

九州電力(株)総合研究所 正員 ○杉田 英明
土木部 正員 是石 俊文

1. まえがき

最近、コンクリート構造物の受ける外的条件は著しく多様化してきている。本報告は、とくに温度条件に注目し、 $\phi 15$ cm 試体に $20 \sim 120$ ℃ の温度を与えた場合の強度・弾性などを標準養生の場合と比較検討するとともに、高温下における軸圧縮クリープ性状について検討したものである。

2. 材料

セメント：セメントはフライアッシュセメントB種(三菱鉱業セメント(株)河田工場製)を用いた。その品質は、比重2.92、ブレン3330等、88 μ 残分1.6%、 $\sigma_7=193$ kg/cm²、 $\sigma_{28}=340$ kg/cm²である。

骨材：細骨材は芥屋沖で採取し、水洗した海砂(比重2.58、FM 3.19)と、糸島産山砂(比重2.61、FM 1.32)とを65:35で混合して用いた。粗骨材は、玄武岩碎石を用いた。最大寸法125mm、分級点は10、5mm、比重2.86、吸水量2.0、FM 6.87である。

混和剤：減水剤としてプラストクリートを用いた。

3. コンクリートの配合

コンクリートの配合は、一般のコンクリート構造物に用いられる、設計基準強度210kg/cm²、配合強度265kg/cm²程度の配合とした。その詳細は表-1に示すとおりである。

4. 試験条件

4.1 標準養生試験

試体作成24時間後以降、20℃の水中養生とした。

4.2 高温乾燥養生試験

材令28日あるいは91日まで標準養生とし、それ以降、80および120℃高温乾燥器中で乾燥養生とした。試体寸法は $\phi 15 \times H 30$ cmである。

4.3 フリープ試験

銅板(厚さ0.3mm)でシールした $\phi 15 \times H 60$ cm試体を材令91日まで標準養生とし、それ以降荷重30kgfで20、40、80および120℃の温度を与えた。みずみは内部に埋設した高温用カルソンプ

み計で計測した。フリープ試験装置の概略は、図-1に示すとおりである。

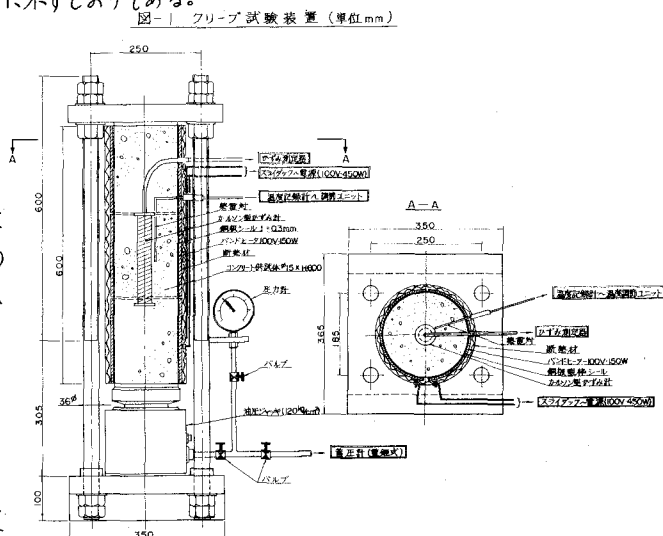


表-1 コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スラングの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S _a (%)	単 位 量 (kg/m ³)										備考
					水 W	セメント C	細 骨 材			粗 骨 材			混 和 剤		
							海砂 S ₁	山砂 S ₂	合計	25mm G ₁	5~25mm G ₂	合計	ファス フリット	AER	
25	10±2	4±1	54.0	45.8	161	298	538	289	827	648	432	1,080	4.177	1.49	

表-2 養生条件が異なるコンクリートの諸性質

養生温度	養生材令(日)			単位容積重量	超音波伝播速度	動弾性係数	静弾性係数	ポアソン比	圧縮強度	引張強度
	水中	高温	計	W (kg/m³)	Vp (km/s)	E _d (×10 ⁶ kg/cm²)	E _s (×10 ⁶ kg/cm²)	ν	σ _c (kg/cm²)	σ _t (kg/cm²)
20℃	7	0	7	2397	4.33	326	—	—	161	16.1
	28	0	28	2425	4.59	390	308	—	282	26.2
	91	0	91	2437	4.73	4.24	347	0.22	379	29.3
	182	0	182	2437	4.83	4.37	3.59	0.21	436	31.9
	365	0	365	2442	4.83	4.48	3.76	0.21	449	33.4
	547	0	547	2445	4.92	4.45	3.77	0.23	445	38.3
80℃	28	154	182	2296	3.72	2.83	2.33	0.19	325	24.1
	28	337	365	2,280	3.45	2.69	2.17	0.19	329	24.0
	91	91	182	2,290	3.74	2.69	2.24	0.20	398	24.5
	91	274	365	2,295	3.61	2.80	2.20	0.18	399	25.3
	91	456	547	2,294	3.61	2.69	2.14	0.23	406	22.9
120℃	28	154	182	2,286	3.32	2.27	1.89	0.22	378	24.0
	28	337	365	2,282	3.24	2.43	1.99	0.22	359	24.0
	91	91	182	2,287	3.18	2.20	1.95	0.18	390	25.1
	91	274	365	2,260	3.17	2.29	1.94	0.22	381	25.3
	91	456	547	2,268	3.18	2.11	1.84	0.19	383	23.5

図-2 材令・養生条件と単位容積重量の変化との関係

5. 試験結果

標準養生および高温乾燥養生における試験結果を表-2に示す。

5.1 単位容積重量

標準養生の場合およびその途中から高温乾燥養生に移行した場合、単位容積重量の変化は、図-2、3に示すとおりである。

標準養生供試体の単位容積重量は、材令と共に漸増し、材令1年程度ではほとんど飽和している。高温乾燥養生に移した場合、自由水の蒸発を主とする重量減少が限界に達するのに要する時間は、材令28日で移行した場合、80℃ではほぼ50日、120℃ではほぼ20日であり、材令91日で移行した場合、80℃ではほぼ70日、120℃ではほぼ30日である。

また、高温乾燥養生によるコンクリートの重量減少の割合は、φ15×H30cmの場合、ほぼ6%程度である。

5.2 圧縮強度

標準養生の場合およびその途中から高温乾燥養生に移行した場合の圧縮強度の変化を図-4に示す。材令28日で高温乾燥養生に移行した場合、自由水の蒸発が進むにも拘らず、材令182日まで、80℃乾燥養生で15%、120℃乾燥養生において34%の圧縮強度の伸びがみられ、それ以後は、圧縮強度はほぼ同等あるいは多少

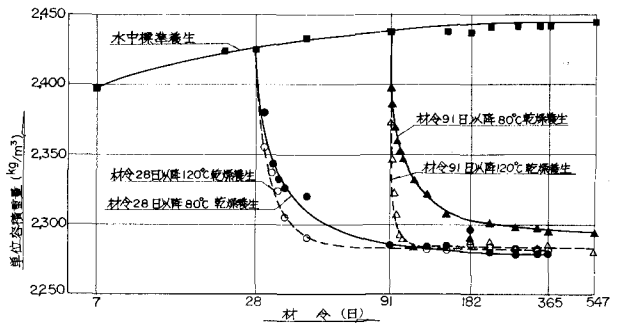
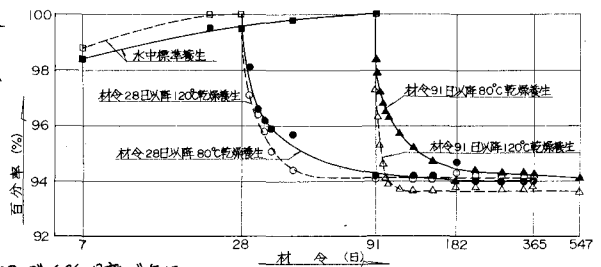


図-3 材令・養生条件と単位容積重量百分率との関係



減少している。また材令91日で高温乾燥養生に移行した場合、それ以降の強度変化は比較的少なく、80℃乾燥養生に比較して120℃乾燥養生の方が僅かに強度低下がみられる程度である。

高温養生下のコンクリートの性質に悪影響を与えるのは、水和したセメントペーストの変化であり、初期材令において十分固結したトベルモライトが、高温養生下において石灰分の多い珪酸石灰水和物に変質するためと考えられている。¹⁾ 本試験の結果からは、フライアッシュはこの様な条件下においては有効なボソラン反応を示して水和物の変質を防ぎ、自由水の蒸発による空隙の増大などに伴う強度低下に対して有効に作用するものと思われる。^{2), 3)}

5.3 弾性係数

標準養生の材令28日において、圧縮強度の1/3の点における弾性係数は表-2に示すように 3.08×10^5 N/mm²であるが、それ以後80℃において高温乾燥した場合、材令365日における弾性係数は 2.17×10^5 N/mm²となり約30%の低下を示している。またそのとき

、動弾性係数は約31%の低下を示している。このように、高温養生下におけるコンクリートは、弾性の低下が著しいようである。

5.4 超音波伝播速度

標準養生の場合およびその途中から高温乾燥養生に移行した場合の、超音波伝播速度の変化を図-5、6に示す。超音波伝播速度は、自由水の蒸発などに伴う空隙の増大とともに減少してゆき、結局的には、80℃養生において約22%程度、120℃養生において約30%程度減少する。その変化の状態は、図-2、3に示す単位容積重量の変化の状態と著しく似通っている。

5.5 乾燥収縮

φ15×H300mm供試体について、材令91日まで標準養生を行ない、それ以後高温乾燥養生に移行した場合の、材令と乾燥収縮ひずみとの関係は、図-7に示すとおりである。

最終的な乾燥収縮量に達する期間は、20℃乾燥の場合は約200日を要するが、80℃乾燥の場合約100日、そして120℃乾燥の場合は約5日に過ぎない。また、80℃あるいは120℃における最終乾燥収縮量は、約 700×10^{-6} であり、20℃の場合の約1.75倍にも達する。

図-4 養生条件と圧縮強度との関係

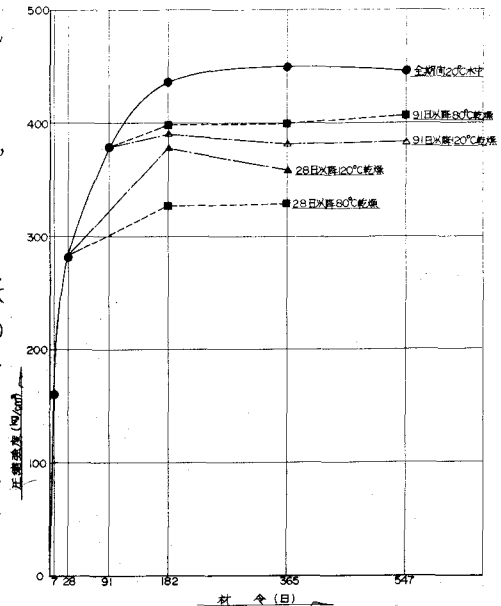


図-5 材令・養生条件と超音波伝播速度の変化との関係

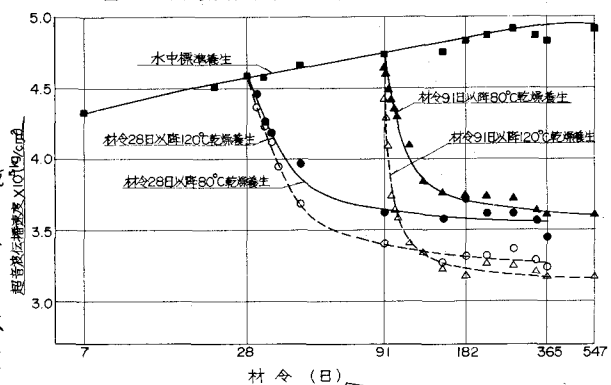
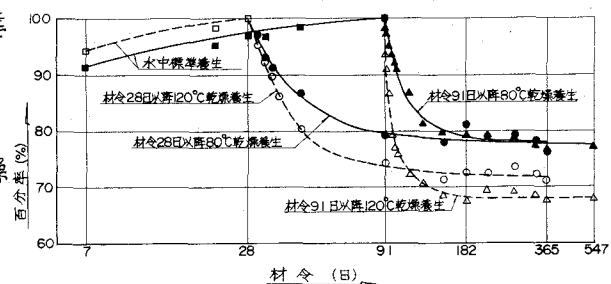


図-6 材令・養生条件と超音波伝播速度百分率との関係



5.6 クリープ試験

各温度で測定された単位力あたりの弾性ひずみ+クリープひずみは図-8および図-9のように得られた。

$$20^{\circ}\text{C} \quad \varepsilon_c = 2.27 + 0.27 \ln(t+1)$$

$$40^{\circ}\text{C} \quad \varepsilon_c = 3.07 + 0.76 \ln(t+1)$$

$$80^{\circ}\text{C} \quad \varepsilon_c = 4.94 + 2.04 \ln(t+1)$$

$$120^{\circ}\text{C} \quad \varepsilon_c = 7.7 + 2.60 \ln(t+1)$$

高温になるほどコンクリートのクリープひずみは増大した。とくに80℃を超えるとクリープひずみの増加が著しく、載荷100日において、80℃の場合は20℃の場合の約3.2倍に、120℃の場合は20℃の場合の約8.2倍にも達した。

6. あとがき

以上の試験結果から、フライアッシュセメントを用いた、 V/C 54%のコンクリートの120℃までの高温下での諸性状としてほぼつぎのようなことが考えられる。

- 1) 単位容積重量の減少は終局的には、ほぼ6%程度である。
- 2) 材令28日あるいは91日まで十分湿潤養生を行えば、その後の強度低下はあまり問題とならない。
- 3) 乾燥温度が高温となる程、またその持続時間が長くなるほど弾性係数の低下が著しい。したがって、高温を受ける構造部材については動的特性の変化に十分配慮する必要がある。
- 4) 高温下におけるクリープひずみは温度とともに増大し、かつ相当長期にわたって進行するが、実際の部材は2軸あるいは3軸応力下にある場合が多いので、実際の構造物との対比は今後の課題である。

おわりに、本実験を担当された当村清國三郎君ならびに多くの関係各位に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) Nasser, K.W., Lohtia, R.P.: Mass Concrete Properties at High Temperatures, Journal of A.C.I., Vol. 68, No. 3, March 1971
- (2) Dan Ravina, Rahel Shalom: The Effect of Elevated Temperature on Strength of Portland Cements, A.C.I. Special Publications, No. 25
- (3) 奥徳吾, 河内誠: 高温下におけるコンクリートのクリープ, 電力中央研究所2技術報告 No. 72018, S. 48.5
- (4) 河原友紀, 原口晃: 高温下におけるコンクリートの強度および弾性的性質に関する実験的検討, 電力中央研究所報告 No. 67099

図-7 養生温度と乾燥収縮ひずみとの関係

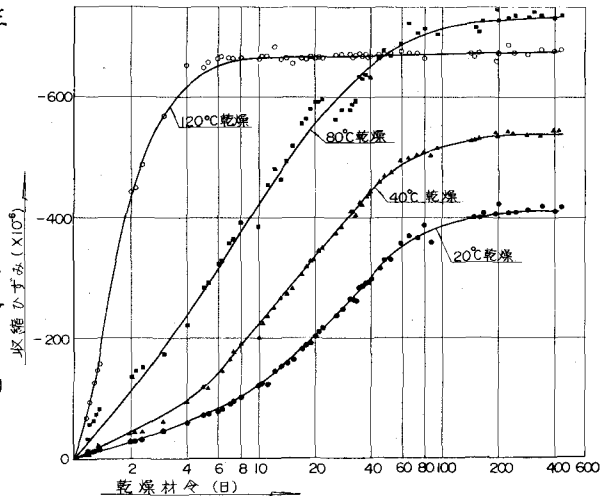


図-8 コンクリートの養生温度と圧縮クリープひずみとの関係

