

[1027] 養生条件の相違がコンクリートの強度に及ぼす影響

正会員 ○中沢隆雄 (宮崎大学工学部)
 吉田紘久 (宮崎県土木部技術検査課)
 広瀬一憲 (宮崎県生コンクリート工業組合)
 正会員 菊村忠由 (宮崎県生コンクリート工業組合)

1. まえがき

構造物のコンクリートの強度の判定には、シュミットハンマーによる非破壊試験法と、抜取りコアの圧縮試験による破壊試験法が、一般によく用いられている。また、試験室内で標準養生された供試体によって、構造物の強度を推定することも行われている。しかし、このようにしてえられた各強度には、かなりの差異がみられる。この原因を一概に論ずることはできないが、養生条件の相違が主要因の一つと考えられる。そこで本実験では、4種類の配合のコンクリートを用いて作製した円柱供試体および構造物供試体を、所定の材令時まで所定の養生条件下におき、構造物供試体から抜取ったコアの圧縮強度を求めるとともに、シュミットハンマーによって圧縮強度を推定し、円柱供試体の圧縮強度と比較、検討したものである。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの配合

配合は表-1に示す4種類を用いた。配合A~Cでは高炉セメントB種、配合Dでは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は、配合A, C, Dでは大淀川産(比重2.56, 吸水率1.26%, 粗粒率2.69)、配合Bでは三財川産(比重2.58, 吸水率2.84%, 粗粒率2.80)、粗骨材は配合A, C, Dでは、津久見産の石灰岩の碎石(比重2.70, 吸水率0.50%, 粗粒率6.62)、配合Bでは三財川産の川砂利(比重2.60, 吸水率1.55%, 粗粒率6.93)を用い、混和剤はA E減水剤を使用した。

表-1. 示方配合

配合	呼び強度	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位質量 (kg/m ³)				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
A	160	40(砕石)	8±2.5	4±1	70	41.4	151	216	780	1171	0.54
B	160	40(川砂利)	8±2.5	4±1	60	38.7	143	238	745	1181	0.60
C	210	20(砕石)	8±2.5	4±1	61	44.1	158	259	808	1083	0.65
D	210	20(砕石)	18±2.5	4±1	62	46.6	182	294	816	988	0.74

2.2 フレッシュコンクリートの性質

フレッシュコンクリートは生コン工場で製造し、工場出荷時にスラブ、空気量、コンクリート温度、単位容積質量を実測した後アジテータトラックに積み込み、試験室内に搬入し、練り混ぜ後1時間経過した時

表-2. フレッシュコンクリートの実測値(荷卸し時)

配合	夏 期				冬 期			
	スラブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	単位質量 (kg/m ³)	スラブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	単位質量 (kg/m ³)
A	7.8	4.2	30.6	2309	7.8	3.5	11.1	2314
	-1.1	-0.8	1.1	15	-0.5	-0.5	0.5	18
B	9.2	4.7	27.7	2290	8.2	4.1	11.7	2305
	-1.4	-0.9	1.5	20	-0.8	-0.6	0.7	12
C	10.2	4.5	31.7	2288	7.7	4.5	11.5	2278
	-0.7	-0.6	2.2	9	-0.7	-0.4	0.9	10
D	17.8	4.6	31.3	2275	19.2	4.3	12.3	2270
	-0.4	-0.4	3.5	12	-0.2	-0.2	1.1	8

(注) 下段の数値は工場出荷時との差である。

点で荷卸しとした。フレッシュコンクリートの工場出荷時および荷卸し時の実測結果を表-2に示す。スランプと空気量はJ I S A 5308に規定された許容値の範囲内であった。また単位容積質量は、宮崎県土木部共通仕様書によれば、標準養生をした材令28日時で $2300\text{kg}/\text{m}^3$ 以上となっているが、フレッシュコンクリートの場合は規定がない。そこで、 $2266\text{kg}/\text{m}^3$ ($2300\text{kg}/\text{m}^3$ の98.5%)以上あれば、材令28日において $2300\text{kg}/\text{m}^3$ の単位容積質量を満足できるという宮崎県生コン工組のデータをもとに、この値を規定値とした。測定結果は、すべてこの値以上であった。なお、スランプおよび空気量は、冬期よりも夏期において低下が大きく、単位容積質量は空気量の減少に伴って増大している。

2.3 試験供試体

試験供試体は、配合A, Bから直径15cm、高さ30cm、配合C, Dから直径10cm、高さ20cmの円柱供試体をそれぞれJ I S A 1132によって作製した。また、コア(直径10cm、高さ20cm)の圧縮試験およびシュミットハンマーによる圧縮強度推定用の構造物供試体として、配合A~Cから一辺90cmの立方体供試体を、配合Dから縦60cm、横60cm、高さ150cmの直方体供試体を作製した。構造物供試体の打設においては、バケットを用い30cmを1層として打設し、パイプレーターで締め固めた。コアは、試験日の2日前に構造物供試体から抜き取り、イオウキャッピングした後約48時間水浸させてから試験をした。なお、立方体供試体においては、側面上部および中央部から、直方体供試体においては、側面上部、中央部および下部からそれぞれ3本ずつコアを抜き取り、フリージングが強度に及ぼす影響を検討することとした。シュミットハンマーはN型を使用し、構造物供試体の側面で水平方向に打撃して、各位置で20点ずつ反発硬度を求め、 $F = 13.0R - 184$ の日本材料学会式を用いて圧縮強度を推定した。

2.4 養生の条件と方法

練り混ぜ、打設および養生時の条件を、宮崎地方気象台の過去10年間のデータをもとにして、夏期で温度 30°C 、湿度80%、冬期で温度 5°C 、湿度50%とし、この条件を、恒温恒湿室にて91日間持続させた。円柱供試体および構造物供試体は、打設から脱型までの2日間は上記の温湿度を保った室内で気中養生を行った。脱型後、円柱供試体を、それぞれ恒温恒湿室の気中、同室内の水槽中ならびに水温 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の標準養生用水槽中に静置し、所定の材令(3、7、14、21、28、56および91日)になるまで養生した。構造物供試体は、脱型後も恒温恒湿室にて気中養生した。

3. 実験結果および考察

3.1 夏期条件下の圧縮強度

圧縮強度-材令関係を配合別に図-1(a)~(d)に示す。いずれの配合においても、材令14日までは、気中養生の場合が水中養生をやや上回る程度で、ほぼ同一の強度となっており、標準養生供試体の強度を10%程度上回っている。これは、養生温度が気中、水中養生とも 30°C であるのに対して、標準養生が 20°C であり、 10°C の差があることに起因していると考えられる。材令28日以降では、標準養生の場合、強度の伸びが大きくなり、水中養生供試体とほぼ同一の強度になるのに対して、気中養生の場合、強度の伸びがそれほどみられず、特に配合Bの場合には強度の低下さえみられた。この理由としては、図-2に示した乾燥収縮の実測値からもわかるように、夏期には冬期に比較して3倍程度の収縮が生じており、乾燥が進行したことによって水和反応が持続できなかったことが考えられる。また、同一呼び強度210の

配合CとDについてみれば、標準養生および水中養生を行った場合の材令28日までは、配合Dでの強度が配合Cでのそれをかなり上回っている。しかし、材令56日以降では逆転して配合Cでの強度が高くなっている。両者の配合は水セメント比が配合Cで61%、配合Dで62%と大差なく、粗骨材はいずれも最大寸法20mmの同一の碎石である。異なっているのは使用セメントとスランプであり、配合Cは高炉セメントB種、8cm、配合Dは普通ポルトランドセメント、18cmである。すなわち普通ポルトランドセメントを用いれば、軟練りであっても高炉セメントB種よりも早期強度が高く、逆に長期強度は高炉セメントB種の方が高くなったことから、スランプの大小よりも使用セメントが強度に及ぼす影響が大であるといえる。また、シュミットハンマーによる推定強度は、配合Bにおいてのみ材令28日で呼び強度の値160kgf/cm²以上となっているが、配合A、C、Dでは呼び強度の値に達していない。これは、使用した粗骨材が配合Bのみ川砂利であったことが影響していると考えられる。構造物供試体から採取したコアの強度は、材令28日で配合A、Bの場合、呼び強度の値160kgf/cm²に達しているが、配合C、Dの場合、呼び強度の値210kgf/cm²に達していない。気中養生された各配合の円柱供試体の強度を基準にとった場合、コアの強度が0.8~0.9、シュミットハンマーによるものが0.6~0.9となっていることから、コアの強度やシュミットハンマーによる推定強度は、一般に円柱供試体の強度より低くなるといえる。また、シュミットハンマーによる推定強度が、材令28日まではいずれの配合においてもコアの強度よりも下回っていることは、構造物の強度をシュミットハンマーによって推定したときに強度不足の結果となっても、コアの圧縮試験を実施すれば、合格となる場合が多いという事例を裏付けるものと思われる。

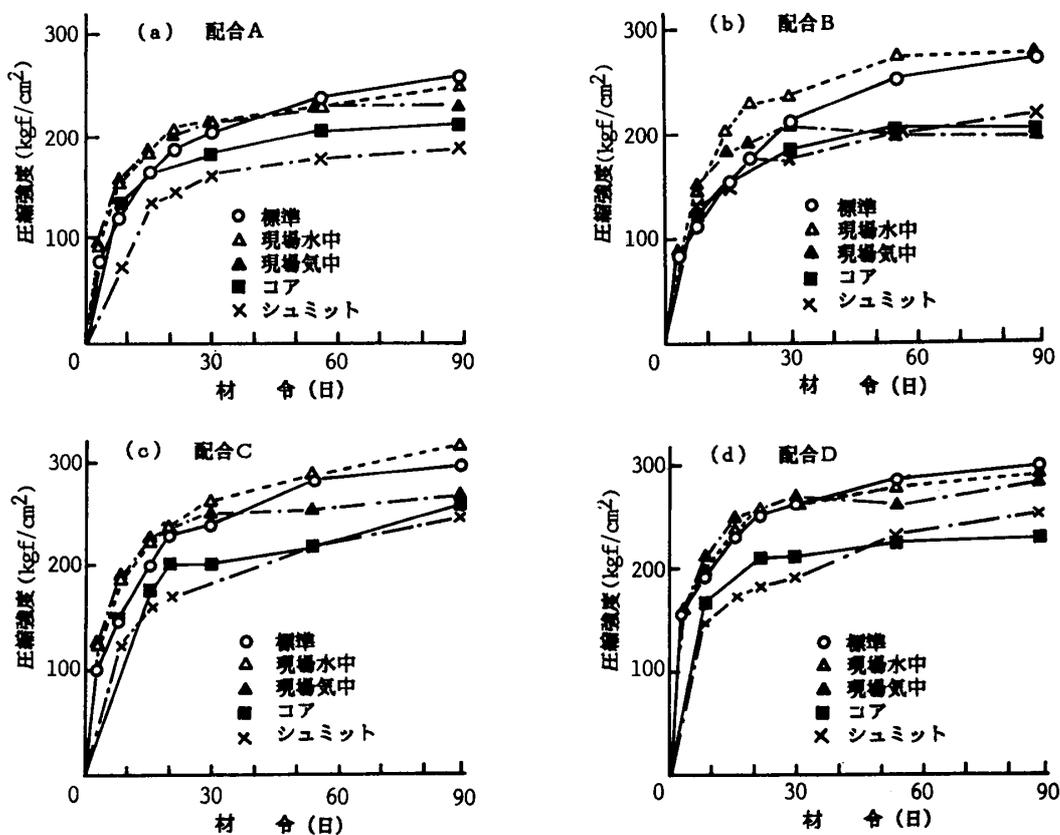


図-1 圧縮強度-材令関係 (夏期条件)

3.2 冬期条件下の圧縮強度

図-3 (a)~(d)に配合別の圧縮強度-材令関係を示す。いずれの配合においても、標準養生供試体がすべての材令で最も高い強度となっている。また、水中養生供試体は、水温が5℃と低いにもかかわらず、材令とともに強度の増加がみられ、配合Bを除いていずれの材令時でも標準養生に次ぐ強度を示しており、材令28日で呼び強度の値以上となっている。配合Bは粗骨材に

川砂利を使用していることから、低温の養生条件下では、碎石を用いた場合に比べて、強度の増加は期待できないと考えられる。また、同一呼び強度の配合C、Dを比較した場合、標準養生、水中養生供試体では、材令28日程度までは配合Dの強度が高くでているが、それ以降の材令では逆に配合Cの強度が高くなっている。この傾向は夏期の場合と同様であり、使用セメントの相違に起因すると考えられる。気中養生の場合には、配合Dの方が長期材令でも強度が高くなっているが、配合C、Dのいずれの場合も、材令56日以降、ごくわずかの強度の伸びしかなく、しかも配合Cでは材令28日で呼び強度の値に達していないことから、乾燥が進行すれば、特に高炉セメントB種では、強度の増加がそれほど期待できないと考えられる。コアの強度は配合C以外の3種類の配合ですべて気中養生された円柱供試体の強度よりも低く、ま

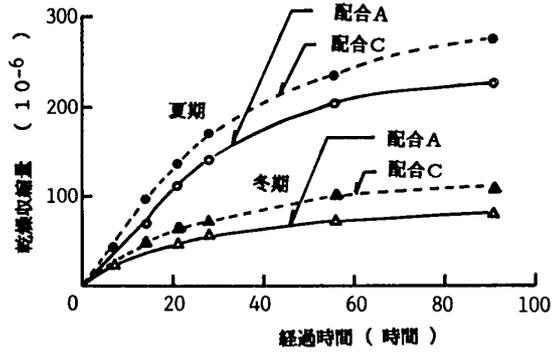


図-2 乾燥収縮の経時変化

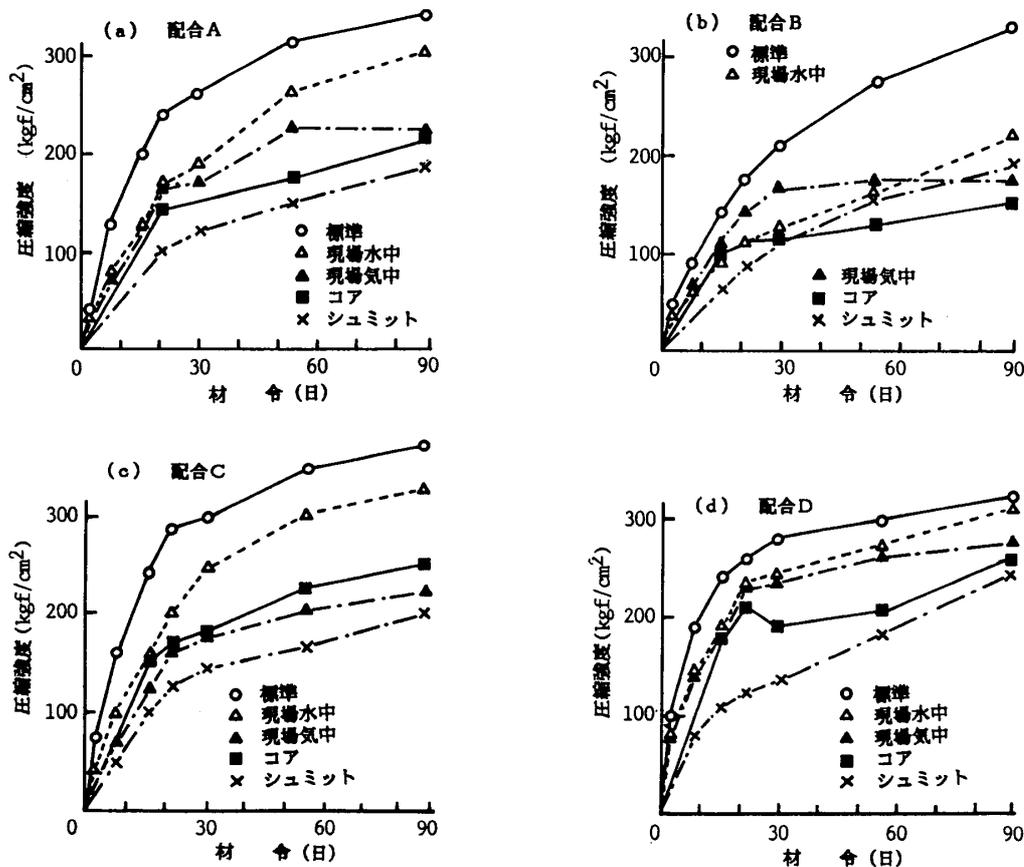


図-3 圧縮強度-材令関係 (冬期条件)

た、シュミットハンマーによる推定強度は、配合Bの材令56日以降の場合を除いて、コアの強度よりもさらに低いものであった。各配合の気中養生円柱供試体の強度を基準にとった場合、コアが0.7~1.0、シュミットハンマーが0.6~0.8となっており、夏期よりも冬期に、コアのばらつきやシュミットハンマーによる推定強度の低下が見受けられる。さらに、コアの強度、シュミットハンマーによる推定強度は、いずれの配合においても材令28日で呼び強度の値以上とはならなかった。

3.3 各養生供試体の圧縮強度の相関

構造物のコンクリートの強度と円柱供試体の強度とが、どの程度相関性があるのかを調べるため、各種供試体からえられた圧縮強度相互の相関係数を求めてみた。

その結果を、表-3に示す。標準養生と水中養生が夏期、冬期とも最も強い相関を示しているのは、当然の結果といえるが、標準養生とコア、標準養生とシュミットハンマーとの相関係数は、全般的にやや低下している。また、気中養生とコア、コアとシュミットハンマーとの相関係数にはかなり低い値が見受けられることは、コアやシュミットハンマーでは、構造物のコンクリートの強度が低めに判定されるおそれがあることを示している。

3.4 初期養生温度の影響

図-4に配合AとCの標準養生供試体の圧縮強度-材令関係を示す。この供試体の脱型までの2日間の養生温度は、夏期で30℃、冬期で5℃で、いずれも気中養生であり、その後20±3℃の水槽中で標準養生したものである。材令3日で冬期/夏期の強度比が配合Aで0.54、配合Cで0.64となっており、夏期に強度が高くでている。しかし、材令7日以降は逆転して冬期のケースで強度が高くなり、材令14日以降では冬期/夏期の強度比は、配合A、Cとも各材令時で1.2~1.3であったことから、初期養生温度が強度の発現に大きく影響することが確認された。

3.5 圧縮強度-積算温度の関係

構造物供試体に熱電対型温度計(測定可能範囲 -30~700℃、分解能 -30~700℃で0.1℃)を埋設し、打設後のコンクリートの内部温度の経時変化を測定した結果を図-5に示す。コアについては、測定した温度による積算温度を算出し、積算温度と圧縮強度との

表-3. 各種供試体の圧縮強度の相関係数

		水中養生	気中養生	コア	シュミット
配合A	標準養生(夏)	0.970	0.959	0.936	0.943
	"(冬)	0.979	0.992	0.942	0.986
	水中養生(夏)	---	0.979	0.885	0.813
	"(冬)	---	0.983	0.950	0.977
	気中養生(夏)	---	---	0.908	0.813
	"(冬)	---	---	0.914	0.965
配合B	コア(夏)	---	---	---	0.847
	"(冬)	---	---	---	0.911
	標準養生(夏)	0.963	0.846	0.837	0.941
	"(冬)	0.990	0.947	0.937	0.965
	水中養生(夏)	---	0.926	0.829	0.972
	"(冬)	---	0.935	0.978	0.928
配合C	気中養生(夏)	---	---	0.735	0.774
	"(冬)	---	---	0.825	0.922
	標準養生(夏)	0.980	0.930	0.909	0.859
	"(冬)	0.982	0.995	0.961	0.970
	水中養生(夏)	---	0.973	0.926	0.862
	"(冬)	---	0.987	0.974	0.949
配合D	気中養生(夏)	---	---	0.835	0.702
	"(冬)	---	---	0.983	0.964
	標準養生(夏)	0.986	0.933	0.804	0.919
	"(冬)	0.981	0.980	0.765	0.935
	水中養生(夏)	---	0.953	0.779	0.912
	"(冬)	---	0.978	0.748	0.955
配合A	気中養生(夏)	---	---	0.661	0.785
	"(冬)	---	---	0.707	0.863
配合C	コア(夏)	---	---	---	0.801
	"(冬)	---	---	---	0.862

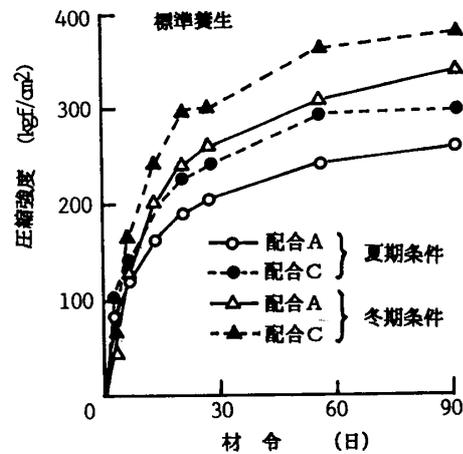


図-4 初期養生温度の影響

関係を求めた。円柱供試体については、構造物供試体内部の温度が打設後約1日でピークに達し、ほぼ3日後に室温にまで低下していること、円柱供試体の形状寸法が小さいことなどを考慮して、水和熱による温度上昇は無視して、養生温度を用いた積算温度を算出し、この積算温度と圧縮強度との関係を求めた。図-6に配合Aの圧縮強度-積算温度の関係を例示する。夏期条件下では、標準、水中および気中養生が、材令28日程度まで、同一曲線上にのっているが、気中養生の場合、材令56日以降この曲線からはずれ、強度はやや低下していることから、乾燥が強度の発現に及ぼす影響が大きいといえる。また、冬期条件下では、標準養生と水中養生とがほぼ一致しており、同一積算温度では、夏期条件の強度を大幅に上回っている。しかし、気中養生の場合、積算温度が増大しても強度の伸びがない。これは夏期条件の場合と同様であり、乾燥の進行が、その原因であると考えられる。

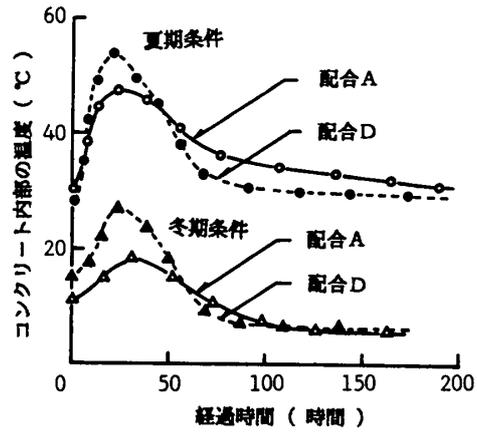


図-5 コンクリート内部の温度変化

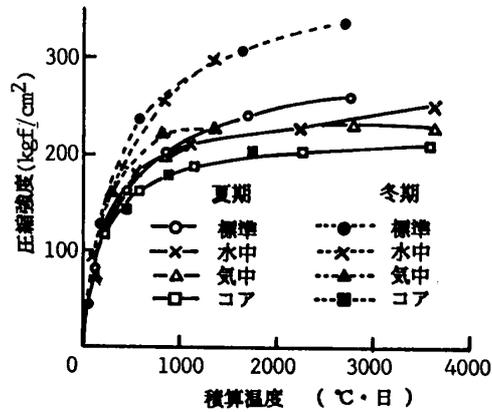


図-6 圧縮強度-積算温度関係

3.6 ブリージングによる強度差

ブリージングが強度に及ぼす影響を検討した結果を、表-4に示す。配合Bでは、上部の強度は中央部に対して15%程度、配合Dでは上部の強度は中央部に対して10%程度、下部に対して25%程度低下しており、ブリージングが圧縮強度に及ぼす影響が大である。

表-4. ブリージングの影響

配合	ブリージング量 (ml/cm ²)	位置	28日強度 (kgf/cm ²)	91日強度 (kgf/cm ²)
B (夏期)	0.05	上部	165	170
		中央	192	200
D (冬期)	0.47	上部	186	228
		中央	191	258
		下部	247	302

4. まとめ

本実験を通じて、確認できたことを要約すれば、次のとおりである。

- (1) 養生温度を高くすれば、気中養生、水中養生をとわず、初期強度は高くなるが、気中養生の場合には長期強度の伸びがなくなり、この原因は乾燥の進行にある、
- (2) 夏期、冬期の条件にかかわらず、水中養生すれば、同一水セメント比の場合には、スランプに関係なく、普通ポルトランドセメントを用いた方が、高炉セメントB種よりも、初期強度が高くであるが、長期になれば、その関係は逆転する、
- (3) 初期養生温度およびブリージングが強度発現に大きく影響する、
- (4) コア供試体の強度は、一般に円柱供試体の強度よりも小さくなる、
- (5) シュミットハンマーによる推定強度は、ばらつきが大きく、コアよりも低めの強度を示す。

しかし、この実験のみでは、データ数、条件などが十分でなく、一般性をもたせるために、さらに実験を継続する必要がある。