

# プレストレストコンクリート その教え方と学び方

西山 峰広\*

大学や高等専門学校においてプレストレストコンクリートの講義がわずかしが行われていないという、「PC 構造関連授業の実態に関する研究委員会」（委員長 岸本一蔵近畿大学教授）の報告に危機感を抱かれた関係者は多いはずである。建築分野では、PC が利用された建物実績も少なく、PC 教育の実態もそれなりのものとして受けとめられているであろうが、土木分野では、PC 構造物のシェアからいってそんなはずはないと思われる方も多いであろう。

拙稿では、京都大学において行っているプレストレストコンクリートの教育を紹介する。続いて、PC の教え方と学び方について述べる。教員にとっては教え方の参考に、これから学ぶ、あるいは、現在学んでいるという方にはその学び方の参考にすれば幸いである。

キーワード：プレストレストコンクリート，教育，学習，鉄筋コンクリート，教科書

## 1. はじめに

京都大学では、私が学生であった 30 年前、六車 熙先生が講義されていた頃は、「鉄筋コンクリート構造」と「プレストレストコンクリート構造」それぞれの講義が開講されていた。その頃の六車先生の口癖は、「私は他の研究者よりも 20 年も 30 年も進んでいる」であった。プレストレストコンクリートは、鉄筋コンクリートよりも 20 年も 30 年も進んだ構造であると主張されていた。その主張と、六車先生の人柄に引かれて、六車研究室の門をたたいてから、30 年が経った。

当時、六車先生が使われていたのが「プレストレストコンクリート」（コロナ社）<sup>1)</sup>であった。今、改めてその本のページを繰ってみると、今の学生は、このような教科書ではプレストレストコンクリートに興味をもたないだろうし、勉強しないだろうと思う。PC の原理から始まって、コンクリートや PC 鋼材という材料、部材の製作方法、プレストレスの導入と損失、部材設計法、最後に骨組の解説で終わるといって正統派の教科書である。講義もまさに講義であり、教室で座って、先生の話に拝聴する。拝聴するのは、プレストレストコンクリートの話だけではない。六車先生は当時ゴルフに凝っておられ、月曜日の講義では、その前日、日曜日のスコアを、1 番から 18 番ホールまでそれぞれいくらだったと、日焼けで赤くなった鼻で話されていた。プレストレストコンクリートの講義自体よりもこう

いった余談の方をよく覚えている。

## 2. 京都大学建築学科での PC の教え方

30 年経って、今、京都大学では、3 回生の前期に「鉄筋コンクリート構造Ⅰ」、後期に「鉄筋コンクリート構造Ⅱ」の講義がある。プレストレストコンクリートは、「鉄筋コンクリート構造Ⅱ」の半分くらいを使って教えている。余談はない。シラバスに書かれていることを半期 15 回の講義でしっかりと教えなければならないので、余談をしている暇がない。

「プレストレストコンクリート」と板書し、「プレ」「ストレスト」「コンクリート」と 3 つに分け、それぞれ「前もって」「応力をかけた」「コンクリート」を意味すると説明する。なぜ前もってコンクリートに応力をかけなければならないのか？そこで、コンクリートの圧縮試験と割裂引張試験のビデオを見せ、コンクリートの引張強度は、圧縮強度の 1 割ほどしかないことを思い出させる。コンクリートの強度を有効利用するには、コンクリートに荷重が作用する前に、あらかじめ少し圧縮力をかけておくと、その圧縮力の分だけ、見かけ上引張強度が上がったことになる（図 - 1）。

このように解説し、<sup>2)</sup>ピーエス三菱から寄贈していただいたプレテンション板上で学生を飛ばせ、プレストレスの効果と PC 部材の強じんさを実感させる（写真 - 1）。

同時に同断面で製作した無筋コンクリート版に対して、ひび割れに必要な荷重（どれだけの体重の人が載ると割れてしまうか）を計算させた後、実際に人が載ってふたつに割ってみせる。

その次は、意匠性である。美しく、力強い PC 建築をいくつか紹介する。「鉄筋コンクリート構造Ⅱ」の講義は選択であるため、意匠系に進む学生はあまり受講してくれな



\* Minehiro NISHIYAMA

京都大学大学院 工学研究科  
建築学専攻 教授

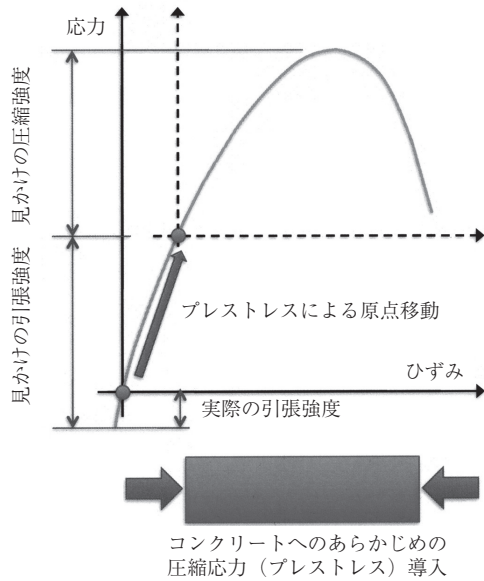


図 - 1 コンクリートに対するプレストレスの効果



写真 - 1 プレテンション板の強じんさを実感

い。しかし、意匠系でも構造は大切だと考える学生もいないわけではなく、また、単位がうまくそろえられない学生もおり、そのような学生にプレストレスコンクリートの意匠性を訴える。そして、彼らが実務に携わるようになったときに、頭の隅っこにでもプレストレスコンクリートのことを覚えておいてくれ、選択肢のひとつに加えてくれることを期待している。

梁の荷重試験も1回分の講義時間を割いて行う。前期の「鉄筋コンクリート構造Ⅰ」で鉄筋コンクリート梁の荷重試験を、後期には、プレストレスコンクリート梁の荷重試験を見せる(写真-2)。学生たちは実験にはいたく感動するようであり、実験を主とする私の研究室を志望する学生が増えることを期待している。しかし、実験ではできあがった梁に力が加わって最終的に破壊するのを見ている



写真 - 2 PC 梁荷重実験風景

だけである。実際に梁を一から製作する大変さを知ると、実験系の研究室を敬遠する学生も多いものと危惧する。

ノーベル賞を受賞した物理学者インドル・ラビに、「どうやって科学者になったのか？」と友人がたずねた。これに対して、ラビは答えた。家に帰ると母親が授業のことを毎日質問した。「今日はいい質問をしたの？」と。「いい質問をすることで、私は科学者になった」

講義では、最初に質問票を配布する。質問票に質問を書いて提出することで出席となる。学生は、頭に浮かんだ疑問をすぐに質問票に書き込み、もし、講義のなかで解決されれば取り消し線を引く。残った質問を提出する。当然、講義中の質問も歓迎される。すべての質問には回答をつけて、翌週配布する。多い時で100近い質問に対する回答書を1週間で作成するのは骨が折れる。最初は学生も戸惑う様子だが、しばらくすると慣れてきて、だんだんよい質問をするようになる。よい質問には回答に「よい質問です」と褒める。そうするとさらにより質問をするようになる。図なども添えて質問するようになる。

いくつかの質問を拾ってみると、

**質問** 「グラウトを流し込むホースがコンクリートの中に残ったままではそこから割れは生じないのか？」

**回答** 「ホースも部材にとっては異物ですので、そこからひび割れが生じることがあります。ひび割れが生じても構造性能に影響が少ない位置にホースを配置したり、できるだけ小さなものにしたります。」

**質問** (PC 梁の荷重実験を見て) 「今回の試験体で荷重をいくらしたら PC 鋼材が切れますか？」

**回答** 「圧縮側のコンクリートが壊れてしまったため、もう荷重は大きくなりません。それでも変形を強制していくと、いずれ PC 鋼材が切れます。その変形がいくらなのかはわかりません。」

**質問** 「プレストレスコンクリートにおいて短期荷重が作用し終わった後に、ひび割れが閉じると書いてありましたが、それは建物の強度に影響しないのでしょうか？」

か？」

**回答**「コンクリートは一旦ひび割れると、引張強度を失います。ひび割れが閉じて、再度開くときには、初期の引張強度に達することはありません。この意味で性能は低下しますが、その他の性能（曲げ強度など）には影響ありません。」

**質問**「高強度鉄筋ほど、変形能力が小さいということは、地震エネルギーを吸収しにくいということですか？そうであればエネルギーはどの部分が吸収するのですか？地面にはね返したりするのですか？」

**回答**「高強度材料は、その強度でエネルギーを吸収します。簡単には、力×変形が吸収されるエネルギーになります。したがって、強度を上げて力を大きくするか、じん性を向上させて変形を大きくするか、どちらの方法でもよいことになります。しかし、強度を上げる場合、もしその強度を越えた場合には、突然破壊することになります。一方じん性を向上させた場合は、じわじわと壊れていくため、それが一種の警告になります。また、他の見方もあります。それは、地震を受けた後にどれだけ損傷が残っているかという見方です。このような見方では、強度でエネルギー吸収する方が弾性的に挙動しているため、地震後元に戻るのに、損傷がありません。一方、じん性でエネルギー吸収する場合は、外見上も壊れていることがわかり、補修にも費用と時間を要します。

地盤が建物を揺らし、建物が逆に地盤を揺らすというところでエネルギーが地盤に伝わるということはありません。」

**質問**「曲面をつくる時、PC鋼材をどうやって引っ張るのですか？力の方向が違おうと中でひび割れたりしないのですか？」

**回答**「PC鋼材を断面の重心位置に配置すれば、プレストレス力は軸圧縮力としてしか作用しないので、ひび割れることはありません。」

さらに興味深い質問、妙な質問もあるが、それはまたの機会に紹介しようと思う。

### 3. プレストレストコンクリートの教え方

宇佐美寛著「大学授業入門」<sup>2)</sup>には、次のような一節がある。「教師が話しつづける、講演会風の講義は、やめるべきである。教師は自分がすることではなく、学生がすることの方を気にするべきである。全瞬間において、今、学生は何を考えつつあるのかを気にするべきである。だから、教師が教えたい内容を多くの小問題に解体すべきである。学生に与えるのは、これらの小問題である。」

講演会では、聴講している人達はおそらく講演題目に興味をもって集まっているであろうから、講師が一方向的に話してもそれで済むであろう。この一節は、具体的に科目の内容を知らない学生に対して、「抽象的・概括的に短くまとめた言葉を与えてもわからない。「わからない」というより、わかったか、わからないかが、自分でわからないのである。」という著者の考え方からきている。

プレストレストコンクリートの長所として以下のよ  
うな点があると学生に説明する：

- (1) 常時使用状態でひび割れが生じにくい
- (2) 部材断面をRC部材より小さくできる
- (3) 大スパン梁や架構が可能になる
- (4) 耐久性に優れる
- (5) 高強度コンクリートや高強度鋼材を有効利用で  
きる
- (6) 圧着接合のような組み立て架構が可能である
- (7) 一時的に過大な荷重が作用してひび割れや変形  
が大きくなっても、除荷されるとほぼ元に戻る

学生は何となくわかったような気になるので、「わかったか？」と聞くと皆一様に頷く。ここで「では、なぜ部材断面をRCよりも小さくできるのか説明せよ。」あるいは、「なぜ大スパン梁や架構が可能となるのか説明せよ。」と訊くとほとんど答えられない。当然である。このように長所を表面的にあげられただけで本質は理解していないのだから。教師が説明した直後に訊いても答えられない。学生は教師が話した内容のわずかししか聴き取ってはいない。しかし、教師側はこれで教えたような気になる。試験に、「PCの長所をあげよ」という問題を出して、上記のような項目があげられていれば点が与えられる。

鉄筋コンクリート構造やプレストレストコンクリート構造の本質を理解するのは、実は大変難しい。どんなに説明を尽くしても、半年週1回の講義を受けたくらいでわかるものではない。黒板に図-1のようなコンクリートの応力-ひずみ関係のグラフを描き、「これがコンクリートの応力-ひずみ関係なのでよく覚えておくように」といっても、学生には何のことかわからない。また、単純梁の載荷実験を1回見て、荷重が載荷点から支点まで梁の中をどのように伝達されているのか理解できるはずもない。ましてや、喜んで講義に出てくる学生はまれである。ほとんどの学生がいやいやながらも講義に出て、試験を受け、単位をとることを目標にしている。PCの本質を理解しようとする教室に集まってくるわけではない。

では、どうしたら学生にPCを理解させられるか。抽象的・概括的な話ではなく、具体的な問題を与える。プレストレスによる梁断面の応力分布を計算させる、クリープによる変形を計算させる、曲げ終局モーメントを計算させる、使用時と終局時の必要性能から梁断面を設計させる。このような小問題を毎回解き、実際に手を動かしながら、自分で考えて理解していくしかない。小さな玩具のような試験体でよいので、自らの手で実験を行うということも有効である。

### 4. プレストレストコンクリートの学び方

わからないことはまずインターネットで検索というのが最近の傾向であり、私もよく利用している。「プレストレストコンクリート」と検索してみると、Wikipediaのプレストレスト・コンクリートが一番上に顕れ、その次にプレ



図 - 2 Wikipedia の「プレストレストコンクリート」  
(平成 25 年 1 月現在)

ストレスト・コンクリート建設業協会と続く (平成 25 年 1 月現在)。Wikipedia を覗いてみると (図 - 2), プレストレスト・コンクリートとは「あらかじめ応力を与えたコンクリート材」と最初に書かれている。その後、コンクリートは圧縮に比べて引張に弱いので、プレストレスによって引張応力が生じないようにすると続く。そして最後になぜか「事故」として、引張強度計算の誤りによる破壊事故が紹介されている。

PC 建設業協会のホームページ (平成 25 年 1 月現在) には、「PC ってなんだろう?」「PC はどうやって作るの?」「PC は何に使うの?」というページがあり、それぞれ図でわかりやすく説明されている。しかし、PC を学ぶというところまでの教材は用意されていない。本来そのような Web learning 教材は、PC 工学会で用意すべきものであろう。「PC 構造関連授業の実態に関する研究委員会」で作成された教材を公開し、インターネット上で学ぶ講座を用意したり、あるいは、無料で教材をダウンロードして教員や学生が利用できるようにすべきである。

これまでは、PC に関する教科書というと土木分野にはいくつかあったが、建築分野では、六車先生著「プレストレストコンクリート」だけであった。そのため、大学では手作りの教材と PC 工学会「フレッシュマンのための PC 講座・改訂版」を使用していた。最近、鉄筋コンクリート構造の教科書のひとつの章がプレストレストコンクリートにあてられたものもある<sup>3, 4)</sup>。また、日本建築学会「構造用教材」のような図集もある<sup>5)</sup>。さらには最近「建築の

ためのプレストレストコンクリート構造の設計 RC をベースに理解する PC」<sup>6)</sup>が刊行された。これは RC 構造を理解している人が、PC を RC 柱と類似なものとして理解できるようにわかりやすく解説した教科書である。

## 5. おわりに

プレストレストコンクリートの教育とは、すなわち、プレストレストコンクリートの啓発である。PC を知らない人に PC というのはこういうものだということをわかてもらう。建築では、構造技術者に理解してもらうのはもちろん大事だが、それ以上に、意匠設計者に PC という構造形式があり、こんな建物ができるのだということを知ってもらうことが、PC の市場拡大には重要である。

建築でプレストレストコンクリートを学ぶとき、通常の鉄筋コンクリートと特別に分ける必要はない。鉄筋コンクリートの延長線上にプレストレストコンクリートがある。PC を特別扱いたくない。意匠設計者から見れば、いくつかの選択肢の中のひとつでしかない。PC を理解していなくても、どういう場面で利用できるかを知っていれば設計者にとっては十分であろう。利用する人が、使われている原理や技術を理解せずに、便利に利用している道具やものは、携帯電話などを始めとして数多い。PC を深く、よく理解している人から、ほどよく理解している人、そして、どんなものかということを知っているという人まで、いろいろなレベルの人があるのは当然である。それでもやはり PC を理解する人が少しでも増えるように努力すべきであろう。

「PC 構造関連授業の実態に関する研究委員会」作成の教材を利用して、多くの大学や高等専門学校で PC の講義が行われるとともに、PC を学ぶことに対する壁をなるべく低くできるように、インターネットなどを有効利用し、さらに多くの学生や技術者、そして一般の方々がプレストレストコンクリートのことを知るようになることを期待している。

### 【建築分野における PC に関する教科書】

- 1) 六車 熙「プレストレストコンクリート」、コロナ社
- 2) 宇佐美寛「大学授業入門」、東信堂
- 3) 渡邊史夫、窪田敏行、岡本晴彦、倉本 洋、金尾伊織「新版鉄筋コンクリート構造」、朝倉書店
- 4) 谷川恭雄、小池狭千朗、中塚 信、西山峰広、畑中重光「鉄筋コンクリート構造 (第 3 版) 理論と設計」、森北出版
- 5) 日本建築学会「構造用教材 (第 2 版) PC 構造」
- 6) 中塚 信、寒川勝彦、坂田博史、島田安章、白浜昭二「建築のためのプレストレストコンクリート構造の設計 RC をベースに理解する PC」、森北出版

【2013 年 1 月 9 日受付】