

基盤強震観測網 KiK-net で得られた ILC 北上候補サイト周辺の地震動の 地表・地下比較

COMPARISON OF EARTHQUAKE MOTION BETWEEN EARTH'S SURFACE AND UNDERGROUND OBSERVED BY STRONG-MOTION SEISMOGRAPH NETWORK (KIK-NET) AROUND ILC KITAKAMI CANDIDATE SITE

関根一郎^{#, A)}, 早野仁司^{B)}, 吉岡正和^{C)}, 佐貫智行^{C)}, 山下了^{D)}, 汐見勝彦^{E)}
Ichiro Sekine^{#, A)}, Hitoshi Hayano^{B)}, Masakazu Yoshioka^{C)}, Tomoyuki Sanuki^{C)},
Satoru Yamashita^{D)}, Katsuhiko Shiomi^{E)}

A) Toda Corporation, B) KEK, C) Tohoku University, D) Tokyo University, E) NIED

Abstract

We have to show the world that there is no difficulty to construct and operate the ILC at Kitakami candidate site in spite of high earthquake activity in Japan. NIED established the nation-wide seismograph networks after the Great Hanshin-Awaji Earthquake Disaster. Many KiK-net stations are located near the ILC Kitakami candidate site. At each KiK-net station, a pair of strong motion seismographs is installed both on the ground surface and at about 100 meters below. In this paper we compared maximum acceleration observed at the ground surface and subsurface around the ILC Kitakami candidate site. We concluded that maximum acceleration at 100 meters below the ground surface is 1/5 times smaller than it on the surface.

1. はじめに

国際リニアコライダー (ILC) は日本への立地が期待されているが、環太平洋造山帯に位置する我が国では地震の影響が ILC の建設や運転に問題にならないことを海外へも示していく必要がある。地震の影響については、地下は地震に強いことが経験的に広く知られているが、岩盤で地表と地下の地震動を比較した事例は少なく、城山発電所^[1]、釜石鉱山^[2]、瑞浪超深地層研究所^[3]など、限られた事例にとどまるのが実情である。

国立研究開発法人防災科学技術研究所では、阪神・淡路大震災の後、全国に地震観測網を配備した。基盤強震観測網 (KiK-net)^[4] では地表と地下のボーリング孔内に加速度型強震計を設置しており、基盤と地表の振動増幅と S 波速度比との関係を調べた研究^[5]、地下の放射性廃棄物処分施設の地震影響を検討した例^[6]がある。ILC 北上候補サイト周辺にも多くの観測点が整備されており、ILC 施設近傍で長期間観測されているデータは当該地域の岩盤の特性を知る上で貴重である。著者らはデータを有効な形に整理して活用するべく高感度地震観測網 (Hi-net) も含め、データの分析、調査を進めてきた^{[7][8]}。

本報告では、東日本大震災の他、一ノ関市、奥州市、気仙沼市で震度 5 弱以上を観測した主要な地震を対象に、ILC 北上候補サイト周辺の観測点や北上山地の花崗岩類、堆積岩類に設置された観測点で、地表および地下約 100m に設置された地震計によって得られた最大加速度を比較し、地表と地下の地震動の違いについて考察した。

2. 強震観測網 KiK-net と調査対象とした観測点

北上山地周辺の KiK-net 観測点の分布を Figure 1 に示す。図中に ILC 北上候補サイトの概略的位置を示した。また、図中の赤丸が今回の調査対象とした観測点 12 点である。調査対象観測点の選定にあたっては、Figure 2 に示す北上山地周辺の地質を参考に、北上山地の西側に分布する第三紀のグリーンタフ地域に位置する観測点は対象外とし (例えば観測点、金ヶ崎、一関東等)、

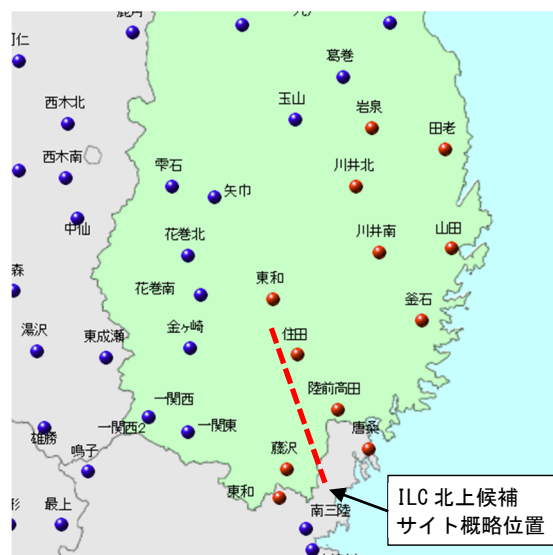


Figure 1: Seismic stations of KiK-net around Kitakami area.

[#] ichiro.sekine@toda.co.jp

北上山地を構成する岩塊に位置する観測点を選定した。北上山地の地質は、中生代ジュラ紀の付加体の堆積岩とそれに貫入した花崗岩類が主であり、Table 1に示す12か所の観測点の内、4地点が花崗岩類、8地点が堆積岩類となった。これらの観測点の地表面標高は13m(山田)から620m(住田)まで差があるが、地下の地震計の設置深度は地表から概ね100mとなっている。また、東和観測点(岩手県)はILCの北部が位置する人首花崗岩にあり、藤沢観測点は衝突実験ホールなどが計画されている千厩花崗岩体に位置する。

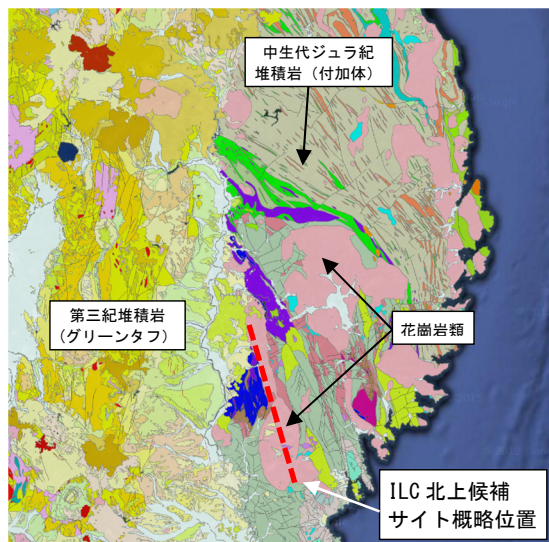


Figure 2: Geological map around Kitakami area. (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.1/jp/>)

Table 1: Seismic Stations Using Data in This Study

観測点名	都道府県	設置緯度 (世界測地系)	設置経度 (世界測地系)	地表面 標高(m)	センサー 標高(m)	掘削長 (m)	地下 岩種
岩泉	岩手県	39.802	141.652	310	208.65	103.2	緑色岩
田老	岩手県	39.7435	141.9087	200	98.48	103	花崗閃緑岩
川井北	岩手県	39.6442	141.5977	305	200.9	106	珧質粘板岩
山田	岩手県	39.4734	141.9336	13	-87.92	103	花崗岩
川井南	岩手県	39.463	141.6775	552	451.08	103	珧質粘板岩 ホルンフェルス
東和	岩手県	39.334	141.3015	260	158.51	103	花崗閃緑岩
釜石	岩手県	39.2741	141.8233	44	-60.5	106	頁岩
住田	岩手県	39.1809	141.3909	620	512.68	109	安山岩
陸前高田	岩手県	39.0307	141.532	80	-21.52	103	凝灰岩
藤沢	岩手県	38.8654	141.3512	120	18.48	103.3	普通角閃石黒 雲母トナール岩
唐桑	宮城県	38.9207	141.6377	80	-38	120	粘板岩
東和	宮城県	38.786	141.3254	35	-66	103	粘板岩

3. 調査対象とした地震

本調査では ILC の地下施設への地震被害を対象としたので、気象庁の震度データベースで、一関市、奥州市、気仙沼市で震度5弱以上を記録した地震を対象とした。一関市では1939年10月10日から、奥州市では1923年1月27日から、気仙沼市では1996年10月19日から地震記録があるが、震度5弱以上の記録はTable 2に示すように2003年以降に集中しており、8件の地震が対象となった。

岩盤で地表と地下の地震動を比較した事例である城山発電所^[1]、釜石鉱山^[2]、瑞浪超深地層研究所^[3]では観測期間が比較的短いことと、文献^{[1][2]}では地震の静穏期間に測定されたため、捉えられたマグニチュードの小さな地震も検討対象としている。それに対し常時観測しているKiK-netを利用した本研究では、M6.6~9.0の大きな地震を対象とした。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震も含まれている。

Table 2: The Earthquake We Researched in This Study

	地震の 発生日時	震央地名/地震名	緯度	経度	深さ	M	地震による 最大震度	3市の 最大震度
1	2015/5/13 6:12	宮城県沖/	38° 51.7' N	142° 09.0' E	46km	M6.8	5強	5弱
2	2011/4/7 23:32	宮城県沖/	38° 12.2' N	141° 55.2' E	66km	M7.2	6強	6弱
3	2011/3/11 16:29	岩手県沖/	39° 01.3' N	142° 18.6' E	17km	M6.6	5強	5弱
4	2011/3/11 14:46	三陸沖/ 平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震	38° 06.2' N	142° 51.6' E	24km	M9.0	7	6弱
5	2008/7/24 0:26	岩手県沿岸北部/	39° 43.9' N	141° 38.1' E	108km	M6.8	6弱	5強
6	2008/6/14 8:43	岩手県内陸南部/ 平成20年(2008年) 岩手・宮城内陸地震	39° 01.7' N	140° 52.8' E	8km	M7.2	6強	5強
7	2005/8/16 11:46	宮城県沖/	38° 08.9' N	142° 16.6' E	42km	M7.2	6弱	5強
8	2003/5/26 18:24	宮城県沖/	38° 49.2' N	141° 39.0' E	72km	M7.1	6弱	6弱

4. 地表と地下の最大加速度比較

Figure 3 は、ILC 施設の北側が位置する人首花崗岩体にある東和(岩手県)観測点と、衝突実験空洞などが位置する千厩花崗岩体にある藤沢観測点について、Table 2の8件の地震の地表と地下の最大加速度を示したものである。なお、ここでの最大加速度は、地震動の東西、南北、上下の成分から最大の加速度が記録されたものを取り上げており、ベクトルとして最大の加速度を算出しているものではない。Figure 3 から地下の最大加速度は地表の最大加速度のほぼ1/5となっていることがわかる。東和(岩手県)観測点と藤沢観測点でこの傾向に大きな差は認められない。

Figure 4 は Table 2の8地震について、北上候補サイト周辺の4観測点(藤沢、東和(岩手県)、住田、陸前高田)の最大加速度を地表、地下で比較したものである。周辺4観測点の結果も地下の最大加速度は地表の約1/5であることを示している。

Figure 5 は Table 2の8地震について、北上山地の花崗岩類に設けられた4観測点の最大加速度を地表、地下で比較したものである。地下の最大加速度は地表の約1/5となっているが、田老観測点に関しては地下は地表の約1/10程度とさらに低減されていることがわかる。

Figure 6 は Table 2の8地震について、北上山地の堆

積岩類に設けられた 8 観測点の最大加速度を地表、地下で比較したものである。地下の最大加速度は地表の約 1/5 となっているが、いずれも粘板岩からなる唐桑、川井北、東和(宮城県)の各観測点では、地下は地表の

約 1/2~1/5 程度と比較的大きめ結果となっている。

Figure 7 は 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の際の最大加速度の地表、地下比較を Table 1 に示した花崗岩類に位置する 4 観測点と堆積岩

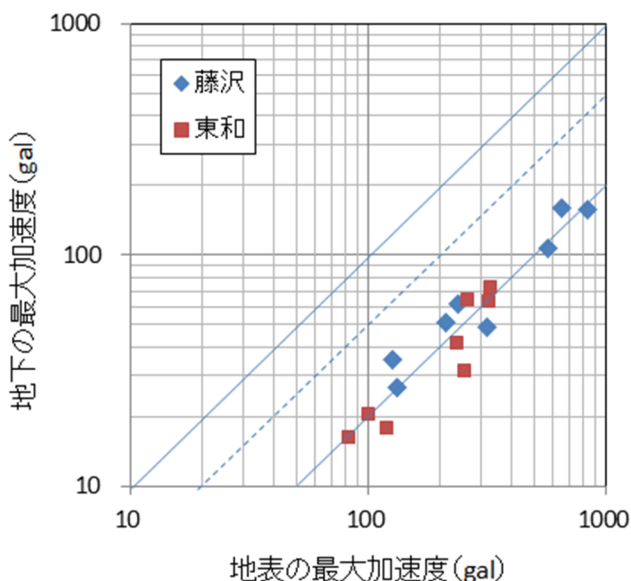


Figure 3: Comparison of the maximum acceleration between ground surface and underground. (Fujisawa located in Senmaya granite and Towa located in Hitokabe granite)

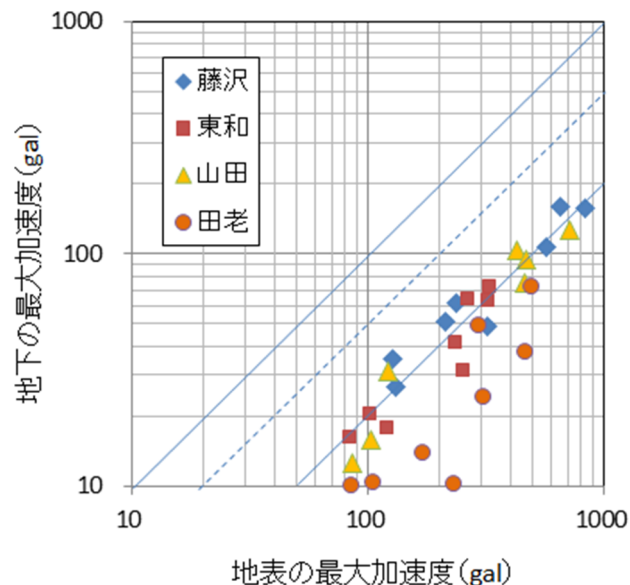


Figure 5: Comparison of the maximum acceleration between ground surface and underground at the granite site around the Kitakami mountain area.

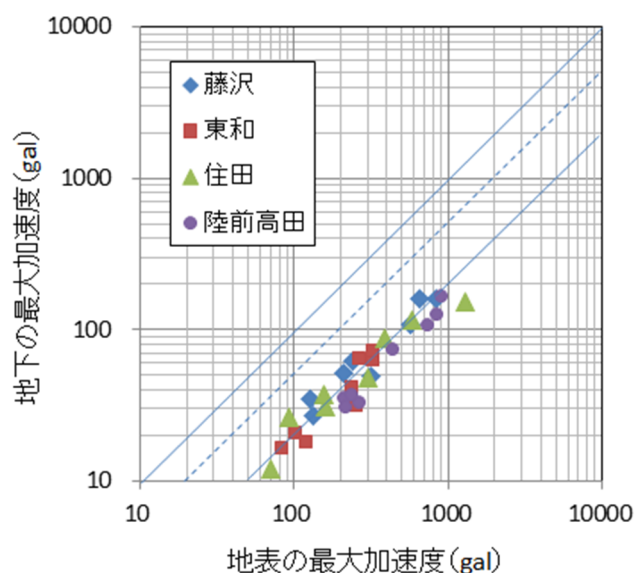


Figure 4: Comparison of the maximum acceleration between ground surface and underground around the Kitakami candidate site.

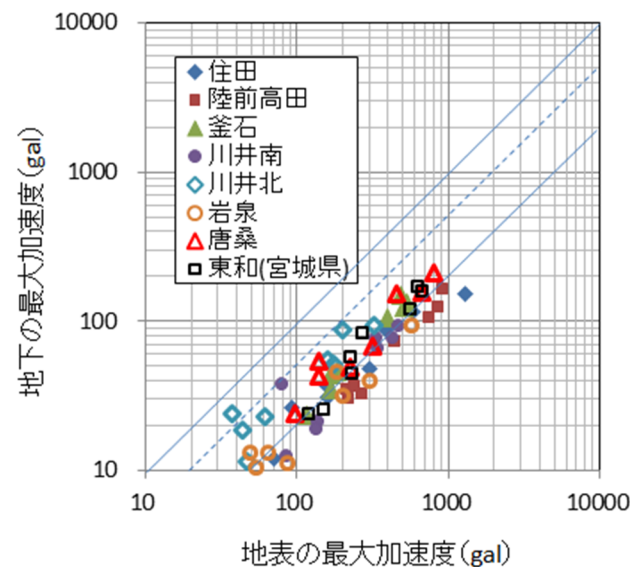


Figure 6: Comparison of the maximum acceleration between ground surface and underground at the sedimentary rock site around the Kitakami mountain area.

類に位置する 8 観測点について示したものである。地下は地上の概ね 1/5 程度であることがわかる。花崗岩類で最大の加速度を記録した藤沢観測点の地震波形の内、最大の加速度を測定した東西方向の地震波形を Figure 8 (a) 地表、b) GL-103.3m) に示した。2 度のピークがあり、地上の最大加速度は 654gal なのに対し、地下の最大加速度は 159gal と大幅に低減されていることがわかる。

なお、今回の調査では、地下約 100m に設置された地震計はボーリング孔の中に設置されている。大規模な地下空洞では空洞自体が地震動の解放面として作用することが考えられるので、空洞の壁面に地震計が設置されていれば地震動の低減が小さくなる方向になることに留意しておく必要がある。

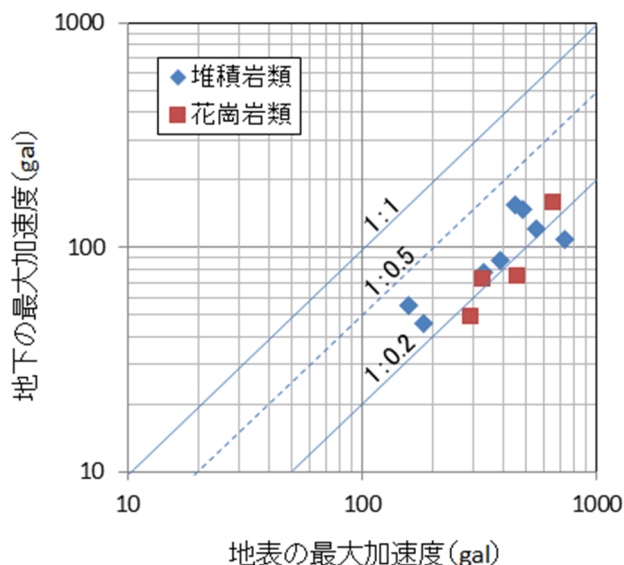


Figure 7: Comparison of the maximum acceleration between ground surface and underground at the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake around the Kitakami mountain area.

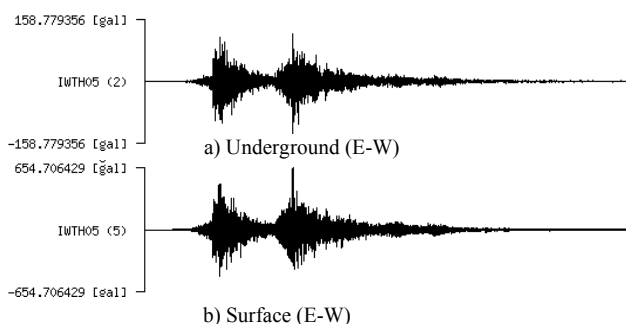


Figure 8: Seismic waveform of Fujisawa seismic station at the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

5. まとめ

ILC 北上候補サイト周辺および北上山地に設置された強震観測網 (KiK-net) の観測点の地震動データを使用し、地表と地下約-100mの地震動の最大加速度を比較した。その結果、下記が明らかになった。

- 1) ILC 北上候補サイト周辺の観測点で、地表と比較して地下の最大加速度は約 1/5 程度と大幅に低減される。
- 2) 堆積岩類に位置する観測点では地表の最大加速度と比較して地下が 1/2~1/5 程度の観測点があるが、花崗岩類に位置する観測点では、約 1/5 程度に低減されることがわかった。
- 3) 東北地方太平洋沖地震の際の観測結果でも地表の最大加速度と比較して地下が約 1/5 程度に低減されていることがわかった。したがって、地上と比較して地下に設置される ILC 施設の被害は限定的であると言える。

ILC の日本誘致にあたって、地震による影響が ILC の建設や運転に問題にならないことをデータで示していく必要がある。そのため今回、国立研究開発法人防災科学技術研究所の設置した強震観測網 (KiK-net) のデータを利用し、北上候補サイト周辺の地下の地震動が地表と比較して約 1/5 と低減されることを示した。本調査が ILC の日本誘致にあたって有効なものであれば幸いである。

参考文献

- [1] 駒田広也: 地下空洞における地震観測—横型地下空洞の地震時挙動—、電力中央研究所報告、385043、1986。
- [2] 佐々木俊二・佐藤清隆・駒田広也・川村淳・青木和弘: 釜石鉱山の地下深部における地震動特性、電力中央研究所報告、U99029、1999。
- [3] 新美勝之・小林伸司・佐藤稔紀・見掛信一郎: 地震観測記録に基づく地下の地震動伝播特性の把握、第 44 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、講演番号 58、2016。
- [4] <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- [5] 國生剛治・佐藤克晴・長尾晋悟: KiK-net 地震記録を用いた基盤から地表への震動増幅評価法、日本地震工学会論文集 第8巻、第2号、2008。
- [6] 関口高志・関根一郎・土田恭平・青木慶彦: 地下深部岩盤における地震動の特性と放射性廃棄物処分場の耐震性の検討、第 13 回岩の力学国内シンポジウム、2013。
- [7] 吉岡正和・山下了・佐貫智行・汐見勝彦・関根一郎: ILC 北上候補サイト周辺の高感度地震観測網 Hi-net に併設された高感度加速度計による地盤変動の把握について、第 12 回日本加速器学会年会、2015。
- [8] 関根一郎・吉岡正和・佐貫智行・山下了・汐見勝彦: ILC 北上候補サイト周辺において強震観測網 KiK-net で得られた地震動の地表、地下比較、土木学会第 71 回年次学術講演会、2016.9投稿中。