

論 說 報 告

第 24 卷 第 12 號 昭和 13 年 12 月

コンクリートの収縮によりて起さるゝ内部反力に就て

(昭和 13 年 7 月 16 日土木学会第 2 回年次学術講演會に於て)

會 員 工 学 博 士 小 川 敬 次 郎*

ポルトランドセメントコンクリートの凝結硬化によりて起る収縮は、鉄筋とコンクリートの附着によりて阻止せられんとし、其の結果コンクリートに張応力、軸鉄筋に圧応力を起す。今断面積 100cm^2 で適當なる軸鉄筋量即ち $1\% = 1\text{cm}^2$ を組合はしたる柱を考へて見るにコンクリートの収縮率 ε は普通 $0.0002 \sim 0.0004$ 、乾燥せる空中にて凝結硬化する場合には 0.0006 に達することもありて、之は最大収縮率と見做し得べきものである。 $E_s = 2100000\text{kg/cm}^2$ 、 $n = E_s/E_c = 10$ 、 $\varepsilon = 0.0006$ を用ひ鉄筋に於ける初圧応力 σ_s を計算すれば、 $\sigma_s = E_s \varepsilon / (1 + n\rho) = 2100000 \times 0.0006 / (1 + 10 \times 0.01) = 1145\text{kg/cm}^2$ 、コンクリートの収縮のために荷重には無關係に鉄筋に 1145kg/cm^2 の初圧応力を生ぜしむる。

「等値断面積 $A_t = 100 + 10 \times 1 = 110\text{cm}^2$ なるを以て之の鉄筋コンクリート柱が荷重を受ける場合、コンクリート許容圧応力 $\sigma_c = 55\text{kg/cm}^2$ とすれば之の柱は $55 \times 110 = 6050\text{kg}$ を支へる。計算の便宜上之の場合も $n = 10$ を用ひた。柱は安定平衡を保持するを要するを以て、鉄筋はコンクリートに同量の初張力を傳へる。而して荷重より起る圧応力を減ず。従つて實際には之の柱のコンクリートは $6050 - 1145 = 4905\text{kg}$ を受ける。而してコンクリート圧応力 σ_c は 55kg の代りに $4905/110 = 44.6\text{kg}$ となる。

コンクリートの断面積 $= 100\text{cm}^2$ なるを以てコンクリートは $44.6 \times 100 = 4460\text{kg}$ の荷重を負擔し、鉄筋は $6050 - 4460 = 1590\text{kg}$ を負擔す。之の鉄筋に於ける負擔量を分解してみるに、鉄筋断面積 $= 1\text{cm}^2$ なるを以てコンクリートの収縮によりて鉄筋に生ずる初圧応力 $= 1145\text{kg/cm}^2$ 、荷重によりて生ずる圧応力 $= 1590 - 1145 = 445\text{kg/cm}^2$ となる。

収縮率 $\varepsilon = 0.0006$ は最大値で従つて鉄筋に生ずべき初圧応力 $= 1145\text{kg/cm}^2$ もまた最大値である。之の最大値はコンクリートの養生が絶対に乾燥せる場所にてなされ又鉄筋量の僅少なる場合に起るのである。

コンクリートは空中にて凝結硬化するときは収縮し、水中にて凝結硬化するときは異なりたる率にて膨脹することは普く知らるゝ所の事實にして之につきて多くの實驗あり。一例として鉄筋コンクリート桁 $4.03 \times 0.25 \times 0.15\text{m}$ 、コンクリート 1m^3 につきてポルトランドセメント 400kg 、砂 400 、小石 800 リットル、水全乾重量の 9.5% 、スラムプ 6cm 下方の鉄筋は $2\phi 20\text{mm} = 6.28\text{cm}^2$ 、上方の鉄筋は $2\phi 10\text{mm} = 1.57\text{cm}^2$ に相當するものを組合はせたる桁で、之の養生につきては作製後 12 日間濕氣中に置き、次に乾燥せる空中に置く。7 ヶ月の終りに於ては収縮は最早増加せず。次に之を水中に入れて 5 週間置く。之の 5 週間の終りに於ては収縮は大いに減じたり。次に 2 ヶ月間乾燥せる空中に置く、之の時には収縮は増加したるも、最初の値には達せず。次に同様に第 2 回目水中に入れ次に第 3 回目として乾燥せる空中に置き其の有様を觀測したるものにして表-1, 2 の如し。

表-1, 2 に於て鉄筋に於ける初圧応力は収縮量より応力 = 弾性係數 \times 歪にて計算せるもので、鉄筋の全長 =

* 北海道帝國大学教授

表-1. 全 収 縮 (mm)

養 生	上方鉄筋 (2φ10mmに相当するもの)	下方鉄筋 (2φ20mmに相当するもの)	無鉄筋コンクリート
第1 空中に置く	1.27	0.66	1.60
第1 水中に置く	0.51	0.09	—
第2 空中に置く	0.67	0.25	1.44
第2 水中に置く	0.51	0.09	鉄筋はコンクリートの収縮を減ぜしむ
第3 空中に置く	0.85	0.33	

表-2. 鉄筋に於ける初圧応力 (kg/cm²)

養 生	上 方 鉄 筋 (2φ10mmに相当するもの)			下 方 鉄 筋 (2φ20mmに相当するもの)		
	平 均	初めの1/3の間	中央1/3の間	平 均	初めの1/3の間	中央1/3の間
第1 空中に置く	635	585	735	330	210	570
第1 水中に置く	255			45		
第2 空中に置く	335			125		
第2 水中に置く	255			45		
第3 空中に置く	425			165		

4 000 mm 軟鋼を使用し其の弾性係数=2 000 000 kg/cm² とす。

上方鉄筋

- 第1 空中に置きし場合 応力=2 000 000 × $\frac{1.27}{4 000}$ = 635 kg/cm²
- 第1 水中に置きし場合 応力=2 000 000 × $\frac{0.51}{4 000}$ = 255 kg/cm²

下方鉄筋

- 第1 空中に置きし場合 応力=2 000 000 × $\frac{0.66}{4 000}$ = 330 kg/cm²
- 第1 水中に置きし場合 応力=2 000 000 × $\frac{0.09}{4 000}$ = 45 kg/cm²

斯の如き計算にて鉄筋の初圧応力を見出したものである。

又上方鉄筋初めの 1/3 の間の歪は観測よりして 0.39 mm,

下方鉄筋は 0.14 mm なり。

長さは 1.333 m にして応力は夫れ夫れ

$$\text{応力} = 2 000 000 \times \frac{0.39}{1.333} = 585 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\text{応力} = 2 000 000 \times \frac{0.14}{1.333} = 210 \text{ kg/cm}^2$$

上方鉄筋中央 1/3 の間の歪は観測よりして 0.49 mm,

下方鉄筋は 0.38 mm なり,

故に応力は夫れ夫れ

$$\text{応力} = 2 000 000 \times \frac{0.49}{1.333} = 735 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{応力} = 2 000 000 \times \frac{0.38}{1.333} = 570 \text{ kg/cm}^2$$

上方鉄筋全収縮最大値=2×0.39+0.49=1.27 mm

下方鉄筋全収縮最大値=2×0.14+0.38=0.66 mm, 表-1の如し。

初応力は桁の全長さの間一定不変ではなくして、鉄筋とコンクリートの附着によりて起るものなるを以て鉄筋

の直径に比して供試体の長さ長き場合には中央部に於て大なる値となる。表-2 に於て鉄筋に生ずる最大初圧応力は上方の弱き鉄筋に於ては 735 kg/cm^2 又下方の強き鉄筋に於ては 570 kg/cm^2 、之に關聯してコンクリートに生ずる平均初張応力は、鉄筋に於ける全初圧力 C = コンクリートに於ける全初張力 T 、 $C = 735 \times 1.57 + 570 \times 6.28 = 1153.95 + 3579.60 = 4733.55 \text{ kg}$ 、故にコンクリートに於ける平均初張応力 $= 4733.55 / (25 \times 15 \text{ cm}) = 12.6 \text{ kg/cm}^2$ 又弱き鉄筋を有する断面上方半分に於ては初張応力約 6 kg/cm^2 又強き鉄筋を有する断面下方半分に於ては初張応力約 $18 \sim 19 \text{ kg/cm}^2$ 。

以上の如くにコンクリートを乾燥せる空中及び水中に代る代る置きて養生せしむるときは、収縮は最初乾燥せる空中にて養生せしめたとときの値には達せずして、そのために初応力もまた減ず。湿度を h とすればコンクリートの収縮は之の h に關係して居りて収縮は非常なる濕氣中には起ることなく而して水中に於ては膨脹して其の容積増加す。其れ故に空中の湿度の増加は温度の増加と同方向の結果を與へる。一般に温度が昇るときには空中に含有せる水分の量が定まりて而して湿度が減ず。之の場合には之等 2 不定物の作用は反對方向の結果を與へる。又収縮が其の限度に達する速度は温度を以て増す。之の現象の全体を thermo-hygro-metric contraction と稱し得て、 θ = 温度の変化、 h = 湿度 (h は空中に存在せる水蒸氣の割合)、之の thermo-hygro-metric contraction は $\theta(1-h)$ と同方向にて變ずる。而して日々の変動の外に猶氣候の変化によりて支配せられて不規則に變ずる。

以上の外にポルトランドセメントの量増せば収縮増し又骨材の微細粒少なき程増す。又コンクリートの稠密度の増すことによりて収縮減じ又彈性係数がコンクリートの材齡によりて増すものに於ては収縮は之の係數に逆比例して變ず。斯の如きを以てコンクリートの収縮及び夫れによりて起さるゝ初応力(即ち内部反力)は極めて複雑なる關係を有す。

設計々算に於ては之の初応力は多く無視せらるゝも嚴格に云へば死活荷重とか風圧とか温度変化によりて起さるゝ応力に加算すべきものである。初応力を無視するときは部材に大なる応力の生じ居るを氣付かざる虞れあり。我國土木學會標準示方書に於ては温度低下 15°C に相當する影響あるものと假定すべき旨を規定してありて之は収縮率 0.00015 に相當す。

(a) 鉄筋に於ける初圧応力 鉄筋に生ずる初圧応力は普通の養生状態にて鉄筋量によりて $300 \sim 800 \text{ kg/cm}^2$ 、鉄筋量少なく乾燥せる空中にて凝結硬化する場合には其の鉄筋に大なる初圧応力起る。

(b) コンクリートに於ける初張応力 鉄筋量及養生状態によりて $3 \sim 15 \text{ kg/cm}^2$ 。

之等の値は初応力の order を示すに過ぎざるものであるが、部材に於ける応力の適當なる限度を定めんとする場合には考へねばならぬ値である。以上の如き初応力は (1) 圧力を受くる鉄筋コンクリート部材に於ては鉄筋に對しては不利益で都合あしきも、コンクリートに對しては好都合である。(2) 張力を受くる鉄筋コンクリート部材に於ては、鉄筋に對しては有利、好都合なるもコンクリートに對しては不利益で都合あしきものである。張力を受くる鉄筋コンクリート部材に於ては、之の初張応力を死活荷重によりて生ずべき張応力に加算す。其の結果として豫期せざりし大なる張応力がコンクリートに起ることあり。

彎曲を受ける部材の圧応力部又は圧力を受くる柱に於ては、鉄筋が普通の計算にては見出し得ざる様な大なる応力を受けて破壊の原因をなすことありて、荷重によりて起さるゝ短縮とコンクリートの収縮は同方向のもので安全率の損失減少を結果せしむる。

鉄筋に前以て張力を與へ置きてコンクリートの収縮による初圧応力を消滅せしむることに關しては、コンクリートを打ち込み施工する前に収縮によりて起るべき、初圧応力に相當する張力を前以て鉄筋にかけるのであつて、例

へば鉄筋コンクリート柱の収縮によりて鉄筋に 700 kg/cm^2 の初圧応力起さるゝ場合には、豫め之の鉄筋に 700 kg/cm^2 の張力を通して置く而して之の張力はコンクリートが完全に凝結硬化する迄弛めぬのである。斯くなせば鉄筋に於ける初圧応力は消滅して之と關聯してコンクリートに於ても初張応力消滅す。之のことは製作工場にて作製せらるゝ部材、例へば電柱の如きものに應用し得て、コンクリートの収縮の結果を改めるために必要な又は必要以上の張力を鉄筋に與へ置くものである。

最後に初応力の永續につきて述べれば、各種の材料は嚴格に決して不変のものではなくして其の組織が徐々に進展をなす。其れ故に鉄筋コンクリートに於ても粘性的現象を考へることは不合理ではなし。荷重とか震動等の作用によりてコンクリートと鉄筋との間に極めて微少なる局部的的の滑動が之の兩者の附着を破ることなしに累進的に起さるゝことが可能であつて、其の累積は初応力を減ずるの結果となるべく又前表に示せる如くに乾燥空中及水中にて代る代るコンクリートを養生するときは収縮の減退が認められ而して之のために初応力もまた減ずる。されど之の場合にも同様に只減ずるのみで全く消滅せず而して初応力は永續するのである。

發電用貯水池計畫に於て考慮すべき諸條件

(昭和 13 年 7 月 17 日土木学会第 2 回年次學術講演會に於て)

會員 松 田 全 弘*

1. 序 言

最近生産力擴充の國策に追従し水力の大規模開發、河水の統制と云ふことが研究考慮さるゝに至つた。その手段として貯水池を築造し、河川流量を調節することが水の經濟、洪水軽減上必然的に考へ出される。此の貯水池計畫を樹てる上に於て特に我國の各種の事情に即して豫め二、三の基礎的條件を心得て置くことが望ましい。

私は昨年末から主として本州中部の諸河川を取り、前述の見地より貯水發電の計畫を試みた。取扱つた河川は 20 河川で新設發電所の發電力總計が 108 萬 kW、年發電量が 55 萬 kWh、下流既設發電所の發電増加量が 4 億 kWh、同常時化發電量 20 億 kWh、満水時の用水増加量總計 4700 個、之に要する建設費概算 5 億円となる。

以上の經驗から水量調節の爲の貯水池計畫を樹て、之に際し若干の條件に合格するものでなくては採算上成立しないことを感知した。

貯水發電計畫の基本となる事項は大體次の 5 ケ條である。

- (1) 集水面積の大きさ、
- (2) 貯水池の標高、
- (3) 泄水面積の大きさ、
- (4) 堰堤適地の地形と地質、
- (5) 浸水物件の多少。

以上の外に下流既設の水利施設、交通運輸の便否、電力市場の狀況など其の場所毎に考慮すべき事項は多いが、以上 5 ケ條が基本的なもので是等の條件を並列すれば其の計畫の優劣を或程度まで判断することが出来る。

2. 集水面積の大きさ

集水面積の大小は貯水池計畫の基本となる最も重要な事項で、其の大小は水量の大小を意味し、面積が出来ら

* 工学士 鬼怒川水力電氣株式會社勤務