

発電所の取水ピットに鉄筋コンクリート製ケーソン構造を導入

—橋湾発電所における取水ピットの設計・施工と捨石基礎の計測—

A Report of Reinforced Concrete Caisson used for Intake Pit in Thermal Power Station

亀田 進* ・塩野 明** ・杉本達弘***

Susumu Kameda, Akira Shiono, Tatsuhiko Sugimoto

The water intake in Tachibanawan Thermal Power Station operated by Shikoku Electric Power co., Inc. has a caisson structure of largest size in Japan with functions of both water intake and seawall for reclaimed land. This structural arrangement was able to satisfy many kinds of restrictions include shortening of construction time and ensuring of economical cost.

This report begins with the explanations of the reason why caisson structure was selected, the applied design principles and the outline of construction works. Next, the report describes the contact pressures between riprap foundation and caisson base slab. The contact pressures were measured on site in order to understand the deformation and spring characteristics of riprap foundation.

Keyword: caisson structure, riprap foundation, deformation characteristics

1. はじめに

橋湾石炭火力発電所は、徳島県阿南市の橋湾に浮かぶ小勝島に四国電力(株)と電源開発(株)が共同で立地する発電出力 280万 Kw (四国電力 70万 Kw* 1 基, 電源開発 105万 Kw* 2 基) の石炭専焼の火力発電所である。

同発電所は、平成 7 年 2 月に公有水面埋立免許を取得後、同年 3 月より土木工事に着手し、約 5 年余りの建設期間を経た後、平成 12 年 7 月に四国電力および電源開発の 1 号機が運転開始し、翌年 1 月に電源開発 2 号機が運転開始する予定である。

発電所建設工事は平成 9 年 5 月現在で、埋立竣功認可を得て用地造成工事が完了しており、引き続き取放水設備工事および建築工事に着手し鋭意工事を進めている。

当発電所の位置および全体計画図を図-1, 2 に、発電所の概要を表-1 に示す。

当発電所の大きな特徴は下記のとおりである。

- ① 発電所地点が「瀬戸内海環境保全特別措置法」の適用海域であることから、
 - a. 発生する石炭灰の大半を有効利用することにより灰捨場を設置しない
 - b. 石炭貯蔵設備をサイロ方式とし施設のコンパクト化を図る
 - c. 工業用水タンク、開閉所等は共有化を図ることにより埋立面積を最小限とした。
- ② 橋湾は「阿波の松島」と呼ばれる風光明媚な場所であり、しかも小勝島東側が「室戸阿南海岸国定公園」に指定されていることから、
 - a. 可能な限り自然改変を避けて緑地を残す
 - b. 周辺の景観にマッチするような建屋の形状、色彩とする
 等に配慮した。

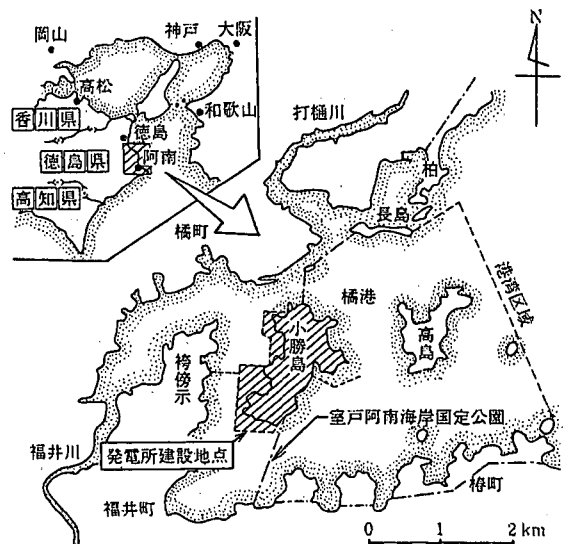


図-1 発電所位置図

* 正会員 四国電力㈱ 橋湾火力建設所 土木第一課(〒774 徳島県阿南市橋町幸野100の1)

** 正会員 四国電力㈱ 橋湾火力建設所 土木第一課

*** 正会員 四国電力㈱ 橋湾火力建設所 土木第一課

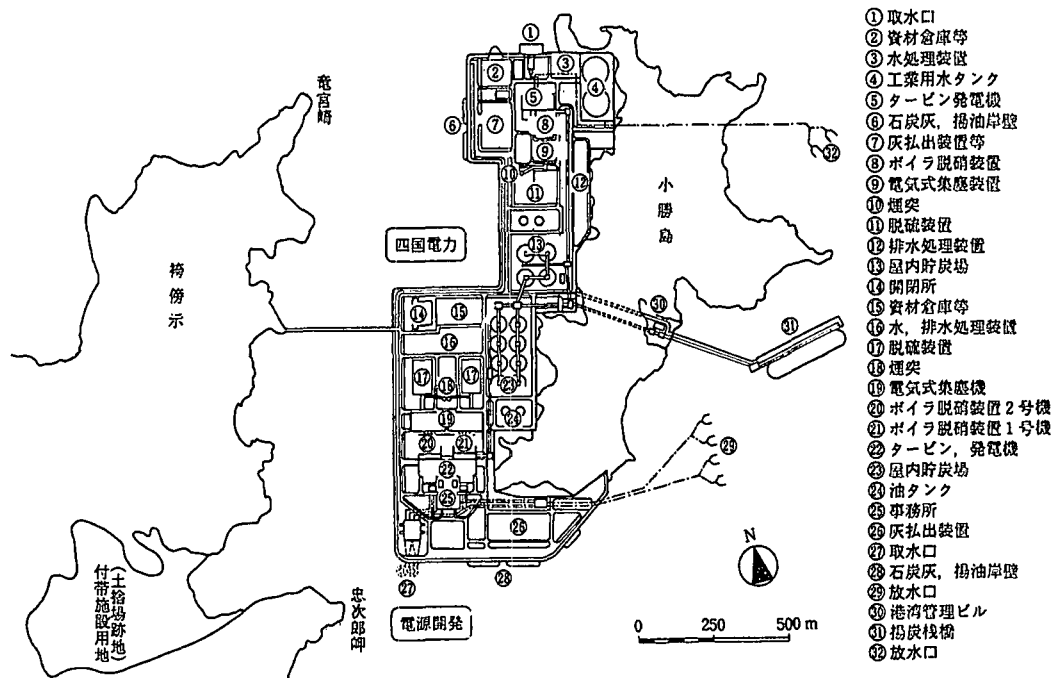


図-2 発電所全体計画図

また、当発電所の敷地造成工事で採用した主な新技術・新工法は下記のとおりである。

① 護岸工事関連

- a. 取水ピットケーソンの採用
- b. 急傾斜海底地盤への根入れ式鋼板セル工法の採用
- c. 海底堆積土のセメント固化による陸上盛立処理工法の採用（論文集 No. 67）

② 海域埋立工事関連

- a. 簡易フローティングコンベアによる薄層まきだし工法の採用（論文集 No. 71）

これらの中から本文では、取水ピットケーソンについて紹介する。

2. 取水ピットケーソン

表-1 発電所の概要

敷地	地盤高	D. L. + 4.5 m
	敷地面積	約 25 万 m ²
地	埋立土量	約 80 万 m ³
護岸・岸壁	北護岸	控え鋼矢板式 110 m ケーソン式（取水ピット） 20 m 場所打ちコンクリート式 105 m
	西岸壁	根入れ式鋼板セル 402 m 2,000 DWT級×3ハース （前面水深 -5.5m）
	西護岸	捨石式傾斜堤 443 m
	護岸・岸壁延長	約 1,080 m
	容量	約 220 万 m ³
土捨場	浚渫土砂固化	約 120 万 m ³ 含む

表-2 取水ピットケーソン諸元

項 目	諸 元	
寸 法	L=4 0m, B=2 0m, H=1 3. 1m	
重 量	W=9, 2 0 0 t(止水蓋等を含む)	
壁 厚	底 版	1. 3～1. 5m
	側壁・後壁	1. 5m
	天端スラブ	0. 6m(補強梁有り)
	内部導流壁	1. 0m
取水量	3 2m ³ /s, 3 水路式, ポンプ 2 基	
主 要 設 備	角落とし(製作時に設置) スクリーン、ポンプ室他	

2-1. 取水ピットケーソン採用の経緯

橋湾発電所は橋湾の湾奥に位置し、北側海域の対岸には既設発電所（四国電力 阿南発電所：125万Kw）が運転中であり温排水拡散実験を実施し取水口の位置を決定している。また、北側海域は橋湾の主要航路であるため、取水口を前面に張り出すことができないことから、取水口から発電所タービン建屋までの距離が非常に短いレイアウトとなった。

そのため、取水ピットをコンクリートケーソンとして製作し、護岸の一部としても利用する方が、護岸構築後に新たに取水ピットを構築するよりも工程短縮・作業エリアの確保が図れ、経済的にも優れていると考えられた。

取水口および取水ピットケーソンの諸元を表-2に、構造を図-3、4に示す。

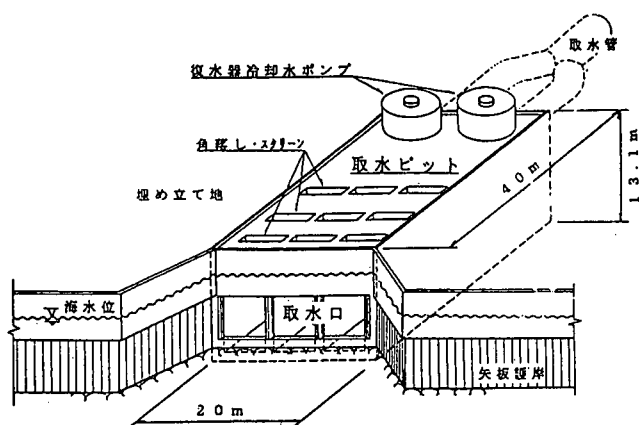


図-3 取水口構造図

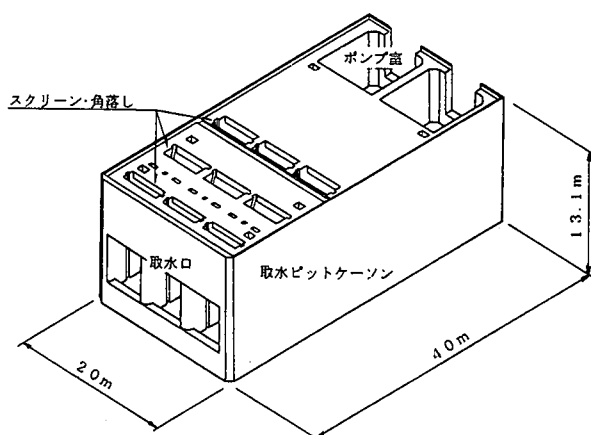


図-4 取水ピットケーソン構造図

2-2. 取水ピットケーソンの設計

取水ピットケーソンは、発電に直接関わる重要な施設となるため、基礎は十分な信頼性を有し、不同沈下の発生しない構造とする必要がある。また、躯体は一般の護岸ケーソンとは別に、発電設備としての条件をも満足する構造でなければならない。

a. 基礎

取水ピットケーソン基礎部には、軟弱な（N値＝0～2）シルト質粘土が7～16m堆積し、支持層（岩盤）も沖側に向かって約1：4の勾配で傾斜している。そのため、不同沈下防止対策として下記対策を実施している。

- ・軟弱層を良質な捨石に置換する。
- ・取水ピットケーソン直下においてD.L-14.5m以浅に岩盤が露出する部分は、その岩盤を取り除く。
- ・深層部分(D.L-14.5m以深)の捨石は1～2t/個の石を投入し、その空隙部分に特殊水中コンクリートを充填固化し水平なマンメイドロックとする。
- ・上部捨石層は、厚さ6mに均一化する。

取水ピット基礎構造図を図-5に示す。

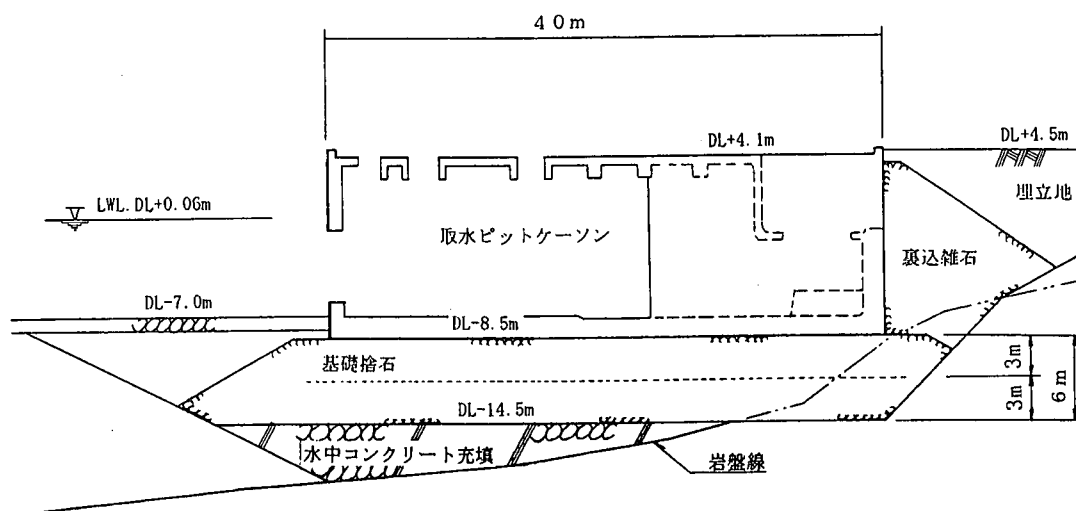


図-5 取水ピット基礎構造図

b. 躯体

取水ピットケーソン躯体の設計は、工事施工中、埋立完了後および発電所定期検査時等の各状態に応じた検討を加え、取水ピットケーソンの安定性および健全性を確認している。

検討ケースを表－3に、取水ピットケーソンの断面図を図－6に示す。

表－3 検 討 ケ ー ス

検 討 ケ ー ス	状 態	部 材	支 持 力	滑 動	そ の 他 ・ 備 考
進水・浮遊時	短 期	○	－	－	浮体としての安定性・復元性
ケーソン据付時	短 期	○	○		吊筋の健全性
埋 立 竣 功 時	常 時	○	○	○	
	地震時	○	○	○	設計震度 Kh=0.15
ケーソン内部工事時	短 期	○	－	○	ピット内部をドライアップ
取水ピット完成時	常 時	○	○	○	ピット上部機器設置
	地震時	○	○	○	設計震度 Kh=0.20
PS定期検査時	短 期	○	○	○	ピット内部をドライアップ

取水ピットケーソンの安定性については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に基づき、各状態での安定性を確認している。また、構造部材の健全性については、主に下記項目の設計を行った。

- 1) 取水ピットケーソン横断方向についてはボックスラーメン構造として設計する。
- 2) 同縦断方向については版として設計し、2次元FEM計算を行う。
- 3) 底版、天端スラブおよび側壁については、ケーソン全体を縦断方向に引き裂く力（具体的には、浮遊時に底板に作用する揚圧力、埋立後の基礎マウンドの不同沈下に伴う地盤パネの不均等化）に配慮して、各々の版とそれに直交する部材の剛性を取り入れたFEM計算を行う。
- 4) 吊筋は、ケーソンの重心、浮心および吊上げ力の中心がバランスするような配置としている。また、吊筋の数、径および定着長等は、設計吊上荷重に不均等率（K=1.8）を考慮した設計としている。

2－3. 取水ピットケーソンの施工

a. ケーソン製作

取水ピットケーソンは、鳴戸海峡の北側に位置する淡路島・福良港に10,000t級フローティングドックを係留し、同ドック上で約半年間を要して製作した。ケーソン製作時のロッド割は、温度応力、コンクリート供給能力および施工性等を考慮し、鉛直方向に7ロッド、水平方向に2ロッドとした。

取水ピットケーソンは、重量が約9,200tであり国内に現有する起重機の能力を遥かに越える重量であるため、ケーソン開口部に止水蓋を施し浮上させるものとした。

ケーソン製作状況を写真－1に示す。

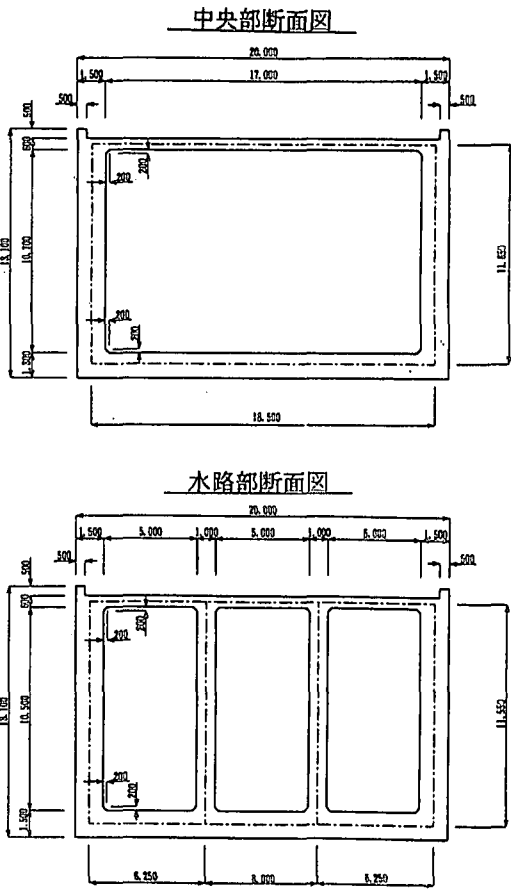


図-6 取水ピットケーソン断面図

b. ケーソン運搬・据付

取水ビットケーソンは、製作場所から発電所沖合海域までフローティングドックに乗せた状態で曳航運搬した。曳航後、フローティングドックを沈降させケーソン自身の浮力により浮上・進水させた。

取水ビットケーソン据付に当たっては、ケーソンの喫水が約11mであり、据付マウンドレベルがD.L-8.5mであることから約2,500t程度の浮力を補助する必要があり、フローティングクレーンにより約3m吊上げ、喫水を8mに保持した状態で予定位置に据え付けた。ケーソン据付状況を写真-2に示す。



写真-1 ケーソン製作状況

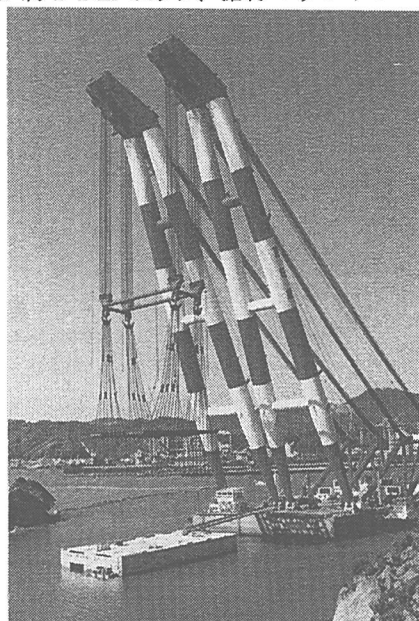


写真-2 ケーソン据付状況

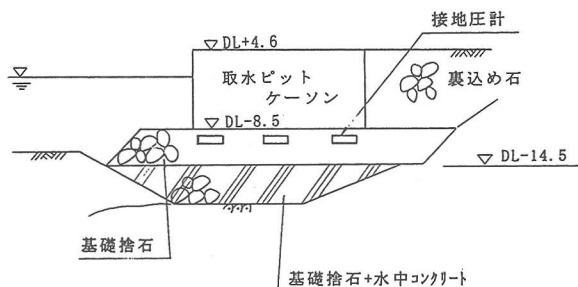
取水ビットケーソン据付時の位置出し測量および誘導においては、リアルタイムキネマティックGPS(RTK-GPS)を使用し、計測機器で採取したデータを専用パソコンにて処理・集計を行い、フローティングクレーン操作室のモニタ画面に出力し操作性および据付精度の向上を図った。なお、GPSの測位精度は、標準偏差 $\sigma = 1 \sim 2$ cmであり施工上、十分な精度を有している。

3. 捨石基礎の計測

3-1. 計測内容と目的

取水ビットケーソンは、発電所の取水ビット機能と護岸ケーソン機能を併せ持つ国内最大級のものであり、捨石マウンド上の直接基礎であること、および発電に直接関わる重要構造物であることから、捨石基礎上のケーソンの挙動を把握するために、ケーソンの接地圧の計測を行うこととした。

捨石基礎の沈下特性、パネ特性は捨石の粒度等の材料、施工方法(締固めの有無等)、均し精度により、かなり異なると言われている。しかしながら、捨石基礎上に接地したケーソンの接地圧を直接計測した例はまだなく、ケーソンの沈下検討等は推定の域を出ない。このため、接地圧を直接計測して捨石基礎の地盤パネ特性を明らかにできれば、構造解析および沈下検討に非常に有意義なデータになると考えられる。



3-2. 接地圧計の仕様

捨石は粒径が大きい(10~200kg/個)ため、通常の土圧計では地盤反力の計測は困難である。このため、土圧計4基を1セットに加工し載荷面積を大きくした大型の接地圧計(平面形状1m*1m)を製作した。さらに、この接地圧計を保護コンクリート版に埋込んだものを捨石基礎中に設置した。

接地圧計の設置位置はケーソン底板下20cmとし、接地圧計の周囲は20~40mmの碎石により埋め戻し、接地圧計に作用する反力の均等化を図った。

図-7に接地圧計の設置状況を示す。

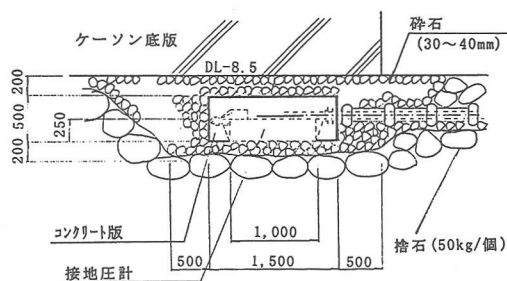


図-7 接地圧計の設置状況

3-3. 計測結果と考察

取水ピットケーソンは前後の開口部分に止水蓋を取り付けた状態で据え付けられた。計測は、据付直後（水中重量約 1,670tf）から内部への注水完了（水中重量約 3,000tf）まで行った。その結果をまとめると以下のとおりである（図-8）。

- (1) 接地圧計は、潮位の変動を顕著にとらえており荷重に正確に反応していると考えられる。また、各計測点で接地圧には差があり、計測結果は全体に設計値より大きな値を観測した。
- (2) 取水ピットケーソンの沈下量と接地圧の関係から各計測地点の基礎捨石の鉛直バネ値を計算する。取水ピット据付時、3次注水時、5次注水時の3段階において鉛直バネ値を求め、接地圧との関係について図-9にグラフ化する。図より
 - ・接地圧の直接計測は可能である。
 - ・捨石基礎の鉛直バネ特性は荷重依存性を有しており、接地圧が大きいくほど鉛直バネ値が大きくなる傾向を示している。

- (3) 接地圧が設計値より大きい原因として、接地圧計埋設部分の均しを周辺より若干高めにしたことが考えられる。これは鉛直バネと接地圧の相関からも見られるように、反力が変位の約2乗で大きくなり、わずかなレベル差によっても接地圧の差が大きく現れることによるものである。

なお、ケーソン全体でバネ特性を評価した場合には、 K_v は140tf/m³となり、また、捨石層厚と K_v から、弾性係数(E)を設定した場合には $E=820$ tf/m²となる。これは、当初の設計値として採用した1,000tf/m²とほぼ等しく、捨石層全体としてのバネ特性は設計値と実測値で良く一致したと言える。

4. まとめ

取水ピットケーソンは、単に取水ピット機能を持つ護岸ケーソンというだけでなく、海上工事量の削減および建設工期・工事必要面積の削減を目的とした土木構造物のプレハブ化の一端であり、また、接地圧の計測は比較的接地圧での小さい領域の捨石の特性と繰り返し荷重の影響についての調査でもある。今後も各種計測を継続する予定であり、機会を得て報告したいと考えている。

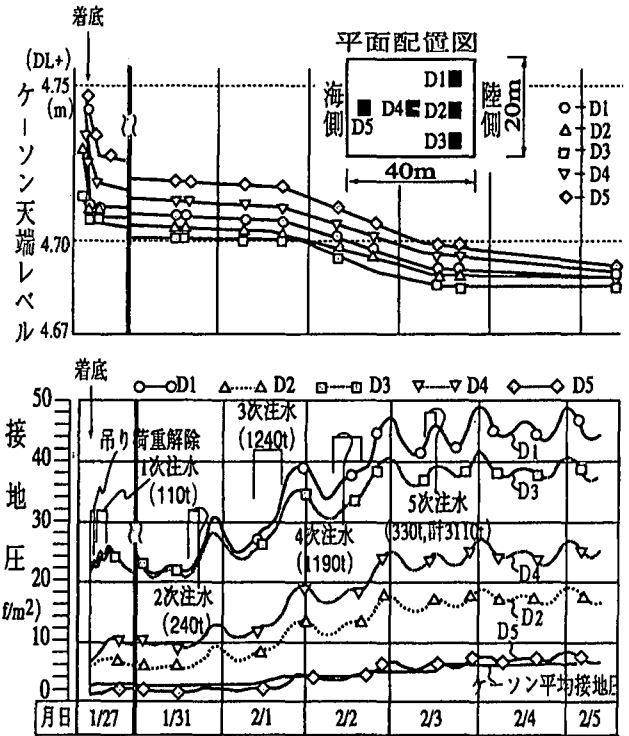


図-8 接地圧と沈下量の計測結果

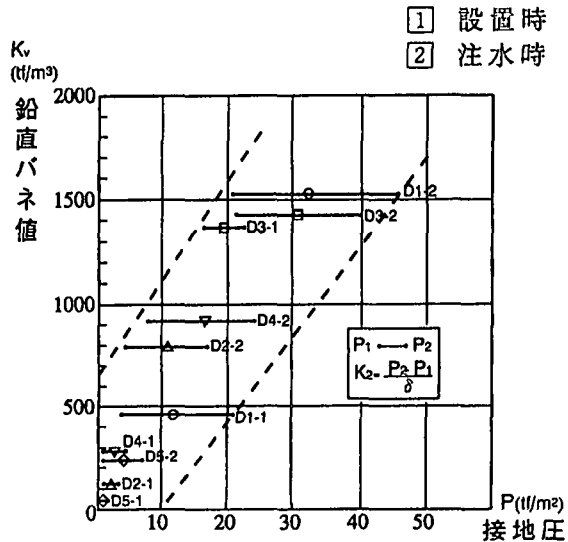


図-9 鉛直バネ値と接地圧の相関