

重錘衝撃を受ける四辺単純支持コンクリート矩形床板の弾塑性応答解析

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錘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の重錘を落下高さ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、重錘の先端 (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



写真-1 UBCに設置されている衝撃実験装置

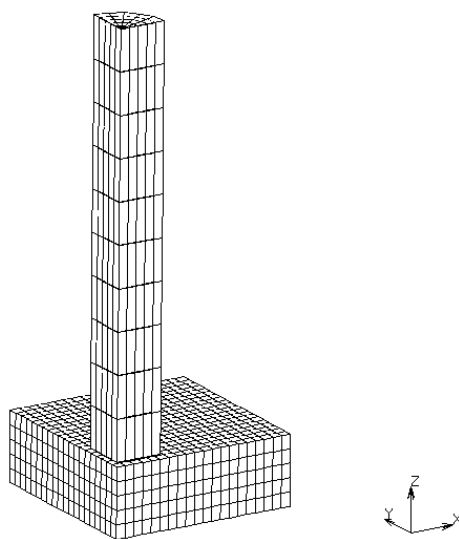


図-1 Marcに用いた解析モデル (1/4)

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、重錘が受ける衝撃力は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 $E_C=2.967\times 10^{10}\text{N/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.2$ 、圧縮強度 $f'_c=4.45\times 10^7\text{N/m}^2$ 、破壊ひずみ $\epsilon'_{cu}=0.0035$ 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節点固体要素を用いて重錘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-1 (Marc-A, B), 解析-2に用いたFEMの数値解析条件を対比して示している。なお、図-2にはMarcで用いたコンクリートの応力-ひずみ曲線を示している。Marc-Aでは引張軟化係数 $\alpha_f=7.5\times 10^5 E_C$ 、接触条件のバイアスを0とし、Marc-Bでは $\alpha_f=E_C$ 、バイアスを0.19とし、

その他の解析条件は同じである。

また、解析-2における衝撃荷重には図-3に示している実験で得られた衝撃力の時刻歴応答波形を用いている。

3.3 解析結果

図-3には落下高さH=500mm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応答波形は二つの波形から成り立っている。第1波目は $t_{\max}=0.216\text{msec}$ で最大応答値179kNとなり、その後の応答波形は急

キーワード：弾塑性有限要素法、コンクリート床板、衝撃力応答波形、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)

激に減少して一旦零値まで下がり、再び $t=0.776\text{msec}$ で第2波目の応答値 61.63kN が発生し、約 $t=1.2\text{msec}$ で終了している。一方、Marc-Aの場合は $t=0$ で高周波成分が発生し、その第1波目では $t=0.18\text{msec}$ で最大応答値が 215kN を示している。第2波目では $t=0.602\text{msec}$ で 170kN となり、衝撃作用時間は約 1.2msec で終了している。一方、Marc-Bでは最大応答値が 225kN で実験値よりやや大きめの値を示しているものの、衝撃力の立ち上がり時間、最大応答値に達する時間、作用時間が実験値

表-1 材料物性値と本解析で用いた数値解析条件

解析条件	解析-1 (Marc-A,B)	解析-2 (FEM)
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 α_t	線形, $A: 7.5 \times 10^{-5} E_c, B: E_c$	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	—	100N/m
接触 (パイアス)	$A: 0, B: 0.19$	—

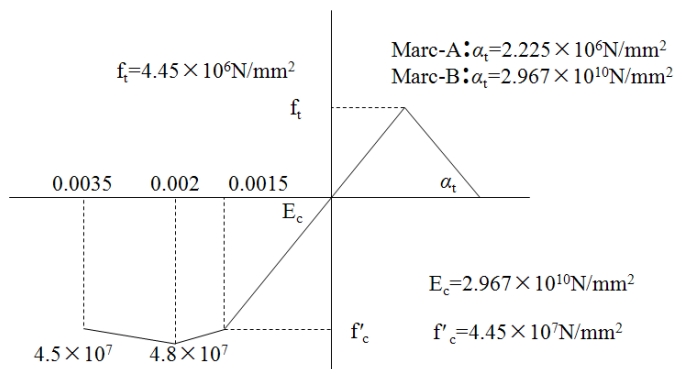


図-2 コンクリートの応力—ひずみ曲線

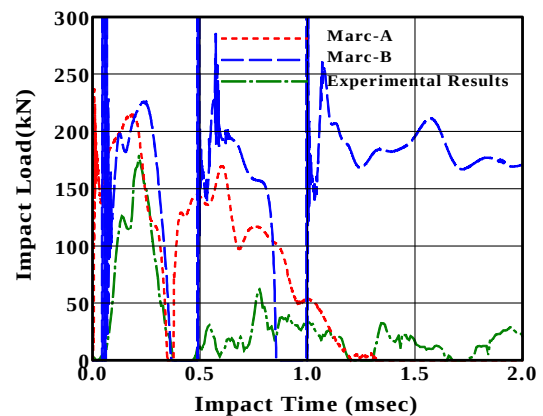


図-3 落下高さ H=500mm における衝撃力の時刻歴応答波形

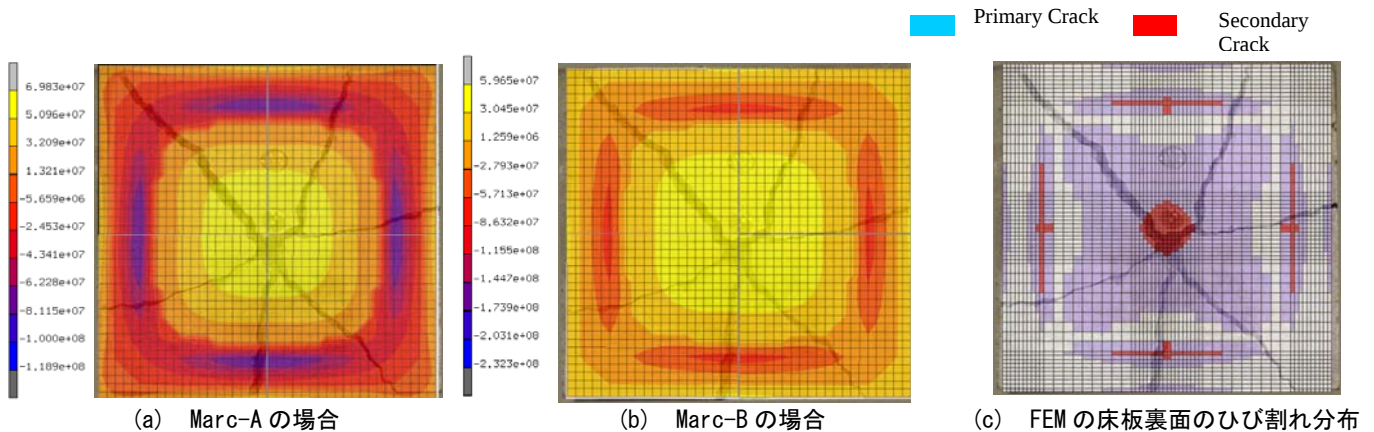


図-4 解析結果と実験結果におけるひび割れ分布の比較

とほぼ一致していることがわかる。しかし、第2波および第3波目の応答波形には減衰状態を呈していないことから、このことについて検討の余地がある。図-4は最大衝撃力発生時における両解析結果と実験結果のひび割れ分布を示している。(a)図、(b)図にはMarc-A、Marc-Bにおける床板裏面の第一主応力分布、(c)図には解析-2 (FEM)によって解析した床板裏面ひび割れ分布を示している。なお、各解析結果と実験結果を比較するために、の実験終了時の床板裏面ひび割れ分布に各解析結果を重ね合わせて示している。(a)、(b)図より、Marc-AおよびBでは引張主応力が荷点近傍で大きく生じ、支持部に向かって同心円状に拡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。Marcで解析したひび割れ分布は両結果共に実験結果と比較的酷似しているものと考えられる。(c)図では荷点直下で二次ひび割れが発生、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-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、実験結果を概ねシミュレートしているものと考えられる。