

土 木 研 究 所 資 料

温水養生によるコンクリートの促進強度 試験方法に関する試験調査

昭和 51 月 1 月

建設省土木研究所
地質化学部コンクリート研究室

要 旨

コンクリートの強度による品質管理には、従来主として材令 28 日の圧縮強度が用いられてきたが、これは試験値を得るまでに時間がかかりすぎて、試験の結果をすみやかに工程管理に反映させ得ないことが難点であった。

そこで、さらに早期に品質を判定する方法として温水養生による促進強度試験方法を取りあげ、現場に適用しやすい標準的な試験方法を定めるために、まず、養生温度、養生時間、セメント・骨材およびコンクリートの品質などが促進強度におよぼす影響について試験し、その成果をもとに促進強度試験方法の 1 案を提案した。さらに、各技術事務所の協力により、この方法を建設省内の 34 現場に適用してみたところ、促進強度と 28 日強度とはかなり良好な相関を示し、提案の方法が今後の現場におけるコンクリート品質管理の手段としてきわめて有効なものであることが確しかめられた。

担 当

地質化学部コンクリート研究室

室 長 太 田 実

荒 川 直 樹

目	次
1. ま え が き	1
2. コンクリートの品質の早期判定のための既往の方法	2
3. 温水養生によるコンクリート供試体の促進強度試験方法（案）〔土木研究 所方式〕	5
3・1 概 要	5
3・2 使用機器	5
3・3 試験方法	6
3・4 試験方法の解説	8
4. 温水養生による促進強度試験方法に関する基礎調査	12
4・1 前置養生の温度および時間が強度におよぼす影響に関する試験	12
4・2 温水養生温度および養生時間が強度におよぼす影響に関する試験	23
4・3 後置養生条件の影響に関する試験	26
4・4 ま と め	30
5. コンクリートの品質の相違が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響に関する試験	31
5・1 概 要	31
5・2 同一使用材料における σ_{cs} と σ_{c28} との関係についての試験	32
5・3 セメントの相違が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響についての 試験	36
5・4 細骨材の品質の相違が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響につい ての試験	41
5・5 粗骨材の品質の相違が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響につい ての試験	45
5・6 A E コンクリートの空気量の変化が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼ す影響についての試験	49
6. 建設省内のコンクリート工事現場における温水養生による促進強度の共通 試験	57
6・1 試験目的	57

1. ま え が き

コンクリートの品質は、一般に標準養生を行なった材令 28 日の圧縮強度（以下材令 28 日強度といい、記号では $\sigma_{c, 28}$ と記す）により表示されており、コンクリートの品質管理も従来は一般に材令 28 日強度によって行なわれてきたが、コンクリート構造物はいったん出来上がってしまうと、かりに品質が不適当であったとしても造り直すことが困難なため、工事中なるべく早期に品質を判定する必要がある。このようなことから、当研究室ではコンクリートの早期判定方法について検討を行ない、まだ固まらないコンクリートの水セメント比などを求めてその品質を判断する方法と、硬化したコンクリートの早期材令の圧縮強度からその品質を判断する方法とについて研究を行なった。前者は、まだ固まらないコンクリートよりモルタルを採取し、比重計を用いてモルタルけん濁液の比重を測定し、コンクリートの単位セメント量を推定する方法で、これについてはすでに土木研究所資料第 817 号で報告した。本報告は、後者の硬化したコンクリートの早期材令における圧縮強度からコンクリートの品質を求める方法について報告するものである。

早期材令の圧縮強度試験には、標準養生を行なった材令 7 日または 3 日強度を求める方法、促進養生を行なった材令 1～2 日強度を求める方法などがあるが、本報告はそれらのうちで、温水養生による促進強度試験による材令約 2 日のコンクリート供試体の圧縮強度（以下促進強度といい、記号では σ_{cs} と記す）によりコンクリートの品質を判断する方法をとりあげ、この方法を現場試験などにも適用できるようにするため、種々の検討を加えた結果について報告するものである。

2. コンクリートの品質の早期判定のための既往の方法

コンクリートの品質の早期判定方法には、表-2・1に示すように、大別するとまだ固まらないコンクリートの水セメント比などを推定する方法と、硬化したコンクリートの早期材令における強度試験による方法とがある。

コンクリートの強度は、コンクリートの品質の総合的特性値（材料、配合、練り混ぜ、運搬、打込み、養生など）としてあらわれるので、強度試験による方法は、各工程の良否を総合的に判断するのに有効である。

表-2・1 コンクリートの品質の早期判定方法の比較

番号	名 称	誤 差	利 点	問 題 点
(1)	比 重 計 法 塩 酸 添 加 法 淡 光 光 度 計 法	* 2%	○ 30分程度でW/Cの推定ができる。 ○ 労力が比較的少ない。	○ 試料が少ないのでサンプリング誤差が生じやすい。 ○ W/Cよりσ_{c28}を推定するには相関図が必要。 ○ 精度の良い器具と熟練を要する。
	洗 い 分 析 法	* 1.5 ~ 2.0%	○ 100分程度で、W/C および配合は、比較的詳しく推定できる。	○ 配合よりσ_{c28}を推定するには相関図が必要。 ○ 労力が比較的多くかかる。
(2)	促 進 強 度 法	* 10 ~ 20 kg/cm ²	○ 1~2日以内でσ_{c28}との相関の高い強度（養生条件の他は工程の総合的特性）で求まる。 ○ 方法が比較的簡単である。	○ 温水養生槽が必要である。 ○ 材料の品質によりσ_{c28}との相関が異なる。 ○ 少なくとも1日以上時間が必要である。
(3)	3 日 また は 7 日 強 度 法	* 20~30 kg/cm ² (7日強度の場合)	○ 3~7日でσ_{c28}との相関性のある強度で求まる。 ○ 方法が簡単である。	○ 試験値はコンクリートの練り混ぜ温度や初期の養生温度による影響を受けやすい。 ○ 試験値を得るまで3~7日必要である。

注 *は水セメント比の誤差

* *は強度の誤差

一方、水セメント比などまだ固まらないコンクリートの分析試験値は、それによって工

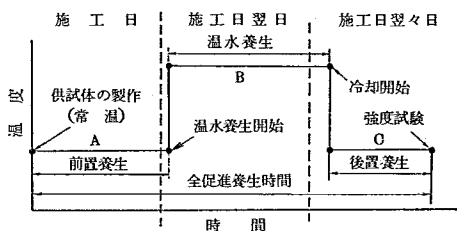
程の総合的狀態を判断することはできないが、少くともある工程におけるコンクリートの品質を迅速に判断するのに有効である。

早期材令の強度試験方法のうち、標準養生による供試体の試験値はコンクリートの打設温度や養生温度の変化の影響を受けやすいため、材令が若いほど試験値のばらつきが大きくなるという欠点がある。温水養生による促進強度は、材令1～2日でもかなりの強度が得られ、そのばらつきも比較的小さいので、品質管理の手段としてより有効なものと考えられる。

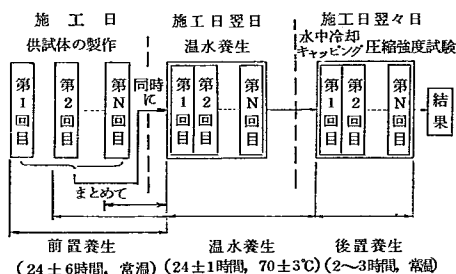
促進強度試験方法には、温水養生槽を用いる方法、蒸気養生槽を用いる方法、電気炉および赤外線炉を用いる方法、高温高圧養生槽を用いる方法など各種の方法があるが、比較的簡易な装置でしかもかなり安定した養生条件が得られる温水養生槽による方法が現場における品質管理の目的に対してもっとも適当と考えられる。

温水養生による促進強度試験方法としては、表-2・2に示すような各種の方法が発表されているが、当研究室が提案する方法は、図-2・1の(b)に示すように前置養生時間にある範囲で幅を持たせており、施工日にばらばらな時間に数回にわたりコンクリート供試体を採取した場合でも、施工日翌日からは供試体をひとまとめにして試験を行なうことができ、試験のための作業を現場作業のサイクルに合せて行なうことができるといふところに特長がある。

当研究室が提案する方法の詳細と、この方法を決定するために実施した検討事項、およびこの方法を使用するに当たっての参考事項を以下に示す。



(a) 促進強度試験の概略



(b) 促進強度試験の工程

図-2・1

表-2・2 温水養生による各種促進強度試験方法の概略

研究者	前置養生 (時間)	温水養生		後置養生 (時間)	全養生時間 (時間)
		温度(°C)	時間(時間)		
十代田	0.5	55	23	0.5	24
後藤(外)	4	70	20	2	26
河野	23~24	80	5.5	0.5	29~30
ASTM C684-71T 規格	0.5	35	23.5	—	24
	23	100	3.5	2	28.5
建設省 土木研究所	24±6	70	24	2	50±6

3. 温水養生によるコンクリート供試体の促進強度試験方法（案） 〔土木研究所方式〕

3・1 概 要

この方法（案）は、コンクリートの品質を早期に判定するために適当な温度および湿度条件で養生を行なった材令約2日のコンクリート供試体を用いて行なう圧縮強度試験方法を示すものである。この試験においては、供試体は図-3・1に示すように大別して3段階の養生が行なわれる。

図-3・1のAは前置養生で、断熱効果があり、かつ湿気の損失の少ない前置養生箱内において養生される。Bは温水養生で、一定温度の温水中において養生される。Cは後置養生で、水中冷却および

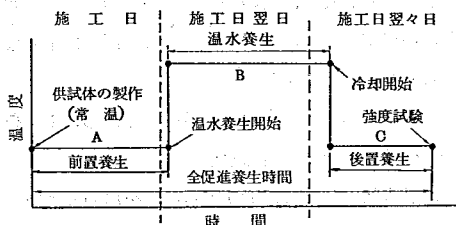


図-3・1 促進養生の工程

キャッピングなどがこの間に行なわれる。

試験採取、供試体の製作および圧縮強度試験などは、材令28日強度試験の場合と同様である。

3・2 使用機器

(1) 供試体の製作、強度試験等に必要な機器

供試体の製作および圧縮強度試験に必要な機器は〔JIS A 1132〕および〔JIS A 1108〕による。粗骨材の最大寸法が40mm以上の場合、箱ふるい（30mmまたは25mm）を必要とする。供試体の大きさは、 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を標準とし、キャッピングの材料は硬質石膏を用いるのを標準とする。

スランプおよび空気量の試験に必要な器具は〔JIS A 1101〕および〔JIS A 1118〕〔JIS A 1128〕などによる。

(2) 前置養生箱

前置養生箱は3本以上の円柱供試体（ $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ ）を型わくごと格納できる大きさとし、材質およびその肉厚は十分断熱効果があり、かつ湿気の損失の少ないものとする。たとえば肉厚10cm程度の発泡スチロール製の断熱養生箱を用いる。

前置養生箱には、内部の温度を測定するための最高最低温度計をそなえるものとする。

(3) 温水養生槽

温水養生槽は、水温を $(70 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ に保ちうるように温度調節装置を備えたものとする。熱源は温水養生槽の底部付近に配置するものとする。

温水養生槽の大きさは、適当な本数の円柱供試体 ($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$) を型わくごと格納できるものとし、その場合、型わく相互間および型わくと温水槽の側壁との間には 5 cm 以上の空間がとれ、かつ、型わくの上面において少くとも 10 cm の冠水を確保しうる大きさとする。また、槽の底と型わくの底面との間にすのこなどを用いて 4.0 cm 以上の間隔を保てるようにする。すのこの上面には十分な量の穴をあけ、温水の循環が円滑に行なわれるようにする。

温水養生槽には、温水の蒸発を防ぐためのふたを取付けるものとする。

(4) 供試体の冷却用簡易水槽

簡易水槽としては、ポリ容器などを用いてよい。

冷却水の水温は $18^{\circ}\text{C} \sim 24^{\circ}\text{C}$ 程度を目標とする。

3・3 試験方法

3・3・1 供試体の製作

(1) 試料の採取は、〔JIS A 1115〕によって行ない、試料採取を行なったバッチが構造物のどの部分に使用されたかを明記しておくものとする。ただし、試験室でコンクリートの試料を作る場合は〔JIS A 1132〕によって行なう。

(2) スランプおよび空気量の測定は、〔JIS A 1101〕および〔JIS A 1118〕〔JIS A 1128〕などによって行ない、用いた方法を明記しておくものとする。

(3) 供試体の製作は〔JIS A 1132〕によって行ない、大きさは $\phi 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ を標準とする。ただし、型わくの取りはずしおよび養生については、3・3・2 および 3・3・3 に示す方法によるものとする。粗骨材の最大寸法が 4.0 mm 以上の場合は 25 mm または 30 mm の箱ふるいを用いてウェットスクリーニングを行なった試料について供試体を製作し、用いたふるいのふるい目の大きさを記録しておくものとする。

3・3・2 供試体の養生

(1) 前置養生

型わくに打込まれたコンクリートの供試体は、直ちに前置養生箱へ入れ、湿った麻布

をかぶせ、最高最低温度計を入れて、養生箱にふたをし、翌日までそのまま静置するものとする。施工日翌日（コンクリート供試体を打込んだ翌日）に前置養生箱におさめた供試体を温水養生槽の付近に運搬する。この場合、供試体を乾燥させたり、 10°C 以下の低温にさらしたりしないように保温して運搬しようときは、責任技術者の判断により供試体を前置養生箱から出して運搬してもよい。運搬中は供試体にできるだけ衝撃を与えないように注意しなければならない。

(2) 温水養生

供試体製作後（ 24 ± 6 ）時間の範囲内に供試体を型わくごと温水養生槽に移し、（ 70 ± 3 ） $^{\circ}\text{C}$ の温水中で（ 24 ± 1 ）時間養生を行なう。供試体を温水養生槽に移した時刻および前置養生箱内の最高最低温度計の読みを記録しておくものとする。

供試体を入れた直後の温度は、供試体を入れる前の温度よりも 3°C 以上下がらずかつ、供試体を入れた後、15分間以内に（ 70 ± 3 ） $^{\circ}\text{C}$ の温水温度にもどるようであればならない。

温水養生温度は絶えず記録するか、または、温水養生終了時の温度を記録する。温水養生槽は時々温水の温度をはかり、異状がないことを確認しておかなければならない。

(3) 後置養生

所定の時間温水養生を行った供試体を養生槽から出し、直ちに型わくごと簡易水槽に移し、30分以上水中冷却する。ただし、 $\phi 15 \times 30\text{ cm}$ 供試体の場合は冷却時間を1時間以上とする。

水中冷却を行なった供試体は、 $3 \cdot 3 \cdot 3$ に示す要領により、キャッピングおよび圧縮強度試験を行なうものとする。

3・3・3 キャッピングおよび圧縮強度試験

(1) キャッピング

供試体底面および上面に 0.05 mm 以上の不陸がある場合、および供試体の中心軸と供試体の上面とのなす角度が 0.5° 以上の場合は、キャッピングを行なうものとする。

キャッピングには、硬質石膏を用いるものとし、水プラスター比は30%程度とする。

(2) 圧縮強度試験

キャッピングを行なった供試体は1～2時間程度で圧縮強度試験を行なってよい。供試体の脱型はなるべく圧縮強度試験の直前に行なうものとする。

圧縮強度試験は、〔JIS A 1108〕によって行なうものとする。

3・4 試験方法の解説

3・4・1 供試体の製作

供試体の製作は、基本的には材令28日強度試験用供試体の製作方法と同様である。供試体の大きさを $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ を標準としたのは取扱いの容易さを考慮したものである。

3・4・2 供試体の養生

(1) 前置養生

打込まれた供試体は乾燥を防止するため、およびなるべく標準養生温度以上で前置養生を行なうために、供試体を製作した後、直ちに断熱性の前置養生箱に入れることにした。

前置養生箱内の温度を参考資料として得るために最高最低温度計を用いることにした。

翌日まで前置養生を行なうようにしたのは、打込まれたコンクリートが、まだ固まらないうちに供試体を温水中に入れた場合、モルタル中の気泡が膨張し、促進強度のばらつきが大きくなることを避けるためである。

実験の結果、温水温度 70°C の場合にこの影響を少なくするには、水セメント比に関係なくモルタルの貫入抵抗値が $1500 \sim 2000\text{psi}$ 以上となるまで前置養生を行なうことが必要であるということがわかった。モルタルの練り混ぜ時の加水後、モルタルの貫入抵抗値が $1500 \sim 2000\text{psi}$ 以上となるために必要な時間は、 $W/C = 45 \sim 65\%$ の範囲では、 $4 \sim 8$ 時間程度である。

実際の工事現場においてモルタル貫入抵抗値を測定するのは煩雑であるので、コンクリートが十分安定するまで前置養生を行なった後、温水養生を行なうことにし、前置養生を施工日翌日（供試体の打設日翌日）まで行なうことにしたものである。このようなことから前置養生時間は、作業サイクルなどを考慮し $24\text{時間} \pm 6\text{時間}$ とした。 $\pm 6\text{時間}$ と範囲を大きくした理由は、施工日にばらばらの時間に採取した供試体でも施工日翌日から圧縮強度試験が終わるまで、ひとまとめにして作業を行なうことができるようにしたためである。

なお、前置養生時間における $\pm 6\text{時間}$ の時間差が促進強度におよぼす影響は、図-3・2の(a)および(b)に示すとおり前置養生温度などによって多少ばらつきがあるが、大体3%程度である。

(2) 温水養生

実験の結果によれば、温水養生温度および温水養生時間の差が促進強度におよぼす影

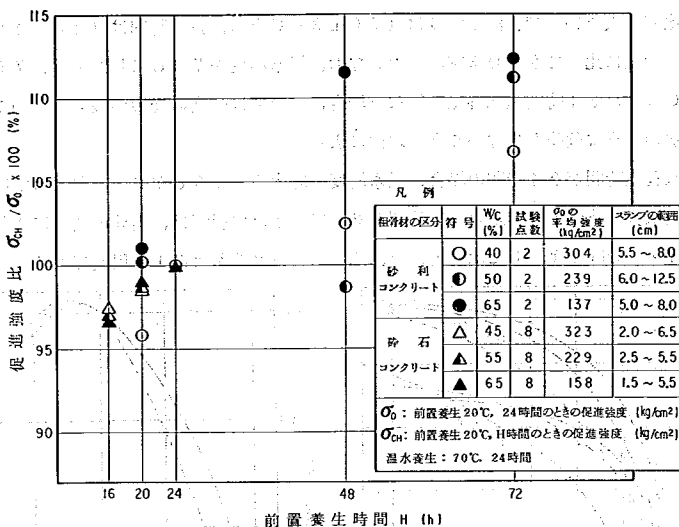


図-3・2(a) 前置養生時間と促進強度との関係

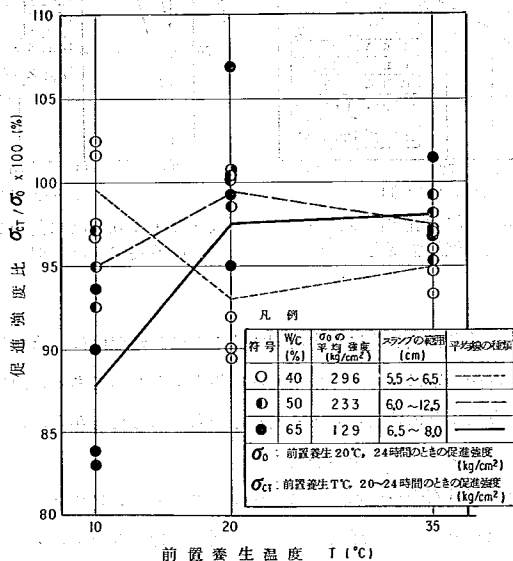


図-3・2(b) 前置養生温度と促進強度との関係

響は比較的大きいので、温水温度は $(70 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ とし、養生時間は (24 ± 1) 時間と前置養生に比べてかなり厳密にした。なお、温水温度を 70°C にしたのは、 $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 程度が 24 時間温水養生を行なう場合においては強度の発現が最も大きいことと、沸騰水のような危険が少ないことによる。

温水養生時間が 24 時間の場合、温水温度の許容誤差 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ が σ_{cs} におよぼす影響および温水養生時間の許容誤差 ± 1 時間が σ_{cs} におよぼす影響は、実験の結果によれば、図-3・3の(a)および(b)に示すとおり、それぞれ $\pm 2\%$ および 1% 程度である。

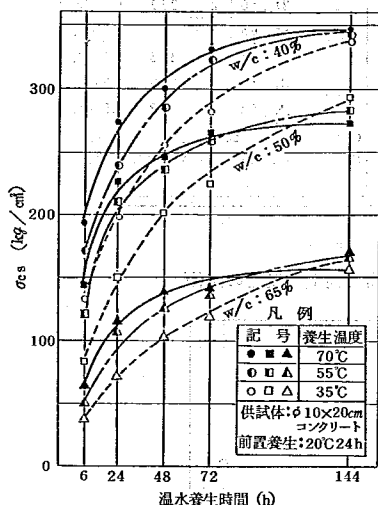


図-3・3(a) 各温水養生温度における養生時間と促進強度との関係

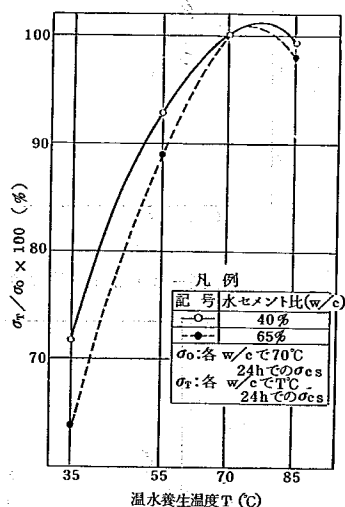


図-3・3(b) 温水養生 24 時間における養生温度と促進強度との関係

(3) 後置養生

温水養生終了後直ちに供試体は水中冷却することにした理由は、冷却時間を短縮するとともに冷却条件を一定にし、かつ異常乾燥を防止するためである。簡易水槽は写真-3・1に示すように十分にゆとりのある大きさのものにした方がよい。

3・4・3 キャッピングおよび圧縮強度試験

キャッピング材に硬質石膏を選んだのは、速硬性のキャッピング材料を用いて早く圧縮強度試験を行なうためであり、普通石膏に比べて硬質石膏の方がコンシステンシーも大きく、キャッピング作業時間が長くとれること、しかも、水プラスター比がかなり小さくで

きるため、硬化時間が1～2時間位でも、大きな圧縮強度が得られるという利点があるためである。

石膏キャッピングを行なった場合には再び水中養生などを行なうことができないので、脱型後、供試体が乾燥しないうちに、ただちに圧縮強度試験を行なうこととした。

供試体の強度試験方法は、材令28日の供試体の強度試験の場合と同様である



写真-3・1 供試体の冷却水槽の1例

4. 温水養生による促進強度試験方法に関する基礎調査

4・1 前置養生の温度および時間が強度におよぼす影響に関する試験

4・1・1 概 要

温水養生による促進強度試験方法をコンクリート工事現場において容易に適用できるようにするためには、①試験方法が簡便でしかも適当な試験精度が得られること、②試験作業が円滑でしかも工事作業時間外とならないこと、などが大切と考えられる。このような要求に沿った供試体の養生方法を定めるために、前置養生、温水養生、後置養生の温度およびそれぞれの時間などが σ_{cs} におよぼす影響について調査した。

4・1・2 試験目的

促進強度試験は、できるだけ早期に結果を得る目的からは、前置養生時間は短い程よいことになるが、前置養生時間があまり短かすぎると、コンクリート中に含まれている気泡などが膨張し、これが強度に影響を与えて強度のばらつきが大きくなるおそれがある。逆に、前置養生時間をあまり長くとると、その間の養生条件の変動による影響を無視しえないものとなるおそれがある。

また、促進強度試験を現場で行なう場合、コンクリートの練り上がり温度や気温はさまざまであるため前置養生温度を一定に保つことは困難であると考えられるので、前置養生温度が σ_{cs} にどの程度影響をおよぼすかを調べておく必要がある。

この試験は、前置養生時間および前置養生温度が促進強度におよぼす影響を明らかにし、あわせて前置養生における湿度の影響やコンクリートの練り置き時間の影響についても検討することを目的としたものである。

4・1・3 試験方法

(1) 使用機器および設備

- ① 供試体の製造器具：JIS A 1132に準ずる。
- ② 温水養生槽：温水養生槽は内側寸法が縦76cm×横70cm×高さ90cmでふた付のもので、温度は0～100℃の範囲で指定温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ に調節しうる装置がある。ヒ

ーターは温水養生槽の底部中央に2KW 1本と1KW 2本が装えられている。温水養生槽の内部には、槽の底から38cmの高さにすのこを設けてある。

③ 冷却用簡易水槽：簡易水槽は内側寸法が縦40cm×横60cm×高さ36cmのポリ容器を用いた。

④ 初期養生室：温度20℃、湿度90%以上に保ち得る養生室を用いた。

⑤ 養生水槽：水温20℃に保ち得る水槽を用いた。

⑥ 圧縮強度試験機：アムスラー式圧縮試験機（最大荷重300t）を使用した。

⑦ スランプおよび空気量試験に必要な器具：JIS A 1101およびJIS A 1128による。

(2) 供試体の製作

供試体の製作は、JIS A 1132に準じて行なった。

1個の試験値を得るに必要な供試体の本数は3本とし、各試験に必要な試験値の数によって1バッチに必要な供試体の本数を定めた。

キャッピング方法は、促進強度試験用供試体はすべて硬質石膏キャッピングとし、材令28日強度試験用供試体はすべてセメントペーストキャッピングとした。

圧縮強度試験のための供試体の大きさはすべて $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ とした。

(3) 供試体の養生方法および圧縮強度試験方法

促進強度試験用供試体は以下に示す①～③を基準養生とした。

① 前置養生：コンクリート供試体を製作後、直ちに初期養生室へ運び、温度20℃、湿度90%以上で24時間養生を行なう。

② 温水養生：温水養生槽の温度70℃の温水中で24時間養生を行なう。

③ 後置養生：供試体の冷却用簡易水槽で常温で30分程度冷却したのち、硬質石膏キャッピングを行ない、約2時間程度養生を行なう。

以上の方法で養生を行なったものと、試験の目的に応じて部分的に養生条件を変化させたものとを比較し、養生条件の相違による強度への影響を調べた。

材令28日強度試験用供試体は次のような養生を行なった。

① コンクリート供試体を製作後、直ちに初期養生室へ運び、温度20℃、湿度90%以上で翌日まで養生を行なう。

② セメントペーストキャッピングを行ない、③ さらに翌日より材令28日まで、20℃水中で養生を行なう。

圧縮強度試験はアムスラー式圧縮強度試験機（最大荷重300t）を用いて行なった。

(4) モルタル供試体による前置養生時間と促進強度との関係についての検討方法

モルタル供試体による貫入抵抗値と $\sigma_{0.8}$ との関係を次のような方法で検討した。

供試体は、モルタルの配合をW/C=45%、65%の2種とし、表-4・1の配合番号M-1~M-5のような示方配合によって $\sigma_{0.8}$ 用（ $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 、1バッチ当り必要な本数）と、貫入抵抗試験〔ASTM403-70〕用（ $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 53\text{cm}$ 曲げ供試体、1バッチ当り1本）とを製作した。

表-4・1(a) モルタルの配合

配合番号	水セメント 比 (%)	単位量 (kg/m³)			骨材番号	備 考
		水 W	セメント C	細骨材 S		
M-1	45	271	601	1400	S-1	C: 普通ポルト ランドセメント (比重: 3.15) S: 河川砂
M-2	45	279	618	1366	S-2	
M-3	65	265	408	1574		
M-4	65	260	400	1556	S-3	
M-5	45	274	609	1352		

表-4・1(b) 骨材の物理試験結果

骨材番号	区 分	名 称	産 地	表 乾 比 重	吸水量 (%)	粗 粒 率 FM	有機不純物試験	入荷年月日
S-1	細骨材	河川砂	鬼怒川	2.60	2.21	3.01	合 格	S 46. 6. 20
S-2	細骨材	河川砂	中 川	2.60	2.50	3.64	合 格	S 46. 8. 2
S-3	細骨材	河川砂	鬼怒川	2.54	3.80	2.74	合 格	S 46.11. 8

モルタルを練り混ぜたのち、供試体を製作し、温度20℃、湿度90%以上の空気中養生室（以下、初期養生室または単に養生室という）へ移した。試験は、モルタルの加水後、2時間以上経過したのち、30分毎に貫入抵抗試験を行ない、適当な間隔を置いて貫入試験と同時に促進強度用供試体（ $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ ）3本を1組とし、温水養生を開始した。温水養生は、温水温度50℃、70℃、85℃の3種類とし、温水養生時間はすべて19時間とした。後置養生は、温水養生を19時間行なったのち、直ちに水中冷却を30分以上行ない、硬質石膏キャッピングを行なって、1~2時間後に脱型し、

直ちに圧縮強度試験を実施した。

以上の試験によって、前置養生時間と貫入抵抗値との関係および貫入抵抗値と σ_{cs} との関係を求めた。

- (5) コンクリート供試体による前置養生時間と促進強度との関係についての検討方法
試験に用いた粗骨材は碎石と砂利の2種類とした。

コンクリートの配合は、碎石コンクリートの場合は W/C を45、55、65%の3種類とし、表-4・2の配合番号7~10の示方配合を用い、砂利コンクリートの場合は W/C を40、50、65%の3種類とし、表-4・2の配合番号1~6の示方配合を用いた。

前置養生方法は、碎石コンクリートの場合、初期養生室(20℃、湿度90%以上)および室外における前置養生箱内において、16、20、24時間の3種類を行ない、砂利コンクリートの場合、10℃、35℃の水中および初期養生室(20℃、湿度90%以上)において、20、24、48時間の3種類行なった。温水養生方法は、(3)の基準養生と同じ方法で行なった。

また、供試体の製作時における加水後のコンクリートの練り置き時間が σ_{cs} および σ_{c28} におよぼす影響を調べるために、コンクリートの配合は、 $W/C=40、50、65\%$ の3種類(表-4・2の配合番号41~43)として、練り混ぜ直後、60分後、および90分後にそれぞれ製作した供試体の σ_{cs} と σ_{c28} を求めた。促進強度試験方法は、(3)と同じ方法で行なった。

- (6) 前置養生温度と σ_{cs} との関係の検討方法

コンクリートの配合は、 $W/C=40、50、65\%$ の3種類(表-4・2の配合番号1~6)とし、前置養生温度は、10℃、(水中20、24、48時間)、20℃(水中24時間および湿度90%以上の初期養生室内20、24、48時間)、35℃(水中20、24、48時間)の3種類を行なった。

温水養生および後置養生は、(3)の基準養生と同じ方法で行なった。

そのほかに、前置養生期間中の湿度が σ_{cs} におよぼす影響を調べるために、コンクリートの配合が、 $W/C=40、50、65\%$ の3種類(表-4・2の配合番号1~3)で、前置養生温度はすべて20℃とし、前置養生期間中の湿度を40~50%程度の比較的乾燥した恒温室、湿度90%程度の恒温室および水中における3種類について実験を行なった。前置養生時間は、いずれも24時間とした。温水養生および後置養生は、(3)の基準養生と同じ方法で行なった。

表 - 4 ・ 2 (a) コンクリートの配合

配合 番号	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の 範 囲 (mm)	空気量の 範 囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					骨 材 番 号	備 考
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤		
1	25	7.5	2	40	41	160	400	742	1088	—	S-5	C: 普通ポルトランド・セメント (比重: 3.15)
2				50	43	163	326	801	1082		G-3	S: 河川砂 G: 河川砂利
3				65	45	170	262	854	1063		S-6 G-4	
4				40	39	168	420	688	1105			
5				50	41	168	336	752	1111			
6				65	43	168	258	816	1111			
7	20	4~5	2	45	47	178	396	826	971	—	S-4	C: 普通ポルトランド・セメント (比重: 3.15)
8		4~6		55	49	178	324	891	966		G-2	S: 河川砂
9		4~6		65	51	189	291	926	928		G: 砕 石 スランブは実測値	
10		1.5		65	51	178	274	948	949			
11	25	—	—	50	37.1	163	326	706	1224	—	S-1 G-1	C: 普通ポルトランド・セメント (比重: 3.15)
41	25	7.5	2	40	41	158	395	748	1094	—	S-8	C: 普通ポルトランド・セメント (比重: 3.15)
42				50	43	160	320	810	1089		G-3	S: 河川砂
43				65	45	163	251	869	1079		G: 河川砂利	

表 - 4 ・ 2 (b) 骨材の物理試験結果

骨材番号	区 分	名 称	産 地	表乾比重	吸水量 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	粗 粒 率 F M	安 定 性 (%)	すりへり 減 量 (%)	単位容積 重 量 (kg/m ³)	有機不純 物 試 験	洗い試験 (%)	入 荷 年 月 日
S-1	細骨材	河川砂	鬼怒川	2.60	2.21	5	3.01				合 格		S46. 6. 20
S-4	細骨材	河川砂	鬼怒川	2.60	2.55	5	2.62				合 格	0.7	S47. 3. 28
S-5	細骨材	河川砂	富士川	2.61	2.07	5	3.33				合 格		S48. 5. 23
S-6	細骨材	河川砂	富士川	2.60	2.04	5	2.90				合 格	2.11	S48. 8. 23
S-8	細骨材	河川砂	富士川	2.61	2.40	5	2.82	6.9			合 格		S47. 9. 12
G-1	粗骨材	河川砂利	富士川	2.65	0.80	25							S45. 5.
G-2	粗骨材	砕 石	葛 生	2.71	1.10	20	6.65	5.6	B : 19 C : 18	1630			S46. 3.
G-3	粗骨材	河川砂利	富士川	2.67	0.97	25	6.92		B : 13 C : 13	1730			S47. 5. 29
G-4	粗骨材	河川砂利	富士川	2.67	1.25	25	6.80			1700			S48. 8. 23

4・1・4 試験結果

(1) モルタル供試体による貫入抵抗値と σ_{cs} との関係

図-4・1に示すとおり、モルタルの水セメント比(W/C)に関係なく、その貫入抵抗値が1500~2000psi以下の場合は著しく強度が低下する場合があることがわかった。このことより、安定した再現性のよい σ_{cs} を得るには、モルタルの貫入抵抗値が2000psi以上に達することが必要であり、これに必要な前置養生時間は、図-4・2に示すとおり少なくともW/C=40~65%の場合4~8時間程度は必要であるといえる。

(2) コンクリート供試体による前置養生時間と σ_{cs} との関係

前置養生時間と σ_{cs} との関係は、前置養生時間と促進強度比との関係調べてみた。

促進強度比とは、前置養生20℃、24時間で得た σ_{cs} に対する、その他の前置養生温度または前置養生時間における σ_{cs} の割合を百分率で表わした値である。その結果は図-4・3に示すとおりで、多少ばらつき

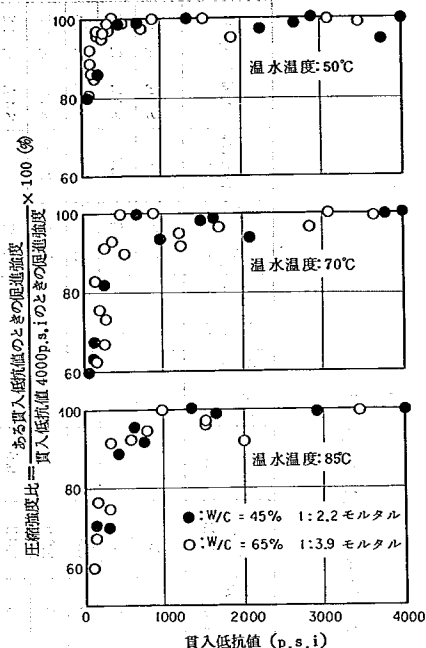


図-4・1 モルタル (温水養生直前) の貫入抵抗値と促進強度との関係

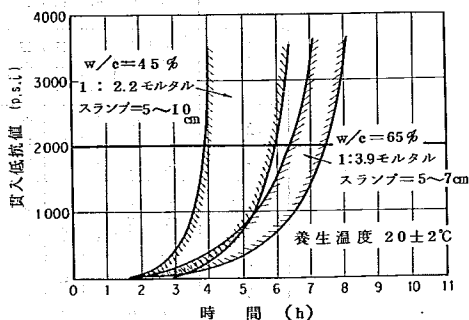


図-4・2 モルタルの養生時間と貫入抵抗値との関係

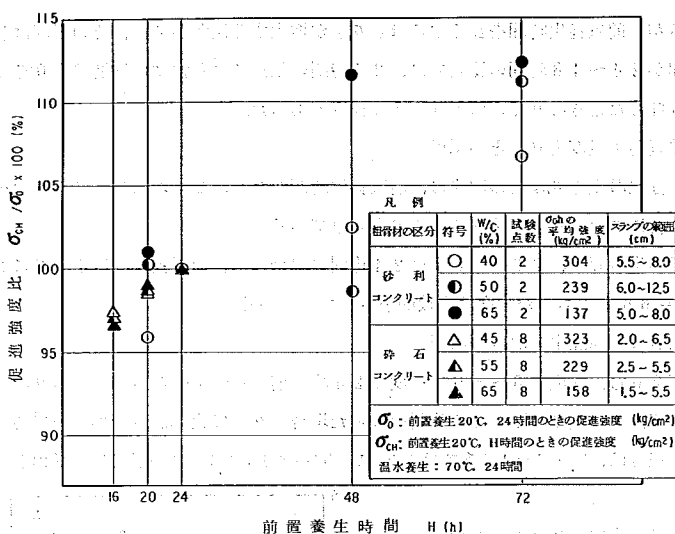


図-4・3 前置養生時間と促進強度との関係

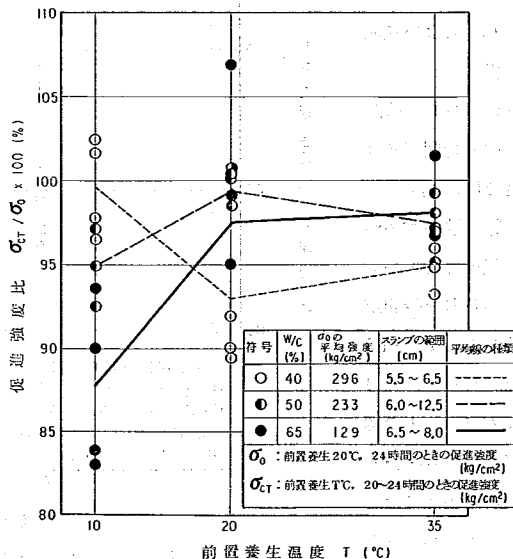


図-4・4 前置養生温度と促進強度との関係

はあるが、前置養生時間を長くするほど σ_{cs} が増大する傾向があり、その程度は前置養生時間が 24～48 時間の範囲では、24 時間の延長による強度の増進は 20℃ で 24 時間行なったときの σ_{cs} の値の 5～6% 程度であった。

(3) 前置養生温度と σ_{cs} との関係

前置養生温度と σ_{cs} との関係は、前置養生時間が 20、24 および 48 時間のそれぞれの場合について示すと図-4・4 のとおりである。

前置養生時間が、20 時間および 24 時間の場合には、前置養生温度 10℃ における $W/C=65\%$ のものが強度は比較的小さくなっている。

(4) 前置養生期間中の湿度の影響

温度 20℃、湿度 40～50% 程度で 24 時間前置養生を行なった場合の σ_{cs} は、湿潤状態で前置養生 20℃、24 時間行なった場合の σ_{cs} に比べ、若干小さめであった。

その程度は、 $W/C=40\%$ では 1%、 $W/C=50\%$ および 65% では 4% 程度であった。

(5) 供試体の製作時における加

水後のコンクリートの練り

置き時間が σ_{cs} および σ_{c28}

におよぼす影響

コンクリートの練り置き時間

の影響は、練り置き時間が 60

分～90 分程度では、 σ_{cs} およ

び σ_{c28} とも強度が増進する傾

向がある。その程度は、図-4・5

に示すとおり、練り置き時間が

60 分～90 分の場合で 0～15

% 程度であった。しかし、練り

置き時間が σ_{cs} と σ_{c28} との関

係におよぼす影響は、図-4・6

に示すとおり両者の相関にほと

んど影響がないことがわかった。

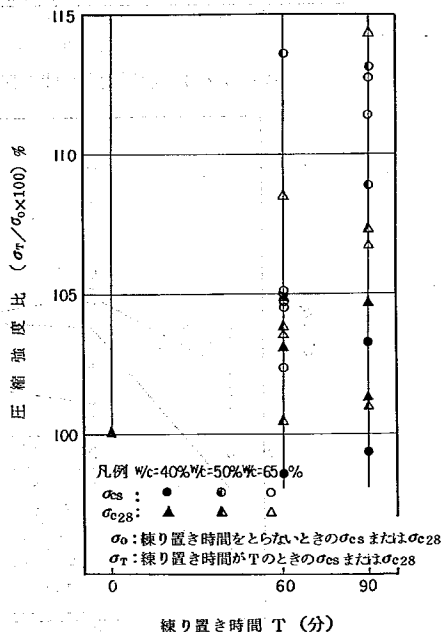


図-4・5 コンクリートの練り置き時間別の σ_{cs} または σ_{c28} との関係

4・1・5 考 察

(1) 前置養生時間が σ_{cs} におよぼす影響

σ_{cs} をなるべく早く知るためには、できるだけ前置養生時間を短くすることが一つの要件でそのためにはモルタル部分の貫入抵抗試験を行ない、貫入抵抗値が1500～2000 psiに達したら直ちに温水養生を開始すればよい。しかし、実際の工事現場で貫入抵抗試験を行なうことは、手数もかかり実際的とはいえない。そこで、前置養生時間は貫入抵抗値が、1500～

2000 psiに十分達し得る時間で、かつ時間にある範囲を設けることが实际的であると考えられる。

前置養生時間にある範囲を設けることは、施工日に何回かにわたって採取した供試体を、翌日以後の作業（運搬、温水養生、後置養生、圧縮試験など）をひとまとめにして行なうことを可能にし、それだけ作業を単純化・合理化させることができる。

前置養生時間を基準の時間よりも24時間延長しても σ_{cs} の強度増進は5～6%程度であるので、前置養生時間は24時間±6時間程度としておくのが現場での作業性の面からも精度の面からも適当であろうと考えられる。

(2) 前置養生温度が σ_{cs} におよぼす影響

水セメント比が大きく強度の小さいコンクリートでは、前置養生温度が低いと24時間程度の前置養生では高温養生を行なうのに十分な強度に達しない場合もあることが試験結果からうかがわれる。したがって、とくに寒冷時における現場での前置養生は断熱養生箱などを用いてなるべく標準養生温度以上で養生を行なうことが望ましいと考えられる。

(3) 前置養生期間中の湿度の影響

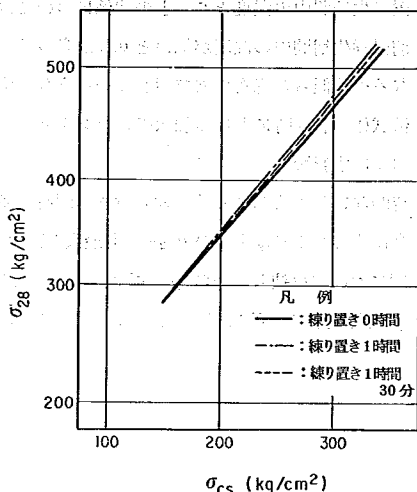


図-4・6 コンクリートの練り置き時間別の σ_{cs} と σ_{28} との関係

前置養生期間中の湿度と σ_{cs} との関係については、データが少ないので明確ではないが、前置養生期間中の湿度が低いと σ_{cs} が多少低くなる傾向があるので、前置養生期間中はなるべく湿った麻布などで型わくを覆うなどするのがよい。

(4) 供試体の製作時における加水後のコンクリートの練り置き時間が σ_{cs} および σ_{cs28} におよぼす影響

1時間ないし1時間30分の練り置き時間をとることにより、練り置き時間をとらない場合に比べて σ_{cs} および σ_{cs28} とも最大15%の強度増がみられるが、 σ_{cs} と σ_{cs28} との相関においては練り置き時間のちがいによる影響はほとんど見られないので、 σ_{cs} から σ_{cs28} を推定する目的に対しては、この影響は考慮しなくてもよいと考えられる。

4・2 温水養生温度および養生時間が強度におよぼす影響に関する試験

4・2・1 試験目的

温水養生による促進強度試験において、温水養生の養生温度および養生時間は、コンクリートの強度にもっとも大きな影響をもつものと考えられる。この試験は、温水養生における合理的な養生温度と養生時間とを見出すことを目的としたものである。

4・2・2 試験方法

温水養生時間および養生温度を各種に変化させた場合の強度 (σ_{cs}) の変化を調べた。

使用機器および設備、供試体の製作・養生・圧縮強度試験方法は、4・1・3 に示した方法と同じである。

コンクリートの配合は、 $W/C = 40, 50, 65\%$ の3種類とした (表-4・2の配合番号1~6)。前置養生には、初期養生室における $20^{\circ}\text{C} \cdot 24$ 時間養生とした。温水養生は温水養生温度を $35^{\circ}\text{C}, 55^{\circ}\text{C}, 70^{\circ}\text{C}, 85^{\circ}\text{C}$ の4種類とし、養生時間を6~144時間の範囲で変化させた。後置養生は、水中冷却を30分行なった後、硬質石膏キャッピングを行ない、1~2時間後に圧縮強度試験を行なった。

4・2・3 試験結果

(1) 温水養生時間と σ_{cs} との関係

温水養生時間と σ_{cs} との関係は図-4・7に示すとおりで、養生時間が長い程強度は大きくなる。

温水養生温度によって強度増進の現れ方が多少異なり、温水養生温度が比較的低温 (35°C) の場合には、短期養生時間 (6時間) における強度は比較的小さく養生時間の増大とともに比較的高率の強度増を示すが、一方、温水養生温度が比較的高温 (70°C) の場合には、短期養生時間 (6時間) における強度は比較的大きく、その後の養生時間の増加による強度の伸びは小さくなっている。

温水養生温度が 70°C の場合における温水養生時間と σ_{cs} との関係は、温水養生時間24時間程度における ± 1 時間の変動が強度におよぼす影響は、 $W/C = 40, 50\%$ の場合で0.9%程度、 $W/C = 65\%$ の場合で1.3%程度となっている。

(2) 温水養生温度と σ_{cs} との関係

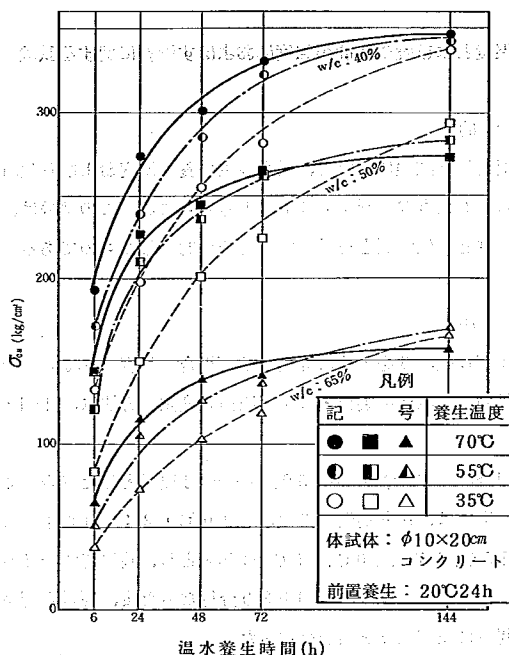


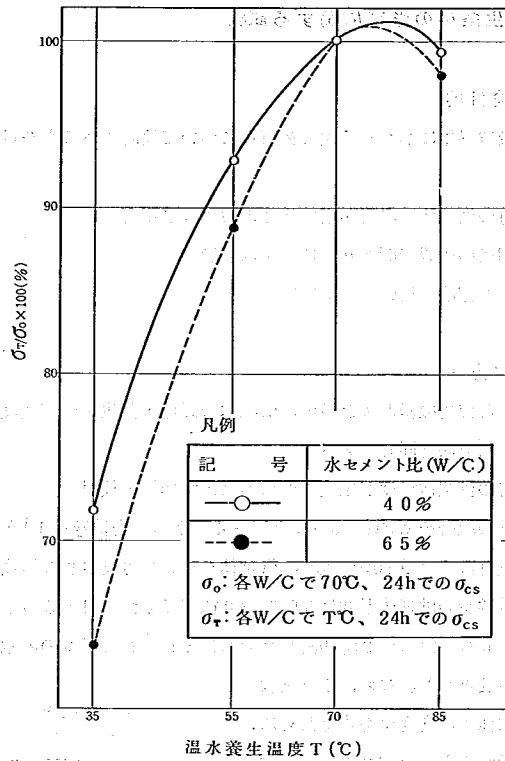
図-4・7 各温水養生温度における養生時間と促進強度との関係

温水養生時間が24時間の場合における温水養生温度と σ_{cs} との関係は図-4・8に示すとおりで、強度増進効果をもっとも高いと思われる温水養生温度は、水セメント比によってわずかに差があるようであるが、およそ70°C~80°Cであった。

4・2・4 考 察

試験値をできるだけ早く得る目的からは、比較的高温の温水養生によって強度の発現を早めるのが有利であるが、養生の初期には強度の増進が急激で、養生時間の誤差による強度への影響も大きいので、養生時間をあまり短縮することは好ましくない。このような点から、温水養生の条件としては70°Cで24時間程度とするのが妥当と考えられる。

温水養生を70°Cにおいて24時間程度行なう場合、±1時間の養生時間の増減による σ_{cs} の増減は $W/C = 40 \sim 65\%$ の範囲では1%程度であり、養生時間のこの程度の誤差は許容されても良いと考えられる。



図一 4・8 温水養生 24 時間における養生温度と促進強度との関係

4・3 後置養生条件の影響に関する試験

4・3・1 試験目的

この試験は、後置養生にかかわる次の諸事項について検討することを目的としたものである。

- (1) 強度試験時の供試体の温度が圧縮強度におよぼす影響。
- (2) 供試体冷却後の後置時間が σ_{cs} におよぼす影響。
- (3) キャッピング方法の違いによる影響。

4・3・2 試験方法

この試験における使用機器および設備、供試体の製作・養生・圧縮強度試験の方法は、4・1・3に示した方法と同じである。

- (1) 強度試験時の供試体温度が圧縮強度におよぼす影響の検討

コンクリートの配合を $W/C=50\%$ （表-4・2の配合番号-11）とし、材令38日間標準養生を行なった $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 供試体を用いてさまざまな温度における圧縮強度を求めた。試験時の供試体温度は 5.0°C 、 3.0°C 、 2.0°C および 1.5°C の4種とし、いずれもあらかじめ 7.0°C の温水に2時間浸したのちにそれぞれの温度の温水中に1～3時間浸して所定の温度とした。なお、圧縮試験中における供試体の温度変化を防ぐために、図-4・9に示すような発泡スチロール材に直径 10.5cm の孔を開けたものに供試体をおさめたまま強度試験を行なったが、このようにすることによって強度試験中の温度変化をほとんどなくすることができることがたしかめられた。

この試験を行なうに先立って、温度条件の変化にともなう供試体温度の変化を調べるための試験を行なった。すなわち、 2.0°C の供試体を 7.0°C の温水中に入れた場合の温度変化や、 7.0°C のコンクリート

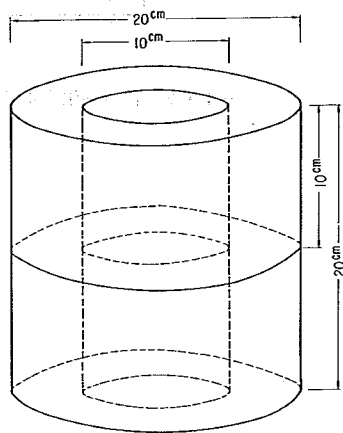


図-4・9 試験に用いた断熱材

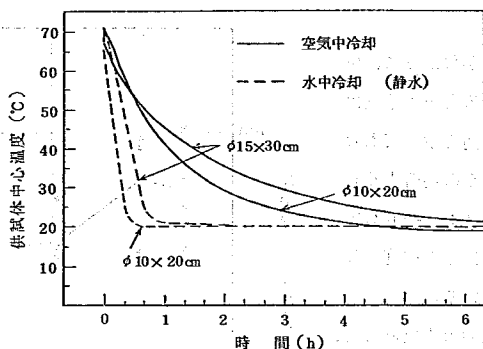


図-4・10 コンクリート供試体の温度変化

供試体を20℃の水中および空气中に置いた場合の温度変化を調べた。その結果は図-4・10に示すとおりで、一定温度となるまでに必要な時間は水中と空气中とではかなり異なるが、例えば、70℃のφ10cm×20cm 供試体を20℃まで水中で冷却する場合の所要時間は約30分間である。この予備試験の結果をもとに、本試験において70℃の温水槽から他の温度の水槽に移してからの浸水時間は安全を考慮して30分間以上とすることにした。

(2) 供試体冷却後の後置時間が $\sigma_{0.8}$ におよぼす影響の検討

コンクリートの配合を $W/C=4.0, 5.0, 6.5\%$ (表-4・2の配合番号1~6)の3種類とし、前置養生および温水養生を4・1・3(3)に述べた方法で行なったのち、ひとまず供試体を水中で冷却し、その後1~2時間で圧縮強度試験を行なったものと、後置時間として24時間および48時間20℃の水中においてから圧縮強度試験を行なったものについて圧縮強度を比較した。

(3) キャッピング方法の違いによる影響の検討

各種キャッピング材料の強度特性などについて、既往の文献による調査を行ない、促進強度試験に適するキャッピング方法について検討した。

4・3・3 試験結果

(1) 強度試験時の供試体の温度が圧縮強度におよぼす影響

強度試験時における供試体の温度と圧縮強度との関係は図-4・11に示すとおりで

ある。

同図より明らかなように、供試体温度が高いほど圧縮強度は幾分低下する傾向を示しており供試体温度 20℃の場合とくらべてその温度が 30℃～50℃で試験した場合には 4 % 程度の強度低下となっている。

なお、予備試験の成果として、 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 供試体を 70℃ から 20℃ まで水中で冷却させるのに要する時間は約 30 分であることがたしかめられた（図 4・10）。

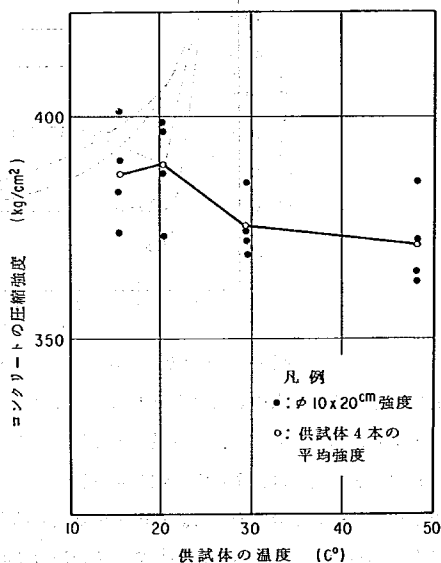


図 4・11 供試体温度と圧縮強度との関係

(2) 供試体冷却後の後置時間が

σ_{cs} におよぼす影響

後置時間と σ_{cs} との関係は、図 4・12 に示すとおりで、供試体によるばらつきがかなり大きい、平均的には後置時間を長くするほど強度も増進している。しかし、後置時間 2～3 時間を標準とした場合、後置時間をそれよりも 20 時間程長くすることによる強度の伸びは、平均的には 5 % 以下とみられる。

(3) キャッピング方法の違いによる影響

既往の文献にもとずいて検討を行なった結果、材令 28 日圧縮強度試験の場合は、セメントペーストキャッピングを、促進強度試験の場合は硬質石膏キャッピングを行なうのを標準とすることとした。

4・3・4 考 察

図 4・11 に示すように、強度試験時の供試体の温度が高いほど強度が低下する傾向があるので、促進強度試験供試体は一定温度に冷却してから圧縮強度試験を行なうことが望ましい。冷却方法は、①供試体の異状乾燥を防止すること、②短時間に冷却すること、③冷却条件を一定にして、試験値の再現性を高めること、などを考慮すると、空中冷却よ

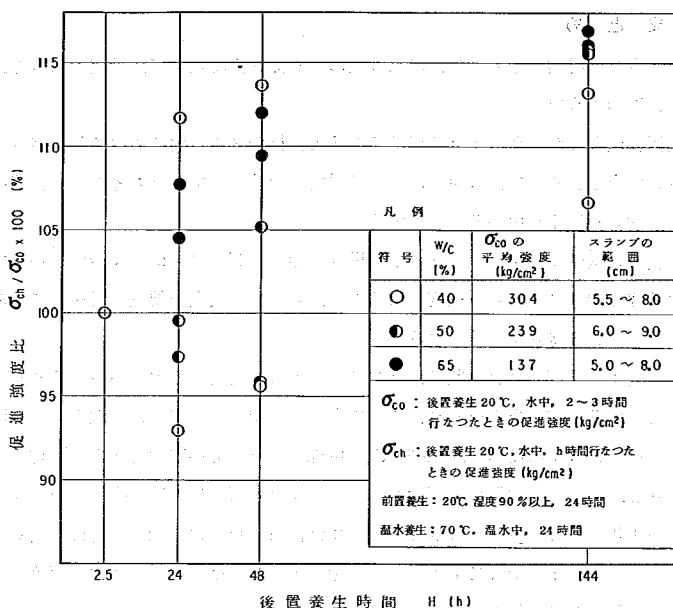


図-4・12 後置養生時間と促進強度との関係

りも水中冷却の方が適当であると考えられる。

供試体冷却後の後置時間については、基準時間を 2 時間程度とした場合、それよりもさらに 2.0 時間程度後置時間を増したとしても、それによる強度への影響は 5 % 程度以下であるので、数時間程度の後置時間のちがいは許容されうものと考えられる。しかし、試験値をできるだけ同一条件のもとで得るために、標準として設定した後置時間からあまりかけはなれない時間内で試験するのがよく、そのため、もし 4・1・3 {3} に述べた標準時間よりも後置時間をさらに長くすることが好都合の場合には、最適の時間を設定すればよい。

4・4 ま と め

以上のような検討結果をもとに、温水養生による促進強度試験方法設定の基本方針をまとめると、次のようである。

(1) 前置養生温度が例えば 10°C 程度であると、材令 24 時間における強度発現がかなり小さい場合があるので、寒冷時における現場での前置養生なども考慮して、前置養生には断熱性の養生箱を用いることとする。

前置養生の基準時間を 24 時間とした場合、養生時間をさらに 24 時間延長してもそれによる強度増進は 5～6 % 程度であること、および作業上の便宜を考慮して、前置養生時間は 24 ± 6 時間を標準とする。

(2) 温水養生の温度および時間は、コンクリートの強度促進効率からみて $70^{\circ}\text{C} \cdot 24$ 時間程度とするのが妥当と思われ、これに作業上の便宜を考慮し、温度および時間の許容差を設けて、養生温度は $(70 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 、養生時間は (24 ± 1) 時間とするのを標準とする。

$\pm 3 \text{ deg.}$ の温水養生温度の変動が σ_{cs} におよぼす影響は、 $W/C = 40 \sim 65$ % のコンクリートにおいて 1～2 % 程度であり、また、 ± 1 時間の温水養生時間の変動が σ_{cs} におよぼす影響は 1 % 前後であるので、上記のような温度および時間の許容差の設定によって試験値の精度が損なわれることはほとんどないと考えられる。

(3) 後置養生は、水中冷却とキャッピング後の養生とからなる。水中冷却時間は、 70°C から 20°C まで冷却する場合、 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 供試体では少なくとも 30 分、 $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ では少なくとも 1 時間は必要である。

キャッピングは硬質石膏（水・プラスター比は 30 % 程度とするのがよい）を用いて行ない、キャッピング後少なくとも 2 時間を経ってから強度試験を行なう。

上記の基本方針設定にあたり常に考慮したことは、促進強度試験の作業時間を現場工事のそれに同調させようようにすることで、前置養生時間に十分な（ ± 6 時間）許容範囲を設けることにより、施工日の任意の時間に何回かにわたって採取した供試体を翌日から一括して、しかも都合のよい時間に合せて運搬・温水養生・後置養生・強度試験の一連の作業を行ないうようにした。これは、この試験方法（案）の大きな特色の一つといえるものである。

5. コンクリートの品質の相違が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響に関する試験

5・1 概 要

コンクリートの使用材料や配合条件が相違した場合、 σ_{cs} と σ_{c28} との関係も相違して現われる可能性が考えられる。この試験は、この点について確かめることを目的としたものである。

土木工事でもっとも多く用いられている普通ポルトランドセメントと、良質の骨材を用いたコンクリートを基準とし、水セメント比は40～70%の範囲、スランプは7.5cm程度を目標として、コンクリートの使用材料の品質および配合条件（空気量の相違）を変えたコンクリートについて σ_{cs} と σ_{c28} との関係を調べた。

促進強度試験方法および材令28日強度試験方法は、4.の調査結果に基づき、以下に示す方法によった。

(1) 促進強度 (σ_{cs})

- ① $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ のコンクリート供試体を製作
- ② 前置養生（温度20℃、湿度90%以上、24時間）
- ③ 温水養生（温度70℃の温水中24時間）
- ④ 後置養生（常温30分水中冷却、硬質石膏キャッピング、2～3時間）
- ⑤ 脱型後、直ちに圧縮強度試験

(2) 材令28日強度 (σ_{c28})

- ① $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ のコンクリート供試体を製作
- ② 標準養生（温度20℃、湿度90%以上、供試体製作日翌日セメントペーストキャッピング、さらに翌日より材令28日まで20℃水中養生）
- ③ 圧縮強度試験

5・2 同一使用材料における σ_{cs} と σ_{c28} との関係についての試験

5・2・1 試験目的

一般の土木工事で多く使用されている普通ポルトランドセメントと、比較的良質な骨材（細骨材：河川砂、粗骨材：河川砂利）とを用いたコンクリートについて σ_{cs} と σ_{c28} との関係を求め、これを基準としてその他の材料を用いたコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係との比較検討を行なった。

5・2・2 試験方法

コンクリートの配合は、水セメント比が $W/C=40$ 、 50 、 65 の3種類（表-5・1）、単位水量は $160 \sim 170 \text{ kg}$ とし、スランプの目標は 7.5 cm とした。

各バッチから促進強度試験用および材令28日強度試験用供試体（ $\phi 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ）をおのおの3本ずつ採取し、それぞれ所定の養生を行なったのち強度試験を行ない、供試体3本の平均値を1個の試験値として求め、これらの試験値について σ_{cs} と σ_{c28} との関係についての検討を行なった。

5・2・3 試験結果

9組の試験値による σ_{cs} と σ_{c28} との関係は図-5・1のようで、これより次の相関式を得た：

$$\sigma_{c28} = 87.2 + 1.82 \cdot \sigma_{cs}$$

この関係式の相関係数（以下 r で示す）は 0.995 であり、 σ_{cs} から σ_{c28} を推定する場合の推定値の標準誤差（以下 s_e で示す）は $\pm 14.8 \text{ kg/cm}^2$ であった。

5・2・4 考 察

σ_{cs} と σ_{c28} あるいは σ_{c7} と σ_{c28} との相関を表わすのに、一般に、

$$\sigma_{c28} = a + b \cdot \sigma_{cs},$$

$$\sigma_{c28} = \sigma_{cs} / (a + b \cdot \sigma_{cs})$$

$$\sigma_{c28} = (a + b \cdot \sigma_{cs}) / \sigma_{cs}$$

$$\sigma_{c28} = a + b \cdot \log_{10} \sigma_{cs}$$

（ a ， b は常数）

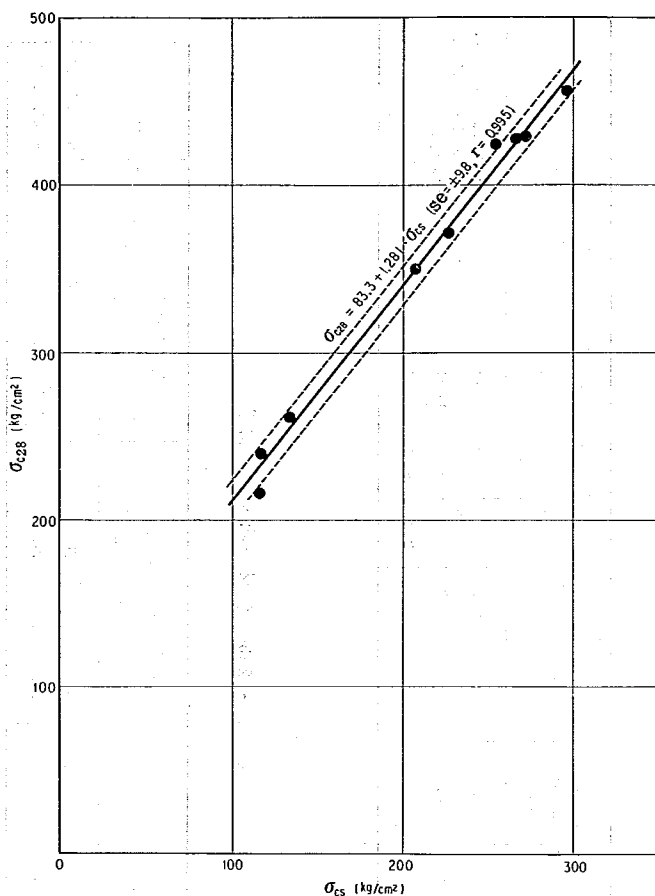
などの形の式が用いられている。

表-5・1(a) コンクリートの配合

配合 番号	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ 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 量 (kg/m ³)					骨 材 番 号	備 考
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤		
1	25	7.5	2	40	41	160	400	742	1088	-	S-5 G-3	C: 普通ポルトランドセメント (比重: 3.15) S: 河川砂 G: 河川砂利
2				50	43	163	326	801	1082			
3				65	45	170	262	854	1063			

表-5・2(b) 骨材の物理試験結果

骨材番号	区 分	名 称	産 地	表乾比重	吸水量 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	粗粒率 F M	安定性 (%)	すりへり 減 量 (%)	単位容積 重 量 (kg/m ³)	有機不純 物 試 験	洗い試験 (%)	入荷年月日
S-5	細骨材	河川砂	富士川	2.61	2.07	5	3.33				合 格		S 48.5.23
G-3	粗骨材	河川砂利	富士川	2.67	0.97	25	6.92		B: 13 C: 13	1730			S 47.5.29



図一 5・1 同一使用材料における σ_{cs} と σ_{c28} との関係

5・2・3 に示した試験結果も、かなり良好な相関性をもって直線式で表わされている。しかし、これは、ある水セメント比の範囲内（この試験では、 $W/C=40\sim65\%$ ）において成り立つもので、かなり広範囲な水セメント比の範囲に対しては直線関係は成立しないことが推論される。すなわち、水セメント比がある程度大きく、粗骨材の強度にくらべてモルタル強度のかなり低いコンクリートでは、その圧縮強度は主としてモルタル部分の

強度に支配され、したがって σ_{cs} と σ_{c28} とは水セメント比に関して直線的な相関を保つと考えられるが、水セメント比がかなり小さく、粗骨材の強度がコンクリートの圧縮強度に影響するような高強度のコンクリートにおいては、モルタル部分の強さと粗骨材の強さとの関係が σ_{cs} 用供試体と σ_{c28} 用供試体とで異なり、水セメント比が小さい場合ほど σ_{cs} と σ_{c28} との差が小さくなって、水セメント比に関する両者の相関は水セメント比の比較的大きな範囲で成り立つ σ_{cs} と σ_{c28} との相関直線にはのらなくなることが考えられる。したがって、かなり広範な水セメント比の範囲に対する σ_{cs} と σ_{c28} との相関を表わそうとする場合には、前記の直線式をもっては不十分な場合もあることに注意する必要がある。

5・3 セメントの相違が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響についての試験

5・3・1 試験目的

普通ポルトランドセメント以外のセメント、すなわち、早強および超早強ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、高炉セメントおよびフライアッシュセメントを用いたコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との相関を求め、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートのそれと比較検討することを目的とした。

5・3・2 試験方法

試験に用いたセメントの種類は、普通ポルトランドセメントのほか、早強・超早強および中庸熱ポルトランドセメント、フライアッシュセメントB種（フライアッシュ20%）および高炉セメントB種である。

コンクリートの配合は、水セメント比で $W/C=40, 50, 65\%$ の3種類（表-5・2）とし、単位水量および単位粗骨材量は各 W/C ごとに一定とした。

練り混ぜは、すべて手練りで1バッチ20ℓとした。

供試体の製作および強度試験の方法は、5・1に示したとおりである。

5・3・3 試験結果

セメントの種類別に求めた σ_{cs} と σ_{c28} との関係を示すと、図-5・2のとおりである。これより、普通ポルトランドセメントコンクリートの場合に対する他のセメントを用いたコンクリートの場合の特徴をみると次のようである。

(1) 早強および超早強ポルトランドセメントを用いたコンクリート

コンクリートの強度レベルにかかわらず、 σ_{c28} の同一値に対する σ_{cs} の値は早強および超早強セメントコンクリートの方が40~60 kg/cm²程度大きくなっている。早強ポルトランドセメントと超早強ポルトランドセメントとでは、 σ_{cs} と σ_{c28} との関係において有意差は認められない。

(2) 中庸熱ポルトランドセメントを用いたコンクリート

比較的低強度においては、 σ_{c28} に対する σ_{cs} の割合は、普通ポルトランドセメントコンクリートの場合とほぼ同じであるが、高強度になるにしたがってこの割合がやや低下し、 σ_{c28} の同一値に対する σ_{cs} は中庸熱ポルトランドセメントコンクリートの方がやや

表-5・2(a) コンクリートの配合

配合 番号	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランパ 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/m³)					骨材 番号	備 考
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤フライ アッシュ F		
12	25	—	2	40	39	162	405	699	1122	—	S-6 G-4	C: 普通ポルトランド セメント (比重: 3.15)
13				50	41	161	322	764	1129			
14				65	43	168	258	816	1111			
15	25	—	2	40	38	162	324	678	1122	81	S-6 G-4	C: 普通ポルトランド セメント F: フライアッシュ (比重: 2.96)
16				50	40	161	258	747	1129	64		
17				65	43	168	206	803	1111	52		
18	25	—	2	40	39	162	405	691	1122	—	S-6 G-4	C: 高炉セメントB種 (比重: 3.07)
19				50	41	161	322	757	1129			
20				65	43	168	258	811	1111			
21	25	—	2	40	39	162	405	704	1122	—	S-6 G-4	C: 中熱ポルトランド セメント (比重: 3.19)
22				50	41	161	322	768	1129			
23				65	43	168	258	819	1111			
24	25	—	2	40	39	162	405	699	1122	—	S-6 G-4	C: 早強セメント (比重: 3.14)
25				50	41	161	322	763	1129			
26				65	43	168	258	816	1111			
27	25	—	2	50	41	161	322	763	1129	—	S-6 G-4	C: 超早強セメント (比重: 3.14)
28				65	43	168	258	816	1111			

表-5・2(b) 骨材の物理試験結果

骨材番号	区 分	名 称	産 地	表乾比重	吸水量 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	粗 粒 率 F M	安定性 (%)	すりへり 減 量 (%)	単位容積 重 (kg/m³)	有機不純 物 試 験	洗い試験 (%)	入荷年月日
S-6	細骨材	河川砂	富士川	2.60	2.04	5	2.90				合 格	2.11	S 48. 8. 23
G-4	粗骨材	河川砂利	富士川	2.67	1.25	25	6.80			1700			S 48. 8. 23

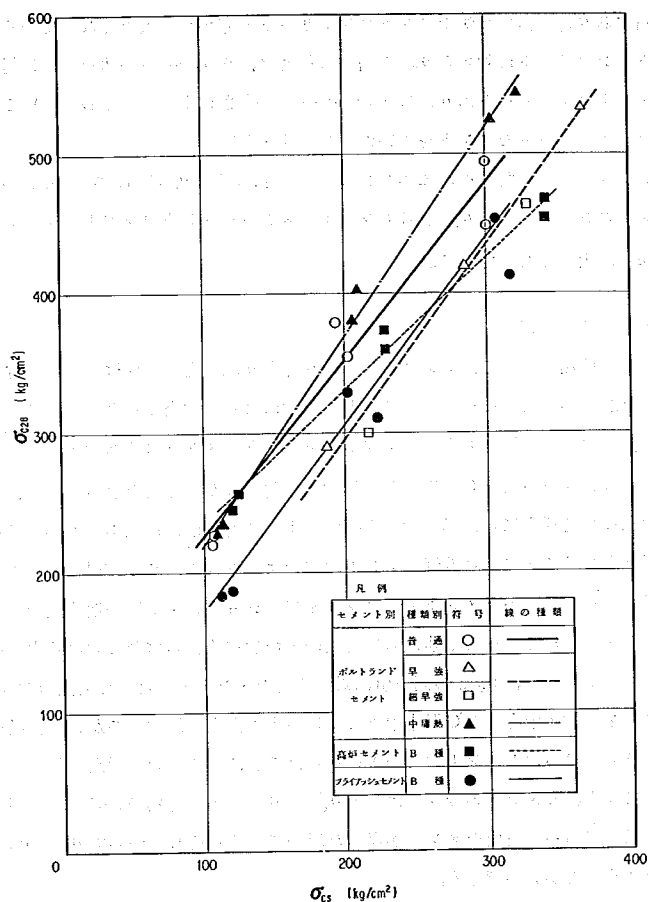


図-5・2 各種セメントを用いたコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係

低くなっている。普通セメントコンクリートに対する σ_{cs} の低下の程度は、 $\sigma_{c28} = 500 \text{ kg/cm}^2$ に対応する普通セメントコンクリートの $\sigma_{cs} \div 310 \text{ kg/cm}^2$ の約 10% (約 30 kg/cm^2) 程度である。

(3) 高炉セメントを用いたコンクリート

比較的低強度においては、 σ_{c28} に対する σ_{cs} の割合はやや大きくなり、 σ_{c28} の同一

値に対する $\sigma_{0.8}$ の値は高炉セメントコンクリートの方がやや大きくなっている。普通セメントコンクリートに対する $\sigma_{0.8}$ の増加の程度は、 $\sigma_{0.28} = 500 \text{ kg/cm}^2$ に対応する普通セメントコンクリートの $\sigma_{0.8} = 310 \text{ kg/cm}^2$ の約20% (約60 kg/cm^2)である。

(4) フライアッシュセメントを用いたコンクリート

コンクリートの強度レベルにかかわらず、 $\sigma_{0.28}$ の同一値に対応する $\sigma_{0.8}$ の値は普通セメントコンクリートの $\sigma_{0.8}$ よりもフライアッシュセメントコンクリートの方が30～40 kg/cm^2 大きくなっている。

5・3・4 考 察

セメントの種類によって、コンクリートの $\sigma_{0.8}$ と $\sigma_{0.28}$ との関係はかなり異なったものとなることがわかった。これは、セメントの種類による強度発現特性の相違によるものと思われる。すなわち、早強および超早強ポルトランドセメントは普通セメントよりも粉末度が高く、けい酸三石灰(C_3S)など早強性の化合物が多く含有されていて、これらが初期の水和作用を活発にし、早強性を発揮するものであるが、温水中においてはその効果が一層促進されることにより普通セメントの場合よりも大きな $\sigma_{0.8}$ が得られることになるものと考えられる。高炉セメントおよびフライアッシュセメントは長期強度型のセメントで、普通セメントにくらべて早強性の化合物の量が少なく、若材令における水和作用は比較的ゆるやかであるが、 $\sigma_{0.28}$ の同一値に対し普通セメントの場合よりも大きな $\sigma_{0.8}$ となったのは、20℃水中と70℃温水中における水和作用の速度のちがいが普通セメントの場合よりもこれらのセメントの方が大きかったことによるものと考えられる。

いずれにせよ、セメントの種類によって $\sigma_{0.8}$ と $\sigma_{0.28}$ との関係が変わることは明らかであるので、工事において使用セメントが変わった場合にはそれぞれについて $\sigma_{0.8}$ と $\sigma_{0.28}$ との相関を求めることが必要である。

5・4 細骨材の品質の相違が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響についての試験

5・4・1 試験目的

5・2では比較的良質骨材を用いたコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係について述べたが、骨材の品質による影響も考えられるため、比較的品質のよくない骨材を用いたコンクリートについて σ_{cs} と σ_{c28} との関係を求め、5・2に述べた結果と比較検討することにした。ここでは、まず細骨材の品質の相違による影響について調査することを目的とした。

5・4・2 試験方法

比較に用いた細骨材は表-5・3(b)に示す細骨材S-6およびS-7で、粗骨材はいずれも良質の富士川産砂利(G-4)を用いた。S-6は比重2.60、吸水量2.04%、粗粒率2.90で比較的良質であり、これと対比するために用いたS-7は比重2.48、吸水量5.52%、粗粒率3.70で、かなり品質のよくないものである。

コンクリートの配合は水セメント比で $W/C=40, 50, 65\%$ の3種類とし(表-5・3)スランプは7.5cmを目標とした。単位水量は161~168kgとし、各 W/C ごとに同一とした。

これらの配合について σ_{c28} および σ_{cs} を求め、両者の相関について比較検討した。

5・4・3 試験結果

細骨材を異にする2種類のコンクリートの C/W と σ_{cs} との関係および C/W と σ_{c28} との関係を示すと、それぞれ図-5・3(a)および図-5・3(b)のとおりである。品質のよくない細骨材を用いたコンクリートの強度は品質のよい細骨材を用いたものにくらべて、 $C/W=1.5\sim 2.5$ の範囲においては σ_{cs} で7~15%、 σ_{c28} で約7%低くなっている。

σ_{cs} と σ_{c28} との関係は図-5・4に示すとおりで、細骨材のちがいによる σ_{cs} と σ_{c28} との関係の相違は大きくなく、同一 σ_{c28} 値に対する σ_{cs} は、高強度域において品質のよくない骨材を用いたコンクリートのほうがやや小さくなっている。

表-5・3(a) コンクリートの配合

配合 番号	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (mm)	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)					骨 材 番 号	備 考
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤		
29	25	7.5	2	40	3.9	162	405	699	1122	-	S-6	C:普通ポルトランドセメント(比重:3.15) S:河川砂 配合番号 12.13.14 G:河川砂利と同じ
30				50	4.1	161	322	764	1129		G-4	
31				65	4.3	168	258	816	1111			
32	25	-	2	40	3.9	162	405	666	1122	-	S-7	C:普通ポルトランドセメント(比重:3.15) S:河川砂 G:河川砂利
33				50	4.1	161	322	729	1129		G-4	
34				65	4.3	168	258	778	1111			

表-5・3(b) 骨材の物理試験結果

骨材番号	区 分	名 称	産 地	表乾比重	吸水量 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	粗粒率 F M	安定性 (%)	すりへり 減 量 (%)	単位容積 重 量 (kg/m ³)	有機不純 物 試 験	洗い試験 (%)	入荷年月日
S-6	細骨材	河川砂	富士川	2.60	2.04	5	2.90				合 格		S 48. 8. 23
S-7	細骨材	河川砂	鬼怒川	2.48	5.52	5	3.70				合 格		S 46. 11. 8
G-4	粗骨材	河川砂利	富士川	2.67	1.25	25	6.80			1700			S 48. 8. 23

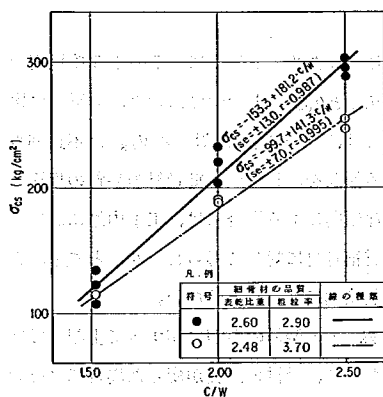


図-5・3(a) 細骨材の異なるコンクリートの C/W と σ_{cs} との関係

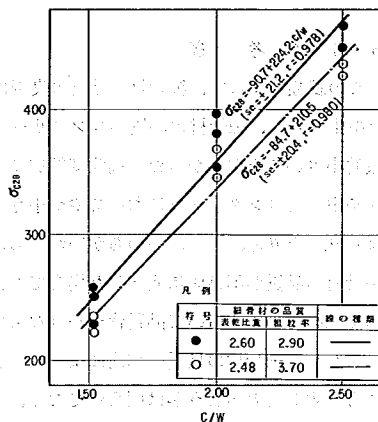


図-5・3(b) 細骨材の異なるコンクリートの C/W と σ_{c28} との関係

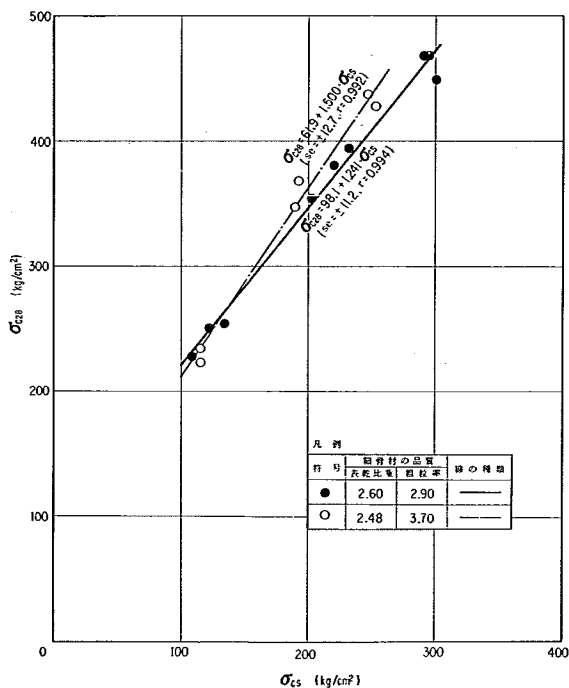


図-5・4 細骨材の異なるコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係

5・4・4 考 察

この試験によって、細骨材の品質の良否によりコンクリート強度には7～15%程度の差を生ずるが、細骨材の品質がコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響は比較的小さいことがわかった。高強度領域においては、同一 σ_{c28} に対する σ_{cs} は不良細骨材を用いたコンクリートにおいてやや小さくなる傾向を示したが、細骨材の品質の相違による σ_{cs} と σ_{c28} との関係のちがいがこのような傾向にある場合には、工事中途において細骨材の品質が不良側に变化した場合でも、良質細骨材に対して得られた σ_{cs} と σ_{c28} との関係をそのまま用いて品質管理を行なっても危険側になることはない。

しかし、細骨材の品質の相違による σ_{cs} と σ_{c28} との関係のちがいがすべて上記の傾向に合致するものかどうかは明らかでなく、したがって、骨材の品質が変わった場合にはその都度 σ_{cs} と σ_{c28} との関係を求めることが原則的な方法といえよう。

5・5 粗骨材の品質の相違が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響についての試験

5・5・1 試験目的

5・4では細骨材の品質のちがいによるコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係への影響について述べたが、ここでは粗骨材の品質のちがいによる影響を調査することを目的とした。

5・5・2 試験方法

比較に用いた粗骨材は、表-5・4(b)に示すG₂(碎石、比重2.71、吸水量1.10%)、G₃・G₄(川砂利、比重2.67、吸水量0.97~1.25%)、G₅(川砂利、比重2.58、吸水量1.94%)、G₆(山砂利、比重2.49、吸水量4.70%)およびG₇(碎石、比重2.70、吸水量0.97%)の5種類で、細骨材はいずれも良質の川砂を用いた。

コンクリートの配合は、W/C=40~70%の範囲で3種類を選び(表-5・4)、スランプは7.5 cmを目標とした。

これらの配合について σ_{cs} および σ_{c28} を求め、両者の相関について比較検討した。

5・5・3 試験結果

それぞれの粗骨材を用いたコンクリートについて得られた σ_{cs} と σ_{c28} との関係を、図-5・5に示す。

粗骨材の品質によって σ_{cs} と σ_{c28} との関係はかなり相違し、粗骨材G₂(比重2.71、吸水量1.10%)を用いたコンクリートと、G₆(比重2.49、吸水量4.70%)を用いたコンクリートでは、 $\sigma_{c28}=350\sim400\text{ kg/cm}^2$ に対応する σ_{cs} ではば100 kg/cm²の差が生じている。

5・5・4 考察

この試験では、各粗骨材を用いたコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係は、かなり異なっていた。これはコンクリート中にしめる粗骨材の体積が他の材料と比べて比較的大きいため、粗骨材の品質の影響が大きくあらわれたものと考えられる。

コンクリートの強度は、これが小さい場合はセメントペースト部分の強度によってきまるため、粗骨材の品質の影響は小さいと考えられるが、反対にコンクリートの強度が大きいとセメントペースト部分の強度のみならず粗骨材の強度もコンクリートの強度に大きく影響することが考えられ、実験の結果はこの傾向をあらわしている。

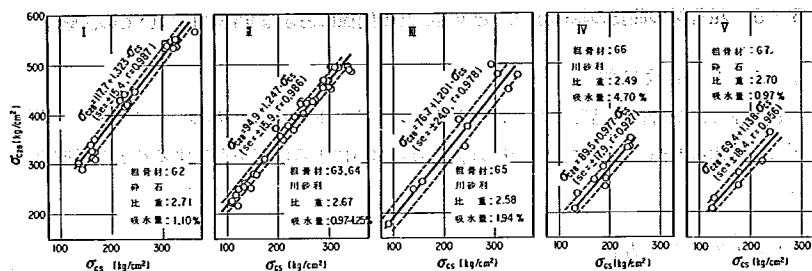


図-5・5(a) 粗骨材の異なるコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係

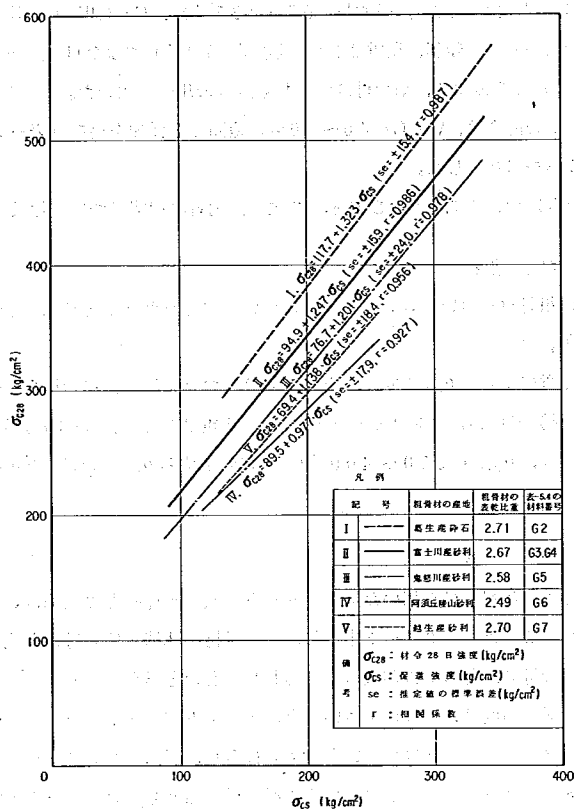


図-5・5(b) 粗骨材の異なるコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係

表-5・4(a) コンクリートの配合

配合 番号	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラン プの 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/m³)					骨 材 番 号	備 考				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤						
35	25	7.5	2	40	41	160	400	742	1088	—	S-5 G-3	C：普通ポルトランド セメント (比重：3.15) S：河川砂 G：河川砂利 } (練り置き)				
36				50	43	163	326	801	1082							
37				65	45	170	262	854	1063							
38	25	7.5	2	40	39	162	405	699	1122	—	S-6 G-4					
39				50	41	161	322	764	1129							
40				65	43	168	258	816	1111							
41	25	7.5	2	40	41	158	395	748	1094	—	S-8 G-3					
42				50	43	160	320	810	1089							
43				65	45	163	251	869	1079							
44	25	1～3	2	40	40	160	400	724	1072	—	S-8 G-5		C：普通ポルトランド セメント (比重：3.15) S：河川砂 G：河川砂利 スランプは実測値			
45				50	42	160	320	788	1075							
46				65	44	160	246	852	1072							
47		5～7		40	40	170	425	705	1045							
48				50	42	170	340	770	1051							
49				65	44	170	262	835	1051							
50		14～17		40	40	187	468	675	997							
51				50	42	187	356	745	1017							
52				65	44	187	288	806	1014							
53				40	40	166	415	712	1019							
54	25	1～2	2	50	42	166	332	777	1023	—	S-8 G-6	C：普通ポルトランド セメント (比重：3.15) S：河川砂 G：山砂利 スランプは実測値				
55				65	44	166	255	842	1022							
56		6～7		40	40	178	445	690	987							
57				50	42	178	356	755	995							
58				65	44	178	274	821	997							
59		11～15		40	40	196	490	656	939							
60				50	42	196	392	723	952							
61				65	44	196	302	790	960							
62				45	47	178	396	826	971							
63		20		4～6	2	55	49	178	324				891	966	—	S-4 G-2
64	65		51			189	291	926	928							
65	1.5		65	51		178	274	948	949							
66	30	7.5	2	45		41	179	398	722	1078	—	S-6 G-7	C：普通ポルトランド セメント (比重：3.15) S：河川砂 G：砕石 (蛇紋岩)			
67				55		43	178	324	784	1079						
68				70		46	186	266	850	1037						

表-5・4(b) 骨材の物理試験結果

骨材番号	区 分	名 称	産 地	表乾比重	吸水量 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	粗粒率 F M	安定性 (%)	すりへり 減 量 (%)	単位容積 重 (kg/m ³)	有機不純 物 試 験	洗い試験 (%)	入荷年月日
S-8	細骨材	河川砂	富士川	2.61	2.40	5	2.82	6.9			合 格		S 47. 9. 12
S-4	細骨材	河川砂	鬼怒川	2.60	2.55	5	2.62				合 格	0.7	S 47. 3. 8
S-5	細骨材	河川砂	富士川	2.61	2.07	5	3.33				合 格		S 48. 5. 23
S-6	細骨材	河川砂	富士川	2.60	2.04	5	2.90				合 格	2.11	S 48. 8. 23
G-2	粗骨材	砕 石	葛 生	2.71	1.10	20	6.65	5.6	B: 19 C: 18	1630			S 46. 3.
G-3	粗骨材	河川砂利	富士川	2.67	0.97	25	6.92		B: 13 C: 13	1730			S 47. 5. 29
G-4	粗骨材	河川砂利	富士川	2.67	1.25	25	6.80			1700			S 48. 8. 23
G-5	粗骨材	河川砂利	鬼怒川	2.58	1.94	25	6.87		B: 17 C: 17	1670			S 45. 5.
G-6	粗骨材	山砂利	阿須丘陵	2.49	4.70	25	6.84	66.4	B: 37 C: 31	1700			
G-7	粗骨材	砕 石	越 生	2.70	0.97	30	7.38		B: 17 C: 17				S 43. 12.

5・6 AEコンクリートの空気量の変化が σ_{cs} と σ_{c28} との関係におよぼす影響についての試験

5・6・1 試験目的

コンクリート土木構造物においては、気象作用に対するコンクリートの耐久性を高めるために、あるいはコンクリートのワーカビリティを改善するために、AEコンクリートが用いられることが多い。この試験は、AEコンクリートにおける空気量が σ_{cs} および σ_{c28} におよぼす影響、および両者の関係におよぼす影響について検討を行なうことを目的としたものである。

5・6・2 試験方法

一般に、AEコンクリートの空気量は粗骨材の最大寸法などにより多少異なるが、3～6%程度とされることが多いが、この試験では、比較的空気量の多い範囲まで(4～9%)を対象として、 σ_{cs} 、 σ_{c28} および両者の相関におよぼす影響について調査した。

コンクリートの配合は、水セメント比で $W/C=40, 50, 65\%$ の3種類とし、空気量は4、6、9%の3種類を目標とした(表-5・5)。

これらの配合では、各 W/C ごとにAE剤の量だけを変化させた。したがって、スランプは空気量の増減によって変化するが、AE剤を加えない場合のスランプの目標は7.5cmとした。

各バッチについて空気量を測定し、 σ_{cs} と σ_{c28} を求め、空気量と σ_{cs} および σ_{c28} との関係を調べた。

5・6・3 試験結果

(1) 空気量と σ_{cs} または σ_{c28} との関係

空気量と σ_{cs} との関係および空気量と σ_{c28} との関係は、表-5・6 および図-5・6 のようであった。

図-5・6より明らかなように、 $\sigma_{cs} \cdot \sigma_{c28}$ とも空気量が多いほど強度低下が大きく、低下の割合は W/C の小さいコンクリートほど大きくなっている。空気量6%の場合の σ_{cs} に対する空気量1%の増加に伴う強度低下率は $W/C=40 \sim 65\%$ の範囲において8～5%、同じく空気量6%の場合の σ_{c28} に対する空気量1%の増加に伴う強度低下率は、

表 - 5 ・ 5 (a) コンクリートの配合

配合 番号	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ 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 量 (kg/m ³)					骨 材 番 号	備 考
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (%)		
69	25	—	4	40	39	160	400	693	1088	0.040	S-5 G-3	C: 普通ポルトランド セメント (比重: 3.15) S: 河川砂 G: 河川砂利 混和剤: セメントの 重量に対する 百分率
70				50	42	163	326	752	1082	0.029		
71				65	44	170	262	806	1063	0.021		
72			6	40	38	160	400	641	1088	0.112		
73				50	40	163	326	700	1082	0.082		
74				65	42	170	262	754	1063	0.063		
75			9	40	34	160	400	562	1088	0.216		
76				50	37	163	326	622	1082	0.160		
77				65	39	170	262	675	1063	0.120		

表 - 5 ・ 5 (b) 骨材の物理試験結果

骨材番号	区 分	名 称	産 地	表乾比重	吸水量 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	粗 粒 率 F M	安定性 (%)	すりへり 減 量 (%)	単位容積 重 量 (kg/m ³)	有機不純 物 試 験	洗い試験 (%)	入荷年月日
S-5	細骨材	河川砂	富士川	2.61	2.07	5	3.33				合 格		S 48. 5. 23
G-3	粗骨材	河川砂利	富士川	2.67	0.97	25	6.92		B: 13 C: 13	1730			S 47. 5. 29

表-5・6 AEコンクリートの空気量と $\sigma_{0.8}$ または σ_{c28} との関係

水セメント比 W/C (%)	スランプの 範 (cm)	コンクリート 温 度 (℃)	空気量(a) の 範 囲 (%)	$\sigma_{0.8} = a + b \cdot (a) \pm se$ (r = 相関係数)					$\sigma_{c28} = a + b \cdot (a) \pm se$ (r = 相関係数)				
				N	a	b	se	r	N	a	b	se	r
4.0	12~18	22~24	3.6~8.9	8	363.6	-19.6	7.3	0.981	9	562.8	-28.7	11.9	0.980
5.0	8.5~20.5	22~24	4.0~8.9	9	234.9	-10.9	5.8	0.966	9	432.9	-20.8	14.4	0.945
6.5	12.5~23	22~23	3.9~8.0	6	128.6	-4.7	5.1	0.840	6	247.1	-9.4	8.7	0.873

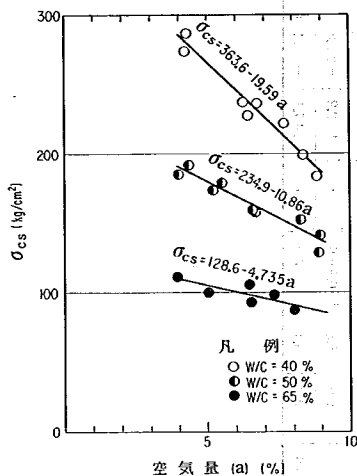


図-5・6(a) AEコンクリートの
空気量と σ_{cs} との関係

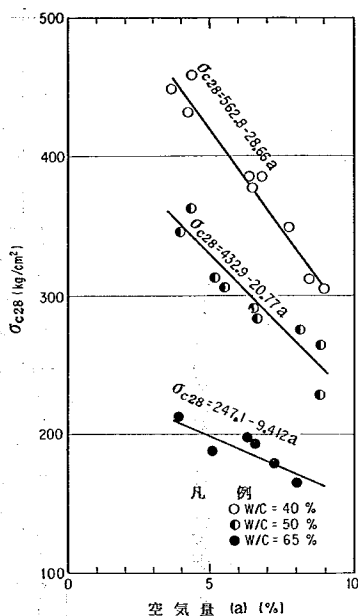


図-5・6(b) AEコンクリートの
空気量と σ_{c28} との関係

同じW/Cの範囲において7～5%程度となっている。

(2) 空気量が σ_{os} と σ_{c28} との関係におよぼす影響

空気量(a)が4%、6%および9%の場合について求めた σ_{os} と σ_{c28} との関係は図-5・7のようで、普通目盛の紙上では σ_{os} と σ_{c28} との関係は直線とはならないが、図-5・7に示すように片対数紙上に表わすと両者の関係は $\sigma_{c28} = a + b \cdot \log \sigma_{os}$ 、〔a、bは定数〕の直線によく近似し、空気量4%、6%および9%の場合の相関式は次のようであった。

$$\text{空気量}(a) = 4\% \text{ のとき } ; \sigma_{c28} = -965.7 + 576.1 \cdot \log_{10} \sigma_{os}, \quad r = 1.0000$$

$$\text{空気量}(a) = 6\% \text{ のとき } ; \sigma_{c28} = -837.3 + 513.8 \cdot \log_{10} \sigma_{os}, \quad r = 1.0000$$

$$\text{空気量}(a) = 9\% \text{ のとき } ; \sigma_{c28} = -653.7 + 421.6 \cdot \log_{10} \sigma_{os}, \quad r = 0.9999$$

上記の各種空気量についての $\sigma_{c28} = a + b \log_{10} \sigma_{os}$ の相関式において、常数のaおよびbとそれぞれの空気量(a)との関係を求めると、それぞれ次の近似式であらわされ

$$a = -1213.5 + 62.3 \cdot (a)$$

$$b = 699.5 - 30.9 \cdot (a)$$

したがって、AEコンクリートの空気量を考慮した σ_{cs} と σ_{c28} との相関式は次のようになる；

$$\sigma_{c28} = 1213.5 + 62.3 \cdot (a) + (699.5 - 30.9 \cdot (a)) \cdot \log_{10} \sigma_{cs}$$

上式に各バッチごとの実測空気量および σ_{cs} から σ_{c28} を計算し、これと実験によって求めた σ_{c28} とを比較すると表-5・7に示すようになった。

(3) セメント空げき比 (c/v)

と σ_{cs} または σ_{c28} との関係

セメント空げき比 (c/v) と

σ_{cs} との関係およびセメント空げき比 (c/v) と σ_{c28} との関係は表-5・8および図-5・8のようであった。これらの関係は双方とも比較的高い相関式が得られた。しかし、詳細に検討すれば、表-5・8および図-5・8に示すように、各W/Cごとに多少ちがいがあらわれている。

5・6・4 考 察

(1) 同一材料（セメント、細・粗骨材、混和材料）を用いた普通コンクリートの圧縮強度は、一般にC/Wによって決まるとされているが、AEコンクリートの場合は空気量の影響も考慮する必要がある。

当研究室の実験によれば、空気量の多少がコンクリートの圧縮強

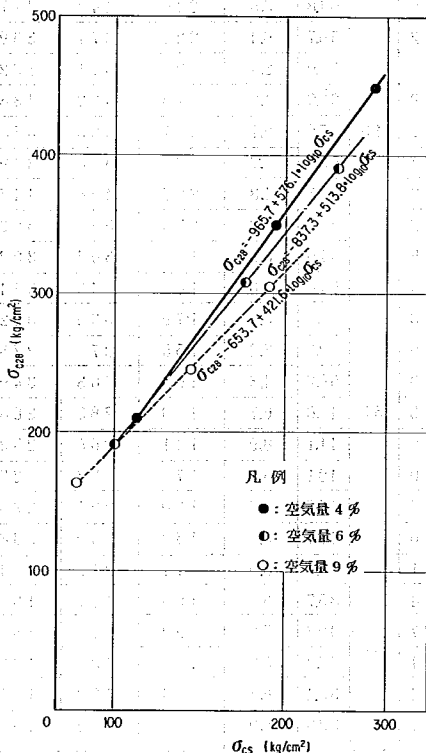


図-5・7 AEコンクリートの σ_{cs} と σ_{c28} との関係

表-5・7 AEコンクリートの σ_{c28} の実験値と計算値との比較

配合 番号	水セメント 比 W/C (%)	セメント 空隙比 C/v (%)	実 験 値			計 算 値			備 考
			A	B	C	D	E	F	
			空気量 a (%)	σ_{cs} (kg/cm ²)	σ_{c28} (kg/cm ²)	(σ_{c28}) (kg/cm ²)	D - C	E/D ×100 (%)	
69	40	64.8	3.6	246	447	417	-30	7.19	σ_{cs} : 促進強度 (kg/cm ²) σ_{c28} : 実験による 材令28日強 度 (kg/cm ²) (σ_{c28}): 計算に よる材令 28日推 定幾度 (kg/cm ²) a: 実験によるコン クリートの 空気量 (%)
72		56.7	6.4	229	377	369	- 8	2.17	
75		52.0	8.4	200	311	322	11	3.42	
69		62.9	4.2	275	432	438	6	1.37	
72		55.9	6.7	237	385	373	-12	3.22	
65		53.6	7.7	222	348	349	1	0.29	
69		62.6	4.3	287	458	447	-11	2.46	
72		56.9	6.3	239	384	380	- 4	1.05	
75		51.0	8.9	184	304	302	- 2	0.66	
70	50	51.0	4.0	187	346	344	- 2	0.58	
73		47.5	5.5	179	306	322	16	4.97	
76		42.2	8.2	155	276	275	- 1	0.36	
70		50.2	4.3	193	363	349	-14	4.01	
73		45.0	6.7	159	285	288	3	1.04	
76		41.1	8.9	141	265	253	-12	4.74	
70		48.1	5.2	177	323	322	- 1	0.31	
73		45.2	6.6	160	291	290	- 1	0.34	
76		41.1	8.9	130	230	238	8	3.36	
71	65	39.8	3.9	111	212	214	2	0.93	
74		35.7	6.3	105	197	199	2	1.01	
77		30.6	7.2	99	179	187	8	4.28	
71		37.8	5.0	101	189	190	1	0.53	
74		35.4	6.5	94	193	175	-18	10.29	
77		33.3	8.0	87	165	162	- 3	1.85	
空気量(a)と σ_{cs} からの σ_{c28} の計算式							平均	2.52%	
$(\sigma_{c28}) = -1213.5 + 62.3 \cdot a + (699.45 - 30.89 \cdot a) \cdot \log_{10} \sigma_{cs}$									

表 - 5 ・ 8 A Eコンクリートのセメント空げき比
(c/v) と σ_{c9} または σ_{c28} との関係

水セメント比 W/C (%)	スランプの 範 囲 (cm)	コンクリート 温 度 (°C)	空気量の 範 囲 (%)	セメント空隙比 (c/v) (%)	$\sigma_{c9} = a + b \cdot (c/v) \pm se$ (r = 相関係数)					$\sigma_{c28} = a + b \cdot (c/v) \pm se$ (r = 相関係数)				
					N	a	b	se	r	N	a	b	se	r
4.0	12~18	22~24	3.6~8.9	51.0~64.8	8	-195.6	7.613	7.9	0.977	9	-238.4	10.828	14.2	0.971
5.0	8.5~20.5	22~24	4.0~8.9	41.1~51.0	9	-82.9	5.413	6.2	0.962	9	-178.7	10.435	14.0	0.949
6.5	12.5~23	22~23	3.9~8.0	30.6~39.8	6	42.6	1.605	7.3	0.621	6	53.3	3.835	11.3	0.777
4.0, 5.0, 6.5	8.5~23	22~24	3.6~8.9	30.6~64.8	23	-122.9	6.301	10.6	0.984	24	-117.1	8.836	18.6	0.978

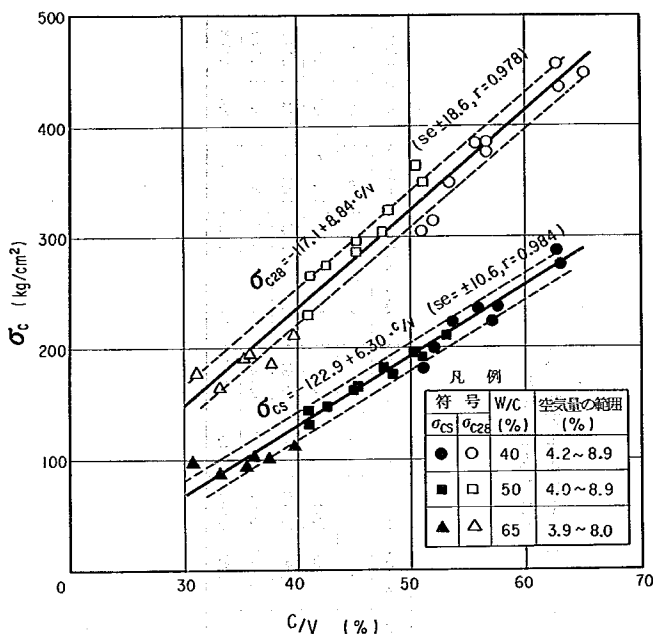


図-5・8 ABコンクリートのセメント空けき比
(C/V)と σ_{cs} または σ_{c28} との関係

度におよぼす影響は、 σ_{c28} のみならず σ_{cs} についても、 C/W が大きいもの程空気量1%当たりの強度減量が大きいことがわかった。

(2) 水セメント比 W/C が40~65%の範囲における空気量4%のときの σ_{cs} と σ_{c28} との関係と空気量9%のときの σ_{cs} と σ_{c28} との関係とについて、 $\sigma_{cs} = 200 \text{ kg/cm}^2$ 付近の σ_{c28} の差は 60 kg/cm^2 程度であった。空気量が大きく変動する場合は、 C/W が大きいときに、とくに注意する必要があるが、空気量があるせまい範囲内 ($\pm 1.0 \sim 1.5$ %程度) で変動する場合は、空気量の影響は考慮する必要はないと思われる。

6. 建設省管内のコンクリート工事現場における温水養生による促進強度の共通試験

6・1 試験目的

4および5で述べた促進強度試験に関する基礎調査の成果をもとに、3に示した促進強度試験方法(案)をとりまとめたが、これを実地に現場で適用してみたところ、ある程度良好な結果が得られたので、この試験方法の実施上の問題点の検討もかねて、各技術事務所において促進強度試験を実際の工事現場で試みることを目的とした。

6・2 試験方法

各地建技術事務所ごとに各地建管内の適当なコンクリート工事現場を選び、3で述べた方法によって現場における促進強度試験と材令28日強度試験を実施した。また、現場で用いたコンクリート材料(セメント、細・粗骨材、混和剤)と同一の材料を技術事務所において入手し得たものについては同時に室内での試験も行なって、現場試験の結果と対比・検討を行なった。

試験に用いられた材料は、①セメント：49年度2試験箇所で高炉セメントB種が用いられたほかはすべて普通ポルトランドセメント。②細骨材：比重は2.50～2.64までだがっているが、全件数の90%以上が2.54～2.61の範囲にある。③粗骨材：最大寸法は20～40mmの範囲で、砂利と碎石が使用された。④混和剤：ほとんどの現場で混和剤(A・B剤および減水剤)が使用された。

配合条件は、①水セメント比(W/C)：43.8～72%の範囲におよぶが、50～65%の範囲のものが全件数の3/4以上である。②スランプの範囲：3～15cmにおよぶが全件数の60%以上が8cm程度である。③空気量の範囲：大部分が4%前後である。

試験が行なわれた施工場所は、表-6・1に示すように橋梁床版、橋台・橋脚、砂防工、護岸、テトラポットなどきわめて多岐にわたっている。

6・3 試験結果および考察

全技術事務所における現場試験および室内試験の結果をそれぞれまとめて σ_{cs} と σ_{c28} との関係を図示すると図-6・1、図-6・2のとおりである。またこれらの結果を表で

表-6・1 現場試験の施工現場一覧

地建技術 事務所	昭和48年度実施		昭和49年度実施	
	施工現場	現場試験 の点数	施工現場	現場試験 の点数
東 北	カルバート	23	トンネル工	31
	橋下部工	15		
北 陸	砂防工	15		
	テトラポット	18		
関 東	橋下部工	11		
	橋床版工	6		
	ポンプ揚水場工	4		
	橋床版工	31		
中 部	共同溝工	1	不 明	5
	橋合工	1		
	ベノト杭工	1		
	中空三角ブロック	1		
	護岸工	1		
	ベノト杭工	2		
	ベノト杭工	1		
	側壁工	1		
	フーチング工	1		
	側壁工	1		
近 畿	生コン工場	30		
中 国	護岸工	30	堤防工	26
	橋下部工	25	床止工	29
	橋床版工	27	改良工	26
			海岸護岸堤工	13
四 国	(碎石40mm)	30	地下歩道工	30
	(碎石20mm)	30	道路改良工	30
			海岸災害復旧工	30
			護岸根固災害復旧工	30
合 計	24ヶ所	306	10	250

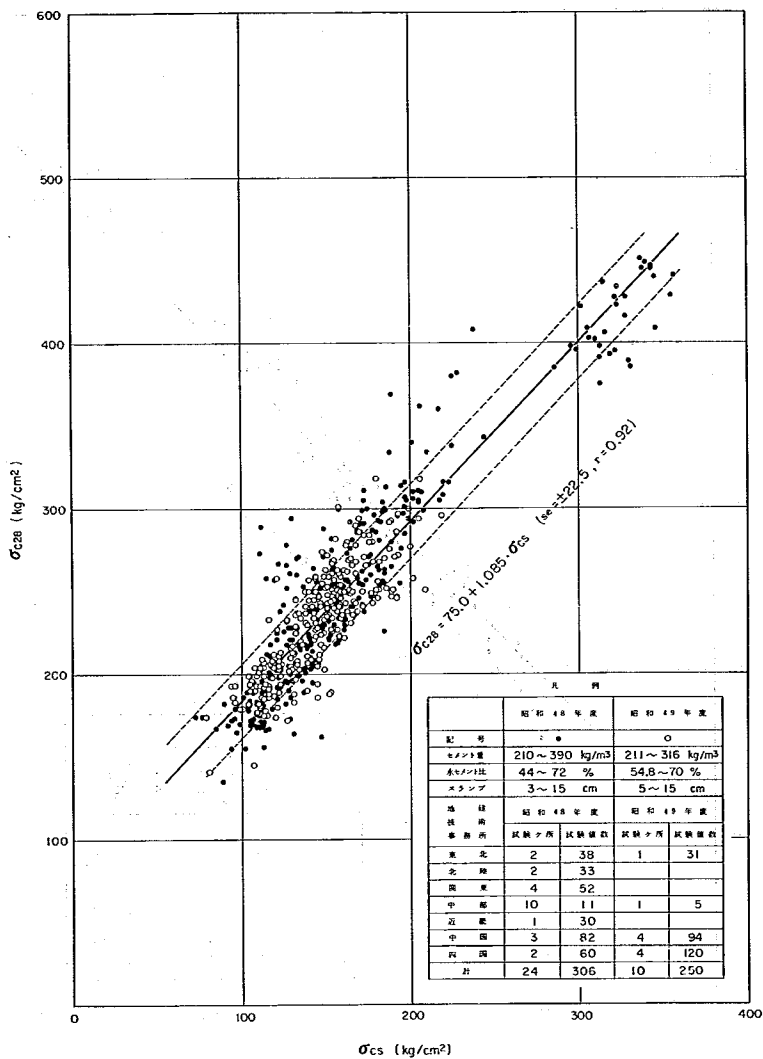


図-6・1 促進強度と材令28日強度との関係(現場試験結果)

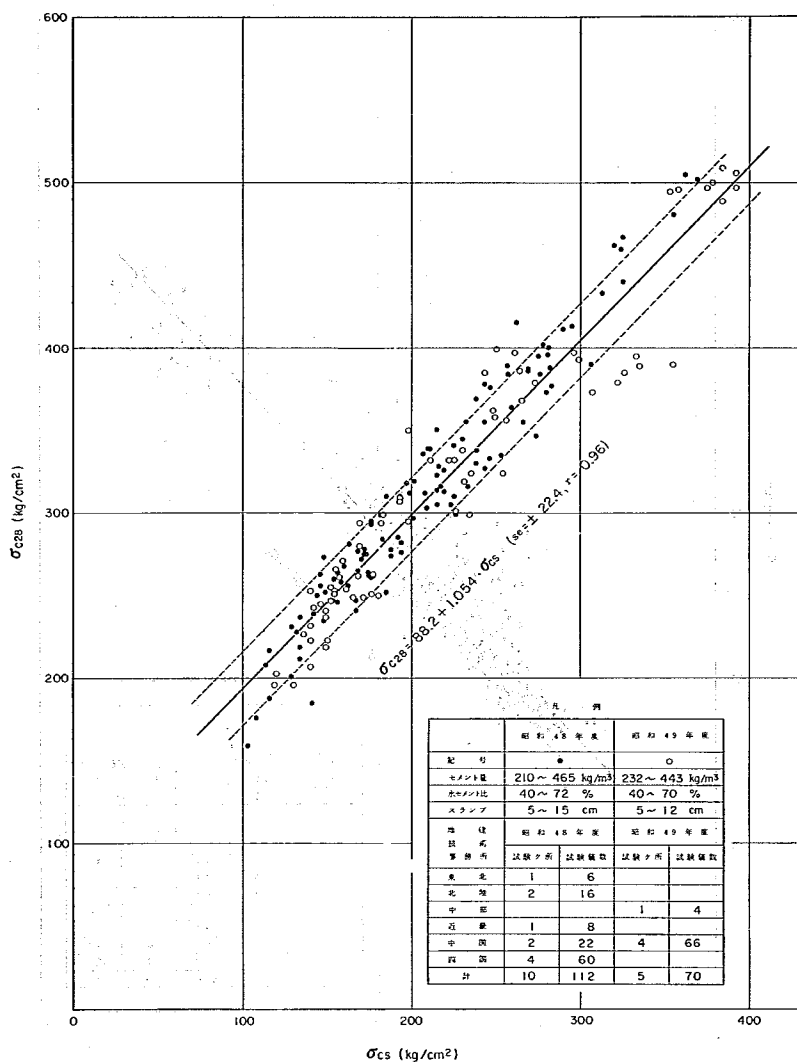


図-6・2 促進強度と材令28日強度との関係 (技術事務所実験室内試験結果)

表一 6・2 全地建設技術事務所の σ_{cs} と σ_{c28} との関係

試験 年度	試験値の内容	$\sigma_{c28} = a + b \cdot \sigma_{cs} \pm se$					備 考
		試験値の数 N (点)	a (kg/cm ²)	b	se (kg/cm ²)	r	
48	現場試験結果	306	76.0	1.085	24.9	0.937	a および b : 直線式 の係数 se : σ_{cs} から σ_{c28} を推定したときの 推定値の標準誤差 r : σ_{cs} と σ_{c28} の 相関係数 σ_{c28} : 材令 28 日 強度 (kg/cm ²) σ_{cs} : 促進強度 (kg/cm ²)
	室内試験結果	112	68.8	1.166	17.3	0.971	
	室内および現場 試験結果	418	71.6	1.125	23.4	0.951	
49	現場試験結果	250	79.2	1.047	19.1	0.827	
	室内試験結果	70	101.4	1.965	25.6	0.951	
	室内および現場 試験結果	320	83.4	1.026	20.9	0.939	
48	現場試験結果	556	75.0	1.085	22.5	0.924	
+	室内試験結果	182	88.2	1.054	22.4	0.955	
49	室内および現場 試験結果	738	75.0	1.094	22.6	0.947	

示すと表一 6・2 のとおりである。

各技術事務所における現場および室内試験によって得られた試験値全体を集計すると、表一 6・2 に示すとおり、 σ_{cs} から σ_{c28} を推定する場合の推定値の標準誤差は 2.2 kg/cm^2 程度であり、材料や配合条件が大きく異なったコンクリートで、しかも試験担当者の技術レベルもさまざまであったと想定されることを思えば、 σ_{cs} と σ_{c28} とはきわめて良好な相関を示しているといえよう。このことから、ここで提案した試験方法は、広範な土木構造物のコンクリート工事の品質管理の手段として、十分実用に供しうるものと思われる。

7. あ と が き

当研究室で提案した促進強度試験方法は、①材令2日という比較的早期に結果が判明し、②試験方法が簡便（温水養生に関する事項を除けば、従来行なわれている材令28日強度試験方法とほぼ同様である）で、しかも適当な精度が得られること、③試験作業を工事現場の作業時間に合せうため、試験作業を円滑に行なえること、などの条件をほぼ満足するものである。したがって、たとえばコンクリートの品質管理において、従来行なってきた材令28日強度にかわって促進強度を用いることは、品質管理にとってきわめて重要な要素である早期に品質を判定するという目的に対してきわめて有効なものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 柳田力、荒川直樹：温水養生による促進強度試験方法の適用に関する検討、第29回
年次学術講演会講演概要集第5部、社団法人土木学会、昭和49年
- 2) 上野裕康、荒川直樹：コンクリートの品質の早期判定方法、土木技術資料17-5
(1975)、土木研究会、昭和50年
- 3) 柳田力、上野裕康、荒川直樹：温水による促進強度試験方法の適用についての検討、
コンクリートの品質管理試験に関するシンポジウム発表報文集、社団法人日本コンクリ
ート工学協会（旧日本コンクリート会議）、昭和49年
- 4) 上野裕康、荒川直樹：コンクリートの品質の早期判定方法、第11回日本道路会議論
文集、社団法人日本道路協会、昭和48年
- 5) 柳田力、上野裕康：コンクリートの品質の早期判定方法、コンクリートライブラリー
第38号、社団法人土木学会、昭和49年
- 6) 上野裕康、荒川直樹：コンクリートの品質の早期判定方法、土木技術資料15-8
(1973)、土木研究会、昭和48年
- 7) 十代田知三：促進養生によるコンクリート強度早期判定方法—各国における研究概要
—、セメント・コンクリート、No.222、社団法人セメント協会、昭和40年
- 8) 十代田知三、藤沢好一：早期品質判定のためのコンクリート強度促進試験、セメント
・コンクリート、No.280、社団法人セメント協会、昭和45年
- 9) 河野清、ほか：促進養生によるコンクリート強度の早期判定、セメント技術年報、社
団法人セメント協会、昭和42年
- 10) 奥田徹：コンクリートの試験方法—キャッピングの方法—、コンクリート・ジャーナ
ル、Vol. 10 No.12、Dec 1972、社団法人日本コンクリート工学協会（旧日
本コンクリート会議）、昭和47年
- 11) コンクリート専門委員会：コンクリートの圧縮強度試験におけるキャッピング材料お
よびキャッピング方法、セメントコンクリートNo.309 Nov 1972 社団法人セメン
ト協会、昭和47年