

高速変形を受ける円形鋼管内充填コンクリートの構成則に関する実験的検討

防衛大学校理工学研究科 学生員 白石博文

1. 緒言

鋼管内充填コンクリートの応力～ひずみ関係推定において、ひずみ速度効果をどのように考慮すべきかについては明らかではない。本研究では、まず円形鋼管内充填コンクリートに対し静的および急速圧縮実験を行って拘束効果を確認後、空気浮上重錘衝突実験を行い、既往の推定式から推定される荷重～変形量関係との比較検討を行ったものである。

2. 実験の概要

2.1 静的・急速圧縮実験および空気浮上重錘衝突実験

各実験の概要を図-1に示す。全ての実験においてロードセル～充填コンクリート断面間に支圧板を設け、コンクリート断面のみを載荷した。空気浮上重錘衝突実験^{1),2)}は、図-1(b)に示すように浮上して静止した被衝突重錘に充填コンクリート端部を接触させた状態で静止させ、衝突重錘を載荷ラムにより設定速度に加速させ、自由走行状態になった後、重錘を衝突させた。設定速度は1, 2, 3m/sとした。

2.2 供試体

供試体には、市販鋼管(GIS G3444 材質 STK400)を用い、図-2に示すように直径約100mm高さ200mmとした。また、鋼管内部に充填されたコンクリート供試体の変形量を計測するため、アクリル棒にひずみゲージ(ゲージ長2mm)を2枚貼付したものを埋め込んである。表-1に充填したコンクリートおよび鋼管の材料諸元を示す。

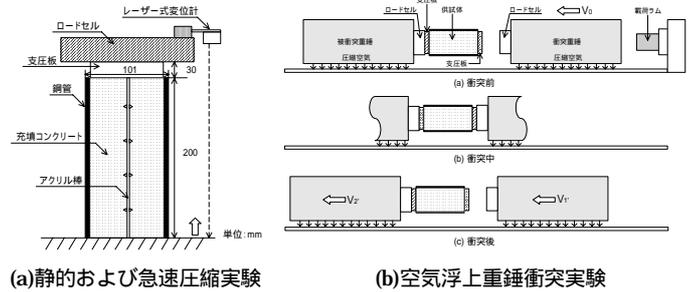
2.3 計測項目

静的および急速圧縮実験における計測項目は荷重、充填コンクリートひずみ、変位とした。また、空気浮上重錘衝突実験については図-3に示すように、充填コンクリート供試体に作用する衝突・被衝突荷重、供試体内部に埋設した2枚のひずみゲージによる軸方向ひずみ、鋼管の軸方向・円周方向ひずみ(各2枚)、弾性エネルギー計測を目的とした衝突重錘・被衝突重錘のひずみおよび衝突前後の速度とした。

3. 実験結果と考察

3.1 静的圧縮実験

図-4に荷重～変形関係とあわせて載荷後の供試体の変形形状を示す。写真より、供試体中央部が側方に膨らむCFT特有の破壊モードが現れていることがわかる。図中には式(1)に示すH.J.Gardner³⁾による推定耐力に各コンクリート断面積を乗じて得られる推定最大耐力を矢印で示す。



(a)静的および急速圧縮実験 (b)空気浮上重錘衝突実験

図-1 各実験概要

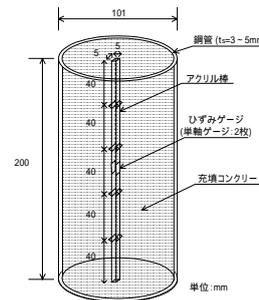


図-2 供試体

表-1 材料諸元

種類	項目	定数
鋼管	ヤング係数(N/mm ²)	2.1 × 10 ⁵
	降伏応力(N/mm ²)	320
	降伏ひずみ(μ)	1520
プレーンコンクリート	ヤング係数(N/mm ²)	2.0 × 10 ⁴
	圧縮強度(N/mm ²)	20
	最大圧縮ひずみ(μ)	1900

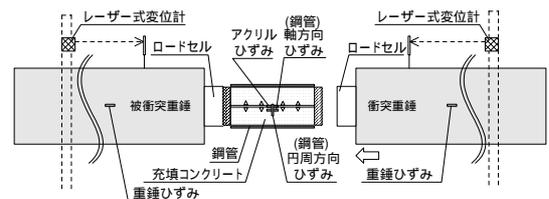


図-3 計測要領

$$f_c = \sigma_B + 4 * \frac{t_s \sigma_y}{D} \tag{1}$$

ここで、 f_c :最大耐力(N/mm²)、 t_s :鋼管厚(mm)、 σ_B :プレーンコンクリート強度(N/mm²)、 σ_y :鋼管の降伏応力(N/mm²)、 D :鋼管直径(mm)。

さらに図中には比較のため別途行った肉厚4mmおよび5mmの場合の結果も合わせて示す。図より、最大耐力は推定耐力とほぼ一致し、最大耐力に向かって漸近する硬化型の充填コンクリート特有の弾塑性挙動となった。ただし、弾性勾配には鋼管厚による差異は見られない。

3.2 急速圧縮実験

図-5に急速圧縮実験の荷重～変形関係を示す。全ての供試体で降伏域以降での耐力がわずかに硬化型となる弾塑性挙動を示している。図中には、各ケースにおけるひずみ速度および静的実験結果を示す。載荷速度の影響により、最大耐力は約1.2倍に増加している。

3.3 空気浮上重錘衝突実験

図-6に荷重～変形関係を示す。弾性勾配はいずれの

衝突速度においても静的の約 1.2 倍の弾性勾配となっている。また、最大荷重は衝突速度 V_0 1.0m/s で約 300kN, V_0 2.0m/s で約 500kN, V_0 3.0m/s で約 600kN となり、それぞれ静的の同変形量における荷重の約 1.1 ~ 1.2 倍となっている。

3.4 既往の推定式との比較検討

香月ら⁴⁾は、CFT 内部のコンクリートの応力~ひずみ関係についてのひずみ速度効果を次式によって推定することを提案している。

$$C_s = 1.12 + 0.024 \log(\dot{\epsilon}) \quad (2)$$

ここで、 $C_s = \frac{f'_{dc}}{f'_{sc}}$, C_s : 強度増加率, $\dot{\epsilon}$: ひずみ速度(1/sec), f'_{dc} : 充填コンクリートの動的最大圧縮強度, f'_{sc} : 充填コンクリートの静的最大圧縮強度。

この式より、本実験ではコンクリート強度が約 1.13 ~ 1.14 倍増加することになる。さらに、香月らは円形および角型鋼管内に充填したコンクリートに対して静的および動的載荷実験を行い、式(3)に示す Popovics 式を用いた応力~ひずみ関係の推定式を提案している。

$$\sigma_c = f'_{0.95} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{0.95}} \right) \frac{n}{(n-1) + \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{0.95}} \right)^n} \quad (3)$$

$$\text{where,} \quad \begin{array}{ll} \epsilon \leq \epsilon_{0.95} & n = 2.0 \\ \epsilon \geq \epsilon_{0.95} & n = 0.95 \end{array}$$

ここで、 $f'_{0.95}$: 95%強度点でのコンクリート強度, $\epsilon'_{0.95}$: 95%強度点でのひずみ, ϵ : 任意のコンクリートのひずみ, $f'_{0.95} = 0.95 \times f'_c$
この圧縮強度 f'_c については、式(1)および式(2)を用いて、拘束効果およびひずみ速度効果を考慮して次式によって与えられる。

$$f'_c = C_c C_s C_{cp} f'_{cp} \quad (4)$$

ここで、 C_c : 鋼管拘束による増加率, f'_{cp} : プレーンコンクリートの静的圧縮強度

上記の提案式に静的および急速圧縮実験をフィッティングした後の推定荷重~変位関係を図-7に示す。まず、静的実験結果についてはほぼ実験結果を推定できており、香月らの提案式が本供試体でも適用可能であることがわかる。次に、急速圧縮実験、空気浮上衝突実験、ひずみ速度を考慮した推定結果を比較すると、衝突実験の荷重の範囲では推定式を用いた推定結果は

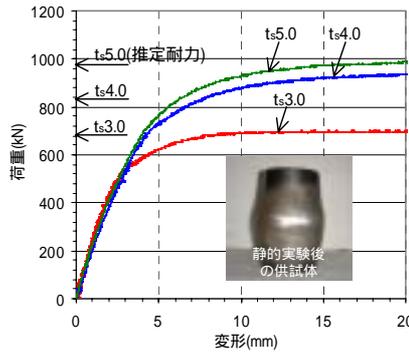


図-4 荷重~変形関係(静的圧縮実験)

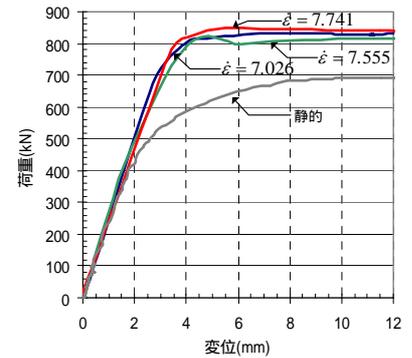


図-5 荷重~変形関係(急速圧縮実験)

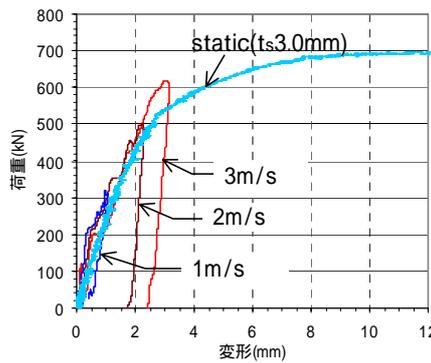


図-6 荷重~変形関係(空気浮上重錘衝突実験)

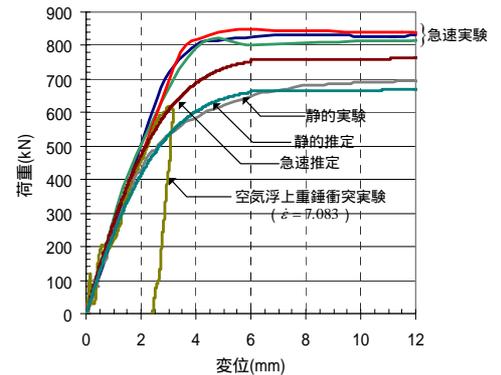


図-7 各実験結果の比較

実験とは良好に一致している。一方、急速実験結果と比較すると、実験の方が線形挙動を示す変位量が大きく、降伏域以降、最大耐力にいたるまでの挙動が実験と異なる。しかしながら、最大耐力については実験結果と 60kN ほどの開きがあるものの、実験との差は 1 割であり、概ねシミュレートできている。

4. 結言

以下に得られた成果を示す。

- ・静的、急速圧縮実験および空気浮上重錘衝突実験から得られる荷重~変形量関係は既往の推定式から得られる荷重~変形量関係と概ね一致する結果が得られ、本研究における対象範囲での挙動の推定は可能であることがわかった。

参考文献

- 1) 梶田幸秀, 北原武嗣, 西本安志, 香月智: エアーフローティング装置を用いたゴム製緩衝材の桁間衝突実験, 土木学会地震工学論文集, No.316, pp.1-8, 2003.12.
- 2) 白石博文, 角田正昭, 香月智: 空気浮上重錘衝突実験装置によるコンクリート供試体の圧縮破壊実験, 土木学会論文集, No.788/V-67, pp.99-115, 2005.
- 3) N.J.Gardner: Triaxial Behavior of Concrete, ACI Journal, Feb.1969.
- 4) 香月智, 黒木勇人, 石川信隆, 太田貞次: 高速載荷を受けるコンクリート充填鋼管はりの動的弾塑性挙動に関する一考察, 土木学会論文集, No.696/I-58, pp.61-76, 2002.1.