V －13　　コンクリートの圧縮応力～ひずみ曲線の時間的効果について

宮崎大学　正員　○藤　瀬　　勉
〃　　〃　　太　田　俊　昭
〃　　〃　　久　原　中　吉

1、序言

コンクリート構造解析の分野においては塑性解析の大部分が、コンクリートの応力～ひずみ曲線を時間に無関係ないわゆる *bilinear* 型もしくは放物線の曲線で理想化した仮定を用いており、その結果、複雑な塑性問題に関する研究が数多く見られるようになってきた。確かにコンクリートは、弾性範囲のある短期載荷のもとでは、時間に近似的には無関係であると考えられるが、本質的には時間と不可分の粘弾塑性体といえる。先に著者らは、レオロジー理論を用いて解析に適した公式をコンクリートの応力～ひずみ曲線に対して導いたが、これに続いて本論文では、特にコンクリートならびにモルタルの圧縮応力～ひずみ曲線の時間的効果について考察を行ない一応の成果をえたので、その一部を報告する。

2. 応力～ひずみ方程式

一定応力速度 $\dot{\sigma}_o = const$ のもとでのコンクリートおよびモルタルの応力～ひずみ曲線式は文献(1)で誘導しているのでこゝではその結果のみを以下に示す。

$$\sigma_c(t) = E^*\left(1 - \frac{\alpha_o^*}{2}\right)\varepsilon_c(t) + \left\{\sigma_c(t-t_o) - E^*\left(1 + \frac{\alpha_o^*}{2}\right)\varepsilon_c(t-t_o)\right\}e^{-\alpha_o^*} \text{-------} (1)$$

たゞし、力学的モデルは、図－1のようになり、上式中の記号、定数は次のとうりである。

こゝに、$\sigma_c(t)$, $\varepsilon_c(t)$：時刻 t の応力とひずみ、　　t：標準時間間隔

$\alpha_o^* = \mu^x\alpha_o$,　$\alpha_o = \frac{E}{\eta}t_o$：粘性に起因する定数で、粘性定数と仮称する。

また、一定応力速度 $\dot{\sigma}_o$ のときの粘性定数 α_o は、くり返し試算によって次式(2)で求められる。

$$\alpha_o = \frac{\sigma_c(t_n) - E_c\varepsilon_c(t_n)}{E_c\{0.5\varepsilon_c(t_n) + \varepsilon_c(t_{n-1})e^{-\alpha_o} + \cdots + \varepsilon_c(t_1)e^{-(n-1)\alpha_o}\}} \text{------} (2)$$

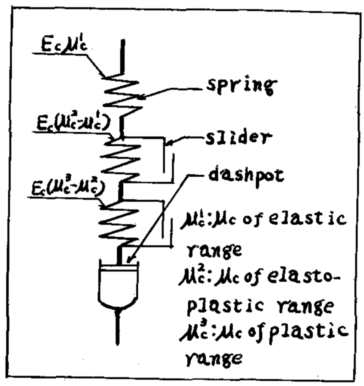
こゝに、$t_i\,(i=1.2.3,\cdots n)$ は第1弾性領域の時刻を表わす。ところで、任意の応力速度 $\dot{\sigma}$ に対する粘性定数 α は、一般に $\dot{\sigma}_o/\dot{\sigma}$ の函数で与えられる。すなわち、

$$\alpha_o/\alpha = f(\dot{\sigma}_o/\dot{\sigma}) \text{---------} (3)$$

一方、塑性定数 μ_c^x は、最小自乗法よりえられる次式によって定めることができる。

$$\mu^x = \frac{\sum\{\sigma_c(t_j) - \sigma_c(t_{j-1})\}\left[E_c\{\varepsilon_c(t_j) - \varepsilon_c(t_{j-1})\} - \alpha_o(t_{j-1})\right]}{\sum\left[E_c\{\varepsilon_c(t_j) - \varepsilon_c(t_{j-1})\} - \alpha_o\sigma_c(t_{j-1})\right]^2} \text{---} (4)$$

こゝに $t_j\,(j=1.2\cdots m)$ は、該当領域における時刻を意味する。



図－1

式(1)～(4)より、任意の応力速度 $\dot{\sigma}$ に対するコンクリートの応力～ひずみ式が次の式で求められる。

$$\sigma_c(t) = \frac{\Delta\sigma_o}{\Delta\varepsilon_c(t)}\{\varepsilon_c(t) - \varepsilon_c(t-t_o')\} + \sigma_c(t-t_o') \text{------} (5)$$

$$\Delta\varepsilon_c(t) = \left[\Delta\sigma_o + \sigma_c(t-t_o') - \{\sigma_c(t-t_o') - E^*(1+0.5\alpha^*)\varepsilon_c(t-t_o')\}e^{-\alpha^*}\right/E^*(1-0.5^*) - \varepsilon_c(t-t_o')$$

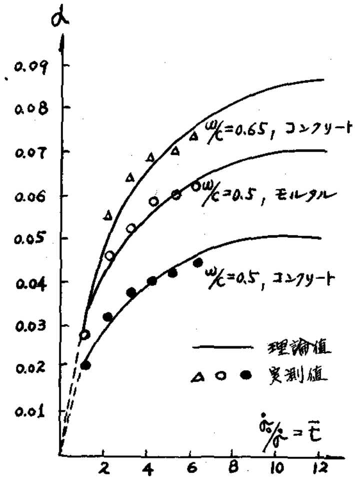
$$\alpha^{*}=\mu^{x}\alpha,\quad \alpha=f(\dot{\sigma}_0/\dot{\sigma}),\qquad t_0':\ \text{時間間隔},\ E^{*}=\mu^{x}E_c$$

3、実験結果および考察

コンクリートおよびモルタルの供試体に一定応力速度3.657 $^{Kg}/_{cm^2}/sec$ ～ 0.133 $^{Kg}/_{cm^2}/sec$ の範囲内の静的圧縮応力を加え、応力〜ひずみの関係、粘性定数、塑性定数などを求めて、これに対する時間的効果を調べてみた。

i) 塑性定数の時間的効果について

実験結果より、コンクリートおよびモルタルの特性変化点は、その配合、材令によって変化するが、応力速度3.657 $^{Kg}/_{cm^2}/sec$ ～ 0.133 $^{Kg}/_{cm^2}/sec$ の範囲内では、同材質のコンクリートおよびモルタルの特性変化点は時間に関係なく一定となった。ゆえに、ここで対象とする短期載荷時間内では弾性、弾塑性限界応力ならびに塑性定数 μ^{x} は時間に関係しないと仮定することができる。



図−2

ii) 粘性定数の時間的効果について

一方、粘性定数 α はコンクリートおよびモルタルの配合、材令によって変化する。また、応力速度3.657 $^{Kg}/_{cm^2}/sec$ ～ 0.133 $^{Kg}/_{cm^2}/sec$ の範囲内でも、応力速度に非常に関係あることが実験から認められた（図−2参照）。

コンクリートおよびモルタルの粘性定数 α の実験式を以下に示す。

(1) コンクリート（$w/c=0.5,\ \dot{\sigma}_0=3.657\ ^{Kg}/_{cm^2}/sec,\ E_c=26.14\times10^{4}\ ^{Kg}/_{cm^2}$）

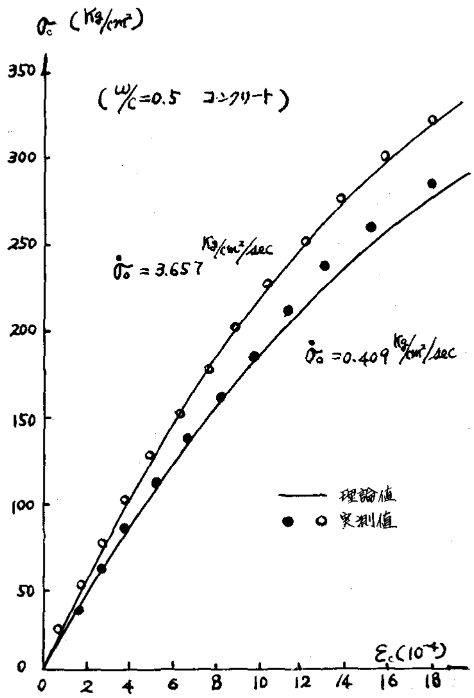
$$\alpha=0.05783-\frac{0.08150}{\bar{E}}+\frac{0.04443}{\bar{E}^2},\quad(\dot{\sigma}_0/\dot{\sigma}\geqq1)$$

(2) コンクリート（$w/c=0.65,\ \dot{\sigma}_0=3.302\ ^{Kg}/_{cm^2}/sec,\ E_c=22.87\times10^{4}\ ^{Kg}/_{cm^2}$）

$$\alpha=0.10000-\frac{0.15758}{\bar{E}}+\frac{0.10484}{\bar{E}^2},\quad(\dot{\sigma}_0/\dot{\sigma}\geqq1)$$

(3) モルタル（$w/c=0.5,\ \dot{\sigma}_0=3.454\ ^{Kg}/_{cm^2}/sec,\ E_c=22.02\times10^{4}\ ^{Kg}/_{cm^2}$）

$$\alpha=0.07764-\frac{0.09314}{\bar{E}}+\frac{0.04361}{\bar{E}^2},\quad(\dot{\sigma}_0/\dot{\sigma}\geqq1)$$



図−3

前述の理論式(5)および上記実験式を用いて応力〜ひずみ曲線を求めれば、図−3のようになり、著者らが誘導した式による応力〜ひずみ曲線は、実験応力〜ひずみ曲線に定性、定量の両面に極めてよく合致した。このことからコンクリートおよびモルタルの力学的特性を粘性効果および時間的効果を考慮したMaxwell要素の力学的モデルで表わした仮定が妥当なものであることが実証された。

（参考文献）

1) 太田、巖瀬：コンクリートの応力〜ひずみに関する基礎的考察　土木学会西部支部研究発表会論文集 S.45.2.22

2) 畑野正　：コンクリートの静的圧縮変形、破壊に対する時間的効果　土木学会論文集 第70号