

言

義

土木學會誌 第十四卷第四號 昭和三年八月

ポルトランド・セメント・モルタル の耐壓強度に就て

(第十三卷第五號及第十四卷第二號所載)

著者 准員 吉 田 彌 七

著者が數年來從事せる混凝土の物理的性質の研究中の主要項目なるその耐壓強度の研究の一階梯なる如上の拙論に對し我が國に於ける斯界の權威として自他共に許す工學博士小川敬次郎氏並に理學士内田黍郎氏の御討議を得たるは著者のみの幸に非ざるなり。

楮兩氏の御討議を見るに其の論旨には多少の相異はあるも要之著者の研究が或特殊なる場合の研究にして一般的ならず、又其の結論も劃世的のものなし、換言すれば著者の研究は百尺竿頭一步を出でずと言ふにあり。此の誘は我等實驗研究に従事するものが等しく甘受すべき事にして止むを得ざる處なるべし。勿論此の討議によりて相互にその不備の點を補足し、誤を匡すべきなり。

元來混凝土たるとモルタルたるとを問はず此れ等の材料は數種の材料を混合し、之を捏混し、製型し尙養生して出來上るものなれば其の研究は甚至難の事に屬す。故に凡ての場合に適用し得るが如き理論法則は到底實驗上見出すことを得ざるべく、又反面より考ふる時は其の必要もなからん。D. A. Abrams 教授の實驗の如き 勿論 50 000 個の供試體を作り之を試験せるも尙其の結論たるや一般的のものに非ずして僅かに一定の範圍内に於てのみ適用し得るに過ぎず。而も其の説が一世を風靡する所以のものはそれが平易にして且つ彼が言ふ“Workable mix”には之を適用するも實際上満足なる結果を與ふるにあり、此の如き現象は理學の圈内に於ては或は許し難き事實ならむも工學の範圍内にては我等が屢々遭遇することなり。説明する迄もなく此の種の研究は問題を複雑にせば如何程にても複雑となる。故にある標準の場合に就て根本的に研究を進め然る後一般的に及ぼすが最も有效の如く思考さる。特に豫備的實驗の場合に於ては尙更なり。場合は異なるが鐵道、道路の曲線を水平及垂直の投影に分ちて解けば容易なる如く、モルタルの場合に於ても先づ標準とも思はるべき標準砂に就て論じ然る後之と他の砂との比較研究をなして比較的一般的の結論に達するが最も有效の方法と思考さるゝものなり。著者の本研究に關する眞意も亦此處にあるものにして一般的の場合には之を本實驗に譲れり。

前言は以上の程度に止め以下兩氏の御好意に報ゆるため討議の各項に亘りて御答へすべし。先づ登載の順序に従ひ内田理學士に答へん。

筆者は著者が單に舊標準砂に就て實驗したるに就き土木建築用混凝土の強度を研究する準備としてのモルタルの研究としては不充分なりと論ぜらる。勿論著者と雖完全とは思考せず。たゞ上述の如く本研究を最も有効に且つ短捷に進行させるためと、一つは混凝土の豫備實驗の意味で先づ最も標準と思はるゝ當時の標準砂を採用せるは概論に於て述べたる處なり。此の標準砂は説明する迄もなく其の質均等なること、強固且つ耐久的なること、水分を殆ど吸収せざること、清淨なること等の特點を有するものなり。随つて之を用ひて實驗する時は殆ど標準状態の許の結果を得べく、之を他に適用する場合之を容易にす。勿論實際に於て採用さるゝ砂は千差萬別ありと雖此の標準砂と大差あるものは少く、又現今の如き混凝土工學發達の程度に於てかくの如き不良の砂が主要工事に採用さるゝものとも思はれざれば著者が本實驗に於て標準砂を選びたるは左迄不都合なることには非ざるなり。勿論混凝土の實驗には筆者の御注意もある通り昨年來熊本地方の代表的砂に關して實驗を重ねつゝあれば近き將來に於て改めて紙上に御目にかゝり御叱聲を仰ぐ考へなり。

モルタルの場合其の耐壓強度が砂の種類により相異を來すは R. Forêt 以來明に認められたる事實なれば一つの標準砂に就いてその強度關係を知る時は勿論直接他の砂に對して之を適用することは不可能なるも相等修正をなして適用することを得べし。勿論標準的のものゝみならず他の比較的極端なる性質を有する砂に對しても實驗を施行しその理論適用の範圍を確定することは緊要なることにして又實驗者の責任なれば現在著者は上述の如く混凝土の研究に當りては充分此の點に就いては考慮を拂ひ居れり。次に参考のため熊本市附近に於ける兩極端の砂と新舊標準砂との簡單なる比較を試みん。

各種砂試験成績表

項目\種類	東京標準砂	相馬標準砂	緑川砂	白川砂
比重	2.642	2.632	2.669	2.746
吸水率 (15 分間後, % by Weight)	0	0	0.45	0.41
有機物 (%)	含有せず	含有せず	含有せず	殆ど含有せず
泥滓, 粘土又は塵埃 (%)	含有せず	含有せず	0.56	2.90
單位重量 (kg/m ³)	1 463	1 617	1 629	1 617
空隙率 (%)	44.64	38.56	38.97	41.22
耐壓強度 (1:3 モルタル) 28 日後, kg/cm ²	32.40	36.99	44.68	20.83
粒度調合 (Grading)				
# 100 篩に止まるもの (%)	99.78	99.8	99.34	88.11
# 48 "	99.74	99.7	95.96	49.08
# 28 "	53.39	99.0	67.00	17.93

# 14 篩に止るもの (%)	0	2.4	30.97	8.40
# 8 "	0	0	9.74	3.67
# 4 "	0	0	2.18	0.67
粒度係数 (Fineness Modulus)	2.573	3.000	3.072	1.679
表面係数 (Surface Modulus)	17.670	12.250	15.341	40.713
岩質	石英	石英	主として片麻岩質にして石英片岩、花崗岩をも含有す。	安山岩を主成分とし、凝灰岩、火山灰等を僅かに含有す。

N.B. 耐伸強度は凡て同一水比の許に於て、商工省規定に随ひ施行せり。其の他の試験は A.S.T.M. の標準に随へり。

以上の如くなるを以て砂の種類により相等の差異あるものなれば一つの法則を以つて全般を律するには不可能なるものと思はざれば著者は最初の豫備実験より問題を複雑ならしむることを避け砂は舊標準砂を選び單に水比と配合率換言すれば其の砂の一定量と各種の水比のセメント・ペーストの割合と耐壓強度との関係を見出したるものなり。而して他種の砂に對してはその関係に多少の修正を加ふれば足るものと信するものなり。此の點に關しては混凝土の配合に關し迷詣深き筆者も亦異論なかるべしと思料す。

次に供試體の材齡に關しても筆者は 3 箇月、6 箇月の實驗を要求するが之も著者は絶対に必要なしとは言はざるも此の際殊更に材齡に關する實驗を行ふは徒勞の事に屬すと思ふ。著者の第一の目的は配合と耐壓強度との関係を見出すにあれば此の際 3 箇月、6 箇月の試験の要なかるべし。且つ此の點に關してはモルタルも混凝土も同傾向にして既に諸大家によりて研究し盡され居るに於てをや。勿論必要に應じては施行すべきものにして、著者の行へる簡單なる實驗は本誌第十四卷第二號 P. 281 第九圖にもあり。又近く紙上に發表する機會あらんも著者が混凝土に關して行へる實驗によれば材齡 1 週乃至 1 箇年のものは凡て同一材齡の耐壓強度は水比によりて變化し又同一水比のものは其の多寡に關せず殆ど同一の傾向を以つて耐壓強度は材齡に隨ひ増加するものなり。著者の説明を待つ迄もなく、Graf, Feret 及 Talbot 氏の實驗の結果を熟讀すれば以上の傾向は伺ひ得る處なり。併せて著者本文の Fig. 9. をも参照ありたし。

著者は勿論混凝土の本實驗に於ては時日の許す限り、費用の許す範囲内に於て出來得る限りの研究を重ねつゝあり。其の結果は未だ的確なる結論を得るに至らざるも近き將來に於て完成の曉には本紙上にて相見ゆるの光榮を有するものなり。その節は重ねて忌憚なき御討議を乞ふ次第なり。最後に筆者が言ふ文献は著者の座右にあり。最後に著者は筆者に對し感謝の意を表す。

次に小川博士に答へん。

筆者は先づ Taylor and Thompson 共著 Concrete, Plain and Reinforced に記載せる R. Feret の主張を楯に取りて著者が述べたる結論の 1), 2) 及 3) を能く知られたる事實として簡単に片付けらる。然るに著者は之に對して異議あるものなり。Abrams, Talbot 兩教授の大論文を見るに明に Feret 氏の説が絶對的に眞ならざるは推察するに難からず。著者も此の點は充分に考慮を拂ひ本文 8 の (三) 又は結論 1), 2) 及 3) に於て述べたるが如く Feret の理論の適用の範圍を確め得たり。申す迄もなく實驗的或は半實驗的理論に於てはその理論の適用の範圍を確むることが必要なることなり。著者は Feret 氏の原著を未だ繙かずと雖果して同氏が此れ等の點にまで論及し居るか甚疑問たり。混凝土の理論は Feret 氏に出て Feret 氏に歸るの觀あるは Talbot の實驗研究によりても明なるが只 Talbot 氏の偉業は Feret の説を如何に適用したるかにあると信ずるものなり。凡て同一物質よるなるものはその見掛の比重によりて其の耐壓強度が變化するは古より知られたる事實にして木材、石材に關しては其の實驗的關係が發表されて居ることにして、Feret 氏が之をモルタルに適用したるの故を以て敢て驚くに足らざるなり。要は只此の理論を如何に適用するかにあり。

猶筆者は 3) に於て「耐久性」なる文字を入れ置くが可ならんと言はるゝが本論文の問題外の事項なるを以て單に某書に記載しあるの故を以つて濫に記入することは著者の良心が許さざる處にして、又その要なからん。筆者幸に之を諒せられよ。

次に筆者は Feret 氏比 $\frac{c}{v_w + v_a}$ は水量と出來するモルタルの強さとの關係を表すに利用し得るを以つて空氣空隙を無視してモルタル又は混凝土の強さは $\frac{\text{セメント}}{\text{水}}$ 比即ちセメント・水比の函數として示すことを得、之に關して

$$P = \left(\frac{C}{W} - 0.5 \right) K$$

なる關係が成立つと述べらる。著者は之に關しては大に意見を異にするものなり。

先づモルタル及混凝土に於て如何なる根據により空氣空隙を無視し得るや、又 0.5 なる係數の正當なる理由を筆者は實驗の結果を以つて説明するを要すべし。著者はモルタル又は混凝土の何れの場合に於ても筆者の論の正しからざるを裏書きする充分なる材料を有す。空氣空隙を無視する等のことは實驗上より決定すべき問題にして机上に於て無意味に其の項を抹殺し得るが如き簡單なる問題に非ざるなり。

筆者の述べられたる説は Swiss の J. Bolomey 氏の論説と思はるゝを以つて之に就いて少しく述べんに彼は實際工事に關しては次の如き關係式を用ふるも差支へなしと論ぜり。

即ち
$$P = K \left(\frac{C}{W + V_a} - 0.5 \right)$$

茲に V_a ; 空氣空隙にして單位は W と同様、其の他の符號は筆者に隨ふ。而してモルタル及混凝土が密實なれば

$$P = K \left(\frac{C}{W} - 0.5 \right)$$

として差支へなしと稱せり。案ずるに筆者は此の説に同意され、随つて非常なる矛盾の許に極言すれば吾々の實驗界に於て許すべからざる假定の許に、無理に Cement-Space 説を水比説に導かれたるかの觀なきにしもあらず。此の點に關して筆者の御意見の存する處を承りたし。而して Bolomey 氏の説は Feret 氏の Cement-Space 説の眞意を了承したるものに非ずして無理に Abrams, Graf 一派が唱導する水比説の旗下に馳せ参じたるの觀あるものにして筆者の説く處とはその主義が異なるかの如く感ぜらるゝが如何。而して Bolomey 氏の所論に對しては Feret 氏自身も反對し居らるゝによりても此の説が面白からざるは明なる事なり。即ち Bolomey 氏は Feret 氏の説を支持せんとして反つて之を傷けたるの趣きあり。モルタル又は混凝土内の水・セメント比は又 Cement-Space 比を支配するものなれば相互の關係あるは勿論なるも、Abrams 氏一派の説と Feret, Talbot 一派の説との合同を策するが如きは餘りに重大なる試みにして少くとも兩派が試みたる程度以上の實驗研究を積み他の容喙を許さざが如き資料を以つて始めて成就し得ることにして机上の空論に於てのみ輕々に決するが如き蝸牛角上の問題にあらざるなり。

著者は Feret 氏が興へたる式の直線式への誘導は次の如くなすを妥當と思考するものなり。之は嘗て著者が坂田工學士の工學研究に於てなしたる討義と同意義なり。

即ち Feret 氏の原式は本文 (7a) 式より明なる如く

$$P = K \left(\frac{c}{c+v} \right)^2$$

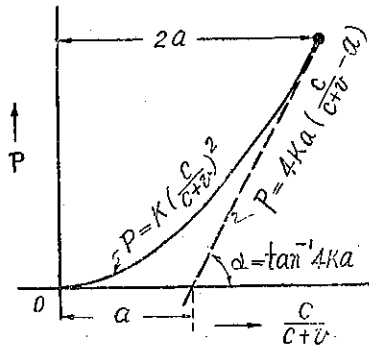
なり。但し符號は便宜上筆者による。此の關係を近似的に切線を用ひて表す時は Figure に示すが如く

$$P = 4Ka \left(\frac{c}{c+v} - a \right)$$

にて表はさる。如此切線を用ひ得るは Talbot 氏の實驗より明なり。

即ち上式の如き直線式が始めて Feret 氏の説を生かす最も理論的の關係と思考す。

以上種々著者の意のある處を述べたるが Feret 氏の説は Feret 氏の説として權威あるものなるが著者の實驗に之を適用する時はその範圍内に於ては個々の配合比のモルタルに關してはその説を適用し得るも、總體として一つの代表的式を得るに至らざりき、即ち結論に於



て述べたる通りにして、本文 Fig. 9 を見れば明なり。而して著者は水比説に對しては單に水比のみならず配合比を加味したる式を得たれば之のみを掲げて大方の批判を仰げる次第なり。

Abrams 氏一派の水比説も Feret 氏一派の Cement-Space Ratio 説も眞理の存する處にして水量多き場合には兩氏の法則が一致すかの如き説は兩氏の説を了解し居らざる人の稱ふる處と言ふべきなり。

次に筆者は水量が混凝土の強度に影響を及ぼすべき範圍に就て a), b) 及 c) の 3 項に合ちて説明さるゝが之は配合比の如何によりて大いに異なるものにして此の如き問題は一概に論すべきものに非ず。著者が行へる實驗の範圍内に於ては c) の如き事實は成立せざるが、筆者の實驗にして上記の條項の正しき事を證する資料を御持合せあらば實驗の方法と共に承りたき次第なり。次に著者の實驗は材齡 4 週間のものとに於て施行せるものなるが 3 箇月乃至 6 箇月の材齡に於ては如何なる關係が存するや、即ち 4 週のものと同傾向のものなるや、具體的に言へばその耐壓強度が水比によりて變ずる場合その關係式が一般式の常數を變ずる程度の修正にて止り大體の傾向を變ずることなきや否やに關し著者の意見を求められたるが之は簡單なることにして著者は内田氏に對する言葉を以つて之に當てん。

以上の事實はモルタル又は混凝土の強度がセメント・ペースト及混凝土材によりて支配される事實を了解すれば自ら明なるものにして著者が重ねて此處に蛇足を加ふるの要なき簡單なる問題ならずや。

又筆者は水量とセメントとの關係は特に初齡に於ては恰も糊と水とを混じたるが如き有様に比すべく水量多ければ膠性減退するに至ると論ぜらる。然るに實際に於てセメント・ペーストは果して化學的に言ふ Colloid の状態の溶液なるや否や甚疑問にして比重大なる徑の比較的大なるセメントが均等膠質溶液となるとは考へられずしてセメントは單に粒の接觸面に於てのみ結合しその間隙は水濕空隙又は空氣空隙として残る様に考へらるゝものなり。勿論之は著者の推測にして誤あらば御教示を乞ふ。随つてモルタル又は混凝土に加へられたる水は全々化學的にセメントと化合するに要する水と水濕空隙として残る水と混凝土材によりて吸收さるゝ水とに分類さる。然るに實際に於ては此の中化學的に費さるゝ水は僅少にして大部分は水濕空隙となり一部分は混凝土材によりて吸收さる。此の最後の項としては Talbot 氏は 15 分間の吸水量を取れり。或は又 Abrams 教授の如く出來上混凝土の流動性を標準として吸水量又は含水量に關する修正をなすも差支へなからん。而して此の吸水量の大なる混凝土材

は其の質の不良なるを意味するものにして普通の混凝材に於ては其の量たるや至つて僅少な
るは上述の表より明なり。随つて實際の工事に於て特に混凝材を濕すことは絶對的に必要な
ることに非ず。又筆者の如く前以つて濕す時は Capillary water を考へに入れざるべから
ず。著者の實驗に於ては標準砂なれば吸水率は實際上皆無と見るも差支へなければ随つて之
に關する修正の要なし。

次に材齡に關しては既に述べたる所により明なり。而して混凝土又はモルタルの強度は如
何なる材齡の場合を以つて標準となすべきかは技術上の常識によりて決すべきものにして一
概に論ずる譯に行かず。要は其の構造物が初めて豫期の外力を受くる場合に於て所定の強度
を發揮し得て所要の安全率を有すれば足れり。故に混凝土の強度はその破壊強度を指定すれ
ば足るものなり。例へば或構造物が實際働く場合に於て 145 kg/cm^2 の破壊強度が必要なり
とすれば此の値を與へるのみにて可なるべく、即ちかくの如き強度を發揮するに至りて始め
てその構造物は役目を果し得べきなり。故に材料は同一なるも材齡、溫度、養生法其の他種
々の條件によりてその強度の等しからざるは明なる處なり。只一般仕様書の如きものを制定
する場合に於ては最も適當なる條件を標準とすべければ便宜上普通混凝土の場合には 4 週間
を取れるのみ。特別なる工事等の場合に於ては或は 1 週間或は 3 箇月を標準とし配合水比
等を決定し最も經濟的に混凝土を作るが吾々技術者の本分なり。筆者は 4 週間の強度
を標準として構造物を設計すれば材齡例へば 5 箇月以上となれば安全率が所要以上となる
と言はるゝは勿論の事にして著者の實驗とは自ら別問題なり。少くとも心ある技術家は其の
位のことは承知せざる筈はなけれども、實際の有様を見るに常に例へば 40 kg/cm^2 とか或は
 28 kg/cm^2 とかを作用強度に取りて設計し、現場に於ては殆ど無意識に 1:2:4 又は 1:3:6
の如き任意配合の混凝土を使用し水量は言ふに及ばず、セメントの計量の如きも甚不正確な
るものにして實驗室の施工と相去る事速きものあるは筆者と共に慨歎に耐へざる處なり。か
くの如き状態にては破壊強度もなく作用強度もなし。セメントの使用年額 2000 萬樽を突破
する今日之を節約し得る設計施工をなすは吾々土木建築に關係ある技術者の責任にして之を
果し得て國家經濟の目的に副はざるべからず。

次に筆者は著者が與へたる θ の値に就き數學的の計算を試み破壊を初めんとする瞬間時
に於ける材料の摩擦角 ϕ の値を検算されたり。之による時は劣惡配合なる程 ϕ の値の大なる
事を示すと言はる。之著者の實驗の正しき事を裏書するものにして劣惡配合のモルタルの
供試體なれば其の破壊面粗なるため ϕ の値は當然大となるものなり。

以上にて大體筆者の御討議に關する著者の意の存する處を述べたり。最後に著者は筆者が
本文が單に外國諸大家の既になせる實驗の結果發表せられたるものと大差なく随つて寂寥の
感を催すと結ばれたる事に關し著者として一言を呈して筆者の御好意に對して報ひんとす。

元來研究なるものは最初より其の到達すべき彼岸を充分窺ひ知りて之をなし所定通りに目的地に達することは至つて稀にして、如此は天才に非ざれば能く成就することを得ざる所なり。一寸の蟲にも五分の魂のたとへ、著者も大なる意氣込みを以つて努力せるも到達せる彼岸は御覽の通りにして汗顔の至りなり。即ち到達點は只大家の説く處と大差なし。只少しく足らざる處を補足したるは僅かに著者の意を安んずる處なり。此の補足たるや、Abrams 又は Feret, Talbot 一派の大家より見れば所謂蛇足にして却つて迷惑に感ずる事なるも計り知り難きも只著者が通りたる路を示して大方の批判を乞へるなり。Feret, Abrams 及 Talbot 氏の論説は長年月と、完全なる設備と、裕富なる經費の許に自他共に許す大家の努力によりて爲し遂げられたる研究なり。之等の向ふを張りてよくそれ等の説に對抗する新説に達し得るや否やは著者にとりても一つの惱しき疑問なり。只我が國に於ける此の種の研究は九州帝大の吉田博士を初めとして行はれ居ると雖米獨のそれとは比すべくも非ず。此の點に檄せられ我國の混凝土は我國の研究者によりて究めらるべしと言ふ内田理學士の意氣と以つて鈍才に鞭ち々々て研究に従事するものなり。著者の研究は心よりの研究にして無理をしても諸大家の説に弓を引くが如き不純なる考の許に於てなすものに非ず。近き將來著者は重ねて本紙上にて混凝土に關する研究を發表する考へなれば其の節は又忌憚なき御批判を切望するものなり。

本稿を終るに當り 御多忙なる兩氏が拙論に對して御討議下されしことを多謝するものなり。