

2010年チリ地震被害調査報告 (速報)

フェロー会員 東京工業大学 教授 川島 一彦
正会員 東北大学 教授 今村 文彦

2010年2月にチリに生じたモーメントマグニチュード8.8の大地震では、津波や地震動により甚大な被害が生じた。土木学会では、日本地震工学会、地盤工学会および日本建築学会と連携し、4学会協同による合同調査団を現地に派遣した。土木学会調査団は被害の著しかった橋梁被害と津波被害の2チームから構成され、3月28日～4月5日に現地調査を実施した。本稿では、現地調査をもとにした速報をお届けする。

チリ地震とは

2010年2月27日3時34分(現地夏時間)に首都サンティアゴに次ぐチリ第2の都市コンセプシヨンの北北東115kmを震央とする、モーメントマグニチュード(M_w)8.8の大地震が発生した(図1)。チリは南北に約4000kmと長いが、東西には首都サンティアゴ付近

表1 チリ地震被害調査団(土木学会派遣)

グループ	氏名	所属
橋梁チーム	川島一彦	東京工業大学教授
	運上茂樹	国交省国土技術政策総合研究所 地震災害研究官
	星隈順一	(独) 土木研究所上席研究員
	幸左賢二	九州工業大学教授
津波チーム	今村文彦	東北大学教授
	藤間功司	防衛大学校教授
	有川太郎	(独) 港湾空港技術研究所主任研究官

では150km足らずであり、南北に細長い国である。ナスカプレートが太平洋側から大陸側の南アメリカプレートの下に沈み込み、この影響で南北に長くアンデス山脈やパタゴニア山脈が形成され、ここが隣国アルゼンチンとの国境となっている。チリはわが国と同等以上に地震活動が活発な国であり、1960年5月22日にはM_w9.5という観測史上最大規模の巨大地震が発生している。

断層の長さが南北に4500～5000kmと巨大地震であったことから、被害は広域的に生じている。地震動は改正メルカリ震度でⅧ程

度であり、震源域が海域にあったことから、地震規模のわりには強烈な地震動であったわけではない。しかし、チリ大学による強震観測記録によれば、震源域に近い海岸地帯だけでなく、震源から300km以上離れた首都サンティアゴにおいても、固有周期0.5秒付近で加速度応答スペクトルで2gに達する大きな地震動が観測された。これはサンティアゴが盆地に位置しており、盆地内での地震動の増幅によると考えられている。津波による被害が著しかったことと同時に、震源から遠く離れていても地震動の増幅が著しかった点は、わが国で懸

念されている将来の南海地震、東南海地震など海洋性巨大地震の被害を考えるうえで重要である。

土木学会は、日本地震工学会、地盤工学会および日本建築学会と連携し、(独)国際協力機構(JICA)の協力を得て4学会協同による合同調査団を現地に派遣した。土木学会調査団は被害の著しかった橋梁被害と津波被害の2チームから構成された。調査団の構成は表1に示す通りである。チリにおける現地調査は、各種機関との打合せや合同報告会も含めて、2010年3月28日から4月5日まで実施した。

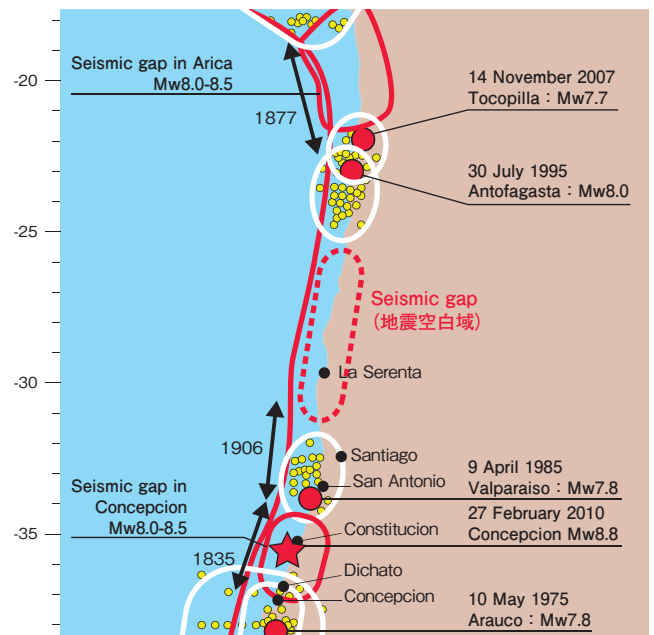


図1 今回の地震位置、調査地点、今後の地震空白域

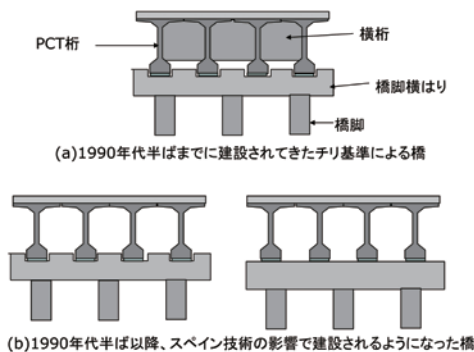


図2 なぜ、最近建設された橋に被害が多発したか？



写真1 サンティアゴ環状高速道路エチェベツ橋 (写真提供: アフロ)

橋梁の被害

チリでは支間30m程度の一般橋ではP.C桁化が進んでおり、高速道路や地方道に広く採用されている。今回の地震では震源域付近だけでなく、震源域から離れたサンティアゴ市内でも落橋を含む大被害が生じた。奇妙なことは、昔つくられた橋に比較して最近つくられた橋に被害が集中した点である。たとえば、写真1に示すように主要幹線であるサンティアゴ環状高速道路で落橋した2橋のほか、パンアメリカンハイウェイの跨線橋やオーバークリップジが多数落橋しているが、これらのほとんどが比較的最近建設された橋であった。

最近建設された橋は、ほとんどが図2に示すようにプレテンションT桁を横に並べて、その上に床版を設置した構造である。これは日本でも小規模橋梁によく採用される形式であるが、大きく違うのはP.C桁間を横方向につなぐ横桁が設けられていない点である。これは建設の容易さとコスト縮減をねらったものであるが、このような構造は耐震性に大きな問題を生む。横桁がないと、橋としての一体性に欠け、特定のT桁に地震力が集中

しやすく、逐次破壊的にT桁が破損し、橋全体が崩壊しやすい。興味深いのは、もともとチリでも横桁を設ける構造が主流であったが、道路建設維持の民間委託が進むなかで、耐震対策の経験が少ないスペインの技術の影響を受けて単純化された構造が採用されるようになり、これが今回の橋梁の大被害につながったことである。

さらに、図2に示したように、本来、チリの基準では橋脚上端に橋軸直角方向への桁移動制限用の切り欠き(サイドストップバーの一種)が設けられていたが、これも民間委託された橋では撤去されてしまった。端的な例は、写真2に示すパンアメリカンハイウェイが鉄道を跨ぐホ



写真2 1990年代半ば以降に建設された橋(左)が落橋し、それ以前に建設された橋(右)がほとんど無被害であった一例(チリ公共事業省による)

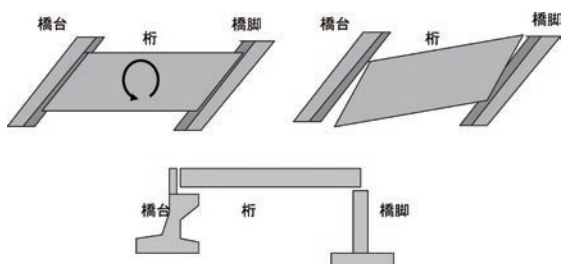


図3 なぜ、斜橋は回転すると、橋脚・橋台から落下しやすいか？

スピタル橋である。この個所では上線分離で、一方は従来のチリ基準、もう一方はスペインの技術によつて建設されていた。スペインの技術によつてつくられた橋は崩壊し、チリ基準による橋はほとんど無被害であった。

もう一つ特徴的な点は、斜橋に被害が集中した点である。図3に示すように、斜橋は振動して橋台や隣接桁間で衝突すると、鈍角端から鋭角端に向かう方向に回転しやすい。チリでは支承(多くはネオプレーンゴム支承)によつて桁と下部構造間が固定されておらず、自由に滑る構造となっている。1990年代以降建設された橋では橋軸直角方向の桁移動制限機構がないものが多



写真4 旧ビオビオ川橋の落橋。1990年代のJICAの調査で、継続使用は不適当と判断されていた



写真3 長クランドマークとしてチリ国民から愛されてきたクラロ橋の落橋

M_w8.8地震による津波の影響は大きく、チリ国内のみならず、南米さらには日本も含む環太平洋に

津波による被害

いたため桁が回転しやすい。その結果、桁が橋脚や橋台の支持部から外れて落下するのである。写真1、2に示した例はいずれも斜橋の被害である。わが国でも都市部を中心に斜橋が多いため、改めて問題がないかを検討しておく必要がある。

その他、写真3に示す1870年に建設され優美なれんが造アーチ橋として長くチリ国民に愛されてきたクラロ橋（バンアメリカンハイウェイ）や写真4に示す1930年代に建設された旧ビオビオ川橋（コンセプション市）も落橋した。クラロ橋は自動車の普及前の馬車の時代に建設された橋であり、れんがの劣化が進んでいた。なぜ壊れたかと鞭打つより、建設当初には考えてもみなかった重交通による長期間耐えてくれたと感謝すべきであると考えられる。旧ビオビオ川橋も1990年代にJICAの調査で劣化が進み、継続使用は不適当と判断されていた。いずれも新しい時代の要請に応えられる解決策が求められている。

津波の実態(遡上高さ、来襲回数、最大波、浸水)、被害状況(家屋、港湾施設、観光地域、沿岸環境、地震動などと

伝播し影響を与えた。わが国でも、大津波警報が発令されるなど津波の規模は大きく、実際に、数mの津波規模も観測されていた。しかし、一方、チリ国内での津波観測や被害情報は断片的なものであり、沿岸での確実なデータが不足していた。調査前に、メディアを通じて現地情報から、いくつかの疑問も挙げられていた。第1波が小さく、その後しばらく平穏で、その後の2、3波が大きいと報告されているが、本当か？なぜ、そのような状況になつたのか？将来日本でも可能性のあるプレート地震・津波による被害の類似性はないのか？である。そこで、以下のような項目を目的とした現地調査を実施する必要がある。



写真5 Constitutionの沿岸部で28mを記録(津浪遡上高さ)。写真中、赤線で津浪痕跡が確認



写真6 Constitutionで河川を遡上した津波。河口から5km以上離れた場所でも6mもの遡上が見られた

の複合災害)、警報情報と避難実態(いつ避難できたのか？できなかつたのか？)、事前の対応(避難訓練や啓発はどの程度やっていたのか？)。これらの調査により、わが国でも発生が懸念されている東海から南海にいたる連動地震および津波に対する知見や教訓が得られると期待される。

現地調査で得られた主な成果をまとめると、以下のようなものになる。チリ沿岸の津波被災地域には平均

5〜8mの津波が押し寄せていた。最高遡上高さは、Constitutionの沿岸部で28mの値を示した(写真5)。これは、ビル10階に相当する。また河川において約6km上流でも6mの遡上痕を残していた。なお、しかし、被災した地域は限定的であり、かつ、海岸沿いに50〜70km程度の間隔で存在していた(写真6)。津波の最大波に関しては、住民の体験談や当日撮影したビデオなどの情報を得た。最大波が第1波以

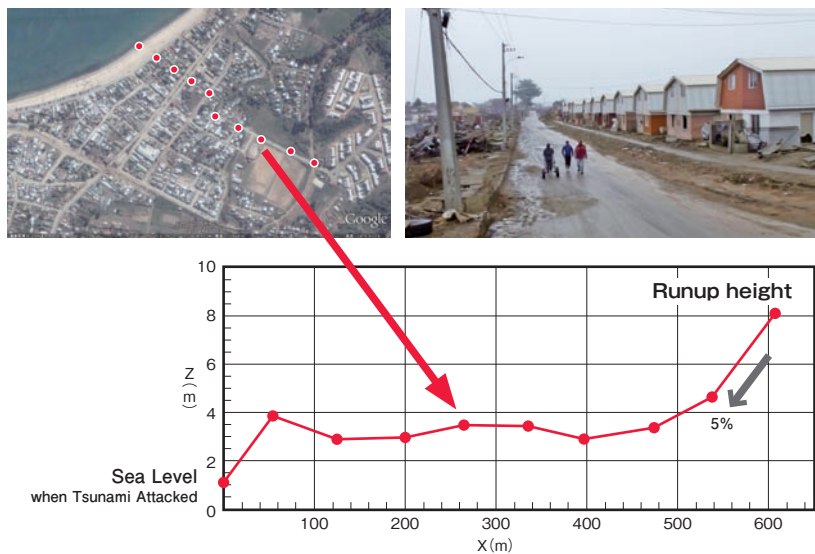


図4 Dichatoでの断面地形と津浪遡上高さ(8.2m)

降であることは確認できたが、第1波以降しばらく静穏であったこと、いつ最大波になったのか? などについては、断定できなかった。さらに、主な被災地域での状況をまとめると「Dichato」では、8mの遡上を記録し、ここでは、護岸が若干高く存在し、その後、3m(3.5mの平坦な地盤となり、最後に丘に続いている(図4)。このような地形に、浸水深2mを超えるような津波が一気に流れ込み、8割

以上の住宅が破壊された。また、本測線上の護岸は階段護岸のような構造である、地震ならびに津波による洗掘を受けて、破壊されたと考えられるような被害を受けていた。若干南の位置では、護岸は健全であった。この差も被害の違いを生んだ可能性がある。なお、家屋は1階がれんが、2階部分が木でできているつくりが多かった。さらに、波源の北端付近に位置しているSan Antonioには、6.5mの津波が押し寄せた(図5)。ここでは、堤防の有無により被害の明暗が大きく分かれていた。7mの堤防があった地区は被害がなかったのに対し、最高でも6mの砂丘しかなかった地区は、家屋がほぼ完全に崩壊していた(図5)。低地には津波が浸入しやすく、いかにこの破壊力を軽減するかが重要であるかを示した事例となった。最後に、住民への聞き取り調査をしたところ、第1波の後に自宅などへ戻った人もいたが、多くの人は地震発生とともに高台に逃げ、半日以上避難を続けたという。死者は500人を超えたが、被害の実態をみればもっと死者が出てもおかしくなかった。こういう姿勢は教訓として学ぶべきであると考えられる。

まとめ
M8以上の海溝型地震および津波による被害は、わが国でも共通の課題であり、今回の緊急調査で、その実態を調べることができた

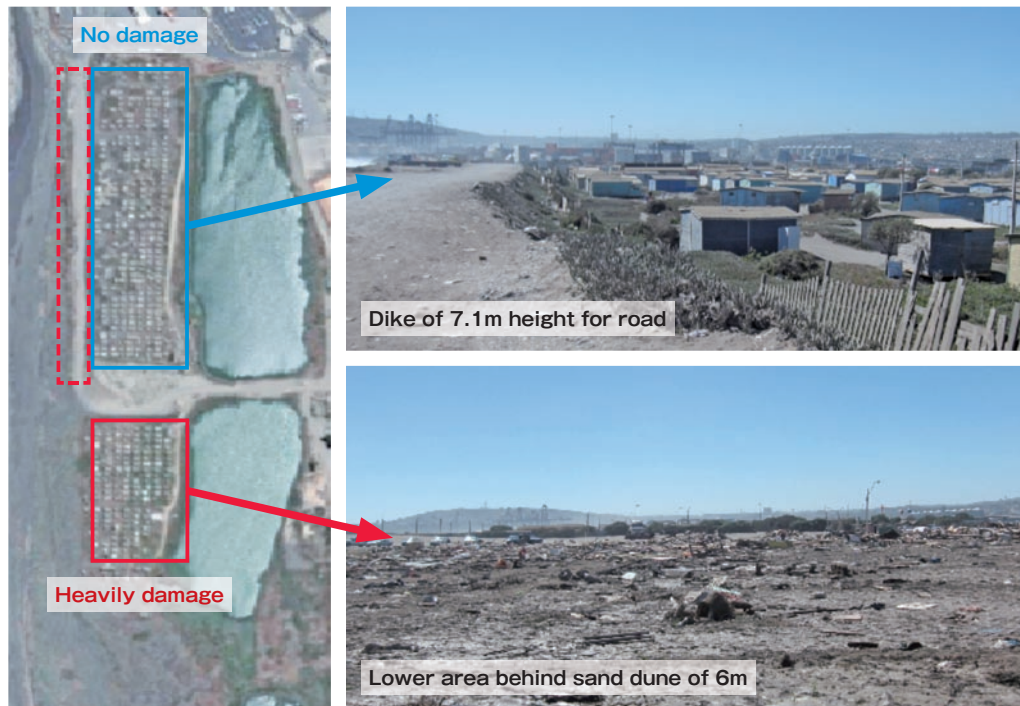


図5 San Antonioで家屋被害の明暗を分けた堤防の有無

と思われる。今後は、さらに詳細な被害の実態調査を加え、全体像と今後の課題整理を行う必要があると思われる。チリ沿岸では、今後、今回の地震の北部で地震空白域(図1)が残されており、今後の予防・減災の面でも協力を深めたい。