原子力発電所建設工事におけるコンクリートの品質管理（その4）

――暑中コンクリートの練り上がり温度を下げる効果の検討――

高橋久雄　森本正一（九電玄海工事事務所）
川口徹　竹下茂俊（九電玄海工事事務所）
大池武

Quality Control of Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 4)

――Effect of Temperature of Concrete as Mixed in Hot Weather Concrete――

Hisao Takahashi　Shoichi Morimoto
Tohru Kawaguchi　Shigetoshi Takeshita
Takeshi Oike

Abstract

This report describes the result of an investigation to clarify the effect of concrete temperature as mixed in the summer season on the strength gain characteristics of mass concrete such as used in construction of nuclear power plants. It is pointed out that the low strength gain of control cylinders in summer is caused by two main factors, viz., the absence of water modification in the mix design according to concrete temperature as mixed and high curing temperature after placing up to mold removal rather than concrete temperature itself as mixed. On the other hand, it has been clarified that high strength gain in mass concrete can be realized by lowering concrete temperature as mixed so as to lower the subsequent curing temperature at early age. Furthermore, it is explained that the larger the size of the member is, the more effect can be expected from lowering concrete temperature.

The effect of concrete temperature as mixed on high strength concrete to be used in PCCV is discussed in the Appendix.

概　要

本報告は，原子力発電所のような大型部材の多い工事を対象にして，暑中コンクリートの強度発現におよぼす練り上がり温度の影響を検討するために行なった試験の報告である。試験の結果，暑中に強度管理用シリンダーの強度発現が悪いのは，必ずしも練り上がり温度が高いためではなく，練り上がり温度による調合上の単位水量の補正が行なわれていないためと，打込後脱型までに高温養生されるためであることがわかった。一方，構造体コンクリート強度は，練り上がり温度を下げて養生中のコンクリート温度をできるだけ低くおさえたものほど強度発現がよくなることがわかった。また，部材寸法が大きいほど練り上がり温度を下げる効果が大きくなることがわかった。(付) として，PCCV を対象とした高強度コンクリートへの練り上がり温度の影響について論じた。

1. はじめに

暑中コンクリートでは，練り上がり温度およびその後の養生温度が高くなるため，下記にあげる種々の問題点を含んでおり，コンクリートの製造，施工および管理上，特に注意を要することが指摘されている。

暑中コンクリートの問題点[1)]

(1) 所要のスランプを得るための単位水量が増加する。
(2) 空気量の調整が困難になる。
(3) 凝結・硬化が速くなる。
(4) スランプの低下が大きい。
(5) 強度発現性が悪くなる。

(6) ひびわれが発生しやすくなる。

一般に，暑中コンクリートの品質管理では，上記の問題点を解決するため，セメント，骨材，水などのコンクリートを構成する各々の材料の温度をできるだけ下げてコンクリートを製造することが推奨されており管理すべき許容上限温度（目標値）として，次の値が日本建築学会から提示されている。

練り上がり温度: 30℃以下（25℃以下）

打込み時の温度: 35℃以下（30℃以下）

（カッコ内は，マスコンクリートに対する値）

原子力発電所建設工事では，一般の建築工事に比べ部材寸法の大きなマスコンクリートに近い部材が多くなるため，暑中コンクリートの練り上がり温度の管理についてはより厳しい管理を要求されるようになってきている。

そこで，今回の試験は，暑中コンクリートの練り上がり温度を下げる効果がどの程度あるかを主に強度管理の立場から検討したものである。

練り上がり温度は，35℃, 30℃, 20℃の3水準とした。部材の大きさのちがいによる練り上がり温度の影響を検討するため，前報[2]と全く同様に，30 cm 部材，100 cm 部材，超大型部材の3種類の模型部材を製作した。各練り上がり温度毎に，打込み後の部材コンクリートの温度履歴の測定，部材から抜き取ったコアの供試体の強度試験，およびシリンダー強度試験を行ない，これらの結果の比較から練り上がり温度の効果を検討した。なお，暑中コンクリートで強度以外で，特に問題となる“ひびわれ”については，温度履歴を測定するにとどめ，特に試験は計画しなかった。

2. 試験の概要

この試験は，前報[2]と同様に，大林組九電玄海工事々務所の現場内に設置されている生コンプラントで行なったものである。試験方法のうち，使用材料，模型部材の種類・大きさおよび温度測定位置，コンクリートの打込み・養生，および模型部材からのコア抜き取り方法・コア強度試験方法等以下に述べること以外はすべて前報と同じ方法を採用した。

2.1. 試験の実施時期

試験の時期は，コンクリート打込み後4週間の予想外気温が最高になる盛夏を目標にしてコンクリートを打込んだ。模型部材へコンクリートを打込んだ時の外気温は33℃程度であった。なお，練り上がり温度別の調合比を決めるための試し練りを年度を変えて2回行なっており，模型部材へ打込んだコンクリートの調合は，2回目の試し練りの結果をもとに決めた。

2.2. 設定した練り上がり温度とその調整方法

今回の試験で設定した練り上がり温度の水準は，暑中コンクリートのごとく一般的な温度として30℃を“中心”にして，“上”は通常考えられる練り上がり温度の最高値として35℃，“下”は中心の30℃に対して，その差をできるだけ大きくとり，かつ，生コンプラントミキサーでの混練りを前提にした場合の実施可能な温度として20℃とした。すなわち，練り上がり温度として35℃, 30℃, 20℃の3水準を設定した。

練り上がり温度の調整方法は，すべて練り混ぜ水の水温を変えることによって行なった。具体的には，練り上がり温度30℃の場合は，この生コンプラントで実際に暑中で行なっている通りの冷却水（水温17.5℃）をそのまま使用した。練り上がり温度35℃の場合は水温を45℃程度まで暖ためてコンクリートを練った。一方，練り上がり温度20℃の場合は，計画調合上必要な単位水量のうち砂の表面水として最大限含まれるであろうと思われる量を除いて，コンクリート1 m³ 当り練り混ぜ水 120 kg に相当する量をアイスチップに置換えてコンクリートを練った。使用したアイスチップの最大粒径は 5 cm 程度のものである。

2.3. コンクリートの調合条件と使用材料

各練り上がり温度共，以下の条件のコンクリートを使用した。

(1) 設計基準強度: 210 kg/cm²

(2) 水セメント比: 54%

(3) 骨材最大寸法: 25 mm

(4) スランプ: 10±1 cm

(5) 空気量: 4±1%

ただし，水セメント比54%は，必ずしも設計基準強度 210 kg/cm² から求めた値ではなく，耐久性等の他の条件から設定したものである。

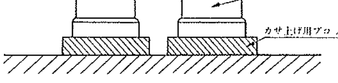
使用材料のうち，セメント，砂利，混和剤は前報と同じものを用いたが，砂は，粒度分布を調整するため海砂と山砂を混合して使用した。海砂，山砂の混合比は，1回目の試し練りは65:35(粗粒率 2.67)，2回目の試し練りおよび本打込みは80:20（粗粒率 2.44）で使用した。

2.4. 強度管理用シリンダーの強度試験

(1) 養生方法は，模型部材内の温度履歴，乾燥程度を考慮して以下に示す12種類を設定し，それぞれについて強度試験を行なった。

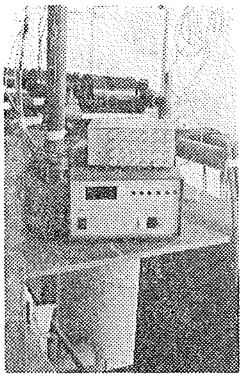
① 標準水中養生（脱型まで20℃養生）

② 標準水中養生（脱型まで屋外放置養生）



図—1 脱型まで20℃の養生方法

③ 現場水中養生
④ 35℃一定水中養生*
⑤ 50℃一定水中養生*
⑥ 一週間50℃水中以後35℃水中養生*
⑦ 一週間35℃水中以後現場水中養生
⑧ 一週間50℃シール以後35℃シール養生*
⑨ 一週間35℃シール以後現場シール養生
⑩ 現場放置シール養生
⑪ 100 cm 部材中心温度履歴水中養生*
⑫ 超大型部材中心温度履歴水中養生*


写真—1
自動温度制御装置

*印は，材令4週以後現場水中養生（現場放置シール養生）を行なった。

(2) (1)①の脱型まで20℃の養生方法は，今回の試験が現場試験で適当な設備がなかったため，図—1に示すように標準水中養生槽に浸して養生した。

(3) (1)の②～⑫は，脱型まで屋外放置養生をおこなった。なお，直射日光による急激な水分の逸散を防ぐためベニア板で覆をしておいた。

(4) (1)の①～⑩は，打込み翌日キャッピングをし，翌翌日脱型してから所定の養生を行なった。

(5) (1)の⑪，⑫は，できるだけ早期からそれぞれの模型部材の温度履歴に追従させるため，打込み翌日中にキャッピング，脱型して所定の養生槽に入れた。この養生槽の養生温度の調節は，サーミスター測温体を使用した自動温度制御装置（写真—1参照）により，たえず部材のコンクリート温度を養生水温の比較を行ない，部材温度より水温が下がった時に投込みヒーターに通電して水槽を暖め，水槽温度が部材温度以上になった時にヒーターの電源が自動的に切れることになっている。

試験別（砂の粗粒率）	目標練り上がり温度	単位水量 (l/m³)	セメント (kg)	S/A (%)	山砂 (kg)	海砂 (kg)	砕石 (10%) (kg)	砕石 (25%) (kg)	混和 (No.8)	AE剤の量	未だ固まらないコンクリートの性質			
											練り上がり温度 (℃)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/l)
1回目試し練り (2.67)	35℃	172	319	44.9	279	518	425	638	319	2 A	35.6 35.6 35.1	9.2 10.0 10.0	4.2 4.0 4.0	2367 2373 2360
	30℃	170	315	45.2	282	525	425	638	315	2 A	29.5 29.4 30.0	9.4 9.6 9.0	4.2 4.3 4.4	2360 2366 2367
	20℃	165	306	45.9	289	538	425	638	306	1 A	19.2 20.2 20.1	11.3 10.0 9.5	4.4 4.3 4.1	2359 2360 2367
2回目試し練り (2.44)	35℃	178	330	45.0	157	629	420	629	825	1 A	36.3 36.7 36.8	10.2 8.8 8.5	4.0 4.0 4.0	2336 2324 2337
	30℃	175	324	45.0	159	634	422	634	810	1 A	29.7 30.1 30.4	9.0 9.0 9.0	4.4 4.3 4.4	2333 2333 2332
	20℃	172	319	45.0	160	639	425	638	798	0.5A	20.0 19.1 19.3	9.5 9.5 8.5	4.4 4.5 4.4	2330 2333 2341
模型部材打込み時 (2.44)	35℃	180	333	45.0	157	627	417	625	833	2.5A	36.0	9.8	4.0	2326
	30℃	177	328	45.0	158	631	420	630	820	2.5A	31.0	10.0	4.1	2330
	20℃	174	322	45.0	159	635	423	635	805	1.5A	21.6	10.6	4.3	2333

表—1 コンクリートの調合と練り上がり時の性質

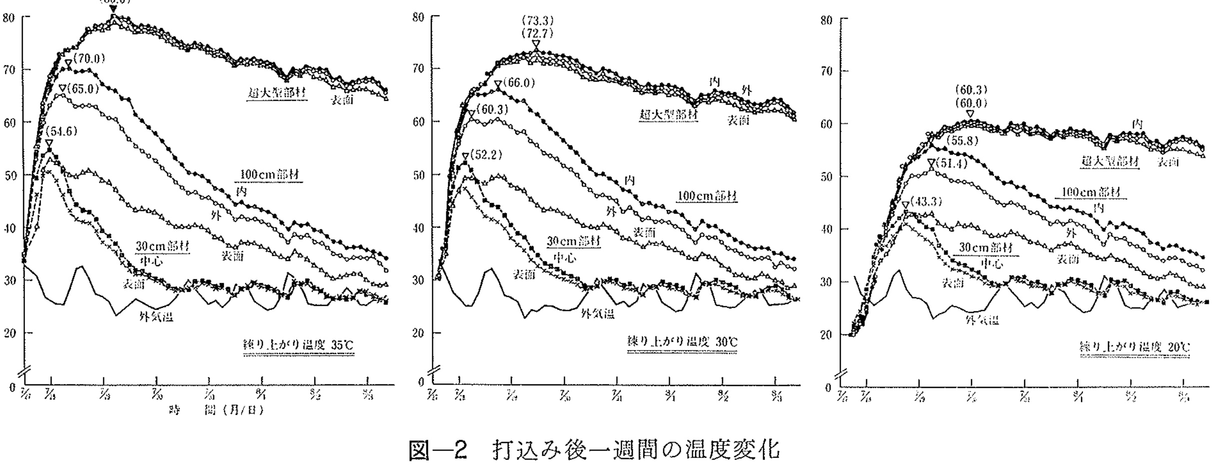
(6) シール養生は，供試体を厚いビニール袋に入れて行なった。

3. 試験結果とその検討

3.1. コンクリートの調合と練り上がり時の性質

2.3.の調合条件を満たす各練り上がり温度毎の調合および練り上がり時の性質は，表—1の通りである。同一練り上がり温度で必要となる単位水量は，2回目の試し練りの方が1回目より全般に多かった。これは，使用した砂の粗粒率が2回目の方が小さかったためである。2回目の試し練りの結果から模型部材打込み時の調合を決定するに当り，ミキサー容量のちがいを考慮して，各練り上がり温度共，水セメント比を一定に保ち，名目上単位水量を2 lづつ増して調合の補正を行なった。表—1より，次のことがわかる。

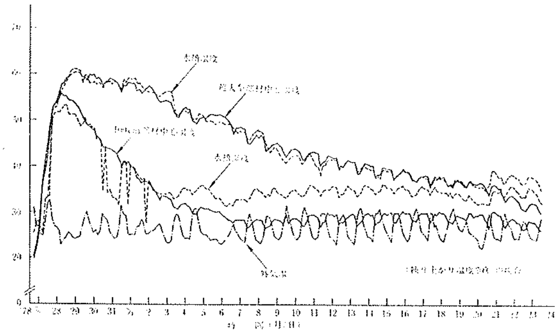
(1) 練り上がり温度が高くなると，所要スランプを得るための単位水量は増加する。今回の試験では，練り上がり温度が20℃から30℃に上がると単位水量は，3～5 l 増えた。さらに，30℃から35℃に上がると 2～3 l 増えた。



図—2 打込み後一週間の温度変化

区分	部材・部位	最高温度と到達時間		養生期間別の平均部材温度(℃)		
		最高温度	到達時間(打込みから)	打込み~7日目まで	7日目~28日目まで	打込み~28日目まで
練り上がり温度 35℃	30 cm 部材	54.6	12	32.8	27.4	28.7
	100cm部材・外側	65.0	18	46.6	28.9	33.3
	〃 ・内側	70.0	21	50.0	29.1	34.4
	超大型部材・外側	80.0	42	71.1	47.1	53.1
	〃 ・内側	80.0	42	71.4	47.4	53.4
練り上がり温度 30℃	30 cm 部材	52.2	12.5	32.9	27.7	29.0
	100cm部材・外側	60.3	15.5	44.7	28.3	32.4
	〃 ・内側	66.0	27.5	48.1	28.7	33.5
	超大型部材・外側	72.7	45.5	65.0	44.6	49.7
	〃 ・内側	73.3	45.5	65.6	44.7	49.9
練り上がり温度 20℃	30 cm 部材	43.3	25.	31.2	28.2	29.0
	100cm部材・外側	51.4	37.	40.2	28.6	31.5
	〃 ・内側	55.8	37.	43.1	29.1	32.6
	超大型部材・外側	60.0	55.	53.6	41.3	44.3
	〃 ・内側	60.3	55.	53.9	41.6	44.6
外気温				26.7	26.4	26.5

表—2 各部材・部位の最高温度と平均部材温度



図—3 部材中心温度履歴水中養生槽の水温の変化

(2) 仮に，練り上がり温度が30℃になると予想されるコンクリートを練り上がり温度20℃の計画調合比でスランプを合せて練ったとすると，実質の単位水量が増えるので水セメント比は計画上より大きくなり計算上3～4.5%程度強度低下することになる。同様に，練り上がり温度35℃のコンクリートを20℃の調合で練ると，5～6.5%程度低下をする。

(3) 従って，暑中コンクリートでは，練り上がり温度が高くなることによる単位水量の増加をあらかじめ考慮して調合計画をする必要がある。

(4) 練り上がり温度が一定でも，1バッチ当りの混練り量，練り時間，砂の粗粒率等の違いにより所要の空気量を得るために必要とするAE剤の量は異なる。しかし，一定条件のもとで，練り上がり温度だけを変化させた場合には，表—1の結果でも練り上がり温度が高くなると，コンクリート中の空気量は減少し，所定の空気量を得るのに必要なAE剤の量は増えることがわかる。

3.2. 模型部材の温度履歴

図—2には，練り上がり温度ごとの模型部材の打込みから材令1週までの温度変化を比較して示した。表—2には，練り上がり温度別の各部材・部位の最高温度と養生期間別の平均部材温度（部材コンクリートの温度履歴を平均したもの）を一覧にして示した。図—2，表—2より次のことがわかる。

(1) 部材の大きさが同じであれば，練り上がり温度が高くなるほど，最高温度が高くなる。

(2) また，その時の最高温度に到達する時間は練り上がり温度が高いほど早い。これは，コンクリート温度が高くなると，セメントの水和反応も速く進むためであろうと考えられる。

(3) 同じ練り上がり温度では，部材寸法が大きいほど最高温度は高くなり最高温度に達する時間は遅れる。

(4) 断熱特性の高い超大型部材では，練り上がり温度が高くなると，単位セメント量の差以上に温度上昇が大きくなり最高温度の差が大きくなっている。

(5) 練り上がり温度のちがいによる最高温度の差に着目した場合，30 cm部材程度の薄い部材でも練り上がり温度を下げる効果は認められる。ただし，放熱速度との関連で，部材寸法が小さくなればその効果は小さくなり，長期間の部材平均温度ではその効果は，ほとんど認められなくなる。

(6) 定性的な意味で最高温度およびその後の部材コンクリート温度を下げるために，練り上がり温度を下げればよいことは明らかであり，部材寸法が大きいほどその効果も大きいことがわかる。

(7) 今回打込んだ模型部材のいずれにもひびわれは認められなかった。

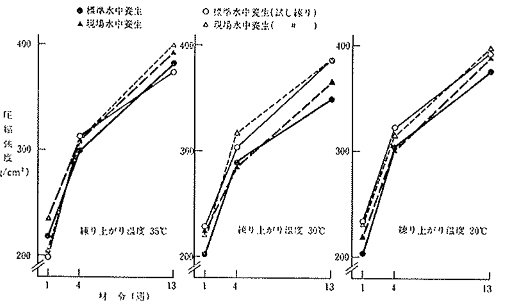
なお，図—3は，練り上がり温度20℃の部材中心温度履歴水中養生水槽の水温の変化とそれに対応する部材コ

調合の別	練り上がり温度 35℃				練り上がり温度 30℃				練り上がり温度 20℃			
試験材令	脱型時	1週	4週	13週	脱型時	1週	4週	13週	脱型時	1週	4週	13週
標準水中養生（20℃一定）	98	215	330	406	92	197	305	379	84	186	291	363
〃 （屋外放置）	138	218	299	382	133	202	290	349	127	202	304	376
現場水中養生	—	235	309	393	—	223	285	365	—	219	302	389
35℃一定水中養生	—	248	353	404	—	227	325	365	—	247	324	377
50℃一定水中養生	—	287	345	371	—	255	317	342	—	288	353	371
一週間50℃水中以後35℃水中	—	(287)	342	368	—	(255)	322	346	—	(288)	326	371
一週間35℃水中以後現場水中	—	(248)	337	400	—	(227)	293	330	—	(247)	304	342
一週間50℃シール以後35℃シール	—	269	333	385	—	247	326	359	—	271	331	376
一週間35℃シール以後現場シール	—	245	317	384	—	240	308	349	—	255	320	381
現場放置シール養生	—	222	307	367	—	222	309	339	—	227	320	369
100cm部材中心温度履歴水中	—	300	329	377	—	262	327	363	—	259	333	348
超大型部材中心温度履歴水中	—	280	306	323	—	260	288	320	—	289	320	341

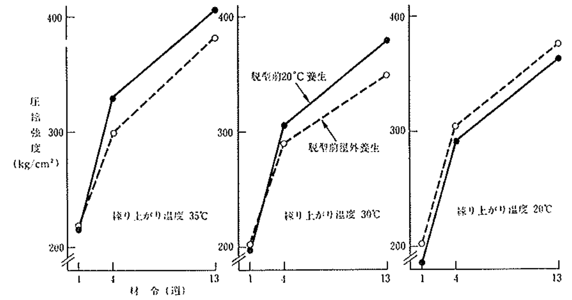
表—3 各種養生シリンダー強度試験の結果

調合の別		練り上がり温度 35℃		練り上がり温度 30℃		練り上がり温度 20℃	
試験材令		4週	13週	4週	13週	4週	13週
30 cm 部材		304	366	307	370	326	357
100 cm 部材	外側	315	358	302	347	321	387
	内側	296	311	307	307	321	360
	平均	309	342	303	334	321	380
超大型部材	外側	296	316	309	323	367	370
	内側	265	295	280	292	325	353
	平均	287	309	299	313	356	366

表—4 部材コア強度試験の結果



図—4　練り上がり温度別の強度発現性状(1)



図—5　練り上がり温度別の強度発現性状(2)

ンクリートの温度変化を比較して示したものである。今回の試験に使用した自動温度制御装置は，ほぼ当初の性能を発揮したと考えられる。

3.3.　強度試験の結果

表—3は，各練り上がり温度ごとの強度管理用各種養生シリンダーの強度試験結果である。同様に，表—4は，模型部材のコア強度の試験結果である。

(1)　図—4は，一般的な脱型まで屋外養生し，以後標準水中養生および現場水中養生したシリンダーの強度発現を示したものである。この図には，試し練り時の強度試験の結果も一緒に示した。

この図から，単に練り上がり温度が高いからと言って，必ずしも強度発現が悪くなるとは言い切れないことがわかる。なお，今回の試験結果では，コンクリート強度へのバッチ間の変動の影響が打消されていないので断定はできないが，単なる練り上がり温度の影響はシリンダーレベルでは，ほとんどないものと推察される。

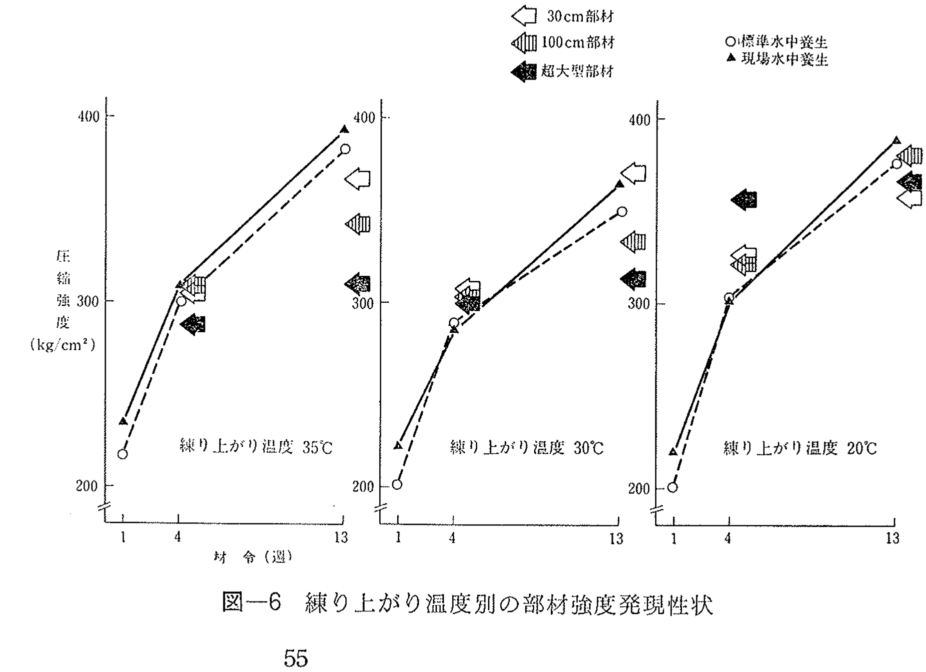
(2)　図—5は，脱型までの養生方法が違うものを脱型後に同じ標準水中養生した場合の強度差を検討したものである。練り上がり温度35℃，30℃の場合は，材令1週強度は，表—3の脱型時強度と同様に養生温度の高い屋外放置養生したものの方が20℃養生したものより，わずかであるが，強度が高い。ところが，材令4，13週では，脱型時強度の低かった脱型前20℃養生したものの方が強度が高い。この2例をみるかぎり，脱型前高温養生されたものは，低温養生されたものに比べ，長期的な強度発現が悪くなると言える。

ところが，練り上がり温度20℃の場合は，前2者に比べて，材令1週での強度差がそのまま材令4，13週強度にもあらわれ，強度の逆転現象は生じてはいない。このような練り上がり温度35℃，30℃と20℃での練り上がり温度による強度発現の違いの原因については明らかにすることはできなかった。しかし，他の研究報告[3)4)]と比較してみると，今回の練り上がり温度35℃，30℃の結果の方がより一般性を持っているものと理解される。

(3)　一般に暑中コンクリートの強度発現が悪くなるというのは，練り上がり温度を人為的に操作していない場合には，練り上がり温度がその後の脱型までの期間の平均養生温度を代表するものと考えられるので，ある程度の妥当性をもっているものと理解できる。

(4)　しかし，今回の試験のように，人為的に練り上がり温度を操作した場合の結果でみるかぎり，単に練り上がり温度が高いから，強度発現が悪くなるというのではなく，むしろ，暑中コンクリートでは打込み後脱型までの養生温度が高くなるので強度発現が悪くなると考えた方がより妥当性がある。

(5)　従って，暑中コンクリートのシリンダー強度のレ



図—6　練り上がり温度別の部材強度発現性状

ベルでは，シリンダー内のコンクリート温度が打込み後短時間に外気温に追従してしまうので，練り上がり温度を下げる効果はほとんど期待できないことになる。

以上の検討は，すべてシリンダー強度に関するものである。以下に部材コア強度について検討する。

(6)　図―6は，練り上がり温度ごとに各部材の平均コア強度を標準水中養生・現場水中養生シリンダー強度と対比して示した。この図は，前報[2]の寒中コンクリートの結果と比較すると，その相違が一層明瞭になる。

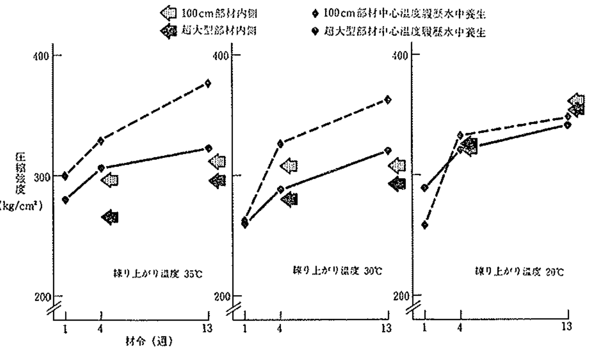
つまり，寒中コンクリートでは，全部材で材令4，13週強度共にシリンダーの現場水中養生強度以上が確保され，かつ，30 cm 部材，100 cm 部材に比べて高温養生期間の長い超大型部材の強度が高くでていた。

暑中コンクリートの場合，材令4週強度では，練り上がり温度の低い20℃では，寒中コンクリートの結果とほぼ似かよっており，全部材で現場水中養生強度以上が確保され，かつ，超大型部材の強度が30 cm 部材，100 cm 部材の強度をかなり上回っている。ところが，練り上がり温度が高くなるに従って現場水中養生強度に対する比率は小さくなっている。特に練り上がり温度が高く，かつ，長期間にわたって極端な高温状態（65℃以上）が続く超大型部材の強度が，30 cm 部材，100 cm 部材の強度とほぼ同等か，それ以下になっている。練り上がり温度35℃の超大型部材の強度は，現場水中養生強度さえも下回っている。

さらに，材令13週強度では，練り上がり温度20℃の場合でさえ全部材とも現場水中養生強度を下回っており，練り上がり温度が高くなり，部材寸法が大きくなるに従ってこの傾向が強くなっている。特に，超大型部材では，高温で長期間養生された影響で強度ののびも極端に少ない。最も強度発現の悪い練り上がり温度35℃の超大型部材の強度の現場水中養生強度に対する比率は78.6％と20％以上も強度差がある。

(7)　以上の結果から，暑中コンクリートで，強度管理用のシリンダー強度のレベルでは，練り上がり温度を下げる効果は認められなかったものの，部材のコア強度については，温度ひびわれを防ぐ意味で最高温度を下げるための効果と同等に，練り上がり温度を下げれば，強度発現が有利になることが明確になった。また，部材寸法が大きいほどこの効果も大きいことがわかった。

(8)　図―7は，100 cm 部材，超大型部材の中心温度履歴水中養生したシリンダー強度と，これに該当する部材コア強度の比較である。練り上がり温度20℃の場合は両部材ともほぼ良い対応を示している。ところが，練り上がり温度30℃，35℃の場合はいずれも，部材コア強度の方が低く，35℃ではさらにその差が大きくなっている。この原因は，今回の部材中心温度履歴水中養生させたシリンダーは，コンクリート打込み後脱型して養生を開始するまで約1日間要しており，この間の模型部材とシリンダーの温度履歴の差が練り上がり温度が高いものほど大きくなり，結果的に初期の温度履歴の差が強度差となっているものと考えられる。



図―7　部材コア強度とシリンダー強度の比較

(9)　100 cm 部材，超大型部材の内側･外側の部位による強度差は，前報と同様に，いずれの練り上がり温度とも外側の強度が内側より高かった。この原因の究明は，次の研究課題としたい。

4. まとめ

以上の結果，原子力発電所建設工事のように，部材寸法の大きいコンクリートを頻繁に打設する工事の暑中コンクリートの品質管理にあたっては，温度ひびわれを防ぐためと同じように，できるだけ練り上がり温度の低いコンクリートを打設することが，部材の強度発現性状をよくするためにも有利になることがわかった。

今回の試験では，幸い練り上がり温度が高すぎて部材強度が設計基準強度を下回ることはなかったが，今後，原子力発電所の大型化が進み PCCV のように部材寸法が大きく，かつ設計基準強度の高いコンクリートを対象にするようになると，暑中コンクリートの練り上がり温度を下げる必要性はさらに強くなると考えられる。

5. あとがき

前報[2]および本報は，九州電力(株)玄海原子力発電所建設所の依頼のもとに行なった研究の結果である。研究の計画，実施および結果の整理に当り，絶大なる御尽力をいただいた同建設所建築課西村課長に深謝の意を表します。また，この研究の実施に御協力いただいた三菱鉱業セメント(株)熊谷進氏はじめ関係者各位に感謝の意を表します。

（付）高強度コンクリートへの練り上がり温度の影響

1. 目的

原子力発電所の大型化が進むにつれて，原子炉格納容器構造物として PCCV の導入が実際に検討されるようになってきている。

PCCV では在来の外部遮へい壁に比べ部材寸法が大きくなる（厚さ 1.3～1.5 m）。その上，プレストレス導入を前提にしているので設計基準強度は，420～450 kg/cm² と高くなり，単位セメント量の多いコンクリートになる。

そこで，この試験は PCCV を対象とした高強度コンクリートへの練り上がり温度の影響を検討するために行なったものである。

2. 試験の概要

この試験は，“本論”の試験と同時に行なったものであり，試験方法のうち，以下に述べること以外はすべて，“本論”と同じ方法を採用している。

(1) 練り上がり温度: 35℃，20℃の2水準

(2) コンクリートの調合条件: 設計基準強度 420 kg/cm²（材令91日），スランプ 8 cm，フライアッシュB種セメント使用

(3) 模型部材: 各練り上がり温度につき付図—1に示すような厚さ 150 cm の壁体を想定した模型部材を1体づつ用意した。

(4) コア供試体・強度管理用シリンダーの大きさは，10 φ×20 cm とした。

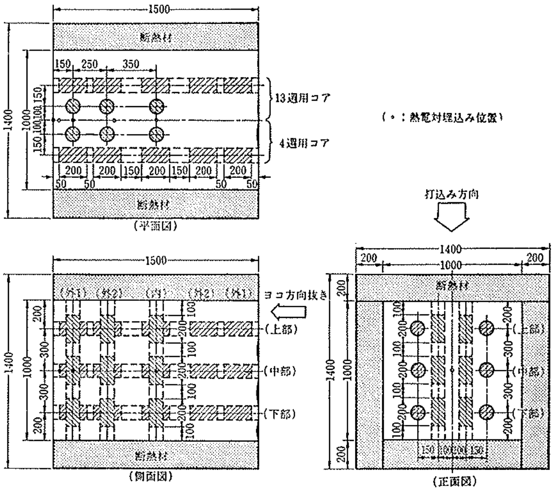
(5) コア抜き取り位置は，付図—1に示した通りである。ここでは，部材の内・外（外1，外2，内）の強度差，打込み高さによる強度差，コア抜き取り方向による強度差が検討できるようにコア採取位置を割りつけた。

3. 試験結果とその検討

(1) 付表—1に，試し練りの結果から求めた各練り上がり温度のコンクリートの調合と，模型部材打込み時のコンクリートの性質を示した。練り上がり温度20℃のコンクリートは，スランプの調整が思わしくなかった。

(2) 付図—2には，各練り上がり温度ごとに，部材内の代表的な位置における打込みから材令1週までの温度履歴を示す。付表—2には練り上がり温度別の各部位の最高温度，期間別の部材平均温度を示した。この結果，“本論”のコンクリートに比べ，単位セメント量が多く，又部材寸法も大きいので，特に練り上がり温度35℃のコンクリートでは最高温度が異常に高くなっていることがわかる。

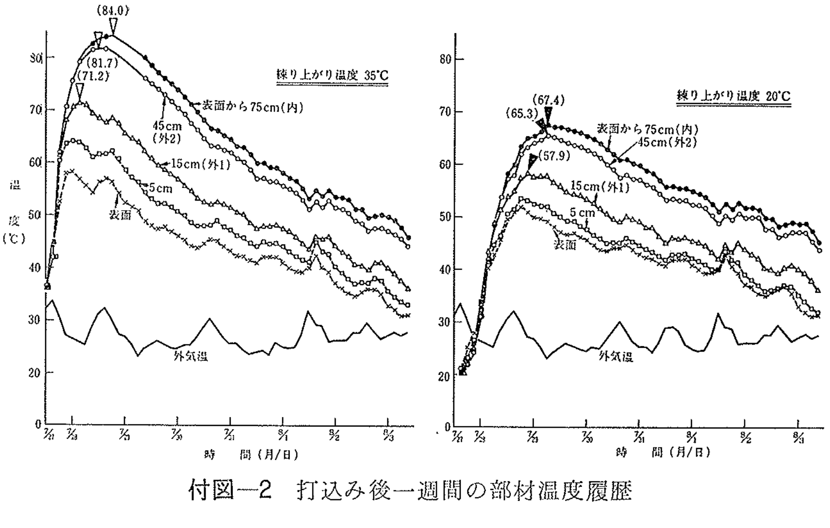
(3) 付表—3，4には，練り上がり温度ごとの強度管理用シリンダーの強度試験結果および部材コア強度の試験結果を示した。付図—3には，練り上がり温度による強



付図—1 模型部材詳細

目標練り上がり温度	単位水量 (ℓ/㎥)	セメント (kg)	S/A (%)	山砂 (kg)	海砂 (kg)	砕石 (10㎜) (kg)	砕石 (25㎜) (kg)	混和剤 (No.8) (g)	AE剤の量	未だ固まらないコンクリートの性質 練り上がり温度 (℃)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/㎥)
35℃	178	396	45.0	152	609	406	608	990	2.5A	36.2	8.3	·3.8	2327
20℃	172	382	45.0	155	619	412	618	955	1.5A	20.7	10.3	4.4	2323

付表—1 コンクリートの調合と打込み時の性質



付図—2 打込み後一週間の部材温度履歴

区分	部位	最高温度と到達時間		養生期間別の日平均養生温度(℃)		
		到達時間(h)(打込みから)	最高温度	打込み～7日目まで	7日目～28日目まで	打込み～28日目まで
練り上がり温度35℃	外1(表面から15cm)	16	71.2	51.9	31.1	36.3
	外2 (45cm)	25	81.7	61.5	31.9	39.3
	内 (75cm)	31	84.0	63.9	32.3	40.1
練り上がり温度20℃	外1 (15cm)	29	57.9	45.8	31.2	34.9
	外2 (45cm)	38	65.3	52.2	31.9	37.0
	内 (75cm)	38	67.4	54.1	32.3	37.8
外気温				27.2	26.6	26.8

付表―2　最高温度と部材平均温度

度発現性状のちがいを比較できるようにシリンダー強度・部材コア強度を対比して示した。なお，部材コア強度は，打込み高さよにる強度は平均して，部材内の内・外による強度差が比較できるようにした。

この結果，(1)で述べたが，練り上がり温度20℃のコンクリートは，スランプ調整がうまくなかったため，シリンダー強度は，練り上がり温度35℃のコンクリートに比べ，20℃の方が全般に低かった。

しかし，各練り上がり温度について現場水中養生シリンダー強度に対する部材コア強度の比率を見ると，明らかに練り上がり温度が高いと部材コア強度の発現が悪いのがわかる。特に練り上がり温度35℃の場合は，材令13週でシリンダー強度は，標準水中養生・現場水中養生共に，設計基準強度の 420 kg/cm² を大きく上回っているにもかかわらず，部材コア強度は部位によっては，設計基準強度にさえ満たない。したがって，練り上がり温度が高く，部材寸法がある程度大きい場合には，強度管理用のシリンダー強度が設計基準強度を満足したからといって部材強度は必ずしも設計基準強度を満していないことがわかる。

この意味で，PCCV を対象とする高強度コンクリートでは，温度ひびわれ防止のために最高温度を抑えることと同等以上に，部材強度発現を有利にするため，練り上がり温度はできるだけ下げた方がよいことがわかった。

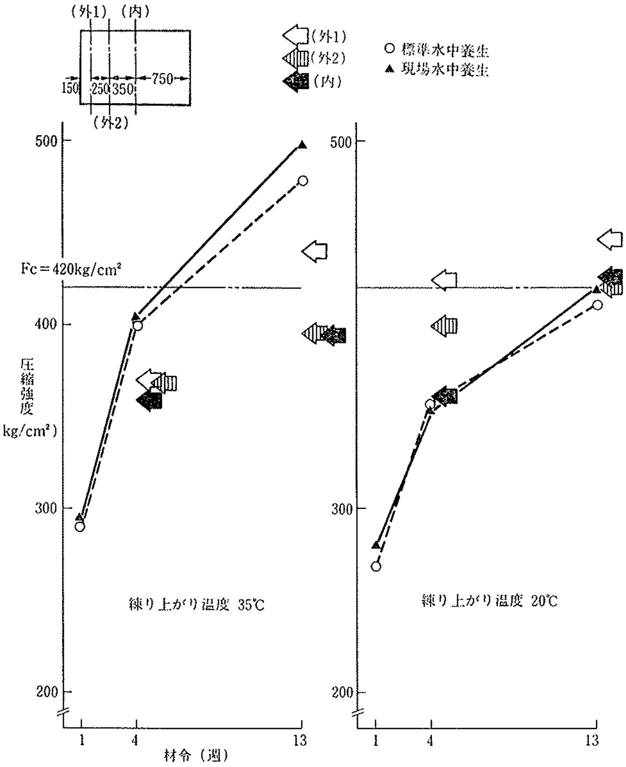
この試験での部材内の内・外による強度差は，“本論”と同様に内側の強度が外側に比べて低かった。その他，打込み高さによる強度差が，内・外の強度差と同程度あり，上部に比べ下部の強度が高いことがわかった。なお，コア抜き取り方向による強度差は，今回の試験では，コア供試体の数が少なくてはっきりしたことはわからなかった。

調合の別	練り上がり温度 35℃				練り上がり温度 20℃			
養生＼試験材令	脱型時	1 週	4 週	13 週	脱型時	1 週	4 週	13 週
標準水中養生	190	289	399	478	183	268	357	411
現場水中養生	—	294	404	499	—	280	353	419

付表―3　シリンダー強度試験の結果

調合の別	試験材令	4 週			13 週		
	高サ＼部位	外 1	外 2	内	外 1	外 2	内
練り上がり温度35℃	上 部	361	349	339	411	401	381
	中 部	354	368	370	443	384	409
	下 部	391	386	368	463	401	393
練り上がり温度20℃	上 部	378	368	343	417	411	417
	中 部	432	395	373	474	421	427
	下 部	462	435	368	447	428	432

付表―4　部材コア強度試験の結果



付図―3　練り上がり温度別の強度発現性状

参考文献

1)　日本建築学会：コンクリートの調合設計，調合管理，品質検査指針案，同解説

2)　高橋，他：原子力発電所建設工事におけるコンクリートの品質管理（その3），大林組技術研究所報，No. 19，(1979)

3)　日本セメント協会：各種セメントを用いたコンクリートの圧縮強度におよぼす成形・養生条件の影響，セメント・コンクリート，No. 229，(1966)

4)　神田，他：夏期におけるコンクリート強度の低下現象に関する一考察，コンクリート・ジャーナル，Vol. 8, No. 11，(1970.11)