

鐵筋コンクリートの初應力に就いて

一一〇

に決し佐野主事の手を以て既に贈呈を了したり

主事會 三月二日午後五時より工學會事務所に開會、佐野、中村、田邊、西田の各新主事並に吉野前主事會合、佐野主事より工學會改革に關する定款改正の經過其他を説明したる後會誌發行其他の件を打合せ前主事より新主事への事務引繼等あり了つて散會せり

論 說 及 報 告

鐵筋コンクリートの初應力に就いて

會 員 工 學 士 坂 田 時 和

本篇は私が極乏しい参考書のあちこちから採萃して綴り合はしたものであるが、いくらか根柢に觸れて居ると思ふ。参考書左の通り。

1. Jean Braive, Aide-Mémoire de l'ingénieur-Constructeur de Béton Armé, 1914.
2. Foerster, Grundzüge des Eisenbetonbaues, 1919.
3. Mörsch, Der Eisenbetonbau, 1912.
4. Handbuch für Eisenbetonbau, I. Band, 2. Auflage, 5. " " " " V. " " "

「收縮は何處迄の重要な持つか」。これは佛國政府が鐵筋混凝土規程編纂のため任命した第一委員會の重要な研究事項の一つであつた。コンシゲール氏は一九〇五年十二月二十二日委員會の名に於て左の如く報告して居る。

第一 硬化に伴ふ容積變化

空氣中に曝された膠泥及混凝土は相當期間收縮する。セメントの分量が多ければ多い程收縮は大きい。鐵筋混凝土の場合

には内部應力が起る。混凝土には應張力、鐵筋には應壓力—これはもう周知の事實である。

實際構造物に於て此の收縮の傾向が何等か外部的條件の爲めに妨げられる時には龜裂又は裂損が起る。

委員會は標準混凝土すなはちセメント三〇〇瓩、砂四〇〇リートル、砂利八〇〇リートル（それて大方一立方メートルの混凝土が出来る。丁度一、二、四の配合に相當する）の調合のものに就いて實驗を遂げた。

断面寸法は $10 \times 10\text{cm}$ から $40 \times 20\text{cm}$ 迄、長さは〇、五米から四米迄であつたが、鐵筋の收縮率は長い標本程大であつた。これは疑ひもなく混凝土が收縮の大部分を鐵筋に強制する爲めには付着抵抗が、ある一定の長さに作用しなければならぬから。(?)

結局委員會は平均收縮係數を、築造後直ちに風雨に曝される普通の混凝土の構造物に對しては一米に付〇、二五瓩、又最初の三週間を濕氣中に保存し得るものに對しては一米に付〇、二瓩といふことに決定した。

かく收縮は不可避事實ではあるが大した不都合が豫見せられない限り計算しなくてよからう。實際建物内の柱や又水平寸法の餘り大きくない床板などにはさうしても大した不都合は起るまい。

淡中又は鹹水中に浸した混凝土の容積變化に關しては委員會は充分な指針を與へることが出来ない。何様法則が複雑で一致點を求め難いから。

第二 温度に依る容積變化

本問題に就いては委員會は實驗を必要と考へなかつた。今日迄の實驗によれば混凝土も鐵も 100°C に對し一米に一、一瓩伸縮すると見て大差はない。Châtelainの橋で各測つた水準測定の結果から考へると、拱などは時間的變化は餘り感じないが、日々々の變化からは相當の影響を受ける。殊に一定温度が數日間繼續するやうな場合には。

(?)の記號を付した處は事實の有無も又説明も私には程よく分らない。どうか御承知の人があれば教へて下さい。規程が發布せられる迄には—發布は一九〇六年十月二十日—第二委員會が形られたのであるが、同委員會も規程も本問題には餘り深く觸れて居ない。唯規程は此の第一、第二の影響を充分に考へなければならぬと注意して居る。とにかく硬化に伴ふ收縮

も矢張セメントの冷却から来るのであるから第一、第二を別々に離して考へることは出来ない。第二委員會の言葉に従へば本問題は實にデリケートな問題である。

さて今日ぼくがどれだけの事實が分つて居るかといふと、混凝土は大氣中で收縮し水中では膨脹する。收縮も膨脹も年月と共に増加する。しかし率は硬化の初期がどちらも大きい。又收縮率は膨脹率よりは遙かに大きい。しかし混凝土を濕氣中に保存するときは、殊にそれが硬化の初期であれば收縮度は減する。調合のいゝ程收縮は大きい。鐵筋は若しく收縮並びに膨脹を阻示するが、收縮から起る初應力は鐵筋量が多い程大きい。

もう一つ。膨脹率及收縮率はセメントの種類に依つても違ふ。それはスツットガルトの試験にもシュレー氏(瑞西人)の實驗にも現れて居る。(メルシユ第八八頁及エンベルゲル第一卷第三二七頁)又シュレー氏の別の實驗は土木學會誌第六卷第三號に井上(範)工學士が書かれて居る。問題は確かケーソンの上部の龜裂であつた。スツットガルトの試験では收縮は一ヶ年の終りに九十日後の約二倍に、二箇年後は一ヶ年後の二割乃至三割増しになつて居る。パツハ及グラーフ兩氏の實驗(一九〇九年)によれば四ヶ年迄は明かに増進が現れて居る。これよりも長期に亘つた實驗があるか否かは知らないが先づ四年位迄は連續的に増進するものと見ていい。硬化の初期に於ける多少の曲ひを除けば。もつとも途中で濕るとか又干濕交々到るといふやうな場合には大小の變化が起つて来る。コンシチール氏は餘り水中のものには觸れて居ないが、空氣中に於ける純混凝土の收縮を一米に付〇、三乃至〇、五耗として居る。平均〇、四耗と見れば大差はなからう。水中での膨脹は約此の半分である。

鐵筋混凝土にあつては、別に收縮したくない鐵筋が否應なしに收縮させられる。かゝる強制は反抗となつて現れなければならぬ。それが應壓である。鐵筋は必然的に之を包む混凝土へ今度は逆に働きかける。無論 Action = reaction である。パツハ及グラーフ兩氏の實驗によれば鐵筋の應壓度は一ヶ年後に於て 400 kg/cm² 位に上る。水中の場合には其應張度は之よりも遙かに低く僅かに 85 kg/cm² 位である。何れにしても鐵筋は大したことはない。心配なのは混凝土それも陸上構造物のそれである。ケーソンなどになると實に妙な鹽梅であるが、實際的には矢張上部がいけないと見えて、井上氏は「可成鐵筋を

澤山に使つて收縮を減少せしむも一策であるが(?)それよりは干潮付近以上を場處詰めとした方がいゝ」と云はれて居る。しかし鐵筋を使へば使ふ程初應力は大きくなる。もつとも私は實際問題は知らない。

私の方の實際問題としては、ある構造物たとへば橋桁などが若し自在に伸縮し得るやうに裝置してあれば温度の變化から起る副應力は一般に許算しないし又理論上にもそれは生じないが、此の收縮から起る初應力は伸縮の自在と否とに拘らず之を避けることが出来ないことを考へなければならぬ。桁に限らず大氣中に硬化する構造物には必ず收縮應力が起る。殊に桁などは大抵初めから固定乃至半固定に兩端を作るし又運動の自由といふことから云へばケーソンだつて壁だつて多少の制限を受けないものはないのであるから、たゞ計算が出来ない。だから今日の扱ひは定構には收縮から起る初應力は一切考へないことになつて居るが決して樂觀することは出来ない。又龜裂も随分多い。

さらでも應張力に弱い混凝土が此のイニシャル、テンションを受けるといふことはメルシュの言葉を借れば非常に *scandal* である。無論私共は桁の計算では一般に混凝土の耐伸強を無視しては居るが、此の如き安全率の基礎は實に薄弱と謂はなければならぬ。又應張力例に於ける鐵筋のイニシャル、コンプレッションを無視することも安全は即ち安全であるが混凝土の扱ひと甚しく釣合はない虞はあるまいか。應張力側では混凝土の應張度はいくらか緩和されるには相違ないが、許容應張度を稍々大きく採つていゝてあらうかどうか。上部鐵筋の應張力は多少増しては来るが、これは決して心配するには當らない。一たいに上部鐵筋は遊んで居るのであるから。

以上は鐵筋が對線的には入つて居る場合の話であるが、若し然うでないとしてたとへば鐵筋が下部のみに存在するときには鐵筋のイニシャル、コンプレッションは混凝土に應張力ばかりではなく變曲應力すなはち恰も桁が偏倚荷重を受けたと同じやうな梯形的分布を生じ、其最大應張度は下部縁に現れ、僅かの荷重と伸度とで龜裂を生じるやうなことがないとも計り難い。

では、鐵筋がなければ收縮作用から来る初應力は起らないかと云ふとそれは起る。外部が乾いて收縮しやうとするとき内部のまだ濕つた部分がそれを妨げるため外部には應張力内部には應張力が起る。つまり混凝土は鐵筋の有無に拘らず内外干

鉄筋コンクリートの初應力に就いて

濕の度に應じて複雑な初應力を受けずには居ない。大氣中に乾燥したものを水中に入れるとか、水中のものを引揚げるとかすれば必ず多少の混亂が起る。それはよくスツットガルトの實驗に現はれて居る。すなはち断面の大小によつて成績が反對

供試標本 断面積	保 存 方 法	
	二十八日間濕氣中に保存したるもの	七日間濕氣中に保存し其後二十一日間大氣中に乾燥せしめたるもの
五平方種	三三、四每平方種に付貯	四四、八每平方種に付貯
一〇〇、	二一、〇、	一五、九、
四〇〇、	一七、六、	一二、〇、

になる。一たい乾き切つて仕舞へば強度は大氣中では乾燥したものの方が大きいので、乾き易い小断面の供試標本にはその事實が現れて居るが大きい断面のものでは内部の濕つた部分が外部の收縮を妨げ従つて其部分にイニシャル、チンションを誘發

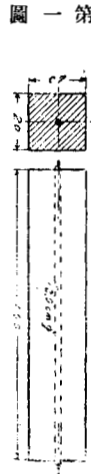
し、それが爲めに耐伸強は固有の價を持つことが出来ない。なほ乾燥期の途中で耐伸強の一時降下する面白い事例がパツハの實驗に現れて居る。(メルシユ第九一頁及エンベルゲル第一卷第三二八頁)

メルシユハは極簡單な供試標本に於て收縮から起る初應力を計算して居る。メルシユもコンシテールと同じく(?)供試體の兩端では鉄筋も混凝土も無應力であるから、收縮の爲めに生じた鉄筋應力を混凝土に傳達する爲めの附着應は兩端に近い部分にしか働いて居ない。だから其付着應力の起つて居ない中央部分では鉄筋の收縮率は無鉄筋混凝土の收縮率からその應張力に對する伸長率を減じたものでなければならぬと云ふ。今

- a を混凝土の收縮係數
- E₁ 鐵筋の彈性係數
- E₂ を混凝土のそれ
- F₁ を鐵筋の断面積
- F₂ を混凝土のそれ

δ。を鉄筋の應力度
ε。を混凝土の應力度

とすれば



第一圖

$$D = Z = \alpha \frac{Z}{E_s F_s} + \frac{Z}{E_c F_c} \dots \dots \dots (1)$$

D及Zは問題の應壓力と應張力である。第一圖の寸法を有する材齡卅日の標本はスットガルトの實驗ではα=0.000085、
 $E_s = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E_c = 280,000 \text{ kg/cm}^2$ であつたから計算するとD = Z = 405kg、 $\sigma_s = 129 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_c = 1.20 \text{ kg/cm}^2$ となる。
 然るに實測の結果鉄筋の收縮率は一米に付○.○四三耗であつたから前記のδ。は其全長に働かないでむしろ

$$\frac{0.043 \times 2100000}{129} = 0.7m$$

の平均長に働いたことになる云々。普通の計算に従へばε。=0.000043×2100000=90kg/cm²となる。何れにせよこれららの事であれば大した問題にはならないが、ザーリガー氏によれば、若しα=0.00004と假定すればε。%の鉄筋を有する。

桁では、混凝土には應張力側に於て 18kg/cm²、應壓力側に於て 24kg/cm²の應張力を生じ、又上部鉄筋には 380kg/cm²の應壓力を生ずる。これは鉄筋にあつては一米に付○.一九耗の收縮、混凝土にあつては鉄筋の位置に於て同上に付○.二二耗の伸長に相當し決して輕視することが出来ぬ。(フエルスター第一一頁、原本は Fugen und Gelenke im Eisenbetonbau

鐵筋コンクリートの初應力に就いて

鉄筋コンクリートの初應力に就いて

一一二六

Zoitschrift f. Betonbau 1917, Heft 2—6.) どうして計算したかは分らぬが、これでは殆ど混凝土の耐伸強に達して居る。

エンベルゲンは云ふ。荷重が進むに従つて此の副應力の影響はだん／＼影が薄くなる。鉄筋應力が弾性限度付近に達して付着抵抗が盡きるといふ頃になれば最早問題にならぬ。もし一つ。收縮の大きい硬化の初期にあつて付着抵抗は充分に發達して居ないから副應力は實測變形から考へる程大きいものでない。(?)

ザーリガアの云ふ方が本當か、又エンベルゲルの云ふ方が本當かは分らぬが、定構の方は先づ心配はないと云つていゝ。しかし不定構では收縮作用が之に及ぼす影響は丁度温度が下つたと同じ結果になる。従つて

X、Y、Z、の未知量はそれ／＼影響を受ける。一九一六年の獨逸國規程には

ラーメン又は拱其他類似的構造物には混凝土の收縮による影響は 15° だけ温度が下つたものとして計算せよ

として居る。無論これは例の温度應力とは全く別で、此の温度變化の方は同國規程は $+15^{\circ}$ に探つて居る。(因に云ふ膨脹

係數は $\frac{1}{10^6}$)

元來本問題に先鞭を着けたのは瑞西で、獨逸の現行規程はそれから學んだものである。瑞西國では(一九〇九年六月)收縮に對する温度下降を 20° (寸法に直せば一米に付〇、二五耗)に、又普通温度の變化(築造當時の平均温度を標準として)を $+15^{\circ}$ に探つて居る。しかし許容應力度は鐵筋應力度は 1500 kg/cm^2 、混凝土應力度は 70 kg/cm^2 を限度として普通の温度應力のみであれば規定の二割増又此の温度應力と收縮應力とを同時に考へた場合には五割増にしていゝといふことを規定して居る。どんな場合に温度應力許りを考へればいゝのが又どんな場合に雙方を考へなければならぬのかそれとも凡ての不定構に對して二通りの計算をして見よといふのかは不分明であるがとにかく瑞西は早く此の如き規程を設けそしてそれはいゝんな本に出て居るに拘らず土木學會誌などに現れる幾多新進學者の論文に此の收縮應力が考慮されて居ないのはちよつと不思議である。無論前記のやうな規程が決して完美なものとは云へないが、此の二原因が都合悪くコンバインして不定構の一部分に非常に危険な應力を發生し得る可能の存する限り本問題はおひ／＼研究せられて來るであらう。

外の國には此の收縮應力に對する規程はない。

奥國規定(一九一二年五月)にも收縮の事はなし。溫度變化は $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 。膨脹係數は $\alpha = 0.000012$ 併し最小厚が七〇厘米以上のものと同寸法以上の被覆を以て完全に地下に埋込んだものでは $\pm 10^{\circ}\text{C}$ として居る。一九〇九年の建築物に對する混凝土組合の示方書では乾燥室其他特別の建造物の外は計算しないことになつて居る。獨逸の前に云つた $\pm 15^{\circ}\text{C}$ と ± 5 のは一年の平均溫度を標準としたもので、若し築造期が夏とか冬とかになればそれ相當に變へよと書いてある。が、日本の内地などでは $\pm 15^{\circ}\text{C}$ で澤山であらう。實に混凝土の收縮は厭なことであるが。此の收縮を防ぐ責任は、メルシユ氏に依れば、むしろ製造業者の雙肩にかゝつて居る。石膏を混ぜて一時的の耐伸強を増したりすることを考へるよりは收縮の少いセメントを製造しなければならぬ。技術家としては急激な乾燥を防ぐとか又可成セメントの少いをして密度のいゝ混凝土を作ることを工夫しなければならぬ。亞米利加では密度をよくする爲めによく油を使ふ。又ヘアア、クラツクを防ぐ爲めに鑛油を使つて居る。これらは收縮を防ぐ外美觀を保つ上には多少の効果があるであらうが強度が減つて困る。従つて裝飾用とか又余り力の來ない構造物とかの外には用ひ難い。

普通の溫度變化に就いても收縮と同じやうな問題が起る。元來鐵と混凝土では伸縮がほぼ同じであるといふことが鐵筋混凝土の有効なレゾン、デートルである、若し伸縮率が違つたら副應力は起らずには居ない。式がある。

$$P = \frac{E_s \cdot \alpha_c \cdot l}{1 + \alpha_c} + \frac{E_c \cdot \alpha_s \cdot l}{1 + \alpha_s}$$

P は 1°C 毎 l (單位長)に對する副應力

α_c は 1°C に對する混凝土の膨脹係數

α_s は鐵筋のそれ、

E_s, E_c, l は第一式の通り、

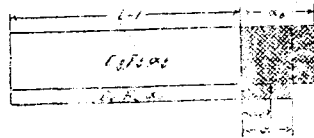
$\alpha_s = \alpha_c$ ならば $P = 0$ で副應力は起らない。もし運動の自由が利けば、とにかく第一式なり第二式なりは獨逸の長所と短所とを同時に示して居ることに於て大に意味がある。今 α_s を 1°C に對する鐵筋混凝土の膨脹係數とすれば一般に $\alpha_s \gg \alpha_c$

鐵筋メンクヤートの初應力に就いて
である。そして之にも式がある。

$$\alpha = \frac{\alpha_n + \alpha_n m \phi}{1 + n \phi} = \frac{100 \alpha_n + \alpha_n m p}{100 + n p} \dots \dots \dots (3)$$

但し $\frac{F_s}{F_c} = \alpha = \frac{p}{100}$ (pは百分率) $\frac{1}{E_s} = \alpha$

第 二 圖



— 0.0000145 である。コンシヂャール氏は前に云つたやうに上の數字を採つて居る。第三式から鐵筋量が増加するに従つて、收縮の場合とは反對になり應力が減することが分る。(エンベルゲル第五巻第四〇三頁) これはとりも直さず温度應力にはフックス氏法則が利くことを示す。エンベルゲルは $\alpha^0 = \alpha_c = 0.0000125$ $E = 200,000 \text{ kg/cm}^2$ (混凝土の應強力に對し) として、 $\alpha = \alpha_c E$ から 1°C の變化に對し $\alpha = 2.5 \text{ kg/cm}^2$ とする數字を算出して居るが、もしそれが正しいとすると 15°C では純混凝土は持たないことになる。それから大きい構造物では各部違つた温度を持つことによつて彎曲が起らなければならぬ筈であり、又どんな構造物にも多少運動の制限があるから本事項も決して輕視することは出来なす。

築造時期としては夏が一番よけなす。夏作つたものには冬龜裂が入り易い。それから收縮に對しては獨逸では Schwirndfugen を作る。間隔は普通の建物では 30—40m 土木工事ではすこし間隔を小さくすることになつて居る。前に云つた通り定構では收縮の方も普通の温度變化も一切計算しない。温度の變化に對して作る接合には Expansion joint—Dehnungsfugen—Tennperstufungen—Dilatationsfugen—Contraction joint 等々の名がある。岡崎博士によれば亞米利加のハイダムでは此のコントラクション、ジョイントを四十尺から八十尺の間に配置して居る。又断面寸法が長さの割合に大きいときには、たとへばすつと下の厚さが四十尺以上もある處では減多に割れないといふことである。(土木學會誌第六卷第一號第三一頁) 内部には餘り温度の影響がないせいであらう。獨逸では構造物の種類によつて違ふが、ほとんども 20—40m の間隔に此のコントラクション

ジョイントを設けて居る。

コシトラクシオン、ジョイントに就いてはいろんな議論といろんな方法とがある。エー、エル、ジョンソン氏は長さ二二〇米厚さ一五種の直線壁に就いて實驗した結果コシトラクシオン、ジョイントはどんな長さの壁に對しても不必要であるとし、其理由として「摩擦抵抗が壁の耐伸強と等しくなつたとき初めて龜裂が起るのであつてそれ以前には起らない」と云つて居る。氏の議論に従へば

$$\frac{L}{f} = \frac{0.75}{f} \dots \dots \dots (4)$$

でなければならぬ。但し、 f は混凝土の耐伸強、 γ は同上單位重量、 μ は摩擦係數で、 f の値は充分に分らないが、假りに $f = 0.75$ とし $\mu = \frac{1}{2}$ 又 $\gamma = 17 \text{ kg/cm}^3$ 、 $\gamma = 2300 \text{ kg/m}^3$ として計算すると $L = 100 \text{ m}$ 位にはなる。しかし抵抗は摩擦ばかりでなく基礎と壁との間の耐剪強もあるからどんな長さでもといふ譯には決して行かず。

なほ氏はいふ。鐵筋があれば伸長能力は純混凝土に比して遙かに大きい。—そして此の伸長能力を超過するやうな溫度に達しなければ龜裂しない—鐵筋混凝土は一米に付一、八耗位迄の伸長には龜裂を生じることなしに堪へ得る。—然るにそんな伸長を生ずべき溫度は前式から $p = 0.5$ 、 γ は 132 C 、 $\mu = 30$ 又は 133 C になる。ところが普通考へられ得る溫度變化の範圍は $\pm 50 \text{ C}$ を出でないから滅他に龜裂を生じるやうなことはない。此の一、八耗といふ數字はシュール及バツハ兩氏の實驗から出て居るのであるが果してどうであらうか。

無論鐵筋を使へばダムなどにもコシトラクシオン、ジョイントは作らない。ジョイントを避ける爲めに鐵筋混凝土造にする場合も随分多いてあらう。そんな場合收縮から起る初應力は混凝土自身の強度に委ね、溫度應力（前記フックス法則から計算した）を鐵筋にもたすのが普通である。其外亞米利加あたりにはいろんな鐵筋の入れ方がある。がこれらを評論することは本編の目的ではないから省く。

それから蝶鉸である。蝶鉸はそれで結合した各部の運動を許す目的を持つて居る。無論その構造物を空構にしやうといふ希望と離して考へることは出来ない。亞米利加には固定拱が多く獨逸には反對に蝶鉸構造のものが多し。どちらにも一利一

鐵筋コンクリートの初應力に就いて

害はあるが、經濟上から論ずれば獨逸風の方がよからう。エキスパンション、ジョイトも私自身は餘程重く視て居る。それからもう一つ。ちぐはぐに混凝土を打つことであるが、あれは舗装などとはとにかく理論的には此のエキスパンション、ジョイントを省く理由にはなるまいと思ふ。私は固定拱などの計算に收縮應力を見込むことの可否又見込むならばどう見込むかを廣く學界に問ひたい。(大正十年三月廿五日)

電氣捲揚機ノ經濟的速度

見 目 徳 太

シリンドリカル、ドラムを有する電氣捲揚機のスビードダイヤグラムに於て、一捲揚に要する時間を横軸にて表はし捲揚速度を縦軸にて表はす時は、ダイヤグラムは通常梯形をなし其面積は捲揚の深さ即ち豎坑の有効なる深さに相當するを以て梯形の形狀如何に係はらず常に一定なるべきものとす。

第一圖に於て時間ADを底邊とすべき同一面積の梯形は、一方の極端なる矩形AEFDより他方の極端なる三角形AGDまでの間に存する各種の形狀を占め得べし。

而してスビード、ダイヤグラムが一方の極端矩形なれば捲揚機の加速及び減速は瞬間的に行はれ且つ捲揚機の最大速度は平均速度に等しくなり、又他の極端三角形なれば最大速度は平均速度の二倍に達し、何れも實行上不可能の事に屬す。

一定條件の捲揚機に最も適合すべきスビード、ダイヤグラムは是等兩極端の間に存する或一定形狀の梯形をなすものとす今捲索と同一單位重量の平衡索を有する捲揚機に於て

S 捲揚の深さ (碼)

t₁ 加速時間 (秒)

t₂ 全速時間 (秒)