

I-490

個別要素法による縦衝撃を受けるモルタル棒の挙動解析

金沢大学大学院 学生員 中田 吉彦
 金沢大学工学部 正会員 榎谷 浩
 金沢大学工学部 正会員 梶川 康男

1. まえがき 衝撃荷重が作用する場合の構造部材の挙動は、広範囲な分野において、重要かつ基礎的問題である。本研究では、基礎的なものとして波動方程式に支配されるモルタル棒の縦衝撃問題について、実験的ならびに数値解析的に検討したものである。解析においては、本来、不連続体の解析に有効である個別要素法を用い、理論解および実験結果との比較・検討を行っている。

2. 実験方法 本実験は、図1のようにモルタル角柱(6cm×6cm×100cm)を高さ165cmから吊り下げ、同様に吊り下げたロードセルを所定の距離からモルタル角柱に衝突させることにより行った。実験時には、その角柱の3箇所(ひずみ(打撃面から20, 40, 80cmの位置)とロードセルにより荷重を測定した。また、測定のサンプル時間は、 $5\mu\text{s}/\text{ch}$ である。なお、実験に用いたモルタルのヤング係数は $2.17 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、圧縮強度は 241.2 kgf/cm^2 、引張強度は 21.0 kgf/cm^2 である。

3. 実験結果および考察 弾性域の応力波形と塑性(破壊)域の応力波形の差を明確にするために、非破壊時と破壊時の応力波形の実験結果の一例を、それぞれ図2、図3(圧縮波を正とおく)に示す。また、破壊は打撃面から約70cmの位置で起こった。非破壊時では、図2(b)のように応力波の引張の第1波目以降、同じ周期で伝播している。破壊時では、図3(b)をみると、最大引張応力が生じた時刻は、0.85msである。一方、実際に破壊が生じた時刻は、周期のずれから、1.8msと推論される。このように、最初に現れた引張応力で破壊が生じないのは、モルタルの材料強度のばらつき、不均一性などが原因と考えられる。

4. 解析結果 解析は、モルタル棒の塊を有限個の剛要素と仮定し、コンクリートの塊のもつ弾性的および非弾性的性質を剛体の接触点間に挿入したばねとダッシュポットによって表現する個別要素法¹⁾を用いることにした。時間増分 Δt は、質量 m の質点が、ばね定数 k_n (法線方向)のばねを上下に有する1自由度系の固有周期 $T=2\pi\sqrt{m/2k_n}$ を基準とした。なお、減衰は考慮せず零とした。

(1) 一端固定棒の弾性範囲内での理論解との比較 実験値との比較の前に、縦衝撃問題を解析でどの程度近似できるかを検討するために、まず、一端固定棒の弾性範囲での理論解との比較を行った。図4に示すようなステップ状の衝撃荷重を受ける一端固定棒を考える。ここでは、要素分割数による影響につい

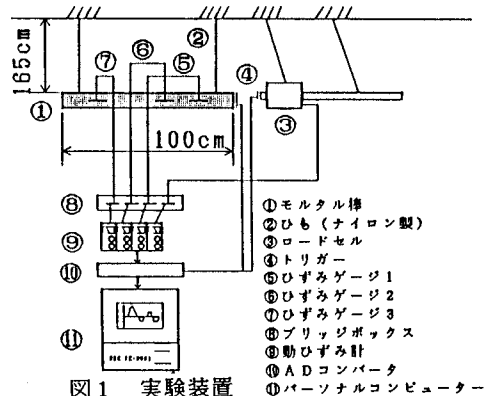


図1 実験装置

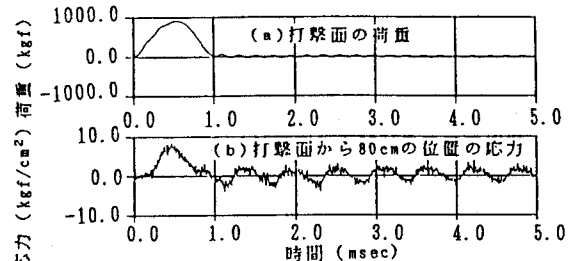


図2 非破壊時の荷重、応力-時間曲線

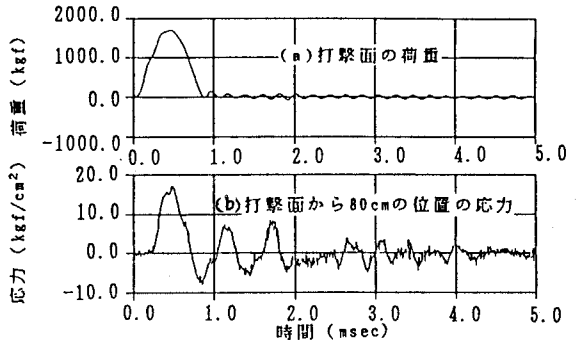


図3 破壊時の荷重、応力-時間曲線

て検討してみることにする。

要素分割数は66個(2段×33)。

268個(4段×67)。

1064個(8段

×133)の3種類を用い $\Delta t = T/20$

で解析した。図5に本解析と

理論解による棒中央の応力の応

答曲線を示す。この図において

応力は荷重 P_0 を静的に載荷した

時の応力 $\sigma_0 = P_0/A$ で無次元化し、時間

は基本周期 τ で無次元化した。応力は、理論解では規則的な矩形波であるが本解析は

たち上がり後、振動しながら理論解に近づいていく。本解析が初期値問題であるため、時間の経過とともに理論解から外

れていく傾向があるが、位相のずれはどれもほとんどない。この図において応力は要素分割数が多いほど振動が小さく、理

論解の矩形波に近づく。

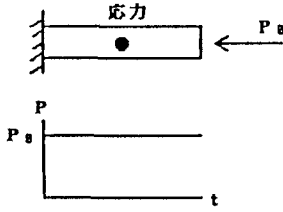


図4 ステップ荷重を受ける一端固定棒

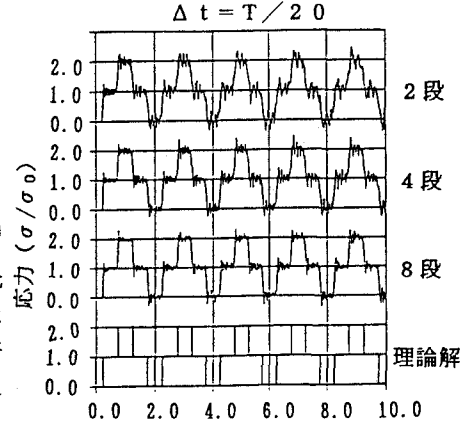


図5 要素分割数の変化による一端固定棒の中央の応力の応答曲線

(2) 非破壊時の解析結果と実験値との比較 モデルは $\Delta t = T/20$ 、要素分割数は405個(5段×81)を用いた。諸定数のうち試験体の寸法は実験で用いた試験体の値を、弾性係数は圧縮試験で得られた値を用

いた。また、本解析で入力する荷重は、図2

(a)の実験結果で得られた打撃面における

荷重を用いた。図6に打撃面から40cmの位

置の実験値と特性曲線法による理論解と本

解析の応力の応答曲線を示す。この図にお

いて時間は基本周期 τ で無次元化した。立

ち上がりは実験値に比べ理論値と解析値が

やや遅れることがわかる。また位相につい

ては時間の経過とともに理論値と解析値が

実験値とずれていくことがわかる。圧縮応力のピークは、はじめ

は理論解が大きい、2波目で実験値が大きく、また引張応力

のピークは、解析値が理論値や実験値に比べ比較的小さいことが

わかる。

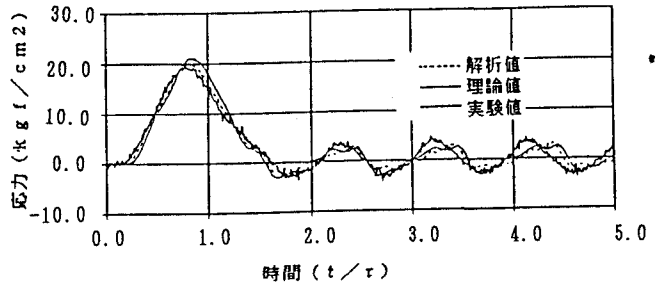


図6 非破壊時の打撃面から40cmの位置の応力の応答曲線

(3) 破壊時の解析 解析に用いたモルタル棒の構成関係を、図

7に示す。モルタル棒の圧縮特性は圧縮破壊を考慮せず、引張特

性に対しては引張強度に達した後、直線的に応力が解放されるも

のと仮定した。なお、解析結果は、発表時に述べる予定である。

5. まとめ 本研究では、モルタル棒の縦衝撃問題を実験的なら

びに数値解析的に検討した。本解析法は一次元弾性応力波問題を

解くための有効な一解析法であることが示された。また、今後、材

料が不均質であるモルタル棒やコンクリートの応力波による破壊

の取り扱い(構成関係など)にさらに検討が必要と考えられる。

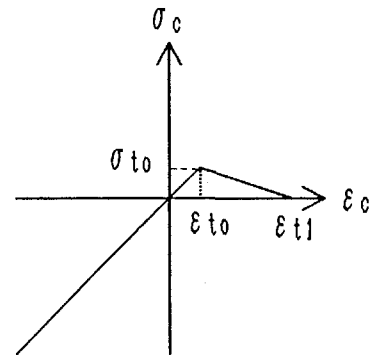


図7 モルタルの構成関係

参考文献

- 1) 木山, 藤村: カンドルの離散剛要素法を用いた岩質粒状体の重力流動の解析, 土木学会論文集, NO. 33, pp13-46, 1985. 5