

# 論 説 報 告

第26巻第11號 昭和15年11月

## 最高強度コンクリートの製造に就いて

(昭和15年4月4日第4回工學會大會講演會に於て)

會 員 工 學 博 士 吉 田 徳 次 郎\*

**概要** 本文は、普通ポルトランドセメントを使用し、直径15cm、高さ30cmの圓筒供試體につき、最高壓縮強度のコンクリートを製造せんとする、著者の研究を述べたものである。材齡28日に於て1050 kg/cm<sup>2</sup>、材齡6ヶ月に於て1150 kg/cm<sup>2</sup>の高壓縮強度を有するコンクリートの、骨材、配合、水量、及び突固め、振動、加壓等による締固めの順序方法等と、此の製造方法を使用するに到つた理由とを説明し、尙ほコンクリートの混合を終つてから、6時間後に於て、700 kg/cm<sup>2</sup>の早期高強度を得るために用いた沸騰養生に就いて述べ、沸騰養生を行つたコンクリートの、材齡1年までの強度を、標準養生によつたものの強度と比較した。最後に、高強度及び早期高強度のコンクリートを製造するにつき、研究の結果、明瞭になつた條件が述べてある。

### 目

### 次

#### 第一章 緒 言

#### 第二章 最高壓縮強度コンクリートの製造

- (1) 概説, (2) 材料, (3) 配合, (4) 混合水量  
(5) 供試體, (6) 混合, (7) コンクリートの打込み, (8) 締固め(突固め, 振動及び加壓)  
(9) 養生, (10) 製造作業の説明

#### 第三章 最高強度コンクリートの品質

- (1) コンクリートの水セメント重量比,  
(2) 單位容積重量, (3) 壓縮強度,  
(4) 試験の結果に對する考察

#### 第四章 結 言

## 第一章 緒 言

どれだけの壓縮強度を有するコンクリートを高強度のコンクリートと云ふかに就いて、一般に認められた標準はありませんが、現今、普通に用ひられて居るコンクリートの壓縮強度は、材齡28日に於て、100 kg/cm<sup>2</sup>乃至300 kg/cm<sup>2</sup>位のものでありますから、極く大體について申しますと、材齡28日に於て、300 kg/cm<sup>2</sup>乃至400 kg/cm<sup>2</sup>以上の壓縮強度を有するコンクリートを高強度のコンクリートと申してよいかと思ひます。

普通ポルトランドセメントを使用するセメント糊の強度は、直径の2倍の高さを有する圓筒供試體で試験する時、材齡28日で、最高1100 kg/cm<sup>2</sup>乃至1200 kg/cm<sup>2</sup>位と考へられて居りますので、普通ポルトランドセメントを使用する場合、材齡28日でこれ位の壓縮強度を有するコンクリートは、之を最高壓縮強度のコンクリートと考へてよいと思ひます。

コンクリートの強度に影響を及ぼす事項は、非常に澤山あり、他の事項を凡て同じにし、一つの事項丈の影響でも、コンクリートの強度に數十パーセント乃至數百パーセントの影響を與へることは御承知の通りであります。

斯くコンクリートの強度に關係する事項は、澤山ありますから、所要の壓縮強度のコンクリートを製作する方法は、無數にある譯でありまして、實際問題としては、工事の種類、材料の性質及び單價、現場に於ける諸種の事情に對して、最も經濟的に所要強度のコンクリートを製造することに努めるのであります。

然し、經濟問題をはなれて、普通に實行し得る範圍に於て、出来るだけ高強度のコンクリートを作らうとすれば、材料、配合、水量、製作、養生等、自ら定まつて來る筈であると考へられます。

以下、吾人が製造し得る、コンクリートの最高強度は何程であるか、之を製造するには、如何にすればよいかと云ふ私の研究を申し上げ度いと思ふのであります。

高強度のコンクリートの製作につきましては、セメントの品質が非常に大きい影響を及ぼしますことは論ずるま

\* 東京帝國大學教授

でもないのでありまして、各種のセメントを使用する場合について研究しなければなりません、ここには普通ポルトランドセメントを使用した場合だけの研究を申し上げます。

此の研究に於ては井澤政則君、白水題次郎君の一方ならぬ援助を受けました。また、壓縮強度試験については、小野田ポルトランドセメント製造株式會社の御世話になりました。ここに謹んで皆さんに感謝致します。

## 第二章 最高壓縮強度コンクリートの製造

### 1. 概 説

高強度のコンクリートを製造するに就いて、現今、一般に、必要であると認められて居る條件は、

- (a) セメントが優良で、高強度を有すること。
- (b) 骨材は、清浄、強硬で、コンクリート中のセメント糊以上の強度を有し、形は球又は立方體に近く、表面は粗で、セメント糊との附着力が大きく、空隙率が小さく、製造作業に適應するウオーカピリチーを得るに適度な粒度を有する事。
- (c) 配合は、コンクリートとして役立つ範囲に於て、使用セメント量を大にすること。
- (d) 混合水量は、コンクリートの製造に適する範囲に於て、出来るだけ少くする事。
- (e) 混合水量の多いコンクリートを以て、密度の大きいコンクリートを造るために、十分な締固めをする事。即ち、突固め、振動及び加壓等を十分にすること。
- (f) 十分な養生をする事。
- (g) 上記の様に製造した、コンクリートは相當早期高強度のものであるが、一層早期高強度を得るには、化學反應を促進する目的を以て、高温養生を行ふ事等であります。

著者は、出来るだけ、是等の條件を満足する様にして、高強度コンクリートを製造したのであります。次に其の方法を申し上げます。

### 2 材 料

#### (a) セメント

セメントは、小野田ポルトランドセメントで、小野田の本社から、直接購入したものであります。

此のセメントの、JES 第 28 號による試験の耐壓強度は

材齡 3 日で 400 kg/cm<sup>2</sup>、 7 日で 500 kg/cm<sup>2</sup>、 28 日で 650 kg/cm<sup>2</sup>

程度であります。之は申す迄もなく、1 つの面の面積が 50 cm<sup>2</sup> の立方體の壓縮強度であります。同一モルタルに就き、高さが直径の 2 倍の圓筒供試體を使用する時の強度と、立方供試體の強度との比を 0.8 と假定してみますと、此のモルタルを直径の 2 倍の高さの供試體で試験しますと、同程度の締固めを行つたとして、

材齡 3 日で 320 kg/cm<sup>2</sup>、 7 日で 400 kg/cm<sup>2</sup>、 28 日で 530 kg/cm<sup>2</sup>

となります。

#### (b) 砂

砂は、福岡縣那珂川産であります。

單位容積重量は 1576 kg/m<sup>3</sup>、 ファイネス モデュラス 3.65

空隙百分率 38

で、品質はあまり優等のものではありませんでした。もつと、理想に近いものを用いますと、壓縮強度が幾分増大したのであります。高強度のコンクリートを得るに適する様に、セメントの使用量を大きくします場合、砂の性質がコンクリートの壓縮強度に及ぼす影響は比較的小さいことが實驗上證明されましたので、實際上の都合から、此の砂を使用したのであります。

#### (c) 粗 骨 材

粗骨材は御影石の手割り碎石であります。

|         |                         |        |            |
|---------|-------------------------|--------|------------|
| 最大寸法は   | 25 mm,                  | 空隙百分率は | 37.3       |
| 単位容積重量は | 1 634 kg/m <sup>3</sup> | ファイネス  | モデュラス 7.27 |

であります。

碎石の形状は比較的立方體に近いものであります。之をコンクリートミキサに入れ、水を十分加へて、洗滌したのであります。従つて、骨材粒の鋭角はとれて角が丸味を帯び、表面は相當に粗で、高強度コンクリートを造るに適當なものと考へられます。

此の碎石をミキサに入れて洗滌した時と、しない時とでは、壓縮強度 500 kg/cm<sup>2</sup> 程度のコンクリートに於て、約 60 kg/cm<sup>2</sup> の差を示しました。

此の碎石を使用した供試體の破壊状態をみますと、モルタルと粗骨材との間に於て破壊を生じたものはなく、碎石もコンクリート全體としてモルタルと共に破壊して居りました。それで、高強度のコンクリートの製造に當つては、粗骨材の石質が出来るだけ強度でなければならぬことがよく解つたのであります。

此の碎石を使用した場合と岩國川産の優良な砂利を使用した場合とを比較しますと、500 kg/cm<sup>2</sup> 程度の壓縮強度のコンクリートに於て、碎石を使用の方が約 100 kg/cm<sup>2</sup> 位強度が高く出て居ります。

岩國川産の砂利から、石英質の球形のものを拾ひ出し、之の粒度を碎石と同じにして使用したものは、砂利の破壊したものはありませんでしたが、セメント糊との附着強度が十分でない爲め、強度が幾分小さく出たのであります。

### 3. 配 合

セメントの使用量を大きくする程、高強度のコンクリートが得られるであらうことは、容易に考へられます。極端な場合を申せば、セメント糊丈けを使用する場合が考へられます。然しセメント糊丈けでは、容積變化が大きく、じきに龜裂を生じますから、之は、實際上役に立ちません。

依つて、高強度のコンクリートを造るにつき、セメントの使用量は、容積變化が實際上許し得る範圍に於て、多量とすべきであることが、先づ考へられるのであります。然し他方に於て、適當な骨材を適當な量使用すれば、セメント糊に劣らない壓縮強度のコンクリートが得られることは、吾人の既に知つて居ることです。コンクリートの本質上から、コンクリート中のモルタルに於けるセメント糊及び砂の割合について考へてみますと、セメント糊の量は砂の空隙を充たし、砂の表面を覆ふに必要な丈けの最小量を使用するのが理想的でありますから、コンクリート製造の作業が容易であるための十分な餘裕を取つても、セメントと砂との配合容積比を 1:1 以上の富配合にすることは望ましくないのであります。斯の如き配合のモルタルで、粗骨材の空隙を充たし、骨材の表面を覆ひ、粗骨材を密着させるに十分な餘裕を考へると、配合容積比が 1:1.2 程度のものが、最も都合のよいものでありと想像されるのであります。

本研究に於ては、是等の關係を明かにする目的で、配合が容積比で、

1:1:0

1:0.5:0.5

1:1:1 乃至 1:1:2.5

1:1.5:0 乃至 1:1.5:3

1:2:0.25 乃至 1:2:4

の配合につき、後に述べる方法により、出来るだけ高強度のコンクリートを造つて試験してみたのであります。是等の配合に於て、砂と砂利とが容積比で 1:2 のものは、使用した材料に對し、ほぼ単位容積重量が最大な配合比となつて居ります。

試験の結果を比較してみますと、1:1:2 以上の富配合のものの強度は、1:1:2 と殆ど等しい壓縮強度を有し、強度の増加が認められませんでした。そして、此の程度のものなら實用的でもあると云ふことが判り、豫想が正しいことを證明したのであります。それで、本研究の大部分に、配合容積比 1:1:2 のものを用いたのであります。

セメントの使用量の變化による壓縮強度の變化の 1 例を述べますと、配合容積比 1:1.5:2.5 のコンクリート

で、混合してから5時間後に於て、 $550 \text{ kg/cm}^2$  程度の強度を出しました早期高強度コンクリートの場合、配合を1:1:2にしますと（勿論使用水量は減じたのでありますが）、約  $100 \text{ kg/cm}^2$  丈け壓縮強度を高めることが出来たのであります。

#### 4. 混合水量

どれ丈けの混合水量を使用した時に最高強度のコンクリートが得られるかは、配合及び製造方法等に應じて決定しなければなりません。配合、製造方法が定まれば、最高強度を與へる混合水量を定めることが出来ます。

混合水量がある程度よりも多くなりますと、突固め及び振動を與へる際に、水が出て來たり、材料の分離が起つたりして、十分な締固めをすることが出来ません。又、混合水量が過少であれば、如何に締固めに努力しても、コンクリート中に空隙が出来、十分な締固めの目的を達することが出来ません。それで、高強度のコンクリートを製造する目的に對し、與へられた材料、配合、製造方法に對して、製造上から適當な混合水量が定まることは、普通の場合と同じであります。

混合水量を少くすることは勿論必要であります。締固め作業によつて、或る程度まで、水を搾り出すことが出来ますから、あまり少量の水を使用するよりも、締固めが十分其の效力を發揮する様なウオーカビリチーを與へる水量を用ゐ、後に水を搾り出すのが有効であることが試験の結果解つたのであります。配合容積比1:1:3のコンクリートについて申しますと、混合水量がセメントの重量の31%の時に、最大壓縮強度を與へたのであります。セメント重量の31%の水量を加へて混合したコンクリートを、締固めて水をしぼり出した時、コンクリート中に残つた水量は、セメント重量の約22%でありまして、混合水量の少しの差による強度の變化は認めることが出来なかつたのであります。

使用しました小野田ポルトランドセメントが、硬化のために要する水量は、實驗の結果によりますと、材齡28日迄に於て、大約セメント重量の18%乃至20%でありまして、セメント重量の20%以上の水量が残留して居ればセメントの硬化に必要な水量はあります。又、セメント糊の濃さを最大にして、最高強度のコンクリートを造ると云ふ目的に對して、最小使用量を使用して居ることになると、考へられるのであります。

#### 5. 供試體

コンクリートの壓縮強度を試験するための供試體は、直徑15cm、高さ30cmの標準圓筒供試體であります。

#### 6. 混 合

コンクリートは、供試體1箇を製作するに十分な丈けづつ、手練りで入念に混合しました。

#### 7. コンクリートの打込み

コンクリートを型に打込む際には、供試體の型の上に更に15cm×30cmの圓筒を繼ぎました。之は、コンクリートの締固めの際に、コンクリート材料の飛散するのを防ぐのが主な目的であります。また、締固め後に於て、コンクリートの落付いた時の量などを測るのに、便利な爲めでもあります。

コンクリート打込みの際の層の厚さ、従つて高さ30cmを打込む層の數に就いては3層、4層、及び5層に就いて試験したのであります。是等の差による壓縮強度の差が認められませんでしたので、3層を用ゐたのであります。各層の打込み目に於ては、前層の表面を粗にして、次層のコンクリートを打つたのであります。

#### 8 締 固 め

コンクリートの締固めには、

- (a) サンド ランマーによる突固め、 (b) 振動機 (c) 加壓

の3方法を順次に行ひました。

サンドランマーは大阪油谷鐵工場製のものであります。ランマーの先端は圓錐形であります。先端の形の差だけでも、 $500 \text{ kg/cm}^2$  程度のコンクリートで、約  $36 \text{ kg/cm}^2$  の差を生ずることが解りました。それで、器具の形其の他も、高強度コンクリートを造るにつき、大切な事項となることが解かつたのであります。

振動機は日佛商事販賣の壓搾空氣の棒型内部振動機であります。

加壓には Olsen の 180 ton 試験機を利用しました。

是等の突固め、振動、及び加壓の順序、是等を加へる時間等、凡て出来上りコンクリートの壓縮強度に非常に大きい影響を有することは、勿論であります。私が出来ました範圍に於て、出来るだけ有効な順序方法を見出すために、澤山の試験を行つたのであります。然し勿論まだ十分とは考へて居りません。機械、器具の改良其の他によつて、もつと簡便に、所期の目的が得られると考へられるのであります。本研究により、高强度コンクリートを造るに就いて必要な條件は、餘程明瞭にされたと考へるのであります。研究の結果、最後に採用しました方法は、次の如くであります。

コンクリートを型に入れた時、各層は先づサンドランマーで 40 秒間突固め、次に 2 分間振動を加へました。突固めをして居る處は、寫眞-1 に示してあり、振動を加へて居る處は、寫眞-2 に示してあります。第 3 層の突固め及び振動を終つた時、寫眞-3 に示す装置で  $100 \text{ kg/cm}^2$  の壓力を 8 分間加へました。壓力を加へますと、型のすき間から水が浸出しました。此の水は、布で綺麗に拭き取り、布の重量を秤つて、浸出した水量を求めました。次に上部の型を除去し、コンクリート表面を正しく平面に仕上げ、其の上に、型の底鉄と同じ鉄をあてて型と緊結した後、供試體を型ごとひつくりかへして底鉄を上にし、底鉄を除去し、コンクリートの表面を粗にし前に表面を平にした時に除去したコンクリートから粗骨材の大きい粒を取り去つたものを上面に平におき、上部に型を繼ぎ、

40 秒間突固めをした後、また寫眞-3 の様に  $100 \text{ kg/cm}^2$  の荷重を 2 分間加へて加壓しました。之は新たに加へたモルタルを十分に締固める目的であります。然る後、上部の型を取り去り、コンクリート面を平にした後、再び上部の型を繼ぎ、直徑 14.9 cm の鐵板をコンクリート上面に平におき、再び  $100 \text{ kg/cm}^2$  の壓力を 2 分間加へた後、上部の型

を取去り、型と圓鉄とを 2 枚の鐵板の間に、再び試験機により、8 分間、 $100 \text{ kg/cm}^2$  の壓力をかけました。

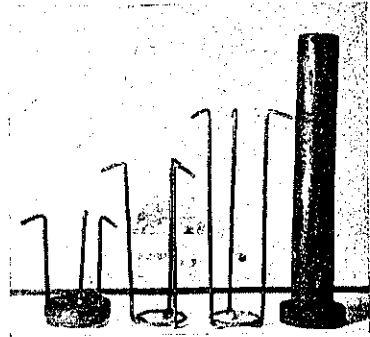
寫眞-1.



寫眞-2. (a)

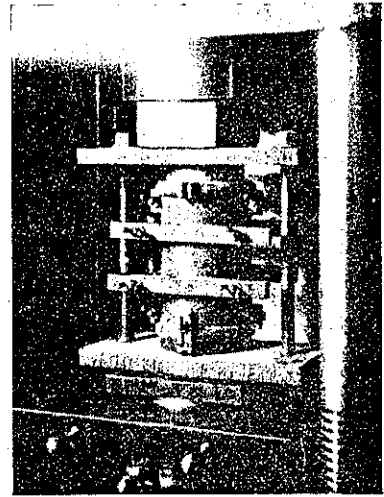
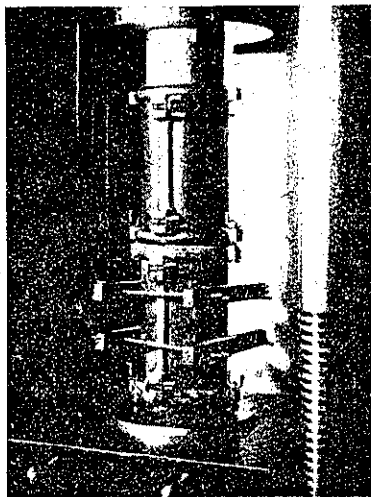


寫眞-2. (b)



寫眞-4.

寫眞-3.



其の状態は、寫眞-4 に示す通りであります。此の壓力をかけて居る間に上下の鐵板に通してある 2 本のボルトのナットを締めた後、荷重を除去しました。之で供試體の製作を終つたのであります。斯くして、1 箇の供試體を製造するのに、約 1 時間 50 分を要したのであります。

## 9. 養 生

製造したコンクリートは型及び上下の鐵板をボルトで締めた儘、直ちに養生室に貯藏し、翌日脱型し、試験の期日まで標準養生を致しました。猶ほ、早期高強度を得る目的に對しては、試験機から取出した儘、即ち型及び上下の板をボルトで締付けた儘、直ちに沸騰して居る五衛門風呂の中に入れ、8 時間沸騰を繼續しました。最も早期に試験したものは、3 時間の沸騰養生を行つた後、1 時間空氣中で冷し、直ちに壓縮強度を試験しました。沸騰養生後、1 日乃至 1 年で壓縮強度を試験するものは、沸騰養生後、直ちに貯藏室に入れ、翌日脱型し、試験の日まで、標準養生を行ひました。

## 10. 製造作業の説明

前に申した様に、上記の順序方法を決定する迄には非常に澤山の試験を行ひ、出来るだけ高強度を得る方法のうちから、最も簡単な方法を漸次選んで行つたものでありまして、斯の如き順序方法を採りました理由を、次に簡単に申し上げます。

コンクリート打込みの層數に就いては、前にも一寸申しました通り、3 層にしたのでありますが、4 層にして、各層に就き 3 層の時と同じ丈の突固め及び振動を加へるほかに、各層に壓力を加へる方法も試みたのであります。少しく壓縮強度が増加するかに見えました、手間をかける丈のねうちがない事が認められましたので、3 層を用ゐる、上記の様な方法によつたのであります。

サンド ラムマーによる突固めの時間に就いては、此のラムマーを使用した實驗の結果によりますと、1:3:4 コンクリートに對して 10 cm の層にすると、随分な硬練りでも、直徑 15 cm の面積につき 15 秒突固めれば、十分であつたのでありますが、此の研究に用ゐました様な、非常に富配合で、しかも、非常に硬練りのコンクリートに對しては、一層長時間突固めることが必要でありまして、突固めの時間を之以上増してもコンクリートの壓縮強度が増加しない時間は、40 秒であることが、實驗の結果わかりましたので、突固めの時間を 40 秒としたのであります。

振動を加へる裝置は、寫眞-2 に示す通りであります。之は、振動機の先きがはいる凹みのある木板を型の上端から棒鋼で吊り、凹みに振動機の先端をはめ、振動するものであります。供試體の型は空箱の上においた薄い木板の上に載せ、振動が有効に働く様にしました。寫眞-2 の裝置を用ゐるまでには、

振動機を直接型内のコンクリート中に挿入した場合、

コンクリートの上面に板を置き振動を加へた場合、

型の支持については、型をコンクリート床上においたもの、型を吊つたもの、寫眞-2 の場合と吊る場合とを組合せたもの、

等を試験したのでありますが、支持の方法の差丈けでも  $20 \text{ kg/cm}^2$  乃至  $30 \text{ kg/cm}^2$  程度の壓縮強度の差を生ずることを認めたのであります。そして、寫眞-2 の方法が最も有効であつたので、之を採用したのであります。

振動をかける時間は、之が餘り長いと、反つて折角落付いたコンクリートが弛んだり、又、材料の分離を起したりする傾向があります。研究の結果、上記の裝置で、此の配合に對し、2 分間を最も適當と認めたのであります。振動を加へる方法及び時間は、振動機の性能、振動數及び振幅等によつて異なることは勿論であります、コンクリートの性質によつても非常に異なるものでありまして、振動については、もつと有效な方法、手段がある筈でありまして、研究の餘地がまだ澤山あると考へて居ります。

壓力を加へる目的は、コンクリートを締固めると同時に、水を搾り出すことにあります。壓力が高い程、水が搾り出され、密度が大になります。それで  $150 \text{ kg/cm}^2$  までの壓力をかけてみたのであります。然し壓力が  $100 \text{ kg/cm}^2$  以上になりますと、粗骨材が碎ける傾向が見え、コンクリートの壓縮強度も低下することを認めましたの

で、 $100 \text{ kg/cm}^2$  を加へることに致したのであります。そして、 $100 \text{ kg/cm}^2$  の壓力を 8 分加へますと、水の浸出がほぼ止まりましたので、8 分間壓力を加へることを標準としたのであります。

コンクリートの様な材料を型に入れて加壓する時、型内の凡てのコンクリートがほぼ同様に加壓されるためには、供試體の各面に於て、平等に加壓することが必要であることは明白であります。斯の如き装置を作ることは容易ではありませんが、圓錐供試體を造る場合、尠くとも、ピストン装置によつて上下から加壓することが必要であります。然し、此の装置を作ることが出来ませんでしたので、最初試験機の動頂によつて上方から加壓したのであります。此の場合、供試體は、總て下半部で破壊し、壓縮強度も幾分低いのであります。それで、供試體の上下をひっくり反して、加壓したのであります。之ではまだ十分だとは思はないのであります。斯くして作り直した供試體は皆中央で破壊しました。それで中央部にも加壓したら、一層壓縮強度が増加するかも知れないと考へまして、前に申しました通り、打込みの層を 4 層にし、2 層を打込んだ時、即ち約  $15 \text{ cm}$  の厚さになつた時、 $100 \text{ kg/cm}^2$  の壓力を加へた場合も試験したのであります。之はあまり得る所がなかつたのであります。供試體の上下をひっくり反してから、2 分間壓力を加へたのは、入れたモルタルを十分締固めるためであります。そして表面を平滑にした後、上に型を繼ぎ足して圓錐を置いて 2 分間加壓したのは、圓錐を十分落付かせる爲めであります。次に  $100 \text{ kg/cm}^2$  の壓力を 8 分間加へ、其の間に上下の鐵板に通したボルトを締付けたのは、荷重を取去つた時、コンクリートが幾分膨れるのを防ぐ目的でありまして、之が加壓によつて高強度のコンクリートを製作するにつき非常に大切なことであることを發見致したのであります。 $100 \text{ kg/cm}^2$  の壓力を加へてから、壓力を除去致しますと、コンクリート上面は、大約  $1.2 \text{ mm}$  乃至  $1.3 \text{ mm}$  位も持ち上ります。之れを持ち上らない様にして硬化させますと著しく高強度のコンクリートが得られますが、持上がつたまま硬化させますと、數百  $\text{kg/cm}^2$  強度が低下するのであります。即ち、高強度のコンクリートを造るために、高壓を加へる時には、壓力を加へたまま硬化させることが極めて大切であると云ふこととなります。 $300 \text{ mm}$  の高さに對し、約  $1 \text{ mm}$  の持上りは、コンクリートの密度の減少の方から論じますと小さいものであります。僅かの密度の變化が、強度に非常に大きい影響を有することを示すものであります。尙ほ、コンクリートを包んで、加壓した儘、硬化させることは、高温養生を行ふ際に、コンクリート中から蒸氣が出て、コンクリートを粗鬆にすると云ふ危険を避けるにも有効であります。

早期に強度を發揮させるには、高温度に於て養生する必要があります。此の目的に對して、蒸氣養生、高温水中の養生、沸騰養生等が考へられます。早期高強度のコンクリートを製造するには、コンクリートを型に入れた儘で加熱致しますから、蒸氣養生と沸騰養生とは同じ結果になると思はれます。同様に目的を達し得るものとすれば、沸騰養生の方が、蒸氣養生よりも、装置が頗る簡単で済みますので、沸騰養生を行つたのであります。沸騰養生を 3 時間にきめますにつきましては、時間を變へて種々試験したのであります。其の結果 3 時間乃至 4 時間で十分で、其の後はあまり効果がないことを知つたので、3 時間にしたのであります。

沸騰養生を行ふに就いても、供試體をまづ  $70^\circ\text{C}$  の湯に入れ、30 分間で  $100^\circ\text{C}$  に達せしめ、2.5 時間沸騰養生したものを、上記の様に  $100^\circ\text{C}$  に達せしめた後、1 時間半後に脱型し再び 1 時間 30 分沸騰養生を行つた後、 $70^\circ\text{C}$  の湯の中に入れ、1 時間たつて壓縮強度を試験した場合等を行つたのであります。最初から沸騰養生をしたものと殆ど差が認められませんでした。最初から沸騰養生をする方が手間もかからず、作業が容易でありますから最初から沸騰養生することに致したのであります。

### 第三章 最高強度コンクリートの品質

#### 1. コンクリートの水セメント重量比

出來上つた最高壓縮強度のコンクリートに於ける水セメント重量比は  $22.0\%$  乃至  $22.8\%$  でありまして、全平均は  $22.35\%$  になつて居ります。

#### 2. 單位容積重量

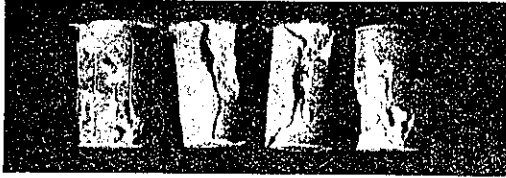
出來上つた最高壓縮強度のコンクリートの重量は、供試體の大きさ及び重量から計算しますと、平均  $2530 \text{ kg/cm}^3$

であります。それで可成り密度の大きいコンクリートである事が判ります。

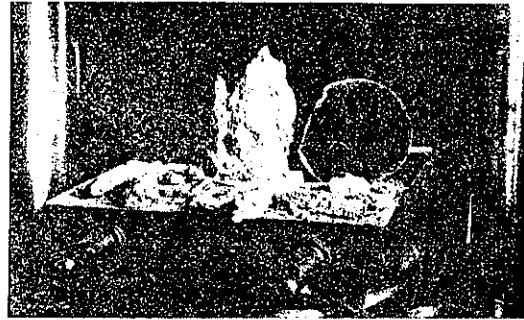
3. 壓縮強度

材齡 14 日までの壓縮強度試験には、Olsen の 180 ton 萬能試験機を使用しましたが、其の他の材齡のものは試験機の能力が不足する 惧れがありましたので、小野田ポルトランドセメント製造株式会社本社試験室で試験して頂きました。供試體の破壊状態は 寫眞-5 の (a) 及び (b) に示す通りであります。

寫眞-5. (a)



寫眞-5. (b)



壓縮強度は圖-1 及び圖-2 に示す通りで、供試體各 3 箇の平均値であります。圖-1 は材齡 1 箇年までの強度を示します。沸騰養生をしたものは、コンクリートを混合してから 6 時間で 700 kg/cm<sup>2</sup>、材齡 3 日で 740 kg/cm<sup>2</sup>、28 日で 1040 kg/cm<sup>2</sup>、6 ヶ月で 1060 kg/cm<sup>2</sup>、1 年で 1160 kg/cm<sup>2</sup> であり、標準養生をしたものは、材齡 1 日で 700 kg/cm<sup>2</sup>、7 日で 830 kg/cm<sup>2</sup>、28 日で 1040 kg/cm<sup>2</sup>、6 ヶ月で 1130 kg/cm<sup>2</sup>、1 年で 1160 kg/cm<sup>2</sup> であります。それで、普通ポルトランドセメントを使用する場合のほぼ最高強度のコンクリートが得られたものと思ひます。

圖-2 は、材齡 28 日迄に於ける強度の増進を示すもので、之は、圖-1 の値よりも幾分低く出て居ります。其の理由は、圖-1 の試験の前行ひましたもので、製作方法に於て、圖-1 の最後のものよりも、不十分な點がありました爲めであります。然し強度増進の具合を示すに役立つと思ひます。

圖-3 は、配合容積比 1:1.5:2.5 のコンクリートに就き、壓力を加へず、突固め及び、振動を加へて製造したコンクリートの材齡 28 日迄に於ける強度の増進を示したものであります。

圖-4 乃至圖-9 は圖-1 に示しました結果を得る前行ひました試験の數例を参考のために示したものであります。

圖-4 及び圖-5 は、配合容積比が 1:1 乃至 1:1:2.5

圖-6 及び圖-7 は 1:1.5 乃至 1:1.5:3

圖-8 乃至圖-9 は 1:2 乃至 1:2:4

に對し、上記の製造方法で造つた早期高強度コンクリートの壓縮強度と配合比との關係、及び配合比と混合の際に於ける 3 種の水セメント重量比と出來上りコンクリートに於ける水セメント重量比との關係を示したものであります。

4. 試験の結果に對する考察

圖によつて見ますと、上記の方法で製作した高強度のコンクリートは、相當、早期高強度であることが認められます。既に述べました様に、製造を終りましたコンクリートに於ける水-セメント重量比は、23% 程度に過ぎませんが、十分な養生をすれば、材齡に伴ひ相當に強度を増進するものであることが判ります。

圖-1.

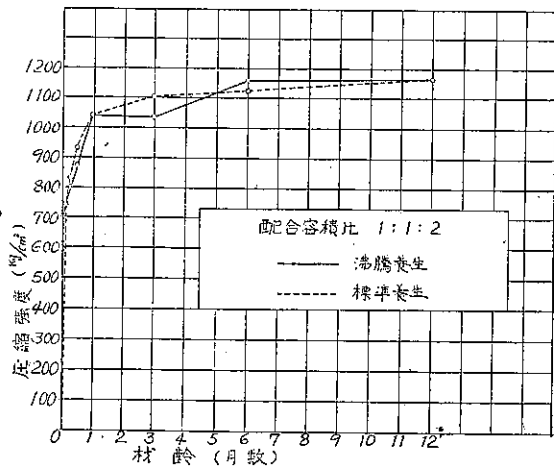




圖-2.

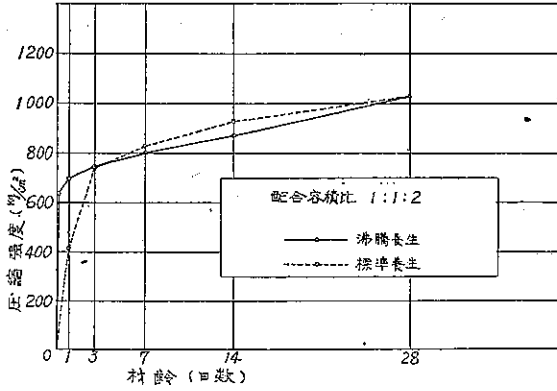


圖-3.

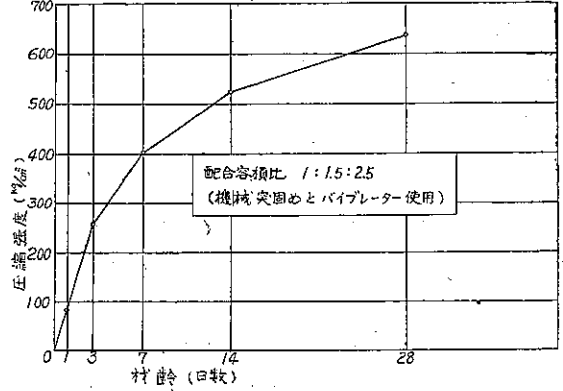


圖-4.

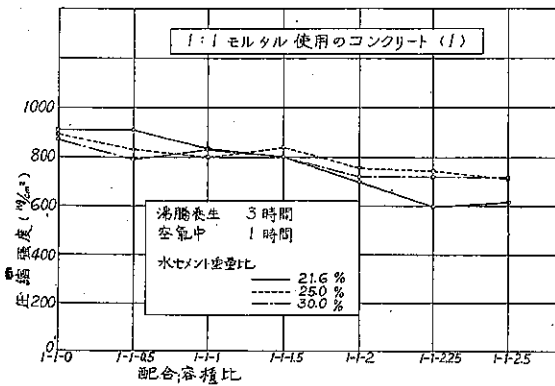


圖-5.

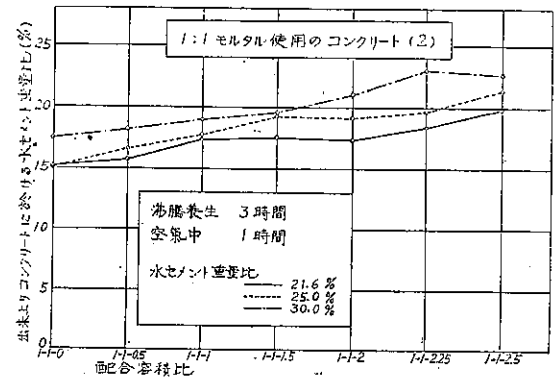


圖-6.

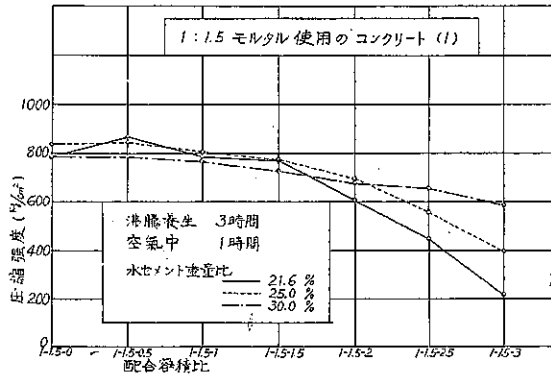


圖-7.

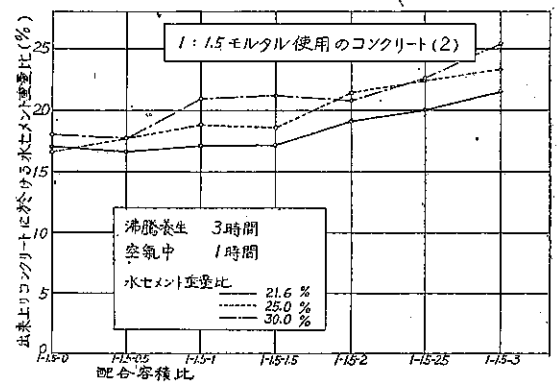


圖-8.

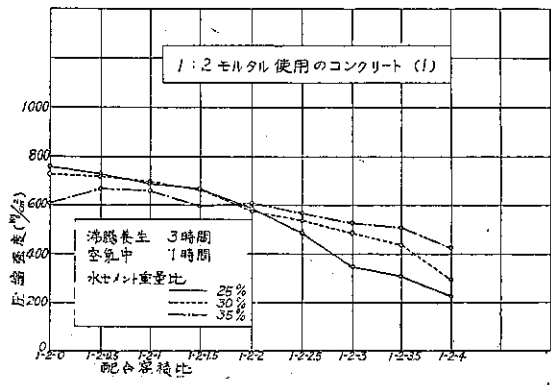
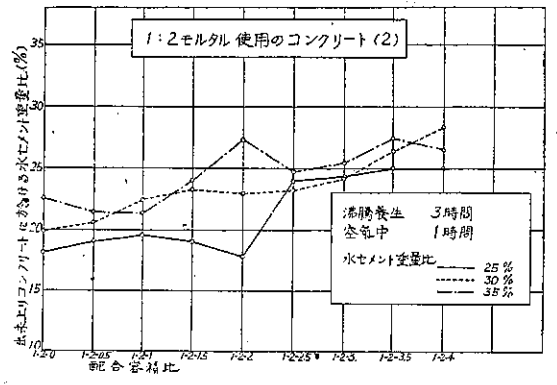


圖-9.



又、沸騰養生は、供試體を包んで加熱するときは、甚だ有効な養生法であることが認められます。即ち、沸騰養生をしなければ、約 24 時間を要する壓縮強度を僅かに數時間で出します。一般に高温養生を行へば、セメントの化學反應が促進され、早期に高強度を出しますけれども、其の後に於ける、強度の増進が極めて鈍いか、或は反つて減少することもあるのでありますが、上記の方法で沸騰養生を行つたコンクリートは、標準養生をしたものと殆んど同じ強度の増加を示すことが判ります。それで、養生中に、コンクリートの水分が蒸気となつて外に出てコンクリートが粗鬆になるとか、硬化に必要な水分を失ふとか云ふことのない様にすれば、沸騰養生は、一向有害でなく、早期高強度のコンクリートを得る爲めの加熱養生法として、便利な方法であると云ひ得ると思ふのであります。

圖-1 乃至圖-9 によつて、高強度コンクリートに於ける配合及び水量と強度との關係を大體知ることが出來ます。そして、混合水量は、製作方法に應じ、最後に、最小の水セメント比のコンクリートとなる様な水量を使用するのが適當であることを示して居ります。

上記の方法によつて製作した高強度コンクリート並びに早期高強度コンクリートは、杭、管、電柱、枕木等の既製品の製造に應用出來ると思ひます。

#### 第四章 結 言

高強度及び早期高強度のコンクリートの製造について前述しました所を總括しますと、高強度コンクリートを造るに必要な條件は次の様なものであると思ひます。

- (1) 粗骨材は強硬であることが特に大切であります。コンクリートが硬化した時、コンクリート中のモルタルも強硬でなければならぬ事は勿論であります。突固め及び加壓等の作業によつて破碎しない粗骨材を使用することが極めて大切であります。粗骨材の形はなるべく球又は立方形に近いことが必要であります。砂利よりも碎石が適當であります。そして鋭角を取去るため、碎石を、例へばミキサ内で洗ふのが適當であります。表面は粗であることが必要であります。
- (2) 細骨材の品質は、相當に優良なものであれば、富配合を使用する場合、コンクリートの強度にあまり大きい影響を及ぼしません。
- (3) 配合は、容積比で 1:1:2 程度が適當であります。
- (4) 混合用水量はなるべく水セメント比の小さいコンクリートが得られる様に、製造方法に適應した丈けを使用するのが適當であります。
- (5) 突固めと振動とを併用するのが有効であります。
- (6) 水セメント比の小さいコンクリートを製作するため、高壓を加へて水を搾り出すことは頗る有効であります。加壓の方法は、少くとも上下から同時に加壓することが必要であります。加壓したのも、壓力を取去つて硬化させると、其の效力を減ずるもので、加壓した儘硬化させることが是非必要であります。
- (7) 締固めを十分にして、水を搾り出したコンクリートの水セメント比は、セメント全部が水化するに必要な水量の大約 1/2 に近くすることが出來るのでありますから、製作後に於て十分水を加へて養生することが特に大切であります。
- (8) 早期高強度を得る目的を以て加熱養生を行ふには、コンクリートを包んで養生するのが適當であります。斯くすれば、沸騰養生により、簡便に目的を達することが出來ます。
- (9) (8)に述べた方法によつて加熱養生したコンクリートの長期に於ける壓縮強度は、標準養生を行つたものと殆んど差がありません。