

論文 電圧印加方式によるコンクリートの打上り高さ管理に関する研究

平田隆祥^{*1}・西崎丈能^{*2}・奥立 稔^{*3}・十河茂幸^{*4}

要旨：性能照査型の設計方法によると、コンクリート構造物に要求される性能には、耐震性能や耐久性能などがある¹⁾。これらの性能を満足するために、様々な施工上の要求条件があり、各条件に対する品質保証の実施が求められている²⁾。

本研究では、コンクリート施工の一項目である、打込みや充填状態について、施工品質を客観的に保証する方法の検討を行った。その一例として、電圧印加方式³⁾による打込み・充填管理システムの検討を行い、PCLNGタンクの施工に適用した結果、本システムが品質保証方法として有効であることを明らかにした。

キーワード：情報化施工、打込み、充填、品質保証、高流動コンクリート、センサ

1. はじめに

性能規定により設計されたコンクリート構造物の品質保証を行うためには、その構造物の個々の性能が、要求性能を満たしている品質であることを証明する必要がある。そこで、フレッシュコンクリートや鋼材などの使用材料、それらを用いた施工状態、さらに硬化後の構造体といったコンクリート構造物の建設の各段階で品質保証が求められる。即ち、構造物を構成する個々の性能が明らかとなり、初めて構造物全体に対する要求品質を保証することが可能になると考えられる。

本研究では、コンクリートの施工欠陥となるコーールドジョイントや空洞の発生が無いことを、第三者に対して客観的に、かつ、打込みと同時に証明することを目的とし、その計測方法について検討を行った。筆者らは、打込み状況を瞬時に把握する方法として、自動計測とリアルタイム処理が可能な、電圧印加方式によるコンクリートの打込み・充填管理システムについて検討を行った。このシステムを、構造物の高品質化のために高強

度・高流動コンクリートが採用された PCLNG タンクの施工に適用した結果、この計測方法が打込み・充填状態を数値データで客観的に証明できるだけでなく、施工管理システムとしても有効であることが明らかとなった。

2. 従来の打込み・充填管理、検査方法

一般的に用いられている締固めを必要とするコンクリートの施工では、打込み管理方法として、単位時間当りのフレッシュコンクリートの打込み量の推移から、良好な打込みが行われていることを判断したり、充填管理方法として、計画打込み量に対する実測の打込み量から、その充填度を判断する方法が用いられている。さらに、締固めを担当している技術者が、目視によって局所的な打込み状況を観察し、その充填度を確認していた。しかし、これらの方法は、一回に多量のコンクリートを打ち込むような場合、技術者の目が隅々まで行き届かないことも多く、また、第三者が客観的に判断できないため、打込み完了後の施工状態

*1 (株)大林組技術研究所 土木第三研究室研究員 (正会員)

*2 大阪ガス(株)エンジニアリング部 土木建築技術チーム副課長 工修 (正会員)

*3 (株)大林組 本店土木工事長 工修 (正会員)

*4 (株)大林組技術研究所 土木第三研究室室長 工博 (正会員)

表－１ コンクリートの充填状況の計測方法

方 式	分 類	判定基準	計測内容
非接触方式	目視観察法	目 視	光透過型枠による目視観察
	光学的方法	映 像	ＣＣＤカメラ、ファイバースコープ等による観察
	赤外線法	熱映像	コンクリートの打込み前後の型枠の温度変化測定
	変位計測法	変 位 量	レーザー変位計、超音波変位計等による天端測定
接 触 方式	電気的方法	通 電	設置した電極の通電確認
		電気抵抗	高周波電源による電極間の抵抗測定
		静電容量	電極間に蓄積された静電容量の測定
		電 圧	電圧印加による電極間の残留電圧測定
	変位計測法	変 位 量	フロート、エンコーダ等による天端測定
	光学的方法	光	光センサーによる確認

の品質保証となっていなかった。一方、近年、自己充填性を有する高流動コンクリートが普及している。このコンクリートは人手に任される締固め作業を省略することができる特長があり、その性能から充填が困難な箇所への適用が増加している。そこで、このコンクリートの自己充填性能を用いた場合は、構造物に対する充填度を計測、検査して、施工品質を保証する必要性が増している。

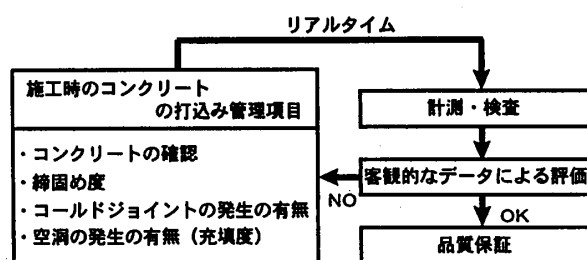
既往の研究・開発により、実用化されているコンクリートの充填状況を計測する方法を表－１に、コンクリートが硬化した後に充填状態を検査する方法を表－２に示す⁴⁾。各々特徴を有し、何れの方法でも計測や検査を行うことは可能となるが、合理的、経済的に計測が行え、第三者に対して客観的に、かつ、打込みと同時に施工品質を証明することは難しかった。

３．打込み・充填状態の品質保証方法

一般に、コンクリートが打ち込まれた後に、コンクリート内部の充填状態を知ることは非常に難しい。また、仮にコンクリート内部の欠陥が発見できても、その補修は困難である。従って、コンクリートの打込み・充填状態の品質保証は、基本的に打込みと同時に行うべきであると考えられる。そこで、その品質保証の方法は、図－１に示すよ

表－２ 硬化後に充填状態（空洞）を知る方法

種 類	分 類	計測内容	適用範囲
光学的 方法	目視観察法	表面状態の観察	現場コンクリートの表面部に接している空洞
	サーモグラフィ法	放射熱の熱映像による空洞の位置および形状の測定	現場コンクリートの表層部に近い空洞および塗装やタイル下面の空洞
電氣的 方法	レーダー法	電磁波の反射波による空洞の位置の測定	比較的部材厚の小さいコンクリート内部の空隙
	超音波法	超音波パルスの伝播時間による縦波の速度、反射波の検出、透過波の減衰状態による空洞の位置の測定	現場コンクリートの強度推定、内部空洞
音響学 的方法	打撃音法	打撃音による空洞の測定	現場コンクリートの表層部に近い空洞および塗装やタイル下面の空洞
	放射線方法	γ線、X線透過法	鉄筋の太さ、位置、コンクリート中の空洞の影像による測定
物理的 方法	コアサンプリング法	コンクリート内部からのサンプル採取による空洞各種物性の測定	ほとんどのコンクリート構造物に適用可能



図－１ 打込み・充填状態の品質保証方法

うに第三者にも判断できる客観的な方法で、かつ、施工と同時に行える方法である必要がある。

今回、適用を試みたPCLNGタンクの施工では、高流動コンクリートが採用されたため、図－１の締固め度の管理は必要としない。その他の項目は、既に実用化している電圧印加方式のコンクリート充填感知センサ^{5) 6) 7) 8)}を用いて充填確認を行えば、計測の要件は満たされる。しかし、このセンサは局所計測用であり、全般的な打込み状況を把握するためには、多点計測が必要となつて実施工での合理的な計測が難しかった。

一方、コンクリートの打上り高さを計測するセンサを用いれば、合理的に全般的な打込み状況を把握することが可能となる。

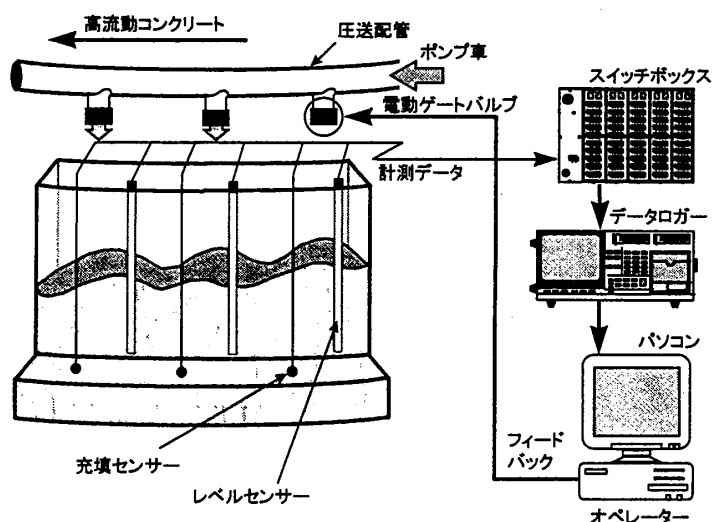


図-2 コンクリートの打込み・充填管理システム

しかし、既存品には、鉄筋が交錯し散水や振動等がある現場環境で、数メートルの高さ計測ができ、かつ、経済的に多点計測できる適当なセンサが無かった。

そこで、本研究では、汎用のデータロガーを用いて多点計測ができる特徴を持つ、電圧印加方式のコンクリート用レベルセンサを新たに開発し、図-2に示す品質保証を目的とした打込み・充填管理システムの検討を行った。

4. 電圧印加方式によるコンクリートの 打上り高さの測定原理

フレッシュコンクリート中には多数のイオンが存在しており、ここに低電圧の電極を挿入すると、電極間のコンクリートが充電される。このフレッシュコンクリートの充電のメカニズムは、一例として、図-3に示すような電氣的回路で説明できる。即ち、鉛直方向に長い電極を型枠内に設置し、フレッシュコンクリートが打ち込まれてゆくと、打上り高さの増大に伴い、ある抵抗を有した電気容量の小さいコンデンサが並列に形成されて増加し、その結果、電極間の静電容量が増加する。この静電容量の変化を利用すれば、図-4に示す計測回路を用いて、次に示す順序で打上り高さの計測が可能となる。

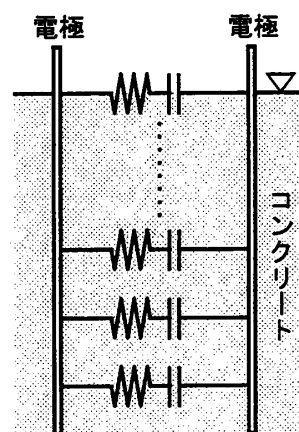


図-3 充電時の概念図

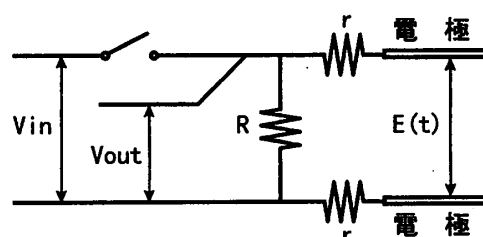


図-4 計測回路図

まず、①一定電圧を一定時間印加し、電極に電荷を与える。②電極間に電荷が蓄積し、充電されてコンデンサが形成される。③電極間に蓄積した電荷を放電し、計測時点で降下した電圧値の違いを打上り高さに換算して計測する。計測時の印加電圧と出力電圧の関係は、式(1)、式(2)で表せる。

$$V_{in} \approx E(t) \quad (1)$$

(但し、電極が十分に充電された場合)

$$V_{out} = E(t)/(R+2r) \times R \quad (2)$$

ここに V_{in} :印加電圧

V_{out} :出力電圧

$E(t)$:充電電圧(時間の関数)

R :固定抵抗 r :電極の抵抗

5. 電圧印加方式のコンクリート用 レベルセンサの実験結果

実験に使用した、電圧印加方式のコンクリート用レベルセンサの外観を図-5に示す。このレベルセンサの測定長は、実施工に即して4.5mとした。実験は、最初にレベルセンサを水平に設置し、

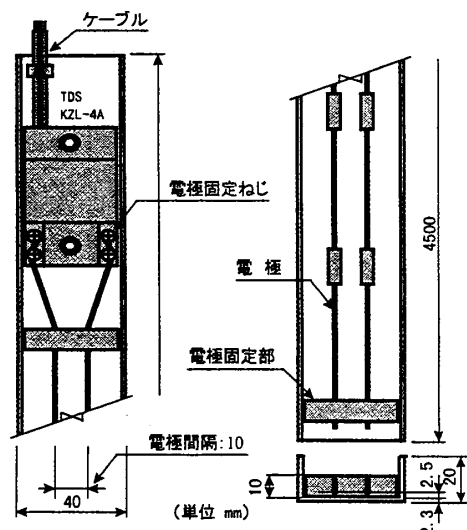


図-5 コンクリート用レベルセンサの外観

このレベルセンサの電極上に、水：セメント：細骨材を1：1：3の質量比で練り混ぜたモルタルを15分毎に下端側から10cmずつ増加させ、1時間当たり40cmの速度で、打上り高さが大きくなったと仮定して行った。

計測は次の方法で行った。まず、汎用のデータロガーの連続した2チャンネルを用い、最初のチャンネルで電極間を印加電圧2Vで充電した。充電方法は、20msec間印加後80msecのインターバルをおく方法で、1回の計測に付き印加を21回繰り返して行った。次に、別のチャンネルを用いて、電圧の印加が完了してから、180msec後に電極間の電圧を計測した。なお、電極は直径1mmの金属線を用い、電極の間隔を10mmとした。また、実験では、レベルセンサ間のバラツキを確認するため、5本を用いて計測を行った。

実験の結果、出力電圧値とモルタルが電極に接触した長さの関係は、図-6に示すようにほぼ比例関係に近い3次曲線で近似でき、5本の各センサ間のバラツキも小さかった。従って、この方法により、5m程度のコンクリートの打上り高さの推移を、計測できることが明らかとなった。

但し、このセンサは、計測原理が計測対象材料の充電特性に依存しているため、材料の種類が異なる場合は、予め校正曲線を求める必要がある。

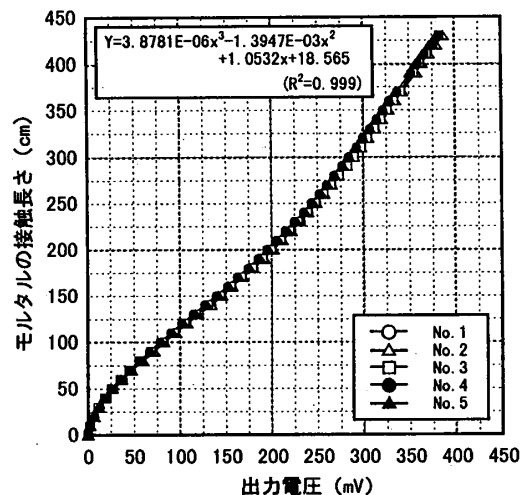


図-6 出力電圧とモルタルの接触長さ

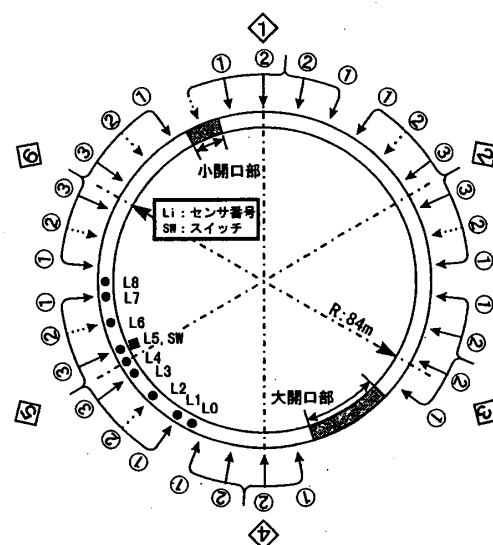


図-7 レベルセンサの設置位置 (第4ロット)

6. PCLNG タンク建設へのコンクリートの打込み・充填管理システムの適用結果

容量18万klのPCLNG地上式タンクの防液堤の施工に、コンクリート用レベルセンサを適用し、コンクリートの打込み・充填管理システムによる品質保証について検討を行った。この防液堤は、高さが約38m、内径が約84m、壁厚が80cmの円筒形であり、1回の打込み高さが約4.3mで、9ロットに分けてコンクリートの打込みを行う。計測を行ったのは全周の1/6、周長約45mで、図-7に示す位置にコンクリート用レベルセンサを7m程度の間隔で9本設置した。施工には、低熱ポルトランドセメントと膨張材を併用したスランプフロー65cm、設計基準強度60N/mm²の自己充填性を有する

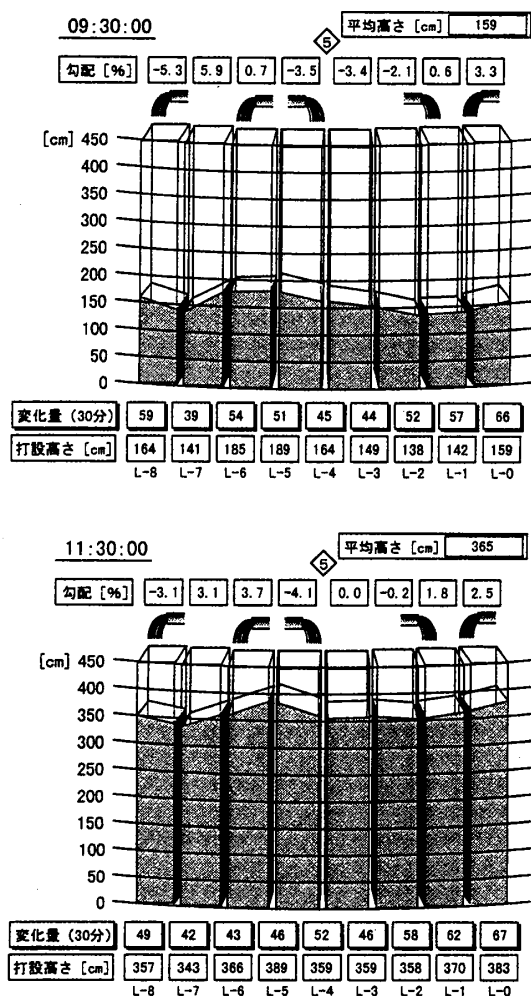


図-8 打上り高さのモニタリング例

高強度・高流動コンクリートが使用された。

コンクリートの打込み・充填管理システムによるモニタリング例を図-8に示す。この図は、施工状態のモニタ画面の一例として、第4ロットの施工における午前9時半の時点のコンクリートの打込み状態（上図）と、2時間後の11時半の時点のコンクリートの打込み状態（下図）の変化を示している。このモニタリングを行っている範囲には、図中に示すように5箇所のコンクリート投入口がある。このようなモニタリングを行うことにより、下記に示すようなコンクリートの施工管理を行うことができると考えられる。

(1) モニタ画像により、構造物への全般的なコンクリートの打込み状況を把握できる。さらに図-9に示すように、型枠内のコンクリートの平均打上り速度をリアルタイムに確認する事ができ、こ

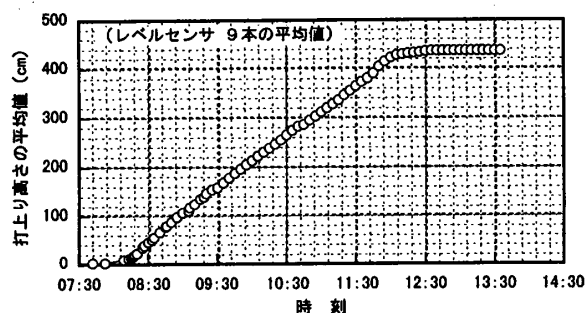


図-9 コンクリートの打上り高さの経時変化

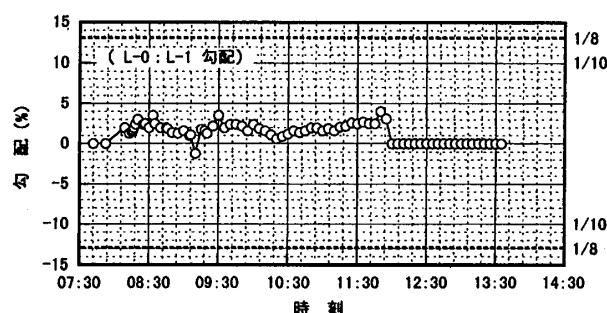


図-10 レベルセンサ間の勾配の表示例

の例の場合、平均打上り速度は約1m/hで、安定したコンクリートの打込みが出来たことを客観的に評価できる。

(2) ある打込み箇所が著しく速く打ち上がったたり、あるいは遅く打ち上がったたりした場合に生ずる、型枠の変形や偏荷重を回避するために、コンクリートの投入口に対して、開閉の指令を出すことができる。

(3) コンクリートの品質面では、図-8に示すように例えばある箇所の30分当たりの変化量を計測することにより、打上りが停止している箇所を発見できるため、コールドジョイントの発生の有無は直接確認できないものの、投入口の管理によりその発生を回避することが可能となる。

(4) それぞれの区間の流動勾配の変化を、図-10に示すように計測できるため、簡易的に打込み中の高流動コンクリートのスランプフローの程度を判断することが可能となる。また、高流動コンクリートは、流動距離が長くなると材料分離が生じ易いため、投入口の管理により、水平にコンクリートを打ち上げるように操作することができる。

以上のように、コンクリートの打込み・充填管理システムは、その客観的なデータにより、高流動コンクリートの打込み・充填状態の品質保証が可能であるとともに、コンクリートの施工管理方法としても有効である。

7. まとめ

性能規定により設計されたコンクリート構造物の品質保証を行うためには、構造物を構成する個々の性能を明らかとして、初めて構造物全体に求められる品質保証を行うことが可能になると考えられる。また、コンクリート構造物の建設では、施工の各段階で、様々な項目の品質保証が求められると考えられ、これらの項目の内、コンクリートの打込みや充填状態の施工品質を保証する方法は、第三者にも判断できる客観的な方法で、かつ、リアルタイムに計測できる方法である必要があると考えられる。

本研究では、上記計測要件を満たすため、汎用のデータロガーを用いて多点計測ができる特徴を持つ電圧印加方式のコンクリート用レベルセンサを新たに開発し、品質保証を目的とした打込み・充填管理システムの検討を行った結果、下記の知見が得られた。

- (1) 電圧印加方式のコンクリート用レベルセンサによる計測では、打上り高さを汎用のデータロガーを用いて多点計測することができ、5 m程度の高さの計測を1本のセンサで計測できることが明らかとなった。
- (2) 本研究で検討を行った電圧印加方式の打込み・充填管理システムによると、コンクリートの打込み状態や充填状態の施工品質を、数値データにより客観的に証明することができるだけでなく、リアルタイム計測により、現場施工管理システムとしても有効であることが明らかとなった。

今後、コンクリート構造物の性能の規定化により、建設の各段階で、構造物の個々の性能が満たされる品質である保証が求められて行くと考えられる。本研究は、その様な品質保証の一項目であ

り、さらに他の項目と併せて、全般的な品質保証システムを構築してゆく予定である。

参考文献

- 1) 前川宏一・宮本幸始：特集／仕様規定から性能規定へ／3. 設計法のあり方 土木構造設計における性能照査型基準の方向，コンクリート工学，Vol. 35, No. 11, pp. 14-18, 1997. 11
- 2) 松岡康訓：特集／仕様規定から性能規定へ／5. 実務者の立場から 土木施工の立場から，コンクリート工学，Vol. 35, No. 11, pp. 44-45, 1997. 11
- 3) 大山茂男・平田隆祥・末吉良敏・十河茂幸：電圧印加方式による高流動コンクリートの打上り高さの計測方法の検討，土木学会第52回年次学術講演会講演概要集V，pp. 836-837, 1997. 9
- 4) 十河茂幸・平田隆祥：コンクリートの充填状況検知方法のいろいろ／その種類と実施例，セメント・コンクリート，No. 604, pp. 26-34, 1997. 6
- 5) 平田隆祥・十河茂幸・宮城哲夫：印加電圧の残留値測定によるフレッシュコンクリートの感知方法について，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集V，pp. 418-419, 1995. 9
- 6) 大山茂男・平田隆祥・十河茂幸：印加電圧の残留値測定によるフレッシュコンクリートの充填モニタリング方法について，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集V，pp. 420-421, 1995. 9
- 7) 平田隆祥・十河茂幸：電圧印加方式によるコンクリートの充填感知に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 18, No. 1, pp. 69-74, 1996. 6
- 8) 神代泰道・中根 淳・平田隆祥・三浦律彦・青木 茂：地下連続壁コンクリートの充填状況のモニタリング手法に関する研究，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集VI，pp. 580-581, 1996. 9