

序

本書は、東京大学土木教室におけるハイパフォーマンスコンクリートに関する一連の研究成
果をまとめたものであって、大部分は今回初めて公表するものである。

ハイパフォーマンスコンクリートの構想を練り始めたのは、コンクリート構造物の早期劣化
が社会的問題としてクローズアップされた1980年代初頭である。当時、本来は耐久性能に優
れるにもかかわらず、建設後、数年を待たずして補修を要する状態にいたる鉄筋コンクリート
が続出したが、その原因が、コンクリートの充填不良にあると強く認識したからである。コン
クリート材料のもつ高い潜在耐久性能は、定量化のもっとも困難な人的要因、とくに締固め作
業に左右されるがゆえに、建設現場において充分引き出されず、結果として不当に評価されて
きた、といってよいであろう。しかし、建設産業の労働環境やその将来を考えると、施工や締
固め作業の改善に多くを期待するのは、社会的、人道的見地からも不可能であるということは、
多くの人々の認めるところである。

「よいコンクリートを実現する」ことを至上の命題とされた恩師、國分正胤先生のご指導を受
けた者の一人として、この現状は受け入れ難いものであった。また、先生が退官に際して残さ
れた「東京大学ではワーカビリティの研究を進めてほしい」旨のお言葉は、コンクリート構造
関係を主として研究対象としていた私の頭から離れないものとなっていた。このようなとき、
水中不分離性コンクリートの水中施工実験を見る機会に恵まれた。そのときの衝撃は今日でも
鮮明に思い出される。この貴重な機会を与えてくれた野尻陽一博士には感謝の言葉もない。こ
のようなコンクリートができるものならば、既往の技術を結集すれば、陸上構造物においても
「締固め不要で、しかも高耐久なコンクリート」は、さして苦勞なくできるであろうと思えた
のである。

そこで1986年初めに、セメント協会主催の講演会で、締固め作業をまったく行わなくても
よいコンクリートを一般的に用いることができれば、施工の善し悪しに影響されない、信頼で
きるコンクリート構造物を実現できるとして、このようなコンクリートを開発することを広く
呼びかけた。コンクリート構造物の信頼性の回復が主たる目的であり、総論に対しては大方の
賛同を得られたようであったが、その開発を本気で進めていただけの雰囲気ではなかった。

時期を同じくして、土木学会で、辻幸和教授、國島正彦教授らとともに、限界状態設計法を
基本思想とする耐久設計法の試案づくりを進めていた。コンクリート構造物の耐久性能評価に
おいて、施工にかかわる種々の項目が大きな重みをもっていること、そして、それを定量評価
することの難しさを、その過程で改めて認識させられていた。それまでの構造関連の研究が一
区切りついたこともあって、これを後進に委ね、締固め不要の自己充填コンクリートの開発に
専心することを決意したのは、このころである。

1985年には共著者の前川宏一氏が長岡技術科学大学から戻り、1986年に小澤一雅氏が博士課程に進学した。ハイパフォーマンスコンクリート開発のための基礎研究は、この2名によって開始されたのである。研究を始めるにあたって、小澤氏に対しては、「ハイパフォーマンスコンクリートの開発が博士の学位取得の条件である」ことを約束した。このような条件を研究の開始にあたって提示したのは、このときが初めてである。これは、研究テーマの性格を考えると、開発にたどりつけなければ、研究の工学的な価値が小さいことをはっきりさせておきたかったからであるが、本人は、平気な顔をして承知した。また、当時、鉄筋コンクリートの構成則に関する一連の研究を進めていた前川氏に対しては、「たとえ現在の研究が多少犠牲になっても、ハイパフォーマンスコンクリートの開発に全力をあげて欲しい」「その過程では論文を書けなくてもよい、ワーカビリティの真実に迫ってほしい」と頼んだ。前川氏は、私に対しては「はい」といいながらも、自分の気に入らないことはやらないのが持ち味である。いずれにしても、小澤氏は無事に学位を取得し、前川氏はアジア工科大学院での2年間で、その研究の遅れを取り戻し、私を安心させてくれたのである。

研究初期に、「フレッシュコンクリートは粒の集合体であると認識すること」および「材料分離の解明が締固め不要の自己充填コンクリート開発の鍵となること」を両者と議論した。これに対して彼らのとった行動は、いささか常識外れのものであった。およそ2年の間、コンクリートをまったく練らなかったのである。ペーストの摩擦挙動、仮想条件下での粒子群解析、可視化手法による閉塞挙動の観察、開口まわりのモルタルの圧力変動と周波数分析、圧力勾配下でのコンクリート中の水の移動、骨材まわりのモルタルの強制材料分離実験等、従来まったく行われてこなかった研究、実験ばかりを行い、それらの成果を次々に公表していった。これらは、フレッシュコンクリートの挙動を力学的に統一して理解しようとする点で共通している。その延長上に締固め不要の自己充填コンクリートを位置づけていたようである。

研究活動では、当初の目的とその手段が本末転倒することがしばしばである。これらの基礎研究によって刺激される知的好奇心が、いつの間にか当初の目標を変えてしまうように思われた。その一方で、それまでに培ってきたワーカビリティに対するイメージが充分成熟してきたとも判断できた。そこで、1989年のタイにおける国際会議に、ハイパフォーマンスコンクリートの開発と題して論文発表を申し込み、開発の締切日を強制的に設定した。まずは2人の退路を絶ち、そのうえで、コンクリートを練ることを示唆したのである。一見、遠回りとも思える2年間の基礎研究は無駄ではなく、実験開始後6バッチ目にして、ハイパフォーマンスコンクリートプロトタイプの配合に到達した。これに要した時間は1日半であった。1988年夏のことである。

当初、締固め不要の自己充填性能を発揮させるには、混和剤の開発が不可欠ではないかと考えていた。しかし、このときに提示されたハイパフォーマンスコンクリートの配合を大幅に逸脱する配合は、今日に至っても報告されていない。これは、自己充填コンクリートの性能が、高性能減水剤と粉体とを有効に活用する配合自体に由来するからである。本書の配合設計に従えば、粉体、細骨材、粗骨材、混和剤の特性値に応じて締固め不要の配合が確定する。この配合設計法は、いわば高性能減水剤を最大限に活用する、一つの方法を提示するものといえる。開発の途上、高分子化学の大家であり、私の親友でもある瓜生敏之教授を混和剤の開発に誘い、彼の指導のもとに高性能減水剤を開発してもらっている。われわれが目指した、締固め不要の自己充填性を有し、かつ高耐久性をもつコンクリートに対して、ハイパフォーマンスコンクリートと名付けたのは、彼である。

ハイパフォーマンスコンクリートプロトタイプの開発以後、「任意の構成材料を用いて、締固め不要の自己充填性能を満足する配合を、だれでも簡単かつ確実に算出できる」ための研究へと進むことになる。この時期には、任意の骨材やセメントに対して、小澤氏は2~3バッチ程度の試し練りでハイパフォーマンスコンクリートの配合に到達することができるようになっていた。本書の配合設計の大筋は、すでにこの当時に実質的には完成している。しかし、締固め不要を達成できる配合の許容幅は相当に小さく、配合補正において彼の五感と勘とを必要とした。これを定量化することが、簡単かつ確実に配合設計を行う道である。ハイパフォーマンスコンクリートは締固め不要が前提である。積極的に締固めをしないことが、このコンクリートのもつ性能が最大限に発揮される条件となっている。したがって、配合設計法が確立するまでは、ハイパフォーマンスコンクリートの普及を急ぎたくなかった。締固め不要のようにみえて、実はそうではないコンクリートが、締固め不要として製造される危険性を危惧したためである。

配合設計法を定量化するにあたり、建設企業体10数社からの技術者派遣を受け入れ、小澤氏をチームの要として、組織的な体制で応用研究を行った。この共同研究を通じて、技術移転を確実なものとするとともに、将来の核となるグループを養成することも意図していたのである。留学生を含む、多くの大学院学生もこれに参画した。本書の主たる内容は、この応用研究の成果である。なお、本書で提示する配合設計法では、ハイパフォーマンスコンクリートの特性を与えうる配合群のうちの、限定した領域内の配合へと、意識的に誘導している。換言すれば、設計者の自由裁量を限定するものとなっている。これは、現在の製造レベルと変動要因を考慮して、安全を見込んだ結果である。今後、技術と研究の進展に合せて、本書を改訂していく予定である。

ハイパフォーマンスコンクリートの実用化に向けた研究を振り返ると、わが国コンクリート

工学の歴史のなかに光る、一つの事実を語る義務があるように思われる。土木学会「コンクリート標準示方書」に掲載されている配合表とその補正方法である。これは、國分正胤先生が、耐久的なコンクリートの実現のため、いまから40年近く前、実用化されて間もないAE剤を用いて研究に着手し、10年の歳月と心血を注いでつくり上げた配合設計法である。本件に関する最初の執筆は、土木学会編の「土木工学ハンドブック」においてであり、以後、今日にいたるまで「コンクリート標準示方書」に採用されている。これによって、AE剤の有効利用が実現し、コンクリートの品質向上に多大な寄与を果してきたのである。本書で述べている実用化研究と配合設計法は、当時、まだ実用化されていなかった高性能減水剤と各種混和材をとり入れたうえで、再度、先人の歩んだ歴史をたどって得たものである、と認識している。本書は、かつてAEコンクリートの配合設計法がなされた域にまでは、到底いたっていない。また、本書で締固め不要の観点から定量的に総合化した項目の多くは、すでに國分先生が過去に指摘されてきたものである。この一連の研究を通じて、國分先生の努力と情熱と力を、わずかでも感得することができたことは、弟子の一人である私の望外の喜びである。

本書では、ハイパフォーマンスコンクリートの耐久設計と施工に関する一般事項についても言及している。ここで提案している耐久設計は、施工の影響を受けないコンクリートを用いることを前提として、安全性に対すると同程度の定量化を目指したものである。ただし、その内容は基本事項に関するものに限られており、研究の進展に沿って改訂していきたいと考えている。施工に関する事項も同様である。

最後に、今後のハイパフォーマンスコンクリートの展開について、3つの点に言及しておきたい。第1は、生コン産業からの供給体制の確立についてである。電話1本でハイパフォーマンスコンクリートが購入できる体制にいたらなければ、コンクリート構造物の信頼性回復は望みえない。技術上のハードな側面については、本書に述べる配合設計および最新の製造技術によって、基本的には整備されたといつてよい。今後、製造・運搬・供給体制の確立に関するソフト面からの展開が望まれる。技術という知価が正当に評価される体制こそ、コンクリート産業の地位向上、ひいては品質向上に寄与するものと信ずる。本書の付録に掲載したものは、これを実現するための一つの方策である。

第2は高性能減水剤とセメントの改良についてである。現在市販されているセメントと高性能減水剤とを用いても、締固め不要のコンクリートをつくることはできる。しかし、セメントは、主として短期強度を重視して製造されており、コンクリートのワーカビリティや耐久性について配慮したものとはいえない。高性能減水剤は、コンクリート温度の相違によってその使用量が著しく異なるだけでなく、時間の経過に伴ってコンクリートのワーカビリティが

相当に変化するものである。また、セメントと高性能減水剤との相性についても、セメントメーカーと混和剤メーカーとが協力して、よりよい製品を製造することが、この種コンクリートの今後の発展にとって重要な鍵となる。

第3は、ハイパフォーマンスコンクリートを前提とした施工改革についてである。単に締固め作業の省略だけでは、コンクリート現場施工の大幅な合理化にはつながらない。現行の施工法自体が、そもそも従来のコンクリートの特性と構造形式を前提としたものであることを忘れてはならない。もう一度、原点に戻って、施工法および構造形式そのものを組み立て直すことが急務である。約10年前にハイパフォーマンスコンクリートの開発を呼びかけた。ここで再度、呼びかけたい。新しいコンクリートをもって、新しい施工改革への展開を望む。期はすでに熟しているのである。