

重錐落下衝撃力を受ける四辺単純支持コンクリート矩形床板の衝撃応答解析

専修大学北海道短期大学 正会員 三上 敬司

1. まえがき

ブリティッシュ・コロンビア大学(UBC)では写真-1に示したような大型衝撃実験装置を用いて衝撃実験を行っている。著者はこの衝撃実験で得られた結果をシミュレートするために弾塑性衝撃応答解析FEMプログラム(解析法-2)を用いて、衝撃実験で得られた衝撃荷重を四辺単純支持されたコンクリート矩形床板中央に作用させた場合の床板の動的挙動に関して検討してきた。しかし、実験結果をシミュレートするには重錐落下という形で動的解析することも肝要であるものと考えられる。

そこで、本研究では、汎用非線形構造解析プログラムMSC MARC(解析法-1)を用いて衝撃応答解析を行い、両解析結果と実験結果とを比較検討する。

2. 実験の概要

衝撃実験は写真-1に示したように、UBCの土木工学科に設置されている大型衝撃実験装置を用いて行った。衝撃力は質量578kgの重錐を落下高さH=500mmから自由落下させることによって発生させている。なお、重錐の先端(Tup)形状は直径が100mmの円形かつ平底である。試験体は形状寸法が400×400×75mm

のコンクリート矩形床板で、写真-2に示したように幅50mm四方の鋼製支持台上に単純支持されている。これより、スパン長は300mmである。また、重錐が受ける衝撃力はTup内に埋め込まれているロードセルによって測定されている。その波形を図-2に示している。床板中央裏面には床板載荷点直下の変位と床板の慣性力を求めるために加速度計が取り付けられている。なお、コンクリートの28日圧縮強度が $f'_c=44.5\text{MPa}$ になるように配合設計を行った。

3. 動的解析

3.1 数値解析条件

本研究に用いたコンクリートの物理定数はコンクリートの密度 $\rho=2.4\text{t/m}^3$ 、弾性係数 $E_0=3.0\times 10^7\text{kN/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.2$ 、圧縮強度 $f'_c=44.5\text{MPa}$ 、破壊ひずみ $\epsilon'_{cu}=0.003$ としている。

3.2 数値解析条件

図-1に示した本解析モデルは8節点個体要素を用いて重錐およびコンクリート床板の1/4でモデル化としている。表-1には解析法-1(Marc)および解析法-2に用いた数値解析条件を対比して示している。なお、解析法-2では衝撃荷重を図-2に示している



写真-1 UBCに設置されている 写真-2 重錐落下衝撃を受けた
衝撃実験装置 四辺単純支持されたコンクリート

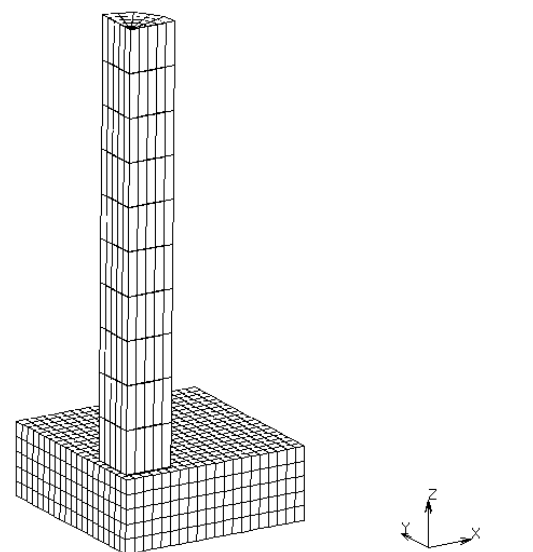


図-1 Marcに用いた解析モデル(実寸法の

キーワード：弾塑性有限要素法，衝撃力，コンクリート床板，ひび割れ分布

連絡先：専修大学北海道短期大学(〒079-0197 美唄市字美唄 1610-1, TEL 0126-63-0249, FAX 0126-63-3097)

実験で得られた衝撃力の時刻歴応答波形を作用させている。

3.3 解析結果

図-2には落下高さ $H=500\text{mm}$ における衝撃実験で得られた衝撃力および Marc で解析した重錘衝撃力の時刻歴応答波形を示している。実験で得られた衝撃力は二つの波から成り立っている。第一波目は $t_{\max}=0.216\text{msec}$ で最大応答値 179kN となり、

その後応答波形は急激に減少して一旦零値まで下がり、再び $t=0.776\text{msec}$ で第二波目の応答値 61.63kN が発生し、 $t=1.2\text{msec}$ で終了している。一方、解析法-1の場合は三つの大きな波が発生している。第一波目は衝撃極初期で最大応答値を示し、 $t=0.18\text{msec}$ で第二波目の応答値 215kN となり、第三波目では $t=0.602\text{msec}$ で 170kN となり、衝撃作用時間は約 1.2msec となっている。両者を比較すると、解析法-1の場合は実験値より大きめの値をしているものの、時間的には概ね近似しているものと考えられる。図-3は $t=0.32\text{msec}$ の場合における両解析結果と実験結果におけるひび割れ分布の比較を示している。(a)図には解析法-1によって計算された床板裏面の第一主応力分布、

(b)図には解析法-2によって計算された床板裏面ひび割れ分布と実験終了時の床板裏面ひび割れ分布とを比較するために、両解析結果と実験結果を重ね合わせて示している。(a)図より、解析法-1の場合は引張主応力が載荷点近傍で大きく生じ、支持部に向かって同心円

状に広がって行く様子がわかる。支持部では衝撃荷重を支持するために圧縮主応力に転じている。一方、実験結果では載荷点直下の床板裏面中央から6本のひび割れが放射状にコンクリート床板の端部まで進展し、コンクリート床板が曲げ型破壊に至っている。両結果を比較すると、解析法-1の場合はひび割れ分布を比較的酷似しているものと考えられる。(b)図の解析法

表-1 材料物性値と本解析で用いた数値解析条件

数値解析条件	解析法-1 (Marc)	解析法-2
要素の種類	8節点固体要素	8節点固体要素
節点数	2,987個	9,251個
要素数	2,250個	7,840個
降伏条件	Drucker-Prager	Drucker-Prager型
支持部z方向変位拘束数	216個	517個
数値積分	Newmark β 法 ($\beta_2=0.25, \gamma=0.5$)	Newmark β 法 ($\beta_2=0.25, \gamma=0.5$)
時間刻み	$1\mu\text{sec}$	$2\mu\text{sec}$
荷重	重錘落下衝撃力	実験で得られた衝撃荷重
減衰	Rayleigh減衰 (減衰定数: $h=0.1$)	Rayleigh減衰 (減衰定数: $h=0.1$)
ひび割れ発生応力 σ_{cr}	$0.1f'_c$	$0.3f'_c$
引張軟化係数	線形	非線形
ひずみ速度効果	考慮せず	考慮せず
せん断保持	考慮せず	考慮せず
破壊エネルギー G_f	-	0.1kN/m

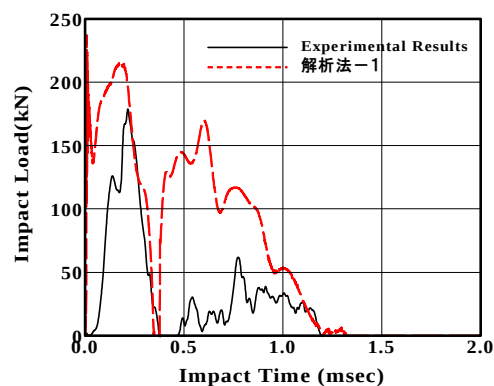
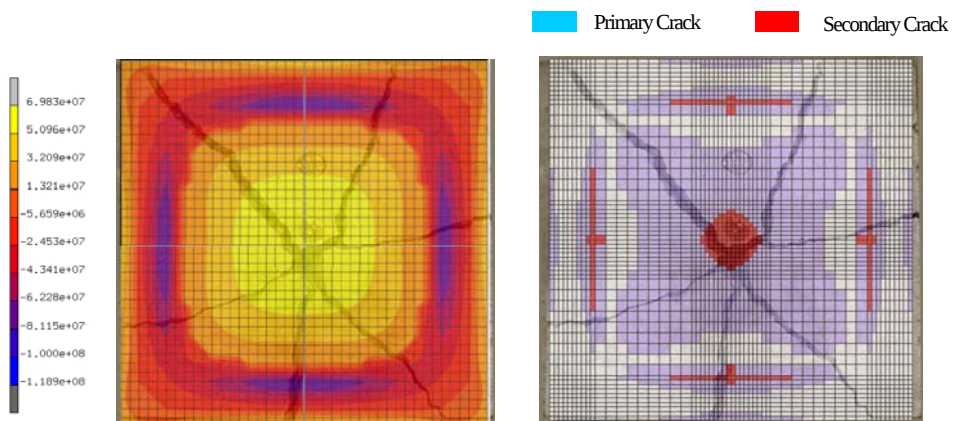


図-2 落下高さ $H=500\text{mm}$ における衝撃力の時刻歴応答波形



(a) 解析法-1の床板裏面の第一主応力分布 (b) 解析法-2の床板裏面のひび割れ分布

図-3 両解析法と実験結果におけるひび割れ分布の比較 ($t=0.32\text{msec}$)

-2では載荷点直下で二次ひび割れが発生、載荷点付近から一次ひび割れが発生し、そのひび割れが四隅に向かって放射状に進展している。また、支持部にも一次および二次ひび割れが発生していることがわかる。両結果を比較すると、解析法-2の場合は実験結果に比べてひび割れ領域が広いものの、概ね実験結果をシミュレートしているものと考えられる。