

PC バージの計測計画

波 羅 芳 武*
限 元 幸 治**

1. はじめに

横浜港横断橋の下部構造は多柱基礎という新しい構造形式であるばかりでなく、大規模海中基礎構造物でもあり、施工にも特殊な工法が採用されている。

下部工の施工は

- ① PC バージのドック内施工
- ② PC バージの架橋地点への曳航
- ③ PC バージの海上施工
- ④ PC バージの仮支持杭上への沈設
- ⑤ PC ケーソン基礎柱の施工
- ⑥ 中詰めコンクリートの打設

の6段階にわたり、それぞれの施工段階において応力状態が変化するうえ、応力の一部は施工応力として残留する。そのため例えば、フーチングのPCバージに相当する部位においては、バージとしての応力とフーチングとしての応力とを加算した応力に対して設計がなされている。また、ドック内施工においても、バージのコンクリートを分割して打設するのでコンクリートの材令差による応力が発生する。

このようなPC構造物の施工管理を行うためには、通常の施工管理だけでは十分であるとは言い難く、施工管理の一環として応力・変形を計測し施工に反映するのが良いと判断され、計測による管理を行うことになった。

本稿は、PCバージの計測と施工管理計画について述べるものである。

2. 施工段階と問題点

(1) ドック内施工

ドック内の施工では、バージのコンクリート打設および一次プレストレスが行われる。

主塔バージのコンクリート打設は次の順序で行われる。

- ① 底版コンクリート
- ② 隔壁第1リフト
- ③ 側壁第1リフト
- ④ 隔壁第2リフト
- ⑤ 側壁第2リフト
- ⑥ 側壁第3リフト

このような層打ちの場合、コンクリートの材令差に伴う応力、更にはその自重によって支持地盤が沈下した場合は旧コンクリートに新たな応力が発生する。特に、数層に分けてコンクリートを打設する場合には応力が累加されることとなる。設計計算では支持地盤のバネ強さを5種類仮定して、各打設リフトごとに旧コンクリートの応力度を計算している。しかし、これらの累加応力は発生場所の想定が難しく、計算上厳密に考慮することはできない。そのため、これらの累加応力の大きさが無視し得るか否かを確認する必要がある。

プレストレス時では、必要なプレストレスが導入されたか否かが問題となり、特に隅角部、開口部ではプレストレスが導入されにくいいため、計算どおりのプレストレスが導入されたか否かを確認する必要がある。

また、PCケーブルと同じ方向の打継目がある場合、プレストレスの伝達がどのようになるかも問題となる。

(2) ドック内浮遊時

バージを浮遊させた場合、バージに水圧（側圧、揚力）が作用し、各部材に面内、面外応力が発生する。特に開口部では底蓋に作用する揚力がすべて開口部周辺に集中するため、開口部周辺の安全性を確認する必要がある。

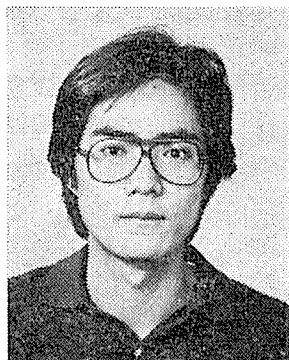
(3) 曳航時

曳航時はドック内浮遊時より吃水が27cmほど深くなる。

このため、水圧が増加し、隔壁上縁応力度がドック内



* Yoshitake HARA
首都高速道路公団
神奈川建設局特殊設計課
課長補佐



** Koji KUMAMOTO
首都高速道路公団
神奈川建設局特殊設計課

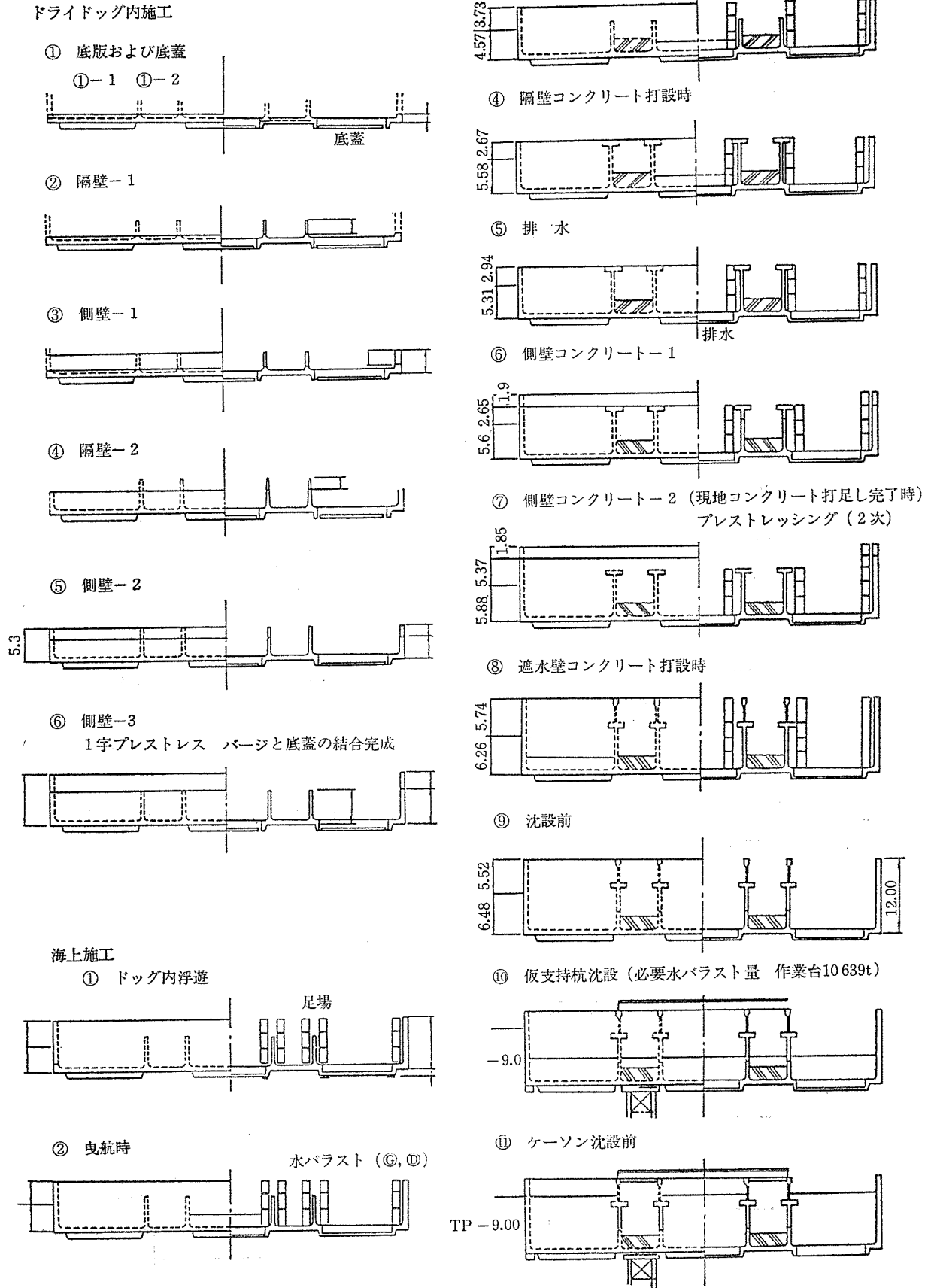


図-1 (a) 主塔基礎の施工工程 (1)

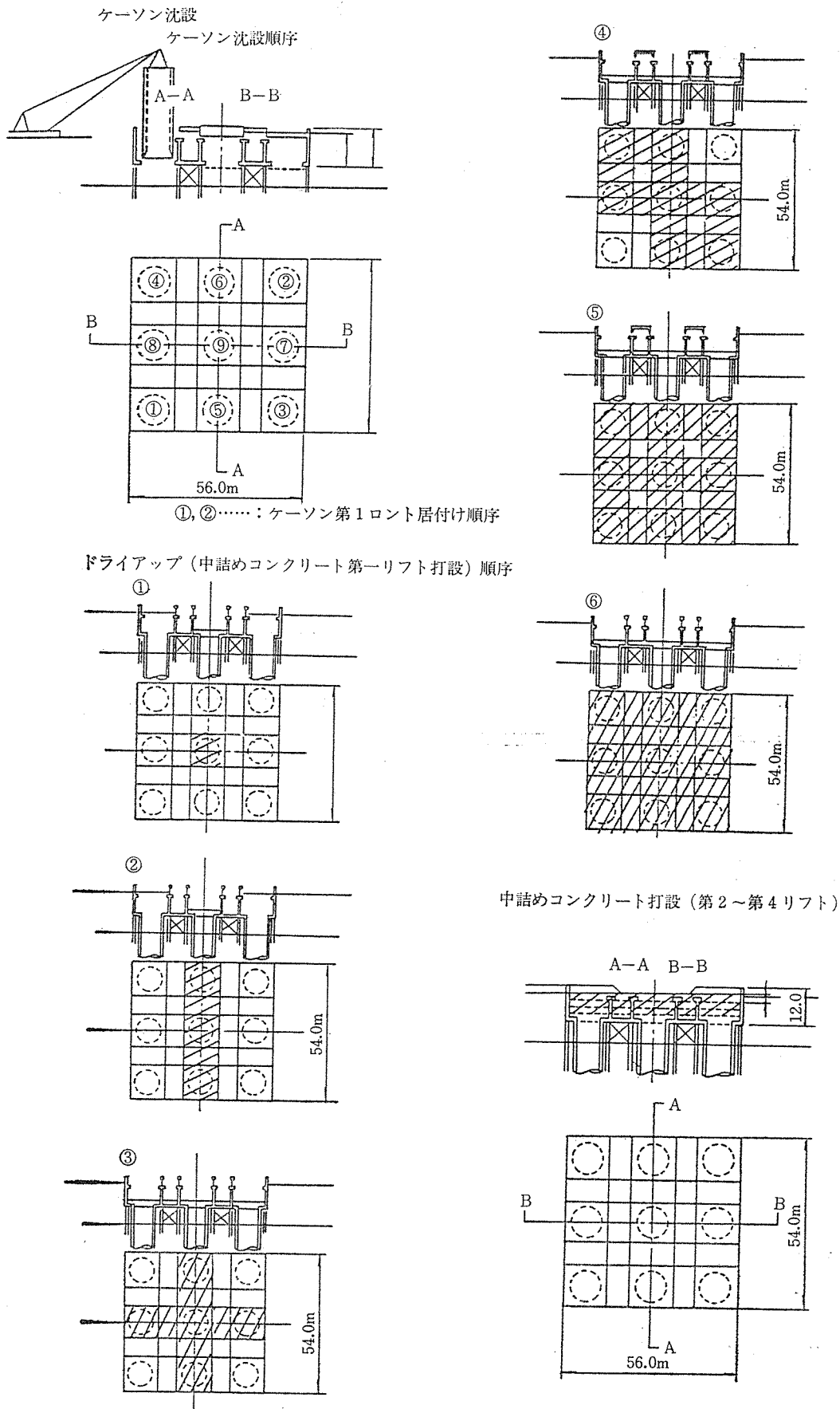


図-1 (b) 主塔基礎の施工工程 (2)

浮遊時よりも大きくなるが、風波の静かな日を選んで曳航するものとすれば特に問題はない。

(4) 海上コンクリート打足し時

海上部コンクリート打足しは、隔壁第1リフト、側壁第2リフト、遮水壁第1リフトの順で打設される予定である。この場合、ドック内施工と同様に各打設ごとに応力が累加され、最終的に側壁、隔壁上縁に引張応力が生じる。設計計算では仮支持杭に設置した状態でコンクリートを打設するものと解析しているが、実際の施工は浮遊状態で打設するので、支持条件の相違による応力の差が無視し得るか否かを確認する必要がある。

(5) 二次プレストレスング

海上部コンクリート打設後二次プレストレスを導入するが、この場合、既にプレストレスが導入されている一次施工コンクリート部と新たにプレストレスが導入される二次施工コンクリート部のプレストレスが打継目において不連続となる。しかし、クリープの進行とともに打継目の応力は次第に近づいてくることも考えられるので、打継目付近のプレストレスの分布を測定し、その挙動を確認する。

(6) ケーソン圧入時

ケーソン圧入時にはバージの側壁と隔壁を介してバージ自重に圧入反力を負担させるために、バージに大きな面内荷重が作用し変形も大きくなる。また、変形により仮支持杭より浮き上がった部分が再びもとの位置にもどるか否かも懸念される。よって、ケーソン圧入時にはバージ全体の変位とともに局所的な挙動にも注意する必要がある。

(7) ドライアップ時

ドライアップ時はケーソンとバージの間が止水されたのちバージ内部の海水が排水されて、側壁内外の水位差が大きくなる。このため側壁に作用する水圧が大きくなり、側壁に大きな面外応力が発生する。

(8) 中詰めコンクリート打設時

中詰めコンクリートは1mのリフト高さで8リフト打設される。このため、中詰め内部は断熱温度上昇の状態となる。一方、バージ周辺は海水であり温度は低い。

このような状態での中詰めコンクリートの熱膨張、乾燥収縮がバージまたはフーチング全体に及ぼす影響、すなわち、中詰めコンクリートの硬化に伴う乾燥収縮のためバージと打継目が開かないことを確認するとともに、PC 定着部の側壁に大きな力が作用するので定着部の支圧応力を確認する。

以上に述べた(1)~(7)の各施工段階図を図-1に示す。

3. 計測による管理項目

各施工段階における問題事項に対処するため、計測により管理する項目とそれに必要な計器の配置について検討した結果を各施工段階毎に記述する。

(1) ドライドック内

・設計で考慮していない層打ちによる累加応力、および地盤の沈下による応力の全体的なばらつき具合をコンクリートひずみ計を用いて測定する。

・プレストレス分布

プレストレスの効果とその応力分布を確認するために側壁、隔壁、底板および隅角部にコンクリートひずみ計を埋設して測定する。

隅角部側壁は側壁自体のプレストレス、底板のプレストレスにより応力が集中する。図-2に示すように側壁水平方向の応力は一応全断面圧縮となっているが、側壁の上下部でモーメントの方向が逆転している。

また、同じ位置の底板には、値は小さいが引張力が生じるので、これらについて確認する。

・施工目地

打継目を介したプレストレスの伝播性状を確認するために打継目上下縁にコンクリートひずみ計を埋設する。

測定は側壁中央1か所とする。

(2) ドック内浮遊時

ドック内浮遊時にはバージに水圧、浮力が作用し、側壁底板に面外応力が発生するが、吃水が浅いため各部材の応力度は問題とならない。しかし、開口部底板は応力集中箇所であり、またプレストレス量も少ないので、コ

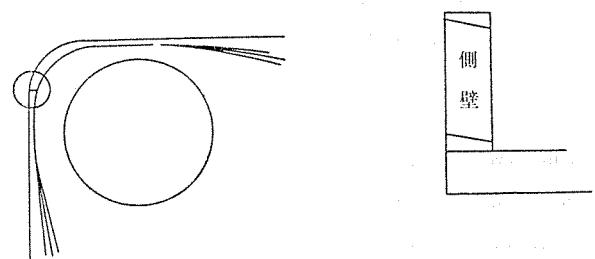


図-2

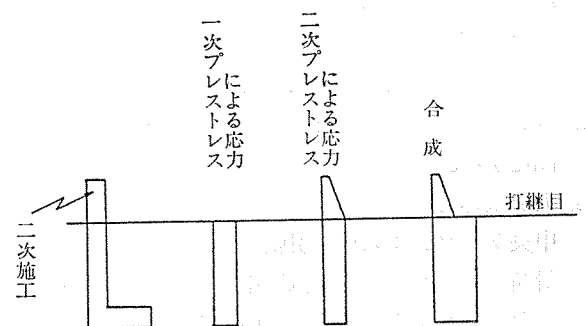


図-3

表-1 計 測 項 目

	引 張	変 位	傾 斜	応力集中	二次応力	乾燥収縮 温 度	プレストレス 分 布	備 考
ドック内施工	底板上面 隔壁第一リフト上側 (-13.9 kg/cm ²)	○						設計上考慮していない初期 応力また地盤沈下による応 力と全体的なばらつきを測 定
一次 プレストレス				開口部底板 底蓋取付部	隅角部 側 壁 底 版		側 壁 底 版	
ドック内浮遊			○					
海上打足し	隔壁中央(-11.5 kg/cm ²) (面内)		○					対角波を受ける場合に大き な応力度となる
二次 プレストレス					隅角部 側 壁 底 版		側 壁 底 版	ドック内施工と海上施工の 打継部
仮 支 持 杭			○	開口部底板				
ケーソン沈設	側壁中央上縁 〃 〃 〃	○	○					圧入時反力による応力
ドライアップ	側壁中央 開口部底板		○					
中詰め コンクリート			○			温度分布		
フーチング プレストレス								RC定着端の支圧応力(中 詰めとバースが離れた場合 を想定)

ンクリートひずみ計を埋設して応力を測定する。

(3) 現場打足し時

・隔壁中央の面内引張応力

側壁第2リフト打設時に隔壁中央に最大引張応力
-11.5 kg/cm²が生じるので、この応力を測定する。

・二次プレストレスの分布

二次プレストレスを導入した場合の側壁プレストレス
の分布は、一次プレストレスと合成されて図-3のよう
になることを確認する。

設計上では打継目の不連続応力はクリープの影響によ
り、次第に近づくものとしている。よって、設計上の考
え方を確認するためにコンクリートひずみ計を用いて応
力分布を測定する。

(4) 仮支持杭設置時

仮支持杭設置時は特に大きな応力は発生せず問題はな
いと考えられる。

(5) ケーソン圧入時

ケーソン圧入時は圧入反力のためバースを持ち上げる
形となり、側壁に大きな面内応力が生じるので、側壁上
縁にコンクリートひずみ計を埋設して、沈設時の面内応
力を測定する。

最大引張応力

中央ケーソン圧入時 引張応力なし
対角ケーソン圧入時 側壁中央下縁 -11.8 kg/cm²
端ケーソン圧入時 側壁中央上縁 -23.5 kg/cm²

(6) ドライアップ時

ドライアップ時は水深が深い所で内部の水を排除する
ために側壁部に大きな面外応力が生じるので、これを測
定する。

最大応力

ドライアップ 2, 3

側壁中央 水平方向 -23.4 kg/cm²
鉛直方向 -25.2 kg/cm²

ドライアップ 4

対角ケーソン部側壁

水平方向 -6.9 kg/cm²
鉛直方向 -13.2 kg/cm²

(7) 中詰めコンクリート打設時

・中詰めコンクリートはリフト高さ 1m で打設され
るため、コンクリートの水和熱による温度上昇が予想さ
れる。一方、バースの外は海水中であるため温度が低
く、熱の放散性がよい。このような状況での温度応力を
調べるためにコンクリートひずみ計を埋設して、温度と
応力を同時に測定してフーチング内部と端部の温度分布
を調べる。

・乾燥収縮によるバースとの離れ

中詰めコンクリートの硬化に伴う乾燥収縮により、バ
ースとの打継目が開かないことを確認するため、継目計
と鉄筋計を用いて間隙幅および鉄筋応力を測定する。

・中詰めコンクリートとバース側壁が離れた場合、PC
定着部のバース側壁に大きな力が作用するので、コンク
リートひずみ計を用いて定着部の支圧応力を測定する。

以上に述べた各施工段階の計測項目を表-1に示す。

4. 計測システム

4.1 渠底沈下量の測定

ドック渠底の沈下量を水準測量により測定する。

(1) 測定位置

測定位置を図-4に示す。

(2) 測定時期

- ① 各リフトのコンクリート打設前
- ② 各リフトのコンクリート打設後
- ③ その他、必要に応じて行う

4.2 バージの計測

(1) 埋設計器

埋設計器は測温機能を有するカールソンひずみ計を主体とし、コンクリートの乾燥収縮あるいはクリープ等の影響を補正する目的でコンクリート有効応力計および無応力計を配置している。また、引張応力の発生が予想される場所には鉄筋計を配置している。

計器の仕様を表-2に、計器の配置を図-5に示す。

(2) 計測システム

本計測は自動計測とし、そのシステムを図-6に示す。

(3) 計測時期と頻度

計測は定期計測、施工段階毎の計測、臨時計測を行う。

① 定期計測

2日に1回程度測定を行い、日変化、異常データの有無を確認する。

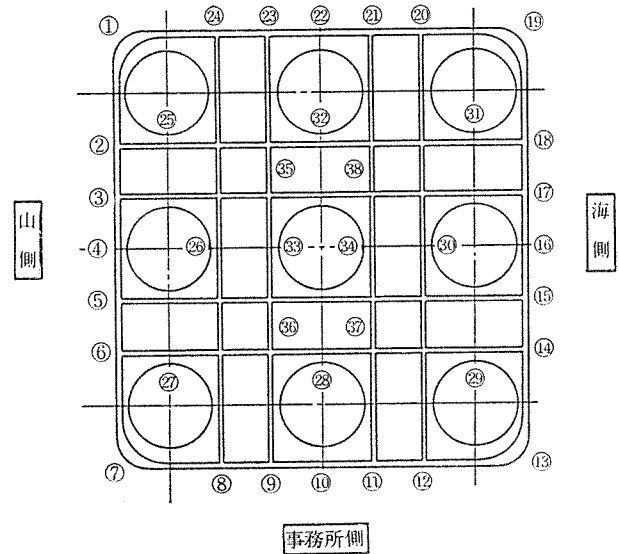


図-4

表-2 計器仕様

計器名称	型式	容量	精度	許容過負荷重量	計器メーカー	備考
コンクリートひずみ計	CS-10 F	引張 圧縮	1.5% FS	120%	共和電業	カールソン型
鉄筋計	RF-32 C	引張 圧縮	2.0% FS	120%	〃	〃
	RF-25 C	引張 圧縮	2.0% FS	120%	〃	〃
応力計	CSI-10 F CSN-1 B	引張 圧縮	1.5% FS	120%	〃	〃
温度計	CTE-1 K		0.3°C	120%	〃	〃
コンクリート有効応力計	GK-100-505		1.5% FS	120%		

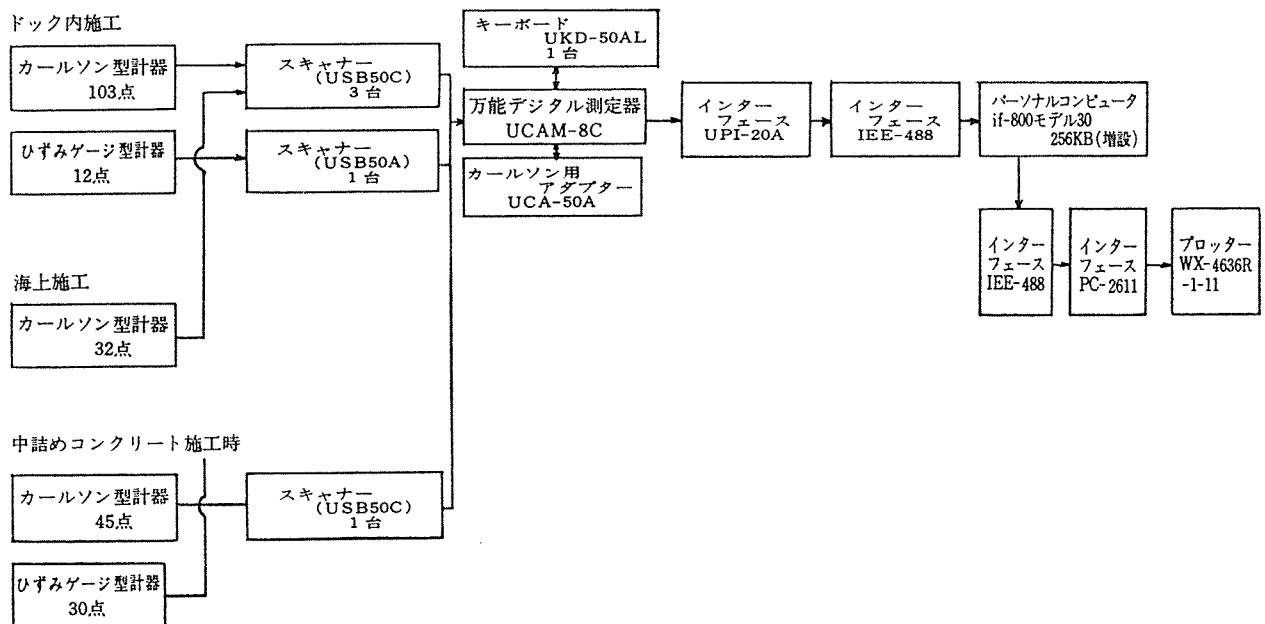
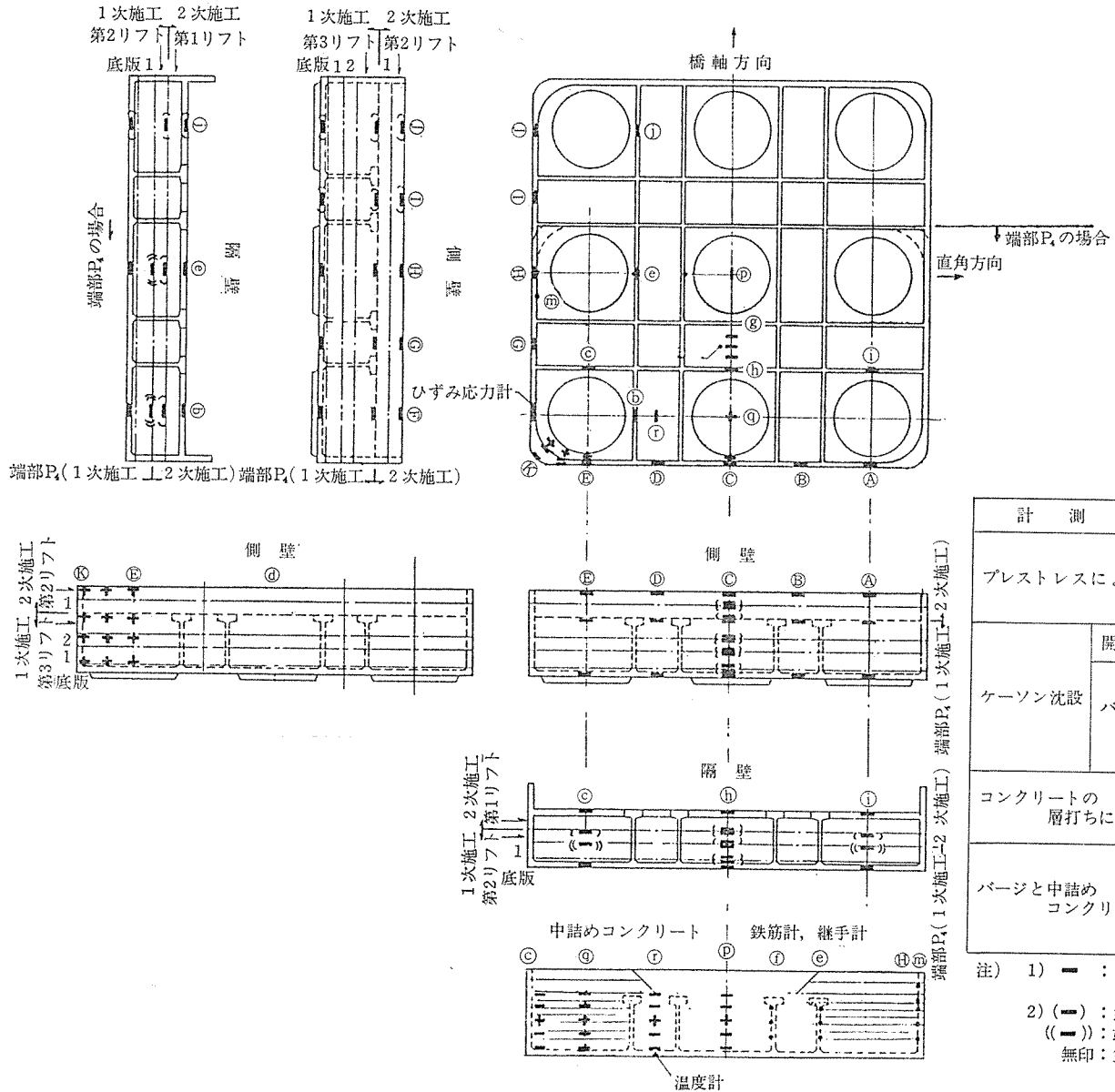


図-6 計測システム



ゲージ数		主塔P ₂	端部P ₄	計
バ ー ジ	コンクリートひずみ計	129	106	235
	鉄筋計	3	3	6
	継目計	16	—	16
	無応力計	2	2	4
	温度計	1	—	1
	有効応力計	12	11	23
コンクリートひずみ計		29	—	29
総計		192	122	314

計測項目	着目点	目的	備考
プレストレスによる応力分布	側壁, 隔壁, 底版, 隅角部 一次施工, 二次施工の目地部	設計々算上必要なプレストレスが導入されたことを確認する。	面内 隅角部面外
ケーソン沈設	開口部応力集中	開口部底版	設計々算で考慮していない応力が生じた場合の安全性および残留応力の完成後に与える資料を得る。また, ケーソン沈設圧入荷重を管理する。
	バージの全体挙動	圧入反力によるバージのねじり 面外応力等全体挙動, 残留応力	
コンクリートの層打ちによる累積応力	各リフトの面内 応力施工目地上下のひずみ分布	設計々算に考慮されていない初期応力の確認。	面内
バージと中詰めコンクリートの一体性	バージと中詰めコンクリートのはなれ(中詰めコンクリートの温度分布)	設計々算上バージとフォーミング完成系の一部としているため, 一体に挙動していることを確認する。	○鉄筋計, 継目計温度分布

注) 1) (—) : 2方向のゲージを部材の両表面に埋設して面外応力を測定する。よって1点の測定位置につきゲージ4個となる。
 2) (一) : 主塔P₁にのみ適用する。
 ((—)) : 端部P₄にのみ適用する。
 無印 : 主塔および端部に適用する。

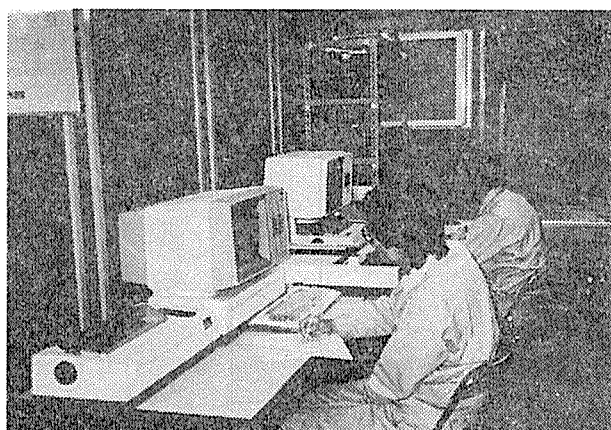
図-5 埋設計器配置図

表—3 (a) 測定時期と頻度 (ドック内)

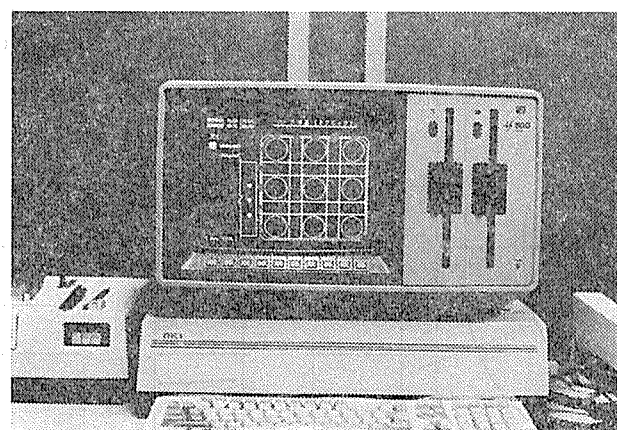
No.	測定目的	測定期間	測定頻度	特記事項
1	初期値設定	コンクリート打設前1~2日 ~コンクリート打設時	1時間毎	作動確認, 初期値設定 (1°C→15 μ)
2	コンクリート打設時	コンクリート打設時~ コンクリート打設後1週間	1時間毎	コンクリート硬化時の温度分布, 温度応力 コンクリートの層打ちによる累積応力
3	PC緊張時	緊張前~緊張後 (22日間)	1時間毎	プレストレスによる応力分布
4	ドック内注水時	ドック内注水時およびバージ内 注水時 (1週間)	1時間毎	水頭差による面外応力分布
5	RCバージ浮上時	バージ内排水時 (2~3日)	1時間毎	水頭差による面外応力分布

表—3 (b) 測定時期と頻度 (海上)

No.	測定目的	測定期間	測定頻度	特記事項
6	係留時	バージを所定位置に係留後1日	1時間毎	。バージ浮上時のデータと比較し, 曳航時の異常無しを確認する。 。海上施工の初期値の設定
7	コンクリート打設時	コンクリート打設時~ コンクリート打設後1週間	1時間毎	。コンクリート硬化時の温度分布, 温度応力, コンクリートの層 打ちによる累積応力
8	PC緊張時	緊張前~緊張後 (22日間)	1時間毎	プレストレスによる応力分布
9	仮支持杭設置時	設置前後2日	1時間毎	。設置状況の確認
10	底蓋撤去時	撤去前後2日	1時間毎	。ケーソン圧入時の基準応力の測定
11	ケーソン圧入時	圧入時随時	連続計測	。圧入応力および全体の挙動
12	ドライアップ時	排水前後2日	1時間毎	。水頭差による面外応力分布
13	中詰めコンクリート打設	コンクリート打設時~ コンクリート打設後1週間	1時間毎	。コンクリート硬化時の温度分布, 温度応力, 新旧打継目の監視
14	フーチングPC緊張後	緊張前~緊張後 (22日間)	1時間毎	。プレストレスによる応力分布



写真—1



写真—2

② 施工段階毎の計測

表—3 に示す計測を行う。

③ 臨時計測

台風による波浪等異常荷重が作用する恐れがある場合随時測定する。

以上に述べた PC バージの計測と施工管理の様子を写

真—1, 2 に示す。

また, 施工段階毎の計測結果の一部を 図—7~図—13 に示す。

5. おわりに

PC バージの計測計画について述べてきたが, 既に 4

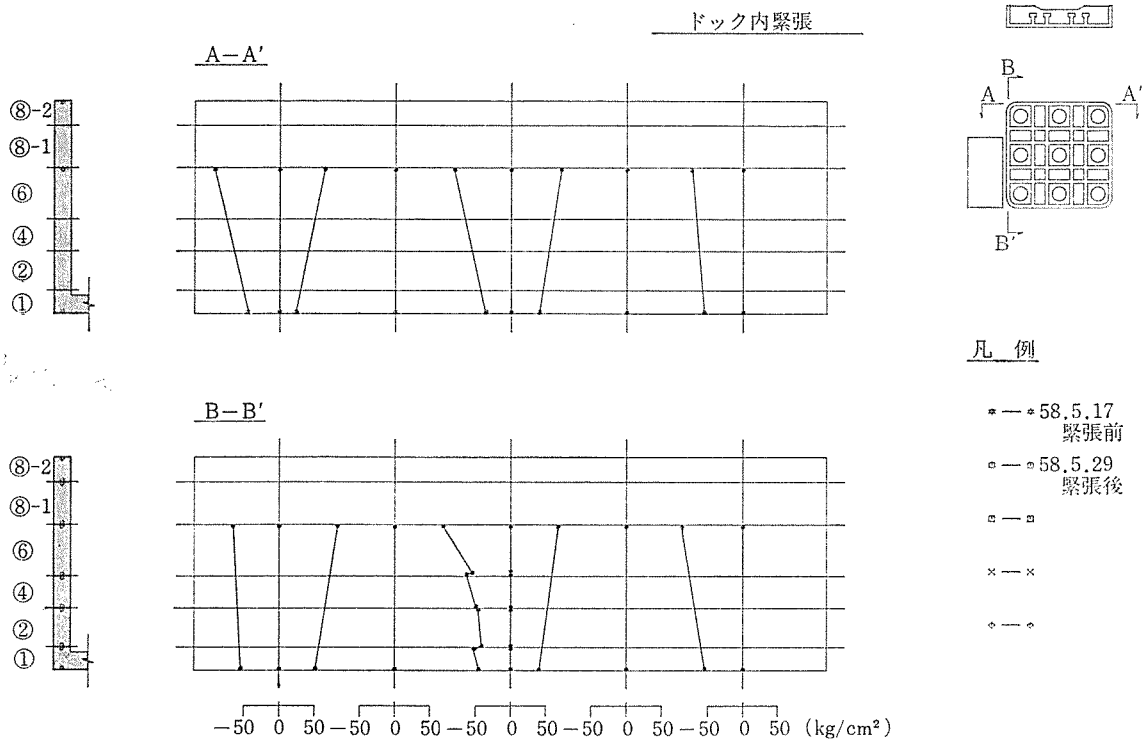


図-7 側壁部面内応力分布図

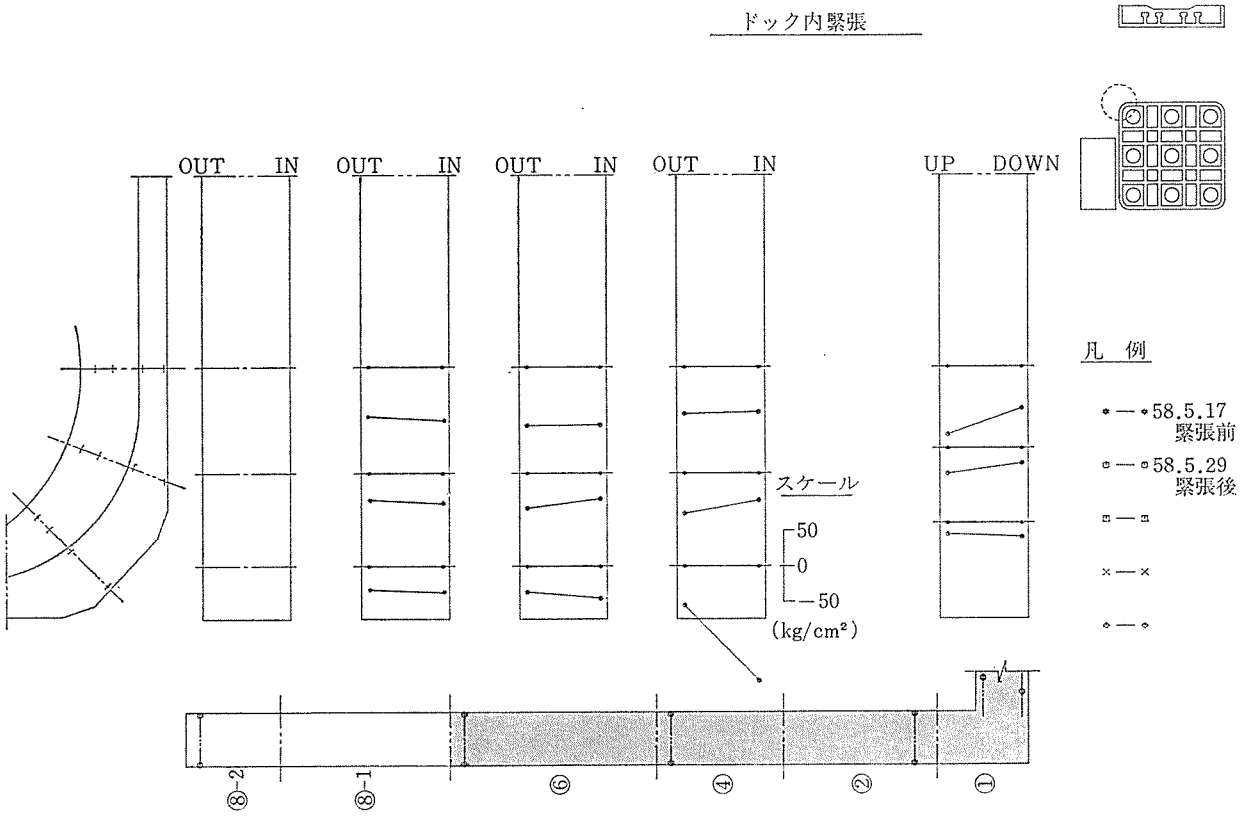


図-8 開口部面外応力分布図

海上施工部緊張

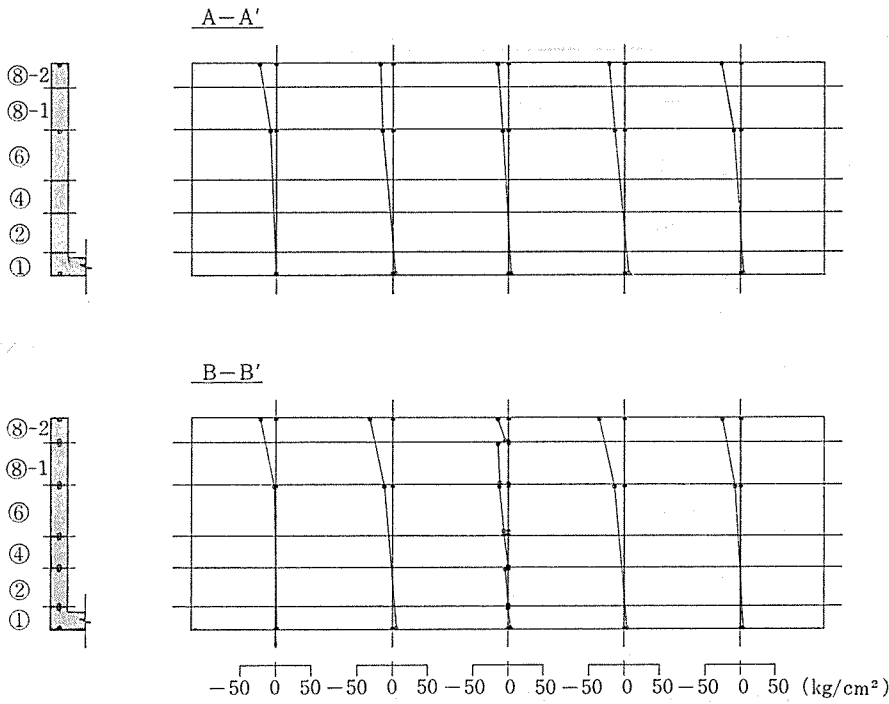


図-9 側壁部面内応力分布図

ケーソン柱圧入時

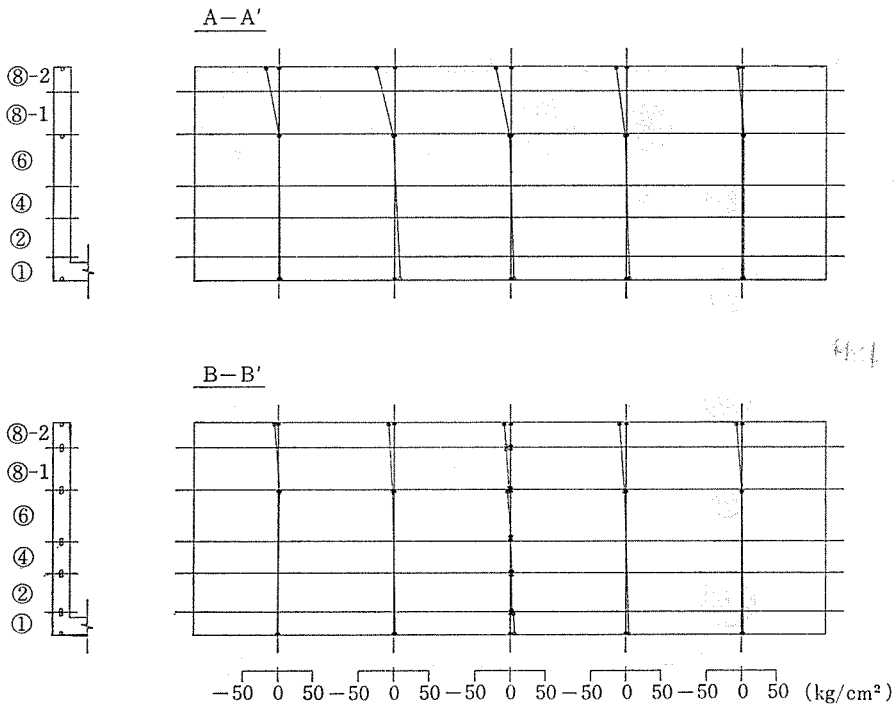


図-10 側壁部面内応力分布図

ケーソン柱圧入時

測定時刻 10/26 [19:09]
 基準時刻 03/30 [09:30]

バース平面【底板】

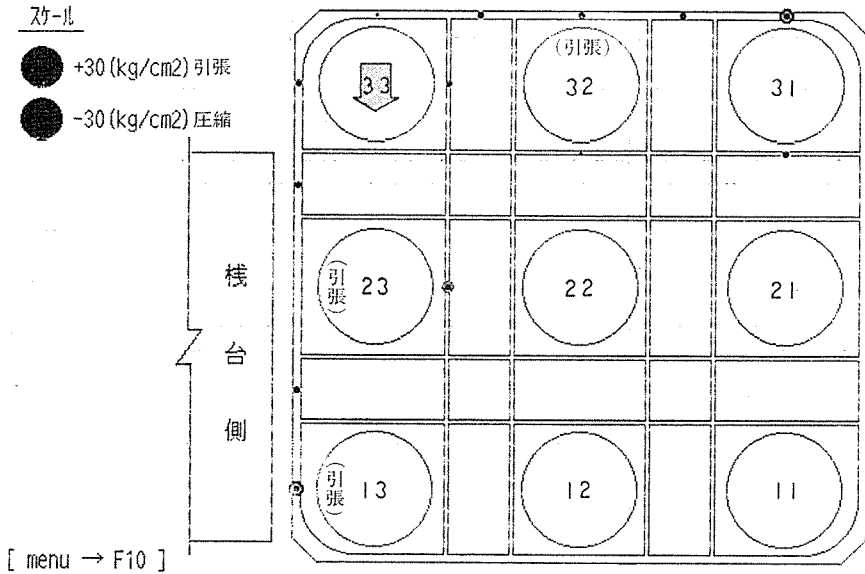


図-11 応力分布図 (P_{max} 2483 t)

ケーソン柱圧入時

測定時刻 10/26 [19:09]
 基準時刻 03/30 [09:30]

バース平面【8ブロック】

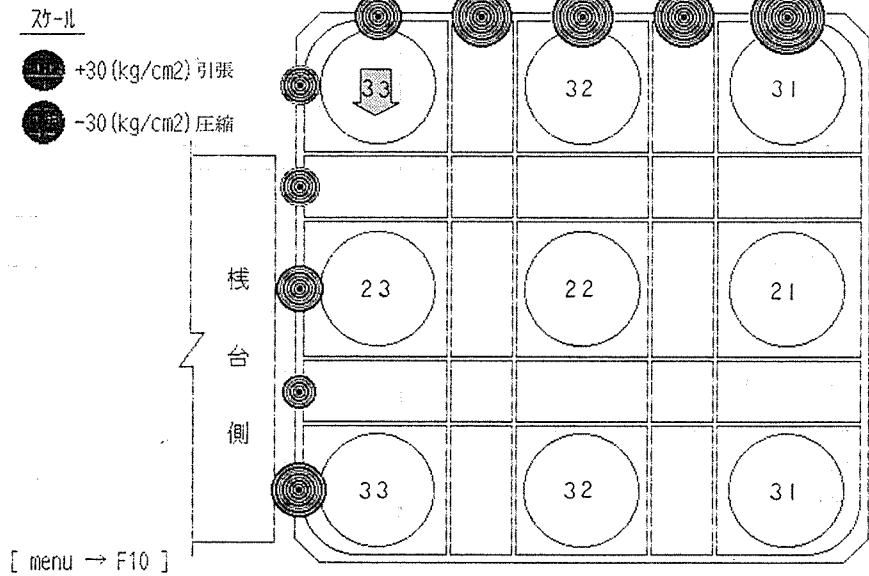


図-12 応力分布図 (P_{max} 2483 t)

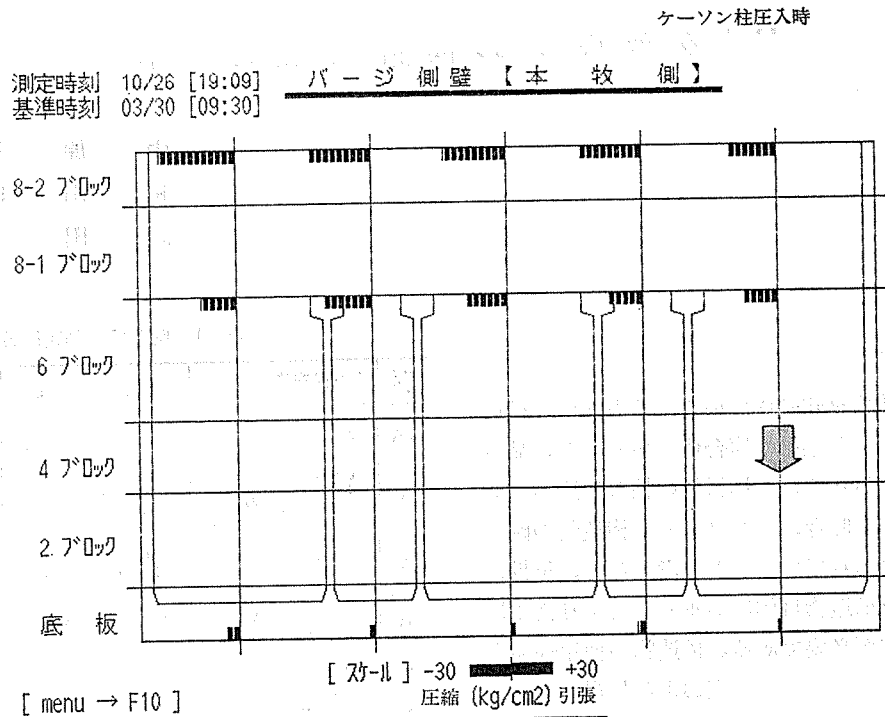


図-13 応力分布図 (P_{max} 2483 t)

基すべての PC バージが完成して架橋地点に曳航されケーソンの圧入作業の工程に入っている。計測データもかなりの量になり、現在、解析を行っている最中である

が、今後、PC バージの施工時の挙動を把握して設計との比較を行う予定である。

◀刊行物案内▶

PC くい基礎の最近の進歩

—PC くいの正しい使い方—

体 裁：A4判 246 ページ
 定 価：2,000 円 (会員特価 1,800 円) 送 料：800 円
 内 容：1) PC くい, 2) PC くい基礎の設計, 3) PC くいの施工, 4) 超高強度コンクリートくい, 超大径くい

お申込みは代金を添え、(社)プレストレストコンクリート技術協会へ