

コンクリートのせん断強度の定式化とRCはりの曲げ・せん断破壊遷移鉄筋量の特定に関する研究

日大大学院 学生会員 ○高野真希子 日本大学 正会員 木田哲量 日本大学 正会員 加藤清志
日本大学 正会員 阿部 忠 浅野工専 正会員 加藤直樹

1. はじめに

コンクリートのせん断強度はRC構造物の設計上重要な特性値であるため、前報¹⁾では一面せん断試験におけるせん断強度特性値を定式化した²⁾が、さらに、RCはりのせん断強度を求めた場合、せん断強度は供試体寸法により支配されることが明らかになった²⁾。そこで本研究では、はりにおけるせん断強度を求める場合、その供試体寸法への依存性を考察した。また、曲げ破壊とせん断破壊とを区別する主筋量を定式化したものである。

2. 実験方法

使用コンクリート強度は $f'_c=35\text{N/mm}^2$ 、供試体寸法は断面積比 $\xi=A/A_0$ ($A_0=\square 100\text{mm}$)、1, 2, 2.5, 3, 4, 5を基本とし、せん断スパン比($a/d=1.0$)に点荷重を載荷した。

3. 破壊モード

図1, 2にせん断破壊モードを示す。よってこの場合は供試体寸法にかかわらず、全て曲げ破壊であった。図1, 2は、2D13および4D13を曲げ破壊先行防止鉄筋に使用した場合の破壊モードであるが、いずれも斜めせん断ひび割れが生じており、典型的なせん断破壊といえる。なお、図1中、一部は曲げ破壊と斜めせん断破壊とが同時に生じているものである。図2には、鉄筋量が減少することによる曲げ・せん断の複合破壊モードを示す。図2では圧倒的に斜めせん断破壊が卓越していることがわかる。以上から図1の $p=2.9\sim 0.5\%$ の場合は曲げ・せん断の遷移領域と考えられる。また、同一構造コンクリート強度にもかかわらず、両図から主筋量の増大によりせん断強度が大きく評価される。この現象的事実は、曲げ破壊とせん断破壊とを支配する鉄筋量の存在を示唆している。この重要な物理量を“限界せん断制御鉄筋量(比)”(Critical shear controlling steel ratio)と呼ぶ⁴⁾。

4. 限界せん断制御鉄筋量の算出

4.1 終局限界状態からの算出法

図3に示すRCはりをモデルとし、理論せん断耐力による曲げモーメント M_u と、載荷断面の抵抗曲

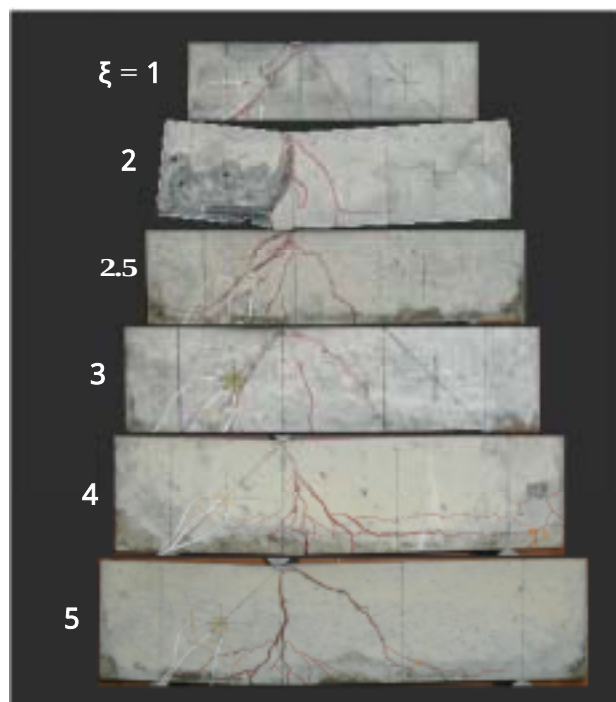


図1 せん断破壊モード(2D13の場合)
 $\xi=A/A_0$ ($A_0=\square 100\text{mm}$)

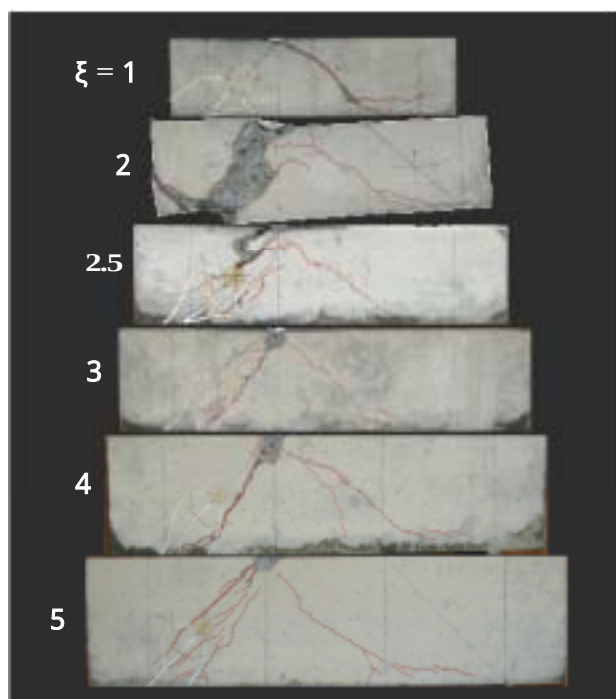


図2 せん断破壊モード(4D13の場合)
 $\xi=A/A_0$ ($A_0=\square 100\text{mm}$)

キーワード：せん断強度，寸法効果，主筋量，限界せん断制御鉄筋量，ひび割れモーメント

連絡先：〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学 TEL：047-474-2460

げモーメント M_u とが平衡する条件より, 限界鉄筋量 p_c は式(1)により求められる。

$$M_u \equiv_s M_u \quad (1)$$

ここで, $M_u = b_w d^2 f_{yd} p (1 - p m / 2)$, p : 鉄筋比 ($p = A_s / b d$), m : 強度比 ($m = f_{yd} / 0.85 f'_c$), $s M_u = V_A \cdot a = 0.504 a b_w h f'_c{}^{2/3}$, a : Shear span

式(1)より, 式(2)の“限界せん断制御鉄筋量 p_c ”が与えられる。

$$p_c = (1/m) \left(1 - \sqrt{1 - 4 \times (m/2) \times (0.588 a / m d^2 \sqrt{f'_c})} \right) \quad (2)$$

$$\equiv (1/m) \left(1 - \sqrt{1 - \lambda} \right)$$

ここで, $\lambda = 1.176 a / (d^3 \sqrt{f'_c})$

式(2)により, 限界せん断制御鉄筋量は断面諸定数と圧縮強度との関数で表されることが明らかになった。理論的には, 主筋量が式(2)の限界せん断制御鉄筋量より多くなるとせん断破壊が先行し, 少なくなるとせん断破壊に先行して曲げ破壊が生じることとなる。

[適用例] 図3に示す実験例は $A_s = 3D16$ を使用したが, この場合の鉄筋比は 1.4% であり, 式(2)による限界せん断制御鉄筋比は 1.7% となった。よってほぼ近似していることがわかり, 事実, 破壊モードは支点と載荷点を結ぶ鮮明な斜めせん断破壊となった。

4.2 Bazant 式とひび割れモーメント

限界せん断制御鉄筋量を算出する場合, 厳密さに欠けるため実用的な平衡鉄筋量を算出するためには, ひび割れ開始モーメントで扱う方法が妥当であると考え。そこで, 理論せん断耐力としての Bazant 式とひび割れモーメントの関係より鉄筋量を検討することとする。曲げ強度慣用法を採用して, 鉄筋量が未定であることから p を変数として Bazant 式とひび割れモーメントからの等価値を次のように求めた。

(1) 曲げ強度慣用法によるひび割れモーメント⁵⁾

単鉄筋単純ばりのひび割れモーメント M_{crd} は, 式(3)となる。

$$M_{crd} = f_{bk} \frac{I_g}{y_2} = \Phi f_{bk} b h^2 \quad (3)$$

$$\Phi = \frac{(1 + n p \kappa)^2 / 3 - (1/2 + n p \kappa^2) \{1/2 + n p \kappa (1 - \kappa)\} + n p \kappa (\kappa - 1/2)^2}{(1 + n p \kappa) \{1/2 + n p \kappa (1 - \kappa)\}}$$

ここに, $I_g = b/3 (y_1^3 + y_2^3) + n p b d (d - y_1)^2$, $y_2 = h - y_1$, $\kappa = d/h$,

(2) Bazant 式⁶⁾による曲げモーメント

Bazant 式による曲げモーメント M_a は, 式(4)で表される。

$$M_a = 0.54 p^{3/5} \left[\sqrt{f'_c + 249 \sqrt{\frac{p}{(a/d)^5}}} \right] b d a \quad (4)$$

ここに, d_a : 粗骨材最大寸法, d : 有効高さ(mm)

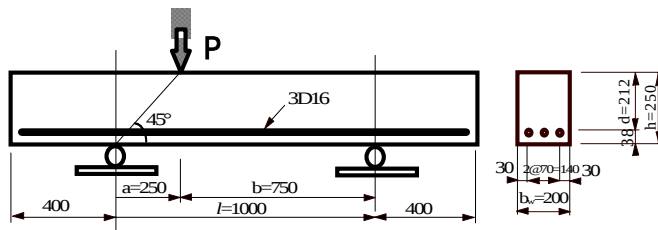


図3 検証RCはりの供試体の形状と寸法(mm)

$$\Psi = \frac{1 + \sqrt{0.58 / d_a}}{\sqrt{1 + d / (25 d_a)}}$$

(3) 平衡モーメント

曲げモーメントの平衡条件は, 式(3), (4)とから式(5)となる。

$$M_{crd} = M_a \quad (5)$$

式(5)で, 繰り返し計算(Iteration 法)を適用して $p = 1.2\%$ ($A_s = p b d = 508 \text{ mm}^2$) と算出される。適用鉄筋量の推定には終局限界状態からの算出法によっても十分であるが, より実用的な平衡鉄筋量を算出するためには, Bazant 式とひび割れモーメントとの関係からの算出が妥当であると考え。

5. まとめ

(1) はりの斜め圧縮型せん断試験法による場合は先行曲げ破壊防止用の主筋を必要とする。

(2) 終局限界状態式には多数の仮定があるため, 限界せん断制御鉄筋量は過大値となるが, Bazant 式によれば実用的な平衡せん断鉄筋量が求まることが判明した。

[参考文献]

- 1) Makiko TAKANO, Tetsukazu KIDA, Kiyoshi KATO, Tadashi ABE and Naoki KATO: "Formulation of Practical Shear Strength of Concrete and Its Application", Theoretical and Applied Mechanics Japan vol.51, pp.63-68(2002)
- 2) 村田吉晴, 高野真希子, 加藤直樹, 加藤清志: コンクリートのせん断強度と寸法効果に関する研究, 第57回セメント技術大会講演要旨(2003)
- 3) 伊藤茂富, コンクリート工学, 森北出版(1972)
- 4) 高野真希子ほか, 実用的試験法によるコンクリートのせん断強度特性値の定式化とはりせん断耐力推定への応用に関する研究, 第52回理論応用力学講演会講演論文集, pp.593-594(2003)
- 5) 加藤清志, 河合紘茲, 加藤直樹: 鉄筋コンクリート工学, 共立出版(1999)
- 6) D.Dupont et al., Shear Capacity of Concrete Beams Containing Longitudinal Reinforcement and Steel Fibers, Proc. 3rd Int. Conf. on CONSEC (2001)