

論 説 発 告

土木學會誌 第十七卷第十二號 昭和六年十二月

水中及び壓搾空氣中にて凝結する コンクリートに関する實驗

會員 工學博士 大井 上前 雄

On the Setting of Concrete in Water and Compressed Air
By Chikao Oinoue, Dr. Eng., Member.

内 容 梗 概

本編は著者が鐵道省に在職中從事せる關門隧道に關聯せる調査の一部で、大氣中にて練合せたるコンクリートを水中にて凝結せしめ（所謂水中コンクリート）、或は之れを壓搾空氣中にて凝結せしむる場合（caisson 中のコンクリート工事の類）には、普通大氣中にて凝結するものに比較して如何なる影響を受くるかと云ふ問題を研究する爲、施行せる實驗に就て述べたものである。

目 次

第一章 緒 言	2
第二章 實驗の設備及び方法	3
第一節 設 備	4
第二節 第一實驗	4
第三節 第二實驗	5
第四節 トレミー・コンクリート實驗	6
第三章 使用材料、調合及び水比	6
第一節 砂	6
第二節 砂 利	6
第三節 セメント	7
第四節 水	7
第五節 調合及び水比	7
第四章 供試體の製作及び養生	7
第一節 供試體の製作	7
第二節 供試體の養生	8
第五章 供試體の耐壓試験	10
第一節 試験の結果	10
第二節 試験結果の検討及び附隨試験	13
第六章 トレミー・コンクリート實驗	18
第七章 結 論	21

第一章 緒 言

凡ての建造物に於て、其の斷面に作用する應力は推論により之れを算定し、使用材料の耐力は實驗の結果により判断すべきことは云ふ迄もなきことである。shaft 又は pier 等の工事に於て、caisson を使用し壓搾空氣中にて施行するコンクリートや、沈埋式工法の水底隧道に於て、鐵筒被覆の爲、施行する水中コンクリート等は、普通の陸上工事に於けるものと凝結時の状況同一ならず、従つて其の耐力も同一ではない。殊に水中コンクリートに關しては、從來技術者間に其の出來榮を疑はれ、不安の念を抱かれて居ることなれば、充分其の性質を研究して置く事が、水底隧道の計畫に大切な事項であると思はれた。著者は之れに關して試みた實驗を記述する順序として、先づ斯る工事の施行方法の大要を説明し、且つ一二の實例を擧げて参考に供したいと思ふ。

元來水中コンクリートなるものは、非常に不確實で信頼の出來ぬものと想像せられ、他の方法にては多額の費用を要する等已むを得ざる場合の外は、技術者が努めて之れを避けるとするのは理由のある事であつて、半流動體のコンクリートを水中に沈設する際セメントが分離し、大切な成分を失つた貧質のコンクリートに化することを恐れるからである。

水中コンクリートを施行する爲、從來試みられた主なる手段を擧ぐれば、袋詰コンクリート、開底バケット、及びトレミー管を使用する 3 法がある。袋詰コンクリートを使用する法は、水中沈設に潜水夫を要し、仕事が面倒で経費も大に、然も袋入のものを積んだのでは、良好の建造物と云ふ事が出来ない。又開底バケットを使用する方法も良法と云へない譯は、如何に工事の施行に注意しても、バケットよりコンクリートを放出する際、小距離水中を落下する爲、セメントが分離し處々に貧弱なる部分を生じ、等質のものを得る事が望まれないからである。次はトレミー・コンクリートの方法であつて、之れは水面上よりコンクリート沈設の地點迄達する鐵管を使用し、其の上端に取付けたる受口よりコンクリートを流し込みて下端より間断なく流出沈設することを得る、稍理想に近き裝置を用ふるのであるが、之れも實行する段となると中々理窟通りうまく行かない。其の困難なる理由は、管中のコンクリートの流れ方が、早過ぎたり遅過ぎたり不規則になり勝である爲、時として水が管内に逆流して、セメントが洗ひ去らるゝ事があるからである。又假令コンクリートが都合よく管内を流动するとしても、從來のトレミー管使用法は、管の下端より流出するコンクリートで順次に層を作つて沈設するのであるから、其の際僅かではあるが管端より水中を通つて落下することになり、セメントが幾分流失して良好の結果を得難いのである。

前述の如き從來のトレミー管使用法を改良して、其の缺點を除去することに成功せるのは Detroit River Tunnel 工事でやつた方法である。同工事に於ては、コンクリートを沈設すべき部分を豫め小區割に區分して置き、區割内にては流水の影響を受けず靜止の状態を保たしめ、

一區割内のコンクリートは連續せる1回の作業にて之れを仕上げる事にした。又トレミー管は工作船上に取付けたる塔上より懸吊し、捲揚機によりて上下の運動を自由に調節し得る裝置となし、管の下端は2~5呎程常にコンクリート中に没入せしむることによりて、水の管内に逆流することを絶対に防止し、コンクリートは管の下端より押出されて後、漸次表面に隆起し區割内を填充する様に施行せる爲、セメントが水によりて洗ひ去らるゝことを全く防止することが出來た。之れに使用せるコンクリートは、流动の容易なる様に極めて軟く練りたるもの用ひ、管を上下する程度により其の速度を任意に調節することが出來た。

同工事に於ては斯の如く改良せる施工法によりし爲、1907~1909の3箇年に亘り10萬立方碼の水中コンクリートを殆ど完全に施行し、良好の成績を擧ぐることに成功したが、此の水中コンクリートの良質であることは、工事施行後約1箇年を経て、鑽孔器により隧道の壁中より供試體を切り取り検査せるに、其の出来栄等質にして、配合1:3:6なるに拘らず $2800\sim4000\text{ lbs/in}^2$ の耐圧強度があつた事により明瞭であつて、之れは大なる水壓の下に凝結せる結果であらうと想像されて居る。其の後紐育にて築造せる第二ハーレム河底隧道工事や、最近の施工にかかるOakland-Alameda間のPosey隧道、Detroit-Windsor間の新車道隧道の繼手も、同一の方法により水中コンクリートを施行し、何れも良好の結果を得たと云ふことである。

著者が本編に於て水中コンクリートと稱せるものは、斯かる設備をして施行せるものを意味し、前記の實例に徴すれば相當良質のものを得らるゝ様想像さるゝも、我國のセメント骨材等は外國のものと同一ならざる點もあり、又之れを工事施工上より考察するに、コンクリートの流动をよくする爲には水比の大なる軟練となすことを要し(實際工事施行の際ならでは適當の軟度を決定し難きも、本實驗の結果より見て水、セメント容積比1.1内外の程度を適當とする様思考せらる)，斯かる軟練のコンクリートが數十呎の水底に放出せられ、水中にて凝結することなれば、其の際如何なる影響を受く可きやに就て判断を下すべき資料なきを以て、單に外國の實例のみに信頼せず、實驗によりて正しき概念を得んことを希望し此の研究に着手した次第である。

第二章 實驗の設備及び方法

前述の如く、本實驗の目的は主として水中コンクリートの性質を研究する爲であるが、從來斯かる實驗の先例に就て聞く所なく、如何なる方法が最も適切なる結果を與ふるかを豫想することが出來なかつた。夫で先づ普通の實驗用の設備をなし、各種の條件の下に製作養生せる供試體を作りて、其の強度を比較研究する方針を取りて準備に着手した。

第一節 設 備

彦島に於ける關門派出所の現場詰所を改造して試験室となし、附圖第一及び寫眞第一、第二に示せる如き設備を裝置した。此の設備には普通の標準試験用の器具機械の外に、特に考案した新装置をも使用したが、之れに就ては便宜上第二節に於て説明する。實驗に使用せるコンクリートの練合には、黒岩鐵工所製 2 才練電動ミキサーを使用した。供試體製作用の型枠は鑄鐵製で、徑 15 cm, 高さ 30 cm の圓柱形模型を 90 個準備し、スランプ・テスト及びフロー・テスト等の器具をも備付けた。耐壓試験機は寫眞第三に示せる如く、容量 100 噸のアムスラー型のものを裝置し、此の外普通のセメント試験器も一通り備付をなした。上記試験室の設備以外に、第三節に記載せる實驗に對しては air lock を使用したが、之れは關西線木曾川橋梁工事使用済品より保管轉換を受けたもので、之れに附隨してインガーソルランド社製のインペリアル型 10 號空氣壓搾機及び B.6 型機關車の古汽罐とを、附近にあるバラック建民間倉庫を借りて据付けた（寫眞第四、第五）。

以上の實驗設備の外に、トレミー・コンクリートの實驗を爲す爲、海中に足場を假設したが、之れは第六章に於て詳細説明する。

第二節 第一實驗

最初著者の腦裏に浮んだ事は、若し他の條件が同一ならば、水中コンクリートの強度は凝結の際受くる水壓の程度によりて異なるのではあるまいかと云ふ想像であつた。それで一定の方法によりて型枠に填充せるコンクリートを、種々の水壓の下に凝結せしめ、之れを標準養生法によりて凝結せしめたる供試體と比較する時は、其の耐壓強度の間に何か一定の法則を見出すことが出來まいかと云ふ考より施行せるものが此の第一實驗である。

此の實驗に使用せる主要なる設備は壓力水槽であつて、寫眞第一に示せる如きものである。水槽は内徑 76 cm, 深さ 60 cm の圓筒状をなし、其の中に 6 個の型枠を同時に收容することが出来る。其の構造側壁は厚さ 6 mm, 底部は厚さ 8 mm の鐵板を鉛締となし、蓋は厚さ 8 mm の鐵板と山形鐵とにて作り、ゴム製パッキングを挟みてボルトによりて水密に締付けることが出来る。此の水槽は 8 個を準備し、且つ之れに水壓計及び制水弁を有する導水口と排水口とを取付けた。

壓力水槽は毎平方吋 10 lbs, 20 lbs, 30 lbs, 40 lbs の 4 種の壓力に相當するもの各 2 個ありて、供試體を其の中で養生して後耐壓強度を試験したのであるが、此の 4 種の壓力を水槽内に與へる爲には、試験室の背後に於ける丘陵の地形を利用し、其の山腹に於て各水壓に相當する高さ 22.5 ft, 45 ft, 67.5 ft, 90 ft の所に 4 個の水槽（4 斗入古酒樽）を据付け、各水槽より徑 3/4 in の鉛管により 2 個の壓力水槽と連結した（同壓力のもの 2 個宛となる）。供試體を壓力の下に養生するには、先づ送水弁を閉じて水槽の蓋を開き、コンクリートを填充せる

型枠を搬入し終れば完全に蓋を締付け、送水弁を開きて山腹の水槽と連絡を取れば、自然落差によりて所定の水壓を保持することが出来る。然して豫定の時間加圧養生を終りたる場合には、送水弁を閉じ排水弁を開きて水壓を去りたる後、蓋を開けて供試體を水槽中より取出すのである。山腹水槽への給水は、試験室内に備へたる8馬力のモーター・ポンプにより井水を汲み上げた。此の加圧及び給水關係を略圖に示したもののが附圖第二である。

此の装置により施行せる實驗はコンクリートを型枠に填充する方法によりて次の2種のseriesに區別する。

第一實驗甲 標準填充法によるもの。

之れは大正15年10月東大にて開催された、コンクリートに關する協議會にて決定せられた方法（以下單に標準方法と述ぶ）により供試體を製作したもので、型枠にコンクリートを詰込む際3層に分ちて填充し、搗固めを爲して製作せる供試體の強度を比較せるものである。

第一實驗乙 流し込み填充法によるもの (A series)。

實際に於て水中コンクリートを施行する場合には、トレミー管にて水底にコンクリートを流し込むのであるから、搗固め等は全く不可能である。標準填充法の實驗のseriesにては、水壓の影響に就て比較研究し得るに止まり、之れによりてトレミー・コンクリートの強度を推論する事は出來ない。A seriesの實驗に於ては、成るべく之れを實際に近づける目的から、型枠にコンクリートを填充する際搗固めをなさず、流し込みの儘之れを壓力水槽内にて養生する方法を取つた。然れども供試體の型枠は寸法小なる爲、流し込み管も口徑小にして短きものゝ外使用出来ず、實際のトレミー・コンクリートの場合に於て、徑30cm、高さ4~24mの柱状コンクリートの壓力で流し込むのとは状況を異にする爲、實施の結果はコンクリートが完全に型枠内を填充するに至らず、良好なる供試體を製作し得ざりしは遺憾の次第であつた。

第三節 第二實驗

本實驗は第一實驗に平行して他の方面より研究を試みたもので、コンクリートの養生を爲す際第一實驗に於ては水壓を用ひし代りに、第二實驗に於てはair lockの氣壓を用ひたものである。然して此の方法による時は、直接壓搾空氣中にて養生せる供試體實驗の結果より、コンクリートがcaisson内にて凝結する際受く可き影響を察知することを得、又壓搾空氣中に置きたる水槽内にて供試體を養生する時は、第一實驗の場合に相當する結果を得らるゝ譯である。本實驗に於ても第一實驗に於ける如く、コンクリート型枠填充の方法によりて次のseriesに區別する。

第二實驗甲 標準填充法によるもの。

第二實驗乙 流し込み填充法によるもの (B series),

第四節 トレミー・コンクリート實驗

之れは現場にて實施せるトレミー・コンクリートの實驗である。第一及び第二の實驗は、單に實際の場合と稍類似の狀態にて凝結するコンクリート供試體の研究に外ならずして、眞のトレミー・コンクリートでなき事が遺憾の點であるが、本實驗に於ては海中に於て實際にトレミー・コンクリートを施行し、之れより供試體を切り取りて其の出來榮を檢し且つ耐壓強度を測定せるもので、最も有效確實なる實驗であるが、比較的多額の費用を要することに制限せられ、試驗室前面の棧橋に接する淺海に於て2回之れを施行せるに止め、且つ水深の異なる箇所に就て實驗することも出來なかつた。本實驗の詳細は第六章に於て記述する。

第三章 使用材料、調合及び水比

本實驗の目的は前に述べたる如く、實際の工事に對して參考資料を得んとするにあるから、之れに使用すべき材料も、成るべく工事の實際に近きものを撰定することにした。

第一節 砂

關門地方より遠からざる地點に於ては、大量のコンクリート用砂利を得可き所なく、各方面に就て之れが候補地を調査した。然るに關門海峡に於ける漂砂の調查に關聯して若松沖にて採取せる海砂は比較的良質にして數量に富み、且つ低廉なる費用にて採取する事が出來て、海底隧道工事用品として適當なる材料なりと認めたるを以て、コンクリート實驗に於ても之れを使用することにした。本砂は極小量の貝殻を含有すれども、其の殆ど全部が褐色を帶びた乳白色の石英質硬砂で、泥氣なき良質のものである。砂粒の組成配合は採取の場所により僅小の差あり一律ならざれども、8回に亘り採取せるものを篩分せる結果は附表第一に示せる如く F. M. 約 2.5 である。其の缺點と云ふ可きは少量の貝殻を混入することなれども、附表第二に示す如く其の總量約 0.32% に過ぎず、又一度篩を通せば之れを除去することも出来る程度である。然して試験用砂としては品質を一定して置く必要あるを以て、採取せる原砂は一應標準篩にて篩分をなし、然る後附表第三に示せる如き配合率により混成せるものを使用して、各試験に於ける砂の組成配合及び粗粒度を一定せしめた。此の試験用配合砂は1立の重量 1,637 kg で、void は 3.65% である。

第二節 砂 利

關門地方に於ては砂利も產地に乏しく、大量を採取し得可き場所がないから、工事の際は舟運を利用して多少遠隔の地にある河口海濱等より採集運搬する外あるまいと思はれる。尤も彦島に於て岩石を採掘し碎石として使用すれば、比較的低廉に得らるゝ様思はるゝが、沈埋式の海底隧道工事に於ては、コンクリートの大部分はトレミー管によりて降設する關係上、

其の流動をよくする爲には碎石よりも天然砂利の方が優つて居ると思はれる。それで本實驗に於ては、現場より遠からざる吉田川の河口にて採取せる砂利を使用した。此の吉田川砂利より徑 1 in 以上のものを除去し、更に之れを篩分検査せるに附表第四の如く F. M. 約 7.12 より徑 1 in 以上のものを除去し、更に之れを篩分検査せるに附表第四の如く F. M. 約 7.12 より徑 1 in 以上のものを除去し、更に之れを篩分検査せるに附表第五の如き割合に混合し、F. M. 7.28 の配合砂利として使用した。此の砂利 1 立の重量は平均 1,687 kg, void は 35.79% である。

第三節 セメント

試験に使用せしセメントは、主として試験室の對岸門司に工場を有する淺野セメント會社より購入せるも、参考として小野田、宇部兩セメント會社のものも使用した。セメントは樽詰のものを購入し變質せざる様濕氣少き倉庫内に格納し、一旦開封せるものは全部を亞鉛引鐵瓶製の罐中に詰め替へて保存した。又セメントは必ず規格試験をなし其の品質を確めたる後使用したが、其の試験成績表は附表第六に示してある。

第四節 水

水は試験室附近の井水を使用した。井の位置は海岸に近き所にあるも、山に接近せるを以て殆ど鹽分を含有せず、水質としては特記すべきものがない。

第五節 調合及び水比

コンクリートの調合は 1:2:4 とし、水・セメントの容積比は 1.0 及び 1.1 の割合で供試體を作つた。砂の含有水量は豫め検定して之れを加算した。斯の如く水・セメント比を撰んだ理由は、トレミー・コンクリートが圓滑に管内を流下する爲には 1.0 以上の水比を有する軟練を必要と認めたからである。

第四章 供試體の製作及び養生

第一節 供試體の製作

コンクリートの練合せにはミキサーを使用した。先づ砂及びセメントを混合機に入れて空練をなし、之れに所定の水を加へてモルタルを作り、最後に砂利を混合する順序となし空練を通じて 5 分間練り合せた。

標準填充法による series の供試體製作に於ては、コンクリートの填充は之れを 3 層に分ちて施行し、各層毎に鐵棒の一端を約 3 cm 程鈍く尖らせたる徑 15 mm, 長さ 40 cm のタンピング・ロッドを 30 回突入して搗固めをした。

流し込み填充法による A 及び B series の供試體に於ては搗固めを行はず、徑 11.4 cm, 長さ 65 cm の鐵管の上部に漏斗を取付けたるものを使用し、型枠内にコンクリートを流し込みたるも、單に流し込んだる丈にては自重により型枠内を充分填充するに至らず、寫真第六、

第七に示せる如きものとなり，供試體の空隙大にして個々の不同甚しく，養生法による強度比較を爲し得る程度のものを得難きを以て，流し込み後型枠を両手にて把持し，其の左右の下端を交互に上下に動かして軽き振盪を 15 回與へて振ひ込む時は，寫眞第八，第九に示せる如く稍良好の成績を得るに至れるを以て，此の方法によりて流し込み填充による供試體を製作することにした。

第二節 供試體の養生

第一實驗甲 標準填充供試體の養生法。

此の實驗に於ては水・セメント比 1.0 のものを使用し，標準養生と壓力水槽養生とによりて供試體を作つた。標準養生と稱するものは，コンクリートを型枠に填充後 24 時間大氣中に静置したる後純セメントを以て上面均しを爲し，更に 24 時間を経過せる後脱型して無壓の水槽中に養生せるもので，練合せより 28 日を経過して耐壓試験を施行した。壓力水槽養生のものは，コンクリート填充後直ちに型枠の儘壓力水槽中に搬入し，水壓を加へて 1 週間を経過せる後水槽より取出して上面均しを爲し，更に 24 時間を経過し即ち 8 日後に脱型して無壓の水槽中に養生せるものにして，練合せ後 28 日を経て耐壓試験を施行した。

第一實驗乙 流し込み填充供試體 (A series) の養生法。

流し込みコンクリートの場合には水・セメント比は 1.0 及び 1.1 の 2 種に就て試験した。然して下記の 8 種の供試體を作つた。

A 供試體 之れはコンクリートの填充及び養生共標準方法によつて製作せるものである。流し込みコンクリートの series 中に搗固め填充のものを加へし理由は，同時に製作せる供試體の實驗によりて，搗固め填充のものと流し込み填充のものとを比較するに便せん爲，基準として製作せるものである。

A₁ 供試體 之れは流し込みにより型枠を填充せるものを標準法によりて養生せるものである。

A₂ 供試體 之れは流し込みにより型枠を填充せるものを直ちに無壓の水槽中に浸し，7 日間経過の後水槽より取出して上面均しをなし，更に 24 時間経過して脱型し再び無壓の水槽中にて養生せるものである。

A₃ 供試體 之れは流し込みにより型枠を填充せるものを直ちに毎平方吋 10 lbs の壓力水槽中に浸し，7 日間経過の後水槽より取出し上面均しをなし，更に 24 時間経過して脱型したる後無壓の水槽に移し養生せるものである。

A₄ 供試體 之れは毎平方吋 20 lbs の壓力水槽を使用せる以外は，*A₃* 供試體と全然同様の方法にて製作養生せるものである。

A₅ 供試體 之れは毎平方吋 30 lbs の壓力水槽を使用せる以外は，*A₃* 供試體と全然同様

の方法にて製作養生せるものである。

A_c 供試體 之れは毎平方吋 40 lbs の壓力水槽を使用せる以外は、*A_b* 供試體と全然同様の方法にて製作養生せるものである。

A_d 供試體 之れはコンクリートを型枠に流し込み填充する際大氣中にて施行せず、先づ型枠を水中に浸し置きて、トレミー式に鐵管を使用して水中流し込みを爲せるもので、其の他は *A_b* 供試體と全然同一の方法にて製作養生せるものである。勿論直徑の小なる型枠の事故、實際のトレミー・コンクリートに於ける如き作業方法によるることは不可能であつて、流し込み中セメントが幾分洗去される事は水槽の水の混濁する事にて明瞭であるが、唯斯かる方法によるも、如何なる強度のものが得らるゝかを参考として知り得ん爲に施行せるものである。

第二實驗甲 標準填充供試體の養生法。

此の實驗は水槽の代りに圧搾空氣の氣壓を利用して利用せるものなれども、設備せる air lock は唯 1 個にして各種壓力に對し同時に比較試験を爲す能はざるを以て、各壓力の實驗毎に標準養生による供試體を同時に製作し、之れを基準として各種壓力の lock 内にて養生せる供試體の強度を比較することにした。然して直接 lock 内の圧搾空氣中に於て養生するものと、圧搾空氣中に置きたる水槽中にて養生するものとは同時に實驗を施行し、強度比較の基準となるべき標準コンクリートは共通のものとした。又コンクリートを型枠に填充するに當り、之れを lock 内に運びて圧搾空氣中にて填充せる場合と、大氣中にて型枠に填充して後 lock 内に搬入する場合を區別して試験した。lock 内にて養生するものは 7 日間所定の壓力下に置きたる後取出して上面均しをなし、更に 24 時間を経過して脱型し、夫より無壓の水槽内に養生する點は壓力水槽を使用せる實驗と同一である。

第二實驗乙 流し込み填充供試體 (*B* series) の養生法。

流し込みコンクリートの場合には水・セメント比 1.0 及び 1.1 の 2 種に就て試験し、同一バッチャードのコンクリートより下記 9 種の供試體を作つた。

B 供試體 之れは填充養生共に標準方法によれるもので *A* 供試體と同一である。其の目的は *A* series の場合に於ける如く搗固め填充によるものと流し込み填充によるものとを比較し、且つ獨立せる各種壓力の實驗を比較する基準となさん爲である。

B₁ 供試體 之れは大氣中にて流し込みにより型枠に填充せるものを標準法によりて養生せるもので *A₁* 供試體と同一である。

B₂ 供試體 之れは大氣中にて流し込みにより型枠に填充せるものを直ちに無壓の水槽中に浸し、7 日間経過の後水槽より取出して上面均しをなし、更に 24 時間経過後脱型して再び無壓の水槽中にて養生せるもので *A₂* 供試體と同一である。

B₃ 供試體 之れは lock の壓搾空氣中にて流し込みによりコンクリート型枠に填充し、其の儘 lock 内の空氣中にて 7 日間養生せる後取出して上面均しを爲し、更に 24 時間を経過せる際無壓水槽中にて養生せるものである。但し lock 内の氣壓は毎平方吋 10, 20, 30 封度の 3 種に就て別々に實驗した。

* **B_{3'} 供試體** 之れは B₃ 供試體に於て壓搾空氣中にてコンクリートを型枠に填充せる代りに、大氣中にて型枠に填充後 lock 内に搬入せるもので、其の他は B₃ と同一である。

B₄ 供試體 之れは B₃ 供試體同様のものを lock 内に置きたる水槽中にて養生せるもので、其の他は B₃ と同一である。

B_{4'} 供試體 之れは B₄ と異なる點は、大氣中にてコンクリートを型枠に填充したる後 lock 内壓搾空氣中に搬入せることで、其の他は B₄ 供試體と同一である。

B₅ 供試體 水・セメント比 1.0~1.1 の軟練コンクリートに於ては、B₁ 供試體を型枠に流し込み填充するに間もなく鎮定し、其の表面に遊離水浮上するに至るも暫時にて再び吸收せられ又は蒸發するに至るものなり、B 供試體に於ては setting の終る迄其の上面に水が盡きざる様注意して時々之れを補給し、常に表面を水にて覆ひ硬化せしめたるものである。

B₆ 供試體 之れは B₁ 同様流し込み填充供試體を標準法により養生するものであるが、B₁ と異なる點は型枠の頭部を水面上に露出する程度に之れを水槽中に浸し、直接水と接觸せずして硬化せしめたものである。

以上 B series の供試體中 B₃, B_{3'}, B₄, B_{4'} の 4 種が lock を使用して製作せるものである。又 B₅ と B₆ とは特殊の研究の目的で便宜上此の第二實驗の際に附加へて製作せるものであるが、之れに就ては次章の第二節に於て記述する。

第五章 供試體の耐壓試験

第一節 試験の結果

I. 第一實驗甲 (標準填充法によるもの)

コンクリートを型枠に填充して後壓力水槽中にて之れに加壓するに際し、之れに壓力を與ふる速度を下記の如き 3 種に區別して試験した。

- (a) 加壓速度を急にし、水槽の所定壓力如何に關せず、二分間にて全壓力を與へたる場合 (附圖第三の其一)。
- (b) 水槽の所定壓力如何に關せず約十分間に全壓力を加へたる場合 (附圖第三の其二)。
- (c) 加壓速度を緩にし、一分間に 1 lbs/in² の割合にて徐々に加壓せる場合 (附圖第三の其三)。

附圖第三の其四是以上三者の比較を同一圖面上に示せるものである。

此の試験の結果にては、水槽の大小と耐壓強度の間に一定の關係を見出す事が出來ず、又加壓速度の緩急が耐壓強度に及ぼす影響も説明する事が出來ぬが、一般に養生壓力の如何に關せず、水槽中にて養生せる供試體は標準養生のものに比較して強度が小なる事を認むることが出来る。

以上の各種壓力水槽内にて養生せる供試體は、1週間加壓後取出し検査せるに、其の受くる壓力の大なるもの程供試體の收縮量が大であることを發見した。此の供試體の收縮せる部分は、耐壓試験の爲に純セメント・モルタルにて上面均しをするのであるが、上面均し後24時間を経て脱型計重せるに、水槽内の養生壓力大なるもの程收縮大にして、モルタルを多量に要する關係上重量大なることを試験した。此の收縮量及び重量の關係を示せるものが附圖第四の其一乃至其四である。

以上の結果より見れば壓力水槽内養生の供試體は、壓力大なる程收縮が大にして density を増して居るに拘らず、標準養生のものに比して一般に強度の減少せることは、水槽中の養生といふ事が其の原因である様に想像せらるゝ。

II. 第一實驗乙 (流し込み填充法によるもの, A series)。

前章第二節に述べたる8種の供試體に就て施行せる耐壓強度試験の結果は、附圖第五の其一、其二及び附圖第六に示してある。此の實驗によれば、配合1:2:4、水セメント比1.0の流し込みコンクリートは、標準養生のもの强度最も大にして、水槽内養生のものは之れより强度低下すること撲滅め填充の場合と同様であるが、其の間に一定の關係を認むるに至らぬ。また水・セメント比1.1の場合は比1.0のものも强度を減じて居るが、水中養生のもの内に却つて標準養生供試體より強き結果を得たものもある。又水・セメント比1.0の場合にはA供試體の强度がA₁供試體よりも大なるに、比1.1の場合には此の兩者略相等しき結果を示せる理由は、比1.1の如く非常に軟練のコンクリートにては、型枠に流し込んだるものも標準撲滅を爲したるものも殆ど同じ程度に填充する事が出来るも、水量之れより小なる場合には、流し込み丈にては猶幾分空隙を存し、撲滅めにより初めて完全に填充するに至る事が其の原因であるらしく想像せらるゝ。

III. 第二實驗甲 (標準填充法によるもの)。

附圖第七の其一は標準養生のコンクリートに對して、lock内にてコンクリートを型枠に填充し、lock内の水槽に浸して養生せる供試體の耐壓強度を示せるもので、附圖第七の其二は同様に製作せる供試體を直接壓搾空氣中にて養生せるものの耐壓強度を示せるものである。而して各組の試験の結果一律ならざれども、一般にlock内養生のものは標準養生のものに比して強度大なる結果を示して居る。

附圖第七の其一、其二は標準養生及び各種壓力の下に養生せる供試體の強度比較を別々に

示し、壓力と強度の關係を見るに不便であるから、之れを同一圖面に纏めて比較圖示せるのが附圖第七の其三である。而して基準となるべき標準養生コンクリートの強度も各組毎に差違あるを以て、之れを一定する爲各組の平均強度を求めて共通標準養生強度（基準強度）とし、各種壓力の lock 内にて養生せるものゝ強度は基準強度に相當する様に更正し（各組の標準養生平均強度と基準強度の差を求め、此の差を各種壓力の lock 内養生供試體の平均強度に差引す）比較することにした。本圖に依れば lock 内水槽中にて養生せるものは其の壓力如何に關せず、標準養生に依るものに比して幾分強度大なるも大差なしと云ふ可く、lock 内壓搾空氣中にて養生せるものは標準養生によるものに比して強度大なることを示して居る。又壓力と強度の間には一定の關係を見出す事が出來ない。

附圖第八の其一、其二は lock 内にてコンクリートを型枠に填充成形し其の儘壓搾空氣中にて養生せる供試體と、外氣中にて型枠に填充成形せる後 lock 内に搬入し、壓搾空氣中にて養生せる供試體の強度比較を示せるものである。而して本圖に於ては、試験の結果が養生壓力別及び製作法別に個々に圖示せられ其の關係を見るに不便である故、共通基準強度を求めて、之れに相當する様各種壓力の下に養生せる供試體の強度を更正して、比較圖示せるものが附圖第八の其三である。

本試験の結果を見るに、各組の強度關係必らずしも一律ならず、甚しきは相反せる結果を示せる場合もあり、試験回數も僅小にして結論を與へ難きも、lock 内に養生せる供試體は、空氣中又は水槽中なるを問はず一に般標準養生によるものに比して強度大にして、又供試體が lock 内にて成形せられたると大氣中にて成形せられたるとの關係を比較すれば、一般に前者は後者よりも強度大なることを示して居る。

IV. 第二實驗乙 (流し込み填充法によるもの, B series)。

附圖第九の其一乃至其三は、配合 1:2:4、水セメント比 1.0 のコンクリートを流し込み填充によりて製作せる供試體の實驗であるが、其の中 lock 内養生のものが壓力を異にする丈で其の他のものは同一の條件にて製作せるものである。故に lock 内養生以外のものゝ平均強度を求め、其の内標準養生によるものゝ強度を基準となし、各種壓力の lock 内にて養生せるものゝ強度は此の基準強度に相當する様更正し（各組の標準養生平均強度と基準強度の差を求め、此の差を各種壓力の lock 内養生供試體の平均強度に差引す）、比較圖示せるものが附圖第九の其四、其五である。然して以上と同様の方法にて水・セメント比 1.1 の場合を比較せるものが、附圖第十の其一乃至其五である。

本試験の結果より見れば、流し込み填充による供試體を lock 内の空氣中又は水槽中にて養生せるものは、標準養生のものより強度小であつて、標準填充法によれる實驗の結果と反対の結果を示して居る。又此の第二實驗に於ても、水槽中に於て養生せるものは同壓の壓搾

空氣中に養生せるものより強度小である。

第二節 試験結果の検討及び附隨試験

本章に記述せる各種實験は配合 1:2:4 のコンクリートに就て施行し、其の水・セメント比(容積)は主として 1.0 のものを試験したが、流し込みコンクリートに於てはより軟練のものに就ても實験することを必要と認め、比 1.1 のものに就ても併せて試験した。各組の實験に於ける供試體製作用のコンクリートは、ミキサーにて練合せたる同一バッチャヤーのものを使用する事とせるも、ミキサーの容量 2 切練なりしを以て供試體の數が制限せられしは已むを得ざる次第であつた。又供試體の製作に當り、材料の配合練合せ填充等に周到なる注意を拂ひ從事員も専門的に實験に從事し熟練を積むに至り、實験の正確に就ては充分の自信を持ち得るに至つたと考へる。夫にも拘らず實験の結果を見れば、同一種類のコンクリートを使用し同一のバッチャヤーより同一方法にて成形養生せる供試體に於ても、其の耐壓強度の差比較的大なる場合もありて不思議に思はるゝ次第であるが、斯る結果を生ぜる理由は次の如き原因に依るものと想像さるゝ。

若し實験に使用せるコンクリートが水・セメント比小なるもの即ち硬練である場合には、練合せさへ充分なれば水・セメント比は比較的平等なることを得て、各供試體耐壓強度の差違も従つて小である筈であるが、本實験の如く水・セメント比大なる場合に於ては、混合機にて練合せ中は比較的均等であつたものも、混合機より他の容器に移出せる際、過剰の状態にある配合用水は表面又は周圍に偏流する爲、部分的に水・セメント比が均等を缺くに至れる様思はるゝ場合が往々あつた。之れが同一バッチャヤーのコンクリートより同一強度の供試體を得難き原因であらうと想像さるゝ。然らば軟練のコンクリートにて同時に多數の供試體を作る際、其の全部に所定の水比を嚴正に保たしむることは到底難かしき事であると思はれる。此の點より見れば、本編に記述せる各種養生法による強度比較試験の如きは、硬練コンクリートに就ても一應實験する必要を感じるも其の時期を得ざりしことを遺憾とする。尙現場に於てコンクリート工事施行の際、其の流动をよくする爲軟練を必要とする場合には、練合せは如何に完全なるも、練合せより使用する迄の間を特に注意せざれば、實際出來上りたるものは部分的に強度を異にするに至るべきは注意すべき事項であつて、トレミー・コンクリートの如きも、其の施行に際して間断なき作業により連續的にコンクリートが管内を流动して所定の區割内を填充せしむることが、其の均等性を得る上に於て極めて大切なことゝ思はるゝ。

本實験に於ては前述の如き缺點があつた許りでなく、其の設備に於ても溫度湿度等を不變に保ち得可き裝置を缺き、又短期間に於て多種の試験を施行せる爲、各試験に對し多數の供試體を使用することが出来なかつた。其の他本試験の結果に關聯して更に試み度き幾多の附

隨試験をも爲すべき機會を失ひ，實驗として不完全なる點は多々ありと雖，當初の目的たる圧搾空氣及び水中にて施行するコンクリートの性質に關しては，實驗の結果を検討して下記の如き推定を爲し得る事と信する。

I. 大氣中にて練合せ壓搾空氣中にて凝結せしめたるコンクリート

之れは caisson 中に於けるコンクリート工事の如き場合に該當するものである。第二實驗の結果を見るに搗固め填充をなせる供試體は，之れを圧搾空氣中にて養生すれば標準養生の場合よりも強度を増加し，流し込み填充による供試體は却つて強度を減少する結果を生じて居る。流し込み填充のものが何故に圧搾空氣中の養生により強度を減するに至るかと云ふ理由に就ては，猶充分の研究を爲す機會を得ず茲に其の説明を爲し得ぬは遺憾であるが，caisson 中のコンクリート工事は大氣中に於ける如く搗固めを爲すことを得，第二實驗の甲の結果より推定して，却つて大氣中にて搗固めを爲せるものよりも強度を増進すると認め得らるゝが，其の理由に就て著者の研究せる所を下に記述する。

第二實驗に於て，配合 1:2:4，水・セメント比 1.0~1.1 のコンクリートを型枠に填充後 air lock の中に搬入せるものを注視すると，其の表面に浮出せる遊離水は壓力の加はるに従つて漸次沈下し，壓力を減する時は再び表面に浮び上る事を認めた。之れはコンクリート内に存在する氣泡が壓力の加はるに従つて壓縮せられ容積を減じ，其の爲に生ぜる空隙中に遊離水やモルタルを吸込む爲，表面下降し，壓力を減する時は氣泡再び膨脹して遊離水上昇する現象を生ずるものと想像された。夫で此の現象を正確に測定せん爲にコンクリート及びコンクリート内氣泡壓縮測定器を考案した。本器の構造は附圖第十一及び寫真第十に示せる通りであつて，徑 16 cm，高さ 7.5 cm の眞鑄製浮子の中心に，幅 5 cm，厚さ 1.5 mm，長さ 30 cm の柱を立て，柱には任意の位置に固定し得る様セット・スクリューを有する指示針を取付けた。此の指示針は浮子の上下と共に自由に屈折し得る様 Q 點に於ては pin にて接合せられ，目盛盤（眞鑄製にして中央を零とし上下に 10 mm 迂讀み得る様 0.1 mm 讀の目盛を施せるもの）には P 點に於て取付けてあり，壓縮量を 10 倍に擴大して読み得る様 P より針端迄の長さを PQ の 10 倍に取つてある。コンクリート容器には容量 10 liter の硝子製量水器を使用し，目盛盤は浮子とは關係なく眞鑄製帶金によりて容器に締付け得る裝置とした。空氣は 1 氣壓 (14.7 lbs/in²) の壓力により其の容積を半減するを以て，壓力 14.7 lbs/in² の場合の減水量の 2 倍を以て氣泡の總量と見做すことが出来る。又コンクリート内の氣泡壓縮と同時にコンクリートの容積も減ずるを以て，上記の浮子の代りに徑 16 cm，厚さ 1 mm の鐵鉢を使用し之れをコンクリートの表面に碇置するときは，同器の指示針によつて直接にコンクリート面の沈下即ちコンクリートの壓縮量を讀むことが出来る。附圖第十二の其一，其二は本器を使用し氣泡壓縮量を測定せる結果を圖示せるものである。然して一旦壓縮せる後漸

次其の壓力を減じて零に至るも、指示針は此の零點迄歸着せず僅小の差を残すは、試験中に空氣の幾分逸失せるによるか、又は氣泡が幾分壓縮されたる儘に殘留するによるものと思はる。

前記の裝置を使用して測定せる氣泡量を他の方法によりて検討する爲、下に記述する直接測定法を試みた。之れには寫眞第十一に示せる如く、1 mm 鐵釘製の受益で 50 cm 方形、深さ 10 cm のものと、24 番鐵釘製の方 60 cm、深さ 39 cm の漏斗を作り、漏斗の中心には徑 5 mm、長さ 4 cm の氣泡收集口を取付け、又其の 4 側には徑 12 cm の孔を穿つた。此の裝置により氣泡量を計るには、先づ適當の水槽に水を満たし前記の鐵製受益を沈め置き、次にコンクリートを填充せる型枠を盆上に置き、氣泡集收漏斗を以て其の上を覆ひ、漏斗の中央にある氣泡集收口上には水を満せる硝子製計量器を倒置して之れにかぶせた。斯くして準備成れる時、漏斗の側孔より手を差入れて型枠を顛倒し、コンクリートを全部盆上にかき出して攪乱する時は、其の含有せる氣泡は浮上するを以て漏斗の上部を覆へる計量器中に之れを捕ふる事が出来る。猶此の方法にてはコンクリート型枠を水中に浸して氣泡集收漏斗にて覆ふ迄相當時間経過するを以て、其の間に氣泡の浮揚逸失すること無きやの疑念あるべきも、今回試験せる如き水・セメント比のコンクリートにありては、其の中に囚在する氣泡は微細にして浮出力小なれば、假令練立のものを水中に浸すも、之れを攪乱するに非ざれば逸失する如き現象は殆ど認むる事がなかつた。

以上直接計量せる氣泡量を測定器により算定せるものに對照するに、其の結果相近似し同一の結果と認めても差支なき程度である。然して之れ等の實驗より判断せる氣泡量は、配合 1:2:4 コンクリートに於て、水・セメント比 0.9, 1.0, 1.1 の 3 種と標準填充及び流し込み填充とに區別して記載するときは、大體下記の如きものと想定することが出来る。

配 合	W/C	標準填充コンクリートの 氣泡含有量(%)	流し込み填充コンクリートの 氣泡含有量(%)
1:2:4	0.9	3.3	—
"	1.0	1.3	3.9
"	1.1	0.6	3.0

上記の如くコンクリート中には細微の氣泡を含有し、之れは撓固めをなすも除去する事の出来ぬもので、大氣中にて凝結する場合には其の儘空隙として殘存するものなれども、此のコンクリートが壓搾空氣中にて凝結する場合を想像すれば、此の氣泡は壓力に應じて容積を縮小するを以て、結局凝結後も空隙の少きコンクリートとなり、自然其の強度を増加する結果を生ずるものと考ふる事が出来る。

茲に参考として附記する事は、大氣中にて練合せたるコンクリートを Jock 内に搬入し壓力を加ふる時は、次第に其の水分を減じ恰も熟練の如き状態を呈することにして、同一パッチャーヤより得たる配合 1:2:4, W/C 1.0 のコンクリートを 2 分し、一は大氣中にてスラン

プ・テストをなし、一はロック内に搬入し 27 lbs/in^2 追加壓せる空氣中にてスランプ・テストを試みたるに第一表の如き結果を得、大氣中の平均スランプ 7in に對して 壓搾空氣中にては $2\frac{1}{2}\text{in}$ であつたが、之れは前述の如く氣泡の壓縮により過剰配合水を吸收し、コンクリート全體が恰も水・セメント比の減少せる如き状態となるによるものであらうと推定せらる。

第一表

回数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	平均
スランプ 大氣中	7	$7\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	5	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{3}{8}$	$6\frac{3}{4}$	$7\frac{1}{4}$	$7\frac{1}{4}$	$7\frac{1}{2}$	7	$7\frac{3}{4}$	8	$7\frac{1}{2}$	7
ロック中 時々	$0\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{8}$	3	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{4}$	$3\frac{3}{4}$	$4\frac{3}{4}$	2	$3\frac{1}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$

以上は壓搾空氣中の養生によりコンクリートの強度を増加する理由を説明せるものであるが養生氣壓と強度増加率の關係に就ては猶多くの實驗を重ねるに非ざれば具體的の數字を擧げる事が出來ない。

II. 大氣中にて練合せ水中に沈設凝結せしめたるコンクリート

著者が第一實驗に着手せる際には、供試體の試験によりて養生水壓と耐壓強度の關係を見出さんことを豫想したのであつたが、實驗の結果は其の目的を達する事が出來なかつた。第一實驗の甲に於ては、水壓の如何に關せず水槽中にて養生せる供試體は、標準養生のものに比して強度一般に小なる結果を得、第一實驗の乙に於ても亦略同様の結果を認めたが、實驗の一部には却つて反対の結果を示せる場合もあつた。第二實驗の甲に於ては、ロック内水槽中にて養生せるものは標準養生のものと其の強度大差なく、寧ろ幾分之れより大なる結果を得て居る。第二實驗の乙に於ては、無壓水槽中にて養生せる供試體が標準養生のものより幾分強度大なるに引かへ、ロック内水槽中にて養生せるものは凡て標準養生のものより強度小であつた。

斯の如く今回施行せる實驗の結果は必らずしも一律ならざれども、全體を通じて概観するに、水中養生供試體は標準養生のものに比し一般に強度を減少するを普通とし、異例として時に反対の結果を見る様である。又第五章第一節に述べたる如く、壓力水槽中にて養生せる供試體は水壓の大なる程壓縮せられて其の density を増加するものであり、コンクリート及びコンクリート内氣泡壓縮測定器による實驗によるも、壓力の增加に伴ひコンクリートの壓縮せらるゝ事を證明し得るのであるが、斯くコンクリートが壓縮せられて density を増すにも拘らず、水中養生のものが空氣中養生のものに比して強度を減ずるに至る事は如何なる原因によるものであるか、之れに關して著者の考ふる所を下に記述する。

第一の原因として想像し得る事は、コンクリート練合せ後直ちに之れを型枠に填充し水中に浸す時は、コンクリート内に存在する氣泡浮上し、空隙を填充する爲、外部より水の侵入する爲、水比を大にし強度を減少する事であつて、其の正否を判断する爲に第二實驗乙に於

て B_5 供試體を作つた。此の B_5 は B_1 と全然同様のものなれども、唯コンクリートの凝結する迄注意して其の表面を水にて覆ひて製作せるもので、若し氣泡逸失の爲コンクリートの水比増加するならば B_5 供試體は B_1 供試體よりも強度を減すべき筈である。然るに水・セメント比 1.0 の實驗にては B_1 と B_5 は殆ど同一の強度となり比 1.1 の實驗にては B_5 は却て B_1 より強度大なる結果を得た。又コンクリート内氣泡測定實驗の項に於て述べたる如く、今回試験せる如き水比のコンクリートに於ては、其の中に存在する氣泡は微細なる爲浮出力少く、之れを水中に浸すも逸失する如き現象は認め難いのである。故に上記の考察よりして本項の想像はコンクリートの強度減少の原因を爲すとは思へない。

第二の原因として考へ得可き事は、コンクリートが凝結する際は化合作用により熱を發生し、此の熱は強度増進の爲、必要なる事は専門家の研究によりて周知の事實であるが、養生水槽中の水の温度低き場合に於ては、空氣中に於けるよりも傳導により容易に化合熱を失ふに至るべきを以て、之れが強度減少の因を爲すであらうと想像さるゝ事である。斯る影響の有無を探知する目的を以て、第二實驗乙の中に B_6 供試體を作つた、之れは B_1 同様空氣中にて凝結する供試體であるが、型枠の頭部を水面上に露出する様水槽中に浸して製作せる供試體であつて、全然空氣中に養生する B_1 に比し化合熱を水中に傳導することが比較的容易であるから、斯る養生法による B_6 は B_1 よりも強度小なるべき筈である。而して實驗の結果を見るに個々の場合には反対の結果を示せる事もあるが、平均に於ては B_6 は B_1 より小なる結果を得て居る。勿論本實驗に於ては溫度や湿度を不變に保つべき設備を缺き、實驗回數も小なる許りでなく時として反対の結果を得て居る事もありて、猶完全なる設備の下に多數の實驗を重ねるに非ざれば之れを斷定する事を差控るも、兎に角本項の想像は稍正鵠に近きものと考ふる事が出来る。實驗中の異例として水中養生のものが標準養生に比して強度を減少せず、或は却つて強度を増加する場合の説明としては、養生水の溫度低からざる時は空氣中養生のものに比して化合熱傳導の影響大ならざること、時としては急激なる乾燥に比して凝結に對し好影響を與へ、却つて強度を増進するに至るにあらざるかと想像し得る。

第一實驗の標準養生供試體と無壓水槽中養生供試體の強度と比較するに、一般には水中養生のもの強度小なるも、又之れと同等或は夫以上の強度を示す事ありて結果の一律ならざることは、供試體養生當時の溫度に關係ある様想像されたるを以て、昭和 4 年 8 月以降 1 億年に亘り製作せる兩種の供試體に就て、月別の平均耐壓強度を計算して圖示せるに附圖第十三を得た。本圖によれば、10 月より翌年 4 月に至る氣温低き時期に製作せられたるものは一般に水中養生供試體が標準養生に比し強度を減ぜる事を示し、其他の 5 月～9 月に至る氣温高き時期に於ては、例外はあれども兩者の差異少く、時としては却つて強度を増加する事あるが、之れ氣温低き冬期に於ては水槽内の水の溫度と試験室の空氣溫度の差大にして、コンク

リートの耐圧強度に及ぼす影響大なるも、夏期に於ては兩者溫度の差が強度に及ぼす影響小なる事を暗示するものである。

猶水中養生供試體に對する耐圧強度の試験は材齡4週間のものに就て施行せるものであつて、之れより材齡の大なる場合に對しては、更に實驗を要することは言ふ迄も無い事である。

次に附記すべき事は、元來コンクリートの強度は主として水・セメント比に支配せらるゝものなるを以て、一定の水比によりて練合せたるコンクリートも之れを水中に沈設して凝結せしむる場合には、外部の水は自由にコンクリート中に侵透すべく、當初の比率とは異なるものと化すべしと云ふ疑念であるが、外部の水がコンクリート内部に侵入し得るは、其の内部に空隙を生じて之れを充さん爲に移動を生ずる場合であつて、内部が充實せる時には斯る移動を生すべき理なく、従つて水中に沈設せるコンクリートは練合せ當時の水比を維持すべき道理であるが、之れに就て試みたる實驗を記載せんに、配合 $1:2:4$ のコンクリートに就て水・セメント比 $0.8, 0.9, 1.0, 1.1$ の4種に分ち、各種毎に標準養生による供試體と、型枠に填充後直ちに水中に浸して養生せるものを作り、其の耐圧強度を比較せるに附圖第十四の其一乃至其三に示せる如く、水中養生のものは標準養生のものに比し強度稍大であつたが、此の兩者全く相近接平行し、配合の際の水・セメント比は水中に浸すも變化するものに非ざる事を證する事が出來た。

第六章 トレミー・コンクリート實驗

第二章第四節に述べし如く、可成簡単なる裝置にて小規模のトレミー・コンクリートを作り、之れより供試體を切り取りて強度試験を爲す目的を以て、試験室の前面にある木造假棧橋を利用して寫真第十二に示せる如き設備を施した。其の構造は杉丸太にて作れる檣の上段及び中段を一部板張となし、トレミー管懸吊及びコンクリート捲揚の爲、松丸太の三脚荷叉を附屬せしめた。トレミー管には地質調査に使用せる内徑 15.5 cm 、長さ 3 m のドライビング・チューブ2本を接ぎ合せて總て長さ 6 m とし、其の上部には厚さ 1.5 mm の鐵鍛にて口徑 30 cm 、高さ 45 cm の漏斗を取り付けコンクリート注入口とした。トレミー管の上下をなす爲には、捲揚用マニラ・ロープを三脚荷叉に取付けたる滑車を経て起重機のドラムに巻きつけて作業した。コンクリート用型枠も經費其の他の關係より大なるものを製作するを得ず、松1寸板を用ひて 2 ft 角高さ 5 ft のもの2個を作り、セメントの流出せざる様叮嚀に加工して海中に据付けた。コンクリートは配合 $1:2:4$ とし、砂利は伊興産のものより 1 in 以上のものを除去し F.M. 約 7.0 のもの、砂は若松沖の海砂 F.M. 約 2.5 のもの、セメントは淺野セメント門司工場製のものを用ひ、ミキサーはコーリング會社製7切練機を

他所より保轉して使用する事を得て、實驗中連續してコンクリートをトレミー管に供給する事が出來た。

工事實施の際使用すべきトレミー管の大きさは、従來の實例に従事し徑 1 ft 位のものでなければ、コンクリートの管内流動に圓滑を期し得ないのであるが、本試驗には小徑の有合鐵管を使用し必ずしも圓滑流下を期し難いと思はれ、先づ第一コンクリート塊は水・セメント比 1.1 のものを以て施行した。然るに初めての作業にて熟練を缺ける關係もありて、此の水比にても管の下端がコンクリート中に没入したる儘にて流動停止することあり、トレミー管に振動を與へたり、又は擦にて詰れる箇所を突き貫く等の作業を爲し流下せしむるを得たるを以て、水比 1.0 にては此の作業一層困難なるべきを豫想し、第二號コンクリート塊に於ては水比 1.2 のものを試用した。コンクリートの平均流下速度は第一號塊に於ては 0.604 m/min 第二號塊に於ては 0.924 m/min であつた。トレミー管の下端のコンクリート中に没入せる深さは一律ならざれども、普通 10 cm 内外で好條件の時は 30 cm 位あり、作業中水が管内に逆流する事は絶對になかつた。試驗箇所の水深は平水位以下約 3 m で、干満の差は約 2 m なるも、コンクリート施行當時は恰も平水位時期にて型枠上端は水面下約 1.5 m の所にあり、最干潮時に於ても枠の上面露出する如き事なく、又其の位置海岸に接せる爲、潮流は半節内外で殆んど靜止の状態であつた。コンクリート施行後最高最低水中寒暖計を使用し海水溫度を測定せるに、コンクリート打後 7 日間の溫度は最低 16°、最高 27° で平均約 22.3° であつた。

トレミー・コンクリートは昭和 5 年 9 月 12 日施行し、10 月 9 日迄 29 日間其の儘海中に養生せる後陸上に引上げ脱型し、其の後は濡縫を以て覆ひて養生し、第一號塊の供試體は製作後 88 日目より core 切取りに着手し 10 日間にて之れを終り、第二號塊の供試體は製作後 105 日目より core 切取りを初めて 15 日間にて之れを終り、孰れもキヤッピングを施して材齡 138 日の時耐壓強度の試験を施行した。core の切取りに斯く長日數を要したるは、機械故障其の他の爲、中途休止した場合があつたからである。

供試體として塊より切取りたる core は直徑 15 cm で、此の作業に要する錐冠及び core tube は東京利根製作所をして製作せしめた。又コンクリート裁断にダイヤモンドを使用するときは工費嵩むを以て、同會社製の硬度大なる合金利根メタルを使用し、直徑 15.3 cm の錐冠に對し 16 個を植込んだ。試錐機は關門隧道地質調査に使用せるガテリウス會社製手送式のものを海岸石垣上に据付け、コンクリート塊は石垣直下の海底に置き core 採取作業に從事した。然るに試錐機の能力に對して錐冠の大さ過大なる爲、裁断に要する荷重を充分に加ふる事能はず、且つ回轉速度も小なる爲、1 時間の進行速度は 2 in~3 in に過ぎなかつたが、裁断せられたるコンクリート面を檢するに、砂利の剝離する事なく利根メタルにより裁

断せられ、豫想以上の好成績を擧ぐる事が出来た。

トレミー・コンクリート塊製作後 1 箇月にて陸上に引揚げ幕板を除去せるものは写真第十三に之れを示せり。其の中第一號塊の水比 1.1 のものは幕板の木目迄完全に其の表面に現はれ、普通の陸上施行のコンクリートよりは却つて完全に見ゆる位の出来榮であつた。水比 1.2 の第二號塊の方は其の出来榮第一號塊に劣り、表面 2 箇所に砂利露出し不出来の箇所があつたが、其の他は完全であつた。此の第二號塊の出来不良なりし理由は、第一號、第二號の型枠は小距離を隔てゝ並列せるも、懸吊せるトレミー管は第一號型枠に對しては垂直なる様設備せられ第二號型枠に對しては少しく傾斜する事となり、管の下端が作業中絶えず移動してコンクリートを攪乱する傾向ありしに起因するものにして、管を垂直に懸垂する時は折る結果は生じないのであつた。

2 個のコンクリート塊より前述の方法によりて徑 15 cm の core を採取せるものが写真第十四及び第十五に示してある。第一號塊よりは長さ 30.5 cm, 33.0 cm, 18.0 cm, 21.5 cm, 20.5 cm, 9.0 cm のもの 6 個を、第二號塊よりは長さ 42.0 cm, 39.5 cm, 21.5 cm のもの 3 個を完全なる状態にて得られた。第二號塊の如きは表面の一部不出来なりしに拘らず、内部には影響なく全長を通じ完全なるものであつた。此の切取りたる core を検するに周面に於ても切斷面に於ても、セメント骨材の混合状態均等にして出来榮極めて良好であり、陸上にて完全に施行せるものに比し何等異なる所なきを認めた。core が 30 cm 内外の長さにて切斷し連續せざりし理由は、現場の都合でコンクリート塊及び試錐機の据付を確固たらしむる事が出来ず、作業中の振動大にして錐冠又は core barrel にて絶えず衝撃を受け切損せるもので、コンクリートの不良なりし爲に非ざる事は切斷面の完全なる状態によりて明瞭である。

採取せる core は前記の如く長さ一定せざるを以て、写真第十六に示せる如くキャッピングの厚さによりて之れを補ひ、總長 30 cm の供試體に仕上げ耐圧試験を施行したが、其の結果第二、三表の如くであつて、水比 1.1 の第一號供試體の平均耐圧強度 195.2 kg/cm² (2 780 lbs/in²)、水比 1.2 の第二號供試體の平均耐圧強度 171.3 kg/cm² (2 440 lbs/in²) であつた。猶第一回試験後其の型枠を再用して第二回試験をなし、第三號及び第四號コンクリート塊を作つたが、閑門派出所閉鎖の爲、耐圧強度試験を施行するに至らず、茲に其の結果を記載することが出来ない。

第二表 トレミー・コンクリート第一號塊供試體耐圧強度試験成績表

供試體番號	コア長 cm	キャッピング 厚さ cm	供試體長 cm	供試體徑 cm	耐 圧 強 度 kg/cm ²	記 事
1	30.0	0	30.0	15.09	84.5	193.0
2	30.0	0	30.0	14.96	30.0	171.5
3	18.0	12.0	30.0	14.63	83.5	core 採取の際中央部に少し く折れせる所あり

4	21.5	8.5	30.0	14.08	32.9	217.0	
平均						195.2	材齡 138 日

第三表 トレミー・コンクリート第二號塊供試體耐壓強度試驗成績表

供試體番號	コア長 cm	キャッピング 厚さ cm	供試體長 cm	供試體徑 cm	耐 壓 強 度 kg/cm ²	記 事
1	21.6	8.4	30.0	15.02	29.9	169.0
2	23.0	7.0	30.0	14.90	30.8	177.0
3	23.0	2.0	30.0	14.37	27.2	168.0
平均					171.3	材齡 138 日

第七章 結 論

以上記述せる實驗の結果より下記の如き推定を爲し得ると信ずる。

I. 大氣中にて練合せたるコンクリートを壓搾空氣中に搬入して搗固め硬化せしむる時は、普通の大氣中にて搗固め硬化せしめたるものに比して其の耐壓強度を増加す。但し壓力と強度の増加率の關係に就ては、完全なる設備にて更に多數の實驗を重ねたる上ならでは斷定し難い。

II. トレミー管を使用して水中コンクリートを施行するに當り、工事中其の區劃内は流水の影響を受けざる様設備に注意し、上下容易なる様裝置せるトレミー管の下端は作業中常に適度の深さにコンクリート中に没入せしめ、軟練（水・セメント比 1.1 内外）のコンクリートを間断なく供給降設する時は、コンクリートの骨材が分離し又はセメントが洗去らるゝ事なく、其の質均等にして相當緻密なるコンクリートを作る事を得可く、斯かるコンクリートの強度は配合の割合、使用水量、施行當時の水の溫度等に支配せらるゝを以て、局限的實驗より一般的結論を得る能はざれども、配合 1:2:4、水・セメント比 1.1 内外とし、水溫の非常に寒冷なる時季を避けて工事を施行するときは、工事施行後 1 箇月の後少くも 100kg/cm² (1422 lbs/in²) 以上の耐壓強度を有するに至るものと推定し得可し。實際に於ては其の強度之れより遙に大なる事を想像し得るも、更に多くの實驗を重ねるにあらざれば具體的の斷定を爲すことが出來ない。

附 言

本編は著者を授けて主として實驗及び研究に從事せられたる鐵道技手 光成毅平、桂常一兩氏及び其の他の元關門派出所々員の努力に負ふ所大なるものあり、茲に記して深甚の謝意を表するものである（昭和 6 年 8 月 3 日）。

附表第一 若松沖にて採取せる海砂篩分表

篩番號	探 取 回 数									平均
	1	2	3	4	5	6	7	8		
8	1.39	1.54	1.04	2.03	0.29	1.23	0.42	1.22	1.15	
16	10.45	9.73	9.27	8.87	10.05	17.33	18.04	8.88	11.58	
30	45.29	49.31	48.20	44.25	47.09	53.25	54.20	42.90	48.66	
50	92.78	92.66	92.01	91.26	91.15	91.95	91.65	91.66	91.89	
100	99.67	98.93	99.07	99.34	99.71	99.21	99.50	99.36	99.35	
計	249.58	252.17	249.59	245.75	248.29	262.98	263.80	244.02	252.02	
F.M.	2.50	2.52	2.50	2.46	2.48	2.63	2.64	2.44	2.52	

附表第二 若松沖海砂の貝殻含有量検査表

篩番號	4番	8番	14番	30番	48番	100番	計
各篩に残留したる砂及貝殻の總量(gr.)	1.45	5.25	52.85	186.45	215.40	38.60	500.00
各篩に残留したる砂の量(gr.)	0.82	4.85	52.48	186.26	215.40	386.0	498.41
各篩に残留したる貝殻の量(gr.)	0.63	0.40	0.37	0.19	0	0	1.59
各篩残留貝殻對殘留總量百分比	43.6	7.60	0.70	0.10	—	—	—
各篩残留貝殻對總量百分比	0.13	0.08	0.07	0.04	—	—	0.82

備考 本表は 500 gr. 宛の砂に付き 10 回篩分及び撰別せるものゝ平均なり。

附表第三 試験用若松沖海砂 F.M. 及び各粒配合率

篩番號	4	8	16	30	50	100	計
F.M.	—	—	0.12	0.45	0.93	1.00	2.50
各粒配合百分率	—	—	12.00	33.00	48.00	7.00	100.00

附表第四 吉田川砂利篩分成績表(但し一時以上のものを除去したるもの)

篩番號	3/4"	3/8"	4	8	16	30	50	100	計	F.M.
第一回購入砂利殘留百分率	30.08	88.32	99.13	99.86	99.96	100.00	100.00	100.00	717.36	7.12
第二回購入砂利殘留百分率	43.19	93.42	98.96	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	735.56	7.36

備考 本表は 10 「リットル」の砂利につき 10 回篩分測定したるものゝ平均を示す。

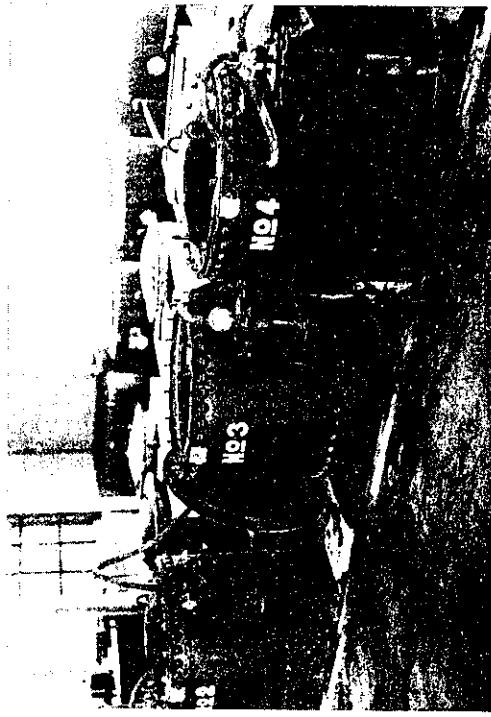
附表第五 試験用配合砂利 F.M. 及び各粒配合率

篩番號	1"	3/4"	3/8"	4	8	16	30	50	100	計
F.M.	—	0.40	0.90	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.28
各粒配合百分率	—	40.00	50.00	8.00	2.00	0	0	0	0	100.00

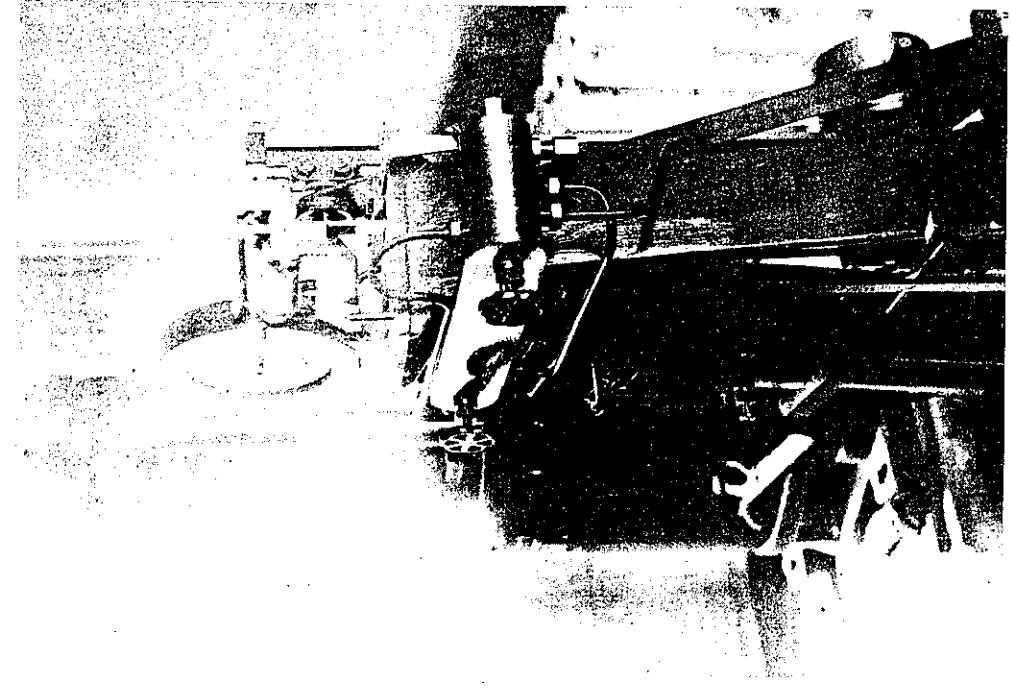
附表第六 コンクリート試験用セメント試験成績表

受入番號	受入年月日	比重	粉末度	凝結及び温度			強 度			製造會社		
				凝 結	始 時 分	終 時 分	最 低	高 最	耐 摶	耐 伸		
1	4. 9. 13	3.600	9.10	2.13	1.20	3.07	23.3	26.7	5 276.6	390.4	19.0	26.7 小野田
2	4. 10. 19	3.173	9.50	1.10	3.26	17.0	23.0	23.0	4 662.9	402.9	10.6	22.2 浅野
3	4. 12. 2	3.155	7.96	1.00	3.45	13.0	17.5	5 305.1	403.5	4.0	22.0 "	
4	5. 1. 11	3.225	9.05	1.25	5.17	7.5	15.0	15.0	4 685.3	386.1	6.0	7.0 "
5	5. 1. 25	3.240	6.73	1.30	3.00	7.5	14.5	3 620.2	430.2	6.0	19.0 "	
6	5. 3. 5	2.940	5.90	1.31	3.18	15.5	21.0	21.0	4 007.5	355.5	9.0	18.0 "
7	5. 4. 1	2.850	7.60	1.51	3.08	15.5	21.0	5 123.2	362.6	10.5	21.5 "	
8	5. 5. 26	3.310	8.30	1.50	3.25	25.0	30.0	3 527.2	388.0	18.5	25.0 "	
9	5. 6. 12	3.150	9.10	1.15	2.13	22.5	28.0	5 160.3	419.5	27.0	30.0 宇部	
10	5. 6. 17	3.030	4.70	1.22	2.51	20.0	25.0	4 044.7	426.6	21.5	25.5 小野田	
11	5. 7. 2	2.320	6.00	0.55	1.56	28.0	30.0	5 262.5	365.0	25.5	32.5 浅野	
12	5. 7. 2	2.830	4.10	1.09	2.16	—	—	4 251.2	443.0	25.5	32.0 小野田	
13	5. 9. 1	3.118	3.30	0.55	2.38	26.0	29.0	5 775.4	411.0	17.5	29.0 "	
14	5. 9. 8	3.140	5.20	1.25	2.35	20.5	26.0	4 930.8	413.0	18.2	26.5 浅野	
15	5. 10. 15	3.140	5.40	1.05	2.53	17.0	21.7	5 777.4	383.4	17.0	25.0 "	
16	5. 12. 8	3.200	5.67	1.13	2.56	7.5	14.0	3 312.3	318.8	7.2	14.0 "	

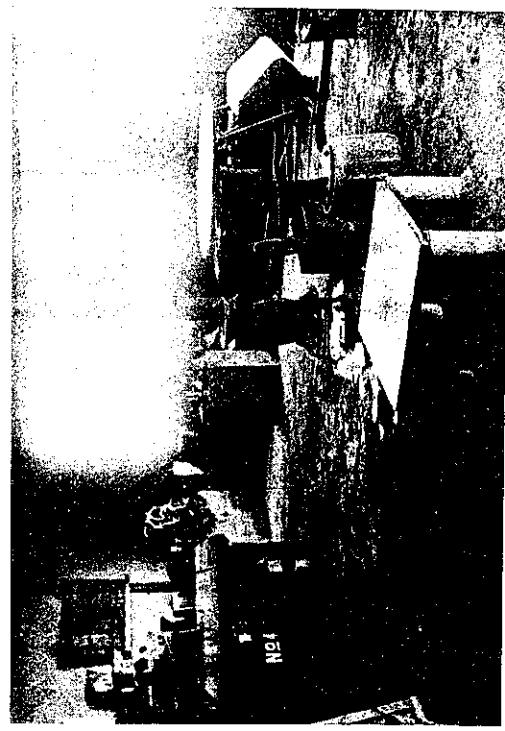
写真第一 コンクリート試験室內諸設備（其一）



写真第三 コンクリート試験室內諸設備（其三）

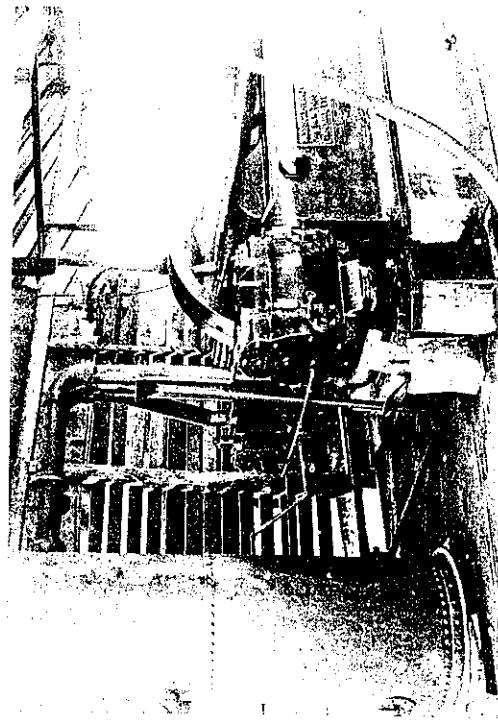


写真第二 コンクリート試験室內諸設備（其二）

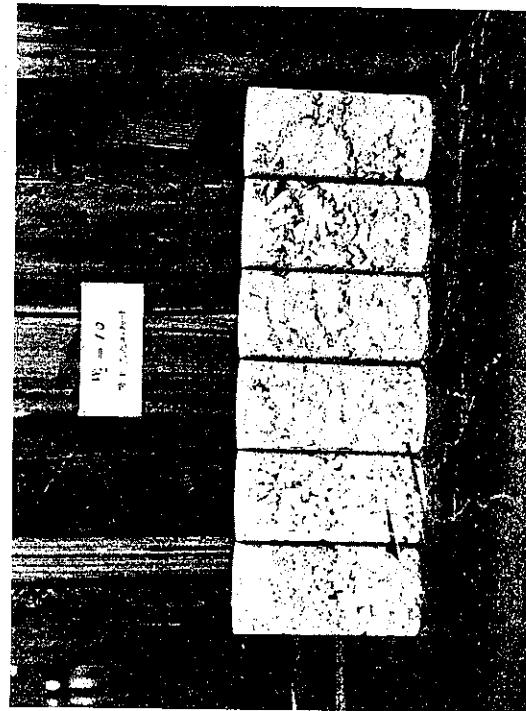


(土木学会論文第1785号第12回発表)

写真第五 コンクリート試験用 air lock 附屬機械

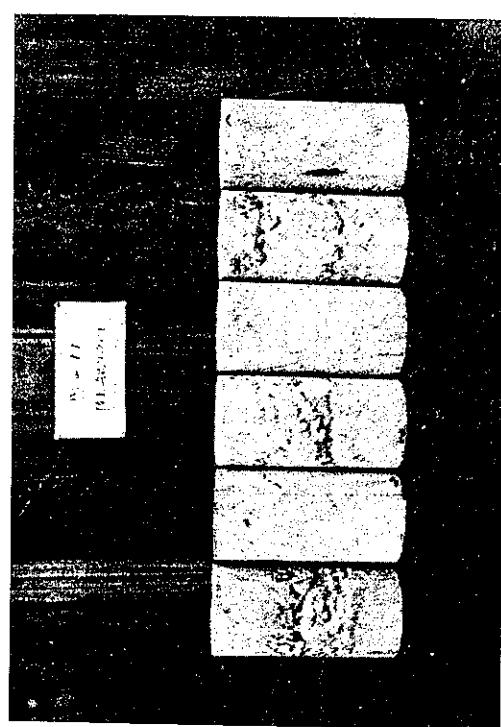


写真第六 空氣中流し込みコンクリート供試體



配合 1:2:4, W/C=1.0

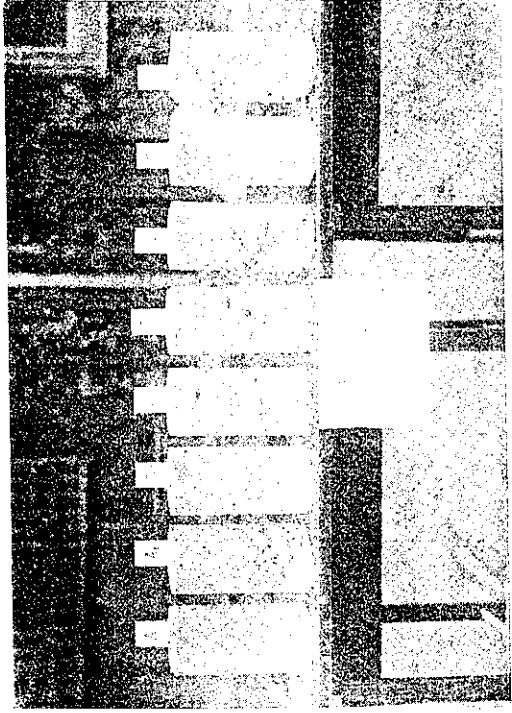
写真第七 空氣中流し込みコンクリート供試體



配合 1:2:4, W/C=1.1

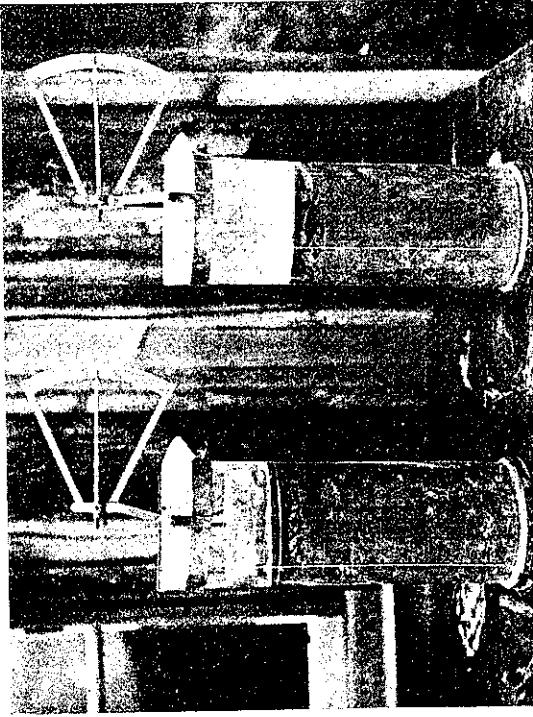
写真第九 空氣中流し込みコンクリート供試體

写真第八 空気中流込みコンクリート供試體



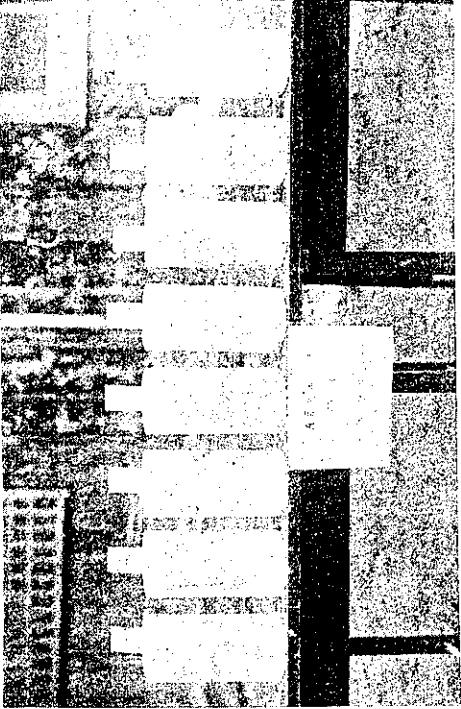
15 回振盪せるもの 配合 1:2:4, W/C = 1.0

写真第十 コンクリート及びコンクリート内氣泡量測定器



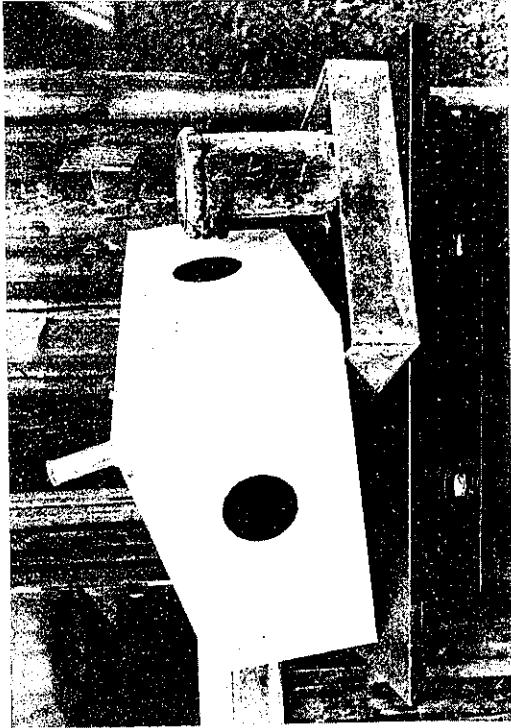
写真第九

空気中流込みコンクリート供試體

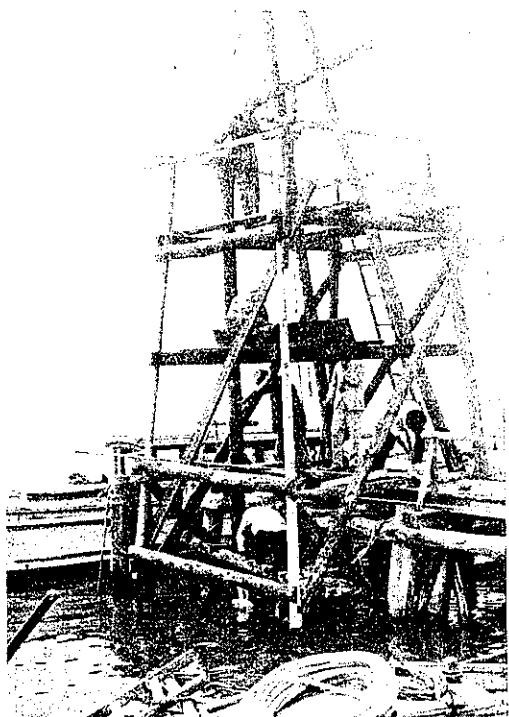


15 回振盪せるもの 配合 1:2:4, W/C = 1.1

写真第十一 コンクリート含有氣泡捕捉装置



写真第十二 トレミー・コンクリート試験設備



写真第十三 トレミー・コンクリート塊



写真第十四 トレミー・コンクリート第一号塊の供試體



配合 1:2:4, W/C=1.1

寫真第十五　トレミー・コンクリート第二號塊の供試體

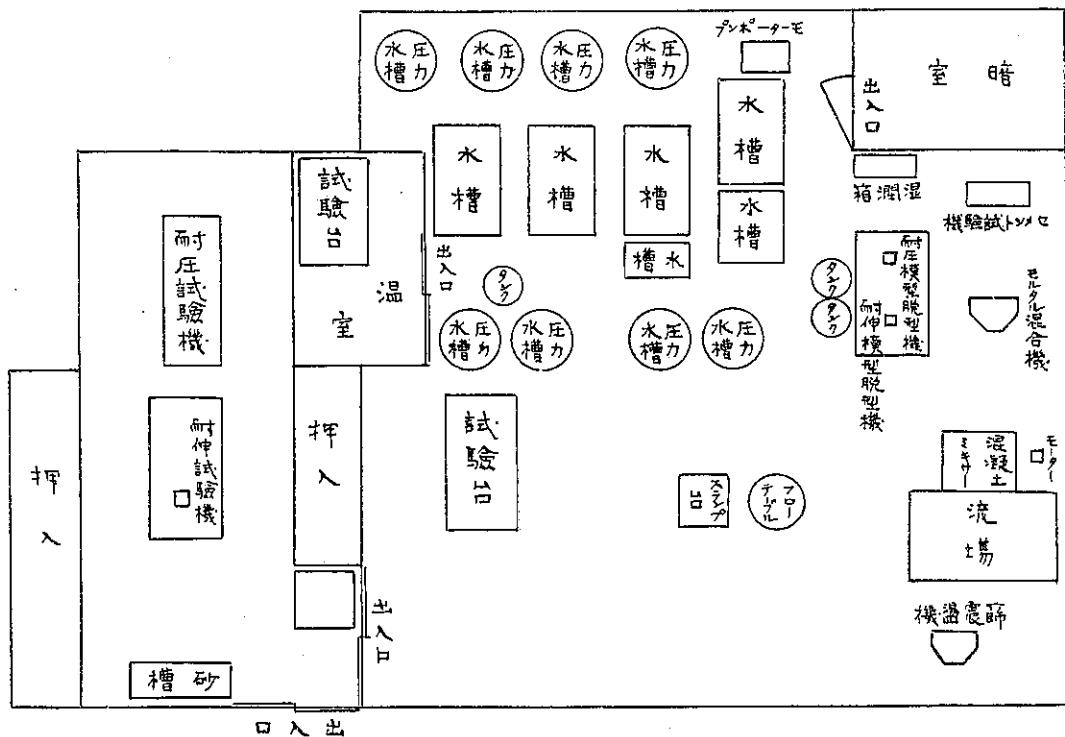


配合 1:2:4, W/C=1.2

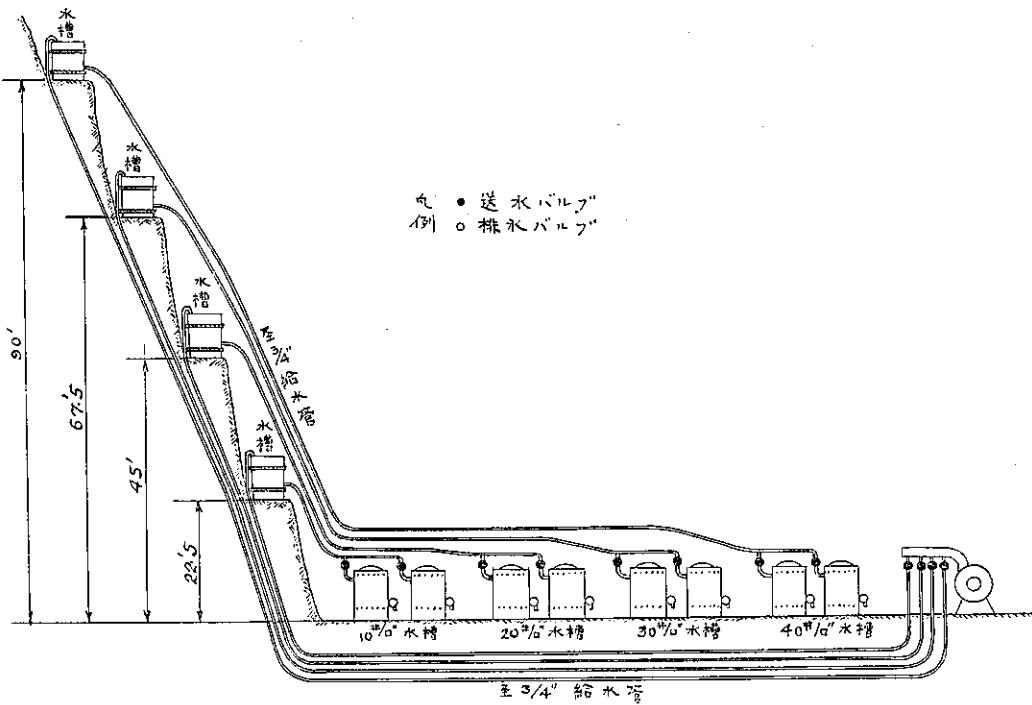
寫真第十六　トレミー・コンクリート core に施せるキャッピング



附圖第一 コンクリート試験室配置圖

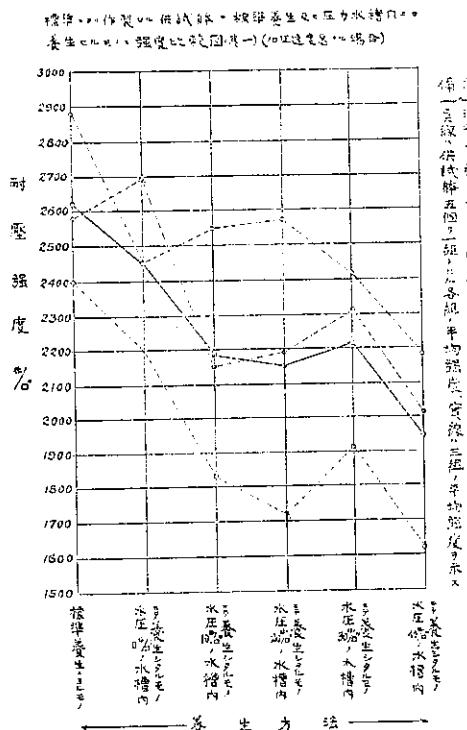


附圖第二 壓力水槽への加壓給水略圖

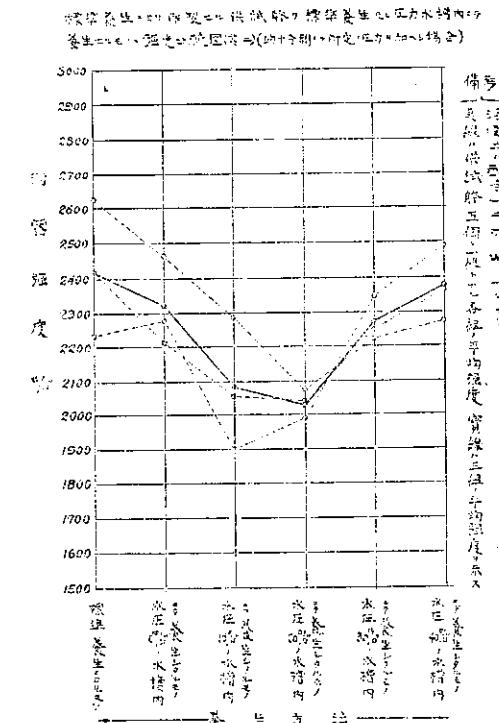


附圖第三

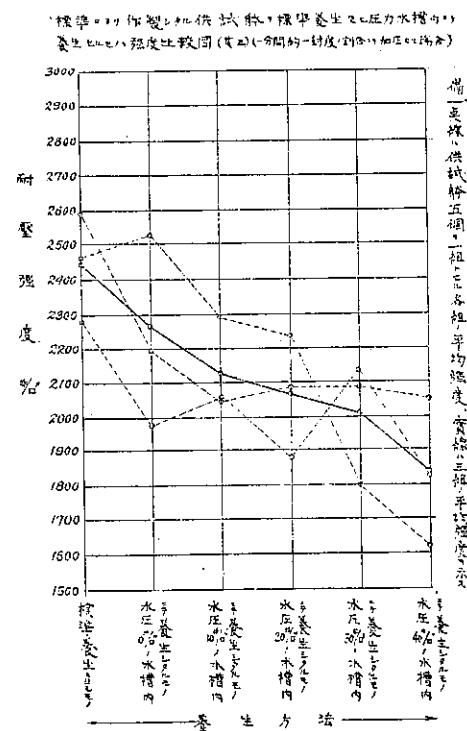
(其一)



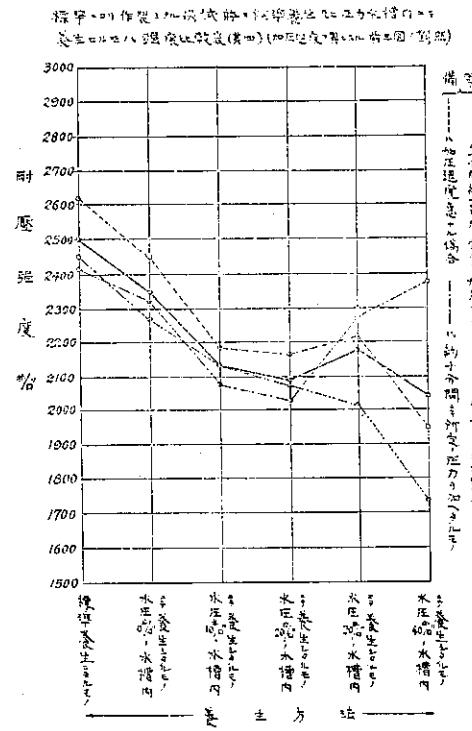
(其二)



(其三)

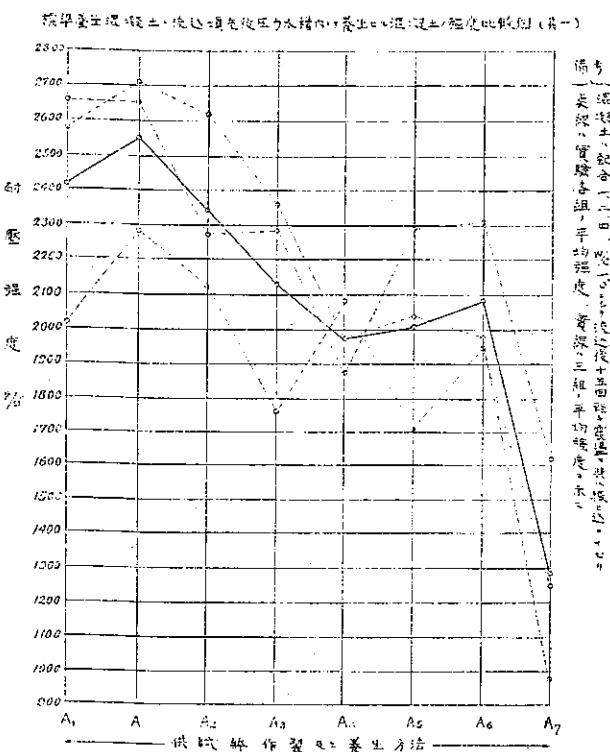


(其四)

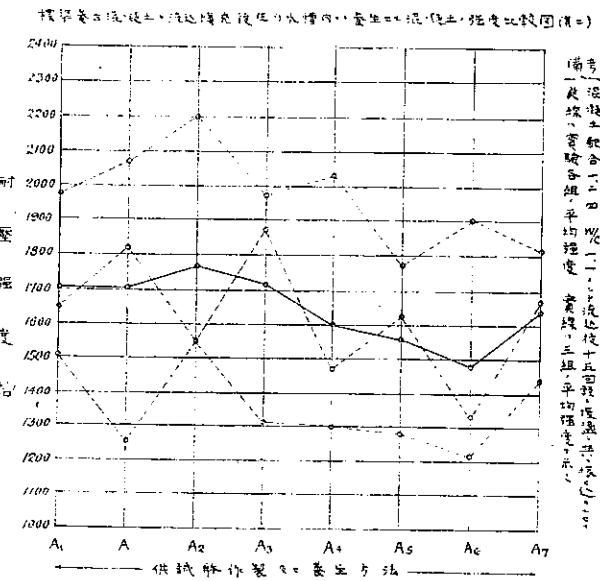


附圖第五

(其一)

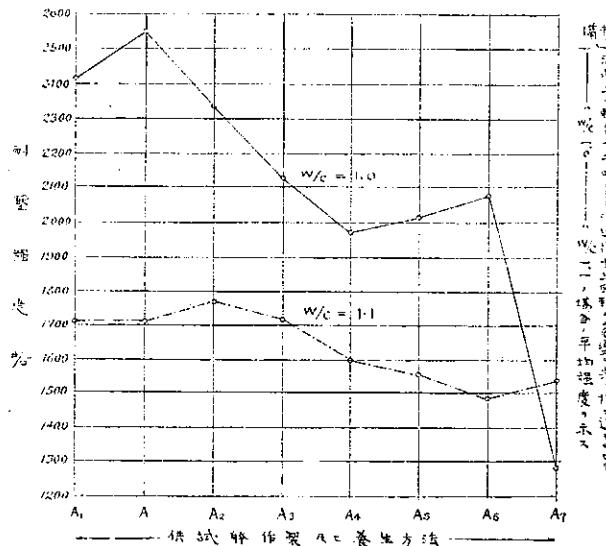


(其二)



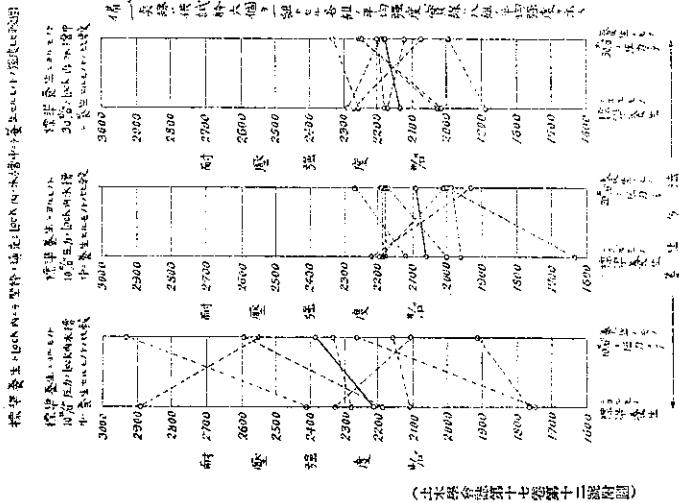
附圖第六

標準養生法、燒土、流速慢充後壓力水槽內，養生四週(浸土)強度比較圖(其三)

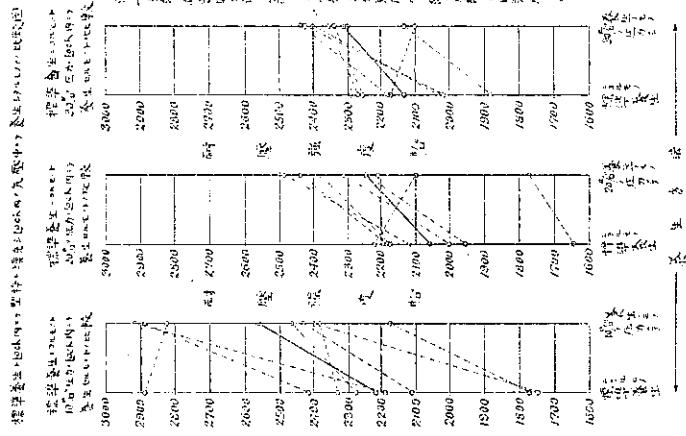


附圖第七

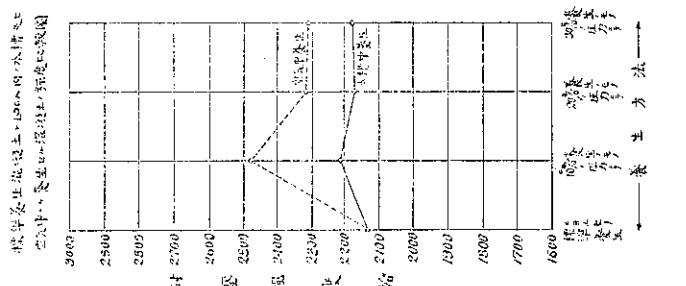
(其一)



(其二)



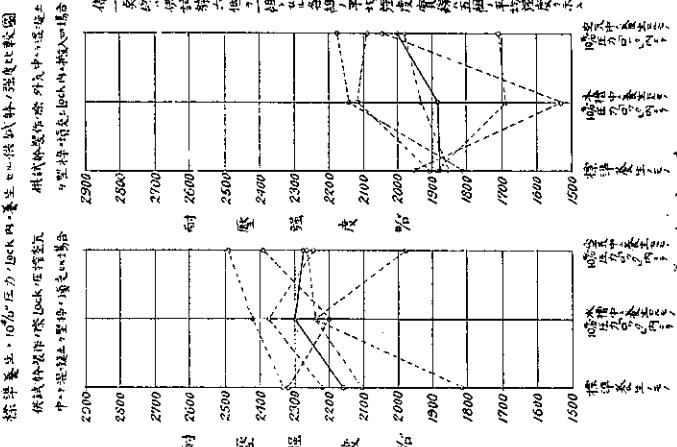
(其三)



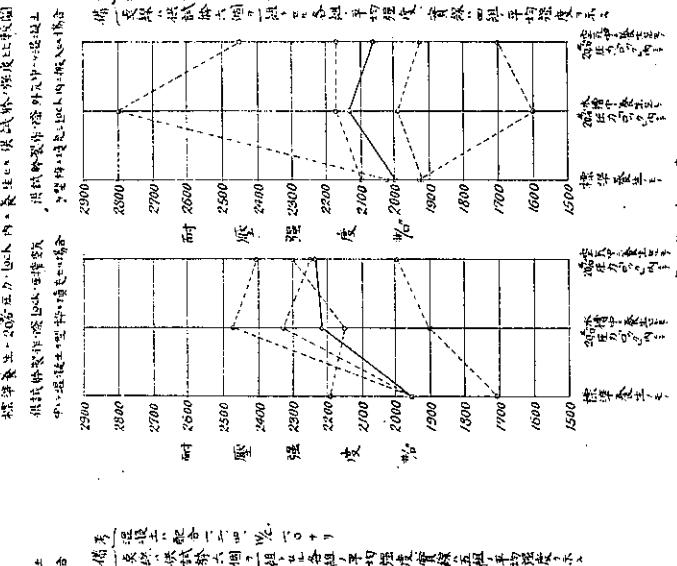
附圖第八

(其一)

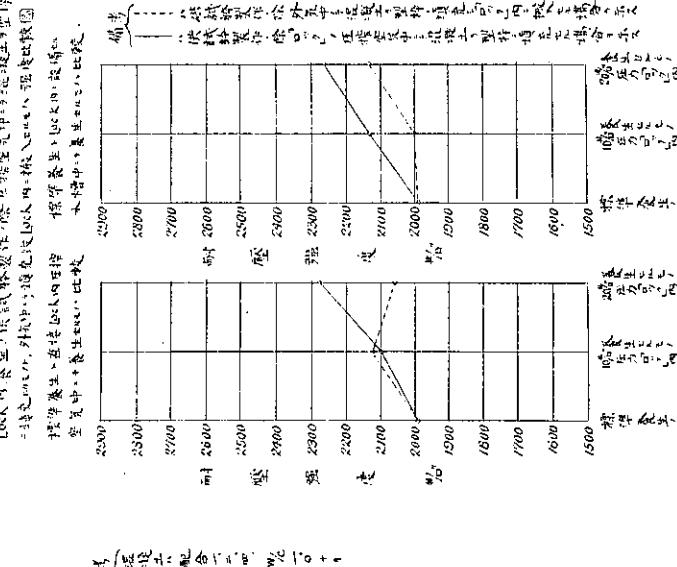
標準養生， 10°C 壓力，lock 開，養生七天供試驗，強度比較圖



(其二)



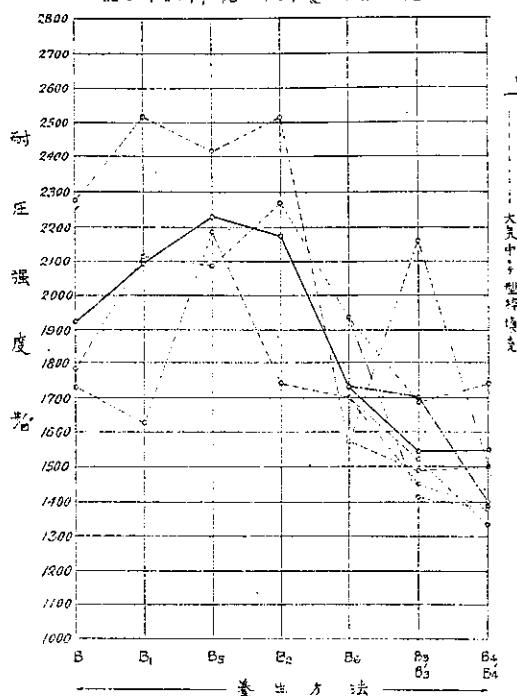
(其三)



(土木工程實驗十七卷第十二號附圖)

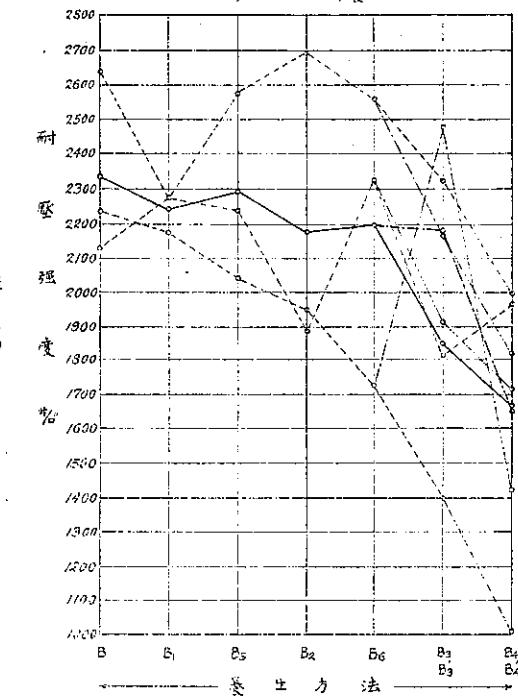
(其一)

標準製作及養生溫度上，流速溫凝土各種養生方法強度比較圖

配合 1:2:4, W/C = 1.0, 養生壓力 10^{kg/cm²}

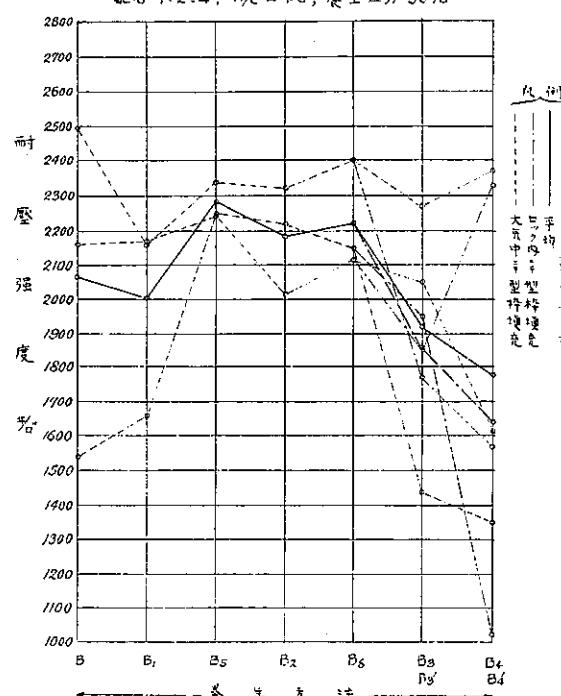
(其二)

標準製作及養生溫度上，流速溫凝土各種養生方法強度比較圖

配合 1:2:4, W/C = 1.0, 養生壓力 20^{kg/cm²}

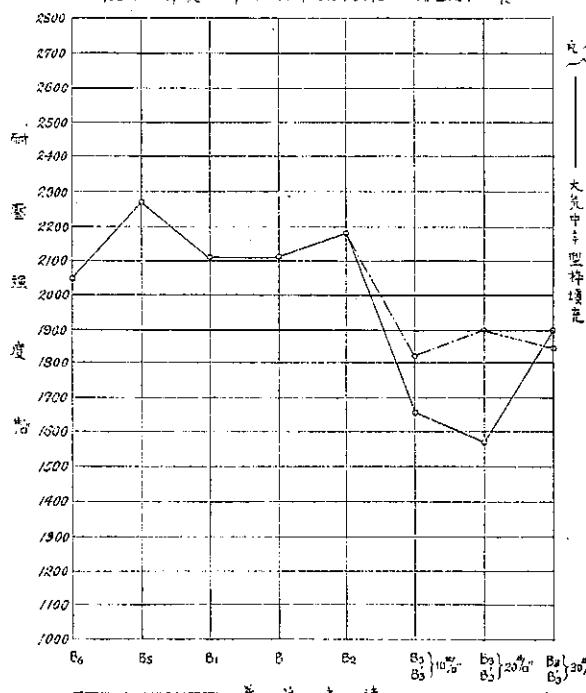
(其三)

標準製作及養生溫度上，流速溫凝土各種養生方法強度比較圖

配合 1:2:4, W/C = 1.0, 養生壓力 30^{kg/cm²}

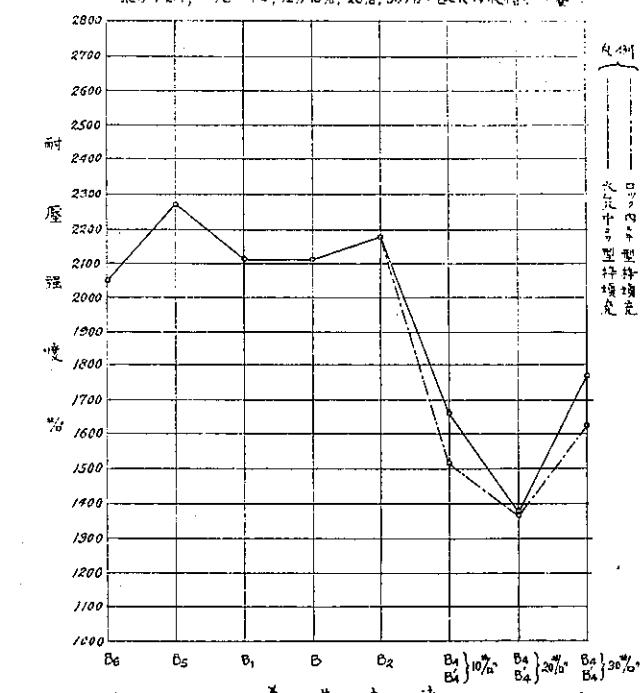
(其四)

標準製作及養生溫度上，流速溫凝土各種養生方法強度比較圖

配合 1:2:4, W/C = 1.0, 壓力 10^{kg/cm²}, 20^{kg/cm²}, 30^{kg/cm²}, 壓室充氣中養生

(其五)

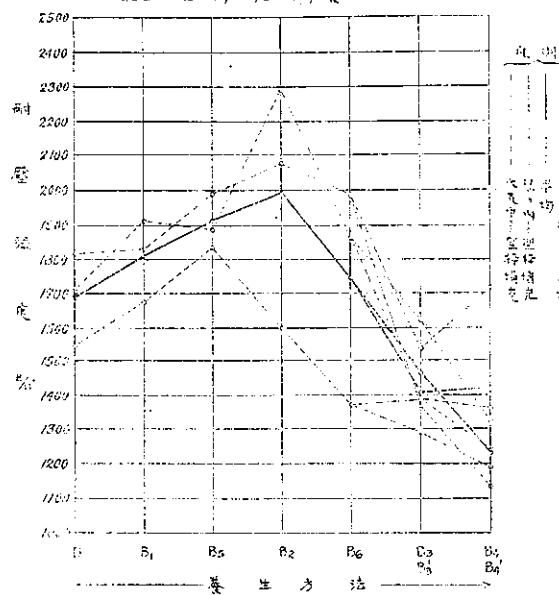
標準製作及養生溫度上，流速溫凝土各種養生方法強度比較圖

配合 1:2:4, W/C = 1.0, 壓力 10^{kg/cm²}, 20^{kg/cm²}, 30^{kg/cm²}, LACK 內水槽充氣養生

附圖第十

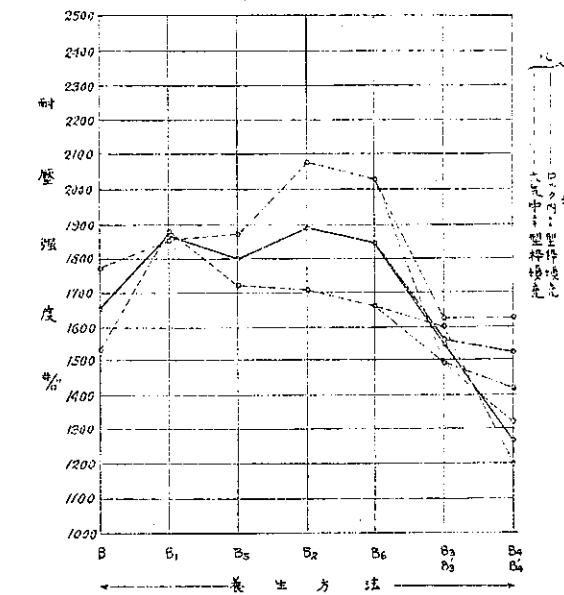
(其一)

標準製作及養生混凝土，流速灌漿土各種養生方法強度比較圖
配合 1:2:4, W/C = 1.1, 養生壓力 10%^a



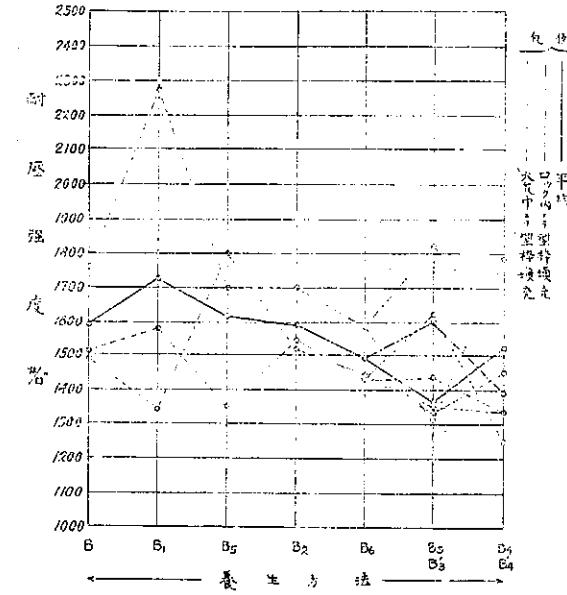
(其二)

標準製作及養生混凝土，流速灌漿土各種養生方法強度比較圖
配合 1:2:4, W/C = 1.1, 養生壓力 20%^a



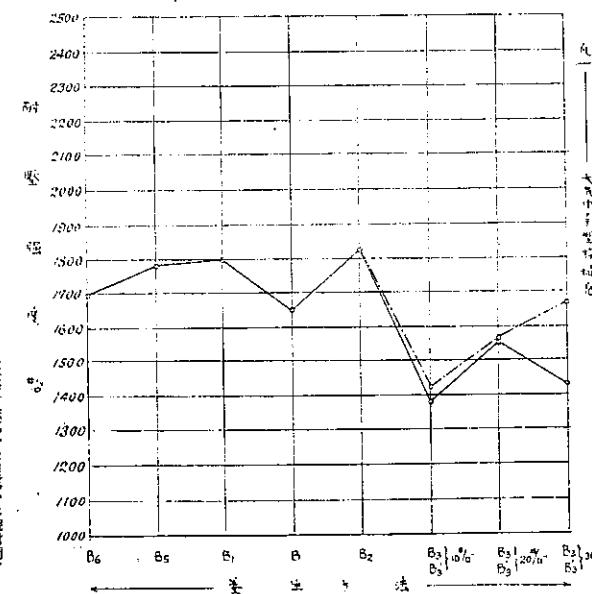
(其三)

標準製作及養生混凝土，流速灌漿土各種養生方法強度比較圖
配合 1:2:4, W/C = 1.1, 養生壓力 30%^a



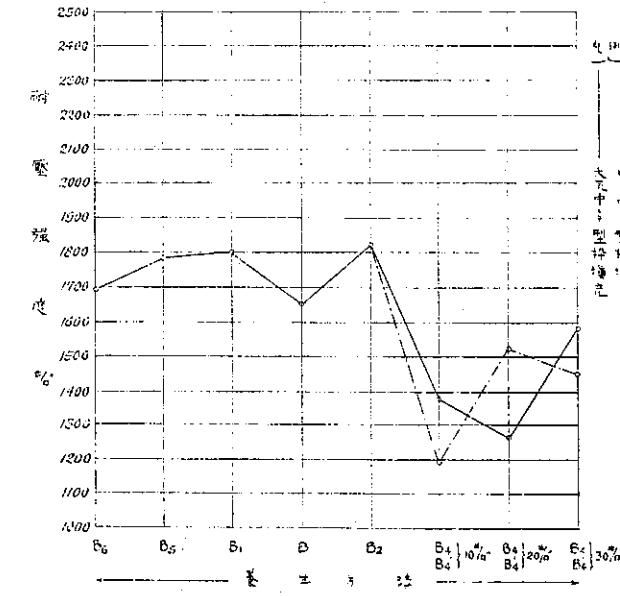
(其四)

標準製作及養生混凝土，流速灌漿土各種養生方法強度比較圖
配合 1:2:4, W/C = 1.1, 壓力 10%^a, 20%^a, 30%^a 在模子中養生



(其五)

標準製作及養生混凝土，流速灌漿土各種養生方法強度比較圖
配合 1:2:4, W/C = 1.1, B = 10%^a, 20%^a, 30%^a 在木模中養生



附圖第十一圖

