

コンクリートの時間依存ひずみに及ぼすセメントの影響について

九州産業大学大学院 ○ 学生員 塩塚 雄介
九州産業大学 正員 佐藤 武夫
九州産業大学 正員 宮川 邦彦

1. まえがき

ポンプ圧送による急速施工, 現場施工の省力化を目的とした自己充填コンクリートの開発および施工環境の拡大などに伴って生じた諸問題を改善するため, 近年, 多くのセメントが開発され, 実用に供されている。しかし, その基礎物性に関しては, まだ十分に解明されていないのが現状である。

そこで本研究では, コンクリートの時間依存ひずみの予測法を確立するための一環として, 特に同ひずみに重大な影響を及ぼすセメントの種類と環境湿度の相違に関する基礎的実験を行った。

2. 実験概要

本実験では, セメントに普通(密度: 3.14 g/ml), 早強(密度: 3.13 g/ml), 中庸熱(密度: 3.20 g/ml) および低熱(密度: 3.25 g/ml) の各ポルトランドセメント, 高炉セメントB種(密度: 3.10 g/ml) およびシリカフェームセメント(普通ポルトランドセメントに10%のシリカフェームを混合, 密度: 3.14 g/ml) の計6種類, 細骨材に海砂(吸水率: 1.19%, 表乾密度: 2.60 g/ml), 粗骨材に輝緑岩碎石(最大寸法: 20mm, 吸水率: 0.72%, 表乾密度: 2.90 g/ml) を用い, 配合条件として, 単位水量 $W=180\text{kg/m}^3$, 単位セメント量 $C=360\text{kg/m}^3$, 単位粗骨材容積 $g=400\text{ l/m}^3$ および空気量 $A=4.0\%$ を一定としたコンクリートを打設した。力学試験は, 打設1日後に脱型し, 6日間水中養生(温度: 20℃) した後, 水中および

湿度条件の異なる2種類の恒温室(温度: 20℃, 湿度: 40%および65%) 内で養生した $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 円柱供試体各2本を用い, 材齢7日, 28日, 91日, 1年および3年の圧縮強度とヤング係数を測定した。また, 同コンクリートの時間依存特性を調べるため, $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 円柱供試体中央部に設置した埋め込み型ひずみ計(ゲージ長: 100mm) を用い, 前述の恒温室内で乾燥収縮ひずみおよびクリープひずみを材齢7日から測定開始した。クリープ試験は, 材齢7日における各コンクリート圧縮強度の約25%に相当する一定応力を1000日間載荷した後, 除荷後の回復クリープひずみを200日間測定した。

表-1 コンクリートの力学特性(水中養生: 温度20±1℃)

セメントの種類	圧縮強度(N/mm ²)					ヤング係数(kN/mm ²)				
	7日	28日	91日	1年	3年	7日	28日	91日	1年	3年
N	24.5	35.7	38.3	41.7	44.9	27.8	31.8	34.2	37.2	38.0
H	32.9	39.3	42.9	47.5	47.6	30.6	31.4	32.6	37.8	39.6
M	18.5	35.5	46.1	53.9	58.9	25.9	31.9	36.6	41.2	42.1
L	6.8	23.5	46.2	51.8	54.4	18.6	31.9	36.7	40.2	42.2
BB	22.3	36.7	45.8	50.7	53.5	24.2	30.1	35.9	41.3	43.1
SF	13.2	31.5	44.5	48.2	41.3	17.7	28.1	33.1	35.5	37.2

表-2 コンクリートの力学特性(湿度: 65±10%)

セメントの種類	圧縮強度(N/mm ²)					ヤング係数(kN/mm ²)				
	7日	28日	91日	1年	3年	7日	28日	91日	1年	3年
N	24.5	36.7	40.0	38.2	36.6	27.8	32.5	32.9	29.9	30.6
H	32.9	44.3	44.9	43.4	43.1	30.9	33.4	34.3	33.6	34.5
M	18.5	36.0	40.2	40.2	39.4	25.9	31.2	31.5	31.7	31.4
L	6.8	16.4	18.9	21.7	26.5	18.6	25.0	23.0	23.5	29.3
BB	22.3	36.9	40.2	41.8	42.0	24.2	31.3	33.3	29.9	32.8
SF	13.2	28.0	31.0	27.0	28.8	17.7	23.5	25.5	26.1	25.7

表-3 コンクリートの力学特性(湿度: 40±5%)

セメントの種類	圧縮強度(N/mm ²)					ヤング係数(kN/mm ²)				
	7日	28日	91日	1年	3年	7日	28日	91日	1年	3年
N	24.5	33.3	39.6	34.0	31.4	27.8	29.9	28.5	27.8	27.5
H	32.9	39.3	45.2	42.7	39.6	30.6	31.6	32.6	30.7	32.1
M	18.5	36.5	41.1	36.8	33.4	25.9	29.1	30.3	31.6	31.5
L	6.8	15.4	15.9	16.2	18.2	18.6	20.7	20.3	22.4	24.3
BB	22.3	35.7	40.7	38.2	34.6	24.2	28.0	28.4	26.4	25.7
SF	13.2	27.2	27.5	26.1	26.6	17.7	22.3	22.0	21.7	23.9

3. 実験結果および考察

表-1~表-3に各養生条件に対するコンクリートの力学特性を示す。同表からセメントの種類や養生条件の違

キーワード 乾燥収縮, クリープ係数, セメントの種類, 環境湿度, 圧縮強度

連絡先 〒813-8503 福岡市東区松香台2-3-1 九州産業大学工学部土木工学科 TEL092-673-5693

いにより、強度発現状態が大幅に相違することがわかる。特に低熱ポルトランドセメントを用いたコンクリート（以下、低熱コンクリートと略称する）は、環境湿度の低下に伴い強度発現が大幅に阻害され、湿度40%の長期強度が水中養生のその1/3程度しかなく、長期の湿潤養生が必要である。また、湿度40%の場合、材齢91日以降は逆に強度低下がみられる。一方、ヤング係数は、圧縮強度ほど環境湿度の影響を受けないが、湿度40%

の低熱コンクリートは、水中養生のその1/2程度まで低下している。なお、紙面の関係上、圧縮強度とヤング係数との相関図は割愛するが、セメントの種類や材齢に関係なく、両者間には強い相関がみられる。ただし、環境湿度の低下に伴い、その相関性も若干低下する。

表-4に全セメントに対する1000日間の乾燥収縮ひずみ、クリープ係数および200日間の回復クリープ係数（回復クリープひずみ/除荷時の弾性回復ひずみ）の実測値、阪田らの提案式¹⁾から求めた乾燥収縮ひずみとクリープ係数の予測値をまとめて示す。なお、阪田らのクリープ提案式は、単位応力当りのクリープひずみに対する予測式であるが、表-4では、実測の圧縮強度とヤング係数を用いて、クリープ係数に換算した値を示している。また、本実験に用いた供試体の体積表面積比（V/S）は37.5mmであるが、提案式の同比に対する制限値（100mm～1000mm）を無視して求めた。同表からわかるように、乾燥収縮ひずみの実測値は、湿度65%の平均値が707 μ 、湿度40%のそれが774 μ と環境湿度が低いほど、乾燥収縮ひずみは大きくなるが、その差は10%程度である。また、セメントの種類別で比較すると、湿度条件でも若干相違するが、シリカフェームコンクリートの乾燥収縮ひずみが最も大きく、次に普通と高炉B種コンクリートのそれが同程度で、早強、中庸熱、低熱コンクリートの順になっている。ただし、その差も±10%程度である。一方、阪田らの予測値は、湿度65%の場合、過小予測し、逆に湿度40%では明らかに過大予測していることがわかる。クリープ係数の実測値は、クリープ試験時の供試体の設置不良で載荷ひずみが825 μ も生じた湿度65%の低熱コンクリートの結果を除外すれば、湿度65%の平均値が2.40、湿度40%のそれが3.15と、前述の乾燥収縮ひずみよりも環境湿度の影響を受けやすいことがわかる。セメントの種類別で比較すると、普通コンクリートのクリープ係数が最も大きく、シリカフェーム、高炉B種、早強、低熱、中庸熱コンクリートの順になっている。阪田らの予測値は、湿度65%の平均値が3.25、湿度40%のそれが4.22と、実測値と比較すると、両湿度条件とも1.35倍ほど、過大予測することがわかる。回復クリープ係数は、高炉B種を除外すると、セメントの種類や湿度条件に関係なく、ほぼ0.3程度である。

3. まとめ 本実験では、セメントの種類と湿度条件がコンクリートの力学特性や時間依存ひずみに及ぼす影響を調べたが、以下にその結果を要約する。

- 1). コンクリートの圧縮強度とヤング係数とは、使用骨材が同じであれば、セメントの種類や材齢に関係なく、両者間に強い正の相関がみられる。
- 2). 長期の乾燥収縮ひずみは、クリープ係数と比較して、セメントの種類や湿度条件の影響を受け難い。
- 3). 阪田らの提案式は、乾燥収縮ひずみに及ぼす湿度条件を過大予測し、また、クリープ係数も全体的に過大予測する。

[参考文献] 1). 阪田憲次, 他: 高強度域を考慮した乾燥収縮ひずみおよびクリープ予測式の提案, 土木学会論文集, No. 690, V-53, 2001-11

表-4 コンクリートの時間依存特性

セメントの種類	湿度 (%)	乾燥収縮ひずみ (μ)		クリープ係数		回復クリープ係数
		実測値	予測値	実測値	予測値	
N	65	772	636	2.85	3.17	0.30
	40	787	1091	3.81	4.11	0.29
H	65	681	635	2.03	2.86	0.29
	40	695	1090	2.98	3.68	0.28
M	65	659	636	2.31	3.53	0.28
	40	722	1091	2.51	4.59	0.27
L	65	618	637	1.58	4.11	0.30
	40	705	1093	2.70	5.35	0.33
BB	65	737	636	2.32	2.93	0.37
	40	831	1091	3.20	3.81	0.36
SF	65	777	637	2.47	2.92	0.32
	40	903	1092	3.69	3.79	0.28