

(Ⅲ-13)

海底盤仕上げ掘削管理システムと

海洋構造物据え付けシミュレーション

Sea Bed Finishing Excavation Control System and Marine Structure Installation Simulation

(株)熊谷組 ○角田素男^{*}

同上 平野晶己^{*}

同上 井上博昭^{**}

同上 原田雅弘^{**}

By Motoshi TSUNODA, Masaki HIRANO, Hiroaki INOUE, and Masahiro HARADA

本州四国連絡橋来島大橋のアンカレイジ基礎の海底掘削工において、掘削前の海底地形測量から日々の掘削工および最終盤の仕上げ掘削工、掘削終了海底面の確認工迄の全工程に渡って、情報化施工システムを構築し、徹底した施工管理を行なった。この結果、時間の節約、業務の省力化、施工品質の向上を図ることができ、施工管理の高度化を実現した。

著者らは、これまで掘削前の海底地形測量から日々の掘削工における情報化施工システムについて報告している。^{1), 2)} 今回本報文では、同工事のために開発した情報化施工システムのうち、海底盤仕上げ掘削管理システム及び、同システムによる大型ケーソンの据え付け状態の予測シミュレーションを紹介する。これからの海洋工事の新しい施工方法として、期待されるであろう情報化施工についての一研究事例報告である。

【キーワード】海洋工事、情報化施工、施工管理、海洋構造物、大型ケーソン、海底掘削

1. はじめに

来島大橋は、本州四国連絡橋 尾道・今治 ルートの最も四国側に架かる橋梁であり、完成すると世界初の3連吊り橋となる。熊谷組は1987年の調査工事着手から当工事に参画しており、その後本工事において、来島第1大橋、第2大橋の共用アンカレイジ基礎(4A)の海底掘削を施工した。同橋は瀬戸内海国立公園の中にあるため、景観を考慮して多くの基礎が海中に作られる。4A基礎も海中基礎である。従来の海中基礎は、掘削底面を大口径掘削機で平坦に上げたり、コンクリート台座を設けた上に大型ケーソンを設置したが、当工事では掘削底面に、直接大型ケーソンを設置する工法が採用された。この工法は、同じ本州四国連絡橋 神戸・鳴戸 ルートの明石海峡大橋主塔基礎工事で初めて用いられ、成功

をおさめた工法である。ところが、明石海峡大橋は、比較的均一な洪積砂礫層上に基礎が設けられるのに対して、当地点は非常に複雑な岩盤上に設けられるため、超大型グラブによる掘削だけでは、その精度を危惧する声があった。そこで、当工事では、ズレや傾斜を生じさせずに大型ケーソンを安定設置するために、掘削底面を平坦に施工し、精度良く仕上げるのが最重要課題となった。これに対処するため、調査工事における掘削前の海底地形測量から、試験掘削、本体工事における軟岩部の掘削、硬岩部の砕岩掘削、最終掘削盤の仕上げ掘削に至る全海底掘削工程において情報化施工を行ない施工管理の高度化を図った。

2. 工事概要

(1) 尾道・今治ルート

尾道・今治ルートは、本州四国連絡橋3ルートのうち最西部に位置し、本州側は広島県尾道市と四国

^{*} 技術研究所 海洋技術開発部 03-260-2111

^{**} 四国支店 本四来島作業所 0898-33-3722

側は今治市を結ぶ総延長 60km
の自動車専用道路である。途中、
向島、因島、生口島、大三島、
伯方島、大島、馬島等の大小九
つの島があり、これを10橋で結
ぶ(図-1)。

(2) 来島大橋

来島大橋は、尾道・今治ル
ートの大島と今治の約4kmを結び、
来島第1大橋、来島第2大橋、
来島第3大橋の3橋からなる吊
り橋である(図-2)。このう

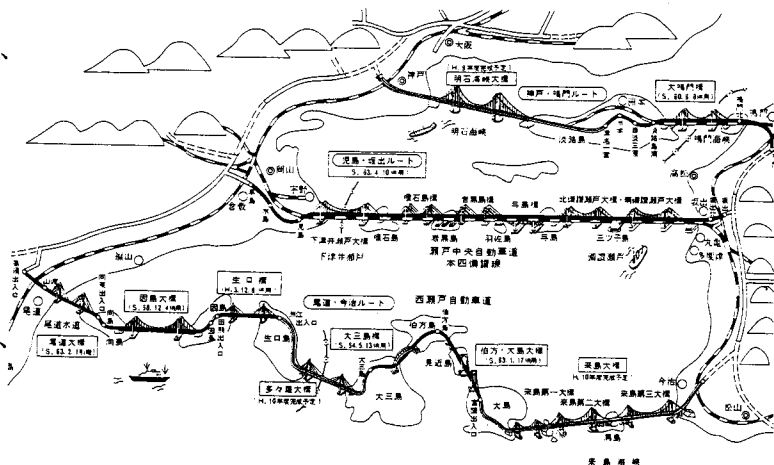


図-1 本州四国連絡橋 尾道・今治ルート

来島大橋計画図(単位:m)

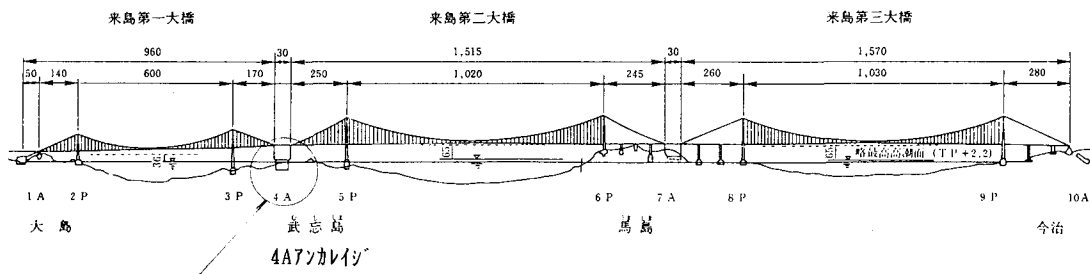


図-2 来島大橋計画図

ち、来島第2大橋は中央径間1030m、来島第3大橋は
中央径間 1020mで完成時には、世界の吊り橋のうち
第11位、第12位の長さとなる。

(3) 海中基礎の施工

海中基礎の施工は、図-3に示すように①海底掘削・底面仕上げ工、②ケーソン設置工、③コンクリート工がある。本工事は、海底掘削・底面仕上げ工の後、底面に直接大型ケーソン(L=45m, B=45m, H=34m)を設置する工法を採用した。

(4) 海底掘削工

海底掘削の施工手順を表-1に示す。海底掘削は、
まず5000PS大型グラブ船関門(図-4)を使用して
現地盤からTP-24mまでの堆積層からC_L級岩盤までの
直接掘削を行なった。次に直接掘削では不可能なC_L
~C_H級岩盤を、2200PS砕岩棒付きグラブ船三友2号
(図-5)によりTP-24m~TP-29mまで掘削した。

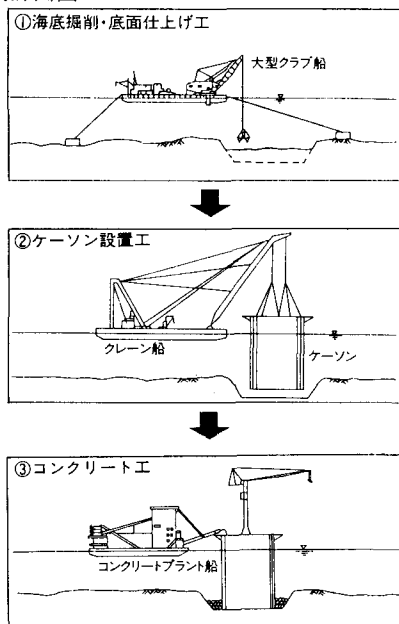


図-3 海中基礎の施工

この時砕岩掘削は、1層を1.5m～1.0mとして、まず3層の粗砕岩掘削を行ない、最後に1.0mを仕上げ砕岩掘削として施工した。砕岩に使用した砕岩棒は重量50tで、これを海中で自由落下させ岩盤を砕き、ヘビーバケットで掘削した。最後に、TP-29m～TP-30mは、再度5000PS大型グラブ船に入替え、ウルトラバケットを使用したリッパ掛けによって入念に仕上げた。

表-1 海底掘削施工手順

水深	グラブ船	使用バケット	海底掘削施工手順
現地盤 ～TP-24.0m	関門 5000PS	ウルトラヘビーバケット 17.5m ³ , 200t	直接掘削
TP-24.0m ～TP-28.0m	三友二号 2200PS	砕岩棒 50t ヘビーバケット 8.5m ³ , 80t	砕岩 砕岩掘削 1.5m×2層 1.0m×1層 3回繰り返す
TP-28.0m ～TP-29.0m	三友二号 2200PS	砕岩棒 50t ヘビーバケット	仕上げ砕岩 仕上げ掘削
TP-29.0m ～TP-30.0m	関門 5000PS	ウルトラヘビーバケット 18m ³ , 52t	リッパ掛け 液入掘削 確認測深 4回繰り返す

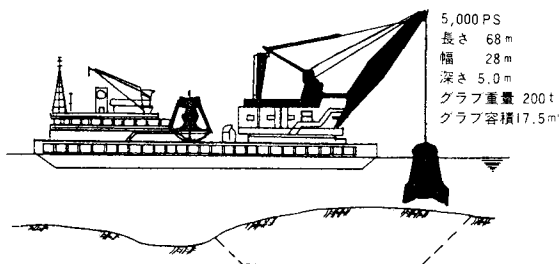


図-4 5000PS大型グラブ船関門

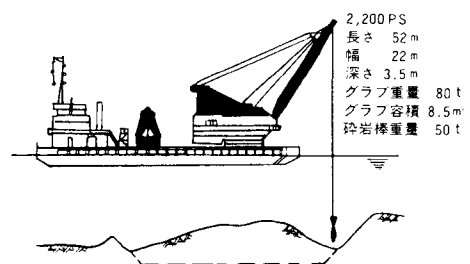


図-5 2200PS砕岩棒付きグラブ船三友二号

3. 情報化施工システム

本工事における海底掘削工は、図-6に示す3つの情報化施工管理システムを開発して行なった。このシステムのうち、海底掘削状況管理システムおよび日常海底掘削管理システムについては、参考文献1)、2)で報告済みであるので、ここでは、概要についてのみ記す。

海底掘削状況管理システムは、調査工事において掘削前の海底の状況や試験掘削後の掘削状況などを計測し、測定点データ図、水深図、等深浅図、土量変化図、掘削断面図(縦横断)、鳥瞰図などを解析し、画面表示や自動作図を行なうものである。

また、日常海底掘削管理システムは、毎日の海底掘削工事において、グラブ船が施工海域の何処に係留され、何処を掘削しているかを管理する。続いて、その位置で掘削した土量、掘削深さ、掘削形状等のデータを、グラブ船がシフトする毎に計測し、これを日常データとして保存蓄積する。さらにこれら蓄積したデータをベースとして、全体の掘削土量の管理や掘削形状の出来形、出来高管理等を行なうもの

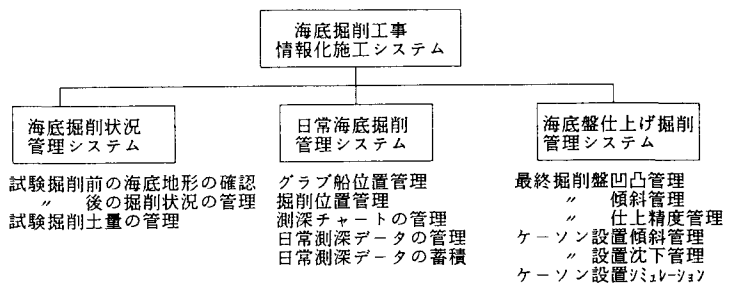


図-6 情報化施工システム

である。

4. 海底盤仕上げ掘削管理システム

(1) 海底盤仕上げ掘削管理システム概要

海底盤仕上げ掘削管理システムは、掘削が最終掘削盤に近付き仕上げ掘削を行なう時に用い、最終掘削盤凹凸管理、最終掘削盤傾斜管理、最終掘削盤仕上げ精度管理、ケーソン設置傾斜管理、ケーソン設置沈下管理、ケーソン設置シミュレーション等を行なう。ケーソン設置シミュレーションでは、最終掘削盤に、ケーソンを着底した場合、ケーソンはどの様に傾斜するのか、その設置誤差はどの程度かを評価するシステムである。これによりケーソンの沈設精

度が許容から外れると予想された場合は、効果的な修正案が瞬時に得られる様になっている。。図-7に海底盤仕上げ掘削管理システムのフローを示す。

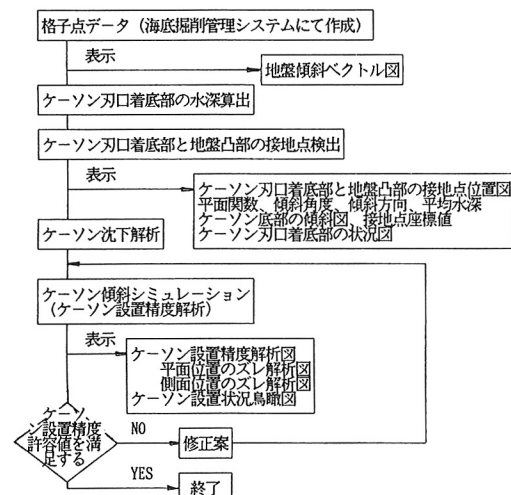


図-7 海底盤仕上げ掘削管理システムフロー

(2) 海底盤の掘削精度管理

ケーソンを沈設するには、海底掘削盤の状況や、ケーソン刃口の着底部の海底盤仕上げ掘削精度を把握することが重要である。海底盤仕上げ掘削精度の管理は、海底掘削状況管理または日常海底掘削管理で得られた海底地形データより、最終掘削海底盤の水深データを算出する。以下に海底盤の精度管理の出力例を写真-1～12に示す。但し、これらの写真は、海底盤の凸凹が良く判るように、仕上げ掘削盤の精度管理例ではなく、砕岩掘削後の粗掘削盤（水深-27m附近）を表示例として示した。

写真-1～3は、海底盤の掘削精度管理例であり、それぞれ掘削海底盤の鳥瞰図、等水深線図（コンター図）、傾斜ベクトル図である。

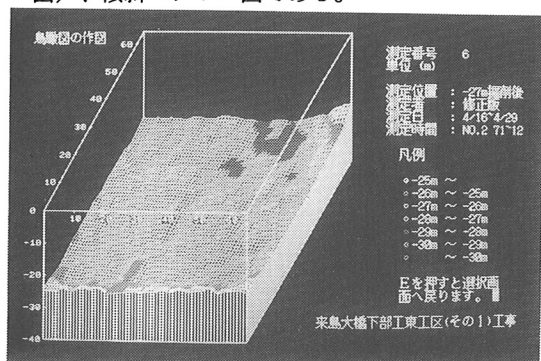


写真-1 掘削海底盤の鳥瞰図

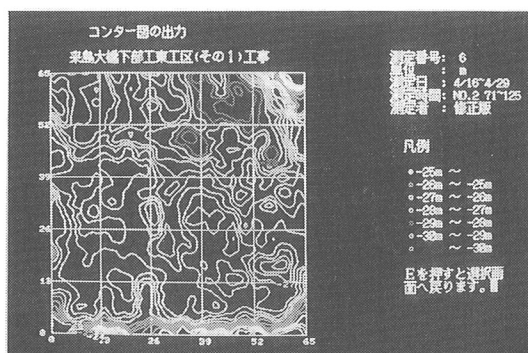


写真-2 等水深線図（コンター図）

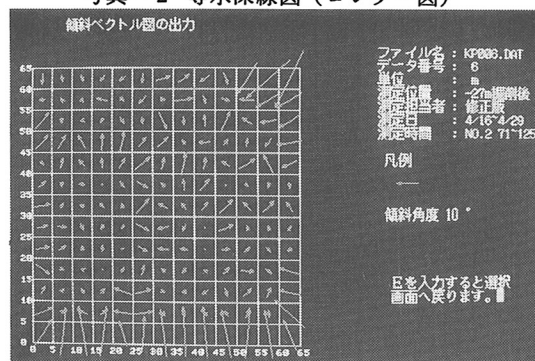


写真-3 傾斜ベクトル図

写真-4はケーソン刃口着底部における海底盤の掘削精度を解析した例である。ケーソン刃口着底部は1m毎にN0.1～N0.128の番号を付け（ケーソンの周長は約168m）、各点における地盤高を線で結び地盤の凹凸を示した。写真-5は、ケーソンを4方向から視準した時の、ケーソン刃口着底部における掘削精度を解析した例である。写真-4、5の解析より、この着底部地盤の平均深度は-27.4m、最高点はN0.15で-25.85m、最低点はN0.90で-28.39m、凹凸の標準偏差 $\sigma = 0.55\text{m}$ であること、また正面方向N0.1～N0.42の地盤が高く、背面N0.85～N0.126の地盤が低い等の情報が得られる。

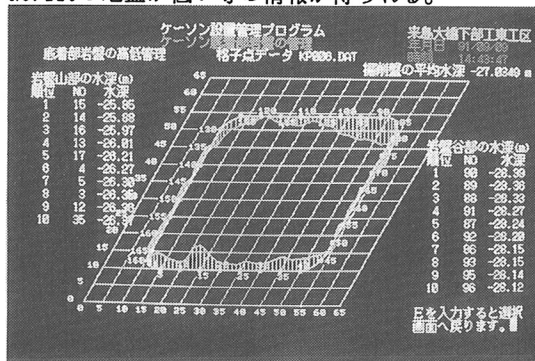
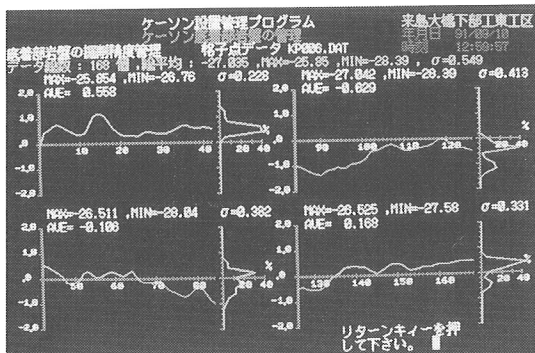
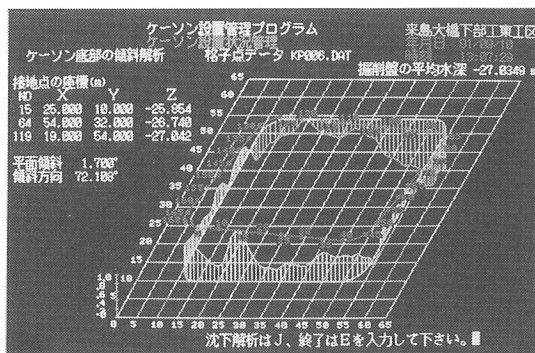


写真-4 ケーソン刃口着底部地盤の高低管理



(3) ケーソンの設置傾斜管理

前項(2)の海底盤の掘削精度管理で算出した、海底地盤の凸部とケーソン刃口が接する点のうち、ケーソンを支持する3点を求める。この3点でケーソンを支えた時、ケーソンはどの程度傾斜するのか、その傾斜方向はどの方角となるかを解析する。解析は、コンピュータが自動的にケーソンを支持する3点を探し出す。写真-6にケーソンの設置点位置算出例を示す。このときケーソンの重心は、ケーソンを支持する3点を結んだ三角形の内部に必ず入っていること、またその3点で決定される平面(写真-6では $Z = -0.0091X - 0.0282Y - 25.3439$)より上に地盤の凸点が無いことが、3点を選定する条件となる。海底地盤の最高点が必ず選ばれるとは限らない。



(4) ケーソン沈下解析

これまでの解析から、ケーソンを設置した場合その刃口面の傾斜状況、刃口と海底盤の設置状況を知ることができた。しかし、ケーソンの支持点の海底地盤上に掘削ズリがあったり、支持点地盤が破壊する等してケーソンが沈下した場合についての予測解析を行うことが出来る。当工事では、海底盤は岩盤であるため大きな沈下は考えられないが、ここでは例として判りやすくするため、設置したケーソンが平均で50cm沈下した場合の解析結果例を写真-9に示す。

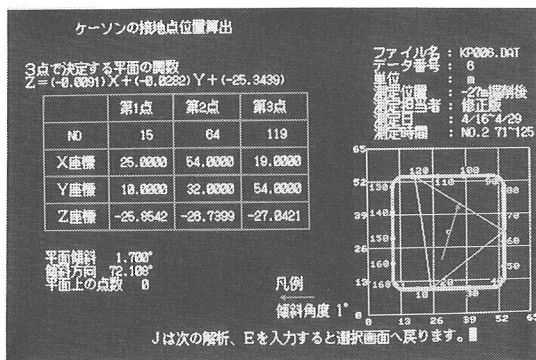


写真-7 はケーソンを海底地盤に設置した時のケーソン刃口面の傾斜状況を解析した例である。ケーソンを支持する3点は、N0.15、N0.64、N0.119であり、傾斜角度は 1.7° 、傾斜方向は 72.1° の方向である。写真-8 は写真-7 を4方向から視準した例である。

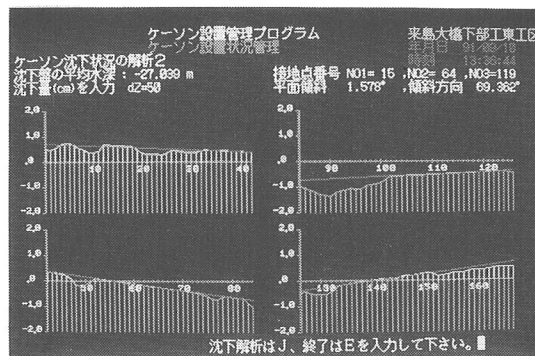


写真-9 ケーソン沈下解析

写真-9の例では、50cm沈下することによりケーソンの傾斜角度は 1.587° となり、沈下する前の傾斜角度 1.700° より傾斜角度は緩くなり改善されると予測される。

(5) ケーソンの設置精度管理

写真-10はケーソン本体の変形は無いものとして、ケーソンの天端と下端の平面図に描き入れた解析例である。ケーソンの天端と下端のズレが判る。この天端と下端のズレは、ケーソン4隅の点のX、Y方向の変位量(m)で表わされている。写真-11は、ケー

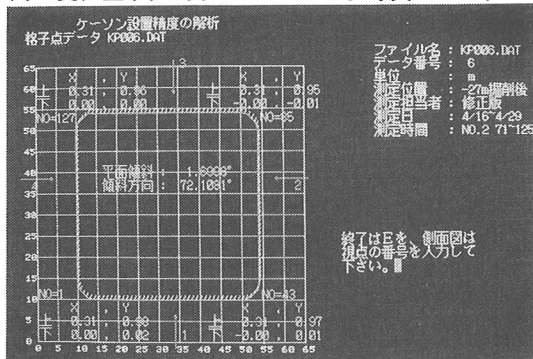


写真-10 ケーソン設置水平精度

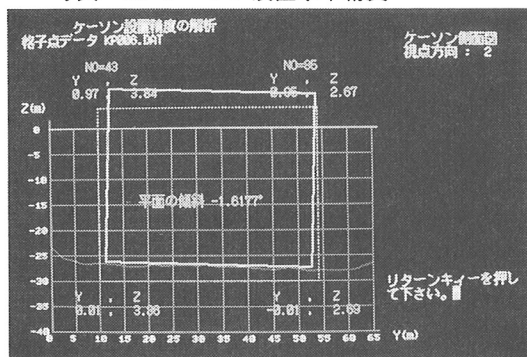


写真-11 ケーソン設置鉛直精度

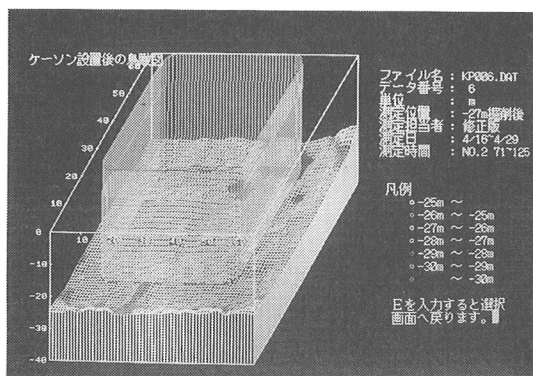


写真-12 ケーソン設置後の鳥瞰図

ソン右側面方向から視準した設置状況である。

写真-12は、写真-1の掘削海底盤に解析後のケーソンを設置した図である。

(6) 施工精度向上解析

これまでに述べた使用方法の他に、このシステムは海底地盤の深度値を強制的に変えて、変化させた地盤高での各種の解析を行うことが出来る。

掘削地盤の精度が悪くケーソンが大きく傾き、許容から外れると予測された場合には、コンピュータで掘削精度の悪い凸部を削りとり、凹部を埋め戻し修正する事が簡単にできる。写真-8の例では、NO.15附近が突起していてケーソンの傾斜を大きくしている。この様な時に、この突起している部分を削り取り、再度傾斜解析を行うことで、どの程度傾斜が改善されるかを知る事ができる。その方法例としては、まずこの突起部を10cm削りとり、この状態で傾斜解析を行ってみる。それでもケーソンの設置精度が許容範囲に入らなければ、さらに20cm、あるいは30cmと徐々に深く削って、それぞれの傾斜解析を行う。この突起部を30cm削れば、ケーソンの設置精度が許容範囲に入ると予測されれば、翌日の仕上げ掘削では、この部分を30cm掘削すれば良い訳で、効果的な修正案を瞬時に得ることが出来る。

このようにして、解析によって得られた情報を施工にも反映させることが可能となり、効率的な掘削を行えると共に海底地盤の掘削精度、ケーソンの設置精度を飛躍的に向上させる。

5. ケーソン据え付けシミュレーション

(1) 掘削底面確認工の測深結果

平成3年10月には、掘削を終了しダイバーによる水中水準器を用いて測深がおこなわれ掘削底面確認工が実施された。この掘削底面確認工の測深結果は、掘削完了の最終成果となるが、ケーソン設置工事は他社JVが担当するので、海底面の仕上げ掘削精度については、公団、当工事JV、及びケーソン設置JVの3者の合意を得なければならない、特に慎重に行われた。これに対処するため、この水中水準器での測深から得られたデータを用いて、ケーソン据え付けシミュレーションを行い、海底面の仕上げ掘削が充分満足いく精度であることを示した。

表-2は掘削底面確認工における水中水準器の測深結果である。

表-2 掘削底面確認工(水中水準器測深結果)

測定日 1991/11/5,6

測点NO.	水深計測定 (m)	スリ厚 (m)	スリ天端高 ①(TP- m)	地盤高 (TP- m)	確認測深値 ②(TP- m)	水深差 ②-①(m)
BM1	0.00		-30.01			
1	-0.10	0.05	-30.11	-30.16	-30.00	-0.11
2	0.05	0.03	-29.96	-29.99	-30.00	0.04
3	0.05	0.06	-29.96	-30.02	-30.00	0.04
4	-0.02	0.10	-30.03	-30.13	-30.00	-0.03
5	-0.05	0.08	-30.06	-30.14	-30.10	0.04
6	-0.22	0.12	-30.23	-30.35	-30.10	-0.13
7	-0.09	0.03	-30.10	-30.13	-30.10	0.00
8	-0.02	0.01	-30.03	-30.04	-30.10	0.07
9	-0.11	0.09	-30.12	-30.21	-30.00	-0.12
10	0.01	0.10	-30.00	-30.10	-29.90	-0.10
11	0.26	0.05	-29.75	-29.80	-29.80	0.05
12	0.39	0.05	-29.62	-29.67	-29.80	0.18
13	0.27	0.10	-29.74	-29.84	-29.90	0.16
14	-0.15	0.10	-30.16	-30.26	-30.00	-0.16

159	0.12	0.05	-29.89	-29.94	-29.80	-0.09
160	0.22	0.06	-29.79	-29.85	-29.80	0.01
161	0.21	0.07	-29.80	-29.87	-29.80	0.00
162	0.22	0.05	-29.79	-29.84	-29.90	0.11
163	0.22	0.03	-29.79	-29.82	-29.90	0.11
164	0.19	0.07	-29.82	-29.89	-29.90	0.08
165	0.15	0.09	-29.86	-29.95	-30.00	0.14
166	0.00	0.14	-30.01	-30.15	-30.10	0.09
167	-0.26	0.13	-30.27	-30.40	-30.10	-0.17
168	-0.24	0.10	-30.25	-30.35	-30.00	-0.25
平均値		0.084	-30.020	-30.104	-29.985	-0.034
最高値		0.400	-29.620	-29.670	-29.700	0.190
最低値		0.010	-30.420	-30.490	-30.200	-0.380
標準偏差		0.063	0.169	0.192	0.108	0.114

(2) ケーソン着底部地盤の管理

ケーソン刃口着底部地盤の高低管理および掘削精度を図-8に示す。

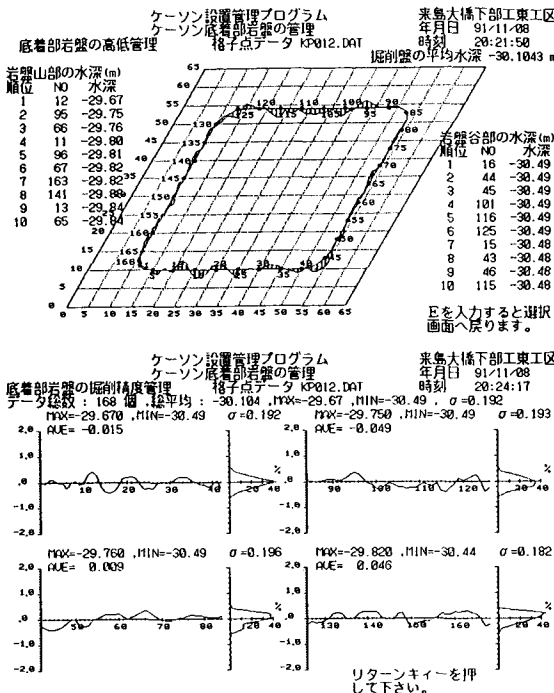


図-8 ケーソン着底部地盤の管理

(3) ケーソン刃口面のシミュレーション

ケーソンの設置点算出、刃口面の傾斜解析、刃口の設置状況を解析図を図-9に示す。

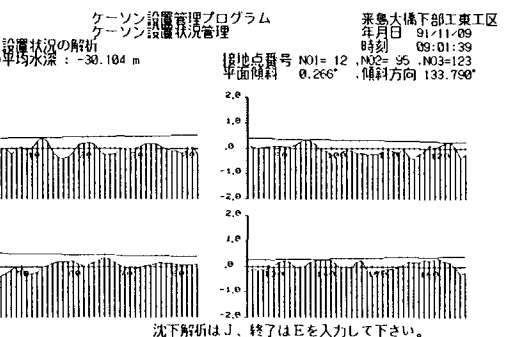
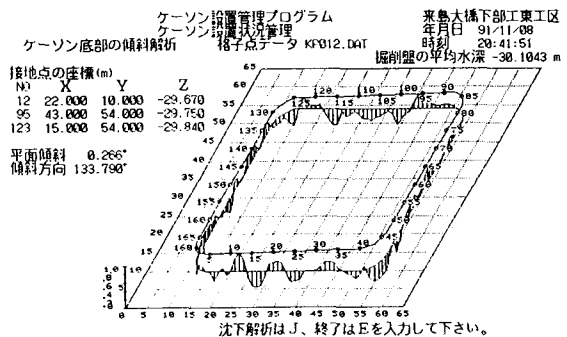
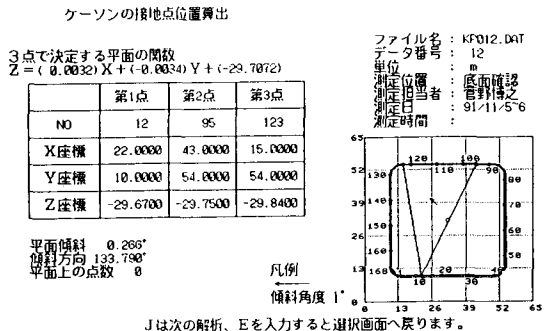


図-9 ケーソン刃口面のシミュレーション

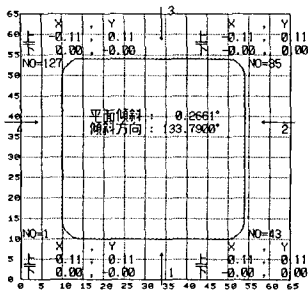
(4) ケーソン設置シミュレーション

ケーソン設置水平精度、鉛直精度、ケーソン設置後の鳥瞰図解析結果を図-10に示す。

6. あとがき

当工事では、平成元年11月に調査工事における海底試験掘削に、初めて海底掘削管理システムを導入

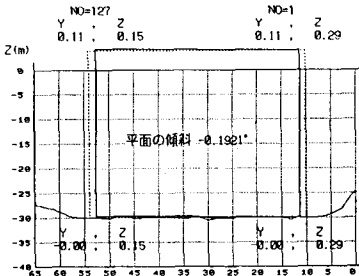
ケーソン設置精度の解析
格子点データ KP012.DAT



ファイル名: KP012.DAT
データ番号: 12
単位: m
測定位置: 底面確認
測定担当者: 吉野博之
測定日: 91/11/5-6
測定時間: :

終了はEを、側面図は
視点の番号を入力して
下さい。

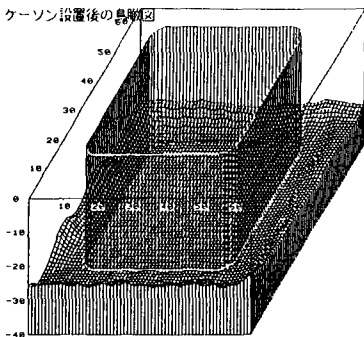
ケーソン設置精度の解析
格子点データ KP012.DAT



ケーソン側面図
視点方向: 4

リターンキーを押して
下さい。

ケーソン設置後の鳥瞰図



ファイル名: KP012.DAT
データ番号: 12
単位: m
測定位置: 底面確認
測定担当者: 吉野博之
測定日: 91/11/5-6
測定時間: :

凡例

- -25m ~
- -25m ~ -25m
- -27m ~ -26m
- -26m ~ -27m
- -23m ~ -26m
- -30m ~ -23m
- ~ -30m

Eを入力すると選択
画面へ戻ります。

図-10 ケーソン設置シミュレーション

し、続いて平成3年には本工事における日常掘削管理システムを、更に平成3年6月に海底盤仕上げ掘削管理システムを導入した。こうして、調査工事における掘削前の海底地形測量から、試験掘削、本工事における軟岩部の掘削、硬岩部の砕岩掘削、最終掘削盤の仕上げ掘削に至る全海底掘削工程において、徹底した情報化施工を行った。その結果、平成4年2月には、大型ケーソンの沈設が行われましたが、

天端の高低差は10数cm以下とほぼシミュレーションどおりに着底し、非常に高精度な施工を行う事ができ、同時に同システムの高い性能を実証しました。

情報化施工システム開発することは厄介なことであるが、一度システムを構築してしまえば、この報告でも述べたように、パソコン程度の頭脳で、海底の地形や掘削状況を瞬時に見る目を持つことができるし、ケーソンを設置しようとした場合、どの様に据わるかを予測する計算力も、地盤の何処を削ればより精度よく設置できるか検討する判断力も持つことができる。

昔から土木屋には経験、勘、度胸が必要とされました。かつて想像さえもしなかった大プロジェクトに従事する現在の土木屋にとっては、無限に近いデータバンクより瞬時に得られた過去の情報を経験として、目に見ることの出来なかった情報を計測により、数値で捉え状況を判断する勘と、多ケースにも及ぶシミュレーション結果から、自分が正しいと思う結果を選び採用する度胸を持つ事が必要であると思う。

より高度な計測器、電子機器の発達にともない、さらに高度化する情報化施工を有効に活用していくことこそ、現在の土木工事における経験、勘、度胸を養うものではないだろうか。

今後海洋工事における情報化施工の研究がより高度なものへ発展し普及することを期待すると共に、僭越ながら、本事例がこれに貢献できるものであれば幸いと考える。

最後に、本システムの開発、現場への適用にあたり、お世話になった本州四国連絡橋公団第3建設局の諸氏ならびに関係各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 角田素男、平野品己、岡崎謙一、原田雅弘 「海底掘削状況管理システムの開発と適応」第8回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集、PP317～322、1990年12月
- 2) 角田素男、平野品己 「海底掘削工事における測量システム」応用測量論文集、1992年6月、VOL.3
- 3) 「来島大橋」, かがり, 本州四国連絡橋公団 第三建設局 今治工事事務所、平成3年3月