

平成23年5月27日
国土交通省鉄道局

「鉄道構造物耐震基準検討委員会」の結果について

標記会議を下記の通り開催しましたので、その概要をお知らせします。

記

1. 日時 平成23年5月27日（金） 13:30～15:00

2. 場所 三田共用会議所

3. 出席者 別紙のとおり

4. 議題

- (1) 東北地方太平洋沖地震における地震動等について
- (2) 東北地方太平洋沖地震による鉄道構造物の被害について
- (3) 今後の進め方について

5. 会議の概要

- (1) (独)防災科学技術研究所の地震計(K-NET)のうち、東北新幹線の沿線付近の観測記録を分析した結果、今回の地震動の特徴は次のとおりであった。
 - ・岩手県、宮城県、福島県などでは、地震波に2つのピークが見られ、また、栃木県より南方では、福島以北で見られる2つのピークとは異なったピークが見られた。これらから、今回の地震動には3つの卓越したピークが見られ、地震を引き起こしたとされる大きなすべりが発生する領域が複数存在していることが分かった。
 - ・今回の地震動の継続時間は200秒以上であり、平成7年の兵庫県南部地震や平成16年の新潟県中越地震の20～30秒程度と比較して、長いものであった。
 - ・加速度応答スペクトルを分析した結果、鉄道の高架橋等の周期帯域である0.5～1秒の応答加速度は、500～2,000gal程度であった。
- (2) 新幹線及び在来線の高架橋、橋梁について、昭和58年の「建造物設計標準解説」(国鉄)、平成4年及び11年の「鉄道構造物等設計標準・同解説、(コンクリート構造)、(耐震設計)」(運輸省)に基づき設計・建設された構造物は、今回の地震ではいずれも明らかな被害は見られなかった。
- (3) 地震動の詳細分析や地盤の液状化等については、幹事会を設置し、検討していくこととした。

【連絡先】

国土交通省鉄道局技術企画課

担当 権藤・今村

03-5253-8111(内40702)

03-5253-8546(直通)

鉄道構造物耐震基準検討委員会 出席者名簿

日時：平成23年5月27日（金）13:30～15:00

場所：三田共用会議所第3特別会議室

- | | |
|--|--------|
| ◎ 神戸学院大学 教授 | 佐藤 忠信 |
| 東京大学生産技術研究所 教授 | 古関 潤一 |
| 東京大学生産技術研究所 教授 | 小長井 一男 |
| 京都大学防災研究所 教授 | 澤田 純男 |
| 高知工科大学大学院 教授 | 島 弘 |
| 東京理科大学大学院 教授 | 龍岡 文夫 |
| 九州工業大学大学院 教授 | 山口 栄輝 |
| 国土交通省 国土技術政策総合研究所 地震災害研究官
(代理 土木研究所 橋梁構造研究グループ 上席研究員) | 運上 茂樹 |
| 独立行政法人 港湾空港技術研究所 領域長 | 星隈 順一 |
| 独立行政法人
鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計技術部長 | 菅野 高弘 |
| 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部長 | 服部 修一 |
| 財団法人 電力中央研究所 地球工学研究所 上席研究員 | 舘山 勝 |
| 北海道旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部 工務部長 | 佐藤 清隆 |
| 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター 所長 | 新宮 康弘 |
| 東海旅客鉄道株式会社 総合技術本部長 | 石橋 忠良 |
| 西日本旅客鉄道株式会社 構造技術室 室長 | 関 雅樹 |
| 四国旅客鉄道株式会社 工務部長 | 松田 好史 |
| 九州旅客鉄道株式会社 施設部長 | 松木 裕之 |
| (代理 九州旅客鉄道株式会社 施設部 担当部長) | 津高 守 |
| 西武鉄道株式会社 工務部長* | 兵藤 公顕 |
| 京阪電気鉄道株式会社 工務部長 | 藤井 高明 |
| (代理 京阪電気鉄道株式会社 工務部技術課課長*) | 福井 弘高 |
| 国土交通省鉄道局 技術企画課 課長 | 大塚 祐一郎 |
| | 北村 不二夫 |

◎ 委員長（敬称略）

* 社団法人 日本民営鉄道協会 土木部会 代表

東北地方太平洋沖地震の地震動と設計地震動の比較

1. はじめに

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、現在得られている情報から、今回の地震の特徴について報告するとともに、耐震設計標準の設計地震動との比較を行う。

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。

(1) 本震

図 1 には、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）を示す。この結果を見ると、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（図 2：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）の、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、岩手県沖から茨城県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。

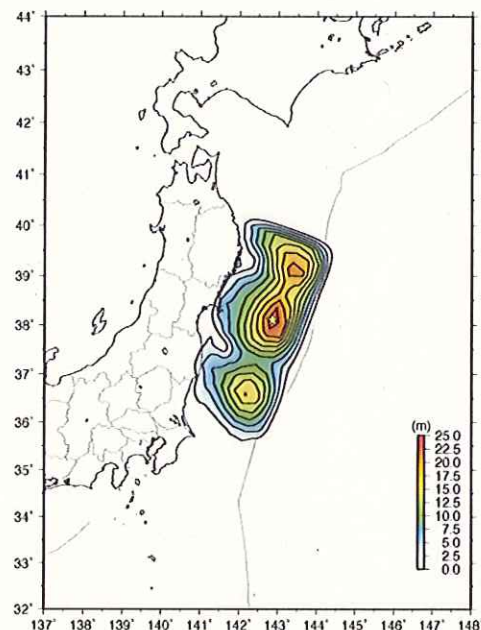


図 1 断層のすべり分布図
(筑波大学・八木准教授による)



図2 個別に想定されていた破壊領域

(2) 余震

図3には、本震の震源域(図中の四角の領域)と、M5以上の余震の震央位置を示す。また、表1は余震の発生回数を示す。断層の長さは約450km×200kmとなり、3から4つの大きなすべりを発生させる領域が連動したことで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たと推定されている。

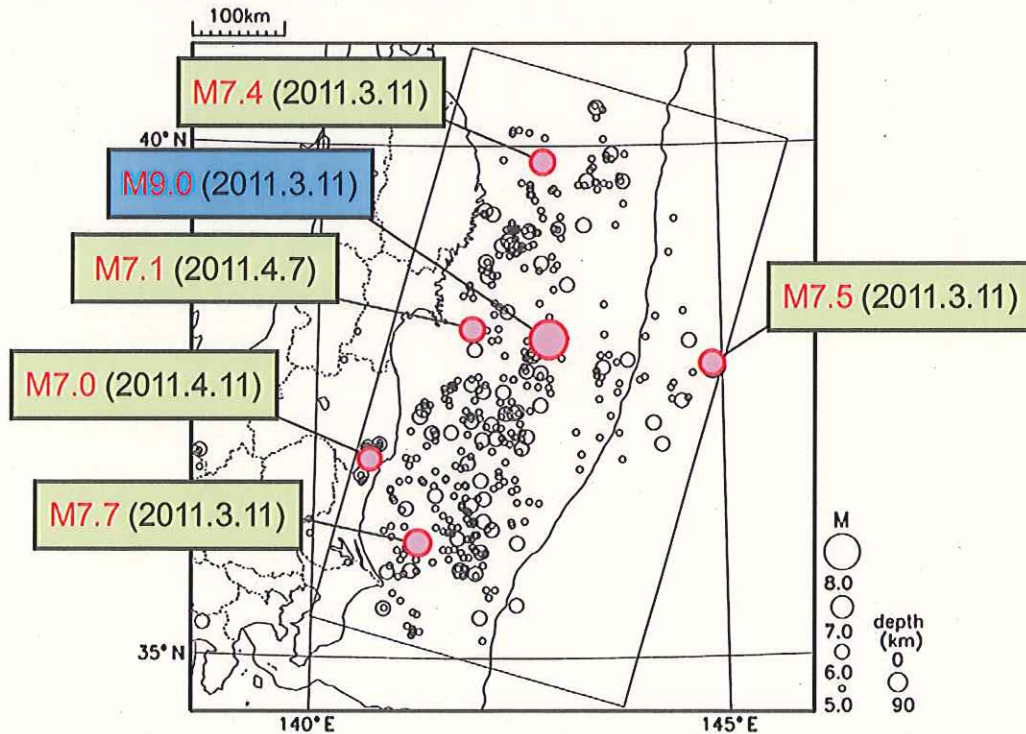


図3 東北地方太平洋沖地震の震源域と余震の震央分布(気象庁資料に加筆)

また、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。さらに、余震の発生領域も広い範囲にわたっている。

表1 余震のマグニチュードと回数の関係 (5/20 時点)

マグニチュードM	回数	備考
M7 以上	5 回	M7.7, 7.5, 7.4, 7.1, 7.0
M6 以上	76 回	
M5 以上	458 回	

3. 地震動の特性

3.1 時刻歴波形と断層の破壊進展の様子

今回の地震では、(独)防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET, KiK-net で観測記録が公表されている。ここでは、これらの記録を用いて、今回の地震動の特徴をまとめる。

図4に観測記録の時刻歴波形一覧を、表2には各記録の最大加速度 PGA, 最大速度 PGV の一覧を示す。これらの結果より分かる今回の地震の特徴を以下に簡単にまとめる

【特徴】

- (1) 広い範囲で大きな加速度・長い継続時間の地震動が記録されている。特に K-NET 築館においては、2000gal を超える非常に大きな加速度が観測された。
- (2) 複数のフェーズ (波群/ピーク) ①~③が見られ、大きなすべりを発生させた領域が複数存在していることが分かる。
- (3) 岩手県・宮城県・福島県などでは、加速度波形に顕著な2つのフェーズ (①, ②) が見られ、複数の大きな断層のすべりが示唆される。細かく見ると、岩手~宮城県では、1つめのフェーズが卓越し、福島県では2つめのフェーズが卓越する。
- (4) 栃木県より南側では、福島以北で見られる2つのフェーズとは異なるフェーズ (③) が卓越する。

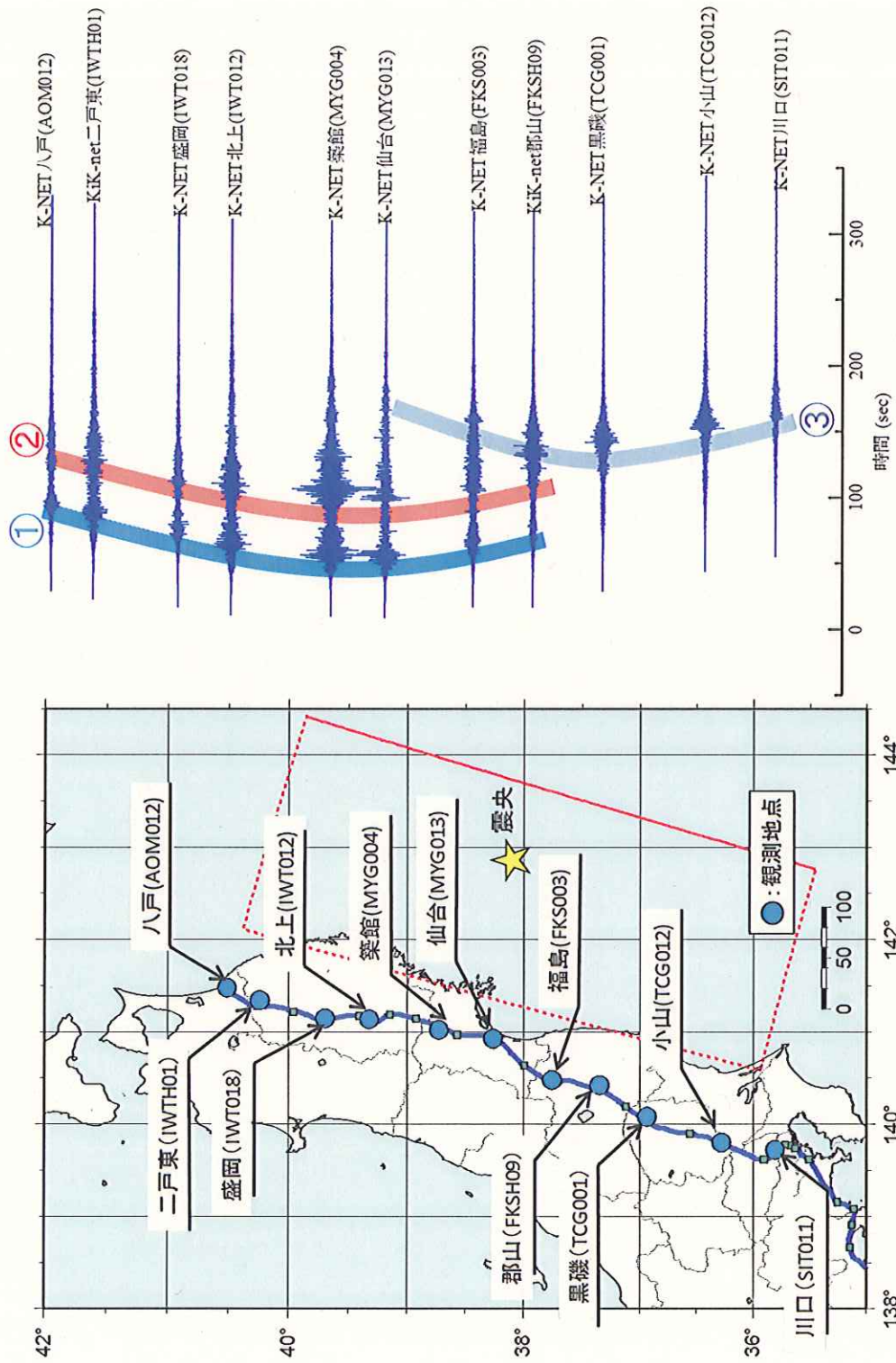


図 4 観測点の位置および加速度波形

表 2 観測記録の最大値まとめ

観測点名	最大加速度 PGA(gal)			最大速度 PGV(cm/s)		
	EW	NS	UD	EW	NS	UD
K-NET 八戸	194.1	185.0	75.1	12.8	12.4	5.2
KiK-net 二戸東	315.0	263.3	90.4	19.6	15.4	8.5
K-NET 盛岡	248.7	162.9	111.7	11.5	6.7	5.7
K-NET 北上	454.6	590.7	197.6	30.5	44.4	11.6
K-NET 築館	1268.5	2699.9	1879.9	49.1	107.4	35.2
K-NET 仙台	982.3	1517.2	290.2	40.0	74.8	20.0
K-NET 福島	298.5	327.5	149.8	23.6	21.2	8.3
KiK-net 郡山	433.2	424.4	238.8	17.9	24.7	16.7
K-NET 黒磯	411.6	362.0	154.9	28.8	38.3	13.5
K-NET 小山	419.6	298.1	253.9	28.9	29.2	8.8
K-NET 川口	168.0	180.0	69.3	20.5	23.9	5.9

3.2 過去の被害地震との比較

(1) 東北地方で得られた記録

今回得られた観測記録と過去の代表的な被害地震（1995年兵庫県南部地震，2004年新潟県中越地震）との比較を図5，図6に示す。この結果より以下のことが分かる。

- 図5の応答スペクトルを見ると，K-NET 築館の周期0.3秒より短周期側で兵庫県南部地震，新潟県中越地震の観測記録を大きく上回っていることが分かる。K-NET 仙台では，兵庫県南部地震，新潟県中越地震の記録と概ね等しい周期特性，応答レベルとなっている。
- 図6の時刻歴波形より，複数の大きな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，他の地震記録と比較して，継続時間が非常に長くなっている。
- 図7の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。ただし，K-NET 仙台の記録のフーリエスペクトルは，神戸JMAのそれと類似している。
- これらの特性は，主に東北地方の地盤構造に起因するものと思われる。

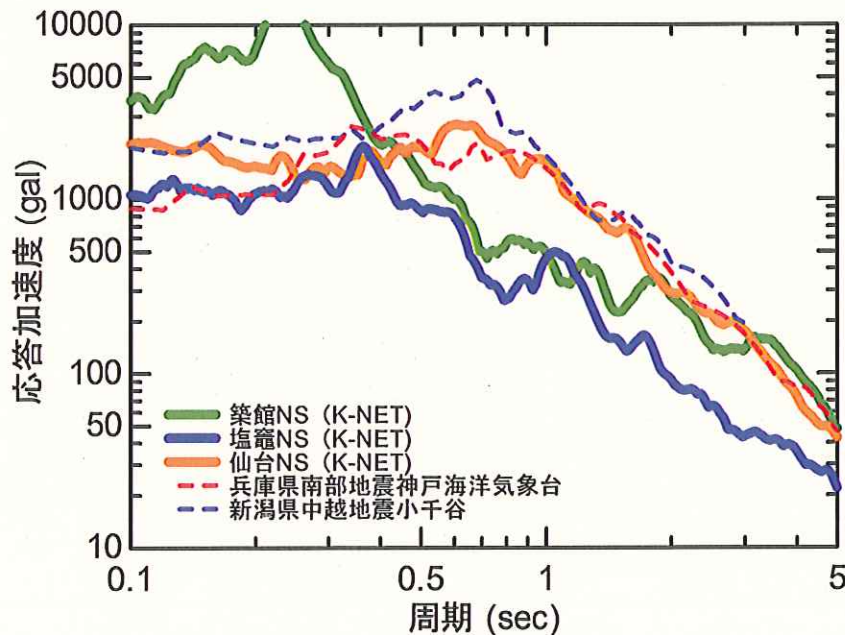


図5 過去の被害地震との比較（加速度応答スペクトル）

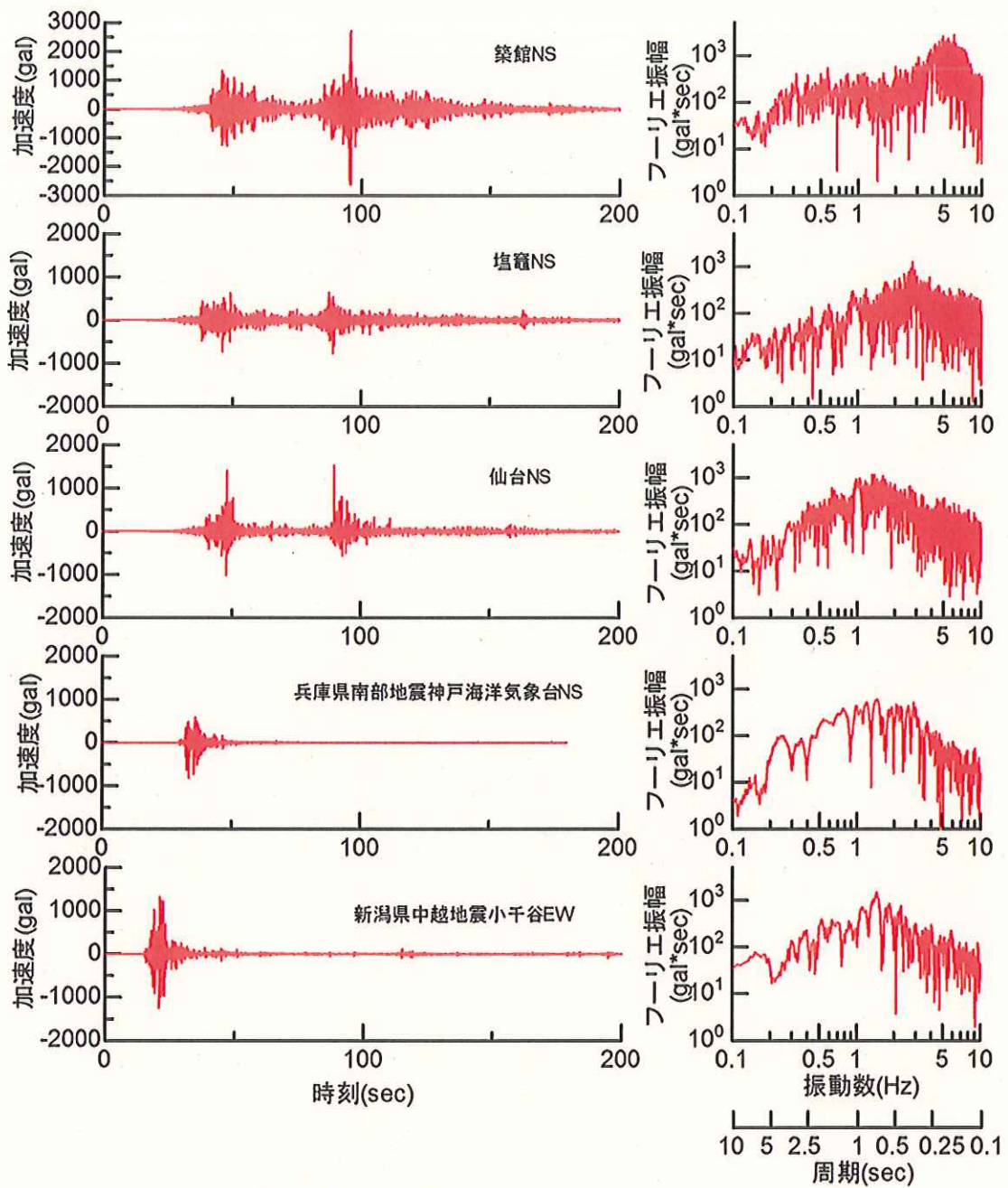
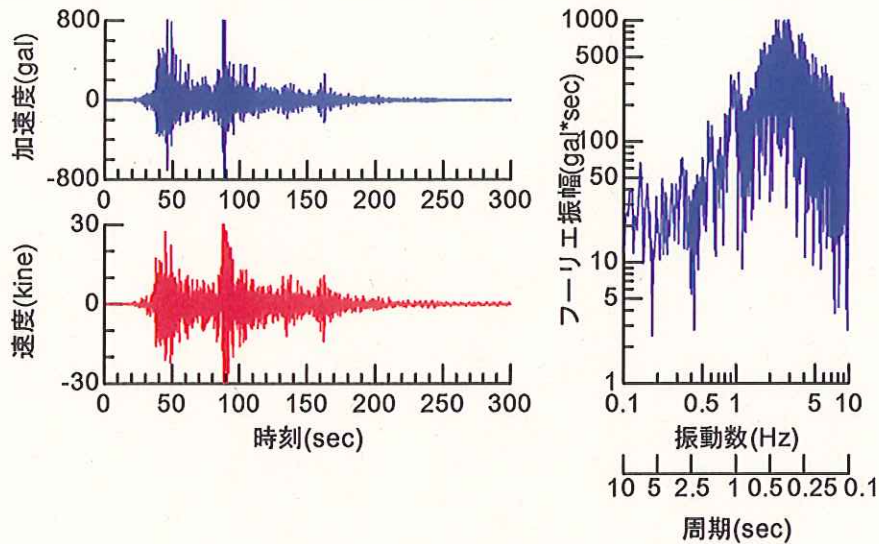


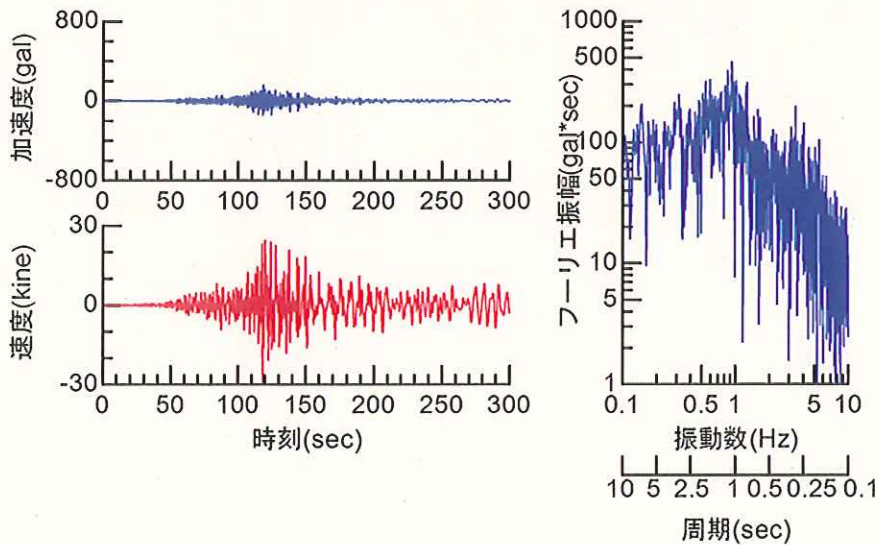
図6 過去の被害地震との比較（加速度波形とフーリエスペクトル）

(2) 関東地方で得られた記録

今回の地震では、震源から遠くなれた東京都や千葉県でも大きな揺れが観測された。図7はK-NET 塩竈とK-NET 浦安で得られた強震記録である。ここでは特徴が分かりやすいように速度波形も示す。浦安の記録は時刻300秒においても比較的大きな速度が計測されており、継続時間が著しく長いことが分かる。また、主要動以降に振動数が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、塩竈の記録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。



(a) K-NET 塩竈の記録



(b) K-NET 浦安の記録

図7 東北地方と関東地方の記録

4. 構造物への影響

4.1 弾性加速度応答スペクトル

図8は加速度応答スペクトル ($h=0.05$) 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す。なお、各図には、耐震標準（鉄道構造物等設計標準・同解説）に示されているL2地震動スペクトルII（G3地盤）を合わせてプロットした。

【特徴】

- (1) 短周期領域で設計地震動を上回る記録がある。特に築館においては周期0.25秒の構造物応答が10000galを超えており、非常に大きな応答を示している。
- (2) しかし、一般的な鉄道構造物の周期帯域は0.5~1秒程度であり、K-NET 仙台の記録を除き、この周期帯域は、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。

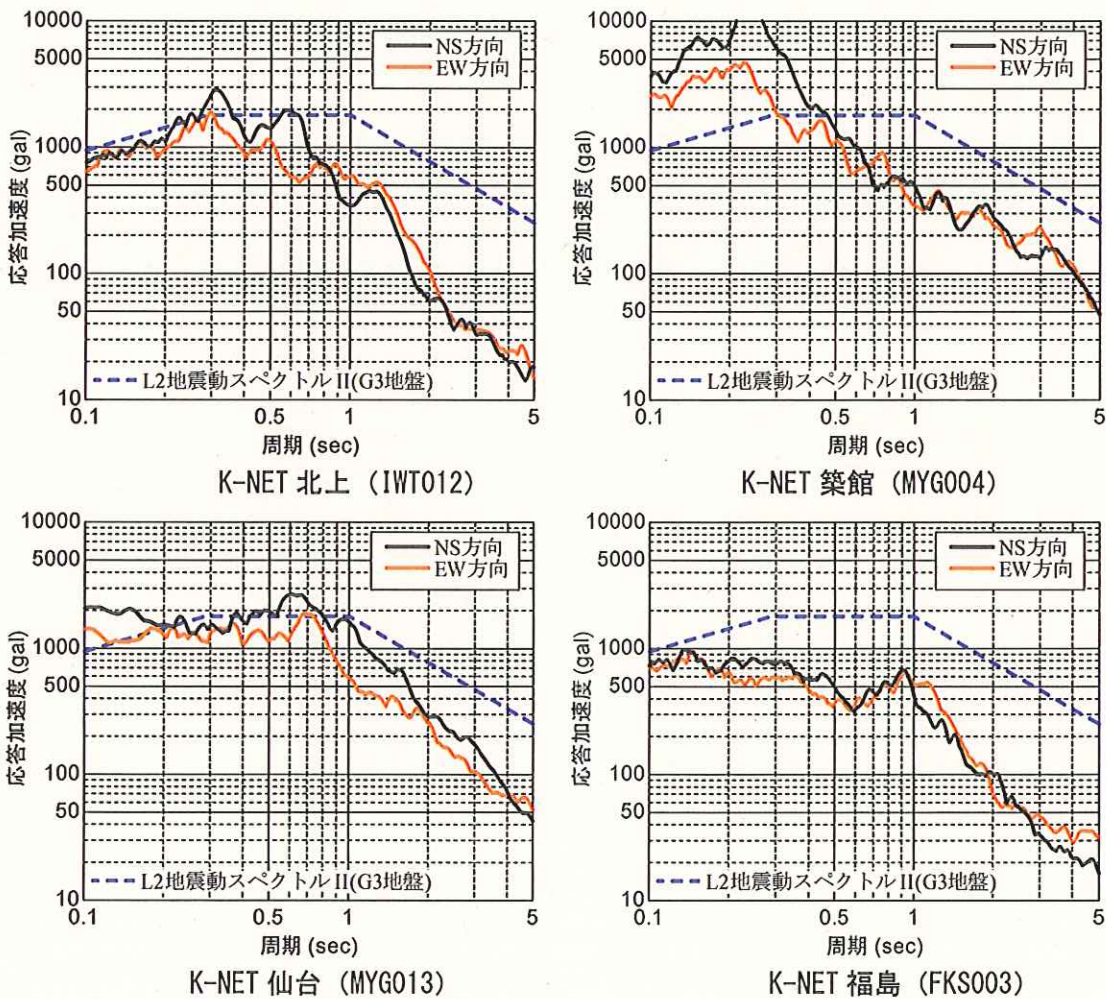


図8 K-NETによる観測地震波の加速度応答スペクトル

4.2 4月7日の余震の加速度応答スペクトル

本震発生後の4月7日にM7.1の余震が発生した。この余震の震源は本震と比較して陸側に位置しており、鉄道構造物においてもいくつかの被害が発生した。この余震記録の応答スペクトルを本震記録と比較して図9に示す。この図より、4/7の余震は3/11の本震記録とほぼ同レベルの応答を示していることが分かる。またK-NET 仙台などの地点では、本震よりも大きな応答を示している。

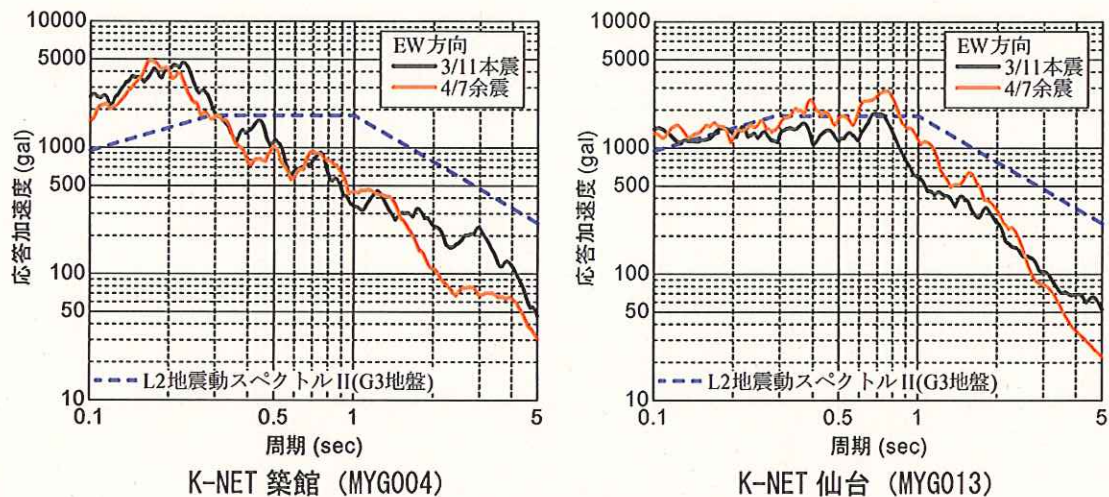


図9 3/11本震と4/7余震の加速度応答スペクトル

資料2

JR東日本が保守している比較的新しい標準で作られた構造物の被害の有無

2011年5月27日
JR東日本

No.	線名	駅間	構造物	供用開始	準拠した標準	被害状況
1	山形新幹線	福島駅構内	山形新幹線 福島アプローチ高架橋	H4	建造物設計標準解説 S58(コンクリート) (限界状態の考えを先取り)	明らかな被害はいずれも見られない
2	秋田新幹線	盛岡駅構内	秋田新幹線 盛岡アプローチ高架橋	H9	鉄道構造物等設計標準・同解説 H4(コンクリート構造)	
3	東北本線	南仙台・太子堂間	名取川橋りょう	H10	〃	
4	仙石線	野蒜・陸前小野間	鳴瀬川橋りょう	H12	〃	
5	東北新幹線	盛岡～八戸間	新幹線橋りょう・高架橋	H14	鉄道構造物等設計標準・同解説 H4(コンクリート構造) +新設構造物の当面の耐震設計に関する参 考資料 H8	
6	東北本線	長町駅構内	長町駅付近高架橋	H18	鉄道構造物等設計標準・同解説 H4(コンクリート構造)・H11(耐震設計)	
7	東北本線	平泉・前沢間	衣川橋りょう	H20	鉄道構造物等設計標準・同解説 H16(コンクリート構造)・H11(耐震設計)	
8	仙石線	多賀城駅構内	多賀城駅付近高架橋	H21上り線供用開始 下り線建設中	〃	

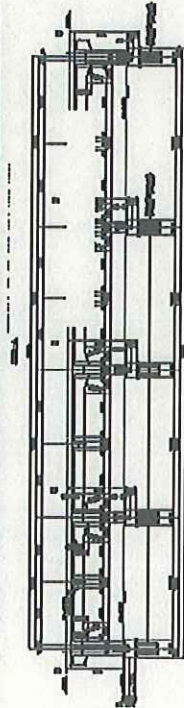
(被害を受けた東北新幹線(盛岡以南)は建造物設計標準 S45 で設計)

(参考)H11年耐震標準で作られた構造物の概要と地震後の状況(写真は全て地震後の状況)

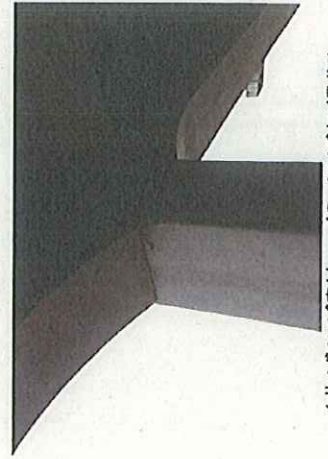
長町高架橋(概要)

適用標準: 鉄道構造物等設計標準(コンクリート H4)
: 鉄道構造物等設計標準(耐震設計 H11)

設計上の特徴: 標準スパン17~21m、
: パイルベント構造背割式高架橋、
: 内巻スバイラル、先端プレロード場所打杭



左: 長町高架橋 右: 新幹線高架橋

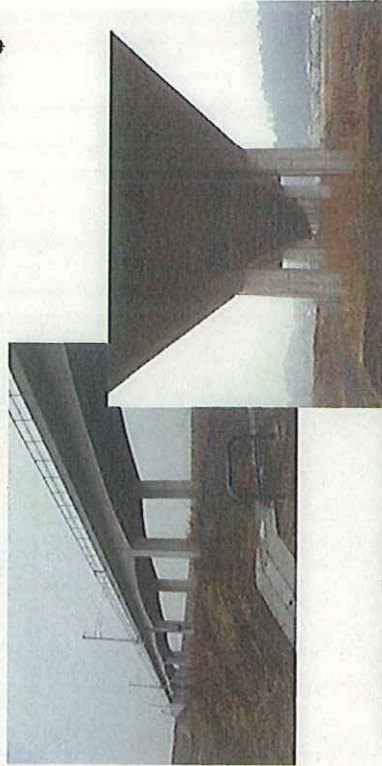
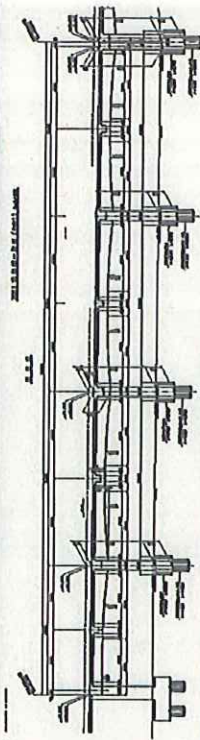


(曲げひび割れ一部 ほぼ無損傷)

衣川橋りょう(概要)

適用標準: 鉄道構造物等設計標準(コンクリート H16)
: 鉄道構造物等設計標準(耐震設計 H11)

設計上の特徴: 標準スパン20m
: パイルベント構造背割式高架橋、
: 内巻スバイラル、先端プレロード場所打杭



多賀城高架橋(概要)

適用標準: 鉄道構造物等設計標準(コンクリート H16)
: 鉄道構造物等設計標準(耐震設計 H11)

設計上の特徴: 標準スパン15m
: パイルベント構造背割式高架橋、
: 内巻スバイラル、先端プレロード場所打杭

