

## 2010年チリ Maule 地震による被害に対する災害緊急調査団報告

Reconnaissance Report on the Damage Caused by the 2010 Maule, Chile Earthquake

安 田 進 (やすだ すすむ)

地盤工学会調査団長 (東京電機大学教授)

小長井 一 男 (こながい かずお)

日本地震工学会調査団員 (東京大学教授)

菅 野 高 弘 (すがの たかひろ)

地盤工学会調査団員 (舩港湾空港技術研究所)

岡 村 未 対 (おかむら みつ)

地盤工学会調査団員 (愛媛大学教授)

飛 田 哲 男 (とびた てつお)

地盤工学会調査団員 (京都大学助教)

## 1. ま え が き

本年 (平成22年) 2月27日にチリ中部～南部にかけてマグニチュードが8.8といった巨大な地震が発生した。建物や道路、鉱さい堆積場などの被害が発生し、さらに津波による被害も甚大であるとの情報がはいってきた。その中には地盤変状に関係した被害もかなりあるのではないかと考えられた。特に、マグニチュードが8.8と巨大なため、種々の被害が広い範囲で発生していることが予想された。このため、地盤工学会では災害緊急調査団を派遣することを決定した。同時に、関連学会の日本地震工学会、土木学会、建築学会も調査団を派遣することを決定したため、四つの学会で合同調査団を組むこととした。調査結果の概要を以下に示す。詳細な報告は学会のホームページに載せたので、そちらを参照していただきたい。

## 2. 調査範囲と地形・地質概況

現地調査は3月28日 (日)～4月4日 (日) まで行い、5日には Santiago (サンティアゴ) でチリ側の研究者と一緒に、チリの技術者・研究者向けにセミナーを開いた。調査範囲は Santiago から Concepción (コンセプション) そして更に南の Lebu (レブー) までの南北約600 km、東西約100 km の範囲である。

チリ国は総延長約4 330 km、平均幅約175 km の南北に細長い国である。西側は太平洋に面し、東側には標高が3 000～7 000 m といった高い Andes (アンデス) 山脈が連なっている。北部では Atacama (アタカマ) 砂漠に代表される1年を通してほとんど雨が降らない乾燥した砂漠地帯が広がる。La Serena (ラ・セレーナ) あたりから南に Santiago, Talca (タルカ) といったチリ中部になると地中海性の気候の田園地帯になり、Concepción から南になるにつれて、緑が増え、森林に覆われ湿度も高くなる。Valdivia (バルディビア) 付近では湖沼と森林地帯からなる美しい景観が広がる。さらに南の南緯40度以南は、Patagonia (パタゴニア) 地方であり、1年の大半が冬という寒冷気候である。今回の

調査範囲はこれらのうち、中部の地中海性気候の地帯に該当する。ただし、それでも降雨量は少なく、Santiago で年間降水量は約350 mm しかない。

チリでは海洋プレートが大陸の下に直接もぐりこんでいて、そこにアンデス山脈が形成されている。アンデス山脈は海岸山脈、主脈、前山脈の三つの列からなる。海岸山脈は起伏の小さい丘陵状の山脈で、海とは直線的な急崖で接している所が多い。主脈との間は中央縦谷と呼ばれる構造的な凹地で、主脈から流下する河川堆積物で埋められた堆積平野となっている。海岸山脈は新生代第三紀の地層などで構成されている。これに対し、中央縦谷ではそれより新しい新生代第四紀の堆積物で構成されている。海岸にも一部第四紀の堆積物があるが、その範囲は狭い。

## 3. 被災箇所の調査結果

調査した箇所のうち、代表的な箇所のみの被災状況を構造物の種類ごとに以下に示す。

## 3.1 液状化による建物等の被害

液状化による建物の被害は Concepción および近郊で見られた。いずれも原地盤で一面に液状化が発生したような状態ではなく、湿地を埋立てたり、掘削して埋戻した砂が液状化したのではないと思われる。口絵写真—17は Concepción の Los Presidentes (ロス・プレジデントス) における8階建てのアパートを示す。ここでは4棟のうち2棟が傾いた。住民の話によると0.77度ほど傾いたようである。また、湿地を4 m ほど掘削して砂で埋戻した上にアパートを建てたとのことである。建物周囲には液状化が発生した痕跡が残っていた。同様な沈下が近くの Curanilahue (クーラニラウエ) の5階建ての病院でも発生していた。

口絵写真—18は Concepción の Bayona (バイオナ) における戸建て住宅の沈下状況を示す。この地区の家屋は同様な沈下をしていた。沈下量の最大は17 cm 程度であった。同様な液状化による家屋の沈下は Concepción の他の地区でも発生していた。

Bayona の近くの San Pedro del Valle (サン・ペドロ・

デル・バージェ)では下水貯留タンクが口絵写真—19に示すように約1.2 mほど浮き上がっていた。チリ大学のVerdugo (ベルドゥゴ) 博士によると、他にも水タンクや通信用マンホールの浮上がりが周辺の町で発生したとのことである。

### 3.2 津波の発生およびそれによる構造物の被害

今回の地震は海岸近くで発生し、また、規模が大きかったため、太平洋沿岸で大きな津波が発生し、多くの町で甚大な被害を受けた。ただし、海岸線の各地で同じ程度の高さの津波が生じたのではなく、地区ごとに津波高さが大きく異なっていた。口絵写真—20には筆者達が訪れた地区の一つとしてDichato (ディチャット) の被害状況を示す。地震前は海岸線に沿って家屋や道路があったとのことであるが、津波襲来後は地盤が大きくえぐられ、橋やマンホールなどの残骸が散在していた。

### 3.3 道路盛土および橋梁の被害

道路橋の被害としては河川を横断する橋梁、鉄道をまたぐ高架橋、およびSantiago市内の高架橋で大小の被害が発生し、同時にそれらの取付け盛土の被害も発生した。口絵写真—21には今回の被災範囲の内の南に位置するTubul (テップール) における落橋状況を示す。この一帯は沖積地盤であり、二つの河川の河口部を横断する道路橋が落橋し、また、取付け盛土も口絵写真—22に示すように大きく崩壊した。Concepción市内を流れる大河川のBiobio (ビオビオ) 川には全長2 kmあまりの橋が架けられているが、そのうちの最も古いViejo (ビエッホ) Biobio橋が落橋していた。また、Juan Pablo (ファン・パブロ) II橋では橋脚の多くが沈下していた。

一方、中央縦谷を南北に走る幹線道路の5号線のうちPaso Superior Hospital (パソ・スペリオール・ホスピताल) では、鉄道をまたぐ橋が落橋し、取付け盛土にすべりや沈下の被害が発生していた。また、Lota (ロータ) では口絵写真—23に示すように、鉄道をまたぐ道路盛土が大きく崩壊し、鉄道盛土も沈下していた。道路の崩壊部分には自動車が転落していた。

なお、Santiago市の中心地はMapocho (マポチョ) 川の扇状地となっており、砂礫地盤からなっている。これに対し、Santiagoで落橋した高架橋は市内の北西の緩い砂またはシルトからなる地盤に位置していた。

### 3.4 港湾施設の被害

Concepciónの南に位置するCoronel (コロネール) 港には多くの港湾施設があるが、このうち漁港では口絵写真—24に示すように縦桟橋が甚大な被害を被っていた。周囲の砂浜では口絵写真—25に示すように大きな地割れが生じており、液状化に伴う地盤の流動が発生し、これにより縦桟橋に圧縮力が働いて座屈被害を生じたのではないかと考えられた。近接する一般貨物用縦桟橋の背後地盤でも同様の液状化に伴う地盤の流動が発生していた。ただし、この縦桟橋ではアクセス桟橋の杭が海側に押されて傾くだけに留まっていた。

### 3.5 ダムの被害

ゾーン型フィルダムのCoihueco (コイウエコ) ダム

が口絵写真—26に示すように被災した。写真にみられるように上流側斜面の一部が貯水池方向へすべり、また堤頂に縦断亀裂が発生した。ただし、堤頂コア部分の沈下はほとんど確認されなかった。

### 3.6 鉱さい堆積場の被害

チリは鉱物資源が豊富で、銅などが主要な輸出品となっている。そのため、鉱さい堆積場も各地に多く造られてきている。このうち、今回の地震では3箇所の鉱さい堆積場が液状化に起因した被害を受けた。その一つのLas Palmas (ラス・パルマス) の鉱さい堆積場の被害を口絵写真—27に示す。ここは金の鉱山の堆積場で、13年前までに三つの押止堤が造られそのポンドに鉱さいを堆積してきていたが、その後廃止されていた。押止堤の崩壊によって鉱さいが流出した範囲を測定したところ、長さ約650 m、最大幅250 mに及んでいた。流出した先端付近に民家があり、一家4名が犠牲となった。上流には崩壊しなかったポンドが残っており、そこには口絵写真—28のように鉱さいが液状化した痕跡が残っていた。

### 3.7 海岸部の斜面崩壊および隆起

今回の地震による被災範囲内では、前述したように海岸山脈はなだらかであり、大きな斜面崩壊は生じていなかった。これに対し、海岸の急崖では比較的大きな斜面崩壊が発生していた。口絵写真—29にLas Peñas (ラス・ペニャス) における崩壊状況を示す。ここは北北東～南南西に向いた三つの平行した尾根が海岸に張り出してきている特異な地形である。崩壊面の高さは約100 mで勾配は1:0.5程度であった。なお、この付近から海岸線に沿ってLebu (レブー) 手前までの海岸で崖の崩壊がいくつか発生していた。また、海岸線において隆起が見られた。

### 3.8 その他の被害

いくつかの中層の建物がSantiagoなどで震動によって被害を受けた。口絵写真—30にSantiagoの西側に位置するMaipú (マイプ) において被災したアパートを示す。柱は非常に薄いものであり、震動によって壊れやすかったのではないかと考えられた。

## 4. あとがき

今回の地震はマグニチュードが大きく、被災範囲は約600 kmにわたって広がった。ただしその割に津波による被害を除いて、一般に被害が甚大でなかった。現地調査を通して考えられた理由としてはチリでは主要な構造物では耐震設計が行われていることや、軟弱な地盤が南部の方しかなく、全体に良好な地盤であり、液状化や大きな増幅をするような軟弱地盤が少なかったこと、などが挙げられよう。

なお、現地の調査にあたっては、Verdugo 博士 (チリ大学) などにお世話になった。また、4学会の合同調査団として北川良和団長を始め、多くの方々にお世話になった。末筆ながらお礼を申し上げる次第である。

(原稿受理 2010.6.11)