

平成22年(2010年)チリ・マウレ地震 被害調査速報

飛田 哲男*・安田 進**・小長井 一男***・岡村 未対****・菅野 高弘*****

Preliminary Report of Reconnaissance of the 2010 Maule, Chile, (Offshore) Earthquake

Tetsuo TOBITA*, Susumu YASUDA**, Kazuo KONAGAI***,
Mitsu OKAMURA**** and Takahiro SUGANO*****

Abstract

A large earthquake (Mw 8.8, 35.909 S, 72.433 W, Depth=35 km) occurred on February 27, 2010, at 3:34 AM (local time) offshore Maule, Chile. The earthquake took more than 340 lives and nearly 100 people have been missing (as of March 20, 2010). The epicenter is located 340 km Southwest of Santiago, and about 100 km North of Concepción. Most of damaged sites due to this earthquake are located in the area between Santiago and Concepción where the reconnaissance was conducted from March 28 to April 4, 2010. As a quick report, characteristics of geology, seismology, damage to bridges, ports, embankments, tailings dams, architectures, buried structures, and structural damage associated with liquefaction are reported briefly.

キーワード：2010年2月27日，地震災害，海溝型地震，チリ

Key words：February 27, 2010, Earthquake disaster, plate boundary earthquake, Chile

1. はじめに

2010年2月27日午前3時34分(現地時間)，チリ国マウレ (Maule) 州沿岸部を震源 (35.909 S, 72.433 W, Depth = 35 km) とするマグニチュード 8.8 の巨大地震が発生し，広い範囲で地震動や津

波による被害が発生した(図1)^{1,2)}。USGS によると，震源断層上広い範囲でメルカリ震度 VIII (JMA 震度 5 強相当) の揺れであったと推測されている³⁾。これを受けて，我が国の地震工学分野の関連学会，日本地震工学会，土木学会，地盤工学

* 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
** 東京電機大学
Tokyo Denki University
*** 東京大学
University of Tokyo

**** 愛媛大学
Ehime University
***** 港湾空港技術研究所
Port and Airport Research Institute

本速報に対する討論は平成22年11月末日まで受け付ける。

会、日本建築学会の4学会協同による合同調査団が編成され、地震から約1カ月後の3月28日から4月4日にかけて現地調査を行った。著者らは主に地盤工学に関連する被害調査を行ったが、本速報では、先ず震源域の地質と地震の概略について述べた後、著者らが調査した地点の被害の概要について報告する。今回の主な調査範囲は、サンチャゴ（Santiago）（人口4,837,00）から南へ約450kmに位置するコンセプション（Concepción）（人口215,000）との間の地域である。この範囲は本震の震源域にほぼ相当する（図1）。



図1 2010年2月27日チリ・マウレ地震の震央と震源域²⁾に加筆

2. 震源域の地形・地質と地震の概要

南米大陸の西部、南太平洋に面するチリは、南北4,300km、東西の平均幅175kmという細長い国土を有しており、北にペルー、東にアンデス山脈を挟んでボリビア、アルゼンチンと国境を接している。この地域は、年5.5cmから7cmの速さで東へ移動するナスカプレートが南米大陸に衝突している地域であり（図2）⁴⁾、南米大陸の西に標高6,000mを超えるアンデス山脈が、また西海岸の沖合いには全長5,900kmを超える非常に長いペルー・チリ海溝が形成されている⁵⁾。このためプレート境界で発生する海溝型地震が多く、これまでにマグニチュード8を超える大地震と大津波が頻発している（図3）。特に20世紀以降最大規模であったとされる1960年チリ大地震（M9.5）の震源域は1,000kmを超えると推定されている。今回発生した地震の震源域はその地震の震源域の北に位置し（図3）、震源断層の長さはサンチャゴからコンセプションに至る約450~500km、最大滑り量は11mであると推定されている（図4）^{6,7)}。震源メカニズムは、東に約15度から18度傾斜の低角逆断層型であり、沈み込み帯の比較的浅いところに震源があると推定されている⁷⁾。

今回の震源域であるサンチャゴからコンセプションへの主要幹線は、アンデス山脈と海岸山脈にはさまれた中央盆地（Central Valley）を通る国道5号線（パンアメリカンハイウェイ）である。中央盆地には

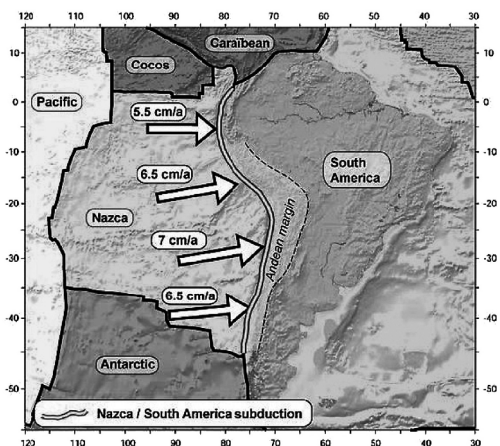


図2 南米大陸太平洋岸のプレート群⁴⁾

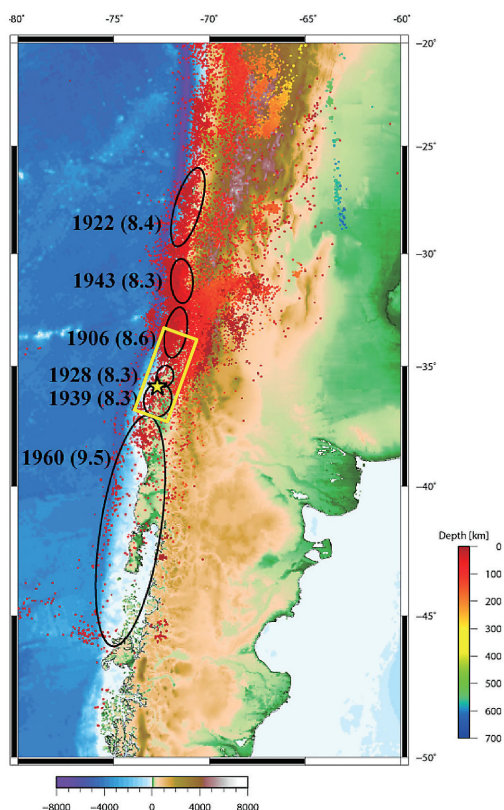


図3 今回の地震（四角枠）と過去の大地震の震源域⁶⁾に加筆

広大なブドウ園をはじめとする農園が広がっており、銅と並んでチリの経済を支えている²⁾。

アンデス山脈を源流とする多くの河川が、海岸山脈により流れを阻まれるため、中央盆地には肥沃な堆積土による湿地帯が形成されている。海岸山脈は標高1,000m程度であり、その地質は変成岩、貫入岩が卓越したものとなっている。この中央盆地から海岸山脈西部の太平洋岸に大都市はなくコンスティトゥション（Constitución）（人口45,800）が最大規模の街である⁸⁾。

首都サンチャゴ市内にはサン・クリストバル（San Cristóbal）と呼ばれる標高880mの山があり、市民の憩いの場となっている。この山を境に市の南部と北部とで表層地質が変化する。すなわち、サン・クリストバルの南には市内中心部を東から西へ流れる比較的流量、流速の大きなマポチョ（Mapocho）川が形成する扇状地が広がっている。これに対し、サン・クリストバル北西部には、大きな河川がないため細粒分の卓越する粘性土地盤となっている⁹⁾。今回の地震では、サンチャゴ市内の環状高速道路の道路橋が数地点で落橋したが、いずれも市内北部の粘性土の卓越する地点で発生した。

今回の地震で大きな被害が発生したコンセプシ

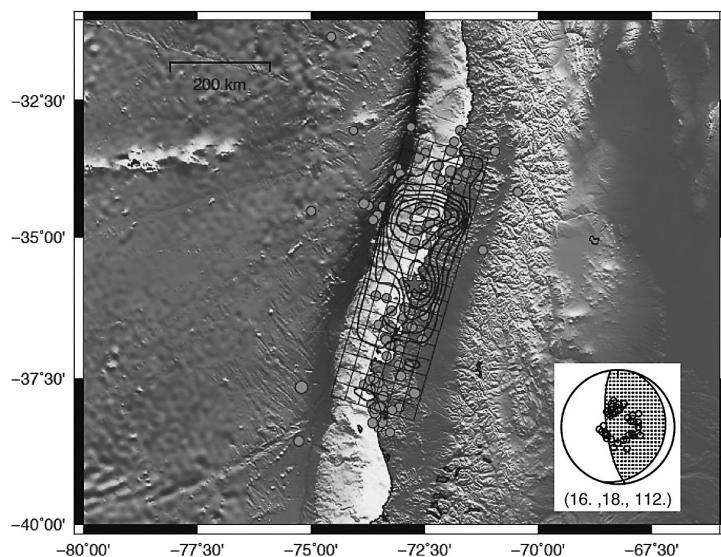


図4 2010年2月27日チリ・マウレ地震の震源メカニズム⁷⁾

オンは、アンデス山脈に源流をもちコンセプションへ向かって北流するビオビオ（Bio Bio）川の河口部右岸に位置する。現在のビオビオ川の河口部は、コンセプション西部で西へ大きく向きを変え太平洋に至る（図5）。本調査時期（4月初旬）は現地の秋口であったが水量は豊富であった。河口部の川幅は約2 kmに達し、右岸に位置するコンセプション市と左岸に位置するサン・ペドロ・デ・ラ・パス（San Pedro de La Paz）との間には、3本の橋がかかっている。

コンセプション市内平野部の表層地質は細粒分を多く含む有機質を含まないシルト質土（ML）が占めている（図6）¹⁰⁾。コンセプション空港の北には広大なデルタ地形が見て取れる（図5）。このあたりはコンセプションの東を北流するアングリエン（Andalién）川の氾濫原であったことが推察されるが、表層地質は有機質を含まない粘性土（CL, CH）が卓越する。また、コンセプションの対岸にあたるサン・ペドロ（San Pedro）地区の表層地質は、川に近いところでは細粒分の少ない砂

質土（SW, SP）が卓越し、やや内陸に入ると粘性土の卓越する地域が見受けられる¹⁰⁾。あとで述べるように、コンセプションに液状化被害が集中したのは、河口部に位置するため地下水位が高いことと、住宅や土木構造物の建設に当たり細粒分を多く含む堆積土を置き換えたり盛土した砂質土が液状化したためであると考えられる。また、サン・ペドロにおける液状化被害についても、原地盤に粘性土が卓越する地点で発生していることから、同様の砂質土の液状化によるものである可能性が高い。

またこの地震では、震源に近いコンスティトゥションとコンセプションで西向き約3 m、アラウコ（Arauco）で鉛直3 mの地殻変動が観測された（図7）¹¹⁾。またアルゼンチンのブエノス・アイレス（Buenos Aires）付近も約5 cm西へ移動したものと推測されている。写真1は、アラウコ半島で見られた地殻変動である。隆起した部分の岩に付着していた海藻や貝が乾燥して白く変色している。図8は、「だいち」PALSARによるInSAR解

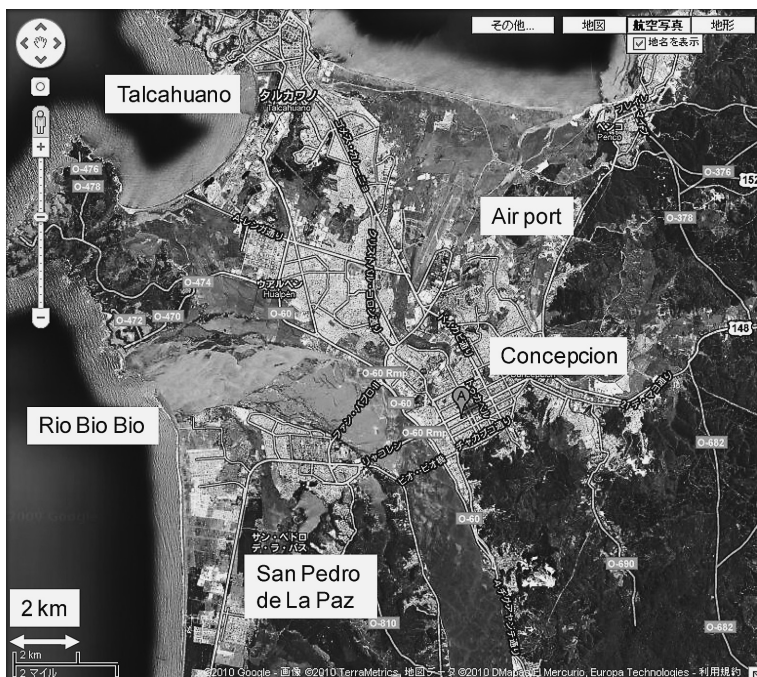


図5 コンセプション周辺の概観

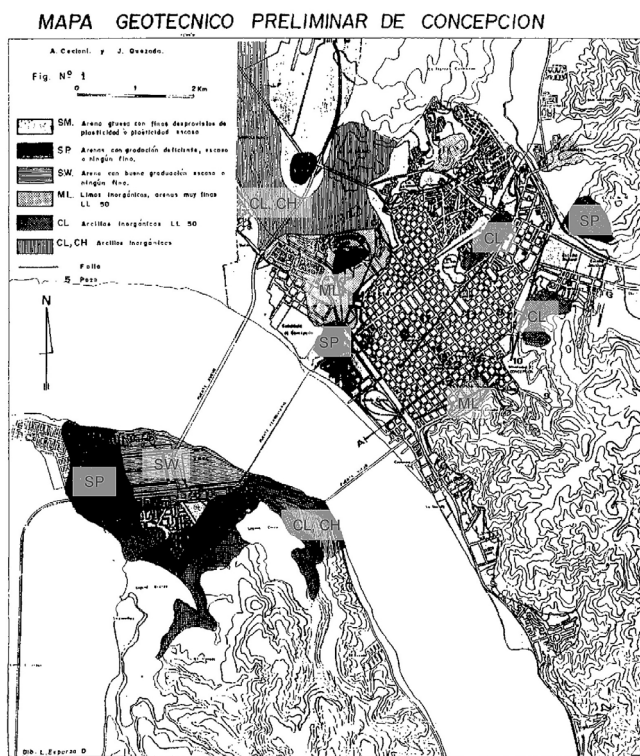


図6 コンセプションの表層地質¹⁰⁾

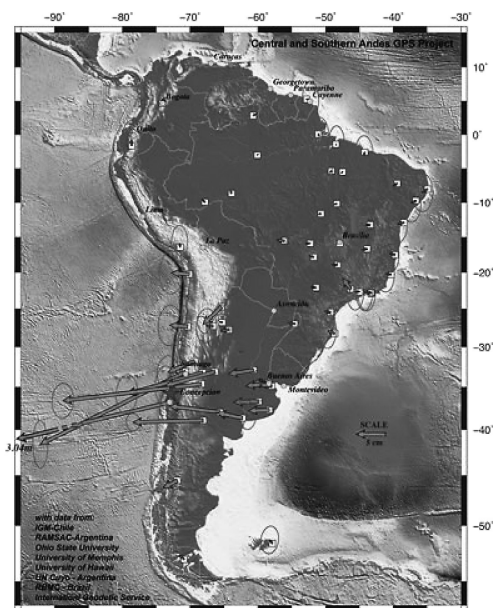


図7 2010年2月27日チリ・マウレ地震による南米大陸の地殻変動¹¹⁾



写真1 本調査で観測されたアラウコ半島 (Arauco Peninsula) の隆起の様子

析画像¹²⁾であるが、コンセプトシオンの南約200kmの沿岸部からバルパライソ (Vaplaraiso) の南まで、約600km にわたって地殻変動に伴う多くの縞模様が見られる。衛星の視線方向と縞模様の繰り返し回数から、この地域で2 m 以上の隆起があったことが推定される。

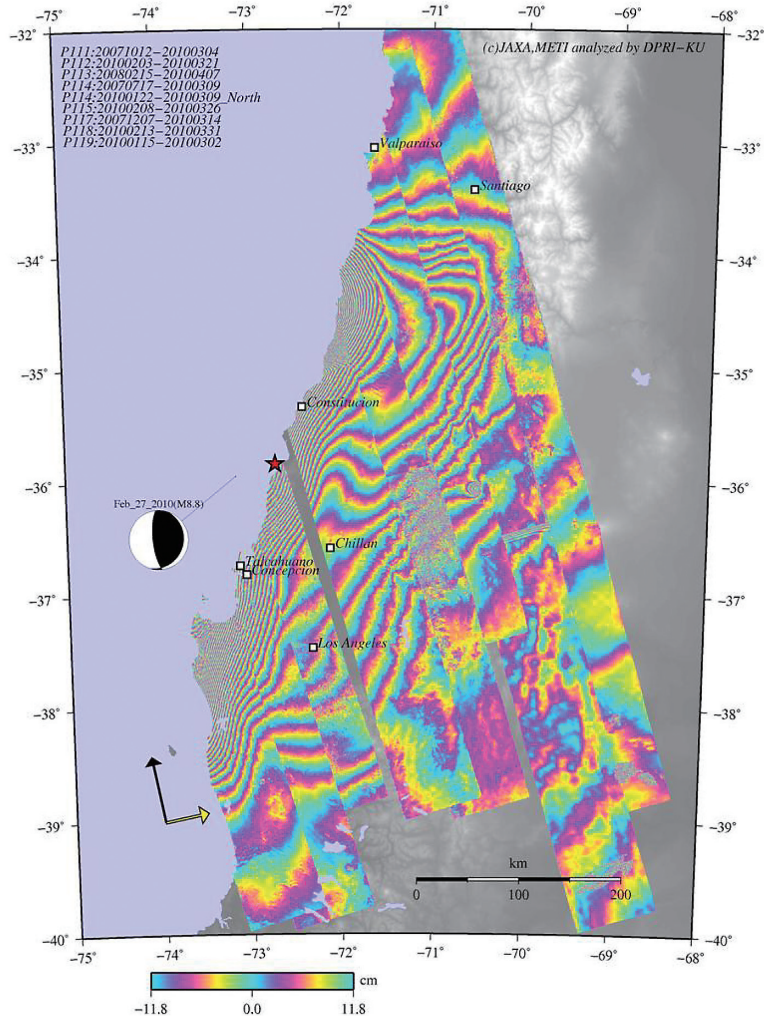
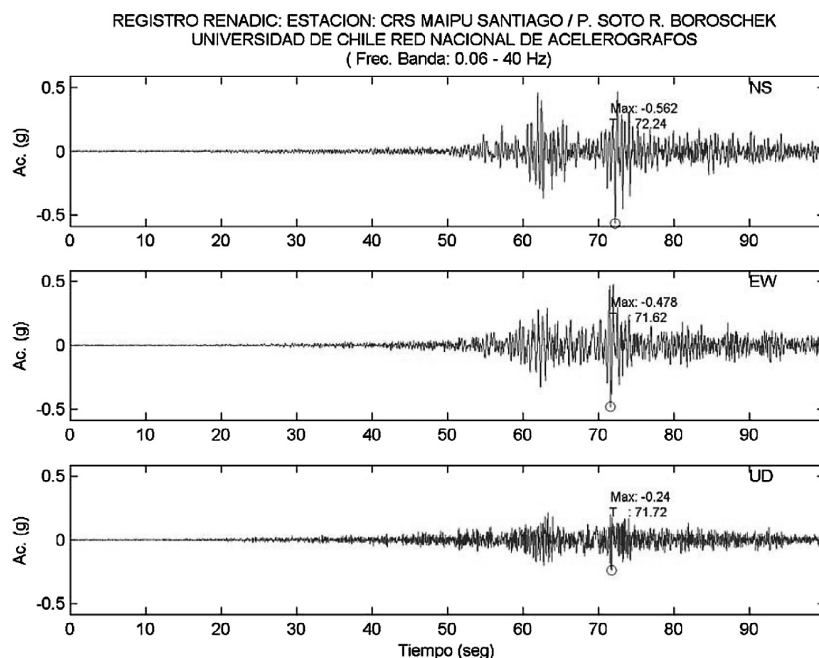


図8 2010年2月27日チリ・マウレ地震における InSAR 解析画像¹²⁾

またこの地震では津波が発生し、チリ沿岸部だけでなく太平洋沿岸部の広い範囲に到達したことが報告されている¹³⁾。1960年の地震では、最大波高6 mの津波で北海道から千葉県沿岸部で119名が亡くなっている¹⁴⁾。今回の地震では、津波は北海道から沖縄に至る太平洋沿岸部各地で観測され、最大波高は約2 mであったとの報告もある¹⁵⁾。

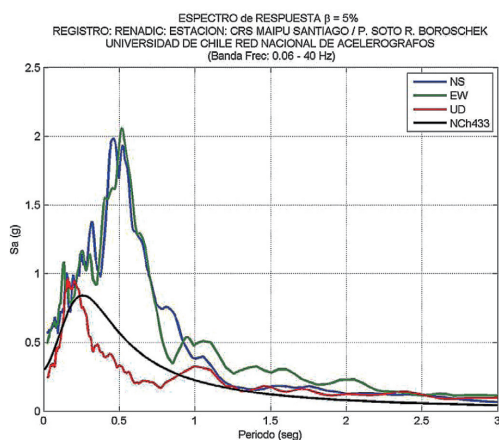
チリでは、チリ大学が中心となって強震観測点を設置しており、震源から約100 km 南に位置するコンセプションのColegio San Pedoroで最大水平加速度0.65 g (NS)、最大鉛直加速度0.6 g (UD)

が得られている⁴⁾。また、震源から約340 km 離れたサンチャゴ市内においても、最大水平加速度0.56 g が観測された¹⁶⁾(図9)。ここで、図9に示す加速度時刻歴の波形に着目すると、振幅の大きな二つの山が見られる。Poiala・纈纈(2010)⁷⁾は、サンチャゴで被害が発生したのは、震源(図4の星印)の北側に滑りの大きなアスペリティーが広がっていること、また主要な断層破壊が震源から北方へ向かったことなどが原因であると推測している。サンチャゴの波形に見られる波形の二つの山はこれを反映したものであると思われる。サン

図9 サンチャゴ (CRS Maipu) で観測された加速度時刻歴波形¹⁶⁾

チャゴの観測点 (Maipu) は、アパートの倒壊現場に近いところであり、局所的に軽石を含む地質が卓越している地域である。図10は、図9より得られた加速度応答スペクトルであるが、水平成分の卓越周期は0.5秒となっている。サンチャゴで記録された他の記録をみても、長周期成分の影響は小さいことがわかる。

震源から北東に約200 km 離れた中央盆地に位置するクリコ (Críco) は、人口の集中する中規模の街であるが、アドベ造の倒壊が目立った。市内の強震観測点において最大水平加速度470 gal が観測されている¹⁶⁾。地震計は半壊した病院から道路を隔てた建物の中に設置されていた。この位置で微動観測もされているが、その詳細は4学会合同調査団報告書を参照されたい¹⁷⁾。震源のほぼ直上の街コブクエクラ (Cobquecura) では、アドベ造の倒壊が多くみられた。また、屋根の瓦だけが破損しているものも数は少ないが見受けられた。2010年4月3日現在、チリの関係機関とアメリカやペルーなどの関係機関が地震計を設置して140

図10 サンチャゴ (CRS Maipu) で観測された加速度時刻歴 (図9) より得られた加速度応答スペクトル¹⁶⁾

観測点において余震観測がおこなわれている⁴⁾。図11は、発震から36日後までのマグニチュード4.7以上の余震発生回数の推移を示したものである⁴⁾。これによると、本震後約7日で余震の数は

急減しているものの、18日後にもマグニチュード7程度の地震が発生していることがわかる。しかし、それ以後の余震は比較的規模も小さく、余震回数も減少してきている。また、調査期間中に

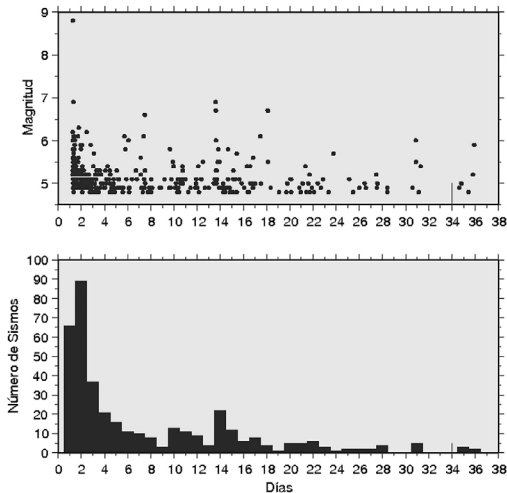


図11 発震から36日後までのマグニチュード4.7以上の余震発生回数の推移⁴⁾

も、4度大きな揺れを感じた。

今回の調査中に見られた主な被害とそれらの位置を図12に示す。震源から約340km離れたサンチャゴでは環状高速道路橋の橋桁の崩落(写真2)、アパート3棟の全半壊が見られた。また、サンチャゴからコンセプションへ向かう国道5号線に沿って、道路盛土および道路橋、歩道橋の落橋、道路・鉄道盛土の崩壊、サイロの倒壊(写真3)、水・ガソリンタンクの浮上等の被害が見受けられた。

3. 橋梁の被害

サンチャゴ市内では、北部の環状高速道路橋の橋桁が落橋した(写真2)。被災した橋桁の多くは、橋台が桁に対し斜めになっている斜橋と呼ばれる形態のものであり、90年代後半に建設された新しいものである。落橋の原因として、原地盤に細粒分を多く含むため地震動が増幅されたものと推察されるが、橋脚、橋台は無被害であったことから落橋防止装置の不備、桁の掛り長が短いことが主たる要因であると考えられる。

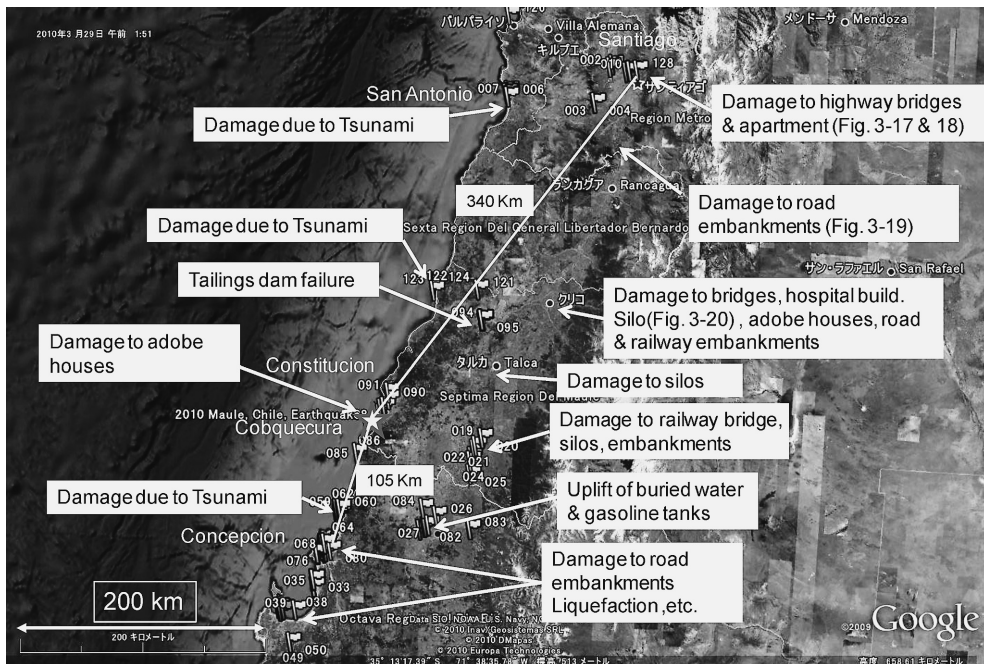


図12 今回の調査で見られた主な被害と位置



写真2 サンチャゴの環状高速道路橋の橋桁の崩落 (写真: AFP)



写真3 Talca 付近で見られたサイロの被害

サンチャゴから南へ約50kmの Paso Superior Hospital では、片側2車線の国道5号線と一般道が鉄道を跨ぐ地点である。落橋したのはやはり90年代後半に建設された5号線北行きの斜橋と一般道の斜橋である。損傷を免れたのは、5号線南行きの直橋であるが、これは90年代以前に作られたものである。チリでは80年代初頭からの民営化政策により、主要道路、高速道路、港湾、空港等の公共施設の民営化が進み、その過程で構造物の耐震性の確保が軽視されたと思われる事例も見受けられる。しかし、地震後の復旧作業は迅速であるとの印象を受けた。

国道5号線クリコータルカ間に位置する Claro (クラロ) 橋は、1870年に建設されて以来、長年にわたり供用されてきた歴史的価値の高いレンガ造アーチ橋である。しかし今回の地震で5つの橋脚が崩壊した(写真4)。この橋と並行して架かる国道5号線の橋の損傷は軽微であったため自動車の通行は可能であった。またその上流部に架かる鉄道橋の取付け盛土に沈下が見られレールが浮いた状態になっていた。

コンセプションでは、最上流に位置するビオビオ橋と、最下流に位置するファン・パブロ2世

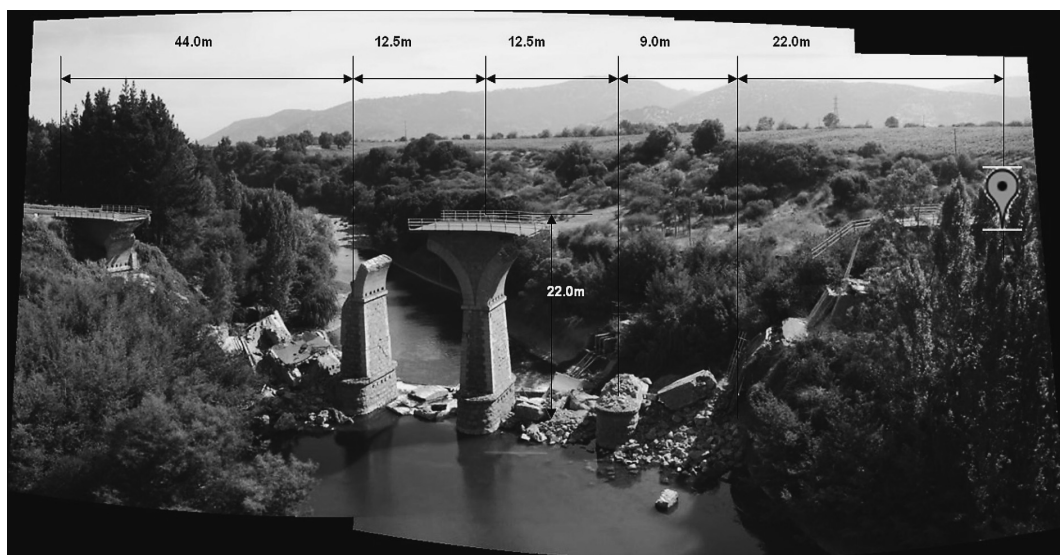


写真4 クラロ橋の落橋状況

（Juan Pablo II）橋が被災したため供用は制限され、リャコレン（Líacolén）橋のみ車の通行が可能であった。ただし、ビオビオ橋は、1960年のチリ地震以降も使用されていたが、1990年代に行われた耐震診断以降降人道橋としてのみ使用されていたとのことである。アラウコでは、ピート質地盤が卓越する河口部の3つの橋梁の橋桁が落下した。写真5は最も東に位置する Tubul 橋であるが、震動あるいは橋脚の移動により桁が左岸側に押されたためか、また桁の掛り長も短かったため、ほぼすべての桁の右岸側が落下している。

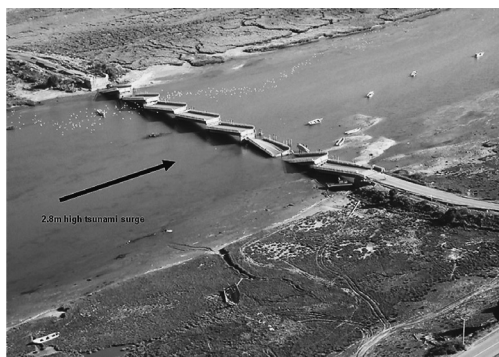


写真5 Tubul 橋の落橋状況

4. 港湾の被害

Coronel（コロネル）港には、北から一般貨物用、コンテナ用、石炭用（建設中）の3つの縦桟橋（図13）が設置されているが、このうち一般貨物用に用いられていた縦桟橋の陸側の杭（直径60cm）に、底部が海側へ移動する変形（傾斜角12度）が

見受けられた。この地点は基盤深さがGL-70mと深いため、杭長55mの摩擦杭で桟橋を支持しているとのことである。コンテナ用の桟橋については、陸との取付け部以外、桟橋本体及び杭は無被害であった。この桟橋の斜杭の杭頭部に鉛プラグ入り積層免震ゴムが取り付けられていたが、こ



図13 Googl Map によるコロネル港の概観

れが有効に機能しかたどうかについては今後の調査が待たれる。

Coronel 港は、もともと砂浜であった海岸線に根入れ長 4 m の自立矢板(写真 6)を設け、その背後を埋立て、アスファルト舗装とインターロッキングブロックを併用しコンテナヤードとしている。今回の地震により自立矢板に目立った損傷は見られなかったが、やや海側にせり出しが見られた。さらに、矢板背後から約 50 m の範囲で海岸線に並行なクラックが入っており、開口幅の積算値は約 1 m であった(図 14)。

その他、漁船用の小規模な栈橋では、海岸線の地盤が海側に移動したため、栈橋が座屈したように杭が垂直に突出したり沈下しているものも見受けられた。Valparaiso (バルパライソ)では、重力

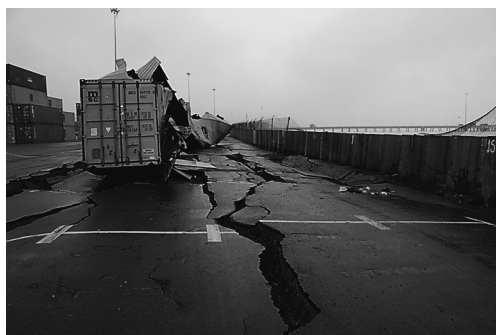


写真 6 コロネル港の自立矢板岸壁背面のコンテナヤードに発生したクラックの状況

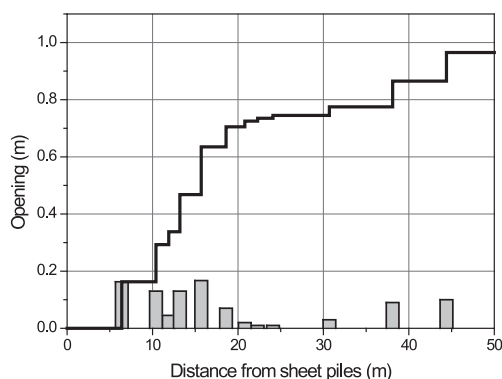


図 14 コロネル港におけるクラックの積算値から求められる地盤変動量

式岸壁の傾斜、天板の亀裂などが見受けられたが、いずれも軽微な被害であった。

5. 盛土の被害

サンチャゴから国道 5 号線で南へ約 50 km 地点の落橋した Paso Superior Hospital 橋では、取付け部の盛土天端の沈下と法面の崩壊があった(写真 7)。この橋は鉄道を跨ぐため、取付け盛土の最大高さは取付け部で約 9 m と比較的高く、法面勾配(被災後)は 1:1.5 から 1:2.1 であった。盛土天端には縦断クラックが多数見受けられた。現場周辺を観察したところ、湿地帯であり地下水位はほぼ地表面付近であった。盛土の復旧には、粒度のよい砂礫とジオテキスタイルを併用していた。

Lota (ロタ) 北部では、片側 2 車線のバイパス道の北行きの盛土が崩壊し、自動車 1 台が転落していた。もともと片側 1 車線の盛土の東側に腹付した盛土が崩壊したものと思われる。崩壊面から観察される盛土材は、付近の海岸で採取される玄武岩質の粗砂であり、この砂の締固め不足が崩壊の原因であると推測される。また、原地盤は湿地帯であることから軟弱地盤による地震動の増幅も影響したのではないかとと思われる。

6. 鉱さい堆積場の被害

今回の地震では、3 か所の鉱さい堆積場が被災したとのことである。このうち Las Palmas (ラス・パルマス)の金の鉱さい堆積場では、堤体が崩壊、流出した鉱さいが下流の住宅に達し住民 4



写真 7 国道 5 号線に隣接する一般道の盛土天端の被災状況

名が亡くなった(写真8)。付近の住民によるとこのダムは、1981年から1997年の間に建設され、3つのダムからなるとのことである。今回被災した

のは、2番目のダムであると推察される。図15に示すように、このダムの堤体高さは、法面勾配が1:2であると仮定すれば、約25m程度である。



写真8 ラス・パルマスの鉱さい堆積場の滑落崖と下流の崩壊状況

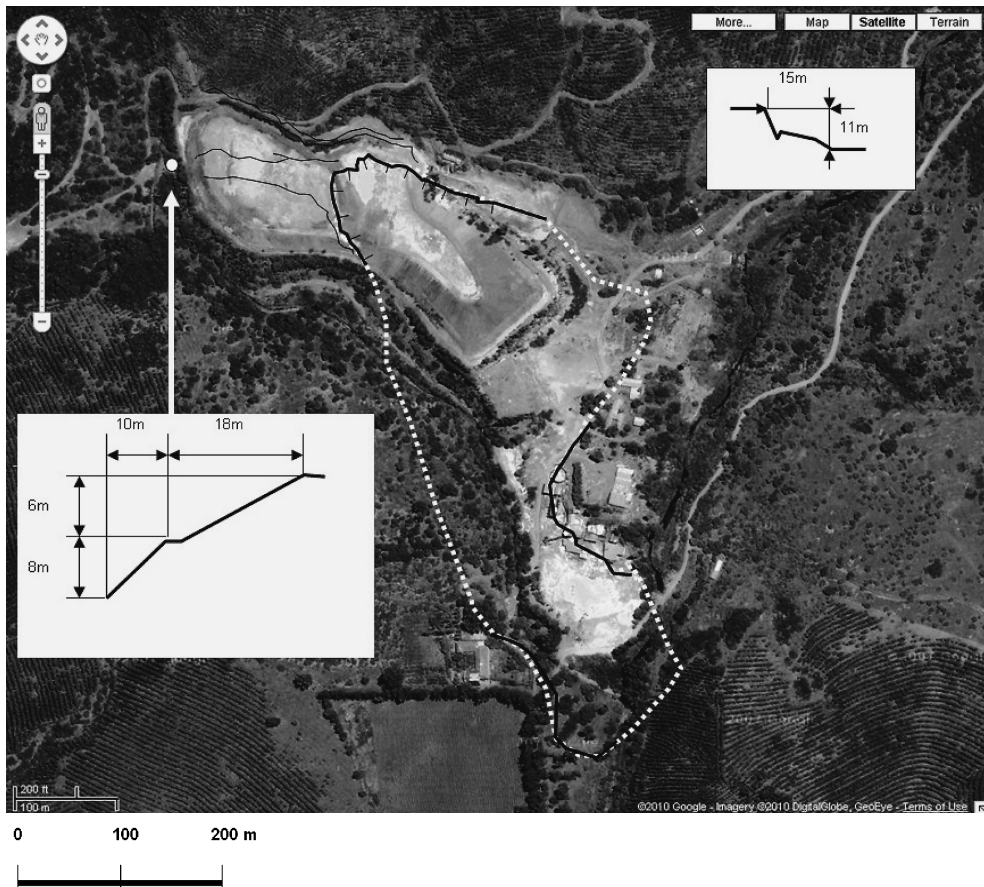


図15 ラス・パルマスの金の鉱さい堆積場の被災前の衛星写真と被災後の鉱さい流出範囲および堤体法面勾配

現地調査における GPS 観測結果から、崩壊上端から下端までの距離は水平約650m、幅約250mである。崩壊土の中には、余震によってできたと思われる墳砂口が多く見受けられた。我が国においても、廃止された鉱さい堆積場の地震時安定性について再検討する必要があると思われる。

7. 建築物の被害

サンチャゴ市内では、Maipu（マイプ）において、アパート3棟が全半壊するなどの被害を受けた(写真9)。半地下式の駐車場の壁や柱が損傷し建物全体が倒壊に至っている。倒壊したアパートの構造的な特徴としては、いずれも壁式構造であるが、壁の厚みが薄く、また被りコンクリート厚が不足していること、また建物全体に対する壁の配置がアンバランスであることなどが挙げられる(写真10)。

コンセプション市内では、ビオビオ川右岸の16

階建てアパートが倒壊した(写真11)。原因はやはり、地下あるいは半地下駐車場部分の柱または壁の損傷であると推測されている。

その他の被害としては、Curico（クリコ）の病院の旧館が半壊、震源に近い Cobcucura（コブケクラ）などで、アドベ造の倒壊が見受けられた。

8. 地中埋設構造物の浮上がり

今回の地震では、地中埋設構造物の浮上がりも顕著であった。日本以外で、これほど多くの浮上がりが報告された事例は、おそらく今回が初めてである。今回の調査で浮き上がりが確認された構造物は、チジャン（Chillan）市の国道5号線沿いのガソリンスタンドの地下ガソリタンクと水タンク(写真12)、アラウコの通信用マンホール、および以下で詳述するビオビオ川左岸のサン・ペドロ・デル・バレ（San Pedro del Valle）の下水用マンホールと隣接する中継ポンプ場の大型タンク



写真9 サンチャゴ市内のアパートの倒壊



写真11 コンセプションの16階建てアパートの倒壊



写真10 倒壊した壁式構造のアパートの壁のせん断破壊状況



写真12 浮上した水タンク（チジャン）（撮影：Prof. Verdugo）



写真13 浮上した下水貯留タンク（サン・ペドロ・デル・バレ）

である（写真13）。

サン・ペドロ・デル・バレの下水中継ポンプ場は、比較的新しく整備された住宅地の中に位置している。被災したのは中継ポンプ場とその前面の道路に設置されたマンホールである。マンホールは約0.3m 路面から突出した。一般にポンプ施設に入る手前のマンホールが最下流に位置するため、全長が長く見かけの単位体積重量が小さくなる。このため浮上しやすくなると考えられる。このポンプ施設では、流入する下水を一時的に貯留するための直径4.1m、長さ4.0m、肉厚0.1mの円柱型RCタンクを備えているが、このタンクに約1.2mの浮上がりが生じた（写真13）。また、このタンクの浮上がりに伴い、同タンクと配管でつながっていたバルブ室にも浮上がりが生じたものと思われる。地震によってこの配管が破損したため、浮上がった位置で応急的に仮の配管を溶接したようである。このため調査時点では、同ポンプ施設は稼働中であった。同施設の敷地内の埋戻し土は、ビオビオ砂と呼ばれる黒い砂であり、粒径加積曲線（図16）より平均粒径は $D_{50}=0.63\text{mm}$ の粗砂であることがわかる。地下水位は不明であるが、この砂の液状化により浮上がりが発生したものと考えられる。

9. 液状化による被害

9.1 Araucoの液状化発生状況

Araucoの東端の道路を含む緑地帯（図17）にお

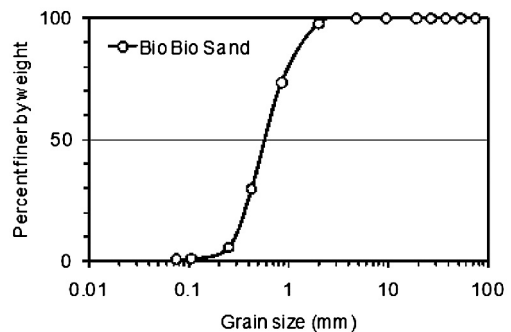


図16 ビオビオ砂の粒径加積曲線



写真14 地盤変状によるアスファルト舗装の亀裂（アラウコ）

いて、局所的な地盤の変形に伴う長さ約10m程度のアスファルト舗装のひび割れ（写真14）やマンホールの浮上がりが見られた。補修のために掘削されたトレンチ内の水位は、GL-1.2mであった。図17に示すように、この地点は、北に向かって流れる小さな川の旧河道上に位置していることから、道路や住宅地を盛り立てたときの地盤材料の液状化が原因であると推察される。付近の緑地帯内には填砂跡が確認され、通信用マンホールの浮上がり、電柱の傾斜も確認された。また、公園内におかれていた大砲3基のうち2基が北東方向に転倒していた。

9.2 液状化による建築物の沈下・傾斜

RC構造物の被災状況としては、クラニラウエ（Curanilahue）の病院、ロス・プレジデントス（Los Presidentes）のアパート、サンイグナチオ小中高校（Colegio San Ignacio）において、基礎地

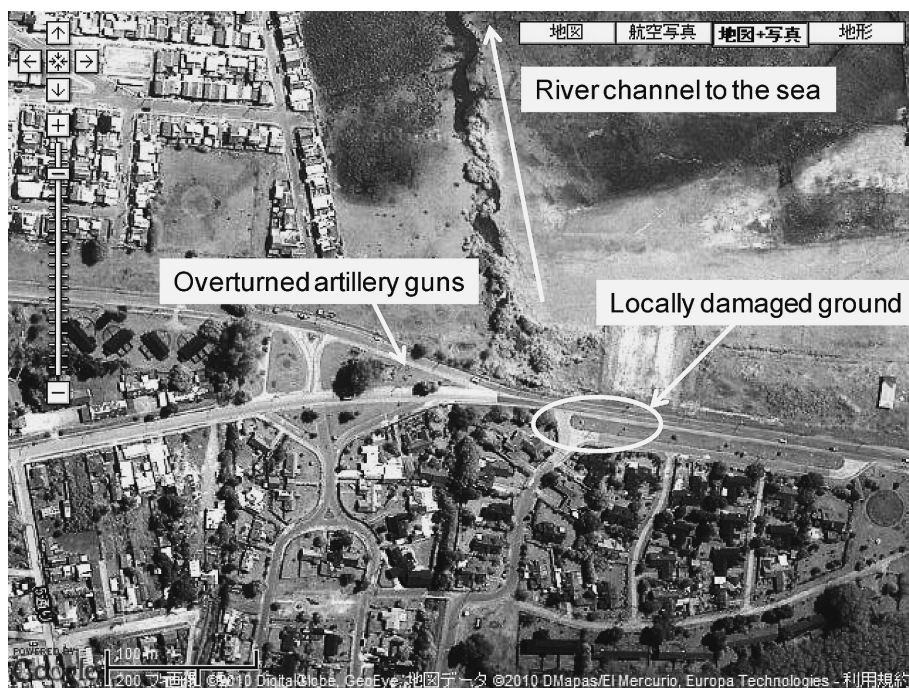


図17 アラウコにおける地盤変状が観察された地点の空中写真



写真15 地盤の側方流動により傾斜した住宅
(ブリサ・デル・ソル)

盤の液状化に起因すると思われる沈下や傾斜が見受けられた。いずれの建物も倒壊には至っていないが、地上階の床面に盛り上がりが見られたり、建物の傾斜が大きく、使用することは難しいと判断される。

一般戸建住宅の被害としては、コンセプション空港の西に位置する住宅地ブリサ・デル・ソル (Brisa del Sol) において、液状化により戸建住宅4棟が最



図18 被災前後の住宅の位置と被災後の境界部の変位 (ブリサ・デル・ソル)

大16度傾斜するなどの被害を受けた(写真15)。被災した住宅の付近の地盤面にはクラックが生じ、填砂が確認された。被災した住宅は、敷地の外を北西-南東方向に流れる水路跡に向かって、いずれも南西方向に傾いている(図18)。敷地の境界にある壁の底部はおよそ2 m 南西に移動しており、

その背後の敷地は約1 m 程度陥没している。当該地点の東には用水路があり、もともと湿地帯であったところを鉋さいで埋立てたとのことである。埋立に使われた鉋さいは、粗砂程度の粒径であった。しかし、大きく被災したのは、ここで述べた4件のみであり、同じ並びで北西に位置する住宅では、調査はしていないが被災したとの報告はないようである。

コンセプション東部の住宅地バジェ・ノーブル(Valle Noble)は近年開発されたと思われる約200戸からなる新しい住宅地である。このうち大きく被災した住宅の外観は、一見すると無被害に見受けられたが、建物本体が傾斜しており、生活することは不可能であろうと思われる。内部に案内してもらおうと、写真16に示すように1階の床や庭に

厚さ8 cm から10cm のシルト質砂が堆積していた。この家の付近の道路にも液状化に起因すると思われる亀裂が多くみられた。この地点の衛星写



写真16 被災した住宅内部に堆積した填砂（バジェ・ノーブル）



図19 リベラ・ノルテのアパート群



写真17 動圧密工法による地盤改良でほぼ無被害であったアパート群（リベラ・ノルテ）

真から旧地形を判読すると、当該地点がその北部を東から西へ流れるアンダリエン川の旧河道上、あるいは自然堤防などによって地形が急変する地点に位置しているものと推察される。通りには、水のタンクが置いてあったことから、上水道配管にも被害があったようである。

最後に、地盤改良によりほぼ無被害であった事例を示す。ビオビオ川右岸に位置するリベラ・ノルテ（Ribera Norte）（図19、写真17）は、5階建てRC造アパート群である。もともと湿地帯ではあるが、砂質土の卓越する同地域の開発に当たり、先ず堤防を建設し、その後、後背湿地の埋立てを行った。さらに埋立てに当たっては、動圧密工法により地盤改良を行ったとのことである（Prof. Verdugo談）。その結果、今回の地震では被害はごく軽微なものに抑えられた。本事例は、地盤改良が機能したことを示す好例であると言える。しかし、北西端のアパートに地盤の変動によるクラックが生じたとのことである。これは動圧密工法による地盤改良域の端部では改良範囲外の

地盤が緩いため、想定通りの改良効果が得られないことを示している。

まとめ

2010年2月27日チリ国マウレ州で発生した地震による被害について現地調査結果の概略を報告した。M8.8の巨大な地震であり広い範囲で多くの構造物が被災した。我が国において近い将来発生すると予測されている東海、東南海、南海地震と同程度の規模であるが、日本で想定されている地震被害と比較して、今回の地震被害の程度は小さい。この要因としては、耐震設計がなされた建物が多いこと、津波に対する避難が適切に行われた町があったこと、大都市が少なかったことなどが挙げられる。

謝 辞

現地調査に当たっては、同行していただいた Prof. Ramon Verdugo (Universidad de Chile), Prof. Felipe Villalobos (Universidad Catolica de la

Santisima Concepción), Ser. Andrés Torres Guerrero (Universidad de Chile), また, 在チリ日本大使館, JICA チリ支所, カトリカ大学, チリ大学の協力, 文部科学省からの援助を受けた。4学会合同調査団北川良和合同調査団以下, 他学会の調査団員からの情報提供も受けた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) USGS: <http://earthquake.usgs.gov/>, 2010年5月8日.
- 2) U.S. Department of State: <http://www.state.gov/r/pa/ei/bgn/1981.htm>, 2010年5月8日.
- 3) USGS: ShakeMap Chile-Mw=8.8-February 27, 2010年5月8日.
- 4) Servicio Sismologico: Terremoto cauquenes 27 Febrero 2010, Informe Tecnico, Universidad de Chile, Santiago, 3 Abril, 2010.
- 5) Wikipedia: ベルー・チリ海溝. (2010, 3月28日). Retrieved 02:58, 4月18日, 2010 <http://ja.wikipedia.org/w/index.php?title=%E3%83%9A%E3%83%AB%E3%83%BC%E3%83%BB%E3%83%81%E3%83%AA%E6%B5%B7%E6%BA%9D&oldid=31261627>, 2010年5月8日.
- 6) 大木聖子: 東京大学地震研究所ホームページ, http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/2010/02/201002_chile/, 2010年5月8日.
- 7) Poiata, N.・纈纈一起: 東京大学地震研究所ホームページ, http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/2010/02/201002_chile/, 2010年5月8日.
- 8) COPEC: Chiletur Copec, Zona Centro, 2010.
- 9) Institute de Investigaciones Geologicas: Suelo de fundacion del gran Santiago, 1978.
- 10) Cecioni, A. and J. Quezada: Sintesis preliminary de la geologia urbana de Concepcion, 7th Congreso Geológico Chileno, Actas Volumen I, pp.595-599, 1994.
- 11) Foster, J. and B. Brooks: A preliminary solution for the coseismic displacement field associated with the recent M 8.8 Maule earthquake in south-central Chile, University of Hawaii, 2010.
- 12) 橋本 学: Personal communication, 2010.
- 13) NOAA: Tsunami Event-February 27, 2010 Chile-Main Event Page, <http://nctr.pmel.noaa.gov/chile/20100227/>, 2010年5月8日.
- 14) 宇佐美龍夫: 日本被害地震総覧 [416]-2001, 東京大学出版会, 2003.
- 15) 毎日新聞: 3月4日21時12分, <http://mainichi.jp/life/food/news/20100305k0000m040088000c.html>, 2010.
- 16) Boroschek, R., P. Soto, R. Leon, and D. Comte: Informe preliminary Red Nacional de Acelerografos, Terremoto centro sur Chile 27 de Febrero de 2010, Informe Preliminar No. 3, Departamento de Ingenieria Civil/Geofisica, Facultad de Ciencias Fisicas y Matematicas, Universidad de Chile, 2010.
- 17) 報告会資料: 2010年「チリ地震合同調査団」報告会, 共催: 日本地震工学会・土木学会・地盤工学会・日本建築学会, 2010.

(投稿受理: 平成22年5月10日)