

セメント系壁材の動的曲げ耐荷特性

防衛大学校 学生会員 ○荒木龍童 正会員 黒田一郎, 古屋信明

1. はじめに

セメント系材料を使用した押し出し成型による壁材は建物内の間仕切りとして広く使用されている。工場や発電所などの各種機材が配置された建物内では、災害時や事故時において爆発、爆燃などの突発的事態によってこれらの壁材が爆圧にさらされる危険があるが、壁材の設計の上では人物の衝突程度の衝撃力しか想定されていない。壁材が爆圧に耐えられないこととなれば、爆圧の被害が壁材の反対側に位置する別の機材や人員に及ぶこととなるだけでなく、壁材自体の崩壊によって被害がさらに拡大する懸念がある。衝撃に対する壁材の安全性の検討は、衝突する人体を模した重錘による衝突実験などによってなされているが、衝突実験における接触時間に比べて爆圧は極めて短時間の内に作用することが予想されるため、爆圧に対する安全性の検討は別個になされる必要がある。そこで、本研究では、FEMによる数値解析によって、爆圧を受けるセメント系壁材の動的挙動を解析し、壁材が耐えうる限界の爆圧条件を求めることを試みたものである。

2. 解析条件

解析対象のセメント系壁材は、工場などの間仕切り材として広く使用されている長さ4m、幅2m、厚さ57mmの板状とし、両端を単純支持されていると仮定した(図-1参照)。計算時間の短縮のため、対称性を考慮してスパン全長の半分のみを有限要素法でモデル化した。使用した有限要素は4節点四辺形アイソパラメトリック要素で、スパン方向の分割数は125、厚さ方向の分割数は7である。

爆圧は図-2に例を示すように、三角形の波形とし、爆圧発生から最大値に至るまでの時間の2倍の時間をかけて直線的に減衰することとした。実際の爆発・爆燃事故では、場所によって爆圧が発生する時刻や強度に差が生じるはずだが、本研究では、解析を単純化するため、壁材のすべての表面に同時に均等な爆圧が作用することを前提として、爆圧と表面積の積の半分が、スパン中央に点荷重として作用することとした(図-1)。

表-1に解析ケースの一覧を示す。爆圧の最大値、すなわち図-2に示す波形の頂点の値は、7800Paを基準とし、また、爆圧の継続時間は0.00075sを基準として、それぞれ1倍、3倍、5倍、10倍の4通りを設定した。解析ケース名の記号xの前の数字が爆圧最大値の倍率を、記号xの後ろの数字が継続時間の倍率をそれぞれ表している。

解析の時刻歴求解法は、ニューマークβ法を採用し、1ステップ10万分の1秒で離散化した。ニューマークβ法のβ値は1/4とした。減衰係数は、0.01と0.02の2通り

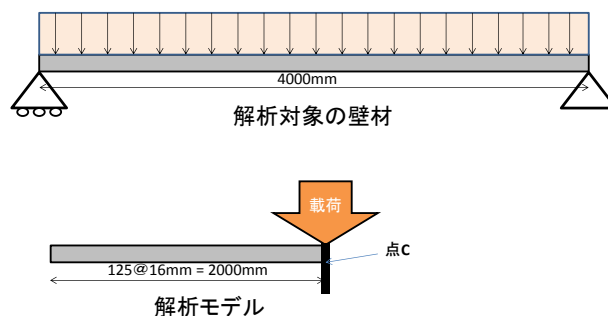


図-1 解析対象の壁材と解析モデル

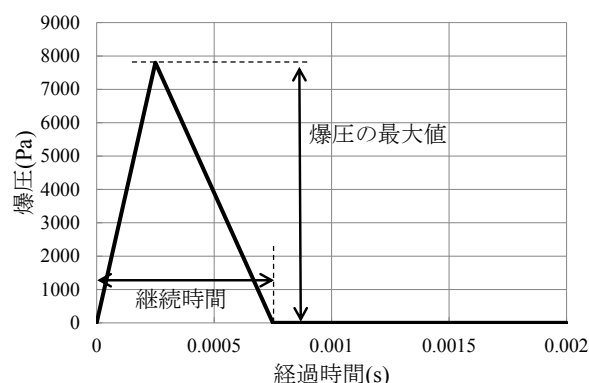


図-2 爆圧の波形

キーワード セメント系壁材, 爆圧, 時刻歴解析, FEM

連絡先: 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810 E-mail: ikuroda@nda.ac.jp

設定し、剛性比例型の減衰を導入した。壁材の弾性係数, ポアソン比, 比重は, それぞれ $3.0 \times 10^4 \text{N/mm}^2$, 0.2, 2.4とした。

3. 解析結果

解析結果の一例として、解析ケース1x5の応力履歴を図-3に示す。応力を求めた位置は図-1に示した解析モデル図の点Cであり、方向はスパン方向である。この壁材は鉄筋などの鋼材で補強されていないため、この位置のスパン方向応力が、材料の引張強度に達することによって壁材の終局状態に至ると考えられる。そこで、この応力履歴の最大値(以下、最大応力 $\sigma_{\max}$)を各解析ケースごとに前掲の表-1にまとめた。なお、応力履歴は爆圧が発生してから経過時間0.1秒(1万ステップ)まで求めている。今回の解析結果では、減衰係数0.02とした計算結果は、いずれの解析ケースでも減衰係数0.01の結果よりわずかに最大応力 $\sigma_{\max}$ が大きくなっているもののその差は小さかった。そこで、代表として減衰係数0.01の最大応力を図-4に示す。

また、爆圧を与える力積に着目するならば、表-1に示す解析ケースのうち、1x3と3x1, 3x5と5x3, 5x10と10x5の3つの組み合わせは、爆圧による力積が同一であるが、最大応力は異なる値を示しており、爆圧の継続時間が長い方が最大応力が大きくなっている。

壁材の引張強度は、サンプルを用いた静的な引張試験の結果 12N/mm^2 程度であった。そこで、安全率を考慮しなければ、12ある解析ケースの内の5ケースが、最大応力が引張強度を上回り、破壊に達したと判定される(表-1の判定C)。また、引張強度に安全率3.0を仮定した許容応力度を用いて同様の判定を行うならば、破壊と判定される解析ケースは8つに増えることとなる(表-1の判定BおよびC)。今回の解析結果によれば、ひずみ速度のオーダーは $10^{-1}(\text{s}^{-1})$ 程度であった。通常のコンクリートであればこのひずみ速度のオーダーであれば、ひずみ速度効果によって引張強度のある程度の増加が見込まれる。従って、本解析の条件下では、静的な载荷条件で計測した引張強度だけではなく高速载荷で得られた引張強度の適用の必要性も指摘したい。

4. まとめ

爆圧の波形(最大値や計測時間)をさまざまに変化させた時刻歴解析によって、セメント系壁材の爆圧作用時の挙動をシミュレートした。その結果、壁材に発生する最大応力は、爆圧による力積が同一であっても爆圧の波形によって異なる結果となることを確認した。また、本解析の爆圧条件では、引張強度に影響が現れるレベルのひずみ速度が発生することが明らかとなった。

表-1 解析ケース

解析 ケース名	爆圧 最大値 (Pa)	爆圧継続 時間(s)	減衰係数0.01		減衰係数0.02	
			最大応力 (N/mm ²)	破壊 判定	最大応力 (N/mm ²)	破壊 判定
1x1	7800	0.00075	1.08	A	0.866	A
1x3	7800	0.00225	2.34	A	2.14	A
1x5	7800	0.00375	3.87	A	3.55	A
1x10	7800	0.00750	7.6	B	6.95	B
3x1	23400	0.00075	2.87	A	2.63	A
3x3	23400	0.00225	8.65	B	7.89	B
3x5	23400	0.00375	11.7	B	10.6	B
5x3	39000	0.00225	14.4	C	13.2	C
5x5	39000	0.00375	19.4	C	17.7	C
5x10	39000	0.00750	38	C	34.7	C
10x5	78000	0.00375	38.8	C	35.4	C
10x10	78000	0.00750	76	C	69.5	C

A: 破壊しない, B: 許容応力度を用いた判定で破壊する,

C: 引張強度を用いた判定で破壊する

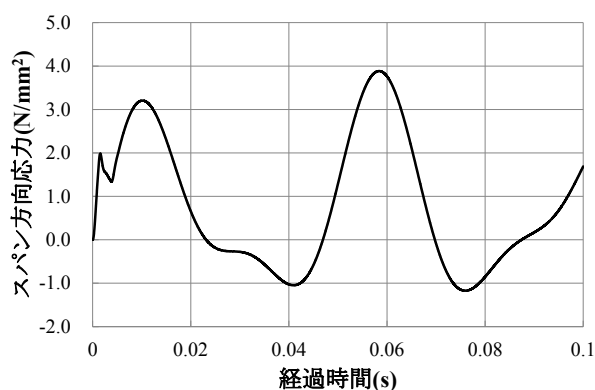


図-3 スパン方向応力履歴

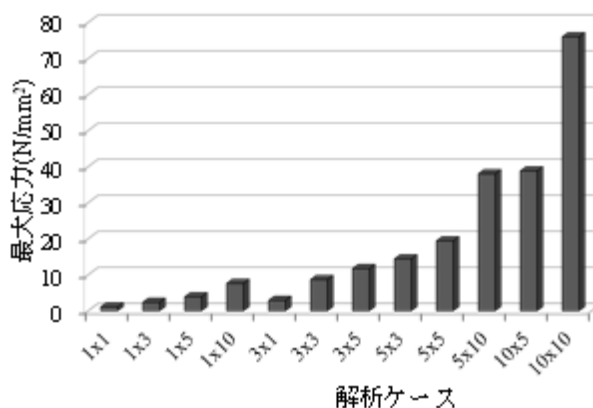


図-4 最大応力(減衰係数0.01)