

土木構造物を対象としたコンクリートの品質確保に向けた技術開発

近松 竜一・入矢 桂史郎

耐久なコンクリート構造物を構築するには、コンクリートの製造から、打込み、養生などのそれぞれの施工段階で適切に品質管理を行う必要がある。本報では、土木用コンクリート構造物の品質を確保するための技術開発動向を整理するとともに、最近の技術開発事例として、フレッシュコンクリートの単位水量の管理および測定技術、初期欠陥の発生危険度を予測し、施工計画を照査できる施工ナビゲーションシステムについて概説する。

キーワード：コンクリート、品質管理、単位水量、初期欠陥、施工計画

1. はじめに

耐久なコンクリート構造物を構築するには、適切な材料を使用して所要の品質を有するコンクリートの配合設計を行い、コンクリートの製造から、運搬、打込み、締固め、養生などのそれぞれの工種毎に適切に品質管理を実施し、構造体コンクリートの品質を確保することが重要である。

土木構造物の場合、その立地や気象などの環境条件は様々で、水中下や逆打ちなど施工条件が特殊な場合も多い。また、性能規定を前提とした構造物の設計施工においては、施工者側の裁量により施工の自由度が高まる反面、構造物の品質に対する責任も大きくなり、品質の確保が技術の要となる。

本報は、土木構造物を対象としたコンクリートの品質確保に向けた技術開発の動向および具体事例の概要を紹介するものである。

2. 品質確保のための技術開発の動向

土木構造物を対象としたコンクリートの材料および施工分野の技術開発は、大まかに3つのカテゴリーに分類することができる。

1つ目は、新たな機能性を付加したコンクリート材料の技術開発である。水中不分離性コンクリート、地下連続壁用コンクリート、逆打ち用コンクリート、高流動コンクリートなど、特殊な施工条件においても所要の品質を確保するために、新材料を用いた配合設計や施工技術が確立され、実用化されている。

2つ目は、コンクリート構造物の品質向上を目的とした施工技術の開発である。土木構造物はその大半がマスコンクリートであり、施工時にセメントの水和熱に起因した温度ひび割れが生じやすい。この温度ひび割れの対策として、コンクリートの低発熱化および低収縮化、液体窒素によるプレクーリング、などの技術が開発されている。

また、構造物の耐久性向上や施工の合理化の観点からは透水性を付与した特殊な型枠や高い耐久性を有する埋設型枠なども開発されている。

3つ目は、施工計画に対する事前照査やコンクリート材料の品質管理や施工管理、さらには耐久性の予測を目的とした技術開発である。

以上のように、特殊なコンクリートやその施工法の技術開発が行なわれ、各種のプロジェクトにもその成果が活用されている。一方、最近では、コンクリートの品質管理やコンクリート構造物の信頼性を向上させる技術開発に重点が置かれている。

次章以降では、品質を確保するために取組みとして、最近の技術開発の事例を紹介する。

3. 単位水量の測定および計量技術

コンクリート中の水量は、強度や耐久性を左右する要因で、特に重点的に管理する必要がある¹⁾。

2003年4月に発生した生コンへの加水問題を契機として、同年10月に国土交通省から「レディーミクスドコンクリートの品質確保について」の通達が出され、フレッシュコンクリートの単位水量を荷卸し時に

検査するようになった。最近では数多くの現場で単位水量検査が行われている。

一方、品質の変動が少ないコンクリートを製造するには水量を精度良く計量することが必須である。

そのためには、骨材の湿潤状態を迅速に把握し、表面水の量を水の計量値に反映させる必要がある。

本章では、単位水量の管理技術として、高精度エアメータによる単位水量の測定法および水浸式骨材計量システムによる水量管理技術について概説する。

(1) 高精度エアメータによる単位水量測定

フレッシュコンクリートの単位水量の測定法として、約 10 種類の方法が実用化されている。例えば、コンクリートの各材料の配合比をもとに質量や容積の差を利用して水量を算定する方法、コンクリート中の水を蒸発させて測定する方法、コンクリートに試薬を添加し、水溶液の濃度変化から水量を算定する方法、中性子線、静電容量など水量と相関がある指標から間接的に水量を算定する方法などである。

これらの方法は、対象試料の種類や量、測定時間、精度などが異なる。このため、それぞれの方法の特徴を十分に理解して使用する必要がある。

高精度エアメータを用いた単位水量の測定方法²⁾(以下、エアメータ法と呼称)は、コンクリートの空気量測定に併せて単位水量を測定する方法である。測定時間は約 5 分と短く、約 ± 5 kg/m³ の精度で測定でき、公共工事を対象に約 25% のシェアがある。

エアメータ法では、コンクリートの単位容積質量の設定値と実測値の差を利用して単位水量を求める。各材料の計量値が設定値(示方配合に示される値)と異なる場合、単位容積質量が変化する。ただし、この単位容積質量は空気量によっても変化するので、高精度なエアメータで空気量を正確に測定し、その影響を補正して単位水量を算定する。

単位水量測定装置の構成を写真-1に示す。この装置は、高精度エアメータ、台はかり、空気量および単位容積質量の演算ユニットから構成されている。各測定データは、演算ユニットに送信され、ディスプレイに表示される。高精度エアメータは、最小分解能が 0.1 kPa の圧力計が内蔵されており、理論上は ± 0.05% の精度で空気量を測定することができる。

各材料を正確に計量して練り混ぜた 2 種類のコンクリートを対象に本装置による単位水量の測定精度を検証した。コンクリートの配合を表-1、単位水量の測定結果を図-1に示す。

単位水量の測定値の平均は、計画値とほぼ一致する



写真-1 単位水量測定装置

表-1 コンクリートの配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							設定単位容積質量 (kg/m ³)
			W	C	LS	S	G	WR	SP	
普通	55.0	43.0	187	340	-	747	1000	0.85	-	2279
高流動	33.0	47.0	175	530	50	726	836	-	5.51	2324

*LS: 石灰石微粉末, WR: AE減水剤(標準型), SP: 高性能AE減水剤

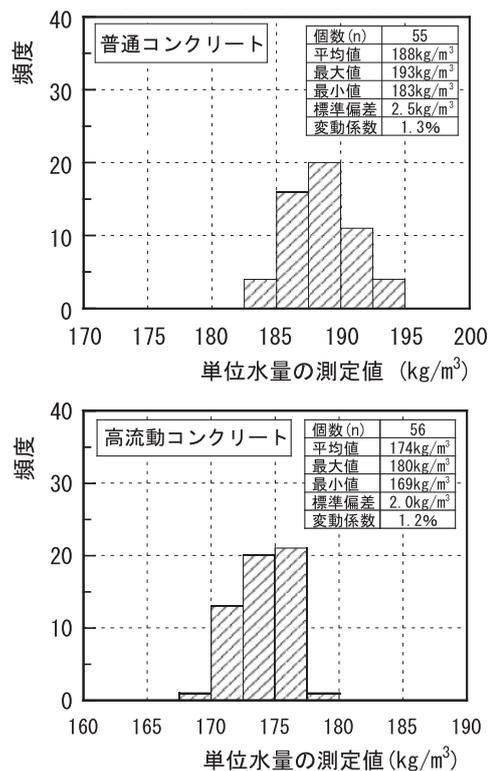


図-1 単位水量の測定結果

結果となっている。測定値は、装置の器械誤差やサンプリング誤差も含んでいるが、高い精度で単位水量を測定できることがわかる。

エアメータ法は、空気量試験に併行して迅速に単位水量を測定できる実用的な方法であり、品質確保の観点からは、荷卸し検査時の標準的な単位水量測定方法として活用が推奨される。

(2) 水浸式骨材計量による水量管理技術

コンクリートの配合設計において、骨材の単位量は表面乾燥飽水状態として取り扱われる。しかし、実際の製造では、骨材は湿潤状態のまま計量し、骨材に含まれる表面水の量を練混ぜ水の計量値から差し引いて計量する方法が用いられている。

この骨材の表面水は、貯蔵ビンに積み上げられた上下で異なったり、供給されるロット毎に変動したりする。そこで、この骨材の表面水が変化しても水と骨材を正確に計量できる方法として、水浸式骨材計量システムを開発した³⁾。この水浸式骨材計量システムの基本原理および現場プラントへの適用事例について、以下に紹介する。

水浸式骨材計量は、骨材を完全に水に浸して飽和含水状態で容積と質量を計量し、両者の密度差を利用してそれぞれの質量を算出する方法である。JIS A 1111「細骨材の表面水率試験方法」と同じ原理にもとづくもので、併せて骨材の表面水率を算出できる。水浸式計量を細骨材に適用した場合の概念と算定式を図-2に示す。

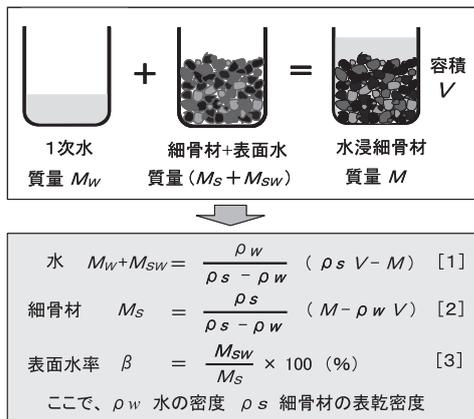


図-2 水浸式骨材計量の概念と算定式

水浸式骨材計量システムは、これまでに2件のダム工事、3件のトンネル工事の現場バッチャープラント、1件のセグメント製品工場に適用している。これらのうち、本報では山岳トンネルの吹付けコンクリートの製造プラントへの適用事例を紹介する。

プラントの各種計量設備の構成を図-3に示す。水浸計量する骨材は、貯蔵ビンから骨材をベルトコンベアで引き出して計量器に投入する途中で分取装置によりサンプリングし、振動フィーダを介して水浸計量器に投入する。

水浸用計量水を投入後、細骨材、粗骨材の順に投入し、水と骨材の混合物の質量と体積を累加で計量する。水浸計量器の他は、一般的な吹付けコンクリート用の

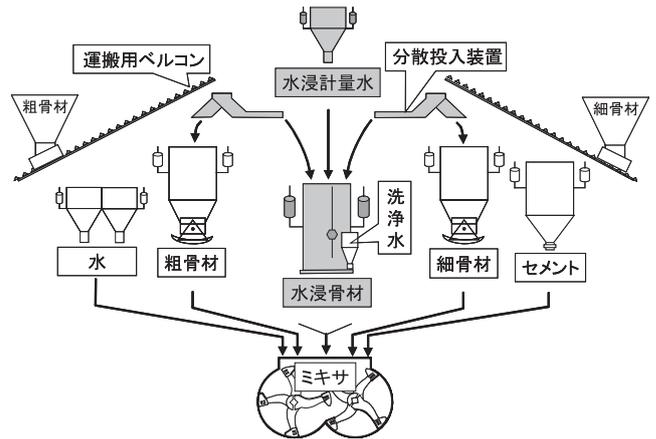


図-3 吹付けコン用水浸式骨材計量設備

製造設備と同様である。

水浸計量により算定した表面水率の結果を図-4に示す。細骨材の表面水率は約6～10%、粗骨材の場合には約0.5～3%の範囲を推移しているが、水浸式計量による算定値とJISによる測定値の相違は±0.5%以内であった。水浸用骨材の量は全骨材の3%程度であるが、骨材をベルトコンベア上に薄層に引き出して縮分することで、少量でも代表的な試料をサンプリングできることが確認されている。

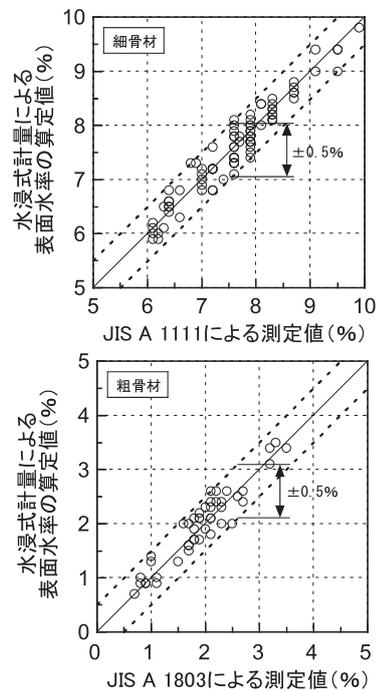
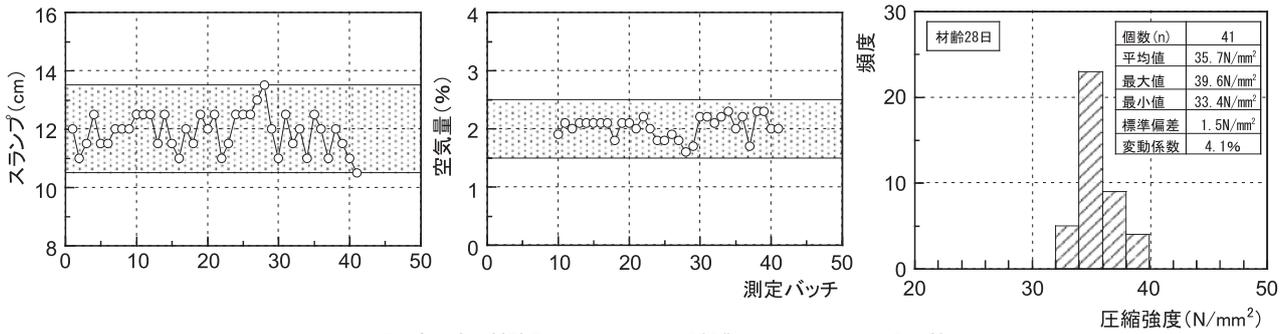


図-4 骨材の表面水率算定結果

水浸式計量を適用して製造したベースコンクリートの品質試験結果の一例を図-5に示す。スランプは目標値12 cm に対し±1.5 cm、空気量は目標値2% に対し±0.5%の変動であった。また、圧縮強度も変動



図一五 水浸式骨材計量システムを用いて製造したコンクリートの品質

係数は4%程度とばらつきが小さい。細骨材および粗骨材の一部を水浸式で計量し、表面水量をバッチ毎に補正することで、品質の安定化が図られている。

4. コンクリートの施工計画照査システム

コンクリート工事の初期欠陥のうち、ジャンカ、コールドジョイント、かぶり不足、ひび割れが全体の約65%を占める⁴⁾。昔から「段取り八分」といわれるように施工の良否は計画によるところが大きい。初期欠陥を未然に防ぐには、規準類を遵守して計画を立案するだけでなく、体系的な照査が必要である。そこで、長年の実績に培われた経験則による施工ノウハウを集積し、初期欠陥の発生危険度を予測し、その結果にもとづいて計画を修正できる「施工ナビゲーションシステム」(以下、施工ナビと呼称)を開発した⁵⁾。

(1) 施工ナビゲーションシステムの概要

施工計画照査フローを図一6に示す。

入力データとして、構造物の条件、コンクリートの配合、運搬、ポンプ圧送、打込みおよび養生の諸条件を入力する。これらのデータをもとに初期欠陥の発生危険度をA～Cの3段階で評価する。A判定は初期

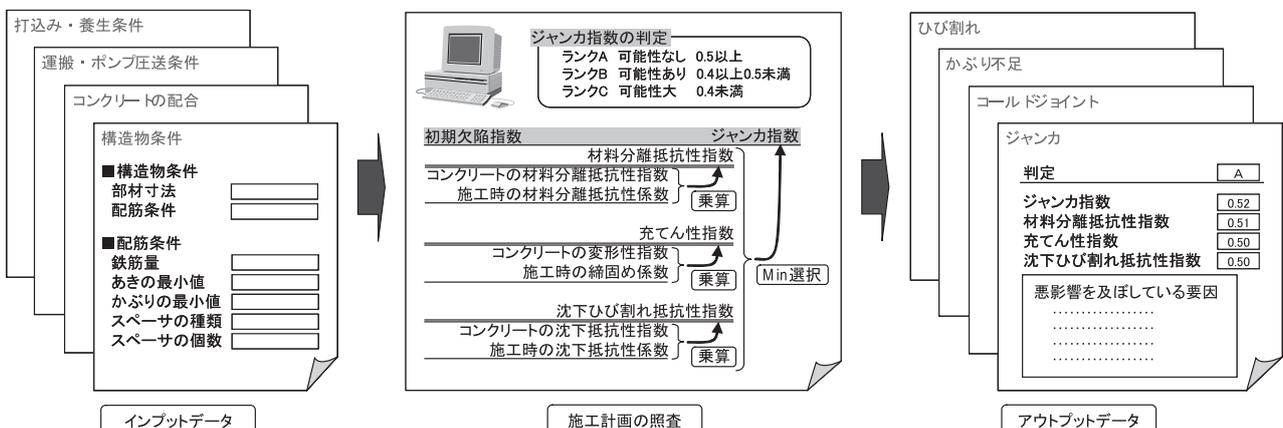
欠陥がほとんど生じない、B判定は初期欠陥の可能性があり、計画を見直すことが望ましい、C判定は既往の実績では初期欠陥が生じる可能性が極めて大きい。

初期欠陥は、単独の要因ではなく、様々な施工要因が複合的に作用して発生することが多い。本システムでは、入力データを相互に関連付け、初期欠陥の発生危険度を照査している。例えば、ジャンカの発生原因としては、1) 材料分離により特定の箇所に粗骨材のみが集積した場合、2) 締固めが不十分な場合、3) プリーディングにより、セパレータや鉄筋の下端に空隙が生じる場合、などがある。そのため、これらの発生要因別に、1) 材料分離抵抗性指数、2) 充てん性指数、および3) 沈下ひび割れ抵抗性抵抗性指数を算定し、これらの指数からジャンカの発生危険度を評価している。

(2) システムによる施工計画の照査事例

壁状構造物にコンクリートを打ち込んだ場合のジャンカの発生について照査した事例を示す。

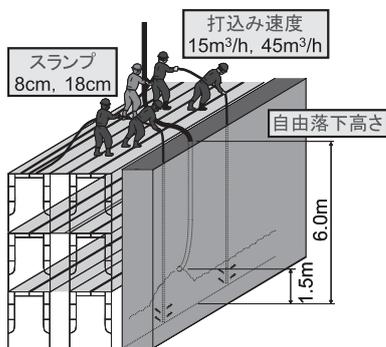
打設計画の概要を表一2に示す。また、コンクリート施工の概要図を図一7に示す。厚さ0.8m、高さ6mの壁を、ポンプ車1台で打ち込み、棒状パイプレータ2台により締め固める計画とした。



図一六 コンクリート工事の施工計画照査システムのフロー

表一 2 コンクリートの打設計画の概要

構造物 条件	部材の種類	壁状構造物
	部材寸法	厚さ0.8m×長さ30m×高さ6m
	鉄筋量 (kg/m ³)	200
	鉄筋の最小あき (cm)	10
コンクリート の配合	呼び強度 (N/mm ²)	24
	水セメント比 (%)	52.0
	単位水量 (kg/m ³)	160
	単位セメント量 (kg/m ³)	308
環境条件	打込み時期	夏期
ポンプ 圧送	ポンプ車の台数 (台)	1
	圧送方法	ブーム+フレキシブルホース
	配管径 (inch)	5
打込み 条件	パイプレータ本数 (本)	2
	打込み要員 (人)	4
	打込み量 (m ³)	144



図一 7 コンクリートの打込みのイメージ図

ケース 1 は、標準的な施工方法を想定した場合である。このケースを基準に、コンクリートの自由落下高さを大きくした場合（ケース 2）、打込み速度を大きくした場合（ケース 3）、スランプを大きくした場合（ケース 4）について照査した。

ジャンカ発生危険度の判定結果を表一 3 に示す。

表一 3 各施工ケースとジャンカ発生危険度

施工ケース		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
施工 配合 条件	自由落下高さ(m)	1.5	6.0	1.5	
	打込み速度(m ³ /h)	15		45	
	スランプ(cm)	8			18
照査 結果	材料分離抵抗性指数	0.52	0.48	0.52	0.42
	充てん性指数	0.51	0.51	0.48	0.52
	沈下ひび割れ抵抗性指数	0.50	0.50	0.38	0.37
	ジャンカ指数	0.50	0.48	0.38	0.37
ジャンカ発生危険度の判定		A	B	C	C

ケース 1 は A 判定で、標準的な施工方法を遵守すればジャンカが発生する可能性は小さい。一方、自由落下高さを大きくしたケース 2 は B 判定で、材料分離抵抗性指数が小さく、鉄筋にコンクリートが衝突し材料分離が生じる危険性が大きい。打込み速度を 3 倍に増大させたケース 3 は、充てん性指数が小さく、締固めが不足する懸念がある。ケース 4 は、充てん性指数はケース 3 より大きいですが、材料分離抵抗性指数が小さく、スランプを大きくすることで材料分離が生じやすいことが反映されている。また、打込み速度を増大させたケース 3 および 4 は、沈下ひび割れ抵抗性指数が 0.4 以下で沈下ひび割れが生じやすいと評価されている。

ジャンカは、材料分離や変形性の低下など、施工方法により様々な発生要因が考えられるが、本システムによりこれらの影響を適切に評価することができる。

JCMA

《参考文献》

- 1) 吉兼亨, 鈴木一雄, 辻本一志; 生コンクリート工場における単位水量管理の実態, コンクリート工学, Vol.42, No.12, pp.9-14, 2004.12
- 2) 近松竜一, 中村博之, 花田貴史, 高橋敏樹; エアメータを利用したフレッシュコンクリートの単位水量推定方法 (その 2), 大林組技術研究所報, No.65, pp.27-32, 2002.7
- 3) 近松竜一, 入矢桂史郎, 十河茂幸; 水浸式計量を用いたトンネル吹付け用ベースコンクリート製造システムの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1307-1312, 2006.7
- 4) 社団法人日本土木工業協会; コンクリートの充てん不良防止のための施策, p.2-3, 2008.2
- 5) 近松竜一, 川西貴士, 入矢桂史郎, 高橋敏樹; コンクリート工事の施工ナビゲーションシステムの開発, 大林組技術研究所報, No.69, 2005.12

【筆者紹介】



近松 竜一 (ちかまつ りゅういち)
 (株)大林組 技術研究所
 生産技術研究部
 主任研究員



入矢 桂史郎 (いりや けいしろう)
 (株)大林組 土木本部
 生産技術本部
 統括部長