

## 引張軟化がコンクリート矩形床板の衝撃挙動に及ぼす影響

専修大学北海道短期大学 正会員 三上 敬司

## 1. まえがき

著者は重錘を落下高さ $H=500\text{mm}$ からコンクリート床板に自由落下させた場合、弾・粘塑性のモデル化に降伏面と強度限界面と仮定し、Drucker-Prager型の降伏関数を用いて、降伏応力度および破壊後の軟化係数の変化が衝撃荷重を受ける四辺単純支持コンクリート矩形床板の弾塑性挙動に及ぼす影響に関して検討している。その結果、圧縮挙動における降伏応力度および破壊後の軟化係数がコンクリート床板の衝撃挙動にそれ程顕著に影響を及ぼさないことを報告している。引張挙動には引張軟化曲線やカットオフかのいずれかを用いて動的弾塑性応答解析を行っている研究が多く見られる。

そこで、本研究は、軟化を考慮した場合およびカットオフの場合との相違が落下高さ $H=500\text{mm}$ における衝撃荷重を受ける四辺単純支持コンクリート矩形床板の弾塑性挙動に及ぼす影響に関して、解析結果と実験結果（床板裏面のひび割れ分布）とを比較検討する。

## 2. 実験の概要

衝撃実験はブリティッシュ・コロンビア大学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 $578\text{kg}$ の重錘を落下高さ $H=500\text{mm}$ 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 $100\text{mm}$ の円形かつ平底である。試験体は形状寸法が $400 \times 400 \times 75\text{mm}$ のコンクリート矩形床板で、図-1に示したように（1/4モデル）幅 $50\text{mm}$ 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 $300\text{mm}$ である。また、

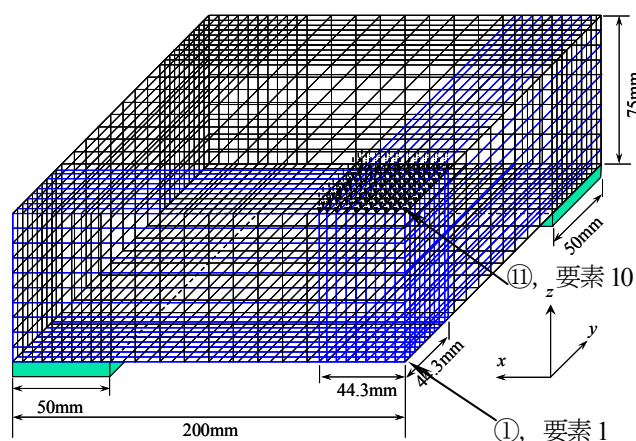


図-1 本解析モデル（実寸法の1/4）

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-3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 $f_c=44.5\text{N/mm}^2$ になるように配合設計を行った。

## 3. 動的解析

## 3.1 コンクリート材料の降伏関数

本研究に用いた降伏関数はコンクリートの材料非線形モデルの圧縮挙動を弾・粘塑性のモデル化に降伏面 $F_0$ と強度限界面 $F_f$ と仮定したDrucker-Prager型を用いた。引張挙動は、図-2に示したように引張軟化を考慮した場合、カットオフの場合を用いている。それらの式(1)に示すと、

$$\left. \begin{array}{l} \text{i) } \varepsilon \leq \varepsilon_0 \text{ の場合 } \quad \sigma = E_0 \varepsilon \\ \text{ii) } \varepsilon > \varepsilon_0 \text{ の場合 } \\ \quad \text{a) 引張軟化を考慮した場合} \\ \quad \quad \sigma = E_0 \varepsilon_0 \exp\left(-\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\alpha}\right) \\ \quad \text{b) カットオフの場合 } \quad \sigma = 0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

ところで、 $E_0$ ：コンクリートの弾性係数、 $\varepsilon_0$ ：ひび割れ発生ひずみ、 $f_t$ ：ひび割れ発生応力度、 $\alpha$ ：引張軟化係数である。また、引張剛性に $e$ 関数を用いたひび割れ発生後のモデル化を行い、ひび割れ発生モデルには一様ひび割れモデル(Smeared Model)を用いた。

## 3.2 数値解析結果

図-1に示した本解析モデルをコンクリート床板の1/4モデルとして、要素全体は8節点固体要素でモデル化している。節点数は9,251個、要素数は7,840個である。支持条件は供試体が周辺単純支持されていることにより、支

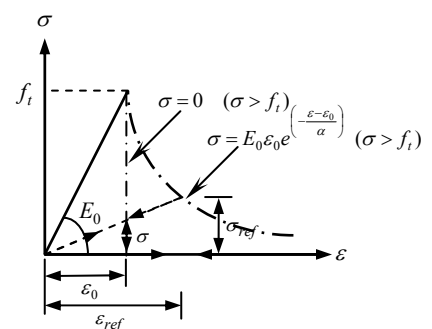


図-2 引張軟化曲線

キーワード：三次元有限要素法、弾塑性衝撃応答解析、コンクリート板、ひび割れ分布、引張軟化、カットオフ

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）

持部の $z$ 方向の変位517点を拘束している。荷重は実験データより得られた衝撃荷重を図-1に示したよう

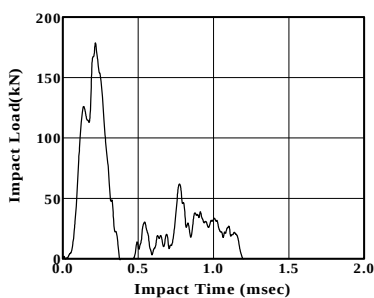


図-3 解析に用いた衝撃力応答波形

にモデル上部100節点に作用させている。なお、載荷幅は実験に用いた重錘底面積を等分布荷重かつ $44.3 \times 44.3 \text{ mm}$ の矩形面積に換算して作用させている。実験結果より、コンクリート材料の物理定数はコンクリートの密度が $\rho = 24 \text{ t/m}^3$ 、ポアソン比が $\nu = 0.2$ 、降伏応力度 $\sigma_0 = 0.15f_c \sim 0.3f_c$ 、破壊ひずみが $\epsilon'_{cu} = 0.003$ である。数値積分は時間刻み $8 \mu\text{sec}$ でNewmark  $\beta$ 法 ( $\beta = 0.25$ ,  $\gamma = 0.5$ ) を用いて行った。減衰項には要素全体にRayleigh 減衰を用い、その減衰定数 $h$ を0.1とした。

### 3.3 解析結果

図-3には実験で得られた  $H=500 \text{ mm}$  における衝撃力の時刻歴応答波形を作用衝撃荷重として、図-1 に示したように載荷している。図-4 は軟化を考慮した場合とカットオフの場合で  $\epsilon_{cr} = 0.0079 \epsilon'_{cu}$ 、 $\sigma_0 = 0.15f_c \sim 0.3f_c$  に対して、図(b), (d)では節点 1, 11 の  $z$  方向変位の時刻歴応答波形を、図(c), (e)では要素 1-6, 11-59 の  $x$  方向応力度の時刻歴応答波形を示している。なお、(b)図には実験結果で得られた加速度値を2回積分して求めた載荷点直下における鉛直方向変位を1点鎖線で示している。図(b), (d)より、最大鉛直変位および除荷後のドリフト量は降伏応力度が小さいほどやや大きな値を示していることがわかる。一方、軟化を考慮した場合とカットオフの場合を比較すると、両者には著しい大差が見られないことがわかる。 $x$  方向応力度の場合は鉛直変位の場合と同様に降伏応力度による影響が大きいものの、軟化を考慮した場合とカットオフの場合の相違による影響は小さいことがわかる。図-5には軟化を考慮した場合およびカットオフの場合で、 $\sigma_0 = 0.15f_c$ ,  $0.2f_c$  におけるコンクリート床板裏面のひび割れ分布を示している。なお、図には実験終了時における床板裏面のひび割れ状況に解析結果を重ねて示している。水色が1次ひび割れ、赤色が2次ひび割れを示している。実験結果では床板中央からひび割れが放射状に6本発生していることがわかる。一方、解析結果では載荷点中央からひび割れが発生し、

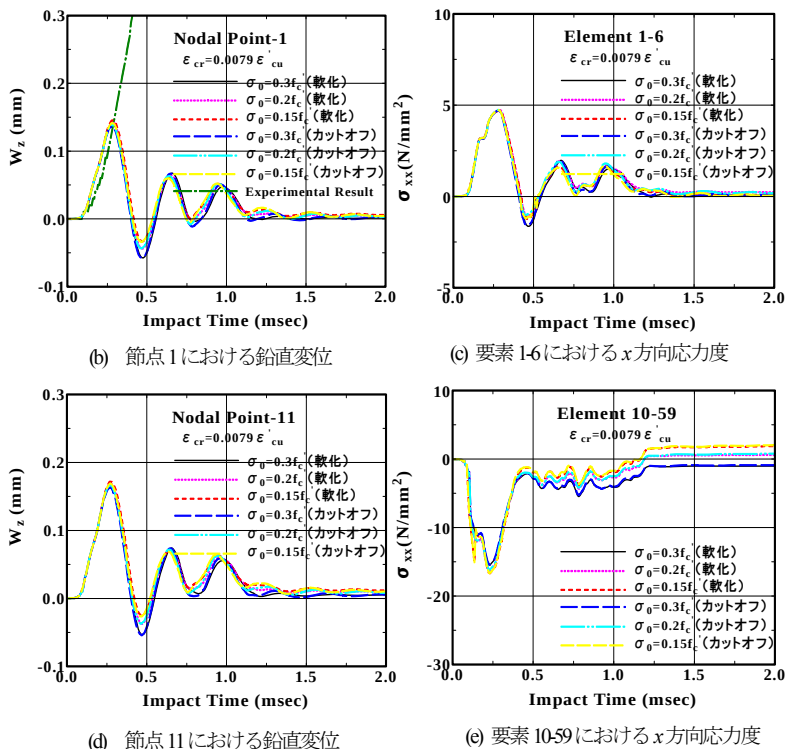


図-4 各接点における $z$ 方向変位、各要素における $x$ 方向応力度の時刻歴応答波形

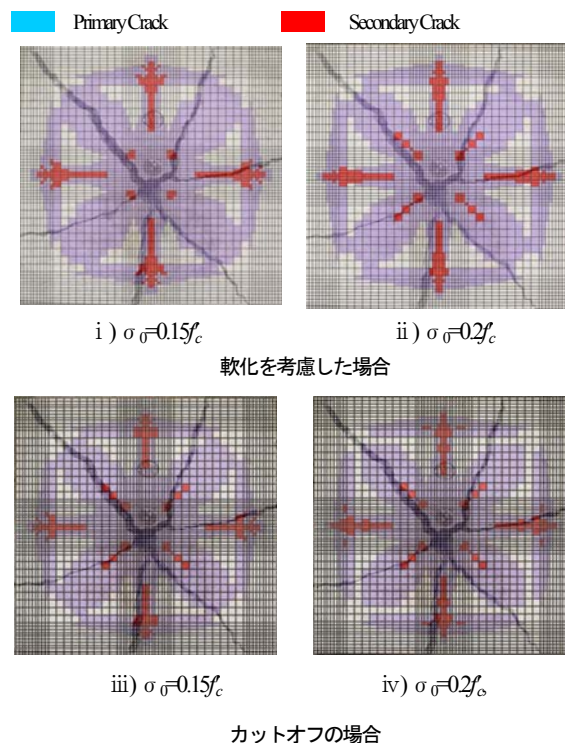


図-5 落下高さ $H=500 \text{ mm}$ におけるコンクリート床板裏面のひび割れ分布( $t=1.448 \text{ msec}$ )

そのひび割れは四隅かつ $x$ ,  $y$  方向に放射状に拡がり、さらに支持部周辺内側部分に拡がっているものの、実験結果と概ね酷似していることがわかる。軟化を考慮した場合とカットオフの場合とを比較すると、軟化を考慮した場合はカットオフの場合に比べてひび割れがやや拡がっていることがわかる。