

地盤工学会
2011 年ニュージーランド
Christchurch 地震による被害に対する
災害緊急調査団

報告書

平成 23 年 6 月 12 日

地盤工学会 2011 年 Christchurch 地震による
被害に対する災害緊急調査団

まえがき

本年（2011年）2月22日にニュージーランドの Christchurch（クライストチャーチ）でマグニチュードが 6.3 の地震が発生した。この地震は昨年 9 月 4 日に近くで発生した Darfield（ダーフィールド）地震の余震と考えられ、本震よりは地震の規模が小さかったが、震源位置が本震よりは Christchurch 市街地に近接していたため、Christchurch では本震以上の揺れが発生した。このため、本震の際より広い範囲で液状化が発生し、さらに、本震の際に発生していた被害が加速された。

地盤工学会では、昨年発生した本震に対し災害緊急調査団を派遣し報告も行っていた。今回発生した余震に関して現地からはいった情報によると、再び液状化が発生し被害もさらに甚大とのことであった。そこで、地盤工学会として再度災害緊急調査団を派遣することを決定した。ニュージーランドには昨年の本震の際に調査を行った関係者 2 名（Cubrinovski, Orense）が在住しており、さらに、日本人 2 名（細野, 山田）もニュージーランドに滞在中であった。これらの 4 名は地震直後から被害調査を始めており、そこに日本から 4 名ほど加わって調査を行った。

なお、この地震による液状化被害は広範囲に及び被害も甚大であるため、第 2 次調査団を 3 月中旬に派遣することを決めていた。ところが 3 月 11 日に東日本大震災が発生したため、第 2 次調査団の派遣は断念した。そこで、本報告では 2 月末～3 月初めにかけて調査を行った結果を報告する。ただし、著者のうちニュージーランド在住または滞在中 4 名は日本からの調査団帰国後も調査を継続している。したがって、さらに詳細な調査結果が別に報告されるものと考えられる。

目次

	ページ
1. 調査目的, 調査メンバーおよび調査行程	1
2. 調査地域の地形, 地質特性	3
3. 地震動の諸元とその特徴	5
4. 強震観測地点の地盤特性	11
5. Christchurch における液状化発生地区の調査方法および結果	19
6. Christchurch における液状化および流動に伴う構造物の被害	22
7. 噴砂が発生しなかった地区における構造物の被害	29
8. Kaipoi の液状化発生地区および構造物の被害	31
9. 海岸部の斜面崩壊	36
10. あとがき	39

執筆担当

安田 進 (東京電機大学) : 第 1 章, 第 9 章, 第 10 章

時松孝次 (東京工業大学) : 第 4 章

渦岡良介 (徳島大学) : 第 3 章

清田 隆 (東京大学) : 第 6 章

細野康代 (豊橋技術科学大学) : 第 5 章, 第 7 章

山田 卓 (東京大学) : 第 2 章, 第 8 章

1. 調査目的, 調査メンバーおよび調査行程

1.1 調査目的

本年(2011年)2月22日にニュージーランドのChristchurch(クライストチャーチ)でマグニチュードが6.3の地震が発生した。この地震は昨年9月4日に近くで発生したDarfield(ダーフィールド)地震の余震と考えられ本震よりは地震の規模が小さかったが、震源位置が本震よりはChristchurch市街地に近接していたため、Christchurchでは本震以上の揺れが発生した。このため、本震の際より広い範囲で液状化が発生し、さらに、本震の際に発生していた被害が加速された。

地盤工学会では昨年発生した本震に対し災害緊急調査団を派遣した¹⁾。この調査はChristchurchに在住のCubrinovski Misko 准教授(チュブリノフスキー ミスコ, Canterbury 大学)とAuckland(オークランド)に在住のOrense Rolando 講師(オレンセ ロランド, Auckland 大学), および日本から派遣されたメンバーで行われた。この時も液状化による被害が甚大であったが、今回の余震後被害状況をCubrinovski 准教授に問い合わせたところ、再び液状化が発生し、被害がさらに増えたと現地から報告がはいった。また、中心部の建物の被害や南東部の斜面崩壊も発生したとのことであった。このため、再液状化による被害などを調査することは大切と考え、地盤工学会として再度災害緊急調査団を派遣することを決定した。

なお、この地震による液状化被害は広範囲に及び被害も甚大であるため、第2次調査団を3月中旬に派遣することを決めていた。ところが3月11日に東日本大震災が発生したため、第2次調査団の派遣は断念した。ただし、著者のうちの4名(Cubrinovski, Orense, 細野, 山田)はニュージーランド在住または滞在中であり、日本からの調査団帰国後も調査を継続している。

1.2 調査メンバー

上述したように、ニュージーランドには地盤工学会員のCubrinovski 准教授, Orense 講師がCanterbury 大学とAuckland 大学で勤務している。さらに、丁度日本から派遣された細野助教, 山田助教がそれぞれの大学で研究を行っている。そこで、これら4名を主体とし、日本から4名派遣して災害緊急調査団を結成することにした。このようにして決定したメンバーは以下の通りである。

(1) 日本から派遣したメンバー

- 団長: 安田 進(東京電機大学, 教授)
- 団員: 時松孝次(東京工業大学, 教授)
- 団員: 渦岡良介(徳島大学, 教授)
- 団員: 清田 隆(東京大学, 准教授)

(2) ニュージーランド在住のメンバー

- 団員: Cubrinovski Misko (Canterbury 大学, 准教授)
- 団員: Orense Rolando (Auckland 大学, 講師)

(3) ニュージーランド滞在中のメンバー

- 団員: 細野康代(豊橋技術科学大学, 助教)
- 団員: 山田 卓(東京大学, 助教)

これらのうち、ニュージーランド在中や滞在中の4名

は地震直後から現地調査を開始した。これに対し、日本からのメンバーは2月26日(土)~3月4日(金)の間派遣された。ただし、年度末であり日程の調整が難しいことと、現地にメンバーがいて受け入れ体制を整えてもらえたため、日本からのメンバーは人によって少し早く出国したり、逆に長く滞在したりした。

なお、海外に災害緊急調査団を派遣する場合には、派遣は災害発生後1ヶ月程度後になることが多いが、今回の場合には、現地に4名の関係者がいて受け入れ体制が整っていたことと、昨年の本震の際にも調査しているため、日本から派遣されたメンバーも地震発生の5日後には現地には入れた。液状化の調査にはこのように早い時期に現地にはいることが必要であり、現地での受け入れ体制の大切さをひしひしと感じた次第である。ただし、Christchurch市内の被害が広範囲に及んでいたため、ホテルや食事などの手配は大変であった。

1.3 調査範囲と調査行程

全調査範囲を写真-1.1に、また、Christchurchにおける調査範囲を写真-1.2に示す。昨年の本震の際にはChristchurchから北にKaiapoi(カイヤポイ)付近まで被害が及んでいた。今回の余震では震央がChristchurchの南東部に位置したため、市の南東側のSumner(サムナー)やLyttleton(リトルトン)でも被害が発生した。このため、今回の調査範囲はChristchurchを主体とし、KaiapoiからLyttletonまで含めることとした。

上述したように、今回の地震ではニュージーランド在住および滞在中の4名によって直後から現地調査が開始された。また、日本から派遣されたメンバーが帰国した後も調査が続けられている。そこで、すべての調査行程を述べるのは不可能なため、現地における2月27日(日)~3月3日(木)の間だけの大まかな調査日程を示すと以下ようになる。

- (1) 2月27日(日): Christchurch 着, Bexley(ベクスレイ)およびAnzac(アンザック)橋付近の被害の下見
 - (2) 2月28日(月): 強震観測地点の被害調査微動観測, Avon川沿いの液状化および流動による被害調査
 - (3) 3月1日(火): Spreydon(スプレイドン)地区などの液状化発生有無の踏査, 朝日新聞社契約のヘリコプターに同乗して上空からの調査
 - (4) 3月2日(水): Avon川沿いの液状化および流動による被害調査, およびCanterbury 大学および米国調査団とのミーティング
 - (5) 3月3日(木): Bexleyの被害調査, Sumner付近の斜面崩壊調査, 土木学会調査団とのミーティング
- なお、Christchurchの中心部であるCBD(City Business District)ではビルの倒壊により日本人語学留学生を含む多数の犠牲者が出ていた。このため、日本からの調査団が派遣された時点ではこの地区の立入りは禁止されていたので、その時はこの地区の調査は行っていない。

参考文献

- 1) Darfield 地震災害緊急調査団: ニュージーランド

Darfield 地震災害緊急調査団報告書, 地盤工学会, 30p, 2011.

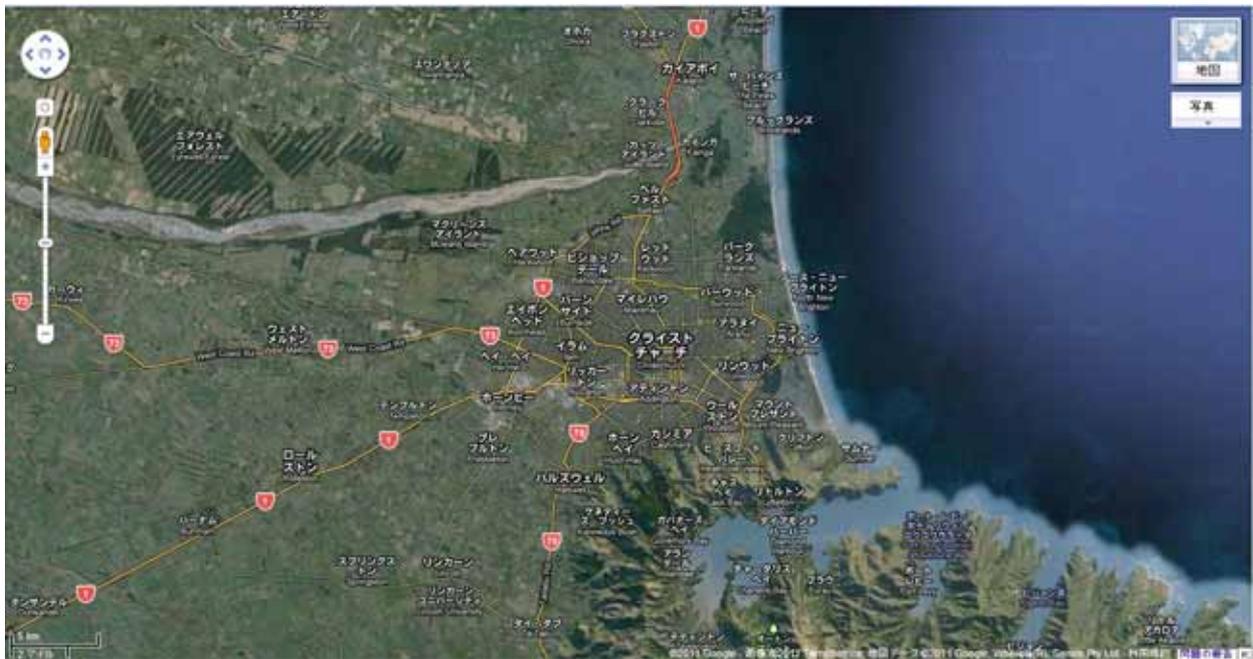


写真-1.1 全調査範囲 (Google map による)

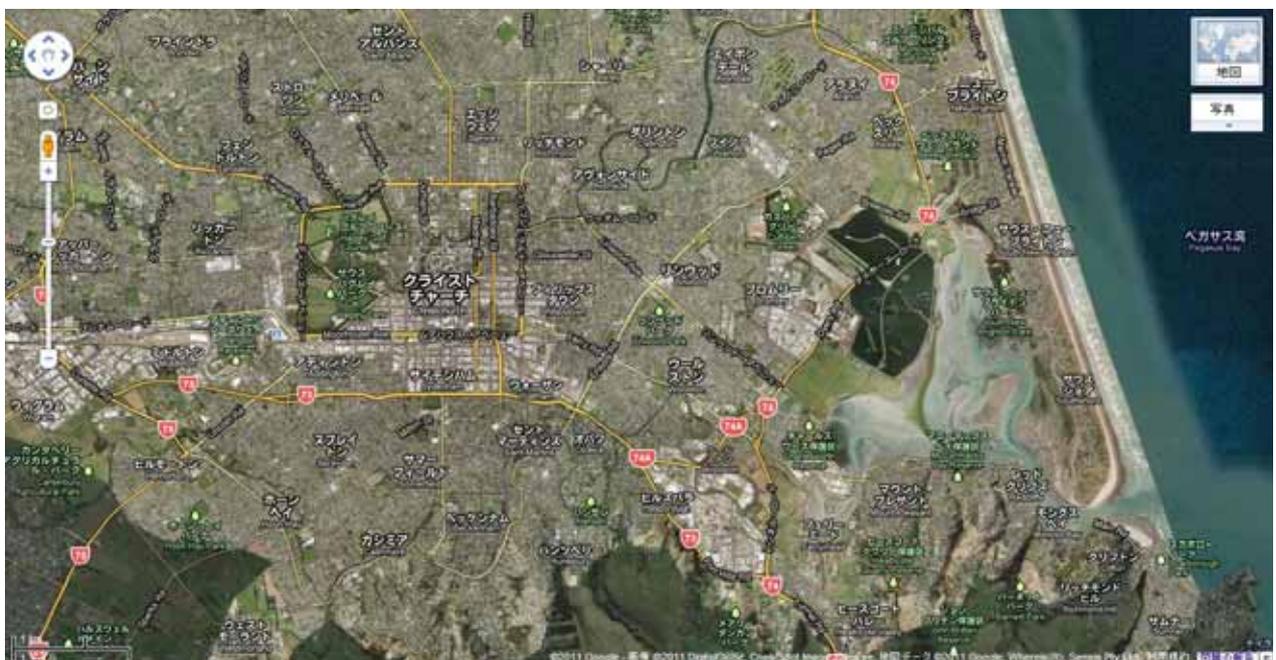


写真-1.2 Christchurch における調査範囲 (Google map による)

2. 調査地域の地形、地質特性

クライストチャーチ市はニュージーランド南島中部カンタベリー地方の中核都市であり、カンタベリー平野の太平洋沿岸部に位置する。人口は約39万人で、ニュージーランド国内ではオークランド市に次いで2番目、南島では最大である。

カンタベリー平野はニュージーランド国内で最大の面積を有する平野で、南アルプス山脈を水源とする複数の河川（ワイマカリリ川、ラカイア川、セルウィン川、ランギタタ川）流域に形成された合成扇状地である。南アルプス山脈のグレーワッケ（硬質岩）が河川の浸食で砂礫化した河川堆積物と細粒のLoess（河床の堆積土が風で飛ばされ再堆積した細粒の土）が非常に厚く堆積している。クライストチャーチ市付近における更新世以降の砂礫地盤の層厚は350m以上であり、また基岩までの深さは約1kmである¹⁾。クライストチャーチ南方にはBanks半島と呼ばれる旧火山があり、侵食された斜面が複雑な地形を成している。この旧火山はかつては島であったが、カンタベリー平野の形成過程で南島と陸続きとなり、現在は半島である。したがって、Banks半島近傍の地盤は火山性土ではなく平野部と同じ砂礫またはLoessで構成される。図2.1、図2.2および図2.3にカンタベリー平野の地形と地質の概略図を示す。また、図2.4は主要な地名等を加えたクライストチャーチ近郊の地図である。

クライストチャーチ市中心部の約10km東のペガサス湾（太平洋）沿いの海岸線には砂丘帯が形成されている。砂丘はクライストチャーチ市内を流れる2つの小河川（Avon川、Heathcote川）の河口を閉塞しており、そのため砂丘背後は湿地となっている。18世紀中頃にヨーロッパ人が入植し、砂丘背後に広く分布していた湿地や湖沼の干拓によってクライストチャーチの町が開発された³⁾。したがって、クライストチャーチ市内の地下水位は

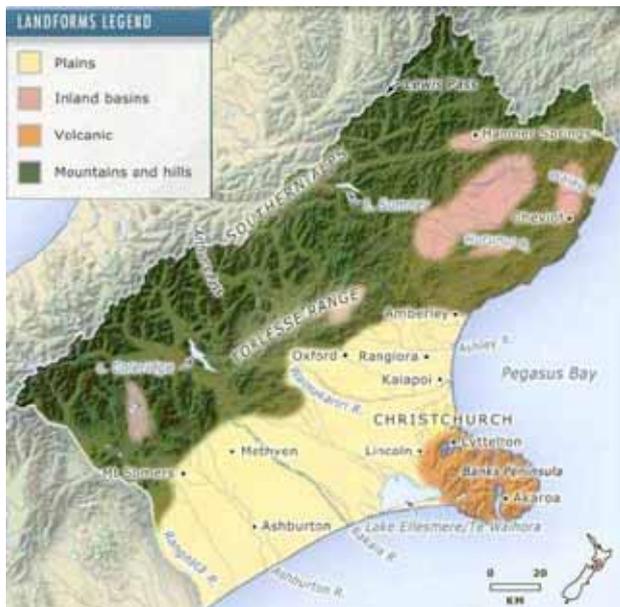


図2.1 カンタベリー平野の地形概略図²⁾

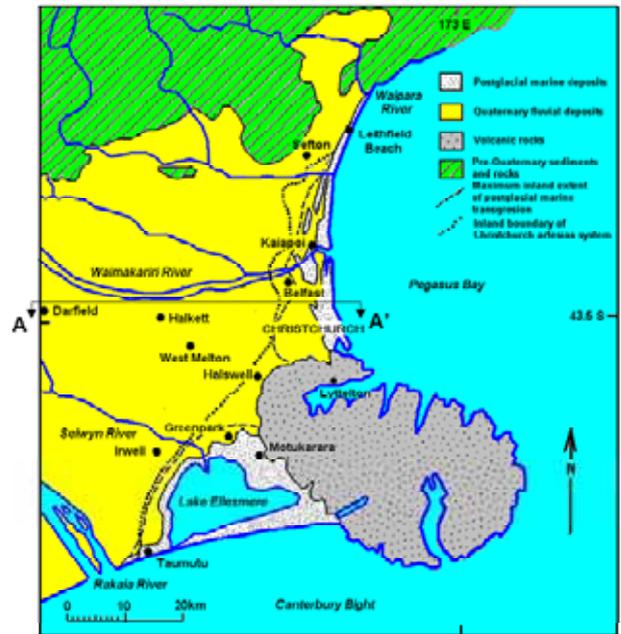


図2.2 カンタベリー平野の地質概略図¹⁾

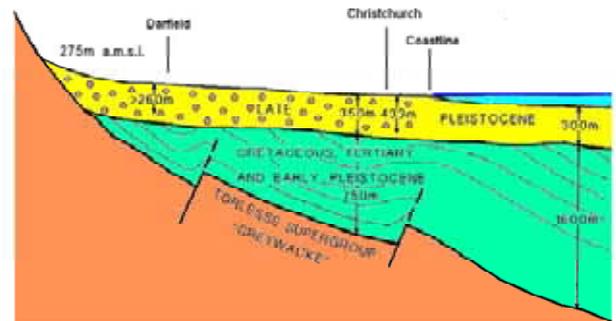


図2.3 カンタベリー平野の地質¹⁾(図2.2のA-A'断面)

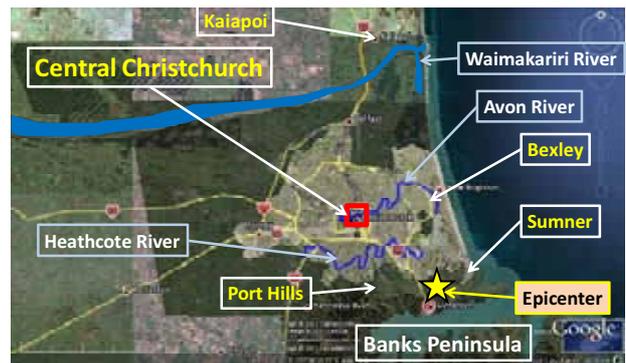


図2.4 クライストチャーチ市周辺の地図と地名

非常に高く、海岸線に近い場所の地下水面は地表面から約1mの深さにある。

南アルプス山脈に降った雪や雨はカンタベリー平野の砂礫帯水層を浸透し、クライストチャーチ市付近で地表面に湧き出る。クライストチャーチ市ではこの豊富な地下水を水源として、生活用水や農業用水が供給されている。また、市内を蛇行し太平洋へ注ぐAvon川とHeathcote川はクライストチャーチ西部の湧水を水源とする。この

3. 地震および地震動の特徴

2011年2月22日午後12時51分頃（現地時間，世界標準時では2月21日23時51分頃），Christchurchの南東約10kmを震央とするマグニチュードML6.3の地震（以下，Christchurch地震）が発生した（図3.1）。Christchurch市内では修正メルカリ震度8が報告されている。また，Christchurch市内とその周辺で強震動記録が得られている。ここでは，2010年9月4日午前4時35分頃（現地時間，世界標準時では9月3日16時35分頃）に発生したDarfield地震の報告書¹⁾を参考として，その比較も含めて地震および地震動の特徴について述べる。

3.1 地震

ニュージーランドは太平洋プレートとオーストラリアプレートの境界に位置しており，多くの活断層が存在する地震活動の活発な島国である。2011年2月22日午後12時51分頃（現地時間）に発生したChristchurch地震およびDarfield地震についてGeoNetによる地震諸元²⁾を表3.1に示す。また，GNSによる両地震の断層および余震分布³⁾を図3.2に示す。図中の赤はChristchurch地震の本震・余震を緑はDarfield地震の本震・余震を示している。Christchurch地震はDarfield地震と比較して，マグニチュードは小さいものの，震源が浅く，震央がChristchurchに近かったことから，Christchurchに大きな被害をもたらした。Darfield地震の余震分布は東側に移動する傾向を示しており，9月8日にはChristchurch地震の本震とほぼ同位置でML5.1の地震が発生している。図に示すようにChristchurch地震の震央はDarfield地震の東側の余震域に含まれており，Christchurch地震はDarfield地震の余震と考えられている⁴⁾。

Darfield地震を引き起こした断層はGreendale断層（図3.2中の赤線）と呼ばれており，地表面でも確認されている。一方，Christchurch地震の断層は地表面では確認されていない。また，余震分布によると二つの地震の断層の間には北東-南西方向の断層の存在が推定できることから，Christchurch地震の断層はGreendale断層とは直接つながっていないと考えられている⁴⁾。Christchurch地震の発震機構を図3.3に示す。図中の赤は本震，青は余震の発震機構を示しており，黄色は余震分布を示している。本震および西寄りの余震は逆断層型のメカニズムを示し，その他のほとんどの余震は横ずれ断層型（走向は一定ではない）のメカニズムを示している。

3.2 地震動

修正メルカリ震度の分布⁵⁾を図3.4に示す。震央に近いChristchurch市内では震度8が報告されている。震度6~8の定義⁶⁾は以下の通りである。

震度6：軽微な被害，建物には非構造的な被害が発生する。
震度7：被害，立つのが困難，家具などが移動，少数の弱い建物に被害が発生する。

震度8：深刻な被害，少数の建物に被害が発生し，弱い建物が倒壊する。

修正メルカリ震度の決定にはGeoNetのWebサイトを通

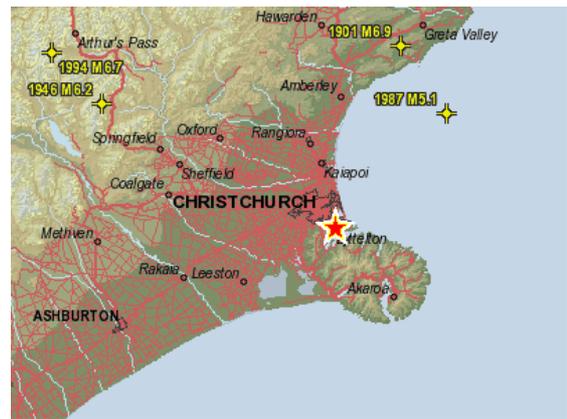


図3.1 Christchurch地震の震央²⁾

表3.1 Christchurch地震とDarfield地震の諸元²⁾

	Christchurch地震	Darfield地震
発震時刻 (現地)	2011年2月22日 12時51分頃	2010年9月4日 4時35分頃
震央	南緯	43.60°
	東経	172.71°
震源深さ	5km	11km
マグニチュード	ML6.3 (Richter magnitude)	Mw7.1 (Moment magnitude)
震央との距離	Christchurchの南東10km Lytteltonから5km	Christchurchの西40km Darfieldの南東10km

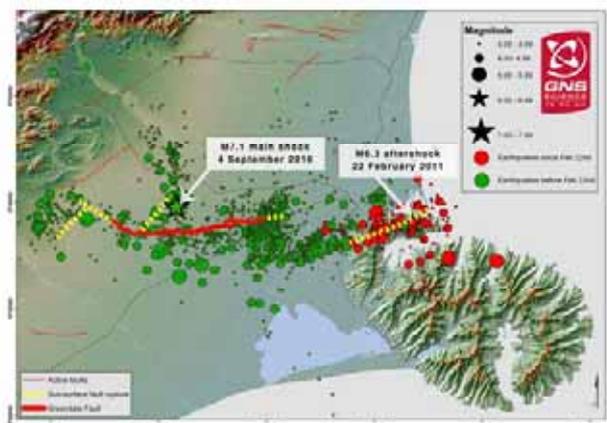


図3.2 Christchurch地震とDarfield地震の断層および余震分布³⁾

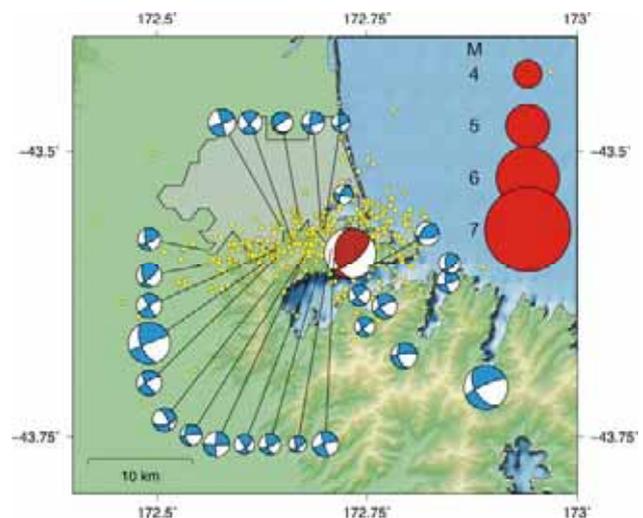


図3.3 Christchurch地震の発震機構²⁾

じた Felt Report⁷⁾も利用されている。

ニュージーランドでは GNS により全国で 100 以上の地震計, 180 以上の強震計が設置⁸⁾されており, Darfield 地震および Christchurch 地震でも多くの強震記録が観測されている。Christchurch における強震観測点を図 3.5 に示す。なお, 強震計の位置や地盤条件などの情報は GeoNet の DELTA (Data Equipment pLanning Tracking Access)⁹⁾より入手できる。

Christchurch 地震における最大加速度(観測値)の分布²⁾を図 3.6 に示す。図中の強震観測点のうち Christchurch 地震の震央距離が 10km 以内の位置にある 10 地点の一覧を表 3.2 に示す。表中のコードは図 3.5 中のコードに対応している。表には Christchurch 地震および Darfield 地震で観測された最大加速度および最大速度の補正值¹⁰⁾を鉛直, 水平二方向および水平二方向の合成値の各成分について示している。なお, 水平 1・水平 2 成分の方向は観測機器のある建物に対して設定されており, 南北・東西方向とは一致していない。Christchurch 地震において, 震央近傍に位置する HVSC では 1G を超える水平・鉛直加速度が観測されており, 最大速度も 97 cm/s に達している。Christchurch 中心部に位置する CCCC, CHHC, REHS, CBGS などでも最大水平加速度・最大水平速度はそれぞれ $400 \text{ cm/s}^2 \cdot 70 \text{ cm/s}$ を超えている。一方, Darfield 地震では表中の強震観測点の震央距離は 36~45km であり, 最大水平加速度は Christchurch 地震の半分程度となっている。この加速度の差が Darfield 地震よりも Christchurch 地震による被害が大きくなった一因と

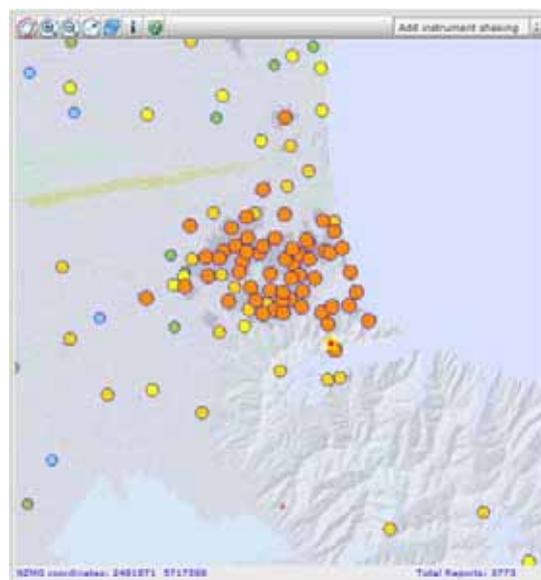


図 3.4 Christchurch 地震による修正メルカリ震度⁵⁾
(オレンジ:震度 8, 薄いオレンジ:震度 7, 黄色:震度 6)

考えられる。

表 3.2 に示した強震観測点のうち, 震央に最も近い HVSC, Christchurch 中心部に近い CCCC, 周辺で顕著な液状化が発生した HPSC の 3 観測点について加速度時刻歴¹⁰⁾をそれぞれ図 3.7~3.9 に示す。また, これら 3 観測点における水平 1 成分の応答加速度スペクトル(減衰 5%)¹¹⁾を図 3.10 に示す。

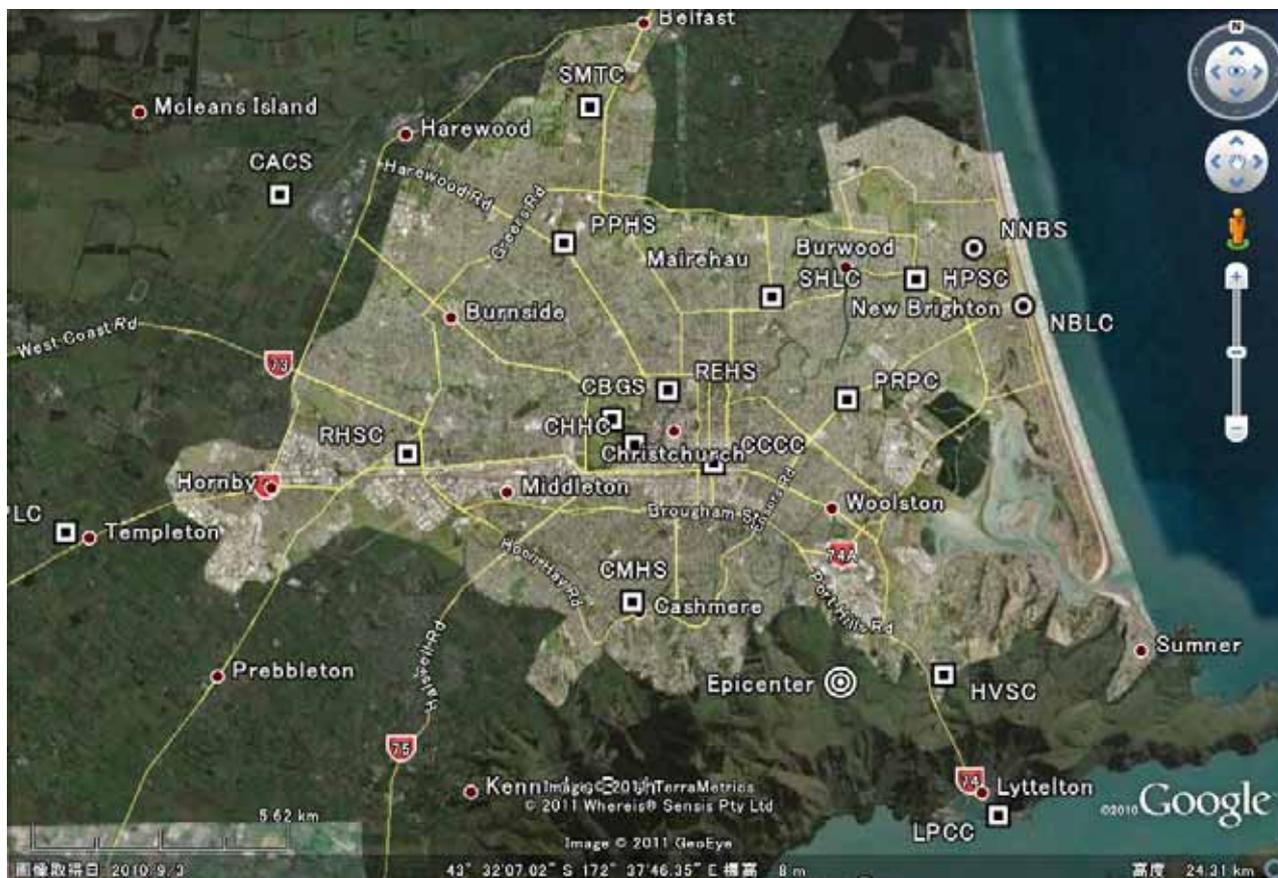


図 3.5 Christchurch 周辺の強震観測点
(文献 9 より Google Earth で作成)

震央に最も近い HVSC では、図 3.7 に示すように主要動は 10 秒以内に収束しており、図 3.10 に示すように 0.3 秒の短周期成分が卓越している。HVSC は図 3.5 に示すように山裾に位置しており表層軟弱地盤は薄いと思われる。HVSC は Heathcote Valley Primary School 内の建物内に設置されており、校内では写真 3.1 に示すようにレンガ造りの外壁が崩壊する被害やガラスの破損などの被害がみられた。

一方、Christchurch 中心部に近い CCCC では、図 3.8 に示すように最大加速度は HVSC より小さくなるものの、主要動の継続時間が長くなり、図 3.10 に示すように 0.7 秒および 1.3 秒程度の比較的長周期成分が卓越している。この観測点における土層構成⁹⁾を表 3.3 に示す。表に示すように表層約 12m は比較的軟弱であり、また基盤岩の深度は約 800m であることがこのような地震動特性に影響していると考えられる。この傾向は Christchurch 中心部に位置する他の観測点 (CHHC, REHC, CBGS) でも同様である。なお、CBGS では水平 1 成分の約 8 秒~12 秒の間にサイクリックモビリティが発生した際のスパイク状の波形がみられ、観測点周辺で液状化が発生した可能性がある。

観測点周辺で顕著な液状化が発生した HPSC では最大水平加速度が 245 cm/s^2 であり、他の観測点より最大加速度も加速度応答スペクトルの振幅も小さくなっている。図 3.9 に示すように特に水平 1 (N04W) 成分の加速度は小さく、約 3 秒過ぎには応答が小さくなり、CCCC の波形とは異なる

傾向を示している。HPSC が設置されているポンプ場周辺の噴砂跡を写真 3.2 に示す。建物周辺の噴砂量が多いため建物は噴砂に埋もれたように見え、写真の左から右 (ほぼ東から西) に向かって約 2 度傾斜していた。また、HPSC 周辺の Google による 2010 年 9 月 3 日 (Darfield 地震直後) および 2011 年 2 月 23 日 (Christchurch 地震直後) 時点の衛星写真を写真 3.3 に示す。HPSC が設置されているポンプ場は Avon 川の右岸側に位置しており、河岸からの距離は約 30m である。HPSC の左の道路は Anzac Drive である。Darfield 地震直後にも右岸側の河岸周辺などに噴砂跡がみられるが、Christchurch 地震直後は周辺の住宅地、公園、道路一帯に噴砂跡がみられる。Christchurch 地震により市内で広範囲に液状化が発生した一端をみる事ができる。また、Avon 川に架かる橋梁の兩岸の橋台は川側に向かって足元をすくわれるように変位しており、橋台背面で沈下が生じている。道路復旧のための工事車両が右岸側にみられる。GeoNet では HPSC の地盤情報は提供されていないため、ここでは Darfield 地震後に実施された EQC¹²⁾による HPSC 近傍での地盤調査データの一部を図 3.11 に示す。表層約 10m では表層から約 3m は粘土およびシルトが卓越しているが、その下約 7m は砂質土が卓越している。また、やや下流側の CPT の結果¹²⁾によると砂質土層の先端抵抗値は 6 MPa ~10 MPa の範囲にあり、液状化抵抗は大きくないと考えられ、層厚約 7m の砂質土層が液状化したと考えられる。

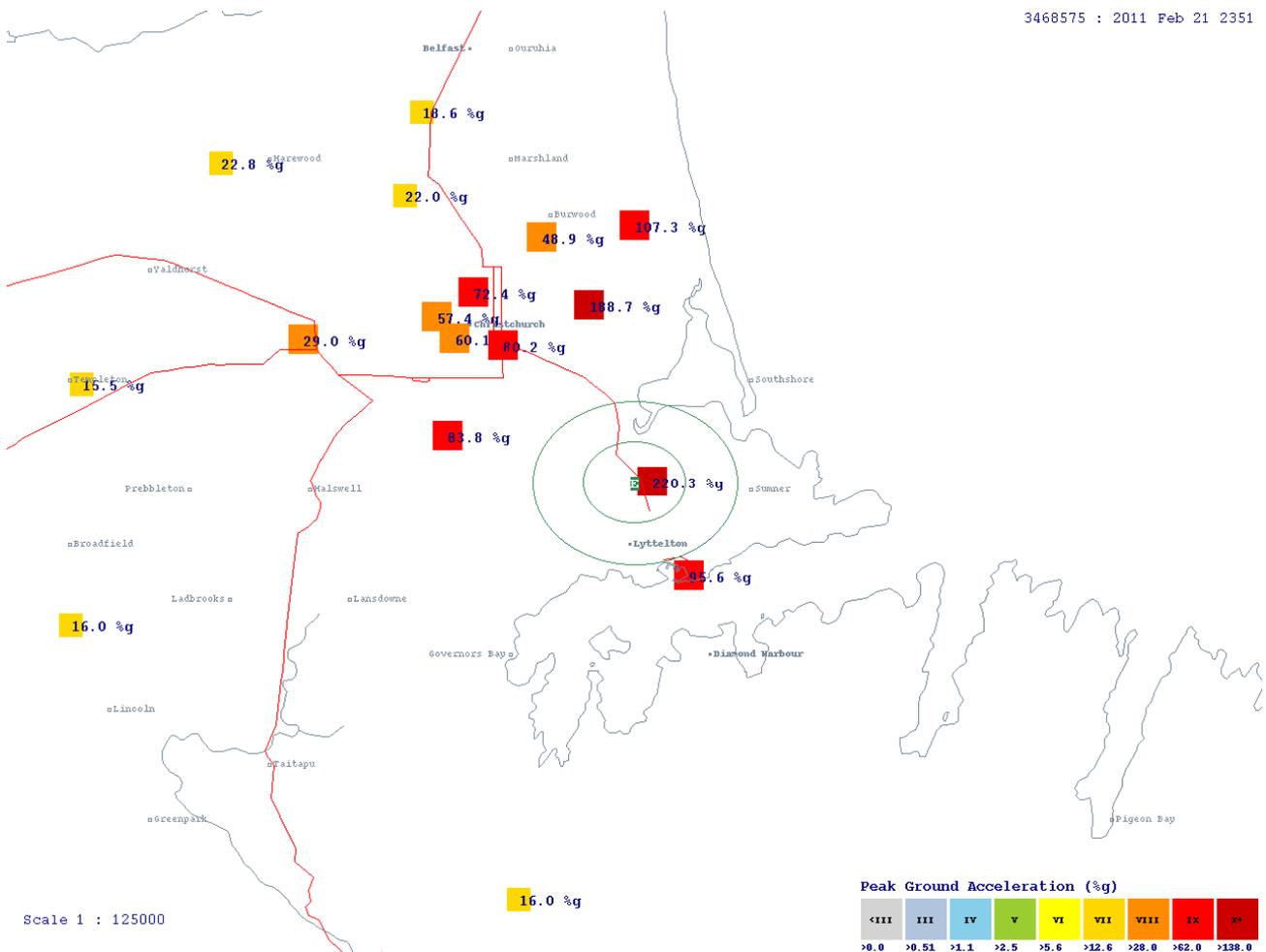


図 3.6 Christchurch 周辺の最大加速度²⁾

表 3.2 Christchurch 地震の震央距離 10km 以内の強震観測点¹⁰⁾

(a) Christchurch 地震における記録

コード	名前	震央距離 (km)	最大加速度 (cm/s ²)				最大速度 (cm/s)			
			鉛直	水平1	水平2	水平最大	鉛直	水平1	水平2	水平最大
HVSC	Heathcote Valley Primary School	1	1438	1427	1164	1475	39	97	62	97
LPCC	Lyttelton Port Company	4	405	767	862	980	17	37	42	48
CCCC	Christchurch Cathedral College	6	678	474	360	476	21	71	52	71
CMHS	Christchurch Cashmere High School	6	780	348	389	407	14	42	46	48
PRPC	Pages Road Pumping Station	6	1598	652	578	711	50	82	75	109
CHHC	Christchurch Hospital	8	501	329	354	448	22	55	66	85
REHS	Christchurch Resthaven	8	518	700	359	718	21	87	46	92
CBGS	Christchurch Botanic Gardens	9	265	519	422	631	13	63	44	77
HPSC	Hulverstone Drive Pumping Station	9	841	146	233	248	34	25	36	38
SHLC	Shirley Library	9	491	306	335	336	22	70	70	70

(b) Darfield 地震における記録

コード	名前	震央距離 (km)	最大加速度 (cm/s ²)				最大速度 (cm/s)			
			鉛直	水平1	水平2	水平最大	鉛直	水平1	水平2	水平最大
HVSC	Heathcote Valley Primary School	43	275	545	607	652	10	31	19	31
LPCC	Lyttelton Port Company	45	152	326	221	367	10	19	16	19
CCCC	Christchurch Cathedral College	38	153	225	198	237	16	37	57	60
CMHS	Christchurch Cashmere High School	36	250	244	233	252	10	18	35	36
PRPC	Pages Road Pumping Station	41	305	195	227	230	17	24	45	48
CHHC	Christchurch Hospital	36	157	194	150	194	14	50	22	51
REHS	Christchurch Resthaven	37	203	233	242	319	16	24	41	45
CBGS	Christchurch Botanic Gardens	36	107	147	171	181	13	22	38	40
HPSC	Hulverstone Drive Pumping Station	43	126	153	110	154	16	38	26	38
SHLC	Shirley Library	39	113	172	176	189	14	26	34	39

謝辞

報告書の作成にあたり、強震動記録に関して後藤浩之助教（京都大学防災研究所）より有益な情報を頂いた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) (社)地盤工学会ニュージーランド Darfield 地震災害緊急調査団:ニュージーランド Darfield 地震災害緊急調査団報告書, http://www.jiban.or.jp/file/saigai/nz_earthquake_20110106.pdf, 2010.12
- 2) GeoNet: <http://www.geonet.org.nz/news/feb-2011-christchurch-badly-damaged-by-magnitude-6-3-earthquake.html>
- 3) GNS Science: <http://www.gns.cri.nz/Home/News-and-Events/Media-Releases/Most-damaging-quake-since-1931/Canterbury-quake>
- 4) NHRP: <http://www.naturalhazards.org.nz/NHRP/Hazard-themes/Geological-Hazards/February-22nd-aftershock>
- 5) GeoNet: <http://www.geonet.org.nz/earthquake/quakes/3468575g-shaking.html>
- 6) GNS: <http://www.gns.cri.nz/Home/Learning/>

Science-Topics/Earthquakes/Monitoring-Earthquakes/Other-earthquake-questions/What-is-the-difference-between-Magnitude-and-Intensity/The-Modified-Mercalli-Intensity-Scale

- 7) GeoNet: <http://magma.geonet.org.nz/felt/app?service=external/Felt&sp=S3468575&sp=SG>
- 8) GNS Science: <http://www.gns.cri.nz/Home/Our-Science/Natural-Hazards/Alert-Nation/Earthquake-Monitoring>
- 9) GeoNet: <http://magma.geonet.org.nz/delta/app?service=page/Home>
- 10) GeoNet: ftp://ftp.geonet.org.nz/strong/processed/Proc/2011/02_Prelim/2011-02-21_235142/
- 11) GeoNet: ftp://ftp.geonet.org.nz/strong/processed/Proc/2011/03_Prelim/2011-02-21_235142/
- 12) EQC: <http://canterbury.eqc.govt.nz/publications/factual-reports/geotechnical>

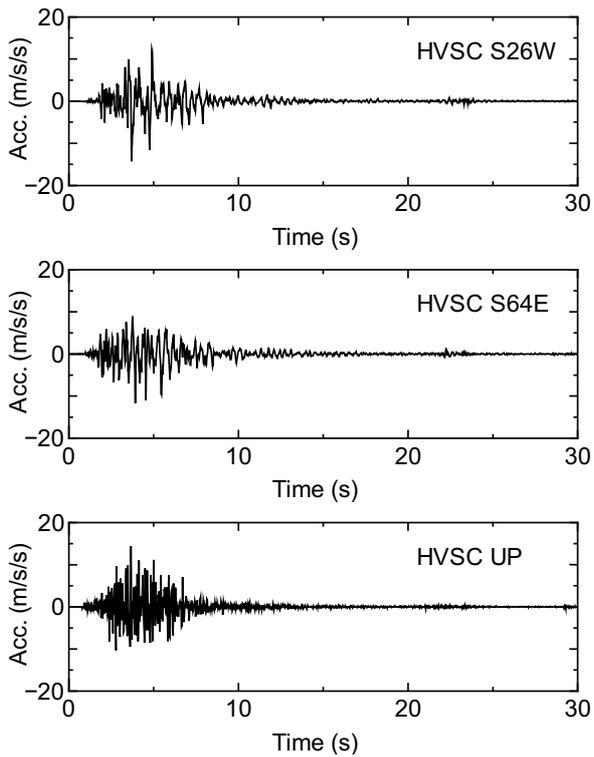


図 3.7 HVSC における加速度時刻歴¹⁰⁾

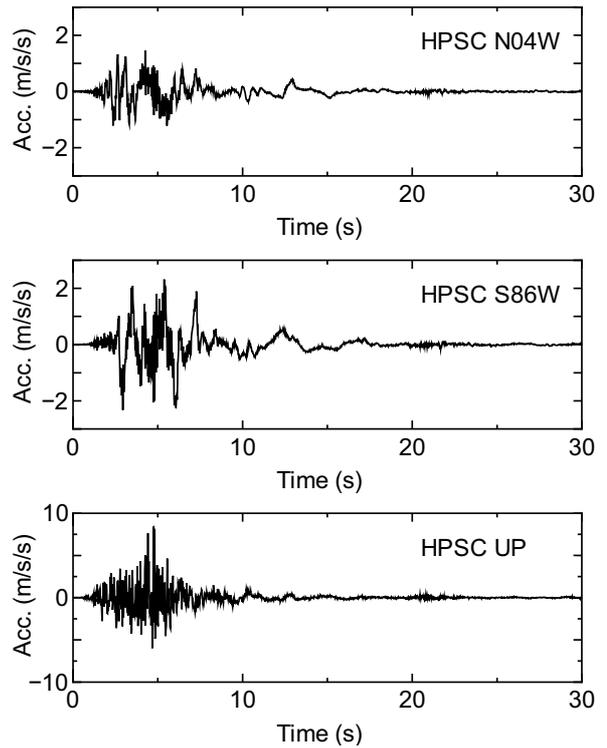


図 3.9 HPSC における加速度時刻歴¹⁰⁾

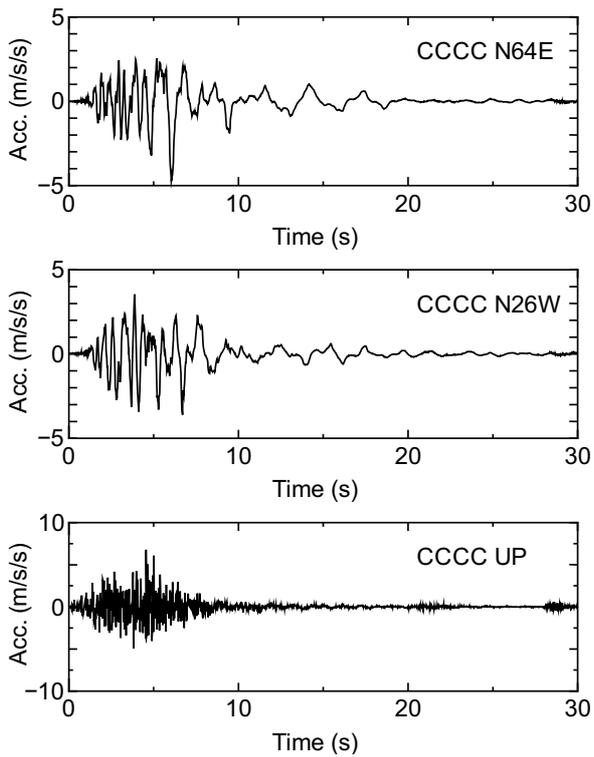


図 3.8 CCCC における加速度時刻歴¹⁰⁾

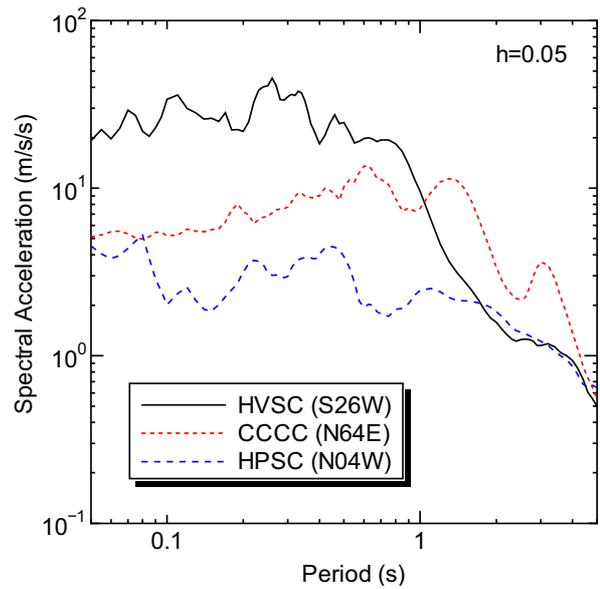


図 3.10 HVSC, CCCC および HPSC における水平 1 成分の加速度応答スペクトル¹¹⁾



写真 3.1 HVSC 周辺の建物被害 (2011 年 2 月 28 日, 渦岡良介)

表 3.3 CCCC における土層構成⁹⁾

Description	Strength	Thickness (m)	Notes
silt with wood	soft	3	fluvial silt with wood (Springston Fm)
gravel & sand	loose	9	loose to medium dense fluvial gravel & sand (Springston Fm)
sand, silt	dense	15	marine/ lagoonal sand, silt (Christchurch Fm)
gravel	dense	10	glacial outwash gravel (Riccarton Fm)
peat, silt, sand	firm	18	soft to stiff/ dense marine/ lagoonal/ swamp peat, silt, sand (Bromley Fm)
gravel	very dense	20	glacial outwash (Linwood gravel)
gravels	very dense	700	Tertiary rocks - effective bedrock
Bedrock	strong	-	basalt (Lyttleton basalt)



(a) 2010 年 9 月 3 日 (Darfield 地震直後)



(b) 2011 年 2 月 23 日 (Christchurch 地震直後)

写真 3.3 HPSC 周辺の衛星写真 (Google Earth)



写真 3.2 HPSC 周辺の噴砂跡 (2011 年 2 月 28 日, 渦岡良介)

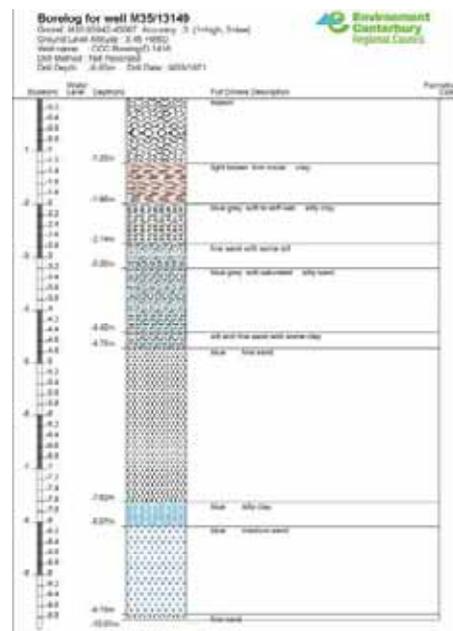


図 3.11 HPSC 周辺の地盤データ¹²⁾

4. 強震観測点周辺の被害状況と地盤の震動特性

Christchurch 地震における被害と地盤の振動特性との関係を把握することは重要である。そこで、本章では、(1)強震記録が得られているか地盤災害が顕著な地点近傍の被害状況の把握、ならびに、(2)当該地点近傍での微動一点観測から微動 H/V スペクトルの推定を試み、さらに、(3)その結果を、本震および余震時の強震記録の速度応答スペクトルと比較することで、対象地点近傍の地盤の振動特性と被害の関係を推定する基礎資料を得ることを目的とした。

調査は、2011年2月27日から3月1日にかけて行い、調査対象地点は、表 3.2 に示す強震観測点のうち HVSC, CCCC, PRPC, CHHC, REHS, CBGS, HPSC, SHLC の 8 地点と、液状化被害の激しかった Bexley の計 9 地点である。微動観測には、固有周期 2 秒の速度計を用い、各地点で約 10 分間の観測を行った。なお、Central Business District (CBD)内の、CCCC, REHS、および CHHC の敷地内への立ち入りが規制されていたため、微動観測はその近傍で行った。

4.1 各地点の被害状況と微動観測点

(1) Heathcote Valley Primary School (HVSC)

このサイトは小高い山に囲まれた Heathcote Valley 南山麓に位置する(写真 4.1)。本震時に観測された最大加速度は、水平合成成分 14.7m/s^2 、鉛直 14.4m/s^2 で、その水平成分は観測された記録の中で最大である。被害は、

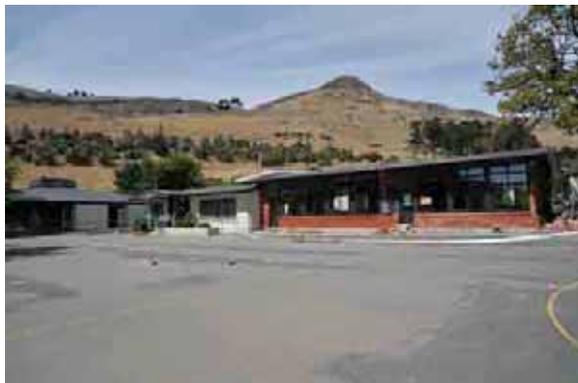


写真 4.1 HVSC 全景



写真 4.2 煉瓦壁の被害 (HVSC)



写真 4.3 室内の様子 (HVSC)



写真 4.4 微動観測状況と周辺の被害 (HVSC)

煉瓦壁の崩壊、室内の家具の移動や、書籍棟の棚からの落下等で、主要構造体の顕著な被害は認められなかった(写真 4.1・4.4)。写真 4.4 は微動観測の様子である。

(2) Christchurch Cathedral Collage (CCCC)

このサイトは、Central Business District (CBD)の南



写真 4.5 CCCC 周辺の被害状況



写真 4.6 微動観測状況 (CCCC)

端東部に位置する。本震時に計測された最大加速度は、水平合成成分 6.31m/s^2 、鉛直 2.65m/s^2 であった。被害は、煉瓦壁の崩壊、隣接する Cathedral of the Blessed Sacrament の一部倒壊などである (写真 4.5)。微動観測は、サイト南側入口付近で行った (写真 4.6)。Cathedral of the Blessed Sacrament 周辺、際と南側入り口付近では液状化等の地盤変状は認められなかった。

(3) Pages Road Pumping Station (PRPC)

このサイトは、Central Business District (CBD) の東部、海岸線との中間の平野部に位置する。本震時に計測された最大加速度は、水平合成成分 7.11m/s^2 、鉛直 16.0m/s^2 、水平合成成分の速度は 109cm/s であり、鉛直加速度、水平最大速度が市内の観測点の中で最大となっている。Pumping Station ならびに付近の住宅ともに、震動による構造的被害は認められなかった (写真 4.7)。ただし、Pumping Station の南西側 (写真 4.7 右、写真 4.8) では、建物が北東側に比べて相対的に $5\text{-}10\text{cm}$ 程度浮き上がるとともに、地盤は沈下し、建物との間に最大



写真 4.7 PRPC 全景



写真 4.8 PRPC の建物間の相対鉛直変位 (左端)



写真 4.9 地盤と建物の相対鉛直変位 (PRPC)

30cm 程度の段差を生じ、一面水たまりとなっていた (写真 4.9)。建物と周辺地盤とのギャップは、建物地下水槽が、この部分の局地的な液状化により浮力を受けて浮き上がったことに加えて、周辺部分が液状化により沈下した結果と推察される。この部分以外では液状化による噴砂、地盤の沈下、建物被害は認められなかった。

(4) Christchurch Hospital (CHHC)

このサイトは、Central Business District (CBD) の西側に位置する。本震時に計測された最大加速度は、水平合成成分 4.48m/s^2 、鉛直 5.01m/s^2 であったが、周辺での顕著な建物被害、地盤変状は認められなかった。微動観測は、道路を挟んだ南側 South Hangle Park で行った。

(5) Christchurch Resthaven (REHS)

このサイトは、Central Business District (CBD) の北端西部に位置する。本震時の最大加速度は、水平合成成分 7.18m/s^2 、鉛直 5.18m/s^2 であった。微動観測は、サイトから道路を挟んだ、北側の立入制限区域外で行った。

(6) Hulverstone Drive Pumping Station (HPSC)

このサイトは、Avon 川右岸 Anzac Drive Bridge 下流約 200m 、川岸から 50m に位置する (写真 4.10)。本震時に計測された最大加速度は、水平合成成分 2.48m/s^2 、鉛直 8.41m/s^2 である (図 4.1)。液状化の影響を受けて水平加速度の最大値が他の地点より小さくなる一方で、



写真 4.10 HPSC (写真右上) 周辺の被害状況

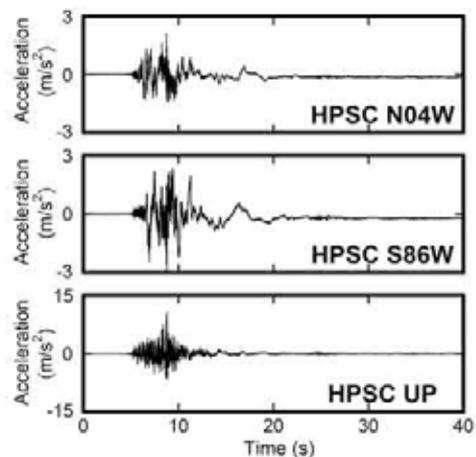


図 4.1 HPSC の無補正加速度時刻歴 (水平成分に建物傾斜に対応すると考えられる残留成分が見られる)

鉛直加速度は他に比べ大きくなったものと推察される。

なお、このサイトは、市内の強震観測点の中では、最も顕著な液状化が発生したが、その水平合成成分の最大速度は、38cm/s と、市内で観測された値(38-109cm/s)の中では最も小さくなっている。周辺では、液状化に伴う噴砂、側方流動、橋脚の回転、建物の傾斜、マンホール

ルの浮き上がり（写真 4.10-4.14）などが見られた。

Pumping Station は、周辺地盤から最大 40cm 程度の段差を生じて相対的に浮き上がり、配管が切断されるとともに、その重量が大きい東側に 2 度程度傾斜していた（写真 6-8）。建物と周辺地盤とのギャップは、建物地下水槽が液状化により浮力を受けて浮き上がったことに加えて、



写真 4.11 側方流動による橋脚の被害 (HPSC)



写真 4.15 HPSC の被害状況



写真 4.12 橋脚の杭基礎 (HPSC)



写真 4.16 HPSC の被害状況



写真 4.13 噴砂と木造家屋の傾斜 (HPSC)



写真 4.17 HPSC と周辺地盤との段差 (南東側)



写真 4.14 マンホールの浮き上がり (HPSC)



写真 4.18 HPSC と周辺地盤との段差 (北東側)



写真 4.19 CBGS の計測小屋と周辺の地割れ



写真 4.20 CBGS の地震計



写真 4.21 SHLC 隣の駐車場の被害



写真 4.22 SHLC 隣のショッピングセンターの被害



写真 4.23 SHLC の建物



写真 4.24 SHLC 建物内部の様子

周辺部分が液状化により沈下した結果と推察される。なお建物の傾斜角 2 度は、当該地点で観測された強震記録の S86E 成分の残留値 (図 4.1 約 1.5 度) よりやや大きい。

(7) Christchurch Botanic Garden (CBGS)

このサイトは、Central Business District (CBD) の西側の North Hangle Park 内 Botanic Garden 内に位置し (写真 4.19)、大きく蛇行する Avon 川左岸から三方を取り囲まれる場所に位置している。最も近い川岸まではおおよそ 200m 程度である。強震計は、小屋内部の床に設置されていた (写真 4.20)。本震時に計測された最大加速度は、水平合成成分 6.31m/s^2 、鉛直 2.65m/s^2 であった。小屋自体の構造的被害は認められなかった。周辺地盤には、新たに発生したと思われる地割れがあった (写真 4.19) が、噴砂は確認できなかった。

(8) Shirley Library (SHLC)

このサイトは、市北部の Palms Shopping Centre の北側に位置している。本震時に計測された最大加速度は、水平合成成分 3.36m/s^2 、鉛直 4.91m/s^2 であった。Palms Shopping Centre では、3 層駐車場の 1 階梁柱頭柱脚部のかぶりコンクリートの剥離、柱頭部梁のクラックなどが認められるとともに、サイト内では、至る所に液状化による噴砂や道路の不具合が認められた (写真 4.21、4.22)。隣接する 1 階建ての Shirley Library では、構造的な被害、地盤変状は確認できなかった (写真 4.23) が、図書館内部では本棚から多くの書籍が落下していた (写真 4.24)。

(9) Bexley

このサイトは、Central Business District (CBD) の東

側の Avon 川下流の新興住宅地である。地域の南端部分で激しい液状化が生じるとともに、地盤が南に側方流動して、前回の地震で受けた被害を更に大きくしている(写真 4.25)。微動観測は、この地区の南端で行った。



写真 4.25 側方流動による住宅の被害 (Bexley)

4.2 微動のH/Vスペクトル

図 4.2 に 9 地点の微動 H/V スペクトルを示す。Heathcote Valley 南山麓に位置する HVSC は、0.3 秒程度に単一の顕著なスペクトルピークを持ち、他の地点に比べて堆積層が浅いことを示唆している。Bexley を除く残りの地点 (CCCC, PRPC, CHHC, REHS, CBGS, HPSC, SHLC) では、0.5-0.7 秒と 3 秒前後にスペクトルピーク

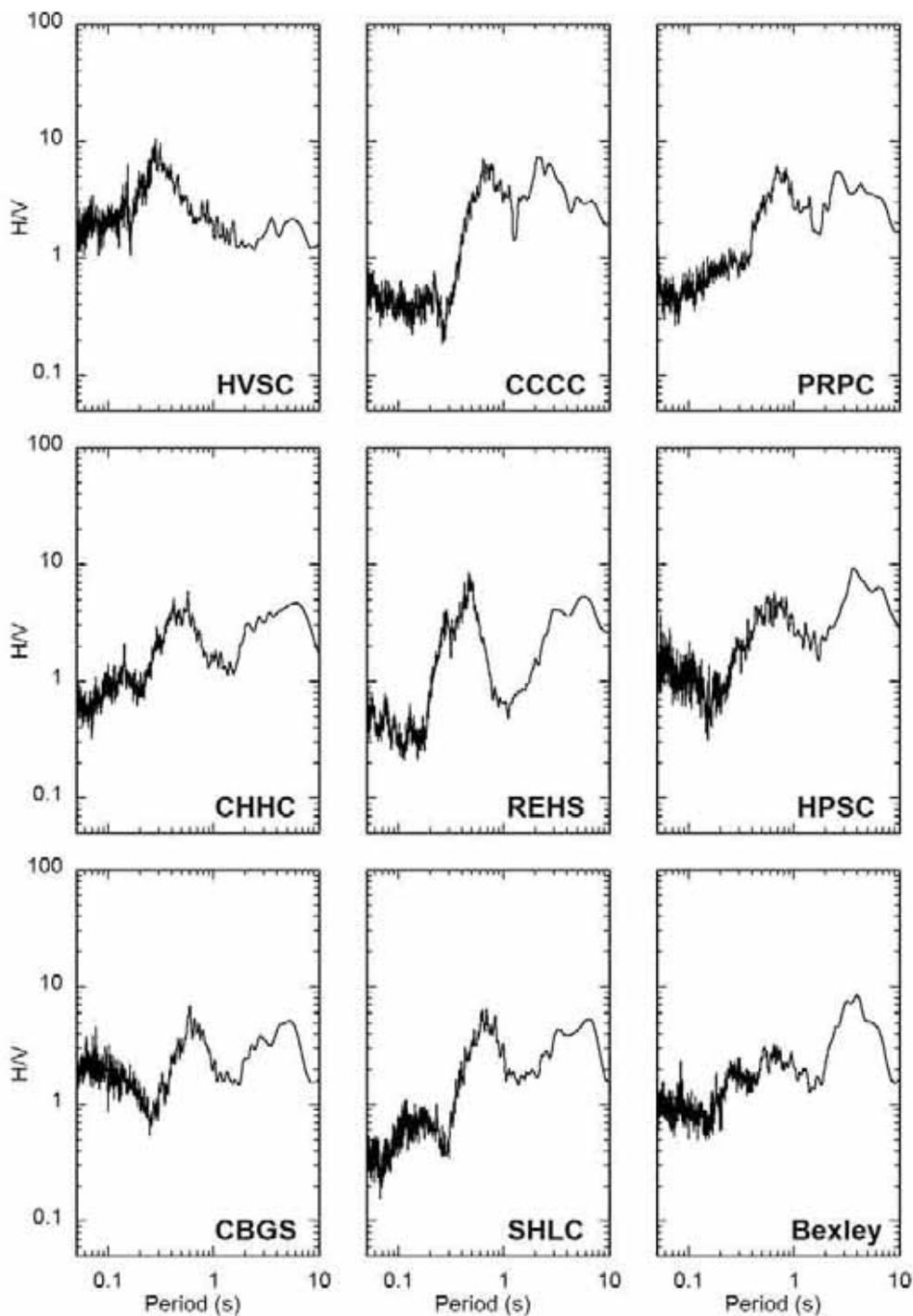


図 4.2 微動の H/V スペクトル

クを持ち、Bexley では、4 秒程度に単一の顕著なスペクトルピークを持つ。0.5-0.7 秒のピークは比較的表層のせん断振動の固有周期を反映し、3-4 秒程度のピークは、より深い層のせん断振動の固有周期を反映しているものと推察される。

4.3 2011Christchurch地震及び2010Darfield地震での各地点の地震記録の速度応答スペクトル

図 4.3、図 4.4 に 2010Darfield 地震および 2011Christchurch地震での各地点の地震記録の速度応答

スペクトルを示す。

図4.3から、2010 Darfield地震では、全地点で、1秒以下の短周期領域と長周期領域（3秒程度またはそれ以上）にスペクトルピークが見える。速度応答スペクトルの1秒以下のピーク周期は、微動H/Vスペクトルの短周期側ピーク周期と概ね対応しているかやや大きめであるように思われる。さらに、速度応答スペクトルの長周期側のピークは、微動H/Vスペクトルの長周期側ピーク周期に対応しているように思われる。

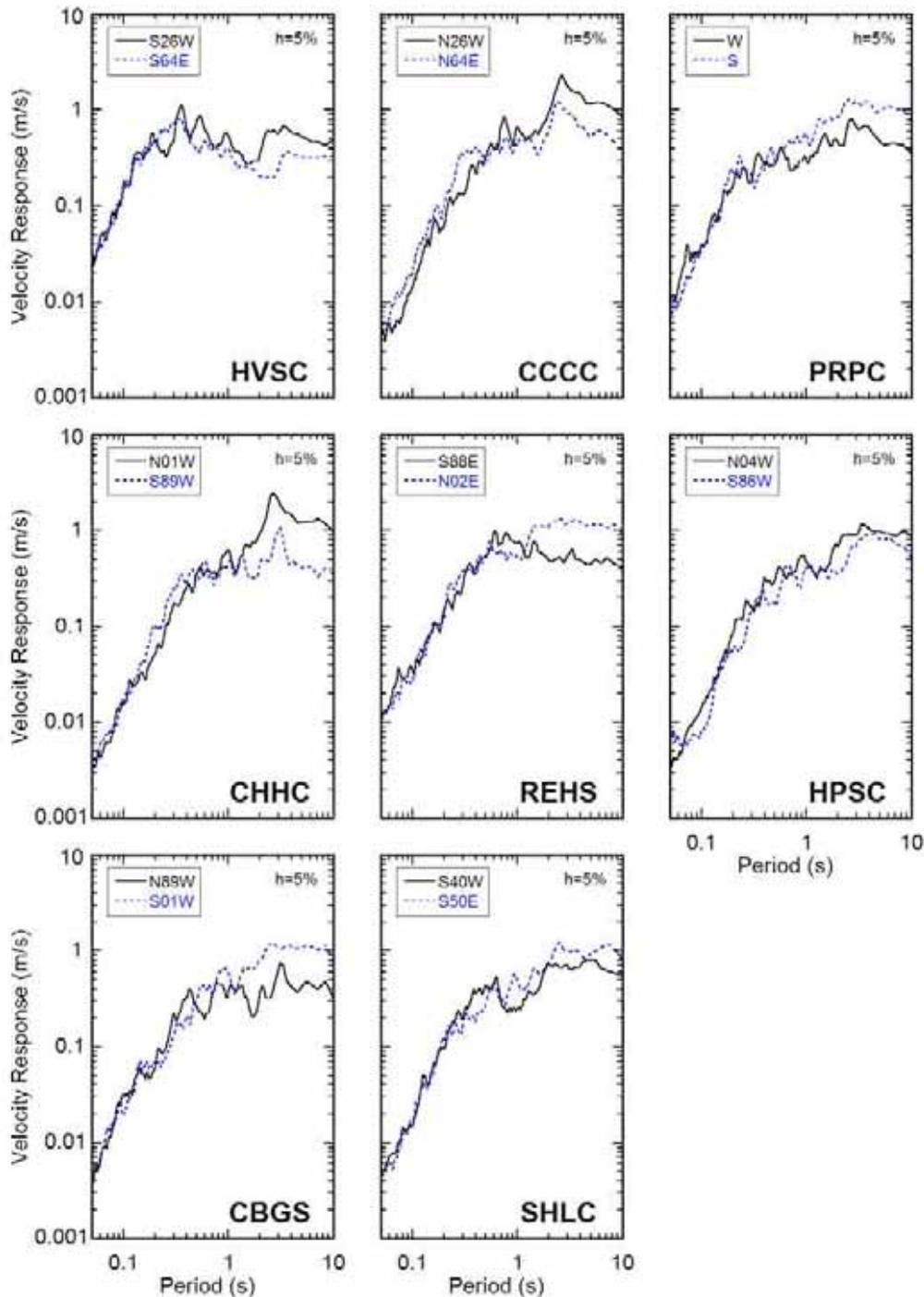


図 4.3 2010Darfield 地震での各地点の地震記録の速度応答スペクトル

図4.4から、2011Christchurch地震では、HVSCを除く7地点で、微動H/Vスペクトル、Darfield地震速度応答スペクトルと同様に、長周期領域（3秒程度またはそれ以上）にスペクトルピークが見える。したがって、これら長周期領域のスペクトルピークは、深い地盤構造の振動を反映したもので、微動、地震動レベルによらないと推察される。さらに、図4.4では、HVSCを除く7地点で、1.0-2.0秒にスペクトルピークが見られる。これらの周期は、HPSC以外では微動H/Vスペクトルに見られる0.5-0.7秒の周期の2倍程度になっていることから、表層地盤の非線形化

によって対応する表層地盤のせん断振動の固有周期が伸びたものと推察される。また特に、地盤が液状化したHPSCでは、3倍程度以上となっており、地盤のせん断剛性が液状化により大きく減少したことを示唆している。HVSCにおいても、2011Christchurch地震の速度応答スペクトルの1秒以下のピーク周期は、微動H/Vスペクトルの短周期側ピーク周期や2010Darfield地震のそれに比べて長周期化の傾向が認められることから、表層地盤が非線形化した可能性が示唆される。

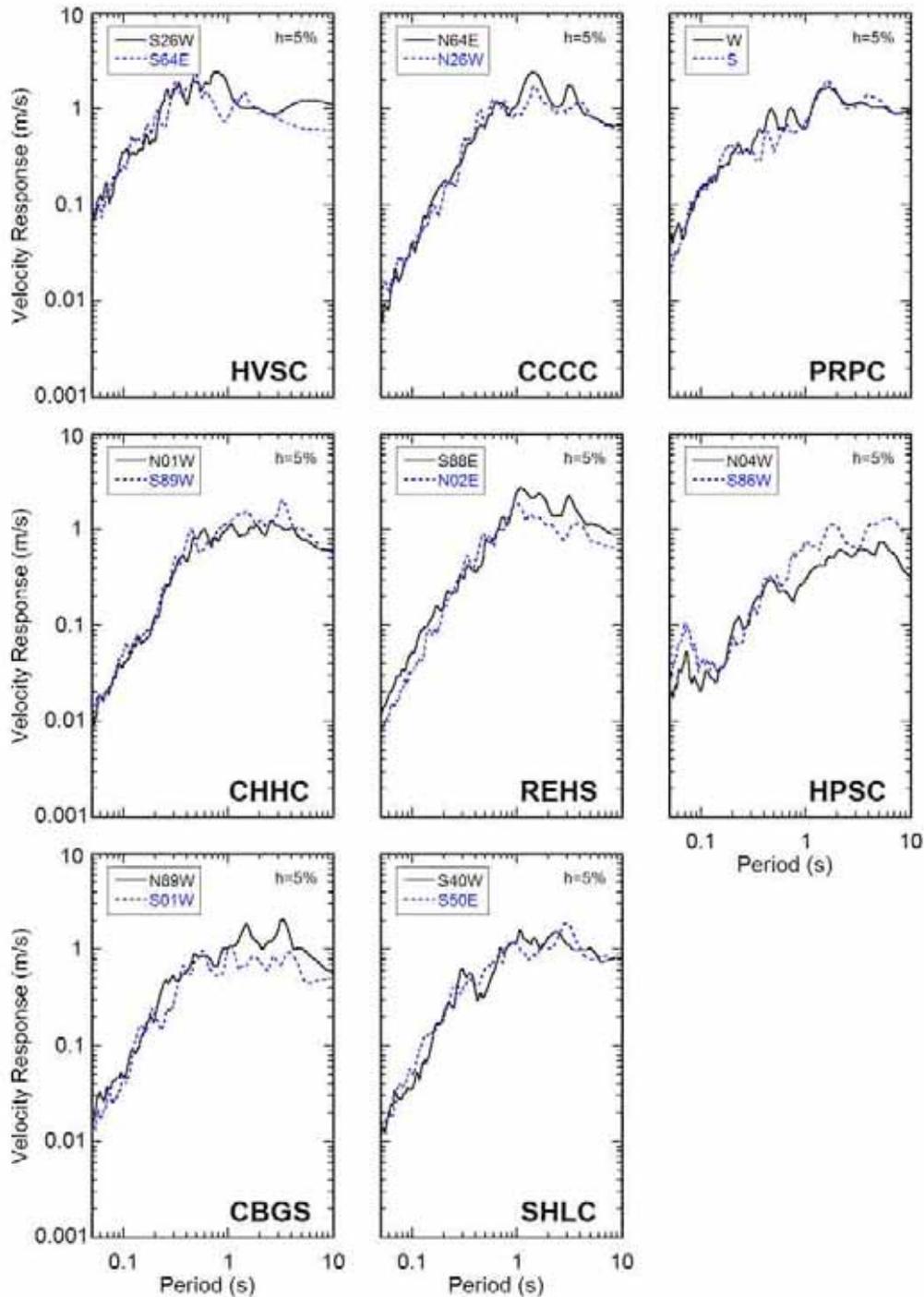


図 4.4 2011Christchurch 地震での各地点の地震記録の速度応答スペクトル

4.4 まとめ

Christchurch地震における被害と地盤の振動特性との関係を把握するため、本章では、(1)強震記録が得られているか地盤災害が顕著な地点近傍の被害状況の把握、(2)当該地点近傍での微動一点観測から微動H/Vスペクトルの推定、(3)その結果を、本震および余震時の強震記録の速度応答スペクトルとの比較より、対象地点近傍の地盤の振動特性と被害の関係を推定する基礎資料を得ることを目的とした。限られた調査で得られた知見は以下の通りである。

(1) 強震観測点周辺での、振動による構造物への直接被害は、耐震性が低いと考えられる構造物またはその一部のみに限定的に見られた。強震観測点のうちHulverstone Drive Pumping Station (HPSC)では、顕著な液状化が認められ、観測点建屋が傾斜していた。また、当地点で得られた無補正加速度時刻歴には、観測点建屋の傾斜に対応する残留値が認められた。

(2) 微動一点観測から得られたH/Vスペクトルでは、多くの地点で、短周期領域と長周期領域（0.3-0.7秒と3秒程度）にスペクトルピークが認められた。これらは、それぞれ、各地点の微少振動レベルでの表層地盤およびより深い地盤の弾性せん断振動の固有周期を反映しているものと考えられる。

(3) 2011Christchurch地震の速度応答スペクトルにも、多くの地点で、短周期領域と長周期領域（0.5-2.0秒と3秒程度またはそれ以上）にスペクトルピークが認められた。それらは、上記(2)に記載の微少振動レベルでの短周期および長周期のスペクトルピーク周期に対応するものと考えられる。の短周期側の、短周期領域でのスペクトルピーク周期は、微動H/Vピーク周期の3倍程度（HPSC）または2倍程度（他の7観測点）長くなり、Christchurch地震の激震動により表層地盤の非線形化が顕著であったことが示唆される。

(4) 2010Darfield地震の速度応答スペクトルにも、多くの地点で、短周期領域と長周期領域（1秒以下と3秒程度）にスペクトルピークが認められた。それらは、上記(2)に記載の微少振動レベルでの短周期および長周期のスペクトルピーク周期に対応するものと考えられる。短周期領域でのスペクトルピーク周期は、微動H/Vピーク周期と概ね同程度かやや長い程度であり、Christchurch地震に比べると表層地盤の非線形化は顕著ではなかったものと推察される。

5. Christchurch における液状化の発生地区の調査方法および結果

昨年の本震(Darfield 地震)同様、今回の地震においても Christchurch 市内は甚大な液状化被害を受けた。液状化により発生した噴砂により車が動かないなど生活に支障を与えるので、住民の方々は昨年経験から地震後にいち早く学生ボランティアの助けも借りて噴砂の撤去作業を進められた(写真—5.1, 5.2 参照)。そこで、噴砂が残っている間に液状化の程度を判断するため、Canterbury 大学の Misko Cubrinovski 教授を中心に、地震翌日から迅速に液状化の発生地域の特定の調査が開始された。

Cubrinovski らは広範囲の液状化の発生有無を調査するために、車を利用して一つ一つ道路の通過しながら、道路とその道沿いの住宅の液状化の様子を確認し、地図に記録しながら、液状化の発生箇所を特定していった。地震翌日より、まず、Avon 川と Heathcote 川を中心に調査を行った。日本から派遣したメンバーが到着した時には既にほとんどの調査が終わっていた。ただし、南の Spreydon(スプレイドン)地区などはまだであり、急がないと噴砂の跡が分からなくなるので、この地区は日本からのメンバーで担当した。また、市街中心部 (City Business District, 以下 CBD と呼ぶ) エリアについては、地震直後には立ち入りが禁止されていたため遅れて調査を行ったが、立ち入りが許可されてから一週間ほどかけて対象地域の



写真—5.1 噴砂の片付けに向かうボランティア Bexley 地区(2011.03.03 撮影)



写真—5.2 撤去された噴砂の山 Woolston 地区(2011.02.25 撮影)

詳細調査を行った。このようにして作成された地図が図—5.1 である。

この特定にあたり、①道路や宅地に噴砂が見られ、激しい液状化を生じていた場合、②噴砂は見られるが液状化の被害は軽い場合、③噴砂が見られず液状化の被害を受けていない場合と3段階に分け、それぞれに赤の実線、赤の破線、青の実線で地図上に印す調査方法が Cubrinovski によって決められた。たとえば、写真—5.2 のような道路は赤の実線となる。この調査から、液状化の発生の有無は道路や区域により明確に分かれた。

この詳細な調査結果をもとに、Cubrinovski が液状化の範囲を判断したものが図—5.2 である。Christchurch 市には上述した Avon 川と Heathcote 川が西から東へ向かって流れており、Christchurch 市の中心部はこの2つの川に挟まれている。図に示されるように液状化はこの川沿いに多く発生している。液状化した範囲を大まかに言うと 7km×8km の範囲内の約 60%が液状化したと言える。

図—5.3 は昨年9月の際の液状化発生範囲を Cubrinovski が判断したものである。本震と余震の液状化範囲を比較すると、まず、液状化発生面積は本震に比べて余震の方が2~3倍になっている。特に北側に位置する Avon 川では昨年本震時にも液状化の被害を受けていたが、今回さらなる広い範囲で再液状化が発生している。そして Dallington 地区や Bexley 地区で激しい液状化が発生した。また、Heathcote 川流域の Hoon Hay 地区でも再液状化が発生して被害を受けた。

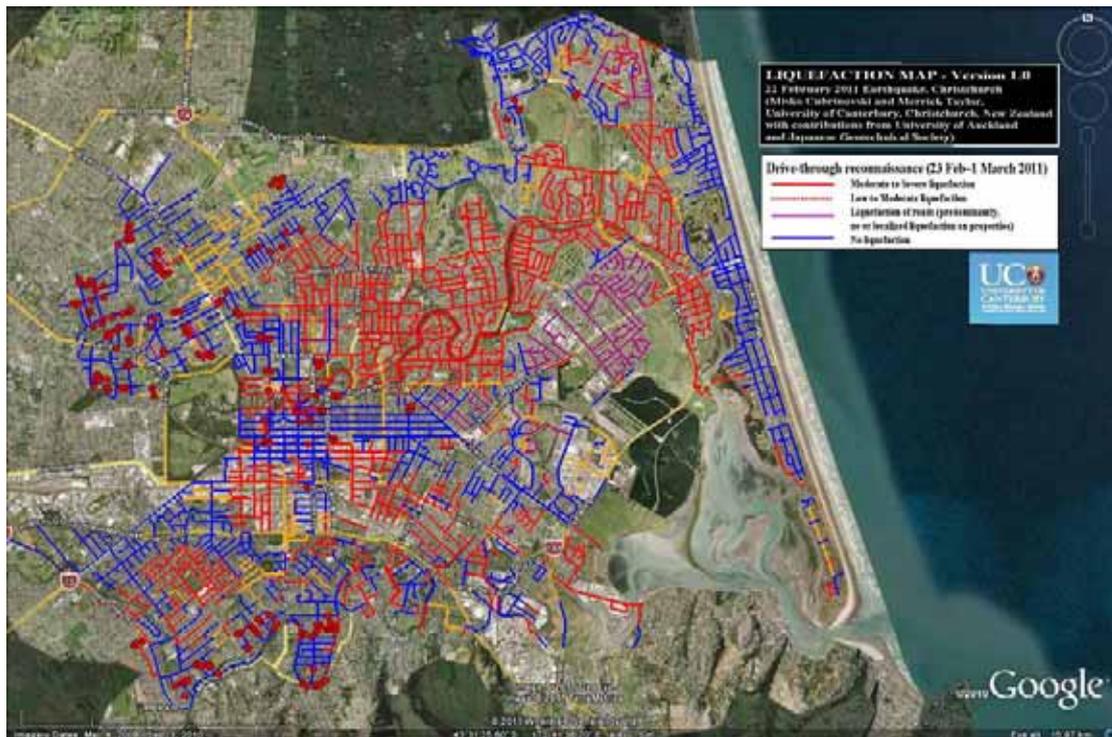
一方、本震時では被害が受けなかった Avon 川流域の Shally 地区や Richmond 地区、Heathcote 川流域の St. Martins 地区や Opawa 地区、さらに AMI Stadium のある Waltham 地区にも今回の地震では液状化による被害が発生した。

なお、二つ川の流域に沿った液状化の激しい地域では、川の方向に向かって地盤の流動も発生し、家屋やライフラインへの被害を甚大にしていた。

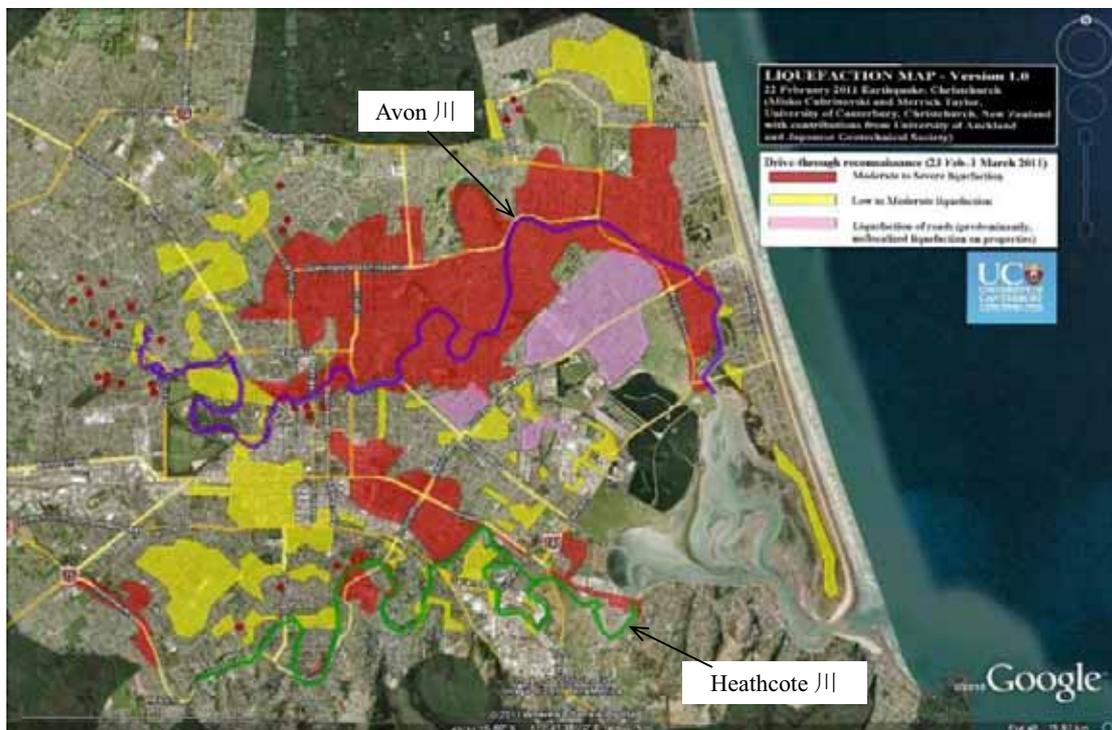
また、CBD エリアでは、本震の際噴砂痕は少なく、Avon 川沿いにも噴砂の痕跡は見受けられなかったものの、歴史的建造物などの古い建物に震動による被害があった¹⁾。しかしながら、今回の地震では、CBD エリア内の北側 (Avon 川周辺) に集中して液状化被害が広がっており、特に Kilmore St. は液状化による道路の変形と陥没が見られ (写真—5.3)、敷地内には大量の噴砂が見られた。さらに、Avon 川沿いを中心に流動の被害も多く報告されている (写真—5.4)。また、CBD エリアの西側にある Hagley Park では、CBD 同様 Avon 川沿いの北側に液状化が見られた。

参考文献

- 1) (社)地盤工学会ニュージーランド Darfield 地震災害緊急調査団：ニュージーランド Darfield 地震災害緊急調査団報告書，
http://www.jiban.or.jp/file/saigai/nz_earthquake_20110106.pdf, 2010.12.
- 2) GEOTECHNICAL RECONNAISSANCE OF THE 2010



図一5.1 液状化発生の現地詳細調査結果 (Google Earth より)



図一5.2 液状化発生地区の判断結果(Cubrinovski らの結果に加筆, Google Earth より)



図—5.3 Darfield 地震における液状化被害マップ²⁾



写真—5.3 Kilmore St.の道路の起伏
(2011.03.23 撮影)



写真—5.4 CBD内 Avon 川沿いの流動
(Colombo St. 東側 2011.03.23 撮影)

約 80cm の亀裂の深さ

6. Christchurch における液状化および流動に伴う構造物の被害

Christchurch 市内 調査位置図を図 6-1.1 に示す。今回 Christchurch 市内で実施した調査は、海岸から約 8.5km の範囲にひろがる市街地・住宅地である。

本章では市内で生じた被害を 4 つの区域（Avonside 周辺、Avondale 周辺、Bexley 周辺、市街地南部）に分けて、それぞれ概説すると共に、Avon 川と Heathcote 川沿いに生じた河道への側方流動の計測結果をまとめる。

なお、2 月 26 日～3 月 4 日の調査では、市街地中心部への立ち入りは制限されたため、この区域の調査は実施していない。本章ではこの地域の被害については触れないが、中心部の被害の一部は 5 章にまとめられているので参照されたい。



図 6-1.1 Christchurch 市内調査位置図

6-1. Avonside 周辺

Avonside 周辺地域では、液状化やそれに伴う流動による橋梁、道路、家屋、埋設管の被害が多数生じた。

写真 6-1.1, 6-1.2 は橋梁の被害例である。Avon 川周辺地盤が液状化により河道に向かって流動したため、橋桁と背後地盤の境界の舗装面でバックリングが生じ、更に段差が生じている。橋台は滑动モードで変位し、約 12° 傾斜していた。橋台のつま先部分に大量の噴砂が確認されたため、背後地盤だけでなく、基礎地盤も液状化したことが伺える。



写真 6-1.1 橋桁と地盤の境界におけるダメージ (Richmond 地区 Fitzgerald Ave.橋)



写真 6-1.2 橋台の変状 (Richmond 地区 Fitzgerald Ave.橋)

写真 6-1.3, 6-1.4 は Avon 川左岸で確認された道路の変状である。舗装は大きく陥没し、開口幅は最大 3.5 m に達している。また、道路全体が河道に向かって変位しており、特に道路の変状の激しい箇所では川沿いの樹木や電柱が大きく傾斜していた。

写真 6-1.5 は Avon 川左岸の堤防道路沿いの家屋の被害である。流動に伴う亀裂が家屋まで達し、玄関付近を通過している。これにより家屋に 50 cm 程度の不等沈下が生じた。

また、Avon 川周辺では埋設管へのダメージも深刻であった。写真 6-1.6, 6-1.7 はそれぞれ Avon 川左岸、右岸の路地の様子である。調査は地震発生から 6 日後に実施されたが、液状化した路面には部分的に水たまりが確認された。これらは液状化と流動に伴う水道管の被害により、路面に水が溢れたためである。このような埋設管の被害は市内の多数の箇所で見られていた。



写真 6-1.3 Avon 川左岸道路の被害
(Richmond 地区)



写真 6-1.6 Avon 川左岸の路地で確認された水道管の被害
(Richmond 地区)



写真 6-1.4 Avon 川左岸道路の被害
(Richmond 地区)



写真 6-1.7 Avon 川右岸の路地で確認された水道管の被害
(Avonside 地区)



写真 6-1.5 Avon 川沿いの家屋の被害(Richmond 地区)

Avonside では、液状化に伴う流動により多くの被害が発生したが、水平変位量は比較的小さい。写真 6-1.8 は Avon 川右岸で撮影した橋梁周辺の路面の様子である。写真(上)の左側に河道と橋があり、液状化により左から河道に向かって地盤が流動したと考えられる。写真 6-1.8(左下)に示すように川に近い部分では顕著な変状が生じていたが、河道から離れた部分の変状は顕著ではない。写真(右下)より、流動量に差が生じていることが分かる。これは橋の延長部では橋台の存在により流動が抑制されたことが考えられる。周辺部分との差は約 10~15 cm 程度であった。

一方、比較的大きな流動変位も確認されている。写真 6-1.9 は Avon 川右岸の様子であるが、河道から約 30 m 程度離れた箇所において約 40 cm の段差と 50~60 cm 程度の水平変位が確認された。



写真 6-1.8 Avon 川右岸で生じた流動の様子
(Avonside 地区 Swanns Rd.橋東側)



写真 6-1.9 Avon 川右岸で生じた流動の様子
(Avonside 地区)

河道沿いであっても液状化や流動が全く確認されていない箇所もある。写真 6-1.10 は Avon 川右岸の蛇行部外側に位置する家屋であるが、この周辺地域も含め、液状化による被害は確認されていない。図 6-1.2 に示すように、液状化の発生と微地形の関係には密接な関係があることが知られているが、当該箇所も蛇行湾曲部外側に発達した自然堤防に位置していると考えられる。

なお、2010 年 Darfield 地震による液状化により大きな被害を受けた St. Paul 教会は、今回の地震前に解体されていた。教会跡地では、今回の地震による再液状化の痕跡が確認された (写真 6-1.11)。



写真 6-1.10 Avon 川右岸沿いの無被害の家
(Aconside 地区)

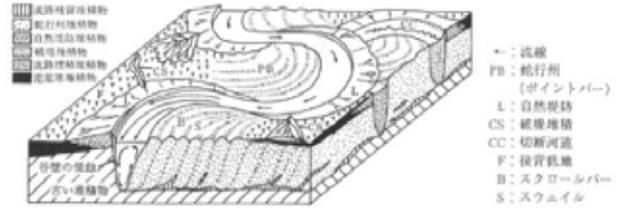


図 6-1.2 蛇行湾曲部の極微地形と堆積物 (鈴木隆介, 1998 after Allen, 1978)



写真 6-1.11 St. Paul 教会跡地で、2010 年 Darfield 地震に引き続いて発生した噴砂。(Dallington 地区)

6-2. Avondale 周辺

Avondale 周辺地域では、写真 6-2.1 に示すように非常に大量の噴砂が発生した。特に Avon 川沿いの家屋では傾斜・沈下が非常に多く見られた。

写真 6-2.2, 6-2.3 はそれぞれ Avon 川左岸と右岸で確認された家屋の被害である。左岸の家屋では基礎地盤の液状化に伴い家の川側半分が約 50 cm 沈下し、壁面に亀裂も生じている。また、右岸の家屋では河道に向かって流動した基礎地盤に建物も引き摺られ、建物下部が大きくひずんでいる様子が伺える。

写真 6-2.4 は Avon 川右岸沿いの家屋の裏庭にあったプールの被害である。今回の地震により幅 5m, 長さ 13.5 m のコンクリート製のプールが最大約 1.4 m 浮上した (図 6-2.1 参照)。今回の地震時にはプールに水は無かった。2010 年 9 月の地震時にはプールに水が張っており、当時はプールが 10 cm 程度沈下したとの証言を得ている。



写真 6-2.1 大量の噴砂



写真 6-2.4 Avon 川右岸で確認されたプールの浮き上がり (Avondale 地区)



写真 6-2.2 Avon 川左岸の家屋の被害 (Burwood 地区)

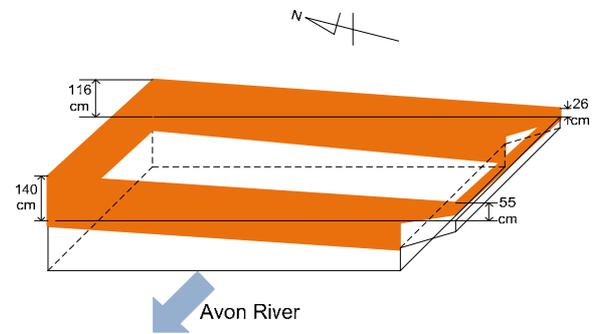


図 6-2.1 プールの浮き上がり量概要図 (c.f. 写真 6-2.4)



写真 6-2.3 Avon 川右岸の家屋の被害 (Avondale 地区)

写真 6-2.5, 6-2.6 は、新河道と旧河道に囲まれた公園の間にある堤防の被害の様子である。2010 年 9 月と 2011 年 2 月の地震後にそれぞれ撮影されたものであるが、2010 年 9 月の地震で生じた堤体のクラックが 2011 年 2 月の地震では更に大きくひろがり、天端部は約 1 m 沈下した。このような変状は堤防の液状化による被害の典型的な例であり、基礎地盤の液状化側方流動による Lateral spreading として知られている。



写真 6-2.5 2010 年の地震で生じた堤防の被害(Porrit Park)



写真 6-2.6 今回の地震で更に被害が拡大した堤防
(Wainoni 地区 Porritt Park)

写真 6-2.7, 6-2.8 はそれぞれ Avon 川左岸、右岸の橋台 (Anzac 橋: 橋長約 50 m) を上流側から撮影したものである。背後の周辺地盤では広い範囲で液状化が確認されているが、橋台背面地盤の液状化に伴う流動、および橋台基礎の液状化によって、橋台が 5~6°程度傾斜した。また、左岸では橋台前面の歩道が大きく沈下し、水没していた。



写真 6-2.7 Anzac 橋左岸における橋台の変状



写真 6-2.8 橋右岸における橋台の変状(Avondale 地区)

6-3. Bexley 周辺

Bexley 周辺地域は Christchurch の東端に位置する新興住宅地である。約 5~6 年前に湿地を埋め立てが行われたが、2010 年 9 月の地震では大量の噴砂が確認され、今回の地震でもそれを上回る量の噴砂が生じた。

写真 6-3.1 は Avon 川右岸における水道管の補修作業の様子である。また、写真 6-3.2, 6-3.3 はそれぞれ 2010 年 9 月、2011 年 2 月の地震後に撮影された同じ家の様子である。今回の地震による液状化の程度が非常に大きかったことがこの写真からも伺える。また、この家屋には 2010 年の地震後にはなかった赤い紙 (構造物判定による最も危険度の高い色) が、2011 年の地震後には窓に張られていた。この家屋が位置する Bexley 地区の Seabreeze Cl. では、今回の調査において最も厚い噴砂の堆積が確認された。

写真 6-3.4 は Bexley 地区の被災した家屋内部の様子である。住民の証言では、床に生じた亀裂から大量の噴砂が流入したとのことである。

Bexley では、上記家屋の周辺において液状化流動に巻き込まれた家屋の被害が多く見受けられた。写真 6-3.5, 6-3.6 は造成盛土端部におけるスロープで確認された路面のクラックの様子である。それぞれ 2010 年 9 月、2011 年 2 月の地震後に撮影されたものである。今回の地震ではこのクラックが更に大きく広がっており、今回の地震でも側方流動が生じていることが伺える。



写真 6-3.1 水道管修復作業の様子



写真 6-3.2 2010年の地震後の液状化被害(Seebreeze Cl.)



写真 6-3.3 今回の地震後に確認された液状化被害



写真 6-3.4 家屋内部に堆積した噴砂の様子



写真 6-3.5 2010年の地震で生じたスロープの変状



写真 6-3.6 今回の地震後に確認されたスロープの変状 (Seabreeze Cl.より Wetland への道)

6-4. Avon 川、Heathcote 川周辺の液状化側方流動影響範囲

Christchurch 市内では顕著な液状化が発生し、多くの一般家屋や道路、埋設管に被害が生じた。特に顕著な被害は河道に沿った地域であったが、これらの被害は液状化に伴う側方流動の影響を大きく受けていると考えられる。今回の調査では、Avon 川と Heathcote 川と接する道路の舗装面に生じた引っ張り亀裂を当該箇所が発生した液状化に伴う流動によるものと仮定し、各河川周辺の流動影響範囲を求めた。

Avon 川の調査結果を図 6-4.1 に、Heathcote 川のものを図 6-4.2 に示す。Avon 川では最大で河道から 200 m 程度離れた箇所まで側方流動の影響を受けている。一方、Heathcote 川では Avon 川と比較すると流動発生箇所が少なく、その範囲も比較的狭い。また、これらの図を前節で示した液状化発生マップと重ねたものを図 6-4.3、6-4.4 に示す。激しい液状化が発生した地域では河道に向かう流動の範囲や分布も大きくなっていることが見受けられる。



図 6-4.1 Avon 川沿いの側方流動の影響範囲

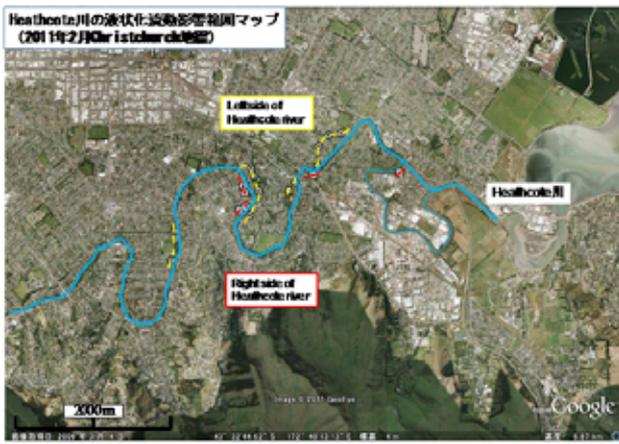


図 6-4.2 Heathcote 川沿いの側方流動の影響範囲



図 6-4.3 Avon 川沿いの側方流動影響範囲と液状化発生箇所

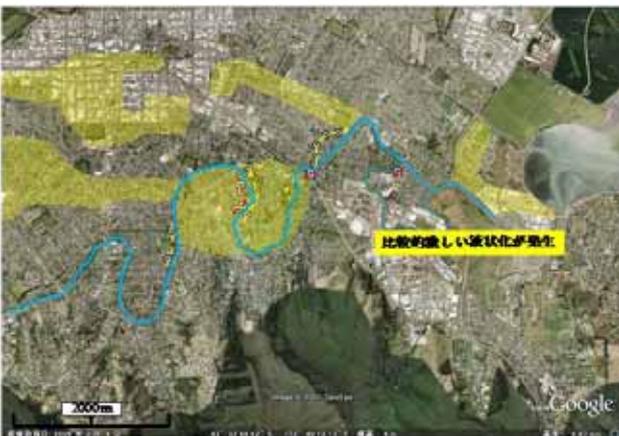


図 6-4.4 Heathcote 川沿いの側方流動の影響範囲と液状化発生箇所

7. 噴砂が発生しなかった地区における構造物の被害

噴砂が発生しなかった地区で、今回調査を行った箇所を図-7.1に示す。まず、CBD(City Business District)内では、図-5.2にも示されるように北側の地区は液状化による被害が生じたが、南側の地区は液状化の程度は軽いか発生してなく、逆に震動による建物被害が多くみられた。特に、歴史的建造物や比較的古い建物が倒壊した(写真-7.1: Christchurch の代表的な歴史的建造物 大聖堂, 1904年建設)。また、CBD エリア内の Colombo St. 沿いは今回の調査範囲では特に被害が顕著であり、煉瓦造りの古い建物の多くが倒壊していた。写真-7.2に被害状況を示すが、写真に見られるようにこの周辺一帯はほとんどが倒壊していた。また Mollett St. は瓦礫に埋め尽くしてしまい、通行不可能になっていた。

Heathcote 川から南側では、山に近くなると液状化の噴砂痕は見られず、震動による建物被害が発生していた。Heathcote Valley の小学校では写真-7.3に示すように、表面の煉瓦が崩れ落ちていた。平屋建てで、比較的近年に作られたとみられるが、ガラスが割れガラスサッシの歪みが発生していた。しかしながら、屋内プールには被害は見受けられなかった。

Christchurch の有名なビーチの一つである Summer 地区では落石による住宅被害のほか、市内同様古い煉瓦造りの建物が被害を受けていた(写真-7.4)。なお、この博物館は本震時には被害を受けていなかった。

Bunks 半島の北側に位置する港町の Lyttelton も今回の地震によって被害を受けた。9月の本震時でも海沿いの

液状化が報告されており、また、ホテルや美術館にクラックが生じるなどの建物被害もあった(写真-7.5)。今回の地震では Lyttelton のシンボルである Timeball Station が倒壊した。ただし、ここは9月の本震では被害がなかった。一方、海沿いから山側の少し高台にある Empire ホテルは、昨年9月の本震時に被害を受けており、傾いて倒壊の危険があったため、フレームを取り付けてあった。これに対し、今回の地震によるさらに建物が被害を受け、フレーム自体も写真-7.6に示すように数センチ動いた。

Lyttelton から市内へのルートには山を通るルートとトンネルを通る最短ルートがある。今回の地震により、トンネルは小さなクラックが発生した。また、山ルートの Lyttelton 港側では、写真-7.7に示すように落石による住宅被害が発生した。GNS のレポートによるとかなり大きな石が 350m 上から、600m 以上も移動して住宅を通り抜けた。なお、地震時住民は不在で人的被害はなかった。また、山ルート市内側の Cashmere Hill 中腹に Sign of the Takahe という建物がある。1900年代前半に建設されたもので、現在はレストランなどとして利用されている、歴史的建造物である。昨年9月の本震では被害を受けていたという報告はなかったが、今回の地震では屋根が壊れるなどの被害が発生した。ただし、写真-7.8に示すように大きく倒壊することはなかった。

参考文献

- 1) GNS Science immediate report, GNS, 2011.03.02

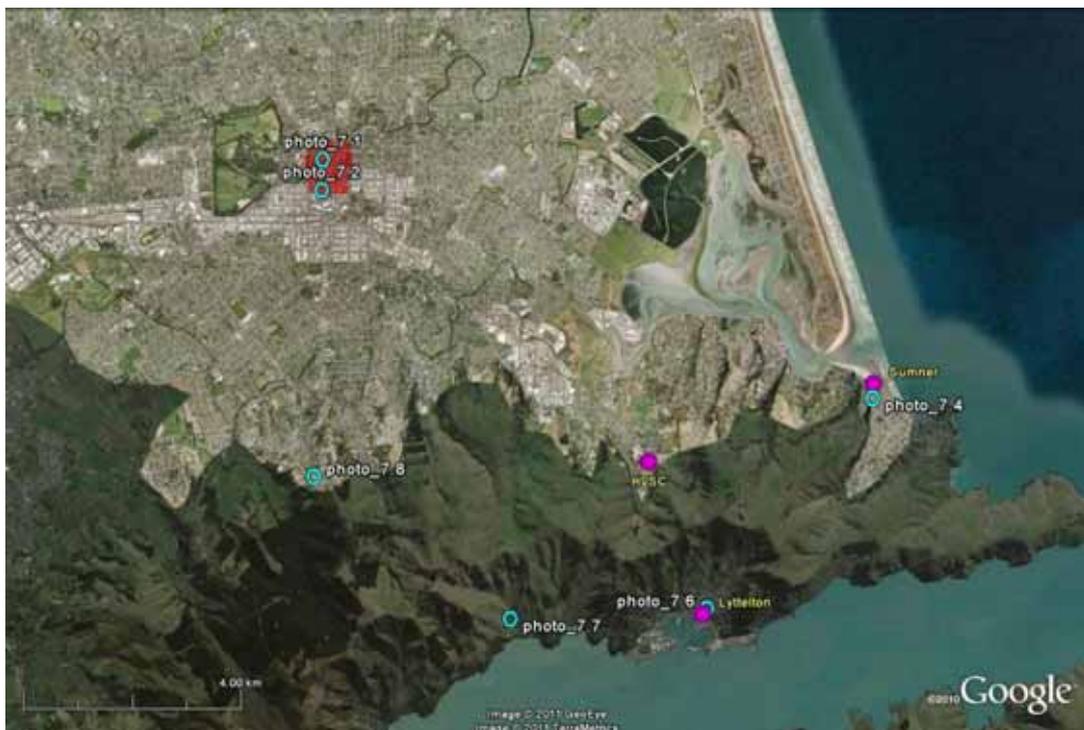


図-7.1 調査範囲(Google Earth より)



写真—7.1 大聖堂(2011.05.17 撮影)



写真—7.2 Colombo St.CBD エリア南側の様子
(2011.05.17 撮影)



写真—7.3 HeathcoteValley 小学校の様子(HVSC)
(2011.02.28 撮影)



写真—7.4 Summer 博物館の建物被害
(2011.03.03 撮影)



写真—7.5 Empire ホテル(Lyttelton)地震前の様子
(2010.11.12 撮影)



写真—7.6 Empire ホテル(Lyttelton)地震後の様子
(2011.03.05 撮影)



写真—7.7 落石による住宅被害
(2011.03.05 撮影)



写真—7.8 Cashmere Hill の建物被害
(2011.03.05 撮影)

8. Kaiapoi の被害状況

Kaiapoi では、2010 年 9 月の Darfield 地震で液状化に伴う大規模な地盤流動が生じ、それによって住宅地や商業施設、河川堤防が甚大な被害を受けた。しかし今回の Christchurch 地震では前回液状化した地点において再液状化が確認されたが、その規模や液状化による地盤と構造物の被害は Darfield 地震による被害と比べて小規模であった。

8.1 Kaiapoi

Kaiapoi はカンタベリー平野の北端に位置し、クライストチャーチ市中心部から約 17km 北にある住宅地である。Kaiapoi の町は、中心部を流れる Kaiapoi 川を境界として北 Kaiapoi と南 Kaiapoi の住宅地に分かれている(図 8.1)。Kaiapoi 川は、現在は Waimakariri 川の支流であるが、かつては本流であった。Kaiapoi の約 4km 東には太平洋の海岸線があり、砂丘が Waimakariri 川の河口を閉塞している。これにより河口付近には湿地帯が形成されており、陸部の地下水面は G.L.-1~2m と非常に浅い位置にある。

Kaiapoi の町は、はじめに現在の Kaiapoi 川北部に北 Kaiapoi の町が開発され、後に南側の湿地帯を一部埋立てて南 Kaiapoi に住宅地が造成された¹⁾。図 8.2 は現在の Kaiapoi の地図上に 1865 年の Waimakariri 川の河道を重ね合わせたものである²⁾。Waimakariri 川は頻繁に氾濫を起こし、その度に河道を変え、Kaiapoi の町は洪水の被害を受けてきた。ヨーロッパ人の入植後、Kaiapoi 川(旧 Waimakariri 北川)の両岸に堤防が築かれた。現在の北 Kaiapoi は河川堤防の上に成り立っている。

Kaiapoi は約 100m の層厚を有する沖積地盤上にある。表層付近の地盤は Waimakariri 川の洪水堆積物や砂丘堆積物の砂礫、および湿地に堆積したシルト質砂で構成される。また、沖積地盤の下には層厚 300m から 400m の砂礫洪積地盤が厚く堆積している³⁾。

8.2 Kaiapoi の液状化範囲

今回の Kaiapoi における調査では、主に昨年 9 月に発生した Darfield 地震後の調査で顕著な液状化被害が確認された宅地と堤防の追加被害を調べた。図 8.3 は両地震による液状化発生範囲の比較である。今回の調査で液状化が確認された範囲を赤色で示した。Darfield 地震による液状化の発生範囲は Cubrinovski ら⁴⁾の報告による。図より、Christchurch 地震による Kaiapoi での液状化は Darfield 地震と比較して局所的なものであったといえる。しかし、今回の調査では時間の都合上、前回液状化が確認された範囲を全て調査することができなかった。したがって今後の詳細な調査によって Christchurch 地震による液状化発生範囲が多少拡大されることが予想される。

8.3 南 Kaiapoi の被害状況

Darfield 地震では、Waimakariri 川と Kaiapoi 川の周辺地盤において大規模な流動が生じ、多数の家屋や宅地に甚



図 8.1 Kaiapoi 周辺の地図



図 8.2 Waimakariri 川の旧河道(1865年)²⁾



図 8.3 Darfield 地震および Christchurch 地震における液状化発生範囲⁴⁾の比較。(図中のアルファベットは追加被害を調査した地点)



写真 8.1 Darfield 地震による南 Kaiapoi の地盤流動(参考文献 4 に加筆)

大な被害が生じた。写真 8.1 は Waimakariri 川に向かって流動した南 Kaiapoi の盛土地盤を撮影した航空写真⁴⁾である。写真 8.1 において点線で囲われた部分が地盤の流動範囲であり、広範囲で流動が生じたことがわかる。Darfield 地震では Courtenay Drive より Waimakariri 川寄りの旧河道を埋立て造成した部分が流動の被害を大きく受けた。Courtenay Drive より西（写真右側）は埋立地ではなく、砂丘地盤である。（図 8.2 参照）

写真 8.2(a), (b)に南 Kaiapoi にある家屋（図-3 の A、写真 8.1 の①）の両地震後の被害状況を示す。写真 8.2(a)の 2010 年 9 月 15 日付けの写真は地盤工学会ニュージーランド Darfield 地震災害緊急調査団によって撮影されたものである。また、以降で示す同日付の写真も同様である。この家屋は Darfield 地震で Waimakariri 川に向かって流動した地盤上に建っており、地盤の移動によって家屋と宅地に壊滅的な損傷を受けた。また、昨年の JGS 調査団の報告⁵⁾によると、Darfield 地震によって住宅基礎と宅地の間に生じたクラックの開口幅は 160cm であった。写真 8.2(b)からわかるように、今回の地震では家屋に目視で認識出来るほどの目立った追加被害は認められなかった。しかし、昨年と同位置のクラック開口幅を計測した結果、190cm に拡大されていた。また、クラック内に噴砂痕が認められたことから、今回の地震においてもこの宅地で液状化が発生したことが確認された。Darfield 地震で液状化および地盤流動が生じた地盤（写真 8.2 の宅地を含む）における地震後のクリープ変形が報告されている⁴⁾。これを考慮すると、今回の地震によるこの宅地のクラック開口幅の増加は、実際には 30cm よりも小さかった可能性が考えられる。

今回の調査において、南 Kaiapoi では Darfield 地震で地盤の流動が発生した Courtenay Drive より Waimakariri 川側（東側）の地盤にある複数の宅地で液状化の痕跡が確認された。しかし地盤の液状化被害は前回よりも相当程度軽微であった。また、今回の地震による家屋の重大な被害は確認されなかった。

写真 8.3(a), (b)は、Darfield 地震と Christchurch 地震による南 Kaiapoi の Courtenay 池近くにある公園（図 8.3 の B、写真 8.1 の②）における液状化被害の状況を比較した写真である。2 枚の写真は同じ場所を撮影したものであり、写真奥に写っているベンチの位置でそれを確認できる。前述の通り Darfield 地震では Waimakariri 川周辺の地盤において大規模な流動が発生し、この公園内には流動の影響を大きく受けた。写真 8.3(a)（Darfield 地震後）において、地盤の流動によって公園内に発生した大きなクラック、またクラックから噴出して堆積した噴砂の様子が見て取れる。公園内の噴砂の様子は写真 8.1 に掲げた航空写真からも確認することができる。今回の調査で撮影した写真（写真 8.3(b)) から、Christchurch 地震においても公園内で噴砂を伴う液状化が発生したことがわかる。しかし、公園内で確認された噴砂はいずれも Darfield 地震で生じたクラック上にあった。また、今回の液状化は大きな地盤変状を伴うものではなく、地表面に新たなク



(a) Darfield 地震後の被害状況



(b) Christchurch 地震後の被害状況

写真 8.2 Darfield 地震で流動被害を受けた家屋（写真 8.1 の A）。



(a) Darfield 地震後の被害状況



(b) Christchurch 地震後の被害状況

写真 8.3 Courtenay 池近くの公園内（図 8.3 の B）で確認された再液状化。

ラックは確認されなかった。

このように Christchurch 地震では、Darfield 地震で甚大な液状化と地盤流動の被害が生じた箇所でも再液状化が発生したにも関わらず地盤の変状は軽微であった。その理由として Kaiapoi では Darfield 地震と比べて地震動が弱かったこと、また既存のクラックの存在によって過剰間隙水圧の消散が容易となり、液状化した地盤の有効応力回復までの時間が短かったことが考えられる。

8.4 北 Kaiapoi の被害状況

Kaiapoi 川左岸の堤防（図 8.3 の D）は、Darfield 地震において基礎地盤の液状化に起因した堤体の沈下および流動の被害を受けた。Darfield 地震後の調査では、開口幅 1m 以上で大人の背丈ほどの深さのクラックが堤内法面に生じたことが報告されている⁵⁾（写真 8.4(a)）。今回の調査では堤内法面に複数の噴砂痕が認められ、Christchurch 地震によっても同じ場所で液状化が発生したことが確認された。しかし噴砂の大部分は Darfield 地震で生じたクラックを補修した箇所でのみ確認され、今回の地震で発生した液状化は堤体の変状を伴うものではなかった（写真 8.4(b)）。

Kaiapoi 川左岸堤防上にあるボートハウス（図 8.3 の C）は Darfield 地震で特に激しい液状化の被害を受けた構造物のひとつであり、堤体の沈下および流動によって建物が川側へ大きく傾斜した（写真 8.5(a)）。写真 8.5(b)は Christchurch 地震後のボートハウスの状況である。両図の比較からわかるように、Christchurch 地震によるボートハウスと周辺地盤の被害は非常に軽微であった。

Kaiapoi 川左岸の堤内地（図 8.3 の E と F）にある住宅地では、Christchurch 地震で再液状化が発生し、家屋に沈下と傾斜の被害が生じた。河川堤防の近くにある宅地（図 8.3 の E）では Darfield 地震による液状化で 50cm 以上の沈下が生じ、元は上り坂であったガレージ前のスロープが下り坂となった⁵⁾。この宅地は今回の地震でさらに約 15cm 沈下したことが確認された。付近の宅地内においても噴砂痕があったことから、この一帯の住宅地で広く液状化が生じたと考えられる。また、写真 8.6 の住宅は 2 階建てであるため、沈下量は近辺の 1 階建て住宅よりも大きかった。

写真 8.7(a), (b) に示される宅地（図 8.3 の F）では Darfield 地震で液状化により大量の噴砂が噴出し、家屋に不等沈下が生じた。Christchurch 地震により、この宅地において再び激しい液状化が発生した。しかし両地震による噴砂の堆積厚を比較すると、Darfield 地震では約 38cm、Christchurch 地震では約 15cm であったことから、この宅地における液状化の程度は前回よりも小さかったと考えられる。

Darfield 地震後に写真 8.7 の宅地において Canterbury 大学によって SWS 試験が実施された⁵⁾。図 8.4 にその結果を示す。図より、この地点では地下水位が非常に高く、G.L.-7m 以深まで非常に緩い軟弱な層が続いていることがわかる。つまり、この宅地は Darfield 地震の後も地表



(a) Darfield 地震によって堤体に生じたクラック⁵⁾



(b) Christchurch 地震による噴砂。

写真 8.4 Kaiapoi 川左岸堤防の被害（図 8.3 の D）



(a) Darfield 地震後の状況⁵⁾



(b) Christchurch 地震後の状況

写真 8.5 ボートハウスの被害状況（図 8.3 の C）



(a) Darfield 地震後の状況.



(b) Christchurch 地震後の状況.

写真 8.6 宅地の再液状化による家屋の沈下(図 8.3 の E)



(a) Darfield 地震後の状況⁴⁾. (噴砂が約 38cm 堆積した)



(b) Christchurch 地震後の状況. (噴砂の堆積厚は約 10cm)
写真 8.7 北 Kaiapoi の宅地における再液状化と堆積した噴砂

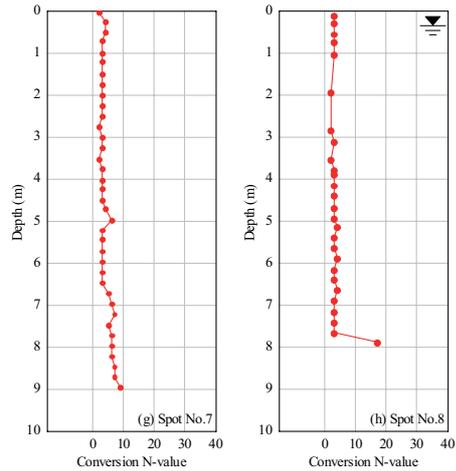


図 8.4 SWS 試験による換算 N 地の深度分布⁵⁾ (2010 年 9 月に実施)

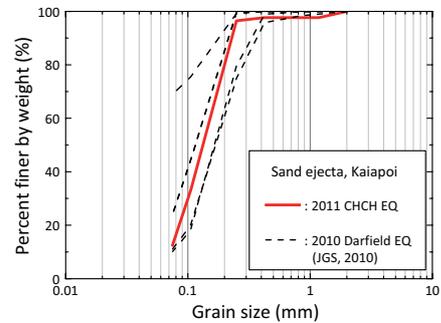


図 8.5 Kaiapoi で採取した噴砂の粒径加積曲線

直下から非常に厚い層で地盤が液状化しやすい状態にあったといえる。

図 8.5 に Kaiapoi で採取した噴砂の粒径加積曲線を示す。図中の赤色の実線と黒色の破線はそれぞれ Christchurch 地震および Darfield 地震による噴砂⁵⁾を表している。Christchurch 地震で噴出した砂は昨年 9 月の Darfield 地震の噴砂と同様の粒度を有していた。今回の地震においても前回液状化した層が再び液状化したと思われる。

8.5 Kaiapoi の被害状況まとめ

Christchurch 地震における Kaiapoi の被害を以下にまとめる。

1. 地盤および構造物の液状化被害は Darfield 地震よりも軽微であった。
2. 液状化の発生範囲は Darfield 地震によるものよりも狭く、局所的であった。
3. Darfield 地震で大規模な地盤流動が発生した宅地盛土や河川堤防の変状は顕著でなかった。
4. 北 Kaiapoi の宅地では再液状化による家屋の沈下被害が確認された。しかし、液状化の規模と家屋の沈下量はいずれも Darfield 地震の場合と比べると小さかった。

参考文献

- 1) Hawkins, D.N., Beyond the Waimakariri. Whitcombe & Tombs, Christchurch, 1957.
- 2) Orense, R. et al., Geotechnical aspects of the 2010 Darfield (New Zealand) earthquake, Proc of 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp. - , 2011.
- 3) Brown, L. J. and Weeber, J. H., Geology of the Christchurch urban area. Institute of Geological and Nuclear Sciences, Lower Hutt, 1992.
- 4) Cubrinovski, M. and Orense, R., 2010 Darfield (New Zealand) Earthquake - Impacts of liquefaction and lateral spreading, Bulletin of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 4, No. 4, pp.15-23, 2010.
- 5) 地盤工学会ニュージーランド Darfield 地震災害緊急調査団：ニュージーランド Darfield 地震災害緊急調査団報告書，地盤工学会ホームページ，2011.

9. 海岸部の斜面崩壊

第2章で述べたように Christchurch の南東には旧火山があり、その斜面が太平洋に落ちこむ所に急崖が形成されている。その崖の上に住宅が建てられており、今回の地震により崖の斜面が崩れ、住宅も危険な状態になっているところがあった。この地区に関しては3月1日に朝日新聞社が契約されたヘリコプターに同乗して空から調査した後、3月3日には車で現地を訪れて調査した。

まず、ヘリコプターで確認された斜面崩壊箇所を写真—9.1 に示す。これらは Avon 川と Heathcote 川の河口から Sumner (サムナー) にかけて海岸に面した Redcliffs (レッドクリフス)、Clifton (クリフトン)、Richmond hill (リッチモンドヒル) の3箇所の斜面である。

Redcliffs では写真—9.2 に示すように崖の表層が崩壊し、下にある学校の校舎に達していた。ただし、ヘリコプターから見ただけで、現地には行かなかったため詳細は分からない。

写真—9.3 は Clifton の斜面崩壊をヘリコプターから見たものであり、写真—9.4 は Bexley からのこの斜面崩壊の遠景である。また、写真—9.5、9.6 は斜面下で撮影し

たものである。この斜面も表層が崩れたものであり、斜面の高さは 67m、斜面の幅は 320m であった。また、斜面の傾きは 75 度程度と急であった。この斜面の上には図—9.7 に示す位置に大きなクラックがはいっていた。この様子を示したのが写真—9.8~9.10 である。なお、写真—9.10 の家は 110 年前に建てられたとのことである。

写真—9.11 は Sumner (サムナー) の東側の丘から Richmond hill を見た風景であり、写真—9.12、9.13 は斜面下から撮影したものである。この斜面も表層が崩壊していたが、さらに写真—9.13 に見られる巨石も落下していた。この巨石は幅 15.8m、高さ 6.6m、奥行き 4.8m と大きなものであり、下にあったバーの建物を壊していた。崩壊した斜面の延長は 449m、高さは 60m、傾きは 61 度程度であった。なお、崩壊した斜面の地質は凝灰岩のようであった。



写真—9.1 ヘリコプターから確認された斜面崩壊箇所(地震前の Google map に記入)



写真—9.2 Redcliffs の斜面崩壊（朝日新聞社契約のヘリコプターに同乗して撮影）



写真—9.3 Clifton の斜面崩壊（朝日新聞社契約のヘリコプターに同乗して撮影）



写真—9.4 崩壊した Clifton の斜面の Bexley からの遠景



写真—9.5 Clifton の斜面崩壊（東半分）



写真—9.6 Clifton の斜面崩壊（中央部）



写真—9.7 Clifton で崩壊した斜面の上部（地震前の Google map に記入）



写真—9.8 Clifton の崩壊した斜面の上部に発生したクラック



写真—9.9 Clifton の崩壊した斜面の上部に発生したクラック (写真—9.6 の南)



写真—9.10 Clifton の崩壊した斜面の上部に発生したクラック (110 年前に建てられた家の前)



写真—9.11 Richmond hill の斜面崩壊の遠景 (Sumner の東側の丘より)



写真—9.12 Richmond hill の斜面崩壊 (南半分)



写真—9.13 Richmond hill の斜面崩壊と巨石の落石 (北半分)

10. あとがき

今回の地震による液状化は大変広範囲に及び、住宅やライフラインの被害が甚大であったことや、余震にも係わらず本震より激しい再液状化が発生したこと、噴砂が非常に多く地盤の沈下量も大きかったこと、さらに、Christchurch の中心部 (CBD) で発生したビルの崩壊と地盤の関係が立ち入り禁止状態で調査できなかったことを受け、第2次調査団を派遣することを地盤工学会として決定した。そして、その準備をしつつ、さらに地盤工学会の第1次調査団と土木学会の調査団の緊急合同報告会を3月11日に東京大学生産技術研究所で開催した。

その報告会で報告が行われている途中で、会場が激しい揺れに襲われた。東日本大震災が発生したのである。長い揺れが一応収まったあと報告が再開された。ところが約30分後に再び大きな揺れに襲われ、報告会は中止となった。

地震後すぐに報道され始めた津波は驚くべき高さで、その被害は無残としか言いようのない状況となってしまった。マグニチュードが9.0と巨大で東北から関東にかけて広い範囲で甚大な被害が発生した。地盤関係の被害も液状化や造成宅地盛土、河川堤防などの被害が多く発生したことが予想された。さらに、交通機関が被災しただけでなく、計画停電も伴って、被災していない首都圏の交通機関まで麻痺してしまった。このような状況の中、地盤工学会の第2次調査団の派遣は諦めるしかなくなった。そして報告書は当初の調査団メンバーだけで書かざるを得なくなった。このような事情により、中心部の被害と地盤の関係など、報告が十分行えなくなったが、Cubrinovski 准教授など現地在住および滞在中のメンバーはさらに調査を続けており、いずれ本報告に続く報告が別個になされるかと思われる。

さて、この報告書をまとめると同時に、東日本大震災で発生した地盤災害に関して現地調査を行ったところ、東京湾岸の埋立地における液状化被害が Christchurch における本震および余震時の液状化被害と大変似ていた。液状化が発生した面積が非常に広がったことがまず同様であったが、それ以上に驚いたのは、東京湾岸で発生した噴砂の量が Christchurch と同程度に多く、また地盤の沈下量も大きかったことである。このような量の多さは国内における過去の地震では見られていない。そこで、両液状化での共通点を探してみたところ、液状化した砂が非常に細かかったことが挙げられた。このことにより多量の噴砂や大きな地盤の沈下が発生したのではないかと推察された。その意味で、Christchurch における調査が日本での被害の解釈に役立ったと言えよう。

さらに Christchurch と日本で共通していることとして、液状化により非常に多くの戸建て住宅が沈下、傾斜して大きな社会問題にまで発展してきていることが挙げられる。地震後の復旧だけでなく、事前に既設の戸建て住宅の液状化対策を行うための技術開発、社会的な仕組み作りが両国に必要とされてきている。

末尾になったが今回の地震で犠牲になった方々のご冥福をお祈りし、また、調査にあたってご協力いただいた地盤工学会などの関係者に感謝する次第である。