九州産業大学　正員　宮川 邦彦

1. まえがき

コンクリート構造物に対する設計基準の改変気運が高まるなかで，近年，高応力域のコンクリート諸特性に関する研究が盛んに行われている。周知の通り，コンクリートの力学特性は低応力域でも時間依存性の現象であるが，特に破壊前後のそれは，塑性流動，すなわち，コンクリート内部の微細ひびわれ進展が載荷速度と密接に関係するため，時間要素を無視して考えることはできない。

本研究は時間依存破壊の基礎的な研究テーマの一つとして，剛性試験時の応力－ひずみ曲線を実測するとともに，応力平衡化回転モデルによる同曲線の解析法，ならびに実測曲線と解析曲線との比較について報告する。

2. 応力平衡化回転モデルによる応力－ひずみ曲線の解析法

構造材料の力学特性を支配する要因としては (1)；各構成素材の特性値，(2)；各素材の配列構造，(3)；各素材の容積割合，の三つであろう。

図－1のように，応力平衡化回転モデルと従来の力学モデルとはモデル中の要素の配列を考慮すれば，同じ式となる。だが，従来の力学モデルには(3)の要因が間接的にしか含まれておらず，内部破壊を生じるような高応力域での変形挙動解析には不適当である。それに対し，応力平衡化回転モデルは(3)の要因を腕の長さとして組入れているため，その長さをコンクリートの内部破壊と関連させて適当に表示することができれば，このような問題の解析も可能である。

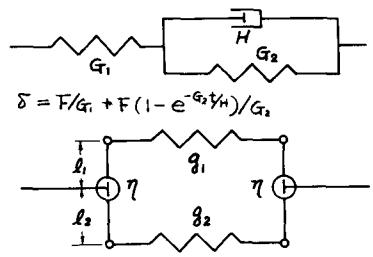


図-1 力学モデルの比較

剛性試験時の応力－ひずみ曲線を求めるため，本研究では図－2に示すモデルの変形（ひずみ）速度が一定となるような載荷条件で解析した。ただし，数値計算では，荷重増加に伴うコンクリートの内部破壊をセメントペースト部に作用する応力の大きさと関連させて，式－1のように内部破壊係数（Z）を仮定し，モデル中の有効な腕の長さ l_{11}, l_{21} がZの値で変化するとして Step by Step 法により求めた。

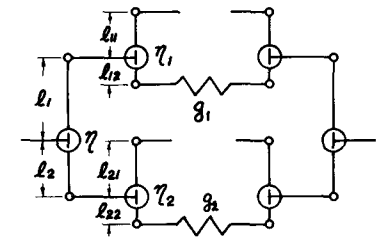


図-2 応力平衡化回転モデル

$$Z_n = 1 - \left\{ \sigma_{cpn} / (\sigma_{cpu} \cdot Z_{n-\frac{1}{2}}) \right\}^2 \quad \cdots\cdots \text{式-1}$$

$$Z_{n-\frac{1}{2}} = (Z_n + Z_{n-1})/2$$

ここに σ_{cpn}；第n時間間隔の終りに於けるセメントペーストの応力

σ_{cpu}；セメントペーストの圧縮強度

Z_n；第n時間間隔の終りに於ける内部破壊係数

Z_{n-1}；第n-1時間間隔の終りに於ける内部破壊係数

なお，モデル中の腕の長さ l_1, l_2 はそれぞれコンクリート中の骨材部とセメントペースト部との容積割合であり，l_{11}, l_{21} の初期値はコンクリートおよびセメントペーストの動弾性係数の伸びから決定した。

表－1　コンクリート配合

スランプ範囲	空気量	W/C	s/a	W	混和剤
cm	%			kg/m³	cc/m³
10～20	3.0±0.5	0.56	0.42	190	100

注）普通ポルトランドセメント：比重 3.17
細骨材（海砂）比重 2.56 吸水率 1.21 粗粒率 3.36
粗骨材（川砂利）N 〃 2.48 〃 4.23 〃 7.16
（砕石）C 〃 2.73 〃 0.75 〃 6.66
（軽量骨材）L 〃 1.55 〃 5.84 〃 6.18
混和剤：AE剤

表－2　コンクリート・セメントペーストの諸特性

配合記号	アリージング率	材令	圧縮強度	動弾性	静弾性
		日	kg/cm²		×10³ kg/cm²
N C	2.4	7	142	2.40	1.72
		28	236	2.76	2.20
C C	1.4	7	170	3.10	2.37
		28	291	3.66	2.92
L C	4.2	7	147	1.80	1.68
		28	253	2.08	2.09
C P	15.0 %	7	180	1.07	0.90
		28	369	1.42	1.28

注）CP：セメントペースト
アリージング率：打設3時間後の値

3. 剛性試験の結果および考察

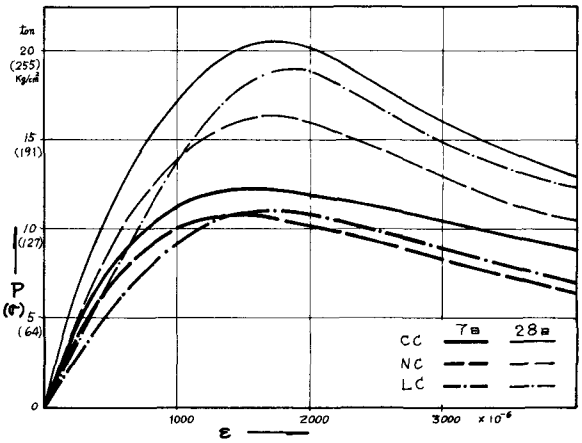
剛性試験は，50ton 万能試験機の圧縮部にコンクリート円柱供試体（φ10×20cm）を置き，引張部にφ25mm のPC鋼棒を固定し，コンクリートの内部破壊による剛性低下を鋼棒で一部補いながら，その鋼棒のひずみ速度が一定になるように手動で調節しながら行った。

実験に使用した材料およびコンクリート配合を表－1に，コンクリートおよび同配合のセメントペーストの諸特性を表－2に示す。

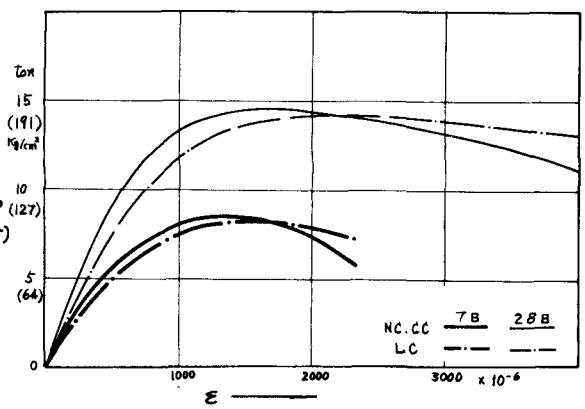
剛性試験は標準養生したコンクリート供試体を材令7日と28日で三本づつ実験し，その平均値から図－3に示す応力－ひずみ曲線を得た。なお，コンクリートのひずみ値は供試体周面三ヶ所に固定した1/1000 mm ダイヤルゲージ（固定長 17cm）の平均変位量から求めた。試験時の供試体のひずみ速度は3.0～4.0 μ/sec とほぼ一定であった。

従来の研究結果と同様に，若材令時の応力－ひずみ曲線の形状は最大応力点以後の下降部の低下が緩やかでしかも直線的であるのに対し，長期材令時のそれは急激でしかも僅かに下に凸の曲線を呈する。ただし，最大応力点でのひずみ値（NC；1500～1700μ CC；1600～1800μ LC；1800～2000μ）は他者の研究結果より多少小さい。

粗骨材の相違に関しても顕著な差異は見られないが，これは本実験に用いたコンクリートの圧縮強度（σ_{28}）が 250 kg/cm² 程度であったことにも関係する。



図－3　実測応力－ひずみ曲線



図－4　解析応力－ひずみ曲線

4. 実測曲線と解析曲線との比較

図－4に回転ダッシュポットの粘性係数を $\eta = 20\,E_{\varphi\infty}$，$\eta_1 = 1.5\,E_{\varphi\infty}$，$\eta_2 = 300\,E_{\varphi\infty}$ と仮定して求めた解析曲線を示す。なお，η値は分単位に対するもので，$E_{\varphi\infty}$ はセメントペーストの最終動弾性係数である。

解析曲線の形状は実測曲線のそれとは逆に，長期材令ほど最大応力点以後の下降部の低下が緩やかであり，粗骨材の相違に関しても，特に川砂利コンクリート（NC）と砕石コンクリート（CC）とに差異がなく，実測曲線と大幅に相違している。ただし，軽量骨材コンクリート（LC）の最大応力点でのひずみが川砂利や砕石コンクリートのそれより大きくなる点や長期材令ほど最大応力点でのひずみが大きくなる点は実測曲線の傾向と一致している。

解析曲線の形状は内部破壊係数（ξ）や回転ダッシュポットの粘性係数（η）の値で大幅に変化するため，今後，さらにモデル解析に用いる係数値を十分検討すべきであると考える。

上記のように，応力平衡化回転モデルによる剛性試験時の応力－ひずみ解析にはまだ多くの問題点が残されているが，同モデルは同様な解析手法でクリープ破壊現象などの解析にも応用できる。