

1964年新潟地震の際の新潟市の工学的基盤における地震動の推定

1964年新潟地震 液状化 震源モデル

港湾空港技術研究所	正会員	○野津 厚
(株) エコー	非会員	安田将人
(株) エコー	非会員	石本健治
(株) ニュージェック	非会員	山田雅行

1. はじめに 1964年新潟地震では新潟市で深刻な液状化被害が発生した。この被害をもたらした工学的基盤での地震動を知ることはたいへん重要であるが、川岸町アパートの強震記録^{例え}は液状化の影響を受けているとされ、一般的に行われているような等価線形解析で工学的基盤での地震動を推定することができない。そこで、本研究では、震源モデルに基づいて工学的基盤での地震動を計算し、これをもとに有効応力解析を行った結果の地表での地震動が強震記録と整合していれば、工学的基盤での地震動には信頼性があるとの立場から、工学的基盤での地震動の推定を行った。

2. 震源モデル この地震に対しては、少ない情報に基づいて震源パラメータを設定する必要があることから、設定する震源パラメータの数はできるだけ少ないことが望ましいと考えられる。そこで、一般的な特性化震源モデルよりも簡便化された震源モデルとして最近開発された疑似点震源モデル²⁾を用いることとした。これは、震源断層面上において強震動を生成する個々のサブイベントに対し、震源パラメータとして位置、地震モーメント、コーナー周波数および相対的な破壊時刻のみを設定するものである。新潟地震に対しは、サブイベントの数は一つとし、以下のパラメータを設定した。東経: 139.212°, 北緯: 38.370, 深さ: 34.0km, 地震モーメント: 1.0×10^{26} dyne-cm, コーナー周波数: 0.2Hz. サブイベントの位置は、破壊開始点の位置(図1の×)をそのまま採用した。これは他に情報がないためのやむを得ない措置で、実際にはサブイベントは新潟市にもっと近かった可能性もある。地震モーメントとコーナー周波数は、川岸町での強震記録の再現性(後述)を見ながら設定した。サブイベントの位置には不確実性があるが、地震モーメントとコーナー周波数を川岸町の記録に合うように設定しているので、新潟市内の揺れを再現するための震源モデルとしては、一定の妥当性を有すると考えている。言い換えると、新潟市内の記録でしか検証していないので、この震源モデルは現時点では新潟市周辺においてのみ有効である。

3. 地震動の計算 疑似点震源モデルでは、震源スペクトルはオメガスクエアモデル³⁾に従うものと仮定し、これに伝播経路特性とサイト増幅特性を乗じることで対象地点の地震動のフーリエ振幅スペクトルを計算し、これと対象地点における中小地震記録の位相特性を組み合わせ、フーリエ逆変換することで、対象地点における地震動の時刻歴波形を求める。伝播経路特性に関しては東日本海溝型地震のQ値⁴⁾を用いた。サイト増幅特性に関しては、川岸町アパート(図1)のジャストポイントのサイト増幅特性は評価していないが、川岸町を挟む二つの強震観測点(新潟-GとK-NET新潟; 図2)でのサイト増幅特性が大きくは異なること、そして、新潟-G付近では工学的基盤までの土質データが利用可能であることから(表1)、新潟-Gにおける地震基盤～工学的基盤のサイト増幅特性⁵⁾を用いた。位相特性を決めるための中小地震記録としては、新潟-Gでの強震記録は少ないことから、新潟地震の震源域に近い場所で得られている記録として、K-NET新潟における2005年12月25日の地震(図1に震央を示す)の記録を用いた。なお、この記録は、P波が複数到来していることから多重震源であると考えられるため、波形の前半部分を削除してから用いた。また、新

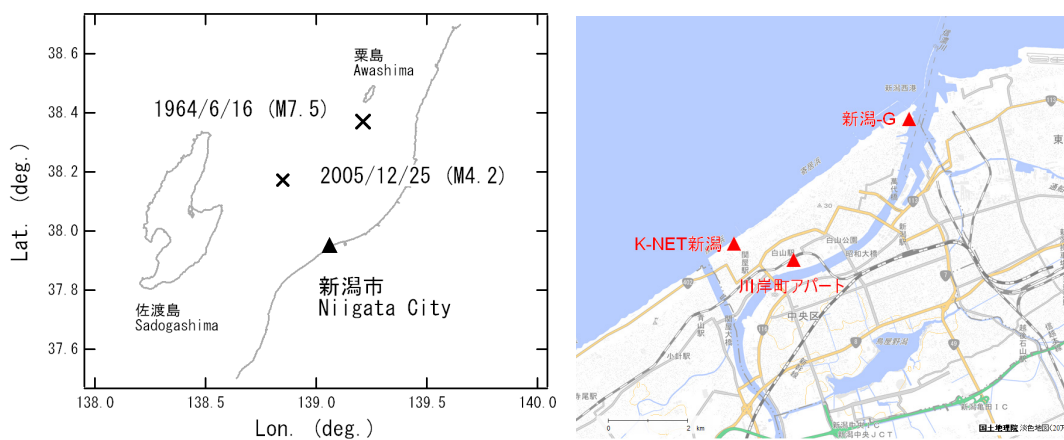


図1 1964年新潟地震と解析に用いた2005年12月25日の地震の震央(左)。1964年新潟地震の揺れが記録された県営川岸町アパートの位置と現在の強震観測地点(右)。

Estimation of strong ground motions at firm ground outcrop in Niigata City during the 1964 Niigata Earthquake
Atsushi Nozu (PARI), Masato Yasuda (Echo), Kenji Ishimoto (Echo) and Masayuki Yamada (Newjec)

瀧-Gの地盤を用いてGL-130mまで重複反射理論で引き戻した。さらに、多重非線形効果を表現するための非線形パラメタ⁶⁾として $\nu_1=0.5$, $\nu_2=0.0$ を用いた。あまり一般的な値ではないが、これらの値を選択した時に波形の再現性が良好であった。以上の手順で推定された工学的基盤での地震動を入力し、表層地盤の有効応力解析を行い、地表での地震動を求め、川岸町での観測波と比較した。その際、有効応力解析にはFLIP⁷⁾を用い、液化化パラメタは簡易設定法⁸⁾で設定した。

表1 有効応力解析に用いた地盤モデル⁵⁾

層番号	土質	層厚(m)	密度(10^3kg/m^3)	S波速度(m/s)	液化化パラメタ
1	表土・埋立土	2.90	2.0	178	w1=7.074, p1=0.5, p2=0.922
2	砂質土	7.20	1.9	194	w1=6.343, p1=0.5, p2=0.951
3	粘性土	1.00	1.6	170	-
4	砂質土	5.85	1.9	189	w1=6.442, p1=0.5, p2=0.918
5	粘性土	0.80	1.6	170	-
6	砂質土	7.45	1.9	240	w1=4.727, p1=0.5, p2=0.983
7	粘性土	0.50	1.6	170	-
8	砂質土	22.00	1.9	229	w1=2.557, p1=0.5, p2=1.057
9	粘性土	5.50	1.7	222	-
10	砂質土	0.36	1.9	215	-
11	粘性土	10.46	1.7	217	-
12	砂質土	0.98	1.9	215	-
13	粘性土	9.40	1.7	211	-
14	砂質土	0.65	1.9	215	-
15	粘性土	19.80	1.7	222	-
16	砂質土	1.20	1.9	215	-
17	粘性土	0.55	1.8	226	-
18	砂質土	4.00	1.9	244	-
19	粘性土	2.40	1.8	226	-
20	工学的基盤	-	2.0	345	-

4. 結果とまとめ 地表での計

算結果を川岸町での観測波と比較したものが図2である。なかなか完全に合うところまでは行かないが、最初から7秒付近までは短周期成分が卓越し、その後、8秒付近で大振幅のパルス状の地震波が到来し、その後は長周期に転ずるといふ観測波の基本的な特徴は概ね再現できている。この時の工学的基盤での地震動(2E波)の推定結果を図3に示す。同図に示すように、工学的基盤での地震動は、地表よりも最大加速度は大きく周期は短かったと推定している。

謝辞 元東京大学地震研究所の工藤一嘉先生が数値化した強震記録およびK-NETのデータを用いました。

参考文献 1)Kudo, K. *et al.* (2000), 12WCEE. 2)野津(2012), 地震2. 3)Aki, K. (1967), JGR. 4)佐藤・巽(2002), 日本建築学会構造系論文集. 5)国総研港湾施設研究室, <http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html>. 6)野津・盛川(2003), 地震2. 7)井合他(1990), 港湾技術研究所報告. 8)森田他(1997), 港研資料No.869.

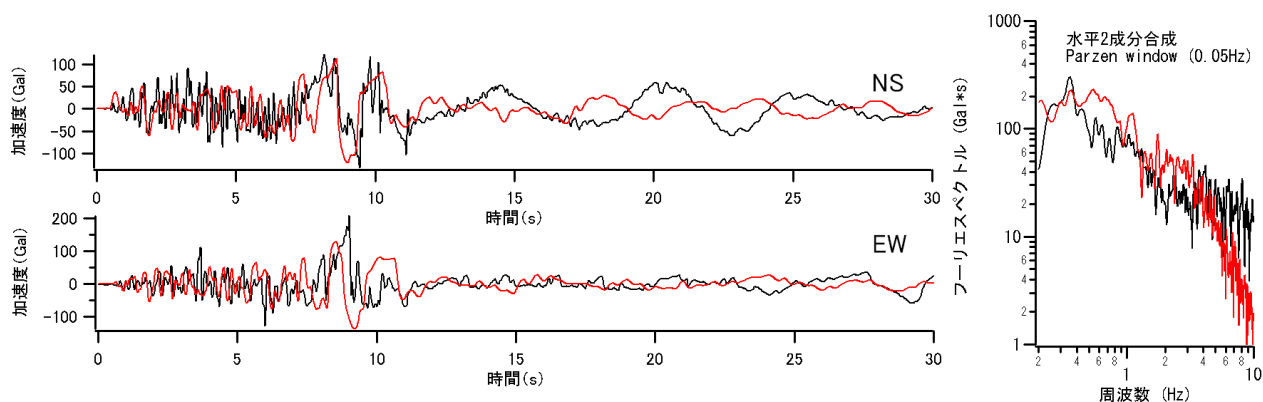


図2 疑似点震源モデルと有効応力解析に基づいて計算された川岸町の地表における加速度波形(赤)と川岸町アパート(地階)で観測された加速度波形(黒)の比較(左). 同じくフーリエスペクトルの比較(右).

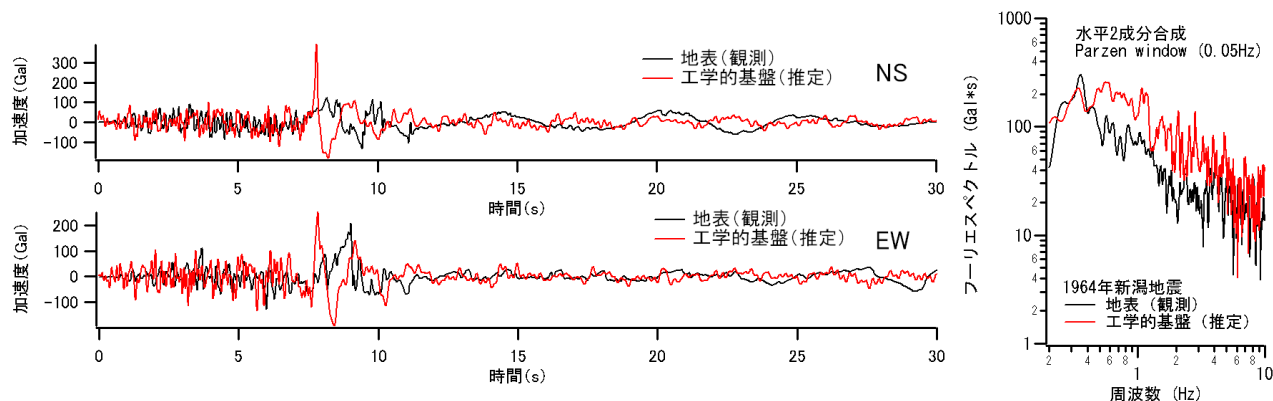


図3 本研究で推定された新潟市の工学的基盤における2E波(赤)と川岸町アパート(地階)で観測された加速度波形(黒)の比較(左). 同じくフーリエスペクトルの比較(右).