

格子モデルによる RC 厚板構造の衝撃破壊解析

日立造船(株) 正員 ○松下裕明
 大阪市立大学工学部 正員 小林治俊
 大阪市立大学工学部 正員 園田恵一郎

1. はじめに

現在、衝撃解析に対する数値解析法としては有限要素法が最もよく知られているが、これは連続体力学に基礎をおくため RC 板の裏面剥離現象のような衝撃破壊特有の現象を解析することは難しい。一方、粉体力学を基礎とする個別要素法では、裏面剥離のような離散的な現象の解析には適しているが、RC 部材の構成則の導入が困難である。そこでこれら両方の長所を活かす一数値解析法として格子モデルを提案し、RC 厚板構造に衝撃荷重が作用した場合に生じる裏面剥離現象に着目して、本解析法の適用性について検討した。

2. 格子モデルによる定式化

(1) 格子モデル

格子モデルとは、対象とする連続体を直方体要素の集合体に離散化し、さらに個々の直方体要素に対し、その稜線を形成する 12 本の棒材を 8 箇所の頂点で剛結した骨組(立体ラーメン)からなる系で置換した簡易モデルである。本モデルは基本要素となる立体ラーメンを構成する棒材の伸び変形、曲げ変形、およびせん断変形で要素内変形を与えることが可能であり、さらにコンクリートのひび割れやせん断すべり、鉄筋の付着破壊というような不連続現象を材料の降伏もしくは破壊条件に準じて棒材を破断させることにより対処できる点に特徴をもつ。部材の断面積および断面二次モーメントは弾性連続体要素と格子モデルの全ひずみエネルギーを等しくすることにより求める。

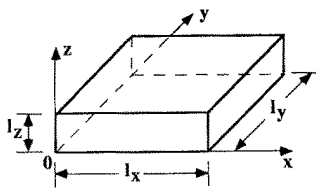


図1 弾性連続体要素

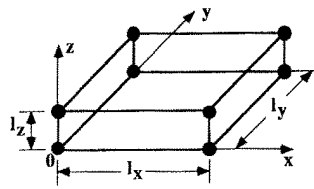


図2 格子モデル

(2) 運動方程式と時間積分法

質量および慣性モーメントは節点に集中化させる。各節点において、任意時刻 t での運動方程式から加速度を求め、その加速度を時間積分することにより変位を求める。時間積分法には陽的差分法を用いた。

3. 解析対象

解析の対象は図3、4に示すように周辺が単純支持された RC 板とする。荷重は中央に部分等分布荷重を載荷するものとし、荷重の時間関数は矩形パルス関数を扱った。載荷時間は、応力波が板厚 (z) 方向に板の上面から下面まで到達するのに要する時間 T_0 で実載荷時間 t_p を無次元化した T_p ($T_p = t_p/T_0$) を用いた。モデルではこの対象を x 軸, y 軸, ならびに z 軸の 3 方向にそれぞれ 20 分割した。

4. 矩形パルス荷重下での挙動

荷重強度、荷重載荷時間 T_p (以下、 T_p)、および鉄筋比によって破壊の有無および破壊位置が変わった。しかし、破壊モードは全て同様で、図5に示すような板厚 (z) 方向部材が部分的に引張破壊する破壊モードであった。表1は本解析で用いた主な T_p 、荷重強度、および鉄筋比による破壊位置を示したものである。鉄筋比が0%の場合、表に示すように破壊位置 (z) は T_p に強い相関関係が認められた。これは応力波の反射によ

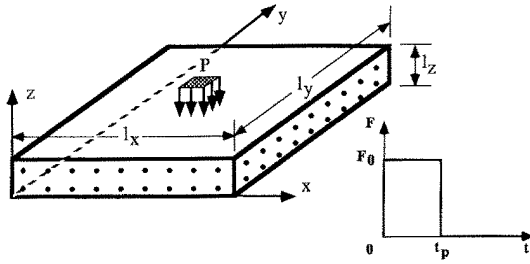


図3 中央にステップ状の等分布荷重を受けるRC板

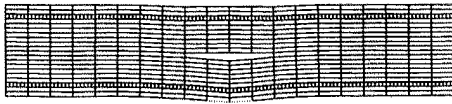


図5 破壊モード図(中央x-z断面)

て発生する引張波と、荷重除荷により発生する引張波が干渉し強め合う点で引張破壊が発生するためである。鉄筋比が1%の場合、鉄筋部でも応力波の反射が生じるため破壊位置がかわったり、破壊が起こらない場合が生じた。しかし、荷重強度が大きくなると鉄筋の有無にかかわらず鉄筋無しの場合と同様の破壊が生じた。この引張破壊現象は衝撃工学の分野では、一般にスポーリング(spalling)破壊と呼ばれている。また、RC板の衝撃破壊実験においても同様の破壊現象が見られる。これはRC板の衝撃破壊モードの内の局部破壊モードの一つで、裏面剥離と呼ばれる破壊に相当する。

5. まとめ

・荷重強度、荷重載荷時間 T_p 、および鉄筋比によって破壊の有無および破壊位置が変わったが、全て板厚 (z) 方向部材が部分的に引張破壊する破壊モードとなった。この破壊モードは衝撃実験において知られているスポーリング(spalling)破壊と呼ばれる破壊モードと同様であった。

・鉄筋比にかかわらず破壊位置は荷重載荷時間 T_p にほぼ依存した。特に無筋コンクリートの場合、破壊位置 (z) は荷重載荷時間 T_p に強い相関関係を有した。

・荷重載荷時間 T_p が小さい場合(本例では $T_p = 0.25$)、RC板の衝撃破壊実験において生じる裏面剥離による破壊現象と同様の破壊現象があらわれた。

参考文献

- 1) 竹田仁一、立川博之、藤本一男; コンクリートと衝撃—衝撃を受けるコンクリートの性状と実験—, コンクリート工学, vol.15, No.4, 1997.
- 2) 藤井 学、宮本文穂; 衝撃荷重下におけるコンクリート構造物の挙動, コンクリート工学, vol.21, No.9, 1983.
- 3) 破壊力学の応用研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, 1993.
- 4) 構造工学シリーズ6, 構造物の衝撃挙動と設計法, 土木学会, 1994.
- 5) Bathe; Finite Element Procedures in Engineering Analysis, PRENTICE-HALL, 1982.
- 6) 林 卓夫、田中吉之助 編著; 「衝撃工学」, 日刊工業新聞社, 1988.

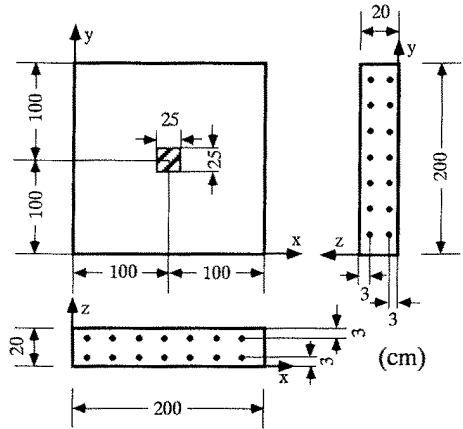


図4 解析対象の寸法

表1 矩形パルス荷重下での破壊位置

T_p	荷重強度 (kgf/cm^2)	鉄筋比 (%)	破壊位置 (cm)
0.25	25.0	0	—
		1	—
	32.5	0	$z = 2 \sim 3$
		1	$z = 2 \sim 3$
	40.0	0	$z = 2 \sim 3$
		1	$z = 2 \sim 3$
0.5	22.5	0	—
		1	—
	27.5	0	$z = 5 \sim 6$
		1	$z = 4 \sim 5$
	32.5	0	$z = 5 \sim 6$
		1	$z = 5 \sim 6$
1.0	20.0	0	—
		1	—
	22.5	0	$z = 9 \sim 10$
		1	$z = 9 \sim 10$
	25.0	0	$z = 9 \sim 10$
		1	$z = 9 \sim 10$

—は破壊しない場合である。