

今月は論文集第 97 号 (38 年 9 月発行) 掲載論文として
つぎの 2 編を紹介いたします。なお、次号では第 98 号掲載論
文として下記の 4 編を紹介する予定です。

- 土屋義人：混合砂礫の限界掃流力について
- 西田義親：くいに作用する間げき水圧の一計算法
- 永倉 正：コンクリートの配合条件が凍結抵抗性におよ
ぼす影響に関する基礎研究
- 岩崎訓明：プレバッド コンクリートの 施工方法に関
する基礎研究

継続的に増加する荷重を受けたコンクリ ートの引張クリープならびに応力弛緩試 験方法—拘束方法について (英文)

赤塚雄三・張 紹 遷・Milos Polivka

1. 概 要

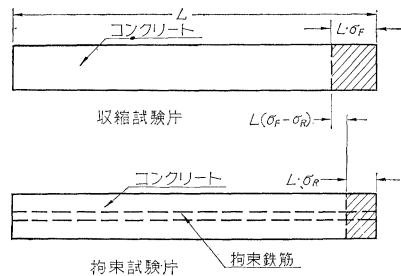
鉄筋コンクリート部材が乾燥条件下に置かれた場合、コン
クリートは乾燥によって収縮するが、その収縮ひずみが鉄筋の存
在によって拘束される結果として、鉄筋には圧縮力が、コン
クリートには引張力が働く。ここでは鉄筋は部材の中心軸に対称
に配置され収縮ひずみの発生による曲げモーメントは存在しな
いものと仮定する。収縮ひずみの増大とともに、引張応力も
増大するが、このような状態の下でコンクリートがき裂する
かどうかはコンクリートの乾燥収縮特性、クリープ特性、およ
び引張強度などの 諸性質と鉄筋による拘束度によって決まるも
のと考えられる。カールソンはこの現象を利用してコンクリ
ートのき裂傾向を 測定する方法を提案しているが、カールソ
ンの方法をさらに発展させればコンクリートの引張応力下にお
けるクリープを測定することも可能になると考えられる。筆者ら
はこのような観点から出発し、拘束された乾燥による 収縮ひ
ずみを利用してコンクリートの引張クリープを測定する方法を考
えた。この方法では引張荷重は一定の乾燥条件下にあっては継
続的に増加し、これを任意に調節することができない。またほ
かの諸試験方法がある量を直接に測定する 方式をとっているの
に対し、この方法は間接的な方法であり、得られる結果も後述
するように近似値にしか過ぎない。しかしコンクリートに引張
応力を加えることがクリープ試験の場合には きわめて困難であ
り、この分野における研究が非常に少ない現状にあっては ごく
簡単な方法として有用であると考えられる。本研究では原理の
近似性を考えて直接的引張クリープ試験を平行して行ない、結
果の比較を試み期待する程度の 精度が得られることを確認した。
実験計画は 2 部に分けられ、第 1 部では収縮に対する拘束を外
部より与える外部拘束方法について、第 2 部では拘束用鉄筋を
コンクリート内部に 埋込む内部拘束方法 について述べている。
外部拘束方法では 実験技術上の困難さは直接的引張試験の場合
とあまり変わりなく 実際的ではないが他方法との比較のために
必要とされたものである。この結果、この拘束方法の適用性
についてある程度の見通しが得られたので、目的とする内部拘束
法を 発展させた。原理上は両拘束方法の間に相違はない。

2. 基本的な考え方

乾燥収縮と拘束収縮について

図-1 に示されたような同一のコンクリートで作られ、養生
条件その他も一点を除いて全く異なる所の無い 2 個の試験片が
与えられたとする。第一の試験片は乾燥による収縮ひずみにな
んらの拘束も加えられず、ある乾燥条件下におけるひずみが δ_F
であったとする。この試験片を収縮試験片と呼び δ_F を乾燥収縮
と定義する。これに対し第二の試験片には拘束が加えられ、収縮
試験片と同一条件下で δ_R だけのひずみを起こしたとする。第二
の試験片を拘束試験片と呼び、 δ_R を拘束収縮と定義する。乾燥
収縮が生じても 収縮試験片には応力は発生しないが、拘束試
験片には引張応力がコンクリートに発生する。もし拘束鉄筋が試
験片の全長にわたってコンクリートと密着していれば発生した
引張応力は必ずしも一様には分布しないが、拘束の仕方によ
ってはほぼ一様な応力分布を実現することができるので、ここ
では引張応力 σ は試験片内に一様に分布しているものと仮定する。

図-1 乾燥収縮と拘束収縮



応力弛緩とクリープについて

もしコンクリートが完全な弾性体であり、その弾性係数を E
とすれば拘束試験片内に発生する応力は $E(\delta_F - \delta_R)$ に等しい。
しかし実際に存在する引張応力 σ は上記の値よりはるかに小さい。
両者の差 $\{E(\delta_F - \delta_R) - \sigma\}$ はなんらかの理由によって応力
が弛緩したものと考えられることができるので、これを 応力弛緩と
定義する。応力弛緩が生ずる原因についてはいくつかあげられ
るが中でももっともいじりやすい存在はコンクリートのクリー
プであり、その他のものはこれと比較してきわめて小さいので
無視し得るものと考えられる。換言すればこの方法では応力弛
緩はコンクリートのクリープのみによって生ずるものと考えら
れるのである。この仮定に立って、もし乾燥収縮 δ_F 、拘束収縮
 δ_R 、弾性係数 E がそれぞれ測定されれば、引張応力 σ 、応力弛
緩 σ_{relax} 、およびクリープ ϵ_{creep} はそれぞれ下式によって求め
られる。

$$\sigma = \frac{A_s}{A_c} \cdot E_s \cdot \delta_R \dots \dots \dots (1)$$

$$\sigma_{relax} = E(\delta_F - \delta_R) - \sigma \dots \dots \dots (2)$$

$$\epsilon_{creep} = \frac{(\delta_F - \delta_R)}{\sigma} \cdot \frac{1}{E} \dots \dots \dots (3)$$

ここで A_s : 拘束鉄筋の断面積, A_c : コンクリートの断面積,
 E_s : 拘束鉄筋の弾性係数である。

式 (3) はクリープの近似式であって正確な値を与えるもの
ではない。図-1 に示されたように 収縮試験片と拘束試験片との
間にはひずみが $(\delta_F - \delta_R)$ だけ相違し、これを引張応力 σ が働
いた結果生じた $1/E$ なる弾性ひずみと ϵ_{creep} なるクリープの和
と考えれば式 (3) は容易に導かれる。しかし実際には引張応力
は一定ではなく 0 の状態から徐々に増加させるもので、したがっ

てクリープもそれに応じて生じたものの和であるべきで式(3)が与えるものとは当然異なるはずである。しかしながら絶えず増加する荷重とクリープの関係を正確に表示することはきわめて困難で、ここでは一つの近似式として式(3)を提示したのである。

3. 外部拘束方法による比較実験

上述のように拘束方法によるコンクリートの引張クリープ試験は原理上も近似値を与えるもので、仮により近似度の高い式が式(3)に代るものとして得られても、その精度を理論的に検討することは困難である。そこで試みられたのが、他のクリープ試験との比較実験である。拘束試験片に発生する引張応力を再現し、これを直接に引張荷重として加えることは不可能であるから、比較実験においても自ら近似的方法をとらざるを得ない。すなわち定時間間隔で拘束試験片内の応力を測定し、これだけの応力が発生するように直接引張クリープ試験片を荷重し、段階的にこれを増加して行く方式である。さらにこれとは別個に圧縮クリープ試験片を用意し、これについても直接引張クリープ試験の場合と同様の荷重方式によるクリープを求め、比較の参考に供した。比較実験の結果は、近似的方法の割合には良く一致しており、明確な断定を下すことはできないが、拘束方法のクリープ試験方法としての適用性を示唆しているものと考えられる。

4. 内部拘束方法の概略

内部拘束方法で用いた試験片の形状寸法を図-2に、その試験結果の一例を図-3, 4に示す。ここでは試験片は角柱型であるが、必ずしも角柱型である必要はなく、むしろ乾燥条件に対

図-2 収縮試験片と拘束試験片

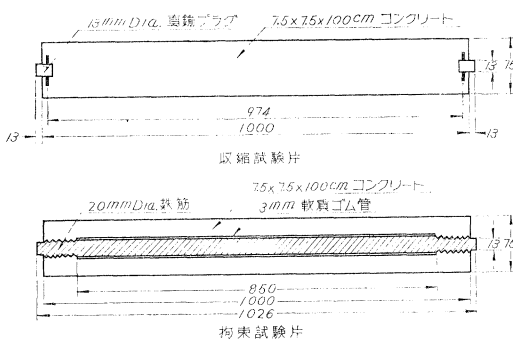


図-3 乾燥収縮, 拘束収縮, 引張応力および応力弛緩

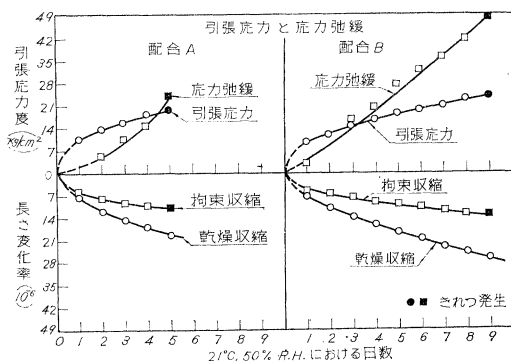
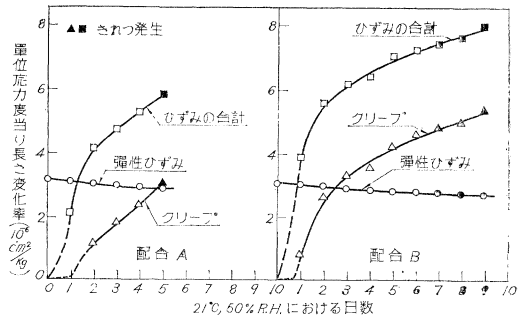


図-4 クリープ, 弾性ひずみおよびひずみの合計



する試験片の露出の均等性を考慮すれば、円柱型の方がすぐれている。ただし製作上多少の困難をとまなう。実験は2種の配合A, Bについて行なわれ、図中に示してある試験値は3個の測定値の平均である。

5. 結論

拘束方法はコンクリートの乾燥収縮および乾燥によるき裂傾向測定方法を併用発展させたもので、これの引張クリープ試験方法としての適用についてはようやく見とおしが得られた程度で今後の研究にまつ所が多い。乾燥収縮測定方法および乾燥によるき裂傾向測定方法は、いずれも標準的な方法ではないが、その適用性に関しては疑問の余地が無く、この両者と、さらに弾性係数試験の結果を合わせて、そこからコンクリートの引張クリープ特性を取り出すためにいくつかの仮定が重ねられているが、この仮定が常に成立するとは限らない場合もある。しかし正確な引張クリープ試験が技術的に困難と考えられている現在では、簡単に引張クリープを観察するための近似的方法として今後の検討に値するものと考えられる。(1963. 1. 18. 受付)

赤塚：正員 理修 運輸省港湾技術研究所
張： 米国スロウド大学大学院博士課程学生
M. Polivka：理修 米国カリフォルニア大学教授

アーチダムの基盤内の浸透流に関する実験的研究

大長 昭雄

1. 緒言

水力の急速な開発につれて、地形ならびに地質条件に恵まれたダムサイトは次第に減少し、その結果アーチダムの基盤の重要性も漸次その比重を増してきた。

ダムの基盤の安全性は、所与の基盤構造に対して、ダムから受ける力と浸透流の間接水圧を考慮した力学的な考察から検討されるべきであり、同時に基盤を透過する水の流速が割目に介在する粘土などの微粒物を流動しない流速であることが要求される。

しかしながら、今日までのこの問題に対する研究の対象は、主として基盤構造の力学的な性状に関するものであり、浸透流の影響は等閑視されている。この原因は、基盤内の浸透流に関する研究が皆無であるために、浸透流の作用を定量的に基盤の安全性に結びつけることが困難なことによるものと考えられ、また grout curtain や drainage system に関する設計、施工が、主として経験による判断に頼っていて、はなはだ工学的根

拠に欠ける原因もここにあると考えられる。

そこで筆者は、基盤内の浸透流を定量的に検討するための手段として、便宜上、均質な媒質内の問題として取り扱っても大過ないという立場をとり、電気相似法 (electrical analogy) にもとづく実験的な方法による研究を行なった。もちろん、かような判断を下した裏には、綿密な調査の結果があり、透水の対称になると考えられる基盤の割目が、一応どの方向にも存在していることを確認している。

この研究は、黒部川第四ダムの基盤の安全性に関する検討の一環として実施されたものであり、その内容は grout curtain に関するものと、drainage system に関するものとに大別される。前者については、この研究を開始したのがちょうど一部潜水を完了した時期であったため、そのときまでに施工した実績にもとづいて実験的な検討を行なったもので、その結果 grout curtain の機能が明らかにされ、additional grouting に際して拠となる指針を得た。後者については、全く白紙の状態が手かけて設計に関する新しい考え方を提案したものである。

2. 電気相似法の応用

電気相似法の応用には、つぎの基本的な仮定が前提となる。

i) 基盤内の浸透流は、Darcy の法則にしたがうものと仮定する。

ii) 基盤の透水に対する性質は、巨視的に見て与えられた領域内において等方等質なものとして仮定する。

浸透流の問題に対する電気相似法の応用は、今日では全く確立されていて、そうとう複雑な問題に対しても適用されるようになってきている。しかしながら、自由水面、すなわち浸潤面が存在する二次元模型による実験は、模型自体がさらに複雑になることと、三次元的浸潤面の形成がきわめて困難なために、いまだその前例を見ない。

筆者は、二次元模型の電媒質に寒天ゲルを用いて好結果をおさめた京都大学 丹羽教授の例にヒントを得て、さらに高いジェリー強度の寒天ゲルを用いることによって、この問題を解決しようとした。

3. 検討結果

浸透流に関する考察は、まず簡単な二次元問題から始めて三次元問題に終りを遂げた。そして、その結果の一部を原型と対比することにより、その真实性を確認し、さらに理想化された岩盤に関する考察を導入して、grout curtain の実体、Darcy の法則の適用性、岩盤の割目の中の流速などについて言及してみた。

これらの要点のみを列挙すると、

i) 黒部川第四ダムの基盤内の浸透流を、便宜上、均質な媒質内の問題として取り扱っても大過ないことと、流量の絶対値を取り上げた場合にも、かなりの信頼度を持つ結果が得られることが実証された。

ii) grout curtain および drainage system に関する機能と、後者の適切な配置に関する具体的な解答を得た。

これを要約すると、grout curtain の機能は、過度の流速を持つ流れが発生するような基盤の割目をふぐることによって、浸食作用による基盤の支持力の劣化を抑制することにあると考えらるべきであり、浸潤面を低下する場合の有効な工法とならないことがわかった。他方 drainage system は、浸潤面を低下する場合の非常に有効な手段であり、基盤のせん断抵抗に関して重要な部分の直下に配列するのが、最も得策となることを知り得た。したがって、浸透流に対する基盤の保全策として、いずれか一方のみの機能では不十分であり、両者の分に応じた使いわけが必要なことはいままでもない。

iii) 基盤の破壊に対する安全性を検討する場合に必要な間げき水圧の分布に関する有益な資料を提供し得た。

上述の検討結果は、主として経験による判断に頼って来た問題を、工学的に取り扱う可能性があるという一つの実例を提示したものであるが、今後、開発されるダム地点の基盤の割目の分布状態いかんによっては、十分利用し得るものと考えられる。

(1963. 1. 18・受付)

〔筆者：正員 関西電力KK 黒部川第四水力発電所
建設事務所土木設計課〕

豆 知 識

地熱発電について

地熱発電はボーリングによって地下深部の蒸気を取り出してタービンをまわし発電するのであるが、外国では数多くの実例がある。イタリアでは 1958 年に発電が開始され、つぎつぎに拡大されて現在 36 万 kW の発電を行なっている。また、ニュージーランドでは 1962 年には増設して 15 万 kW となっている。アメリカにおいてはカリフォルニアにて 30 数年前から蒸気を得ていたが、1960 年に 1 万 2000 kW の発電に成功し現在はこれが倍に増設されている。また、他の地区にもつぎつぎと発電可能地点が発見されてきた。この他、アイスランド、メキシコ、ソ連なども地熱利用の調査研究が進められている。日本では別府で明治年間約 1 kW の発電をしたのが最初でそれ以来、十数カ所でボーリングがなさ

れ、うち 2 カ所はおのおの 30 kW の発電をしたことがある。電源開発KKは数年前からこの問題を研究していたが、昭和 37 年 9 月からこれを実行に移したのである。調査地区としては屈斜路、鬼首、大白川、塚原、指定の 5 地区を選び電探、地温測定、ボーリングに着手した。電探は昨年 11 月より実施し 7 月で終了したが、フランス C.G.G. 社の技術者によって測定され良好な結果をえている。ボーリングは昨秋、大白川においておこなった 1 本から少量の蒸気をえた。現在、ボーリング中のものは屈斜路、鬼首、指宿の 3 地区で本年中には地質構造、地熱が解明され、それによって蒸気試験用ボーリングが可能となるので、今後数年をまたずとも発電用ボーリングも着工される技術的可能性がでてきたのである。

(電源開発KK技術顧問 広田孝一・記)