

# 埋立地盤における建築基礎構造

——兵庫県南部地震を経験して——

福 井 實

Building Foundations in Reclaimed land

FUKUI Minoru

## 1. はじめに

大阪湾における人工埋立てがいつ頃から始まったのかは定かでないが、淀川の豊富な流出土を利用して開拓地が造られるようになったのは16世紀以降といわれている。江戸時代になって新田開発が奨励され、大阪から西宮の沿岸部にかけて多くの新田が造成された。明治から昭和にかけて港湾用地、小規模工業用地などが開発され、昭和30年代後半から高度成長の波に乗って臨海埋立地の造成が進んだ。

臨海埋立地における重要な問題の一つに軟弱地盤の安定処理問題があり<sup>1),2)</sup>、先輩諸賢のご尽力により神戸ポートアイランド、六甲アイランド、大阪南港、関西国際空港等の大規模な埋立地が完成した。現在、これらの埋立地の港湾機能用地、都市機能用地には、多くの建物が建設されており、大阪湾岸道路で結ばれている。

平成7年1月17日に兵庫県南部地震が発生し未曾有の被害を受けた。臨海埋立地盤においては液状化現象が発生し、道路、建物および港湾施設は被害を受けた。被害の状況や今後の対応策等については、関連学会や研究機関の報告書に詳しく述べられている。

本文は、埋立地盤に建設された建築基礎のこれまでの経緯および沈下障害等について述べ、建築構造物のうち筆者が関係した神戸ポートアイランド、六甲アイランド、大阪南港における建物について、設計時以降および地震後の状況について述べたものである。

## 2. 地盤沈下地域における沈下障害

### 1) 大阪市周辺の地盤概要

大阪市は淀川の沖積平野に位置しており、市内中央部を南北に延びる上町台地の東側は大和川や他の河川の氾濫で軟弱な地層が堆積している。昭和40年代になって流通関連施設



写真-1 O市内内陸部の杭の抜け上がり

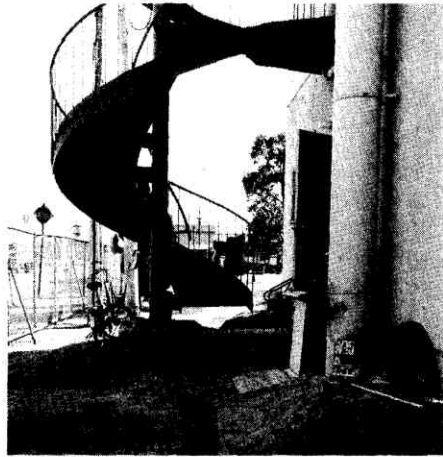


写真-2 O市内内陸部の非常階段杭の抜け上がり

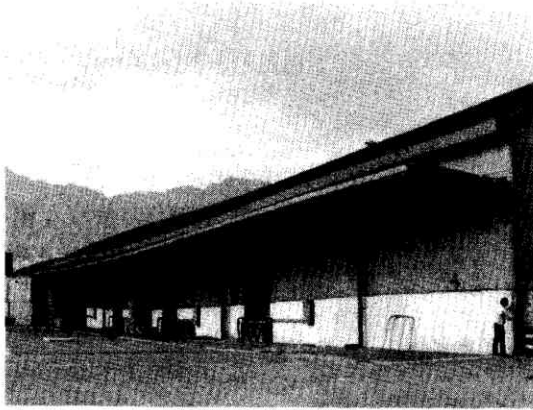


写真-3 K市埠頭における倉庫の不同沈下

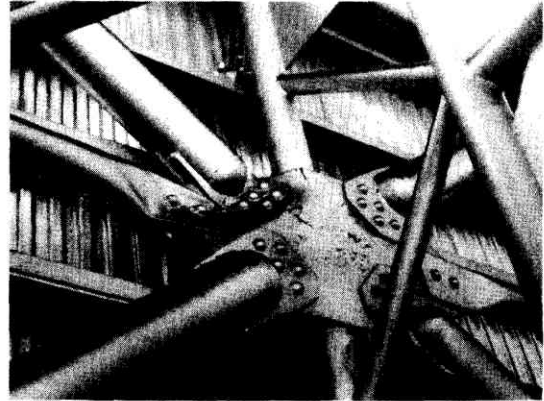


写真-4 桁行きブレースの座屈とボルトの破断

が整備されはじめ、中央卸売市場、トラックターミナルの建設が進んだ。これらの施設は広大な敷地が必要とされたが適地がないため、都市周辺部の湿地帯や田園、池の埋立地が利用された。これらの地盤は軟弱な粘性土が堆積し、わずかな盛土に対して地盤沈下が発生した。昭和50年代になると上町台地の西側臨海部に大規模な埋立地が次々と造成された。臨海部は旧海底粘土層が厚く堆積しており、造成面積が拡大するにつれて地盤沈下の規模や沈下量が増大した。

## 2) 建物の沈下障害

大阪市周辺の内陸部に建設された流通関連施設は、軟弱地盤地域に建設されたため多くの建物の基礎には支持杭が採用された。その結果、建物と周辺地盤には段差が生じ建物が抜け上がった状態となり、車やフォークリフトが走行不能になったり、地中埋設ケーブルや設備配管類が建物と地盤との取り合い部で破断するなどの障害がみられるようになった。

写真-1, 2は内陸部における障害例であるが、地盤沈下がこれ程生じるとは思わなか

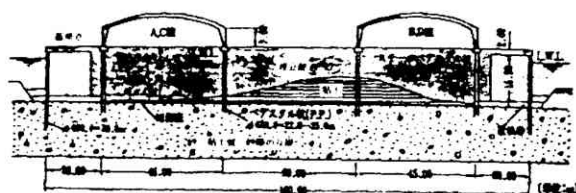


図-1 某埠頭の東西断面

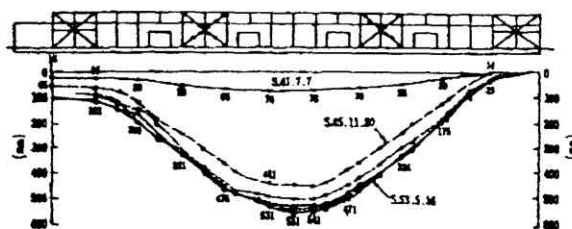


図-2 倉庫棟の沈下状況



写真-5 K市埋立地の建物の不同沈下



写真-6 K市埋立地の地盤沈下による階段の継足し



写真-7 K市埋立地の建物と周辺地盤との段差



写真-8 O市埋立地の地盤沈下による配水管の抜け落ち

った。写真-3, 4は臨海部の埠頭にある倉庫の例<sup>3)</sup>であるが、桁行き140mの長さに対して中央部が55cm不同沈下したものである。桁行き方向のブレースが座屈、引張り破断し、その都度修理して使用されてきた。不同沈下の原因は図-1に示すように、埠頭の中央部に粘土層が堆積しペDESTAL杭にネガティブフリクション (N.F) が発生したためと推定された。図-2に倉庫棟の沈下状況を示す。写真-5は倉庫の不同沈下を示すが、この原因は地盤の局地的な沈下により、支持杭にN.Fが作用したためである。写真-6, 7, 8は地盤沈下による障害例であるが、沈下量の大きさを予測し対応策をたておくことの重要性が求められた。



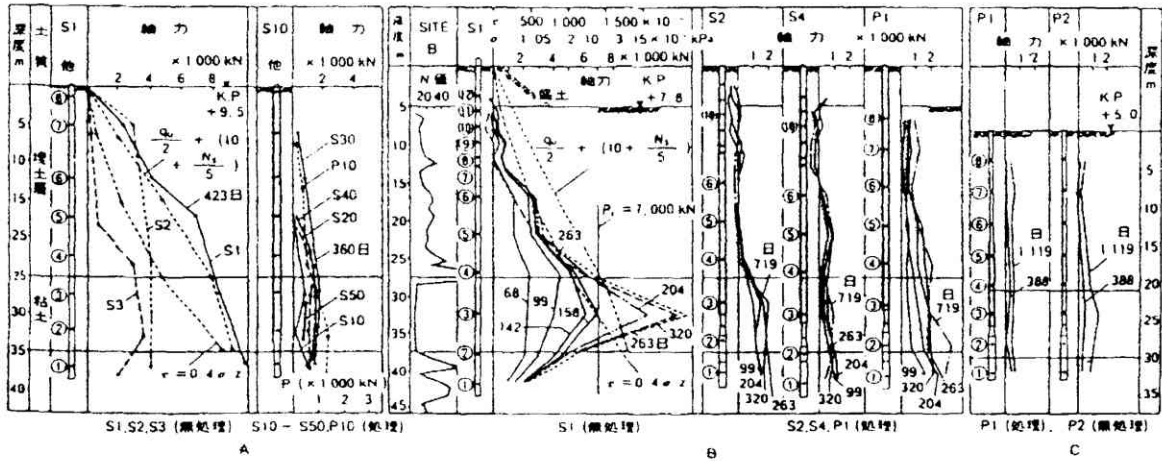


図-7 各実検地の軸力分布

### 3) 地盤沈下対策

埋立地は一般的にみて新設地盤であることから土の締まり具合は緩く、支持力にもばらつきがあると考えられる。したがって、地盤沈下の対策としては液状化対策を

表-2 地盤改良工法

地盤改良工法	埋立土層	沖 積 層	洪 積 層
振動締め固め工法 (サンドコンパクション)	○		
サンドドレーン工法 (プレロード併用)	○	○	
載荷盛土工法 (プレロード)	○	○	○

考慮し、埋立層のN値を増加させるための地盤改良と沖積粘性土の圧密沈下促進を目的とした地盤改良が考えられる。表－2に地盤改良工法を示す。

#### 4. 神戸ポートアイランド

### 1) 地盤の特徴と基礎工法

神戸ポートアイランドは、昭和41年に埋立てが始まり昭和53年に完成した総面積436haの人工島である。本地盤は主として六甲山系の良質な山土、マサ土により約20mの厚さで埋め立てられ、その下位には層厚10～15mの沖積粘土層、約30mの砂質土・粘性土の互層、約20mの洪積粘性土層と続いている。早期に埋立てられた外周部は港湾施設であり、鋼管の支持杭が打設され、中央部の用地には住宅、病院、ホテル、学校等が建設された。民間の建物は既製コンクリート杭の支持杭が用いられた。建物が建設されるに従って杭打撃による騒音・振動が問題になり、場所打ちコンクリート杭が用いられた。

支持杭基礎の場合、地盤沈下による杭の抜け上がり、ネガティブフリクションによる不同沈下の対策が不可欠であった。本地盤の支持層は互層であり、杭の打ち止め及び支持力の確保が特に問題となった。建物規模によっては支持杭よりも摩擦杭基礎または直接基礎が適した場合があり、これらの基礎形式が徐々に用いられた。図－８に示す位置のボーリング柱状図を図－１１に、図－９，１０に各種杭基礎分布を示す。

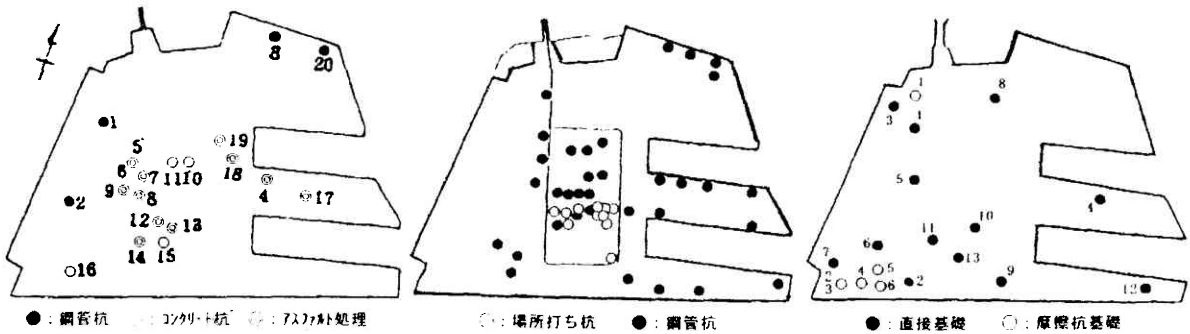


図-8 ボーリング位置図  
(図中の番号がボーリング位置)

図-9 場所打ち杭、鋼管杭  
基礎分布

図-10 直接基礎、摩擦杭  
基礎分布 (1989.1)

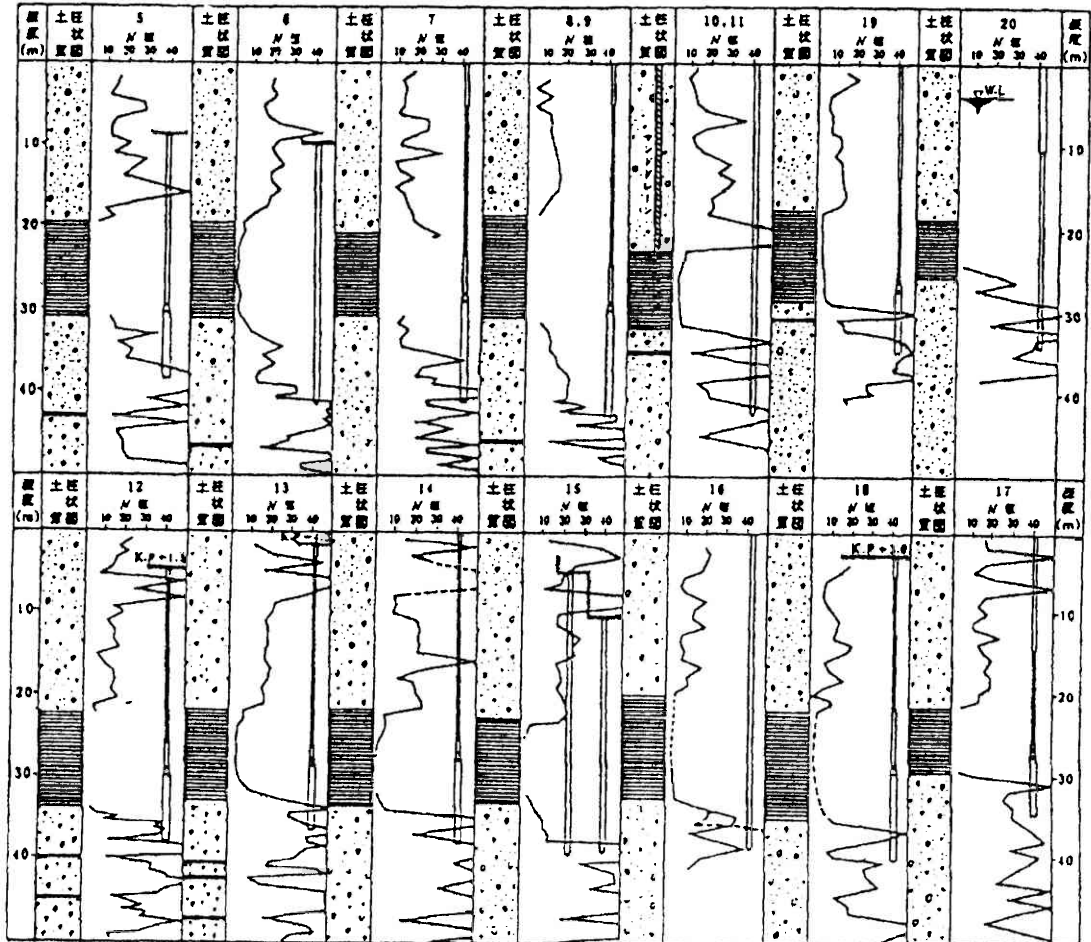


図-11 ボーリング柱状図および杭姿図<sup>7)</sup>

## 2) 地震後の地盤・建物の状況<sup>28)</sup>

兵庫県南部地震によるポートアイランドにおける液状化による噴砂と地盤改良範囲を図-12に、図-13に筆者らが関係調査した建物配置図(A地～M地)を示す。

### (1) A地の建物(サンドドレーンとプレローディング地盤)<sup>4),5),30)</sup>

本敷地には7～14階の住宅数棟が支持杭基礎で建設された。沖積粘土層の圧密沈下を約40cm促進させるため、直径50cm、長さ30mの砂杭が正方形配置(2.00m×2.00m～3.20



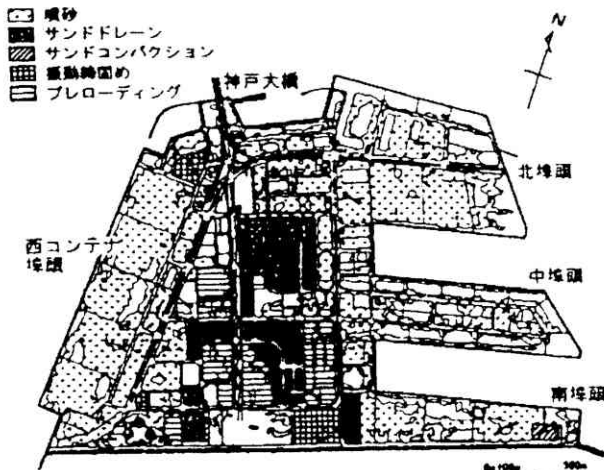


図-12 地盤改良と噴砂の関係<sup>21)</sup>

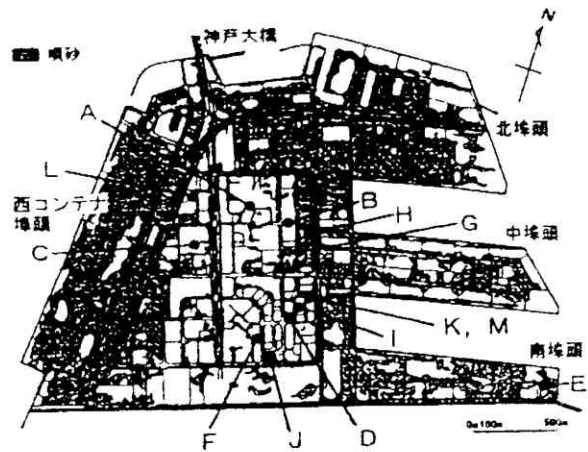


図-13 調査建物位置図 (参考文献<sup>21)</sup>に加筆)

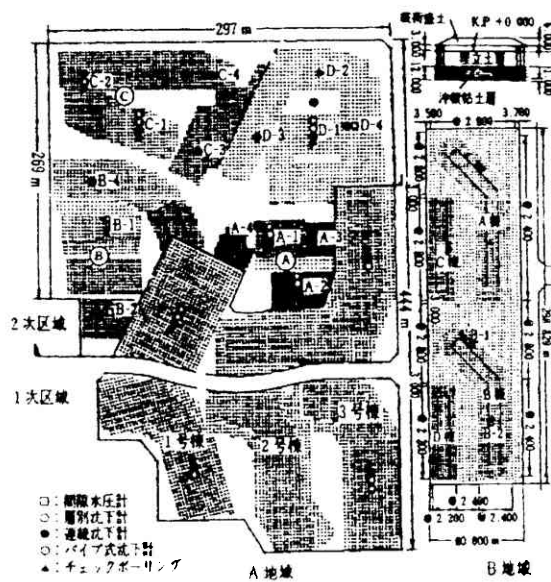


図-14-1 サンドドレーン配置図

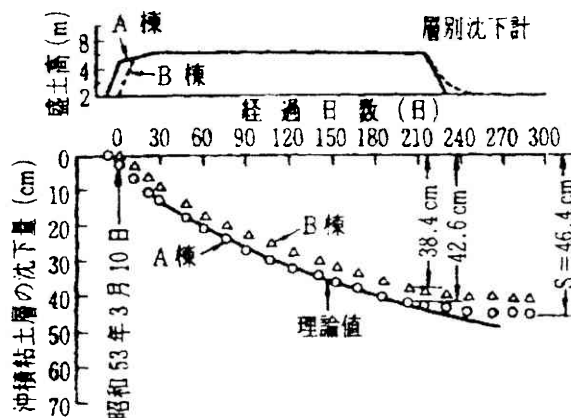


図-14-2 A棟域・B棟域の沖積粘土沈下量

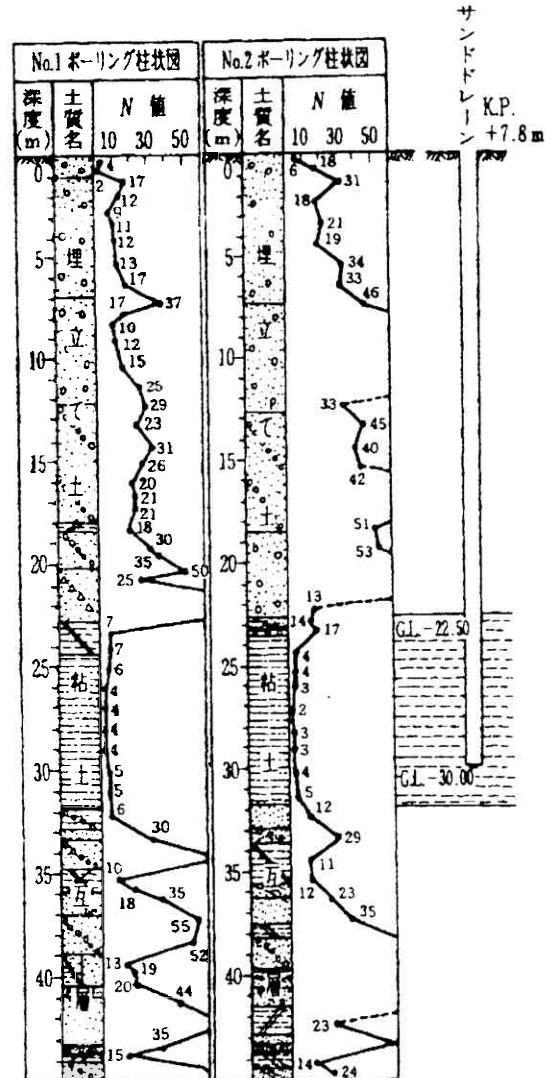


図-14-3 土質柱状図

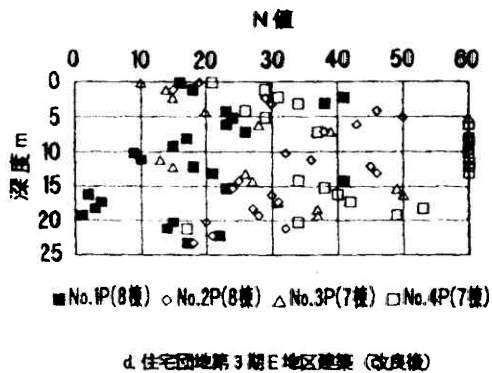
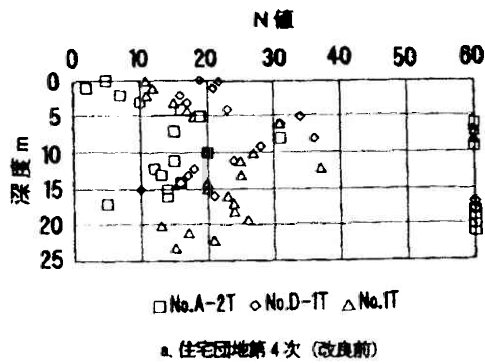


図-14-4 改良前後のN値の比較

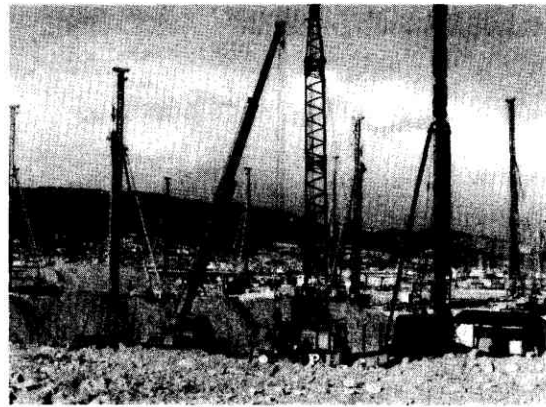
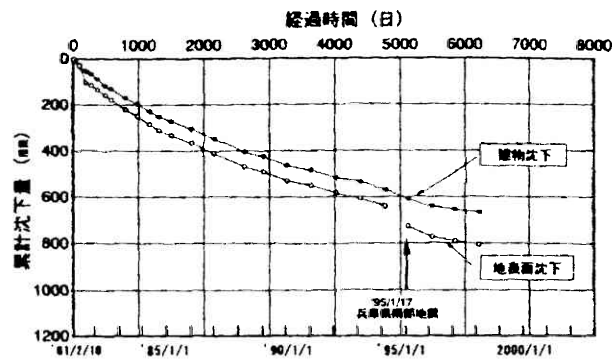


写真-9 支持杭建物および地表面沈下

m×3.20m) で打設された。改良前のN値は10~40程度であったが、改良後のN値は14~50に増加した。本地盤の旧海底付近には局部的に鉋滓層があり、これを打ち抜くためにかなりの打撃回数を要した。支持杭建物2棟、摩擦杭建物2棟の各地盤の層別沈下を1977年より19年以上継続して測定しており、支持杭建物の総沈下量は81.2~93.9cmであった。また、地震直後における急激な沈下は認められなかった。摩擦杭建物及び地表面は地震により5~10cm沈下した。地震による噴砂はなく、どの建物も被害はみられなかった(図-14-1~14-5, 写真-9)。

## (2) B地の建物 (サンドドレーンとプレローディング地盤)<sup>6)</sup>

A地に隣接した敷地に4棟の住宅が建設されたが、噴砂も液状化もみられず建物の被害はなかった。

## (3) C地の建物 (プレローディング地盤)<sup>8),9),10)</sup>

本敷地は厚さ約20mの埋土層の下に、約12m厚さの沖積粘性土がある。底面の大きさ272m×167mの範囲に、高さ10mの盛土が1975年10月~1978年3月まで約2年間実施された(写真-10)。盛土撤去後、地下1階、地上12階の高層建築(平面の大きさ80m×90m, 支持杭基礎, 建物重量: 96,000t, 排土重量: 101,000t)が建設され、1981年2月から17年



間測定が続けられた。この間の建物沈下量は約29.2cmである。建設後約14年が経過して地震に遭遇したが、建物自体の急激な沈下はなく、被害も認められなかった。建物周辺部の地表面沈下は22.1～27.6cm（平均24.5cm）であったが、建物近傍の沈下量は38cmであった。建物周辺部の沈下が大きいのは、地下をオープンカット工法により掘削し、締め固めずに埋め戻された為と考えられる。写真-11, 13に地震前、写真-12, 14に同地点の地震後の状況を示す。

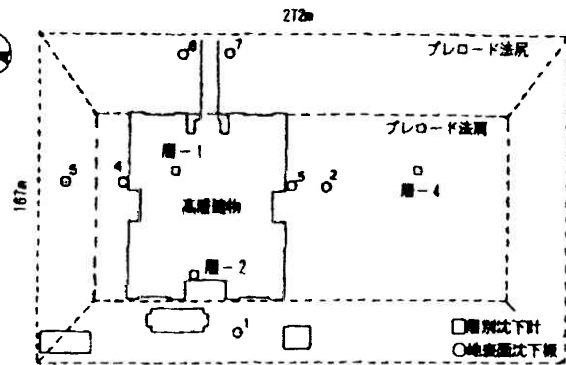


図-15-1 建物および測点配置図



写真-10 高さ10mのプレロード (C地:1975)

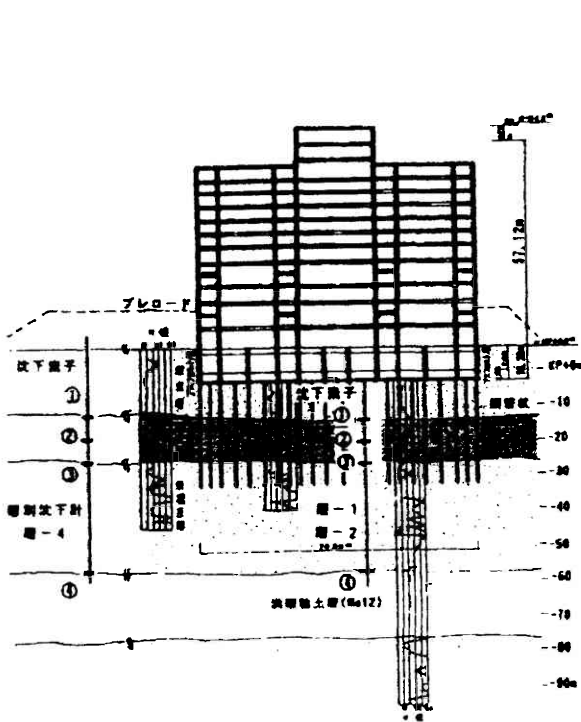


図-15-2 建物・地質断面

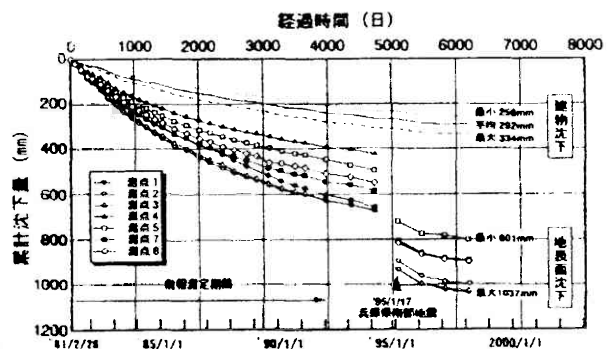


図-15-3 高層建物および地表面沈下

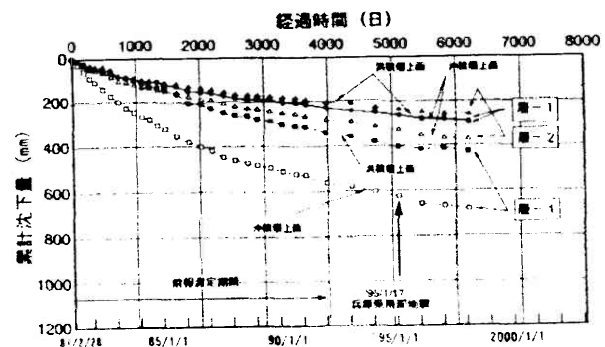


図-15-4 層別沈下



写真-11 出入口部の段差  
(C地、地震前：1984.11.7)

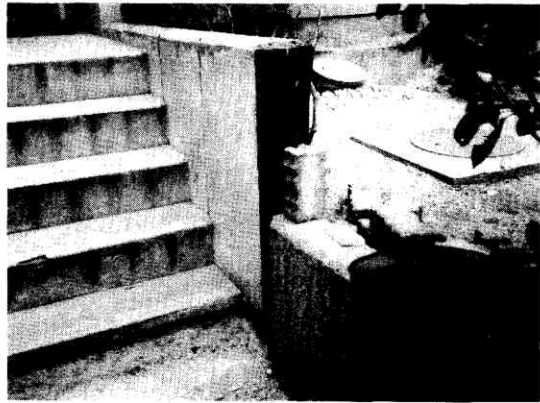


写真-12 同左 (地震後：1995.6.21)

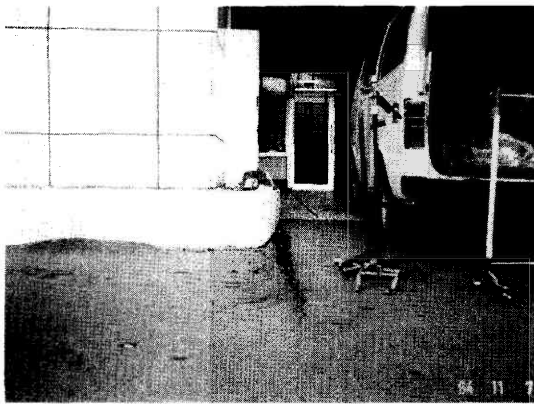


写真-13 踏み掛け板を設けた部分  
(C地、地震前：1984.11.7)

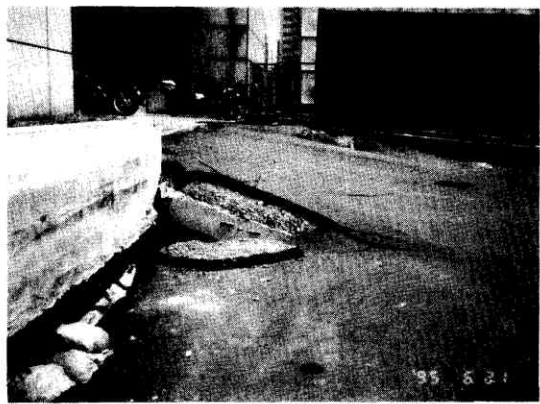


写真-14 同左 (地震後：1995.6.21)

#### (4) D地の建物 (サンドドレーン地盤)

本敷地は直径50cm、長さ34.5mの砂杭が正方形配置(3.00m×3.00m)に打設され、改良後のN値は7~50の範囲にある。6階建ての支持杭建物は地震直後の沈下は認められず、建物周辺の地表面が約10cm沈下した。写真-15, 16にその状況を示す。



写真-15 化粧ブロックの段差  
(D地、地震前：1992.8.21)

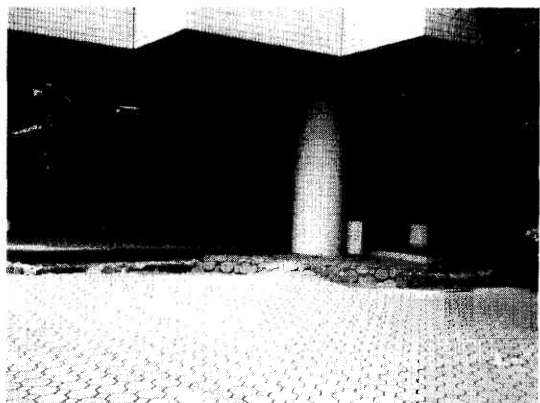


写真-16 同左 (地震後：1995.6.21)

(5) E 地の建物 (振動締め固め地盤)<sup>11),12),29),30)</sup>

本敷地はポートアイランドの南東隅で最も後で埋立てられた所である。本敷地には管制室 (支持杭基礎)、ゲートハウス (直接基礎)、メンテナンスショップ (摩擦杭基礎) という用途の異なる 3 種の建物が建設された (図-16-1~3)。埋立層の N 値を 12 程度に増加する目的で振動締め固め工法が採用された。本建物は昭和 57 年 3 月の竣工後、平成 2 年 8 月迄沈下が計測され、地震から 2 年経過した平成 9 年 3 月にも再度測定を行った。その結果、支持杭建物は約 40cm、直接基礎建物は約 130~140cm 沈下した。支持杭建物は地震による急激な沈下は認められなかったが、直接基礎は地震により 10cm 程度の即時沈下が生じたと考えられる。写真-17, 18 に支持杭基礎周辺の地震前後の状況を示すが数 10cm の沈下が認められた。

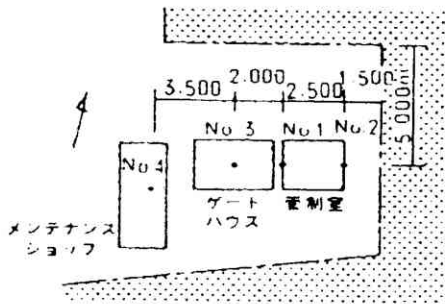


図-16-1 建物配置

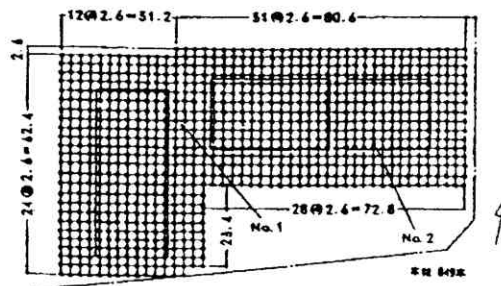


図-16-2 地盤改良パイル配置図およびボーリング位置

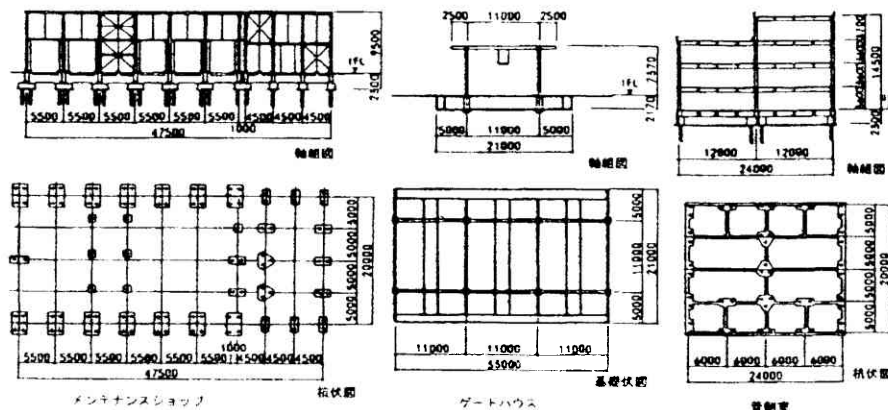


図-16-3 各建物の略図

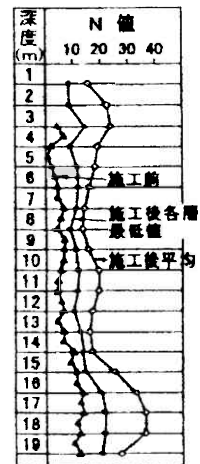


図-16-4 柱状図

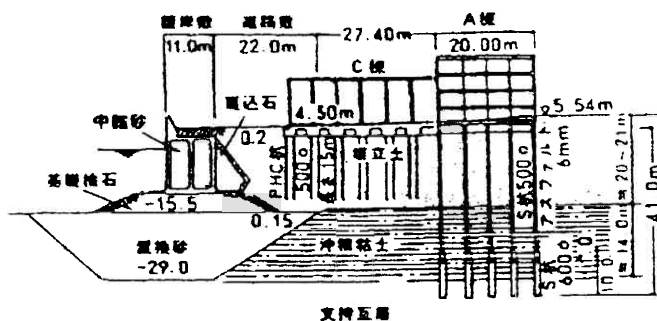


図-16-5 建物断面と岸壁関係図

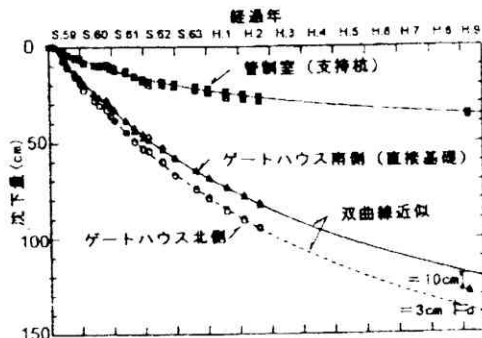


図-16-6 建物の沈下経時変化



写真-17 出入口部の段差  
(E地、地震前：1984.11.7)

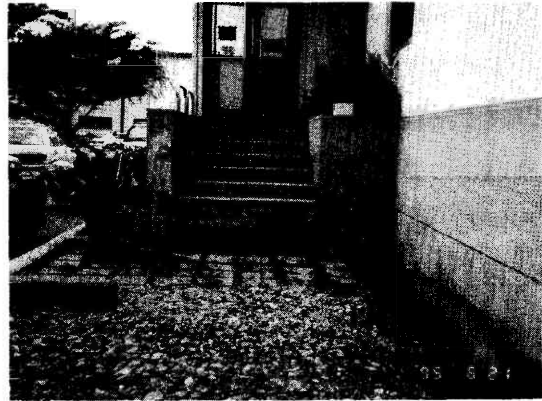


写真-18 同左 (地震後：1995.6.21)

### (6) F, G, H, I, J, K, L, M地の地盤と建物<sup>22),28)</sup>

8ヶ所の敷地は、サンドドレーン地盤が2ヶ所、プレローディング地盤が3ヶ所、無改良地盤が3ヶ所であり、建物は鉄筋コンクリート造の2～7階建ての建物で、基礎構造はいずれも直接基礎である。どの建物も地震により顕著な沈下障害は認められなかった。

### 3) 杭支持建物の沈下速度<sup>12),13),19)</sup>

2) に述べたA地, C地, E地における杭支持建物及び鉄筋コンクリート2階建てのインフラ構造物, 中高層鉄骨鉄筋コンクリートの14階マンション, 実験地の層別沈下計を用いて建物及び地盤の沈下を6～11年間測定している。位置図を図-17に、各測定における断面図を図-19に示す。

沈下速度と経過時間(対数)との関係は図-18に示すように、沈下速度は時間の対数に対して直線的な傾向が見られる。

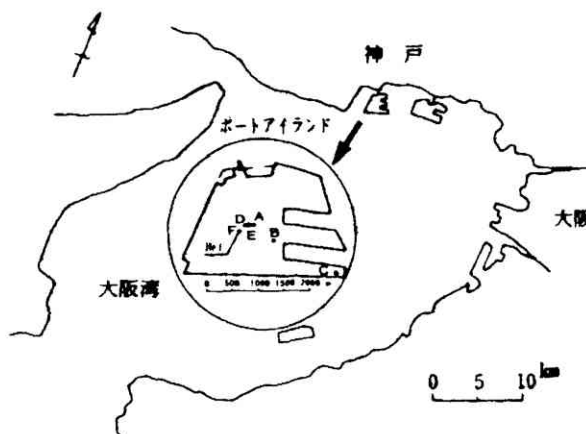


図-17 位置図

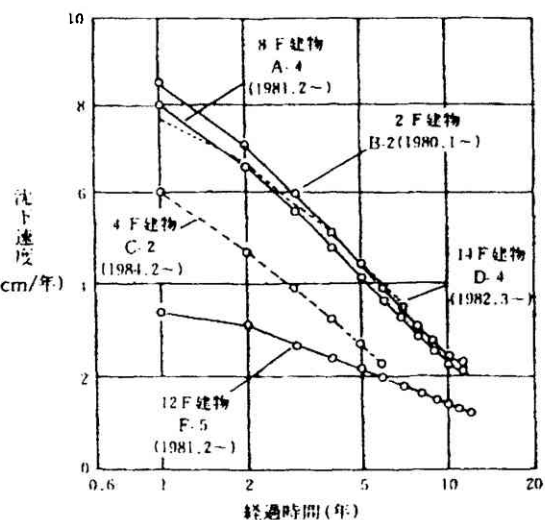


図-18 杭支持建物の沈下速度

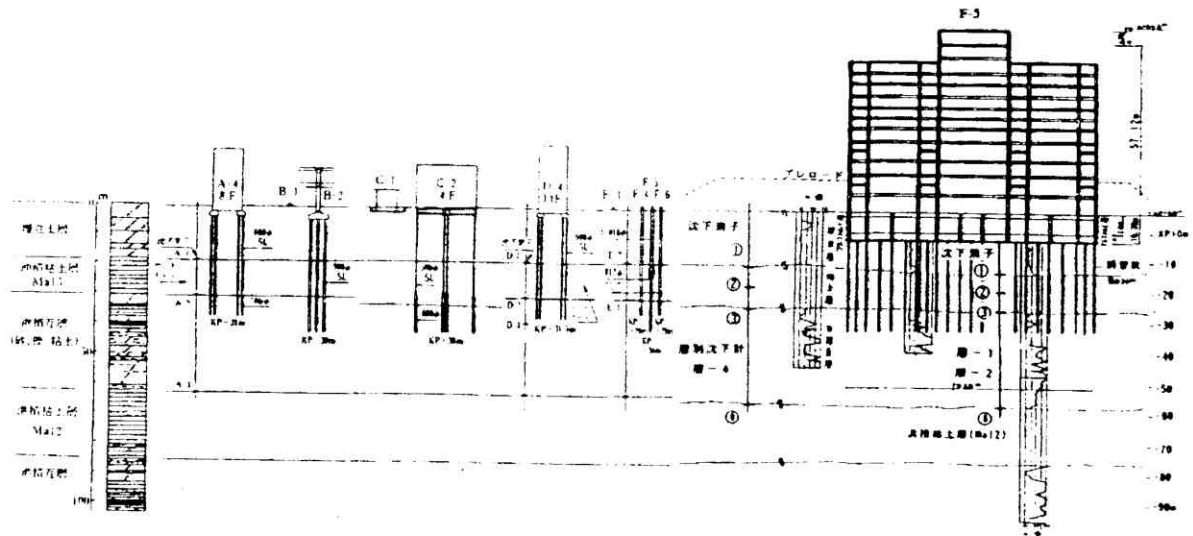


図-19 各測定における断面図

## 5. 六甲アイランド

### 1) 地盤の特徴と基礎工法

六甲アイランドは、昭和47年に埋立が始まり平成2年にほぼ完成した総面積580haの人工島である。本地盤の層序はポートアイランドとほぼ同様であるが、埋立土には六甲山系の良質な山土に加え神戸層群の一部（凝灰岩、砂岩、泥岩等）が混入している。沖積粘土層以下に堆積する洪積層は、厚さ約30mの砂質土・粘性土の互層であり、支持杭の打ち止まり位置の判定が難しい層である。

早期に埋立てられた外周部の港湾施設は、ポートアイランドでの経験すなわち支持杭基礎の抜け上がりや不同沈下現象が生じたため、また、沖積粘土層の残留沈下量が大きく支持杭基礎は不適であるとの認識が一般化したため、地盤改良と摩擦杭基礎とが併用して用いられた。中央部の都市機能用地には高層住宅、病院、ホテル、学校等が建設され、戸建住宅も建設された。基礎工法は建物規模、重要度、経済性等を勘案して各種工法が採用された。人工島の都市化に伴って騒音・振動が問題になり、場所打ちコンクリート杭が用いられたが、本地盤において初めて場所打ちコンクリート杭のネガティブフリクション対策工法が採用された。図-20, 21, 22に各種杭工法の配置を示す。

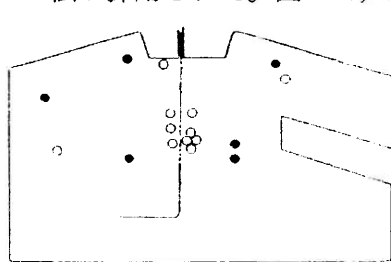


図-20 場所打ち杭、鋼管杭  
基礎分布 (1991.1)

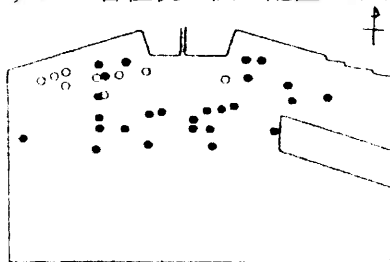


図-21 既製コンクリート杭  
分布 (1991.1)

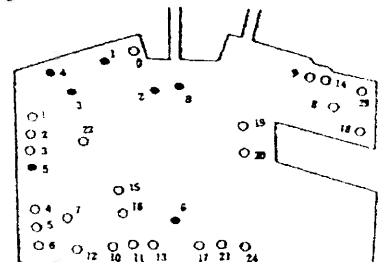
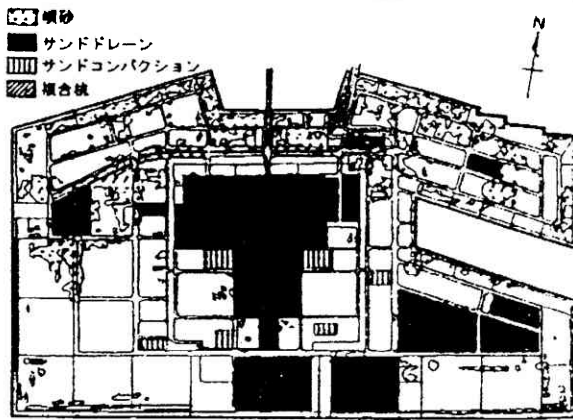
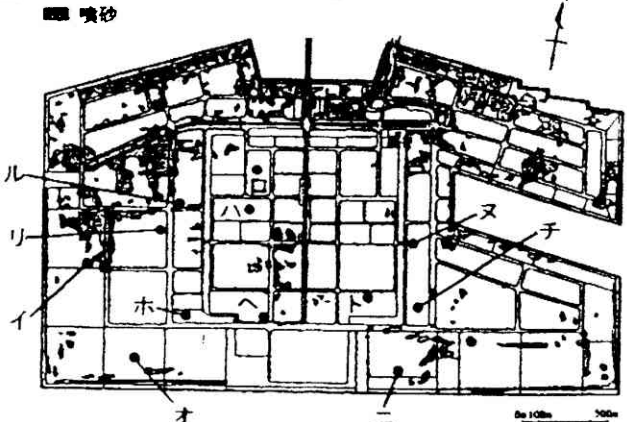


図-22 直接基礎、摩擦杭  
基礎分布 (1991.1)

2) 地震後の地盤・建物の状況<sup>28)</sup>

兵庫県南部地震による六甲アイランドにおける液状化による噴砂と地盤改良範囲を図-23に、図-24に筆者らが関係調査した建物配置図（ア地～オ地）を示す。

図-23 地盤改良と噴砂の関係<sup>21)</sup>図-24 調査建物位置図（参考文献<sup>21)</sup>に加筆）(1) イ地の建物（サンドドレーン地盤）<sup>18)</sup>

本敷地には倉庫，事務所，ゲートハウスが建設された。昭和56年2月に海上のサンドドレーン（直径400mmの砂杭）が4.0m×4.0mの正方形配置で打設された。沖積粘土層の厚さは14mで建設後の残留沈下量は約210cmと予測された。支持杭基礎は不適当で鉄筋コンクリートの節付き杭が採用され沈下計測が行われた。図-25に地盤改良エリアと建物配置、写真-19に全景を示す。竣工後も沈下測定を継続しているが、地震時に特に不同沈下もなく正常に使用されている。

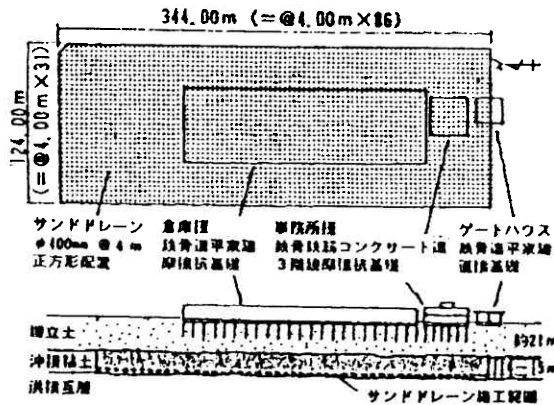


図-25 地盤改良エリアと建物配置

写真-19 倉庫、事務所棟の全景  
（イ地、摩擦杭）(2) ロ地の建物（サンドドレーン地盤）<sup>14)</sup>

本敷地には14階建ての住宅が数棟建設された。サンドドレーン（直径500mmの砂杭）が3.5m×3.5mの正方形配置で打設された。粘土層の厚さは11.5mで建設後の残留沈下量は約90cmと予測された。鉄筋コンクリートの支持杭が採用され杭の軸力測定、及び沈下測定



が行われた。図-26に杭軸力分布、写真-20に全景を示す。地震後においても建物と地盤とに段差も障害もなかった。



写真-20 高級住宅（口地、支持杭）

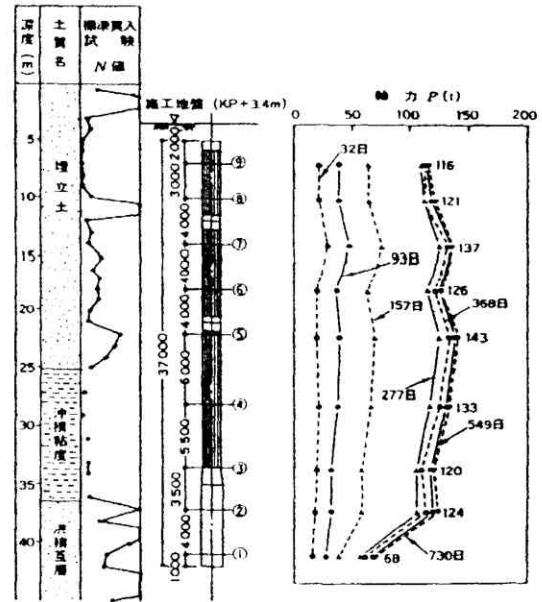


図-26 杭軸力分布

### (3) ハ地の一戸建て宅地と建物（サンドドレーンとプレローディング地盤）<sup>15)</sup>

本敷地は大きさ134.4m×318.8mの住宅用地で沖積粘土層の厚さが13~18mと差があり、残留沈下量は約200cmと予測されたので、圧密促進が不可欠であった。サンドドレーン（直径500mmの砂杭）が2.2m×2.2m（プレロード盛土高さ6.0m）及び3.3m×3.3m（プレロード盛土高さ4.0m）の正方形配置で打設された。図-27にボーリング柱状図を示す。図-28に示すように測定期間中に約190cm沈下が進んだ。地震による住宅地の液状化はなく、直接基礎の住宅も同沈下による被害はなかった。写真-21に外観を示す。



写真-21 戸建住宅（ハ地、地盤改良と摩擦杭）

表-3 工程表

	1988	1989	1990	1991
戸建部	図 S-D 盛土			完成
高層部	図 S-D 盛土	図 S-D 盛土	図 S-D 盛土	完成

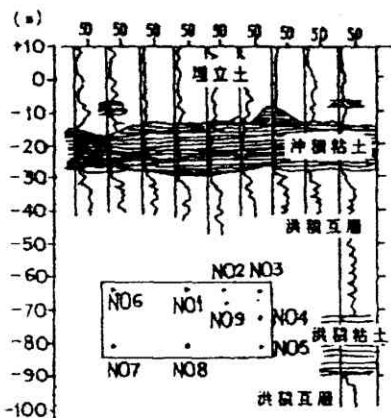


図-27 ボーリング位置図

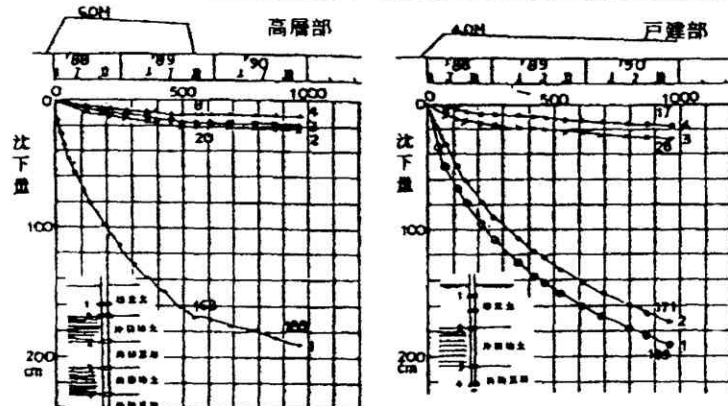


図-28 高層部、戸建部の層別沈下

#### (4) ニ地の建物（サンドドレーン地盤）<sup>25)</sup>

本敷地は六甲アイランドの南端の護岸沿いにあり、平屋の倉庫と4階建ての事務所が建設された。沖積粘性土の厚さは14~20mで、残留沈下量は約180cmと予測された。サンドドレーン（直径500mmの砂杭）が2.5m×2.5mの正方形配置で打設された。急速な沈下に備え1.5mの余盛りが行われた。図-29に護岸と建物との関係を、写真-22に外観を示す。地震により護岸は海側に変形し背面地盤は亀裂が走り沈下を生じたが（写真-23）、建物には何ら被害はなかった。敷地全体は約20cmの沈下を生じたが液状化は発生しなかった。

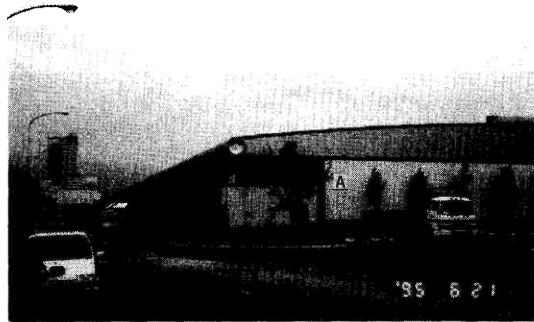


写真-22 倉庫棟（ニ地、摩擦杭）

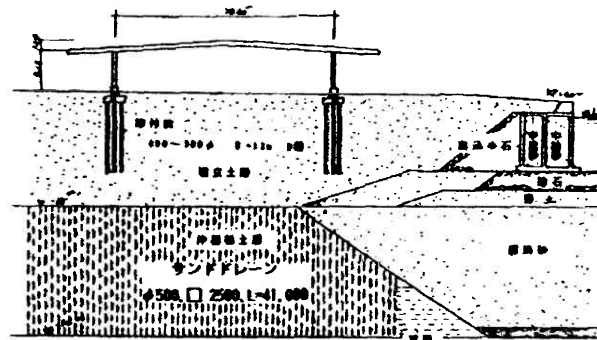


図-29 建物断面と岸壁関係図



写真-23 護岸背面の地割れ（ニ地）

#### (5) ホ地の建物（サンドコンパクション地盤）<sup>17)</sup>

本敷地には鉄骨造2階建ての工場が建設された。沖積粘土層の厚さが15mで残留沈下量が約300cmと推定されたので、埋立土の締固めを意図してサンドコンパクション工法が採用された。砂杭の直径700mm、長さ15.0m、正方形配置（2.0m×2.0m~3.0m×3.0m）である。改良後のN値の目標は建物中央部でN値14とし、周辺部でN値10とした。打設後

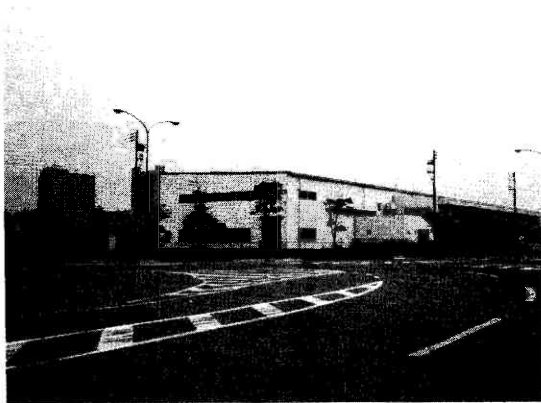


写真-24 2階建て工場（ホ地、摩擦杭）

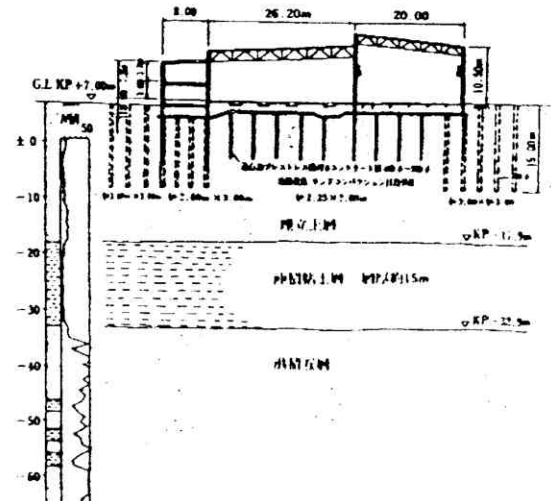


図-30 建物および地層断面

の調査ボーリングによりN値を綿密に測定さ

れた。基礎は布基礎で（地耐力 $15\text{tf}/\text{m}^2$ ）部分的に節付きコンクリート杭が打設された。

図-30に建物及び地層断面図、写真-24に全景を示す。地震時において液状化もなく、建物と地盤とに段差も障害もなかった。

#### （6）才地の建物（無改良地盤）<sup>24)</sup>

本敷地は六甲アイランドの南西端の護岸沿いにあり、平屋の倉庫と4階建ての事務所及び鉄骨平屋のゲートビルディングが建設された。建物は仮護岸の上に配置され、埋土層厚が北側で $21.1\text{m}$ 、南側で $18.1\text{m}$ であり、沖積粘性土の厚さは $13.4\sim 16.4\text{m}$ と変化している。したがって残留沈下量は北側で約 $128\text{cm}$ 、南側で約 $167\text{cm}$ と予測された。図-31に建物配置図を、図-32に建物及び地層断面図を示す。不同沈下対策を施し沈下測定を実施しているが、地震による被害

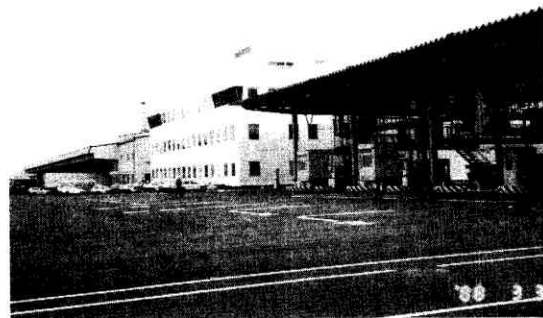


写真-25 倉庫、管理棟（才地、摩擦杭）

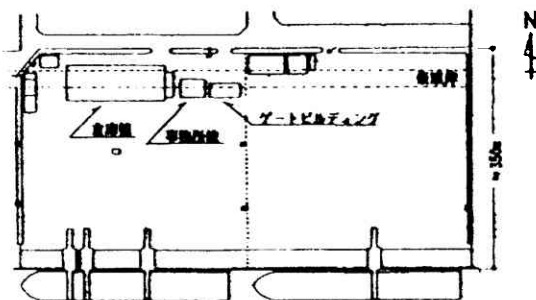


図-31 建物配置

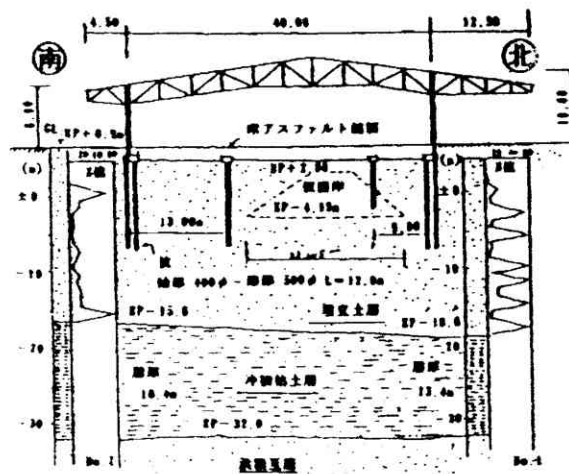


図-32 建物および地層断面

はなく正常に機能している。

(7) ヘ地の建物 (サンドコンパクション地盤)<sup>28)</sup>

2階建ての体育館がべた基礎で建設された。埋立土層上部に深さ16.0mまで直径700mmの砂杭が2.0m×2.0mの正方形配置で打設された。地震による埋立土の圧縮沈下は3.0cmであったが、噴砂もなく上部構造の被害はなかった。

(8) ト地の建物 (サンドコンパクション地盤)<sup>28)</sup>

4階建ての学校がべた基礎で建設された。埋立土層上部に深さ17.0mまで直径700mmの砂杭が2.0m×2.0mの正方形配置で打設された。地震により建物は4.5cmの沈下があったが、噴砂もなく上部構造の被害はなかった。

(9) チ地の建物 (サンドコンパクション地盤)<sup>28)</sup>

地下1階、地上6階建ての倉庫がべた基礎で建設された。埋立土層上部に深さ17.5mまで直径700mm、2.3m×2.3mの正方形配置で砂杭が打設された。地震により建物は4.2cmの沈下があったが、噴砂もなく上部構造の被害はなかった。

(10) リ地の建物 (サンドコンパクション地盤)<sup>28)</sup>

地上6階建ての倉庫がべた基礎で建設された。埋立土層上部に深さ18.5mまで直径700mmの砂杭が1.8m×1.8mの正方形配置で打設された。地震により建物は2cmの沈下があったが、噴砂もなく上部構造の被害はなかった。

(11) ヌ地の建物 (サンドコンパクション地盤)<sup>28)</sup>

地下1階、地上3階建ての自動車教習所倉庫がべた基礎で建設された。埋立土層上部に深さ11.4mまで直径700mmの砂杭が2.58m×2.58mの正方形配置で打設された。地震により建物は12.6cmの沈下があったが、噴砂もなく上部構造の被害はなかった。

(12) ル地の建物 (無改良地盤)<sup>28)</sup>

地上2階建ての冷凍倉庫が独立基礎で建設された。地盤改良は特に行われていない。地震により噴砂の痕跡が認められ建物は20.3cmの沈下があったが、上部構造の被害はなかった。

以上、これらの実例は、いずれも設計段階から施主のご理解のもとに慎重に検討をした結果、支持杭を用いず地盤改良を積極的に採用したものである。幸いにも建物は地震の衝撃により一様な沈下があったものの、不同沈下は少なく被害も無かった。地盤改良により

埋立層が締まりN値が増大した為と考えられる。

## 6. 大阪南港

### 1) 地盤の特徴と基礎工法

大阪南港（咲洲）は、昭和33年から埋立が始まり昭和55年にほぼ完成した総面積940haの人工島である。本地盤は、海底粘土層の上層に厚さ約10mの浚渫粘土を投入し、その上に3～5m程度の一般土砂による盛土を施工した区域と、海底粘土層の上に良質土（主として淡路産の山土）を用いて埋め立てられた区域がある。海底粘土の下は第1天満層と称される洪積砂レキ層及び第2天満層と称される洪積砂レキ層がある。浚渫粘土は各種の方法により地盤改良が施されている。

外周部には埠頭用地・流通関連用地が配され、内部は住宅用地・業務商業用地・企業用地である。また、コスモスクエアには国際貿易地区としてテレポート基地が建設された。さらにアジア太平洋トレードセンターや大阪ワールドトレードセンターが平成7年4月にオープンした。

基礎工法については建物の種別により異なるが、支持層をどの層にするかでも変わってくる。

第1天満層を支持層とする場合は鉄筋コンクリート杭が採用され、第2天満層を支持層とする場合は鋼管杭や大口径のコンクリート杭、場所打ちコンクリート杭が採用された。また、他の埋立地と同様に、港湾関連施設には直接基礎、摩擦杭基礎が採用された。図-33に既製杭の配置を、図-34に直接基礎、摩擦杭基礎の配置を示す。

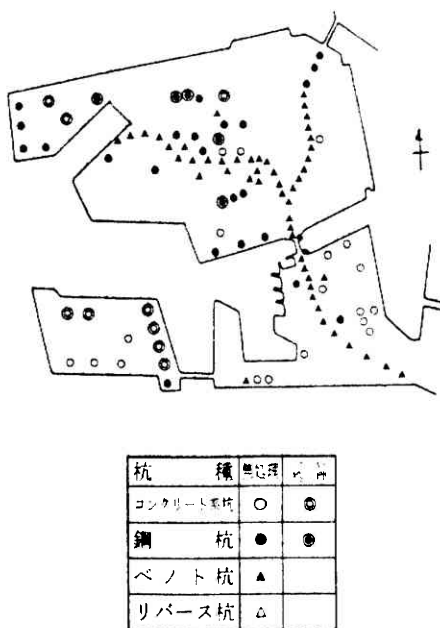


図-33 各種杭基礎分布

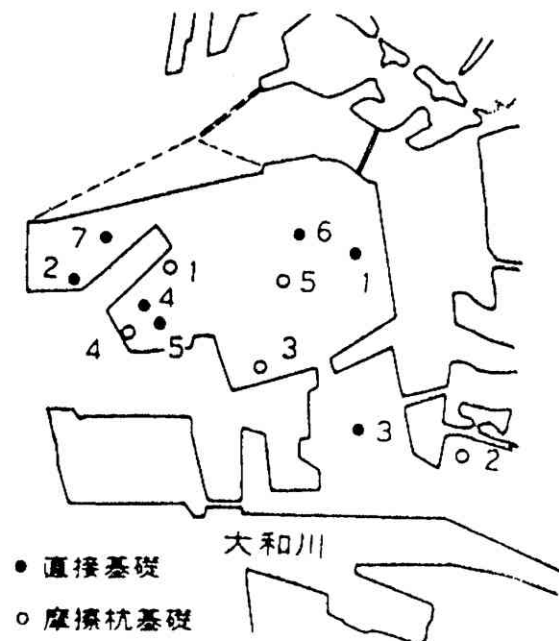


図-34 直接基礎、摩擦杭基礎分布（1991.1）



写真-26 大阪ワールドトレードセンター<sup>36)</sup>

## 2) 地震後の地盤・建物の状況

### (1) ミズノ大阪本社<sup>34)</sup>

ミズノ大阪本社ビルがコスモスクエア地区に計画された。地下3階、地上31階、最高部高さ147.0mの高層ビルである（図-35）。敷地は、昭和40年～昭和46年にかけて埋立てられた所で、設計時点で約20cmの残留沈下が想定された。層序は地表面から-23mは浚渫土および土砂で、その下-36mまで未圧密の沖積粘土（Ma13）であり、-36～-46mは粘性土と砂質土の互層、-46～-51mは第1天満層、-51～-63mは洪積粘土層（Ma12）でやや過圧密、その下に第2天満層の洪積砂レキ層がある。

建物重量は67,000tで排土重量（99,000t）より軽くして地盤に与える影響を少なくし、基礎杭は第2天満層を支持層とする直径1.3mの鋼管巻き場所打ちコンクリート杭を採用した。杭先端はOP-57mである。地盤沈下によるネガティブフリクションを考慮して40mの範囲にアスファルト処

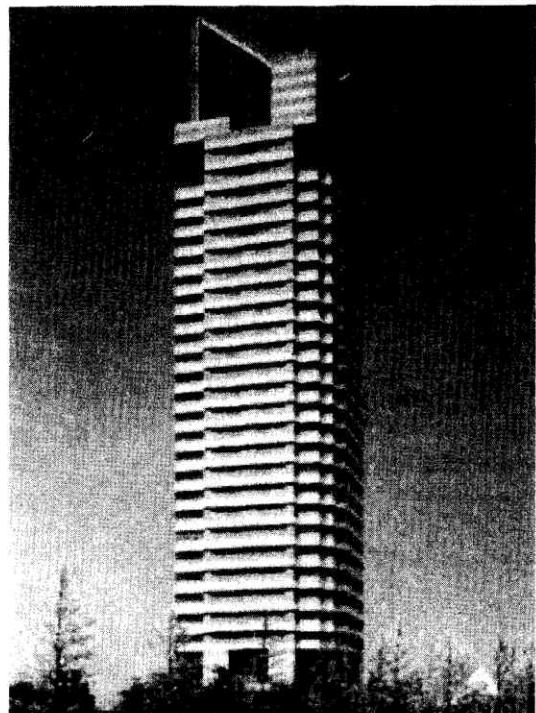


図-35 ビルの全景（支持杭基礎）



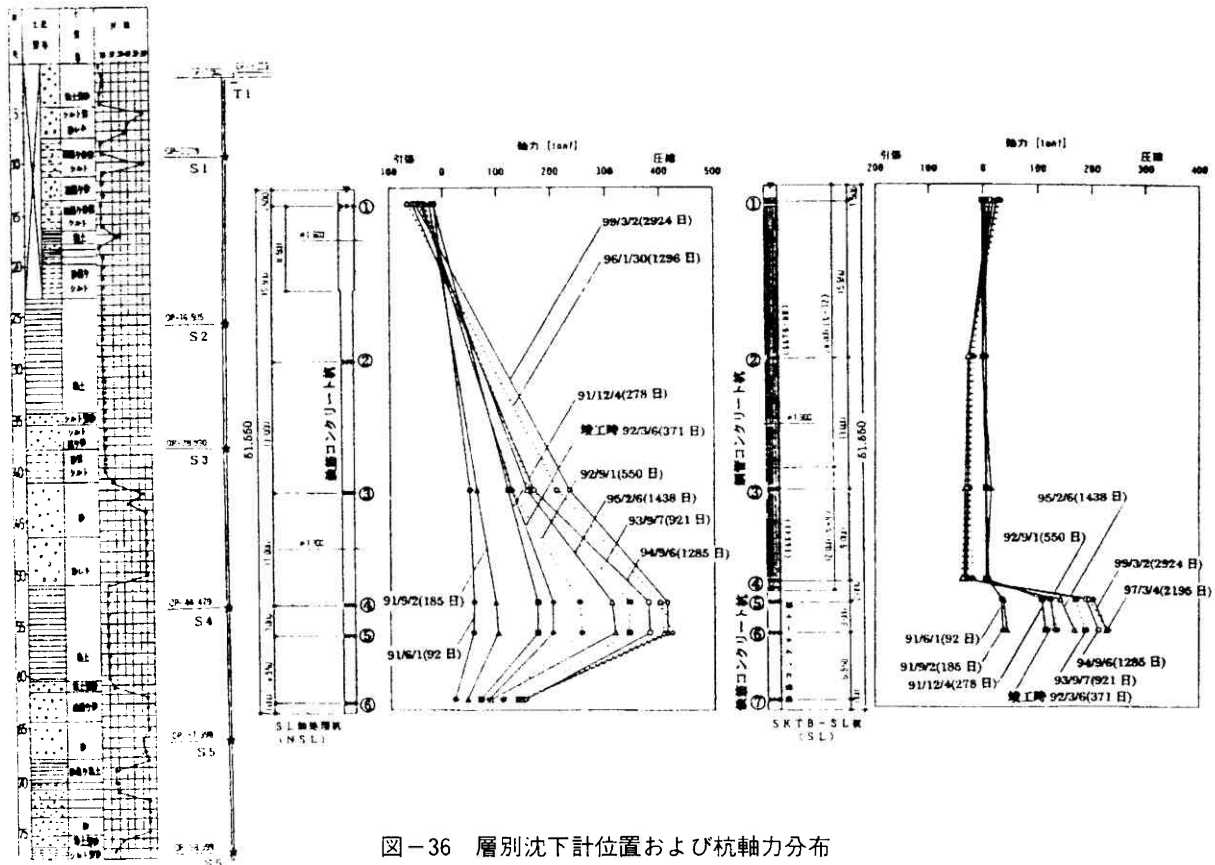


図-36 層別沈下計位置および杭軸力分布

理（厚さ6mm）を行った。これまで埋立地盤において、この杭の測定実績がないので、確認のため処理杭（SKTB-SL）とSL無処理杭を載荷しない状態で築造し長期間測定した。建設工期は平成元年6月～平成4年2月までである。杭測定は1991年3月1日～1999年3月2日までの8年間（2924日）である。図-39に示すように5点の最大値は421t（負の摩擦力度2.8tf/m<sup>2</sup>）となり、正の摩擦力度は5-6間で10.1tf/m<sup>2</sup>となった。処理杭の軸力は極めて小さくアスファル

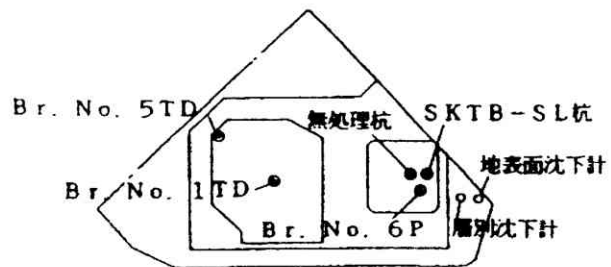


図-37 敷地平面図

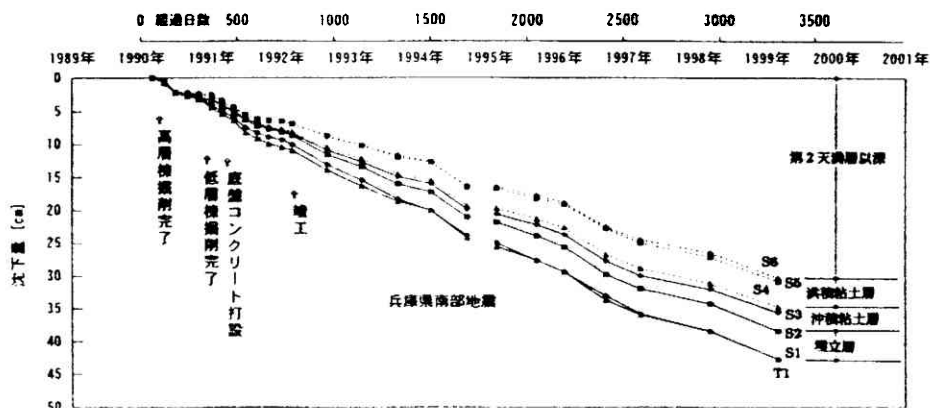


図-38 層別沈下の経時変化

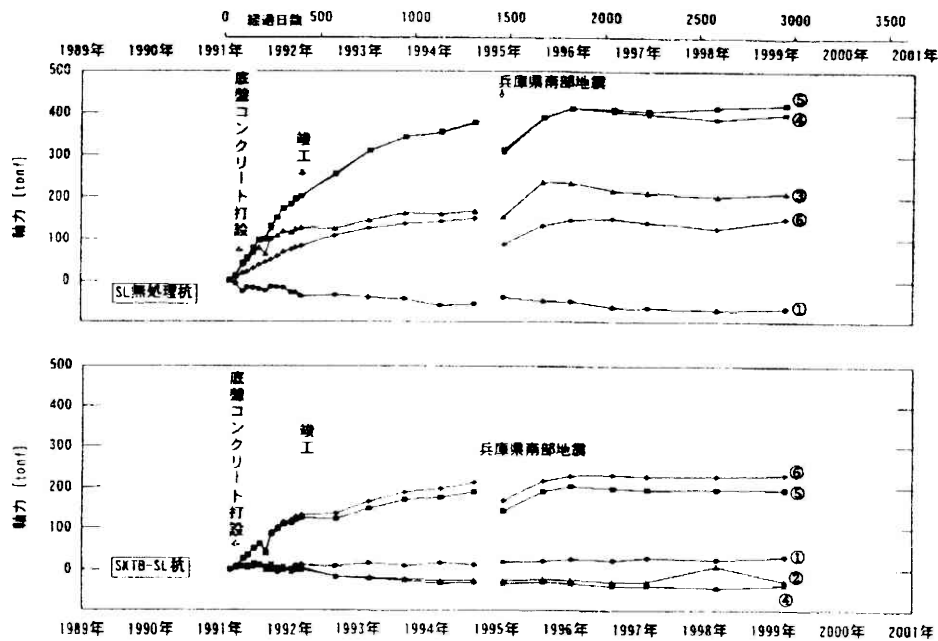


図-39 杭軸力経時変化

トの効果が認められた。地表面の沈下は42.7cm、第2天満層以深の沈下は30.3cm、それ以後の沈下は12.4cmとなった。地震により洪積層が沈下した形跡はなく地表面の沈下はなかった。地震時の杭軸力の測定値は低下したが翌年には元に戻った。建物にはなんら被害はなかった。

## (2) 大阪ワールドトレードセンター<sup>26),27)</sup>

この建物は、地下3階、地上55階、最高部高さ250.0mの高層ビルである(図-40)。敷地はミズノ大阪本社ビルと道路一つ隔てた隣接地で地層構成はほぼ同じである。建物重量は215,000tで排土重量(272,000t)より軽くして地盤に与える影響を少なくした。基礎杭は第2天満層を支持層とする鋼管巻き場所打ちコンクリート杭で軸部径1.8m、拡部径3.0m及び軸部径1.1m、拡部径1.8mの2種類を採用した。杭先端はOP-65mである。地盤沈下によるネガティブフリクションを考慮して40mの範囲にアスファルト処理(厚さ6mm)を行ったが、上述ビルの測定実績を参考にしてい

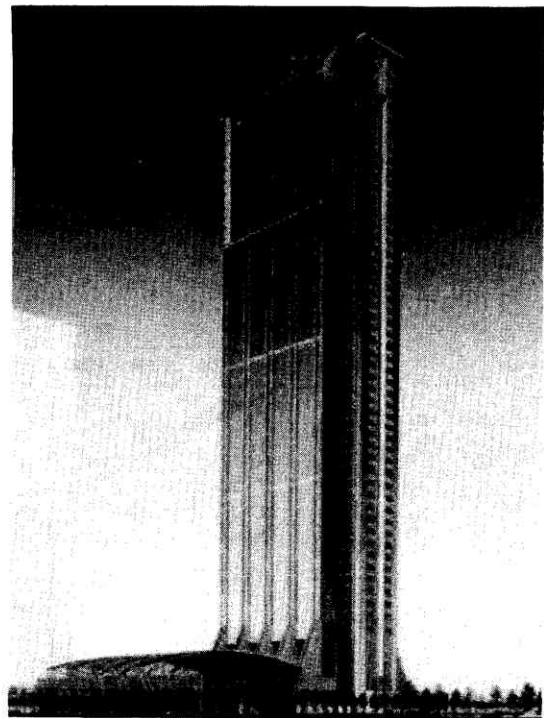


図-40 ビルの全景(支持杭基礎)

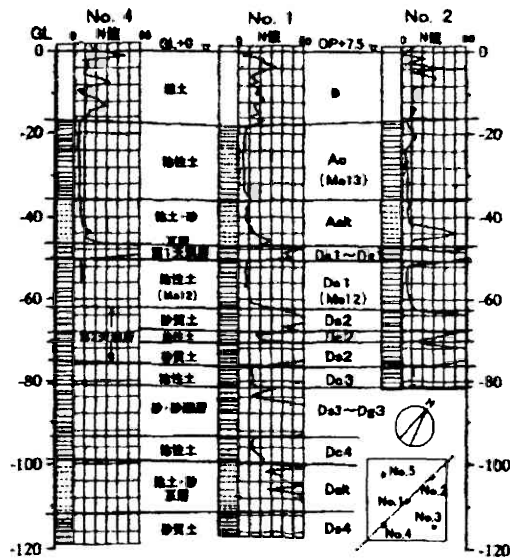


図-41 地盤概要

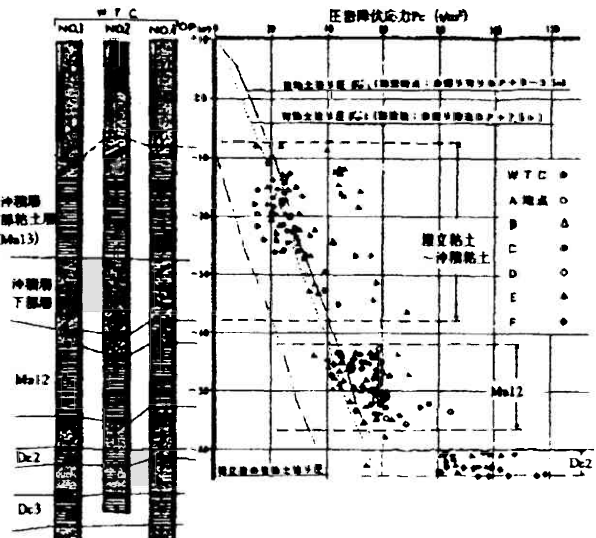


図-42 圧密降伏応力Pcの深度分布

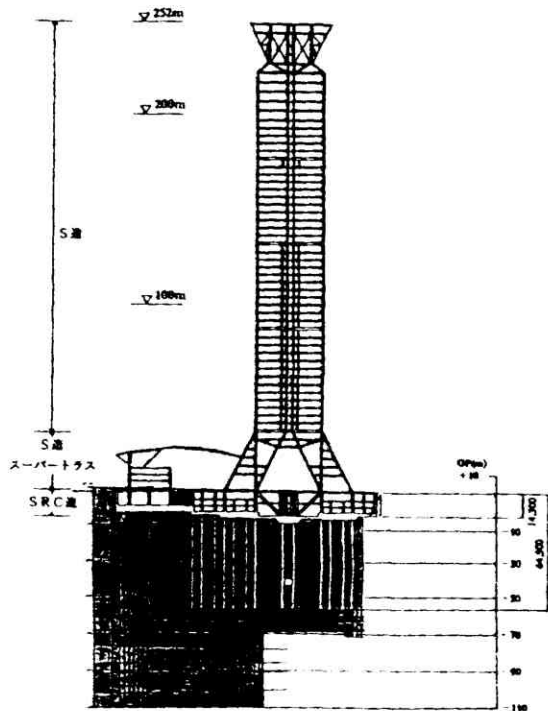


図-43 建物および地層断面

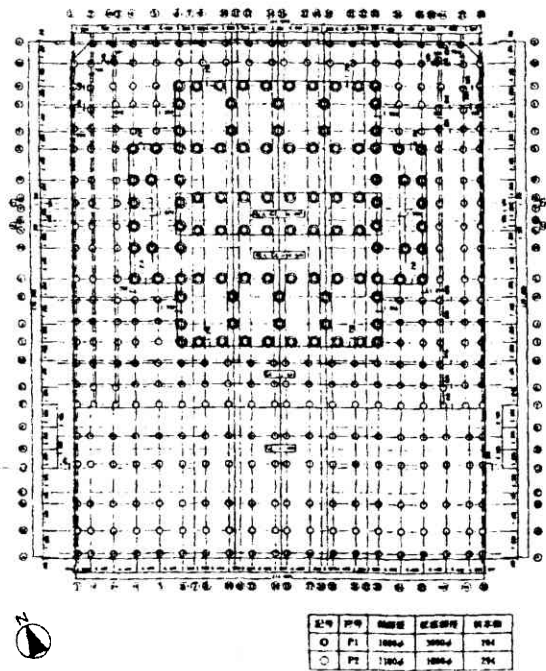


図-44 杭配置図

る。図-41に地盤概要，図-42に圧密降伏応力 $P_c$ の深度分布，図-43に建物および地層断面，図-44に杭配置図を示す。

埋立地盤における例のない大規模工事であり、平成3年3月の着工から平成7年3月まで約4年を要した。竣工間際に地震に遭ったが建物は勿論地盤にも被害はなかった。地盤・建物とも工事中から測定が継続されている。

## 7. あとがき

本文では、神戸ポートアイランド、六甲アイランド、大阪南港で建設された建築物を、地盤と基礎構造の面から述べた。兵庫県南部地震に際して幸いにして建物の被害は軽微であった。

建築物は、昭和46年までは旧基準、昭和46年～昭和55年は移行期間、昭和56年以降は新耐震設計基準により構造設計がなされている。基礎構造については慎重に検討しているが、埋立地に立地するが故に上部の設計法を変えているわけではない。神戸三宮地区では多くのビルが被災したが、埋立地における建物は一部に被害があったものの、多くの建物が無被害であったのは何故であろうか。埋立地盤では液状化が発生したが、液状化が免震効果もあったのではという示唆に富む話<sup>23)</sup>もある。杭基礎、直接基礎を問わず被害がみられなかったのは、海底の粘土層の存在が被害緩和に役立ったように思える。今後の研究テーマではなかろうか。ポートアイランドのマンションの6階に住み被災された後藤祐介氏は、「建物が倒壊しなかったのは、近代土木技術、建築技術の勝利であり、高く評価すべきである」と建築学会誌上<sup>35)</sup>に述べられているが、この言葉を励みにしてこれからも建物を見守りたい。

本文をまとめるに際し、多くの文献を参考にさせて頂いたことに対して謝意を表す次第である。

### <参考文献>

- 1) 社団法人土木学会関西支部：臨海埋立地盤の土質工学的諸問題、昭和53年度講習会テキスト
- 2) 山肩邦男：軟弱粘性土地盤における基礎構造の問題点と対策、建築技術、1987.4、PP.97-116
- 3) 福井 實、川村政美、南条恒夫：鉄骨造平屋建倉庫の沈下測定について（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、昭和53年9月、PP.2015-2016
- 4) 福井 實、小堀隆治：神戸ポートアイランドにおける杭実験について（その1 予備実験）、日本建築学会近畿支部研究報告集、昭和54年6月、PP.409-412
- 5) 玉置 亨、小堀隆治、福井 實：神戸ポートアイランドにおける杭実験について（その3 地盤改良工事について）、日本建築学会近畿支部研究報告集、昭和55年6月、PP.369-372
- 6) 伊藤雄三、伝田雅明、福井 實、小林武夫：神戸ポートアイランドにおけるサンドドレーン効果について（神戸市港島住宅地盤改良工事）、日本建築学会近畿支部研究報告集、昭和56年6月、PP.25-28
- 7) 原 克己、福井 實、青柳 司、川村政美：神戸ポートアイランドにおける打ち込み杭の打撃性状について、日本建築学会近畿支部研究報告集、昭和56年6月、PP.21-24.
- 8) Y.GYOTEN, K.MIZUHATA, T.FUKUSUMI, M.FUKUI: TESTS ON FULL-SIZED PILES DRIVEN IN RECLAIMED LAND、土質工学会論文報告集 第22巻第4号、1982年12月、PP.81-95
- 9) 福井 實、堯天義久、水畑耕治、福住忠祐：載荷盛土による地盤の沈下観測と杭の施工、土と基礎 vol.32 No12、昭和59年12月、PP.39-46
- 10) 福井 實、堯天義久、水畑耕治、福住忠祐：埋立地盤に建設した支持くい基礎をもつ高層建物の長期沈下観測とくい軸力測定、日本建築学会論文報告集 第327号、昭和58年5月、PP.50-60

- 11) 谷本喜一、福井 實：埋め立て地盤における各種建物の基礎と沈下測定、第25回土質工学研究発表会（岡山）、平成2年6月、PP.1449-1450
- 12) K.TANIMOTO、S.MIYANAGA、M.FUKUI、S.HONDA：SETTLEMENT OF RECLAIMED LAND DUE TO CONSOLIDATION OF SEA-BED、GEO-COAST'91、3-6、SEP.1991、YOKO-HAMA、PP.263-266
- 13) 本田周二、福井 實、谷本喜一：臨海埋立地における地盤と構造物の沈下について、基礎工、1992.12、PP.99-105
- 14) 小林武夫、豊田行男、浅尾力哉、福井 實：埋立地盤におけるネガティブフリクションの沈下測定（六甲アイランドにおける場合）、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、平成2年10月、PP.1487-1488
- 15) 小林武夫、豊田行男、浅尾力哉、福井 實：埋立地盤におけるサンドドレーンによる改良地盤の沈下測定、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、平成3年9月、PP.1583-1584
- 16) 福井 實：人工島の建設技術－構造物基礎の考え方、土と基礎、1991.7、PP.75-84
- 17) 中島 信、福井 實、谷本喜一：新交通車両・基地の基礎工、基礎工、平成4年5月、P.73-79
- 18) 福井 實、本田周二：地盤改良境界付近の長期沈下観測、第29回土質工学研究発表会（盛岡）、平成6年6月、PP.2111-2112
- 19) 地盤工学会関西支部：海底地盤－大阪湾を中心として－（5.4 建築構造物）、平成7年11月、PP.217-228.
- 20) 建設省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査中間報告書、平成7年8月、PP.423-434
- 21) 神戸市開発局：兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査（ポートアイランド、六甲アイランド）報告書、1995、PP.77-78
- 22) 加倉井正昭、青木雅路、平井芳雄、俣野 博：埋立て人工島における直接基礎の挙動、土と基礎、1996.2、PP.64-66
- 23) 足立紀尚：阪神・淡路大震災に学ぶ、地盤工学の課題、土と基礎、1996.2、PP.3-6
- 24) 福井 實、本田周二：圧密未了地盤に建設した摩擦杭および直接基礎建物の沈下観測、第31回地盤工学研究発表会（北見）、平成8年7月、PP.471-472
- 25) 棚橋秀光、園井啓士郎：地盤改良境界に接した摩擦杭建物の挙動、基礎工、平成8年11月、PP.64-68
- 26) 日本建築学会近畿支部：軟弱地盤の対策基礎工法とその事例、1995年3月、PP.5-44
- 27) 花島 晃、平野富之：埋め立て地盤に建つ大規模構造物の基礎設計と地盤変動計測、日本建築学会構造系論文集、第496号、平成9年6月、PP.53-58
- 28) 日本建築学会：阪神・淡路大震災調査報告（建築篇－4）木造建築物 建築基礎構造、平成10年3月、PP.381-402
- 29) 本田周二、大岡 弘、時松孝次、畑中宗憲、福井 實：兵庫県南部地震において被害を免れた建築基礎の健全度調査（その1）－地盤状況と建物の沈下性状－、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、平成9年9月、PP.735-736
- 30) 大岡 弘、時松孝次、畑中宗憲、福井 實：兵庫県南部地震において被害を免れた建築基礎の健全度調査（その2）、－4階建S造建物を支持する鋼管杭基礎の変形調査、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、平成9年9月、PP.737-738

- 31) 鈴木吉夫、福井 實、大杉文哉：各種構造物の実例にみる地盤改良工法の選定の設計、土と基礎、1998.2、PP.57-60
- 32) 小堀、田中、伊東、福井、本田、岡本、幸繁：神戸ポートアイランドにおける建物の長期沈下挙動（その1～その4）、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、平成10年9月、PP.811-818
- 33) 堯天義久、谷本喜一、福井 實、本田周二：埋立地盤に建設した支持杭基礎をもつ高層建物の長期沈下観測（その2）、第34回地盤工学研究発表会（東京）、1999.7、PP.1395-1396
- 34) 池信秀明、嶋谷欣巳、福井 實、北井進：大阪南港における場所打ち鋼管コンクリート杭のネガティブフリクションの測定例（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、平成11年9月、PP.753-754
- 35) 後藤祐介：三の宮の凄まじい光景と兵庫・長田の煙をみて、建築雑誌—特集 震災の証言—、1999.1、PP.40-42
- 36) 大阪市港湾局：1998-1999 Port of Osaka