

非線形応答に与える影響の観点に基づく 東北地方太平洋沖地震における地震動特性の分析

東京大学大学院 学生員 ○宮本 崇
東京大学大学院 正 員 本田利器

1. はじめに

2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震は、わが国に甚大な被害を生じた。その全容は未だ調査途上にあるが、高架橋の損傷など、地震動による被害も報告されている。本稿では、本地震で生じた地震動が有する特性の把握を目的として、特に地震動が構造物の非線形応答に与える影響の観点から、地震動特性の分析を行った結果を報告する。

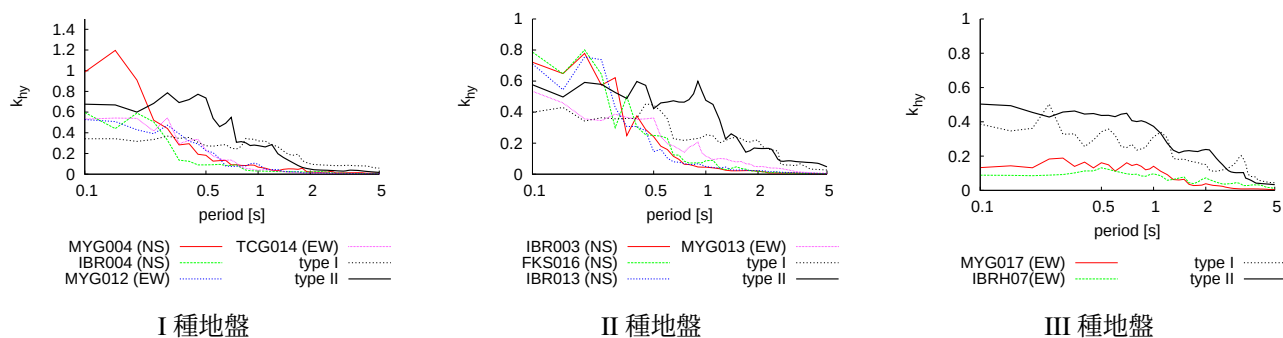
2. 非線形応答スペクトル

図-1に、東北地方太平洋沖地震時に観測された地震動の非線形応答スペクトルの一部を地盤種別毎に示す。非線形応答スペクトルは、完全弾塑性のバイリニア1自由度系において最大塑性率 μ を固定したときの所要降伏震度と履歴吸収エネルギーをそれぞれ固有周期毎にプロットしている。なお、各波形には0.1-10Hzのバンドパスフィルタ処理を施している。また、同図には道路橋示方書に規定されたレベル2標準波の非線形応答スペクトルを比較のために記した。

図-1(a)からは、I種地盤において0.1-0.5sの周期帯で一部の地震動が標準波によるスペクトル値を超過するなど、線形応答スペクトルによる分析結果と同様に今回の地震による地震動は短周期に強いピークを有する波形であることが分かる。II種地盤においても、本地震による地震動は標準波のスペクトル値を大きく越えていないものの、短周期帯では直下型地震を想定したタイプII標準波に匹敵する強さを有している。

一方、図-1(b)に着目すると、I種地盤のMYG004の観測波形などに見られるように、本地震による地震動の一部は0.1-0.5sの短周期帯に強い履歴吸収エネルギーを有している。これは、本地震のマグニチュードが大きく継続時間が長

(a) 所要降伏震度



(b) 履歴吸収エネルギー

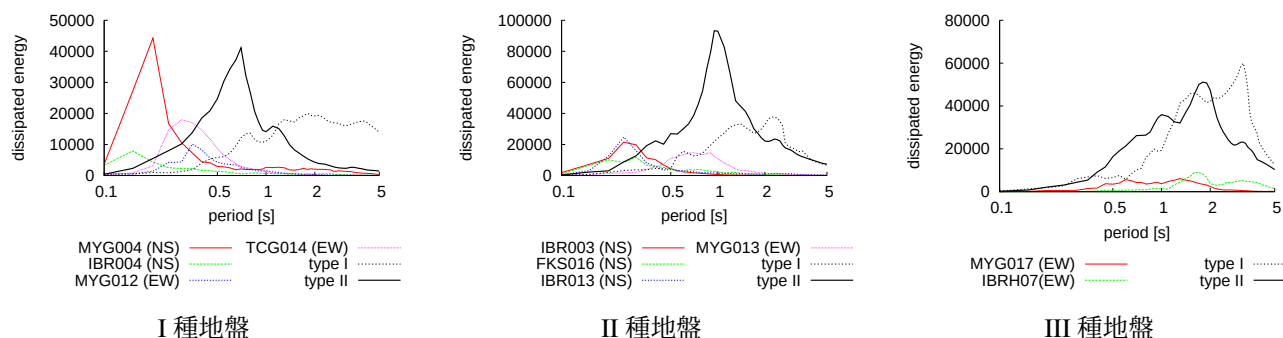


図-1 東北地方太平洋沖地震の非線形応答スペクトル ($\mu = 4$)

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地震動, 非線形応答, 時間周波数特性

連絡先: 〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学 工学部 11 号館 3F 国際プロジェクト研究室

かったことによるものと考えられ、Ⅱ種地盤においても同様の傾向が見られることから、本地震による地震動が有する特徴の一つと捉えられる。

一方、継続時間の長さに関わらず、このような履歴吸収エネルギーの大きさは短周期帯に限られ、中・長周期帯では従来の標準波を越えるものではない。これは構造物の挙動が非線形領域に入り長周期化し

た後に強く影響を与える地震動の長周期成分が、今回の地震では卓越していないことが理由ではないかと考えられる。

以上のように、本地震における地震動が有する構造系に与える履歴吸収エネルギーの大きさは、ごく短周期側のみに見られる特徴であるため影響を受ける構造物は限定的であったことが予想されるものの、反復裁荷に伴う剛性劣化による構造物の損傷メカニズムや、構成則が履歴に強く依存する土構造物の挙動などに対して本地震は大きな影響を与えるものであったのではないかと推察される。

3. 非線形応答値に基づく地震動の類似性評価

著者らの提案する、非線形応答値を特徴指標とした地震動の類似性評価手法¹⁾に基づき、本地震における地震動と標準波の類似性の評価を行った。本地震による地震動は短周期にピークを有することから、地震動の特徴指標として、固有周期が0.3秒のバイリニア1自由度系の最大応答変位と履歴吸収エネルギーの2値を用いた結果、表-1に示すように、一部の地震動はタイプⅠ標準波よりもタイプⅡ標準波に近い特性を有していることが分かった。この結果は、本地震は海洋型地震だが、短周期帯での地震動の強さは直下型地震に匹敵するものであると解釈され、同様の結果を表していた非線形応答スペクトルに基づく分析とも整合的である。

4. 地震動が有する時間周波数特性

また、連続ウェーブレット変換を用いて各観測点で得られた地震動の有する時間周波数特性を分析した。分析例として、図-2にIBR014での観測記録の時刻歴波形、時間周波数特性を表すウェーブレット係数の絶対値、およびウェーブレット係数から得られる時刻毎の周波数成分のウェーブレット係数による重み付き平均の値を示す。

同図に示すように、一部の観測点では加速度がピークに達する前後で波形の有する周波数特性が大きく変化する様子が観察された。このような現象はKIK-NETにおける地中での強震記録では観察されなかったことから、これは主要動の到達によって表層地盤が非線形化する前後で、地盤の増幅特性が変化したことが原因ではないかと考えられる。

5. おわりに

本稿では、特に構造系の非線形応答に与える影響の観点から東北地方太平洋沖地震時における地震動特性の分析を行った結果を報告した。今後は、実被害との関連を検証しながら分析を進めていく必要がある。

本分析では、K-NET および KIK-NET で公開されている強震記録を利用させていただきました。記して感謝致します。

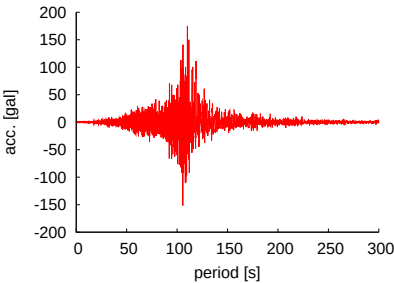
最後に、今回の地震で犠牲になった方々のご冥福と、被災した地域の一日でも早い復興をお祈り致します。

参考文献

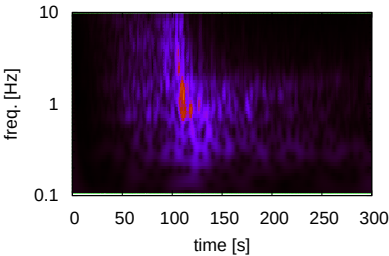
- 1) 宮本崇, 本田利器: 非線形応答値を特徴指標とした, 構造系に与える影響の観点からの地震動の類似性評価, 土木学会地震工学論文集, Vol.12, pp.601-610, 2009

表-1 波形間の有する KL ダイバージェンス (Ⅱ種地盤における結果の例)

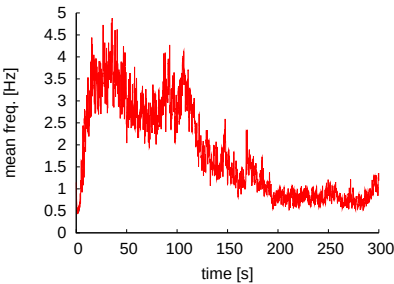
	タイプⅠ標準波	タイプⅡ標準波
FKS016 白河 (NS)	55.7	5.5
IBR003 日立 (NS)	66.1	35.8
IBR013 鉾田 (NS)	63.7	35.0



(a) 時刻歴波形



(b) ウェーブレット係数の絶対値



(c) 時刻毎の周波数成分の

ウェーブレット係数による重み付き平均

図-2 地震動の時間周波数特性 (IBR014(NS), 100-150s の間に周波数特性の大きな変化が観察される)