

委員会報告 「コンクリート構造物の高信頼性施工システム研究委員会報告」

魚本健人^{*1}・河野広隆^{*2}・十河茂幸^{*3}・野口貴文^{*4}

【委員構成】

委員長	魚本健人	東京大学	委員	鈴木一雄	全国生コン工業組合連合会
幹事	河野広隆	独立行政法人土木研究所		田中 斉	飛島建設(株)
	十河茂幸	(株)大林組		近松竜一	(株)大林組
	野口貴文	東京大学大学院		信田佳延	鹿島建設(株)
委員	岩波光保	港湾空港技術研究所		橋本親典	徳島大学
	宇治公隆	東京都立大学大学院		早川光敬	大成建設(株)
	牛島 栄	(株)青木建設		牧 保峯	竹本油脂(株)
	岡沢 智	(株)エヌ・エム・ピー		真野孝次	(財)建材試験センター
	加藤佳孝	国土交通省		安田正雪	東洋建設(株)
	栗田守朗	清水建設(株)		山崎庸行	清水建設(株)

【五十音順】

1. はじめに

本来、コンクリート構造物は耐久性に優れている筈であるが、近年予想以上に早期劣化を生じさせる構造物が多く、コンクリートの信頼性の低下が指摘されるようになった¹⁾。コンクリートが耐久性を有することは、ここ100年の歴史をもつ構造物ですでに証明されているが、なぜ近年施工されたコンクリート構造物が早期劣化を起こすのかを検討する中で、いくつかの要因が挙げられる。まず、第1に材料の品質低下が挙げられるが、配合からみる範囲では急激なコンクリートの性能低下があるとは言いきれない。次に、ポンプ施工に伴う単位水量の増加も一因であると考えられるが、高性能な混和剤の開発はそれを乗り越えていると見ることができる。急速施工を余儀なくする発注条件も一因であろうが、直接的な原因とは思えない。このように個々の要因を検討すると、主要因と断定で

きる訳ではないが、信頼性の低下はかなり深刻であり、建設のシステム自体を見直すことが必要と考えられる。

そこで、コンクリート工学協会では、「高信頼性施工システム研究委員会」を発足させ、高信頼性コンクリート構造物を造るための研究を行った。この委員会では、製造・施工・検査の各WGを構成し、製造・施工に関する現状の課題を整理し、信頼性のある製造・施工のハードおよびソフトのシステムを研究することとした。そして、現状における建設業の分業化の中で、責任の明確化が信頼性のためには重要と考え、生コンの受入れ、施工結果の保証をする役目となる「検査」のシステムについて研究し、信頼性のあるコンクリート構造物の施工システムを提案することとした。

ここでは、「高信頼性施工システム研究委員会」の研究成果の概要について示す。

*1 東京大学国際・産学共同研究センター 教授 工博(正会員)

*2 独立行政法人土木研究所 主席研究員 工修(正会員)

*3 大林組技術研究所土木構造・材料研究室 室長 工博(正会員)

*4 東京大学工学系研究科建築学専攻 助教授 工博(正会員)

2. 構造物の受・発注のシステムの在り方

コンクリート構造物に発生する不具合は、過度な急速施工の要求、技術力不足や過剰な営利追求主義の不良業者による施工、発注側の金額に見合わない要求、技術の未成熟、品質向上へのインセンティブ不足等の原因で生じることが多い。そこで、発注システムに関わる多くの事項の中から、工期の設定、発注方式、企業の選定、責任分担に関して概説する。

(1) 工期の設定について

工期が著しく短く設定されると、不適格なコンクリートを使用し、かぶり不足、充填不足、養生不足などの原因で、不具合が発生する確率が増加する。工期が十分であれば丁寧な施工はできるが、逆にコストの増加につながるため、適切な工期の設定が必要である。

図 - 1 は、近年における受注額の推移を示している²⁾。公共工事のピークが3月にあり、工事の集中により作業量が増大し、結果として監督、検査、施工の各作業に手抜きが発生する危険性が増すと考えられる。現在、国土交通省で工事の平準化やフレックス工期制度が検討されているが、需要と供給のバランスを取ることが望まれる。

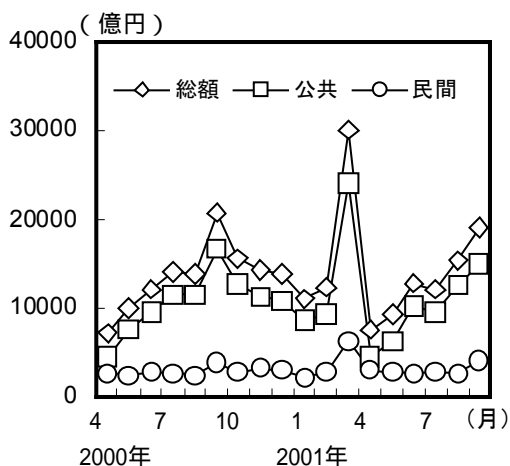


図 - 1 受注額の推移 (土木工事)

(2) 発注方式について

高耐久性のコンクリートを建造するには、自己充填コンクリートの選択が考えられるが、施

工要員の削減費用に比べて、材料費や品質管理に要する技術費用のコストが増加し、耐久性を考えなければイニシャルコストは増加する。このため、設計段階で明記されていなければ施工者はその選択を諦めることになる。ライフサイクルコストを考慮した総合評価方式や、設計・施工一括発注方式などの活用ができれば、適切な工法の選択が可能となる。そのために以下に示す提案がなされている³⁾。

- ・随意契約方式
- ・入札時 VE 方式 (価格競争)
- ・技術提案総合評価方式
- ・性能発注方式
- ・概略設計と施工方式
- ・設計施工一括発注方式
(詳細設計付き入札時 VE 方式)
- ・設計施工一括発注方式と技術提案総合評価方式
- ・技術交渉方式

これらの多様な契約方式を適用するには、それぞれの適切な評価手法を十分に検討することが必要である。つまり、技術の難易度を考慮し、企業のもつ技術力を活用して、最良の調達を目指すための入札契約方式の選択をする必要がある。

(3) 企業の選定について

適切な発注方式の選択により、工事の技術的特性を考慮することが可能となる。そのために、企業の選定方法や技術提案書などの評価が重要となる。つまり、過去の企業業績を正に評価する方法、認証制度や瑕疵担保責任などの品質保証体制、不具合に対する危機管理体制の備わった企業などの評価が考えられる。例えば企業の評価としては、資格審査、技術力審査、相対評価等を反映し、品質保証制度による場合は、ISO 認証制度や瑕疵担保責任による品質保証制度を活用すればよい。すでに住宅建設などでは、発注者が技術力を有していないため、第三者機関 (指定住宅性能評価機関) による住宅性能評価書の活用により、的確な企業選定が行える仕

組みが作られ、住宅品質確保促進法として瑕疵担保責任制度が定められており、10年間の瑕疵担保期間が認められている。

現在の仕様発注、発注者の監督・検査体系においては、基本的に施工者が設計に関与しないことから、施工段階で発生するリスクは、設計が確定した時点で内在するため、設計を確定した発注者が責任を担っていると言える。したがって、施工者の責任を明確にするには、要求性能が示される性能規定により、両者の責任分担を明らかにしておくことが望ましい。

3. 信頼性の高いコンクリートの製造と供給

3.1 製造の目標と責任

信頼性の高いコンクリート構造物を建設するためには、建設現場に搬入される生コンクリート自体の信頼性を高めるのが基本であるということはある。信頼性の高い生コンクリートとは、品質の変動が小さく、設定された施工条件下で必要とされるワーカビリティを有し、打ち込まれる環境条件下で構造体コンクリートとして所要の強度・耐久性を発現するだけでなく、信頼できる品質保証体制によって十分に支援されたコンクリートである。

レディーミクストコンクリート工場に対して顧客から寄せられたクレームの70%は、コンクリートの品質に関するものである⁴⁾。(図-2)

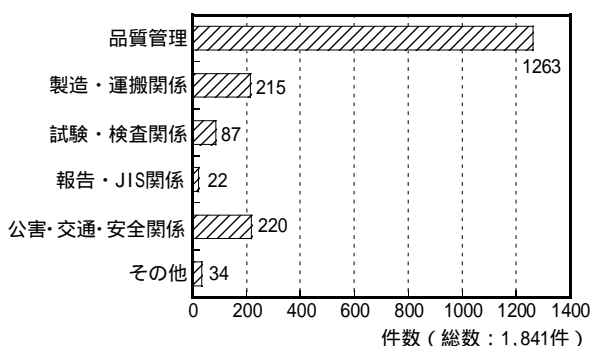


図-2 レディーミクストコンクリート工場へのクレーム

コンクリートに要求される主要な品質は強度・スランプ・空気量であるが、その要求が徐々に

高度化しつつある現在、強度発現性・弾性係数・乾燥収縮・中性化抵抗性・凍結融解抵抗性などのデータは、製造者が保有し、重要な工事などに必要に応じて施工者に示すことが望ましい。また、コンクリート製造者と施工者の間で書面による契約を結び、コンクリートの発注方式に応じて、コンクリートの品質に対する責任範囲を明確にしておくことも、最終的には生コンクリートの信頼性確保につながる。

3.2 製造の現状と問題点

(1) 材料受入

コンクリートの主要構成材料のうち、セメントおよび化学混和剤に関しては、材料生産者側が十分な品質管理を行っており、コンクリート製造者は材料生産者を信頼し、試験成績表の確認により受入検査を実施している。しかしながら、骨材に関しては、生産者の品質管理が十分になされているとは言い難く、また、コンクリート製造者による受入検査も入荷時にリアルタイムで実施できず、配合修正に検査結果を迅速に反映させることができない状況にある。したがって、骨材は、粒形・粒度分布・微粉分量・表面水率などの品質が不安定なまま用いられてしまい、コンクリートの単位水量やスランプに大きな変動を生じさせることが多い。その結果、ポンプ圧送性の低下や骨材分離を招いたり、硬化コンクリートの乾燥収縮や強度に悪影響を及ぼすこともある。

(2) 計量・練混ぜ

材料の計量は、計量装置の計量誤差の範囲内でなされているが、一般的には、ミキサ投入直前の骨材の表面水率・粒度分布などの情報は把握できていないため、単位水量の変動につながり、信頼性の低下を招くおそれがある。

練混ぜに関しては、生コンクリートの均一性をリアルタイムで評価できる指標とその計測方法が確立されておらず、練混ぜ時間が生コンクリート出荷量を左右するため、品質確保よりも利益が優先される場合などには、問題が生じる

可能性が高い。

(3) 運 搬

生コンクリート工場から建設現場までの生コンクリート運搬中に生じる主要な問題は、スランプの低下および空気量の変化であり、スランプの低下はコールドジョイントやジャンカなどの施工欠陥の発生につながり、空気量の減少は凍結融解抵抗性の低下につながる。これらの問題を引き起こす原因としては、気温の変化、交通渋滞や建設現場での待機に起因する運搬時間の変化などが挙げられる。

(4) 品質保証のあり方

生コンクリートの製造に関する一連の作業は、JIS A 5308 およびその審査事項に規定されており、製造者がこれを遵守することで生コンクリートの品質を保証する仕組みになっている。しかし、材料の受入検査、工程検査及び製品検査は、抜き取り検査であるため、不良品が検査対象とならなかった場合には検査で発見できず、不具合が発生することになる。現在、生コンクリート工場で生産されるコンクリートの品質保証を目的として、国家・団体組織・企業の各レベルにおいて、下記の品質保証システムが構築されているが、規格自体の陳腐化、検査員・監査員の知識不足や中立性に対する疑義、工場の技術力不足などが相まって、信頼できる品質保証システムが構築されているとは決して言えない。

a. JIS による品質保証

- ・ JIS A 5308 および審査事項
- ・ 公示検査及び立入り検査

b. 生コンクリート業界による品質保証

- ・ 全国統一品質管理監査
- ・ 各県工業組合による品質管理監査

c. 生コンクリート工場による品質保証

- ・ 社内規格による製造工程全般の保証
- ・ 工程検査 / 製品検査

3.3 高信頼性コンクリート供給に向けての提案 信頼性の高いコンクリート製造システムであ

ると認識されるためには、受注通りのコンクリートを正確に製造できるシステムが構築されるだけでなく、施工者への技術提案ができるまでに技術力アップが図られることが肝要である。また、信頼性の高いコンクリートを製造し供給するために、生コンクリート業界が今後真剣に取り組むべき課題として、下記の5項目が挙げられる。

(1) 生コンクリートの発注方法

製造者と施工者の技術レベルに応じた生コンクリートの発注・協議方法を、表 - 1 に提案する。

表 - 1 生コンクリートの発注・協議のあり方

		生コン発注者	
		技術力あり	技術力なし
生 コ ン 製 造 者	技術力 あり	問題なし	事前協議において、製造者が施工にまで踏み込んで技術提案
	技術力 なし	発注者の要求品質を信頼して、要求通りの生コンクリートを製造	コンストラクションマネージャーのような存在が必要

(2) 材料品質・環境条件とコンクリート品質の 関係のデータベース化

材料の品質変動や環境条件の変化が生じた場合でも、目的とする品質・性能を有するコンクリートを正確に製造できるように、材料受入・計量・練混ぜ・運搬の各段階で材料・環境情報やコンクリートの品質・性能を自動的に計測し、リアルタイムで各製造工程に伝達し、データベースに基づいて自動的に配合・製造修正がなされるようなシステムの構築が必要である。

(3) 資格者の有効活用

生コンクリートの製造に関する資格取得を奨励し、資格所有者を工場に常駐させることが重要である。

(4) 生コンクリート工場データの情報公開

各生コンクリート工場では、過去の出荷実績、製造設備などに関する情報を保管するとともに、それらの情報をコンクリート技術に関するデータなどとともに積極的に公開することが望まれ

る。

(5) 品質保証体制の見直し

現行の中途半端な品質保証体系から脱却し、下記のような品質保証システムを構築することが望まれる。

a. JIS 制度の強化

経済産業省の管理強化(JIS 表示許可工場の限定) による不良生コンクリートの発生抑止

b. 完全なる個別契約

責任範囲を明確化した上での当事者間の文書契約実施と保険・補償制度の整備

4 . 高信頼性施工システム

4.1 施工に要求される性能と基本

コンクリート工事のフロー（運搬、打込み、締固め、養生、仕上げ、養生、打継ぎ、型枠工事、鉄筋工事）の各段階での要求性能を明確にし、要求に応じて適切な施工方法を取り入れた計画を立案することが必要である。

土木学会や建築学会で示される標準は、あくまでも標準的な施工方法であり、本来は環境条件や立地条件から、現場に適切な施工計画が存在する。目標とするコンクリート構造物を造るための施工計画は幾通りもあり、技術者は能力に応じてこれを立案しなければならない。しかし、現状の施工においては、あまりにも標準的な施工方法にこだわっているように思われる。変更を求められる技術者の能力と変更計画を評価できる技術者の能力の向上が求められる。

4.2 施工の起因する不具合

施工のフローの中で、様々な不具合が生じるが、原因を追求すると、施工の原則に反する行為を行った場合が多い。原則に反することになった理由としては、意図的に不適切な計画を立案した場合と、意図しないで結果として不具合を生じてしまった場合があり、前者の場合は、適切な計画を立案することにより不具合要因を取り去ることができるが、後者の場合は計画を

立案する技量の問題である。

施工上の不具合は、往々にして予期していない現場の状況において生じ、危機管理状態が甘いと対応できずに不具合を生じることになる。意図する場合も意図しない場合も、計画の甘さが原因である場合が多い。

例えば、施工に起因する不具合には、表 - 2 に示す各種のものがああり、これらが生じるのも現場の予想以上の危機が起因する。

余裕のある計画は、コストに跳ね返るため、必要以上の余裕を持たせたくないのは当然であるが、不具合のできない適切な余裕が必要である。

表 - 2 施工時の不具合と対策

施工段階	不具合の種類	対 策
運 搬	ジャンカ	適切なスランプ 連続的な生コン供給
打込み	未充てん コールドジョイント	適切な打込み速度 適切な打回し計画
締固め	空洞 強度不足	万遍ない締固め計画 十分な締固め
仕上げ	表面剥離 沈下ひび割れ	適切なタイミング 適切なこて仕上げ方法
養 生	強度不足 耐久性の低下	必要な湿潤養生期間 適切な温度制御
打継ぎ	漏水 鉄筋の腐食	グリーンカット処理 継目施工前の処理
型枠工事	出来形不良	適切なセパレータ配置
鉄筋工事	かぶり不足	適切なスペーサ配置

4.3 施工の現状と課題

現状のコンクリート工事は、仕様が定められていることが多く、使用するレディーミクストコンクリートの種類、施工方法の多くは仕様書に定められ、生産現場ではほとんど変更の余地はない。施工者側の技術者が不具合の発生を予測して、これを変更するように求めることはあるが、多くの場合、施工計画を変更するのに相当な労力が必要となり、かつ責任が変更を求めた施工者側に委ねられる。また、新技術を用いることにより合理的な施工を行うには、受注工事金額の削減を求められかつ責任を背負わされることが多い。

このような現状では、合理的な施工を行うどころか、現場に不適合な設計であっても、その

まま施工を行って、不具合を生じさせることも多くなる。施工者の責任とインセンティブ、発注者の責任の範疇を明確にするシステムの構築が必要である。

4.4 高信頼性施工のための提案

現状の施工システムの課題を解決するには、責任を明確にするためのいくつかの新しいシステムを採用する必要がある。

(1) 資格者の義務付け

コンクリートの施工に関する資格として、現在、表 - 3 に示す資格制度がある。これらの資格は、一定の評価はされているが、明確な責任が示されていない。そこで、施工時においては資格者の責任のもとに工事が行われることを義務付け、不具合に対する責任を明確にすることを提案する。これにより、資格者のインセンティブが必要となり、また不具合に対するペナルティーが科せられることになる。なお、責任の取り方は、個人とは限らず、資格者の責任は企業内で判断することになる。

表 - 3 施工に関連する資格

施工段階	資格の種類	認定機関
運搬	ポンプ圧送技能士	厚生労働省
打込み 締固め 養生 打継ぎ 仕上げ 型枠工事	技術士	文部科学省
	土木学会技術者資格	(社)土木学会
	コンクリート技士	(社)コンクリート工学協会
	コンクリート主任技士	
	一級土木施工管理技士 二級土木施工管理技士 一級建築施工管理技士 二級建築施工管理技士	国土交通省
鉄筋工事	圧接管理技士	(社)日本圧接協会
	プレストレストコンクリート技士	(社)プレストレストコンクリート技術協会

(2) 企業の格付け

資格者の質と量は企業の格付けになる。ペナルティーの公表により、質が評価され、企業は個人の資格を尊重することになる。格付けを行う機関も必要になるが、国土交通省などで工事の成績を付けている制度を公平に扱える機関が公表すれば、格付けを行うことはすぐにでも可能である。

(3) 情報の公開

個人の資格、業務の成績による資格のヒエラルキー制度の構築、ペナルティー制度、個人の資格の累積による企業の格付け制度の構築、そしてこれらの公平な評価と情報の公開が必要である。公平な評価をする機関の設立を望む。

5. 性能保証のための検査のあり方

5.1 検査の目的

一般的な用語としての「検査」は、「基準に照らしてしらべあらためること」であり、「検査」そのものには品質を向上させようという意味は含まれていない。しかし、近年のコンクリート構造物の信頼性に懸念を投げかけるような現象をみると、直接的に問題を防止する手段として「検査」の持つ重要性があらためて指摘されている。すなわち、建設分野では一般には検査は、発注者あるいはその代行者が製品や構造物を受け取る際、それらの品質が「判定基準に適合しているか否かを判定する行為」とみなされていて、適切な検査が行われている限りは、設計で予定した性能を有する構造物が築造できると認識されているためである(図 - 3)。

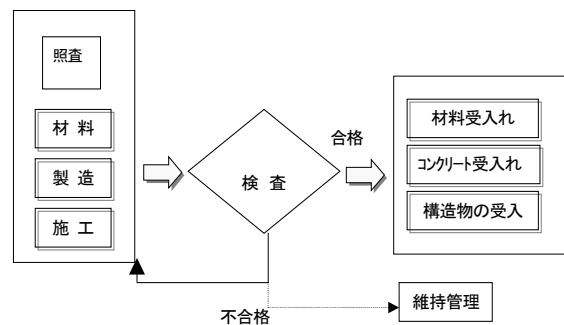


図 - 3 検査の位置づけ

5.2 検査の現状と問題点

検査行為が行われているにもかかわらず、なぜコンクリートの問題が生じるのであろうか。この理由は単純ではないが、次のような要素が考えられる。

(1) 検査項目の不適合

本来、検査されるべき性能項目に関する検査

がなされていない。例えば、耐久性を確保する上で重要なコンクリートの水セメント比や、竣工時の鉄筋のかぶりやが検査されることは、これまで少なかった。

(2) 検査技術の未成熟

検査技術自体が未熟である。例えば、上記のW/C やかぶりは、その検査技術に関する研究が盛んに行われているものの、現場で実務的に使えるものがほとんどない。さらに、締固めや養生などコンクリートの品質確保に欠くことのできない工程に関して、定量的な評価が難しいと言った問題もある。

(3) 検査システム

検査システムが画一化している。例えば、構造形式や設置条件、施工条件が異なり、本来、検査のポイントとなる項目が異なるにもかかわらず、「標準」の検査方法が適用されている。これに関連することとして、サンプリングや検査時期、検査頻度が不適切な場合もある。

(4) 不合格の場合の対応

不合格の場合の対応が明確になっていない。本来、確率的には不合格になる場合もあり得、その場合には、性能規定的に対策を講じるべきである。しかし、「不合格はあってはならない」、「不合格の場合は取り壊し」しかないと言う建前では、不合格と判定しづらいという状況を作ることになる。

(5) その他

そのほかにも、関係者が検査の意味を的確に把握していなかったり、意義を感じていないため、形式化してしまっている場合や、あるいは、極端な場合にはごまかしなどもある。

5.3 検査システムの改善への提案

以上のような状況を打開するために検討した内容を以下に示す。

(1) 検査対象および検査項目

a) 検査項目の最適化

建造物の種類や規模に応じて検査対象や検査項目を適宜選択し、検査体系の中に組み込むこ

とができるようなフレキシブルな検査体系を構築する必要がある。建造物の要求性能のチェックで、重要な項目に対しては、頻度を多くしたり、あるいは精度の高い検査方法を導入するなどして、検査結果の信頼性が向上するようにする。

b) 検査計画の必要性

建造物の設計を受けて、施工計画を策定した段階で、建造物の要求性能を反映した検査項目（検査方法）を選定し、それに基づいた適切な検査計画を立案することが望ましい（図 - 4）。

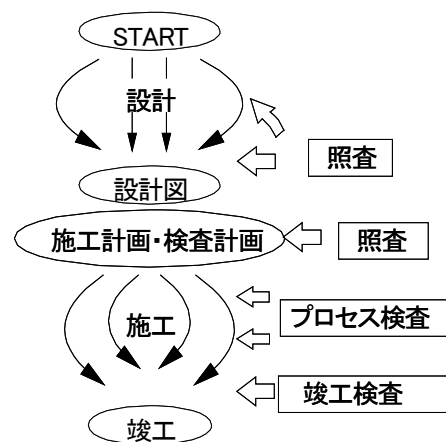


図 - 4 検査計画と検査の体系

c) 耐久性の検査

検査項目の中に少なくとも単位水量や水セメント比、かぶりを付け加える。検査結果は、竣工時の合否だけでなく、建造物の維持管理にも活用することを考慮すべきである。

d) 検査項目と検査方法

検査項目は試験が可能なものを取り上げるが、建造物の性能と検査項目の関係を明確にしておく必要がある。逆に、検査項目を明確にすることにより、試験技術の開発を促すことも必要である。

(2) 検査時期および検査頻度

a) 生コンの受入れ検査

生コンの受け入れ検査をどの時点で行うかは、常に議論になる。建造物の性能の観点からの検討が必要である。

b) 検査頻度の低減

検査は費用を要する。コンクリートの製造や施工の信頼性が、何らかの方法で担保できるのであれば、検査頻度の低減も検討に値する。例えば、適マーク取得の生コン工場、ISO9000s取得の施工者等では検査頻度の低減や、書類での検査が考えられる。また、長期にわたる施工では、良好な検査結果が続けば、頻度を低減することも必要である。

c) 抜き打ち検査

過去の事例から抜き打ち検査の実施あるいは予告により、現場の緊張感が高まることは明らかである。常態化すると効果がなくなる可能性もあるが、通常の検査との組み合わせは検討に値する。

d) モニタリング検査

種々のモニタリング技術が進みつつある。構造物の維持管理のためのモニタリングを、施工中に検査にも使うことも可能である。

(3) 検査方法および判定基準

a) コンクリートの施工の定量化と検査

施工の検査は「施工計画書どおり」であることを「目視」で判定する場合が多い。施工の検査の客観性欠如を改善するのは、現時点ではなかなか難しい。このことは、施工の定量化が困難であるためであり、今後の研究が待たれる。

b) 非破壊検査法の採用

近年、研究・開発されつつある数多くの非破壊検査方法を、構造物の要求性能やその重要度に応じて積極的に導入していき、精度向上を図ったり、使いこなして行く必要がある。反発度検査など利用可能なものを、とりあえず重要度の高い構造物から順次適用していくことも一つの方法である。

c) 検査結果が不合格となった場合の対応

不合格になることがあることを前提に、誰が責任を持って対応するか、また、どのような体制で対応するかを、あらかじめ検討しておく。再発防止と構造物の性能確保が第一であることを認識する。

(4) 検査体制

検査体制についても、画一的に考えるのではなく、第三者機関による検査をはじめとして、状況に応じて柔軟に対応できるよう、メニューをそろえておくことも必要である。

6. おわりに

昨今のコンクリート構造物の早期劣化の現状を見るに、施工者のモラルも問題だけでなく、施工システム自体を見直すことが必要と考えられる。この研究委員会では、コンクリートの製造から施工の各段階で生じ得る不具合の原因を技術面だけでなく、システムとして見直し、如何にすれば信頼性の高いコンクリート構造物が提供できるかを検討した。現状の仕様設計から性能設計に移行しつつあるなか、建設工事の受・発注システムから施工者の資格の活用などを提案した。この報告が、何らかの参考になり、高信頼性コンクリート施工システムとして確立されることを望む次第である。

最後に、この委員会では多くの皆様の参考意見を頂き、また、生産現場の見学をさせていただきました。さらに、報告書をまとめるにあたり、多くの文献を参考にさせていただきました。紙面を借りて深謝致します。

参考文献

- 1) 土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言、建設省、運輸省、農林水産省、2000.3
- 2) 建設工事受注動態統計調査
- 3) 発注者責任を果たすための具体的施策のあり方(第一次とりまとめ)(案)、発注者責任研究懇談会、平成12年
- 4) 全国生コンクリート工業組合連合会：生コン工場品質管理ガイドブック、第4次改訂版、平成11年