

九州大学 生産研 正員〇 江崎 哲郎
工学部 徳光 善治

1. 緒言

コンクリートの変形・破壊に及ぼす持続荷重の影響は、破壊機構解明の研究における重要な対象の一つである。持続荷重の影響あるいは時間経過を考慮に入れたコンクリートの応力-変形の関係および破壊条件と見出すことは、正確な変形、破壊を知ることだけでなく、主として弾性論に基づいた許容応力と基準とする設計法では適用できない、部材の終局強度に近い応力レベルにおける設計法の確立に対し重要な位置を占めるものと考えられる。

筆者らは、数年来、巨視的立場から高応力レベルにおける時間依存の変形と破壊の実験的研究を行なっているが、比較的解明されている低応力レベルの場合と同じ取扱いのできない部分が多い。従って、ここでは (1)破壊限度(クリープ限)の推定、(2) 応力レベルと変形の関係、(3) 時間を考慮した応力-ひずみ曲線の表示、(4) 実験式による曲線の近似をとり上げ、低応力レベルから高応力レベルまでを含めて比較検討することにする。

2. 破壊限度(クリープ限)の推定

表-1 クリープ限

単調増加荷重よりも持続荷重の下で耐えうる最大応力が低いことはよく知られているが、その具体的な破壊限度(クリープ限)については短時間試験の場合の最大応力の70~90%程度である。(表-1) 研究者によって異なるのは、実験値のばらつきが大きいこと、時間的制約から比較的短時間の結果からの推定によるもの、基準となる応力レベル100%のとり方の相違が当然考えられるが、その他に載荷材令、配合などにも大きく影響される。従ってより精度に求めるには、むしろ微視的クラックの発達、横方向ひずみ、見掛けの体積ひずみ等と結びつけて推定する方がよいように思われる。

研究者	クリープ限	供試体
Lyse	80(%)	角柱
Graf	角柱強度	円柱
Shank	85	"
Price	70	—
坂	76	円柱
Rüsch	80	角柱
Neville	85~90	円柱
Hsu	70~90	"
Desai	77~85	"
筆者	77	"

3. 応力レベルと変形の関係

クリープに関する Hook の法則といわれる Davis の法則は低応力では成立すが、高応力レベルにおいて矛盾するのは当然であろう。この比例限度は約30%といわれているが、例えば Neville の実験では図-1に示すように、90%付近まで比例する結果であり、一方 Roll の実験では、(図-2) 23%以下しか比例しない。しかし一般には、60%付近までは一応比例すると考えてよいであろう。図-3は短時間の

応力-ひずみ曲線(2)と両対数表示(b)したもので、一般には3つの折線からなるとされている。折点は $\sigma_u = 15 \sim 25\%$ 、 $\sigma_u = 70 \sim 90\%$ で材料内部の応答の変化点を示し、 σ_u で microcrack がはじりはじめ、 σ_u で mortar crack が発達して限界状態が始まる。従って σ_u がクリープ限と一致すると考えてよい(Desai

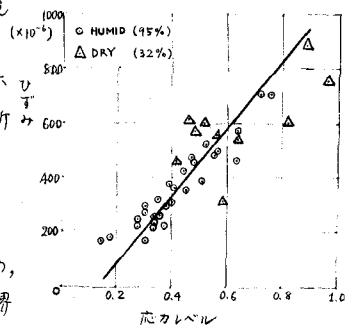


図-1. Nevilleの実験結果

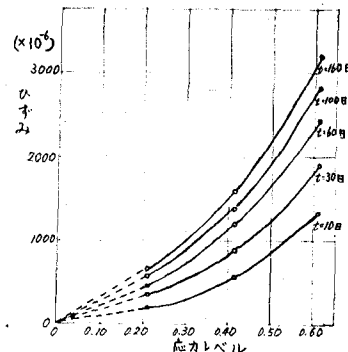


図-2. Rollの実験結果

の値はこの方法によるものである。) これらに対応して比別限度と考えれば Roll の結果は一応妥当であるが図-3 (b)の②の領域でも (クリープ係数)=(クリープ変形)/(瞬間変形)はほぼ一定となり、比別に近いが完全に連続体とはいえない。また図-3の方法により、ある時間定荷重持続後の応力-ひずみの関係とプロットすると図-4 のようになる。低い方の折点は明らかでないが、70~80%付近では明らかな折点が認められ、この付近がクリープ限と推定できよう。

4. 時間を考慮した応力-ひずみ曲線の表示

図-5 は Rüsch が求めたひずみ速度と一定に保った応力-ひずみ曲線で、速度一定のため、明らかな descending branch が見られる。この応力-ひずみの関係は筆者らが求める時間依存の破壊において破壊の境界となるものである。ここで圧縮領域における巨視的立場からみた時間依存の破壊領域、(これは応力の変化が急激に変らないでクリープ破壊を生じる領域)の応力、ひずみおよび時間を軸にとった次元表示を考えてみる。これには次のような条件と設ける。

- (1) 短時間試験におけるひずみ速度と時間にほとんど影響のない速度と考え、載荷中に、この速度と越えた場合には破壊したものと考える。(短時間速度以上ではクリープ破壊は問題とならない)
- (2) 負のひずみ速度となる場合、すなわち除荷の過程は除外する。
- (3) 荷重は急激な変位としない。このような仮定の下に図-6 に示した2つの並行した曲面が考えられる。

この曲面は飛行機の翼に似た形状で、 $t=t_0$ で切った断面は破壊線で示した形状としており、 t_0 が大きくなるほど曲率は小さく低くなり方向に広がる。上下面は各々定ひずみ速度、定応力における軌跡群からなる。面で % がピークと過ぎた付近(図ではBC)で上下面が交差するが、この付近で初めの下面は消滅する。例えば定ひずみ速度の場合は原素より $\epsilon/t = \text{const}$ の方向に上面と移動する。また定応力の場合は応力 σ でA点と出発して下の曲面と $\sigma = \text{const}$ のレベルで移動する。すなわちこの2つの曲面内にある場合が、一般的に時間依存の破壊におし安定した領域といえ、曲面の上になれば不安定、破壊に至るものと考えてよいであろう。曲面の下になる場合は除荷の過程であり、破壊は問題とならない。なお、この領域が明らかになれば、構造の任意の荷重経路における時間依存の変形と破壊が明らかになると考えられる。

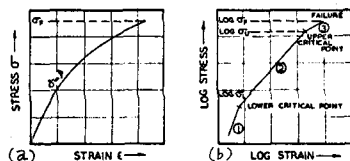


図-3. 応力ひずみ曲線の両対数表示

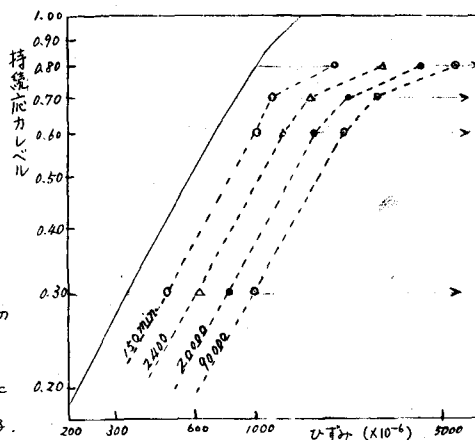


図-4. 両対数表示した持続後の応力-ひずみの関係

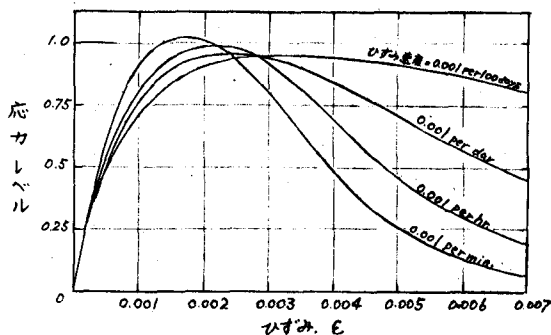


図-5. Rüsch による定ひずみ速度の応力-ひずみ曲線

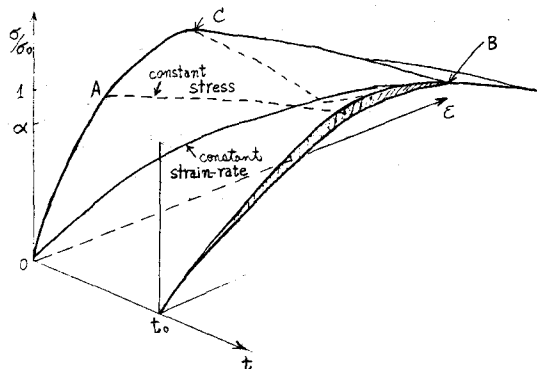


図-6. 時軸を入れた応力-ひずみの表示