

重回帰によりフレッシュコンクリートから圧縮強度を推定する方法

日本鉄道建設公団 正会員 中森惣三郎

一般に w/c が 45% 以上の圧縮強度は c/w , c/v (セメント空隙比), $\sigma_{m1.5hr}$ (モルタル急速硬化による圧縮強度) 等の一元一次回帰で関係づけられているが, 同一配合で標準養生を行っても四季を通じると強度の推定誤差が大きい。

推定精度を高めるために先づ, 重回帰として寄与率の大きい独立変数を集める目的でコンクリートをウェットスクリーニングしたモルタルを分析して得た $C, W, S, c/w, s/c, M, air$, c/v ならびにコンクリートの sla, air, T 等の 11 個の独立変数の各種組合せと従属変数である σ_{28} との関係式を段階式重回帰^{注1)}で試算して集約したのが式(1)である。

次に, 打込み時のコンクリート温度がその後標準養生を行った場合の圧縮強度に及ぼす影響は¹⁾, 冬より夏は w/c が 0.6 で普通ポルトランドセメントは $45 \text{ kg/cm}^2 \cdot 15\%$, 高炉セメント B 種は $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot 10\%$ 低いので, 式(1)をコンクリートの温度別に 5 段階に分けて新しい方法を取纏めた。

この結果, 先づ独立変数の増加で推定誤差が小さくなると共に, 推定強度の異常誤差が大巾に低減した。

次に, コンクリートの温度別の回帰でバラツキが整理されて推定誤差が小さくなった。

なお, 分析や計算の方法にも²⁾ それなりの工夫を加え, 今後の課題と共に付記した。

1. 推 定 式

$$\sigma_{28} = b_0 + b_1 \frac{W}{C} + b_2 \frac{1}{M} + b_3 \frac{1}{T} \dots\dots\dots (1)$$

ここに $\frac{W}{C}$: ウェットスクリーンドモルタルを分析して得水セメント比
 M : 空気を追出したモルタルの水中重量 (g/モルタル資料 1g)
 T : コンクリート温度 (°C)

但し コンクリートの air は $(4 \pm 1)\%$ で一定のために寄与しなかった。

式(1)を用いて強度を推定する T は, 式(1)の係数を算出するときに用いた T の実測平均値の $\pm 2.5^\circ\text{C}$ 範囲にした。即ち, 四季を通じて強度を推定するためには冬 ($\overline{10}^\circ\text{C}$), 春もしくは秋 ($\overline{20}^\circ\text{C}$), 夏 ($\overline{30}^\circ\text{C}$) の 3 回/年に分けて式(1)を実測し, 次に $\overline{10}^\circ\text{C}$ と $\overline{20}^\circ\text{C}$, $\overline{20}^\circ\text{C}$ と $\overline{30}^\circ\text{C}$ というように実測値を合成して $\overline{15}^\circ\text{C}$, $\overline{25}^\circ\text{C}$ の式(1)を算出すれば 5°C 間隔に式(1)の係数が 5 組でき, 1 組の式(1)が受持つ範囲は $\pm 2.5^\circ\text{C}$ となって推定誤差が小さくなる。

注1) 段階式重回帰とは³⁾, 回帰式 $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots\dots\dots + b_k x_k$ の係数を最小二乗法により推定し, 検定のための分散分析表を求める。この場合, 回帰に対する寄与の最も大きい変数から取り入れ, 寄与の少なくなった変数は取り除く。最終的には, 指定された基準以上の有意性をもつ変数のみを取り入れた回帰式を求める。

この5組の式は試行の段階で不完全であったが、事前に生コン工場別に求めた結果実強度に対する推定誤差は普通ポルトランドセメントでは平均3%、最高5%であった。なお11変数の各種組合せを比較した高強度セメントB種の1例は表-1である。但し c/v はモルタルによる、 $\sigma_{28} = 240 \text{ Kg/cm}^2$

2. 分析方法と器具

分析方法は比重計を用いる方法⁴⁾、比重ピンを用いてモルタルの単位容積を測定するJIS A 1119とを導入改良した組合せ技術²⁾、測定時間は1人で8分間である。

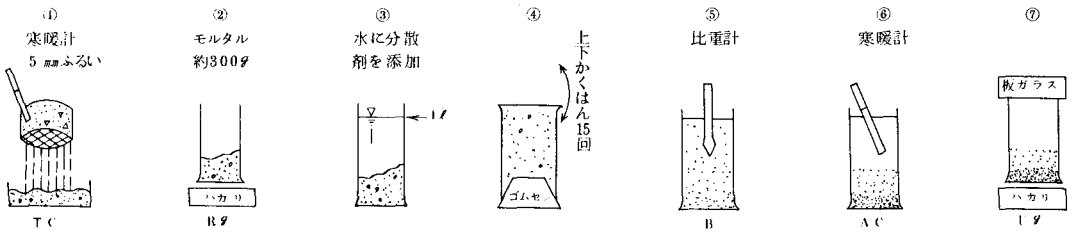


図-1 分析方法と器具

3. 計算方法と要点

計算はプログラム電卓で一つのプログラムを用いて

2. 編の五つの測定値を入力すれば、2分間で出力する。

計算の要点は、

① 図-2⁴⁾で s/e を3と仮定して Q から C を算出する

② $s/e = \rho_s \div (\rho_s - 1) \times [M - C \times (\rho_c - 1) \div \rho_c] \div C$ ⁵⁾

に①の C を代入して s/e を算出する。但し ρ : 比重

③ ②の s/e を①の s/e として C を再び算出し、収束する迄②、①を繰返す。

4. 本方法の前提

比重計はくわれ難い別注品があるので、これを使用するとよい。

分析値は真値と一致しないが、強度と相関々係がある⁶⁾。強度を推定するコンクリートは事前に求めた式(1)のコンクリートと同じ諸条件によらなければならない。

試験練り、プラント採取、荷卸し地点ないし打込み場所等のコンクリートは、同一配合で標準養生を行っても図-3の如く σ_{28} が異なるので、混同してはならない。

アジテータ車の輸送時間は2.編③の分散剤(ポゾリス No.8)

表-1 コンクリート温度15~20

°における、変数の組合せに

よる推定誤差の比較(Kg/cm^2)

独立変数	I	T					
	I	M	I	M			
	W	C	W	C	W	C	C
	C	W	C	W	C	W	V
絶対値	5	5	6	7	6	7	8
max	9	11	11	13	21	22	15

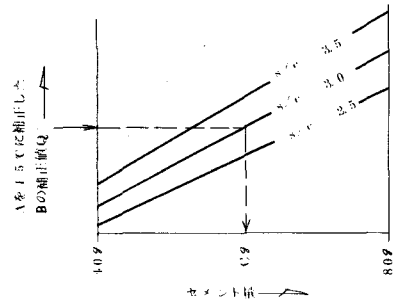


図-2 検索線

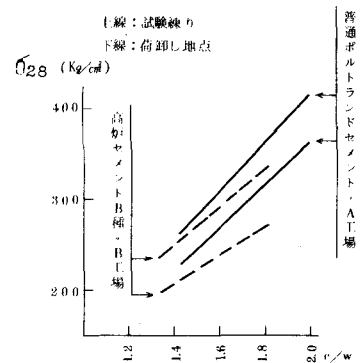


図-3 試験練りと荷卸し地点との σ_{28} の比較

の添加で界面活性作用によりセメント粒子が分散されて分析値には影響がない。

アジテータ車のドラム内の水洗を実施する～しないは、何れかに決める必要がある。

本方法は普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種に適用できた。

5. 今後の課題

第1編の推定方法は(T = 10, 15, 20, 25, 30)℃別の5組の式(1)の各線境で推定誤差が大きくなる。この対策として、図-4で T = 20℃の曲線を基準として他の温度の場合の強度を求める式(2)、(3)の案がある^{注2)}。

この方法論の推定誤差は平均 1 kg/cm²、最高 2 kg/cm²である。

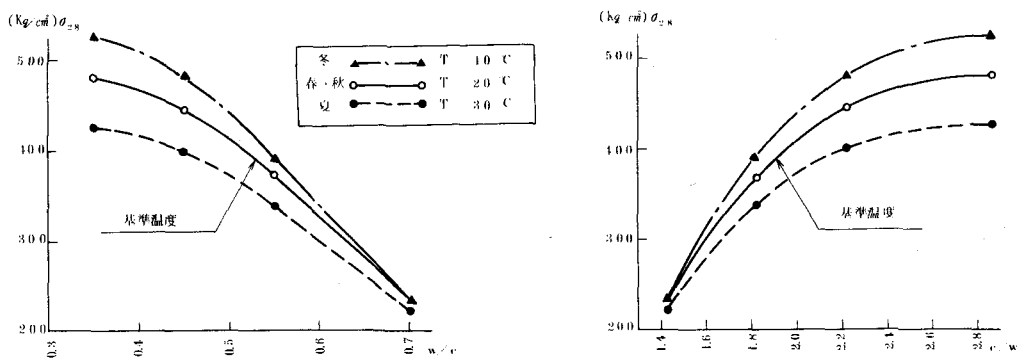


図-4 普通ポルトランドセメントによるコンクリートの打込み温度が
圧縮強度におよぼす水セメント比¹⁾、セメント水比との関係

$$\sigma_{28} = [-81.58 + 3829.19 (w/c) - 7987.69 (w/c)^2 + 4785.36 (w/c)^3 - 378.79 (w/c)^4] \\ + \{ 6.63 + \frac{T}{20.1} - 4.55 (w/c) - 7.86 (w/c)^2 \} (20 - T) \quad (2)$$

$$\sigma_{28} = 37.56 (c/w)^3 + (1.82 T - 429.15) (c/w)^2 + (1534.98 - 10.77 T) (c/w) \\ - \frac{T^2}{23.5} + 12.64 T - 1196.36 \quad (3)$$

注2) 図-4を式(2)、(3)に数式化する方法は、

$$\sigma_{28} = [\text{基準温度の}(w/c, c/w \sim \sigma_{28})\text{線における}w/c, c/w\text{に対する}\sigma_{28}] \\ + \{ (T=1^\circ\text{C})\text{当りの}\sigma_{28}\text{の増減値} \} (\text{基準温度} - \text{測定温度}) \quad (2), (3)$$

上式中の{ }内を求める順序は、

- ① w/c は 0.05, c/w は 0.2 ピッチにする。
- ② $T = [(20-30) - (10-20)]$ の σ_{28} を①毎に求め、その平均値を x とする。
- ③ $x = (30 \div y - 10 \div y) \times 10$ になる y を求める。式(2): 20.1, 式(3): 23.5 となる。
- ④ $\{ [(20-30) - 10 \times 30 \div y] + \{ (10-20) - 10 \times 10 \div y \} \} \div 2 \div 10$ を①毎に σ_{28} を求める。
- ⑤ ①と④から $w/c, c/w$ の多項式を求める。
- ⑥ $\{ ⑤ + T \div y \}$ が求むる $\{ (T=1^\circ\text{C})\text{当りの}\sigma_{28}\text{の増減値} \}$ である。

式(3)は式(2)の括弧を外した型である。

図-4の実験を重ねて標準図化できれば、各生コン工場は任意の時季に実測した1本の($w/c \sim \sigma$)曲線から式(2)、(3)が簡単に補正できると思われる。

目下、冬春夏と一貫して纏めた成果に基づき式(1)と(2)、(3)との組合せを考案して一年後に論文報告集に投稿すべく実験中である。

謝 辞

本研究は近畿大学理工学部 水野俊一工博、日本電信電話公社 近畿電気通信局 データ部ならびに日本鉄道建設公団大阪支社 星野鐘雄計画部長をはじめ多くの方々に御指導を頂きました。なお実験の場所順は井原生コン、西沢生コン、奥村組上月工事所、船曳生コン、住友セメント大阪支店技術サービス課・赤穂工場試験室、赤穂生コン、ポゾリス物産の各社で、ここに深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 丸安隆和・小林一輔・阪本好史：高炉セメントの研究，土木学会 コンクリート・ライブラリー 25号，1970. 4
- 2) 中森豊三郎：まだ固まらないコンクリートから圧縮強度を推定する方法，土木学会第30回年次学術講演概要集 V-39, 1975. 10.
- 3) 日本電信電話公社：DEMOS-E パッケージ・プログラム 説明書，1973. 8
- 4) 水野俊一：まだ固まらないコンクリートの水セメント比の一試験方法，土木学会 コンクリート・ライブラリー 38号，1974. 9.
- 5) 神田衛・石渡章介：まだ固まらないコンクリートから圧縮強度を推定する方法，土木学会 コンクリート・ライブラリー 38号 1974. 9.
- 6) 池田尚治：急速硬化によるコンクリート強度即時判定方法に関する研究，土木学会論文報告集，1976. 11.

(1980. 3. 15・送付)