



個別報告 : 液状化災害及びその他の地盤災害 (地震防災を考える 日本と台湾を例として)

田中, 泰雄

(Citation)

震災対策技術展 神戸大学都市安全研究センターシンポジウム, 6:57-63

(Issue Date)

2002-02-15

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/80020132>



液状化災害及びその他の地盤災害

Liquefaction and Other Geotechnical Damages

田中泰雄

Yasuo Tanaka

概要：本文では 921 台湾地震における地盤災害を述べるが、主に液状化災害を中心に地盤災害の状況を述べることにする。液状化災害については、被害規模が大きかった次の 2 カ所、台中港及び南投市について調査した。これらの事例から、今回の地震による液状化の被害状況とその原因について考察する。筆者の調査範囲からの結論ではあるが、液状化被害の規模は、1995 年の阪神淡路大震災より遙かに小さく、台湾西岸に数多く建設された埋め立て地における被害はほとんどないと結論された。その他の地盤災害として、簡単であるが、軟弱地盤上の斜面崩壊や、断層近傍での基礎構造物の被害についても述べる。

キーワード：地盤災害、液状化、斜面崩壊、断層変位、構造物基礎

1. はじめに

神戸大学都市安全研究センターでは 9 月 21 日の台湾地震について調査団を派遣したが、その調査活動の 1 つとして、震源地近傍での地盤災害、特に液状化被害について調査を実施したので、その結果を報告する。調査団派遣前の新聞報道等によると、断層のずれによる橋梁やダムなどの基礎施設の被害が甚大であったことが知られていた。これに比べ、液状化についての被害報告はあまり多くなかった。しかしながら、台湾中部の西岸には、主に海底細粒砂の浸没による臨海埋立造成地が数多く建設されており、台中港での液状化被害が一部報道されていたことより、これらの臨海埋立造成地での液状化被害の可能性が危惧された。このため、本調査団の活動の 1 つとして、著者は液状化被害を中心に地震調査を実施し、台中港及び南投市における液状化被害調査結果に基づき報告する。また調査期間中に、現地での情報から南投市西部の員林市で液状化被害



図-1 台中県及び南投県の衛星写真

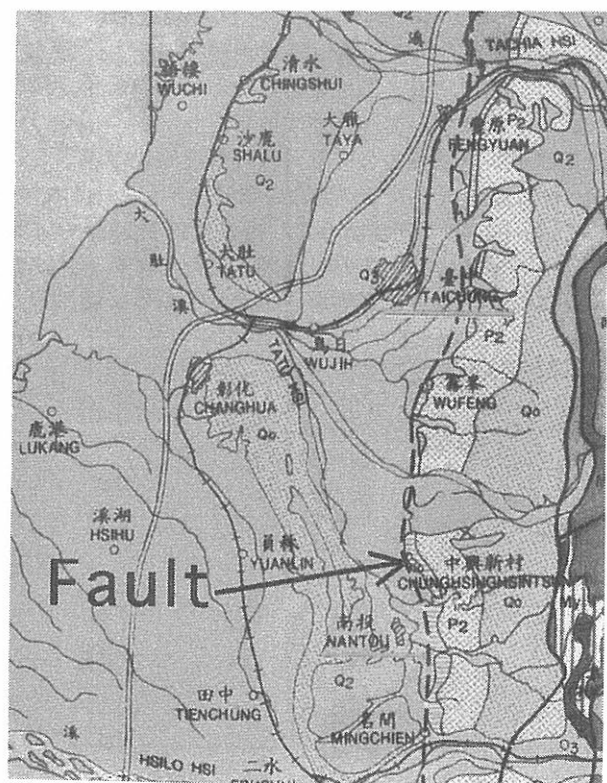


図-2 台中市及び南投市域地質図

害があるとされため、員林市の被害について調査したが、筆者の調査範囲では液状化被害はほとんど見られなかった。さらに、台中港南部の西部沿岸の埋立地での液状化被害についても調査したが、液状化被害は無かった。一方、今回の地

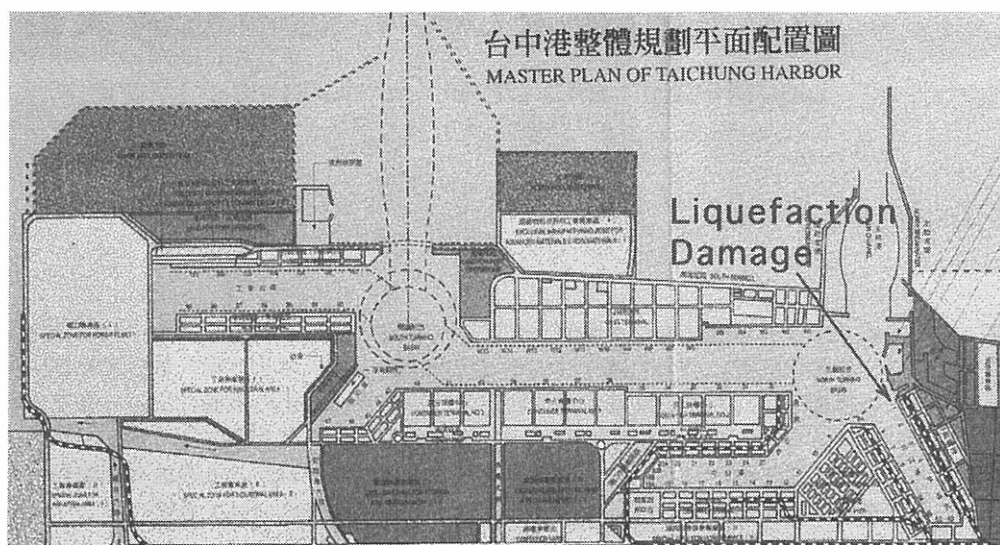


図-3 台中港及び液状化被災地の位置

震の特徴として、断層変位による構造物基礎の破壊や大規模山腹崩壊が発生したが、調査期間の関係でこれらの被害調査は十分に行えず、ここでは被災地調査の途中で観察された被害例を数件報告することとする。図-1 は今回調査を行った台中県と南投県地域を示す衛星写真である。図のように、西部の沿岸部で数多くの埋立地が建設されている。一方、当該地の地質状況を示したものが、図-2 である。図から、断層の西部に位置する地域は、そのほとんどが沖積層で覆われていることが分かる。

台中港における液状化被害

台中港は台中市の西方約 20 km に位置しており、断層からの距離は約 25 km である。台中港の平面図は図-3 に示すようであり、37 のバースが現在活動中で、将来的には 88 バースとなる予定である。港の水深は 9m 14m であり、全面積は陸域が約 2,300 ha、海域が約 530 ha である。液状化被害は第 1, 第 3 バースで発生し、他のバースには被害はなかった。また、台中港南端の火力発電所埋め立て地で若干の被害が発生したが、これについては後述する。

第 1 バースの被害としては、護岸背後地盤が沈下し、数多くの地盤陥没による大きな穴が発生している。図-4 6 は第 1 バースでの被害の様子を示したものである。このバースは建設後約 30 年経過しており、構造としては、図-6b に示すように、海底に約 5-50kg サイズの石を約 2m 厚に設置し捨石基礎を建設した後、コンクリート・ケーソンをおいた構造となっている。海底土は基本的に知ると質砂であり、同じ砂を護岸背後にポンプ浚渫することで護岸を築造している。護岸背面地盤の地表部は良質材で被覆されている。定量的な液



図-6a 護岸背後での陥没による被害

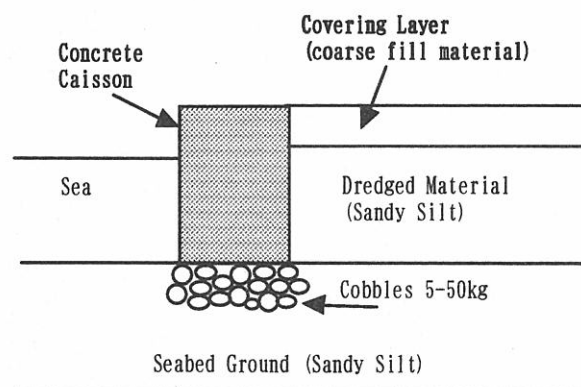


図-6b ケーソン護岸構築概念図

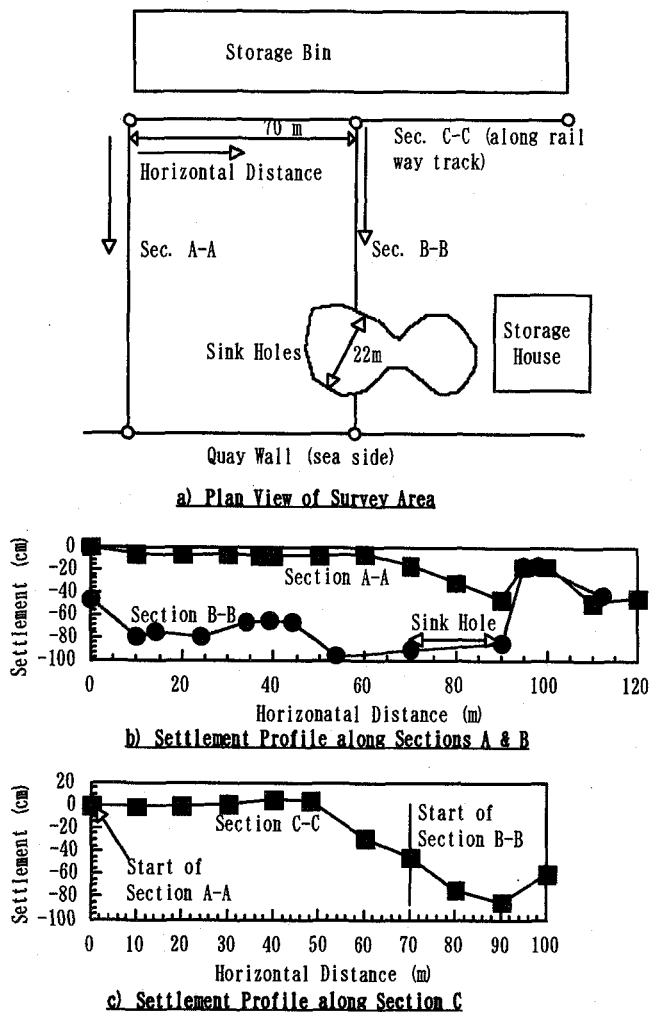


図-7 台中港測量位置図 a) 平面図, b) A断面計測結果
c) B断面計測結果

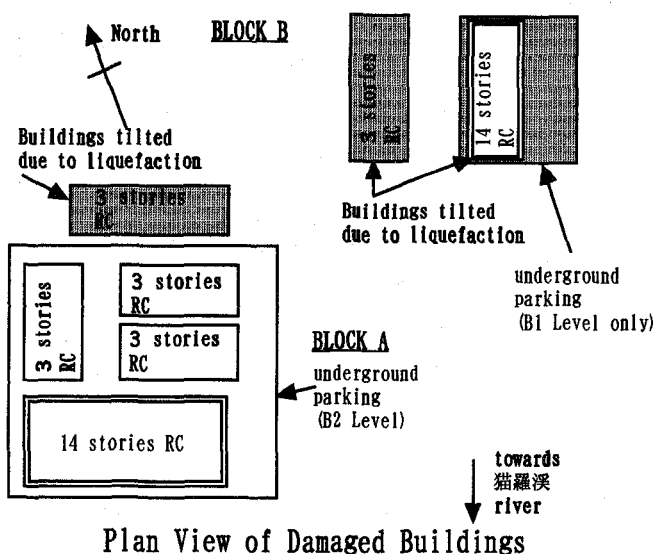


図-8 猫羅溪近傍での液状化被災地の建物位置図

状化被害調査のため、地表面の沈下性状を測量した。

図-7 (a) にしめすように、護岸直行方向の A 及び B 測線、護岸平行方向の C 測線に沿って表面地下を測量した。B 測線では陥没孔を横切っており、計測から孔の直径は 22 m、深さは 3.8 m に及んだ。護岸へ向かう地表面沈下の傾向は A 測線に典型的の現れていると思われるが、護岸より約 60 m 離れた地点から沈下が生じているようである。護岸から約 20m の地点で沈下が生じていないが、この地点は荷下ろし用高架橋の位置になっており、杭基礎など何らかの深基礎が設置されていたため沈下が生じなかったと思われる。

測線 B と C では大きな沈下が生じているが、これは陥没孔が生じた原因と関係していると考えられ、浚渫されたシルト質砂が捨石基礎の間から海側に流失したため、護岸背後で陥没孔や大きな地盤沈下が発生したと思われる。

液状化による護岸の側方流動の被害については、計測することは無理であったが、阪神大震災に比べて非常に小さなものと考えられる。ポートアイランドや六甲アイランドでは 5 ～ 6m に及ぶ水平変位が生じたが、台中港での護岸ケーソン背面の沈下量が約 20-30cm であることから、護岸水平変位も遙かに小さなものと考えられる。また、側方流動によって影響を受けた範囲についても、阪神大震災では約 100m 程度とされるが、図-7 に示したように台中港では約 60 m より沈下が生じている。以上のことより、台中港の護岸形成地盤はシルト質砂のように非常に液状化危険度が高い材料であるにも拘わらず、液状化の被害程度は阪神大震災に比べて非常に小さかった判断される。当地では、地震動の記録が得られていないため、液状化解析等により厳密な分析が出来ないが、今後は、浚渫砂の液状化強度試験や地震動の推定等を実施し、今後の地震に対する台中港の液状化危険度を検討する必要がある。

南投市における液状化被害

南投市の北側には猫羅溪と呼ばれる川があり、猫羅溪を横切る橋として軍功橋がある。橋近傍の猫羅溪右岸に開発された住宅地で広範囲に液状化被害が観察されたので、それについて報告する。図-8 は被害を受けた高層住宅域の平面図である。図のように、A と B の 2 カ所の住宅域があり、その 1 つ、A プ

ロックでは14階の高層ビルと3階建てのマンション4棟があり、他のブロックBでは14階高層ビルと3階建てマンション1棟がある。Aブロックでは、北端のマンションが被害を受けたが、被害マンションは直接基礎で液状化した地盤に構築されていたのに対して、その他のビルは全て地下2階構造の駐車場上に構築されていた。図-9は地下駐車場内での液状化の様子を示したもので、大量の噴砂が地下2階部に堆積しており、この地域全体で液状化が発生したことが分かる。図-10から12は、被害を受けた北端のマンション近傍の様子を示したもので、図-11に示すように、被災マンションの地盤とその他ビルの地盤（地下駐車場）との間に約50cmの段差が生じており、被災マンションの地盤が南側に傾斜していた。従って、Aブロックでは無被害マンション群は地下構造物上で支持されていたため、地域全体が液状化したにも拘わらず、不等

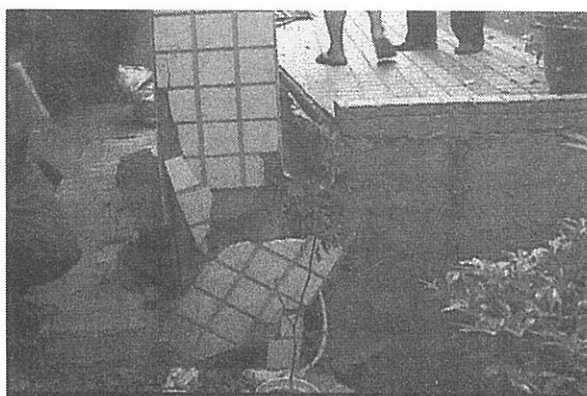


図-11 北端マンション地盤の沈下

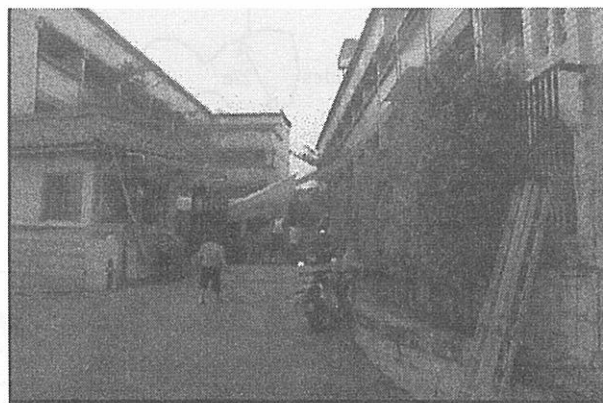


図-12 北端（右）マンションの傾斜
(BブロックからAブロック向き)



図-13 Bブロックの高層マンションの傾斜

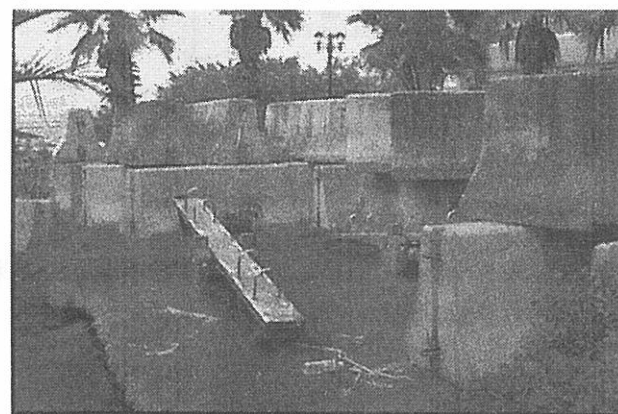


図-14 高層マンション正面での地盤隆起
(コンクリートブロックは隆起防止用重石)

沈下を生じなかったが、北端マンションのみ直接基礎であったため、地盤の液状化により、居住が困難なまま建物が傾斜する被害を被った。もし、杭基礎などの深基礎が施されていたなら、被害は軽減されていたと思われる。

Bブロックでは、14階高層マンションと3階マンションが建物の長手方向が平行になるよう建築されており、液状化のために地盤の不等沈下が発生し、両建物が互いに向かい合うように傾斜していた。14階高層マンションの基礎は地下1階構造の駐車場で構成されているようで、図-13のように、その出口は西側3階マンションの裏側道路となっている。噴砂が多量に地下駐車場出口及び駐車場内に見られる。液状化により、高層マンションの正面（東側）が上昇し、駐車場出口側（西側）で沈下が生じた。図-14は正面側の地面（地下駐車場）の上昇により生じた段差を示したもので、上昇地面上にはコンクリートブロックが重しとして置かれ、傾斜の進行を防ぐための応急処置とされているようである。

Aブロックでの被害と同様に、Bブロックにおいても、液状化対策として杭基礎のような深基礎は配備されていないようである。台湾の建設規準として、地下駐車場のような地下構造物がある場合には、深基礎の設置が軽減されるようで、このため、杭基礎の無い高層ビル建設が可能であったと思われる。被災マンションの修復工事として、傾斜補正は高層ビルについては特に非常に困難であり、また、何らかの液状化対策工を加

加えること無く修復工事を実施することは、将来に同様な被害を生じることとなる。

その他の地域における液状化被害調査

新聞報道等によると、台中県、南投県の各地で液状化被害が発生したと報道されていた。その1つとして、台中港南端に流れる鳥溪と呼ばれる川の河川敷で、高圧線用鉄塔基礎付近で液状化が発生したとされる事例を調査した。先述のように、台中港南端には火力発電所が建設されており、発電所からの送電施設として、鳥溪に沿って、数多くの高圧線用鉄塔が建設されている。現地での液状化状況を調査したが、図-15、16のように、河川敷で軽微な液状化は発生していたが、鉄塔基礎に被害は無かった。一方、発電所付近での液状化調査のため、発電所場内で聞き取り調査したが、地震時の被害としては震動により発電タービン用の冷却水パイプに破損が生じ、2つの発電タービンが停止したとのことである。その他の被害としては、発電所場外にある、温水排出のための地下コンクリート排水溝付近で、地面の陥没が生じていた(図-18)。また、排水を海へ放出するための堰堤(図-17)も少し変位を受けていたようである。当発電所は、台中港域内で埋立されているため、埋立地盤は被害があったバースと同様な土質から成ると思われるが、上記以外の地盤変状はなく、発電所は無事に稼働を続けられるようである。

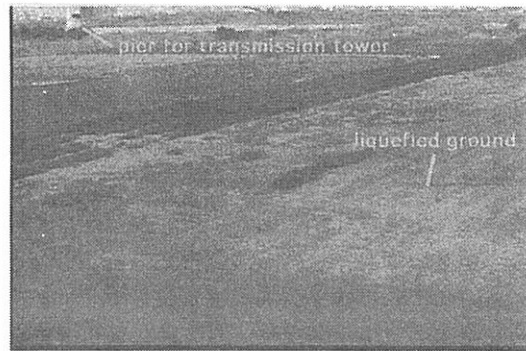


図-15 鳥溪河川敷での液状化

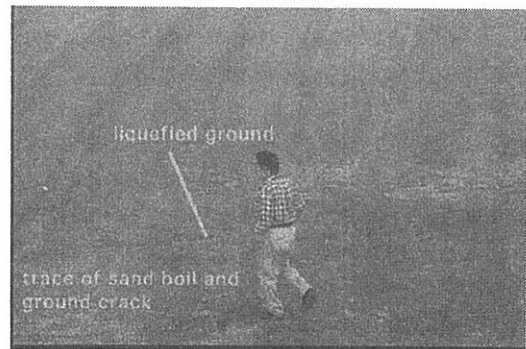


図-16 液状化現場の拡大写真

その他の液状化調査として、員林市南東部での調査と西沿岸埋立地での調査を実施した。調査した員林市南東部はかなり低地であり、地下水位はほぼ地表面近くである個所が多かった。地盤としては、黒色の有機質の干潟堆積物が多いようで、非常に軟弱な地盤である。調査した地域では、地盤変状や住宅沈下・傾斜などの被害が観察されたが、全域にわたるような大規模な噴砂の形跡はなかった。むしろ、数個の家で噴砂の跡が観察されたが、これは地域全体の液状化ではなく、軟弱地盤による地盤震動の増幅により家屋の被害や局所的な液状化が発生したものと考えられる。

西沿岸部埋立地の液状化調査として、鹿港や草港の埋立地を視察したが、護岸部や埋立地内での液状化被害は見られなかった。なぜ液状化被害が台中港のみ発生したのか、今後も、現地埋立材料の液状化強度や、地震動記録を基に、検討することが重要と考えられる。

その他の地盤災害

斜面崩壊: 今回の地震では、種々の形態で斜面崩壊が発生している。その1例として、草屯市と南投市の間にある猫羅溪右岸の道路建設現場で、軟弱地盤上の盛土が滑りを生じていた例を示す。図-19に示すように、崩壊土は猫羅溪支流の小河川にむけ移動・沈下したため、取り付け道路用の側壁コンクリートが大きく滑落している。崩壊の原因としては、地震動により盛土下部の軟弱層で強度不足が生じたためか、軟弱層で液状化が発生し強度低下したためと考えられる。



図-17 火力発電所の放出堰堤の変状



図-18 コンクリート排水溝近くの地盤陥没

その他の斜面崩壊としては、山麓部での崩壊がある。図-20は震源地である集集近傍で見られた崩壊例であるが、砂岩状の急傾斜面上部から滑落が発生している。震源地付近では、地震動が大きかったため、図のような比較的強度の高い斜面においても滑落が生じている。特に震源地付近では、山麓の頂上部で表土や風下層が滑落しており、禿山となった地形が数多く見られた。

断層変位による基礎構造物の被害：今回の地震では、断層変位が生じた場所において、数多くの基盤施設の被害が発生した。断層変位の規模や被害については、本調査隊の報告書で既に記述されているため、ここでは同様な被害例について数を限って示すこととする。図-21は名間市南部で発生した断層変位により、断層直上の高圧線鉄塔基礎が被害を受けた例である。断層変位としては、約3mの鉛直方向のずれが生じたため、鉄塔基礎の一部が沈降し、図のような鉄塔の傾斜が生じた。一方、図-22は名間橋の被害を示したもので、断層変位により橋脚基礎がねじり変位を受けている。このため、上部橋桁が落ちる被害が生じた。断層変位は手前の河川堤防で上下動として現れているが、橋脚基礎のどの深さでどのような変位が生じたか不明である。断層変位が生じる可能性がある地点を横切るような基盤施設の建設には、基礎設置深さでの変位等の情報が重要と考えられ、今後の調査継続が必要と思われる。

結論

本文は921集集地震における液状化災害を中心に地盤災害を述べたものである。液状化被害としては台中港や南投市におけるものを述べたが、特に高層マンションでの液状化被害から、建築基礎に対する教訓が示されたおり、今後の液状化地域での高層ビル建設に当たっては、十分な液状化対策が基礎構築時に検討されるべきである。その他の地盤災害として、断層上の構造物基礎が数多く被害を被ったが、この種の被害については過去の事例が少なく、特に深さ方向の断層変位の変化について十分調査すべきと考えられる。



図-4 護岸背後地盤での液状化

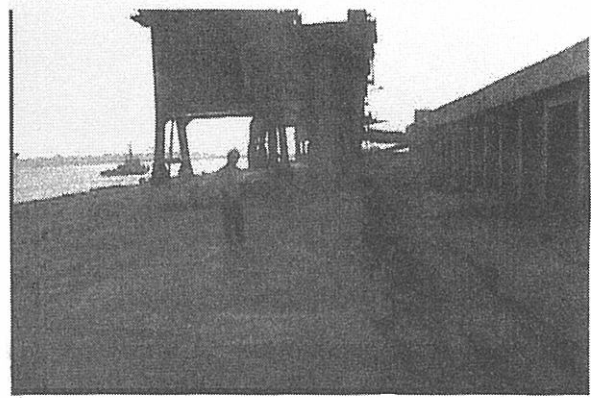


図-5 護岸背後の不等沈下

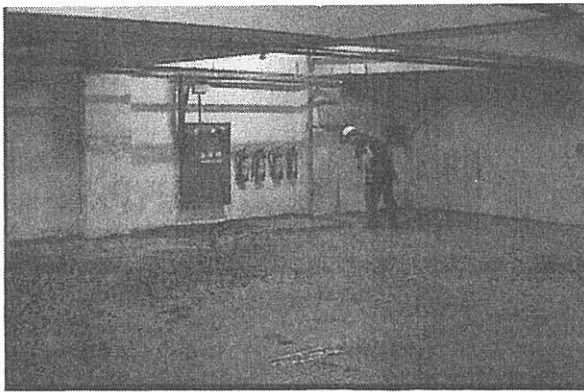


図-9 Aブロック地下駐車場の液状化



図-10 北端（左）マンションの傾斜(奥側：Bブロック)

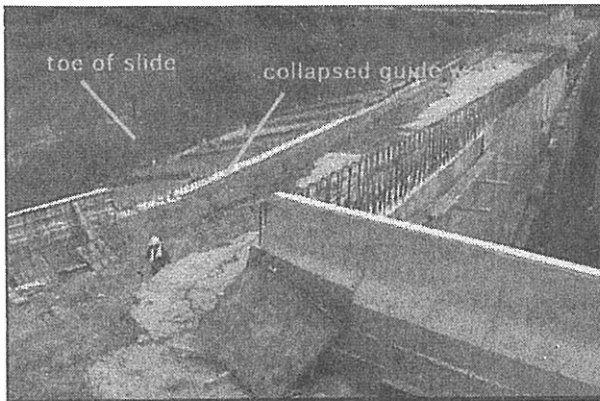


図-19 軟弱地盤上での斜面崩壊

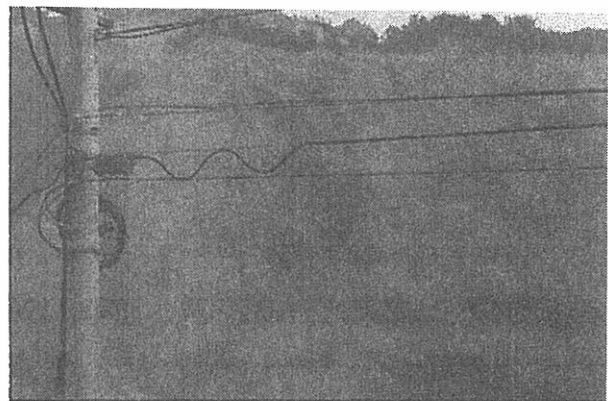


図-20 急傾斜崖での斜面崩壊

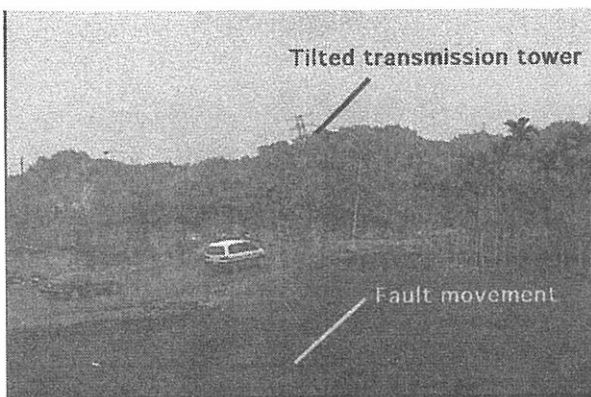


図-21 断層変位による高圧線鉄塔の傾斜

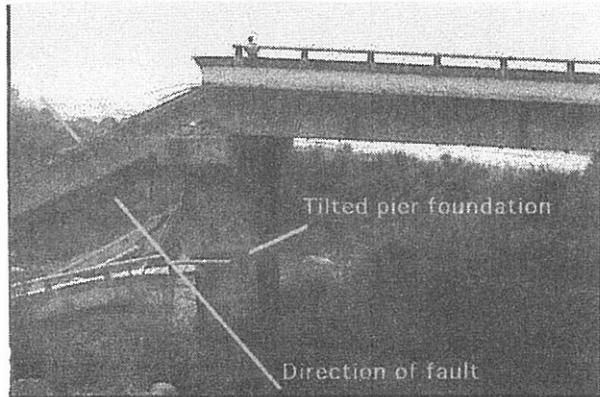


図-22 断層変位による橋梁基礎の破壊

