

V-403 種々の温度履歴を受けるコンクリートの強度発現特性に関する基礎的研究

大阪工業大学 正員 ○ 仁枝 保
大阪工業大学 正員 小林 和夫

1. まえがき マッシュなコンクリート構造物のセメントの水和熱に起因する温度上昇は、構造断面内での部所により相違し、それに伴うコンクリート強度等の発現状況もかなり差異を生じると考えられる。従来の多くの研究結果から、断面が2~3m程度あるいはそれ以上のマッシュなコンクリート構造ではコンクリートの内部温度が材令とともに放物線状に上昇し、3日前後で最高温度を呈することが示されている。本研究はこれらの点を考慮してコンクリート供試体に図-1の養生温度履歴を与え、上昇温度20℃~60℃の範囲における基礎的実験を実施し、コンクリートの強度・弾性係数の発現特性について比較検討を行ったものである。

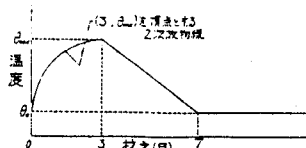


図-1 コンクリートに与える温度履歴

2. 実験概要 1) 使用材料 セメントは、A社普通ポルトランドセメント。細骨材は淀川産川砂(比重2.59、粗粒率3.00)、粗骨材は吉野川産川砂利(比重2.62、単位容積重量1630kg/m³、最大寸法20mm)である。混和剤は、AE剤(ヴィンソル70LT)を用いた。2) コンクリートの配合 マッシュな構造を対象とした、スランブ12cm、S/a44%程度のものを選び、試

表-1 コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (mm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材比 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE剤 (cc)
20	12	5	80	44.3	189	232	793	1009	141

し練りを行って決定した表-1に示すものを用いた。3) 試験方法 コンクリートは、所定の配合に従い1バッチ量60ℓで各材料を計量

し、傾動式ミキサーを用い練り混ぜを行った。排出したコンクリートは、充分練り返しJIS A 1132に準じφ10×20cmの円柱供試体(圧縮・引張・弾性係数測定用)を31本作成した。いずれの場合も、打ち込み温度θ、20℃とし、直ちに恒温恒湿器(タバイエスペックPR-4FW)にセットしプログラム運転(図-1)を行った。恒温恒湿器内の湿度は95%に保持し、最高到達温度θ_{max} 40℃~80℃まで2次放物線に近い小刻みの温度と履歴をあたえた。さらに、モニター用コンクリート供試体中心部に温度計(TK-F; φ16×55mm)を埋め込み供試体の内部温度を測定した。供試体は材令7日以降恒温室(温度20±1℃、湿度90%)にて湿空養生を行った。温度履歴を受けたコンクリートの若材令時挙動を調べるため、1, 3, 5, 14, 28日の所定材令日でJIS A 1108, JIS A1113に準じて強度試験を行った。静弾性係数試験は、TMLCM-1Qコンプレッソメーターによりひずみ測定を行って応力-ひずみ曲線から割線弾性係数E_{cx}を求めた。

3. 実験結果および考察 圧縮強度、引張強度、弾性係数の測定値および20℃一定養生の値を基準1.00としたときの材令別のそれらの比を表-2に示す。打ち込み温度θ₀は、最大20.7℃、最小19.0℃で平均19.6℃であった。スランブおよび空気量についても設定の範囲内にあった。

θ_{max} = 80℃の場合、20℃一定養生に対する圧縮強度の比は材令1日で3.00、3日で1.74と著しく大きい。引張強度の比は、材令1日で3.71、3日で1.48で圧縮強度と類似の傾向が認められる。弾性係数の比は材令1日で1.60、3日で1.30を示し、圧縮強度、引張強度とは様相が異なる。θ_{max} = 60℃、40℃の場合は、θ_{max} = 80℃の場合に對し比率そのものの値は養生温度に比例して小さくなるものの、傾向は同様である。材令5日では、θ_{max} = 40℃~80℃の

表-2 試験結果一覽

		1日					3日					5日					14日					28日				
		σ _c	σ _t	E _c	σ _c	σ _t	E _c	σ _c	σ _t	E _c	σ _c	σ _t	E _c	σ _c	σ _t	E _c	σ _c	σ _t	E _c	σ _c	σ _t	E _c				
20℃一定	σ _c	4.1	1.00	108	1.00	143	1.00	173	1.00	222	1.00	28.0	1.00	0.97	1.00	1.64	1.00	1.83	1.00	2.25	1.00	2.42	1.00			
	σ _t	8.9	2.17	18.1	1.39	20.9	1.26	21.1	1.10	23.1	0.83	1.25	1.29	2.36	1.43	2.57	1.40	2.57	1.14	2.51	1.04	1.25	1.02			
	E _c	1.33	1.37	2.03	1.24	2.50	1.37	2.18	1.14	1.97	2.68	1.11	1.23	3.00	1.88	1.74	2.01	1.41	1.97	1.14	2.26	1.02	15.2	3.71		
40℃	σ _c	1.55	1.60	2.13	1.30	2.19	1.20	2.83	1.26	2.73	1.13	1.55	1.60	2.13	1.30	2.19	1.20	2.83	1.26	2.73	1.13	1.55	1.60			
	σ _t	15.2	3.71	19.2	1.48	19.9	1.20	22.0	1.15	18.2	0.65	98	2.39	183	1.69	204	1.43	185	1.07	199	0.90	12.5	3.05			
	E _c	1.33	1.37	2.03	1.24	2.50	1.37	2.18	1.14	1.97	2.68	1.11	1.33	1.37	2.03	1.24	2.50	1.37	2.18	1.14	1.97	2.68	1.11			
60℃	σ _c	123	3.00	188	1.74	201	1.41	197	1.14	226	1.02	123	3.00	188	1.74	201	1.41	197	1.14	226	1.02	123	3.00			
	σ _t	15.2	3.71	19.2	1.48	19.9	1.20	22.0	1.15	18.2	0.65	98	2.39	183	1.69	204	1.43	185	1.07	199	0.90	12.5	3.05			
	E _c	1.33	1.37	2.03	1.24	2.50	1.37	2.18	1.14	1.97	2.68	1.11	1.33	1.37	2.03	1.24	2.50	1.37	2.18	1.14	1.97	2.68	1.11			
80℃	σ _c	1.55	1.60	2.13	1.30	2.19	1.20	2.83	1.26	2.73	1.13	1.55	1.60	2.13	1.30	2.19	1.20	2.83	1.26	2.73	1.13	1.55	1.60			
	σ _t	15.2	3.71	19.2	1.48	19.9	1.20	22.0	1.15	18.2	0.65	98	2.39	183	1.69	204	1.43	185	1.07	199	0.90	12.5	3.05			
	E _c	1.33	1.37	2.03	1.24	2.50	1.37	2.18	1.14	1.97	2.68	1.11	1.33	1.37	2.03	1.24	2.50	1.37	2.18	1.14	1.97	2.68	1.11			

各項右側は20℃一定の値を1.00としたときの比
σ_c、σ_t : kg/cm²
E_c : ×10³kgf/cm²
圧縮強度、引張強度、弾性係数とも3個の平均

養生履歴温度にあまり関係せず、圧縮強度の比は 1.34~1.43、引張強度の比は1.20~1.26、弾性係数の比は 1.20~1.40 の値を示す。材令14日では、強度、弾性係数の比はさらに小さくなり、材令28日では20℃一定養生の場合とほぼ同様ないは下回るようである。これらのことよりマッシュなコンクリート内部の水和発達に伴う若材令時のコンクリート特性は温度履歴によってかなり変化し、また圧縮強度、引張強度、弾性係数の各々についてもそれぞれの発現特性が異なることが示された。養生温度履歴を受けたコンクリートの諸物性値は、材令のみの関数ではなく、材令と養生温度の両者を考慮した積算温度 ($M = \text{温度} \times \text{時間の和}$) の関数としてとらえるのが適当である。この場合の一般式は、 $\sigma_c = A \log M - B$ として与えられる。各測定値とマチュリティ $M = \sum (\theta + 10^\circ\text{C}) \Delta t$ との関係を図-2、3、4、に示す。 θ は時間刻み Δt における養生温度を表す。なお、恒温恒湿器内温度と供試体中心部温度との経時変化の差は極めて小さく、養生温度と内部温度は同一とみなした。図-2、3、4、はそれぞれ、養生履歴温度 $\theta_{max} = 20^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ の範囲でのマチュリティ M (対数表示) と圧縮強度、引張強度、弾性係数の関係を示している。いずれも $M < 30000$ ($^\circ\text{C} \cdot \text{hr}$) の範囲においては、各物性値と M は近似的には一つの直線関係で表せるとみなしうが、積算温度マチュリティ $M = 1500$ ($^\circ\text{C} \cdot \text{hr}$) 前後で勾配が変化すると考えるのが実情に則しているようである。この場合の各々の関係式を算出したものを図中に併記した。

マッシュなコンクリート構造物の熱びわれ発生上からは引張強度が重要であるが、図-5に引張強度と圧縮強度の関係を示した。さらに図-6には弾性係数と圧縮強度の関係を示す。実際に図-5、6より引張強度、弾性係数は養生温度履歴に関係なく、圧縮強度との一義的な関係を有するようである。

4.まとめ (1) $\theta_{max} = 80^\circ\text{C}$ 以下の範囲内において、マッシュなコンクリート内部で予想される温度履歴により材令28日強度と弾性係数は影響を受けないが、若材令特性は著しく変化する。
 (2) 積算温度マチュリティ $M = 30000$ ($^\circ\text{C} \cdot \text{hr}$) 程度以下の範囲内では、コンクリートの圧縮強度、引張強度、弾性係数と積算温度マチュリティ M との関係は、養生履歴温度に関係なく二本の折れ直線関数で表示することが可能である。
 (3) 養生温度履歴に関係なく引張強度、弾性係数は圧縮強度と一義的な関係を有する。

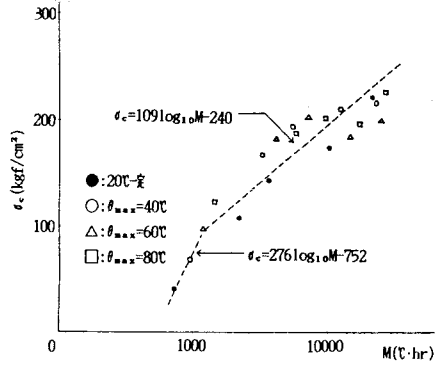


図-2 $\sigma_c - M$ 関係

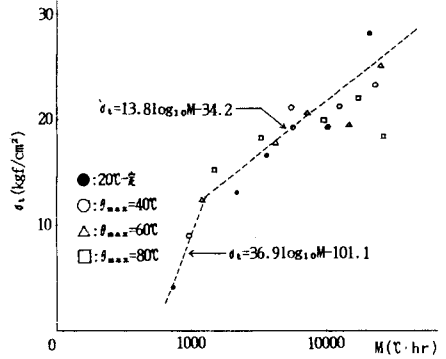


図-3 $\sigma_t - M$ 関係

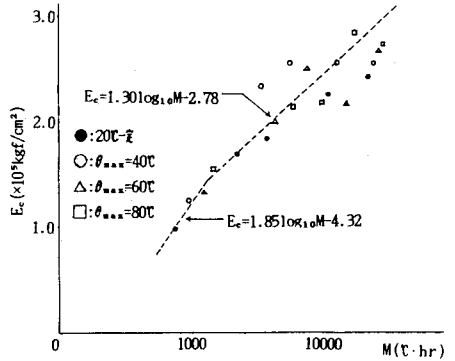


図-4 $E_c - M$ 関係

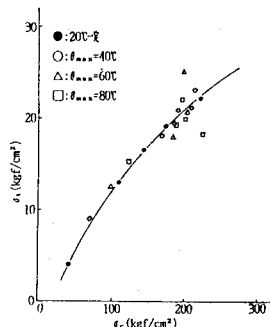


図-5 $\sigma_t - \sigma_c$ 関係

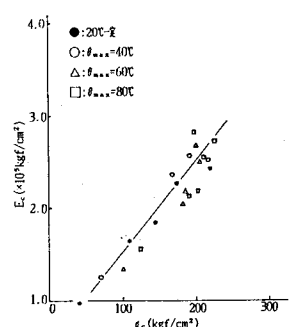


図-6 $\sigma_c - E_c$ 関係