

## 土木學會第1回年次學術講演會講演

(土木材料部 No. 5)

コンクリート新填充法“墜撃式”に依る鉄筋  
コンクリート柱の實驗成績 (第1報)(Test on Reinforced Concrete Columns Placed by a Newly  
Proposed “Percussion Process”. Report I.)

會員 眞 井 耕 象\*

## 1. 緒 言

本研究は鉄筋コンクリート杭の改良を目的とし、本文は其の第1回實驗報告である。

凡そ打込式基礎杭として一般には木杭と鉄筋コンクリート杭とが用ひられる。是等兩者を比較するに木杭は製作取扱打込み容易にして且安價なる點に於て優り、鉄筋コンクリート杭は支持力強度 耐久性大にして且任意寸法のものを得易き點に於て優つてゐる。斯くの如く鉄筋コンクリート杭は木杭に比して高價なるも一般に支持力大なるを以て場所によりては却つて經濟的となる。又必要により充分長大なる寸法に製作するを得て、長大となる程木杭に比し價格も割合に安價となる。然し之が爲他方に於て著しく重量を増し運搬建込みに益々不便を來す缺點がある。若し其の形狀に考案を施せば假令多少の打込作業の困難を犠牲とするも一層強大なる支持力を期待することが出来る。故に鉄筋コンクリート杭にして如上の短所を改良し併せて長所を更に助長し得んには木材拂底の現下及將來に於て木杭に代つて需用激増するものと信ぜられる。本實驗は茲に研究の目標を置き、(1) 鉄筋コンクリート杭の製作法を容易にすると共に其の強度を増進せしむること、(2) その取扱を便にすると共に支持効果を増進せしむることの2項に分ちて攻究せんとするもので今回述べんとする所は其の第1項に就てある。

抑々コンクリート施工法に於いてコンクリートの填充法は其の作業工程及力學的性質を支配する重要な一要素をなすことは論を俟たず。従來鉄筋コンクリート杭の製作に應用され居るコンクリート填充法は一般に手詰法にして多くの場合横詰により、又稀に縦詰により施工される。突固機 (power tamper) 又は振動機 (vibrator) を利用する機械詰法は機械の型式によりては相當效果あらんも杭製作に應用するには尙充分検討の要あり。茲にコンクリート新填充法として提案する“墜撃式”は鉄筋コンクリート杭の製作に當り、従來の手詰法を改良し一部機械化したる操作により製作能率の高上とコンクリート強度の増進とを企図したるものである。其の原理は型枠内にコンクリートを流込みつゝ型枠を上方より堅固なる床版上に反覆墜撃せしめ落下する勢力を利用してコンクリートの強化を図るもので、之を振動機突固填充法に於ける機能の原動をなす所の振動方式に比すれば全く別箇のものである。本法は北海道帝國大学古藤教授の創案にかゝり本研究も同教授指導の下に昭和10年より11年に亙り遂行せるもので、主として本法を適用したる試験体に就て他の填充法と比較して其の効果を實驗的に攻究

\* 北海道帝國大学助教授 工学士 (昭和12年4月11日講演)

したものである。

## 2. 試験体の製作

試験体はすべて径 15 cm、高さ 150 cm の軸鉄筋並に螺旋鉄筋を併用する鉄筋コンクリート柱である。第 1 次実験(昭和 10 年)にはコンクリート填充法として(1)従来一般工法たる横手詰法、(2)稍合理的工法たる縦手詰法、(3)新方式として墜撃式縦詰法の 3 様式に就て主としてコンクリート強度及密度に及ぼす効果を比較しコンクリート稠度の影響を検討した。第 2 次実験(昭和 11 年)に於ては前回と異なる組成のコンクリートを用ひ、2 様に配筋せる鉄筋を挿入して墜撃式填充法と縦手詰法の効果を比較し更に墜撃条件の影響を検討したものである。

a) 鉄筋配置 軸鉄筋は 6 mm 鉄筋(径 5.53 mm) 8 本、其の鉄筋比は 1.087 % である。螺旋鉄筋は初め 13 番亜鉛引鉄線(径 2.31 mm) を使用し後 14 番鋼線(径 2.00 mm) に改む。配筋法は 2 様にして a 型は有効径  $D=11$  cm、螺旋鉄筋ピッチ  $t=5$  cm。b 型は  $D=14$  cm、 $t=2.5$  cm、螺旋鉄筋が有効たるべきピッチの条件  $t < D/5$  により a 型では帯鉄筋柱として、b 型では螺旋鉄筋柱として働らく。b 型に於ける螺旋鉄筋効果は土木學會制定鉄筋コンクリート示方書所載の強度算式によれば帯鉄筋柱とする場合より僅かに 6.2 % 丈大なるに過ぎず。是等の鉄筋配置は一般實用の鉄筋コンクリート杭を參照し其の配筋法に倣つたものである。尙コンクリート填充の難易は鉄筋の有無に影響さるべきことを考慮して有筋試験体の外に同一寸法の無筋試験体をも製作し試験に供したのである。

b) コンクリート セメントは小野田セメントを用ひ、砂及砂利は札幌豊平川産にして凡て充分洗滌及乾燥せしむ。使用コンクリートは其の組成により 2 種にして第 1 次実験に於けるもの(No. 1 コンクリート)は 3/8" を最大寸法とし細率 5.59 の骨材を用ひ、第 2 次実験におけるもの(No. 2 コンクリート)は 1" を最大寸法とし細率 5.57 の骨材を用ひ、配合は何れも重量比 1:2:4 とする。但し No. 1 コンクリートは骨材の粒度配列により便宜上砂利と砂との限界を 8 番篩とした故普通の場合に換算すれば 1:4:2 の貧配合である。水セメント重量比 ( $w/c$ ) は No. 1 コンクリートには 0.55~0.75 の 5 種、No. 2 コンクリートには 0.35~0.65 の 7 種を採る。

コンクリートは何れも手練にして 1 練毎にスランプ試験を行ひ本試験体の外に補助試験体として標準応圧強度試験体を 1 箇(後には 2 練毎に 1 箇の割合に)製作し、コンクリート強度の基準として照査に便じたのである。補助試験体は第 1 次実験に於て 18 箇、第 2 次実験に於て 36 箇、計 54 箇にして常に 3 箇に就き平均値を求む。是等の試験体によるコンクリートのスランプ、重量、圧縮強さ及弾性率\*の値を  $w/c$  に就き図示すれば図-1 の如し。

c) 試験体の製作 鉄筋組立てには組枠を用意し軸鉄筋の外側に螺旋鉄筋を巻き筋違ひ鉄筋を入れて扭戻りを防止す。出来上り鉄筋の平均重量は a 型 2.71 kg 及 3.03 kg、b 型 3.33 kg である。型枠は長さの方向に二つ割りの鉄製熔接となし 3 種 15 組である。墜撃式填充用の型枠には特に下端に墜撃用鉄沓を取付け、又コンクリート填充の際鉄筋が型枠内に單獨反跳するを押し止するため鉄筋を下端(第 1 次)又は上端(第 2 次)に於て型枠に固定する方法を採る。コンクリートを詰込むには計量バケツ(φ 15 cm、深さ 20 cm)を用ひて投入し其の都度所定の突固めを行ふのである。

\* 此の場合に於けるコンクリートの弾性率は最大強度の 2/3 點に於ける secant modulus を示す。

(1) 墜撃式填充法 は杭打機に架りたる槽を利用するもので 2本の導柱の間に型枠を建て型枠の上縁を曳綱により挺子に連結せしめ、挺子の動作により型枠は 2 對の guide wheel に沿ふて容易に上下する (図-2)。コンクリートは漏斗型ホッパーにより型枠の上部より投入され、型枠と共に一定の高さより自重により落下せしめ、槽の床とは絶縁せる堅固な床版上に反覆墜撃される。其の速さは約 1.5 秒に 1 回の割合である。墜撃高さ  $h=10$  cm としてコンクリート投入毎に連続 20 の墜撃を與へて 8 回詰めとする場合 (D 型,  $n=8@20, h=10$ ) を標準種と定め、長期間試験中における氣温変化の影響を考慮して他の試験体と平行して常に之を製作し相互比較に遺漏な

図-1. 補助試験体實驗成績圖表

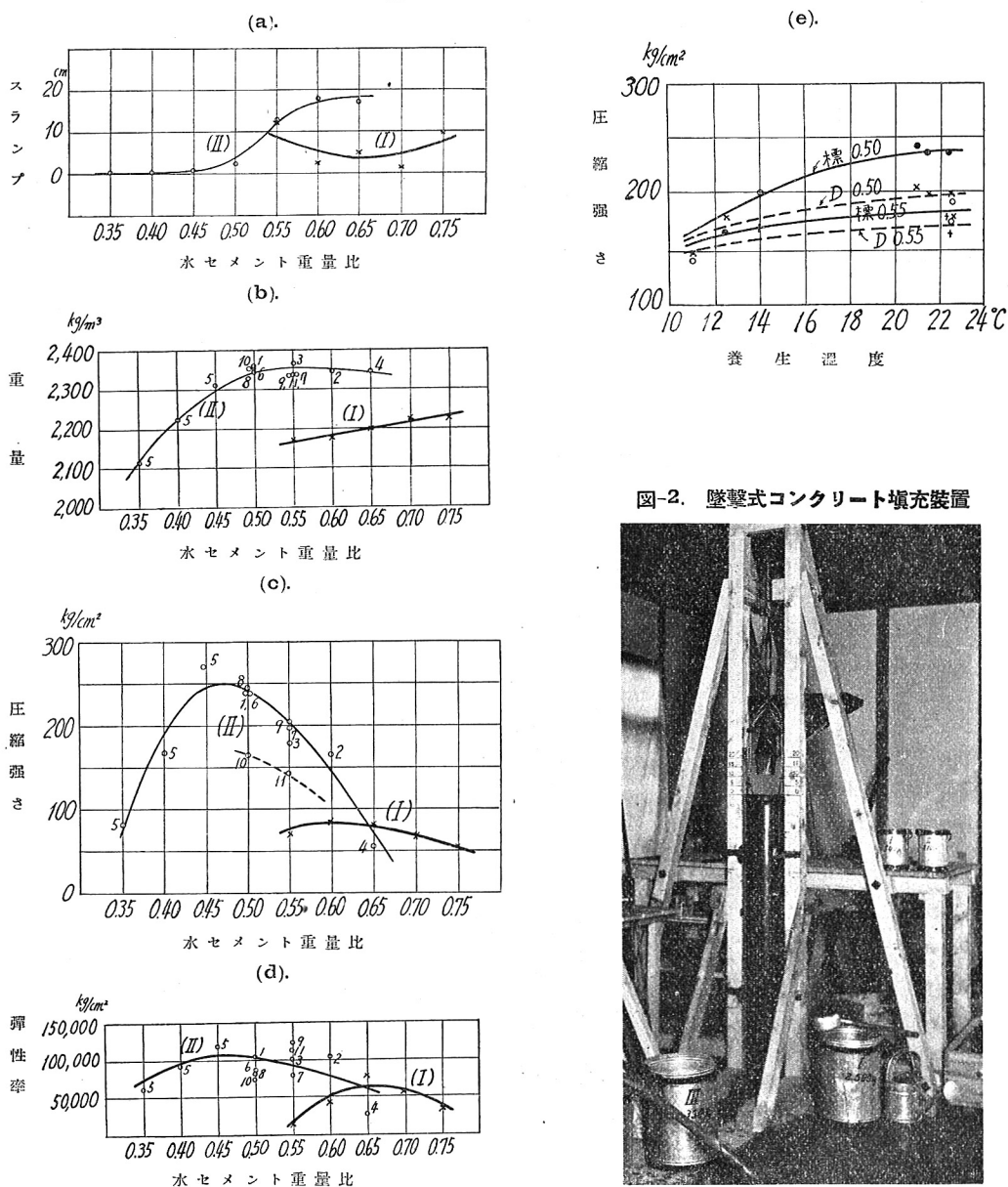
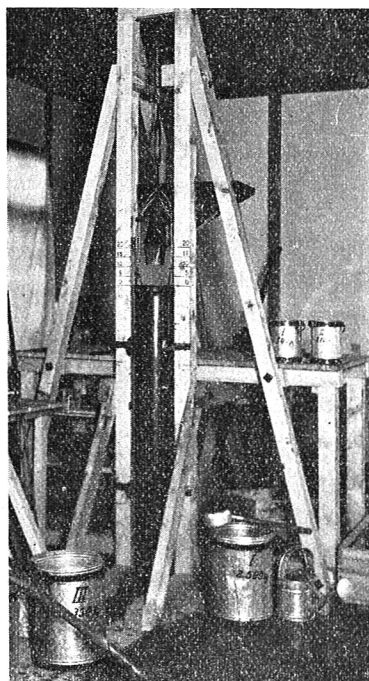


図-2. 墜撃式コンクリート填充装置



きを期したのである。次に墜撃条件の影響を検討するため 1) 墜撃回数の影響、2) 墜撃高さの影響、3) 分割詰め  
の影響の 3 要素に就て攻究した。是等の条件は其の組合せ方により多數の場合を生ずるが茲には  $w/c=0.50$  及  
0.55 に就き次の条件に於て 20 の場合を適用した。

1) 墜撃回数 (n) の影響

$\left\{ \begin{array}{l} H: n=1@80, h=10 \\ G: n=1@160, \text{ " } \\ J: n=1@240, \text{ " } \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} J: n=8@10, h=10 \\ D: n=8@20, \text{ " } \\ K: n=8@30, \text{ " } \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} M: n=8@20, h=30 \\ N: n=8@5, \text{ " } \end{array} \right.$
--	--	--

2) 墜撃高さ (h) の影響

$\left\{ \begin{array}{l} D: h=10, n=8@20 \\ L: h=20, \text{ " } \\ M: h=30, \text{ " } \end{array} \right.$
--

3) 分割詰めの影響

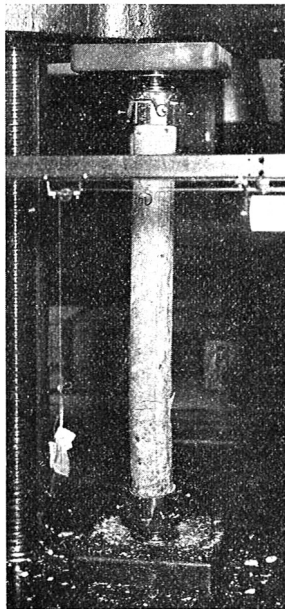
$\left\{ \begin{array}{l} H: n=1@80, h=10 \\ J: n=8@10, \text{ " } \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} G: n=1@160, h=10 \\ F: n=2@80, \text{ " } \\ D: n=8@20, \text{ " } \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} I: n=1@240, h=10 \\ K: n=8@30, \text{ " } \end{array} \right.$
---	---	--

(2) 縦手詰法 は型枠を直立に支臺に固定しコンクリート投入毎に 2 種の長柄付鉄製突棒(一つは重量 1.09 kg  
にして尖端を有し他は重量 1.16 kg にして撥形をなす)を以て各 20 宛の突固をなし 8 回詰とする。

(3) 横手詰法 は型枠を水平に横たへ、2 種の短柄付突棒(前掲のものと同型、主として尖端型のものを用ふ)  
によりコンクリートを隅々に  
填充す。

以上 3 様式の填充法は各  
其の填充条件を異にするが同  
一条件の外は何れも其の強度  
を充分發揮し得る様に施工せ  
るものである。コンクリート  
填充後は移動車により填充時  
の状態に於て静かに運搬安置  
し施工後 6 日目(第 2 次實  
験は 5 日目)に型枠を取外  
す。秤量の後篷包みとし填充  
時の状態に於て毎日撒水しつ  
ゝ室内養生を行ひ、養生温度  
を自記せしむ。斯くして製作  
せる本試験体数は 55 種、185  
本である。

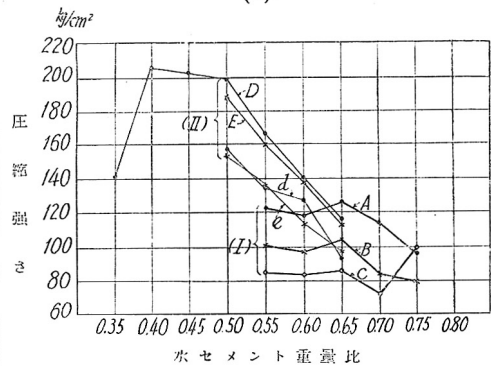
図-3. 圧縮強度試験装置



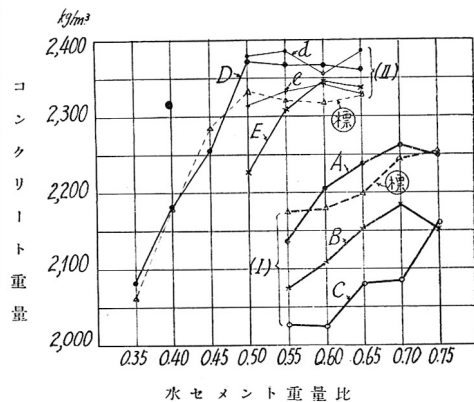
3. 強度試験

圧縮強度試験には特に試験  
体の端条件に留意し第 1 次

図-4. 本試験体實驗成績図表 (a).



(b).



實驗には試験体兩端の側面に鉄輪を嵌めて補強すると共に第 2 次實驗には更に加圧版として球面座 (spherical seating) を整備して荷重の偏心を防止するに努め、又圧力變形曲線を自記せしむる等出来る丈厳正周到なる方法を講じたのである (圖-3)。試験機は北海道帝國大学工学部實驗室に於ける 400 t Riehle に依る。實驗成績につき各 3 箇の平均値を求め之を  $w/c$  に就て図示すれば 圖-4 の如し。

#### 4. 實驗結果の綜合的檢討

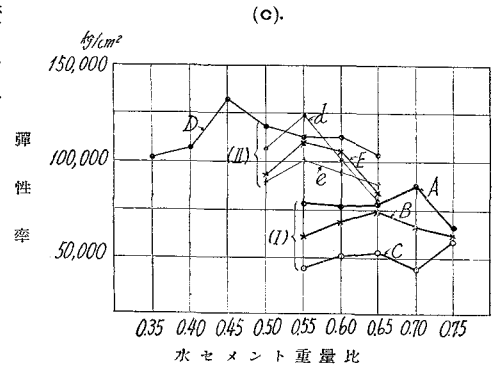
實驗結果に就き總括的に比較檢討すれば次の結論を得る。

(1) 各種填充法の效果 強度に就て比較すれば、No. 1 コンクリートに於て墜撃式 (A) は縦手詰法 (B) に比し平均 21.6%、横手詰法 (C) に比し平均 37.8% 大なる値を示す。若し  $w/c=0.75$  の場合を例外とすれば横手詰法に對し平均 47.9% の増大を示すもので、從來多く横詰法が採用されて居ることを思へば墜撃效果は極めて大である。尙同じ手詰法の場合で縦詰法と横詰法とを比較すれば前者は後者より總平均 13.7%、 $w/c=0.75$  の場合を除外とすれば 21.9% 大となる。是は明かに縦詰は横詰に比し合理的なることを實證するものである。以上の結果より縦詰は横詰に優り墜撃法は手詰法に優ることを認むるのである。然るに No. 2 コンクリートに於ては墜撃式 (D, d) は手詰法 (E, e) に比し鉄筋 a 及 b 型の何れの場合にも平均僅かに 2~3% 大なるに過ぎない (A, B, C, d, e は鉄筋 a 型を、D, E は b 型を使用す)。

次にコンクリートの密度を其の重量\* に就て比較判定すれば略強度の場合とよく一致した傾向を示し其の差比較的僅少なながらも墜撃式最大、縦手詰之に亞ぎ横手詰最も小であつて、標準試験によるコンクリートに比すれば墜撃式獨り之に匹敵し、他は之より劣る。

(2) コンクリート組成の影響 強度に對する墜撃效果はコンクリート組成の相違により大なる影響を受け、No. 1 コンクリートに於ては顯著に發揮され No. 2 コンクリートに於ては殆ど認められず (前掲)。又 No. 1 コンクリートの本試験体 (A) の強度は其の補助試験体の強度より 59.4% 大なるに對し No. 2 コンクリートの本試験体 (d) の強度は其の補助試験体の強度より僅かに 8.8% 大なるに過ぎず。兩者を比較すれば No. 1 コンクリートに對する墜撃效果は No. 2 コンクリートの場合よりも 6.87 倍有效であることになる。然るに密度に對するコンクリート組成の影響は強度の場合の如く大でない。斯くの如くコンクリート組成が墜撃效果に及ぼす影響に就ては尙今後の詳細なる實驗に俟たなければならぬ。

(3) コンクリート稠度の影響 何れの填充法に依るもコンクリートが施工軟度であれば一般に  $w/c$  を増すと共に強度を減じて、 $w/c$  に對する強度曲線は略平行する。此の際 No. 2 コンクリートは No. 1 コンクリートより其の影響大である。只 No. 1 コンクリートに於て横手詰法にありては軟練 ( $w/c=0.75$ ) となる時他の場合と反對に強度を増して填充条件良好となるを示す。墜撃法はコンクリートが硬練となる時手詰法に比して填充效果を特に増大するとは認められないが硬練となるに従ひ、手詰法によれば著しく鬆性コンクリートを生ずるに對し墜撃法にてはかゝる傾向少なし。即ち之に依つて觀れば墜撃法による填充效果は  $w/c$  には大なる影響はないが其の適用範圍が擴大され、手詰法にては採用し能はざる如き硬練のコンクリートにも或る程度 ( $w/c=0.40$ ) 迄之を適用されて益々大なる強度を發揮することが出来る。



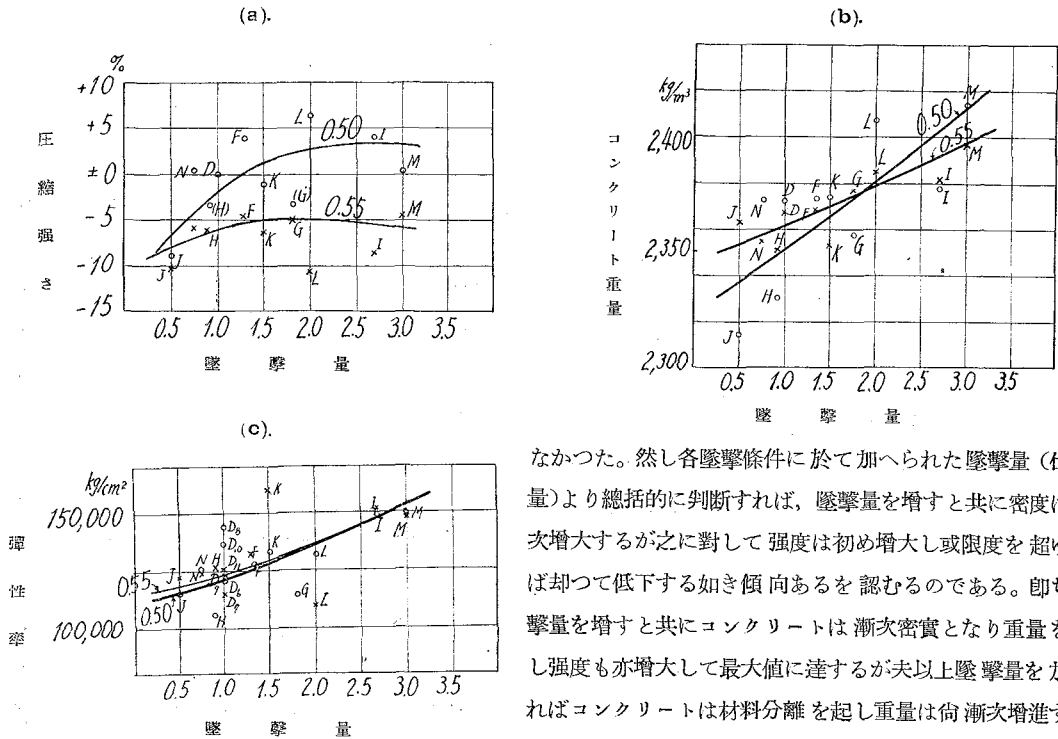
\* 此の場合に於けるコンクリートの單位容積重量は挿入鉄筋量をコンクリートに換算して求めたものである。

尙密度に就ては強度の場合と趣を異にし  $w/c$  を増すと共に初め密度を増大するも充分軟度を増せば殆ど一定となる。

(4) **墜撃条件の影響** 墜撃条件の影響を吟味解析するに當り、墜撃効果少なき No. 2 コンクリートを適用したるを以て個々の条件に就ては未だ結論を得ず。従つて墜撃効果を最大ならしむべき墜撃条件を定むることが出来る。

図-5. 墜撃量の影響

(墜撃量は D の場合を 1 とする)



なかつた。然し各墜撃条件に於て加へられた墜撃量(仕事量)より總括的に判断すれば、墜撃量を増すと共に密度は漸次増大するが之に對して強度は初め増大し或限度を超ゆれば却つて低下する如き傾向あるを認むるのである。即ち墜撃量を増すと共にコンクリートは漸次密實となり重量を増し強度も亦増大して最大値に達するが夫以上墜撃量を加ふればコンクリートは材料分離を起し重量は尙漸次増進するも強度は却つて減退する(図-5)。

(5) **配筋法による影響** 鉄筋の有無がコンクリート填充の難易に及ぼす影響を調査するため有筋と無筋のコンクリート試験体に就きてコンクリート強度を算出比較したるに何れの填充法によるも有筋なる時は無筋なる時よりコンクリート強度を 5~15% 減じ、鉄筋の存在は僅少なから明かにコンクリート填充の支障となり其の強度を低下せしむることを知る。次に a 型鉄筋を有する軸鉄筋柱 (d, e) と b 型鉄筋を有する螺旋鉄筋柱 (D, E) とに就て強度を比較すれば後者は前者より墜撃式に於て平均 21.4%, 縦手詰法に於て 19.8% 大なる値を示し、標準公式による計算値よりも螺旋鉄筋効果著しく大である。實驗結果より此の場合に適合すべき算式を求むれば

$$P = \sigma_c (A_c + nA_s + \alpha n A_a) = \sigma_c (A_c + 22A_s + 5.6 \times 22 A_a)$$

となる。破壊状態を觀察するに外周コンクリートが剥落し初める時は多くの場合略最大強度に達することが認められるから若し有效断面を  $A_c$  の代りに  $A_0$  と假定すれば

$$P = \sigma_c (A_0 + 22A_s + 3.7 \times 22 A_a)$$

となる。上式中  $P$  は許容中心軸方向荷重,  $\sigma_c$  はコンクリートに於ける圧縮応力,  $A_c$  は柱の有効断面積,  $A_0$  は柱の全断面積,  $A_s$  は軸鉄筋断面積,  $A_a$  は螺旋鉄筋換算断面積,  $n$  は鋼とコンクリートとの弾性係数の比,  $\alpha$  は

螺旋鉄筋效果係數である。

(6) **彈性係數** 応力変形率曲線より彈性係數として initial modulus ( $E_0$ ) 及最大強度の 2/3 點に於ける secant modulus ( $E_s$ ) とを算出、之によれば各種の原因による影響は強度と略同一状態を示す。然し  $E_s$  を墜撃條件による墜撃量との關係に就て吟味すれば必ずしも強度の場合と一致しない。

(7) **養生温度の影響** 温度の降下は強度を著しく低下せしむるから長期に互る強度の比較試験には特に此の點に留意すべきことを痛感す。

(8) **製作工法の難易** 墜撃式填充法は一部機械的操作によるから手詰法に比し作業簡易迅速にして且確實である。

以上を要約すれば墜撃式填充法は杭の製作工法として容易確實にして且つ施工範圍を擴大して比較的硬練のコンクリートにも適用されると共に、コンクリートの組成によりては強度及密度を著しく増進しコンクリートの性質を向上せしむるに效果あることを認むるものである。終りに本實驗に終始指導を賜はりたる古藤猛哉教授並に實驗に従事されたる助手松田昌治君に深甚の謝意を表するものである。