

I-244 3次元剛体バネ要素法による鋼板・コンクリート合成床版の終局強度解析

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

三菱重工業㈱横浜製作所 正員○土生川真二

【1.はじめに】 本研究は近年その研究・開発が精力的になされている鋼・コンクリート合成構造の一種である頭付きスタッドをずれ止めとした鋼板・コンクリート合成床版(以下,合成床版)を対象とし,数値解析手法により,その終局強度特性の評価を試みたものである。解析手法としては,構造物の終局状態での挙動を鑑み剛体とバネの集合体として離散化を行う剛体バネ要素法¹⁾(以下,RBSM)を採用している。得られた数値計算結果はモデル実験結果²⁾と比較され,本手法の妥当性を検証している。

【2.RBSMで用いる材料構成関係】 合成床版の構造特性を考慮し,要素重心にて6自由度(並進,回転各3成分)を有する3次元剛体要素を用いる。各要素同志は境界面上に分布した2種のバネ(垂直,せん断)により連結され,このバネにコンクリート,鋼板そして両者を連結するスタッドの非線形材料構成関係を導入する。

(1)コンクリート:図1に示す一軸圧縮強度 f_c で規定される σ - ϵ 関係を用いる。また垂直,せん断両応力の相関関係より図2の降伏局面を導入する。

(2)鋼板:応力-ひずみ関係は降伏点 σ_y で規定されるバイリニア関係とし,図1 コンクリートの直応力-ひずみ関係垂直,せん断両成分の相関関係は無視できるものとする。

(3)スタッド:Fisherら³⁾の提案式を用いてスタッドのずれ挙動(図3);
 $Q(\text{kgf})-\delta(\text{cm}) [Q/Qu = 31.5\delta / (1 + 31.5\delta) : Qu = 0.5As(fc \cdot Ec)^{1/2}]$
ここに As はスタッドの断面積(cm^2),を評価する。

【3.解析モデルの設定】 解析対象としたモデル実験供試体の諸元とその結果を表1に示す。すなわち,スタッド配置方式を因子とした5体の供試体について解析を実行した。図4は,解析対象としたモデル実験供試体の破壊(ひびわれ)状況をコンクリート上面(載荷面)にて描いたものであり,供試体は端部張り出し形式で全辺単純支持(図中----が支承線)とし,スパン中央に等分布部分荷重($125\text{mm} \times 125\text{mm}$)を載荷した。

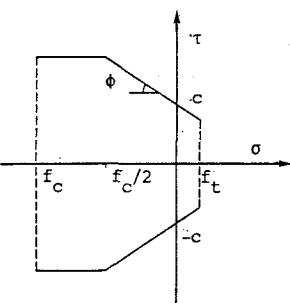
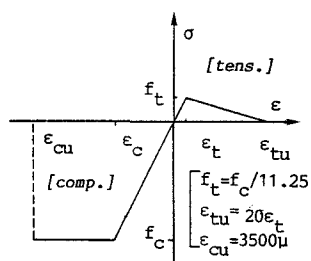


図2 コンクリートの降伏曲面

表1 モデル実験での合成床版の諸元と実験結果

名称	単位	S1	S2	S3	S4	S5
スタッドの配置	※脚注参照	端粗	端密	端2	全粗	全密
スパン長	$l(\text{cm})$			137.5		
コンクリート厚	$h(\text{cm})$			12.0		
鋼板厚	$h_s(\text{cm})$			0.6		
スタッドの高さ	$h_{stud}(\text{cm})$			8.0		
スタッドの軸径	$d_{stud}(\text{cm})$			1.3		
スタッドのせん断強度	$Q(\text{kgf})$			6862		
鋼材の弾性係数	$E_s(\text{kgf/cm}^2)$			2.11394×10^6		
鋼材のポアソン比	ν_s			0.2806		
鋼材の降伏応力	$\sigma_y(\text{kgf/cm}^2)$			3573.8		
コンクリートの弾性係数	$E_c(\text{kgf/cm}^2)$			2.70071×10^6		
コンクリートのポアソン比	ν_c			0.212		
コンクリートの圧縮強度	$f_c(\text{kgf/cm}^2)$			395.5		
コンクリートの引張強度	$f_t(\text{kgf/cm}^2)$			27.97		
終局荷重	$P_u(\text{tf})$	27.0	27.9	30.4	31.9	41.9
破壊形式(付着せん断/押抜きせん断)		付着	押抜	押抜	押抜	押抜

※ S1: 端粗(端部1列に250mm間隔), S2: 端密(端部1列に125mm間隔), S3: 端2(端部2列に125mm間隔)
S4: 全粗(図4参照:全体に250mm間隔), S5: 全密(全体に125mm間隔)

表2 終局荷重と破壊形式(解析結果)

供試体名		終局荷重t		破壊形式
		収束	発散	
CASE 1 STUD 離散化	S 1	10	12	付着
	S 2	35	40	付着
	S 3	45	50	曲げ
	S 4	32.5	35	曲げ
	S 5	60	65	押抜
CASE 1' STUD 離散化	S 1	17.5	20	付着
	S 2	40	45	付着
	S 3	55	—	付着
	S 4	40	45	付着
	S 5	70	80	抜落
CASE 2 STUD 分散化	S 1	30	35	付着
	S 2	45	50	付着
	S 3	45	50	押抜
	S 4	47	50	押抜
	S 5	46	47	押抜

要素分割方式は先に実施したRC床版の終局強度解析結果⁴⁾より図5とした。スタッドのモデル化においては、2種のモデル；①供試体のスタッド配置位置に一組のパネにより表現し離散的に配置したモデル(CASE1.)；点でせん断伝達(図5参照)と②そのせん断強度： Q_u をスタッド配置間隔： l_s により平均化し見かけの粘着項； $c' = Q_u/l_s^2$ と見なして、界面に分散化したモデル(CASE2.)；面でせん断伝達を設定した。また実験時の観察から、合成床版ではずれ変形が顕著であり、それに起因して支承線上の鋼板は並進せず、支承線に沿った回転のみ生じ、通常の単純支持条件とは若干異なっていた。これを境界条件にて考慮したものを各々CASE1'., 2'.としたが、CASE2'は解の性状に対し殆ど影響がなかった。

【4.数値解析結果】 解析結果の概略を記述すれば、スタッド間隔が密で、局所的な押抜きせん断破壊に支配されるものには、スタッドの伝達力特性を分散的に評価したCASE2.が、またスタッドが粗で、ずれ変形を伴う付着せん断破壊を起こすものには、スタッド位置のみで離散的にせん断力を伝達させ、そのずれ特性に考慮を加えたCASE1'が終局荷重：表2、破壊形式：図6の両観点から本解析モデルにて良好な結果を与えるといえる。

【5.まとめ】 合成床版の終局強度解析手法として、RBSMはスタッドの配置方式に対応して、そのモデル；離散型と分散型を使い分ければ、主な破壊形式のみ考慮した低自由度な分割でも終局強度特性の評価が可能な解析手法であり、その有用性が確認できた。

参考文献 1)川井：固体力学諸問題の離散化極限解析，生研セミナーテキスト(76)，1982。

2)園田他：鋼板・コンクリート合成床版の力学的挙動に関する実験的研究，全国大会概要集(1)，1990。

3)Olgaard, Slutter & Fisher: Engineering Journal of AISC(5), 1971。

4)園田他：剛体板要素法によるRCスラブの終局強度解析，関西支部概要集，1990。

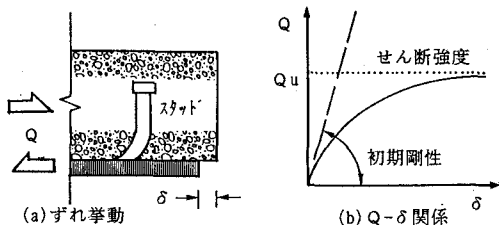


図3 スタッドの変形特性³⁾

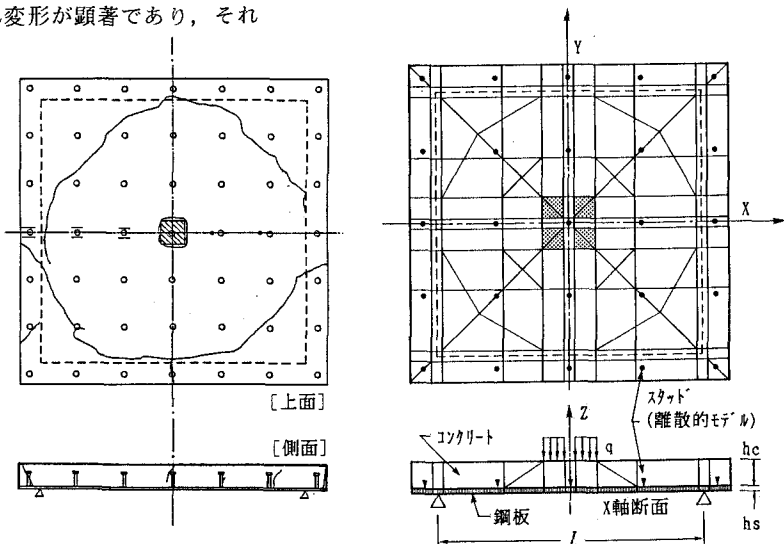


図4 モデル実験供試体の破壊状況(S4)

図5 RBSM要素分割例

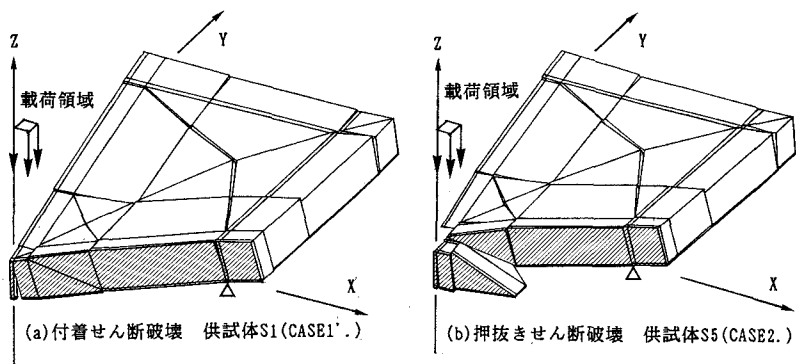


図6 破壊形式(1/4領域，解析結果)：X軸断面