

評

賞

土木學會誌 第十八卷第八號 昭和七年八月

# 新しいコンクリートに於ける材料の 分離に就て

(昭和七年四月七日第二回工學會大會土木部會に於て)

會員 工學博士 吉田 徳次郎

On the Segregation of Concrete.

By Tokujiro Yoshida, Dr. Eng., Member.

## 内 容 梗 概

本文は (1) 新しいコンクリートの收縮と材料分離との關係、(2) コンクリート柱に於ける材料分離の状態、(3) コンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度、等に関する實驗の結果を記載し、之を論據として、コンクリート又は鐵筋コンクリート構造に於けるコンクリートの抗壓強度は、コンクリートの體積及形狀によつて定まるものである事を結論としたものである。

目	次	頁
第 一 章	緒 論	1
第 二 章	研究の動機	3
第 三 章	實 驗	5
第 四 章	結 論	11

## 第 一 章 緒 論

コンクリート構造物に於けるコンクリートが齊等質のものである事は極めて大切であります。之は例へばコンクリート柱の強度は柱の各部に於て最も弱い部分のコンクリートの強度によつて定まると云ふ事実から考へても明白であります。

コンクリート材料が分離を起せば齊等質のコンクリートになりませんから、材料の分離を防ぐ爲に、コンクリートの施工上種々の注意が拂はれる様になつて居る事は、御承知の通りであります。

新しいコンクリートに於ける材料の分離は、コンクリートの混合を終つてから之れを填充場所迄運搬する間及び填充中に起る外に、填充を終つてからコンクリートが相當に凝結する迄の間に於て起るものであります。

コンクリートの運搬に、米國ではベルト・コンベヤーが廣く用ゐられる傾向にあり、又最近獨逸でベトン・ポンプが使用されるのは、運搬中に於ける材料の分離を防ぐのが、主な目的の一つであると考へられます。

桶卸しで運搬したコンクリートを其の儘型枠に填充するを禁ずる事、運搬したコンクリートを填充前に再び混合して使用する事、餘り高い所からのコンクリート投入を禁ずる事、事情が許せば投入したコンクリートを再び混合しながら搗固めを行ふ事等はいづれもコンクリートの施工に際して、材料の分離を防ぐ爲の手段であります。

斯くコンクリートの運搬及び填充に注意すれば、コンクリートの填充を終る迄の間に於ける新らしいコンクリートの材料の分離は、或る程度まで、之を避け得ると假定しても、コンクリートの填充を終つてから、コンクリートが相當に凝結する迄の間に起る材料の分離は非常に水・セメント比の小さい硬練りコンクリートを除き、普通鐵筋コンクリート工事に使用されるコンクリートに於ては、之を避ける事が甚だ困難であります。

コンクリートの填充を終る迄の間に於て材料の分離を起さない様に充分注意を拂つて製作したコンクリート部材に、直力を加へるにしても、彎曲率又は扭力を加へるにしても、之を破壊して、部材の軸に直角の方向の破壊面を観察しますと、例外なく、部材を作る時に軸方向に於て上部にあつた方の破壊面に砂利の面が現はれ、砂利の反對の面は、水の爲に出来た空隙があり且つレイタンスの附着した比較的粗鬆なものである事が解ります。之は、砂利の下側に於て、セメントと水とが局部的の分離をなす事に因るのでありまして、型を水平位置に置いて作つたコンクリート桁を折つて觀察すれば、此の現象は現はれず、破壊面の兩者に於て殆ど同じ丈の砂利の面が現はれるのであります。

此の局部的の水とセメントとの分離すらも、鐵筋とコンクリートとの間の附着強度に大きな影響を及ぼすものでありまして、コンクリートと鐵筋との附着強度を引抜き試験で試験する爲の供試體を作ります時に鋼釘を水平位置に置いてコンクリートを填充した場合と、鋼釘を鉛直位置に置いてコンクリートを填充した場合とを比較しますと、前者と後者との附着強度の比は、比較的硬練りコンクリートで約 $\frac{1}{2}$ 、普通鐵筋コンクリート工事に使用されるコンクリートで約 $\frac{1}{3}$ と云ふ結果を得て居ります(九州帝國大學工學彙報第四卷第六號)。

又、普通の鐵筋コンクリート工事に用ゐられる配合及び水量のコンクリートを使用して桁を作り、製作の時に上面であつた側を單桁の抗張側として用ゐる時の桁の強度は、製作の際の上面を桁の抗壓側として用ゐる時の桁の強度よりも約2割大きいと云ふ實驗の結果を得て居ります。(九州帝國大學工學彙報第六卷第五號)之は、セメント糊狀體が上昇してコンクリート上面に於てセメントが富になり、従つて上面に於けるコンクリートの抗張強度が、下面に於けるコンクリートの抗張強度よりも大きくなる事に因るものと思はれます。

見も角、新しいコンクリートに於ける材料の分離がコンクリート及び鉄筋コンクリート構造物の強度其の他に大きな影響を及ぼす事は明白でありまして、此の問題は所要の強度を有する構造物を経済的に作ると云ふ上から、甚だ興味ある事と思はれるのであります。それで以下に新しいコンクリートに於ける材料の分離に関する私の研究を申し上げます。多少の御参考ともなれば幸甚に存する次第であります。

## 第二章 研究の動機

私がなぜ新しいコンクリートに於ける材料の分離に関する研究を初めたかを申上げる事は、以下に申し上げます事の御了解を願ふに便利であると思ひますので先づ此の研究の動機に就て申上ります。

或るコンクリート又は鉄筋コンクリート構造物を建造するに當りて、所要の目的を達するコンクリートを經濟的に製作するには、一般に先づコンクリートの配合及び水量を適當に定める事が必要であります。之は、申す迄もなく、コンクリートの抗壓強度、ウオーカビリティー及び水密性等がコンクリートの配合及び水量に甚大な關係を有するからであります。それでコンクリートの研究は、其の配合及び水量と其の抗壓強度、ウオーカビリティー其の他との關係から初めるのが普通の順序であります。

私もコンクリートの配合及び水量に関する研究を初めました。此の研究をやつて居ります間に、一般の鉄筋コンクリート工事に使用される様なコンクリートに於ては、新しいコンクリートに於ける材料の分離を考慮せずコンクリートの配合及び水量に関する研究をしても、實際上無意味のものになりはしないかと云ふ疑問が起つて來たのであります。其の理由は次の様であります。

コンクリートの配合及び水量と抗壓強度との關係に就ては、Abrams氏の水・セメント比説の發表以來、之れに関する文獻が可成り澤山ありますが、之等の研究に於ては、コンクリートの填充中及び填充後に起る材料の分離に就て考慮致して居りません。例へば近來廣く行はれて居る水・セメント比説にしても、又は Talbot 先生のセメント・空隙説にしても、セメントと水とで出来るセメント糊状態は、之が凝結する迄の間、例へば寒天又は膠などの様なものであつて、セメントと水とは分離を起さないと云ふ假定の下に合理的なものであります。然し、セメントと水とが分離を起さないと云ふ様な水・セメント比の小さいコンクリートは普通の場合に使用する事は出来ないものでありまして、實際鐵筋コンクリート工事に使用されるコンクリートに於ては、例へば水・セメント比が成立する範圍として居るプラスチックでウオーカブルなコンクリートでも、コンクリートの填充中及び填充後凝結する迄の間に、セメント糊状態は砂及び砂利と分離し、セメント糊状態中のセメントは水と分離しま

す。此の現象は堰板としてガラス板を用ゐれば、容易に観察する事が出来ます。而して此の材料の分離が、コンクリートの強度に影響を及ぼす事は第一章に述べた実験の結果丈からでも明白であります。依つて實際の構造物に於けるコンクリートの抗壓強度と配合及び水量との關係を論じ様とすると、實際の構造物の場合には材料の分離が起るから、材料の分離が起らないと云ふ假定の下に立つ、例へば水・セメント比説などが、成立しない事になりはしないかと云ふ疑問の起るのは當然であります。

水・セメント比説は、既に數萬個の供試體により、澤山の學者によつて證明されて居る事實であります。然し、此の證明に使用された供試體は直徑 15 cm、高さ 30 cm の円筒供試體又は 20 cm 又は 30 cm の立方供試體である事を忘れてはなりません。斯くの如き供試體 1 個又は數個を作るに必要な丈の材料を計量してコンクリートを作り、成る可く材料の分離を防ぐ様な一定の方法でコンクリートを型に填充して供試體を作る場合に、水・セメント重量比丈を變へれば、コンクリートがプラスチックでウオーカブルである範圍に於ては、從來示された水・セメント比とコンクリートの抗壓強度との關係が得られます事に就ては少しも異論はありません。此の場合には供試體が小さく、コンクリートが少量でありますから、材料の分離も尠く従つて材料が分離を起さないと云ふ假定が實驗の結果證明されても、少しも不思議はないと思ひます。然し後に申上げます様に、新しいコンクリートに於ける材料の分離は、一作業に於けるコンクリートの高さ及び横寸法と施工法とに大きい關係を有するものであるから、コンクリート容積の小さい供試體に於ては材料分離の影響が大きく現はれないにしても、實際大きいコンクリート又は鉄筋コンクリート構造物を作る場合に、材料の分離が構造物に於けるコンクリートの強度に及ぼす影響は、實驗の結果に俟たなければ解らないと考へるのが當然と思ひます。

厚さが 10~15 cm 位のコンクリートの場合でも、材料の分離が起つて、之れがコンクリートの強度に影響を及ぼす事は、先に述べた桁の實驗の結果からも明白であります。直徑 15 cm、高さ 30 cm の標準供試體に於ても、材料の分離が起ります事は、供試體を縦に切つて断面を見ればよく解りますのに、抗壓強度試験に於て其の影響が現はれないのは、供試體が小さい爲に、供試體の上面仕上げ及び供試體の上下面と試験機的面との摩擦力等が大きい影響を及ぼす事に因るのではないかと考へられます。

コンクリート道路の場合の様に、硬練りのコンクリートを使用し且つ厚さの小さいコンクリート構造物に於ては、新しいコンクリートに於ける材料の分離が小さいから、水・セメント比説が成り立ち、従つて直徑 15 cm、高さ 30 cm の標準供試體で示される抗壓強度と、實際の構造物から切取つたコンクリートの抗壓強度とは、略一致する事になります。然しコンクリートの橋脚を作る時に、15 cm の層にコンクリートを打ち、之れを充分搗固めた時に上面に

漸く水の出て来る様な硬練りのコンクリートでも、之れを 30 cm の厚さに打てば、上面には前より餘程澤山の水が出て来ます。斯くして、水・セメント比が一定のコンクリートを厚さ 100 cm も打てば、コンクリートの上面には汲取らなければならぬ程の水が出て来るものであります。コンクリートの上面に數粒又は數滴の水が溜まつた様な場合に、此の上面に近い部分のコンクリートの強度をコンクリートを製作した時の水・セメント比で評價する事の出来ない事は明白であると思ひます。少くとも水の下にあるコンクリートは、水で飽和された状態になりますから、此の部分に於けるコンクリートの水・セメント比を如何にして定めるかと云ふ事を別問題としても、初めに製作したコンクリートの水・セメント比とは非常に差のあるコンクリートとなり、従つて、材料の分離の爲に、橋脚の各部に於けるコンクリートの抗壓強度に大きな差を生ずるであらう事は容易に想像し得ると思ひます。而して此の橋脚を全體として考へる時、其の強度は、最も弱い部分のコンクリートの抗壓強度に依つて定まるのでありますから、此の橋脚に於けるコンクリートの強度を評價する標準として、材料の分離が起らないと假定する水・セメント比などを採用する事が出来るかは頗る疑はしい事であると考へたのであります。

猶ほ、實際の構造物から切取つたコンクリートの抗壓強度は、標準供試體で示される強度よりも一般に大きいと云ふ事は従来の實驗の結果でありますから、材料の分離の爲に、構造物の各部に於ける強度に大きな差があるとすれば、各部に於けるコンクリートが略齊等質である事を暗々裡に假定して、任意に切取つたコンクリートに就ての試験の結果を其の儘信用する事は適當でないと云ふ事も考へたのであります。

以上の理由に依つて、一般のコンクリート構造物に於て、材料の分離の影響を考慮せず之れに使用するコンクリートの配合及び水量に就て論ずる事は無意味ではないかと考へたのであります。

之れが爲に、新しいコンクリートに於ける材料の分離に関する研究を初めたのであります。此の研究はコンクリートの配合及び水量に関する私の研究の一部であります。

### 第三章 實 驗

#### 第一節 概 説

新しいコンクリートに於ける材料の分離に就て、茲に述べる實驗は、

(1) コンクリート填充後數時間の間に生ずるコンクリート柱の收縮(沈下)、コンクリート上面に分離する水量及び之れを起す時間に関する實驗

(2) コンクリート柱の各部に於けるコンクリートを採つて之れを分析し、材料分離の状態を定めた實驗

(3) コンクリート柱を切つて抗壓強度供試體を作り、コンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度を比較した實驗

であります。

實驗に使用しました材料の性質、供試體の製作及び試験方法等の詳細は、時間の關係上大部分之れを省略して、主として其の結果を申上げる事に致します。

第二節 新しいコンクリートの收縮(沈下)と材料の分離との關係に就ての實驗

内徑 15 cm, 高さ 30 cm の水密な圓筒に既知量のコンクリートを填充し、填充後直ちに機械油を容器の上面迄入れ、之によつて出來上つたコンクリートの容積を求め。次に、15 分を経て再び油を入れ、入れた油及びコンクリートの上面に滲出した水を取り去つて計量し、填充後 15 分間後に於けるコンクリートの容積を求め。更に填充後 30 分、1 時間、2 時間、3 時間及び 4 時間を経て上述の作業を繰返し、各経過時間に於けるコンクリートの收縮(沈下)及び上面に滲出した水量を求めました。

其の結果は第一圖乃至第三圖に示してあります。

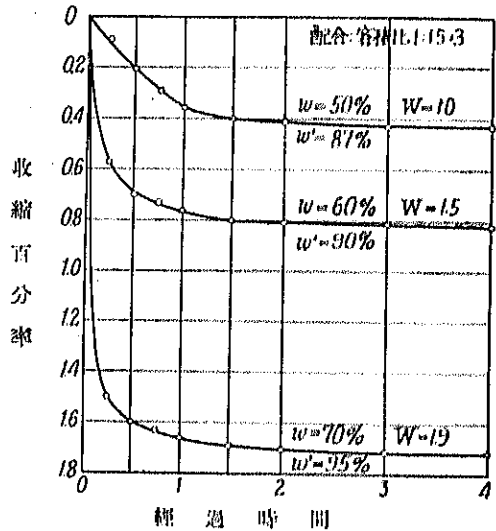
之れ等の圖に於て、

- $w$  : 水・セメント重量比
- $W$  : ウォーカビリチー(落下試験)
- $w'$  : コンクリートの上面に分離した水の容積とコンクリートの收縮した容積との比(百分率)

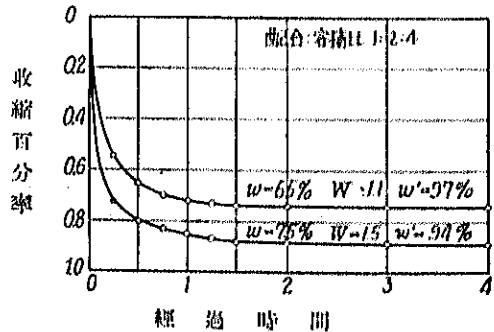
でありまして、圖に示してある收縮百分率の値は 3~5 回の試験結果の平均値であります。

第一圖乃至第三圖は上述の通り直徑 15 cm, 高さ約 30 cm のコンクリート體に就ての試験の結果であります。コンクリート體の直徑と高さとの關係が、コンクリートの收縮にどんな影響を及ぼすかを見る爲に、配合容積比 1:2:4, 水・セメント重量比 75% のコンクリートを用ひ直徑 15 cm, 高さ約 15~150 cm; 直徑 20 cm, 高さ約 20 cm 及び直徑 45 cm, 高さ約 15 cm のコンクリート體に就て第一圖

第一圖



第二圖



乃至第三圖の場合と同様な試験をした結果は第四圖に示してあります。

第一圖乃至第四圖に就て考察すると、此の試験の範圍に於て、新しいコンクリートの収縮はコンクリートの増充後約15~30分で其の大部分が起り、其の後に起る収縮は緩慢であつて、大約2時間で全部の収縮を終る事が解ります。普通に鉄筋コンクリート工事に使用されるコンクリートに就ては、コンクリート増充後約15分で、全収縮の75%をなして居ります。土木學會の鉄筋コンクリート標準示方書に、柱又は壁と單一體に作られる版又は指のコンクリートを施工する時には、柱又は壁のコンクリートを打つた後2時間を経過して版又は指のコンクリートを打つべき事が規定してありますが、本試験は此の規定が必要である事を明示して居ります。

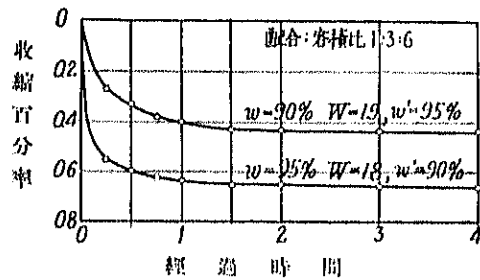
又、コンクリートの収縮百分率は0.1から約0.1迄變化して居りまして、其の収縮量の約90%以上は水の分離によるものであります。

斯く新しいコンクリートに於ける収縮は主として水の分離によるものである事から考へて、増充後新しいコンクリートに於ける材料の分離も、増充後約15~30分間に其の大部分が起り、約2時間で之れを終るものと思はれます。

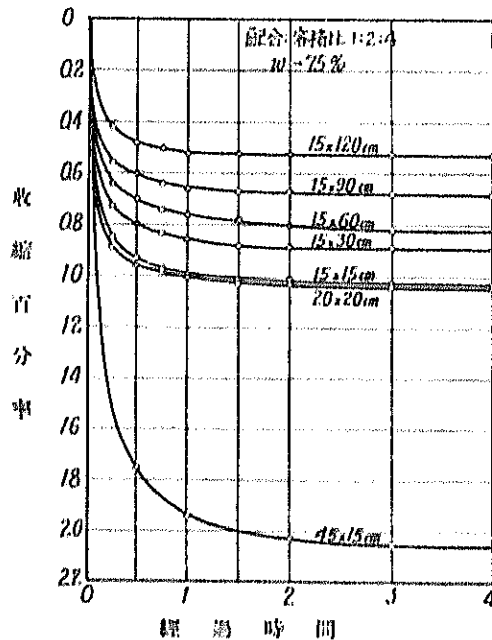
同一配合のコンクリートに對して、使用水量の大きい程収縮が大きい事は、想像される通りであります。配合が富である程使用水量の増加により収縮が急激に増加する事は注意すべき事であります。

第四圖によつて見ますと、同一配合及び水量のコンクリートに就てもコンクリート體の大きさ、其の横寸法と高さとの關係に因つて、収縮が大分變て居る事が解ります。即ち直徑15cm、高さ15cmのもの、及び直徑20cm、高さ20cmのもの、即ち直徑と高さとの比が1のものは略同じ収縮率(1%)を示して居りますが直徑15cmのコンクリート體に就て高さが直

第三圖



第四圖



徑の2倍になると收縮は0.95%, 4倍になると0.8%, 6倍になると0.7%, 8倍になると0.5%に減ずる事を示して居ります。之は、高さが大きくなるとコンクリートの填充に時間がかかるから其の間に相當な收縮をする事と、直徑15cmと云ふ様な小さいコンクリート置に於ては、コンクリートと型の側面との附着力又は摩擦力が相當に大きい影響を及ぼす事とによるものではないかと思はれます。直徑が高さの3倍になつて居る直徑45cm, 高さ15cmのコンクリート置の收縮は直徑が高さに等しい場合の2倍以上になつて居ります。之は、直徑が高さに比して大きい場合には、コンクリートと型の内面との附着力又は摩擦力の影響が非常に小さくなり、コンクリートが自由に收縮をなし得るに因るものと思はれます。いづれにしても、コンクリートの收縮、従つて材料の分離はコンクリート置の大きさ、横寸法と高さとの關係等によつて著しく異なるものである事が認められます。

コンクリートの填充後數時間の間に收縮が起る原因としては、

- (1) セメントの水和作用によりセメントの容積が變化する事
- (2) コンクリートが重力の爲に落付き、コンクリート中の空氣が驅逐され、コンクリートの容積に變化を起す事
- (3) コンクリートが乾燥して收縮する事
- (4) コンクリート材料に於ける粒大及び比重其の他の差の爲に材料の分離を起し、之が爲にコンクリートの容積に變化を起す事

等が考へられます。

(1)のセメントの水和作用の進行に伴ふ容積の變化に就ては、Hormann (Gessner 氏の試験 (Kolloid Zeitschrift 47, 1925) によれば、セメントに其の重量の33%の水を混合したセメント糊状體の1日後に於ける收縮率は3%であります。今、數時間の間に之れ丈の收縮が起るものと假定しても、コンクリートの全容積に對するセメントの容積は小さいものであるから、セメントの水和作用による收縮がコンクリートの收縮に左程大きい影響を及ぼさない事は明白であります。

(2)の原因に就ては、相當軟練りのコンクリートを少量づゝ填充して搗固めをした場合にはコンクリート中に於ける氣泡は左程多くはないし、又、氣泡がコンクリートから分離するのは、水が上昇する様に容易でないと思ふ事もあるから、本實驗の場合にコンクリート中に於ける空氣の分離が、コンクリートの收縮に大きい影響を及ぼすとは考へられません。

(3)の原因のコンクリートの乾燥は、本實驗の様にコンクリートの表面に薄い機械油の膜のある場合には、無視してよいと思ひます。

それで(4)の原因のコンクリート材料の分離が、新らしいコンクリートの收縮に最も大きい影響を及ぼす事になり、收縮の90%までは水の分離によるものであると云ふ本實驗の結果



は理論上からも、正しいものであると思はれます。

コンクリートの填充後に於ける水の分離丈から考へても、之がコンクリートの強度に大きい影響を及ぼすであらう事は容易に想像出来ると思ふのであります。

### 第三節 コンクリート柱に於ける材料分離の状態に就ての實驗

第二節で述べた様に新しいコンクリートに於ける材料の分離は、コンクリート填充後約2時間で終ります。それでコンクリート柱のコンクリート填充を終つてから約2時間を経てコンクリート柱を水平に倒し、型の一侧を開いて各部のコンクリートを採り、之れを分析してセメント、骨材及び水の分布を調べて見ました。

本實驗に用ゐた粗骨材は 25 mm 目の篩を通過し、12.5 mm 目の篩に止まつたものと、12.5 mm 目の篩を通過し、7 mm 目の篩に止まつたものとを、一定の割合に混合したものであり、細骨材は、7 mm 目の篩を通過し第 8 番篩に止まつたものと、第 10 番篩(篩目 1.01 mm)を通過し第 28 番篩(篩目 0.589 mm)に止まつたものとを一定の割合に混合したものであります。細骨材に於て第 8 番篩と第 10 番篩との間の粒大のものが缺いてあるのは分析の際に粗砂と細砂とを容易に區別し得る爲であり、又第 28 番篩を通過する微粒を除いたのは、砂とセメントとを明瞭に區別し得る爲の實驗上の考慮によるのであります。

配合容積比 1:2:4、水・セメント重量比 75% のコンクリートを以て、直径 15 cm、高さ 30~150 cm のコンクリート柱を作り、之を長さ 10 cm 宛に分け、各を水で洗つて、セメント、砂、砂利に分析した結果が第五圖に示してあります。

#### 第五圖に於て

G : セメント

H : 水

S. No.1: 7 mm 目の篩を通過し、第 8 番篩に止まつた砂

S. No.2: 第 10 番篩を通過し、第 28 番篩に止まつた砂

G. No.1: 25 mm 目の篩を通過し、12.5 mm 目の篩に止まつた砂利

G. No.2: 12.5 mm 目の篩を通過し、7 mm 目の篩に止まつた砂利

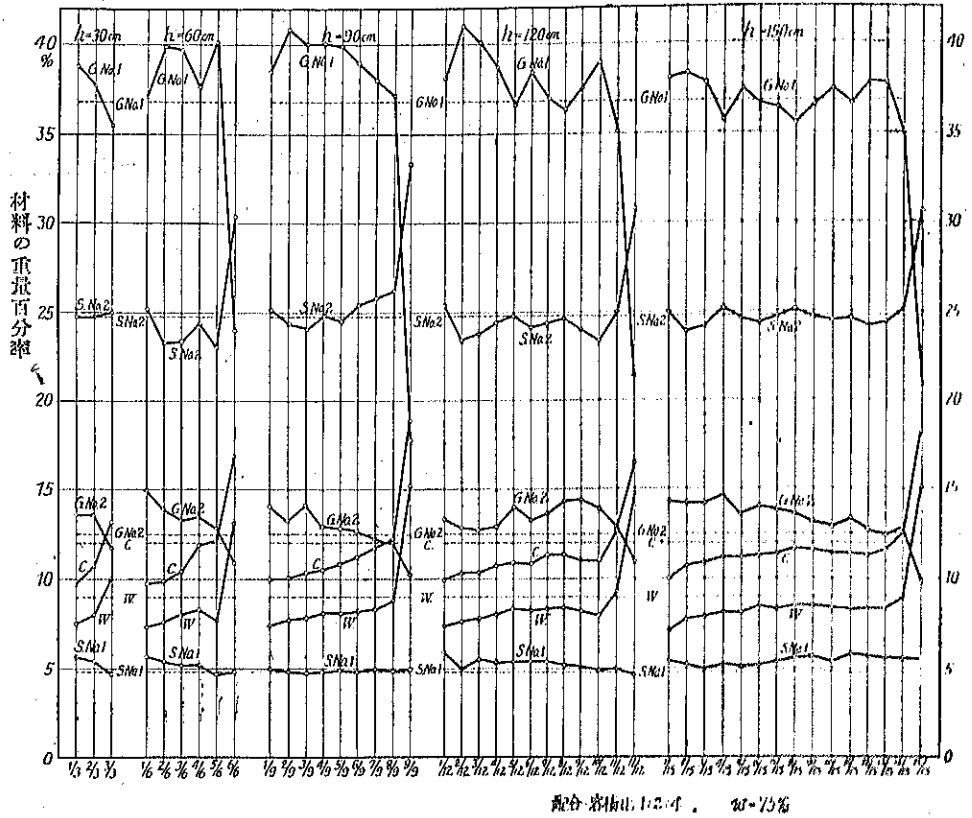
であります。圖の破線は材料を初めに混合した時の重量百分率を示すものであります。

分析の後、セメントを除いた他の材料は室内で單に乾燥させたので、乾燥の程度に多少の差異のあつた事及び水量は試料の全重量から他のコンクリート材料の重量を引いて計算した事等の爲に分析の結果に多少の誤差が表はれて居りますが、第五圖は、材料分離の状態を見るには充分役立つものであります。圖に於て例へば 1/0 とあるは底部、0/0 とあるは頂部であります。

第五圖から認められます事は、

(1) 材料の分離はコンクリートの上面に近い部分で最も大きい事であります。之はコン

第五圖



クリート體の内部では材料の分離が上面附近に於ける様に自由に起り得ない事と、上面に水が滲出して来る事に因ると思われます。

(2) 底部に於ては、凡ての高さのコンクリート柱に就て、材料混合の割合が略一定である事でありませう。即ちコンクリート柱の高さが異つても、底部に於けるコンクリートの成分は餘り變らない事でありませう。之はコンクリートと型の底及び内側面との附着力が影響を及ぼす事に因るのではないかと思ひませう。

(3) 水の曲線 W と、セメントの曲線 C とが殆ど並行して上昇して居る事でありませう。本實驗のコンクリート柱を作るには、コンクリートの一層を 10 cm とし、抗压強度試験の標準供試體製作の場合に準じて搗固めを行つたのであるが、水の曲線とセメントの曲線とが並行に上昇すると云ふ事は、斯くの如き搗固めを行つた場合、セメントと水とがセメント糊狀體として一緒に上昇し、上部に行く程其の量を増加する事を示すものでありませう。そしてコンクリートの上面に出て來たセメント糊狀體中のセメントは水の下部に沈澱し、上面に水のみを残す事になります。

(4) 高さ 30cm のものを除けば、他の凡ての高さのコンクリート柱に於て、頂部に於けるコンクリートの成分が殆ど一定である事であります。之は、セメント糊状態が澤山コンクリートの上面にある上にコンクリートを填充するから、新しく填充したコンクリートは容易に下方に落付き、セメント糊状態は上昇し、上面に近い部分に於ては凡ての高さのコンクリート柱に對して、結局同様な成分を有することになるのであると思はれます。

(5) 砂の曲線 S. No. 2 は上面に近い部分で一般に著しく上昇して居る事であります。之は、此の砂の粒大が小さい爲に、自由に材料の分離を起し得る上面に近い部分に於ては、水及びセメントを混合したモルタルの形で上昇する事を示すものであります。此の實驗に使用しました砂は、前述の通り、第 28 番篩を通過する微粒を含まないものであるから若し普通の場合に於ける様に、砂が微粒を澤山含んで居れば、砂の分離は一層大きくなると思はれるのであります。

(6) G. No. 1 即ち粒大 25~12.5mm の砂利は、一般に上部に於て著しく其の量を減じ居る事であります。之は、セメント糊状態が上部に於て多量となり、大きい砂利が其の重量の爲に容易に沈下する事が主原因であると思ひます。

(7) G. No. 2 即ち粒大 12.5~7mm の砂利は、G. No. 1 と同じ傾向を有して居りますが、分離の程度は後者よりも小さい事であります。

(8) S. No. 1 即ち粒大 7~2.30mm の砂は、殆ど分離を示さない事であります。之れは、砂の曲線 S. No. 2 の傾向と砂利 G. No. 2 の曲線の傾向の中間になつて居ります。

(9) コンクリート柱の高さが大きくなつても、或る程度以上は材料の分離が大きくなる事ではありません。之は齊等質のコンクリートが漸次加へられて行く爲に、或る程度迄材料分離の影響を打ち消す様になるのであると思はれます。此の點に就てはコンクリート柱の横寸法がかなり大きい影響を及ぼすであらうと思はれます。

**寫眞第一**は高さ 120cm のコンクリート柱を、コンクリート填充後 1 時間に、10cm の長さには等分した時のコンクリートを示します。 $\frac{1}{12}$  とあるは最下部、 $\frac{12}{12}$  とあるは最上部であります。此の寫眞の白い部分は、セメント糊状態及び水でありまして、上部に行く程セメント糊状態の増加して居る有様が能く解ると思ひます。

直径 15cm、高さ 30~150cm のコンクリート柱を 30cm の長さに分けて、材料分離の状態を調べた實驗も殆ど前述と同じ結果を示しました。

使用水量と材料の分離との關係に就ては、使用水量の大きい程材料の分離も大きい事は想像される通りであります。試驗の範圍に於ては、材料分離の傾向は上述した所と同じでありました。

第四節 コンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗圧強度試験

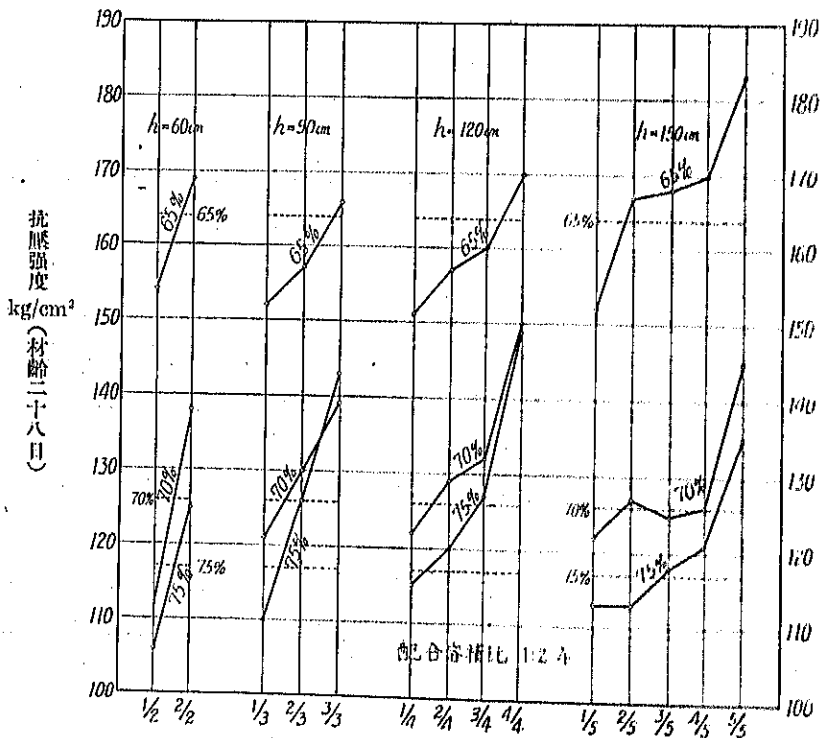
材料の分離の爲に、コンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗圧強度に何程の差を生ずるかを見る爲に、コンクリート柱を作り、之を切りて抗圧強度供試體を作り、抗圧強度を試験しました。

(イ) 直径 15 cm のコンクリート柱に於ける結果

第六圖は、配合容積比 1:2:4、(セメントは小野田セメント、砂は工學部の砂、砂利は室見川産)、水・セメント重量比 65%、70% 及び 75% の 3 種のコンクリートを以て、直径 15 cm、高さ 60~150 cm のコンクリート柱を作り、之を切りて高さ 30 cm の抗圧強度供試體を作り、材齡 28 日に於て抗壓強度を試験した結果を示します。圖に於て、例へば  $\frac{1}{5}$  とあるは底部、 $\frac{5}{5}$  とあるは頂部であります。抗壓強度は供試體各 3 個の平均値であります。

各種のコンクリートに對して、コンクリート柱と同時に製作し、同一状態で養生した標準供試體(直径 15 cm、高さ 30 cm の圓壩)で示された抗壓強度が第六圖に破線で示してあります。之によると、使用水量の小さいコンクリート程抗壓強度が小さいと云ふ水・セメント比説の關係がよく現はれて居ります。コンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度は、

第六圖 直径 15 cm のコンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度



一部は標準供試體で示される抗壓強度よりも大きく出て居り、一部は之よりも小さく出て居ります。

水・セメント重量比が65%のコンクリートを用いたものと、70%及び75%のコンクリートを用いたものとの柱の同じ部分に於ける抗壓強度を比較すると、強度の差は、略標準供試體で示される強度の差に等しい事を示して居るが、柱の頂部に於ては、其の差が一般に小さくなつて居ります。水・セメント重量比が70%のものと75%のものとを比較しますと、之等の強度の差は、標準供試體で示される強度の差よりも一般に小さい事を示して居ります。

又、第六圖によると、一つの例外もなく凡て、コンクリート柱の頂部に行く程コンクリートの抗壓強度が増大する事が解ります。之は第五圖で示されたセメント糊状態の量の變化に相應して居ります。

同一のコンクリート柱に於ける最小強度と最大強度との比、最小強度及び最大強度と標準供試體の抗壓強度との比を計算すると第一表に示す結果が得られます。

水・セメント 重量比 (%)	最小抗壓強度	最小抗壓強度	最大抗壓強度
	最大抗壓強度 (%)	標準抗壓強度 (%)	標準抗壓強度 (%)
65	70~91(平均 83)	92~94(平均 93)	101~112(平均 105)
70	81~87(平均 83)	89~97(平均 95)	110~120(平均 114)
75	77~83(平均 81)	91~98(平均 95)	107~127(平均 116)

備考. 平均は4種の高さの柱に於ける平均値を示す。

第一表によると、此のコンクリート柱に於けるコンクリートの最小抗壓強度は標準供試體で示される標準抗壓強度の93%以上であり、最大抗壓強度は標準強度の116%以内になつて居ります。

依つて、直徑 15cm のコンクリート柱に於ては、材料の分離の爲に、柱の頂部に近づく程抗壓強度が増大する事及び柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度は標準抗壓強度と大差ない事が認められるのでありますが、柱の横寸法が大きくなるに従つて、之と同様な増充及び島固め方法で製作しても、之等の關係が成り立たない事は以下に述べる通りであります。

#### (ロ) 直徑 20cm のコンクリート柱に於ける結果

第七圖は配合容積比 1:2:4、水・セメント重量比 70% のコンクリートを以て、直徑 20cm、高さ 80~200cm のコンクリート柱を作り、之を切つて直徑 20cm、高さ 40cm の抗壓強度供試體を作り、材齡 42 日に於て抗壓強度を試験した結果を示します。圖に於て例へば  $\frac{1}{5}$  とあるは底部、 $\frac{5}{5}$  とあるは頂部である事第六圖の場合と同様であります。圖の破線はコンクリート柱と同時に製作し同じ状態で養生した直徑 20cm、高さ 40cm の標準供試體で示される

標準抗壓強度であります。

第七圖によつて見ると、高さが 80 cm の柱と、高さが 120 cm の柱とは、直徑 15 cm のコンクリート柱の場合と同様にコンクリート柱の頂部に近い部分の抗壓強度が大きいけれど

も、高さ 160 cm の柱では底部と頂部と殆ど相等しい抗壓強度を有し、高さ 200 cm の柱は頂に於て強度が減少して居る事が解ります。即ち、直徑 20 cm のコンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度は柱の高さの影響を受けるもので、一般に頂部が強いとか、底部が弱いとか云ふ事が出来ない事が解ります。之は、之等の柱の横寸法が、後に述べる断面 30 cm 平方のコンクリート柱と直徑 15 cm のコンクリート柱との間にある爲、直徑 20 cm のコンクリート柱に於てコンクリートの抗壓強度の變る状態も、断面 30 cm 平方の柱と直徑 15 cm の柱との間の状態を示すものゝ様に思はれます。

各種高さの柱に就て、第一表の場合と同様に、最小抗壓強度と最大抗壓強度との比、最小及び最大抗壓強度と標準抗壓強度との比を計算した結果が第二表に示してあります。

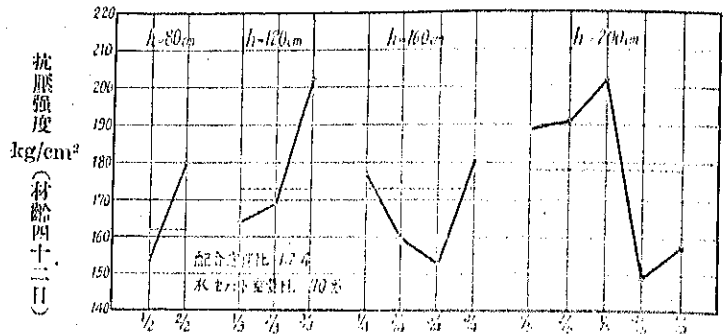
第二表 (直徑 20 cm の柱、配合 1:2:4、水・セメント重量比 70%)

	柱の高さ (cm)				
	80	120	160	200	平均
最小抗壓強度	85	81	85	79	81
最大抗壓強度 (%)					
最小抗壓強度	95	95	89	81	91
標準抗壓強度 (%)					
最大抗壓強度	111	117	105	113	112
標準抗壓強度 (%)					

第二表によつて、最小強度は最大強度の約 8 割であり、柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度は、標準抗壓強度と大差ない事が認められます。

第八圖は第七圖の場合に於けると同じコンクリート(配合容積比 1:2:4、水・セメント重量比 70%)を以て、直徑 20 cm、高さ 40~200 cm のコンクリート柱を作り、之を切つて高さ

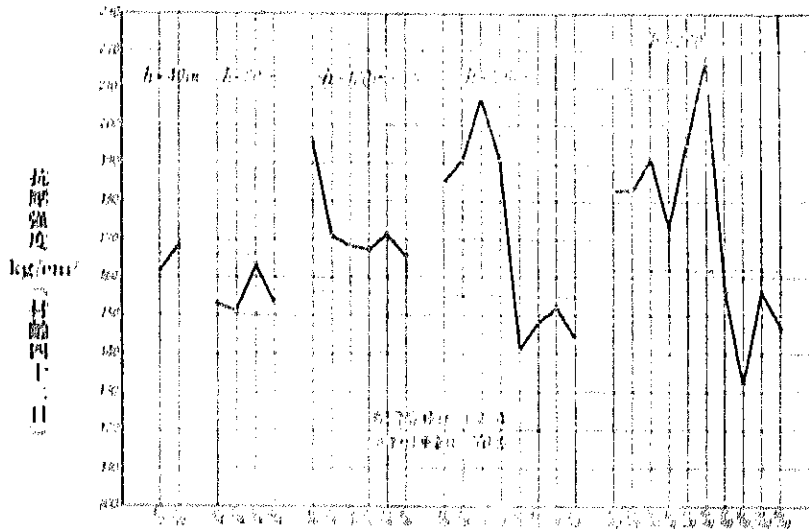
第七圖 直徑 20 cm のコンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度



20 cm の抗壓強度供試體を作り、材齢 12 日に於て抗壓強度を試験した結果を示します。圖の破線はコンクリート柱と同時に作り、同一状態で養生した直徑 15 cm、高さ 30 cm の標準供試體の抗壓強度を示します。柱のコンクリートの抗壓強度は、比較に便利な爲に、直徑 20 cm、高さ 20 cm の供試體で示されるコンクリートの抗壓強度は直徑 15 cm、高さ 30 cm の供試體の強度の 1.2 倍であると假定し、試験の結果を 1.2 で割つた値が示してあります。

第七圖の場合には、高さ 120 cm の柱に於て頂部の抗壓強度が底部よりも大きくなつて居るのに、第八圖の場合には頂部が底部よりも弱くなつて居ります。之は直徑 20 cm のコンク

第 八 圖 直徑 20 cm のコンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度



リート柱に於ては、コンクリートの填充及び搗固め等に於ける極く少しの差異が材料の分離に大きい影響を及ぼす事を示すものと思はれます。第七圖の高さ 200 cm の柱と、第八圖の高さ 100 cm 及び 200 cm の柱とは、略同じ様な強度變化の傾向を示して居ります。

第八圖に示してある試験の結果から、第二表と同じ様な表を作ると、第三表の如くでありまして、第三表の平均の値と、第二表の平均の値とは略相等しくなつて居ります。

第 三 表 (直徑 20 cm のコンクリート柱、配合 1:2:4、水・セメント重量比 70%)

	柱の高さ (cm)					平均
	40	80	120	160	200	
最小抗壓強度 (%)	95	94	85	69	61	81
最大抗壓強度 (%)	101	97	126	134	125	117
標準抗壓強度 (%)	97	91	106	91	81	93

第九圖は直徑 20 cm, 高さ 200 cm のコンクリート柱に於て, 使用水量の變化がコンクリート柱の各部のコンクリートの抗壓強度に及ぼす影響を見る爲, 配合容積比 1:2:4, 水・セメント重量比 55%, 60%, 65% 及び 70% のコンクリートを以て, 8 本のコンクリート柱を作り, 之等を切つて直徑 20 cm, 高さ 40 cm の抗壓強度供試體を作り, 抗壓強度を試験した結果を示します。

寫眞第二は, コンクリート柱の一例であります。

此の試験に於ては, 各コンクリート柱の養生中の溫度に多少の差があつた爲, 之がコンクリートの抗壓強度に影響を及ぼした事が考へられますが, 第九圖によると, 直徑 20 cm のコンクリート柱に於て各部に於けるコンクリートの抗壓強度が變化する状態は, 使用水量によつても異なる事が認められます。

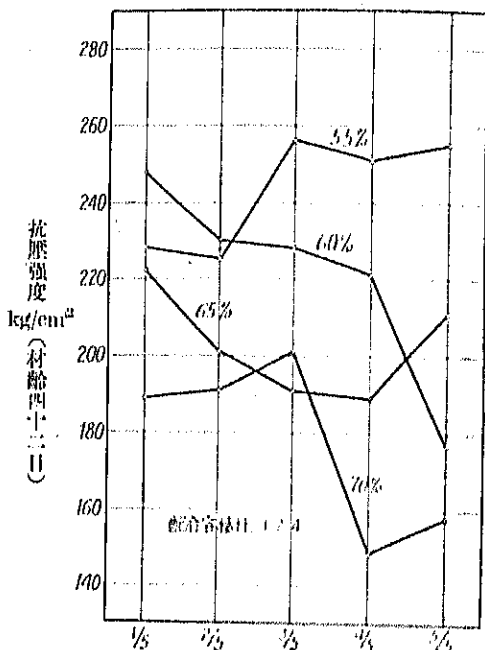
(ハ) 断面 30 cm 平方のコンクリート柱に於ける結果

第十圖は, 配合容積比 1:2:4, 水・セメント重量比 55%, 60%, 65%, 70% 及び 75% のコンクリートを以て, 断面 30 cm 平方, 高さ 100 cm のコンクリート柱 8 本を作り, 之れを切つて 30 cm 立方の抗壓強度供試體を作り, 材齡 42 日に於て抗壓強度を試験した結果を示します。圖の抗壓強度は, 水・セメント重量比 75% のコンクリートを使用した場合を除き, 他は柱 2 本に於ける平均値であります。抗壓強度試験は小野川セメント製造株式會社の本社でやつて戴きました。茲に同社に感謝の意を表します。

第十圖の丸い括弧内に示してある抗壓強度は, コンクリート柱と同時に製作し, 同一状態で養生した直徑 15 cm, 高さ 30 cm の標準供試體の材齡 42 日に於ける抗壓強度であります。即ち, 水・セメント重量比が 55% 及び 60% のコンクリートでは 200 kg/cm<sup>2</sup>, 65% のものでは 164 kg/cm<sup>2</sup>, 70% のものでは 125 kg/cm<sup>2</sup>, 75% のものでは 117 kg/cm<sup>2</sup> でありまして, 標準供試體で示される抗壓強度に就ては水・セメント重量比の小さいコンクリート程, 抗壓強度が大きい事を示して居ります。

本實驗に於ては, コンクリート柱を 1 本づゝ作つて試験し, 8 本のコンクリート柱を試験す

第九圖 直徑 20 cm, 高さ 200 cm のコンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度





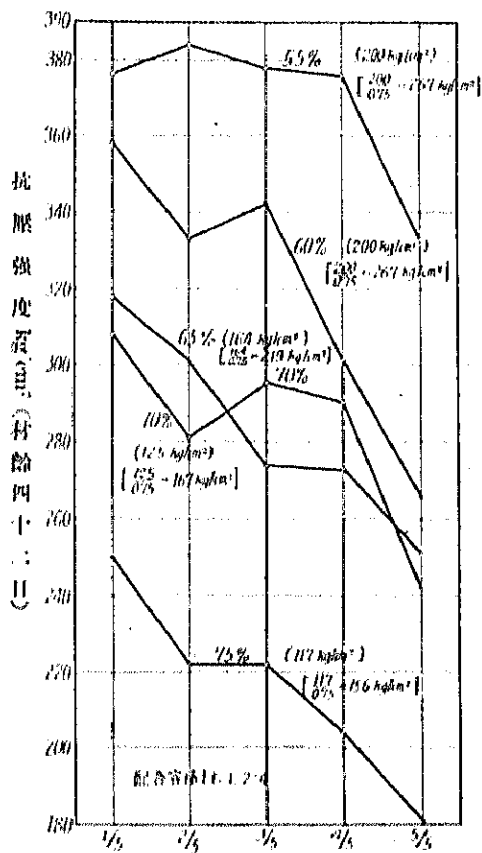
るのに約7箇月を要しました。之が爲に、各コンクリート柱の養生中に於ける温度にかなりの差がありましたし、又セメントの性質にも多少差がありました。依つて、第十圖に示してある結果は、水・セメント重量比の變化による各コンクリート柱の強度を比較する目的に對しては餘り満足なものではありませんが、標準供試體で示される抗壓強度の關係から考へますと、大體は、之れによつて判断出来ると思はれます。

第十圖に示してある抗壓強度の値は、立方供試體で示された強度であるから、之の7~8割位が、高さが直径の2倍である標準供試體で示されるコンクリートの抗壓強度であります。圖には、比較に便した爲に、立方供試體で示される強度の75%が標準供試體で示される強度であると假定して、標準供試體で示された強度を立方供試體の強度に換算して角括弧内に示してあります。

寫眞第三はコンクリート柱の一例であります。第十圖から、凡このコンクリート柱に對して、コンクリートの抗壓強度は、直径15cmのコンクリート柱の場合(第六圖)と正反對に、底部に行く程大きい事が認められます。之は柱の横寸法が大きくなるに従つて、新しいコンクリートの收縮の現象からも解る様に、水の分離が自由に起り得る事と、コンクリートの自重との爲に、底部に於けるコンクリートの密度が大きくなる事に因るものと思はれます。

本實驗に於て、柱の製作には、コンクリートを約10cmの層に填充して搗固めたのであるが若し、軟練りコンクリートを全部を一度に填充し、長い鐵棒で底まで達する様な搗固めを行へばセメント顆狀體若くはモルタルの分離が容易に起り得るから、柱の上部に於て著しくセメントが豊富になり、頂部に於けるコンクリートの抗壓強度が底部に於けるよりも著しく大きくなつたであらう事は、F. Schmeer 教授の實驗の結果 (Versuche mit dem Gießverfahren für Eisenbeton. Deutscher Ausschuss für Eisenbeton, Heft 55) から推定できます。桶卸して

第十圖 断面 30 cm 平方のコンクリート柱の各部に於けるコンクリートの抗壓強度



配合率 1:1.2:4

桶卸して

運搬したコンクリートを直接コンクリート柱の型に入れ、少しも搦固めを行はなかつた (G. Bethke 氏の實驗の結果 (Das Wesen des Gussbetons. Julius Springer, 1924) は、柱の各部に於て抗壓強度に餘り大きい差のない事を示して居ります。それで、水丈が上昇する様なコンクリートの施工方法によれば、コンクリート柱の頂部が弱くなり、セメント糊狀體又はモルタルが上昇する様な施工法によれば、柱の頂部が強くなるのであらうと思ひます。

兎も角、以上述べたところにより、新しいコンクリートに於ける材料の分離は、コンクリートの填充及び搦固めの方法によつて著しく異なるものであり、填充及び搦固めの方法が同じであつても、コンクリートの高さ及び横寸法によつて大きい差を生ずるものである事が解ります。

又、第十圖から、水・セメント重量比の大きいコンクリート程、強度が小さい事が認められますが、水・セメント重量比が55%である硬練りコンクリート及び水・セメント重量比が75%である流動體に近い軟練りコンクリートを除けば、コンクリート柱の頂部に於ては、コンクリート製作の際に於ける水・セメント重量比の差がコンクリートの抗壓強度に殆ど影響を及ぼさない事が解ります。之はコンクリート柱の頂部のコンクリートは水で飽和された状態になり、或る程度まで柱の頂部に於て同じ様な成分のコンクリートが出来る事に因ると思ひます。

尙ほ又、第十圖から、此のコンクリート柱に於けるコンクリートの抗壓強度は、標準供試體で示される強度よりも著しく大きい事が解ります。コンクリート柱に於けるコンクリートの最小強度と標準供試體で示される標準強度との比は100~145%であつて、若しコンクリートの填充に際し、上面に滲出した水を除去し、頂部に於て富配合のコンクリートを使用すれば、コンクリートの強度を非常に有効に利用する事が出来ると思はれます。水・セメント重量比が55%のコンクリートと60%のコンクリートとは、標準強度が同じであるにも拘らず、コンクリート柱の場合にはかなり大きい強度の差を示して居る事は注意すべき事で、標準供試體で示される強度と實際の構造物に於けるコンクリートの強度との關係はコンクリート體の大きさによつても異なる事を示すものと思はれます。水・セメント重量比55%のコンクリートは標準供試體を製作する目的に對してはプラスチックでウオーカブルのコンクリートではありませんから、水・セメント重量比が60%のコンクリートと殆ど相等しい抗壓強度を有します事は不思議でないとしても、少しコンクリート體が大きくなると、標準供試體の場合に現はれなかつた水・セメント比と抗壓強度との關係が現はれて来る事は興味ある事でありませぬ。

依つて、實際のコンクリート構造物のコンクリートを施工する場合に、コンクリートの上面に滲出した水を注意して除去し、一作業に於けるコンクリートの頂部の施工を適當にすれば、

其の構造物に於けるコンクリートの抗壓強度をして、標準供試體で示される抗壓強度よりも著しく大ならしめる事は容易である事、又、一般のコンクリート構造物に於けるコンクリートの抗壓強度を判断する標準として水・セメント比説を用ゐる事が適當であるか否かに就ては今後の研究が必要である事が、本實驗の結果から推定出来ると思ひます。

## (二) 鐵道橋の橋脚に於ける結果

鐵道省の岡山建設事務所では、鐵道橋の橋脚から、直徑 15 cm, 高さ約 400 cm のコアを切取つて、橋脚の各部に於けるコンクリートの抗壓強度を試験して居られます。其の試験の結果に示されて居る主なる事柄は、

(1) 一作業で施工したコンクリートの各部に於ける抗壓強度は、頂に行く程小さい事

(2) 最大抗壓強度は最小抗壓強度の2倍以上に達して居るものがあつて、材料の分離が各部の抗壓強度に大きな影響を有する事

(3) 橋脚に於けるコンクリートの抗壓強度は標準供試體で示される強度よりも著しく大であつて、最小抗壓強度でも、標準強度の數倍に達して居るものがある事、  
等であつて、實際の構造物に於ては、私の實驗に就て既に述べた材料分離の影響が一層大きい事を示して居ります。

## 第四章 結 論

以上申上げました所から、新しいコンクリートに於ける材料の分離に就て、私が現在推定して居ります所を申上げて、結論と致し度いと存じます。

(イ) コンクリートの填充後、新しいコンクリートに生ずる收縮は、主として水の分離によるものであつて、コンクリートの填充後 15~30 分間で其の大部分を終り、約 2 時間で其の全部を終る。而して、此の收縮は、コンクリート材料の配合及び水量に關係するのみならず、一作業に施工するコンクリート體の大きさ及び形によつて著しく異なる。

(ロ) 一作業で施工した新しいコンクリートに於ける材料の分離は、使用水量の大きいコンクリート程大きい事は勿論であるが、材料分離の状態はコンクリートの高さ及び横寸法、填充及び搦固めの方法によつて著しく異なる。コンクリート體の大きさ、形及び施工法がセメント糊狀體又はモルタルの上昇を容易ならしめるものであれば、コンクリートの上部に於てセメントが豊富になり、上部に於けるコンクリートの抗壓強度が底部に於けるよりも大きくなる。之に反して、コンクリート體の大きさ、形及び施工法が、水のみを分離せしめる様なものであれば、上部に於けるコンクリートに含まれる水量が多くなり、従つて上部に於けるコンクリートの抗壓強度は他の部分よりも著しく小さくなる。即ち、コンクリート體の大きさ、形及びコンクリートの施工方法に依つて、上部のコンクリートの抗壓強度が他の部分よりも

大きくなつたり小さくなつたりする。

コンクリートの厚さを 10 cm 内外とし、ゆつくり填充して搗固めを行へば、底部に於けるコンクリートの強度が最大であつて、上部に於けるコンクリートの強度は他の部分よりも著しく小さくなる。

(ハ) 直径 15 cm の抗壓強度試験の標準供試體では、新しいコンクリートに於ける材料の分離が之れによつて示される抗壓強度に餘り大きい影響を及ぼさないが、實際の大きいコンクリート構造物に於ては、材料の分離の爲にコンクリート體の各部に於けるコンクリートの抗壓強度に著しい差を生ずるから、コンクリート道路工事の様な場合を除き、高さ及び横寸法の大きいコンクリート體に於ては、其の各部に於けるコンクリートの抗壓強度が標準強度と大差を生ずる。依つて標準供試體に就て研究したコンクリートの配合及び水量と抗壓強度との關係を、直ちに一般の構造物に於けるコンクリートの強度に應用する事は適當でない。例へば水・セメント比説によつて、構造物に於けるコンクリートの強度を直ちに評價出来るのは、齊等質のコンクリートを製作する事に就て特に注意を拂つて施工したコンクリート道路などの場合である。

故に、所要強度を有するコンクリートの配合及び水量の決定に就ては、標準供試體によつて示される抗壓強度のみならず、一作業で施工するコンクリート體の大きさ、形及び施工法を考慮しなければならない。従つて標準供試體で示されるコンクリートの抗壓強度と、コンクリート體の大きさ、形及び施工法によつて異なる實際の構造物に於けるコンクリートの抗壓強度との關係を明にする事が、今後の重要な研究題目である。此の關係が明にされる迄は、出来る丈水・セメント比説が成立する様な施工をなし、構造物に於けるコンクリートの抗壓強度を水・セメント比説によつて評價する事も已むを得ないが、水・セメント比説が成立つ範圍とされて居るプラスチックでウオーカブルであると云ふ程度は、コンクリート體の大きさ、形及び施工法に依つて異なる事に注意を要する。

(ニ) 新しいコンクリートに於ける材料の分離を減じ、コンクリートの抗壓強度を充分に利用するには次の注意が必要である。

(1) 一作業で施工するコンクリート體の大きさ、形及び施工方法に應じ、なるべく材料の分離を小ならしめる事を考慮して、所要強度に對するコンクリートの配合及び水量を決定する事。單に標準供試體で示されるコンクリートの抗壓強度から、配合及び水量を決定すれば、材料の分離の爲に、計畫したとは異つた抗壓強度のコンクリートが得られる。

(2) 使用水量の多い程材料の分離が大きいから、事情の許す限り使用水量の小さいコンクリートを使用すべき事は明白であるが、骨材の粒度に就て材料の分離を小ならしめる事を特に注意する事。

(3) 材料の分離を防ぐ手段として混和剤の使用に関する研究をなす事。

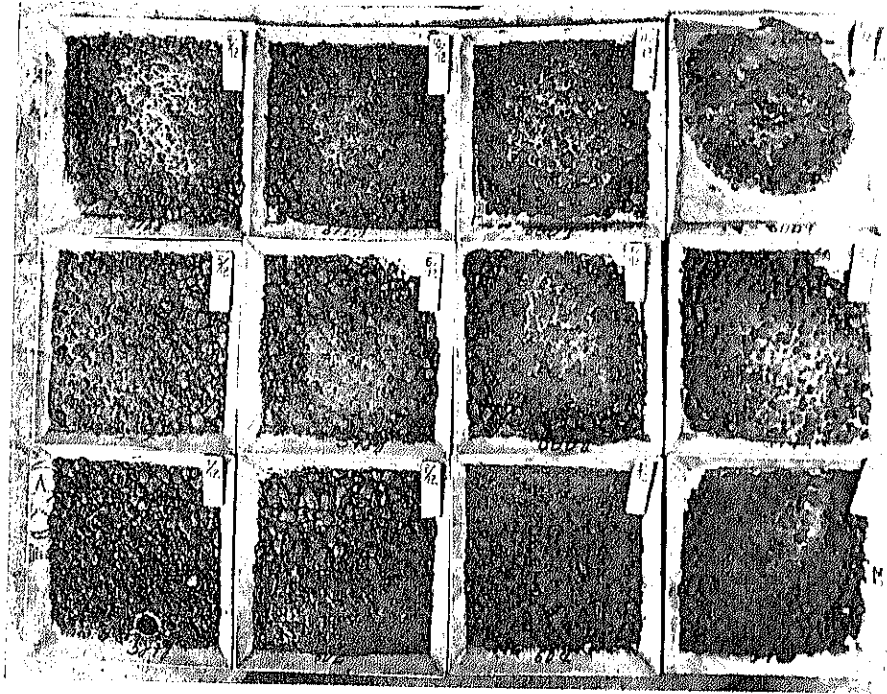
(4) 乾燥りのコンクリートを施工する場合でも、填充一層の厚さを 10 cm 内外とし、搗固めに於ける搗入れの深さは漸く前層に達する程度とする事。一層の厚さを小さくするのは材料分離の影響を減ずる爲であり、搗入れを深くしないのは材料の分離が大きくなる爲である。

(5) 高さの大きいコンクリートを打つ時には、事情の許す限りゆつくりコンクリートを填充し上面に滲出した水を直ちに除去する事。

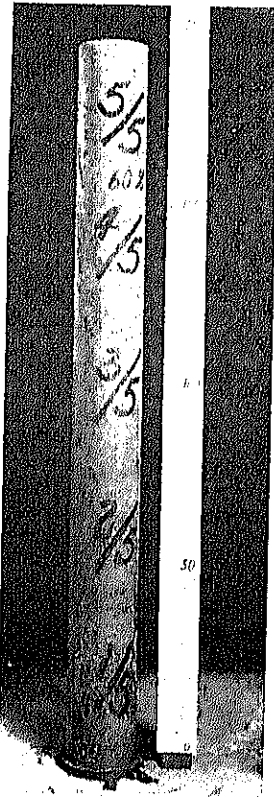
(6) (4) 及び (5) に述べた様な施工法によると、一作業に於けるコンクリートの上面が弱くなるから、此の部分に於ては特に使用水量を減じたコンクリートを用ゐて充分な搗固めをするか、富配合のコンクリートを使用する事。斯くすれば、構造物に於けるコンクリートは標準供試體で示される抗壓強度よりも著しく大きい強度を有する事になる。水・セメント比説が流行してから、混合所に於て水・セメント比を一定に保つ事が極めて大切であるとされて居るが、之はコンクリート道路工事又は廣い面積にコンクリートを施工出来る場合の事であつて、普通の橋脚又はコンクリート柱などの場合には、コンクリートの填充が進むに従つて水・セメント比の小さいコンクリートを使用するのが適當である。

(昭和七年三月九州帝國大學土木工學教室に於て)

寫真第一



寫真第二



寫真第三

