

収縮および強度発現性状が異なる高強度 RC はりのせん断破壊挙動

東京工業大学大学院 学生会員 ○中村 麻美
東京大学生産技術研究所 正会員 松本 浩嗣
東京工業大学大学院 フェロー 二羽 淳一郎

1. はじめに

高強度コンクリートでは硬化時に大きな自己収縮を伴うため、高強度コンクリートを用いた RC 部材では、収縮に起因してコンクリートに生じる引張応力が大きな問題となる。収縮に起因して鉄筋近傍のコンクリートに微細ひび割れが生じることも報告されている¹⁾。既往の研究で、収縮による斜めひび割れ発生荷重の低下が確認され、収縮を考慮した斜めひび割れ発生荷重算定式が提案された²⁾が、内部応力状態および微細ひび割れ挙動に影響を及ぼすと考えられる収縮および強度発現の履歴は考慮されていない。早強セメント、普通セメントを用いて履歴の影響を調べた既往の研究では、セメントの種類に起因した履歴の差が小さく、初期応力状態およびせん断破壊挙動にほとんど差が見られなかった³⁾。本研究では、早強セメント、および既往の研究で用いられていない中庸熱セメントと高炉セメントを用いて、履歴がせん断破壊挙動に及ぼす影響を調べることを目的として、強度試験、収縮試験、RC はり載荷試験を実施した。

2. 実験概要

コンクリートの計画配合を表 1 に示す。Ref 供試体には早強セメント、MPC 供試体には中庸熱セメント、BPC 供試体には高炉セメントと膨張材を使用した。いずれの配合も水結合材比 (W/B) は 23% である。

RC はりの概要を図 1 に示す。有効高さ (d) は 150 mm であり、せん断スパン有効高さ比 (a/d) は 4.0 である。

強度試験では $\Phi 100$ mm の円柱供試体を用いて、材齢 12 時間から載荷直前までの間に数回、圧縮強度、引張

強度、弾性係数を測定した。ただし、Ref 供試体では載荷直前のみ強度を測定した。収縮試験では打込み直後から載荷直前まで、100 mm×100 mm×400 mm の角柱供試体を用いて自己収縮ひずみを、RC はりを用いて鉄筋ひずみを測定した。載荷試験では RC はりの静的 3 点曲げを行い、荷重、スパン中央での変位を測定した。

なお、型枠による拘束や乾燥収縮の影響が極力小さくなるよう、テフロンシートなどを用いて型枠による拘束を低減し、養生は封緘養生とした。

3. 実験結果

強度発現履歴の一例として、引張強度発現履歴を図 2 に示す。また、自己収縮ひずみおよび鉄筋ひずみの履歴を図 3 に示す。なお、これらのひずみは、それぞれ、ひずみの実測値から、線膨張係数を 10×10^{-6} ($1/^{\circ}\text{C}$) として算出した温度ひずみを差し引いて求めた。

図 3 に示すように、BPC 供試体では MPC 供試体と比較して、自己収縮ひずみに対して鉄筋ひずみが相対的により小さい。BPC 供試体の自己収縮が急速に進む材齢 16 時間から材齢 10 日において、図 2 に示すように、BPC 供試体では MPC 供試体よりも強度発現が遅いため、より深刻な微細ひび割れが BPC 供試体の鉄筋近傍のコンクリートに生じていた可能性が考えられる。

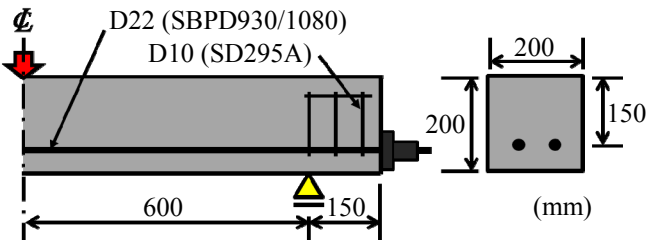


図1 RC はりの概要

表1 コンクリートの計画配合

供試体名	セメントの種類	W/B (%)	SF/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
					W	C	SF	EX	S	G	SP
Ref	早強	23	10	45	155	607	67	0	703	886	4.7
MPC	中庸熱					607	67	0	708	892	4.7
BPC	高炉					592	67	15	696	877	4.7

B : 結合材 (=C+SF+EX), SF : シリカフューム, EX : 膨張材, SP : 高性能減水剤

キーワード 高強度コンクリート, 自己収縮, 強度発現, 履歴, せん断破壊

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-17 TEL03-5734-2584

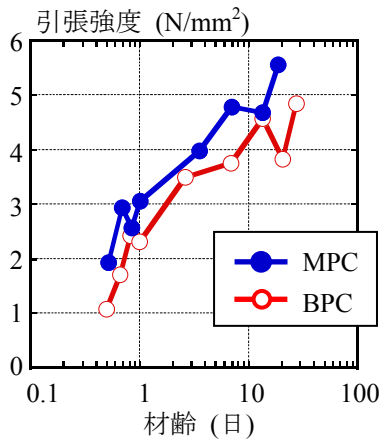


図2 引張強度発現履歴

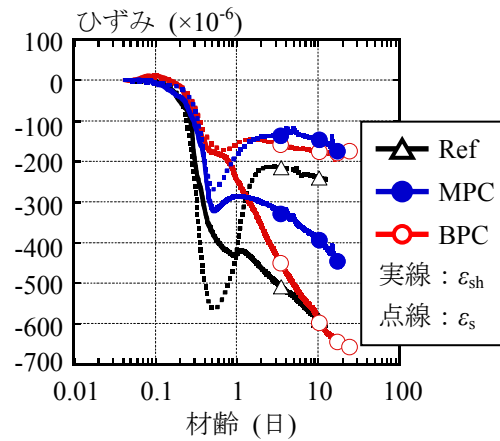
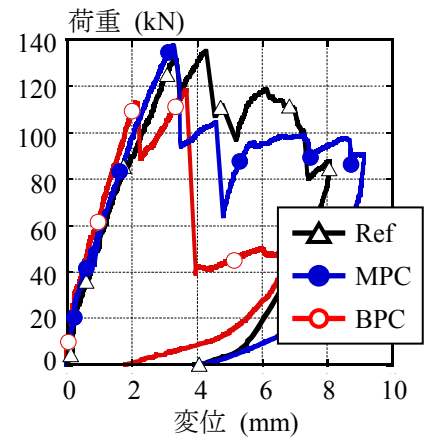
図3 自己収縮ひずみ (ϵ_{sh}) と鉄筋ひずみ (ϵ_s)

図4 荷重—変位関係

表2 強度試験結果, 収縮試験結果, 載荷試験結果

供試体名	f'_c (N/mm ²)	f_t (N/mm ²)	E_c (kN/mm ²)	$\epsilon_{sh,def}$ ($\times 10^{-6}$)	$\epsilon_{s,def}$ ($\times 10^{-6}$)	P_c (kN)	P'_c (kN)	$P_{c,cal}$ (kN)	$P_c/P_{c,cal}$
Ref	98.7	5.42	40.5	-605	-244	131.5	131.5	120.9	1.09
MPC	96.2	5.56	40.7	-458	-176	137.7	133.9	124.3	1.11
BPC	83.4	4.84	39.7	-660	-174	113.2	114.4	119.6	0.95

f'_c : コンクリートの圧縮強度, f_t : コンクリートの引張強度, E_c : コンクリートの弾性係数,

$\epsilon_{sh,def}$: 載荷直前の自己収縮ひずみ, $\epsilon_{s,def}$: 載荷直前の鉄筋ひずみ, P_c : 斜めひび割れ発生荷重,

P'_c : コンクリート強度と収縮量で正規化した斜めひび割れ発生荷重, $P_{c,cal}$: 斜めひび割れ発生荷重計算値

強度試験結果, 収縮試験結果, 載荷試験結果を表 2 に示す. また, 荷重とスパン中央での変位の関係を図 4 に示す. 最初のピーク荷重を斜めひび割れ発生荷重 (P_c) と定義した. 斜めひび割れ発生荷重の計算値 ($P_{c,cal}$) を表 2 に示す. $P_{c,cal}$ は, 式(1)に示す収縮を考慮した斜めひび割れ発生荷重算定式²⁾により求めた.

$$V_{c,cal} = P_{c,cal}/2$$

$$= 0.11E_c^{2/5} f_t^{1/5} (100p_{w,e})^{1/3} d^{-2/5} \{0.75 + 1.4/(a/d)\} b_w d \quad (1)$$

ここで, E_c : コンクリートの弾性係数 (N/mm²), f_t : コンクリートの引張強度 (N/mm²), $p_{w,e}$: 等価引張鉄筋比, d : はりの有効高さ (mm), a : はりのせん断スパン (mm), b_w : はりの幅 (mm), である.

履歴の影響のみを評価するために, コンクリート強度と収縮量で正規化した斜めひび割れ発生荷重 (P'_c) を用いて比較する. P'_c は式(2)により求めた.

$$P'_c = P_c \times \frac{E_{c,Ref}^{2/5} f_{t,Ref}^{1/5} p_{w,e,Ref}^{1/3}}{E_c^{2/5} f_t^{1/5} p_{w,e}^{1/3}} \quad (2)$$

ここで, $E_{c,Ref}$, $f_{t,Ref}$, $p_{w,e,Ref}$: Ref 供試体のそれぞれ E_c (N/mm²), f_t (N/mm²), $p_{w,e}$, である.

表 2 に示すように, Ref 供試体と MPC 供試体では P'_c にほとんど差はないが, BPC 供試体の P'_c は MPC 供試体の P'_c の 85% であり, MPC 供試体と BPC 供試体では斜めひび割れ発生荷重の算定精度 ($P_c/P_{c,cal}$) に多少の

差を生じた. MPC 供試体と BPC 供試体において生じた斜めひび割れ発生荷重に関するこれらの差は上述の微細ひび割れによる付着劣化性状に起因するものと考えられる.

4. 結論

- (1) 高強度コンクリートの収縮履歴および強度発現履歴が著しく異なると, 収縮による鉄筋近傍の微細ひび割れ性状に大きな差が生じる可能性がある.
- (2) 高強度コンクリートの収縮履歴および強度発現履歴は, 鉄筋近傍の微細ひび割れによる付着劣化性状に起因して, 高強度 RC はりのせん断破壊挙動に影響を及ぼすものと考えられる.

参考文献

- 1) 丸山一平ほか: RC プリズムにおける自己収縮による微細ひび割れ発生と収縮応力挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 1, pp. 587-592, 2006
- 2) 河金甲, 佐藤良一: 高強度 RC はりの斜めひび割れ発生強度に及ぼす収縮の影響評価, 土木学会論文集 E, Vol. 65, No. 2, pp. 178-197, 2009
- 3) 刑部圭祐ほか: 自己収縮履歴と強度発現履歴の組合せが高強度コンクリートはりのせん断破壊に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, No. 2, pp. 373-378, 2014