

り、離型剤の残存、ポリマーモルタルの表面のこわはりなどいくつかあげられた。何れにしてもPCa版など極めて平滑なコンクリートの表面はグラインダー、高圧水洗浄などを用いて目荒しを行い、よく洗浄した上、注意深く張りつける。

### 有機系接着剤による張付け

エポキシ樹脂系（EP）接着剤に対し、弾性接着剤としてポリウレタン樹脂系（PU）、シリコン樹脂系（SR）などの接着剤が使用されている。主としてタイルの補修の際に採用されているが、弾性系の方が下地のムーブメントに対応し得ると考え、PU、SRなどについての実施報告がある。有機系接着剤の耐久性については更に注意深く対応する必要がある。

### 先付けタイル工法

究極の工法として先付けタイル工法が開発され、まず大型タイルに採用された。コンクリートの充填不良により剥落したものもあるが、全体に優れた工法である。超高層建物の外壁PCa版に小口タイルの先付け工法がバブル期を頂点として採用された。これが浮いたり、剥落の恐れのあることが打音検査によって明らかになった。

この原因として、①型わくにタイルを先付けした後、セルフレベルング材を打った。②コンクリート打設の際、充填不良によりジャンカを生じた。③打込みの際、分離飛散したコンクリートの上にコンクリートを打設した。④蒸気養生のときの温度管理や設備の不適により局所的に加熱された。⑤脱型や吊上の際パネルの周縁部のタイルを損傷し、不完全な修復を行った。⑥深目地としたためタイルの裏面に雨水が入った。など多くの原因がある。

タイルの浮き・剥落に関する報告、図1\*は建築学会年次大会の20年間の浮き、剥離の発表論文数である。1988～1991年には発表論文零であった。これは多分、バブル期で、この様な報告をまとめている余裕がなかったものであろう。その後1993～1996年まで発表数が多い。タイルの浮き・剥落の不具合はまだまだ続くものであろうか？

### むすび

筆者は材料としてのタイルについて50年近く学生に講義をしながら、タイルの現場調査を行っていないが、あえて、にわか勉強の結果を披露した。もし、超高層建物のタイルが剥離して落下し、人に当れば重大な人命事故となる。浮き・剥落のメカニズムを解明し、対策を立てると同時に、建物の構造、計画的な立場でのタイル落下による被害防止対策を講ずる必要がある。タイル施工に詳しい方に一応目を通していただいたが、何かひとつでもお役に立てば幸いである。

\*図1は掲載省略。原文を参照されたい。

## 解 説

—現場技術者のためのひび割れ防止対策—  
コンクリートのひび割れは宿命か、抑制できるか

## はじめに

コンクリート構造物には、しばしば、ひび割れが発生し、問題となる。ここでは、ひび割れはコンクリートの宿命か？ 対策はどうするか？ 基本的な性質を踏まえて概念を述べる。

## コンクリートは収縮するもの

コンクリートは、セメントと水と骨材を練り混ぜてつくられる。

セメントは、水和反応によって収縮する。

セメントと水は水和反応によって水和物となり、硬化する。

この際、セメントの絶対容積と水の容積の合計は水和後約10%減少する(図1\*)。これは、水和反応式から計算により求めることもできるが、ゴムサックにセメントペーストを詰め、水中に吊るし、浮力変化を計ると、水和に伴い浮力が減少することでも容易に計れる<sup>1)</sup>。

コンクリートは開放表面から水が蒸散し、収縮する。コンクリートの練り水のうち、セメントと水和した残りの水の一部は開放表面から蒸散する。その際、セメントペーストの細孔内の水が減少する時、水の表面張力によって細孔は中心方向へ引っ張られ、収縮する(図2\*)。水の蒸散速度は、床版の場合、打設直後に最も多く、時間経過とともにセメントの水和が進み、拡散係数が小さくなり、内部から表面に移動する水の量が減少するので、蒸散速度は小さくなり、収縮は減少する。

水の蒸散速度に影響する因子を挙げれば、表1\*のようになる。

## ひび割れが“発生する” “しない” 条件

コンクリートのひび割れ発生の条件は、以下のように、

$\sigma_{st}$  : コンクリートの収縮引張応力,  $\sigma_c$  : コンクリートの引張応力,  $\sigma_\gamma$  : 補強材の分担引張応力とすると、

- ひび割れが発生する場合

$$\sigma_{st} > \sigma_c + \sigma_\gamma$$

- ひび割れ発生は不定

$$\sigma_{st} \doteq \sigma_c + \sigma_\gamma$$

- ・ひび割れが発生しない場合

$$\sigma_{st} < \sigma_c + \sigma_{\gamma}$$

となる。ひび割れ発生抑制には収縮引強応力 $\sigma_{st}$ の低減が有効である。それには以下のことが考えられる。

#### 蒸散速度を減ずる

コンクリートの表面からの水の蒸散速度を減ずることにより、 $\sigma_{st}$ は抑制される（表1）。

#### 膨張材を添加する

膨張材（JIS A 6202）をコンクリートに添加すると、セメントとの水和反応によってエトリンガイトまたは水酸化カルシウムを生成し、膨張する。セメントの7～9%を代替することにより、材齢2～3日くらいまでの収縮を低減させ $\sigma_{st}$ を抑制し、初期材齢におけるひび割れを防止する<sup>2)</sup>。

#### 収縮低減材を添加する

収縮低減剤は、アルキレンオキシド重合物を主成分とし、水の表面張力を減少させる作用を有する。したがって、水の蒸散に伴う毛細管に作用する収縮応力を減じ $\sigma_{st}$ を低減させる。収縮低減剤は、長期にわたり収縮を低減させることができる。添加量はセメント質量の2～4%である。

#### 補強材を有効に用いる

鉄筋、鉄網などは $\sigma_{st}$ に抵抗する有効手段である。開口隅角部の斜め補強筋はその一例である。異形鉄筋は丸棒鋼に比し、付着力が大きくひび割れに抵抗すると同時にひび割れ幅を小さくできる。

鋼線、ステンレス線、炭素、ビニロンなどの短繊維は、モルタル、コンクリートに一樣に混入されれば、ひび割れ抑制に極めて有効である。

単位セメント量の調整、骨材の調整、単位セメント量を調整することにより、自己収縮を低減する。骨材の粒径・粒度の調整、細骨材の微粒分や泥分を減ずる。有機不純物の混入を減ずるなど種々の方法がある。

### ひび割れが発生しやすい時期と抑制対策

#### 沈下ひび割れ

沈下ひび割れは、床版、梁上端などにコンクリートを打込み後1～2時間のうちに発生する。このひび割れは再打法（Retamping）によって容易に修復できる。硬化初期過程における伸び能力の低減によるひび割れは図3\*に示すように、コンクリートは打込み後急速に伸び能力（破断時引張ひずみ度）が減少する。20℃養生の場合、10時間前後に最小となる。伸び能力減少時

期に表1に示す不利な環境条件が重複すると、コンクリートは初期ひび割れを発生する。特に伸び能力最小時期には、引張強度は極めて小さく、コンクリートは初期可塑性を失ひひび割れが入りやすい<sup>3)</sup>。

図4\*は、初期コンクリートの材齢と収縮の関係である。コンクリート打込み後、開放面から水の蒸散が行われていると、材齢とともに収縮するが、約10時間経過すると収縮は止まり、その後2～3日まで収縮は極めて小さい。この現象は図5\*の質量減少率と収縮との関係に見られるように、材齢9時間くらいから質量が減少しても収縮は進まない。これはセメント粒子、骨材などの相互迫り持ち作用によるものである。その後、緩やかな収縮は水の蒸散とセメント水和物の収縮によるものである。このように、打込み後10時間くらいまでにひび割れが入らなければ、2～3日まではひび割れが入り難い。打込み後1日くらいの養生がひび割れ防止に極めて大切である。

#### ひび割れを目立たなくする方法

収縮が小さく、ひび割れのないコンクリートが望ましいが、単位水量の多いコンクリートや厚さの薄い壁などでは、ひび割れが入りやすい。そこで、ひび割れ誘発目地を設け、そこにひび割れを入れ、目立たなくする。誘発目地の深さは、壁厚の20～25%とし、間隔は3～4m程度とするが、目地深さが浅すぎたり、間隔が大きすぎると有効でない<sup>5)</sup>。

目地は必ず良質のコーキング材を充填する。これを完全に行わないと鉄筋が錆びて、錆汁が出てきたり 建物の耐久性に悪い影響を及ぼすので注意する。

#### おわりに

コンクリートのひび割れのうち、比較的初期に発生するひび割れとその対策について、基本的な性質に着目して述べた。ひび割れの低減に役立つならば幸いである。(かさい よしお)

#### 【参考文献】

- 1) 本間栄五郎，樋田岩美：セメントペーストの水和初期における体積変化について，セメント技術年報1962，pp. 121～125，1962年
- 2) 笠井芳夫，横山清：コンクリートの初期収縮に関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集，構造系，pp. 309～312，1977年
- 3) 笠井芳夫：コンクリートの凝結硬化に関する一考察，セメント技術年報1969 XXIII，pp. 214～218，1969年
- 4) 笠井芳夫，横山清ほか：コンクリートの初期収縮測定方法，セメント技術年報1970 XXIV，pp. 253～255，1970年
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造のひび割れ対策（設計・施工）指針・同解説，2002年改訂版

\* 文章中の図・表は掲載を省略した。詳細は原文を参照されたい。



随想・研究

## インテリジェント・アイ コンクリートと共に歩んだ45年

敗戦を富山の八ヶ山の飛行場で迎え、この年の12月から、神田のYMCAの裏の叔父の製材工場を手伝っているうちに、生活の基本は「衣食住」にあり、というので、建築を勉強しておけば生活には困らないであろうという安易な気持ちで日大・建築の夜学に入り、松井嘉孝先生のところで電話番号をしながら勉強しているうちに、コンクリートに取りつかれてしまった。

以来、日大に勤めることになり、1998年4月14日、70歳の定年を迎え最終講義を行った。そのとき、ある雑誌編集者から「研究の内容をまとめたらどうか」という話があり、ついその気になって、半年後の11月、執筆を始めた。

まずは話のあった雑誌の原稿として「コンクリートの初期性状」のところを簡潔にまとめ、翌年2月に提出したところ、編集委員会で検討した結果、全体としては膨大なものになることが予想され、予算の日安も立たないということから断わられた。

そこで、折角始めたことであるから、自費出版の覚悟で書き始めた。そうすると、この図もあの表もということになって欲が出てきて、コンクリートの「1, 初期性状」「2, 試験方法」「3, 耐久性・耐熱性」「4, 構造体コンクリートの調査」「5, 混和材料」「6, 高温蒸気養生」「7, 各種コンクリート」「8, 解体工法」「9, 建設副産物の再利用」と9章になり、A4判で270ページにもなってしまった。

この機会に2, 3研究の苦労話らしきもの、あるいは面白そうなものを述べてみたい。

### コンクリートの初期性状

この研究は、1960年の暮に、東海興業から「冬にスライディングフォーム工法によって穀物サイロを施工するので、低温時のコンクリートの初期強度の発現について実験してほしい」という話があり、暮から正月にかけて、水を入れた水槽を用いて供試体の温度を調節して、1時間に1個ずつ強度試験を行って、結果を整理したところ、きれいに指数関数に乗ったので、これは面白いと次々に実験を重ね、養生温度2℃~40℃までの材齢3日以内の圧縮強度の発現をT°T(Tは時間、Tは仮想養生温度)という特殊なマチュリティを用いて表現することができた。

こうして普通、早強、混合セメントについて水セメント比を変えて実験し、1440T°T(20℃養生、材齢3日に相当)以内の初期強度を推定するための図を描くことができた。この図は今日でも適用し得るものと考えている。

## コンクリートの疲労

アムスラー試験機を用いて、コンクリートに強度の80%以上の繰返し圧縮荷重を加えて、静弾性係数と動弾性係数の変化を試験した。

試験結果を、弾性係数を縦軸（普通座標）に、繰返し回数を横軸（対数座標）にとり、図を描くと、ひび割れが入る辺りから急に弾性係数が減少し、破壊が近づいたことを予知する現象のあることが判った。これは岩石などの破壊にも適用することができると考えられる。今日では、このとき発するAE（Acoustic Emission）を計測することができよう。

## ドライキャストコンクリート

セメント、細骨材、粗骨材を乾燥した状態で型枠に詰め、後から吸水させればフレッシュコンクリートのように分離することなく、かつ密度の高いコンクリートが得られるものと考えた。この研究は8年間にわたり、骨材の粒度分布、調合比、混和材を用いたり、振動周波数、圧密圧力など成型条件を変え実験した。

結果は期待した通りではなく、強度は300kgf/cm<sup>2</sup>程度で、予期した結果は全て外れてしまった。これは、材料を型枠に乾燥状態で充填した場合、後から吸水させても、セメントは極論すれば1粒1粒が独立し、骨材とセメントとの間には当初の空隙がそのまま残り、ミキサで練り混ぜたフレッシュコンクリートのようにセメントペーストと骨材の結合のような相互作用が生じないようであった。

ミキサでコンクリートを練るということは、水とセメントを練り混ぜ、いわゆるセメント糊を作り、これに骨材が練り込まれ一体となることを意味し、コンクリートを練り混ぜることの意義を強烈に認識させられることになった。

## コンクリート構造物の解体工法

RC構造物の解体に興味を持ったのは、1957年頃、松井嘉孝先生が、「これから建物の解体が多くなるので研究すると面白い」と小野薫先生が言っていたよ」と言われたのがきっかけであった。そこで夜 昼そのことを考えているうちに、鉄筋に電流を通して加熱すれば、鉄筋は膨張してコンクリートにひび割れが入り、鉄筋に接するセメントペーストは脱水されて付着力がなくなり、解体が容易になると考えた。

φ 5 cm、高さ10cmのモルタルの中央に5寸釘を埋め込んで、溶接用トランスを用いて通電したところ、供試体は、バシッと音がして割れた。これは面白いと思ったが、「初期強度」の研究に打ち込んでいったため後続実験を行わなかった。1963年になって再び実験を行い300×300×300mmのコンクリート供試体に、かぶり厚さを変えて鉄筋を埋め込み、加熱実験を行いひび割れの発生状態、付着力の減少など、基礎的実験は全て行いその都度建築学会関東支部研究報告に報告しておいた。

その後1982年になって前田建設工業原子力部から話があり、実験を再開し、6～7年実験を重ね、通電剥離解体工法として1999年4月(財)国土開発技術センターから評定を受け、公的に認定された。最初の着想から約40年経過していた。

### 再生コンクリート

解体したコンクリートをクラッシャーで破碎して粒度を整え、また骨材として使用するという着想は、1971年の夏のことであった。

早速、戸田建設の現場からコンクリートを頂き、三菱セメントの大宮の研究所で破碎してもらい、2～3年実験して、一応使用できることを発表した。引き続き(財)建築業協会において、2大学、4ゼネコンの研究所を中心に委員会を作り、共同研究を行った。この結果は1976年に報告した。

その後建設省建築研究所、土木研究所などにおいて総合技術開発プロジェクトとして取り上げられ、実用化のための実験研究が進められてきたが、再生骨材コンクリートを出荷できる生コン工場は未だ全国に2カ所しかない。

用途も木造基礎、外構コンクリートなどで、本格的なRC躯体用としては用いられていない。この研究は私にとって30年来の研究であるが、何とか普及させたいものである。

さて、これまでの実験研究の歩みを「コンクリートと共に歩んだ45年(論文概要)」として、やっとりまとめることが出来たが、ここに述べたのはほんの一部である。

「初期コンクリートの引張試験」は材齢3時間からの引張強度-引張ひずみ度の試験結果は、これまで報告はなかった。また「初期ひび割れ」についても泥分、風速の影響などを変えて、低水セメント比のコンクリートの初期ひび割れを検討した。

スライディングフォーム工法を対象とした「早期脱型するコンクリートの強度」は初期養生の重要性を指摘したものである。

このほか、高炉スラグやフライアッシュを用いたコンクリートのオートクレーブ養生、木片コンクリートの開発研究も行った。構造体コンクリートの非破壊試験としては、削孔粉を用いたコンクリートの中酸化深さ試験方法、塩化物量の簡易試験方法、単位セメント量の試験方法などがある。

既に紙面は尽きた。私のこの45年間に行ったコンクリートの性質の解明や用途開発、構造体の調査などについて収録した。コンクリート技術のひとつとして役立てば幸いである。

**随想・研究**

**—コンクリートへの思い—  
コンクリートはまだまだ面白い材料である**

コンクリートは、セメントと骨材と水を練り混ぜて型枠へ打込めば固まる。こんな簡易な材料はない、今から40～50年も前には建築の設計屋は勿論、構造屋でも中には「コンクリートの勉強をしています」というと、何となしに白い目で見られたような気がした。

多分今でも機械屋や、まして物理学の先生の中には「コンクリートって何か研究すること、あるんですか」と口に出さないまでもそんなように思う先生が居るのでなかろうか？これは、私のひがみだろうか。

そんなコンクリートに魅せられて、というか、とりつかれたというか、コケの一念、50年以上も付き合ってしまった、「はいさようなら」と言うまでかかわって行くことと思う。

「一寸考えてみて下さい。」日本における1980年頃のセメント生産量の最盛期には年間約1億トン作り、コンクリートは2億 $m^3$ 以上作っていたのである。2005年度のセメント生産量は約7,400万トンであり、生コン生産量は約12,200万 $m^3$ となっている。中国では2004年度にセメントを約94,000万トン生産し、コンクリートは毎年20億 $m^3$ 以上作られているように聞いている。全世界では、2004年度には約211,500万トンのセメントを生産し、コンクリートは40～50億 $m^3$ 生産されているのではなかろうか？

一方、見方を変えて、コンクリートで100m幅の厚さ1mの道路を作ったとすると、全世界では全長4～5万kmとなり、地球を1～1.25周する程の多量のコンクリートを毎年せっせと作っているのである。

セメント1トンを焼くのにセメント協会の資料によると、石灰石を約1,120kg、エネルギーは重油換算として約110kg必要とする。全世界では2004年度に石灰石を約236,800万トン、焼成エネルギーは全世界では1トン当たりの焼成エネルギーが日本の約1.2倍として、重油換算では約28,200万トンとなり、こんなに多量に資源を消費する産業は他にない。

1975年頃のオイルショックの直後、低温焼成セメントの研究が精力的に行われた。私が調査したところでは、特殊混合セメントを含めて、わが国だけでも関係論文が50編もあった。その後重油が安くなると顧みられなくなった。品質は若干低下しても、低エネルギー焼成セメントなどを常時使って行くことはグローバルな省資源対策として重要なことと思う。

環境問題として、全世界では石灰石から $CO_2$ ガスを約107,000万トン、燃料、その他から約110,000万トン、合計217,000万トン放出しているのである。 $CO_2$ 問題は避けることのできない

デメリットと認めざるを得ない。

しかし、住宅を作るにも、橋を架け、道路を作るにも、コンクリートにかわる材料は他にないよう思う。

そのコンクリートに引かれてセメントコンクリートの研究を行っている学徒・技術者もまた大勢いる。その証拠には、わが国だけでコンクリート工学協会、建築学会、土木学会、セメント協会など全部合わせると、内容が重複していたり、本格的な論文であったり、概要報告のようなものであったとしても、セメント、コンクリートに関する発表は毎年千数百編になるように思う。

全世界では、何編か予想もつかないが多分8000~10000編位はあるように思う。コンクリート博士は毎年何人生まれているかは予想がつかない。

まさに「おそろべし、コンクリート！」ということで何時も「コンクリートはモンスターだ！」と思っているところである。

こんなコンクリートを好きになって、50年以上もやってこれた私は「やっぱり果報者！」かと思う。ところで「コンクリートはこのままでよいのか？」と言われると「それは違う。」と言わざるを得ない。この20年来、大問題となってきた、過荷重と繰り返し荷重による疲労、塩害による鉄筋の腐食、アルカリ骨材反応によるひび割れ、などが大問題とされてきた。これらの原因により高速道路や新幹線の高架橋からコンクリート塊が落ちたり、トンネルからコンクリートが落ちて列車に当たったり、海砂を使ったコンクリートで作った集合住宅の鉄筋が腐り、解体したり、日本海の海岸沿いの幹線道路のコンクリート橋が海塩によって損傷し、解体した事例など毎拳にいとまがない。

コンクリートの先進国である欧米、日本などでは、ある程度対策が進んでいるが、現在、多量にコンクリートをつくり続けているコンクリートの発展途上国では、これから30年、40年経過して、コンクリートの耐久性問題が生じたとき、どう立ち向かえばよいのか？ コンクリートの勉強をしてきた者としては、本気で考えれば考えるほど、頭の痛い大問題である。

コンクリートの研究の中で最も大切なことは、グローバルな環境におけるコンクリート構造物の耐久性の研究のように思う。一例を挙げれば、アルカリ骨材反応について1940年に米国でStantonによって報告があり、既に70年も経過した。アルカリ骨材反応の国際会議は1974年に第1回がデンマークであり、30年を経過して既に12回を数え、2004年には中国で開催された。日本ではやっこの10年来対策が固まってきたが、コンクリートの発展途上国ではコンクリートの生産量が増えれば増える程、アルカリ骨材反応によるひび割れが発生し、これについての研究報告はまだまだ量産されると思う。コンクリートの研究者や技術者が飯を食う種は無くな

らないということである。やや冗舌が過ぎた。

セメントについて、家庭ゴミの焼却灰からエコセメントを製造する技術を確立し、生産工場を作った業績は大いに評価するが、「セメントそのものはまだ改良の余地があるものか?」「もう100%近く研究が進んでしまい面白いことは残っていないのか?」「もっと長い結晶をもったセメント水和物は作れないものか?」そうすれば、引張強度が大きくなってまた一段と価値が上がってくるのであるが。

混和材料は無機物、有機物何れもこの40年来コンクリートの改質に大変な貢献をなした。これからもまだまだ研究の余地があるように思う。

さて最後にコンクリートと各種繊維と有機高分子化合物の複合にも大きな期待が持てると思う。セメント水和物の脆弱性を改質し、モルタル・コンクリートをもつと粘りのある材料とするためには、この方法以外にはないような気がする。

資源の有効利用という点では解体したコンクリート塊の再利用はもとより、解体コンクリート塊の用途開発をもっと進める必要がある。

コンクリートは地味な材料であるが、まだまだ研究することは山積している！ 本気で打込んでやるに値する材料である！ どうかこれからも一所懸命に勉強する技術者が輩出することを期待する。



日大理工学部旧1号館（1929年4月竣工，2000年12月解体）

## 大学院修士課程修了者及び学位取得者に桜門建築 材料施工研究会の笠井賞贈呈の際におくった言葉

### 壁

2006（平成18）年3月

太田将弘君：何かやれば必ず壁がある 壁が厚く硬い程 孔を開けたとき得られる成果が大き  
い

尾形武志君：すごい壁を発見した人は幸である その壁は未だ誰も気付いていないからである

恩田敦史君：壁を発見するには常に心眼を開いて現象を観察し続けることが大切である

権代由範君：壁に当たったらあせらずその前で立止り 萬策つくしてじっと時機を待つ

平野修也君：昼夜繰返し解法を考えているうちに 壁の削孔方法がヒラメク

### 仕事とは

2007（平成19）年3月

大塚 秀三君：仕事とは 研究にしろ 建物をつくることにしろ 全て零から創造することで  
ある このことに真正面から向って努力をするように

上 さおり君：ものごとくに眞剣に取組んだときの充実感は 何物にも代えがたく 本人のほか  
に味わえない幸福である

國分 友貴君：できるだけ多くの人をサポートを得られるようにすることが 難しい仕事を成  
し遂げる秘訣である

佐々木一人君：仕事とは 与えられるものではなくて 自分からさがし創造するものである

佐々木 隆君：これは俺が一生懸けてやった仕事だ というようなものを残したい

菅原里美君：多くの仕事はやり直すことのできないものである このことに特に気持を留めて  
おくように

鈴木大介君：躰の健康と心の健康の両方が保たれて はじめて何かまとまった仕事ができる

手塚基広君：信頼とは この人に頼めばなんとかしてくれる ということの積み重ねによって  
得られるものである

西田健治君：人の教えは全てありがたく受けとめよう その人はあなたを大切に思い 勵して  
くれているのである

三輪久美君：人は一人では生きられない このことを強く意識することが 自立の根本である

## 忍 耐 2008（平成20）年3月

小田浩之君：人が生きるとは、七難八苦に耐えることである 耐えて耐えて栄光を握もう

菊地弘悦君：貧困，病苦，仕事，慈愛，嫉妬など，耐えねばならぬものは数限りなくある こ  
れらに耐えて生き抜こう

直井 豊君：やってくる困難，自分で作りだした困難，未来は判らないが，果実が実るまで  
耐えよう

## 創 造 2009（平成21）年2月

寒河江賢伍君：創造とは、はじめて何か有益な ものを つくる ことである

藤井 知明君：創造とは、四六時中考えているうちに 神の啓示のように顕現するものである

大木 崇輔君：創造とは、努力と研鑽の結果 実を結ぶものである



## 学会賞受賞論文 コンクリートの初期性状に関する研究

### 1. まえがき

このたび「コンクリートの初期性状に関する研究」により建築学会賞をいただき、身に余る光栄に存じます。この研究は昭和35年の暮、ある建設会社より“冬期にスリップフォーム工法によりサイロの施工を行いたいが、型枠の滑動速度をどのくらいにしたらよいものか”という相談を受けたのがきっかけになりました。

当時、小さな20℃の恒温室はありましたが、低温室はなく、水槽に氷を入れ、これに型わくごと供試体を浸して1℃の養生温度を得たものでした。夜中に氷がなくなって、氷屋の主人をたたき起こして買って来たという状態ではじめたものです。

幸い松井嘉孝先生のご援助と横山清助教授（当時助手）、平賀友晃氏（現戸田建設技研）の献身的な協力を得て実験は次第に軌道に乗って参りました。また、故斎藤謙次先生、加藤渉先生をはじめ、理工学部の諸先生のご鞭撻をいただき、研究に専念できたことは誠に幸運でありました。昭和41年からは生産工学部に移籍しましたが、ここでも先輩諸先生方のご支援をいただきました。この間徹夜の実験を熱心に行っていた柴田修身氏、松井勇氏をはじめとする助手、研究生諸氏およびこの研究の一部を卒業論文として受講された多くの日本大学卒業生各位に対して、この機会に衷心より謝意を表する次第であります。

受賞論文は筆者の学位論文となった「コンクリートの初期強度・初期養生に関する研究」を主体とし、初期収縮に関する研究、早期に海水に接するコンクリートに関する研究を加えて構成されています。

### 2. 研究の位置づけ

本研究のコンクリート工学における位置づけについて一言述べれば、これまで“コンクリートは硬化した状態で使用するものであるから、打ち込み後数時間から、数日に至る初期における性状変化とか“養生というようなものは、特に研究する必要はなかろう”というような感じでありました。ところが、スリップフォーム工法の普及、工期短縮に伴う型枠の早期脱型、コンクリートの初期凍害対策、初期収縮対策などに関連して、初期圧縮・引張強度、初期養生、初期収縮など初期性状について組織的な研究が必要となってきました。本研究の目標もこの辺に置かれています。筆者が研究をはじめた頃はこれらについての研究はそう多くなかったので

すが、この2～3年初期性状に関する研究発表が多くなり、内容も多岐にわたるようになってきました。

### 3. 研究概要

本研究は5編からなっています。以下編を追って要点を述べます。

#### 〈1編〉コンクリートの初期強度に関する研究

##### (1) 初期圧縮強度について

初期圧縮強度の精度のよい推定は、工事の安全な遂行のうえから必要なものであるが、これまで組織的な研究が少なかった。筆者はこの点に着目し、加水後2、3時間から材齢3日(20℃養生の場合)程度までのコンクリートについて、養生温度、セメントの種類、水セメント比などを変えて数次にわたり実験し、次式を提案した。

$$F_c = 0.01 \cdot f_c \cdot F_{1440}$$

ここに、 $f_c = a(T^\circ T)^n = a[T^\circ(\bar{t} + \alpha)]^n$

$F_c$  : 初期圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$F_{1440}$  : 1440T<sup>°</sup>Tにおける圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$f_c$  :  $F_{1440}$ に対する圧縮強度百分率 (%)

T : 加水後の経温時間 (hr)

T<sup>°</sup> : 仮想養生温度 (°C)

$\bar{t}$  : 平均養生温度 (°C) , (コンクリート温度を対象とするのがよい)

$\alpha$  : 養生温度の仮想原点で  $|\bar{t} - 20|/m$  とする

(m : 養生温度によって定まる定数, 普通, 早強混合セメントA種については, 0°C <  $\bar{t}$  < 20°C 場合 m = 5, 20°C ≤  $\bar{t}$  ≤ 40°C 場合 m = 2)

a, n : 実験定数 (セメントの種類, 混和剤の種類別)

セメントの種類別に  $F_c - T^\circ T$  関係線を示せば図-1のようである。これらの関係線を既往の実験結果に当てはめたところ、極めてよく一致した。横座標の  $T^\circ T$  を  $T^\circ T$  で除せば、養生温度別に関係線が求められ、また  $F_{1440}$  (20°C, 材齢3日に相当する強度) が決まれば、強度 - 養生温度 - 材齢の関係線を求めることができる。 $F_{1440}$  についてはセメント別にセメント水比との関係を求め、また7日強度あるいは28日強度との関係についても求めた。

この他所要の初期強度を得るのに必要な材齢 - 水セメント比 - 養生温度関係線を描くこともできる。この関係線はスリップフォーム工法における型枠滑動速度の決定、初期凍害を受けなくなる強度(凍害耐力)を得るための材齢の決定、型枠存置期間の決定など必要なものである。

T<sup>°</sup>T座標は養生温度の異なる場合における、コンクリートの凝結の始発、終結などの表示にも

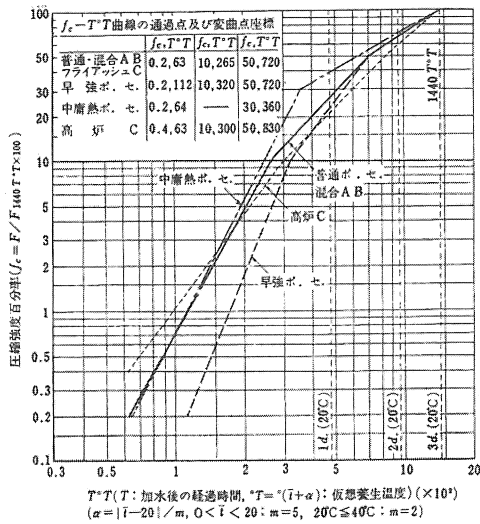


図-1 各種セメントを用いたコンクリートの  $F_c - T^\circ T$  曲線

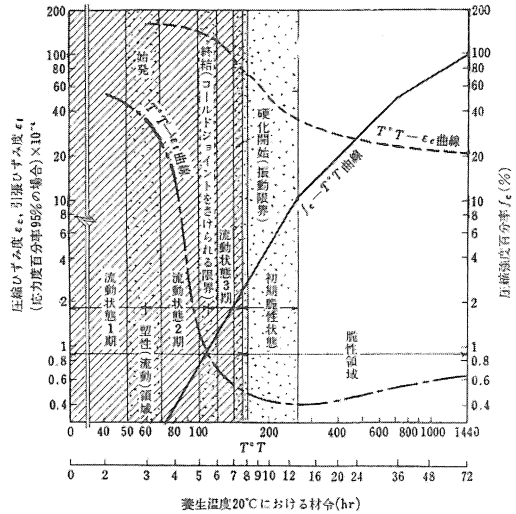


図-2 コンクリートの凝結・硬化・初期ひずみ度と  $T^\circ$  との関係

適用できる。図-2はコンクリートの凝結の引張ひずみ度、 $F_c - T^\circ T$ 曲線などの関係である。

$T^\circ T$ 座標と貫入抵抗試験結果から、コンクリートの温度と運搬時間を知り、打継ぎ許容時間を求める図表を求めた。これによると夏季においては、前層打込後、次の層を打つまでの時間は90~120分以内である。

### (2) 初期引張強度について

コンクリートの初期における引張強度の発現、引張ひずみ度の経時変化などについては、試験方法が難しいため、これまで研究が行われていなかった。この研究は昭和38年から着手し、2回にわたり、直接引張試験装置を試作し、加水後3~4時間から、コンクリートの直接引張強度、引張ひずみ度を測定することができるようになった。これを用いて、セメントの種類、水セメント比、スランプなどをかえて、引張強度ならびに引張応力度ひずみ度を測定した。

引張ひずみ度は、 $60T^\circ T$  ( $20^\circ C$ , 材齢3時間に相当)位までは約  $5 \times 10^{-3}$ 程度を示すが、その後急速に減少し、 $200T^\circ T$  ( $20^\circ C$ , 10時間に相当)付近で最小値をとり、その後わずかに大きくなる。このように時間経過とともに極めて特異な変化を示すことを明らかにした。

初期最大引張ひずみ度は、荷重開始より破壊に至るまでの時間の長短によって相違することが予想されるので、本装置を用いて、破壊に至るまでの時間を5分、60分、90分と変えて実験した。その結果、荷重開始より破壊までの時間が長くなると引張ひずみ度は大きくなるが、所要時間が60~90分の場合のひずみ度は5分の場合の約2倍であった。

次にコンクリートの初期引張ひずみ度を弾性成分と塑性成分に分割する実験を行った。それ

によると初期60T°T位までは引張ひずみはすべて塑性ひずみで、その後塑性成分が現れてくることが明らかとなった。これらはいずれもコンクリートの初期ひびわれ発生機構解明のための基礎的な資料となるものである。

## 〈2編〉コンクリートの初期養生に関する研究

### (1) 早期脱型するコンクリートの初期強度

スリップフォーム工法においては、コンクリートは打込後数時間で脱型される。一般に早期脱型した場合、その後空气中に放置するときは、長期強度の増進が小さい。ここではセメント普通、早強、高炉A種、シリカA種、フライアッシュA種の5種とし、20°C養生の場合6時間から脱型し、40°C養生の場合3時間から脱型して、その後の養生方法をかえ、初期養生方法が長期強度におよぼす影響について実験研究した。その全平均を示せば図-3のようである。型枠存置期間は少なくとも48時間以上必要で、数時間で脱型するような場合、脱型後十分散水して養生を行わないと、強度上著しく危険な場合がある。

### (2) 初期凍害

硬化初期のコンクリートが凍結すると、水は約1.1倍の体積をとる水になるため、結晶圧によって膨張し、組織が粗になり、融解後硬化しても、コンクリートの強度は著しく小さく、耐久性も悪くなる。ところがある程度硬化してから凍結した場合、被害は殆ど受けなくなる。このときの強度を凍害耐力という。

コンクリートを、打込直後から60kg/cm<sup>2</sup>に至るまで段階的に強度発現に応じて順次-15°Cの低温室で凍結させ数回の凍結融解を繰返した後、これを20°C水中で養生し、十分硬化させ、標準養生供試体の強度と比較し、凍害の程度を判定した。これによると、凍害耐力を得る材齢は水セメント比が大きくなるとわずかに長くなるが、60T°T（20°C養生で30時間。5°C養生で75時間）程度とればよかった。現行JASS 5が凍害耐力を50kg/cm<sup>2</sup>としており、-20°C程度の低温を想定しているため、日内の最低気温が-10°C程度までしか降下しない地方では、かなり安全側にあることを示している。

またT°Tと初期強度との関係線と、初期凍結材齢と初期凍害との関係線とから、凍害耐力に到達する以前に誤ってコンクリートを凍結させた場合の残存強度を推定する図表を提示した。

## 〈3編〉コンクリートの初期収縮に関する研究

コンクリートの収縮は、打込直後の沈降による収縮と、その後の硬化乾燥に伴う収縮とに分けられるが、本研究においては、コンクリート成形後2～3時間より順次時間をかえて脱型したコンクリートについて、脱型時間とその後の材齢経過に伴う収縮との関係を実験研究した。

A: 空气中養生, D.A.: 脱型後 6hr 風洞にて乾燥, 以後空气中 D.W.A.: 脱型後風洞にて乾燥(6hr), 以後空=水 24hr/cycle 3回 S.D.A.: 脱型後直ちに封かん剥離布後 6hr 風洞にて乾燥以後空气中

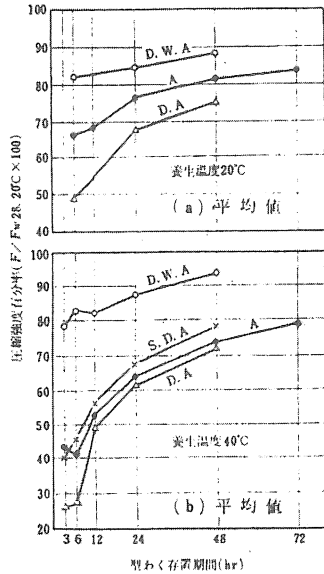


図-3 型枠の在置期間と圧縮強度百分率との関係

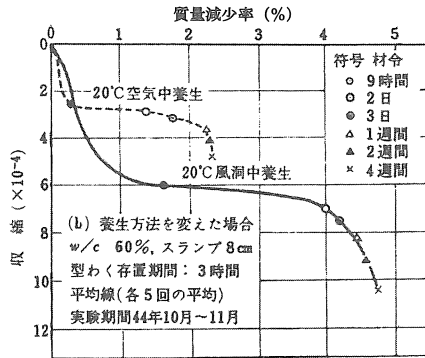


図-4 質量減少率と収縮との関係

早期に脱型するほど、脱型後の収縮が大きい。これはセメントペーストの構造が未熟な状態で脱型するほど水分の蒸発速度が速く、乾燥による収縮に対する抵抗が小さいためである。

早期に脱型したコンクリートはその後の乾燥のさせ方によって重量減少率と収縮との関係が大幅に相違する。その関係を示せば、図-4 のようである。これらの曲線はいずれも材齢 9 時間くらいまでに初期収縮は一旦終了し、その後重量減少はかなり進んでも材齢 3 日位まで、収縮は進まない。この現象は土の収縮模型と一致している。この後長期にわたり続く収縮はセメントペーストの乾燥に伴う収縮である。

コンクリートの収縮、ひびわれに関する研究は極めて多いが実際の建物のひびわれ現象を解明するまでには至っていない。この原因の一つは、初期におけるコンクリートの伸び能力、クリープ、収縮などについて試験方法が確立されていないことによる。

今後はこれらの点について、実験研究を行って、初期ひびわれ発生機構を明らかにしたい。

#### 〈4 編〉 早期に流水・海水に接するコンクリートに関する研究

海水中でスリップフォーム工法を行うことを目標とし、調合の異なるコンクリートについて、成形直後から強度 2 kg/cm<sup>2</sup> に至るまでのコンクリートを 0.3m/sec と 0.7m/sec の流水中にさらし、損耗の程度を試験した。水セメント比とスランプの大きいコンクリートは損耗量

が大きくまた流速の早い程損耗量は大きかったが、強度  $2 \text{ kg/cm}^2$  程度となると殆ど損耗しなくなった。

海中でスリップフォーム工法を行うためには、コンクリートは数時間で脱型され海水に接することになる。そこで、型枠在置期間を4時間から3日まで変えたコンクリートを脱型直後海水に浸漬し、塩分浸透量を求めた。塩分の浸透深さは浸漬期間が長くなると次第に増えるが一定値に近づく、また浸漬開始材齢が違っても長期材齢において浸透深さは大差なかった。表面付近の塩分濃度は塩水の濃度から換算した値に近かったが、かぶり厚さ 10mm 程度でも常時海中にあるコンクリートの場合、鉄筋に発錆はみられなかった。

以上の結果から、海水中でスリップフォーム工法を実施し得る可能性を示した。

### 〈5編〉総括

本篇においてはこれまでのべた研究の総括と、コンクリートの初期性状に関する研究の現状と題し、①凝結性状、②ブリージング・初期容積変化・きれつ、③初期圧縮性状、④初期引張性状、⑤上記以外の初期性状に大別して、研究の現状、問題点などについて筆者の報告 21 編を含め、74 編の文献を引用して解説し、コンクリートの初期性状について総括した。

(笠井芳夫，日本大学生産工学部教授)



ウルムチ近くの砂漠のオアシス

## 解 説

## セメント協会論文賞を受賞して

このたび「硬化初期におけるコンクリートの力学的性状に関する研究」により、セメント協会論文賞を受賞したことは、筆者らにとってたいへん光栄なことであります。

受賞の対象となった論文は、昭和47、48、49年度の3年間にセメント技術大会で発表した「No.72超早強セメントコンクリートの初期強度に関する研究」、「No.46コンクリートの初期引張ひずみについて一破壊に至るまでの時間を変えた場合—」および「No.50初期コンクリートの引張弾・塑性ひずみの経時変化について」の3論文であります。これらの研究は昭和36年以来筆者らがセメント技術大会で報告してまいりました「コンクリートの初期性状に関する一連の研究」の最近における成果であります。このような立場から、研究の動機、経過、意義、論文の概要などについて、紹介したいと思います。

## 研究の動機・経過

この研究の直接の動機となったのは、昭和35年の暮に、ある建設会社から「スリップフォーム工法」により冬期にサイロを施工することになったが、型枠の上昇速度を決定するのに何か資料はないか」という相談があり、文献を調査したところ10℃以下におけるコンクリートの初期強度の発現についての報告はほとんどなく、実験により確かめることになった。とりあえず1℃から15℃までの範囲のコンクリートについて実験し、当面のサイロの建設は無事完了することができたが、実験結果を検討したところ、養生温度の高低によって強度発現が実に整然と順序づけられていた。そこでさらに1℃から30℃までの実験を行ない、昭和36年度の技術大会で報告した。以来、水セメント比、セメントの種類、表面活性剤の種類などを変えて実験研究を行ない、初期圧縮強度については昭和42～43年頃までに一応終了した。

今回受賞の対象となった論文のひとつ、超早強セメントの、初期強度の発現を含む28日までの強度発現は養生温度を変えて実験・研究したものである。

初期圧縮強度に関連してコンクリートの初期凍害などについても研究結果を報告しているが、昭和38年からコンクリートの初期引張強度・引張ひずみの測定方法に着手した。これは植村・中堂両氏の実験（セメント技術年報、1955年）、森・上村両氏の実験（コンクリートジャーナル、Vol.5、No.4）などに刺激されたもので、数次の実験を経て、「コンクリートの引張強度に関する研究」と題して、昭和43年、セメント技術年報に報告した。その後直接引張試験装置の改良を重ね、供試体の両端にロードセルを設置し、供試体を置いた試験台が引張り軸上に

スムーズに移動できるようにし、1軸上に引張るような装置を試作して、新たに実験を行ない、その結果を「コンクリートの初期引張性状に関する研究」と題して昭和46年セメント技術年報に報告した。今回受賞の対象となった論文No.46とNo.50はこの装置を用いて行なったものである。

コンクリートの初期性状に関する研究の意義は、ここに述べるまでもないことと思うが、要点は、コンクリートは打設時においては流動性のあるセメント、水、砂、砂利の混合物であるが、セメントの水和に伴って、短時間に急激な変化を遂げて固体となり、さらに強度を増進させる。この変化は、スリップフォーム工法においては脱型時の所要初期強度と関係があり、また凍害耐力に到達する材令とも関係するものである。

初期引張性状に関する実験・研究は、初期ひび割れの発生機構を究明するためには不可欠のもので、現在筆者らが鋭意研究を続けている主テーマである。このほか、初期におけるコンクリート中の水分の挙動、容積変化などはいずれも長期コンクリートの性質に深いかかわり合いがある。コンクリートは硬化した状態で使用するため、ともすればこれらの研究はテーマとして取り上げられることが少なく、また実験が難しいものが多い。しかしすでに述べたようにきわめて重要な研究であるから、今後各方面で研究が進展することを期待する。

### 論文の概要

今回対象となった論文のうち、「No.72超早強セメントコンクリートの初期強度に関する研究」は、初期圧縮強度推定式について実験・研究したものである。養生温度を2、5、10、20、30、40℃と変え、3銘柄のセメントにより、加水後約3時間から材令28日に至る強度発現について実験した。240T°T(20℃養生、材令12時間に相当)を基準とした強度百分率により表示し、推定式を作った。この結果、養生温度2℃から40℃の範囲内で、初期強度の推定が可能となった。

「No.46コンクリートの初期引張ひずみについて一破壊に至るまでの時間を変えた場合」と題する論文は、加水後数時間のコンクリートについて、破壊に至るまでの時間を5、60、90分として載荷速度を変えて、引張応力度-ひずみ度曲線を測定したものである。その結果、図1に示すように引張ひずみ度は破壊に至るまでの時間が長くなるほど大きくなり、この値は次第に一定値に収れんする傾向がみられた。5分で破壊した供試体のひずみ度を、1とすると60分で破壊したものは1.5~1.8倍となった。また引張弾性係数(E1/2)は破壊に至るまでの時間が長くなると小さくなり、60分のものは5分のものの65%となった。

「No.50コンクリートの引張弾・塑性ひずみの経時変化について」と題する論文は、初期コンクリートの経時変化に伴う引張ひずみ度を弾性成分と塑性成分とに分け、硬化過程におけるコンクリートのクリープひずみの実態と引張弾性ひずみの発現の様子を明らかにするために行なった実験・研究である。段階状に漸増する繰返し載荷試験を行ない、これを求めた。その結果



を例示すれば図2のようである。この場合50T°T（20°C養生，材令2.5時間に相当）以内の引張ひずみ度はすべて塑性ひずみ度であり，その後材令経過に伴い弾性成分が増大し，塑性成分は減少した。図3は全ひずみに対する塑性ひずみの比を積算温度T°Tに応じて画いたもので，塑性ひずみはT°Tの経過に伴い大きくなる。同一スラブでは，水セメント比が大きくなるほど，弾性ひずみが発生しはじめる材令は遅くなる。

これまでに述べた初期性状は，先に筆者が報告した引張・圧縮ひずみ度の変化，初期強度発現，プロクター貫入抵抗値の変化などに着目した「コンクリートの凝結・硬化についての一考察」（セメント技術年報，1969年）とよく一致している。

コンクリートの凝結の始発に相当する約50T°T以内では，コンクリートの引張ひずみはすべて塑性成分からなり，凝結の終結に相当する100から120T°Tでは，弾性成分と塑性成分の割合はほぼ等しく，この点は初期収縮の終了する点でもある。1,000T°T（20°C養生，材令50時間に相当）程度ではまだかなりの塑性ひずみが認められる。

以上今回の受賞論文について研究の動機・経過，意義，論文の概要などについて述べたが，コンクリートの初期性状，特に初期ひび割れの発生機構を究明するためにはまだまだ残された問題が多い。この受賞を機会にさらに研究に励み，ご期待に沿うよう精進を重ねたいと考えている次第である。

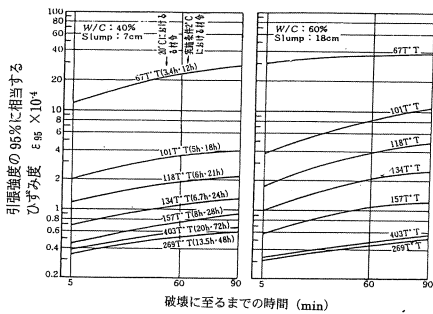


図1 破壊に至るまでの時間と引張ひずみ度との関係

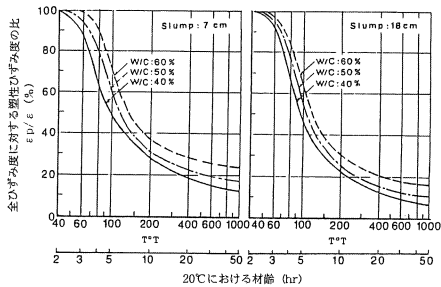


図3 T°Tと全ひずみ度に対する塑性ひずみ度の比との関係

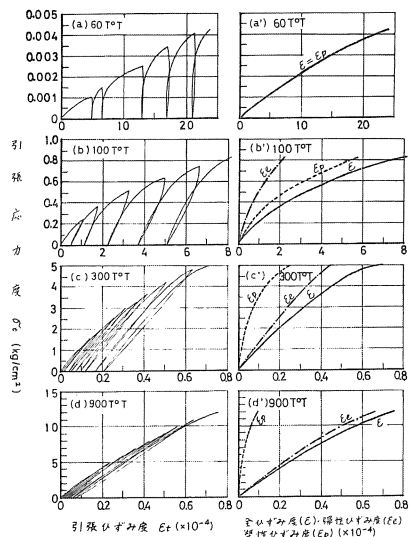


図2 引張応力度 - ひずみ度曲線および引張応力度と全ひずみ度・弾性ひずみ度・塑性ひずみ度との関係 (W/C60%, スラブ18cmの場合)

## 2009年日本建築学会教育賞（教育業績） 建築材料およびコンクリートの教育に関する長年の貢献

終身正会員：笠井芳夫君 日本大学名誉教授

### 選定理由

笠井芳夫君は1956年3月日本大学大学院建設工学専攻修士課程を修了し、同大学に勤務し、生産工学部教授として定年退職するまで、40年以上の長きにわたり、建築材料学、建築実験を担当し、多数の学生の教育にたずさわってきた。この間、建築材料・コンクリートに関する多数の著書を発表し、鉄筋コンクリート構造物の解体工法および再生コンクリートに関する先導的研究活動を行った。これらの活動を通じて学生や建設技術者の教育ならびに社会に大いに貢献した。

同君が執筆・編集した主要な著書は極めて多く、講義用の建築材料、建築実験のほかに、コンクリートの試験方法、コンクリートの非破壊試験方法など多分野にわたっている。このうち「材料科学概説」は建築材料学に広い視野を与えた。また、「コンクリート総覧」は、建築系および土木系のコンクリート技術者90名が執筆者となり、750頁の大部なものである。このほか「セメント・コンクリート用混和材料」「軽量コンクリート」などがある。同君が早くから取り組んだ解体工法と再生コンクリートについては、「解体工法と積算」がある。1993年から(社)全国解体工事業団体連合会に協力し、「解体工事施工技士試験委員会」の委員長を務めている。また、同君は本会のコンクリート関係の委員会において、委員長、幹事として各種規準14件の制定に尽力した。

同君は「工学はものをつくるための学問である」という信念にもとづき、学生用教材やコンクリートの実務書を多数執筆してきた。これらの著書において、建築系と土木系の大学の教員と共同で編集・執筆している。「コンクリートは建築、土木とも本質的には同じものだ」という立場に立ち、常に両者の融合を念頭においている。「材料科学概説」「コンクリート総覧」など、極めて斬新な、創造的著書を多数とりまとめた。このように、同君は建築材料学と建築実験およびコンクリート工学関係の多数の著書を通して、学生ならびに建設技術者の教育、コンクリート技術の向上に尽力した。また、鉄筋コンクリート構造物の解体工法、解体したコンクリート塊の再利用については、極めて早くから先導的な研究教育活動を行い、わが国はもとより、国際的にも建設技術者育成に多大な貢献をした。同君のこれらの活動は、教育業績とし

て極めて顕著である。

よって、ここに日本建築学会教育賞（教育業績）を贈るものである。

## 受賞所感

教育賞は一昨年度創設された新しい賞である。特に教育業績賞は原則一名表彰されるということで、大変名誉なことと感激しています。昨年度から二、三の仲間から「応募してみたら…」という話がありましたが、大学を卒業してから40年以上も日本大学に在職し、その間理工学部、生産工学部において多数の学生に、建築材料学・コンクリート工学について講義を行い、また大学院学生の論文指導を行ってきましたが、これは大学に勤務する教員の職務であり、賞に値するものとは思われませんでした。

建築材料学やコンクリート工学についての著書は「材料科学概説」「コンクリート総覧」「セメント・コンクリート用混和材料」をはじめ30冊以上ありました。建築学会の小委員会の主査としては5件の指針（案）を取りまとめました。建築業界への貢献としては、「構築物の解体工法」「建設副産物の再利用」「コンクリート構造物の非破壊試験」などについて、1960年代から私的なあるいは公的な委員会を立ち上げ、研究や技術の普及に務めてまいりました。国際的にはRILEMの「コンクリートの解体・再利用委員会」の委員として1980年頃から尽力し、1988年には建築研究所主催、日本大学共催としてRILEM国際会議「Demolition and Reuse of Concrete and Masonry」を東京で開催しました。また、中国・清華大学の土木系教授と技術交流を重ね、1990年頃から毎年のようにコンクリートについての招待講演を行ってきました。ちなみに1981年には前述の「材料科学概説」が中国語に全訳され、初版7,000部発行されています。

それや、これや検討した結果、これらは教育業績として評価されるかもしれないという結論に至りました。

そこで、これまでの単独著書、共同編集・著書のうち主要なもの三十数冊を一括して資料として提出しました。審査委員会から「それぞれ何冊発行されたか報告しなさい」ということで、出版所に問い合わせ解答しました。10,000部以上のものが5冊、2,000部以上が23冊ありました。幸いにも、教育業績として受賞することができ、ありがたく思っております。

本年4月、81歳になりました。やっと年寄の仲間入りする年齢かとも思いますが、大学の松井勇教授、湯浅昇准教授のご好意で研究室に置いていただいておりますので、これからも健康に留意して、できることをやっていきたいと思っております。 (かさい よしお)

## (4) 書籍序文

- 「コンクリートの初期強度・初期養生に関する研究」梗概  
(自費出版：1968.10) …96
- 「コンクリート構造物の解体工法」はじめに (日刊工業新聞社：1970.04) …102
- 「コンクリートの試験」まえがき (セメント協会：1972.03) …104
- 「材料科学概説」はじめに (彰国社：1977.06) …105
- 「解体工法と積算」序文 ((財)経済調査会：1979.09) …107
- 「セメント・コンクリート用混和材料」序 (技術書院：1986.03) …109
- 「コンクリートの試験方法 上・下」序 (技術書院：1993.04) …110
- 「コンクリート受験者のためのQ&A」まえがき (技術書院：1994.07) …112
- 「わかりやすいコンクリート構造物の非破壊試験方法」序文  
(オーム社：1996.04) …113
- 「コンクリート総覧」序／編集方針 (技術書院：1998.06) …114
- 「新版 建築材料学」序文 改定に際して (理工図書：2000.10) …118
- 「コンクリートと共に歩んだ45年」諸言／あとがき (自費出版：2001.06) …120
- 「軽量コンクリート」まえがき (技術書院：2002.11) …122
- 「新 解体工法と積算」はじめに ((財)経済調査会：2003.06) …125
- 「構築物の安全な解体工法」はじめに  
(社)全国解体工事業団体連合会：2006.03) …128
- 「新 セメント・コンクリート用混和材料」序 (技術書院：2007.01) …129
- 「日本のコンクリート技術を支えた100人」本書発行にあたって  
(セメント新聞社：2009.03) …130
- 「コンクリート技士合格必携」まえがき (技術書院：年度版) …131
- 「コンクリート主任技士合格必携」まえがき (技術書院：年度版) …132
- 「コンクリート診断士合格必携」まえがき (技術書院：年度版) …133

## 「コンクリートの初期強度・初期養生に関する研究」

工学博士学位論文自費出版（1968.10）

### 梗 概

従来コンクリートの強度ならびに養生に関する研究は、その使用上の立場から、専ら長期材令における硬化したコンクリートの強度に主眼を置いて行なわれ、初期における強度発現、あるいは初期養生方法が長期コンクリートの品質におよぼす影響についての組織的な研究は極めて少なかった。

ところが、近年コンクリート工事の多様化と工期短縮の要請に伴い、コンクリートの初期強度、初期養生についての研究が必要とされるようになってきた。

著者は十年來この問題について研究を行なっているが、ここにその結果をとりまとめ、報告することとした。以下本研究の梗概を述べる。

#### 1 編 コンクリートの初期強度に関する研究

近年、①スリップフォーム工法における型わく滑動速度の決定、②建設工事における全般的な工期短縮の要請に伴う型わくの除去時期決定のための初期強度の判定、③凍害耐力の判定、④初期に軽微な载荷を受けるような場合における強度の判定など初期強度、初期養生における応力度とひずみ度との関係についての資料が必要とされている。

しかるに、加水後数時間よりの初期強度推定方法についての組織的な研究は、内外を問わず行なわれていなかった。著者はこの点に着目しコンクリートの調合、セメントの種類、混和剤の種類、養生温度などを変えて実験的研究を行ない、初期圧縮強度の推定方法を提案した。また初期引張強度試験、打継ぎ許容時間の推定方法、アルミナセメントコンクリートの初期強度など、コンクリートの初期強度についての一連の研究を行なった。

##### 1.1 既往の研究および本研究との関係

コンクリートの初期強度に関する既往の研究を整理分類し、問題点をあげた。すなわち、①初期圧縮強度に関する研究、②引張強度に関する研究、③初期強度の発現とセメントの水和との関係、④セメント・コンクリートの凝結に関する研究、⑤コンクリートの打継ぎに関する研究、⑥アルミナセメントの初期強度に関する研究などについて文献により調査研究し、本研究との関係について見解を述べた。文献については巻末に分類表示し、抄録を付した。

## 1.2 コンクリートの初期圧縮強度推定方法

本章は1編の主体をなすもので、コンクリートの初期圧縮強度推定式を提案し、本推定式を得るに至った研究経過を述べ、その応用例を示した。(1.2.1~1.2.3省略)

### 1.2.4 コンクリートの初期圧縮強度に関する一実験

本研究の発端となった実験である。1~35°Cで養生したコンクリートの初期強度の発現について実験を行ない、養生温度の異なるコンクリートの強度を加水後の経過時間  $T$  と仮想養生温度 $T^{\circ}$ との相乗積 $T^{\circ}T$ を用いて表示するための試論を述べ、養生温度の仮想原点 $\alpha$ について検討した。

### 1.2.5 コンクリートの初期強度に関する一実験—セメントの種類をかえた場合—

混合セメントを含む各種セメントおよび石粉を用いたコンクリートについて、養生温度20°Cの場合を実験し、セメントの種類別に初期強度と $T^{\circ}T$ との関係を明らかにした。

### 1.2.6 養生温度の異なるコンクリートの初期圧縮強度推定方法

各種セメントを用いたコンクリートについて、1440 $T^{\circ}T$  (20°C, 材令3日強度に相当)を基準とした初期圧縮強度百分率  $f_c$  (%) と $T^{\circ}T$ との関係について研究し、養生温度0~40°C程度のコンクリートに対し適用し得るような初期圧縮強度推定方法を提案した。

### 1.2.7 水セメント比およびスランプを変えたコンクリートへの初期圧縮強度推定式の適用

水セメント比を40~75%の範囲で変えたコンクリートならびにスランプを5~22cmの範囲で変えたコンクリートについて、初期圧縮強度推定式の適用性を検討し、水セメント比・スランプに関係なく、1.2.6の推定式が適用し得ることを明らかにした。

### 1.2.8 混和剤を用いたコンクリートへの初期圧縮強度推定式の適用

表面活性剤として、ヴィンソール (AE剤), チュウポール (湿潤剤), ポゾリスNo.5, No.8, No.10 (分散剤)を用いたコンクリートおよび $\text{CaCl}_2$ を2%用いたコンクリートについて実験した。ヴィンソールならびにチュウポールを用いたコンクリートにおいては、普通コンクリートと同一  $f_c$ - $T^{\circ}T$ 曲線を適用してよかった。ポゾリスNo.5, No.8, No.10 (および $\text{CaCl}_2$ )を用いたコンクリートについては、それぞれについて推定式を求めた。

### 1.2.9 砂の粒大を変えたコンクリートへの初期圧縮強度推定式の適用

砂の粒大を0.6, 1.2および5 mm以下として実験し、初期圧縮強度推定式 (この式は砂の粒大2.5mm以下について求めたもの) への適用性を研究し、砂の粒大が変わってもよく適用できることを示した。

### 1.2.10 軽量骨材あるいは砕石を用いたコンクリートへの初期圧縮強度推定式の適用

天然軽量骨材として浅間, はる名, 大島産火山砂利を, 人工軽量骨材としてメサライトを用いたコンクリートおよび砕石を用いたコンクリートへの本推定式の応用例を示した。

#### 1.2.11 初期圧縮強度推定式と既往の強度推定式との関係

著者の提案した推定式における $T^{\circ}T$ と既往のmaturity factorとの関係、 $T^{\circ}T$ と初期強度との関係を両対数目盛図表により表示することの妥当性などを検討し、既往の強度推定式と著者の初期強度推定式との相互の関係を明らかにした。

#### 1.2.12 既往の実験結果に対する本推定式の適用性

著者の行なった上記以外の初期強度に関する実験への適用性および既往のわが国で報告された18件の実験・研究について本推定式の適用性を検討し、多くの場合よく一致することを明らかにした。

#### 1.2.13 所要の圧縮強度を得るに必要な水セメント比、養生温度および材令の決定方法

①養生温度と1440 $T^{\circ}T$ における圧縮強度との関係、②セメント水比と1440 $T^{\circ}T$ における強度との関係、③養生温度20 $^{\circ}C$ 、材令7日強度あるいは養生温度20 $^{\circ}C$ 、材令28日強度を基準とした初期圧縮強度推定方法、④JASS 5で規定されたコンクリートの強度算定式にもとづく初期圧縮強度推定方法などについて調査・研究し、⑤所要の初期圧縮強度を得るに必要な水セメント比、養生温度および材令の決定方法を述べた。

### 1.3 コンクリートの応力度とひずみ度との関係に関する研究

コンクリートの初期圧縮応力度 - ひずみ度曲線および初期圧縮弾性係数について、実験・研究を行ない、これらを $T^{\circ}T$ との関係において整理・関連づけ、圧縮応力度百分率とひずみ度との関係式を示した。また $T^{\circ}T$ 経過に伴うコンクリートの凝結硬化についての考察ならびに $T^{\circ}T$ 経過に伴う流動性の変化およびひずみ度の変化についての考察を述べた。

### 1.4 コンクリートの初期引張強度および曲げ強度に関する研究

本研究は割れつ引張強度および曲げ強度に関する研究と直接引張強度に関する研究とよりなる。(1.4.1~1.4.2省略)

#### 1.4.3 コンクリートの初期割れつ引張強度および曲げ強度に関する研究

加水後2~3時間から24時間以内のコンクリート強度について実験し、曲げ強度と割れつ引張強度との関係、曲げ強度あるいは割れつ引張強度と圧縮強度との関係などについて研究し、既往の硬化コンクリートに関する研究結果と比較・研究し、初期における曲げあるいは引張強度について明らかにした。

#### 1.4.4 コンクリートの直接引張強度に関する研究

初期直接引張強度および初期引張応力度 - ひずみ度曲線の測定方法を考案し、この方法により実験を行なった。初期引張応力度 - ひずみ度曲線の測定に成功したという報告は、これまで