

事故災害

[投稿]

2001年2月米国シアトル(ニスカラー)
地震による被害 - 目覚ましコール地震 -
Seismic Damage of Infrastructure in the 2001
Seattle (Nisqually), USA, Earthquake
- Wake-up Call Earthquake -

川島一彦

Kazuhiko KAWASHIMA

フェロー会員 工博

東京工業大学大学院教授 理工学研究科

1. 目覚ましコール地震

2001年2月28日(水)午前10時54分(現地時間)に米国ワシントン州の州都オリンピア市から北東に約16 kmの地点(北緯47.15, 西経122.72)を震源としてモーメントマグニチュード M_w 6.8の地震が発生した。図-1に示すように、シアトルからは50 kmほど南西に位置する。震源地の地名からニスカラー(Nisqually)地震ともよばれている。シアトル周辺にはボーイング社やマイクロソフトの他、コーヒーのスターバックス社やアマゾンドットコム社等の本社があり、日本人にとってもなじみ深い地区であるが、米国ではカリフォルニア州と並んで地震活動の活発な地域である。今回の地震では激甚な被害は生じなかったが、来るべき大地震時に何が弱点となるかを知る上で参考とすべき事項が多いことから、現地ではWake-up Call(目覚ましコール)地震と形容されている。

著者はたまたま地震発生時に米国に滞在していたことから、短時間ではあるがワシントン大学のグループと共同で被害調査する機会を得た。これに基づきシアトル(ニスカラー)地震の被害概要を紹介する。

2. 地震活動が活発なシアトル周辺

ワシントン州はわが国と同じようにプレート境界に位置し、シアトル周辺では現在までもしばしば地震が発生している。図-2に示すように、この地域の地震発生メカニズムには3タイプあるといわれている。1番目は、Juan de Fuca プレートが北米大陸下に潜り込むことによって発生する海溝性逆断層地震である。このタイプの地震は平均して300~500年間隔で起こるといわれており、例えば、1700年1月にシアトル周辺の海岸線が10 m近く変位した大地震がこのタイプに属する。2番目は、北米大陸プレート内に発生する深さが25 km以浅と浅い地震である。シアトル市の中央部をほぼ東西に横断するように断層が走っている(シアトル断層)といわれているが、こうした浅い断層によってもたらされる地震がこれ

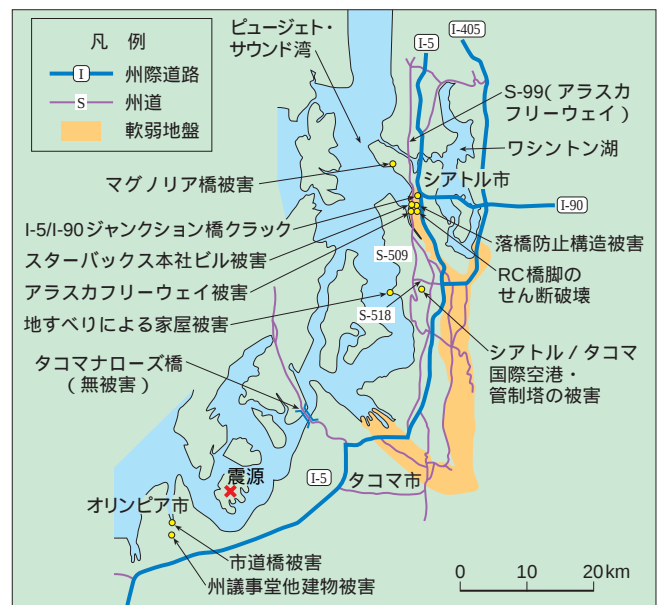


図-1 震源および主要な地震被害地点

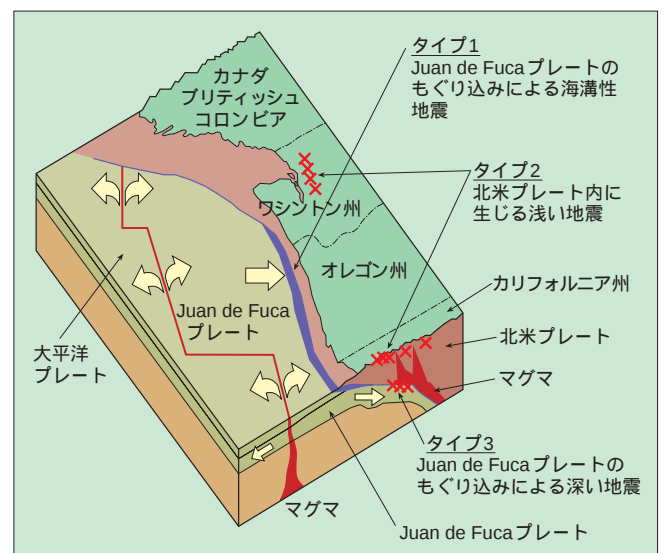


図-2 ワシントン州周辺の地震発生メカニズム

に相当する。3番目は上記よりももっと深い位置に発生する地震であり、今回の地震はこのタイプと見られている。このタイプの地震の発生頻度は比較的高く、最近では1949年にオリンピア市周辺で発生した M 7.1の地震

今回の地震では、南は州都オリンピア市から北はシアトル市の北 10 km 程度までの比較的広い範囲にわたって交通施設や建物を中心とする被害が生じた。震源近くのオリンピア市にも被害は生じているが、タコマ市ではあまり被害が発生しておらず、3 市の中では震源から最も離れたシアトル市周辺に多くの被害が発生した。図-1 には地盤の軟質な地域を示しているが、目立った被害はこうした軟質地盤で生じてお

り、地盤条件が被害に密接に関係している。これは、1989 年ロムプリータ地震の際の状況とよく似ている。

地震後にはブレーカーが落ちたため一時的に電力の供給が途絶えたが、施設的な被害は生じていない。また、上下水道を中心とするライフライン施設にも大きな被害は生じていない。

シアトル・タコマ国際空港では写真-1 に示すように管制塔のガラスが割れる等の被害が発生し、地震後、管制塔の使用停止に追い込まれた。また、ターミナル内でも天井の内装材が落下する等の被害が生じた。

橋梁にも被害が発生した。例えば、州際道路 5 号の横架橋を支持する鉄筋コンクリート橋脚で写真-2 に示すような曲げせん断破壊を生じた。主鉄筋径は 40 mm と太いのに対して径 13 mm の帯鉄筋が 30 mm 間隔で配置されているだけであり、耐震設計法が一新された 1971 年

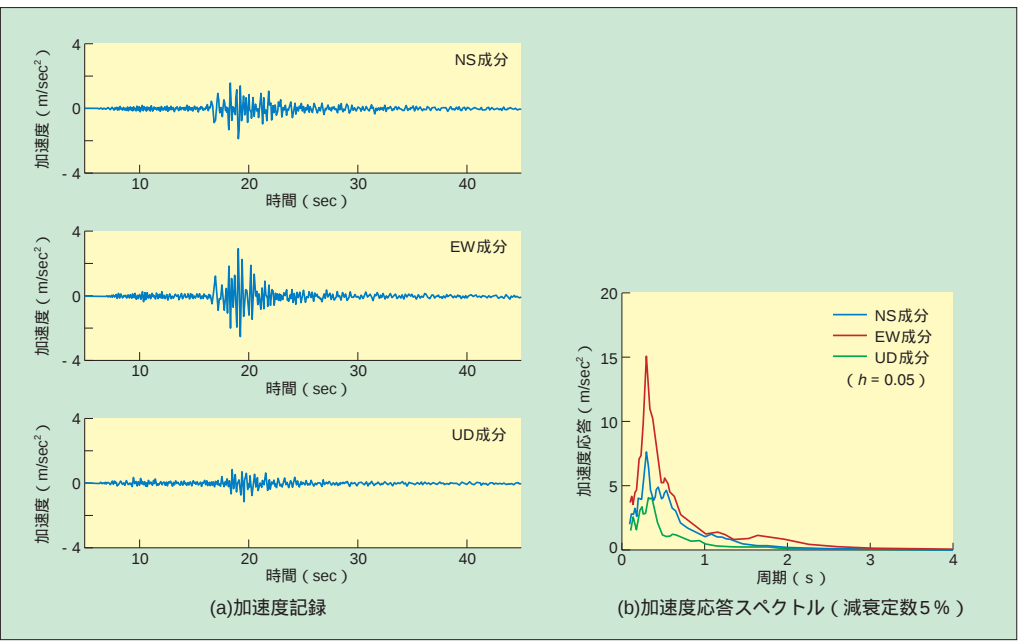


図-3 代表的な強震記録 (Seward 公園)

や 1965 年にシアトル～タコマ市周辺で発生した M 6.5 の地震がこの例である。

シアトル周辺に最も大きな脅威を与えるのは 1 番目や 2 番目のタイプの地震であり、今回のように 3 番目のタイプの地震は震源が深いために他のタイプに比較すると地震動が小さく、被害も限定される。これが、今回の地震が“目覚ましコール地震”とよばれるゆえんである。

強震記録が多数得られているが、地震動は全般的に小さく、最大加速度は 0.3 G 程度以下である。観測された中で加速度の大きい Seward 公園 (シアトルのダウンタウンから 7 km ほど南東) の加速度記録と地震応答スペクトルを示すと図-3 のようになる。東西方向には最大加速度は 0.3 G 程度である。周期 0.3 秒付近では 1.5 G 程度の加速度応答を与えるが、周期が長くなると急速に加速度応答は小さくなり、中程度の規模の構造物に大きな影響を与える周期 1 秒付近では加速度応答は 0.2 G 以下と小さい。これが今回の地震による被害が限定的であった原因である。ちなみに、1995 年兵庫県南部地震の際には、周期 1 秒付近でも 1 G 程度の加速度応答があった。

3. インフラ施設の被害

シアトル地区は、プジェ・サウンド湾に面した天然の良港であり、米国有数の生産活動基地となっている。日交通量 20 万台の州際道路 5 号や州道 99 号、167 号等の道路網がシアトル・タコマ国際空港、シアトル港、タコマ港等を有機的に結合してこうした生産活動を支えている。



写真-1 シアトル・タコマ国際空港の管制塔の被害



写真-2 RC橋脚の曲げせん断破壊（ホルゲート高架橋の州際道路5号横架部，シアトル市内）



写真-3 構造、剛性変化点で生じた沓座の損傷（州際道路90号へのオンランプ，シアトル市内）



写真-4 アウトリガー式橋脚のクラック（州際道路5号と90号のジャンクション，シアトル市内）



写真-5 アラスカフリーウェイ（州道99号）

以前の古い基準に基づく典型的な設計である。この橋では橋脚ごとに高さが大きく変化しており、被害は最も背の低い橋脚で生じた。地震力の配分の考え方にも問題があることを示している。このほか、強度が不十分な落橋防止構造の被害や沓座コンクリートの損傷等が生じている。例えば、州際道路90号へのオンランプ橋では、写真-3に示す位置で沓座コンクリートに損傷を受け、このため数日間、閉鎖することを余儀なくされた。この部分は曲線橋であり、また剛性の大きいラーメン橋脚で支持された箇所に被害が生

じている。わが国でも同様であるが、構造条件や剛性変化点は要注意と見るべきことを示唆している。

興味深いのは、今回の地震被害ではないと見られるが、複雑な構造形式の橋梁に多くの損傷が見られる点である。例えば、写真-4は州際道路5号と90号のジャンクションにおけるアウトリガー橋脚（張り出し式橋脚）に見られるクラックである。また、写真-5はシアトル市のウォーターフロント部を南北に貫くアラスカフリーウェイ（州道99号）の2層式高架橋であり、ここにも沓座コンクリートの損傷等が報告されている。アラスカフリーウェイは1953年に建設された2層式高架橋で、1989年ロスマプリエータ地震で崩壊したオークランド市内のサイプレス高架橋や大被害を受けたサンフランシスコ市内の州際道路80号と同じ構造である。今までも何回か再建や耐震補強の案が持ち上がっていたが、耐震補強には400万ドルを要すると見られることから、実質的には何も手を加えられないままに現在に至っている。

ワシントン州における道路建設のピークは図-4に示すように1960年代であり、米国の耐震設計が一新された1971年サンフェルナンド地震以前に大多数の橋梁が建設されている。このため、近代的な耐震設計法が取り入れられた橋梁は少ない。特に、多脚式橋脚で支持され、桁掛かり長の短い中間ヒンジを有するRC橋は耐震性が低いと見られており、シアトル市管理の橋では、現在までに数十億円を投じて、鋼板巻き立てによる橋脚の耐震補強が進められてきた。これが今回の地震では被害の軽減に大きな貢献をしたとされている。しかし、州道では

まだ耐震補強はこれからの段階にある。

なお、タコマ市の郊外には風による揺れで落橋したタコマナローズ橋（写真-6、ただし落橋したのは先代の橋）があるが、今回の地震では被害は報告されていない。

4. 建物の被害

2～4 階建ての無補強煉瓦造を中心に、シアトル市やオリンピア市において多数の建物が被害を受けた。これらの地区では、地震後に市の担当者による緊急点検が行われ、被災度に応じて青（使用制限なし）、緑（使用制限）、赤（立入禁止）の3種類の警告文が建物正面の目に付きやすい箇所に添付されていた。迅速な点検で、わが国にも参考になる。シアトル市内ではスターバックス本社ビル等が、またオリンピア市では州の議事堂のドーム等が被害を受けている。

また、プジェ・サウンド湾に面した広範囲な地域では斜面崩壊によって多数の家屋が被害を受けた。例えば、シアトル・タコマ国際空港に近い斜面では、道路境界付近に建設されたコンクリート製擁壁が海側（下側）に移動し、このため、家屋が不同沈下や傾斜する等の被害を受けた。

5. 今後参考にすべき教訓

以上、シアトル（ニスカリー）地震の被害を示した。「目覚まし時計」地震と形容されるように、米国では次の大地震に対する警鐘として重要な機会を与えたととらえられている。詳細な被害調査がやがて来るべき次の大地震時の弱点部をえぐり出すのに貢献することを期待したい。短時間の調査であり、間違っ理解した事項があるかもしれないが、今回の調査で明らかになった事項を示すと以下ようになる。

- (1) 被害はシアトル市周辺の軟弱地盤に多く発生しており、地盤条件と被害には密接な関係がある。
- (2) 橋梁では、1971 年以前に建設された横拘束の不十分な RC 橋脚の曲げせん断破壊や強度の不十分な沓座や落橋防止構造に被害が生じた。これらの被害は、橋脚高さが変化したり、下部の構造形式や剛性が大きく変化した箇所付近で生じている。複雑な構造を有する橋梁では、従来の 1 基ごとの下部構造に橋を分割する設計法では不十分なことを示唆しており、わが国においても留意しておく必要がある。



写真-6 被害を受けなかったタコマナローズ橋

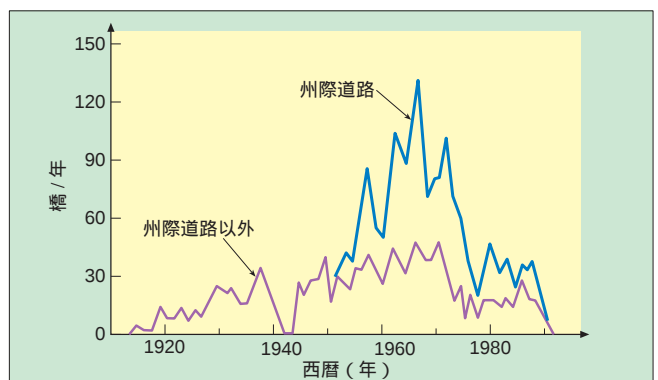


図-4 ワシントン州における道路橋の建設の歴史

- (3) 鋼板巻き立てによる RC 橋脚の耐震補強は有効に機能した。この反面、耐震補強されていない橋も多数存在し、アウトリガー式のように過去の被害から見て崩壊につながる可能性のある橋梁がまだ耐震補強されていない。

謝辞

調査に際しては、ワシントン大学の G. MacRae 助教授、同大学博士課程の田川浩之氏、同大学院に留学中の東京工業大学大学院木村祥裕助手に大変お世話になりました。また、EQE 社の D. Ballantyne 氏にも各種の情報をいただきました。ここに記して厚くお礼申し上げる次第です。

参考文献

- 1 - EQE: Port to Port Transportation Corridor Vulnerability Mitigation, 2001
- 2 - 川島一彦: カリフォルニア州の道路橋の耐震補強 - ロマブリータ地震から2年 - , 橋梁と基礎, 92-5, pp.19-27, 1992

(2001年4月4日・受付)