

(5) せん断補強鉄筋の無いプレストレストコンクリートはりのせん断強度の解析的研究

○東京大学工学部

会員 上田 多門

元アジア工科大学院

Heru Darjudi Eko Putro

1. はじめに

鉄筋コンクリートはりのせん断強度は、これまで多くの研究により明らかにされてきたが、その多くは実験に基づくものである。その中でプレストレストコンクリートなど、軸力を伴う場合の研究は十分ではなく、せん断強度の推定精度は低く、合理的な強度の解明が急がれている。そこで本研究では、最近になって新しい研究成果の蓄積の著しい鉄筋コンクリートの構成則を適用した、非線形有限要素法を用い、せん断補強鉄筋の無いプレストレストコンクリートはりのせん断強度の解析的な推定を試みた。その結果明かになった、いくつかの知見を報告するものである。

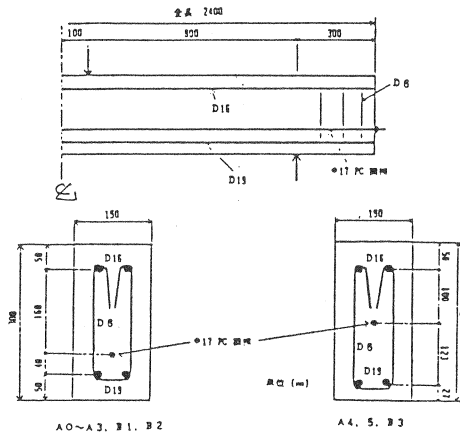
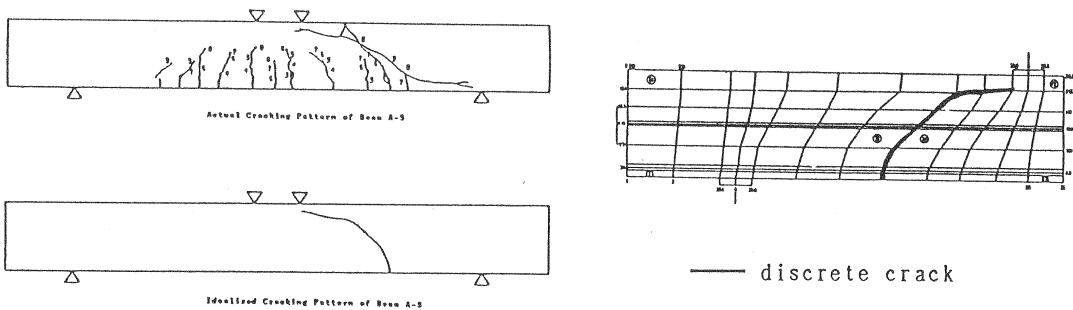


Fig. 1 Specimen



(a) Observed and analysed cracks

(b) Meshing

Fig. 2 Observed and Modeled Cracks

2. 解析手法

解析に使用した有限要素法プログラムは、「COMM2」¹⁾で、コンクリート要素のモデルは前川のモデルである。COMM2には、ボンドリンク要素が用意されており、本研究では、せん断ひびわれでの力の伝達および、鋼材とコンクリートとの間の付着力を表現するために用いた。せん断ひびわれでの力の伝達には、ひびわれ面ですべりがある場合には李・前川モデル²⁾を、すべりが無い場合 (<0.001mm) は Reinhardtらのモデル³⁾を用い、付着には、島らのモデル⁴⁾を用いた。従って、せん断ひびわれはdiscrete crackであり、予めひびわれ位置にボンドリンク要素を挿入しておいた。せん断ひびわれの位置、形状は、実際のプレストレストコンクリートはりの実験結果⁵⁾を参照して決めた。図1にプレスト

Table 1 Shear Strengths

Specimen	f_c' MPa	P_{eff} kN	x_1 mm	x_2 mm	x_3 mm	$V_{su,exo}$ kN	$V_{su,FEM}$ kN	$V_{su,cal}$ kN	(7)	(8)	$V_{fu,cal}$ kN
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(8)	(9)	(10)
A-0	26.6	0	28	119	55	44.1	40.5	40.4	1.08	1.00	75.8
A-1	24.6	48	43	136	85	51.5	53.9	54.7	0.96	0.99	76.5
A-2	26.6	112	57	145	90	59.3	54.1	61.9	1.10	0.87	84.8
A-3	24.6	152	66	162	115	72.6	62.6	69.6	1.14	0.90	83.7
A-4	36.5	99	62	102	65	63.3	63.2	64.4	1.00	0.98	83.3
A-5	36.5	0	34	86	55	46.6	63.5	55.5	0.73	1.15	77.7
B-1	57.5	148	38	84	55	89.2	101.4	87.5	0.88	1.16	118.6
B-2	57.5	41	-	83	40	67.7	70.9	65.4	0.96	1.08	117.7
B-3	57.5	152	37	83	60	78.5	79.3	94.6	0.99	0.84	102.5

Note :

- (2) Cylinder strength
- (3) Effective prestressing force
- (4) Observed depth of shear crack at loading point
- (5) Calculated neutral depth at maximum moment region at flexure failure
- (6) Neutral depth obtained by FEM at maximum moment region at shear failure
- (7) Measured ultimate shear strength
- (8) Ultimate shear strength obtained by FEM
- (9) Calculated ultimate shear strength using x_3
- (10) Calculated flexure strength

レストコンクリートはり供試体を、図2に実際のひびわれと要素分割の例を示す。なお、せん断ひびわれに接するコンクリート要素は、実際の状況に合わせるため、ひびわれが入らない要素とした。そのほかのコンクリート要素は、COMMM2に用意されているもので、ひびわれは smeared crackモデルである。プレストレス力は、解析するはり⁵⁾に合わせ、PC鋼材の端部に鋼製の定着板に相当する鋼の要素を設け、この要素に測定された有効プレストレス力⁵⁾を外力として作用させることにより、導入した。

2. 解析結果

表1に示した解析結果と実験結果との比較より、供試体A-5を除き概ねFEMによりせん断強度が推定されていると言えよう。解析結果を検討してみると、終局強度は、最大曲げモーメント区間の曲げ圧縮部のコンクリート要素の圧縮破壊（ひずみ軟化）により決定されている。破壊現象は、曲げ破壊と同一であるが、終局強度は計算される曲げ強度よりはるかに小さい（表1参照）。コンクリートの圧縮破壊の生じる最大曲げモーメント区間でのある断面でのコンクリートのひずみ分布を見ると、その理由が明らかになる。即ち、表1に示すように、FEMによる解析結果より求まる中立軸の位置（ x_3 ）は、曲げ破壊すると仮定して計算される中立軸の位置（ x_2 ）よりかなり上にある。即ち、圧縮部の厚さが薄く、このことが、曲げ圧縮部でのコンクリートの破壊を早め、せん断強度（せん断圧縮破壊強度）を曲げ強度より小さくしていると考えられる。せん断圧縮破壊時のコンクリートの中立軸の位置（ x_3 ）は、その断面での観察されたせん断ひびわれの位置（ x_1 ）とも異なり、せん断ひびわれは曲げ圧縮部の中にあることが、表1より明らかである。

FEMによる解析結果も、実験結果と同様に、プレストレス力の増加にともない、はりのせん断強度も増加することを示している。表1にも示されているように、プレストレス力が増大すると、コンクリートの曲げ圧縮部の厚さ（ x_3 ）も増大する。従って、曲げ圧縮部が圧壊するときの荷重も増大し、終局せん断強度が増大することになる。

実験により観察された、せん断ひびわれの先端部の深さ（ x_1 ）は、プレストレス力が増大するほど深くなる。曲げ圧縮部の増大にともなって、その中を進展するせん断ひびわれもその位置を変化させているわけである。このせん断ひびわれの深さの違いが、はりのせん断強度に影響を与えるかどうかを調べるために、せん断ひびわれより上のコンクリートの厚さのみを変えて（20mmと70mm）、FEMにより、はりの終局せん断強度を求めた。その結果は、両者の間に有為な差はなく、この程度のせん断ひびわれの深さの差異は、せん断強度、言い替えれば、コンクリートの曲げ圧縮部の厚さに差を生じさせないといえる。

FEMによる解析の結果、荷重点の外側の、曲げおよびせん断が作用する断面では、載荷点の内側の最大曲げモーメント区間と比較すると、曲げ圧縮部の厚さが厚く、コンクリートに作用する主圧縮応力はかなり小さい。この点が、ここでコンクリートの破壊が生じなかった理由と考えられる。従って、本研究で考慮している、集中荷重を受けるはりのせん断圧縮破壊の場合、最大曲げモーメント区間でのコンクリートの曲げ圧縮部の破壊を、破壊基準と考えてよい。前述したように、曲げ圧縮部の厚さが、単純に曲げ破壊を仮定し

た場合より薄いので、これを別途推定する必要がある。曲げ圧縮部の厚さをFEMの解析により求められた値とし、通常の曲げ強度を算定する場合の等価応力ブロックを用いて、破壊時の曲げモーメントを計算し、終局せん断強度を求めた(表1の $V_{su,cal}$)。単純な仮定による算定にもかかわらず、このせん断強度の算定値は、FEMにより算定されたせん断強度と概ね一致している。即ち、曲げ圧縮部の厚さが、何らかの方法で推定されれば、せん断圧縮破壊する場合の、終局強度の推定が可能になると考えられる。

3. 結論

- (1) コンクリートの材料非線形を考慮し、せん断ひびわれをdiscrete crackでモデル化した、有限要素解析により、プレストレストコンクリートを含む鉄筋コンクリートはりがせん断圧縮破壊する場合の、強度の推定が可能である。
- (2) せん断圧縮破壊は、最大曲げモーメント区間での、曲げ圧縮部のコンクリートの破壊により生じる。この時の、曲げ圧縮部の厚さは、通常の曲げ破壊時より薄く、これが、曲げ強度よりせん断強度が小さくなる原因である。
- (3) せん断圧縮破壊時の、曲げ圧縮部の厚さが推定できれば、通常の曲げ強度を求める手法で、せん断強度を推定できる。

4. 謝辞

本研究の一部は、齊藤記念プレストレスト・コンクリート技術研究奨励基金より研究助成を受けていることを記すとともに、ここに深謝致します。

参考文献

- 1) 前川 宏一、二羽 淳一郎、岡村 甫：鉄筋コンクリート用解析プログラム「COM M 2」、第2回RC構造のせん断に対する解析的研究に対するコロキウム論文集、日本コンクリート工学協会、1983年10月、pp. 79-86.
- 2) Li, B., Maekawa, K. and Okamura, H.: Contact Density Model for Stress Transfer across Cracks in Concrete, Journal of the Faculty of Engineering, the University of Tokyo(B), Vol. XL, No.1, March 1989, pp. 9-52.
- 3) Reinhardt, H. W., Cornelissen, H. A. W. and Hordijk, D. A.: Tensile Tests and Failure Analysis of Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 11 2, 1986, pp. 2462-2477.
- 4) Shima, H., Chou, L. L. and Okamura, H.: Micro and Macro Models for Bond in Reinforced Concrete, Journal of the Faculty of Engineering, the University of Tokyo(B), Vol. XXXIX, No.2, September 1987, pp. 133-194.
- 5) 堀部 慶次、上田 多門：鉄筋コンクリートはりのせん断挙動に与える軸圧縮力の影響、第40回年次学術講演会講演概要集第5部、土木学会、1985年9月、pp. 319-320.