

一連のカンタベリー地震と繰り返す液状化被害の調査

首都大学東京 国際会員 ○細野 康代

1.はじめに

2010 年 9 月 4 日(現地時間 4 時 35 分)、ニュージーランド・カンタベリー地域でマグニチュード M_w 7.1 の Darfield 地震が発生した。その後カンタベリー地方では余震活動が続き、2011 年 2 月 22 日(現地時間 12 時 51 分, $M6.3$, Christchurch 地震)および 2011 年 6 月 13 日(現地時間 12 時 51 分, $M6.3$)と大きな地震・余震に見舞われた。Christchurch 地震では市内中心部(Central Business District, 以下 CBD)の建物の倒壊により死者 185 名、多くの歴史的建造物が倒壊した。

Darfield地震の震源はクライストチャーチ市内から北西に 40 kmほど離れた位置であり、Christchurch市内北部および、北に位置するKaiapoi市内で液状化・流動被害が報告された^{2), 9)}。この地震による死者はなかったが、液状化による構造物の傾斜・沈下やライフラインの復旧が終わらないうちに、Christchurch地震が発生した。Christchurch地震では、クライストチャーチ市南(バンクス半島北部)に震源地が位置し、市内から約 10 km の地点であり、Darfield地震と比べて地震の規模は小さかったものの、震央が市内に近かったためクライストチャーチ市内全域に被害が広がった。6 月の余震に関しても、Christchurch地震とほぼ近い位置で地震が発生しているため、小規模ではあるが液状化被害が広がった。2011 年 12 月 23 日にも 6 月の余震と同程度の地震に見舞われ、液状化被害が報告されている。液状化の規模は、6 月の余震時と同程度と言われている。特に、6 月の余震と 12 月の地震では、本震の 1 時間 20 分前に若干小さな揺れがあるという共通点がある。

1 年以上にもわたり地震被害が続いている Christchurch 市内では特に液状化被害が激しかった地域について政府が住宅地域の買い取りを決めた。

図 1 に一連のCanterbury地震の断層および震源地分布を示す。Christchurch地震後、しばらくの間はすべての揺れはDarfield地震の余震と考えられていたが、現時点ではDarfield地震、Christchurch地震および 2011 年 12 月に発生した地震はそれぞれ異なった地震と考え、6 月の地震はChristchurch地震の余震と考えられている⁴⁾。

本論文では、Christchurch 地震および 6 月余震の液状化被害を中心に、筆者が Christchurch 滞在中に行った被害調査を報告する。

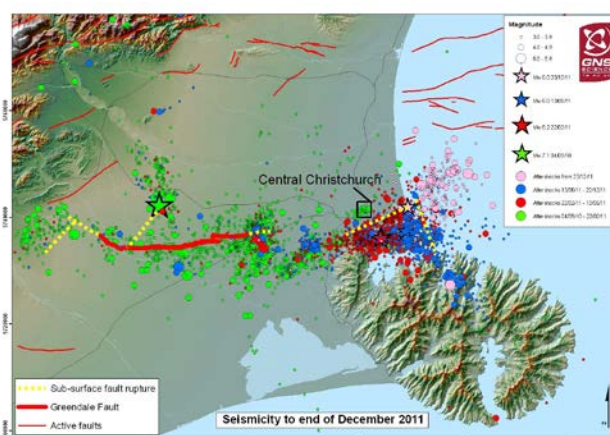


図 1 一連の Canterbury 地震の断層および震源地分布⁶⁾

表 1 一連のCanterbury地震の代表的な地震・余震の諸元⁵⁾

	Darfield 地震	Christchurch 地震	6 月の余震
発震日時(現地時間)	2010.09.04 04 : 35	2011.02.22 12 : 51	2011.06.13 14 : 20
震央(Latitude, Longitude)	43.55°S, 172.18°E	43.58°S, 172.68°E	43.56°S, 172.74°E
震源深さ	10Km	5Km	6Km
マグニチュード	M_w 7.1	M_w 6.2	M_w 6.0

2. 一連の Canterbury 地震の概要

GeonetによるとDarfield地震以前においてCanterbury地方で観測されたマグニチュードM6 を超える地震は、1888 年のカンタベリー地方の北部で起こったマグニチュード M_w 7.1 の地震のみである。この時の震源地はChristchurch市内から約 100 km北に位置しており、建物の倒壊や地滑りなどが報告されている⁵⁾。これは、Darfield地震よりも 120 年ほど前に起きた地震であり、その後は 1990 年に同様にCanterbury地方北部でChristchurch市内から 100 kmほど離れたLake Tennysonでマグニチュード M_w 5.9 の地震が発生し、本震発生 30 分以内に本震に近いマグニチュードの余震が 2 つ観測されていることが報告されているが⁷⁾、特に被害は報告されていない。また、Christchurchから 110Kmほど北に離れたCheviot地区で 1901 年に起こったCheviot地震(マグニチュードM6.9)では、Kaiapoi地区で液状化が発生し、Christchurchのシンボルの大聖堂が一部破損したことなどが報告されている¹⁾。したがって、Canterbury地方において地震の発生は 100 年ほど空白期間があり、人々の間ではChristchurch市内は地震の発生しない安全な地域として認識されていた。

Canterbury 地方で突如起こった Darfield 地震は早朝に発生し、死者は出なかったが Canterbury 地方ではKaiapoi 地区・Christchurch 地区南部において液状化・流動被害が広がった。その後、2011 年 2 月 22 日のChristchurch 地震、2011 年 6 月 13 日の余震と続き、2011 年 12 月 23 日にも新たな地震が起こっている。それぞれの大きな揺れに対し、多くの余震が観測されている(図 1)。この図において、緑色は Darfield 地震の本震およびその後に観測された余震、赤色は Christchurch 地震の本震およびその後に観測された余震、青色は 6 月の余震とその後に観測された余震、そして桃色は 12 月の地震とその後に観測された余震を示している。また、図中に示されている Greendale Fault は Darfield 地震後に新たに観測された断層である。この図からもわかるように、Christchurch 地震・6 月の余震・12 月の地震は、Darfield 地震の震央に比べ Christchurch 市内からほど近く、深さも浅かったため市内全体に液状化被現象が生じ、CBD エリアでは多くの歴史的な構造物中心にが倒壊・液状化による傾斜を引き起こし、死者 180 名以上の被害が報告された。



写真 1 Baptist 教会の倒壊



写真 2 Richmond の液状化被害

3. 市内の液状化被害

これまでの地震被害報告書でも示されているように、Christchurch市内は砂層地盤が厚く広がっており、かつ地下水位が高いことから地震が発生した際には液状化が生じることが懸念されていた³⁾。Darfield地震では、市内北側に流れるAvon川を中心に液状化被害が報告された^{2,9)}。Christchurch地震ではさらに深刻な液状化被害が生じ、震源地が市内に近かったため被害は広範囲にわたった。図*に調査地点を示す。図中のCBDエリアではChristchurch地震直後にビルの倒壊があったため約 2 km四方が閉鎖され、一般の立ち入りが禁止されたが、Avon川に沿った周辺で

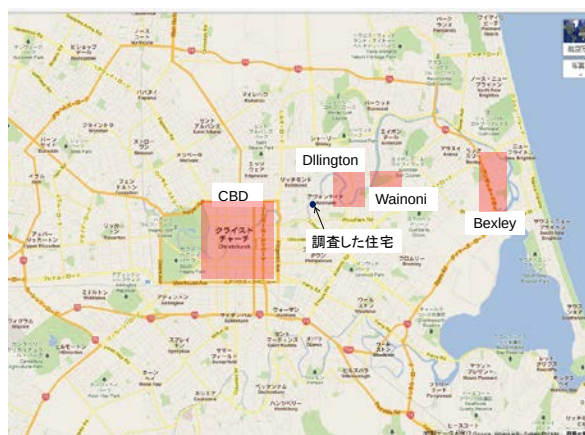


図 2 調査範囲(by google map)

被害が生じた。特に、Avon川北側のKilmore通りには大量の噴砂が見られた。大量の噴砂が確認できたところでは、50 cm程の噴砂の厚さが確認できた。エリア内のVictoria Sequa周辺では多くの流動や陥没が見受けられ(写真 3)、Avon川に南北に架かる橋では液状化により橋の南・北側から川に向かって流動し橋桁が押され約 20 cm隆起した(写真 4)。また、写真 5 に見られるように周辺の住宅敷地内にも噴砂が見られ住宅が傾いた。



写真 3 Avon 川沿いの流動被害



写真 4 Avon 川の橋の圧壊



写真 5 Kilmore 通りにある住宅

CBD から Avon 川に沿って東へ行くと河道に沿って流動が見られ、液状化による水道管が破損し道路に流れ出すなどライフラインへの被害が生じている。Dallington エリアにある St. Pual 教会は Darfield 地震時に激しい液状化と大きな縦亀裂が報告されている*,*)。この教会は Christchurch 地震の 1～2 か月前に改修工事が始まり、Christchurch 地震で再び地盤が液状化した。この教会は、Avon 川河道から 250m ほど離れたところにあり、Darfield 地震の被害にもみられるように*)流動被害は河道から 300m ほど離れた場所まで影響していた。

さらに東側のWainoniにある公園(Porritt Park)では、河道沿いの盛土が流動被害を受けている。Darfield地震でも盛土被害が報告されており⁹⁾、1 月の時点で補修が施されていたがChristchurch地震によって再度流動被害を生じ、6 月の余震では亀裂から新たな噴砂も確認できた(写真 6)。



写真 6 Winoni にある公園(Porritt Park)の盛土被害(左：Christchurch 地震前，右：Christchurch 地震後)

また、最も激しい液状化が生じた地域のひとつである Bexley では、大量の噴砂が見受けられた(写真 7)。この地域は、他の地域と異なり埋め立てられ新しく宅地造成されたところである。この地域は、Darfield 地震の時にも液状化被害を受けている。この地域における最大の噴砂の厚さは、Darfield 地震時に 50 cm、Christchurch 地震時に 70 cm、6 月の余震時に 50 cmを観測した。噴砂の観測から見ても、Christchurch 地震は Darfield 地震時よりも激しい液状化が確認できた。また、6 月の余震では、Darfield 地震と同程度の液状化が確認できた。



写真 7 Bexley の液状化被害

4. 一連の Canterbury 地震の液状化分布図

図3にそれぞれの地震後に確認された液状化分布図を示す。一連の地震における液状化発生範囲が広いこと、すべての地域を調査しているわけではない。Darfield 地震時はニュージーランド政府が公開した土地情報地図を基に、Christchurch 地震時はカンタベリー大学の Misko Cubrinovski らが作成した液状化マップを基に液状化分布図を作成した。

この図において、赤色エリアは液状化が比較的激しく、黄色エリアは液状化程度が中程度、青色エリアは液状化の痕跡が見られなかったことを示している。色の無いところは調査されていない。これらの地震の液状化分布図を比較すると Christchurch 地震時が最も液状化が激しく確認されたエリアが広いことがわかる。また、6月の余震では Christchurch 地震と比較すると液状化の程度は低い液状化が確認されたエリアは Darfield 地震時よりも広いことがわかる。また、Christchurch 地震および6月の余震の震源地は図*のさらに南側にあり、Darfield 地震時と比べると、市内南側の Heathcote 川周辺にも液状化被害が広がっている。

この分布図から、液状化被害は川の蛇行した部分に集中し、北側に広がっている。また、Darfield 地震時に液状化が発生したエリアでは、地震が起きるたびに噴砂が確認され液状化していることがわかる。そのためこれらの地域では、6月の余震後地盤の変形が計測されており、その結果 Darfield 地震前に比べて 50 cm～1m の地盤の沈下が生じているとの報告もある。

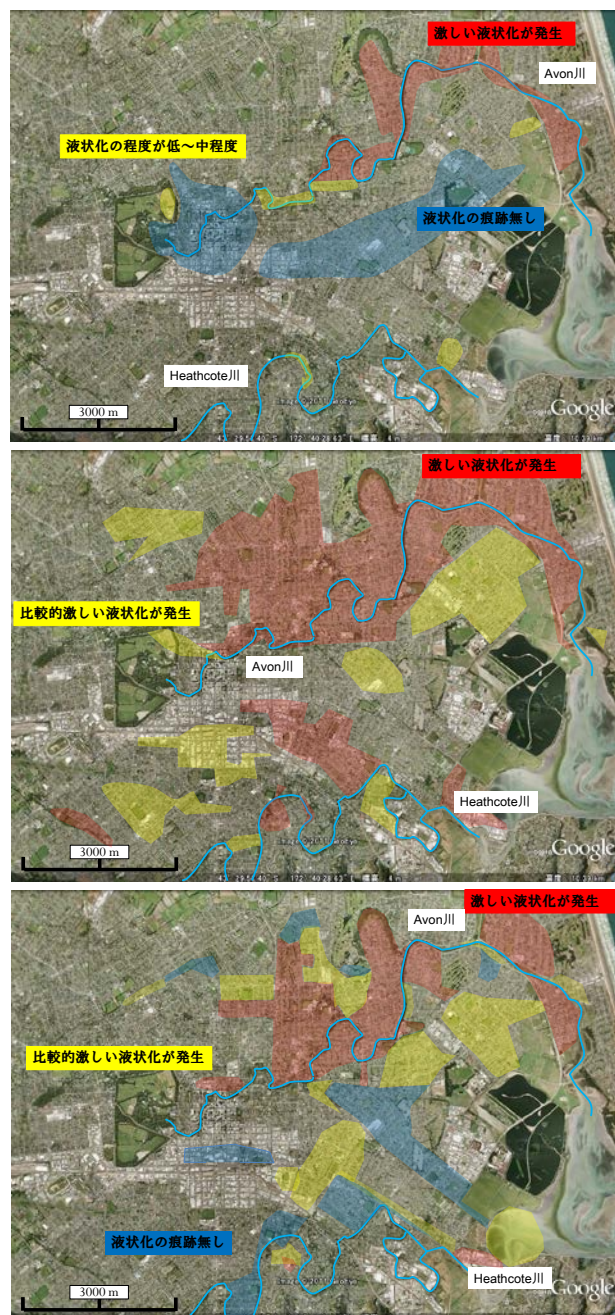


図3 一連の地震で観測された液状化分布図
(上：Darfield 地震，中：Christchurch 地震，下：6月余震)

5. 繰り返された液状化被害

調査結果から、一連の Canterbury 地震における液状化の繰り返し回数に着目する。調査をした住宅(写真8)では、Darfield 地震後に地盤工学会の調査団によって被害が確認されている(図3)。Avonsideにあるこの住宅では、この家の住民が地震・余震による噴砂を毎回確認していた。この住民によると、大きな3つの地震・余震以外にもマグニチュード6を超えるような揺れを感じた場合に敷地内で噴砂が確認できている(表2)。表2によると、同一地点で液状化(噴砂)は5回あった。このことから、1度液状化しても液状化しにくくなるとは必ずしも言えず、液状化が繰り返されることが分かった。

表2 同一地点で噴砂が確認された地震・余震⁵⁾

噴砂が確認された地震・余震の日	2010.09.04 Darfield EQ	2011.02.22 Christchurch EQ	2011.04.16	2011.06.13 June Aftershock	2011.06.21
マグニチュード	M 7.4	M 6.3	M 5.3	M 6.3	M 5.4



写真 8 繰り返し噴砂が確認された Avonside の住宅
(左：Darfield 地震後*)、右；6 月の余震後)

6. まとめ

現在も余震が続いているニュージーランド・カンタベリー地方で発生している一連の Canterbury 地震における、現地での液状化被害調査の結果をまとめた。

2010 年の Darfield 地震以降、Christchurch 市内では広範囲にわたって大きな地震のたびに液状化が発生し、甚大な被害を及ぼしていた。調査結果から、市内に流れる川の蛇行部分に甚大な液状化被害が確認された。液状化の程度としては、2 度目の大きな地震である Christchurch 地震で最も激しい噴砂量が確認でき、次いで Darfield 地震・6 月の余震となった。また、Darfield 地震以後の 1 年の間で同一地点での液状化の回数は、5 回確認できた。

謝辞；本調査にあたり、東京大学生産技術研究所の清田准教授・大阪市立大学工学の山田講師、および東京電機大学の安田教授を始めとする地盤工学会の地震被害調査団、河野教授(を始めとする建築学会調査団の関係者の皆様、また現地調査にご協力いただいた University Of Canterbury の Misko Cubrinovski 准教授と Univesity of Aukland の Michael Pender 教授および Rolando Orense 講師に感謝申し上げます。

また、液状化被害に関して資料の提供および住宅の被害調査にご協力くださった University Of Canterbury の Mark Quigley 講師にも感謝申し上げます。

また、これらの一連の Canterbury 地震で犠牲となった方々に追悼の意を表し、被害に遭われた皆様に心よりお見舞い申し上げます。

参考文献

- 1) Berrill, J.B., Mulqueen, P.C., Ooi, E.T.C.: Liquefaction at Kaiapoi in the 1901 Cheviot, New Zealand Earthquake. Bulletin of the NZSEE. 27 (3), 178–189, 1994.
- 2) Cubrinovski, M. et al.: Geotechnical Reconnaissance of the 2010 Darfield (Canterbury) Earthquake, Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 43, No. 4, pp. 243-320, 2010.
- 3) Environment Cnatebury: <http://ecan.govt.nz/pages/home.aspx>
- 4) EQC(Earthquake Commision, New Zealand): <http://www.eqc.govt.nz/>
- 5) Geo Net : <http://www.geonet.org.nz/index.html>
- 6) GNS Sience : <http://gns.cri.nz/>
- 7) Peter Mgcinty, Russell Robinson, John Taber & Martin Reyners: The 1990 Lake Tennyson earthquake sequence, Marlborough, New Zealand, New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 40:4, 521-535, 1997.
- 8) K. Robinson, M. Cubrinovski and P. Kailey: Field Measurements of Lateral Spreading following the 2010 Darfield

Earthquake, the 9th Pacific Conference on Earthquake Engineering, peper number052, 2011.

- 9) 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, 2010.12, http://www.jiban.or.jp/file/saigai/nz_earthquake_20110106.pdf, 2010.
- 10) 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: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, 地盤工学会, <http://www.jiban.or.jp/file/saigai/2011christchurch.pdf>, 2011
- 11) 清田隆・細野康代・山田卓:ニュージーランド・カンタベリー地方で発生した一連の地震における液状化被害, 生産研究 63(6), pp. 791-796, 2011.
- 12) 安田進・Misko Cubrinovski・時松孝次・Rolando Orense・渦岡良介・清田隆・細野康代・山田卓(2011): 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, 地盤工学会誌 6 月号, Vol59 No.6.