II－15　コンクリートの力学的性質に関する基礎的研究

岐阜大学正員　田野宮哲郎
○岐阜大院学生員　前島　正彦

1. まえがき

この研究はコンクリートの短時間応力ひずみ特性を数理的に処理しようとしたものである。1軸応力に対する関係式は数多く提案されているが、いずれも他の応力状態に適用はできない。

2. コンクリートの変形に関する考察

コンクリートはよく知られているように、Maxwell，Kelvinモデルで表わされるような時間依存の変形をするが，そのモデルに対する粘性係数が大きく短時間の測定には関係しない。また弾性変形には多少非フック弾性状態が見られるが，ほとんど線形と言える。したがって問題となるのは負荷と同時に生ずる永久変形だけである。これは負荷によって発生するミクロクラックによるものと思われる。Hernit が変形時に生ずる雑音を測定した結果，変形の急増につれ雑音も同時に急増したことからも推測でき，また Berg，Frendentahl 等の観測によれば，このミクロクラックは長さ数ミリ，巾数ミリロン程度である。ミクロクラック発生の原因となるものはコンクリートの乾燥収縮による潜在クラックおよび空げき、毛管げき周囲の応力集中によるものと思われる。

永久変形の中でもっとも注意すべきは，ダイレイタンスであろう。よく知られるように単軸圧縮の際，応力の増加につれてポアソン比は増大する。縦ひずみ増分と横ひずみ増分の比は0.5以上となる。つまり接線圧縮率が負となる。しかし，これはありえない事であり，また内部応力の非均一分布によるものでもない（解析結果は骨材周辺の引張トラクションの発生を示すが，等方応力を正とするほどのものではない）。結局この体積膨張はせん断力によるもの，つまり正のダイレイタンスである。

3　応力ひずみ関係式

応力ひずみ関係式を導くにあたって次の仮定をする。

1）弾性変形と永久変形は独立であり，弾性変形はダイレイタンスを示さないフック弾性である。

2）永久変形のダイレイタンスはひずみ履歴の効果としてのみあらわれ，増分形で書かれた応力ひずみ式では等方応力とせん断応力は交差しない。

3）コンクリートは等方かつ均質である。

等方性の仮定からひずみ履歴の効果はひずみ履歴テンソルの不変量の形であらわれなければならない。dE_v を増分等方ひずみテンソル，dE_0 を増分偏差ひずみテンソル，dT_v を増分等方応力テンソル，dT_0 を増分偏差応力テンソル，E を体積ひずみの 1/3，γ を偏差ひずみテンソルの2次不変量の平方根 P を等方応力，とし，等方圧縮と等方引張では変形が異なるとすると次の式が考えられる。

$$dE_v = F\{a_0 + (a_1 + a_2\,\mathrm{sgn}(P))|E| + \gamma\,\mathrm{sgn}(P)\}\,dT_v$$

$$dE_0 = C\{b_0 + (b_1 + b_2\,\mathrm{sgn}(P))|E| + \gamma\}\,dT_0$$

また C を偏差応力テンソルの2次不変量の平方根とする。等方性であるから主応力方向のみを考え

ればよい。とくに，$\sigma_2=\sigma_3$ のとき $\varepsilon_2=\varepsilon_3$ であり，かつ $|T_0+\Delta T_0|-|T_0|=|\Delta T_0|=d\tau$，同様に $\{\Delta E_0\}=d\gamma$ であり，$dp=k\,d\tau$ とおくと(1)，(2)式は

$$dE/d\tau=kF(a_0+\bar{a}E+\gamma\ \mathrm{sgn}(k))$$

$$d\gamma/d\tau=C(b_0+\bar{b}E+\gamma)$$

$\bar{a}=a_1+a_2\,\mathrm{sgn}(k)$，$\bar{b}=b_1+b_2\,\mathrm{sgn}(k)$ であり，k が定数のとき，(3)，(4)を連立して解き，$\tau=0$ で $E=0$，$\gamma=0$ とすると

$$E=C_1(\exp(\lambda_1\tau)-1)+C_2(\exp(\lambda_2\tau)-1)$$

$$\gamma=C_3(\exp(\lambda_1\tau)-1)+C_3(\exp(\lambda_2\tau)-1)$$

$1/F=|k|(C_3/C_1-C_4/C_2)/(\lambda_1-\lambda_2)$，$1/C=(C_3/C_1-C_4/C_2)/(\lambda_1C_3/C_1-\lambda_2C_4/C_2)$

$\bar{a}=C\lambda_1/kF-C_3/C_1\,\mathrm{sgn}(k))\,\mathrm{sgn}(E)$　$a_0=\bar{a}(C_1+C_2)\,\mathrm{sgn}(E)+(C_3+C_4)\,\mathrm{sgn}(k)$

$\bar{b}=(\lambda_1/C-1)\cdot C_3/C_1\cdot\mathrm{sgn}(E)$　$b_0=\bar{b}(C_1+C_2)\,\mathrm{sgn}(E)+C_3+C_4$

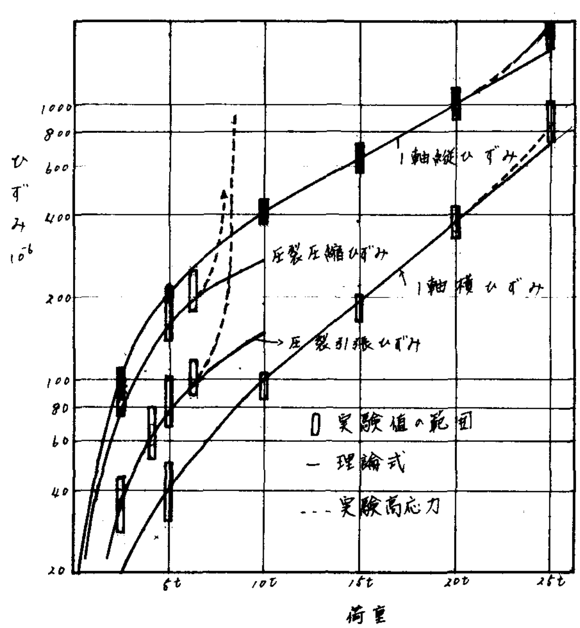
体積弾性率K，せん断弾性率G，$C_1\sim C_4$，λ_1，λ_2 は Deming の最小自乗法で決定できる。

4　結果ならびに考察

実験に使用したコンクリートの配合は，粗骨材最大寸法15mm，スランプ1.5±ス，単位水量170Kg，単位セメント量425kg，$W/c=0.40$，$S/a=0.40$，細骨材723Kg/m³，粗骨材1099Kg/m³ のものである。実験結果は図の通りである。求められた諸定数は，$E=33.3\times10^4$ Kg/cm²，$\nu=0.207$，$1/F=79.1$ Kg/cm²，$1/c=46.4$ Kg/cm²，$a_0=3.86\times10^{-6}$，$\bar{a}=1.21$，$b_0=3.74\times10^{-6}$，$\bar{a}=0.022$ である。

高応力状態になると，ひずみの進行は理論式よりはるかに大きくなり，塑性流れを示す。ほぼ一軸破壊荷重寸前で1分間に約120×10^{-6}の割合でこの流れは進行した。これは安定であったミクロクラックが高応力によって成長をはじめたためであろう。

仮定した式は一軸応力状態と圧裂試験にはよく合っている。等方引張応力が働く実験を行わなければ，パラメタ a_2，b_2 は決定できない。これらパラメタを支配する第一の要因は間ゲキ率であり，つまりはW/cであることはまちがいない。除荷・再負荷に関する考察がこの式には含まれていないので，金属塑性の理論にダイレイタンスの概念を含めた式を検討中である。



参考文献

Volume Changes of Concrete: Robert G. L'Hermite　Chemistry of Cement 1960　Paper V-3　659～702