

防衛大学校 学生員 ○黒木勇人 宮地鐵工所 正 員 太田 貞次
防衛大学校 正 員 香月 智 防衛大学校 フェロー 石川 信隆

1. 緒 言

コンクリート充填鋼管内の充填コンクリート（以下、鋼管詰めコンクリートと呼ぶ）は、鋼管の拘束効果により圧縮強度が増加することが知られている。しかし、その高速変形時の動的挙動については未解明なままである。そこで本研究は、鋼管詰めコンクリートの高速載荷圧縮試験を行い、鋼管拘束およびひずみ速度が応力～ひずみ関係に及ぼす影響について検討したものである。

2. 高速載荷実験の概要

本研究では、高速載荷装置を用いて高速載荷では約 3.0m/秒、中速度では約 1cm/分で、静的では約 0.5mm/分速度で載荷治具を変位させて載荷した。供試体は、図-1 および表-1 に示す鋼管に充填しないプレーンコンクリート（1 種類）、円形鋼管詰めコンクリート（4 種類）および角形鋼管詰めコンクリート（3 種類）の計 8 種類である。コンクリートの配合を表-2 に示す。鋼管とコンクリートとの間には剥離剤を塗布して摩擦を小さくするように工夫した。実験に際しては、図-1 に示すように各供試体の内径（内幅）より約 1mm 小さな径（幅）で、厚さ 10mm の鋼製の押し込み板を上下にあてて内側のコンクリート部のみに載荷荷重が作用するようにした。計測は、図-2 に示すように荷重、供試体の変形および供試体表面のひずみを計測した。

3. 実験結果および考察

図-3(a)に、一例として円形鋼管詰めコンクリート供試体（D=34mm, t=2.3mm）に対する高速載荷時のコンクリートの軸方向応力およびひずみの時刻歴データを示す。これより、コンクリートの最大応力は、ひずみがほぼ 20000 μ に達する時で、この間の平均ひずみ速度を求めると、概ね 1.3×10^6 (1/sec) のひずみ速度となる。図-3(b)は、鋼材の円周方向のひずみと、それを鋼管母材の応力～ひずみ関係に代入して求めた応力の時刻歴応答を示したものである。これを図-3(a)と同調してみると軸方向コンクリート強度(200N/mm²)は、鋼材の周方向ひずみ(2500 μ)が降伏点に達した後に得られていることがわかる。図-4には、図-3(a)に示した時刻歴データの時間軸を同調させて得られる高速載荷時の応力～ひずみ関係を、鋼管種類をパラメーターとして比較図示する。図-4(a)の円形鋼管詰めコンクリート供試体の場合、プレーンコンクリートが 2000 μ で

20N/mm²の最大応力に達した後、その後に軟化するのに対し、鋼管詰めコンクリートは、いずれの供試体も軟化領域が現れず、20000 μ まで硬化型で耐力が増加し続ける。

表-2 コンクリート配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)
10	12 $\pm$ 2	4.3	47.5	42.0
単位量(kg/m ³)				
水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材	混和材料
171	360	725	1019	1.440

備考：普通ポルトランドセメントを使用

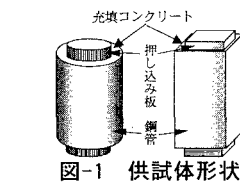


図-1 供試体形状

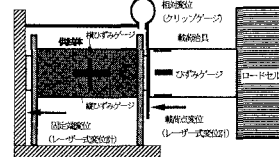
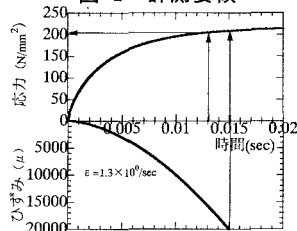
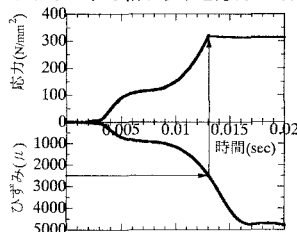


図-2 計測要領



(a) コンクリートの軸ひずみと応力～時間関係



(b) 鋼管の円周方向ひずみと応力～時間関係

図-3 ひずみと応力～時間関係
(円形鋼管：D=34mm, t=2.3mm 供試体) 高速載荷実験

供試体	鋼管の種類	高さ(mm)	外径(D) 幅(B)(mm)	厚さ(mm)
PN	無		50	
SQA	角形	100	50	1.6
SQB			50	2.3
SOC			50	3.2
CRA	円形	100	34	2.3
CRB			42.7	
CRC			60.5	
CRD			60.5	3.2

キーワード：充填コンクリート、コンファインド効果、ひずみ速度効果、高速載荷実験

連絡先：〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 土木工学科 TEL 0468-41-3811(3518), FAX 0468-44-5913

また、肉厚直径比 (t/D) の増加に伴い最大応力も増大し、その最大応力は $100 \sim 200 \text{ N/mm}^2$ とプレーンコンクリートの約 $5 \sim 10$ 倍も大きくなっている。特に鋼管の肉厚と直径比 (t/D) が等しい CRB 供試体 ($D=42.7 \text{ mm}$, $t=2.3 \text{ mm}$, $t/D=0.054$) と CRD 供試体 ($D=60.5 \text{ mm}$, $t=3.2 \text{ mm}$, $t/D=0.053$) の応力～ひずみ関係は概ね一致しており、強度増加が鋼管の肉厚直径比 (t/D) と強い相関関係にあることがわかる。文献 2) では、最大圧縮強度の増加は円形鋼管では $(t/D) \sigma_{ys}$ (σ_{ys} : 鋼管の降伏応力)、角形鋼管では $(t/B)^2 \sigma_{ys}$ と線形関係があることを示している。そこで、これらを拘束度のパラメーターとして、プレーンコンクリートの強度に対する鋼管詰めコンクリートの最大強度の増加率 C_c ($=f'_{cd}/f'_{cp}$, f'_{cc} : 拘束されたコンクリートの最大圧縮強度, f'_{cp} : プレーンコンクリートの最大圧縮強度) との関係を整理すると図-5 のようになる。最大圧縮強度増加率には線形関係が認められるので、円形と角形鋼管に対して線形回帰式を求める。と次のようになる。

(a) 円形鋼管

$$C_c = 1.0 + 0.29 \left(\frac{t}{D} \right) \sigma_{ys} \quad (1)$$

(b) 角形鋼管

$$C_c = 1.0 + 2.62 \left(\frac{t}{B} \right)^2 \sigma_{ys} \quad (2)$$

図-6 に充填コンクリートの圧縮強度増加率 ($C_c = f'_{cd}/f'_{cs}$, f'_{cd} : 高速載荷時のコンクリート圧縮強度, f'_{cs} : 静的載荷時のコンクリート圧縮強度) ～ひずみ速度関係を示す。図より、本実験のプレーンコンクリートでは、静的 ($\dot{\epsilon} \approx 10^{-5}$) 強度に対して高速載荷時 ($\dot{\epsilon} \approx 10^0$) の強度が約 1.3 倍であるのに対し、鋼管拘束を受けるコンクリートでは約 1.0 ～ 1.1 倍とその増加の割合が小さい。参考までに、高橋の式³⁾によるプレーンコンクリートのひずみ速度効果推定式

を点線で示すが、プレーンコンクリートの実験値には合致するが、鋼管詰めコンクリートでは一致しない。また、同じく高橋の鋼材の降伏応力の増加率に及ぼすひずみ速度効果の式を一点鎖線で示すが、その線形的な増加傾向は似ているものの過大推定となる。そこで、本実験の回帰式を求めると次のようになる。

$$\frac{f'_{cd}}{f'_{cs}} = 1.12 + 0.020 \log(\dot{\epsilon}) \quad (3)$$

4. 結 言

本研究の成果をまとめると次のようになる。(1) 鋼管詰めコンクリートの圧縮強度はプレーンコンクリートに比して著しく増大し約 $5 \sim 10$ 倍になる。その効果は、円形鋼管では $(t/D) \sigma_{ys}$ 、角形鋼管では $(t/B)^2 \sigma_{ys}$ と線形関係にあることが認められた。(2) 鋼管詰めコンクリートの最大圧縮強度に及ぼすひずみ速度効果は、プレーンコンクリートより小さく、鋼材の降伏応力度のひずみ速度効果よりもさらに小さく、ひずみ速度 $\log(\dot{\epsilon}) \approx 10^0$ で約 1.0 ～ 1.1 倍である。

参考文献

- 1) 佐藤孝典：円形断面の充填鋼管コンクリート構造におけるコンファインド効果のメカニズムとそのモデル化，日本建築学会構造系論文報告集，第 452 号，pp.149～158，1993 年 10 月。
- 2) C F T 構造技術指針・同解説，社団法人 新都市ハウジング協会，1997 年 1 月。
- 3) 高橋芳彦ら：衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの弾塑性挙動に及ぼす材料のひずみ速度効果，構造工学論文集，Vol. 37A, pp.1567～1580，1991 年 3 月。

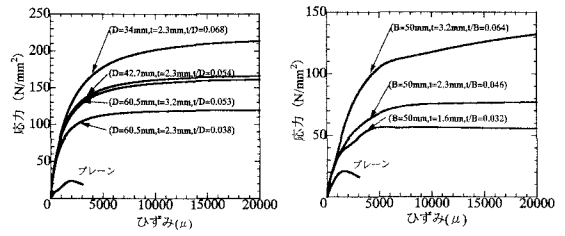


図-4 高速載荷の応力～ひずみ関係に及ぼす鋼管拘束の影響

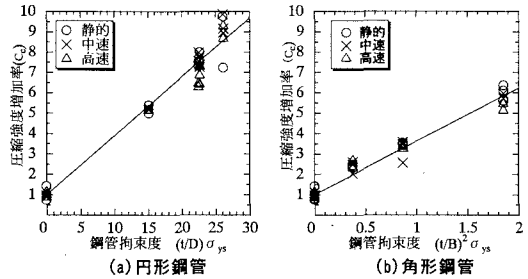


図-5 コンクリートの圧縮強度増加率に及ぼす鋼管拘束度の影響

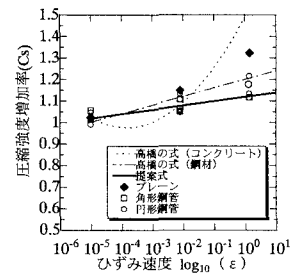


図-6 充填コンクリートの圧縮強度増加率に及ぼすひずみ速度効果