

# 東北地方太平洋沖地震における 鉄道盛土の被害要因に関する考察

藤原 寅士良<sup>1</sup>・中村 貴志<sup>1</sup>・谷口 善則<sup>2</sup>・高崎 秀明<sup>2</sup>・金田 淳<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 JR東日本 構造義技術センター (〒151-0578 東京都渋谷区代々木二丁目2-2)  
E-mail:t-fujiwara@jreast.co.jp, taka-nakamura@jreast.co.jp

<sup>2</sup>正会員 JR東日本 フロンティアサービス研究所 (〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2-479)  
E-mail:Yoshi-taniguchi@jreast.co.jp, h-takasaki@jreast.co.jp, j-kaneda@jreast.co.jp

東北地方太平洋沖地震では、東日本の広範囲に渡り鉄道盛土が崩壊や亀裂等の被害を受けた。被害数が多かったエリアの全ての盛土を対象に、地震被害を受けた盛土と被害を受けなかった盛土の差について、盛土高さ、盛土勾配、微地形区分等の属性をデータベース化し、被害を受けた盛土がどのような属性を有していたかについて考察を行った。また、その属性の重要度について、データベースを用いた仮設と検証を繰り返し実施し検討を行った。結果として、盛土被害が発生する要因の影響度は、微地形区分・周辺環境が最も強く、盛土高さ・災害歴、水の影響を受ける要因の降雨弱点箇所順に高い点が確認された。

**Key Words:** embankment damages by earthquake, database investigation, analysis of damages

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、東日本エリアの各種構造物に甚大な被害を発生させた。鉄道盛土も広範囲にわたり被害を受け、その被害総数はJR東日本管内のみでも68箇所と報告されている<sup>1)</sup>。

これまで被害を受けた盛土を対象に、盛土高さや勾配といった属性に関して、被害を受けた盛土のみで分析を行った研究結果は多数存在している (例えば文献<sup>2,3)</sup>)。

しかしながら、被害を受けた盛土の近傍においても、被害を受けていない盛土もあり、その差が何であるかを分析している研究は少ない。

そこで、本論では、東北地方太平洋沖地震にて鉄道盛土被害が多かったエリアのすべての盛土を対象に、盛土高さ、盛土勾配、微地形区分等の属性を机上調査により整理し、被害要因の傾向について考察を行うこととした。

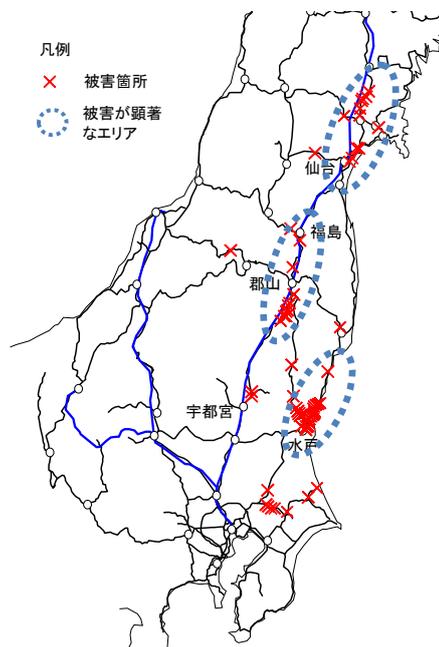


図-1 東北地方太平洋沖地震におけるJR東日本管理の盛土被害箇所

## 2. 調査範囲と調査項目・方法

### (1) 調査範囲

図-1は、東北地方太平洋沖地震における、東日本旅客鉄道株式会社 (以下、JR東日本と称する。) が管理する盛土の被害箇所について、被害が軽微なものから甚大なものまで区別なく、プロットしたものである。このプロッ

ト分布により特に被害が多かった範囲に対して、盛土の特性調査を行うこととした。調査範囲は表-1に示す通り、3地区に渡り、合計延長約173kmとなっている。

### (2) 調査項目と調査方法

表-1 調査対象範囲

調査ブロック	線名	調査範囲				調査総延長 (m)	盛土延長 (m)
		起点方駅名	終点方駅名	起点キロ程	終点キロ程		
A	常磐線	友部	植田	99k070m	187k460m	88,390	58,570
B	東北本線	西那須野	藤田	152k080m	289k290m	137,210	68,990
C	東北本線	仙台	一ノ関	353k640m	440k770m	87,130	45,370
					合計	312,730	172,930

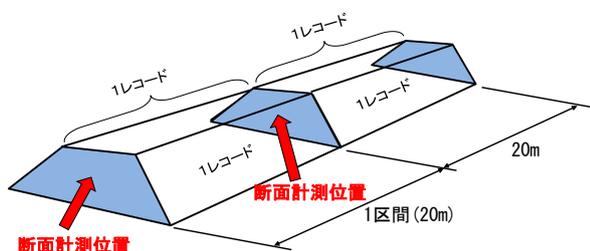


図-2 盛土データベース化概要

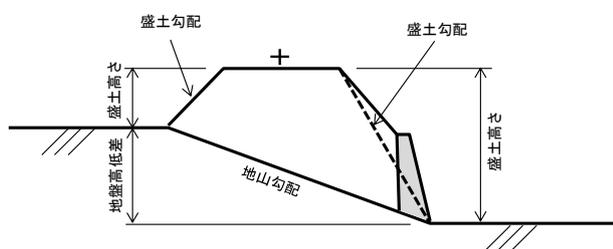


図-3 盛土断面と各項目の関係

調査項目は、盛土高さ、盛土勾配、地盤高低差、計測震度、微地形区分、周辺環境、排水工の有無、災害歴を有するか否か、降雨時弱点箇所該当するか否か、とした。

表-1に示す調査総延長範囲内で「盛土」としてJR東日本が管理する土木構造物管理システム（以下、MARSと称す。）に登録されている箇所に対して、盛土一区間を20mに分割し、上記で述べた調査項目を整理し、盛土のデータベース化を行った（図-2参照）。なお、通常の盛土は、両側にのり面が存在するので、盛土一断面につき、データは2データ存在する。本論では、そのデータ数をレコード数と称する。

盛土断面と盛土高さ、盛土勾配、地盤高低差の関係を図-3に示す。すべての盛土に対して、盛土高さや勾配を測定して把握するには膨大な作業量と高額なコストが必要となるため、JR東日本が所有する電子線路平面図（3D線路情報）を用いて、代用することとした。

電子線路平面図（3D線路情報）には、5mメッシュの標高点・座標と、勾配変化点の標高点・座標が登録されているため、機械的に盛土高さ、盛土勾配、地盤高低差を算出することが可能である。

盛土勾配は、標高データから機械的に算出するために、盛土のり肩または擁壁天端、盛土のり尻または擁壁基部

を結ぶ直線で代用することとした。

計測震度は、該当する盛土から最も近い箇所にある、K-NET地震計で観測された計測震度を採用した。

微地形区分は、国土地理院土地条件図とJ-SHISによる微地形区分から情報を得ることとした。なお、微地形区分については、国土地理院の土地条件図がより詳細に地形区分を行っていることから、これを優先とし、示されていないエリアをJ-SHISによる微地形区分で補完することとした。

周辺環境については、地形図や航空写真等を基に、対象盛土周辺の地形（山地・河川等）、周辺環境（水田、畑、民家、道路等）を目視確認により分類した。

排水工の有無は、盛土の災害歴、常時維持管理上の弱点箇所となっている降雨時弱点箇所は、MARSに登録されている情報に基づき調査した。

なお、排水工については、盛土中に挿入している水抜きパイプ等を指すものではなく、盛土周辺に存在する側溝や縦下水および横断管路等を指している。

災害歴に関しては、降雨・地震等、起回事象や被害規模に関係なく過去に盛土が崩壊した記録がMARSに登録されている盛土のレコードに「災害歴有り」と属性を与えた。

降雨時弱点箇所は、JR東日本が定める「降雨時弱点箇所抽出マニュアル<sup>4)</sup>」に従い抽出された盛土がMARSに登録されており、その盛土のレコードに「降雨時弱点箇所該当する」の属性を与えた。降雨時弱点箇所は、線路平面図、地形図、空中写真等を利用し、下り勾配から上り勾配に変わる勾配変更点箇所、片切片盛箇所、集水地形等に該当する箇所が選択されている。

### 3. 調査結果分析

調査結果を分析するにあたり、被害発生率という指標を定義し検討を行うこととした。

被害発生率は、

$$RD = Nd / Na \times 100 \quad (1)$$

RD：被害発生率（%）

Nd：各カテゴリで分類された盛土の被害レコード総数

Na：各カテゴリで分類された盛土のレコード総数

で定義することとし、各調査項目によりすべてのレコード数をカテゴリ分類し、その分類されたレコード数のうち、大きな被害を受けたレコード数の割合の大小で、

調査項目と被害要因の相関の強さを確認しようとしたものである。

また、被害規模の分類は、大、中、小とし、以下のように分類することとした。

大：大規模な軌道変状を伴う沈下および盛土の崩壊

中：小規模な軌道変状を伴う沈下および盛土表層の流出

小：のり肩の亀裂等、列車の運行に支障しない軽微な被害

以下に、各項目と被害発生率の関係について述べる。

### (1) 盛土高さ

図-4に盛土高さ と被害発生率の関係を示す。被害規模が大であった盛土に関しては、盛土高さが4mを超えた盛土で大規模な被害の発生率が高い点が確認できる。また、全体の傾向として、盛土高さが高いほど、被害発生率が大きくなる傾向が確認できる。

### (2) 盛土勾配

図-5に盛土勾配と被害発生率の関係を示す。横軸の数字は勾配を「1:x」と表示した場合の「x」を示しており、xの値が小さいほど、勾配が急であることを示す。

被害規模が大・中であった盛土に関しては、盛土勾配が急であるほど、被害発生率が高くなる傾向が確認され

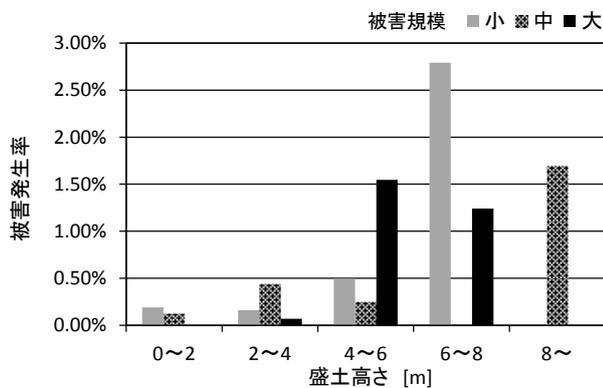


図-4 盛土高さ と被害発生率

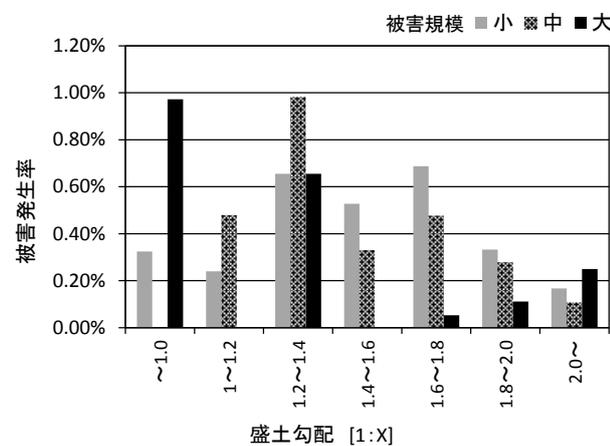


図-5 盛土勾配 と被害発生率

た。被害規模が小であった盛土は、盛土勾配の差による明確な傾向が見られなかったものの、全体としては勾配が急なほど、被害発生率が大きくなる傾向が確認できる。

### (3) 微地形区分

表-2に微地形区分と被害発生率の関係を示す。なお、表の微地形区分欄は、文献<sup>9)</sup>を参考に、上方が揺れにくい地盤、下方が揺れやすい地盤となるよう配置している。

本表を確認すると、地盤の揺れやすさが大きいほど、害が発生している傾向にあるが、山地など揺れやすさが小さくても、被害が発生する微地形区分があることがわかる。

また、被害規模が中である盛土においても、微地形区分上、「揺れやすさ中」に属する、切土斜面、火山性丘陵で被害発生率が高くなっている点が確認された。これは、既往の研究結果<sup>6)</sup>と調和的であり、微地形区分上の揺れやすさのみで被害発生率の傾向把握が困難であると理解できる。

### (4) 計測震度

図-6に計測震度と被害発生率の関係を示す。最も近

表-2 微地形区分と被害発生率

揺れやすさ	微地形区分	被害発生率 [%]			
		被害規模小	被害規模中	被害規模大	
小	山地	0	0	5.56	
	斜面 (山地)	0	0	0	
	崖錐・麓斜面・土石流堆	0	0	0	
	丘陵	0.37	0	0	
	火山性丘陵	0.64	0.96	0	
	上位面	0.41	0.83	0	
	中位面	3.64	0	0	
中	下位面	0	0	0	
	洪積台地	0	0	0	
	台地段丘状の地形	0	0	0	
	砂礫質台地	0.14	0	0	
	ローム台地	0.11	0.53	0.48	
	扇状地	0	0	0	
	切土斜面	1.16	10.47	0	
	やや大	凹地・浅い谷	0	0	0
		自然堤防	0	0	0
		自然堤防・砂州・砂堆	2.22	0	2.22
谷底平野・氾濫平野		0.26	0.11	0.19	
谷底低地		0.13	0.04	0	
大	平坦化地	1.35	0	0	
	海岸平野・三角州	0	0	0	
	三角州・海岸低地	0	0	0	
	後背低地	3.99	0	2.99	
	後背湿地	0	0	0	
	旧河道	0	0	0	
	盛土地	0	0.34	0	
	埋土地	0	0	0	
	干拓地	0	1.19	0	
	評価範囲外	高水敷	0	0	0
低水敷・浜・潮汐低地		0	0	0	
水部		0	0	0	

傍の地震計で観測された計測震度が被害規模小以上の被害は5.5以上、被害規模中以上の被害は計測震度5.8以上となっている盛土から発生した結果となった。また、計測震度が大きいほど、全体として被害発生率が高くなる傾向が確認された。なお、これは文献<sup>6)</sup>に示されるように震度5強（計測震度5.0以上5.5未満）以上にて、盛土被害が確認されるという、既往の研究結果と調和的である。

#### (5) 周辺環境・排水工

図-7に周辺環境と被害発生率、図-8に排水工の有無と被害発生率の関係を示す。図-7から被害規模大が発生し全体の被害発生率が高い盛土の周辺環境は、水田、畑、草地となっており、周囲に植物が生育できる、比較的平坦な地盤で水が供給される環境付近に存在する盛土は、被害発生率が高くなる点が推察される。

また、図-8から排水工が無い盛土の方が、全体として被害発生率が高い点の確認できる。排水工を有しない盛土は、被害発生率が高くなる傾向が確認された。

#### (6) 災害歴・降雨時弱点箇所

図-9に災害歴と被害発生率、図-10に降雨時弱点箇所と被害発生率の関係を示す。図-9から地震や降雨等の被災要因に関わらず、一度被災した盛土は、地震時に被害を受けやすく、更にその被害規模も大きくなることの確認できる。また、図-10より、被害規模が大である盛土の殆どは、降雨時弱点箇所に指定されていることが確認できる。降雨時弱点箇所に選定される要素として、「下り勾配から上り勾配への勾配変更点」や「集水箇所」が挙げられる。従って、水が集まりやすい地形に位置する盛土は地震時に被害を受けやすいと推察される。

### 4. 調査項目の地震時被害影響度に関する検討

#### (1) 影響度の検討方法

3章で述べた各調査項目が被害規模に与える影響につ

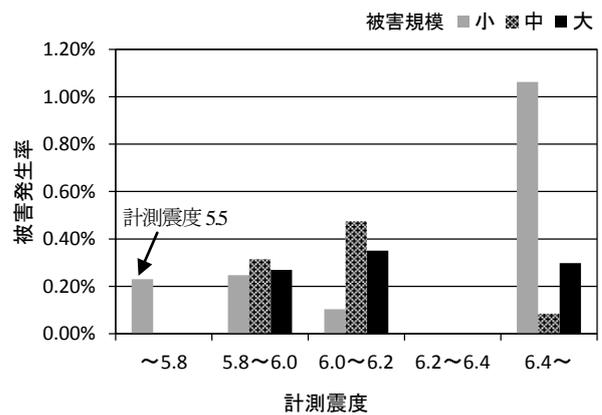


図-6 計測震度と被害発生率

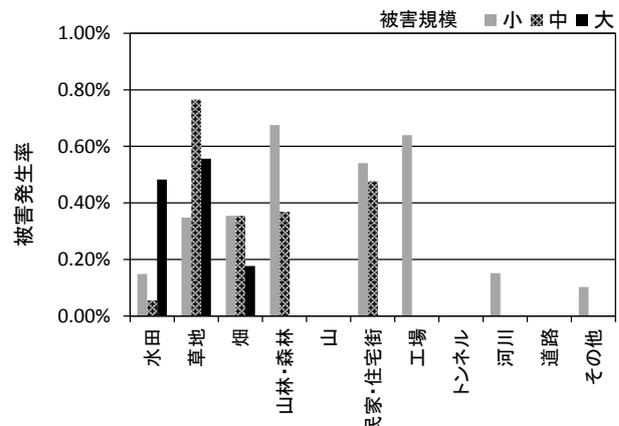


図-7 周辺環境と被害発生率

いて、定量的な影響度の把握を行うために、図-11のようなフローにより検討を行った。

各調査項目に対して数量化理論により影響度を把握する方法もあるが、結果となる変数が被災規模という定量的に曖昧なデータである点、また説明変数にも盛土高さや勾配等に代表される定量的変数だけでなく、微地形区分、周辺環境、災害歴といった定性的な変数も含まれるため、以下に述べる方法を用いた。

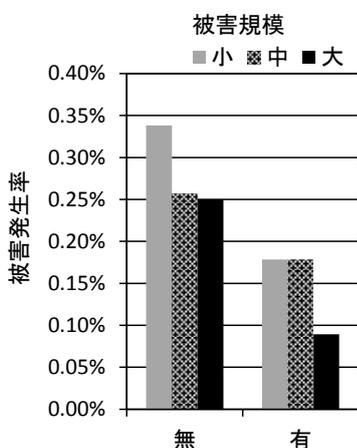


図-8 排水工と被害発生率

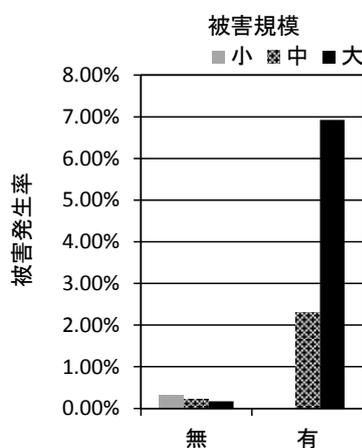


図-9 災害歴と被害発生率

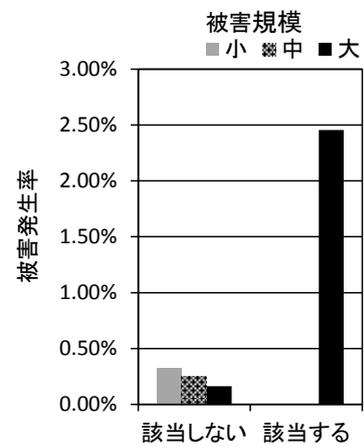


図-10 降雨時弱点箇所と被害発生率

表-3 仮説配点の一例

調査項目	評価区分	配点	レンジ幅 (影響度)
盛土高さ (H) [m]	$H < 2$	0	20 (0.14)
	$2 \leq H < 4$	2	
	$4 \leq H < 6$	10	
	$6 \leq H < 8$	15	
	$8 \leq H$	20	
盛土勾配 (1:x)	$2.0 \leq x$	0	10 (0.07)
	$1.6 \leq x < 2.0$	2	
	$1.4 \leq x < 1.6$	4	
	$1.2 \leq x < 1.4$	6	
	$1.0 \leq x < 1.2$	8	
	$x < 1.0$	10	
微地形 区分	下記以外 崖錐・麓屑面・土石流 堆、丘陵、上位面、中 位面、下位面、洪積台 地、台地段丘状の地 形、砂礫質台地、扇状 地	0	30 (0.22)
	凹地・浅い谷、自然堤 防、谷底平野・氾濫 平野、谷底低地、平坦 化地	20	
	山地、火山性丘陵、ロ ーム台地、切土斜面、 自然堤防・砂州・砂 堆、海岸平野・三角 州、三角州・海岸低 地、後背低地、後背湿 地、旧河道、盛土地、 埋土地、干拓地	30	
周辺環境	下記以外 畑、草地、水田	0 30	30 (0.22)
排水設備	有	0	2 (0.01)
	無	2	
計測震度 (I)	$I < 5.8$	0	10 (0.07)
	$5.8 \leq I < 6.0$	4	
	$6.0 \leq I < 6.2$	6	
	$6.2 \leq I < 6.4$	8	
	$6.4 \leq I$	10	
災害歴	無	0	20 (0.14)
	有	20	
降雨時 弱点箇所	該当しない	0	15 (0.11)
	該当する	15	
総和点 (最大値)		137	

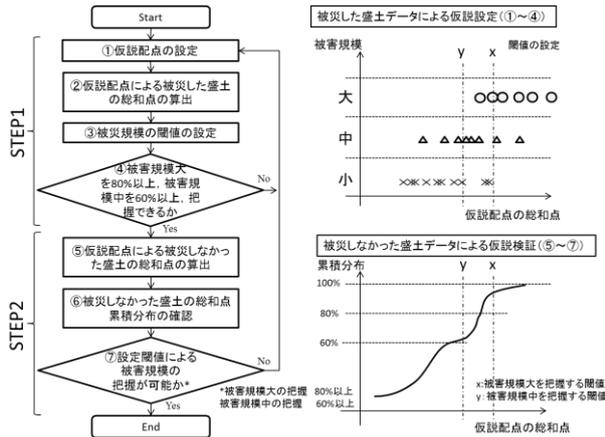


図-11 影響度の検討フロー

検討方法は、被害を受けた盛土レコードを利用して、

「被害規模大」を80%以上、「被害規模中」を60%以上把握できるよう調査項目の仮説配点と被害規模把握の閾値を設定することとした。その仮説を利用して、被害を受けなかった盛土レコードを利用して、仮説配点と被害規模把握の閾値の検証を繰り返す方法とした。検証は、「被害規模大」を把握できる確からしさが80%以上、「被害規模中」を把握できる確からしさが60%以上となった時点で、検討を終了することとした。

検討ステップの詳細を以下に述べる。

**【STEP1：フロー①～④】**

被害を受けた盛土レコードを利用して、仮説配点の総和点数で「被害規模大」を80%以上、「被害規模中」を60%以上把握できる、仮説配点と閾値を設定する。

**【STEP2：フロー⑤～⑦】**

STEP1で設定した仮説配点に基づき、被害を受けなかった盛土レコードの総和点を算出し、被害を受けなかった盛土レコードの総和点の累積分布を確認する。

次に、被害を受けなかった盛土レコードの総和点の累積分布を用いて、「被害規模大」の閾値以上の累積分布が80%以上、「被害規模中」の閾値以上の累積分布が60%以上となるかを確認する。上記の条件を満足していれば終了、満足していなければ、①に戻る。

本検討ステップは、被害を受けた盛土レコードを用いて設定した仮説配点と閾値の設定を、被害を受けなかった盛土レコードを用いて、仮説配点と閾値設定の確からしさを検定を行っていることになる。被害規模大を把握する閾値以上となる被害を受けなかった盛土レコード数の割合が20%以下ということは、被害規模大を把握する閾値の確からしさが80%以上ということと同義と考えられる。また、同様に、被害規模中を把握する閾値以上となる被害を受けなかった盛土レコード数の割合が40%以下ということは、被害規模中を把握する閾値の確からしさが60%以上ということと同義と考えられる。

本条件を満たしていれば、設定した仮説配点と被害規模を把握する閾値に関して、被害規模大を80%以上把握する確からしさが80%以上、被害規模中を60%以上把握する確からしさが60%以上と言うことができる。

**(2) 影響度の検討結果**

第1項で述べた方法に基づいて収束した各項目の仮説配点を表-3に、被害規模と仮説配点の総和点の関係を図-12に示す。

なお、表-3に示す仮説配点は、あくまでも第1項で述べた条件を満たす一例であり、より良い仮説配点が他にも存在することに注意が必要である。

また、表-3の右欄に示すレンジ幅とは、仮説配点の

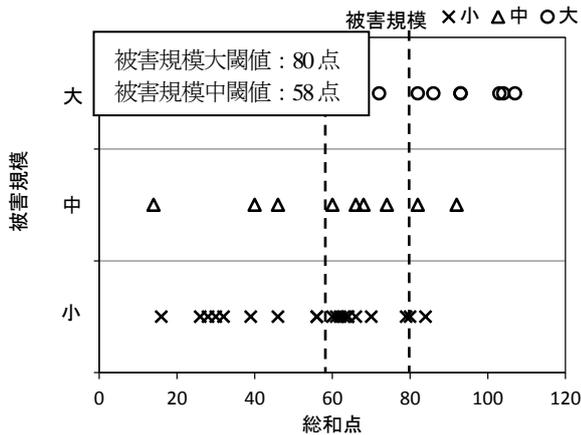


図-12 仮説配点と被害規模（閾値の設定）

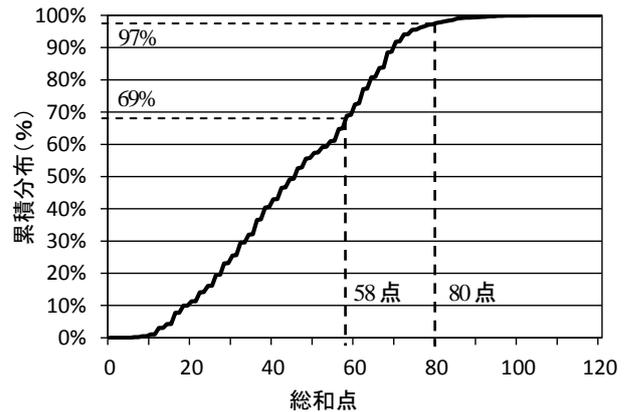


図-13 仮説配点による被災しなかった盛土の累積分布

最大値と最小値の差であり、盛土が地震時被害を受ける影響度を示すと考えられる指標である。また括弧内の数字は、レンジ幅の値を仮説配点の総和点（最大値）で除した数値であり、各調査項目が地震時被害に与える影響度を示す指標として掲載している。

今回、微地形区分に関するレンジ幅を大きく、また、文献<sup>9)</sup>に示される、揺れやすい地盤条件の他に、山地、ローム台地、火山性丘陵の仮説配点を高くしなければ、仮説配点の総和点と被害規模の関係について、設定した条件を満足することが困難であった。

レンジ幅、即ち影響度の強さとしては、微地形区分・周辺環境、盛土高さ・災害歴、降雨弱点箇所、計測震度・盛土勾配の順となる仮説が立てられた。

また、盛土高さの配点は、高さに応じて線形ではなく指数関数的な仮説配点となった。盛土高さの影響が強い点は既往の研究結果と調和的であるし、災害歴の有無の影響度が強い点も興味深い点である。

また、図-12から、被害規模大の閾値は80点、被害規模中の閾値は58点と設定することとした。

図-13に東北地方太平洋沖地震で被災しなかった盛土の総和点の累積分布を示す。本図から、被災しなかった盛土のうち仮説配点の総和点が80点以上の盛土は約3%である点、58点以上である盛土は約31%であることが確認できる。即ち、本仮説配点および閾値80点、58点という設定で被害規模大を80%以上把握できる確からしさは約97%、被害規模中を60%以上把握できる確からしさは約69%であると言える。

## 5. まとめ

本論において、東北地方太平洋沖地震により被災した鉄道盛土と被災しなかった鉄道盛土のデータを整理し、仮説配点に基づく検討と検証を行い、以下の知見を得ることができた。

- ・地震時に盛土が被害を受ける要因の影響度として、微

地形区分・周辺環境の影響が最も強く、盛土高さや災害歴の影響が強い点を確認された。

- ・周囲に水が供給されると考えられる畑、草地、水田等がある盛土、降雨時弱点箇所に該当する集水地形等にある水が溜まりやすい盛土、排水工が整備されていない盛土は、地震時に被災する確率が高まる傾向が確認された。
- ・盛土勾配が急なほど、計測震度が大きいほど、盛土被害が発生する確率が高まることが確認できた。

謝辞：本論を執筆するにあたり、（独）防災科学研究所により運用されているK-NETおよびJ-SIHSのデータを利用させていただきました。関係各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 中村貴志，金田淳，藤原寅士良，高崎秀明，橋内真太郎，川寄淳：東北地方太平洋沖地震における盛土の被害要因分析，東日本旅客鉄道株式会社編，SED No.42, pp.66-75. 2013.11.
- 2) 那須誠：地盤被害が大規模に生じた盛土や自然斜面と地盤の関係，第26回地震工学研究発表会講演論文集，pp.101-104, 2001.8.
- 3) 国富和真，小林育夫，松井保，山崎聡一，安川郁夫：阪神・淡路大震災による道路盛土被害の構造的要因分析，日本地震工学シンポジウム論文集，vol.10-1, pp.437-442, 1998.
- 4) 東日本旅客鉄道株式会社：維持管理マニュアルI，検査編，降雨に対する弱点箇所抽出マニュアル，1997.2
- 5) 国土交通省国土地理院：自治体担当者のための防災地理情報利活用マニュアル（案），土地条件図の数値データを使用した簡便な災害危険性評価手法，2009.3
- 6) 高浜勉，翠川三郎：地盤条件を考慮した鉄道構造物の被害関数の構築，日本地震工学会論文集，第9巻，第5号，2009，pp42.-56.

A STUDY ABOUT FACTORS WHICH CAUSED EMBANKMENT DAMAGES  
BASED ON 2011 Off the PACIFIC COAST TOHOKU EARTHQUAKE

Torajiro FUJIWARA, Takashi NAKAMURA, Yoshinori TANIGUCHI,  
Hideaki TAKASAKI and Jun KANEDA

A lot of railway embankments was damaged to the collapse, crack among wide area in East Japan, by 2011 off the Pacific Coast Tohoku Earthquake. All railway embankment maintained by East Japan Railway Company within much damaged area are investigated for categorizing with height, gradation, geomorphologic classification, and so on. The result of this investigation is databased. And the influence level of each category is analyzed by assuming weight points and verification with the database.

This study says that the difference of damaged and no-damaged embankment has a strong correlation to geomorphologic classification, environment around the site, height of embankment, past-damaged, and so on.