

## 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

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。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。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。

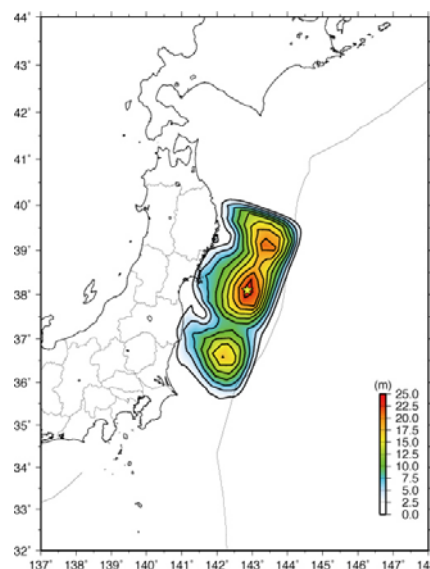
鉄道総研では、昨年度より M8 を越える巨大を想定した場合の研究開発に取り組んでおり、その途中でこの巨大地震に遭遇した。本報では、現在公開されている情報等から地震の特徴について報告する。

### 2. 想定地震と過去の地震

三陸地区は過去に何度も大きな地震に見舞われてきた。そのため、地震に対する取組みも盛んに行われてきた地区の 1 つである。

#### (1) 想定地震

地震調査研究推進本部では三陸地区での地震を複数想定してきた。例えば、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% の確率で発生すると想定されていた。しかし、**図 1** に示す断層の破壊過程を見ると、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、個別に想定されてきた 3 から 4 つの地震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。



**図 1 断層のすべり分布図**  
(筑波大学・八木准教授による)

#### (2) 過去の地震の概要

1896 年 6 月 15 日 20 時頃、三陸沖約 200km で M8.5 の地震 (明治三陸地震) が発生した。揺れは震度 3 程度と小さかったが、津波で多くの方 (約 20,000 人) が亡くなっている。1933 年 3 月 3 日 14 時半頃、M8.1 の地震 (昭和三陸地震) が発生した。この地震では震度 5 程度

であったが、津波の高さはやや小さかったことで死者は 3,000 人程度であった。

なお、古くは 869 年（貞観 11 年）に大津波により広い範囲が被害を受けた記録が残っている。近年の津波堆積物等の研究結果によると、岩手県沖（三陸沖）から福島県沖または茨城県沖まで震源域が及んだ、M8.6 の連動型巨大地震の可能性が指摘されている。また、津波の痕跡には、貞観津波を示すと思われるもの以外にもいくつか存在することも明らかとなり、800 年から 1100 年の間隔で、繰り返し巨大地震・巨大津波が発生していることが分かってきた。

### 3. 観測地震の特徴

#### (1) 東北地方で得られた強震記録

今回の地震で観測された記録の中から特徴的な加速度波形とそのフーリエスペクトルを図 2 に示す。なお、過去の地震記録についても比較のために示した。なお、築館の記録については、小高い丘の上に地震計が設置されており、局所的な地形の影響により非常に大きな加速度になっていることに注意されたい。

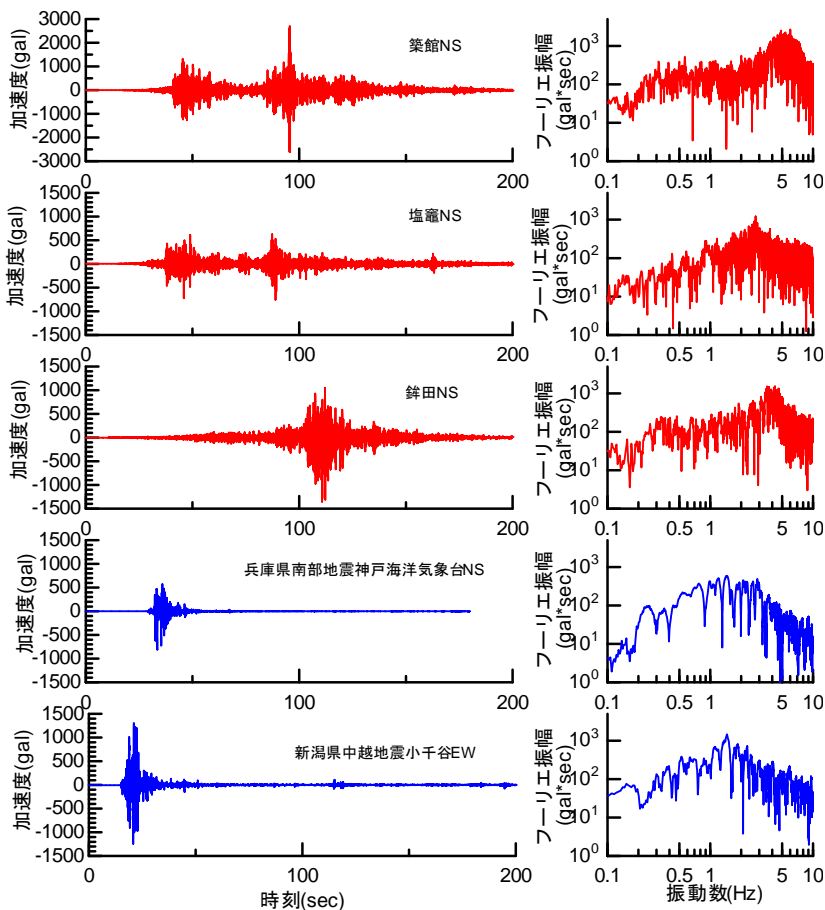


図 2 加速度波形とフーリエスペクトル

①宮城県内で観測された強震記録には、図 1 に示した宮城県沖の大きな 2 つの破壊領域に対応した 2 つのピーク（相）が見られる。一方、茨城県の記録には、宮城県沖の破壊領域から放出された地震波は減衰し、福島県沖の破壊領域から放出された波動が強く現れて

おり、ピークは1つになっている。

②破壊領域が大きかったので、継続時間が非常に長くなっている。

③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、被害が大きかった地震に比べると構造物の周期帯域では振幅が小さいことが分かる。

④1995年の兵庫県南部地震や2004年新潟県中越地震では、多くの土木・建築構造物が倒壊を含む損傷をした。典型的な直下型の地震動であり、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。

## (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K-NET浦安で観測された加速度波形およびフーリエスペクトルで

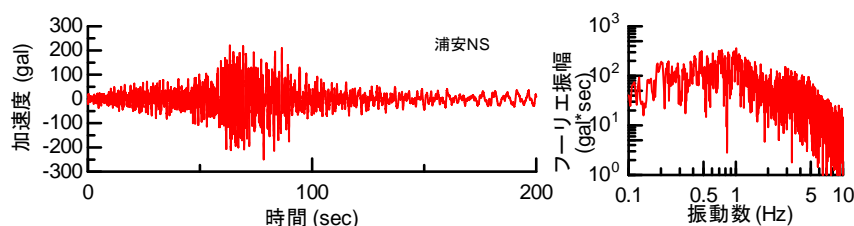


図3 K-NET 浦安で観測された地震動の特性

ある。揺れは600秒程度継続しており、著しく継続時間が長い。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おり、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。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。

## 4. 活発な余震活動および誘発地震

本震で非常に大きな領域の断層が破壊したため、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。特に、M7.0以上の余震は現在までに4回も発生している。

4月7日23時32分頃に発生したM7.1の余震は、震源が本震よりも近いこともあり、仙台付近では本震と同様もしくはそれよりも大きな揺れであった。図4にK-NET仙台で観測された余震の加速度応答スペクトルを示すが、広い周期帯域で本震を上回っていることが確認される。また、余震により被害が拡大したという報告もされている。

また、余震域とは全く異なる箇所での地震も発生しており、3月12日長野県内の地

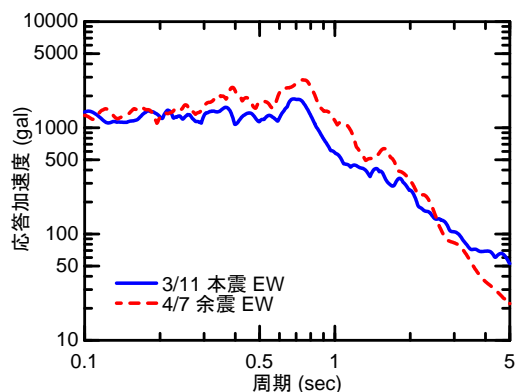


図4 本震と余震の加速度応答スペクトル

震、15日の静岡県内の地震などは、今回の地震による誘発地震と考えられている。

## 5. 設計地震動の比較

図5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。今回の地震は、被害の大きかった兵庫県南部地震よりも短周期側で大きな値な応答を示すが、一般的な鉄道構造物の周期帯域（0.5～1秒程度）では、かなり小さな値となっている。また、この傾向は非線形応答スペクトル（図6）でより顕著に表れる。例えば、周期0.5秒、降伏震度0.5程度の一般的な構造物を考えると、今回の地震

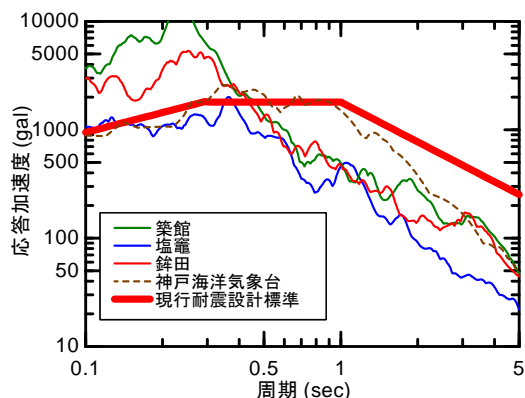


図5 加速度応答スペクトル

では応答塑性率は2程度以下（神戸の記録では塑性率4以上）である。今回の地震は、短周期が卓越したため加速度が大きかったものの、一般

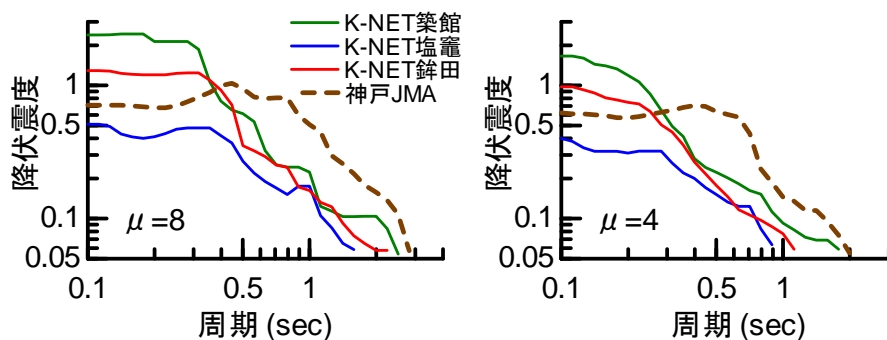


図6 非線形応答スペクトル

的な鉄道構造物を大きく損傷させるような波形でなかったことが分かる。このような周期特性は、今回の地震では津波により甚大な被害を受けたが、振動により構造物が倒壊した事例は少ないことと整合している。

また、図5には耐震設計標準で使われている標準設計地震動の加速度応答スペクトルも示してある。本来はこの標準設計地震動はM9の地震動を想定したものではないが、一般的な構造物の周期帯域では概ね今回の地震を包絡できていたことも確認できた。なお、耐震設計標準については、現在改定中であり、その中では今回の地震動に対する有用性も検証中であり、その結果については、別の機会に報告をしたい。

## 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 で観測されたデータを利用させて頂いた。ここに感謝の意を表す。