［209］　鉄筋コンクリート板の局部要素の挙動

正会員　○品川　清和　（ピーシー橋梁　技術部　）
正会員　　白石　紀之　（ピーシー橋梁　技術部　）
正会員　　時田　秀往　（清 水 建 設 土 木 部 ）
正会員　　山崎　　淳　（東京都立大学工学部）

１．対象構造物及び研究目的と手法

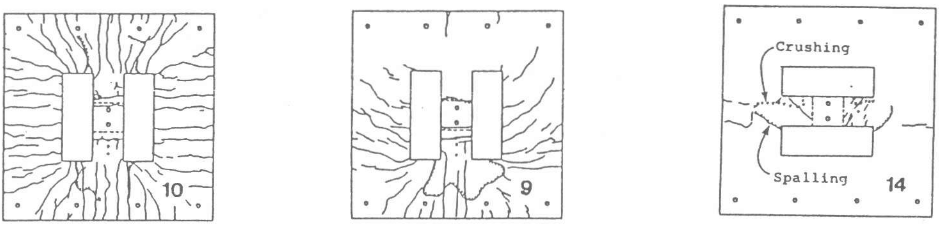
フラットスラブ等において、スラブと柱の接合部の強度特性の解明上の主要問題は、（１）着目部の応力分布が不明なこと、（２）その部分の拘束下における強度・変形特性が不明なことである。（１）の解明には、応力解析が必要であり、（２）の解明には構造実験が必要である。本報告では、問題領域の強度・剛性をパラメトリックに変化させ、実験における全体構造の強度・剛性と一致する時の値を推定値と定めた。尚、格子理論は板曲げ理論による解析と比較すると一長一短があるがその利点は離散化により部材の挙動を、より明確に、より大局的に捉える点にある。

２．格子構造解析における材料非線形性の取り扱い

増分法と割線法の２種類の解析を行なった。ＦＯＲＴＲＡＮで書いた通常のマトリックス構造解析を１６ビットパーソナルコンピュータで行なった。

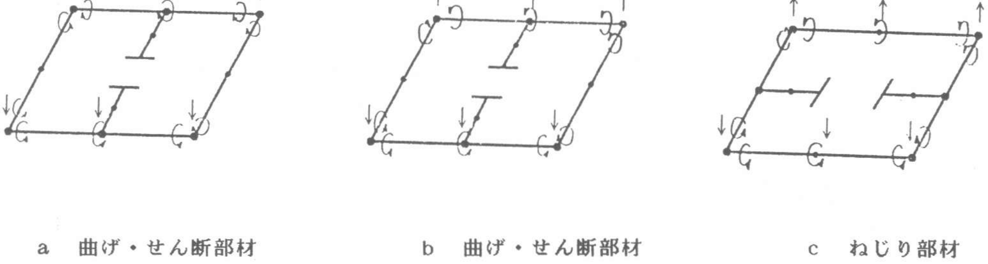
２－１．モデル化

図－１，ａ，ｂ，ｃの実験供試体を図－２，ａ，ｂ，ｃのように、１２接点１２要素（増分法）及び１６接点１６要素（割線法）に分割し、ｘ，ｚ方向は回転、ｙ方向は変位を表わす３つの自由度を持つ格子要素にモデル化した。



ａ　対称載荷　　　ｂ　逆対称載荷　　　ｃ　逆対称載荷

図－１　実験供試体　（寸法：１０×１４０×１４０ｃｍ）



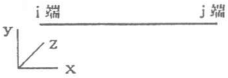
ａ　曲げ・せん断部材　　　ｂ　曲げ・せん断部材　　　ｃ　ねじり部材

図－２　モデル化　（１００×１００ｃｍ）

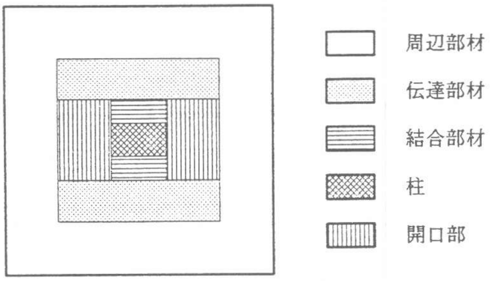
2－2．要素剛性の直接的計算方法

要素を周辺部材、伝達部材、結合部材に分けそれぞれの剛性を決定する。（図－４参照）

	Xi	Yi	Zi	Xj	Yj	Zj
Xi	$\frac{GJ}{\ell}$	0	0	$\frac{-GJ}{\ell}$	0	0
Yi	0	$\frac{12EI}{\ell^3}$	$\frac{6EI}{\ell^2}$	0	$\frac{-12EI}{\ell^3}$	$\frac{6EI}{\ell^2}$
Zi	0	$\frac{6EI}{\ell^2}$	$\frac{4EI}{\ell}$	0	$\frac{-6EI}{\ell^2}$	$\frac{2EI}{\ell}$
Xj	$\frac{-GJ}{\ell}$	0	0	$\frac{GJ}{\ell}$	0	0
Yj	0	$\frac{-12EI}{\ell^3}$	$\frac{-6EI}{\ell^2}$	0	$\frac{12EI}{\ell^3}$	$\frac{-6EI}{\ell^2}$
Zj	0	$\frac{6EI}{\ell^2}$	$\frac{2EI}{\ell}$	0	$\frac{-6EI}{\ell^2}$	$\frac{4EI}{\ell}$



E：ヤング係数
G：せん断弾性係数
I：断面二次モーメント
J：ねじり定数
A：断面積
ℓ：要素長さ



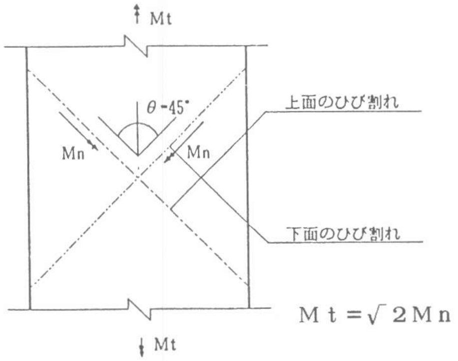
図－３　格子構造要素の剛性マトリックス　　　図－４　部材の名称

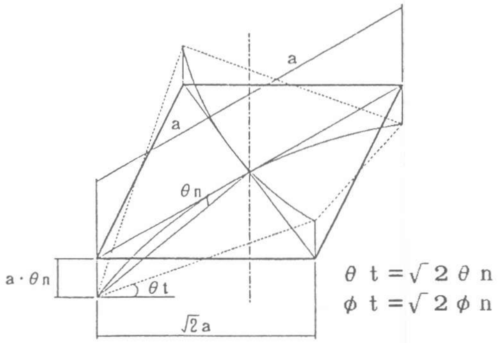
2－2－1．結合部材の曲げ剛性

結合部材の曲げ剛性は、ひずみの直線分布を仮定した通常の方法による曲げモーメントMと曲率Φの傾きで与えられる。

2－2－3．結合部材のねじり剛性

鉄筋コンクリートにねじりモーメントを加えた場合、図－５のようなひび割れが発生する。これは、ねじりモーメントの方向と４５゜の角度を持つ面に作用する、２つの主方向の正負の曲げモーメントに置き換えて考える事ができる。又、図－６に示すねじり曲率と主方向曲げ曲率の関係より、ねじりモーメントとねじり曲率の関係も、Φ＝M／ＧＪで表わされる。





図－５　ねじりモーメントと主方向曲げモーメント　　　図－６　ねじり曲率と主方向曲げ曲率

2－2－2．周辺部材、伝達部材の剛性

周辺部材、伝達部材はひび割れ断面とし、計算のインプットデータとしては、全断面有効とした場合の断面二次モーメントＩとねじり剛度Ｊを用い、仮定した曲げ剛性ＥＩとねじり剛性ＧＪの値となるように、ヤング係数Ｅとせん断弾性係数Ｇの有効値で補正する。ＥとＧの有効値は、下式によって求める。

ひび割れ断面の場合

$$I_{cr} = 1/3\,b x^3 + nA_s(d-x)^3$$

$$x = \{-np + \sqrt{(np)^2 + 2np}\}\,d$$

$$\rho = A_s/(bd)$$

$$n = E_s/E_c$$

全断面有効の場合

$$I_{gr} = bh^3/12$$

有効値

$$E = I_{cr}/I_{gr}E_c$$

2－3．周辺部材、伝達部材の実験値との比較による剛性の修正

変位に占める周辺部材、伝達部材の影響は、結合部材を剛体として求めた変位であると仮定した。（ねじり部材の解析に於いては、この解析による変位が実験値の変位を越えた。これは仮定した周辺部材、伝達部材の剛性が低いという事である。よって周辺部材、伝達部材の剛性を通常のコンクリートが持つヤング係数の値に修正して以後の解析を進めた。）

2－4．増分法による格子構造解析

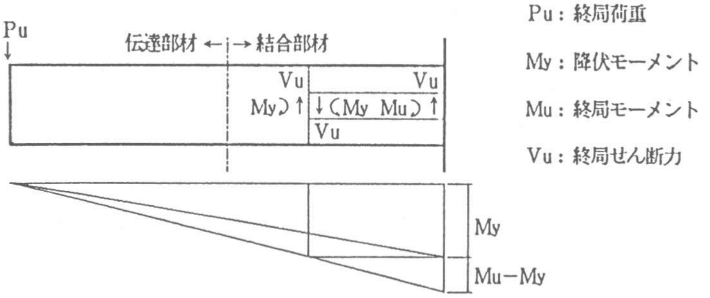
（a）　鉄筋降伏直前の状態について、実験値に合うように結合部材の剛性を求める。

（b）　鉄筋降伏以降の状態について、実験値より荷重と変位の増分を求め、それを基にして結合部材の剛性を求める。

（c）　それぞれの値を足し合わせて、終局時の曲げモーメントMuと曲率Φuとする。

2－5．割線法による格子構造解析

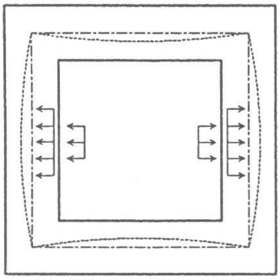
既に降伏した部材の終局状態での表現は、（1）剛性は降伏後の接線剛性とし、その断面力が維持できるように降伏した要素の両端に、（2）降伏時点でのその部材の断面力の符号を反転のしたものを、その部材の節点に外力として加える。終局荷重に対して解析を行なった。（図－7参照）



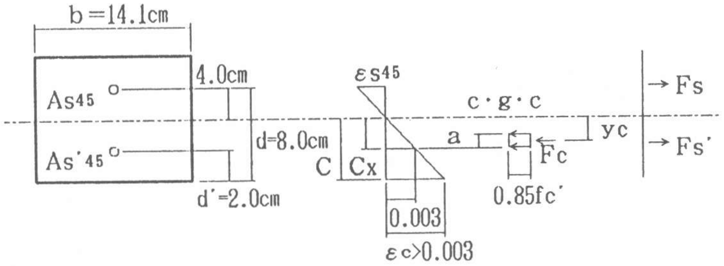
図－7　結合部材の断面力

3．結合部材の軸方向伸び拘束

断面図心に生じた引張ひずみを部材軸方向に積分したものが、部材の伸びと考えられる。これを周辺部材が拘束する事によって、伝達部材、結合部材には軸力が発生すると考えられる。（図－8参照）。伸びをゼロとする一つの基準として、部材図心でのひずみがゼロとなる場合を考えて、曲げ卓越部材とねじり卓越部材の場合の軸力をそれぞれ計算する。（図－9参照）



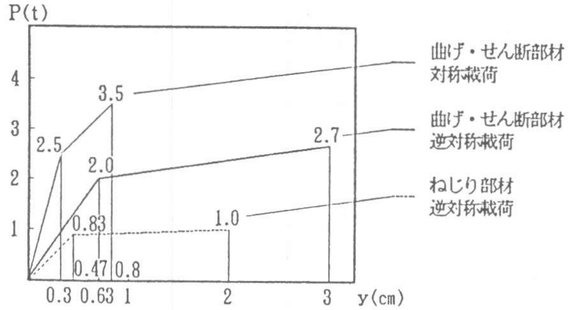
図－8　軸力の発生



図－9　ねじり部材軸方向伸び拘束

4．結　果

図－9は、実験による荷重Pと変位yの関係をバイリニアーな関係に理想化したものである。解析における荷重－変位関係が、これと一致するように定めた結合部材断面の曲げモーメントMと曲率Φの関係が図－10と図－11の実線である。また、図中の破線は、軸力がある場合とない場合の計算値である。又降伏時のせん断力を、次ページの表－1に表わす。

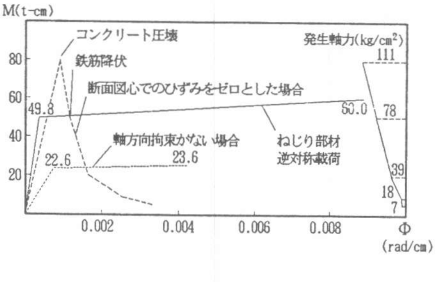


図－９　実験と解析による荷重－変位関係

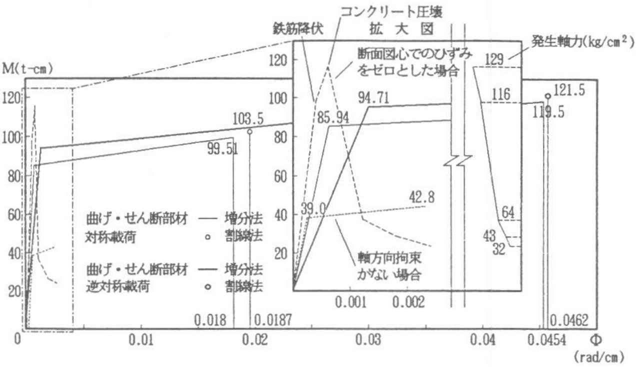
表－１　せん断係数

$V/A \times 1000/0.07\sqrt{(fc'/0.07)}$

	せん断係数
曲げ部材・対称載荷	２．８
曲げ部材・逆対称載荷	２．２
ねじり部材・逆対称載荷	０．９



図－１０　ねじり部材の曲げモーメント
－曲率関係



図－１１　曲げ・せん断部材　対称載荷と逆対称載荷の
曲げモーメント－曲率関係

５．結　　論

本研究により、実験供試体の応力状態、着目部分の剛性及び強度の推定値が得られた。さらに、計算値の剛性および強度の解析結果との比較検討により、部材の軸方向伸び拘束力の影響が大きいことを示唆する結果となった。

６．今後の課題

曲げ卓越部材とねじり卓越部材が組み合わせて、フラットスラブ接合部全体の挙動の解析による予測が次の段階である。この研究を進めるにあたっては、要素の剛性マトリックスに、軸力を表わす項目を加えて解析してゆく必要があるように思われる。又、挙動再現の精度を上げるためには、鉄筋の抜け出しの影響（支点の移動）等も考えていかなければならないと思われる。

謝　　辞

本研究は、文部省科学研究Ｎｏ．６０５５０３３８の一環であり、第一著者の昭和６０年度都立大学卒業研究をもとにしたものである。本研究の格子構造解析に用いたマトリックス構造解析プログラムの基本部分を作成した山本仁氏（昭和５７年度都立大学卒業、現・吉川建設（株），飯田市）及び、コンピュータプログラムについて協力を得た、早川淳一氏（昭和６０年度都立大学卒業研究生）に厚く御礼申し上げる。

参考文献

１）時田秀往、北尾、山崎：鉄筋コンクリート板の押し抜きせん断試験、第４回コンクリート工学年次講演会講演論文集、１９８２