

合成構造の終局強度解析に対する剛体バネ要素法の適用性について

大阪市立大学工学部 正員 園田恵一郎

大阪市立大学工学部 正員 ○鬼頭 宏明

1 はじめに

構造物は終局状態において、幾つかの剛体ブロックから成るリンク機構を形成し崩壊に至るということが、種々の実験データより観察されている。この事実より、構造物をバネにより連結された剛体としてモデル化した離散化解析手法：剛体バネ要素法¹⁾（以下、RBSM）は終局強度解析に有利であるように思われる。本研究は鋼板・コンクリート合成ばりを対象としRBSMによる終局強度解析を行い、得られた結果と既往の実験公式による値との比較を通し、その適用性を検討したものである。

2 RBSMによる定式化

図1に示すような重心において3自由度 $u_0: \{u, v, \omega\}^T$ を有する要素を用いる。ここでは要素自体は剛体であると仮定し、要素同志は各要素間に分布した垂直およびせん断バネに互いに結ばれ、このバネの表面力によるエネルギーが集中して蓄えられると考える。

①剛性方程式の誘導 要素境界において応力-ひずみ関係は次式で与えられる。（図2参照）

$$\begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \sigma_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_n & 0 \\ 0 & K_t \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_n \\ \varepsilon_t \end{Bmatrix} \quad : \{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}$$

ここに、 $K_n = E/(l_i + l_j)$ は垂直バネ定数、 $K_t = E/(l_i + l_j)/2(1+\nu)$ はせん断バネ定数、 E はヤング係数、 ν はポアソン比、 l は要素重心から境界線におろした垂線の長さ、添え字 i, j は隣接する要素の番号を示す。ここで、 $\{\varepsilon\} = [R]\{u_0\}$ なる関係を用いれば境界線に蓄えられるエネルギー V は、

$$V = \frac{1}{2} \int \{\sigma\}^T \{\varepsilon\} ds = \frac{1}{2} \{u_0\}^T \int [R]^T [D] [R] ds \{u_0\}$$

となり、剛性方程式は、次式で与えられる。

$$\{f_0\} = \int [R]^T [D] [R] ds \{u_0\}$$

ここに、 $\{f_0\}$ は要素重心に作用する荷重を示す。図3 コンクリートの応力ひずみ関係

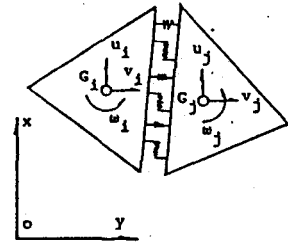


図1 RBSMと座標系

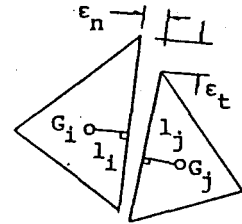
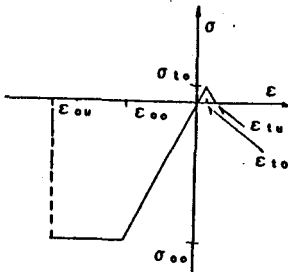


図2 要素境界線でのひずみ



②材料のモデル化 コンクリートの応力-ひずみ関係を図3に示す。直ひずみがその限界値 ε_{tu} , ε_{cu} を越えた時、各々ひびわれ、圧壊が生じたものと見なし、応力を解放する。なお、ひびわれ発生後はせん断応力は伝達できないものと仮定する。コンクリートのせん断すべりの開始条件は図4に示すモール・クーロンの降伏曲面

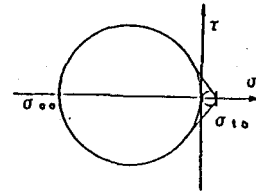


図4 モール・クーロンの降伏曲面

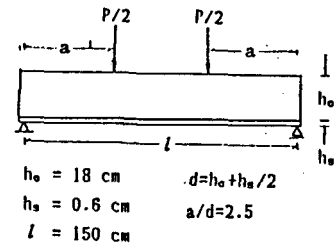


図5 解析対象

3 数値解析結果

終局状態においてせん断破壊が卓越するせん断スパン比 ($a/d=2.5$) を有する鋼板・コンクリート合成ばりについて解析を行った。解析対象は、図5に示す2点载荷を受ける単純支持ばりである。使用した材料定数を表1に示す。要素分割は既往の実験結果より与えられる崩壊形状を参考に決定した。解析に用いた要素分割例を図6に示す。得られた荷重-変位関係を図7に示す。この結果を岡村らが提案したRCばりのせん断耐力算定式²⁾から求められる終局荷重と比較した。算定式による終局荷重 P_u は553kgfに対し、解析結果は550kgfとなり良好な一致をみた。破壊進展図を図8に示す。

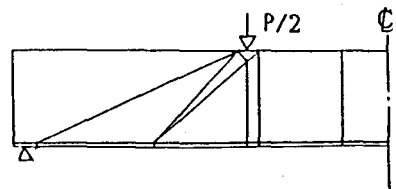


図6 要素分割

4 まとめ

数値解析結果を通して、本手法は鋼・コンクリート合成構造物の終局強度解析に対する有効な方法であることがわかった。

表1 解析に用いた材料定数

コンクリート	初期ヤング係数	E_c	2.40×10^5	kgf/cm ²
	ポアソン比	ν_c	1/6	
	圧縮強度	σ_{cc}	180.	kgf/cm ²
	引張強度	σ_{tc}	16.0	kgf/cm ²
	限界圧縮ひずみ	ε_{cc}	3.61×10^{-3}	
	限界引張ひずみ	ε_{tc}	1.34×10^{-4}	
鋼	初期ヤング係数	E_s	2.10×10^6	kgf/cm ²
	ポアソン比	ν_s	0.3	
	降伏点	σ_y	2.40×10^3	kgf/cm ²

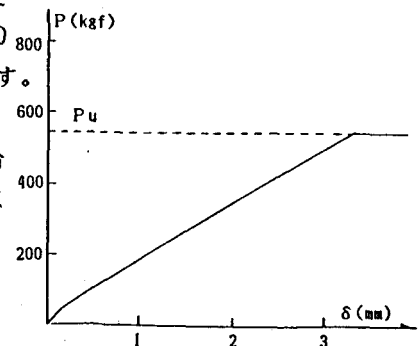
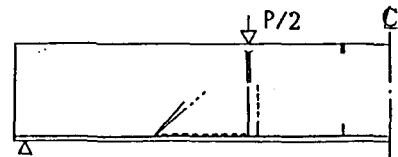


図7 荷重変位関係



ひびわれ 圧壊 せん断すべり

図8 崩壊進展状況 ($P=550\text{kgf}$)

- 参考文献 1)川井、造船学会論文集、第141号、1977
 2)岡村・檜貝、土木学会論文報告集、第300号、1980