

ニュージーランド  
Darfield 地震災害緊急調査団  
報告書

平成 22 年 12 月  
(社)地盤工学会 ニュージーランド Darfield 地震災害  
緊急調査団

## まえがき

2010年9月4日にニュージーランド南島の中部でマグニチュード7.1の地震が発生した。幸いこの地震による犠牲者はでなかつたため、日本のニュース報道ではほとんど取り上げられなかつたが、クライストチャーチ及びその周辺部で非常に激しい地盤の液状化とそれによる構造物被害が発生しているとの情報がはいつてきた。この地震被害について現地調査を行うことはニュージーランド国および我が国の今後の地震防災に役立つものと考えられたため、地盤工学会では緊急調査団を派遣することを決定し、往復を含めて9月11日から9月16日に調査団を派遣した。

東京電機大学の安田進教授は地震発生時にニュージーランド北島を訪問しており、9月8日に現地の被災状況を視察した。その情報が調査団の派遣を決めるにあたり、また調査団の初期調査計画の策定等にあたり大いに役立った。現地でのカンタベリ大学を中心とした本格的な学術調査活動は9月11日に開始され、カンタベリ大学のMisko Cubrinovski准教授が中心的な役割を果たし、オークランド大学のOrense Rolando准教授も活動に参加していた。日本との関係も深い両先生からは多くの情報と協力を戴いた。また、ニュージーランドの大学、学会、行政に加え、日本の地盤工学会および米国のGEERとERRIが調査に加わり、情報交換を緊密に行い協力して調査を行った。今回の我々の調査はこれらの協力なしでは行えなかつた。感謝する次第である。

平成22年12月 調査団一同

## 目次

1. 調査目的、調査メンバーおよび調査行程	1
2. 地震及び被害の概要	3
3. Christchurch 市街地の被害状況	8
4. Kaiapoi の被害状況	19
5. Lyttelton の被害状況	23
6. あとがき	26
付属資料 地震発生から調査団到着までのニュージーランドの状況の補足	27

## 調査団メンバーおよび執筆担当

調査団長：岡村未対（愛媛大学）	執筆担当：1, 2, 5, 6
調査団員：豊田浩史（長岡技術科学大学）	執筆担当：3, 4
調査団員：清田 隆（東京大学）	執筆担当：3, 4
調査団員：Misko Cubrinovski（Canterbury 大学）	
オブザーバー：安田進（東京電機大学）	執筆担当：付属資料
Orense Rolando（Auckland 大学）	

## 1. 調査目的、調査メンバーおよび調査行程

### 1.1 調査目的

2010年（平成22年）9月4日午前4時35分にニュージーランド南島中部を震源とするマグニチュード7.1のDarfield地震が発生した。震源はニュージーランド第2の都市クライストチャーチの西約40kmの地点である。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上に位置し、内陸部や周辺部でしばしば発生する地震の影響を受けてきた。地震後数日間は現地の詳細な情報が得られなかつたが、ニュージーランドを訪問していた東京電機大学・安田教授から、地盤の液状化による激しい被害が生じているとの情報が寄せられた。地盤関係の被害を現地調査することは、ニュージーランド国および我が国の将来の地震地盤工学および地震防災の発展に役に立つものと考えられ、地盤工学会として災害緊急調査団を派遣することになった。

### 1.2 調査団および現地での調査体制

地震発生後に地盤工学会災害連絡会議にて検討が行われ、地震発生から1週間後の9月9日に調査団を派遣する方向で調整に入り、地盤の液状化や液状化による構造物被害を専門としている方々からなる調査団を結成することにした。また国内の災害と違つて海外の災害の場合には、災害緊急調査団の派遣には相手国の研究者の協力が必要である。

岡村未対教授（愛媛大学）を団長とし、豊田浩史准教授（長岡技術科学大学）と清田隆准教授（東京大学）、そして現地での災害調査を中心的に行っているMisko Cubrinovski准教授（Canterbury大学）の4名を調査団員、現地情報の提供や調査計画の策定などの協力をいただくために、安田進教授（東京電機大学）とOrense Rolando准教授（Auckland大学）をオブザーバーとした調査団で調査を行うことになった。現地では、既に被害地点の踏査に加え、動的簡易貫入試験やS波速度検層が行われていたが、それらの調査深度は地表から4、5m程度までに限られていた。スウェーデン式貫入試験は10mまでの調査が可能であり、またN値と容易に換算できるという利点を有するが、ニュージーランドには試験機がないため日本から持ち込むことにした。試験機は関東学院大学規矩教授の厚意によりご提供いただいた。

現地では、カンタベリー大学と行政等からなる調査コンソーシアムが立ち上がっており、地盤工学や建築を含む構造工学、社会学などの分野の専門家が情報交換を行っている（写真-1.1）。その中で、今回の地震では液状化による被害が甚大であったため、地盤グループは、カンタベリ大学、オークランド大学、GNS（Institute of Geological and Nuclear Sciences, New Zealand）と海外からの調査団である地盤工学会、GEER（Global Extreme Event Reconnaissance, USA）、EERI（Earthquake Engineering Research Institute, USA）がCubrinovski准教授を中心として協力体制をとつて調査にあつた。

### 1.3 調査範囲と調査行程

現地からの情報によると、復旧作業が非常に急ピッチで進められていることから、出来るだけ早い派遣が望ましいとのことであった。そこで派遣決定の翌日、9月11日に出発し、現地調査は9月12日～9月15日まで行い9月16日に帰国した。

現地調査地域を図-1.1に示す。調査範囲はChristchurchとその周辺部で大きな被害を受けた地域である。以下、調査行程の概要を述べる。

- (1) 9月11日（土）：成田空港発（18:15）
- (2) 9月12日（日）：Aucklandで乗継ぎ Christchurch 着（11:20）
  - a) ホテルにチェックイン後、市内調査
  - b) Christchurch市内のAvon river(エイボン川)沿いの液状化被害地域の調査
  - c) コンソーシアムのミーティング
  - d) 地盤グループのミーティング
- (3) 9月13日（月）：Christchurch市内およびLytelltonの調査
  - a) Cubrinovski教授から全体の被害状況の説明を受ける
  - b) 市内Dallington地区のSt. Paul's Churchの被害調査
  - c) 市内エイボン川沿いの液状化被害調査
  - d) 市内Bexley地区にて住宅の液状化被害調査
  - e) Lytelltonにて港湾の被害調査
  - f) コンソーシアムのミーティング
  - g) 地盤グループのミーティング
- (4) 9月14日（火）：市内調査及びSWSの実施
  - a) St. Paul's ChurchでSWS実施
  - b) Derlington地区にてSWS実施
  - c) Bexley地区にてSWS実施
  - d) コンソーシアムのミーティング
  - e) 地盤グループのミーティング
- (5) 9月15日（水）：Kaiapoiの調査及びSWSの実施
  - a) KaiapoiでSWS実施
  - b) Kaiapoiの住宅地調査
  - c) Christchurch発（19:35）Auckland経由
- (6) 9月16日（木）：関西空港着（7:25）

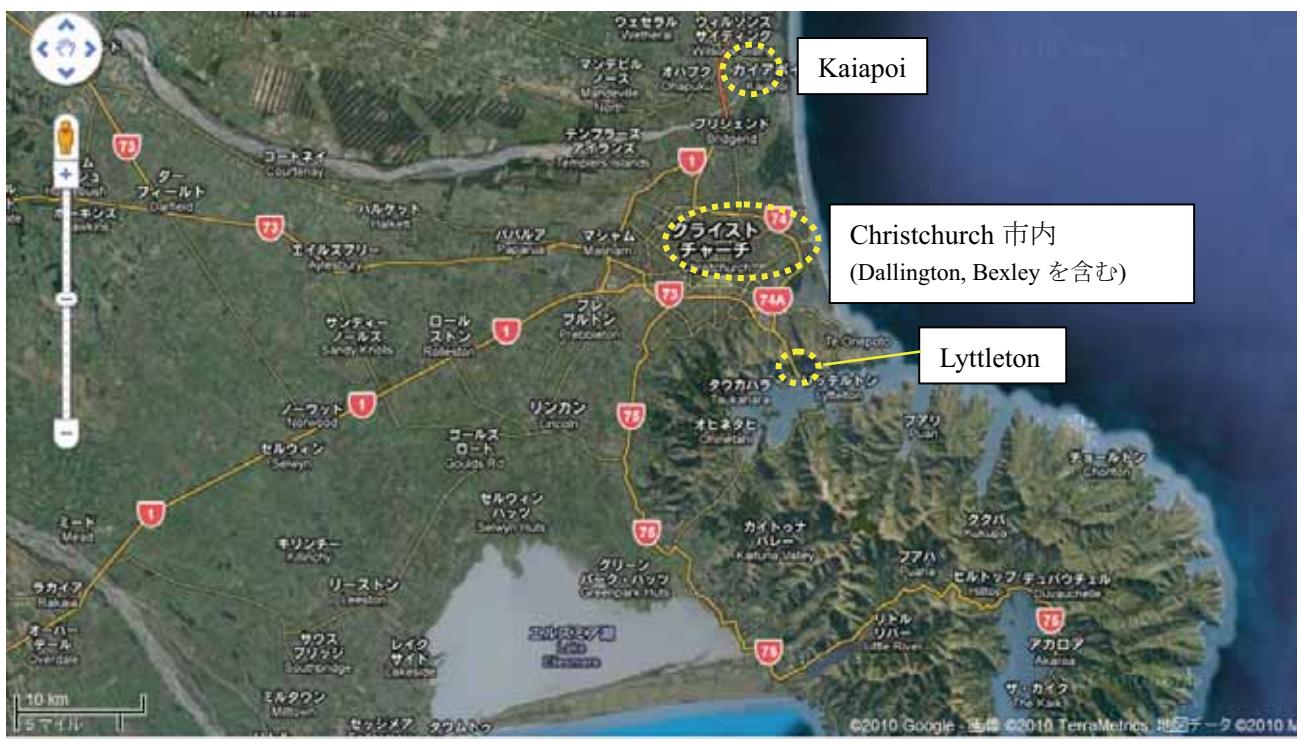


図-1.1 調査地域



写真-1.1 毎晩行われたコンソーシアムの全体ミーティング

## 2. 地震及び被害の概要

### 2.1 地震動の概要

2010年（平成22年）9月4日午前4時35分（現地時間）にニュージーランド南島中部（ $35.55^{\circ}$ S,  $172.18^{\circ}$ E）を震源とするマグニチュード7.1のDarfield地震が発生した。震源はニュージーランド第2の都市クライストチャーチの西約40km、Darfield付近で、震源深さは10kmである（図-2.1）。ニュージーランドはオーストラリアプレートと太平洋プレートの境界上に位置する島国で、多くの活断層が存在する地震活動の活発な地域にある。今回の地震の震源となった断層（図-2.2）は、最終氷河期以降に堆積した新しい地層の下に存在していたことから、最後に活動したのは少なくとも1万6000年以前であると考えられている<sup>1)</sup>。今回の地震によって、地表に22kmの最大4mの横ずれ断層が現れた（写真-2.1）。

図-2.4は本震及び余震規模との震源分布である。余震はこの断層に沿って発生し、さらに東側のChristchurch直下にまで震源域を拡大している。

本震による震度分布を図-2.4に示す。GNS Scienceによると、ChristchurchやDallington、Bexley、Kaiapoiなどでメルカリ震度8（JMA震度5強相当）となっている。



図-2.1 2010年9月4日ニュージーランド・カンタベリ地震の震源<sup>1)</sup>



図-2.2 推定断層位置<sup>2)</sup>



写真-2.1 地表に現れた断層変位

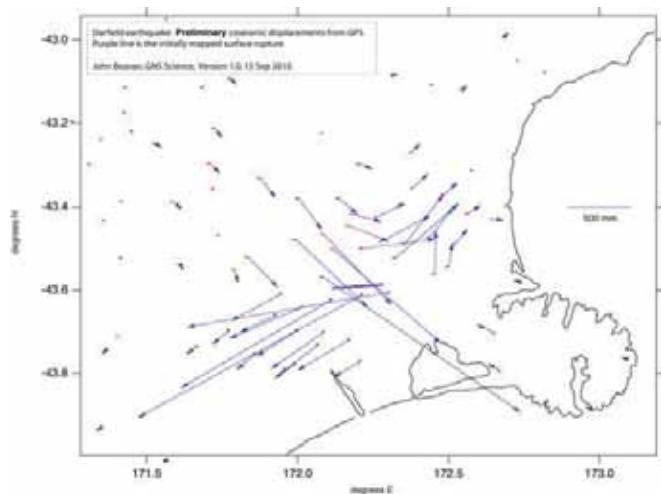


図-2.3 GPSデータから得られた地表面変位<sup>5)</sup>

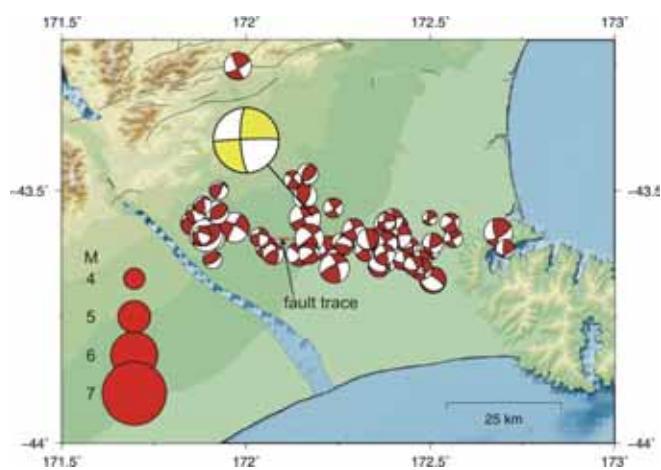


図-2.4 本震と余震の震源分布<sup>1)</sup>

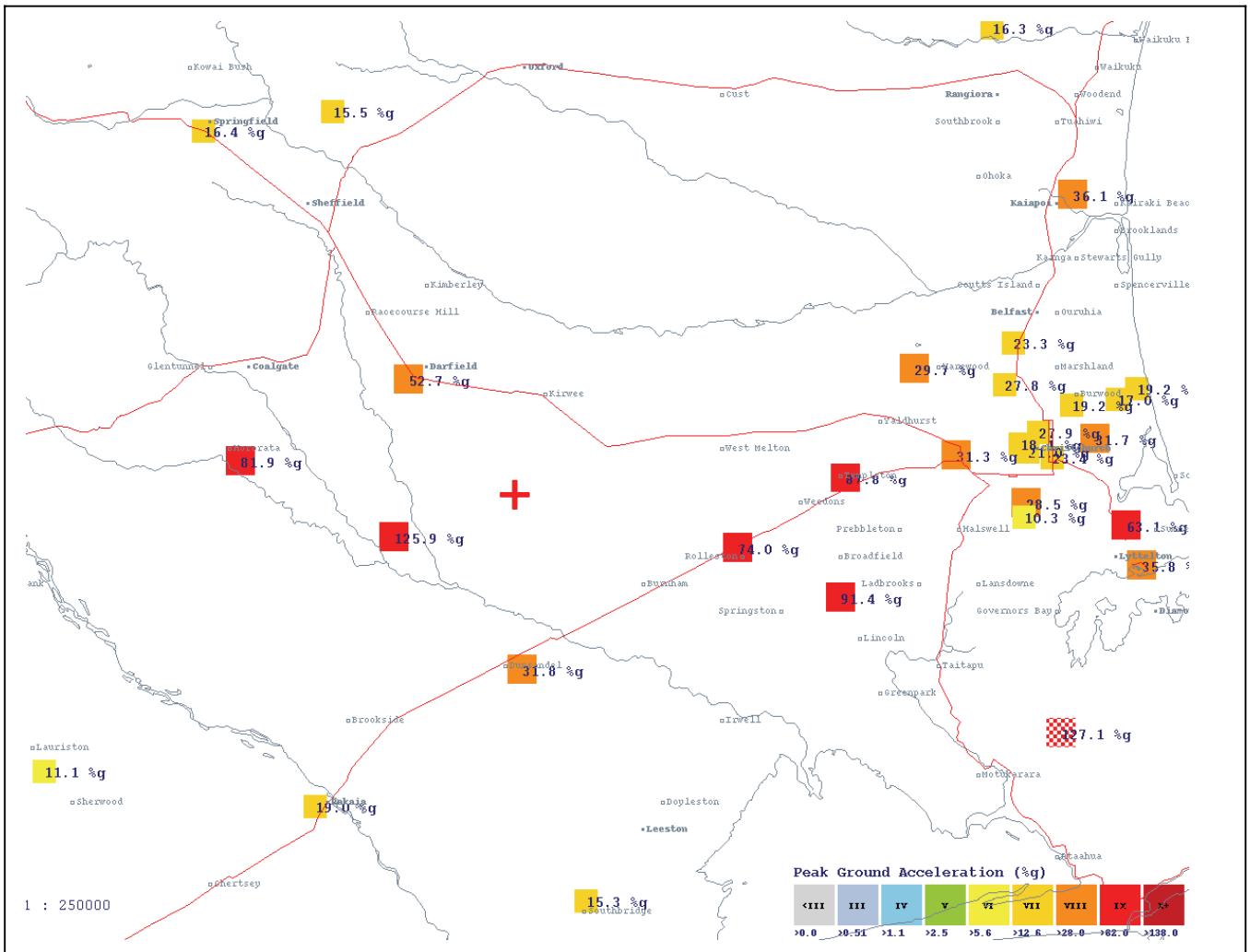
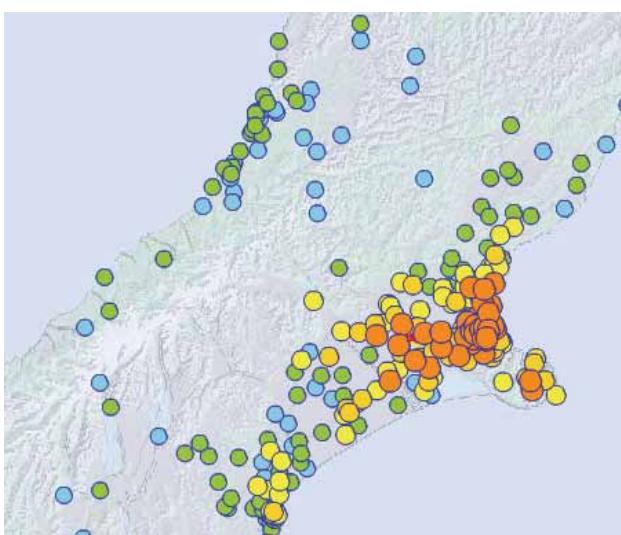


図-2.5 地表面最大加速度の分布<sup>(3)</sup>に加筆



Level	Number	Localities
MM8 Heavily damaging	115	Akaroa [1], Avonhead [2], Avonside [1], Aylesbury [1], Belfast [2], Bexley [2], Bishopdale [1], Brooklands [2], Brookside [1], Burwood [2], Cashmere [3], Christchurch [23], Cracroft [1], Dallington [5], Darfield [1], Dunsandel [1], Fendalton [3], Governor Bay [2], Greendale [3], Halswell [3], Harewood [1], Hillmorton [1], Hillsborough [1], Hornby [3], Hororata [1], Ilam [4], Kaiapoi [3], Lincoln [2], Merivale [4], New Brighton [1], North New Brighton [1], Opawa [3], Papanui [1], Rakaih [1], Rangiura [2], Riccarton [2], Richmond [2], Robinsons Bay [1], Rolleston [1], Saint Albans [10], Saint Martins [2], Shirley [1], Spencerville [1], Waikuku Beach [1], Wainoni [2], West Melton [1], Woodend [1], Woolston [1]

図-2.4 震度分布<sup>1)</sup>とメリカリ震度 8 以上の地点名<sup>1)</sup>

GNS が運営する地震計ネットワークにより得られた地表最大加速度分布<sup>3)</sup>を図-2.5 に示す。震源近傍では最大で 1.25g の最大加速度が記録されるなど、非常大きな加速度が観測されている。震源から東へ約 40km 離れた Christchurch やその周辺地域では、最大加速度は数 10 から 300gal 程度となっている。これは、後述するように Christchurch での構造物の被害が限定的であったことと整合する。

Christchurch 市内の Christchurch Hospital で観測された加速度記録を図-2.6 に示す。最大加速度は約 200gal、最大速度は約 50cm/s、最大変位は約 24cm である。

図-2.7 は加速度応答スペクトルである。0.3 秒付近にピークがあり、長周期成分は余り含まれていないことがわかる。

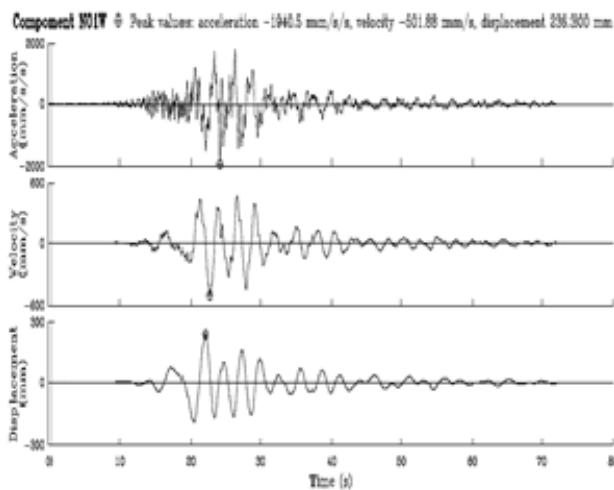


図-2.6 Christchurch で観測された加速度<sup>4)</sup>

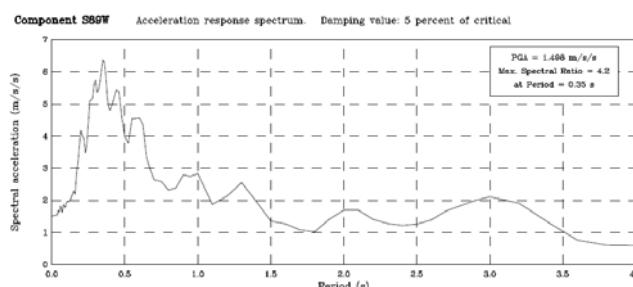


図-2.7 図-2.6 の記録より得られた加速度応答スペクトル ( $h=5\%$ )<sup>4)</sup>

図-2.8 は余震発生回数の推移を示したものである。本震後にニュージーランドの関係機関やアメリカの調査機関が地震計を設置し観測を行っている。発震当日の9月4日は多くの余震が観測されたが、その後回数は急減している。特にマグニチュード5.0以上の余震回数は9月8日を最後に観測されていない。しかしながら、余震の発生域が Christchurch 直下まで移動していたことから、調査期間中にも 10 回近くの地震を感じた。

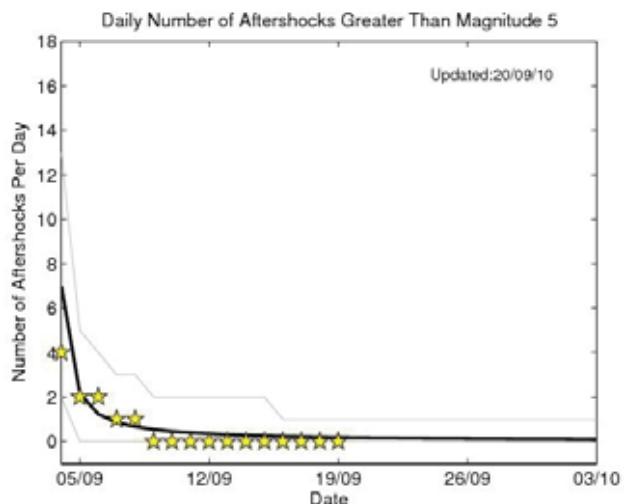
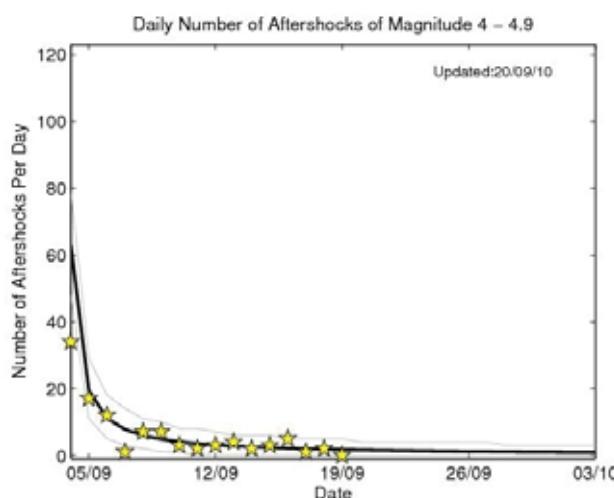


図-2.8 余震回数の経時変化（上図：余震回数、下図：マグニチュード 5.0 以上の余震回数）<sup>3)</sup>

## 2.2 被害の概要

今回の主な調査地点は、図-1.1 に示したように Christchurch 市内と Kaiapoi および Lyttleton である。Christchurch 市内では、Avon (エイボン) 川沿いの旧河道や低平地を中心多く地点で地盤が液状化していた。液状化した地点では、40cm にも達する厚さの噴砂が堆積している地点も散見された（写真-2.2）。また、液状化に伴う地盤の流動変位により、住宅の傾斜や水道管、下水道の被害が多く見られた（写真-2.2, 2.3）。上下水道が被害を受けた住宅地では、道路沿いに簡易トイレが設置されていた。強力な消臭剤が使用され、内部は清潔で臭気はほとんど感じなかった（写真-2.4）。

市内の Avon 川を渡る河川では液状化によって橋台が河川側に押され、古い橋梁が被害を受けていたが（写真-2.5）、橋梁の被害、その他ほとんどの橋梁では被害は軽微で共用されていた。構造物の被害は、古いレンガ造りの建物にほぼ限られている。市内に点在するレンガ造の建物の崩壊が散見された（写真-2.6）。ニュージーランドの住宅は木造が一般的であり、レンガ造の住居はほとんどない。地震発生時刻が早朝であったことと、脆弱なレンガ造建物はほとんど住宅に供されていなかったことがこの地震による犠牲者がでなかつたことの一因である。



写真-2.2 大量の噴砂



写真-2.5 橋梁の被害。被害を受けた橋梁はごく少数であった



写真-2.3 破損し修復された水道管



写真-2.6 古いレンガ造教会の被害



写真-2.4 道路に置かれた簡易トイレ。砂の山は住宅地から搔き出され、回収を待つ噴砂



写真-2.7 高級住宅地での住宅被害 (Bexley)。地盤の液状化と流動で家屋が傾斜している

Christchurch の南約 10km の港町 Lyttelton はコンテナ船、LPG および鉄鉱石の運搬専用の護岸が被害を受けていた。ここでは地盤の液状化ではなく、軟弱地盤の変形であり、構造物の変形量も比較的軽微で、簡単な補修を行い問題なく共用されていた。



写真-2.8 コンテナ護岸と背後地盤部との境界に生じた段差。部分的にアスファルトのオーバーレイを施して共用を継続していた。

今回の地震被害の特徴は次のようである。被災地域において観測された最大加速度は 300gal 程度以下と特に大きいわけではなく、そのため構造物の被害は限定的であった。これに対し、地盤の液状化とそれによる大きな被害が発生した。既往の地震による液状化による甚大な被害は、埋め立て地盤のように特に地盤条件の悪い場合が多いが、今回の地震では埋め立て地だけでなく自然地盤でも甚大な被害が生じた。既往の地震履歴が少なく、堆積時の緩い土骨格構造が保持されていたことも一因ではないかと考えられる。

#### 参考文献

- 1) <http://www.geonet.org.nz/earthquake/quakes/3366146g-maps.html>
- 2) [http://www.youtube.com/watch?v=Npqx3WmNkv4&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=Npqx3WmNkv4&feature=player_embedded)
- 3) <http://www.geonet.org.nz/news/sep-2010-darfield-earthquake/gns-science-response.html>
- 4) [ftp://ftp.geonet.org.nz/strong/processed/Proc/2010/09\\_Prelim/2010-09-03\\_163541/](ftp://ftp.geonet.org.nz/strong/processed/Proc/2010/09_Prelim/2010-09-03_163541/)
- 5) <https://wiki.gns.cri.nz>

### 3. Christchurch 市街地の被害状況

図-3.1にChristchurchの案内図を示す。Christchurchの中心街は海岸線から約8kmに位置し、中心部から海岸に向けてAvon川が蛇行しながら緩やかに流れている。

今回調査を実施したChristchurch市内は、被害の様子や地盤の特性から、図-3.1に示すように大きく3つの地域（市街中心部、Dallington周辺、Bexley周辺）に分類できる。

以下に各地域の被害の様子について概説する。



図-3.1 Christchurch 案内図

#### 3.1 市街中心部の様子

図-3.2にChristchurch中心部における調査位置図を示す。市街中心部はNorth Hagley公園の東に位置し、ビジネス街や商店が建ち並ぶ賑やかなエリアである。

公園内の堤防や橋梁には、今回の地震に伴う有意な変状は認められなかったが（写真-3.1, Point 42）、園内を大きく蛇行するAvon川から150m程度離れた広場周辺において噴砂の痕跡が確認された（写真-3.2, Point 1）。しかし、公園東部の繁華街においては、液状化の被害は確認されなかった。また、Christchurchのシンボルでもある大聖堂は高さ65.5mの尖塔を有するネオ・ゴシック様式の建築（1864-1904）であるが、外観からは被害を受けた様子は確認できなかった（写真-3.3, Point 50）。

比較的最近建造されたと考えられる中・高層のビジネスビルや中心部の道路には地震による顕著な被害は認められない。一方、いくつかの歴史的な建造物や比較的古い建物など、補強のない煉瓦造りの建物では、壁や屋根の一部が破損した（写真-3.4, Point 25）。

市街地における特徴的な被害として、構造物自体の被害はほとんど無いが、煉瓦造りの煙突部のみが破損したという例が多数認められた（写真-3.5, Point 39）。今回の地震では2人の重傷者が報告されているが、その内の一人は落下した煙突に接触したことが原因であると報告されている。

公園内を除き、市街地中心部から最も近い位置で確認された液状化現象は、Avon川左岸から約200m離れた2階建て家屋の敷地内であった（写真-3.6, Point 22）。家屋は噴砂を伴って数cm程度沈下していた。また、Avon

川が北に向かって大きく蛇行する地域では、比較的広範囲の噴砂の分布が確認された（写真-3.7, Point 56）。この付近の家屋の基礎には大きなクラックが生じ、周辺の道路に埋設された水道管はダメージを受けていた。

この地域の堤防では液状化に起因すると考えられる天端道路のダメージ（沈下・クラック）が認められた（写真-3.8, Point 63）。市内を流れるAvon川には護岸構造物ではなく、芝生に覆われた土堰堤であるため、堤防の変状分布を詳細にチェックすることは難しい。しかし、場所によっては堤防が変位したことを示す明確なクラックが生じているのが確認された。写真-9.3（Point 62）は道路から河道に向かって傾斜する芝生に生じたクラックの様子（最大開口幅30cm、堤防横断方向の累積開口幅1.0m以上）であり、堤体の変位により木製の桟橋が破損していた。

また、市街中心部で確認された噴砂の粒度分布を図-3.3に示す。写真-3.7~3.9のAvon川が湾曲した地域（Point 56, 62, 63付近）で採取された噴砂は、細粒分は20%以下の均質な細砂であったが、写真-3.6付近（Point 22付近）で採取された噴砂には、図-3.3に示すように30%もしくは60%を越える細粒分が確認された。しかし、細粒分の塑性指数はNPである。

河道から300m程度離れた所に位置する道路では液状化に伴う噴砂は全く確認されなかった（写真-3.10, Point 55）。一方、河道から離れた所でも煉瓦造りの一般住宅の被害はいくつか確認された。比較的最近建てられたと考えられる木造建物の被害は少ない。

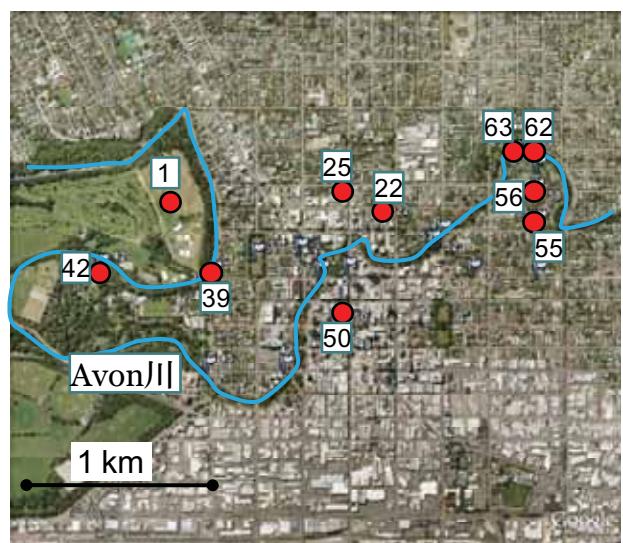
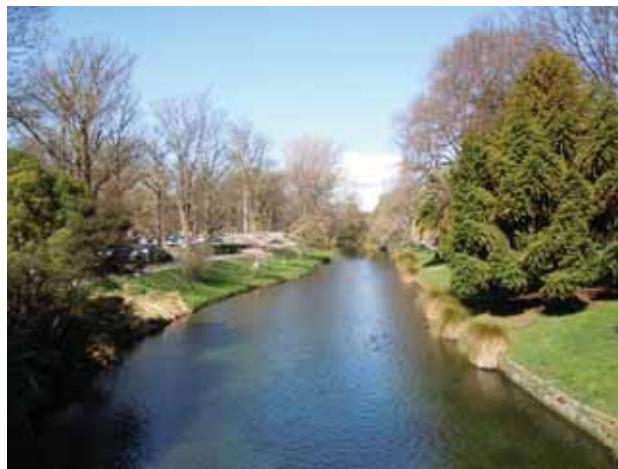


図-3.2 Christchurch 中心部の調査位置図（数字はCheck Point）



写真－3.1 公園内の様子（図－3.2 の Point 42）



写真－3.4 煉瓦造構造の被害（図－3.2 の Point 25）



写真－3.2 公園内の噴砂の跡（図－3.2 の Point 1）



写真－3.5 煙突の破損（図－3.2 の Point 39）



写真－3.3 無被害の大聖堂（図－3.2 の Point 50）



写真－3.6 建物脇の噴砂の跡（図－3.2 の Point 22）



写真-3.7 広範囲に広がる噴砂の一部 (図-3.2 の Point 56)



写真-3.10 液状化は確認されない (図-3.2 の Point 55)



写真-3.8 堤防天端道路に生じたダメージの様子 (図-3.2 の Point 63)

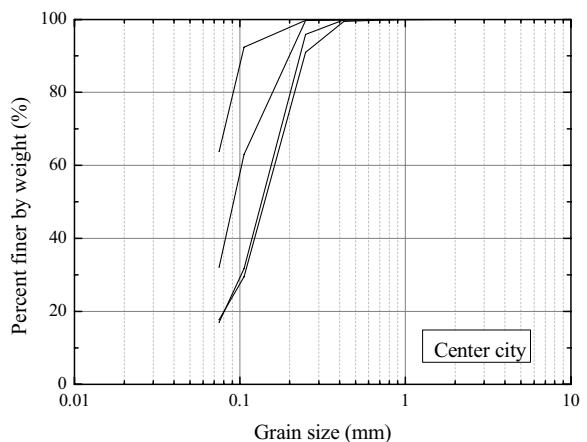


図-3.3 市街中心部で採取された噴砂の粒度分布



写真-3.9 Avon 川に向かって移動する堤防と破損した木製桟橋 (図-3.2 の Point 62)

### 3.2 Dallington 周辺の被害

図-3.4 に Dallington 周辺の調査位置図を示す。市街中心部から約 3km 程度東に位置するこのエリアでは、液状化による被害が著しい。

写真-3.11 (Point 6) は周辺道路の様子である。液状化に伴い大量の噴砂が発生したが、我々の調査開始は地震発生から 8 日後であり、この時点では道路に堆積した噴砂は道路の隅に寄せられていた。

写真-3.12 (Point 7) はこの道路沿いの家屋と庭の様子である。この家屋は Avon 川右岸から 100m 程度離れた所に位置している。写真-3.12 に見られるように、民家の庭にはおびただしい量の砂が噴出していた。青灰色の粒径のそろった砂に見えるが、噴出した当初は、黄色い泥水のようであったとのことである。この庭において SWS 試験を行った(写真-3.13)。2日前にあった噴砂は、学生を中心とするボランティアによって、きれいに撤去されていた。図-3.5(a), (b)に SWS 試験結果を示す。図-3.5(a)においては、G.L.-5m を超えたところで、貫入が止まってしまった。しかし、回転にはほとんど抵抗が無く、硬い層に当たったというより、大きな石にのり上げて止まったような感じであった。そこで、少し位置をず

らして行った結果が図-3.5(b)である。

SWS 試験の結果は、式(1)により、換算  $N$  値に直して用いた<sup>1)</sup>。

(礫、砂、砂質土)

$$N = 0.002W_{SW} + 0.067N_{SW} \quad (1)$$

ここに、

$W_{SW}$  : 1000 N 以下で貫入した場合の荷重 (N)

$N_{SW}$  : 上記の荷重で貫入が停止した後、観点により

貫入させた時の貫入量 1m 当たりの半回転数  
(回/m)

図-3.5(b)において考察を行う。地表面より GL.-4m 辺りまで、 $N$  値が 3 以下の非常に軟弱な層が続く。それ以深は、礫の存在か、若干  $N$  値は上がるものの、依然として 7 以下である。GL.-7m 付近で  $N$  値は 7 を超えはじめ、 $N$  値が 20 を超えたところで試験を打ち切った。當時、非常に小さな回転音で容易に貫入が進み、たまに礫の存在を示すガリガリという音があった。図-3.6 にスクリューポイントを引き抜いたときに付着していた土を採取し、土粒子密度と粒度試験を行った結果を示す。ここには、他の試験箇所や Auckland (オークランド) 大学の Pender 教授によって行われた噴砂の粒度範囲も記してある。スクリューポイントが到達した最深部の土と考えられるが、非常に多くの細粒分を含んでいることがわかる。図-3.5(a), (b)の試験は、到達深度が 2m ほど違うにもかかわらずほぼ同じ粒度を示している (図-3.6 の黒線) ことから、礫当たりするような石分を含んでいる可能性はあるが、マトリックス材は軟弱な土であると考えができる。しかしながら、噴砂にはそれほど多くの細粒分が確認できない。噴砂は、水が多いと細粒分が分離されて、洗い流されたりすることも考えられるが、粒度があまりにも違いすぎるので、スクリューポイントから採取した土と噴砂のは別の層であると考えるのが妥当であろう。地下水位は地表面から 1m 程度と推定したが、換算  $N$  値より、それ以深のかなり厚い層で液状化が発生した可能性がある。

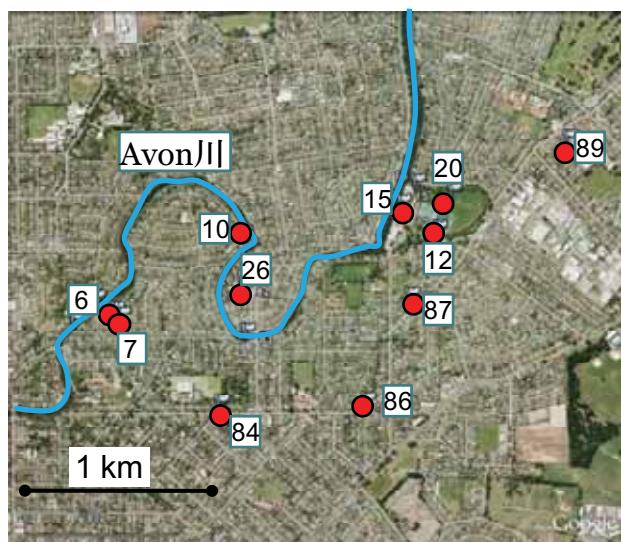


図-3.4 Dallington 周辺の調査位置図 (数字は Check Point)



写真-3.11 Dallington 付近の道路の様子 (図 3.4 の Point 6)



写真-3.12 Dallington 地区の家屋と噴砂 (図-3.4 の Point 7)



写真-3.13 Dallington の民家の SWS 試験 (図-3.4 の Point 7)

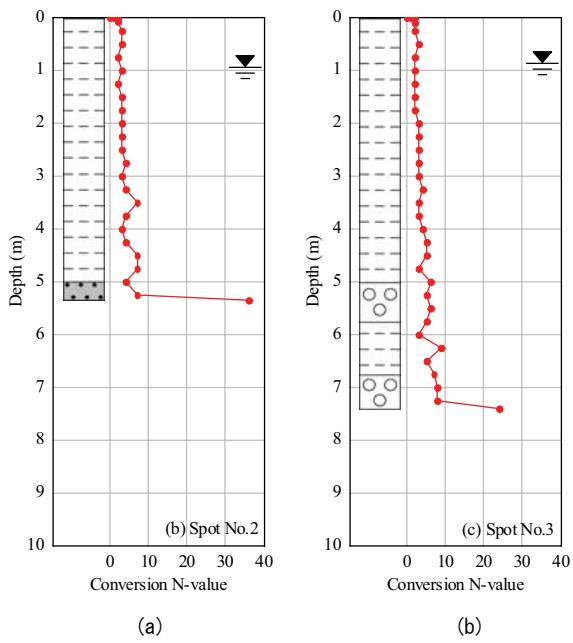


図-3.5 SWS の結果(図-3.4 の Point 7, cf. 写真-3.13)

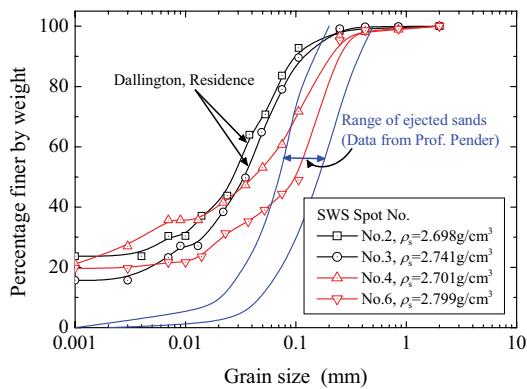


図-3.6 図-3.5 の貫入試験時にスクリューポイントに付着した試料の粒度 (図-3.4 の Point 7)

Avon 川を更に下ると、蛇行により堤防道路が凸にカーブする地点において堤防が大きく変状している様子が確認され、埋設管に大きな被害が生じていた。また、道路のカーブに沿って設置されていた電柱が堤内側に傾斜していた (写真-3.14, Point 10)。このような電中の傾斜は、我が国で発生した液状化被災地においても頻繁に認められる。道路がカーブしている箇所の電中は、電線に引っ張られるように内側に傾斜している。

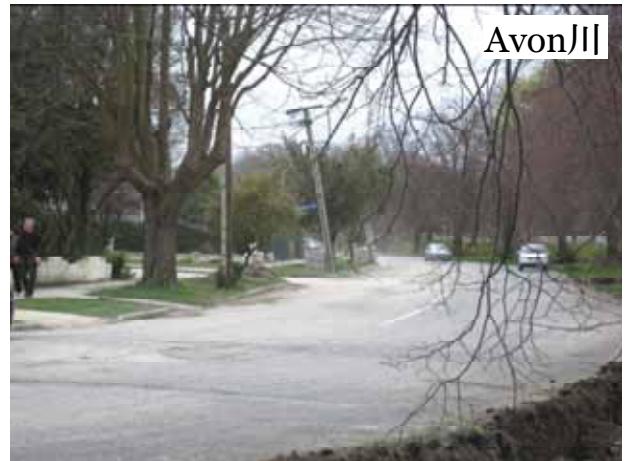


写真-3.14 堤防道路の様子 (図-3.4 の Point 10)

Avon 川が蛇行した左岸に位置する St. Paul's Church (図-3.4 の Point 26) で、液状化による沈下が生じた。日本においてもよく指摘される事項であるが、河川氾濫原の蛇行した箇所における、軟弱層が堆積しているエリアと考えられる。写真-3.15 に教会の写真を示す。写真には計測した教会のサイズについても記入してある。写真左側に高い塔があるためか、教会は左側に傾いていた。また、教会の屋根に大きな亀裂が発生し、折れ曲がっているのがわかる (写真-3.16)。また、建物の亀裂へとつながっている地盤の段差 (最大 50cm) も確認できる。写真-3.17 は、教会後方からの写真であるが、教会は写真右側に傾いているのがわかる。教会敷地内の他の建物は、1 階建てといふこともあり、顕著な傾きは見られなかったが、樋の変形からも沈下していることがわかる (写真-3.18)。また、教会の広場 (アスファルト舗装) では、噴差が確認できる (写真-3.19)。

図-3.7 に、Google Earth よりダウンロードした、上空からの写真を示す。傾きの測定を行った建物の屋根には、記号を付けた。教会は A の建物である。B, C は煉瓦造りの 1 階建て、D は木造 1 隅建て、E はガレージであった。なお、E の周りには顕著な噴砂が見られたが、D の東側の芝生には、液状化跡が全く見られなかった。

図-3.8 には、クリノメーターで測定した建物 A (教会) の傾きを記してある。写真-3.15~3.17 に示したように、塔方向への傾きや折れ曲がりと一致した測定結果となっている。図-3.8 の頂点 a においては、周辺でほとんど沈下していないと思われる地表面からの沈下量は約 30cm であった。この頂点 a を基準 (ゼロ点) として、教会の

大きさと傾きから、他の頂点の鉛直変位（鉛直下向き正）を推定すると、頂点 b : 65cm、頂点 c : 44cm、頂点 d : 79cm、頂点 e : 23cm となる。したがって、もとの地表面から最大で約 109cm も沈下した計算となる。

図-3.9 には、教会以外の建物についての傾きを記している。傾きが認められなかったところには、値を書いていない。D の木造の建物に関しては、ほとんど傾きはなく、クリノメータでは傾きを読みとることはできなかつた。煉瓦造りの建物 B、C に関しては、壁にクラックが認められた。教会より重量が小さいからか、教会ほど顕著な沈下や変形は見られなかつた。



写真-3.15 St. Paul's Church (正面, 図-3.4 の Point 26)



写真-3.16 St. Paul's Church (側面, 図-3.4 の Point 26)

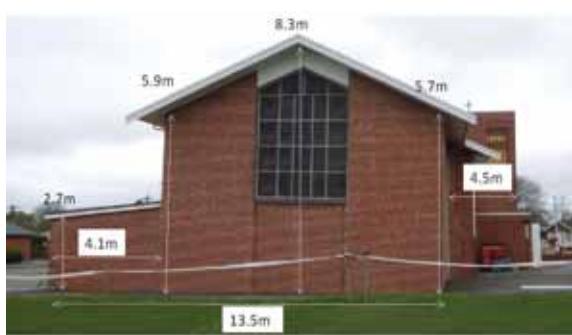


写真-3.17 St. Paul's Church (裏面, 図-3.4 の Point 26)



写真-3.18 敷地内の建物の沈下 (図-3.4 の Point 26)



写真-3.19 広場の噴砂 (図-3.4 の Point 26)

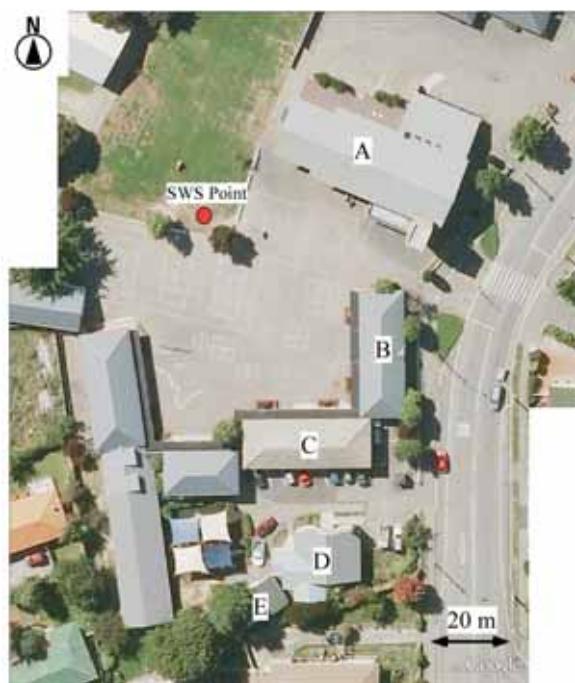


図-3.7 敷地内の建物の配置

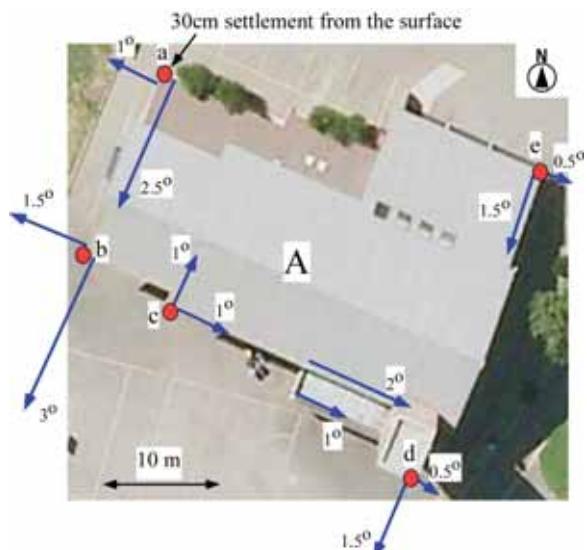


図-3.8 教会の傾き

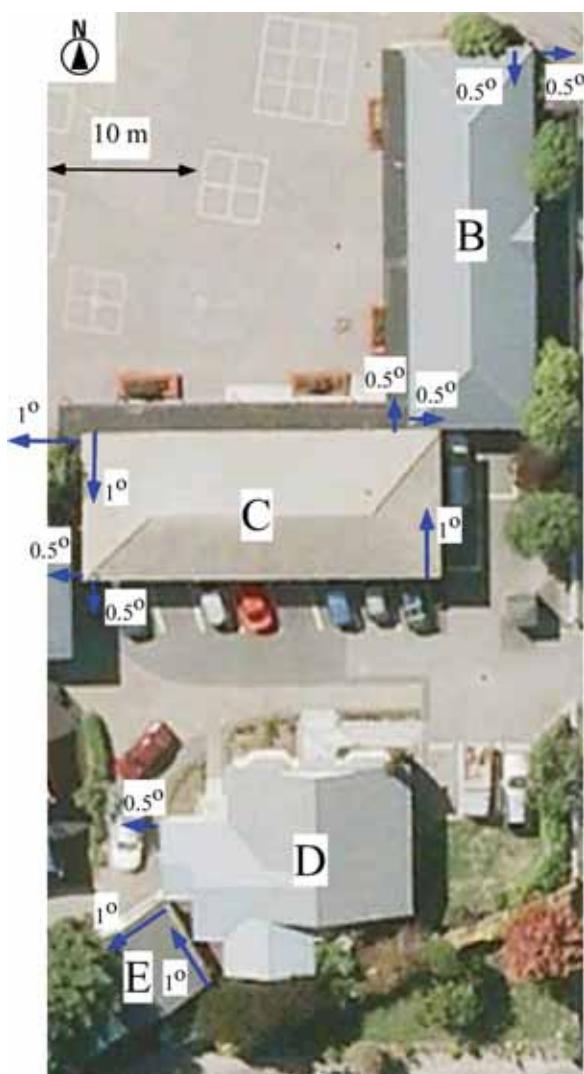


図-3.9 建物の傾き



写真-3.20 St. Paul's Church での SWS 試験 (図-3.4 の Point 26)

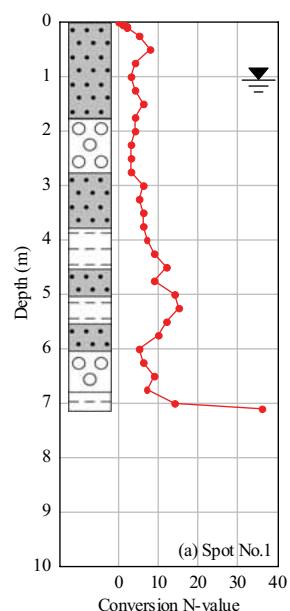


図-3.10 St Paul's church における SWS の結果 (図-3.4 の Point 26, cf. 写真-3.20)

図-3.7 に示した「SWS Point」において、SWS 試験を行った。写真-3.20 に、試験の様子を示す。ちょうどどの時、ニュージーランドのテレビ局が現地にきて、日本からの調査団が行っている調査を興味深そうに取材した。図-3.10 に試験結果を示す。

地下水位面以浅の表層土において、換算  $N$  値が 8 のやや固めの層が現れるが、地下水位面辺りで  $N$  値は 3 と小さくなる。その後、礫の存在か、 $N$  値が 6 程度まで大きくなるところもあるが、G.L.-3m 辺りまでは、非常に小さな  $N$  値を示している。3m 以深で  $N$  値は漸増する傾向を示し、G.L.-4.5m 辺りで  $N$  値は 10 を超える。その後、再び軟弱な層が現れるものの、約 G.L.-7m の層で、 $N$  値が 30 を超えたため、試験を打ち切った。以上の結果より、地下水位面以下 5m 程度の層厚で液状化が発生したのではないかと推定できる。図-3.7 もしくは図-3.9 の D の建物の東にある芝生では、全く噴砂跡が見られなかった

ため、当初は、比較の意味で試験を実施する予定であったが、調査時間の関係から取りやめた。図-3.10 と同様、地下水位面下の深いところに、軟弱層が存在するかどうかは興味深いところである。

また、今回の地震の特徴的な現象として、噴砂の噴出高さが非常に低いことがあげられる。我が国で確認された噴砂現象は、時として非常に勢いよく噴出し、その高さは数mに達することも珍しくない。一方今回の地震では、非常に大量の噴砂量に対して噴砂の噴出高さは非常に低く、例えば写真-3.18 の白い壁にも砂が高く噴出した痕跡は全く残っていない。この原因としては、液状化層が比較的広範囲に分布し、かつ表層地盤も軟弱な部分が多く地表面の至る所から噴砂が生じたため、砂を高く噴出させるほど間隙水圧が一ヵ所に集中しなかった可能性が考えられる。また、今回の調査では、我が国の地震で頻繁に確認されるマンホールや埋設物の浮上がほとんど確認されなかった。

St Paul church から下流約 1km の左岸に Porritt 公園がある。この公園は図4の位置図からも分かるように、Avon 川の河道と旧河道との間に挟まれたエリアに位置している。この公園内では、地震により液状化や地盤の流動と考えられる現象が多数発生した。公園内の広い芝生には噴砂の跡が多数確認できる(写真-3.21, Point 20)。同時に、芝生には無数のクラックがいくつかの規則的な方向に平行に生じている様子が認められた。この原因として、緑地帯の脇を流れる旧河道に向かって流動した際に生じたクラックである可能性が考えられる。一方、地元住民によると、このクラックは緑地に埋設された配水管の配置の影響であるとも報告されており、現時点では明確な原因は不明である。

なお、旧河道には写真-3.22 (Point 12) に示すように水路の中央が隆起しており、これは地震前には無かつたと報告されている。また、公園内の小さな橋の周辺で最大目開き 70cm 程度の大きなクラックが発生したが、橋には杭基礎が設けられていたためほとんど変動はしなかった。なお、公園と Avon 川の現河道の間には堤防が設けられているが、この堤防が液状化に伴って両肩が沈下・流動していた(写真-3.23, Point 15)。芝生には堤防縦断方向に連続したクラックが発生し、天端を境として横断方向に堤防が広がっていた。

図-3.11 に Darlington 地区で採取された噴砂の粒度分布を示す。ほとんどの噴砂は細粒分 20%以下の比較的均質な細砂を主体としている。一方、細粒分が 30%を越える噴砂も 2 カ所で確認された。これらはいずれも写真-3.21 付近 (Point 20 付近) の旧河道で囲まれたエリアで採取された噴砂である。他のエリアとの堆積環境の違いを示している可能性も考えられる。

Avon 川の河道周辺では顕著な液状化現象が発生していたが、河道もしくは明確な旧河道から 300~500m 以上離れた道路や施設では液状化の痕跡は全く確認されなかった (Points 84,86,87 and 89)。



写真-3.21 Porritt 公園内で確認されたクラック (図-3.4 の Point 20)



写真-3.22 旧河道内に現れた隆起 (図-3.4 の Point 12)



写真-3.23 Avon 川堤防の変状 (図-3.4 の Point 15)

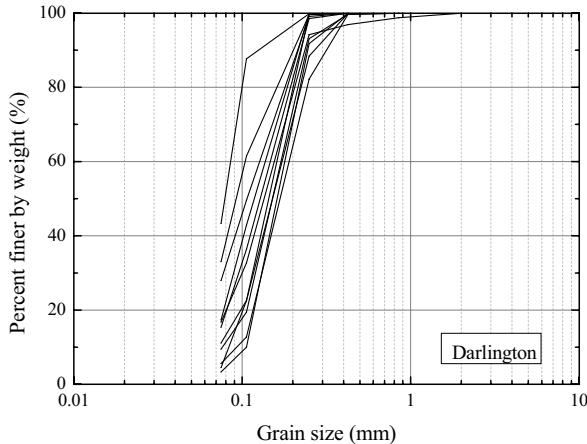


図-3.11 Darlington 地区で採取された噴砂の粒度分布

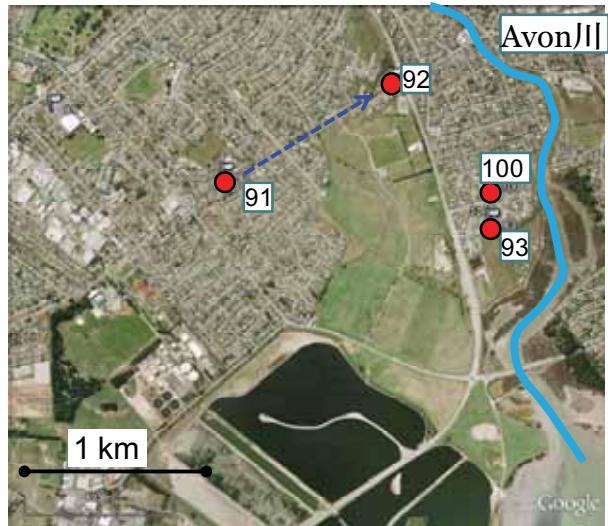


図-3.12 Bexley 周辺の調査位置図 (数字は Check Point)

### 3.3 Bexley 周辺の被害

Bexley は市街中心部から自動車で約 20 分、Avon 川の河口付近の湿地帯周辺に約 5 年前に造成された住宅地である。図 12 に調査位置平面図を示す。

Dallington 方面から Bexley 方面に向かうと、途中では液状化の痕跡は認められないが（図-3.12 の Point 91）、Avon 川に近づくと徐々に道路面に噴砂が確認できる（写真-3.24, Point 92）。

Bexley でも、広い範囲に液状化の被害が見られたが、特に、湿地帯に近い民家においては、湿地帯方向への側方流動による亀裂が見られた（写真-3.25, Point 93）。この亀裂を挟んで、宅地側（写真-3.26）と湿地側（写真-27）で SWS 試験を実施した。

試験結果をそれぞれ、図-3.13, 3.14 に示す。図-3.13 では、はじめに、宅地造成のための盛土と考えられる、礫を含んだ層が 1m 程度存在する。その後、 $N$  値が 3 程度の軟弱な層が GL.-4m 程度まで続く。その後、 $N$  値が 7 程度の層も現れるものの依然軟弱で、すべてのロッドを使い切った GL.-9m に達したところで試験を打ち切った。湿地側の図-3.12 においては、図-3.13 に見られたような表層の固い層は存在せず、GL.-5m 程度まで  $N$  値 3 程度の軟弱層が続く。GL.-6m 辺りで  $N$  値 7 程度の値が現れるものの、また軟弱になり GL.-9m で試験を打ち切った。

図-3.15 に写真-3.26 (Point 93 付近) の SWS 試験実施箇所付近で採取された噴砂の粒度分布を示す。細粒分の比較的少ない、きれいな細砂である。

なお、上述の住宅地における盛土の流動量を把握することを目的として、地表面に生じたクラックの目開きを計測した。その結果を図-3.16 に示すが、流動の影響範囲は盛土端部から 40~60m 程度に及び、測線沿いのクラック幅の総和は 60~150cm 程度であった。



写真-3.24 Bexley へ向かう道で確認した液状化の痕跡（図-3.12 の Point 92）



写真-3.25 側方流動による亀裂（Bexley の民家、図-3.12 の Point 93）



写真-3.26 Bexley の民家での SWS 試験 (図-3.12 の Point 93)



写真-3.27 Bexley の湿地での SWS 試験 (図-3.12 の Point 93)

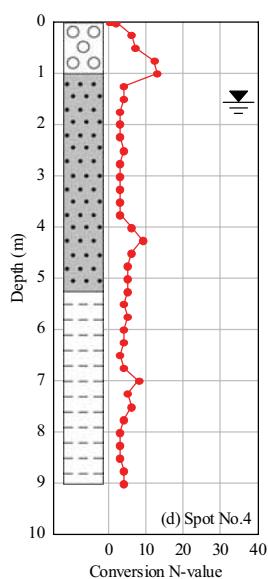


図-3.13 Bexley における SWS の結果 (図-3.12 の Point 93, cf.

写真-3.27)

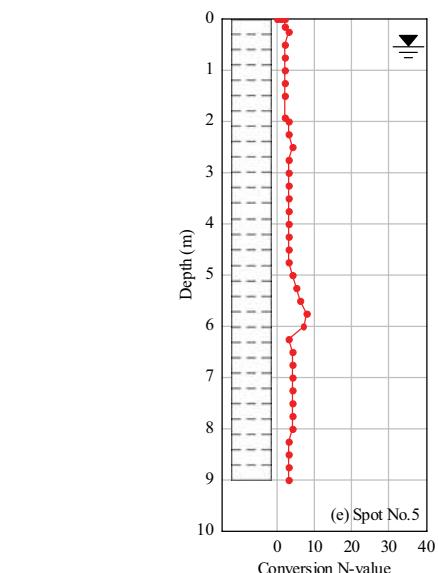


図-3.14 Bexley における SWS の結果 (図-3.12 の Point 93, cf.

写真-3.28)

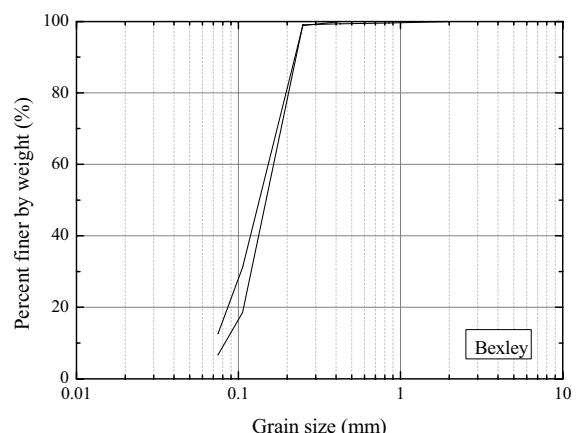


図-3.15 Bexley 地区において採取された噴砂の粒度分布

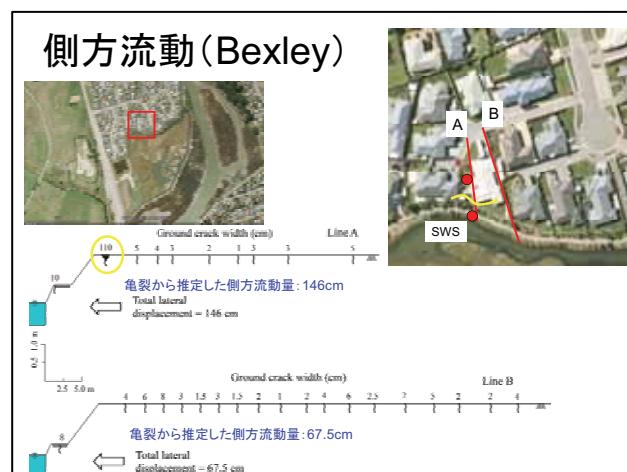


図-3.16 Bexley における盛土端部の側方変位量測定結果 (図-

3.10 の Point 93)

上述の民家より 300m ほど湿地と逆方向にある公園においても SWS 試験を実施した（写真-3.28, Point 100）。この公園では顕著な液状化被害跡は見られなかつたが、いくつか小さな噴砂跡は存在していた。図-3.17 に SWS 試験結果を示すが、 $N$  値が 10 程度の層と軟弱な層が 1m 毎に現れて、明らかに他の箇所と違う構造をしているのがわかる。試験は、GL.-7m 辺りの  $N$  値が 15 に達したところで終了した。図-3.18 に民家と公園の試験で、スクリューポイントに付着していた土の土粒子密度と粒度試験の結果を示す。ここでも噴砂と比べると、非常に多くの細粒分を含んでいることがわかる。公園より民家の方が、つまり、湿地帯に近い方が細粒分が多くなっているようである。土質の判別は不明確であるが、砂質土を考えるなら、湿地近くにおいては、地下水位以下の非常に厚い層で液状化を起こす可能性がある。一方、公園は、湿地帶付近と比べると固い層をしており、一部  $N$  値の低い層での液状化は考えられるが、厚い層での液状化の可能性は低い。



写真-3.28 Bexley の公園での SWS 試験 (図-3.12 の Point 100)

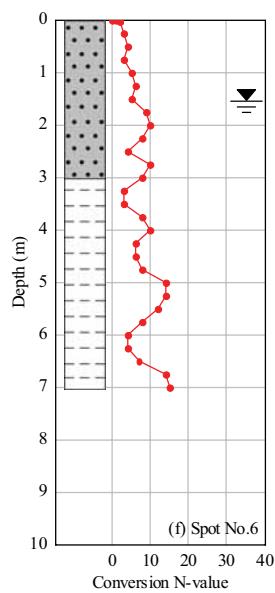


図-3.17 Bexley における SWS の結果 (図-3.12 の Point 100, cf. 写真-3.28)

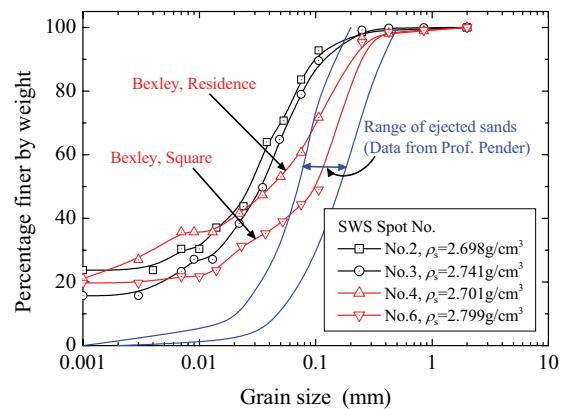


図-3.18 図-3.17 の貫入試験時にスクリューポイントに付着した試料の粒度 (図-3.12 の Point 100)

### 3.4 Christchurch 被害状況のまとめ

今回の地震による Christchurch 市内の被害の様子を図-3.19 の平面図に示す。

市街地中心部では、液状化による被害や噴砂の痕跡はほとんど認められなかつたが、古い煉瓦造り構造物の破損や半壊が確認された（図-3.19 の薄緑で示したエリア）。

中心部から 3km 程度東に位置する Dallington エリア、および河口付近の Bexley 地区では、大量の噴砂が確認され、構造物の沈下や道路の損傷が認められた。SWS 試験から、表層から GL-5m 程度までの緩い砂質土層が液状化したと推定される。また、Bexley 造成地の盛土端部では液状化に起因する大きなクラックを伴う変状が確認された。しかし、このような液状化の発生は、図-3.19 の赤色で示した Avon 川沿いに限られ、Avon 川から 300m 程度離れたところでは液状化の痕跡は確認されなかつた（図-3.19 の青色で示したエリア）。

なお、今回の調査では確認していないが、地元の報道などによると、Avon 川沿いの Dallington 地区と Bexley 地区の中間に位置するエリアにおいても液状化が発生した可能性が考えられる（図-3.19 のピンクで示したエリア）。

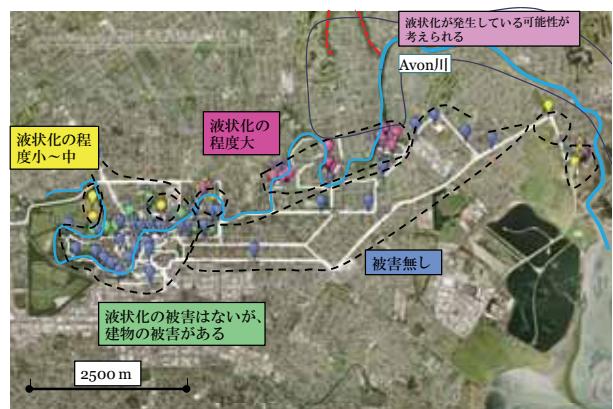


図-3.19 Christchurch 市内の被害の様子

#### 4. Kaiapoi の被害状況

Kaiapoi 市街地は Waimakariri 川本流の左岸に広がっており、Christchurch 市街地から北へ 15km 程度、海岸線から 4km 程度に位置している。Kaiapoi は Waimakariri 川の支流を挟んで北地区と南地区に分かれており、今回の調査ではいずれの地区でも地震による被害が確認された。調査位置図を図-4.1 に示す。

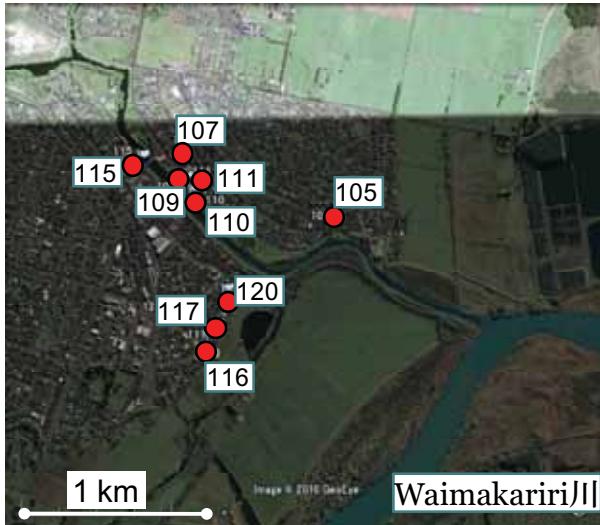


図-4.1 Kaiapoi 周辺の調査位置図（数字は Check Point）

Waimakariri 川支流の左岸堤防では、液状化に伴う堤防の流動によりボートハウスに被害が生じている（写真-4.1, Point 109）。ボートハウス周辺には噴砂の跡が多数認められ、建物は足下をすぐわれるようにならびて傾斜している。また、傾斜したボートハウスの浮き上がった基礎には転倒防止のためコンクリートがカウンターバランスとして設置され、歩道の屋根の柱にはアンカーが設けられている。



写真-4.1 傾斜したボートハウスの様子（図-4.1 の Point 109）

この堤防は堤外側の法面は 2 割勾配で水面からの高さは約 4m、堤内側はおよそ 1:20 の緩勾配であり、形状としては日本のスーパー堤防や丘陵堤などに近いものとなっている。図-4.2 に堤防の横断形状とクラックの位置を示す（図-4.1 の Point 110）。クラックの位置は縦断方向

に異なっており、図に示すクラック位置と以後の写真的クラック位置は必ずしも対応していない。

堤防の天端は幅 2m と比較的狭く、コンクリートで舗装されている（写真-4.2, Point 110）。そのため、コンクリート下の盛土の沈下量は不明であるが、コンクリートには傾斜や目地の開きが見られないで、天端沈下量は僅かであると考えられる。この区間では、写真的の左側のおよそ 30m の区間で天端の舗装が撤去されていたので、この部分は何らかの変状が生じていた可能性もある。

天端の舗装面は傾斜や目地の開き、不陸はほとんどない。天端の肩には段差が生じ、法面が沈下、流動している。一方、堤内側の裏面には激しいクラックが生じ、法面が全体的に波打っている（写真-4.3, Point 110）。クラックの開講幅は広い所で 1.2m および、クラック内には、少量の噴砂痕が見られる箇所も少數ながらあった。長さ約 50m の法面の中に、目視できる顕著な縦断クラックが数本発生していた。

クラック内で観察した堤体材料の状況を写真-4.4 に示す。堤体材料は暗褐色のレキ混じりの締まった砂であり、周辺部で見られた噴砂とは明らかに異なる。盛土ではなく、盛土下の地盤の液状化により被害が生じたものと考えられる。堤内側法面の法尻付近では所々に噴砂痕があった。この砂は灰色であり、上述した堤体材料とは明らかに異なるものである。

堤内側の法尻は概ね直線を保っており、緩斜面の流動変形により大きく推された様子は見られなかった。

この堤防の被害形態の特徴は、天端の沈下量がほとんどなく、緩傾斜法面に大きな変状が見られることである。また、緩傾斜法面の法尻の水平変位は小さく、法面内だけが大きく変形しているのが特徴である。河川堤防の治水機能を考えれば天端高さの保持は重要であり、その点では緩傾斜かが有効である可能性を示唆するものである。

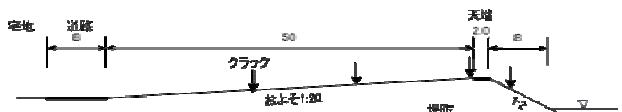


図-4.2 堤防の横断形状とクラックの位置（図-4.1 の Point 110）



写真-4.2 堤防の天端 (図-4.1 の Point 110)



写真-4.3 堤内側の縦断クラックの状況。ここで開口幅は  
1m以上であった (図-4.1 の Point 110)

た傾斜と沈下量を図-4.3 にまとめた。壁や窓に残された砂の跡によると、堆積した噴砂の厚さは約 38cm であった。地震後まもなく公的機関やボランティアにより噴砂は撤去されていたが、地震直後の様子と比較すると大量の噴砂が生じていたことが分かる（この家だけで トラック 30 杯分との報告もある）。

この民家の敷地において、SWS 試験を実施した（写真-4.6）。地盤工学会の調査団は、Kaiapoi の他の被害箇所を見て回るため、以後の SWS 試験は、Canterbury (カンタベリー) 大学の学生により行われたものである。その中には、地下水位や土質判別の報告がないものがあった。図-4.4(a), (b)に結果を示すが、Bexley の民家や湿地帯と同様、深い位置まで非常に軟弱な層が続いていることがわかる。地下水位も、G.L.-0.25m と判断したようで、かなり高いことがわかる。つまりここでは、地表直下から非常に厚い層で液状化を起こす可能性がある。



写真-4.5 Kaiapoi の民家の液状化被害 (図-4.1 の Point 105)



写真-4.4 クラック内で観察した堤体材料 (図-4.1 の Point  
110)

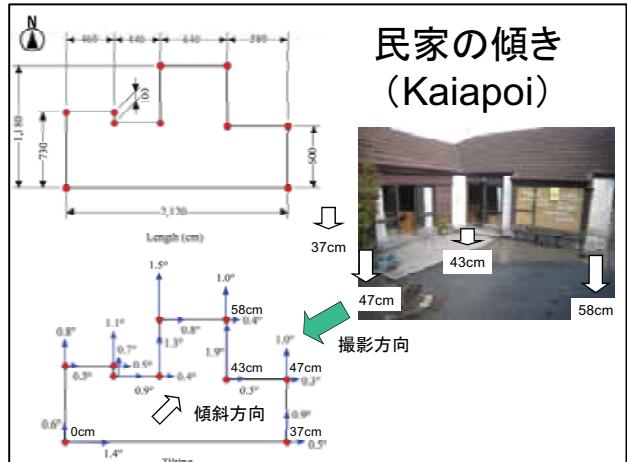


図-4.3 Kaiapoi の民家の傾斜と相対沈下量  
(図-4.1 の Point 105)

堤内側の住宅地でも液状化により家屋の沈下が確認された。写真-4.5 (Point105)の家屋周辺では液状化に伴う噴砂が大量に噴出し、家屋の北側が 50cm 以上沈下した（南西の過度を基準とした相対沈下量）。この家屋に生じ

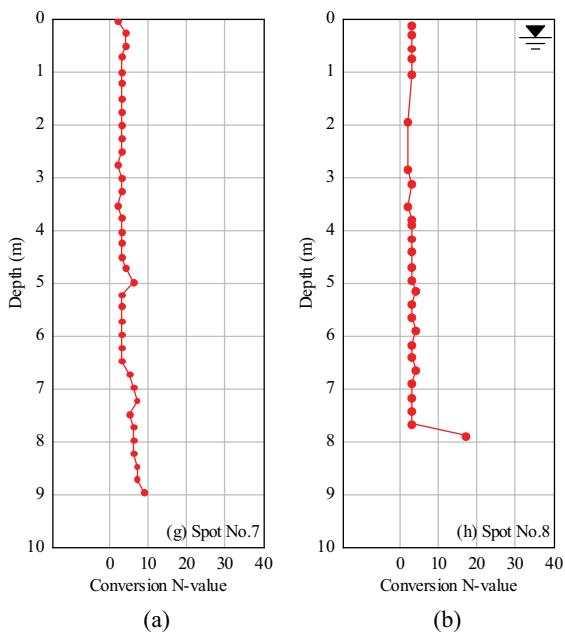


写真-4.8 三成分コーン試験の実施状況 (図-4.1 の Point 107)



写真-4.9 二階部分が崩壊した商店の様子 (図-4.1 の Point 115)



上記のような液状化による被害はこのエリア全体で多数確認されている。写真-4.7 (Point 111)の家屋にはクラックなどの破損は認められないが、家屋全体が 50cm 以上沈下した。正面の道路から家屋 1 階のガレージへのアプローチのスロープは下りとなっていたが、地震前は登りであったと報告されている。また、この付近では建設中の大型商業施設でも液状化により数 cm の沈下が確認された。この敷地内では地質調査業者による三成分コーン貫入試験が行われていた (写真-4.8, Point 107)。調査結果によると、この地域の地下水位は GL-1.5m 程度であり、GL-5m に分布する砂礫層までは非常に緩い砂層が堆積していることが確認されている。なお、この施設の対岸では液状化の発生は確認されなかったが、煉瓦造りの商店の二階部分が大きく崩壊していた (写真-4.9, Point 115)。

Waimakariri 川支流の右岸地域では、約 5 年前に沼地に造成された住宅地において、今回の地震による液状化に伴う地盤の流動により大きな被害が生じていた (図-4.1 の Points 116, 117, 120)。これらの被害は、Christchurch 東部の Bexley と非常に似通っている。被害を受けた住宅の多くは造成されたエリアの端部に位置していた。また、これらのエリアは沼地に面して緩やかなスロープを有し、その比高差は 1.5m 程度である。

スロープの上部で発生したクラックは造成の端部に沿って分布し、その開口幅は 1~1.5m にも及ぶ (写真-4.10, Point 117)。周辺の道路やクラック内部には噴砂の跡が認

められたことから、盛土部もしくは原地盤の液状化により流動が発生したものと考えられる。このクラックが家屋を横切ったケースでは、家屋の半分が流動するもう半分の構造に引きずられている様子が確認された（写真－4.12, Point 116）。また、家屋全体が流動するブロックに含まれたケースでは、家屋が流動地盤と共に移動し、一部は流動方向に向かって大きく傾斜している様子が確認された（写真－4.13, Point 117）。しかし、沼地に向かうスロープ面には顕著な変状は認められなかった。この理由として、家屋周辺で生じた変形が軟弱な盛土内で吸収されたこと、およびより深い位置で変形が生じたことなどが考えられるが、現時点では詳細は不明である。

Christchurch 東部の Bexley でのケースと同様、これらの被害は造成されたエリアの内側に行くほど少なくなる傾向が確認された。この Kaiapoi 南地区では、造成地端部から 120m 内側では家屋の被害はほとんど生じていなかった。

図－4.5 に Kaiapoi 地区で採取された噴砂の粒度分布を示す。概ね均質な細砂であるが、写真－4.11, 4.13 付近（Point 117 付近）で採取された噴砂では、70% 近い細粒分含有率を示した。しかし、この細粒分の塑性指数は NP であり、かなり砂に近い特性を有する。なお、図－4.5 に示された他の噴砂（比較的均質な細砂）は Waimakariri 川支流の左岸側で採取されたものである。



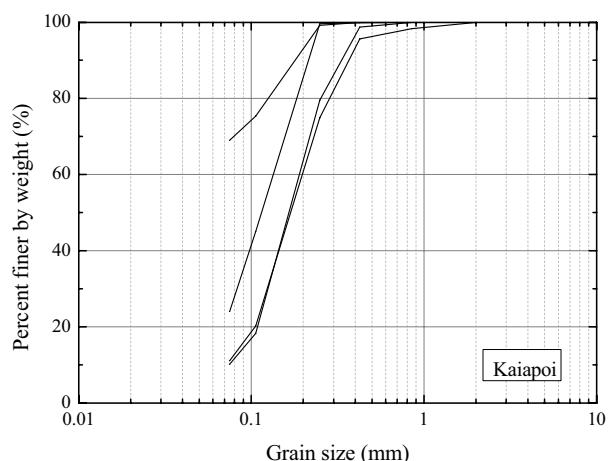
写真－4.11 造成盛土端部のスロープ上部に位置する家屋で生じたクラック（図－4.1 の Point 117）



写真－4.12 造成盛土端部に位置する家屋の被害（図－4.1 の Point 116）



写真－4.13 造成盛土端部に位置する家屋の被害（図－4.1 の Point 117）



図－4.5 Kaiapoi で採取された噴砂の粒度分布

## 参考文献

- 1) 稲田倍穂：スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について、土と基礎、Vol. 8, No. 1, pp.13-18, 1960.

## 5. Lyttelton (リテルトン) 港の被害状況



図-5.1 リテルトン港での調査位置図

リテルトン港は、クライストチャーチの南東 10km に位置するニュージーランド第 2 の港である。主として石炭の輸出、コンテナ輸送、LNG の輸入のために用いられている。背後地は広くはないが、凹状の海岸線部分を用いた港であり、1950 年代から 60 年代にかけて建設された。

背後の山から採取した堆積岩(主にシルト岩～砂岩)を用いて海岸部を埋め立て、船の接岸部は全て杭式の護岸となっている。図-5.1 に Lyttelton 港での調査地点を示す。図中 4 の防波堤は建設時に圧密促進のためのサンドドレーンが打設された。海底の地盤は、深度数メートルに縮まった数 m 厚の砂層がある他はシルト～粘土の層が 20～30m 程度堆積しその下が岩盤である。

図中の 2～3 の間が約 1km の護岸であり、2 を含む中央から西側がコンテナ船用、3 が石炭積み出し用の護岸である。西側はコンクリート杭、中央部は鋼管杭、東側が木杭の護岸となっている。図中の 5 が LNG 船用の護岸であり、埋め立て部の前面に木杭で支持された護岸がある。杭は何れも摩擦杭であり、陸から海側に向かって徐々に長さが長くなり、最長でおよそ 20m 程度である。

路頭岩盤上で計測された地震動は、最大加速度 420gal(NS 成分)、最大速度がおよそ 20cm/s であった。被害の形態は、杭式護岸背面の埋め立て部が全体的に 10～20cm 沈下し、杭支持の岸部分の変形はほとんどなかったため接合部に段差が生じた。また、図中 1 や 4 の埋め立て部や盛土部では沈下すると共に地表にクラックが生じた。図中 4 の防波堤の先端部では水深が約

8m であり、盛土の高さは海底から約 12m である。防波堤の沈下量は 20～50cm 程度であった。

この港湾の管理会社である Lyttelton Port Company によると、今回の地震動は想定していた 2 つのシナリオ地震の一つとほぼ同じ規模であり、生じた被害もほぼ想定通りであった。20cm 程度の段差を車両の通行が出来るよう応急的に補修することにより、業務は支障のないレベルで継続できていた。



写真-5.1 図-5.1 中の 1 の埋め立て部から見た 2 の護岸部



写真-5.2 コンクリート杭の杭頭に地震により軽微なクラックが生じた。写真の杭頭部のコンクリートは地震前に点検のためにはつられたものである  
(図-5.1 中の 2)



写真-5.5 位置図中 4 から見た石炭積み出し用護岸。杭は木杭である



写真-5.3 杭支持部(右側)と背面の埋め立て部で約 15cm の段差が生じている(図-5.1 中の 1 と 2 の間)



写真-5.6 杭支持部と背後の埋土部の段差は約 20cm



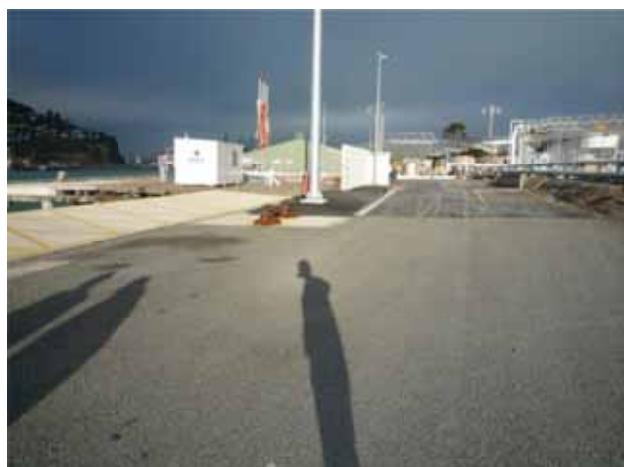
写真-5.4 図-5.1 中 2 の部分。10cm 程度の段差が生じて  
いる。クレーンは杭式の護岸設置されており,  
支障なく使用されている



写真-5.7 背後の埋め土部に生じた地表クラック (図-  
5.1 中の 3)



写真－5.8 位置図中 4 の防波堤ほぼ先端部から陸側を望む。堤体天端には縦断クラックが発生し、沈下量は 40cm 程度であった



写真－5.9 位置図中 5 の LNG 用の護岸。護岸（写真の左側）が若干変位・傾斜し背後の地盤が沈下している。調査時点では既に背後地盤の舗装がオーバーレイされていた（写真の右上）



写真－5.10 地盤変位によるパイプラインと固定部のズレ

## 6. あとがき

今回のニュージーランド Darfield 地震の調査では、派遣の決定から出発までほとんど時間が無く、準備や事前の情報収集に割ける時間はほとんど無かった。そのような状況でも、ある程度の調査が行えたのは、日本に関係の深い研究者が現地で既に調査活動を精力的に行い、情報を収集していたことによるところが大きい。日本で得られる情報が限られている中、現地に有力な調査協力者を得られたことにより、到着後にスムーズに調査を開始し、限られた滞在期間中に効率的に被害地点を回ることができた。ご協力いただいた関係各位に深甚なる謝意を表す。

今回の調査を通じて受けた印象は、構造物の被害が限定的であったのに対し、液状化による地盤災害が顕著であったことであった。構造物については、ニュージーランドでは耐震設計が行われてきており、全体的に構造物の耐震性はかなり高く、最大加速度二百数十 gal 程度の地震動では顕著な被害が出なかつことは理解できる。一方で、地盤の液状化被害は、Bexley や Kaiapoi などの埋立地だけでなく、Christchurch 市内の Avon 川周辺の自然地盤でも激しい液状化が発生し、家屋を中心に多くの構造物が被害を受けたことが特徴的であった。これについて、次のような理由が考えられるのではないだろうか。

まず、クライストチャーチは英国人の開拓が始まってからの歴史は 150 年と短く、その間に蓄積された自然災害の経験が少ないとある。そのため、リスクの高い土地が経験的に知られ知識として伝承されるに至っていないのではないだろうか。

また、地盤に関する工学的な情報が極端に少ないことである。Christchurch 市内の建築物はほとんどが低層住宅建築物であり、高層建築物の数は非常に少ない。地盤調査が行われることは希で、行われたとしてもそのデータが公になることはまず無いようである。そのために、地盤の液状化に対するリスクが正確に理解されていなかったことが考えられる。Christchurch 市の液状化ハザードマップが地震前に作成されていたが、実際の液状化発生地点との整合性は高くない。今後、地盤情報を蓄積し、地盤の工学的特性に関する理解が進むことが重要であると考えられる。

本報告書は一部の試験結果を除いて調査後 1 ヶ月以内に執筆したものである。カンタベリ大学をはじめ複数の期間が現在も継続的に調査を行っており、今後、被害やその原因がより詳細に明らかになってくるものと思われる。

## 付属資料 地震発生から調査団到着までのニュージーランドの状況の補足

地震が発生した9月4日の2日後から、丁度ニュージーランドのAuckland（オークランド）で11th IAEG Congress 2010が開かれることになっていた。筆者（安田）はこの会議に出席するため、4日に日本を出たが、その寸前にChristchurchで地震が発生したとのニュースが日本で流された。このため、翌日（5日）にAucklandのホテルに着くと同時にテレビにかじりついた。その後、テレビと新聞から引き続き情報を得るとともに、会議の中日の9月8日にはChristchurchまで日帰りで現地調査に行ってきた。そこで、以下には日本からの調査団が到着する前の状況について、補足説明を行ってみる。

### 付.1 地震発生翌日から3日間のニュージーランド国内におけるテレビ、新聞報道に関して

地震の翌日（5日）の新聞および夕方までのテレビニュースは、もっぱらChristchurchのダウンタウンで発生した建物被害および震源地で発生した断層の話題ばかりであった。液状化という言葉はひとつも出てきていなかった。ただし、新聞の写真の中には図-付.1に示すように液状化らしき被害も見られていた。



図-付.1 地震翌日の新聞における液状化発生を物語る被害 (Sunday Star Times, Sept.5 より)

液状化による被害が発生したことがやっとテレビで報道されたのは5日の夜になってからであった。そこでは、住宅地で多量の噴砂・噴水が発生し、子供までみんなでその砂を取り除いている風景が映し出された。さらに、液状化がなぜ発生するかといった土粒子をモデル化した説明や、小さな土槽を揺すって液状化を生じさせる模型実験の映像まで映し出された。

ただし、筆者が見た新聞では地震から2日後の6日でも、まだ図-付.2に示すような激しい噴砂の状況が出されていたものの、液状化という言葉は見あたらなかった。

液状化による被害が甚大であったことが新聞で大々的に報道されたのは3日後の7日であった。そこでは、図-付.3に示すような液状化のメカニズムに関する解説や、



BIG JOB: Annette Preen stands inside the garage at her destroyed home in the Christchurch suburb of Bexley. PICTURE: GREG BURKIN

図-付.2 地震から2日後の新聞において液状化発生を物語る被害 (The New Zealand Herald, Sept.6 より)

図-付.4に示すChristchurchに対し作成されていた液状化予測図も出された。

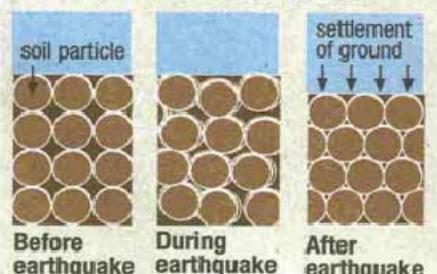
## SWAMPED AS THE WHAT IS LIQUEFACTION?

Liquefaction happens during earthquakes. The ground shaking that occurs can cause some soils to liquefy.

### WHAT HAPPENS?

When the ground shakes during an earthquake the soil particles are rearranged and the soil mass compacts and decreases in volume. This decrease in volume causes water to be ejected to the ground surface.

### THE LIQUEFACTION PROCESS



Sand volcanoes or sand boils, water fountains and associated ground surface cracking are evidence that liquefaction has occurred.

### FORMATION OF WATER FOUNTAIN AND SAND BOILS

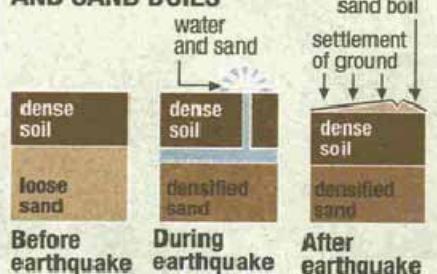
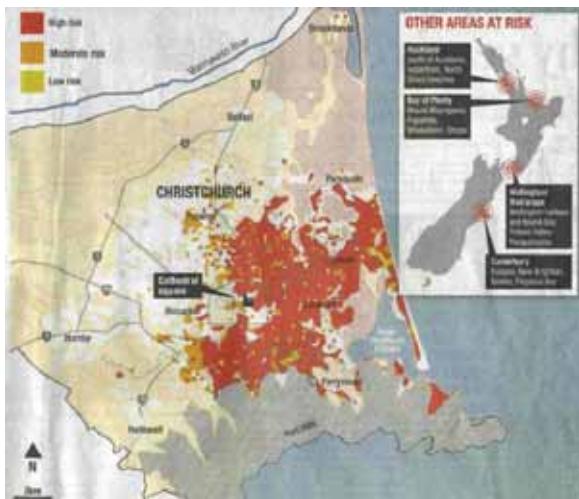


図-付.3 地震から3日後の新聞における液状化のメカニズムの説明(The New Zealand Herald, Sept.7 より)



図一付.4 地震から3日後の新聞で出された既往の液状化予測図(The New Zealand Herald, Sept.7より)

この新聞には Auckland 大学の Pender (ペンダー) 教授のコメントも出されていた。実は、Pender 教授は地震の翌日にすぐ Christchurch にはいられ、現地調査を 2 日間行わってきたばかりであった。その時に撮影された写真もすぐ関係者にメールで送られ、筆者もそのメールで液状化の状況を知ることができた。

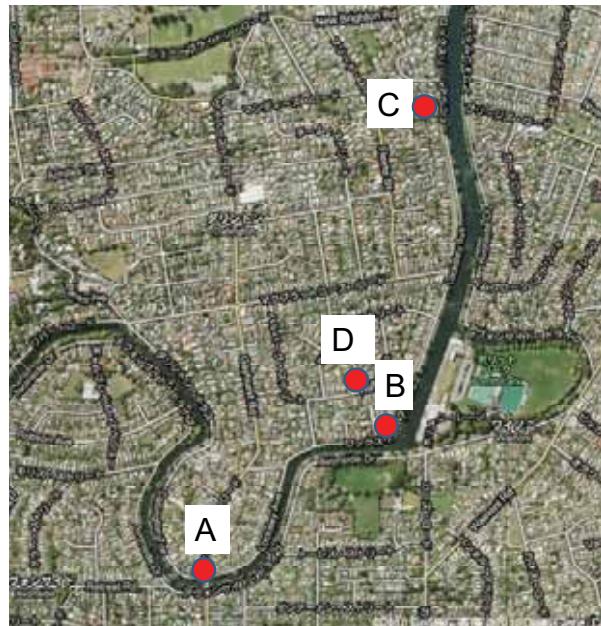
以上の報道状況で分かるように、液状化による被害はニュージーランド国内では一般に知られていなかった。ニュージーランドで最近液状化を発生した地震は 23 年前の 1987 年 Edgecumbe 地震であり<sup>1)</sup>、その時も川沿いで液状化したもののが家屋に被害はなかった。さらに、Christchurch では 100 年以上前の 1901 年 Cheviot 地震で液状化が発生して以来、液状化は生じていなかった。

## 付.2 9月8日の Christchurch の状況

前述したように、筆者は 9 月 8 日には Christchurch まで日帰りで現地調査に出かけた。ただし、一人で行けた訳ではなく、Auckland 大学の Orense (オレンセ) 博士と同じ会議に出ていたこともあり、Orense 博士とその学生 2 名が現地調査に行かれるのに同乗して現地に行ったものである。その時すでに Pender 教授の情報を得ていたし、また、新聞報道などを頼りに液状化発生箇所を見つけて回った。その地域は、地盤工学会の調査団によって詳細な調査が行われた範囲と同じであるが、調査団よりは 4, 5 日早かったため、第 7 章までに報告されていること以外にもいくつかの被害状況を見ることが出来た。特に、今回噴砂が多量に発生したといえどもすぐに噴砂が片付けられたので、地盤工学会の調査団が到着した時には、すでにほとんどの地区で噴砂は見られない状態になっていた。そこで、以下には第 7 章までに報告されていないことのみを述べてみる。ただし、日帰りで現地に行ってきただけであり、表面だけの概略の調査しかできていないことをお断りしたい。

### (1) Dallington の被害

図一付.4 の Point 26 の St. Paul's Church 周辺では液状化により多くの被害が発生していた。図一付.5 にそれらの位置を示す。Point A では橋梁の取り付け部が沈下して被災したようで、写真一付.1 に示すように復旧中であった。そこに埋設されていたライフラインも写真一付.2 に示す



図一付.5 Dallington において 9 月 8 日に見られた液状化被害の箇所 (Google 上に加筆)



写真一付.1 橋の取り付け部の被害(図一付.5 の Point A)



写真一付.2 橋の取り付け部のライフラインの被災状況  
(図一付.5 の Point A)



写真一付.3 Avon 川左岸の液状化による流動 (図一付.5 の Point B)



写真一付.4 流動による水道管らしき埋設管の被害と復旧状況 (図一付.5 の Point B)



写真一付.5 液状化による家屋の沈下 (図一付.5 の Point C)

ように被害を受けていた。また、Point B では、川に向かって流動が発生し、写真-付.3 に示すように大きな地割れ

が発生し、水道管らしき埋設管が写真一付.4 に示すように被災していた。さらに、その下流側の Point C では写真一付.5 に示すように家屋が沈下し、川からはいった Point D 付近も液状化により家屋の被害が発生していた。

### (2) Bexley の被害

Bexley は液状化により広い範囲で液状化が発生し、家屋が被害を受けたものの、地震後住民などによって噴砂が素早く片付けられ、筆者が訪れた 4 日後にはすでに Bexley のほとんどの地区で噴砂は片付けられていた。ただし、湿地側の Seabreeze 地区 (図-3.12 の Point 93 付近) ではまだ片付けている途中であった。写真一付.6 に示すように、溜まった噴砂の厚さは 30~40cm 程度にも及んでいて、噴砂の量が非常に多かったことを物語っていた。そして写真一付.7 に示すように、かきだした砂をダンプカーで運び出していた。

### (3) Kaiapoi の被害

図-4.1 中の Point 111 付近は Kaiapoi の街の中心地にあたる。ここでは 2 階建てのビルが写真一付.8、付.9 に示すように 10~20cm 程度沈下していた。Point 120 付近の河川敷では写真一付.10 に示すように川に平行な大きなクラックが数本発生しており、液状化にともなう流動が発生したことを物語っていた。また、Point 120 のすぐ北西に位置する住宅街では、写真一付.11 に示す



写真一付.6 Bexley の Seabreeze 地区(図-3.12 の Point 93 付近) で厚くたまっていた噴砂



写真一付.7 Bexley の Seabreeze 地区(図-3.12 の Point 93 付近) における噴砂の搬出状況



写真一付.8 Kaiapoi の中心地（図-4.1 の Point 111 付近）におけるビルの沈下状況



写真一付.9 Kaiapoi の中心地（図-4.1 の Point 111 付近）におけるビルの沈下状況



写真一付.10 Kaiapoi の河川敷（図-4.1 の Point 120 付近）におけるクラックと噴砂の発生状況



写真一付.11 Kaiapoi の住宅地（図-4.1 の Point 120 の北側）における液状化発生状況

ように噴砂がすでに片づけられていたものの道路はまだ変状した跡が残っており、この地区一帯で液状化が発生したことを物語っていた。

#### 付属資料の参考文献

- 1) Berrill, J. and Yasuda, S.: Liquefaction and piled foundations: some issues, Journal of Earthquake Engineering, Vol.6, Special Issue 1, pp.1-41, 2002.