

東京港連絡橋工事における施工管理支援システム

— 車 輛 運 行 管 理 支 援 シ ス テ ム —

Site Management System on Construction of Tokyo Port Bridge.

首都高速道路公団 小島雄治* 三井・五洋・白石JV 矢野正和**
○三井建設 林 寿夫*** 三井建設 中川良文***
三井建設 桜井 浩***

By Yuji Kojima, Masakazu Yano,

Toshio Hayashi, Yoshifumi Nakagawa, Hiroshi Sakurai

東京港連絡橋は、首都高速12号線のうち東京港第一航路を横断する吊橋であり、現在その基礎構造部分を建設中である。施工にあたっては、基礎構造部分が大規模なニューマチックケーソンであること、支持層が軟岩であること、すべて海上施工となることなどからきめ細かな施工管理が要求されており、さまざまな支援システムが開発・導入されている。

このうち車輛運行管理支援システムは、ケーソンへのコンクリート打設作業時における車輛の運行管理作業を支援する目的で導入されたシステムである。すなわち、打設管理者に対してミキサー車の配車情報やケーソンの姿勢情報といった必要情報をリアルタイムに提供することによって車輛を適切なゾーンに安全かつ円滑に配車し、効率的な打設作業が行えるよう支援するシステムである。

【キーワード】 施工管理支援システム、車輛運行管理、コンクリート打設

1. はじめに

東京港連絡橋は、首都高速12号線のうち、港区芝浦埠頭と第6台場間の東京港第1航路を横断する中央径間570m、側径間114mの吊橋である。吊橋は2層構造で、上層は首都高速12号線、下層には臨港道路および新交通システムが計画されている。現在、昭和68年の竣工を目指して基礎構造部分を建設中である。

この橋の基礎構造部分はニューマチックケーソンで施工され、その大きさは幅45m、奥行70m、高さ51m（アンカレイジ部分）と世界最大級である。さ

らに、支持層は土丹と呼ばれる軟岩であり、軟岩上の吊橋としては国内はもちろん諸外国でもほとんど例を見ない規模となっている。加えて台場側工区（1222工区）にあつてはすべて海上施工となるため、その施工に当たってはきめ細かな安全管理・品質管理が強く求められており、最新の情報化施工技術をもとにした数多くの施工管理支援システムが導入されている。

本稿はこれらのシステムの中から、ケーソンへのコンクリート打設作業時におけるミキサー車輛の運行管理作業の支援を目的とした車輛運行管理支援システムについてまとめたものである。なお、この他のシステムについても機会あるごとに順次発表していきたいと考えている。

*第3建設部東京港連絡道路工事事務所

（〒108 港区海岸3-3-13 ）

**三井建設 東京土木支店

（〒101 千代田区岩本町3-10-1）

***技術研究所

（〒270-01 流山市駒木518-1 ）

2. 車輛運行管理システム

（1）システムの概要

本ケーソンは、造船所ドッグ内で製作された後、

海上を曳航されて所定の位置に係留し、コンクリートを打設することによって海底に着底される（図－１）。打設作業は、ミキサー車にて陸上側から仮設棧橋をわたって運ばれてきたコンクリートを、ケーソン周囲に複数台設置されたポンプ車によって函内に打設することにて行われる（図－２）。ただし、ケーソン自体が大規模かつ海上に浮かんだ状態であること、仮設棧台上での作業となるため作業エリアが必要最小限に限られること、さまざまな作業が輻湊して行われており作業員も多いこと、1回当りの打設量が多くなりやすいことなどから、打設作業に際して管理者は次のような点に細心の注意をはかる必要がある。

すなわち、

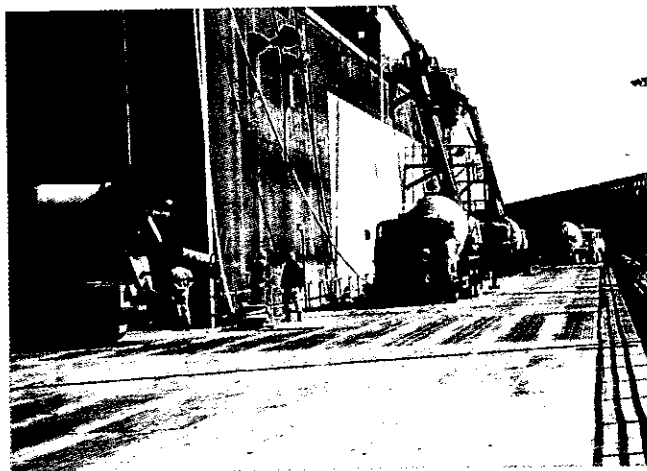
- 浮遊状態にあるケーソンに対して、傾斜による棧台への衝突、躯体への大きな応力発生等を生じさせないようにバランスよく打設すること。
- 限られた作業構内において、次々と入構してくる車輛を整然かつ安全に必要な箇所に配車させること。
- 打設作業を、他の作業の妨げにならず円滑に、しかも効率良く行うこと。

このために打設管理者は、「今現在のミキサー車の配車状況はどうなっているのか」、「ケーソンの姿勢状態はどうなっているのか」、「現在までの打設実績はどうなっているのか」といった情報を常に、また正しく把握している必要がある。さらに管理者は、これらの情報をもとに次に打つべき適切な打設ゾーンを決定し指示しなければならない。

しかしながら、ケーソン自体も大きく打設ゾーンが広範囲に及ぶこと、コンクリートの打設数量が多い時で6000 m^3 （ミキサー車にして1000台近く）程度になることから、先の情報を迅速に精度よく収集するには人的なネットワークでは限界がある。また、海上施工といった作業環境からして、可能なかぎり短時間で作業を終了させる必要があり、このため車輛は絶え間なく次々と入構してくる。これらの全て



図－１ ケーソン外観
（アンカレイジ：曳作業中）



図－２ 打設作業状況

の車輛に対し、集められた必要情報を瞬時に判断し、誤りなく指示を行うことは管理者のみの力では不可能に近い。一方、作業エリアが必要最小限に限られているため、1台の配車ミスが後続の車輛の運行、しいては工程管理そのものにも影響を与えかねない。加えて、打設管理者自身の精神的重労働にも相当のものがある。

本システムはこのような背景のもと、ミキサー車の配車状況やケーソンの姿勢状況といった必要な情報をリアルタイムに収集・加工し、わかりやすいかたちにして打設管理者に提供するとともに、管理者

が出す配車指示についても何らかのかたちで評価することによって、安全かつ円滑にしかも効率的にコンクリート打設が行えるよう、打設管理者を支援する目的で開発されたシステムである。

システムの開発にあたって、以下の条件を設定した。

- ① 打設管理者に対して、必要な情報を迅速かつ分かりやすい表現で提供する。
 - ② 最終的な配車指示は打設管理者が判断するものとし、システムはあくまで支援システムとして考える。
 - ③ 配車指示に関する情報は管理者とミキサー運転手のみならず、該当ポンプ車のオペレーターをはじめ、打設工事関係者に広く伝達できる機構とする。
 - ④ システムダウンした際にも打設作業に混乱を生じさせない機構とする。
- 具体的には、
- ① ミキサー車の構内への入場状況や各ポンプ車に対する入車／空車の状況、打設実績等の配車情報

と、ケーソンの傾斜・沈下等に関する姿勢情報を、管理者がすばやく判断できるように数値データのみならず、図形データに加工・処理してモニタ表示する。

- ② 打設管理者はこれらの情報をもとに、最も適切と思われる配車先を検討し、システムに対して行き先を指示する。一方システムはこの指示について、無理な配車や偏った配車等を行っていないか指示の妥当性を検討し、必要があれば再度、管理者に指示を仰ぐようにする。システムにこのような評価機能を組み込むことにより、より適切な配車が行えるよう管理者をサポートする。
- ③ 決定された行き先指示は、大型表示盤に表示するとともに音声応答装置により音声として出力させる。これによって、指示を待つミキサー運転手をはじめ広く工事関係者に配車指示を伝えることができる。さらに、配車先のポンプ車のオペレーターに対しても配車表示灯を設けることにより、ミキサー車が配車されたことが把握できる機構とする。

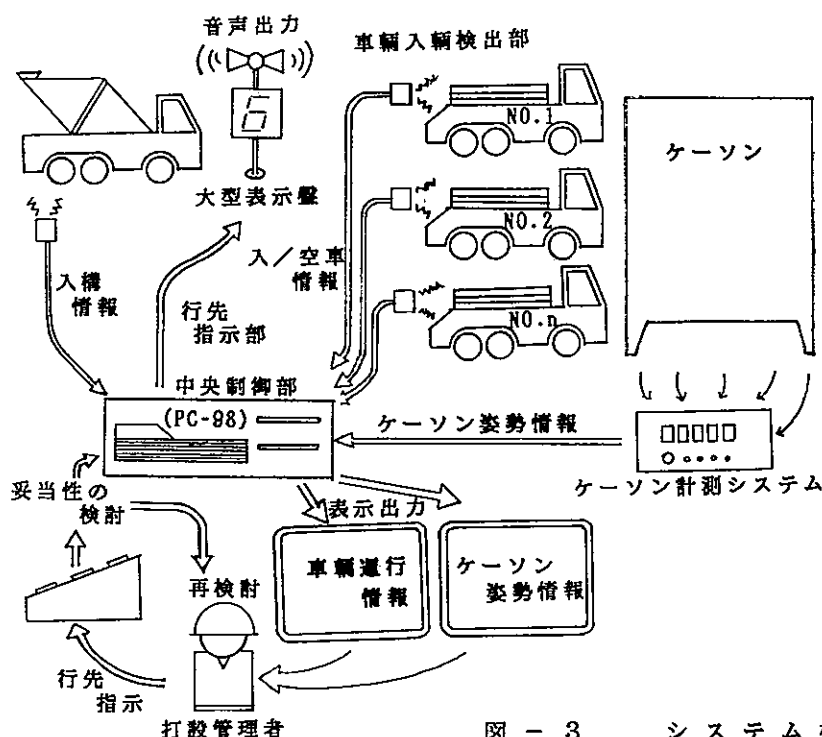


図 - 3 システム構成

- ④ さらに、システムダウンした際の対策として、マニュアル操作にて必要最小限の機能を稼働できるよう配慮する。

といった点を念頭において、システムの開発および導入にあたった。

(2) システムの構成と機能

本システムの構成を図-3に示す。図に従って処理の流れを説明すると次のとおりである。

(step1) 車両の入構検知

ミキサー車が作業構内に入ってくると、入口ゲート横に設置されたセンサーにより車両が入構してきたことが検知され、この情報が中央制御部(パーソナルコンピュータ)に伝達される。なお、検知用のセンサーには赤外線センサーを用いており、大型車両(この場合はミキサー車)のみを検知するように検知レベルの大きさと検知時間があらかじめ設定されている。

(step2) 運行管理支援情報の表示

中央制御部は、車両の入構情報を受け取るとただちに、車両が入構してきたことをモニターに表示する。これを受けて打設管理者は、表示されている配車情報、ケーソン姿勢情報といった運行管理支援情報をもとに適切な配車先を決定することになる(図-4)

●配車情報

各ポンプ車毎に設置されたセンサー(赤外線センサー：図-5)によって送られてくる、ミキサー車の入車/空車に関わる情報(図-6)。具体的には、

- ・ミキサー車入構状況
- ・各ポンプ車ゾーン毎の配車状況(空車中/入車中/配車中の別)
- ・各ポンプ車ゾーン毎の配車実績台数
- ・全体配車実績台数(毎時毎、累計)
- ・配車指示ゾーン番号(管理者選択、システム評価)
- ・過去5回の配車指示パターン

- ・各種警告(満車、配車禁止、同一配車パターン等)

の各情報である。

●ケーソン姿勢情報

ケーソン躯体の傾斜、鉛直・水平変位等の姿勢に関する情報(図-7)。さらに、ケーソンの着底を確認するための刃口反力情報、風・潮汐といった気象情報。これらは、別システムである計測管理システムとリンクすることで得ることができる。

このうち、傾斜については天井スラブ上2隅部に設置された設置型傾斜計により、また鉛直変位

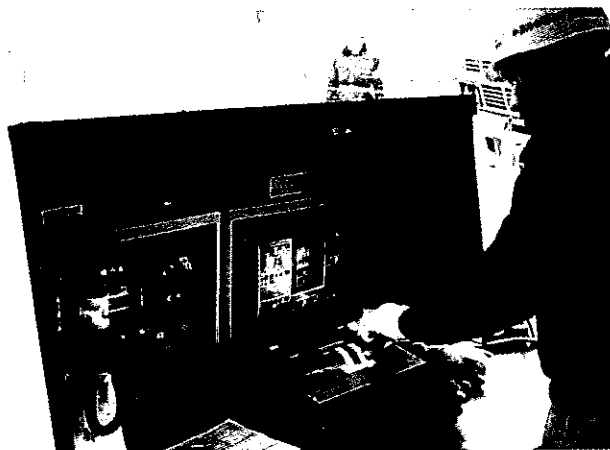


図-4 運行管理支援情報の表示
(手前は指示卓)



図-5 赤外線センサーの配置

については、外周栈台上に設けた大容量変位計とケーソン側面に設けた計測用ワイヤーを用いて計測を行っている。さらに水平変位については、ケーソン外周栈台との間に設置された4台の大容量変位計により、変位の水平成分と回転成分を求めることで把握している。

刃口反力については、ケーソンの刃口に合わせて12点に設置された刃口荷重計により計測している。

(step3) 配車先の決定・指示

これらの情報をもとに打設管理者は、次に打つべき最適な打設ゾーン（ポンプ車）を検討し、指示卓を用いて配車先をキーインする。

(step4) 配車指示のチェック

キーインされた配車指示は中央制御部によりその妥当性が評価され、問題がある場合には管理者に再度確認を促すことになる。これは、長時間にわたって絶え間なく入構してくるミキサー車について、的確に指示を行うことは精神的にかなりの負荷であり、配車ミスも起こしかねず、さらに、今回対象としているような作業環境では1台の配車ミスが後続の車輛の運行、しいては工程に与える影響が大きくなりやすいためである。

現在用いている具体的なチェック項目は、

- ・すでに満車あるいは配車禁止のゾーンに配車していないか
- ・指示ゾーンが偏向していないか（前回、前々回の指示ゾーンと重複していないか）

といった簡単なものであるが、今後はより実際の配車パターンに即した管理者の知識・経験（ノウハウ）を入れ込んだ評価項目の導入を図っていきたいと考えている。

(step5) 配車指示の表示・応答

指示の妥当性がチェックされて決定した配車指示は、指示待ちのミキサー車の斜め前方に設置された大型表示盤に点灯表示される（図-8）。さらに、音声合成装置により、配車指示に応じた行き先があ

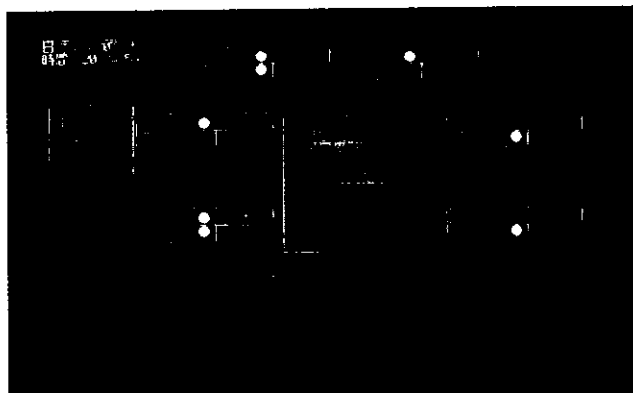


図-6 配車情報の表示画面

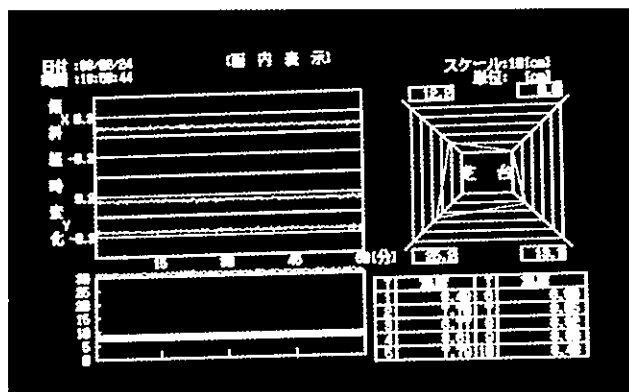


図-7 ケーソン姿勢情報の表示画面

らかじめ登録されているアナウンスにより応答されるようになっている。これらにより運転手に対して目と耳の両方から指示を与えることができ、指示の受け取り間違いを少なくすることができる。さらに、構内にて作業中の関係者に対し、次の車輛がどこに配車になるのかを広く伝達することができる。

またポンプ車毎に設置された配車連絡灯（図-9）は、配車指示が出されると該当する連絡灯が点灯するようになっており、ポンプ車オペレータに対して配車中の車輛があることを知らせる機構となっている。これによってポンプ車のオペレーターは受け入れ準備を行うとともに、配車中のミキサー運転手は指示されたポンプ車に間違いことなく到着することができる。

(3) システム運用実施事例

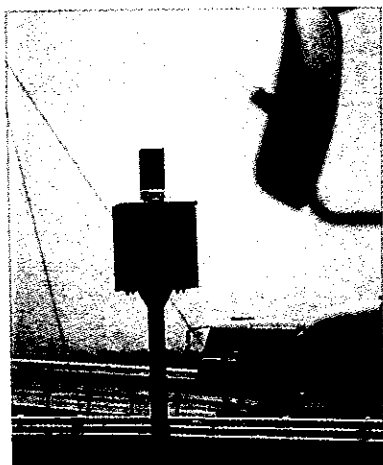


図 - 8 (左)
大 型 表 地 盤

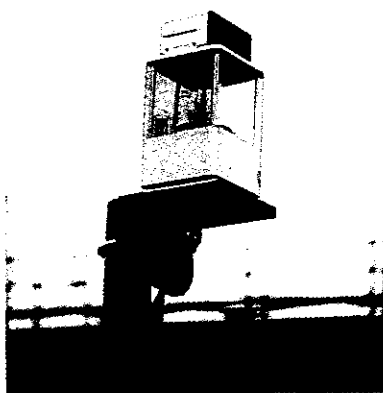


図 - 9 (右)
配 車 連 絡 灯
(上 側 は 赤 外
線 セ ン サ ー)

本システムは、はじめにでも述べたとおり、東京港連絡橋工事における施工管理支援システムの一つとして開発されたものであり、現在当工事において運用中である。現在（昭和63年11月末）までのところ、毎月1回程度の頻度で実施される打設作業に欠かさず使用されており、一回あたり平均打設量3000 m^3 以上、ミキサー車にして500台以上を管理している（表-1）。

この中より、第3回を例にとり説明すると、このときの打設量はおよそ3000 m^3 、ミキサー車にして約500台余が予定され、ポンプ車はケーソンを取り巻くように9台が設置された。これを受けて本システムでは、赤外線センサーを、ミキサー車の入車/空車の検知用に各ポンプ車毎に合計16箇所、車輛入構検知用にゲート入口手前に1箇所それぞれ設置した。これらの情報は、ゲート脇の指揮所に設置されたモニターに、ケーソン姿勢情報と併せて表示された。さらに、打設管理者以外の工事担当者にも作業の進捗状況が容易に把握できるように、ケーソン函内詰所、陸上側事務所にもこれらの情報を同時に表示できるよう機器の設置を行った。なお、これらのシステムの設置にかかった時間は実質的には約1.5時間であり、比較的容易に設置できるといえる。（図-10、11、12）。

このようにして、毎回本システムを運用させることにより、次々と入構してく数百台ものミキサー車を適切なゾーンに円滑に配車することができ、何等トラブルもなく予定どおり打設作業を終えることができています。

（4）システムの導入効果と今後への課題

本システムについて、その導入効果をまとめると以下のとおりです。

- 車輛を安全にかつ円滑に配車することができ、また効率的なコンクリート打設を行うことができる。
- 車輛を配車する上での必要情報を一箇所に集中することにより情報の一元管理ができ、誤った情報や不必要な情報による情報の混乱を防ぐことができる。
- 打設管理者から煩雑な作業（配車状態の確認、配車実績台数のカウント等）を取り除くことにより、管理者は配車指示作業にのみ神経を集中すればよく、精神的重労働感を軽減できるばかりでなく効率的な配車指示が行い易くなる。

また今後、本システムをさらに機能向上させるには次の事項が課題として考えられる。

表 - 1 システム運用実績

使用回数	生コン車 (台)	ポンプ車 (台)
1	943	9
2	376	6
3	507	9
4	347	6
5	186	4
6	512	8
7	354	5
8	516	8



図 - 1 0 運用実施事例（その 1）

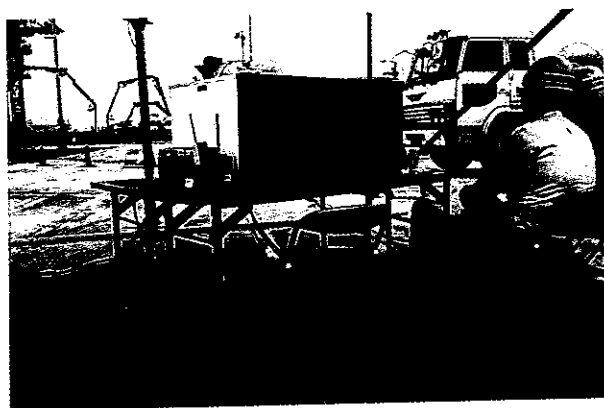


図 - 1 1 運用実施事例（その 2）

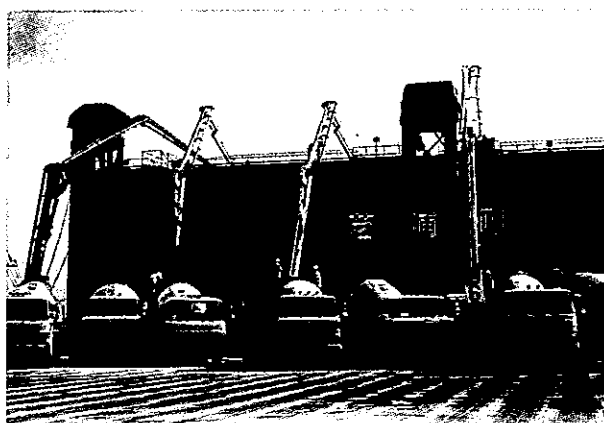


図 - 1 2 運用実施事例（その 3）

- 入車中なのか／通過中なのかの車輛状態のみならず、走行中の車輛についてもその位置が把握できるようなハードシステムの開発。
- 打設実績について、打設台数の把握から打設コンクリート量の把握に向けての機能の向上。
- 配車指示の評価支援機能として、エキスパートシステムなどの AI 技術の導入。
- 他の施工管理支援システムとのリンクによる情報の効果的活用と質の向上。

3. おわりに

本システムは、現在その機能を十二分に発揮してコンクリート打設時においてはなくてはならないシステムとなっている。ただし、本システムはケーソンの計測管理システムとはリンクして運用されているものの、その他の施工管理支援システムとは独立に運用されている。

今後システムの効用を十二分に発揮し、その導入効果をより高めるためには、他のシステムと結びつけて運用にあたることも重要であろう。このことは各施工管理支援システムについても同様に言えることである。

すなわち、個々のシステムを現場マネジメントシステムのもとに有機的に結合させて、より効果的に運用することが必要である。ただしこの時、作業レベル等に応じて必要な情報と不必要な情報を整理することが肝要と思われる。

今後、各建設現場において様

々な角度から施工管理支援を目的としたシステムの開発・導入が進むであろうがその一助となれば幸いである。

最後に、本システムの開発、運用に携わった方々にここに深く感謝の意を表します。

《参考文献》

- 1)梅園輝彦 他：超音波による走行車両識別方法の基礎的研究、第12回土木学会関東技術発表会講演集
- 2)大森豊明 他：センサ実用事典、フジテクノシステム
- 3)小島雄治 他：東京港連絡橋工事における情報化施工、第13回電算機利用に関するシンポジウム、1988.10