

1968 年十勝沖地震における青森地震記録の 土質動力学的考察

CONSIDERATIONS OF AOMORI EARTHQUAKE RECORDS FROM THE POINT OF SOIL DYNAMICS

片田 敏行*・伯野 元彦**

By Toshiyuki KATADA and Motohiko HAKUNO

1. はじめに

現在では、日本全国に数多くの強震計が設置されている。それゆえ、これまでに数多くの強震記録が蓄積されつつある。それらの強震記録の中には波形特性が特異で、その説明がしにくいものもある。たとえば、1968 年十勝沖地震における青森港湾での記録がある。この地震記録を図-1 に示す。この青森記録の水平成分では数

十 gal ものパルス状の大加速度が約 50 秒にもわたってみられる。参考のために、青森における気象庁の 1 倍強震記録を図-2 に示す。N-S 成分と E-W 成分ともに、ゼロ線が大きくずれていて数値化不可能であった。しかし、地震動の概略だけは推定できよう。図-2 よりペンが踊っており大きな地震動が推測されるが、特に波形の前半部分に比較して、後半部分により長周期の成分が目立つようなことはない。また、特に、上下動成分と水平動成分との間に波形特性の相違もみられない。

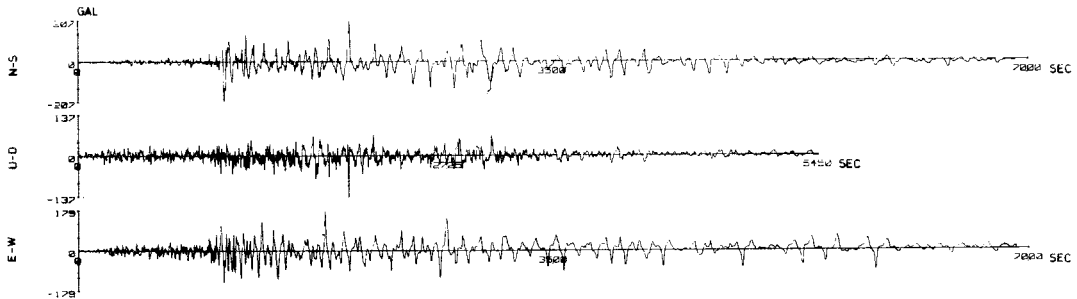


図-1 1968 年十勝沖地震における青森での強震記録¹⁾

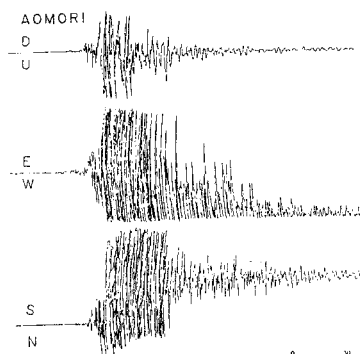


図-2 青森における気象庁 1 倍強震記録
(1968 年十勝沖地震²⁾)

近年、長大橋梁や超高層ビルなど長周期構造物も数多く建設されている。したがって、長周期構造物の入力として青森地震記録のような長周期に大振幅をもつような波の出現は大きな意味をもってくる。青森地震記録に対する変位応答スペクトル¹⁾と速度応答スペクトル¹⁾をみると、いずれも長周期領域(1.0 秒以上)で応答がかなり大きくなっている。

したがって、青森地震記録のような長周期領域に大振幅をもつような波が吊橋などの長周期構造物に作用した場合には当然その振動は激しいものとなる。それゆえ、この波の長周期成分の由来を明らかにすることが重要となってくる。

2. 青森地震記録の波動論的解釈

図-1 をみても、波に分散性もみられず、特に表面波

* 正会員 工博 武蔵工業大学講師 工学部土木工学科

** 正会員 工博 東京大学地震研究所教授

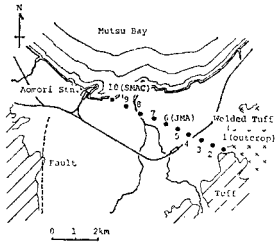


図-3 微動測定の測線⁷⁾

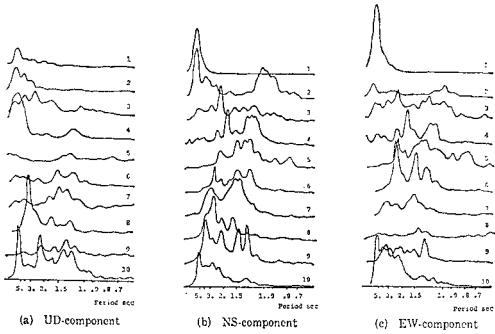


図-4 微動測定の結果⁷⁾

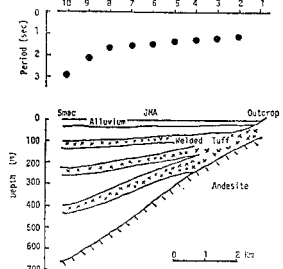


図-5 地盤の卓越周期⁷⁾

的な特徴はみられない。したがって、表面波だけにその原因を求めることにも無理がある。この波に対して、北大太田 裕教授のグループがやや長周期微動の系統的観測をもとに波動論的解釈を試みている⁷⁾。

太田・鏡味らは地震後(1975.8.1~2)に青森市において、SMAC 設置地点を含む測線(図-3)を設定して、やや長周期微動を測定してい

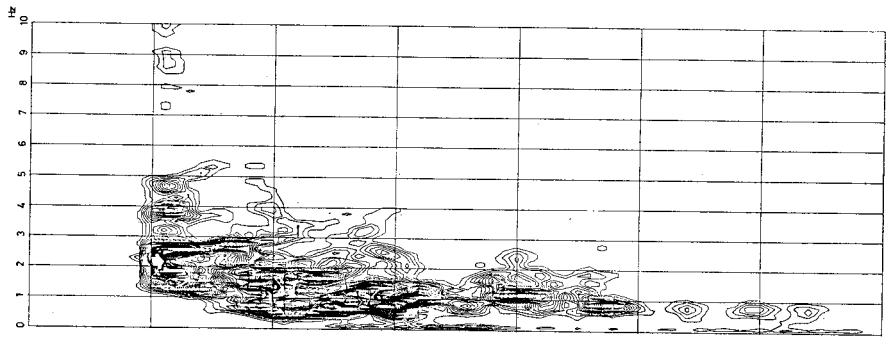


図-6(a) 青森地震記録(N-S成分)非正常スペクトル—Physical Spectrum—

る。その測定結果を図-4に示す。N-S成分について、基盤-表層地盤という地下構造変化に対応した測線に沿って卓越周期を示したのが図-5である。SMAC設置地点である測点10において、卓越周期は約3秒となっている。これらのことをもとに、太田らは1968年十勝沖地震の地震加速度記録にみられる周期2~3秒のかなり大振幅の加速度波は深さ600~700mにおける地盤の増幅性による影響を強く受けていると述べている⁷⁾。

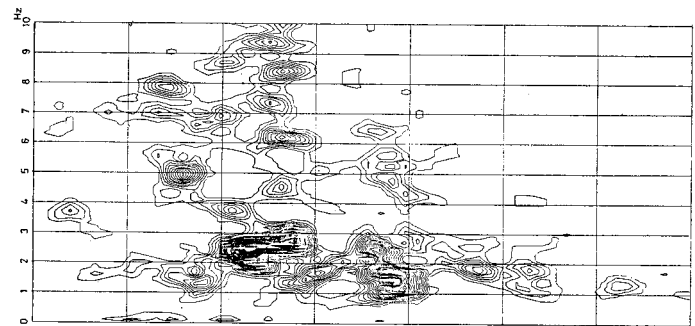


図-6(b) 青森地震記録(U-D成分)非正常スペクトル—Physical Spectrum—

さて、水平動成分(N-S, E-W)のフーリエ・スペクトル¹⁾をみると、1.0秒前後の成分波が卓越している。このようなスペクトル構造が時間とともにどのように変化するかを明らかにするために、非正常スペクトル解析を行った。求めた非正常スペクトルはフィジカル・スペクトル^{8),9)}である。得られたフィジカル・スペクトル(N-S成分, U-D成分)を図-6(a), (b)に示す。図-6から、水平動成分(N-S成分)ではS波

が到着して数秒経過すると3Hz以上の短周期成分が急速に消えているのがわかる。これに対して、上下動成分では特に長周期成分が卓越するという現象はみられない。

以上のように、青森港のSMAC強震計による地震記

録では上下動成分と水平動成分ではその波形特性に大きな違いがみられる。この点に気象庁の1倍強震計による地震記録との違いがある。

3. 強震計設置場所の土質条件と液状化の可能性

図-1 に示される強震記録は青森港内

に設置された港湾技研の強震計によって記録された。参考文献 3) にはこの設置場所における土質柱状図が与えられており、また P-S 速度検層も行われている⁵⁾。

この土質柱状図によれば、強震計設置場所では表層に約 10 m にわたって、砂層が堆積している。また、設置場所から約 500 m ほど離れた浜町ふ頭において噴砂孔が生じている⁶⁾。

したがって、噴砂孔は生じてはいないが、強震計設置場所でも液状化にまでは至らなかったが、地震動によって地盤が軟化したことは十分あり得るであろう。

4. 土質動力学的解釈

図-6 の非定常スペクトルから、水平動成分では S 波が到達して数秒経過すると 3 Hz 以上の短周期成分が急速に消えていくのがわかる。これに対して上下動成分では短周期成分波が消えるということはない。このことは、地震加速度波の継続中において、P 波は伝播されるが S 波の高周波成分は伝播させにくい性質に変化したものとも考えられよう。いい換えると、地盤が不完全な液状化状態に変化したともいえよう。

また、前節で述べたように、強震計は砂層地盤上に設置されており、また近くで液状化現象もみられる。

それゆえ、青森地震記録にみられるパルス状の大振幅の長周期成分波という波形特性に表層地盤の軟化が関係している可能性が大きい。そこで、すでに述べたような従来行われている弾性波動論の解釈に加えて、波形特性に対する表層地盤の軟化という土質動力学的な効果についてもその影響を考えてみることにする。

具体的には、線形理論ではあるが、表層地盤の砂層部分のみが軟化したと仮定した場合について、深さ 30 m までの表層地盤の周波数伝達関数がどのように変化するかを考察する。

地盤は土質柱状図や速度検層結果をもとに、表-1 のようにモデル化して解析に用いた。表-1 のように定めた地盤モデルに対して 2 層と 3 層の S 波伝播速度を 7 段階に分けて低下させたモデル(表-2)を考えた。各地盤モデルに対して、周波数伝達関数を求めた。計算結果を

表-1 港湾技研の青森港内強震計設置地点の地盤モデル

	S波伝播速度 (m/s)	土の密度 (t/m ³)	層厚 (m)
第1層	144	1.8(184 kg/m ³)	2.5
第2層	144	1.8(184 kg/m ³)	5.5
第3層	173	1.7(173 kg/m ³)	6.0
第4層	152	1.6(163 kg/m ³)	6.5
第5層	205	1.6(163 kg/m ³)	6.5
第6層	260	1.7(173 kg/m ³)	7.0
第7層	320	1.9(194 kg/m ³)	6.0

表-2 地盤の液状化程度に応じて想定した V_s 値

	第2層 (m/s)	第3層 (m/s)
ケース 1	144	173
〃 2	130	130
〃 3	110	110
〃 4	90	90
〃 5	70	70
〃 6	50	50
〃 7	30	30

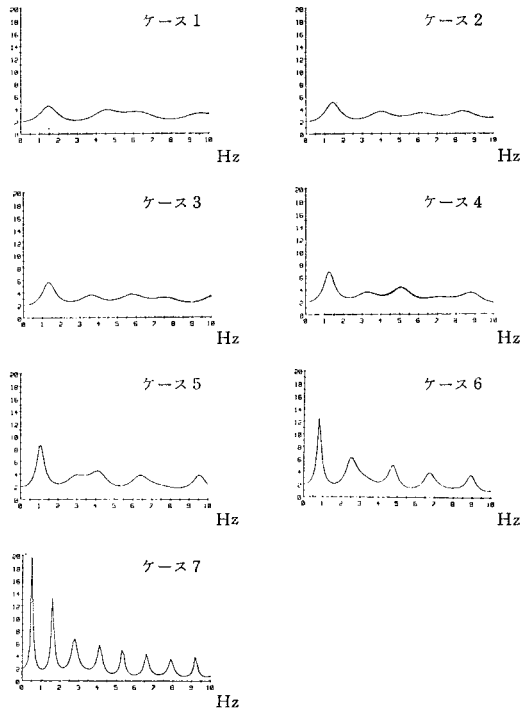


図-7 地盤の軟化による周波数伝達関数の変化

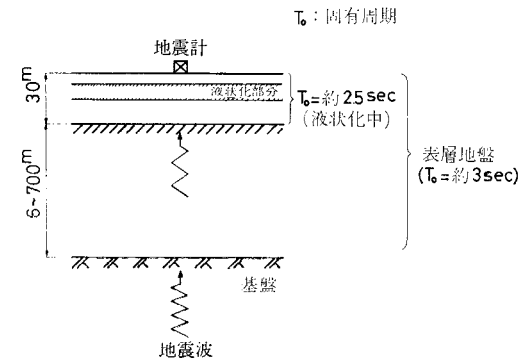


図-8 表層地盤の部分的液状化による共振現象

図-7 に示す。

図-7 より、2 層目と 3 層目が軟化して S 波伝播速度が低下すると深さ 30 m までの表層地盤上部の 1 次卓越周期は、約 0.67 秒から約 2.50 秒と大きく変化する

る。

太田らの微動測定結果⁷⁾によれば、深さ 6~700 m までの地盤の水平動の卓越周期は約 3 秒である。したがって、深さ 30 m から表層地盤上部に入射してくる波に 3 秒前後の成分が卓越しているであろう。このとき、軟化したと仮定する表層地盤上部が約 2.50 秒の卓越周期を有する (図-7 のケース 7) から、表層地盤下部から入射してきた波と軟化した表層地盤上部とが非線形共振した可能性も十分に考えられよう (図-8 参照)。それゆえ、地表で記録された加速度記録 (図-1) の特異な波形特性には軟化地盤と入力地震動との非線形共振の効果が影響している可能性が大きいといえよう。

5. あとがき

本ノートは、パルス状の大振幅の長周期成分が卓越した青森地震記録 (1968年 十勝沖地震) に対して、表層地盤の軟化・液状化といった土質動力学的な面から考察を行ったものである。その結果、波形特性に基盤からの入射波と軟化した表層地盤との非線形共振が影響している可能性も十分にあり得るといふ結論が得られた。

以上のようなことから、青森地震記録を長大橋梁や超高層ビルの動的応答解析に入力として用いる際には波形特性に軟化地盤との非線形共振の効果が含まれている可能性があるという点も認識すべきであるといえる。

また、液状化する可能性のある地盤における強震観測ではあわせて間隙水圧の測定も行う必要があろう。

数値計算にあたっては、東大大学院生 松原勝巳君 (現・間組) に手伝っていただいた。また、本ノートを

まとめる際には国鉄技研 中村 豊氏、東大地震研 工藤一嘉氏より有益なご助言を賜りました。深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) 土田 肇・倉田栄一・須藤克子：1968 年十勝沖地震とその余震の港湾地域における強震記録，港湾技研資料，No. 80, June, 1969.
- 2) 1968 年十勝沖地震調査報告，1968 年十勝沖地震報告，1968 年十勝沖地震調査委員会。
- 3) 土田 肇・倉田栄一・須藤克子：港湾地域強震観測地点資料 (その 2)，港湾技研資料，No. 107, 1970.12.
- 4) 土田 肇・上部達生：地表における強震記録より推定した基盤の地震動の特性，港湾技術研究所報告，Vol. 11, No. 4, 1972.12.
- 5) 藤原俊郎：地震波推定のための地下構造調査，鉄道技術研究報告，No. 743, p. 14, 1971.3.
- 6) 1968 年十勝沖地震・港湾被害報告・津波調査報告，運輸省港湾局・港湾技術研究所・第二港湾建設局・北海道開発局港湾部，pp. 99~100, 昭和 43 年 12 月。
- 7) 鏡味洋史・太田 裕・後藤典俊・塩野計司・工藤一嘉・坂尻直己・成瀬聖慈・出原孝示・竹内文郎：やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (3)—1968 年十勝沖地震の SMAC 型強震計記録との比較一，地震 2, Vol. 29, No. 2, 1976.
- 8) 星谷 勝：多次元非定常確率過程の相互スペクトルとシミュレーション理論，土木学会論文報告集，No. 253, 1976.9.
- 9) 星谷 勝・磯山龍二：多次元非定常確率過程による地震動シミュレーション，土木学会論文報告集，No. 269, 1978.11.
- 10) 小林啓美・鏡味洋史：波動理論を用いた成層構造の地震応答数値解析法について，第 2 回地震工学シンポジウム，1966 年。
- 11) 佐藤泰夫・嶋 悦三・小竹美子：地表の軟弱地盤を取り除くことが地盤の振動レスポンスに与える影響について，土木学会論文報告集，No. 198, pp. 37~45, 1972.2.

(1980.11.20・受付)