

論 說 報 告

土木學會誌 第十三卷第五號 昭和二年十月

ポルトランド・セメント・モルタルの 耐壓強度に就て

准員 吉 田 彌 七

On the Compressive Strength of Portland
Cement Mortars.

By Yashichi Yoshida, Assoc. Member.

内 容 梗 概

本論文はポルトランド・セメント・モルタルの耐壓強度に關する 實驗研究の結果にして著者の混凝土の物理的性質の研究の一部なり。而して實驗は熊本高等工業學校土木教室混凝土實驗室にて施行せしものなり。

Synopsis

This paper presents the results of tests on the compressive strength of Portland cement mortars, together with the outcome of investigations made on the physical properties of concrete. They were carried out from 1924 to 1925 under the direct supervision of the auther, in the Testing Laboratory of the Civil Engineering Department of the Kumamoto Higher Technical School.

目 次

第一節 概 論	1
第二節 實驗の方法	4
第三節 實驗の結果	8
第四節 結 論	28

第一節 概 論

1. 概要 元來混凝土は粗粒混凝土とモルタルよりなるものなればその主要性質の一つたる耐壓強度もモルタルの性質によりて主として支配さるゝものなるべし。然らばモルタルの耐壓強度を知る時は間接に混凝土の強度を推定するを得べし。勿論混凝土内のセメント・モルタルは獨立のモルタルと其の性質を異にする事あるも、混凝土内に於てはモルタルの量は

粗粒混凝材の空隙より多きが普通なれば前兩場合のモルタルは左程の差なきものとするも左迄不都合なきものゝ如し。

此のモルタルの耐壓強度に關し René Feret 氏は Cement-Space Ratio 即ちモルタル中のセメント・ペーストの濃さの自乗に比例すると稱するも常に各種配合のモルタルに適用することは不可能なるべし。又 Arthur N. Talbot 教授は Strength of Concrete, its Relation to the Cement, Aggregate and Water なる論文に於て混凝土の耐壓強度はモルタルによりて支配され、モルタルの強度はその内のセメント・ペーストの濃さによりて支配さる、随つて混凝土の強度はその中のペーストの濃さ即ち Cement-Space Ratio によりて支配さるゝ事を述べ、大體に於て Feret 氏の説の正しき事を裏書され、之を混凝土にも適用し得る事を論ぜられたり。又米國 Chicago の Lewis Institute の Duff A. Abrams 教授及び獨逸の Otto Graf 教授はセメント・モルタル及び混凝土の強度は主として Water-Cement Ratio によりて支配さるゝ事を力説されたり。以上大家の説に就き考ふるに Talbot 教授の説は最も信實らしく思はるゝも適用するに不便なしとせず、又 Abrams 教授の説は簡單なる點に於て勝るも凡ての場合適用し得る者にあらざるは Talbot 氏の説或は我が吉田徳次郎博士の論文よりも明なり。故に著者は緒論に於て論ぜし如く先づセメント・ペーストを研究し、次でモルタルに及び最後に Talbot 教授に隨ひ之を混凝土に適用せんとするものなり。而して本實驗に於ては前二者に就てのみ論じ比較的應用の容易なる理論を發見し、後日の實驗を俟ちて之を混凝土に適用せんとするものなり。

抑もセメント・モルタルはセメント・ペーストと細粒混凝材との混合物なれば明に或程度まではセメント・ペーストの強度はモルタルの強度を支配す。故にその混凝材を一定と假定すればモルタルの強度はセメント・ペーストの強度の或函数にて示す事を得べし。此のモルタル内のペーストは獨立のペーストとはその條件の如何によりてはその性質を異にせざるを得ず。容積變化の實驗より明なる如く配合率によりてペーストが砂の空隙を填充する率異なり、即ち配合率優良なるものにありては砂の空隙を充分セメント・ペーストにて填充し、尙各砂粒を均等に被覆する程度なれば殆んどかゝる配合のモルタル即ち 1:1 よりも優良配合のモルタルに於てはその耐壓強度は大差ある筈なきなり。反之劣悪配合のモルタルに於てはその中のペーストは砂の空隙を充分充す程度にあらざればそのペーストは獨立状態に比し容積の増加をなし居るべく随つてその強度は自然同一水・セメント比のペーストを比較するも優良配合のものに劣るは明なり。又同一配合、水比のモルタルにありてもその撞固めの状態即ちその密度の如何によりてその強度は相異を來すべく、或はそのペーストを生ずるセメント其自身の良否によりても大關係あり。又供試體製作の方法、養生法、試験の方法、氣温の高低等支配條件を數へ來れば到底モルタル或は混凝土の耐壓強度を支配する簡單なる理論を見出す

事は不可能なれば著者はなるべく一定の標準状態に於て実験をなし、訂正すべきは訂正し吾人が實際上適用し得る比較的簡單なる法則を發見せんと力めたり。勿論淺學非才なる著者が能く完結を期すべき事に非ざれば此の點に關し先輩諸賢の叱正を得ば幸なり。

上述の目的により本實驗はセメント・ペースト及び 1:1~1:4 の重量配合に就き大體に於て A.S.T.M. の規程により各種の水・セメント重量比に就て耐壓強度の試験をなし、それ等獨立並に相互間に存在する法則を發見せんとせり。併せて容積變化の簡單なる試験をもなし容積變化と強度との間に如何なる關係の存するかを求めたり。

2. 材料及び實驗期間 本實驗に使用せるポルトランド・セメントは淺野セメント株式会社門司支店の製品にして、實驗記號 A₂ なり。之は會社より直送せるものを實驗室到着後直ちに金屬製鏝中に移し、然る後試験に供せるものにして、數量は 2 樽なり。而して此のセメントの試験は本實驗の最初及び最後に於て前後 2 回施行し實驗期間に於てセメントが變化をなせるか否かを檢せり。實驗の結果は第一表の如し。

第一表

試験項目	第 1 回 (實驗着手直前) 大正 13 年 10 月 2 日乃至同 11 月 15 日	第 2 回 (實驗終了直後) 大正 14 年 6 月 16 日乃至同 7 月 20 日	
比重	3.0879 (at 23°C)	3.0888 (at 23°C)	
粉末の程度	# 65 に止りたるもの	0.24	
	# 65 を通過し # 100 に止りたるもの	1.36	
	# 100 " # 200 "	10.84	行はず
	# 200 " 鍋 "	87.40	
合計	99.84		
凝結	初結	1 ^h 40分 (at 28°C)	2 ^h 0分 (at 21°.5C)
	終結	5 ^h 15分 (at 28°.5C)	5 ^h 15分 (at 23°.8C)
膨脹性龜裂	異狀なし		
強度	耐伸強 1 週間後 (1:3 モルタル)	22.20 kg/cm ² (at 15°.1C)	23.80 kg/cm ² (at 21°.2C)
	" " " "	27.70 " (at 13°.2C)	26.15 " (at 24°.4C)
	耐壓強 " " "	174.53 " (at 8°.4C)	行はず

以上の試験に於て粉末の程度は Tyler's Standard Sieves を用ひ Ro-Tap Testing Sieve Shaker にて 15 分間篩へり。上表中の溫度は試験中の平均溫度を示すものにして、之に關する修正は行はざりき。本試験は大體に於て商工省のセメント試験規程に隨ひたり。但し粉末の程度及び耐壓強度試験は亞米利加材料試験協會の標準規程によれり。

上表より推定するに A₂ は本實驗中變質せざるものと見るも、實際上差支へなきものゝ如し。

本實驗に使用せる砂はセメント試験用舊標準砂なり。

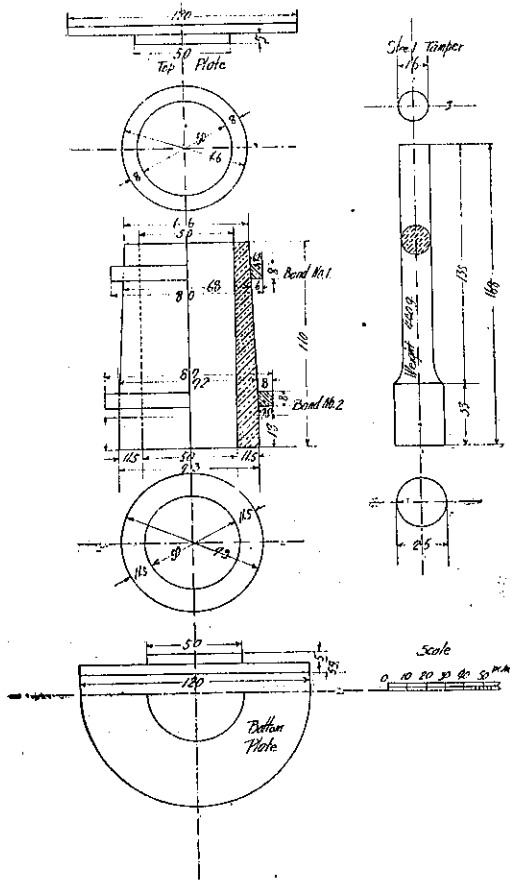
水は熊本高等工業學校水道の清水なり。

本実験は大正 13 年 10 月 1 日より同 14 年 7 月 24 日までの間に於て熊本高等工業學校土木工學教室混凝土實驗室に於て施行せるものにして、助手辻次夫、淺井省吾並に白木源藏 3 君の勞による所甚だ大なり。著者は此處に感謝の意を表す。

第二節 實驗の方法

3. 模型 本實驗に使用せる供試體の寸法は徑 5 糎、高さ 10 糎の圓筒なり。故に此の供試體製作用の型は出來上りの寸法が上記の如くなる様而も齊等質の供試體を得る如く特に工夫せり。此の模型は Fig. 1 に示すが如く 2 個の外殻及び上下の蓋板よりなる。外殻は正確に内徑 5 糎、高さ 11 糎にして其の内面及び相互の接觸面は滑かに磨き仕上げたり。而して外面は少しく縦勾配を附し 2 個の糎にて締付くるに便せり。上下の蓋板には高さ 0.5 糎、徑 5 糎の圓形の柄ありて外殻に合ふ如くせり。供試體製作の際は糎を打込み締付け、型外しの場

Fig. 1 50 by 100 mm Cylinder Mould
Material: Brass.



合糎を去りて後外型を外すものとす。模型製作用材料は全部眞鍮にして全重量約 3 疋なり。撞棒は下部徑 25 糎、上部徑 16 糎、長さ 168 糎、重量 440 瓦なり。模型及び撞棒は共に本校機械工學實驗工場にて製作せるものなり。

4. 供試體製作法 供試體製作の方法は其のモルタルの配合比及び加水分量の如何により變ぜざるを得ず。次に各配合率のモルタルに分ち簡單なる説明を加へん。

(い) セメント・ペースト

1) 水・セメント重量比 0.05~0.10

模型組立後内面に機械油を薄く塗る。供試體材料はセメント 400 瓦を鐵皿に取りビュレットにて所要の水量を加へ鏝にて充分捏混し豫備試験にて定めたる量だけピーカーに移し、之を秤量しそのペーストの純重量を知り、之を模型に 3 回に分ちて充し各回撞棒にて 25 回均等に撞くものとす。而して其の頂部は適量と

思はるゝだけペーストを充し蓋板を栓し、撞棒にて撞固めの時同様の力にて撞固め其の供試體の長さが10 糎になる如く整正するものなり。此の方法に依ればキャツピングの要なく而も齊等質の供試體を得らるゝの利益あるが如し。尙 A.S.T.M. の標準型より、加水分量の變化の範圍大なる此の種の實驗用供試體製作の場合には好都合の如し。かくの如く型詰を終りたる後殘餘のペーストの入れるピーカーの重量を秤量し、間接に供試體の重量を知る事を得。かくして供試體の型詰が終了すれば之を靜かに濕氣室に移す。而して 24 時間を経過せる後取出して型外しをなす。即ち上蓋板を靜かに回轉しセメント・ペーストと蓋板が附着せるを外し、次に蓋を取り、外殼の箍を取り再び蓋をなして槌にて横に靜かに叩き供試體を模型より外すものとす。かくてその供試體の重量を秤量せしに、前の如くして間接に計算せるものとの差僅かに 1 瓦にして實際上無視して差支へなき程度なりき。その供試體の出來上り寸法はマイクロメーター・キヤリパスにて上中下の徑、高さを測定す。此のパスの感度は 1/50 糎なり。以上の測定の後混凝土水槽中に 27 日間養生するものとす。養生中水槽中の水は毎日一部分づゝ入換を行ひ、氣温は最高最底を測定しその平均を平均温度とし、水温は正午に測定し、之を以て平均温度とす。此の水槽を貯藏せる實驗室は別に常温にするの設備を有せず。此の點は著者の遺憾とする所なり。

2) 水・セメント重量比 0.15~0.35 容積變化の實驗より明なる如く密實即ち撞固めセメントの空隙はセメント重量の 0.13 内外の水を加ふる時は理論上全部填充するゝものなり。故に水・セメント重量比が 0.15 となればペーストは撞固むる時はその表に水氣を認むべく、特に 0.30 以上なれば浮水を認むるを得べし。故に型詰の場合に於ては漏水なき様注意するを要す。故に模型の接觸面には阻水材料を塗布して防水すべし。此の阻水材料としては最初試験的に石膏を用ひたるも阻水充分ならず、而もペースト中の水分を吸収する傾向あれば本實驗に於ては全部白色ワゼリンを塗る事としたり。型の内面は 1) 同様機械油を薄く塗布したり。供試體材料の製作法及び型詰法は 1) と略同様なも只少しく異なる點は此の範圍の水・セメント重量比の場合に於ては水はセメントの空隙を充分充す程度以上に加へたればその流動性は良好となり撞棒にての撞固めのみにては充分なる撞固めは不可能なれば底蓋板を手にて握り實驗臺上にて震動することなり。其の他 1) の場合と同様なり。

3) 水・セメント重量比 0.40~0.45 此の程度の水比のペーストなれば程混直後と凝結後とによりペーストの容積異なれば、容積變化の實驗より得たる結果より大略出來上り供試體の高さが 10 糎になる如く材料を填充するものとす。随つて實驗の方法も其の趣を異にし、先づセメント 400 瓦をピーカーに取り所要の水量を加へ匙にて充分捏混し一匙づゝ模型に注入し約供試體の 1/3 位詰りたる時充分實驗臺上にて上下に震動して密實となすものなり。かくして 3 回に分ち所要の高さになる如く型詰をなす。之が終了すれば蓋板を逆にし、即ち柄

を上にして冠し、水分の逃ぐるを防げり。其の他 2) の場合と同様なり。

4) 水・セメント重量比 0.50 以上 0.50 以上の水比のペーストなれば流動性は非常に大となり浮水も多くなれば 3) 同様出来上り高さが 10 廻なる如くセメントを秤量し、之をピーカーに移し所要の水を加へて前同様捏混す。此の程度の水比のペーストにありては凝結後規程の高さの供試體を得んとするに當り、従前通り本模型に捏混直後のペーストを充す時は溢れる故、之を防止する目的にて徑 5 廻、高さ 5~10 廻のパラフィン紙の紙型を本模型の外殻の内側に丁度接觸する如く挿入す。此の接觸の合端は約 0.5 廻にして白色ワゼリンにて阻水せり。ペーストの型詰の方法は前同様なり。本水比のペーストは水量過多のため 1 日目の型外しの際充分の強度なきため供試體を毀損する事屢々あり。故に型外しの方法は少しく趣を異にし、紙型、下蓋型を外し、繩を取り、次に外殻を供試體の軸に沿ひ互に滑らす。此の方法による時は比較的容易に而も供試體を殆んど害する事なく取外す事を得。其の他前同様なり。

以上各水比に對する供試體の數は 3 個を以て標準とす。勿論型外しの際疑はしきものは再製作をなしたり。

(ろ) 1:1 セメント・モルタル 大體に於てセメント・ペーストの場合に準ず。

1) 水・セメント重量比 0.10~0.20 模型は (い) の場合同様機械油を薄く塗るのみ。材料は先づ砂第一號及び第二號を夫々 150 瓦宛取り之を鐵皿に入れ、充分空混をなしたる後にセメント 300 瓦を加へて更に空混をなす。かくて所要の水を加へ充分に捏混し、型詰する事 (い) の 1) の場合の如し。0.20 の水比なれば模型の外殻と下蓋板との間より僅かの漏水あり。其の他 (い) の 1) 同様なり。

2) 水・セメント重量比 0.25~0.40 此の程度の水比のモルタルは最も取扱易く左官工事に適す。0.25 の水比のモルタルは型詰後表面に水浮く位の程度にして 0.40 の水比のモルタルは鑊にて取扱ひ得る極限のものなり。而して 0.30 以上の水比のものにありては撞固めは撞棒のみにては不便なれば震動を與ふるものとす。其の他 (い) の 2) 同様なり。

3) 水・セメント重量比 0.50 捏混はピーカーを使用し其の他 (い) の 3) 同様なり。

4) 水・セメント重量比 0.60~1.20 材料捏混方法は (い) の 4) と同主意にして、容積變化の實驗より得たる結果より計算して供試體出来上り寸法が規程の如くなる如く材料を秤量し之をピーカーに入れ匙にて捏混す。其の他 (い) の 4) 同様なり。只注意すべきは 1.00 以上の水比となればセメント・ペーストと砂とが分離する事なり。而して出来上り供試體の上表にセメント・ペーストのみの薄層を生じ、甚だしきは 3 廻に達する事あれば著者は充分注意して型詰をなせるも全く齊等質のものは作る事を得ざりき。此の點が水分多きモルタル又は混凝土の強度が弱く而もその値が不定なる原因の一つの如し。

供試體の數は前同様各種水比に對し 3 個を以て標準とす。

(は) 1:2 セメント・モルタル 大體に於て (い), (ろ) の場合に準ず。

1) 水・セメント重量比 0.10~0.20 砂は第一號及び第二號夫々 200 瓦を鐵皿に取り充分空混をなし之にセメント 200 瓦を加へ再び空混をなしたる後所要の水を加へ捏混す。其の他 (ろ) の 1) 同様なり。

2) 水・セメント重量比 0.30~0.40 材料は前同様にして、其の他 (ろ) の 2) 同様なり。

3) 水・セメント重量比 0.50~0.60 材料は前同様、其の他 (ろ) の 3) 同様なり。

4) 水・セメント重量比 0.70~1.20 供試體製作の主意方法は (ろ) の 4) 同様なるも型外しが 1 日にては不充分なれば 2 日後に於て行へり。

供試體の數は前同様なり。水比 0.40~0.60 程度のモルタルは左官工事用としては適當なり。

(に) 1:3 セメント・モルタル 本配合率のモルタルなれば容積變化は僅少なれば供試體製作用モルタルの作り方は全部一様とし各練毎にセメント 150 瓦、砂第一號、第二號合せて 450 瓦を取り所要の水を加へて鐵皿にて捏混す。

1) 水・セメント重量比 0.10~0.30 (ろ) の 1) 同様。

2) 水・セメント重量比 0.40~0.80 (ろ) の 2) 同様。

3) 水・セメント重量比 0.90~1.00 大體に於て (ろ) の 3) 同様なるも型外しは外殻を滑らす方法によれり。1.00 以上の水比の供試體の製作には成功せず。

供試體の數は前同様にして左官工事用としては 0.50~0.70 位の水比のモルタルなり。

(ほ) 1:4 セメント・モルタル 大體に於て (に) 同様にして材料はセメント 100 瓦、砂第一號及び第二號合せて 400 瓦を取れり。型外しは特に困難を感ず。

1) 水・セメント重量比 0.20~0.30 (ろ) の 1) 同様。

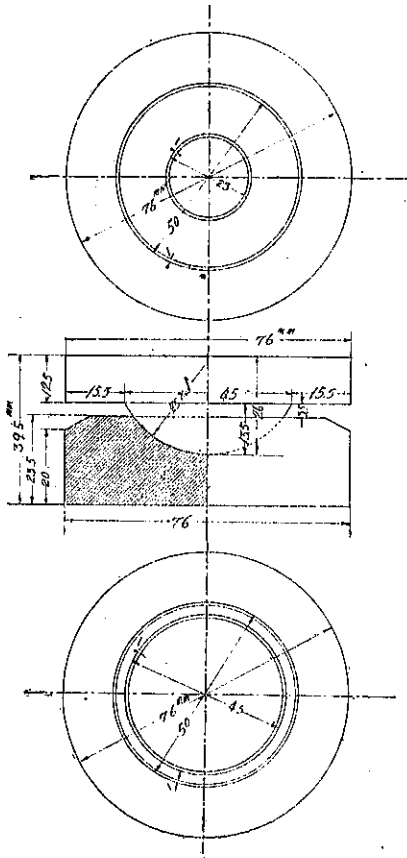
2) 水・セメント重量比 0.40~1.00 大體に於て (ろ) の 2) 同様にして型外しは外殻を滑らす方法に依れり。

5. 供試體養生の方法 4 の如くして製作せる供試體は記號記入後、底 1 米平方、深さ 45 釐の水槽中にて養生するものとす。養生の期間は標準 27 日にして 2 日目に型外しをなせるものは 26 日なり。水槽の水は毎日一部分づゝ變更をするものにして實驗室内及び水槽の溫度を毎日測定し耐壓強度に關し溫度の訂正の材料とす。

6. 耐壓試験の方法 供試體は其の製作後 4 週間を経過すれば之を水槽より取り出し、水分を充分拭ひ去りて計量す。之れ吸水率を知らんがためなり。然る後供試體の上下兩面を檢し水平ならざるものは砥石にかけんか、或は刃物にて削りて仕上げ試験機のペア

ロツクとの接觸を良好とせり。かくて供試體を濕布に包み之を本校内材料實驗室に運び耐壓試験を行ふ。試験機は米國オルゼン會社製萬能試験機にして能力は 50 000 封度なり。(寫眞

Fig. 2 Bearing Block.



第一参照)。而して本試験の際は Fig. 2 に示すが如き球狀ベアリング・ブロックを使用せり。實驗の方法は A.S.T.M. の標準 (C 59—21 T) に依り、機械の速度は 0.05 毎分にして、その速度の測定には 1/1 000 時讀みのダイヤルゲージを用ひたり。

第三節 實驗の結果

7. 實驗の結果

(一) 耐壓試験結果

(い) セメント・ペースト

1) 水・セメント重量比 0.05~0.30 材質甚だ密實、而も耐壓強度大にして其の破壊の様子は甚だ猛烈にして恰も鑄鐵の場合の如く金屬性大音を發し、其破片甚だしきは 6 米以上も飛散す。その破壊状態は常に製作の時上部に當る處にて圓錐形に、下部にては縦理に殆んど垂直なり。その破壊は抗剪力に起因するものにして耐壓強度は水・セメント重量比 0.25 の場合最大にして 600^{kg}/平方厘米を超過す。

2) 水・セメント重量比 0.35~0.50 大體に於て 1) と同様なり。此の水比となれば材質は 1) の場合に比し稍々粗鬆となり、強度も減少し、破壊の様子は溫和なり。

3) 水・セメント重量比 0.60~1.20 材質は甚だしく粗鬆となり強度も著しく減少し、破壊の際音を發せず。

上述の破壊状態は寫眞第二に示すが如し。此の寫眞に示すは破壊後破片の飛散せるものは之を集めてセメント・ペーストにて糺合せたるものなり。實驗所要時間は變形大なる程即ち水量の多き程強度の低き割に長時間を要するものなり。

(ろ) 1:1 セメント・モルタル 1:1 配合の場合はセメント・ペーストが大體に於て砂の空隙を全部填充して而も殘餘のペーストが砂粒を均等に被覆する程度なれば耐壓強度は

セメント・ペーストの場合と大差なし。

- 1) 水・セメント重量比 0.10~0.30 (い) 1) に類似す。最大耐壓強度は水・セメント重量比 0.25 の場合に起り、その大きさは約 $560^{\text{kg}}/\text{平方寸}$ にしてペーストの場合より少しく小なり。
- 2) 水・セメント重量比 0.40~0.50 (い) の 2) に相似たり。
- 3) 水・セメント重量比 0.60~1.20 (い) の 3) に相似たり。

上述の試験體の破壊後の模様は寫眞第三に示すが如し。

(は) 1:2 セメント・モルタルの場合はセメント・ペーストにて砂の空隙を充分填充する事不可能の場合多ければ耐壓強度は上記のペースト及び 1:1 モルタルの場合に比し少しく趣を異にするあり。即ち強度は相等に減少し、破壊の際音を發するは單に水比が 0.20~0.30 の時のみにして而も微なり。

- 1) 水・セメント重量比 0.10~0.30 強度は水量に比例し 0.30 の時最大にして、其の値は $350^{\text{kg}}/\text{平方寸}$ なり。破壊の状態は 1:1 に準ず。
- 2) 水・セメント重量比 0.40~0.60 此の範圍の水比に於ては強度は殆んど水量に正比例して減少す。破壊状態は供試體の上部に於て圓錐形となるか、又は圓壙の對角線の方に沿ひ破壊するかの何れかなり。
- 3) 水・セメント重量比 0.70~1.20 水比が 0.60 を超過すればセメント・ペーストと砂との混合均等ならずしてペーストが供試體の上部に浮く傾向あるは前述の如し。随つて破壊は本則として供試體の下部に起り、その強度も小なり。而して水量に關する強度の變化は甚だしからず。

上述の供試體の破壊模様は寫眞第四に示すが如し。

(に) 1:3 セメント・モルタル 砂の空隙を充すべきセメント・ペーストの量は益々減少すればその質は益々粗鬆となり、強度も著しく減少す。試験の結果は大體に於て 1:2 モルタルの場合に相似す。

- 1) 水・セメント重量比 0.10~0.30 強度は水量に比例して大となり 0.30 の際最大なり。
- 2) 水・セメント重量比 0.40~0.60 強度は殆んど水量に比例して減少す。
- 3) 水・セメント重量比 0.70~1.00 強度は著しく小となるも水比に關する變化は甚だしからず。

上述の供試體の破壊の模様は寫眞第五に示せり。

(ほ) 1:4 セメント・モルタル 1:3 の場合より尙一層供試體の質は粗鬆となり強度も減少す。

- 1) 水・セメント重量比 0.20~0.30 (に) の 1) に準ず。

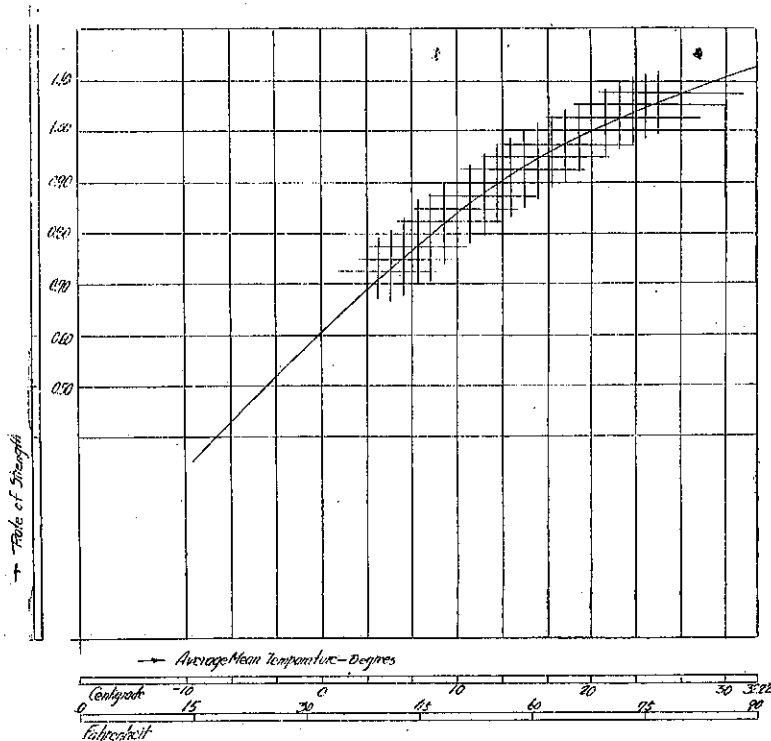
2) 水・セメント重量比 0.40~0.50 供試體の質最も均等にして破壊はその中央部に於て起る。水比 0.40 の時強度最大なり。

3) 水・セメント重量比 0.60~1.00 1:4 の場合はセメント・ペーストと砂とが分離する傾向は殆んどなくなるものなれば破壊は其の頂部に於て起る。

上述の供試體の破壊の様子は 1:3 と共に寫眞第五に示せり。

(二) 溫度に關する耐壓強度の訂正 本實驗は數箇月に亘りて行ひたるものなれば常溫設備を有せざる本實驗室内の養生水槽の水温は氣候の變化に隨ひ影響を受けざるを得ず。此の溫度はモルタル及び混凝土の耐壓強度に關するものなり。A.B. McDaniel 氏の Influence of Temperature on the Strength of Concrete なる論文は此の問題に關する研究にして、混凝土の強度に及ぼす溫度の影響に就て精しく論ぜり。既に數回説明せる如く混凝土の強度はセメント・モルタルによりて支配さるゝものと考へらるゝものなれば、モルタルの強度も亦溫度に關し McDaniel 氏の説に従つて訂正をなすも差支なきものとして之に依れり。而して供試體の養生中の溫度として水温を取れり。McDaniel 氏の實驗は供試體は濕砂中に養生したるを以て氣温を以て標準とせるも、著者は水中養生の方法によりたれば平均溫度は水温を以

Fig. 3 Relation of Strength to Temperature for Age - 28 Days.



て正當と考へ之に依れり。Fig 3 は同論文 (University of Illinois Bulletin No. 81, 1915) P. 22, Fig 14 より得たる曲線なり。この曲線を用ひ養生中の各平均温度に對する訂正係數を求むれば第二表の如し。

第 二 表

平均温度 (攝氏度)	標準温度の強度 に對する比	訂正係數	平均温度 (攝氏度)	標準温度の強度 に對する比	訂正係數
6.1	0.755	1.290	14.3	0.916	1.092
7.1	0.780	1.282	14.6	0.920	1.087
7.3	0.783	1.277	15.0	0.925	1.081
7.6	0.790	1.266	15.6	0.937	1.067
7.7	0.790	1.266	16.1	0.945	1.058
7.9	0.795	1.258	16.5	0.950	1.053
8.2	0.803	1.245	16.8	0.955	1.047
8.3	0.805	1.242	17.7	0.970	1.031
8.4	0.808	1.238	18.1	0.975	1.026
8.5	0.810	1.235	20.0	1.000	1.000
9.0	0.820	1.220	21.8	1.018	0.982
9.2	0.825	1.212	22.0	1.020	0.980
9.4	0.827	1.209	22.2	1.022	0.978
9.7	0.830	1.205	22.3	1.023	0.978
10.8	0.855	1.170	22.4	1.024	0.977
11.1	0.860	1.163	22.5	1.025	0.976
11.4	0.865	1.156	22.6	1.026	0.975
11.6	0.700	1.149	22.7	1.027	0.974
11.8	0.875	1.143	22.8	1.028	0.973
11.9	0.875	1.143	23.0	1.030	0.971
12.1	0.878	1.139	23.1	1.031	0.970
12.3	0.880	1.136	23.2	1.032	0.969
13.2	0.900	1.111	23.4	1.034	0.967
14.0	0.913	1.095	25.0	1.050	0.952

上表の計算より見る時は本實驗の範圍内にて本訂正值は相等の値に達するを知る。之れによりても温度の忽にすべからざるを知るを得べし。

(三) 供試體の長さがその耐壓強度に及ぼす影響 供試體の長さが長くなればその耐壓強度は減少するものなり。本實驗に於ては出來上りの供試體の長さ即ち高さが直徑の2倍なる如く力めたるも僅少の變化は免れがたし。随つて試験より得たる強度は條件を一定するため訂正するを要す。阿部博士鐵筋混凝土工學第9版31頁に依れば

$$P' = P \left(0.5 + 0.5 \frac{d}{l} \right) \dots \dots \dots (1)$$

茲に

P' ; 純混凝土短柱の耐圧強

P ; 純混凝土立方形供試材の最大荷重

d ; 短柱横断面の幅

l ; 短柱の長さ

此の(1)式は平方断面の短柱に関する公式なれば直ちに圓壙形供試體に應用する事は正確を缺ぐの譏は免れざるも、而も實際上左程の不都合は認めざるものゝ如ければ本實驗に於ても之に従ふ事とせり。

(1)式は次の如く書く事を得。即ち

$$p' = \left(0.5 + 0.5 \frac{d}{l}\right) \dots \dots \dots (1a)$$

茲に

p' = 立方形供試體の單位耐壓強度を單位とせる場合の d/l なる比を有する供試體の耐壓強度

然る時は d/l の任意の値を有する供試體の耐壓強度の訂正係數は次の式を以て表すを得。

即ち

$$k = \frac{0.75}{\left(0.5 + 0.5 \frac{d}{l}\right)} \dots \dots \dots (2)$$

(2)式の値を計算すれば第三表の如し。

第	三	表			
l/d	d/l	p'	k	摘	要
1.0	1.0000	1.0000			
1.1	0.9091	0.9546			
1.2	0.8333	0.9167			
1.3	0.7692	0.8846			
1.4	0.7143	0.8572			
1.5	0.6667	0.8333			
1.6	0.6250	0.8125			
1.7	0.5882	0.7941			
1.8	0.5556	0.7778	0.964	}	本實驗の範圍
1.9	0.5263	0.7632	0.983		
2.0	0.5000	0.7500	1.000		
2.1	0.4762	0.7381	1.016		
2.2	0.4545	0.7273	1.031		

l/d	d/l	p'	k	摘 要
2.3	0.4345	0.7174	1.045	本實驗ノ範圍
2.4	0.4167	0.7084	1.058	
2.5	0.4000	0.7000	1.072	
2.6	0.3846	0.6923	1.083	
2.7	0.3704	0.6822		

上表によりて見るも本實驗の範圍内に於ては本訂正は無視しても差支へなき程度なり。

(四) 耐壓試験結果の訂正

以上試験の結果及び訂正值を表せば第四表の如し。本表には次の 22 項を擧げたり。即ち水・セメント重量比、水・全乾燥材料重量比、單位容積のモルタルの重量、單位容積のモルタル内のセメントの重量、同上の砂の重量、同上の全乾燥材料の重量、比較使用水量 (Relative water content), 水濕空隙 v_w , 空氣空隙 v_a , 全空隙 v , モルタルの容積に對する吸水率, 砂の絶對容積 a , セメントの絶對容積 c , Void-Cement Ratio $\frac{v}{c}$, Cement-Space Ratio $\frac{c}{v+c}$, 砂とセメントの絶對容積比 $\frac{a}{c}$, 供試體養生中の平均水溫, 供試體の高さと徑との比, 試験耐壓強度, 高さ及び溫度の修正をなせる訂正耐壓強度, 破壊面と供試體の軸に直角なる平面とのなす角, 最大強度の値を單位とせる比較強度の 22 項を各配合のモルタルに就て示せり。以上の項中, 水・セメント重量比は D.A. Abrams 教授及び Otto Graf 教授の水比説の對照のため, Void-Cement Ratio, Cement-Space Ratio, 及び砂とセメントの絶對容積の比は R. Feret 氏及び A.N. Talbot 教授のセメント・スペース説の對照のため計算せり。上述の各項の計算を圖示すれば Fig. 4~Fig. 18 に示すが如し。

Fig. 4 は各種配合のモルタルに就き水・セメント重量比とモルタルの重量及び其の中に含まるゝ全乾燥材料との關係を示せり。

Fig. 5 は各種配合のモルタルに就き水・全乾燥材料重量比とモルタルの重量及び其の中に含まるゝ全乾燥材料との關係を示せり。

Fig. 6 は各種配合のモルタルに就き水・セメント重量比と訂正耐壓強度との關係を示せるものにして Otto Graf 教授並に D.A. Abrams 教授の曲線をも示せり。Fig. 6a は Fig. 6 より誘導せるものにして各水比のモルタルに於て其の耐壓強度と配合との關係を示したるものなり。

Fig. 7 は Fig. 6 と同様にして、之に於ては最小自乘法によりて誘導せる公式の値を記入して著者の誘導公式を示し、併せて吉田徳次郎博士のセメント・ペーストに関する曲線, Otto Graf 教授のモルタル及び混凝土に関する曲線, D.A. Abrams 教授の混凝土に関する曲線をも示し、比較に便せり。

Fig. 4 Bulking of Cement Mortar.

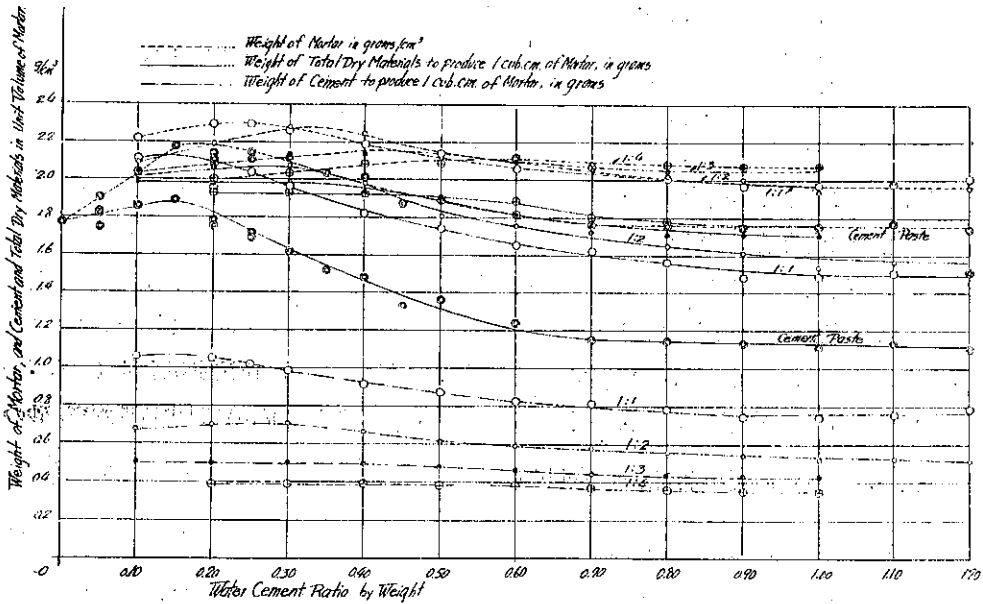


Fig. 5 Bulking of Cement Mortar.

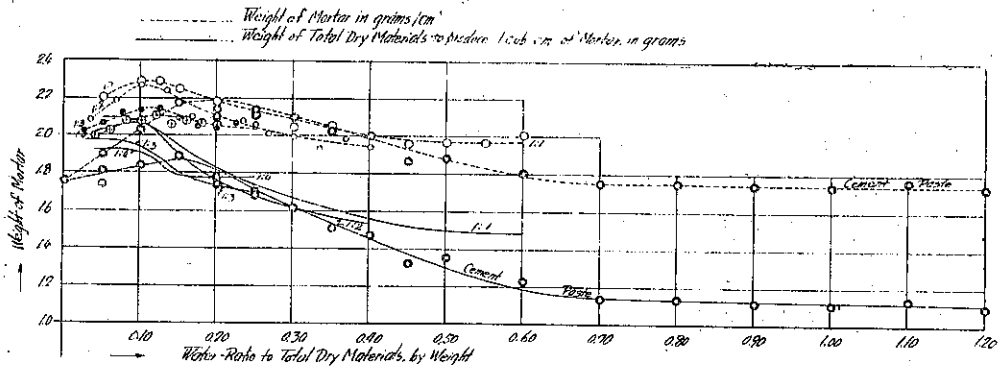


Fig. 8 は R. Feret 氏が説ける “セメントの多きモルタル程強度大なり” の説の眞否如何及び其の信用度を知らんがために作りたるもの。圖に於ては各水比に對し、全乾燥材料に對するセメント重量の比と耐壓強度との關係を示せり。

Fig. 9 は Cement-Space Ratio と耐壓強度との關係を示せるものにして、R. Feret 氏及び A.N. Talbot 氏の Cement-Space Ratio 説との對照に便せり。

Fig. 10 は A.N. Talbot 教授の説との對照に必要なものにして、各種の配合に就き Relative water content と水・セメント重量比との關係を示せるものなり。點線は捏混直後

にして、實線は撞固め凝結後なり。圖より明なる如く加水分量多きモルタル特に優良配合のモルタルに於ては撞固直後と撞固め凝結後との間に相等の差異あるを知るべし。

Fig. 11 は水・セメント重量比と空氣空隙及び吸水率との關係を示せり。空氣空隙と吸水率を同時に示せるは、空氣空隙の何割を水にて充し得るかを明にせんがためなり。

Fig. 12 は Relative water content とモルタル内のセメントの絶對容積及び Cement-Space Ratio との關係を示せるものなり。

Fig. 13 は Relative water content と Water void との關係を示す。

Fig. 14 は Relative water content とモルタル内の全空隙との關係を示せり。

Fig. 15 は標準砂に對する Mortar-Voids 曲線にして Fig. a は基準水量 (Basic water content) に對するもの、Fig. b は 1.20, Fig. c は 1.40 Relative water content に對する c , v_w , 及び $\frac{c}{v+c}$ の曲線にして、Fig. d は Mortar-Voids の曲線なり。何れも皆 a/c との關係を以て示せり。

Fig. 16 はモルタル内の水量と全空隙との關係なり。

Fig. 17 は Relative water content と耐壓強度との關係を示せり。

Fig. 18 は Relative water content と各水量に於ける耐壓強度を Basic water content の時の強度の比にて表したるものとの關係を示せり。實線にて示すは A. N. Talbot 教授の Reduction curve なり。

8. 約 説

(一) 概 要 セメント・モルタル及び混凝土の強度に關しては R. Feret 氏、Withey 氏等により早くより研究され最近に至り米の Talbot 教授、Abrams 教授、獨の Graf 教授、英の Faber 教授等により精密なる研究を遂げられたり。著者も亦非才を顧みず此の點に關し研究を重ね上述の如き結果を得たれば、之れに依り大家の説が如何程迄信憑せらるるものなりやを確知し、然る後モルタルの耐壓強度に關する著者の説を設定せんとするものなり。併せて供試體製作を利用してモルタルの容積變化を研究せり。又供試體の水中養生を利用して其の間の吸水率を計算せり。

(二) 供試體モルタルの容積變化

1). 單位容積のモルタルの重量及び其の中に含まるゝセメント及び全乾燥材料の重量を計算せり。只本實驗に於ては試験方法が精密ならざる傾向あれば水量が特に多きモルタルに於ては不正確なる嫌あるものゝ如し。其の値は 第四表 及び Fig. 4, Fig. 5 によりて明なり。而して最大密度のモルタルは本實驗の場合には水・全乾燥材料重量比が 0.08~0.15 の間にて起り、普通配合の時は約 0.10 なり。即ち撞固め充分のため、0.12 より僅かに水比は少なり。

2) 空氣空隙、水濕空隙及び全空隙は第四表によりて明なり。

3) 吸水率は第四表にて明なり。又空氣空隙と共に Fig. 11 に示せり。Fig. 11 に於て點線は空氣空隙にして實線は吸水率なり。表及び圖に依る時は 1:2 のモルタルにありては空氣空隙は殆んど 4 週間には吸収したる水を以て填充さるゝものとす。而して之より劣悪なる配合のモルタルに於ては空氣空隙大なるため全部は充し得ざるも大半は水を吸収す。只趣を異にするは 1:2 以下の配合のモルタルにありて水量多きものに於ては空氣空隙より吸水率の方が大なる事なり。之一見不合理の如く見ゆるも實は次の理に依るなるべし。即ち水量多きモルタルは乳皮となりてセメントの一部が供試體の表面上に浮出せば其のためにセメント・ペースト内に空隙を生じ、之が水を以て充さるゝためなり。而して混凝土類の吸水作用は最初 48 時間内に殆んど大部分行はれ以後は僅少のものなれば本試験の結果は 48 時間後の吸水率と見るも大差なく、又乾燥モルタルなれば凝結直後の水分が發散し居るためそれ相等に吸水率は増加するものなり。其の値は第四表並に Fig. 11 参照。

(三) モルタルの耐壓強度と其の中に含まるゝセメントの重量との關係 Taylor and Thompson 共著 Concrete, Plain and Reinforced, 1922. に依ればモルタルの耐壓強度は單位容積の中に含まるゝセメントの量と其の密度によりて變ずるとあり。此の點に關し R. Feret 氏の實驗研究あり。(Concrete & Constructional Engineering, 1923, P. 478, Fig. 3) 之に依ればモルタルの耐壓強度は其の配合に依りて變化す。即ち配合優良なるもの、即ち單位容積のモルタル内のセメントの量多きもの程強度大なり。而してセメント・ペースト乃至 1:1 モルタルの配合比のものは差程の變化はなきも 1:1 より劣悪なる配合となれば急に其の強度は減ずるものなり。之セメント・ペーストが砂の空隙を充し得ざるがためなり。勿論同一配合のモルタルにありても水量の如何によりて單位容積内のセメントの量異なれば、其の水量の如何により強度は異ならざるを得ず。故に著者は一定水比のモルタルを取り、其の耐壓強度と配合との關係を求めたり。Fig. 8 は之にして、横軸にはセメント・全乾燥材料重量比を取り、縦軸には耐壓強度を取れり。圖より明なる如く各水比を通じ 1:1 以上の優良配合のモルタルにありては其の強度は大差なく、其以下の劣悪配合のもの、特に普通配合即ち 1:1 ~ 1:4 程度の配合のモルタルにありては、そのモルタルが Workable mix たる以上其の強度はセメント・全乾燥材料重量比に殆んど正比例し、且つ水比小なるもの程其の強度は大なりと稱するを得べし。此の事實より見るもモルタルの強度は其の配合と加水分量に依りて變ずる事は明なるべし。

(四) モルタルの耐壓強度と其の水比との關係 モルタル或は混凝土の耐壓強度に加水分量が大關係を有する事は以前より知られたる問題なるも、最も正確なる實驗研究をなせるは D.A. Abrams 教授を以て嚆矢とす。

Abrams 教授の論文は Bulletin 1. Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago. に詳細に記載しあるも、次に簡単に述べれば、混凝土或はモルタルの耐圧強度は水・セメント比と粒度係數に依りて變ず。即ち本實驗の如き砂の質一定なる時は單に水比によりて變ずると言ふにあり。而して之を式にて示す時は

$$K = \frac{A}{B^x} \dots\dots\dots (3)$$

茲に K ; 耐壓強度
 x ; 水とセメントの割合にして重量比又は容積比を以て表す, Abrams 教授は容積比を用ひたり。

A, B ; 共に常數にして, セメントの性質, 材齡, 養生法, 氣溫, 供試體の形狀其の他の條件によりて變ず。

Abrams 教授の實驗は供試體は 6吋×12吋 圓壙を取り, 養生は砂中, 材齡 4 週間即ち現今の A.S.T.M. C 39—21 T の規程に依れり。而して S を #/吋² を以て示す時は $A=14\,000$, $B=7$ 或は 9 を得たり。但し x は容積比にしてセメントの重量を 94#/立方呎 とせり。

上述の水比説は獨逸に於て Otto Graf 教授によりて實驗研究され, 同教授は次の式を得たり。即ち

$$K = \frac{K_n}{400} \left(\frac{1\,300}{7^{2w}} + 20 \right) \dots\dots\dots (4)$$

茲に K ; 混凝土の耐壓強度 (lb/平方呎)
 K_n ; セメントの標準耐壓強度
 w ; 水比, 但し重量比

之の式は 30 立方呎の供試體に就て得られたる式にして, 又同教授はモルタルに關し次の式を與へたり。即ち

$$K = \frac{1\,600}{7^{2w}} + 20 \dots\dots\dots (5)$$

上記の Graf 教授の式は次の一般式にて表す事を得べし。即ち

$$K = \frac{A}{B^{2w}} + C \dots\dots\dots (6)$$

(3) 式, (6) 式を比するに只常數項を含む點のみ相違するのみにして理論は同一なり。即ち混凝土或はモルタルの強度は單に水比によりて變ずるものとされたり。

元來配合の異なる, 又混凝土材の異なるモルタル或は混凝土の耐壓強度が只單なる水比によりて支配されるものとは考へられざるは明なる事なり。只實驗上水比の耐壓強度の影響に比

し配合其の他の條件による影響が無視する事を得べきものなりや否やの點が問題なり。九州帝大工學部彙報第一卷第一號（大正 15 年 4 月）記載の吉田徳次郎博士の“高爐セメント混凝土に就て”によりて見るも（同論文第 3 圖）配合率は相等に影響あるものとなさざるべからず。

以上の見地より著者は配合率の影響を豫期し、水比を變じて各配合の許にて實驗研究せり。其の結果は前出の Fig. 6 に示すが如し。本圖にありては Otto Graf 教授のモルタルに關する曲線、及び Abrams 教授の曲線を米突式に換算し、又水比は重量比に直して記入せり。即ち Abrams 教授の曲線は

$$K = \frac{984.33}{7^{1.5w}} \dots \dots \dots (3a)$$

茲に K ; $6^{\text{th}} \times 12^{\text{th}}$ 圓筒の耐壓強度 ($\text{kg}/\text{平方厘米}$)

而して $B=7$ を取れり。

同圖より明なる如く各配合によりて豫期の如く大なる相異あり。故に著者はモルタルの場合に於ては配合率を無視して只單に水比のみによりてその耐壓強度を決定する事は少しく正確を缺ぐの謬なき能はざるものと思ふ。

(五) モルタルの耐壓強度と Cement-Space Ratio 即ちモルタル内に於けるセメント・ペーストの濃さとの關係 セメント・モルタルの耐壓強度がその密度によりて支配さるゝ事は以前より知られたる事實にして R. Feret 氏によりて理論的に研究されたり。Feret 氏によればモルタルの強度は密度大なる程強度大なり。即ち空隙が少きもの程大なる耐壓強度を有するものなり。而して Feret 氏は耐壓強度を表すには Cement-Space Ratio 即ちモルタル内のセメント・ペーストの密度即ち濃さによるを最も便なりとし、次の式を以てその關係を表せり。即ち

$$K = 1\,965 \left(\frac{c}{1-a} \right)^2 \dots \dots \dots (7)$$

茲に K ; 材齡 5 箇月のモルタルの耐壓強度 ($\text{kg}/\text{平方厘米}$)

c ; モルタル内のセメントの絶対容積

a ; モルタル内の砂の絶対容積

故に (7) 式は次の如く書く事を得べし。即ち

$$K = 1\,965 \left(\frac{c}{c+v} \right)^2 \dots \dots \dots (7a)$$

茲に v ; モルタル内の全空隙

(Tayler and Thompson:—Concrete, Plain and Reinforced, 1922, P. 143~155 参照)

R. Feret 氏の説は混凝土の耐壓強度の場合にも少しの修正をなして適用される事は米國 Illinois 大學教授 Arthur N. Talbot 氏及び Frank E. Richart 氏によりて研究され 1921 年の A.S.T.M. の總會の際發表されたり。此の研究の精細は同大學紀要 137 號 (Oct. 15th 1923) にあり。次に Talbot 教授の説を簡単に述ぶべし。

1) セメント及び混凝土の性質及び分量が不變にして只混凝土の粒度調合のみが變ずる場合、其の他の條件を一定すれば混凝土の耐壓強度と全空隙の間には一定の關係あり。即ち混凝土内の空隙率は其の強度の指數なり。

2) 混凝土の性質を一定とし他の凡ての條件を不變に保ち、出來上り混凝土の空隙を一定する如くセメントの量を變ずる時は、混凝土の強度はセメントの量によりて變化す。

3) セメント及び混凝土の性質を不變とし、セメントの量及び混凝土の粒度調合を變じ、其の他の條件を一定せば、混凝土の強度は單位容積の混凝土の内に含まるゝセメントの量と空隙との比に隨つて變化す。即ち次の式にて示すを得。

$$K = F \left(\frac{c}{v} \right) \dots \dots \dots (8)$$

此の (8) 式の關係は Feret 氏同様 Cement-Space Ratio にて示す時は尙一層便宜なり。即ち次の如し。

$$K = f \left(\frac{c}{c+v} \right) \dots \dots \dots (9)$$

以上 (8) 及び (9) 式にて

K ; 材齡 4 週間の混凝土の耐壓強度 ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)

c ; 單位容積の出來上り混凝土の中に含まるゝセメントの絕對容積

v ; 同上の全空隙

(9) 式より明なる如く大體に於て Feret 氏の式と同形なり。而して基準水量の混凝土に對しては Talbot 教授は次の式を與へたり。即ち

$$K = 2250 \left(\frac{c}{c+v} \right)^{2.5} \dots \dots \dots (9a)$$

(實驗供試體の寸法其の他は A.S.T.M. の規程と同様なり。)

4) 使用水量の増減は混凝土内の全空隙を支配する故に、それが強度に及ぼす影響は結局 Cement-Void Ratio の増減に外ならず。

5) 普通配合の混凝土に於ては粗粒混凝土の容積は出來上り混凝土の容積より小なり。換言すればモルタルの容積は粗粒混凝土の空隙より大なり。故にかゝる状態にある混凝土内の全空隙はモルタルの全空隙よりなるものと考ふる事を得。即ちモルタルの密度は混凝土の強

度を決定する重大なる要素なり。

6) 混凝土を構成するモルタル内の全空隙即ち空気空隙及び水濕空隙を知る事を得ば混凝土の全空隙も亦計算する事を得べし。随つて Cement-Void Ratio 又は Cement-Space Ratio を知り、混凝土の強度を計算するを得べし。

7) 或る砂に就き、各種配合のモルタルを作る場合、その中に含まるゝ空隙を知るに際し便宜上 Characteristic Mortar-Voids Curve を作る。此の曲線はモルタル内の空隙と w/c 即ち配合との關係を示すものにして、延ては一定配合及び加水分量の混凝土の空隙及び強度の基本計算に利用することを得。

8) 細粒混凝土材の Characteristic Mortar Curve 及びその混凝土材の一般性質其他を知りて、必要なる強度を有する混凝土の配合率を正確に定むる事を得。

其の他數項に亙りて論じたり。而して (9a) 式にて與へる強度と Cement-Space Ratio との關係は基準水量 (Basic water content) の混凝土には直接適用し得るも加水分量大なるものにありては前述の如く空隙の増加及び過剰の水の特別影響のため強度の減少を來せば、相等の修正を必要とするものなり。此の目的のため作られたる曲線が Reduction Curve (University of Illinois Bulletin 137, P. 68) なり。之れによりて修正を行ふ時は (9a) 式を適用する事を得るものなり。

以上は混凝土の配合と強度との關係に關する最近の大研究にして最も權威あるものとせられたり。故に著者は本モルタルの實驗に就き此の説を適用し得るものなりや否やを檢せんとするものにして、併せて Feret 氏の説とも對照せり。次にその結果を示さん。

Fig. 9 は Cement-Space Ratio と耐壓強度との關係にして各配合に就て掲げたり。此の圖に於ては Talbot 教授の公式並に Feret 氏の公式をも同時に示し對照に便せり。即ち同圖による時はモルタルの場合凡ての配合に適する一般公式を見出す事は少しく無理の如く感ぜらる。著者の實驗の範圍内に於ては各配合のモルタルに於て其の強度は Cement-Space Ratio に正比例し、同一 Cement-Space Ratio 即ちセメント・ペーストの濃さに就て論ずる時は、配合劣悪なる程強きものゝ如し。之各砂粒間の破壊の際の摩擦が影響する爲なるべし。而して水比の場合同様セメント・ペースト乃至 1:1 モルタルに於ては、殆んど配合に關せず強度は Cement-Space Ratio に比例す。

Fig. 10 は Relative water content と水比との關係を示すものにして、點線は搗混直後、實線は搗固め凝結後の關係を示せり。水量過大なる混合物は凝結前にセメント及び砂が沈澱すれば點線と實線の曲線は相等に相違を生ずるものなり。特に優良配合の場合に然りとす。

Fig. 11 は各配合率のモルタルに於て其の中に存在する出來上りモルタル内に存在する空氣空隙と水比との關係を示せり。而して周圍に於ては吸水率も共に示せり。その詳細は既に

説明せり。

Fig. 12 は Relative water content とセメントの絶対容積及び Cement-Space Ratio との關係を示せり。圖に於て點線はセメントの絶対容積、實線は Cement-Space Ratio との關係にして共に直線變化なり。

Fig. 13 は Relative water content と水濕空隙との關係にして明に直線變化なり。大體に於て優良配合なる程水濕空隙の大なるは説明の要なかるべし。

Fig. 14 は全空隙と Relative water content との關係を示すものにして、優良配合のモルタルに於ては同一 water content に対しては配合率優良なる程空隙大なるも 1:3 以下の劣悪配合のモルタルに於ては大差なきものゝ如し。配合率に關せず全空隙は water content に正比例す。

Fig. 15 は標準砂に對する Mortar-Voids Curve なり。Fig. a~c は夫々 Basic water content, 1.20 及び 1.40 Relative water content に對するものにして、共に Cement-Space Ratio, 全空隙及びセメントの絶対容積と、砂とセメントとの絶対容積の比即ち a/c との關係を示せり。此の圖は Talbot 教授の説を用ひて混凝土配合の設計をするに必要なるものなり。Fig. d は各 water content に對する全空隙と、砂とセメントの絶対空隙との比との關係なり。

Fig. 16 は單位容積のモルタル内の全空隙と水量との關係にして、セメント・ペーストを除外すれば、兩者の間には圖示の如く一定の關係あり。即ち水量少き間は空隙の増加は僅少なるも 0.30 以上の水量となれば空隙は急に増加するものなり。

Fig. 17 は Relative water content と耐壓強度との關係にして普通の mix に於てはセメント・ペーストを除き、強度は water content に正比例し、而も配合優良なる程大なるものなり。

Fig. 18 は Relative water content と或 water content に於ける強度を基準水量に於ける強度の割合にて示したるものとの關係なり。Talbot 教授は前述の如く、Cement-Space Ratio 説を適用するに當り Relative water content の混凝土は其の過剰水量のため強度減少すれば先づ所謂 Reduction Curve を用ひて基準水量の場合の強度に修正し、然る後詳細に亘り設計せり。此の Reduction Curve は上述の如く混凝土の場合なるも、著者は之をモルタルの場合に應用して對照せり。之れ即ち本圖にして Talbot 教授の Reduction Curve を共に示せり。然るに此の圖により明なる如く不幸にして其の變化の範圍大にして、一定の法則を發見するを得ざりき。

要之大體に於てモルタルの耐壓強度は Cement-Space Ratio によりて支配さるゝは明なる事實なるも、その間に於て Feret 氏或は Talbot 教授が説くが如き單一關係は發見するを得ざりき。

(六) モルタルの耐壓強度に關する著者の私見 以上述べたるが如く、モルタルの耐

耐壓強度はその中に含まるゝセメントの量、その水比或はセメント・スペース比によりて支配されるゝは事實なるも、何れも Feret 氏、Abrams 教授、或は Talbot 教授が説かるゝ如く單一關係にて示すことは少しく正確を缺ぐの嫌なきにしもあらず。故に著者は本實驗の結果より研究し比較的正確にして簡單なる關係を見出したり。即ちセメント・モルタルの強度は其の内に含まるゝセメントの量及びその水比によりて支配されるゝものなり。換言すればモルタルの耐壓強度は配合率及び水比の函數なりと稱する事を得べし。次にその關係を示さん。

先づ各配合即ちセメント・ペースト乃至 1:4 の配合のモルタルの各々に就き其の耐壓強度とその支配條件とを見て、然る後相互關係を求めん。

1) セメント・ペースト Fig. 6 或は Fig. 7 より明なる如く、撞固めたるセメント・ペーストの耐壓強度は水・セメント重量比にて表す時は簡單なる關係を得。即ち第四表より 17 の觀測式を得るにより、之を用ひて實驗式を求めんとす。此の實驗式は數回の試算をなして檢せるに Otto Graf 教授の (6) 式即ち

$$K = \frac{A}{7^{2w}} + 20$$

なる式が最も符合するにより之を採れり。次に觀測式及び之を用ひて計算せる實驗式より得たる値を示せば第五表の如し。

第 五 表

試驗番號	水・セメント重量比	訂正耐壓強度 (砵/平方糎)	(10) 式の K の値	試驗番號	水・セメント重量比	訂正耐壓強度 (砵/平方糎)	(10) 式の K の値
1	0.25	604.36	597.49	10	0.90	66.11	66.02
2	0.30	540.67	495.37	11	1.00	61.53	51.18
3	0.35	473.66	411.31	12	1.10	46.15	41.13
4	0.40	452.96	342.12	13	1.20	37.93	33.05
5	0.45	247.43	285.16	14	0.40	339.73	
6	0.50	214.83	238.27	15	0.45	265.25	
7	0.60	165.22	167.90	16	0.50	214.34	
8	0.70	111.72	120.21	17	0.60	133.84	
9	0.80	100.16	87.91				

上表より次の式を得。

$$K = \frac{1\ 527.90}{7^{2w}} + 20 \dots\dots\dots (10)$$

或は簡單に

$$K = \frac{1\ 530}{7^{2w}} + 20 \dots\dots\dots (10a)$$

上式中 K; 耐壓強度 (砵/平方糎)
w; 水・セメント重量比

2) 1:1 セメント・モルタル モルタルの場合には配合率に關せず Abrams 教授の一般式を適用す。而して本實驗に於てはよく符合するを見る。次に示す第六表は觀測式、及び之を用ひて計算して得たる實驗式による K の値を示せるものなり。

第 六 表

試験番號	水・セメント 重 量 比	訂正耐壓強度 (砵/平方糎)	(11)式の K の値
1	0.25	557.10	596.89
2	0.30	499.18	495.54
3	0.40	343.62	341.54
4	0.50	259.59	235.40
5	0.60	173.16	162.24
6	0.70	109.85	111.82
7	0.80	87.57	77.07
8	0.90	43.72	53.12
9	1.00	26.22	36.61
10	1.10	31.82	25.23
11	0.40	383.86	
12	0.50	246.74	
13	0.60	149.06	

上表の觀測式より次式を得。

$$K = \frac{1\ 513.60}{41.34^{10}} \dots\dots\dots (11)$$

3) 1:2 セメント・モルタル 2) 同様第七表及び (12) 式を得。

第 七 表

試験番號	水・セメント 重 量 比	訂正耐壓強度 (砵/平方糎)	(12)式の K の値
1	0.30	349.35	371.16
2	0.40	273.22	260.14
3	0.50	172.13	182.32
4	0.60	120.32	127.79
5	0.70	97.48	89.56
6	0.80	63.38	62.77
7	0.90	43.53	44.00
8	1.00	33.43	30.84
9	1.10	21.57	21.61
10	1.20	13.14	15.15

上表の觀測式より次式を得。

$$K = \frac{1\ 078}{34.96^{10}} \dots\dots\dots (12)$$

或は簡単に

$$K = \frac{1080}{35^w} \dots\dots\dots(12a)$$

- 4) 1:3 セメント・モルタル 2) 同様第八表及び (13) 式を得。

第 八 表

試験番號	水・セメント 重 量 比	訂正耐壓強度 (砵/平方糎)	(13) 式の K の値
1	0.40	199.85	
2	0.50	139.29	
3	0.60	91.98	
4	0.70	82.17	
5	0.80	43.12	
6	0.90	40.94	
7	1.00	31.78	

上表の観測式より次式を得。

$$K = \frac{652.35}{22.54^w} \dots\dots\dots(13)$$

- 5) 1:4 セメント・モルタル 2) 同様第九表及び (14) 式を得。

第 九 表

試験番號	水・セメント 重 量 比	訂正耐壓強度 (砵/平方糎)	(14) 式の K の値
1	0.40	161.01	167.88
2	0.50	124.92	128.17
3	0.60	104.94	97.85
4	0.70	72.71	74.70
5	0.80	60.64	57.08
6	0.90	45.05	43.54
7	1.00	30.73	33.24

上表の観測式より次式を得。

$$K = \frac{493.6}{14.86^w} \dots\dots\dots(14)$$

或は簡単に

$$K = \frac{494}{15^w} \dots\dots\dots(14a)$$

- 6) 次に Abrams 教授及び Graf 教授の實驗式と其の値を示せば第十表の如し。

第十表

水・セメント 重量比	Abrams 教授曲線	Graf 教授曲線	
	$K = \frac{984.33}{71.5w}$	モルタルに對する 曲線 $K = \frac{1600}{72w} + 20$	混凝土に對する 曲線 $K = \frac{1300}{72w} + 20$
0.25	474.31	—	511.35
0.30	410.08	517.8	424.47
0.35	354.67	—	—
0.40	306.12	357.5	294.06
0.50	228.62	248.7	205.70
0.60	168.58	174.9	145.84
0.70	127.57	125.0	105.27
0.80	95.27	91.1	77.78
0.90	71.16	68.2	59.15
1.00	53.14	52.7	46.58
1.10	39.60	42.1	37.98
1.20	29.60	34.8	32.18

供試體は Abrams 教授は圓壩形を用ひ、Graf 教授は立方形を用ひたるは既に説明せる處なり。上表及び 1)~5) の結果は既に Fig. 7 に示せり。

7) 各種配合のモルタルの耐壓強度の一般關係 著者が誘導せる各配合のモルタルの耐壓強度に關する公式を列記すれば次の如し。

セメント・ペーストに對しては

$$K = \frac{1527.90}{72w} + 20 \dots\dots\dots (10) \text{ 再掲}$$

1:1 モルタルに對しては

$$K = \frac{1513.60}{41.34w} \dots\dots\dots (11) \text{ 再掲}$$

1:2 モルタルに對しては

$$K = \frac{1078.0}{34.96w} \dots\dots\dots (12) \text{ 再掲}$$

1:3 モルタルに對しては

$$K = \frac{652.35}{22.54w} \dots\dots\dots (13) \text{ 再掲}$$

1:4 モルタルに對しては

$$K = \frac{493.6}{14.86w} \dots\dots\dots (14) \text{ 再掲}$$

Fig. 6a より明なる如く Workable mix に於ては各水比のモルタルはその配合率によりその強度に差異を來すものなり。即ち此の理論は Feret 氏の説くモルタル内セメントの量がモルタルの強度を支配する説と一致す。上述の各實驗式を検するにセメント・ペーストと 1:1 モルタルに於ては其の強度には大差なし。即ちセメント・ペーストが砂の空隙を充分填充し得る配合率のモルタルなればその配合率は左迄強度には影響を及ぼさざるものゝ如し。而して其れ以下の普通配合のモルタルに於ては此處に一定の関係存在するものゝ如し。即ち (12)~(14) 式は Abrams 教授の式と同形にて (3a) 式と同形にて示さる。即ち

$$K = \frac{A}{B^w} \dots\dots\dots(3b)$$

茲に K ; モルタルの耐圧強度 (R^2 /平方磅)

w ; 水・セメント重量比

A, B ; 常數

次に (11)~(14) 式の A, B の値を表示すれば第十一表の如し。

第十一表

配合 (1:n)	A	B
1:1	1 513.60	41.34
1:2	1 078.0	34.96
1:3	652.35	22.54
1:4	493.6	14.86

上表の結果を圖示すれば Fig. 19 の如し。第十一表及び Fig. 19 によれば 1:4 モルタルに於ては少しく不規則なる變化あれば之を棄却し 1:1~1:3 の普通配合のモルタルに就き A, B の係數と配合比 n (砂とセメントの重量比) との関係を求むれば次の如し。

$$A = 1512 - 430.625(n-1) \dots\dots\dots(15)$$

$$B = 42.34 - 9.40(n-1) \dots\dots\dots(16)$$

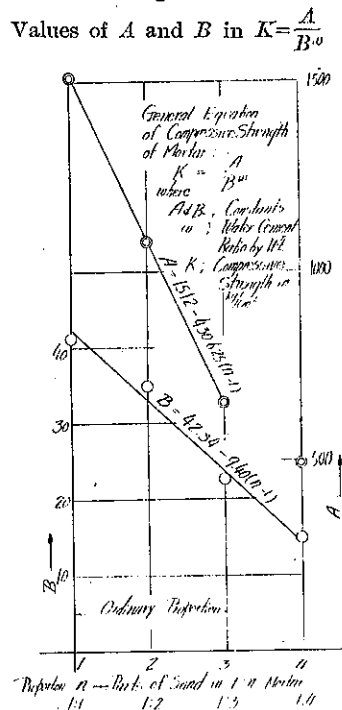
(15) 及び (16) より明なる如く A, B 共に配合比に正比例して變化するものなり。故に (3a) 式は次の如くなる。即ち

$$K = \frac{1512 - 430.625(n-1)}{[42.34 - 9.40(n-1)]^w} \dots\dots\dots(17)$$

或は簡単に

$$K = \frac{1512 - 430(n-1)}{[42.34 - 9.40(n-1)]^w} \dots\dots\dots(17a)$$

Fig. 19

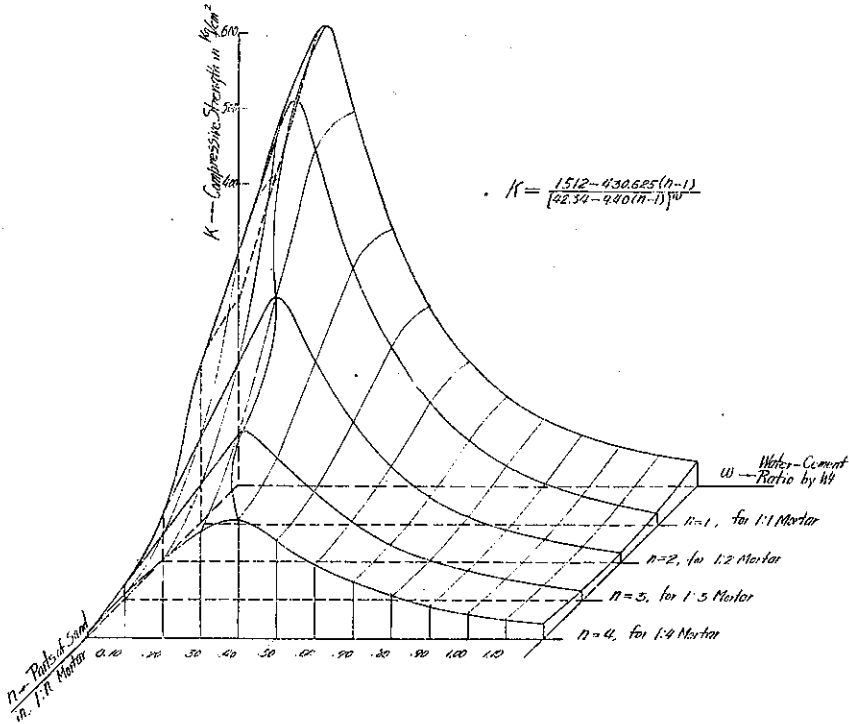


茲に n ; 砂とセメントの重量配合比

其他前同様

となる。此の (17) 式はモルタルの耐圧強度を表す一般公式なり。即ちモルタルの耐圧強度は水比並に配合比に關す。Fig. 20 は此の (17) 式を圖に表す一考案なり。

Fig. 20 Mutual Relations between Compressive Strength, Water-Cement Ratio by Weight and Proportion of Cement Mortar.



要之標準状態に於けるモルタルの耐圧強度は Workable mix たる以上 (17) 式に依りて計算する事を得べし。即ちモルタルの耐圧強度はその水比と配合比によりて變ずるものと稱することを得べし。

(七) 供試體破壊の際の破壊面と供試體の軸に直角なる平面とのなす角は同一配合比のモルタルに於ては大差なく、又劣悪配合なるに隨ひて増加するものゝ如し。即ちセメント・ペーストに於ては約 57°, 1:1 モルタルに於ては約 63°, 1:2 モルタルに於ては約 66°, 1:3 モルタルに於ては同じく約 66°, 1:4 モルタルに於ては約 68° なり。

(八) 同一配合のモルタルに於て最大強度と最小強度との割合は約 10 % 以下にして特に優良配合なる程小なり。各配合比のモルタルに關し、最大強度を單位とせる各水比のモル

タルの強度の割合は第四表に精しく示せり。

第四節 結 論

9. 結 論

ポルトランド・セメント・ペースト及びモルタルの耐壓強度に関する約説は既に第三節8に於て詳細に述べたれば著者は之を根柢として次の如く結論せんとす。

1) セメント・ペースト及びモルタルの耐壓強度は單位容積内のセメントの量に比例す。而して劣悪配合のモルタルに於ては其の影響特に大なるも優良配合即ちセメント・ペーストが砂の空隙を充分填充し而もその各粒を被覆する程度のモルタルにありては其の強度は殆んど不變なり。

2) セメント・ペースト及びモルタルの耐壓強度はその密度によりて變化す。換言すればその空隙の多少によりて變化するものなり。而して空隙の多少はそのモルタルの中のセメント・ペーストの濃さを支配するものにして、此の濃さ即ち Cement-Space Ratio はそのモルタルの耐壓強度を支配す。此の關係は各配合率のモルタルに適用する事を得るも、凡ての配合比のモルタルに適用し得る關係は不幸にして見出すことを得ざりき。

3) セメント・ペースト及びモルタルは其の密度大なる程耐壓強度も大なるも、必ずしも最大密度のモルタルが最大強度を與へず。

4) セメント・ペースト及びモルタルの耐壓強度は水・セメント重量比によりて變化するものにして、各種配合率のモルタルに就て眞なり。而してセメント・ペースト及び 1:1 モルタルは大差なく、其れ以下の劣悪配合のモルタルにありては配合劣悪なる程強度小なり。特に水比少なる場合に然りとす。

5) セメント・モルタルの耐壓強度は水・セメント重量比及びその配合比によりて變化するものにして (17) 式にて簡単に示すことを得。即ち

$$K = \frac{1512 - 430.625(n-1)}{[42.34 - 9.40(n-1)]^{10}} \dots\dots\dots (17)$$

茲に K ; セメント・モルタルの耐壓強度 (kg/cm^2)

w ; 水・セメント重量比

n ; 砂とセメントの重量配合比

此の公式は 1:1~1:3 の普通配合のモルタルに適用する事を得。

6) 最も經濟的なる最大耐壓強度のモルタルを得んとせば、其の配合比を約 1:1 とし、水・セメント重量比は約 0.25 とすべきなり。然らば其の耐壓強度は約 $600 \text{ kg}/\text{cm}^2$ に達すべし。上述の結論は淺野セメント、標準砂よりなるペースト或はモルタルに關し得たるものなり。

而して上記の材料はモルタルの材料として代表的のものにして、配合率は重量比なれども、容積比との関係は自ら明なるべく、随つて一般のセメント・モルタルに就ても略同様な関係あるを信ずるものなり。

要之セメント・モルタルの耐壓強度は標準状態に於て第一其の内のセメント・ペーストの性質即ち水比によりて變ずるものなり。此の理由は既に説明せる如く、水量多きセメント・モルタルに於ては其の結合材なるセメント・ペーストの濃さが薄くなり、随つてその密度小となるためと、今一つは其の過剰水が特別なる作用をなすこと即ち凝結中に其の熱を奪ひ、或は凝結後セメント・ペーストが沈澱して混凝材との間に水膜を生ずる等に起因するなるべし。第二はその配合率により變ぜざるを得ず。何となれば配合比の如何によりて砂の空隙を填充するセメント・ペーストの量異なるため、延てはそのセメント・ペーストの密度は配合比によりて異ならざるを得ざるに因るなるべし。

以上モルタルに關して大體の結論を得たれば著者は尙進んで混凝土に關し如何程までモルタルの性質が混凝土に影響を及ぼすものなりや、即ち著者が説く如く混凝土の耐壓強度がその中のセメント・モルタルの性質によりて支配さるゝものなりや否やは今後の研究に俟つべきものにして之即ち著者の目的とする所なり。本實驗論文は僅かにその第一歩に過ぎずと雖も、此の點に關し先輩諸賢の御指導を得ば著者の幸甚とする所なり。(完)

第四表 其一

使用水量		モルタル/重量		一立方塊		一立方塊		一立方塊		比較的水温差		至高空		至高空		吸水率		絶対導熱		供試体		試験時強度		高 γ 及 α 温度		試験面		供試体		比較強度																			
水/重量	水/重量	モルタル内	セメント内	モルタル内	セメント内	モルタル内	セメント内	モルタル内	セメント内	使用水量	γ	α	γ	α	γ	α	$\frac{\gamma}{C}$	$\frac{C}{\gamma}$	$\frac{\alpha}{C}$	平均水溫	高 γ 及 α 之比	(γ /平方塊)	修正 γ セル	訂正耐壓強度	(γ /平方塊)	高 γ セル	高 α セル	(高強度)	(高強度)																				
セメント重量	全乾煉材料重量比	(γ /塊)	(γ)	(γ)	(γ)	(γ)	(γ)	(γ)	(γ)		2γ	2α	2γ	($\frac{\gamma}{C}$ 対比)	a	C	$\frac{\gamma}{C}$	$\frac{C}{\gamma}$	$\frac{\alpha}{C}$																														
0.05	0.05	18280	17413	0.0000	17413	0.0870	0.3439	0.4309	0.3839	0.0691	0.7579	0.5691	0.0000	18.1	2.01	337.30	346.07	57.0																															
		19008	18103	-	18103	0.21	0.0905	0.3233	0.4138	0.5308	0.0000	0.5662	0.7058	0.5862							17.7	2.01	432.63	446.04	61.0																								
0.10	0.10	20362	18511	-	18511	0.43	0.1851	0.2155	0.4006	0.2512	-	0.5994	0.6603	0.5994	-						18.1	2.02	360.82	370.20	62.0																								
0.15	0.15	21708	18876	-	18876	0.66	0.2831	0.1051	0.3087	0.0842	-	0.6113	0.6369	0.6113	-						17.7	2.02	416.78	499.70	52.0																								
		21004	17508	-	17508	0.50	0.3501	0.0829	0.4330	0.0431	-	0.5670	0.7638	0.5670	-						18.0	2.01	473.86	436.13	62.2																								
0.20	0.20	21378	17815	-	17815	0.83	0.3563	0.0667	0.4230	0.0497	-	0.5770	0.7333	0.5770	-						16.5	2.00	566.38	596.40	54.0																								
		21011	16809	-	16809	0.40	0.4202	0.0554	0.4556	0.0586	-	0.5444	0.8370	0.5444	-						16.8	1.99	477.00	439.42	70.0																								
0.25	0.25	21413	17130	-	17130	1.00	0.4283	0.0169	0.4452	0.0534	-	0.5548	0.8026	0.5548	-						16.5	2.00	573.94	604.36	61.0						1.00																		
0.30	0.30	20969	16130	-	16130	1.14	0.4839	-0.0063	0.4776	0.0568	-	0.5224	0.9149	0.5224	-						16.1	2.02	511.03	540.67	60.0						0.8946																		
0.35	0.35	20276	15116	-	15116	1.20	0.5159	-0.0055	0.5104	0.0554	-	0.4896	1.0426	0.4896	-						16.1	2.03	447.69	473.66	57.0						0.78																		
0.40	0.40	20145	14553	-	14553	1.31	0.5593	-0.0306	0.5287	0.0589	-	0.4713	1.1219	0.4713	-						15.6	2.04	424.52	452.96	57.7						0.75																		
0.45	0.45	18717	13195	-	13195	1.28	0.5503	0.0224	0.5729	0.0470	-	0.4273	1.3410	0.4273	-						15.5	1.99	231.89	247.43	57.8						0.41																		
0.50	0.50	18892	13549	-	13549	1.25	0.5343	0.0269	0.5612	0.0519	-	0.4388	1.2780	0.4388	-						15.0	2.07	187.84	214.83	57.0						0.36																		
0.60	0.60	18070	12343	-	12343	1.35	0.5723	0.0274	0.6003	0.0528	-	0.3997	1.5022	0.3997	-						15.0	2.07	141.13	165.22	57.0						0.27																		
0.70	0.70	17582	11413	-	11413	1.45	0.6199	0.0105	0.6304	0.0462	-	0.3696	1.7055	0.3696	-						14.6	2.18	99.69	111.72	57.0						0.18																		
0.80	0.80	17584	11336	-	11336	1.46	0.6248	0.0081	0.6329	0.0455	-	0.3671	1.7254	0.3671	-						14.6	2.16	89.37	100.16	57.0						0.17																		
0.90	0.90	17422	11233	-	11233	1.45	0.6190	0.0184	0.6374	0.0450	-	0.3627	1.7584	0.3627	-						14.3	2.22	58.72	66.11	57.0						0.11																		
1.00	1.00	17477	11233	-	11233	1.46	0.6244	0.0119	0.6363	0.0460	-	0.3637	1.7495	0.3637	-						14.3	2.23	54.65	61.53	57.0						0.10																		
1.10	1.10	17641	11299	-	11299	1.48	0.6342	-0.0071	0.6341	0.0452	-	0.3659	1.7328	0.3659	-						14.0	2.25	40.33	46.15	57.0						0.08																		
1.20	1.20	17351	10938	-	10938	1.50	0.6413	0.0045	0.6458	0.0398	-	0.3342	1.8232	0.3342	-						14.0	2.03	34.64	37.93	57.0						0.04																		
再試験																																																	
0.40	0.40																				21.8		345.96	339.73																									
0.45	0.45																				21.8		270.11	265.25																									
0.50	0.50																				21.8		218.27	214.34																									
0.60	0.60																				21.8		141.30	138.84																									

（材料重量比）

第四表 其二

使用水量		モルタル/重量		一立方塊		比較の		吸水率		絶対容積		供試体		試験結果		高圧及温度		破壊面		供試体		比較強度		
水・モルタル重量比	水・全乾燥材料重量比	モルタル内	モルタル内	モルタル内	モルタル内・全乾燥材料重量	モルタル/重量	モルタル/重量	モルタル/重量	モルタル/重量	モルタル/重量	モルタル/重量	モルタル/重量	高圧強度	高圧強度	高圧強度	高圧強度	高圧強度	高圧強度	高圧強度	高圧強度	高圧強度	高圧強度	高圧強度	高圧強度
水・重量	水・重量	(瓦/塊)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	(瓦)	
モルタル/重量	全乾燥材料重量比																							
0.10	0.05	22053	105015	105015	21030	0.41	0.1050	0.1532	0.2582	0.1564	0.4017	0.3401	0.7592	0.5685	118.11	123	202	364.71	414.31	610				
0.20	0.10	22858	10390	10390	20780	0.82	0.2078	0.0583	0.2661	0.0447	0.3974	0.3365	0.7908	0.5584	123	203	399.08	453.35	625					
0.25	0.125	22844	10153	10153	20306	1.00	0.2538	0.0291	0.2829	0.0348	0.3883	0.3288	0.8604	0.5375	121	201	489.11	557.10	630	1.00				
0.30	0.15	22504	0.97845	0.97845	1.9569	1.16	0.2935	0.0152	0.3087	0.0351	0.3743	0.3170	0.9738	0.5066	121	200	438.26	499.18	630	0.90				
0.40	0.20	21804	0.9085	0.9085	1.8170	1.43	0.3634	-0.0051	0.3583	0.0345	0.3475	0.2942	1.2179	0.4509	119	203	300.63	343.62	640	0.62				
0.50	0.25	21354	0.86425	0.86425	1.7205	1.60	0.4069	-0.0174	0.3895	0.0302	0.3306	0.2799	1.3915	0.4181	119	200	227.11	259.59	0.47					
0.60	0.30	20527	0.82125	0.82125	1.6425	1.62	0.4102	0.1097	0.4199	0.0405	0.3141	0.2660	1.9545	0.3878	118	248	14.132	173.16	0.31					
0.70	0.35	20614	0.8124	0.8124	1.6248	1.72	0.4366	-0.0104	0.4262	0.0325	0.3107	0.2831	1.6199	0.3817	118	260	88.74	109.85	0.20					
0.80	0.40	20024	0.77955	0.77955	1.5591	1.75	0.4433	0.0060	0.4493	0.0260	0.2982	0.2525	1.7794	0.3598	118	1.94	76.29	95.51	0.17					
0.90	0.45	19598	0.74175	0.74175	1.4835	1.88	0.4763	-0.0002	0.4761	0.0346	0.2837	0.2402	1.9821	0.3353	118	206	37.65	43.72	0.08					
1.00	0.50	19684	0.7382	0.7382	1.4764	1.94	0.4920	-0.0155	0.4785	0.0295	0.2824	0.2591	1.6944	0.3332	116	205	27.46	26.22	0.05					
1.10	0.55	19732	0.7513	0.7513	1.5026	1.85	0.4706	-0.0013	0.4693	0.0351	0.2874	0.2853	1.9288	0.3414	116	203	32.89	38.02	0.07					
1.20	0.60	20152	0.78195	0.78195	1.5639	1.78	0.4513	-0.0036	0.4477	0.0261	0.2991	0.2532	1.7682	0.3612	114	194	61.75	70.17	0.13					

1:1 セメント・モルタル

前試験

0.40															220		391.69	383.86					
0.50															220		251.78	246.74					
0.60															220		152.10	149.06					

1:2 セメント・モルタル

0.10	0.033	20834	0.6721	1.3442	2.0163	0.33	0.0672	0.2009	0.2681	0.2052	0.5142	0.2177	1.2315	0.4481	236.22	111	202	141.34	164.38				
0.20	0.067	21827	0.6621	1.3642	2.0463	0.66	0.1364	0.1209	0.2573	0.1108	0.5218	0.2209	1.1648	0.4619	111	201	227.81	264.94	62.5				
0.30	0.100	22729	0.8888	1.3776	2.0664	1.00	0.2066	0.0434	0.2500	0.0399	0.5269	0.2231	1.1205	0.4716	108	201	298.59	349.35	65.5	1.00			
0.40	0.133	22392	0.6579	1.3159	1.9738	1.27	0.2634	0.0202	0.2836	0.0323	0.5033	0.2131	1.3308	0.4299	108	200	233.52	273.22	66.0	0.78			
0.50	0.167	21037	0.6010	1.2021	1.8031	1.45	0.3006	0.0450	0.3456	0.0388	0.4598	0.1946	1.7759	0.3602	97	200	142.85	172.13	0.49				
0.60	0.200	21018	0.5838	1.1677	1.7485	1.70	0.3503	0.0140	0.3643	0.0357	0.4466	0.1891	1.9390	0.3417	97	199	99.85	120.32	0.34				
0.70	0.233	20809	0.5749	1.1499	1.7248	1.72	0.3561	0.0179	0.3740	0.0307	0.4338	0.1862	2.0086	0.3324	94	210	79.36	97.48	0.28				
0.80	0.267	20146	0.5490	1.0981	1.6471	1.78	0.3675	0.0347	0.4022	0.0243	0.4200	0.1778	2.2621	0.3086	94	220	50.85	63.38	0.18				
0.90	0.300	20045	0.5383	1.0766	1.6149	1.89	0.3896	0.0243	0.4139	0.0391	0.4118	0.1743	2.3746	0.2963	92	205	39.41	48.53	0.14				
1.00	0.333	19347	0.5090	1.0180	1.5270	1.97	0.4077	0.0381	0.4458	0.0384	0.3894	0.1648	2.7051	0.2699	92	216	26.75	33.43	0.10				
1.10	0.367	19836	0.5201	1.0402	1.5603	2.05	0.4233	0.0104	0.4339	0.0236	0.3979	0.1684	2.9754	0.2797	90	213	17.40	21.57	0.06				
1.20	0.400	19477	0.4998	0.9996	1.4994	2.17	0.4483	0.0075	0.4353	0.0195	0.3823	0.1619	2.8153	0.2621	90	223	10.45	13.14	0.04				

第四表 其三

使用水量		モルタルの重量		一立方メートル内のモルタルの重量		一立方メートル内のモルタルの重量		モルタル内のモルタルの重量		モルタル内のモルタルの重量		モルタル内のモルタルの重量		比較の		水蒸気		全乾燥		吸水率		絶対容積		試験体養生中の平均水蒸気高率の比		試験耐圧強度		高率の比		試験面、試験体の傾斜角		比較強度	
水/セメント重量比	水/全乾燥材料重量比	水/重量	全乾燥材料重量比	(瓦/磅)	セメント重量 (瓦)	砂、重量 (瓦)	即チセメント及砂の重量 (瓦)	モルタル内のモルタルの重量	モルタル内のモルタルの重量	モルタル内のモルタルの重量	モルタル内のモルタルの重量	モルタル内のモルタルの重量	モルタル内のモルタルの重量	モルタル内のモルタルの重量	使用水量	水蒸気	水蒸気	全乾燥	吸水率	絶対容積	絶対容積	絶対容積	絶対容積	高率の比	高率の比	試験耐圧強度	高率の比	試験面、試験体の傾斜角	試験面、試験体の傾斜角	比較強度	比較強度		
$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{W+C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{W+C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C}$		

1:3 セメント・モルタル

0.10	0.025	2.0294	0.4950	1.4850	1.9800	0.34	0.0495	0.2222	0.2717	0.2128	0.5680	0.1603	1.6950	0.3771	6.5	2.01	79.52	98.21	600															
0.20	0.05	2.0696	0.4928	1.4784	1.9712	0.67	0.0984	0.1765	0.2749	0.1163	0.5655	0.1596	1.7224	0.3673	8.5	2.01	108.90	134.49																
0.30	0.075	2.1215	0.4940	1.4818	1.9758	1.00	0.1457	0.1275	0.2732	0.0979	0.5668	0.1600	1.7075	0.3693	8.4	2.02	174.53	216.07																1.00
0.40	0.10	2.1320	0.4846	1.4536	1.9382	1.33	0.1938	0.0933	0.2871	0.0485	0.5560	0.1569	1.8298	0.3534	8.4	2.02	161.43	199.85	680															0.92
0.50	0.125	2.1422	0.4761	1.4281	1.9042	1.63	0.2380	0.0616	0.2996	0.0399	0.5462	0.1542	1.9429	0.3398	8.3	2.01	112.15	139.29																0.64
0.60	0.15	2.0875	0.4538	1.3614	1.8152	1.87	0.2723	0.0600	0.3323	0.0468	0.5207	0.1470	2.2605	0.3007	8.3	2.01	74.06	91.96																0.43
0.70	0.175	2.0517	0.4366	1.3096	1.7462	2.10	0.3055	0.0522	0.3577	0.0395	0.5009	0.1412	2.5297	0.2633	8.2	2.04	66.00	82.17																0.38
0.80	0.20	2.0390	0.4248	1.2744	1.6972	2.33	0.3390	0.0351	0.3740	0.0293	0.4875	0.1376	2.7245	0.2685	8.2	2.07	34.03	45.12																0.29
0.90	0.225	2.0712	0.4288	1.2865	1.7153	2.44	0.3559	0.0131	0.3690	0.0250	0.4921	0.1389	2.6566	0.2735	7.9	2.04	32.54	40.94																0.19
1.00	0.25	2.0637	0.4229	1.2686	1.6915	2.55	0.3720	0.0050	0.3770	0.0178	0.4852	0.1370	2.7577	0.2661	7.9	1.99	25.26	31.78																0.15

1:4 セメント・モルタル

0.20	0.04	1.9948	0.3836	1.5345	1.9181	0.50	0.0767	0.2121	0.2888	0.1930	0.5870	0.1242	2.3263	0.3007	7.7	2.01	78.16	98.95																	
0.30	0.06	2.0303	0.3851	1.5323	1.9154	0.75	0.1149	0.1749	0.2898	0.1329	0.5861	0.1241	2.3352	0.2998	7.7	2.01	114.58	145.06																	
0.40	0.08	2.0807	0.3853	1.5412	1.9265	1.00	0.1541	0.1318	0.2859	0.0690	0.5895	0.1248	2.2893	0.3040	7.6	2.03	127.10	161.01																1.00	
0.50	0.10	2.0802	0.3782	1.5128	1.8910	1.23	0.1892	0.1097	0.2989	0.0536	0.5786	0.1225	2.4400	0.2907	7.6	2.02	98.67	124.92	680															0.78	
0.60	0.12	2.1085	0.3765	1.5061	1.8826	1.47	0.2259	0.0761	0.3020	0.0447	0.5761	0.1219	2.4774	0.2876	7.3	2.03	82.10	104.53																0.65	
0.70	0.14	2.0595	0.3613	1.4453	1.8066	1.64	0.2520	0.0773	0.3302	0.0451	0.5528	0.1170	2.8222	0.2616	7.3	2.02	56.94	72.71																0.55	
0.80	0.16	2.0825	0.3591	1.4362	1.7953	1.86	0.2872	0.0472	0.3344	0.0284	0.5493	0.1163	2.8753	0.2590	7.1	2.00	47.59	60.64																0.50	
0.90	0.18	2.0666	0.3503	1.4011	1.7514	2.05	0.3152	0.0555	0.3507	0.0395	0.5359	0.1134	3.0926	0.2443	7.1	1.98	35.14	45.03																0.23	
1.00	0.20	2.0638	0.3442	1.3927	1.7409	2.10	0.3229	0.0316	0.3545	0.0273	0.5327	0.1128	3.1421	0.2414	6.1	1.98	23.82	30.73																0.19	

(料至製出時每十磅試体)

Fig. 6 Compressive Strength and Water-Cement Ratio.

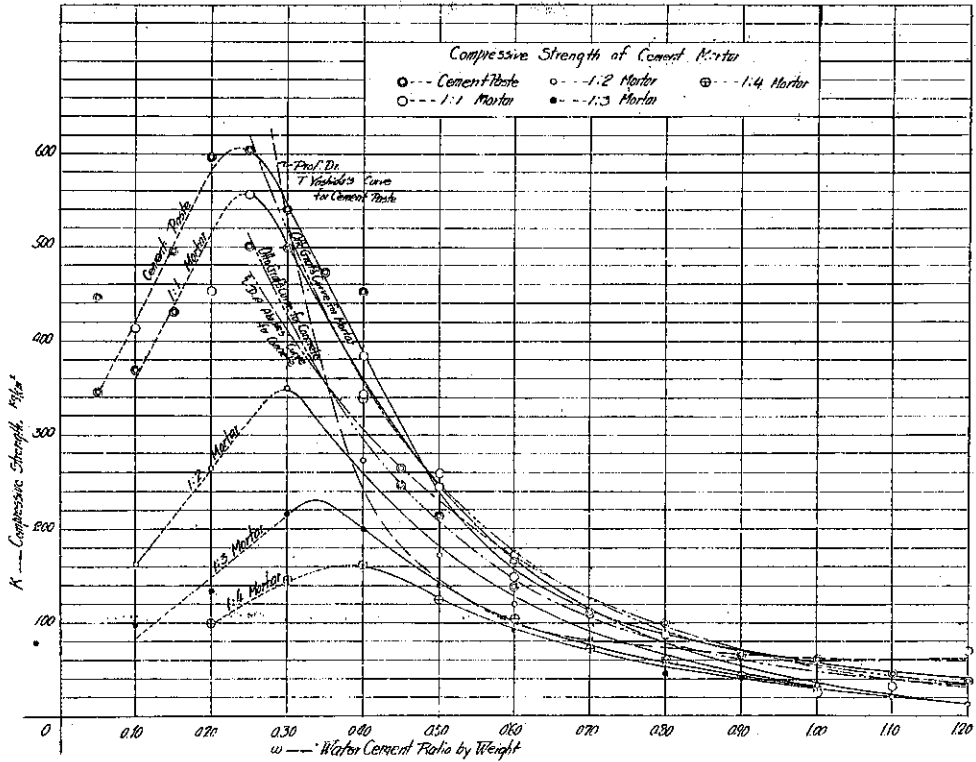
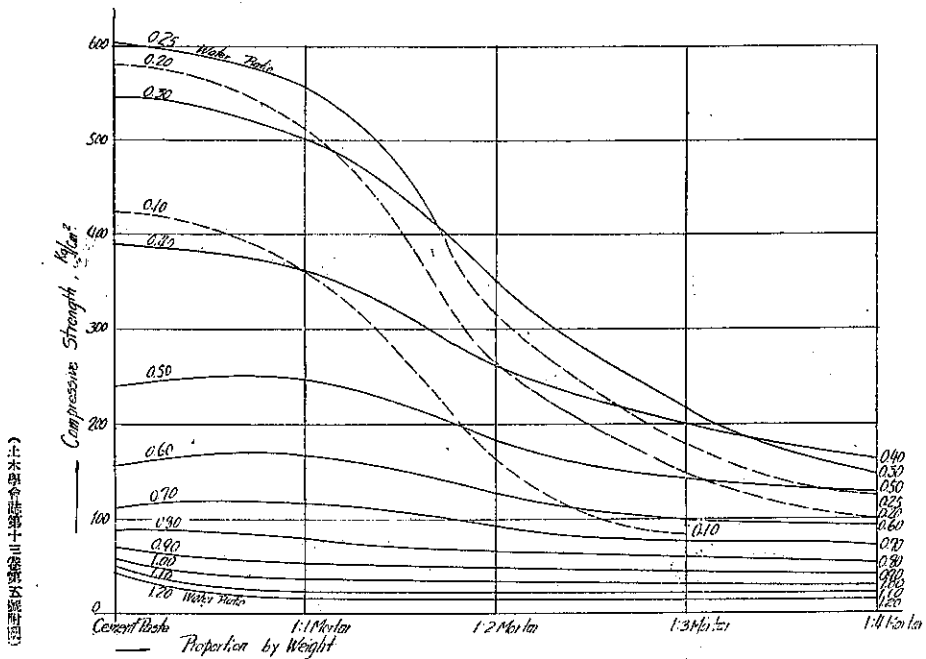


Fig. 6a Relation between Compressive Strength and Proportion of Cement Mortar for Various Water Contents.



土木學會誌第十三卷第五號附圖

Fig. 7 Compressive Strength and Water-Cement Ratio.

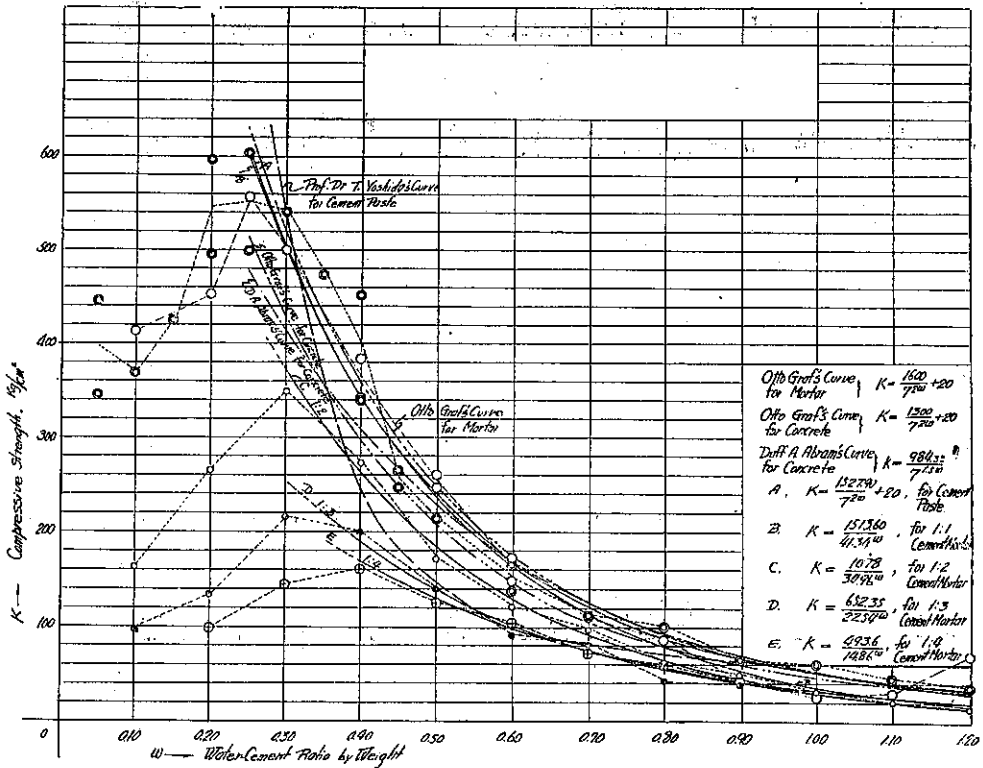
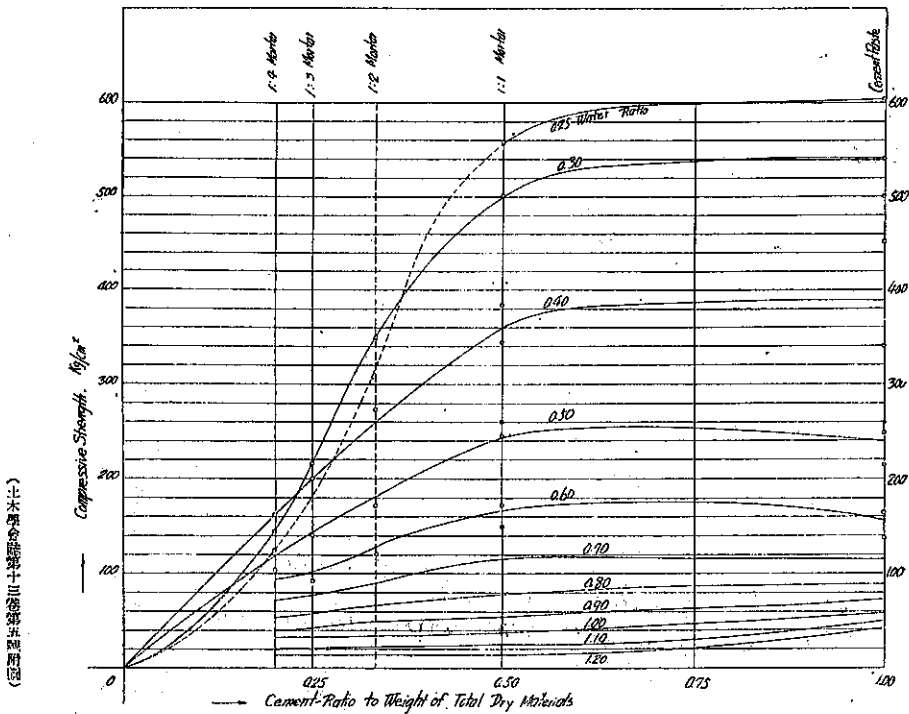


Fig. 8 Compressive Strength and Cement Content.



(土木學會雜誌第十三卷第五期附圖)

Fig. 9 Compressive Strength and Cement-Space Ratio.

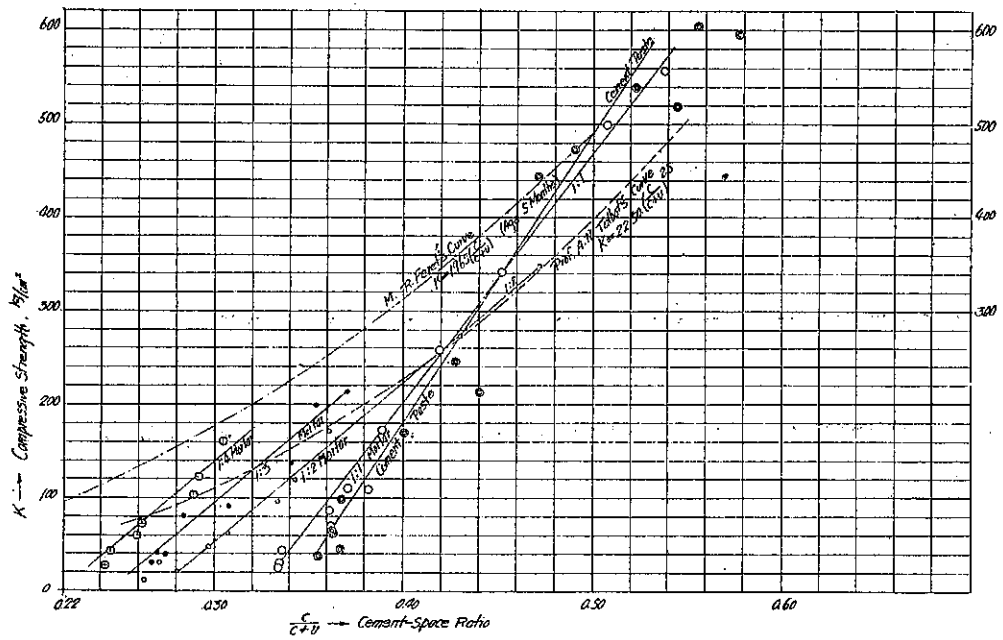
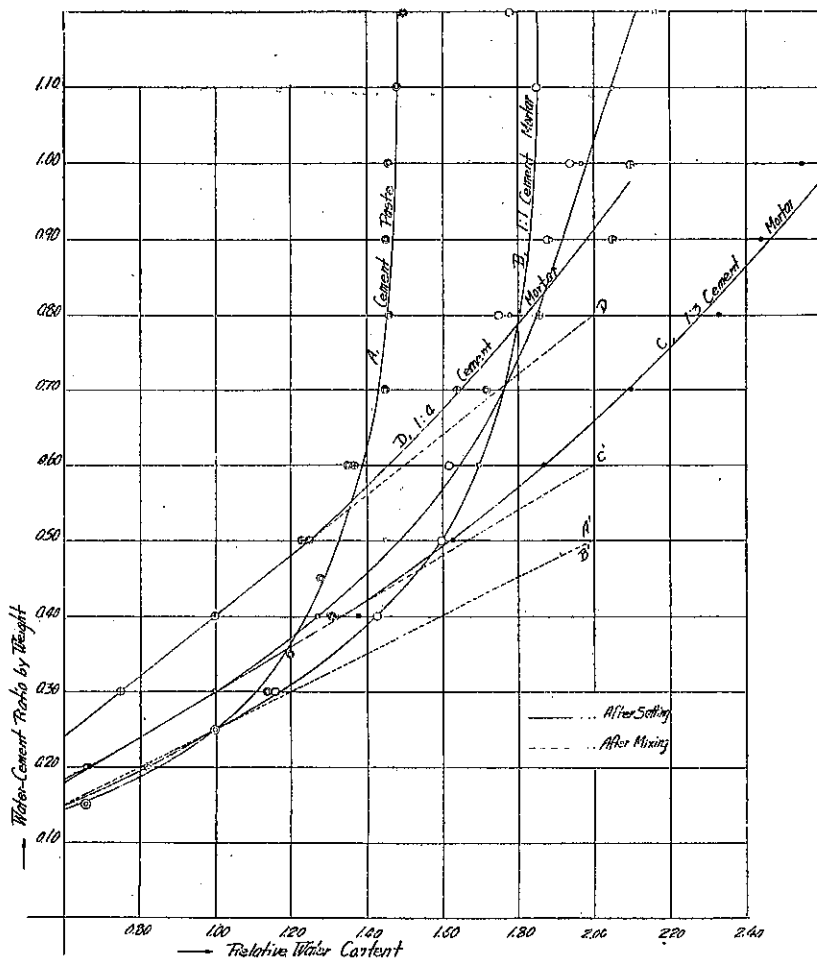


Fig. 10 Water-Cement Ratio and Relative Water Content.



(土木學會誌第十三卷第五號附圖)

Fig. 11 Air Voids and Absorption of Cement Mortar.

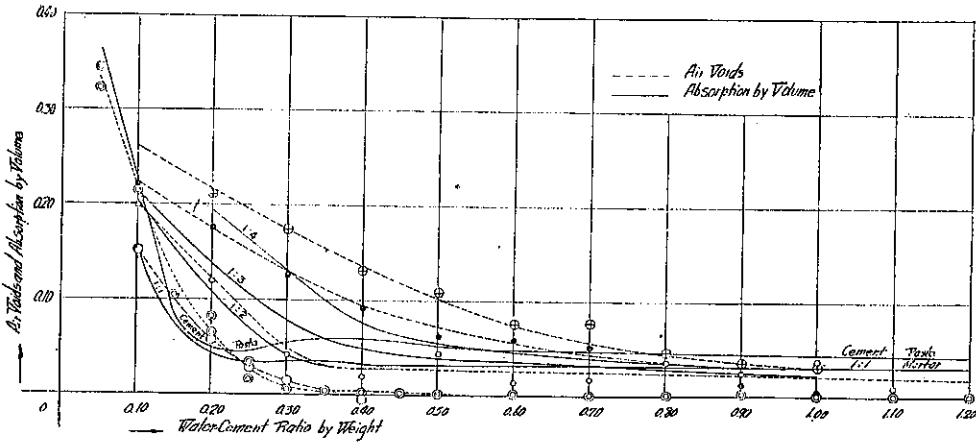


Fig. 12 Absolute Volume of Cement, Cement-Space Ratio and Relative Water Content.

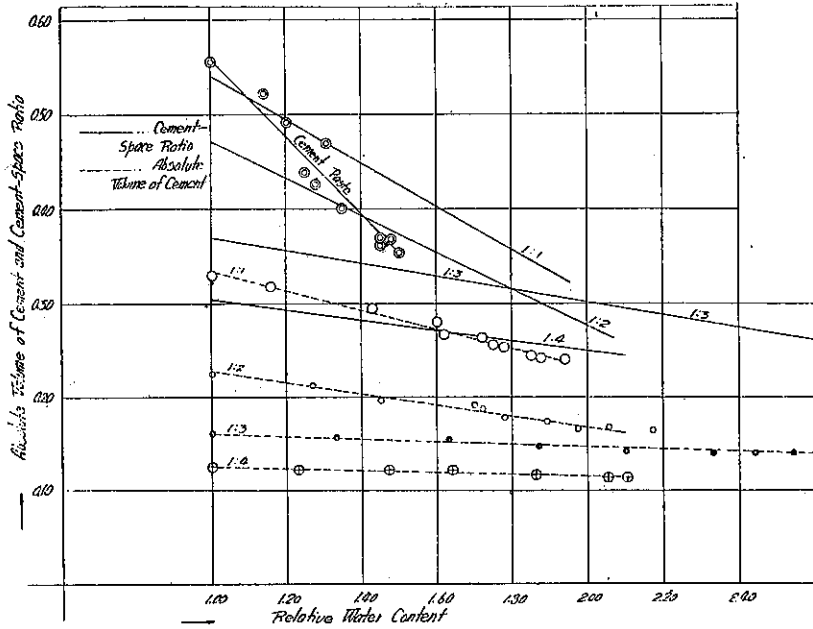


Fig. 13 Water Voids and Relative Water Content.

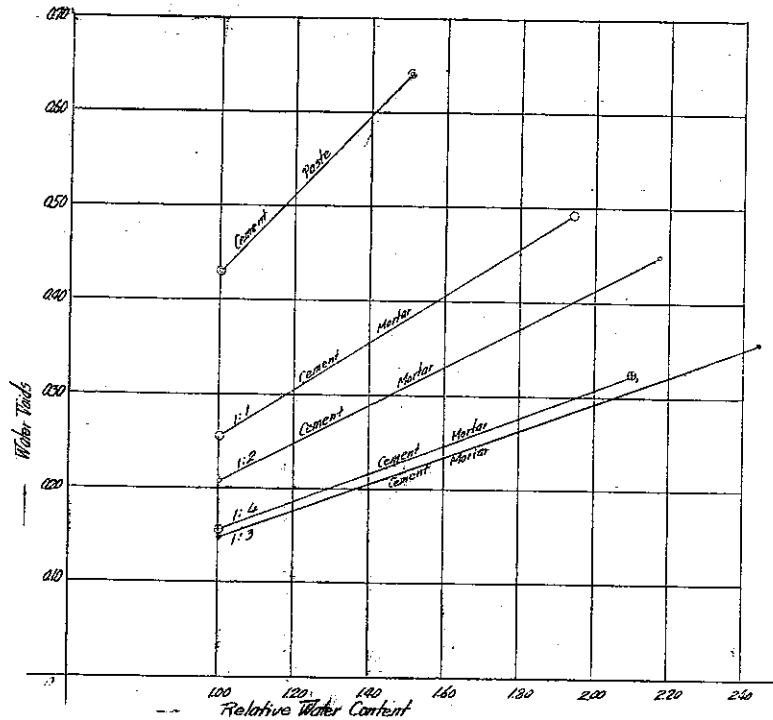


Fig. 14 Voids and Relative Water Content.

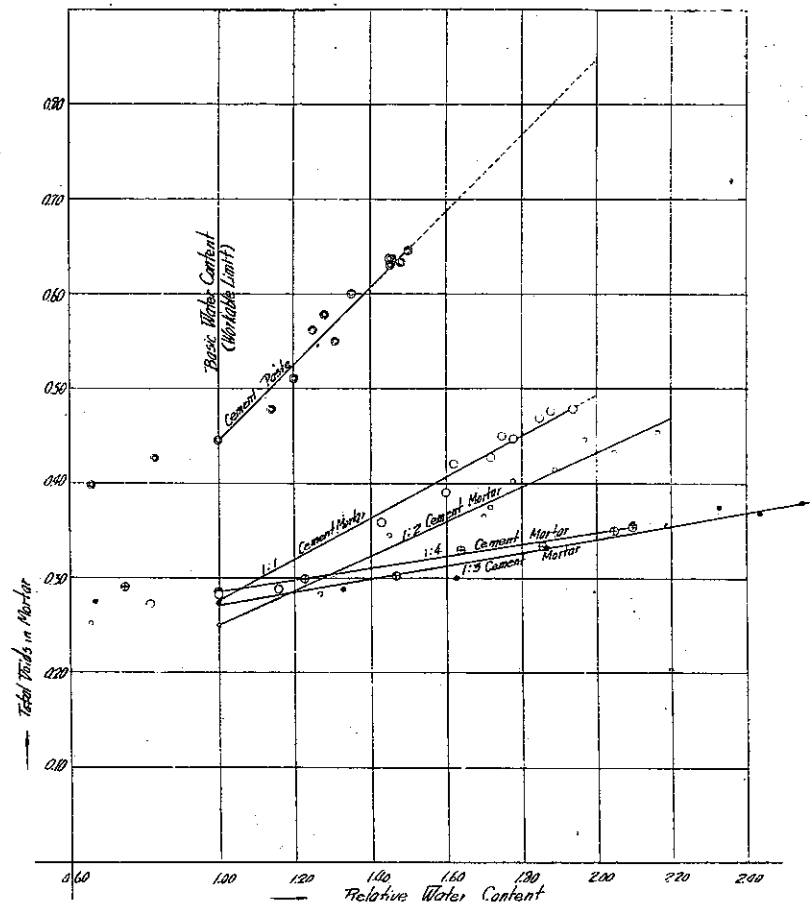


Fig. 15 Characteristic Mortar-Voids Curve for Standard Sand.

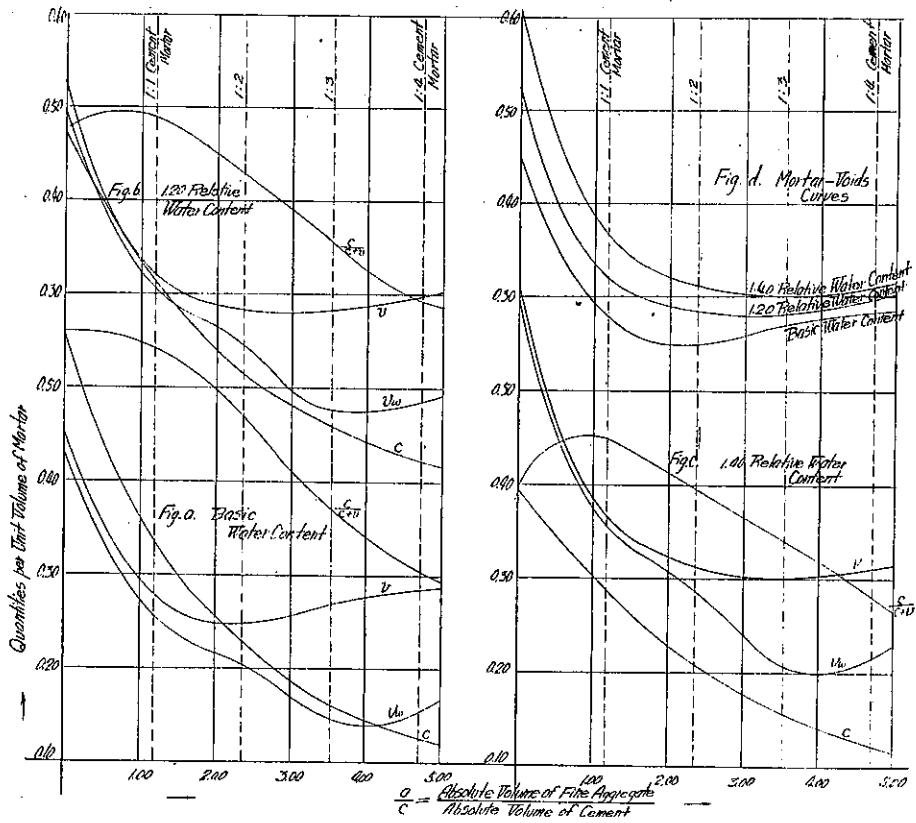
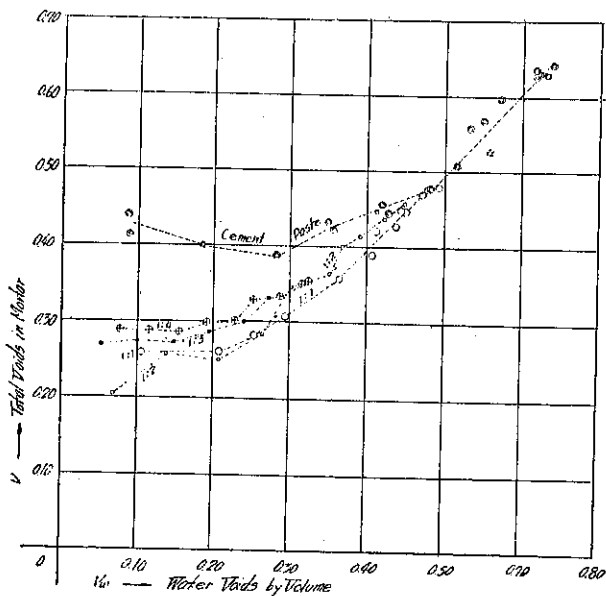


Fig. 16 Water Voids and Total Voids.



(土木學會) 建築士 建築士 建築士 建築士 建築士

Fig. 17 Compressive Strength and Relative Water Content of Cement Mortar of Various Proportion.

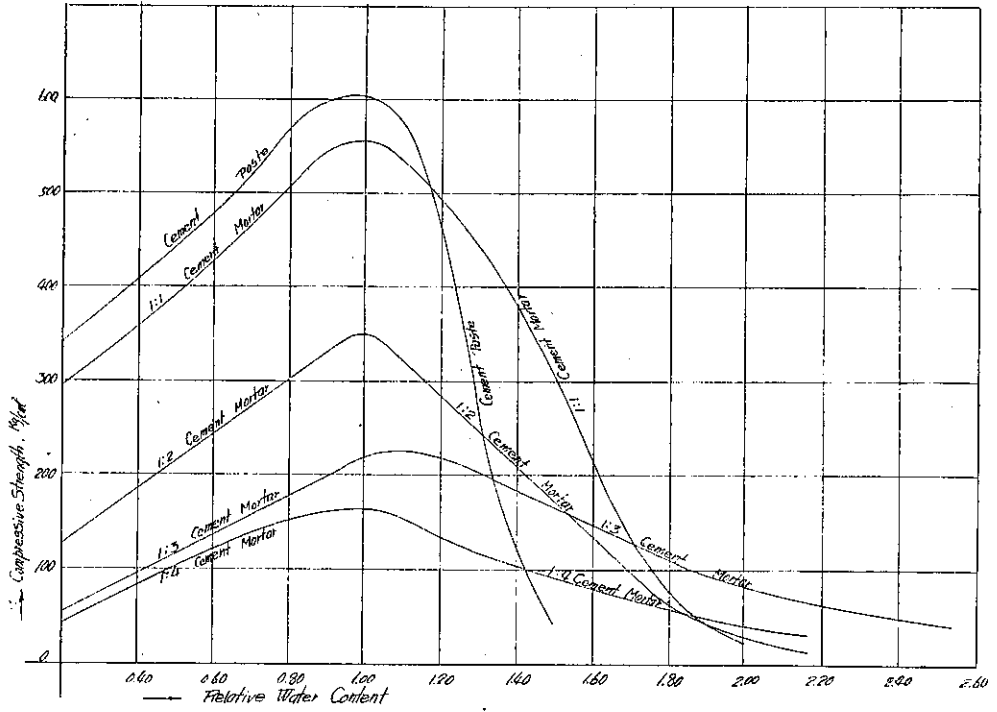
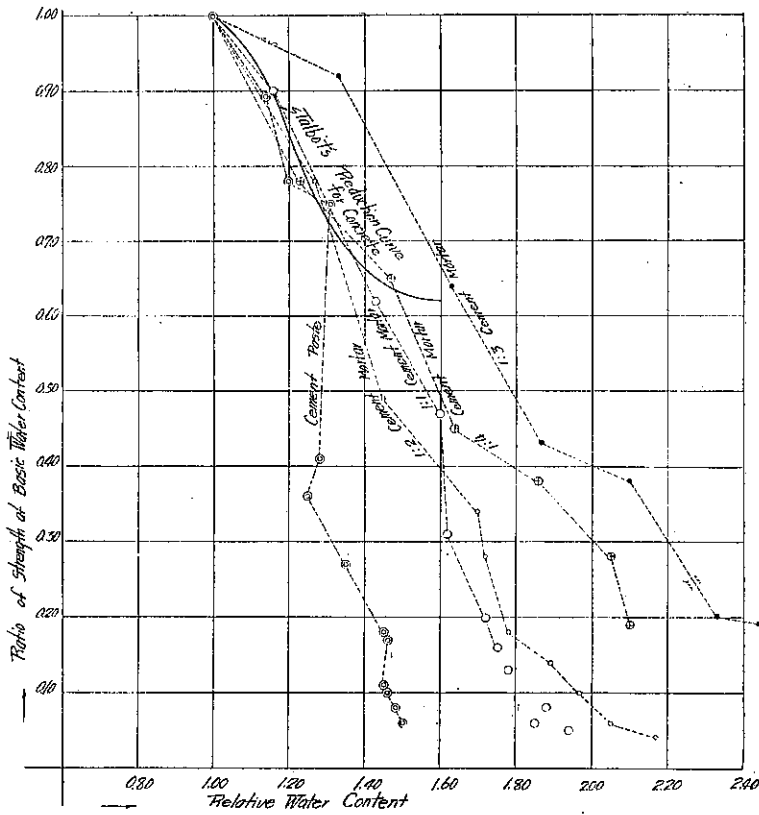


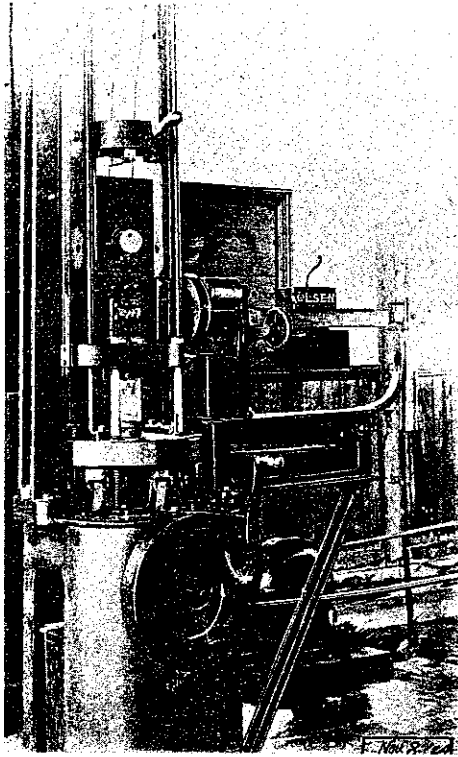
Fig. 18 Reduction Curve for Mortar of Various Water Content.



(土木學會誌第十三卷第五號附圖)

172-17

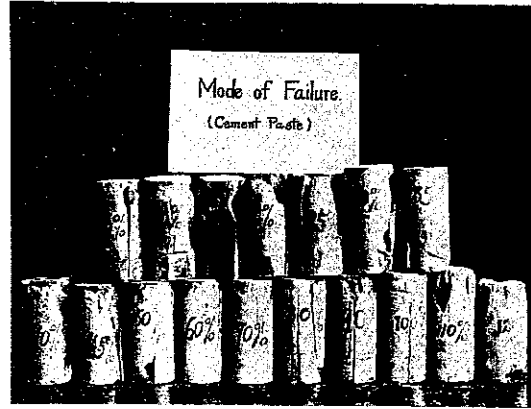
寫眞第一



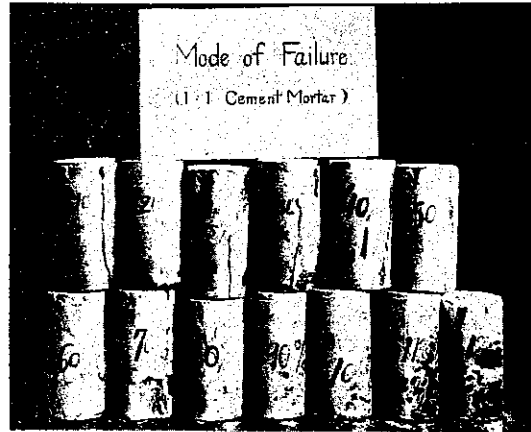
Olsen's 30 000-lbs Universal Testing Machine.

土木學會誌第十三卷第五號附圖

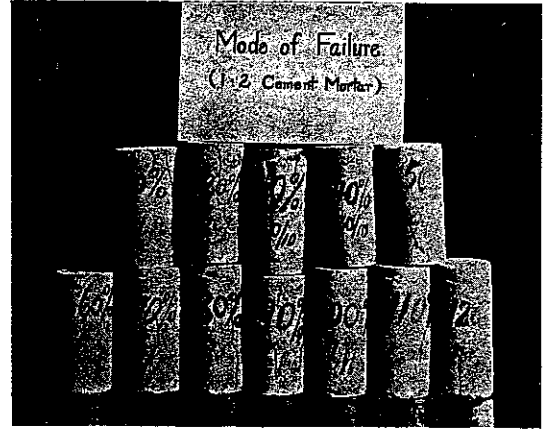
寫眞第二



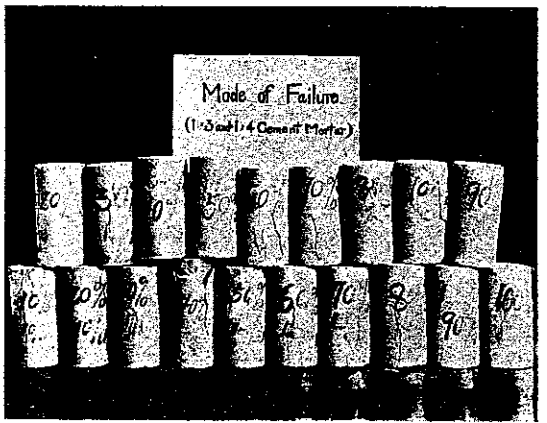
寫眞第三



寫眞第四



寫眞第五



上部 1:4 モルタル 下部 1:3 モルタル