

緊急掲載



サンフランシスコ地震 土木構造物の被害

日本技術開発株式会社本部地震防災室課長 工博 橋山龍二

はじめに

1989年10月17日火曜日、現地時間の午後5時04分、カリフォルニア州サンタクルーズ付近でマグニチュード6.9（後7.1に修正と伝えられている）の地震が発生し、サンフランシスコ・ベイエリアを中心に被害を与えた。

米国地質調査所によれば、この地震はサンアンドレアス断層の破壊によるもので、メイン・ショックの震央は東経121度53分、北

緯30度2分、深さは11マイル（約18km）であった。

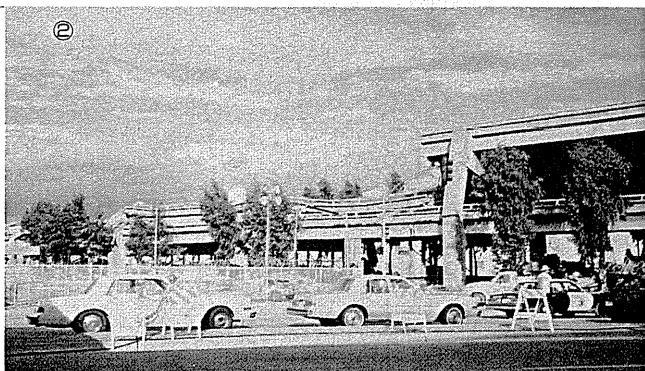
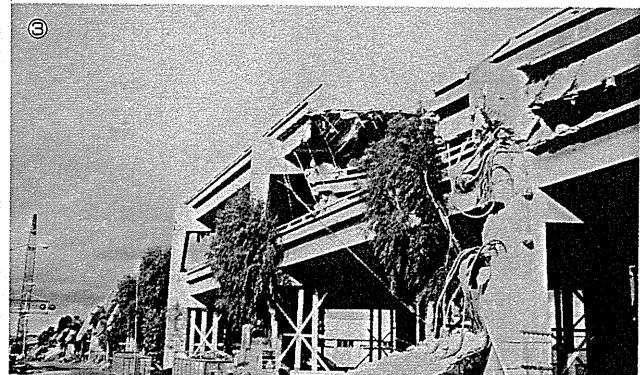
現時点においてこの地震による被害は確定していない。10月24日に州の災害対策本部が公表したところによると、死者は63名、行方不明者は19名とされている。

この地震による被害は、サンフランシスコ湾岸地域から、震源のやや南に位置するサンタクルーズ郡にかけての南北に細長い地域で発生しており、その分布は、震源近傍を除き、主に地盤条件に支配されていると言ってよかろう。

著者は、地震発生の4日後の10月21日（土）午後に現地入り

し、24日まで実質3日間駆け足でサンフランシスコ、オークランド等北部湾岸地区の被害の状況を視察した。

現時点で、地質、地盤の状況、被害を受けた橋梁の構造などわからないことは数多い。これらは、今後、米国を始めとする関係各機関の調査報告を待つべきものである。本文は、著者が見た事実を、主に写真を紹介する形で速報としてまとめたものである。今の時点で無責任な憶測は避けるべきであるが、事実からある程度推察しうるものについては、若干のコメントを加えている。



1 橋梁の被害

サンフランシスコ湾岸地域の橋梁被害では、オークランドの I-880 (ニミッツ・フリーウェイ) の 2 層高架の崩壊、ベイブリッジ (I-80) の東側トラス 2 階部分の落下、サンフランシスコ市内の 480 号線 (エンバカデーロ・フリーウェイ) 2 層高架の橋脚のき裂などが代表的である。震源近傍、サンタクルーズ郡では、橋梁を含む道路の被害が大きいようである。以下に著者が見たいいくつかの橋梁の状況を示す。

1. I-880 号線 オークランドの 2 層高架部

I-80, I-580 のジャンクションから南の 1 km 強の 2 層の高架区間の 2 階部分が崩壊し、多数の死者を出した。現場では 500 m ~ 1 km 程度の区間を西側からのみ見せてもらうのが精一杯で、こ

の被害については、被害区間の正確な延長、構造などわからないことが多い。

写真-1~8 に被害の状況を示す。この高架の構造はよくわからないが、西側から見る限り、2 階を支える柱の 1 階上部と 2 階下部がヒンジ構造になっていたようである。ヒンジ部はキーが差し込まれたような構造と考えられ、直径約 3 cm の鉄筋 4 本で繋がれている (写真-7)。図-1 にこの構造を概念的に示す。柱には直径 6 cm 程度の鉄筋が入っているが、フープ鉄筋は見えない (組立て鉄筋と思われるものはある)。桁(床版)は、少なくとも上層部については、PC (ポスト・テンション) ホロースラブである (写真-8)。

現時点での構造の被害原因を云々することはできないが、現象から見る限り、以下のようであったと推測される。すなわち、下層上部のヒンジが慣性力により外側にはずれ、上部の柱が上層部とともに落下、下層部と折り重なっ

た。上部の柱は外側に斜めに張り出しか、ないしは落下するが、このとき、上部の柱は下部の柱をえぐるように動いた (図-1 参照)。

この区間の被害は先に述べたように、上層に作用した慣性力により、構造的な不安定現象を招き崩壊に至ったと考えるのが現状では妥当と思われる。今後、地盤、構造に関して詳細な調査が行われるものと考えられ、その結果が期待される。

2. 480 号線 (エンバカデーロ・フリーウェイ)

この高速道路は、ベイブリッジからフェリービルの前を通ってサンフランシスコ・ダウンタウン中心部に至る 2 層の高架構造である。外見はオークランドの I-880 と同じように見えるが、構造の詳細はわからない。被害はフェリービルのややベイブリッジよりの 3 つの橋脚で発生している。これを写真-9, 10 に示す。下層部のすぐ上の柱にクラックがはいり、鉄筋が露出しているものもある (写

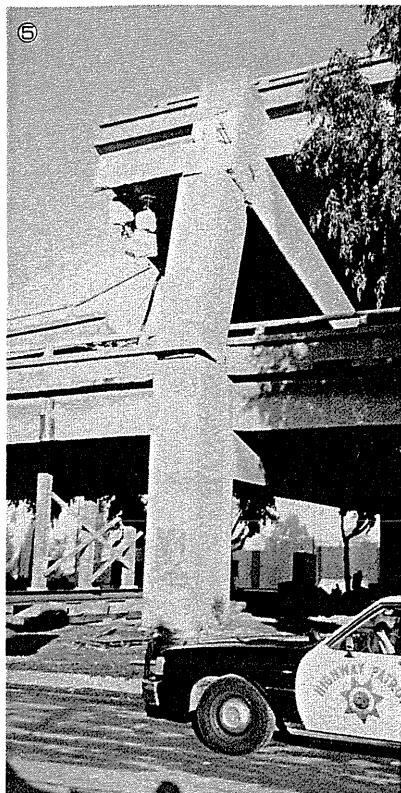


写真-9にはフープ鉄筋が見られる)。写真-10には上層を支えるヒンジ部(と思われる個所)に落橋防止構造のようなものが見える(すべての柱に取り付けられてはいない)。

この地区は、1906年の地震(マグニチュード8.3)で液状化およびそれに伴う地盤変状が発生したが、今回の地震では、写真-15に示した液状化は発生していたが、その程度は比較的軽微であった。

3. I-280号線 Brannan St. のランプ

この高速道路はこのランプから101号線まで通行止めになっており、何らかの被害があった模様である(著者のみた限りでは特に被害は認められなかった)。橋梁にはき裂等の被害は、少なくともこの個所において見られないが、Brannan St. から Townsend St. にかけての橋梁下には噴砂が発生していた。

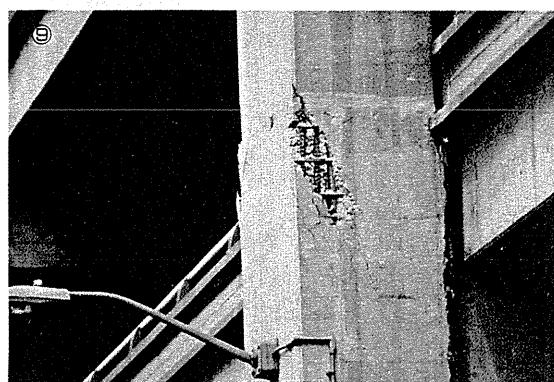
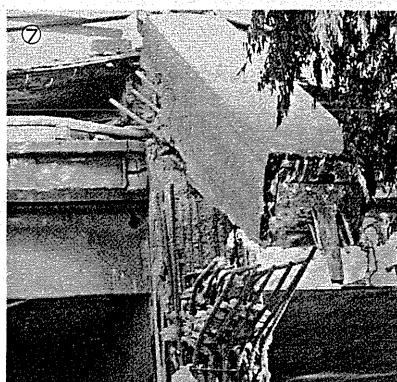
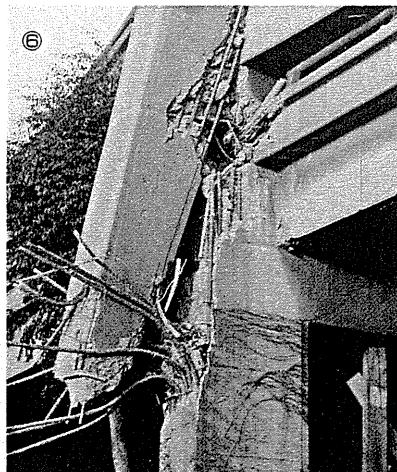


写真-1 I-880号線(ニミツ・フリーウェイ、オークランド)の被害

以下、写真-8まですべてこの被害の状況である。写真は、W. Grant通りを中心とした0.5~1.0km程度の区間で、西側から撮影されたものである。

写真-2 I-880号線

2階部分が残っているように見える区間(右側)は反対側の柱がはずれるかあるいは壊しており、向こう側へかしいでいる。

写真-3 I-880号線

2階が残っているスパン。この部分の構造に興味があるが、これ以上近づけなかつた。

写真-4 I-880号線

向こう側にかしいでいる区間(写真-2参照)。

写真-5 I-880号線

写真-2の拡大。1階と2階をつなぐ柱が上下でヒンジになっていることがわかる(図-1参照)。

写真-6 I-880号線

1、2階をつなぐ柱が外側に飛び出し、2階が崩落している様子。

写真-7 I-880号線

上部柱のヒンジ部分、キーの部分と4本のつなぎの鉄筋が見える。

写真-8 I-880号線

右側から崩落しなかった区間が続く。この部分から、地盤条件が異なっていた可能性がある。また、桁はPC(ポストテンション)であることがわかる。

写真-9 エンバカデーロ・フリーウェイ
橋脚のき裂。1階上部がヒンジであるか否かは定かではない。I-880号線と異なり、フープ鉄筋が見える。

写真-10 エンバカデーロ・フリーウェイ
下部の柱のヒンジ部(と思われる個所)にき裂がある。上部のヒンジ部分には補強したと思われる部材が見える(ただし、この補強は上部のみで、すべての橋脚にあるわけではない)。

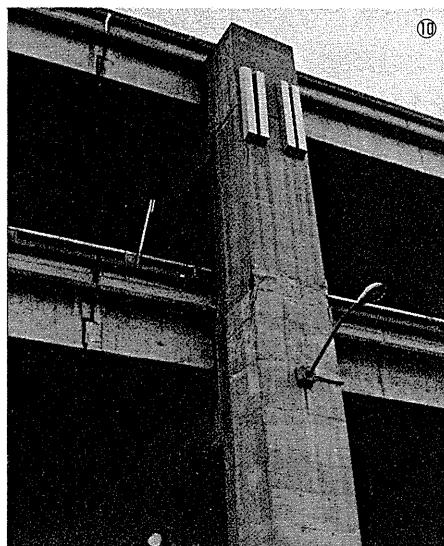
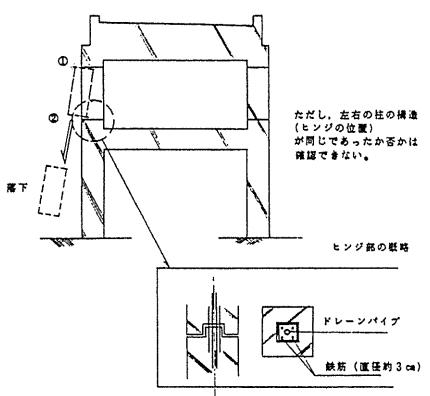
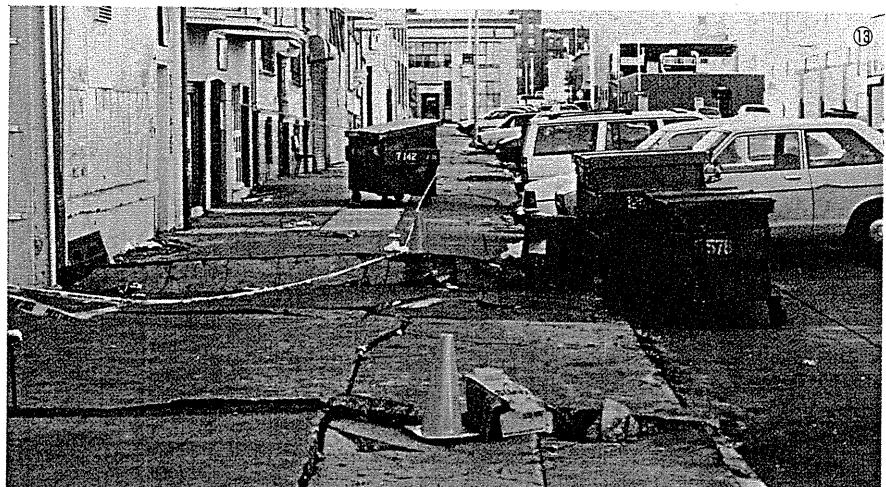


図-1
I-880 2層高架道路の構造と被害の形態
(現場観察・写真に基づく推定)





2 地盤および液状化

著者の見た範囲でサンフランシスコの湾岸、リッチモンド、アラメダ等の埋立て地、軟弱地盤地区で噴砂および地盤の沈下、き裂、歩道・路面の圧壊等の地盤変状が多くみられ、地盤の液状化が発生していたことは明らかである。重大な被害はこれらの地区に集中しており、この地区的被害のかなりの部分が直接、間接に液状化に関係したものと考えられる。ただし、先に述べたとおりオークランドの I-880 号線の被害区間周辺では、液状化を示唆する現象は見られなかった。

1. サンフランシスコダウンタウン

写真-11～15 にサンフランシスコ市街、ミッション地区、サウスマーケット地区（このような地区名はないがここではこう呼ぶこと

にする）、エンバカデロ通りの地盤および建物被害の状況を示す。すべてを見て回ったわけではないが、地盤変状、建物被害はこれらの地区において集中的に、あるいは点在して発生していた。サンフランシスコは先に述べた 1906 年の M 8.3 の地震で大きな被害を受けたが、その被害はクリークや浅瀬を埋め立てた地区に集中していた（火災による被害を除く）。これらの地区では大規模な液状化が発生、地盤の沈下、水平移動等の地盤変状が顕著で、建物等の被害はこれら地盤変状に深く関連したものと推測されている。

今回の地震による被害地区は著者等の見た限り、1906 年の被害地区ときわめてよい対応を示していた。ただし、今回の地震では 1906 年の被害地区のごく一部が液状化し被害となったもので、液状化の程度には大きな隔たりがあるといつてよいであろう。ちなみに、1906 年の地震では写真-11, 12 に示すブロックは、1.5 m 程

度の地盤の水平移動が認められているが、今回の地震では若干の噴砂と沈下が認められた程度である。

2. マリーナ地区

サンフランシスコにおいては、マリーナ地区の被害が顕著で、マスコミの注目を浴びたが、この地区は 1906 年の時点ではまだ埋立てられていなかった。埋め立ては、1912 年に開始され 1915 年に完成し、土砂は海底の砂、マッドをポンプでまきあげたものである。ただし、アリーナ通りの北側の公園部分は 1930 年代に埋め立てられた。

マリーナ地区の状況を写真-16, 17 に示すが、この地区も明らかに液状化していたことがわかる。建物の被害は、液状化に伴う沈下と考えられるもののほか、振動（慣性力）の影響も大きいと考えられるもの多かった。60 件程度の家屋が大きな被害を受けたといわれているが、著者の見た限り



写真-11 ミッション地区の家屋被害

若干傾斜している。

写真-12 ミッション地区における噴砂
ミッション、サウスマーケット地区ではこの程度の噴砂が多く見られた。

写真-13 サウスマーケット地区の歩道の変状

この道路の写真は奥に向かって若干傾斜している。歩道が波を打ったようになっている。

写真-14 サウスマーケット地区の歩道の変状

このような道路変状は液状化の発生した地区でも数多く見られた。

写真-15 エンパカデー通りの変状

路面が沈下している。近くには噴砂も見られる。左手の橋脚は写真-9、10のエンパカデー・フリーウェイ。この手前で橋脚の被害があった。

写真-16 マリーナ地区で見られた噴砂

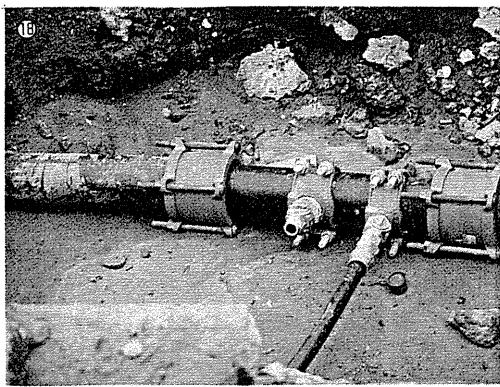
写真-17 マリーナ地区的地盤変状

写真-18 マリーナ地区で見られた水道管の補修状況

鉄管の給水管分岐部の被害を補修したものと考えられる。

写真-19 リッチモンド工業団地の噴砂

工場の前庭で、左手の地中には地下タンクがあり、端辺に沿って地盤のき裂が見られた。



この地区のほとんどの家屋が何らかの被害を被っているものと考えられる。写真-18は、水道管の補修の様子である。管は鉄管で、給水装置への分岐部で被害があつたものと推定される。マリーナ地区では、水道管のほか、ガス、電気の管路、ケーブルに大被害がでた模様である。

3. その他

米国地質調査所の速報によると、サンフランシスコ湾岸の埋立て地、震源の南のサンタクルーズ郡で液状化が発生している。著者等は、サンフランシスコのばかりリッチモンド、アラメダ等で噴砂を確認した。

写真-19はRichmond Industrial Villageの工場の前庭で見られた噴砂である。付近の掘削跡から、ここ地下水位は0.5m程度で、砂層は1mより深いものと考えられる。砂は、マリーナ地区とよく似ており、海底からまきあげたものようである。

おわりに

わずか3日間ではあったが、震災後の比較的早い時期に現地にはいり生々しい様子を見ることができた。地震防災を専門とする者にとって災害現場がすべてといつてもよく、今回の調査においては、とにかく現象を見ることに徹し、十分ではないが目的はなんとか達成したものと考えている。

今回の地震災害の印象を簡潔に述べるのは難しいが、著者自身の誤った理解や言葉足らずによる誤解を覚悟のうえであえて印象をまとめれば、以下のようになろう。

- ・被害の大部分は直接、間接に液状化に関連したものであった。しかし、液状化の程度としては、それほど顕著なものではなく(1906年の地震と比較すると雲泥の差がある)、マリーナ地区を除けば、ミッション地区、サウスマーケット

ト地区でも被害を受けた建物はごく一部である。また、地震動による影響も含めて、耐震設計は十分に働いたものと考えられる。

- ・いかに予防対策を進めても、さまざまな理由から対策から漏れるものが必ずあり、これらが被害となって現われる。予防対策において、I-880号線のような重要で、一旦被害が起こったときの影響の大きい構造物を、見逃すことがないようにする事が、専門家の重大な責務であろう。

- ・サンフランシスコ湾岸地域の地震動がそれほど大きくなかったこともあり、災害は我々の考えていたシナリオの範囲内にとどまった。逆に言えば、我々の考えていたシナリオはそれほど外れではなかった。今後は、この地震による被害とその影響を詳細に調査し、我々のシナリオを補完・強化していくことが必要である。