

東北地方太平洋沖地震の地震動の特徴と構造物への影響

構造物技術研究部 耐震構造研究室
室長 室野 剛隆

1. はじめに

鉄道総研では、昨年度より M8 を越える巨大地震を想定した場合の研究開発に取り組んでおり、その途中で今回の巨大地震に遭遇した。本報では、日本の地震観測史上、最大のマグニチュード 9.0 を記録した東北地方太平洋沖地震について、現在公開されている情報等から、今回の地震の特徴について報告する。

2. 地震の概要

平成 23 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分頃、三陸沖の深さ 24km の海底を震源として、Mw9.0 の巨大地震が発生した。これは、1995 年の兵庫県南部地震の約 1000 倍のエネルギーを解放したことに相当する。発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、沈み込む太平洋プレートと陸側のプレートの境界で発生した地震である。

今回の地震の断層の破壊過程の推定結果（断層のすべり量の空間分布）を見ると、震源付近と岩手県沖、さらには福島県・茨城県沖に大きな断層のずれを確認することができる。従来は個別に活動することを想定していた震源域（例えば、地震調査研究推進本部では、宮城県沖地震は今後 30 年以内に M7.5 前後の地震が発生する確率は 99%、三陸沖南部海溝寄りの地震は M7.7 前後の地震が 80% 以上、両者が連動する場合は M8 前後が 50% の確率）が、3 から 4 つが連動したことで巨大な地震が発生したと推定されている。最大すべり量は 23m にも達する。断層の長さは約 450 km × 200 km となり、岩手県沖から茨城沖までの広いプレート境界で大きなずれが発生し、この地震により宮城県栗原市で震度 7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県で震度 6 強など広い範囲で強い揺れを観測した。

3. 非常に活発な余震活動

今回の地震では、余震にも特徴が見られる。図 1 に余震の震源分布を示す。本震で非常に大きな領域の断層が破壊

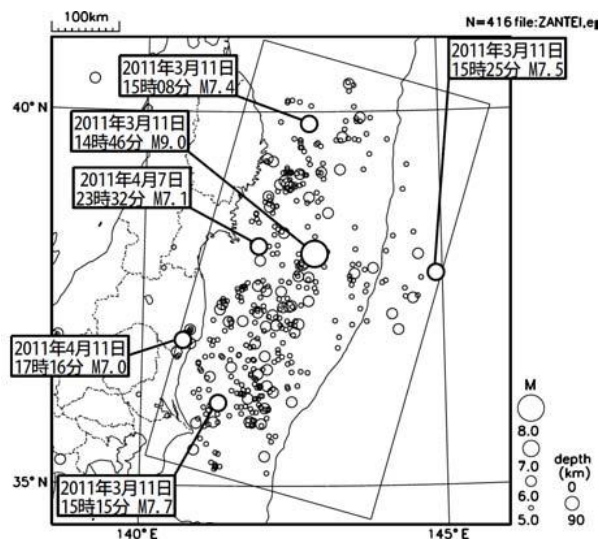


図 1 余震の震央分布図（気象庁発表資料）

したため、余震の規模も大きく、頻度も非常に多い。また、余震の発生域も広い範囲にわたっている。4月11日現在、これまでに発生した余震は、M7.0以上は5回、M6.0以上は66回、M5.0以上は394回と報告されている。余震でさえ、兵庫県南部地震の本震よりも大きなエネルギーが放出されている。

4. 地震動の特性

今回の地震では、防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET で大変貴重な観測記録が公表されており、本資料ではそのデータを利用させて頂いた。

(1) 東北地方で得られた強震記録

図2に、加速度波形とフーリエスペクトルを示す。なお、過去の地震記録についても比較のために示した。

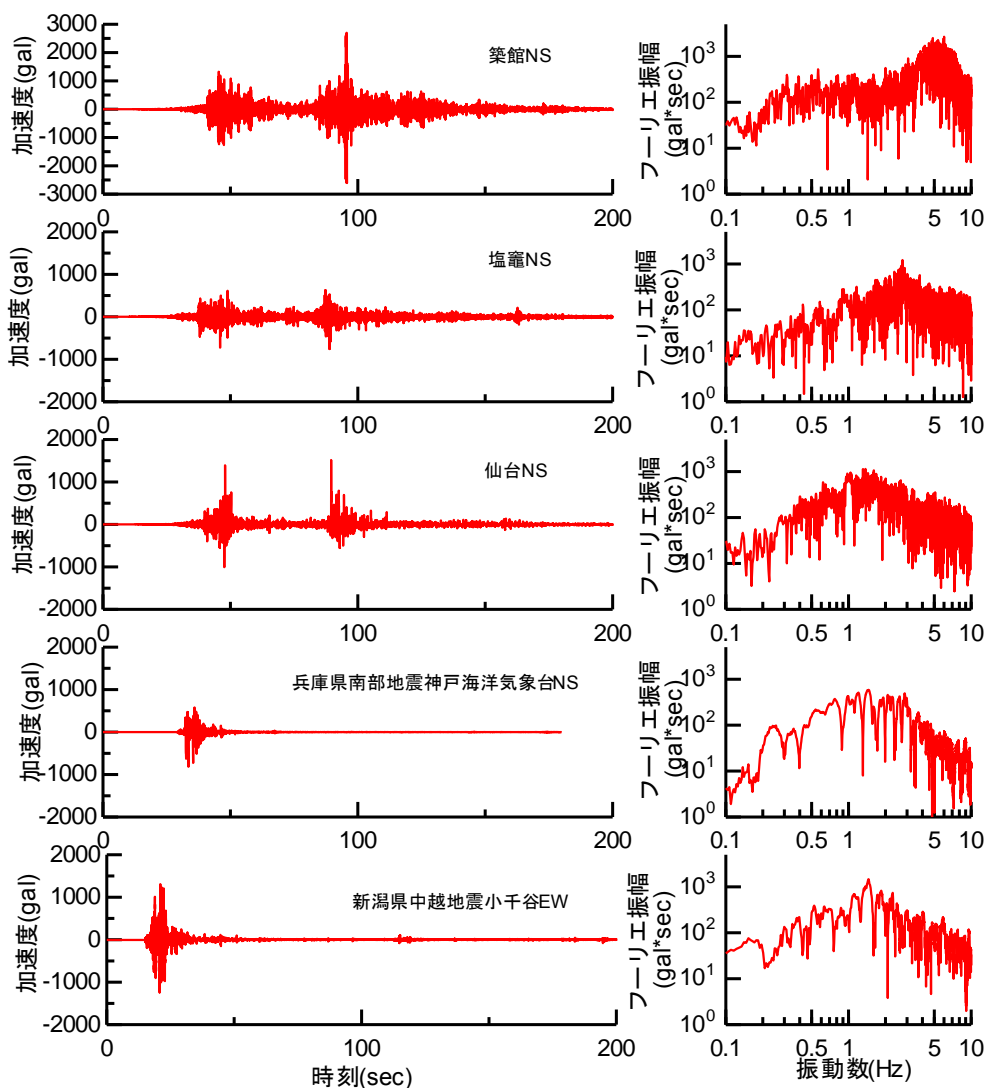


図2 加速度波形とフーリエスペクトル

- 先述したように、大きな2つの破壊領域に対応して、地震動波形にもその影響が明瞭に生じている。また、継続時間が非常に長くなっている。フーリエスペクトルを見ると、2~3Hzの高い振動数成分が卓越しており、構造物の周期帯域では被害が大きかった地震に比べると振幅が小さいことが分かる。
- 1995年の兵庫県南部地震は、多くの土木・建築構造物が倒壊した。典型的な直下型の地震である。神戸海洋気象台の波形を見ると、継続時間が短く瞬間的に地震のエネルギーが構造物に作用した波形であることが分かる。また、卓越振動数は、1~2Hz程度であり、構造物の固有振動数域でパワーを有していることが分かる。2004年の新潟県中越地震についても、継続時間が短く、卓越振動数は、1~2Hz程度である。

(2) 遠方で得られた強震記録

今回の地震では、震源から遠くなれた都内でも大きな揺れが観測された。図3は東京大学地震研究所内に設置された地震計で得られた強震記録で

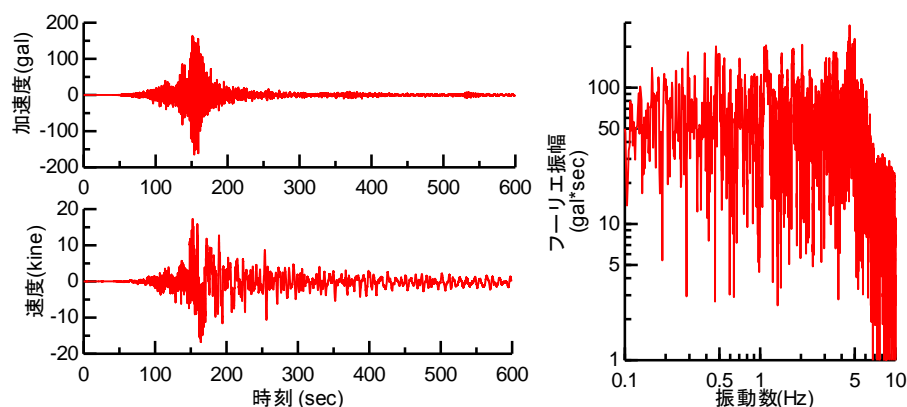


図3 東京（東京大学地震研究所）で観測された地震動の特性

ある。ここでは特徴が分かりやすいように速度波形も示す。継続時間は著しく長いことが分かる。また、主要動以後に振動数が0.3~0.5Hzほどのやや長周期の成分が繰り返されている。加速度フーリエスペクトルを見ても、低振動数までパワーを有している。その結果、図2と比べても加速度の割に速度が大きいことが分かる。都内で地震を感じた方々が長周期に感じたというのは、この成分が影響していると思われる。また、千葉県などでは液状化の被害が顕著であったが、この長周期・長継続時間の影響が大きかったことが、別途行った解析から分かっている。

5. 構造物への影響

図4は加速度応答スペクトルであり、横軸は構造物の周期を、縦軸はその構造物の最大応答加速度を表わす。この図を見ると、築館の地震記録の場合、短周期側では、被害が大きかった兵庫県南部地震や新潟県中越地震よりも大きな応答を示すが、一般的な鉄道構造物の周期帯域は0.5~1秒程度であり、この周期帯域は、応答はかなり小さな値となっている。つまり、地震動の最大加速度は大きかったが、一般的な形式の構造物を大きく応答さ

せるような波形でなかったことが分かる。なお、この地域で発生した地震（2003年の三陸南地震 etc）では、このような周期特性の地震波が観測されることが多く、これは東北地方の地殻・地盤構造に起因するところが大きいと思われる。

図5は所要降伏震度スペクトルを示す。所要降伏震度スペクトルとは、横軸に構造物の周期をとり、その周期の構造物の応答塑性率がある値におさまるために必要な耐力（降伏震度）を縦軸にとったものである。構造物の周期帯域では、神戸海洋気象台の波形の方が、今回の地震よりも厳しいという傾向は図4と同じであるが、その傾向はより顕著になっている。例えば、築館の地震記録の場合、周期1秒の構造物であれば、塑性率2（軽微な損傷に相当）に収まるためには、降伏震度が0.2程度あればよいことが分かる。

今回の地震では津波により甚大な被害を受けたが、このような周期特性は、揺れにより構造物が倒壊した事例が少ないことと整合している。

最後に、鉄道構造物の耐震設計で考えている設計地震動との関連を図6に示す。なお、耐震設計基準は現在、改訂作業中であり、その中で規定されている設計地震動についても同図に示してある。短周期領域で設計地震動を越える記録があるが、重要な周期帯域では設計地震動のスペクトルで包絡されていることが分かる。

6. おわりに

現在公開されている強震記録の情報に基づき、東北地方太平洋沖地震の特徴を「揺れ」の観点から概観した。今後は、より詳細なデータに基づき、地震動の特性の解明や構造物の被害との関連などについて研究を進める予定である。

謝辞：ここでは、防災科学技術研究所 K-NET および東京大学地震研究所で観測されたデータを利用して頂いた。ここに感謝の意を表す。

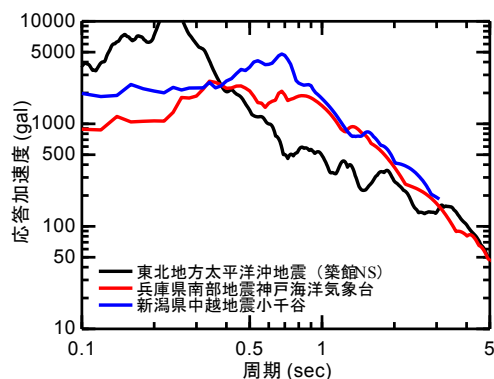


図4 弾性加速度応答スペクトルの比較

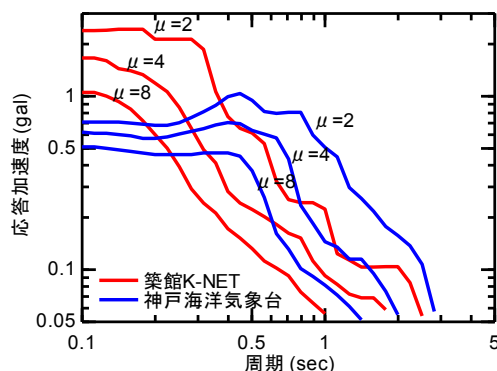


図5 所要降伏震度スペクトル
(非線形応答スペクトル)

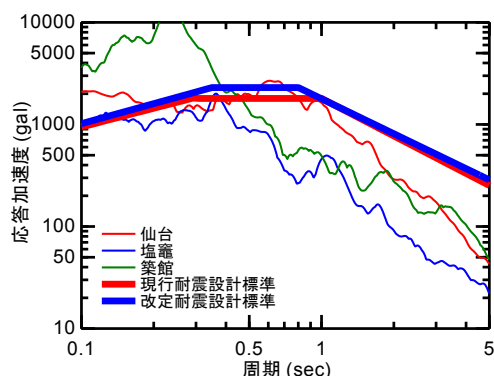


図6 設計地震動との比較