

特記仕様書（コンクリート工）の内容が施工過程に及ぼす影響

EFFECT OF SPECIAL SPECIFICATION (CONCRETING) ON PRACTICAL CONSTRUCTION PROCEDURE

國島正彦*

By Masahiko KUNISHIMA

Concrete for construction material, comparing with steel, has characteristics that the quality is affected very much by practical construction procedures in site. For minimizing defects of concrete structures it is important to pay our attention not only to the methodology of construction itself but also to the management system such as a format of specifications. Recently highlighted problems have been discussed that cover a relationship between slump value and workability of fresh concrete, and between curing period and methods. A new format for special specification of the articles on concreting is proposed for practical use of Proposed Recommendation on Durability Design for Concrete Structures published by JSCE.

Keywords: special specification, practical construction procedure, durability design, concreting

1. 序 論

耐久なコンクリート構造物を実現するためには、注意深い設計を行い良質な材料を選定しても、施工の過程に欠陥があれば、それまでの努力が水泡に帰すことは論を待たない。コンクリートは、工場で大量生産される鋼材やプラスチック材料のように、現場で使用する前に品質の確認をしたり、仮組立を行って部材間の取り合いを確認したりすることができないので、構造物の品質に現場における施工過程が著しく影響し重要となる。

近年、コンクリート構造物の信頼性に対する疑問が呈されるようになり、劣化が顕在化した構造物に関する数多くの調査結果が報告されている。劣化の原因の1つとして、施工過程における「施工不良」が指摘されることが多い。かぶり不足していること、コンクリートに空隙が多く密実さが不足していること、不測のひびわれが発生していること等が施工不良の結果として生ずる欠陥の様態とされている。これらの欠陥は、施工過程におけるコンクリートの配合、打ち込み、締固め、養生が不適当であること、鋼材の組立配置方法、型わく・支保工の組立て・取り外し方法が不適当であること等に起因して

いると考えられている。「施工不良」を低減しこれを取り除く方策として、これまで以下に示すさまざまな一般的事項が指摘されてきたと思われる。

- ① 施工を考慮した設計をする。
- ② 構造物の断面形状寸法を考慮したコンクリートの仕様を選定する。
- ③ 施工を考慮したコンクリートの仕様を選定する。
- ④ 工期を適切に選定する。
- ⑤ 工事費を適切に定める。
- ⑥ 現場技術者や作業員の知識・能力を啓発させる教育をする。
- ⑦ 作業しやすい材料・高性能な施工器具を開発する。
- ⑧ 品質管理・検査を厳重に行う。
- ⑨ 作業打ち合わせ・指示内容を徹底させる。

これらの各事項に特に目新しいものはなく、コンクリート工事に携わる技術者にとって漠然と感じ認識できることであろう。しかし、施工過程に影響を及ぼす「材料」「人」「機械器具」「方法」「金」等の各要因を、各現場の実情を考慮し場合場合に応じた適切かつ具体的方法を決定しこれを実施することは、厳密に考えると相当に難しいことと思われる。

現行の土木学会コンクリート標準示方書施工編に、これらの各要因に関する条項が規定されているが、一般的

* 正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科
(〒113 文京区本郷 7-3-1)

原則が示されていることが多いことと「入念に」「十分に」施工し「注意しなければならない」等の精神規定が多いため、どのような具体的方法を本当に実施しなければならないのかということが曖昧になっているのが現状である。すべての条項をあらゆる構造物にいつも適用するという硬直した考え方は工学的に不適切であり現実的にも経済的に不可能といえる。すなわち、各要因の構造物の品質と耐久性に及ぼす影響の程度を定量化し、場合場合にに応じて柔軟に誰もがそれを取捨選択できることが必要となる¹⁾。

この要請に応えられる「内容」を具備したものが、土木学会コンクリート委員会耐久性設計小委員会（委員長：岡村 甫）の成果品であり、1989年8月に刊行された「コンクリート・ライブラリー第65号コンクリート構造物の耐久設計指針（試案）」といえる²⁾。この指針（試案）は、材料の選定、設計および施工過程における各要因の耐久性に及ぼす影響の程度を定量的に示すとともに、それらを総合的に統括した場合の評価方法について提案されており、各構造物の条件に応じた場合の選択が合理的にかつ柔軟にできることに特長がある。「内容」に関する設計システムを実際の構造物に適用し、この指針（試案）の長所を生かすためには、設計過程および施工過程において分業化されている各作業を担当する技術者「人」の間で、その意図を円滑かつ確実に伝達できるマネジメント方式あるいは「書式」が重要となる。

その意味で特記仕様書は、当該工事の計画立案者の施工過程に関する意図を、各構造物ごとの特徴に応じて実際の施工技術者に伝達する役割を担うものであり、いかなる事項をどのように表示するかということは、耐久的なコンクリート構造物を実現するために重要といえる。

本研究は、一般的な土木構造物を公共事業で建設する場合の特記仕様書のコンクリート工に関する現状を調査分析しその問題点を整理するとともに、耐久的な構造物の実現を目指して「コンクリート構造物の耐久設計指針（試案）」の「内容」を生かすための新しい特記仕様書の「書式」を提案したものである^{3,4)}。

2. コンクリート工に関する特記仕様書の現状と問題点

わが国の現在の請負工事契約方式を考慮すれば、一般的な公共土木構造物におけるコンクリート工事でコンクリート工の仕様を決定する担当者は、当該工事の特記仕様書の作成者といえよう。

標準的な特記仕様書で示されるコンクリート工に関する内容の一例は、表1-1に示すようであって、以下に示す事項が規定されることが多いと思われる。

① レデーミクストコンクリートを使用する。

② レデーミクストコンクリートの品質・配合の一般の注意事項

- ・規格 標準品か特注品：一般には標準品とされる。
- ・種類 普通か軽量：一般には普通とされる。
- ・呼び強度 設計基準強度とされる。
- ・スランプ 公共土木工事では、8 cm とされることが多い。
- ・粗骨材の最大寸法 40 mm, 25 mm, 20 mm のいずれかが指定される。
- ・水セメント比の最大値 50 % 以下, 55 % 以下が指定されることが多い。
- ・単位セメント量 最小単位セメント量が指定されることもある。
- ・セメントの種類 普通ポルトランドセメント, 早強ポルトランドセメント, 高炉セメント等の混合セメントのいずれかが指定される。

③ 混和材料に関する規定

- ・混和剤の種類 添加剤を使用する場合は塩分を含まないものを使用すること等。

特記仕様書のコンクリート工の条項に記載される事項は、それぞれの工事の個別の施工条件を考慮して、コンクリート標準示方書や土木工事共通仕様書に示された規定を補完したり適切な運用ができることを本来の目的として規定されるべきものであろう。しかし、現在の大部分の特記仕様書におけるコンクリート工に関する規定の内容は、当該工事の構造物の種類から一般的に類推できるコンクリート材料の品質に関する事項を最大公約数的に規定しているのが実情である。すなわち、明文化された規定は、コンクリート材料そのものの品質規格と、それに基づく材料自体の積算価格を決定することには役立つが、工事位置の施工・環境条件、構造物の断面形状寸法、補強鋼材の錯綜の程度に影響される施工の容易さ等に関連する事項は明示されていないといえる。

コンクリートの打ち込み方法（バケット・シュート・コンクリートポンプのいずれか、配管距離が大きい小さいか、ポンプ車は何台使用するか）、打ち込みのリフト割り、打ち込み順序、締固め方法・機械器具、表面仕上げ方法、養生方法と養生日数、脱わく時期等の施工計画の前提は、出来上がった構造物の品質に影響を及ぼす要因であると同時に施工過程の実際の工事費用を支配すると考えられる。現行の請負工事契約方式では、これらの詳細な技術的事項に関連する規定は、土木工事共通仕様書やコンクリート標準示方書を請負者が適宜判断して運用するものであるという一種の信頼関係が成り立っていると思われる⁵⁾。表2の特記仕様書の一例のように（自主的施工）と明確に示されている場合もある。このような場合は、特記仕様書の条項において、自主的施工

表一 特記仕様書（コンクリート工）の一例

第3条 施工

1. コンクリート工

(1) コンクリートは生コンクリートを使用するものとし、使用目的の配合諸元は次表のとおりとする。

規格	コンクリートの種類	呼び強度 (kg/cm ²)	スランプ (cm)	骨材最大寸法 (mm)	セメントの種類	水セメント比 W/C (%)	適用工種
標準品	普通	300	8	40	B・B	55%以下	○○○○○
"	"	400	8	25	H	50%以下	○○○○○
"	"	240	8	40	B・B	—	○○○○○
"	"	210	8	40	B・B	—	○○○○○
"	"	160	8	40	B・B	—	○○○○○
特注品	"	160	5	25	B・B	—	○○○○○

注) 添加剤を使用する場合は塩分を含まないものを使用すること。

第7条 使用材料

本工事に使用する主要材料の品質・規格は次表のとおりとする。

品名	品質・規格	形状・寸法	摘要
生コンクリート	標準品		JIS A 5308

第8条 コンクリート

本工事に使用するコンクリートの配合は次表のとおりとする。

規格	呼び強度	SL (cm)	MS (mm)	W/C (%)	C (kg/m ³)	セメントの種類	摘要
標準品	210	5	40	55以下	—	NまたはB・B	○○○○○

注) 工事位置が特定できる適用工程、摘要、使用区分の欄は削除した。

13-2 コンクリート構造物工

13-2-1 構造物用コンクリート

(1) コンクリートの種別

使用するコンクリートの種別は、共通仕様書第8章「コンクリート構造物工」8-2-4によるほか、次の項目を追加する。

コンクリートの種別	使用区分	材令28日における圧縮強度 (kg/cm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	セメントの種類
B3-1	○○○○○	300	25	8±2.5	4±1	普通ポルトランドセメント
P3-1	○○○○○	350	25	7±1.5	4±1	普通ポルトランドセメント

(2) 混和剤

混和剤は、JIS A 6204による。なお、性能による種類は、AE減水剤(標準型)もしくは(遅延型)とし、塩化物量(塩素イオン量)による種類はI種に適合するものとする。

(3) コンクリートの暫定配合

共通仕様書第8章「コンクリート構造物工」8-2-5(2)に規定するコンクリート1m³当たりの暫定配合は、次のとおりとする。

コンクリートの種類	単位セメント量 (kg)	単位数量 (kg)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)	※混和剤の種類
B0-1	300	146	750	1150	AE減水剤(標準型)

注) 工事位置が特定できる適用工程、摘要、使用区分の欄は削除した。

の範囲および施工管理技術者の資格と要件が規定されることが多い。施工管理技術者に、「設計図書を理解し、発注者の意図する工事を施工するのに十分な技術的能力を有し、施工管理基準と手法に熟達し、豊富な経験を有すること」という高度な要求をしつつ、自主的施工の範囲は、段階検査であって、重要な事項は監督官の指示、承諾が必要とされ、工事に伴って発生する種々の問題に対する責任の所在と範囲が明確になっていないといえる(表一3参照)。

特記仕様書の運用方法に関連する工事費用について

表二 特記仕様書（自主的施工）の例

平成○年度
○○○○○○○○○○○工事
特記仕様書
(自主的施工)
○○○○○○○工事事務所

も、発注者が積算する工事の予定価格の内容は、施工当事者には曖昧な形でしか伝達されないことが多いと思われる。公共工事の予定価格を発注者が積算する場合に参

表—3 「特記仕様書」の規定の抜粋

第2条 自主的施工の範囲

1. 共通仕様書第106条の段階検査は、請負業者が自主的に行うものとする。
2. 共通仕様書における指示、承諾または協議を要する事項のうち、この特記仕様書で定められた以外のものは、指示、承諾または協議を必要とせず、請負者の自主的判断により施工するものとする。
3. 次の事項は請負者が自主的に判断して施工してはならない。
 - (1) 設計図書に明示されていない事項の処理
 - (2) 設計変更にかかわる事項の処理
 - (3) 地元関係機関等との協議にかかわる事項の処理
 - (4) 天災、その他不可抗力にかかわる事項の処理

第3条 施工管理技術者

請負者は自主的施工工事の施工技術上の管理をつかさどるために、次の各号に適合する施工管理技術者を定め、現場に常駐させなければならない。

1. 本工事の設計図書を理解し、発注者の意図する工事を施工するのに十分な技術的能力を有する者であること。
2. 施工管理基準およびその手法に熟達し、豊富な経験を有するものであること。

表—4 土木工事標準積算基準の内容の一例

4. 単価表

(1) コンクリートポンプ車投入打設10m³当たり単価表

名称	規格	単位	数量	摘要
世話役		人		表3.3
特殊作業員		"		" +表3.5
普通作業員		"		" +表3.11
コンクリート		m ³		式3.2
ポンプ車運転	ブーム式65～85m ³ /h または配管式70m ³ /h	h		式3.4
ポンプ車回送費		日		"
養生材費		式	1	必要に応じ計上
諸雑費		"	1	
計				

3-5 コンクリート工

コンクリート工は、コンクリートの打設から表面上までの一連作業で、次表とする。

表 3.5 コンクリート工歩掛 (10m³当たり)

名称	規格	単位	数量
世話役		人	0.1
特殊作業員		"	0.7
普通作業員		"	0.6
生コンクリート		m ³	
コンクリートポンプ車運転	ブーム式55～60m ³ /h	h	0.5
諸雑費率		%	1

- (注) 1. 生コンクリートの補正係数は、+0.02とする。
 2. 諸雑費は、発動発電機損料、パイプレータ、足場板・パイプ、モルタルなどの費用であり、労務費、材料費、機械経費の合計額に表3.5の率を乗じた金額を上限として計上する。ただし、商用電源を使用する場合は1%とする。
 3. コンクリートポンプ車の1日当たり平均打設量は160m³を標準とする。
 4. コンクリートポンプ車の回送費は「第5章①コンクリート工」による。

照される資料として、公開されているものの一例に建設省土木工事積算基準：建設大臣官房技術調査室監修：土木工事積算研究会編がある。この積算基準のコンクリート工に関連する条項のうち、現在の一般的な施工方法であるコンクリートポンプ工法による部分は、表—4に示すようであり、積算価格を構成する項目を大別すると①コンクリート材料費、②労務費、③コンクリートポンプ費、④諸雑費、⑤養生材費がある。

その内容を要約すると以下に示すような特徴がある。コンクリート材料費は、割増率が2～4%考慮できる。労務費は、ブーム打設か配管打設か、無筋構造物か鉄筋構造物かで歩掛りを変化させることができる。また、特殊な養生に必要な労務費を計上できる。コンクリートポンプ費は、コンクリートポンプ車の作業能力を、標準日

打設量で分類され、現場条件（工事箇所、交通量、搬入条件工種、打設距離等）によって20%の範囲で増減できる。標準時間当たり打設量が、スランプ、骨材粒径、圧送水平距離、圧送打設の連続・非連続の条件によって変化することを考慮できる規定はない（平成2年度版で削除されている）。圧送管距離が40mを越える場合には、圧送管組立・撤去労務を加算できる。諸雑費は、ホッパ、シュート、パイプレータ等の機械損料、燃料油脂費、足場板・パイプ等の簡易な支持材等を含むとされ、労務費に対する一定の比率で計上する。養生材費は、養生覆材の被覆、水散布養生程度のものとして、特別な場合は別途積算できる。養生材料は、構造物の種類、形状等を勘案して必要量を計上できる。

したがって、各現場の状況の場合場合に応じた適切な

施工方法に対して積算をすることは、コンクリートの締固め作業に関する諸雑費が一律の比率になっている以外は許容されているのである。問題は、各現場の予定価格を積算する担当者が、これをどのように運用しているのかが一般的には明確にならないシステムであることである。いったいどのような施工方法を想定しているのかが施工者に伝わらないのである。各現場の発注者側の担当者は数多くのさまざまな種類の工事を担当しその責任を負ってきわめて多忙であり、またそれぞれの担当者がコンクリート工事に熟達しているとは限らないという状況であろう。したがって、想定した施工方法が工学的に最も適切であるとは限らないと考えるのが自然である。

著者は、事前に想定した施工方法がいつも適切である必要はないと考えている。ただし、工事費用が決定された施工方法が施工者に明確にされる必要があるのである。そうすれば、工事着手後に現場の状況に応じて適切な施工方法と積算の変更（設計変更）の協議ができるのであり、それが今後建設されるコンクリート構造物の耐久性および信頼性を向上させるために不可欠であるというのが著者の主張である。現場の状況に応じた施工方法を示すことができるのは特記仕様書である。

3. スランプの仕様と施工の容易さとの関係

「公共土木工事の特記仕様書ではスランプ8 cmの仕様が一般的です。構造物によってはスランプ8 cmでは施工が困難な場合が多くあります。スランプ8 cmという仕様は妥当なのでしょうか」。しばしば直面するこの問題の答えは、「妥当でない場合がある」。現場技術者であればこれに賛成できると思われる。しかし、適切なスランプの値とは何かということを説明することは簡単ではない。

フレッシュコンクリートの軟らかさと施工の容易さとが密接な関係があり、軟らかいコンクリートほど施工が容易であるとの共通の認識があると思われる。レデーミクストコンクリートとコンクリートポンプ車による打設が普及するに伴って、運搬途中のコンクリートに加水することが問題視されることがある。加水はコンクリートの品質を低下させる可能性があることは誰もが知っているが、固すぎるコンクリートを施工することの結果の不具合を、より重視する現場技術者が多いといえる。スランプ21 cmの軟らかいコンクリートの場合に比べて、スランプ8 cm程度の硬練りコンクリートの場合に、この問題が発生することが多いと思われる⁹⁾。

コンクリートの軟らかさが施工過程で影響する要因は以下の2つに大別できる。

① ポンプ施工の圧送性を向上させるため、すなわち、長距離圧送あるいは高所圧送が必要な構造物で換算水平

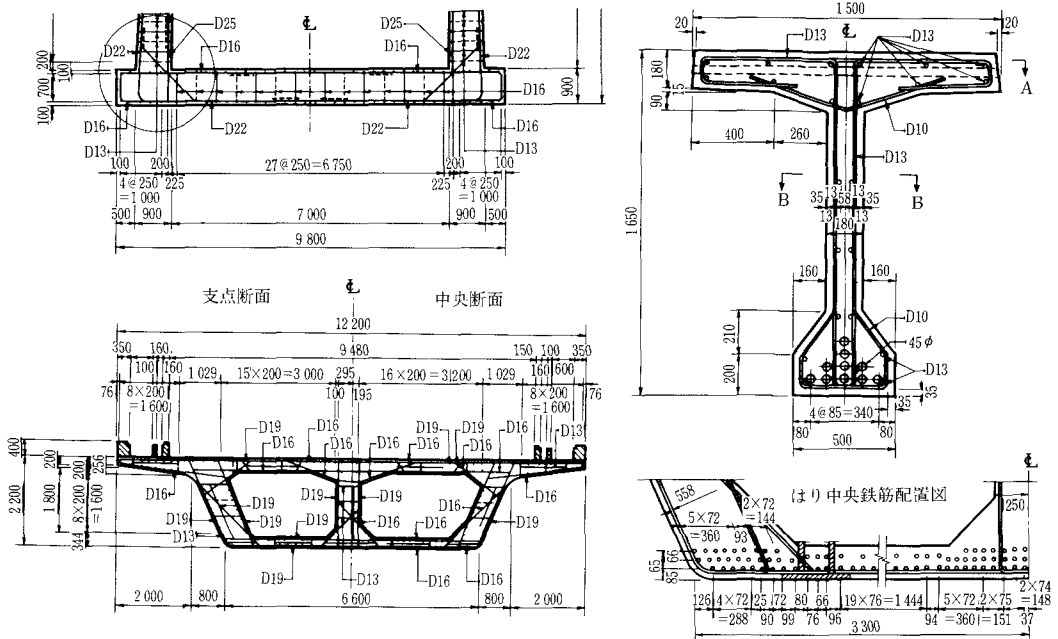
配管長さが大きい場合は、硬いコンクリートは施工中にポンプが閉塞したり配管継手が破裂する事故が生ずる可能性が大きくなるという認識のもとにスランプの大きな軟らかいコンクリートを望む場合がある。

② 型わく内へのコンクリートの行き渡りと締固め作業の容易さを向上させるため、すなわち、詰まらなければ元も子もない、出来上がった構造物に豆板・ジャンカが顕在化すれば発注者から非難されたとえに補修する手間と費用がかかることは堪えられないとする場合がある。構造物の部材断面形状寸法が著しくスレンダーで複雑な形状の場合および鉄筋やPC鋼材が錯綜して配置されている構造物では、この要因が影響を及ぼすことが多いと考えられる。

①と②の要因は区別して考えるべきであろう。

①のポンプ圧送性の要因は、いかなるスランプ値のコンクリートでも圧送できるコンクリートポンプ車が開発され広く普及すれば解決できるものである。あるいは、コンクリートの打設方法を、費用がかかってもポンプ車以外の方法とすることで、硬いコンクリートでも所要の品質の構造物を施工できる可能性もある。ただし、わが国の現状は、このような高性能コンクリートポンプ車を全国各地で調達することは不可能である。レデーミクストコンクリート工場から現場までの運搬に用いる一般のアジテータ車にスランプが8 cmより小さく硬いコンクリートを搭載すると、アジテータ車のシュートからコンクリートポンプ車のホッパーへスムーズに排出できないという問題もある。各現場ごとに異なるコンクリートポンプの配管状況を考慮して、それが長い場合は幾分大きめのスランプのコンクリートを使用すること、すなわち現場条件の場合場合に応じたスランプ値の仕様を特記仕様書で示すことが、現在一般的に使用されているレデーミクストコンクリートの材料特性とコンクリートポンプ車の性能を考慮すれば現実的な対応策といえる。

②の行き渡りと締固めの要因は、構造物の設計図面を施工に着手する前に照査したときに、「何か施工がやりにくそうな状況だ」という感覚をもつ場合に対応するものである。代表的な公共土木構造物である、図一1に示す鉄筋コンクリートスラブ部材、鉄筋コンクリート箱桁部材およびプレストレストコンクリートT桁部材を比較すると、スラブ部材がコンクリートを行き渡らせ締固めるといった観点からは最も施工が容易であるという感覚をほとんどの技術者がもつと考えられる。打設位置までコンクリートが円滑に運搬できさえすれば、スランプ8 cmの仕様が硬すぎるということはほとんどない。それに対して箱桁およびT桁の場合は、スランプ8 cmでは硬すぎてコンクリートが行き渡りにくく棒状パイプレータを挿入しての締固め作業がやりにくそうであるという



図一 各種の鉄筋コンクリート部材

感覚をもつ技術者が多いと思われる。その感覚の原因となる部材の形状寸法および鋼材の配置方法の定性的要因を整理すると以下に示す事項が挙げられる。

1) 鉄筋およびPC鋼材のあきが小さい。コンクリートが通過しにくく、スランプ8 cmのコンクリートの締固め作業に適当であるという共通認識のある棒状パイプレータ（直径50～60 mm）を部材底面まで挿入できる位置と空間が限定される。直径の小さい（30～40 mm）棒状パイプレータであれば挿入できそうであるが、現在のところ一般に市場に供給されているその種の棒状パイプレータを、スランプ8 cmのコンクリートで使用した場合、有効振動範囲がきわめて小さく、締固め作業を非人間的といえるほどこまめに行わない限り所要の締固め結果が期待できない。それができる熟達した技能をもつ作業員を期待することは非現実的であり、もう少し軟らかいプラスチックなコンクリートを使用することが現実的であるという結論に至るのである。

2) 鉄筋およびPC鋼材が多段に配置されている。図一に示すT桁や箱桁のように多段に鋼材が配置されている場合は、一段の場合に比較して打ち込み時にコンクリートが鋼材の間を何回も通過することによって材料分離が生じやすいといえる。また、棒状パイプレータを部材底面まで挿入および引き抜くときの抵抗が大きく、締固め作業が困難となることは容易に想像できる。

3) 棒状パイプレータによる締固め作業が困難と思われる部材形状である。フレキシブルホースに接続された棒状パイプレータの振動部分は、重力の作用によって鉛

直に挿入されるものである。したがって、図一に示すT桁の下フランジハンチ部分のコンクリートは、棒状パイプレータによって直接は締固め作業ができない。その部分だけ特別に型わくパイプレータを準備すれば、特別の費用（機械損料、取り付け治具、労務費）が必要となるのは面倒といえる。その部分に締固め作業を直接行わなくてもコンクリートが行き渡り詰まる程度の軟らかいコンクリートを望むことになる。

コンクリートのスランプが8 cmよりも12 cmの場合が、上記の①および②の施工が困難となる要因を少しでも緩和することができるといえる。もちろん、材料そのものの性質に着目して密実で空隙の少ないコンクリートを実現するためには、単位水量の少ないコンクリートの配合とするのが原則である。コンクリート標準示方書施工編の条文には「……スランプは、……作業に適する範囲内で、できるだけ小さく、これを定めなければならない。打ち込み時のスランプは、一般の場合は5～12 cm、断面の大きな場合は3～10 cm、また、無筋コンクリートの場合は3～8 cmを大体の標準とする」とある¹⁾。建設省土木工事積算基準における「コンクリートポンプ車圧送コンクリートの範囲」の条項において、スランプは8～12 cmと示されている²⁾。現場条件や構造物の種類によってスランプ8 cmにこだわる必要がないことは明示されているのである。それにもかかわらず一般の公共土木工事では一律にスランプ8 cmの仕様が多いのである。その理由として、著者は以下に示す事項が主たる要因であると考えている。

① 作業に適する範囲を判断することは相当に高級な作業であり、それを適切にできる熟達した一級の技術者が工事量の増加に追いつかず少ない。

② スランプの範囲を8~12 cm とすれば、8 cm の場合が一般的には単位水量が小さくコンクリート材料そのものの品質がよいといえるので、12 cm とするためには特別の説明をする必要があるのでは面倒である。多忙な技術者は面倒なことは避けるのは当然のことである。

③ 「詰まらなければ元も子もない」という施工性に対する感覚が大切であることは理解できるが、それを第三者（上司、他部署の同僚、会計検査官等）に簡単に説明できる設計体系や指針が十分に整備されていない。

④ 呼び強度の同じレデーミクストコンクリートの価格（建値）は、スランプ12 cm の場合が8 cm に比較して幾分高いので、それを採用すると会計検査や内部監査で特別の説明が必要となり面倒である。

以上の問題点を解決する第一歩として、誰もが比較的簡単に場合場合に応じてスランプ値を検討できる設計体系が必要となる。そして現時点でそれを実現したのが、「コンクリート・ライブラリー第65号コンクリート構造物の耐久設計指針（試案）」なのである。この指針（試案）では、フレッシュコンクリートのワーカビリティを変形性と材料分離抵抗性の和としてとらえ、スランプ値の大小がコンクリートの型わく内への行き渡りと締り作業の容易さに影響を及ぼし出来上がった構造物の密実さが相違することを総合的に定量評価する手法が示されている²⁾。

その内部の一例は、図-2 および図-3 に示すようである。部材形状・寸法とコンクリート打ち込み1リフト高さによって、コンクリートの行き渡りやすさを評価し、スランプ値と単位水量の大小の耐久性に与える影響を総合的に考慮している。スラブのように施工が容易な場合は、低いスランプ値が評価が高い。しかし、複雑で施工のしにくい条件の構造物では、硬すぎても軟らかすぎても評価が低くなり、適切な軟らかさの場合が評価が高くなるという、われわれの工学的感覚に合致する評価方法を定量的に示している（図-2 参照）。鋼材の配置形状の錯綜の程度が詰まりにくさに及ぼす影響は、あき寸法と粗骨材の最大寸法との関係および鋼材の段数に着目して、設計詳細の良さと悪さ（施工の容易さ・詰まりやすさの程度）を定量的に判断できる評価式を示している（図-3 参照）。この設計方法によれば、誰もが場合場合に応じた適切なスランプ値を検討できるのである²⁾。

特記仕様書にコンクリート工に関する仕様をこれまでより詳細に示すことは、構造物の信頼性を全体的に向上させるために有効である。たとえ事前に想定した仕様が最も適切とはいえない状況に直面しても、耐久性に関連

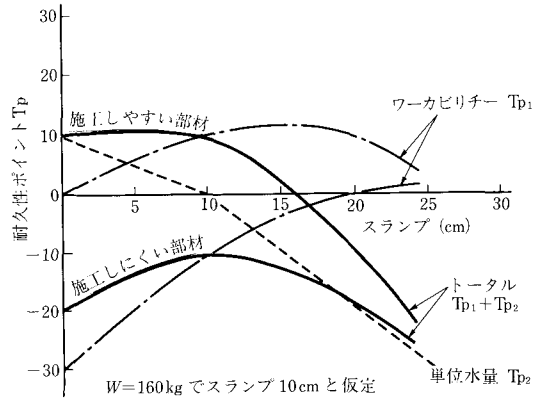


図-2 スランプと耐久性ポイントの関係

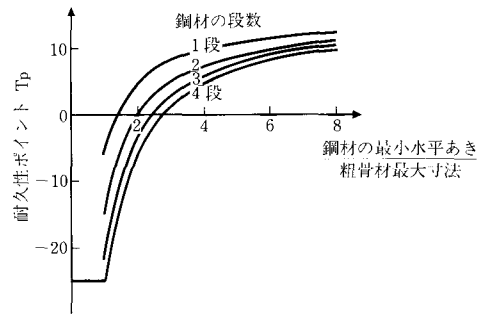


図-3 鋼材の配置形状と耐久性ポイントの関係

する構造物の性能を定量的に評価しつつ変更する検討を行える指針をわれわれは共有しているのである。

4. 養生方法と部材の密実さとの関係

近年のコンクリート構造物の施工過程において、コンクリート標準示方書施工編の規定が比較的小さくされているものの1つに養生に関する事項があると思われる。コンクリート標準示方書施工編では、「打ち終わったコンクリートが、その水和反応により十分な強度を発現し、ひびわれを生じないようにするために、打込み後一定期間は、コンクリートを適当な温度のもとで、十分な湿潤状態を保ち、かつ有害な作用を受けないようにすることが必要であり、そのための作業を養生という」とされている。

コンクリートを一定の期間適当な温度で湿潤状態に保つ必要があることに対する規定方法は、土木学会コンクリート標準示方書施工編および各発注機関の土木工事共通仕様書によって幾分異なっているのが現状である。セメントの種類と養生期間および養生する部材位置に着目して、土木学会、日本道路公団および建設省北陸地方建設局の示方書あるいは仕様書の規定を、一般の環境条件

で寒中あるいは暑中コンクリートでない場合について整理すると表—5に示すようである^{1),3),4)}。

実際の構造物のどの部位をどうすれば湿潤養生とみなせるかも明確にされていないのが現状といえる。型わくで保護されない露出したコンクリート面(露出面と称す)と型わくで保護されたコンクリート面(型わく面と称す)の養生の2種類がある。露出面に対して一定の期間湿潤養生を要求するという事は、型わく面に対しても同程度の養生を行うことが望ましいと考えるべきであろう。すなわち、表—5に示された養生期間は型わくを脱わくせずに乾燥させないことが養生に関しては現実的な最低の要求レベルと理解できる。ところが、実際の構造物の施工過程では、型わくの存置期間はできるだけ短くすることを目指すものである。すなわち、工期を短縮できること、養生期間中は作業量が少なくなるので、一定の作業員数のグループで施工する場合は養生期間が手待ちとなり一人当たりの出来高が低下する可能性があること等の理由で脱わくを早く行う傾向となる。コンクリート標準示方書施工編解説にも「長期間湿潤養生をすることは、一般の構造物については困難であり、また、不経済でもある」との記述がある。

これらの養生に関する規定と現状を通覧すると、所要の部材強度を確保することと著しいひびわれを防止することだけが養生の目的であるという誤解が生じているのではないかと考えられる。部材厚さが100 cmの鉄筋コンクリート構造物を早期に型わくを取り外せば、型わく表面から数 cmの部分が発熱して乾燥し、そのコンクリートの水合が不十分である状況が生ずる可能性がある。しかし、残りの大部分を占める90数 cmの部分において所要の水合が進行すれば、部材としての所要の強度は発現し、構造物は安全であるとされることが多いのではないかと考えられるのである。

当然のことながら、構造物は安全性と同時に耐久性をも考慮する必要がある。耐久性に疑問が呈され、劣化が

顕在化したコンクリート構造物の劣化要因としてはさまざまなものが挙げられているが、RCおよびPC構造物では、部材最外縁に配置された補強鋼材が腐食している場合が圧倒的に多い。すなわち、部材表面部付近のコンクリート(かぶりコンクリート)に期待されている、鋼材を腐食させるおそれのある外的要因を遮断し防御するという機能が不十分な場合があったのではないかと推定できる。鋼材の腐食が劣化要因となる場合の構造物の耐久性には、部材表面部付近のコンクリートの密実さが大きな影響を及ぼすと考えられる。この観点から、露出面および型わく面ともに養生を所要の期間行い、密実なかぶりコンクリートを実現することが、構造物の耐久性にとってきわめて重要であると認識することが必要なのである^{6),8)}。

橋梁架設地点近くのヤードでプレキャストPC桁を製作する場合、工期が制限されると養生期間を短縮するためにジェットヒーター等を用いて給熱養生し材令1日で脱わくすることが行われることがある。給熱による水合の進行度とセメントの水和度、材令早期に乾燥させることと部材表面部の密実さの低下の程度等の関係について不明な事項も多いが、少なくとも、現場のヤードで簡易的に給熱して所要の強度が得られただけで脱わくして乾燥させたPC桁は、部材表面部付近の密実さが所定の期間丁寧に養生した場合より低下している可能性があることを意識する必要がある。現場で1基の製作台で1日1本の割合で次々とPC桁を製作したということを目撃しそれを賞賛する雰囲気があるが、出来高が向上する経済性および安全性の観点からは何ら不都合はないが、構造物の耐久性を低下させる犠牲を払っている可能性があることを銘記すべきである。

わが国の公共事業の予算編成や執行体制が、原則として単年度ごとに行われていること、地権者との折衝が難渋して工事着手が遅れることがあること等の要因で、著しく限定された工期でコンクリート構造物が発注される

こともある。このような場合、工期短縮のために示方書や仕様書で規定された養生日数より短くして施工されることはしばしば行われる可能性がある。それは構造物の耐久性にとってよくないことである。しかし、材料のレベルを向上させたり特別な養生方法を採用する等、養生日数を短縮する悪さを補償する方策もある。工事費用を養生以外の項目にかけることによって、養生の不十分さを補償できる可

表—5 養生日数の規定の比較

	普通ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメント	高炉セメントB種	摘 要
土木学会 コンクリート標準 示方書施工編	5日間以上	3日間以上	諸要因を 考慮して 適宜定め る	<ul style="list-style-type: none"> 型わくで保護されていない露出面を湿潤状態を保つ 養生期間の標準
建設省 土木工事共通仕様書 コンクリート工・養生	3日以上	5日以上	7日以上	<ul style="list-style-type: none"> 露出面を常に湿潤状態を保つ
建設省 土木工事共通仕様書 寒中コンクリート・養生	3日	2日	5日	<ul style="list-style-type: none"> 普通の露出状態 養生温度5℃ 養生方法は適宜考慮
日本道路公団 土木工事共通仕様書 コンクリート構造物工・養生	5日間	3日間	7日間	<ul style="list-style-type: none"> 全面を湿潤養生 少なくとも左記の日数

性能がいくつも考えられるのである。

発注者が、工期は厳しく設定し施工方法は曖昧としたまま工事費は標準として変更しないという態度で工事を発注・監督すれば、利潤を追求せざるを得ない施工者が熱意をもって良い品質のコンクリートを作ろうとしなくなっても不思議ではなからう。その結果、耐久的でないコンクリート構造物が実際に建設されるのである。発注の時点で構造物の耐久性に影響を及ぼす養生の要因について曖昧にしないことは重要なことの1つであり、その具体的な対応策が、特記仕様書に想定した施工方法を明示することである。

5. 特記仕様書の新しい書式の提案

わが国各地の多数の現場において、より耐久的なコンクリート構造物を実現することを目的として、今後の公共土木工事における特記仕様書のコンクリート工に関する条項を以下に示すような書式とすることを提案したい。

コンクリート工

第1条 コンクリートは[レデーミクストコンクリート]を使用するものとする。

第2条 [レデーミクストコンクリート]の配合諸元は次表のとおりとする。

規格	コンクリートの種類	呼び強度 (kg/cm ²)	スランブ寸法 (cm)	骨材最大寸法 (mm)	セメントの種類	水セメント比 W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	摘要
標準品	普通	300	8	40	B.B	55%以下	—	

第3条 一般の AE 減水剤以外の高性能減水剤や流動化剤を使用する場合は、監督員と協議して承諾を得なければならない。これらの混和剤を使用した場合は設計変更の対象とする。

第4条 コンクリートの施工は以下に示す方法によることを前提とする。現場条件等によってこの方法によりがたい場合は監督員と協議するものとする。コンクリートの施工方法の変更およびそれに伴う使用材料の変更は設計変更の対象とする。

(1) コンクリートの運搬

① コンクリートの運搬は [ピストン式コンクリートポンプ車] による。最大圧送管長さは、実長 [150] m、水平換算長 [400] m、標準圧送管長さは、実長 [100] m、水平換算長 [250] m とする。

② 圧送管の最大高低差は、上り [25]、下り [0] m とする。

(2) コンクリートの打設・締固め

① [コンクリートポンプ車] によるコンクリートの打設回数は [25] とする。

② 締固めは、1回の打設当たり [直径 60 mm の棒状パイプレータ] を [5] 台使用するのを標準とする。

(3) コンクリートの養生・表面仕上げ

① 型わくに接しない露出面の養生は、[養生マット] で覆い [湿潤] 養生を [2] 日間行うものとする。

② 型わくに接する面の養生は、型わくを材令 [3] 日まで取り外さないのを標準とする。

③ 露出面は、[表面締固めパイプレーター] で締固めた後 [金こて] により仕上げ [被膜養生剤を散布] するものとする。

第5条 [……]のコンクリートの施工にあたっては、「コンクリート構造物の耐久設計指針（試案）」（土木学会）に基づき耐久指数を算定し耐久性の検討を行うものとする。所要の環境指数は監督員が指示する。耐久性ポイントを向上させるための措置に要する費用は監督員と協議するものとし原則として設計変更の対象とする。

第1条から第4条は、すべてのコンクリート構造物の特記仕様書に示すことが望まれる。[] 内の内容は各現場条件に応じて規定することになる。ここで示した内容に特別に斬新な事項は含まれていないと思われる。これらの事項を想定しなければ工期の設定および工事費の積算をすることができないと考えられる。もっとも適切な事項を選定することが重要なのではなく、これらの事項を発注の時点で曖昧にせずに明確に示すことが大切なのである。密実で耐久的なコンクリート構造物を実現しようとした場合、問題となりがちなスランブと施工のしやすさとの関係および養生方法と部材の密実さとの関係について、責任施工・自主的施工の名のもとに、発注者と施工者との曖昧な信頼関係で運用することを改めようというのが著者の主張である。その場合、いったん決定した特記仕様書は、それを承知で応札したのであるから、簡単には変更しないという態度も改める必要があろう。土木技術者は、後世の遺産として安全で耐久的なコンクリート構造物を残すことが使命なのであるから、柔軟な方策を採用できるシステムを構築しておくことが得策である。会計検査において必要となる定量的説明は、「コンクリート構造物の耐久設計指針（試案）」（土木学会）の支援によって可能となると思われる。第5条は、さしあたりは特に重要な構造物や環境条件の厳しい場合のみ適用し、将来はすべての構造物に適用することを目指すものと考えられる。

6. 結 論

コンクリート構造物の品質や耐久性に影響を及ぼす事項は、材料の選定、設計および施工過程に関連する数多くの要因があり、特に現場における施工過程が構造物の品質に著しく影響を及ぼす。公共土木工事において工事

発注前に各現場条件に応じて立案された施工計画の意図および予定価格の積算内容の裏付けを施工者に伝達できるものが特記仕様書といえる。コンクリート工に関連する特記仕様書の現状を閲覧すると、各現場条件に応じた施工方法を示すという特記仕様書本来の役割を担うものとしては不十分であると考えられた。そこで、今後より耐久的なコンクリート構造物をわが国で広く実現するために有効であると思われる事項を検討し、コンクリート工に関する特記仕様書の条項の内容と書式を提案した。

本研究の範囲内で以下に示すことができる。

(1) 現在の公共土木工事における各特記仕様書のコンクリート工の条項の内容は、現場条件に応じて想定した施工方法が曖昧な書式でしか表現されていないことが多い。このような状況は、発注者側と受注者側とに経験があり熟達した技術者が豊富に存在する場合には、両者間の一種の信頼関係に基づいて工事が円滑に進捗し良好な品質の構造物は得られると思われる。しかし、現在および今後の分業化と担当者が多忙となる社会状況の傾向を考慮すると、曖昧な表現や信頼関係に基づく責任の所在と範囲が不明確な方法は、出来上がった構造物の品質を低下させる原因の1つとなるおそれがある。したがって、本論文の5.に記述した書式でコンクリート工に関する特記仕様書を作成し、想定した施工方法と積算の裏付けを工事着手前に明確にすることを提案する。

(2) フレッシュコンクリートの施工の容易さは、出来上がった構造物のコンクリートの密実さおよび構造物の耐久性に影響すると考えられる。構造物の施工条件や部材の形状寸法に応じたコンクリートのスランプ値を適切に選定し特記仕様書に示すことは重要である。8 cmより大きなスランプの仕様を検討する指針がこれまではなかったといえるが、今後は、「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」(土木学会)を活用することにより誰もが比較的簡単にかつ合理的に行える。

(3) コンクリート構造物の耐久性を向上させるには、部材表面部付近のかぶりコンクリートの品質は重要といえる。したがって、部材全体の強度にのみ着目して、コンクリート打ち込み直後の養生期間を示方書や仕様書で規定された日数より短くすることを許容する現在の傾向は、構造物の耐久性を低下させる要因となる可能性がある。工事の全体工期や型わく転用回数に伴う経済性をも考慮したうえで、特記仕様書に養生方法と日数を明示しておくことが構造物の耐久性向上のために必要である。それは、工事着手後に養生が不足せざるを得ない場合を補償する方策を柔軟に検討するための基礎資料となる。

本論文は、著者が、昭和63年10月付けで、東京大学より工学博士の学位を授与された学位論文の内容の一部

である。本研究を進めるにあたり、東京大学工学部 岡村 甫教授に懇切丁寧なご助言とご指導を賜りましたことを厚く御礼申し上げます。また、清水建設(株)北陸支店、建設省北陸地方建設局高田工事事務所、日本道路公団構造技術課、電気化学工業(株)青海工場の皆様から有益なご示唆と資料を頂きましたことを心より感謝致します。

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金〔総合A:63302044〕を受けて行ったものである。

7. あとがき

本論文の提言は、現行の特記仕様書が不十分であるという論旨なので不愉快な思いをされる方もおられると感じている。しかし、社会基盤施設として重要な役割を担い続けるであろうコンクリート構造物を広くより良くするための提言として各方面の皆様のご意見を頂戴することをお願いする次第である。

本研究は、現在一般的に使用されているレデーミクスコンクリートの特性とコンクリートポンプ施工を前提としている。最近話題になっている流動性が大きく締固め不要、養生までも不要とできる材料、すなわちハイパフォーマンスコンクリートが実現できれば、コンピュータ・情報通信工学の分野と同様な革命的な進歩がコンクリート工学の分野にも期待でき、その暁には本研究の提言は陳腐化するものである。しかし、それまでの当分の間は、ここで示した方策を採用することがコンクリート構造物の耐久性および信頼性を向上させるために必要と信ずるものである。

参考文献

- 1) 昭和61年制定コンクリート標準示方書施工編,土木学会,昭和61年10月.
- 2) コンクリート構造物の耐久設計指針(試案),コンクリート・ライブラリー,第65号,土木学会,平成元年8月.
- 3) 土木工事共通仕様書,建設省,昭和61年4月.
- 4) 土木工事共通仕様書,日本道路公団,昭和62年4月.
- 5) 建設大臣官房技術調査室監修,建設省土木工事積算基準平成2年度版,土木工事積算研究会編,平成2年3月.
- 6) 國島正彦・岡村 甫:総合評価に基づくコンクリート構造物の耐久性設計,コンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計に関するシンポジウム論文集,1988年4月.
- 7) 岡村 甫・國島正彦・前川宏一・小沢一雅:「締固め不要」のコンクリートハイパフォーマンスコンクリートへの挑戦一,土木施工,1989年10月.
- 8) 國島正彦:密実なコンクリート構造物を実現する設計・施工方法に関する研究,東京大学工学部土木工学科博士論文,昭和63年10月.
- 9) 田中洋一:コンクリート構造物の品質に影響を及ぼす社会経済的要因,東京大学工学部土木工学科修士論文,平成2年3月. (1990.4.17・受付)