衝撃を受ける無筋コンクリート版の動的応答の数値解析

○金沢工業大学　正会員　藤本一男
中部土木㈱　　小川哲史

1. はじめに

近年，落石防止覆いの安全性評価等の必要性から土木構造物に対する衝撃問題に関して，多くの研究がなされてきた[1]．本研究は，昨年報告した無筋コンクリート版に対して鋼球を衝突させた実験[2]について数値解析を試みたもので，極めて小さいエネルギーを与えた弾性実験および破壊までの衝撃破壊実験に有限要素法を用いて解析し解析法の妥当性を検討したものである．

2. 弾性解析

実験の概要は以下のとおりである．無筋コンクリート版は厚さ 20,30,40mm,直径 300mm で圧縮強度 24.5N/mm^{2}および 49N/mm^{2}である．これに各種の直径の鋼球を自由落下させて衝撃荷重を与えた．計測項目は,弾性実験では裏面のひずみ，衝撃力，および表面の加速度，破壊実験では，ひずみおよび裏面中央の変位である．コンクリート版は上下を円形リングで挟み，固定した．解析は有限要素法（LS-DYNA）を用いて行った．弾性解析を行うにあたり，支持条件を決めるため，弾性実験から固有周期を測定した．その結果，単純支持の一次振動の理論解とほぼ一致したので，境界条件は単純支持として計算した．また，計算時間を少なくするため，1/4 モデルとしている．図 1 は要素分割モデルである．図のモデルで上から鋼球，ゴム板，ロードセル，コンクリートであり，いずれもソリッド要素でメッシュ分割している．計算に使用したコンクリートのヤング係数およびポアッソン比は筆者らの行った実験結果[3]より，与えている（E_c=2.4×10^{4}N/mm^2, ν =0.17）．外力は鋼球に初期速度を与えた．図 2 は裏面中央のひずみの実験および計算結果を比較したものである．図から，のひずみの時間的変化はよく一致し加速度およびロードセルについてはあまりよく一致しなかった．これは接触問題に対する工夫が必要であることを示している．

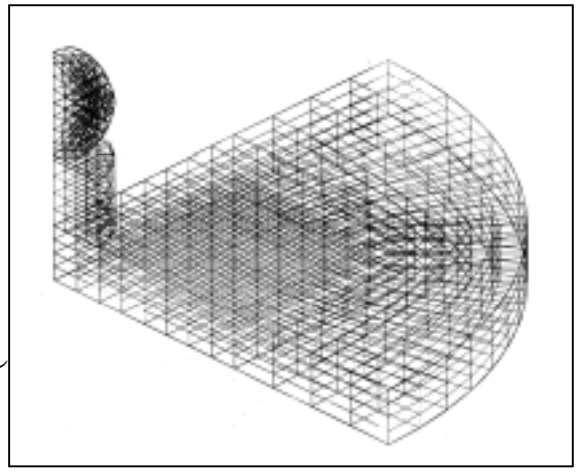

図 1．弾性解析用メッシュ分割

3. 衝撃破壊解析

破壊実験を解析するためには適切なコンクリートの非線型材料モデルを設定する必要がある．本実験に用いたコンクリートは筆者等[3]が以前実験に用いたものと同じ物である．LS-DYNA に用意されている Drucker-Prager の降伏関数を用いた Soil_and_foam という材料モデルを利用するため，以下の手順で入力用のデータを求めた．実験から得られた[3]，破壊基準を Drucker-Prager の直線近似して係数を算定し，フィットさせて求めた．破壊基準等は，次式に示すとおりである．

$$\tau_{oct}/F_c = f_1/\exp(f_2\sigma_{oct}/F_c) + f_3 \quad ,\sqrt{J_2} + \alpha I_1 - k = 0 \text{ ----（1）}$$

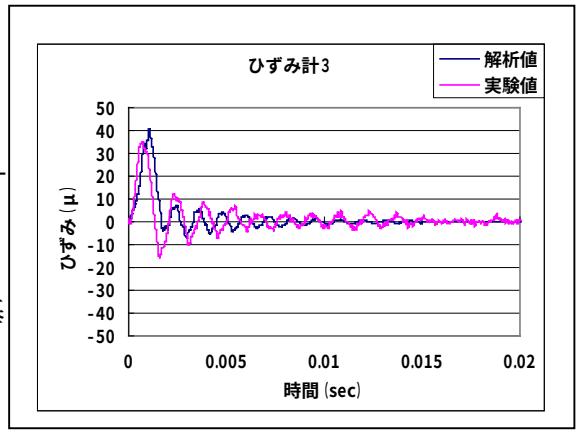

図 2．計算結果と実験結果の比較

キーワード：衝撃実験，数値解析，無筋コンクリート版
連絡先：〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1　TEL 076-248-9582　FAX 076-294-6713

ここで，f_1=-7.44,f_2=-0.111,f_3=7.64 であり，α＝0.258,k=.0404 F_c,F_c:コンクリートの初期降伏応力である．また，引張に伴うテンションカットオフの値は圧縮強度の 1/10 とした．コンクリートのヤング係数およびポアッソン比は弾性解析と同じである．解析モデルは弾性解析とは異なり，ゴムおよびロードセルを取り除き，鋼球を直接コンクリート版に衝突させるモデルとした．図 3 はメッシュ分割図である．要素はすべてソリッド要素である．鋼球は初速度を与えて衝突させた．破壊解析においては，メッシュ分割をできるだけ精密にするようにした．解析は，厚さ 20mm の版に高さ高さ 500mm および 1000mm から直径 76 mm の鋼球を衝突させたときおよび厚さ 40mm の版に高さ 1900 mm から衝突させたときの実験について解析を行った．

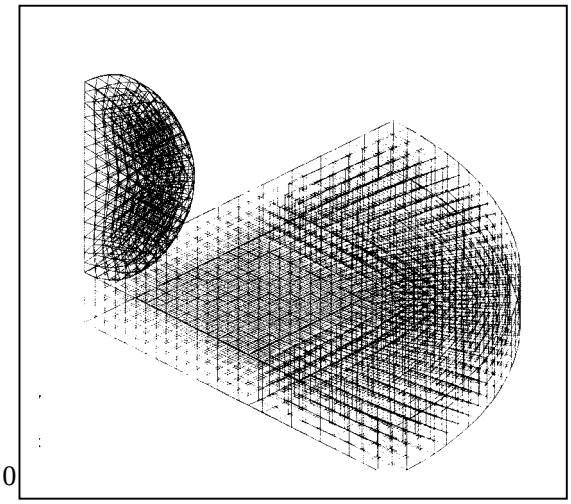

図 3　衝撃破壊解析のメッシュ分割

図は，強度 24N/mm^2，厚さ 2cm のコンクリート版に対して上から，高さ 50cm,および 100cm，一番下は厚さ 4cm のコンクリート版に高さ 190cm から直径 76mm(重さ 1.806kg)の鋼球を衝突した場合の裏面中央の変位を実験結果と解析結果とを比較したものである．図の中央は変位が比較的大きいものであるが，この場合は，解析結果が実験結果より小さくなっている．一方，上と下の図では逆になっていることが分かる．また，下の図で実験結果において変位が下がりかけて,また大きくなるところがあるが，これは実験上のノイズと思われる．しかしながら，いずれも時間経過の傾向はよく一致しているといえる．LS-DYNA による計算の場合，衝突点の接触問題の取り扱いや，ソリッドモデルの積分点の用い方，解析用材料モデルの選定等多くの経験を必要とするが，計算中のエネルギ-のチェックが可能であり，異常なエネルギーが生じなければ，正常に計算できていることが判断される．したがって，エネルギーチェックをしながら計算する必要がある．

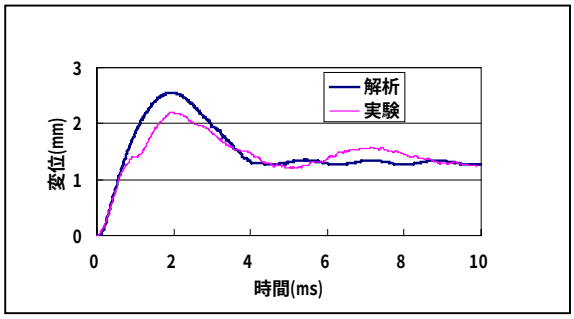

図 4　実験と解析の比較 1

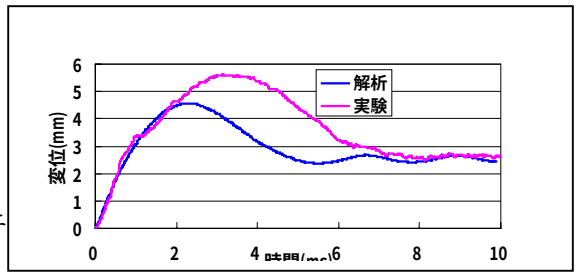

図 5　実験と解析の比較 2

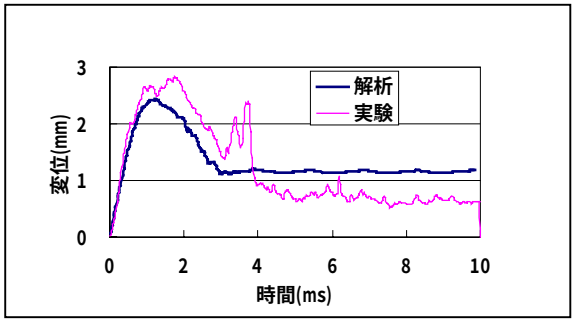

図 6　実験と解析の比較 3

4.　結論

弾性範囲のひずみの時間的変化および衝撃破壊解析での中央における変位の比較から，弾性解析および衝撃破壊解析のいずれもほぼ衝撃挙動を推定できることがわかったが，数値解析の妥当性を評価する場合に大切なことは，材料の物性モデルや，メッシュ分割のやり方，アワーグラスの発生のチェック，また，接触条件等の多くの経験を必要とする．したがって，必ず実験結果との比較を行いながら，評価する必要がある．

参考文献

1)例えば山口弘，藤本一男：「鉄筋コンクリート版の衝撃応答に及ぼすひずみ速度効果」，建築学会論文集第 406 号，pp.25-35,1989 年 12 月　2）藤本一男，金子智彦，小川哲史：「衝撃荷重による無筋コンクリート版の動的応答実験」土木学会　3)山口弘，藤本一男，野村設郎：高圧 3 軸圧縮応力下におけるコンクリートの応力ひずみ関係，建築学会論文集，第 389 号，pp99-108,1989 年 7 月