

技術会議報告 T6 プレストレストコンクリート構造における コンピュータ支援技術

児島 孝之*¹・八田 吉弘*²

1. セッションの全体概要

コンピュータ支援技術は現在注目を集めている分野でもあり、国内外からの高い関心が寄せられ本セッションには16編の論文がプロシーディングに投稿された。その内訳は、国内からの投稿が10編、海外からの投稿が6編で、そのうち13編が口頭発表、3編がポスター発表された。各論文の発表者と題名を表-1に示している。なお、T6(a)-1およびT6(b)-3の2編は事情により欠講されたものである。また、急遽飛入りで口頭発表されたものもあるが、プロシーディングに掲載されていないので、ここでは割愛している。

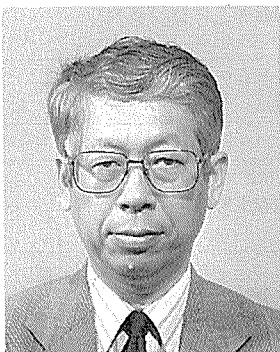
本セッションでの発表論文を整理すれば、表-2の7項目に分類することができる。この分類には若干の無理があり、それぞれ発表者の思惑とは微妙に異なることもあるが、便宜上このように分類した。また、表-2には各項目別の発表論文数を、国内・海外に分けて記載している。これから推察すると、国内論文は設計法・施工管理などの現業部門の発表が多く、海外論文は基礎的な問題を取り扱ったものが多いという傾向が見られる。施工管理に関する海外論文が1編あるが、著者が日系3世であることが興味深い。今回の発表論文のみで即断することはできないが、興味の対象が日本と海外で若干の相違があることは間違いないようである。

本セッションは、口頭発表2セッションとポスター発表からなり、口頭発表の前半部はE. Conti博士（フランス）児島孝之教授（立命館大学）が、後半部はG. Tassi教授（ハンガリー）と鈴木素彦氏（オリエンタル建設）が、それぞれ共同座長としてセッションの進行を担当された（写真-1, 2）。

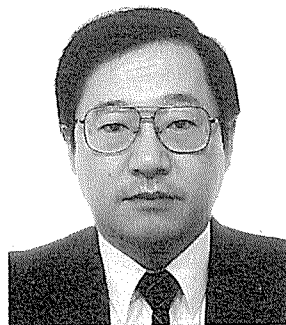
シンポジウム初日でもあり多数の聴講者の出席が予想されたが、開会式および特別講演での疲れと昼食後で



写真-1 Conti博士と児島教授



* Takayuki KOJIMA
立命館大学
理工学部 教授



* Yoshihiro HATTA
オリエンタル建設（株）
大阪支店工務部 副部長

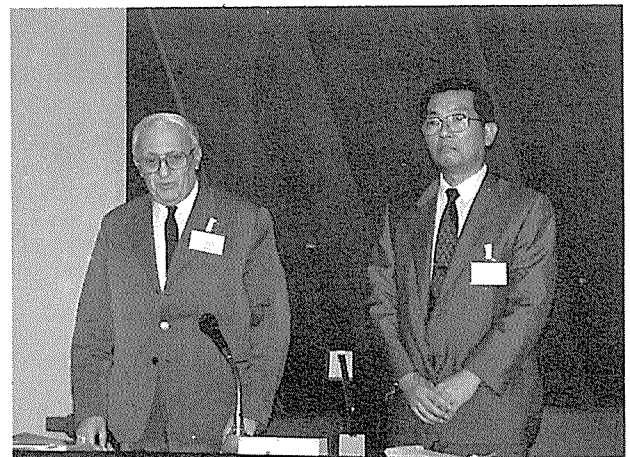


写真-2 Tassi教授と鈴木氏

あったためか、若干空席が目立つ状況であった。セッション前半部では第1演者の欠講が判明し、早速その対応に苦慮したが、共同座長のはからいでアブストラクトのみを提出していた方の口頭発表を許可し、どうにか90分の講演時間を満足することができた。国際会議ではこのようなことはつきものであるとのことであるが、

開始早々肝を冷やしたものであった。セッション後半部でも欠講が1編あったが、各発表および質疑時間を延長して、105分の講演時間を満足することができた。

このようなトラブルがあったものの、共同座長の適切な判断と司会により、無事このセッションを終えることができたことがなによりであった。

表-1 プレストレストコンクリート構造におけるコンピュータ支援技術(T6)発表論文一覧表

番号	発表者	題名	分類	備考
口頭発表-1 (共同座長: E. Conti 博士+児島孝之教授)				
T 6 (a)-1 (海外)	T. Onet	Computation of Partially Prestressed Concrete Sections Ductility Subjected to Bending, Shear and Central Force	①PC構造の耐荷重性能の解析	欠講
T 6 (a)-2 (海外)	T. J. Ibell C. J. Burgoyne	Plastic Analysis of Anchorage Zones for Prestressed Concrete	①PC構造の耐荷重性能の解析	
T 6 (a)-3 (国内)	Y. Kakita T. Matsutani K. Katagihara M. Oouchiyama	A study on the Behavior of Prestressed Reinforced Concrete Girder with Shear Walls Located at Both Ends	⑤コンピュータ支援技術による 施工管理	
T 6 (a)-4 (国内)	K. Konno H. Watanabe T. Yoshikawa S. Kasai	THE UTILIZATION OF COMPUTER GRAPHICS TO DETERMINE THE AESTHETIC IMPACT OF PRESTRESSED CONCRETE BRIDGES	⑦コンピュータグラフィックス による景観シミュレーション	
T 6 (a)-5 (海外)	C. J. Burgoyne M. T. R. Jayasinghe	Rationalization of spine beam design for expert systems	⑥エキスパートシステム	
T 6 (a)-6 (国内)	D. Okai H. Kitamura H. Hasegawa F. Kamada	Computer-based Construction Techniques Applied to Prestressed Concrete Dike for LNG Storage	③PC構造の温度応力・ひびわれ解析	
口頭発表-2 (共同座長: G. Tassi 教授+鈴木素彦氏)				
T 6 (b)-1 (国内)	M. Komiya H. Sakai H. Maeda	Consistent Design Programme System for the Concrete Structure	②PC構造でのクリープ等の時間依存性変形解析	
T 6 (b)-2 (海外)	A. Riikonen	Integrated Design System for Concrete Bridges	④コンピュータ支援技術による 設計法	
T 6 (b)-3 (国内)	S. Kishimoto K. Hirokawa	A Study of Computer Design System for Concrete Bridges with Long Span	④コンピュータ支援技術による 設計法	欠講
T 6 (b)-4 (国内)	Y. Noda K. Osawa T. Arai	Automatic Design and Construction Control System for Prestressed Concrete Cantilever Bridges	⑤コンピュータ支援技術による 施工管理	
T 6 (b)-5 (海外)	H. Ishitani L. A. C. Diogo T. Uono R. N. Oyamada	The Camber Diagram in Prestressed Concrete Segmental Bridges: The Deflection Calculation By Finite Element Method. An Actual Application.	⑤コンピュータ支援技術による 施工管理	
T 6 (b)-6 (国内)	K. Idani M. Saito H. Arai	Automatic deformation measurement system for prestressed concrete bridges	⑤コンピュータ支援技術による 施工管理	
T 6 (b)-7 (国内)	M. Iwamoto K. Hirokawa	Development of Design and Construction Support System for Prestressed Concrete Cable Stayed Bridges	④コンピュータ支援技術による 設計法	
ポスター発表				
PT 6-1 (国内)	M. Hasiba N. Morita T. Tanaka	Analytical Study on Prestressed Concrete Widened Bridge without Longitudinal Joint	②PC構造でのクリープ等の時間依存性変形解析	
PT 6-2 (国内)	Y. Hachiya T. Katsuumi K. Sato H. Inukai	Development and Application of Lift-Up Method for Settled PC Pavements on Soft Ground	⑤コンピュータ支援技術による 施工管理	
PT 6-3 (海外)	L. C. D. Shehata I. A. E. M. Shehata	Compressive Bearing Capacity of Locally Loaded Concrete	①PC構造の耐荷重性能の解析	

2. コンピュータ支援技術の現状と今後の動向

コンピュータ支援技術はあらゆる技術分野で用いられ、今後ますます利用が盛んになるものと思われる。コンピュータがコンクリート分野に登場して以来まだ30年にも満たない。その当初はコンピュータも紙テープ入力であり、出力はラインプリンタによる用紙出力であった。その当時のコンピュータの利用は研究分野においても一部に限られており、構造解析のように高次の連立方程式を解くような線形問題が主であった。大量の演算を短時間で行うことを得意とするコンピュータの実力が、有限要素法のようなマトリクス構造解析の発達を加速させ、それらを繰り返し用いる非線形問題や温度問題、さらにクリープなどの時間依存性問題への応用へのきっかけを与えた。それと同時に解析に用いるコンクリートの力学的性状に関する構成方程式などの研究もなされ、コンクリート構造物の挙動解析の精度も向上してきた。

その後コンピュータの入力は紙テープからカードを経て、テープ、ディスク等へと多様化し、そのシステムも大型汎用機によるTSS方式へ進化した。この時代がかなり長く、現在でも一部で使用されている。このような入出力装置の発達により、対話型のソフトが可能となり、複雑な計算は計算機が行い、結果の判断を技術者または研究者が行って、設計や解析を進めていく手法が発達してきた。最近では経験ある技術者等の判断をあらかじめソフトウェアに組み込んで行うエキスパートシステムの研究が進められている。

近年コンピュータのダウンサイジングが進み、ワークステーション利用が一般的になりつつある。またスーパーコンピュータも普及しつつある。さらにこれらを利用したコンピュータグラフィックスが発達し、景観シミュレーションのように、構造物の計画段階から仮想現実感(Virtual Reality)ともいうべき視覚によって完成系の是非を判断できる技術も発達しつつある。

一方ではパーソナルコンピュータが発達し、とくにこの10年間の変化はめざましく、20年前には大型計算機でのみ可能であった計算も最近ではパーソナルコンピュータで十分行えるようになってきている。これらはひずみなどの計測技術の発展とともに現場や実験室における計測の合理化に著しく寄与している。またオンラインで計測した実測データを、プレストレッシング管理、コンクリート温度管理あるいは張出し架設等における変形等の施工管理に用いたり、解析計算と組み合わせた精度の高い施工管理に用いられるようになった。

以上コンピュータの発達とそれに伴うコンクリート分野での利用について述べたが、プレストレストコンクリートにおいてコンピュータ支援技術を分類すると表

表-2 発表論文の分類と投稿論文数

番号	分類	国内	海外	合計
①	PC 構造の耐荷重性能の解析	-	3編	3編
②	PC 構造のクリープ等の時間依存性変形解析	1編	-	1編
③	PC 構造の温度応力・ひびわれ解析	1編	-	1編
④	コンピュータ支援技術による設計法	3編	1編	4編
⑤	コンピュータ支援技術による施工管理	4編	1編	5編
⑥	エキスパートシステム	-	1編	1編
⑦	コンピュータグラフィックスによる景観シミュレーション	1編	-	1編
合計		10編	6編	16編

-2 のようになる。

ここでは、この分類に従って本セッションでの発表論文の概要を紹介し、コンピュータ支援技術の現状と今後の動向について述べるものとする。

2.1 PC 構造の耐荷重性能の解析

本セッション以外においても、耐荷重性能の解析にコンピュータを用いている論文は数多くあると思われるが、本セッションでは以下の論文がこの分類に該当する。

論文 T 6 (a)-1 はパーシャルプレストレストコンクリートの曲げ、せん断および軸圧縮力下での靱性問題に関するものである。数値実験を基礎としたせん断の影響についてとくに強調されている。しかしながら、本論文の発表は行われなかった。

論文 T 6 (a)-2 は PC 定着部の問題に関して上界値および下界値を求める解析法について述べ、本手法の実験値に対する有用性について検討したものである。また、有限要素法による解析(弾性解析)を行っている。

論文 PT 6-3 は局部集中荷重に対する耐荷力に関するもので、その崩壊機構を仮定して求めた耐荷力算定方法とその結果を、発表者らの実験値との比較検討を行ったものである。これによると、現行の諸規定はあまりにも保守的に過ぎるか、ときには危険側の値を与える結論している。

2.2 PC 構造でのクリープ等の時間依存性変形解析

論文 T 6 (b)-1 は段階施工を行うコンクリート構造物において、コンクリートの材令差を考慮した解析方法と、それを利用した設計システムについての報告である。材令の異なるコンクリートのクリープ・乾燥収縮による影響を、変形法の剛性マトリクス内に取り込むことにより、任意構造のクリープ・乾燥収縮の解析が可能となり、より精度の高い設計が可能になるとしている。なお、本論文の基本概念は故猪股俊司博士によるものである。

論文 PT 6-1 は高速道路の拡幅に伴う増設桁問題を

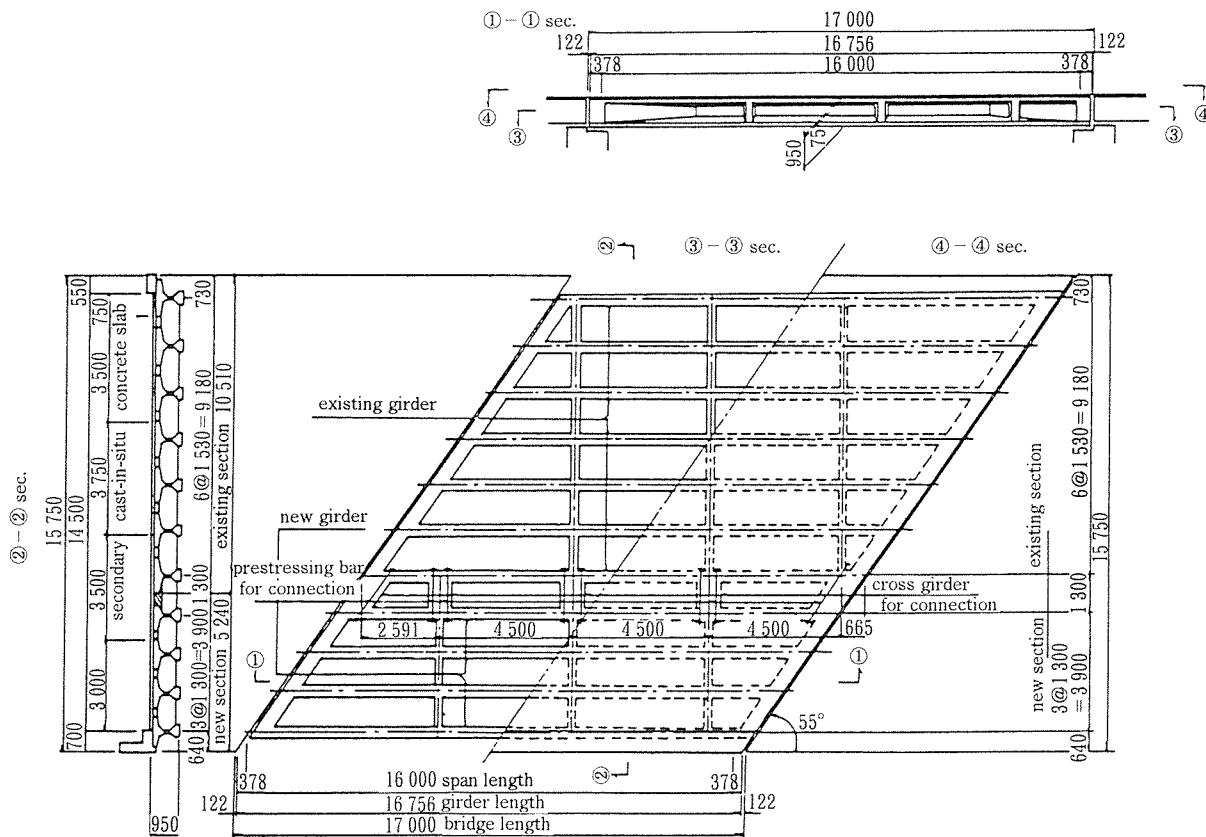


図-1 既設桁と増設桁のクリープ解析事例 (PT 6-1)

取り扱ったもので、新旧の格子桁を剛に結合した場合のクリープ・乾燥収縮による影響を論じている。増設桁の材令を基準にして、既設桁と増設桁を結合する2次床版の打設時期を模索した結果、増設桁打設6か月後の結合であれば問題ないと結論している (図-1)。

上記のようなテーマは、従来はあまりにも複雑なため

その検討を簡略化して処理していたものであるが、今後はより複雑な問題をも対象とする解析技術の向上が期待される。

2.3 PC 構造の温度応力・ひびわれ解析

論文 T 6 (a)-6 は計算機支援建設技術の LNG (液化天然ガス) 貯蔵 PC 防護壁への応用であり、コンクリー

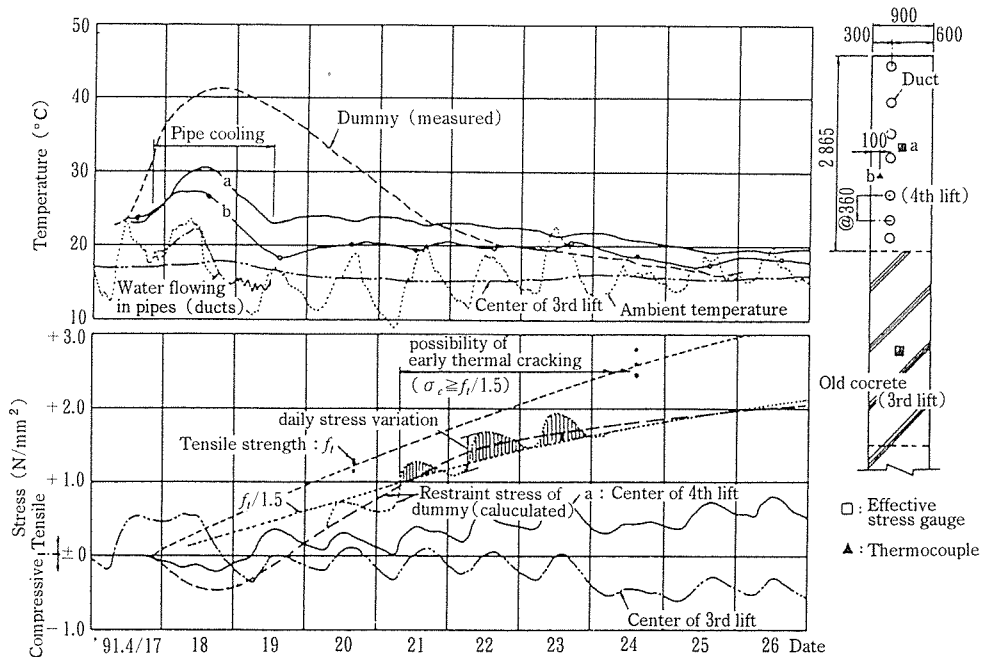


図-2 LNG 貯蔵 PC 防護壁の温度解析事例 (T 6 (a)-6)

トの温度ひびわれ制御ならびにプレストレス管理に、オンライン制御技術を応用した手法の開発と効果についての報告である。本工事のように建設工事が複雑化し、予測技術水準が高まると、膨大な量の情報を管理し、リアルタイムで判断し、行動を起こす必要がある。このためには計算機をはじめとする電子技術の利用が有力な手段となるが、本工事での経験から、例えばひびわれ制御技術では、経験に基づくより多くの判断やコンクリートの挙動に関する予測・解析に関するより多くの機能をソフトウェアに取り込むことにより、若い技術者にも安全な工事管理ができるように改善される余地がある(図-2)。

2.4 コンピュータ支援技術による設計法

論文 T 6 (b)-2 はコンクリート橋の計画・設計一貫システムについての報告である。このシステムではデータベースを仲介として、道路線形解析、構造物のモデル化、視覚化、構造解析、PC 鋼材および鉄筋の配置、部材寸法の決定など各部の設計を行うことができ、さらに CAD システムによる図面作成までの機能を有している。特に、各検討段階において演算結果を画像によって視覚的に確認できるため、技術者の判断を容易にすることができる(図-3)。

論文 T 6 (b)-3 もコンクリート橋の設計システムについての報告である。増大する長大 PC 橋の設計作業を容易にすることを目的として開発されたもので、大型コンピュータへの膨大なデータ入力を、対話型のパソコンを用いて行うものである。なお本論文は発表者の都合より残念ながら欠講となった(図-3)。

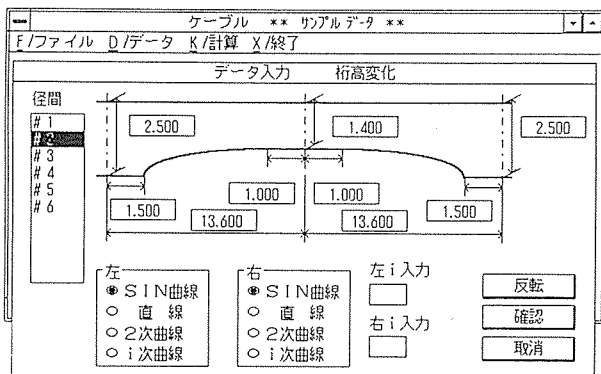


図-3 設計支援システムの入力画面の事例 (T 6 (b)-3)

論文 T 6 (b)-7 は PC 斜張橋の設計システムについての報告で、自由度の高い、したがって煩雑な検討を必要とする PC 斜張橋の設計をターゲットにしている。このシステムでは、マスターファイルを介してバッチプログラム群と対話型プログラム群を結合した構造である。

以上のような設計支援システムは、コンピュータの特性をうまく活かしたもので、膨大な数値データを瞬時に

処理し、各検討段階において技術者の判断を求める仕組みとなっている。したがって、その技術的判断がより重要となり、関与する技術者個人の技術レベルの向上が要求されることでもあることに注意する必要がある。

2.5 コンピュータ支援技術による施工管理

論文 T 6 (a)-3 は比較的長支間の体育館の RC アーチ梁において、ひびわれとたわみ制御のために付加的にプレストレスを与えた PRC 構造に関するものである。剛な耐震壁が梁両端に配置されており、所定のプレストレスが梁に導入されるかが問題となった。現場においてプレストレスによるひずみとたわみを測定し、解析結果と比較検討することによって、設計条件の有効性について検討した。その結果、所定のプレストレスがアーチ梁に導入されたことが確認されたと報告している(図-4)。

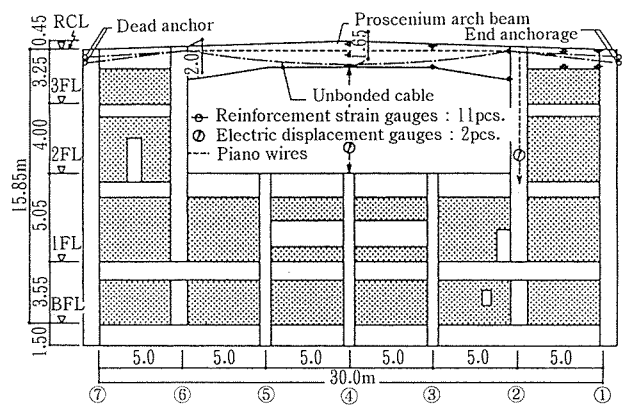


図-4 PRC アーチ梁の解析事例 (T 6 (a)-3)

論文 PT 6-2 は東京国際空港(羽田)拡張工事にて実施された PC プレキャスト舗装版のリフトアップ工法に関するもので、支持地盤の不同沈下によって PC 舗装版に不陸が生じた場合の調整方法について報告している。各 PC 版には適切な間隔で油圧ジャッキが配置され、観測高さをコンピュータに入力して整理し、これを油圧ジャッキの制御装置に連動させて広範囲にわたるリフトアップ作業を行っている。コンピュータの持つ機能をうまく利用した施工管理方法である。

論文 T 6 (b)-5 は張出し施工での上げ越し計算に関する報告である。張出し施工の各施工段階ごとに、想定されるたわみ量を算定し、これらを集計整理して該当するブロックの打設高さを決定しようとするものであり、その計算過程と検討例が示されている。

論文 T 6 (b)-4 および T 6 (b)-6 は両者とも PC 張出し施工時のたわみ管理システムについての報告である。前者は CCD カメラとマイクロコンピュータの組合せであり、後者は電子レベルとマイクロコンピュータの組合せである。ともに、たわみ計測の自動化と即時処理

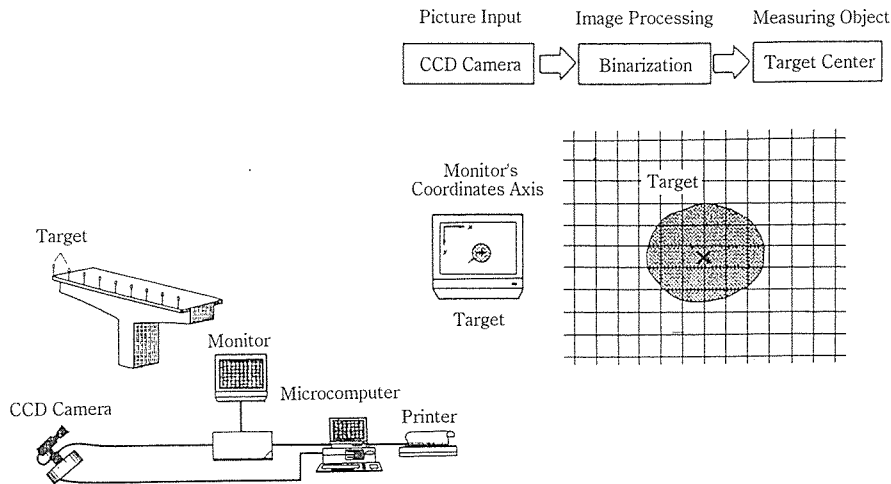


図-5 CCDカメラを利用したたわみ管理 (T 6 (b)-4)

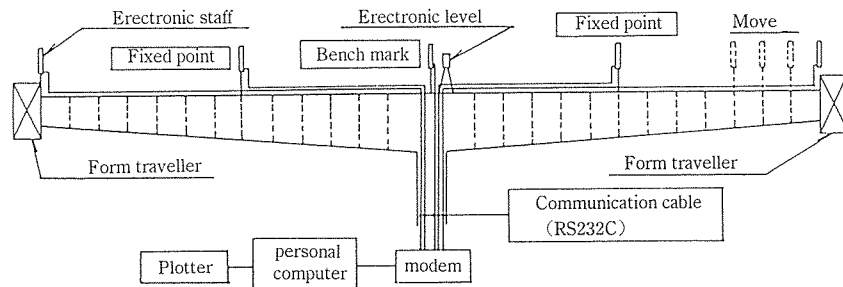


図-6 電子レベルを利用したたわみ管理 (T 6 (b)-6)

を可能とすることに特長がある。張出し施工のたわみ管理は橋面出来形を左右する重要な管理項目であり、計測頻度を高くすることが精度の高い構造物をつくるためのポイントである。しかし従来はレベルを用いて計測していたため入力に頼る部分が多く、担当者の熱意によってその成果が異なる傾向にあった。このような計測管理システムの開発は、施工精度の向上だけでなく、省力化にもつながることであり、今後の発展が期待される (図-5, 6)。

2.6 エキスパートシステム

論文 T 6 (a)-5 はエキスパートシステムの導入によっていかに PC 梁の設計プロセスを合理化できるかについて述べたものである。設計検討の種々のステップにおける数値計算をコンピュータが実施し、設計技術者への判断材料を提供するもので、設計者はそのつど判断を下していく。したがって、設計途中での種々のトライアルが可能となり、より合理的な設計が可能であるとしている。しかしながら、現時点でのシステムでは制約が多く、いまだ実用化には至っていない。今後の研究が期待される。

2.7 コンピュータグラフィックスによる景観シミュレーション

論文 T 6 (a)-4 は PC 橋の美的効果の決定のためのコンピュータグラフィックスの利用に関するものである。PC 橋は一般に巨大な構造物であり、自然環境・都市環境の中に建設される場合、周辺環境に少なからぬ影響を与える。また、長期間にわたり多くの人々に見られ、用いられる。したがって、計画段階において美的要素に対する考察が重要である。本論文は PC 橋の美的評価におけるコンピュータグラフィックスの利用に関して現在の状況と今後の傾向について述べたものである (写真-3)。

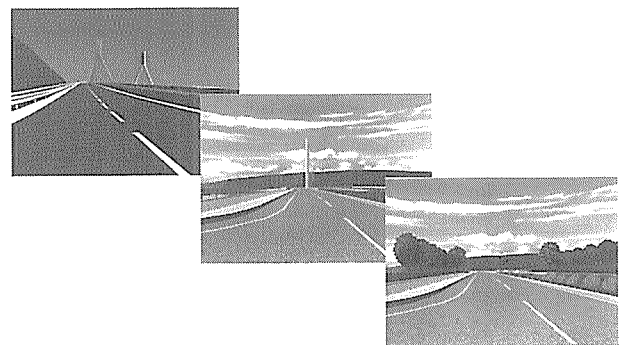


写真-3 コンピュータグラフィックスの出力例 (T 6 (a)-4)