

竹中技術研究所 正会員 ○ 大野 定俊
 岐阜大学 正会員 六郷 恵哲
 岐阜大学 正会員 小柳 治

1. はじめに

近年、軽量コンクリートを始めとし高強度コンクリート、鋼繊維コンクリート、レジンコンクリートなど、種々の性能を持つコンクリートが開発されてきたことにより、これら種々のコンクリートの力学的性質を論ずる上では、圧縮強度等の強度特性を考慮するだけでは不十分であり、変形特性あるいは靱性を含めた評価が必要であると考えられる。コンクリート部材の設計においても、限界状態設計法の採用もあって部材の終局にいたるまでの逐次的な過程を明確にする必要が生じ、最大耐力以降の下降域を含む応力-ひずみ関係を測定する必要性が増してきている。コンクリートの完全な荷重-変位関係を求める上では剛性試験機が一般に用いられるが、供試体の破壊が不安定となる場合には剛性試験機では不十分で、加力エネルギーを調節する荷重が必要であることが著者らの研究^[1]により明らかにされている。加力エネルギーの調節を手動により行なって完全な荷重-変位曲線を計測した結果は既に報告しているが、若干の熟練度を必要とするため自動計測システムの開発が重要となる。通常の試験では破壊時に供試体が爆裂するような高強度コンクリート供試体においても、加力エネルギーの調節による荷重を行なえば爆裂もなく極めて安全な計測が可能となる。

2. コンクリート材料の破壊の安定性とその制御方法

最大耐力点以降に爆裂現象のような不安定な破壊が生じるのは、(1) 荷重方式が荷重制御である場合

(2) 荷重方式が変位制御であっても、試験機と供試体の相対的な剛性関係において試験機の剛性が最大

耐力以後の供試体の剛性よりも小さい場合、(3) 試験機剛性が高く、変位制御方式であっても、供試体の系の破壊に必要な全消散エネルギー W_d に比べ、破壊の生じていない弾性域に蓄えられる弾性ひずみエネルギー W_e が大きくなり、供試体自身の荷重-変位曲線が最大耐力以後に荷重も変位も減少する曲線となる場合の3通りの場合が考えられる。カタストロフィー理論^[3]の観点から、特に上記(3)の場合の破壊の安定性を説明するために、 x 軸に変位、 y 軸に荷重、 z 軸に供試体の系の破壊に必要な全消散エネルギー W_d に対する供試体の弾性部分に蓄えられる弾性ひずみエネルギー W_e の比 W_e/W_d をとって表わしたコンクリート供試体の荷重-変位曲面 M_f を図-1に示す。この曲面 M_f は Q 点で折曲っており、 W_e/W_d が Q 点より大きい位置では、最大耐力点以後に荷重も変位も減少する領域を持っている。いま、 x 軸、 z 軸に平行な平面 R^2 をとり、この平面をコントロール平面と呼ぶ。変位速度を一定とするような荷重方法は、 R^2 平面上、変位軸と平行な直線上をコントロール点 e が正方向 (x 方向) に移動することに一致している。 W_e/W_d の値が Q 点より大きい範囲ではコントロール点は $A'Q'B'$ で囲まれるクサビ形の領域を横ぎることになり、このとき対応する M_f 曲面上では不連続な現象が生ずる。すなわち、コントロール点が R^2 平面上で正の方向に移動し、

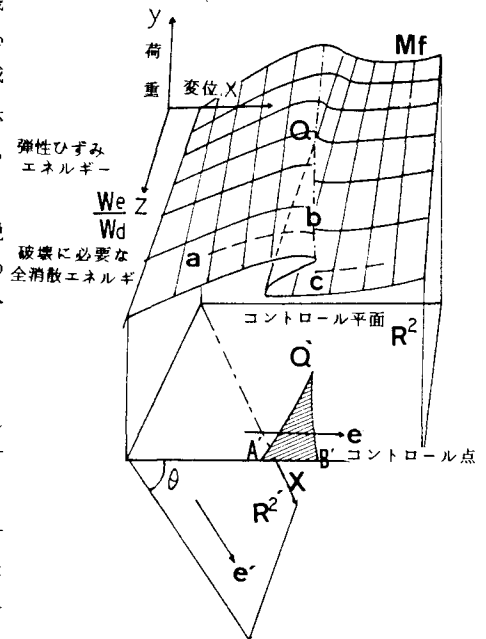


図-1 荷重-変位曲面と
コントロール平面

BQ線に達すると対応するMf曲面上の点はb点に位置することになり、それ以上コントロール点が正方向に移動すると、Mf曲面上でコントロール点に対応すべき連続な点が存在しなくなる。このため、Mf曲面上ではb点からc点への不連続な変化が生ずる。荷重-変位曲面Mf上で不連続な点の移動を生じさせないためには、A'Q'B'で囲まれるクサビ形の不連続領域が現われないコントロール平面上にコントロール点を置くことが考えられる。例えば、コントロール平面R²をWe/Wd軸を中心として回転してゆくとクサビ形の不連続領域が出現しない新しいコントロール平面R²'を得ることができる。R²'平面上のX方向にコントロール点が動くときMf上の点と1対1に対応するので、R²'平面上のXの値を制御信号とすれば下降域を含む完全な荷重-変位曲線の計測が可能となる。新しいコントロール点e'はR²'上のXの正の方向に移動するものであり、We/Wdを固定して考えると、 $X = x \cdot \cos \theta - y \cdot \sin \theta$ となる。ここで、Xは新しいコントロール変数、xは変位、yは荷重、 θ は回転角である。なお、x、yは電圧で計測されている。荷重-変位曲線の初期剛性(=荷重/変位)をsとすると、 $\theta = \tan^{-1}(1/s)$ か、これよりわずかに小さくすればよい。

3. 荷重-変位計測システム

本試験にはクローズド・ループ機構を有するサーボ式油圧試験機(容量:200ton)を用いた。試験機のブロック図を図-2に示す。最大耐力点以後で爆裂現象を生じるような材料の荷重-変位曲線を安定して計測するためには、フィードバック信号として破壊現象に伴って単調増加する信号を与えればよい。ここでは、上述のコントロール変数X、すなわち変位と荷重の差信号をフィードバック信号とすることにより、載荷試験を行なった。この方法は、供試体の横ひずみやAE発生頻度数、消散エネルギー量をフィードバック信号とする方法に比べて、測定が荷重と変位だけでよく、また計算も単純な減算だけでよいという点でより実用的であると考えられる。

4. 荷重-変位曲線の計測例

本システムを用いて測定した高強度コンクリートおよび高強度軽量コンクリートの荷重-変位曲線を図-3に示す。高強度コンクリートは約1000kg/cm²、高強度軽量コンクリートは約600kg/cm²の圧縮強度を有するもので、通常の載荷方法では破壊が不安定となり急激な爆裂飛散を生ずるが、本システムによれば極めて安全に下降域を含む完全な荷重-変位曲線を計測することができる。

このように従来、計測が困難であった材料に対しても完全な荷重-変位曲線が得られれば、種々の材料における靱性等の特性を含む力学的特性の評価が一層容易になるものと考えられる。

参考文献

- [1] 小柳, 六郷, 内田; コンクリートの破壊の安定性とその計測, コンクリート工学, Vol.20, No.6, 1982.6
- [2] Hudson, J.A., Crouch, S.L. and Fairhurst, C. "Soft, Stiff and Servo Controlled Testing Machines, A Review with Reference to Rock Failure", Dept. of Civil and Mineral Eng. Univ. of Minnesota, 1971.
- [3] 野口 広; カタストロフィー, サイエンス社, 昭52.

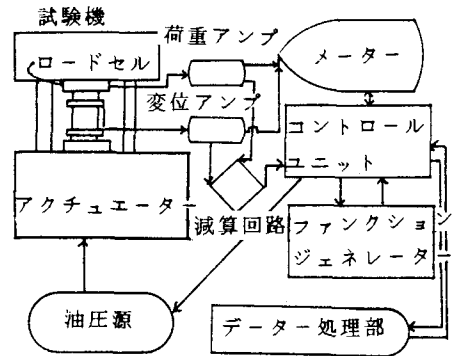


図-2 測定システムのブロック図

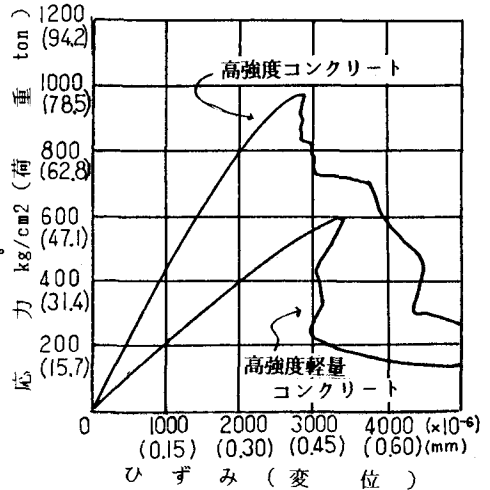


図-3 荷重-変位曲線(応力-ひずみ曲線)の計測例