



对“内爆炸荷载作用下地下竖井的

动力响应”一文看法

吴逸群 钱七虎

(1985年12月2日收到)

《爆炸与冲击》杂志在1985年7月第5卷第3期发表了翟桐等的“内爆炸荷载作用下地下竖井的动力响应”一文(以后简称翟文)。文中提出了用无限元计及无限土体与结构相互作用的无限元法。该单元的本质是在径向即 z 轴(或 η)方向采用了 $e^{-n(\eta-1)}$, ($n=1, 2, \dots$)的函数组作为离散化形函数(文中式(2))。

如所周知, 函数组 $e^{-n(\eta-1)}$, ($n=1, 2, \dots$)并不是一个完备函数系, 因而翟文式(2)的解的收敛性和精度在理论上是存有疑问的。按照该法, 土体位移函数是有限个无限元位移函数的叠加, 所以必将产生应力波瞬时由结构传播到无限远介质的不合理情况。翟文也未对相同问题用其它标准数值法或解析法(如果有的话)与其所提方法的计算结果进行比较, 因而, 此法在实用上是否有效值得怀疑。

我们对翟文内所给出的内核爆荷载例子, 用有限元法作了计算。考虑到竖井高度为100米, 半径只有5米, 因而在远离竖井两端的中间截面完全有足够的理由采用平面应变问题进行计算, 其精度是可以信赖的。

我们采用的有限元为八节点等参单元, 单元网格为48个, 沿径向分12层, 环向4层, 取四分之一圆环计算。远端采用固定边界, 由于外边界取得足够远, 在计算感兴趣的范围和时间内, 外边界影响可以忽略。时间步长采用 $\Delta t = 1ms$, 共计算了60步, 基本到达了峰值。数值结果示于图1、2、3。

图1为竖井中间截面衬砌的径向位移, 其最大值为 $5.5 \times 10^{-2}cm$, 翟文约为 $4.2 \times 10^{-2}cm$, 误差达30%左右。图2给出了衬砌的轴向应力, 其最大值为 $32.9kg/cm^2$, 但翟文给出约为 $1.25 \times 10^4kg/cm^2$, 完全背离。估计翟文的量纲换算有误, 但有效数字也对不上。图3给出了土和结构之间相互作用的径向压应力, 其最大值为 $14.5kg/cm^2$, 最小值为 $3.42kg/cm^2$ 。考虑到径向结构较薄, 有限元存在着“超越现象”, 其最大值具有误差, 但其最小值为 $3.42kg/cm^2$ 与翟文为 $2kg/cm^2$ 也相差甚远。根据内压为 $10kg/cm^2$, 我们认为: 我们计算得到的衬砌轴向应力为 $32.9kg/cm^2$ 是合理的

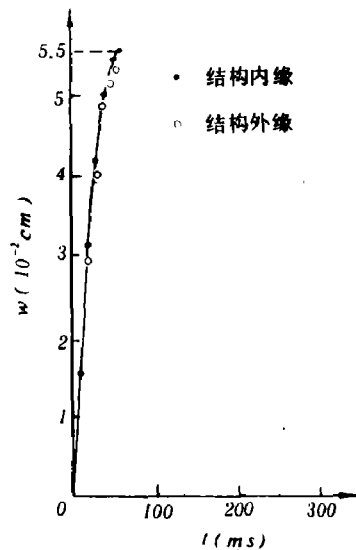


图1 径向位移

翟文计算结果小得多,究其原因这是由于他的无限元位移模式使波动能量瞬时弥散到无限远去了。由此,进一步从实践上证明本文对翟文的看法是正确的。

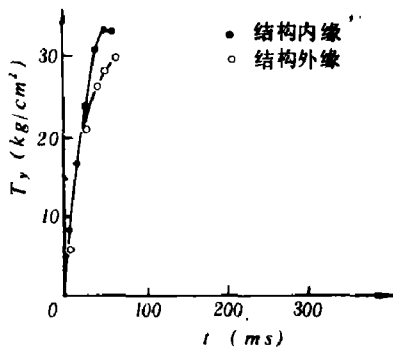


图2 轴向应力

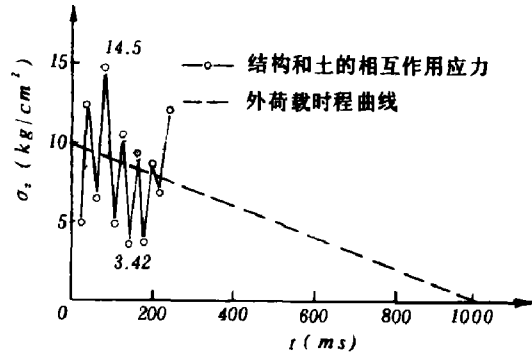


图3 土和结构相互作用应力

当然,关于采用类似的无限元(即用 $e^{-\alpha r}$ 作为离散化形函数)的作法,国外有人在结合有限元离散中联合应用过。但是该无限元被设置在离关心的主要区域较远处,作为一种能量吸收机制使用,对某些问题取得过一些较好的结果。但翟文将其直接设置在结构周边的做法,看来是有问题的。以上看法比较粗浅,望各位同行批评指正。

关于《对“内爆炸荷载作用下地下竖井的动力响应”一文》的几点讨论

翟桐 曹志远

(1986年4月20日收到)

无限元法是近几年发展起来的一种新的计算方法,它特别适用于求解地下结构一类相互作用问题。在本刊上刊登的“内爆炸荷载作用下地下竖井的动力响应”一文(以下简称原文)是该法在抗爆结构上应用的一次尝试,引起大家广泛兴趣。我们很高兴看到吴逸群等同志在此基础上又做了一些补充工作,提出了自己的看法(以下简称吴文)。下面就有关问题进行一些讨论。

原文位移函数在径向采用 $e^{-\alpha(r-l)}$ 函数组合,通过满足位移变分方程(见原文p15第14行及原文文献〔1〕)建立待定系数 $u_{1m}(t), u_{2m}(t), b_{1m}(t), \dots$ 所满足的常微分方程组来求解。吴文提出完备函数系问题是指偏微分方程的无穷级数解析解而言,而这里是含有待定系数的有限项组合(见原文式(2))的位移变分解。众所周知,通过位移变分原理求解,要求试函数只要是满足位移边界条件的任意函数组合(连是否级数也不要求,更不要完备函数级数——例如目前教科书中有关位移变分原理的一些例题)。微分方程解和变分方程解是两回事。这也可能是由于原文着重于应用,未能详细列出通过变分求解建立算式过程而引起误解。

吴文提到无限元位移函数会产生应力波瞬时由结构传播到无限介质的不合理现象。这可能是从原文式(2)的一项表达式判断的结果。但这里是多项组合,而每项前又有些待定系数,而这些组