

コンクリートの材料特性に及ぼすひずみ速度効果評価式における水セメント比の影響

(財)電力中央研究所 正会員 柳下 拓也、同 白井 孝治、同 伊藤 千浩*

1. はじめに

筆者らは、JASS5N¹⁾で規定される骨材を用いたコンクリート材料(水セメント比 45~65%)を対象に、コンクリートの材料特性に及ぼすひずみ速度効果評価式を提案している²⁾。本研究では、さらに広範囲な水セメント比(80%~120%)における強度試験を実施し、本評価式に及ぼす水セメント比の影響について検討する。

2. 強度試験

2.1 試験方法

圧縮強度試験では、低中速載荷試験装置(ひずみ速度: $10^{-6} \sim 10^{-1}/\text{sec}$)と、Split Hopkinson Pressure Bar 法(以下、SHPB法)を利用した高速載荷試験装置(ひずみ速度: $10^0 \sim 10^2/\text{sec}$)を使用した。SHPB法を利用した高速載荷試験では、入・出力棒にひずみゲージを2枚ずつ貼り、これらの計測値を用いて入力波と出力波を分離する手法を用いた³⁾。

引張強度試験では、変位制御型サーボ式の低中速載荷試験装置により引張荷重を単調に載荷した。

2.2 試験体

試験では、普通ポルトランドセメント(比重 3.16)を使用した。骨材は JASS5N で規定される仕様となっている。表-1 に、コンクリートの配合を示す。水セメント比(以下、W/C)は、45%~120%の範囲とした。コンクリート打設 24 時間後に試験体を脱型し、試験日の前日まで水中(20℃)で標準養生した。試験体の寸法は、低中速載荷試験には直径 10cm×高さ 20cm、高速載荷試験では直径 10cm×高さ 10cm 及び直径 8cm×高さ 8cm の計 3 種類の円柱とし、直接引張試験では一辺 10cm×高さ 30cm の角柱とした。

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	28日 f_c (MPa)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			C	W	G	S	混和剤
45	50	53.3	373	168	932	824	6.53
50	40	53.4	336	168	950	837	5.38
60	35	53.5	267	160	992	874	2.86
60	35	53.5	280	168	974	858	4.48
65	30	50.5	249	162	947	940	2.66
80	14	54.9	210	168	1034	858	3.36
100	10	55.7	168	168	1067	858	2.69
120	6	56.3	140	168	1091	858	2.24

3. ひずみ速度依存性の定式化

3.1 圧縮強度

図-1 に、圧縮強度の試験結果を示す。ひずみ速度が、 $10^1/\text{sec}$ 以下の領域を領域 A、 $10^1/\text{sec}$ 以上の領域を領域 B とし、2つの領域について回帰式を最小 2 乗法により求めた。

領域 A については、ひずみ速度を基準(静的)ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_0$ で正規化し、式(1)で示される定点 $(\dot{\epsilon}_0, f_{cd}/f_{cs}) = (1.2 \times 10^{-5}, 1.0)$ を通る回帰式とした。ここで、 f_{cd} は動的圧縮強度、 f_{cs} は静的圧縮強度、 $\dot{\epsilon}$ はひずみ速度である。

$$f_{cd}/f_{cs} = P \cdot \log(\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0) + 1.0, \quad \dot{\epsilon} \leq 10/\text{sec} \quad (1)$$

領域 B については、W/C 60% の場合のみ明瞭な立ち上がりが見られており、式(1)より算出される $10^1/\text{sec}$ における点を通る回帰式の勾配として P を求めた。図-2 にひずみ速度 $10^1/\text{sec}$ 以下の実験定数 P と W/C の関係を示す。ここで、W/C をパラメータとする実験定数 P の回帰式を求めた。回帰式は W/C が 65% 以下の領域 A では W/C 65% で極大値を持つ二次関数で表示し、W/C 65% 以上の領域 B では一定値とした。式(2)に得られた回帰式を示す。

$$P(W/C) = 0.111 - 1.144(W/C - 0.65)^2, \quad 0.45 \leq W/C \leq 0.65, \quad P(W/C) = 0.111, \quad 0.65 < W/C \leq 1.2 \quad (2)$$

式(2)で示される実験定数 P を用いて、動的圧縮強度のひずみ速度依存性の評価式として式(3)を算出した。

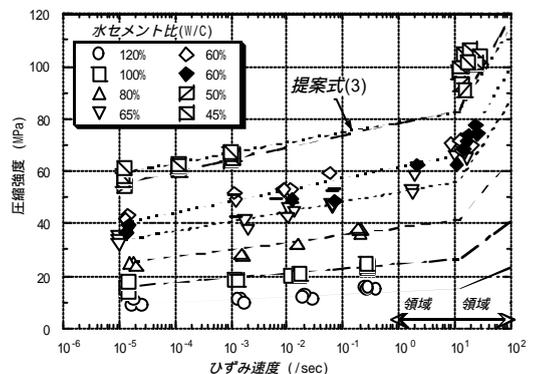


図-1 圧縮強度のひずみ速度依存性

キーワード：コンクリート、圧縮強度、初期弾性係数、引張強度、ひずみ速度依存性

連絡先： * 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1696 (財)電力中央研究所 我孫子研究所 0471-82-1181

$$f_{cd} / f_{cs} = P(W / C) \cdot \log(\dot{e} / \dot{e}_{c0}) + 1.0, \dot{e} \leq 12 / \text{sec}$$

$$= 9 \cdot P(W / C) \cdot [\log(\dot{e} / \dot{e}_{c0}) - 5.333] + 1.0, \dot{e} > 12 / \text{sec} \quad (3)$$

領域における係数は、W/C 60%の場合に得られた実験定数 P と P' の値の比と連続性を考慮して算出した。図-1 に、提案式(3)より推定される値を実験値と比較して図示した。提案式は、おおむね良い対応を示している。

3.2 初期弾性係数

図-3 に、初期弾性係数の試験結果を示す。ひずみ速度が 10⁻¹/sec 以下の領域では、動的初期弾性係数倍率が単調に増加する傾向にある。一方、10⁻¹/sec 以上の領域では非常にばらつきの大きい結果となっているが顕著な増加傾向は見られない。そこで、10⁻¹/sec 以下の領域について、圧縮強度と同様に、式(4)で示される定点 (e_{c0}, E_{cd} / E_{cs}) = (1.2 × 10⁻⁵, 1.0) を通る回帰式とした。ここで、E_{cd} は動的初期弾性係数、E_{cs} は静的初期弾性係数である。

$$E_{cd} / E_{cs} = Q \cdot \log(\dot{e} / \dot{e}_{c0}) + 1.0, \dot{e} \leq 10^{-1} / \text{sec} \quad (4)$$

実験定数 Q は P と同様の傾向にあるため、Q の回帰式は、圧縮強度と同様に、W/C が 65% 以下の領域では W/C 65% で極大値を持つ二次関数で表示し、W/C 65% 以上の領域では一定値とした。式(5)に得られた回帰式を示す。

$$Q(W / C) = 0.0365 - 0.505(W / C - 0.65)^2, 0.45 \leq W / C \leq 0.65, Q(W / C) = 0.0365, 0.65 < W / C \leq 1.2 \quad (5)$$

式(5)で示される実験定数 Q を用いて初期弾性係数のひずみ速度依存性の評価式として式(6)を導出した。

$$E_{cd} / E_{cs} = Q(W / C) \cdot \log(\dot{e} / \dot{e}_{c0}) + 1.0, \dot{e} \leq 10^{-2} / \text{sec} \quad (6)$$

図-3 に、提案式(6)より推定される値を実験値と比較して図示した。提案式は、おおむね良い対応を示している。

3.3 引張強度

図-4 に、引張強度の試験結果を示す。10⁻²/sec 以下の領域で、回帰式を式(7)で示される定点 (e_{t0}, f_{td} / f_{ts}) = (2.0 × 10⁻⁶, 1.0) を通る回帰式とした。ここで、f_{td} は動的引張強度、f_{ts} は静的引張強度、e_{t0} は基準(静的)ひずみ速度である。

$$f_{td} / f_{ts} = R \cdot \log(\dot{e} / \dot{e}_{t0}) + 1.0, \dot{e} \leq 10^{-2} / \text{sec} \quad (7)$$

実験定数 R の値は、W/C の大きさに係わらず、ほぼ一定値となる傾向が見られた。そこで得られた全引張試験データに対する回帰分析より実験定数 R を求め、引張強度のひずみ速度依存性の評価式として式(8)を導出した。

$$f_{td} / f_{ts} = 0.137 \cdot \log(\dot{e} / \dot{e}_{t0}) + 1.0, \dot{e} \leq 10^{-2} / \text{sec} \quad (8)$$

図-4 に、提案式(8)より推定される値を実験値と比較して図示した。提案式は、おおむね良い対応を示している。

4. まとめ

筆者らがすでに提案しているコンクリートの材料特性に及ぼすひずみ速度効果評価式における水セメント比の影響について検討するため、JASS5Nで規定される骨材を用い、さらに広範囲な水セメント比(80~120%)における強度試験を実施し、本評価式を修正し適用範囲を広げた。

5. 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N(第二版),1991
- 2) 白井 幸治他：コンクリートの材料特性に及ぼすひずみ速度効果の評価式，構造工学論文集 Vol.47A, 2001.
- 3) 白井 幸治他：コンクリート強度のひずみ速度依存性の定式化，構造工学論文集 Vol.44A, 1998.

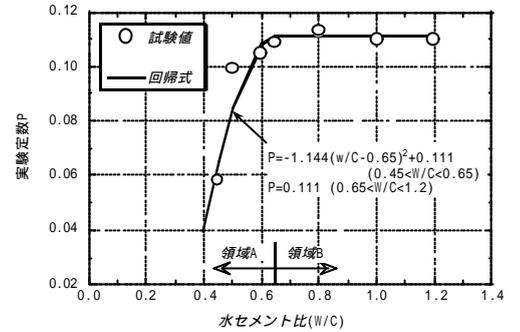


図-2 実験定数 P と水セメント比の関係

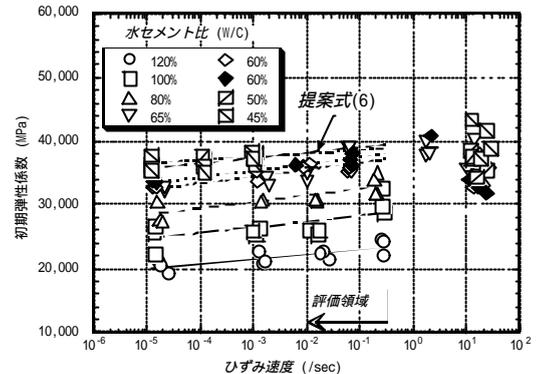


図-3 初期弾性係数のひずみ速度依存性

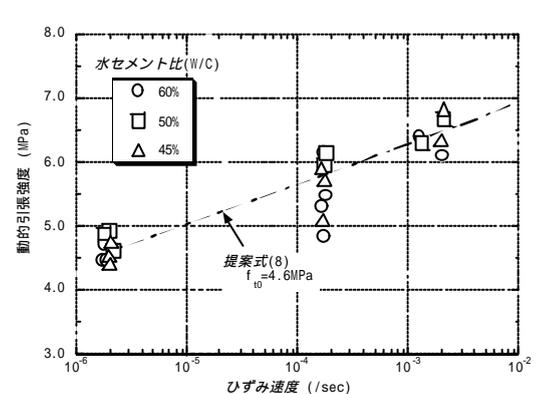


図-4 引張強度のひずみ速度依存性