

塩化ビニル管の破壊をエネルギーから考える研究

東北学院大学工学部 学生員○伊藤友紀

東北学院大学工学部 学生員 佐藤清彦

東北学院大学工学部 正会員 河野幸夫

1.はじめに

今までの水撃実験では波形記憶装置（オシロスコープ）に波形を読み込み、プロッターに描かれたデータを手計算により水撃波形導き出していた、しかし、それでは、手間がかかり人為的誤差が入る恐れがあった。そこで、本研究では波形記憶装置によって記憶された水圧波形を、データコンバータ（GPNET）を利用して、コンピュータで制御するシステムを作成しより効率的にデータ解析を行えるようにした。さらに、今回はそのデジタルデータを利用して管路に加わる力積を求め、その力積と水圧の载荷時間、または、管の破壊圧力と力積の関係を求め、管破壊の動的領域と衝撃的領域の変極点を調べることを目的とする。

2.実験方法

今回の実験で使用した管路の供試体は、水道用硬質塩化ビニル管で厚さ2.0mmを0.4mmに削り、内直径56mm、破壊部分の長さ100mmのものをを用いた。また、破壊するときは軸方向にひずみが生じないように鉄の板で固定した。水圧破壊はポンプによって供試体に圧力を载荷する。前もって载荷時間を変化させるために供試体とポンプの間にある流量調節弁で载荷時間を調節した。水撃破壊では、水圧破壊の供試体と同じものを使用した。この実験装置は水面高さ6mの水槽から自然流下させ弁を急閉鎖させて水撃を発生させ水撃圧で供試体を破壊する。また、供試体に高い水撃圧を载荷するところでも高い圧力で壊れるので、強度を求めるため水撃破壊破壊では破壊圧力が最低の値を使用する。

3.測定方法

今回は管に働くエネルギー（力積）から管の破壊について解析していくので、载荷した圧力に载荷時間をかけたものを力積とした。それは、下式のように

$$\text{力積} = P \cdot t = \int P \, dt$$

と表わせる。

また、水撃破壊の解析では波形の载荷時間はとても微小なので、いままではプロッターで出力された波形であったため、圧力と時間でのグラフでの波形からの力積計算（圧力のかからない状態からの波形の面積を求める）は人為的誤差が入る恐れがあった。しかし、今回のシステムを使用することによって、水撃の波形を数値化することができ、その破壊の力積を簡単に求めることができる。

波形の測定は、圧力が小型圧力変換器から動歪計に伝わりオシロスコープにおくられる。今回の実験で使用したオシロスコープは送られてきた波形をモニタに出力し、記録する。その後データコンバータを利用することによってコンピュータからオシロスコープのメモリにある記録されたデータをコンピュータに読み込ませ、解析した。

4.実験結果

载荷時間と破壊圧力の解析と载荷時間と力積からの解析で、図-1は破壊圧力と载荷時間の関係の図で縦軸は破壊圧力で横軸は载荷時間である。また、図-2は力積と载荷時間の関係の図で縦軸は単位面積に働いた力積で横軸は载荷時間である。この2つの図から動的範囲と準静的範囲の変極点について検討した。破壊形状から目安の領域に分けて準静的では圧力の平均と動的領域では最小二乗法によって求めた線形回帰曲線との交点を領域の変極点とした。その結果は、次のとおりである。

破壊圧力と载荷時間では61.34秒以上が準静的領域で61.134秒以内が動的領域、力積と载荷時間では63.48秒以上が準静的で63.48秒以内が動的領域になった。61.34秒と63.48秒変極点は2つ合わせてもほぼ同じなので力積（エネルギー）からも管破壊の領域分けが可能である。

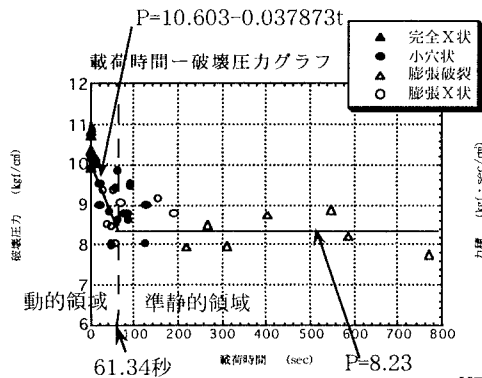


図-1 載荷時間一破壊圧力

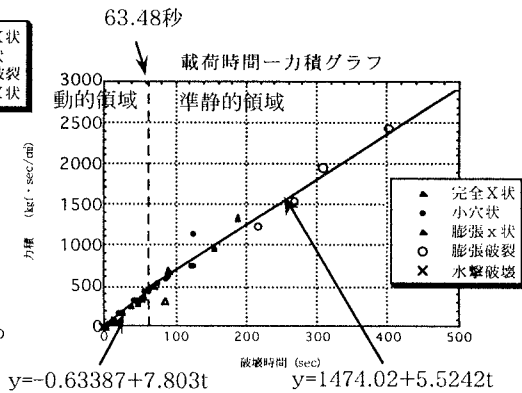


図-2 載荷時間一力積

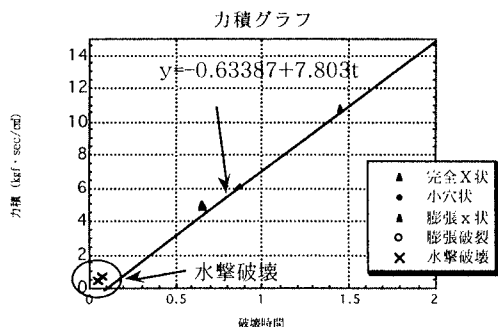


図-3 載荷時間一力積

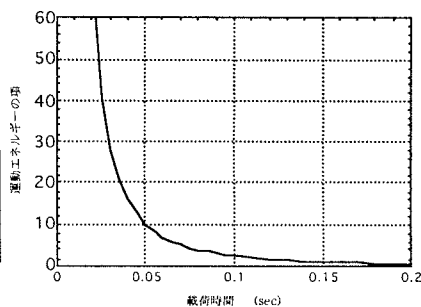


図-4 運動エネルギーの項グラフ

図-3より水撃破壊実験のデータは、水圧実験から得られた動的の線形回帰曲線上に乗るかと思われたが、その点は回帰線の上に来た。それは、水圧破壊の動的領域より載荷時間が小さいところに、別な領域があることを示している。その領域は、この力積だけの解析では求められないと思われる。それと、載荷時間が長くなると破壊圧力は低くなるのに、力積を計算するとエネルギーは大きくなった。それは、載荷時間が小さくなるにしたがって、エネルギーが増加する項があると考えられた。つまり、それは運動エネルギーが影響する項であると考えられる。それを式にすると、

$$2\pi \int_{r_0}^r \rho r dr = 2\pi r_0 h_0 \int_0^{\epsilon_\theta} \sigma_\theta d\epsilon_\theta + \pi r_0 h_0 v^2$$

ここでは、 ρ は着目要素の現在の密度、 σ_θ は円周方向の応力、 ϵ_θ は円周方向のひずみ、 r_0 は変形前の半径、 h_0 は変形前の肉厚である。破壊するまでの膨らみを半径方向で0.19mmと統一すると載荷時間と運動エネルギーの項の関係は図-4になる。

また、この条件での塑性変形仕事の変化は、膨らみ(歪み)を一定としているので変化は微小(一定)である。

5.結論 今回の実験において、力積が動的領域と準静的領域を別けることができ、その変極点は、63.48秒になった。しかし、力積での解析では準静的領域と動的領域での解析は可能だが、衝撃的領域では力積だけの解析は不可能であった。衝撃的領域でのエネルギー解析では、運動エネルギーが関係する項が必要だとわかった。この実験での衝撃的と動的の遷移領域は、0.15秒から0.1秒付近で、運動エネルギーの項の影響が大きくなる衝撃的領域は0.1秒以内ということがわかった。

参考文献

戸部俊美,佐藤俊久,高津宣夫:円管の高速張り出し変形に関する一考察、塑性と加工、第25巻,第283号, pp.716-722,1984.