

# 港湾技研資料

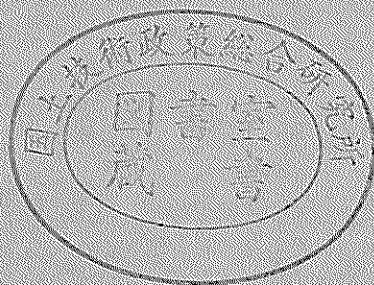
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 691      Dec. 1990

1989年ロマブリータ地震港湾・空港被害報告

稲 富 隆 昌  
風 間 基 樹

運輸省港湾技術研究所



# 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	3
2. 地震 .....	4
2. 1 地震の概要 .....	4
2. 2 強震記録 .....	4
2. 3 各地の最大加速度 .....	8
2. 4 各地の液状化 .....	11
3. 被害の概要 .....	14
3. 1 一般被害 .....	14
3. 2 港湾被害 .....	15
3. 3 空港被害 .....	15
4. 港湾施設の被害 .....	15
4. 1 オークランド港 .....	15
4. 2 サンフランシスコ港 .....	29
4. 3 サンタクルズ港 .....	40
5. 空港施設の被害 .....	41
5. 1 オークランド空港 .....	41
5. 2 サンフランシスコ空港 .....	46
6. あとがき .....	54
参考文献 .....	55

# Damage on the Port and Airport Facilities Caused by the 1989 Loma Prieta Earthquake

**Takamasa INATOMI\***

**Motoki KAZAMA\*\***

## Synopsis

On the evening of October 17, 1989, the Loma Prieta earthquake of magnitude of 7.1 occurred on the San Andreas fault zone in the northern California. The epicenter of the Loma Prieta earthquake was originated near Santa Cruz, located about 90 km south of San Francisco. The followings are the outline of damage of port and airport facilities.

Damage of the port of Oakland resulted from settlement and liquefaction of uncompacted hydraulic filled land. In the 7th street terminal, these damage caused tilted container cranes. At the port of San Francisco, two piled piers and one piled wharf were damaged. These damage were not major ones which cause the instabilities of main structures but minor ones such as settlement and cracking of reclaimed land. At Santa Cruz yacht harbor, sheet pile type bulkhead was damaged.

At Oakland airport, extensive liquefaction of hydraulic sand filled land caused settlement and cracking of the northernmost 3,000 feet of the 10,000-foot runway. At the San Francisco airport, non-structural damage occurred at the control tower(window damage), and the north and the international terminal(ceiling damage and sprinkler damage). There was no runway damage at San Francisco airport.

**Key Words :** The 1989 Loma Prieta Earthquake, Port, Airport, Damage, Earthquake

---

\* Chief of Structural Vibrations Laboratory, Structural Engineering division, Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport.

\*\* Senior Research Engineer, Structural Engineering Division, Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport.

# 1989年ロマプリータ地震港湾・空港被害報告

稲 富 隆 昌 \*

風 間 基 樹 \*\*

## 要 旨

1989年10月17日(火)、アメリカ合衆国カリフォルニア州サンフランシスコ市の南約90kmのサンタクルズ市付近を震源とするマグニチュード7.1の地震が発生した。地震によって、震源近くと、震源から約90km離れたサンフランシスコ湾岸地域において被害が生じた。

地震に対して、日本政府は1989年11月16日から2週間、政府調査団を派遣した。本資料は、港湾・空港の施設被害状況をとりまとめたものである。調査した港湾は、オークランド港、サンフランシスコ港およびサンタクルズ港、空港はオークランド空港とサンフランシスコ空港である。

この報告は、被害の物理的な現象を示し、被害に関する詳しい解析は含んでいない。

キーワード：1989年ロマプリータ地震、港湾、空港、地震、被害

## 1. まえがき

1989年10月17日(火)、アメリカ合衆国カリフォルニア州サンフランシスコ市の南約90kmのサンタクルズ市付近を震源とするマグニチュード7.1の地震が発生した。地震の名前は、震源近くのロマプリータ山にちなんでロマプリータ地震と命名された。震源近くには、カリフォルニア州を縦断するサンアンドレアス断層が走っている。図-1に今回の地震の震央、サンアンドレアス断層、港湾、空港等の位置を示す。震源近くでは、水平震度が0.6G以上もある大きな地震動が観測された。一方、サンフランシスコやオークランドでは、地盤の良い所で約0.1G、埋立て地等の軟弱地盤地域で約0.3Gが観測され、地盤条件によって約3倍の加速度差が生じた。港湾・空港の地震動としては、オークランド港で0.29G、サンフランシスコ空港で0.33Gが記録された。

地震によって、震源近くと、震源から約90km離れたサンフランシスコ湾岸地域において被害が生じた。震源近くでは地滑り、斜面崩壊が発生し、ダム、橋梁に被害が生じた。同時に、建物被害も大きかった。また、河川沿いの沖積砂層においては液状化が発生した。一方、サンフランシスコ湾岸地域の被害は局所的であったが、被

害は大きかった。被害が集中した地域は、湾岸地域に発達した軟弱な粘土、すなわちベイマッド上の埋立て地域であった。埋立て地域では、液状化が発生した。埋立て地域であるサンフランシスコ市内のマリーナ地区等では住宅やライフラインに被害が生じ、市民生活に多大な支障がでた。オークランドでも、埋立て地域にある港湾・空港施設等に被害が生じた。また、サンフランシスコ・オークランド・ベイブリッジ、およびオークランド市内の比較的古い形式の二層式高速道路が落橋、崩壊し、多数の人命が失われた。

今回の地震被害の特徴は、構造物の安定性が地盤の状況に左右されたことである。

ロマプリータ地震に対して、日本政府は1989年11月16日から2週間、16名の政府調査団(10省庁、3公団、1企業)を派遣した。政府調査団が実施した調査内容は、地震の概要、地殻変動及び強震観測、液状化及び斜面崩壊、道路・橋梁の被害、建築物の被害、上下水道・ガス・電力・港湾空港・河川施設及び地下鉄のライフライン施設等の被害、防災行政及び応急対策、ボランティア活動にみられた市民等の対応に関するものであった。著者の稲富は、この調査団に参加し、港湾・空港施設の被害調査および液状化に関する資料収集を行った。また、風間

\* 構造部 構造振動研究室長

\*\* 構造部 主任研究官

## 2. 地震<sup>1)</sup>

### 2.1 地震の概要

ロマプリータ地震は、1989年10月17日(火)の午後5時4分(現地時間)、アメリカ合衆国カリフォルニア州サンフランシスコ市の南約90kmのサンタクルズ市付近を震源としたマグニチュード7.1の地震である。地震名のロマプリータは、震源に近いロマプリータ山にちなんで命名されている。図-2は、今回の地震の震源周辺の地形と断層(サンアンドレアス、およびハイワード断層等)を示したものである。ロマプリータは、サンフランシスコ湾岸の西側を走るサンアンドレアス断層の近くに位置している。サンアンドレアス断層は、太平洋プレートと北アメリカプレートを境界とする大断層で、図-2に示すように右ずれ断層である。そのずれ速度は約30mm/年といわれている。

図-3は、カリフォルニア州およびその周辺で過去に発生した地震の分布を示したものである。サンフランシスコ湾岸付近の地震で最も大きかった地震は、1906年に発生したサンフランシスコ大地震で、マグニチュードは8.3、死者は700人といわれている。なお、サンフランシスコ湾岸付近の大きな断層としては、サンフランシスコ湾の西側のサンアンドレアス断層の他に、湾の東側のハイワード断層がある。

図-4は、ロマプリータ地震の発生前20年間のサンアンドレアス断層に沿った地震活動の垂直分布、およびロマプリータ地震の本震と余震の地震動を示したものである。今回の地震は、地震活動の空白域で起こったことがわかる。

本震の震源要素を表-1、地震断層の模式図を図-5に示す。地震の特徴としては、震源の深さが約18kmで、この付近の地震としては例外的に深いこと、また、サンアンドレアス断層沿いの地震としては、大きな垂直変位を有していたことである。

### 2.2 強震記録

今回の地震では、合計131の観測点で強震記録が取得されている。強震観測は、主として米国地質調査所(USGS)、およびカリフォルニア州鉱山地質局(CDMG)によって実施されている。USGSの観測点は38ヶ所で、21ヶ所の地盤、17ヶ所の構造物、また、CDMGの観測点は93ヶ所で、53ヶ所の地盤、40ヶ所の構造物であった。その他に、カリフォルニア大学サンタクルズ校(UCSC)が4ヶ所の地盤で強震記録を取得した。港湾・空港の強震観測点は、オークランド港とサンフランシスコ空港であった。

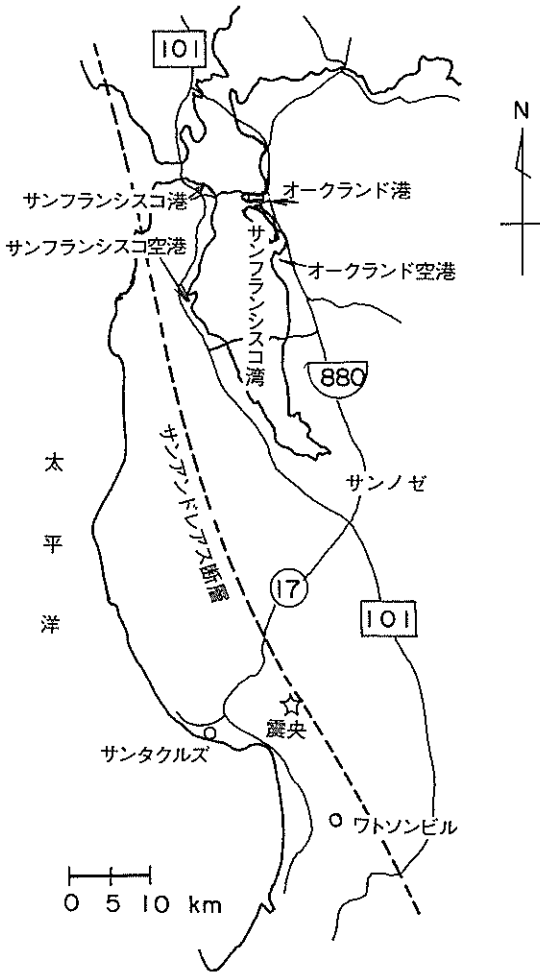


図-1 震央とサンフランシスコ湾岸

は、地震発生当時、カリフォルニア大学サンディエゴ校に在外研究員として滞在中であり、稲富とともに現地調査を実施した。調査した港湾は、オークランド港、サンフランシスコ港およびサンタクルズ港、空港はオークランド空港とサンフランシスコ空港である。なお、政府調査団の報告は、「1989サンフランシスコ湾岸地震ロマプリータ地震の記録」<sup>4)</sup>に詳しいので、参照されたい。

本報告は、港湾・空港の被害を中心に紹介したものであるが、地震、道路・橋梁、建物等の被害については、前述の政府調査団の報告書を引用した。

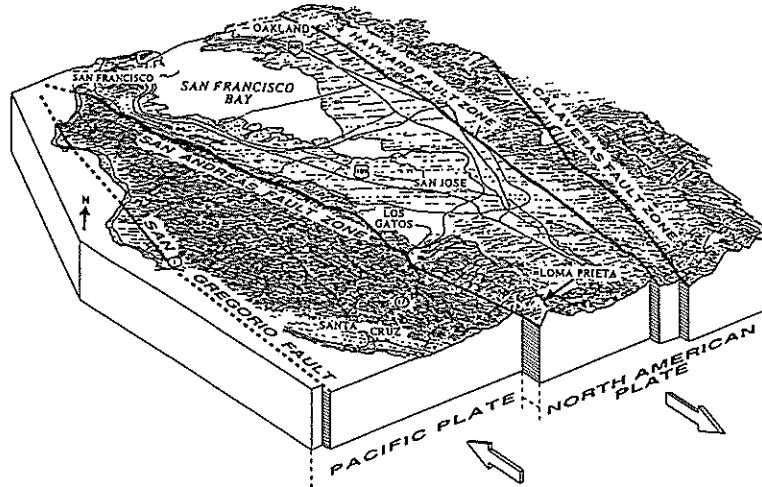
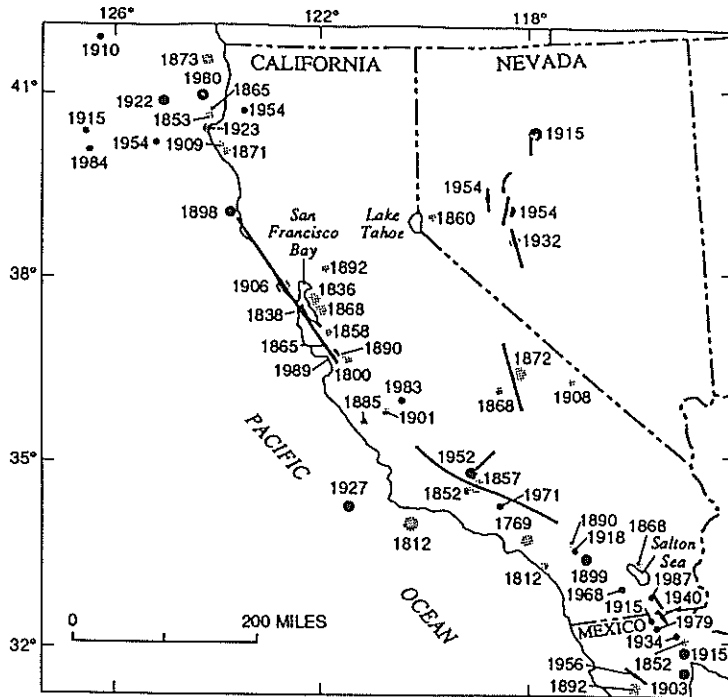


図-2 震源域周辺の地形と断層及びプレートの動きを示す模式図 (USGS Circular 1045)



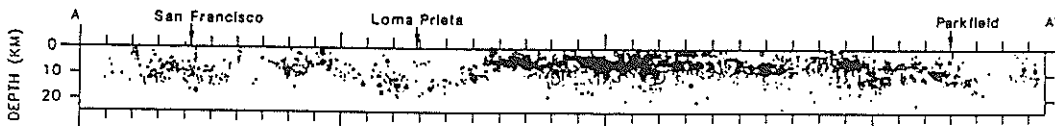
**EXPLANATION**  
[Date indicates year in which earthquake occurred]

HISTORICAL	INSTRUMENTAL MAGNITUDE
⊛ Very large	● 6.75-7.0
⊠ Great	● 7.1-7.7
⊙ Outstanding	● ≥7.75

—— Fault segments that ruptured

図-3 カリフォルニア州とその周辺で過去に発生した地震 (USGS パンフレット "The Loma Prieta Earthquake of October 17, 1989")

A) 01/01/69 - 07/31/89



B) Loma Prieta Mainshock & Aftershocks

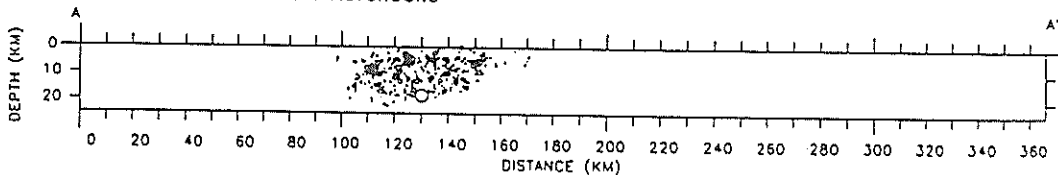
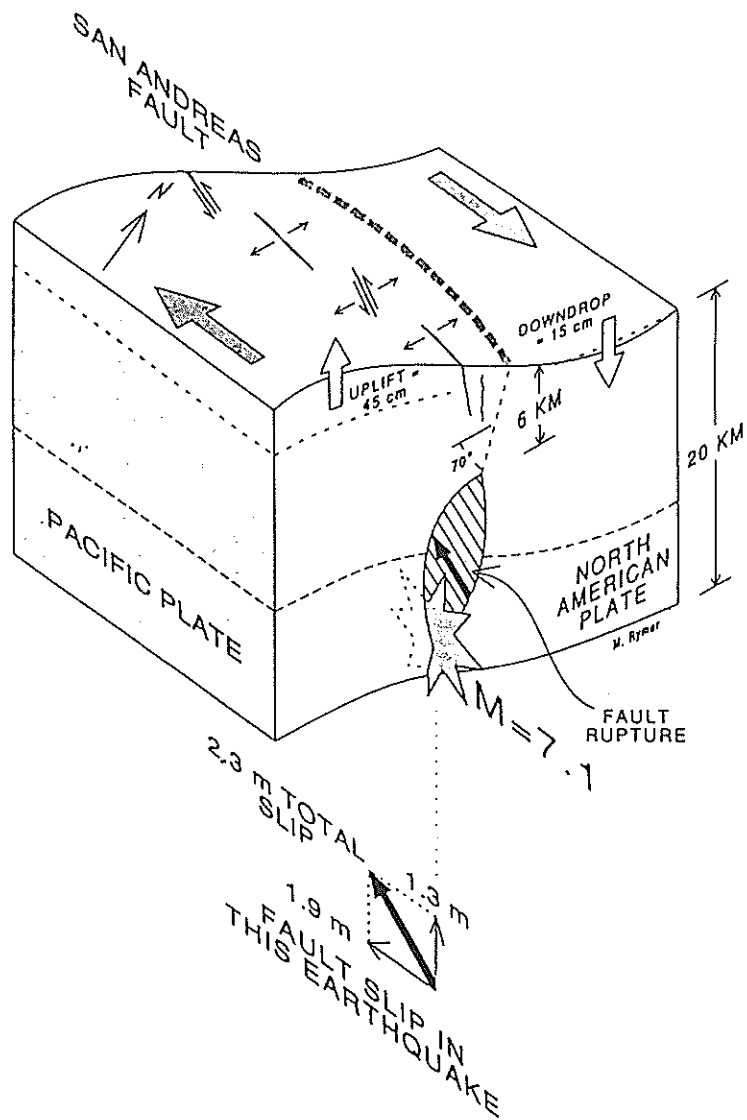


図-4 A. ロマプリータ地震発生前20年間 (1969/1/1~1989/7/31) のサンアンドレアス断層に沿った地震活動の垂直分布。サンフランシスコの南、ロマプリータ及びパークフィールドの空白域が顕著。  
 B. 本震 (○印) 及び余震 (1989/10/12~1989/10/19) ロマプリータの空白域をほぼ完全に埋めている。(USGS, 1989.10.21)

表-1 ロマプリータ地震の本震の震源要素

震源時 (地震発生時刻)	1989年10月17日午後5時4分 (現地時間)
震 央	北緯37度02.19分 西経121度52.98分 (サンタクルーズの北東約16km)
深 さ	17.6km
マグニチュード (M)	7.1
断層面のパラメーター	
走 向	北から西回り50度
傾 斜	南西下がり70度
長 さ	40km
幅	13km
断層変位	約2.3m



図一五 ロマプリータ地震に伴うサンアンドレアス断層の変位 (提供 USGS, M.J.Rymer)  
 北東側の北アメリカプレートに対して南西側の太平洋プレートが北西方向、斜め上方に約2.3 m 変位した。地表では南西側が隆起し、北東側が沈下している。



### 2. 3 各地の最大加速度

図-6は各観測点の強震記録の水平最大加速度、図-7はサンフランシスコ沿岸地域の水平最大加速度を詳細に示したものである。震源付近では、0.6G以上の加速度が記録されている。震源から遠ざかるにつれて、加速度は小さくなっている。しかし、震源から約90km離れたサンフランシスコやオークランドでは、地盤の良いところで、約0.1G、埋立て地域などの地盤の悪いところで、約0.3Gと、地盤条件によって約3倍の加速度差が生じていた。今回の地震では、特にサンフランシスコ市内の住宅地に被害が発生したが、これは地盤条件の違いによるところが大きいと推定されている。これら住宅地は、軟弱な埋立て地盤に建設されていた。

港湾・空港の強震記録は、オークランド港、およびサンフランシスコ空港で取得された。図-8は、オークランド港のアウトハーバー（図-13参照）のコンテナターミナルに取り付けられた強震計の配置図である。岸壁はコンクリート杭式栈橋で、強震計は栈橋とその背後地盤に設置されている。強震計の感震成分は、栈橋の法線方向、法線直角方向と上下方向である。観測地点の地盤条件は、はっきりしていないが、周辺の地盤の状況からベイマッド上の埋立て地盤と推定される。図-9は強震記録である。図の左端の数字は、図-8に示した地震計の感震成分の番号と対応する。栈橋背後地盤の水平最大加速度は0.22~0.29G、栈橋は0.28~0.45Gである。

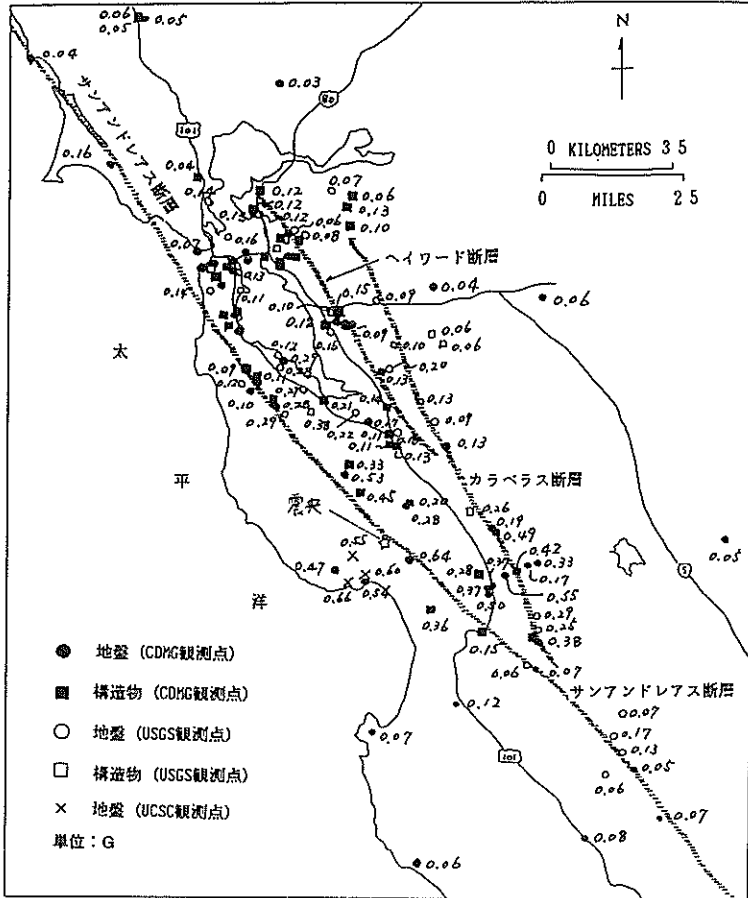
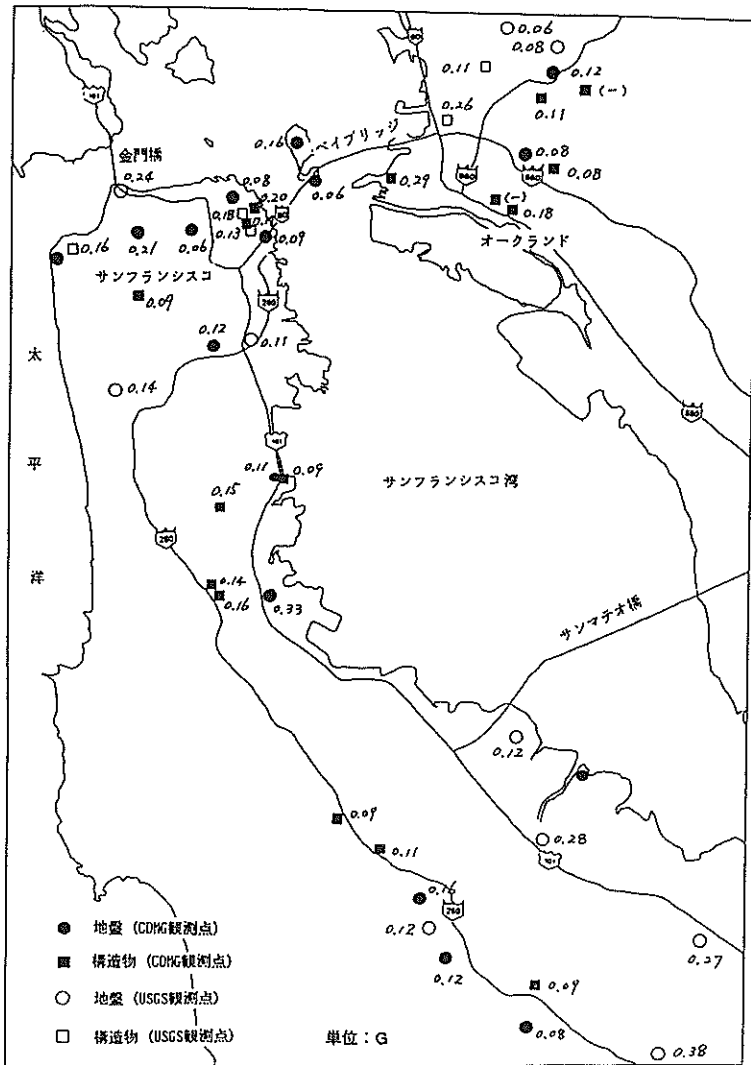


図-6 各観測点の水平最大加速度分布 ( CDMG の REPORT OSMS 89-06, USGS の OPEN - FILE 89-568及び Dr. K. McNally ( UCSC)提供のデータから作成したものである )

とがわかる。湾岸北部の地盤の良いところの地盤加速度は、0.1G程度であった。したがって、埋立て地盤と推定される栈橋の背後地盤の地震動は、ベイマッドの影響で増幅されたと考えられる。なお、オークランド港湾局

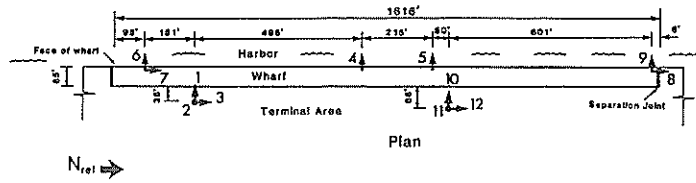
の調査によると、栈橋の背後地盤には液状化は発生していないようである。また、栈橋では、0.45Gという大きな加速度が観測されているが、栈橋に被害が生じたという報告もなかった。



図一七 サンフランシスコ湾周辺の各観測点の水平最大加速度分布 (CDMGのREPORT OSMS 89-06, USGSのOPEN-FILE 89-568の資料に基づき作成したものである)

Oakland - Outer Harbor Wharf  
 (CSMIP Station No. 58472)

SENSOR LOCATIONS



Structure Reference  
 Orientation: N=35°

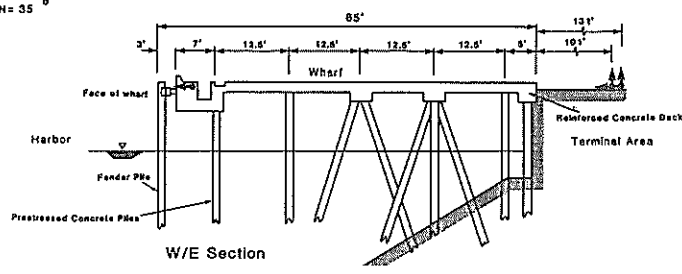


図-8 オークランド港の地震観測点

Oakland - Outer Harbor Wharf  
 (CSMIP Station 58472)

Record 58472-C0221-89293.05

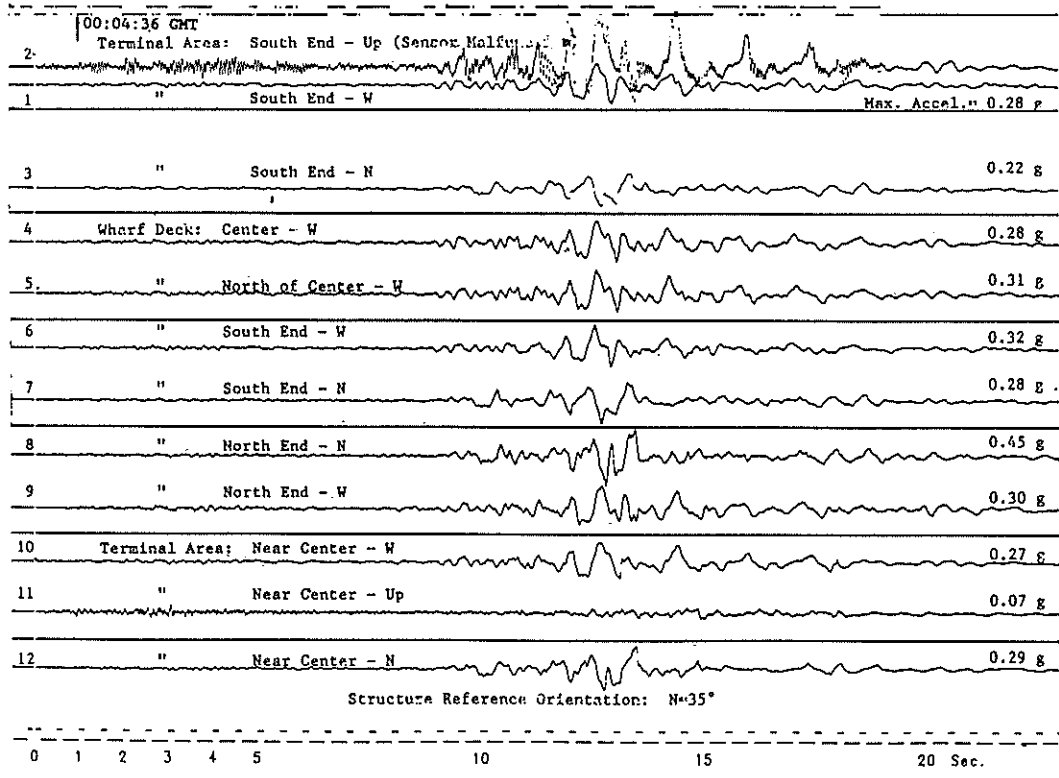


図-9 オークランド港の地震動記録

図-10は、サンフランシスコ空港の強震記録で、水平最大加速度は0.33Gであった。観測地点は、空港の近くを走る高速道路101号線に近いサービス・ビルの敷地である。観測点の地盤条件は不明であるが、後述の5. 2 サンフランシスコ空港の土質で述べるように、バイマッド上の埋立て地盤と推定される。したがって、空港の地震動が周辺地域の地震動より際だって大きかったことが理解できる。空港では液状化は発生していないが、これは埋立て土砂がシルト質砂で、かつ締め固めが十分に行われていたためと考えられる。

#### 2. 4 各地の液状化

今回の地震では、液状化が震源近くとサンフランシスコ湾岸北部で多く発生した。図-11は、斜面崩壊等を含む液状化の発生地点を示したものである。また、図-12は、サンフランシスコ市内の液状化発生地点を市内の埋立地域と共に示したものである。震源近くの液状化は河川沿いの沖積砂層、震源から約90km離れたサンフラン

シスコ湾岸北部の液状化の発生地点は、埋立て地盤であった。図-12に示したサンフランシスコ市内の液状化は、埋立て地域に限定されていることがわかる。特に、埋立て時期が新しいマリナー地区に液状化が集中している。マリナー地区の液状化を含めサンフランシスコ市内の埋立て地の液状化は、家屋を損傷し、地下埋設構造物に大きな被害を与えた。なお、図-12に示したマーケット通りの南側地区は、1906年のサンフランシスコ大地震においても液状化が発生しており、再液状化地区である。写真-1は、マリナー地区の街路に発生した液状化による噴砂、写真-2は、同じマリナー地区の家屋内の噴砂である。住人の話によると、地震の揺れが収まってから、砂が噴き出してきたとのことである。

なお、オークランドの埋立て地盤の液状化は、港湾および空港施設に大きな被害を与えたが、オークランド港および空港の液状化については、後述の4. 港湾施設の被害および5. 空港施設の被害で紹介する。

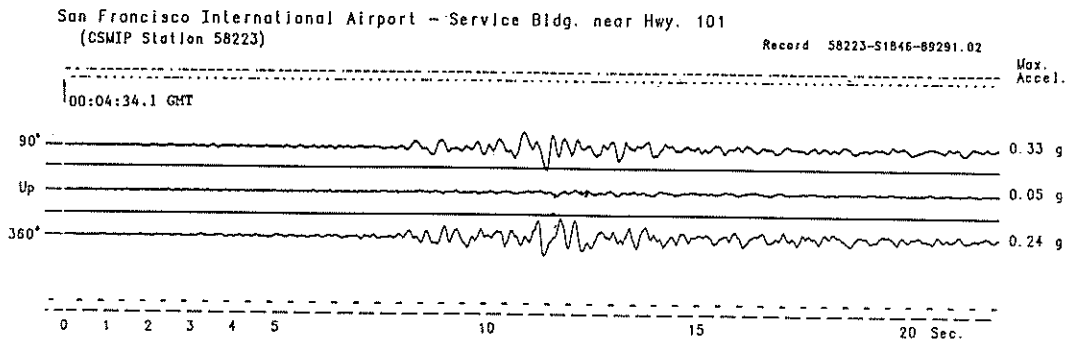


図-10 サンフランシスコ空港の地震動記録

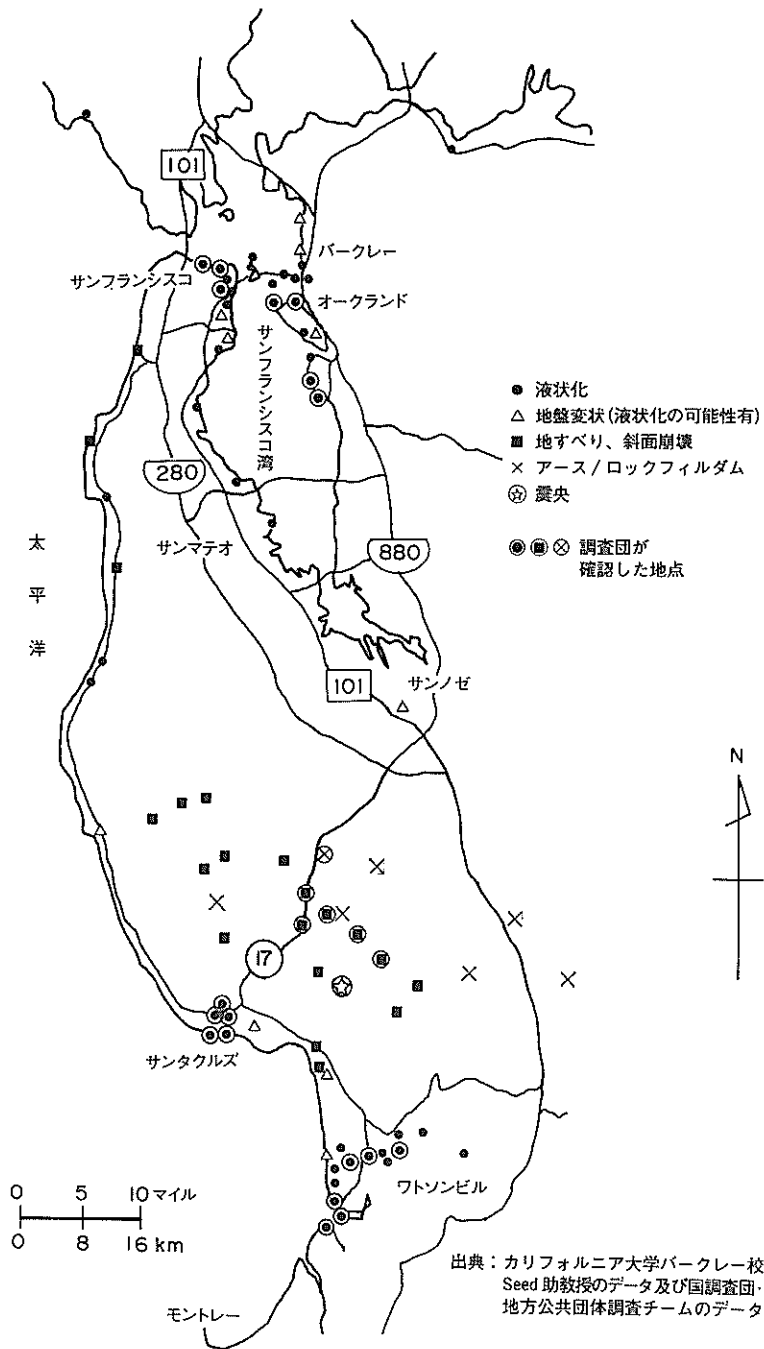


図-11 液状化および斜面崩壊等が生じた地点

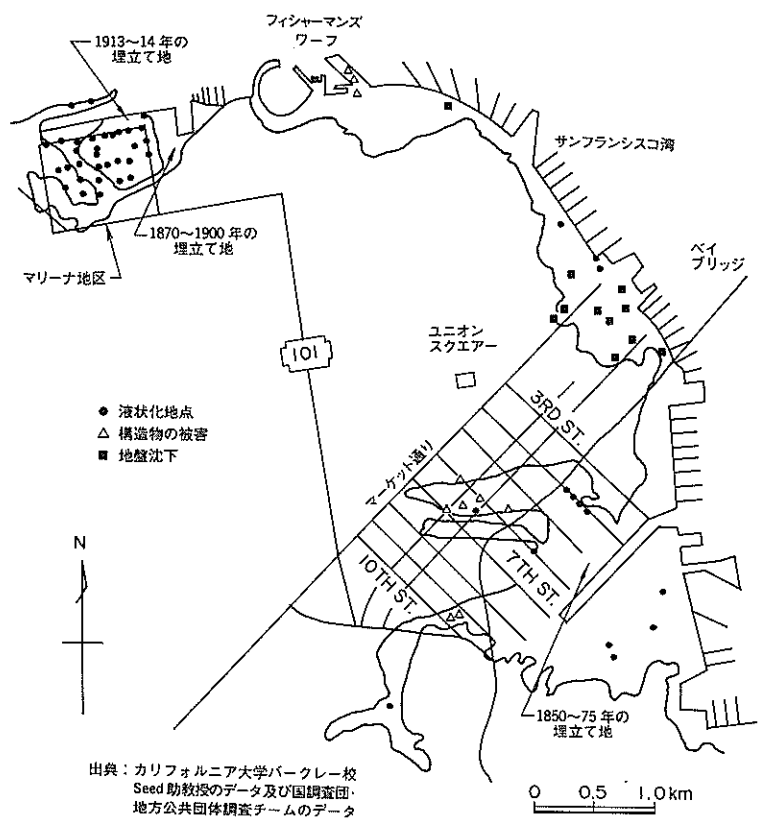


図-12 サンフランシスコ市内の液状化地点



写真-1 サンフランシスコ市内マリナー地区の噴砂

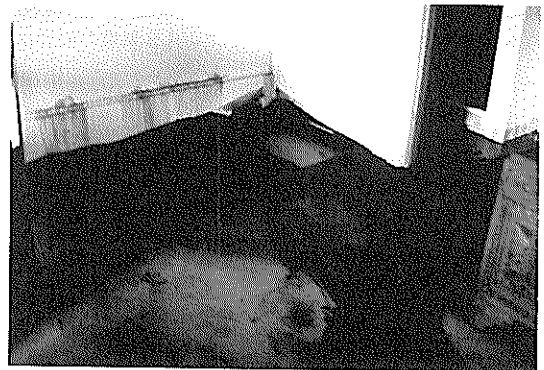


写真-2 サンフランシスコ市内マリナー地区の住宅内の噴砂

### 3. 被害の概要<sup>1)</sup>

#### 3.1 一般被害

##### (1) 被害統計

ロマブリク地震は、震源付近はもとより、震源から約90km離れたサンフランシスコ湾岸北部のサンフランシスコ、オークランドにも甚大な被害を与えた。被害は、住宅を含む建物、道路・橋梁、上下水道・電気通信・電力・ガス供給施設等のライフライン施設、港湾・空港施設、河川施設等に発生した。

1989年11月中旬現在、カリフォルニア州緊急災害対策局(OES)等から発表された被害統計の主なものは、次の通りである。

- ・死 者：62名（この他に心臓マヒ等の間接的犠牲者がいる）
- ・負 傷 者：3,028名
- ・被害総額（推定）：70億ドルないし80億ドル（1兆円ないし1兆1千億円）
- ・罹 災 者 数：約55,000名



写真-3 オークランド市内サイプレス高架橋の被害状況

#### (2) 道路・橋梁の被害

a) サンフランシスコ・オークランドベイブリッジ(I-80, オークランド市)は、上層一径間の一端が落橋した。

b) サイプレス高架橋(I-880号ニッツフリーウェー, オークランド市)は、約1.6kmにわたり2階部分が落橋した。1橋脚につき4~5個のヒンジ部があり、これらの一部が損壊し、落橋したと推定されている。写真-3は2階部分が1階部分に落橋している様子、写真-4は橋脚の破損状況を示したもので、せん断破壊であることがわかる。なお、液状化、地盤沈下は、主要な被災要因ではないと推定されている。サンフランシスコ市内にも同形式の高架橋があったが、橋脚に亀裂は発生したものの、落橋はしなかった。

c) ストラブスルー橋(州高速道路1号線, ワトソンビル市)では、南行き2車線の21径間中10径間が落橋した。なお、4本のRC橋脚杭が床板を突き抜けていた。

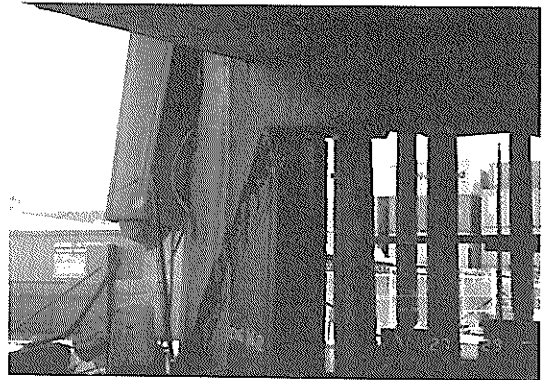


写真-4 オークランド市内サイプレス高架橋の橋脚のせん断破壊状況



写真-5 サンフランシスコ市内マリナー地区の建物被害(1)

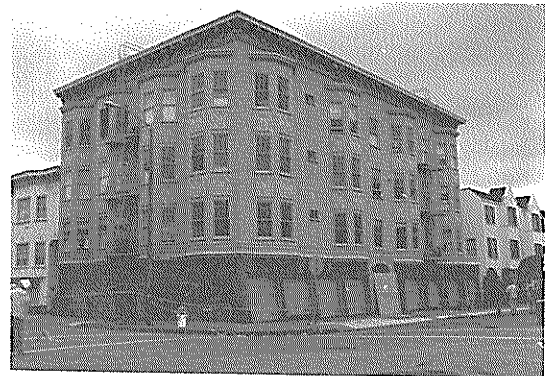


写真-6 サンフランシスコ市内マリナー地区の建物被害(2)

### (3) 建物の被害

建物の被害は、震源近くのサンタクルズ、ワトソンビル、ホリスター、ロスガトス等、およびサンフランシスコ湾岸北部の特定地区（サンフランシスコ市内のマリーナ地区、サンセット地区、サウスマーケット地区、およびオークランド市の一部）において発生した。写真-5、6はマリーナ地区の建物被害状況で、建物の1階部分がせん断破壊を起こしている。2階以上に顕著な被害は見られない。マリーナ地区の建物の多くは、1階部分を車庫として使用している。したがって、1階部分には、筋かい等の補強材がほとんど無く、せん断力に弱い構造になっていた。このような構造的欠陥が被災を大きくしたと考えられる。

### (4) ライフライン施設の被害

上下水道施設の被害は、サンフランシスコ市内のマリーナ地区等で、ガス供給施設については、震源に近いサンタクルズ、ワトソンビル等とサンフランシスコ市内の軟弱な地盤で発生し、市民生活に大きな影響を与えた。

発電施設、変電施設等にも被害が生じ、サンフランシスコ市内を中心に停電が1～両日続いた。

サンフランシスコとオークランドの湾岸地域を走る地下鉄BART（海底トンネルを含む）に関しては、地震によって影響が若干あったが、迅速な点検と簡単な補修を行って、地震発生当日（10月17日）の深夜には運転を再開した。

震源近くのサンタクルズ市内の河川堤防には、クラック等の被害が生じていたが、すでに復旧作業が行われていた。また、震源近くのいくつかのアースダムでは、ダムの上流・下流面に若干の亀裂が発生していた。

### 3. 2 港湾被害

港湾被害は、サンフランシスコ湾岸北部のオークランド港とサンフランシスコ港、および震源に近いサンタクルズのヨットハーバーに発生した。

オークランド港とサンフランシスコ港は、ともにサンフランシスコ湾の軟弱なベイマッドを埋め立てて建設されている。両港の岸壁は、コンクリート杭式の栈橋であったが、被害としては、液状化による埋立て地盤の沈下、クラック、段差等の地盤災害で、これら地盤災害が港湾の施設本体に致命的な被害は与えなかった。ただし、オークランド港の7th Street ターミナルでは、埋立て地盤の液状化により、陸側のコンテナクレーンレールのベタ基礎が沈下した。その結果、クレーンは走行不能となり、ターミナルは閉鎖された。

サンタクルズのヨットハーバーでは、鋼矢板式護岸に

上部工の前傾、クラック等の被害が生じた。わが国で多くみられる矢板式構造物の被害としては、本港のみであった。なお、杭式栈橋もあったが被害はなかった。

### 3. 3 空港被害

空港の被害は、オークランド空港とサンフランシスコ空港において発生した。両空港とも、サンフランシスコ湾のベイマッドを埋立てて建設されている。

オークランド空港の被害は、港湾と同様に埋立て地盤の液状化による地盤災害で、ターミナル等の建物に被害はなかった。主たる被害は、滑走路の一部とサンフランシスコ湾に面した堤防に生じた。しかし、堤防は雨水による崩壊を防ぐため、すでに補修工事が実施されていた。

サンフランシスコ空港では、液状化は発生していなかった。これは埋立て地盤の埋立て土砂がシルト質砂であったためと考えられる。同空港の被害は、滑走路には生じず、ターミナルの非構造部材である天井板の落下やスプリンクラーの破損、古い貨物ビルの被害等であった。なお、管制塔もターミナルと同様な被害を受けたため、空港が正常な運航状態になるまで3日を要した。

## 4. 港湾施設の被害

### 4. 1 オークランド港

オークランド港は、サンフランシスコ市の対岸に位置する。図-13に示すオークランド港の地震被害は、7th Street ターミナル、アウター・ハーバー、アメリカン・プレジデント・ライン・ターミナル（APLターミナル）、ハワード・ターミナル等で発生した。被害は、コンテナヤードの沈下、クラック、段差などの地盤災害が主で、岸壁、コンテナクレーンに被害が生じたのは7th Street ターミナルのみであった。7th Street ターミナルは、港湾荷役が不能となり、閉鎖された。

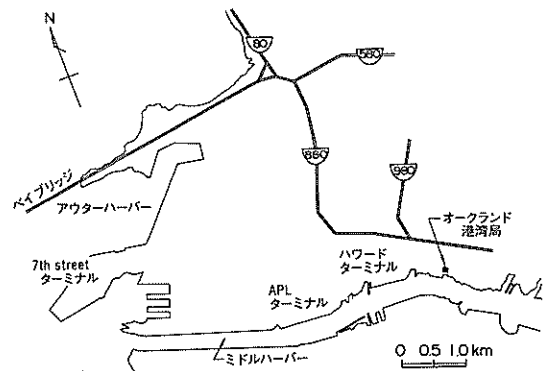


図-13 オークランド港の平面図



(1) 7th Street ターミナル (バース35~38, 40)

図-14にターミナルの平面図を示す。○の中の数字はバースの番号, 距離はフィート表示である。

a) 構造

ターミナルは, 1965~72年に建設された。岸壁は

杭式栈橋で, 図-15に標準断面を示す。杭は16インチ四角形断面のコンクリート杭である。埋立て土砂は, サンフランシスコとオークランドを結ぶ地下鉄BARTを建設する際に生じた浚渫土砂および掘削土砂である。埋立ては, ベイマッド上に碎石や砂によっ

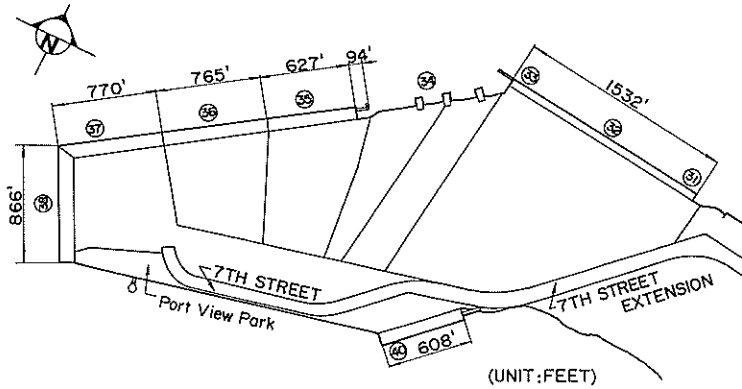


図-14 7th Street ターミナルの平面図

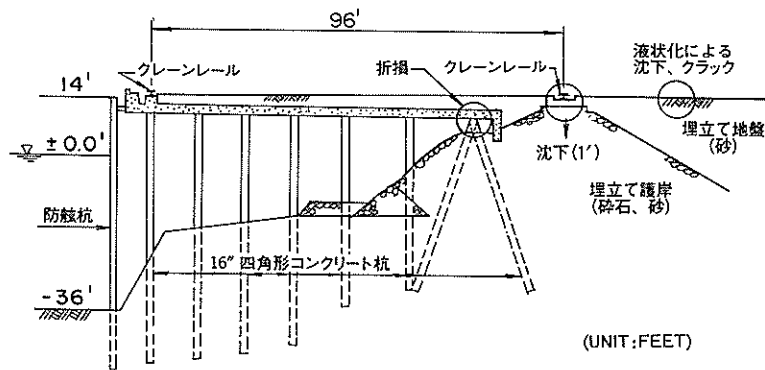


図-15 7th Street ターミナルの岸壁 (バース35~38, 40) の標準断面図

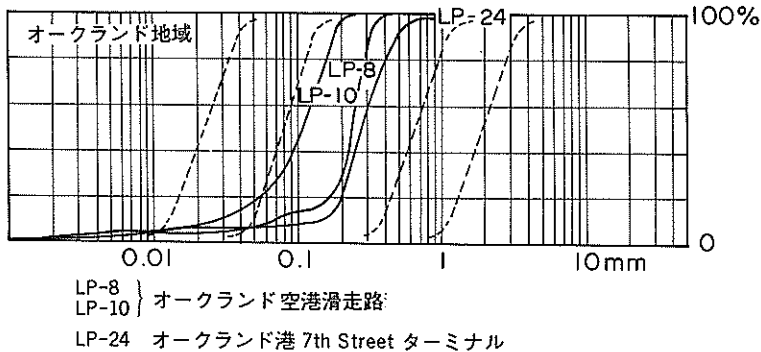


図-16 噴砂の粒度分布

て埋立て護岸（ダイク）を築造してから行われている。埋立て地盤の土質データは入手できなかったが、政府調査団に同行した地方公共団体調査チームが調

査したバース37の埋立て土砂の粒度分布（LP-24）を図-16に示す<sup>3)</sup>。図には、港湾の施設の技術上の基準に示されている液状化の可能性のある粒度範囲

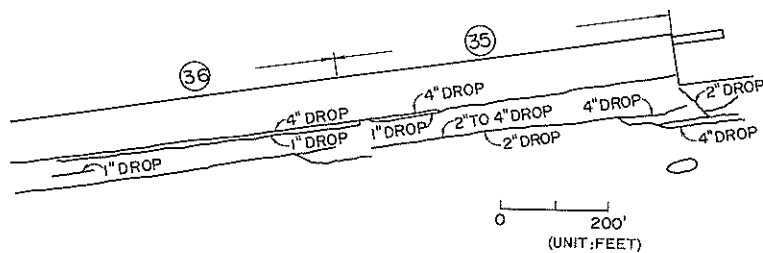


図-17 7th Street ターミナルの被害（バース35, 36）

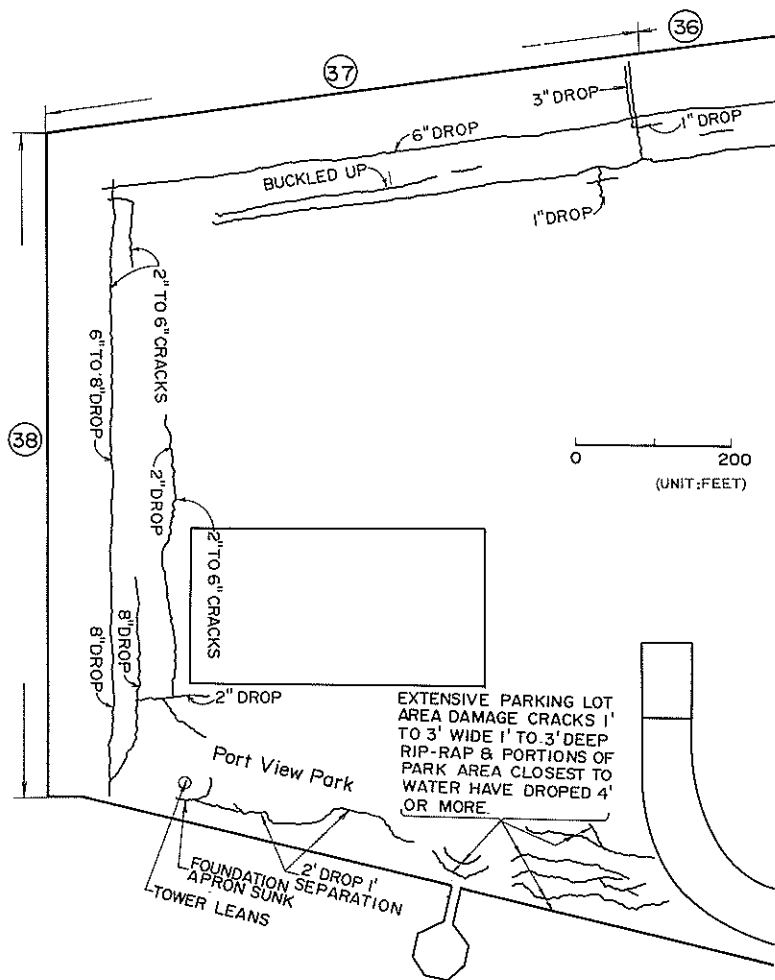


図-18 7th Street ターミナルの被害（バース37, 38, 公園）

を破線で示した。オークランド港の砂は、特に液状化の可能性のある範囲にあることがわかる。オークランド港湾局の話によると、埋立て地盤の液状化対策等の地盤改良は、行っていないとのことであった。栈橋は、盛土の斜面に建設されているが、盛土斜面は埋立て地盤の地表面まで達しているため、わが国でよく見られる栈橋背後の土留め護岸はない。

コンテナクレーンは、バース35～37に設置されている。クレーンのレール幅は、96フィート(29.3m)で、レールは栈橋の海側最前列の杭上と盛土地盤上に設置されている。盛土上のレールの基礎はベタ基礎で、杭基礎ではなかった。

b) 被害

バース35～37の被害は、図-15に示すように栈橋の斜杭の頭部が一部破壊し、更に埋立て地盤が液状化によって沈下したことである。地盤沈下は、ベタ基礎であったコンテナクレーンの陸側基礎を約1フィート沈下させた。その結果、コンテナクレーンは走行不能となり、ターミナルは閉鎖された。

図-17, 18は、オークランド港湾局が調査したバース35～37の被害状況で、クラック、段差等の内容も記されている。図中の○内の数字は、図-14に示したバースの番号を示す。なお、図-18には、後述するバース38とPort View Parkの被害状況も示されている。クラックの多くは、岸壁あるいは護岸の法線に平行に発生している。海側に近いクラックは、図-15に示した栈橋上部工の陸側端に沿ったクラックである。写真-7は栈橋の被害状況を示したもので、復旧工事も見られる。栈橋の舗装面には、クラック、段差を見ることができる。写真はバース37から35を撮影したものである。左側にみえるクラック、

段差の発生ヶ所は、図-15に示した栈橋上部工の陸側端と対応する。写真-8は栈橋の法線方向に走っているコンテナヤードのクラック、写真-9は栈橋の背後地盤にみられた液状化による噴砂である。

復旧工事は、図-19に示される断面で行われていた。復旧内容は、クレーンの陸側基礎を杭基礎に、



写真-8 7th Street ターミナルの埋立て地盤のクラック(バース37)



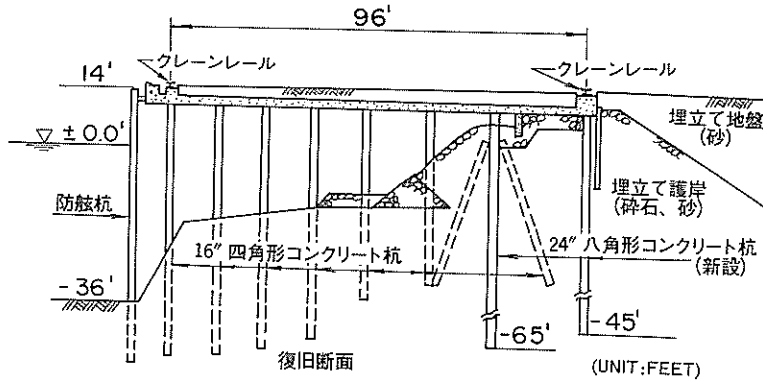
写真-7 7th Street ターミナルの被害(バース37)



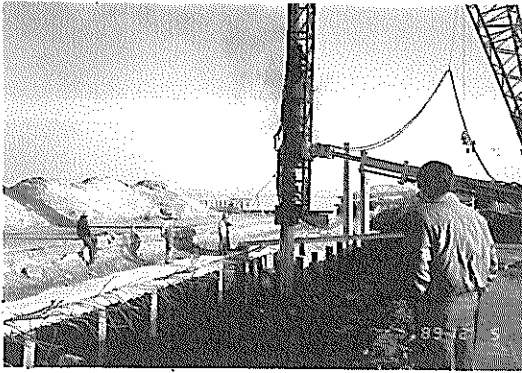
写真-9 7th Street ターミナルの液状化(バース37)

また斜杭の結合部を除去し、新たに直杭を打設し、  
 栈橋の上部工を陸側クレーンレールまで伸ばしている  
 ことである。新しい杭は、幅が24インチの八角形  
 断面のプレストレストコンクリート杭である。写真  
 一10は、バース35付近の復旧工事の状況、写真一11

は、新しく打設される八角形コンクリート杭の近接  
 写真である。なお、今回の地震で、コンテナヤード  
 に液状化が発生したが、オークランド港湾局によ  
 ると、復旧工事に際して、特に液状化対策は実施し  
 ないとのことである。対策をしない理由としては、後



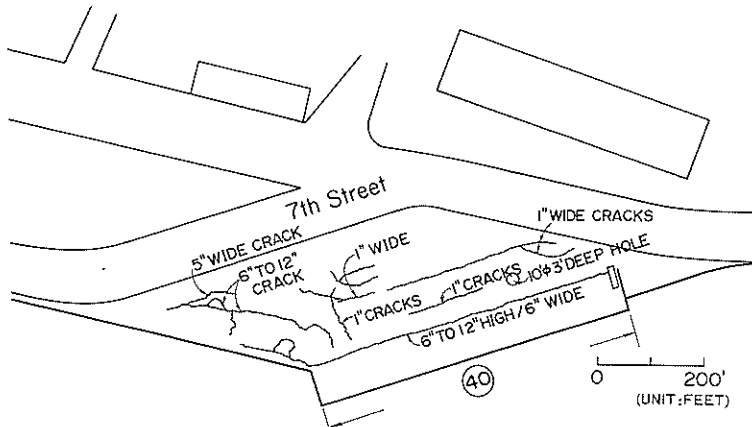
図一19 7th Street ターミナルの岸壁（バース35～38、40）の復旧断面図



写真一10 7th Street ターミナルの復旧工事（バース35）  
 （福岡市港湾局提供）



写真一11 7th Street ターミナルの復旧工事に使用  
 した八角形コンクリート杭（福岡市港湾局提供）



図一20 7th Street ターミナルの被害（バース40）

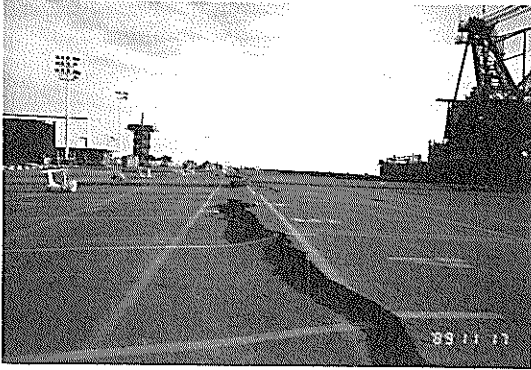


写真-12 7th Street ターミナルの地盤沈下 (バース38)



写真-13 7th Street ターミナルの地盤沈下 (バース38, 正面はベイブリッジ)

述する他のターミナルの被害状況も考慮して、液状化による被害がコンテナヤードの沈下、クラック等の地盤災害のみで、特にターミナルの機能を損なっていないこと、これら地盤災害は応急復旧で対処できること、液状化対策に先行投資するには費用が膨大であること、などを挙げていた。

次に、バース35-37と同じ断面の栈橋であるが、コンテナクレーンが設置されていないバース38と40の被害状況を示す。バース38の栈橋被害は報告されていないが、バース40では、軽微であるが杭の取り付け部の床板に剝離があった。バース38の被害は図-18、バース40は図-20に示すとおりで、クラック、段差等が岸壁法線に平行に発生している。両バースとも、栈橋本体に致命的な被害が発生していないため、岸壁は供用中であった。写真-12、13はバース38の被害状況で、埋立て地盤が沈下している。写真-12の場合、段差を境に右側が栈橋、左側が埋立て地盤である。写真-13は、写真-12の反対方向からみたもので、正面には橋桁の落橋事故があったサン

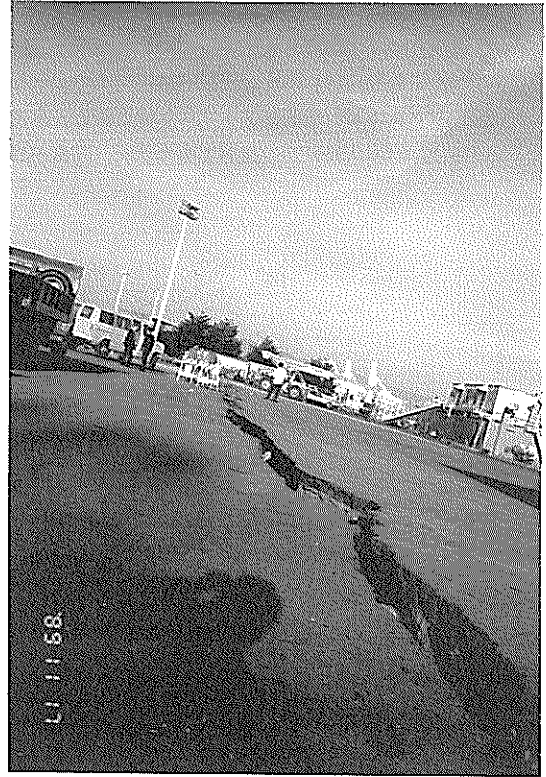


写真-14 7th Street ターミナルのクラック、地盤沈下 (バース40)



写真-15 7th Street ターミナルの陥没 (バース40)

フランシスコとオークランドを結ぶベイブリッジがみえる。写真-14はバース40の被害状況で、栈橋の背後の埋立て地盤が最大20cm程度沈下していた。写真-15は同じく栈橋背後の陥没状況である。

(2) APL ターミナル (バース60-63)

図-21は、APL ターミナルの平面図である。○の中の数字はバースの番号、距離はフィート表示である。

a) 構造

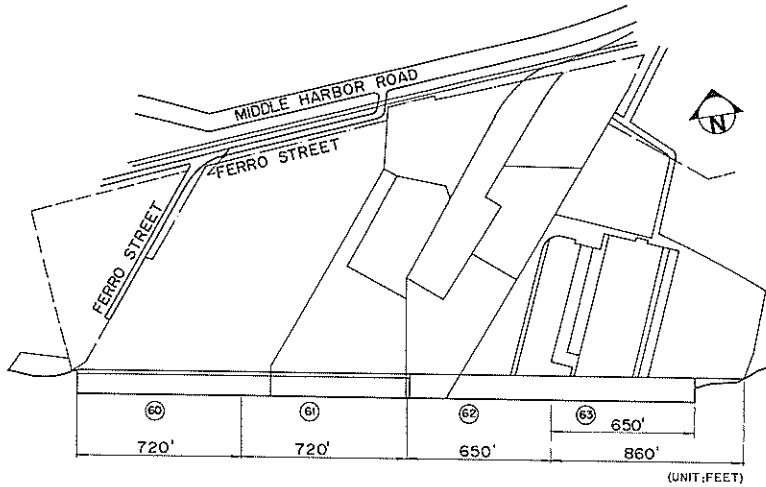


図-21 APL ターミナルの平面図

ミドルハーバーにある APL ターミナルの岸壁の標準断面図を図-22, 23に示す。岸壁は、いずれもコンクリート杭式栈橋で、図-22はバース60, 61の

標準断面図である。コンテナクレーンのレール幅は100フィートで、陸側レールの基礎は、栈橋から独立した斜杭基礎である。図-23はバース62, 63の標準

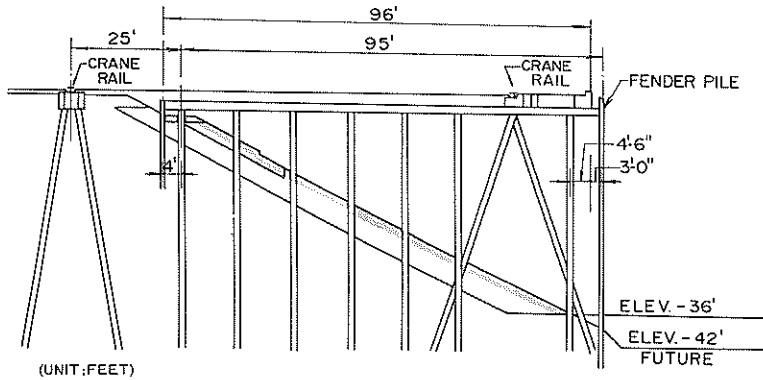


図-22 APL ターミナルの岸壁 (バース60, 61) の標準断面図

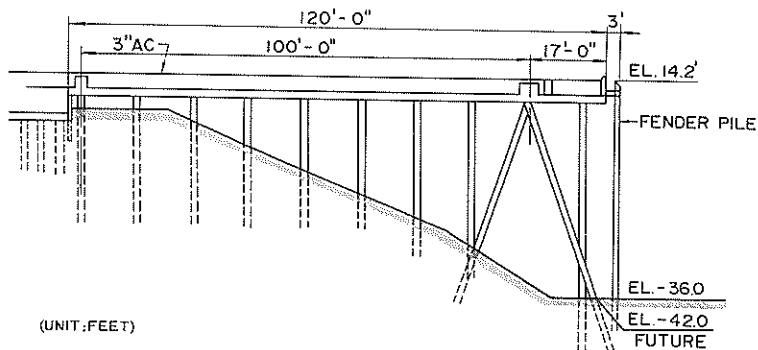


図-23 APL ターミナルの岸壁 (バース62, 63) の標準断面図

断面図で、コンテナクレーンは栈橋上にある。バース60, 61は、1971年に図-24の斜線で示される海域を埋め立てて建設された。図-25, 26は、埋立て地盤の断面図で、図中には、埋立て前のベイマッドと砂地盤の様子も示した。図から判断すると、ベイマッドを完全に浚渫しないで埋め立てた部分がある。栈橋が建設された護岸の斜面の勾配は、1 : 2である。斜面は、碎石で被覆されている。埋立て地盤の液状化対策等に関する地盤改良は、行われていない。

b) 被害

被害はコンテナヤードの沈下、クラック、陥没の

地盤災害で、栈橋およびコンテナクレーン等の施設に被害はなかった。図-27, 28は、オークランド港湾局が調査したターミナルのクラック、沈下、陥没状況で、被害は、主に図-24に示したバース60, 61の埋立て地区で発生していることがわかる。また、クラックの一部は、旧護岸と新しい埋立て地との境界に発生している。なお、隣接するバース62のヤードの一部にもクラック等が発生しているが、これはバース60, 61の建設当時、既に稼働していたバース62の一部にこの埋立て工事がかかっていたためと考えられる。

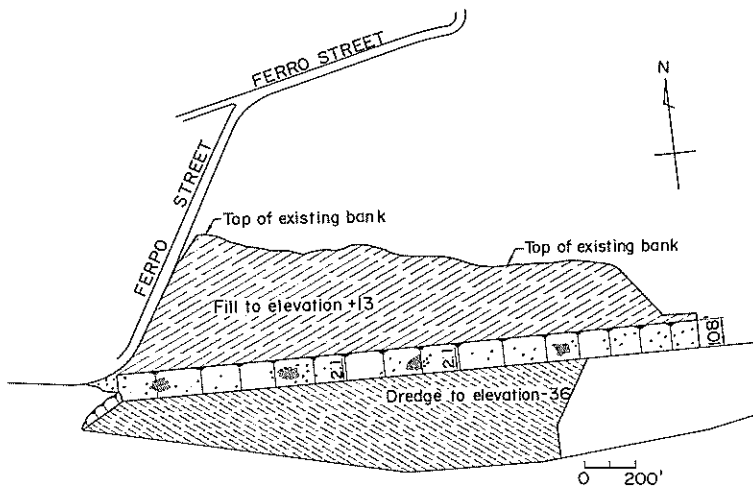


図-24 APL ターミナルの埋立て区域 (バース60, 61)

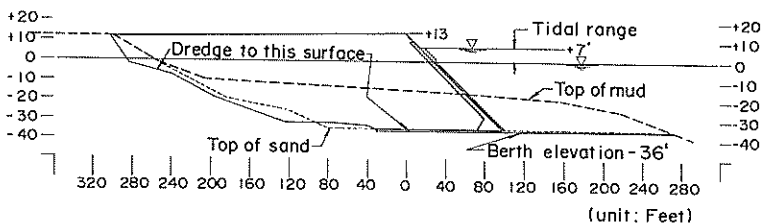


図-25 APL ターミナルの埋立て地盤の断面図 (1)

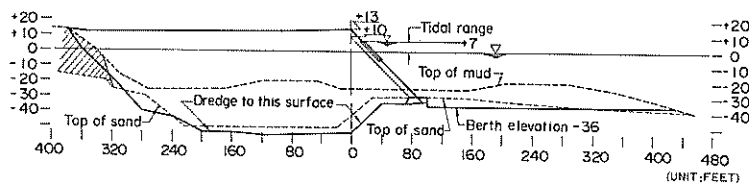


図-26 APL ターミナルの埋立て地盤の断面図 (2)

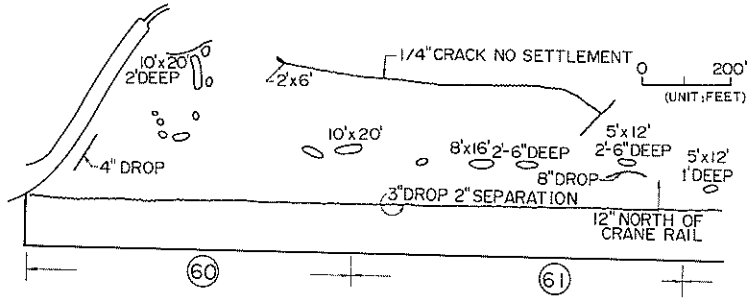


図-27 APL ターミナルの被害 (バース60, 61)

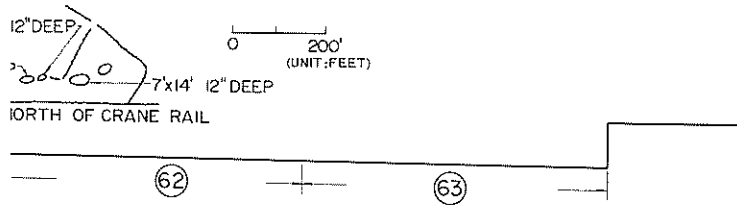


図-28 APL ターミナルの被害 (バース62, 63)



写真-16 APL ターミナルの棧橋の背後地盤の沈下  
(オークランド港湾局提供)



写真-17 APL ターミナルの液状化



写真-18 APL ターミナルの陥没

写真-16は、陸側クレーンのレール付近を示したものである。レールの左側のコンテナヤードが沈下していることがわかる。写真-17は、コンテナヤードに発生した液状化の噴砂と陥没状況を示したものである。写真-18もヤードの陥没を示しているが、オークランド港湾局によると、この陥没は、地震の際、裏込め砂が埋立て護岸から吸い出された結果、発生した可能性があるとのことであった。

(3) ハワード ターミナル (バース67~69)

図-29は、ハワードターミナルの平面図である。○の中の数字はバースの番号、距離はフィート表示である。



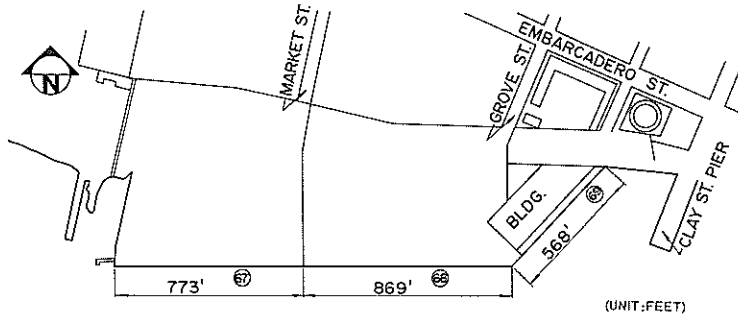


図-29 ハワード ターミナルの平面図

a) 構造

ハワードターミナルの岸壁は1981年に建設され、コンクリート杭式の栈橋である。ハワードターミナルも、前述の APL ターミナルと同じく、既存の岸壁の前面を埋立てて建設されたものである。図-30は、旧岸壁と新岸壁を同一図面に示したものであるが、埋立てた海域には、フィンガータイプの栈橋があった。ターミナルの東端の岸壁は、既存の栈橋がそのまま利用されている。図-31、32は、埋立て地

盤の標準断面の例であるが、前述の APL ターミナルと同様に、一部ベイマッドが残っている。埋立ては、碎石による埋立て護岸を築造してから行われている。これは、7th Street ターミナルと同じであるが、前述の APL ターミナルとは異なっている。図-33は、栈橋の標準断面図である。栈橋本体の杭は、幅が24インチの八角形断面のコンクリート杭である。コンテナクレーンの陸側基礎は、16インチ四角形のコンクリート杭の組み杭構造となっている。

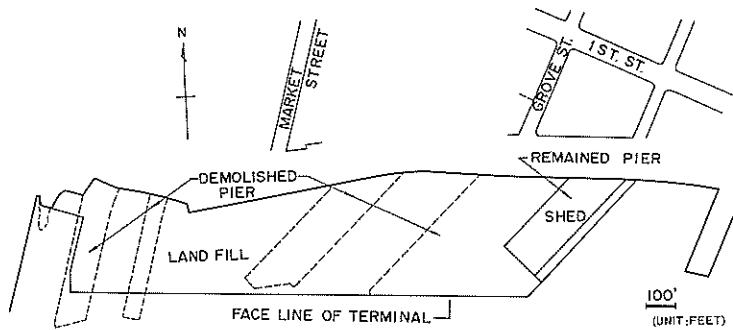


図-30 ハワード ターミナルの埋立て区域

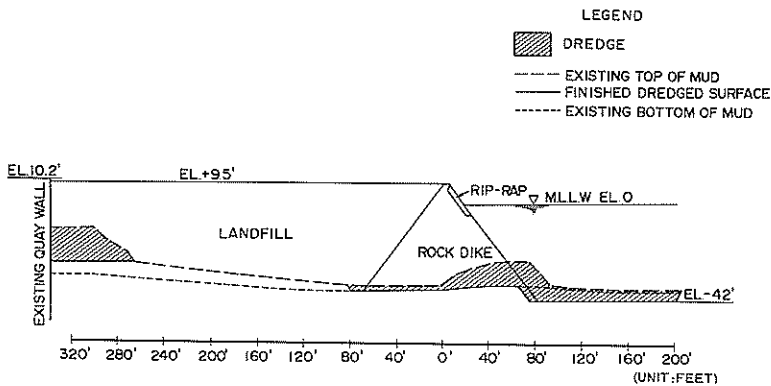


図-31 ハワード ターミナルの埋立て地盤の断面図 (1)

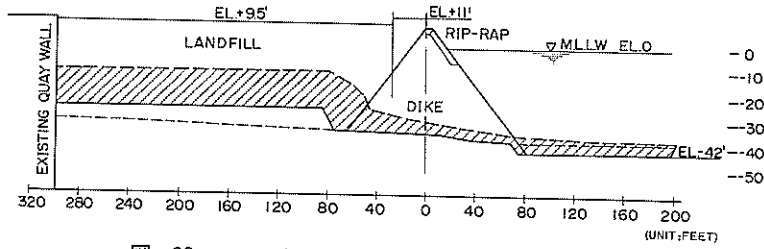


図-32 ハワード ターミナルの埋立て地盤の断面図 (2)

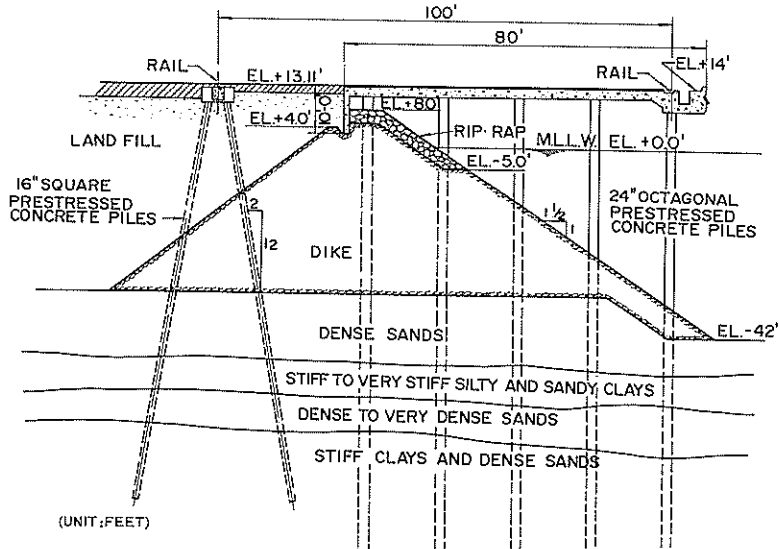


図-33 ハワード ターミナルの岸壁の標準断面図

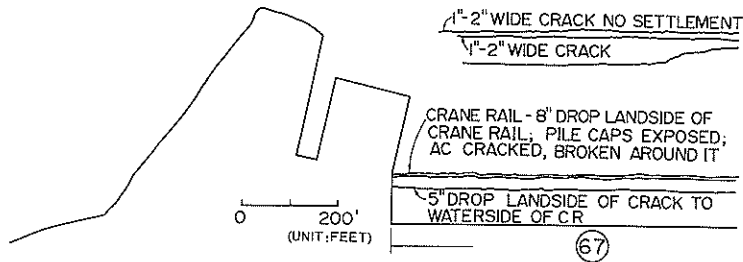


図-34 ハワード ターミナルの被害 (バース67)

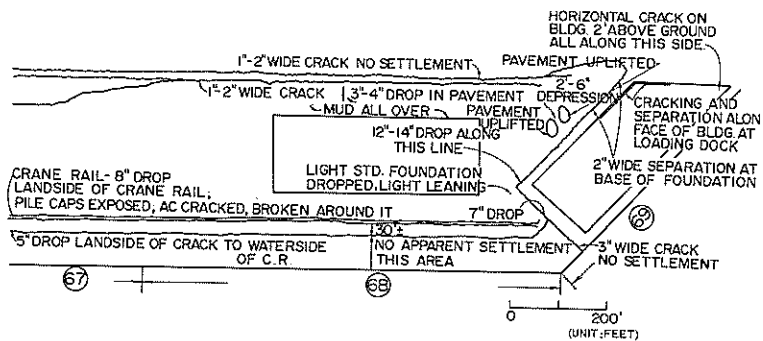


図-35 ハワード ターミナルの被害 (バース68, 69)

b) 被害

棧橋とコンテナクレーンには被害は生じなかった。図-34、35は、オークランド港湾局が調査したハワードターミナルの被害状況である。主たる被害は、棧橋の背後のコンテナヤードの沈下、クラック等の地盤災害である。クラックは、棧橋の背後地盤、陸側クレーンレールの基礎周辺、および APL ターミナルと同様に旧岸壁と新しい埋立て地盤との境界に沿って発生している。

ハワードターミナルの被害調査は実施できなかったため、オークランド港湾局の撮影した写真で説明する。写真-19は、棧橋の背後地盤の沈下状況で、棧橋と背後地盤の段差の線は正面にみえるコンテナクレーンの両脚の間にある。写真-20は、埋立て地盤に建設された陸側コンテナクレーンのレール周辺の被害状況である。レール周辺の舗装が散乱しているが、これは、杭基礎上のレールと埋立て地盤の挙動が大きく異なったためと推定される。また、レールは杭基礎上にあったため沈下を免れているのに対

して、レールの周囲の埋立て地盤は沈下していることがわかる。このように陸側のクレーンレールの基礎が杭基礎であったため、7th Street ターミナルの場合と異なり、コンテナクレーンは地震による被害もなく、地震後も正常に稼働していた。写真-21は、旧岸壁の法線付近に発生したクラックおよび段差、写真-22は、旧岸壁付近に発生した液状化による噴砂である。



写真-19 ハワードターミナルの棧橋の背後地盤の沈下  
(オークランド港湾局提供)

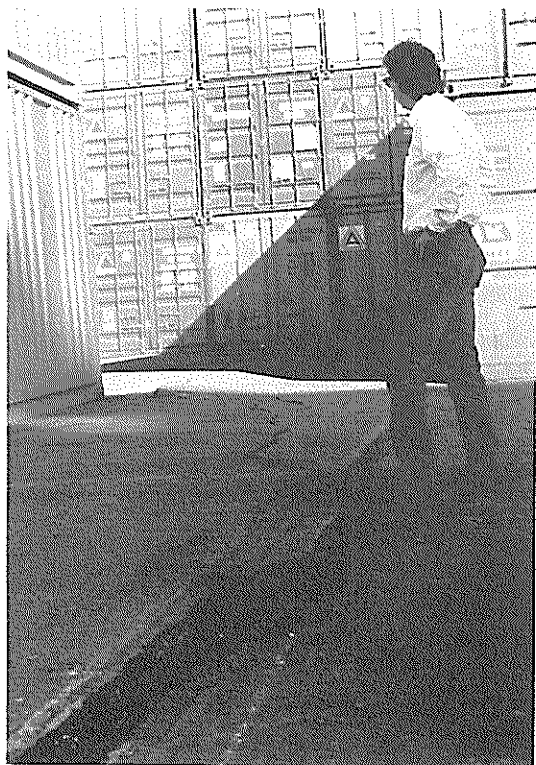


写真-21 ハワードターミナルの旧岸壁法線付近のクラック、段差  
(オークランド港湾局提供)



写真-20 ハワードターミナルの海側のクレーンレール  
周辺の舗装被害と地盤沈下 (オークランド港湾局提供)



写真-22 ハワードターミナルの旧岸壁法線付近の液状化  
(オークランド港湾局提供)

これら写真から、被害の形態としては、埋立て地盤であるコンテナヤードの沈下、および舗装のクラック等であった。コンテナヤードが沈下した理由は、写真-22に示される噴砂からわかるように埋立て地盤の液状化現象、および図-31、32にも示した埋立て地盤の下のベイマッドの影響と考えられる。

(4) その他のターミナルの被害

オークランド港湾局から提供された図、写真によって、他のターミナルの被害状況を報告する。

a) マトソンターミナル (バース31~34, 図-14参照)

マトソンターミナルは、7th Street ターミナルと接し、その建設時期は、7th Street ターミナルとほとんど同じである。岸壁の標準断面を図-36に

示す。コンテナクレーンのレール幅は、前述までのターミナルのそれより小さく、34フィート(10.4m)で、クレーンレールは栈橋上にある。図-37、38は港湾局が調査した被害状況で、被害はコンテナヤードに比較的大きい陥没が発生したことである。特に、

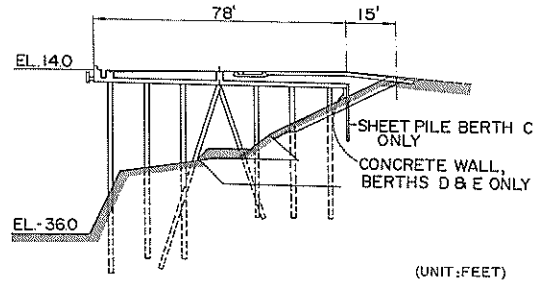


図-36 マトソン ターミナルの岸壁の標準断面図

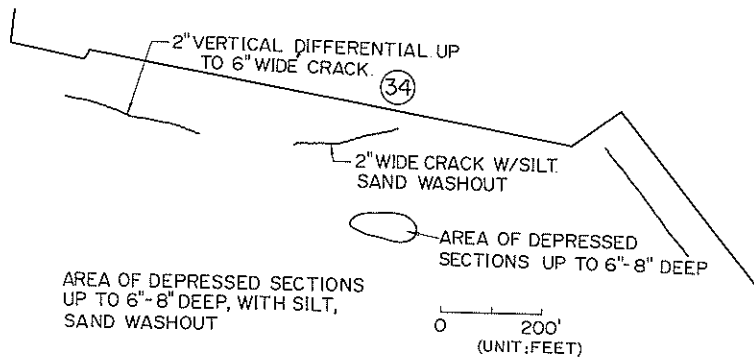


図-37 マトソン ターミナルの被害 (バース34)

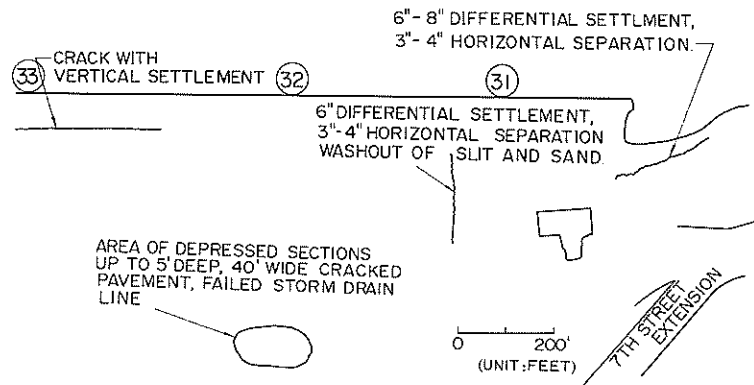


図-38 マトソン ターミナルの被害 (バース31~33)

写真-23~25は、バース32付近に発生した陥没であるが、陥没の深さは、深いところで5フィート(1.5m)、幅は40フィート(12.2m)もあった。また、ヤードの一部においては、写真-26に示すように砂と共に

シルトが吹き出していた。なお、このヤードの下には、サンフランシスコとオークランドを結ぶ地下鉄BARTが走っている。



写真-23 マトソン ターミナルの陥没-1  
(オークランド港湾局提供)



写真-24 マトソン ターミナルの陥没-2  
(オークランド港湾局提供)

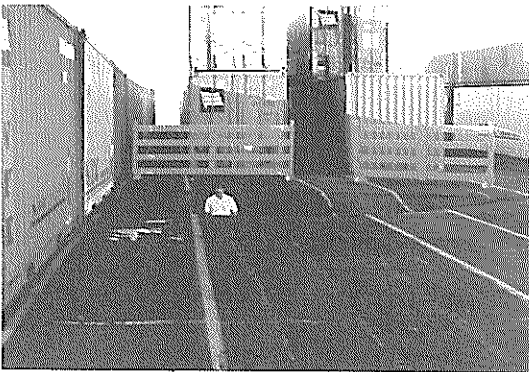


写真-25 マトソン ターミナルの陥没-3  
(オークランド港湾局提供)



写真-26 マトソン ターミナルの噴泥  
(オークランド港湾局提供)

b) アウターハーバーターミナル (バース20~26, 8~10, 図-14, 39参照)

2.3で紹介したオークランド港の地震観測は、本ターミナルのバース24, 25において実施されている。バース20~26の被害は、栈橋とコンテナヤードの境界におけるヤード側の1~4インチの沈下で軽微な

ものであった。岸壁の標準断面の例として、図-40にバース24, 25の断面を示す。写真-27はバース24, 写真-28はバース22, 写真-29はバース20のヤードの沈下状況を示したものである。

図-41はバース10の標準断面図, 図-42はバース9, 10の被害状況である。被害は、コンクリート杭

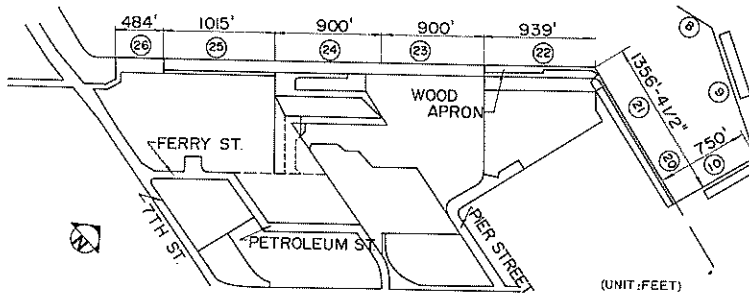


図-39 アウターハーバーターミナルの平面図

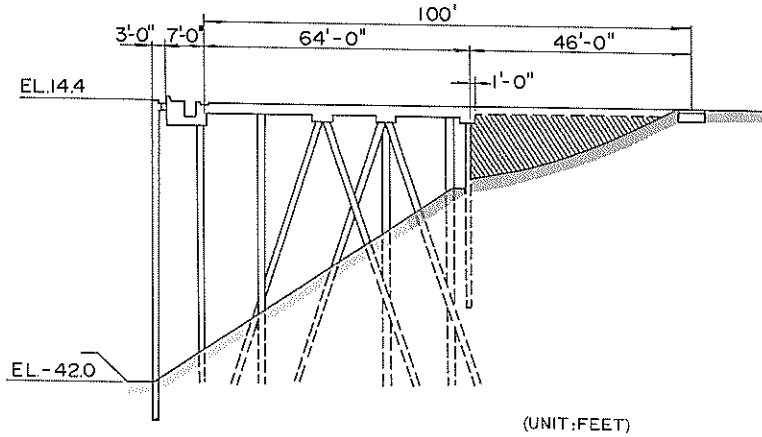


図-40 アウターハーバーターミナルの岸壁（バース24、25）の標準断面図

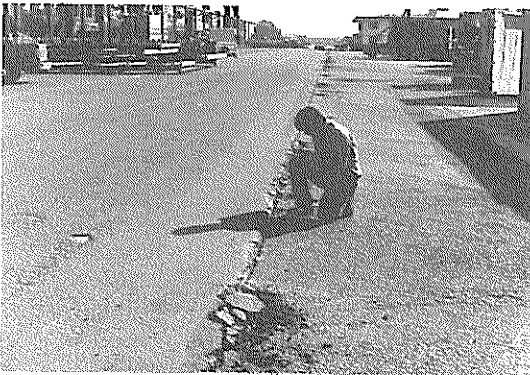


写真-27 アウターハーバーターミナルの地盤沈下（バース24）（オークランド港湾局提供）

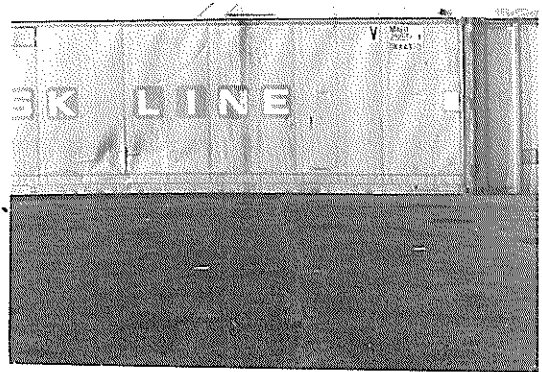


写真-28 アウターハーバーターミナルの地盤沈下（バース22）（オークランド港湾局提供）



写真-29 アウターハーバーターミナルの地盤沈下（バース20）（オークランド港湾局提供）

式栈橋上の上屋の被害と栈橋背後の地盤の軽微なクラックであった。クラックは、岸壁の法線平行に発生している。写真-30はバース10の上屋の柱の移動、

写真-31は同じ上屋の天井近くの柱の折損状況を示したものである。

c) Port view park (図-14参照)

被害状況は図-18に示したが、公園では、写真-32~34に示すような大規模なクラック、沈下等が生じた。特に、写真-32、33から、埋立て地盤が全体に海側へ移動していることがわかる。前述のように7th Streetターミナルでは液状化が発生していた。本公園にこのような地盤変状が生じた理由として、液状化が考えられる。

#### 4.2 サンフランシスコ港

サンフランシスコ港は、図-43に示すようにサンフランシスコ湾側の7.5マイル(12km)の海岸線に沿って展開している。港湾は、19世紀半ばから埋立てられた地盤に築造されている。ポートオーソリティー(サンフランシスコ港湾局)は、1896年に建設されたフェリービルディ

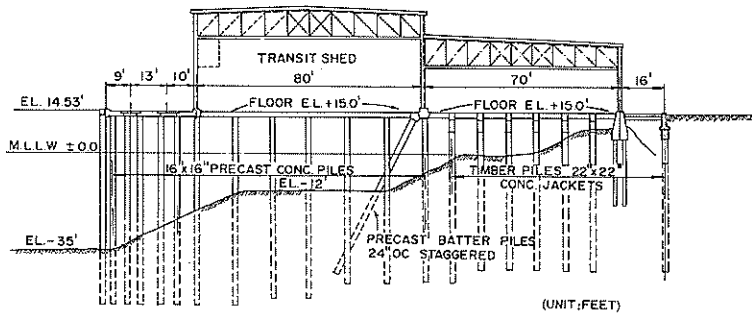


図-41 アウターハーバーターミナルの岸壁（バース10）の標準断面図

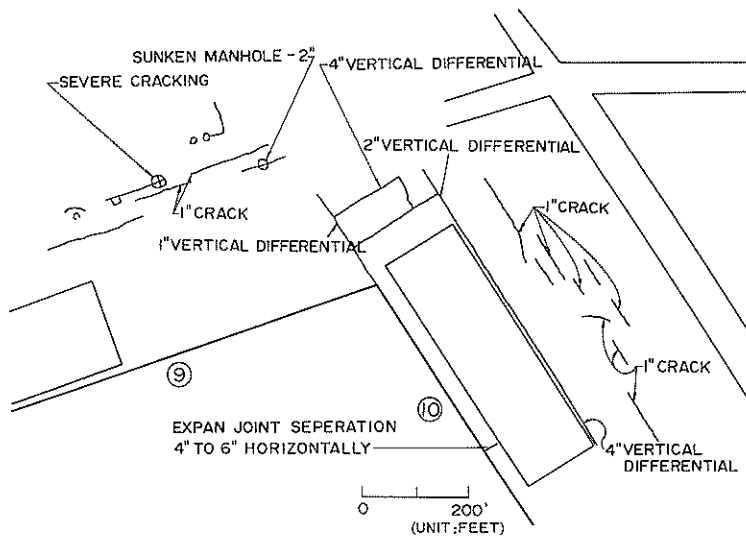


図-42 アウターハーバーターミナルの被害（バース9、10）



写真-30 アウターハーバーターミナルの上屋の柱の移動（バース10）（オークランド港湾局提供）

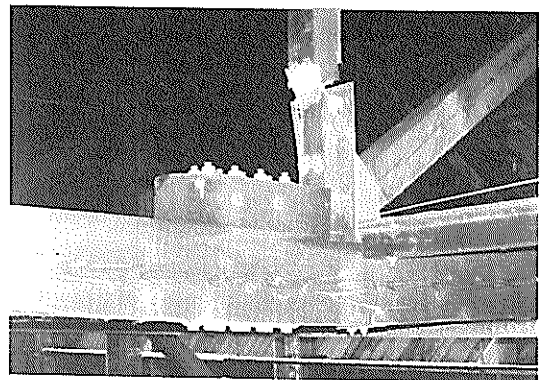


写真-31 アウターハーバーターミナルの上屋の屋根根柱の折損（バース10）（オークランド港湾局提供）



写真-32 7th Street ターミナルの公園の陥没、クラック  
(オークランド港湾局提供)



写真-33 7th Street ターミナルの公園の地盤移動  
(オークランド港湾局提供)

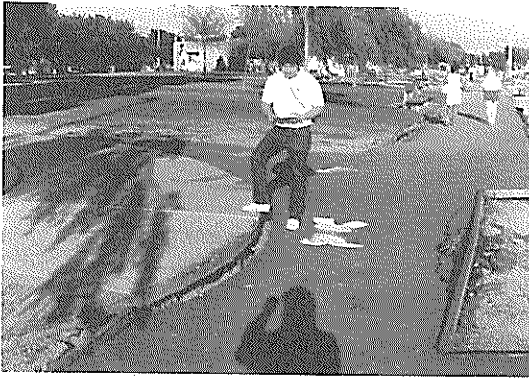


写真-34 7th Street ターミナルの公園の地盤沈下  
(オークランド港湾局提供)

ングに入居しているが、この建物は1906年4月18日に発生したサンフランシスコ大地震にも耐えた古い建築物である。同港の埠頭の多くは突堤式で、構造様式は、木あるいはコンクリートの杭式栈橋である。今回の地震では、

これら栈橋に被害は生じなかった。なお、埠頭の番号は、フェリービルディングから北側が奇数、南側が偶数となっている。

同港の被害は、フィッシャマンズワーフに隣接している第45埠頭（1926年建設）、第48埠頭（1929年建設）および第96埠頭（1969年建設）の3つの埠頭で発生した。その主たる被害は埋立て地盤の沈下であった。更に、第45、48埠頭の場合は、上屋が栈橋と埋立て地盤にまたがって建設されていたため、埋立て地盤の沈下によって、2次被害として、上屋の壁および床にクラック、段差等が生じた。

(1) 第45埠頭の被害

a) 構造

第45埠頭は、図-44に示されるように突堤式埠頭である。埠頭には、斜線で示す位置に上屋が4棟（A～D）建設されている。図中の数字①～③は、土質調査を実施した地点の番号である。図-45は埠頭の

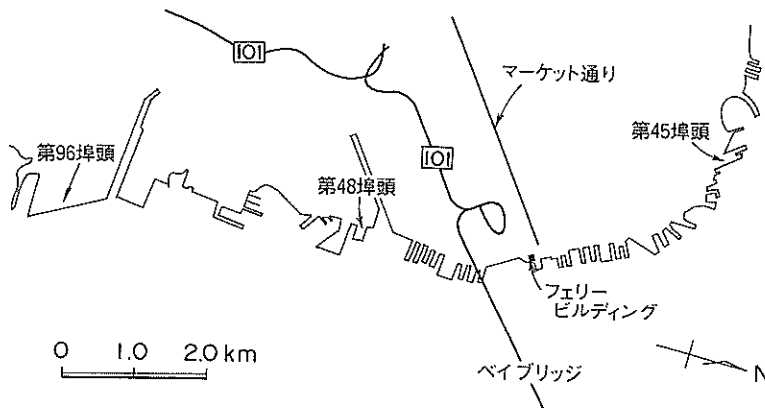


図-43 サンフランシスコ港の平面図



標準断面図である。埠頭は、周囲が杭式栈橋、中心部が埋立て地盤であることがわかる。図-44に示した太実線で囲まれているところが埋立て地盤となる。したがって、第45埠頭の上屋は、栈橋と埋立て地盤にまたがって建設されていることになる。

図-46は、図-44に示した埋立て地盤の基部①、中心部②、先端部分③の土質柱状図（1983年調査）である。埠頭の基部の埋土は、表層が中位に締まった砂、深くなるとシルト質砂、締まった砂と変化しているが、埠頭の中心部から先端部は、表層から緩い細砂となっている。

栈橋の杭は、コンクリート杭とクレオソートで防

腐された木杭である。栈橋の背後の埋立て地盤の土留は、控え組み杭式プレキャストコンクリート矢板で行われている。上屋は、埋立て地盤と栈橋にまたがって建設されているが、埋立て地盤内の上屋の基礎は、杭基礎である。

#### b) 被害

今回の地震で、被害が大きかったのは埠頭の先端部分にある上屋Cで、埋立て地盤部の床が最大8インチ（20cm）沈下し、栈橋部の床との間にクラック、段差等が生じた。写真-35は、上屋Cの入口にみられたクラックである。クラックの右側が栈橋、左側が埋立て地盤である。写真-36は、上屋の入口から

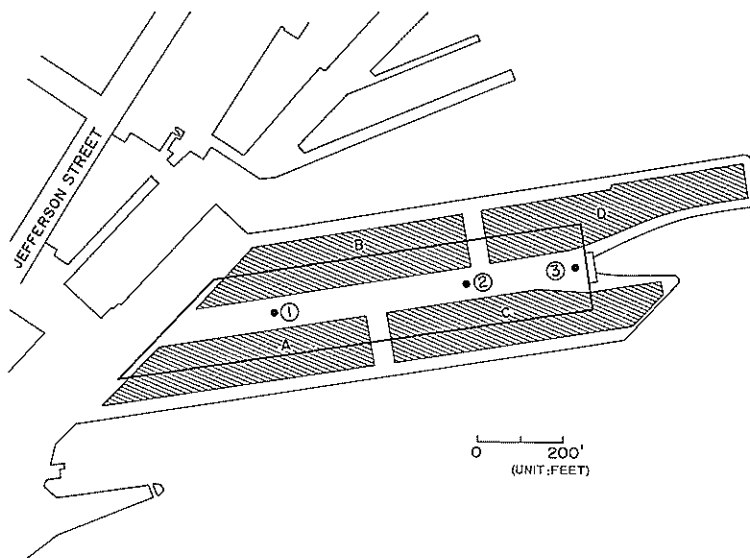


図-44 第45埠頭の平面図

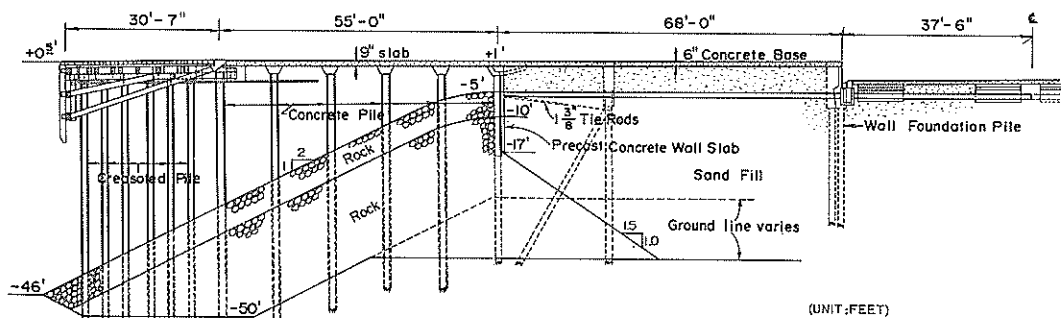


図-45 第45埠頭の標準断面図

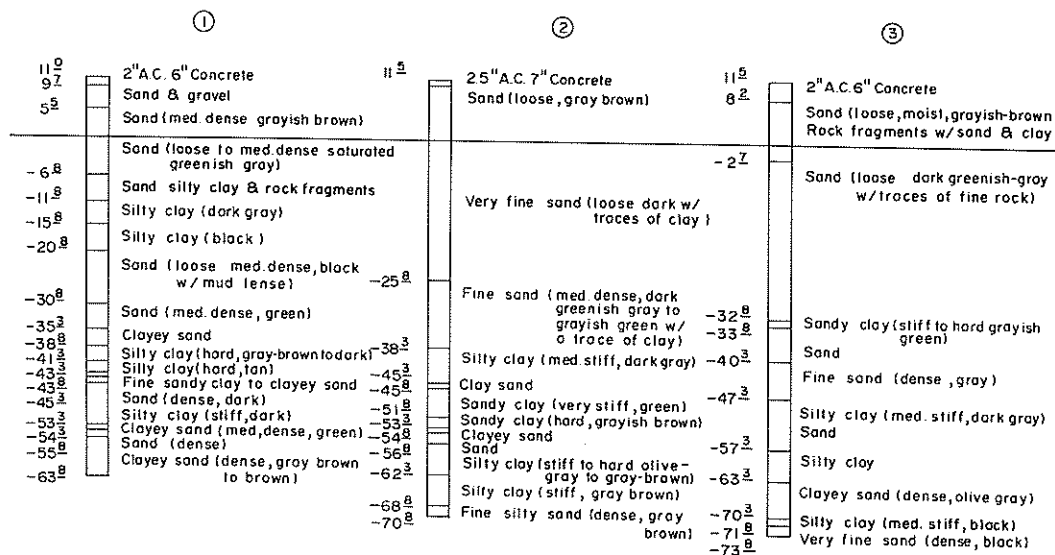


図-46 第45埠頭の土質

(UNIT: FEET)



写真-35 第45埠頭の上屋の入口前のクラック

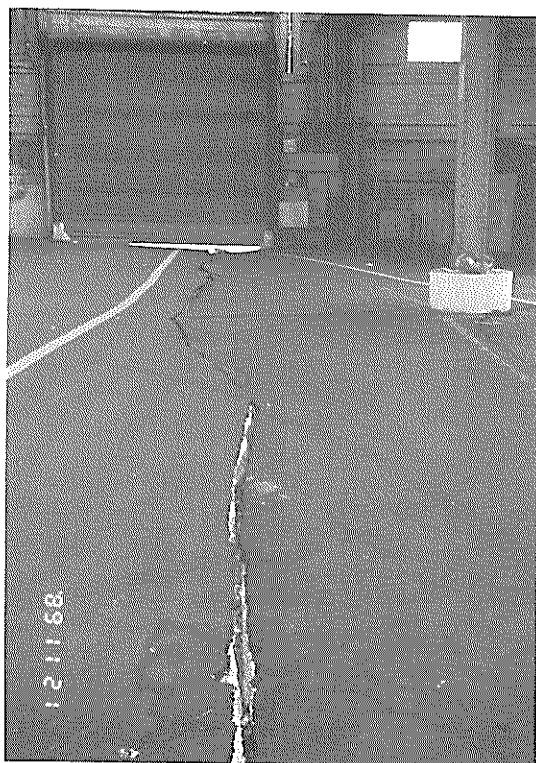
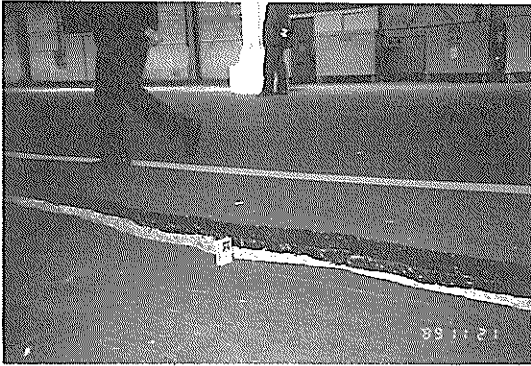


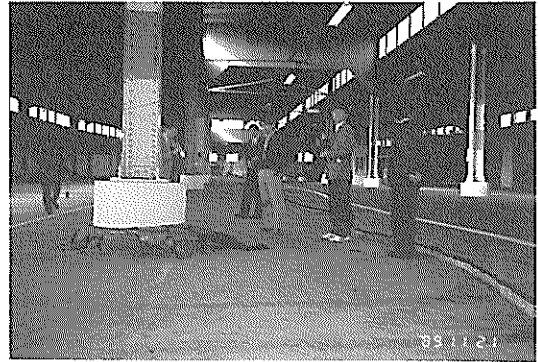
写真-36 第45埠頭の上屋の入口内部のクラック

のクラックの状況で、右側が埋立て地盤である。写真-37は段差を示したもので、最大20cm程度であった。写真-38は、埋立て地盤にある上屋の支柱周辺

を示したものである。支柱は杭で支持されているため沈下していないが、その周りの床は沈下しているのがわかる。埋立て地盤が沈下した理由は、図-46



写真一37 第45埠頭の上屋の埋立て地盤部の床の沈下、段差



写真一38 第45埠頭の上屋の埋立て地盤部の床の沈下



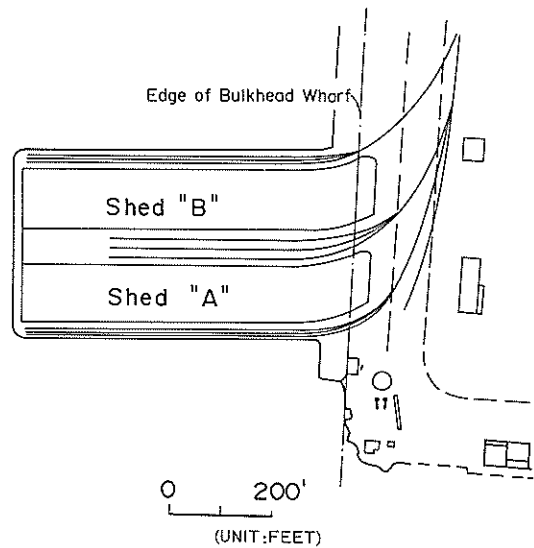
写真一39 第45埠頭の上屋の噴砂

に示した土質データでは十分とは言えないが、緩い埋立て砂が液状化したためと考えられる。写真一39は、上屋の周辺に見られた液状化の噴砂である。なお、前述のように、栈橋本体に被害はなかった。

(2) 第48埠頭の被害

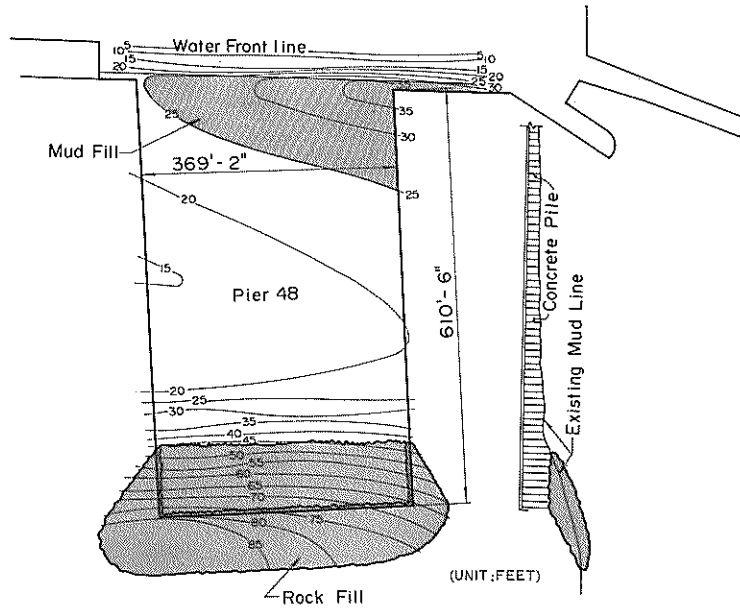
a) 構造

第48埠頭は、図一47に示すような突堤式埠頭であ

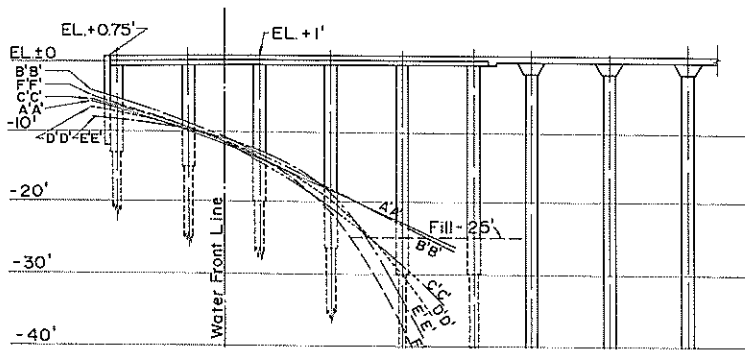


図一47 第48埠頭の平面図

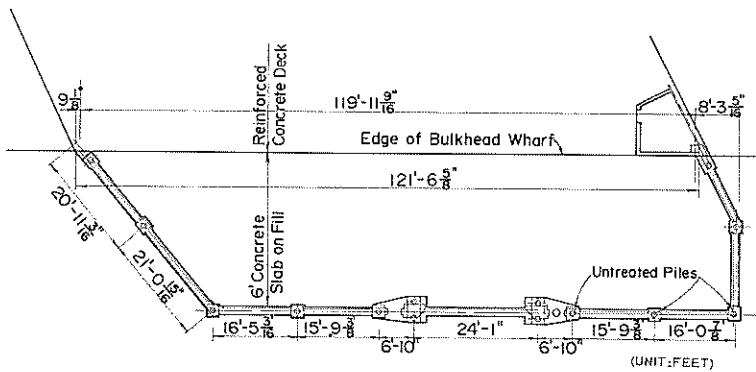
るが、構造は第45埠頭と異なり、全てコンクリート杭式栈橋である。埠頭には、上屋が2棟建設されているが、上屋の一部は、栈橋背後の埋立て地盤に突き出ている。栈橋直下の原地盤は、ベイマッドである。図一48は、栈橋上面から海底面までの深さを示したものである。海底面は栈橋の先端部分ほど深くなっているが、陸側に近い部分にも深いところがあったため、ベイマッドによって-25フィートの深さまで埋め戻しが行われている。栈橋先端部のベイマッドの斜面には、斜面崩壊を防止するため、碎石が投入されている。図一49は、栈橋の陸側近くの断



図一48 第48埠頭の海底面の深さ



図一49 第48埠頭の埋立て前の棧橋背後の地盤高



図一50 第48埠頭の埋立て地盤部の上屋の平面図

面図である。棧橋背後のベイマッドは、棧橋の天端から5〜8フィート下にある。埋立ては、棧橋背後に土留め板を設置してから行われている。ベイマッドおよび埋立て地盤の土質資料は、入手できなかった。図-50は、上屋A(写真-40)の埋立て地盤部分の平面図、図-51は、埋立て地盤部分の上屋の梁および基礎の標準断面図、図-52は同じく床の標準断面図である。図-51から、上屋の壁は、一定間隔に打設された杭基礎および鉄筋コンクリート梁で支持されていることがわかる。ただし、梁と杭基礎は剛結しておらず、鉄筋のみで連結されている。また、埋立て地盤上の床は、図-52からわかるように、コンクリート板構造で、埋立て地盤に直接設置されている。

b) 被害

今回の地震では、棧橋本体に被害は生じなかったが、棧橋背後の埋立て地盤が沈下したため、埋立て地盤上の上屋に被害が生じた。上屋の被害は、壁のクラックと上屋入口部の床の沈下である。上屋の壁のクラックは、次のように説明される。壁を支持するコンクリート梁は、図-51に示したように杭基礎

と剛結されていない。したがって、埋立て地盤が沈下したことによって、壁を支えていた梁が沈下し、その結果、壁にクラックが生じた。

写真-41は、上屋2棟の間の棧橋と埋立て地盤の境界に生じた段差を示したものである。奥が棧橋、手前が埋立て地盤で、埋立て地盤が沈下している。写真-42は上屋の中の床の段差で、手前が埋立て地盤、奥は棧橋である。埋立て地盤が約25cm程度、沈下している様子がわかる。すでに、段差に対して



写真-40 第48埠頭の上屋の入口

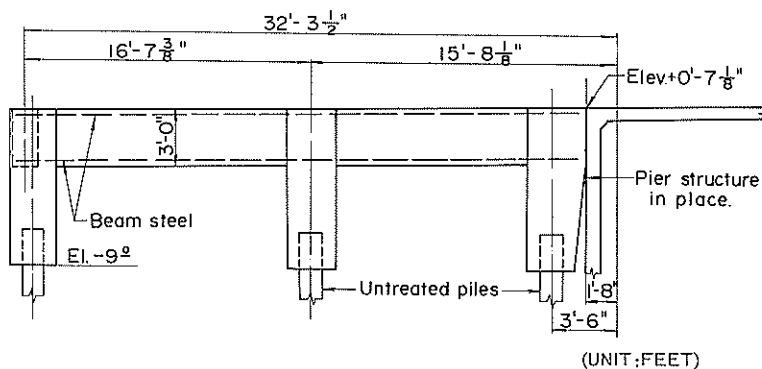


図-51 第48埠頭の埋立て地盤部分の上屋の断面図

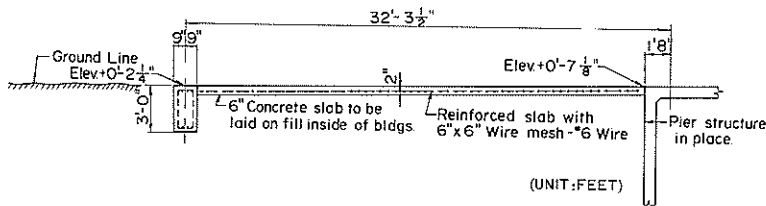


図-52 第48埠頭の埋立て地盤部分の上屋の床の断面図

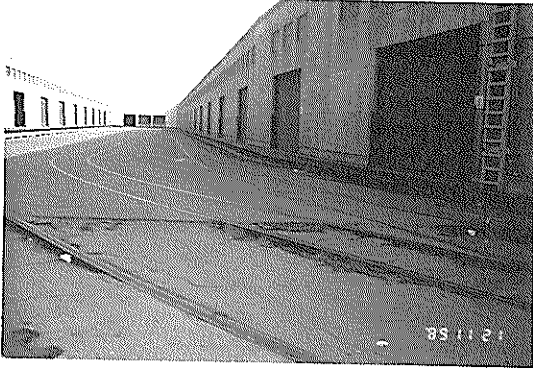


写真-41 第48埠頭の棧橋と埋立て地盤の段差

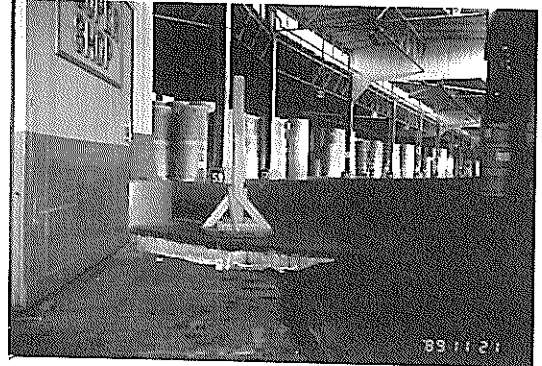


写真-42 第48埠頭の上屋内の埋立て地盤部の床の沈下

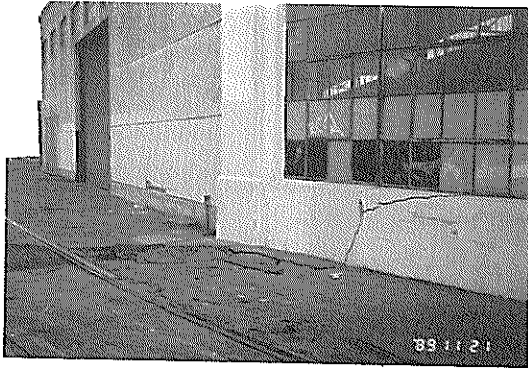


写真-43 第48埠頭の上屋の壁のクラックと埋立て地盤の沈下

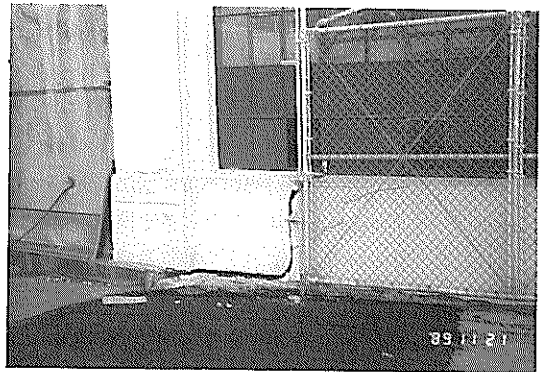


写真-44 第48埠頭の上屋の壁のクラック

は、アスファルトによって斜路が作られ、貨物の搬入、搬出は行われていた。写真-43は、上屋の壁の亀裂および埋め立て地盤の沈下を示したもので、写真の奥が棧橋である。写真-44も同様な被害状況を示したものである。

(3) 第96埠頭の被害

a) 構造

第96埠頭は、サンフランシスコ港の南に位置するコンテナ埠頭で、岸壁はコンクリート杭式横棧橋である。図-53は棧橋および周辺地盤を含めた埠頭の

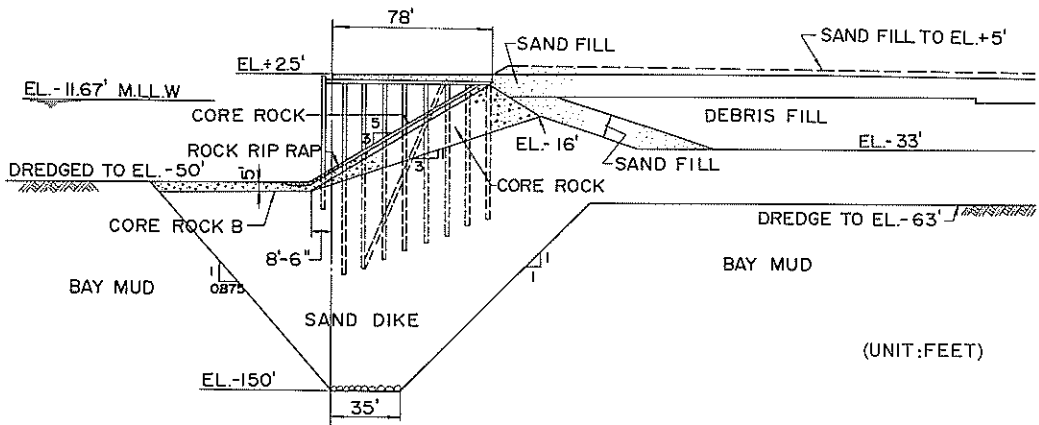


図-53 第96埠頭の標準断面図

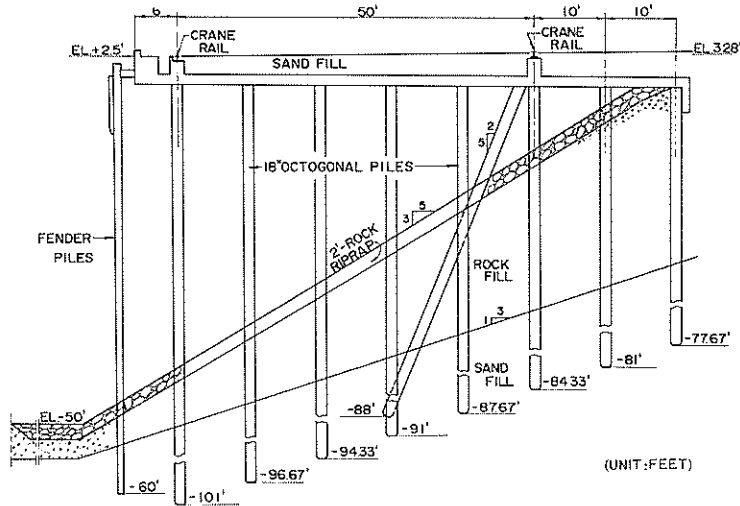


図-54 第96埠頭の岸壁の標準断面図

標準断面図、図-54は栈橋の標準断面図である。栈橋は、ベイマッドを浚渫し、砂に置き換えた砂地盤に建設されている。栈橋直下の砂地盤の斜面は、割石および被覆石で覆われている。この栈橋には、わが国の横栈橋によくみられる土留め構造物がなく、海底地盤は栈橋の後端上面まで続いている。栈橋の杭は、幅が18インチの八角形断面のコンクリート杭である。コンテナクレーンのレールは、栈橋上に敷設されている。栈橋の防げん材は、木杭が使用されている。また、栈橋の背後のコンテナヤードは、ベイマッド上に砂および岩屑を埋め立てて建設されている。本埠頭の土質に関する資料は、入手できなかった。

b) 被害

第96埠頭の地震被害は、比較的小さいもので、埋立て地盤の沈下、コンテナクレーンのレールからの脱輪、およびクレーンの脚柱のわずかな被害であった。調査時点では、すでにクレーンの脱輪、脚柱の補修は行われていた。なお、本栈橋の基礎地盤は、わが国で多くみられる砂置換工法により改良された砂地盤であるが、この砂地盤に液状化が発生したかどうかは確認されていない。写真-45は、栈橋の背後地盤の沈下および目地開きを示したものである。目地の開きは最大5 cm程度であった。しかしながら、埋立て地盤は、長期にわたって沈下を続けているとのことである。クレーンの脱輪は、地震後すぐに復旧したが、3基のクレーンの内、1基の脚柱(写真-46の色の変わった部分)にマイナーな被害が生

じたため、クレーンの運転を2、3日間停止した。

(4) その他施設の被害

写真-47は、サンフランシスコ港湾局のあるフェ

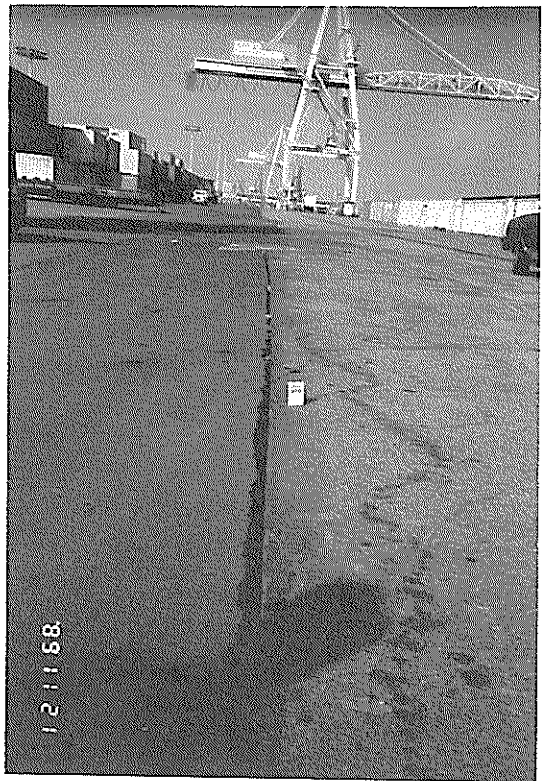


写真-45 第96埠頭の栈橋と埋立て地盤間の段差と目地開き



写真-46 第96埠頭のコンテナクレーンの修理跡

リービルディングで、1896年に建設されている。同ビルは1906年4月18日に発生したサンフランシスコ大地震に耐えている。写真-48は、ビル屋上のタワーの内壁に残るペンキで記された1906年10月6日の文字である。今回の地震の被害としては、タワー先端のポールの傾斜、および写真-49に見られるようなビル内壁の一部剝離等で極めて小さいものであった。なお、ビル



写真-47 フェリービルディングとエムバカデロ高架橋

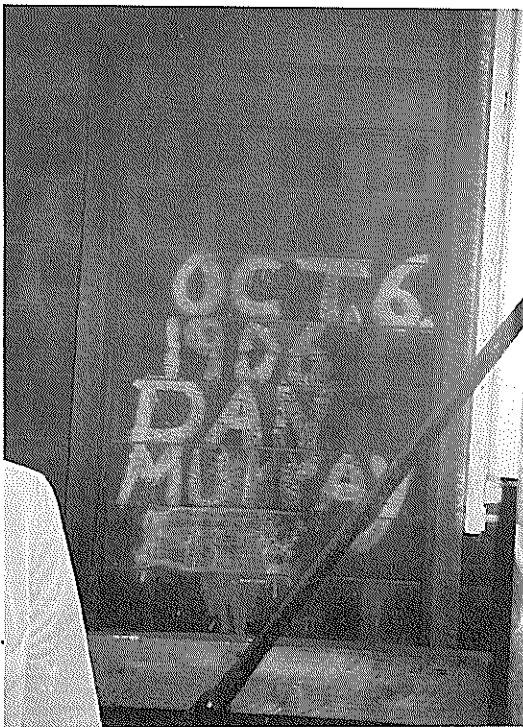


写真-48 フェリービルディングの塔の内部の1906年のサイン



写真-49 フェリービルディングの内壁の剝離

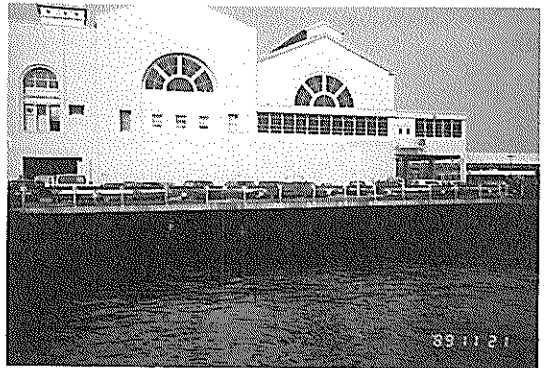


写真-50 桟橋上のフェリービルディング



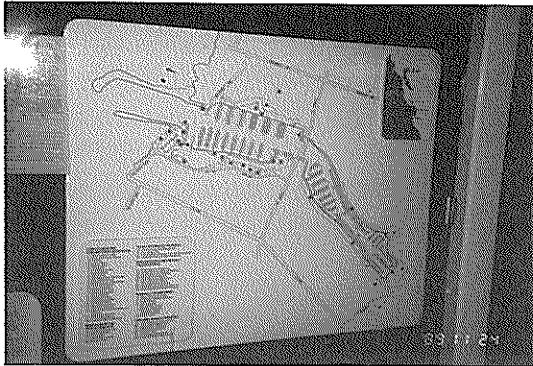


写真-51 サンタクルズ港の平面図



写真-52 サンタクルズ港の被害を受けた矢板式護岸

ディングは、写真-50に見られるコンクリート杭式棧橋の上に建てられている。

#### 4. 3 サンタクルズ港

サンタクルズ港は、震源から南西約16kmの太平洋に面したヨットハーバーで、1964年に建設されている。写

真-51に港の平面図を示す。被害は鋼矢板式護岸に発生した。護岸は、今回調査した港湾施設の中で、土圧を受ける唯一の港湾構造物であった。護岸の断面等の詳細は不明であるが、控え工は斜め控えタイロッド形式であった。写真-52は護岸の全景、被害は、写真-53、54に示

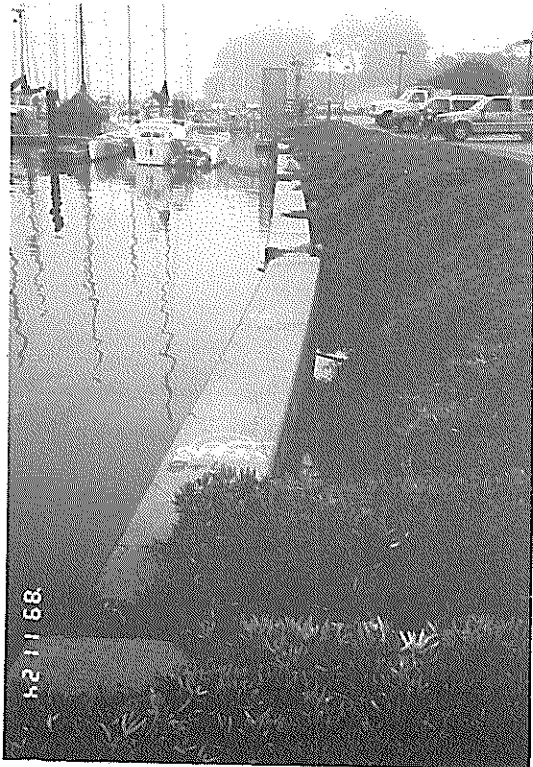


写真-53 サンタクルズ港の矢板式護岸の上部工のクラック、前傾



写真-54 サンタクルズ港の矢板式護岸の上部工のクラック

すようにコンクリート上部工の亀裂と前傾等であった。写真-55は、タイロッドを示したものであるが、タイロッドが切断された様子はなかった。同港の係留施設である杭式棧橋には、被害はなかった。

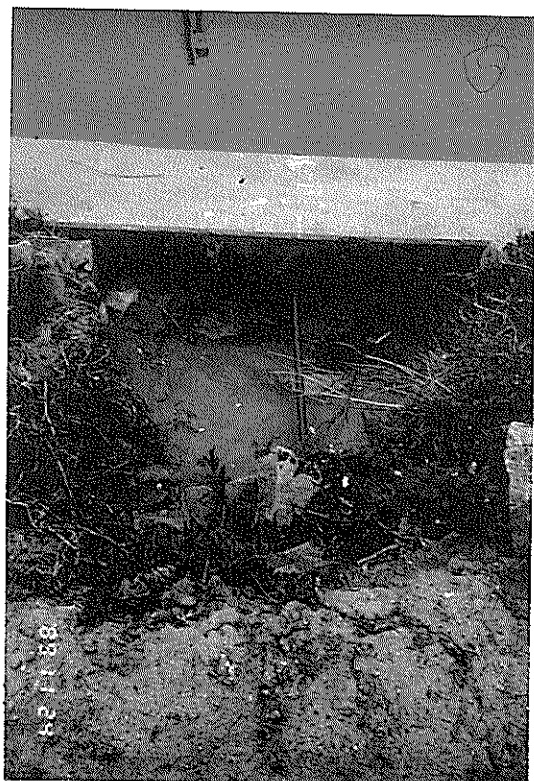


写真-55 サンタクルズ港の矢板式護岸のタイロッド

## 5. 空港施設の被害

### 5.1 オークランド空港

オークランド空港は、オークランド港の南東約15km、サンフランシスコ湾に面する位置に建設されている。滑走路は、図-55に示すように一本で、その長さは10,000フィート(3,048m)である。被害は主として、滑走路とサンフランシスコ湾に面する堤防に発生した。また、軽微ではあるが、ターミナルと出発ロビーの連絡通路の支柱にも被害が生じた。なお、ターミナルや管制塔の建物に被害は生じなかった。

#### (1) 土質

空港建設は、1960年代の埋立て地盤造成に始まった。埋立て土砂は、サンフランシスコ湾の浚渫土砂である。空港事務所によると、埋立て地盤の下は、厚さ8~18フィート(2.4~5.5m)のベイマッドがあり、ベイマッドの下は、比較的密な粘土質砂ならびに固い砂質あるいはシルト質粘土が続いているとのことである。1973年には、滑走路やエプロンなど、14ヶ所において土質調査が行われている。図-56~59は、調査結果の例である。図-56~58は、図-55に示す滑走路の南端(No.1)、南端から約6,000(No.3)、9,000(No.4)フィートの位置の土質、図-59はターミナル前のエプロン(No.13)の土質を示したものである。これら調査結果から、埋立て地盤の厚さは10~15フィート(3.0~4.6m)、埋立て材料はシルト分を含まない細砂であることがわかる。また、地下水より浅い部分は、密な砂層、地下水位より深い部分は、緩い砂層となってい

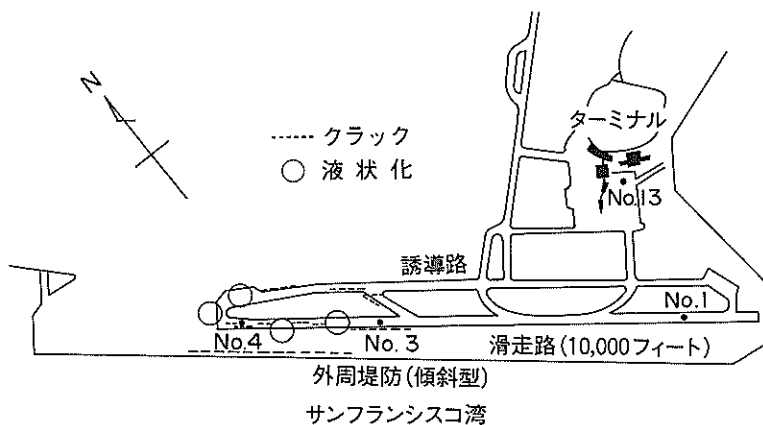


図-55 オークランド空港平面図

Depth, Ft.	Blows, Ft.	Runway (No.1)	DESCRIPTION
		Surface Elevation: 7.8 Ft	
		6" Asphalt Concrete 10" Aggregate Base (No evidence of cement treatment)	
		DENSE MEDIUM-FINE SAND, MOIST - Some BAY MUD	
		▽	
		GREENISH-GRAY LOOSE SAND, WET - Some BAY MUD	
		BLUE-GRAY CLAYEY SILT (BAY MUD)	
		Bottom of Hole	

図-56 オークランド空港の土質 (滑走路南端)

Depth, Ft.	Blows, Ft.	Runway. (No.3)	DESCRIPTION
		Surface Elevation: 7.7 ft	
		5" Asphalt Concrete 10" Aggregate Base (No evidence of cement treatment)	
		18 GRAY-BROWN MEDIUM-DENSE FINE SAND, MOIST - Some BAY MUD	
		▽	
		10 MEDIUM-DENSE TO LOOSE SAND, WET	
		SOFT GRAY SILTY CLAY WITH SOME SHELLS (BAY MUD)	
		Bottom of Hole	

図-57 オークランド空港の土質  
(滑走路南端から6000フィート)

Depth, Ft.	Blows, Ft.	Runway (No.4)	DESCRIPTION
		Surface Elevation: 7.5 ft	
		4.5" Asphalt Concrete 3.5" Cement Treated Base(Damaged) 7" Aggregate Base	
		26 GRAY-BROWN DENSE MEDIUM-FINE SAND, MOIST	
		5	
		▽	
		10 MEDIUM DENSE TO LOOSE SAND, WET	
		SOFT GRAY SILTY CLAY (BAY MUD)	
		15 Bottom of Hole	

図-58 オークランド空港の土質 (滑走路北端)

Depth, Ft.	Blows, Ft.	East Apron (No.13)	DESCRIPTION
		Surface Elevation: 8.4 ft	
		4" Asphalt Concrete 4" Cement Treated Base, 5" Aggregate Base	
		37 GRAY-BROWN DENSE MEDIUM-FINE SAND, MOIST	
		5 - becomes wetter	
		▽	
		10 LOOSE SAND, WET	
		GRAY SILTY CLAY (BAY MUD)	
		15 Bottom of Hole	

図-59 オークランド空港の土質 (ターミナル)

る。地下水位は、舗装表面から5～9フィート（1.5～2.7m）と比較的浅い。埋立て地盤の砂層の緩い、あるいは密な状態を重錘の落下試験（わが国の標準貫入試験とほぼ同じものである）で評価している。試験では、重量140ポンド（63.5kgf）の重錘を30インチ（76.2cm）自由落下させ、直径2インチ（5.1cm）のサンプラーロッドを1フィート（30.5cm）沈下させるに必要な打撃数（ $N$ 値に対応する）を調べている。試験結果によると、打撃数は、緩い砂層で6回、中位に密な砂層で18回、密な砂層では26回と37回であった。なお、密な砂層の場合、他の調査地点では50回以上という結果もあった。地下水位より高い埋立て地盤が密となっているのは、地盤造成時に締め固めを行ったためである。以上の打撃数を $N$ 値と見なすと、地下水位より深い所は、極めて緩い地盤であることが推定される。空港事務所の土質データには、粒度分布は無かったが、政府調査団と同行した地方公共団体チームが滑走路に噴き出した液状化の噴砂の粒度を調べた。その結果（LP-8, 10）を図-16に示した<sup>3)</sup>。埋立て土砂

は、粒径が揃った細粒砂で、液状化の可能性が大きい砂であることがわかる。

滑走路およびエプロンの舗装はアスファルトコンクリート舗装で、路床等を含めた厚さは、13～15インチ（33～38cm）程度であった。

なお、空港の周囲には堤防が築造されているが、滑走路の周囲は写真-56に示されるような水鳥が飛来する湿地帯で、空港の残留水位を高めている。

## (2) 被害

### a) 滑走路

一番被害が大きかった区域は、図-55に示す滑走路の北側部分とそれに続く誘導路である。同区域には大規模な液状化現象がみられ、舗装には大きなクラック、沈下、段差等が生じた。

まず、滑走路およびその周辺に発生した液状化の噴砂の状況を述べ、次に滑走路の構造的被害を紹介する。写真-57は、滑走路の舗装の割れ目から噴き出した液状化の噴砂である。人物の大きさと比較すると、液状化の規模の大きさがわかる。写真-58は、



写真-56 オークランド空港の湿地帯



写真-57 オークランド空港の滑走路に出現した噴砂

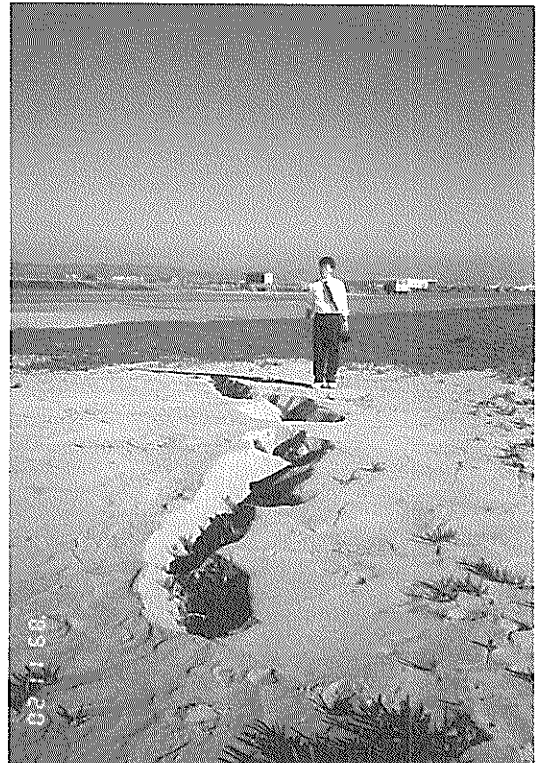


写真-58 オークランド空港の滑走路脇の噴砂

滑走路のすぐ脇の未舗装地の噴砂で、液状化の噴砂口の様子がよくわかる。写真-59, 60も滑走路の北側周辺の草地に発生した液状化現象である。地震一ヶ月後において、このような噴砂を観察できたのは、飛行場という特殊性と、地震後、雨が幸いにも降らなかったためである。なお、滑走路の南端のサンフランシスコ湾側の湿地帯にも大規模な液状化が発生していた。写真-61は、その状況を示したものである。正面には、空港ターミナルがみえる。

写真-62~65は、滑走路に発生したクラック、陥没、段差等である。クラックの多くは、写真-62, 63および写真-64, 65に見られるように滑走路の長手方向と短手方向に発生していた。

調査時点(1989年11月末)においては、この区域(約3,000フィート)は閉鎖されていた。なお、滑走路のメイン部(7,000フィート)とエプロンの舗装には、ヘアークラックが発生したが、緊急補修により航空機の離着陸に支障は出なかった。

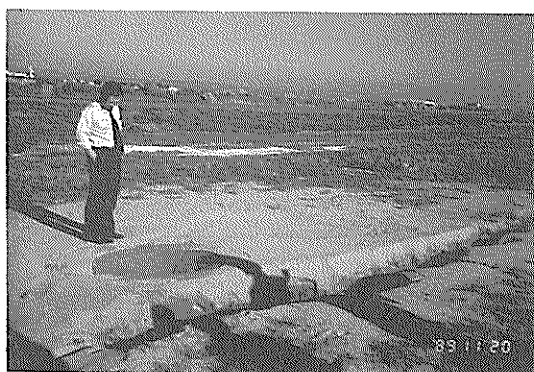


写真-59 オークランド空港の滑走路近くの噴砂



写真-60 オークランド空港の滑走路延長上の噴砂と離陸する航空機



写真-61 オークランド空港の南端部の未舗装地の噴砂



写真-62 オークランド空港の滑走路の目地開きと陥没

空港の地震動の大きさは不明であるが、図-16の粒度分布(LP-8, 10)から判断すると、ある程度の地震動があれば、この地盤は液状化する可能性がある。一方、ボーリングデータからは、滑走路およびエプロンの土質が、場所的に差があるように思えない。しかし、液状化は滑走路の北側に集中していた。この理由として、空港事務所は、埋立てはターミナルおよび滑走路の南側部分から始めたが、予算



写真-63 オークランド空港の滑走路のクラック

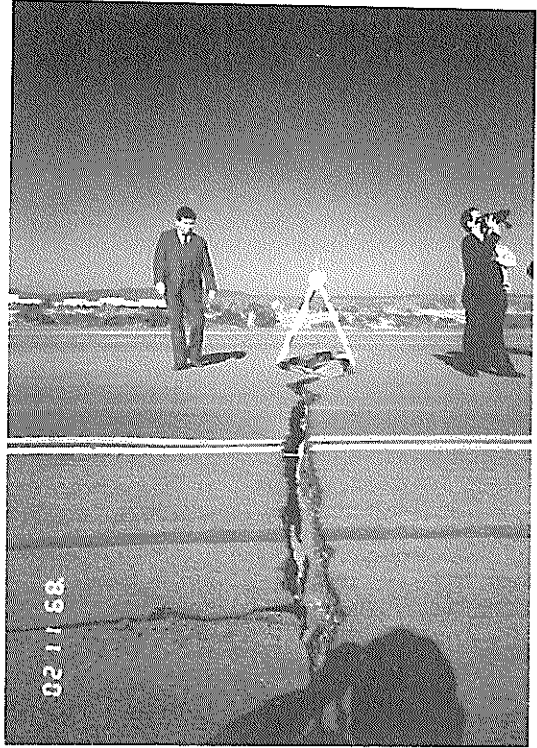


写真-64 オークランド空港の滑走路のクラックと陥没

の関係で北側の地盤の締め固めが十分に行えなかったことを挙げている。また、被害が生じた滑走路の北側は、既往の滑走路を延長した区間でもある。

今回の地震で、液状化が発生していないところの滑走路、エプロンには、クラック、段差等は、生じていなかった。今後、滑走路等の地震被害を防ぐには、地盤の液状化対策が重要であると考えられる。

空港閉鎖は12時間後に解除されたが、地震直後にサンフランシスコ空港着陸予定のB747が滑走路の南側から緊急着陸している。しかし、この時点において、滑走路の北側に大規模な被害が生じていたことは確認していなかったということであった。

#### b) 外周堤防の被害

空港は、サンフランシスコ湾に面しているため、傾斜型堤防が埋立て地盤の周囲に築造されている。今回の地震によって、堤防の天端および法面には、長手方向にクラック、沈下等が発生した。クラックの深さは、深いところで5フィートに達していた。被害区間は約3,000フィート(914m)であった。雨水等による堤防の崩壊を防ぐため、すでに被覆コンクリートを撤去し、碎石による緊急補強工事を実施



写真-65 オークランド空港の滑走路の目地開き

していた。写真-66は、堤防斜面に残っていたクラックである。

#### c) 連絡通路

写真-67は、ターミナルと出発ロビーの間を結ぶ連絡通路である。この通路を支えるコンクリート柱がせん断破壊をしていた。写真-68は、その被害の様子を示したものである。支柱の主鉄筋の直径は約5cm、帯鉄筋は約9mmあった。このような被害が

生じた理由を空港事務所の担当者は、通路の両側の建物の挙動が異なったためと述べていた。

写真-69は、この連絡通路の脇のターミナルに取り付けて合った階段の沈下状況を示したものである。ターミナルは杭基礎であったため沈下せず、階

段のみが20cm程度沈下していた。ただし、この沈下は局部的なものであった。

## 5.2 サンフランシスコ空港

図-60に示すような4本の滑走路をもつサンフランシスコ空港は、サンフランシスコ市の南約18kmのサンフランシスコ湾に面した位置に建設されている。強震観測記録によると、サンフランシスコ空港の最大加速度は、0.33Gであった。空港の被害としては、ターミナルや管制塔の天井板の落下、およびスプリンクラーの破損など、非構造部材の被害が主で、建物本体および滑走路やエプロンに被害はなかった。また、液状化の発生も報告されていない。

### 1) 埋立ておよび滑走路の歴史

空港のほとんどは、ベイマッド上の埋立て地盤にある。図-61は、埋立て区域を年代毎に示したものである。埋立ては、1935年から始まり、1948年には、ほぼ今の埋立て形状となっている。1948年以降は、滑走路



写真-66 オークランド空港の堤防のクラック



写真-68 オークランド空港の通路のせん断破壊した支柱

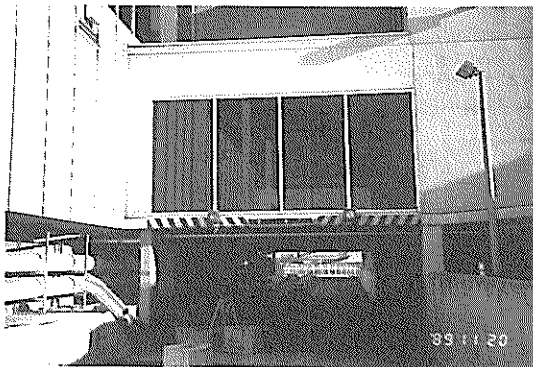


写真-67 オークランド空港のターミナルと出発ロビーの間の通路

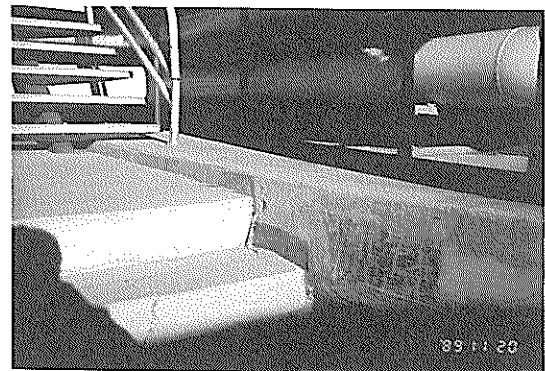


写真-69 オークランド空港の通路脇の地盤沈下

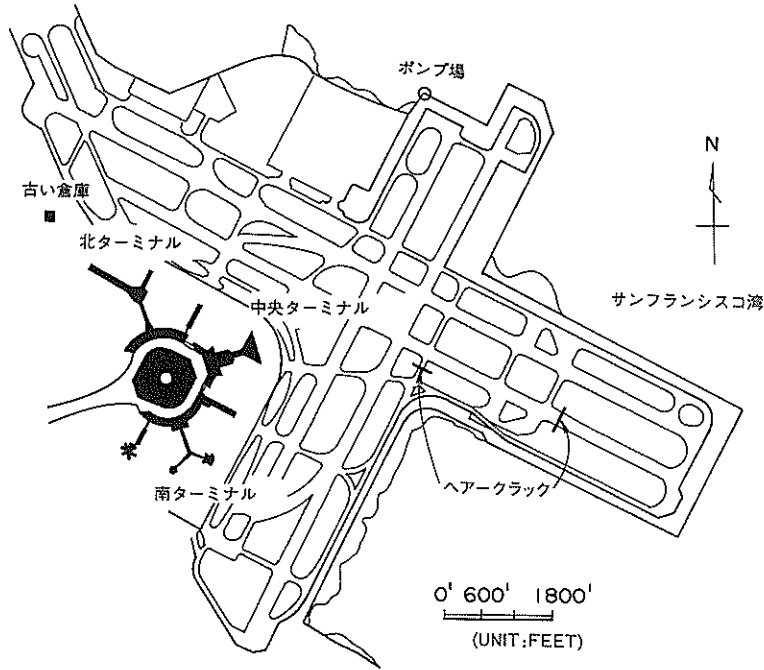
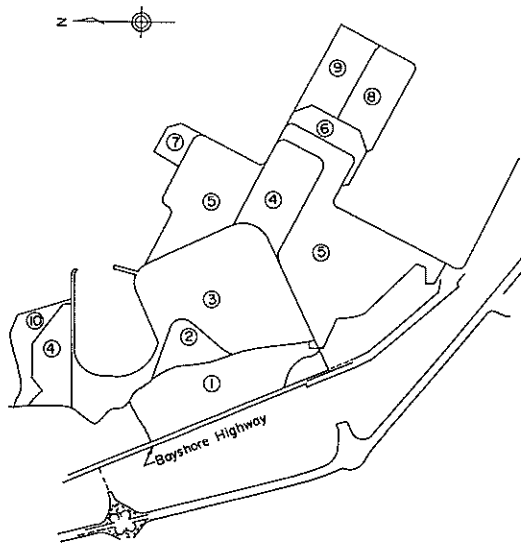


図-60 サンフランシスコ空港の平面図



① Original 150 acres Ogden Mills Estate	⑥ 1958; 36 acres
② 1935; 38 acres	⑦ 1961; 15 acres
③ 1938; 300 acres	⑧ 1961; 72 acres
④ 1944; 77 acres	⑨ 1969; 64 acres
⑤ 1948; 420 acres	⑩ 1970; 35 acres

図-61 サンフランシスコ空港の埋立て変遷図

の延長に伴った埋立てが1970年まで続いている。

空港としての歴史は、埋立てより古く、1927年から1933年には図-61の①に示す位置に5,600フィート(1,707m)と1,800フィート(549m)の未舗装の滑走路があった。滑走路が本格的に舗装されたのは、1934年以降であった。図-62は1934年、図-63は1940年、図-64は1951年時点の空港を示したものである。1951年時点の空港は、現在の空港(図-60)とほぼ同じ形状をしていることがわかる。しかし、現在の空港では、図-62, 63に示した空港初期の滑走路Bを除き使用していないことがわかる。また、現在のターミナルも図-63, 64からわかるように滑走路Aの中央部から南端に移動している。

## 2) 土質

滑走路、誘導路、エプロンの土質資料は入手できなかった。しかし、滑走路の周辺にある貨物ビル、格納庫およびターミナルビルを建設する際に調査した土質資料は入手できた。本報告では、図-60の空港平面図に示す北ターミナル、南ターミナル、およびポンプ場の土質データを例として示す。図-61に示した埋立て年代から、北ターミナルは1938年、南ターミナルおよびポンプ場は1948年に埋立てられた区域で、比較的古い埋立て地である。しかしながら、滑走路も図-64か



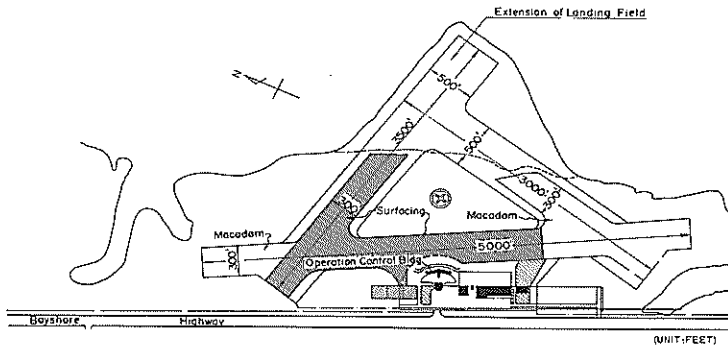


図-62 サンフランシスコ空港 (1934年)

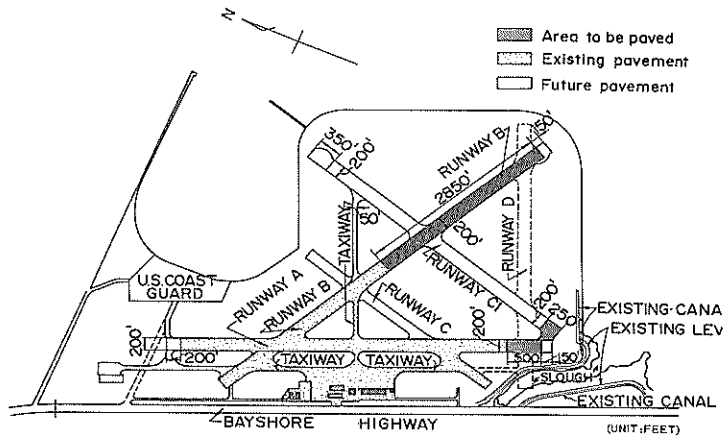


図-63 サンフランシスコ空港 (1940年)

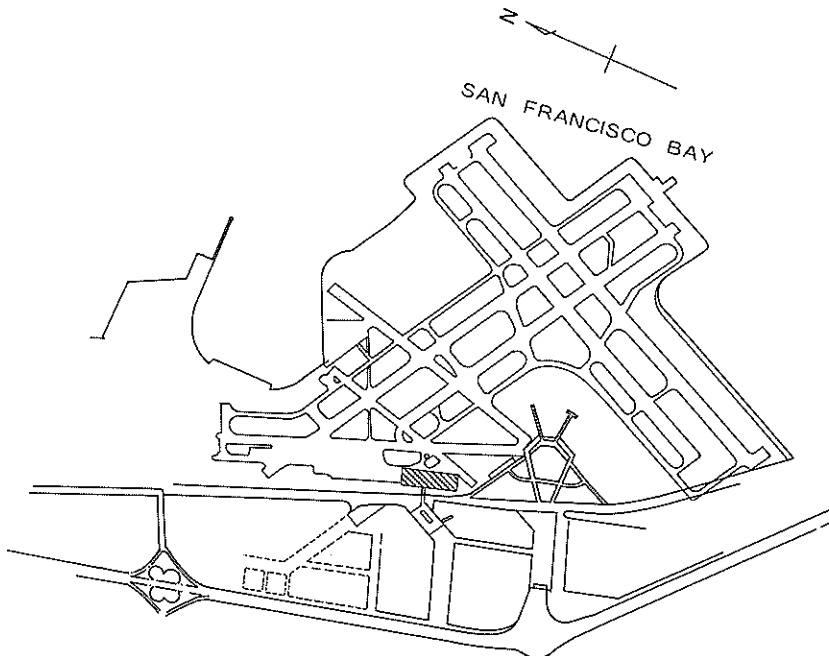


図-64 サンフランシスコ空港 (1951年)

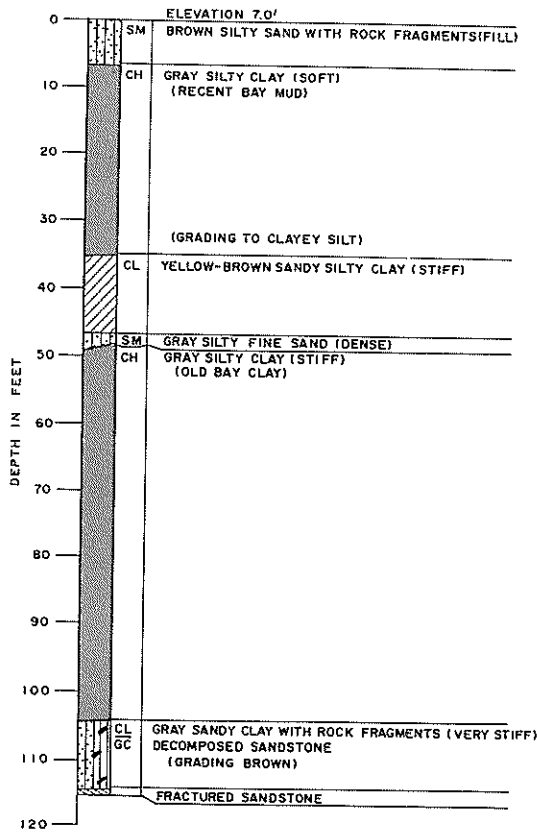


図-65 サンフランシスコ空港の土質 (北ターミナル)

らわかるように、この時期までには、ほとんど完成しているため、滑走路やエプロンの土層も、ここに例として示す土層とほぼ同じであると考えられる。

図-65は、北ターミナルビルの土質データ (1976年調査) の一例である。地下水位は不明であるが、埋立て地盤の厚さは、地表面 (標高7フィート) から約7フィート (2.1m) の区間で、埋立て土砂は礫混じりシルト質砂である。それ以深はベイマッドと呼ばれる軟弱な粘土層ならびに固い粘土層が、約115フィート (35.1m) の深さまで続いている。

図-66は、南ターミナルの地盤図 (1960年調査) である。ビルの東西端の距離は、約600フィート (183m) である。埋立て地盤の厚さは、約10フィート (3.0m) である。埋立て地盤より以深は、ベイマッド、砂層等が約90フィート (27.4m) の深さにある岩盤まで続いている。図-67は、図-66に示した地盤の土質柱状図の一例である。埋立て土砂は、シルトあるいは粘土質砂であることがわかる。本調査では、ターミナル付近の地盤の平面的な調査が行われている。図-68は、ターミナル付近の岩盤の深度の等深線図である。なお、この調査時点のターミナルの平面形状は、図-60に示した現在のターミナルと異なっている。岩盤の深度は、ターミナルの先端に行くほど、すなわち陸地から遠くなるほど深く、100フィート (30.5m) を超えている。図-69は、ベイマッドの下面の深さ分布で、20~55フィート (6.1~16.8m) の範囲にあることがわかる。ベイマッドの上面の深度は、図-66からわかるように、0フィート付近であるため、ターミナル付近のベイ

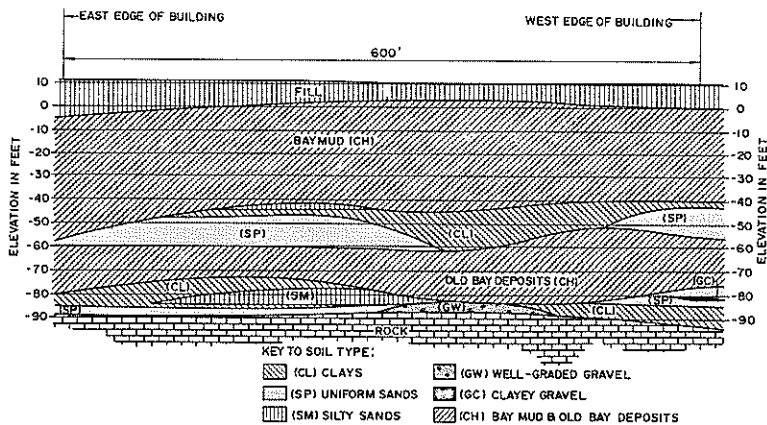


図-66 サンフランシスコ空港の地盤図 (南ターミナル)

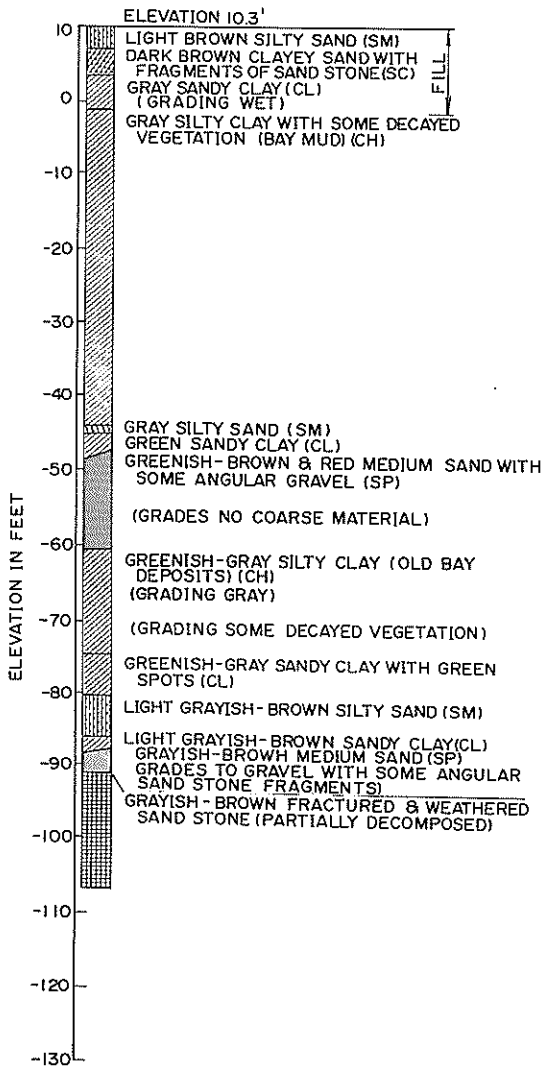


図-67 サンフランシスコ空港の土質 (南ターミナル)

マッドの層厚は、20～55フィート (6.1～16.8m) である。

図-70～72は、サンフランシスコ湾に面した位置のポンプ場の土質データ (1980年調査) である。本データは、今回入手できた土質データの中で最もサンフランシスコ湾よりのデータである。地表面の標高は、6.5フィート (2.0m) である。地下水位は調査されていない。ベイマッド上の埋立て地盤の厚さは、約21フィート (6.4m) で、埋立て土砂はシルト質砂である。地表面から11フィート (3.4m) の深さの土質は、粘着力と内部摩擦角を持つことがわかる。なお、埋立て地盤の層厚は、ターミナルの地区より厚くなっている。

埋立て地盤の下のベイマッドは、その強度を増加させながら、約85フィート (25.9m) の深さまで続き、それ以上は、非常に締まった砂層となっている。なお、図-68に示したボーリングの最終深度の土質が岩盤となっていないため、岩盤はサンフランシスコ湾に向かって深くなっていると考えられる。

空港事務所によると、滑走路、エプロン地区の埋立て地盤の締め固めは、十分に行っているとのことである。

### 3) 被害

空港の被害としては、ターミナル、コントロールタワーおよび貨物ビル等の建物に集中し、滑走路、誘導道路等の土木構造物の被害は極めて小さく、ヘアークラック程度であった。

滑走路のヘアークラックは図-60に示す位置で生じたが、ここは1974年に滑走路を延長したところである。サンフランシスコ空港では、液状化は報告されていない。これは、限られた土質データからではあるが、2) 土質で示したように埋立て土砂がシルト質砂で、かつ締め固めが十分に行われていたためと考えられる。なお、ガス、燃料用パイプライン等の地下埋設構造物には、被害は生じなかった。貨物ビルは非常に古いもので、柱がせん断破壊を起こし、使用不能となった。調査時点には、すでに取り壊され、撤去されていた。空港事務所の話によると、ビルの柱には、スターラップがほとんどなかったということであった。

ターミナルの被害は、北および中央ターミナルで発生したが、その被害は建物本体ではなく、天井板の落下、スプリンクラーのパイプ破損、モニターテレビの落下など、非構造部材の被害であった。ターミナルの基礎は杭基礎で、杭は支持層まで打設してあった。なお、構造様式の異なる南ターミナルに被害はなかった。

調査時点においては、すでに北および中央ターミナルの天井板は、完全に除去されていた。写真-70は、その天井を撮影したものである。両ターミナルの床のカーペットもスプリンクラーからの漏水、および天井からのほこり等で汚染されたため、すでに撤去されていた。なお、被災当日の様子は、空港事務所のビデオフィルムから知ることができた。写真-71～78はフィルムから接写した写真で、写真-71はターミナルの天井、写真-72はその近接写真である。天井板は、極めて細い治具で支持されていたことがわかる。写真-73は、ターミナルの待客室に設置されていたモニターテレビの落下状況、写真-74は航空会社のカウンター前に落下した天井板である。

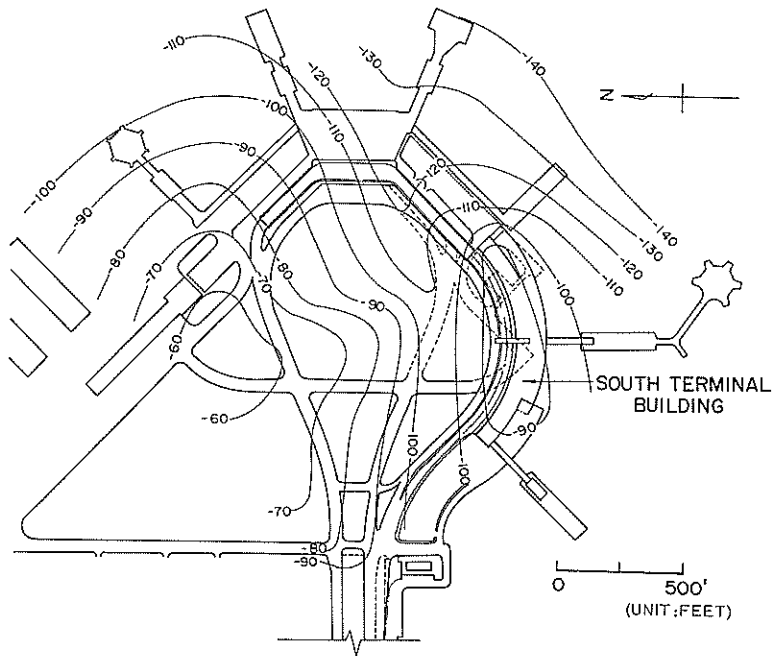


図-68 サンフランシスコ空港の岩盤の深さ(ターミナル付近)

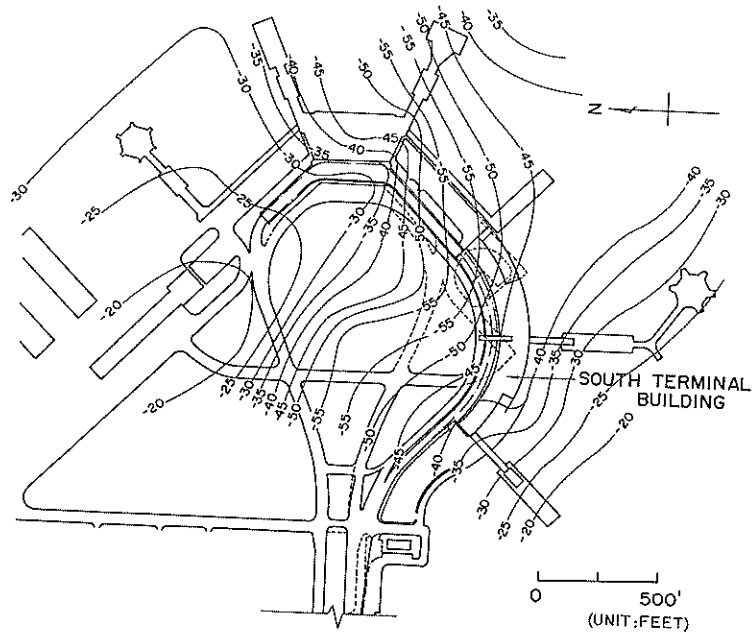


図-69 サンフランシスコ空港のベイマッドの底面の深さ(南ターミナル付近)

DEPTH (FEET) EL+65	Description and Remarks					Penetration Resistance (lb/in <sup>2</sup> /ft)
	DESCRIPTION & REMARKS	SYM	COLOR	CONSIS- TENCY	TYPE	
2	FILL, SILTY SAND, fine grained with fine to coarse grained gravels and cobbles  Direct shear test at 11 feet c = 400 psf φ = 35°		brown	medium dense	SM, ML	3
4			dark gray	very loose		
6						
8						
10				medium dense		
12						
14						
16						
18						
20						
22	SILTY CLAY, high plasticity, organic, with shell fragments between 21 and 23 feet (Young Bay Mud)  Unconfined compressive strength = 448 psf (at 24 ft)		dark gray	soft	CH	4
24						
26						
28						
30						
32						
34						
36						
38						
40					4	

図-70 サンフランシスコ空港の土質  
(ポンプ場, 0~40フィート)

DEPTH (FEET)	Description and Remarks					Penetration Resistance (lb/in <sup>2</sup> /ft)
	DESCRIPTION & REMARKS	SYM	COLOR	CONSIS- TENCY	TYPE	
42	SILTY CLAY (Continued)  Unconfined compressive strength = 697 psf (at 46 ft)  ++ Plastic Limit = 31 % Liquid Limit = 76 % Plasticity Index = 45 %  (thin lens of sand and gravel at 64 feet)		dark gray	soft	CH	7
44						
46				firm		
48						
50						
52						
54						
56						
58						
60						
62					5	
64						
66						
68						
70					13	
72						
74						
76						
78				Stiff		
80						

図-71 サンフランシスコ空港の土質  
(ポンプ場, 40~80フィート)

DEPTH (FEET)	Description and Remarks					Penetration Resistance (lb/in <sup>2</sup> /ft)
	DESCRIPTION & REMARKS	SYM	COLOR	CONSIS- TENCY	TYPE	
82	SILTY CLAY (continued), increasing sand content below 80 feet Unconfined strength = 340 psf at 81 feet		dark gray	very stiff	CH	47
84						
86	GRAVELLY SAND, fine to coarse grained, with fine to coarse grained gravel  (SILTY SAND, fine grained between 95 1/4 and 95 3/4 feet) (SAND, medium grained, with trace of fines, trace of coarse grained sand, and trace of fine grained gravel between 95 3/4 and 96 1/2 feet)		dark gray	very dense	SW, SP	90
88						
90						
92						
94			brown to greenish brown		SM	86
96				SP		
98				SW		
100				SP		
102						103
104						
106	Bottom of Boring = 106 1/2 ft					
108						
110						
112						
114						
116						
118						
120						

図-72 サンフランシスコ空港の土質  
(ポンプ場, 80~106フィート)

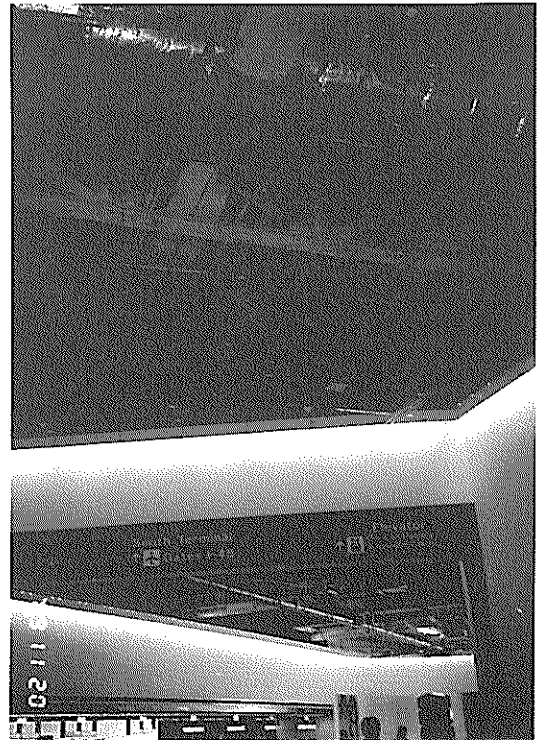


写真-70 サンフランシスコ空港の調査時の天井

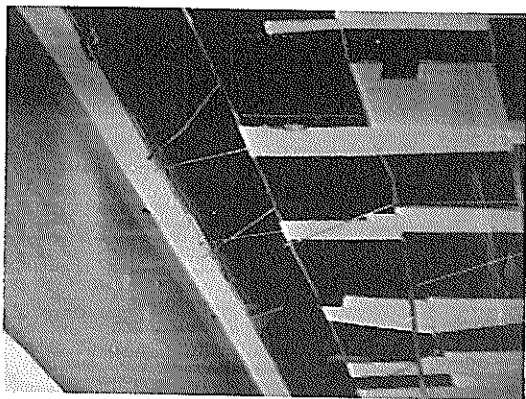


写真-71 サンフランシスコ空港の被災時の天井  
(空港事務所提供)

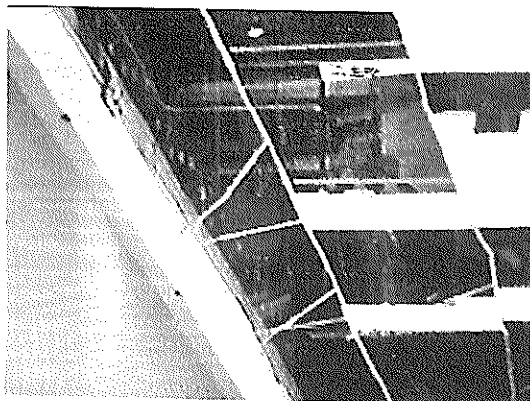


写真-72 サンフランシスコ空港の被災時の天井  
の拡大写真(空港事務所提供)

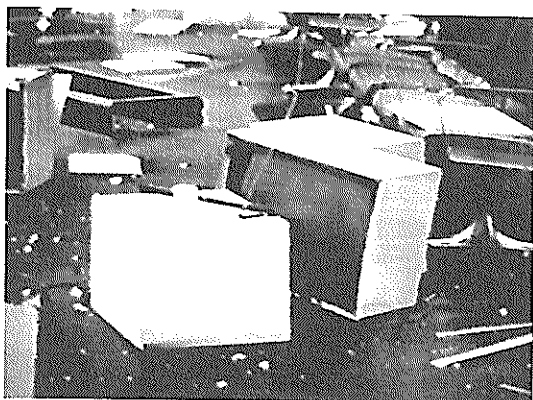


写真-73 サンフランシスコ空港の落下したモニ  
ターテレビ(空港事務所提供)



写真-74 サンフランシスコ空港の航空会社カウ  
ンター前に落下した天井板(空港事務所提供)



写真-75 サンフランシスコ空港の被災時の管制塔  
(空港事務所提供)

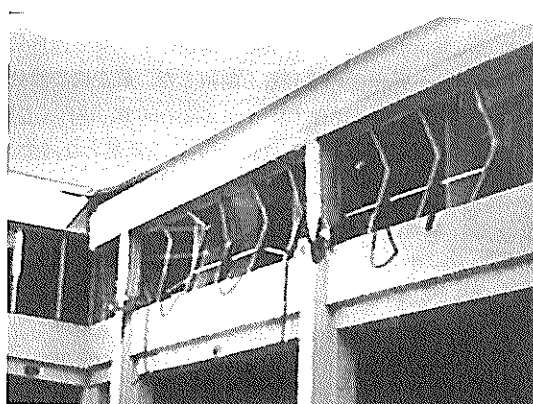


写真-76 サンフランシスコ空港の被災時の貨物ビル  
(空港事務所提供)

コントロールタワーでは、天井板の落下、窓ガラスの破損およびコンピューターターミナルの転倒被害が生

じたが、その機能は、地震後、発電機、バッテリー予備電源でバックアップされた。写真-75は、ガラス窓

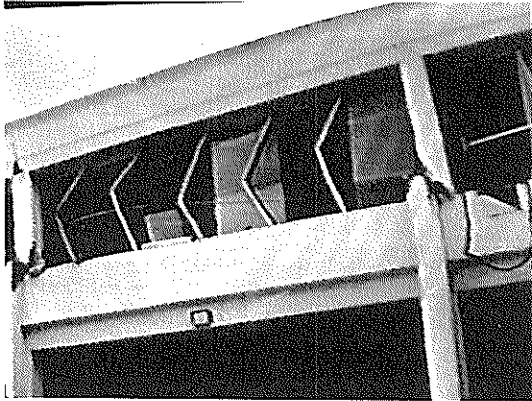


写真-77 サンフランシスコ空港の被災時の貨物ビル  
(空港事務所提供)

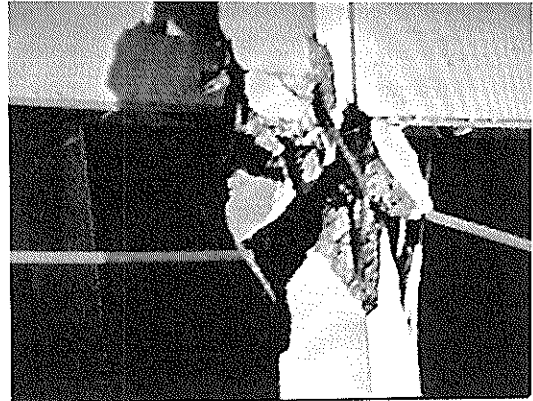


写真-78 サンフランシスコ空港の被災時の貨物ビル  
の柱の状況 (空港事務所提供)

が破損した管制塔の被災状況である。写真が鮮明でないのかわりにくいだが、防音のための吸音材が散乱している。

写真-76、77は、前述のように調査時点においては、すでに撤去されていた貨物ビルの被害状況で、2階部分の柱が、せん断破壊を起こしている。その結果、窓枠が押しつぶされている。写真-78はせん断破壊を起こした柱の近接写真であるが、主鉄筋が少なく、帯鉄筋が見当たらない。このような鉄筋量の不足が被害の要因と考えられる。この被害状況は、写真-3に示した2層式高速道路の被害とよく似ている。

地震によって、空港では23,000人が避難した。また、地震後の後片付けは、1,500人（航空会社1,000人、空港関係者500人）によって行われた。空港閉鎖は13時間後で解除されたが、管制塔が前述のような被害を受けたため、航空機の離発着を制限した。航空機の離発着は、地震翌日（18日（水））が通常の50%、19日（木）が70%、20日（金）からは100%の完全運航となった。

## 6. あとがき

地震が発生してから、約一ヶ月後の地震被害調査であった。今回の地震の被害の特徴のひとつが、地盤災害であると言われている。震源から約90km離れたサンフランシスコの堅固な地盤にあるダウンタウンに、地震の影響を見ることは、ほとんどなかった。しかし、軟弱な埋立て地域では、大きな地震動、更には液状化が発生し、住宅が破壊した。更にライフライン、港湾、空港の機能がマヒした。軟弱地盤上の埋立て地盤の耐震性がクローズアップされた地震である。また、今回の地震による被害として、比較的古い構造様式の2層式高速道路の崩壊

とそれに伴う多数の人的被害があった。構造が、わが国の橋梁と異なるため、同様な被害状況がわが国で発生するものではないが、この被害は、交通量の多い都市および臨港地区の橋梁の耐震性の重要性を再認識させた。

ロマブリーク地震は、港湾・空港にも被害をもたらしたが、被害調査を通じて、今後、次のような調査、検討が必要と考えられる。

a) サンフランシスコ湾岸地域の港湾・空港は、ベイマッド上の埋立て地盤に建設されている。これら施設の被害の主なもの、埋立て地盤の液状化による地盤災害であった。幸いにも、液状化による地盤変状が、港湾・空港の施設本体に致命的な被害は与えなかった。今後は、埋立て地盤の液状化対策、および液状化と施設被害の関連に関する調査が重要である。

b) a) で述べたように地盤に液状化が発生しても港湾・空港の施設本体に致命的な被害はなかった。港湾の棧橋、空港のターミナル等の建物の基礎は、何れも杭であった。わが国でも、杭式棧橋の地震被災例は過去にない。今後、耐震的な構造物と考えられる杭式構造物の地震時応答、および地盤の液状化と杭基礎の地震時応答に関する調査も重要と考える。

c) 液状化が発生した滑走路やエプロンでは舗装に被害が生じたが、液状化が発生していない滑走路やエプロンには、クラック、段差等の被害は生じていなかった。今後、滑走路等の地震被害を防ぐには、地盤の液状化対策が重要であると考えられる。

(1990年9月28日受付)

## 謝辞

ロマプリータ地震政府調査団のメンバーとして、港湾・空港施設の現地調査を実施した。調査に際して、数多くの日・米の関係機関および関係者の方々に大変お世話になりました。日本においては、国土庁防災局震災対策課、運輸省運輸政策局技術安全課、同環境課、港湾局建設課、同防災課、航空局飛行場部建設課、福岡市港湾局、大阪市港湾局、オークランド港東京事務所、サンフランシスコ港東京事務所、また、現地においては、サンフランシスコ総領事館、国際観光振興会サンフランシスコ観光宣伝事務所、日本航空サンフランシスコ空港事務所、オークランド港湾局、サンフランシスコ港湾局、サンフランシスコ空港事務所、カリフォルニア大学バークレー校、スタンフォード大学の皆様にご協力をいただき、初期の目的を果たすことができました。ここに、関係機関および関係者に対して深甚の謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土庁防災局監修：1989サンフランシスコ湾岸地震ロマプリータ地震の記録，ぎょうせい，平成2年3月
- 2) CSMIP STRONG-MOTION RECORDS FROM THE SANTA CRUZ MOUNTAINS (LOMA PRIETA), CALIFORNIA EARTHQUAKE OF 17 OCTOBER 1989, REPORT OSMS 89-06, California Department of Conservation, Division of Mine and Geology, Office of Strong Motion Studies, 1989.
- 3) 楡井 久：地質学的観点からみたロマ・プリータ地震とサン・フランシスコ，シンポジウム 人工改変と地質環境，トビックス ロマプリータ地震の特徴と被害報告，日本地質学会関東支部，1990，pp.5～22
- 4) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，改訂版（上巻），日本港湾協会，平成元年6月，p.204



港湾技研資料 No. 691

1990・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 横浜ハイテクプリンティング株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1990) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a maching language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。