

言寸

言義

土木學會誌 第十五卷第三號 昭和四年三月

集中コンクリート混合所と現場 試験との實績報告

(第十四卷第五號所載)

准員 中末郁麿二

平山、山田兩工學士の道路舗装混凝土に關する色々有益なる御報告を拜讀し獨り道路關係者のみならず一般混凝土工事に従事する者に多くの有益なる參考資料を授げられたことを深く感謝するものであります。

御報告文に仍りますと従來の調合及施工法によりて B 現場に於て 1:3:6 調合比のものを實施されました混凝土の最小強度は 450#/sq' あつて今度貴集中コンクリート混合所に於て 1:2.3:6.5 調合比のものを混合されて第十六號線に施工されたものは其の最小強度 1400#/sq' となつた様であります。此の點より最小強度にて約 3 倍大の好果を擧げられたわけでは集中コンクリート混合所混合と其の調合設計の大體に於て良好で有つた爲と存じますが尙將來此の種の設計施工に參考資料と致したいと存じますから潜越ながら次の御伺ひを致します。幸に御寛容有つて御説明下さらば幸甚であります。

質 問

(1) 丸子産の砂と旗川産の砂利は同じ關東地方のものでありますから其の礦物學的の性質は相似たものと考へて差支へないのでありませうか。

(2) 御報告の砂の篩分に仍つてアブラム教授の細率 (Fineness-Modulus) を計算して見ますと著しく其の細率が低い様に思はれます、即

篩 番 號	100	50	30	16	8	4	3/8"	3/4"	1 1/2"
	各々の篩より粗なるもの、百分率								
砂	98.5	75.5	34.5	15.5	5.5	0	0	0	0
砂利	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	67.0	18.0	0
同上(假定)	100.0	99.0	96.0	96.0	96.0	91.0	67.0	18.0	0
	砂の細率 = (98.5 + 75.5 + 34.5 + 15.5 + 5.5) ÷ 100 = 2.29.....(1)								
	砂利の細率 = (91.0 × 6 + 67.0 + 18.0) ÷ 100 = 6.31.....(2)								
	砂利の細率(假定) = (100 + 99 + 96 × 3 + 91.0 + 67.0 + 18.0) ÷ 100 = 6.63.....(3)								

上記計算表の如く砂の細率は 2.29 となります ((1) 式参照) 強度を主とする場合には砂の

細率は 2.8 乃至 4.0 位が良い筈です(道路改良會發行「道路の改良」第十卷第九號 pp. 110~111 参照) 亦ハット教授は混凝土道路の示様書には砂は No. 5) の篩を 20% 以上通してはならぬと申して居りますが此の砂は No. 50 の篩を 24.5% 通して居ります。丸子のいまま少し上流には更に細率の大なるものが容易に得らるゝと存じますが何故採砂地の選擇を成されなかつたのでありますか。

次に砂利の細率は (2) 式に仍りますと 6.31 でありますが今四番篩を通すもの 9% の内 5% は No. 8 に止まり 3% は No. 48 に 1% は No. 100 に止まる砂と假定すれば前述の砂利の細率は 6.63 となります(第三式参照。) 此の砂と砂利を 2.3:6.5 の比に調合致しますと其の細率 m は

$$m = rm_f + (1-r)m_s$$

上式に於て

$$\text{砂の細率 } m_f = 2.29,$$

$$\text{砂利の細率 } m_s = 6.63,$$

砂の容積と砂及砂利を各々別々に計りたる容積の和との比

$$r = 2.3 / (2.3 + 6.5) = 0.2614,$$

故に

$$m = 0.2614 \times 2.29 + (1 - 0.2614) \times 6.63 \doteq 5.5$$

となります。セメント對混凝土材眞實調合比は $1:(p+q)s$ 即 $1:(2.3+6.5)s$ で混凝土材の收縮係數 s の公式は

$$s = rw_f + (1-r)w_s / w_m,$$

御報告文中には w_m の値が記載されて有りませぬ故に今 $s = 0.86$ と假定致しますと眞實調合比は

$$1:(2.3+6.5) \times 0.86 \text{ 即 } 1:7.57$$

となります。

アブラム教授の圖表より A 曲線に相當する場合即各調合材料が上等にて施工が完全で充分なる養生を行ひ其の流動性は $1/2'' \sim 1''$ スランプする程度なる場合は辛じて $2000 \#/\text{sq}''$ の強度となりますが然らざる場合には B 曲線をとらねばなりませぬから漸く $1500 \#/\text{sq}''$ しか得られませぬ。然るに貴工事に使用された砂の細率が低いことゝ施工法の御説明中の水、セメント比とスランプ・テストとの割合、搗固工及養生法等を考へまして現場より切り取られた實物寫眞を拜見致し想像致しますと當然後者に屬するものと存じますが如何でせうか(吉田博士著鐵筋混凝土施工法、宮本博士著混凝土及鐵筋混凝土及 Bulletin No. 1, Structural Materials Laboratory, Lewis Institute, by Duff A. Abrams. 参照)。

亦イリノイ大學タルボット教授の絶對容積比から考察したいと思ひます、貴報告文中より

砂の空隙率 $V_s = 42\%$,

砂利の空隙率 $V_g = 39\%$,

セメントの比重 $= 3.08$,

セメント 1 m^3 の重さ $= 1500\text{ kg/m}^3$

(セメント重量は報告文中に記載されて有りませぬ故に假りに内務省規定に従ひます)

然る時はセメントの空隙 V_c は

$$V_c = (1 - 1500/3.08 \times 1000) = 0.513$$

依つてセメント 1 m^3 を用ふる時に、與へられたる調合 $1:2.3:6.5$ を絶対容積にて表はしますと

$$\text{セメント} : 1 - 0.513 = 0.487\text{ m}^3, \quad \text{砂} : 2.3 \times (1 - 0.42) = 1.334\text{ m}^3,$$

$$\text{砂利} : 6.5 \times (1 - 0.39) = 3.965\text{ m}^3$$

の割合となります、夫故に砂の絶対容積 a とセメントの絶対容積 c との比 a/c は

$$a/c = 1.334/0.487 = 2.74$$

となります、モルタルの空隙率が報告文中に有りませぬから今之を $V_m = 0.390$ であつたと致しますとモルタルの絶対容積は $1 - V_m = 1 - 0.39 = 0.61$ となります、 1 m^3 のセメントを使用した時の此の混凝土の出来上り高は、公式

$$c' + a'/(1 - V_m) + b'$$

上式に於て

c' = セメントの絶対容積,

a' = 砂の絶対容積,

b' = 砂利の絶対容積,

$$\text{より} \quad 0.487 + 1.334/0.61 + 3.965 = 6.95\text{ m}^3$$

故に此の混凝土の単位容積に於ける材料の絶対容積は

$$c = \frac{0.487}{6.95} = 0.0701, \quad a = \frac{1.334}{6.95} = 0.192,$$

$$b = \frac{3.965}{6.95} = 0.571$$

となります。仍つて此の混凝土の密度 d は

$$d = a + b + c = 0.0701 + 0.192 + 0.571 = 0.833$$

従つて此の混凝土の単位容積中の空隙 V は

$$V = 1 - d = 1 - 0.833 = 0.167$$

故に此の混凝土の空隙—セメント比 V/c は

$$V/c = 0.167/0.0701 = 2.38$$

となり亦セメント—空間比 $c/(V+c)$ は

$$c/(V+c) = 0.0701 / (0.167 + 0.0701) = 0.296$$

となります、タルボット教授の空隙—セメント比及セメント—空間比と材齢 28 日に於ける應壓強度との関係を基準水量を用いた時の曲線圖より上記混凝土は大約 1450 #/sq" となります、今貴工事の使用水量を基準水量の 1.2 倍と假定致しますと基準水量より大なる水量を使用した時と基準水量を使用した時との應壓強度の関係を表す曲線圖より約 85% ですから此の混凝土の 28 日目の強度は約 1230 #/sq" しかないこととなります(吉田博士著鐵筋混凝土施工法, 工學士内村三郎氏著鐵筋混凝土上卷, 及 Prof. Talbot; A proposed method of estimating the density and strength of concrete and of Proportioning the materials by the experimental and analytical consideration of the voids in mortar and concrete. A. S. T. M. Proc., Vol. 21, p. 940, 1921. 参照)

今若しモルタルの空隙率を 0.375 で有つたと致しますと基準水量に於ける強度は 1750 #/sq" となり 1.2 倍の使用水量の強度は 1500 #/sq" となります。

更に混凝土の表面積に依りて計算して見ます、容積比 1:2.3:6.5 混凝土を重量比に換算致しますとセメント 1 立方呎の重量を 94 封度(材料計量に關しては砂の外報告文中詳述されてありませぬ故假りに内務省規定に従ひます)とし、砂は:水 1 立方呎の重さ 62.4 封度、比重は 2.67、密度は 0.58、調合比は 2.3 ですから $62.4 \times 2.67 \times 0.58 \times 2.3 = 222$ 封度、同様に砂利は $62.4 \times 2.65 \times 0.61 \times 6.5 = 656$ 封度、で有ります故にセメント 1 封度に對しては砂 $222/94 = 2.362$ 封度、砂利は $656/94 = 6.979$ 封度の割合となります。

而して細率と其の表面積との關係は

混凝土 100 封度が有する表面積	250sq'	500sq'	1000sq'	1500sq'	2000sq'
混凝土の細率	6.50	5.75	4.40	2.90	1.50

で此の表面積と細率との關係は直線的に變化して居ります、然るに今表面積を求むる混凝土の細率は 5.5 で有りますが故に其の重さ 100 封度の混凝土が持つ表面積 A は

$$A = 500 + 500 \times \frac{5.75 - 5.50}{5.75 - 4.40} = 592 \text{ 平方呎}$$

而して混凝土 100 封度を使用せる混凝土中に含有するセメントの重量は $100 \times \frac{1}{2.362 + 6.979} = 10.7$ 封度となります故に混凝土表面積 100 平方呎に使用されたセメント量は

$$10.7 \times \frac{100}{592} = 1.81 \text{ 封度}$$

となります。

次に Hydro-Electric Commission of Ontario が混凝土を 4 種に區別致しました表を掲げますと

	A	B	C	D
混凝土の最小強度, #/□"	2 500	2 000	1 500	1 000
混凝土表面積 100□" に使用するべきセメント量(但基準水量)	3.18	2.58	2.08	1.48
水セメント比				
{ 最 小	0.68	0.78	0.91	1.14
{ 最 大	0.78	0.86	1.04	1.37

で有ります、之を圖示的に申しますと使用セメント量に對する混凝土最小強度の變化は直線的で有ります、水セメント比に對する最小強度の變化は何れも雙曲線に似た曲線をなして居ります。

今使用セメント量 1.81 #/100□' の混凝土の最小強度を計算致しますと、表の C 混凝土と D 混凝土との中間に位しますから其の最小強度 S は

$$S = 1500 - 500 \times \frac{2.08 - 1.81}{2.08 - 1.48} = 1275 \text{ #/□"}$$

而して此の混凝土に使用される可き水—セメント比は 1.02 乃至 1.14 で有りますが故に貴實驗報告と約一致して居ります。茲に於て筆者は從來の米國の文獻に徴し貴調合比は 2000 #/□" に非らずして 1300 # 乃至 1500 #/□" の設計と認めますが如何でせうか。

尙 1:3:6 調合比と同じ程度の調合比としては 1:2.3:6.5 の外にアブラム教授調合比 Practical limit より

$$\begin{array}{lll} 1:1.9:6.5, & 1:2.0:6.5, & 1:2.1:6.5, \\ 1:2.2:6.5, & 1:2.3:6.8, & 1:2.3:7.0, \end{array}$$

等の調合比を用ひて更に水—セメント比を 0.8 乃至 1.20 位に涉り各數種の御實驗が有れば唯單に 1:2.3:6.5 唯一のものよりも更に有利なる調合比が発見されたらと思はれます。

(3) 御報告の混合時間 1 分間は餘りに短い様に思はれます、現場にて用ふる小ミキサーでも 13 分以上集中コンクリート混合所等の大ミキサーにては少くとも 2 分間以上必要であると思ひますが如何 (吉田博士著鐵筋混凝土施工法参照)。

大體に於て混合時間 5 分間迄は 1 分間増加すると強度が約 9% 位増加するもので 5 分間混合すると 45%~30% の強度を増すのであるから混合所の事情が許す範圍で更に混合時間を増加されたら良いと思ひます。

此の混合時間の短い缺點の爲に混合所の試験體よりも現場にて調製された供試體の方が概して強度が強大有つた主因と認めていけないでせうか。

(4) 貴報告第二表のスランプ量と水—セメント比を對照しますとスランプ量が餘りに少い、之は調合比に於てセメント量が少いのが主因と存じますが外に何か原因が有りましたでせうか。

亦斯の如き流動性が低く比較的 workable でない混凝土には硅酸白土の如きを用ひて更により workable なる混凝土とする必要はないでせうか、即水—セメント比を増加せず更に流動性のみを増大する必要はないでせうか。

(5) 混凝土ブロック製作工場の搗固工及道路舗装工事にて施工基面を道路輓壓機にて十分に輓壓工を施した後混凝土を打ち此の混凝土を5噸前後の道路輓壓機にかけて十分に輓壓搗固工を成し得るが如き場合ならば0.5吋以下のスランプ程度の流動性にて宜いですが貴工場の如く蛸搗固工程にては0.5吋以上1.0吋以下位のスランプする程度の workability が適當では有りませぬか。

(6) 工事施工後の現場混凝土の養生法は如何なる方法を採用されましたか寒中で有るので特に此の點に關して詳述して頂きたいです。

以上伺ひました事項に於て混合時間を5分間とすれば其の強度が30~45%増加し、砂の細率高きものを用ふれば10~50%の強度を増加し、調合比と使用水量を厳選して搗固工の完全を期しますと20~50%の強度を増し結局最小強度が2000 #/sq" 以上となり所期の目的を達せられたのではないかと存じます。擱筆に臨み失言を謝します。