

2011年クライストチャーチ地震による橋梁被害

高橋良和¹・西田秀明²・後藤浩之³

¹正会員 工博 京都大学准教授 防災研究所（〒611-0011 宇治市五ヶ庄）

²正会員 工修 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター（〒305-8516 つくば市南原1番地6）

³正会員 工博 京都大学助教 防災研究所（〒611-0011 宇治市五ヶ庄）

1. はじめに

2011年2月22日午後0時51分（現地時間）に、ニュージーランド南島のクライストチャーチ郊外5キロの深さ4キロ付近を震源とするマグニチュード6.3の地震が発生した。著者らは、土木学会第一次緊急被害調査団（団長：川島一彦東京工業大学教授）として、2011年3月2日～6日に現地入りし、構造物グループはカンタベリー大学のMacRae教授らとともに現地調査を行い、クライストチャーチ周辺の橋梁被害を中心とした調査を行った。また3月4日にはニュージーランドの公共事業省を起源とし、現在は多くの公共構造物のコンサルタント業務を行っているOPUS社を訪問し、米国の研究者らとともに意見交換を行った。本論文で用いている図面の多くは、OPUS社における会議時に得た情報を元としている。

本論文では、地震の概要を紹介するとともに、代表的橋梁被害として、Moorhouse Ave./Colombo St. 高架橋、およびSouth Brighton橋について、被害分析を報告する。

2. 地震の概要

本地震は、大都市近傍で発生した直下型地震であり、都市中心部において構造物の崩壊を含む大きな被害が発生するとともに、広範囲にわたり、大規模な液状化現象が発生したところに特徴がある。また今回被害が発生した地域は、2010年9月4日に発生したマグニチュード7.1の地震¹⁾（Darfield地震）の被害域とほぼ一致している。

ニュージーランドでは、Earthquake Commission

とGNS Scienceの共同プロジェクトによる観測網（GeoNet）が構築されており、2月22日の地震直後から、地震記録が公開されている。図-1にクライストチャーチ周辺の観測記録を示す。震源断層近くでは、900galを越える地震動が観測されているものの、平野部はPGAが400gal程度である。平野部の時刻歴波形（CBGSなど）をみると、6秒前後からサイクリックモビリティを示唆する波形が観測されており、液状化地盤による影響が見受けられる。また平野部での擬似速度応答スペクトル（図-2）を見ると、そのピーク周期は1,2秒にあるものの、兵庫県南部地震の震災の帯の記録と比較すると、そのレベルは小さい。

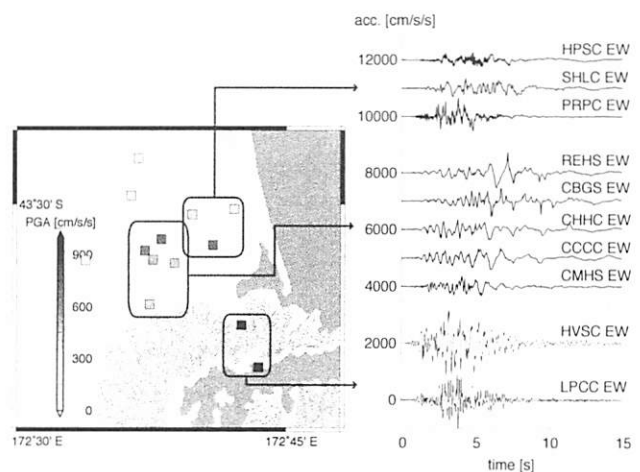


図-1 クライストチャーチ周辺の地震観測記録

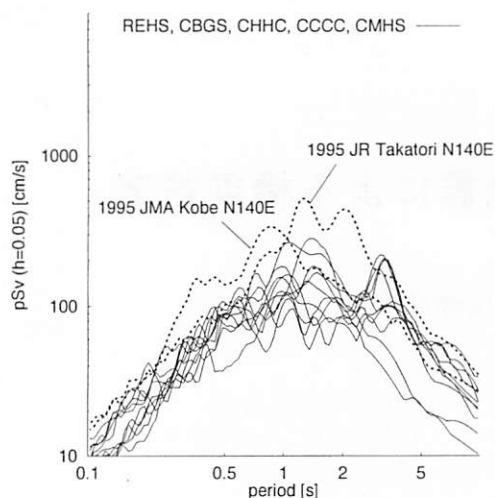


図-2 平野部記録の擬似速度応答スペクトル

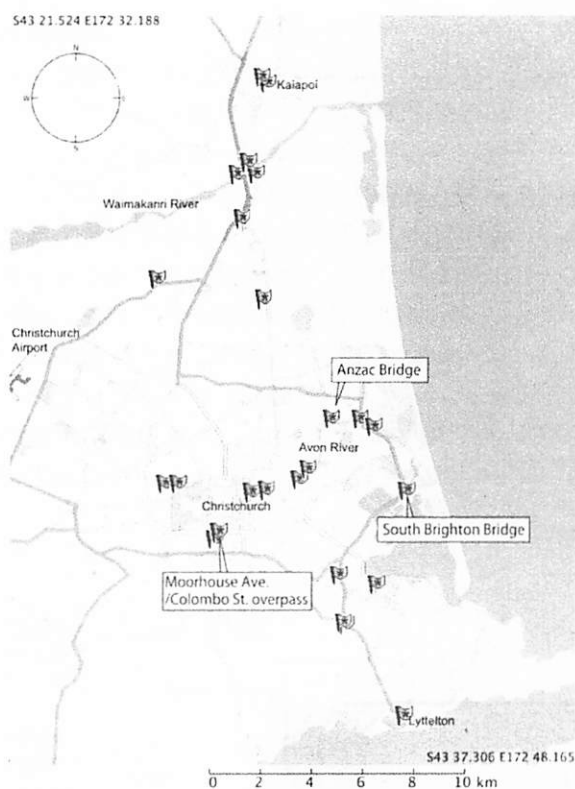


図-3 調査対象橋梁位置

3. 調査対象橋梁と被害概要

現地調査前の情報(2月27日時点)では、本地震により9橋が不通、10橋が通行制限という報告があり、倒壊等の甚大な被害は報告されていない。調査団では、クライストチャーチ周辺を含む25橋の調査を行った。調査橋梁位置を図-3に示す。

ニュージーランドは免制震技術が進んでいる国で

あるが、クライストチャーチ周辺には免制震技術を用いた橋梁は存在しない。本地震による被害を大きく分類すると、振動による被害と地盤変状による被害に大別できる。

4. Moorhouse Ave/Colombo St 跨道橋の被害

Moorhouse Ave/Colombo St 跨道橋は、クライストチャーチの中心街の近くにある11径間のラーメン高架橋である(写真-1)。構造概要を図-4に示すが、大きく分けて3つの部分に分かれ、P4およびP7橋脚位置で連続している。この接続部は、2本の橋脚が1本の橋脚に見えるような橋脚形状をしているが、それぞれの柱上下部でヒンジ部を有する構造であり、橋軸方向の温度伸縮を吸収することを期待したものと考えられる。このヒンジ部は、柱躯体の切り欠きにより設けられ、X字に加工した鋼棒により補強されている(メナーゼヒンジ)。

本地震により、P4橋脚で柱基部でせん断破壊する(写真-2)とともに、A2橋台部で桁の衝突によるコンクリート損傷(写真-3)などの被害が生じた。



写真-1 Moorhouse Ave/Columbo St 跨道橋の遠景

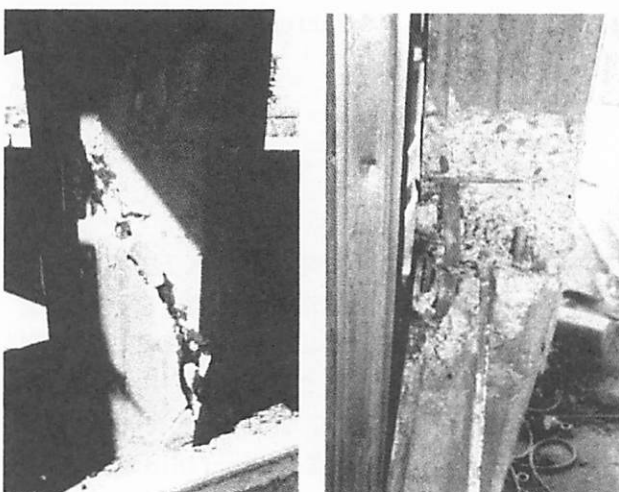


写真-2 Moorhouse Ave/Columbo St 跨道橋の橋脚被害

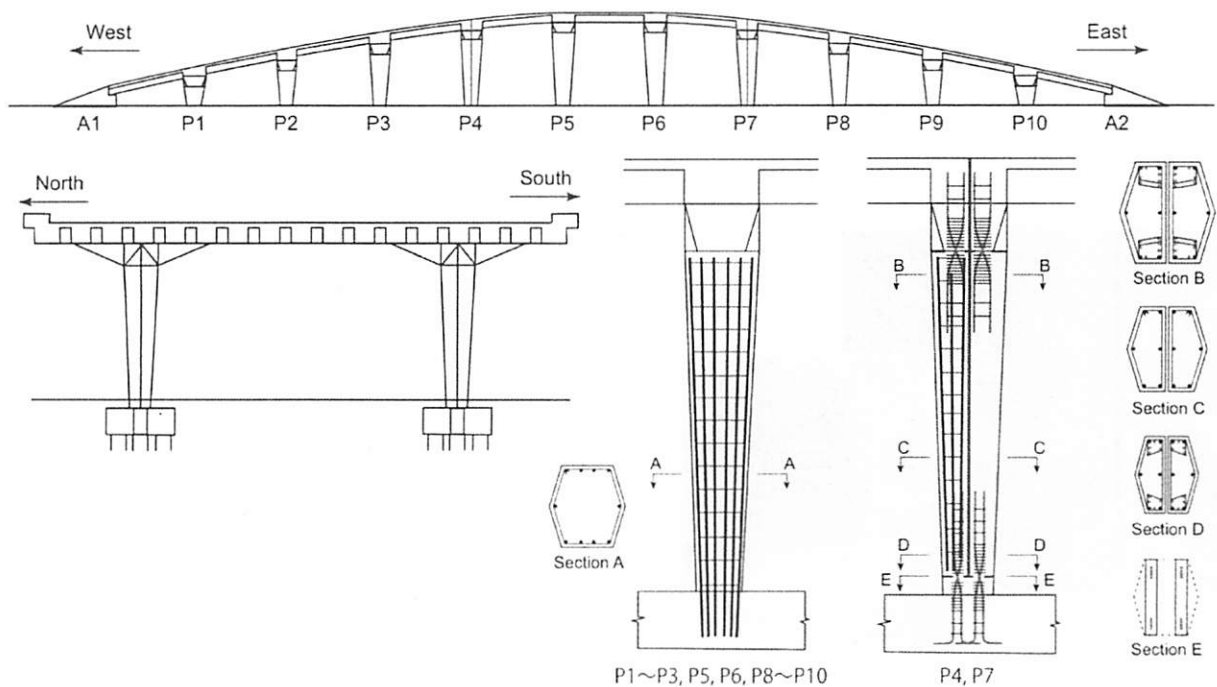


図-4 Moorhouse Ave/Colombo St 跨道橋構造概要



写真-3 Moorhouse Ave/Colombo St 跨道橋の桁衝突部

本橋梁位置を挟むように東西約1km離れたところに、地震観測点CHHCおよびCCCCがあり、地震波形が記録されている。その時刻歴波形を図-5、その応答スペクトルを図-6に示す。CHHCとCCCC観測記録は、ほぼ同じ特性を示していることから、本橋梁には図-5に示すような地震動が入力したものと考えられる。図-6には設計スペクトルも併せて示しているが、0.2秒より長い周期帯において、設計スペクトルよりも大きな値を示していることが分かる。

P4橋脚の損傷をより詳細に見ると、写真-2右に示すように、ひび割れ部に鉄筋端部が確認できる。これはヒンジ部の補強鋼棒のものと考えられる。ただ、

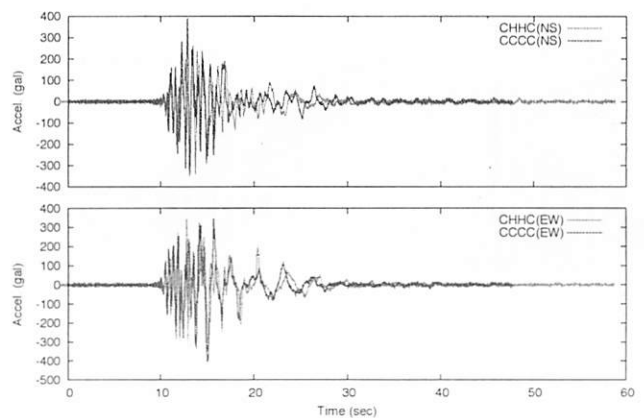


図-5 CHHCおよびCCCC観測点における地震波形

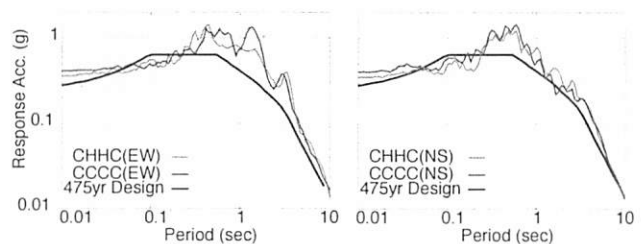


図-6 CHHCおよびCCCC観測点における応答スペクトルと475年設計スペクトル

同じ構造をP7橋脚も有しており、本橋梁は橋軸方向に対象のように見えるため、橋脚の損傷がP4橋脚のみ発生し、P7橋脚は無損傷であったことは奇妙に感じられる。P4およびP7橋脚上部の桁部を確認すると、

P7橋脚位置では橋軸方向の桁連結装置が確認できるものの、P4橋脚位置では確認できない（写真-4）。

以上を踏まえ、本橋梁の損傷メカニズムを考える。本橋梁は、地震時には橋梁は東側部分と中央部と一体となって挙動するものの、P4橋脚部が連結されていないため、西側部分と中央部は位相差をもって振

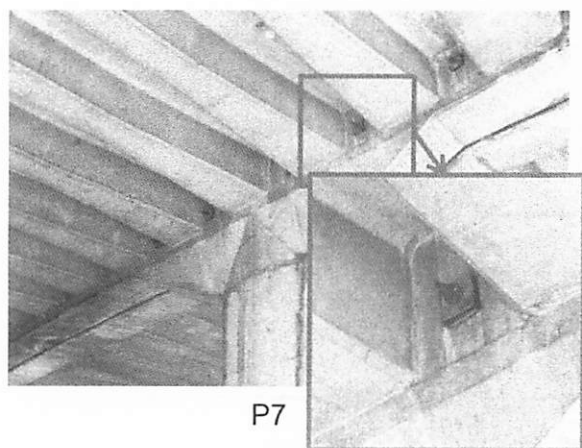
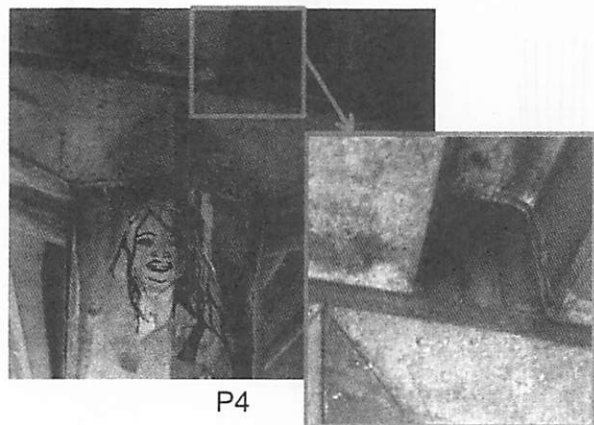


写真-4 P4およびP7橋脚上部の桁連結部

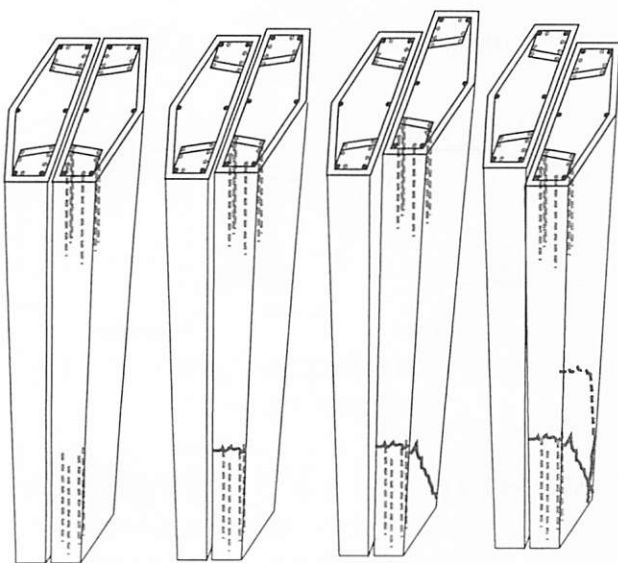


図-7 P4橋脚の損傷メカニズムの推定（左より時系列）

動した可能性がある。接続部の橋脚は、橋軸方向に2本の柱が独立して挙動したとしても、上下端のヒンジ部により変形を吸収できるが、橋軸直角方向については、1本のせん断耐力は他の橋脚に比べて半分程度となる。変形が大きい中央部側の柱において、ヒンジ部補強鉄筋端部が段落とし部となり、曲げひび割れが発生、曲げせん断破壊へと進展したものと推定できる。

5. South Brighton 橋の被害

South Brighton 橋（写真-5）はAvon川の河口に位置し、1980年に竣工した三径間連続橋である。その桁は図-8のように斜橋となっている。

本橋について、Priestleyらによる耐震設計検討が報告されている²⁾。建設当初、従来型の支承構造に加え、積層ゴム+鋼製ダンパーを用いた比較検討が実施された。検討に際し、1940年El Centro記録に加え、固有周期1.2~1.7秒に大きなピークを有する1977年Bucharest記録を用いた動的解析が実施された。積層ゴムを用いたケースでは、Bucharest記

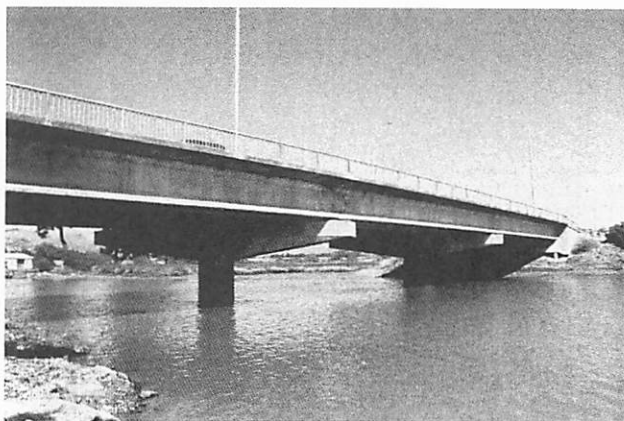


写真-5 South Brighton 橋の全景

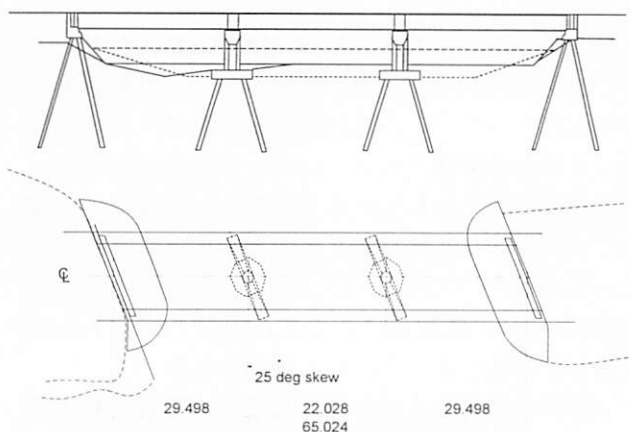


図-8 South Brighton 橋構造概要

録による結果、大きな残留変形を示し、鋼製ダンパーを配置したとしても、残留変形がまだ大きく残る結果となったことから、鋼製ダンパー等の採用は見送られた経緯がある。

本橋梁は、橋台および橋脚は、RC斜杭により支持されているが、2010年のDarfield地震でも橋台が傾斜する被害（写真-6）が報告されている。今回の地震では、橋台の傾斜がさらに進行した（写真-7）。下面および前面の地盤がさらに沈下し、杭体に新たな損傷が発生した。杭基礎の杭頭部で被りコンクリートの剥落や水平クラックが新たに発生している。2010年の地震により、杭頭周辺部の地盤が喪失し、突出杭状態になっていたことが、杭頭部の新たな損傷を生じさせた一因と推定できる。

また、上部構造を測定すると、西側が上流側に約20cm程度移動しており、全体として桁が時計回りに回転していることが確認できる。

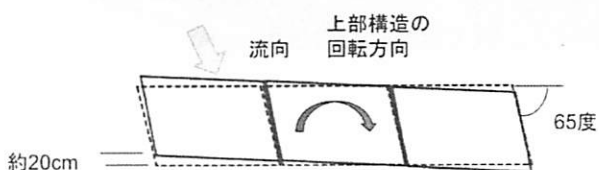
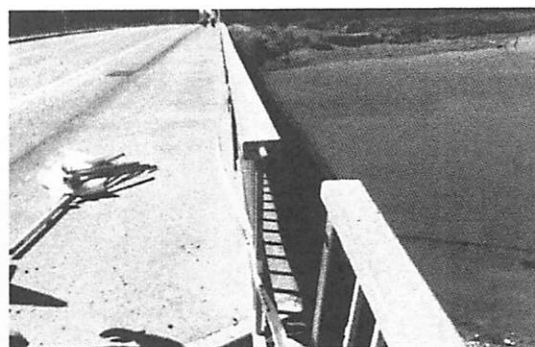


図-9 上部構造の回転（写真は桁西側の橋台部）

6. Anzac橋の被害

Anzac橋（写真-8）はAvon川を跨ぐ、2000年に竣工した三径間連続橋である。本地震により、ラーメン橋脚の柱梁接合部に損傷が発生（写真-9）するとともに、橋台部が大きく傾斜する（写真-10）などの被害が発生した。



写真-6 2010年Darfield地震によるSouth Brighton 橋
橋台部の傾斜（Omer教授・東海大提供）



写真-8 Anzac 橋の全景



写真-7 今回の地震による橋台部傾斜の進行



写真-9 Anzac 橋梁柱接合部の損傷

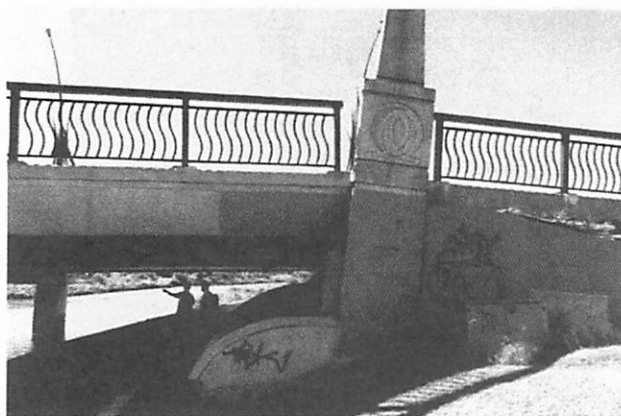


写真-10 Anzac 橋橋台部の傾斜



写真-11 Anzac 橋周辺で噴砂に埋まる自動車

Anzac橋の周辺では、大規模な液状化が発生した(写真-11)。また橋台周辺地盤においても液状化が確認されるとともに、川に対して平行にクラックが発生していた。橋台部の傾斜は、側方流動を伴う地盤変状により、橋台基部が前面に押し出されたことによるものと推定できる。

また、本橋から100mほど離れた地点に、地震観測点HPSCがあり、地震記録が観測されている。その時刻歴波形は、液状化により約15秒以降から大きく周波数特性が変わり、長周期化している。今回、Anzac橋の詳細図面を入手できていないが、本記録は橋梁・地盤被害の近傍で取れた波形であることから、これを用いた橋梁および地盤の解析と被害との関連を検討することは興味深い。

7. まとめ

2011年クライストチャーチ地震による代表的な橋梁被害について、その損傷メカニズムを分析した。その損傷は振動によるものと地盤変状によるものに

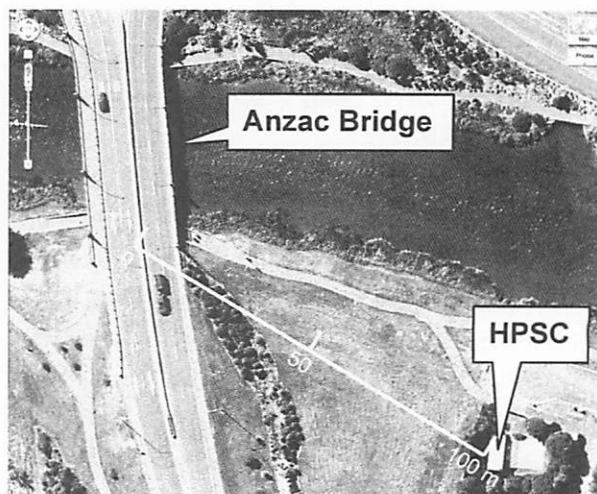


写真-12 Anzac 橋と地震観測点HPSC

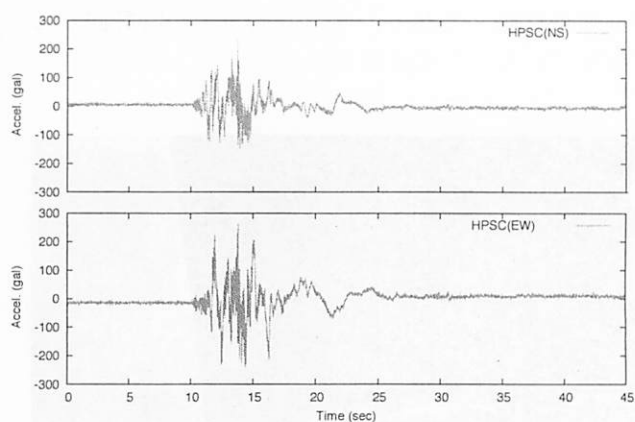


図-10 HPSC観測点における地震波形

大別できる。橋梁の被害はそれほど甚大なものではなかったものの、被害近傍で多くの地震動が観測されており、これらを用いた解析結果と被害を比較することは、今後の耐震設計において得られるものは少なくないと考ええる。

謝辞： 本調査を実施するにあたり、カンタベリー大学のGreg MacRae教授ならびに同大学学生のTrevorおよびVinod君から多くの協力を得た。この感謝の意を表する。

参考文献

- 1) The Mw 7.1 Darfield (Cantabury), New Zealand Earthquake of September 4, 2010, *EERI Special Earthquake Report*, 2010.11.
- 2) Priestley, M.J.N. and Stockwell, M.J.: Seismic Design of South Brighton Bridge – A Decision against Mechanical Energy Dissipation. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, Vol. 11, No.2, 1978.