

新しい混凝土の沈下 (Setting) と 混凝土と鋼との粘着強度との關係に就て

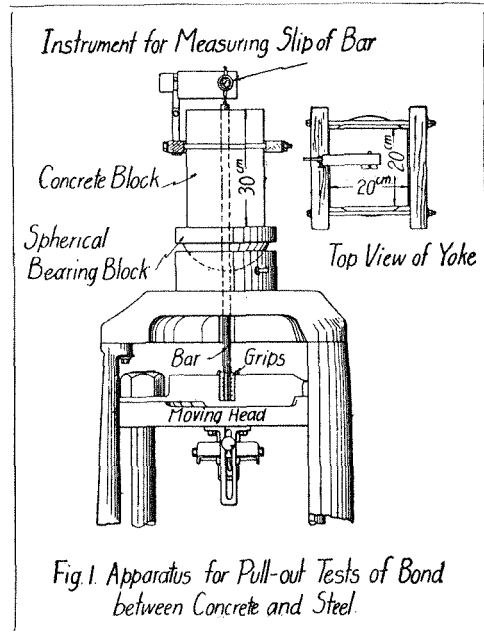
九州帝大教授 工學博士 吉田徳次郎

(概要) 本文は混凝土を打ち終つた後、數時の間に生ずる沈下に關する著者の研究の一部で、鋼圓釘を鉛直の位置において混凝土を填充した供試體と、鋼釘を水平の位置において混凝土を填充した前者と同形大の供試體となし、引抜き試験によつて之等に於ける鋼釘と混凝土の粘着強度の値を比較した實驗の報告である。試験の結果は、鋼釘を水平の位置において作つた供試體を試験した時の粘着強度と、鋼釘を鉛直の位置において作つた供試體を試験した時の粘着強度との比が、比較的硬練の混凝土に於て大約 $\frac{1}{2}$ 、普通鐵筋混凝土工事に使用される様な混凝土で大約 $\frac{1}{3}$ であることを示した。此結果からして、從來引抜き試験によつて得た鋼釘と混凝土との粘着強度と、鐵筋混凝土桁に就て試験した粘着強度との間に大なる差のある理由を明瞭ならしめ、又鋼釘を水平の位置において供試體を作つて引抜き試験を行へば、桁に於ける鋼と混凝土との粘着強度を判斷するに必要な粘着強度の値が簡單に得らるゝものであることを結論としたものである。

I. 緒言。型枠の頂平面と同じ平面まで打つた混凝土面が、數時間の後に其平面以下又は拾數耗も下ると云ふ事は誰もよく知つて居る事である、此現象が新しい混凝土の沈下であつて、之の主なる原因は、混凝土が重力のために落付いて容積を減することゝ、(此際混凝土の空氣が幾分外出て来る)、セメント、砂及び砂利と水とが分離して水が表面に昇り、その水が蒸發又漏出する事等によるものの如くである。

混凝土の沈下は、其の沈下を阻止するものがなく、混凝土體各部が平等の沈下をなし得るものであれば、出来上つた混凝土體に大なる害はない様であるけれども、然らざる場合には混凝土體の一部に空隙を生じて構造物の強度を減する原因となり、又鐵筋混凝土に於て水平の鐵筋の下縁と混凝土との間に空隙を生ぜしめるものである。例へば、柱と床版との混凝土を同時に充填したとすれば、柱に於ける混凝土の沈下は床版の混凝土の沈下に比して非常に大であるから、床版にある鐵筋のために、柱頭部にある混凝土の沈下が阻止されて柱と床版との間に空隙が出来る。又鐵筋混凝土桁に於て、水平鐵筋の上部にある混

凝土は鐵筋のために沈下が阻止され、鐵筋下部の混凝土は自由に沈下するから、水平鐵筋の下縁に空隙を生じ、従つて鋼と混凝土との粘着強度が著しく減すべきことも想像するに難くない、混凝土が沈下する以上、鐵筋混凝土桁の水平鐵筋の下縁が混凝土と密着する事は



第 1 圖 試驗裝置圖

望み難い事になるのである、それで、混凝土の沈下が鋼釘と混凝土との間 粘着強度に如何なる影響を及ぼすものであるかを見るために、断面20種平方、高さ30種の混凝土の角塔の中心に、直径19耗の鋼釘を埋め込み、引抜き試験を行つたのである。此供試體は從來此種の供試體の製作と同様に、鋼釘を鉛直の位置に置いて混凝土を填充したものと、鋼釘を水平の位置に置いて混凝土を填充したものとを製作した、そして之等の供試體を試験した結果を比較して見たのである。

II. 混凝土と鋼との粘着強度試験

イ 使用材料

セメント は小野田ポルトランドセメントで直接同會社から購入したものである。

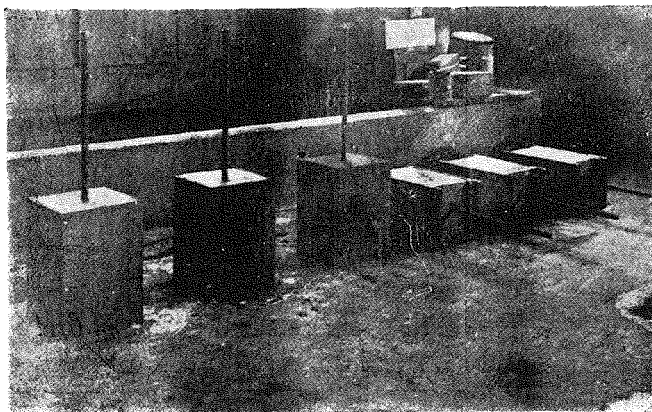
砂 は工學部の松原から採集したもので、單位容積の重量1立方メートルにつき1553kg 空際43%、細率2.28である。

砂利 は福岡縣室見川上流から採取したもので、 $\frac{3}{4}$ 篩を通過せるものである、1立方メートルの重量1693kg、空際35%、細率6.59である。

混凝土 配合は容積比で1:2:4である、セメント、砂及び砂利の重量を1立方メートルにつき夫々1500kg 1553kg 及び1693kg とし、凡て重量に由つて計量した。

使用水量はセメント重量の65%、70%、75%

寫眞第1 左は鋼釘を鉛直に入れたる供試體、右は鋼釘を水平に入れたる供試體



及び80%の4を種用ひた。

供試體1個分に相等する混凝土を、鐵製の練臺の上で、手練によつて混合した、先づモルタルを作り、次に砂利を加へて入念に混合した。

材齡28日に於ける各種混凝土の應壓強度は第1表に示せるが如くである。之れは日を異にして作つた供試體各3個の平均値である。

鋼圓釘 は直径19耗の軟鋼で、市場から購入したものである。其性質は不屈限度2600kg/cm²、破壊應張力強度4000kg/cm²、伸長率(標點距離200mm)32%である。鋼釘の表面は黒褐色の錆を有して居つた。

ロ 供試體

引抜き試験の供試體は、断面20cm平方、高さ30cmの角塔の中心に、高さの方向に直径19mm、長さ65cmの鋼圓釘を挿入したものである。釘の混凝土に埋め込まれる長さは釘の直径の15.8倍になつておる。

釘の一端は混凝土表面から2.5cm丈突出させて、供試體の製作にあたりて釘を正しく角塔の中心位置に保たしめるに便にした。

鋼釘を鉛直の位置において作る供試體及び鋼釘を水平の位置において作るもの、型枠及び混凝土填充の様子は寫眞第一に示してある如くである。鋼釘は上下又は左右に於て型枠に固定して、混凝土の填充中に角塔の中心位置から移動しない様にしてある。

鋼釘の位置を鉛直にして作る供試體は、混凝土を3層に分つて填充した、毎層長さ45cm直径19mmの鋼圓釘で30回づつ平等に搗き固めを行つた、混凝土の填充を終つた後、約6時間後にセメント糊狀體で表面を覆ひ、之が凝結をはじめた時に鋼製定規を用ゐて型枠の上面と同一平面に仕上げた。

鋼釘を水平位置において作る

供試體では、混凝土を2層に分つて填充し、毎層前述の釘を以つて45回づつ平等に搗固めを行つた。

鋼釘の位置を鉛直にしたものと、水平にしたものと、使用水量の異なる4種の混凝土について各1個づつ合計8個の引抜き試験用試體を1日に作つた。別に4種の混凝土につきつき15cm×30cmの應壓強度試験體1個づつを作つた。

之を3度繰り返して、凡て24個の引抜き試験用供試體と、12個の應壓強度試験體とを製作した。

供試體は混凝土填充後24時間を経て型から外づし、之を濕砂中に貯藏し、材齡28日に於て砂中から取り出して濕布で覆つておき、順次に引抜き試験を行つた。

ハ 引抜き試験の方法

引抜き試験の装置は第1圖に示してある、試験機は米國オルゼン會社製50米突噸、3螺旋式、自働萬能試験機で定頂上に中心に孔をあけた鋼製の球接面を有する受壓装置を置き其の上に試験體を据へ、鋼釘の下端を試験器の抱子につかませて極めて靜かに荷重を加へた、釘の上端には第1圖に示してある様に、目盛100分の1mmのアメスのダイヤルゲージを取り付けて、釘端の滑動を測定した。

ニ 試験の結果及び其説明

寫眞第2 水平釘供試體の斷面



第2圖乃至第5圖は配合容積比で1:2:4、使用水量セメント重量の65%、70%、75%及び80%なる4種の混凝土をもつて、鋼釘を鉛直において作つた供試體（圖に於てVを以て示す）と、鋼釘を水平の位置において作つた供試體（圖に於てHを以て示す）との引抜き試験に於ける粘着應力強度と釘端滑動との關係を示す曲線である。破線は供試體各3個の平均値を示す曲線である。

第1表は鋼釘を鉛直及び水平の位置において作つた供試體の、引抜き試験に於ける、釘端滑動初め粘着應力強度、最大粘着強度及び、最大粘着強度と混凝土の應壓強度との比、等を示したもので、數字は何れも供試體各3個の平均値である。尚ほ、各の値に對して鋼釘を鉛直の位置において供試體を作つた場合(V)と、鋼釘を水平の位置において供試體を作つた場合(H)との比が百分率で示してある

第1表

鋼圓釘を鉛直の位置において供試體を作つた場合と、鋼圓釘を水平の位置において供試體を作つた場合とに於ける鋼と混凝土との粘着強度の比較

V—鋼圓釘を鉛直の位置において供試體を作つた場合
H—鋼圓釘を水平の位置において供試體を作つた場合

使水量 (セメントの重量百分率)	釘端滑動初めの粘着強度 kg/cm ²			最大粘着強度 kg/cm ²			混凝土の應壓強度 kg/cm ²	最大粘着強度と混凝土の應壓強度との比 (百分率)		
	V	H	H/V	V	H	H/V		V	H	H/V
65	29.7	17.5	59	36.3	19.6	54	197	18.4	9.9	54
70	28.4	11.6	41	33.2	11.6	35	166	20.0	7.0	35

75	27.6	10.0	36	36.1	10.0	28	146	24.7	6.8	28
80	21.4	9.3	43	28.3	9.3	33	117	24.2	7.9	33

寫眞第2は使用水量セメント重量の80%なる混凝土を用ひ、鋼釘を水平の位置において作った供試體を、引抜き試験の後に、中央で2つに割つた断面を示すものである。寫眞の左方の断面は混凝土を填充した時に釘の上部にあつた部分で、右方は釘の下部にあつた部分である。左方の断面は、鋼釘と混凝土とが充分に密着して居つた爲めに、極めて平滑な表面を呈して居るけれども、右方の断面では、鋼釘の下部にある混凝土の表面に水が溜つて、釘と混凝土とが殆んど全く附着して居らなかつた事を示して居る。此事實は使用水量が以上よりも小なる混凝土を使用したものでも、ほゞ同様であつた。

釘を鉛直の位置にして作った供試體を割つて見たものは、初めに想像した通り、釘と混凝土とが充分密着して居つた事を示した。

この事實が、鋼釘を鉛直の位置において供試體を作つた時と、水平の位置において作つ

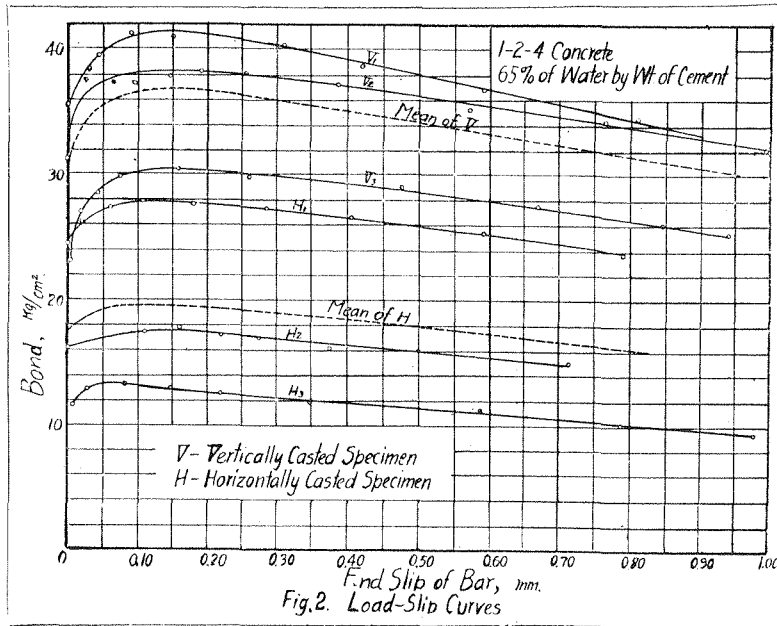
た時とによつて、第1表及び第2圖乃至第5圖に示された様に、粘着強度に非常に大なる差を生ずる原因である事、明白である。

第2圖乃至第5圖に於て、曲線Vは、從來他の多くの實驗によつて示された、引抜き試験による粘着應力強度と釘端滑動との關係を示す曲線と全く同様のものであるが、曲線Hは曲線Vに比し非常に異つた傾向を示してゐる。

セメント重量の65%の水量を使用した第2圖 場合だけは、極く僅であるが、釘端が滑動を初めて後に粘着強度の増加する傾向を示して居るけれども、これより使用水量の大なる第3圖乃至第5圖の場合に於ては釘端の滑動が生ずるや直ちに粘着強度が減する事を示してゐる。

これは鋼釘の位置を鉛直にして作った供試體をもつて、從來行はれた引抜き試験の結果に示されなかつた事實であつて、本實驗に於

第2圖 供試體の粘着應力強度と釘端滑動との關係を示す曲線表



て特に注意すべき點の一つである。其理由は寫眞第2に示せる事實から考へて當然の事であつて、鋼釘の下縁が混凝土に密着しないで、釘と混凝土との間に空隙が生じてゐるから、粘着應力が其極強度に達して釘端が滑動を初めた後に、鋼釘を鉛直の位置において供試體を作つた場合の様に、釘と混凝土との間に於て大なる摩擦抵抗を呈することが出来ないこと云ふ事に因るものであ

る。桁に於て粘着強度を試験する時に、極めて小なる釘端の滑動で最大粘着強度に達することが認められて居るのは、以上の理由が主なるものであつて、從來之れについてなされて居つた他の説明は主なる理由でないと思はれるのである。

第1表からみると、使用水量65%の混凝土に於て、釘端滑動初めのHの場合の粘着強度はVの場合の59%であり、最大粘着強度は、Hの場合はVの場合の54%である、それで比較的使用水量の小なる混凝土を用ふる場合には、Hの場合の粘着強度は大略Vの場合の $\frac{1}{2}$ であると見ることが出来る。

然し、使用水量のセメント重量の65%と云ふ混凝土は普通の混凝土材料及び配合の混凝土では餘程大きな断面を有する部材に使用される場合でない、一般に流動性が不足である。普通の鐵筋混凝土工事に使用されるのは使用水量セメント重量の70%乃至80%位の混凝土である。それで第1表の使用水量70%75%及び80%なる3種の混凝土について平均を

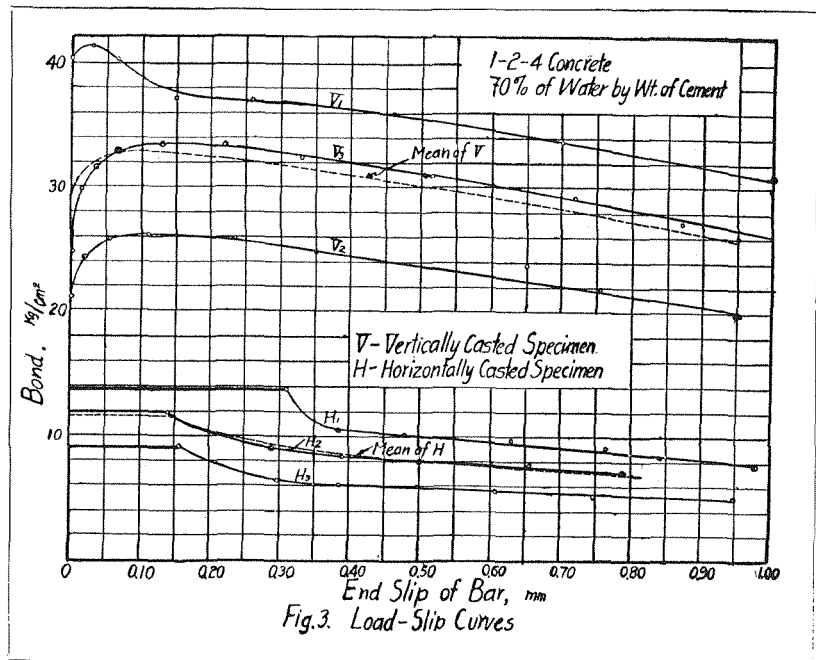
求めて見ると釘端滑動初めに於てHの場合の粘着強度はVの場合の40%最大粘着強度に於てはHの場合の32%であつて、大體に就て言へば、Hの場合の粘着強度はVの場合の約 $\frac{1}{3}$ であると云ふ事が出来る、使用水量の小なる混凝土では沈下が少であるからHの場合とVの場合との粘着強度の比が幾分大きいのであるが、普通鐵筋混凝土工事

に安全に使用される様な混凝土では沈下が大であるために此の比が約 $\frac{1}{3}$ となるのである。沈下が大であれば鋼釘の下半分は殆んど混凝土と接觸しない事になるのであるから、釘がうくべき總粘着應力は、ざつと云つて $\frac{1}{2}$ に減ずる理であり、此の上に引抜き試験の際には偏倚荷重を受ける事になるのであるから、Hの場合の粘着強度がVの場合の約 $\frac{1}{3}$ であると云ふ数字はかなり理屈に合ふ様に思はれる。

III. 結論。混凝土を打ち終つてから後數時間に起る混凝土の沈下に就ての研究又は混凝土の沈下を考慮に入れた實驗の報告は未だあまり見當らない。

著者の今日迄の研究によると、新しい混凝土の沈下は使用セメントの性質混凝土の配合及び使用水量に關係する外に、混凝土體の深さ、混凝土填充の速度にも大なる關係ある事を示してゐる。混凝土體の深さ約30cm乃至100cmに對して沈下の量は大約1.0%乃至0.6%位で、混凝土を打ち終つてから沈下が終る迄の時間は温度の高低によつて1時間乃至

第2圖 供試體の曲線表



至 $2\frac{1}{2}$ 時間位の間にある様である。

斯の如き混凝土の沈下を無視すれば、引抜き試験の供試體を作る時に、鋼釘を鉛直の位置において混凝土を填充するのが、供試體の製作が容易である點からも、壓力を受ける混凝土が壓力と直角の方向に層をなして作られると云ふ點からも便利である。それで従來引抜き試験によつて粘着強度を試験せんとする時の供試體は、皆釘の位置を鉛直にして作られたのである。

然し、鋼と混凝土との粘着強度が最も問題となつて来るのは桁の場合であつて、桁の主鐵筋が水平位置に置かれて後に混凝土が填充されるのであるから、混凝土の沈下を考慮に入れて鐵筋混凝土桁に於ける粘着強度を判斷するために行ふ引抜き試験の供試體は、釘を水平位置において混凝土を填充したものを用ゐるのが至當であると信するのである。

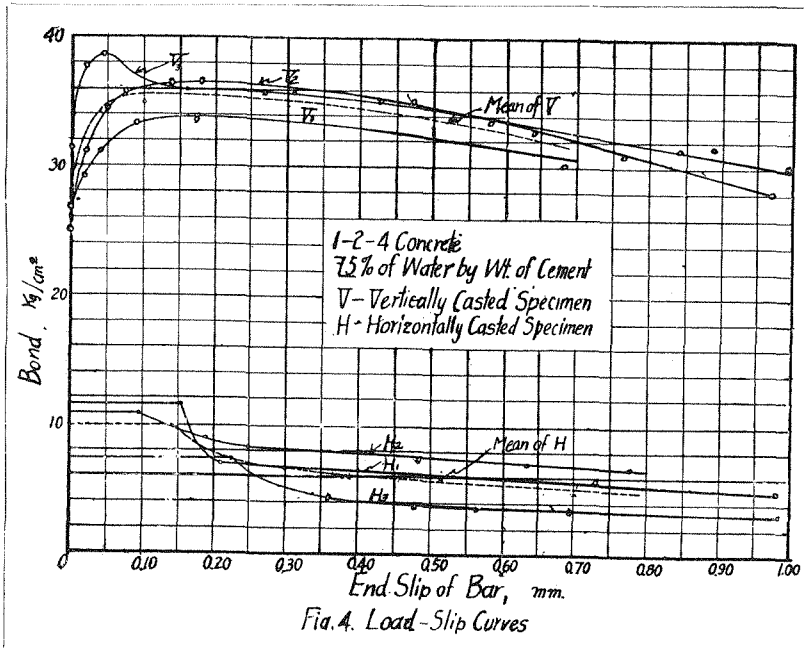
本實驗では、鋼釘を水平の位置において作つた供試體に於て、鋼釘の下部にある混凝土の厚さは約9cmであつて、普通の鐵筋混凝土

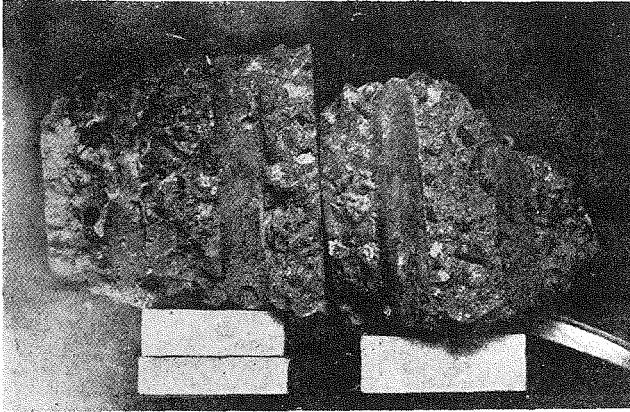
桁の正鐵筋の下部にある鐵筋保護としての混凝土の厚さの数倍になつてゐる、それで混凝土の沈下の量も数倍になり、従つて混凝土の沈下が粘着強度に及ぼす影響も普通の桁に於ける場合よりも多少大きくあらはれて居る事は事實であろう。然し著者が、使用水量セメント重量の75%、材料及び配合凡て本實驗と同じ混凝土をもつて作つた高さ30cmの丁桁を試験した時に、正鐵筋下の混凝土の厚さは2cmであつたけれども、**寫眞第3**に示せる様に、**寫眞第2**の場合とほゞ同じ状態にあることを示したのである。**寫眞第3**の左方は鐵筋の下部にあつた混凝土の斷面で、圓釘と混凝土とが充分に密着して居らなかつた事を示し、右方は鐵筋の上部にあつた混凝土で、混凝土と釘とが充分密着して居つた事を示して居る、混凝土が沈下して釘の下縁に空隙が出来たとすれば、之によつて粘着強度の減することは、釘以下にある混凝土の釘下の量にはあまり關係ない譯であるから、本實驗で得た $\frac{1}{3}$ 乃至 $\frac{1}{3}$ と云ふ數字は、従來鐵筋混凝土桁に

於て粘着強度を試験した時の値が引抜き試験の値の大約 $\frac{1}{2}$ になつて居ると云ふ數字とよく合致するのを認めるのである。鐵筋混凝土桁の抗壓鐵筋又は負鐵筋の場合に對しては、鐵筋下の混凝土の厚さが大であるから本實驗に示された $\frac{1}{3}$ と云ふ數字が甚だ事實に近いものである。

夫れ故に、鋼釘の位置を水平にお

第4圖 供試體の曲線表





寫眞第5 供試體の断面

いて混凝土を填充した供試體を作つて、引抜き試験によつて粘着強度を求むれば、比較的容易に、鐵筋混凝土桁に於ける粘着強度を判斷すべき値が得られる事と信ずるのである。

従來、鐵筋混凝土桁について試粘着強度が引抜き試験の結果の約 $\frac{1}{2}$ 位であると云ふ事理由は、引抜き試験に於ては混凝土が應壓力を受けるのに、此の場合には混凝土も鋼釘も應張力を受けると云ふ事の差によるものと説明されて居るけれ

ども、本實驗の結果から見ると、桁に於ける粘着強度が小であるのは、混凝土の沈下がその主なる原因をなすものであると判斷するのが適當であると思ふのである。

鐵筋釘の下縁と混凝土との間に空隙が出来ること云ふ事は、單に混凝土と釘との粘着強度の問題ではなく、鐵筋混凝土構造物の耐久

性に關係するものである。海岸の鐵筋混凝土構造物に於ては、殊に此空隙が有害である。即ち之れが鐵筋の腐蝕を容易ならしめ、構造物破壊の一原因となるのである。

故に杭や、電柱などは、鋼釘と混凝土との密着を完全にし、耐久性のものを作ると云ふ點からして、事情の許す限り、鉛直位置にして混凝土を填充すべきである。工場で作られる版や桁

を鉛直位置で作ると云ふ事はまだ聞かないけれども、混凝土材料の分離を起さぬ様に混凝土を施工すれば、以上と同様な理由で鉛直位置で製作するのが理想的である様にも思はれる。

最後に、斯の如き、混凝土の沈下の影響を出来る丈小にするには如何にすれば良いかと云ふ事が、實際問題として甚だ大切である、
(以下12頁へつゞく)

第5圖 供試體の曲線表

