

剛体パネ要素法によるRCスラブの終局強度解析

大阪市立大学工学部 正会員 園田恵一郎

大阪市立大学工学部 正会員 鬼頭 宏明

三菱重工(株)横浜製作所 正会員○土生川真二

【1.はじめに】 RC構造物は終局状態において、コンクリートのひびわれ、圧壊、せん断、鉄筋の降伏など不連続性の卓越した現象の組合せにより、構造物としての強度を失う。この種の崩壊に至る挙動を巨視的に評価しようと開発された数値解析手法に剛体パネ要素法¹⁾がある。この手法は、実験的事実に基づき、構造物を幾つかの剛体要素とそれらを連結するパネによりモデル化し、非線形性の顕著な塑性現象や不連続の卓越した現象を取り扱おうとしたものである。本研究はこのような剛体パネ要素法の特性に着目し、RCスラブの3次元終局強度解析を行い、既往の実験公式との比較を通してその適用性を検討している。

【2.材料構成モデル】 図1に示すような重心において6自由度 $\mathbf{u}_g: \{u, v, w, \theta, \phi, \chi\}^T$ (後者3成分は回転に対応)を有する3次元剛体要素を用いる。各要素は境界面上に分布した垂直及びせん断パネにより互いに連結され、このパネに表面力によるエネルギーが集中して蓄えられる。すなわち、コンクリートのひびわれ、せん断すべり、圧壊、鉄筋の降伏等の現象は以下に示すとおり要素間のパネに直接導入する²⁾。

(1)コンクリートの直応力-ひずみ関係 図2に示すように、圧縮領域では一軸圧縮強度 f_{co} で規定されるバイリニア関係とし、圧縮限界ひずみに ϵ_{cu} 達した時、圧壊に至ったとみなし応力を解放する。一方、引張領域ではひびわれが発生後 ($\epsilon \geq \epsilon_{to}$) に、テンションスティフネス効果を考慮してひずみ軟化領域を与える。

(2)コンクリートのせん断特性 せん断開始条件として、図3のモル・クーロン型の降伏曲面を採用する。ひびわれ面でのせん断伝達特性はひびわれ幅に依存するせん断剛性低下率により評価した。

(3)鉄筋の応力-ひずみ関係 鉄筋の応力-ひずみ関係は垂直成分、せん断成分ともに、その降伏点により規定されるバイリニア関係で表し、両者間での相関作用は無視できるものとする。

【3.解析モデル】 解析対象は中央で部分等分布荷重を受ける4辺単純支持の等方配筋正方形RCスラブであり、解析モデルでは、図4に示すように曲げ破壊、押し抜きせん断破壊形式のみ考慮した低自由度の要素分割を行った。

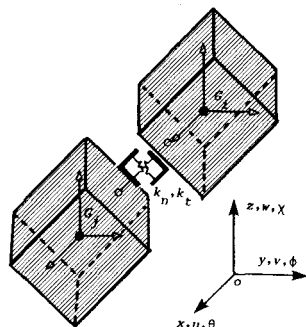


図1 3次元剛体パネ要素系

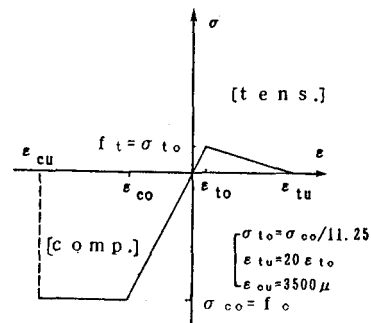


図2 コンクリートの直応力-直ひずみ関係

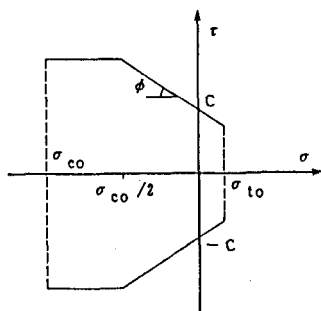


図3 コンクリートのせん断すべり条件

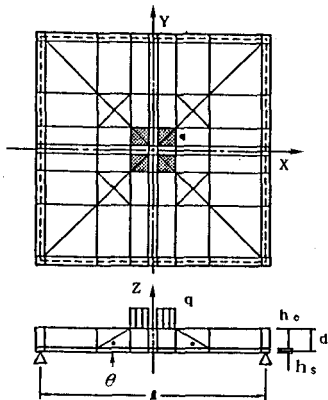


図4 離散化解析モデル

表1 基本となるRCスラブの諸元

	名称	単位	基本値
寸法	スパン長	l (cm)	100
	有効高さ	d (cm)	10
	鉄筋比	p_w (%)	2.0
	載荷辺長	r (cm)	10
	斜めひび割れ角度	θ ($^{\circ}$)	30
材料特性	鉄筋の弾性係数	E_s (kgf/cm 2)	2.1×10^6
	鉄筋の ν ソッ比	ν_s	0.3
	鉄筋の降伏強度	σ_v (kgf/cm 2)	4000
	コンクリートの弾性係数	E_c (kgf/cm 2)	2.4×10^5
	コンクリートの圧縮強度	f_c (kgf/cm 2)	300
	コンクリートの引張強度	$f_t/11.25$	26.67
	コンクリートの ν ソッ比	ν_c	1/6

なお、鉄筋は鉄筋比に準じ等価な鋼板要素に置換している。

【4.解析結果】 解析で基準値とした諸元を表1に示す。まず、要素分割方式の妥当性を調べるために斜めひびわれ角度： θ に着眼した。図5はその一例であるが $\theta=30^{\circ}$ 程度を上限として良好な解が得られている。これより、以下の解析では $\theta=30^{\circ}$ とした。鉄筋比を因子とした解析例(図6)を示す。低鉄筋比領域にて曲げ耐力との関係により終局強度が降下傾向を呈する点と鉄筋比が2%程度を越えると終局強度に対する寄与がなくなる点など実験の事実に対する良好な追従性が確認できる。得られた破壊形式を図7に示す。延性的な曲げ破壊：(a)、脆性的な押し抜きせん断破壊：(b)の性状が粗な要素分割にも係わらず、よく表現できている。図8は、パラメトリック解析結果を終局強度を基準に整理したものである。参照した算定値 P_y は曲げまたはせん断破壊荷重の smaller を採った。参照値に比し0.75-1.30の範囲で1.0近傍に解が集まっており、本手法はRC床版の終局強度解析手法として有用であるといえる。

【5.結論】 主な破壊形式のみ考慮した低自由度の3次元剛体バネ要素モデルを用いてRCスラブの終局強度解析を行った結果、広範囲なパラメータにわたり良好な終局強度、破壊形式が得られ本手法の有用性が検証できた。

〔参考文献〕

- 1) 川井：生研セミナーテキスト(コース76)，1982.
- 2) 川井他，生産研究，Vol.38-4，1986
- 3) 角田他：土木学会論文報告集，No.229，1974.

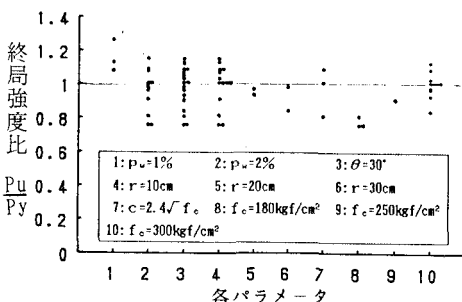


図8 RCスラブの解析結果一覧

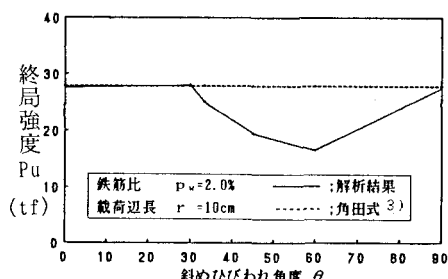


図5 斜めひびわれ角度の影響

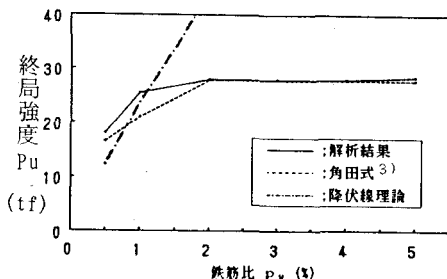
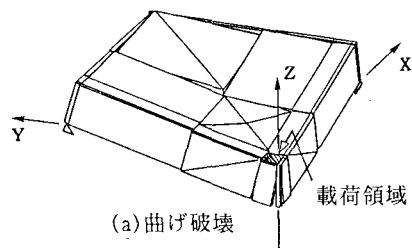
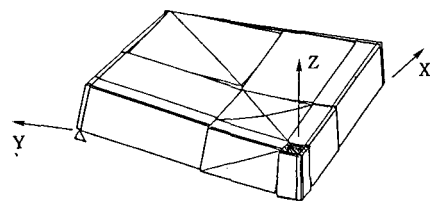


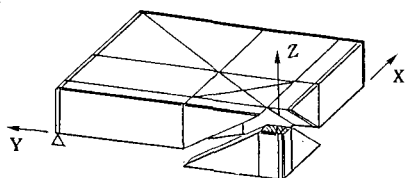
図6 鉄筋比： p_w の影響



(a) 曲げ破壊



(b-1) 押し抜きせん断破壊直前



(b-2) 押し抜きせん断破壊直後

図7 RCスラブの破壊状況(1/4領域)