せん断スパンがRCスラブの押抜きせん断破壊に与える影響に関する解析的検討

北海道大学大学院　学生員　○高橋　良輔
北海道大学大学院　正会員　佐藤　靖彦
北海道大学大学院　正会員　上田　多門

1. はじめに

RCはり部材のせん断耐力は、せん断スパンが小さくなるにつれ増大する[1]。このことは、スラブにおいても同様に起こりうると予想されるが、現在、RCスラブの押抜きせん断耐力設計式にはせん断スパンの影響が考慮されていない[1]。そこで、著者らの作成した3次元有限要素プログラムを用いて数値実験を行い、せん断スパンがRCスラブの押抜きせん断挙動に与える影響について調べた。

2. 検証解析

既往のRCスラブの押抜きせん断実験に対する比較解析をし、プログラムの妥当性の検証を行った。

2.1 実験概要

妥当性検証のための比較試験として、八若らによるRCスラブの押抜きせん断試験[2]を選択した。既往の押抜きせん断試験結果は、そのほとんどが耐力に関するものであるが、解析を目的とした八若らの研究では荷重・変位関係、およびひび割れ図について詳細に述べられている。実験は、供試体寸法は変えず、載荷位置及び支持条件を種々変えた静的載荷試験である。ここでは支持条件がローラー支持である供試体のうち5体を選択し(Fig.1,Table 1)、それらについて解析を行った。

2.2 解析プログラム概要

解析には本研究室で開発中の3次元非線形有限要素プログラム[3]を用いた。ひび割れモデルは分散・固定ひび割れモデルで、1ガウス積分点あたりの最大ひび割れ発生本数を2本とした。また引張り軟化構成モデルの軟化勾配については、要素の等価長さおよび破壊エネルギーの概念を用いる事が多いが、本研究ではひび割れ本数を最大2本としており、2本発生時の破壊エネルギー定義のための実験データに乏しく、算定が現状では難しい。そこでひび割れ間隔を仮定して応力-変位関係の軟化構成モデルを応力ひずみ関係に変換して適用している。尚、ひび割れ間隔は実験結果を参考に決定した。収束計算にはニュートンラプソン法を用い、全変位の2乗和に対する変位増分の2乗和の比で収束判定し、判定基準を10^{-5}とした。尚、与えた許容回数に達しても収束しなかった場合は、その時点の残差力を次の荷重ステップに持ち越して計算を続行した。

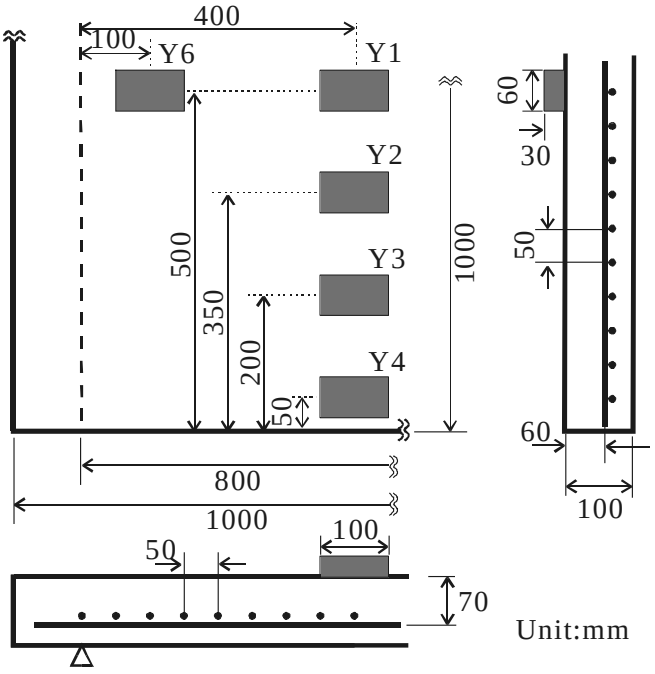

Fig.1　Test Specimen[2]

Table 1　Material properties

	location of the loading point from (mm)	Concrete		Re-bar(D10)	
		Compressive strength	Tensile strength	Young's modulus	Yield stress
		(MPa)	(MPa)	(GPa)	(MPa)
Y1	edge 500	33.4	2.81	186	377
Y2	edge 350	32.3	2.93		
Y3	edge 200	29.5	2.71		
Y4	edge 50	30.2	2.82		
Y6	support 100	30.2	2.82		

2.3　解析モデル

解析モデルは対称性を考慮し、Y1～Y4については実部材の1/4モデル、Y6については1/2モデルとして作成した。RC要素の領域のとり方については、かぶりの2倍とする方法や安らによる方法[3]などがあるが、そのどちらの方法を用いてもRC領域が部材の中立軸位置に干渉してしまうため、それを防ぐように、また上下2方向の鉄筋の軸とRC要素の図心軸位置が重なるよう

キーワード　3次元，非線形有限要素法，RCスラブ，押抜きせん断
連絡先　〒060-8628 札幌市北区北 13 条西,8 丁目　北海道大学大学院工学研究科　複合構造工学分野　TEL 011-706-7550

領域を決定した。各供試体の材料特性は実験のものを用いた、ただしコンクリート弾性係数は圧縮強度からコンクリート標準示方書[5]により求めた。

4. 解析結果

解析結果について、荷重-変位関係をFig.2に示す。Y1～Y3については、変形、耐力ともに非常によく一致している。Y4については、途中まで解析値は実験値によく一致しているが、押抜きせん断破壊のような脆性的な破壊は見られず、曲げ破壊のような挙動を呈している。Y6については、これも200kNまではほぼ一致している。しかし、それ以降解析における荷重はほとんど増加せず変位のみ増加している。以上より、解析結果は実験結果に概ね一致していると言える。しかし、載荷位置が支点に近い場合の耐力およびや端部に近い場合の破壊性状はまだ十分にとらえきれているとは言えず、その場合の検討は今後の課題である。

5. せん断スパンの影響

せん断スパンがRCスラブの押抜きせん断挙動に与える影響について調べるため数値実験を行った。現在、スラブのせん断スパンについての明確な定義がないため、今回は単純にスパンを変化させた。Y1に対し支間が2倍、1/2で、それ以外の全ての寸法および材料諸数値がY1と同一である2体(Table 2)を作成し、解析を行った。尚、解析におけるその他の諸条件については全て前述の検証解析と同一である。

荷重変位関係をFig.2に、ピーク時におけるひび割れ性状をFig.3に示す。せん断スパン比が小さいほど、剛性と耐力が増加する傾向が見られる。スパンの最も大きいA1では、斜めひび割れはほとんど見られず、曲げ破壊である。一方、Y1,A2においては載荷板から支点に至る斜めひび割れ発生していることから、押抜きせん断破壊であり、これらの耐力差はこの破壊性状の違いによると思われる。また押抜きせん断破壊であるY1とA2の間おいても大きな耐力差が確認でき、RCはり同様の傾向が確認できるが、この原因がどのような機構によるものであるかについては、今後、より緻密な実験と解析が必要である。以上より本研究の範囲において、せん断スパンが押抜きせん断耐力、および破壊性状に影響を与えることが明らかとなった。

６．まとめ

・本FEMプログラムによるRCスラブの押抜きせん断破壊の荷重変形性状は、実験結果と概ね一致する。
・数値試験の結果より、せん断スパン比は押抜きせん断破壊耐力および破壊性状に大きく影響を与えることが明らかである。

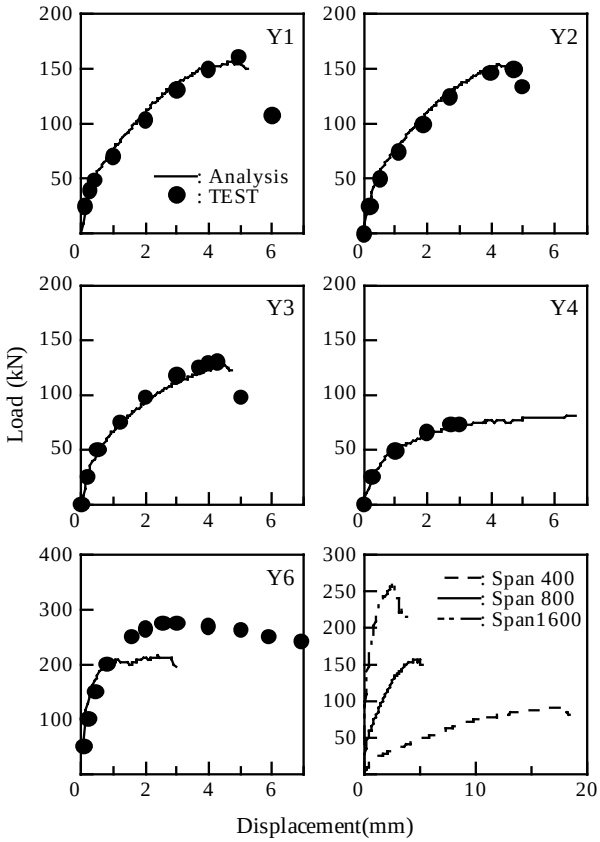

Fig.2 Load-displacement relationships

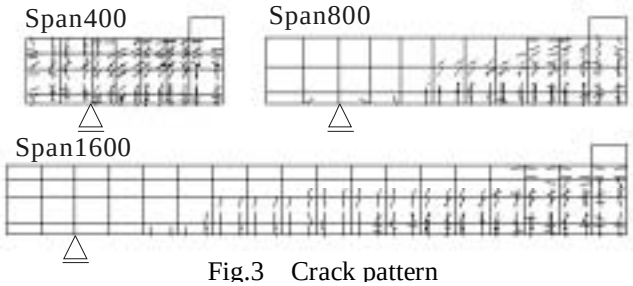

Fig.3 Crack pattern

参考文献

1. コンクリート標準示方書(平成三年度版)改訂資料およびコンクリート技術の今後の動向, コンクリートライブラリー，土木学会，第70号，1989年
2. 八若幹彦，磯貝勇，中村光，斎藤成彦：3D-FEMによるRCスラブの押抜きせん断破壊性状の解析，構造工学論文集，土木学会，Vol.47A，pp.1339-1346，2001年3月木学会，第70号，1989年
3. 高橋良輔，佐藤靖彦，上田多門：3次元非線形有限要素解析による鋼コンクリート合成板のせん断挙動シミュレーション，土木学会，Vol.48A，pp.1297-1304，2002年3月
4. X.AN, K.MAEKAWA and H.OKAMURA : NUMERICAL SIMULATION OF SIZE EFFECT IN SHEAR STRENGTH OF RC BEAMS J.Materials Conc. Struct., Pavements, JSCE, No.564/V-35, pp.297-316, 1997 May
5. コンクリート委員会：コンクリート標準示方書 構造性能照査編，土木学会，2002 年