

[80] 高温養生の変化がコンクリートの特性に及ぼす影響について

正会員 吉田弥智 (名古屋工業大学工学部)

正会員 飯坂武男 (名城大学理工学部)

正会員 ○杉山秋博 (名城大学理工学部)

1. まえがき

高温養生を受けたコンクリートの強度特性に関しては、一定の緩やかな上昇温度における蒸気養生コンクリートの研究<sup>1)</sup>が多数発表されている。しかし、岐阜、長野県境で計画中の安房トンネルに見られるように、火山地帯の影響を受けた高熱地帯での工事が今後増加するものと考えられる。このような高熱地帯に直接コンクリートを打設すると、高温と急激な上昇温度によってフレッシュコンクリートの練り混ぜ水、空気泡が大幅な熱膨張を示す<sup>2)</sup>ため強度低下の原因になると考えられる。強度低下を防ぐ場合、蒸気養生コンクリートは、放置時間を設けてコンクリートの組織を安定させ、強度に対する悪影響を少なくしているが、急激な温度上昇作用を受ける場合の放置時間の影響を調べた研究は少ない。

このため、本研究はセメントの種類と高温養生を開始する時のコンクリート強度を変化させたコンクリートの特性を求めようとした。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

実験に使用した材料は、普通ポルトランドセメントおよびB種高炉セメントを使用した。骨材は、表-1に物理的性質を示している天竜川産の川砂利と、掛斐川産の粗砂と木曾川産の細砂を3:1に混合した川砂を使用した。さらに、オキシカルボン酸系のAE減水剤(AE1)とスルホン酸系のAE助剤(AE2)を使用した。

上記の材料を使用して、水セメント比55%、スランプ13cm、目標空気量1.5%、5%に設定したコンクリートの配合を表-2のように決定した。

2.2 供試体の作成及び養生方法

表-2の配合表に従い練り混ぜられたコンクリートは、スランプ、空気量を測定して、φ10×20cmの円柱型枠に詰め、以下の養生を実施した。

標準養生の場合、型枠に詰めたコンクリートを室温20℃相対湿度85%以上の恒温恒湿室に静置しておき、翌日に脱型して20℃の水槽で所定材令まで養生を実施した。

高温養生の場合、円柱型枠に詰めたコンクリートを練り混ぜた直後と、20℃の恒温恒湿室に静置して1, 5, 20, 50kgf/cm<sup>2</sup>の強度に達した時刻に高温水槽に浸した。高温水槽は図-1に示す機構を持ち、40, 60, 80℃の設定温度に対して±3℃以内に保てる構造である。供試体は高温養生を3日間おこなった後、2~3時間室内で自然冷却した供試体を20℃の水槽で以後の養生を行なった。また、高温水槽に浸した供試体中心部の温度は、各養生温度とも約40分で水温と一致するのが認められた。

2.3 実験方法

(1) フレッシュコンクリートについて

凝結硬化速度試験において、20℃の標準養生試料はASTM C 403の規定に従って実施した。また、40~80℃の高温養生の場合、圧縮強度用供試体と同じ温度上昇速度を与えるため、φ10×

表-1 骨材の物理的性質

	比重	吸水率 (%)	F. M.	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )	実積率 (%)	最大寸法 (mm)
細骨材	2.59	1.50	2.81	1740	68	----
粗骨材	2.65	1.08	6.96	1730	66	25

表-2 配合表

セメントの種類	空気量 (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			W	C	粗砂	細砂	砂利	AE.1	AE.2
普通セメント	1.5	4.1	183	333	557	186	1093	----	----
	5.0	4.1	159	289	556	186	1094	0.289	0.043
高炉セメント	1.5	4.2	179	325	569	190	1071	----	----
	5.0	4.2	156	284	570	190	1074	0.426	0.043

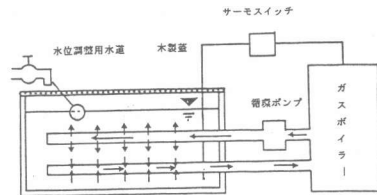


図-1 高温水槽の模式図

20cmの円柱型枠に入れた試料を使用して凝結時間を測定した。

膨張、沈下量試験は、図-2に示すようにφ10×20cmの円柱型枠に詰めたコンクリート表面に薄い穴あき鉄板を載せ、非接触型変位計を使用して時間の経過による膨張、沈下量の変化を渦電流の微小変化として測定した。

(2) 硬化コンクリートについて

圧縮強度試験は、JIS A 1108の規定に従い材令3日、7日、28日の圧縮強度を求めた。なお、3日間の高湿養生を実施したため、放置時間の長い供試体では材令5日で実施したが便宜上、材令3日強度で表示している。各供試体のキャッピングは、端面研磨仕上げ機により研磨した。

供試体の比重試験は材令28日の円柱供試体を使用しφ10×20cm全体と上面から0~1cm(上部)、1~10cm(中部)10~20cm(下部)に切断した各部の表乾比重を求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 放置時間を求めるための初期材令圧縮強度

高温養生されたコンクリートにおいて、放置時間を変化させた研究は数多く見られるが、強度を変化させたものは少ない。ここでは強度と高温養生との関係を調べるため、表-2の配合からコンクリートの初期材令強度を求め、図-3に示した。

コンクリートが0, 1, 5, 20, 50 kgf/cm<sup>2</sup>の強度が得られる時間を最小自乗法によって求めると、普通セメントの場合0, 6, 10, 18, 31時間、高炉セメントでは0, 6, 12, 22, 45時間の放置時間を設けると、所定の強度が得られることが判明した。

3.2 フレッシュコンクリートに関して

図-4は、養生温度の変化によるセメントの水和反応の状態を示したものである。20℃標準養生の場合、普通セメントでは始発、終結時間が5時間30分、8時間程度であった。B種高炉セメントは、水砕スラグが50%添加されているため普通セメントに比べると凝結時間が1時間30分~2時間30分程度遅れている。

養生温度が高くなると各セメントとも水和反応が促進されるため、80℃の養生温度では始発が70~80分、終結が90~110分程度に短縮されていて、セメントの違いによる凝結時間の差が少なくなっている。しかし、AEコンクリートの場合、養生温度による気泡の異常膨張が見られ、モルタル組織が多孔質になり、所定の強度に達するまでの時間がかかるためプレーンコンクリートに比べ凝結時間が遅れている。

コンクリート表面の沈下、膨張量試験の場合、練り混ぜ直後のコンクリートでは養生温度が変化すると表-3の沈下、膨張量が測定された。

20℃標準養生の試料は、フリージング水の上昇などにより時間の経過に伴い0.7~1.5mm

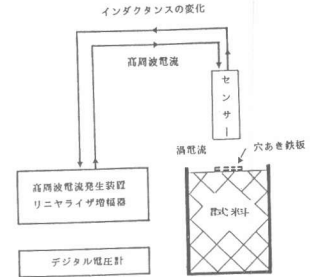


図-2 非接触型変位計の概要

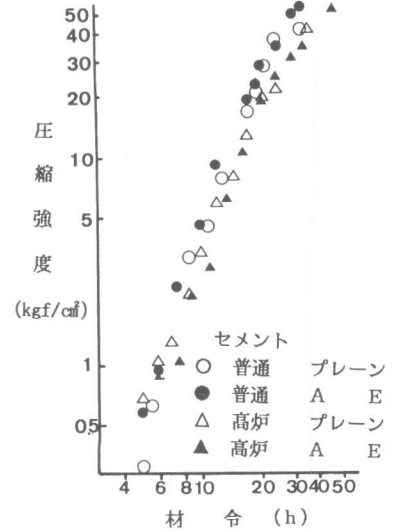


図-3 コンクリートの初期強度

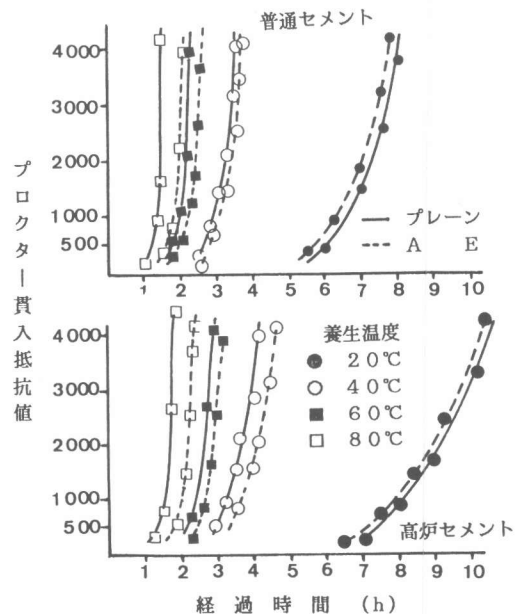


図-4 コンクリートの凝結硬化速度試験結果

程度の沈下が認められる。また、養生温度が高くなるとコンクリートの種類や養生温度によって膨張状態は異なり、80℃の高温と空気量5%のAEコンクリートの場合、5.81mmの高い異常膨張量が測定された。しかし、6時間放置されたコンクリートの試料は、ブリージングが終了し、1kgf/cm<sup>2</sup>の強度が得られるため、熱膨張係数が大きい水や気泡の悪影響が少なくなり、養生温度が40℃から80℃に変化しても膨張量が0.03~0.17mmと硬化コンクリートの膨張量程度であった。

### 3.3 硬化コンクリートについて

養生温度を変化させたコンクリート供試体の材令による圧縮強度試験結果を図-5に示している。

普通セメントの場合、20℃の標準養生の供試体は、プレーン、AEコンクリートとも一般的な強度の増進が見られる。しかし、練り混ぜ直後に高温養生を受けたプレーンコンクリートの場合、40℃の養生温度はセメントの水和反応が促進され材令3日で212kgf/cm<sup>2</sup>の高強度が得られるが、材令による強度の増進が20℃養生に比べ少なく28日強度が288kgf/cm<sup>2</sup>と標準養生に比べ約40kgf/cm<sup>2</sup>の強度低下が認められる。また、養生温度が60、80℃の場合、温度上昇速度が60、90℃/hと急激なため、セメント粒子の水和反応が十分行なわれなく材令28日強度が215kgf/cm<sup>2</sup>および141kgf/cm<sup>2</sup>と強度低下の傾向が強く表れている。また、コンクリート内部に微細気泡を多量に含むAEコンクリートは40、60、80℃の高温養生を受けると、材令28日強度が275kgf/cm<sup>2</sup>、174kgf/cm<sup>2</sup>、88kgf/cm<sup>2</sup>の強度であった。これは、同じ養生温度のプレーンコンクリートに比べ95%、81%、62%程度であり、コンクリート中の空気量は養生温度が高くなるにつれ強度低下に大きな影響を与えている。この原因として、コンクリート内部に含まれている微細気泡が養生温度により熱膨張を起しコンクリート組織の緻密性が悪くなったためと考えられる。

練り混ぜ後6時間から31時間の放置時間を設けて、コンクリート試料が1、5、20、50kgf/cm<sup>2</sup>の強度になった時に高温養生を行なった供試体は、練り混ぜ直後の供試体に比べ熱膨張係数の大きいブリージング水が蒸発し、空気泡もコンクリートの硬化により自由に膨張できないためコンクリート組織の緻密性が改善されるため、放置時間を設けない供試体強度が88kgf/cm<sup>2</sup>であった養生温度80℃のAEコンクリートの場合、218~

表-3 コンクリートの沈下，膨張量

セメントの種類	コンクリートの種類	養生温度	最大膨張	到達時間	最終膨張	到達時間
		(℃)	量 (mm)	分	量 (mm)	分
普通セメント	プレーンコンクリート	20	----	----	-0.74	55
		40	+0.04	4	-0.65	55
		60	+0.42	8	±0.00	55
		80	+1.64	14	+1.20	50
	A E コンクリート	20	----	----	-0.75	90
		40	+0.32	12	-0.24	100
		60	+2.14	20	+1.42	100
		80	+5.81	25	+5.40	60
高炉セメント	プレーンコンクリート	20	----	----	-1.41	90
		40	+0.01	1	-0.93	45
		60	+0.31	9	-0.40	90
		80	+1.49	16	-1.16	55
	A E コンクリート	20	----	----	-1.46	80
		40	+0.26	8	-0.60	80
		60	+1.59	14	+0.61	100
		80	+4.29	25	+3.22	120

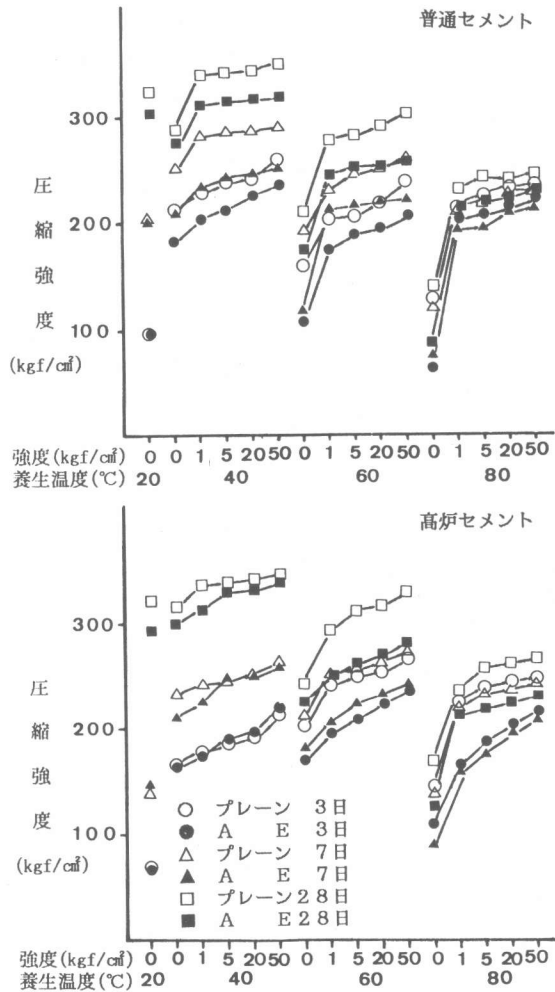


図-5 養生温度の変化による圧縮強度

231 kgf/cm<sup>2</sup>の高い強度が得られた。また、放置時間を設けない供試体強度と比較した場合、熱膨張の影響が少ない40℃でも20%程度の強度増加になり、60、80℃の高温度ではプレーンで29~40%、72~75%程度、AEコンクリートの場合42~49%、148~163%の強度増加が認められた。放置時間を長くするとコンクリート強度が高くなり高温養生による悪影響が少なくなるが、強度増加の面から考えると、コンクリート試料が1 kgf/cm<sup>2</sup>の強度が得られる6時間放置した供試体の強度増加の割合が高くなり、低い強度でも改善効果が見られた。

B種高炉セメントの場合、20℃の標準養生では材令3日、7日の初期強度が低くなっているが、スラグの潜在水硬性が発揮された材令28日強度は、321 kgf/cm<sup>2</sup>と普通セメントコンクリートとほぼ同等の強度が得られた。また、高温養生を行なった場合、練り混ぜ直後の供試体でも養生温度60℃の温度まではスラグの潜在水硬性が促進されるため、材令28日強度が225 kgf/cm<sup>2</sup>と高い強度が得られ、普通セメントのような大きな強度低下が認められなかったが、80℃の高温の場合、材令28日強度が125 kgf/cm<sup>2</sup>のため養生温度による大幅な強度低下が見られた。

放置時間を設けた場合、練り混ぜ直後に高温養生された供試体強度が高いため、強度増加の割合が普通セメントに比べ1/2程度と少ないが、80℃の高温でも213~266 kgf/cm<sup>2</sup>の強度が得られ、普通セメントと同様な傾向を示している。

高温養生を受けた供試体の表乾比重を調べた結果を図6に示している。白抜きは供試体寸法φ10×20cm全体の比重を示し、黒印は上部0~1cmの部分の比重を示している。供試体全体の比重の場合、養生温度が高くなると比重が低下し、特に練り混ぜ直後の供試体の低下が認められるが、強度低下の著しいAEコンクリートの練り混ぜ直後に80℃の高温に浸した供試体は標準養生に比べ0.08程度低下を示している。しかし、ブリージングや養生温度による熱膨張の影響を一番強く受ける供試体上部の場合、20℃の標準養生供試体でもブリージングや供試体の締め固めによる大きな気泡の上昇により0.08程度小さくなっている。さらに、最も養生温度の影響を受けているAEコンクリートで養生温度が80℃の供試体の場合、20℃の供試体比重に比べ0.248と大幅な減少を示すため、供試体上部のコンクリート組織が緻密性が失われ脆弱化して、供試体上部の強度低下の原因と考えられる。

#### 4. 結論

練り混ぜ直後のコンクリートが高温養生を受けると、高温度と急激な温度上昇により、セメントの水和反応が抑制され、コンクリート中の練り混ぜ水や気泡が熱膨張し組織の緻密性が悪くなるため大幅な強度低下をしめす。しかし高炉セメントの場合、60℃程度の温度までは強度低下が少ない事が認められた。さらに、放置時間を設けてコンクリート試料の強度を高くすると高温養生による強度低下を防ぐことができるが、コンクリート強度が1 kgf/cm<sup>2</sup>程度であれば、80℃の高温度においてもかなりの改善効果が得られる。これから、高熱地帯にコンクリートを打設するとき、セメントの選択や6時間程度の短時間のクーリングで十分な効果が得られると考えられる。また、コンクリート内部の気泡による強度低下の影響が大きく作用するため、ホットコンクリートのように打設するコンクリート温度を高くして、温度差を少なくし気泡の膨張量を減少するのの一方法と考えられる。

#### 参考文献

- 1) A C I committee 517 ; Low Pressure Steam Curing, Jour of ACI Vol 60, PP 953~986
- 2) 吉田・飯坂・杉山 : 「高温を受けるコンクリートの強度に及ぼす要因に関する研究」

セメント技術年報39 PP 241~244, 1985

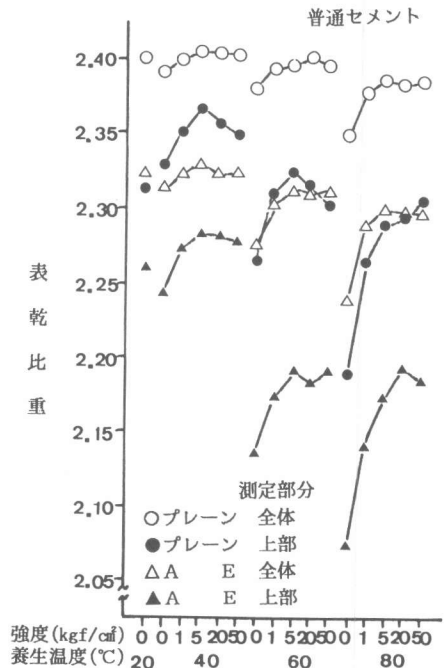


図-6 供試体の表乾比重