

遠心力鉄筋コンクリート管の新しい製造方法に関する研究

丸 安 隆 和*
鈴 木 稔**
平 沢 彰 彦***

要 旨 従来の遠心力鉄筋コンクリート管の製造方法の不合理性を改め、コンクリートの締固め終了後即時に脱型する製造方法について述べ、ついで即時脱型して製造した管が、ち密で高強度となるためのコンクリートの配合設計方法について述べたものである。

1. ま え が き

この研究は、従来行なわれている遠心力鉄筋コンクリート管（通称ヒューム管）の製造方法が、その製造工程の上からも、またコンクリート製品としての品質の上からも、必ずしも合理的であるとはいえない点にかんがみ、製造方法を合理化し品質向上をはかる方法を見出すために、東大生産技術研究所と北越ヒューム管KKとが共同して行なったものであり、一応の成果を得たのでここにその概要を発表することにした。なお、この研究を行なうにあたっては、東北大学応用化学科 村上恵一教授のご助言をいただいたことを特記し、謝意を表する次第である。

従来のヒューム管の製造工程では、型わくにコンクリートを投入して遠心力締固めを行ない、締固められた管を型わくとともに蒸気養生室に送り、数時間の蒸気養生を行なったのちに相当時間そのまま放置してから脱型するのであるが、蒸気養生のおもな目的は、製品原価の相当大きい部分を構成する型わく償却費を軽減するために、型わくの回転率を増加しようとする点にあるが、できあがったコンクリートの品質上からみると、蒸気養生は必ずしも好ましいものといえないばかりでなく、現実にはその方法が全く理想的に行なわれないために、いくつかの欠点をともなうものであることが一般に認められている。しかし、この過程で生じた欠陥については、その後の養生方法によって相当に回復させることができるが、型わくを数時間養生室の中に停滞しておかなければならないことは、近時工業の傾向である多量生産の方向からみても、はなはだ不適当な方法といわざるをえない。遠心力鉄筋コンクリート管の製造工程における即時脱型こそはすべてに優先して解決しなければならない問題の一つで、遠心力締固め終了後即時に脱型した製品を低廉なパレットに受け、従来の工程から蒸気養生を取り

除き、能率的な製造工程を完成し、経費の節減をはかることがこの研究の第一の目的である。

また、遠心力製造方法による場合においては、コンクリートを構成する材料がそれぞれ重さが異なり、受ける遠心力に差が生ずるため、大きいすりへり抵抗の要求される管内面に一番比重の小さい水がまず浮き出し、これにともなって、比重の小さい粒径の細かい材料が浮き出してきて、製品全体から見ると、最も悪いコンクリートが管内面を構成するという思わしくない結果になる。これらの欠点をどう改善するか、これがこの研究の第二の目的である。そのためには締固めの過程で、コンクリート中の水の運動の方向を、従来のように管内面に向かって集まってくるのとは逆に外方に向うようにし、これを適当な方法で脱水する方法を完成させなければならない。

また即時脱型ができるためには、特にコンクリートの早期強度が飛躍的に改善されることが必要である。しかもこれと同時に長期強度も大きくなり、水密性も増すことができればいっそう好ましいのである。これらコンクリートの諸性質は水セメント比が小さいほど良くなることは、一般に認められている。しかし水セメント比が小さくなり、硬練りのコンクリートになれば締固めをいっそう入念に効果的に行なうことが不可欠の条件となる。このような締固めがどんな方法で達せられるか、またどんな条件のもとでそれが行なわれるべきであるかについて検討し、またこれを実際の製造工程にどのような方法で取り入れるかについての問題を解決するのがこの研究の第三の目的である。しかし、どんな製造方法によるにしても、でき上がったコンクリート管の表面外観の仕上がりが商品としての価値を失うような方法であってはならないことはいうまでもない。

この小論文は、前記の3つの問題をおもな目標にして行なった研究であるが今までに一応の成果をあげ、実際に工場生産に移しうる段階に達したので、この製造方法についての基本的な考え方を説明し、これにともなって行なった予備実験と数種の製造実験の結果について、その概要を報告したものである。

2. 新しい製造方法についての基本的な考え方

(1) 最大密度のコンクリート

水セメント比を一定にしてセメントペースト、適当

* 正員 工博 東京大学教授 生産技術研究所第五部
** 正員 北越ヒューム管KK取締役 技術部長
*** 正員 北越ヒューム管KK技術部 研究室長

な配合でねりませたモルタルおよびコンクリートについて圧縮試験および引張係数試験を行なった結果、テストピースの中に空げきをふくまないように十分に締固めた場合には、圧縮強度および引張係数のいずれについても、コンクリートが最も強く、次いでモルタルが強く、セメントペーストが最も弱くなるという結果が得られた。このことについてはすでに篠原謹爾氏の報告¹⁾の中にも見られる。

このことから、コンクリートの強度を増す上にはセメントペーストの水セメント比が同一の場合においては、セメントペーストの使用量を、骨材の空げきを十分に満たし、骨材粒をできるだけ薄い皮膜でおおうのに必要にして十分な最小限の量とすることが大きいポイントとなるのではないかということ、従ってセメント使用量をいたずらに増大すれば、かえって強度が低下するものであることが想像できるのである。このことは、合板の製造時に素板の間に接着剤を塗布してこの板を十分に加圧する場合においても接着剤が板の間に十分にゆきわたる限り、接着剤はできるだけ薄く塗布した方が合板の強さが増大すると全く同じである。コンクリートにおいても、セメントペーストの強さが、細・粗骨材の強さより弱いかぎりでは、セメントペーストは骨材粒を結合する接着剤であるから、十分骨材間の空げきを満たし、骨材粒をつつむという条件のもとであるかぎり、その使用量の少ないほどコンクリートの強度およびその他の性質は改善されることになるであろう。また、このことから、コンクリート中の骨材の間げきを最小にすることが、コンクリートの強さを増大するために不可欠な条件となるのである。

コンクリートの品質を改善するには、骨材の空げきを最小にすることが必要な条件となることは上述のとおりである。このような骨材の粒度について考えてみよう。骨材を同一粒径の球体とした場合には、図-1 (a), (b), (c), (d), (e) のような詰め方²⁾があり、それぞれの詰め方によって表-1 のように空げき率は異なってくる。

表-1

球体の詰め方	空げき率 (%)
cubical	47.64
single stagger	39.55
double stagger	30.20
pyramidal	25.95
tetrahedral	25.95

ついで粒径の均一な、大粒径の球体と小粒径の球体とが、それぞれ同じ容積になるように別々に詰められてあるとする。いま、小粒の方から大粒1個分の小粒を取り除いて大粒と置き換えると、空げきは減少し、骨材の絶対容積が増大する。このように小球と大球の混合比率を変化させてゆけば、図-2 に示すように一定の容積に対して空げきが最小となる混合比が得られる。またこのことから、できるだけ大粒径のものを使用するほど絶対容積が増大し、空げきが減少することも明らかである。

図-1

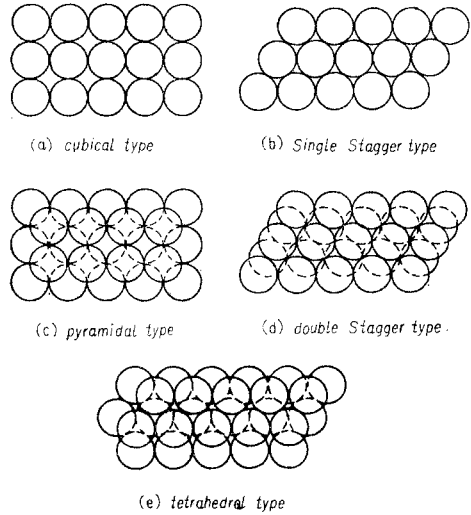


図-2

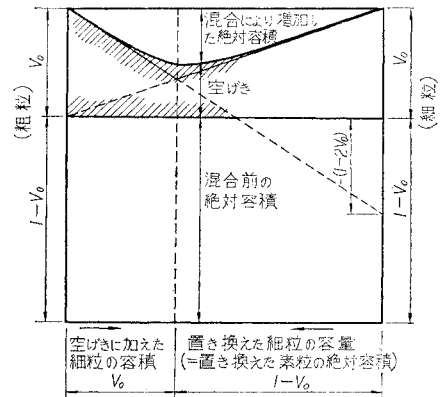
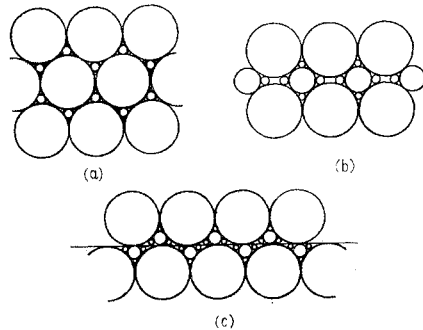


図-3



コンクリートの締固めとは、コンクリート中の骨材を次第に安定した状態、すなわち空げきの少ない状態に落ちつかせることであって、この場合できるだけ大粒径の骨材を使用することが、いっそう空げきを少なくする上から望ましいわけである。この関係を理想化した場合について考えよう。図-3 (a) は粗粒が Stagger になら

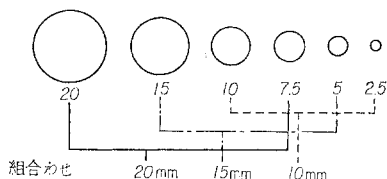
んで、かつ、その空げきに入りうる最大粒径の骨材粒で順次満した状態を示す。すなわち、このような締固めの状態を得ようとする場合は、(a) に示されるような粒度構成としなければならない。

大粒の空げきに入る骨材の粒径が Stagger にならんだ骨材の空げきより大きい場合は、もはや大粒は Stagger の状態では安定でなくなる。このような場合の状態は (b) に示される。大粒が Stagger にならびうる限界は (c) の状態である。この図は いずれも平面的に示してあるが、これを立体的にすると、次位の粒径は平面的な場合より多少大きくなるが、極限の状態は (a) の状態である。

いま、粗骨材をふるいわけて、理想粒度分布に近づくように粒度構成を考えて配合すると、空げき率を小さくすることができる。ふるいわけを行ない、各粒径ごとに図-4 のような組み合わせにすると、およそ前述の理想状態に近づく。しかし、このような骨材は従来の骨材と異なり、不連続粒度³⁾となる。

理想的な粒度分布の骨材を使用したコンクリートを締固めてゆくと細粒が粗粒の空げきにちょうど入りこみ、安定した形におさまって次第に密度の高い骨材の配列になってゆくのである。特に遠心力で締固めるときの効果が大きい。

図-4



粗骨材をこのような考え方にもとづく配列にすると、細骨材は一般に用いられているものよりも粒度の小さいものが適当で、実験結果(最大寸法 15 mm で 5 mm 以下を取り除いた粗骨材に対し、細骨材は粗粒率 1.95, 1.2 mm 以下のもの 97%) からもそのことが確認された。このような考え方が、実際に製管するときのコンクリートの配合を決める基本となるのである。

(2) コンクリートの脱水性を支配する要素

練りたてのコンクリートに加圧と遠心力を加えると、コンクリート中にふくまれている水はセメントから分離して、粒子の間を通過して流動する。従ってコンクリートを締固めながら余分な水を脱水する場合、その難易は水がセメント粒子からどの程度に分離されやすい状態になっているかということにかかってくるし、またその程度は、即時脱型の成否に重大な関係をもつのである。いま、セメントと水とが、ただ物理的に混合された場合、水セメント比とセメントの空げき率の関係を示すと次のようになる。

$$\frac{w}{c} = \frac{V_c \rho_w}{(1 - V_c) \rho_c}$$

V_c =セメント粒子の空げき率

ρ_w, ρ_c =それぞれ水、セメントの比重

この式で、 $\rho_w=1.00$, $\rho_c=3.15$ とすると $w/c=19\%$ のとき、 $V_c=37.4\%$ となり、粉体の空げき率としてはほぼ完全なまでに締固まった状態と考えることができる。

セメントペーストが理想的に完全に締固まったときの水セメント比は約 19% くらいで、この値が今後製管の際の脱水効果を考える場合の一つの目標値となる。

脱水の効果を決定する重要な要素は水セメント比である。すなわち、水セメント比の大きいほど脱水の速度は速くなることは当然である。しかし、これらは直線的な関係を持つものではなく、実験結果によると、水セメント比 45% から、これを 30% まで低下させるのは容易であるが、25% のものを 20% に低下させることはなかなか困難であり前者の数倍の時間を要するほどである。

脱水の難易を決定する今一つの大切な要素は、「砂の空げきとセメントの量の割合」である。この値は、一定の空げきおよび比重の砂を用いる場合には、砂の重量 (S) とセメントの重量 (C) の比 S/C に置き換えて考えることができる。 S/C が適当であれば、非常に容易に脱水できるので、 $w/c=50\sim60\%$ のモルタルを用いても、 $w/c=20\%$ 程度に低下させることは割合に容易である。締固め終了後の w/c が 20% になれば粗骨材を用いなくて、モルタルだけで製管した場合でも、即時脱型が可能となることが確かめられている。

(3) 配合を決める基本について

鉄筋コンクリート管の製造に用いるコンクリートの配合は、まず上記の条件にもとづいて作業が行なわれ、完全な締固めと脱水が行なわれるとすると、でき上がりのコンクリートの容積、すなわち、所定の管径と管厚から決まるコンクリートの容積が基準になる。この場合脱水後期待する水セメント比は、大約 23% くらいであるが、コンクリートの練り混ぜ、取り扱い、打ち込みなどの作業が容易になるように、あらかじめ十分ウォーカーブルなコンクリートとなるだけの水量を加えておく。それは脱水が行なわれたあとでは最初に加えた水量に関係なく、所定の水セメント比のコンクリートにすることができるし、また、最初水量をあまり制限するよりも、十分ウォーカーブルとなるだけの水量を加えておいた方が、インテンションの効果から最大密度のコンクリートを作るのにかえって効果的であるからである。

これらの条件を基本にして配合設計のやり方を考えてみよう。

図-5 は単位体積のコンクリートの中の砂利の空げき率が V_g であり、この砂利の空げきを、空げき率が V_s であるような砂で充填し、さらにこの砂の空げきを、空げき率 $V_c(w/c=V_c \rho_w / (1 - V_c) \rho_c)$ のセメントペーストで満たす場合、各材料の絶対容積の割合を面積で示し

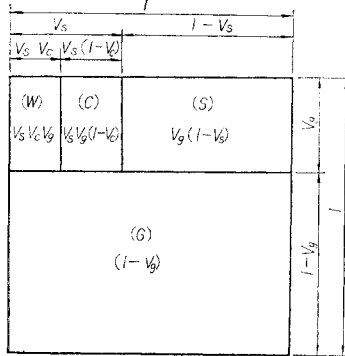
たものである。このときの配合比を示すと下記のようになる。

$$W : C : S : G$$

$$V_s V_g V_c \rho_w : V_s V_g (1 - V_c) \rho_c : (1 - V_s) V_g \rho_s : (1 - V_g) \rho_g$$

図-5

しかし、この式で示される関係は、全く理想的に締固められた場合を示すもので、この式の V_g, V_s はそれぞれ単独に測定された値であるから、実際に練り混ぜられたコンクリートに対しては、このま



までは適用できない。すなわち、実際のコンクリートでは粗骨材の間に細骨材やセメントペーストがはさまれて粗骨材が浮き上がり、また細骨材の間にはセメントペーストが入りこんで浮き上がってくる。この影響を考え、粗骨材の浮き上がりを α 、細骨材の浮き上がりを β として 図-5 を修正すると 図-6 のようになる。おのこの材料の重量を式で表わすと次のようになる。

$$G = \frac{(1 - V_g)}{(1 + \alpha)} \rho_g$$

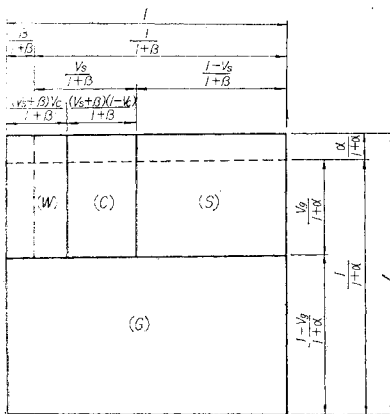
$$S = \frac{(V_g + \alpha)(1 - V_s)}{(1 + \alpha)(1 + \beta)} \rho_s$$

$$C = \frac{(V_g + \alpha)(V_s + \beta)(1 - V_c)}{(1 + \alpha)(1 + \beta)} \rho_c$$

$$W = \frac{(V_g + \alpha)(V_s + \beta)V_c}{(1 + \alpha)(1 + \beta)} \rho_w$$

上記のような配合で十分な締固めができ、所望の厚さのコンクリート管ができたとするとき、このコンクリートは、どこでも同じ材料配合比を持っており、特定の材料が1カ所に集まるといような分離現象は生じないはず

図-6



である。しかし、実作業においては、ただこれだけでは不十分であって、管内外面は粗骨材が露出しないように平滑に仕上げなければならない。このためには、内、外面においては、ある程度材料の分離がおこって、モルタル、またはペースト層ができることが必要となる。

この意味から最初の配合は再修正されなければならない。この関係を 図-7 に示した。図より

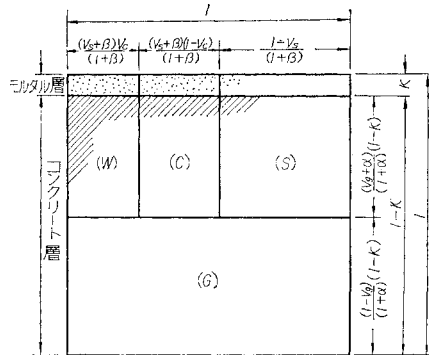
$$G = \frac{(1 - V_g)(1 - \kappa)}{(1 + \alpha)} \rho_g$$

$$S = \frac{(1 - V_s)[(V_g + \alpha)(1 - \kappa) + \kappa(1 + \alpha)]}{(1 + \alpha)(1 + \beta)}$$

$$C = \frac{(V_s + \beta)(1 - V_c)[(V_g + \alpha)(1 - \kappa) + \kappa(1 + \alpha)]}{(1 + \alpha)(1 + \beta)} \rho_c$$

$$W = \frac{(V_s + \beta)V_c[(V_g + \alpha)(1 - \kappa) + \kappa(1 + \alpha)]}{(1 + \alpha)(1 + \beta)} \rho_w$$

図-7



このとき、 α および β は作業方法、骨材の粒径比などにより、 κ は製品寸法その他によって適当に決めなければならないが、できるだけ小さい値であることが望ましいのである。

(4) 締固めについて

コンクリートを締固めるために、従来突固めや振動締固めの方法が用いられ、また特別な場合には高压を加えて締固める方法が用いられている。いずれの方法を用いるにしても、その目的は粗骨材の空げきに細骨材、細骨材の空げきにセメントペーストを十分ゆきわたらせ、それぞれの材料を落ちつくところに落ちつかせて、最大密度の状態にし、セメントペーストで骨材の表面をおおってこれを堅固に結合させることが目標である。この場合、締固め作業が適当でないこと、それぞれの材料が独自の運動をして、かえって均一に混合された状態から分離する傾向を生ずるようになる。試みに製管型わくにコンクリートをつめ相当高い振動数をもつ振動盤にのせて振動させたところ、ある振動数になると細骨材だけが1カ所に集まってしまうという現象が起こった。これは細骨材がその振動数のときに共振現象を起こしたためと考えられる。

遠心力鉄筋コンクリート管では、締固めに遠心力が利

用される。コンクリートの材料に、その重さに応じた遠心力が作用し、外方へ外方へと押しやられるが、各材料の中で一番比重の小さい余分の水が最後にとり残されて内面近くに集まり、管内側は水セメント比の大きいペーストが集まるという好ましくない状態となるのである。

また、圧力を加えて高密度のものにする締固め方式を用いる場合、ただ圧力を加えるだけでは十分に締固めの目的を達することは大変むづかしくなる。たとえばコンクリートの中に空気が残っているままで加圧したとすると、空気は圧力に応じて容易にその体積を減少するが、圧力を取り除けば再びもとの体積にもどろうとする力が作用し、コンクリートがその力に耐えられるだけの強度になっていなければ、当然内部ひびわれの原因となるのである。従って、やむをえず加圧したままで蒸気養生などによってコンクリートの早期強度を促進するという型わくの用上からは非常に不経済な処置をとらなければならなくなる。従ってコンクリートを加圧するにさいしては、あまて浮き出てきた水はもちろん、その中にふくまれている空気も、これを圧力の加わるにつれて除去する方法をあわせて講ずることが重要である。

遠心力鉄筋コンクリート管の加圧締固め作業にさいしても、これらの点を十分に考慮しなければならない。本研究では、脱水は型わくにあげた小孔を用いたが、その内側にはフィルター層をおき、脱水はするがセメント粒はとおさない工夫をこらした。この場合、型わくを取りはずすときフィルターにセメントペーストが付着して、ハダがきたなくならないように、またフィルターはくり返し使用できるように特別な考慮が必要である。すなわち上述の遠心力および加圧による締固めに満足な結果が得られるかどうかは、フィルターの工夫いかんが大きいかぎとなる。遠心力をかけ加圧し水をぬいていくと、そのままでは内面の仕上がりは非常にきたなくなる。さらに、これを効果的にするためには、内側から圧力を加えてやる必要がある。加圧の方法にはいろいろあるが、これが効果的に行なわれるかどうかもまた圧力加工の成否をきめる重要な要素となる。要するに締固め作業こそ即時脱型のヒューム管製造の基本となるのである。

3. 予備実験

即時脱型のための予備実験は下記に示す3つの方法で、即時脱型の難易と水セメント比との関係について調べた。

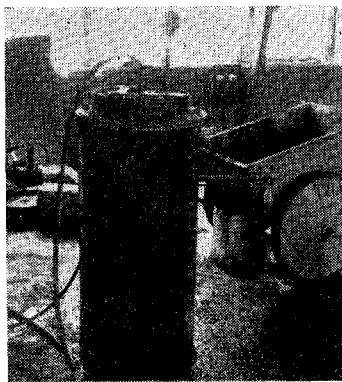


写真-1 製管実験①

① まず、多数の脱水用の小孔のある2つ割り鋼製円筒型の内面に、フィルターをはりつけた型わく内に、ゴム筒をそう入し、ゴム筒と型わくの間にコンクリートを打ち込み、振動を加えながらゴム筒内部に圧縮空気を送り込み、この圧力によって脱水する方法（写真-1）。

写真-2 製管実験③

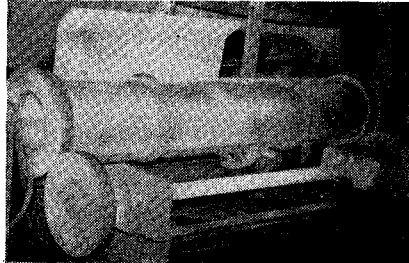
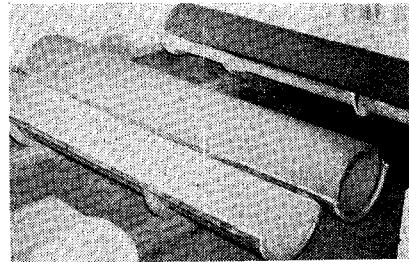


写真-3

右：フィルター付型わく
中：上型をはずした状態
左：パレットに受けた状態



② 上記と同じような小孔・フィルターのある2つ割りの型わくで、従来のヒューム管の製造のように、遠心力を与えながらコンクリートを打ち込み、十分にゆきわたらせたのち、回転させたまま加圧用のゴム筒を管内面に装着して、圧縮空気により加圧脱水する方法。

③ ②と同じ型わくで、ゴム筒を使用しないで、ローラーにより圧力を加えて締固め脱水する方法（写真-2）。

これらの3つの方法では、いずれの場合においても締固め完了のときのコンクリートの水セメント比を20%までに低下せしめることができ、即時脱型は容易であったが（水セメント比の測定はJIS A 1112によった）、内面のなめらかさ、製造作業の難易の点ではローラー加圧方式が結果的に良好であった。即時脱型試験は、 $\phi 250 \text{ mm} \times L 2000 \text{ mm} \times T 28 \text{ mm}$ および $\phi 600 \text{ mm} \times L 2430 \text{ mm} \times T 50 \text{ mm}$ の2種類について行なった。

4. 製管実験の結果

製管実験は、予備実験で結果のよかったローラー加圧方式により、強度が大でち密であり、内水圧に対しても発汗することがなく、品質が常に均一であるような管を実際につくるにはどのような方法によったらよいか、すなわち材料の性質および配合、回転速度および回転時間、加圧力の大きさおよび加圧勾配などを決めること、および一定の製造方法でつくられた管の強度その他の規格値を決めることである。本実験はおもに $\phi 250 \text{ mm} \times L 2000 \text{ mm} \times T 28 \text{ mm}$ の管について行なった。

(1) コンクリートの配合

コンクリートの配合は、図-8 から求めたものに適当なウォーカービリチーとなるまで水を加えたものである。また、骨材は理想粒度に近づけるためのふるい分けを行なったもので次のような値をもち、粗骨材の最大寸法は10 mm である。

砂 利… $V_g=0.352$ $\rho_g=2.61$ 平均粒径 6.8 mm
 砂 … $V_s=0.385$ $\rho_s=2.64$ 平均粒径 0.43 mm
 セメント… $V_c=0.409(w/c=0.22)$ $\rho_c=3.15$

配合は次のようにして求められる。仕上り $w/c=22\%$
 $\kappa=0.143$ ($T=28$ mm, $\kappa T=4$ mm) $\alpha=0.155$ $\beta=0$

$$\frac{S}{C} = \frac{(1-V_c)\rho_s}{V_s(1-V_c)\rho_c} = 2.11$$

$$\frac{G}{S} = \frac{R\rho_g}{(1-V_g)\rho_s} = 1.529$$

ただし

$$R = \frac{(1-V_g)(1-\kappa)}{(V_g+\alpha)+\kappa(1-V_g)}$$

従って $C:S:G=1:2.11:3.23$

この配合では、セメント使用量は 388 kg/m³ となる。

a) セメント使用量と締固め後の水セメント比

セメント使用量を表-2 のように変化させたとき、脱水性および成形後の水セメント比がどのように変わるかの実験を行ない、次のような結論が得られた。表-2 の配合はすべて計量時の値を示す。

表-2

No.	I	II	III	IV
セメント (C kg)	300	400	450	500
砂 利 (G kg)	889	889	889	889
砂 (S kg)	899	899	899	899
水 (W kg)	224	192	176	160
S/C	2.99	2.24	1.99	1.79
w/c (%)	74.7	48.0	39.1	32.0

① $C=300$ kg では、 $S/C=2.99$ であり、脱水はきわめて容易に行なわれる。脱水があまりに速すぎるためにコンクリートの流動性が早期に減退して、骨材が最も安定な状態に落ちつかず、適当な finishability を与えるような分離が生じない。従って、ローラー加圧によっても骨材の配列が最良の締固め状態にはならず、水セメント比も 26% まで低下させるのが限界のようである。

② $C=400$ kg では、 S/C は前述の設計配合に近いので、コンクリートの流動性、脱水性、ローラー加圧性も設計配合と大差がなく、水セメント比は 20~22% に上げることができる。

③ $C=450$ kg では、初期にはかなり容易に脱水されるが、ローラー加圧をすると、水は外方にしぼり出されないで内面にいくぶん残る結果となり、水セメント比は 24~25% 程度となった。

④ $C=500$ kg では、 $S/C=1.79$ で脱水は困難になり、普通のヒューム管製造の場合と同じように、内面に

多量の水が浮き出し、ローラー加圧のできる状態になるには②の場合の数倍の時間を必要とし、加圧を完了して脱型したときに、管の外表面と内面ではいちじるしく水セメント比が異なり、外面で 20% 程度、内面で 26~27% 程度となる。

この実験から、理想的な締固めをして水セメント比を 23% 前後に仕上げるためには、セメント使用量は 350~400 kg/m³ の間が最も良く、セメント使用量をこれ以上多くすれば、かえって水セメント比は大きくなり、強度も低下することが確認された。また、使用する粗骨材が理想の粒度に近いほど最良のコンクリートを得るために必要な最適のセメント使用量は少なくても良かった。また、水セメント比 23% の管をモルタルだけで製造する場合には、セメント使用量はずっと多く必要となる。しかも、モルタルのみで製造した管は水セメント比が 23% になっても、コンクリートで作った水セメント比 23% の管よりも、いくぶん製品強度は低下する傾向を示した。

(2) 水セメント比と管の強さ

ローラー加圧によって水セメント比を小さくすれば、コンクリート管の最大強さがどう変わるかの実験では、表-3 のような結果が得られた。強さの試験は管の材令 14 日で行ない、このときのひびわれ強さ、破壊強さを JIS A 5303 の規格値と対比したものである。管の鉄筋は JIS G 3532 に規定する普通鉄線の径 2.0 mm のもので、使用量は管 1 本当たり $A_s=1.09$ cm² とした。供試

表-3

製造直後の水セメント比 (%)	製品の強さ		備考 (材令 14 日)
	ひびわれ JIS 対比	破壊 JIS 対比	
28.0	2.25	1.51	供試管の内厚は、必ずしも 28 mm ではないので破壊面の平均内厚によって試験荷重を補正しその値を使用した。
26.2	2.57	1.67	
24.8	2.54	1.65	
21.3	2.54	1.65	
20.6	2.42	1.57	
18.0	2.32	1.51	

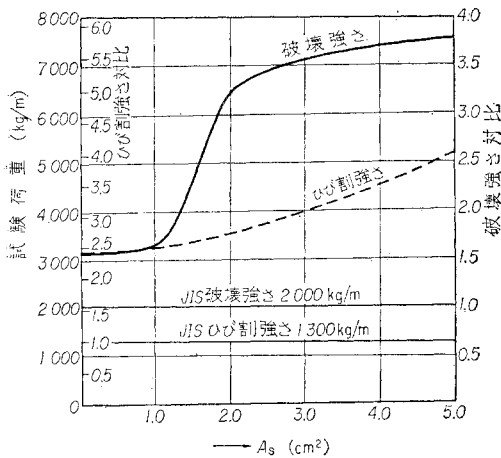
管は、成形後パレットに受け 24 時間室内に放置したのち、20±2°C の養生水槽に入れ、材令 14 日で取り出し、ただちに JIS A 5303 の外圧試験を行なったものである。

この結果では、水セメント比を 20% 以下にまで脱水しても、強度の上昇は望めないばかりか、かえっていくぶん低下する傾向を示している。これはローラー加圧を受けるコンクリートの部分が、ローラーに接している瞬間では水セメント比 18% に相当する程度の水げきとなるまで押しうるが、ローラーが去ると骨材に与えられた応力の復元によって、コンクリートは若干ふくらみ過脱水の傾向を生ずるためと考えられる。この傾向はゴムプレス方式の場合に大きくあらわれ、ローラー加圧方式はこの点では好結果を示した。

(3) 鉄筋使用量と管の強さ

鉄筋の使用量を変えて行なった管の強さは、図-8 のようになった。この場合、製造直後の管の水セメント比はすべて $23 \pm 2\%$ の範囲内にあった。鉄筋の使用量が 0 から 1.09 cm^2 までの間では、ひびわれと同時に破壊となり、それより約 2.0 cm^2 までは鉄筋量を増大するに従い、ひびわれ強さはほとんど増大しないが、破壊強さが比例的に増大する。鉄筋量が 3.0 cm^2 以上になるとはや破壊強さの増大はわずかとなり、ひびわれ強さがいくぶんずつ増大する。しかし、通常要求される管の強さの

図-8



範囲 (JIS 規格値ひびわれ強さ 1300 kg/m 、破壊強さ 2000 kg/m) では本方式のようにコンクリートの強さが増大すると、鉄筋量の増大は要求される管の強さに関係がなくなってしまう。無筋でさえも JIS 規格強さに対して、ひびわれ強さで約 2.5 倍、破壊強さで約 1.6 倍の値を示す。

(4) 内圧強さ

JIS 規格にもつづいた内圧試験の結果では、材令 2 日で内圧をかけても発汗は全くなく破壊圧力は平均 3.2 kg/cm^2 に達し、材令 14 日では 5.1 kg/cm^2 になった。無筋の管についてもほとんど同じ結果が得られた。鉄筋量を増大して行なった試験では、 12 kg/cm^2 の水圧に対しても全く発汗をみなかった。

ローラー加圧方式で製造した管が、普通の製造方法で作ったヒューム管の内圧強さよりどれだけ強いのかということは、計量時の配合が同じであるという条件だけでは比較にならないし、計量時に同じ配合であってもローラー加圧方式ではコンクリートがら密に加圧されるので単位体積当りの材量の量はいくぶん多くなっているのがあるが、全く同じ条件をつくりだすことができ、比較したとしても、上記の結果から、ローラー加圧方式は普通の製造方法の 2 倍程度の強さであろうことは容易に推察できるのである。

5. むすび

遠心力鉄筋コンクリートの製造方法が、わが国に導入されてからすでに久しいが、その間にあってセメントの品質の向上、機械設備の更新などの進歩、改善がなされてはきたが、根本的な技術の改良によるコストの引き下げがないまま推移しているのが現状ではないかと思われる。ヒューム管の価格を構成する要素のうちで、型わくの回転率が相当大きい部分を占めており、できるだけ早く脱型して回転を早めることが望まれてきた。そのために蒸気養生室が設備されるなどしてコンクリートの早期強度をたかめる方法が購じられている。

この研究は先にも述べたように、成形後即時に脱型する方法を完成することが目的である。型わく内に打ち込まれたコンクリートに圧力を加えて脱水、成形したのちこれをパレットに移して大量に均一な製品を製造する方法としては、すでにプレスセメントガワラなどに応用され普及している。コンクリート管でもそのように即時脱型してパレットに移すことができるならば、経済的にも、コンクリートの性質の上からもともに望ましいことはさきに述べた。しかし管はカワラとは異なり、その形状および大きさからしてこのような製造方法によることは困難である。これを解決するためにはコンクリートの早期強度を飛躍的に高めることが必要であり、なおかつこれによってコンクリート管の最終強度や透水性をも改善しようとしたのである。

このために遠心力鉄筋コンクリート管のコンクリートの組成から考察し、締固め、脱水方法についての基礎実験を行ない、即時脱型のできる製管方式を完成することができた。即時脱型ができれば当然蒸気養生が必要でなくなり、その設備も不要になり、コンクリートに最も適した養生方法を採用することができるようになり、材令 28 日における外圧強度は従来の製造方法によるよりも約 100% 向上し、透水性も少なく、特に、製品が均一なできばえとなることは大きい特長といえるであろう。

本報告では、いろいろな都合で詳細なデータを記載することはできないが、これが本格的な製造工程に入ることができたとき、さらに多くの問題点が改善され、遠心力鉄筋コンクリート管ばかりでなく、他のプレキャストコンクリートの製造にも新しい技術の発展がもたらされるであろうことを確信する次第である。

(なお、本工法については目下特許出願中である)

参考文献

- 1) 篠原謙爾：モルタルの圧縮、曲げ引張り強度間の関係について、セメント技術年報、昭和 35 年 XIV
- 2) Norton, F.H.: Refractories, 1949
- 3) 荒木謙一：コンクリートの各種性質におよぼす不連続粒度骨材の影響に関する研究、昭和 35 年 5 月

(原稿受付：1962. 3. 6)

NEW METHOD OF MAKING CENTRIFUGAL REINFORCED CONCRETE PIPE

*By Dr. Eng., Takakazu Maruyasu, C.E. Member, Minoru Suzuki,
C.E. Member and Akihiko Hirasawa, C.E. Member*

This study was intended to cost-down of centrifugal reinforced concrete pipes by means of removing the mold immediately after casting and compacting concrete, and omitting the steam curing from the progress of manufacturing work.

The bases of this study is as follow : The perfectly compacted concrete means that concrete become the most dense state. As far as cement paste have less strength than the aggregate, if we wish to get the highest strength in concrete, it is necessary that the concrete contains the mininum amount of cement paste enough to fill the voids of aggregate and to envelop the particles of aggregate with the thinnest film as well as possible. And it is very important that the voids of aggregate are small as possible. For this purpose, we should choose the discontinuous grading aggregate, which was introduced from theoretical standpoint.

When concrete is mixed, we added water enough to get suitable workability for handling and pouring concrete. Thus, we can expect better compaction in concrete rather than the case of using dry mixed concrete by innundation.

Completed the pouring of concrete into the slowly rotating mold, speedy rotation follows and compaction is gone on. During this process excess water is squeezed out through the small holes opened around the mold surface. Considering from our experiments excuted, we can get the best condition for the concrete pipes, when the w/c is reduced to about 20%.

But, on the other hand, only by squeezing out water, compaction does not reach so good state, but the inner surface becomes rather rough. To avoid this, we tried to give some pressure upon inner surface during the pipe rotated. It brought us remakable good results.

Finished the required compaction, completed pipe is trnsfered to the palette and conveyed to the ordinary moist room for curing till it will be immersed in the water pool next day.

Fig. 1 shows how increase the strength of concrete pipe which were made by above mentioned method as the cross-sectional area of bars inserted in concrete varies. We can see from this diagram that even if reinforcing bars are not used, breaking strength and cracking strength are higher than the values specified in Japan Industrial Standard about Centrifugal Reinforced Concrete Pipes.

Thus, we succeeded in making economically and uniformly the concrete pipe which have the higher strength and the more watertight than usual.

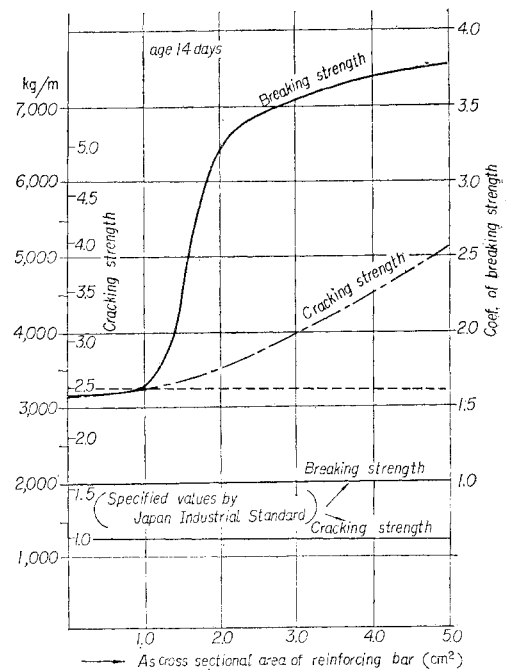


Fig. 1