

固体の波動共振が支配する衝撃破壊機構の解明

熊本大学工学部 学生会員 ○山田晃司、 熊本大学大学院 正会員 大津政康

1. はじめに

コンクリート部材において設計荷重として対象となる衝撃荷重としては、自然的要因によるものと、人為的事故によるものがある。近年は特に、意図的攻撃や不慮の爆発・衝突への対応が国内外において注目されている。これら衝撃力を伴う現象は、頻度は小さくとも大きな被害を招くものであり、社会的に重要な公共施設においてはその被害を軽減する必要がある。

衝撃荷重など高速载荷時の挙動の特徴としては、材料特性とひずみ速度依存性が挙げられている。本研究では衝撃力のもつ周波数と部材長との関係に着目し、波動共振が支配する衝撃破壊機構に注目した。繊維補強コンクリートの爆破実験結果¹⁾を2次元動的BEM解析により変形モードと応力分布の面から検証した。

2. 実験概要

2. 1 供試体

実験装置概略を図-1に示す。60×60×10cmのスラブ供試体の左右両端を角材で支持し、中央に設置した電気雷管により爆発荷重を载荷した。普通鉄筋コンクリート(RC)、ポリプロピレン繊維補強コンクリート(PPF・RC)、ポリビニールアルコール繊維補強鉄筋コンクリート(PVAF・RC)、ポリエチレン繊維補強鉄筋コンクリート(PEF・RC)の4種類についてスラブ供試体を作製した。それらの配合を表-1に、力学的特性を表-2に示す。なお普通コンクリートには、呼び強度30N/mm²、指定スランプ18cm、最大粒径20mm、実測スランプ19.8cm、実測空気量3.2(%)のレディーミクストコンクリートを使用した。

2. 2 実験結果

損傷は爆発面、裏面両方の中心部に楕形に発生し、中心から放射状にひび割れが生じていた。損傷箇所の大きさについては爆発面ではコンクリート間の違いが見られなかったのに対し、裏面では大きな違いが現れた。

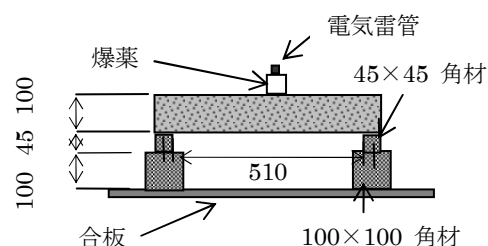


図-1 実験概要

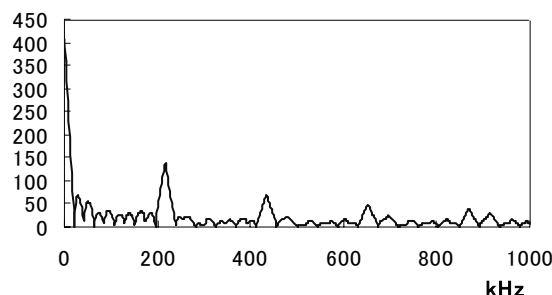


図-2 爆破圧力のスペクトル

3. 解析概要

これまでに報告されている爆破圧力の近似式は

$$P=P_0 \exp(-kt) \quad (1)$$

である。今回の実験に対応する $k=0.5 \times 10^6$ の場合に得られる圧力分布のを周波数スペクトルを求めると図-2のようになる。この図に出現しているピーク周波数に対して境界要素法(BEM)解析を行い、応力分布を求めた。解析モデルについては、境界の接点間隔は2.5mmとし、左右両端から2cmの点に支点を設けた。

表-1 コンクリートの配合

種類	最大粒径 (mm)	W/B (%)	単位量(kg/m ³)						Slump (cm)
			W	Sg	C	S	G	F	
PPFRC	15	50	325	325	325	730	454	13.7	12.2
PVAFRC	15	33	325	488	488	550	339	65.0	11.7
PEFRC	15	33	325	488	488	550	339	38.8	6.5

表ー2 コンクリートの力学的特性

種類	圧縮強度 (Mpa)	引張強度 (Mpa)	弾性係数 (Gpa)
普通コンクリート	38.7	3.04	29.1
PPFRC	40.5	4.63	17.8
PVAFRC	62.7	7.82	22.4
PEFRC	57.8	8.85	21.5

BEM 解析を行う際、密度は 2.4g/cm^3 としポアソン比は 0.2 とした。そして、弾性係数には表ー2に示す実験値を用いた。

4. 結果および考察

図ー2に出現した 216.8、433.6、652.3kHz の各ピーク周波数について、4 種類のコンクリートで 2 次元動的 BEM 解析を行った。

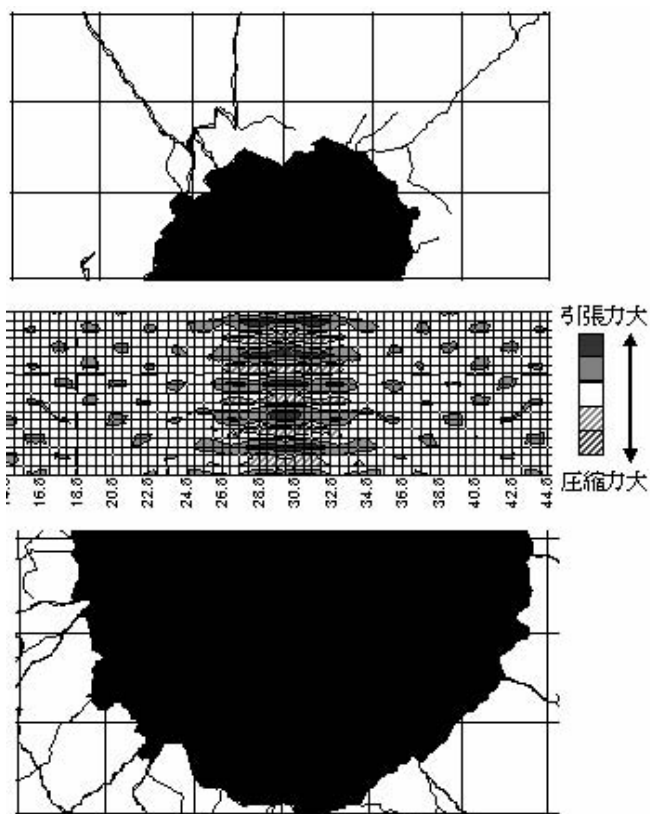
各コンクリートでの応力解析の結果、ピーク周波数 216.8kHz で中央への応力集中がみられた。図ー3、図ー4に普通コンクリートと PVAFRC について損傷状況と応力分布を照合した図をそれぞれ示す。上下の図がコンクリートの爆発面と裏面の平面図で、黒く塗られた部分が損傷部分である。中央の図が中心部付近断面の応力分布を表している。応力分布は Drucker-Prager の等価応力のコンター図

$$k = I_1 + \sqrt{J_2} \quad (2)$$

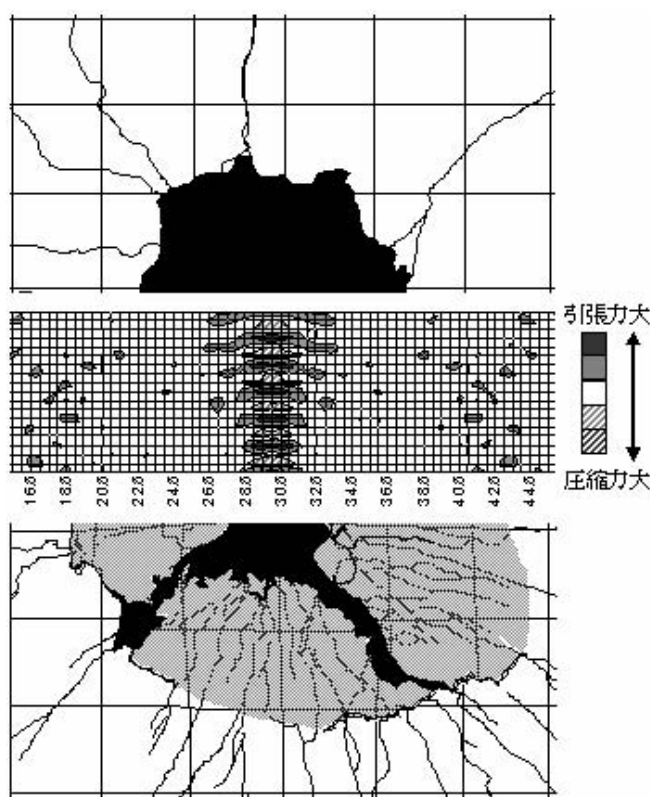
で表している。両供試体に共通することは応力波の伝播により、引張と圧縮の応力が交互に発生しているが、特に中心部で大きな引張応力が発生していることである。爆発表面の損傷状況には大きな違いが見られないが、裏面では普通コンクリートの損傷箇所が爆発面よりも大きいのに対し、PVAFRC では非常に小さい。これは応力分布にも同様な傾向が見られる。普通コンクリートでは中心から下方に広がるように応力が伝播している。一方、PVAFRC では中央部の応力は下方ではその幅を狭め、周囲の応力の発生もあまり見られない。これらより爆発破壊域の出現状況の理論的な解明を行うことができた。

参考文献

1) 山口信：新素材繊維補強コンクリートの高靱性かならびに耐爆性状に関する実験的研究, 平成 15 年度熊本大学大学院建築学専攻修士論文



図ー3 RC の破壊性状と応力解析結果(216.8kHz)



図ー4 PVAFRC の破壊性状と応力解析結果 (216.8kHz)