一般的斷定を下すは元より早計に失すれども、以上の實驗により一般的傾向を推定する事が出来る。

鐵筋混凝土工に於て鐵筋の周圍には粗粒の砂利を使用すること不可なれども、鐵筋を用ひざる應壓力側には大粒の砂利を混じ使用し以て混凝土の抗壓強を増加することが必要である。

現今鐵筋混凝土といへば必ず細粒の砂利を選用せざるべからざるものと一概に速斷する人が少くない、然れども細粒の砂利を使用するが爲めに生ずる抗壓強度の損失は、部材の大きさを増すに従ひ大なるを以て、鐵筋の有無と材大とにより適當なる砂利の粒大を選定すること最も必要である。

第九節 モルタル及び混凝土の強度

(一) モルタルの強度

農商務省工業驗試所の實驗成績に依れば 1:3 モルタルの四週間目の強度は次の如くて有る。

製造所名	抗張強	抗壓強	製造所名	抗張強	抗壓強	製造所名	抗張強	抗壓強
	#/□"	#/□"		#/□"	#/□"		#/□"	#/□"
淺野	292	1886	九州	158	1238	中央	193	1148
鈴木	263	1760	佐賀	236	1936	三河	307	2260
日本	293	1980	小野田	246	1687	愛知	275	1837
北海道	246	2830	大阪	235	1495	三重	235	1163

米國製セメントは 1:3 モルタルにて四週間目の耐伸強每平方時に 270 乃至 320 封度が普通である、故に本邦製セメントは強度少しく劣等で有る。

(二) 混凝土の強度

多くの實驗の結果から本邦製セメント混凝土の強度は製造後二ヶ月目に於て次ぎの如く取るを適當とす。

混凝土	抗壓強	抗張強 (直張)	抗張強 (彎曲)	抗剪強
	#/□"	#/□"	#/□"	#/□"
1:2:4	2000	160	360	1200
1:3:6	1500	100	200	1000

第十節 鐵筋の種類と其の性質

今日鐵筋として使用されて居るものは普通の丸棒角棒の外にデフォームド、バー (Deformed Bar) で有る。其の種類は中々多いが第七圖に掲げたのは重なるもので、カーン式のリップ、バー；コルゲートド、バー會社の丸形、角形等のコルゲートド、バー；カップ、バー；サッチャー、バー；トキステッド、バー；ハーバーメヤー、バー；カーン、バー；エクスパンデッド、メタル等である、其の優劣は後節に譲る。

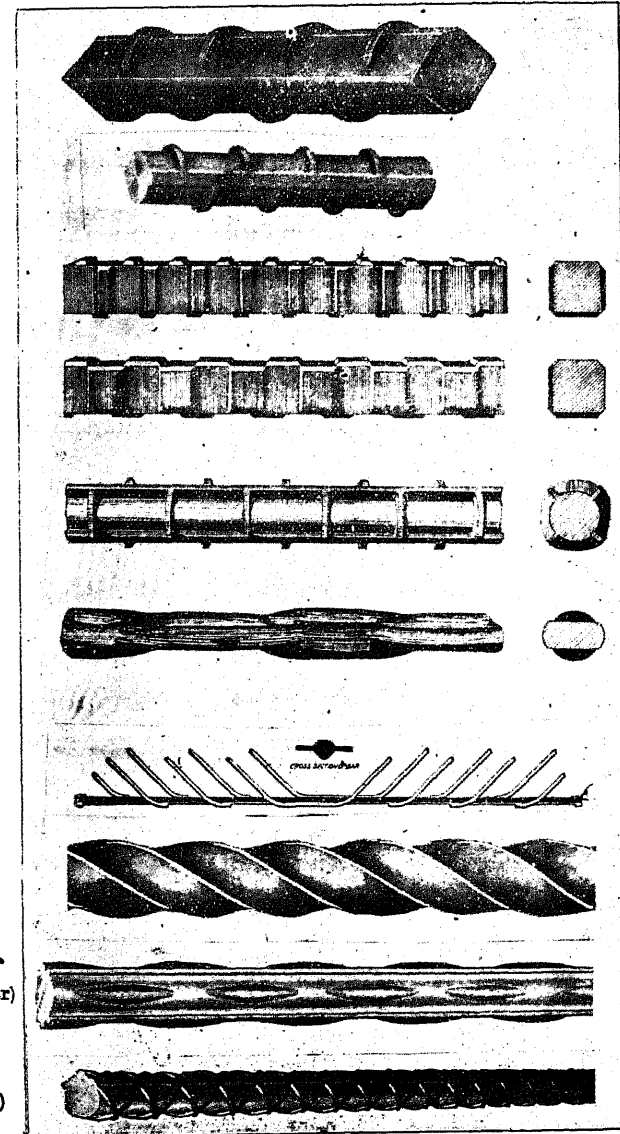
鐵は一種の結晶體で、之を顯微鏡下で見ると Ferrite 又は Cementite と Pearlite とで結晶して居る。此等は熱の加減等により其の配列及び大きさを異にするものである。従て其の強度に影響するから無暗に火を加へて之を曲げる等の事は成可く避けねばならぬ、然し之を二千度近く熱する時は再び原子が小さく密な配列になるから差支へないのである。

鐵筋用鋼の性質は歐洲と米國とで相違がある。歐洲では重に軟鋼を用ふるのが普通であるが、米國では普通丸又は角鐵筋の外概ねハイ、カーボン、スチールのデフォームド、バーを使用する傾向である。ハイ、カーボン、スチールは一定の應力に對し軟鋼よりも伸張度が少いから混凝土の龜裂を見ることが少ないので特效はある、が然し曲げることが頗る困難であるから軟鋼の様に取扱ひが容易でない。

鋼鐵の彈率は每平方時に對し (以下同じ) 28,000,000 封度乃至 31,000,000 封度で有るが普通 30,000,000 封度と取られて居る。市場に販賣されて居る中軟鋼の彈界強は概ね 36,000 封度、極強は 55,000 封度、ハイ、カーボン、スチールの彈界強は概ね 55,000 封度、極強は 85,000 封度である。又溫度に對する膨脹率は華氏每一度に就き .0000065 を普通とす。

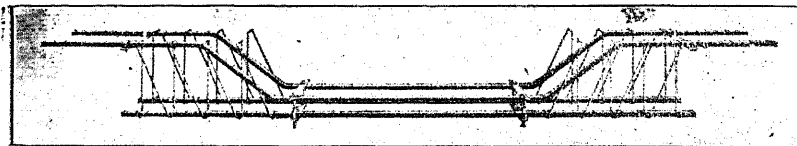
第七圖

- リップ、バー (Rib Bar)
- コルゲートド、バー(丸) (Corrugated Bar)
- コルゲートド、バー(角) A式 (Corrugated Bar)
- コルゲートド、バー(角) B式
- カップ、バー (Cup Bar)
- サッチャー、バー (Thacher Bar)
- カーン、バー (Kahn Bar)
- トキステッド、バー(角) (Twisted Bar)
- ハーバーメヤー、バー (Havermeyer Bar)
- ダイヤモンド、バー (Diamond Bar)



鐵筋として使用されるものゝ大きさは四分の一吋から一吋四分の一まで有るのが普通である。ベッセメル法で製したものとオープン、ハルス法によるものとあるが前者にて製した鋼は鐵筋用として使用せぬ。

第八圖
コルゲートド、バー、ユニット



以上の外桁用に特別に出来て居るアメリカン、ユニットとかモノリス、ユニットとかコルゲートド、ユニットとか色々な特別品がある。併し此等は割合に高價であるから一般に應用することは極く少ない。

鐵筋材の寸法重量等は次ぎの如くである。

第八表
各種鐵筋重量表

ランソム、トキステッド、バーの捻り數

鐵筋の大きさ(吋)	捻り數(毎呎)	鐵筋の大きさ(吋)	捻り數(毎呎)
$\frac{1}{8} \times \frac{1}{8}$	7	$1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$	5	$1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$
$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$	3	$1\frac{3}{4} \times 1\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$
1×1	1	2×2	$\frac{1}{4}$

コールド、トキステッド、ラッグバーの重量及斷面積

大きさ(吋)	斷面積(平方吋)	重量(毎呎につき封度)
$\frac{1}{4}$	0.0625	0.222
$\frac{3}{8}$	0.1406	0.492
$\frac{1}{2}$	0.2500	0.870
$\frac{5}{8}$	0.3906	1.350
$\frac{3}{4}$	0.5625	1.940
$\frac{7}{8}$	0.7656	2.640
1	1.0000	3.450
$1\frac{1}{8}$	1.2656	4.350
$1\frac{1}{4}$	1.5625	5.370
$1\frac{1}{2}$	2.2500	7.700

コルゲートド、バーの寸法、斷面積及び重量

大きさ(吋)	丸形		角形	
	斷面積(平方吋)	重量(毎呎封度)	斷面積(平方吋)	重量(毎呎封度)
$\frac{1}{4}$	—	—	0.06	0.22
$\frac{3}{8}$	0.11	0.38	0.14	0.49
$\frac{1}{2}$	0.19	0.66	0.25	0.86
$\frac{3}{4}$	0.25	0.86	—	—
$\frac{5}{8}$	0.30	1.05	0.39	1.35
$\frac{3}{4}$	0.44	1.52	0.56	1.94
$\frac{7}{8}$	0.60	2.06	0.76	2.64

1	0.78	2.69	1.00	3.43
1 $\frac{1}{2}$	0.99	3.41	1.26	4.34
1 $\frac{3}{4}$	1.22	4.21	1.55	5.35

サッチャーバー及びダイヤモンドバーの斷面積及び重量

大き (吋)	サッチャー、バー		ダイヤモンド、バー	
	斷面積 (平方吋)	重量 (毎呎封度)	斷面積 (平方吋)	重量 (毎呎封度)
$\frac{1}{4}$	0.047	0.16	0.0625	0.213
$\frac{3}{8}$	0.10	0.34	0.14	0.478
$\frac{1}{2}$	0.13	0.61	0.25	0.85
$\frac{5}{8}$	0.28	0.95	0.39	1.33
$\frac{3}{4}$	0.41	1.39	0.56	1.91
$\frac{7}{8}$	0.55	1.87	0.76	2.60
1	0.71	2.42	1.00	3.40
1 $\frac{1}{8}$	0.90	3.06	—	—
1 $\frac{1}{4}$	1.10	3.74	1.56	5.31
1 $\frac{3}{8}$	1.32	4.49	—	—
1 $\frac{1}{2}$	1.56	5.30	—	—
1 $\frac{5}{8}$	1.81	6.16	—	—
1 $\frac{3}{4}$	2.08	7.07	—	—
1 $\frac{7}{8}$	2.35	8.00	—	—
2	2.65	9.02	—	—

カーン、トラッド、バーの斷面積及び重量

大き (吋)	斷面積 (平方吋)	重量 (毎呎封度)
1 $\frac{1}{2}$ × $\frac{1}{2}$	0.38	1.4
2 $\frac{1}{8}$ × $\frac{3}{4}$	0.78	2.7
3 × 1	1.42	4.8
3 $\frac{1}{2}$ × 1 $\frac{1}{2}$	2.00	6.9

モノリス、ユニット、バーの斷面積及び重量

大き (吋)	斷面積	重量 (毎呎封度)	スターラップ 寸法(吋)
$\frac{9}{16}$ × $\frac{5}{8}$	0.25	0.85	$\frac{3}{16}$
$\frac{7}{8}$ × 1	0.64	2.37	$\frac{1}{8}$
1 $\frac{1}{8}$ × 1 $\frac{1}{4}$	1.00	3.37	$\frac{3}{8}$
1 $\frac{1}{8}$ × 1 $\frac{3}{8}$	2.25	7.58	$\frac{9}{16}$

第十一節 鐵筋と混泥土との粘着力

鐵筋と混泥土との粘着力如何を知ることが鐵筋混泥土の設計上中々肝要であることは申すまでもない。其の研究は随分早くからあつて實驗の結果も澤山發表されて居るが最近のものは獨逸國スツツガルト (Stuttgart) 工科大學教授 バッハ (C. Bach) 氏の發表されたるものと、も一つは米國イリノイ大學教授 タルボット (Talbot) 氏の下に研究して居る アブラムス (Abrams) 氏の發表したもので バッハ 教授のは三十一頁に亘り アブラムス 氏のは約二百四十頁に亘れるものである。此等内容の概略は次の如し。

(一) 鐵筋表面の影響

- (a) 普通ミル、サーフェース (Mill Surface) を有するもの。
- (b) 浮錆を生ずる程度に錆びたるもの。
- (c) 表面を研磨したるもの。
- (d) 捻山を切りたるもの。
- (e) スパイラルを用ひしもの。
- (f) テーパを付せしもの。
- (g) 座鐵を付せしもの等。

(二) 鐵筋断面の影響

圓形、角形、平鐵板、丁形、アングル形等。

(三) 鐵筋種類の影響

ジョンソン、バー。 ダイヤモンド、バー。 サッチャー、バー。 コルゲ
ーテット、バー。 ラック、バー。 カップ、バー。 トキャストテット、バー
等

(四) 鐵筋を引抜く時と押し出す時の粘着力の差

(五) スターラップの影響

(六) 混凝土用水量多寡の影響

(七) セメント分量の影響

(八) 鐵筋數の影響

(九) 桁下面より鐵筋中心までの距離の影響

(十) 混凝土材齡の影響

其の他に亘つて居る。アブラムス氏の實驗は去る明治四十年来引

續き實驗の結果を千九百十四年に發表したもので粘着力に關する事を殆ど凡て研究し得たと云ふても差支ないと思はれるが今尙引續き種々の實驗を繼續して居る。私も時々實驗を手傳だつかが氏は桁に於ける鐵筋と混凝土との粘着力試驗も可なり多くやつて居る。アブラムス氏は混凝土と鐵筋との附着抵抗を二つに分けて論じて居る。即ちアドヘシブ、レジスタンス (Adhesive Resistance) とスライディング、レジスタンス (Sliding Resistance) とである。つまり普通の圓鐵又は角鐵はアドヘシブ、レジスタンスが割合に大きいスライディング、レジスタンスは少ないのであるが、デフォー
ムド、バー (Deformed Bar) は後者が大きいのである。

同種類の圓鐵を種々の長さに埋め込みたるものと直径の異なつた圓鐵を同じ長さ丈埋め込み多くの實驗を施した結果の平均は先づ普通ミル、サーフェースの鐵を 1:2:4 混凝土に埋め込み六十日の後實驗して、鐵筋が少しも滑らないで持つ粘着力は平方吋に二百六十封度で最大應力は四百四十封度を示して居る。此の粘着力を同じ割合の混凝土で作つた六吋立方體の抗壓強に比較すれば鐵筋の少しも滑り出さぬ時の平均單位粘着力は抗壓強の六分の一其の最大粘着力は抗壓強の四分の一になる。又圓鐵と角鐵との粘着力も異つて居て角形の場合には圓鐵の單位粘着力の七十五パーセントに相當して居る。是れは設計上特に注意すべき事で精確に申せば角鐵は圓鐵よりも附着面積を二割五分丈減ぜねばならぬ事になる。

鐵筋を錆びさせた儘挿入する事は粘着力を著しく減少するが、然し浮錆を削り落しよく掃除して入れたるものは、普通ミル、サーフェースのものよりも十五パーセントだけ粘着力を増して居る。之は其の表面が粗くなつた爲めである。又磨いて入れた鐵筋はスライディング、レジスタンスは殆ど零で純粹の粘着力のみである、従て平方時に二百六十封度が最大である。

デフォームド、バーはつまり粗い面の擴大したものと考へる事が出来る。其のアドヘッション、レジスタンスは圓鐵棒と少しも變らぬ否寧ろ少ない位であるが、其の表面凹凸の爲め約千分の一時滑り始めてからのスライディング、レジスタンスが高いのである。故にデフォームド、バーであるからとて一概に可許粘着力を増加する事は考へものである。殊に表面の凸起部はスライディングから混凝土に随分高いベアリング、ストレスを與へるから充分此の點に注意を拂ふ事も必要である。

丸鐵筋に捻山を造り混凝土内に埋め込んだものは粘着力が高く、平均最大應力は七百四十五封度(平方時に)を示して居る。又トキイステッド、バー (Twisted Bar) の粘着力は普通圓鐵の八十八パーセントであつてスライディング、レジスタンスが高いのみである事は注意に値ひする。







混凝土を水分で絶えず養生硬化させたものは粘着力が強く、此の如く養生せば外氣中で硬化させた混凝土の粘着力よりも一割乃至四割五分優つて居る。又外氣中で凍らせた混凝土の粘着力は殆

ど皆無である處から見れば餘り寒氣の激しい時の鐵筋混凝土工事は成るべく見合わせる方が利益である。

粘着力増進の割合は初め三十日間に急速に増加して二箇月後に至れば其の増加割合に少く一箇年目の粘着力は二箇月目のものゝ二倍である。即ち粘着力増進の割合は混凝土抗壓強の増率と同様である。又混凝土内に垂直に挿入れた鐵筋は、水平に入れたものよりも粘着力が高い事と混凝土に壓力を加へて凝固させた混凝土は普通のものよりも粘着力が高い事は明瞭である。實例に付き述べれば混凝土の硬化に際し五日間毎平方時に百封度の壓力を加へたものは二箇月目の終りに於て、然らざるものよりも九十五パーセント粘着力を増進せしとの事である。

其の他獨國 バツハ 教授の實驗せるものの中参考となるべき部分を掲ぐれば次ぎの如くである。

(1) 鐵筋断面形状の影響 (混凝土の配合 1: 2: 3 より成る桁につき實驗せるものなり。材齡は四十五日にて實驗以下同斷)

鐵筋の形状及大小	粘着力 (平方時に就て封度以下同じ)	備考
圓鐵棒(直徑 25mm)	322	
平鐵 12mm × 40mm	 	256.....縦に挿入せり
		205.....平に挿入せり
アングル鐵 50 × 50 × 6mm	 	186.....上向に挿入せり
		338.....下向に挿入せり
丁形鐵		162
工形鐵		179

(2) デフォームド、バーと粘着力

鐵筋の種類	粘着力 (平方時につき封度)	備考
普通圓鐵桿	322	バッハ教授は <u>アドヘシブ</u> 、 <u>レジスタンス</u> と <u>スライデン</u> <u>グ</u> 、 <u>レジスタンス</u> とを區別せ ざるを以て茲には最大粘着 力を示せり。
<u>ジョンソン、バー</u>	479	
<u>ダイヤモンド、バー</u>	516	
<u>ラッグ、バー</u>	514	
<u>カップ、バー</u>	437	

(3) 桁の下端より鐵筋中心までの距離の影響 (圓鋼にて)

{桁下端より鐵筋中 心までの距離(吋)}	粘着力 (每平方時 につき封度)
0.394	311
0.787	322
1.575	328

(4) 鐵筋數の影響

混凝土の齡 (日數)	鐵筋徑 (吋)	鐵筋數	粘着力 (每平方時につき封度)
84	0.551	3	222
50	0.984	1	252

(5) 混凝土の調合比と粘着力との關係

調合比 (セメント)(砂) (砂 利)	最大粘着力 (平方時につき封度)
1: 4: 8	190
1: 3: 6	311
1: 2: 4	452
1: 1½: 3	554

(6) 材齡 (Age) と粘着力との關係

材 齡	最大粘着力 (每平方時につき封度)
一週間	226
一ヶ月	404
二ヶ月	452
六ヶ月	736
十七ヶ月	841
三 年	848

我國のセメントは外國品より劣つて居るから普通丸鋼の少しも滑らずして持つ粘着力を每平方時に二百四十封度と見る事が出来る、故に可許粘着應力は八十封度が適當である。

第十二節 混凝土の龜裂と鐵筋の腐蝕

混凝土の龜裂より鐵筋が空中の酸素其他の瓦斯の爲めに酸化されはしないとか、或は鐵筋混凝土を使つて見たが内部の鐵筋が錆びて困るとか云ふことは能く耳にすることであるが、此等の原因をよく研究して見ると海岸地方の鹽分ある水を用ひて混凝土を練つた事に基因することが多い。要するに施工者の不注意から來たもので周到なる注意をすればよし龜裂が入つても決して鐵筋は腐蝕するものではないことは次の實例によつても明である。西曆千九百七七年に獨逸東プロシヤの**プロブスト**氏は次の様な實驗を施した。

各種の鐵筋材を用ひて三十四個の桁を作り、鐵筋の彈性限度を越さぬ範圍内にて之に荷重を掛けて龜裂を生ぜしめ又之と同時に初めから鐵筋の露出したものを作り、兩者共に酸素及び二酸化炭素を働かした、處が二時間で露出部の鐵筋には浮錆を生じたが、龜裂の内部にある鐵筋には何等の變化も無かつた。尙十餘時間瓦斯を働せて見ても更に變化を來さなかつた。此の如き瓦斯の十時間の作用は、空氣中に於ける酸化作用の幾十年分に當つて居る。

之に依ても龜裂内にある鐵筋は應力が彈性限界を越えぬ間は絶対に腐蝕するものでない事を知ることが出来る。然らば何故に腐蝕しないかと云ふに混凝土工業に従事した人は知らるゝ如く鐵と混凝土とは非常に馴染みの良いもので混凝土が硬化する時鐵筋の周圍に極薄い防水防氣的の膜が出來瓦斯や空氣も之を透すことの出來ない爲め鐵が斯様に保護されるのである。

故に施工の時に鐵の周圍をよく搗き固め鐵と混凝土との間に少しの空隙もない様にする事が最も大切で、之を等閑にして置くときは内部に残つた少量の空氣でも永年の間には遂に鐵を酸化するし又電氣の爲め鐵を腐蝕することになるから充分注意しなければならぬ。

第十三節 海水と混凝土及鐵筋混凝土

從來歐米に於て海水中に混凝土を使用し、其の表面二三吋の間

海水の爲め分解作用を被むりたる例が五六有る、此等の實例で被害の部分は常に干潮面から満潮面までの間に限られて居るから其の被害の一部の原因は確かに霜氷作用に在るものと斷定することが出来る、而して其の被害場所に近き部分でも尙無害なる處があると云ふ結果から推考すれば被害の程度は出來上つた混凝土の性質にも依るものだと云ふことが明かである。

又ニューヨーク港のドック等では良質の材料を用ひセメントの調合比を良くした爲め今日までも尙無害であると云ふ實例もある。其他此の様な實例は少くない故に混凝土の調合率を良くし不滲透性混凝土とし、且つ模型を其の儘數週間取り外さずに置き海水と直接接觸せしめない様にして凝固させた混凝土は海水により被害を受けることが無いと斷定して宜しい。

今混凝土を海水工事に使用するに當つて参考とする爲めに佛國 フレール氏の實驗的研究の結果を次ぎに述べて見よう。

1. 現今見出されて居るセメント中に海水の分解作用に對し安全なものはない。
2. 海水中に含有せるものゝ中で尤も有害なものは溶解性硫酸である此の硫酸の爲めにセメントは分解作用を受ける。
3. 海水工事に用ゆるポートルランドセメントには成るべく少量のアルミニウムを含有し且つ石灰は出來得る限り少量なることが必要がある。
4. ブゾラナ性材料は海水工事に用セメントに尤も有效なる混加物

である。

5. デブサム(硫酸石灰)は海水工事に使用するセメントには出來得る限り混用せざる方が良い、何となれば凝結時間の遅速は是れから來るものである。
6. 比較的細粒を含有する砂は海水工事用混凝土及びモルタルに使用しては宜しくない。
7. 海水工事に使用する混凝土は可成比重を大にして不滲透性を有する配合とするが良い。

又設計上の注意は次ぎの如くである

1. 表面には成る可く凹凸を避くるが良い凹凸が有れば海水の破壊力を増さしめる。
2. 海水用混凝土の表面には強靱なる質の碎石を使用するが良い。
3. 混凝土用砂利は可成大小粒を混用し搗き固めを充分にすることが分けて必要である。
4. 波の力により混凝土が幾分磨滅しても鐵筋は出ぬ様奥に入れるが良い、先づ大抵表面から三吋以上とするを適當とする。